

미강 발효물을 첨가한 머핀의 품질 변화

정하연¹ · 한나련¹ · 박준영¹ · 이경미¹ · 조수경² · 신정규^{1,3,*}

¹전주대학교 조리-식품산업학과, ²비전바이오캠 연구개발센터, ³전주대학교 한식조리학과

Quality properties of muffins supplemented with rice bran fermentate

Hayeon Jeong¹, Na Ryeon Han¹, Junyoung Park¹, Gyeong Mi Lee¹, Su Kyung Jo² and Jung-Kue Shin^{1,3,*}

¹Department of Culinary & Food Industry, Jeonju University, Jeonju 55069, Korea

²R&D Center, Bision Corporation, Eumseong 27741, Korea

³Department of Korean Cuisine, Jeonju University, Jeonju 55069, Korea

Abstract

In this study, the quality characteristics of muffins supplemented with rice bran fermentate (RBF) were evaluated. Muffin samples were prepared by replacing 3%, 6%, 9%, 12%, and 15% of the total weight with RBF, which had a solid content of 19.13±0.11%. With increasing RBF supplementation, pH decreased from 7.68 to 6.58–7.26, whereas moisture content increased from 26.03% to 28.84%. The baking loss increased from 7.57% in the control to 7.81–8.47% with RBF addition, whereas height, weight, volume, and specific volume decreased. Hardness decreased from 225.88 g to 115.48–198.73 g, accompanied by a corresponding decrease in chewiness (from 207.59 g to 85.22–183.65 g). Springiness and cohesiveness were also lower than in the control. In sensory evaluation, the RBF 6 group received the highest preference scores for appearance, crumb color, aroma, taste, fermentation flavor, and overall acceptability, followed by the control, RBF 9, and RBF 12 groups. Regarding moistness, the control group received the highest preference, whereas the RBF 12 group was most preferred for its grainy flavor. Based on the combined quality characteristics and sensory evaluation results, a RBF 6% substitution level was determined to be optimal for muffin preparation.

Keywords: Rice bran fermentate, Upcycling, Muffins, Quality properties

서론

우리나라의 주식인 쌀(*Oryza sativa* L.)은 인체 활동에 필요한 탄수화물과 같은 주요 영양분을 제공하는데 쌀은 주로 도정 과정을 통해 현미, 5분 도미, 7분 도미, 9분 도미로 분류된다. 미강은 벼 도정 중 발생하는 곡류 부산물로, 현미의 약 7%를 차지하고 다량의 비타민 B₁과 식이섬유를 함유한 항산화성이 우수한 소재이기에 주로 화장품 원료로 활용되고 있다(Hwang et al., 2014). 반면에 식품 소재로서의 연구는 미비하여 미강의 국내 연간 생산량은 약 40만

톤임에도 불구하고 30%는 미강유로 소비되며 나머지는 가축의 사료로 활용되거나 폐기물로 처리된다(Oh et al., 2010). 곡류 부산물의 폐기물 처리로 인한 환경 오염을 방지하고 미강의 식품 분야에서의 적용 가능성을 확대하기 위해 다양한 관점에서의 제품화 연구가 진행되어야 할 필요가 있다. 최근 식품 산업에서는 합성 첨가물의 사용을 최소화하고 개선된 가공 공정을 통해 품질을 향상시키려는 경향이 확대되고 있다. 이러한 흐름 속에서 발효 공정은 인공적인 처리 없이도 풍미 증진, 조직 개선, 저장성 향상 및 기능성을 부여하는데, 발효 과정에서 생성되는 유기산과 대사산물은 제과제빵 제품

Received: Jul 3, 2026 / Revised: Jul 25, 2026 / Accepted: Jul 29, 2026 / Published: Aug 27, 2026

Corresponding author: Jung-Kue Shin, Department of Korean Cuisine, Jeonju University, Jeonju 55069, Korea

E-mail: sorilove@jj.ac.kr

Copyright © 2026 Korean Society for Food Engineering.

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.

의 품질 특성을 조절하는 중요한 요소로 작용한다(Rajalakshimi & Vanaja, 1967; Hwang et al., 2014; Lee & Park, 2015). 아울러 발효 과정에서 미생물이 생성하는 cellulase 및 hemicellulase 등의 효소는 미강의 다당류 구조를 분해하며, 이를 통해 발효 미강은 섬유질과 단백질뿐만 아니라 필수 아미노산, 지방산, 페놀 화합물이 증대되고 항산화 능력이 우수해지는 것으로 보고되었다(Chae et al., 2011; Sultana et al., 2026).

