



Research Article

Evaluation of quality characteristics and antioxidant activity of crackers prepared with upcycled wheat bran

업사이클링 밀기울을 활용한 크래커의 품질 특성 및 항산화 활성 평가

Eun-Ha Park, Alexander Myung Jun Min, Hee-Yeon Jin*

박은하 · 민알렉산더명준 · 진희연*

REharvest Co., Ltd., Seoul, 06227, Korea

리하베스트 기업부설연구소

Abstract This study aimed to evaluate the quality characteristics and antioxidant activity of crackers formulated with re:nergy wheat bran, an upcycled dietary fiber ingredient derived from wheat bran, and to explore its potential as a functional food material. Re:nergy wheat bran was processed through drying, roasting, and powdered to improve flavor, particle uniformity, and reduce moisture content. The processed powder exhibited a larger particle size (144.60 μm), lower bulk density (1.00 g/mL), and higher water holding capacity (207.5%) compared to commercial flour. Re:nergy wheat bran was incorporated into crackers at substitution levels of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30% and its effects on physical and functional properties were examined. Moisture content and baking loss decreased with higher substitution, while hardness and chewiness significantly increased. The color profile of the crackers changed with increasing substitution, showing decreased lightness (L^*) and increased redness (a^*) and yellowness (b^*). In addition, total polyphenol content, as well as antioxidant activities measured by ABTS, DPPH, and FRAP assays, significantly increased in a dose-dependent manner. These findings suggest that re:nergy wheat bran is a dietary fiber-rich ingredient that can enhance the nutritional profile and processing functionality of crackers, supporting the value-added utilization of food by-products.

Keywords re:nergy wheat bran, upcycling, dietary fiber, antioxidant activity, cracker



OPEN ACCESS

Citation: Park EH, Min AMJ, Jin HY. Evaluation of quality characteristics and antioxidant activity of crackers prepared with upcycled wheat bran. Food Sci. Preserv., 33(1), 83-93 (2026)

Received: August 13, 2025
Revised: September 22, 2025
Accepted: September 24, 2025

***Corresponding author**
Hee-Yeon Jin
Tel: +82-70-8670-0926
E-mail: hyjin@reharvest.net

Copyright © 2026 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 식품산업에서는 부산물 업사이클링(upcycling)을 기반으로 한 식품소재 개발이 지속 가능한 자원 순환과 기능성 식품 트렌드에 부합하는 핵심 전략으로 주목받고 있다. 업사이클링은 식품 가공 과정에서 발생하는 부산물을 단순히 재활용하는 수준을 넘어, 내재된 기능성 성분을 유지하거나 강화하고 가공 적합성을 개선함으로써 고부가가치 식품소재로 전환하는 기술 중심의 응용 개념이다 (Moshtaghian 등, 2021). 이러한 개념은 환경 부담 완화와 자원 효율성 증진에 기여할 뿐 아니라, 최근에는 기능성 식품 개발 및 푸드테크 분야에서도 실용적 응용 가치가 높은 전략적 기술로 평가받고 있다.

특히 식품 가공 과정에서 발생하는 부산물의 양은 전 세계적으로 연간 수억 톤에 이르며 상당수가 유기성 폐기물로 처리되고 있어 온실가스 배출, 토양 및 수질 오염 등의 환경 문제를 유발하고 있다 (FAO, 2019). 그러나 이러한 부산물은 식이섬유, 항산화 성분, 단백질 등 영양학적 가치를 지닌 생리 활성 물질을 풍부하게 함유하고 있어, 이를 식품소재로 전환하려는 연구 및 기술 개발이 활발히 진행

되고 있다(Mirabella 등, 2014).

밀기울(wheat bran)은 밀의 제분 과정에서 발생하는 대표적인 곡물 부산물로, 밀 전체 중량의 약 14-19%를 차지하며 (Onipe 등, 2015), 주로 사료나 폐기물로 처리되어 왔다. 그러나 밀기울은 불용성 식이섬유뿐만 아니라 피트산, 리그닌, 폴리페놀 등의 항산화 물질을 풍부하게 함유하고 있어(Higuchi, 2014), 영양학적 가치가 높고 기능성 식품소재로서의 활용 가능성이 크다. 밀기울은 곡물 부산물로서 식이섬유와 단백질이 풍부하여 기능성 소재로 주목받고 있다. 이러한 밀기울의 유효 성분을 활용하기 위한 다양한 식품군에서의 적용 사례가 보고되고 있으며, 일부 제품군에서는 고식이섬유 및 장내 기능성 향상을 목적으로 밀기울을 포함한 시리얼, 스낵류, 쿠키 등이 상용화되고 있다(Baumgartner 등, 2018; Onipe 등, 2015). 밀기울을 활용한 식이섬유 강화 제품이 점차 확대되고 있으며 (주)리하베스트는 맥주박, 밀기울 등 곡물 기반의 제품을 개발하여 소비자 시장에 유통하고 있으며, 일부 제품에는 밀기울을 5-10% 수준으로 적용하여 고식이섬유, 저당 및 고단백 함량을 강조한 건강지향 제품을 현재까지도 상용화하고 있다. 선행 연구에 따르면 밀기울 첨가량이 증가함에 따라 쿠키와 비스킷에서 식이섬유 함량이 증진되는 동시에, 퍼짐성(spreadability)은 감소하고 경도(hardness)는 증가하는 경향이 관찰되었다(Erinc 등, 2018; Laukova 등, 2016). 이러한 물리적 변화는 제품의 기호성 및 가공 적용성 측면에서 보완이 필요함을 시사한다. 따라서 밀기울의 기능성을 유지하면서도 물리적 제약을 개선하기 위한 배합 조정 및 품질 개선 전략이 식품 소재화 가능성을 확대하기 위한 연구 과제로 제시되고 있다.

이에 본 연구에서는 기존에 저활용되던 밀기울을 친환경 공정을 통해 재가공한 업사이클 소재인 리너지 밀기울(re:nergy wheat bran)을 기능성 식품소재로 적용하기 위한 가능성을 검토하고자 한다. 리너지 밀기울은 폐기 직전의 밀기울을 당사 고유의 저온 건조, 기계적 미세분쇄, 잔류물 저감화 공정을 통해 소화 용이성, 입도 균일성, 향미 개선 등을 달성한 고식이섬유 분말 소재이다. 따라서 본 연구에서는 기존 저활용 밀기울을 (주)리하베스트의 업사이클링 공정을 통해 가공한 리너지 밀기울을 크래커에 적용하고, 제품의 품질 특성과 항산화 활성을 분석함으로써 업사이클링 식이섬유 소재의 응용 가능성을 검토하고자 하였다. 이를 통해 리너지 밀기울의 고부가가치화와 지속 가능한 식품 소재 전환 전략 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료 및 시약

본 연구에 사용된 밀기울은 (주)CJ제일제당(CJ Cheiljedang

Co. Ltd., Seoul, Korea)으로부터 구매한 제분 부산물로, 밀의 속껍질(bran layer) 부위만을 선별한 순수 밀기울 시료이다. 이를 업사이클링 식품소재 개발을 전문으로 하는 (주)리하베스트 식품 가공 공장에서 건조, 볶음 및 분쇄 공정을 거쳐 제조한 ‘리너지 밀기울분(Reharvest Co. Ltd., Seoul, Korea)’을 시료로 사용하였다.

