

# 한국식품영양학회지

제 38권 6호 2025년 12월

## 목 차

### <연구논문>

- 257 캠페일리 주정 강화 와인의 숙성 온도와 기간에 따른 품질 특성 및 기능성 ..... 차정문 · 윤동규 · 박의광 · 이윤정 · 윤향식
- 273 반응표면분석법을 이용한 에틸락테이트 용매 기반 주황색 고구마 기능성 성분 추출 최적화 연구  
..... 장가은 · 유경단 · 박유진 · 김태화 · 이교휘 · 박원 · 안중욱 · 남상식 · 우관식 · 이형운 · 정미남 · 황업지
- 285 근적외선분광법을 활용한 고구마의 폴리페놀, 플라보노이드 함량 및 항산화활성 비파괴 분석 방법 확립  
..... 안중욱 · 황업지 · 김태화 · 박원 · 이교휘 · 남상식 · 이형운 · 정미남 · 우관식
- 294 효소처리에 따른 자색고구마 기능성 성분 추출 특성  
..... 황업지 · 장가은 · 유경단 · 박유진 · 김태화 · 박원 · 이교휘 · 안중욱 · 정미남 · 이형운 · 우관식
- 306 국내 육성 검은콩(*Glycine max*(L.) Merr.) 품종의 구조적, 열적, 수화 및 기능적 특성 비교 분석  
..... 예상진 · 박현진 · 최유찬 · 함현미 · 심은영 · 박지영 · 오현아 · 강문석 · 전원태 · 천아름
- 320 Dual Enzymatic Inhibition of Tyrosinase and  $\alpha$ -Glucosidase by *Petasites japonicus* Flavonoids and Their Skin-Whitening Potential  
..... Hyun-Suk Choi and DuBok Choi
- 331 약지도 학습을 활용한 AI 기반 한국 음식 재료 인식 의미론적 분할 모델: 불고기 사례 연구 ..... 박영훈 · 김영금 · 최은영
- 343 한국 성인에서 지속가능한 식생활 인식 및 실천 요인 분석 ..... 유현진 · 정복미 · 최미경 · 배윤정
- 354 A Comparative Analysis of the Quality and Instrumental Flavor Profiles of Seasoned Soy Sauce Prepared with Different Sub-Ingredients ..... Hye Kyung Cho and Kyung Tae Jang
- 370 말레이시아 소비자가 인식한 한국의 국가이미지가 한국 가정간편식(HMR) 제품태도와 구매의도에 미치는 영향  
- 한국의 위기대응 조치의 매개효과 - ..... 최승균 · 박주현 · 홍완수
- 388 쪽파 뿌리 추출물의 항산화 및 항염증활성 ..... 이윤성 · 김지용 · 서영호

### <연구노트>

- 397 Nutritional Perspectives on Amyloid Beta-Mediated Beta Cell Viability ..... Eun-Young Park and Yoon Sin Oh
- 405 ■ 학회소식
- 407 ■ 저자 체크표
- 408 ■ 저작권 이전 동의서
- 409 ■ 연구윤리서약서
- 410 ■ 한국식품영양학회 회칙
- 416 ■ 한국식품영양학회 연구윤리 규정
- 427 ■ 한국식품영양학회 논문 투고 규정

# THE KOREAN JOURNAL OF FOOD AND NUTRITION

Vol. 38, No. 6, December 2025

---

## CONTENTS

### <Original Articles>

- 257 Quality Characteristics and Functionality of Campbell Early Fortified Wine according to Aging Temperature and Period  
..... Jeong-Moon Cha, Dong-Kye Yun, Eui-Kwang Park, Yun-Jeong Lee and Hyang-Sik Yoon
- 273 Optimization of Functional Compound Extraction from Orange-Fleshed Sweet Potato using Ethyl Lactate as a Green Solvent through Response Surface Methodology  
..... Gaeun Jang, Gyeong-dan Yu, You-jin Park, Tae Hwa Kim, Kyohwui Lee, Won Park, Jonguk An, Sang-sik Nam, Koan Sik Woo, Hyeong-Un Lee, Mi Nam Chung and Eom-ji Hwang
- 285 Establishment of a Non-Destructive Analysis Method for the Polyphenol, Flavonoid Content and Antioxidant Activity of Sweetpotato using Near-Infrared Reflectance Spectroscopy  
..... Jonguk An, Eom-ji Hwang, Tae Hwa Kim, Won Park, Kyo Hwui Lee, Sang Sik Nam, Hyeong-Un Lee, Mi Nam Chung and Koan Sik Woo
- 294 Effect of Enzymatic Treatment on the Extraction of Functional Compounds from Purple Sweetpotato  
..... Eom-ji Hwang, Gaeun Jang, Gyeong-dan Yu, You-jin Park, Tae Hwa Kim, Won Park, Kyohwui Lee, Jonguk An, Mi Nam Chung, Hyeong-Un Lee and Koan Sik Woo
- 306 Comparative Analysis of Structural, Thermal, Hydration, and Functional Characteristics of Black Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Cultivars  
..... Sang-Jin Ye, Hyun-Jin Park, Yu-Chan Choi, Hyeonmi Ham, Eun-yeong Sim, Jiyoung Park, Hyeona Oh, Moon Seok Kang, Wontai Jeon and Areum Chun
- 320 Dual Enzymatic Inhibition of Tyrosinase and  $\alpha$ -Glucosidase by *Petasites japonicus* Flavonoids and Their Skin-Whitening Potential  
..... Hyun-Suk Choi and DuBok Choi
- 331 AI-Based Weakly Supervised Semantic Segmentation for Korean Food Ingredient Recognition: Bulgogi Case Study  
..... Young Hoon Park, Young Keum Kim and Eun Young Choi
- 343 Analysis of Factors Influencing Perception and Practice of Sustainable Diet among Korean Adults  
..... Hyeon-Jin Yoo, Bok-Mi Jung, Mi-Kyeong Choi and Yun-Jung Bae
- 354 A Comparative Analysis of the Quality and Instrumental Flavor Profiles of Seasoned Soy Sauce Prepared with Different Sub-Ingredients  
..... Hye Kyung Cho and Kyung Tae Jang
- 370 The Effect of Korea's National Image on Attitudes toward Korean Home Meal Replacement (HMR) Products and Purchase Intention among Malaysian Consumers - The Mediating Effect of Korea's Crisis Response Measures -  
..... Seung Gyun Choi, Ju Hyun Park and Wan Soo Hong
- 388 Anti-Oxidant and Anti-Inflammatory Activities of *Allium wakegi* Araki Root Extract ..... Yun-Seong Lee, Ji yong Kim and Young Ho Seo

### <Research Note>

- 397 Nutritional Perspectives on Amyloid Beta-Mediated Beta Cell Viability ..... Eun-Young Park and Yoon Sin Oh

- 405 ■ News of the Korean Society of Food and Nutrition
- 407 ■ Checklist for Original Article
- 408 ■ Copyright Transfer and Statement of Originality Korean Journal of Food and Nutrition
- 409 ■ Declaration of Ethical Conduct in Research
- 410 ■ The Rules of the Korean Society of Food and Nutrition
- 416 ■ Research Ethics Rules of the Korean Society of Food and Nutrition
- 427 ■ Guidelines for Submitting Manuscripts

## 캠벨얼리 주정 강화 와인의 숙성 온도와 기간에 따른 품질 특성 및 기능성

차정문 · 윤동규 · 박의광 · 이윤정 · \*윤향식\*

충북농업기술원 와인연구소 농업연구사, \*충청북도농업기술원 와인연구소 농업연구관

### Quality Characteristics and Functionality of Campbell Early Fortified Wine according to Aging Temperature and Period

Jeong-Moon Cha, Dong-Kye Yun, Eui-Kwang Park, Yun-Jeong Lee and †Hyang-Sik Yoon\*

Associate Researcher, Wine Research Institute, Chungcheongbukdo Agricultural Research and Extension Services, Yeongdong, Chungbuk, 29151, Korea

\*Senior Researcher, Wine Research Institute, Chungcheongbukdo Agricultural Research and Extension Services, Yeongdong, Chungbuk, 29151, Korea

#### Abstract

This study analyzed the changes in quality characteristics and functionality of Campbell Early fortified wine based on aging temperature and duration. The pH levels of the wine ranged from 3.74 to 3.87, while total acidity was between 0.40% and 0.49%. After fortification, the soluble solids measured 15.4 to 16.1 °Brix, and the alcohol content remained stable throughout aging, consistently between 24.2% and 24.9%. Color analysis revealed that lightness (L) increased with higher aging temperatures, while redness (a\*) decreased. Concurrently, yellowness (b\*) and hue values rose, indicating a gradual fading of red color as the wine aged, transitioning toward a yellowish-brown hue. In the free sugar analysis, fructose levels were found to be between 36.24 and 36.71 mg/mL, glucose ranged from 7.67 to 8.51 mg/mL, and sucrose was measured at 1.07 to 1.09 mg/mL. For organic acids, citric acid ranged from 0.013 to 0.027 mg/mL, tartaric acid from 1.033 to 1.228 mg/mL, malic acid from 0.645 to 0.689 mg/mL, and lactic acid from 0.274 to 0.314 mg/mL. Aroma analysis identified a total of 41 compounds, including 9 alcohols, 22 esters, 5 ketones, 2 furans, 1 pyran, 1 acid, and 1 ethane compound. This study highlights the potential for developing premium fortified wines from Campbell Early and suggests that the findings could be beneficial across various sectors of the wine industry.

Key words: Campbell Early, fortified wine, quality characteristics, functionality

#### 서 론

와인은 전 세계적으로 오랜 역사를 지닌 발효주로 다양한 품종과 제조법, 숙성 조건에 따라 독특한 맛과 향, 기능성을 갖는 고부가가치 식음료, 가공품으로 자리매김하고 있다(Lee 등 2014; Park HJ 2020). 특히 주정강화 와인(fortified wine)은 발효 중 혹은 발효 후에 알코올(주정)을 첨가하여 도수를 높이고 발효를 중단함으로써 특유의 풍미와 높은 저장성을 확보한 와인이다(Abreu 등 2021). 대표적인 주정강화 와인은 포트(Port), 셰리(Sherry), 마테이라(Madeira) 등이 있으며(Abreu 등

2021; Perestrelo 등 2023), 일반 스틸 와인과 차별화된 맛과 기능성을 지녀 전 세계적으로 많은 소비자층을 확보하고 있다. 주정강화 와인은 고농도의 알코올 함량과 잔류 당분 덕분에 장기간 저장 및 숙성이 가능하며, 숙성 과정에서 독특한 향미와 기능성 성분이 발달한다. 특히 와인 스타일에 따라 숙성 온도, 기간, 품종, 발효(효모), 주정 및 주정 첨가 시점은 와인의 향기, 색상, 산도, 유기산 및 폴리페놀 함량, 항산화 활성 등에 직접적인 영향을 미치는 중요한 요인으로 알려져 있다(Abreu 등 2021; Ribeiro 등 2023). 적절한 숙성 온도는 와인의 화학적 변화를 조절하여 맛과 향의 균형을 이루게 하며, 기능

†Corresponding author: Hyang-Sik Yoon, Senior Researcher, Wine Research Institute, Chungcheongbukdo Agricultural Research and Extension Services, Yeongdong, Chungbuk, 29151, Korea. Tel: +82-43-220-5870, Fax: +82-43-220-5879, E-mail: aroma67@korea.kr

성 성분의 안정성 유지에도 중요한 역할을 한다.

우리나라의 양조 역사는 비교적 짧고 양조용 유럽계통의 *Vitis vinifera* 종의 노지재배가 어렵기 때문에 *Vitis labrusca* 품종을 이용하여 주로 양조에 이용하고 있다(Lee 등 2004). 국내에서 주로 레드와인 양조에 이용하는 *Vitis labrusca* 품종은 캠벨얼리(Campbell Early)가 70% 이상 차지하고 있지만, 산도가 높고 당도가 낮으며, 색이 옅고 향이 약한 특성이 있어 고품질 와인 제조에 한계점이 있다(Kim 등 2018). 그리고 캠벨얼리 와인의 국내 연구는 와인 제조 직후 평가에 그치고 있어 숙성 과정에서 변화와 숙성 조건에 관한 연구가 부족한 실정이다. 특히 캠벨얼리 와인은 효모에 따른 제조 및 발효 특성과 관능 평가, 동결농축 기술 등에 관한 연구에 초점이 맞춰져 있으며, 주정강화 와인으로 제조하여 숙성 온도와 기간에 따른 품질 변화, 향기 성분 및 항산화 등 기능성 성분의 변화를 체계적으로 분석한 연구는 찾아보기 어렵다(Hwang & Park 2009; Yoo 등 2010; Kim & Han 2011; Kim 등 2013; Lee 등 2024).

따라서 본 연구에서는 국내에서 가장 많이 레드와인으로 양조되는 캠벨얼리 품종을 원료로 주정강화 와인을 제조하고, 이를 상온, 30°C, 40°C 온도에서 숙성 6개월간 품질 특성과 기능성 변화를 분석하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료 및 시약

본 연구에 사용한 캠벨 주정강화 와인은 2024년 충북 영동군 포도 재배 농가에서 포도를 구입하여 와인연구소에서 제조하였다. 캠벨얼리 원료는 pH는 3.57, 총산은 0.52%, 당도는 14.8 °Brix였다. 효모 접종 전 미생물 오염과 산화를 방지하기 위해 메타중아황산칼륨(Institut oenologique de champagne, Mardeuil, France)을 이용하였다. 와인 제조 시 효모는 *Saccharomyces cerevisiae*(Fermivin 7013, DSM Food Specialities B. V. Netherlands)를 사용하여 발효를 시작하였다. 분석 시약은 Sigma-Aldrich Co.(St.Louis, MO, USA), Junsei Chemical Co.(Tokyo, Japan), Merck(Munche, Germany) 등에서 구입한 특급 및 HPLC 등급 시약을 사용하였다.

### 2. 캠벨얼리 주정강화 와인 제조

캠벨얼리 주정강화 와인 제조를 위해 캠벨얼리 포도 500 kg을 제경 파쇄하여 송이줄기를 제거하고, 대용량 발효숙성조 600 L에 파쇄한 포도즙(포도즙, 과육, 씨 등을 포함)을 넣

고 백설탕(씨제이제일제당(주), 한국)으로 26 °Brix가 되게 조절하였다. 그 후 산화나 잡균 오염방지를 위해 100 mg/kg의 메타중아황산칼륨을 처리하였고 처리 5시간 후 효모(Fermivin)를 200 mg/kg 참가하였다(Yoon 등 2016). 본 연구에서 사용된 효모들은 미지근한 물에서 30분가량 활성화를 시킨 후 접종하였으며, 발효실의 온도는 18°C를 유지하였다. 알코올 발효 기간 중 매일 2회씩 저어주면서 발효과정을 관찰하고 당도가 12 °Brix가 되면 95% 주정(Ethanol Supplies World Co., Ltd, Korea)을 첨가해 알코올 농도는 24%가 되도록 하였다. 한 달 후 압착하였으며, 압착 후 상온에서 -2°C로 옮겨 랙킹을 실시하였으며, 온도와 기간에 따른 숙성 실험을 위해 500 mL에 병입 후 각각 10 병씩 상온(A), 30°C(B), 40°C(C)(WiseCube® Temperature & Humidity Chamber, SciLab Korea Co., Ltd, Korea)에서 6개월 동안 숙성시키면서 1개월마다 분석용 시료로 사용하였다.

## 3. 일반 품질 특성

### 1) pH, 총산 및 휘발산

와인의 pH는 pH meter(Thermo Scientific Orion, Waltham, MA, USA)를 이용하여 측정하였고, 총산은 시료 5 mL에 증류수 5 mL를 가하여 균질화한 시료에 페놀프탈레인 용액 2~3 방울을 떨어뜨린 후, 0.1 N NaOH용액으로 pH 8.2가 되는 시점을 종말점으로 하여 측정하였다. 이후 소비된 양으로부터 tartaric acid에 상당하는 유기산 계수를 이용하여 다음식으로 나타내 총산으로 환산하였다(Park 등 2021).

$$\text{총산} = \frac{F \times V \times f}{S} \times 100$$

*V*: 소비한 0.1 N-NaOH의 mL 수

*f*: 0.1 N-NaOH의 Factor (=1), *S*: 검체량

*F*: 0.1 N NaOH 용액 0.1 mL에 상당하는 유기산의 계수 (0.0075 주석산)

휘발산은 와인을 증류한 샘플 10 mL에 0.01 N NaOH를 가하여 총산 측정과 동일하게 pH 8.2가 되는 시점을 종말점으로 하여 적정한 후, 소비된 양으로부터 acetic acid에 상당하는 유기산 계수로 환산하여 휘발산을 산출하였다.

### 2) 당도, 알코올 함량

와인의 당도(°Brix)는 디지털당도계(PAL-1, Atago, Tokyo,

Japan)를 사용하였으며 증류수 1 mL로 영점을 맞춘 후 측정하였다. 와인의 알코올 함량은 국제청주류분석법(NTSTSI 1999)의 증류법으로 측정하였다. 즉, 시료 100 mL를 취하여 증류수 100 mL를 혼합한 후 증류시켜 그 유액이 70 mL가 되면 증류를 중지하고, 여기에 증류수를 이용해 100 mL로 정용한 후 증류액의 온도가 10~15°C가 되도록 냉각시키며, 주정계를 사용하여 측정된 다음 주정분 온도 환산표에 대입하여 알코올 함량을 측정하였다.

### 3) 색도, Hue 값 및 color intensity

와인의 색도는 spectrophotometer CM-5(Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 Hunter L, a, b 값을 측정하였다. Hunter L(Lightness, 명도), a(redness 적색도) 및 b(yellowness 황색도) 값은 각각 zero, white calibration을 통해 보정하였으며, 이때 백색판의 색도는 L=99.55, a=-0.05, b=-0.33이었다. Hue 값은 분광광도계(Lambda 35 UV, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA)를 사용하여 420 nm/520 nm의 흡광도 비로 나타내었으며, color intensity는 420 nm+520 nm+620 nm 흡광도의 합으로 나타내었다(Park 등 2002).

### 4) 유리당 함량

캠벨얼리 주정강화 숙성 6개월 와인의 유리당 함량은 시료를 0.45 µm membrane filter(Whatman, Maidstone, UK)로 여과한 후 HPLC(1200 Infinity, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다. 칼럼은 Zorbax carbohydrate analysis column(4.6×250 mm, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)을 사용하였으며, 이동상은 acetonitrile : water = 75 : 25(v/v%), 유속 1.5 mL/min, 시료 주입량은 20 µL로 하였다. 검출기는 RI(30°C, Agilent Technologies, Santa Clara, USA)를 사용하였으며 표준물질은 fructose, glucose 및 sucrose(Sigma-Aldrich Co.)로 검량곡선을 작성하여 시료 중의 개별당 함량을 정량하였다(Park 등 2020).

### 5) 유기산 함량

캠벨얼리 주정강화 숙성 6개월 와인의 유기산 함량은 시료를 0.45 µm membrane filter로 여과한 후 HPLC(1200 Infinity, Agilent Technologies, Santa Clara CA, USA)로 분석하였다. 칼럼은 Hi-Plex H(7.7×300 mm, Agilent, Santa Clara CA, USA)을 이용하였고, 이동상은 0.01 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 유속은 0.6 mL/min, 시료 주입량은 20 µL로 하였다. UV 210 nm에서 검출하였으며, 표준물질은 와인의 주요 유기산인 citric acid,

tartaric acid, malic acid, lactic acid(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)로 개별 유기산 함량의 정량 분석에 사용하였다.

### 6) 향기성분

캠벨얼리 주정강화 숙성 3개월, 6개월 와인의 향기성분 분석은 Losada 등(2012)의 방법을 일부 변형하여 사용하였다. 와인을 분석하기 위하여 20 mL headspace에 와인을 10 mL를 넣고, 내부표준물질로 4-methyl-2-pentanol을 첨가하였다. 향기성분의 추출은 direct headspace trap 기술로 수행하였으며, 장비는 Turbomatrix 40 trap(Perkin Elmer, Waltham, MA, USA)을 사용하였다. Vial은 1분간 압력이 가해졌으며, 1.5분간 충전되었다. 사용된 온도는 needle 110°C, oven 85°C, transfer line 140°C, trap low 45°C, trap high 290°C, 압력은 vial 20 psi, column 40 psi, desorption 30 psi. 시간은 dry purge 10분, trap hold time 12분, desorb time 10분, thermostatisation 30분이었다. Gas chromatograph/mass spectroscopy(Clarus 680GC/Clarus SQ8T MSD, Perkin Elmer)로 분석하였으며, 컬럼은 Elite-wax (60 m×0.32 mm×0.25 µm, Perkin Elmer)를 사용하였고, 오븐 온도는 40°C에서 3분간 유지한 후 3°C/min로 180°C까지 상승시킨 후 10분간 유지하였으며, 다시 5°C/min로 220°C까지 상승시킨 후, 30분간 유지하였고, equilibration time을 20분간 두었다. 유속은 1 mL/min, split ratio는 1:1, carrier gas는 헬륨(99.9995%)을 사용하였다. 향기성분의 동정은 GC-MS를 이용하여 얻은 mass spectrum을 NIST database로 검색하여 동정하였다. Mass 범위는 45~450 m/z로 하였다. 정량은 내부표준물질로 4-methyl-2-pentanol를 50 mg/L가 되도록 첨가한 후 이 물질의 면적비를 기준으로 정량하였다.

## 4. 기능성 분석

### 1) 총 폴리페놀 함량

와인의 총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu phenol reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다(Amerine & Ough 1980). 즉, 각각의 시료 0.1 mL에 2% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 용액 2 mL를 가한 후 3분간 방치시킨 다음, 50% Folin-Ciocalteu reagent 0.1 mL를 가하고 30분 후 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였다. 페놀 화합물 함량은 표준물질인 gallic acid를 이용하여 표준곡선으로 양을 환산하였고, mg%로 나타내었다.

## 2) 탄닌 함량

와인의 탄닌 함량은 Duval & Shetty(2001)의 방법에 따라 측정하였다. 시료 1 mL에 95% ethanol 1 mL와 증류수 1 mL를 가하여 진탕하고, 5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>용액 1 mL와 1 N Folin-Ciocalteu's reagent 0.5 mL를 첨가 후, 실온에서 60분간 발색시킨 다음, 725 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 총 탄닌 함량은 표준물질 tannic acid(Sigma-Aldrich Co.)를 이용하여 정량하였다.

## 3) 총 안토시아닌 함량

총 안토시아닌 함량은 시료 100 µL에 900 µL의 0.025 M potassium chloride buffer(pH 1.0)와 0.4 M sodium acetate buffer(pH 4.5)를 혼합한 후 510 nm와 700 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 총 안토시아닌의 함량(mg/L)은 cyanidin-3-glucoside의 몰흡광계수( $\epsilon=26,900 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ )를 이용하여 아래의 식에 의해 산출하였다(Giusti & Wrolstad 2001).

Anthocyanin content (mg/L)

$$= A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}4.5}$$

MW = 449.2, DF = dilution factor,  $\epsilon = 26,900$

## 4) ABTS 전자공여능

와인의 ABTS cation decolorization assay 방법(Dewanto 등 2002)에 의하여 측정하였다. 즉, ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich Co.) 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 이용액을 분광광도계(Lambda 35 UV, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA)를 이용하여 735 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 1 mL에 시료 50 µL를 가하여 흡광도의 변화를 60분 후에 측정하였으며, 표준물질로서 L-ascorbic acid(Sigma)를 동량 첨가하였고, 전자공여능은 시료 첨가구와 시료를 첨가하지 않은 대조구(증류수)의 흡광도를 백분율로 나타내었다.

## 5) DPPH 전자공여능

와인의 항산화 활성을 측정하기 위하여 전자공여능(electron donating ability, EDA)은 Blois MS(1958)의 방법을 변형하여 분석하였다. 즉 0.4 mM 1,1-diphenyl-2-picryl hydrazyl (DPPH, Sigma-Aldrich Co.) 용액 0.8 mL에 시료 0.2 mL를 첨가한 후 10분간 방치한 다음, 525 nm에서 흡광도를 측정하였

다. 이때 대조구로는 증류수를 사용하였으며 전자공여능은 시료 첨가구와 비첨가구의 흡광도 차이로 나타내었다.

$$\text{Electron donating ability(\%)} = \frac{C_{Abs} - S_{Abs}}{C_{Abs}} \times 100$$

$C_{Abs}$ : Absorbance of control

$S_{Abs}$ : Absorbance of sample

## 5. 통계분석

모든 실험은 3회 반복하여 측정한 평균과 표준편차를 산출하였고, 각 실험군간 평균치의 통계적 유의성은 SPSS 통계 프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0 SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA test) 후 시료 간 차의 유무를 Duncan's multiple range test로 비교 분석하였다( $p < 0.05$ ).

## 결과 및 고찰

### 1. 캠벨얼리 주정강화 와인의 일반 품질 특성

캠벨얼리 주정강화 와인의 pH, 총산, 당도, 알코올 함량, 휘발산을 조사한 결과는 Table 1과 같다. pH 측정 결과, 숙성 온도와 기간에 따라 3.74~3.87의 범위로 나타났으며, 숙성 온도 40°C에서 기간에 따라 pH 3.74~3.87로 가장 넓은 범위를 나타냈지만, 처리구별 큰 차이는 없었다. Park 등(2020)은 와인의 pH가 3.6 이상으로 높아지면 저장 중 잡균 오염의 가능성이 있으며, pH 3.2 이하로 떨어지면 신맛이 강해 품질이 저하된다고 보고된 바가 있다. 본 연구에서 주정이 첨가된 이후 원료(pH 3.57)보다 pH는 증가하였지만, 숙성 과정 중 큰 변화가 없었으며 이는 잡균 오염 가능성보다 주정 첨가에 의한 pH 증가로 판단되었다. 총산의 범위는 0.40~0.49%였으며, 상온 처리구에서는 0.42~0.49%, 30°C 처리구에서는 0.41~0.47%, 40°C 처리구에서는 0.40~0.45% 사이의 범위를 나타냈다. Lee 등(2024)의 연구에서 캠벨얼리 와인 양조 시 효모의 종류를 다르게 했을 때 총산의 범위는 0.42~0.47%로 나타나 본 연구와 유사하였다. 그리고 숙성 초기 총산 0.43%에서 숙성 6개월 차 상온 처리구는 0.42%, 30°C 처리구에서 0.41%, 40°C 처리구에서는 0.40%로 고온 숙성에서 총산이 낮아지는 경향이였다. Abreu 등(2021)은 주정강화 와인의 산도는 높은 알코올과 당 함량으로 pH와 산도의 안정성이 크다고 보고하였다. 본 연구에서도 높은 알코올 함량으로 pH와

**Table 1. pH, total acidity, soluble solid content, alcohol content, volatile acidity of Campbell Early fortified wine according to aging temperature and period**

Samples	Period (months)	pH	Total acidity (%)	Soluble solid (°Brix)	Alcohol content (%)	Volatile acidity (%)
A <sup>3)</sup>	0	3.84±0.04 <sup>a1,2)</sup>	0.43±0.00 <sup>b</sup>	16.0±0.06 <sup>b</sup>	24.3	0.02±0.00 <sup>b</sup>
	1	3.74±0.00 <sup>d</sup>	0.42±0.00 <sup>b</sup>	16.1±0.00 <sup>a</sup>	24.2	0.02±0.00 <sup>b</sup>
	2	3.75±0.01 <sup>cd</sup>	0.42±0.00 <sup>b</sup>	15.9±0.06 <sup>c</sup>	24.6	0.03±0.00 <sup>a</sup>
	3	3.78±0.00 <sup>b</sup>	0.42±0.00 <sup>b</sup>	15.7±0.00 <sup>d</sup>	24.4	0.03±0.00 <sup>a</sup>
	4	3.77±0.01 <sup>bc</sup>	0.49±0.07 <sup>a</sup>	15.5±0.00 <sup>f</sup>	24.5	0.02±0.00 <sup>b</sup>
	5	3.82±0.02 <sup>a</sup>	0.43±0.00 <sup>b</sup>	15.6±0.00 <sup>e</sup>	24.5	0.01±0.00 <sup>e</sup>
	6	3.85±0.01 <sup>a</sup>	0.42±0.00 <sup>b</sup>	15.6±0.00 <sup>e</sup>	24.7	0.01±0.00 <sup>e</sup>
B	0	3.84±0.04 <sup>a</sup>	0.43±0.00 <sup>b</sup>	16.0±0.06 <sup>b</sup>	24.3	0.02±0.00 <sup>b</sup>
	1	3.74±0.00 <sup>c</sup>	0.41±0.01 <sup>b</sup>	16.1±0.00 <sup>a</sup>	24.0	0.02±0.00 <sup>b</sup>
	2	3.74±0.01 <sup>c</sup>	0.42±0.00 <sup>b</sup>	16.0±0.00 <sup>b</sup>	24.6	0.03±0.00 <sup>a</sup>
	3	3.78±0.00 <sup>b</sup>	0.42±0.01 <sup>b</sup>	15.7±0.00 <sup>c</sup>	24.5	0.03±0.00 <sup>a</sup>
	4	3.84±0.02 <sup>a</sup>	0.41±0.01 <sup>b</sup>	15.6±0.00 <sup>d</sup>	24.4	0.02±0.00 <sup>b</sup>
	5	3.77±0.02 <sup>bc</sup>	0.47±0.03 <sup>a</sup>	15.4±0.00 <sup>e</sup>	24.4	0.02±0.00 <sup>b</sup>
	6	3.84±0.02 <sup>a</sup>	0.41±0.00 <sup>b</sup>	15.6±0.00 <sup>d</sup>	24.9	0.01±0.00 <sup>e</sup>
C	0	3.84±0.04 <sup>ab</sup>	0.43±0.00 <sup>b</sup>	16.0±0.06 <sup>ab</sup>	24.3	0.02±0.00 <sup>a</sup>
	1	3.74±0.00 <sup>c</sup>	0.40±0.01 <sup>cd</sup>	16.0±0.00 <sup>b</sup>	24.2	0.02±0.00 <sup>a</sup>
	2	3.76±0.03 <sup>de</sup>	0.41±0.01 <sup>cd</sup>	16.1±0.15 <sup>a</sup>	24.6	0.02±0.00 <sup>a</sup>
	3	3.80±0.00 <sup>bc</sup>	0.42±0.00 <sup>bc</sup>	15.6±0.00 <sup>c</sup>	24.6	0.02±0.00 <sup>a</sup>
	4	3.82±0.02 <sup>bc</sup>	0.40±0.01 <sup>cd</sup>	15.6±0.00 <sup>c</sup>	24.4	0.02±0.00 <sup>a</sup>
	5	3.79±0.01 <sup>cd</sup>	0.45±0.01 <sup>a</sup>	15.5±0.00 <sup>c</sup>	24.4	0.02±0.00 <sup>a</sup>
	6	3.87±0.02 <sup>a</sup>	0.40±0.01 <sup>d</sup>	15.6±0.00 <sup>c</sup>	24.9	0.01±0.00 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup> All values are mean±S.D. of triple determinations.

<sup>2)</sup> Different letters in the same items indicate a significant difference ( $p<0.05$ ).

<sup>3)</sup> Aging temperature: A, Room temperature; B, 30 °C; C, 40 °C.

산도는 숙성 기간이 길어져도 안정화되어 변화 폭은 거의 없을 것으로 판단된다. 숙성 온도와 기간에 따른 와인의 당도는 15.4~16.1 °Brix로 큰 변화는 없었으며, 숙성 초기 16.0 °Brix에서 6개월 차에 세 처리구 모두 15.6 °Brix로 감소하였다. 주정 첨가 시점에 12 °Brix였지만, 초기 당도가 16.0 °Brix로 나타난 것은 주정 첨가에 따른 당도 증가로 생각된다. °Brix는 가용성 고형물질의 함량을 나타내는 단위로 당 함량

뿐만 아니라, 주정 첨가로 인해 가용성 고형물질이 증가하여 °Brix값이 증가한 것으로 판단된다. 주정 첨가 후 알코올 함량은 초기 24.3%였으며, 숙성 기간 동안 24.2~24.9%로 거의 변화가 없었다. 이는 효모가 알코올 함량 20% 이상의 농도에서 활성이 감소하는 것으로 알려져 있지만, 10% 농도 정도에서는 효모의 활성이 활발하기 때문이다(Sabel 등 2014; Padilla 등 2018). 와인의 휘발산 함량은 모든 처리구들은 0.01

~0.03%로 안정적인 수치를 나타냈다. Du Toit & Lambrechts(2002)는 휘발산의 주요 물질은 초산이며, 발효 또는 숙성 중에 초산균에 의해 이상발효가 일어나 휘발산의 함량이 높아질 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서는 주정 첨가로 초산균에 의한 발효는 일어나지 않은 것으로 판단된다.

## 2. 캠벨얼리 주정강화 와인의 색도, Hue 값 및 color intensity

와인의 색도는 소비자 기호도에 영향을 미치는 주요 요인 중 하나로 과피에서 폴리페놀 화합물이 와인 양조 과정에서 착즙에 용출되어 나타난다고 알려져 있다(Kim 등 2009; Burin 등 2010; Valdez B 2012). 캠벨얼리 주정강화 와인의 숙성 온도 및 시간에 따른 색도를 비교하기 위해 Hunter L(Lightness), a\*(Redness), b\*(Yellowness) 및 Hue values, color intensity를 측정하였으며 분석 결과는 Table 2와 같다. L값은 초기 37.52에서 숙성 6개월 차 상온 처리구에서 37.97, 30°C 처리구에서는 41.56, 40°C 처리구에서는 46.81로 나타나 숙성 온도가 높을수록 점차 증가하는 경향이였다. a값은 반대로 초기 58.54에서 숙성 6개월까지 상온 처리구에서 30°C 처리구에서는 49.24, 40°C 처리구에서는 41.09로 나타나 숙성 온도가 높을수록 점차 감소하는 경향이였다. b값은 초기 31.83에서 숙성 기간이 지남에 상온 처리구에서는 45.45, 30°C 처리구에서는 54.02, 40°C 처리구에서는 68.49로 점차 높아지며 숙성 온도가 높을수록 변화의 폭은 컸다. Milheiro 등(2023)은 포트 와인에서 안토시아닌 성분이 높을수록 a값이 높고 숙성 중 피라노안토시아닌 형성과 당 갈변, 산화 등의 영향으로 색이 안정되지만 붉은색이 줄고 갈색이 증가한다고 하였다. 일반 와인의 b값은 저온 숙성 과정에서 감소한다는 결과(Lee 등 2003)가 있지만 주정강화 와인의 경우 고온 숙성 과정을 통해 와인이 산화되면서 b값이 증가하며 황갈색으로 변하는 것으로 판단된다. Carvalho 등(2015)는 마데이라 와인 숙성 과정 중 L값은 전반적으로 증가하여 점점 밝아지며 a값은 서서히 감소하여 붉은색 톤이 줄어들고 b값은 꾸준히 증가하여 황갈색이 강화되며, 장기 고온 숙성에서 뚜렷하게 나타난다고 보고하였다. 본 캠벨얼리 주정강화 연구와 일치하는 경향을 나타냈다. Hue값은 숙성 초기 0.786에서 숙성 6개월 차 상온 처리구에서 1.043, 30°C 처리구에서는 1.394, 40°C 처리구에서는 1.980으로 고온 숙성 시 증가하며 폭은 더 큰 것으로 나타났다. 반면, Color intensity는 숙성 초기 0.4.577에서 숙성 6개월 차 상온 처리구에서 4.789, 30°C 처리구에서는 4.666, 40°C 처리구에서는 4.764로 처리구별 크게 변하지 않

았다. Hue값은 와인의 색조를 판단하는 지표이고, color intensity는 와인의 어두운 정도를 구별하는 지표로서 소비자가 와인을 구입할 때 영향을 주는 주요 요소이다(Zoecklein et al 1990; Lee 등 2002; Kim 등 2009). Lee 등(2002)의 연구에서 Hue값은 레드와인에서 미숙한 경우 0.5 정도이며, 산화되면 1.0 이상의 값을 갖는다고 보고하였다. 본 연구에서 캠벨얼리 주정강화 와인 숙성 시 고온에 의해 산화가 촉진된다고 판단하였다. 본 연구 결과에서는 주정강화 와인 숙성 시 시간에 따라 L값은 증가, a값은 감소, b값과 Hue값은 증가된다. 또한 점차 산화되어 붉은색은 연해지며 황갈색으로 숙성이 진행되고 고온 숙성일수록 그 정도가 빨라진다고 판단된다.

## 3. 캠벨얼리 주정강화 와인의 유리당 및 유기산 함량 분석

숙성 온도에 따른 숙성 6개월 차 캠벨얼리 주정강화 와인의 유리당 및 유기산 분석 결과는 Table 3과 같다. 와인의 숙성 온도에 따른 유리당 분석 결과, 과당은 36.24~36.71 mg/mL, 포도당은 7.67~8.51 mg/mL, 자당은 1.07~1.09 mg/mL로 나타났으며, 유리당 총 함량은 상온 숙성에서 46.31 mg/mL, 30°C 숙성에서 45.73 mg/mL, 40°C 숙성에서 44.98 mg/mL로 나타났다. 유리당 중 포도당에서 상온 및 30°C 숙성과 40°C 숙성에서 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났으며, 과당과 자당의 함량은 유의성이 없었다. 일반 와인에서는 발효 시작 후 효소에 의해 자당은 과당과 포도당으로 가수분해가 진행되고 효모에 의해 잔당의 함량이 감소하지만, 주정강화 와인에서는 주정 첨가로 인해 알코올 함량 20% 이상의 조건에서 효모 활동이 억제되어 잔당이 남은 것으로 판단된다. 그리고 Zhang 등(2018)은 와인 숙성 중 효모는 포도당을 먼저 소비하고 과당을 소비하는 것으로 보고하였으며, 본 연구도 숙성 온도에 따라 포도당의 함량에서 통계적 유의성이 있는 것으로 나타나 포도당이 먼저 소비되는 것으로 판단된다. 주정강화 와인의 숙성 온도에 따른 유기산 분석 결과, 구연산은 0.013~0.027 mg/mL, 주석산은 1.033~1.228 mg/mL, 사과산은 0.645~0.689 mg/mL, 젖산은 0.274~0.314 mg/mL로 나타났으며, 유기산 함량은 숙성 온도에 따라 통계적 유의성이 나타나 높은 온도에서 숙성할수록 구연산, 주석산, 사과산이 감소하는 것으로 나타났다. Malolatic 발효는 주정 첨가와 사과산 및 젖산의 비율을 고려하여 일어나지 않았다고 판단된다. 일반적으로 와인의 신맛은 주석산, 사과산 및 구연산이며, 발효과정 초산, 젖산 및 호박산 등이 생성되고 신맛은 주로 주석산과 사과산에 의해 결정된다. 또한 구연산은

**Table 2. Colors of Campbell Early fortified wine according to aging temperature and period**

Samples	Period (months)	L (lightness)	a* (redness)	b* (yellowness)	Hue value	Color intensity
A <sup>3)</sup>	0	37.52±0.27 <sup>(1),2)</sup>	58.54±0.33 <sup>b</sup>	31.83±0.13 <sup>f</sup>	0.786±0.00 <sup>f</sup>	4.577±0.01 <sup>c</sup>
	1	46.33±0.02 <sup>a</sup>	59.03±0.01 <sup>a</sup>	21.11±0.01 <sup>g</sup>	0.703±0.00 <sup>g</sup>	3.344±0.06 <sup>f</sup>
	2	40.25±0.02 <sup>c</sup>	58.01±0.00 <sup>c</sup>	35.24±0.04 <sup>d</sup>	0.816±0.01 <sup>e</sup>	4.091±0.02 <sup>e</sup>
	3	38.05±0.02 <sup>d</sup>	57.19±0.02 <sup>d</sup>	37.69±0.05 <sup>e</sup>	0.889±0.00 <sup>d</sup>	4.848±0.02 <sup>ab</sup>
	4	44.10±0.01 <sup>b</sup>	55.53±0.02 <sup>e</sup>	34.69±0.04 <sup>e</sup>	0.908±0.00 <sup>c</sup>	4.185±0.06 <sup>d</sup>
	5	37.79±0.01 <sup>e</sup>	55.15±0.01 <sup>f</sup>	43.66±0.02 <sup>b</sup>	1.008±0.00 <sup>b</sup>	4.876±0.01 <sup>a</sup>
	6	37.97±0.01 <sup>d</sup>	54.48±0.00 <sup>g</sup>	45.45±0.01 <sup>a</sup>	1.043±0.00 <sup>a</sup>	4.789±0.00 <sup>b</sup>
B	0	37.52±0.27 <sup>f</sup>	58.54±0.33 <sup>a</sup>	31.83±0.13 <sup>g</sup>	0.786±0.00 <sup>g</sup>	4.577±0.01 <sup>c</sup>
	1	41.51±0.02 <sup>c</sup>	57.61±0.01 <sup>b</sup>	34.26±0.02 <sup>f</sup>	0.848±0.00 <sup>f</sup>	4.041±0.02 <sup>g</sup>
	2	39.56±0.04 <sup>e</sup>	55.52±0.01 <sup>c</sup>	40.86±0.05 <sup>e</sup>	1.022±0.00 <sup>c</sup>	4.411±0.02 <sup>f</sup>
	3	37.95±0.01 <sup>e</sup>	52.84±0.01 <sup>d</sup>	55.27±0.06 <sup>a</sup>	1.212±0.01 <sup>c</sup>	5.693±0.03 <sup>a</sup>
	4	55.34±0.01 <sup>a</sup>	46.13±0.02 <sup>g</sup>	50.21±0.03 <sup>e</sup>	1.179±0.01 <sup>d</sup>	5.224±0.02 <sup>b</sup>
	5	41.72±0.01 <sup>b</sup>	50.36±0.01 <sup>e</sup>	49.68±0.04 <sup>d</sup>	1.297±0.00 <sup>b</sup>	4.628±0.01 <sup>d</sup>
	6	41.56±0.00 <sup>bc</sup>	49.24±0.01 <sup>f</sup>	54.02±0.02 <sup>b</sup>	1.394±0.00 <sup>a</sup>	4.666±0.01 <sup>c</sup>
C	0	37.52±0.27 <sup>g</sup>	58.54±0.33 <sup>a</sup>	31.83±0.13 <sup>g</sup>	0.786±0.00 <sup>e</sup>	4.577±0.01 <sup>c</sup>
	1	45.35±0.03 <sup>f</sup>	52.59±0.01 <sup>b</sup>	41.32±0.05 <sup>f</sup>	1.095±0.00 <sup>d</sup>	3.780±0.02 <sup>f</sup>
	2	46.15±0.03 <sup>e</sup>	52.26±0.03 <sup>c</sup>	54.52±0.01 <sup>e</sup>	1.110±0.01 <sup>d</sup>	4.011±0.03 <sup>e</sup>
	3	46.36±0.01 <sup>d</sup>	45.87±0.01 <sup>d</sup>	58.93±0.02 <sup>d</sup>	1.594±0.01 <sup>c</sup>	4.481±0.01 <sup>d</sup>
	4	51.49±0.02 <sup>a</sup>	40.49±0.02 <sup>g</sup>	60.76±0.02 <sup>e</sup>	1.853±0.03 <sup>b</sup>	4.025±0.03 <sup>e</sup>
	5	48.27±0.00 <sup>b</sup>	40.81±0.01 <sup>f</sup>	65.82±0.02 <sup>b</sup>	1.973±0.01 <sup>a</sup>	4.631±0.01 <sup>b</sup>
	6	46.81±0.01 <sup>c</sup>	41.09±0.01 <sup>e</sup>	68.49±0.03 <sup>a</sup>	1.980±0.01 <sup>a</sup>	4.764±0.02 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup> All values are mean±S.D. of triple determinations.

<sup>2)</sup> Different letters in the same items indicate a significant difference ( $p<0.05$ ).

<sup>3)</sup> Aging temperature: A, Room temperature; B, 30°C; C, 40°C.

큰 영향을 미치지 않고 주정강화 와인에서는 발효와 숙성 과정 중에 유기산 함량이 변화하여 풍미, 산도, 안정성 등에 영향을 주며 장기간 숙성할수록 사과산은 소실되는 반면 젖산과 초산의 비중은 높아져 산미를 부드럽게 한다고 알려져 있다(Margalit Y 1997; Cunha 등 2002). Zagrodzki 등(2023)은 폴란드산 레드와인의 숙성 3년간 유기산 변화를 연구한 결과 주석산과 구연산은 유의적으로 감소하고, 초산은 유의적으

로 증가하며 사과산과 젖산은 유의성이 없었다고 보고하였다. 그리고 Valcarcel-Munoz 등(2022)은 셰리 와인 중 피노에서 유기산 함량은 초기에는 사과산은 감소하고 젖산은 증가하지만, 이후 플로르 대사로 구연산, 젖산, 호박산은 감소하며 주석산은 전 구간에 감소한다고 보고하였다. 본 연구에서는 숙성 6개월 차 주석산의 비율이 가장 높았지만 향후 숙성이 진행될수록 주석산의 함량은 지속적으로 감소할 것으로 판단되었다.

**Table 3. Free sugar and organic acid contents of Campbell Early fortified wine after 6 months according to aging temperature (mg/mL)**

Samples	Free sugars			Organic acids			
	Fructose	Glucose	Sucrose	Citric acid	Tartaric acid	Malic acid	Lactic acid
A <sup>1)</sup>	36.71±0.02 <sup>2),3)</sup>	8.51±0.33 <sup>a</sup>	1.09±0.00 <sup>a</sup>	0.027±0.001 <sup>a</sup>	1.228±0.016 <sup>a</sup>	0.689±0.014 <sup>a</sup>	0.314±0.004 <sup>a</sup>
B	36.45±0.43 <sup>a</sup>	8.19±0.08 <sup>a</sup>	1.09±0.01 <sup>a</sup>	0.022±0.001 <sup>b</sup>	1.154±0.032 <sup>b</sup>	0.655±0.012 <sup>b</sup>	0.295±0.003 <sup>b</sup>
C	36.24±0.69 <sup>a</sup>	7.67±0.15 <sup>b</sup>	1.07±0.01 <sup>a</sup>	0.013±0.001 <sup>c</sup>	1.033±0.018 <sup>c</sup>	0.645±0.018 <sup>b</sup>	0.274±0.001 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup> Aging temperature: A, Room temperature; B, 30°C; C, 40°C.

<sup>2)</sup> All values are mean ± S.D. of triple determinations.

<sup>3)</sup> Different letters in the same items indicate a significant difference ( $p < 0.05$ ).

#### 4. 캠벨얼리 주정강화 와인의 향기성분

캠벨얼리 주정강화 와인의 숙성 온도에 따른 3개월, 6개월 향기성분 분석 결과는 Table 4와 같다. 와인의 향기는 관능에 중요한 요인이며, 품질을 결정하는 중요한 지표로 alcohols, esters, ketones, terpenes, acids 등 휘발성 성분들에 의해 나타나 주류제조사의 품질을 결정하는 중요한 기준으로 등급, 숙성도 및 변질여부 등을 결정하는 요소이다(Vas 등 1998; Jo 등 2013). 캠벨얼리 주정강화 와인의 숙성 동안 향기 성분은 alcohol류는 9종, ester류는 22종, ketone류는 5종, furan류 2종, pyran류 1종, acid류 1종 그리고 ethane류 1종으로 총 41종의 화합물이 분석되었다. 알코올류는 숙성 3개월 차에는 71.24~73.48 mg/L 수준이며, 숙성 6개월 차에는 59.95~69.97 mg/L로 다소 감소하였으며, 숙성 온도 40°C에서 감소량이 가장 적었고 숙성 온도 30°C에서 감소량이 가장 많았다. 알코올 발효에 따라 나타나는 2-methyl-1-propanol, 3-methyl-1-butanol, phenylethyl alcohol 3종 화합물의 양이 세 처리구 모두에서 97% 이상을 차지하였다. Lee 등(2024)은 캠벨얼리를 효모 종류를 다르게 하여 양조하였을 때 알코올류 향기 성분의 종류는 8종, 함량은 89.65~131.18 mg/L가 검출되었다고 보고하였다. 본 연구에서는 많은 종류와 적은 함량의 알코올류가 검출되었는데, 이는 숙성 과정에서 알코올류 향기 성분의 종류는 많아지고 함량은 적어졌기 때문이라 판단된다. Pereira 등(2010)은 마데이라 와인의 숙성 중 1-propanol, 2-methyl-1-propanol, 3-methyl-1-butanol, 2-methyl-1-butanol, phenylethyl alcohol 등의 알코올류가 검출되었으며, 고급 알코올류는 최대 20년 숙성 기간 동안 크게 변하지 않고 안정화되며 phenylethyl alcohol은 꽃향을 오랫동안 유지하는 핵심 알코올

성분으로 보고하였다. 캠벨얼리 주정강화 와인의 에스테르 화합물은 숙성 3개월 차에는 숙성 온도 40°C에서 91.15 mg/L로 가장 많았고, 30°C(81.92 mg/L), 상온(79.68 mg/L) 순이었으며 숙성 6개월 차에는 40°C(47.54 mg/L), 상온(42.85 mg/L), 30°C(33.36 mg/L) 순으로 나타나 숙성 기간이 지남에 따라 검출량이 감소하였고, 숙성 온도 30°C에서 가장 많이 감소하였다. 와인의 과일향, 꽃향은 대부분 에스테르 화합물에 의해 생성되며 이러한 에스테르 화합물은 포도 자체에서 생성되거나 알코올 발효 중에 효모의 효소에 의해 생성되며 주정강화 와인의 에스테르 화합물은 주정 첨가로 에스테르화 반응을 촉진하여 향의 균형에 기여하며 숙성 방법(산화, 환원, 효모, 숙성 온도 등)에 따라서 에스테르 화합물이 증가 또는 감소한다고 알려져 있다(Bang 등 2015; Abreu 등 2021). 그리고 Pereira 등(2010)은 마데이라 와인 숙성에서 ethyl ethanoate, ethyl butanoate, ethyl hexanoate, ethyl octanoate, ethyl decanoate 등은 과일향과 꽃향, 3-methylbutyl ethanoate는 바나나향, 2-phenylethyl ethanoate는 장미향 등을 나타내며 숙성 기간이 길어질수록 가수분해나 산화에 의해 에스테르 화합물의 농도는 감소하고, 산화 생성물 증가로 신선한 과일향에서 숙성된 복합향으로 변한다고 보고하였다. Lee 등(2024)은 효모의 종류에 따른 캠벨얼리 와인의 에스테르 화합물 종류는 6종, 함량은 3.12~5.68 mg/L로 보고하였다. 본 연구에서는 주정 첨가와 숙성에 따라 에스테르 화합물의 종류와 함량이 많아졌으며 숙성 과정에서는 그 함량은 감소하였지만, 화합물의 종류가 많아 더 풍부한 향기 성분을 지녔다고 판단된다. 퓨란 화합물은 숙성 3개월 차 상온, 30°C, 40°C 처리구에서 각각 0.06 mg/L, 0.13 mg/L, 0.57 mg/L 검출되었고 숙성 6개월

**Table 4. Aroma compounds of Campbell Early fortified wine after 3 and 6 months according to aging temperature (mg/L)**

R.T. <sup>1)</sup>	Compounds	A <sup>2)</sup>		B		C	
		3M <sup>3)</sup>	6M	3M	6M	3M	6M
7.646	2,3-Butanedione	2.51	0.82	1.85		1.15	
9.316	1-Propanol	1.23					
9.952	2,3-Pentanedione	0.98	0.94	0.82	0.51	0.54	
10.912	3-Methyl-2-butanol		0.04				
11.077	2-Methyl-1-propanol	14.05	3.69	13.17	3.17	13.37	3.84
13.038	1-Butanol	0.23			0.13	0.24	0.15
15.644	3-Methyl-1-butanol	56.88	64.60	56.92	55.83	57.28	64.71
17.095	2-Methyl-1,3-dioxane-2-propanol		0.10				0.10
21.846	1-Hexanol	0.39	0.54	0.41	0.44	0.38	
26.273	2-Decanol	0.03					
42.919	Phenylethyl alcohol	0.67	1.00	0.74	0.38	0.62	0.92
	Total alcohols	76.97	71.73	73.91	60.46	73.58	69.72
4.339	Ethenyl methanoate		0.10				0.11
5.105	Prop-2-en-1-yl ethanoate			0.30		0.33	
5.935	Ethyl ethanoate	71.74	24.85	73.96	21.36	81.56	29.24
7.250	Ethyl propanoate		0.25		0.43	0.41	0.44
7.476	Ethyl 2-methylpropanoate	0.35	0.51	0.48	0.84	0.80	1.15
7.611	Ethenyl ethanoate				0.71		0.37
8.591	2-Methylpropyl ethanoate		0.15		0.20		0.18
9.261	Ethyl butanoate		0.78		0.88		0.89
9.777	Ethyl 2-methylbutanoate				0.08		
10.327	Ethyl 3-methylbutanoate				0.10		0.16
13.723	Ethyl (Z)-but-2-enoate	0.25	0.44	-	0.55	0.55	0.88
16.804	Ethyl hexanoate	1.73	2.66	1.67	2.21	1.76	2.50
18.080	Ethyl 2-oxopropanoate	0.27	0.38	-		0.23	
21.256	Ethyl 2-hydroxypropanoate	1.20	2.88	1.87	2.35	2.79	5.53
25.442	Ethyl octanoate	2.10	4.23	1.73	2.35	1.26	2.34
28.479	Ethyl 3-hydroxybutanoate		0.10				
29.525	Ethyl nonanoate		0.06				
33.741	Ethyl decanoate	0.97	2.69	0.55	0.79	0.22	0.62

Table 4. Continued

	R.T. <sup>1)</sup>	Compounds	A <sup>2)</sup>		B		C	
			3M <sup>3)</sup>	6M	3M	6M	3M	6M
Esters	34.861	Diethyl butanedioate	0.16	0.45	0.27	0.38	0.56	1.81
	41.299	Ethyl dodecanoate	0.42	1.13	0.29	0.13	0.08	0.21
	48.151	Ethyl tetradecanoate	0.12	0.34	0.13		-	0.17
	55.639	Ethyl hexadecanoate	0.37	0.85	0.67		0.60	0.94
		Total esters	79.68	42.85	81.92	33.36	91.15	47.54
Acetic acid	25.528	Acetic acid	3.46	5.08	3.95	2.49	1.26	4.86
Ethane	6.070	1,1-Diethoxy-ethane	2.79	2.43	3.70	3.05	3.83	2.50
Ketone	8.421	Methyl isobutyl ketone	0.91	0.75	0.91	0.92	0.89	
	14.313	2,6-Dimethyl-4-heptanone	6.07	6.36	6.26	8.12	6.16	6.52
	17.074	4,6-Dimethyl-2-heptanone				0.11		
		Total ketones	6.98	7.11	7.17	9.15	7.05	6.52
Furan	25.953	Furfural		0.07	0.10	0.25	0.57	1.43
	54.234	Naphtho[2,1-b]furan	0.06		0.13			
		Total furans	0.06	0.07	0.23	0.25	0.57	1.43
Pyran	26.398	2-Ethoxytetrahydro-4-methyl-2H-pyran						0.11
		Total	169.94	129.27	170.88	108.76	177.44	132.68

<sup>1)</sup> Retention time.

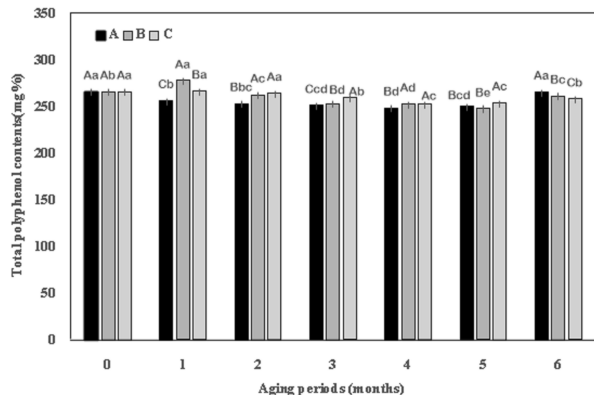
<sup>2)</sup> Aging temperature: A, Room temperature; B, 30°C; C, 40°C.

<sup>3)</sup> Aging period: 3M, 3 months; 6M, 6 months.

차 상온, 30°C, 40°C 처리구에서 각각 0.07 mg/L, 0.17 mg/L, 1.43 mg/L로 숙성 온도가 높을수록 증가하였다. 푸란은 카라멜, 아몬드, 구운 빵과 같은 향 등을 나타내는 화합물로 숙성 기간이 길어질수록 대부분 증가하며 마테이라 와인에서 가열 숙성하면 그 함량이 급격히 증가한다는 연구 결과 보고가 있다(Pereira 등 2010, 2011). 본 연구에서도 고온 숙성에서 푸란 화합물의 농도가 증가하는 경향이 나타났다. 그 외에도 캄벨얼리 주정강화 와인 향기성분으로 acetic acid 1종, ethane 1종, ketone 5종, pyran 1종 등 화합물이 검출되었으며 주정강화 와인의 주정 첨가 시점 및 종류, 숙성 방법과 기간 등으로 다양한 향기 성분을 증가시킬 수 있을 것이라고 판단된다.

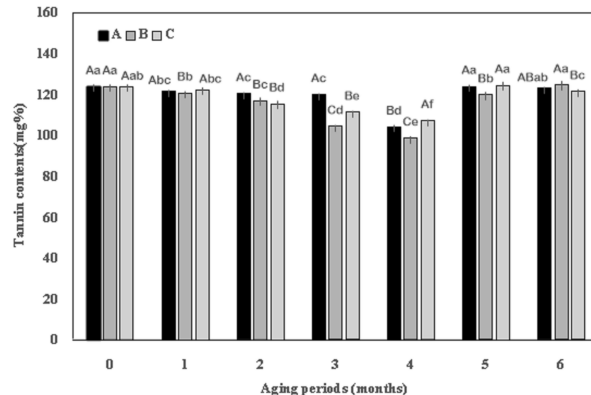
## 5. 캄벨얼리 주정강화 와인의 기능성 성분

캄벨얼리 주정강화 와인의 총 폴리페놀 함량은 Fig. 1과 같다. 숙성 온도에 따른 총 폴리페놀 함량은 상온 처리구에서 233.83~250.11 mg%, 30°C 처리구에서 232.77~261.17 mg%, 40°C 처리구에서 237.84~250.72 mg%로 나타났고, 40°C 숙성에서 변화의 폭이 가장 적었으며 30°C 숙성에서 변화 폭이 가장 크게 나타났다. 폴리페놀은 자유 라디칼 소거 능력(radical scavenging activity)이 있어 와인의 산화 안정성 및 안토시아닌 계열 색소와 상호작용으로 색의 안정성에 기여하고 주정강화 와인과 같이 장기 숙성 와인에서는 향미 유지와 산화방지 등에 중요한 역할을 한다(Pereira 등 2013; Gutierrez-Escobar 등 2021; Ma 등 2023). Pereira 등(2013)은 마테이라 와인



**Fig. 1. Total polyphenol contents of Campbell Early fortified wine according to aging temperature and period.** A, Room temperature; B, 30°C; C, 40°C. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ( $p < 0.05$ ) among different aging temperature. Different small letters in the same items indicate a significant difference ( $p < 0.05$ ) among different aging period.

의 고온 및 가열 숙성으로 총 폴리페놀 함량이 감소하였다고 보고하였다. 본 연구에서도 숙성 초기 250.11 mg%에서 숙성 6개월 차에는 상온 숙성에서 249.89 mg%, 30°C 처리에서는 245.72 mg%, 40°C 처리에서는 242.69 mg%로 고온 숙성 시 총 폴리페놀 함량이 감소하는 경향이 나타났으며, 고온 장기 숙성 시 총 폴리페놀 함량의 변화는 점차 증가하는 것으로 판단된다. 캠벨얼리 주정강화 와인의 탄닌 함량은 Fig. 2와 같다. 숙성 온도에 따른 탄닌 함량은 상온 처리구에서 110.54~131.50 mg%, 30°C 처리구에서 104.75~132.32 mg%, 40°C 처리구에서 113.79~132.10 mg%로 나타났으며 숙성 초기와 숙성 6개월 간의 큰 차이는 없었다. 하지만, 숙성 4개월 차까지 모든 처리구에서 탄닌 함량이 감소한 뒤 다시 증가하는 경향이 나타났다. 탄닌은 와인에서 안토시아닌과 상호작용으로 색 안정성 및 색소 보호, 산화 안정성 및 보존성, 와인의 구조감 및 무게감 등에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Park 등 2002; Teissedre & Jourdes 2013). 그리고 빈티지 포트와인에서 숙성 온도가 높을수록 산화속도가 증가하여 탄닌은 중합되고 탄닌이 감소하여 질감은 부드러워지지만 구조감이 약해져 장기 숙성 시에는 저온에서 숙성하는 것이 적합하다고 알려져 있다(Azevedo 등 2022). 본 연구에서는 탄닌 함량 변화는 숙성 4개월 차까지 감소하다 그 후 증가하는 경향이었지

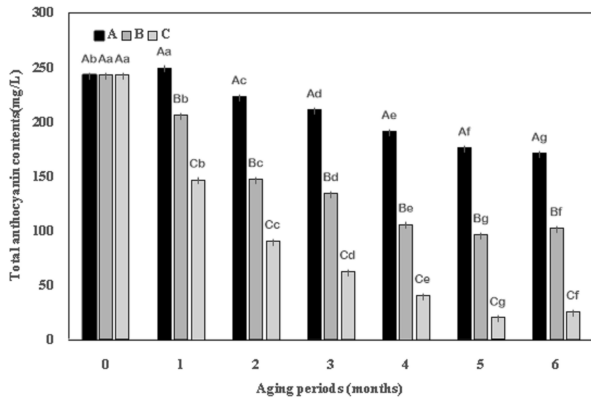


**Fig. 2. Tannin contents of Campbell Early fortified wine according to aging temperature and period.** A, Room temperature; B, 30°C; C, 40°C. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ( $p < 0.05$ ) among different aging temperature. Different small letters in the same items indicate a significant difference ( $p < 0.05$ ) among different aging period.

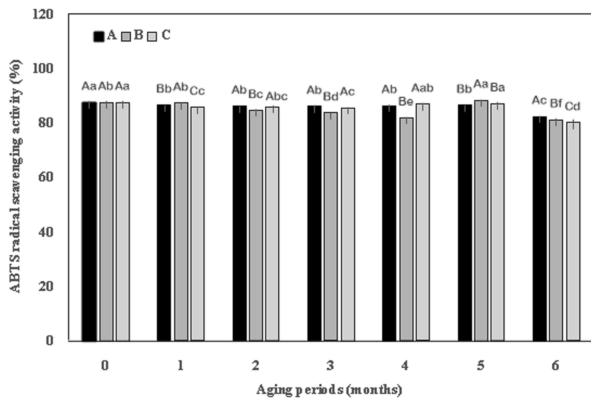
만, 숙성이 지속적으로 진행된다면 탄닌 함량은 감소할 것으로 판단되었다. 캠벨얼리 주정강화 와인의 총 안토시아닌 함량은 Fig. 3과 같다. 숙성 온도에 따른 총 안토시아닌 함량은 상온 처리구에서 181.85~265.68 mg/L, 30°C 처리구에서 102.53~258.55 mg/L, 40°C 처리구에서 21.21~258.55 mg/L로 나타나 숙성 기간이 지남에 따라 뚜렷이 감소하고, 숙성 온도가 높을수록 그 감소 폭도 큰 경향이 나타났다. Pereira 등(2013)은 마테이라 와인에서 숙성 온도가 높을수록 안토시아닌 함량의 감소가 가속화 된다고 보고하였으며 본 연구에서도 비슷한 경향이 나타났다. 그리고 Huang 등(2024)은 적정 고온에서 안토시아닌은 pyranoanthocyanins으로 전환되어, 주정강화 와인이나 레드와인의 색 안정성에 기여하며 포트, 마테이라 와인의 산화, 가열 숙성에서 두드러진다고 보고하였다.

## 6. 캠벨얼리 주정강화 와인의 항산화 활성

캠벨얼리 주정강화 와인의 항산화 활성을 비교하기 위해 ABTS 전자공여능과 DPPH 전자공여능을 분석한 결과는 Fig. 4, Fig. 5와 같다. 숙성 온도에 따른 ABTS 전자공여능 분석 결과, 상온 처리구에서 82.20~87.37%, 30°C 처리구에서 81.04~88.18%, 40°C 처리구에서 79.95~87.37%의 범위를 나타냈다. 숙성 초기 87.37%에서 숙성 6개월 차 상온 숙성 시 82.20%, 30°C 숙성

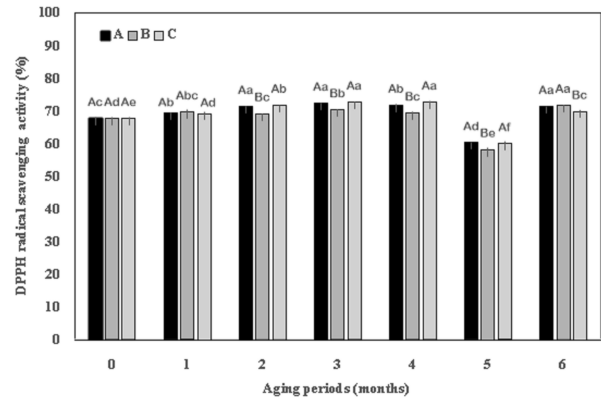


**Fig. 3. Anthocyanin contents of Campbell Early fortified wine according to aging temperature and period.** A, Room temperature; B, 30°C; C, 40°C. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ( $p<0.05$ ) among different aging temperature. Different small letters in the same items indicate a significant difference ( $p<0.05$ ) among different aging period.



**Fig. 4. ABTS radical scavenging activity of Campbell Early fortified wine according to aging temperature and period.** A, Room temperature; B, 30°C; C, 40°C. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ( $p<0.05$ ) among different aging temperature. Different small letters in the same items indicate a significant difference ( $p<0.05$ ) among different aging period.

시 81.04%, 40°C 숙성 시 79.95%로 숙성 온도와 기간이 증가할수록 감소하는 경향이 있었다. ABTS 전자공여능은 DPPH 전자공여능 방법과 함께 상대적으로 안정한 free radical로서 항



**Fig. 5. DPPH radical scavenging activity of Campbell Early fortified wine according to aging temperature and period.** A, Room temperature; B, 30°C; C, 40°C. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ( $p<0.05$ ) among different aging temperature. Different small letters in the same items indicate a significant difference ( $p<0.05$ ) among different aging period.

산화 활성을 평가하는 지표로 자주 사용된다(Gutfinger 1981). 숙성 온도에 따른 DPPH 전자공여능 분석 결과, 상온 처리구에서 67.62~71.26%, 30°C 처리구에서 58.09~71.66%, 40°C 처리구에서 59.83~72.60%의 범위를 나타냈다. 숙성 초기에 비하여 숙성 6개월 차까지 다소 증가하는 경향이었으며, 30°C 숙성 온도에서 71.66%로 가장 많이 증가하였다. 총 폴리페놀 함량이 높으면 DPPH 라디칼 소거능이 높으며 이는 Phenolic content와 DPPH 라디칼에 대한 소거능은 관계가 있으며, 폴리페놀 성분이 항산화 활성이 나타난다고 알려져 있다 (Guilford & Pezzuto 2011; Kim 등 2012; Olejar 등 2015). 본 연구에서는 상온 숙성에서 총 폴리페놀과 탄닌 함량 간의 상관관계는 높은 양의 상관관계( $p<0.05$ )가 있는 것으로 나타났다. Pereira 등(2013)은 마테이라 와인에서 45°C에서 숙성 시 ABTS 전자공여능은 숙성 전에 비해 25% 감소하였고, DPPH 전자공여능은 초기 높은 항산화 활성을 보였지만 숙성 후 20~26% 감소한다고 보고하였다. 본 연구에서는 ABTS 전자공여능은 감소하여 비슷한 결과가 나타났지만, DPPH 전자공여능은 반대의 결과가 나타났다. 하지만 DPPH 전자공여능은 숙성이 진행됨에 따라 점차 감소할 것으로 판단된다. 그리고 기능성 성분과 항산화 활성 간의 상관관계 분석 결과, 상온

숙성에서는 총 안토시아닌 함량과 ABTS 라디칼 소거능 간의 상관계수는 0.60( $p<0.01$ ), 총 폴리페놀과 탄닌 함량 간의 상관계수는 0.51( $p<0.05$ )로 높은 양의 상관관계가 있었으며, 30°C 숙성 온도에서는 총 폴리페놀과 안토시아닌 함량 간의 상관계수는 0.74( $p<0.01$ )로 양의 상관, ABTS와 DPPH 라디칼 소거능 간의 상관계수는  $-0.67$ ( $p<0.01$ )로 음의 상관관계가 있었다. 그리고 40°C 숙성 온도에서도 총 폴리페놀과 안토시아닌 함량 간의 상관계수는 0.80( $p<0.01$ )으로 양의 상관, DPPH 라디칼 소거능과 탄닌 함량 간의 상관계수는  $-0.71$ ( $p<0.01$ )로 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 캠벨얼리 주정강화 와인의 숙성 온도가 기능성 성분과 항산화 활성에 영향을 준 것으로 판단된다.

## 요약 및 결론

본 연구에서는 캠벨얼리 주정강화 와인을 발효 시작 시점을 26 °Brix, 발효 중지(주정 첨가) 시점을 12 °Brix로 설정하여 주정강화 와인을 제조하여 숙성 온도와 기간에 따른 일반 품질 특성과 향기 및 기능성 성분을 분석하였다. 캠벨얼리 주정강화 와인의 숙성 온도와 기간에 따른 pH는 3.74~3.87로 나타났으며, 숙성 온도 40°C에서 기간에 따라 pH 3.74~3.87로 가장 넓은 범위를 나타냈다. 총산은 0.40~0.49%였으며, 처리구별 큰 변화는 없었다. 당도는 15.4~16.1 °Brix로 숙성 기간 동안 큰 변화는 없었으며, 알코올 함량도 주정 첨가 후 초기 24.3%였으며, 숙성 동안 24.2~24.9%로 거의 변화가 없었다. 주정강화 와인의 색도를 분석한 결과, L값은 숙성 온도가 높을수록 증가하는 경향이었으며, a값은 감소, b값과 Hue값은 증가하여 점차 붉은색은 연해지며 황갈색으로 숙성이 진행되었다. 캠벨얼리 주정강화 와인의 유리당 분석 결과, 과당은 36.24~36.71 mg/mL, 포도당은 7.67~8.51 mg/mL, 자당은 1.07~1.09 mg/mL로 나타나 자당이 잔당으로 남아있었다. 유기산의 경우 구연산은 0.013~0.027 mg/mL, 주석산은 1.033~1.228 mg/mL, 사과산은 0.645~0.689 mg/mL, 젖산은 0.274~0.314 mg/mL로 나타났으며, 높은 온도에서 숙성할수록 구연산, 주석산, 사과산이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 향기 성분을 분석한 결과, alcohol류 9종, ester류 22종, ketone류 5종, furan류 2종, pyran류 1종, acid류 1종 그리고 ethane류 1종으로 총 41종의 화합물이 분석되었다. 에스테르 화합물은 숙성 3개월 차에는 숙성 온도 40°C에서 91.15 mg/L로 가장 많

았고, 6개월 차에 47.54 mg/L로 감소하였다. 캠벨얼리 주정강화 와인의 총 폴리페놀 함량은 숙성 온도 상온에서 233.83~250.11 mg%, 30°C에서 232.77~261.17 mg%, 40°C에서 237.84~250.72 mg%로 나타났으며, 30°C 숙성에서 많은 변화가 나타났다. 탄닌 함량은 숙성 온도 상온에서 110.54~131.50 mg%, 30°C에서 104.75~132.32 mg%, 40°C에서 113.79~132.10 mg%로 나타났으며 숙성 초기와 숙성 6개월 간의 큰 차이는 없었다. 숙성 온도에 따른 총 안토시아닌 함량은 상온 처리구에서 181.85~265.68 mg/L, 30°C 처리구에서 102.53~258.55 mg/L, 40°C 처리구에서 21.21~258.55 mg/L로 나타나 숙성 기간이 지남에 따라 뚜렷이 감소하고 숙성 온도가 높을수록 그 감소 폭도 큰 경향이 나타났다. 주정강화 와인의 항산화 활성 비교를 위한 ABTS 전자공여능과 DPPH 전자공여능의 분석 결과, ABTS 전자공여능은 숙성 온도 상온에서 82.20~87.37%, 30°C에서 81.04~88.18%, 40°C에서 79.95~87.37%의 범위를 나타냈으며, 숙성 온도와 기간이 증가할수록 감소하는 경향이였다. DPPH 전자공여능은 숙성 온도 상온에서 67.62~71.26%, 30°C에서 58.09~71.66%, 40°C에서 59.83~72.60%의 범위를 나타냈으며, 숙성 초기에 비하여 숙성 6개월 차까지 다소 증가하는 경향이였다. 본 연구를 통해 캠벨얼리 주정강화 와인의 일반 품질 특성, 향기 및 기능성 성분의 숙성 과정에서 변화를 확인하였다. 향후 주정강화 와인의 장기 숙성 연구를 통해 프리미엄 주정강화 와인 개발 가능성을 보여주고 다양한 와인 산업에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(주관과제명: 충북지역 생식용 포도를 활용한 와인 제조기술 및 실용화 기술 개발, 과제번호: RS-2024-00438167)의 지원에 의한 것으로, 이에 감사드립니다.

## References

- Abreu T, Perestrelo R, Bordiga M, Locatelli M, Daniel Coisson J, Câmara JS. 2021. The flavor chemistry of fortified wines: A comprehensive approach. *Foods* 10:1239
- Amerine MA, Ough CS. 1980. Methods for analysis of musts and Wine. pp.176-180. John Wiley & Sons
- Azevedo J, Pinto J, Teixeira N, Oliveira J, Cabral M, de Pinho PG,

- Lopes P, Mateus N, de Freitas V. 2022. The impact of storage conditions and bottle orientation on the evolution of phenolic and volatile compounds of vintage Port wine. *Foods* 11:2770
- Bang BH, Paik JK, Lee SW, Jeong EJ, Rhee MS, Yi DH. 2015. Physicochemical characteristics based on fining and filtering of Muscat Bailey a grape wine. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44:1687-1692
- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181:1199-1200
- Burin VM, Falcão LD, Gonzaga LV, Fett R, Rosier JP, Bordignon-Luiz MT. 2010. Colour, phenolic content and antioxidant activity of grape juice. *Food Sci Technol* 30:1027-1032
- Carvalho MJ, Pereira V, Pereira AC, Pinto JL, Marques JC. 2015. Evaluation of wine colour under accelerated and oak-cask ageing using CIELab and chemometric approaches. *Food Bioprocess Technol* 8:2309-2318
- Cunha SC, Fernandes JO, Faria MA, Ferreira IMPLVO, Ferreira MA. 2002. Quantification of organic acids in grape musts and Port wines. *Cienc Tecnol Aliment* 3:212-216
- Dewanto V, Wu X, Adom KK, Liu RH. 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50:3010-3014
- Du Toit WJ, Lambrechts MG. 2002. The enumeration and identification of acetic acid bacteria from South African red wine fermentations. *Int J Food Microbiol* 74:57-64
- Duval B, Shetty K. 2001. The stimulation of phenolics and antioxidant activity in pea (*Pisum sativum*) elicited by genetically transformed anise root extract. *J Food Biochem* 25:361-377
- Giusti MM, Wrolstad RE. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In *Handbook of Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. pp.19-31 John Wiley & Sons
- Guilford JM, Pezzuto JM. 2011. Wine and health: A review. *Am J Enol Vitic* 62:471-486
- Gutfinger T. 1981. Polyphenols in olive oils. *J Am Oil Chem Soc* 58:966-968
- Gutiérrez-Escobar R, Aliaño-González MJ, Cantos-Villar E. 2021. Wine polyphenol content and its influence on wine quality and properties: A review. *Molecules* 26:718
- Hwang SW, Park HD. 2009. Characteristics of red wine fermentation of freeze-concentrated Campbell Early grape juice using various wine yeasts. *Food Sci Preserv* 16:977-984
- Jo YJ, Kim OM, Jeong YJ. 2013. Monitoring of the changes in volatile flavor components in oriental melon wine using SPME. *Food Sci Preserv* 20:207-214
- Kim DH, Lee SB, Park HD. 2018. Fermentation characteristics of Campbell Early grape wine inoculated with indigenous Korean wine yeasts encapsulated in Ca-alginate beads after air-blast drying. *Ital J Food Sci* 30:535-552
- Kim EJ, Choi JY, Yu MR, Kim MY, Lee SH, Lee BH. 2012. Total polyphenols, total flavonoid contents, and antioxidant activity of Korean natural and medicinal plants. *Korean J Food Sci Technol* 44:337-342
- Kim HA, Cho MH, Lee KH. 2009. Studies on the sensory characteristics of Korean wine and imported wine. *J East Asian Soc Diet Life* 19:593-602
- Lee JE, Hong HD, Choi HD, Shin YS, Won YD, Kim SS, Koh KH. 2003. A study on the sensory characteristics of Korean red wine. *Korean J Food Sci Technol* 35:841-848
- Kim KH, Han GD. 2011. White wine making using Campbell Early grapes with different kinds of yeasts. *Culin Sci Hosp Res* 17:162-171
- Kim MS, Yeo SH, Park HD. 2013. Fermentation characteristics of Campbell Early wine by indigenous *Saccharomyces cerevisiae* yeasts with resistance to potassium metabisulfite and a high sugar concentration. *Food Sci Preserv* 20: 744-750
- Huang K, Hu J, Li X, Sun J, Bai W. 2024. Advancements in the promotion of pyranoanthocyanins formation in wine: A review of current research. *Food Chem* 438:137990
- Lee HH, Moon YS, Yun HK, Park PJ, Kwak EJ. 2014. Contents of bioactive constituents and antioxidant activities of cultivated and wild raspberries: Functional component content and antioxidant activity of cultivated and wild raspberries. *Korean Soc Hortic Sci* 32:115-122
- Lee JE, Shin YS, Sim JK, Kim SS, Koh KH. 2002. Study on the color characteristics of Korean red wine. *Korean J Food Sci Technol* 34:164-169

- Lee SJ, Lee JE, Kim SS. 2004. Development of Korean red wines using various grape varieties and preference measurement. *Korean J Food Sci Technol* 36:911-918
- Lee Y, Shin H, Park E, Park EK, Yoon HS. 2024. Quality characteristics and functionality of Campbell Early wine produced using *Wickerhamomyces anomalus* A1-5 isolated from solid grain fermentation broth. *Korean J Food Nutr* 37:418-427
- Losada MM, López JF, Añón A, Andrés J, Revilla E. 2012. Influence of some oenological practices on the aromatic and sensorial characteristics of white Verdejo wines. *Int J Food Sci Technol* 47:1826-1834
- Ma Y, Yu K, Chen X, Wu H, Xiao X, Xie L, Wei Z, Xiong R, Zhou X. 2023. Effects of plant-derived polyphenols on the antioxidant activity and aroma of sulfur-dioxide-free red wine. *Molecules* 28:5255
- Margalit Y. 1997. Concepts in wine chemistry. pp.11-27. The Wine Appreciation Guild
- Milheiro J, Filipe-Ribeiro L, Cosme F, Nunes FM. 2023. Discrimination of Port wines by style and age using chromatic characteristics, phenolic, and pigment composition. *Food Res Int* 172:113181
- NTSTSI. 1999. Alcoholic liquors analytical rule: National tax service technical service instructions. pp.37-38. National Tax Service Technical Service Institute
- Olejar KJ, Fedrizzi B, Kilmartin PA. 2015. Influence of harvesting technique and maceration process on aroma and phenolic attributes of Sauvignon Blanc wine. *Food Chem* 183:181-189
- Padilla B, Gil JV, Manzanares P. 2018. Challenges of the non-conventional yeast *Wickerhamomyces anomalus* in wine-making. *Fermentation* 4:68
- Park H, Park E, Park EK, Choi S, Shin H, Kim MJ. 2021. Quality characteristics and functionality of vin chaud prepared from Campbell Early wine. *Korean J Food Nutr* 34:516-525
- Park H, Park EK, Choi S, Shin H, Kim MJ, Park JM. 2020. Quality characteristics of Cheongsoo grape wine by freeze concentration fermented with different yeasts. *Korean J Food Nutr* 33:512-523
- Park HJ. 2020. Quality characteristics of white wines fermented with different grape cultivars in Korea. Ph.D. Thesis, Chungbuk Univ.
- Park WM, Park HG, Rhee SJ, Lee CH, Yoon KE. 2002. Suitability of domestic grape, cultivar Campbell's Early, for production of red wine. *Korean J Food Sci Technol* 34:590-596
- Pereira AC, Reis MS, Saraiva PM, Marques JC. 2010. Analysis and assessment of Madeira wine ageing over an extended time period through GC-MS and chemometric analysis. *Anal Chim Acta* 660:8-21
- Pereira V, Albuquerque F, Cacho J, Marques JC. 2013. Polyphenols, antioxidant potential and color of fortified wines during accelerated ageing: The Madeira wine case study. *Molecules* 18:2997-3017
- Pereira V, Albuquerque FM, Ferreira AC, Cacho J, Marques JC. 2011. Evolution of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) and furfural (F) in fortified wines submitted to overheating conditions. *Food Res Int* 44:71-76
- Perestrelo R, Jaouhari Y, Abreu T, Castillo MM, Travaglia F, Pereira JAM, Câmara JS, Bordiga M. 2023. The fingerprint of fortified wines: From the Sui Generis production processes to the distinctive aroma. *Foods* 12:2558
- Ribeiro SG, Martins C, Tavares T, Rudnitskaya A, Alves F, Rocha SM. 2023. Volatile composition of fortification grape spirit and Port wine: Where do we stand? *Foods* 12:2432
- Sabel A, Martens S, Petri A, König H, Claus H. 2014. *Wickerhamomyces anomalus* AS1: A new strain with potential to improve wine aroma. *Ann Microbiol* 64:483-491
- Teissedre PL, Jourdes M. 2013. Tannins and anthocyanins of wine: Phytochemistry and organoleptic properties. In Ramawat K, Mérillon JM (Eds.), Natural products: Phytochemistry, botany and metabolism of alkaloids, phenolics and terpenes. pp.2255-2274. Springer
- Valcárcel-Muñoz MJ, Guerrero-Chanivet M, Rodríguez-Dodero MC, García-Moreno MV, Guillén-Sánchez DA. 2022. Analytical and chemometric characterization of Fino and Amontillado Sherries during aging in Criaderas y Solera system. *Molecules* 27:365
- Valdez B. 2012. Scientific, health and social aspects of the food

- industry. IntechOpen Press
- Vas G, Gál L, Harangi J, Dobó A, Vékey K. 1998. Determination of volatile aroma compounds of Blaufrankisch wines extracted by solid-phase microextraction. *J Chromatogr Sci* 36:505-510
- Yoo KS, Kim JE, Seo EY, Kim YJ, Choi HY, Yoon HS, Kim MD, Han NS. 2010. Improvement in sensory characteristics of Campbell Early wine by adding dual starters of *Saccharomyces cerevisiae* and *Oenococcus oeni*. *J Microbiol Biotechnol* 20: 1121-1127
- Yoon HS, Park JM, Park H, Jeong C, Choi W, Park J, Kim S. 2016. Quality characteristics of Korean domestic commercial white wines. *Korean J Food Nutr* 29:538-546
- Zagrodzki P, Jancik M, Piątek W, Fołta M, Dobrowolska-Iwanek J. 2023. Changes in selected chemical and sensory parameters during aging of red wines produced in Poland. *Eur Food Res Technol* 249:1915-1924
- Zhang XK, Lan YB, Zhu BQ, Xiang XF, Duan CQ, Shi Y. 2018. Changes in monosaccharides, organic acids and amino acids during Cabernet Sauvignon wine ageing based on a simultaneous analysis using gas chromatography-mass spectrometry. *J Sci Food Agric* 98:104-112
- Zoecklein BW, Fugelsang KC, Gump BH, Nury FS. 1990. Production wine analysis. pp.129-168. Springer
- 
- Received 01 October, 2025  
Revised 06 November, 2025  
Accepted 11 November, 2025

## 반응표면분석법을 이용한 에틸락테이트 용매 기반 주황색 고구마 기능성 성분 추출 최적화 연구

장가은 · 유경단\* · 박유진\* · 김태화\* · 이교휘\* · 박 원\* · 안종욱\* ·  
남상식 · 우관식\*\* · 이형운\*\* · 정미남\*\* · †황엄지\*

농촌진흥청 국립식량과학원 전문연구원, \*농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사, \*\*농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관

### Optimization of Functional Compound Extraction from Orange-Fleshed Sweet Potato using Ethyl Lactate as a Green Solvent through Response Surface Methodology

Gaeun Jang, Gyeong-dan Yu\*, You-jin Park\*, Tae Hwa Kim\*, Kyohwui Lee\*, Won Park\*, Jonguk An\*, Sang-sik Nam, Koan Sik Woo\*\*, Hyeong-Un Lee\*\*, Mi Nam Chung\*\* and †Eom-ji Hwang\*

Master's Researcher, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea

\*Researcher, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea

\*\*Senior Researcher, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea

#### Abstract

This study optimized the extraction of  $\beta$ -carotene and antioxidant compounds from orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) using response surface methodology (RSM) with ethyl lactate as a green solvent. A central composite design (CCD) was utilized to evaluate how the solvent-to-sample ratio, temperature, and extraction time affected efficiency. The regression model was statistically significant (Adj.  $R^2=0.67$ ), revealing that the solvent-to-sample ratio was the most influential factor, while temperature and time had relatively minor effects. The optimal conditions identified were a ratio of 12 mL/g, a temperature of 35°C, and an extraction time of 30 minutes, which resulted in a yield of 27 mg/100g of  $\beta$ -carotene, along with high levels of polyphenols, flavonoids, and strong antioxidant activities as measured by DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) and ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) assays. Validation experiments demonstrated a close alignment between predicted and experimental values, confirming the model's robustness. These findings indicate that ethyl lactate effectively extracts not only carotenoids but also a wide range of antioxidants, underscoring its potential as a sustainable solvent for developing functional food ingredients.

Key words: sweet potato (*Ipomoea batatas* L.), orange-fleshed sweet potato,  $\beta$ -carotene, antioxidant activity, ethyl lactate, response surface methodology

#### 서 론

고구마(*Ipomoea batatas* L.)는 전 세계적으로 옥수수, 쌀과 더불어 주요 식량자원으로 활용되며, 특히 아시아 및 아프리카 지역에서 널리 재배된다(Ravindran 등 1995; Laveriano-Santos 등 2022). 고구마는 괴근뿐만 아니라, 잎과 줄기도 식용할 수 있어 영양적 가치가 높고, 다방면의 이용이 가능하

다(Ishida 등 2000; de Albuquerque 등 2019). 최근에는 고구마에 함유된 카로티노이드, 폴리페놀, 플라보노이드와 같은 기능성 성분이 항산화, 항염증, 항암, 항비만 등의 생리활성을 나타내는 것으로 보고되면서 기능성 식품 소재(functional food ingredients)로서의 가치가 더욱 주목받고 있다(Wang 등 2016; Franková 등 2022).

특히 주황색 고구마는  $\beta$ -carotene을 풍부하게 함유하고 있

† Corresponding author: Eom-ji Hwang, Researcher, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea. Tel: +82-61-450-0144, Fax: +82-61-453-0085, E-mail: umji0416@korea.kr

어 항산화 활성뿐 아니라 비타민 A의 전구체로서 영양학적 가치가 크다(Gabilondo 등 2022).  $\beta$ -Carotene은 인체에서 비타민 A로 전환되어 시력 유지, 면역력 강화, 성장 발달 등에 필수적인 역할을 하며, 세계적으로 비타민 A 결핍 문제 해결을 위한 식품학적 대안으로도 평가받고 있다(Islam 등 2016). 그러나  $\beta$ -carotene 함량은 품종, 재배 환경, 저장 및 가공 조건에 따라 크게 달라질 수 있으며, 열처리나 분쇄와 같은 전처리 과정 또한 색소 및 항산화 성분의 손실을 유발할 수 있다(Alam 등 2020). 따라서  $\beta$ -carotene과 같은 지표 성분을 효과적으로 확보하기 위해서는 과학적인 추출 조건 최적화가 필수적이다.

기존연구에서 카로티노이드 추출에는 메탄올, 아세톤, 에탄올, 헥산 등의 유기용매가 주로 이용되었으며, 반응표면분석(response surface methodology, RSM)을 적용하여 최적 조건을 탐색한 연구가 일부 보고된 바 있다(Lien 등 2012). 그러나 이러한 유기용매는 인체 안전성과 환경적 부담의 한계가 있어 대체 용매의 필요성이 꾸준히 제기되고 있다. 메탄올은 극미량에서도 시신경 손상과 대사성 산증을 일으킬 수 있으며(Paine & Dayan 2001), 헥산은 신경·간독성을 유발하고 식품 잔류 시 인체에 위해를 줄 수 있다고 보고되었다(Cravotto 등 2022). 이러한 문제로 인해 식품 및 기능성 소재 산업에서는 안전하면서도 환경 친화적인 대체 용매에 대한 필요성이 더욱 강조되고 있다.

에틸락테이트(ethyl lactate)는 젖산 발효 과정을 통해 옥수수나 사탕수수 등 재생 가능한 자원으로부터 생산되는 천연 유래 생분해성 용매로, 환경 부담이 적고, 인체에 대한 안전성이 높은 것이 특징이다(Aparicio & Alcalde 2009). 또한, 미국 FDA에서 GRAS(Generally Recognized As Safe) 물질로 분류되어 독성이 낮고(Lores 등 2015), FEMA(Flavor and Extract Manufacturers Association) 2025에서도 안전성이 인정된 물질로 보고되어 식품 및 기능성 소재 활용 가능성이 있다(U.S. FDA 2005).

에틸락테이트는 극성과 비극성 화합물을 모두 일정 수준 용해할 수 있는 중간 극성 용매로서, 카로티노이드, 폴리페놀, 플라보노이드와 같은 다양한 파이토케미컬 추출에 유리한 것으로 보고되었다(Kua 등 2016). 실제로 Lores 등(2015)은 금작화(*Cytisus scoparius*)에서 에틸락테이트로 폴리페놀을 효율적으로 회수하여 항산화 활성이 높은 추출물을 얻었음을 보여주었고, 이는 동일 소재의 다른 용매 대비 경쟁력 있는 수율과 기능성을 시사한다.

또한 Ishida & Chapman(2009)은 에틸락테이트가 건조 토마토 분말에서 trans- 및 cis-라이코펜을 매우 잘 용출하는 용매임을 밝혔으며, 옥수수·당근 분말에서도 루테인· $\beta$ -카로틴 추출에 유효함을 확인했다. 더 나아가 Strati & Oreopoulou(2011)는 토마토 부산물에 효소 보조 추출을 적용했을 때 에틸락테이트가 총 카로티노이드와 라이코펜 추출에서 높은 수율을 보여주었으며, 아세톤·에틸아세테이트·헥산·에탄올 등과 비교해도 우수한 성능을 나타냈다고 보고하였다.

이처럼 에틸락테이트는 친환경성과 안전성뿐 아니라 추출 효율 측면에서도 기존 용매(헥산·메탄올·에탄올 등) 대비 우위를 보이는 연구사례가 축적되고 있으나, 고구마에 적용한 연구는 아직 미비한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 주황미 품종의 고구마 괴근을 대상으로, 에틸락테이트를 추출 용매로 적용하여  $\beta$ -carotene을 포함한 기능성 성분의 추출 효율을 평가하였다. 또한 반응표면분석(RSM)을 통해 시료에 대한 용매비, 추출 온도, 시간을 주요 인자로 설정하여 최적 조건을 도출하고자 하였다. 본 연구 결과는 친환경 용매(green solvent) 기반의 기능성 식품 소재 개발뿐만 아니라 주황색 고구마의 산업적 활용 확대에 기초자료로 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

본 실험에 사용된 고구마(*Ipomoea batatas* L.) 품종은 주황미(cv. Juhwangmi)이다. 고구마 시료는 2023년 10월 중순에 전남 무안 소재의 국립식량과학원 소득식량작물연구소에서 수확하였으며, 수확한 고구마는 세척 및 박피 후 일정 크기로 절단하여 동결 건조하였다. 이후 분쇄기로 분말화하여 분석 전까지  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 보관하였다.

### 2. 실험설계

본 연구에서는 추출 변수들이 종속변수에 미치는 영향을 종합적으로 평가하고, 최적 조건을 도출하기 위해 반응표면분석(response surface methodology, RSM)을 적용하였다. 실험 설계는 중심합성계획(central composite design, CCD)을 기반으로 하였으며, 이는 요인점(factorial points), 축점(axial points), 중심점(center points)으로 구성되어 비교적 적은 수의 실험으로도 2차 다항식 모델(quadratic polynomial model)을 적합시킬 수 있는 장점이 있다(Montgomery 2017). 독립변수로는 추

출 시료에 대한 용매비(5~15 mL/g), 온도(10~50°C), 추출 시간(30~90분)을 설정하였다. 용매비 요인은 시료량은 1 g으로 고정하고, 용매량만을 조절하였다. 실험은 요인점, 축점, 중심점을 포함하여 2차 다항식 모델을 적합시킬 수 있도록 설계하였다(Table 1.) 일반적인 2차 다항식 회귀모델(quadratic polynomial model)은 다음과 같이 표현된다(Asfaram 등 2015; Kousha 등 2015):

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon$$

여기서 Y는 반응변수(response), X는 독립변수(independent variable),  $\beta_i$ ,  $\beta_{ii}$ ,  $\beta_{ij}$ 는 각각 1차항, 순수 2차항, 교호작용항(interaction term)의 회귀계수를 의미하며,  $\beta_0$ 는 상수항(intercept)이다. 또한  $\epsilon$ 은 오차항(error)을 나타낸다. 실험 결과는 Design-Expert 13.0(Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA)을 이용하여 분석하였으며, 모델의 적합성과 유의성은 분산분석(ANOVA), 결정계수( $R^2$ ), 적합성 검정(lack-of-fit test) 및 F-값을 통해 평가하였다. 또한 예측된 최적 조건의 타당성을 검증하기 위해 중심점 반복 실험을 수행하였으며, 관찰값이 예측구간(prediction interval, 95%)에 포함되는지를 확인하였다. 실험 설계에 따라 분말 시료를 에틸락테이트(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 용매와 혼합하여 설정된 조건에서 추출하였으며, 추출액은 1,500×g에서 10분간 원심분리하여 상등액을 회수하였다. 기능성 성분 및 항산화 활성 분석을 위해 회수된 추출액은 진공원심농축기(EZ-2 Personal Evaporator, Genevac, UK)를 사용하여 농축한 뒤, 80% 에탄올에 재용해하여 분석에 활용하였다.

