

바로미2의 밀가루 대체가 감바뉴의 품질 특성에 미치는 영향

김형섭^{1,2} · 김성후^{1,2} · 김영은^{1,2} · 손석호³ · 박성훈^{1,2,*}

¹강릉원주대학교 식품영양학과, ²강릉원주대학교 해람 제빵 연구소, ³강릉원주대학교 산학협력단

Quality characteristics of lean bread with partial substitution of wheat flour by 'Baromi2' rice flour

Hyeong Seop Kim^{1,2}, Sung Huo Kim^{1,2}, Yeong Eun Kim^{1,2}, Seok Ho Son³ and Sung Hoon Park^{1,2,*}

¹Department of Food & Nutrition, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

²Haeram Institute of Bakery Science, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

³Industry Academy Cooperation Group, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

Abstract

This study evaluated the applicability of 'Baromi2' (B2) rice flour as a functional ingredient in lean bread by replacing wheat flour at levels of 10%, 20%, and 30%. Bread was produced under standardized baking conditions, and its quality characteristics were assessed through physicochemical analyses (including specific volume, texture, and color). The internal crumb structure was also examined to assess gluten network integrity. As the substitution level increased, finished product volume decreased and crumb hardness significantly increased, indicating weakening of the gluten network. Internal structure analysis revealed that higher substitution levels and reduced pore evenness. Among the samples, the 10% substitution level produced bread with the most balanced texture and crumb structure. These results suggest that 'B2' rice flour can be used to partially replace wheat flour in lean bread to enhance nutritional diversity and maintain product quality.

Keywords: Baromi2, Gluten network, Lower gluten, Lean bread, Physicochemical properties

서론

빵은 전 세계적으로 소비되는 대표적인 주식 중 하나이다. 주로 밀가루를 원료로 사용하고, 물, 효모, 소금 등의 부재료를 첨가하여 제조된다(Biesiekierski, 2017). 밀가루의 글루텐은 반죽 과정에서 글리아딘(gliadin)과 글루테닌(glutenin) 단백질이 결합하여 글루텐 네트워크(gluten network)를 형성하고, 이는 반죽에 점탄성(viscoelasticity)과 신장성(extensibility)을 부여한다(Goesaert et al., 2005; Wieser, 2007; Bender & Schönlechner, 2020). 글루텐 네트워크는 반죽의 가스 보유력(gas retention), 탄력성(elasticity), 팽창력(expansion)에 핵심적인 역할을 하며, 결과적으로 빵의 부피(volume), 기공구조(crumb

structure), 조직감(texture) 등 제빵 적성을 결정짓는 주요 요인이다(Goesaert et al., 2005; Ortolan & Steel, 2017).

그러나 글루텐은 셀리악병(celiac disease) 및 각종 알레르기 질환의 원인으로 지적되고 있으며, 최근 들어 건강 및 식이요법적 관점에서 글루텐 저감 식품에 대한 수요가 크게 증가하고 있다(Joung et al., 2017; Lee et al., 2025).

최근 국제 곡물 가격 변동, 밀 자급률 저하, 글루텐 민감성 증가, 웰니스·건강식품 선호도 확대 등 다양한 시장 환경 변화로 인해, 밀가루 대체 소재에 대한 연구가 활발해지고 있다. 대표적으로 쌀, 옥수수, 감자 등 비(非)글루텐 곡물이 제빵 산업에서 밀가루 대체 원료로 부상하고 있으며, 이와 관련된 다양한 연구가 활발하게 진행되고

Received: Oct 20, 2025 / Revised: Oct 23, 2025 / Accepted: Oct 28, 2025

Corresponding author: Sung Hoon Park, Department of Food & Nutrition, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

E-mail: sungpark@gwnu.ac.kr

Copyright © 2025 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.

있다(Kim et al., 2015; Cappelli et al., 2020; Djeukeu et al., 2024).

특히 쌀은 우리나라의 주식으로서 오랜 기간 소비되어 온 곡물이며, 글루텐이 없어 알레르기 유발 가능성이 낮고, γ -오리자놀, 페놀산, 토코페롤, 식이섬유 등 항산화 및 기능성 생리활성분을 함유하고 있어 대체 원료로서 과학적·영양학적으로 주목받고 있다(Hee-Ja et al., 1988; Goufo & Trindade, 2014).

