



가루쌀분말 압출성형물의 특성에 대한 전분 첨가 및 종류의 영향

이은총¹ · 장채민¹ · 김현석^{1,2,*}

¹경기대학교 일반대학원 식품생물공학과, ²경기대학교 바이오융합학부 식품생물공학전공

Effect of starch addition and type on the characteristics of extruded products of floury rice power

Eunchong Lee¹, Chaemin Jang¹ and Hyun-Seok Kim^{1,2,*}

¹Department of Food Science and Biotechnology, Graduate School, Kyonggi University, Suwon 16227, Korea

²Major of Food Science and Biotechnology, Division of Bio-convergence, Kyonggi University, Suwon 16227, Korea

Abstract

This study investigated the effects of starch addition and type on the characteristics of extruded products of floury rice powder (FRP). Native starches from waxy, normal, and high-amylose corn, wheat, tapioca, and potatoes were used. Each starch replaced 30% of the dry weight of FRP. FRP and FRP-starch mixtures were extruded using a twin screw extruder at 19–20% moisture content, 18 Hz screw speed, and barrel temperature of 160°C, followed by drying at 80°C for 3 h. The water absorption and water solubility indices of the FRP-starch mixtures were higher than those of starch alone, whereas swelling power exhibited the opposite trend. The gelatinization temperatures of the FRP-starch mixtures, except for the FRP-wheat starch mixture, shifted to higher temperatures than those of FRP, whereas their gelatinization enthalpies were lower. The pasting viscosities of the FRP-starch mixtures, except for the FRP-high-amylose cornstarch mixture, were higher than those of FRP. Regarding the extruded products, partial replacement of FRP with starch improved the expansion ratio and specific volume of the extrudates. The failure strength, measured using a 3-point bending test, was higher for the FRP-starch mixture (except for high-amylose corn and tapioca starches) than for FRP.

Keywords: Floury rice flour, Starch, Floury rice flour-starch mixture, Extrudate, Physicochemical property

서론

2019~2023년 양곡소비량조사에 따르면 쌀 소비량은 지속해서 감소하고 있는 추세이며(KOSTAT, 2023), 이는 서구화된 식단과 소비층들의 선호도 변화로 인한 것으로 분석된다(Moon et al., 2023). 하지만 2019~2020년도의 쌀 소비량 감소율과 2022~2023년도의 것을 비교하면, 2019년도에 3.0%, 2020년도에 2.5%, 2021년도에 1.4%, 2022년도에 0.4%, 2023년도 0.6%로 점차 쌀 소비량의 감소를 이 감소하는 경향을 보인다(KOSTAT, 2023). 이러한 현상은 코로나

19 이후의 일상 회복에 의한 사회활동의 증가로 결식의 감소와 가공 식품산업의 시장 확대에 의한 영향인 것으로 분석된다(MAFRA, 2024). 또한 2023년도 사업체 부분의 가공용 쌀 소비량은 전년도 보다 18.2% 증가하였고, 이중 과자류, 곡물 가공품, 떡류 등의 수요는 전년 대비 20% 이상 증가하였다(MAFRA, 2024). 이에 정부는 가공용 쌀 소비 확대를 통해 국내 쌀 소비량의 지속적 감소를 해결하기 위해 다양한 정책을 계획 및 실행 중이다(MAFRA, 2024).

쌀 가공식품 원료로 쌀가루는 습식제분과 건식제분에 의해 제조되며, 시중 유통되는 쌀가루 제품은 건식제분보다 습식제분이 주로

Received: Nov 08, 2024 / Revised: Nov 15, 2024 / Accepted: Nov 21, 2024

Corresponding author: Hyun-Seok Kim, Major of Food Science and Biotechnology, Division of Bio-convergence, College of Convergence and Integrated Science, Kyonggi University, Suwon 16227, Korea

E-mail: khstone@kyonggi.ac.kr

Copyright © 2024 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.

이용되고 있다(Yeh et al., 2004; Kim et al., 2007). 습식제분은 건식제분 생산방식에 비해 많은 물을 사용하여 이에 따른 오페수의 발생 때문에 오페수 처리에 따른 높은 비용 발생과 환경오염의 가능성이 높다(Yeh et al., 2004; Kim et al., 2007). 최근 쌀가루 제조 시 습식제분의 경제적 및 환경적 문제 해결을 위해 건식제분 생산방식이 주목받고 있다. 국내에서 밥쌀 및 가공용 쌀로 이용되는 쌀알곡은 초차질 구조로 되어 있어 건식제분 시 쌀가루의 백도 저하, 이취발생, 보수력 저하 및 손상전분 함량 증가 등의 낮은 품질의 쌀가루가 생산된다. 이에 건식제분에 적합한 분상질 알곡 구조를 보유한 '바로미2' 품종(가루쌀)이 최근 개발되어 상용화 과정이 진행되면서 점차 재배면적과 생산량이 증가하고 있다(Ha et al., 2022). 이에 가루쌀(바로미2)의 식품산업 활용도를 높여 소비를 촉진시키기 위해 다양한 연구개발이 활발히 수행되고 있다(Jeong et al., 2022; Oh et al., 2022; Kim et al., 2023; Park et al., 2024). 특히 건식제분한 가루쌀분말은 밀가루의 대체재로서 관심을 받고 있어, 밀가루 기반 가공식품을 중심으로 가루쌀분말의 밀가루 일부 및 전량을 대체한 제품들에 대해 연구개발이 주를 이루고 있다. 그러나 가루쌀의 건식제분에 따라 제조된 가루쌀분말 입자의 구조적(단백질과 전분 과립의 분포) 및 물리적 특성(높은 보수력, 높은 응집성, 약한 겔화 등) 때문에 가루쌀분말을 이용한 제품들의 품질이 기존 제품의 것과 상당히 달라 가루쌀분말의 이용 확대에 있어 한계를 보인다(Ha et al., 2022; Park et al., 2022; Oh et al., 2024; Park et al., 2024; Park & Yoon, 2024; Yoo & Ham, 2024).

