

반응표면분석법을 이용한 쌀 소재 활용 볼 어묵의 제조조건 최적화

라하나 · 박사라 · 조용식 · 황영 · 장현욱 · 김경미*
농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 발효가공식품과

Optimizing of *Eomuk* Manufacturing Condition Utilizing Rice Material Using Response Surface Methodology

Ha-Na Ra, Sa-Ra Park, Yong-Sik Cho, Young Hwang, Hyun-Wook Jang, and Kyung-Mi Kim*

*Fermented & Processed Food Science Division, Department of Agrofood Resources,
National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration*

Abstract

The purpose of this study is to optimize the rice starch and rice protein content ratio for the replacement of fish paste in *eomuk* using a response surface methodology. The experiment was designed based on the independent variables. The rice starch content (X_1 : 10, 20, 30%) and rice protein content (X_2 : 1, 3, 5%) were examined, along with the viscosity (Y_1), color (Y_2 : L, Y_3 : a, Y_4 : b), and sensory evaluation of the dough (Y_5 : Color, Y_6 : Flavor, Y_7 : Off flavor, Y_8 : Taste, Y_9 : Hardness, Y_{10} : Cohesiveness, Y_{11} : Springiness, Y_{12} : Chewiness, Y_{13} : Overall acceptance), with the results being set as dependent variables. The p value of Y_1 , Y_2 , Y_3 , Y_7 , Y_9 , Y_{10} , Y_{11} , Y_{12} , and Y_{13} showed a level of <0.05 excluding Y_6 and Y_8 . R^2 value was high at 0.80-0.95 so that these rice starch and rice protein contents were significantly affected in terms of the quality and sensory preference of *eomuk*; therefore, the optimal conditions of X_1 and X_2 were 19.99% and 2.91%, respectively. Under these optimal conditions, the predicted values of acceptance were Y_5 (5.44), Y_7 (5.36), Y_9 (5.22), Y_{10} (5.46), and Y_{13} (6.11). These results will be the basis for building a method for obtaining a rice material. Also, they are expected to promote rice consumption through the development of processed foods using rice material.

Key words: rice protein, ball-*eomuk*, sensory characteristics, manufacturing condition, optimization

서 론

사회·문화적인 변화에 따라 주거형태가 다양해졌고, 현대인의 삶에 맞는 새로운 식생활 수요를 충족시켜줄 수 있는 식품산업의 발전이 이루어지고 있다. 대표적으로 2000년 이후 HMR 시장이 급격히 성장하였으며, 채식인구가 증가하면서 단백질을 보충할 수 있는 식물성 식품소재의 개발과 활용을 위한 연구들이 보고되고 있다(Chung & Lee, 1996). 식물성 단백질은 주로 콩이나 밀에서 추출하는 경우가 많지만, 알레르기 발생의 위험이 있어 항원성이 낮은 식품으로 쌀이나 미강에서 단백질을 얻기 위한 연구들이 진행되고 있다(Kwon & Lee, 2013; Ra et al., 2019). 이와 같이 쌀에서 식물성 단백질 소재를 추출하는 것은 불용성

글루테닌 함량이 높아 용해성이 낮고, 추출효율이 낮은 문제가 있어(Zhang et al., 2018) 쌀 단백질의 추출률을 높이고, 용해성을 증진시키기 위한 초음파 및 초고압처리를 병행하기도 하며(Zhang et al., 2018; Ra et al., 2019), 쌀의 주요성분인 전분과 쌀 단백질을 동시에 추출하는 방법을 연구하고 있다(Souza et al., 2016). 쌀에서 추출한 전분이나 단백질을 소재로 이용한 가공식품의 개발은 대량의 재고미를 효과적으로 소비하는 방안이 될 수 있으며, 곡물 자체를 이용하는 떡류(Kim et al., 2019), 제과·제빵류(Lee & Lee, 2006; We et al., 2011) 및 음료(Shin et al., 2016) 등으로 한정적이었던 식품의 종류를 다양화할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 쌀에서 얻은 소재를 이용하여 가공식품을 개발하고, 활용하는 연구는 부족한 실정이다.

어묵은 주원료가 되는 연육을 이용하여 염용성 단백질인 액토미오신(actomyosin)을 용출시키기 위해 2-3%의 식염을 가해 반죽한 후 가열하여 그물망 구조로 결합되도록 하는 식품이다(Kwon & Lee, 2013). 어묵 제조를 위한 연육은 보통 혼합어육을 사용하고, 어육의 종류나 신선도에 따라 품질이 달라지기 때문에 가공비나 재료비의 비중이 크다.