리너지 밀기울은 유동층 건조기(Fluid bed dryer 600 liter, Osung Plant Ltd., Hwaseong, Korea)로 100±5°C에서 60분간 건조 처리하여 수분 함량을 5% 이하로 조정된 후, 간접가열 방식의 로스터기(SSH-030, Shinsung Food Machine Ltd., Ansan, Korea)를 사용하여 120±5°C에서 10분간 볶음 공정을 거쳤다. 이 공정을 통해 밀기울의 황갈색과 고소한 향미가 강화되었으며, 동시에 효소 비활성화를 유도하였다. 볶은 밀기울은 핀밀 분쇄기(Pin mill, Meino Co. Ltd., Nagoya, Japan)를 이용하여 1차 및 2차로 단계별 분쇄하였으며, 최종적으로 평균 입도 약 160 μm의 미세 분말 형태로 가공되었다. 이러한 공정을 통해 재가공된 밀기울을 업사이클링 식품 소재로 하여 이를 리너지 밀기울(Re:nergy wheat bran)이라 명명하였다.

크래커 제조를 위해 1등급 박력분(Daehan Flour Mills Co. Ltd., Seoul, Korea), 무염앵커버터(Fonterra Ltd., Auckland, New Zealand), 정제염(Hanju Co. Ltd., Ulsan, Korea), 탈지분유(Bondairy Co., Okcheon, Korea), 베이킹파우더(Jeonwon Food, Gimpo, Korea)를 사용하였다. 항산화 실험에 사용한 폴린-시오칼토 페놀 시약(Folin & Ciocalteu's phenol reagent), 아질산소듐(sodium nitrite, NaNO₂), 염화알루미늄(aluminium chloride, AlCl₃), 2,2-다이페닐-1-피크릴하이드라질(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH), 2,2'-아조비스(2-메틸프로피온아미딘)다이하이드로클로라이드(2,2'-azobis (2-methylpropionamide) dihydrochloride, AAPH), 2,2'-아지노-비스(3-에틸벤조싸이아졸린-6-설폰산)(2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt, ABTS), 소듐 아세테이트(sodium acetate, CH₃COONa), 2,4,6-트라이페닐-1,3,5-트리아진(2,4,6-triphenyl-1,3,5-triazine, TPTZ), 삼염화철(III) 6수화물(iron (III) chloride hexahydrate, FeCl₃ · 6H₂O), 갈산(gallic acid), 카테킨(catechin), 비타민 C (vitamin C)는 Sigma Aldrich Co., LLC (St. Louis, MO, USA)에서 구입하였다. 탄산소듐(sodium carbonate, Na₂CO₃)과 수산화소듐(sodium hydroxide, NaOH)은 Yakuri Pure Chemicas Co., Ltd. (Kyoto, Japan)에서 구입하여 사용하였다.

2.2. 리너지 밀기울의 가공 전·후 일반성분 및 식이섬유 함량 분석

리너지 밀기울의 가공 전후 변화 특성을 확인하기 위하여 일반성분 및 총식이섬유 함량을 비교 분석하였다. 본 연구에서

‘가공 전’은 CJ제일제당에서 공급받은 밀기울(제분 부산물)을 의미하며 ‘가공 후’는 이를 업사이클 소재로 활용하기 위해 당사의 표준화 공정(건조, 로스팅, 분쇄, 체분급 등)을 거쳐 제조한 리너지 밀기울분(re:nergy wheat bran powder)을 지칭한다. 일반성분은 AACC 방법(1983)에 따라 실시하였다. 수분 함량은 air-oven 방법(44-15)을 이용하여 105°C에서 항량이 될 때까지 건조하여 측정하였으며, 회분 함량은 건식 회화법(08-01)에 따라 550-600°C에서 회화하여 정량하였다. 조단백질 함량은 micro-Kjeldahl 방법(46-13)에 따라 측정된 총질소량에 질소계수 5.70을 곱하여 산출하였다. 조지방은 Soxhlet 추출법(30-10)을 이용하여 정량하였다. 탄수화물 함량은 100에서 수분, 조단백질, 조지방 및 회분 함량의 평균값을 차감하여 계산하였다.

총식이섬유 함량은 Prosky 등(1985)의 실험법에 따라 측정하였다. 시료 1 g에 pH 8.2로 조절된 0.05 M MES-TRIS 완충 용액 40 mL를 첨가한 후 균질하게 분산시키고, 내열성 α -amylase 용액 50 μ L를 가하여 95°C 수욕에서 15분간 교반하며 반응시켰다. 이후 반응 용액을 60°C로 냉각시킨 후 protease 효소 용액 100 μ L를 첨가하고 60°C 수욕에서 30분간 반응시켰다. 단백질을 가수분해 후에는 amyloglucosidase 용액 300 μ L를 가하여 60°C 수욕에서 30분간 반응을 지속하였다. 효소 처리가 완료된 반응액에 95% 에탄올을 시료:에탄올 부피비 1:4의 비율로 첨가하고 실온에서 1시간 동안 침전시켰다. 이후 침전물을 항량된 유리여과기로 여과하고, 진공 상태를 유지한 채 78% 에탄올, 95% 에탄올, 그리고 아세톤 순으로 각각 15 mL 씩 2회 세척하였다. 세척된 잔류물은 105°C에서 항량에 도달할 때까지 건조한 후, 데시케이터에서 1시간 방냉하여 무게를 측정하였다. 이후 잔류물 내의 단백질과 회분 함량을 각각 정량하여 제외하고 최종적으로 계산된 값을 총식이섬유 함량으로 산정하였다.

2.3. 리너지 밀기울의 특성 측정

리너지 밀기울의 물리적 특성을 평가하기 위하여 평균 입자 크기, 용적 밀도 및 보수력을 측정하였다. 비교 대상으로는 제분용 밀가루 중 일반적으로 사용되는 강력분, 중력분, 박력분을 선정하여 동일 조건으로 분석하였다.

2.3.1. 평균 입자 크기

시료의 평균 입자 크기는 레이저 회절식 입도분석기(Bettersizer 2600, Bettersize Instruments Ltd., Dandong, China)를 이용하여 건식 분산 방식으로 측정하였다. 결과는 D4,3 (volume-weighted mean diameter) 값으로 산출하였다.

2.3.2. 용적 밀도

용적밀도는 An 등(2014)의 방법으로 측정하였다. 시료 25

g를 칭량하여 50 mL 메스실린더에 넣고, 평평한 표면 위에 실린더를 가볍게 두드려 시료가 정렬되도록 하였다. 시료가 차지한 최종 부피를 측정하여 다음식을 이용해 용적 밀도를 계산하였다.

$$\text{용적 밀도(g/mL)} = \frac{\text{시료의 무게(g)}}{\text{시료의 부피(mL)}}$$

2.3.3. 보수력(water holding capacity, WHC)

보수력은 An 등(2014)의 방법을 약간 변형하여 측정하였다. 항량된 원심분리관에 시료 10 g을 취하고 증류수 90 mL를 넣고 균일하게 혼합한 뒤 30°C에서 2시간 동안 정적 평형화하였다. 이후 3,000 \times g로 10분간 원심분리 하였고 상등액을 제거한 후 원심분리관을 여과지 위에 거꾸로 30분간 방치하여 잔여 수분을 제거하였다. 이후 원심분리관의 무게를 측정하여 다음식을 이용해 보수력을 계산하였다.