한편 압출성형공정은 공정변수(배열온도, 스크류 회전속도, 원료 투입량 및 수분함량 등)의 조작을 통해 다양한 질감의 제품을 단시간에 대량생산할 수 있어 원료비용이 높은 쌀가루 기반 제품의 원가절감에 유리한 가공 방법이다(Kim et al., 2012). 압출성형을 통한 제품생산은 단축압출성형기와 쌍축압출성형기를 이용할 수 있다(Ryu & Lee, 1988; Kim et al., 2012). 전자는 주로 곡물 알곡 및 인조쌀 같은 크기가 큰 과립상 원료에 더욱 적합하지만(Ryu & Lee, 1988), 후자는 분말상 재료(곡물가루 및 기타 분말상 원료)를 이용하기 때문에 원료의 혼합을 통해 더욱 다양한 제품의 개발 및 제조에 적합하다(Kim et al., 2012). 쌀가루를 이용한 압출성형에 관한 연구는 밥쌀용 멍쌀가루와 다양한 원료들(기타 곡류 분말, 단백질 분말, 채소 및 특용작물 분말, 해조류 및 수산물 분말 등)의 혼합물에 대한 단축압출성형 및 쌍축압출성형 특성 연구가 주로 수행되고 있다(Jung et al., 2000; Sim et al., 2001; Lee, 2004; Kim et al., 2005; Keawpeng et al., 2007; Wang et al., 2011; Cho et al., 2017; Park et al., 2017; Kim & Ryu, 2018). 그러나 쌀가루 자체의 압출성형 특성에 관한 소수의 연구가 수행되었지만(Ryu & Lee, 1988; Kim et al., 2012; Lee et al., 2012), 가루쌀분말의 압출성형 특성 및 이의 물성 개량에 관한 연구는 전혀 없다.

그러므로 본 연구는 가루쌀분말의 압출성형 특성과 가루쌀분말 압출성형물의 물성 개선에 대한 전분의 첨가 및 종류의 영향을 조사하여 가루쌀분말의 식품산업 활용성을 확장할 수 있는 압출성형 기법에 대한 과학적 근거를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

가루쌀분말(79.1% total starch, 12.0% amylose)은 사조동아원(Dangjin, Korea)의 소맥 제분 시설을 이용하여 건식제분한 것을 미듬영농조합법인(Pyeongtaek, Korea)에서 구매하였다. 일반옥수수전분(25.4% amylose)과 찰옥수수전분(7.6% amylose)은 삼양제넥스(Incheon, Korea), 고아밀로스 옥수수전분(65.1% amylose)은 인그리디언(HYLON® VII; Westchester, IL, USA), 소맥전분(24.8% amylose)은 로케트코리아(Seoul, Korea), 타피오카전분(21.2% amylose)은 대명제분(Pocheon, Korea), 감자전분(25.1% amylose)은 대한제분(Seoul, Korea)의 상용제품을 구매하여 사용하였다. 이외 가루쌀분말, 생전분과 이들 혼합물의 압출성형물의 특성 분석을 위해 사용한 시약과 용매는 적어도 ACS 등급의 것을 사용하였다.

가루쌀분말-전분 혼합물 제조

가루쌀분말과 생전분은 건량기준 7:3 비율로 총 5 kg을 배합기에 넣고 15분간 혼합하였다. 이때 가루쌀분말-생전분 혼합물의 수분함량이 18~19%가 되도록 탈이온수를 가하여 냉장고(5°C)에서 24시간 동안 보관하고 적외선수분측정기(MA 145, Sartorius AG, Goettingen, Germany)를 이용하여 혼합물의 최종 수분함량을 확인한 후 압출성형을 위한 시료로 하였다.

압출성형

선행 연구를 통해 결정된 가루쌀분말의 최적 압출성형조건에 따라 원형 die (지름 4 mm)가 장착된 쌍축압출성형기(TSE 65/70, SUN FOOD TECH Co., Namyangju, Korea)를 이용하여 가루쌀분말-생전분 혼합물을 압출성형하였다. 배열온도는 시료 투입구로부터 사출구까지 80°C-130°C-160°C로, 스크류 회전속도는 18.8 Hz로, 원료 투입속도는 10 Hz로 하였다. 압출성형 시 배열온도가 안정화된 후부터 압출성형물을 취하여 50°C에서 24시간 동안 건조하였다.

수분흡수지수(water absorption index, WAI) 및 수분용해지수(water solubility index, WSI)

가루쌀분말, 생전분과 가루쌀분말-생전분 혼합물의 WAI와 WSI

는 Kim et al. (2012)의 방법에 따라, 50-mL conical tube에 시료 2.5 g과 탈이온수 30 mL를 넣어 상온에서 30분간 진탕하였다. 이후 원심분리(3,000×g, 10 min)하고 상층액을 알루미늄디쉬에 놓고 105°C에서 건조하여 함량을 측정하였고, 침전물의 무게를 측정하였다. WAI와 WSI는 아래의 계산식에 따라 결정하였다.

$$WAI(g/g) = \frac{\text{침전물의 무게 (g, w.b)}}{\text{시료의 초기 건조 중량(g, d.b)}}$$

$$WSI(\%) = \frac{\text{상층액 내 고형분의 함량(g, d.b)}}{\text{시료의 초기 건조 중량(g, d.b)}} \times 100$$

팽윤력 및 용해도

가루쌀분말, 생전분과 가루쌀분말-생전분 혼합물 각각을 0.5 g (d.b)과 탈이온수 25 mL를 50-mL conical tube에 넣고 진탕하여 95°C에서 30분간 가열하면서 5분마다 vortexing하였다. 이후 상온에서 20분간 방치하여 원심분리(2,500×g, 20 min)한 후 침전물과 상층액으로 분리하였다. 침전물은 무게를 측정하였고 상층액은 100 mL 정용플라스크에 넣고 탈이온수를 가하여 정용하였다. 희석한 상층액 내의 용출된 전분은 페놀-황산법을 이용하여 정량하였다. 팽윤력과 용해도는 아래의 계산식에 따라 결정하였다.

$$\text{용해도}(\%) =$$

$$\frac{\text{상층액 내의 포도당 농도(g/mL)} \times 100 \text{ mL} \times 0.9}{\text{시료의 초기 건조 중량(g)}} \times 100$$

$$\text{팽윤력(g/g)} =$$

$$\frac{\text{침전물의 무게(g, w.b)}}{\text{시료의 초기 건조 중량(g, d.b)} \times \left(1 - \frac{\text{용해도}(\%)}{100}\right)}$$

시차주사열량계(DSC)

가루쌀분말과 가루쌀분말-생전분 혼합물의 호화특성은 시차주사열량계(DSC 4000, PerkinElmer Inc., Waltham, MA, USA)를 이용하여 측정하였다. 시료 2 mg을 스테인리스강 팬에 직접 칭량하고 탈이온수 15 μL를 넣어 기계적으로 밀봉하고 상온(25°C)에서 18 시간 동안 방치한 후 25°C에서 150°C까지 5°C/min의 가열속도로 가열하였다.

페이스팅 점도

루쌀분말, 생전분과 가루쌀분말-생전분 혼합물의 페이스팅 점도는 신속점도분석기(RVA 4800, PerkinElmer Inc., Waltham, MA, USA)을 이용하여 측정하였다. 시료 2.5 g (d.b)을 고온고압용 캔에

직접 칭량하고 탈이온수를 가하여 총 28 g으로 하여 고온고압 패들 모듈을 장착하였다. 준비된 분석시료는 플라스틱 패들은 분석하는 동안 120 rpm으로 유지하며 미리 결정한 온도프로파일에 따라 페이스팅 점도 프로파일을 얻었다. 온도프로파일은 50°C에서 1분간 유지하고 12°C/min의 가열속도로 120°C까지 상승하여 120°C에서 2.5분간 유지한 후 12°C/min의 냉각속도로 50°C까지 냉각하고 50°C에서 2분간 유지하였다.