미강 발효물(rice bran fermentate, RBF)은 미생물과의 발효 과정을 거치며 페놀 화합물 및 유기산 등 다양한 생리활성 물질이 증폭됨에 따라 그 활용 가치를 높게 평가하고 있다. 현재까지 보고된 주요 연구로는 항산화 및 미백 효과에 관한 연구(Chae et al., 2011)와 *Saccharomycopsis fibuligera* 미강 발효물을 통해 세포 독성과 항염 효과를 검증한 연구(Park & Lee, 2021) 등 화장품 소재 및 의약학적 활용을 위한 기능성 연구가 있다. 식품 분야에서는 발효 흑미 미강 분말을 첨가한 쿠키(Shin et al., 2020), 발효 미강을 첨가한 현미면(Yi et al., 2022) 및 발효 미강 사워도우를 이용한 바게트(Hwang et al., 2014) 등의 적용된 사례가 보고된 바 있다. 다만 식품 분야에서의 연구는 특정 품목에 국한되어 있고 대중적인 식품군에서의 제형 최적화 및 조리과학적 특성을 분석한 연구 또한 부족한 실정이며, 미강 발효물의 첨가가 식품의 물성과 관능적 기호도에 미치는 영향을 분석한 연구가 활발히 이루어지지 않았다.

머핀은 부드러운 식감이 특징인 다공성 구조의 디저트로 부재료에 따라 다양한 제품으로 변형이 가능하며 달걀, 밀가루, 우유 등의 재료의 첨가로 영양가가 높아 식사 대용이나 간식으로 활용된다(Jung, 2016; Yoon & Shin, 2023). 아울러 생리활성이 잘 알려진 식품 소재를 첨가한 머핀은 소비자의 다양한 수요를 만족시킬 수 있는 현대 생활에 맞는 간편식이라 평가되며 다양한 식품소재를 첨가한 머핀의 연구로는 으름잎 분말을 첨가한 머핀(Lee et al., 2013), 모링가 잎 분말을 첨가한 머핀(Jung, 2016), 홍화씨 분말 첨가량에 따른 머핀(Shim et al., 2025) 등이 있다. 곡류 부산물을 적용한 식품 분야 연구로는 밀기울을 첨가한 머핀(Barbhai et al., 2022), 보리 도정 겨를 첨가한 머핀(Kim & Lee, 2004), 흑미강과 밀기울을 이용한 고초균 발효물 첨가 국수(Jang, 2016) 등이 있으며 미강을 적용한 제과제빵 연구는 파운드 케이크(Jang et al., 2010), 머핀(Jang et al., 2012), 바게트(Hwang et al., 2014), 식빵(Shin et al., 2017), 브라우니(Baek et al., 2023)와 마들렌(Jeong et al., 2025) 등이 있다. 본 연구에서는 기존의 단순 분말 형태의 미강 첨가 연구와는 차별화하여 수분과 유기산을 함유하고 있는 미강 발효물을 대중적인 베이커리 제품인 머핀에 적용함으로써, 반죽의 물성 변화와 감각 평가를 통해 기호도의 최적점을 찾아 다양한 베이커리 제품 개발의 기초 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 미강 발효물은 비전바이오켄(Bision Corporation Co., Ltd., Eumseong, Korea)에서 제조한 것을 사용하였고, 미강 발효물 제조에 사용한 미강은 아이엔비솔루션즈(INB Solutions, Jeonju, Korea)에서 제공한 미강을 사용하였다. 머핀의 재료는 박력분(Daehan Flour Mills Co., Seoul, Korea), 설탕(CJ Cheiljedang Co., Ltd., Seoul, Korea), 달걀(Poonglim Food Co., Ltd., Jincheon, Korea), 버터(Seoul Dairy Co-op., Ansan, Korea), 우유(Seoul Dairy Co-op., Ansan, Korea), 베이킹파우더(Kitora Foods Co., Ltd., Yangsan, Korea), 소금(Hanju Salt Co., Ltd., Ulsan, Korea)을 사용하였다.

미강 발효물의 제조

미강 발효물의 제조는 YPD agar plate에 *Saccharomyces cerevisiae* (NIBRFGC500327) single colony를 분리한 후 32℃에서 24시간 배양하였다. 배양한 *S. cerevisiae*는 YPD broth에 1 loop 접종하여 30℃에서 24시간, 200 rpm으로 교반 배양하여 starter를 제조하였다. 배양이 완료된 starter 5.6%, 미강 27.7%와 물 66.7%를 혼합하여 25℃에서 24시간 동안 정치배양하여 1차 발효를 진행하였으며 2차 발효 과정은 미강 23.9%, 물 71.4%와 1차 발효물 4.7%를 혼합하여 25℃에서 24시간 동안 정치배양하여 최종적으로 미강 발효물을 제조하였다. 완성된 미강 발효물의 pH는 5.87, TTA (total titratable acidity)는 10.55 mL였다.