### 3. $\beta$ -Carotene 정량 분석

추출물의  $\beta$ -carotene 함량은 고성능액체크로마토그래피

**Table 1. Factors and experimental ranges used for optimization in the response surface methodology (RSM)**

Factors	Unit	Levels	
		Low actual value (-)	High actual value (+)
$X_1$ =Solvent:sample ratio	mL/g	5	15
$X_2$ =Extraction temperature	°C	10	50
$X_3$ =Extraction time	min	30	90

(HPLC)로 측정하였다. 검화를 위해 농축된 추출물을 20 cm 유리 튜브에 취하여 6% pyrogallol(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 10 mL를 첨가하고 질소 충전 후 sonicator에서 5~10분간 처리하였다. 이어서 60% KOH 8 mL를 첨가하여 70°C shaking water bath에서 30분간 검화하였다. Hexane:ethyl acetate(9:1, v/v) 20 mL를 첨가하여 혼합·층분리한 뒤 상층액을 회수하는 과정을 3회 반복한 후,  $MgSO_4$ 가 충전된 여과지(No. 2, Whatman)를 사용하여 상층액을 여과하였다. 최종 추출액은 50 mL로 정용하였고, 이를 질소가스로 농축한 뒤 isopropanol 10 mL로 재용해하였다. 재용해된 용액은 0.45  $\mu$ m PTFE syringe filter로 여과하여 HPLC 분석에 사용하였다.

추출액은 C18 역상 컬럼이 장착된 HPLC(Agilent 1260 Infinity, Agilent Technologies, USA)에 주입하였다. 이동상은 acetonitrile:methanol:dichloromethane(6:1:3, v/v/v) 혼합 용액을 사용하였고, 유속은 0.6 mL/min, 검출 파장은 450 nm로 설정하였다.  $\beta$ -Carotene 표준용액(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)으로 작성한 검량선을 이용하여 정량하였으며, 결과는 건물 기준 mg  $\beta$ -carotene/100g으로 나타내었다(Rodriguez-Amaya 2001; de Carvalho 등 2012).

### 4. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 분석

총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu 방법에 따라 측정하였다(Kim 등 2018). 추출액 50  $\mu$ L에 2%  $Na_2CO_3$  용액 1 mL를 첨가하여 3분간 반응시킨 후, 50% Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 50  $\mu$ L를 가하여 실온에서 30분간 반응하였다. 반응액의 흡광도는 UV/VIS 분광광도계(Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 735 nm에서 측정하였다. 표준물질로 gallic acid(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 검량선을 작성하였으며, 결과는 mg gallic acid equivalents(GAE)/100g으로 나타내었다.

총 플라보노이드 함량은 aluminum chloride 비색법으로 측정하였다(Kim 등 2018). 추출액 250  $\mu$ L에 증류수 1 mL와 5%  $NaNO_2$ (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 75  $\mu$ L를 첨가하여 5분간 반응시킨 후, 10%  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 150  $\mu$ L를 가하여 6분간 반응시켰다. 이어서 1 N  $NaOH$ (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 500  $\mu$ L를 첨가하고 11분 후 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 catechin(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 사용하여 검량선을 작성하였으며, 결과는 mg catechin equivalents(CE)/100g으로 환산하였다.

## 5. 라디칼 소거능 측정

항산화 활성은 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능을 통해 평가하였다(Hwang 등 2024).

DPPH 라디칼 소거능은 0.2 mM DPPH 용액(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)(99.9% 에탄올 용해) 0.8 mL에 추출액 0.2 mL를 첨가하여 암소에서 30분간 반응시킨 후, 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 Trolox(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 검량선을 작성하였으며, 결과는 mg Trolox equivalents(TE)/100g으로 나타내었다.

ABTS 라디칼 소거능은 7.4 mM ABTS 용액(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)과 2.6 mM potassium persulfate 용액(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 혼합하여 암소에서 24시간 동안 반응시켜 ABTS 라디칼을 형성하였다. 생성된 용액을 734 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 에탄올로 희석하여 사용하였다. 희석된 ABTS 용액 1 mL에 추출액 50  $\mu$ L를 첨가하여 혼합하고, 정확히 30분 후 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 Trolox(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 검량선을 작성하였으며, 결과는 mg Trolox equivalents(TE)/100g으로 환산하였다.

## 6. 통계분석

모든 데이터는 3회 반복 측정하여 mean $\pm$ S.D.로 나타내었다. 또한, 얻어진 총 폴리페놀, 총 플라보노이드, DPPH 및 ABTS 항산화 활성 결과에 대해 3요인 분산분석(three-way ANOVA; 요인: 시료에 대한 용매비, 온도, 시간 및 이들의 교호작용)을 실시하였다. 이후에는 시료에 대한 용매비 $\times$ 온도 $\times$ 시간 상호작용 조합을 개별 처리군으로 간주하여, 각 지표에 대해 일원분산분석(one-way ANOVA)을 수행하였다. 유의한 경우 사후검정은 Tukey's honestly significant difference(HSD) test로 진행하였으며, 유의수준은  $\alpha=0.05$ 로 설정하였다. 통계분석의 가정을 검토하기 위해 잔차의 정규성은 Shapiro-Wilk 검정, 등분산성은 Levene 검정으로 확인하였다. 모든 분석은 R(v4.x, R Foundation for Statistical Computing)을 이용하여 수행하였으며, 사용된 패키지는 stats(aov), agricolae(HSD.test), car(leveneTest), emmeans(emmeans)였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 반응표면분석법(RSM)을 이용한 최적 추출조건 확립

#### 1) 반응표면분석법(RSM) 결과

본 연구에서는 반응표면분석법(RSM)을 적용하여 고구마

괴근으로부터의  $\beta$ -카로틴 추출 조건을 최적화하였다. 추출 결과,  $\beta$ -카로틴 함량은 최소 8.29 mg/100g에서 최대 28.11 mg/100g까지 분포하였으며, 평균값은 약 22.9 mg/100g으로 확인되었다. 중심합성계획(CCD)에 따라 총 20회의 실험을 수행하였으며, 각 조건별 실험값과 회귀모형으로부터 예측된 값은 Table 2에 제시하였다. 예측값과 실제값 간의 차이는 대부분  $\pm 2$  mg/100g 범위 내에 있어, 모델의 예측력이 양호함을 보여주었다.

분산분석(ANOVA) 결과, 전체 정방형(quadratic) 모델은 유의하게 나타났으며(Model  $F=5.31$ ,  $p=0.0077$ ),  $\beta$ -카로틴 추출에 가장 큰 영향을 미친 인자는 시료에 대한 용매비(A,  $p=0.0076$ )와 그 제곱항( $A^2$ ,  $p=0.0003$ )이었다(Table 3). 반면, 추출 온도(B), 추출 시간(C) 및 교호작용항(AB, AC, BC)은 모두 유의하지 않았으며, 온도의 제곱항( $B^2$ )은 경계적 유의 수준( $p=0.0573$ )을 보여 제한적인 영향을 시사하였다. 적합성 부족(lack of fit)은 비유의( $p=0.1417$ )로 나타나, 모형이 실험 데이터를 설명하는 데 적합함을 확인할 수 있었다. 최종 모형의 결정계수( $R^2$ )는 0.827, 수정 결정계수(Adj.  $R^2$ )는 0.671로 나타나, 모형이 데이터의 변동을 설명하는 데 충분한 설명력을 보였다.

또한 Fig. 1의 실험값과 예측값 상관도(Predicted vs. Actual plot)를 통해 모형의 적합성을 확인하였다. 전체 데이터가 대체로 1:1 직선 부근에 분포하였으며, 극단적인 저농도 구간(8.29 mg/100g)에서는 다소 차이가 있었지만, 중·고농도 영역에서는 예측값과 실험값이 잘 일치하는 양상을 보였다. 이는 제시된 모형이  $\beta$ -카로틴 추출 경향을 신뢰성 있게 반영함을 의미할 수 있다(Fig. 1).

특히 externally studentized residuals vs. predicted plot(Fig. 2)에서 대부분의 데이터가  $\pm 4$  기준선 내에 위치하였고, 특이치(outlier)로 볼 만한 값이 거의 없어 회귀식의 가정이 충족됨을 확인하였다. 이는 모델이  $\beta$ -카로틴 추출 데이터를 설명하는 데 타당하며, 예측 신뢰성이 확보됨을 의미한다.

추출 변수 간 상호작용을 시각적으로 평가하기 위해 3D 반응표면을 도출하였으며, 그 결과는 Fig. 3에 제시하였다. 시료에 대한 용매비(A)와 추출온도(B)의 상호작용 효과(Fig. 3(a))에서는  $\beta$ -카로틴 함량이 시료 대비 용매의 양이 증가함에 따라 초기에는 상승하였으나, 일정 수준(약 10~12 mL/g 이상)부터는 증가 폭이 둔화되거나 오히려 감소하는 경향을 보였다. 반면, 온도의 영향은 상대적으로 제한적이었으며, 30~50°C 범위에서는  $\beta$ -카로틴 함량에 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 시료에 대한 용매비(A)와 추출시간(C)의 상호작

**Table 2. Experimental design matrix of central composite design (CCD) and corresponding experimental and predicted values of  $\beta$ -carotene content**

STD	Solvent: sample ratio (mL/g)	Extraction temperature (°C)	Extraction time (min)	$\beta$ -carotene (mg/100g)	
				Experimental	Predicted
1	5(-)	10(-)	30(-)	8.3	12.1
2	15(+)	10(-)	30(-)	22.8	23.1
3	5(-)	50(+)	30(-)	26.2	27.1
4	15(+)	50(+)	30(-)	22.4	20.2
5	5(-)	10(-)	90(+)	25.2	25.5
6	15(+)	10(-)	90(+)	23.4	23.2
7	5(-)	50(+)	90(+)	21.6	19.9
8	15(+)	50(+)	90(+)	21.8	21.9
9	1.6(- $\alpha$ )	30(0)	60(0)	21.3	19.5
10	18.4(+ $\alpha$ )	30(0)	60(0)	21.8	22.9
11	10(0)	0(- $\alpha$ )	60(0)	23.0	25.5
12	10(0)	63.6(+ $\alpha$ )	60(0)	25.0	25.5
13	10(0)	30(0)	9.54(- $\alpha$ )	26.9	27.9
14	10(0)	30(0)	110.5(+ $\alpha$ )	26.0	25.5
15	10(0)	30(0)	60(0)	28.1	25.5
16	10(0)	30(0)	60(0)	20.2	19.0
17	10(0)	30(0)	60(0)	19.9	17.5
18	10(0)	30(0)	60(0)	19.4	21.8
19	10(0)	30(0)	60(0)	26.8	25.5
20	10(0)	30(0)	60(0)	23.9	24.7

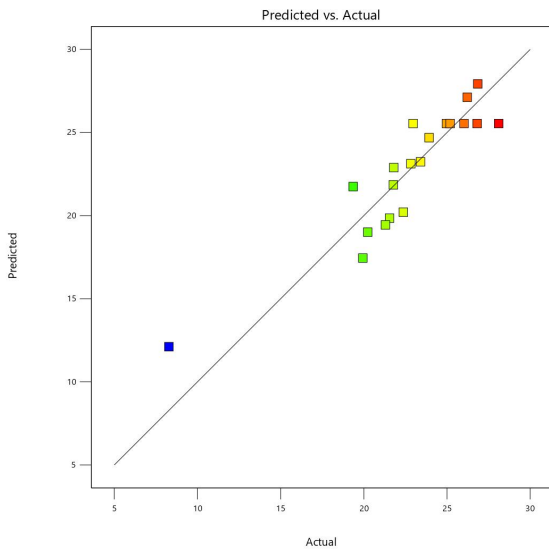
**Table 3. Analysis of variance (ANOVA) for the quadratic model for  $\beta$ -carotene extraction from sweet potato**

Source	Sum of squares	df	Mean square	F-value	p-value	Observations
Model	279.36	9	31.04	5.31	0.0077	Significant
A-solvent ratio	64.81	1	64.81	11.08	0.0076	
B-temp	1.18	1	1.18	0.2016	0.663	
C-time	0.7818	1	0.7818	0.1336	0.7223	
AB	0	1	0	6.18E-06	0.9981	
AC	3.49	1	3.49	0.5972	0.4575	
BC	1.83	1	1.83	0.3133	0.588	
A <sup>2</sup>	172.19	1	172.19	29.43	0.0003	
B <sup>2</sup>	26.98	1	26.98	4.61	0.0573	
C <sup>2</sup>	7.13	1	7.13	1.22	0.2956	
Residual	58.5	10	5.85			

Table 3. Continued

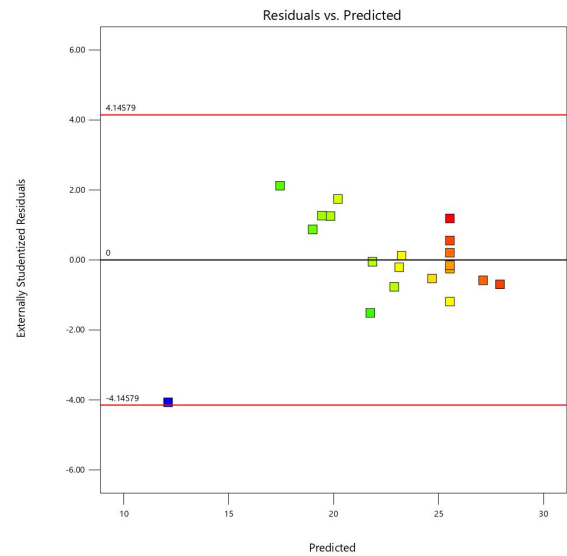
Source	Sum of squares	df	Mean square	F-value	p-value	Observations
Lack of Fit	43.1	5	8.62	2.8	0.1417	Not significant
Pure Error	15.4	5	3.08			
Cor Total	337.87	19				

$R^2=0.827$ , Adjusted  $R^2=0.671$ .



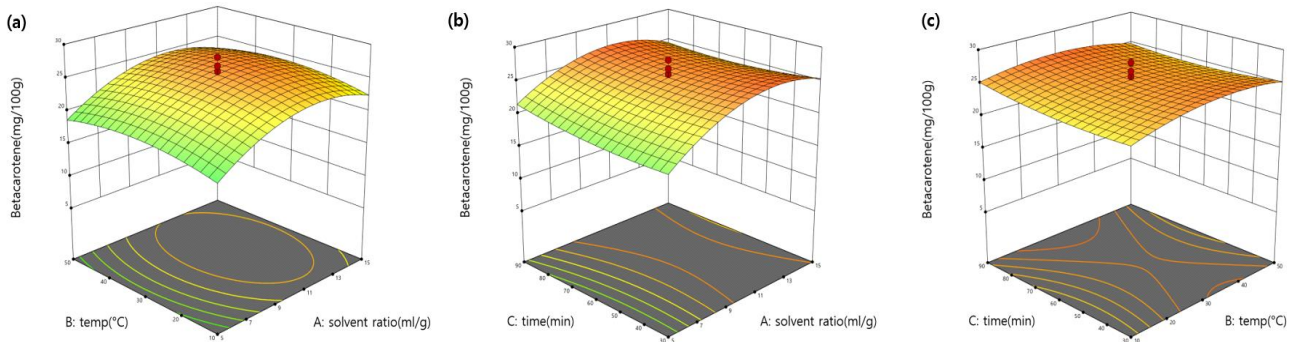
**Fig. 1. Predicted vs. actual values of  $\beta$ -carotene content obtained from the quadratic response surface model.** The predicted values showed good agreement with the experimental data, as most points were closely aligned along the 1:1 reference line. This indicates that the quadratic model adequately explained the variability in  $\beta$ -carotene extraction. Only a few deviations were observed at extreme low concentrations, but no systematic bias was detected, supporting the robustness and predictive accuracy of the model.

용을 나타낸 Fig. 3(b)에서는  $\beta$ -카로틴 함량이 추출시간보다는 시료에 대한 용매비에 의해 더 크게 좌우되는 것으로 보였다. 30~90분 범위에서 시간 증가에 따른 수율 변화는 거의 보이지 않았으며, 이는 추출 시간보다는 시료에 대한 용매비 조건이  $\beta$ -카로틴 추출을 지배하는 주요 인자임을 시사한다. 이러한 경향은 선행 연구에서도 확인되었다. 예를 들어, Lopes 등(2024)은 해조류에서 microwave-assisted extraction (MAE) 기법을 적용한 연구로 시료에 대한 용매비가  $\beta$ -카로



**Fig. 2. Externally studentized residuals vs. predicted  $\beta$ -carotene response for the quadratic model.** The residuals were randomly distributed around zero and mostly within the  $\pm 4.15$  limits, indicating no significant outliers and supporting the adequacy of the model.

틴 및 fucoxanthin 회수율에 가장 큰 영향을 주는 변수임을 보고하였다. 반면, 추출 시간은 거의 영향을 미치지 않았고, 온도는 일정 수준 이상에서만 유의한 차이를 나타냈다. 또한, Norshazila 등(2017)의 호박 카로티노이드 추출 연구에서도 시료에 대한 용매비(150:1)가 수율 향상에 가장 중요한 요인으로 확인되었으며, 추출 시간이 길어지더라도 효율이 크게 개선되지 않는다는 결과가 제시되었다. 또한, 온도 30°C에서 총 카로티노이드 수율이 81.47  $\mu\text{g/g}$ 으로 최고를 기록했으며, 45°C 이상에서는 열에 의한 분해로 수율이 감소한다고 보고되었다. 이는 본 연구에서의 결과와 유사하며, 추출 과정에서 적절한 시료에 대한 용매비 설정이 효율적 성분 회수에 필수적임을 시사한다.



**Fig. 3.** Response surface plots showing the interaction effects of extraction variables on  $\beta$ -carotene yield from sweet potato. (a) Interaction between solvent-to-sample ratio (A) and extraction temperature (B). (b) Interaction between solvent-to-sample ratio (A) and extraction time (C). (c) Interaction between extraction temperature (B) and extraction time (C). Overall,  $\beta$ -carotene content was strongly influenced by the solvent-to-sample ratio, while extraction temperature and time showed relatively minor effects. These results support the ANOVA findings that solvent ratio and its quadratic term ( $A^2$ ) were the most significant factors in  $\beta$ -carotene extraction.

## 2) 최적 조건의 도출 및 검증

다목적 최적화(desirability function) 결과 총 21개의 후보 조건이 도출되었으며, 그 중 시료에 대한 용매비 12.1 mL/g, 추출온도 35.3°C, 추출시간 30분이 최적 조건으로 도출되었다. 이 조건에서 예측된  $\beta$ -카로틴 함량은 약 26.7 mg/100g으로 확인되었으며, 총 폴리페놀(156.6 mg GAE/sample 100 g), 플라보노이드(94.6 mg CE/sample 100 g), DPPH 라디칼 소거능(96 mg TE/sample 100 g), ABTS 라디칼 소거능(196.5 mg TE/sample 100 g) 등 부가적인 항산화 지표 또한 높은 수준을 보였다. 이때 종합 바람직도(desirability)는 0.928로 도출되어, 다목적 최적화(D-function) 측면에서 매우 우수한 조건임이 확인되었다(Table 4).

$$\beta\text{-Carotene} \left( \frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = 25.539 + 2.178A + 0.302B + 0.239C + 0.002AB - 0.661AC - 0.479BC - 3.449A^2 - 1.483B^2 + 0.702C^2$$

회귀식의 재현성 검증을 위해 도출된 최적점에서 추가적으로 진행한 검증 실험에서도 예측값과 실제값 간의 높은 일치도를 확인하였다. 최적 조건(시료에 대한 용매비 12 mL/g, 추출온도 35°C, 추출시간 30분)에서 실험을 수행한 결과,  $\beta$ -카로틴 함량은 27.0 $\pm$ 0.0 mg/100g으로 측정되었고, 예측값(26.7 mg/100g)과 실측값(27.0 mg/100g)을 비교한 결과, 모델

의 정확도는 약 98.9%로 계산되었으며, 이는 높은 예측 신뢰도를 나타내었다. 또한 총 폴리페놀(156.6 $\pm$ 2.4 mg GAE/sample 100 g), 총 플라보노이드(94.6 $\pm$ 2.0 mg CE/sample 100 g), DPPH 라디칼 소거능(96.0 $\pm$ 0.3 mg TE/sample 100 g), ABTS 라디칼 소거능(191.5 $\pm$ 1.3 mg TE/sample 100 g) 역시 예측값과 유사한 수준을 보여 회귀식의 신뢰성과 재현성이 확보되었음을 입증하였다(Table 5).

## 2. 기능성 성분 및 항산화 활성

### 1) 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

추출물의 총 폴리페놀 함량은 2.2~356.6 mg GAE/100g의 범위를 나타냈으며, Table 6에 제시하였다. 통계분석 결과, 시료에 대한 용매비와 온도 요인의 주효과는 유의하였으나, 시간 요인은 유의하지 않았다(Table 5,  $p > 0.05$ ). 또한 시료에 대한 용매비 $\times$ 온도, 온도 $\times$ 시간, 시료에 대한 용매비 $\times$ 온도 $\times$ 시간에서 유의한 차이가 확인되었다. 후속 분석에서 시료에 대한 용매비 $\times$ 온도 $\times$ 시간 조합을 개별 처리군으로 간주하여 one-way ANOVA와 Tukey HSD 검정을 실시한 결과, 12.1 mL/g, 30°C, 60 min 조건에서 356.6 mg GAE/100g으로 가장 높은 값을 보였으며, 1.6 mL/g, 30°C, 60 min 조건에서는 2.2 mg GAE/100g으로 가장 낮았다. 즉, 시료에 대한 용매비가 증가할수록 총 폴리페놀 함량이 유의적으로 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났다(Table 7).

Table 4. Suggested solution for optimum responses

Solvent: sample ratio (mL/g)	Extraction temperature (°C)	Extraction time (min)	$\beta$ -carotene (mg/100g)	Total polyphenol (mg GAE /sample 100g)	Total flavonoid (mg CE /sample 100g)	DPPH radical (mg TE /sample 100g)	ABTS radical (mg TE/ sample 100g)	Desirability
12.1	35.3	30.0	26.7	159.0	97.9	96.0	196.5	0.928 <sup>1)</sup>
12.1	35.1	30.0	26.7	159.0	97.9	95.9	196.4	0.928
12.0	35.3	30.0	26.7	158.3	97.6	95.7	195.8	0.928
12.1	35.6	30.0	26.7	159.5	98.2	96.2	197.1	0.928
12.0	35.5	30.0	26.7	156.9	96.9	95.2	194.3	0.928
12.1	35.4	30.0	26.7	161.3	99.1	96.9	199.0	0.928
12.1	34.8	30.0	26.7	160.5	98.7	96.5	198.1	0.928
12.0	35.0	30.0	26.7	156.8	96.8	95.1	194.1	0.928
12.1	34.6	30.0	26.7	159.6	98.2	96.1	197.0	0.928
12.0	36.1	30.0	26.7	158.0	97.5	95.7	195.6	0.928
11.9	35.8	30.0	26.7	155.8	96.3	94.8	193.2	0.928
12.1	34.1	30.0	26.7	160.6	98.6	96.4	197.9	0.928
12.0	33.4	30.0	26.7	156.6	96.4	94.7	193.4	0.928
12.3	36.8	30.0	26.7	165.9	101.7	98.9	204.3	0.927
12.3	37.2	30.0	26.7	164.5	101.0	98.5	202.9	0.927
12.1	37.6	30.0	26.7	161.2	99.3	97.2	199.4	0.927
11.1	28.8	90.0	26.7	144.7	83.2	89.5	170.7	0.927
11.1	28.6	90.0	26.7	144.5	83.1	89.5	170.6	0.927
11.1	29.0	90.0	26.7	145.0	83.4	89.6	171.1	0.927
11.1	28.5	90.0	26.7	143.9	82.9	89.3	170.0	0.927
11.1	28.3	90.0	26.7	144.7	83.2	89.6	170.8	0.927
11.0	28.5	90.0	26.7	141.8	81.8	88.3	167.7	0.926
11.1	29.8	90.0	26.6	145.4	83.6	89.5	171.5	0.926
10.9	28.1	90.0	26.6	139.9	80.9	87.6	165.7	0.926
11.1	30.1	90.0	26.6	146.9	84.3	90.1	173.0	0.926
11.4	28.8	90.0	26.6	152.4	87.0	92.8	179.0	0.926
11.2	26.3	90.0	26.6	144.3	83.0	90.1	170.5	0.925
11.2	31.7	90.0	26.6	151.2	86.4	91.5	177.4	0.925
11.0	32.2	90.0	26.6	146.6	84.2	89.4	172.5	0.924
11.1	32.8	90.0	26.6	148.8	85.3	90.2	174.9	0.924

<sup>1)</sup> Selected because it shows the highest desirability with balanced extraction yield and practical extraction conditions.

총 플라보노이드 함량은 2.3~196.3 mg CE/100g 범위로 측정되었으며(Table 6), 시료에 대한 용매비 요인의 영향이 가장 크게 작용하였다. 12.1 mL/g, 30°C, 60 min 조건에서 196.3 mg

CE/100g으로 최대치를 보였으며, 1.6 mL/g 조건에서 2.3 mg CE/100g으로 유의적으로 낮았다. 이는 시료에 대한 용매비가 증가하는 조건에서 플라보노이드 추출 효율이 크게 향상됨을

**Table 5. Verification results of  $\beta$ -carotene and antioxidant indices under the optimal extraction condition (12 mL/g, 35°C, 30 min)**

	Solvent: sample ratio (mL/g)	Extraction temperature (°C)	Extraction time (min)	$\beta$ -carotene (mg/100g)	Total polyphenol (mg GAE/ sample 100 g)	Total flavonoid (mg CE/ sample 100 g)	DPPH radical (mg TE/ sample 100 g)	ABTS radical (mg TE/ sample 100 g)
Experimental	12	35	30	27.0±0.0	156.6±2.4	94.6±2.0	96±0.3	191.5±1.3
Predicted	12.1	35.3	30	26.7	159	97.9	96	196.5

**Table 6. Three-way ANOVA results for total polyphenol, flavonoid, DPPH, and ABTS contents**

Source	df	Polyphenol		Flavonoid		DPPH		ABTS	
		F-value	Pr(>F)	F-value	Pr(>F)	F-value	Pr(>F)	F-value	Pr(>F)
Solvent	4	462.06	1.32e-06*	721.18	4.35e-07*	935.3	2.28e-07*	770.94	3.69e-07*
Temperature	3	8.44	0.0211*	12.93	0.0086*	9.6	0.0162*	14.43	0.0068*
Time	3	1.78	0.2680 ns	1.54	0.3127 ns	2.51	0.1729 ns	0.56	0.6617 ns
Solvent×Temp	1	4.83	0.0792 ns	12.35	0.0170*	6.97	0.0459*	4.57	0.0856 ns
Solvent×Time	1	0.02	0.8880 ns	3.14	0.1368 ns	1.38	0.2924 ns	1.13	0.3359 ns
Temp×Time	1	10.98	0.0212*	8.82	0.0312*	2.15	0.2029 ns	8.09	0.0361*
Solvent×Temp×Time	1	5.36	0.0684 ns	2.75	0.1581 ns	4.07	0.0998 ns	0.98	0.3672 ns
Residual	5	—	—	—	—	—	—	—	—

Three-way analysis of variance (ANOVA) showing the effects of solvent-to-sample ratio, extraction temperature, and extraction time, and their interactions, on total polyphenol, total flavonoid, and antioxidant activities (DPPH and ABTS). Significant effects are indicated at  $p < 0.05$  (\*), while ns denotes non-significant differences.

시사한다. 플라보노이드 함량 역시 시료에 대한 용매비가 증가할수록 유의적으로 증가하는 경향을 보였으며, 이는 총 폴리페놀 함량 결과와 유사한 양상을 나타냈다(Table 7).

이러한 결과는 시료에 대한 용매비가 기능성 성분 추출 효율을 좌우하는 핵심 인자임을 보여준다. Liu 등(2022)은 대추, Moundib 등(2023)은 *Argania spinosa* 잎, Wang 등(2025)은 브로콜리 줄기에서 모두 시료에 대한 용매비가 수율 향상에 결정적인 영향을 미친다고 보고하였다. 용매 비율의 증가는 페놀류 및 플라보노이드의 용해도와 물질 전달 효율을 개선하여 추출 효율을 높이는 반면, 과도한 비율에서는 효율 증가 폭이 둔화되는 경향이 보고되었다. 따라서 추출 대상의 특성과 조건에 적합한 시료에 대한 용매비를 설정하는 것이 고효율 추출을 위한 핵심 전략임을 시사한다.

## 2) DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성

항산화 활성은 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능을 통해 평

가하였으며(Table 6), DPPH 활성은 1.5~157.4 mg TE/100g, ABTS 활성은 5.3~415.8 mg TE/100g의 범위로 나타났다. 시료에 대한 용매비×온도×시간 조합 간 ANOVA 분석 결과, 12.1 mL/g, 30°C, 60 min 조건에서 DPPH와 ABTS 활성이 각각 157.4 mg TE/100g, 415.8 mg TE/100g으로 가장 높은 활성을 나타냈다. 반면, 1.6 mL/g 조건에서는 각각 1.5 및 5.3 mg TE/100g으로 가장 낮아, 기능성 성분 함량과 동일하게 항산화 활성 역시 시료에 대한 용매비가 결정적 요인임이 확인되었다(Table 7). 본 연구의 DPPH 또는 ABTS 라디칼 소거 활성 변화 결과 또한, 기존 연구들의 경향과 유사하다. Wong 등(2013)의 *Phyllanthus niruri* 추출 연구에서는 시료에 대한 용매비가 항산화 활성에 유의한 영향을 주었으며, 총 폴리페놀 함량과 항산화 활성 간 높은 상관관계( $r=0.999$ )를 확인하였다. 유사하게, Olawuyi 등(2020)의 오크라 잎 추출 최적화 연구에서도 시료에 대한 용매비가 10 mL/g에서 40 mL/g로 증가할수록 DPPH 및 ABTS 활성이 점진적으로 향상되었다.

**Table 7. Effects of solvent-to-sample ratio, extraction temperature, and extraction time on total polyphenol, total flavonoid, and antioxidant activities (DPPH and ABTS)**

STD	Solvent: sample ratio (mL/g)	Extraction temperature (°C)	Extraction time (min)	Total polyphenol (mg GAE/ sample 100 g)	Total flavonoid (mg CE/ sample 100 g)	DPPH radical (mg TE/ sample 100 g)	ABTS radical (mg TE/ sample 100 g)
1	5(-)	10(-)	30(-)	24.3±1.7 <sup>g</sup>	22.4±0.2 <sup>f</sup>	16.5±0.3 <sup>de</sup>	41.4±0.3 <sup>ef</sup>
2	15(+)	10(-)	30(-)	229.1±4.7 <sup>bc</sup>	125±3.7 <sup>bc</sup>	120.6±0.3 <sup>b</sup>	255.9±0.9 <sup>bc</sup>
3	5(-)	50(+)	30(-)	35.7±2.6 <sup>fg</sup>	24.3±1.0 <sup>f</sup>	22.9±0.1 <sup>d</sup>	49.4±1.0 <sup>ef</sup>
4	15(+)	50(+)	30(-)	239±5.3 <sup>bc</sup>	136.8±1.2 <sup>b</sup>	124.4±0.4 <sup>b</sup>	276.4±1.4 <sup>bc</sup>
5	5(-)	10(-)	90(+)	26.8±2.2 <sup>g</sup>	20.7±0.1 <sup>f</sup>	16.5±0.1 <sup>de</sup>	39.8±1.3 <sup>ef</sup>
6	15(+)	10(-)	90(+)	200±1.7 <sup>c</sup>	105±2.9 <sup>cd</sup>	124.1±0.0 <sup>b</sup>	231.9±2.0 <sup>c</sup>
7	5(-)	50(+)	90(+)	51±0.8 <sup>efg</sup>	29.6±0.3 <sup>f</sup>	37.4±0.6 <sup>d</sup>	68±0.9 <sup>e</sup>
8	15(+)	50(+)	90(+)	282.1±4.0 <sup>b</sup>	141.5±1.0 <sup>b</sup>	125.6±1.1 <sup>b</sup>	294.2±4.9 <sup>b</sup>
9	1.6(-α)	30(0)	60(0)	2.2±0.1 <sup>g</sup>	2.3±0.0 <sup>f</sup>	1.5±0.1 <sup>e</sup>	5.3±0.5 <sup>f</sup>
10	18.4(+α)	30(0)	60(0)	356.6±7.3 <sup>a</sup>	196.3±5.5 <sup>a</sup>	157.4±0.3 <sup>a</sup>	415.8±1.8 <sup>a</sup>
11	10(0)	0(-α)	60(0)	111.8±0.9 <sup>de</sup>	67.1±0.7 <sup>c</sup>	71.5±0.8 <sup>c</sup>	131.3±2.8 <sup>d</sup>
12	10(0)	63.6(+α)	60(0)	121.4±4.1 <sup>d</sup>	82.2±0.8 <sup>de</sup>	86.8±0.1 <sup>c</sup>	170.8±2.0 <sup>d</sup>
13	10(0)	30(0)	9.54(-α)	102±9.4 <sup>def</sup>	67.2±1.9 <sup>c</sup>	77.5±0.2 <sup>c</sup>	138.8±1.9 <sup>d</sup>
14	10(0)	30(0)	110.5(+α)	125.3±2.5 <sup>d</sup>	73.2±2.5 <sup>e</sup>	83.2±0.2 <sup>c</sup>	147.4±1.6 <sup>d</sup>
15	10(0)	30(0)	60(0)	121.6±3.4 <sup>d</sup>	76.2±1.1 <sup>e</sup>	78.9±0.1 <sup>c</sup>	154.9±2.5 <sup>d</sup>
16	10(0)	30(0)	60(0)	110.1±1.7 <sup>de</sup>	72.6±1.5 <sup>e</sup>	80.7±0.2 <sup>c</sup>	147.2±6.2 <sup>d</sup>
17	10(0)	30(0)	60(0)	135.2±0.2 <sup>d</sup>	79.6±2.2 <sup>e</sup>	80±0.3 <sup>c</sup>	153.5±1.2 <sup>d</sup>
18	10(0)	30(0)	60(0)	119.2±1.4 <sup>d</sup>	77.9±0.3 <sup>e</sup>	77.5±0.3 <sup>c</sup>	157.3±5.0 <sup>d</sup>
19	10(0)	30(0)	60(0)	112.6±1.1 <sup>de</sup>	72.4±2.8 <sup>e</sup>	82.5±0.2 <sup>c</sup>	142±3.8 <sup>d</sup>
20	10(0)	30(0)	60(0)	114.3±2.0 <sup>de</sup>	69.7±0.6 <sup>e</sup>	74±0.9 <sup>c</sup>	138±2.6 <sup>d</sup>

Values are expressed as mean±SD (n=3).

<sup>a-g</sup>Means with different superscript letters within a column are significantly different ( $p<0.05$ ) according to Duncan's multiple range test.

이는 본 연구에서 온도나 시간보다는 시료에 대한 용매비가 유의한 변수로 나타난 것과 일치하며, 시료에 대한 용매비가 항산화 활성 성분의 추출 효율을 좌우하는 핵심 인자임을 재확인하였다. 이러한 선행 연구들은 시료에 대한 용매비의 최적화가 단순히 추출 효율뿐만 아니라, 항산화 활성의 극대화에도 필수적임을 시사하며, 폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 항산화 활성 간의 강한 상관관계를 뒷받침한다.

## 요약 및 결론

본 연구에서는 친환경적이고, 중간 극성을 지닌 용매인 에틸라테이트를 활용하여 주황색 고구마 껍근으로부터 β-카로

틴 및 기능성 성분의 최적 추출 조건을 확립하고자 반응표면 분석법(RSM)을 적용하였다. 중심합성계획(CCD)에 따라 수행된 실험 결과, β-카로틴 함량은 8.29~28.11 mg/100g의 범위로 나타났으며, 주요한 유의 인자는 시료에 대한 용매비(A,  $p<0.01$ )와 그 제곱항(A<sup>2</sup>,  $p<0.001$ )이었다. 총 폴리페놀은 2.2~356.6 mg GAE/100g, 총 플라보노이드는 1.4~184.8 mg CE/100g의 범위를 보였고, 항산화 활성은 DPPH 1.5~157.4 mg TE/100g, ABTS 5.3~415.8 mg TE/100g으로 나타났다. 추출조건 최적화 결과, 시료에 대한 용매비 12.01 mL/g, 추출온도 35.26°C, 추출시간 30분이 최적 조건으로 도출되었으며, 이때 β-카로틴 함량은 26.69 mg/100g, 총 폴리페놀 159.0 mg GAE/100g, 총 플라보노이드 97.9 mg CE/100g, DPPH 96.0 mg

TE/100g, ABTS 196.5 mg TE/100g에서 높은 수준으로 추출되었다. 검증 실험에서도 예측값과 실측값 간 오차가 미미하여 회귀식의 신뢰성과 재현성이 확보되었다. 따라서 본 연구에서 도출된 결과는 에틸락테이트가 기존 극성·비극성 용매와 달리 단일 용매로 다양한 성분을 효과적으로 회수할 수 있음을 보여주며, 주황색 고구마  $\beta$ -카로틴 및 기능성 성분的高效을 회수를 위한 최적 추출 공정 확립에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 시험연구사업(과제번호: PJ01726 7012025) 지원 및 2025년도 농촌진흥청 국립식량과학원 전문연구원 과정 지원 사업에 의해 이루어진 것임.

## References

- Alam MK, Sams S, Rana ZH, Akhtaruzzaman M, Islam SN. 2020. Minerals, vitamin C, and effect of thermal processing on carotenoids composition in nine varieties orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *J Food Compos Anal* 92:103582
- Aparicio S, Alcalde R. 2009. The green solvent ethyl lactate: An experimental and theoretical characterization. *Green Chem* 11:65-78
- Asfaram A, Ghaedi M, Agarwal S, Tyagi I, Kumar Gupta V. 2015. Removal of basic dye auramine-O by ZnS:Cu nanoparticles loaded on activated carbon: Optimization of parameters using response surface methodology with central composite design. *RSC Adv* 5:18438-18450
- Cravotto C, Fabiano-Tixier AS, Claux O, Abert-Vian M, Tabasso S, Cravotto G, Chemat F. 2022. Towards substitution of hexane as extraction solvent of food products and ingredients with no regrets. *Foods* 11:3412
- de Albuquerque TMR, Sampaio KB, de Souza EL. 2019. Sweet potato roots: Unrevealing an old food as a source of health promoting bioactive compounds: A review. *Trends Food Sci Technol* 85:277-286
- de Carvalho LMJ, Gomes PB, Godoy RLO, Pacheco S, do Monte PHF, de Carvalho JLV, Nutti MR, Neves ACL, Vieira ACRA, Ramos SRR. 2012. Total carotenoid content,  $\alpha$ -carotene and  $\beta$ -carotene, of landrace pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch): A preliminary study. *Food Res Int* 47: 337-340
- Flavor and Extract Manufacturers Association (FEMA). 2025. Flavor ingredient library: Ethyl lactate (FEMA No. 2440). Available from <https://www.femaflavor.org/flavor-library> [cited 15 October 2025]
- Franková H, Musilová J, Árvay J, Šnirc M, Jančo I, Lidiková J, Vollmannová A. 2022. Changes in antioxidant properties and phenolics in sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) due to heat treatments. *Molecules* 27:1884
- Gabilondo J, Corbino G, Chludil H, Malec L. 2022. Bioactive compounds of two orange-fleshed sweet potato cultivars (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) in fresh, stored and processed roots. *Appl Food Res* 2:100061
- Hwang E, Yu GD, Park YJ, Jang GE, Song YS, Lee HU, Woo KS. 2024. Quality characteristics of dried vegetables using sweet potato petioles according to different cultivars. *Korean J Food Nutr* 37:388-396
- Ishida BK, Chapman MH. 2009. Carotenoid extraction from plants using a novel, environmentally friendly solvent. *J Agric Food Chem* 57:1051-1059
- Ishida H, Suzuno H, Sugiyama N, Innami S, Tadokoro T, Maekawa A. 2000. Nutritive evaluation on chemical components of leaves, stalks and stems of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* Poir). *Food Chem* 68:359-367
- Islam SN, Nusrat T, Begum P, Ahsan M. 2016. Carotenoids and  $\beta$ -carotene in orange fleshed sweet potato: A possible solution to vitamin A deficiency. *Food Chem* 199:628-631
- Kim HJ, Lee JH, Lee BW, Lee YY, Jeon YH, Lee BK, Woo KS. 2018. Quality and physicochemical characteristics of the Korean cowpea cultivars grown in different seeding periods. *Korean J Food Nutr* 31:502-510
- Kousha M, Tavakoli S, Daneshvar E, Vazirzadeh A, Bhatnagar A. 2015. Central composite design optimization of acid blue 25 dye biosorption using shrimp shell biomass. *J Mol Liq* 207:266-273
- Kua YL, Gan S, Morris A, Ng HK. 2016. Ethyl lactate as a potential green solvent to extract hydrophilic (polar) and

- lipophilic (non-polar) phytonutrients simultaneously from fruit and vegetable by-products. *Sustain Chem Pharm* 4: 21-31
- Laveriano-Santos EP, López-Yerena A, Jaime-Rodríguez C, González-Coria J, Lamuela-Raventós RM, Vallverdú-Queralt A, Romanyà J, Pérez M. 2022. Sweet potato is not simply an abundant food crop: A comprehensive review of its phytochemical constituents, biological activities, and the effects of processing. *Antioxidants* 11:1648
- Lien CY, Chan CF, Huang CL, Lai YC, Liao WC. 2012. Studies of carotene extraction from sweet potato variety CYY95-26, *Ipomoea batatas*, L. *Int J Food Eng* 8:21
- Liu X, Liu Y, Shan C, Yang X, Zhang Q, Xu N, Xu L, Song W. 2022. Effects of five extraction methods on total content, composition, and stability of flavonoids in jujube. *Food Chem X* 14:100287
- Lopes A, Correia-Sá L, Vieira M, Delerue-Matos C, Soares C, Grosso C. 2024. Sustainable carotenoid extraction from macroalgae: Optimizing microwave-assisted extraction using response surface methodology. *Life* 14:1573
- Lores M, Pájaro M, Álvarez-Casas M, Domínguez J, García-Jares C. 2015. Use of ethyl lactate to extract bioactive compounds from *Cytisus scoparius*: Comparison of pressurized liquid extraction and medium scale ambient temperature systems. *Talanta* 140:134-142
- Montgomery DC. 2017. Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons
- Moundib R, Sita H, Guenaou I, Hmimid F. 2023. Optimization of the extraction of polyphenols and flavonoids from *Argania spinosa* leaves using response surface methodology. *Nat Prod Sci* 29:83-90
- Norshazila S, Koy CN, Rashidi O, Ho LH, Azrina I, Nurul Zaizuliana RA, Zarinah Z. 2017. The effect of time, temperature and solid to solvent ratio on pumpkin carotenoids extracted using food grade solvents. *Sains Malays* 46:231-237
- Olawuyi IF, Park JJ, Lee WY. 2020. Effect of extraction conditions on ultrasonic-assisted extraction of polyphenolic compounds from okra (*Abelmoschus esculentus* L.) leaves. *Korean J Food Preserv* 27:476-486
- Paine AJ, Dayan AD. 2001. Defining a tolerable concentration of methanol in alcoholic drinks. *Hum Exp Toxicol* 20: 563-568
- Ravindran V, Ravindran G, Sivakanesan R, Rajaguru SB. 1995. Biochemical and nutritional assessment of tubers from 16 cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *J Agric Food Chem* 43:2646-2651
- Rodríguez-Amaya DB. 2001. A Guide to Carotenoid Analysis in Foods. ILSI Press.
- Strati IF, Oreopoulou V. 2011. Effect of extraction parameters on the carotenoid recovery from tomato waste. *Int J Food Sci Technol* 46:23-29
- U.S. Food and Drug Administration (FDA) Staff, & Office of the Federal Register. 2005. Code of Federal Regulations: Title 21: Food and Drugs. Office of the Federal Register.
- Wang B, Chen P, Zhang H, Chen Y, Chen L. 2025. Optimization of polyphenols extraction by deep eutectic solvent from broccoli stem and characterization of their composition and antioxidative effects. *Sci Rep* 15:16066
- Wang S, Nie S, Zhu F. 2016. Chemical constituents and health effects of sweet potato. *Food Res Int* 89:90-116
- Wong BY, Tan CP, Ho CW. 2013. Effect of solid-to-solvent ratio on phenolic content and antioxidant capacities of “Dukung Anak” (*Phyllanthus niruri*). *Int Food Res J* 20:325-330

---

Received 20 October, 2025  
 Revised 06 November, 2025  
 Accepted 14 November, 2025

## 근적외선분광법을 활용한 고구마의 폴리페놀, 플라보노이드 함량 및 항산화활성 비파괴 분석 방법 확립

†안종욱 · 황엄지 · 김태화 · 박 원 · 이교휘 · 남상식\* · 이형운\*\* · 정미남\*\* · 우관식\*\*

농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사, \*농촌진흥청 국립식량과학원 전문연구원, \*\*농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관

### Establishment of a Non-Destructive Analysis Method for the Polyphenol, Flavonoid Content and Antioxidant Activity of Sweetpotato using Near-Infrared Reflectance Spectroscopy

†Jonguk An, Eom-ji Hwang, Tae Hwa Kim, Won Park, Kyo Hwui Lee, Sang Sik Nam\*,  
Hyeong-Un Lee\*\*, Mi Nam Chung\*\* and Koan Sik Woo\*\*

Researcher, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea

\*Post-doc, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea

\*\*Senior Researcher, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea

#### Abstract

This study developed a calibration model using near-infrared spectroscopy (NIR) for the rapid and non-destructive prediction of functional components—total polyphenols, total flavonoids, and antioxidant activities—in sweetpotato. Analysis of 473 sweetpotato genetic resources revealed significant variation and diversity in total polyphenols (4.67 to 2,419 mg/100g, CV 74.26%), total flavonoids (7.71 to 1,057.67 mg/100g, CV 122.88%), DPPH radical scavenging activity (7.83 to 532.56 mg/100g, CV 111%), and ABTS radical scavenging activity (11.84 to 615.87 mg/100g, CV 70.02%). The NIR spectra (400 to 2,500 nm), following pretreatment and modified partial least squares (MPLS) regression, were utilized to create the calibration model. Cross-validation indicated high predictive performance for total polyphenols ( $R^2_{cv}$  0.895), total flavonoids (0.940), DPPH (0.955), and ABTS (0.940). External validation yielded  $R^2_{ev}$  values ranging from 0.623 to 0.726 and RPD values between 1.58 and 2.13, confirming the model's practical applicability for large-scale screening and classification. However, further enhancements are needed to improve the accuracy of quantitative analysis. Future studies should focus on refining the predictive model by incorporating samples from diverse genetic resources and cultivation environments. This research demonstrates that NIR spectroscopy can be effectively employed for the rapid, non-destructive evaluation of sweetpotato functional quality, facilitating the efficient selection of high-value cultivars.

Key words: sweetpotato, NIR spectroscopy, polyphenol, flavonoid, antioxidant activity

#### 서 론

고구마(*Ipomoea batatas* L.)는 전 세계적으로 주요 식량작물로서, 풍부한 기능성 성분과 다양한 생리활성 물질을 함유하여 건강식품, 가공식품, 바이오소재 산업 분야에서 높은 활용 가능성을 보인다(Bovell Benjamin AC 2007; Wang 등 2016). 특히 고구마에 포함된 폴리페놀과 플라보노이드는 강

력한 항산화 작용을 통해 활성산소 제거, 세포 보호, 염증 예방 등 건강 증진에 기여하는 주요 생리활성 물질임이 보고되었다(Kwak 등 2013; Wang 등 2016). 폴리페놀 및 플라보노이드 함량, 항산화 활성은 품종, 재배 환경, 조직 부위, 수확 시기 등 다양한 요인에 따라 크게 달라지는 것으로 밝혀졌으며(Woo 등 2012; Park 등 2021; Hwang 등 2024; Musilová 등 2024), 이러한 성분의 변동성은 기능성 품종의 선발과 고구마

† Corresponding author: Jonguk An, Researcher, Value Crop Research Institute, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea. Tel: +82-61-450-0144, Fax: +82-61-453-0085, E-mail: juan87@korea.kr

기반 건강 소재 개발의 핵심 근거가 되고 있다. 건강식품 및 기능성 소재에 대한 소비자의 선호도가 증가함에 따라 고구마 수요 역시 지속적으로 확대될 것으로 전망된다(Kim 등 2018). 이에 따라 폴리페놀, 플라보노이드 등 기능성 성분 함량이 높은 고구마 육종은 대표적인 육종 목표 중 하나이며, 초기 세대에서 우수 계통을 신속히 선발할 수 있도록 예측 모델 구축과 비파괴적 선별 기술의 필요성이 주목받고 있다.

기존의 폴리페놀, 플라보노이드 및 항산화 활성 정량은 화학적 추출, 흡광광도법이나 HPLC 분석이 표준으로 여겨져 왔으나, 시간과 노동력이 크게 소요되어 대량 자원 선별에는 한계가 있었다(Li 등 2012; Kwak 등 2013). 이에 최근 비파괴적 신속 동시 분석이 가능한 근적외선 분광법(NIR spectroscopy)이 농산물 및 식품의 주성분, 기능성 성분 예측에 실제로 활발히 도입되고 있다(Lee 등 2022; Páscoa 등 2024). NIR은 400~2,500 nm 파장 영역에서 시료의 물리적·화학적 성질에 따라 빛이 흡수되는 특성을 이용하여, 다양한 식품 및 농산물의 성분과 품질을 신속하고 비파괴적으로 정량·예측할 수 있다(dos Santos 등 2013; Folli 등 2022). NIR은 시료 준비나 소모성 시약이 거의 필요하지 않고, 측정 속도가 매우 빠르며, 대규모 자원의 동시 다 분석 및 생산 현장 자동화에 최적화된 도구로 널리 활용된다(Pandiselvam 등 2022; Zaukuu 등 2024). 특히 최근 NIR 스펙트럼 분석은 화학 계량학(chemometrics) 기법과 결합하여 단순 성분뿐만 아니라 폴리페놀, 플라보노이드와 같은 항산화 활성 등 기능성 성분 정량 및 스크리닝에 적용되고 있다(Tian 등 2023; Tang 등 2024). 고구마와 같이 유전적·환경적 차이가 커서 성분 분포가 넓은 작물에서 NIR과 PLS/MPLS(partial least squares regression/modified partial least squares regression) 회귀법의 조합은 품종 선별, 기능성 성분 신속 평가에 적합한 예측 플랫폼을 제공한다(Lu 등 2006; Amankwaah 등 2024). 예측 성능을 평가하는 주요 지표로는 결정계수(RSQ,  $R^2$ , coefficient of determination), RPD(ratio of prediction to deviation), RMSE(root mean square error), SEP(standard error of prediction) 등 통계적 인자가 널리 활용되며, 최근 다수의 연구에서 고구마 및 전분질 식품에 대해 외부검증 결과  $R^2_{cv}$  0.6~0.9, RPD 1.5~3.5로 육종과 품질관리에서 충분한 실용성을 제공함이 보고되고 있다(Lu 등 2006; Pandiselvam 등 2022; Amankwaah 등 2024). 또한, NIR 검량식의 적합성은 cross-validation, 외부 독립집단 검증 등 엄격한 통계적 평가를 통해 인정되고 있다(Tian 등 2023; Tang 등 2024).

이에 본 연구에서는 고구마 유전자원을 대상으로 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 항산화 활성(DPPH, ABTS 라디칼 소거활성)을 분석하고, NIR 기반 검량식을 개발하여 품종 간 품질 및 기능성 성분의 신속한 평가 및 자원 선별의 가능성을 검증하고자 하였다. 이를 통해 고부가가치 기능성 품종 개발과 산업적 활용을 위한 고효율 품질 예측 기술 구축에 기여하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험재료

본 연구에 사용한 시험재료는 농촌진흥청 국립식량과학원 소득식량작물연구소 시험포장에서 2023년, 2024년에 각각 생산된 고구마 유전자원 473종이다. 정식은 70 cm 이랑에 필름을 멀칭한 후에 주간 간격을 20 cm로 하여 4~5 마디가 묻히도록 하고, 5월 하순에 정식하여 130일간 표준재배법에 준하여 재배하였다. 고구마 수확 후 세척하여 동결건조(FDT-8650, OPERON, Kimpo, Korea)하고 분쇄기로 분쇄하여 시료로 사용하였다.

### 2. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 분석을 위해, 고구마 시료 0.5 g에 80% 에탄올 12 mL를 첨가하여 혼합한 후, 24시간 동안 진탕 추출하였다. 추출액은 4°C, 1,500×g 조건에서 10분간 원심분리(Sorvall ST-40R, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)한 후, 상등액을 분석 시료로 사용하였다(Hwang 등 2024). 총 폴리페놀 함량 분석을 위해, 추출물 50 µL에 2% sodium carbonate( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 용액 1 mL를 첨가하고 3분간 반응시킨 후, 50% Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 50 µL를 추가하였다. 혼합물을 30분간 실온에서 반응시킨 후, UV/VIS 분광광도계(Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 사용하여 735 nm에서 흡광도를 측정하였다. 정량은 gallic acid(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 표준물질로 사용하여 표준 곡선을 작성하고, 함량은 시료 100 g 중의 mg gallic acid equivalents(GAE, dry basis)로 나타내었다.

총 플라보노이드 함량 분석을 위해, 추출물 250 µL에 증류수 1 mL와 5% sodium nitrite( $\text{NaNO}_2$ ; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 75 µL를 첨가하여 5분간 반응시킨 후, 10% aluminum chloride hexahydrate( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; Sigma-Aldrich,

St. Louis, MO, USA) 150  $\mu$ L를 추가하여 6분간 반응시켰다. 이후, 1 N sodium hydroxide(NaOH; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 500  $\mu$ L를 추가하고, 11분간 반응시킨 후 혼합물의 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 정량은 catechin(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 표준 물질로 사용하여 표준 곡선을 작성하였으며, 함량은 시료 100 g 중의 mg catechin equivalents(CE, dry basis)로 나타내었다.

### 3. Radical 소거 활성

고구마 유전자원 시료의 radical 소거활성은 DPPH(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 및 ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) radical 소거활성을 수행하였다(Hwang 등 2024). DPPH radical 소거활성은 0.2 mM DPPH 용액(99.9% 에탄올에 용해) 800  $\mu$ L에 시료 추출물 200  $\mu$ L를 혼합하여 30분간 반응시킨 후, 520 nm에서 흡광도 변화를 측정하였다. 정량은 trolox(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 표준 물질로 사용하여 표준 곡선을 작성하였고, 시료 100 g당 mg trolox equivalent antioxidant capacity(TE, dry basis)로 나타내었다.

ABTS radical 소거활성은 ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 2.6 mM을 1:1 비율로 혼합 후 24시간 암소에서 반응시켜 ABTS 양이온을 형성시킨 뒤, 에탄올로 희석하여 735 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 조정된 용액을 사용하였다. 희석된 ABTS 용액 1 mL에 시료 추출물 50  $\mu$ L를 혼합하여 30분간 반응시킨 후 흡광도의 변화를 측정하였다. 정량은 trolox(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 표준 물질로 사용하여 표준 곡선을 작성하였고, 시료 100 g당 mg trolox equivalent antioxidant capacity(TE, dry basis)로 나타내었다.

### 4. 근적외선 스펙트럼 측정

고구마의 유전자원 473종의 근적외선 스펙트럼을 측정하기 위해 Kaur 등(2024a), Lee 등(2022)의 방법을 일부 변형하여 NIR 분광기기(DS 2500, FOSS, Hillerød, Denmark)를 사용하였다. 고구마 동결건조 시료를 sample cup에 채워 공극을 최소화 시키고, 실온에서 400~2,500 nm의 파장 범위에서 0.5 nm 간격으로 각 자원당 3 반복하여 측정하였다. 이후 검량식 유도를 위해 흡광도(log 1/R, R=reflectance)로 변환하여 스펙트럼을 수집하였다.

### 5. NIR 검량식 작성 및 검증

검량식 작성 알고리즘은 시료의 스펙트럼에서 검량식은 입자의 크기, 수분, 밀도 등 물리적 성질에 의한 산란 효과에 대한 오차를 줄이기 위해 standard normal variate and detrending(SNV-D) 전처리 기법을 통해 보정하였으며 수처리(math treatment), 회귀분석과 같은 일련의 연속적 처리 과정을 거쳐 검량식을 작성하였다(Escuredo 등 2013; Lee 등 2022; Kaur 등 2024a). 수처리는 1, 4, 4, 1(1st derivative, 4 nm gap, 4 point smooth, 1 point second smooth)을 적용하였으며 회귀분석은 수정 회귀분석법인 MPLS(modified partial least squares regression)을 사용하였다. 최적의 검량식을 얻기 위해 결정계수( $R^2$ ), 검량식 표준오차(standard error of calibration, SEC), 상호검증 표준오차(standard error of cross-validation, SECV) 등의 통계치를 고려하여 선별하였다.

작성된 검량식의 적용가능성을 검증하기 위해 2024년에 수확한 고구마 유전자원 중 검량식 작성에 이용되지 않은 48종을 NIR 분광기기를 이용하여 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 항산화 활성

검량식 작성을 위한 성분분석 데이터를 확보하기 위해, 고구마 473종을 대상으로 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 항산화 활성(DPPH, ABTS 라디칼 소거 활성)을 분석하였다(Table 1). 총 폴리페놀 함량은 4.67~2,419.00 mg GAE/100g의 분포를 나타내었으며, 평균 571.54 mg GAE/100g, 변동계

**Table 1. Reference value of total polyphenol and flavonoid, DPPH and ABTS radical scavenging activity in 473 sweetpotato genetic resources**

Component	Min	Max	Mean	SD
Total polyphenol (mg GAE/100g)	4.67	2,419.00	571.54	424.40
Total flavonoid (mg CE/100g)	7.71	1,057.67	109.45	134.49
DPPH radical (mg TE/100g)	7.83	532.56	114.05	126.59
ABTS radical (mg TE/100g)	11.84	615.87	172.02	120.44

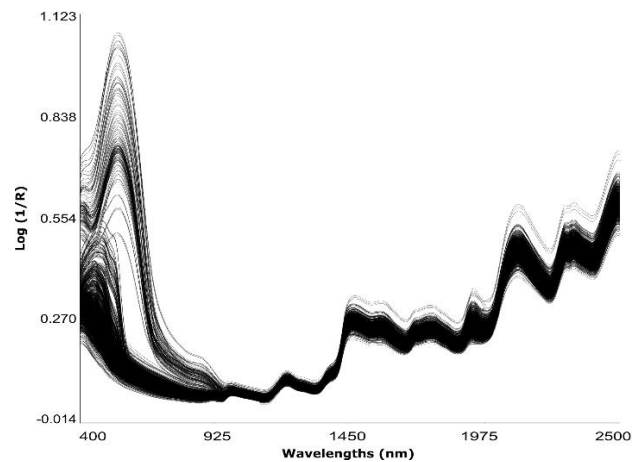
Abbreviations: GAE, gallic acid equivalent; CE, catechin equivalent; TE, Trolox equivalent.

수(CV)는 74.26%로 집단 내 분산이 매우 컸다. 총 플라보노이드 함량은 7.71~1,057.67 mg CE/100g, 평균 109.45 mg CE/100g, CV 122.88%로 산포도가 더욱 확대되어 자원 간 다양성이 뚜렷하게 확인되었다. 항산화 활성 지표인 DPPH 라디칼 소거 활성은 7.83~532.56 mg TE/100g의 범위에서 평균 114.05 mg TE/100g, CV 111%를 나타냈고, ABTS 라디칼 소거활성은 11.84~615.87 mg TE/100g, 평균 172.02 mg TE/100g, CV 70.02%로 분석되었다.

항산화성분과 활성 모두 평균 대비 매우 넓은 변이폭과 높은 변동계수를 보여, 실험 집단이 품종·유전자원의 다양성, 기능성 소재 선발 등에 매우 적합한 분포구조임을 알 수 있다. 이전 보고와 비교하였을 때, 중국에서 재배된 고구마의 폴리페놀 함량은 440~980 mg/100g, 플라보노이드 함량은 100~460 mg/100g으로 보고하였고, DPPH 라디칼 소거 활성은 190~330 mg/100g, ABTS 라디칼 소거 활성은 570~710 mg/100g으로 각각 보고하였다(Makori 등 2020). 또 다른 보고에서는, 총 폴리페놀 함량은 192.7~1,159.0 mg/100g이며, 총 플라보노이드 함량을 21.0~40.3 mg/100g으로 각각 제시하였다(Rumbaoa 등 2009; Camel Lagnika 등 2024). 이와 비교하여, 본 연구의 결과는 모든 성분에서 변이폭과 최대값, 산포도가 더욱 확대되어 자원 간 함량 및 활성의 다양성을 크게 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 NIR(근적외선분광법) 검량식 작성 과정에서 모델의 감응구간 확장, 예측 정확도 향상, 품종별 특성 선별 등에 효과적으로 활용될 수 있음을 시사한다.

## 2. NIR 측정 및 스펙트럼 전처리

고구마의 총 폴리페놀, 총 플라보노이드 함량과 항산화 활성 예측을 위해, 400~2,500 nm 범위에서 0.5 nm 간격으로 NIR 스펙트럼을 획득하였다. Fig. 1은 고구마 시료의 전체 스펙트럼을 나타낸 것으로, 측정 결과 시료 간 스펙트럼의 변이 폭이 넓게 관찰되었다. 밀도, 온도, 입자 크기 등의 차이로 인해 baseline 변동이나 산란 차이가 발생하며, 이로 인해 스펙트럼의 baseline shift 및 noise가 나타나 검량식 작성에 있어 예측 오차가 증가할 수 있다(Pandiselvam 등 2022). 이러한 분광학적 변이를 보정하기 위해 1차 미분 수치(1<sup>st</sup> derivative)를 적용하였고, 1, 4, 4, 1(1<sup>st</sup> derivative, 4 nm gap, 4 points smooth, 1 point secondary smooth)의 수학적 조합을 사용하였다. 또한, 검량 모델 구축에 수정 회귀분석법인 MPLS(modified partial least squares regression)를 적용하였다. MPLS는 다중공선성 문제 해결, 스펙트럼 데이터에 대한 이상치 강건성 향상, 복잡



**Fig. 1. Raw spectrum of 473 sweetpotato genetic resources.** Each line represents the raw spectral data, illustrating absorbance variation and diversity across samples and wavelengths prior to chemometric preprocessing and calibration modeling.

한 분광 데이터의 처리 최적화 등에서 뛰어난 성능을 보이기 때문에 화학 계량학적 모델링에 널리 활용된다(Escuredo 등 2013; Kaur 등 2024a). MPLS는 각 파장에서 잔차를 계산 및 표준화하여 관련 없는 분광학적 변동의 영향을 최소화한다. 이 방식은 기준값 정보의 통합으로 신호 변동을 극대화하여 모델의 예측 정확도를 향상시키는 동시에, 관련 없는 요인의 영향은 효과적으로 억제한다(Font 등 2004). MPLS 회귀법은 곡물, 콩, 들깨 등 다양한 농산물의 품질 분석에 사용되었다. 이전 보고에서, 들깨의 수분, 회분, 단백질, 페놀 성분 예측 연구(Kaur 등 2024b)와 검정콩의 안토시아닌 함량 분석(Kim 등 2008) 등에서 MPLS가 실제로 적용된 바 있으며, 본 연구에서도 고구마의 품질 특성 예측에 효과적인 분석방법을 확인하였다.

## 3. NIR 검량식의 작성 및 교차 검증 평가

실험실에서 얻은 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 항산화 활성 값을 활용하여 NIR 검량식(calibration model)을 작성하였다(Table 2). 폴리페놀 함량의 결정계수( $R^2$ )는 0.923, 플라보노이드의  $R^2$ 는 0.953으로 매우 우수한 수준을 보였다. 항산화 활성 지표인 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성의  $R^2$ 는 각각 0.957 및 0.952로, 전 항목에서 신뢰도 높은 예측력을 확인할 수 있었다. 작성된 검량식을 검증하고자 교차 검증(cross validation)을 실시한 결과, 폴리페놀, 플라보노이드의

**Table 2. Statistics of calibration and cross validation of total polyphenol and flavonoid, DPPH and ABTS radical scavenging activity in sweetpotato genetic resources**

Component	n	Calibration		Cross validation	
		$R^2$	SEC	$R^2_{cv}$	SECV
Total polyphenol (mg GAE/100g)	1,229	0.923	122.810	0.895	142.997
Total flavonoid (mg CE/100g)	1,178	0.953	22.881	0.940	25.747
DPPH radical (mg TE/100g)	1,204	0.957	28.180	0.955	28.954
ABTS radical (mg TE/100g)	1,229	0.952	28.523	0.940	31.899

Abbreviations: GAE, gallic acid equivalent; CE, catechin equivalent; TE, Trolox equivalent;  $R^2$ , coefficient determination of calibration; SEC, standard error of calibration;  $R^2_{cv}$ , coefficient determination of cross validation; SECV, standard error of cross validation.

교차 검증 결정계수( $R^2_{cv}$ )는 각각 0.895, 0.940, DPPH와 ABTS는 각각 0.955, 0.940으로 도출되었다. 이는 검량식 및 교차 검증 모두에서 높은 모델 신뢰성을 의미한다. 선행 연구에 따르면, 자색고구마에 함유된 안토시아닌의 NIR 기반 결정계수( $R^2$ )가 0.916, 0.889였다고 보고하였으며, 고구마 끝순의 폴리페놀과 플라보노이드 예측에서 각각 0.97, 0.96의 높은  $R^2_{cv}$ 를 나타낸 바 있다(Tian 등 2020; Tang 등 2024). 이와 비교할 때 본 연구의 결과는 다양한 화합물 및 활성 지표 모두에서 동등하거나 우수한 정확도를 보이며, NIR을 이용한 고구마 항산화 관련 성분의 비파괴 예측이 실험실 측정에 근접한 신뢰성을 확보함을 보여준다. 따라서, 본 연구의 결과는 NIR 분광법이 고구마 내 항산화 물질의 함량과 활성을 신속하고 비파괴적으로 분석하는 데 효과적으로 활용될 수 있음을 시사한다.

**4. NIR 검량식의 외부 검증 및 적용 평가**

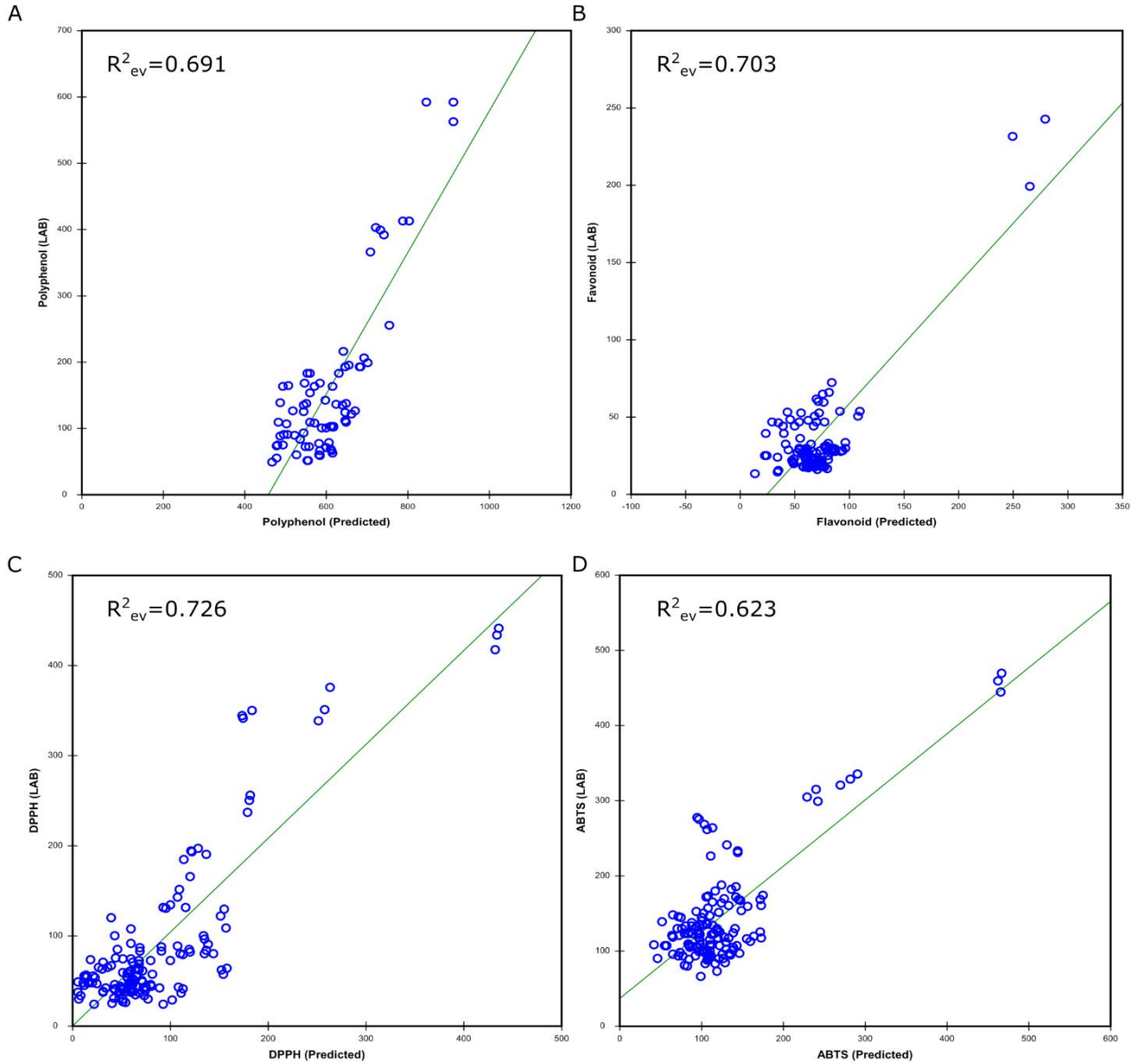
작성된 NIR 검량식의 예측 정확도를 검증하기 위해, 2024년에 재배된 고구마 유전자원 중 검량식 작성에 미사용된 48종을 대상으로 외부 검증(external validation)을 실시하였다. 검증 시료의 실험실 측정 결과, 폴리페놀 함량은 49.70~582.00 mg GAE/100g(평균 162.03 mg GAE/100g, CV 70.22%), 플라보노이드 함량은 14.14~224.20 mg CE/100g(평균 46.73 mg CE/100g, CV 95.40%)로 나타났다. DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성은 각각 27.23~430.40 mg TE/100g(평균 90.34 mg TE/100g, CV 95.94%) 및 82.03~457.47 mg TE/100g(평균 145.17 mg TE/100g, CV 49.15%)로, 시료 집단 내 매우 넓은 분포와

높은 다양성이 확인되었다(Table 3). 이와 같은 변이 폭과 범위는 앞서 분석된 전체 시료군과 유사한 경향으로, 검증 시료가 실험 시료의 다양성과 특성을 충분히 대표함을 확인하였다. 검증 시료에 NIR 검량식을 적용한 결과, 예측값과 실제값의 외부검증 결정계수( $R^2_{cv}$ )는 폴리페놀 0.691, 플라보노이드 0.703, DPPH 라디칼 소거활성 0.726, ABTS 라디칼 소거활성 0.623으로 모두 양의 상관관계를 보였다(Fig. 2). 모델의 예측 정확도를 판단하기 위한 RPD값은 폴리페놀 2.13, 플라보노이드 1.65, DPPH 라디칼 소거활성 1.87, ABTS 라디칼 소거활성 1.58로 산출되어, 대략적인 스크리닝 및 구분에 유효함을 시사하였다(Table 4). 이전 보고에 따르면, 진주조 등 다

**Table 3. Reference value of total polyphenol and flavonoid, DPPH and ABTS radical scavenging activity in 48 sweetpotato genetic resources produced in 2024**

Component	Min	Max	Mean	SD
Total polyphenol (mg GAE/100g)	49.70	582.00	162.03	113.77
Total flavonoid (mg CE/100g)	14.14	224.20	46.73	44.58
DPPH radical (mg TE/100g)	27.23	430.40	90.34	86.67
ABTS radical (mg TE/100g)	82.03	457.47	145.17	71.35

Abbreviations: GAE, gallic acid equivalent; CE, catechin equivalent; TE, Trolox equivalent.



**Fig. 2. Scatter plots between predicted data and reference data.** Each result shows the relationship between predicted values obtained from NIR calibration models and laboratory-measured reference values for total polyphenol (A), total flavonoid (B), DPPH radical scavenging activity (C), and ABTS radical scavenging activity (D) in 48 sweetpotato genetic resources. Abbreviations:  $R^2_{ev}$ , coefficient determination of external validation.

양한 곡물에서 저항전분, 당질, 가용성 당 예측 연구와 옥수수, 밀 줄기에서 NDF, 헤미셀룰로스 예측 연구의 외부 검증 예측력이 0.6-0.8 구간으로 중간 정도의 신뢰성, 대량 검정에

적용할 수 있다고 보고하였다(Guo 등 2021; Tomar 등 2021). 또한, RPD 1.5~2.0 구간의 모델은 대량 시료의 구분 및 선별에 실용적으로 보고되었다(Padhi 등 2022; Oberholzer 등

**Table 4. Statistics of external validation of total polyphenol and flavonoid, DPPH and ABTS radical scavenging activity in 48 sweetpotato genetic resources**

Component	$R^2_{ev}$	SEP	RPD
Total polyphenol (mg GAE/100g)	0.691	20.92	2.13
Total flavonoid (mg CE/100g)	0.703	68.98	1.65
DPPH radical (mg TE/100g)	0.726	46.24	1.87
ABTS radical (mg TE/100g)	0.623	45.24	1.58

Abbreviations: GAE, gallic acid equivalent; CE, catechin equivalent; TE, Trolox equivalent;  $R^2_{ev}$ , coefficient determination of external validation; SEP, standard error of prediction; RPD, ratio of prediction to deviation.

2024). 따라서 본 연구의 NIR 검량식은 다양한 고구마 품종에서 총 폴리페놀 및 플라보노이드, 항산화 활성을 예측하고, 자원의 신속한 선별 및 육종 지원 등 실질적 응용이 가능함을 확인하였다. 다만, 본 연구는 개별 시료의 정확한 정량 분석에는 추가적인 개선이 요구된다. 이러한 한계점은 표본 크기, 유전적·환경적 다양성이 아직 충분히 확보되지 않았고, 외부 검증 집단의 변이 구조가 전체 시료의 통계적 특성을 완벽하게 대변하지 못할 수 있음에 기인한다(Pandiselvam 등 2022; Tian 등 2023). 따라서 향후 연구에서는 더 다양한 유전적 배경과 재배 환경, 생육 조건에서 얻은 시료를 활용하여 보정 집단의 범위를 확대하며, 검량식 교정, 스펙트럼 전처리 최적화 등의 추가 연구가 필요하다. 이를 통해 NIR 예측 모델의 신뢰성과 적용 범위를 한층 더 확대할 수 있을 것이다.

### 요약 및 결론

본 연구는 고구마의 기능성 성분인 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 항산화 활성(DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성)을 신속하고 비파괴적으로 예측하기 위해 근적외선 분광법(NIR)을 기반으로 한 검량식을 개발하고자 하였다. 실험실 분석 결과, 고구마 473종 유전자원의 총 폴리페놀의 함량은 4.67~2,419 mg GAE/100g(CV 74.26%)이며, 총 플라보노이드는 7.71~1,057.67 mg CE/100g(CV 122.88%)이었다. DPPH 라

디칼 소거 활성의 경우 7.83~532.56 mg TE/100g(CV 111%), ABTS 라디칼 소거 활성은 11.84~615.87 mg TE/100g(CV 70.02%)으로 자원 간 넓은 변이와 높은 다양성을 나타내었다. NIR 스펙트럼(400~2,500 nm)은 전처리 후 MPLS(modified partial least squares) 회귀분석을 통해 검량식을 개발하였다. 교차 검증 결과, 총 폴리페놀의  $R^2_{ev}$ 는 0.895이며, 총 플라보노이드는 0.940이었다. DPPH 라디칼 소거 활성의 경우 0.955이며, ABTS 라디칼 소거 활성은 0.940으로 모두 높은 예측력을 보여주었다. 외부 검증에서는  $R^2_{ev}$ 가 0.623~0.726, RPD가 1.58~2.13으로 나타나, 본 모델이 대규모 자원의 스크리닝 및 구분에 실용적으로 적용할 수 있음을 입증하였다. 다만, 정량 분석 정확도 향상을 위해 추가적인 개선이 필요하며, 향후 연구에서 다양한 유전적 배경과 재배 환경의 시료를 반영한 모델 개선이 요구된다. 본 연구를 요약하면 NIR 분광법이 고구마의 기능성 품질을 신속하고 비파괴적으로 평가하고, 고부가가치 품종 선별을 위한 효과적인 도구로 활용될 수 있음을 시사한다.

### 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 시험연구사업(과제번호: PJ0167880 32025) 지원 및 2025년도 농촌진흥청 국립식량과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어진 것임.

### References

- Amankwaah VA, Williamson S, Reynolds R, Ibrahim R, Pecora KV, Zhang X, Olukolu BA, Truong VD, Carey E, Zum Felde T, Ssali R, Craig Yench G. 2024. Development of NIRS calibration curves for sugars in baked sweetpotato. *J Sci Food Agric* 104:4801-4807
- Bovell Benjamin AC. 2007. Sweet potato: A review of its past, present, and future role in human nutrition. *Adv Food Nutr Res* 52:1-59
- Camel Lagnika ARS, Nsor-Atindana J, Amoussa AMO, Lagnika L. 2024. Antioxidant activity and nutritional potential of the most cultivated sweet potato varieties in Benin. *Agric Biol Res* 40:1311-1317
- dos Santos CAT, Lopo M, Páscoa RNMJ, Lopes JA. 2013. A review on the applications of portable near-infrared

- spectrometers in the agro-food industry. *Appl Spectrosc* 67:1215-1233
- Escuredo O, Seijo MC, Salvador J, González-Martín MI. 2013. Near infrared spectroscopy for prediction of antioxidant compounds in the honey. *Food Chem* 141:3409-3414
- Folli GS, Santos LP, Santos FD, Cunha PHP, Schaffel IF, Borghi FT, Barros IHAS, Pires AA, Ribeiro AVFN, Romão W, Filgueiras PR. 2022. Food analysis by portable NIR spectrometer. *Food Chem Adv* 1:100074
- Font R, Del Río M, Fernández-Martínez JM, de Haro-Bailón A. 2004. Use of near-infrared spectroscopy for screening the individual and total glucosinolate contents in Indian mustard seed (*Brassica juncea* L. Czern. & Coss.). *J Agric Food Chem* 52:3563-3569
- Guo T, Dai L, Yan B, Lan G, Li F, Li F, Pan F, Wang F. 2021. Measurements of chemical compositions in corn stover and wheat straw by near-infrared reflectance spectroscopy. *Animals* 11:3328
- Hwang EJ, Yu GD, Park YJ, Jang GE, Song YS, Lee HU, Woo KS. 2024. Quality characteristics of dried vegetables using sweet potato petioles according to different cultivars. *Korean J Food Nutr* 37:388-396
- Kaur S, Singh N, Dagar P, Kumar A, Jaiswal S, Singh BK, Bhardwaj R, Chand Rana J, Riar A. 2024a. Comparative analysis of modified partial least squares regression and hybrid deep learning models for predicting protein content in perilla (*Perilla frutescens* L.) seed meal using NIR spectroscopy. *Food Biosci* 61:104821
- Kaur S, Singh N, Tomar M, Kumar A, Godara S, Padhi SR, Rana JC, Bhardwaj R, Singh BK, Riar A. 2024b. NIRS-based prediction modeling for nutritional traits in perilla germplasm from NEH region of India: Comparative chemometric analysis using mPLS and deep learning. *J Food Meas Charact* 18:9019-9035
- Kim HS, Lee CJ, Kim SE, Ji CY, Kim ST, Kim JS, Kim S, Kwak SS. 2018. Current status on global sweetpotato cultivation and its prior tasks of mass production. *J Plant Biotechnol* 45:190-195
- Kim YH, Ahn HK, Lee ES, Kim HD. 2008. Development of prediction model by NIRS for anthocyanin contents in black colored soybean. *Korean J Crop Sci* 53:15-20
- Kwak CS, Lee KJ, Chang JH, Park JH, Cho JH, Park JH, Kim KM, Lee MS. 2013. *In vitro* antioxidant, anti-allergic and anti-inflammatory effects of ethanol extracts from Korean sweet potato leaves and stalks. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42:369-377
- Lee J, Kim SU, Lee MH, Kim JI, Oh EY, Kim SW, Kim MY, Park JE, Cho KS, Oh KW. 2022. Establishment of a nondestructive analysis method for lignan content in sesame using near infrared reflectance spectroscopy. *Korean J Crop Sci* 67:61-66
- Li M, Jang GY, Lee SH, Woo KS, Sin HM, Kim HS, Lee JS, Jeong HS. 2012. Chemical compositions and antioxidant activities of leaves and stalks from different sweet potato cultivars. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41:1656-1662
- Lu G, Huang HH, Zhang DP. 2006. Application of near-infrared spectroscopy to predict sweetpotato starch thermal properties and noodle quality. *J Zhejiang Univ Sci B* 7:475-481
- Makori SI, Mu TH, Sun HN. 2020. Total polyphenol content, antioxidant activity, and individual phenolic composition of different edible parts of 4 sweet potato cultivars. *Nat Prod Commun* 15:1-12
- Musilová J, Franková H, Fedorková S, Lidiková J, Vollmannová A, Sulířová K, Árvay J, Kasal P. 2024. Comparison of polyphenols, phenolic acids, and antioxidant activity in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) tubers after heat treatments. *J Agric Food Res* 18:101271
- Oberholzer S, Summerauer L, Steffens M, Ifejika Speranza C. 2024. Best performances of visible - near-infrared models in soils with little carbonate: a field study in Switzerland. *Soil* 10:231-249
- Padhi SR, John R, Bartwal A, Tripathi K, Gupta K, Wankhede DP, Mishra GP, Kumar S, Rana JC, Riar A, Bhardwaj R. 2022. Development and optimization of NIRS prediction models for simultaneous multi-trait assessment in diverse cowpea germplasm. *Front Nutr* 9:1001551
- Pandiselvam R, Prithviraj V, Manikantan MR, Kothakota A, Rusu AV, Trif M, Mousavi Khaneghah A. 2022. Recent advancements in NIR spectroscopy for assessing the quality and safety of horticultural products: A comprehensive

- review. *Front Nutr* 9:973457
- Park W, Kim TH, Lee HU, Lee IB, Kim SJ, Roh JH, Chung MN. 2021. Yield of tuber roots and functional substances according to the planting interval and cultivation period in sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.). *Korean J Crop Sci* 66:383-391
- Páscoa RNMJ, Pinto C, Rego L, Silva JR, Tiritan ME, Cidade H, Almeida IF. 2024. Application of NIR spectroscopy for the valorisation of cork by-products: A feasibility study over the screening and discrimination of chemical compounds of interest. *Pharmaceuticals* 17:180
- Rumbaoa RGO, Cornago DF, Geronimo IM. 2009. Phenolic content and antioxidant capacity of Philippine sweet potato (*Ipomoea batatas*) varieties. *Food Chem* 113:1133-1138
- Tang C, Jiang B, Ejaz I, Ameen A, Zhang R, Mo X, Li M, Wang Z. 2024. High-throughput near-infrared spectroscopy analysis of nutritional composition in sweet potato stem tips. *Microchem J* 205:111267
- Tian W, Li Y, Guzman C, Ibba MI, Tilley M, Wang D, He Z. 2023. Quantification of food bioactives by NIR spectroscopy: Current insights, long-lasting challenges, and future trends. *J Food Compos Anal* 124:105708
- Tian XY, Aheto JH, Bai JW, Dai C, Ren Y, Chang X. 2020. Quantitative analysis and visualization of moisture and anthocyanins content in purple sweet potato by Vis - NIR hyperspectral imaging. *J Food Process Preserv* 45:e15128
- Tomar M, Bhardwaj R, Kumar M, Singh SP, Krishnan V, Kansal R, Verma R, Yadav VK, Dahuja A, Ahlawat SP, Chand Rana J, Satyavathi CT, Praveen S, Sachdev A. 2021. Development of NIR spectroscopy based prediction models for nutritional profiling of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br: A chemometrics approach. *LWT-Food Sci Technol* 149:111813
- Wang S, Nie S, Zhu F. 2016. Chemical constituents and health effects of sweet potato. *Food Res Int* 89:90-116
- Woo KS, Seo HI, Lee YH, Kim HY, Ko JY, Song SB, Lee JS, Jung KY, Nam MH, Oh IS, Jeong HS. 2012. Antioxidant compounds and antioxidant activities of sweet potatoes with cultivated conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 519-525
- Zaukuu JLZ, Mensah S, Mensah ET, Akomanin-Mensah F, Wiredu S, Kovacs Z. 2024. Combining NIR spectroscopy with chemometrics for discriminating naturally ripened banana and calcium carbide ripened banana. *npj Sci Food* 8:86

---

Received 27 October, 2025  
 Revised 06 November, 2025  
 Accepted 18 November, 2025

## 효소처리에 따른 자색고구마 기능성 성분 추출 특성

†황엄지 · 장가은\* · 유경단 · 박유진 · 김태화 · 박 원 ·  
이교휘 · 안종욱 · 정미남\*\* · 이형운\*\* · 우관식\*\*

농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사, \*농촌진흥청 국립식량과학원 전문연구원,  
\*\*농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관

### Effect of Enzymatic Treatment on the Extraction of Functional Compounds from Purple Sweetpotato

†Eom-ji Hwang, Gaeun Jang\*, Gyeong-dan Yu, You-jin Park, Tae Hwa Kim, Won Park,  
Kyohwui Lee, Jonguk An, Mi Nam Chung\*\*, Hyeong-Un Lee\*\*, and Koan Sik Woo\*\*

Researcher, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea

\*Master's Researcher, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea

\*\*Senior Researcher, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea

#### Abstract

This study explored how enzyme type (cellulase and pectinase), concentration, and mixing ratio influence the functional compounds and antioxidant activities of purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). The enzyme treatment significantly impacted all measured parameters. At a cellulase concentration of 30 units, the total anthocyanin content reached 399.4 mg/100g dry weight (DW), representing a 163% increase compared to the control (151.6 mg/100g DW). Total polyphenol (1,799.7 mg GAE/100g DW) and flavonoid (475.3 mg CE/100g DW) contents also peaked under these conditions, while higher enzyme concentrations or increased pectinase ratios reduced extraction efficiency. The highest ABTS radical scavenging activity was noted at 30 units of cellulase (954.0 mg TE/100g DW) and at 80 units in a combined treatment of cellulase (2) to pectinase (1) (927.2 mg TE/100g DW), suggesting that moderate enzyme synergy enhances antioxidant release. Conversely, DPPH activity decreased with higher enzyme concentrations, with all combined treatments yielding lower results than the control. Overall, the optimal condition for enhancing both functional compound extraction and antioxidant activity in purple sweet potato was identified as a single treatment with cellulase at 30 units.

Key words: purple sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.), cellulase, pectinase, anthocyanin, polyphenol, antioxidant activity

#### 서 론

자색고구마(*Ipomoea batatas* L.)는 특유의 자색 색소 외에도 폴리페놀, 플라보노이드, 안토시아닌 등 다양한 생리활성 물질을 풍부하게 함유하고 있어 기능성 식품 소재로서 높은 잠재력을 지닌 작물로 알려져 있다(Truong 등, 2010; He 등 2016). 이러한 페놀계 화합물은 체내의 활성산소종을 제거하거나, 금속이온 결합 억제 효과를 통해 산화 스트레스를 억제

해 항산화, 항염증, 항비만, 항당뇨, 항암 등 다양한 생리활성을 나타내는 것으로 보고되었다(Islam 등 2002; Yoshimoto 등 2002; Kurata 등 2007; Wang 등 2010; Lee 등 2015).

특히 자색고구마 유래 안토시아닌은 다른 식물색소에 비해 열, pH, 빛 등에 대한 안정성이 높고, 가공 후에도 잔존율이 높은 특성을 가져, 식품산업에서 천연 색소 및 기능성 첨가물로 널리 주목받고 있다(He 등 2016). 또한 자색고구마는 일반 고구마에 비해 항산화 활성과 생리활성 물질 함량이 높

† Corresponding author: Eom-ji Hwang, Researcher, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea. Tel: +82-61-450-0144, Fax: +82-61-453-0085, E-mail: umji0416@korea.kr

으며, 품종·재배조건·가공방법 등에 따라 화학조성과 생리활성이 크게 달라진다고 보고되어, 최적 가공조건 확립의 중요성이 강조되고 있다.

최근 국내에서도 기능성과 가공적성이 우수한 자색고구마 신품종 개발이 활발히 이루어지고 있다. 그중 ‘보다미’는 국립식량과학원에서 2025년 육성한 품종으로 선명한 자색을 띠며, 안토시아닌 색소가 풍부하고, 조직이 균일하여 건조·분말·페이스트 등 다양한 형태의 가공에 적합한 특성을 지닌다. 또한 색소 안정성과 저장성이 높아 기능성 식품 소재 및 천연 색소원료로의 활용 가능성이 크다고 평가된다(KSVS 2025). 따라서 ‘보다미’는 자색고구마의 효소 전처리 조건에 따른 기능성 성분 추출 특성을 규명하기 위한 연구 소재로 적합한 품종으로 판단된다.

그러나 기존 연구에서 생고구마 기준 안토시아닌 함량은 약 10~100 mg/g 수준으로(Truong 등 2010), 고분자 다당류와 단백질로 구성된 세포벽 구조가 치밀하여 일반적인 용매 추출만으로는 기능성분의 회수율이 낮은 한계가 있다. 이에 따라 자색고구마로부터 기능성분을 효율적으로 회수하기 위해 물리적·화학적·생물학적 보조 추출 기술이 적용되고 있다. 물리적 방법으로는 초음파 보조 추출(He 등 2016; Zhu 등 2017)과 고압 이산화탄소 추출(Lao 등 2020) 등이 있고, 생물학적 방법으로는 효소 보조 추출(Zhang 등 2020)이 대표적이다. 초음파는 용매 내에서 공동화 현상을 유도하여 세포벽을 물리적으로 파괴하고 용매 침투를 촉진시켜 성분의 용출을 증가시킨다. 반면, 효소 추출법은 펙틴, 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 등 세포벽 다당류를 선택적으로 분해하여 내부 성분의 확산과 용해를 유도하는 화학적 접근으로, 낮은 온도에서도 작용 가능하고 용매 사용량이 적어 친환경적이며 비가열 공정에 적합한 기술로 평가된다(Biz 등 2016; Ly 등 2018).

특히 cellulase와 pectinase는 세포벽 다당류의 구조적 장벽을 약화시켜 안토시아닌, 폴리페놀, 플라보노이드 등 세포 내 결합 형태의 기능성 물질의 용출을 촉진하는 것으로 알려져 있다. 또한 두 효소를 병용하거나 일정 비율로 혼합하면 단일 효소보다 더 높은 추출 효율과 항산화 활성을 얻을 수 있다는 연구가 보고되었다(Wang 등 2022). 그러나 이러한 연구들은 주로 특정 색소의 수율 개선에 초점을 두고 있어, 효소 처리 조건이 자색고구마 내 전체 기능성 성분 및 항산화 활성에 미치는 종합적 영향에 대한 연구는 상대적으로 부족하다.

따라서 본 연구에서는 자색고구마를 대상으로 효소 종류(cellulase, pectinase), 농도 및 혼합비율에 따른 기능성 성분

함량(총 안토시아닌, 총 폴리페놀, 총 플라보노이드)과 항산화 활성(DPPH, ABTS)의 변화를 분석하였다. 이를 통해 효소 전처리에 따른 자색고구마의 기능성분 용출 경향을 규명하고, 기능성 소재로서의 품질 향상과 효율적인 추출공정 확립을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험재료

본 실험에는 자색고구마(*Ipomoea batatas* L.) ‘보다미’(cv. Bodami) 품종을 사용하였다. 고구마는 2024년 10월 중순에 전남 무안 소재의 국립식량과학원 소득식량작물연구소에서 수확하였으며, 시료는 세척 후 동결건조하여 Micro Hammer-Cutter Mill(Cullati MFC grinder CZ 13, Culatti AG, Zurich, Switzerland)을 이용하여 80 mesh로 분쇄하여 분말화한 후, 효소 처리 및 추출 실험에 이용하였다.

### 2. 효소처리

효소 전처리는 Cellulase(*Aspergillus niger* 유래, 0.8 unit/mg, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)와 Pectinase(*Aspergillus niger* 유래, ChemCruz, Santa Cruz Biotechnology, USA)를 사용하였다. 동결건조 분말 1 g을 0.05 M 아세트산/아세트산나트륨 완충용액(pH 4.5) 15 mL에 현탁한 후 효소를 첨가하여 반응을 개시하였다. 사용된 Cellulase는 최적 pH가 4.0이고 최적 온도가 45~50°C 범위로 보고되어 있으며(Okada G 1985), *A. niger* 유래 pectinase 또한 pH 3.5~5.0 구간에서 높은 활성을 나타내고 40~50°C에서 안정적인 활성을 유지하는 것으로 알려져 있다(Mat Jalil & Ibrahim 2021). 이에 본 연구에서는 두 효소의 공통 활성 범위를 고려하여 반응 조건을 pH 4.5, 45°C로 설정하였다. 단일 처리 실험에서는 효소 농도를 10, 20 및 30 unit/g-db 수준으로 적용하였고, 복합 처리 실험에서는 총 효소량을 60, 70 및 80 unit/g-db로 하고, cellulase와 pectinase의 비율을 2:1, 1:1 및 1:2로 조합하였다. 반응은 45°C에서 45 분간 250 rpm으로 교반하며 차광 조건에서 수행하였다. 반응 종료 후 pH를 3.0으로 조정하여 반응을 정지시키고, 90~95°C에서 1~2분간 가열하여 효소를 불활성화한 뒤 즉시 아이스에서 냉각하였다.

### 3. 추출방법

효소 불활성화 후 시료는 70% 에탄올(구연산 0.2% 함유,

pH 3.0)을 용매로 하여 시료:용매비 1:15(w/v) 조건에서 30°C에서 30분간 교반하여 추출하였다. 에탄올 용매의 pH를 3.0으로 조정하는 것은 안토시아닌 및 페놀 화합물이 산성 조건(pH 1~3)에서 가장 안정하게 존재하며, 산화적 분해가 최소화되기 때문이다(Giusti와 Wrolstad 2001), 저 pH 환경은 플라비늄 양이온 구조를 유지하여 색소의 추출 효율을 높이는 것으로 알려져 있다. 대조구(CTL)는 효소를 첨가하지 않은 것을 제외하고, 완충용액 현탁, 반응 온도(45°C), 반응 시간(45분), pH 3.0 조정, 효소 불활성화(90~95°C, 1~2분) 등 모든 전처리 조건을 실험군과 동일하게 수행하였다. 이후 효소 처리군과 동일한 조건(70% 에탄올, pH 3.0, 1:15 w/v, 30°C 30분 교반)으로 추출을 진행하였다. 추출 후 시료는 10,000×g에서 원심분리하여 상등액을 회수하였고, 회수된 상등액을 총 안토시아닌, 총 폴리페놀, 총 플라보노이드 및 항산화 활성 분석에 사용하였다.