압출성형물의 외관

압출성형물은 2 cm 길이로 절단하였다. 준비한 압출성형물의 측면과 단면 구조는 실제현미경(SMZ745T, Nikon Co., Tokyo, Japan)을 이용하여 각각 1배율 및 10배율에서 광원을 조절하며 관찰하였다.

압출성형물의 팽화율

압출성형물 1개에 대해 10곳의 직경을 Vernier calipers를 이용하여 측정하여 평균값을 구하였고, 압출성형물 10개에 대해 평균 직경을 구하였다. 팽화율은 die 직경(4 mm)에 대한 압출성형물 평균 직경의 백분비율로 계산하였다.

압출성형물의 비용적

일정 크기(10 cm 길이) 압출성형물의 무게를 측정 후 종자치 환법을 이용하여 3회 반복하여 부피를 측정하여 평균값을 산출하였다(Kim et al., 2012). 비용적은 압출성형물의 평균 부피에 대한 무게의 비율로 하였다.

압출성형물의 파손 강도

압출성형물의 파손 강도(failure strength)는 물성측정기(Z1.0, ZwickRoell, Ulm, Baden-Württemberg, Germany)를 이용하여 3-point bending test에 의한 절단 정도와 compression test에 의한 압착경도로 평가하였다. 3-Point bending test를 위해 압출성형물은 10 cm 길이로 절단하여 8 cm 간격의 지지대 위에 올려놓고 중심 부위를 probe로 2 mm/s의 속도로 압출성형물이 절단될 때까지 내리눌러 최대 힘을 측정하였다. Compression test는 4 cm 길이의 압출성형물을 test platform에 올려놓고 변형률 50%로 하여 원형 probe (지름 100 mm)로 4 mm/s의 속도로 압착하여 최대 힘을 측정하였다. 두 정도 시험 모두 시료 당 15번 반복하여 측정하였다.

통계분석

가루쌀분말과 가루쌀분말-생전분 혼합물의 물리적 특성은 처리

군당 3회 이상 반복하여 측정하였으며, 압출성형물의 특성은 처리 군당 10회 이상 반복하여 측정하였다. 측정값은 일원배치분산분석 (one-way ANOVA)을 수행하여 평균±표준편차로 나타내었다. 또한 처리군의 특성치 평균값들 사이의 통계적 유의성은 95% 신뢰수준에서 Tukey’s HSD multiple range test를 이용하여 평가하였다. 모든 통계적 계산과 분석은 Statistics Package for Social Sciences (version 23.0, IBM-SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였다.

결과 및 고찰

WAI 및 WSI

가루쌀분말, 생전분 및 가루쌀분말-생전분 혼합물의 WAI와 WSI를 Table 1에 나타내었다. 가루쌀분말의 WAI와 WSI는 각각 2.8 g/g과 2.6%이었다. 생전분 자체의 WAI는 1.7~2.3 g/g의 범위에, WSI는 0.5~1.3%의 범위에 있었고, 가루쌀분말보다 유의적으로 낮은 수준을 나타내었다. 또한 가루쌀분말의 30%를 생전분으로 대체한 혼합물의 WAI와 WSI는 각각 2.1~2.3 g/g과 2.0~2.2%의 범위에 있었다. 이것은 생전분 각각의 것보다 높은 수준이었으나, 가루쌀분말보다는 낮은 수준이었다. Kum et al. (1994)은 손상전분 함량에 따라 곡물가루 및 전분의 WAI는 낮아지고, WSI는 증가한다고 하였다. 가루쌀분말은 건식제분으로 제조되기 때문에 생전분에 비해 손상전분 함량이 매우 높다(Park et al., 2024). 본 연구에서 WAI는 가루쌀분말-생전분 혼합물 내 가루쌀분말 함량이 적기 때문에 생각되며, WSI는 생전분으로 가루쌀분말을 대체하면서 가루쌀분말-생전분 혼합물의 손상전분 함량이 적어졌기 때문에 생각된다.

팽윤력 및 용해도

가루쌀분말, 생전분 및 가루쌀분말-생전분 혼합물의 팽윤력과

용해도는 Table 2에 나타났다. 가루쌀분말의 팽윤력은 17.3 g/g이었다. 생전분의 팽윤력은 감자전분(37.7 g/g) > 일반옥수수전분(18.2 g/g) > 타피오카전분(10.5 g/g) > 찹옥수수전분(9.7 g/g) > 소맥전분(9.3 g/g) > 고아밀로스 옥수수전분(2.7 g/g)의 순서로 증가하였다. 일반 옥수수전분과 감자전분을 제외한 생전분의 팽윤력은 가루쌀분말보다 낮았다. 그러나 모든 가루쌀분말-생전분 혼합물은 가루쌀분말 자체보다 유의적으로 낮은 팽윤력을 나타내었다. 특히 가장 높은 팽윤력을 가지는 감자전분으로 가루쌀분말을 일부 대체한 혼합물은 상대적으로 생전분 함량(감자전분과 쌀전분) 함량이 증가하였기에 가루쌀분말보다 높거나 적어도 유사한 팽윤력을 보일 것으로 예상하였으나 그렇지 않았다. 이와 같은 현상은 가루쌀분말이 생전분으로 일부 대체하여 쌀단백질 함량이 감소하였더라도 쌀단백질의 높은 보수력으로 혼합물 내 생전분(쌀전분과 기타 전분)의 수화와 팽윤을 위한 물의 이용이 제한되었기 때문으로 생각된다(Bae et al., 2020). 한편 용해도는 가루쌀분말이 5.7%, 생전분이 0.5~7.6% 범위에 있었고, 감자전분을 제외한 모든 생전분은 가루쌀분말보다 낮은 수준이었다. 이러한 경향은 가루쌀분말-생전분 혼합물에서도 같았으며, 이는 가루쌀분말-생전분 혼합물 내에서 가루쌀분말과 생전분이 수화 및 팽윤을 위한 물의 이용에 관한 경쟁으로 이들의 팽윤이 제한되며 전분 분자의 용출(leaching)이 제한되었기 때문으로 생각된다.