머핀의 제조

머핀은 Shim et al. (2025)과 AACC method 10-90.01 (2010)을 참고하여 크립법으로 제조하였으며, 예비 실험을 통해 재료 첨가 비율과 미강 발효물의 첨가율을 정하였다. 미강 발효물은 고형분 함량(19.13%)을 고려하여 박력분과 우유 총량 대비 0%, 3%, 6%, 9%, 12% 및 15% 비율로 첨가하였다. 미강 발효물을 첨가한 머핀의 배합비는 Table 1, 제조방법은 Fig. 1과 같다. 버터컬 믹서(SP-800A, Spar Food Machinery Mfg. Co., Ltd., Taichung, Taiwan)에 버터를 넣고 2단에서 4분간 교반 후 설탕을 전량 첨가하여 2단에서 3분간 크립화하였다. 이후 계란을 3회에 나누어 첨가하며 첨가 시 3단에서 1분간 교반하였다. 교반이 끝난 반죽에 체 친 밀가루, 소금, 베이킹파우더를 넣고 2단에서 1분, 3단에서 1분간 혼합하였다. 우유와 미강 발효물을 넣어 2단에서 1분간 혼합한 후 찰주머니에 담은 후 유산지를 깐 머핀틀(55×45 mm)에 완성된 반죽을 70 g씩 팬닝하였다. 윗불 180℃, 아랫불 170℃로 예열된 오븐(DH02-21, Daehung Softmill Co., Ltd., Gwangju, Korea)에 20분간 구운 후 머핀틀을 180° 회전시켜 5분간 구워 완성하였다. 완성된 머핀은 20℃의 실온에서 1시간 방냉

Table 1. Preparation of muffins with rice bran fermentate (RBF) addition

Ingredient (g)	Added RBF (%)					
	Control	RBF 3 ¹⁾	RBF 6	RBF 9	RBF 12	RBF 15
Soft flour	400	397.71	395.42	393.13	390.83	388.52
RBF	0	12	24	36	48	60
Sugar	240	240	240	240	240	240
Egg	200	200	200	200	200	200
Butter	200	200	200	200	200	200
Milk	200	190.29	180.58	170.87	161.17	151.48
Baking powder	8	8	8	8	8	8
Salt	4	4	4	4	4	4
Total (g)	1,252 g					

¹⁾RBF: rice bran fermentate, RBF n: muffin with n% RBF.

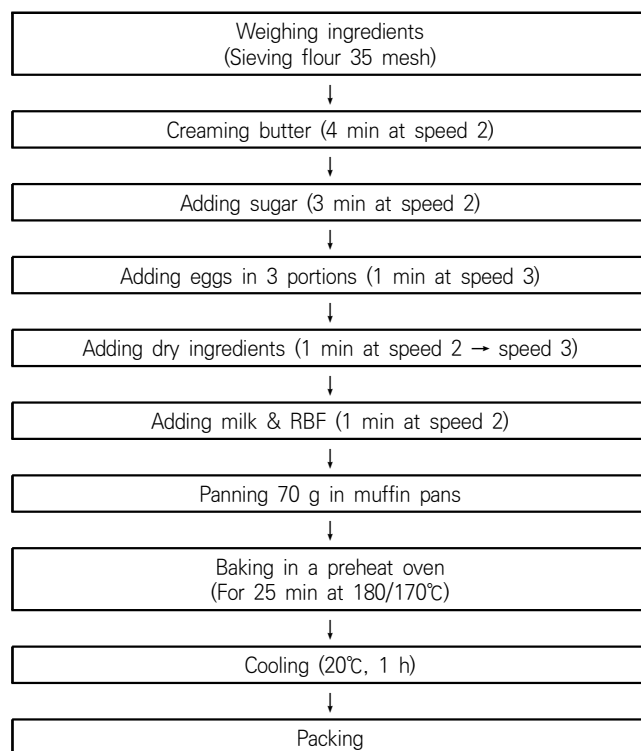


Fig. 1. Process of making muffins with varying amounts of rice bran fermentate (RBF).

한 후 식품 포장용 폴리에틸렌 백에 담아 실험에 사용하였다.

무게, 높이, 부피 및 비용적

머핀의 무게는 오븐에서 굽고 난 후 실온에서 1시간 방냉한 후 디지탈 저울(MW-2000, CAS, Yangju, Korea)을 사용하여 측정하였다.

높이는 머핀의 윗면 정중앙을 세로로 절단한 단면의 높이(height)를 버니어 하이트게이지(BD 514-300, Bluetec, Shanghai, China)를 이용하여 측정하였다.

부피는 종자치환법으로 측정하였으며 AACC method 10-05.01 (2000)에 준하여 수행하였다.

비용적은 머핀의 부피를 무게로 나눈 값(mL/g)으로 계산하였다.

수분함량 및 굽기손실률 측정

수분함량은 제조된 머핀을 믹서기(E7CB1-80SM/E7CB1-86SM, Electrolux., Stockholm, Sweden)에 30초간 분쇄 후 시료 1 g을 취하여 수분측정기(MA35, Sartorius AG., Laupheim, Germany)를 이용하여 측정하였고, 각 시료당 3회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

굽기손실률(Baking loss rate)은 굽기 전 반죽의 무게와 완성된 머핀 무게를 측정한 후 아래의 식을 이용하여 계산한 후 각 시료당 3회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

$$\text{Baking loss rate (\%)} = \frac{W_d - W_b}{W_d} \times 100$$

W_d = Weight of batter before baking (g)