#### 4. 총 안토시아닌 함량

총 안토시아닌 함량 측정은 pH differential method를 이용하여 측정하였다(Lee 등 2020). 효소 전처리 후 얻은 추출액을 0.025 M potassium chloride buffer(pH 1.0)와 0.40 M sodium acetate buffer(pH 4.5) 950 µL에 각각 혼합하여 15분간 발색시켰다. 반응액의 흡광도는 UV/Vis spectrophotometer(Libra S22, Biochrom, Cambridge, UK)를 이용하여 520 nm와 700 nm에서 측정하였다. pH 1.0과 pH 4.5 용액 간의 흡광도 차이를 계산하여 아래 식에 따라 총 안토시아닌 함량을 산출하였으며, 결과는 시안닌-3-글루코사이드(cyanidin-3-glucoside, C3G) 등가(mg C3G eq./100g DW)로 표시하였다.

$$\text{총 안토시아닌 함량 (cyanidin-3-glucoside equivalents, mg/L)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1,000}{\epsilon \times l}$$

$$A = (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}4.5}$$

$$MW \text{ (Molecular weight)}$$

$$= 449.2 \text{ g/mol (cyanidin-3-glucoside의 1 mol 당 분자량)}$$

$$DF \text{ (Dilution factor)=희석배수}$$

$$\epsilon = 26,900 \text{ molar absorptivity}$$

#### 5. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

효소 처리 및 에탄올 추출을 통해 얻은 추출액을 분석 시료로 사용하였다. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 Kim 등

(2018)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 총 폴리페놀 함량 분석은 추출액 50 µL에 2% sodium carbonate(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 용액 1 mL를 첨가하여 3분간 반응시킨 후, 50% Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich) 50 µL를 첨가하였다. 혼합액을 30분간 암조건에서 방치한 뒤, UV/VIS 분광광도계(Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 사용하여 735 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 gallic acid(Sigma-Aldrich)를 사용하여 검량선을 작성하였으며, 총 폴리페놀 함량은 mg gallic acid equivalents(GAE)/100g dry weight로 나타내었다. 총 플라보노이드 함량은 추출액 250 µL에 증류수 1 mL와 5% sodium nitrite(NaNO<sub>2</sub>; Sigma-Aldrich) 75 µL를 첨가하여 5분간 반응시킨 뒤, 10% aluminum chloride hexahydrate(AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O; Sigma-Aldrich) 150 µL를 가하여 6분간 반응하였다. 이후, 1 N sodium hydroxide(NaOH; Sigma-Aldrich) 500 µL를 첨가하고 11분 후 혼합액의 흡광도를 510 nm에서 측정하였다. 표준물질로 catechin(Sigma-Aldrich)을 사용하여 검량선을 작성하였으며, 총 플라보노이드 함량은 mg catechin equivalents(CE)/100g dry weight로 환산하였다.

#### 6. Radical 소거활성

효소 처리 및 추출을 통해 얻은 시료 추출액의 항산화 활성은 DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich) 및 ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich) radical 소거능을 측정하여 평가하였다(Hwang 등 2024). DPPH radical 소거활성은 0.2 mM DPPH 용액(99.9% 에탄올에 용해) 0.8 mL에 시료 추출액 0.2 mL를 첨가하여 암소에서 30분간 반응시킨 후, 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. Trolox(Sigma-Aldrich)를 표준물질로 하여 검량선을 작성하였으며, 결과는 mg Trolox equivalent antioxidant capacity(TE)/100g dry weight로 나타내었다. ABTS radical 소거활성은 7.4 mM ABTS와 2.6 mM potassium persulfate(Sigma-Aldrich) 혼합액을 24시간 암소에서 반응시켜 ABTS<sup>+</sup> 용액을 제조한 후, 이를 735 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 에탄올로 희석하여 사용하였다. 희석된 ABTS 용액 1 mL에 시료 추출액 50 µL를 첨가하여 30분간 반응시킨 뒤 흡광도를 측정하였다. Trolox를 표준물질로 검량선을 작성하였으며, 결과는 mg TE/100g dry weight로 환산하였다.

#### 7. 통계분석

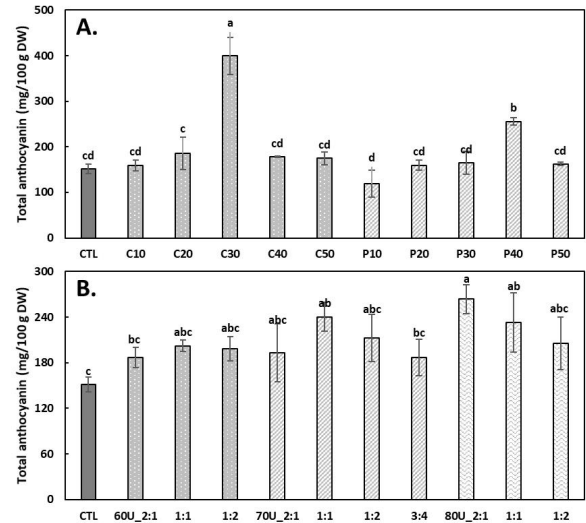
효소 처리 조건에 따른 자색고구마의 기능성 성분 및 항산

화 활성의 변화를 검정하기 위해, Levene의 등분산성 검정 (Levene's test for equality of variances)을 실시하여 데이터의 분산 동질성을 확인하였다. 효소 종류와 처리 농도 간의 요인 효과 및 상호작용을 파악하기 위해 이원분산분석 (two-way ANOVA)을 수행하였으며, 효소와 농도 간의 상호작용 효과에서 유의한 차이가 나타난 경우, 각 요인 내 수준 별로 일원분산분석(one-way ANOVA)을 추가로 실시하였다. 유의성이 확인된 항목에 대해서는 Tukey의 다중비교검정 (Tukey's HSD test)을 통해 평균 간 차이를 비교하였다. 또한 기능성 성분(TAC, TPC, TFC)과 항산화 활성(DPPH, ABTS) 간의 관계를 평가하기 위해 Pearson 상관분석(Pearson correlation analysis)을 수행하여 상관계수( $r$ )를 산출하였다. 모든 통계분석은 STATISTICA ver. 7.0(StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA)을 이용하여 수행하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 총 안토시아닌 함량

Cellulase 또는 Pectinase 단일처리에 따른 자색고구마의 총 안토시아닌 함량 변화를 분석한 결과, 효소의 종류와 농도에 따라 뚜렷한 차이가 나타났다(Fig. 1). Cellulase 처리구에서는 대조구(151.6 mg/100g DW)에 비해 대부분의 처리구에서 함량이 증가하였으며, 특히 cellulase 30 unit 처리구에서 399.4 mg/100g DW로 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 대조구 대비 약 163% 증가한 수준으로, 적정 농도의 cellulase가 세포벽의 분해를 통해 안토시아닌의 추출을 촉진한 결과로 판단된다. 식물 세포벽은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 펙틴 등으로 구성되어 있으며, 이는 세포 내 존재하는 색소 및 페놀성 화합물의 용출을 저해하는 주요 장벽으로 알려져 있다. 효소보조 추출 기술은 이러한 세포벽 구조를 선택적으로 가수분해하여 세포 내 유효성분의 확산 및 용매 침투를 용이하게 하며, 특히 cellulase와 pectinase는 식물조직의 투과성을 증가시켜 플라보노이드 및 안토시아닌과 같은 색소류의 추출 효율을 향상시킨다고 보고된 바 있다(Streimikyte 등 2022). Swer 등 (2018)은 네팔체리(*Prunus nepalensis* L.)로부터의 안토시아닌 추출 시 cellulase 처리가 무처리구에 비해 약 16% 높은 수율을 보였다고 보고하였으며, Kapasakalidis 등(2009)은 블랙커런트 착즙 부산물에서 cellulase 처리가 항산화 페놀 화합물의 회수율을 유의적으로 증가시켰다고 밝혔다. 본 연구의 결과 또한 이러한 경향과 일치하며, 세포벽 분해효소의 작용으로



**Fig. 1.** Total anthocyanin content of purple sweetpotato extracts treated with different enzyme types and concentrations. (A) Single enzyme treatments using cellulase (C) or pectinase (P) at various enzyme concentrations. (B) Combined enzyme treatments using cellulase:pectinase (C:P) mixtures with different enzyme ratios and total enzyme units. CTL, control (no enzyme treatment); U, enzyme activity unit. Different letters above the bars indicate significant differences according to Tukey's HSD test ( $p < 0.05$ ).

색소의 유리가 촉진되어 안토시아닌 함량이 증가한 것으로 해석된다. 그러나 효소 농도가 40 unit(178.3 mg/100g DW) 이상으로 높아질 경우 오히려 총 안토시아닌 함량이 감소하였다. 이는 과도한 효소 첨가가 세포벽의 과분해를 유발하여 세포 내 안토시아닌이 불안정화되거나, 산화적 분해가 촉진되었기 때문으로 판단된다. Streimikyte 등(2022)은 효소 반응의 효율이 효소 활성, 기질비율, 반응시간 등의 변수에 따라 달라지며, 과도한 반응 조건은 오히려 특정 성분의 분해나 산화를 초래할 수 있다고 보고하였다. 따라서 자색고구마의 안토시아닌 추출 효율을 극대화하기 위해서는 효소의 종류뿐 아니라 농도 및 반응시간의 정밀한 최적화가 필요하다.

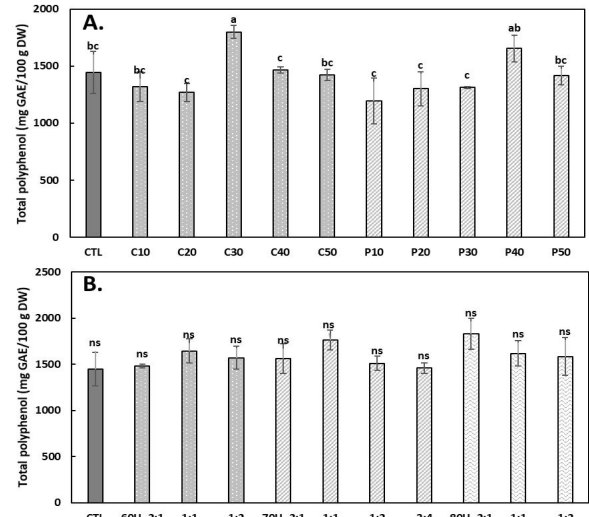
한편, pectinase 단일처리에서는 전반적으로 cellulase 처리구보다 함량이 낮았으나, pectinase 40 unit 처리구에서 255.8 mg/100g DW(대조구 대비 약 69% 증가)로 가장 높은 값을 나타냈다. 이러한 결과는 효소의 종류와 농도에 따라 세포벽 다당류의 분해 양상과 안토시아닌의 안정성이 달라짐을 의미한다.

효소 복합처리 결과, 모든 처리구에서 대조구에 비해 총 안토시아닌 함량이 증가하였다(Fig. 1). Cellulase와 pectinase를 2:1, 1:1 및 1:2 비율로 혼합하여 60, 70 및 80 unit 수준으로 처리하였을 때, 효소 농도 및 혼합비에 따라 뚜렷한 차이가 나타났다. 특히 80 unit의 2:1 혼합비 처리구에서 263.8 mg/100g DW로 대조구 대비 약 74% 증가하여 복합처리 증가 가장 높은 안토시아닌 함량을 나타냈다. 이는 효소의 혼합처리에 의해 세포벽 다당류의 분해가 촉진되어 안토시아닌 용출이 향상된 것으로 보이나, 그 효과는 cellulase 단일처리에 비해 제한적인 수준이었다. 반면, pectinase 비율이 높은 혼합비에서는 총 기능성 성분 함량이 오히려 감소하는 경향을 보였다. 이는 과도한 펙틴 가수분해로 세포벽 구조가 지나치게 파괴되면서 조직 안정성이 저하되고, 이에 따라 항산화 물질 일부가 산화되거나 용출 중 손실될 가능성이 있는 것으로 판단된다. 이러한 현상은 식물 세포벽 다당류의 과잉 가수분해가 색소 및 페놀성 화합물의 구조적 안정성을 저해할 수 있다는 선행연구 결과와도 일치한다. 특히 Versari 등(1997)은 딸기와 라즈베리 주스의 효소 처리 과정에서 pectinase 내  $\beta$ -글루코시다아제 활성에 의해 안토시아닌 함량이 약 20% 감소함을 보고하였으며, 이는 효소의 과도한 반응이 색소 분해 및 갈변을 유도할 수 있음을 시사한다.

종합적으로, cellulase 30 unit 처리가 가장 높은 총 안토시아닌 함량을 보였으며, 복합처리의 경우 cellulase와 pectinase를 2:1로 혼합한 80 unit 처리 조건에서 비교적 높은 함량이 확인되었다. 따라서 자색고구마의 안토시아닌 추출 효율은 효소의 복합적 사용보다 cellulase의 적정 농도 조절이 더 큰 영향을 미치는 핵심 요인으로 판단된다. 이러한 결과는 효소 보조추출 기술의 일반적 경향과도 일치하며, 적정 수준의 세포벽 분해가 색소 유리에 유리하되 과도한 효소 반응은 오히려 추출 효율 저하를 초래할 수 있음을 보여준다.

## 2. 총 폴리페놀 함량

효소 단일 및 복합처리에 따른 자색고구마의 총 폴리페놀 함량을 분석한 결과, 효소의 종류와 농도, 혼합비에 따라 뚜렷한 차이가 확인되었다(Fig. 2). Cellulase 단일처리의 경우 효소 농도 증가에 따라 함량이 상승하다가 일정 수준 이후 감소하는 경향을 보였으며, 특히 30 unit 처리구에서 1,799.68 mg GAE/100g DW로 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 대조구(1,445.96 mg GAE/100g DW) 대비 약 24% 증가한 수준이었다. 효소 농도가 40 unit 이상으로 높아질 경우에는 감소하는 경향



**Fig. 2.** Total polyphenol content of purple sweetpotato extracts treated with different enzyme types and concentrations. (A) Single enzyme treatments using cellulase (C) or pectinase (P) at various enzyme concentrations. (B) Combined enzyme treatments using cellulase:pectinase (C:P) mixtures with different enzyme ratios and total enzyme activity levels. CTL, control (no enzyme treatment); U, enzyme activity unit. Different letters above the bars indicate significant differences according to Tukey's HSD test ( $p < 0.05$ ), and "ns" indicates no significant difference.

을 보여, 과도한 효소 첨가가 세포벽의 과분해를 초래하여 추출 효율이 저하된 것으로 판단된다. Stanek-Wandzel 등(2024)은 포도박을 대상으로 효소보조추출을 수행한 결과, Cellulase 처리에서 효소 농도가 일정 수준까지 증가할 때 총 폴리페놀 함량이 증가하였으나, 과도한 농도에서는 오히려 감소하는 경향을 보였다고 보고하였으며, 이는 본 연구의 결과와 일치한다.

Pectinase 단일처리에서는 40 unit 조건에서 1,654.43 mg GAE/100g DW(약 14% 증가)로 가장 높은 값을 나타내었으며, 전반적으로 cellulase 처리보다 낮은 수준이었다. Pectinase는 주로 세포간층의 펙틴을 가수분해하여 세포 간 결합을 완화시키지만, 고농도 조건에서는 과도한 분해로 세포벽 구조가 붕괴되고, 용출된 폴리페놀이 산화나 중간 생성물과의 상호작용에 의해 불안정화될 수 있다. 이와 같은 경향은 효소 반응 효율이 효소 활성, 기질비율, 반응시간 등에 따라 달라지며, 과도한 반응조건에서는 오히려 수율이 저하될 수 있다고

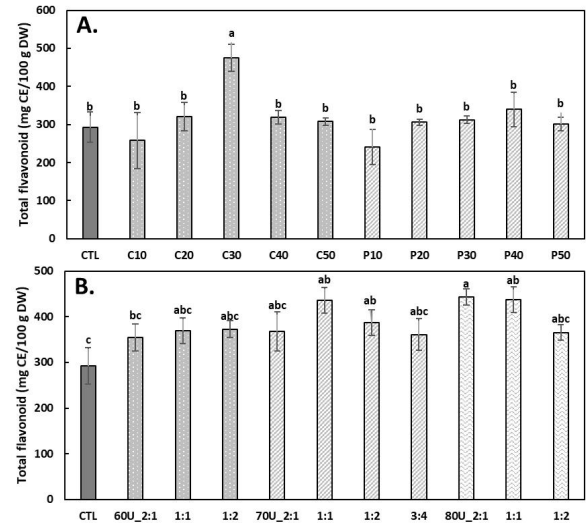
한 Streimikyte 등(2022)의 보고와 유사하다.

한편, 효소 복합처리 결과, 모든 처리구에서 대조구보다 높은 폴리페놀 함량이 확인되었으며, 효소 농도 및 혼합비에 따라 차이가 뚜렷하였다. 특히 Cellulase:Pectinase=2:1 혼합비, 80 unit 처리구에서 1,829.83 mg GAE/100g DW(약 26.6% 증가)로 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 두 효소의 상보적 작용에 의해 세포벽 다당류의 부분 분해가 일어나면서 폴리페놀의 용출이 촉진된 결과로 판단된다. Kapasakalidis 등(2009)은 복합 효소를 이용한 식물성 소재의 폴리페놀 추출에서 Cellulase 우세 조합이 가장 높은 수율을 나타내며, 혼합비와 효소농도의 최적화가 중요하다고 보고하였다.

종합적으로, 자색고구마의 총 폴리페놀 함량은 cellulase 30 unit 단일처리와 cellulase:pectinase=2:1, 80 unit 복합처리 조건에서 가장 효율적으로 향상되었으며, 이는 세포벽 분해 효소의 상보적 작용이 결합형 폴리페놀의 용출을 촉진한 결과로 판단된다. 따라서 효소 보조 추출을 활용한 폴리페놀 추출 시, 효소의 종류 · 농도 · 혼합비를 정밀하게 조절하는 것이 식물 소재의 기능성 성분 회수율을 높이는 핵심 요인으로 생각된다.

### 3. 총 플라보노이드 함량

효소처리에 따른 자색고구마의 총 플라보노이드 함량을 분석한 결과, 모든 효소 처리구가 대조구(292.91 mg CE/100g DW)보다 높은 값을 나타냈다(Fig. 3). Cellulase 단일처리에서는 효소 농도가 증가함에 따라 플라보노이드 함량이 뚜렷하게 상승하다가 일정 수준 이후 감소하는 경향을 보였다. 특히 30 unit 처리구에서 475.28 mg CE/100g DW로 가장 높은 함량을 나타내었으며, 이는 대조구 대비 약 62% 증가한 수준이었다. Pectinase 단일처리에서도 유사한 경향을 보여, 40 unit 처리구에서 339.43 mg CE/100g DW(약 16% 증가)로 최대치를 보였으나, cellulase 처리보다는 전반적으로 낮은 수준이었다. 이러한 결과는 cellulase가 세포벽 내 셀룰로오스 결합망을 선택적으로 절단함으로써 세포 내 결합형 플라보노이드의 확산과 용출을 촉진한 데 기인한 것으로 판단된다 (Streimikyte 등 2022). 그러나 40 unit 이상에서는 오히려 함량이 감소하는 경향을 보였으며, 이는 효소 반응이 과도할 경우 세포벽 다당류의 과분해로 인해 세포 구조가 불안정화되고, 그 과정에서 방출된 페놀성 화합물 일부가 산화되거나 유실되었을 가능성이 있다(Kapasakalidis 등 2009; Laroze 등 2010; Stanek-Wandzel 등 2024). 즉, 효소 처리 농도가 일정 수준을 초과하면 오히려 색소 및 페놀류의 안정성이 저하될 수



**Fig. 3.** Total flavonoid content of purple sweetpotato extracts treated with different enzyme types and concentrations. (A) Single enzyme treatments using cellulase (C) or pectinase (P) at various enzyme concentrations. (B) Combined enzyme treatments using cellulase:pectinase (C:P) mixtures with different enzyme ratios and total enzyme activity levels. CTL, control (no enzyme treatment); U, enzyme activity unit. Different letters above the bars indicate significant differences according to Tukey's HSD test ( $p < 0.05$ ).

있음을 시사한다.

복합처리의 경우, 효소 혼합비와 총 효소 농도에 따라 플라보노이드 함량이 뚜렷하게 달라졌다. 60 unit 처리에서는 cellulase:pectinase=1:2 조건에서 372.63 mg CE/100g DW, 70 unit 처리에서는 1:1 조건에서 436.26 mg CE/100g DW(약 48.9% 증가)를 나타냈으며, 80 unit 2:1 혼합비에서는 443.64 mg CE/100g DW로 대조구 대비 약 51.4% 증가하여 가장 높은 함량을 보였다.

이러한 경향은 cellulase와 pectinase의 상보적 작용에 의해 세포벽 다당류가 부분적으로 분해되고, 이에 따라 조직 투과성과 용매 확산이 향상된 결과로 해석된다. 비슷하게, 가시오가피(*Acanthopanax senticosus*)에서 복합효소(cellulase + pectinase)를 병용했을 때 플라보노이드 회수율과 항산화 활성이 증가했다는 보고가 있으며(Liu 등 2021), 계자리풀(*Potentilla anserina* L.) 추출에서도 동일한 효소 병용 효과가 확인되었다(Guo 등 2023).

종합적으로, 자색고구마의 플라보노이드 추출 효율은 cellulase

30 unit 단일처리와 cellulase:pectinase=2:1, 80 unit 복합처리 조건에서 가장 높았다. 이는 효소의 적정 조합을 통해 세포벽 구조를 부분적으로 해체하면서도 색소성 플라보노이드의 안정성을 유지했기 때문으로 보인다. 따라서 효소보조추출 공정에서 효소 종류 · 혼합비 · 농도 간의 균형을 조절하는 것이 플라보노이드 회수를 향상의 핵심 요소로 판단된다.

#### 4. DPPH radical 소거 활성

효소 단일처리에 따른 자색고구마의 DPPH 라디칼 소거활성을 분석한 결과, 효소의 종류와 농도에 따라 유의한 차이가 나타났다(Table 1). 대조구의 활성은 168.04 mg TE/100g DW로 확인되었다. Cellulase 처리구에서는 효소 농도 10 unit에서 199.19 mg TE/100g DW로 가장 높은 활성을 보였으며, 이후 농도가 증가함에 따라 활성이 점차 감소하여 50 unit에서는 82.30 mg TE/100g DW로 크게 저하되었다. 이는 낮은 효소 농도에서는 세포벽의 부분적 분해로 항산화 물질의 용출이 촉진되지만, 고농도에서는 과도한 효소 반응으로 인한 성분 변성 또는 산화적 손실이 발생했기 때문으로 판단된다.

Pectinase 처리에서도 유사한 경향이 나타났으며, 10 unit 처리에서 185.66 mg TE/100g DW로 가장 높은 활성을 보인

후 효소 농도가 증가할수록 활성이 감소하였다. 이러한 결과는 두 효소 모두 낮은 농도에서 항산화 물질의 용출이 가장 효율적으로 이루어지며, 효소 반응 강도가 일정 수준을 초과하면 오히려 항산화 활성을 저하시킬 수 있음을 보여준다.

효소 복합처리군에서는 모든 처리 조건에서 대조구(168.04 mg TE/100g DW)에 비해 낮은 DPPH 라디칼 소거능이 확인되었다. 효소 혼합비나 총 효소량 증가에 따른 뚜렷한 향상 효과는 나타나지 않았으며, cellulase:pectinase=2:1 조합의 60 unit 조건에서 97.45 mg TE/100g DW로 상대적으로 높은 값을 보였을 뿐, 전반적으로 효소 농도가 증가할수록 활성이 감소하는 경향을 나타냈다. 이와 같은 결과는 복합 효소 간의 상호작용이 항상 항산화 활성 향상으로 이어지는 것은 아니라는 점을 시사한다.

일반적으로 효소 처리는 세포벽을 분해하여 기능성 성분의 용출을 증가시킬 수 있으나, 세포벽 구조가 과도하게 붕괴되면 용출된 안토시아닌 · 폴리페놀의 화학적 구조가 변형되거나 산화 반응이 촉진되어 라디칼 소거능이 감소할 수 있음이 보고된 바 있다(Chanioti 등 2016). 또한, 효소 반응 과정에서 발생할 수 있는 pH 변화나 미세 환경 내 산소 노출 증가 역시 안토시아닌과 페놀성 화합물의 구조적 안정성에 영향

**Table 1. DPPH radical scavenging activity of purple sweetpotato extracts treated with different enzyme types, concentrations, and enzyme ratios**

Treatment	DPPH radical scavenging activity (mg TE/100g DW)	Treatment	DPPH radical scavenging activity (mg TE/100g DW)	
	Single enzyme		Combined enzyme	
Control	168.04±5.66 <sup>ab</sup>	Control	168.04±5.66 <sup>a</sup>	
C 10U	199.19±10.14 <sup>a</sup>	60U	C2:P1	97.45±3.02 <sup>b</sup>
C 20U	182.72±17.13 <sup>ab</sup>		C1:P1	94.49±0.84 <sup>bc</sup>
C 30U	157.46±18.16 <sup>bc</sup>		C1:P2	85.64±3.11 <sup>cd</sup>
C 40U	111.07±14.85 <sup>de</sup>	70U	C2:P1	73.40±4.15 <sup>d</sup>
C 50U	82.30±9.63 <sup>e</sup>		C1:P1	81.49±1.39 <sup>de</sup>
P 10U	185.66±12.86 <sup>ab</sup>		C1:P2	66.42±1.14 <sup>fg</sup>
P 20U	152.79±12.09 <sup>bc</sup>	80U	C3:P4	75.14±5.59 <sup>ef</sup>
P 30U	160.14±8.92 <sup>bc</sup>		C2:P1	71.22±3.67 <sup>efg</sup>
P 40U	123.03±19.73 <sup>cd</sup>		C1:P1	75.49±1.90 <sup>def</sup>
P 50U	100.76±10.20 <sup>de</sup>	C1:P2	63.36±4.41 <sup>g</sup>	

<sup>1)</sup> Values are expressed as mean±SD (n=3).

<sup>2)</sup> <sup>a-g</sup>Different letters within each column indicate significant differences among treatments, as determined by Tukey's test ( $p<0.05$ ).

<sup>3)</sup> Abbreviations: C, cellulase; P, pectinase; U, unit of enzyme activity.

을 미쳐 항산화 반응성을 저하시킬 수 있는 것으로 알려져 있다(Ruenroengklin 등 2008).

따라서 복합효소 처리가 기능성 성분의 함량을 증가시킨다고 하더라도, 항산화 활성은 화합물의 구조적 안정성, 배당체/비배당체 전환, 산화 가능성 등에 의해 달라질 수 있다. 이에 따라 복합효소 공정에서는 효소 종류·농도뿐 아니라, 반응 시간·온도·pH 등 조건 최적화가 필수적이며, 단순히 효소량 증가가 항상 항산화 활성의 향상을 보장하지 않는다는 점을 확인할 수 있었다.

종합하면, 자색고구마의 DPPH 라디칼 소거활성은 낮은 농도의 효소(약 10 unit) 처리에서 가장 높았으며, 효소 농도 증가 시 활성이 감소하는 경향을 보였다. 이는 효소 반응이 세포벽을 적절히 분해해 항산화 물질의 용출을 촉진하는 동시에, 과도한 반응은 항산화 성분의 구조적 손상이나 산화로 이어질 수 있음을 보여준다.

### 5. ABTS radical 소거 활성

효소 처리에 따른 자색고구마의 ABTS 라디칼 소거활성을 분석한 결과, 효소의 종류와 농도에 따라 유의한 차이가 확인되었다(Table 2). 대조구의 활성은 776.12 mg TE/100g DW

로 나타났다. Cellulase 단일처리에서는 효소 농도 증가에 따라 활성이 상승하다가 30 unit 처리구에서 954.03 mg TE/100g DW로 가장 높은 활성을 보였으며, 대조구 대비 약 23% 증가하였다. 그러나 효소 농도가 50 unit로 증가하면 활성이 다시 감소하여, 과도한 효소 반응이 항산화 성분의 변성 또는 분해를 초래했을 가능성이 시사되었다.

Pectinase 단일처리에서는 농도 증가에 따라 활성이 완만히 상승하였으며, 40 unit 처리구에서 867.10 mg TE/100g DW로 가장 높은 활성을 보였다. 이와 같은 경향은 효소 종류에 따라 세포벽 구성성분의 분해 기작이 다르고, 각 효소의 반응에 따라 항산화 물질의 용출 효율이 달라진다는 점을 반영한다.

복합처리의 경우(Table 2), 효소 농도와 혼합비에 따른 활성이 뚜렷하게 구분되었다. 80 unit(cellulase:pectinase=2:1) 조건에서 927.17 mg TE/100g DW로 가장 높은 활성을 보였고, 70 unit(1:1) 조건에서도 912.91 mg TE/100g DW로 높은 활성이 확인되었다. 반면, pectinase 비율이 높은 혼합비(1:2, 3:4)에서는 활성이 낮게 나타나, 펙틴 과분해에 따른 세포 구조 불안정화와 항산화 화합물의 산화적 손실이 발생했을 가능성이 있다.

**Table 2. ABTS radical scavenging activity of purple sweetpotato extracts treated with different enzyme types, concentrations, and enzyme ratios**

Treatment	ABTS radical scavenging activity (mg TE/100g DW)	Treatment	ABTS radical scavenging activity (mg TE/100g DW)	
Single enzyme		Combined enzyme		
Control	776.12±62.14 <sup>b</sup>	Control	776.12±62.14 <sup>ab</sup>	
C 10U	762.81±35.46 <sup>c</sup>	60U	C2:P1	699.33±16.11 <sup>b</sup>
C 20U	819.29±62.44 <sup>b</sup>		C1:P1	778.63±59.11 <sup>ab</sup>
C 30U	954.03±31.77 <sup>a</sup>		C1:P2	810.13±84.24 <sup>ab</sup>
C 40U	804.81±6.86 <sup>b</sup>	70U	C2:P1	775.60±95.32 <sup>ab</sup>
C 50U	764.97±2.67 <sup>b</sup>		C1:P1	912.91±89.30 <sup>a</sup>
P 10U	629.19±74.77 <sup>b</sup>		C1:P2	836.24±28.14 <sup>ab</sup>
P 20U	793.51±12.32 <sup>b</sup>	80U	C3:P4	761.36±67.02 <sup>ab</sup>
P 30U	804.23±40.24 <sup>b</sup>		C2:P1	927.17±21.75 <sup>a</sup>
P 40U	867.10±24.90 <sup>ab</sup>		C1:P1	889.78±69.19 <sup>a</sup>
P 50U	787.56±40.62 <sup>b</sup>	C1:P2	756.13±44.35 <sup>ab</sup>	

<sup>1)</sup> Values are expressed as mean±SD (n=3).

<sup>2)</sup> <sup>a-c</sup>Different letters within each column indicate significant differences among treatments, as determined by Tukey's test ( $p<0.05$ ).

<sup>3)</sup> Abbreviations: C, cellulase; P, pectinase; U, unit of enzyme activity.

이러한 결과는 효소 간의 상보적 작용이 세포벽의 선택적 분해를 통해 항산화 물질의 용출 및 확산을 촉진한 결과로 해석된다. Stanek-Wandzel 등(2024)은 포도박에서 cellulase · pectinase 복합처리를 통해 총 페놀 및 ABTS 라디칼 소거활성이 유의적으로 향상된다고 보고하였다. Streimikyte 등(2022) 또한 효소보조추출 과정에서 효소 농도, 반응시간, 기질 특성이 적절히 조절되지 않으면 항산화 활성이 오히려 감소할 수 있음을 제시하였다.

따라서 자색고구마의 ABTS 라디칼 소거활성을 극대화하기 위해서는 효소의 종류와 혼합비, 농도, 반응시간을 정밀하게 최적화하는 것이 중요하다. 특히, cellulase 30 unit 단일처리, 복합처리 80 unit(2:1) 및 70 unit(1:1) 조건에서 높은 활성이 확인되어, 효소 간 조합과 반응 조건이 항산화 물질의 방출과 안정성을 결정하는 핵심 요인으로 판단된다.

## 6. 상관관계 분석

효소처리에 따른 기능성 성분과 항산화 활성 간의 연관성을 규명하기 위하여 Pearson 상관관계 분석을 수행하였다. 단일효소 처리군에서는 총 안토시아닌이 총 페놀함량(TPC)( $r=0.771$ ) 및 ABTS 라디칼 소거능( $r=0.781$ )과 높은 양의 상관관계를 나타내어, 안토시아닌과 페놀성 화합물의 증가가 ABTS 활성 증진에 직접적으로 기여함을 확인할 수 있었다. 반면 총 안토시아닌과 DPPH 라디칼 소거활성 매우 약한 상관( $r=-0.062$ )을 보여 두 항산화 지표의 반응 기작이 상이함을 시사하였다(Fig. 4).

총 폴리페놀 또한 ABTS 라디칼 소거활성과 높은 양의 상관( $r=0.786$ )을 보였으며, 이는 페놀성 물질이 ABTS 소거능에 핵심적으로 작용한다는 선행 연구와 일치한다(Thaipong 등 2006). 반면 총 플라보노이드는 총 안토시아닌( $r=0.079$ ) 및 ABTS 라디칼 소거활성( $r=0.133$ )과의 상관은 낮았으나, DPPH 라디칼 소거활성과는 중간 정도의 양의 상관( $r=0.410$ )을 나타내어 플라보노이드가 수소공여능 기반의 DPPH 활성에 기여함을 보여주었다(Fig. 4).

종합적으로 단일효소 처리군에서는 총 안토시아닌, 총 폴리페놀은 ABTS 라디칼 소거활성에 기여하며, 총 플라보노이드는 DPPH 라디칼 소거활성에 기여하는 성분 특이적 항산화 작용 특성이 확인되었다.

복합효소 처리군에서는 단일효소 처리군과는 다른 상관 패턴이 관찰되었으며, 이는 cellulase와 pectinase를 동시에 적용함으로써 세포벽 분해 방식이 변화한 데 기인하는 것으로 판단된다. 총 안토시아닌과 총 폴리페놀은 복합효소 처리에

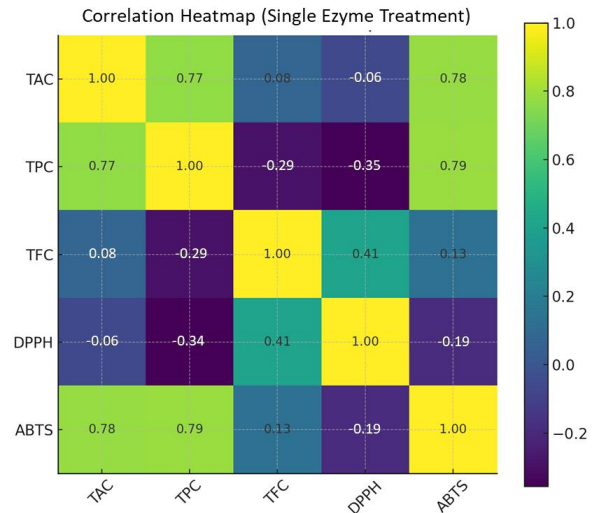


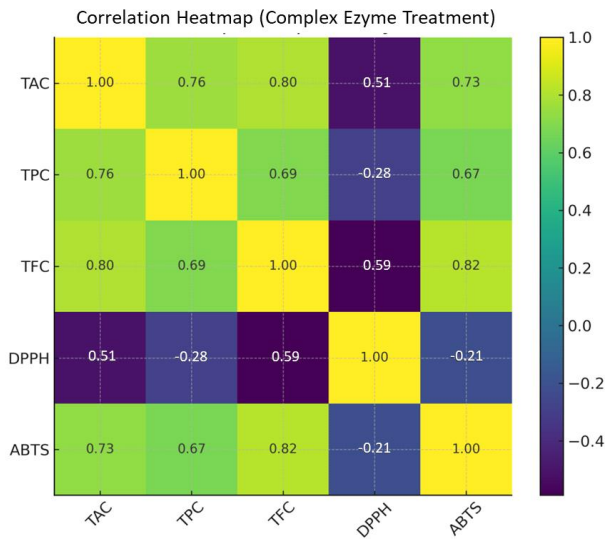
Fig. 4. Heatmap visualization of Pearson correlation coefficients among total anthocyanin content (TAC), total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), and antioxidant activities (DPPH and ABTS) obtained from the single-enzyme-treated purple sweet potato extracts. Yellow indicates stronger positive correlations, while dark purple represents weak or negative correlations.

서도 ABTS 라디칼 소거능과 일관된 양의 상관성을 나타냈으며, 특히 상관 정도는 단일효소 처리군보다 더 강화되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 복합효소 처리가 단일효소 처리와 비교하여 세포벽 분해 특성이 다르게 작용함으로써 페놀 · 안토시아닌의 유리 양상이 변화하고, 그에 따라 ABTS 활성과의 연관성이 증가한 것으로 해석된다(Fig. 5).

반면, 총 플라보노이드는 DPPH 라디칼 소거능과 비교적 뚜렷한 양의 상관을 보였으며, 이는 복합효소 처리 조건에서 플라보노이드 유리량이 증가하고 이들 물질이 DPPH 소거반응에 기여한다는 사실을 뒷받침한다. 즉, 복합효소 처리는 플라보노이드 계열 물질의 용출 양상을 변화시키며, 이에 따라 플라보노이드와 DPPH 라디칼 소거활성 간의 연관성이 보다 뚜렷하게 나타나는 것으로 판단된다(Fig. 5).

## 요약 및 결론

자색고구마를 대상으로 효소 종류(cellulase, pectinase), 농도 및 혼합비에 따른 기능성 성분 함량과 항산화 활성을 분석한 결과, 효소 처리 조건에 따라 유의한 차이가 나타났다.



**Fig. 5.** Heatmap visualization of Pearson correlation coefficients among total anthocyanin content (TAC), total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), and antioxidant activities (DPPH and ABTS) obtained from the complex-enzyme-treated purple sweet potato extracts. Yellow indicates stronger positive correlations, while dark purple represents weak or negative correlations.

총 안토시아닌 함량은 cellulase 30 unit 처리에서 399.4 mg/100g DW로 가장 높은 값을 보여 대조구(151.6 mg/100g DW) 대비 약 163% 증가하였다. 이는 세포벽 다당류의 부분적 분해를 통해 색소의 용출이 촉진된 결과로 판단된다. 반면, 효소 농도가 과도하게 증가하거나 복합처리 비율이 불균형할 경우 함량이 감소하여, 효소 반응이 일정 수준을 초과하면 오히려 색소의 불안정화 및 분해가 일어남을 시사하였다. 총 폴리페놀 함량은 cellulase 30 unit 처리구(1,799.68 mg GAE/100g DW)에서 가장 높았으며, 복합처리에서는 cellulase:pectinase=2:1 혼합비, 80 unit 조건에서 1,829.83 mg GAE/100g DW로 최고치를 나타냈다. 이는 두 효소의 상보적인 작용으로 세포벽이 적정 수준으로 가수분해되어 폴리페놀성 화합물의 방출이 촉진된 결과로 해석된다. 총 플라보노이드 함량 역시 cellulase 단일 30 unit(475.28 mg CE/100g DW)에서 가장 높았으며, 복합처리에서는 80 unit(2:1) 조건에서 유사한 수준(443.64 mg CE/100g DW)을 보였다. 전반적으로 cellulase 단일처리가 가장 효과적이었고, pectinase 비율이 높은 조합에서는 함량이 오히려 감소하였다. DPPH radical

소거능은 효소 단일처리에서 낮은 농도(10 unit)에서 가장 높은 활성을 보였으나, 농도가 증가할수록 활성이 급격히 저하되었다. 특히 복합처리의 경우 모든 처리에서 대조구보다 활성이 낮아, 효소 반응이 항산화 성분의 구조를 변형시키거나 라디칼 반응성을 약화시킨 것으로 판단된다. ABTS radical 소거능은 cellulase 단일 30 unit(954.03 mg TE/100g DW) 및 복합처리 80 unit(2:1) 조건(927.17 mg TE/100g DW)에서 가장 높게 나타났다. 이는 효소 간 상호작용이 적정 수준에서 항산화 물질의 용출을 촉진하였음을 보여준다. 이상의 결과를 종합하면, cellulase 단일 30 unit 처리가 자색고구마의 색소 및 폴리페놀계 성분의 추출 효율과 항산화 활성을 동시에 향상시키는 최적 조건으로 확인되었다. 복합처리는 세포벽 분해를 보조적으로 촉진하였으나, 그 효과는 제한적이었으며 pectinase 비율이 과도할 경우 오히려 부정적 영향을 미쳤다. 따라서 자색고구마의 기능성 성분 추출에 있어 효소의 종류·농도 조절이 핵심 인자로 작용하며, 특히 cellulase의 적정 농도(30 unit)가 안토시아닌 및 폴리페놀성 화합물의 용출 효율을 극대화할 수 있는 가장 효율적인 조건으로 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 시험연구사업(과제번호: PJ0172670 32025)의 지원에 의해 이루어진 것이다.

## References

- Biz A, Finkler ATJ, Pitol LO, Medina BS, Krieger N, Mitchell DA. 2016. Production of pectinases by solid-state fermentation of a mixture of citrus waste and sugarcane bagasse in a pilot-scale packed-bed bioreactor. *Biochem Eng J* 111:54-62
- Chanioti S, Siamandoura P, Tzia C. 2016. Evaluation of extracts prepared from olive oil by-products using microwave-assisted enzymatic extraction: Effect of encapsulation on the stability of final products. *Waste Biomass Valorization* 7:831-842
- Giusti MM, Wrolstad RE. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Curr Protoc Food Anal Chem* F1.2.1-F1.2.13
- Guo P, Chen H, Ma J, Zhang Y, Chen H, Wei T, Gao D, Li J. 2023. Enzyme-assisted extraction, characterization, and in

- in vitro* antioxidant activity of polysaccharides from *Potentilla anserina* L. *Front Nutr* 10:1216572
- He W, Zeng M, Chen J, Jiao Y, Niu F, Tao G, Zhang S, Qin F, He Z. 2016. Identification and quantitation of anthocyanins in purple-fleshed sweet potatoes cultivated in China by UPLC-PDA and UPLC-QTOF-MS/MS. *J Agric Food Chem* 64:171-177
- Hwang EJ, Yu GD, Park YJ, Jang GE, Song YS, Lee HU, Woo KS. 2024. Quality characteristics of dried vegetables using petioles of different sweet potato cultivars. *Korean J Food Nutr* 37:388-396
- Islam MS, Yoshimoto M, Terahara N, Yamakawa O. 2002. Anthocyanin compositions in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves. *Biosci Biotechnol Biochem* 66:2483-2486
- Kapasakalidis PG, Rastall RA, Gordon MH. 2009. Effect of a cellulase treatment on extraction of antioxidant phenols from black currant (*Ribes nigrum* L.) pomace. *J Agric Food Chem* 57:4342-4351
- Kim HJ, Lee JH, Lee BW, Lee YY, Jeon YH, Lee BK, Woo KS. 2018. Quality and physicochemical characteristics of the Korean cowpea cultivars grown in different seeding periods. *Korean J Food Nutr* 31:502-510
- Korea Seed & Variety Service [KSVS]. 2025. Variety protection registration status (Bodami). Available from: <https://www.seed.go.kr> [cited 15 May 2025]
- Kurata R, Adachi M, Yamakawa O, Yoshimoto M. 2007. Growth suppression of human cancer cells by polyphenolics from sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves. *J Agric Food Chem* 55:185-190
- Lao F, Cheng H, Wang Q, Wang X, Liao X, Xu Z. 2020. Enhanced water extraction with high-pressure carbon dioxide on purple sweet potato pigments: Comparison to traditional aqueous and ethanolic extraction. *J CO<sub>2</sub> Util* 40:101188
- Laroze L, Soto C, Zúñiga ME. 2010. Phenolic antioxidants extraction from raspberry wastes assisted by enzymes. *Electron J Biotechnol* 13:11-12
- Lee HW, Lee JS, Chung MN, Yang JW, Nam SS, Han SK, Kim JM, Ahn SH, Song YS, Hwang EJ, Yu GD, Goh S, Moon JY, Choi KH, Hwang SG, Lee AS, Kang YS, Lee KB. 2020. A purple-fleshed sweet potato variety 'Danjami' for table use. *Korean J Breed Sci* 52:53-61
- Lee SL, Chin TY, Tu SC, Wang YJ, Hsu YT, Kao MC, Wu YC. 2015. Purple sweet potato leaf extract induces apoptosis and reduces inflammatory adipokine expression in 3T3-L1 differentiated adipocytes. *Evid Based Complement Alternat Med* 2015:126302
- Liu R, Chu X, Su J, Fu X, Kan Q, Wang X, Zhang X. 2021. Enzyme-assisted ultrasonic extraction of total flavonoids from *Acanthopanax senticosus* and their enrichment and antioxidant properties. *Processes* 9:1708
- Ly TP, Hoang LM, Le TM. 2018. Enzyme-assisted extraction of polyphenols from mulberry (*Morus alba* L.) fruit and evaluation of their antioxidant activity. *Food Technol Biotechnol* 56:250-258
- Mat Jalil MT, Ibrahim D. 2021. Partial purification and characterisation of pectinase produced by *Aspergillus niger* LFP-1 grown on pomelo peels as a substrate. *Trop Life Sci Res* 32:1-22
- Okada G. 1985. Purification and properties of a cellulase from *Aspergillus niger*. *Agric Biol Chem* 49:1257-1265
- Ruenroengklin N, Zhong J, Duan X, Yang B, Li J, Jiang Y. 2008. Effects of various temperatures and pH values on the extraction yield of phenolics from litchi fruit pericarp tissue and the antioxidant activity of the extracted anthocyanins. *Int J Mol Sci* 9:1333-1341
- Stanek-Wandzel N, Krzyszowska A, Zarębska M, Gębura K, Wasilewski T, Hordyjewicz-Baran Z, Tomaka M. 2024. Evaluation of cellulase, pectinase, and hemicellulase effectiveness in extraction of phenolic compounds from grape pomace. *Int J Mol Sci* 25:13538
- Streimikyte P, Viskelis P, Viskelis J. 2022. Enzymes-assisted extraction of plants for sustainable and functional applications. *Int J Mol Sci* 23:2359
- Swier TL, Mukhim C, Bashir K, Chauhan K. 2018. Optimization of enzyme aided extraction of anthocyanins from *Prunus nepalensis* L. *LWT-Food Sci Technol* 91:382-390
- Thaipong K, Boonprakob U, Crosby K, Cisneros-Zevallos L, Hawkins Byrne D. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *J Food Compos Anal* 19:669-675
- Truong VD, Deighton N, Thompson RT, McFeeters RF, Dean

- LO, Pecota KV, Yencho GC. 2010. Characterization of anthocyanins and anthocyanidins in purple-fleshed sweet potatoes by HPLC-DAD/ESI-MS/MS. *J Agric Food Chem* 58:404-410
- Versari A, Biesenbruch S, Barbanti D, Farnell PJ, Galassi S. 1997. Effects of pectolytic enzymes on selected phenolic compounds in strawberry and raspberry juices. *Food Res Int* 30:811-817
- Wang F, Zhang S, Deng G, Xu K, Xu H, Liu J. 2022. Extracting total anthocyanin from purple sweet potato using an effective ultrasound-assisted compound enzymatic extraction technology. *Molecules* 27:4344
- Wang YJ, Zheng YL, Lu J, Chen GQ, Wang XH, Feng J, Ruan J, Sun X, Li CX, Sun QJ. 2010. Purple sweet potato color suppresses lipopolysaccharide-induced acute inflammatory response in mouse brain. *Neurochem Int* 56:424-430
- Yoshimoto M, Yahara S, Okuno S, Islam MS, Ishiguro K, Yamakawa O. 2002. Antimutagenicity of mono-, di-, and tricaffeoylquinic acid derivatives isolated from sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaf. *Biosci Biotechnol Biochem* 66:2336-2341
- Zhang L, Fan G, Khan MA, Yan Z, Beta T. 2020. Ultrasonic-assisted enzymatic extraction and identification of anthocyanin components from mulberry wine residues. *Food Chem* 323:126714
- Zhu Z, Guan Q, Koubaa M, Barba FJ, Roohinejad S, Cravotto G, Yang X, Li S, He J. 2017. HPLC-DAD-ESI-MS<sup>2</sup> analytical profile of extracts obtained from purple sweet potato after green ultrasound-assisted extraction. *Food Chem* 215:391-400

---

Received 07 November, 2025  
Revised 22 November, 2025  
Accepted 01 December, 2025

## 국내 육성 검은콩(*Glycine max*(L.) Merr.) 품종의 구조적, 열적, 수화 및 기능적 특성 비교 분석

예상진 · 박현진\* · 최유찬\* · 함현미\* · 심은영\* · 박지영\* · 오현아\*\* · 강문석\*\*\* · 전원태\*\*\* · †천아름\*\*\*  
농촌진흥청 국립식량과학원 식품자원개발부 박사전문연구원, \*농촌진흥청 국립식량과학원 식품자원개발부 농업연구사,  
\*\*농촌진흥청 국립식량과학원 식품자원개발부 석사전문연구원, \*\*\*농촌진흥청 국립식량과학원 식품자원개발부 농업연구관

### Comparative Analysis of Structural, Thermal, Hydration, and Functional Characteristics of Black Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Cultivars

Sang-Jin Ye, Hyun-Jin Park\*, Yu-Chan Choi\*, Hyeonmi Ham\*, Eun-yeong Sim\*, Jiyoung Park\*, Hyeona Oh\*\*,  
Moon Seok Kang\*\*\*, Wontai Jeon\*\*\* and †Areum Chun\*\*\*

Postdoctoral Researcher, Dept. of Food Sciences, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Suwon 16613, Korea

\*Researcher, Dept. of Food Sciences, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Suwon 16613, Korea

\*\*Master's Researcher, Dept. of Food Sciences, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Suwon 16613, Korea

\*\*\*Senior Researcher, Dept. of Food Sciences, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Suwon 16613, Korea

#### Abstract

This study examined the structural, physicochemical, and functional characteristics of five black soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars—Cheongja5, Danheuk, Socheongja, Seum, and Soriheuk—bred and cultivated in Korea. We conducted comprehensive analyses on morphology, microstructure, thermal and hydration properties, pasting behavior, and antioxidant activity to identify cultivar-specific differences in processing suitability and functional properties. The results indicated significant varietal variations in seed coat ratio, cotyledon density, and color, which affected thermal stability, hydration, and viscosity development during heating. Cultivars with compact cotyledon matrices, such as Cheongja5 and Danheuk, displayed high enthalpy ( $\Delta H$ ), low solubility, and limited viscosity development, suggesting high structural stability and low thermal reactivity—traits favorable for thermally stable or beverage-type applications. In contrast, cultivars with looser structures and greater surface exposure, like Seum and Socheongja, exhibited higher swelling power, dispersion stability, and RVA viscosities, indicating their suitability for viscous or semi-solid systems. Notably, Soriheuk showed the highest antioxidant activity and levels of phenolic and flavonoid compounds, correlating with its high seed coat ratio and dark pigmentation, positioning it as a promising functional ingredient. These findings underscore that the physicochemical and structural diversity among black soybean cultivars significantly influences their processing performance and functional potential, providing a scientific foundation for selecting and developing functional cultivars.

Key words: black soybean, cultivar characteristics, seed structure, thermal property, pasting behavior, antioxidant activity

#### 서 론

검은콩(*Glycine max* (L.) Merr.)은 한국을 비롯한 중국, 일본 등 동아시아 지역에서 오랜 기간 재배, 소비되어온 대표적인 두류로, 단백질, 탄수화물, 지방, 무기질, 비타민 등 필

수 영양소를 고르게 함유한 고영양 식품원이다(Kim 등 2020; Koriyama 등 2022; Hu 등 2023; Kumar 등 2023). 국내에서는 일반 대두와 더불어 전통식품, 장류, 두유, 선식 등 다양한 가공식품의 주원료로 이용되어 왔으며(Bang & Jeong 2007; Song 등 2020), 최근에는 검은콩의 영양학적 가치가 부각되

† Corresponding author: Areum Chun, Senior Researcher Dept. of Food Sciences, National Institute of Crop and Food Science, Rural Development Administration, Suwon 16613, Korea. E-mail: areum@korea.kr

면서 소비와 산업적 수요가 꾸준히 증가하고 있다(Kim 등 2011; Susanto 등 2023). 이러한 활용 확대와 함께 검은콩의 조성적 특성에 대한 관심도 높아지고 있으며, 다양한 기능성 성분과 관련한 연구 역시 꾸준히 이루어져 왔다. 특히 검은콩은 안토시아닌(anthocyanin), 플라보노이드(flavonoid), 폴리페놀(polyphenol) 등 다양한 화합물을 풍부하게 함유하고 있으며(Lee 등 2014), 이러한 성분들은 강력한 항산화 능력과 더불어 항암, 항염증, 항비만, 심혈관 질환 예방 등 여러 생리활성을 나타내는 것으로 보고되었다(Duffy 등 2007; Bhartiya 등 2020; Khosravi & Razavi 2021). 이러한 기능성 특성에 기반하여 검은콩은 항산화 및 건강기능성을 지닌 식품 소재로서의 활용이 확대되고 있으며, 음료, 스낵, 베이커리 제품 등 다양한 현대 가공식품에서도 응용 범위가 꾸준히 확장되고 있다.

검은콩의 구조적 특성은 가공적성과 기능성 발현에도 영향을 미치는 중요한 요인으로 알려져 있다(Mullin & Xu 2001). 종피의 두께나 색도, 자엽의 밀도 및 배열 구조 등은 수분 확산, 열적 안정성, 성분 용출 등의 반응성에 부분적으로 관여하며, 이러한 특성 차이는 가공 중 점도 형성이나 항산화 활성 등 품질 특성에도 영향을 줄 수 있다(Bhatty RS 1995; Mullin & Xu 2001). 이처럼 구조적, 물리적 요소가 가공 반응성에 직접적으로 관여한다는 점에서, 검은콩 내에서도 품종에 따라 이러한 특성이 달라질 가능성이 크다.

국내에서는 목적과 용도에 따라 다양한 검은콩 품종이 육성되어 왔으며, 이러한 품종들은 종실 크기, 종피 두께, 색도, 내부 조직, 항산화 조성 등에서 서로 다른 특징을 가진다. 따라서 동일한 가공 조건에서도 품종에 따라 수분 확산, 열적 반응성, 점도 형성, 기능성 성분 용출 등 가공적성에서 차이가 발생할 수 있다. 그럼에도 기존 연구에서는 검은콩의 일반성분, 수분 흡수 특성, 저장 안정성 또는 항산화 성분 함량(Lee 등 2013; Jeong 등 2019; Lee 등 2021) 등 특정 개별 특성에 집중한 사례가 대부분이었다. 또한 종피나 자엽의 추출물을 개별적으로 분석하거나(Lee 등 2014), 특정 화합물에 한정된 항산화 활성만 평가하는 등, 가공 과정에서 나타나는 다양한 물리화학적 반응성과 기능성 발현의 상호 연관성을 체계적으로 다루지 못한 한계가 있다.

최근 식품 산업에서는 단순한 영양적 가치뿐 아니라 가공 용이성과 기능성을 동시에 고려한 식품 소재 개발의 중요성이 커지고 있다. 검은콩의 경우 품종별로 각기 다른 종실 특성을 보이기 때문에, 동일한 가공 조건에서도 열적 반응성, 점도 형성, 항산화 물질의 용출 효율 등이 상이하게 나타날

가능성이 크다. 따라서 품종별 구조적 및 화학적 특성과 이에 따른 가공 적성과 기능성 차이를 종합적으로 비교, 평가하는 연구가 필요하며, 이는 검은콩의 산업적 활용도 제고 및 기능성 품종 개발을 위한 중요한 과학적 기초 자료로 활용될 수 있다.

이에 본 연구에서는 국내에서 육성된 5개 주요 검은콩 품종을 대상으로, 종실의 형태적, 조직적, 열적, 수화, 점도 특성과 항산화 활성 및 생리활성 성분 함량을 종합적으로 분석하였다. 이를 통해 품종별 구조적, 조성적 차이가 가공 적성과 기능성 발현에 미치는 영향을 규명하고, 검은콩의 용도별 산업적 활용과 기능성 품종 개량을 위한 기초적 근거를 제시하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

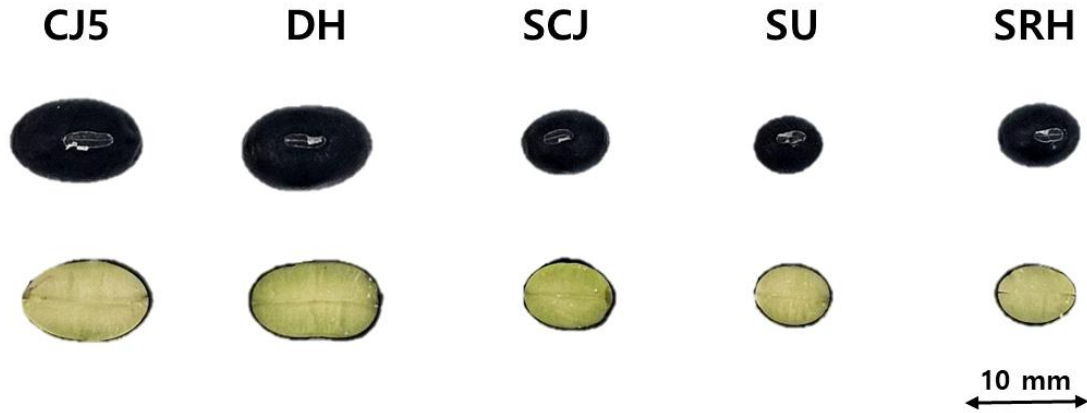
본 연구에 사용된 검은콩(*Glycine max* (L.) Merr.)은 청자5호(Cheongja5ho, CJ5), 단흑(Danheuk, DH), 소청자(Socheongja, SCJ), 세움(Seum, SU), 소리흑(Soriheuk, SRH) 등 5개 품종으로, 국립식량과학원 남부작물부(밀양, 대한민국)에서 2023년에 수확된 시료를 제공받아 사용하였다. 수확된 종실은 외관상 손상된 개체와 이물질 제거 후, 4°C에서 냉장 보관하며 분석에 사용하였다. 각 품종의 외관(종실 및 단면 형태)은 Fig. 1, 주요 형태적 특성은 Table 1에 제시하였다.

### 2. 일반성분 분석(proximate composition)

수분, 조단백질, 조지방 및 조회분 함량은 AOAC 표준방법(AOAC, 2000)에 따라 분석하였다. 수분 함량은 105°C 상압건조법, 조단백질은 Kjeldahl 질소 분석법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조회분은 직접회화법으로 측정하였다. 탄수화물 함량은 차감법을 이용하여 100%에서 수분, 단백질, 지방, 회분 함량을 차감하여 산출하였다.

### 3. 색도 측정(color measurement)

종피 및 자엽의 색도는 색차계(CM-3700A; Minolta, Tokyo, Japan)를 사용하여 L\*(명도), a\*(적색도), b\*(황색도) 값을 측정하였다. 분석을 위해 종피와 자엽을 분리한 후 각각 분쇄하여 균질한 분말로 준비하였고, 분말 시료를 페트리디시에 고르게 채워 표면을 평탄화한 후 측정하였다. 측정 전에는 표준 백판으로 기기를 보정하였으며, 각 시료는 10회 반복 측



**Fig. 1. Whole and cross-sectional appearances of five black soybean cultivars.** CJ5: Cheongja5ho; DH: Danheuk; SCJ: Socheongja; SU: Seum; SRH: Soriheuk.

**Table 1. Agronomic and morphological characteristics of five black soybean cultivars**

Sample	Growth habit	Leaf shape	Flower color	Pod pubescence color	Pod color	Seed coat color	Cotyledon color
CJ5 <sup>1)</sup>	Determinate	Ovate	White	Brown	Black	Black	Green
DH	Determinate	Ovate	Purple	Brown	Black	Black	Green
SCJ	Semi-Determinate	Ovate	White	Brown	Brown	Black	Green
SU	Determinate	Lanceolate	Purple	Brown	Brown	Black	Green
SRH	Determinate	Ovate	Purple	Brown	Brown	Black	Green

<sup>1)</sup> CJ5: Cheongja5ho; DH: Danheuk; SCJ: Socheongja; SU: Seum; SRH: Soriheuk.

정하여 평균값으로 나타내었다. 측정 및 시료 준비 과정은 Park 등(2025)의 절차를 참고하여 수행하였다.

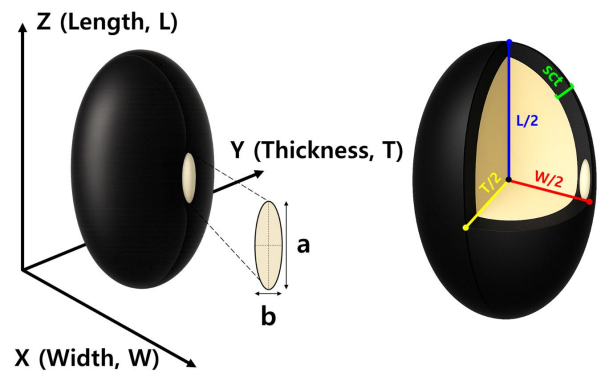
**4. 종실 및 구조 특성**

검은콩 5품종의 종실 형태적 특성은 Fig. 2에 표시한 치수 변수(L, W, T, sc)에 따라 측정하였다.

버니어 캘리퍼스(Mitutoyo, Japan)를 이용하여 품종별 길이(L), 폭(W), 두께(T)를 측정하였으며, 배꼽의 길이와 폭 또한 동일한 방법으로 측정하였다. 종피와 자엽의 비율은 두 부위를 분리하여 각각의 질량을 측정한 후 계산하였고, 종실의 밀도( $\rho$ )는 전체 질량을 부피로 나누어 구하였다.

검은콩 종실은 기하학적으로 타원체(ellipsoid) 형태로 근사할 수 있으며, 이에 따라 Thomsen의 타원체 근사식(Thomsen's ellipsoid approximation)을 이용하여 표면적(S), 부피(V) 및 비표면적( $S_{sp}$ )을 계산하였고, 실제 측정값 대비 오차는 약 1% 이내로 보고되었다(Xu 등 2009).

세 변수 간의 관계는 각각 식 (1)~(3)에 의해 정의된다.



**Fig. 2. Schematic representation of seed structure and dimensional parameters used for geometrical calculations in black soybean cultivars.**

$$S \approx 4\pi \times \sqrt[1.6075]{\frac{\left(\frac{L}{2} \times \frac{W}{2}\right)^{1.6075} + \left(\frac{L}{2} \times \frac{T}{2}\right)^{1.6075} + \left(\frac{T}{2} \times \frac{W}{2}\right)^{1.6075}}{3}} \quad (1)$$

$$V = \frac{4}{3}\pi \times \frac{L}{2} \times \frac{W}{2} \times \frac{T}{2} \quad (2)$$

$$S_{sp} = \frac{S}{V} \quad (3)$$

종실의 미세구조는 주사전자현미경(scanning electron microscopy, SEM; TM3000, Hitachi, Tokyo, Japan)을 사용하여 15 kV 가속 전압과  $\times 300$  배율 조건에서 관찰하였다. 시료는 종단 방향으로 절단하여 길이와 두께 단면이 노출되도록 준비하였다. 관찰된 이미지는 ImageJ 소프트웨어(version 1.53e, NIH, USA)를 이용하여 종피 두께(sct)를 측정하였다.

Fig. 2에는 종실 구조와 부피 계산에 사용된 치수 변수의 개념도를 제시하였다. 종실 및 자엽의 부피는 측정된 sct 값을 이용하여 식 (4)와 식 (5)로 계산하였으며, 밀도는 부피와 건조 질량을 이용하여 식 (6)으로 산출하였다.

$$V_{cotyledon} = \frac{4}{3}\pi \times \left(\frac{L}{2} - sct\right) \times \left(\frac{W}{2} - sct\right) \times \left(\frac{T}{2} - sct\right) \quad (4)$$

$$V_{seed\ coat} = V_{whole\ seed} - V_{cotyledon} \quad (5)$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (6)$$

여기서 sct는 종피 두께(mm),  $\rho$ 는 밀도( $g/mm^3$ ), m은 질량(g), V는 부피( $mm^3$ )를 각각 나타낸다.

이와 같은 계산을 통해 각 품종의 형태적 특성과 내부 구조 지표를 산출하였다.

## 5. 열적 특성

열적 특성은 시차주사열량분석(differential scanning calorimetry, DSC) 장비(DSC 4000, PerkinElmer Inc., Waltham, MA, USA)를 사용하여 수행하였으며, 전반적인 가열 조건은 Li 등(2014)의 방법을 참고하여 설정하였다. 종피를 제거한 후, 자엽은 실험용 분쇄기를 이용해 분쇄하고, 40 mesh 체를 통과시켜 균질한 분말 시료를 얻었다. 시료는 증류수와 1:3 (w/v) 비율로 혼합하여 균일하게 현탁한 뒤, 약 20 mg을 팬에 밀봉하였다. 밀봉된 시료는 25°C에서 3시간 평형화한 후, 25~140°C 범위에서 10°C/min의 속도로 가열하였다. 분석 결과로부터 호화 개시온도( $T_o$ ), 피크온도( $T_p$ ), 종료온도( $T_c$ ) 및 엔탈피 변화량

( $\Delta H$ )을 도출하였다. 기기는 zinc 표준물질로 보정하였으며, 참조 팬은 빈 팬을 사용하였다.

## 6. 수화 및 분산 특성

수화 특성은 Ye & Baik(2024)의 방법을 참고하여, 50°C 및 90°C에서의 용해도(solubility)와 팽윤력(swelling power)을 측정하였다. 분쇄된 분말 시료 0.5 g을 취해 20 mL의 증류수와 혼합하고, 각 온도조건에서 30분간 가열한 후 원심분리기(3,000  $\times$  g, 10분)를 이용해 상등액과 침전물을 분리하였다. 상등액의 고형분 함량을 건조 중량으로부터 계산하여 용해도를 산출하였으며, 침전물의 무게 증가율을 기준으로 팽윤력(SP)을 계산하였다.

분산 특성은 vial dispersion test를 통해 시각적으로 평가하였다. 시료 0.1 g을 15 mL의 증류수에 현탁하여 바이알에 담고, 실온에서 시간(0, 5, 10, 30, 60, 120분)에 따른 분산 상태 변화를 관찰하였다. 침전 형성, 층 분리 및 상등액의 탁도 변화를 육안으로 비교하여 품종 간 분산 안정성의 상대적 차이를 평가하였다.

## 7. 점도 특성

호화 및 점도 특성은 자엽 분말을 이용하여 신속점도분석기(Rapid Visco Analyzer, RVA 4500; Perten Instruments, Kungens Kurva, Sweden)로 측정하였다. 시료 6.0 g(db)을 취해 증류수를 가하여 총 중량이 28 g이 되도록 조정된 후, RVA 용기에 넣고 분석을 수행하였다. 측정 조건은 초기 10 s 동안 960 rpm으로 교반한 후, 분석 중에는 160 rpm으로 유지하였다. 온도 프로그램은 50°C에서 1분간 유지 후 95°C까지 12°C/min의 속도로 가열하였으며, 95°C에서 5.5분간 유지한 다음 동일한 속도로 50°C까지 냉각하였다. 냉각 후 50°C에서 2분간 유지하며 점도 변화를 기록하였다. 분석 결과로부터 peak viscosity, trough viscosity, breakdown, final viscosity, setback 등의 점도 특성을 산출하였다. RVA 조건은 Ye & Baik(2025)의 방법을 참고하여 본 연구에 맞게 일부 수정하여 적용하였다.

## 8. 항산화 활성 및 성분 분석

항산화 활성 및 관련 성분 분석을 위한 시료 추출은 분쇄한 검은콩 시료 2 g에 80% 메탄올 10 mL를 가하여 20°C에서 24시간 추출한 뒤, 원심분리(4,000 $\times$ g, 10 min)하여 상등액을 회수하고 분석에 사용하였다. ABTS 라디칼 소거능은 van den Berg 등(1999)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. ABTS 용액을 potassium persulfate와 반응시켜 ABTS 라디칼을 형성한 후, 80% 메탄올 추출물과 반응시켜 735 nm에서

흡광도를 측정하였다. 활성은 Trolox 표준 검량선을 이용하여 mg Trolox equivalent(TE)/g dry basis로 나타냈다. DPPH 라디칼 소거능은 Brand-Williams 등(1995)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 시료 추출액을 DPPH 용액과 반응시킨 뒤 520 nm에서 흡광도를 측정하였으며, Trolox를 표준물질로 사용하여 mg TE/g dry basis로 계산하였다. 총 폴리페놀 함량(total phenolic content, TPC)은 Folin-Ciocalteu 방법으로 분석하였다(Nam 등 2018). 시료 추출액을 Folin-Ciocalteu 시약과 반응시킨 후 750 nm에서 흡광도를 측정하였으며, gallic acid를 표준물질로 사용하여 mg gallic acid equivalent(GAE)/g dry basis로 산출하였다. 총 플라보노이드 함량(total flavonoid content, TFC)은 Zhishen 등(1999)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 시료 추출액을 반응시켜 510 nm에서 흡광도를 측정하였으며, catechin을 표준물질로 사용하여 mg catechin equivalent(CE)/g dry basis로 계산하였다.

## 9. 통계분석

모든 실험은 3회 반복하여 수행하였으며, 결과는 평균값±표준편차(mean±standard deviation)로 나타내었다. 통계분석은 SAS 통계 프로그램(version 9.4; SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 평균 간 유의차는 Duncan's multiple range test를 통해 유의수준  $p < 0.05$ 에서 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 일반성분(Proximate Composition)

검은콩 5품종의 일반성분 조성은 Table 2에 제시하였다.

수분 함량은 5.2~5.5% 범위로 품종 간 유의적인 차이가 없었으나, 단백질, 지방, 회분 및 탄수화물 함량에서는 품종 간 유의적인 차이가 나타났다. 소청자는 단백질 함량이 가장 높았고, 청자5호는 가장 낮았으며, 이는 지방 함량과 뚜렷한 역상관 관계를 보였다. 단흑과 소리흑은 중간 수준의 단백질 함량을 나타냈고, 세움은 상대적으로 높은 탄수화물 함량을 보였다. 회분 함량은 청자5호와 세움에서 높았고, 소리흑에서 낮게 나타났다. 이러한 조성 차이는 품종별 저장물질의 축적 특성이나 종실 발달 단계의 차이에 기인한 것으로 보이며(Lee 등 2013), 특히 단백질과 지방 함량 간의 역상관 관계는 종실의 밀도, 질감, 열적 반응성 등 후속 가공 특성 해석에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 또한 회분과 탄수화물 함량의 변이는 전분 조성 및 무기질 분포의 차이와 관련되어, 품종 간 수화 및 열적 안정성의 차이를 설명하는 기초 자료로 활용될 수 있다.

종피 및 자엽의 색도는 Table 3에 제시하였다. 종피의  $L^*$  (명도) 값은 44-47 범위로 나타나 검은콩 특유의 어두운 색조를 보였으며,  $a^*$  (적색도)와  $b^*$  (황색도) 값은 품종 간 유의적인 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 청자5호와 세움은  $a$ 와  $b$  값이 상대적으로 높아 갈색 기를 띤 흑색에 가까웠고, 단흑과 소리흑은  $L^*$  값이 낮고  $a^*$  및  $b^*$  값의 절대값이 작아 명도가 낮은 흑색을 나타냈다. 소청자는  $L^*$  값이 가장 높아 회흑색에 가까운 색조를 보였다. 자엽의  $L^*$  값은 전 품종에서 82-86 범위로 높았으며,  $b^*$  값은 양(+)의 값을 보여 전형적인 대두 자엽의 녹색을 나타냈다. 품종 간  $a^*$  값의 미세한 차이는 플라보노이드 및 엽록소계 색소 조성의 차이에 기인할 가능성이 있다. 이와 같은 색도 차이는 종피 내 안토시아닌 및 폴리페놀 색소 함량의 차이를 반영하며, 특히  $L^*$  값이 낮고  $a^*$  값이 높

Table 2. Proximate composition of five black soybean cultivars

Sample	Moisture (%)	Protein (%)	Fat (%)	Ash (%)	Carbohydrate (%)
CJ5 <sup>1)</sup>	5.2±0.2 <sup>B2),3)</sup>	44.2±0.0 <sup>E</sup>	17.6±0.0 <sup>A</sup>	5.6±0.0 <sup>A</sup>	27.3±0.1 <sup>B</sup>
DH	5.4±0.2 <sup>AB</sup>	46.7±0.0 <sup>C</sup>	15.7±0.0 <sup>B</sup>	5.3±0.0 <sup>C</sup>	26.9±0.1 <sup>C</sup>
SCJ	5.3±0.1 <sup>AB</sup>	49.4±0.2 <sup>A</sup>	12.7±0.2 <sup>C</sup>	5.5±0.0 <sup>B</sup>	27.1±0.0 <sup>C</sup>
SU	5.3±0.1 <sup>AB</sup>	45.6±0.0 <sup>D</sup>	15.5±0.0 <sup>B</sup>	5.6±0.0 <sup>A</sup>	28.0±0.0 <sup>A</sup>
SRH	5.5±0.2 <sup>A</sup>	47.5±0.1 <sup>B</sup>	15.6±0.0 <sup>B</sup>	5.1±0.0 <sup>D</sup>	26.5±0.0 <sup>D</sup>

<sup>1)</sup> CJ5: Cheongja5ho; DH: Danheuk; SCJ: Socheongja; SU: Seum; SRH: Soriheuk.

<sup>2)</sup> All values are mean±S.D. of triple determinations.

<sup>3)</sup> Same letters in the same column are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

**Table 3. Color parameters of seed coat and cotyledon in five black soybean cultivars**

Sample	Cotyledon			Seed coat		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
CJ5 <sup>1)</sup>	84.3±0.5 <sup>B2),3)</sup>	-0.75±0.01 <sup>A</sup>	17.48±1.00 <sup>C</sup>	45.1±0.8 <sup>BC</sup>	0.45±0.03 <sup>C</sup>	-0.93±0.13 <sup>B</sup>
DH	83.1±0.3 <sup>C</sup>	-2.68±0.02 <sup>E</sup>	17.05±0.24 <sup>C</sup>	44.4±0.6 <sup>C</sup>	0.22±0.02 <sup>D</sup>	-1.13±0.13 <sup>C</sup>
SCJ	82.3±0.6 <sup>CD</sup>	-2.55±0.04 <sup>D</sup>	18.89±0.72 <sup>B</sup>	46.5±1.4 <sup>A</sup>	0.50±0.12 <sup>BC</sup>	-1.16±0.08 <sup>C</sup>
SU	82.5±0.5 <sup>D</sup>	-1.97±0.07 <sup>C</sup>	20.29±0.55 <sup>A</sup>	45.9±0.4 <sup>AB</sup>	0.60±0.03 <sup>A</sup>	-1.65±0.11 <sup>D</sup>
SRH	85.6±0.7 <sup>A</sup>	-1.91±0.04 <sup>B</sup>	16.91±0.69 <sup>C</sup>	44.7±0.7 <sup>C</sup>	0.54±0.08 <sup>AB</sup>	-0.50±0.15 <sup>A</sup>

<sup>1)</sup> CJ5: Cheongja5ho; DH: Danheuk; SCJ: Socheongja; SU: Seum; SRH: Soriheuk.

<sup>2)</sup> All values are mean±S.D. of triple determinations.

<sup>3)</sup> Same letters in the same column are not significantly different ( $p<0.05$ ).

은 품종일수록 안토시아닌 함량이 높을 가능성이 있어 이후 제시되는 항산화 활성(ABTS, DPPH) 및 TPC 결과와 연관될 수 있다(Zhang 등 2011; Wu 등 2017).

종실의 형태 및 미세구조 특성은 Table 4와 5에 제시하였으며, 대표적인 종실 구조는 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 청자5호와 단흑은 대립종의 특성을 보였고, 세움, 소청자, 소리흑은 소립종에 해당하였다. 소립종일수록 부피(V)는 작고 비표면적( $S_p$ )은 높게 나타나 단위 부피당 표면 노출이 크며, 수화 및 열전달 반응성이 높을 가능성을 시사하였다. Hilum의

면적 및 비율 또한 품종 간 유의적인 차이를 보였으며, 세움과 소리흑은 hilum 비율이 높아 수분이 hilum 부위를 통해 빠르게 확산될 가능성이 높았다. Hilum이 초기 수분흡수의 주요 경로로 작용한다는 사실은 선행연구에서 보고된 바 있다(Pietrzak 등 2002). 종피는 수분 투과성을 조절하는 장벽 역할을 하는 반면, 자엽 매트릭스는 수분 유지 능력을 결정한다(Abati 등, 2022; Upreti 등 2024). 청자5호와 단흑은 큰 종실과 낮은 종피 비율을 보였고, 세움과 소청자는 높은 종피 비율과 비표면적을 나타내 두꺼운 종피층과 높은 확산 저항성

**Table 4. Seed dimensional and geometrical characteristics of five black soybean cultivars**

mm	Whole seed			Hilum	
	Width (W)	Thickness (T)	Length (L)	Length (a)	Width (b)
n=100					
CJ5 <sup>1)</sup>	8.70±0.34 <sup>A2),3)</sup>	6.74±0.36 <sup>A</sup>	9.84±0.68 <sup>B</sup>	4.31±0.41 <sup>A</sup>	1.68±0.20 <sup>A</sup>
DH	8.56±0.35 <sup>B</sup>	6.68±0.42 <sup>B</sup>	10.26±0.56 <sup>A</sup>	3.71±0.30 <sup>B</sup>	1.58±0.22 <sup>B</sup>
SCJ	6.33±0.32 <sup>C</sup>	5.33±0.30 <sup>C</sup>	6.80±0.39 <sup>C</sup>	2.87±0.26 <sup>C</sup>	1.48±0.17 <sup>C</sup>
SU	5.59±0.27 <sup>D</sup>	4.88±0.27 <sup>E</sup>	5.72±0.31 <sup>D</sup>	2.66±0.25 <sup>D</sup>	1.36±0.18 <sup>D</sup>
SRH	6.20±0.26 <sup>C</sup>	5.20±0.30 <sup>D</sup>	6.71±0.46 <sup>C</sup>	2.81±0.31 <sup>C</sup>	1.58±0.20 <sup>B</sup>
n=100	Surface (S, mm <sup>2</sup> )	Volume (V, mm <sup>3</sup> )	Specific surface ( $S_{sp}$ , mm <sup>-1</sup> )	Hilum surface (HS, mm <sup>2</sup> )	Hilum ratio (HR)
CJ5	223.4±17.7 <sup>A</sup>	305.0±35.3 <sup>A</sup>	0.74±0.03 <sup>D</sup>	5.69±0.91 <sup>A</sup>	2.56±0.42 <sup>D</sup>
DH	224.5±17.8 <sup>A</sup>	304.9±36.4 <sup>A</sup>	0.74±0.03 <sup>D</sup>	4.62±0.88 <sup>B</sup>	2.06±0.38 <sup>E</sup>
SCJ	119.0±10.5 <sup>B</sup>	120.7±15.8 <sup>B</sup>	0.99±0.05 <sup>C</sup>	3.35±0.59 <sup>C</sup>	2.82±0.44 <sup>C</sup>
SU	91.6±8.8 <sup>D</sup>	82.1±11.7 <sup>C</sup>	1.12±0.06 <sup>A</sup>	2.87±0.57 <sup>D</sup>	3.15±0.62 <sup>A</sup>
SRH	114.8±11.1 <sup>C</sup>	114.4±16.4 <sup>B</sup>	1.01±0.05 <sup>B</sup>	3.51±0.71 <sup>C</sup>	3.07±0.61 <sup>B</sup>

<sup>1)</sup> CJ5: Cheongja5ho; DH: Danheuk; SCJ: Socheongja; SU: Seum; SRH: Soriheuk.

<sup>2)</sup> All values are mean±S.D. of triple determinations.

<sup>3)</sup> Same letters in the same column are not significantly different ( $p<0.05$ ).

**Table 5. Weight, proportional, and density characteristics of five black soybean cultivars**

Sample	100w (g)	Mass (%)		Volume (%)		Density (g/cm <sup>3</sup> )	
	Whole	Seed coat	Cotyledon	Seed coat	Cotyledon	Seed coat	Cotyledon
CJ5 <sup>1)</sup>	35.5±0.5 <sup>A2),3)</sup>	6.7±0.0 <sup>D</sup>	93.3±0.0 <sup>A</sup>	7.4±0.3 <sup>A</sup>	92.6±0.3 <sup>B</sup>	1.07±0.09 <sup>C</sup>	1.19±0.16 <sup>AB</sup>
DH	36.2±0.4 <sup>B</sup>	7.2±0.0 <sup>C</sup>	92.8±0.0 <sup>B</sup>	7.3±0.3 <sup>B</sup>	92.7±0.3 <sup>A</sup>	1.19±0.10 <sup>A</sup>	1.21±0.15 <sup>AB</sup>
SCJ	13.6±0.5 <sup>A</sup>	8.5±0.1 <sup>B</sup>	91.5±0.1 <sup>C</sup>	8.6±0.4 <sup>C</sup>	91.4±0.4 <sup>A</sup>	1.13±0.11 <sup>B</sup>	1.15±0.17 <sup>B</sup>
SU	9.5±0.3 <sup>B</sup>	9.6±0.1 <sup>A</sup>	90.4±0.1 <sup>D</sup>	9.3±0.4 <sup>B</sup>	90.7±0.4 <sup>B</sup>	1.22±0.12 <sup>A</sup>	1.18±0.19 <sup>AB</sup>
SRH	13.6±0.0 <sup>A</sup>	8.3±0.1 <sup>B</sup>	91.7±0.1 <sup>C</sup>	9.6±0.5 <sup>A</sup>	90.4±0.5 <sup>C</sup>	1.04±0.11 <sup>C</sup>	1.24±0.20 <sup>A</sup>

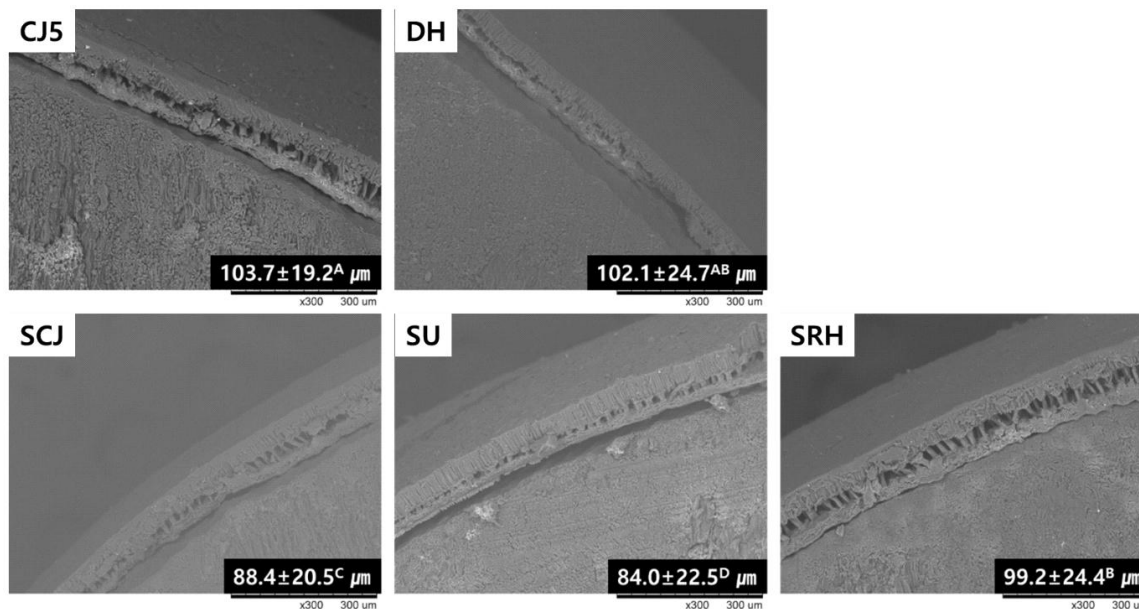
<sup>1)</sup> CJ5: Cheongja5ho; DH: Danheuk; SCJ: Socheongja; SU: Seum; SRH: Soriheuk.

<sup>2)</sup> All values are mean±S.D. of triple determinations.

<sup>3)</sup> Same letters in the same column are not significantly different ( $p<0.05$ ).

을 지닌 것으로 해석된다. 종피 비율이 높은 품종은 수분 확산 속도는 낮을 수 있으나, 종피가 안토시아닌, 플라보노이드, 폴리페놀 등 항산화 성분이 집중적으로 분포하는 부위이기 때문에 기능성 물질 함량이 높을 가능성이 있다. 따라서 종피 비율은 가공성과 기능성 간의 상반적 특성을 설명하는 중요한 구조적 지표로 볼 수 있다. 밀도( $\rho$ )는 단흑과 세움에서 가장 높아 내부 조직이 조밀하고 공극이 적은 구조를 나타낸 반면, 청자5호와 소리흑은 낮은 밀도를 보여 수화 및

팽윤 반응성이 우수할 것으로 예상된다. SEM 관찰 결과(Fig. 3), 청자5호와 단흑의 종피는 두껍고 세포 배열이 치밀하게 관찰되었으며, 소리흑은 표면에 미세한 기공이 산재한 다공성 구조를 보였다. 세움과 소청자는 종피층이 얇고 표면이 매끄러워 수분 확산 및 성분 용출이 용이할 것으로 판단되었다. 종합적으로, 검은콩 품종 간의 물리화학적 및 구조적 특성 차이는 내부 조직의 조밀도, 수분 확산성, 기능성 성분 축적 특성과 밀접하게 관련되며, 이러한 구조적 요인들은 이후



**Fig. 3. Cross-sectional scanning electron micrographs (×300) of five black soybean cultivars.** Numerical values indicate mean±standard deviation of seed coat thickness (μm). Different superscript letters (A~D) denote significant differences among cultivars ( $p<0.05$ ). CJ5: Cheongja5ho; DH: Danheuk; SCJ: Socheongja; SU: Seum; SRH: Soriheuk.

제시되는 열적, 수화, 점도 및 항산화 특성의 품종별 차이를 설명하는 근거가 될 수 있다.

## 2. 열적 특성

검은콩 5품종의 열적 특성은 DSC 분석 결과(Table 6)에 제시하였다. 모든 품종에서 두 개의 뚜렷한 흡열 피크가 관찰되었으며, 이는 자엽 내 단백질 및 전분 복합체의 결합 안정성이 서로 다름을 반영한다. 이와 같은 이중 흡열 피크(dual endothermic transition)는 대두 단백질의 주요 성분인 7S( $\beta$ -conglycinin)와 11S(glycinin)의 단계적 변성과 관련된 것으로 알려져 있으며(Renkema 등 2001; Tang 등 2006), 본 연구의 검은콩 자엽에서도 유사한 온도 범위에서 열전이가 관찰되었다.

첫 번째 피크(Peak 1)는 약 74-85°C 구간에서 나타나, 7S 단백질의 변성과 전분의 부분적 호화(partial gelatinization)가 복합적으로 일어나는 영역으로 해석된다. 이 구간에서 엔탈피 변화량( $\Delta H$ )은 품종 간 뚜렷한 차이를 보였으며, 소청자는 가장 낮은  $\Delta H$ 를 나타내어 구조가 느슨하고 열 변성에 필요한 에너지가 가장 적은 것으로 판단된다. 반면 청자5호와 단흑은 높은  $\Delta H$ 를 보여 자엽 내 단백질-전분 복합체의 결합력이 강하

고 구조적 안정성이 높은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 일반성분 조성과 밀도 결과와도 일치하며, 단백질 함량이 높고 밀도가 큰 품종일수록 열적 안정성이 높은 특성을 보였다.

두 번째 피크(Peak 2)는 약 100-110°C 부근에서 관찰되었으며, 11S 단백질의 변성과 전분-지질(amylose-lipid) 복합체의 해리에 대응하는 것으로 해석된다(Biliaderis & Tonogai 1991; Wu 등 2022). 이 구간에서도 품종 간 열적 안정성의 차이가 뚜렷하였으며, 청자5호와 단흑은 높은 피크온도와  $\Delta H$ 를 보여 강한 단백질-전분 상호작용을 유지하고 있었다. 반면 소청자는 가장 넓은 열전이 범위(Tr)를 보여 자엽 내부 구조가 보다 이질적(heterogeneous)임을 시사하였다. 이러한 넓은 전이 구간은 단백질-전분 복합체의 결합 안정성이 균일하지 않음을 의미하며, 이러한 구조로 인해 가열 시 단계적인 구조 붕괴가 일어날 가능성이 크다. 즉, 소청자는 열적 안정성은 낮지만 구조적 복합성이 높은 품종으로 해석된다. 요약하면, 검은콩 자엽의 열적 특성은 단백질 및 지방 함량, 자엽의 밀도, 그리고 내부 조직의 결합력 등에 의해 결정되며, 조밀한 구조와 높은 결합 안정성을 지닌 품종은 구조 안정형으로, 결합이 느슨하고 에너지 요구량이 낮은 품종은 열반응형

**Table 6. Thermal transition parameters of cotyledons from five black soybean cultivars (CJ5, DH, SCJ, SU, and SRH) determined by DSC**

Peak 1					
Sample	To <sup>1)</sup>	Tp	Tc	Tr	$\Delta H$
CJ5 <sup>2)</sup>	74.0±0.4 <sup>AB3),4)</sup>	84.2±0.1 <sup>A</sup>	90.2±0.2 <sup>A</sup>	16.1±0.6 <sup>AB</sup>	0.89±0.04 <sup>A</sup>
DH	73.0±0.5 <sup>B</sup>	82.2±2.5 <sup>AB</sup>	89.8±0.5 <sup>AB</sup>	16.8±0.0 <sup>A</sup>	0.88±0.06 <sup>A</sup>
SCJ	74.2±0.2 <sup>A</sup>	84.7±0.1 <sup>A</sup>	89.7±0.1 <sup>AB</sup>	15.5±0.2 <sup>BC</sup>	0.46±0.05 <sup>C</sup>
SU	73.7±0.5 <sup>AB</sup>	79.7±0.1 <sup>B</sup>	89.0±0.6 <sup>B</sup>	15.3±0.1 <sup>C</sup>	0.66±0.02 <sup>B</sup>
SRH	73.6±0.0 <sup>AB</sup>	79.9±0.6 <sup>B</sup>	89.0±0.2 <sup>B</sup>	15.4±0.2 <sup>BC</sup>	0.73±0.01 <sup>B</sup>
Peak 2					
Sample	To	Tp	Tc	Tr	$\Delta H$
CJ5	95.7±0.5 <sup>A</sup>	102.3±0.2 <sup>AB</sup>	109.6±0.1 <sup>B</sup>	13.9±1.4 <sup>B</sup>	3.70±0.17 <sup>A</sup>
DH	95.2±0.4 <sup>A</sup>	101.8±0.6 <sup>B</sup>	109.3±0.5 <sup>B</sup>	14.1±0.2 <sup>B</sup>	4.09±0.32 <sup>A</sup>
SCJ	94.1±0.5 <sup>B</sup>	102.8±0.0 <sup>A</sup>	112.3±1.1 <sup>A</sup>	18.2±1.6 <sup>A</sup>	3.22±0.05 <sup>B</sup>
SU	93.9±0.3 <sup>B</sup>	100.8±0.2 <sup>C</sup>	108.9±0.5 <sup>B</sup>	15.0±0.2 <sup>B</sup>	3.05±0.00 <sup>B</sup>
SRH	94.1±0.0 <sup>B</sup>	100.5±0.2 <sup>C</sup>	108.3±0.1 <sup>B</sup>	14.1±0.1 <sup>B</sup>	3.09±0.04 <sup>B</sup>

<sup>1)</sup> To, onset temperature; Tp, peak temperature; Tc, conclusion temperature; Tr = Tc - To;  $\Delta H$ , enthalpy change.

<sup>2)</sup> CJ5: Cheongja5ho; DH: Danheuk; SCJ: Socheongja; SU: Seum; SRH: Soriheuk.

<sup>3)</sup> All values are mean±S.D. of triple determinations.

<sup>4)</sup> Same letters in the same column are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

으로 구분될 수 있다. 이러한 자엽부의 열적 거동 차이는 이후 제시되는 RVA 특성에서 가열 중 점도 발현과 안정성의 품종별 차이를 설명할 수 있다.

### 3. 수화 및 분산 특성(hydration and dispersion properties)

검은콩 5품종의 수화 특성은 Fig. 4에 제시하였으며, 용해도(solubility)와 팽윤력(swelling power)은 50°C 및 90°C에서 측정한 결과, 온도와 품종에 따라 뚜렷한 차이를 보였다. 50°C에서 용해도는 소청자가 가장 높았으며, 청자5호, 단흑, 소리흑은 중간 수준, 세움은 가장 낮게 나타났다. 이는 소청자의 자엽 구조가 상대적으로 느슨하고 단백질-전분 결합이 약하여 수분에 의한 용출이 용이하기 때문으로 판단된다(Damodaran S 1988; Renkema 등 2001). 반면 세움은 낮은 용해도에도 불구하고 팽윤력이 가장 높게 나타나, 수분 흡수에 따른 입자 팽창이 활발하게 일어나지만, 용출보다는 물리적 팽윤 중심의 반응이 일어나는 것으로 해석된다. 청자5호와 단흑은 용해도와 팽윤력 모두 낮은 경향을 보였으며, 이러한 특성은 앞서 제시된 열적 분석 결과에서 높은  $\Delta H$  값을 보인 품종의 특성과 일치한다. 이는 조밀한 자엽 구조와 강한 단백질-전분 상호작용이 수분 확산과 팽윤을 입자 팽윤이 제한 것으로 보인다(Tang 등 2006). 소리흑은 두 특성 모두 중간 수준으로, 종피의 밀도는 낮지만 비율이 높아(Table 5) 수분

이동이 완만하게 진행된 것으로 해석된다. 90°C에서는 전체적으로 수화 반응이 증가하였으나, 품종 간 상대적 경향은 50°C 조건과 유사하게 유지되었다. 용해도는 여전히 소청자가 가장 높았으며, 세움은 가장 낮은 수준을 보였다.

소청자는 DSC 결과에서 가장 낮은 엔탈피( $\Delta H$ )를 보여 구조적 결합이 느슨하고, 가열 시 자엽 내 단백질-전분 매트릭스가 쉽게 풀리면서 수분 흡수와 성분 용출이 빠르게 일어나는 것으로 판단된다. 이에 따라 용해 중심의 수화 반응을 보이며, 상대적으로 입자 팽윤은 제한적이었다. 반면 세움은 용해도는 낮지만 팽윤력은 높게 나타나, 수분 흡수가 주로 용해 성분의 방출을 제한하며 입자 팽창을 유도하는 물리적 팽윤 중심의 거동으로 보인다. 청자5호와 단흑은 열적 안정성이 높고 내부 구조가 조밀하여 두 반응 모두에서 중간 또는 낮은 수준을 유지하였으며, 소리흑은 두 특성 모두에서 중간 정도의 반응성을 보였다. 이러한 결과는 각 품종의 자엽 구조 및 밀도와 열적 안정성이 수화 반응 형태를 결정하는 주요 요인임을 보여준다.

품종별 분산 특성은 vial dispersion test 결과(Fig. 5)에 제시하였으며, 시간 경과에 따른 층 분리 및 침전물 형성을 통해 분산 안정성의 상대적 차이를 확인하였다. 침전 초기(~5

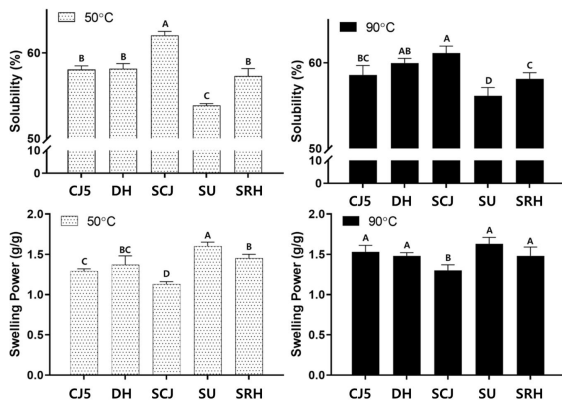


Fig. 4. Solubility and swelling power of five black soybean cultivars (Cheongja 5, Danheuk, Socheongja, Seum, and Soriheuk) measured at 50°C and 90°C. Different superscript letters indicate significant differences among cultivars ( $p < 0.05$ ). CJ5: Cheongja5ho; DH: Danheuk; SCJ: Socheongja; SU: Seum; SRH: Soriheuk.