이에 따라 밀가루를 대체할 수 있는 원료로서 쌀가루의 활용 가능성이 대두되고 있으나, 쌀가루는 글루텐을 함유하지 않기 때문에 빵 제조 시 반죽의 탄력성 및 점성이 부족하고, 제품의 부피 및 조직감이 저하되는 문제가 있다(Aoki et al., 2020).

또한 일반적인 쌀가루는 수분을 포함한 상태에서 제분 후 건조하는 습식 제분 공정을 통해 생산되며, 이 과정에서 다량의 물이 소모되고 폐수가 발생하여 환경 오염의 우려가 있으며, 건조 비용 및 설비 비용이 증가하는 문제가 있다(Zhang et al., 2021). 이러한 기술적 문제점을 극복하기 위한 방안으로 국내에서는 건식 제분에 적합하고 제빵 특성이 우수한 쌀 품종의 개발이 시도되어 왔다(Choi et al., 2015).

건식 제분은 수분을 첨가하지 않고 곡물을 그대로 분쇄하는 방식으로, 습식 제분에 비해 공정이 간단하고 폐수 배출이 없으며, 에너지 및 설비 비용이 상대적으로 낮다는 장점을 가진다(Ngamnikom & Songsermpong, 2011). 또한, 전분 손상률이 낮고 미립자화된 쌀가루의 입자분포를 조절하기 용이하여, 제빵 제품의 물성 및 품질 조절에 유리한 특성을 나타낸다(Yoon et al., 2016). 이와 같은 특성으로 인해, 최근에는 건식 제분 기술을 활용한 쌀가루 제빵 소재 개발 및 품종 개량 연구가 활발히 이루어지고 있다(Chu et al., 2023; Kim et al., 2025).

‘바로미2(B2)’는 농촌진흥청에서 개발한 건식 제분 전용 벼 품종으로, 분질배유 특성을 가지고 있어 제분 시 손상전분이 적고, 밀가루 제분기기를 그대로 활용할 수 있는 것이 큰 장점이다(Kim et al., 2023). 또한 단백질 함량과 필수 아미노산 비율이 기존 쌀가루보다 높고, 낮은 아밀로스(amylose) 함량으로 인해 반죽 특성에서도 긍정적인 평가를 받고 있다(Ha et al., 2022).

감파뉴(Campagne bread)는 프랑스 전통 빵으로, 밀가루, 물, 소금, 효모만을 사용하여 제조하는 대표적인 린 브레드(lean bread)이다. 린 브레드는 유지방, 당류, 계란 등의 부재료를 첨가하지 않기 때문에 글루텐 네트워크의 역할이 제품 품질에 더욱 중요하게 작용한다(Hu et al., 2023). 특히 감파뉴는 긴 발효 시간과 높은 수화율로 인해 글루텐의 신장성과 가스 보유력이 최종 제품의 부피와 기공 구조를 결정하는 핵심 요인이므로(Campbell & Martin, 2020; Rouillé et al., 2005), 쌀가루 대체에 따른 글루텐 함량 감소의 영향을 명확히 평가할 수 있는 적합한 모델이다.

이에 본 연구에서는 프랑스 전통 빵인 감파뉴(Campagne bread)를 실험군으로 선정하여, ‘바로미2’를 일정 비율(10%, 20%, 30%)로 대체하고, 그에 따른 제품의 물리화학적 품질 특성을 정량적으로 비교·분석하여 가공적성을 규명하고자 하였다. 또한, 쌀가루의 기능적 특성을 보존하면서도 제품 품질을 향상시킬 수 있는 제빵 조건을 제시함으로써, 글루텐 저감 및 기능성 베이커리 제품 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험의 감파뉴를 제조하기 위해 사용된 기본 재료로 강력분(Daehan flour mills Co., Incheon, Korea), 천일염(TIMBO S.A., Buenos Aires, Argentina), 인스턴트트라이 이스트(Saf-instant red, Lesaffre Pte Ltd., France)를 사용하였다. 쌀가루는 농촌진흥청에서 제공 받은 가루쌀(Baromi2, Icheon, Korea, 2023)을 사용하여 제품을 제조하였다.