W_b = Weight of muffin after baking (g)

pH 측정

pH는 filter sterilization pack (BNF-1523FW, BNF Korea, Co., Ltd., Kimpo, Korea)에 머핀 5 g과 증류수 45 mL를 넣어 stomacher lab blender (BagMixer 400 W, Interscience, Saint Nom, France)로 speed 4에서 2분간 균질화시킨 후 pH meter (Docu-pH Meter, Sartorius, Göttingen, Germany)를 이용하여 각 시료 당 3회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

색도 측정

머핀의 색도는 색차계(CM-5, Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 L값(명도, lightness), a값(적색도, redness)와 b값(황색도, yellowness)을 측정하였다. 사용된 표준 백색판(standard plate)의 값은 L=97.37, a=-0.06, b=2.10이었으며 각 시료 당 3회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

ABTS free radical 소거 활성 측정

ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid),

Sigma-Aldrich Co., USA) 라디칼 소거 활성은 다음과 같이 진행하였다(Arnao et al., 1999; Yoon, 2024). ABTS 측정을 위한 시료는 동결건조 머핀 분말 3 g과 증류수 30 mL을 filter sterilization pack에 담아 stomacher로 speed 4에서 2분간 균질화하였으며 4,000 rpm에서 20분간 원심분리한 후 4.5 µm disposable membrane filter unit (Dismic- 25CS, Toyo Roshi Kaisha, Ltd., Tokyo, Japan)로 여과하여 제조하였다. 7.4 mM ABTS와 2.6 mM potassium persulfate 용액을 동일 비율로 혼합하여 빛이 없는 상온에서 16시간 반응시켜 ABTS stock solution을 제조하였다. Phosphate buffer saline (PBS, pH 7.4)으로 희석한 ABTS stock solution을 734 nm에서 흡광도가 0.70±0.02가 되도록 조정된 이후 ABTS working solution으로 사용하였다. ABTS working solution 3,200 µL와 sample 800 µL를 혼합하여 상온의 암실 조건에서 20분간 반응시킨 후 파장 734 nm에서 흡광도를 측정하여 아래의 식을 이용하여 계산하였으며, 각 시료당 3회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

$$\text{ABTS RSA}(\%) = 1 - \left(\frac{\text{OD of sample}}{\text{OD of control}} \right) \times 100$$

ABTS RSA = ABTS radical scavenging activity

외관, 단면 및 기공 관찰

머핀의 외관, 단면 및 기공 관찰은 Chu et al. (2023)의 방법을 참고하여 진행하였다. 스마트폰(Galaxy 24, Samsung Electronics Co., Ltd., Seoul, Korea)을 이용하여 머핀의 외관과 단면을 촬영하였으며, 기공의 개수 및 크기 분석은 머핀의 단면 이미지를 Image J 프로그램(Image J, National, Institutes of Health, Bethesda, MD, USA)으로 분석하였다.

조직감 측정

머핀의 조직감은 texture analyzer (TAXT Express-Enhanced, Stable Microsystems Ltd., Godalming, England)를 이용하여 측정하였다. 머핀은 가로, 세로, 높이 길이가 2×2×2 cm인 정육면체가 되도록 자른 후 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 탄력성(springiness), 응집성(cohesiveness), 씹힘성(chewiness), 회복탄력성(resilience)을 측정하였다. 사용한 probe는 SMS P/20이었으며, 측정 조건은 option TPA (texture profile analysis), pre-test speed 3.0 mm/s, test speed 1.0 mm/s, post-test speed 1.0 mm/s, distance 50 mm, strain 30.0%, time 3.0 s, trigger force 4.0 g이었으며 각 시료 당 3회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

기호도 평가

기호도 평가는 감각 평가를 희망하는 조리 전공의 학부생 40명을 대상으로 진행하였다. 머핀에 세 가지 난수표를 랜덤으로 부여한 뒤 흰색 일회용 접시에 담아 제시하였으며 평가 항목은 외관(appearance), 색(color), 향(flavor), 질감(texture), 맛(taste), 전체적인 기호도(overall acceptability)였다. 9점 척도법을 사용하였으며(1: 매우 싫다, 9: 매우 좋다) 기호도 평가를 진행하기 전 실험의 목적과 주의사항에 대해 설명하고 평가자들에게 시료와 설문지를 다룰 수 있는 충분한 공간과 평가 시간을 제공하였다. 평가 시 입을 행글 수 있는 생수를 제공하여 시료 간의 혼동을 방지할 수 있게 안내하였다. 본 연구는 전주대학교 생명윤리위원회의 심의를 받아 실시하였다(IRB no: jjIRB-250925-HR-2024-0701).

통계 처리

실험 결과는 SPSS Version 29.0 package program (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 평균과 표준편차를 구하였다. 유의성 검정은 일원배치 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며 각 평균값의 유의성은 모두 $p < 0.05$ 수준으로 Duncan's multiple range test에 의해 분석하였다.