호화특성

가루쌀분말과 가루쌀분말-생전분 혼합물의 호화온도와 호화엔탈피를 Table 3에 나타내었다. 가루쌀분말의 호화개시온도는 62.6°C, 호화 최고온도는 68.7°C와 호화종결온도는 73.9°C이었다. 호화개시온도는 가루쌀분말-소맥전분 혼합물(56.9°C)을 제외한 혼합물들(63.2-66.0°C)에서 가루쌀분말보다 높았으며, 호화최고온도는 가루쌀분말-소맥전분

Table 1. Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of floury rice powder (FRP) and FRP-starch (ST) mixtures

Source	WAI (g/g)		WSI (%)		
	ST only	FRP-ST mixture	ST only	FRP-ST mixture	
FRP	2.8±0.1		2.6±0.1		
Waxy corn	1.8±0.0 ^{bc}	2.2±0.0 ^a	0.8±0.5 ^{ab}	2.0±0.1 ^a	
	2.3±0.0 ^b	2.3±0.0 ^b	0.2±0.0 ^c	2.0±0.1 ^a	
FRP-ST mixture	Hi-amylose corn	2.0±0.0 ^{ab}	2.3±0.3 ^a	0.8±0.5 ^{ab}	2.0±0.1 ^a
	Wheat	1.8±0.0 ^{bc}	2.1±0.0 ^a	0.5±0.2 ^{bc}	2.1±0.2 ^a
	Tapioca	1.9±0.0 ^b	2.2±0.0 ^a	0.6±0.0 ^b	2.2±0.3 ^a
	Potato	1.7±0.0 ^c	2.2±0.0 ^a	1.3±0.1 ^a	2.1±0.1 ^a

Mean values of three replicate measurement; values sharing the same lowercase letters are not significantly different at $p < 0.05$.

Table 2. Solubility and swelling power of flourey rice powder (FRP) and FRP-starch (ST) mixtures

Source	Swelling power (g/g)		Solubility (%)	
	ST only	FRP-ST mixture	ST only	FRP-ST mixture
FRP	17.3±0.2		5.7±0.7	
Waxy corn	9.7±0.3 ^{cd}	7.7±0.1 ^c	4.1±0.1 ^b	2.5±0.1 ^c
	18.2±0.1 ^b	13.0±0.8 ^a	3.5±0.0 ^b	4.9±0.3 ^{ab}
FRP-ST mixture	Hi-amylose corn	6.4±0.0 ^d	0.5±0.1 ^c	4.0±0.1 ^b
	Wheat	9.3±0.1 ^d	8.3±0.3 ^b	3.7±0.5 ^b
Tapioca	10.5±0.4 ^c	9.7±0.0 ^b	3.1±0.5 ^b	3.5±0.4 ^b
Potato	37.7±1.1 ^a	11.8±1.7 ^a	7.6±0.4 ^a	6.3±1.2 ^a

Mean values of three replicate measurement; values sharing the same lowercase letters are not significantly different at $p < 0.05$.

Table 3. Gelatinization property of flourey rice powder (FRP) and FRP-starch (ST) mixtures

Source	Gelatinization temperature (°C)			ΔH^1 (J/g)	
	Onset	Peak	End		
FRP	62.6±0.1 ^a	68.7±0.2 ^d	73.9±0.1 ^d	5.7±0.9 ^b	
Waxy corn	63.2±0.1 ^a	73.2±0.1 ^b	77.9±0.1 ^b	7.4±0.2 ^{ab}	
	66.0±4.9 ^a	74.0±0.0 ^a	77.8±0.1 ^b	7.4±1.2 ^{ab}	
FRP-ST mixture	Hi-amylose corn	63.7±0.6 ^a	69.5±0.0 ^c	79.7±0.0 ^a	3.8±0.1 ^c
	Wheat	56.9±0.0 ^b	68.2±0.2 ^d	75.3±0.7 ^c	7.2±0.1 ^{ab}
Tapioca	63.5±0.8 ^a	69.8±0.5 ^c	76.3±0.4 ^c	8.5±2.4 ^{ab}	
Potato	63.2±0.1 ^a	68.4±0.3 ^d	74.6±0.7 ^d	9.4±1.6 ^a	

Mean values of three replicate measurement; values sharing the same lowercase letters are not significantly different at $p < 0.05$.

¹Gelatinization enthalpy.

(68.2°C) 및 가루쌀분말-감자전분(68.4°C) 혼합물들을 제외한 혼합물들(69.5~74.0°C)에서 가루쌀분말보다 높았고, 호화종결온도는 모든 가루쌀분말-생전분 혼합물(75.3~79.7°C)이 가루쌀분말보다 높았다. 전반적으로 가루쌀분말을 생전분으로 일부 대체하였을 때 호화온도가 가루쌀분말보다 높아졌고, 문헌상(Bae et al., 2020; Kim & Kim, 2021; Jung & Kim, 2023; Cho & Kim, 2024)에서 보고된 생전분의 호화온도보다 높았다. 따라서 가루쌀분말-생전분 혼합물의 호화온도는 쌀단백질을 함유한 가루쌀분말의 존재 때문으로 생각되며, 가루쌀분말과 생전분이 호화를 위한 물의 경쟁적 이용으로 인한 것으로 생각된다(Bae et al., 2020; Cho & Kim, 2024). 한편 가루쌀분말-고아밀로스 옥수수 전분 혼합물(3.8 J/g)을 제외한 혼합물들(7.2~9.4 J/g)의 호화엔탈피는 가루쌀분말(5.7 J/g)보다 높았다. 일반적으로 곡물가루와 생전분, 단백질과 생전분, 생전분 사이에 제조된 혼합분말의 호화엔탈피는 서로 호화를 위한 물의 경쟁적 이용으로 호화가 지연되면서 호화엔탈피가 낮아지는 경향을 보인다(Bae et al., 2020; Kim & Kim, 2021; Jung & Kim, 2023; Cho & Kim, 2024). 그러나 본 연구에서는 이러한 경향과 일치

하지 않았는데, 이는 가루쌀에서 쌀전분이 쌀단백질에 성글게 결합되어 있거나 결합되어 있지 않은 쌀전분이 많을(Park et al., 2024) 뿐만 아니라 가루쌀분말을 생전분으로 일부 대체하며 혼합물 내 미소결정이 증가한 결과인 것 같다(Kim & Kim, 2021). 결과적으로 가루쌀분말 및 가루쌀분말-생전분 혼합물의 호화특성 결과에 따르면 압출성형 과정에서 이들은 원활하게 호화되어 용융물을 형성할 수 있을 것으로 생각된다.