$$\text{WHC (g/g)} = \frac{(\text{원심분리관 무게} + \text{침전물 무게}) - \text{원심분리관 무게}}{\text{시료의 무게}}$$

2.4. 리너지 밀기울 첨가 크래커의 제조

리너지 밀기울을 첨가한 크래커는 예비 실험을 통해 최적의 배합 비율을 설정한 후 제조하였다. 최종 배합비는 Table 1과 같으며, 박력분 대비 리너지 밀기울의 첨가 비율은 0, 5, 10, 15, 20, 25 및 30%로 설정하였다. 박력분, 리너지 밀기울, 소금, 베이킹 파우더를 혼합하여 체에 친 다음, 실온의 무염 버터를 첨가하고 혼합하였다. 혼합한 반죽은 스탠드믹서(B10B, Ebencommos Korea Co., Ansan, Korea)의 믹싱볼에 넣어 2단으로 설정하여 3분간 혼합하였으며, 이때 우유를 3회 나누어 첨가하였다. 예비실험에서 리너지 밀기울분의 보수력이 높아 함량 증가에 따라 반죽 내 수분 흡수가 커지고, 물의 양을 고정할 경우 반죽 점도가 과도하게 상승하여 성형성 저하 및 표면 균열이 발생하는 경향을 확인하였다. 이에 반죽의 목표 점도와 성형성을 일관되게 유지하기 위하여 가수량만 리너지 밀기울 첨가 비율에 맞추어 Table 1과 같이 단계적으로 조정하였고, 그 외 첨가물(버터, 탈지유, 소금, 베이킹파우더)의 배합량은 동일하게 유지하였다. 완성된 반죽은 4°C에서 30분간 휴지시킨 후, 두께 4 mm로 일정하게 밀대로 펴고 가로 \times 세로 4.5 cm의 정사각형으로 절단하였다. 반죽 표면에는 포크를 이용하여 균일한 구멍을 냈다. 절단된 반죽은 오븐(Combi-100LED, Daehung Softmill Co., LTD, Gyeonggi-Gwangju, Korea)을 이용하여 170°C에서 15분간 구운 뒤, 실온에서 1시간 동안 방냉하여 분석에 사용하였다.

Table 1. Formulations of crackers with varying levels of re:nergy wheat bran powder

Ingredients (g)	Addition levels of re:nergy wheat bran powder						
	Control	5	10	15	20	25	30
Soft flour	100.0	95.0	90.0	85.0	80.0	75.0	70.0
Re:nergy wheat bran powder	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
Butter	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
Skim milk	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Salt	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Water	36.7	38.7	41.0	43.0	45.3	47.7	49.7
Baking powder	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

2.5. 리너지 밀기를 첨가 크래커 추출물의 제조

크래커는 분쇄기(RT-N04, Rong Tsong Precision Technology Co., Taichung, Taiwan)를 이용하여 미쇄한 후, 시료 10 g에 70% 에탄올 90 mL를 첨가하였다. 이 혼합물을 초음파 추출기(ESW-2825B, Hwashin Tech., Gwangju, Korea)를 이용하여 30분간 추출하였다. 추출액은 2,232 ×g의 조건에서 10분간 원심분리한 후, 상등액을 Whatman No. 2 여과지를 사용하여 여과하였다. 여과된 추출액은 총폴리페놀, 플라보노이드 함량 및 항산화 활성 분석에 사용하였다.

2.6. 총폴리페놀, 플라보노이드 함량 및 항산화 활성 측정

2.6.1. 총폴리페놀 함량

총폴리페놀 함량은 Singleton과 Rossi (1965)의 방법을 약간 변형하여 Folin-Ciocalteu's 시약을 이용한 색도법으로 측정하였다. 크래커 추출물 200 µL에 증류수 2.6 mL와 Folin-Ciocalteu's phenol reagent 200 µL를 첨가하여 혼합한 후, 상온에서 6분간 반응시켰다. 이후 7% (w/v) Na₂CO₃ 용액 2 mL를 추가하고 상온에서 90분간 정치시킨 후 분광광도계(SPECTRONIC™ 200, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총폴리페놀 함량은 갈산(gallic acid)을 표준물질로 하여 작성한 표준곡선을 이용하여 정량하였으며, 결과는 mg 갈산 당량(gallic acid equivalents, GAE)/100 g으로 나타내었다.

2.6.2. 총플라보노이드 함량

총플라보노이드 함량은 Jia 등(1999)의 방법을 변형하여 측정하였다. 크래커 추출물 0.5 mL에 증류수 3.2 mL와 5% (w/v) NaNO₂ 용액 150 µL를 첨가하여 혼합한 후, 상온에서 5분간 반응시켰다. 이후 10% (w/v) AlCl₃ 용액 150 µL를 추가하여 1분간 반응시키고, 1 M NaOH 용액 1 mL를 첨가하여 혼합하였다. 반응 혼합물의 흡광도는 510 nm에서 분광광도계

(SPECTRONIC™ 200, Thermo Fisher Scientific)를 이용하여 측정하였다. 총플라보노이드 함량은 카테킨(catechin)을 표준물질로 하여 작성한 표준곡선을 이용하여 정량하였으며, 결과는 mg 카테킨 당량(catechin equivalents, CE)/100 g으로 나타내었다.

2.6.3. DPPH radical 소거 활성

DPPH radical 소거 활성은 Brand-williams 등(1995)의 방법에 따라 측정하였다. 80% 메탄올을 사용하여 100 µM의 DPPH 용액을 제조한 후, 분광광도계(SPECTRONIC™ 200, Thermo Fisher Scientific)를 이용하여 517 nm에서 0.650±0.020의 흡광도가 되도록 희석하였다. 크래커 추출물 50 µL에 DPPH 용액 2.95 mL를 첨가하여 23°C에서 30분간 암반응시켰다. 반응 후 혼합물의 흡광도를 517 nm에서 측정하였다. 산화방지능은 비타민 C를 표준물질로 하여 작성한 표준곡선을 이용하여 정량하였으며, 결과는 mg 비타민 C 당량(vitamin C equivalents, VCE)/100 g으로 나타내었다.

2.6.4. ABTS⁺ radical 소거 활성

ABTS⁺ radical 소거 활성은 Kim과 Lee (2004)의 방법을 변형하여 측정하였다. ABTS⁺ radical 용액은 7 mM ABTS와 2.45 mM potassium persulfate를 혼합하여 상온에서 16시간 이상 암소에서 반응시켜 생성하였다. 생성된 ABTS⁺ 용액은 인산완충식염수(phosphate-buffered saline, PBS)를 사용하여 734 nm에서 흡광도가 0.650±0.020이 되도록 희석하였다. 크래커 추출물 20 µL와 ABTS⁺ 용액 980 µL를 혼합하여 37°C에서 10분간 암반응시킨 후, 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 산화방지능은 비타민 C를 표준물질로 하여 작성한 표준곡선을 이용하여 정량하였으며, 결과는 mg VCE/100 g으로 나타내었다.

2.6.5. 환원력

환원력은 Bezie와 Strain (1996)의 FRAP (ferric reducing

antioxidant power) 방법을 변형하여 측정하였다. FRAP 시약은 300 mM 아세트산나트륨(acetate buffer, pH 3.6), 10 mM TPTZ 용액(40 mM HCl에 용해), 20 mM FeCl₃ · 6H₂O 용액을 10:1:1 (v/v/v) 비율로 혼합하여 제조하였다. 크래커 추출물 50 µL에 FRAP 시약 950 µL를 첨가하여 혼합한 후, 상온에서 30 분간 암반응시켰다. 반응 혼합물의 흡광도는 593 nm에서 분광광도계(SPECTRONIC™ 200, Thermo Fisher Scientific)를 이용하여 측정하였다. 산화방지능은 비타민 C를 표준물질로 하여 작성한 표준곡선을 이용하여 정량하였으며, 결과는 mg VCE/100 g으로 나타내었다.