결과 및 고찰

무게, 높이, 부피 및 비용적

미강 발효물의 함량을 달리한 머핀의 무게, 높이, 부피 및 비용적은 Table 2에 나타내었다. 머핀의 무게, 부피와 비용적은 대조군이 각각 65.23±0.40 g, 147.00±1.00 mL, 2.27±0.01 mL/g으로 가장 높은 값을 나타냈으며 미강 발효물의 첨가량이 늘어날수록 유의적으로 감소하였으며($p < 0.05$), 머핀의 높이 또한 대조군이 6.60±0.10 cm으로 가장 높은 값을 나타내 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 검은콩 분말을 첨가한 스펀지 케이크(Jeong & Yoo, 2010)의 연구에 따르면 제과제빵 제품의 부피는 오븐에서 굽는 과정 중 고열에 의한 반죽의 팽창과 수분의 증발로 인해 구조 변화가 일어나는데 굽기손실률의 영향을 받게 된다고 보고하였다. 미강은 밀가루 대비 식이섬유 함량이 높아 반죽 내 글루텐 형성을 방해하여 수분 손실을 일으켜 반죽 내 결합력을 약화시키는데(Kim et al., 1997) 이러한 영향으로 머핀 반죽의 팽창력이 저해되고 이로 인하여 베이킹 과정 중 발생하는 가스 유지력(gas retention capacity)이 낮아져 미강 발효물의 첨가량에 비례하여 무게, 높이, 부피 및 비용적이 감소한 것으로 추정된다.

Table 2. Physical properties of muffins with different levels of rice bran fermentate (RBF)

	Added RBF (%)					
	Control	RBF 3	RBF 6	RBF 9	RBF 12	RBF 15
Weight (g)	65.23±0.40 ^c	64.53±0.21 ^b	64.43±0.15 ^{ab}	64.27±0.10 ^{ab}	64.17±0.15 ^{ab}	64.07±0.15 ^a
Height (cm)	6.60±0.10 ^{NS}	6.50±0.10	6.43±0.15	6.40±0.10	6.37±0.06	6.30±0.10
Volume (mL)	147.00±1.00 ^a	145.33±0.58 ^{ab}	145.00±1.00 ^{bc}	143.67±0.58 ^{bc}	143.67±1.53 ^c	142.33±2.08 ^c
Specific volume (mL/g)	2.27±0.01 ^c	2.25±0.02 ^{bc}	2.25±0.02 ^{bc}	2.24±0.01 ^{ab}	2.24±0.02 ^{ab}	2.22±0.03 ^a
Baking loss rate (%)	7.57±0.14 ^c	7.81±0.30 ^c	7.95±0.22 ^b	8.19±0.09 ^b	8.33±0.22 ^a	8.47±0.30 ^a

¹⁾Mean±SD.^{a-c}Means are significantly different within the same row at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.^{NS}Not significant.

수분함량 및 굽기손실률

미강 발효물의 함량을 달리한 머핀의 수분함량과 pH의 측정 결과는 Table 2와 Table 3에 나타내었다. 수분함량은 대조군이 26.03±0.54%로 가장 낮았으며, 15% 첨가군이 28.84±0.22%로 미강 발효물의 첨가에 따라 유의미하게 증가하였다($p < 0.05$). 이는 미강을 첨가한 파운드 케이크(Jang et al., 2010), 머핀(Jang et al., 2012), 식빵(Shin et al., 2017)과 상반된 결과인데 대부분의 미강 분말을 첨가한 연구와 달리 본 연구에서는 분말 형태가 아닌 슬러리 형태인 미강 발효물을 첨가하였고 미강 발효물 속의 유기산, β -glucan과 같은 친수성 성분으로 인해 반죽의 수분이 결합수 형태로 존재하기 때문에(Kim et al., 2024) 머핀의 전체 수분함량이 높게 나타난 것이며 미강 발효물의 흡습성이 우수하다고 판단된다. 또한 Kim et al. (2012)의 연구에 따르면 초기 수분함량이 충분할수록 베이킹 과정에서 수증기 팽창으로 부피가 증가하여 촉촉한 식감을 얻을 수 있다고 보고하였으며, 이러한 현상은 미강에 다량 함유되어 있는 식이섬유의 영향인 것으로 해석된다(Ham et al., 2016). 제품의 수분함량은 기호도 평가 시 촉촉함과 같은 질감 항목과 연관되어 있는데, 특정 수준의 첨가량은 제품에 적절한 수분감을 부여함으로써

기호도 평가 시 촉촉함 항목의 기호도를 만족시키는 데 긍정적인 요인으로 작용할 것으로 생각된다.