*Corresponding author: Kyung-Mi Kim, Fermented & Processed Food Science Division, Department of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, 166 Nongsaengmyeong-ro, Iseo-myeon, Wanju, Jellabuk-do, 55365, Korea
Tel: +08-63-238-3631; Fax:+08-63-238-3843
E-mail: kimkm@korea.kr
Received October 8, 2020; revised October 27, 2020; accepted November 2, 2020

반면에, 별다른 조리과정 없이 즉시 섭취할 수 있다는 장점이 있으며, 다양한 부원료의 배합이 가능하기 때문에 팽이버섯(Koo et al., 2001), 양파 추출물(Park et al., 2004), 홍어(Cho & Kim, 2011), 미더덕(Choi et al., 2012), 홍게 분말(Kim et al., 2016), 복어(Ahn et al., 2019) 등을 첨가한 어묵의 고품질화 연구들이 수행되어왔다. 또한, 쌀가루를 첨가한 어묵의 품질연구(Kwon & Lee, 2013)와 쌀 어묵 제조에 적합한 쌀 품종을 선정하기 위한 연구(Kim et al., 2020) 등과 같이 쌀 자체를 이용하여 기본 반죽을 대체하는 방안들이 제안되고 있다. 어묵은 연육 다음으로 전분이 사용되는데 수분을 흡수하여 팽윤 및 호화된 전분이 보관과정 중 발생하는 이수현상을 방지하여 품질을 유지시킬 수 있으며 겔을 형성하기 때문에 탄력성을 부여하는 역할을 한다(Han & Lee, 2014). 따라서, 어묵의 가공형태나 공정에 적합한 전분의 첨가량을 설정하는 것이 중요하며, 전분 이외의 단백질과 같은 쌀 소재를 이용하여 연육을 대체한 어묵 제조 가능성을 검토하고자 하였다. 이에 본 연구에서는 쌀에서 전분과 단백질을 추출하는 방법을 구축하고, 반응표면분석법(response surface methodology: RSM)을 이용하여 쌀 전분과 쌀 단백질 첨가에 따른 어묵제조 배합비율을 최적화하고 미세구조 측정을 통해 어묵의 겔 형성과 구조적인 특성을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

어묵 제조를 위해 사용된 재료는 명태살(생생무역, Busan, Korea), 새우(비비수산, Busan, Korea), 계란흰자(풀무원, Chungbuk, Korea), 소금(한주소금, Ulsan, Korea), 양파와 당근으로 전복 전주시 소재 마트에서 구매하여 사용하였다. 어묵제조를 위한 쌀 소재로 재고미에서 전분과 단백질을 추출하였으며, Souza et al. (2016)의 연구방법을 참고하여 쌀 전분과 단백질을 동시에 추출하였다(Fig. 1). 탈지한 쌀 1kg에 0.2% NaOH (Daejung, Gyeong-gi, Korea)를 1.5 kg 넣어 1시간 동안 교반하였고, 8,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후, 상등액은 단백질 회수, 침전물은 전분 회수를 위해 사용하였다. 상등액은 0.1M-HCl (Daejung, Gyeonggi, Korea)로 단백질 등전점(pH 4.5)을 맞추어 원심분리(8,000 rpm, 10분)하여 침전된 단백질을 회수하였다. 침전물은 0.2% NaOH로 여러 번 수세하여 단백질을 제거하였고, 회수된 단백질과 전분은 모두 중화한 뒤, 3회 이상 수세하여 동결건조하였다.

실험계획

쌀 소재를 활용한 어묵의 제조조건 최적화를 위해 실험 디자인은 Minitab (16.0 ver., MINITAB, State College, PA, USA)프로그램으로 반응표면분석법(Response surface