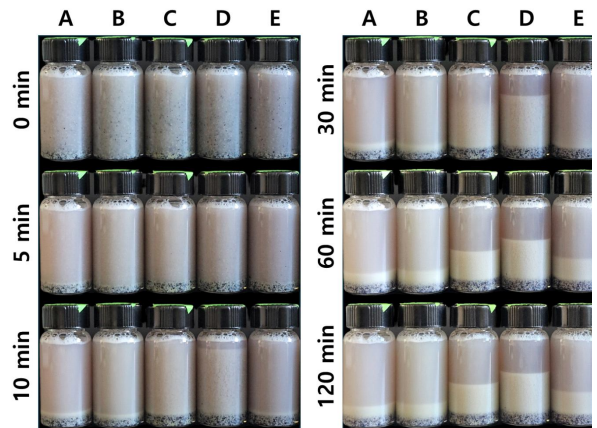


Fig. 5. Visual observation of dispersion stability of five black soybean cultivars during the vial dispersion test over time. (A) CJ5, (B) DH, (C) SCJ, (D) SU, and (E) SRH. Images were taken at sequential time intervals to compare sedimentation behavior and layer separation among cultivars. CJ5: Cheongja5ho; DH: Danheuk; SCJ: Socheongja; SU: Seum; SRH: Soriheuk.

min)에는 모든 시료가 균질하게 분산되었으나, 시간의 경과에 따라 침전층 형성 속도와 침전물 높이에서 뚜렷한 품종 간 차이가 나타났다. 세움은 시간이 지남에 따라 침전층이 완만하게 형성되었으며, 최종적으로 침전층의 부피가 가장 크게 유지되어 입자들이 천천히 가라앉는 거동을 보였다. 이는 팽윤이 크게 일어나 입자 간 밀도 차가 완화된 결과로, 분산 상태가 장시간 유지되어 가장 우수한 분산 안정성을 나타냈다. 소청자와 소리흑은 중간 정도의 분산 안정성을 나타냈으며, 침전층이 점진적으로 형성되었으나, 상등액의 투명도 변화는 완만하였다. 반면 단흑과 청자5호는 침전물이 낮고 빠르게 형성되어 분산 안정성이 가장 낮은 품종으로 분류되었다. 전체적으로 세움, 소청자, 소리흑, 단흑, 청자5호 순으로 침전물 높이가 낮아지는 경향을 보였으며, 이는 용해도나 팽윤력과는 다른 경향으로, 분산 안정성이 단순한 수화 반응성보다는 입자 응집, 밀도 및 고형분 침전 속도에 의해 크게 영향을 받음을 시사한다(Goralchuk 등 2019).

종합적으로, 검은콩 품종의 수화 및 분산 특성은 자엽의 열적 안정성, 내부 결합 강도, 밀도, 표면 노출 정도에 따라 달라지는 것으로 나타났다. 조밀하고 안정된 구조를 가진 품종(청자5호, 단흑)은 수화 및 분산 반응성이 낮은 반면, 느슨한 조직과 높은 비표면적을 지닌 품종(세움, 소청자)은 수화 및 분산 특성이 우수하였다. 이러한 구조적, 열적 특성은 품종별 가공 적성과 기능성 소재로의 활용 가능성을 확인할 수 있다.

#### 4. 호화 및 점도 특성

검은콩 5품종의 점도 특성은 Fig. 6과 Table 7에 제시하였다.

모든 품종에서 유사한 패턴의 RVA 점도 곡선이 나타났으나, 점도 프로파일 값에서 품종 간 뚜렷한 차이가 관찰되었다. 세움은 전체적으로 가장 높은 점도 특성을 보였으며, 가

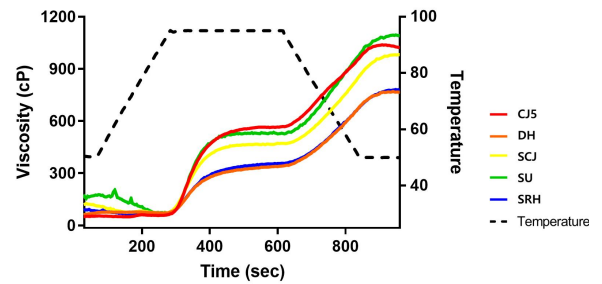


Fig. 6. RVA pasting curves of five black soybean cultivars (CJ5, DH, SCJ, SU, and SRH). CJ5: Cheongja5ho; DH: Danheuk; SCJ: Socheongja; SU: Seum; SRH: Soriheuk.

열 중 전분 팽윤과 냉각 후 재결합이 활발히 일어난 것으로 판단된다. 이는 앞서 제시된 수화 및 분산 특성 결과에서 세움이 높은 팽윤력을 보였던 경향과도 일치하며, 높은 수분 흡수와 입자 팽윤, 그리고 균일한 분산 상태의 유지가 가열 시 점도 상승과 구조 형성에 직접적으로 기여한 것으로 보인다.

또한 세움은 상대적으로 높은 탄수화물 함량(Table 2)과 밀도(Table 5)를 나타냈는데, 이는 충분한 전분 공급원과 조밀한 내부 구조가 상호작용하여 가열 시 점도 형성을 강화시킨 결과로 해석된다.

청자5호와 소청자는 세움 다음으로 높은 최종점도와 회복 점도(setback)를 보였으며, 두 품종은 구조적 안정성과 단백질-전분 결합력이 균형을 이루는 특성을 지닌 것으로 평가된다.

특히 청자5호는 높은 회분 함량과 열적 안정성(높은  $\Delta H$ )을 보였고, 소청자는 느슨한 단백질-전분 결합으로 인해 낮은  $\Delta H$ 를 나타내며, 열적 반응성이 높은 품종으로 구분된다. 이러한 상반된 열적 특성이 점도 발현 과정에서 서로 다른

Table 7. Pasting parameters of five black soybean cultivars (CJ5, DH, SCJ, SU, and SRH) obtained using an RVA

(cP)	Peak viscosity	Breakdown	Final viscosity	Setback
CJ5 <sup>1)</sup>	483.5±48.6 <sup>(A2),3)</sup>	99.5±7.3 <sup>B</sup>	983.2±49.4 <sup>B</sup>	599.2±37.4 <sup>C</sup>
DH	299.5±13.2 <sup>C</sup>	60.0±2.9 <sup>C</sup>	772.8±22.5 <sup>C</sup>	533.3±12.5 <sup>D</sup>
SCJ	430.3±4.0 <sup>B</sup>	98.3±0.6 <sup>B</sup>	988.0±16.8 <sup>B</sup>	656.0±13.9 <sup>B</sup>
SU	505.0±5.6 <sup>A</sup>	123.3±5.0 <sup>A</sup>	1,089.7±17.0 <sup>A</sup>	708.0±15.5 <sup>A</sup>
SRH	303.0±6.1 <sup>C</sup>	68.8±3.0 <sup>C</sup>	771.3±13.6 <sup>C</sup>	537.0±10.7 <sup>D</sup>

<sup>1)</sup> CJ5: Cheongja5ho; DH: Danheuk; SCJ: Socheongja; SU: Seum; SRH: Soriheuk.

<sup>2)</sup> All values are mean±S.D. of triple determinations.

<sup>3)</sup> Same letters in the same column are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

형태의 점도 유지력을 나타낸 것으로 보인다.

즉, 청자5호는 안정된 구조 유지에 기반한 점도 형성이, 소청자는 빠른 수분 흡수와 부분적 구조 변형에 의한 점도 상승이 주요 메커니즘으로 작용한 것으로 해석된다.

반면 단흑과 소리흑은 전체적으로 낮은 점도 수준을 보였는데, 이러한 경향은 단일 인자보다는 여러 구조적, 물리화학적 요인이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다. 두 품종은 자엽의 조직이 조밀하고 밀도가 높아 가열 중 수분 확산과 전분 팽윤이 제한되었으며, 열적특성 분석에서 높은  $\Delta H$  값을 나타내어 단백질-전분 복합체의 결합 안정성이 강한 것으로 확인되었다. 또한 상대적으로 낮은 분산 안정성(Fig. 5)으로 인해 가열 중 입자 간 결합이 빠르게 응집되면서 내부 수화 반응이 충분히 진행되지 못했을 가능성이 있다. 이와 같은 높은 열적 안정성, 조밀한 내부 구조, 제한된 수화 반응성, 낮은 분산 안정성이 복합적으로 작용하여 전분의 팽윤 및 재결합을 억제하고, 결과적으로 최종점도 형성을 저하시킨 것으로 판단된다.

요약하면, RVA 분석 결과는 앞서 제시된 일반성분, 열적, 수화 및 분산 특성과 밀접하게 연관 되어있었다. 유사하게, Du 등(2014)는 두류 분말의 단백질-전분-지질 조성이 호화 및 점도 특성에 결정적인 영향을 미친다고 보고하였으며, Adebowale & Lawal(2003)은 조성 성분들의 구조적 안정성이 가공 중 점도 유지력에 영향을 준다고 제시하였다. 조밀하고 안정된 자엽 구조를 지닌 품종(청자5호, 단흑, 소리흑)은 열적 안정성은 높으나 점도 발현이 제한된 반면, 느슨한 매트릭스 구조와 높은 팽윤성을 지닌 품종(세움, 소청자)은 점도 발현 및 점성 유지력이 높게 나타났다. 이러한 점도 거동의

차이는 각 품종의 전분-단백질 상호작용 강도, 수분 흡수 능력, 내부 구조 조밀도 등 복합적 요인에 의해 결정되는 것으로 보인다. 결과적으로 점도 특성이 낮은 품종은 액상 또는 분산형 식품 가공에 유리하며, 높은 점도 특성을 나타내는 품종은 점성 유지가 요구되는 고형, 반고형 제품 가공에 보다 적합할 것으로 판단된다.

### 5. 항산화 활성 및 생리활성 성분

검은콩 5품종의 항산화 활성(ABTS, DPPH)과 생리활성 성분 함량(TPC, TFC)은 Table 8에 제시하였다. 모든 항목에서 품종 간 뚜렷한 차이가 관찰되었으며, 전반적으로 소리흑(SRH)과 세움(SU)에서 가장 높은 값을 나타냈다. 소청자(SCJ)는 중간 수준을 보였으며, 청자5호(CJ5)와 단흑(DH)은 상대적으로 낮은 항산화 활성을 보였다. ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능은 품종에 따라 유사한 경향을 나타냈다. 소리흑은 두 항목 모두에서 가장 높은 활성을 보였으며, 세움이 그 뒤를 이었다. TPC와 TFC 역시 이와 유사한 경향을 보여, 소리흑과 세움이 기능성 물질 축적량이 가장 높은 품종으로 평가되었다. 반면 청자5호와 단흑은 모든 항목에서 낮은 값을 나타내어 기능성 성분의 축적이 상대적으로 제한된 것으로 나타났다.

이러한 결과는 앞서 제시한 형태적, 조직적 특성과 밀접하게 연관된다. 청자5호와 단흑은 대립종으로 종피 비율이 각각 6.7%와 7.2%로 낮은 반면, 세움과 소리흑은 9% 내외의 높은 종피 비율(Table 5)을 보여 기능성 색소와 폴리페놀 화합물이 풍부한 종피의 상대적 기여도가 컸던 것으로 보인다. 종피는 안토시아닌, 플라보노이드, 폴리페놀 등 항산화 성분

Table 8. Antioxidant activity and bioactive compound contents of five black soybean cultivars (CJ5, DH, SCJ, SU, and SRH)

Sample	ABTS <sup>1)</sup>	DPPH	TPC	TFC
CJ5 <sup>2)</sup>	5.34±0.04 <sup>D3),4)</sup>	2.02±0.08 <sup>E</sup>	23.28±0.07 <sup>D</sup>	3.91±0.22 <sup>C</sup>
DH	5.26±0.08 <sup>D</sup>	3.05±0.08 <sup>D</sup>	23.10±0.12 <sup>D</sup>	3.76±0.31 <sup>C</sup>
SCJ	5.79±0.05 <sup>C</sup>	3.78±0.10 <sup>C</sup>	25.20±0.16 <sup>C</sup>	7.52±0.13 <sup>B</sup>
SU	6.54±0.09 <sup>B</sup>	4.14±0.05 <sup>B</sup>	27.80±0.30 <sup>B</sup>	7.38±0.23 <sup>B</sup>
SRH	6.75±0.05 <sup>A</sup>	4.79±0.06 <sup>A</sup>	27.12±0.06 <sup>A</sup>	8.67±0.21 <sup>A</sup>

<sup>1)</sup> ABTS, radical scavenging activity (mg TE/g DW); DPPH, radical scavenging activity (mg TE/g DW); TPC, total phenolic content (mg GAE/g DW); TFC, total flavonoid content (mg CE/g DW).

<sup>2)</sup> CJ5: Cheongja5ho; DH: Danheuk; SCJ: Socheongja; SU: Seum; SRH: Soriheuk.

<sup>3)</sup> All values are mean±S.D. of triple determinations.

<sup>4)</sup> Same letters in the same column are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

이 집중적으로 존재하는 부위로 알려져 있으며, 일부 선행연구에서는 종피 비율이 높을수록 항산화 활성이 증가하는 경향을 보고하고 있다(Lee 등 2013; Wu 등 2017). 따라서 세움과 소리흑에서 높은 항산화 활성이 나타난 것은 종피 비율이 높고 색소 축적량이 많은 구조적 특징이 주요하게 작용했을 가능성이 크며, 이러한 경향은 앞선 연구 결과와 일치한다. 색도 데이터(Table 3)에서도 이 경향이 뚜렷하게 나타났다. 소리흑은 종피의 명도( $L^*$ )가 가장 낮고 적색도( $a^*$ )가 가장 높아 안토시아닌 축적이 많음을 시사하였으며, 이는 실제로 가장 높은 ABTS 및 DPPH 활성을 보인 결과와 일치하였다. 세움 또한 상대적으로 높은  $a^*$  값과 낮은  $L^*$  값을 보여, 다른 품종보다 진한 흑색을 띠며 항산화 활성이 우수하였다. 이와 반대로 청자5호와 단흑은 명도가 높고 적색도가 낮아 색소 함량이 적은 품종으로 분류되며, 이에 따라 항산화 활성과 폴리페놀 함량이 낮게 나타났다.

조직적 특성 측면에서도, 앞서 제시된 밀도 및 미세구조 분석 결과와의 일관성이 확인되었다. 세움과 소리흑은 낮은 밀도와 느슨한 내부 조직을 가져 항산화 성분이 용매에 쉽게 확산, 용출될 수 있는 구조적 환경을 가진 반면, 청자5호와 단흑은 조밀한 자엽 구조로 인해 기능성 물질의 추출 효율이 상대적으로 낮았을 것으로 판단된다. 이는 열적 분석 결과에서 높은  $\Delta H$ (구조 안정성)와 함께 낮은 수화 반응성, 낮은 분산 안정성을 보인 경향과도 일치하였다. 요약하면, 검은콩 품종 간 항산화 활성의 차이는 종피의 비율과 색도(색소 함량), 자엽의 내부 조직 밀도와 구조 안정성, 열적 및 수화 반응성의 복합적인 영향에 의해 결정된다. 세움과 소리흑은 높은 종피 비율과 진한 색조, 느슨한 조직 구조를 지닌 고기능성 품종, 청자5호와 단흑은 종피 비율이 낮고 구조가 안정된 저반응형 품종으로 구분할 수 있다. 따라서 이러한 조성적, 구조적 특성은 검은콩 품종별 항산화 잠재력과 가공적성(예: 기능성 분말, 항산화 음료 등) 평가에 활용될 수 있다.

## 요 약

본 연구에서는 국내에서 육성된 5품종의 검은콩을 대상으로, 종실의 형태적, 조직적 특성과 열적, 수화, 점도 및 항산화 특성을 종합적으로 비교, 분석하였다. 그 결과, 검은콩 품종들은 자엽의 구조적 밀도, 종피 비율, 색도, 열적 안정성, 수화 반응성 등에서 뚜렷한 차이를 보였으며, 이러한 물리화학적 특성의 차이는 가공 적성과 기능성 발현에 직접적인 영

향을 미치는 것으로 확인되었다. 대립종인 청자5호와 단흑은 높은 밀도와  $\Delta H$  값, 낮은 용해도 및 분산성을 보여 내부 구조가 조밀하고 안정된 저반응형 품종으로 분류되었다. 이들은 가열 및 가공 중 구조 변형이 적어 점도 발현은 제한적이지만, 일정한 입자 구조를 유지할 수 있어 균질한 품질이 요구되는 액상 또는 열안정형 가공식품(예: 음료 베이스, 농축액 등)에 적합할 것으로 판단된다. 반면 세움과 소정자는 느슨한 매트릭스 구조와 높은 팽윤성, 우수한 분산 안정성을 보였으며, 열적 안정성이 낮아 가열 시 구조적 변형이 쉽게 일어나는 열반응형 품종으로 평가되었다. 이들은 높은 RVA 점도와 우수한 팽윤력, 점성 유지력을 나타내어 점성이 요구되는 제과제빵, 고형식 또는 반고형 가공식품(예: 두유, 반죽, 젤형 제품)에 활용 가능성이 크다. 한편, 소리흑은 가장 높은 항산화 활성(ABTS, DPPH)과 폴리페놀, 플라보노이드 함량을 나타냈으며, 종피 비율이 높고 색도에서 낮은  $L^*$  및 높은  $a^*$  값을 보여 진한 색소 축적이 확인되었다. 이 품종은 우수한 기능성 잠재력을 지닌 고기능성형 품종으로, 기능성 분말, 항산화 음료, 또는 천연색소 소재로의 활용이 유망하다. 이와 같이 검은콩 품종별 구조적, 화학적 특성의 차이는 가공 공정 중 열 및 수분 반응성, 점도 발현, 기능성 성분의 용출 등에 복합적으로 작용하여 제품 품질에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 검은콩의 산업적 활용 시, 가공 목적(예: 구조 안정성, 점성 부여, 항산화 강화)에 따라 적합한 품종을 선택하는 것이 중요하며, 본 연구에서 제시된 다각적 특성 분석은 향후 품종 선발 및 기능성 품종 개량의 과학적 근거자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ017419032025)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

본 연구는 2025년도 농촌진흥청 국립식량과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어진 것입니다.

## References

- Abati J, Zucareli C, Brzezinski CR, Lopes ION, Krzyzanowski FC, Moraes LAC, Henning FA. 2022. Water absorption and storage tolerance of soybean seeds with contrasting seed

- coat characteristics. *Acta Sci Agron* 44:e53096
- Adebowale KO, Lawal OS. 2003. Foaming, gelation and electrophoretic characteristics of mucuna bean (*Mucuna pruriens*) protein concentrates. *Food Chem* 83:237-246
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 17th ed., Vol. 11. AOAC International
- Bang BH, Jeong EJ. 2007. A study on manufacturing black soybean yogurt. *Korean J Food Nutr* 20:289-294
- Bhartiya A, Aditya JP, Pal RS, Chandra N, Kant L, Pattanayak A. 2020. Bhat (black soybean): A traditional legume with high nutritional and nutraceutical properties from NW Himalayan region of India. *Indian J Tradit Knowl* 19: 307-319
- Bhatty RS. 1995. Comparisons of good- and poor-cooking lentils. *J Sci Food Agric* 68:489-496
- Biliaderis CG, Tonogai JR. 1991. Influence of lipids on the thermal and mechanical properties of concentrated starch gels. *J Agric Food Chem* 39:833-840
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci Technol* 28:25-30
- Damodaran S. 1988. Refolding of thermally unfolded soy proteins during the cooling regime of the gelation process: Effect on gelation. *J Agric Food Chem* 36:262-269
- Du S, Jiang H, Yu X, Jane J. 2014. Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT-Food Sci Technol* 55:308-313
- Duffy C, Perez K, Partridge A. 2007. Implications of phytoestrogen intake for breast cancer. *CA Cancer J Clin* 57:260-277
- Goralchuk A, Grinchenko O, Riabets O, Kotlyar O. 2019. Food dispersion systems process stabilization. A review. *Ukr Food J* 8:699-732
- Hu S, Liu C, Liu X. 2023. The beneficial effects of soybean proteins and peptides on chronic diseases. *Nutrients* 15:1811
- Jeong HK, Lee DH, Seo JS, Won SY, Kang HY, Chi JH. 2019. Changes in the characteristics and isoflavone content of soybean on different varieties and processing methods. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 48:245-252
- Khosravi A, Razavi SH. 2021. Therapeutic effects of polyphenols in fermented soybean and black soybean products. *J Funct Foods* 81:104467
- Kim HG, Kim GW, Oh H, Yoo SY, Kim YO, Oh MS. 2011. Influence of roasting on the antioxidant activity of small black soybean (*Glycine max* L. Merrill). *LWT-Food Sci Technol* 44:992-998
- Kim J, Lee HI, Lim YJ, Park YJ, Kim W, Kim DO, Kim BY, Eom SH, Baik MY. 2020. Antioxidant and phytoestrogenic activities of puffed black soybeans (*Glycine max*). *LWT-Food Sci Technol* 118:108780
- Koriyama T, Teranaka K, Tsuchida M, Kasai M. 2022. Effects of storage and roasting condition on the antioxidant activity of soybeans with different colors of seed coat. *Foods* 12:92
- Kumar M, Suhag R, Hasan M, Dhuma S, Radha, Pandiselvam R, Senapathy M, Sampathrajan V, Punia S, Sayed AAS, Singh S, Kennedy JF. 2023. Black soybean (*Glycine max* (L.) Merr.): Paving the way toward new nutraceutical. *Crit Rev Food Sci Nutr* 63:6208-6234
- Lee JY, Woo KS, Seo JH, Lee YY, Lee BW, Kim MH, Kang MS, Kim HJ. 2021. Physicochemical qualities and physiological activities of black soybeans by cultivation area and cultivars. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 50:29-35
- Lee LS, Choi EJ, Kim CH, Kim YB, Kum JS, Park JD. 2014. Quality characteristics and antioxidant properties of black and yellow soybeans. *Korean J Food Sci Technol* 46: 757-761
- Lee S, Lee Y, Kim HS. 2013. Analysis of the general and functional components of various soybeans. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42:1255-1262
- Li S, Wei Y, Fang Y, Zhang W, Zhang B. 2014. DSC study on the thermal properties of soybean protein isolates/corn starch mixture. *J Therm Anal Calorim* 115:1633-1638
- Mullin WJ, Xu W. 2001. Study of soybean seed coat components and their relationship to water absorption. *J Agric Food Chem* 49:5331-5335
- Nam TG, Kim DO, Eom SH. 2018. Effects of light sources on major flavonoids and antioxidant activity in common buckwheat sprouts. *Food Sci Biotechnol* 27:169-176
- Park HJ, Kim HJ, Ye SJ, Oh YG, Choi YC, Kwak J, Seo JH,

- Chu JH, Ju YK, Chun A. 2025. Effects of drying methods on the functional properties of proteins derived from soybean, adzuki bean, and mung bean. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 54:515-525
- Pietrzak LN, Frégeau-Reid J, Chatson B, Blackwell B. 2002. Observations on water distribution in soybean seed during hydration processes using nuclear magnetic resonance imaging. *Can J Plant Sci* 82:513-519
- Renkema JMS, Knabben JHM, van Vliet T. 2001. Gel formation by  $\beta$ -conglycinin and glycinin and their mixtures. *Food Hydrocoll* 15:407-414
- Song YE, Han HA, Lee SY, Shin SH, Choi SR, Song EJ, Kwon SJ. 2020. Quality characteristics of black soybean sediments according to different addition ratio of black soybean. *Korean J Food Nutr* 33:299-308
- Susanto GWA, Maulana H, Putri PH, Purwaningrahayu RD, Wijaya AA, Sekti BA, Karuniawan A. 2023. Stability analysis to select the stable and high yielding of black soybean (*Glycine max* (L) Merrill) in Indonesia. *Int J Agron* 2023:7255444
- Tang CH, Chen Z, Li L, Yang XQ. 2006. Effects of transglutaminase treatment on the thermal properties of soy protein isolates. *Food Res Int* 39:704-711
- Upretee P, Bandara MS, Tanino KK. 2024. The role of seed characteristics on water uptake preceding germination. *Seeds* 3:559-574
- van den Berg R, Haenen GRMM, van den Berg H, Bast A. 1999. Applicability of an improved Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay for evaluation of antioxidant capacity measurements of mixtures. *Food Chem* 66:511-517
- Wu H, Deng J, Yang C, Zhang J, Zhang Q, Wang X, Yang F, Yang W, Liu J. 2017. Metabolite profiling of isoflavones and anthocyanins in black soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] seeds by HPLC-MS and geographical differentiation analysis in Southwest China. *Anal Methods* 9:792-802
- Wu X, Yu H, Bao G, Luan M, Wang C. 2022. Preparation of adzuki bean starch-lipid complexes and their anti-digestion mechanism. *J Food Meas Charact* 16:945-956
- Xu D, Cui J, Bansal R, Hao X, Liu J, Chen W, Peterson BS. 2009. The ellipsoidal area ratio: An alternative anisotropy index for diffusion tensor imaging. *Magn Reson Imaging* 27:311-323
- Ye SJ, Baik MY. 2024. Physicochemical properties of amorphous granular starch (AGS) prepared by non-thermal gelatinization by high hydrostatic pressure (HHP) and spray drying. *Int J Biol Macromol* 260:129508
- Ye SJ, Baik MY. 2025. Physical modification of corn and potato starches using soaking, freezing, and drying. *Food Sci Biotechnol* 34:923-933
- Zhang RF, Zhang FX, Zhang MW, Wei ZC, Yang CY, Zhang Y, Tang XJ, Deng YY, Chi JW. 2011. Phenolic composition and antioxidant activity in seed coats of 60 Chinese black soybean (*Glycine max* L. Merr.) varieties. *J Agric Food Chem* 59:5935-5944
- Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64:555-559

---

Received 10 November, 2025

Revised 21 November, 2025

Accepted 03 December, 2025

## Dual Enzymatic Inhibition of Tyrosinase and $\alpha$ -Glucosidase by *Petasites japonicus* Flavonoids and Their Skin-Whitening Potential

Hyun-Suk Choi\* and †DuBok Choi

\*Associate Professor, Dept. of Hotel Culinary Arts Patissier, Chungcheong University, Cheongju 28171, Korea  
†Professor, Dept. of Science and Technology Convergence, Graduate School of Chosun University, Gwangju 61452, Korea

### Abstract

This study evaluated the whitening effects of flavonoids extracted from *Petasites japonicus* root (PJR) using in vitro and cell-based assays to assess their cytoprotective, enzyme-inhibitory, and melanogenesis-suppressive activities. PJR flavonoids (30–60  $\mu\text{g/mL}$ ) showed no cytotoxicity and slightly enhanced cell proliferation at 40  $\mu\text{g/mL}$ . Sodium nitroprusside (0.3 mM) decreased cell viability to 31%, whereas PJR restored it to 68.3%. PJR exhibited dose-dependent  $\alpha$ -glucosidase inhibition (20.3–63.2%), indicating its potential to modulate skin glycation and pigmentation. In the malondialdehyde inhibition assay, PJR reduced lipid peroxidation by 35–60%, further supporting its antioxidative capacity. 3,4-Dihydroxyphenylalanine oxidation was suppressed by up to 68.9%, indicating reduced formation of the melanin precursor. The tyrosinase activity decreased from 145% to 86.9% and melanin synthesis was reduced from 105% to 66.9% in a concentration-dependent manner, showing a whitening efficacy comparable to that of arbutin. Overall, these findings indicate that PJR flavonoids possess antioxidative, antiglycation, and antimelanogenic properties and offer strong potential as safe multifunctional ingredients for functional cosmetic and food applications.

Keywords: *Petasites japonicus*, flavonoids, tyrosinase inhibition, melanin suppression, skin whitening

### Introduction

The skin is persistently challenged by a variety of harmful effects originating from the external environment, including ultraviolet (UV) radiation, atmospheric pollutants, chemical substances, particulate matter, and temperature fluctuations, as well as intrinsic conditions such as aging processes, hormonal changes, and metabolic disturbances (Mukhtar & Elmets 1996). These stressors trigger the excessive formation of reactive oxygen species (ROS), which attack cellular components such as lipids, proteins, and nucleic acids, ultimately impairing cellular integrity and biological function (Darr & Fridovich 1994; Rinnerthaler et al. 2015). Notably, the ROS-driven over-expression of matrix metalloproteinases accelerates dermal degradation by promoting the breakdown of collagen and elastin, leading to visible aging, including wrinkle development, loss of elasticity, and skin laxity (Varani et al. 2000). Melanin is

synthesized within melanocytes through the tyrosinase-mediated oxidation of tyrosine and L-3,4-dihydroxyphenylalanine (L-DOPA), and is essential for determining skin tone and shielding the epidermis from harmful UV radiation (Hearing & Tsukamoto 1991; Solano F 2014). Nevertheless, excessive activation of tyrosinase and other melanogenic enzymes can lead to abnormal pigment overproduction, contributing to hyperpigmentation disorders, such as lentigines and melasma (Busca & Ballotti 2000; Briganti et al. 2003). Although several synthetic depigmenting agents show potent inhibitory effects on tyrosinase, their clinical applicability is often restricted owing to safety concerns, including cytotoxicity, skin irritation, and instability during long-term use (Parvez et al. 2006; Solano et al. 2006). Consequently, naturally derived whitening compounds with strong antioxidant properties and improved biocompatibility have emerged as promising alternatives for pigmentation control (Nunes et al. 2018; Tungmunthum et al. 2018). Flavonoids

† Corresponding author: Dubok Choi, Professor, Dept. of Science and Technology Convergence, Graduate School of Chosun University, Gwangju 61452, Korea. Tel: +82-62-230-7956, Fax: +82-62-608-5253, E-mail: [choidb@chosun.ac.kr](mailto:choidb@chosun.ac.kr)

effectively eliminate ROS and contribute to diverse biological protective functions, including anti-inflammatory responses, antimicrobial actions, cancer cell proliferation suppression, anti-aging effects, and defense against UV-induced damage (Ryu BH 1999; Heim et al. 2002). Moreover, previous studies have demonstrated that these plant-derived polyphenolic compounds can downregulate tyrosinase activity, consequently reducing the synthesis of melanin pigments in the skin cells (Kim et al. 2006). With these multifunctional properties, flavonoids are increasingly recognized as promising natural ingredients for antioxidant skincare and cosmetic whitening applications. *Petasites japonicus* (PJ), a perennial plant belonging to the Compositae family, has long been utilized as both an edible vegetable and a traditional therapeutic resource (Seo et al. 2008; Lee P 2019). This species is rich in numerous bioactive constituents, including petasins, various sesquiterpenes, phenolic metabolites, and diverse flavonoids (Choi 2002; Kim et al. 2017; Eom et al. 2021), which are associated with antioxidative, anti-inflammatory, hepatoprotective, and anticancer properties (Seo et al. 2008; Kim et al. 2017; Hiemori-Kondo M. 2020). Among the functional ingredients, flavonoids extracted from PJ roots (PJR) have drawn attention as potential dermatoprotective agents owing of their ability to mitigate oxidative damage in skin fibroblasts. However, the molecular mechanisms underlying the skin-whitening potential of the PJR flavonoids remain largely unexplored and require further investigation.

In the present study, we evaluated the whitening efficacy of PJR-derived flavonoids using a systematic approach. Assays targeting  $\alpha$ -glucosidase inhibition, DOPA oxidation suppression, and tyrosinase activity reduction were performed to determine their effects on melanogenesis.

## Materials and Methods

### 1. Sample preparation

Flavonoids were extracted using the methods of Liu et al. (2018) and Hwang et al. (2014), with ultrasonication as a minor modification. The PJRs were collected in April 2024 from Piagol, Toji-myeon, Gurye-gun, and Jeollanam-do in South Korea. The PJRs were thoroughly washed under running water,

air dried at room temperature for 48 h, and extracted using hot water. The resulting extract was dried in a convection oven to obtain powder. Approximately 10 g of this powder was extracted into 150 mL of 70% ethanol at 80°C for 5 h, followed by filtration. The filtrate was concentrated under vacuum at 40°C and purified through eight cycles of water recrystallization, after which the product was dried at 60°C. To remove lipid-soluble impurities, the dried roots were defatted using diethyl ether. For ultrasound-assisted extraction, 0.5 g of the sample was mixed with 20 mL of ethanol and processed using a bath-type sonicator (Kodo Ultrasonic Cleaner, Kodo Industry, Korea) at 40 kHz and 500 W for 30 min (sample-to-solvent ratio of 1:50, g/mL). The extract was then filtered, concentrated at 50°C using a rotary evaporator (LabTech EV400 Series, LabTech Srl, Italy), and finally freeze dried using a lyophilizer (ILShin FDT-8612; ILShin BioBase).

### 2. Cell viability and inhibitory activity of reactive oxygen species generation

Cell viability and oxidative stress attenuation assays were performed using B16F10 mouse melanoma cells. The cells were maintained in Dulbecco's modified Eagle's medium (DMEM) medium (Gibco, USA) supplemented with 10% fetal bovine serum (FBS) and 1% penicillin-streptomycin, and cultured at 37°C in a 5% CO<sub>2</sub> incubator. After reaching appropriate confluence, the cells were seeded into 96-well plates. Flavonoids obtained from PJR were dissolved in dimethyl sulfoxide (DMSO) and applied to the cells at final concentrations of 30, 40, and 60  $\mu$ g/mL for 24 h. Oxidative stress was induced by treating the cells with sodium nitroprusside (SNP, 0.3 mM) for 3 h, while untreated cells served as the control group. The cell viability was assessed using the MTT colorimetric method, which was modified from Mosmann's original method (Mosmann T 1983). Following SNP exposure, MTT solution (0.5 mg/mL) was added to each well and incubated for 4 h at 37°C to allow the formation of formazan crystals. The crystals were subsequently dissolved in DMSO, and the absorbance was measured at 540 nm. The viability rate was calculated as the percentage of absorbance in the sample-treated groups relative to that in the untreated control. The inhibitory activity against ROS generation was evaluated using Wang's method with slight modifications (Wang & Joseph 1999).

Intracellular ROS generation was quantified using the 2',7'-dichlorofluorescein diacetate (DCF-DA) fluorescence assay. After SNP treatment, the cells were incubated with 10  $\mu$ M DCF-DA for 30 min at 37°C in the dark and washed with phosphate-buffered saline (PBS). The fluorescence intensity was measured at excitation and emission wavelengths of 485 and 535 nm, respectively. ROS inhibition was expressed as a reduction in fluorescence intensity compared with the control group.

### 3. $\alpha$ -Glucosidase inhibitory activity

The  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity was evaluated according to the method described by Matsui et al. (2001) with minor modifications.  $\alpha$ -Glucosidase (EC 3.2.1.20, from *Saccharomyces cerevisiae*) was used as the enzyme, and *p*-nitrophenyl- $\alpha$ -D-glucopyranoside (pNPG) served as the reaction substrate. The assay was performed in a 96-well microplate. Sample solution (50  $\mu$ L) was mixed with  $\alpha$ -glucosidase (0.1 U/mL, 50  $\mu$ L) and pre-incubated at 37°C for 10 min. The reaction was initiated by adding 50  $\mu$ L of pNPG (1 mM), followed by incubation at 37°C for an additional 30 min. The reaction was terminated by introducing 0.1 M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (50  $\mu$ L). The amount of *p*-nitrophenol released was quantified by measuring the absorbance at 405 nm using a microplate reader (SpectraMax 190, Molecular Devices, USA). Acarbose (50  $\mu$ g/mL), a well-established  $\alpha$ -glucosidase inhibitor, was used as the reference compound. All samples were analyzed in triplicate, and the results were expressed as mean  $\pm$  standard deviation.

### 4. Malondialdehyde inhibitory activity

Malondialdehyde (MDA) inhibitory activity was analyzed using a modified version of the Ohkawa method (Ohkawa et al, 1979). To evaluate the lipid peroxidation inhibitory activity of PJR flavonoids, MDA formation was measured using a cell-free reaction system. The sample extract was prepared by extracting the plant material with 70% ethanol, followed by concentration, freeze drying, and dissolution in DMSO to obtain various test concentrations. Catechin (50  $\mu$ g/mL, Sigma-Aldrich, USA), a representative antioxidant compound, was used as the reference control. The reaction mixture consisted of 0.1 M phosphate buffer (pH 7.4) containing 0.1 mM FeSO<sub>4</sub>, 1 mM ascorbic acid, and 1 mM linoleic acid. After adding the sample solution, the

mixture was incubated at 37°C for 60 min. At the end of incubation, equal volumes of 10% trichloroacetic acid and 0.67% thiobarbituric acid were added, followed by heating at 95°C for 15 min. The reaction tubes were cooled and centrifuged at 3000 rpm for 10 min, and the absorbance of the supernatant was measured at 532 nm using a UV-visible spectrophotometer (UV-1800, Shimadzu, Japan).

### 5. Inhibitory activity of DOPA oxidation

The DOPA-oxidation inhibitory activity was analyzed using a modified cell-free reaction system (Kim & Uyama 2005). For the assay, 100  $\mu$ L of 10, 20, 30, 40, 50, and 60  $\mu$ g/mL solution and 100  $\mu$ L of the enzyme-substrate mixture were dispensed into each well of a microplate and incubated at 37°C for 30 min. Ascorbic acid (100  $\mu$ g/mL; Sigma-Aldrich, USA), a well-established antioxidant, was used as the reference control. The reaction mixture consisted of 0.1 M phosphate buffer (pH 6.8) containing L-DOPA (2 mM) and tyrosinase (200 U/mL, from mushroom; Sigma-Aldrich). Upon reaction completion, the absorbance of the resulting DOPA-quinone oxidation product was measured at 475 nm using a microplate reader (SpectraMax 190; Molecular Devices, USA).

### 6. Tyrosinase Inhibitory activity in B16F10 cells with $\alpha$ -MSH

Tyrosinase inhibitory activity was analyzed using a modified version of Chen's method (Chen & Kubo 2002) and the B16F10 mouse melanoma cell line. The cells were cultured in DMEM supplemented with 10% FBS and 1% penicillin-streptomycin, and maintained at 37°C in a humidified incubator with 5% CO<sub>2</sub>. When the cells reached ~70% - 80% confluence, they were seeded in 24-well plates at a density of 2 $\times$ 10<sup>5</sup> cells per well. After stabilization for 24 h, the cells were treated with varying concentrations of the flavonoid samples dissolved in DMSO. The positive control group was treated with  $\alpha$ -melanocyte-stimulating hormone ( $\alpha$ -MSH; 100 nM) alone, whereas the negative control received neither  $\alpha$ -MSH nor sample treatment. Arbutin (50  $\mu$ g/mL) was used as the reference inhibitor. The cells were pretreated with PJR flavonoids for 24 h, followed by an additional 48 h of incubation after adding  $\alpha$ -MSH. Following the incubation period, the intracellular tyrosinase activity was quantified using the L-DOPA oxidation method. After washing with PBS, the

cells were lysed with phosphate buffer (pH 6.8) containing 1% Triton X-100 to obtain cell extracts. A mixture of cell lysate (100  $\mu$ L) and 2 mM L-DOPA solution (100  $\mu$ L) was incubated at 37°C for 1 h, and the absorbance of the formed DOPA-quinone was measured at 475 nm using a microplate reader (SpectraMax 190, Molecular Devices, USA).

### 7. Inhibitory activity of $\alpha$ -MSH-induced melanin production

The inhibitory effect on melanin production was analyzed using a modified version of Maeda's method (Maeda & Fukuda, 1996). The inhibitory activity of PJR flavonoids on  $\alpha$ -MSH induced melanogenesis was evaluated using the B16F10 mouse melanoma cell line. The cells were maintained in DMEM supplemented with 10% FBS and 1% penicillin-streptomycin, and incubated at 37°C in a 5% CO<sub>2</sub> atmosphere. When the cells reached ~70% - 80% confluence, they were seeded in 6-well plates at a density of  $3 \times 10^5$  cells per well. After 24 h of stabilization, the cells were treated with the flavonoid samples dissolved in DMSO at final concentrations of 20, 30, 40, 50, and 60  $\mu$ g/mL. The positive control group received either  $\alpha$ -MSH (100 nM) alone, whereas the negative control group was not treated with either  $\alpha$ -MSH or the test samples. Arbutin (50  $\mu$ g/mL), a commonly used skin-whitening agent, was employed as the

reference compound. The cells were pretreated with flavonoids for 24 h, followed by an additional 48 h of incubation after the addition of  $\alpha$ -MSH. At the end of the incubation period, the cells were washed with PBS and lysed by adding 1 mL of 1 N NaOH containing 10% DMSO, followed by heating at 80°C for 1 h to solubilize intracellular melanin. Melanin content was quantified by measuring the absorbance at 405 nm using a microplate reader (SpectraMax 190, Molecular Devices, USA).

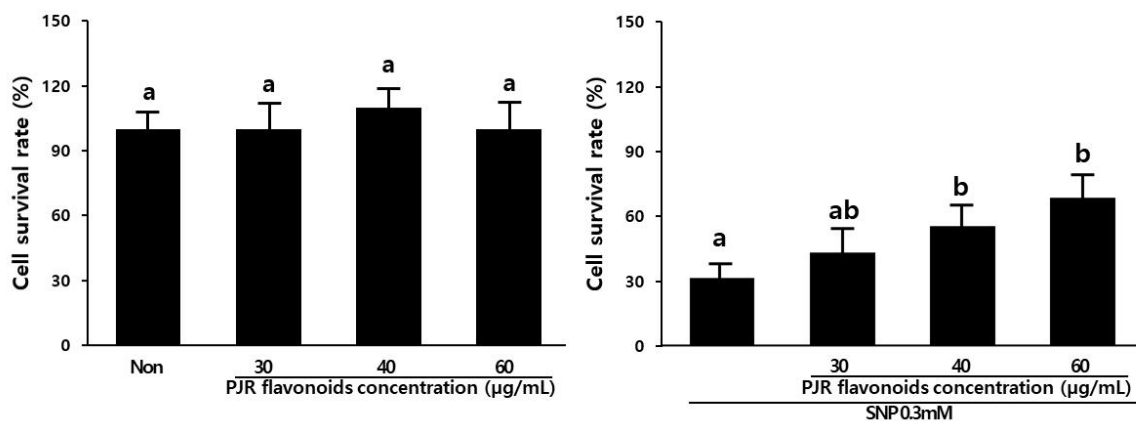
### 8. Statistical analysis

All experiments were conducted in triplicate, and the results are presented as the mean  $\pm$  standard deviation (SD). Statistical analyses were performed using IBM SPSS Statistics for Windows (version 17.0). One-way analysis of variance (ANOVA) was used to determine the statistical significance, followed by Duncan's multiple range test for *post hoc* comparisons. Statistical significance was set at  $p < 0.05$ .

## Results and Discussion

### 1. Effect of PJR flavonoids on cell viability

Fig. 1 shows the effects of the PJR flavonoids on B16F10 cell viability at concentrations of 30, 40, and 60  $\mu$ g/mL. The

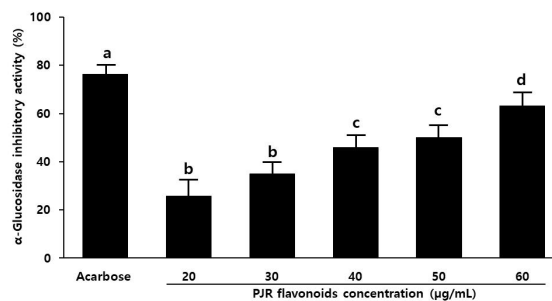


**Fig. 1. Effects of varying the PJR flavonoid concentration on cell viability.** Results are expressed as percentage of control absorbance and shown as mean  $\pm$  SD (n=3). Means sharing the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$ , according to Duncan's multiple range test.

viabilities were 100%, 110%, and 100%, respectively, indicating that flavonoids did not exert cytotoxic effects. Notably, the 40  $\mu\text{g/mL}$  treatment slightly enhanced cell proliferation compared with the untreated control group (NON, 100%). By contrast, treatment with SNP alone (0.3 mM) markedly reduced the cell viability to 31%, confirming that the oxidative stress induced by SNP resulted in significant cellular damage. The combination of SNP and flavonoids led to concentration-dependent recovery of cell viability. Specifically, the viability increased to 43% at 30  $\mu\text{g/mL}$ , 55% at 40  $\mu\text{g/mL}$ , and 68.3% at 60  $\mu\text{g/mL}$ . SNP are known to generate ROS, thereby inducing oxidative cytotoxicity (Cardaci et al. 2008). Consistent with these findings, SNP treatment in the present study sharply reduced cell viability to 31%. However, the combined group with the PJR flavonoids attenuated this decline, showing a dose-dependent restoration of cellular viability, with the highest concentration (60  $\mu\text{g/mL}$ ) recovering viability up to 68.3%. These results suggest that PJR flavonoids possess antioxidant properties that protect cells from oxidative stress, potentially through mechanisms such as free-radical scavenging or metal-ion chelation (Hassanpour & Doroudi 2023).

## 2. Effects of PJR flavonoids on $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity in a cell-free system

Fig. 2 shows the evaluation of the  $\alpha$ -glucosidase inhibitory effects of the PJR flavonoid concentration in a cell-free system, demonstrating that the inhibitory activity increased progressively with increasing sample concentration. Specifically, the inhibition rates of  $\alpha$ -glucosidase were 25.7% at 20  $\mu\text{g/mL}$ , 35.0% at 30  $\mu\text{g/mL}$ , 46.0% at 40  $\mu\text{g/mL}$ , 50.0% at 50  $\mu\text{g/mL}$ , and 63.2% at 60  $\mu\text{g/mL}$ . These results demonstrate that high PJR flavonoid concentrations more effectively suppressed  $\alpha$ -glucosidase activity. The reference inhibitor, acarbose (50  $\mu\text{g/mL}$ ), exhibited ~76.2% inhibition, and the highest concentration of the PJR flavonoids (60  $\mu\text{g/mL}$ ) showed activity approaching this level.  $\alpha$ -Glucosidase inhibition is known not only to regulate glucose metabolism but also to indirectly influence skin aging and pigmentation. Elevated  $\alpha$ -glucosidase activity increases glucose availability, which in turn accelerates non-enzymatic glycation of dermal proteins. This process leads to the formation of advanced glycation end

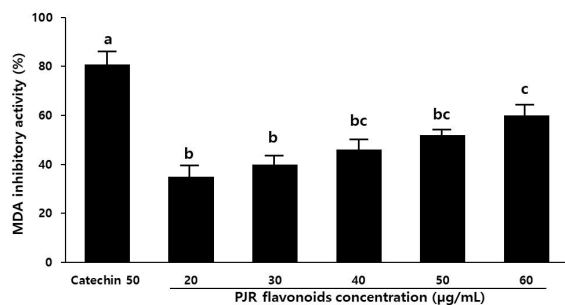


**Fig. 2. Effect of PJR flavonoid concentration on  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity in a cell-free system.** Acarbose was used as the positive control. Results are expressed as % inhibition relative to the control and presented as mean  $\pm$ SD ( $n=3$ ). Means sharing the same letter are not significantly different at  $p<0.05$ , according to Duncan's multiple range test.

products (AGEs), which are associated with reduced skin elasticity, yellowish or brown discoloration, and stimulation of melanogenesis. Consequently,  $\alpha$ -glucosidase inhibitors may contribute to skin brightening or whitening by limiting AGE formation and maintaining skin clarity. Recent studies have reported that flavonoids, polyphenols, and other plant-derived phenolic compounds simultaneously inhibit  $\alpha$ -glucosidase and tyrosinase, thereby exerting a dual whitening mechanism (He et al. 2019; Kumar & Goel 2019; Söhretoğlu et al. 2020). The  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity observed for the PJR flavonoids (up to 63.2%) indicates their potential to suppress glucose-related glycation processes and mitigate pigmentation by reducing AGE formation. These findings imply that flavonoids interact directly with the enzymatic active site or interfere with the metal-ion cofactors essential for catalytic function, ultimately leading to reduced enzyme activity.

## 3. Effects of PJR flavonoids on malondialdehyde inhibitory activity in a cell-free system

The inhibitory effect of PJR flavonoids on the formation of the lipid peroxidation product MDA is presented in Fig. 3. When tested at concentrations of 20, 30, 40, 50, and 60  $\mu\text{g/mL}$ , they exhibited a concentration-dependent increase in MDA inhibition. Specifically, the inhibition rates of MDA were 35% at 20  $\mu\text{g/mL}$ , 40% at 30  $\mu\text{g/mL}$ , 46% at 40  $\mu\text{g/mL}$ , 52% at 50  $\mu\text{g/mL}$ , and



**Fig. 3. Effect of PJR flavonoid concentration on MDA inhibitory activity.** Catechin (50 µg/mL) was used as a positive control. Results are presented as mean±SD of three independent experiments. Bars sharing the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$ , according to Duncan's multiple range test.

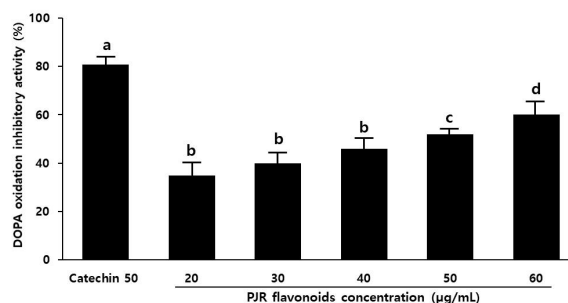
60% at 60 µg/mL. Catechin, used as the reference antioxidant, showed an inhibition rate of ~80.75% at 50 µg/mL. These results indicate that PJR flavonoids exert concentration-dependent antioxidant activity by suppressing MDA production. From a whitening perspective, ROS and lipid peroxidation in the skin contribute to the stimulation of melanogenesis, pigmentation, and overall dullness of the skin tone (Denat et al. 2014). Lee et al. (2003) demonstrated, Using a lipid peroxidation assay involving 24 plant-derived flavonoids and phenolic acids, Lee et al. (2003) demonstrated that certain flavonoids reduced the formation of MDA-like substances (malonaldehyde) by up to 94%. Similarly, Peng & Kuo (2003) reported that flavonoids possessing o-dihydroxy or adjacent trihydroxy structures exhibit superior inhibitory effects on lipid peroxidation and MDA formation. These findings suggest that the structural characteristics of flavonoids play a decisive role in their antioxidant and anti-lipid peroxidation activities. Lipid peroxidation products, such as MDA, as well as their downstream effects, including protein glycation (AGEs) and stimulation of melanogenic pathways, contribute to diminished skin clarity and increased dullness. Therefore, the ability of flavonoids to suppress MDA production may reduce oxidative stress-driven pigmentation. Collectively, the MDA inhibitory activity observed in this study indicates that PJR flavonoids may offer a secondary whitening mechanism-

complementary to  $\alpha$ -glucosidase inhibition-through the mitigation of lipid peroxidation and suppression of pigmentation signals.

#### 4. Effects of PJR flavonoids on DOPA oxidation inhibitory activity in a cell-free system

The inhibitory effects of PJR flavonoids on DOPA oxidation are shown in Fig. 4. The samples exhibited a clear concentration-dependent increase in inhibition, with activities of 26.9% at 10 µg/mL, 36.7% at 20 µg/mL, 48.9% at 30 µg/mL, 55.6% at 40 µg/mL, 60.6% at 50 µg/mL, and 68.9% at 60 µg/mL. Although the inhibitory activity was lower than that of the reference compound, ascorbic acid (100%), the flavonoids demonstrated a distinct upward trend with increasing concentration, indicating their inhibitory potential against enzymatic oxidation reactions.

The oxidation of L-DOPA is a key step in melanogenesis, during which L-DOPA is converted to dopaquinone by tyrosinase (Kim & Uyama 2005). The accumulation of oxidative intermediates in this process can elevate intracellular ROS levels, further stimulating melanin synthesis. Therefore, the inhibition of DOPA oxidation is considered a critical indicator for evaluating skin-whitening efficacy, as it reflects the regulation of an essential intermediate stage in the melanogenic pathway. The

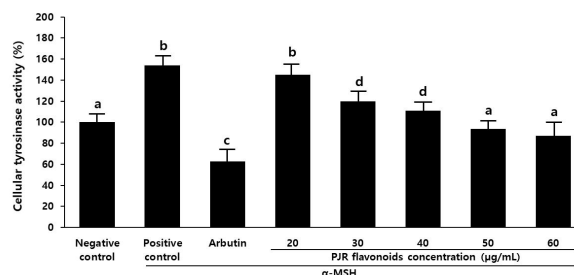


**Fig. 4. Effect of PJR flavonoid concentration on DOPA-oxidation inhibitory activity.** Ascorbic acid was used as the positive control. Results are expressed as relative % inhibition and presented as mean±SD of three independent experiments. Bars sharing the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$ , according to Duncan's multiple range test.

inhibitory activity observed in the present study suggests that PJR flavonoids suppress melanin biosynthesis by reducing tyrosinase catalytic activity or limiting the formation of oxidative intermediates. These findings are consistent with those of previous studies on plant-derived flavonoids. Xue et al. (2011) demonstrated that flavonoids isolated from green tea and persimmon leaves inhibit both DOPA oxidation and tyrosinase activity. Cho et al. (2011) evaluated the whitening efficacy of *Lespedeza cuneata* extracts and their solvent-partitioned fractions by examining their inhibitory effects on reversible oxidation reactions that occur in the early stages of melanin biosynthesis. Using L-tyrosine and L-DOPA as substrates for tyrosinase, the authors reported a significant suppression of these initial melanogenic processes. Kumar & Goel (2019) proposed that the phenolic hydroxyl groups and conjugated double-bond structures within flavonoids allow them to chelate copper ions at the tyrosinase active site, thereby exerting competitive inhibitory effects. Overall, the DOPA-oxidation inhibitory activity of the PJR flavonoids supports their potential role in suppressing melanogenesis through both tyrosinase inhibition and antioxidant mechanisms. Combined with the  $\alpha$ -glucosidase and MDA inhibition results, these findings indicate that flavonoids may contribute to a multifactorial whitening mechanism by simultaneously modulating enzymatic melanogenic steps and oxidative stress pathways. Therefore, PJR flavonoids are promising natural multifunctional ingredients with antioxidant and skin-whitening properties.

##### 5. Effects of PJR flavonoids on tyrosinase inhibitory activity in B16F10 cells with $\alpha$ -MSH

The inhibitory effects of the PJR flavonoids on  $\alpha$ -MSH-induced tyrosinase activity in B16F10 cells with  $\alpha$ -MSH are shown in Fig. 5. The tyrosinase activity of the negative control group (without  $\alpha$ -MSH and flavonoids) was set to 100%. The treatment group with  $\alpha$ -MSH alone (positive control) markedly increased tyrosinase activity to 154%, confirming that  $\alpha$ -MSH effectively stimulates melanogenesis. By contrast, the reference whitening agent, arbutin (50  $\mu$ g/mL), significantly reduced  $\alpha$ -MSH-induced tyrosinase activity to 62.7%. The treatment group with the PJR flavonoids produced a concentration-dependent reduction in tyrosinase activity, with



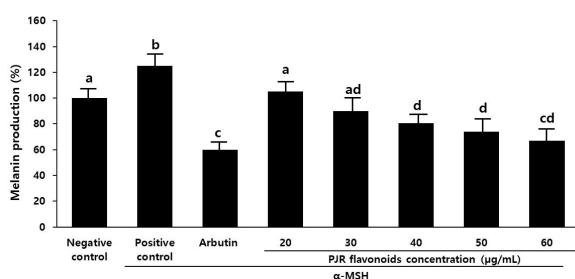
**Fig. 5. Effects of PJR flavonoid concentration on cellular tyrosinase activity.** Cells were treated with PJR flavonoids (20–60  $\mu$ g/mL); untreated cells served as the negative control, the stimulated group as the positive control, and arbutin as the reference inhibitor. Results are expressed as % of the negative control and presented as mean  $\pm$  SD of three independent experiments. Bars sharing the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$ , according to Duncan's multiple range test.

values of 145% at 20  $\mu$ g/mL, 120% at 30  $\mu$ g/mL, 111% at 40  $\mu$ g/mL, 93.6% at 50  $\mu$ g/mL, and 86.9% at 60  $\mu$ g/mL. These results indicate that the flavonoids effectively attenuate  $\alpha$ -MSH-induced enzymatic activation. This result indicates that PJR flavonoids may inhibit melanogenesis at the cellular level by suppressing the activity of tyrosinase, a rate-limiting enzyme in the melanin biosynthesis pathway.  $\alpha$ -MSH activates the cAMP/PKA signaling cascade in melanocytes, leading to upregulation of microphthalmia-associated transcription factor (MITF), which subsequently enhances the expression of tyrosinase and related enzymes (TRP-1 and TRP-2) (Jin et al. 2012). Thus, the reductions in tyrosinase activity observed here may derive from interference with  $\alpha$ -MSH-mediated signaling or direct inhibition of the enzyme at the protein level. These observations are consistent with previous findings. Kumar & Goel (2019) reported that plant-derived phenolic flavonoids inhibit tyrosinase by chelating copper ions ( $\text{Cu}^{2+}$ ) at the enzyme's catalytic center. Lee P (2009) reported that the seed extract of *Vitis coignetiae* inhibited the  $\alpha$ -MSH-induced increase in tyrosinase expression in B16 cells. Jung & Sohn (2015) also reported that treatment with green tea extract inhibited melanin synthesis compared with the group treated with  $\alpha$ -MSH alone. These earlier studies support the inhibitory trends observed in the

present investigation. Collectively, these results indicate that PJR flavonoids have the potential to act as natural skin-whitening ingredients by inhibiting tyrosinase activity and reducing melanin biosynthesis at the cellular level. Moreover, when considered alongside their  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity and suppression of MDA production, these PJR flavonoids appear to modulate oxidative stress, glycation processes, and pigmentation simultaneously. This suggests that PJR flavonoids may serve as multifunctional botanical ingredients that exhibit combined antioxidant, anti-glycation, and anti-melanogenic activities.

#### 6. Effects of PJR flavonoids on inhibitory activity of melanin production in B16F10 cells with $\alpha$ -MSH

The inhibitory effects of the PJR flavonoids on melanogenesis with  $\alpha$ -MSH in B16F10 cells are presented in Fig. 6. When the melanin content of the negative control group (untreated with both  $\alpha$ -MSH and PJR flavonoids) was set to 100%, treatment with  $\alpha$ -MSH alone increased melanin production to 125%, confirming the stimulatory effect of  $\alpha$ -MSH on melanogenesis. By contrast, the reference whitening agent arbutin (50  $\mu$ g/mL) markedly reduced melanin content to 59.7%, indicating strong antimelanogenic activity. Treatment with increasing concentrations



**Fig. 6. Effects of PJR flavonoid concentration on melanin production in B16F10 cells.** Cells were treated with PJR flavonoids (20–60  $\mu$ g/mL); untreated cells served as the negative control, a stimulated group as the positive control, and arbutin as the reference inhibitor. Melanin content is expressed as % of the negative control and shown as mean $\pm$ SD (n=3). Bars sharing the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$ , according to Duncan's multiple range test.

of the PJR flavonoids resulted in a clear concentration-dependent decrease in melanin synthesis, with values of 105% at 20  $\mu$ g/mL, 90% at 30  $\mu$ g/mL, 80.6% at 40  $\mu$ g/mL, 73.9% at 50  $\mu$ g/mL, and 66.9% at 60  $\mu$ g/mL. These findings suggest that the flavonoids effectively inhibit  $\alpha$ -MSH-induced melanin biosynthesis, likely through the downregulation of melanogenic enzymes or suppression of their associated regulatory proteins at higher concentrations.  $\alpha$ -MSH activates the cAMP-PKA signaling cascade in melanocytes, which enhances the expression of MITF. This leads to the upregulation of key melanogenic enzymes, including tyrosinase, TRP-1, and TRP-2. Thus, the reduction of the melanin content by the flavonoids may be attributed to the modulation of  $\alpha$ -MSH-dependent signaling pathways or the direct inhibition of tyrosinase activity. Similar findings have been reported in previous studies. In a study on plant-derived flavonoids, Lee P (2009) demonstrated that *Vitis coignetiae* seed extract inhibited both  $\alpha$ -MSH-induced tyrosinase expression and melanin production in B16 cells. Jang et al. (2025) evaluated the contents of functional compounds and the antioxidant activities of extracts obtained from *Petasites japonicus* leaves using varying ethanol concentrations, and these earlier findings support the antimelanogenic properties observed for the PJR flavonoids in this study. Overall, PJR flavonoids exhibit substantial potential as natural functional ingredients capable of suppressing  $\alpha$ -MSH-induced melanin synthesis at the cellular level. The combined effects of tyrosinase inhibition, suppression of DOPA oxidation, MDA reduction, and oxidative stress mitigation indicate a multifactorial whitening mechanism. This integrated antioxidant, anti-glycation, and antimelanogenic profile suggests strong applicability in both cosmetic and nutraceutical formulations aimed at improving skin brightness and reducing pigmentation.

## Conclusion

In this study, the biological activities of PJR flavonoids were comprehensively evaluated using multiple biochemical and cell-based assays, including cytotoxicity, enzyme inhibition, oxidative suppression, and melanogenesis analyses. Cytotoxicity testing in B16F10 cells showed that PJR flavonoids in concentrations of 30–60  $\mu$ g/mL were nontoxic, with cell

viabilities ranging from 100% to 110%; slight proliferation was observed at 40  $\mu\text{g/mL}$ . By contrast, exposure to the oxidative stress inducer SNP (0.3 mM) reduced viability to 31%; however, the group treated with PJR flavonoids showed significantly restored viability to 43–68.3%, indicating a protective effect against oxidative cellular damage. The  $\alpha$ -glucosidase inhibition assay revealed a concentration-dependent increase in inhibitory activity (20.3–63.2%). These findings suggest that PJR flavonoids modulate glucose metabolism, thereby suppressing AGE formation and reducing the pigmentation associated with glycation. PJR flavonoids suppressed MDA generation by 35–60% across 20–60  $\mu\text{g/mL}$ , indicating their capability to reduce lipid peroxidation and mitigate oxidative damage that contributes to skin dullness. DOPA oxidation was also inhibited in a concentration-dependent manner (26.9–68.9%), demonstrating that flavonoids interfere with the tyrosinase-mediated oxidation of L-DOPA, thereby blocking the formation of key melanogenic intermediates. In  $\alpha$ -MSH-stimulated B16F10 cells, tyrosinase activity increased to 154% in the positive control; however, flavonoid treatment reduced activity from 145% to 86.9% as the concentration increased. This suggests that flavonoids down regulate the activity of melanogenic enzymes at the cellular level. Similarly, melanin production induced by  $\alpha$ -MSH was reduced from 105% to 66.9% following PJR flavonoid treatment, with concentrations above 50  $\mu\text{g/mL}$  producing inhibitory effects comparable to those of arbutin (59.7%). Collectively, these results demonstrate that PJR flavonoids have cytotoxic effects and exhibit multiple functional activities, including suppression of oxidative stress, inhibition of glycation and lipid peroxidation, and downregulation of tyrosinase and melanogenesis. This multifactorial activity profile indicates that PJR flavonoids may contribute to skin-whitening and anti-aging effects through a combination of antioxidant, antiglycation, and antimelanogenic mechanisms. Therefore, PJR flavonoids have strong potential as safe multifunctional bioactive ingredients suitable for application in cosmetic formulations, functional foods, and natural antioxidant products.

## References

- Briganti S, Camera E, Picardo M. 2003. Chemical and instrumental approaches to treat hyperpigmentation. *Pigment Cell Res* 16:101-110
- Buscà R, Ballotti R. 2000. Cyclic AMP a key messenger in the regulation of skin pigmentation. *Pigment Cell Res* 13:60-69
- Cardaci S, Filomeni G, Rotilio G, Ciriolo MR. 2008. Reactive oxygen species mediate p53 activation and apoptosis induced by sodium nitroprusside in SH-SY5Y cells. *Mol Pharmacol* 74:1234-1245
- Chen QX, Kubo I. 2002. Kinetics of mushroom tyrosinase inhibition by quercetin. *J Agric Food Chem* 50:4108-4112
- Cho EJ, Ju HM, Jeong CH, Eom SH, Heo HJ, Kim DO. 2011. Effect of phenolic extract of dry leaves of *Lespedeza cuneata* G. Don on antioxidant capacity and tyrosinase inhibition. *Hortic Sci Technol* 29:358-365
- Darr D, Fridovich I. 1994. Free radicals in cutaneous biology. *J Invest Dermatol* 102:671-675
- Denat L, Kadekaro AL, Marrot L, Leachman SA, Abdel-Malek ZA. 2014. Melanocytes as instigators and victims of oxidative stress. *J Invest Dermatol* 134:1512-1518
- Eom HJ, Shin HY, Jeong YY, Kwon NR, Kim KH, Kim IJ, Yu KW. 2021. Nutritional components and physiological activities of *Petasites japonicus* solvent extracts. *Korean J Food Preserv* 28:915-925
- Hassanpour SH, Doroudi A. 2023. Review of the antioxidant potential of flavonoids as a subgroup of polyphenols and partial substitute for synthetic antioxidants. *Avicenna J Phytomed* 13:354-376
- He C, Liu X, Jiang Z, Geng S, Ma H, Liu B. 2019. Interaction mechanism of flavonoids and  $\alpha$ -glucosidase: Experimental and molecular modelling studies. *Foods* 8:355
- Hearing VJ, Tsukamoto K. 1991. Enzymatic control of pigmentation in mammals. *FASEB J* 5:2902-2909
- Heim KE, Tagliaferro AR, Bobilya DJ. 2002. Flavonoid antioxidants: Chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *J Nutr Biochem* 13:572-584
- Hiemori-Kondo M. 2020. Antioxidant compounds of *Petasites japonicus* and their preventive effects in chronic diseases: A review. *J Clin Biochem Nutr* 67:10-18
- Hwang SH, Jang JS, Kim MJ, Kim KS. 2014. The change of free sugar, hesperidine, naringin, flavonoid contents and

- antihypertensive activities of Yuza variety according to harvest date. *Korean J Food Nutr* 27:1051-1058
- Jang SW, Oh BM, Song DY, Kim MY, Park CG, Hur YK, Song GS. 2025. Changes in antioxidant activity and marker compounds in ethanolic extracts of butterbur (*Petasites japonicus*) depending on harvest time. *Food Sci Preserv* 32:702-708
- Jin ML, Park SY, Kim YH, Park G, Son HJ, Lee SJ. 2012. Suppression of  $\alpha$ -MSH and IBMX-induced melanogenesis by cordycepin via inhibition of CREB and MITF, and activation of PI3K/Akt and ERK-dependent mechanisms. *Int J Mol Med* 29:119-124
- Jung SY, Sohn YS. 2015. Inhibitory effect on the melanogenesis of green tea from Ungpo region. *Journal of Tea Culture Industry* 30:31-44
- Kim JH, Na Y, Sim GS, Lee BC, Pyo HB. 2006. Antioxidative and anti-inflammatory effects of *Petasites japonicus*. *J Soc Cosmet Sci Korea* 32:263-267
- Kim KM, Im AR, Lee S, Chae S. 2017. Dual protective effects of flavonoids from *Petasites japonicus* against UVB-induced apoptosis mediated via HSF-1 activated heat shock proteins and Nrf2-activated heme oxygenase-1 pathways. *Biol Pharm Bull* 40:765-773
- Kim YJ, Uyama H. 2005. Tyrosinase inhibitors from natural and synthetic sources: Structure, inhibition mechanism and perspective for the future. *Cell Mol Life Sci* 62:1707-1723
- Kumar N, Goel N. 2019. Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnol Rep* 24:e00370
- Lee KG, Shibamoto T, Takeoka GR, Lee SE, Kim JH, Park BS. 2003. Inhibitory effects of plant-derived flavonoids and phenolic acids on malonaldehyde formation from ethyl arachidonate. *J Agric Food Chem* 51:7203-7207
- Lee P. 2009. Inhibitory effect of Muscat Bailey A seed extract on melanin production in  $\alpha$ -melanin stimulating hormone-stimulated B16 cell. *Korean J Plant Resour* 22:477-482
- Liu Y, Luo X, Lan Z, Tang J, Zhao P, Kan H. 2018. Ultrasonic-assisted extraction and antioxidant capacities of flavonoids from *Camellia fascicularis* leaves. *CyTA J Food* 16:105-112
- Maeda K, Fukuda M. 1996. Arbutin: Mechanism of its depigmenting action in human melanocyte culture. *J Pharmacol Exp Ther* 276:765-769
- Matsui T, Ueda T, Oki T, Sugita K, Terahara N, Matsumoto K. 2001.  $\alpha$ -Glucosidase inhibitory action of natural acylated anthocyanins. 2.  $\alpha$ -Glucosidase inhibition by isolated acylated anthocyanins. *J Agric Food Chem* 49:1952-1956
- Mosmann T. 1983. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: Application to proliferation and cytotoxicity assays. *J Immunol Methods* 65:55-63
- Mukhtar H, Elmets CA. 1996. Photocarcinogenesis: mechanisms, models, and human health implications. *Photochemistry and Photobiology* 63(4):355 - 447
- Ohkawa H, Ohishi N, Yagi K. 1979. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Anal Biochem* 95:351-358
- Parvez S, Kang M, Chung HS, Cho C, Hong MC, Shin MK, Bae H. 2006. Survey and mechanism of skin depigmenting and lightening agents. *Phytother Res* 20:921-934
- Peng IW, Kuo SM. 2003. Research communication: Flavonoid structure affects the inhibition of lipid peroxidation in Caco-2 intestinal cells at physiological concentrations. *J Nutr* 133:2184-2187
- Rinnerthaler M, Bischof J, Streubel MK, Trost A, Richter K. 2015. Oxidative stress in aging human skin. *Biomolecules* 5:545-589
- Ryu BH. 1999. Antioxidative effects of flavonoids toward modification of human low density lipoprotein. *Korean J Food Nutr* 12:320-327
- Seo HS, Jeong BH, Cho YG. 2008. The antioxidant and anticancer effects of butterbur (*Petasites japonicus*) extracts. *Korean J Plant Resour* 21:265-269
- Solano F. 2014. Melanins: Skin pigments and much more – types, structural models, biological functions, and formation routes. *New J Sci* 2014:498276
- Solano F, Briganti S, Picardo M, Ghanem G. 2006. Hypopigmenting agents: An updated review on biological, chemical and clinical aspects. *Pigment Cell Res* 19:550-571
- Tungmunnithum D, Thongboonyou A, Pholboon A, Yangsabai A. 2018. Flavonoids and other phenolic compounds from

- medicinal plants for pharmaceutical and medical aspects: An overview. *Medicines* 5:93
- Varani J, Warner RL, Gharaee-Kermani M, Phan SH, Kang S, Chung JH, Wang ZQ, Datta SC, Fisher GJ, Voorhees JJ. 2000. Vitamin A antagonizes decreased cell growth and elevated collagen-degrading matrix metalloproteinases and stimulates collagen accumulation in naturally aged human skin. *J Invest Dermatol* 114:480-486
- Wang H, Joseph JA. 1999. Quantifying cellular oxidative stress by dichlorofluorescein assay using microplate reader. *Free Radic Biol Med* 27:612-616
- Xue YL, Miyakawa T, Hayashi Y, Okamoto K, Hu F, Mitani N, Furihata K, Sawano Y, Tanokura M. 2011. Isolation and tyrosinase inhibitory effects of polyphenols from the leaves of persimmon, *Diospyros kaki*. *J Agric Food Chem* 59: 6011-6017
- 

Received 24 November, 2025

Revised 04 December, 2025

Accepted 12 December, 2025

# 약지도 학습을 활용한 AI 기반 한국 음식 재료 인식 의미론적 분할 모델: 불고기 사례 연구

박영훈 · 김영금\* · †최은영\*\*

부천대학교 토목공학과 교수, \*주식회사 가가 상무이사, \*\*부천대학교 식품영양학과 조교수

## AI-Based Weakly Supervised Semantic Segmentation for Korean Food Ingredient Recognition: Bulgogi Case Study

Young Hoon Park, Young Keum Kim\* and †Eun Young Choi\*\*

Professor, Dept. of Civil Engineering, Bucheon University, Bucheon-si 14632, Korea

\*Executive Director, GaGa Co., Ltd Ansan-si 15399, Korea

\*\*Assistant Professor, Dept. of Food and Nutrition, Bucheon University, Bucheon-si, 14632, Korea

### Abstract

This study investigated the use of weakly supervised learning (WSL) and partial annotation-based semantic segmentation for recognizing ingredients in the traditional Korean dish bulgogi. A dataset was created to encompass various cooking stages and imaging conditions, with pixel-level labels generated for major ingredients: beef, onion, green onion, carrot, chili pepper, mushroom, button mushroom, and king oyster mushroom, using partial annotations. To enhance model robustness, data augmentation techniques such as rotation, scaling, horizontal flipping, and color jittering were employed. The DeepLabV3+ architecture was utilized, with ResNet50 and ResNet101 serving as backbone networks. The results demonstrated that ResNet50 provided stable performance with lower computational costs, while ResNet101 achieved higher segmentation accuracy for smaller or visually complex ingredients. Models trained with data augmentation showed improved recall and F1-scores, especially for smaller ingredient classes. Overall, both backbone models exhibited consistent performance across key segmentation metrics, including mean Intersection over Union (mIoU), precision, recall, and F1-score. These findings indicate that WSL, in conjunction with partial annotation, can effectively facilitate ingredient-level segmentation in mixed dishes like bulgogi.

Keywords: bulgogi, weakly supervised learning, semantic segmentation, DeepLabV3+, ResNet50, ResNet101, ingredient recognition

### 서 론

최근 개인 맞춤형 영양관리와 만성질환 예방의 중요성이 강조되면서, 실제 섭취한 음식의 성분과 비율을 정밀하게 파악할 수 있는 기술에 대한 사회적 수요가 급격히 증가하고 있다. 특히 병원·요양시설 급식, 학교 급식과 같은 단체급식 환경에서는 제공량 대비 실제 섭취량의 차이와 음식 구성 편차가 영양상태 평가와 질병 예방 효과에 직접적인 영향을 미친다. 그러나 현재까지의 영양섭취 평가는 주로 24시간 회상

법, 식사기록지, 식품섭취빈도조사(FFQ) 등 조사 대상자의 기억과 주관적 보고에 의존하고 있어(Park & Cho 2023; Kim & Lee 2024), 실제 섭취 현장에서 발생하는 재료 구성 비율, 조리 과정에 따른 형태 변화, 성분 간 중첩과 같은 시각적 변이를 정성적 정량적으로 반영하는 데에는 한계가 존재한다(Kim 등 2022, 2024).

현재 음식 이미지를 활용한 영양섭취평가 연구가 활발히 진행되고 있으나(Wang 등 2022; Park & Choi 2024; Park & Young 2024), 기존 연구들은 대부분 음식 이미지로부터 음식

† Corresponding author: Eun-Young Choi, Assistant Professor, Dept. of Food and Nutrition, Bucheon University, Bucheon-si 14632, Korea. Tel: +82-32-610-3442, Fax: +82-32-610-3205, E-mail: eychoi@bc.ac.kr

전체의 부피나 열량을 추정하는 수준에 머무르고 있으며, 개별 성분의 기여도를 정밀하게 반영하지 못해 복합 음식에서는 정확성이 크게 저하되는 한계가 있다(Pouladzadeh et al. 2014; Myers et al. 2015; Wang et al. 2022). 특히 복합 조리 음식의 경우 여러 식재료가 동시에 가열·양념·혼합되는 조리 특성상, 재료 간 경계가 불명확해지고 색상·질감·형태 변화가 복합적으로 나타난다. 이러한 특성은 영상 기반 성분 분석의 난이도를 크게 높이며, 기존의 단일 식품 기반 인식 모델로는 실제 조리 음식의 성분 단위 분석에 한계가 있음을 시사한다. 그럼에도 불구하고 복합 음식에서 각 성분이 차지하는 면적 비율을 정밀하게 산출하는 기술은 개인 맞춤형 영양관리, 급식 운영 최적화, 만성질환 예방을 위한 식이 관리의 정확도를 획기적으로 향상시킬 수 있다는 점에서 학문적·사회적 중요성이 매우 크다.

식품 이미지 인식 및 분할 분야에서는 Food-101, FoodSeg103, UEC-FoodPix Complete와 같은 공개 데이터셋이 대표적으로 활용되고 있다(Bossard et al. 2014; Okamoto & Yanai 2021; Wu et al. 2021). 이들 데이터셋은 음식 분류 및 성분 분할 연구의 발전에 중요한 역할을 해왔으나, 대부분 단일 음식 또는 비교적 경계가 명확한 메뉴를 중심으로 구축되어 있다. FoodSeg103이 ingredient-level의 픽셀 단위 분할이 가능하다는 장점을 지니고 있으나, 한국 전통 복합 조리식품에서 두드러지는 재료 간 중첩, 조리 과정에 따른 형태 변형, 다양한 색상 및 질감 변화 등의 시각적 특성을 충분히 반영하기에는 여전히 한계가 있다. 특히 불고기, 비빔밥, 잡채와 같이 다수의 식재료가 동시에 혼합·가열·양념되는 한국형 혼합 조리음식을 대상으로 한 성분 분할 전용 데이터셋과 알고리즘 개발 사례는 국제적으로도 매우 제한적인 실정이다.

한편 최근 컴퓨터 비전 분야에서는 구성 성분의 완전한 픽셀 수준 정답 마스크(정답 분할 이미지) 구축의 높은 비용과 시간 소요라는 현실적 제약을 극복하기 위한 대안으로, 약지도 학습(weakly supervised learning) 기반 의미론적 분할 기술이 급격히 발전하고 있다. 약지도 학습은 부분 주석(partial annotation), 이미지 수준 라벨(image-level labels), 점(point) 라벨과 같은 불완전한 감독 정보를 활용하여 학습을 수행함으로써, 대규모 데이터셋 구축 비용을 획기적으로 절감할 수 있는 접근 방식이다. 특히 Chen과 Sun(2025)은 이미지 수준 라벨 기반 약지도 의미론적 분할 기술이 전통적인 class activation map(CAM) 기반 접근법에서 foundation model 기반 방식으로 빠르게 확장되고 있음을 보고하며, 약지도 학습이

완전 주석 데이터 부족 문제를 해결하는 핵심 기술로 자리매김하고 있음을 강조했다. 또한 Syed 등(2023)은 의료 영상 분야에서 CAM 기반 약지도 분할 기법의 장단점을 체계적으로 분석함으로써, 불완전한 주석만으로도 실용적인 분할 성능 확보가 가능함을 제시하였다.

이와 같은 약지도 학습의 발전은 실제 식품 영상 분석 분야에도 매우 중요한 전환점을 제공한다. 식품 이미지의 경우 완전한 픽셀 단위 성분 주석 데이터 구축에는 막대한 노력과 비용이 요구되기 때문에, 부분 주석 기반 학습 전략은 실용적 관점에서 필수적인 접근 방식이라 할 수 있다. 특히 단체급식과 같이 음식 종류와 제공 환경이 지속적으로 변화하는 현실적인 상황에서는, 제한된 라벨 정보만으로도 안정적인 성분 분할로 식재료 구분이 가능한 모델 구축이 절실히 요구된다.

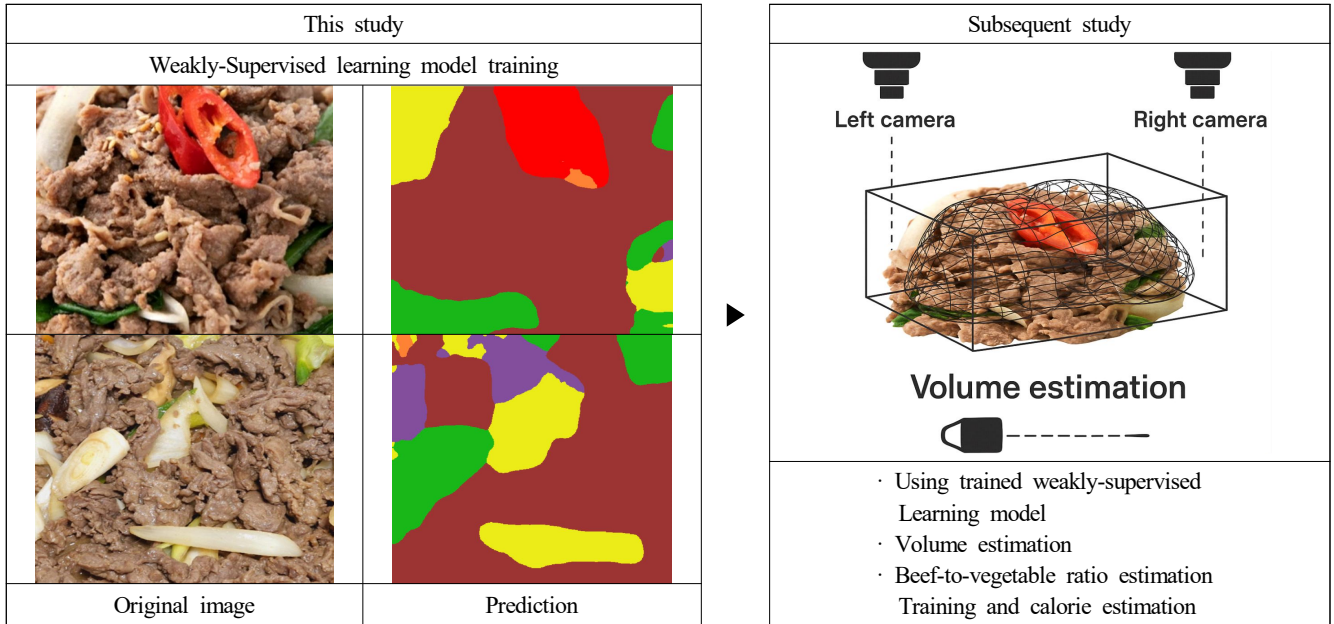
이에 본 연구는 한국 전통 복합 조리 음식의 대표적인 사례인 불고기를 대상으로, 주요 성분을 자동으로 인식하기 위한 약지도 학습 기반 의미론적 분할 모델을 구축하고, 복합 음식 이미지에서 성분 단위 분할의 적용 가능성을 평가하고자 수행되었다. 본 연구는 완전한 픽셀 수준 정답 마스크(full annotation)가 아닌 부분 주석만을 활용하여 성분 분할 모델을 학습함으로써, 약지도 학습 기반 접근이 실제 조리 음식 성분 인식에 적용 가능한 수준의 성능을 확보할 수 있는지를 검증하는 데 목적이 있다. 더 나아가 본 연구는 한국 전통 혼합 음식을 대상으로 한 성분 분할 데이터 구축 및 알고리즘 개발이라는 점에서 기존 국제 연구와 차별성을 가지며, 향후 영상 기반 영양 평가, 급식 운영 최적화, 맞춤형 영양관리 기술로의 확장 가능성을 제시한다는 점에서 산업적 파급효과를 동시에 기대할 수 있다.

## 연구내용 및 방법

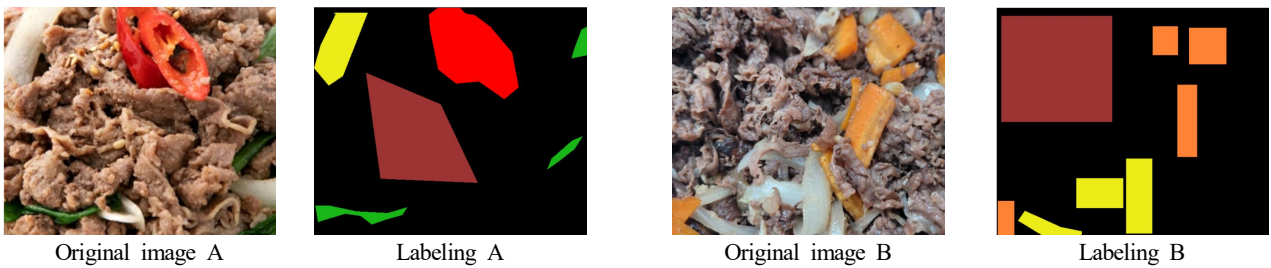
### 1. 연구 개요

본 연구는 불고기를 대상으로, 주요 성분을 자동으로 인식하기 위한 약지도 학습기반 의미론적 분할 모델을 구축하고 복합 음식에서의 성분 단위 분할 가능성을 평가하고자 수행되었다. Fig. 1에 제시한 바와 같이, 본 연구는 부분 주석(partial annotation)을 활용한 성분 라벨 데이터셋 구축(Fig. 2), DeepLabV3+ 기반 의미론적 분할 모델 학습, 그리고 백본 네트워크(ResNet50, ResNet101)의 성능 비교 평가를 핵심 연구 단계로 구성하였다.

불고기는 소고기와 다양한 채소가 혼합되어 조리되는 대



**Fig. 1. Overall workflow of the integrated deep learning framework.** This study focuses on weakly supervised semantic segmentation for bulgogi ingredient recognition, the next phase includes 3D volume estimation, ingredient ratio calculation, and calorie estimation.



**Fig. 2. Partial annotation for weakly supervised learning.** Partial annotation examples for weakly supervised learning, showing original bulgogi images (left) and their partially labeled ingredient regions (right).

표적인 복합 조리 음식으로, 조리 과정 중 성분 간 겹침 (overlapping), 형태 변화(deformation), 색상 변화(color variation)가 빈번하게 발생한다. 이러한 특성은 이미지 기반 성분 분할 모델의 적용 가능성과 한계를 동시에 검증할 수 있는 적절한 연구 대상이라 판단하였다(Matsuda 등 2012).

본 연구는 데이터 구축, 부분 주석 기반 라벨 생성, DeepLabV3+ 모델 학습, 백본 네트워크 비교 평가 및 정량·정성 분석의 순으로 진행되었다. 특히 Fig. 2에서 나타난 것처럼, 본 연구는 완전 주석(full annotation)이 아닌 부분 주석 (partial annotation)만으로도 복합 음식에서의 성분 단위 분할

이 가능함을 보이는 데 중점을 두었다.

## 2. 연구자료

본 연구에서는 총 350장의 불고기 이미지를 구축하여 분석에 활용하였다. 이미지 데이터는 네이버와 구글에서 공개적으로 접근 가능한 온라인 이미지와 단체급식 현장에서 직접 조리·촬영한 이미지로 구성되었다.

온라인 이미지는 2023년 1월부터 2025년 6월까지 네이버와 구글 이미지 검색을 통해 “불고기”, “불고기 조리”, “불고기 단체급식” 등의 키워드를 사용하여 수집하였다. 수집된

이미지는 연구·학술 목적의 분석에 한해 활용하였으며 원본 이미지는 재배포하지 않았다. 중복 이미지는 파일 해시 및 육안 검토를 통해 제거하였고, 해상도 512×512 미만 이미지, 성분 식별이 어려운 흐림 이미지 등은 제외하였다. 이 중 무작위(random sampling) 방식으로 200장을 최종 선정하였다.

직접 촬영 이미지는 2025년 11월 단체급식 조리 현장에서 동일한 재료 구성(소고기, 양파, 파, 당근, 고추, 버섯류)을 사용하여, 조리하지 않은 식재료, 부분 조리한 식재료, 완전 조리한 식재료 등 조리 단계별 이미지가 포함되도록 150장을 확보하였다. 촬영은 자연광과 인공광 조건을 모두 포함하였으며, 0°, 45°, 90°의 다양한 촬영 각도와 단색 배경 및 실제 조리 환경 배경을 혼합하여 실제 급식 현장에서 발생할 수 있는 다양한 시각적 변이를 반영하였다(Bossard 등 2014).

최종적으로 구축된 전체 데이터셋(총 350장)은 랜덤 시드를 고정한 무작위 분할로 학습용 70%(245장), 검증용 15%(52장), 평가용 15%(53장)으로 나누어 사용하였다.

불고기 이미지의 모든 성분 중 본 연구에서는 소고기, 양파, 파, 당근, 고추, 일반 버섯, 양송이버섯, 새송이버섯 등 총 8개 성분을 대상으로 픽셀 단위 부분 주석(partial annotation)을 수행하였다(각 이미지에서 성분별 대표 영역 일부만 주석). 정답 마스크는 원본 이미지와 동일한 해상도의 2차원 클래스 맵 형태로 생성하였으며, 각 픽셀에는 배경(0), 소고기(1), 양파(2), 파(3), 당근(4), 고추(5), 일반 버섯(6), 양송이버섯(7), 새송이버섯(8)의 클래스 ID를 부여하였다. 주석이 부여되지 않은 영역은 ignore index로 설정하여 손실 계산에서 제외함으로써, 부분 주석 기반 데이터셋의 특성을 반영하였다(He 등 2016).

모델의 일반화 성능을 향상시키기 위해 회전, 확대·축소, 수평 반전, 밝기·색조 변화, 노이즈 추가 등 다양한 데이터 증강(data augmentation) 기법을 적용하였다. 데이터 증강은 학습용 데이터에만 적용하여 실제 촬영 환경에서 발생 가능한 변이를 모사하였다.

### 3. 약지도 학습 기반 의미론적 분할 모델의 구축 및 성능 평가 방법

의미론적 분할(semantic segmentation)은 이미지에 포함된 모든 픽셀을 각각 특정한 대상(예: 개별 재료) 또는 배경으로 구분하는 영상 분석 기법이다. 이 방법은 음식 이미지에서 각 재료의 위치와 경계, 면적을 픽셀 단위로 구분할 수 있다는 장점이 있어, 복합 조리 음식의 성분을 정밀하게 분석하는데 매우 적합하다. 본 연구에서는 이러한 의미론적 분할

기법을 활용하여, 불고기와 같은 복합 조리 음식 이미지에서 각 성분을 자동으로 분할하고자 하였다.

성분 분할 모델은 DeepLabV3+ 구조를 기반으로 구축하였다(Chen 등 2018). DeepLabV3+는 이미지 내 객체의 경계를 비교적 정확하게 인식할 수 있는 의미론적 분할 모델로, 음식과 같이 형태가 불규칙한 대상 분석에 적합한 구조를 가진다. 특징 추출을 위한 백본 네트워크로는 ResNet50과 ResNet101을 각각 적용하여, 네트워크 깊이에 따른 성능 차이를 비교 분석하였다(He 등 2016). 두 모델 모두 깊은 합성곱 신경망 구조를 사용하여 조리 과정에서 형태와 색상이 변화한 식재료의 특징을 효과적으로 학습할 수 있으며, 이를 통해 혼합 음식 이미지에서도 안정적인 성분 인식이 가능할 것으로 판단하였다.

모델 학습에는 Adam 옵티마이저를 사용하였으며, 손실 함수로는 Cross-Entropy Loss를 적용하였다. 본 연구에서 사용한 데이터셋은 모든 픽셀에 주석을 부여하지 않은 부분 주석(weak annotation) 기반 데이터이므로, 실제로 주석이 부여된 픽셀에 대해서만 손실을 계산하도록 설정하였다. 주석이 없는 영역은 ignore index로 처리하여 손실 계산에서 제외함으로써, 부분 주석 데이터의 특성을 반영한 학습이 이루어지도록 하였다.

모델의 성능 평가는 정량적 평가와 정성적 평가를 병행하여 수행하였다. 정량적 평가는 IoU(intersection over union), 평균 IoU(mIoU), precision, recall, F1-score 지표를 사용하여 수행하였다(Bossard 등 2014). 이러한 지표들은 모델이 실제 성분 영역을 얼마나 정확하게 분할했는지, 성분을 놓치지 않고 검출했는지, 그리고 오분류를 얼마나 잘 억제했는지를 종합적으로 평가하는 데 활용되었다.

정성적 평가로는 모델이 생성한 분할 결과를 실제 주석 영상과 시각적으로 비교하였다. 이를 통해 성분 경계 인식의 정확성, 파나 버섯과 같은 소규모 재료의 분할 안정성, 그리고 조리 과정에서 발생하는 색상 변화에 대한 인식 여부를 중심으로 분할 성능을 종합적으로 확인하였다(Matsuda 등 2012; Chen 등 2018).

이와 같은 정량적·정성적 평가를 통해 본 연구는 약지도 학습 기반 의미론적 분할 기법이 복합 조리 음식 이미지에서도 실제 성분 인식에 적용 가능한 수준의 성능을 확보할 수 있는지를 체계적으로 검증하고자 하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 불고기 성분 인식을 위한 ResNet50과 ResNet101 비교

Table 1은 불고기 성분 인식을 위해 ResNet50과 ResNet101

**Table 1. Comparison between ResNet50 and ResNet101 for bulgogi ingredient recognition**

Feature	ResNet50	ResNet101
Layer depth	50 layers	101 layers
Computational cost	Lower (faster training)	Higher (slower training)
Feature representation	Moderate, suitable for general features	Deeper, captures more fine-grained features
Data requirement	Works well on smaller datasets	Requires larger datasets to avoid overfitting
Strengths	Efficient, faster convergence, good generalization for medium complexity tasks	Excellent at capturing detailed patterns, better for complex feature recognition
Weaknesses	May miss fine details in complex images	Higher computational cost, longer training time, risk of overfitting on small datasets
Typical use case	Standard object recognition, moderate complexity tasks	Fine-grained recognition, complex images, tasks requiring detailed feature extraction

The table summarizes key architectural and performance-related differences between the two backbone networks, including layer depth, computational cost, feature representation capacity, data requirements, strengths, weaknesses, and typical use cases. These factors provide insight into their suitability for ingredient-level semantic segmentation tasks.

의 특성을 비교한 결과이다. ResNet50과 ResNet101은 모두 불고기 주요 성분 인식에서 안정적인 성능을 보였다. ResNet50은 비교적 경량 구조로 인해 학습 안정성과 연산 효율성이 우수하였으며, 중간 크기의 데이터셋에서도 일관된 성능을 유지하였다. 반면 ResNet101은 더 깊은 네트워크 구조를 통해 성분 간 경계 구분과 소규모 객체 인식에서 더 높은 성능을 보였다. 특히 고기와 채소가 복잡하게 혼합된 영역에서 ResNet101의 분할 정확도가 상대적으로 우수하였다. 이에 따라, 연산 효율이 중요한 환경에서는 ResNet50이, 정밀한 성분 인식이 요구되는 환경에서는 ResNet101이 보다 적합한 모델임을 확인하였다.

## 2. 약지도 학습 모델의 성능 평가 지표

Table 2는 약지도 학습 기반 성분 분할 모델의 주요 성능 평가 지표를 요약한 것이다. mIoU는 전체 클래스에 대한 평균 분할 성능을 나타내며, 클래스별 IoU는 성분별 인식 정확도 차이를 평가하는 데 활용되었다. F1-score는 데이터 불균형 상황에서 정밀도와 재현율을 동시에 반영하는 지표로 사용되었다. Precision과 Recall은 각각 오분류 억제 능력과 실제 성분 검출 능력을 평가하는 핵심 지표였다. 또한 PLE와 PLBE는 WSL 학습 과정에서 생성된 의사 라벨의 오류 수준과 균형을 진단하는 보조 지표로 활용되었다.