2.7. 리너지 밀기울 첨가 크래커의 품질 특성 측정

리너지 밀기울의 첨가가 크래커의 품질 특성에 미치는 영향을 평가하기 위해 첨가 비율을 달리하여 제조한 크래커의 수분 함량, 굽기 손실률, 색도 및 조직감을 분석하였다.

2.7.1. 수분 함량

크래커 시료 1 g을 칭량하여 수분분석기(XC63, CAS Corporation, Yangju, Korea)를 이용하여 온도 105°C에서 항량이 될 때까지 건조하였으며, 이를 통해 수분 함량을 측정하였다.

2.7.2. 굽기 손실률

굽기 손실률은 Bae와 Kim (2022)의 방법에 따라 측정하였다. 굽기 손실률은 크래커의 굽기 전후 질량 차이를 이용해 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{굽기 손실률(\%)} = \frac{(\text{굽기 전 반죽의 무게} - \text{구운 후 크래커의 무게})}{\text{굽기 전 반죽의 무게}} \times 100$$

2.7.3. 색도

크래커 표면의 색도는 색차계(CR-400, Konica Minolta Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 L*(명도), a*(적색도), b*(황색도) 값을 나타내었다. 기기는 측정 전 표준 백색판(L*=97.75, a*=-0.31, b*=3.21)을 이용하여 보정하였다.

2.7.4. 조직감(texture profile analysis, TPA)

크래커의 조직감은 texture analyzer (TAHDI/500, Stable Micro System, Godalming, UK)를 사용하여 경도(hardness), 응집성(cohesiveness), 깨짐성(fracturability), 씹힘성(chewiness)을 측정하였다. 시료는 두께 4 mm, 직경 25 mm로 절단한 뒤, 알루미늄 원통형 probe P25를 사용하여 2회 반복 압축(two-cycle compression) 방식으로 분석하였다. 기기의 측정 조건은 pre-test speed 2.0 mm/sec, test speed 5.0 mm/sec, post-test speed 5.0 mm/sec, distance 2.0 mm, strain 10.0%로 시료 당 10회 반복 수행하였으며, 획득된 하중-시간 곡선을 바탕으로 조직감 지표를 산출하였다.

2.8. 통계 처리

모든 실험은 3회 이상 반복하여 수행하였으며 결과는 평균±표준편차(mean±standard deviation)로 나타내었다. 통계분석은 IBM SPSS Statistics (23, IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였다. 그룹 간 평균 차이는 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 검정하였으며, 유의한 차이가 있는 경우 던컨의 다중범위검정법(Duncan's multiple range test)을 통해 p<0.05 수준에서 사후 검증을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 리너지 밀기울 가공 전·후 일반성분 및 식이섬유 함량 비교

리너지 밀기울의 가공 전·후에 따른 일반성분 및 총식이섬유 함량의 변화는 Table 2에 나타내었다. 가공 전 밀기울은 수분 13.37%, 조단백질 12.12%, 조지방 4.16%, 조회분 3.06%, 탄수화물 67.29%, 총식이섬유 함량은 37.61%의 함량을 보였으며, 이는 기존 보고된 문헌(Curti 등, 2013; Li 등, 2023)과 유사한 수준이다. 반면, 리너지 밀기울은 수분 2.80%, 조단백질 15.81%, 조지방 3.08%, 조회분 3.40%, 탄수화물 74.91%, 총식이섬유 50.01%로 대부분의 성분 함량이 증가하였다. 이는 가공 공정으로 수분이 감소하면서 상대적 비율이 증가한 것으로 해석된다. 단, 조지방은 4.16%에서 3.08%로 감소하였으며

Table 2. Chemical compositions of wheat bran and re:nergy wheat bran powder

Samples	Chemical composition (%)					
	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Crude ash	Carbohydrate	Total dietary fiber
Wheat bran	13.37±0.12 ¹⁾	12.12±0.42	4.16±0.08	3.06±0.05	67.29±0.40	37.61±0.91
Re:nergy wheat bran powder	2.80±0.072 ²⁾	15.81±0.34*	3.08±0.18*	3.40±0.19*	74.91±0.35*	50.01±0.75*

¹⁾All values are mean±SD (n=3).

²⁾Significant differences between wheat bran and re:nergy wheat bran powder were determined by Student's t-test at p<0.05.

이는 열처리 공정 중 일부 지방질 성분이 휘발되었기 때문으로 사료 된다(Marszałkiewicz 등, 2020).

3.2. 리너지 밀기울의 물리적 특성

3.2.1. 평균 입자 크기

리너지 밀기울과 시판용 밀가루의 입자 크기, 용적 밀도 및 보수력을 분석한 결과는 Table 3에 나타내었다. 리너지 밀기울의 평균 입자 크기는 144.80 μm 로 시판용 밀가루인 강력분 64.70 μm , 중력분 53.89 μm , 박력분 38.50 μm 에 비해 약 2.2-3.8배 큰 값을 나타내었다. 이는 리너지 밀기울의 입자가 상대적으로 거칠며 반죽 내 수화 속도 저하, 글루텐 형성 저해, 부피 감소 및 기공의 불균일화 등 제과·제빵 품질에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 시사한다(Kim과 Lee, 2019). 입자 크기는 조직감과 외관, 기공 구조에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며(Kim과 Lee, 2011) 제품의 물성에 영향을 끼치는 중요한 요인이기 때문에 리너지 밀기울의 입자 조성 개선이 필요하다. 특히 본 연구에서 사용된 입도는 평균 체적값(volume-weighted mean diameter)으로 산출하였으며, 입도 조절을 통한 제분 공정 최적화나 미세 분쇄 등의 후처리 기술 적용 가능성을 고려할 필요가 있다.

3.2.2. 용적 밀도

일반적으로 용적 밀도는 단위 부피당 시료의 질량을 의미하며, 입자 간 공극을 포함한 전체 부피를 반영한다. 리너지 밀기울의 용적 밀도는 1.00 g/mL로, 강력분·중력분·박력분의 1.43 g/mL보다 유의적으로 낮았다. 이러한 차이는 리너지 밀기울이 상대적으로 입자가 크고, 다공성이 높으며 입자 간 배열이 느슨한 구조를 가지기 때문으로 해석된다(An 등, 2014). 낮은 용적 밀도는 동일 중량 치환 시 리너지 밀기울이 부피를 더 크게 차지하여 반죽의 수화 표면적과 점도 변화에 직접적으로 기여할 수 있음을 의미한다. 따라서 반죽 성형성 및 품질을 일정하게 유지하기 위해서는 리너지 밀기울의 낮은 용적 밀도가 가수 조절 및 배합 설계 시 고려되어야 한다.