제빵공정

본 실험의 감파뉴 제조는 AACC 표준 직접 반죽법을 일부 수정하여 수행되었으며(AACCI, 2000), 밀가루를 ‘바로미2’로 각각 10%, 20%, 30% 비율로 대체하였다. 배합비는 Table 1과 같다. 반죽은 버티컬 믹서(SK-20 Mixer, SK Mixer Co., Ltd., Saitama, Japan)를 사용하여 쌀가루 혼합물과 물을 저속으로 3분간 반죽한 후, 효모와 천일염을 추가하여 다시 저속 3분, 고속 3분간 반죽하였다. 반죽은 발효기(27℃, 습도 75~80%)에서 60분간 1차 발효한 후, 650 g씩 분할하여 실온에서 20분간 중간 발효하고, 동일한 조건에서 60분간 2차 발효를 실시하였다. 이후 컨벡션 오븐(EURO 501, MAGMA, Korea)을 이용하여 235℃에서 25분간 소성하였다. 완성된 제품은 실온에서 1시간 동안 냉각 후, 실험 전까지 폴리에틸렌 비닐에 밀봉하여 보관하였다.

Table 1. Ingredient formulations of Campagne bread with different substitution levels of ‘Baromi2’

	Control	T1	T2	T3
Wheat flour	100	90	80	70
Baromi2	-	10	20	30
Salt	2.1	2.1	2.1	2.1
Instant dry yeast	1.0	1.0	1.0	1.0
Water	80	80	80	80

The following table represents the ingredients used in Campagne bread production expressed in baker's percentage: control-contains 0% Baromi 2'; T1- contain 10% Baromi 2'; T2-contain 20% Baromi 2'; T3-contain 30% Baromi 2'.

굽기 손실률 및 비체적 측정

제품의 굽기 손실률은 캄파뉴 반죽의 중량과 제품의 중량을 이용하여 아래와 같이 계산되었다. 비용적은 부피밀도측정기(Volscan Profiler-VSP600, Stable Micro System Ltd., Surrey, UK)에 의해 측정속도 4 mm/s로 측정되었다.

$$\text{굽기 손실률 (\%)} = \frac{\text{반죽의 무게 (g)} - \text{제품의 무게 (g)}}{\text{반죽의 무게 (g)}} \times 100$$

색도 측정

색도 분석은 캄파뉴를 두께 3 cm로 절단 후 세종대학교 바이오폴리머 첨단소재 핵심연구지원센터의 색차계(Colorflex EZ, Virginia, USA)를 사용하여 Crust와 Crumb의 L값(명도), a값(적색도), b값(황색도)을 측정하였다(NFEC-2023-08-289135). 이때 사용된 표준 백판의 Y값은 92.0, x값 0.3137, y값 0.3197이었다.

Texture 측정

캄파뉴를 두께 3 cm로 일정하게 절단한 후, 식품 물성 측정기(AMETEK Brookfield, MA, USA)를 사용하여 물성 분석을 진행하였다. 측정에는 직경 50 mm의 원통형 프로브를 사용하였고, crosshead 속도는 60 mm/분, 변형률(strain)은 50%로 설정하였다. 측정은 제조 후 4일간 보관하며 측정하였으며, 측정 항목은 경도(hardness), 탄력성(springiness), 씹힘성(chewiness), 응집성(cohesiveness)이었다.

기공구조 분석

캄파뉴의 내부 구조 분석은 Yu et al. (2019)의 방법을 일부 수정하여 분석하였다. 두께 3 cm로 절단한 캄파뉴를 이미지 스캐너(Samsung SL-C1454FW, Korea)를 사용하여 촬영 후, ImageJ 분석 소프트웨어(version 1.49, NIH, Bethesda, USA)를 통해 분석하였다. 컬러 이미지는 8-bit grayscale로 변환 후 임계값(threshold)을 적용하여 이진화 하였고, 해상도는 300 dpi로 설정하였다. 절단면 중심부에서 30×30 mm의 영역을 선택하여 총 기공 면적을 분석하고, 이를 기준으로 기공율(porosity: 총 기공 면적÷64 cm²)을 계산하였다.