베이킹 과정에서 열이 반죽으로 전달될 때 액체가 팽창하여 가스가 발생하고 증기압이 증가하면서 가스가 빠져나와 손상이 발생하는데, 이를 굽기손실률이라 한다(Kim et al., 2012). 본 연구에서는 미강 발효물의 첨가에 따라 굽기손실률이 유의적으로 상승하는 경향을 나타내었다. 쌀겨를 첨가한 머핀(Kang et al., 2012)과 안정화 미강을 첨가한 마들렌의 연구(Jeong et al., 2025)에 따르면 제품의 수분함량이 낮아질수록 굽기손실률은 증가하는 경향을 보이는 데 본 연구에서는 수분함량과 굽기손실률 모두 증가하는 경향으로 선행 연구들과 상반되는 결과를 보였다. 수분함량의 증가는 점성이 있는 형태의 미강 발효물 자체의 높은 초기 수분과 발효로 생성된 유기산 등의 친수성 성분(hydrophilic compounds)의 결합수 보유력에 기인하는 것으로 보인다. 반면 굽기 손실률이 동시에 증가한 현상은 미강 발효물 첨가로 인한 단백질의 희석 효과로, 발효물의 식이섬유와 친수성 성분이 반죽의 초기 수분 보유량은 높여주지만, 미강 발효물의 첨가량에 비례하여 희석되고 약화된 글루텐 망상 구

Table 3. Physico-chemical properties of muffins with different levels of rice bran fermentate (RBF)

	Moisture contents (%)	pH	Color value		
			L*	a*	b*
Control	26.03±0.54 ^{b1)}	7.68±0.20 ^e	78.71±1.38 ^{NS}	-3.67±0.04 ^a	17.55±0.29 ^{NS}
RBF 3	26.60±0.74 ^a	7.26±0.12 ^d	78.26±1.53	-3.27±0.10 ^b	17.43±0.24
RBF 6	26.75±0.20 ^a	6.99±0.03 ^c	77.33±1.47	-2.86±0.14 ^c	17.40±0.43
RBF 9	27.71±0.80 ^b	6.83±0.26 ^b	77.13±1.45	-2.57±0.18 ^d	17.38±0.38
RBF 12	28.12±0.25 ^b	6.74±0.17 ^b	76.29±0.06	-2.38±0.12 ^{de}	17.38±0.33
RBF 15	28.84±0.22 ^a	6.58±0.37 ^a	75.75±1.43	-2.24±0.09 ^e	17.40±0.01

¹⁾Mean±SD.^{a-e}Means are significantly different within the same column at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.^{NS}Not significant.

조가 오븐 베이킹 과정 중 발생하는 수증기의 팽창압을 견디지 못하고 다량의 수분을 가스와 함께 유실시켰기 때문에 굽기 손실량이 증가한 것으로 판단된다(Kim et al., 1997; Kwon, 2014).

pH

미강 발효물의 함량을 달리한 머핀의 pH는 Table 3에 나타내었다. 대조군, 3%, 6%, 9%, 12% 및 15% 첨가군에서 각각 7.68 ± 0.20 , 7.26 ± 0.12 , 6.99 ± 0.03 , 6.83 ± 0.26 , 6.74 ± 0.17 , 6.58 ± 0.37 로 유의적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 본 연구와 유사한 경향을 보인 연구로는 미강 사워종을 첨가한 사워도우 식빵(Kim et al., 2020)이 있다. 이는 미강의 발효 과정에서 생성된 산에 의해 감소된 것으로 추정되며(Kim et al., 2024), 본 연구에서 사용한 미강 발효물의 최종 pH가 5.87인 점을 고려하면 미강 발효물의 첨가량이 늘어남에 따라 밀가루의 비율이 줄어들고 약산성인 미강 발효물의 비율이 증가하였기에 자연스럽게 머핀의 pH가 감소하였다고 판단된다.

색도

머핀의 색도 측정 결과는 Table 3에 나타내었다. 제품의 밝고 어두움을 나타내는 지표인 명도(lightness, L^*)는 대조군이 78.71 ± 1.38 으로 가장 높았으며 미강 발효물의 첨가량에 따라 75.75 ± 1.43 까지 점차 감소하는 경향을 보였다. 미강 발효물 자체가 가진 고유의 어두운 색상이 머핀 반죽에 첨가되면서 미강 발효물 첨가량에 따라 전체적인 명도가 점점 낮아진 것으로 판단된다. 이는 밀기울을 첨가한 머핀(Barbhai et al., 2022), 미강을 첨가한 마들렌(Jeong et al., 2025)과 동일한 경향으로 미강 발효물이 가지고 있는 고유의 색으로 인한 영향으로 해석된다. 머핀의 적색도(redness, a^*)는 대조군 -3.67 ± 0.04 으로 가장 낮은 값을 나타내었고 미강 발효물의 첨가량에 따라 최대 -2.24 ± 0.09 까지 높아졌으며 황색도(yellowness, b^*)는 미강 발효물의 첨가량에 따라 큰 변화가 없었으나 대조군에 비해 미강 발효물 첨가군이 상대적으로 낮은 값을 나타내었다. 이는 보리 도정 겨를 첨가한 머핀과 동일한 결과였으며(Kim & Lee, 2004) 머핀은 제과 제품 중 다량의 설탕이 첨가되는 품목으로 환원당에 의한 비효소적 갈변 반응과 오븐에서 굽는 과정 중 발생하는 열로 인한 캐러멜화 반응의 영향인 것으로 보인다(Shin et al., 2021).