페이스팅 점도

가루쌀분말, 생전분 및 가루쌀분말-생전분 혼합물의 페이스팅 점도 특성을 Fig. 1에 제시하였다. 압출성형기 내의 용융물의 온도 프로파일을 모사하였을 때, 고아밀로스 옥수수전분은 페이스팅 점도를 발달시키기 못하였지만(Obadi et al., 2023), 다른 생전분(Bae et al., 2020; Kim & Kim, 2021; Jung & Kim, 2023; Cho & Kim, 2024)과 가루쌀분말(Park et al., 2024)은 전형적인 페이스팅 점도 프로파일을 보였다. 페이스팅 점도 시험과는 달리 압출성형기의 배럴 내는

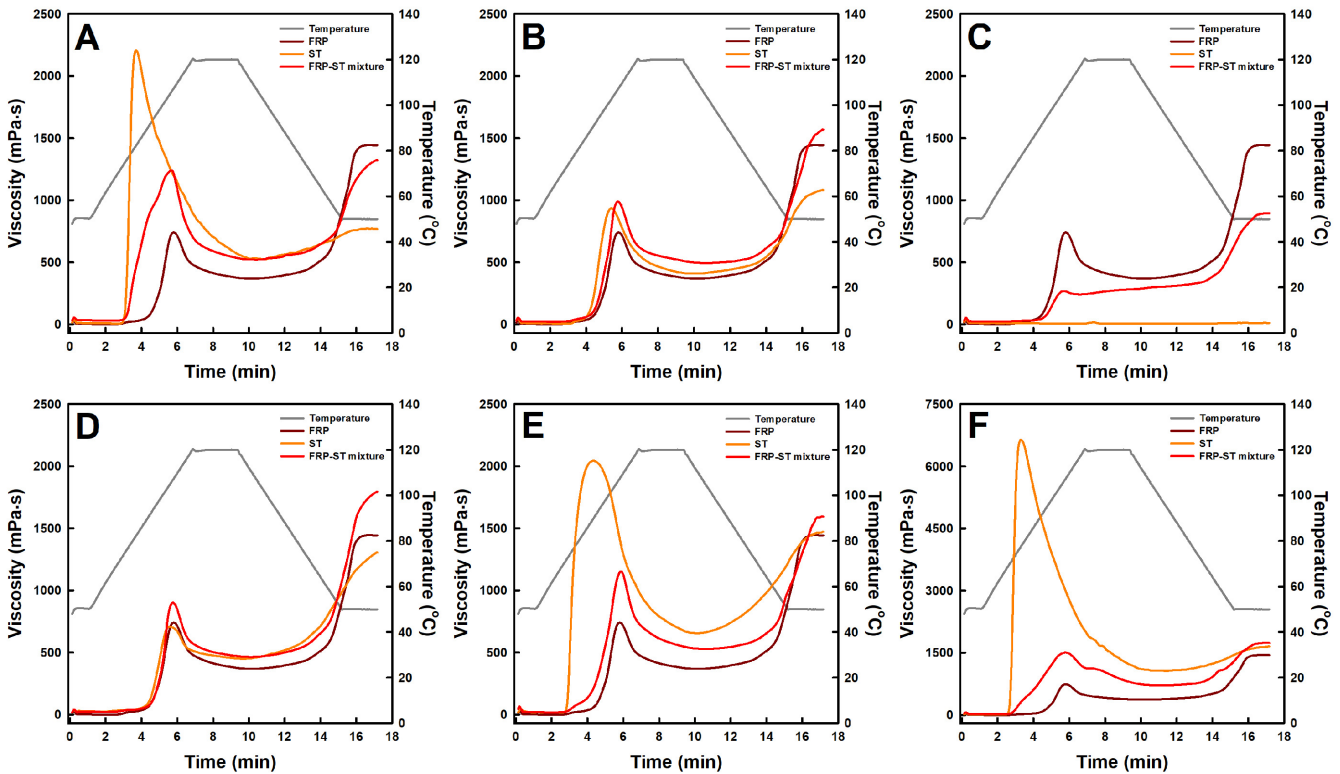


Fig. 1. Pasting viscosity profile of flouly rice powder (FRP), starch (ST), and flouly rice power-starch (FRP-ST) mixtures (A, waxy corn starch; B, normal corn starch; C, hi-amylose corn starch; D, wheat starch; E, tapioca starch; F, potato starch).

상대적으로 저수분 환경을 형성하고, 이러한 배럴 내 용융물의 점도는 페이스팅 점도 프로파일에서 hot paste stage (120°C 유지 구간)까지의 페이스팅 점도로 설명할 수 있다. 따라서 이 구간에서 가루쌀분말-고아밀로스 옥수수전분 혼합물은 가루쌀분말보다 낮은 페이스팅 점도를 보였으나, 이외의 가루쌀분말-생전분 혼합물은 가루쌀분말보다 높았다. 가루쌀분말-고아밀로스 옥수수전분 혼합물의 결과는 고아밀로스 옥수수전분이 페이스팅 점도를 발달시키기 못하였기 때문에 가루쌀분말의 페이스팅 점도를 저하시킨 결과인 반면, 다른 가루쌀분말-생전분 혼합물의 페이스팅 점도는 가루쌀분말보다 높은 페이스팅 점도를 가지는 생전분의 역할 때문으로 생각된다. Ryu & Lee (1988)은 저수분 환경의 압출성형 과정에서 쌀가루 용융물은 강한 층밀림을 받아 기계적 손상을 입어 일부 쌀전분분자가 분해되며 호정화되어 점도가 감소한다고 하였다. 본 연구에서 가루쌀분말-생전분(고아밀로스 옥수수전분 제외) 혼합물은 가루쌀분말보다 높은 페이스팅 점도를 보였기 때문에 이들로부터 제조된 압출성형물은 좀더 안정적인 구조를 형성할 것으로 예측된다.

압출성형물의 외관

가루쌀분말 및 가루쌀분말-생전분 혼합물로부터 제조된 압출성형물의 외관과 단면을 Fig. 2에 제시하였다. 전체적인 외관을 살펴보면,

가루쌀분말-생전분(찰옥수수전분, 타피오카전분, 감자전분) 혼합물의 압출성형물은 구불구불하고 직경이 균일하지 않았다. 그러나 상대적으로 페이스팅 점도가 낮은 일반옥수수전분, 고아밀로스 옥수수전분, 소맥전분을 함유한 가루쌀분말-생전분 혼합물의 압출성형물은 상대적으로 일정한 직경을 보유하며 형성되었다. 이러한 결과는 찰옥수수전분, 타피오카전분, 감자전분은 낮은 온도에서 가루쌀분말보다 페이스팅화가 빠르게 진행되기 때문에(Fig. 1A, E, & F), 이들 전분과 가루쌀분말 사이의 압출성형기의 배럴 내에서 아마도 상분리 현상이 발생하였기 때문인 것 같다. 이것은 이들 전분을 함유한 혼합물로부터 제조한 압출성형물의 표면에 얇은 층이 형성되어 있는 곳이 빈번히 관찰되는 것으로 유추할 수 있는 것 같다. 한편 압출성형물을 단면 구조를 보면, 전체적인 외관과 비슷하게 찰옥수수전분, 타피오카전분, 감자전분을 포함한 가루쌀분말 혼합물의 압출성형물은 기공 세포가 크고 균일하지 않으며 기공 세포벽의 두께도 일정치 않은 것을 알 수 있다. 그러나 가루쌀분말의 페이스팅 점도 발달 및 프로파일과 유사한 일반옥수수전분, 고아밀로스 옥수수전분, 소맥전분을 함유한 가루쌀분말 혼합물의 압출성형물 단면의 기공은 상대적으로 작고, 균일하며, 일정한 두께의 기공 세포벽을 가지고 있었다. 용융물의 낮은 점도는 기공의 형성과 노화를 원활하게 하여 낮은 밀도의 압출성형물을 얻을 수 있다(Ding et al., 2006). 따라서 가루쌀분