통계분석

데이터 분석은 GraphPad Prism 10 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA) 통계 프로그램을 사용하여 수행하였으며, 모든 시료에 대해 평균±표준편차(Mean±SD)로 나타내었다. 통계적 유의성 검증은 일원분산분석(ANOVA)을 실시한 후, Tukey의 사후검정(Tukey's HSD test)을 통해 시료 간 유의적인 차이를 분석하였으며, 모

든 샘플은 3회 반복 측정 후 평균값을 구하였다. 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

결과 및 고찰

굽기 손실률 및 비체적 측정

B2 대체량을 달리하여 제조하였던 캄파뉴의 굽기 손실률과 비체적 측정 결과는 Table 2와 같다. 굽기 손실률은 B2 대체율이 증가함에 따라 유의적으로 감소하는 경향을 나타냈다($p < 0.05$). 대조군은 14.19±0.12%의 손실률을 보인 반면, B2 10% 대체군은 14.67±0.18%로 오히려 증가하였으나, 20% 및 30% 대체군에서는 각각 13.44±0.37%, 12.05±0.29%로 유의적인 감소를 보였다. 이는 B2 대체에 따른 반죽의 수분 보유력 변화와 관련이 있을 것으로 사료된다.

B2 대체량을 달리하여 제조하였던 캄파뉴의 비체적을 측정한 결과는 Fig. 1과 같다. 캄파뉴의 비체적은 대조군에서 2.44 mL/g으로 가장 높았으며, B2 10% 대체군은 2.06 mL/g, 20% 대체군은 1.94 mL/g, 30% 대체군은 1.67 mL/g으로 대체율이 증가함에 따라 비체적은 점차 감소하는 경향을 나타냈다. 통계분석 결과 대조군과 10% 대체군 간에는 유의한 차이가 보이지 않았으나, 20% 이상 첨가군에

Table 2. Physical properties of Campagne bread with different substitution levels of 'Baromi2'

	Control	T1	T2	T3
Volume (mL)	2,516±57.14 ^a	2,545±73.15 ^a	2,192±43.49 ^b	2,015±171.1 ^c
Weight (g)	555.8±0.76 ^b	554.7±1.16 ^b	564.8±1.52 ^a	566.5±2.60 ^a
Baking loss (%)	14.19±0.12 ^b	14.67±0.18 ^a	13.44±0.37 ^c	12.05±0.29 ^d
Porosity (%)	25.06±0.52 ^a	28.67±0.07 ^a	27.23±0.08 ^b	24.95±0.22 ^c

Physical properties of Campagne bread: control-contains 0% Baromi 2'; T1-contains 10% Baromi 2'; T2-contains 20% Baromi 2'; T3-contains 30% Baromi 2'. ^{a-d}Different letters above each type of column indicate statistical difference at $\alpha=0.05$.

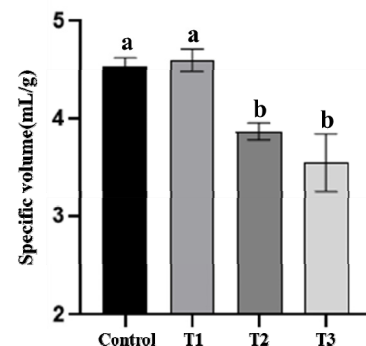


Fig. 1. Specific volume of Campagne bread with different substitution levels of 'Baromi2'. control-contains 0% Baromi 2'; T1-contains 10% Baromi 2'; T2-contains 20% Baromi 2'; T3-contains 30% Baromi 2'. ^{a,b}Different letters above each type of column indicate statistical difference at $\alpha=0.05$.

서는 유의적으로 낮은 비체적을 나타냈다. 이는 쌀가루의 대체량이 증가할수록 반죽내 글루텐 함량이 줄어들고, 발효 과정에서 생성된 이산화탄소를 포집할 수 있는 능력이 감소된 것으로 판단된다.

그러나 10% 대체군에서는 대조군과 유사한 비체적을 유지하는 것으로 나타났다. 따라서 B2를 10% 수준까지 대체하여 제조한 캄빠뉴는 물리적 품질 저하 없이 상업적 활용 가능성이 충분한 것으로 판단된다.