ABTS free radical 소거 활성

Free radical은 생체 내 스트레스에 의해 생성되며 생체막의 구성 성분인 불포화지방산을 산화시키고 과산화 지질의 증가는 여러 조직을 손상시켜 대사 장애를 초래함으로써 생체기능의 저하, 노화와 같은 퇴행성 질환이 원인이 된다(Hong, 2009). ABTS free radical

소거 활성은 ABTS와 potassium persulfate의 암소반응으로 인해 ABTS 양이온이 생성되고, 항산화능을 가진 물질과 접촉하면 청록색에서 투명하게 변하는 정도로 확인한다(MinAlexander et al., 2023). 미강 발효물의 함량을 달리한 ABTS free radical 소거 활성 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 대조군의 경우, 54.27%로 가장 낮은 값을 나타내었고 미강 발효물 첨가량에 비례하여 증가하였으며 15% 첨가군이 78.30%로 가장 높은 값을 보였다. 미강은 발효를 통해 미생물 효소 작용이 일어나 세포벽 구조가 분해되며 결합 형태로 존재하는 펙틴 및 플라보노이드 등의 항산화 활성 성분이 유리형(free form)으로 전환되는 메커니즘을 거치게 된다. 이로 인하여 일반 미강과 비교하였을 때 미강 발효물은 생물학적 전환 과정을 통해 항산화 물질의 체내 이용률을 높일 수 있다(Schmidt et al., 2014). 본 연구와 동일한 경향으로 흑미 미강을 첨가한 쿠키(Joo & Choi, 2012), 미강을 첨가한 절편(Jeon et al., 2019)의 연구에서도 보고된 바 있으며 쌀의 항산화 물질은 배유층보다 미강 층에 다량 존재하기에(Jeon et al., 2019) 미강 발효물의 첨가가 기능성 식품 개발에 이점을 부여할 것으로 판단된다.

외관, 단면 및 기공

미강 발효물의 함량을 달리한 머핀의 외관, 단면 및 이진화된 단면 사진은 Fig. 3에, 기공 분석 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 미강 발효물의 첨가량이 증가함에 따라 머핀 기공 구조는 시각적, 정량적으로 뚜렷하게 변화하는 것을 확인하였다. 기공률을 의미하는 porosity는 대조군이 10.76%이었으며 첨가량이 늘어남에 따라 최소 3.88%로 감소하였다($p < 0.05$). 전체 기공 면적(total pore area) 또한 첨가량에 비례하여 대조군, 3%, 6%, 9%, 12% 및 15% 첨가군에서 각각 96.80 mm^2 , 81.12 mm^2 , 76.51 mm^2 , 68.98 mm^2 , 44.21 mm^2 , 34.93 mm^2 로 급격히 감소하였다($p < 0.05$). 이러한 결과는 미강 발효물이 함유한 식이섬유가 머핀의 구조를 형성하는 글루텐 망을 약화시키고 Fig. 3의 A와 B에서 큰 기공이 줄어들고 작은 기공의 수가 늘어나는 것을 보아 가스포집력 또한 낮아졌기 때문에 전체 기공 면적에 영향을 미친 것으로 판단된다. 전체 기공 수(pore count)는 미강 발효물 6%까지 순차적으로 증가했으며 9% 첨가군을 기준으로 감소하는 경향을 보였다. 이는 6% 이상의 미강 발효물 첨가는 큰 기공 형성보다 작은 기공을 다수 형성시켜 기공 구조를 미세화하고, 반죽의 가스 보유력을 약화시켜 전체적인 기공 생성을 억제하는 것으로 생각된다. 뿐만 아니라 머핀의 평균 기공 둘레(average pore perimeter)는 대조군 4.47 mm에서 첨가량에 비례하여 최소 1.53 mm으로 유의미하게 감소하여($p < 0.05$) 미강 발효물의 첨가가 큰 기공의 형성을 저해하고 머핀의 내부 구조가 조밀해지는 결과를 나타낸 것으로 보인다. 이러한 이유를 바탕으로 본 연구에서의 미