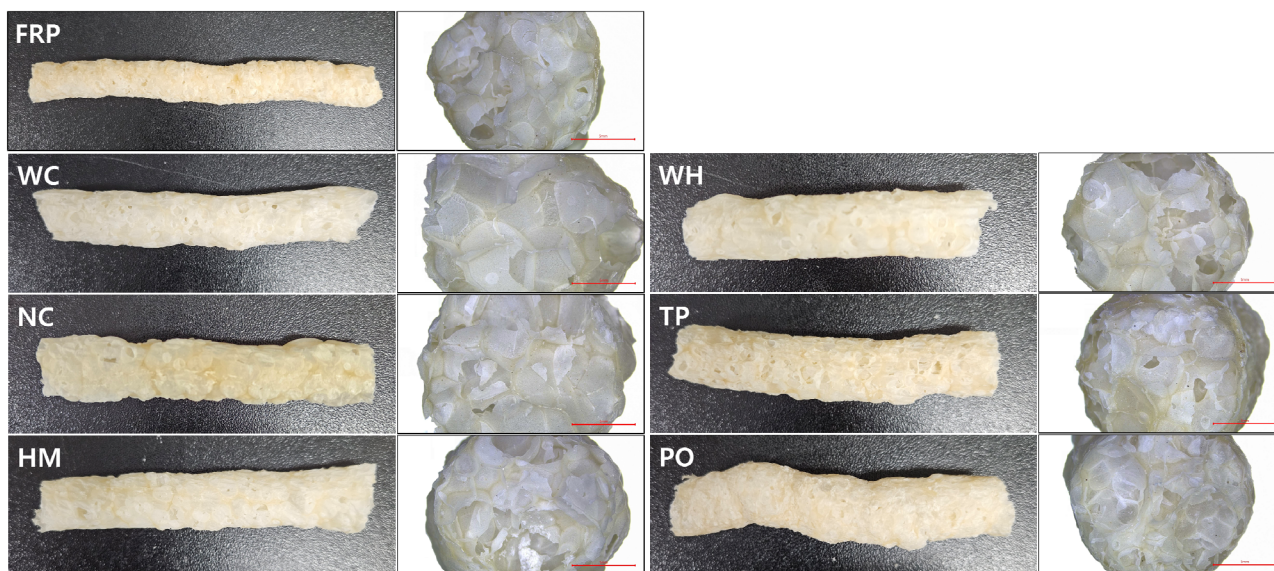


Fig. 2. Whole appearance and cross-section of extruded products of floury rice powder (FRP) and FRP-starch mixtures (WC, waxy corn starch; NC, normal corn starch; HM, high-amylose corn starch; WH, wheat starch; TP, tapioca starch; PO, potato starch).

말과 페이스팅 점도 발달 경향이 다르며 페이스팅 점도를 급격히 높이는 생전분은 가루쌀분말-생전분 혼합물의 압출성형물의 외관과 기공 형성 및 구조에 좋지 않은 영향을 미치는 것 같다.

압출성형물의 팽화율

가루쌀분말 및 가루쌀분말-생전분 혼합물 압출성형물의 팽화율을 Table 4에 나타내었다. 가루쌀분말 압출성형물의 팽화율은 343.1% 이었다. 가루쌀분말 압출성형물의 팽화율은 찹옥수수전분(399.6%), 일반옥수수전분(387.6%), 고아밀로스 옥수수전분(389.6%), 타피오카전분(382.2%)으로 가루쌀분말의 일부 대체를 통해 유의적으로 증가하였으나 생전분 종류에 따른 영향은 없었다. 그러나 소맥전분(338.6%)과 감자전분(337.6%)으로 가루쌀분말의 일부 대체는 압출

성형물의 팽화율에 영향을 미치지 않았다. Vanier et al. (2016)은 전분 압출성형물은 20~32% 아밀로스 함량에서 가장 높은 팽화율을 얻었다고 하였다. Guha & Ali (2006)은 저아밀로스 쌀가루 압출성형물의 팽화율이 가장 높았으며, 쌀가루의 아밀로스 함량이 증가하며 팽화율은 낮아졌다고 하였다. 그러나 본 연구에서 관찰된 팽화율은 가루쌀분말-생전분 혼합물의 아밀로스 함량이나 생전분의 종류와 상관성을 찾을 수 없었다. 한편 찹옥수수전분, 일반옥수수전분 및 고아밀로스 옥수수전분을 함유한 가루쌀분말 혼합물의 압출성형물의 팽화율이 유의적인 차이를 보이지 않는 결과에 기초하면, 선행연구와 본 연구 사이의 압출성형물 팽화율에 관한 불일치는 아마도 생전분의 종류에 따른 가루쌀분말과 생전분 사이의 양립 가능성(compatibility)의 차이 때문일 수 있다.

Table 4. Expansion ratio (ER), specific volume (V_{sp}), and failure strength of floury rice powder (FRP) and FRP-starch (ST) mixtures

Source	ER (%)	V_{sp} (mL/g)	Failure strength (N)		
			3-Point bending	Compression	
FRP	343.1±10.1 ^b	4.2±1.3 ^d	8.0±1.1 ^{ab}	40.9±10.0 ^b	
Waxy corn	399.6±32.0 ^a	8.9±0.9 ^c	9.0±0.9 ^{ab}	24.6±6.0 ^c	
Normal corn	387.6±24.5 ^a	10.8±0.6 ^a	9.1±1.7 ^{ab}	25.0±5.8 ^c	
FRP-ST mixture	Hi-amylose corn	389.0±24.4 ^a	11.1±0.9 ^a	6.2±0.6 ^{bc}	24.7±3.9 ^c
Wheat	338.6±13.4 ^b	8.4±1.0 ^{cd}	10.2±2.7 ^a	33.2±6.1 ^b	
Tapioca	382.2±12.8 ^a	9.4±0.8 ^{bc}	6.9±1.7 ^{bc}	41.4±5.6 ^b	
Potato	337.6±16.5 ^b	7.0±1.0 ^d	8.1±1.5 ^{ab}	54.2±8.2 ^a	

Mean values of three replicate measurement; values sharing the same lowercase letters are not significantly different at $p < 0.05$.