3.2.3. 보수력

리너지 밀기울의 보수력은 207.80%로, 강력분 72.00%, 중

력분 64.20%, 박력분 51.60%에 비해 현저히 높은 수치를 나타내었다. 이는 리너지 밀기울의 높은 식이섬유 함량(50.01%)과 가공 특성에 기인하며 분말의 보수력은 입자 크기, 섬유소 구조, 단백질 함량과 밀접한 관련이 있다(Wu 등, 2018). 보수력은 제과·제빵 제품의 수분 유지 능력에 직접적인 영향을 미치며 반죽의 점도, 굽기 후 조직감 및 저장 중 수분 손실 등의 품질 특성과 밀접하게 연관된다(Greer와 Stewart, 1969). 특히 식이섬유는 수분을 흡수하고 유지하는 능력이 뛰어나며, 밀기울 내 불용성 식이섬유는 수분 결합력에 큰 영향을 미치는 요소로 알려져 있다. Wu 등(2018)의 연구에서는 입자가 클수록 보수력이 감소하는 경향을 보여, 리너지 밀기울의 상대적으로 큰 입도와 불용성 섬유 비율이 높은 보수력의 주요 원인으로 작용한 것으로 판단된다. 따라서 제과·제빵 응용 시에는 리너지 밀기울의 높은 보수력 특성에 맞춘 가수 조절이 필수적이며, 본 연구의 배합 설계에서 밀기울 첨가량에 비례하여 물을 단계적으로 증가시킨 근거가 된다.

3.3. 리너지 밀기울 첨가 크래커의 품질 특성 변화

3.3.1. 수분 함량 및 굽기 손실률

리너지 밀기울 첨가에 따른 크래커의 수분 함량 및 굽기 손실률은 Table 4와 같다. 리너지 밀기울 첨가군의 수분 함량은 5.41-7.10% 범위로, 대조군 7.42%보다 전반적으로 낮은 값을 나타냈다. 이는 리너지 밀기울 자체의 수분 함량이 2.8%로 매우 낮아 반죽의 수분 총량을 감소시켰기 때문으로 해석된다(Oh 등, 2022). 식품 내 수분은 미생물 성장에 영향을 미치는 주요 인자로, 수분 함량 감소는 저장성 향상에 긍정적인 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 리너지 밀기울 첨가에 따라 크래커의 수분 함량이 낮아진 연구 결과는 저장성 측면에서 향상을 기대할 수 있다. 한편, 굽기 손실률은 리너지 밀기울 첨가량 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 대조군의 굽기 손실률은 63.67%였으며 리너지 밀기울 첨가군은 50.46-60.51%의 범위로 나타났다. 20% 이상 첨가군 간에는 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았으나 전체적으로는 첨가량 증가에 따라 굽기 손실률이 감소하는 경향을 보였다. 일반적으로 굽기 손실률은 가열 중 수분 증발 및 휘발성 성분 손실에 따른 무게 감소를 나타내는 지표로, 수분 함량이 낮을수록 손실률이 증가하는 것

Table 3. Physicochemical properties of commercial flour and re:nergy wheat bran powder

	Bread flour	All purpose flour	Cake flour	Re:nergy wheat bran powder
Particle size (μm)	64.70 \pm 0.01 ^{1)b2)}	53.89 \pm 0.00 ^c	38.50 \pm 0.01 ^d	144.80 \pm 0.02 ^a
Bulk density (g/mL)	1.43 \pm 0.00 ^a	1.43 \pm 0.00 ^a	1.43 \pm 0.00 ^a	1.00 \pm 0.01 ^b
WHC ³⁾ (%)	72.00 \pm 1.00 ^b	64.20 \pm 0.84 ^c	51.60 \pm 0.55 ^d	207.80 \pm 0.84 ^a

¹⁾All values are mean \pm SD (n=3).

²⁾Means with different superscript letters in the same row are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test (a>b>c>d).

³⁾WHC, water holding capacity.

Table 4. Moisture content and baking loss of crackers with different levels of re:nergy wheat bran powder

	Control	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Moisture	7.42±0.25 ^{1)a2)}	7.10±0.04 ^{ab}	6.86±0.20 ^b	6.90±0.29 ^b	6.41±0.16 ^c	5.41±0.13 ^d	5.47±0.24 ^d
Baking loss (%)	63.67±1.32 ^a	60.51±1.30 ^b	57.55±1.52 ^c	55.84±2.13 ^c	50.46±0.93 ^d	50.53±0.69 ^d	51.23±1.06 ^d

¹⁾All values are mean±SD (n=3).

²⁾Means with different superscript letters in the same row are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test (a>b>c>d).

으로 보고 되었지만(Curti 등, 2013), 본 연구에서는 반대되는 결과가 나타났다. 이는 리너지 밀기울이 높은 보수력을 가지므로 가열 중 수분 증발을 억제한 데 따른 결과로 해석된다. 유사한 연구 결과로 히비스커스 분말을 첨가한 머핀에서 관찰된 바 있으며, 분말 첨가량이 증가할수록 굽기 손실률이 감소한 것으로 보고되었다(Kim과 Kim, 2019). 반면, Jeon 등(2022)은 수분 함량이 낮은 물엿경귀 줄기 분말을 첨가한 쿠키에서 굽기 손실률이 오히려 증가하였다고 보고하였다. 이는 원료의 수분 함량 외에도 보수력, 입자 특성, 혼합 상태 등 다양한 요인이 복합적으로 영향을 미치기 때문으로 판단된다. 따라서 리너지 밀기울의 첨가는 크래커의 수분 특성에 영향을 미치며, 특히 수분 함량과 굽기 손실률 간의 일관된 연관성은 나타나지 않았다. 이러한 결과는 보수력, 수분 분포, 반죽 내 구조 형성 등 복합적 요인 간의 상관관계에 대한 추가 연구가 필요함을 시사한다.

3.3.2. 색도 변화

리너지 밀기울 첨가에 따른 크래커의 색도를 측정된 결과는 Table 5와 같다. 리너지 밀기울 첨가량이 증가함에 따라 명도 L*값은 유의적으로 감소하였다. 대조군은 87.43으로 가장 높은 값을 보였으며, 리너지 밀기울 30% 첨가구에서는 78.52로 감소하였다. 이는 리너지 밀기울의 고유한 색과 가공 중 생성된 색소 성분에 기인한 것으로 첨가량 증가에 따라 제품의 전체적인 밝기가 감소한 것으로 보여진다. 적색도 a*값은 대조군에서 -0.22로 가장 낮았으며 리너지 밀기울 함량이 증가할수록 유의적으로 상승하여 30% 첨가구에서 3.08의 값을 나타냈다. 이는 리너지 밀기울에 존재하는 색소 성분과 열처리로 유도된 갈변 반응에 의한 적색도의 증가로 판단된다. 황색도 b*값은 대조군

20.36 대비 첨가구에서 점진적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 이와 같은 결과는 Hwangbo (2022)의 연구 결과와 유사하며 밀기울 첨가 제품에서 명도값이 감소하고, 적색도와 황색도 값의 증가 현상이 반복적으로 관찰되었다. 색도의 변화는 제품의 시각적 특성 및 관능적 수용성에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로, 첨가 비율 설정 시 외관 품질과 소비자 기호도를 함께 고려할 필요가 있다.