외관 및 색도 측정

B2 대체량을 달리하여 제조하였던 캄빠뉴의 Crumb 및 Crust의 색도 측정 결과는 Table 3과 Fig. 2와 같다. Crumb의 L(명도)값은 대조군이 72.57, 10% 대체군이 73.22, 20% 대체군이 71.43, 30% 대체군이 71.52로 대조군 대비 10% 대체군이 가장 높은 값을 보였으며, 20% 이상부터는 유의적으로 낮아지는 경향을 보였다. a(적색도)값은 10% 대체군에서 2.63으로 가장 높은 값을 보였고, 대체량이 증가함에 따라 소폭 감소하는 경향을 보였다. b(황색도)값은 30% 대체군이 9.05로 가장 높은 값을 나타냈으며, 대조군에 비해 유의적인 증가를 보였다.

Crust의 경우 L(명도)값은 10% 대체군이 54.89로 가장 높았으며, 20% 대체군은 46.47로 유의적으로 가장 낮은 값을 보였는데, 이는 20% 대체군에서 Maillard 반응이 가장 활발하게 진행된 결과로 판단된다. 그러나 30% 대체군은 49.73으로 20% 대체군에 비해 높은 값을 보였는데 이는 많은 양의 쌀가루를 대체 시 반죽의 단백질 함량이 낮아져 색소 형성 반응이 상대적으로 억제된 것으로 보인다 (Jan et al., 2022). a(적색도)값은 20% 대체군에서 12.85로 가장 높은 값을 보였으며, 대조군은 12.07, 30% 대체군은 11.02로 상대적으로 낮은 값을 보였다. b(황색도)값은 대조군이 17.86, 10% 대체군이 17.72, 20% 대체군이 14.11, 30% 대체군이 13.33으로 대체율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

Table 3. Color analysis of Campagne bread with different substitution levels of 'Baromi2'

	Control	T1	T2	T3
Crumb L value	72.57±0.24 ^b	73.22±0.16 ^a	71.43±0.07 ^c	71.52±0.40 ^c
Crumb a value	2.56±0.04 ^{ab}	2.63±0.01 ^a	2.52±0.08 ^b	2.52±0.03 ^b
Crumb b value	8.72±0.01 ^b	8.09±0.03 ^d	8.43±0.01 ^c	9.05±0.02 ^a
Crust L value	53.76±0.07 ^b	54.89±0.10 ^a	46.47±0.07 ^d	49.73±0.51 ^c
Crust a value	12.09±0.09 ^b	11.09±0.10 ^c	12.85±0.08 ^a	11.02±0.07 ^c
Crust b value	17.86±0.05 ^a	17.72±0.09 ^b	14.11±0.03 ^c	13.33±0.04 ^d

Color analysis of Campagne bread: control-contains 0% Baromi 2'; T1-contains 10% Baromi 2'; T2-contains 20% Baromi 2'; T3-contains 30% Baromi 2'; ^{a-d}Different letters above each type of column indicate statistical difference at $\alpha=0.05$.



Fig. 2. External appearance of 0% Baromi2 substitution (control), 10% Baromi2 substitution (T1), 20% Baromi2 substitution (T2), and 30% Baromi2 substitution (T3) of Campagne bread.

Texture 측정

B2 대체량을 달리하여 제조하였던 캄빠뉴의 조직감은 4일 동안 보관하여 측정하였으며, 결과는 Table 4와 같다. 모든 시료에서 저장기간이 증가함에 따라 경도가 증가하는 경향을 보였다. 1일차에서 10% 대체군은 47.41 N으로 가장 낮은 경도를 나타냈으며, 대조군(59.06 N), 20% 대체군(75.77 N), 30% 대체군(81.47 N) 순으로 증가한 것을 볼 수 있다. 2일차에서도 10% 대체군이 65.68 N으로 가장 낮았고, 30% 대체군은 89.45 N으로 가장 높았다. 4일차에서는 모든 군에서 경도가 증가하였으나, 10% 대체군(96.29 N)과 20% 대체군(96.82 N)은 대조군(99.73 N)보다 낮은 값을 보였으며, 특히 30% 대체군에서는 112.20 N으로 저장 기간 동안 가장 높은 경도 상승을 나타냈다.