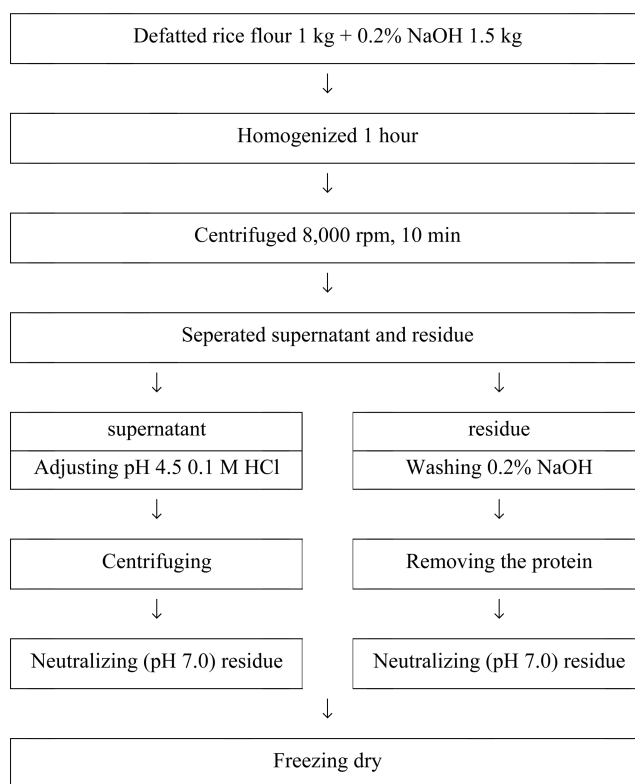


Fig. 1. Process for rice starch and rice protein extraction.

methodology: RSM)을 이용하였다. 어묵제조를 위해 쌀 전분과 단백질의 배합비율을 최적화하기 위해 실험계획은 중심합성법(Central Composite Design; CCD)을 이용하였다. 쌀 전분(10, 20, 30%)과 쌀 단백질(1, 3, 5%)을 독립변수로 설정하였으며, -1, 0, +1로 부호화하여 각각의 조건을 랜덤화 하였다(Table 1). 종속변수는 점도(Y_1), 색도(Y_2 : L, Y_3 : a, Y_4 : b), 관능평가(Y_5 : Color, Y_6 : Flavor, Y_7 : Off flavor, Y_8 : Taste, Y_9 : Hardness, Y_{10} : Cohesiveness, Y_{11} : Springiness, Y_{12} : Chewiness, Y_{13} : Overall acceptance)로 설정하였다.

쌀 전분 및 쌀 단백질 첨가 볼 어묵 제조

실험계획에 따른 볼 어묵의 제조 배합비는 Table 2와 같다. 쌀 전분과 단백질로 대체된 중량만큼 혼합연육 함량을 조절하였고, 이외의 달걀흰자 60 g, 소금 2 g, 양파와 당근 혼합채소는 30 g씩 동일하게 배합하였다. 혼합연육은 명태살과 새우살을 넣고, 믹서기(HMF-3000S, Hanil, Seoul, Korea)로 갈아 소금을 먼저 혼합하여 1분간 치대고, 남은 재료를 모두 넣어 9분간 반죽기(KitchenAid K5SS, Beton Harbor, MI, USA)로 치댄다. 반죽은 중량을 기준으로 15 g이었으며, 지름 3.0-3.5 cm의 볼(ball)형태로 성형하여 30분간 스팀 처리하였다.

볼 어묵의 점도 및 색도

점도는 어묵반죽을 비커에 50 g씩 평평하게 담아 점도계

Table 1 Experimental design of ingredients ratio for ball-eomuk manufacturing

No. ¹⁾	X ₁ (Rice starch, %) ²⁾	X ₂ (Rice protein, %)
1	20(0)	5(+1)
2	30(+1)	3(0)
3	10(-1)	3(0)
4	10(-1)	5(+1)
5	20(0)	3(0)
6	30(+1)	5(+1)
7	20(0)	3(0)
8	30(+1)	1(-1)
9	10(-1)	1(-1)
10	20(0)	3(0)
11	20(0)	1(-1)

¹⁾The number of experiment conditions by central composite design for manufacture.

²⁾X₁: Rice starch (%) and coded level, X₂: Rice protein (%) and coded level.

Table 2 Ingredients of ball-eomuk manufacturing

No. ¹⁾	Pastes			Egg white (g)	Salt (g)	Onion and carrot (g)
	Fish and shrimp (g) ²⁾	Rice starch (g)	Rice protein (g)			
1	231	61.6	15.4	60	2	30
2	206.4	92.4	9.2	60	2	30
3	268	30.8	9.2	60	2	30
4	261.8	30.8	15.4	60	2	30
5	237.2	61.6	9.2	60	2	30
6	200.2	92.4	15.4	60	2	30
7	237.2	61.6	9.2	60	2	30
8	212.5	92.4	3.1	60	2	30
9	274.1	30.8	3.1	60	2	30
10	237.2	61.6	9.2	60	2	30
11	243.3	61.6	3.1	60	2	30

¹⁾Experiment conditions, referred to <Table 1>.