3.3.3. 조직감 변화

리너지 밀기울 첨가에 따른 크래커의 조직감을 분석한 결과는 Table 6과 같다. 측정 항목은 경도(hardness), 깨짐성(fracturability), 응집성(cohesiveness), 그리고 씹힘성(chewiness)으로 밀기울 첨가한 수준 변화에 따라 뚜렷한 경향이 관찰되었다. 경도는 밀기울 첨가량이 증가할수록 유의적으로 상승하였다. 대조구 1,288.29 g 대비 30% 첨가구에서 2,589.63 g으로 약 2배 수준까지 증가하였다. 이는 밀기울 입자의 물리적 특성과 높은 섬유소 함량이 반죽 내 수분 보유력을 저해하고, 입자 간 결합력을 증가시켜 조직의 압축 저항성이 증가한 결과로 판단된다(Eric 등, 2018). 깨짐성은 밀기울 첨가량이 0-25%까지 증가함에 따라 유의적으로 감소하였으며, 대조구 1,099.85 g 대비 25% 첨가구 736.43 g으로 가장 낮은 값을 보였다. 그러나 30% 첨가구 837.07 g에서는 다소 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 고함량 첨가 시 반죽 내 입자 간 구조가 불균일하게 형성되어 오히려 파절 저항이 다소 증가했을 가능성을 시사한다(Hwang과 Kim, 2023). 응집성은 밀기울 첨가량 증가에 따라 전반적으로 유의적인 감소 경향을 보였으며, 대조구 0.68에서 30% 첨가구 0.48까지 점차 감소하였다. 이는 밀기울의 거친 섬유질 입자가 글루

Table 5. Color values of crackers containing re:nergy wheat bran powder

Color value ¹⁾	Control	5%	10%	15%	20%	25%	30%
L*	87.43±0.00 ^{2)a3)}	85.39±0.01 ^b	83.85±0.00 ^c	82.18±0.01 ^d	80.49±0.01 ^e	79.08±0.01 ^f	78.52±0.01 ^g
a*	-0.22±0.05 ^e	1.01±0.03 ^f	1.40±0.01 ^c	2.03±0.04 ^d	2.39±0.01 ^c	2.95±0.02 ^b	3.08±0.01 ^a
b*	20.36±0.01 ^d	20.05±0.02 ^c	20.02±0.01 ^c	20.04±0.03 ^c	20.74±0.02 ^c	21.85±0.03 ^a	21.69±0.01 ^b

¹⁾L*, lightness; a*, redness; b*, yellowness.

²⁾All values are mean±SD (n=3).

³⁾Means with different superscript letters in the same row are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test (a>b>c>d>e>f>g).

Table 6. Texture profile analysis of crackers with varying levels of re:nergy wheat bran powder

Texture	Control	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Hardness (g)	1,288.29±22.06 ^{1)g2)}	1,474.79±22.90 ^f	1,655.18±24.96 ^c	1,876.96±35.27 ^d	2,154.01±27.55 ^c	2,412.61±21.50 ^b	2,589.63±26.89 ^a
Fracturability (g)	1,099.85±41.62 ^a	981.87±22.52 ^b	923.34±20.00 ^e	855.12±26.55 ^d	809.74±36.77 ^f	736.43±35.47 ^c	837.07±30.55 ^{dc}
Cohesiveness	0.68±0.02 ^a	0.64±0.02 ^b	0.60±0.02 ^e	0.57±0.02 ^d	0.52±0.02 ^c	0.49±0.01 ^f	0.48±0.03 ^f
Chewiness (g)	629.26±20.39 ^f	690.74±39.83 ^c	754.48±34.35 ^d	815.66±27.26 ^c	874.60±36.63 ^b	906.92±38.43 ^a	886.94±27.34 ^{ab}

¹⁾All values are mean±SD (n=3).

²⁾Means with different superscript letters in the same row are significantly different at p<0.05 by Duncan’s multiple range test (a>b>c>d>e>f>g).

텐 구조 형성을 방해하고, 단백질 간 상호작용을 저해함으로써 조직 내 결합력을 약화시킨 결과로 판단된다(Onipe 등, 2015). 씹힘성은 경도와 응집성의 상호작용에 따라 첨가량 증가에 따라 점진적으로 증가하였으며, 대조구 629.26 g 대비 25% 첨가구 906.92 g에서 가장 높은 값을 보였다. 그러나 30% 첨가구는 886.94 g으로 소폭 감소하여, 지나친 첨가 시 조직 결합력 약화가 씹힘성 증가를 제한할 수 있음을 시사한다(Hwangbo, 2022). 이러한 결과는 밀기울이 첨가된 현미 퍼핑형 스낵바 조직감은 밀기울 첨가 시 경도와 씹힘성이 증가하고, 응집성은 감소하는 경향과 일치한다(MAFRA, 2008). 특히 10-20% 수준의 리너지 밀기울 첨가는 물성 안정성과 기능적 식이섬유 제공의 균형을 유지할 수 있어 제품 품질과 기호성 측면에서 적절한 적용 범위로 고려될 수 있을 것으로 판단된다.

3.4. 리너지 밀기울 첨가 크래커의 총폴리페놀 및 플라보노이드 함량

리너지 밀기울 첨가에 따른 크래커의 총폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 총폴리페놀 함량은 대조군에서 32.81 mg GAE/100 g으로 나타났으며 리너지

밀기울을 첨가한 군에서는 43.87-91.61 mg GAE/100 g의 범위로 유의적인 증가함을 보였다. 리너지 밀기울의 첨가량이 증가함에 따라 총폴리페놀의 증가는 밀기울에 다량 함유된 페놀계 화합물의 기인한 것으로 판단된다. 밀기울은 대표적인 곡류 부산물로 구조적 특성상 세포벽 성분에 결합된 폴리페놀 화합물을 포함하고 있으며, 리너지 공정을 통해 분말화된 밀기울은 이러한 생리활성 성분의 유효성을 높인 것으로 사료된다(Martin-Diana 등, 2021). 반면 총플라보노이드 함량은 대조군에서 16.66 mg CE/100 g이었으며, 첨가군에서는 16.42-22.95 mg CE/100 g으로 나타나, 총폴리페놀과 달리 첨가 수준에 따른 뚜렷한 농도 의존적 증가 경향은 확인되지 않았다. 이는 플라보노이드가 폴리페놀계 화합물 중에서도 가열과 산화에 민감하여 제조과정에서 일부 분해 및 변화가 발생했을 가능성과 원료 내 플라보노이드 함량 자체가 제한적일 수 있다는 점에서 기인한 것으로 사료된다(Gao 등, 2022). 본 결과는 Chatziharalambous 등 (2023)의 연구에서 보고된 밀기울 기반 제품의 항산화 물질 증가 경향과 유사하다. 특히 리너지 밀기울은 일반적인 미분 밀기울에 비해 물리적 처리 과정을 거쳐 기능성 성분의 이용 가능성이 높아진 것으로 보여진다.