이러한 결과는 저장 중 전분의 노화 속도가 B2 대체량에 따라 서로 다르게 나타남을 시사하며, 10% 대체군에서 가장 완만한 경도 증가를 보인 것은 쌀가루와 밀가루 간의 적정 비율이 반죽의 구

Table 4. Texture profile analysis of Campagne bread with different substitution levels of 'Baromi2'

	Control	T1	T2	T3
Hardness, day 1 (N)	59.06±4.66 ^c	47.41±1.60 ^d	75.77±1.96 ^b	81.47±3.85 ^a
Hardness, day 2 (N)	81.79±1.99 ^b	65.68±2.23 ^c	80.28±1.46 ^b	89.45±1.94 ^a
Hardness, day 4 (N)	99.73±2.55 ^b	96.29±6.68 ^b	96.82±1.87 ^c	112.2±6.24 ^a
Cohesiveness day 1	0.71±0.01 ^{ab}	0.75±0.02 ^a	0.69±0.03 ^{bc}	0.65±0.04 ^c
Springiness day 1 (mm)	15.26±0.33 ^a	15.59±0.22 ^a	15.42±0.33 ^a	15.49±0.19 ^a
Chewiness day 1 (mJ)	77.56±3.51 ^a	47.90±0.33 ^c	53.98±0.43 ^b	69.32±3.81 ^a

Texture profile analysis of Campagne bread: control-contains 0% Baromi 2'; T1-contains 10% Baromi 2'; T2-contains 20% Baromi 2'; T3-contains 30% Baromi 2'; ^{a-d}Different letters above each type of column indicate statistical difference at $\alpha=0.05$.

조 안정성과 수분 유지에 긍정적으로 작용했기 때문으로 판단된다 (Gao et al., 2025). 반면, 30% 대체군의 경우 높은 쌀가루의 비율로 인해 전분의 재결정화가 촉진되었을 가능성이 있으며, 이는 저장 중 경도 증가로 이어졌을 것으로 판단된다 (Le Loan et al., 2021). 특히 B2의 낮은 아밀로스 함량은 일반적으로 노화를 지연시키는 것으로 알려져 있으나, 과도한 대체 시 밀 전분과의 상호작용 변화 및 아밀로펙틴의 재결정화 촉진으로 인해 오히려 경도 증가가 가속화될 수 있음을 시사한다 (Wang et al., 2015).

기공구조 분석

B2 대체량을 달리하여 제조한 캄파뉴의 기공 구조를 분석한 결과는 Fig. 3과 Table 2와 같다. 대조군과 10% 대체군은 균일하고 비교적 큰 기공이 다수 분포하였으며, 기공율은 각각 $25.06 \pm 0.52\%$ 와 $28.67 \pm 0.07\%$ 로 나타났다. 특히 10% 대체군은 모든 시료 중 가장 높은 기공율을 보였으며, 이는 반죽의 글루텐 네트워크가 충분히 형성되어 발효 과정에서 생성된 이산화탄소를 효과적으로 포집했기 때문으로 판단된다. 반면에 20% 대체군은 $27.23 \pm 0.08\%$ 로 다소 낮아졌으며, 기공의 크기와 형태가 불균일하게 나타났다. 30% 대체군은 기공율이 $24.95 \pm 0.22\%$ 로 가장 낮았으며 이는 기공이 작고 조밀하게 분포하고 있다는 것을 의미한다. 이는 높은 쌀가루 대체로 인해 글루텐 함량이 감소하고 반죽의 가스 보유력이 저하되어, 발효 중 기공의 형성과 유지가 제한됐기 때문으로 보인다 (Gao et al., 2025).

요약

본 연구는 캄파뉴에서 밀가루를 '바로미2'로 10%, 20%, 30% 수준으로 대체했을 때의 영향을 평가하고자 하였다. 대체 비율이 증가할수록 비체적은 유의적으로 감소하였으며, 이는 과도한 쌀가루가 글루텐 네트워크 형성을 방해하고 발효 과정에서의 기체 보유력

을 저하시킨 결과로 해석된다. 반면에, 대체율이 높아질수록 굽기 손실율은 감소하였는데, 이는 쌀 전분의 높은 수분 결합 능력으로 인해 굽는 과정에서 수분 증발이 줄어든 것에 기인한 것으로 보인다. 저장 중 조직감 분석에서는 10% 대체군이 가장 느린 경도 증가를 보여 수분 보유력이 향상되고 노화가 지연되는 효과가 확인되었다. 반면 30% 대체군은 글루텐 네트워크의 붕괴로 인해 노화가 가속화되는 경향을 보였다. 또한 crumb 구조 분석 결과, 대체율이 증가할수록 기공률은 감소하고 기공 구조가 불규칙해진 반면, 10% 대체군은 균일하고 연속적인 내부구조를 유지하였다. 이러한 결과들은 캄파뉴에서 밀가루의 10%를 'B2'로 부분 대체하는 것이 저장 안정성을 향상시키면서 동시에 바람직한 제빵 품질을 유지하는데 최적임을 시사한다.