압출성형물의 비용적

가루쌀분말 및 가루쌀분말-생전분 혼합물 압출성형물의 비용적을 Table 4에 나타내었다. 가루쌀분말 압출성형물의 비용적은 4.2 mL/g이었고, 가루쌀분말-생전분 혼합물 압출성형물의 것(7.0~11.1 mL/g)보다 유의적으로 적었다. 일반적으로 압출성형물의 팽윤력과 비용적은 높은 양의 상관관계를 보인다(Ryu & Lee, 1988; Vanier et al., 2016). 이것은 가루쌀분말과 가루쌀분말-생전분 혼합물들 사이의 팽윤력과 비용적 차이를 설명할 수 있지만, 가루쌀분말-생전분 혼합물 압출성형물에 있어 팽윤력과 비용적 사이의 관계는 설명할 수 없었다. 가장 높은 비용적은 가루쌀분말-일반옥수수전분 및 가루쌀분말-고아밀로스 옥수수전분 혼합물의 압출성형물들에서 관찰되었다. 비용적은 생산수율과 관련 있으므로 가루쌀분말의 압출성형 제품생산에 있어 생산원가를 낮추기 위해서는 시중에서 보편적으로 싸게 구매할 수 있는 일반옥수수전분으로 가루쌀분말을 일부 대체할 수 있을 것이다.

압출성형물의 파손 강도

가루쌀분말 및 가루쌀분말-생전분 혼합물 압출성형물의 파손 강도를 Table 4에 나타내었다. 본 연구에서 압출성형물의 파손 강도는 3-point bending test에 의한 절단경도와 compression test에 의한 압착경도로 평가하였다. 압출성형물의 절단경도에 있어, 가루쌀분말은 8.0 N을 나타내었으며, 가루쌀분말-생전분 혼합물은 6.2~10.2 N의 범위를 나타내었다. 가루쌀분말-생전분 혼합물의 압출성형물 중 찰옥수수전분, 일반옥수수전분, 소맥전분, 감자전분 함유군은 가루쌀분말의 절단경도와 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 고아밀로스 옥수수전분과 타피오카전분을 함유한 압출성형물은 가루쌀분말 압출성형물과 통계적으로는 유의적이지 않았으나 낮은 절단경도를 나타내었고, 이는 외부 충격에 쉽게 부러질 수 있을 것으로 생각된다. 한편 가루쌀분말 압출성형물의 압착경도는 40.9 N이었다. 가루쌀분말-생전분 혼합물 압출성형물의 압착경도는 감자전분(54.2 N) > 타피오카전분(41.1 N) > 소맥전분(33.2 N) > 일반옥수수전분(25.0 N) ~ 고아밀로스 옥수수전분(24.7 N) ~ 찰옥수수전분(24.6 N)의 순서로 높았다. 가루쌀분말-옥수수전분 혼합물 압출성형물은 옥수수전분의 유전형(genotype)에 관계없이 유사한 수준의 압착경도를 보였다. 가루쌀분말-옥수수전분 혼합물 압출성형물은 가루쌀분말의 것과 유사거나 낮은 절단경도를 보였지만 압착경도는 더 낮은 것을 고려할 때, 가루쌀분말-옥수수전분 혼합물 압출성형물이 더욱 부드럽고 연한 질감을 보유한 것으로 생각된다.

요약

가루쌀분말 압출성형물의 특성 개선을 위한 생전분의 영향을 조

사하였다. 생전분으로 가루쌀분말의 건조중량 대비 30%를 대체한 가루쌀분말-생전분 혼합물의 특성을 조사하였다. WAI와 WSI는 모든 가루쌀분말-생전분 혼합물이 가루쌀분말보다 낮았다. 팽윤력은 가루쌀분말-생전분 혼합물이 가루쌀분말보다 낮았고, 용해도는 가루쌀분말-감자전분 혼합물을 제외한 혼합물이 가루쌀분말보다 낮았다. 호화온도는 가루쌀분말-생전분 혼합물이 가루쌀분말보다 대체로 높았고, 호화엔탈피는 가루쌀분말-고아밀로스 옥수수전분 혼합물을 제외한 혼합물들이 가루쌀분말보다 높았다. 페이스팅 점도는 가루쌀분말-고아밀로스 옥수수전분 혼합물을 제외한 혼합물들이 가루쌀분말보다 높은 수준을 보였다. 한편 가루쌀분말과 가루쌀분말-생전분 혼합물을 쌍축압출성형기를 이용하여 제조한 압출성형물의 특성을 조사하였다. 높은 페이스팅 점도의 찰옥수수전분, 타피오카전분, 감자전분으로 대체한 가루쌀분말 혼합물보다 상대적으로 낮은 페이스팅 점도의 일반옥수수전분, 고아밀로스 옥수수전분, 소맥전분으로 대체한 가루쌀분말 혼합물로 제조한 압출성형물이 더욱 균일한 외관과 작고 일정한 기공 세포를 형성하였다. 압출성형물의 팽화율은 가루쌀분말-소맥전분 및 가루쌀분말-감자전분 혼합물들이 가루쌀분말과 유사하였고 이외의 가루쌀분말-생전분 혼합물들은 높은 수준이었다. 압출성형물의 비용적은 가루쌀분말보다 가루쌀분말-생전분 혼합물들이 유의적으로 높은 수준이었다. 압출성형물 파손강도에 있어 가루쌀분말-고아밀로스 옥수수전분 및 가루쌀분말-타피오카전분 혼합물들이 가루쌀분말보다 소폭 낮은 절단경도를 나타내었으나, 이외의 혼합물들은 유사한 수준을 보였다. 압착경도는 옥수수전분의 유전형에 관계없이 가루쌀분말-옥수수전분 혼합물들이 가루쌀분말보다 현저히 낮은 수준이었다. 이상의 결과를 종합할 때, 가루쌀분말 압출성형물의 특성을 개선하기 위해서는 가루쌀분말보다 팽화율과 비용적이 크고, 절단경도는 유사하면서 압착경도가 낮은 압출성형물을 형성하는 옥수수전분을 가루쌀분말과 혼합하여 사용하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

ORCID

Eunchong Lee	https://orcid.org/0009-0006-9380-2273
Chaemin Jang	https://orcid.org/0009-0004-1034-8999
Hyun-Seok Kim	https://orcid.org/0000-0002-2188-4058

Conflict of interests

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

Acknowledgements

This work was supported by Korea Institute of Planning and

Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through High Value-added Food Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (RS-2024-00404730). Also, this work was supported by Kyonggi University's Graduate Research Assistantship 2024.

Data availability

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

Authorship contribution statement

Conceptualization: Kim HS.

Data curation: Kim HS.

Formal analysis: Lee E, Jang C.

Methodology: Lee E, Jang C.

Validation: Kim HS.

Investigation: Lee E, Jang C.

Writing - original draft: Lee E.

Writing - review & editing: Lee E, Jang C, Kim HS.

Ethics approval

Not applicable.