## 3. ResNet 기반 WSL 모델 성능 비교

Fig. 3은 ResNet50과 ResNet101 기반 모델의 학습 및 검증 성능 변화를 비교한 결과이다.

mIoU(Fig. 3a)는 두 모델 모두 학습이 진행됨에 따라 점진적으로 증가하며 안정적으로 수렴하였고, ResNet101이 ResNet50보다 소폭 높은 최종 성능을 기록하였다. 고기 영역 IoU(Fig. 3b)는 학습 후반부에서 ResNet101이 보다 일관된 값을 유지하였다. F1-score(Fig. 3c)는 두 모델 모두 유사한 수준으로 수렴하였다. 검증 손실(Fig. 3d)은 ResNet101이 더 낮은 값을 유지하여 일반화 성능이 상대적으로 우수함을 보였다. Precision(Fig. 3e)은 ResNet50이 더 안정적인 값을 보였으며, Recall(Fig. 3f)은 ResNet101이 지속적으로 높은 값을 나타내 실제 성분 검출 능력이 우수함을 확인하였다. PLE와 PLBE(Fig. 3g, 3h)는 두 모델 모두 낮은 수준으로 수렴하여 약지도 학습 안정성이 확보되었음을 보여주었다.

## 4. 성분 인식의 정성적 비교

Fig. 4는 학습이 진행됨에 따라 성분 분할 결과가 점차 정밀해지는 과정을 시각적으로 제시한다. 학습 초기에는 두 모델 모두 대략적인 영역 분할에 그쳤으나, Epoch 100에서는 소고기와 채소 간 경계가 명확해졌다. ResNet101은 소규모 성분(파, 버섯) 탐지와 복잡한 경계 구분에서 ResNet50보다 더 선명한 분할 결과를 보였다. Table 3의 시각적 비교에서도

**Table 2. Evaluation metrics for weakly-supervised learning models**

Metric	Definition/purpose	Evaluation considerations	Priority
Mean intersection over union (mIoU)	Measures overall segmentation accuracy across all classes. Provides a single metric summarizing model performance.	Most widely used metric for segmentation; sensitive to both small and large objects. Higher values indicate better performance.	1
Class-wise intersection over union (IoU)	Measures segmentation accuracy for individual, critical classes (e.g., beef, onion).	Useful for understanding performance on target objects; allows identification of class-specific weaknesses.	2
F1-score	Harmonic mean of precision and recall. Balances false positives and false negatives.	Particularly important in imbalanced datasets where some classes dominate. Higher values indicate balanced and reliable predictions.	3
Loss	Measures model learning and overfitting behavior during training.	Lower validation loss than training loss indicates good generalization. Monitoring loss trends is essential for early stopping and hyperparameter tuning.	4
Precision Recall	Precision: ratio of correctly predicted positive samples to total predicted positives. Recall: ratio of correctly predicted positives to total actual positives.	High precision reduces false positives; high recall reduces false negatives. Critical for evaluating the reliability of key object predictions.	5
Pseudo label error (PLE) Pseudo label balance error (PBE)	Metrics assessing the quality and balance of pseudo labels in weakly-supervised learning.	Useful for diagnosing noise in pseudo labels during early training. Lower PLE/PBE indicates higher-quality pseudo labels.	6

This table summarizes the definition, purpose, evaluation considerations, and relative priority of commonly used metrics, including mIoU, class-wise IoU, F1-score, loss, precision, recall, and pseudo-label quality indicators (PLE, PBE). These metrics provide a comprehensive framework for assessing segmentation accuracy, model stability, and pseudo-label reliability in weakly supervised training.

ResNet101은 성분 경계가 보다 뚜렷하고 혼합 영역에서의 오분류가 상대적으로 적었다. 이러한 결과는 ResNet101이 혼합 음식의 정밀한 성분 인식에 더 적합함을 시사한다.

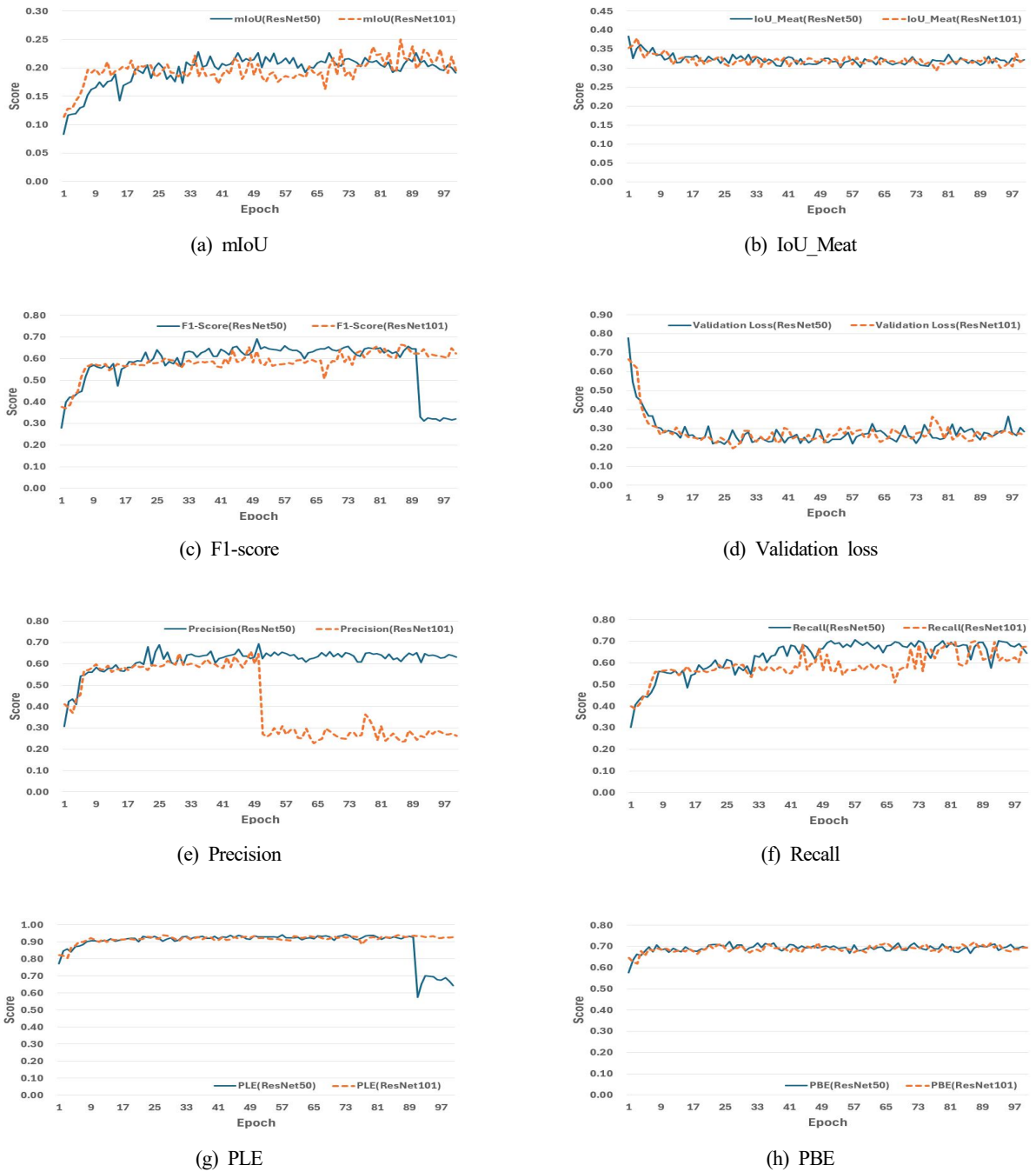
### 5. 이미지 생성 기반 데이터 증강 효과

Fig. 5와 Fig. 6은 이미지 생성 기반 데이터 증강 적용 여부에 따른 성능 변화를 비교한 결과이다. ResNet50과 ResNet101 모두에서 증강 적용 조건은 mIoU, F1-score, precision이 일관되게 향상되었으며, 검증 손실은 더 낮고 안정적으로 수렴하였다. 특히 ResNet101에서는 소규모 성분 분할 정밀도가 크게 향상되었다. 시각적 비교(Fig. 6)에서도 증강 적용 조건에서 성분 경계가 더 명확하고 당근·버섯과 같은 소형 성분도 안정적으로 분리되었다. 이는 이미지 생성 기반 데이터 증강이 혼합 음식 이미지의 복잡한 변이를 효과적으로 반영하여 모델의 일반화 성능과 성분 인식 정확도를 향상시킬 수 있음을 의미한다.

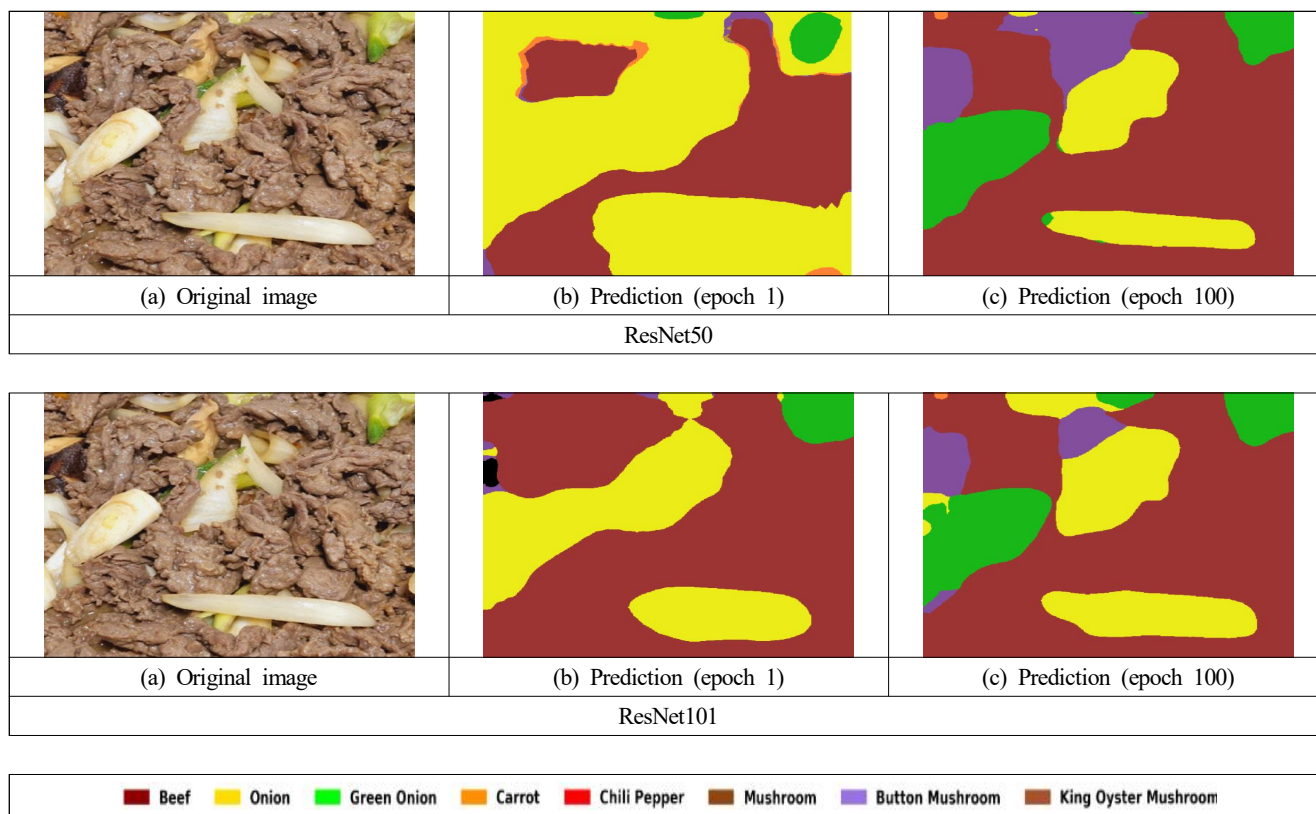
## 결론

본 연구에서는 불고기 요리 이미지를 대상으로 ResNet50과 ResNet101을 백본으로 한 약지도 학습 기반 의미론적 분할 모델을 구축하고, 주요 성분(소고기, 양파, 당근, 버섯류 등)의 자동 인식 가능성을 평가하였다. 데이터셋은 다양한 조리 단계와 촬영 환경을 반영하여 구성되었으며, 부분 주석(partial annotation) 기반 학습과 이미지 증강(augmentation)을 병행함으로써 실제 조리 환경에서의 적용 가능성을 고려하였다.

연구 결과, ResNet50과 ResNet101 모두 주요 성분 인식에서 우수한 분할 성능을 보였으나, 두 모델 간 특성 차이는 뚜렷하였다. ResNet50은 상대적으로 적은 연산량과 안정적인 학습 특성으로 인해 제한된 학습 데이터나 연산 자원 환경에서도 일관된 성능을 유지할 수 있어, 실무 적용 시 효율적인 모델로 활용될 수 있음을 시사한다. 반면 ResNet101은



**Fig. 3. Performance evaluation metrics of the weakly supervised semantic segmentation models using two backbone networks (ResNet50 and ResNet101).** The figure presents eight evaluation metrics measured across training epochs: (a) mean Intersection over Union (mIoU), (b) IoU for the meat class, (c) F1-score, (d) validation loss, (e) precision, (f) recall, (g) pixel label error (PLE), and (h) pixel boundary error (PBE). These results illustrate the comparative performance and convergence behavior of the two backbone models during weakly supervised learning.



**Fig. 4. Prediction results of bulgogi ingredient segmentation using two backbone networks (ResNet50 and ResNet101).** For each model, the original image (a), early-stage prediction at epoch 1 (b), and final prediction at epoch 100 (c) are shown. The results illustrate the improvement in segmentation quality over training and highlight differences in ingredient recognition performance between the two backbone models. Ingredient classes include beef, onion, green onion, carrot, chili pepper, mushroom, button mushroom, and king oyster mushroom.

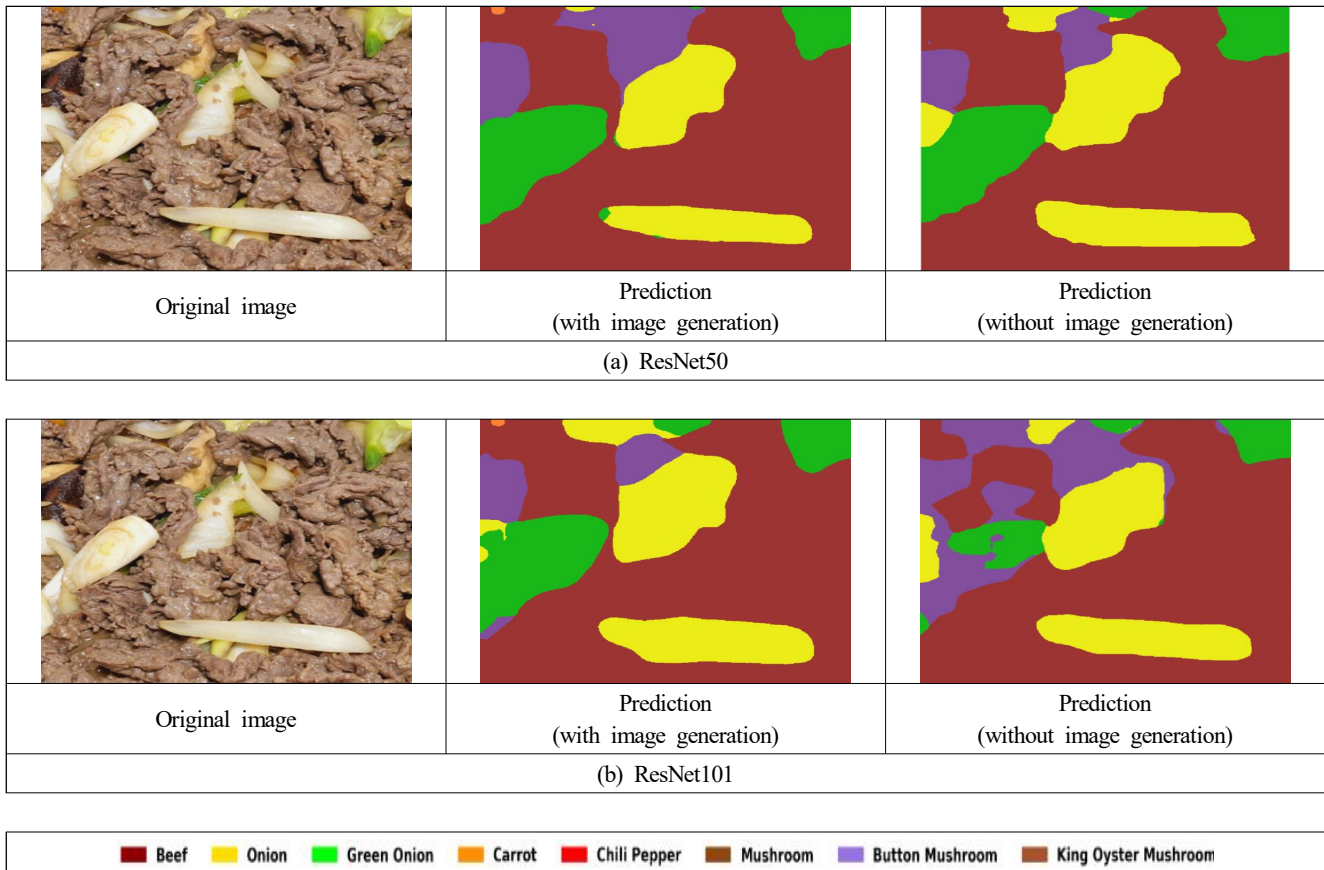
**Table 3. Qualitative analysis of backbone performance on meat and vegetable region classification**

Item	ResNet50	ResNet101	Analysis
Epoch 1	Weak class separation, some vegetable regions misclassified	Similar to ResNet50, but slight separation in small regions	Both models show similar performance at the early training stage
Epoch 100	Most regions correctly classified, clear distinction between meat and vegetable regions	Boundaries more detailed, better separation in small regions	ResNet101's deeper structure allows finer classification of complex features
Meat region	Broad clustering, occasionally includes vegetable regions	Similar, but boundaries slightly clearer	Background/class confusion occurs in early training
Vegetable region	Only partial areas detected, color classification mixed	Boundaries well-defined, color distinction improved	ResNet101 performs better for small object detection

The table compares ResNet50 and ResNet101 in terms of qualitative segmentation characteristics at early training (epoch 1), late training (epoch 100), and class-specific regions (meat and vegetable). The comparison highlights differences in boundary clarity, small-object detection, and class separation performance between the two backbone networks.



**Fig. 5. Effect of image generation on ingredient recognition performance in weakly supervised segmentation.** Performance metrics for models trained with image generation (Generation) and without it (No Generation) are compared for two backbone networks, ResNet50 and ResNet101. The metrics include (a,e) mIoU, (b, f) F1-score, (c,g) validation loss, and (d,h) precision across training epochs. The results demonstrate how image generation influences convergence stability and final segmentation accuracy depending on the backbone architecture.



**Fig. 6. Comparison of predicted ingredient segmentation results with and without image generation.** For both backbone networks, ResNet50 (a) and ResNet101 (b), the figure presents the original image, the prediction obtained using the model trained with image generation, and the prediction produced without image generation. Differences in ingredient boundary clarity, class consistency, and overall segmentation stability illustrate the impact of image generation on model performance. Ingredient classes include beef, onion, green onion, carrot, chili pepper, mushroom, button mushroom, and king oyster mushroom.

더 깊은 네트워크 구조를 바탕으로 소규모 성분, 성분 간 겹침 영역, 부분 가림 현상 등 복잡한 조리 영상에서도 더 높은 분할 정확도와 경계 인식 성능을 보였다. 이러한 결과는 정밀한 성분 인식이 요구되는 고정밀 영양 평가나 자동 식단 분석 환경에서는 ResNet101 기반 모델이 보다 적합할 수 있음을 의미한다.

이미지 증강을 적용한 모델은 특히 Recall과 F1-score에서 유의미한 향상을 보였으며, 이는 데이터 다양성이 모델의 일반화 성능과 소규모 성분 인식 안정성을 향상시킨다는 점을 시사한다. 반면, mIoU에서는 증강 여부에 따른 차이가 크지 않았으나, 성분별 정밀도와 경계 인식의 안정성 측면에서는

증강 적용이 실제적인 효과를 입증하였다. 이는 실제 급식 및 조리 환경처럼 조명, 조리 상태, 접사·원경 촬영 등 다양한 변이가 존재하는 상황에서 데이터 증강이 모델의 현장 적용성을 강화하는 핵심 요소임을 보여준다.

그러나 본 연구에는 몇 가지 실험적 한계가 존재한다. 첫째, 사용된 데이터셋의 규모가 350장으로 비교적 제한적이어서, 다양한 조리 유형과 배식 방식, 계절별 식재료 변화를 충분히 반영하기에는 한계가 있다. 둘째, 부분 주석 기반 학습은 주석 비용을 크게 절감하는 장점이 있으나, 성분 경계의 불확실성이나 혼합 영역에서의 오분할 가능성이 완전 주석 기반 학습보다 상대적으로 높을 수 있다. 셋째, 본 연구는 불

고기라는 단일 혼합 음식만을 대상으로 수행되었기 때문에, 비빔밥, 잡채, 찌개류와 같은 다른 형태의 한국 전통 복합 음식으로의 직접적인 일반화 가능성에는 제한이 있다.

이러한 한계를 보완하기 위한 후속 연구의 우선 과제는 본 연구에서 검증된 성분 분할 결과를 기반으로 Fig.1과 같이 3D 체적(volume) 추정과 연계하여 성분별 칼로리 및 영양 기여도를 자동 산출하는 것이다. 이를 통해 실제량과의 정량적 비교가 가능해지며, 개인·기관 맞춤형 영양 데이터베이스(DB) 구축과 자동 식단 분석(smart/automated food tracking) 시스템으로의 실질적 확장이 기대된다.

나아가 이러한 3D 기반 정량 분석 체계가 확립된 이후, 비빔밥, 잡채, 전골, 찌개류 등 다양한 전통 혼합 음식을 포함한 다종 음식 데이터셋으로 분석 대상을 확대하는 연구가 필요하다. 또한 부분 주석과 완전 주석을 혼합한 하이브리드 라벨링 전략을 도입함으로써 주석 부담을 줄이면서도 성분 경계 인식 정확도를 향상시키는 방향의 후속 연구가 요구된다.

종합하면, 본 연구는 약지도 학습과 이미지 증강을 결합한 딥러닝 기반 접근법이 한국 전통 혼합 음식 이미지 분석에서도 충분한 적용 가능성을 지니고 있음을 실험적으로 입증하였다. 특히 ResNet101은 소규모 성분 인식과 경계 분할에서 우수한 성능을 보여, 향후 정밀한 영양 평가와 식단 관리 분야로의 확장 가능성을 확인하였다. 동시에 본 연구에서 제시한 실험적 한계와 후속 연구 방향은 향후 자동화된 영양 평가 시스템 고도화를 위한 중요한 기초 자료가 될 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 과제는 교육부와 경기도의 재원으로 지원을 받아 수행된 경기 지역혁신중심 대학지원사업(경기RISE사업)의 연구 결과입니다.

## References

- Bossard L, Guillaumin M, Van Gool L. 2014. Food-101 - Mining discriminative components with random forests. *Lect Notes Comput Sci* 8694:446-461
- Chen LC, Papandreou G, Kokkinos I, Murphy K, Yuille AL. 2018. DeepLab: Semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrous convolution, and fully connected CRFs. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell* 40:834-848
- Chen Z, Sun Q. 2025. Weakly-supervised semantic segmentation with image-level labels: From traditional models to foundation models. *ACM Comput Surv* 57:1-29
- He K, Zhang X, Ren S, Sun J. 2016. Deep residual learning for image recognition. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Las Vegas, NV
- Kim EK, Fenyi JO, Kim JH, Kim MH, Yean SE, Park KW, Oh K, Yoon S, Ishikawa-Takata K, Park J, Kim JH, Yoon JS. 2022. Comparison of total energy intakes estimated by 24-hour diet recall with total energy expenditure measured by the doubly labeled water method in adults. *Nutr Res Pract* 16:646 - 657
- Kim HR, Lee JH. 2024. Evaluation of nutritional status and dietary habits of elderly women and factors affecting dietary quality. *Korean J Food Nutr* 37:245-258
- Kim MA, Yook SM, Oh J, Lim J, Seo HJ, Lim YS, Oh JS, Kim HY, Hwang JY. 2024. Development of evaluation items for accessing practice and compliance with dietary guidelines among Korean adults. *J Nutr Health* 57:244-260
- Matsuda Y, Hoashi H, Yanai K. 2012. Recognition of multiple-food images by detecting candidate regions. 2012, *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*. Melbourne, Australia
- Myers A, Johnston N, Rathod V, Korattikara A, Gorban A, Silberman N, Guadarrama S, Papandreou G, Huang J, Murphy K. 2015. Im2Calories: Towards an automated mobile vision food diary. 2015 *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. Santiago, Chile
- Okamoto K, Yanai K. 2021. UEC-FoodPIX complete: A large-scale food image segmentation dataset, *Pattern Recognition. ICPR International Workshops and Challenges*. Cham, Switzerland
- Park SY, Cho MS. 2023. Assessment of dietary behaviors, nutrient intake, and dietary quality among university students in Korea. *Korean J Food Nutr* 36:375-388
- Park Y, Young CE. 2024. Development of an optimal convolutional neural network backbone model for personalized rice consumption monitoring in institutional

- food service using feature extraction. *Korean J Food Nutr* 37:197 - 210
- Park YH, Choi EY. 2024. Real-time detection of rice quantity in institutional food service using the DeepLabV3Plus deep learning algorithm. *Culin Sci Hosp Res* 30:1-14
- Pouladzadeh P, Shirmohammadi S, Al-Maghrabi R. 2014. Measuring calorie and nutrition from food image. *IEEE Trans Instrum Meas* 63:1947-1956
- Syed S, Anderssen KE, Stormo SK, Kranz M. 2023. Weakly supervised semantic segmentation for MRI: Exploring the advantages and disadvantages of class activation maps for biological image segmentation with soft boundaries. *Sci Rep* 13:2574
- Wang X, He Y, Chen K. 2022. Deep learning-based food image analysis for dietary assessment: A comprehensive survey. *Pattern Recognit* 131:108-114
- Wu X, Fu X, Liu Y, Lim EP, Hoi SCH, Sun Q. 2021. A large-scale benchmark for food image segmentation. *MM '21: Proceedings of the 29th ACM International Conference on Multimedia* Chengdu
- 
- Received 28 November, 2025  
Revised 15 December, 2025  
Accepted 18 December, 2025

## 한국 성인에서 지속가능한 식생활 인식 및 실천 요인 분석

유현진 · 정복미\* · 최미경\*\* · †배운정\*\*\*

전남대학교 교육대학원 영양교육전공 석사, \*전남대학교 식품영양과학부 교수,  
\*\*국립공주대학교 식품영양학과 교수, \*\*\*국립한국교통대학교 식품영양학전공 교수

### Analysis of Factors Influencing Perception and Practice of Sustainable Diet among Korean Adults

Hyeon-Jin Yoo, Bok-Mi Jung\*, Mi-Kyeong Choi\*\* and †Yun-Jung Bae\*\*\*

Master, Major in Nutrition Education, Graduate School of Education, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

\*Professor, Division of Food and Nutrition, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

\*\*Professor, Dept. of Food and Nutrition, Kongju National University, Yesan 32439, Korea

\*\*\*Professor, Major in Food and Nutrition, Korea National University of Transportation, Jeungpyeong 27909, Korea

#### Abstract

This study aimed to assess adults' perceptions and practices regarding sustainable diets and to identify sociodemographic factors influencing these outcomes. A cross-sectional online survey was conducted with 337 adults from February 5 to 21, 2025. Participants' awareness, willingness to engage in education, and practices related to environmental, health, and consideration aspects of sustainable diets were measured using a 5-point scale. The findings revealed low awareness of sustainable diets (1.80) and moderate willingness to participate in educational initiatives (3.18). Practice scores were highest in the health area (3.53), followed by environmental (3.06) and consideration (2.34) aspects. Females demonstrated significantly greater awareness of sustainable diets (2.06 vs. 1.64,  $p < 0.001$ ) and higher practice scores in the environmental ( $p < 0.01$ ), health ( $p < 0.05$ ), and consideration areas ( $p < 0.001$ ). Adults aged 50 to 59 exhibited the highest practice levels across all areas, including environmental (3.52) and health (3.83). One-person households reported lower practice scores compared to larger households in all areas (all  $p < 0.01$ ). Regression analyses indicated that female gender, older age, and larger household size were positively associated with sustainable dietary practices. In conclusion, while adults exhibited low awareness of sustainable diets, there was moderate interest in education. Sustainable diet practices varied significantly based on gender, age, and household size.

Key words: sustainable diet, perception, practice, adults

#### 서 론

지속가능한 식생활은 식품시스템 전반에 걸쳐 국민의 건강과 더불어 사회의 지속가능성에 기여하는 식생활을 의미하며, 건강, 환경, 배려의 3가지 핵심가치를 실현하는 식생활이다. 이에 유엔 산하 식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)는 지속가능한 식생활에 대해 현재와 미래 세대의 건강한 삶에 기여하며, 환경

에 영향이 적은 식생활이라고 정의한 바 있다(Burlingame & Dernini 2012). 우리나라는 2020년 제3차 식생활 기본계획을 수립하면서 환경·건강·배려라는 핵심가치를 중심으로 사람 중심, 농업·환경의 공익적 가치 확산 등 지속가능한 식생활 실천 확산에 중점을 둔다고 공표하였다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs 2020).

우리나라는 1인 가구와 노령인구의 증가와 같은 사회구조의 급격한 변화와 함께 비만, 당뇨병, 고혈압과 같은 만성질환

† Corresponding author: Yun-Jung Bae, Professor, Major in Food and Nutrition, Korea National University of Transportation, Jeungpyeong 27909, Korea. Tel: +82-43-820-5335, Fax: +82-43-820-5850, E-mail: byj@ut.ac.kr

환 유병률도 증가하고 있다(Korea Disease Control and Prevention Agency 2024; Statistics Korea 2024, 2025). 더불어 동물성 식품, 가공식품과 편의식품, 열량, 포화지방 및 나트륨의 함량이 높은 패스트푸드의 섭취 증가와 같은 바람직하지 않은 식생활 변화의 양상을 띠고 있으며, 아침 결식 및 야식과 같은 부적절한 식습관의 문제가 계속해서 나타나고 있다(Korea Disease Control and Prevention Agency 2024). 우리의 생활 영역 중 식생활은 개인의 건강뿐 아니라 사회, 환경과도 밀접한 관련이 있으며 지속가능한 식생활의 중요성을 인식시키고 이를 실천으로 연계할 수 있는 교육의 역할이 매우 크므로, 지속가능한 식생활 관련 교육에 대한 요구는 지속적으로 증가하고 있다(Yang & Yoon 2024).

해외에서는 성인 대상 지속가능한 식생활에 대한 인식을 조사한 선행연구들이 일부 보고된 바 있는데, 영국 성인에서 지속가능한 식단이 무엇인지 안다고 답한 비율은 48%에 불과하였으며(Heard & Bogdan 2021), 아일랜드 성인을 대상으로 한 설문조사에서도 약 1/3 정도만이 지속가능한 식단에 대해 잘 알고 있다고 답하였다(Safefood 2023). van Bussel 등 (2022)이 최근 고소득국가의 성인들이 식품의 지속가능성을 어떻게 해석하는지에 대하여 체계적 문헌고찰한 연구에 따르면, 소비자들은 식품의 지속가능성을 환경적 관점에서 바라보았으며, 사회적 또는 윤리적 관점에서는 거의 관심을 두지 않았다. 또한 대부분의 사람들은 지속가능한 식생활을 플라스틱 포장재 사용을 줄이고, 지역에서 생산되고 제철인 식품이나 유기농 식품을 섭취하며, 음식물 쓰레기를 줄이는 것으로 인식하는 반면, 실제 식단의 선택(예, 붉은 고기 섭취 제한)과 연관 짓는 소비자는 거의 없었다(van Bussel 등 2022; Hazley 등 2024). 그러나 아직까지 우리나라 성인에서 지속가능한 식생활에 대한 인식을 체계적으로 조사한 연구는 부족한 상황이다.

또한, 지금까지 국내에서 보고된 지속가능한 식생활 관련 교육은 대부분 학제를 중심으로 한 초등학교, 중학교, 고등학교에서의 지속가능한 식생활 교육 프로그램의 개발이 주를 이루고 있다(Lee & Kim 2021; Lee & Yu 2022; Lee 등 2022; Jeon & Lee 2023). 이외에도 지속가능한 식생활에 대한 인식도(Kim JW 2022; Hong 등 2023), 지속가능한 식생활에 영향을 미치는 인자(Kim DB 2022; Kim & Choi 2024) 등에 대해 보고된 바 있다. 해당 선행연구들에서는 지속가능한 식생활에 영향을 미치는 요인으로써 교육수준, 식습관, 성별, 가치관, 사회적 책임 인식, 기업의 사회적 책임 신뢰 등을 제시한

바 있다. 그러나 지속가능한 식생활을 실천하기 위해서는 이에 대한 인식이 선행되어야 함에도 불구하고, 성인을 대상으로 인식, 실천 및 영향요인을 분석한 연구는 보고된 바가 없다.

이에 본 연구에서는 성인의 지속가능한 식생활에 대한 인식과 실천 정도를 조사하고, 이에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 하였다. 이를 통하여 지속가능한 식생활관리의 실천을 높일 수 있는 교육자료 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상 및 기간

본 연구에서는 우리나라 만 19세 이상 성인 남녀를 대상으로 비확률적 편의표집(convenience sampling) 방법을 적용하고, 온라인 설문 플랫폼(구글 설문지)을 활용하여 2025년 2월 5일부터 21일까지 설문조사를 실시하였다. 조사대상자는 온라인 공고문을 SNS 및 지인 네트워크를 통해 게시하여 자발적으로 참여 의사를 밝힌 대상자 중 연구 목적과 내용을 충분히 이해하고 참여에 동의한 경우에 한하여 모집 후 조사를 실시하였다. 339부의 응답 중 주요 문항에 결측치가 있는 2부를 제외한 총 337부를 최종 분석에 이용하였다(분석률 99.4%). 본 연구의 조사대상자 선정부터 결과 분석까지 모든 연구절차는 전남대학교 생명윤리심의 위원회(1040198-241220-HR-219-01)의 승인을 받아 실시하였다.

### 2. 연구내용 및 방법

설문조사 내용은 조사대상자의 일반사항(성별, 연령, 가구원 수, 교육수준, 고용형태 및 가구 월 평균 소득) 6문항, 지속가능한 식생활에 대한 인식 3문항, 지속가능한 식생활에 대한 실천 13문항으로 구성하였다. 지속가능한 식생활에 대한 인식을 알아보기 위해 선행연구(Kim JW 2022; Choi & Kim 2024)의 설문지를 참고하여 문항을 구성하였으며, 지속가능한 식생활에 대한 인지, 지속가능한 식생활 관련 교육 참여 의향은 5점 Likert 척도로 조사하였고, 지속가능한 식생활에 대한 인지 경로도 문항에 포함시켰다. 지속가능한 식생활에 대한 실천 문항은 Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(2020)의 제3차 식생활교육 기본계획을 참고하여 본 논문에 맞게 실천성, 행동의 구체성 등의 내용을 반영할 수 있도록 수정 보완 후 환경(7문항), 건강(3문항), 배려(3문항) 영역으로 구분하였고, 5점 Likert 척도로 구분하였으며,

Cronbach's  $\alpha$  값은 0.80이었다. 설문지 초안을 작성한 후, 본 연구대상자와 유사한 특성을 가진 성인 15명을 대상으로 2024년 12월 예비조사를 거쳐 최종 완성하였다.

### 3. 통계분석

본 연구를 통해 얻어진 모든 결과는 IBM SPSS Statistics 26.0(IBM Corporation, Armonk, NY, USA)을 이용하여 분석하였으며, 유의수준  $p < 0.05$ 를 기준으로 통계적 유의성 여부를 판단하였다. 연속변수는 평균과 표준편차, 범주형 변수는 빈도와 비율을 구하였으며, 일반사항에 따라 지속가능한 식생활 인식 및 실천이 유의한 차이를 보이는지 검증하기 위해 독립변수(성별, 연령, 가구원 수, 교육수준, 고용형태)에 따라 연속형 변수는 Student's *t*-test 또는 일원분산분석(one-way ANOVA test)으로 유의성을 검정하였다. 일원분산분석에서 유의한 차이가 나타난 경우에는 Scheffé test를 이용하여 사후 분석을 진행하였다. 또한 지속가능한 식생활 인식 및 실천에 유의한 영향을 미치는 요인을 검증하기 위해 단순회귀분석(simple regression analysis) 및 다중회귀분석(multiple regression

analysis)을 실시하였다.

## 연구결과 및 고찰

### 1. 연구대상자의 일반사항

본 연구대상자의 일반사항에 대한 결과는 Table 1에 제시하였다. 총 337명의 응답자 중 성별은 남자 207명(61.4%), 여자 130명(38.6%)으로 남자가 더 많았으며, 연령은 20~29세 151명(44.8%), 30~39세 51명(15.1%), 40~49세 25명(7.4%), 50~59세 110명(32.6%)으로 20~29세가 가장 많았고, 40~49세가 가장 적었다. 가구원 수는 1인 가구 84명(24.9%), 2인 가구 59명(17.5%), 3인 가구 77명(22.8%), 4인 이상 가구 117명(34.7%)으로 4인 이상 가구, 1인 가구, 3인 가구, 2인 가구 순이었다. 교육수준은 고등학교 졸업 이하 62명(18.4%), 대학교 졸업 이상 275명(81.6%)으로 대학교 졸업 이상인 자의 비율이 높았다. 고용형태는 정규직 192명(57.0%), 파트타임/프리랜서 68명(20.2%), 경제활동 하지 않음 77명(22.8%)으로 경제활동을 하는 사람이 하지 않는 사람보다 더 많았다. 가구 월

Table 1. General characteristics of the participants

Variables	Categories	n(%)
Sex	Male	207(61.4)
	Female	130(38.6)
Age (year)	20~29	151(44.8)
	30~39	51(15.1)
	40~49	25(7.4)
	50~59	110(32.6)
Household size	1	84(24.9)
	2	59(17.5)
	3	77(22.8)
	≥4	117(34.7)
Level of education	High school graduation	62(18.4)
	College graduation or higher	275(81.6)
Employment state	Full-time worker	192(57.0)
	Part-time worker/freelance	68(20.2)
	Economically inactive	77(22.8)
Monthly household income	<3 million won	89(26.4)
	≥3 million won	248(73.6)
Total		337(100.0)

소득은 3백만 원 미만 89명(26.4%), 3백만 원 이상 248명(73.6%)으로 가구 월 소득이 3백만 원 이상인 가구가 3백만 원 이하인 가구보다 더 많았다.

## 2. 지속가능한 식생활 인식

본 연구대상자의 지속가능한 식생활 인식에 대한 결과는 Table 2에 제시하였다. 지속가능한 식생활에 대하여 ‘들어본 적 없다’(1점)에서 ‘매우 잘 안다’(5점)의 5점 척도로 조사한 결과, 평균 1.80점이었고, 지속가능한 식생활 관련 교육 참여 의향에 대해 ‘전혀 그렇지 않다’(1점)에서 ‘매우 그렇다’(5점)의 5점 척도로 조사한 결과는 평균 3.18점으로 나타났다. 지속가능한 식생활에 대한 인지 경로는 ‘들어본 적 없다’ 177명(52.5%), ‘대중매체’ 114명(33.8%), ‘학교’ 42명(12.5%), ‘기타’ 4명(1.2%)으로 나타나, 대중매체, 학교 등에서 지속가능한 식생활을 인지한 경우가 많았다.

아일랜드 성인 대상 건강한 식단과 지속가능한 식단에 대한 인지도를 조사한 질적 연구에 따르면, 대부분의 참가자들에서 건강한 식단이 의미하는 바를 잘 이해하고 있었지만, 상대적으로 지속가능한 식단에 대해서는 무엇인지 잘 이해하지 못하는 것으로 나타났다(Hazley 등 2024). 본 연구대상자에서도 지속가능한 식생활에 대한 인지 수준은 평균 1.80점(5점 척도 기준)으로 매우 낮은 수준이었다. 이는 2009년 식생활 교육 지원법의 제정 이후 지속가능한 식생활 교육이 점진적으로 도입되었기 때문에, 현재 성인들은 해당 개념에 대한 교육 기회가 상대적으로 적어 인지도가 낮았던 것으로 해석된다.

**Table 2. Perception of sustainable diet among the participants**

Variables	Mean±SD or n(%)	
Awareness of sustainable diets <sup>1)</sup>	1.80±1.02	
Intention to participate in sustainable diet education <sup>2)</sup>	3.18±0.97	
Sources of awareness of sustainable diets	Never heard of it	177(52.5)
	Mass media	114(33.8)
	School	42(12.5)
	Others	4(1.2)

<sup>1)</sup> 5-point scale was from 1 (never heard of it) to 5 (very familiar).

<sup>2)</sup> 5-point scale was from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree).

반면, 지속가능한 식생활 관련 교육 참여 의향은 평균 3.18점(5점 척도 기준)으로 비교적 높은 수준을 보였다. 이는 현재 지속가능한 식생활 인지 수준은 낮지만, 향후 지속가능한 식생활 관련 교육에 대한 참여 의사는 긍정적인 것을 시사한다. 지속가능한 식생활의 인지 경로는 대중매체와 학교교육 순으로 나타났는데, 이는 식품 및 영양 관련 정보가 대중매체에서 활발히 공유되고 검색되는 주요 콘텐츠 중 하나이며, 경제 및 의학의 발전과 함께 인간의 수명이 증가함에 따라 식품과 영양에 대한 사회적 관심이 높아진 결과로 해석된다(McGloin & Eslami 2015; Kim 등 2021; Kim & Joung 2024). Choi & Kim(2024)의 연구에서는 가정교육, 학교교육, 대중매체와 같은 식생활교육 주체별 경험이 대학생의 지속가능한 식생활의 환경, 건강 및 배려 역량에 미치는 영향을 분석한 결과, 학교교육, 대중매체 및 가정교육 순으로 지속가능한 식생활 교육을 경험하였다고 하였으며, 환경, 건강 및 배려 역량에 미치는 영향은 식생활 교육 주체에 따라 차이가 있다고 하였다. 본 연구에서는 20~50대 성인을 대상으로 했기 때문에 지속가능한 식생활에 대한 인지 경로가 대학생을 대상으로 한 선행연구(Choi & Kim 2024)와는 차이를 보인 것으로 생각되며, 연령대별 노출이 용이한 교육매체를 파악하여 지속가능한 식생활에 대한 인지도를 높여야 할 것으로 생각된다.

## 3. 지속가능한 식생활 실천도

본 연구대상자의 지속가능한 식생활에 대하여 환경, 건강 및 배려 영역별 실천도를 ‘전혀 실천하지 않는다’(1점)에서 ‘항상 실천한다’(5점)로 점수화하여 분석한 결과를 Table 3에 제시하였다. 환경 영역의 실천도에 대해 조사한 결과, 7개 문항의 평균 점수는 3.06점이었고, ‘일회용 대신 재사용 물건을 이용한다’(3.54점), ‘음식문화를 긍정적으로 개선하고 음식물 쓰레기 감량을 위해 노력한다’(3.53점), ‘제철 식재료와 전통 식재료를 선택하고 소비한다’(3.30점)의 순이었고, ‘식품을 구매할 때 저탄소 인증표시를 확인한다’ 항목의 평균이 1.96점으로 가장 낮았다. 건강 영역의 실천도에 대해 조사한 결과 3개 문항의 평균 점수는 3.53점이었고, ‘가정, 급식, 외식 등에서 식사 시 신선한 채소를 선택한다’(3.72점), ‘식품표시를 확인하고 식품을 선택한다’(3.59점), ‘비만과 만성질환을 예방할 수 있는 식생활을 한다’(3.28점) 순이었다. 마지막으로 배려 영역의 지속가능한 식생활 실천도를 살펴보면, 3개 문항의 평균 점수는 2.34점이었고, ‘동물 복지를 지원하는 회사의 제품을 사용한다’(2.50점), ‘다른 사람들과 지속가능한

**Table 3. Area-specific practice of sustainable diet among the participants**

Variables <sup>1)</sup>		Mean±SD
Environmental sustainable practices	Efforts are made to improve food culture positively and to reduce food waste.	3.53±0.97
	Consumers choose and consume food products that minimize environmental damage.	3.01±1.08
	Low-carbon certification labels are checked when purchasing food products.	1.96±1.07
	Domestic ingredients are purchased even when they are relatively expensive.	3.15±1.23
	Reusable items are used instead of disposable ones.	3.54±1.09
	Locally grown agricultural products are prioritized through local food markets.	2.90±1.25
	Seasonal and traditional ingredients are selected and consumed.	3.30±1.17
Total		3.06±0.79
Healthy practices	I follow a diet that helps prevent obesity and chronic diseases.	3.28±1.08
	I choose fresh vegetables when eating at home, in institutional meals, or when dining out.	3.72±0.99
	I check food labels before selecting food products.	3.59±1.11
	Total	3.53±0.82
Considerate practices	I share information about sustainable diets with others.	2.40±1.22
	I engage in community-based food experiences that involve collaboration between citizens and organizations.	2.12±1.10
	I purchase products from companies that support animal welfare.	2.50±1.24
	Total	2.34±0.99

<sup>1)</sup> 5-point scale was from 1 (never) to 5 (always).

식생활 관련 정보를 공유한다'(2.40점), '시민과 기관이 함께 참여하는 지역별 식생활 체험에 관심을 가지고 참여한다'(2.12 점)의 순이었다.

본 연구에서 전체 연구대상자의 지속가능한 식생활의 영역별 실천도는 건강, 환경, 배려 순으로 높게 나타났다. 선행 연구(Jeon & Lee 2023)에서 고등학생을 대상으로 지속가능한 식생활(20개 항목) 실천을 분석한 결과 배려, 환경, 건강 순으로 높았으며, 총 15개 항목으로 구성된 지속가능한 식생활의 실천도를 조사한 초등학생 대상 연구(Lee & Kim 2021)에서는 환경 영역의 점수가 3.69~4.14점, 건강 영역에서는 3.22~4.22점, 배려 영역에서는 3.82~4.09점의 점수를 보여 본 연구 결과와는 다른 양상을 보였다. 이는 각 대상별 지속가능한 식생활의 영역별 구성요인 및 문항 수가 달랐기 때문인 것으로 보인다. 또한, 20~50대 성인이 참여한 본 연구에서 건강 영역의 실천도가 높게 나타난 이유는 청소년이나 아동 대상 연구보다 대상자들의 만성질환에 대한 건강 관심도가 높고, 그로 인해 만성질환 예방을 위하여 지속가능한 식생활을 실천할 가능성이 크기 때문인 것으로 생각된다. 고등학생 대상 연구(Jeon & Lee 2023)와 비교할 때 성인을 대상으로 한

본 연구에서는 지속가능한 식생활의 '배려' 영역 실천 정도에 차이가 있었는데, 이는 성인은 식품 소비의 주체로서 경제적 요인과 건강 요인을 우선 고려하지만(Jung S 2024), 고등학생은 교육 환경에서 타인과 공동체를 고려한 실천인 '급식 잔반 줄이기'와 같은 교육을 받기 때문에(Jeon & Lee 2023) 푸드시스템의 지속가능성에 기여할 가능성이 높은 것으로 사료된다.

#### 4. 지속가능한 식생활 인식 및 실천도에 영향을 미치는 요인

성별 및 연령군에 따른 지속가능한 식생활 인식 및 실천도의 비교 결과는 Table 4에 제시하였다. 성별에 따른 결과를 살펴보면, 지속가능한 식생활 인지에 대한 평균 점수는 여자(2.06점)가 남자(1.64점)에 비해 유의하게 높았으나( $p<0.001$ ), 지속가능한 식생활 관련 교육 참여 의향에 대한 평균 점수는 성별에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다. 지속가능한 식생활의 환경 영역( $p<0.01$ ), 건강 영역( $p<0.05$ ) 및 배려 영역( $p<0.001$ )의 실천도에서 모두 여자가 남자에 비해 유의적으로 높은 실천 점수를 보였다. 연령군에 따른 결과를 살펴보면, 지속가능한 식생활의 인지도나 교육 참여 의향은 연령군별

Table 4. Perceptions and practices of sustainable diet by gender

Variables	Gender		t-value	Age group (year)				F-value	
	Male (n=207)	Female (n=130)		20~29 (n=151)	30~39 (n=51)	40~49 (n=25)	50~59 (n=110)		
Perception of sustainable diet	Awareness of sustainable diets <sup>2)</sup>	1.64±0.91 <sup>1)</sup>	2.06±1.13	-3.60***	1.79±1.06	2.00±1.15	1.48±0.65	1.79±0.96	1.48
	Intention to participate in sustainable diet education <sup>3)</sup>	3.16±0.98	3.23±0.95	-0.61	3.15±0.98	3.25±0.93	2.76±1.23	3.31±0.86	2.39
Practice of sustainable diet	Environmental practices <sup>4)</sup>	2.96±0.81	3.21±0.74	-2.78**	2.78±0.74 <sup>5)</sup>	2.88±0.76 <sup>a</sup>	3.10±0.73 <sup>a</sup>	3.52±0.67 <sup>b</sup>	23.60***
	Healthy practices <sup>4)</sup>	3.45±0.83	3.66±0.79	-2.31*	3.37±0.86 <sup>a</sup>	3.41±0.80 <sup>ab</sup>	3.37±0.77 <sup>a</sup>	3.83±0.69 <sup>b</sup>	8.15***
	Considerate practices <sup>4)</sup>	2.14±0.98	2.66±0.93	-4.81***	2.02±0.94 <sup>a</sup>	2.32±0.96 <sup>ab</sup>	2.32±0.88 <sup>ab</sup>	2.79±0.94 <sup>b</sup>	14.39***

<sup>1)</sup> Mean±SD.

<sup>2)</sup> 5-point scale was from 1 (never heard of it) to 5 (very familiar).

<sup>3)</sup> 5-point scale was from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree).

<sup>4)</sup> 5-point scale was from 1 (never) to 5(always).

<sup>5)</sup> Means with different letters (a,b) are significantly different at  $p<0.001$  by Scheffe test.

\*  $p<0.05$ , \*\*  $p<0.01$ , \*\*\*  $p<0.001$ .

유의한 차이를 보이지 않았다. 반면, 지속가능한 식생활의 환경 영역 실천도 점수는 연령군별 유의한 차이를 보여 ( $p<0.001$ ) 50~59세의 평균은 3.52점으로 다른 연령대에 비해 유의하게 높았다. 지속가능한 식생활의 건강 영역 실천도 역시 50~59세(3.83점)가 20~29세(3.37점)와 40~49세(3.37점)보다 유의하게 높았다( $p<0.001$ ). 지속가능한 식생활의 배려 영역 실천도에서도 50~59세(2.79점)가 20~29세(2.02점)에 비해 유의하게 높았다( $p<0.001$ ).

가구원 수에 따른 지속가능한 식생활 인식 및 실천도의 비교 결과는 Table 5에 제시한 바와 같이 지속가능한 식생활 인지도나 교육 참여 의향은 가구원 수에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다. 반면, 지속가능한 식생활의 영역별 실천도는 가구원수에 따라 유의한 차이를 보여, 1인 가구는 지속가능한 식생활의 환경 및 배려 영역의 실천도 점수가 2인 가구, 3인 가구 및 4인 이상 가구에 비해 유의적으로 낮았으며(각  $p<0.001$ ), 건강 영역의 실천도 점수 역시 4인 이상 가구에 비해 유의적으로 낮았다( $p<0.01$ ).

교육수준 및 고용형태에 따른 지속가능한 식생활 인식 및

실천도의 비교 결과는 Table 6에 제시하였다. 교육수준에 따른 결과를 살펴보면, 지속가능한 식생활 인지와 영역별 실천도는 교육수준에 따른 유의한 차이를 보이지 않았지만, 지속가능한 식생활 교육 참여 의향은 대학 졸업 이상(3.24점)이 고등학교 졸업 이하(2.97점)보다 유의하게 높았다( $p<0.05$ ). 고용형태에 따른 결과를 살펴보면, 지속가능한 식생활 인지도, 교육 참여 의향, 건강 영역의 실천도는 고용형태에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다. 지속가능한 식생활의 환경 영역 실천도는 경제활동을 하지 않는 경우 모든 군 중 가장 낮았으며( $p<0.001$ ), 지속가능한 식생활의 배려 영역 실천도 역시 경제활동을 하지 않는 경우(2.07점)가 정규직(2.44점)보다 유의하게 낮았다( $p<0.05$ ).

지속가능한 식생활 인지도 및 교육 참여 의향에 영향을 미치는 요인에 대한 단순회귀분석 결과는 Table 7에 제시하였다. 분석 시, 앞서 지속가능한 식생활 인지도에 유의한 차이를 보였던 성별을 더미 변환하여 독립변수로 투입하였고, 지속가능한 식생활 교육 참여 의향에 유의한 차이를 보였던 교육수준을 더미 변환하여 독립변수로 투입하여 회귀분석하였다.

**Table 5. Perceptions and practices of sustainable diet by household size**

Variables	Household size				F-value	
	1 (n=84)	2 (n=59)	3 (n=77)	≥4 (n=117)		
Perception of sustainable diet	Awareness of sustainable diets <sup>2)</sup>	1.64±0.89 <sup>1)</sup>	1.97±1.15	1.88±0.97	1.78±1.06	1.38
	Intention to participate in sustainable diet education <sup>3)</sup>	3.08±1.04	3.36±0.78	3.22±0.90	3.16±1.03	0.98
Practice of sustainable diet	Environmental practices <sup>4)</sup>	2.64±0.71 <sup>a</sup>	3.18±0.74 <sup>b</sup>	3.26±0.72 <sup>b</sup>	3.16±0.82 <sup>b</sup>	11.80 <sup>***</sup>
	Healthy practices <sup>4)</sup>	3.26±0.89 <sup>a</sup>	3.53±0.81 <sup>ab</sup>	3.62±0.80 <sup>ab</sup>	3.66±0.74 <sup>b</sup>	4.35 <sup>**</sup>
	Considerate practices <sup>4)</sup>	1.89±0.81 <sup>a</sup>	2.47±1.00 <sup>b</sup>	2.52±0.92 <sup>b</sup>	2.48±1.07 <sup>b</sup>	7.99 <sup>***</sup>

<sup>1)</sup> Mean±SD.

<sup>2)</sup> 5-point scale was from 1 (never heard of it) to 5 (very familiar).

<sup>3)</sup> 5-point scale was from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree).

<sup>4)</sup> 5-point scale was from 1 (never) to 5 (always).

<sup>5)</sup> Means with different letters (a,b) are significantly different at  $p<0.001$  by Scheffe test.

\*\* $p<0.01$ , \*\*\* $p<0.001$ .

**Table 6. Perceptions and practices of sustainable diet by education level and employment state**

Variables	Level of education		t-value	Employment state			F-value	
	High school graduation (n=62)	College graduation or higher (n=275)		Full-time worker (n=191)	Part-time worker /freelance (n=68)	Economically inactive (n=78)		
Perception of sustainable diet	Awareness of sustainable diets <sup>2)</sup>	1.60±0.98 <sup>1)</sup>	1.85±1.02	-1.75	1.78±0.98	1.91±1.08	1.75±1.07	0.52
	Intention to participate in sustainable diet education <sup>3)</sup>	2.97±1.07	3.24±0.94	-2.01 <sup>*</sup>	3.19±0.96	3.04±1.00	3.31±0.95	1.39
Practice of sustainable diet	Environmental practices <sup>4)</sup>	2.99±0.77	3.07±0.80	-0.76	3.16±0.78 <sup>b5)</sup>	3.13±0.69 <sup>b</sup>	2.74±0.82 <sup>a</sup>	8.61 <sup>***</sup>
	Healthy practices	3.49±0.76	3.53±0.83	-0.35	3.53±0.84	3.62±0.80	3.42±0.79	1.08
	Considerate practices	2.34±0.90	2.34±1.01	0.05	2.44±0.93 <sup>b</sup>	2.35±0.93 <sup>ab</sup>	2.07±0.96 <sup>a</sup>	3.79 <sup>*</sup>

<sup>1)</sup> Mean±SD.

<sup>2)</sup> 5-point scale was from 1 (never heard of it) to 5 (very familiar).

<sup>3)</sup> 5-point scale was from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree).

<sup>4)</sup> 5-point scale was from 1 (never) to 5 (always).

<sup>5)</sup> Means with different letters (a,b) are significantly different at \*\* $p<0.05$ ,  $p<0.001$  by Scheffe test.

\* $p<0.05$ , \*\*\* $p<0.001$ .

그 결과, 지속가능한 식생활 인지에 대한 성별의 설명력은 4%였고, 여자의 지속가능한 식생활 인지가 남자보다 유의하게 높은 것으로 검증되었다( $p<0.001$ ). 그리고 지속가능한 식생활 교육 참여 의향에 대한 교육수준의 설명력은 1%로 나타났다, 대학교 이상의 지속가능한 식생활 교육 참여 의향이 고등학교 졸업 이하보다 유의하게 높은 것으로 검증되었다

( $p<0.05$ ). 그러나 본 연구에서 도출된 모형의 설명력이 높은 수준은 아니라 변수의 실제 영향력은 크지 않을 수 있다는 제한점이 존재한다.

지속가능한 식생활의 영역별 실천도에 영향을 미치는 요인에 대한 다중회귀분석 결과는 Table 8에 제시하였다. 변수 선택은 단변량 분석 결과, 다중공선성 및 모형 적합성을 고

**Table 7. Factors influencing awareness of sustainable diets and the intention to participate in sustainable diet education**

Dependent variables	Independent variables	B	Se	$\beta$	<i>t</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
Awareness of sustainable diets <sup>1)</sup>	Gender (female)	0.42	0.11	0.20	3.79***	0.04
Intention to participate in sustainable diet education <sup>2)</sup>	Level of education (college graduation or higher)	0.30	0.13	0.12	2.26*	0.01

<sup>1)</sup> 5-point scale was from 1 (never heard of it) to 5 (very familiar).

<sup>2)</sup> 5-point scale was from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree).

\**p*<0.05, \*\*\**p*<0.001.

려하여 성별, 연령, 가구원 수만을 독립변수로 포함하였다. 성별, 연령, 가구원 수의 환경 영역 실천도에 대한 설명력은 약 23%였는데, 회귀계수 유의성 검증 결과 여자의 환경 영역 실천도가 남자보다 유의하게 높았고(*p*<0.01), 연령이 높을수록 환경 영역 실천도가 유의하게 높았으며(*p*<0.001), 가구원 수가 많을수록 환경 영역 실천도가 유의하게 높았다(*p*<0.001). 성별, 연령, 가구원 수의 건강 영역 실천에 대한 설명력은 약 9%였는데, 회귀계수 유의성 검증 결과 여자의 건강 영역 실천도가 남자보다 유의하게 높았고(*p*<0.05), 연령이 높을수록(*p*<0.001) 그리고 가구원 수가 많을수록 건강 영역 실천 정도가 유의하게 높았다(*p*<0.05). 성별, 연령 및 가구원 수의 배려 영역 실천에 대한 설명력은 약 20%였는데, 회귀계수 유의성 검증 결과 여자의 배려 영역 실천도가 남자보다 유의하게 높았고(*p*<0.001), 연령이 높을수록(*p*<0.001) 그리고 가구원 수가 많을수록 배려 영역 실천도가 유의하게 높았다(*p*<0.01).

선행연구에 따르면 대학생에서 지속가능 식품과 영양 관

련 인식, 지식, 태도와 실천과의 관계를 분석한 결과, 전반적으로 지속가능 식품과 영양에 대한 인식도 대비 실천 수준이 낮은 경향을 보였다고 한다(Sahadeo 등 2025). 또한 구매나 소비 단계에서의 지속가능 식생활의 실천 수준은 전반적으로 낮았고 특히 환경을 고려한 식행동은 매우 제한적이어서(Sahadeo 등 2025), 지속가능 식생활의 인지도와 실천도의 차이는 항목별로 다를 것으로 생각된다. 본 연구에서 지속가능한 식생활에 대한 인지도는 1.80점이었던 반면, 실천도는 영역별로 차이가 있지만 2.34~3.53점으로 지속가능한 식생활에 대한 이해보다 실제 실천을 조금 더 하는 것으로 나타났다. 이러한 인지도와 실천도의 차이는 다양한 인구학적 특성에 따라 다르게 나타날 수 있는데, 본 연구에서는 성별, 연령, 가구원 수와 같은 인구학적 특성이 지속가능한 식생활에 대한 인식 및 실천에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 여자, 높은 연령, 다인 가구일수록 지속가능한 식생활의 세 영역(건강, 환경, 배려)에서 실천 수준이 높았다. 이러한 경향은 중년 여성이 편의식품, 배달음식, 외식, 즉석조

**Table 8. Factors influencing the practice of sustainable diet by area**

Dependent variables	Independent variables	B	Se	$\beta$	<i>T</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
Environmental practices <sup>1)</sup>	Gender (female)	0.22	0.08	0.13	2.74**	0.23
	Age group (year)	0.21	0.03	0.35	6.52***	
	Household size	0.12	0.03	0.18	3.54***	
Healthy practices <sup>1)</sup>	Gender (female)	0.20	0.09	0.12	2.24*	0.09
	Age group (year)	0.14	0.03	0.22	4.14***	
	Household size	0.09	0.04	0.13	2.53*	
Considerate practices <sup>1)</sup>	Gender (female)	0.50	0.10	0.25	4.96***	0.20
	Age group (year)	0.22	0.04	0.30	5.45***	
	Household size	0.12	0.04	0.14	2.75**	

<sup>1)</sup> 5-point scale was from 1(never) to 5(always).

\**p*<0.05, \*\**p*<0.01, \*\*\**p*<0.001.

리식품 소비에 대해 상대적으로 낮은 선호를 보였으며, 편의 식품 및 외식 소비 증가가 주로 청소년과 20~30대 1인 가구 등 젊은 층에서 두드러진다고 보고한 Chang HJ (2018)의 연구와도 일치한다. 또한, 본 연구에서 연령이 높을수록 지속 가능한 식생활 실천 수준이 유의하게 높게 나타난 결과와도 일치한다. 이러한 결과는 향후 지속가능한 식생활 교육 및 정책 수립에 있어 연령대별 식생활 특성과 소비 행태를 고려한 맞춤형 접근이 필요함을 시사한다. 구체적으로, 젊은 층의 경우에는 편의성을 중시하는 소비 패턴을 지속가능한 방식으로 전환할 수 있는 교육 프로그램과 체험 활동을 도입할 필요가 있으며, 중장년층 및 노년층은 이미 형성된 전통적 식습관을 더욱 체계화하여 건강 및 환경 보전에 기여할 수 있도록 지원하는 방안이 필요하다.

영국 성인을 대상으로 한 Culliford & Bradbury(2020)의 연구에 따르면, 지속가능한 식생활에 대한 인식과 실천 의지는 인구통계학적 집단별로 차이가 있어 여자가 남자에 비해 실천의지가 좀더 높았고, 지속가능한 식생활 항목별로 차이가 있어 젊은 참가자일수록 유기농 농산물 선택, 지속가능한 방식으로 어획된 생선 선택에 대하여 행동 변화의 가능성이 더 높았다. 또한 식품을 선택하는 동기로 환경 지속가능성을 언급하는 것은 지속가능한 식단을 수용할 의향과 양의 관련성이 있다고 하였다. 본 연구에서는 지속가능한 식생활의 인지 및 실천에 따른 동기까지 조사하지 못하였기 때문에, 선행연구와 정확한 비교는 어렵지만, 지속가능한 식생활의 인식 및 실천에 영향을 미치는 여러 인구학적 요인을 도출하였기 때문에, 본 연구결과를 토대로 추후 지속가능한 식생활의 실천을 이끌 수 있는 다양한 요인들을 계층별로 도출하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

## 요약 및 결론

본 연구에서는 성인 남녀의 지속가능한 식생활에 대한 인식과 실천 정도를 조사하고, 이에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 2025년 2월 5일부터 21일까지 성인 337명을 대상으로 온라인 설문조사를 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 연구대상자의 일반사항으로는 남자가 61.4%로 더 많았고, 연령은 20~29세가 가장 높은 비중을 차지하였다. 4인 이상 가구가 가장 많았으며, 대학 졸업 이상이 81.6%로 교육수준이 높고, 가구 소득은 300만 원 이상이 73.6%였다. 지속가능한 식생활 인식 수준은 평균 1.80점(5점 기준)으로 매우 낮

았으나, 관련 교육 참여 의향은 3.18점으로 비교적 높게 나타났다. 인지 경로는 ‘대중매체(33.8%)’와 ‘학교(12.5%)’가 주요 출처였으며, ‘들어본 적 없다’는 응답이 절반 이상(52.5%)으로 지속가능한 식생활 개념의 사회적 노출이 아직 충분하지 않음을 보여주었다. 지속가능한 식생활 실천은 건강 영역(3.53점)이 가장 높았고, 환경 영역(3.06점), 배려 영역(2.34점) 순이었다. 환경 영역에서는 일회용품 대신 재사용 제품 사용, 음식물쓰레기 감량 노력 등이 상대적으로 높았으나, 친환경 인증 확인은 가장 낮았다. 건강 영역에서는 채소 섭취, 식품표시 확인 등의 실천이 높게 나타났으며, 배려 영역에서는 동물복지 제품 구매나 지역 식생활 체험 참여 등 사회적 배려 행동이 가장 낮은 영역으로 확인되었다. 사회인구학적 특성에 따른 차이를 분석한 결과, 여자는 남자보다 인식 수준과 모든 영역의 실천도가 유의하게 높았다. 연령에 따라서는 50~59세가 환경·건강·배려 영역 모두에서 가장 높은 실천도를 보였으며, 20~29세 청년층은 전반적으로 실천도가 낮았다. 가구원 수에 따라서는 1인 가구는 다른 가구 형태에 비해 환경, 건강 및 배려 세 영역 모두에서 실천도가 낮았다. 교육수준에 따른 차이는 크지 않았으나, 교육수준이 높을수록 교육 참여 의향이 높았으며, 고용형태에서는 경제활동을 하지 않는 경우 환경 및 배려 영역 실천도가 낮았다. 회귀분석 결과, 여자의 지속가능한 식생활 인지가 높았고, 교육수준이 높을수록 교육 참여 의향이 높았다. 영역별 실천도는 성별(여자), 연령 증가, 가구원 수 증가가 공통적으로 긍정적 영향을 미치는 요인이었다. 특히 환경 및 배려 영역의 설명력이 비교적 높게 나타나, 개인의 생활 기반(연령, 가구 구성)이 지속가능 식생활 실천의 핵심 요인임이 확인되었다.

본 연구는 몇 가지 제한점을 가진다. 첫째, 성인의 지속가능한 식생활에 대한 인식과 실천 정도를 조사하고, 이에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 하는 목적으로 진행되었기 때문에, 성별에 따른 지속가능한 식생활 실천 세부항목까지는 분석하지 못하였다. 둘째, 지속가능한 식생활의 인식과 실천도에 영향을 미치는 독립변수를 최대한 확인하고자 다양한 일반사항을 고려하여 회귀분석을 실시하였는데, 많은 변수가 포함된 관계로 해석 시 복잡함의 문제가 야기되었다. 그렇지만 본 연구는 우리나라 성인을 대상으로 지속가능한 식생활에 대한 인지 수준, 실천 정도, 그리고 이에 영향을 미치는 사회인구학적 요인을 종합적으로 분석하였다는 점에서 의의를 가진다. 특히 지속가능한 식생활을 건강·환경·배려의 세 영역으로 구분하여 실천 양상을 비교·분석함으로

써, 단일 지표 중심의 기존 연구에서 나아가 영역별 실천 격차와 취약 영역을 구체적으로 규명하였다는 점에서 학문적 의의가 있다. 따라서 연령과 가구 구성과 같은 개인의 생활 기반 특성이 지속가능한 식생활 실천에 유의한 영향을 미친 본 연구결과를 고려할 때, 향후 ‘누가’, ‘어떤 환경에서’, ‘어떤 영역의 지속가능한 식생활 실천이 어려운지’를 구분하는 세밀화된 연구가 필요할 것이다.

본 연구의 결과를 요약하면, 성인에서 지속가능한 식생활 인식은 낮지만 교육 참여 의향은 높았으며, 실천 영역별 격차가 존재하였다. 따라서 실천도가 낮은 배려 영역과 청년 및 1인 가구 대상 맞춤형 교육 및 지원이 필요하며, 연령대별 선호 매체를 활용한 정보 제공 전략이 중요할 것으로 보인다.

## References

- Burlingame B, Dernini S. 2012. Sustainable diets and biodiversity. In *Direction and Solutions for Policy, Research and Action*. pp. 256-300. Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Chang HJ. 2018. Sustainable meal practices of middle aged women at home according to their lifestyles. *J Korean Soc Food Cult* 33:1-10
- Choi KS, Kim JE. 2024. Effects of dietary education subjects' experiences (home, school, and mass media) and consumption ethics on university students' sustainable dietary competency (environment, health, and consideration). *Korean J Hum Ecol* 33:757-767
- Culliford A, Bradbury J. 2020. A cross-sectional survey of the readiness of consumers to adopt an environmentally sustainable diet. *Nutr J* 19:138
- Hazley D, Stack M, Kearney JM. 2024. Perceptions of healthy and sustainable eating: A qualitative study of Irish adults. *Appetite* 192:107096
- Heard H, Bogdan A. 2021. *Healthy and sustainable diets: consumer poll, executive summary*. Food Standards Agency
- Hong SA, Joung SH, Lee JW, Kim Y. 2023. An exploration of the conceptual awareness of sustainable diet utilizing photovoice for high school students. *J Home Econ Educ Res* 35:135-149
- Jeon J, Lee KW. 2023. Development and evaluation of home economics dietary education programs for improving the sustainable dietary competencies of high school students. *Hum Ecol Res* 61:349-360
- Jung S. 2024. Sustainable diets: A scoping review and descriptive study of concept, measurement, and suggested methods for the development of Korean version. *Korean J Community Nutr* 29:34-50
- Kim DB. 2022. *The effects of food consumption values on the cooking competency motivation and sustainable dietary life of the new silver generation*. Master's Thesis, Arts Sookmyung Woman's Univ. Seoul. Korea
- Kim I, Park MS, Bae HJ. 2021. A survey on the utilization practice and satisfaction of users of food and nutrition information. *J Nutr Health* 54:398-411
- Kim JE, Choi KS. 2024. Effect of university student's awareness of social responsibility and trust in corporate social responsibility on a sustainable diet. *J Korean Soc Food Cult* 39:138-146
- Kim JW. 2022. College students' perception on sustainable diets. *J Korean Pract Arts Educ* 35:1-20
- Kim SH, Joung H. 2024. Analysis of the characteristics of dietary information acquisition and perceptions on the dietary reference intakes for Koreans among Korean adults. *J Nutr Health* 57:653-666
- Korea Disease Control and Prevention Agency. 2024. *Korea Health Statistics 2023: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES IX-2)*. pp.110-122. Korea Centers for Disease Control and Prevention.
- Lee JE, Kim JW. 2021. Development of on-line learning materials on sustainable food education for elementary school students using the food classroom platform. *J Korean Pract Arts Edu* 34:159-183
- Lee JE, Yu NS. 2022. Development of the sustainable dietary life teaching-learning plans to implement the sustainable development goals (SDGs). *J Korean Home Econ Educ Assoc* 34:149-167
- Lee YE, Se-jong Y, Lee JW, Koh J, Kim Y. 2022. Sustainable education program for middle school students for the global environment. *J Korean Home Econ Educ Assoc* 34:59-75
- McGloin AF, Eslami S. 2015. Digital and social media

- opportunities for dietary behaviour change. *Proc Nutr Soc* 74:139-148
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2020. 3rd (2020-2024) Basic Plan for Food Life Education. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs
- Safefood. 2023. Building 'Sustainability' into National Healthy Eating Guidelines. Review of International Practice and Practical Implications for Policy. Safefood
- Sahadeo S, Naicker A, Makanjana O, Olaitan OO. 2025. Awareness, knowledge and attitudes of food and nutrition sustainability, and food choice drivers among university students. *Front Sustain Food Syst* 9:1-13
- Statistics Korea. 2024. 2024 Statistics on one-person households. Available from [https://mods.go.kr/board.es?mid=a10301010000&bid=10820&act=view&list\\_no=434103](https://mods.go.kr/board.es?mid=a10301010000&bid=10820&act=view&list_no=434103) [cited 15 November 2025]
- Statistics Korea. 2025. 2025 Statistics on the aged. Available from [https://www.kostat.go.kr/board.es?mid=a10301010000&bid=10820&tag=&act=view&list\\_no=438832](https://www.kostat.go.kr/board.es?mid=a10301010000&bid=10820&tag=&act=view&list_no=438832) [cited 15 November 2025]
- van Bussel LM, Kuijsten A, Mars M, van't Veer P. 2022. Consumers' perceptions on food-related sustainability: A systematic review. *J Clean Prod* 341:130904
- Yang E, Yoon B. 2024. An educational needs analysis of sustainable dietary education for nutrition teachers: An application of the IPA, Borich needs assessment and the locus for focus model. *Korean J Community Nutr* 29: 372-381

---

Received 29 November, 2025

Revised 15 December, 2025

Accepted 18 December, 2025

## A Comparative Analysis of the Quality and Instrumental Flavor Profiles of Seasoned Soy Sauce Prepared with Different Sub-Ingredients

Hye Kyung Cho and <sup>†</sup>Kyung Tae Jang\*

Graduate Student, Dept. of Foodservice and Culinary Management, Honam University, Gwangju 62399, Korea

\*Assistant Professor, Dept. of Food & Cooking Science, Sunchon National University, Jeonnam 57922, Korea

### Abstract

This study assessed how the removal of specific sub-ingredients affects the quality characteristics of traditionally brewed soy sauce. Five samples were prepared using the same base formulation: a control with all ingredients (CON) and variants lacking garlic (GR), all chili peppers (CR), whole pepper (PR), or ginger wine (GWR). The sample without ginger wine (GWR) exhibited the highest moisture content and lightness, while the chili pepper-removed sample (CR) showed a darker color due to increased Maillard browning. Soy sauces without chili or pepper had significantly higher °Brix and salt contents but lower pH levels ( $p < 0.05$ ). Amino acid profiling revealed that the CR-removed sample had the highest levels of glutamic acid and branched-chain amino acids, whereas the GWR-removed sample had the lowest total amino acid content ( $p < 0.05$ ). Additionally, the CR-removed sample demonstrated the highest total polyphenol and flavonoid contents, along with the strongest DPPH and ABTS radical-scavenging activities ( $p < 0.05$ ). Instrumental flavor analyses conducted with an electronic nose and an electronic tongue confirmed distinct taste and aroma profiles. Overall, the removal of chili peppers enhanced antioxidant capacity and improved the instrumental flavor profile.

Key words: seasoned soy sauce, sub-ingredients, electronic nose, electronic tongue, antioxidant activity

### Introduction

Soy-based fermented seasonings have long occupied an important position in the rice-centered dietary culture of Korea. Soybeans are rich in high-quality proteins and lipids and supplemented with essential amino acids and fatty acids, which are often deficient in rice- or barley-based diets (Yang et al. 2019). Traditional soy sauce is made solely from meju (fermented soybean blocks) and salt. During long-term fermentation, complex biochemical reactions break down proteins into various functional peptides. These peptides, together with free sugars, nucleotides, and salts, create the characteristic flavor and aroma of soy sauce (Choi et al. 2006). Soybeans are also abundant in minerals and vitamins, rich in lysine but low in saturated fatty acids, and contain no cholesterol, making them a valuable and healthy source of plant protein (Kim MJ 2001). In addition, their physiological functions

such as cholesterol-lowering, antitumor, antimutagenic, radioprotective, anti-aging, and antioxidant activities have been widely reported (Lee et al. 2002; Choi et al. 2016; Jeong et al. 2023).

Although traditional soy sauce is widely used in Korean cuisine, it contains 12~20% salt relative to its raw material weight, classifying it as a high-sodium food. This poses a public health concern; thus, low-salt and functional soy sauces have been actively developed (Shim et al. 2008). With the westernization and premiumization of dietary patterns, consumers increasingly value flavor, sensory attributes such as color, aroma, and texture; and the use of functional natural ingredients (Kim et al. 2012). Consequently, various natural ingredients such as *Hovenia dulcis* (Oh & Song, 2013), burdock (*Arctium lappa*) (Kwon & Kwak, 2021), *Astragalus membranaceus*, and shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) (Kim et al. 2013) have been incorporated to enhance the flavor

<sup>†</sup> Corresponding author: Kyung Tae Jang, Assistant Professor, Dept. of Food & Cooking Science, Sunchon National University, Jeonnam 57922, Korea. Tel: +82-61-750-3699, E-mail: [jangkt@scnu.ac.kr](mailto:jangkt@scnu.ac.kr)

and functionality of traditional soy sauce (Jang et al. 2023).

Research on soy sauce with added sub-ingredients has shown promising improvements not only in quality characteristics but also in functional properties. Kim et al. (2020) reported that herb soy sauces containing rosemary, lemon balm, spearmint, and peppermint extracts showed increased total polyphenol content and DPPH and ABTS radical scavenging activities while exhibiting reduced pH and salinity. Park et al. (2015) demonstrated that traditional soy sauce supplemented with *Astragalus membranaceus* (0~10%) exhibited increased amino nitrogen and total phenol content during fermentation, with the 5% addition group showing the highest antioxidant activity and sensory scores. Similarly, Song & Lee (2013) found that koji-mixed soy sauce (50%) showed the highest amino nitrogen, tyrosine content, enzymatic activity, and antioxidant capacity after 90 days of fermentation, with favorable sensory qualities. Lee et al. (2022) also reported that soy sauce enriched with onion juice exhibited higher acidity, sugar content, total polyphenols, and antioxidant activity, with the 70% addition group showing the highest sensory preference and overall quality enhancement.

However, Yang et al. (2023) analyzed the research trends in traditional Korean fermented seasonings and noted that comparative studies on the types of sub-ingredients and their impact on soy sauce quality are limited. While studies have examined the effects of different manufacturing methods (traditional, brewed, and acid-hydrolyzed) or individual additives, comprehensive comparisons of physicochemical and sensory characteristics according to ingredient type are still scarce.

This study aims to investigate how the exclusion of garlic, red pepper, whole black pepper, and ginger liquor—ingredients commonly used in seasoned soy sauce production—affects the physicochemical quality, antioxidant activity, and flavor characteristics of the sauce. The quality and functionality of soy sauce can vary depending on fermentation conditions and the composition of seasoning ingredients (Lee et al. 2015), and previous reports have shown that garlic supplementation increases total polyphenol content and DPPH radical-scavenging activity (Shin et al. 2010), suggesting that the presence or absence of aromatic vegetables may influence the antioxidant capacity and functional attributes of seasoned soy sauce. Garlic

and ginger have also been identified as spices with notable antioxidant and antimicrobial activities (Jung & Park, 2013), while red pepper, black pepper, ginger, and garlic have long been incorporated as key seasonings to enhance aroma and flavor in traditional Korean cuisine (Jung et al. 2022). Furthermore, a patented formulation for seasoned soy sauce containing garlic, ginger, black pepper, and cooking liquor (Lee GW, 2015) highlights the industrial relevance of these four ingredients. Based on this background, this study aimed to investigate how the removal of four key seasoning ingredients—garlic, red chili, whole pepper, and ginger wine—affects the physicochemical properties, antioxidant activities, and instrumental sensory characteristics of seasoned soy sauce. By comparing ingredient-omitted samples, we clarified the contribution of each spice to quality differentiation. These findings are expected to provide fundamental baseline data for functional formulation design and value-added product development in seasoned soy sauce.

## Materials and Methods

### 1. Experimental materials and preparation of soy sauce

The seasoned soy sauce used in this study was formulated and prepared using a recipe independently developed by the authors. All the ingredients used in this study were purchased from Hanaro Mart (Damyang, Jeollanam-do, Korea). The main ingredients were two-year-aged soy sauce (Cheongjang) and commercially brewed soy sauce (Sempio Foods Co., Seoul, Korea). The sub-ingredients included oligosaccharide (CJ CheilJedang Co., Seoul, Korea), beef brisket (100 g), white sugar (CJ CheilJedang Co., Seoul, Korea), dried shiitake mushroom (50 g), perilla leaves (10 g), GR (20 g), green chili (20 g), red chili (20 g), dried red chili (15 g), whole pepper (PR) (Ottogi Co., Anyang, Korea), and ginger wine (GRW) (100 g). The GRW was prepared by the researcher by soaking cleaned and sliced ginger (15 g) in soju (Ipsaeju, Muhak Co., Changwon, Korea, 360 mL) at room temperature until maturation. All ingredients were mixed in fixed proportions and heated at approximately 90°C for 40 min using an induction cooktop (BEI3QEBLOE, LG Electronics, Seoul, Korea) and a stainless-steel pot (304 stainless steel, diameter 28 cm, height

26.2 cm; Kitchen Art Co., Seoul, Korea). After heating, the samples were allowed to cool at room temperature for 10 min and then chilled in running cold water for 1 h. The cooled mixtures were filtered through gauze and a stainless-steel sieve (30 mesh, 0.5587 mm, 240×70 mm) to remove solids, and the filtrate was used as the seasoned soy sauce sample. The formulations and compositions of all the ingredients used in this study are summarized in Table 1.

## 2. Moisture content

Each sample (3 g) was measured and dried using the atmospheric heat-drying method in a dry oven (Thermo Stable EOF-155, Daihan Scientific Co., Ltd., Seoul, Korea). The measurements were performed in triplicate, and the moisture content (%) was calculated from the weight difference before and after drying.

## 3. Color values

The color of each sample was determined using a chroma

meter (CR-170, Minolta, Tokyo, Japan) to measure lightness, redness, and yellowness. The standard white plate (Calibration plate CRA43, Minolta, Tokyo, Japan) had values of 94.50 for lightness, 0.3032 for redness, and 0.3193 for yellowness. All the measurements were performed in triplicate.

## 4. Soluble solids (°Brix) and salinity

The soluble solid content was measured three times using a digital refractometer (PAL-1, ATAGO Co., Ltd., Tokyo, Japan), and salinity was measured in triplicate using a digital salinometer (PAL-SALT PROBE, ATAGO Co., Ltd., Tokyo, Japan).

## 5. pH and titratable acidity

The pH of each sample was measured three times using a pH meter (420 Benchtop, Orion Research Inc., Beverly, MA, USA). Titratable acidity (TA) was determined according to Nielson SS's method (2010). The extract was diluted fivefold with distilled water and used as the sample. A 10 mL aliquot of the diluted

**Table 1. Preparation of soy sauce samples**

Ingredients (g)	Samples				
	CON <sup>1)</sup>	GR	CR	PR	GWR
Cheongjang (2-year aged)	200	200	200	200	200
Jin soy sauce	400	400	400	400	400
Oligosaccharide	200	200	200	200	200
Beef brisket	100	100	100	100	100
Sugar	45	45	45	45	45
Dried shiitake mushroom	50	50	50	50	50
Perilla leaves	10	10	10	10	10
Garlic	20	-	20	20	20
Green chili	20	20	-	20	20
Red chili	20	20	-	20	20
Dried red pepper	15	15	-	15	15
Whole pepper	5	5	5	-	5
Ginger wine	100	100	100	100	-

<sup>1)</sup> CON: Control soy sauce containing all ingredients.

GR: Soy sauce without garlic (garlic-removed).

CR: Soy sauce without chili pepper (chili-removed).

PR: Soy sauce without whole pepper (pepper-removed).

GWR: Soy sauce without ginger wine (ginger wine-removed).

sample was mixed with 1% phenolphthalein indicator and titrated with 0.1 N NaOH solution until the pH reached 8.0. The titration was repeated three times, and TA was expressed as citric acid (%).

$$\text{Citric acid (\%)} = V \times F \times A \times D \times (1/S) \times 100$$

V: Volume (mL) of 0.1 N NaOH consumed

F: Factor of 0.1 N NaOH solution

A: Amount of citric acid equivalent to 1 mL of 0.1 N NaOH

D: Dilution factor

S: Sample volume (mL)

## 6. Free amino acids

Each sample (1 g) was mixed with an extraction solution (50 mL) containing 0.1 M perchloric acid and 0.1% metaphosphoric acid. The mixture was sonicated for 1 hour using an ultrasonic extractor and shaken at room temperature for an additional hour. After centrifugation, the supernatant was collected and filtered through a 0.2  $\mu\text{m}$  syringe filter. The filtrate was used for the HPLC analysis. Free amino acids were analyzed using an HPLC system (Dionex Ultimate 3000, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) equipped with an Inno C18 column (4.6 $\times$ 150 mm, 5  $\mu\text{m}$ ; YoungJin Biochrom Co., Seongnam, Korea). Fluorescence detection was performed at an excitation of 340 nm and emission of 450 nm for OPA derivatives and at an excitation of 266 nm and emission of 305 nm for FMOC derivatives. A

UV detector simultaneously monitored absorbance at 338 nm. The detailed chromatographic and detection conditions used for free amino acid analysis are summarized in Table 2. Standard solutions were prepared by dissolving an amino acid standard (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) in 0.1 N HCl and diluting it with triple-distilled water to concentrations ranging from 10 to 1,000 pmol/ $\mu\text{L}$  for calibration curve construction. All the analyses were performed in triplicate.

## 7. Reducing sugars

Reducing sugar content was measured using the 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) method as described by Miller GL (1959) with minor modifications. Each sample was diluted 200-fold, and 0.5 mL of the diluted sample was mixed with 0.5 mL of the 3,5-dinitrosalicylic acid reagent. The mixture was heated at 100 $^{\circ}\text{C}$  for 5 min; subsequently, 2 mL of distilled water was added to terminate the reaction. Absorbance was measured at 550 nm using a UV/Visible spectrophotometer (Ultrospec 2100 Pro, Biochrom Ltd., Cambridge, UK). A standard curve was prepared using glucose (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) at concentrations ranging from 0.2 to 1.0 mg/mL. All the measurements were performed in triplicate.

## 8. Total polyphenol content

The total polyphenol content was determined using the

**Table 2. HPLC analysis conditions for free amino acids**

Item	Condition
HPLC system	Dionex ultimate 3000 (Thermo Fisher Scientific, USA)
Column	Inno C18 (4.6 $\times$ 150 mm, 5 $\mu\text{m}$ ; YoungJin Biochrom, Korea)
Column temperature	40 $^{\circ}\text{C}$
Sample temperature	20 $^{\circ}\text{C}$
Injection volume	0.5 $\mu\text{L}$
Flow rate	1.5 mL/min
Mobile phase A	40 mM Sodium phosphate dibasic (pH 7.0)
Mobile phase B	3DW : Acetonitrile : Methanol = 10 : 45 : 45 (v/v)
Detector (FLD)	OPA: Ex 340 nm / Em 450 nm; FMOC: Ex 266 nm / Em 305 nm
Detector (UV)	338 nm
Gradient program	0 - 3 min: 95% A / 5% B $\rightarrow$ 24 min: 45% A / 55% B $\rightarrow$ 25 - 31 min: 20% A / 80% B $\rightarrow$ 34.5 - 35 min: 95% A / 5% B

modified method of Folin & Denis (1912). Each sample was diluted 10-fold with distilled water, and 400  $\mu$ L of the diluted sample was mixed with 400  $\mu$ L of 50% Folin - Ciocalteu reagent (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA). After 5 min of reaction, 400  $\mu$ L of 10% sodium carbonate was added, and the mixture was incubated at room temperature for 30 min. The absorbance was measured at 765 nm using a UV/Visible spectrophotometer. A calibration curve was prepared using gallic acid (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA), and the results were expressed as mg gallic acid equivalents (mg GAE/mL) based on triplicate measurements.

### 9. Total flavonoid content

The total flavonoid content was determined according to the modified method of Lee et al. (1997). Each sample was diluted 10-fold with distilled water, and 500  $\mu$ L of the diluted sample was mixed with 5 mL of diethylene glycol (Duksan Pure Chemicals Co., Ltd., Ansan, Korea) and 500  $\mu$ L of 1 N NaOH (Duksan Pure Chemicals Co., Ltd., Ansan, Korea). The mixture was allowed to react for 30 min in the dark at room temperature, and absorbance was measured at 420 nm using a UV/Visible spectrophotometer. A standard curve was constructed using quercetin (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA), and the results were expressed as mg quercetin equivalents (mg QE/mL) based on triplicate measurements.

### 10. DPPH radical scavenging activity

The DPPH radical scavenging activity was determined using the modified method of Blois MS (1958). Each sample was diluted 10-fold with distilled water, and 100  $\mu$ L of the diluted sample was mixed with 900  $\mu$ L of 0.2 mM DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl; Calbiochem, Darmstadt, Germany). After incubation for 30 min in the dark, absorbance was measured at 517 nm using a UV/Visible spectrophotometer in triplicate. The scavenging activity was calculated using the following equation:

$$\begin{aligned} &\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} \\ &= (1 - \text{Absorbance of sample} / \text{Absorbance of control}) \times 100 \end{aligned}$$

### 11. ABTS radical scavenging activity

The ABTS radical scavenging activity was determined using the

modified method of Verzelloni et al. (2007). A 7.4 mM ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid); Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) solution and 2.7 mM potassium persulfate solution were mixed at a 1:1 ratio and allowed to stand in the dark for 14 hours to generate ABTS cations. The mixture was then diluted with 50% methanol to obtain an absorbance of 0.7~0.8 at 734 nm. For the assay, 100  $\mu$ L of the 10-fold-diluted sample was mixed with 900  $\mu$ L of the ABTS solution and allowed to react for 10 min. Absorbance was measured at 734 nm in triplicate, and the scavenging activity was calculated as follows:

$$\begin{aligned} &\text{ABTS radical scavenging activity (\%)} \\ &= (1 - \text{Absorbance of sample} / \text{Absorbance of control}) \times 100 \end{aligned}$$

### 12. Electronic nose analysis

The volatile compounds in the soy sauce samples were analyzed using an electronic nose system (HERACLES Neo, Alpha MOS, Toulouse, France). For the analysis, 1 mL of each soy sauce sample was placed in a 20 mL headspace vial and agitated at 40°C and 500 rpm for 20 min to saturate the volatile compounds in the headspace. The volatiles were collected using the autosampler attached to the electronic nose, and 1,000  $\mu$ L of the headspace gas was injected into the gas chromatography injection port. The analytical conditions were as follows: acquisition time of 110 seconds, trap absorption temperature of 40°C, and incubation at 40°C for 20 min. The separation was performed using two columns with different polarities: MXT-5 (10 m $\times$ 0.18 mm $\times$ 0.4  $\mu$ m) and MXT-1701 (10 m $\times$ 0.18 mm $\times$ 0.4  $\mu$ m), both from Restek (Lisses, France). The retention indices based on carbon numbers were calculated using the Kováts index library, and compound identification was conducted with AroChemBase (Alpha MOS, Toulouse, France). Each sample was analyzed five times to obtain its representative odor patterns.

### 13. Electronic tongue analysis

The taste profiles of the soy sauce samples were evaluated using an electronic tongue (Astree2, Alpha MOS, Toulouse, France). Each sample (1 mL) was diluted 50-fold with distilled water and filtered (HM No. 51, HYUNDAI MICRO, Korea), and 25 mL of the filtrate was transferred to a dedicated glass beaker

for automated measurement. The system was equipped with a sensor array module containing seven sensors (Sensor array #5, Alpha MOS, Toulouse, France). Among them, the ANS and SCS sensors were used for standard calibration, whereas the AHS (sourness), PKS (saltiness), CTS (umami), NMS (sweetness), and CPS (bitterness) sensors were used for taste evaluation. Each sensor measured the overall taste response rather than the individual chemical components, converting the sensor sensitivity into a numerical taste score ranging from 0 to 12. For each sensor, the mean ( $m$ ) and standard deviation ( $\sigma$ ) were calculated, and the relative taste scores were determined using the equation  $X' = (X - m) / \sigma$ , where  $X$  represents the mean sensor value for each sample. The measurements were conducted in triplicate, and the sensors were rinsed after each measurement. Statistical processing of the sensor data was performed using Alpha soft 14.1 software (Alpha MOS, Toulouse, France).

#### 14. Statistical analysis

All the experimental results were expressed as mean $\pm$ standard deviation using the Statistical Package for the Social Sciences, Ver. 22.0 for Windows. A one-way analysis of variance was performed to determine significant differences among samples. When significant differences were found, Duncan's multiple range test was applied as a post-hoc test ( $p < 0.05$ ).

## Results and Discussion

### 1. Moisture content and color values

The moisture content and color parameters of each soy sauce

sample are listed in Table 3. The moisture content of soy sauce has been reported to be greatly influenced by the ingredient composition ratio and the extent of water evaporation, and significant differences arising from these factors have also been observed between traditional and modernized soy sauce varieties (Kim et al. 2017). The highest moisture content was observed in GWR-removed sample (60.75%), whereas the lowest was found in the PR-removed sample (46.54%), showing a significant difference between samples ( $p < 0.05$ ). Previous domestic studies on yangnyeom-ganjang, jorim-ganjang, and sauce-type soy sauces have also reported that the blending ratio of sub-ingredients influences basic physicochemical properties such as pH, viscosity, salinity, and moisture content, which aligns with the directional change in moisture observed in the present study (Park & Shin, 1998). Similarly, research on tsuyu and soy-sauce base products has demonstrated that moisture-related attributes (e.g., total solids, viscosity, sweetness) vary depending on formulation ratio and addition yield, supporting the possibility that sub-ingredient composition contributes to the final moisture characteristics of the sauce (Jang et al. 2019). Thus, the comparatively higher moisture observed in the GWR-removed sample may be attributed to lower volatile compound loss and reduced evaporative concentration, although direct measurements of volatilization were not conducted. Conversely, the lower moisture in the PR-removed sample could reflect reduced hygroscopic components derived from whole pepper, but this also remains a hypothesis requiring future validation.

The lightness value showed no substantial difference across samples but was slightly higher in the GR-removed (36.63) and

**Table 3. Moisture contents and Hunter's color values of soy sauces**

Samples	Moisture contents (%)	L	a	b
CON <sup>1)</sup>	58.82 $\pm$ 0.20 <sup>2)3)</sup>	36.39 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	-2.54 $\pm$ 0.08 <sup>c</sup>	3.23 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>
GR	58.68 $\pm$ 0.25 <sup>b</sup>	36.63 $\pm$ 0.30 <sup>a</sup>	-1.58 $\pm$ 0.16 <sup>b</sup>	3.61 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
CR	51.77 $\pm$ 0.42 <sup>c</sup>	36.33 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	-2.48 $\pm$ 0.06 <sup>d</sup>	3.33 $\pm$ 0.03 <sup>d</sup>
PR	46.54 $\pm$ 0.34 <sup>d</sup>	36.78 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	-2.19 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>	3.43 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>
GWR	60.75 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>	36.51 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	-1.26 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	3.89 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup> Refer to Table 1 for abbreviations.

<sup>2)</sup> All values are mean $\pm$ SD.

<sup>3)</sup> Different letters within the same column (a~e) differ significantly ( $p < 0.05$ ).