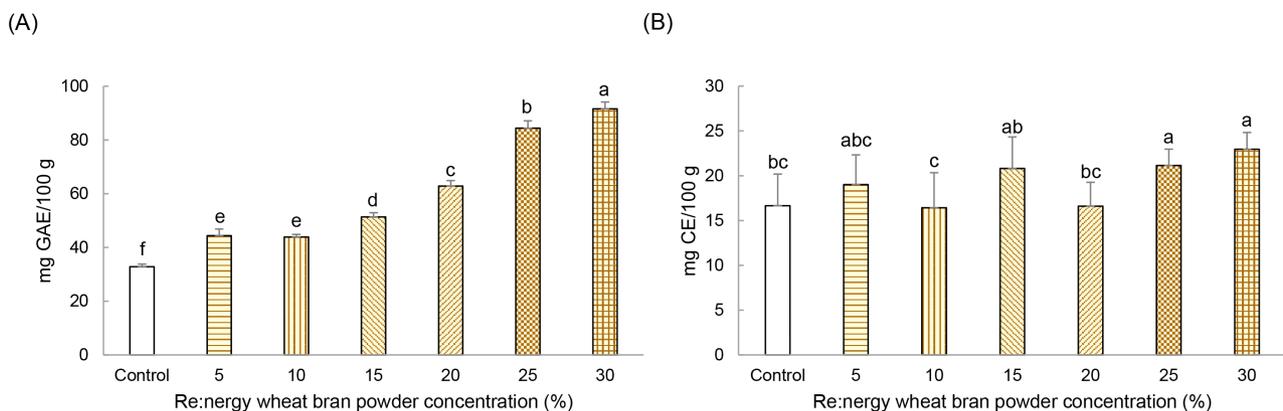


Fig. 1. Total polyphenol (A) and flavonoid (B) contents of crackers with varying levels of re:nergy wheat bran powder. All values are mean±SD (n=3). Different letters (a-f) on the bars indicate significant differences by Duncan’s multiple range test (p<0.05).

3.5. 리너지 밀기울 첨가 크래커의 항산화 활성 변화

리너지 밀기울 첨가에 따른 크래커의 항산화 활성 변화 함량을 분석한 결과는 Fig. 2와 같다. 항산화 활성의 대조군은 각각 ABTS 34.97 mg VCE/100 g, DPPH 9.18 mg VCE/100 g, FRAP 16.17 mg VCE/100 g으로 나타났으며, 리너지 밀기울 첨가에 따라 세 항목 모두 유의적으로 증가하는 경향을 보였다. 특히 30% 첨가구에서는 ABTS 90.96 mg VCE/100 g, DPPH 37.33 mg VCE/100 g, FRAP 42.45 mg VCE/100 g으로 모든 항산화 지표에서 첨가량 증가에 따른 활성 상승이 확인되었다. 이러한 결과는 리너지 밀기울에 함유된 페놀성 물질이 항산화 활성에 주요 기여를 한 것으로 나타나며, 밀기울의 항산화 활성을 보고한 선행 연구의 일치하는 경향을 보였다. Moon 등 (2015)은 밀기울 추출물에서 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능이 우수하다고 보고하였으며, Hwangbo (2022)은 밀기울을 첨가한 갠빵에서 항산화 활성 증진 효과를 확인하였다. 항산화 활성이 첨가량 증가에 따라 비례적으로 증가한 것은 리너지 밀기울이 항산화 성분을 풍부하게 포함하고 있으며, 고유의 공정을 통해 이러한 성분의 생체이용률이 향상되었기 때문으로 판

단된다. 다만, 항산화 활성 증진의 기여 성분 및 기전에 대한 보다 명확한 규명을 위해 향후 폐놀계 화합물의 정량 분석 및 항산화 활성과의 상관관계 분석이 필요할 것으로 사료된다.

4. 요약

본 연구는 제분 부산물인 밀기울을 건조, 볶음, 미세 분쇄 등의 가공을 통해 향미와 입도 특성을 개선한 업사이클링 식이섬유 소재 리너지 밀기울을 제조하고, 이를 크래커에 적용하여 품질 특성과 항산화 활성을 평가함으로써 기능성 식품 소재로서의 활용 가능성을 검토하고자 하였다. 리너지 밀기울은 평균 입자 크기 144.60 μm , 용적 밀도 1.00 g/mL, 보수력 207.5%로 일반 밀가루 대비 조대하고 낮은 밀도 및 우수한 수분 보유 특성을 나타냈으며 일반성분, 식이섬유 함량, 물리적 특성 등을 분석하였다. 크래커 제품에 리너지 밀기울을 첨가한 결과 수분 함량과 굽기 손실률은 감소하고, 경도와 씹힘성은 유의적으로 증가하였으며 색도에서는 명도 감소, 적색도 및 황색도 증가 경향이 관찰되었다. 또한 리너지 밀기울의 첨가량 증가에 따라 총

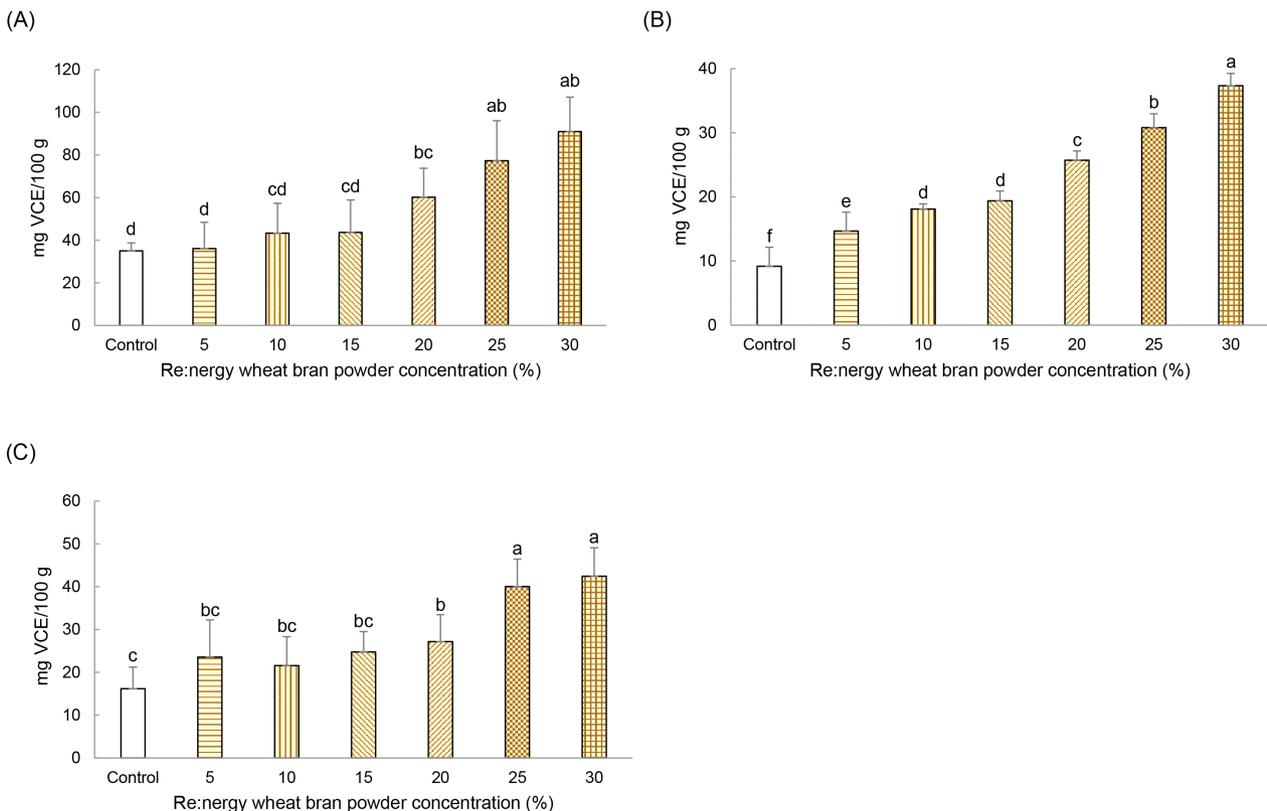


Fig. 2. Antioxidant activity of crackers with varying levels of re:nergy wheat bran powder, measured by ABTS (A), DPPH (B), and FRAP (C) assays. Each bar represents the mean \pm SD (n=3). Different letters (^{a-f}) on the bars indicate significant differences by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

폴리페놀 함량과 ABTS, DPPH, 그리고 FRAP 분석을 통한 항산화 활성이 모두 유의적으로 향상되었다. 이상의 결과는 리너지 밀기울이 식품 가공 부산물을 고부가가치화한 기능성 식이 섬유 소재로서 가공적성 및 생리활성 측면에서 우수한 적용 가능성을 지니며 업사이클링 전략의 실용적 대안이 될 수 있음을 시사한다.