References

- Bae JE, Hong JS, Baik MY, Choi HD, Choi HW, Kim HS. 2020. Impact of starch granule-associated surface and channel proteins on physicochemical properties of corn and rice starches. *Carbohydr. Polym.* 250: 116908.
- Cho MJ, Kim HS. 2024. Characterization of potato starch-high amylose rice starch blend as a substitute of acetylated potato starch in long-life noodle. *Food Sci. Biotechnol.* 33: 3057-3065.
- Cho SY, Jeong DH, Ryu GH. 2017. Effect of extrusion process variable on physicochemical properties of extruded rice snack with mealworm. *Korean J. Food Sci. Technol.* 49: 444-452.
- Ding QB, Ainsworth P, Plunkett A, Tucker G, Marson H. 2006. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *J. Food Eng.* 73: 142148.
- Guha M, Ali SZ. 2006. Extrusion cooking of rice: effect of amylose content and barrel temperature on product profile. *J. Food Proc. Preserv.* 30: 706-716.
- 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 J. Breed. Sci.* 54: 433-441.
- Jo YH. 2002. Characteristics of wheat flour and noodle with amylose/amylopectin ratio and hydrocolloids. MS thesis. Hanyang Univ., Seoul, Korea.
- Jung BM, Park DK, Kim ES, Rhee KS, Rhee KC. 2000. Single-screw extrusion puffing of rice flour-defatted soy flour-squid blends: process optimization and product characterization. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29: 412-419.
- Jung HW, Kim HS. 2023. Impact of pH on physicochemical properties of corn starch by dry heat treatment. *Food Sci. Biotechnol.* 32: 1901-1911.
- Kang MY, Han JY. 2000. Comparison of some characteristics relevant to rice bread made from eight varieties of endosperm mutants between dry and wet milling process. *Korean J. Food Sci. Technol.* 32: 75-81.
- Keawpeng I, Kang SK, Park YK. 2007. Physicochemical properties of rice extrudate added with onion kimchi powder. *Korean J. Food Preserv.* 14: 504-510.
- Kim CH, Tie J, Ryu GH. 2012. Effects of moisture content on physical properties of extruded cereal flours. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1603-1610.
- Kim EH, Kook SW, Jung ST, Park YK. 2005. Properties of rice extrudates added with the sea tangle powder. *Korean J. Food Preserv.* 12: 241-246.
- Kim GH, Kim SH, Park SH. 2023. Application of Baromi 2 rice flour on baguette and its physicochemical analysis. *Food Eng. Prog.* 27: 394-398.
- Kim JS. 2024. Quality characteristics of muffins with added floury rice powder. *Culi. Sci. Hos. Res.* 30: 10-18.
- Kim NY, Ryu GH. 2018. Effects of mealworm content and extrusion process on quality characteristics of extruded rice flour infant food. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 47: 476-484.
- Kim RJ, Kim HS. 2021. Development and characterization of potato amylopectin-substituted starch materials. *Food Sci. Biotechnol.* 30: 833-842.
- Kim WS, Shin MS. 2007. The properties of rice flours prepared by dry- and wet-milling of soaked glutinous and normal grains. *Korean J. Food Cook. Sci.* 23: 908-918.
- Kong JY, Kim YM. 1998. Studies on gelatinization characteristics of some starches by differential scanning calorimetry. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 17: 144-148.
- Kum JS, Lee HY, Shin MG, Yoo MR, Kim KH. 1994.

- Properties of modified rice starch by physical modification. Korean J. Food Sci. Technol. 26: 428-435.
- Lee C. 2004. Optimization for extrusion-cooking of rice-ISP-file fish mixture by response surface methodology. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 33: 1742-1747.
- Lee JE, Kim YJ, Cho MG, Park SY, Kim EM, Cho YS, Choi YH. 2012. Physicochemical properties of extruded rice flour and gelatinization popped rice flour. Korean J. Food Nutr. 25: 850-854.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2023 Grain Consumption Survey. Available from: <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/569290/artclView.do>. Accessed September 11, 2024.
- Obadi M, Qi Y, Xu B. 2023. High-amylose maize starch: structure, properties, modifications and industrial applications. Carbohydr. Polym. 299: 120185.
- Oh SH, Hwang HH, Sung YJ, Kim HB, Choi HS, Oh WY, Yeo JD, Kwak JE, Lee JH, Lee JH. 2022. Comparison of physicochemical properties and oxidative stability of rice bran oil and rice flours from 2 different rice varieties including 'Samkwang' and 'Baromi2'. In: Proceeding of 2022 KFN International Symposium and Annual Meeting. October 19-21, Jeju, Korea, 407.
- Oh SM, Park HJ, Choi YC, Oh YG, Lee JH, Lee JS, Kwak J. 2022. Characteristics changes of floury-type rice depending on water immersion and heat treatment time. In: Proceeding of 2022 Annual Meeting and Fall International Conference of the Korean Society of Crop Science. October 13-14, Seoul, Korea, 314.
- Park DY, Kim JY, Kim HS. 2022. Development of a frying batter mix by replacing the wheat flour with brown rice and minor cereal flour. Korean J. Food Sci. Technol. 54: 652-663.
- Park HY, Lee CG, Lee JS, Lee JH, Choi HS, Park JY, Sim EY, Kim HS, Choi HS. 2024. Physicochemical characteristics by mixing ratio rice flour customized elite cultivar 'Baromi2 and wheat flour. Korean J. Food Sci. Technol. 56: 311-319.
- Park JY, Kim YH, Ryu GH. 2017. Physicochemical properties and antioxidant activity of extruded rice flour with various cacao (*Theobroma cacao* L.) bean content. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 46: 1327-1335.
- Park KH, Lee HG. 2005. Characteristics and development of rice noodle added with isolate soybean protein. Korean J. Food Cookery Sci. 21: 326-338.
- Park YU, Yoon HH. 2024. Quality characteristics of pound cake added with Baromi 2 (brown rice flour). Culi. Sci. Hos. Res. 30: 54-65.
- Ryu GH, Lee CH. 1988. Effects of moisture content and particle size of rice flour on the physical properties of the extrudate. Korean J. Food Sci. Technol. 20: 463-469.
- Sim YJ, Jung BM, Rhee KC. 2001. Quality characteristics of extruded formulated products prepared from blends of rice flour, corn flour and fish muscle by single-screw extrusion. Korean J. Food Sci. Technol. 33: 45-49.
- Vanier NL, Vamadevan V, Bruni GP, Ferreira CD, Pinto VZ, Seetharaman K, Zavareze DRE, Elias MC, Berrios JDJ. 2016. Extrusion of rice, bean and corn starches: extrudate structure and molecular changes in amylose and amylopectin. J. Food Sci. 81: E2932-E2938.
- Wang YY, Norajit K, Ryu GH. 2011. Influence of extruded hemp-rice flour addition on the physical properties of wheat bread. J. Food Sci. Nutr. 16: 62-66.
- Yeh A. 2004. Preparation and applications of rice flour. In: Rice: Chemistry and Technology. Champagne ET. (ed.). American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA, pp. 495-539.
- Yoo JY, Ham JS. 2024. Characteristics of Halloumi cheese added with "Baromi 2" rice flour. J. Korea Acad. Ind. Coop. Soc. 25: 670-677.