PR-removed (36.78) samples and the lowest in the CR-removed sample (36.33). The GR-removed sample exhibited less browning because phenolic and sulfur compound reactions were suppressed, whereas the CR-removed sample exhibited a darker coloration due to more active Maillard reactions between amino acids and reducing sugars. The redness values ranged from  $-2.54$  to  $-1.26$ , with the GWR-removed sample ( $-1.26$ ) showing the highest redness intensity. Conversely, the control containing all ingredients (CON) ( $-2.54$ ) and CR-removed sample ( $-2.48$ ) had lower redness ( $p<0.05$ ). These differences may be associated with the formation of pigment precursors, depending on the spice composition and caramelization degree. In the GWR-removed sample, the absence of GWR likely enhanced sugar oxidation, leading to increased reddish pigments. The yellowness values ranged from  $3.23$  to  $3.89$ , with the GWR-removed sample ( $3.89$ ) showing the highest values and the CON ( $3.23$ ) showing the lowest values ( $p<0.05$ ). The increase in  $b^*$  in the GWR-removed sample is likely due to the accumulation of yellow-toned flavonoid and polyphenol pigments rather than advanced Maillard browning. In the absence of ginger wine-derived antioxidants, yellow chromophores may have accumulated more freely, resulting in a brighter yellow appearance despite limited browning. Overall, the color characteristics of soy sauces differed significantly depending on the sub-ingredient composition. The GWR-removed sample exhibited higher moisture and yellowness with a relatively lighter tone, which may reflect reduced pigment accumulation or limited progression of Maillard-type browning. In contrast, the PR- and CR-removed samples showed darker coloration, likely due to increased

concentration and heat-induced browning reactions rather than ingredient-derived pigment suppression. Collectively, these patterns indicate that variations in raw material composition can influence color expression through differences in solubility, evaporation, and non-enzymatic browning pathways. Jeon et al. (2002) demonstrated that the  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  values of Korean traditional soy sauces vary markedly with processing conditions, emphasizing that color development in soy sauce is highly sensitive to changes in raw material composition and aging parameters. This agrees with the present observation that the exclusion of specific spices leads to distinct color profiles among seasoned soy sauce samples. According to Shin et al. (2010), the addition of garlic tends to suppress color development and Maillard browning reactions, which is consistent with the present findings that pigment formation varies depending on sub-ingredient composition. Although direct evidence in soy sauce systems is limited, previous studies in fermented and processed foods indicate that ginger extracts improve oxidative color stability, and that red pepper can influence  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  values in similar matrices (Karpińska-Tymoszczyk et al. 2022; Kefale et al. 2023).

## 2. Soluble solids ( $^{\circ}$ Brix), salinity, pH, and titratable acidity

The results of soluble solids, salinity, pH, and TA of each soy sauce sample are presented in Table 4. The soluble solids ranged from  $5.2$  to  $7.6$   $^{\circ}$ Brix, showing the highest values in the PR-removed ( $7.6$   $^{\circ}$ Brix) and CR-removed ( $7.0$   $^{\circ}$ Brix) samples, whereas the GWR-removed sample ( $5.2$   $^{\circ}$ Brix) showed the lowest values ( $p<0.05$ ). This indicates that protein hydrolysis and saccharification reactions were more active in samples without

**Table 4. Sugar content, salinity, pH, and total acidity of soy sauces**

Samples	Sugar content ( $^{\circ}$ Brix)	Salinity (%)	pH	Total acidity (%)
CON <sup>1)</sup>	$6.0\pm 0.0^b$	$5.0\pm 0.0^b$	$5.10\pm 0.05^b$	$0.85\pm 0.03^b$
GR	$5.8\pm 0.1^b$	$5.0\pm 0.0^b$	$5.20\pm 0.07^b$	$0.80\pm 0.02^b$
CR	$7.0\pm 0.0^a$	$6.0\pm 0.1^a$	$4.85\pm 0.06^c$	$1.05\pm 0.04^a$
PR	$7.6\pm 0.1^a$	$6.4\pm 0.0^a$	$4.75\pm 0.05^c$	$1.10\pm 0.05^a$
GWR	$5.2\pm 0.2^c$	$4.3\pm 0.1^c$	$5.40\pm 0.04^a$	$0.70\pm 0.03^c$

All values are mean $\pm$ SD.

Different letters within the same column (a-c) differ significantly ( $p<0.05$ ).

<sup>1)</sup> Refer to Table 1 for abbreviations.

CR or PR, resulting in increased sugar formation. Conversely, the GWR-removed sample exhibited a lower °Brix, likely because of greater sugar consumption. Salinity ranged from 4.3% to 6.4%, with the PR-removed (6.4%) and CR-removed (6.0%) samples showing higher values and the GWR-removed sample (4.3%) showing the lowest salinity ( $p < 0.05$ ). These differences appear to be associated with variations in moisture retention and salt diffusion, depending on the type of sub-ingredient used. The low salinity of the GWR-removed sample corresponded to its higher moisture content, as shown in Table 3. The pH values ranged from 4.75 to 5.40, with the highest in the GWR-removed sample (5.40) and the lowest in the PR-removed (4.75) and CR-removed (4.85) samples ( $p < 0.05$ ). Titratable acidity showed the opposite trend, with the highest in the PR-removed (1.10) and CR-removed (1.05) samples and the lowest in the GWR-removed sample (0.70) ( $p < 0.05$ ). Overall, the chemical characteristics of soy sauce differed significantly depending on its sub-ingredients. The present results are consistent with those reported by Yang et al. (2023), who found that the addition of auxiliary ingredients to traditional fermented foods affected salt solubility and water activity. Garlic is rich in carbohydrates and sulfur-containing compounds such as allicin and thiosulfates, which readily dissolve into the aqueous phase and contribute to sulfur-derived flavor components (Shin et al. 2011). Red pepper also offers extractable ash minerals such as K and Ca, together with polyphenols and carotenoids that can increase soluble solids or ionic strength depending on extraction conditions (Woldemichael Woldemariam et al. 2021). In addition, ginger contains gingerols, shogaols, and minor amounts of carbohydrates, fiber, and minerals, which may alter aqueous solubility and solid transfer during processing (Oluwatoyin A 2014). These compositional differences indicate that each sub-ingredient contributes a distinct profile of soluble components, likely influencing °Brix, salinity, pH, and titratable acidity in seasoned soy sauce.

### 3. Free amino acids and reducing sugars

The free amino acid compositions of soy sauce samples are presented in Table 5. Aspartic acid content was higher in the CON (3,351.02 mg/L) and CR-removed (3,445.40 mg/L) samples, whereas the GWR-removed sample (3,046.12 mg/L)

showed the lowest level. Sweet-tasting amino acids such as serine, glycine, threonine, and alanine were relatively higher in the GR-removed sample, which may reflect differences in ingredient-dependent solubilization and extraction efficiency rather than biochemical transformation. Glutamic acid, a key umami amino acid, was the highest in the CR-removed sample (6,141.32 mg/L), followed by the CON (5,967.58 mg/L) and PR-removed (5,704.16 mg/L) samples, while the GWR-removed sample (5,044.36 mg/L) showed the lowest content ( $p < 0.05$ ). GABA content was the highest in the CON (461.39 mg/L) but lower in the CR-removed (383.56 mg/L) and GWR-removed (388.01 mg/L) samples ( $p < 0.05$ ). Branched-chain amino acids (BCAAs) were also the most abundant in the CR-removed sample, which is best explained by increased solubilization and diffusion of amino-acid-rich components from the base soy sauce, rather than newly generated amino acids. Since no fermentation-driven proteolysis occurred, the elevated BCAA levels are interpreted as an extraction-based release effect rather than a biochemical transformation. Previous studies have also demonstrated a strong association between free amino acid composition and flavor characteristics in soy sauce. Seo & Lee (1992) reported that glutamic acid, aspartic acid, and branched-chain amino acids (BCAAs) are dominant components in traditional soy sauce, which aligns with our observed elevation of these amino acids in specific samples. Furthermore, Cai et al. (2024) confirmed using an electronic tongue and amino acid analysis that glutamic acid and aspartic acid serve as primary contributors to umami perception, while serine and alanine enhance sweetness. Diez-Simon et al. (2020) additionally emphasized that flavor intensity and sensory complexity in soy sauce are largely dependent on variations in free amino acid profiles, reinforcing the interpretation that compositional shifts among treatments may directly translate into perceptible flavor differences. Collectively, these findings suggest that the omission of specific sub-ingredients in seasoned soy sauce alters the balance of savory-, sweet-, and bitterness-associated amino acids, potentially leading to perceptible differences in flavor quality.

The reducing sugar content of each soy sauce sample is presented in Table 5, with the GR-removed sample (136.60 mg/mL) showing the highest concentration, indicating reduced carbonyl consumption

**Table 5. Free amino acids and reducing sugars of soy sauces**

Free amino acids (mg/L)	Samples				
	CON <sup>1)</sup>	GR	CR	PR	GWR
Aspartic acid	3,351.02±55.38 <sup>b</sup>	3,166.00±93.37 <sup>c</sup>	3,445.40±108.53 <sup>a</sup>	3,168.74±14.85 <sup>c</sup>	3,046.12±148.15 <sup>d</sup>
Glutamic acid	5,967.58±17.05 <sup>b</sup>	5,276.59±168.50 <sup>c</sup>	6,141.32±89.87 <sup>a</sup>	5,704.16±72.50 <sup>b</sup>	5,044.36±248.88 <sup>d</sup>
Asparagine	75.19±0.01 <sup>a</sup>	17.98±0.24 <sup>c</sup>	68.48±1.24 <sup>b</sup>	69.33±1.73 <sup>b</sup>	71.13±3.61 <sup>b</sup>
Serine	1,531.30±16.65 <sup>b</sup>	1,295.48±47.45 <sup>c</sup>	1,581.03±14.86 <sup>a</sup>	1,466.92±28.54 <sup>b</sup>	1,234.42±59.26 <sup>c</sup>
Glutamine	408.51±8.16 <sup>a</sup>	240.95±8.95 <sup>d</sup>	360.84±6.29 <sup>b</sup>	397.57±4.23 <sup>ab</sup>	342.48±16.79 <sup>c</sup>
Glycine	1,389.87±19.07 <sup>b</sup>	1,167.72±46.93 <sup>c</sup>	1,432.14±14.67 <sup>a</sup>	1,349.91±26.14 <sup>b</sup>	1,096.64±52.22 <sup>d</sup>
Threonine	1,045.71±10.22 <sup>b</sup>	988.05±25.76 <sup>c</sup>	1,086.54±24.12 <sup>a</sup>	1,018.17±2.26 <sup>b</sup>	962.06±41.35 <sup>c</sup>
Citrulline	45.97±2.76 <sup>a</sup>	33.80±0.79 <sup>c</sup>	42.10±1.41 <sup>ab</sup>	42.26±2.42 <sup>ab</sup>	32.94±1.16 <sup>c</sup>
Arginine	1,746.17±29.45 <sup>a</sup>	1,443.78±47.70 <sup>c</sup>	1,717.21±0.19 <sup>a</sup>	1,627.61±33.74 <sup>b</sup>	1,389.79±63.66 <sup>d</sup>
Alanine	2,072.42±19.08 <sup>a</sup>	1,786.30±57.20 <sup>c</sup>	2,093.21±13.24 <sup>a</sup>	2,016.37±29.20 <sup>b</sup>	1,730.67±77.54 <sup>c</sup>
Taurine	71.30±2.89 <sup>a</sup>	44.54±0.70 <sup>c</sup>	46.66±1.66 <sup>c</sup>	49.48±0.55 <sup>bc</sup>	40.50±2.15 <sup>d</sup>
GABA	461.39±10.30 <sup>a</sup>	383.56±13.05 <sup>c</sup>	411.21±2.31 <sup>b</sup>	454.23±8.83 <sup>ab</sup>	388.01±17.52 <sup>c</sup>
Tyrosine	664.74±4.49 <sup>a</sup>	574.92±18.39 <sup>c</sup>	662.76±7.89 <sup>a</sup>	632.03±10.01 <sup>b</sup>	555.24±29.56 <sup>d</sup>
Valine	1,262.55±11.60 <sup>a</sup>	1,153.40±36.31 <sup>c</sup>	1,287.27±13.58 <sup>a</sup>	1,210.43±12.72 <sup>b</sup>	1,122.80±50.79 <sup>c</sup>
Methionine	199.34±2.62 <sup>b</sup>	153.24±5.78 <sup>c</sup>	206.51±0.15 <sup>a</sup>	208.65±2.61 <sup>a</sup>	147.79±5.41 <sup>d</sup>
Phenylalanine	1,316.53±8.09 <sup>a</sup>	1,157.14±36.59 <sup>c</sup>	1,335.91±5.94 <sup>a</sup>	1,264.87±18.34 <sup>b</sup>	1,124.19±51.75 <sup>d</sup>
Isoleucine	1,137.24±2.04 <sup>a</sup>	1,018.66±30.36 <sup>c</sup>	1,149.56±10.58 <sup>a</sup>	1,097.02±12.59 <sup>b</sup>	996.51±45.75 <sup>d</sup>
Ornithine	271.02±8.94 <sup>b</sup>	266.20±13.12 <sup>b</sup>	289.72±5.71 <sup>a</sup>	262.55±0.04 <sup>b</sup>	256.28±16.09 <sup>b</sup>
Leucine	2,348.74±34.03 <sup>a</sup>	2,009.66±66.80 <sup>c</sup>	2,390.19±1.66 <sup>a</sup>	2,260.42±38.03 <sup>b</sup>	1,949.70±88.26 <sup>d</sup>
Lysine	1,847.40±2.31 <sup>a</sup>	1,644.51±69.15 <sup>c</sup>	1,856.04±29.33 <sup>a</sup>	1,797.63±14.21 <sup>b</sup>	1,548.71±73.87 <sup>d</sup>
Proline	1,599.49±54.26 <sup>a</sup>	1,243.10±35.74 <sup>c</sup>	1,462.55±29.21 <sup>b</sup>	1,254.59±74.36 <sup>c</sup>	1,319.20±37.19 <sup>c</sup>
Reducing sugars (mg/mL)	66.60±0.45 <sup>c</sup>	136.60±0.78 <sup>a</sup>	69.01±0.52 <sup>d</sup>	101.56±0.63 <sup>b</sup>	85.74±0.54 <sup>c</sup>

All values are mean±SD.

Different letters within the same row (a~e) differ significantly ( $p < 0.05$ ).

<sup>1)</sup> Refer to Table 1 for abbreviations.

and milder progression of Maillard condensation. This interpretation is supported by previous reports demonstrating that reducing sugars act as primary substrates for Maillard-derived melanoidin formation and contribute directly to flavor precursor generation during heating or seasoning of soybean hydrolysates. In particular, structural studies of soybean protein hydrolysate - sugar systems revealed that when reducing sugar availability remains high, browning, melanoidin formation, and flavor compound generation are comparatively suppressed (Sun et al. 2023). Additionally, melanoidin-focused research suggests that the degree of non-enzymatic browning in soy sauce is closely linked to residual

reducing sugar concentration, influencing both antioxidant capacity and color intensity (Li et al. 2025). Collectively, these findings support the idea that garlic removal maintained higher reducing sugar levels by lowering Maillard conversion, explaining the elevated sugar concentration observed in the GR-removed sample.

#### 4. Total polyphenol, total flavonoid content, and radical scavenging activity

The total polyphenol, total flavonoid content, and radical scavenging activity of each soy sauce sample are presented in Table 6. Total polyphenol content ranged from 1.48 to 2.13 mg

**Table 6. Total polyphenol content (TPC), total flavonoid content (TFC), DPPH radical scavenging activity, and ABTS radical scavenging activity of soy sauces**

Samples	TPC (mg GAE/mL)	TFC (mg QE/mL)	DPPH (%)	ABTS (%)
CON <sup>1)</sup>	1.92±0.08 <sup>2)3)</sup>	0.86±0.03 <sup>b</sup>	58.82±3.60 <sup>b</sup>	69.25±2.90 <sup>a</sup>
GR	1.63±0.07 <sup>c</sup>	0.74±0.02 <sup>c</sup>	51.50±4.41 <sup>b</sup>	61.31±3.21 <sup>c</sup>
CR	2.13±0.10 <sup>a</sup>	0.94±0.04 <sup>a</sup>	62.52±3.1 <sup>b</sup>	73.42±2.83 <sup>a</sup>
PR	1.84±0.09 <sup>b</sup>	0.83±0.03 <sup>b</sup>	57.08±3.48 <sup>c</sup>	66.52±2.54 <sup>b</sup>
GWR	1.48±0.05 <sup>c</sup>	0.68±0.03 <sup>c</sup>	49.04±3.14 <sup>d</sup>	58.32±3.24 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup> Refer to Table 1 for abbreviations.

<sup>2)</sup> All values are mean±SD.

<sup>3)</sup> Different letters within the same column (a~d) differ significantly ( $p<0.05$ ).

GAE/mL, with the CR-removed sample (2.13 mg GAE/mL) showing the highest and GWR-removed sample (1.48 mg GAE/mL) the lowest values ( $p<0.05$ ). The increase observed in the CR-removed sample is more plausibly attributed to enhanced Maillard-derived melanoidin formation compensating for the absence of chili polyphenols, rather than a direct increase in intrinsic antioxidant compounds upon CR removal. This indicates that when chili is omitted, non-enzymatic browning may progress more dominantly, resulting in greater radical-quenching capacity. By contrast, the low polyphenol content in the GWR-removed sample may be attributed to the absence of ginger-derived antioxidants, such as flavonoids, gingerol, and shogaol, resulting in limited redox reactions during fermentation. The total flavonoid content ranged from 0.68 to 0.94 mg QE/mL, with the CR-removed sample (0.94 mg QE/mL) showing the highest and GWR-removed sample (0.68 mg QE/mL) the lowest values ( $p<0.05$ ). The GR-removed sample (0.74 mg QE/mL) also exhibited a relatively low level, likely due to the removal of GR, which reduced allyl sulfide and allicin—compounds that promote oxidative polymerization of phenolic precursors. Flavonoids not only influence the color and flavor of soy sauce but also play a direct role in radical scavenging activity. The concurrent increase in polyphenol and flavonoid levels in the CR-removed sample corresponded with its enhanced antioxidant performance. The DPPH radical scavenging activity ranged from 49.04% to 62.52%, with the CR-removed sample (62.52%) exhibiting the highest value ( $p<0.05$ ). This enhanced activity may be attributed to melanoidin and Maillard reaction products formed through

interactions between phenolic pigments and amino compounds, which act as electron donors to neutralize DPPH radicals. The GWR-removed sample (49.04%) showed the lowest activity, possibly due to reduced flavonoid and organic acid contents following the removal of GRW. The ABTS radical scavenging activity ranged from 58.32% to 73.42%, with the CR-removed sample (73.42%) showing the highest and GWR-removed sample (58.32%) the lowest values ( $p<0.05$ ). Similar to the DPPH results, the ABTS and DPPH activities showed a strong positive correlation. The enhanced antioxidant activity in the CR-removed sample was also associated with its high levels of amino acids such as glutamic acid, valine, and leucine (Table 5). These amino acids serve as key substrates for the Maillard reaction during fermentation, promoting the formation of antioxidant melanoidin compounds.

In summary, the CR-removed sample exhibited the highest total polyphenol and flavonoid contents as well as the strongest DPPH and ABTS radical scavenging activities, indicating its superior antioxidant capacity. The removal of CR appeared to enhance amino acid - sugar interactions during fermentation, leading to the accumulation of phenolic compounds and antioxidants. Conversely, the GR- and GWR-removed samples showed significantly lower antioxidant activity owing to the lack of spice-derived phenolics, with the GWR-removed sample showing the weakest oxidation-inhibiting ability. These findings demonstrate that the type of spice added directly affects the formation of antioxidant compounds and the radical scavenging ability during aging. Therefore, adjusting the spice composition

and fermentation conditions may serve as an effective strategy to enhance the functional antioxidant properties of soy sauce. Otunola & Afolayan (2013) demonstrated that aqueous extracts of garlic, ginger, and cayenne pepper contained high polyphenol levels (up to 42.1~67.3 mg GAE/100 mL) and exhibited strong DPPH radical scavenging activity (55~82%) depending on the spice ratio. Tsai et al. (2006) further showed that spices differ significantly in antioxidant composition, with ginger and red pepper containing abundant flavonoids, gingerol-type compounds, and phenolic acids, whereas black pepper contributes piperine-linked antioxidant activity. In addition, Medalcho et al. (2025) confirmed that spice mixtures can alter oxidative stability and color development in thermally processed foods, indicating that spice composition—not fermentation intensity alone—modulates phenolic polymerization and antioxidant pathways. These results align with the present study, supporting that CR's high polyphenol (2.13 mg GAE/mL) and flavonoid (0.94 mg QE/mL) accumulation strongly correlates with its antioxidant activity. Collectively, the findings suggest that a selective combination of spices or plant-based ingredients can effectively enhance the

antioxidant functionality of soy sauce by promoting phenolic metabolite formation during fermentation.

### 5. Electronic nose analysis

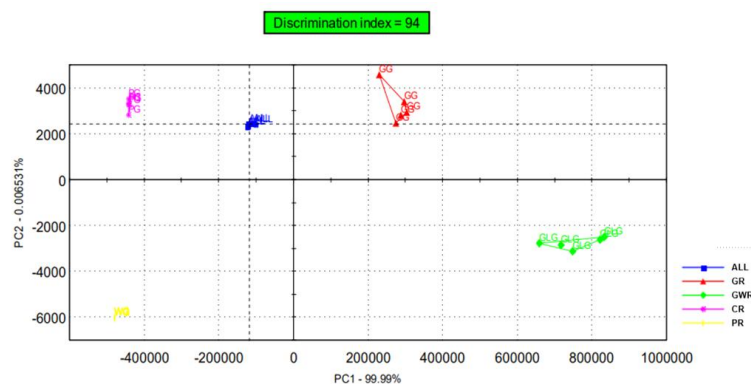
The volatile aroma compounds in soy sauces prepared with different ingredient ratios were analyzed using an electronic nose system, and the results are shown in Table 7. The principal component analysis results are presented in Fig. 1. In the score plot, the GR- and GWR-removed samples were positioned on the positive side of principal component 1, whereas the CON, CR-removed, and PR-removed samples were located on the negative side of principal component 2. This indicates that the volatile aroma profiles were clearly differentiated according to the ingredient composition. To quantitatively identify the aroma components, the peaks of the volatile compounds were classified into five retention time ranges (10, 20, 30, 80, and 90 seconds). At around 10 seconds, ethanol was detected, showing the highest peak areas in the GWR-removed (925,897.60)>GR-removed (569,459.79)>CR-removed (32,643.99)>CON (27,509.58)>PR-removed (5,020.11) profiles, corresponding to a sweet aroma. At 20 seconds,

**Table 7. Electronic nose content of soy sauces**

Column	RT(s)	Peak area					Compound	Description
		CON <sup>1)</sup>	GR	CR	PR	GWR		
MXT-5-FID1	17.13	27,509.58 ±46,626.086 <sup>2)</sup>	569,459.79 ±19,862.792	32,643.99 ±618.237	5,020.11 ±120.748	925,897.60 ±48,472.733	Ethanol	Sweet
	21.28	3,483.66 ±209.813	4,574.63 ±126.186	4,696.03 ±90.611	2,216.98 ±21.215	4,175.66 ±376.607	Acetonitrile	Sweet
	28.54	6,799.32 ±140.656	7,440.84 ±84.085	9,201.18 ±180.176	4,100.41 ±19.614	4,775.04 ±101.374	But-[E]-2-enal	Green
	80.44	197.61±64.988	438.37±7.354	393.59±11.374	289.36±5.329	288.95±9.118	L-carvone	Bread
	93.76	92.43±30.439	90.58±11.434	83.94±7.451	87.27±18.280	83.95±10.050	Undecyl acetate	Oily
MXT-1701-FID2	17.77	885.53±39.3516	1,076.10±68.888	768.23±32.609	421.09±18.566	1,270.68±89.795	Acetaldehyde	Apple
	20.85	251,810.29 ±5,697.644	511,466.21 ±16,502.430	31,415.83 ±758.311	5,006.59 ±82.921	827,083.12 ±43,486.355	Propenal	Sweet
	35.43	10,974.66 ±143.364	12,379.75 ±233.587	10,678.66 ±161.052	4,687.20 ±28.229	7,452.78 ±133.862	But-[E]-2-enal	Floral
	86.05	227.94±5.077	606.72±11.199	553.50±19.415	398.20±16.116	398.17±15.903	Maltol	Caramelize
	99.83	143.00±27.428	137.77±7.260	142.17±18.047	139.14±11.946	259.94±229.819	2,4-Dinitrotoluene	Oily

<sup>1)</sup> Refer to Table 1 for abbreviations.

<sup>2)</sup> All values are mean±SD.



**Fig. 1. Principal component analysis plots of the response signals to the electronic nose of soy sauces.**

propenal was identified, with higher levels in the GWR-removed (827,083.12) and GR-removed (511,466.21) profiles, also contributing to sweet notes. At 30 seconds, but-[E]-2-enal was detected, mainly in the GR-removed (12,379.75), CON (10,974.66), and CR-removed (10,678.66) profiles, producing a floral scent. At 80 seconds, L-carvone, which is responsible for a bread-like aroma, was higher in the GR-removed (438.37) and CR-removed (393.59) profiles. At 90 seconds, 2,4-dinitrotoluene, which produces an oily note, was relatively abundant in the GWR-removed (259.94) and CON (143.00) profiles. Overall, the aroma characteristics of soy sauce developed sequentially from sweet, floral, bread, oily with increasing retention time. These results suggest that spice composition and blending ratios play a critical role in determining the aroma profile of soy sauce.

## 6. Electronic tongue analysis

The taste profiles of the five soy sauce samples were analyzed using an electronic tongue, and the results are shown in Table 8 and visualized as a radar map in Fig. 2. Distinct differences were observed among the samples in terms of basic taste attributes (saltiness, sourness, bitterness, sweetness, and umami). The AHS (sourness) sensor value was the highest in the CR-removed (8.20) and CON (7.30) profiles. The PKS (saltiness) sensor value was the highest in the PR-removed profile (8.20). The CTS (umami) sensor value was the highest in the PR-removed sample (8.50), followed by the CR-removed (6.30), CON (6.00), GR-removed (4.70), and GWR-removed (4.40) samples, indicating that the PR-removed sample had the strongest umami

**Table 8. Electronic tongue content of soy sauces**

Samples	Sensors <sup>2)</sup>						
	AHS	PKS	CTS	NMS	CPS	ANS	SCS
CON <sup>1)</sup>	7.30	5.60	6.00	6.30	6.50	7.00	4.90
GR	4.80	5.30	4.70	6.20	6.30	4.60	7.00
CR	8.20	5.40	6.30	8.80	5.60	5.30	3.90
PR	5.50	8.20	8.50	4.10	5.70	7.10	6.50
GWR	4.20	5.60	4.40	4.50	5.80	6.10	7.60

<sup>1)</sup> Refer to Table 1 for abbreviations.

<sup>2)</sup> Values of samples by seven sensors of the electronic tongue. AHS (acidic taste sensor), PKS (salty taste sensor), CTS (umami taste sensor), CPS (bitter taste sensor), NMS (sweet taste sensor), ANS (reference sensor; mainly for overall sweet taste detection), and SCS (reference sensor for ionic and mineral components).

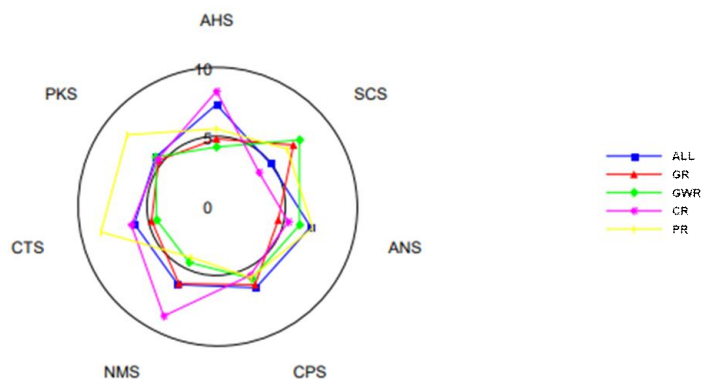


Fig. 2. Radar map of the relative taste intensity of soy sauces.

intensity. The CPS (bitterness) sensor values ranged from 5.70 to 6.50, with the highest value in the CON (6.50), showing a relatively stable distribution among the samples. The NMS (sweetness) sensor value was the highest in the CR-removed sample (8.80), whereas the GWR-removed (4.50) and PR-removed (4.10) profiles had the lowest values. Overall, sourness, saltiness, umami, and sweetness showed significant differences among the samples, whereas bitterness remained relatively consistent. These results indicate that variations in spice composition according to ingredient ratios directly affected sweetness and umami formation in soy sauce. The higher sweetness and umami scores in the CR-removed profile are closely related to the accumulation of free amino acids such as glutamic acid and alanine, resulting from enhanced proteolytic enzyme activity during fermentation. By contrast, the GWR- and PR-removed profiles exhibited lower sweetness and umami values, leading to less balanced flavor profiles. Therefore, the findings demonstrate that ingredient formulation directly influences the taste profile of soy sauce. Future studies should include descriptive sensory analyses and preference testing with trained panels to validate the correlations between instrumental (electronic tongue) and sensory evaluations.

Overall, the electronic nose and electronic tongue results indicate that aroma and taste differences among samples were driven by ingredient-dependent extraction and heat-induced reactions rather than microbial fermentation, as this product was not brewed or aged. Previous studies show that non-fermented

seasoning-type soy sauces can generate aldehydes, alcohols, ketones, and other aroma-active compounds through Maillard and thermal reaction pathways (Cha et al. 2016; Wang & Cha, 2018), while alcohols and aldehydes have been identified as key contributors to sweet, roasted, and caramel-like notes in soy-based matrices (Pu et al. 2023). Accordingly, the higher ethanol and propenal in GR- and GWR-removed treatments, and the distinct umami/sweetness perception in CR-removed samples, appear to result from differences in spice composition and solubility rather than fermentation. These findings suggest that altering garlic, red pepper, ginger, and black pepper ratios can reshape volatile expression and taste balance in non-fermented soy sauce systems, providing baseline evidence for future flavor mechanism studies.

## Summary

This study investigated the quality characteristics of seasoned soy sauce prepared by removing individual sub-ingredients—garlic (GR), red chili (CR), whole pepper (PR), or ginger wine (GWR)—from a standard formulation. Because the sauce was produced without an additional fermentation or aging phase, the observed differences among samples were attributed primarily to variations in spice-derived compound extraction, water retention, solubility, and heat-induced Maillard-type reactions rather than microbial metabolism. The GWR-removed sample exhibited the highest moisture content (60.75%), lightness, and  $b^*$  value, indicating greater water retention and reduced pigment

accumulation during heating. In contrast, the PR- and CR-removed groups showed darker coloration and lower moisture, suggesting enhanced concentration and browning reactions in the absence of those spices. Soluble solid content and salinity were highest in the PR-removed (7.6 °Brix, 6.4%) and CR-removed samples (7.0 °Brix, 6.0%), while pH was lowest in these two groups, reflecting the increased density and ionic strength of the sauce matrix rather than fermentation activity. Free amino acid profiling revealed that the CR-removed sample contained markedly higher umami-related amino acids such as glutamic acid (6,141.32 mg/L) and branched-chain amino acids, whereas the GWR-removed sample showed the lowest overall amino acid concentration. Reducing sugars were most abundant in the GR-removed sample (136.60 mg/mL), indicating reduced carbonyl utilization during thermal reactions. Total polyphenol (2.13 mg GAE/mL) and total flavonoid content (0.94 mg QE/mL) were also greatest in the CR-removed sample, corresponding to the strongest DPPH (62.52%) and ABTS radical-scavenging activity (73.42%). These antioxidant differences are likely linked to spice-dependent release or transformation of phenolic compounds during heating. Electronic-nose and electronic-tongue assessments confirmed clear divergence in volatile and taste profiles among samples, demonstrating that spice composition significantly modulated sweetness, umami, aroma intensity, and flavor balance. Collectively, red chili removal produced the most pronounced enhancement in umami-associated amino acids and antioxidant capacity, whereas ginger-wine removal resulted in the weakest chemical and sensory attributes. Overall, this research provides baseline data showing how omission of individual spices alters physicochemical properties and flavor development in non-fermented seasoned soy sauce. The findings indicate that targeted adjustment of garlic, chili, pepper, or ginger wine ratios can be strategically used to control moisture retention, amino-acid balance, antioxidant activity, and instrumental flavor response in heat-processed soy-sauce systems.

## References

- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181:1199-1200
- Cai T, Hai N, Guo P, Feng Z, Zhang Y, Wang J, Yu Z, Liu H, Ding L. 2024. Characteristics of umami taste of soy sauce using electronic tongue, amino acid analyzer, and MALDI-TOF MS. *Foods* 13:2242
- Cha YJ, Wang W, Cha HR. 2016. Studies on volatile flavor compounds of soy sauce residue. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 45:1755-1761
- Choi JM, Lee CB, Kim HS. 2016. Quality characteristics of soy sauces by various manufacturing methods. *Culin Sci Hosp Res* 22:57-65
- Choi SY, Sung NJ, Kim HJ. 2006. Physicochemical analysis and sensory evaluation of fermented soy sauce from Gorosoe (*Acer mono* Max.) and Kojesu (*Betula costata* T.) saps. *Korean J Food Nutr* 19:318-326
- Diez-Simon C, Eichelsheim C, Mumm R, Hall RD. 2020. Chemical and sensory characteristics of soy sauce: A review. *J Agric Food Chem* 68:11612-11630
- Folin O, Denis W. 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem* 12:239-243
- Jang KT, Lee IS, Lee M, Rha YA, Kim JH. 2019. Effect of ingredients on the physicochemical and sensory characteristics of tsuyu sauce. *Culin Sci Hosp Res* 25:21-27
- Jang KT, Lee IS, Ryu SI. 2023. Comparison of physicochemical quality characteristics and antioxidant activity of Korean traditional Ganjang and improved Ganjang. *Culin Sci Hosp Res* 29:1-9
- Jeon MS, Sohn KH, Chae SH, Park HK, Jeon HJ. 2002. Color characteristics of Korean traditional soy sauces prepared under different processing conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31:32-38
- Jeong JH, Lee CM, Kim SH, Choi YR, Lee DH, Lee CY, Choi BK, Huh CK. 2023. Enhancing the quality, characteristics, and antioxidant activity of Korean soy sauce made using lactic acid bacteria fermentation-based onion extract. *Korean J Food Sci Technol* 55:258-265
- Jung K, Park CS. 2013. Antioxidative and antimicrobial activities of juice from garlic, ginger, and onion. *Food Sci Preserv* 20:134-139
- Jung SJ, Chae SW, Shin DH. 2022. Fermented foods of Korea and their functionalities. *Fermentation* 8:645

- Jung Y, Park SY, Park SH, Yeom ES, Jeong WY, Kim SM, Song HN. 2023. Antioxidant and antibiotic activities of seasoned soy sauce added with medicinal mushrooms and oriental medicinal plants. *Korean J Food Nutr* 36:33-41
- Karpińska-Tymoszczyk M, Draszanowska A, Danowska-Oziewicz M. 2022. The effect of ginger rhizome addition and storage time on the quality of pork meatloaf. *Foods* 11:3563
- Kefale B, Delele MA, Fanta SW, Abate S. 2023. Optimization of spicy red pepper paste (Awaze) formulation by D-optimal mixture design. *Food Sci Nutr* 12:1792-1807
- Kim HS, Lim JM, Kwon HJ, Yoo JY, Park PS, Choi YH, Choi JH, Park SY. 2013. Antioxidant activity and quality characteristics on the maturation period of the soy sauce containing *Astragalus membranaceus* and oak mushroom (*Lentinus edodes*). *Food Sci Preserv* 20:467-474
- Kim KM, Shin JS, Lee JW. 2020. Antioxidative and quality properties of herb-added soy sauce. *Korean J Food Nutr* 33:86-90
- Kim MJ. 2001. Studies on functional compositions and physicochemical characteristics of Korean traditional soybeans. Master's Thesis, Yongin Univ.
- Kim OS, Sung JM, Ryu HS. 2012. Antioxidative activity and quality characteristics of Kochujang amended with different ratios of deodeok (*Codonopsis lanceolata*) root powder. *J East Asian Soc Diet Life* 22:667-676
- Kim S, Park SY, Hong S, Lim SD. 2017. Quality characteristics of regional traditional and commercial soy sauce (Ganjang). *Korean J Food Cookery Sci* 33:45-53
- Kwon JE, Kwak EJ. 2021. Quality characteristics and antioxidant activities of soy sauce with the addition of dried burdock root. *J East Asian Soc Diet Life* 31:182-190
- Lee CM, Kim SH, Jeong JH, Choi YR, Lee DH, Lee CY, Choi BK, Huh CK. 2022. Quality characteristics and antioxidant activity of traditional Korean soy sauce based on the proportion of onion juice. *Food Sci Preserv* 29:976-988
- Lee EJ, Son DH, Choi UK, Lee SI, Im MH, Kim DG, Kwon OJ, Chung YG. 2002. Characteristics of Kanjang made with barley bran. *Korean J Food Sci Technol* 34:200-206
- Lee GW. 2015. Soy sauce and the manufacture method. South Korea KR101539897B1
- Lee S, Jeong Y, Yim SB, Yu S. 2015. Antioxidant activity of Korean traditional soy sauce. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44:1399-1406
- Lee YC, Hwang KH, Han DH, Kim SD. 1997. Compositions of *Opuntia ficus-indica*. *Korean J Food Sci Technol* 129:847-853
- Li H, Zhang Y, Zhang ZH, Wang F, Xu B, Zhang Z, Ma H, Gao X. 2025. The contribution of melanoidins to soy sauce antioxidant activities and their structure characteristics. *Foods* 14:2787
- Medalcho TH, Ali KA, Augchew ED. 2025. Effects of spices mixture and cooking on antioxidant activity in Ethiopian spicy hot red pepper powder. *Sci Rep* 15:5203
- Miller GL. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal Chem* 31:426-428
- Nielson SS. 2010. *Food analysis*. 4th ed. pp.221-233. Springer
- Oh KH, Song HS. 2013. Sensory evaluation of seasoned soy sauce with Hutgae (*Hovenia dulcis* Thunb) fruit and pear extracts. *Korean J Food Nutr* 26:323-328
- Oluwatoyin A. 2014. Physicochemical characterisation, and antioxidant properties of the seeds and oils of ginger (*Zingiber officinale*) and garlic (*Allium sativum*). *Sci J Chem* 2:44-50
- Otunola GA, Afolayan AJ. 2013. Evaluation of the polyphenolic contents and some antioxidant properties of aqueous extracts of garlic, ginger, cayenne pepper and their mixture. *J Appl Bot Food Qual* 86:66-70
- Park SA, Shin MH. 1998. Standardization and cooking properties of spiced soy sauce. *Korean J Food Cookery Sci* 14:97-105
- Park SY, Lim JM, Choi YH, Choi HS, Kim JH, Kim EJ, Ji SJ, Jang YJ. 2015. Quality and sensory characteristics of soy sauces containing *Astragalus membranaceus* by aging period. *Food Sci Preserv* 22:636-643
- Pu D, Shi Y, Meng R, Yong Q, Shi Z, Shao D, Sun B, Zhang Y. 2023. Decoding the different aroma-active compounds in soy sauce for cold dishes via a multiple sensory evaluation and instrumental analysis. *Foods* 12:3693
- Seo JS, Lee TS. 1992. Free amino acids in traditional soy sauce prepared from Meju under different formations. *J Korean Soc Food Cult* 7:323-328

- Shim SL, Ryu KY, Kim W, Jun SN, Seo HY, Han KJ, Kim JH, Song HP, Cho NC, Kim KS. 2008. Physicochemical characteristics of medicinal herbs Ganjang. *Food Sci Preserv* 15:243-252
- Shin JH, Kang MJ, Yang SM, Lee SJ, Ryu JH, Kim RJ, Sung NJ. 2010. Comparison of physicochemical properties and antioxidant activities of Korean traditional Ganjang and garlic added Ganjang. *J Agric Life Sci* 44:39-48
- Shin JH, Lee SJ, Jung WJ, Kang MJ, Sung NJ. 2011. Physicochemical characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) on collected from the different regions. *J Agric Life Sci* 45:103-114
- Song YC, Lee SP. 2013. Evaluation in physicochemical properties of soy sauce fortified with soymilk residue (*okara koji*). *Food Sci Preserv* 20:818-826
- Sun L, Wang D, Huang Z, Elfalleh W, Qin L, Yu D. 2023. Structure and flavor characteristics of Maillard reaction products derived from soybean meal hydrolysates-reducing sugars. *LWT-Food Sci Technol* 185:115097
- Tsai TH, Tsai PJ, Ho SC. 2006. Antioxidant and anti-inflammatory activities of several commonly used spices. *J Food Sci* 70:C93-C97
- Verzelloni E, Tagliazucchi D, Conte A. 2007. Relationship between the antioxidant properties and the phenolic and flavonoid content in traditional balsamic vinegar. *Food Chem* 105:564-571
- Wang W, Cha YJ. 2018. Volatile compounds in seasoning sauce produced from soy sauce residue by reaction flavor technology. *Prev Nutr Food Sci* 23:356-363
- Woldemichael Woldemariam H, Emirea SA, Teshome PG, Toepfld S, Aganovic K. 2021. Physicochemical, functional, oxidative stability and rheological properties of red pepper (*Capsicum annum* L.) powder and paste. *Int J Food Prop* 24:1416-1437
- Yang HJ, Kim MJ, Hong SP. 2019. Anti-diabetic effect of Ganjang and Doenjang in different aging periods. *Food Sci Preserv* 26:300-307
- Yang JA, Kim JY, Shin EC, Lee Y, Park SS. 2023. Trends in quality characteristics changes of traditional soybean fermented foods by supplementary ingredients addition. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 52:113-137

---

Received 08 November, 2025  
Revised 15 December, 2025  
Accepted 22 December, 2025

# 말레이시아 소비자가 인식한 한국의 국가이미지가 한국 가정간편식(HMR) 제품태도와 구매의도에 미치는 영향 - 한국의 위기대응 조치의 매개효과 -

최승균 · 박주현\* · †홍완수\*\*

승의여자대학교 식품영양과 교수, 승의여자대학교 식품영양과 겸임교수\*, 상명대학교 식품영양학과 교수\*\*

## The Effect of Korea's National Image on Attitudes toward Korean Home Meal Replacement (HMR) Products and Purchase Intention among Malaysian Consumers - The Mediating Effect of Korea's Crisis Response Measures -

Seung Gyun Choi, Ju Hyun Park\* and †Wan Soo Hong\*\*

Professor, Dept. of Food & Nutrition, Soongyei Women's University, Seoul 04628, Korea

\*Adjunct Professor, Dept. of Food & Nutrition, Soongyei Women's University, Seoul 04628, Korea

\*\*Professor, Dept. of Foodservice Management and Nutrition, Sangmyung University, Seoul 03016, Korea

### Abstract

This study explored how Korea's national image influences Malaysian consumers' attitudes toward Korean Home Meal Replacement (HMR) products and their purchase intentions, highlighting the mediating role of the Korean government's crisis response measures. Data were gathered through an online survey targeting Malaysian consumers aged 19 to 39 who had previously purchased Korean HMR. A total of 515 valid responses were analyzed, yielding a response rate of 90.48%. The analyses included exploratory factor analysis, correlation analysis, multiple regression analysis, and mediation analysis. The findings revealed that all three dimensions of national image—stability, democracy, and development—positively impacted perceptions of Korea's crisis response measures. Democracy had the strongest effect on policy-related perceptions, stability most significantly influenced management-related perceptions, and development was linked to administrative capability. Additionally, national image positively affected attitudes toward Korean HMR, with stability being the most influential factor. Positive perceptions of Korea's crisis response measures further enhanced product attitudes, indicating that trust established through government crisis management can influence product evaluations. Furthermore, positive attitudes toward Korean HMR were associated with higher purchase intentions. Mediation analysis confirmed that perceptions of Korea's crisis response measures partially mediated the relationship between national image and product attitudes.

Key words: national image, crisis response, product attitude, purchase intention, hmr, malaysian consumer

### 서론

질병으로 인한 팬데믹과 같은 전 세계적 위기 상황은 각국 정부의 위기 대응 역량과 관리 체계, 그리고 공공 커뮤니케이션 수준을 재조명하게 만든 계기가 되었다. 특히 이러한 위기 대응 과정은 단순한 공중보건 영역을 넘어, 한 국가의

정책적 역량과 사회 시스템에 대한 전 세계적 신뢰를 형성하는 중요한 변수로 작용하였다(Apeti AE 2022). 이로 인해 국가 이미지에 대한 인식이 새롭게 변화하였으며, 정치적 안정성, 민주적 제도, 경제적 발전 수준 등 국가가 처한 정치·경제·사회적 환경에 대한 종합적 평가를 통해 형성되는 국가 이미지의 영향력을 강화시켰다(Anholt S 2011).

† Corresponding author: Wan Soo Hong, Professor, Dept. of Foodservice Management and Nutrition, Sangmyung University, Seoul 03016, Korea. Tel: +82-2-2287-5350

국가이미지는 단순히 외교나 정치적 영역에 그치지 않고, 소비자의 제품태도 및 구매 행동에까지 직·간접적인 영향을 미치는 중요한 요인으로 작용한다(Wang 2008a). 즉, 소비자는 제품의 품질이나 가격뿐 아니라 그 제품이 생산된 국가에 대한 신뢰성과 이미지를 함께 고려한다. 이러한 국가이미지는 소비자의 품질인식, 태도 및 구매의도에 중요한 외생 변수로 작용한다(Verlegh & Steenkamp 1999).

Roth & Diamantopoulos(2009)는 국가이미지를 단일한 고정 개념이 아닌 정치·제도적 신뢰, 정책 수행 역량, 경제적 발전 수준, 사회적 안정성 등 다양한 차원이 결합된 다차원적 인식 구조로 정의하였다. 이들은 특히 국가 차원의 정책 수행과 제도적 대응이 소비자가 인식하는 국가이미지를 구성하는 핵심 요소로 작용하며, 이러한 국가이미지가 다시 제품 평가와 태도 형성 과정으로 전이될 수 있음을 이론적으로 제시하였다. 이는 특정 국가가 위기 상황에서 보여주는 대응 방식과 공공 커뮤니케이션 수준이 국가이미지를 재구성하고, 그 결과 소비자의 제품 평가 과정에 간접적으로 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

한국은 위기 상황 속에서 신속한 대응체계 구축, 투명한 정보공유, 그리고 과학적 근거에 기반한 정책적 의사결정을 통해 국제사회로부터 높은 평가를 받았다(Lee-Geiller & Lee 2022). 나아가 이러한 신뢰 기반의 국가 평가는 한국 제품, 특히 식품과 같은 소비재에 대한 긍정적 인식으로 확장되는 경향이 있으며, 국가이미지가 소비자의 제품 인식과 구매의도에 영향을 미친다고 보고된 바 있다(Lee & Lee 2008).

따라서, 국가이미지는 소비자의 제품 평가 및 구매 행동에 실질적인 영향을 미치는 핵심 요인이라 할 수 있다. 더불어 한류(K-wave)의 확산은 한국 음식 및 식품에 대한 긍정적인 제품이미지와 기업이미지를 형성하고, 이러한 이미지가 소비자의 구매태도와 구매의도에 유의미한 영향을 미친다(Yang 등 2020). 이러한 맥락에서 한국의 가정간편식(home meal replacement, HMR)은 한류 식문화의 확산과 함께 성장한 대표적인 식품 산업군으로, 한국 식품에 대한 국가이미지가 소비자의 제품태도와 구매 행동에 미치는 영향을 분석하기에 적합한 연구대상이라 할 수 있다.

말레이시아 식품 시장은 안정적인 경제 성장과 함께 꾸준한 확대 추세를 보이고 있으며, 한국 식품에 대한 수입 수요 역시 지속적으로 증가하고 있다. Korea Trade-Investment Promotion Agency(2024)에 따르면 말레이시아는 동남아시아 국가 중에서도 증산층 비중이 높고, 인구 증가와 도시화가

동시에 진행되고 있어 장기적인 식품 시장 성장 잠재력이 큰 국가로 평가된다. 종합적으로 말레이시아는 타 동남아 국가와 비교하여 한국 식품산업의 글로벌 확장을 위한 전략적으로 매력적인 시장이라 할 수 있다. 또한, 말레이시아 소비자는 종교적·문화적 요인으로 인해 식품의 신뢰성과 안전성을 구매의 핵심 기준으로 삼으며, 이와 같은 신뢰성과 안전성 평가에 국가이미지는 주요 척도로 작용해 구매의도에 직접적인 영향을 끼칠 수 있다(Lee JE 2023).

소비자의 구매의도를 설명하기 위한 기존 연구에서는 계획된 행동이론(theory of planned behavior, TPB)을 주로 활용해 왔다(Ajzen I 1991). 이 이론은 태도, 주관적 규범, 인지된 행동 통제와 행동의도를 예측하는 주요 요인임을 제시하며, 다양한 연구에서 소비자 행동을 설명하는 핵심 이론으로 자리잡았다. 그러나 TPB는 개인의 심리적 요인을 중심으로 설계된 모델이므로 국가이미지, 정부의 위기대응 평가, 사회·정치적 신뢰와 같은 거시적·환경적 요인까지 충분히 반영하지 못한다는 구조적 한계를 가지고 있다(Esfandiari & Hadinejad 2025). 특히, 위기 상황 이후의 소비자 인식은 단순히 제품 속성에 의해 결정되지 않고 정부의 위기대응 과정에서 형성된 정책 신뢰, 정보의 투명성, 공공 커뮤니케이션 전략 등 복합적 요인에 의해 영향을 받는다(Wood S 2022). 따라서, 단일 차원의 분석만으로는 국가이미지와 소비자 행동 간의 관계를 충분히 설명하기 어렵다. 기존 연구는 가정간편식의 속성, 브랜드 이미지, 소비가치 등을 중심으로 제품태도와 구매의도를 검증하였으나(An SJ 2019), 거시적 맥락에서의 ‘국가이미지’와 ‘정부 위기대응 조치’ 변수를 함께 고려하지 못하였다.

이에 본 연구는 말레이시아 소비자를 대상으로 한국의 국가이미지가 한국산 가정간편식 제품에 대한 평가 과정에 어떠한 경로로 영향을 미치는지를 실증적으로 탐색하고자 한다. 구체적으로, 한국의 국가이미지를 안정성, 민주주의, 발전의 세 요인으로 구분하고, 한국 정부의 위기대응 조치를 매개변수로 설정하여 말레이시아 소비자가 인식하는 한국의 국가이미지와 위기대응 조치 인식이 한국산 가정간편식에 대한 제품태도 및 구매의도에 미치는 직접적·간접적 영향을 다중회귀모형을 통해 검증하고자 한다.

종합적으로, 본 연구는 위기 상황에서 형성된 국가이미지가 가정간편식과 같은 식품에 대한 소비자 태도 및 실제 구매의도로 전이되는 과정을 규명하고자 한다. 이러한 분석은 향후 한국 식품산업의 말레이시아 및 동남아 시장 진출 전략 뿐만 아니라, 국가 이미지 제고와 공공정책 신뢰 구축을 위

한 학문적·실무적 근거를 제공할 것으로 기대된다.

## 연구 대상 및 방법

### 1. 연구대상 및 기간

본 연구의 조사대상자는 한국산 가정간편식 이용 경험이 있고 평소에도 가정간편식을 이용하는 말레이시아 현지 거주 말레이시아인으로 선정하였다. 조사대상자의 연령은 식품구매와 섭취에 대한 결정권과 가정간편식 구매 및 섭취 빈도(Choi 등 2019; Hwang 등 2021), 글로벌 문화 및 수입 식품 친숙도(Abidin 등 2020; Choi & Jeong 2020) 등을 고려하여 만19세 이상~만39세 이하로 한정하였다.

설문조사는 말레이시아 소비자 패널을 보유하고 있는 전문 기관에 의뢰하여 진행하였다. 설문조사는 2021년 10월 6일부터 10월 12일까지 예비설문조사(pilot test)를 실시한 후 설문 문항을 수정·보완하여 10월 15일부터 10월 26일까지 온라인 설문조사를 진행하였다.

성별과 연령에 따른 응답의 편향을 최소화하고자 성별과 연령은 할당비례 방식으로 추출하였다. 설문지는 말레이시아어로 작성되었고, 온라인을 통해 자기기입식으로 작성 후 수집하였다. 총 578부의 설문지를 배포하였으며, 이 중 523부가 회수되어 회수율은 90.48%로 나타났다. 회수된 설문지 중 응답이 불충실한 설문을 제외한 515부의 설문지를 통계 분석에 사용하였다. 본 설문조사는 상명대학교 생명윤리심의 위원회에서 IRB 승인을 받아 수행하였다(SMU-ex-2021-001).

### 2. 설문지 구성 및 통계처리

본 연구에 사용한 설문지는 한국의 국가이미지, 한국 정부의 위기대응 조치, 한국 가정간편식 제품에 대한 태도, 한국 가정간편식 구매의도, 인구통계사항으로 구성하였다.

한국의 국가이미지는 선행연구(Jung & Song 2019; Kim & Feng 2019; Lee & Robb 2019; Bao 등 2021)를 바탕으로 안정성, 민주성, 발전의 3가지 항목을 포함하여 총 10개 문항으로 측정하였다. 한국 정부의 위기대응 조치는 선행연구(Kim E 2015; Cho & Kim 2018; Huang & Yang 2018; Kim 등 2018; Khaltar 등 2019)를 근거로 정책, 소통, 관리의 3가지 영역으로 구분하여 총 9개 문항으로 구성하였다.

한국 가정간편식 제품에 대한 태도와 구매의도는 선행연구(Mallinson 등 2016; Han & Lee 2017; Yang DH 2018; Park 등 2019)를 바탕으로 각각 4문항씩 구성하였다. 인구통계학

적 특성은 성별, 연령, 혼인상태, 교육수준, 직업, 소득으로 구성하였다. 모든 측정 문항은 7점 Likert 척도(1점=전혀 그렇지 않다, 7점=매우 그렇다)를 사용하였다.

본 연구의 모든 통계처리는 SPSS Statistics(Ver. 23.0 IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 분석하였다. 조사대상자의 인구통계학적 특성 분석을 위해 빈도분석을 실시하였다. 한국의 국가이미지, 한국 정부의 위기대응 조치, 한국 가정간편식 제품에 대한 태도 및 구매의도 변수의 타당성과 신뢰성 검증을 위해 요인분석과 신뢰도 분석(Cronbach's  $\alpha$ )을 실시하였다. 또한 변수 간 관계의 방향성과 강도를 확인하기 위해 Pearson의 상관관계분석을 실시하였다. 연구가설 검증을 위해 회귀분석을 실시하였으며, 국가이미지와 제품태도 간 관계에서 한국 정부의 위기대응 조치의 매개효과를 검증하기 위해 3단계 회귀분석 절차를 적용하여 매개효과분석을 실시하였다.

### 3. 연구모형(Fig. 1) 및 가설설정

국가이미지는 소비자가 제품의 품질과 신뢰성을 직접적으로 평가하기 어려운 상황에서 활용하는 대표적인 외생적 단서로, 제품 태도 형성 과정에서 중요한 의사결정 도구로 작용한다(Verlegh & Steenkamp 1999). 특히 식품과 같이 안전성과 신뢰가 중시되는 제품군의 경우, 생산국의 정치·사회적 안정성에 대한 인식은 제품의 안전성과 일관된 품질에 대한 기대를 강화하며, 산업 및 기술 발전 수준에 대한 평가는 제품의 기능적 우수성과 혁신성에 대한 긍정적 태도 형성에 기여한다(Wang 2008b; Roth & Diamantopoulos 2009). 또한 민주적 제도와 투명한 거버넌스에 대한 인식은 해당 국가 전반에 대한 신뢰도를 제고함으로써 소비자의 제품 평가에 간접적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 이러한 선행연구에 근거하여 본 연구는 국가이미지를 안정성, 민주성, 발전성의 세 차원으로 구분하고, 각 차원이 한국 가정간편식 제품태도에 미치는 영향을 검증하고자 다음과 같은 가설을 설정하였다.

- H1: 국가이미지의 안정성은 한국 가정간편식 제품태도에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
- H2: 국가이미지의 민주성은 한국 가정간편식 제품태도에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
- H3: 국가이미지의 발전성은 한국 가정간편식 제품태도에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

위기 상황에서 정부의 정책 대응, 정보 소통, 그리고 관리

역량에 대한 평가는 시민의 정부 신뢰 및 제도적 정당성 인식과 밀접하게 연결되며, 이러한 평가는 다차원적으로 구성될 수 있다(Lazarus 등 2020; Abdelzadeh & Sedelius 2024). 또한 대중이 지각하는 국가 수준의 정치·사회적 안정성 및 제도적 특성인 민주적 거버넌스는 정부의 위기대응 성과에 대한 신뢰와 정책 수용 태도를 형성하는 핵심 기반으로 보고된다(Devine 등 2021; Rieger & Wang 2022; Martin GJ 2022). 따라서 본 연구는 국가이미지의 하위 차원(안정성·민주성·발전성)이 정부의 위기대응 조치(정책·소통·관리)에 대한 인식에 정(+)의 영향을 미칠 것으로 가정하고, 다음과 같은 가설을 설정하였다.

- H4: 국가이미지의 안정성은 정부의 위기대응 조치에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
- H4-1: 국가이미지의 안정성은 정부의 위기대응 조치 중 정책에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
- H4-2: 국가이미지의 안정성은 정부의 위기대응 조치 중 소통에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
- H4-3: 국가이미지의 안정성은 정부의 위기대응 조치 중 관리에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
- H5: 국가이미지의 민주성은 정부의 위기대응 조치에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
- H5-1: 국가이미지의 민주성은 정부의 위기대응 조치 중 정책에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
- H5-2: 국가이미지의 민주성은 정부의 위기대응 조치 중 소통에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

- H5-3: 국가이미지의 민주성은 정부의 위기대응 조치 중 관리에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
- H6: 국가이미지의 발전성은 정부의 위기대응 조치에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
- H6-1: 국가이미지의 발전성은 정부의 위기대응 조치 중 정책에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
- H6-2: 국가이미지의 발전성은 정부의 위기대응 조치 중 소통에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.
- H6-3: 국가이미지의 발전성은 정부의 위기대응 조치 중 관리에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

위기 상황에서 조직 또는 정부의 대응 전략은 소비자들의 태도와 행동의도에 영향을 미치는 중요한 요인으로 작용한다. 위기 커뮤니케이션 이론에 따르면, 위기 대응 메시지 및 조치는 소비자 인식과 신뢰 형성에 중요한 역할을 하며, 이는 최종적으로 소비자의 태도 변화로 이어질 수 있다. 특히 온라인·대중 커뮤니케이션 및 위기 대응에 관한 실증 연구들은 위기 대응 전략이 소비자의 태도와 구매의도에 유의미한 영향을 미친다는 결과를 보고하고 있다(Halima 등 2021).

또한, 조직이나 기관의 위기 대응 방식 및 메시지 유형은 소비자의 브랜드 태도 및 구매의도 회복에 긍정적 영향을 준다는 사실도 실증적으로 확인된 바 있다. 아울러 소비자 태도는 행동의도의 핵심 선행변수로, 태도가 긍정적으로 형성될수록 구매의도로 이어질 가능성이 높다는 소비자행동의 일반적 이론적 근거가 존재한다(Ajzen I 1991). 이를 바탕으로 다음과 같은 가설을 설정하였다.

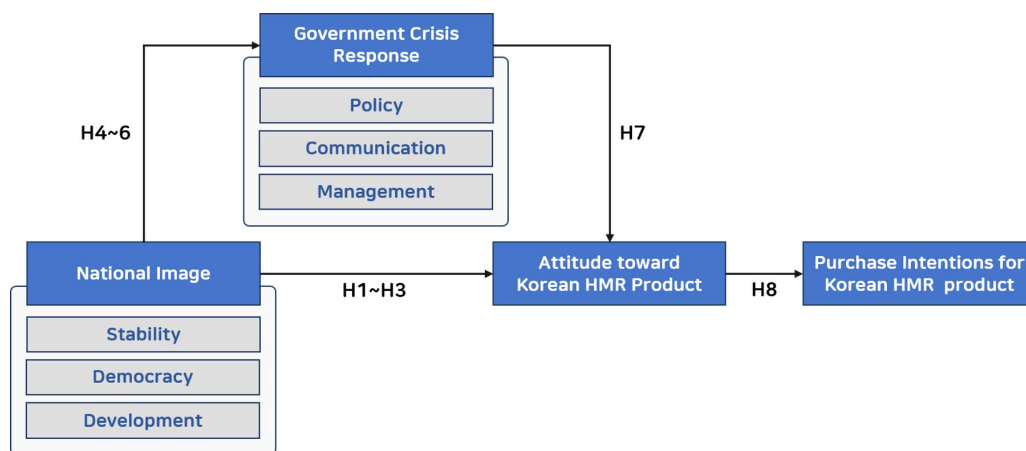


Fig. 1. Research model.

H7: 정부의 위기대응 조치는 한국 가정간편식 제품태도에 정(+의 영향을 미칠 것이다.

H7-1: 정부의 위기대응 정책은 한국 가정간편식 제품태도에 정(+의 영향을 미칠 것이다.

H7-2: 정부의 위기대응 소통은 한국 가정간편식 제품태도에 정(+의 영향을 미칠 것이다.

H7-3: 정부의 위기대응 관리는 한국 가정간편식 제품태도에 정(+의 영향을 미칠 것이다.

H8: 한국 가정간편식 제품태도는 구매의도에 정(+의 영향을 미칠 것이다.

국가이미지는 소비자의 제품 평가에 직접적인 영향을 미칠 뿐만 아니라, 정부에 대한 신뢰와 제도적 평가를 통해 간접적으로도 작용할 수 있다. 선행연구에 따르면 국가 수준의 이미지와 평판은 정부의 정책 수행 능력 및 위기대응에 대한 신뢰 형성에 영향을 미치며, 이러한 제도적 신뢰는 다시 소비자의 태도와 행동 평가로 전이되는 매개적 역할을 수행한다(Roth & Diamantopoulos 2009; Anholt S 2011). 특히 위기 상황에서 정부의 대응에 대한 인식은 국가 신뢰를 구체화하는 핵심 기제로 작용하며, 형성된 신뢰는 식품과 같이 안전성과 신뢰가 중요한 제품군에 대한 태도 형성에 영향을 미칠 수 있다(Bargain & Aminjonov 2020). 이에 본 연구는 정부의 위기대응 조치가 국가이미지와 한국 가정간편식 제품태도 간 관계에서 매개효과를 가질 것으로 가정하였다.

H9: 정부의 위기대응 조치는 국가이미지와 한국 가정간편식 제품태도 간 관계에서 매개효과가 있을 것이다.

## 결과 및 고찰

### 1. 연구대상자 인구통계사항

연구대상자의 인구통계사항은 Table 1과 같다. 성별은 남성 51.7%, 여성 48.3%이고, 연령은 19~24세 120명(23.3%), 25~29세 141명(27.8%), 30~34세 143명(27.8%), 35세 이상 39명(7.2%)으로 나타났다. 혼인상태는 기혼 373명(72.5%), 미혼 129명(25.0%), 기타 13명(2.5%)으로 나타났으며, 교육수준은 대학교 졸업이 42.9%로 나타났다. 직업은 전문직 231명(44.9%), 자영업 115명(22.3%), 서비스직 47명(9.2%), 학생 44명(8.5%), 미취업자 30명(5.8%), 노무직 22명(4.3%), 주부 14명(2.7%), 기타 12명(2.3%) 순으로 조사되었다. 소

득수준은 1,000~2,999(MYR) 152명(29.5%), 3,000~4,999(MYR) 132명(25.6%), 5,000~6,999(MYR) 68명(13.2%), 7,000~8,999(MYR) 47명(9.1%), 9,000(MYR) 이상이 54명(10.5%)으로 나타났다.

### 2. 주요 변수의 탐색적 요인분석 및 신뢰도 분석

요인분석 및 신뢰도 분석 결과는 Table 2에 제시하였다. 본

Table 1. General characteristics of participants

Category	Item	n (%)
Gender	Male	266 (51.7)
	Female	249 (48.3)
Age	19~24	120 (23.3)
	25~29	141 (27.4)
	30~34	143 (27.8)
	35 or above	111 (21.6)
Marital status	Married	373 (72.5)
	Single	129 (25.0)
	Others	13 (2.5)
Education	High school graduate or lower	90 (17.5)
	Junior college graduate	67 (13.0)
	University graduate	221 (42.9)
	Graduate student or higher	137 (26.6)
Occupation	Self-employed	115 (22.3)
	Service worker	47 (9.2)
	Labor staff	22 (4.3)
	Professional practice	231 (44.9)
	Student	44 (8.5)
	Housewife	14 (2.7)
	Unemployed	30 (5.8)
	Others	12 (2.3)
	Average monthly income (MYR)	999 and below
1,000~2,999		152 (29.5)
3,000~4,999		132 (25.6)
5,000~6,999		68 (13.2)
7,000~8,999		47 (9.1)
	9,000 or more	54 (10.5)
Total		515 (100)

MYR refers to Malaysian Ringgit. 1 US dollar is equal to 4.10 Malaysian Ringgit.

**Table 2. Exploratory factor analysis and reliability of items**

Factor		Item	Factor loading	Communality	Eigen value	Variences (%)	Cronbach's $\alpha$
National image KMO=0.902 Bartlett's sphericity test ( $p<.001$ )	Stability	Korea is a country with good social welfare.	.860	.843	1.989	28.421	0.816
		Korea is a socially stable country.	.671	.706			
		Korea is a country in a good business environment.	.663	.682			
	Democracy	Korea is a country with a democratic system.	.816	.851	1.814	26.305	0.822
		Korea is a country with a high level of democracy.	.798	.819			
	Development	Korea is a country with a high income level.	.852	.845	1.709	24.410	0.768
Korea is a highly industrialized country.		.769	.794				
Korea's crisis response KMO=0.943 Bartlett's sphericity test ( $p<.001$ )	Policy	I think the Korean government's policies for the accumulation and sharing of information for disaster management are appropriate.	.766	.819	2.392	29.897	0.881
		I think the Korean government quickly release information related to the risk by policy.	.764	.823			
		I think the Korean government is communicating with confidence about the risk by policy.	.763	.812			
	Communication	I think the Korean government is listening to the public's perception of the risk.	.802	.862	2.108	26.350	0.866
		I think the Korean government is pushing ahead with planned communication about the risk.	.674	.783			
	Management	I believe that the Korean government communicates transparently regarding the risk.	.645	.753	2.033	25.419	0.830
		I think that the Korean government is smoothly managing disaster situations, such as operating an emergency response organization.	.782	.842			
Product attitude KMO=0.847 Bartlett's sphericity test ( $p<.001$ )	Purchase intention	I believe that the Korean government is properly promoting research and development projects related to the disaster.	.776	.840	3.062	76.542	0.898
		I am happy about my decision to buy and eat Korean HMR.	.892	.795			
		I am satisfied with Korean HMR as I expected.	.882	.777			
		I am satisfied with my decision to buy and eat Korean HMR.	.879	.772			
Purchase intention KMO=0.839 Bartlett's sphericity test ( $p<.001$ )	Purchase intention	Eating Korean HMR is a wise choice.	.847	.717	3.013	75.313	0.888
		I would like to keep buying and eating Korean HMR in the future.	.888	.789			
		I would like to say positive things about Korean HMR to other people.	.887	.787			
		I would like to recommend Korean HMR to families and/or friends.	.885	.782			
Purchase intention KMO=0.839 Bartlett's sphericity test ( $p<.001$ )	Purchase intention	I would like to buy and eat Korean HMR, though the price is raised.	.809	.654	3.013	75.313	0.888
		I would like to buy and eat Korean HMR, though the price is raised.	.809	.654			

연구에서는 국가이미지, 국가 위기대응, 제품태도, 구매의도에 대한 문항들을 탐색적 요인분석을 통해 분석하였으며, 각 요인의 신뢰도를 Cronbach's  $\alpha$ 로 평가하였다. 분석 결과는 다음과 같다.

국가이미지는 안정성, 민주주의, 발전의 세 가지 요인으로 분류되었다. 안정성 요인은 “한국은 좋은 사회복지 제도를 갖춘 나라이다”, “한국은 사회적으로 안정적인 나라이다”, “한국은 사업 환경이 좋은 나라이다” 등의 문항을 포함하며, 전체 분산의 28.421%를 설명하였다. Cronbach's  $\alpha$ 는 0.816으로 신뢰도가 높은 것으로 나타났다. 민주주의 요인은 “한국은 민주적인 시스템을 갖춘 나라이다”, “한국은 높은 수준의 민주주의를 가진 나라이다” 등의 문항을 포함하고 있으며, 전체 분산의 26.305%를 설명하였다. Cronbach's  $\alpha$ 는 0.822로 신뢰도가 우수한 수준으로 평가되었다. 발전 요인은 “한국은 고소득 국가이다”, “한국은 높은 산업화 수준을 가진 나라이다” 등의 문항을 포함하고 있으며, 전체 분산의 24.410%를 설명하였다. Cronbach's  $\alpha$ 는 0.768로 신뢰도가 양호한 수준으로 나타났다.

위기대응 조치는 정책, 소통, 관리의 세 가지 요인으로 구분되었다. 정책 요인은 “재난 관리에 필요한 정보 공유 및 축적에 대한 한국 정부의 정책이 적절하다”, “위험과 관련된 정보를 신속하게 제공하는 한국 정부의 정책이 적절하다” 등의 문항을 포함하며, 전체 분산의 29.897%를 설명하였다. Cronbach's  $\alpha$ 는 0.881로 신뢰도가 매우 높은 것으로 나타났다. 소통 요인은 “한국 정부가 위험에 대해 체계적인 소통을 추진하고 있다”, “한국 정부가 위험에 대해 투명하게 소통하고 있다” 등의 문항을 포함하며, 전체 분산의 26.350%를 설명하였다. Cronbach's  $\alpha$ 는 0.866으로 높은 신뢰도를 보였다. 관리 요인은 “한국 정부는 비상 대응 체계를 운영하는 등 재난 상황을 원활하게 관리하고 있다”, “한국 정부는 재난과 관련된 연구 개발을 적절히 추진하고 있다” 등의 문항을 포함하며, 전체 분산의 25.419%를 설명하였다. Cronbach's  $\alpha$ 는 0.830으로 신뢰도가 높은 것으로 나타났다.

제품태도는 한국 가정간편식에 대한 소비자의 만족도와 긍정적인 평가를 측정하기 위한 요인으로, “나는 한국 가정간편식 제품을 구매한 것에 만족한다”, “한국 가정간편식 제품이 기대에 부응한다고 생각한다” 등의 문항을 포함한다. 이 요인은 전체 분산의 76.542%를 설명하며, Cronbach's  $\alpha$ 는 0.898로 매우 높은 신뢰도를 나타냈다.

구매의도는 향후 한국 가정간편식 제품에 대한 소비자의

구매의도를 평가하는 요인으로, “나는 한국 가정간편식 제품을 지속적으로 구매하고 싶다”, “나는 한국 가정간편식 제품에 대해 긍정적인 평가를 하고 싶다” 등의 문항을 포함한다. 이 요인은 전체 분산의 75.313%를 설명하며, Cronbach's  $\alpha$ 는 0.888로 높은 신뢰도를 보였다.

### 3. 주요 변수의 기술통계 및 상관관계 분석

Table 3은 국가이미지, 한국의 위기대응 조치, 제품태도, 그리고 구매의도 간의 상관관계를 나타낸 결과이다. 분석 결과, 국가이미지의 하위 요인인 안정성, 민주주의, 발전은 모두 정부의 위기대응 요인과 통계적으로 유의한 정(+)의 상관관계를 보였다. 구체적으로, 안정성은 위기대응 정책( $r=.200$ ), 소통( $r=.301$ ), 관리( $r=.350$ )와 각각 약한 수준에서 중간 수준의 상관관계를 나타냈다. 이는 국가의 정치적 안정성과 제도적 신뢰에 대한 인식이 정부의 위기대응 역량 평가와 일정 수준 이상 연관되어 있음을 의미하며, Anholt S(2011)가 제시한 국가 브랜드는 단순한 홍보나 마케팅이 아니라, 지속적이고 신뢰성 있는 정책 수행과 문화적 정체성을 통해 형성된다는 관점을 뒷받침한다.

특히, 안정성 요인은 위기대응의 세부 항목인 정책, 소통, 관리와 유의한 상관관계를 보여, 정부의 체계적이고 예측 가능한 위기대응이 국민과 외국 소비자 모두에게 신뢰감을 제공함을 의미한다. Lee JH(2021)의 연구 역시 한국의 신속한 방역정책과 투명한 소통이 외국 소비자에게 긍정적인 국가 이미지를 형성시켰다고 보고하고 있어, 본 연구의 결과와 일치한다. 이는 위기 상황에서 정책의 안정성과 투명성이 ‘국가 브랜드 신뢰성’을 높이는 핵심 요소로 작용함을 시사한다.

민주주의 요인은 위기대응 정책( $r=.303$ ), 소통( $r=.205$ ), 관리( $r=.176$ )와 약한 수준에서 중간 수준의 유의한 상관관계를 보였다. 이러한 결과는 시민참여 기반의 정책 의사소통이 외부 소비자에게 긍정적인 인식을 제공할 수 있음을 나타낸다. 이는 단순히 정치체제의 특성이라기보다는 정부가 위기 대응 과정에서 국민과 소통하고 투명하게 정보를 공유하는 방식이 국가 신뢰도를 높이는 효과로 이어질 수 있음을 보여준다.

발전 요인 또한 위기대응 정책( $r=.293$ ), 소통( $r=.211$ ), 관리( $r=.222$ )와 약한 수준의 상관관계를 나타냈다. 이는 국가의 기술혁신, 산업성장 등 발전성에 대한 인식이 한국의 위기대응에 대한 긍정적 평가와 직결된다는 의미로 해석된다. 즉, 한 국가의 산업·기술 역량이 곧 위기 대응 능력과 신뢰의 지표로 작용함을 보여주는 결과라 할 수 있다. 이러한 맥락

Table 3. Correlation matrix

Variables	National image 1 (stability)	National image 2 (democracy)	National image 3 (development)	Korea's crisis response (policy)	Korea's crisis response (communication)	Korea's crisis response (management)	Product attitude	Purchase intention
National image 1 (stability)	1	-	-	-	-	-	-	-
National image 2 (democracy)	.000	1	-	-	-	-	-	-
National image 3 (development)	.000	.000	1	-	-	-	-	-
Korea's crisis response (policy)	.200**	.303**	.293**	1	-	-	-	-
Korea's crisis response (communication)	.301**	.205**	.211**	.000	1	-	-	-
Korea's crisis response (management)	.350**	.176**	.222**	.000	.000	1	-	-
Product attitude	.462**	.361**	.295**	.353**	.347**	.386**	1	-
Purchase intention	.455**	.287**	.275**	.333**	.307**	.306**	.872**	1

\*\* $p < 0.01$ .

은 팬데믹 시기 한국의 기술 기반 방역정책이 외국 소비자에게 높은 평가를 받은 현상을 설명한다.

제품태도는 국가이미지의 모든 하위 요인과 중간 수준의 정(+)의 상관관계를 보였다(안정성  $r=.462$ , 민주주의  $r=.361$ , 발전  $r=.295$ ). 또한 제품태도는 한국의 위기대응 조치 요인인 정책( $r=.353$ ), 소통( $r=.347$ ), 관리( $r=.386$ )와도 모두 중간 수준의 유의한 상관관계를 나타냈다. 이는 국가이미지와 정부의 위기대응에 대한 신뢰가 소비자의 제품 평가에 실질적으로 반영됨을 의미한다.

다시 말해, 정부의 대응이 투명하고 일관될수록, 소비자는 해당 국가의 제품을 더 신뢰하고 긍정적으로 인식하게 된다. 이러한 결과는 가정간편식 시장에서, 지역 식재료 사용이라는 선택속성이 소비자 태도 및 구매 행동에 유의미한 영향을 미친다고 보고한 Rha 등(2022)의 연구와도 맥락을 같이 한다.

구매의도 역시 국가이미지의 하위 요인인 안정성( $r=.455$ ), 민주주의( $r=.287$ ), 발전( $r=.275$ )과 약한 수준에서 중간 수준의 정(+)의 상관관계를 보였으며, 한국의 위기대응 정책( $r=.333$ ), 소통( $r=.307$ ), 관리( $r=.306$ )와도 중간 수준의 상관관계를 나타냈다. 특히 제품태도와 구매의도 간 상관계수는  $r=.872(p <$

.01)로 나타나, 매우 강한 수준의 정(+)의 상관관계를 보였다. 이는 소비자의 긍정적 제품태도가 실제 구매 행동으로 이어진다는 Ajzen I(1991)의 주장과도 일치한다. TPB에 따르면 개인의 행동은 태도, 주관적 규범, 그리고 인지된 행동통제에 의해 결정되며, 그중에서도 제품에 대한 긍정적 태도는 구매 의도를 강화하는 핵심 요인으로 작용한다. 즉, 소비자가 특정 제품을 긍정적으로 평가할수록 실제 구매 행동으로 이어질 가능성이 높다. 이러한 관계성은 가정간편식 시장에서도 동일하게 확인되는데, Ji & Han(2022)의 연구에서도 소비자들이 신뢰성, 위생, 건강, 편의성 등 제품 속성을 긍정적으로 평가할수록 제품태도가 강화되었으며, 강화된 태도가 다시 구매의도를 높이는 주요 요인으로 작용한 것으로 보고되었다.

결과적으로, 한국의 체계적이고 효율적인 위기대응은 단순한 위기 극복을 넘어서 국가이미지 강화와 제품 신뢰도 제고라는 복합적 효과를 창출할 수 있음을 의미한다. 이는 국가이미지가 위기대응의 성공과 함께 글로벌 소비자 인식에 영향을 미치는 주요 요인으로 작용함을 시사한다(Anholt S 2011; Lee JH 2021). 또한, 한국의 위기대응을 통해 형성된

신뢰 기반 국가이미지가 소비자의 태도와 구매의도를 매개하는 핵심 변수로 작용함을 보여준다. 즉, 위기대응의 일관성과 투명성, 그리고 국가적 안정성이 높을수록 제품태도와 구매의도가 동시에 강화되는 경향을 나타냈으며, 이는 한국 가정간편식 산업의 향후 마케팅 전략 수립에 있어 중요한 실증적 근거로 활용될 수 있을 것이다.

#### 4. 가설검증 결과

한국 가정간편식(HMR)에 대한 국가이미지 및 위기대응 조치 인식의 영향 관계를 검증한 결과, 모든 가설이 채택되었다. 국가이미지의 하위 요인인 안정성, 민주주의, 발전 수준은 모두 한국 가정간편식 제품태도에 유의한 정(+)의 영향을 미쳤으며(H1~H3), 이들 요인은 한국 정부의 위기대응 조치 인식(정책, 소통, 관리)에도 긍정적으로 작용하였다(H4~H6). 또한 정책, 소통, 관리 인식은 모두 한국 가정간편식 제품태도에 유의미한 정(+)의 영향을 미친 것으로 나타났으며(H7), 마지막으로 제품태도는 구매의도에 매우 유의한 영향을 미치는 것으로 확인되었다(H8).

가설검증 결과는 Table 4, Fig. 2에 제시하였으며, 세부적인 가설검증 결과는 다음과 같다. 첫째, 국가이미지가 한국 가정간편식(HMR) 제품태도에 미치는 영향(H1~3)을 검증하기 위하여 다중회귀분석을 실시하였으며, 본 분석에서는 국가이미지의 하위 요인인 안정성, 민주주의, 발전 수준이 한국 가정간편식 제품태도에 미치는 영향을 검증하였다. 다중회귀분석 결과, 회귀모형의  $F$ 값은 128.911로 나타났으며, 유의확률은  $p < .001$ 으로 회귀모형이 통계적으로 유의한 것으로 확인되었다. 수정된 결정계수( $R^2$ )는 0.427로, 국가이미지 관련 변수가 한국 가정간편식 제품태도의 약 42.7%를 설명하는 것으로 나타났다. 또한 Durbin - Watson 계수는 1.933으로 기준값에 근접하여 잔차 간 자기상관 문제는 없는 것으로 판단되었으며, 공차한계(tolerance)와 분산팽창요인(VIF) 값 또한 기준치를 충족하여 다중공선성 문제는 나타나지 않았다.

각 독립변수의 영향력을 살펴본 결과, 안정성 요인은 한국 가정간편식 제품태도에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 H1은 채택되었다( $\beta = .386, t = 8.183, p < .001$ ). 이는 한국의 정치·사회적 안정성과 제도적 신뢰성에 대한 인식이 소비자의 제품 평가 과정에서 중요한 판단 기준으로 작용함을 의미한다. 선행연구에 따르면, 국가의 전반적인 안정성과 신뢰성에 대한 긍정적 이미지는 소비자에게 품질 신호로 작용하여 제품에 대한 태도 형성에 유의한 영향을 미치는 것

으로 보고되고 있다(Roth & Diamantopoulos 2009). 이러한 맥락에서 한국을 안정적이고 신뢰할 수 있는 국가로 인식할수록 한국 가정간편식 제품에 대한 호의적인 태도가 강화되는 것으로 해석할 수 있다.

민주주의 요인 역시 제품태도에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타나 H2는 채택되었다( $\beta = .222, t = 4.709, p < .001$ ). 이는 민주적 가치, 사회적 개방성, 제도적 투명성에 대한 인식이 소비자의 정서적 신뢰를 형성하고, 나아가 제품에 대한 긍정적 평가로 이어질 수 있음을 시사한다. 국가의 제도적 특성과 사회 시스템에 대한 인식은 소비자의 인지적·정서적 평가에 영향을 미치며, 이러한 인식은 제품 태도 형성 과정에서 중요한 역할을 수행하는 것으로 보고되고 있다(Verlegh & Steenkamp 1999).

발전 요인 또한 한국 가정간편식 제품태도에 유의미한 영향을 미치는 것으로 확인되었으며, H3은 채택되었다( $\beta = .138, t = 3.104, p < .001$ ). 이는 국가의 산업 발전 수준, 기술력, 혁신성에 대한 인식이 제품의 품질과 신뢰도 평가에 긍정적으로 반영됨을 의미한다. Almlı 등(2011)은 국가의 전반적인 이미지와 산업·기술 수준에 대한 인식이 식품의 품질 평가 및 태도 형성에 중요한 영향을 미친다고 보고하였으며, 본 연구 결과 역시 이러한 논의를 지지하는 결과로 해석할 수 있다.

종합하면, 국가이미지를 구성하는 안정성, 민주주의, 발전 요인은 모두 한국 가정간편식 제품태도에 유의미한 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 특히 안정성 요인이 가장 높은 표준화 계수를 보여, 소비자가 한국을 안정적이고 신뢰할 수 있는 국가로 인식할수록 한국 가정간편식 제품에 대한 긍정적 태도가 강화됨을 시사한다. 이러한 결과는 해외 소비자를 대상으로 한 한국 가정간편식의 경쟁력 확보에 있어, 제품속성 중심의 접근뿐만 아니라 국가이미지를 기반으로 한 전략적 커뮤니케이션의 중요성을 시사한다. 즉, 한국의 안정성과 제도적 신뢰성, 사회적 투명성, 산업적 발전 수준을 종합적으로 반영한 국가 브랜드 이미지는 한국 가정간편식 제품태도 형성에 핵심적인 역할을 수행할 수 있음을 의미한다.

둘째, 국가이미지의 하위 요인인 안정성, 민주주의, 발전 수준이 한국의 위기대응 조치 중 정책 인식에 미치는 영향(H4)을 분석한 결과, 회귀모형의  $F$ 값은 155.082로 나타났으며, 유의확률은  $p < .001$ 으로 회귀식이 통계적으로 유의한 것으로 확인되었다. 수정된 결정계수( $R^2$ )는 0.473으로 국가이미지 관련 변수가 한국의 위기대응 조치 인식의 약 47.3%를 설명하는 것으로 나타났다. 또한 Durbin-Watson 계수는 1.914로

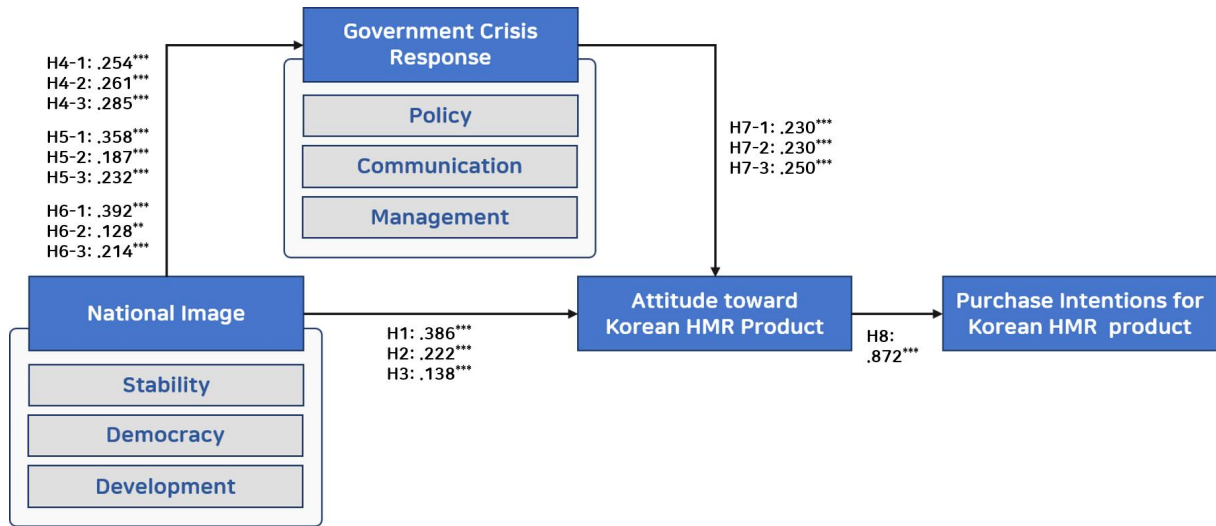


Fig. 2. Path diagram.

기준값에 근접하여 잔차 간 자기상관 문제는 없는 것으로 판단되었으며, 공차한계(tolerance)와 분산팽창요인(VIF) 값 또한 기준치를 충족하여 다중공선성 문제는 나타나지 않았다.

요인별 영향을 살펴본 결과, 안정성 요인은 한국의 위기대응 조치 중 정책 인식에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 H4-1은 채택되었다( $\beta=.254, t=5.614, p<.001$ ). 이는 국가의 정치·사회적 안정성과 제도 운영의 일관성에 대한 인식이 정부의 위기대응 정책을 예측 가능하고 신뢰할 수 있는 것으로 평가하게 만드는 요인으로 작용함을 의미한다. 기존 비교정치 및 정책 연구에서도 정부 대응에 대한 신뢰는 정책 태도 형성과 정책 수용성을 제고하는 핵심 요인으로 제시되고 있으며(Bargain & Aminjonov 2020), 본 연구 결과는 이러한 논의가 국가이미지 차원에서 적용될 수 있음을 시사한다.

민주주의 요인 역시 한국의 위기대응 조치 중 정책 인식에 통계적으로 유의한 영향을 미친 것으로 나타나 H4-2는 채택되었다( $\beta=.261, t=5.773, p<.001$ ). 이는 민주적 거버넌스, 제도적 투명성, 사회적 소통에 대한 인식이 정부 정책에 대한 신뢰와 수용성으로 이어질 수 있음을 의미한다. 민주주의적 맥락에서의 정책 결정과 커뮤니케이션 방식은 위기 상황에서 정책의 정당성과 시민 수용도를 높이는 데 중요한 역할을 한다는 기존 논의와도 부합한다(Shim JS 2022).

발전 요인은 세 요인 중 가장 높은 표준화 계수를 보이며 한국의 위기대응 조치 중 정책 인식에 유의미한 정(+)의 영향을 미친 것으로 확인되었으며, H4-3은 채택되었다( $\beta=.285,$

$t=6.687, p<.001$ ). 이는 산업·기술 역량, 공공 시스템의 성숙도 등 국가의 발전 수준에 대한 긍정적 인식이 정부의 위기대응 정책을 보다 효과적이고 실행 가능한 것으로 평가하게 만드는 핵심 요인임을 의미한다. 국가이미지를 브랜딩 자산으로 인식할 경우, 인지도·지식·평판과 같은 요소는 정책 및 공공 커뮤니케이션 평가로 확장될 수 있다는 논의와도 일치한다(Anholt S 2011).

종합하면, 안정성, 민주주의, 발전이라는 국가이미지의 세 하위 요인은 모두 한국의 위기대응 조치 중 정책 인식에 독립적으로 유의미한 정(+)의 영향을 미친 것으로 나타났다. 특히 발전 요인이 가장 높은 영향력을 보였다는 점은 위기 상황에서 정부의 대응이 제도적 정당성뿐만 아니라, 국가의 기술적·산업적 역량에 대한 인식과 밀접하게 연관되어 평가됨을 시사한다. 이러한 결과는 위기대응 과정에서 정부의 투명한 정보 제공과 커뮤니케이션이 시민의 정책 신뢰를 강화한다는 기존 실증 연구에서 제시된 논의와도 부합한다(Alessandro M 2021).

셋째, 국가이미지의 하위 요인인 안정성, 민주주의, 발전 수준이 한국의 위기대응 조치 중 소통 인식에 미치는 영향(H5) 검증을 위한 다중회귀분석 결과는 다음과 같다. 회귀모형의  $F$ 값은 143.705로 나타났으며, 유의확률은  $p<.001$ 으로 회귀모형이 통계적으로 유의한 것으로 확인되었다. 수정된 결정계수( $R^2$ )는 0.454로, 국가이미지 관련 변수가 한국의 위기대응 소통 인식의 약 45.4%를 설명하는 것으로 나타났다. 또한 Durbin-Watson 계수는 1.915로 기준값에 근접하여 잔차

Table 4. Regression analysis results for Hypotheses 1~8

Independent variable	Dependent variable	B (SE)	Standardized $\beta$	t-value	Collinearity statistics		$R^2$	$\Delta R^2$	F-value	Durbin-Watson	Hypothesis testing
					Tolerance	VIF					
National image 1 (stability)		.386 (.047)	.386	8.183***	.499	2.002					Accepted
National image 2 (democracy)	Product attitude (H1~3)	.222 (.047)	.222	4.709***	.503	1.988	0.431	0.427	128.911***	1.933	Accepted
National image 3 (development)		.138 (.044)	.138	3.104***	.565	1.769					Accepted
National image 1 (stability)	Korea's crisis response (policy) (H4)	.254 (.045)	.254	5.614***	.499	2.002					Accepted
National image 2 (democracy)		.261 (.045)	.261	5.773***	.503	1.988	0.477	0.473	155.082***	1.914	Accepted
National image 3 (development)		.285 (.043)	.285	6.687***	.565	1.769					Accepted
National image 1 (stability)	Korea's crisis response (communication) (H5)	.358 (.046)	.358	7.775***	.499	2.002					Accepted
National image 2 (democracy)		.187 (.046)	.187	4.072***	.503	1.988	0.458	0.454	143.705***	1.915	Accepted
National image 3 (development)		.232 (.043)	.232	5.355***	.565	1.769					Accepted
National image 1 (stability)	Korea's crisis response (management) (H6)	.392 (.048)	.392	8.183***	.499	2.002					Accepted
National image 2 (democracy)		.128 (.048)	.128	2.678**	.503	1.988	0.415	0.412	120.807***	2.046	Accepted
National image 3 (development)		.214 (.045)	.214	4.750***	.565	1.769					Accepted
Korea's crisis response (policy)		.230 (.054)	.230	4.303***	.415	2.412					Accepted
Korea's crisis response (communication)	Product attitude (H7)	.230 (.054)	.230	4.289***	.412	2.427	0.393	0.390	110.492***	1.962	Accepted
Korea's crisis response (management)		.250 (.047)	.250	5.292***	.531	1.884					Accepted
Product attitude	Purchase intention (H8)	.872 (.022)	.872	40.429***	1.000	1.000	0.761	0.761	1634.505***	1.918	accepted

\*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ .

간 자기상관 문제는 없는 것으로 판단되었으며, 공차한계 (tolerance)와 분산팽창요인(VIF) 값 역시 기준치를 충족하여 다중공선성 문제는 나타나지 않았다.

요인별 영향을 살펴본 결과, 안정성 요인은 한국의 위기 대응 조치 중 소통 인식에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 H5-1은 채택되었다( $\beta=.358, t=7.775, p<.001$ ). 이는 국가의 정책 운영이 예측 가능하고 일관적이라는 인식이 정부의 위기 대응 메시지를 신뢰할 수 있고 명확한 것으로 평가하게 만드는 요인으로 작용함을 의미한다. 안정적인 제도와 체계에 대한 인식은 공공 커뮤니케이션에 대한 신뢰를 강화하며, 이는 정책 수용성을 높이는 핵심 요인이라는 기존 논의와도 일치한다(Wu C 2021).

민주주의 요인 역시 한국의 위기 대응 조치 중 소통 인식에 통계적으로 유의한 영향을 미친 것으로 나타나 H5-2는 채택되었다( $\beta=.187, t=4.072, p<.001$ ). 이는 민주적 소통 환경과 참여적 의사결정 구조에 대한 인식이 정부 정책 메시지에 대한 신뢰와 이해도를 제고할 수 있음을 시사한다. 정책 과정에서 투명한 정보 제공과 시민 참여가 확보될수록 정책 커뮤니케이션의 정당성이 강화된다는 민주주의적 정책과학 관점과도 부합한다(Shim JS 2022).

발전 요인 또한 한국의 위기 대응 조치 중 소통 인식에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 확인되어 H5-3은 채택되었다( $\beta=.232, t=5.355, p<.001$ ). 이는 국가의 기술력과 행정 역량, 정책 집행 능력에 대한 긍정적 인식이 정부 소통의 전문성과 신뢰성 평가로 확장됨을 의미한다. 국가 발전 이미지는 위기 상황에서 정부가 과학적 근거와 데이터에 기반한 메시지를 제시할 수 있다는 기대를 형성하며, 이는 정책 커뮤니케이션 효과를 제고한다는 기존 연구의 논의를 뒷받침한다(Siegrist & Zingg 2014).

종합하면, 국가이미지를 구성하는 안정성, 민주주의, 발전 요인은 모두 한국의 위기 대응 조치 중 소통 인식에 독립적으로 유의미한 정(+)의 영향을 미친 것으로 나타났다. 특히 안정성 요인이 가장 높은 표준화 계수를 보여, 국가에 대한 신뢰 기반 이미지가 위기 상황에서 정부의 커뮤니케이션을 효과적으로 인식하게 만드는 핵심 요인임을 시사한다. 이러한 결과는 국가이미지가 공공 커뮤니케이션과 정책 메시지 수용 과정에서도 중요한 역할을 수행할 수 있음을 보여주며, 국가 브랜드가 공공 외교 및 위기 커뮤니케이션 전략으로 확장될 수 있음을 시사한다(Wang 2008a).

넷째, 국가이미지의 하위 요인인 안정성, 민주주의, 발전이

한국의 위기 대응 조치 중 관리에 미치는 영향(H6)을 분석한 결과는 다음과 같다. 회귀모형의  $F$ 값은 120.807로 나타났으며, 유의확률은  $p<.001$ 로 회귀모형이 통계적으로 유의한 것으로 확인되었다. 수정된 결정계수( $R^2$ )는 0.412로, 국가이미지 관련 변수가 한국의 위기 대응 조치에 대한 인식의 약 41.2%를 설명하는 것으로 나타났다. 또한 Durbin-Watson 계수는 2.046으로 기준값에 근접하여 잔차 간 자기상관 문제는 없는 것으로 판단되었으며, 공차한계(Tolerance)와 분산팽창요인(VIF) 값 역시 기준치를 충족하여 다중공선성 문제는 나타나지 않았다.