ORCID

Hyeong Seop Kim	https://orcid.org/0009-0001-4007-9556
Sung Huo Kim	https://orcid.org/0009-0001-7644-7410
Yeong Eun Kim	https://orcid.org/0009-0005-0407-225X
Seok Ho Son	https://orcid.org/0009-0001-5951-3818
Sung-Hoon Park	https://orcid.org/0000-0002-3032-5901

Conflict of interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

This work was supported by the National Institute of Crop Science, Rural Development Administration (RDA), (RS-2022-RD010419). Also, this research was supported by the Regional Innovation System & Education (RISE) program through the Gangwon RISE Center, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Gangwon State (G.S.), Republic of Korea (2025-RISE-10-004).

Data availability

Upon reasonable request, the datasets of this study can be available from the corresponding author.

Authorship contribution statement

Conceptualization: Kim SH, Park SH.

Data curation: Kim YE.

Formal analysis: Kim HS, Kim YE.

Software: Kim SH.

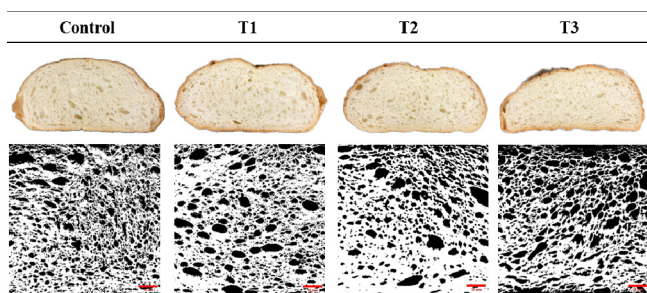


Fig. 3. Internal structure and binary image of 0% Baromi2 substitution (Control), 10% Baromi2 substitution (T1), 20% Baromi2 substitution (T2), and 30% Baromi2 substitution (T3) of Campagne bread.

Validation: Kim SH, Son SH.

Writing - original draft: Kim HS.

Writing - review & editing: Kim HS, Kim SH, Kim YE, Son SH, Park SH.

Ethics approval

Not applicable.