Funding

This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through the High Value-added Food Technology Development Program, funded by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (Grant No. RS-2024-00403067).

Acknowledgements

None.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Min AMJ, Jin HY. Investigation: Park EH, Jin HY. Data curation: Park EH. Validation: Jin HY. Writing - original draft: Park EH, Jin HY. Writing - review & editing: Park EH, Jin HY. Supervision: Min AMJ. Project administration: Min AMJ. Funding acquisition: Min AMJ.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Eun-Ha Park (First author)

<https://orcid.org/0009-0008-1878-118X>

Alexander Myung Jun Min

<https://orcid.org/0009-0008-5911-4025>

Hee-Yeon Jin (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0002-6258-3219>

References

AACC. Approved Method of the AACC. 11th ed, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA

- (1983)
- An EM, Lee JK, Choi YS, Kim YH, Shin HS. Physicochemical properties of wheat bran in different areas prepared by a high-pressure homogenizer process. *Korean J Food Sci Technol*, 46, 404-409 (2014)
- Bae JH, Kim SY. Quality characteristics of sponge cake added with tomato powder. *Culi Sci & Hos Res*, 28, 189-198 (2022)
- Baumgartner B, Özkaya B, Saka I, Özkaya H. Functional and physical properties of cookies enriched with dephytinized oat bran. *J Cereal Sci*, 80, 24-30 (2018)
- Benzie IFF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Anal Biochem*, 239, 70-76 (1996)
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci Technol*, 28, 25-30 (1995)
- Chatziharalambous D, Kaloteraki C, Potsaki P, Papagianni O, Giannoutsos K, Koukoumaki DI, Sarris D, Gkatzionis K, Koutelidakis AE. Study of the total phenolic content, total antioxidant activity and *in vitro* digestibility of novel wheat crackers enriched with cereal, legume and agricultural by-product flours. *Oxygen*, 3, 256-273 (2023)
- Curti E, Carini E, Bonacini G, Tribuzio G, Vittadini E. Effect of the addition of bran fractions on bread properties. *J Cereal Sci*, 57, 325-332 (2013)
- Erinc H, Mert B, Tekin A. Different sized wheat bran fibers as fat mimetic in biscuits: Its effects on dough rheology and biscuit quality. *J Food Sci Technol*, 55, 3960-3970 (2018)
- FAO. The State of food And Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, p 93-94 (2019)
- Gao Y, Xia W, Shao P, Wu W, Chen H, Fang X, Mu H, Xiao J, Gao H. Impact of thermal processing on dietary flavonoids. *Curr Opin Food Sci*, 48, 100915 (2022)
- Greer EN, Stewart BA. The water absorption of wheat flour: Relative effects of protein and starch. *J Sci Food Agric*, 10, 248-252 (1959)
- Higuchi M. Antioxidant properties of wheat bran against oxidative stress. In: *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health*. Academic Press, Massachusetts, USA, p 181-199 (2014)
- Hwang ES, Kim SY. Effects of aronia powder on the quality characteristics and antioxidant activity of cookies. *Food Sci Preserv*, 3, 642-653 (2023)
- Hwangbo MH. Quality characteristics and antioxidants of pain de campanyu bread with wheat bran added. *Culi Sci & Hos Res*, 28, 155-163 (2022)
- Jeon JY, Kim MH, Han YS. Antioxidant activity and quality characteristics of muffins prepared with the addition of

- Cirsium nipponicum* Powder. J Korean Soc Food Cult, 37, 162-170 (2022)
- Jia Z, Tang M, Wu J. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food Chem, 64, 555-559 (1999)
- Kim DO, Lee CY. Comprehensive study on vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of various polyphenolics in scavenging a free radical and its structural relationship. Crit Rev Food Sci Nutr, 44, 253-273 (2004)
- Kim HA, Lee KS. A study on the quality characteristics of morning buns made from different particle sizes of *Goami* powder. Culi Sci & Hos Res, 17, 218-230 (2011)
- Kim SJ, Kim HY. Effect of Hibiscus powder (*Hibiscus sabdariffa* L.) on the quality of muffins. Korean J Community Living Sci, 30, 517-527 (2019)
- Kim YS, Lee JH. Rheological properties of bread dough enriched with different amount of inulin. J East Asian Soc Diet Life, 29, 159-167 (2019)
- Laukova M, Karovicova J, Kohajdova Z, Babulicova M, Rückschloss L, Lopatkova V. Potential of bran from various wheat variety for cookies production. Acta Chim Slov, 9, 95-99 (2016)
- Li C, Stump M, Wu W, Li Y. Exploring the chemical composition, antioxidant potential, and bread quality effects of the nutritional powerhouse: Wheat bran - A mini-review. J Agric Food Res, 14, 100898 (2023)
- Marszałkiewicz S, Siger A, Gawrysiak-Witulska M, Kmiecik D, Rudzińska M. The effect of drying temperature of milk thistle seeds on quality and bioactive compounds in the lipid fraction. J Food Sci Technol, 57, 4003-4013 (2020)
- Martín-Diana AB, García-Casas MJ, Martínez-Villaluenga C, Frías J, Peñas E, Rico D. Wheat and oat brans as sources of polyphenol compounds for development of antioxidant nutraceutical ingredients. Foods, 10, 115 (2021)
- Mirabella N, Castellani V, Sala S. Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. J Clean Prod, 65, 28-41 (2014)
- Moon JS, Choi SS, Lee SY, Lim DS. Antioxidant activities and anti-inflammatory effects of rice bran and wheat bran extracts. Korean J Pharmacogn, 46, 140-147 (2015)
- Moshtaghian H, Bolton K, Rousta K. Challenges for upcycled foods: Definition, inclusion in the food waste management hierarchy and public acceptability. Foods, 10, 2874 (2021)
- Oh HL, Kim MH, Han YS. Antioxidant activities and quality characteristics of perilla seed meal and plant-based rice added cookies prepared with the addition of perilla seed meal powder. J Korean Soc Food Sci Nutr, 51, 950-959 (2022)
- Onipe OO, Jideani AIO, Beswa D. Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products. Int J Food Sci Technol, 50, 2509-2518 (2015)
- Park JD. Development of Whole-Rice Flour for Functional Ready-to-Eat Rice Product. Final Report of MIFAFF, TRKO201400022585 (2008)
- Prosky L, Asp NG, Furda I, DeVries JW, Schweizer TF, Harland BF. Determination of total dietary fiber in foods and products. J Assoc Off Anal Chem, 68, 677-679 (1985)
- Singleton VL, Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American J Enol Vitic, 16, 144-158 (1965)
- Wu T, Li Z, Liu R, Sui W, Zhang M. Effect of extrusion, steam explosion and enzymatic hydrolysis on functional properties of wheat bran. Food Sci Technol Res, 24, 591-598 (2018)