요인별 영향을 살펴본 결과, 안정성 요인은 한국의 위기 대응 조치 중 관리 인식에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 나타나 H6-1은 채택되었다( $\beta=.392, t=8.183, p<.001$ ). 이는 국가의 위기 대응 체계가 안정적이고 일관되게 운영되고 있다는 인식이 정부의 대응 역량과 정책 수행에 대한 신뢰를 강화하는 핵심 요인으로 작용함을 의미한다. 위기 상황에서 국가와 정부에 대한 신뢰는 대응 체계의 안정성 인식과 밀접하게 연관된다는 기존 연구의 논의와도 맥을 같이한다(Kye & Hwang 2020).

민주주의 요인 역시 한국의 위기 대응 조치 중 관리 인식에 통계적으로 유의한 영향을 미친 것으로 나타나 H6-2는 채택되었다( $\beta=.128, t=2.678, p<.01$ ). 이는 민주적 거버넌스와 제도적 투명성, 시민참여에 대한 인식이 위기 대응 과정에서 정부 조치의 정당성과 수용성 평가에 기여함을 시사한다. 위기 상황에서의 민주적 운영 원리는 정부 대응에 대한 신뢰 형성에 중요한 역할을 한다는 기존 정책 담론 연구와도 일치한다(Wodak R 2021).

발전 요인 또한 한국의 위기 대응 조치 인식 중 관리에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 확인되어 H6-3은 채택되었다( $\beta=.214, t=4.750, p<.001$ ). 이는 국가의 기술적 역량과 행정 시스템의 발전 수준에 대한 긍정적 인식이 정부의 위기 대응 능력과 정책 집행에 대한 신뢰 평가로 확장될 수 있음을 의미한다. 디지털 행정과 기술 기반 위기 대응 역량은 위기 상황에서 정부 조치에 대한 신뢰를 제고하는 중요한 요소로 작용할 수 있다는 선행연구의 논의를 뒷받침한다(Lee-Geiller & Lee 2022).

종합하면, 국가이미지를 구성하는 안정성, 민주주의, 발전 요인은 모두 한국의 위기 대응 조치 중 관리에 독립적으로 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 안정성 요인의 영향력이 가장 크게 나타났다는 점은 위기 상황에서 정부의 대응 평가는 국가의 안정적 이미지와 신뢰 기반 인식에 크게

의존하고 있음을 시사한다. 이러한 결과는 위기대응의 핵심이 단기적 조치 자체를 넘어 신뢰와 제도적 안정성을 기반으로 한 국가이미지 형성에 있음을 보여준다.

다섯째, 한국 정부의 위기대응 조치 인식이 한국 가정간편식 제품태도에 미치는 영향(H7)을 검증하기 위한 다중회귀분석 결과는 다음과 같다. 회귀모형의  $F$ 값은 110.492로 나타났으며, 유의확률은  $p < .001$ 로 회귀모형이 통계적으로 유의한 것으로 확인되었다. 수정된 결정계수( $R^2$ )는 0.390으로, 정부의 위기대응 조치 인식 변수가 한국 가정간편식 제품태도의 약 39.0%를 설명하는 것으로 나타났다. 또한 Durbin-Watson 계수는 1.962로 기준값에 근접하여 잔차 간 자기상관 문제는 없는 것으로 판단되었다.

독립변수별 영향을 살펴본 결과, 정책 요인은 한국 가정간편식 제품태도에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 H7-1은 채택되었다( $\beta = .230, t = 4.303, p < .001$ ). 이는 정부의 위기대응 정책이 합리적이고 신뢰할 수 있다고 인식될수록, 소비자가 해당 국가의 제품에 대해 긍정적인 태도를 형성할 가능성이 높아짐을 의미한다.

소통 요인 역시 제품태도에 통계적으로 유의한 영향을 미친 것으로 확인되어 H7-2는 채택되었다( $\beta = .230, t = 4.289, p < .001$ ). 이는 정부가 위기 상황에서 제공하는 정보의 명확성, 일관성, 신뢰성이 소비자의 정서적 신뢰를 형성하고, 이러한 신뢰가 제품 평가 과정으로 확장될 수 있음을 시사한다.

관리 요인은 세 요인 중 가장 높은 표준화 계수를 보이며 한국 가정간편식 제품태도에 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 H7-3은 채택되었다( $\beta = .250, t = 5.292, p < .001$ ). 이는 정부의 위기관리 역량과 실행 능력에 대한 인식이 소비자가 해당 국가의 제품 품질과 신뢰성을 평가하는데 있어 상대적으로 중요한 기준으로 작용함을 의미한다.

종합하면, 정부의 위기대응 조치에 대한 정책적, 소통적, 관리적 인식은 모두 한국 가정간편식 제품태도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 특히 관리 요인의 영향력이 상대적으로 높게 나타났다는 점은, 소비자가 정부의 위기대응을 평가할 때 실질적인 대응 능력과 실행력을 중요하게 인식하고 있음을 시사한다. 이러한 결과는 정부에 대한 신뢰와 정책 인식이 소비자의 태도 형성으로 확장될 수 있다는 기존 연구에서 제시된 논의와 부합한다(Bargain & Aminjonov 2020; Shanka & Menebo 2022).

여섯째, 한국 가정간편식 제품태도가 구매의도에 미치는 영향(H8)을 검증하기 위한 다중회귀분석 결과, 회귀모형의  $F$ 값은 1634.505( $p < .001$ )로 통계적으로 유의하였으며, 수정된

결정계수( $R^2$ )는 .761로 나타나 약 76%의 높은 설명력을 보였다. 또한 Durbin-Watson 값은 1.918로 잔차의 자기상관이 없어 회귀모형의 적합성이 확인되었다.

분석 결과, 제품태도가 구매의도에 미치는 영향( $\beta = .872, p < .001$ )은 매우 유의한 수준으로 나타나 H8은 채택되었다. 이는 소비자가 제품에 대해 긍정적 태도를 형성할수록 실제 구매 행동으로 이어질 가능성이 높다는 것을 의미한다. 특히, 가정간편식 제품에 대한 신뢰감, 품질 인식, 만족감 등 태도적 요인이 소비자의 구매의사결정 과정에서 핵심적 역할을 하는 것으로 해석된다. 이러한 결과는 가정간편식 제품의 선택속성과 소비자 신뢰가 구매의도에 직접적 영향을 미친다고 보고한 Rha 등 (2022)의 연구와 일관된 것으로, 소비자의 인지적·정서적 평가가 구매의사결정으로 확장되는 과정을 실증적으로 뒷받침한다.

결과적으로, 가정간편식 제품에 대한 소비자의 긍정적 태도는 구매의도에 직접적 영향을 미치며, 이는 소비자 경험, 제품 신뢰성, 가치 인식 등이 결합되어 작동하는 통합적 소비 행동 구조임을 시사한다. 이러한 결과는 향후 가정간편식 시장에서 소비자 중심의 감성·기능적 가치 제고 전략이 구매전환을 향상에 중요한 역할을 할 수 있음을 보여준다.

## 5. 한국의 국가이미지가 한국 가정간편식 제품태도에 미치는 영향에서 한국의 위기대응 조치의 매개효과

한국의 국가이미지가 가정간편식 제품태도에 미치는 영향에서 한국의 위기대응 조치의 매개효과를 검증한 결과는 Table 5와 같다. 분석은 3단계 회귀분석 절차를 통해 수행되었으며, 각 단계에서 독립변수(국가이미지), 매개변수(한국의 위기대응 조치), 종속변수(제품태도)의 관계를 단계적으로 투입하였다.

1단계에서는 국가이미지의 하위요인(안정성, 민주주의, 발전)이 한국의 위기대응 조치의 하위요인(정책, 소통, 관리)에 미치는 영향을 검증하였다. 분석 결과, 안정성( $\beta = .254 \sim .392$ ), 민주주의( $\beta = .128 \sim .261$ ), 발전( $\beta = .214 \sim .285$ )은 모두 한국의 위기대응 조치에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다( $p < .001$ ). 이는 국가의 신뢰성, 투명성, 일관된 정책 수행이 국민에게 긍정적으로 인식될수록 위기관리 역량에 대한 평가가 향상됨을 의미한다. 이러한 결과는 Anholt S(2011)의 경쟁적 정체성 이론에서 제시한 국가 브랜드 구성요소 중 ‘정책과 신뢰’의 중요성을 실증적으로 뒷받침한다.

2단계에서는 국가이미지가 제품태도에 미치는 직접효과를 검증하였다. 분석 결과, 안정성( $\beta = .386$ ), 민주주의( $\beta = .222$ ), 발전( $\beta = .138$ ) 모두 유의한 정(+)의 영향을 보였으며,

**Table 5. The mediating effect of perception of Korea’s crisis response in the relationship between national image and attitude toward Korean HMR Products**

Mediation testing step	Independent variable	Dependent variable	B	SE	Standardized $\beta$	t-value	F-value	R <sup>2</sup>	$\Delta R^2$						
Step 1	National image 1 (stability)	Korea’s crisis response (policy)	.254	.045	.254	5.614***	155.082**	0.477	0.473						
	National image 2 (democracy)		.261	.045	.261	5.773***									
	National image 3 (development)		.285	.043	.285	6.687***									
	National image 1 (stability)	Korea’s crisis response (communication)	.358	.046	.358	7.775***				143705***	0.458	0.454			
	National image 2 (democracy)		.187	.046	.187	4.072***									
	National image 3 (development)		.232	.043	.232	5.355***									
	National image 1 (stability)	Korea’s crisis response (management)	.392	.048	.392	8.183***							120.807***	0.415	0.412
	National image 2 (democracy)		.128	.048	.128	2.678**									
	National image 3 (development)		.214	.045	.214	4.750***									
Step 2	National image 1 (stability)	Product attitude	.386	.047	.386	8.183***	128.911***	0.431	.0427						
	National image 2 (democracy)		.222	.047	.222	4.709***									
	National image 3 (development)		.138	.044	.138	3.104***									
Step 3 (independent variable)	National image 1 (stability)	Product attitude	.266	.050	.266	5.357***				75.989***	0.473	0.467			
	National image 2 (democracy)		.052	.045	.052	1.159									
	National image 3 (development)		.155	.047	.155	3.309**									
Step 3 (mediating variable)	Korea’s crisis response (policy)	Product attitude	.107	.053	.107	2.020*							75.989***	0.473	0.467
	Korea’s crisis response (communication)		.112	.052	.112	2.149*									
	Korea’s crisis response (management)		.137	.046	.137	2.949**									

\*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ .

( $p < .001$ ), 전체 설명력은 43.1%로 나타났다. 즉, 국가의 신뢰성과 국가의 이미지가 제품의 품질 인식 및 선호 형성에 직접적인 영향을 미친다는 것을 의미한다. 이는 Wang(2008b)의 연구에서 제시된 ‘국가이미지-제품평가-태도’ 간의 긍정적 전이효과와 일치하며, 브랜드 커뮤니케이션이 소비자의 인식에 구조적으로 작용함을 보여준다.

3단계에서는 한국의 위기대응 조치를 매개변수로 투입하여 국가이미지가 제품태도에 미치는 간접효과를 검증하였다. 분석 결과, 매개변수를 포함한 회귀모형의 결정계수( $R^2$ )는 .467로 이전 단계보다 .04 상승하였으며, 안정성( $\beta = .386 \rightarrow .260$ ), 민주주의( $\beta = .222 \rightarrow .052$ ), 발전( $\beta = .138 \rightarrow .155$ )의 표준화계수가 변화하였다. 결론적으로 한국의 위기대응 조치는 국가이미지와 제품태도 간 관계에서 부분적인 매개효과를 나타냈다. 특히, 민주주의의 이미지는 위기대응 조치를 통해 제품태도로 이어지는 완전 매개에 가까운 양상을 보이거나, 발전 이미지에서는 명확한 매개효과가 나타나지 않았다. 즉, 한국의 효과적인 위기대응 정책, 투명한 정보 공개, 일관된 관리체계에 대한 긍정적 인식이 국가이미지를 강화시키며, 이는 다시 제품에 대한 신뢰와 태도로 전이되는 간접적 경로를 형성한다.

이러한 결과는 Bargain & Aminjonov(2020)의 연구에서 제시된 바와 같이, 정부에 대한 신뢰가 공중보건정책 준수 및 행동 변화에 직접적인 영향을 미친다는 분석과 일치한다. 또한, Shanka & Menebo(2022)는 정부의 일관된 정책 메시지와 투명한 커뮤니케이션이 국민의 신뢰를 유지하고, 사회·경제적 안정성을 높인다고 보고하였다. 이는 국가이미지와 위기대응 조치가 상호작용하여 소비자의 제품태도에 간접적으로 영향을 미친다는 본 연구의 매개모형 결과를 뒷받침한다.

결과적으로, 본 연구에서 확인된 매개효과는 국가이미지와 소비자 태도 간 관계에서 위기대응에 대한 소비자의 신뢰가 중요한 연결고리로 작용함을 보여준다. 즉, 한국의 안정적 국가이미지는 위기대응 과정에서 강화된 정책 신뢰와 소통 신뢰를 통해 제품태도에 긍정적 영향을 미치며, 이는 국가브랜드의 확장적 가치로 기능할 수 있음을 시사한다.

## 요약 및 결론

본 연구는 말레이시아 소비자를 대상으로 한국의 국가이미지가 한국 가정간편식에 대한 제품태도와 구매의도에 미치는 영향을 분석하고, 이 관계에서 한국의 위기대응 조치의 매개효과를 검증하고자 하였다.

분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 한국의 국가이미지는 한국 가정간편식 제품태도에 유의한 영향을 미쳤으며, 안정성 요인이 가장 높은 설명력을 보였다. 즉, 한국의 정치적·사회적 안정성은 말레이시아 소비자가 한국 가정간편식 제품을 신뢰하고 긍정적으로 평가하는데 결정적인 역할을 한다. 민주주의의 요인과 발전 요인 또한 유의미한 영향을 보였으며, 이는 공정성과 기술혁신이 결합된 국가이미지를 통해 소비자의 감정적 신뢰와 인지적 신뢰가 동시에 형성됨을 의미한다(Wang 2008b; Anholt S 2011).

둘째, 한국의 국가이미지의 세 하위 요인 모두가 한국의 위기대응 조치의 하위 요인인 정책, 소통, 관리에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 민주주의의 요인은 정책 인식에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 이는 투명성과 시민참여를 기반으로 한 민주적 거버넌스가 정책 신뢰 형성에 핵심적 역할을 한다는 점을 보여준다. 이러한 결과는 OECD(2017)의 보고서에서 제시된 바와 같이, 투명한 거버넌스와 신뢰 기반의 정책 의사결정이 정부 신뢰 강화를 이끌며 정책 효과성과 수용성을 높인다는 국제적 분석과도 일치한다. 또한, Bargain & Aminjonov(2020)는 정부 신뢰가 위기대응 정책 준수와 사회적 행동 안정성에 유의한 영향을 미친다고 보고하여, 본 연구의 결과를 뒷받침한다. 안정성 요인은 관리 인식에서 가장 강한 영향력을 보였으며, 이는 국가의 체계적 대응력과 일관된 정책 운영이 국민과 해외 소비자 모두에게 신뢰 이미지를 제공한다는 점을 시사한다(Lee-Geiller & Lee 2022). 발전 요인 역시 기술력과 산업 인프라를 매개로 정부의 위기관리 능력과 전문성을 강화시키는 요인으로 작용하였다.

셋째, 말레이시아 소비자가 인식하는 한국의 위기대응 조치는 한국 가정간편식 제품태도에 유의한 정(+)의 영향을 미쳤다. 이는 정부의 위기관리 성과가 소비자의 제품 평가로 전이될 수 있음을 보여주는 결과이다. 정부의 투명한 소통과 일관된 관리체계는 국가 신뢰도를 강화하고, 결과적으로 해당 국가의 제품에 대한 긍정적 태도를 높이는 심리적 경로를 형성한다. 이러한 결과는 Maher & Carter(2011)의 연구에서 제시된 바와 같이, 국가이미지의 인지적·정서적 요인이 소비자의 제품 평가와 구매의도에 유의한 영향을 미친다는 분석 결과와 일치한다.

넷째, 말레이시아 소비자의 한국 가정간편식 제품태도는 구매의도에 매우 강한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 소비자가 제품에 대해 긍정적 인식을 가질수록 실제 구매행동으로 이어진다는 행동의도이론(Ajzen I 1991)을 지지하는

결과이다. 특히, 품질 신뢰, 만족도, 감정적 친밀감이 결합된 태도 요인은 구매전환율을 결정짓는 핵심 요인으로 작용하였다. 이는 가정간편식 선택속성이 태도와 구매의도에 직접적 영향을 미친다는 Ra CI(2018)의 결과와도 맥락을 같이 한다.

다섯째, 매개효과 검증 결과, 한국의 위기대응 조치는 국가이미지와 제품태도 간의 관계를 부분 매개하는 것으로 나타났다. 즉, 한국의 안정적이고 투명한 위기대응 정책에 대한 말레이시아 소비자의 긍정적 인식이 한국의 국가이미지를 강화하고, 이는 다시 제품 신뢰로 이어지는 간접적 경로가 형성된 것이다. 이러한 결과는 Lee-Geiller & Lee(2022)의 디지털 거버넌스 기반 위기관리 연구와 일치하며, 국가 차원의 신뢰 기반 커뮤니케이션이 소비자의 태도와 구매의도에 파급된다는 사실을 실증적으로 입증하였다.

본 연구는 한국의 안정성·민주주의·발전 수준에 대한 말레이시아 소비자의 긍정적 인식이 한국의 위기대응 조치를 매개로 한국 가정간편식 제품태도와 구매의도를 높인다는 점을 밝혀냈다. 이는 국가이미지가 단순한 외교적 이미지 차원을 넘어, 실제 소비자 평가와 구매행동에까지 영향을 미치는 확장된 브랜드 자산임을 시사한다.

본 연구의 학문적 의의는 다음과 같다. 첫째, 국가이미지와 정부 위기대응 조치 요인을 결합한 통합적 분석틀을 제시함으로써, 국가 신뢰가 소비자 행동에 미치는 경로를 실증적으로 규명하였다. 둘째, 위기대응 조치를 정책·소통·관리의 세 차원으로 세분화하여 매개효과의 차이를 검증함으로써, 향후 위기 커뮤니케이션 전략 수립에 구체적인 시사점을 제공한다. 셋째, 위기 이후 급성장한 가정간편식 시장을 대상으로 국가이미지가 소비자 행동에 끼치는 영향을 분석함으로써, 한국 식품산업의 글로벌 경쟁력 강화와 국가 브랜드 관리 측면에서 시사점을 제시하였다.

본 연구를 바탕으로 실무적 시사점을 제시하고자 한다. 첫째, 향후 한국 가정간편식 산업은 안정성과 투명성을 강조한 커뮤니케이션 전략, 민주적 가치와 사회적 책임을 반영한 브랜드 포지셔닝, 그리고 기술적 혁신을 강조한 제품개발 전략을 병행함으로써, 글로벌 소비자의 긍정적 태도와 재구매의도를 동시에 강화할 수 있을 것이다. 둘째, 국가이미지가 소비자의 구매의도에 직접적으로 영향을 미치는 만큼, 가정간편식 기업은 글로벌 시장에서 K-Food의 신뢰성과 안전성을 강조하는 마케팅 전략을 적극적으로 활용해야 한다. 셋째, 팬데믹 이후 강화된 건강·위생 중심 소비 트렌드를 반영하여, 소비자 데이터 기반의 맞춤형 제품 개발 전략을 확대할

필요가 있다. 넷째, 위기대응 조치에 대한 소비자 인식이 제품 평가에도 영향을 미치는 만큼, 정부와 기업이 협력하여 식품 안전 인증을 강화하고 정보 제공 과정을 투명하게 관리하는 등 산업 전반의 신뢰 기반을 체계적으로 구축할 필요가 있다.

본 연구는 질병으로 인한 팬데믹 시기에 실시한 조사로 질병과 연관된 국가 위기 상황 이외에 정치·경제적, 사회·문화적 위기 상황에 대한 인식 요인은 충분히 반영하지 못했다는 한계가 있다. 따라서, 향후 연구에서는 정치적 신뢰, 경제 안정성, 국제관계 요인 등을 함께 고려하여 국가이미지와 소비자 행동 간 관계를 보다 종합적으로 규명할 필요가 있다. 이를 통해 위기 대응뿐 아니라 다양한 국가 역량이 소비자 인식과 제품 신뢰 형성에 미치는 다층적 영향을 보다 심도 있게 탐색할 수 있을 것이다.

## References

- Abdelzadeh A, Sedelius T. 2024. Building trust in times of crisis: A panel study of the influence of satisfaction with COVID-19 communication and management. *J Conting Crisis Manag* 279:33946-33957
- Abidin MRZ, Ishak FAC, Ismail IA, Juhari NH. 2020. Modern Malaysian cuisine: Identity, culture, or modern-day fad? *Int J Gastron Food Sci* 21:100220
- Ajzen I. 1991. The theory of planned behavior. *Organ Behav Hum Decis Process* 50:179-211
- Alessandro M. 2021. Transparency and trust in government. Evidence from a survey experiment. *World Dev* 138:105223
- Almli VL, Verbeke W, Vanhonacker F, Næs T, Hersleth M. 2011. General image and attribute perceptions of traditional food in six European countries. *Food Qual Prefer* 22: 129-138
- An SJ. 2019. A study on the effect of brand images and purchase intention about HMR selection attributes of university students. *J Korean Soc Foodserv Ind* 13:163-175
- Anholt S. 2011. Competitive identity. In: Morgan N, Prit A, Pride R (Eds.), *Destination Brand: Managing Place Reputation*. pp.21-32. Routledge
- Apeti AE. 2022. Does trust in government improve Covid-19's crisis management? *SN Soc Sci* 2:202
- Bao Y, Cheng X, Zarifis A. 2021. Exploring the impact of

- country-of-origin image and purchase intention in cross-border e-commerce. *J Glob Inf Manag* 30:1-20
- Bargain O, Aminjonov U. 2020. Trust and compliance to public health policies in times of COVID-19. *J Public Econ* 192:104316
- Cho KD, Kim JB. 2018. The effects of fairness Korea on social, economic, and political risk perception: A study on the interaction effect of generation divisions. *J Soc Sci* 25: 192-224
- Choi MK, Park ES, Kim MH. 2019. Home meal replacement use and eating habits of adults in one-person households. *Korean J Community Nutr* 24:476-484
- Choi YM, Jeong JY. 2020. The determinants of imported food purchase of muslim consumers in malaysia. *J Islamic Mark* 11:1539-1556
- Devine D, Gaskell J, Jennings W, Stoker G. 2021. Trust and the coronavirus pandemic: What are the consequences of and for trust? An early review of the literature. *Polit Stud* 19:274-285
- Esfandiar K, Hadinejad AH. 2025. A critical review of the theory of planned behaviour in tourism research. *Curr Issues Tour* 1-15
- Han JS, Lee HJ. 2017. Effects of corporate image on HMR brand image, HMR product attitude and HMR behavioral intention. *Culin Sci Hosp Res* 23:77-88
- Huang J, Yang ZJ. 2018. Risk, affect, and policy support: Public perception of air pollution in China. *Asian J Commun* 28:281-297
- Hwang SJ, Lee SM, Lee HI, Kim JG, Lee SH. 2021. Willingness to pay for bioplastic packaged home meal replacement. *J Agric Life Environ Sci* 33:25-41
- Ji Y, Han, J. 2022. Sustainable home meal replacement (HMR) consumption in Korea: Exploring service strategies using a modified importance - performance analysis. *Foods* 11:889
- Jung H, Song I. 2019. Effects of country image and brand image on purchasing intention. *Soc Converg Knowl Trans* 7:1-7
- Khaltar O, Kim TH, Moon MJ. 2019. A study on the risk society and future government capacity: Focusing on the impact of government agility, managerial capacity, and trust in government on risk perception. *J Gov Stud* 25:209-244
- Kim E. 2015. A social analysis of the limitation of governmental MERS risk communication. *Crisisonomy* 11:91-109
- Kim HK, Park GJ, Jung JS. 2018. Development of disaster response capability evaluation index. *Proceedings of the Korean Society of Disaster Information Conference* Seoul
- Kim KY, Feng L. 2019. The effects of Korean national image on product evaluation and purchasing intentions: Focused on cosmetic users of Chinese tourists. *J Tour Leis Res* 31: 97-114
- Korea Trade-Investment Promotion Agency. 2024. Malaysia's food exports in 2024, the VOC summary of the most vacant inquiries from our company. Available from [https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?CONTENTS\\_NO=1&MENU\\_ID=180&SITE\\_NO=3&bbsSn=243&pNttSn=222261](https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?CONTENTS_NO=1&MENU_ID=180&SITE_NO=3&bbsSn=243&pNttSn=222261) [cited 11 November 2025]
- Kye B, Hwang SJ. 2020. Social trust in the midst of pandemic crisis: Implications from COVID-19 of South Korea. *Res Soc Stratif Mobil* 68:100523
- Lazarus JV, Ratzan S, Palayew A, Billari FC, Binagwaho A, Kimball S, Larson HJ, Melegaro A, Rabin K, White TM, El-Mohandes A. 2020. COVID-SCORE: A global survey to assess public perceptions of government responses to COVID-19 (COVID-SCORE-10). *PLOS ONE* 15:e0240011
- Lee JE. 2023. The influence of national image on consumers purchase intention in India: Focusing on Korea and Japanese home appliance companies. *J South Asian Stud* 29:27-57
- Lee JH. 2021. A study on the national image, product image and purchase intention of foreign consumers' Korean Wave, Corona 19 response, and self-ethnicism. *J Trade Insur Finance* 22:91-116
- Lee YJ, Lee SB. 2008. The effects of globalization strategies of Korean food on country image, attitudes toward Korea, and purchase intention of Korean products. *J Hosp Tour Stud* 17:117-135
- Lee YK, Robb CA. 2019. The relationship of country image, product-country image, and purchase intention of Korean products: Focusing on differences among ethnic groups in South Africa. *J Korea Trade* 23:33-51
- Lee-Geiller S, Lee TD. 2022. How does digital governance contribute to effective crisis management? A case study of

- Korea's response to COVID-19. *Public Perform Manag Rev* 45:860-893
- Maher AA, Carter LL. 2011. The affective and cognitive components of country image: Perceptions of American products in Kuwait. *Int Mark Rev* 28:559-580
- Mallinson LJ, Russell JM, Barker ME. 2016. Attitudes and behaviour towards convenience food and food waste in the United Kingdom. *Appetite* 103:17-28
- Martin GJ. 2022. Political trust, legitimacy, and crisis governance. *Polit Stud Rev* 20:235-250
- Halima MH, Li Y, Ghani U, Kiani A, Cynthia A. 2021. Impact of online crisis response strategies on online purchase intention: The roles of online brand attitude and brand perceived usefulness. *SAGE Open* 11:1-14
- OECD. 2017. Trust and Public Policy: How Better Governance can Help Rebuild Public Trust. OECD
- Park MH, Kwon MW, Nah K. 2019. Study on repurchase intention of RTP HMR products: Focused on meal kit. *J Korea Content Assoc* 19:548-557
- Ra CI. 2018. The effects of selection attributes on attitude and repurchase intention for home meal replacement (HMR): Focused on moderating role of brand trust. *Culin Sci Hosp Res* 24:25-34
- Rha JY, Chun Y, Lee B, Ko J, Jang J, Won H. 2022. Consumers' attitudes and purchase behavior of HMR (home meal replacement) using locally sourced food. *J Food Prod Mark* 28:104-117
- Rieger MO, Wang M. 2022. Trust in government actions during the COVID-19 crisis. *Soc Indic Res* 159:967-989
- Roth KP, Diamantopoulos A. 2009. Advancing the country image construct. *J Bus Res* 62:726-740
- Shanka MS, Menebo MM. 2022. When and how trust in government leads to compliance with COVID-19 precautionary measures. *J Bus Res* 139:1275-1283
- Shim JS. 2022. COVID-19 pandemic and challenges to public policy: Revisiting Lasswell's 'policy science of democracy. *Korean Policy Stud Rev* 30:159-189
- Siegrist M, Zingg A. 2014. The role of public trust during pandemics: Implications for crisis communication. *Eur Psychol* 19:23-32
- Verlegh PWJ, Steenkamp JBEM. 1999. A review and meta-analysis of country-of-origin research. *J Econ Psychol* 20:521-546
- Wang CL. 2008a. Consumer attitudes towards foreign brands from emerging and developed countries. *Int Mark Rev* 25:134-153
- Wang J. 2008b. The power and limits of branding in national image communication in global society. *J Int Commun* 14:9-24
- Wodak R. 2021. Crisis communication and crisis management during COVID-19. *Glob Discourse* 11:329-353
- Wood S. 2022. How consumers behave in a crisis: International lessons (and innovations) from COVID-19. *J Int Mark* 30:5-12
- Wu C. 2021. Social capital and COVID-19: A multidimensional and multilevel approach. *Chin Sociol Rev* 53:27-54
- Yang DH. 2018. The effects of selection attributes for HMR on satisfaction and repurchase intention: Comparative analysis of convenience store and large market. *Culin Sci Hosp Res* 24:204-214
- Yang HS, Jin BE, Jung MJ. 2020. The influence of country image, the Korean Wave, and website characteristics on cross-border online shopping intentions for Korean cosmetics: Focusing on US and Chinese consumers. *Int J Costume Fash* 20:38-49

---

Received 20 November, 2025  
 Revised 17 December, 2025  
 Accepted 22 December, 2025

## 쪽파 뿌리 추출물의 항산화 및 항염증활성

이윤성 · 김지용\* · †서영호\*\*

나인헬스케어(주), \*(주)그린로드, \*\*원광보건대학교 식품영양학과

### Anti-Oxidant and Anti-Inflammatory Activities of *Allium wakegi* Araki Root Extract

Yun-Seong Lee, Ji yong Kim\* and †Young Ho Seo\*\*

Nain Healthcare Co., Ltd, Iksan 54613, Korea

\*Green Road Co., Ltd, Iksan 54576, Korea

\*\*Dept. of Food and Nutrition, Wonkwang Health Science University, Iksan 54538, Korea

#### Abstract

This study evaluated the antioxidant and anti-inflammatory effects of the hot-water extract of *Allium wakegi* Araki roots (ARE). The extract was prepared by reflux extraction, concentration, and freeze-drying. Total polyphenol content (TPC) was measured using the Folin - Ciocalteu method and antioxidant activity was assessed by the DPPH radical scavenging assay. ARE showed dose-dependent scavenging activity reaching  $62.26 \pm 0.95\%$  at 20 mg/mL. RAW 264.7 macrophages were used to examine anti-inflammatory activity. ARE did not exhibit cytotoxicity at concentrations  $\leq 100$   $\mu\text{g/mL}$ . Lipopolysaccharide (LPS)-induced nitric oxide (NO) production was significantly reduced by ARE in a dose-dependent manner with the highest inhibition observed at 100, 200  $\mu\text{g/mL}$ . qRT-PCR analysis revealed that ARE suppressed the mRNA expression of iNOS (Nos2) and COX-2 (Ptgs2). Western blot analysis further showed that ARE inhibited LPS-induced p-ERK phosphorylation and reduced the protein levels of iNOS and TNF- $\alpha$ . These results indicate that ARE possesses antioxidant capacity and effectively attenuates inflammation by inhibiting NO production, suppressing pro-inflammatory gene expression, and modulating MAPK signaling. Therefore, ARE may serve as a promising natural ingredient for functional foods targeting oxidative stress and inflammation.

Key words: *Allium wakegi* Araki root, anti-oxidant, anti-inflammatory, MAPK, RAW 264.7 cell

#### 서 론

최근 서구화된 식생활과 환경 변화는 비만, 당뇨병, 심혈관계 질환, 암 등 다양한 만성질환의 발병을 증가시키고 있으며, 이러한 질환의 공통된 병태생리 요인으로 만성 염증과 산화적 스트레스가 주목받고 있다(Young & Woodside 2001; Kim MK 2008). 염증 반응이 유도되면 대식세포와 같은 면역세포에서 nitric oxide(NO), prostaglandin E<sub>2</sub>(PGE<sub>2</sub>), Tumor necrosis factor- $\alpha$ (TNF- $\alpha$ ) 등 다양한 염증 매개물질이 분비되며, 이 과정은 주로 NF- $\kappa$ B 신호전달 체계의 활성화와 밀접하게 연관된다(Zhang 등 2015; Hwang 등 2021). 그람음성균의 내

독소인 lipopolysaccharide(LPS)는 TLR4를 매개로 I $\kappa$ B $\alpha$  인산화 및 분해를 유도하고, 핵 내로 전위된 NF- $\kappa$ B가 iNOS 및 COX-2 발현을 증가시켜 NO와 PGE<sub>2</sub> 생성이 증폭되는 것으로 알려져 있다(Zhang 등 2015; Lim & Lee 2020). 한편 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)은 세포 호흡 과정이나 외부 스트레스에 의해 생성되며, 과량 축적될 경우 DNA 손상, 지질과산화, 단백질 변성을 유도하여 염증반응과 조직손상을 악화시킨다(Young & Woodside 2001; Lee & Park 2020). DPPH, ABTS, hydroxyl radical 등의 라디칼 소거 활성과 total polyphenol, total flavonoid 함량은 이러한 산화적 스트레스를 완화할 수 있는 항산화 능력의 지표로 널리 사용된다

† Corresponding author: Young Ho Seo, Dept. of Food and Nutrition, Wonkwang Health Science University, Iksan 54538, Korea, Tel: +82-63-840-1254, E-mail: yhseo@wu.ac.kr

(Blois MS 1958; Schaich 등 2015). 그러나 기존의 합성 항염증제와 항산화제는 장기 섭취 시 위장 장애, 간·신장 독성 등 부작용이 보고되고 있어, 일상 식품 자원을 활용한 안전한 천연 항염증·항산화 소재 개발에 대한 요구가 증가하고 있다(Kim MK 2008; Lee & Park 2020).

*Allium* 속(파, 양파, 마늘, 부추, 삼채 등)에 속하는 채소류는 전통적으로 식용과 약용으로 이용되어 왔으며, 최근 다양한 품종에서 항산화, 항염증, 항암, 항비만 등의 생리활성이 보고되고 있다(Arulselvan 등 2012; Hwang 등 2021; Rocchetti 등 2022). 재래종 대파(*Allium fistulosum* L.)의 부위별 열수추출물 연구에서는 꽃, 줄기, 잎, 뿌리 열수추출물에서 total polyphenol 및 total flavonoid 함량, DPPH 및 ABTS radical 소거 활성,  $\alpha$ -glucosidase, tyrosinase, elastase 저해 활성 등을 평가한 결과, 뿌리와 줄기 부위가 높은 항산화 능력과 효소 저해 활성을 나타내어 기능성 소재로서의 활용 가능성이 제시되었다(Lee & Kim 2023). 이러한 결과는 *Allium* 속 식물의 지하부(root, bulb)가 폴리페놀 및 플라보노이드를 포함한 다양한 2차 대사산물을 풍부하게 함유하고 있으며, 이에 기반한 항산화·항염증 기전을 가질 수 있음을 시사한다(Nencini 등 2007; Han & Kim 2017). 특히 *Allium hookeri* 뿌리 추출물의 경우 높은 total polyphenol과 thiosulfinate 함량을 보였고, DPPH radical 소거 활성과 함께 LPS-자극 RAW 264.7 대식세포에서 NO 생성 및 iNOS, COX-2 발현을 유의적으로 억제하는 항염증 효과가 보고되었다(Zhang 등 2015). 또 일부 *Allium* 속 식물의 에탄올 또는 열수추출물은 *in vitro*에서 NF- $\kappa$ B 신호전달 경로를 조절하고, *in vivo*에서 대사질환 관련 지표를 개선하는 것으로 알려져 있어(Cha 등 2005; Lim & Lee 2020; Choi 등 2022), *Allium* 속 채소가 가지는 항산화·항염증 기능은 식이 기능성 소재로서 충분한 이론적 타당성을 지닌다. 쪽파(*Allium wakegi* Araki)는 우리나라에서 친숙한 채소로서 잎과 위경부는 식용으로 널리 소비되고 있으나, 뿌리부(root)를 이용한 항산화 및 항염증 기능 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 동일한 *Allium* 속에 속하는 대파, 부추, 삼채 등의 연구 결과를 고려할 때, 쪽파 뿌리 역시 폴리페놀, 플라보노이드 및 유기황화합물 등을 함유하고 있을 것으로 추정되며, 이들 성분은 ROS 제거, NF- $\kappa$ B 활성 조절, iNOS/COX-2 발현 감소를 통해 항염증 효과를 나타낼 수 있을 것으로 기대된다(Zhang 등 2015; Kim HS 2021; Lee & Kim 2023).

본 연구에서는 쪽파(*Allium wakegi* Araki) 뿌리 열수추출물(ARE)에 대한 DPPH radical 소거 활성 및 총 폴리페놀 함량

을 통해 항산화 활성을 평가하고, RAW 264.7 대식세포에서 세포독성, LPS-유도 NO 생성억제효과 및 항염증지표에 대한 단백질 분석함으로써 쪽파 뿌리 열수추출물의 항산화 및 항염증 소재로서의 활용 가능성을 규명하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 시료추출 및 고형분 함량 측정

본 실험에 사용한 재료는 충남 예산에서 10월에 재배한 쪽파(*Allium wakegi* Araki)의 뿌리를 사용하였으며, 수확된 쪽파 뿌리는 부착된 토양 및 이물질을 제거하기 위해 흐르는 수도물로 2회 세척한 후, 증류수로 1회 추가 세척하였다. 세척된 시료는 체에 받쳐 자연 배수하여 표면의 수분을 제거한 뒤, 자연건조하여 물기를 제거하였다. 쪽파 뿌리 40 kg의 1:1에 해당하는 물 40 L를 가하여 95°C에서 8시간 동안 환류 추출하여 쪽파뿌리 열수추출물(*Allium wakegi* Araki root extract, ARE)을 얻었다. 추출물을 필터 페이퍼(Advantech, Tokyo, Japan)로 감압 여과 후 여액을 감압 농축기(Rotary Evaporator, Hahnshin, Bucheon, Korea)를 사용하여 농축하였다. 농축액을 초저온 냉동고(SANYO, Osaka, Japan)에서 24시간 동결시킨 후 동결건조(FDU-8606, Operon, Gimpo, Korea)하여 쪽파뿌리 열수추출물 1,160 g(2.90%)을 수득하였다.

ARE의 고형분 함량은 추출액 5 mL를 취하여 105°C의 건조 오븐에서 무게 변화가 없을때까지 건조한 뒤 잔류물 무게를 측정하여 산출하였다. 모든 측정은 3회의 반복 실험을 통해 평균값과 표준편차를 표시하였다.

### 2. DPPH 라디칼 소거활성

DPPH 자유라디칼 소거활성은 Faller & Fialho(2010)의 방법을 이용하여 측정하였다(Faller & Fialho 2010). DPPH는 80% MeOH에 400  $\mu$ M로 용해하였고, 시료를 20, 10, 5, 2.5, 1.25, 0.625 mg/mL농도로 3차 증류수에 녹여 사용하였다. 시료 0.3 mL와 400  $\mu$ M DPPH 용액 2.7 mL를 혼합한 뒤 15분간 반응시킨 후 ELISA reader(SPECTRA max M2, St. Molecular Devices Co, CA, USA)를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하여 계산식을 이용해 소거 활성을 계산하였다. 시료 첨가군과 비첨가군의 흡광도 차이를 백분율(%)로 환산하여 나타내었다. 고농도에서 항산화 활성 및 라디칼 소거능이 증가하는 경향은 일반적으로 예상될 수 있으나, 농도 의존적 분석을 통해 시료의 반응 양상과 유효 농도 범위를 규명하는 것

을 목적으로 수행하였다. 식물 추출물의 항산화 반응은 반드시 선형적으로 증가하지 않으며, 특정 농도 이후 포화 또는 완만한 증가 양상을 나타내는 경우도 다수 보고되어 있다 (Schaich 등 2015). 또한, 농도 의존적 결과는 추출물의 상대적 항산화 효율을 비교하거나 IC<sub>50</sub> 산출을 가능하게 하여, 기능성 소재로서의 활용 가능성과 적정 적용 농도를 판단하는 데 중요한 근거를 제공한다(Blois MS 1958; Faller & Fialho 2010). 이러한 이유로 본 연구에서는 쪽파 뿌리 열수추출물의 항산화 특성을 보다 명확히 규명하기 위해 농도별 분석을 수행하였다.

#### DPPH Radical scavenging activity (%)

$$= \text{Blank (Abs)} - \text{Sample (Abs)} / \text{Blank (Abs)} \times 100$$

### 3. 총 폴리페놀 함량 측정(total polyphenol content, TPC)

총 폴리페놀 함량은 Folin - Ciocalteu 방법을 변형하여 분석하였다(Folin & Denis, 1912). 동결건조 시료를 농도별로 녹인 용액 0.2 mL에 증류수 1.8 mL를 혼합한 후 Folin-Ciocalteu reagent 시약(2 N) 0.2 mL를 첨가하여 실온에서 5분간 반응시켰다. 이후 20% sodium carbonate 용액 2 mL를 가하고 빛을 차단한 조건에서 60분간 발색을 유도하였다. 반응이 완료된 혼합물의 흡광도는 ELISA 리더기(SpectraMax M2, Molecular Devices, CA, USA)를 이용하여 750 nm에서 측정하였다. 정량은 gallic acid 표준 곡선을 이용하여 계산하고, 총 폴리페놀 함량은 gallic acid를 표준물질로 한 gallic acid equivalent(GAE)로 환산되어 mg GAE/g extract로 나타내었다.

### 4. 세포배양

RAW 264.7 마우스 유래 대식세포는 10% FBS와 penicillin - streptomycin을 함유한 DMEM 배지를 사용하여 37°C, 5% CO<sub>2</sub> 조건에서 배양하였다. 세포는 70% 정도의 밀도로 자랐을 때 계대 배양하였으며, 모든 실험은 동일한 조건에서 4회 이내 계대된 세포를 사용하였다. 배양 과정 전반에서 배지는 phenol red가 포함된 DMEM을 사용하였고, 세포 생존성을 유지하기 위하여 배지 교환은 최소화하였다.

### 5. 세포생존율 측정

RAW 264.7 세포는 96-well plate에 well당 1×10<sup>5</sup> cells가 되도록 분주한 후 24시간 안정화시켰다. 이어서 ARE를 농도별로 처리 후 24시간 배양하였다. 세포 생존율은 MTS 기반 Cell Proliferation Assay Kit(Promega, USA)를 사용하여 제조사의

지침에 따라 반응시킨 뒤, 490 nm에서 흡광도를 측정하였다.

### 6. NO 생성 억제량 측정

RAW 264.7 세포 5×10<sup>5</sup> cells/mL에 ARE를 농도별로 처리하고 1시간 후 1 µg/mL LPS를 처리한 다음 24시간 배양하였다. 생성된 NO양은 Griess 시약 [1%(w/v) sulfanilamide in 5%(v/v) phosphoric acid, 0.1%(w/v) naphylethylenediamine]을 이용하여 NO량을 간접적으로 측정하였다. 세포배양 상등액 100 µL와 0.1 mM Griess 시약 100 µL의 1:1로 혼합하여 96 well plate에 10분간 반응시킨 후 ELISA 리더기(Molecular Devices)로 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 생성된 NO양은 NaNO<sub>2</sub>를 표준물질로 비교하였다. NO 생성 억제량은 ARE를 농도별 처리 후 LPS를 처리하여 측정된 실험군의 흡광도 값에서 ARE를 각각 농도별로 처리하고 LPS를 처리하지 않는 대조군과의 흡광도 값(O.D)의 차를 구하여 계산하였다.

$$\text{NO inhibition (\%)} = (\text{LPS} - \text{ARE} / \text{LPS}) \times 100$$

### 7. Quantitative real-time PCR(qRT-PCR) 분석

RAW264.7 세포를 6-well plate에 well당 5×10<sup>5</sup> cells가 되도록 2 mL씩 분주하였다. 이후 추출물을 50, 100, 200 µg/mL 농도로 1시간 동안 전처리한 뒤, LPS(1 µg/mL)를 첨가하여 24시간 동안 배양하였다. 배양이 완료된 세포는 PBS로 세척한 후 Trizol reagent를 이용하여 총 RNA를 분리하였다. 추출된 RNA는 흡광도(A260/280 ratio)로 순도 확인 후 RNase-free water에 용해하여 사용하였으며, 제조사의 지침에 따라 cDNA 합성을 수행하였다. 합성된 cDNA는 SYBR Green qPCR master mix(Biofact, Daejeon, Korea)와 각 유전자 특이적 primer를 혼합하여 real-time PCR을 진행하였다(Table 1). iNOS(Nos2)와 COX-2(Ptgs2)의 증폭은 다음 조건으로 수행하였다. 초기 변성은 95°C에서 5분 동안 진행하였고, 이어서 95°C 10초와 60°C 40초의 조건으로 총 40 cycles 증폭하였다

### 8. Western blot analysis

Western blot 분석을 위해 RAW264.7 세포를 6-well plate에 well당 5×10<sup>5</sup> cells가 되도록 분주하였다. 이후 시료를 50, 100, 200 µg/mL 농도로 1시간 동안 전처리(pre-treatment)한 뒤, 1 µg/mL의 LPS를 첨가하여 24시간 동안 배양하였다. 배양이 끝난 세포는 PBS로 세척한 후 RIPA buffer를 이용하여 단백질을 추출하였다. 단백질 농도는 Bradford protein assay reagent(Sigma-Aldrich Co.)를 사용하여 정량하

Table 1. PCR primer sets used in the experiment

Primer		Sequence (5' → 3')
iNOS	Forward	AGGCAGAGGTTTGTGCTTG
	Reverse	CATTGGAAGTGAAGCGTTTC
COX-2	Forward	TGATCTACCCAACAGTCCAC
	Reverse	GCTCCTGCTTGTCTGATAGC
GAPDH	Forward	AGGTCGGTGTGAACGGATTG
	Reverse	TGTAGACCATGTAGTTGAGGTC

였다. 동일농도의 단백질을 10% SDS - polyacrylamide gel에서 전기영동으로 분리한 뒤, PVDF membrane으로 전이하였다. 전이된 membrane은 TBS-T에 용해된 5% skim milk로 실온에서 1시간 동안 차단하였다. 이후 p-ERK, iNOS, TNF- $\alpha$ (rabbit, 1:1,000) 및  $\beta$ -actin(mouse, 1:2,000)의 발현을 확인하기 위해 해당 1차 항체와 4°C에서 하룻밤 동안 반응시켰다. 다음날 TBS-T로 세척 후 rabbit용 HRP-conjugated 2차 항체와 mouse용 HRP-conjugated 2차 항체(각 1:3,000)를 각각 사용하여 실온에서 1시간 동안 반응시켰다. 단백질 신호는 EzWestLumi plus(ATTO, Tokyo, Japan)로 현상하였으며, ChemiDoc 시스템(LuminoGraph, ATTO)을 이용해 촬영하였다. 각 밴드의 밀도는 ImageJ software(NIH, USA)를 사용하여 정량하였고,  $\beta$ -actin을 내부 대조군으로 처리하였다.

## 9. 통계처리

본 실험에 얻어진 결과는 SPSS(Statistical Package for the Social Science) version 12.0(IBM, Cambridge, USA) 프로그램을 이용하여 분석하였다. 각 실험군은 one-way ANOVA로 유의성을 확인하였으며  $p < 0.05$  수준에서 Duncan's multiple test를 이용하여 시료간 유의 차이를 비교하였다. 또한, 실험에 따라 일원 분산분석(one-way ANOVA)으로 검정한 후, LPS 처리군을 기준으로 Dunnett 사후 검정을 수행하여 각 처리군 간 유의차를 확인하였다. 통계적 유의수준은  $p < 0.05$ 로 설정하였다. 모든 결과값은 평균(mean)±표준편차(standard deviation, S.D.)로 표시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 쪽파 뿌리 추출물의 고형분 함량 측정 결과

ARE의 브릭스(°Brix)는  $2.3 \pm 0.0$ 으로 확인되었으며, 가용성 고형분 역시  $2.0 \pm 0.0$ 으로 측정되었다(Table 2). 브릭스 및 가용성 고형분은 추출물 내 당류, 유기산 및 일부 수용성 무기 성분 등 수용성 성분의 총량을 반영하는 지표로서 식물 추출

Table 2. Soluble solid and Brix of ARE

Material	°Brix	Soluble solid (%)
ARE	$2.3 \pm 0.0$	$2.0 \pm 0.0$

물의 조성 특성 평가에 널리 활용된다(Benkeblia N. 2010). 그러나 이러한 지표는 생리활성 성분의 절대적 함량이나 항산화·항염증 효과의 크기를 직접적으로 반영하지는 않는 것으로 보고되어 있다(Schaich 등 2015). 특히, *Allium* 속 식물의 지하부는 폴리페놀 및 유기황 화합물과 같은 비당성 생리활성 성분이 주요 기능성 물질로 작용하며, 이들 성분은 비교적 저농도에서도 유의한 생리활성을 나타낼 수 있음이 알려져 있다(Benke 등 2025; Lanzotti V 2006). 본 연구에서 관찰된 낮은 Brix 및 가용성 고형분 값은 열수추출 과정에서 다량의 당류가 용출되지 않았음을 의미하며, 이는 총 폴리페놀 함량 증가, DPPH 라디칼 소거능 및 항염증 지표 억제 효과와 함께 고려할 때, 쪽파 뿌리 열수추출물에 생리활성 성분이 선택적으로 용출되었을 가능성을 시사한다. 또한, 낮은 브릭스 값은 열수추출물 내에서 allyl sulfide, S-alk(en)yl-L-cysteine sulfoxide 등과 같은 비당성 생리활성 물질이 주요 구성 성분으로 존재함을 반영할 수 있으며(Martins 등 2016), 이러한 연구들을 종합할 때, 본 연구에서 관찰된 ARE의 고형분 구성은 항산화 활성과 밀접한 연관성을 가지며, 총 고형분 함량이 낮더라도 생리활성 성분의 선택적 용출이 항산화 효과 발현에 중요한 역할을 한 것으로 판단된다.

### 2. DPPH radical 소거능 측정 결과

항산화능을 확인하는 방법 중의 하나인 환원력은 철 이온을  $Fe^{+++}$ 에서  $Fe^{++}$ 로 환원시키는 강도가 클수록 환원력 즉 항산화능이 강하다고 판단하며 발색의 정도로 측정할 수 있다(Yildirim 등 2001). DPPH 라디칼 소거능을 측정한 결과는 다음과 같다. ARE는 농도 의존적으로 DPPH 라디칼 소거능이 증가하는 경향을 나타내었으며, 최고 농도인 20 mg/mL ( $62.26 \pm 0.95\%$ )에서 가장 높은 항산화 활성이 관찰되었다(Table. 3). 이는 쪽파 뿌리에 존재하는 다양한 페놀성 화합물과 유기황 화합물이 수소 공여능을 제공하여 자유라디칼을 안정화시키는 작용 때문으로 판단된다. 특히, *Allium* 속 식물에 풍부한 flavonol 계열 성분은 전자 전달 능력이 우수한 것으로 보고되어 있으며, 이러한 구조적 특성이 DPPH의 환원 반응에 기여한 것으로 해석된다(Griffiths 등 2002; Lanzotti V 2006; Corzo-Martínez 등 2007).

**Table 3. DPPH radical scavenging activity of ARE**

Variables	ARE (mg/mL)					
	20	10	5	2.5	1.25	0.625
DPPH radical scavenging activity (%)	62.4±1.2***	45.8±1.0***	31.6±0.9**	20.4 ±0.7**	12.1±0.6*	10.1±0.5

Values are presented as mean±SD (n=3). Statistical significance was analyzed by one-way ANOVA followed by Dunnett's multiple comparison test using the blank group as the control. \* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$ , \*\*\* $p<0.001$  vs. blank.

### 3. 총폴리페놀 함량 측정결과

식물 유래의 플라보노이드, 토코페놀, 카로티노이드 및 폴리페놀계 등의 생리활성 물질은 천연 항산화제로 널리 알려져 있다(Cha & Cho 2001). ARE의 총 폴리페놀 함량을 측정 한 결과는 다음과 같다. ARE의 총 폴리페놀 함량은 농도 의 존적으로 증가하였으며, 시료 농도에 따라 각각 1.54±0.02 및 3.40±0.12 mg GAE/g으로 나타났다(Table. 4). 기존 연구에 따 르면 폴리페놀 함량의 증가는 DPPH 라디칼 소거능과 밀접 한 상관관계를 나타내는 경우가 많으며, 폴리페놀의 수소 공 여 능력과 전자 전달 능력에 기인하는 것으로 보고되어 있다 (Blois MS 1958; Schaich 등 2015). 특히, *Allium* 속 식물의 경 우, 뿌리 및 지하부에 폴리페놀과 유기황 화합물이 공존하여 항산화 활성이 증대될 수 있음이 보고된 바 있으며(Nencini 등 2007; Rocchetti 등 2022), 본 연구에서의 결과와 유사하게 ARE의 폴리페놀 함량 증가는 이후 확인된 DPPH 라디칼 소 거능 결과와도 일관된 경향을 나타낸다. 이는 쪽파 뿌리 열 수추출물에 폴리페놀계 화합물이 효과적으로 포함되어 있음 을 시사하며, ARE에 함유된 폴리페놀 성분은 항산화 활성 발현에 중요한 기여 인자로 작용하는 것으로 판단된다.

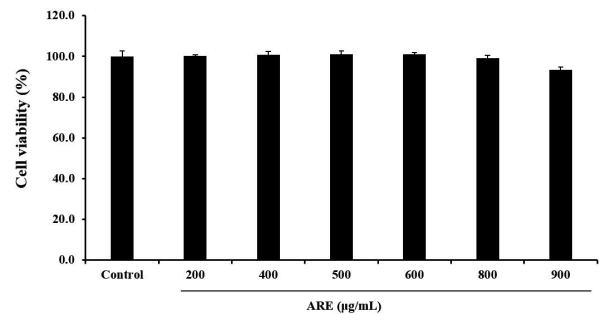
### 4. RAW264.7 세포의 생존율에 미치는 영향

ARE의 세포독성을 알아보기 위하여 RAW264.7 세포에 ARE를 각각 농도별로 24시간 처리한 다음 MTS 기반 Cell Proliferation Assay를 이용하여 세포 생존율을 측정 한 결과는

다음과 같다(Fig. 1). ARE 처리 농도에 따른 RAW264.7 세포 의 생존율을 확인한 결과 모든 농도군에서 세포 생존율은 약 95~101% 범위로 유지되어 대조군과 비교해 유의한 감소가 관찰되지 않았다. 특히, 가장 높은 농도인 900 µg/mL에서도 생존율이 약 93% 수준으로 세포독성이 매우 낮은 수준임을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 *Liriope platyphylla* 열처리 추출물이 100 µg/mL 이하에서 독성이 없었다고 보고한 연구 와 유사한 경향을 보였다(Kim 등 2012).

### 5. NO 생성량 측정결과

Nitric oxide(NO)는 활성 질소종(reactive nitrogen species)의



**Fig. 1. Effect of ARE on viability of RAW264.7 cells.** RAW264.7 cells were treated with indicated concentrations of ARE. Data are expressed as mean±SD (n=3).

**Table 4. Total polyphenol of ARE**

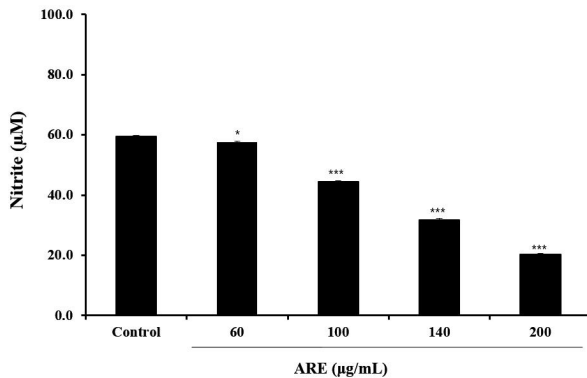
Variables	ARE (mg/mL)					
	20	10	5	2.5	1.25	0.625
Total polyphenol (mg GAE/g extract)	506.9±1.4***	309.4±0.6***	159.7±0.5***	73.0±0.3***	26.2±0.0**	4.2±0.0

Values are presented as mean±SD (n=3). Statistical significance was analyzed by one-way ANOVA followed by Dunnett's multiple comparison test using the blank group as the control. \* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$ , \*\*\* $p<0.001$  vs. blank.

하나이며, 일반적으로 종양을 제거하는 면역반응에 관여하지만 과량 존재할 경우 인체에 염증 반응을 조절하여 다양한 병리적인 반응을 유도한다(Rahat & Hemmerlein 2013). RAW264.7 세포에서 ARE의 NO 생성량을 측정된 결과, LPS 처리 시 대조군에서 NO 생성량이 크게 증가하였으나, ARE를 동시 처리한 군에서는 농도 의존적으로 NO 생성량이 감소하였다(Fig. 2). 특히 100  $\mu\text{g/mL}$  농도에서 가장 높은 억제 효과를 나타내었으며, 이는 *Allium* 속 식물의 유기황(sulfur) 화합물과 폴리페놀류가 iNOS의 발현을 조절한다는 기존 보고와 일치한다(Griffiths 등 2002). 한편, Kim 등(2012)은 *Liriope platyphylla*를 100°C에서 2시간 동안 끓는 물로 추출한 열수추출물을 RAW 264.7 대식세포에 최대 200  $\mu\text{g/mL}$  농도까지 처리하였을 때 세포 생존을 감소가 나타나지 않은 연구와 유사하게 나타내었다(Kim 등 2012).

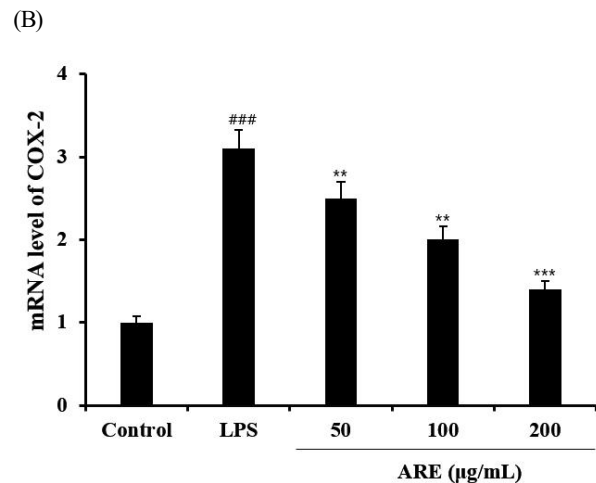
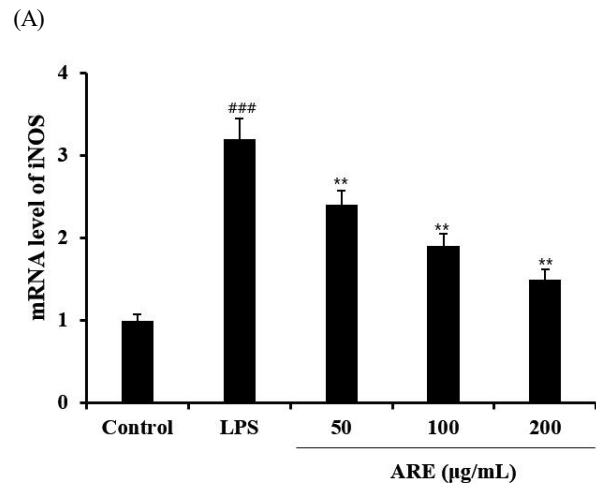
#### 6. ARE의 iNOS(Nos2) 및 COX-2(Ptgs2) mRNA 발현 감소 효과

ARE에 대한 qRT-PCR 분석 결과는 다음과 같다(Fig. 3). LPS 처리로 인해 iNOS(Nos2)와 COX-2(Ptgs2) mRNA 발현이 대조군에서 크게 증가하여 염증 반응이 유도되었음을 확인



**Fig. 2. Effects of ARE on NO production in LPS-stimulated RAW264.7 cells.** Cells were pre-incubated for 24 h with medium or ARE at indicated doses, and then stimulated with 1  $\mu\text{g/mL}$  for 24 h (nitrite assay; upper panel). Griess assay for NO production were carried out as mentioned in Materials and Methods. Values are expressed as mean $\pm$ SD (n=3). Statistical analysis was performed using one-way ANOVA followed by Dunnett's multiple comparison test. \* $p<0.05$ , \*\*\* $p<0.001$  vs. LPS.

하였다. 반면, ARE를 동시 처리한 군에서는 모든 농도에서 두 유전자의 발현이 LPS군 대비 감소하는 경향을 나타냈다. 특히, iNOS 발현은 ARE 처리 농도 증가에 따라 점진적으로 감소하였으며, 고농도 처리군에서 가장 큰 억제 효과를 보였으며, COX-2 발현 역시 ARE 존재 시 LPS 단독 처리군보다 낮은 발현 수준을 나타냈으며, 농도 의존적 감소가 나타났다. LPS에 의해 활성화된 RAW 264.7 대식세포에서는 TLR4



**Fig. 3. Effect of ARE on LPS-induced (A) iNOS (Nos2) and (B) COX-2 (Ptgs2) mRNA expression.** Values are expressed as mean $\pm$ SD (n=3). Statistical analysis was performed using one-way ANOVA followed by Dunnett's multiple comparison test. ### $p<0.001$  vs. control (LPS effect); \* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$ , \*\*\* $p<0.001$  vs. LPS.

수용체를 통해 MAPK(ERK, JNK, p38) 및 NF-κB 신호전달 경로가 활성화되며, 이는 iNOS 및 COX-2 유전자 발현 증가와 NO 및 염증성 사이토카인 생성으로 이어지는 것으로 알려져 있다(Guha & Mackman 2001). 특히 ERK 인산화는 iNOS 전사 활성화와 밀접하게 연관되어 있으며, ERK 신호 억제는 NO 생성 및 염증 반응 감소로 이어진다고 보고되어 있다(Kaminska 2005). 이는 ARE는 LPS로 활성화된 RAW264.7 세포에서 iNOS 및 COX-2의 전사 수준을 조절함으로써 염증 매개 인자의 발현을 효과적으로 억제하는 것으로 사료된다.

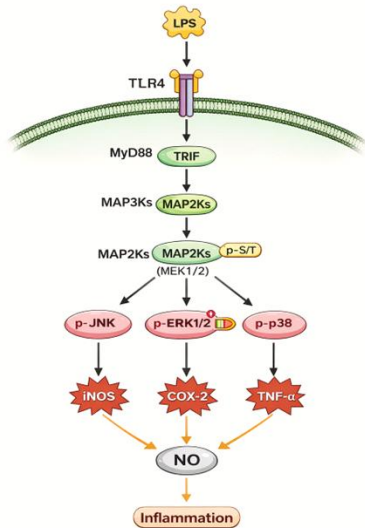
**7. ARE가 LPS로 유도된 RAW 264.7 세포의 MAPK 인산화에 미치는 영향**

다양한 식물 유래 폴리페놀 및 유기황 화합물은 MAPK 신호전달 경로를 조절함으로써 염증성 유전자 발현을 억제하는 것으로 보고되어 있다(Surh 등 2001; Kim 등 2012). LPS는 TLR4를 통해 MAPK(ERK, JNK, p38) 신호를 활성화하고, 이는 염증성 사이토카인 및 iNOS 발현을 유도하는 핵심 경로로 알려져 있다(Fig. 4)(Zhang 등 2015; Hwang 등 2021). LPS 자극에 의해 RAW 264.7 세포에서 p-ERK의 인산화 수준이 증가하였으며, ARE 처리에 따라 단백질의 인산화를 농도 의존적으로 감소하는 경향을 보였다(Fig. 5). 특히 200 µg/mL 처리군에서 p-ERK 발현이 유의적으로 감소하였으며( $p < 0.01$ ),

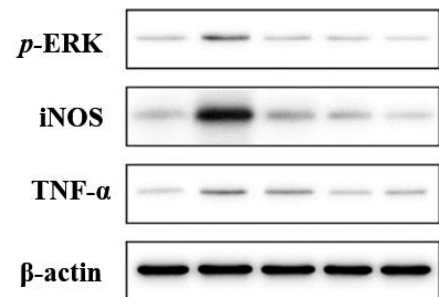
iNOS와 TNF-α 역시 LPS 단독 처리군 대비 억제 효과를 나타냈다( $p < 0.05$ ). 인산화 감소가 ARE의 특이적 억제 효과임을 확인하였다. iNOS 단백질 발현 역시 ARE 처리에 의해 유의적으로 억제되었다( $p < 0.01$ ). 이러한 결과는 ARE가 염증 반응에 중요한 iNOS 단백질의 발현을 감소시키는 항염증 효과를 나타내고 있음을 증명한다.

**요약 및 결론**

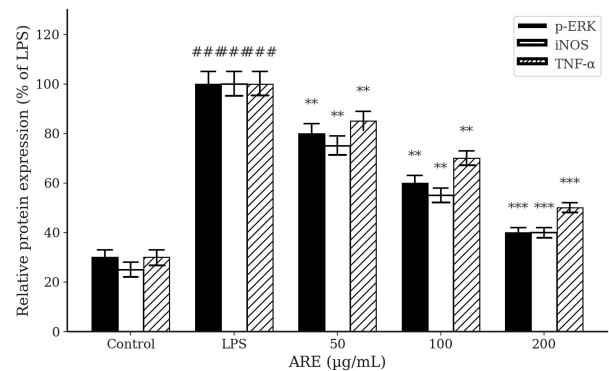
본 연구에서는 쪽파(*Allium wakegi* Araki) 뿌리 열수추출물 (ARE)의 항산화 및 항염증 활성에 대해 체계적으로 평가하였다. ARE는 총 폴리페놀 함량 증가와 함께 농도 의존적인 DPPH 라디칼 소거능을 나타내어 우수한 항산화 활성을 보



**Fig. 4. LPS-induced MAPK signaling pathway in RAW 264.7 macrophages**



LPS (1µg/mL)	-	+	+	+	+
ARE (µg/mL)	-	+	50	100	200



**Fig. 5. Effect of ARE on LPS-induced p-ERK, iNOS and TNF-α protein expression in RAW 264.7 cells.** Values are expressed as mean±SD (n=3). Statistical analysis was performed using one-way ANOVA followed by Dunnett’s multiple comparison test. #### $p < 0.001$  vs. control (LPS effect); \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$  vs. LPS.

였다. RAW 264.7 대식세포에서 ARE는 100 µg/mL 이하 농도에서 세포독성이 관찰되지 않아 안전성이 확인되었다. 또한, LPS로 유도된 RAW 2,647.7 cell에서 NO 생성이 유의적으로 억제되었으며, iNOS(Nos2)와 COX-2(Ptgs2) mRNA 발현이 감소하였다. Western blot 분석 결과, ARE는 LPS에 의해 활성화된 p-ERK 단백질의 인산화를 억제하고 iNOS 및 TNF-α 단백질 발현을 감소시켰다. 이러한 결과는 ARE가 MAPK 신호전달 경로 조절을 통해 염증 반응을 효과적으로 억제함을 시사한다. 종합적으로, ARE의 항산화 활성은 염증 매개 인자의 발현 억제와 밀접하게 연관되어 나타난 것으로 해석된다. 특히 열수추출이라는 친환경 공정을 통해 제조 가능하다는 점에서 산업적 활용 가능성도 높다. 따라서 ARE는 농업 부산물의 고부가가치화를 실현할 수 있는 유망한 천연 항염증 소재로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2025년도 원광보건대학교 교내 연구비의 지원을 받아 수행한 연구결과의 일부로, 이에 감사드립니다.

## References

- Arulselvan P, Wen CC, Lan CW, Chen YH, Wei WC, Yang NS. 2012. Dietary administration of scallion extract effectively inhibits colorectal tumor growth: Cellular and molecular mechanisms in mice. *PLOS One* 7:e44658
- Benke AP, Mokat D, Mahajan V. 2025. Biochemical diversity in *Allium* species: key metabolite profiles for breeding and bioprospecting. *Frontiers in Plant Science* 16:1618572
- Benkeblia N. 2010. The world of edible Alliaceae. In: Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Agricultural Sciences. EOLSS Publishers
- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181:1199-1200
- Cha JY, Cho YS. 2001. Antioxidative activity of extracts from fruit of *Cudrania tricuspidata*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30:547-551
- Choi YY, Lee HS, Baik SY, Lim S, Jung HW, Kang SY, Park YK. 2022. Anti-obesity effects and regulation of energy metabolism in skeletal muscle tissues of *Allium Fistulosum Bulbus* extract in high-fat diet-induced obesity mice. *J Korean Med Obes Res* 22:102-114
- Corzo-Martínez M, Corzo N, Villamiel M. 2007. Biological properties of onions and garlic. *Trends Food Sci Technol* 18:609-625
- Cha HS, Seong KS, Kim SH, Seo JW, Park SJ, Kim SI, Lee KW, Yoon SR, Han DU. 2005. Protective effects of welsh onion (*Allium fistulosum* L.) on drug-induced hepatotoxicity in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34:1344-1349
- Faller ALK, Fialho E. 2010. Polyphenol content and antioxidant capacity in organic and conventional plant foods. *J Food Compos Anal* 23:561-568
- Folin O, Denis W. 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem* 12:239-243
- Griffiths G, Trueman L, Crowther T, Thomas B, Smith B. 2002. Onions: A global benefit to health. *Phytother Res* 16:603-615
- Guha M, Mackman N. 2001. LPS induction of gene expression in human monocytes. *Cell Signal* 13:85-94
- Han IH, Kim JH. 2017. Antioxidant and physiological activities of water and ethanol extracts of diverse parts of welsh onion. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 46:426-434
- Hwang EJ, Lee YG, Lee HJ, Cho JY, Moon JH. 2021. Major constituents and antioxidant activities of domestic onion (*Allium cepa* L.) cultivars. *Korean J Food Sci Technol* 53:434-445
- Kaminska B. 2005. MAPK signalling pathways as molecular targets for anti-inflammatory therapy—from molecular mechanisms to therapeutic benefits. *Biochim Biophys Acta* 1754:253-262
- Kim HK, Lee JY, Han HS, Kim YJ, Kim HJ, Kim YS, Kim HM, Ko SG, An HJ, Lee YJ, Park W. 2012. Immunomodulatory effects of *Liriope platyphylla* water extract on lipopolysaccharide-activated mouse macrophage. *Nutrients* 4:1887-1897
- Kim HS. 2021. Physiological activities of ethanol extract of *Allium tuberosum* root. *Korean J Food Sci Technol* 53:160-164
- Kim MK. 2008. Antioxidative and biological activities of

- Santalum album* extracts by extracting methods. *Korean J Food Preserv* 15:456-460
- Lanzotti V. 2006. The analysis of onion and garlic. *J Chromatogr A* 1112:3-22
- Lee HJ, Kim AJ. 2023. Evaluation of physiological activity of traditional Welsh onion (*Allium fistulosum* L.). *Asian J Beauty Cosmetol* 21:453-464
- Lee JH, Park JS. 2020. Antioxidant effect of traditional food ingredient. *J Korea Converge Soc* 11:309-314
- Lim S, Lee JA. 2020. Antioxidant activity and anti-inflammatory effects of ethanol extract from *Allium schoenoprasum*. *J Converge Inf Technol* 10:232-239
- Martins N, Petropoulos S, Ferreira ICFR. 2016. Chemical composition and bioactive compounds of garlic (*Allium sativum* L.) as affected by pre- and post-harvest conditions: A review. *Food Chem* 211:41-50
- Nencini C, Cavallo F, Capasso A, Franchi GG, Giorgio G, Micheli L. 2007. Evaluation of antioxidative properties of *Allium* species growing wild in Italy. *Phytother Res* 21: 874-878
- Rahat MA, Hemmerlein B. 2013. Macrophage - tumor cell interactions regulate the function of nitric oxide. *Front Physiol* 4:144
- Rocchetti G, Zhang L, Bocchi S, Giuberti G, Ak G, Elbasan F, Yildiztugay E, Ceylan R, Picot-Allain MCN, Mahomoodally MF, Lucini L, Zengin G. 2022. The functional potential of nine *Allium* species related to their untargeted phytochemical characterization, antioxidant capacity and enzyme inhibitory ability. *Food Chem* 368:130782
- Schaich KM, Tian X, Xie J. 2015. Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy: A critical evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC assays. *J Funct Foods* 14: 111-125
- Surh YJ, Chun KS, Cha HH, Han SS, Keum YS, Park KK, Lee SS. 2001. Molecular mechanisms underlying chemopreventive activities of anti-inflammatory phytochemicals: Down-regulation of COX-2 and iNOS through suppression of NF- $\kappa$ B activation. *Mutat Res* 480:243-268
- Yildirim A, Mavi A, Kara AA. 2001. Determination of antioxidant and antimicrobial activities of *Rumex crispus* L. extracts. *J Agric Food Chem* 49:4083-4089
- Young IS, Woodside JV. 2001. Antioxidants in health and disease. *J Clin Pathol* 54:176-186
- Zhang C, Tong T, Kim CK, Liu Y, Seo HJ, Kim BS, Kang SG. 2015. Antioxidant and anti-inflammatory properties of extracts from *Allium hookeri* root. *Korean J Food Preserv* 22:867-877

---

Received 03 December, 2025

Revised 17 December, 2025

Accepted 24 December, 2025

## Nutritional Perspectives on Amyloid Beta-Mediated Beta Cell Viability

Eun-Young Park and <sup>†</sup>Yoon Sin Oh\*

*Professor, College of Pharmacy and Natural Medicine Research Institute, Mokpo National University, Mokpo 58645, Korea*

*\*Professor, Dept. of Food and Nutrition, Eulji University, Seongnam 13135, Korea*

### Abstract

Amyloid beta (A $\beta$ ) peptides, known for their involvement in neurodegenerative diseases like Alzheimer's, have recently been recognized as significant contributors to metabolic disorders, including type 2 diabetes. This study examined the effects of A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42 peptides on cell viability and glucose-stimulated insulin secretion in rat insulinoma (INS-1) cells. A $\beta$ 40 treatment demonstrated no significant toxicity at lower concentrations; however, it did reduce cell viability at higher concentrations and with prolonged exposure. Conversely, A $\beta$ 42 exhibited notable cytotoxicity even at lower concentrations within 24 hours. The combined treatment of A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42 at a 10:1 ratio further accelerated the decline in cell viability, indicating a synergistic toxic effect. Importantly, A $\beta$ 40/42 treatment did not impair glucose-stimulated insulin secretion in INS-1 cells under the conditions tested. These findings suggest that A $\beta$  peptides may contribute to  $\beta$ -cell loss in type 2 diabetes through their cytotoxic effects, although the direct impact on insulin secretion requires further study. Nutritional interventions aimed at reducing A $\beta$  aggregation and associated oxidative stress could offer promising strategies to protect  $\beta$ -cell viability, warranting further research to clarify the underlying mechanisms of such dietary modulation.

Key words: beta-cells, amyloid beta, cell viability, type 2 diabetes, nutritional intervention

### Introduction

A growing body of evidence indicates a significant association between diabetes mellitus, particularly type 2 diabetes (T2DM), and Alzheimer's disease (AD). Epidemiological studies have demonstrated that individuals with diabetes are at an increased risk for developing AD, with some reports indicating up to a one-third or even 65% higher risk compared to non-diabetic populations (Kciuk et al. 2024; Bloomgarden Z 2025). This correlation is thought to arise from shared pathophysiological mechanisms, including insulin resistance, chronic hyperglycemia, and associated metabolic disturbances. Insulin dysfunction in diabetes affects neuronal survival, enhances amyloid beta (A $\beta$ ) accumulation due to decreased insulin-degrading enzyme activity, and promotes tau hyperphosphorylation, thereby facilitating the hallmark pathological features of AD such as amyloid plaques and neurofibrillary tangles (Sims-Robinson et

al. 2010; Patel et al. 2022). Furthermore, diabetes-induced oxidative stress, inflammation, mitochondrial dysfunction, and advanced glycation end products (AGEs) contribute synergistically to neurodegeneration seen in AD (Sims-Robinson et al. 2010; Kubis-Kubiak et al. 2019). Notably, some studies have begun to describe AD as a "type 3 diabetes" due to the overlap in disrupted insulin signaling pathways (Nguyen et al. 2020). Despite some debate regarding the precise causal relationship, the convergence of epidemiological, genetic, and mechanistic evidence underscores a pathophysiological link between diabetes and AD, highlighting the need for further research and integrated therapeutic strategies in patients with metabolic and cognitive disorders (Bloomgarden Z 2025).

A $\beta$  peptides, primarily studied in the context of neurodegenerative diseases such as Alzheimer's disease, have recently emerged as molecules of interest in the field of metabolic disorders. Among the various forms, A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42

<sup>†</sup> Corresponding author: Yoon Sin Oh, Professor, Dept. of Food and Nutrition, Eulji University, Seongnam 13135, Korea. Tel: +82-31-740-7287, E-mail: [ysoh@eulji.ac.kr](mailto:ysoh@eulji.ac.kr)

which consist of 40 and 42 amino acid residues respectively are the most prevalent isoforms generated from the proteolytic cleavage of amyloid precursor protein (APP) (Zhang et al. 2023). While the accumulation and cytotoxic effects of these peptides in neuronal cells have been extensively demonstrated, mounting evidence now suggests that A $\beta$  peptides may also adversely affect type 2 diabetes. In the case-control study with Chinese adults, positive associations between plasma A $\beta$ 40/A $\beta$ 42 concentrations and the risk of type 2 diabetes were observed (Peng et al. 2020).

Pancreatic  $\beta$ -cells play a critical role in glucose homeostasis through the synthesis and secretion of insulin. Impaired  $\beta$ -cell function or loss of  $\beta$ -cell mass is a hallmark of type 2 diabetes mellitus (T2DM). Several studies have reported that A $\beta$  peptides can accumulate in pancreatic islets and that their presence is associated with reduced insulin secretion, increased oxidative stress, impaired mitochondrial function, and  $\beta$ -cell apoptosis (Xu et al. 2023).

Clinical investigations further highlight the pathological significance of A $\beta$  accumulation in glucose metabolism. Elevated circulating levels of A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42 have been correlated with insulin resistance and an increased risk of T2DM (Zhang et al. 2013), suggesting systemic effects beyond the central nervous system. Moreover, the ratio of A $\beta$ 42 to A $\beta$ 40 may serve as a biomarker for  $\beta$ -cell dysfunction (Shigemori et al. 2022) and may reflect early pathogenic changes in metabolic homeostasis.

Emerging evidence indicates that long-term adherence to specific dietary patterns profoundly influences the accumulation of A $\beta$  in the brain, a hallmark pathology of Alzheimer's disease and associated metabolic dysfunction. In particular, observational and longitudinal studies demonstrate that the Mediterranean diet characterized by high intake of fruits, vegetables, whole grains, fish, and olive oil is associated with a significantly lower rate of cerebral A $\beta$  accumulation among cognitively healthy older adults, potentially reducing risk by up to 60% over three years (Hill et al. 2018). Conversely, dietary patterns rich in saturated fat, refined carbohydrates, and processed foods are linked to increased A $\beta$  deposition and elevated Alzheimer's disease biomarker burden (Xu et al. 2023). Such findings highlight diet as a modifiable risk factor, suggesting that nutritional

intervention and healthy dietary pattern adherence may offer a promising strategy to mitigate amyloid-associated neurodegeneration and metabolic decline in aging populations.

In this study, we investigated the effect of A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42 on cell viability and insulin secretion in rat insulinoma cells (INS-1 cells) and elucidate the potential role of A $\beta$  peptides in beta-cell pathology and their implications for metabolic disease such as type 2 diabetes.

## Methods

### 1. Cell

The clonal INS-1 cells derived and selected from the parental rat insulinoma INS-1 cell line was grown in monolayer culture in RPMI-1640 medium containing 11.1 mmol/L glucose. The culture medium was supplemented with 10% fetal bovine serum, 2 mmol/L glutamine, 100 units/mL penicillin, and 100  $\mu$ g/mL streptomycin (Kim et al. 2021). The cells were seeded in appropriate numbers on different plates according to experimental conditions and cultured to reach 70-80% confluence after 24 h of incubation. Synthetic A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42 peptides were obtained from a commercial source (PEPTIDE INSTITUTE., INC. IBARAKI-SHI, Osaka, Japan). A $\beta$  peptide is dissolved in dimethyl sulfoxide (DMSO) to a high stock concentration (5 mM) and dilute the A $\beta$ /DMSO stock solution into the culture medium to achieve the final concentration.

### 2. Cell viability

Cell viability was determined using the 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT, Duchefa Biochemie BV, Haarlem, Netherlands) colorimetric assay. INS-1 cells were plated in a 96-well plate ( $5 \times 10^4$  cells/well) and incubated in the absence or presence of A $\beta$ . MTT (0.5 mg/mL) was added and the cells were incubated for 2 h. After careful removal of the supernatant, insoluble formazan crystals were dissolved in 2-propanol and absorbance was measured at 540 nm (TECAN Group Ltd, Shanghai, China).

### 3. Annexin V-PE staining

Early apoptotic cells were determined using an Annexin-V-PE

apoptosis detection kit, according to the manufacturer's instructions. After A $\beta$ s treatment, cells were harvested and washed with PBS. The cells were suspended in 1 $\times$ binding buffer, and annexin V-PE was added. After incubation, stained cells were analyzed by flow cytometry (FACS calibur) using CELLQuest Pro software (Version 5.1, BD Biosciences, Franklin Lakes, NJ, USA).

#### 4. Glucose stimulated insulin secretion (GSIS)

INS-1 cells were plated at 24-well plates ( $4 \times 10^5$  cells/well) and A $\beta$ s were treated for 24 h. Eighteen h prior to secretion experiments, the standard culture medium containing 11.1 mmol/L glucose was switched to medium containing 5 mmol/L glucose. Insulin secretion was assayed in HEPES balanced salt solution (HBSS) (114 mmol/L NaCl, 4.7 mmol/L KCl, 1.2 mmol/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 1.16 mmol/L MgSO<sub>4</sub>, 20 mmol/L HEPES, 2.5 mmol/L CaCl<sub>2</sub>, 25 mmol/L NaHCO<sub>3</sub>, and 0.2% bovine serum albumin). Cells were washed in HBSS with 3 mmol/L glucose followed by a 2-h preincubation in the same buffer. Insulin secretion was stimulated by treatment of cells with 3- or 17 mM glucose for 1 h. At the end of the incubation, the amount of insulin released into the supernatant was quantified using a rat

insulin EIA kit (ALPCO Diagnostics, Windham, NH, USA; cat number 80-INSRT-E-01) (Oh et al. 2016). Insulin secretion results were normalized to protein content of cells.

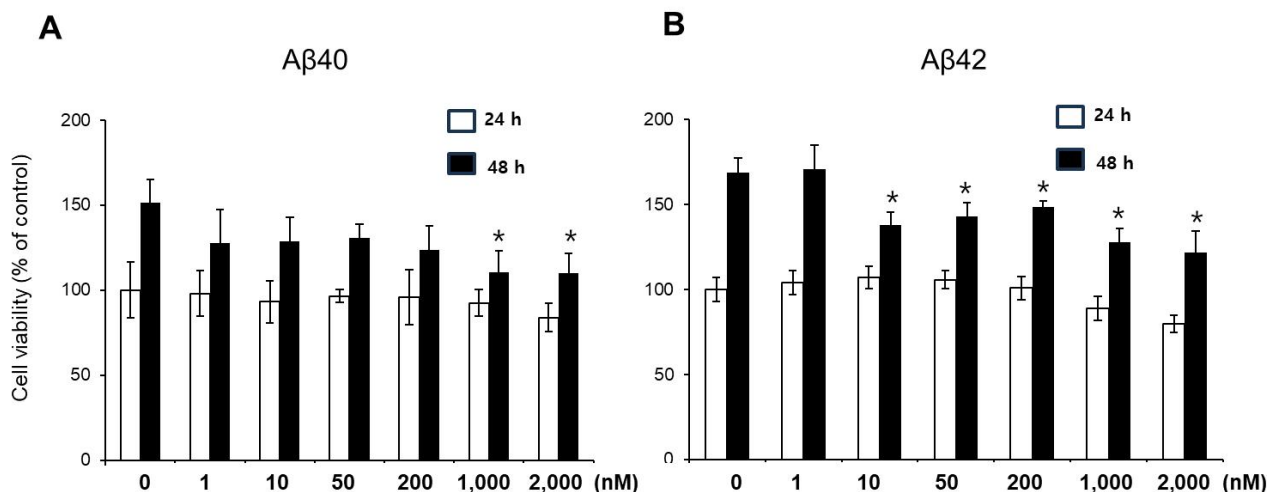
#### 5. Statistical analysis

Results were repeated at least three times and expressed as mean $\pm$ S.D. (standard deviation). Statistical analysis was performed using SPSS 20.0 software (IBM SPSS ver. 20.0.0 for Windows; IBM Co., Armonk, NY, USA). The significance of the experiment was verified by two-way analysis of variance (ANOVA), and in case of significance, a post-hoc test was performed by Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ).

## Results and Discussion

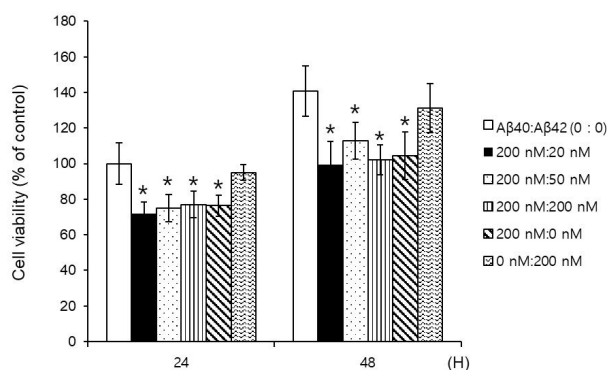
### 1. Cell viability on A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42-treated INS-1 cells

To investigate the effect of A $\beta$ 40/42 on beta cell proliferation, we examined the cell viability by various concentration of A $\beta$  (1-2,000 nM) on INS-1 cells. After 24-h treatment, cell viability was not affected by A $\beta$ 40 treatment, but a significant reduction in viability was observed after 48-h at the high concentration of 1,000 nM (Fig. 1A). In contrast, A $\beta$ 42 exhibited a marked



**Fig. 1. Effect of A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42 on INS-1 cell viability.** INS-1 cells were treated with various concentrations of (A) A $\beta$ 40 and (B) A $\beta$ 42 (1-2,000 nM) for 24 and 48 h and cell viability was assessed by MTT assay. Data are presented as mean $\pm$ S.D. from at least three independent experiments.  $p < 0.05$  compared to 48 h control (0 nM).

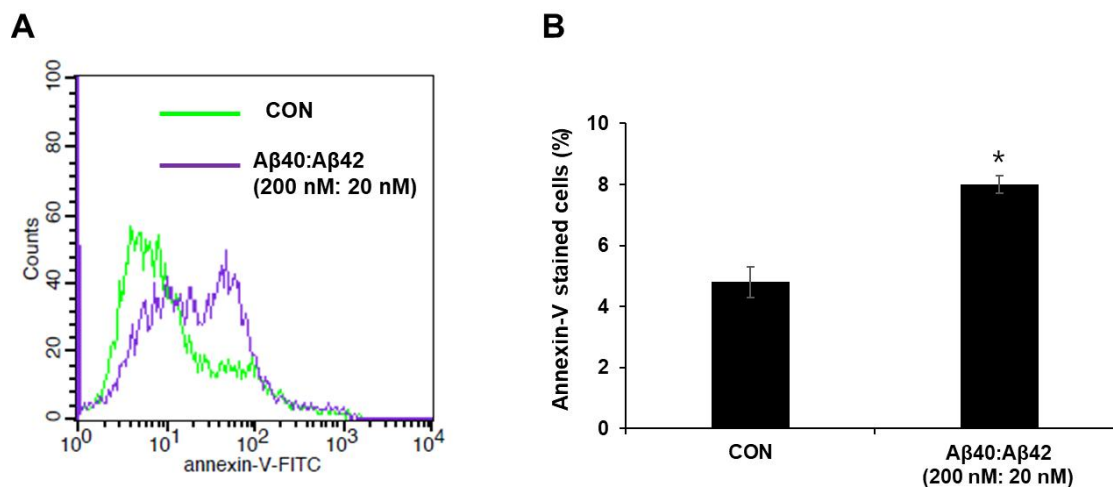
cytotoxic effect even at a low concentration of 10 nM after only 24 h of exposure (Fig. 1B), indicating higher toxicity compared to A $\beta$ 40. Fig. 2 showed the impact of combined treatment with A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42 at a physiological molar ratio of 10:1 (200 nM A $\beta$ 40 and 20 nM A $\beta$ 42) on INS-1 cell viability. The combined



**Fig. 2. Combined effect of A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42 at physiological ratio (10:1) on INS-1 cell viability.** INS-1 cells were treated with a mixture of A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42 at 200 nM and 20 nM, respectively, for 24 and 48 h. Data are presented as mean $\pm$ S.D. from at least three independent experiments.  $p < 0.05$  compared to control (A $\beta$ 40:A $\beta$ 42=0:0).

exposure resulted in a significant decrease in cell viability compared to control, with the effect being more pronounced after 48 h of treatment (Fig. 2). We also found that decreased cell viability after combined exposure of A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42 was due to early apoptosis, as evidenced by annexin-V stained cells was increased under this condition (Fig. 3). These results suggested a synergistic or additive cytotoxic effect of the two peptides when present together at physiological proportions.

Previous study demonstrated that A $\beta$  was detected in Langerhans islets in type 2 diabetic patients and INS-1 cells and it was colocalized with amylin in islet amyloid deposits (Miklossy et al. 2010). Especially A $\beta$ 42 is more aggregation-prone and toxic compared to A $\beta$ 40 (Kwak et al. 2020), largely due to its structural configuration. The C-terminal region of A $\beta$ 42 forms a  $\beta$ -hairpin, decreasing its flexibility and promoting fibril formation, which is less pronounced in A $\beta$ 40 (Chen et al. 2017). Both A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42 can form twisted fibrils, and their ratio influences the aggregation process and may alter toxicity in cellular system (Johansson et al. 2024). *In vitro* experiments, aggregated A $\beta$ 42 induced greater intracellular accumulation and caused higher cellular A $\beta$  levels compared to A $\beta$ 40. However, at a certain concentrations and maturation



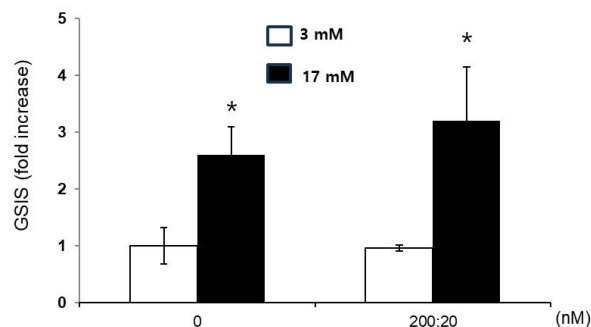
**Fig. 3. Effect of A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42 on apoptosis in INS-1 cells.** INS-1 cells were treated with A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42 (200 nM:20 nM), for 24 h and (A) stained with FITC-annexin V/PI and flow cytometry to determine the population of cells in early apoptosis. (B) Annexin-V-PE stained cells (%) were represented. Data are presented as mean $\pm$ S.D. from at least three independent experiments.  $p < 0.05$  compared to control (A $\beta$ 40:A $\beta$ 42=0:0).

states, these aggregates showed minimal direct cytotoxicity or activation of autophagy in model neuronal cells (Johansson et al. 2024). In our study, A $\beta$ 42 showed more toxic effect compared to A $\beta$ 40, and 10:1 (A $\beta$ 40: A $\beta$ 42) ratio significantly reduced cell viability in INS-1. In beta cell and islets, amyloid formation which was driven predominantly by the aggregation of islet amyloid polypeptide (IAPP), but also including contributions from A $\beta$  peptides, leads to impaired cell signaling, reduced insulin secretion, increased apoptosis, and a loss of beta-cell mass, especially under conditions modeling type 2 diabetes (Zhang et al. 2018). Although we did not observe impaired insulin secretion on A $\beta$ 40/42 treated cells, Shigemori et al. reported that 50 pM A $\beta$ 40 significantly inhibited GSIS (Shigemori et al. 2022). These variations in results are likely attributable to differences in experimental concentrations, cell types, and the specific forms of A $\beta$  used. To more accurately evaluate the effects of A $\beta$  peptides on insulin secretion capacity, further studies using isolated animal islets or *in vivo* models will be necessary. However, elevated peripheral A $\beta$  can act as a negative modulator of insulin secretion specifically at the islet  $\beta$  cells, suggesting a feedback loop influencing both glucose and peptide homeostasis (Shigemori et al. 2022).

## 2. GSIS on A $\beta$ 40/A $\beta$ 42-treated INS-1 cells

To examine decreased cell viability affected beta cell function, we checked GSIS on A $\beta$ 40/42 mixture treated cells. INS-1 cells demonstrated a significant increase in insulin secretion when stimulated with high glucose (17 mM) compared to low glucose (3 mM), confirming the expected glucose responsiveness. However, treatment with A $\beta$  peptides did not significantly alter the insulin secretion response under either glucose condition, indicating that while the peptides affect cell viability, they do not impair the insulin secretory function at the tested concentrations and time points (Fig. 4).

Our findings demonstrated a significant reduction in beta cell viability following amyloid beta treatment, particularly with A $\beta$  42 and combined A $\beta$ 40/42 exposure. Surprisingly, despite this loss in cell number, GSIS was not impaired under the tested conditions. This discrepancy suggests a possible compensatory mechanism whereby the surviving beta cells maintain functional



**Fig. 4. Glucose-stimulated insulin secretion (GSIS) in A $\beta$  40/A $\beta$ 42-treated INS-1 cells.** INS-1 cells treated with A $\beta$ 40 and A $\beta$ 42 were exposed to low (3 mM) or high (17 mM) glucose concentrations, and insulin secretion was measured by EIA. Data are expressed as fold change relative to basal secretion and presented as mean $\pm$ S.D.  $p < 0.05$  for high vs. low glucose within each treatment group.

capacity to sustain insulin secretion, at least transiently. Such compensatory responses have been reported in early beta cell dysfunction stages, reflecting an adaptive increase in secretory activity or enhanced sensitivity to glucose. It is also possible that the experimental timeframe and peptide concentrations used were insufficient to elicit measurable functional declines. Future studies utilizing primary islets or *in vivo* models with longer observation periods are warranted to fully elucidate the temporal relationship between beta cell loss and secretory function. This phenomenon highlights the complexity of beta cell pathophysiology in amyloid-associated metabolic disorders and underscores the potential for early intervention strategies aimed at preserving beta cell viability to delay functional decline.

Various studies have demonstrated that insulin resistance can lead to the progression of A $\beta$  accumulation. Farris et al. reported that insulin-degrading enzyme (IDE) plays a crucial role in degrading both A $\beta$  and insulin. Mice deficient in IDE (IDE<sup>-/-</sup>) showed increased levels of insulin and A $\beta$  in their brains and livers, which supports the idea that insulin resistance can lead to a decrease in A $\beta$  clearance as IDE preferentially acts on insulin degradation (Farris et al. 2003). Another study reported that APP aggregates that accumulates in T2DM may trigger the

misfolding of A $\beta$ , suggesting that the interplay between APP and A $\beta$  (Morris 2017).