References

- AACCI. 2000. AACC methods 10-10.03 (Optimized straight-dough bread-making method). Appr. Methods Am. Assoc. Cereal Chem. 10th ed.
- Aoki N, Kataoka T, Nishiba Y. 2020. Crucial role of amylose in the rising of gluten- and additive-free rice bread. *J. Cereal Sci.* 92: 102905.
- Bender D, Schönlechner R. 2020. Innovative approaches towards improved gluten-free bread properties. *J. Cereal Sci.* 91: 102904.
- Biesiekierski JR. 2017. What is gluten? *J. Gastroenterol. Hepatol.* 32: 78-81.
- Campbell GM, Martin P. 2020. Bread aeration and dough rheology: an introduction. In: *Breadmaking* pp. 325-371.
- Cappelli A, Oliva N, Cini E. 2020. A systematic review of gluten-free dough and bread: dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies. *Appl. Sci.* 10(18): 6559.
- Choi OJ, Jung HN, Shim KH. 2015. Physicochemical properties of powdered, soft and hard type rice flour by different milling methods. *Food Sci. Preserv.* 22(2): 174-181.
- Chu JH, Choi JH, Go ES, Choi HY. 2023. Quality characteristics of muffins prepared with different types of rice flour. *Food Sci. Preserv.* 30(4): 630-641.
- Djeukeu WA, Assiene JAA, Dongho FFD, Boudjeka VG, Demasse AM, Nyangono FCB, Fongzossie EF, Gouado I. 2024. Improving gluten-free bread volume using additives: a review. *Food Chem. Adv.* 5: 100738.
- Gao X, Ma C, Yang Y, Bian X, Wang B, Zhang G, Chen Z, Zhang N. 2025. Effects of rice flour substitution on the structure and processing characteristics of mixed rice-wheat dough. *Food Bioeng.* 4(1): 15-27.
- Goesaert H, Brijs K, Veraverbeke W, Courtin C, Gebruers K, Delcour J. 2005. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends Food Sci. Technol.* 16(1-3): 12-30.
- Goufo P, Trindade H. 2014. Rice antioxidants: phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, γ -oryzanol, and phytic acid. *Food Sci. Nutr.* 2(2): 75-104.
- Ha SK, Kim BK, Hwang WH, Mo YJ, Jeong JM, Lee DK, Kim WJ, Kim JJ, Jeung JU. 2022. Early maturing rice variety "Baromi2" with a floury endosperm and suitable for dry-milling of rice grain. *Korean Soc. Breed. Sci.* 54(4): 433-441.
- Hu X, Cheng L, Hong Y, Li Z, Li C, Gu Z. 2023. An extensive review: how starch and gluten impact dough machinability and resultant bread qualities. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 63(13): 1930-1941.
- Jan N, Naik H, Gani G, Bashir O, Amin T, Wani SM, Sofi SA. 2022. Influence of replacement of wheat flour by rice flour on rheo-structural changes, *in vitro* starch digestibility and consumer acceptability of low-gluten pretzels. *Food Prod. Process. Nutr.* 4(1): 9.
- Joung KY, Song KY, Shin SY, Kim YS. 2017. Effects of gum on quality characteristics of gluten-free noodles prepared with *Eragrostis tef* flour. *Korean J. Food Nutr.* 30(5): 1025-1034.
- Kim G, Kim S, Park S. 2023. Application of Baromi 2 rice flour on baguette and its physicochemical analysis. *Food Eng. Prog.* 27(4): 394-398.
- Kim M, Yun Y, Jeong Y. 2015. Effects of corn, potato, and tapioca starches on the quality of gluten-free rice bread. *Food Sci. Biotechnol.* 24(3): 913-919.
- Kim WM, Seo SW, Lee GH. 2025. Properties of muffin by adding various amounts of powdered rice flour. *Food Sci. Biotechnol.* (in press).
- Le Loan TK, Thuy NM, Le Tri Q, Park S. 2021. Characterization of gluten-free rice bread prepared using a combination of potato tuber and ramie leaf enzymes. *Food Sci. Biotechnol.* 30(4): 521-529.
- Lee HJ, Bae SM, Kim HS. 1988. Studies on the dietary fiber of brown rice and milled rice. *Korean J. Food Sci. Technol.* 20(4): 576-584.
- Lee S, Lee JY, Lee S, Sim JR, Kim S, Cho WS. 2025. Latest research trends in reducing the immunogenicity of wheat. *Korean Soc. Breed. Sci.* 57(2): 65-89.
- Ngamnikom P, Songsermpong S. 2011. The effects of freeze, dry, and wet grinding processes on rice flour properties and their energy consumption. *J. Food Eng.* 104(4): 632-638.
- Ortolan F, Steel CJ. 2017. Protein characteristics that affect the quality of vital wheat gluten to be used in baking: a review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 16(3): 369-381.
- Rouillé J, Della Valle G, Lefebvre J, Sliwinski E. 2005. Shear and extensional properties of bread doughs affected by their

- minor components. *J. Cereal Sci.* 42(1): 45-57.
- Wang S, Li C, Copeland L, Niu Q, Wang S. 2015. Starch retrogradation: a comprehensive review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 14(5): 568-585.
- Wieser H. 2007. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiol.* 24(2): 115-119.
- Yoon MR, Lee JS, Kim J, Kim S, Lee JH, Choi JB, Lee CK, Kim BK, Han KW. 2016. Comparative analysis on quality and bread-making properties by particle size of dry-milled rice flours of rice varieties. *J. Korean Int. Agric. Dev.* 28(1): 58-64.
- Yu W, Xu D, Li D, Guo L, Su X, Zhang Y, Wu F, Xu X. 2019. Effect of pigskin-originated gelatin on properties of wheat flour dough and bread. *Food Hydrocoll.* 94: 183-190.
- Zhang H, Wu F, Xu D, Xu X. 2021. Effects of milling methods on the properties of glutinous rice flour and sweet dumplings. *J. Food Sci. Technol.* 58(5): 1848-1857.