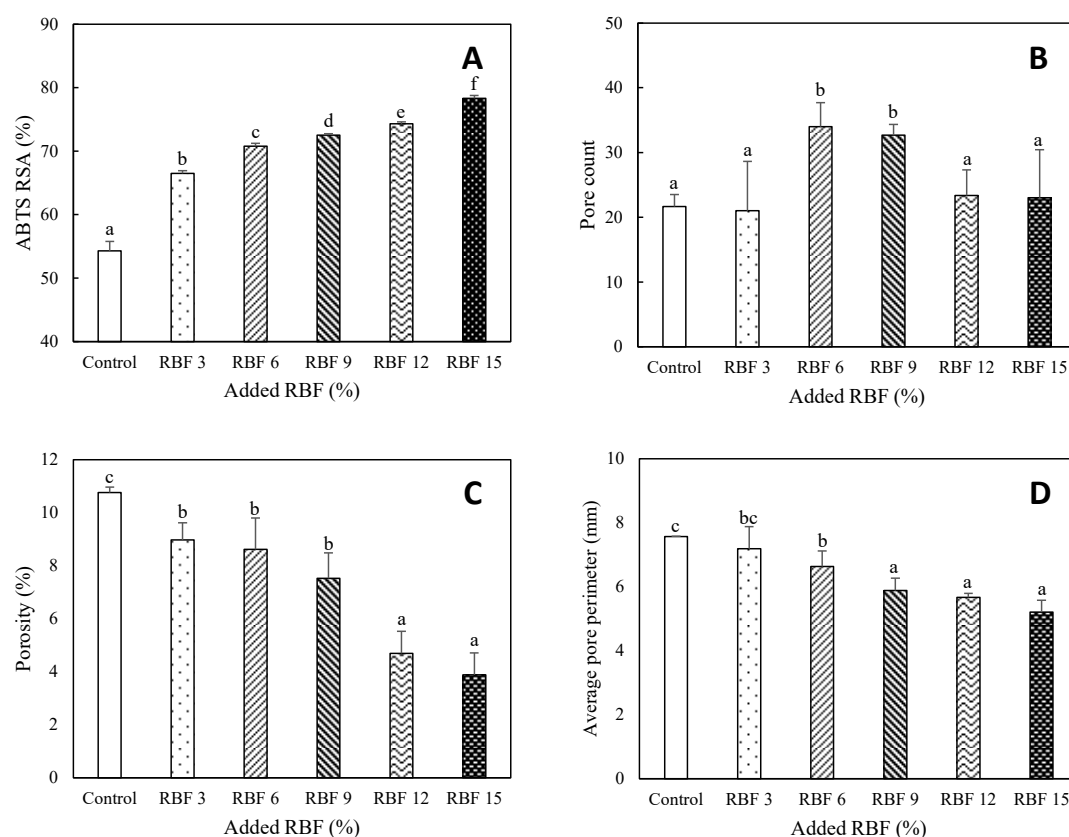


Fig. 2. ABTS radical scavenging activity and pore characteristics of muffins with varying rice bran fermentate (RBF) concentrations. A: ABTS RSA (%), B: pore count, C: porosity (%), D: average pore perimeter (mm). Different letters among samples different significantly ($p < 0.05$).

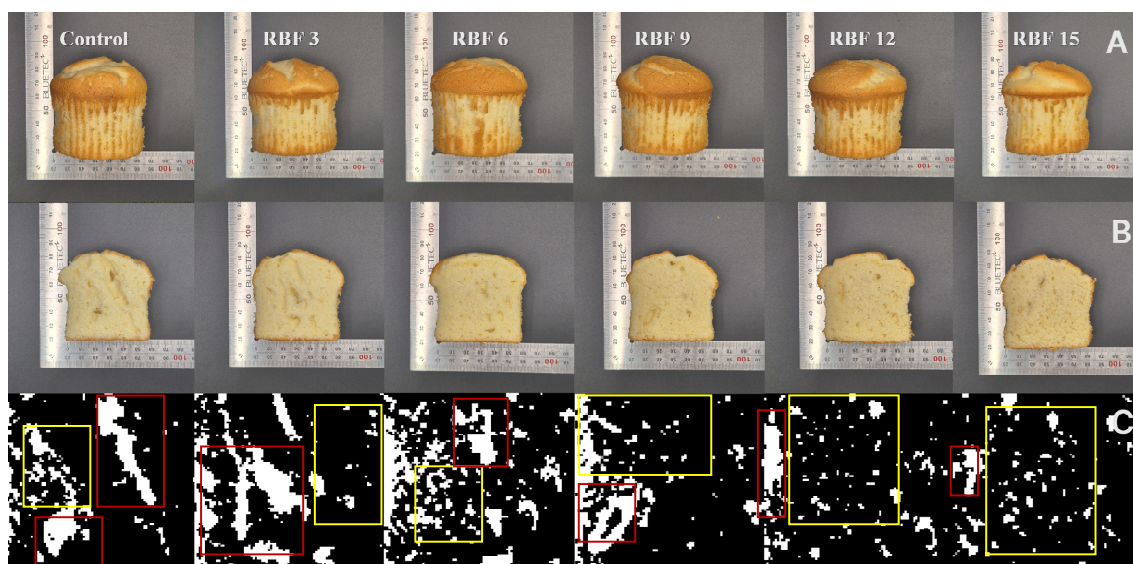


Fig. 3. Appearance and pore structure analysis of muffins with varying rice bran fermentate (RBF) concentrations. A: surface view, B: cross-sectional view and, C: binarized images of muffins by ImageJ.

강 발효물 첨가 머핀의 무게, 높이, 부피 및 비용적이 감소한 것으로 예상되며 Kim (2023)의 연구에서는 제품의 부피가 작을수록 기

공의 조밀도가 높아지는 경향을 나타낸다고 보고하였으며 본 연구와 동일한 결과를 나타낸 것을 확인하였다.