In this study, we focused on cell viability, apoptosis, and insulin secretion analyses as an initial investigation. Therefore, further studies are warranted to elucidate the underlying mechanisms, including oxidative and ER stress pathways, mitochondrial dysfunction, and IED-related alteration.

Experimental and clinical research supports the role of dietary interventions and bioactive natural compounds in suppressing A $\beta$  accumulation and toxicity. Diets abundant in antioxidant-rich fruits, vegetables, unsaturated fatty acids, and polyphenols such as those found in the Mediterranean and plant-based dietary patterns not only reduce oxidative stress and inflammation but have also been shown to inhibit A $\beta$  aggregation and promote its clearance in preclinical models (Lee et al. 2018; Rainey-Smith et al. 2018; Han et al. 2019). Furthermore, specific natural substances, including polyphenols from extra-virgin olive oil, curcumin, flavonoid-rich berries, and bioactive peptides from marine algae, have demonstrated efficacy in modulating A $\beta$  pathology through direct interaction with A $\beta$  peptides, enhancement of neuroprotective signaling, and improvement of metabolic parameters (Diaz et al. 2022). These findings highlight the potential of comprehensive nutritional strategies and functional food components as adjunctive or preventive approaches to counteract A $\beta$ -mediated neurotoxicity

and related metabolic dysfunction.

## Conclusion

This study demonstrated that A $\beta$ 42 exhibits greater cytotoxicity to INS-1 beta cells compared to A $\beta$ 40, with their physiological 10:1 ratio synergistically reducing cell viability. Insulin secretion was not impaired under tested conditions (Fig. 5). Given the interplay between A $\beta$  aggregation and beta cell loss, current evidence supports that dietary patterns rich in antioxidants, unsaturated fatty acids, and polyphenols, along with bioactive natural compounds such as curcumin and flavonoids, may mitigate A $\beta$  toxicity. These nutritional strategies offer promising adjunctive or preventive approaches to counteract amyloid beta-mediated beta cell damage. Further research is necessary to elucidate the underlying mechanisms and optimize dietary interventions for metabolic disease management.

## Acknowledgements

This study was supported by Basic Science Research Program Grant (RS-202400336513) provided by the National Research Foundation of Korea (NRF), which is funded by the Ministry of Science and ICT.

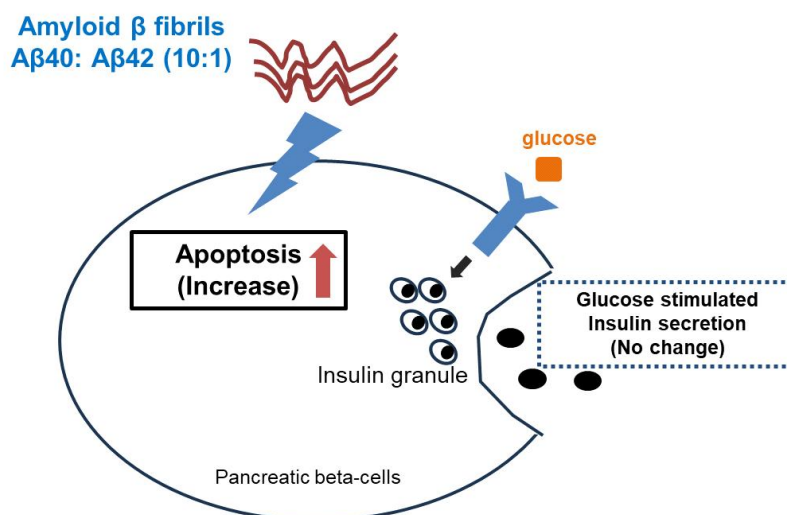


Fig. 5. Schematic diagram of A $\beta$  effect on pancreatic beta cells.

## References

- Bloomgarden Z. 2025. Diabetes and Alzheimer's disease. *J Diabetes* 17:e70103
- Chen G, Xu T, Yan Y, Zhou Y, Jiang Y, Melcher K, Xu HE. 2017. Amyloid beta: Structure, biology and structure-based therapeutic development. *Acta Pharmacol Sin* 38:1205-1235
- Díaz G, Lengele L, Sourdet S, Soriano G, de Souto Barreto P. 2022. Nutrients and amyloid  $\beta$  status in the brain: A narrative review. *Ageing Res Rev* 81:101728
- Farris W, Mansourian S, Chang Y, Lindsley L, Eckman EA, Frosch MP, Eckman CB, Tanzi RE, Selkoe DJ, Guenette S. 2003. Insulin-degrading enzyme regulates the levels of insulin, amyloid  $\beta$ -protein, and the  $\beta$ -amyloid precursor protein intracellular domain *in vivo*. *Proc Natl Acad Sci USA* 100:4162-4167
- Han X, Choi SI, Kim MJ, Lee OH. 2019. Evaluation of antioxidant and cognition improvement effects of 10 wild vegetables cultivated in Gangwon province. *Korean J Food Nutr* 32:662-668
- Hill E, Clifton P, Goodwill AM, Dennerstein L, Campbell S, Zoeker C. 2018. Dietary patterns and  $\beta$ -amyloid deposition in aging Australian women. *Alzheimers Dement* 4:535-541
- Johansson L, Sandberg A, Nyström S, Hammarström P, Hallbeck M. 2024. Amyloid beta 1-40 and 1-42 fibril ratios and maturation level cause conformational differences with minimal impact on autophagy and cytotoxicity. *J Neurochem* 168:3308-3322
- Kciuk M, Kruczkowska W, Gałęziewska J, Wanke K, Kałuzińska-Kołat Ż, Aleksandrowicz M, Kontek R. 2024. Alzheimer's disease as type 3 diabetes: understanding the link and implications. *Int J Mol Sci* 25:11955
- Kim K, Kwak MK, Bae GD, Park EY, Baek DJ, Kim CY, Jang SE, Jun HS, Oh YS. 2021. *Allomyrina dichotoma* larva extract attenuates free fatty acid-induced lipotoxicity in pancreatic beta cells. *Nutr Res Pract* 15:294-308
- Kubis-Kubiak AM, Rorbach-Dolata A, Piwowar A. 2019. Crucial players in Alzheimer's disease and diabetes mellitus: Friends or foes? *Mech Ageing Dev* 181:7-21
- Kwak SS, Washicosky KJ, Brand E, von Maydell D, Aronson J, Kim S, Capen DE, Cetinbas M, Sadreyev R, Ning S, Bylykbashi E, Xia W, Wagner SL, Choi SH, Tanzi RE, Kim DY. 2020. Amyloid- $\beta$ 42/40 ratio drives tau pathology in 3D human neural cell culture models of Alzheimer's disease. *Nat Commun* 11:1377
- Lee SH, Han KH, Kim HJ, Park KS, Han SH, Kim JH, Heo JH. 2018. Study on the protective mechanism of vitamin C in the SH-SY5Y cell death induced by the streptozotocin. *Korean J Food Nutr* 31:457-463
- Miklossy J, Qing H, Radenovic A, Kis A, Vileno B, László F, Miller L, Martins RN, Waeber G, Mooser V, Bosman F, Khalili K, Darbinian N, McGeer PL. 2010. Beta amyloid and hyperphosphorylated tau deposits in the pancreas in type 2 diabetes. *Neurobiol Aging* 31:1503-1515
- Morris A. 2017. Diabetes: Peripheral A $\beta$  linked to pathogenesis of T2DM. *Nat Rev Endocrinol* 13:564-570
- Nguyen TT, Ta QTH, Nguyen TKO, Nguyen TTD, Giau VV. 2020. Type 3 diabetes and its role implications in Alzheimer's disease. *Int J Mol Sci* 21:3165
- Oh YS, Seo EH, Lee YS, Cho SC, Jung HS, Park SC, Jun HS. 2016. Increase of calcium sensing receptor expression is related to compensatory insulin secretion during aging in mice. *PLOS ONE* 11:e0159689
- Patel VN, Chorawala MR, Shah MB, Shah KC, Dave BP, Shah MP, Patel TM. 2022. Emerging pathophysiological mechanisms linking diabetes mellitus and Alzheimer's disease: an old wine in a new bottle. *J Alzheimers Dis Rep* 6:349-357
- Peng X, Xu Z, Mo X, Guo Q, Yin J, Xu M, Peng Z, Sun T, Zhou L, Peng X, Xu S, Yang W, Bao W, Shan Z, Li X, Liu L. 2020. Association of plasma  $\beta$ -amyloid 40 and 42 concentration with type 2 diabetes among Chinese adults. *Diabetologia* 63:954-963
- Rainey-Smith SR, Gu Y, Gardener SL, Doecke JD, Villemagne VL, Brown BM, Taddei K, Laws SM, Sohrabi HR, Weinborn M, Ames D, Fowler C, Macaulay SL, Maruff P, Masters CL, Salvado O, Rowe CC, Scarmeas N, Martins RN. 2018. Mediterranean diet adherence and rate of cerebral A $\beta$ -amyloid accumulation: Data from the Australian imaging, biomarkers and lifestyle study of ageing. *Transl*

- Psychiatry* 8:238
- Shigemori K, Nomura S, Umeda T, Takeda S, Tomiyama T. 2022. Peripheral A $\beta$  acts as a negative modulator of insulin secretion. *Proc Natl Acad Sci USA* 119:e2117723119
- Sims-Robinson C, Kim B, Rosko A, Feldman EL. 2010. How does diabetes accelerate Alzheimer disease pathology? *Nat Rev Neurol* 6:551-559
- Xu Z, Chen J, Wang P, Li L, Hu S, Liu H, Huang Y, Mo X, Yan H, Shan Z, Wang D, Xu J, Liu L, Peng X. 2023. The role of peripheral  $\beta$ -amyloid in insulin resistance, insulin secretion, and prediabetes: in *vitro* and population-based studies. *Front Endocrinol* 14:1195658
- Zhang Y, Chen H, Li R, Sterling K, Song W. 2023. Amyloid  $\beta$ -based therapy for Alzheimer's disease: Challenges, successes and future. *Signal Transduct Target Ther* 8:248
- Zhang Y, Warnock GL, Ao Z, Park YJ, Safikhani N, Ghahary A, Marzban L. 2018. Amyloid formation reduces protein kinase B phosphorylation in primary islet  $\beta$ -cells which is improved by blocking IL-1 $\beta$  signaling. *PLOS ONE* 13:e0193184
- Zhang Y, Zhou B, Deng B, Zhang F, Wu J, Wang Y, Le Y, Zhai Q. 2013. Amyloid- $\beta$  induces hepatic insulin resistance in vivo via JAK2. *Diabetes* 62:1159-1166
- 
- Received 12 November, 2025  
Revised 15 December, 2025  
Accepted 19 December, 2025

## 한국식품영양학회 소식

### • 일반소식

1. 2025년 11월 21일(금) : 한국식품영양학회 추계학술대회 및 총회 개최
2. 추계학술대회 총회내용
  - 의결안건으로 <제1호 의안> 2024년도 결산 승인 건을 의결함
  - 의결안건으로 <제2호 의안> 2025년도 예산 승인 건을 의결함
  - 의결안건으로 <제3호 의안> 2026년도 회장 선출 건을 의결함
  - 고문회 추천을 받아 2027년도 학회 회장으로 김미자 교수(강원대학교) 선출
  - 2025년 류혜숙 회장(상지대학교) 인사 진행
3. 2025년 12월 31일(일) : 학술지 제38권 제6호에 연구논문 12편 출판

### • 학회 가입 및 회비 납부

#### 1. 회원가입

회원가입 신청서를 작성하신 후 우편 또는 이메일로 총무이사에게 제출하시기 바랍니다. 입회원서 제출 및 회비 납부 완료시 정회원으로 승인됩니다. (홈페이지 <http://ksfn.kr/>)

홍보이사 : 심기현, E-mail : [ksfan88@hanmail.net](mailto:ksfan88@hanmail.net), 010-4751-0918

전화 : 033-738-7641, 팩스 0504-207-5432

주소 : (우) 26339, 강원특별자치도 원주시 상지대길 83, 상지대학교, 식품영양학전공 내

#### 2. 회원 회비납부

신규회원	정회원	평의원	도서관회원	단체회원	학생회원	종신회비
50,000원 (입회비+가입비)	40,000원 (연회비)	50,000원 (연회비)	50,000원 (연회비)	100,000원 (연회비)	20,000원 (연회비)	400,000원 (평생회비)

송금계좌 : 국민은행 759701-04-000460 한국식품영양학회

재무이사 : 박영일, E-mail: [jhkang78@gmail.com](mailto:jhkang78@gmail.com), 010-8526-3218

### • 논문투고

#### 1. 논문투고 방법

한국식품영양학회지 홈페이지(<http://ksfn.kr/>)에 안내되어 있는 논문투고규정에 따라 논문을 작성한 다음, 로그인(신규회원인 경우 회원가입 필수) 후 논문투고를 진행하시기 바랍니다. 학회지 발간 이전에 게재료를 납부하셔야 하며, 주저자와 교신저자 모두 학회 회원으로 가입하셔야 합니다.

## 2. 논문심사료 및 게재료

논문심사료 : 50,000원

게재료 면당 : 50,000원

송금계좌 : 국민은행, 378801-01-051596, 한국식품영양학회(편집)

편집재무이사 : 백진경, E-mail : jkpaik@eulji.ac.kr, 010-2743-0402

## 3. 논문접수 담당

편집이사: 이호진, E-mail : foodnutr1@naver.com, 043-820-5338, 010-4907-3711

주소 : (우) 27909, 충청북도 증평군 증평읍 대학로 61 한국교통대학교 식품영양학과

## Checklist for Original Article

Title of the manuscript : \_\_\_\_\_

Please check below items as ✓ mark before submission of the manuscript.

### 1. General guideline

- Manuscript contained one original manuscript, checklist, statement of copyright transfer, and introduction for authors and was dispatched viz email (Statement of copyright transfer should be dispatched via PDF file)
- Manuscript should be typed in hangul or other word processor with a space of 30 mm from upper, lower, left and right margin, 10.0 pt in font size, and line space of 200%
- Text consisted of cover page, title page, abstract, main text, references, tables and figures in separate pages.
- Main text consisted of INTRODUCTION, Materials AND METHODS, and RESULTS AND DISCUSSION.

### 2. Cover page

- Title, name of authors, affiliation was described both in English and in Korean.
- Korean and English abbreviated titles were described (Korean : less than 20 letters, English less than 10 words).
- In lower area of cover page, the name, address, email, telephone, fax of the corresponding author or presentation in the scientific meeting were described.

### 3. Abstract and Keywords

- Word count was equal to or less than 250.
- A total number of word count was described below abstract.
- Keywords were described from MeSH in Medline if possible.

### 4. Main text

- The other of the subtitle was described according to the Instruction to Authors.
- Reference in the main text were described according to the Instruction to Authors.

### 5. References

- Every articles in REFERENCES were cited in the main text.
- Abbreviated title of the journals were those from Medline or Korea Med.
- All references were written in English.
- The reference style was followed by the Instruction to Authors.
- PDF file for the journal reference which is not indexed in KoreaMed or PubMed was included.

### 6. Tables and figures

- The title and legends of table and figures were written in English.
- Photos were in required format.
- The numbers of table and figures were described according to the Instruction to Authors.

## Copyright Transfer and Statement of Originality Korean Journal of Food and Nutrition

Title of Manuscript :

Author(s) :

### COPYRIGHT TRANSFER

If or when above cited manuscript is accepted for publication, copyright is hereby transferred to the Korean Society of Food and Nutrition. The undersigned confirm that neither the manuscript nor any part of it has been published elsewhere. The following statements are comprehended by the undersigned.

1. The author(s) has right to reuse the article or parts in a collection of their works, in noncommercial textbook, in lecture notes, press releases, and review articles, with the express agreement that full bibliographic references be given to the original copyrighted source.

2. Whenever the Korean Society of Food and Nutrition is asked for permission by others to use or reprint the article except for classroom use, the undersigned author's permission will be required.

3. No proprietary right other than copyright is claimed by the Korean Society of Food and Nutrition.

This agreement must be signed by a corresponding author who has the consent of all authors.

Authorized Name and Title(print)

---

**Signature(s):**

**Date: 2025. . .**

---

## Declaration of Ethical Conduct in Research

I declare that I have abided by the following Code of Research Ethics while writing this paper.

“First, I have strived to be honest in my conduct, to produce valid and reliable research conforming with the guidance of ethical regulations for the Korean Journal of Food and Nutrition, and I affirm that my paper contains honest, fair and reasonable conclusions based on my own careful research under the guidance of ethical regulations for the Korean Journal of Food and Nutrition.

Second, I have not committed any acts that may discredit or damage the credibility of my research. These include, but are not limited to: falsification, distortion of research findings or plagiarism and false authorship.”

Date \_\_\_\_\_

Paper Title :

(Corresponding) Author :

(Signature)

Institute :

## 한국식품영양학회 회칙

### 제 1장 총 칙

제 1조 (명칭) 본회는 한국식품영양학회(The Korean Society of Food and Nutrition; Korean J Food Nutr)라 칭한다.

제 2조 (목적) 본회는 식품 및 영양분야에 관한 이론과 기술을 연구하고, 이의 응용과 보급을 촉진시켜, 국민 식생활의 향상을 도모함을 목적으로 한다.

제 3조 (사무소의 소재지) 본회의 사무소는 회장이 정하는 곳에 두며, 필요에 따라 지부를 둘 수 있다.

제 4조 (사업) 본회는 제 2조의 목적을 달성하기 위하여 다음의 사업을 행한다.

1. 학회지, 정보지 및 도서의 발간
2. 연구발표, 학술강연회 및 학술토론회의 개최
3. 학술정보의 교환
4. 학술활동의 진흥 및 보조
5. 기타 본 회의 목적 달성에 필요한 사항

### 제 2장 회 원

제 5조 (구성) 본회의 회원은 정회원, 학생회원, 단체회원, 특별회원 및 명예회원으로 구분한다.

제 6조 (자격)

1. 정회원은 식품학, 영양학 또는 이와 관련된 분야에 종사하는 사람으로서 본 회의 취지에 찬동하여 입회원서를 제출하고, 회비를 납부한 사람으로 한다. 다만, 40세 이상의 정회원으로서 회비의 10배를 일시에 납부한 사람은 종신회원이 된다.
2. 학생회원은 식품학 또는 영양학 분야의 교육기관에 재학 중인 사람으로서 입회원서를 제출하고, 회비를 납부한 사람으로 한다.
3. 단체회원은 입회원서를 제출하고, 회비를 납부한 단체로 한다.
4. 특별회원은 본 회의 발전을 위하여 특별찬조를 한 단체 또는 개인으로 한다.
5. 명예회원은 본회의 발전에 현저히 공헌을 하고, 정년퇴임을 한 정회원으로서 회비를 납부하지 아니한다.

제 7조 (권리와 의무)

1. 본회의 회원은 회비를 납부해야 하며, 평의원은 평의원회비를 납부해야 한다.
2. 회원은 선거권, 피선거권, 기타 회칙이 정하는 권리를 갖는다. 단, 학생회원, 단체회원 및 특별회원은 총회에 참석하여 발언할 수 있으나 선거권 및 피선거권은 갖지 아니한다.

### 제 3장 임 원

제 8조 (구성) 본회는 다음의 임원을 둔다.

1. 회장 1명
2. 차기회장 1명

3. 부회장은 총괄부회장 외 약간명
4. 총무이사 약간명
5. 학술이사 약간명
6. 편집이사 약간명
7. 사업이사 약간명
8. 재무이사 약간명
9. 홍보이사 약간명
10. 감사 2명
11. 지부장 약간명

#### 제 9조 (임기)

1. 임원의 임기는 회계연도를 기준으로 1년으로 하고, 회장은 중임할 수 있다.
2. 보선된 임원의 임기는 전임자의 잔임 기간으로 한다.

#### 제 10조 (선임)

1. 회장은 차기회장이 승계한다.
2. 차기회장은 다음 각호에 따라 약 1년 이전인 하반기(동계)에 고문회에서 후보를 심의하여 평의원회에서 추천하고 정기총회에서 선출한다.
  - ① 차기회장 후보를 추천할 때는 본회의 현 평의원이고, 최근까지 회비를 납부한 회원 중에서 본회의 임원을 역임하여 학회의 전반적인 흐름을 잘 파악하고 있는 사람으로 하여야 한다.
  - ② 회장은 차기회장 후보 대상자에게 후보신청서를 받아서 고문회에 제출하고, 고문회는 후보를 심의하여 평의원회에서 추천하고 총회에서 선출한다.
3. 부회장은 회장이 임명하고, 부회장 중 1명을 총괄부회장으로 하여 총회의 인준을 받아야 한다.
4. 감사는 총회에서 후보를 추천하고, 총회에서 선출한다. 감사 후보를 추천할 때에는 최근까지 회비를 납부하고 본회의 현 평의원이며, 본회의 임원을 역임한 경력이 있는 사람으로 하여야 한다.
5. 이사 및 지부장은 총괄부회장이 추천하고 회장이 임명한다.
6. 회장의 궐위 시에는 총괄부회장이 회장의 직위를 승계한다. 이 경우 임기는 전임자의 잔임 기간으로 한다.

#### 제 11조(직무) 본회의 임원은 다음의 직무를 수행한다.

1. 회장은 본회를 대표하고, 회무를 총괄하며, 총회, 평의원회, 고문회, 임원회 및 이사회의 의장이 된다.
2. 총괄부회장은 회장의 직무를 보좌하고, 회장의 유고시에 그 직무를 대행한다.
3. 부회장은 학술, 편집, 사업, 재무, 홍보 등 회장이 부여하는 분야를 관장하며 회장을 보좌한다.
4. 감사는 본 회의 모든 재무를 감사하고, 그 결과를 총회에 보고한다.
5. 총무이사는 문서수발, 회의준비 등 회무에 관한 제반사항을 시행하고, 각종 행사 및 회의 내용을 기록 보존한다.
6. 학술이사는 학술발표, 강연, 학술토론 등 학술활동에 관한 업무를 담당한다.
7. 편집이사는 학회지의 편집 및 발간에 관한 업무를 담당한다.
8. 사업이사는 본 회의 발전을 위한 수익사업을 담당한다.
9. 재무이사는 회비, 참가비, 협찬금 등의 수령과 각종 경비의 지출을 담당하고, 그 내용을 기록 보존한다.
10. 홍보이사는 회원수 증대 및 학술대회 참가자수 증대를 위한 홍보업무와 정보화 관련 업무를 담당한다.
11. 지부장은 지역을 대표하고, 지역활동을 주재하며, 본회와 지역간의 연락을 원활하게 한다.

#### 제 12조 (고문)

1. 본회의 발전을 위한 조언과 회칙에서 부여한 임무를 하게 하도록 고문 약간명을 둔다.

2. 고문은 본 학회의 명예회장을 역임한 사람으로 한다.

#### 제 13조 (명예회장)

1. 본회의 발전을 위한 조인과 후원을 하도록 명예회장 약간명을 둔다.
2. 명예회장은 본 학회의 회장을 역임하고 퇴임 때까지로 한다.

### 제 4장 회 의

제 14조 (회의) 본회의 회의는 총회, 평의원회, 고문회, 임원회, 이사회, 편집위원회 및 윤리위원회로 한다.

#### 제 15조 (총회)

1. 총회는 정회원으로 구성하며, 정기총회와 임시총회로 나눈다.
2. 정기총회는 연 2회 회장이 소집하고, 임시총회는 임원회에서 필요하다고 인정할 때에 회장이 소집한다.
3. 회장은 총회 개최일 7일 이전에 회원들에게 그 소집을 통지하여야 한다.
4. 총회는 출석의원 과반수 찬성으로 의결한다. 가부동수일 경우에는 회장이 결정한다.
5. 총회에서는 다음의 사항을 심의 또는 의결한다.
  - ① 임원선출 및 인준
  - ② 예산 및 결산의 승인
  - ③ 회칙 개정
  - ④ 사업계획의 승인
  - ⑤ 회비의 결정
  - ⑥ 기타 중요한 사항

#### 제 16조 (평의원회)

1. 평의원회는 평의원으로 구성한다.
2. 평의원은 정회원 중 다음의 자격을 갖춘 사람으로 이사회의 추천으로 회장이 위촉한다. 단, 이사회에서 평의원 후보를 추천할 때에는 최근 2년간 학회활동 실적을 참조하고 다음과 같은 사항에 의거하여 추천한다.
  - ① 본 회의 임원을 역임한 회원
  - ② 연구단체 또는 직능단체의 대표성 회원
  - ③ 정회원으로서 장기간 활동한 회원
3. 평의원회는 회장이 필요시 소집하며, 평의원회의 개최일 7일 이전에 그 소집을 통보하여야 한다.
4. 평의원회는 출석의원 과반수 찬성으로 의결한다.
5. 평의원회는 다음의 사항을 심의 또는 의결한다.
  - ① 예산안의 심의
  - ② 사업계획의 심의
  - ③ (삭제) <2016.6.16.>
  - ④ 회장 후보의 추천
  - ⑤ 기타 총회에서 위임받은 사항
6. 부득이한 사유로 평의원회 개최가 어려운 때에는 서신 및 전자우편으로 대체할 수 있다. 이 경우 전체 평의원의 과반수가 응답으로 성립하고, 응답자의 과반수 찬성으로 의결한다.
7. 평의원은 다음과 같은 사항에 의거하여 해임 할 수 있다.
  - ① 회원 탈퇴자
  - ② 학회 설립목적에 위배되는 행위를 한 자에 대하여 이사회의 의결에 의한다.

- ③ 3년 연속 평의원 회비를 납부하지 아니한 자는 평의원 자격이 상실된다.

#### 제 17조 (고문회)

1. 고문회는 회장, 명예회장 및 고문으로 구성하고, 회장이 소집한다.
2. 고문회는 과반수 출석으로 성립하며, 출석회원 과반수 찬성으로 의결한다.
3. 고문회는 다음 사항을 자문 또는 의결한다.
  - ① 학회의 발전을 위한 자문
  - ② 총회 또는 평의원회에서 위임받은 사항
  - ③ 회장후보의 심의

#### 제 18조 (임원회)

1. 임원회는 회장, 차기회장, 부회장, 이사 및 지부장으로 구성하며, 회장이 소집한다.
2. 임원회는 과반수 출석으로 성립하며, 출석 회원 과반수 찬성으로 의결한다.
3. 임원회는 다음의 사항을 심의 또는 의결한다.
  - ① 사업계획에 관한 사항
  - ② 예산 및 결산에 관한 사항
  - ③ 총회에 부의할 안건
  - ④ 시행세칙 및 제 규정의 심의 및 의결
  - ⑤ 임시총회의 소집 여부
  - ⑥ 회칙 개정안 발의
  - ⑦ 각종 회의에서 위임받은 사항
  - ⑧ 윤리규정 위반에 따른 징계 건의에 대한 최종심의 및 의결<신설 2016.6.16.>

#### 제 19조 (이사회)

1. 이사회는 회장, 총괄부회장 및 이사로 구성하며, 회장이 소집한다.
2. 이사회는 과반수 출석으로 성립하며, 출석회원 과반수 찬성으로 의결한다.
3. 이사회는 다음 사항을 심의 또는 집행한다.
  - ① 각종 회의에 제출할 안건 및 보고서의 작성
  - ② 본 회의 제반 사업과 행사의 추진을 위한 세부계획의 수립과 이의 집행
  - ③ 회원가입 신청의 승인
  - ④ 평의원 추천
  - ⑤ 시행세칙 및 제 규정의 입안
  - ⑥ 각종 회의에서 위임받은 사항

#### 제 20조 (편집위원회)

1. 편집위원은 정회원 중에서 편집이사가 추천하고 회장이 위촉하며 임기는 1년이며 중임할 수 있다. 단, 편집이사는 당연직 편집위원으로 한다.
2. 편집위원회 위원장 또는 편집이사가 편집위원회를 소집하며, 과반수 출석과 출석회원 과반수 찬성으로 의결한다.
3. 편집위원회에서는 학회지의 편집에 관한 제반사항을 수행한다.
4. 편집위원회 위원장은 편집위원 중에서 회장이 위촉하고 임기는 1년으로 중임할 수 있다.

#### 제 20조의2 (윤리위원회)

1. 윤리위원회는 본 학회에서 정한 윤리규정을 기초로 연구윤리규정의 위반여부 및 혐의의 진실성 검증을 목적으로 한다.

2. 윤리위원회는 7인 내외로 구성하며 위원장은 학회장으로 하고, 부위원장은 편집이사로 하며, 그 외 인원은 편집이사의 추천을 받아 학회장이 위촉한다.
3. 윤리위원회는 연구윤리 부정행위의 혐의에 대한 보고접수 권한 및 진실성 검증을 위한 조사 권한을 갖는다.[본조신설 2016.6.16.]

## 제 5장 재 정

제 21조 (재원) 본 회의 재원은 각종 회비, 각종 단체의 보조금, 찬조금, 수익 사업금, 논문 게재료 및 기타 수익금으로 한다.

제 22조 (회비) 본 회의 회비는 임원회의 심의를 거쳐, 총회에서 결정한다.

제 23조 (회계년도) 본 회의 회계연도는 1월 1일에서 12월 31일까지로 한다.

### 제 24조 (예산 및 결산)

1. 예산안은 재무이사가 편성하고, 임원회 및 평의원회의 심의를 거친 후 총회의 승인을 받아야 한다.
2. 총회에서 예산승인을 받기 전까지는 가예산 상태로 운영하되 임원회 및 평의원회 보고한다.
3. 결산안은 회계연도 종료 즉시 재무이사가 작성하여 임원회의 심의를 거친 후 감사를 받고, 총회의 승인을 받아야 한다.

## 제 6장 시 상

제 25조 (학회상의 종류) 본 학회에서 시상하는 상의 종류는 다음 각항과 같다.

1. 공로상 : 우리 학회 발전에 현저히 공헌한 사람 또는 단체에 수여한다.
2. 학술상 : 식품영양 분야에서 학술적으로 현저한 연구업적을 남긴 자에게 수여한다.
3. 우수포스터상 : 각 학술대회에서 우수한 포스터 발표를 한 사람(공동발표자 포함)에게 수여한다.

제 26조 (수상자 선정 등) 수상자의 선정기준, 선정방법, 시상 등은 별도의 규정으로 정한다.

## 제 7장 보 칙

제 27조 (시행세칙) 본 회칙의 시행에 필요한 시행세칙과 제 규정은 이사회에서 입안하고, 임원회의의 심의를 거쳐 평의원회에서 의결한다.

제 28조 (회칙개정) 본 회칙을 개정하고자 할 때에는 임원회 또는 회원 20인 이상이 발의하며, 총회에서 개정한다.

### 제 29조 (저작권의 귀속)

학회의 업무수행과정에서 발생한 저작권에 대한 저작권법상의 권리는 학회에 귀속됨을 원칙으로 한다. 다만, 위탁저작물의 경우에는 저작권을 원저작자에게 환부할 수 있다. [본조신설 2023. 11. 10.]

### 제 30조 (정관의 변경)

학회가 정관을 변경하고자 할 때에는 정기총회 또는 임시총회에서 재적 대의원 3분의 2이상의 찬성으로 의결한다. [본조신설 2023. 11. 10.]

**부 칙**

제 1조 (시행일) 본 회칙은 1988년 7월 18일부터 시행한다.

**부 칙**

제 1조 (시행일) 본 회칙은 1991년 10월 19일부터 시행한다.

**부 칙**

제 1조 (시행일) 본 회칙은 1996년 7월 10일부터 시행한다.

**부 칙**

제 1조 (시행일) 본 회칙은 1997년 1월 9일부터 시행한다.

**부 칙**

제 1조 (시행일) 본 회칙은 1999년 10월 23일부터 시행한다.

**부 칙**

제 1조 (시행일) 본 회칙은 2008년 6월 23일부터 시행한다.

**부 칙**

제 1조 (시행일) 본 회칙은 2008년 12월 18일부터 시행한다. 다만 제8조는 2005년 1월 1일부터 소급 시행하되 종전의 규정에 의한 간사장은 2008년 12월 31일까지 한시적으로 총괄이사로 한다.

**부 칙**

제 1조 (시행일) 본 회칙은 2011년 6월 16일부터 시행한다.

**부 칙**

제 1조 (시행일) 본 회칙은 2012년 6월 22일부터 시행한다.

**부 칙**

제 1조 (시행일) 본 회칙은 2012년 12월 13일부터 시행한다.

**부 칙**

제 1조 (시행일) 본 회칙은 2013년 12월 12일부터 시행한다.

**부 칙**

제 1조 (시행일) 본 회칙은 2015년 8월 20일부터 시행한다.

**부 칙**

제 1조 (시행일) 본 회칙은 2016년 6월 16일부터 시행한다.

**부 칙**

제 1조 (시행일) 본 회칙은 2023년 11월 10일부터 시행한다.

## 한국식품영양학회 연구윤리 규정

2008년 6월 23일 제정      2016년 4월 21일 개정  
2016년 12월 03일 개정      2023년 11월 10일 개정

### 제 1장 총 칙

제 1조(연구윤리 정의) 연구윤리란 연구자가 연구를 수행하는데 있어서 정보를 정직하게 전달하고, 자원을 효율적으로 사용하며, 연구결과를 객관적으로 명확하게 보고하여 책임 있는 연구를 수행하는 것을 말한다.

제 2조(윤리규정의 목적) 본 규정은 학문연구의 윤리성과 진실성을 확보하고 부정행위를 공정하게 검증할 수 있는 기준을 제시하여 한국식품영양학회(이하 학회라 약칭함) 회원들에게 연구의 윤리성을 고양하고 부정행위를 방지하는데 그 목적이 있다.

제 3조(윤리규정의 적용대상) 본 규정은 학회에 등록되어 있는 회원을 비롯하여 학회에서 정기적으로 발행하는 모든 간행물(학회지와 학술대회발표집)에 게재되는 내용과 관련 있는 회원 모두에게 적용한다.

### 제 2장 연구수행의 윤리규정

제 4조(연구의 진실성) 연구를 수행하고 결과를 발표하는 저자와 연구결과를 평가하는 심사자는 모두 학자로서의 양심에 어긋남이 없이 투명하고 진실하게 연구 활동을 수행해야 한다.

#### 제 5조(데이터 관리)

1. 연구자는 연구에 필요한 데이터를 수집하기 이전에 데이터 소유권이 누구에게 있으며 승인이 필요한지 확인하고, 데이터 수집이나 공개에 따르는 자신의 의무와 권리가 무엇인지 명확하게 이해하고 수행하여야 한다.
2. 데이터는 신뢰할 수 있는 타당하고 적절한 방법으로 수집, 기록하고 일정기간 동안 보관하며 필요시 다른 연구자들이 결과 확인이나 다른 목적으로 사용할 수 있도록 이를 공개하여 데이터를 공유할 수 있도록 해야 한다.

제 6조(연구발표) 모든 연구결과는 완전하고 공정한 설명과 함께 정확하게 보고하여야 하며, 연구의 방법, 연구자가 발견한 결과 및 결과에 대한 연구자의 생각이 적절하게 포함되어 있는지 정직하고 투명한 평가가 이루어져야 한다.

제 7조(저작권의 보유) 저작권은 원칙적으로 연구에 중요한 공헌을 한 저자들에게 주어지나 교육 등 공공의 목적으로 사용될 경우에는 학회지 및 학술대회발표집의 발행인인 학회가 그 사용권을 가진다.

#### 제 8조(저자의 순서와 소속표시)

1. 저자란에 실릴 저자의 순서는 공동저자간의 합의 하에 연구에 대한 기여도에 따라 표기하며 저자들은 저자 기재 순서에 대한 원칙을 설명할 수 있어야 한다.
2. 저자의 소속은 연구를 수행할 당시의 소속으로 표기하는 것을 원칙으로 하지만, 이와 다른 관행이 통용되는 분야에서는 그 관행을 따를 수 있다.

제 9조(교신저자 또는 책임저자의 책임) 교신 또는 책임저자는 동료 연구자들을 대표하여 데이터의 정확성, 저자로 기록된 이름, 모든 저자들의 최종 초안 승인, 모든 교신과 질문에 대한 응답 등에 대하여 책임을 지며, 교신저자의 실수나

누락 부분이 자신뿐 아니라 동료 연구자들의 경력에도 큰 영향을 끼친다는 점을 명심하여야 한다. 저자는 출판하는 논문의 연구에 지적인 공헌을 한 자로서 다음 각 호의 자격을 모두 충족하여야 한다.

1. 연구의 구상이나 설계 또는 자료의 수집이나 분석이나 해석을 하는데 있어서 상당한 공헌을 한 자
2. 논문의 초안을 작성하거나 주요내용을 수정한 자
3. 출간될 원고를 최종 승인한 자
4. 연구의 정확성이나 무결성과 관련된 문제를 적절히 조사하고 해결하는 것에 책임이 있음을 동의한 자

#### 제 10조(참고문헌의 인용원칙)

1. 저자는 타인의 연구 내용의 일부를 자신의 연구논문에 원문 그대로 또는 번역하여 인용할 수 있다.
2. 저자는 참고문헌의 출처 표시와 목록 작성의 정확성을 기하여야 한다. 저자명, 학술지의 권·호수, 페이지, 출간 년도 등 인용의 모든 요소를 2차 출처에 의존하지 말고 원 논문에서 직접 확인해야 하며 불가피한 경우에만 재인용을 밝히고 인용해야 한다.

### 제 3장 연구 부정행위의 윤리규정

#### 제 11조(연구 부정행위의 정의)

1. 연구 부정행위는 연구계획, 연구수행, 연구보고 및 발표, 연구의 심사 및 평가 등에 있어서 발생하는 위조, 변조, 표절, 중복게재 등의 행위를 말한다.
2. “위조”는 존재하지 않는 데이터 또는 연구결과의 기록을 허위로 만들어 보고하고 제출하는 행위를 말한다.
3. “변조”는 연구 자료나 장비 혹은 과정을 조작 하거나 데이터 또는 결과를 변형·삭제함으로써 연구 기록이 정확하게 표현되지 않도록 하는 행위를 말한다.
4. “표절”은 창시자의 공적을 인정하지 않고 저작권법상 보호되는 다른 사람의 아이디어, 연구과정, 연구결과 혹은 표현에 적절한 출처를 명시하지 않고 전체나 일부분을 유용하는 것을 말한다.
5. “중복게재”는 편집인이나 독자에게 이미 출간된 처음의 연구내용을 공지하지 않은 채 완전히 동일하거나 거의 동일한 연구내용을 다른 학술지에 두 번 이상 발표하여 게재하는 것을 말한다.

제 12조(표절의 유형) 표절의 유형은 “아이디어 표절”과 저자를 밝히지 않고 타인이 저술한 텍스트의 일부를 복사하는 “텍스트 표절”, 텍스트의 일부를 조합하거나 단어의 추가, 삽입 또는 동의어로 대체하는 “모자이크 표절” 등이 있다.

#### 제 13조(참고문헌의 왜곡금지)

1. 참고문헌은 논문의 내용과 직접적으로 관련이 있는 문헌만 포함시켜야 한다. 학술지나 논문의 인용지수를 조작할 목적으로 또는 논문의 게재 가능성을 높일 목적으로 관련성에 의문이 있는 문헌을 의도적으로 참고문헌에 포함시켜서는 안 된다.
2. 자신의 데이터나 이론에 유리한 문헌만을 편파적으로 참고문헌에 포함시켜서는 안 되며, 자신의 관점과 모순되는 문헌도 인용해야 할 윤리적 책무가 있다.

제 14조(지양해야 할 관행) 논문의 발표 시, 논문에 기여한 바가 없어 논문 저자로서의 자격이 없는 사람을 저자로 올리는 “명예” 저자 관행, 단순히 숫자를 늘리기 위해 하나의 연구를 여러 갈래로 쪼개어 작은 연구를 여러 개 만드는 관행, 연구를 검토 없이 조급하게 발표하는 관행 등은 지양해야 한다.

제 14조의2(생명윤리) 인간 대상 연구를 시행한 논문을 투고 할 때에는 생명윤리심의위원회의 승인과 연구대상자의 동

의를 받았음을 논문에 명시하고, 동물실험의 경우 연구기관이나 국가 지침을 준수하며 동물실험윤리위원회의 승인을 받았음을 논문에 명시해야 한다. 생명윤리심의위원회 및 동물실험윤리위원회 승인서 사본을 학회 이메일로 제출하여야 하며, 승인의 필요한 연구와 시행일자는 다음과 같다.

-다음-

연구방법	IRB 승인 기재 의무화 시행일자 (시행일자 이후 투고시 의무화)	비고
인체적용시험	2017년 7월 1일	연구자들의 혼란을 최소화하기 위해 유예기간(6개월~1년)을 둬
동물실험	2017년 7월 1일	
설문조사 (survey, 관능평가 포함)	2018년 1월 1일	

## 제 4장 논문심사의 윤리규정

### 제 15조(심사자의 책임과 의무)

1. 심사자는 학회의 편집위원회에서 의뢰하는 논문을 성실하게 심사하고 심사결과를 심사규정이 정한 기일 내에 편집위원회에 보고해야 한다.
2. 심사자는 의뢰된 논문이 자신이 심사하기에 불충분하다고 판단되면 즉시 편집위원회에 논문을 반납하여야 한다.
3. 심사자는 논문의 질, 연구의 실험성, 이론성 및 해석에 관해 엄격한 과학적 기준 및 연구 기준을 적용해 객관적으로 평가해야 하고 자신의 판단에 대하여 적절하게 설명하고 뒷받침할 수 있어야 한다.
4. 심사자는 저자의 지적 독립성을 존중하고 저자가 다른 과학자의 연구를 잘못 인용하는 것을 막아야 하며 이해관계의 상충에 잘 대응해야 한다.
5. 심사자는 논문의 기밀을 유지해야 하고 저자의 동의 없이 아직 검토 중인 미간행 논문에 담긴 정보, 주장, 해석 등을 사용하거나 공개해서는 안 된다.

### 제 16조(심사자의 비윤리적 행위)

심사자는 공정한 심사와 심사 중 기밀 유지를 위하여 다음과 같은 비윤리적 행위를 삼가 해야 한다.

1. 자신이 맡은 심사를 대학원 학생이나 제 3자에게 부탁하는 행위
2. 심사 중인 논문의 내용을 동료와 논의하는 행위
3. 심사 종료 후 심사 내용의 사본을 반납하거나 분쇄하지 않고 보유하는 행위
4. 논문을 심사하는 과정에서 명예손상이나 인신공격에 해당하는 언어를 쓰는 행위
5. 논문을 읽지 않고 심사 또는 평가하는 행위

### 제 17조(편집위원회의 책임과 의무) 삭제(2016년 4월 21일)

## 제 5장 연구윤리규정의 시행 및 윤리위원회

제 18조(윤리규정 준수 의무) 회원은 회원가입과 동시에 자신의 연구 행동을 책임지고 연구 부정행위를 심각하게 받아들여야 하며 본 학회의 연구윤리 규정을 준수할 의무를 갖는다.

제 19조(윤리규정 위반의 보고 및 조사) 회원은 다른 회원이 윤리규정을 위반한 사실이 인지될 경우 그 회원으로 하여금 윤리규정을 환기시키고 위반사항이 바로 잡히지 않을 경우에는 윤리위원회에 즉시 보고한다.

#### 제 20조(윤리위원회의 목적과 구성)

1. 윤리위원회는 본 학회에서 정한 윤리규정을 기초로 연구윤리규정의 위반여부 및 혐의의 진실성 검증을 목적으로 한다.
2. 윤리위원회는 7인 내외로 구성하며 위원장은 학회장으로 하고, 부위원장은 편집이사로서 하며, 그 외 인원은 편집위원장의 추천을 받아 학회장이 위촉한다.

#### 제 21조(윤리위원회의 권한)

1. 윤리위원회는 연구윤리 부정행위의 혐의에 대한 보고접수 권한 및 진실성 검증을 위한 조사 권한을 갖는다.
2. 보고된 사안에 대하여 제보자, 피조사자, 증인, 참고인 및 증거자료 등을 통한 폭 넓은 조사를 실시한 후 윤리규정을 위반한 것이 사실로 판정될 경우 학회 정관에 의거하여 제재조치를 할 수 있다.

#### 제 22조(윤리위원회의 판정 및 제재)

1. 위반행위에 대한 검증절차는 예비조사, 본 조사, 판정의 단계로 진행하여야 하며 모든 조사 일정은 6개월 이내에 종료되어야 한다. 단, 이 기간 내에 조사가 이루어지기 어렵다고 판단될 경우 위원장의 승인을 거쳐 조사기간을 연장할 수 있다.
2. 제보자 또는 피조사자가 판정에 불복할 경우 통보를 받은 날로부터 30일 이내에 서면으로 이의를 제기할 수 있으며, 윤리위원회에서 이를 검토하여 필요한 경우 재조사 할 수 있다.

#### 제 23조(제보자 및 조사대상자의 보호)

1. 윤리위원회는 제보자 및 조사대상자가 위반행위의 신고 및 조사를 이유로 불이익이나 부당한 압력 또는 위해 등을 받지 않도록 보호해야 할 의무를 지니며, 이에 대한 대책을 마련해야 한다.
2. 제보자는 위반행위의 신고 이후에 진행되는 조사절차 및 일정 등에 대하여 알려줄 것을 요구할 수 있으며, 윤리위원회는 이에 성실히 응하여야 한다.
3. 연구윤리 규정 위반으로 보고된 회원에게는 조사대상이 된 사안의 개요를 서면 통지하고 정해진 기간내에 소명서를 제출할 기회를 보장하고 본인이 희망하는 경우 본조사 절차 중 1회 이상 윤리위원회의 회의에 출석하여 구술로 해명할 수 있는 기회를 주는 등 충분한 소명 기회를 주어야 한다.
4. 윤리규정 위반에 대하여 학회의 최종적인 결정이 내려질 때까지 윤리위원회는 해당 회원의 명예나 권리가 침해되지 않도록 신원을 외부에 공개해서는 안 된다.

#### 제 24조(징계의 절차 및 내용)

1. 징계 건의가 있을 경우 위원장은 임원회를 소집하여 징계 여부 및 징계내용을 최종적으로 결정한다.
2. 징계가 판정된 회원의 연구결과는 학회지나 학술 대회발표집, 인터넷 홈페이지에서 삭제하고 향후 5년간 논문투고금지, 회원자격 정지 내지 박탈 등의 징계를 하며 이 조치를 대상자의 소속기관에 알리거나 학회지에 공시할 수 있다.

#### 제 25조(윤리규정의 수정)

1. 윤리규정은 수정이 필요한 경우 간사회에서 수정안을 작성하고 임원회에서 심의한 후 평의회에서 의결한다.
2. 기존의 규정을 준수하기로 서약한 회원은 추가적인 서약 없이 새로운 규정을 준수하기로 서약한 것으로 간주한다.

**- 부칙 -**

제 1조(효력발효) 본 윤리규정은 2008년 6월 23일부터 효력을 발생한다.

제 2조(효력발효) 본 윤리규정은 2016년 4월 21일부터 효력을 발생한다.

제 3조(효력발효) 본 윤리규정은 2016년 12월 3일부터 효력을 발생한다.

제 4조(효력발효) 본 윤리규정은 2023년 11월 10일부터 효력을 발생한다.

# Research Ethics Rules of the Korean Society of Food and Nutrition

Amended on 23/06/2008      Amended on 21/04/2016  
Amended on 03/12/2016      Amended on 10/11/2023

## Chapter 1 General Provisions

### Article 1: Definition of Research Ethics

The term “research ethics” means honestly conveying information in the research conduct, using resources efficiently, and performing responsible study by objectively and accurately reporting study results.

### Article 2: Purpose of Ethics Regulations

This regulation aims to enhance research ethics to members of the Korean Society of Food Science and Nutrition (hereinafter referred to as “the Society”) and prevent research misconducts by proposing standards to secure ethics and truth in academic research and fairly verify misconducts.

### Article 3: Application Objects of Ethics Regulations

These regulations shall apply to all of the registered members as well as any members related to contents presented in all publications (the journal of the Society and symposium publications) regularly issued in the Society

## Chapter 2 Ethics Regulations on Research Conduction

### Article 4: Truth in Research

An author who conducts a research and presents its results and a dissertation review committee member who evaluates the research results shall carry out research activity transparent and sincere without doing any act against conscience as scholars

### Article 5: Data Management

5.1. A researcher shall confirm the ownership of data and authorization to use the data prior to collecting necessary data. In addition, the researcher must carry out the study with clear understanding on the obligation and right imposed upon the collection or disclosure of data.

5.2. Data shall be collected and recorded through appropriated measures in reliable and valid manner and must be retained for a certain period of time for other researchers to verify results and assessable to be used as other purposes by publicly presenting the findings.

### Article 6: Presentation of Research Results

All of the research results shall be accurately reported with a thorough and reasonable explanation. An honest and transparent evaluation must be conducted to examine if research methods and researcher’s opinions are adequately presented in the findings or results of the study.

**Article 7: Retention of Copyright**

In principle, the copyright is given to the authors who made significant contributions in the research. However, the Society, the publisher of the journal and publications of symposiums, has the right of using the copyright in case the findings are used for the purpose of public interest such as education, and others.

**Article 8: Order of Authors and Affiliation**

8.1. For the space stating the authors, the order of authors shall be determined pursuant to the contribution made on the research upon the mutual consent among corresponding authors. In addition, the authors shall be able to explain the principles of such orders.

8.2. In principle, the affiliation of the author is stated by the name of the institution at the time of the research conduct. However, when other customary practices are applied in other field, the author may state the affiliation in accordance with custom.

**Article 9: Responsibility of the Corresponding Author or Senior Author**

The author, as one who makes intellectual contributions to the research published in the paper, must satisfy all of the following qualifications.

9.1. Someone who has made a significant contribution to the conception, design, data collection, analysis, or interpretation of the research

9.2. The individual who has drafted the manuscript or made substantial revisions to its main content

9.3. The person who has given final approval to the version of the manuscript to be published

9.4. Someone who agrees to be accountable for investigating and resolving any issues related to the accuracy or integrity of the research

**Article 10: Citation Principles of References**

10.1 The author may cite the part of other researchers' study in his/her research paper as the original text or the translated version.

10.2 The author shall take all possible measures to ensure the accuracy in stating sources and making the list of references.

**Chapter 3 Ethics Regulations on Misconduct****Article 11: Definition of Research Misconduct**

11.1. The research misconduct is defined as the fabrication, falsification, plagiarism, and other unfair activities generated in the process of designing, carrying out, reporting, and evaluating and assessing the research.

11.2. "Fabrication" means reporting the research data or results, etc. that do not actually exist but have been fabricated.

11.3. "Falsification" means manipulating research data or equipment and process or exhibiting research record inaccurately by deliberately changing or deleting research results.

11.4. "Plagiarism" means using the entire or partial research ideas, processes, results, and etc. protected under copyright law of any other person without citing the appropriate sources and acknowledging the contribution of the founder of such findings.

11.5 "Repeated publication" means publishing an identical or almost similar research in other journals two (2) or more times without stating the initial research contents that have been already presented to publishers or readers.

**Article 12: Types of Plagiarism**

Types of plagiarism is classified as “idea plagiarism”, “text plagiarism”, copying a part from other persons’ text without citing the source for the ideas of other authors, “mosaic plagiarism”, combining a part of a text with a few words added, inserted, or replaced with synonyms, and others.

**Article 13: Prohibition of Distortion in References**

13.1. Cited references shall only includes directly related references to the contents of research paper. The author shall not deliberately include irrelevant references for the purpose of intentionally increasing citation index of articles or journals and the probability of publication of the manuscript.

13.2. The author shall not biasedly include only references favorable to data or theories of his/her articles. The author has ethical responsibility to cite references contradicting against his/her point of view.

**Article 14: Practices to Avoid**

The following practices should be avoided including a practice of “honoring” author by listing unqualified authors who have made no contributions in publishing research papers as one the authors, practice of dividing a research into many studies only to increase the number of published articles, and practice of hastily publishing articles without review process.

**Article 14-2: Bioethics**

When submitting a paper that involves research on human subjects, it is necessary to specify in the paper that approval has been obtained from the Institutional Review Board (IRB) for bioethics and consent has been obtained from the research subjects. In the case of animal experiments, compliance with institutional or national guidelines for animal research and approval from the Animal Research Ethics Committee must be stated in the paper. Copies of approval documents from the Bioethics Review Board and the Animal Research Ethics Committee should be submitted to the conference via email. The required approval for research and the date of implementation are as follows.

Research type	Date of enforce (After date of enforce, make indication of submission)	Note
human subject	Jul, 1, 2017	Suspend periods(6 month ~ 1 year) for minimize of researchr’s confusion
Animal experiment	Jul, 1, 2017	
Question investigation (survey and sensory evaluation)	Jan, 1, 2018	

**Chapter 4 Ethics Regulations for Dissertation Review****Article 15: Responsibilities and Obligations of Dissertation Examiner**

15.1. The dissertation examiner shall report the review results to the Publishing Committee within the period stipulated in the review regulations by sincerely examining the submitted dissertations.

15.2. The examiner shall immediately turn in the research paper to the Publishing Committee once the submitted dissertation is determined to be inadequate for the examiner to review.

15.3. The examiner shall objectively evaluate the dissertation by applying strict scientific and research standards regarding the quality of dissertation, the experimentability of research, and conceptuality and interpretation, and must be able to adequately explain or support the assessment made upon his/her judgement.

15.4. The examiner shall respect the author's intellectual independence, prevent the author from wrongfully citing other scientists' research, and well coordinate contradictions that arise out of the relationship between interested parties.

15.5. The examiner shall abide by the confidentiality of research paper that is still in the process of reviewing and shall not publicize any information, assertion, interpretation or any other matters of the unpublished manuscript without the consent of the author.

#### **Article 16: Unethical Acts of Examiner**

For fair evaluation and confidentiality, examiners shall refrain from performing any of the following unethical acts.

16.1. an act of assigning research paper view that is requested to the examiner to post-graduate students or any third party

16.2. an act of discussing the contents of research paper while the viewing of the dissertation is still in progress.

16.3. an act of turning in the copy of research paper or retaining the paper without shredding it despite the review process is completed

16.4. an act of using abusive words categorized as a form of defamation of character and personal attack in the process of dissertation review

16.5. an act of evaluating the dissertation without reading the paper

#### **Article 17: Responsibilities and Obligations of the Publishing Committee : Delete(21 April 2016)**

### **Chapter 5 Implementation of the Research Ethics Regulations and the Ethics Committee**

#### **Article 18: Duty of Obedience**

The members of the Society shall take responsibilities on their research activities upon the signing up as the member, accept research misconduct seriously and they are obligated to comply with the research ethics regulations of the Society.

#### **Article 19: Report and Investigation of Violations of the Ethics Regulations**

In case where a member of the Society recognizes the ethics violation of another member, the member must remind the ethics regulations to the another member and shall immediately notify the Ethics Committee when the violations are not corrected.

#### **Article 20: Purpose and Composition of the Ethics Committee**

20.1. The Committee aims to verify the allegation and truth of research ethics violations in accordance with the ethics regulations stipulated in the Society.

20.2. The Committee shall consist of about seven (7) commissioners. The president of the Society shall serve as the chairman of the Committee and the vice chairman shall serve as the chief of editor. The other members of publishing commissioners shall be appointed by the president of the Society upon the recommendation of the head of the Publishing Committee.

**Article 21: Rights of the Ethics Committee**

21.1. The Ethics Committee is authorized to receive reports on alligation of the research misconduct and investigate for the verification of truth.

21.2. The Committee may impose sanctions as stipulated in the Society regulations, if violations are verified to be true upon the conduction of extensive investigation with informants, examinees, witnesses, other persons to attend, and submit materials relevant to the case.

**Article 22: Judgment and Sanctions of the Ethics Committee**

22.1. The verification process of violation shall be conducted in accordance with the phases of preliminary examination, main examination, and judgement and the process must be terminated within six (6) months. Provided, That the investigation period may be extended upon the approval of the chairman of the Committee in case the investigation is deemed difficult to be completed within the stipulated period

22.2. In case an informant or an examinee is dissatisfied with the judgement, those persons may raise an objection in writing within thirty (30) days after they are informed of the notification. In such event, the Ethics Committee may reinvestigate, if necessary, upon the reviewing objection.

**Article 23: Protection of Informant and Examinee**

23.1. The Committee is responsible for the protection of informant and investigated subject in the event that the informant receives disadvantages or unjust pressure due reporting alleged misconduct and its investigation, the Committee shall take all necessary measures to protect the informant.

23.2. The informant has right to request necessary information on investigation process or schedules after reporting alleged misconduct and the Committee shall faithfully comply with it.

23.3. For members reported for violations of research ethics regulations, a written notification outlining the overview of the case should be provided, ensuring the opportunity to submit a written statement within a specified period. Additionally, the member should be given sufficient opportunity to attend at least one meeting of the ethics committee during the investigation process to provide oral explanations if desired.

23.4. Until the final decision of the society regarding the violation of ethical regulations is reached, the ethics committee should refrain from disclosing the identity of the member to the public to ensure that the member's honor and rights are not infringed upon.

**Article 24: Procedures and Contents of Disciplinary Sanctions**

24.1. In case where any disciplinary sanctions need to be taken, the chairman of the Committee shall convene the meeting and conclusively determine if disciplinary sanctions will be imposed or not and the forms of sanctions.

24.2. Once the sanction is finalized, the member may be suspended or deprived from research paper submission and member's qualification for the next five (5) years and such measures may be informed or publicized to the subject or his/her affiliated institution and journals.

**Article 25: Revision of the Ethics Regulations**

25.1. In case where revision of the ethics regulations is required, the amendment shall be prepared by the Board of Directors, deliberated to the Board of Executives, and decided by the resolution of the Advisory Council.

25.2. Members who pledged to comply with the previous regulations shall be deemed to agree to comply with the amended regulations without additional pledge.

**Addendum****Article 1: Date of Enforcement**

These regulations shall enter into force on June 23rd, 2008.

**Article 2: Date of Enforcement**

These regulations shall enter into force on april 21rd, 2016.

**Article 3: Date of Enforcement**

These regulations shall enter into force on december 3rd, 2016.

**Article 4: Date of Enforcement**

These regulations shall enter into force on November 10rd, 2023

## 한국식품영양학회지 논문 투고 규정

1988년 7월 5일 제정	1990년 12월 10일 개정
1996년 8월 16일 개정	1998년 12월 18일 개정
2002년 8월 8일 개정	2003년 3월 8일 개정
2004년 3월 26일 개정	2006년 3월 25일 개정
2009년 3월 25일 개정	2010년 8월 14일 개정
2012년 6월 22일 개정	2013년 6월 20일 개정
2013년 9월 28일 개정	2014년 6월 20일 개정
2015년 12월 17일 개정	2016년 6월 16일 개정
2023년 11월 10일 개정	2025년 2월 14일 개정
	2025년 10월 16일 개정

1. 한국식품영양학회지는 식품·영양에 관한 연구논문, 연구노트, 연구속보 및 총설 등을 게재한다. 단, 총설은 본 학회에서 위촉하거나, 편집위원회의 심의에 의해 정한 경우로 한다.
2. 투고자 중 주 저자와 교신저자는 본회 회원에 한하는 것을 원칙으로 하되, 초청논문은 예외로 한다.
3. 투고논문은 다른 학술지에 발표되지 않은 것이어야 한다.
4. 논문 투고는 학회 홈페이지(<http://ksfn.kr>)의 온라인 논문 투고시스템으로 한다.
5. 원고 투고 관련 문의는 편집이사에게 한다.  
E-mail: [foodnutr1@naver.com](mailto:foodnutr1@naver.com)
6. 논문의 심사, 채택여부, 게재순서, 인쇄순서는 논문 심사규정 및 편집규정에 따른다. 논문의 접수일은 논문이 본 학회 온라인 투고시스템에 도착한 날로 한다.
7. 교신저자는 한국식품영양학회 회원이어야 하며, 회원이 아닌 사람의 논문 게재는 편집위원회의 결의에 따른다.  
온라인 투고 (Online Submission)를 원칙으로 한다. 투고방법은 논문 제출서 (Submission Form)를 작성한 후, 논문과 연구 윤리 서약서 및 저작권 이전 동의서 (Authors' Agreement of Ethics Policy & Copyright Transfer)를 제출한다. 인간대상연구와 동물실험 논문은 연구를 수행하기전 기관생명윤리위원회 IRB(Institutional Review Board) 승인서와 동물실험윤리위원회 승인서 사본 (승인번호가 기재된 첫 장만)을 연구 윤리 서약서 및 저작권 이전 동의서 뒷장에 첨부한다.  
체계적고찰(Systematic review)과 메타분석(Meta analysis)를 제외한 총설과 초청논문은 편집위원회에서 위촉된 경우에 한하여 게재된다.  
위촉에 의해 투고된 원고도 일반 투고 논문과 동일한

심사과정을 거쳐 게재된다.

논문의 심사, 채택여부, 게재순서 등은 편집규정과 심사규정에 의거하여 진행한다. 논문은 3단계 심사절차를 거쳐 게재여부를 결정하며, 3단계 심사절차는 아래와 같다.

1단계 : 편집이사가 간단히 논문 검토 후 1차적인 심사 가부를 결정한다.

2단계 : 편집이사가 정한 2인의 심사위원이 세부심사를 한다.

3단계 : 2단계 심사에서 최종판정이 나지 않은 경우, 1인의 심사위원을 추가로 위촉하여 심사를 한다.

- 심사자 비공개를 원칙으로 하고, 세부 심사절차는 본 학회지 심사 규정에 따른다.

8. 논문은 국문 또는 영문으로 한글 또는 MS워드 파일을 사용하여 컴퓨터로 작성하되, 글씨 크기는 10~12 포인트, 줄 간격은 200%로 한다.

9. 원고 제1면에는 국문과 영문으로 논문제목, 저자, 소속기관, 직위를 나타낸다. 제목 상단에 압축한 소제목 (Running title)을 기재한다. 소제목(Running title)은 논문의 내용을 잘 나타낼 수 있도록 짧게 하며 논문 저자가 두 사람 이상인 경우에는 교신저자 성명 앞에 <sup>†</sup> 표시를 한다. 소속기관이 다른 경우에는 저자 이름 끝에 위첨자로 \*, \*\*, \*\*\*을 순서에 따라 붙이고, 해당인의 소속기관 앞에도 같은 부호를 붙인다. 공동 제1저자를 추가해서 지정할 수 있다. 제1저자와 공동 제1저자는 성명 앞에 '\$'를 위첨자로 표시하며, 하단에 영문으로 "These authors contributed equally to this work"로 표시한다. 교신저자는 1면 하단에 영문으로 성명, 소속기관, 소속기관 주소, 전화번호, fax 번호, e-mail 주소를 기입한다. 국문 저자명은 저자명 사이에 "·"를, 영문은 저자명 사이에 " , "를 넣는다.

논문 저자 중 소속이 2개 이상일 경우, 여러 기관을 명시하는 것이 가능하다.

모든 저자는 ORCID 등록 시 소속과 직위를 등록해야 하며, 이는 추후 저자신분 확인이 필요할 경우 자료로 활용할 수 있다.

10. 원고 제 2면에는 제목을 국문과 영문으로 표기하고 영문으로 된 Abstract를 첨부한다. 초록은 200단어 내외의 줄 바꿈 없는 단일 문단으로 하되 본문과 분리하여도 논문을 이해할 수 있도록 연구목적, 연구방법, 연구결과가 나타나도록 작성하며, 하단에는 5개 이내의 영문주제어(keywords)를 기입한다(keywords는 모두 소문자 영어로 표기).
11. 논문의 형식은 서론, 재료 및 방법(또는 연구 대상 및 방법), 결과 및 고찰, 요약 및 결론, 이해상충(Conflict of interest), 감사의 글, References의 순서로 함을 표준으로 하며, 쪽 구분 없이 계속 연결하여 작성한다.
12. 연구노트는 어떤 한정된 부분의 발견이나 새로운 실험 방법과 좋은 내용을 정리한 논문으로, 논문형식을 기준으로 작성하되 2,500단어 이내, Table과 Figure 합이 3개 이하를 원칙으로 한다.
13. 모든 표 및 그림의 제목과 설명은 영문으로 한다. 제목은 Table 1, Fig. 1 등의 순서로 표기하며 본문을 참조하지 않아도 내용을 알 수 있을 정도로 간결, 명확하게 기재한다. Table의 제목은 표의 상단에, Fig.의 제목은 그림의 하단에 기재한다. 본문에 인용할 때는 Table 1, Fig. 1 등으로 표시한다. Table이 페이지를 넘어가는 경우에는 제목 끝에 “continued”를 표기해 준다.
14. Table의 밑에 각주(footnote)를 달 때는 Table 내용 중 설명하려는 단어 혹은 문장 아래 아라비아 숫자 1), 2), 3)으로 나타내며 부호들은 사용하지 않는다. \*, \*\* 표시는 통계분석의 유의확률이  $p < 0.05$ 나  $p < 0.01$ 을 나타낼 때만 사용한다. 다중범위 검정에서는 a, b, c, d 등을 사용하고 하단에 그 내용을 표시한다. |
15. 모든 표와 그림은 본문 중에 작성하거나, 한 장에 하나씩 작성하여 본문 뒤에 순서대로 첨부한 후 본문 중에 그 위치를 표시하여야 한다. 그림은 사진 또는 컴퓨터로 깨끗이 작성하여 정판원고로 직접 사용될 수 있도록 한다.
16. 본문 중에 인용되는 References는 저자명과 연도별로 인용하며, 영문으로 표기함을 원칙으로 한다. 인용문헌의 기재 예는 다음과 같다.
  - 1) 인용되는 문헌은 해당부위에 영문 성(family name)으로 된 저자명과 연도를 괄호하여 표기한다. **저자**

**가 1인 일 때는 저자의 성과 이름 약자를 모두 표시하고 저자가 2인 일 때는 두 저자의 성만을 표시하고, 3인 이상일 때는 제 1저자 성을 표기하고 ‘등’을 쓴다. 동일저자의 같은 연도 발표논문인 경우에는 연도 뒤에 a, b, c로 표기한다.**

예: **문장 처음에 오는 경우**

Kim HJ(2005)는 ...

Kim & Lee(2007)는 ...

Kim 등(2008)은 ...

Park(2007a)은 ...

**문장 끝에 오는 경우**

(Kim HJ 2005), (Kim & Lee 2007), (Kim 등 2008).

- 2) 본문 중에 인용문헌이 여럿일 경우에는 연도순으로 표기하고, 연도가 같은 경우에는 저자명의 알파벳 순으로 표기한다.

예: **(Lee 등 2007; Kim HJ 2008; Park & Kim 2008)**

17. 본 학회 학술지에 게재된 논문을 적극적으로 인용(3편 이상)할 것을 권장한다.
18. 저자의 이해상충(Conflict of interest)여부에 대해 기재해야 한다. [본조신설 2023. 11. 10.]  
예: There are no financial or other issues that might lead to conflict of interest.OOO(Author's name) has been an editor since 2023. However, he was not involved in the review process of this manuscript. Otherwise, there was no conflict of interest.
19. **References의 배열은 저자의 영문성의 알파벳 순으로 한다.** 인용문헌에서 게재 학회지의 약어는 국제 약어 기록 관례에 따른다. References의 기재 예는 다음과 같다.

#### 1) 학술잡지

Kim KW, Ko CJ, Park HJ. 2002. Mechanical properties, water vapor permeabilities and solubilities of highly carboxymethylated starch-based edible films. *J Food Sci* 67:218-222

#### 2) 단행본

Brock TD, Smith DW, Madigan MT. 1984. Biology of Microorganisms. pp.100-105. Prentice-Hall. Inc. AOAC. 1980. The Association Official Methods of Analysis. 13<sup>th</sup> ed. pp.3508-3515

#### 3) Bulletin, 학위논문

Hur YH, Lee SG, Suh JS. 1987. Studies on the change in components of  $\gamma$ -irradiated soybean during fermentation.

*Ann Bull Seoul Health Junior College* 7:7-14

Ciacco CF. 1983. A study on mineral contents in processed foods. Ph.D. Thesis, North Dakota State Univ. Fargo. North Dakota

**4) 특허**

Bernard S. 1988. Preproofed, frozen and refrigeration and crusty bread and method of making same. US Patent 4,788,067

**5) 학회에서 구두 발표된 원고**

Huhtanen CN. 1988. Preparation of cold water dispersible cocoa powder. Abstract 21, 42<sup>nd</sup> *Ann Meeting Inst Food Technol* Atlanta

**6) 인터넷 규정**

Korean National Statistical Office. 2007. The statistics of mortality and the cause. Available from <http://www.kostat.go.kr> [cited 20 January 2014]

20. 논문 약호는 Chemical Abstracts에 준한다. 학술용어

는 가능한 한 한글로 표기한다.

21. 수량은 아라비아 숫자로, 단위는 가능한 국제단위(SI unit)로 표기한다. 단위와 술어의 약자는 본 학회가 권장하는 방법을 따르되 기타 부득이한 경우에는 본문에 처음 나올 때 설명하여야 한다.
22. 교정은 초교에 한하여 저자가 교정하는 것을 원칙으로 하며, 교정 중 내용을 바꾸거나 추가할 수 없다. 단, 논문편집상 필요하다고 인정되는 사항은 편집이사가 이를 교정할 수 있다. 본 학회지에 게재된 논문의 저작권은 본 학회에 귀속된다.
23. 투고자는 소정의 게재료를 납부하여야 한다. 논문은 온라인으로만 발간되며, 칼라사진으로 인쇄할 경우나 별책을 원할 경우에는 투고자가 실비를 부담한다.
24. 한 호에 게재되는 논문은 주저자 1명 당 2편으로 제한하며 해당 월의 20일까지 편집완료 된 30편 이내의 논문을 게재한다.
25. 본 규정에 명시되지 않은 사항은 편집위원회에서 결정한다.

단 위	표기방법	단 위	표기방법
micrometer	2 μm	part per million	20 ppm
millimeter	4 mm	molarity	0.1 M
centimeter	6 cm	normality	0.05 N
meter	2 m		0.01 N HCl
milligram	2 mg	temperature	60°C
gram	4 g		180°F
kilogram	6 kg	absolute degree	270K
milliliter	2 mL	mega pascal	25 MPa
liter	4 L	kilocalorie	2,000 kcal
second	2 s	gravity	10,000×g
minute	4 min		
hour	6 h	<b>약 어</b>	
milliliter/minute	2 mL/min	optical density	O.D.
meter/second	4 m/s	dextrose equivalent	D.E.
percent	20%		
%(weight/volume)	20%(w/v)	<b>범 위</b>	1.0~2.0 mg
milligram percent	100 mg%		
pH	pH 7.0	<b>수 식</b>	(a+b)/(c+d)

※ 학회지 투고규정이 2025년 10월 16일자로 일부 변경되었습니다.  
38권 5호 이후의 논문 투고 시 참고하시기 바랍니다.

## Guidelines for Submitting Manuscripts

Amended on 05/07/1988	Amended on 10/12/1990
Amended on 16/08/1996	Amended on 18/12/1998
Amended on 08/08/2002	Amended on 08/03/2003
Amended on 26/03/2004	Amended on 25/03/2006
Amended on 25/03/2009	Amended on 14/08/2010
Amended on 22/06/2012	Amended on 20/06/2013
Amended on 28/09/2013	Amended on 20/06/2014
Amended on 17/12/2015	Amended on 16/06/2016
Amended on 10/11/2023	Amended on 14/02/2025
	Amended on 16/10/2025

1. The Journal of the Korean Society of Food and Nutrition publishes research papers, research notes, research updates, and review articles related to food and nutrition. However, the publication of review articles is limited to those appointed by the society or those approved by the editorial board.
2. In principle, the first author and corresponding author among paper contributors shall be limited to only members of the Society excluding invited research papers.
3. Submitted manuscripts should not have been published before in any other journals.
4. The author should submit the manuscript electronically via online submission at the Society's website (<http://ksfn.kr>).
5. For information of Manuscript submission please contact the editor.  
E-mail: [foodnutr1@naver.com](mailto:foodnutr1@naver.com)
6. Research paper review, selection, publishing order, printing order shall comply with review and publishing regulations. The receipt date of manuscript shall be the arrival date of manuscript by online submission to the Society.
7. The corresponding author must be a member of the Korean Society of Food and Nutrition, and the publication of papers by non-members is subject to the resolution of the editorial board.

Online submission is the primary method. Authors should complete the Submission Form and submit the paper along with the Research Ethics Pledge and the Authors' Agreement of Ethics Policy & Copyright Transfer. For research involving human subjects and animal experiments, a copy of the approval from the Institutional Review Board (IRB) and the Animal Research Ethics Committee (only the first page with the approval number) should be attached to the back of the Authors' Agreement of Ethics Policy & Copyright Transfer.

The review articles and invited papers, excluding systematic review and meta-analysis, will be published only when commissioned by the editorial board. Manuscripts submitted through commission undergo the same review process as regular submissions.

The evaluation, acceptance, and order of publication of papers follow the editorial regulations and review rules. The paper undergoes a three-stage review process to determine its publication status, as outlined below.

Stage 1: The editorial director reviews the paper briefly and determines the preliminary assessment.

Stage 2: Two reviewers designated by the editorial director conduct a detailed examination.

Stage 3: If the final decision is not reached in the second stage, one additional reviewer is appointed to conduct further evaluation.

- The principle is to keep the reviewers' identities confidential, and the detailed review procedures follow the regulations outlined in the journal's review guidelines.

8. The language in the manuscript should be Korean or English in A4-size paper setting, typed using a computer with font size of 10~12 points and the line spacing should be set at 200%.
9. The author should provide the title in Korean and English, the author's (or authors') name(s), affiliation and job position on the first page of the manuscript. The running title should be provided at the upper part of the title page. If the number of authors is two or more, † mark should be indicated in front of corresponding author. If affiliations of authors are different, superscriptions of \*, \*\*, \*\*\* should be put at the end of authors name in order. The same marks should be put in front of respective affiliation. It is possible to designate co-first authors. The first and co-first authors are indicated by a superscript "\$" before their names, and the English phrase "These authors contributed equally to this work" is displayed below. The corresponding authors should provide author's name in English, affiliation, affiliation address, telephone, fax, and e-mail. The authors' names in Korean should have "-" in between the name and the author's names in English should have "," in between the name.  
If an author is affiliated with two or more institutions, it is permissible to specify multiple affiliations.  
All authors must register their affiliations and positions when registering with ORCID or a similar identifier. This information can be utilized as documentation for identity verification if needed in the future.
10. The English abstract should be provided in case of Korean manuscript on the second page of the manuscript. The abstract must not exceed more than 200 words in one paragraph and it should provide a general view of the manuscript by including the research objectives, methods, and results. At the bottom, include up to 5 keywords in English (all in lowercase).
11. The paper should follow the standard format with the following sections in order: Introduction, Materials and Methods (or Study Subjects and Methods), Results and Discussion, Summary and Conclusions, Conflict of Interest, Acknowledgments, and References. The text should be continuously connected without page breaks.
12. Research Notes are brief reports of limited scope that contribute new knowledge. The formatting is the same as the Research Articles. Research Notes are suggested not exceeding 2500 words. The tables and figures are limited up to 3 in any combination.
13. Titles and descriptions of tables and figures should be all provided in English. Titles should be provided in order of Table 1, Fig. 1, and etc. and in clear and precise manner so they could be understandable without referring to the text. The title of table should be given at the top of the table and the title of figure should be given at the bottom of the figure. Tables and figures should be stated as Table 1, Fig. 1 and etc. when they are quoted from the text body.
14. Footnotes should be expressed as Arabic numerals of 1), 2), 3) at the bottom of tables, and no sign should be used. Moreover, \*, \*\* marks must be used to present significance probability of  $p < 0.05$  or  $p < 0.01$  in statistical analysis. In multiple range test, alphabets of a, b, c, d, and etc. should be used and the explanations should be stated at the bottom.
15. All of the tables and figures may be presented in the middle of the text body or on separate sheets of paper to be attached at the end of the manuscript in order. The exact locations of tables and figures should be properly stated in the text. Pictures must be neatly produced by photography or a computer to be directly used as original images.
16. All sources cited in the text must provide author's name alphabetically and the year, and, in principle, all references must be provided in English. The examples of cited references are as follows:
  - 1) Cited references should be presented as surname in English and the year in parentheses at the corresponding part. For the citation of **a single author**,

his/ her **initial(s) and surname** should be provided. For the citation of **two authors**, only **surnames** should be provided. For one work by **more than three authors**, citation should include only **the surname of the first author** followed by “**et al.**” For two or more works by the same author by year of publication, the signs such as a, b and c should be provided followed by the year.

e.g. **Citation in the beginning of a sentence**

Kim HJ (2005) is ...

Kim & Lee (2007) is ...

Kim et al. (2008) is ...

Park (2007a) is ...

**Citation in the end of a sentence**

(Kim HJ 2005), (Kim & Lee 2007), (Kim et al. 2008).

- 2) For several citations in the text, the cited sources should be presented in chronological order or in alphabetical order of authors, in case of the same year.

e.g. (Lee et al. 2007; Kim HJ 2008; Park & Kim 2008)

17. KSFAN actively recommends to cite articles (3 or more) published in the journal of the Society.

18. The author must disclose any conflicts of interest. [Added to the regulation on November 10, 2023.]

Example: There are no financial or other issues that might lead to conflict of interest.OOO(Author's name) has been an editor since 2023. However, he was not involved in the review process of this manuscript. Otherwise, there was no conflict of interest.

19. **The arrangement of references shall be put in alphabetical order of author's last name.** Abbreviation of journal in cited references shall comply with international standards for abbreviation. The examples of cited references are as follows:

#### 1) Academic Journal

Kim KW, Ko CJ, Park HJ. 2002. Mechanical properties, water vapor permeabilities and

solubilities of highly carboxymethylated starch-based edible films. *J Food Sci* 67:218-222

#### 2) Edited Books

Brock TD, Smith DW, Madigan MT. 1984. Biology of Microorganisms. pp.100-105. Prentice-Hall. Inc.

AOAC. 1980. The Association Official Methods of Analysis. 13<sup>th</sup> ed. pp.3508-3515.

#### 3) Bulletin, Dissertations

Hur YH, Lee SG, Suh JS. 1987. Studies on the change in components of  $\gamma$ -irradiated soybean during fermentation. *Ann Bull Seoul Health Junior College* 7:7-14.

Ciaccio CF. 1983. A study on mineral contents in processed foods. Ph.D. Thesis, North Dakota State Univ. Fargo. North Dakota

#### 4) Patents

Bernard S. 1988. Preproofed, frozen and refrigeration and crusty bread and method of making same. US Patent 4,788,067

#### 5) Oral Presentation of Manuscript at Symposia

Huhtanen CN. 1988. Preparation of cold water dispersible cocoa powder. Abstract 21, 42<sup>nd</sup> *Ann Meeting Inst Food Technol* Atlanta

#### 6) Internet Source

Korean National Statistical Office. 2007. The statistics of mortality and the cause. Available from <http://www.kostat.go.kr> [cited 20 January 2014]

20. Article abbreviations should be presented in accordance with Chemical Abstracts. Academic terms, if possible, should be provided in Korean.

21. The quantity always should be express in Arabic numerals and units should be express, if possible, in accordance to the International System of Units (SI). Units and abbreviations of predicate terms shall abide by recommendation provided by the Society. However, in case where there is any unavoidable reason, such exceptions must be clearly explained in the beginning of the text.

22. In principle, revision is accepted during the proofreading made by only the authors of the manuscript. No changes or insertions shall be made in the contents during the revision. Provided, That matters, in case of deemed necessary, may be revised by an editor. The copyright of all published articles in the journal of KFN shall devolve on the Society.
23. The submitter must pay the specified publication fees and this journal is published online only. Additionally, if color photographs are to be printed or if separate attachments are requested, the submitter bears the associated expenses.
24. The number of papers published in one issue is limited to 2 per lead author, and up to 30 papers that have been editorially completed by the 20th of the month are published in the corresponding month.
25. Any matters not explicitly stated in these regulations shall be determined by the Publishing Committee.

※ The submission regulations for the journal have been partially revised as of **October 16, 2025**. Please refer to the updated guidelines when submitting papers for **Volume 38, Issue 5**, and subsequent issues.

---

# THE KOREAN JOURNAL OF FOOD AND NUTRITION

Vol. 38, No. 6 December 2025

---

pISSN : 1225-4339

eISSN : 2287-4992

Homepage : <http://ksfn.kr>Full-text : [www.eksfan.or.kr](http://www.eksfan.or.kr)**President**

Hye Sook Ryu(Sangji Univ.)

**Vice Presidents**

Young-Ho Seo(Wonkwang Health Science Univ.)

Ok-Sun Kim(Jangan Univ.)

Jong-Sook Kwon(Shingu Univ.)

Jong Kyung Lee(Hanyang Women's Univ.)

Jae Pil Roh(Shingu Univ.)

Jong Hee Kim(Seoil Univ.)

Mi-Hyadng Hwangbo(Keimyung College Univ.)

Seung-Hee Hong(Shinhan Univ.)

**Editor-in-Cheif**

Youn-Ri Lee(Daejeon Health Institute of Technology)

**Editors**

Hojin Lee(Korea National University of Transportation)

Jean Kyung Paik(Eulji Univ.)

Soo-Youn Kwon(Shingu Univ.)

**Manuscript editor**

Yu Hyeon Jeon

**Secretary General**

Jean Kyung Paik(Eulji Univ.)

**Editorial Board**

Seung Gyun Choi(Soongyei Women's Univ.)

Hoon Kim(Chung-Ang Univ.)

Hyun-Wook Do(Jeonju Univ.)

Hye Jin Park(Chungbuk Agricultural Research  
and Extension Service)

Kyu-Ho Han(Obihiro Univ.)

Min Sun Moon(Erom Corporation)

Gi Dae Kim(Kyungnam Univ.)

Hae In Yong(Chungnam National Univ.)

Se Ho Lee(Junganatafla)

Bum sik Kim(Yeonsung Univ.)

Bo rham Yoon(Sunchon National Univ.)

Ki Nam Kim(Daejeon Univ.)

Hyun Jung Kim(Jeju National Univ.)

**Aims & Scope**

The Korean Journal of Food and Nutrition (Korean J. Food Nutr.) is the official journal published quarterly in February, April, June, August, October and December each year. Contributions written in English and Korean are welcomed in the form of review articles, research papers, and research notes. This journal aims to promote and encourage the advancement of the field of food science with nutrition. Topics covered include:

- impact of nutritional science on food product development
- nutritional implications of food processing
- nutritional quality of novel foods
- food-nutrient interactions
- use of fermentation and biotechnology in food science/nutrition
- nutritional and physiological aspects of bioactive compounds in food
- dietary requirements and nutritive value of food

**ISO abbreviation of journal title**

The official title of the journal is 'The Korean Journal of Food and Nutrition' and the abbreviated title is 'Korean J. Food Nutr.'

**Year of launching (history)**

The Korean Journal of Food and Nutrition was launched in 1988.

**Availability of the full-text in the web**

The URL address of the Journal is 'www.eksfan.or.kr' where full text is available.

**Indexed in database**

Some, or all, of the articles in this journal are indexed in Ksfan, DOI/crossref, Google scholar, the National Research Foundation of Korea(NRF) and Korea Citation Index (KCI).

**Fund support**

This journal was supported by the Korean Federation of Science and Technology Societies (KOFST) Grant funded by the Korean Government.

**Subscription information**

Correspondence concerning business matters should be addressed to Secretary Treasurer Young il Park, Department of Food and Nutrition, Soongui Women's University, 25, 10, Sopa-ro 2-gil, Jung-gu, Seoul, Republic of Korea.(Cell: 82-10-8526-3218, E-mail: zeroonetwo@sewc.ac.kr) The subscription price of this journal is Korean Won, ₩40,000 (US\$ 30.00 or equivalent) annually. Back issues are available.

**Contact information**

Manuscripts should be submitted via the online Manuscript Central website (<http://ksfn.kr>) Other correspondences can be sent by an e-mail to foodnutr1@naver.com (Editor, Hojin Lee, Major of Food and Nutrition, Korea National University of Transportation, 61 Daehak-ro, Jeungpyeong-gun, Chungbuk, 27909 Korea, Cell: +82-10-4907-3711) The manuscript and other required documents including a completed Copyright Assignment Form and Checklist for original article should be emailed as attachments to the above e-mail address.

**Publication fee**

A page charge is effective for all manuscripts on original research. A review is exempt from page charges, provided it is approved in advance by the Editor-in-Chief. The actual charge per printed page will be notified to the author along with the manuscript for galley proofs.

**Published by**

The Korean Society of Food Science and Nutrition  
Department of Food and Nutrition, Sangji University, 83, Sangjidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do, 26339 Korea  
Tel: +82-33-738-7641, Fax: +82-504-207-5432 E-mail: ksfan88@hanmail.net

**Editorial office of the Korean Journal of Food Science and Nutrition**

Major of Food and Nutrition, Korea National University of Transportation, 61 Daehak-ro, Jeungpyeong-gun, Chungbuk, 27909 Korea  
Tel: +82-43-820-5338, Fax: +82-43-820-5850, E-mail: hojin@ut.ac.kr

**Printed by Guhmok Publishing/Guhmok Info**

259-1, Euljiro3-ga, Jung-gu, Seoul, 04549, Korea  
Phone: +82-2-2277-3324, Fax: +82-2-2277-3390, E-mail: guhmok@guhmok.com

**Editor-in-Chief**

Professor, Youn-Ri Lee  
Department of Food and Nutrition, Daejeon Health Institute of Technology College, 21 Chungjeong St., Dong-gu, Daejeon, 34504 Korea  
Cell: +82-10-4400-7863, E-mail: leeyounri@hit.ac.kr

---

**It is printed on acid-free paper.**

Copyright ©2025 by The Korean Society of Food and Nutrition

This work is supported by the 'Lottery Fund' of the 'Ministry of Strategy and Finance' and the 'Science and Technology Promotion Fund' of the 'Ministry of Science and ICT', contributing to the realization of social value and the development of national science and technology.

# 학술 출판과 관련된 모든 고민을 해결해 드립니다!

## 오랜 역사

1989년 설립 이후,  
30여년 이상 학술 출판에 매진하였습니다.

## 다양한 경험

현재 80여개의  
학술지를 편집·출판하고 있습니다.

## 앞선 기술력

DOI 등록, JAST XML, 인디자인 편집 등  
최신기술을 앞서서 적용합니다.



## 학술출판 One-Stop 서비스

1. 논문 접수, ME(교정), 편집, 인쇄, 제본, 출판, IT 솔루션
2. 학회/국제학술대회 홈페이지 구축 및 초록 접수/등록/결제 지원
3. DOI, Similarity Check, Crossmark, ORCID 등록 및 관리 제공
4. JATS XML 국제수준 제작 및 PMC 등록 업무 대행
5. 학술지 인용지수 상상을 위한 세계 최고수준의 Journal Site 제공
6. 전세계 논문 접수를 24시간 지원하는 논문투고 시스템(국/영문) 제공



# 교문사 e라이브러리

식품영양 × bukio

6개월 43,000원



buk.io/gyoelib  
e 라이브러리  
바로가기

## 이런 도서관 봤나?

### 식품영양학 교재를 모두 모았다!

월 7천원이면 50여 종 식영 도서가 무제한.  
태블릿 하나로 공부 걱정 해결.

영양사 자격증도

교문사.e.라이브러리

하나면 돼!



너 식영관? 그럼 교리!



# 한국식품영양관련학과 추천도서 문운당

## 영양사 시험문제집

개정 제30판 | 2도 인쇄 | 값 45,000원(출간 예정)



## 영양사 요점정리

개정 제26판 | 2도 인쇄 | 값 45,000원(출간 예정)

## 문운당 위생사 실기

제12판 | 4도 인쇄 | 값 33,000원(출간 예정)

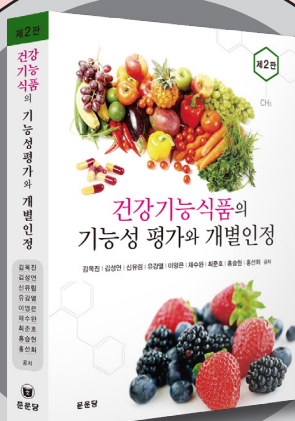


## 문운당 위생사 필기

제12판 | 2도 인쇄 | 값 45,000원(출간 예정)

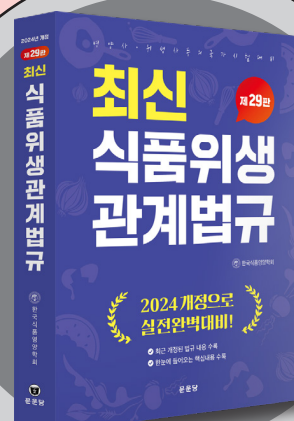
## 건강기능식품의 기능성 평가와 개별인정

제2판 | 1도 인쇄 | 값 35,000원



## 최신 식품위생관계법규

개정 제30판 | 1도 인쇄 | 값 35,000원(출간 예정)



# 근육·뼈 건강을 위한 식약처 기능성인정 건강기능식품

소비자 웰빙지수 **1**위!  
(2021~22, 2년 연속 한국표준협회 선정)

산양유 단백질에  
정상적인 면역기능  
아연까지!



내 몸을 위한 단백질 건강습관 하루 한 컵 하이문!

- 근육건강을 위한 단백질 밸런스(동물성:식물성=6:4)
- 장건강, 배변을 위한 프리바이오틱스
- 정상적인 면역기능을 위한 아연
- 활발한 신진대사를 위한 비타민
- 뼈 건강을 위한 칼슘, 비타민D

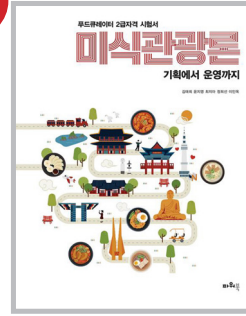
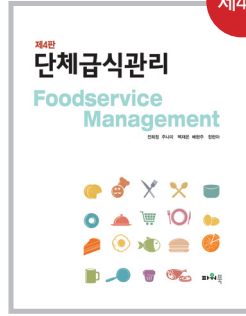
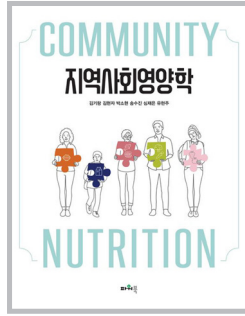
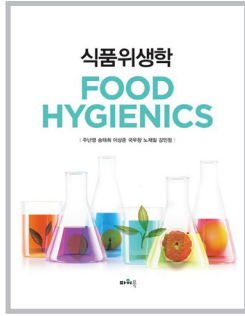
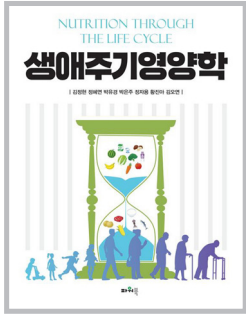
☎ 지금 전화하시면 근육건강에 좋은 일이 생깁니다

**02.2049.2238**

제4판

개정판

개정2판



**생애주기영양학**

**식품위생학**

**지역사회영양학**

**제4판 단체급식관리**

**미식관광론**

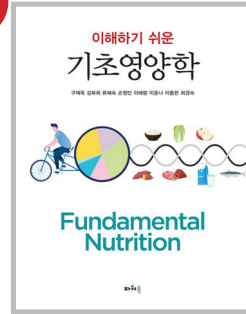
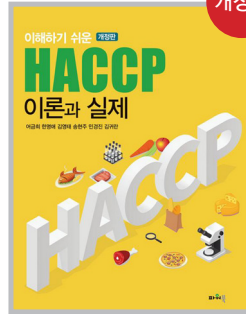
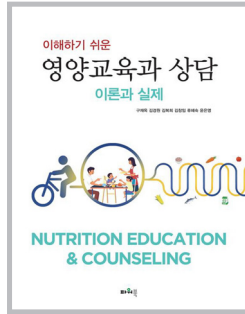
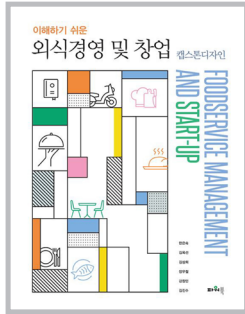
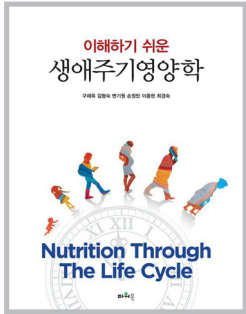
김정현 · 정혜연 · 박유경 · 박은주  
정자용 · 황진아 · 김오연  
448쪽 | 값 26,000원  
978-89-8160-513-1 (93590)

주난영 · 송태희 · 이상준  
국무창 · 노재필 · 강민정  
256쪽 | 값 22,000원  
978-89-8160-445-5 (93590)

김기량 · 김현자 · 박소현  
송수진 · 심재은 · 유현주  
320쪽 | 값 23,000원  
978-89-8160-507-0 (93590)

전희정 · 주나미 · 백재은  
배현주 · 정현아  
332쪽 | 값 24,000원  
978-89-8160-514-8 (93590)

김태희 · 윤지영 · 최지아  
정희선 · 이인옥  
256쪽 | 값 22,000원  
978-89-8160-519-3 (93590)



**이해하기 쉬운 생애주기영양학**

**이해하기 쉬운 외식경영 및 창업**  
-캡스톤디자인-

**이해하기 쉬운 영양교육과 상담**  
-이론과 실제-

**이해하기 쉬운 HACCP 이론과 실제**

**이해하기 쉬운 기초영양학**

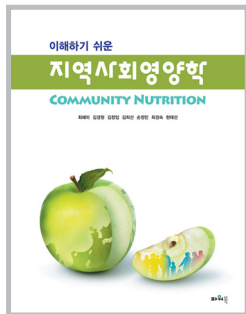
구재욱 · 김형숙 · 변기원  
손정민 · 이종현 · 최경숙  
396쪽 | 값 25,000원  
978-89-8160-474-5 (93590)

한은숙 · 김옥선 · 김삼희  
장우철 · 강창민 · 김진수  
296쪽 | 값 23,000원  
978-89-8160-506-3 (93590)

구재욱 · 김경원 · 김복희  
김창임 · 류혜숙 · 윤은영  
424쪽 | 값 25,000원  
978-89-8160-476-9 (93590)

어금희 · 한영애 · 김영태  
송현주 · 민경진 · 김귀란  
336쪽 | 값 24,000원  
978-89-8160-504-9 (93590)

구재욱 · 김복희 · 류혜숙 · 손정민  
이윤나 · 이애랑 · 이종현 · 최경숙  
304쪽 | 값 23,000원  
978-89-8160-475-2 (93590)



**이해하기 쉬운 지역사회영양학**

**조리원리**

**이해하기 쉬운 영양판정 및 실습**

**개정2판 임상영양학**

최혜미 · 김경원 · 김창임 · 김희선  
손정민 · 최경숙 · 현대선  
352쪽 | 값 24,000원  
978-89-8160-485-1 (93590)

이영미 · 최지유 · 권수연  
김미영 · 김옥선 · 윤지현  
272쪽 | 값 23,000원  
978-89-8160-520-9 (93590)

이종현 · 이해정 · 신상아  
송수진 · 전수경  
304쪽 | 값 23,000원  
978-89-8160-522-3 (93590)

이미숙 · 이선영 · 김현아  
정상진 · 김원경 · 김현주  
472쪽 | 값 26,000원  
978-89-8160-523-0 (93590)



[www.powerbook.kr](http://www.powerbook.kr)

경기도 고양시 일산동구 호수로 358-25 동문타워 2차 529호  
TEL 02-730-1412 FAX 031-908-1410