²⁾Pollack : shrimp (2:1)

(US/RVDV-11 Viscometer, Brookfield, Middleboro, MA, USA)를 이용하여 spindle No. 7을 사용하여 30 rpm으로 측정하였다. 색도는 어묵을 절단한 뒤 단면을 색차계 (Huterlab, US/Ultrascan PRO. CMS-35S, USA)를 사용하여 L (lightness), a (redness), b (yellowness)값을 측정하였으며, 표준 백색판은 L값은 95.75, a값은 0.15, b값은 2.82였다.

볼 어묵의 기호도 검사

볼 어묵의 기호도는 척도에 대한 이해와 특성강도에 대한 평가가 가능한 훈련된 패널 15명을 대상으로 하였다. 색, 향, 이취, 맛, 조직감(경도, 응집성, 탄력성, 씹힘성) 및 전반적인 기호도 항목에 대해 9점 척도법(Hedonic scale)으로 평가하였다. 시료와 시료 사이에는 반드시 물로 입안을

헹구도록 하여 전 시료에 의한 영향이 미치지 않도록 하였다. 기호도는 “매우 좋음”이 9점, “매우 좋지 않음”을 1점으로 평가하였다.

볼 어묵의 미세구조 (SEM)

쌀 전분과 단백질을 이용하여 연육을 대체한 어묵의 구조적인 특징을 관찰하여 조직감의 특성을 이해하기 위해 미세구조를 분석하였다. 시료의 미세구조는 scanning electron microscope (JSM-6010LA, JEOL, Tokyo, Japan)를 이용하여 관찰하였다. 미세구조 분석을 위해 어묵은 가로, 세로, 높이 1 cm로 슬라이스하여 동결건조하였으며, aluminium stubs에 시료 양 끝을 carbon 테이프고 고정하였다. 그 후 gold-palladium으로 10-30 mm의 두께로 코팅하여 accelerating voltage 15 kV에서 500배의 배율로 관찰하였다.

통계처리

기호도를 제외한 실험은 3회 반복하여 실시하였으며, 실험으로부터 얻은 결과는 SPSS (Statistical Package for Social Sciences, SPSS Ins., Chicago IL, USA) software를 이용하여 평균±표준편차로 나타내었고, 시료 간의 유의성 검증은 Duncan's multiple range test에 의해 $p < 0.05$ 수준에서 유의적 차이를 검증하였다. 반응표면분석(Response surface methodology: RSM)을 위해 Minitab (16.0 ver., MINITAB, Pennsylvania, USA)을 이용하였으며, 종속변수에 대한 이차 회귀식을 도출하여 최적 조건을 설정하였다.

결과 및 고찰

볼 어묵의 점도 및 색도

반죽의 점도(Y_1)와 어묵의 색도(Y_2 : L, Y_3 : a, Y_4 : b) 측정결과는 Table 3과 같다. 반죽의 점도는 No. 6 (Rice starch 30% : rice protein 5%)이 가장 높은 값을 나타냈다. Chung & Lee (1996)의 연구에서 콩, 우유, 밀 글루텐과 같은 식물성 단백질에 결합된 수분은 겔 형성에 영향을 미치며, 단백질과 결합된 수분이 적을수록 수리미(Surimi)의 겔 강도는 높아지는 것으로 보고된 바 있다. 본 연구에서 혼합연육을 대체하여 쌀 전분과 쌀 단백질을 첨가함에 따라 반죽의 수분함량이 낮아져 겔 형성에 영향을 미치면서 반죽의 점도는 강하게 측정된 것으로 판단되었다. 어묵의 색도 중 L값(Y_2)은 No. 9 (Rice starch 10% : rice protein 1%)와 No. 11 (Rice starch 20% : rice protein 1%)이 각각 53.13, 53.18로 유의적으로 높게 측정되었으며($p < 0.05$), 쌀 단백질 함량이 증가할수록 L값이 감소하는 결과를 보였다. 어묵의 a값(Y_3)과 b값(Y_4)은 각각 2.03-3.48, 9.74-12.86으로 쌀 전분과 단백질 첨가량이 가장 많은 No. 6 (Rice starch 30% : rice protein 5%)이 가장 높게 나타났다. 쌀 단백질의 함량이 어묵의 색도에 영향을 미치는 것

으로 보이며, 쌀 단백질 함량이 많을수록 고유의 색이 발현되면서 어묵의 명도가 낮아지는 것으로 판단되었다. Cho & Kim (2011)의 연구에서도 홍어분말 첨가량(5%)이 증가함에 따라 명도는 유의적으로 감소하고, a값 및 b값은 증가하는 결과를 보였다. 복어 수리미로 제조한 어묵(Ahn et al., 2019)의 색도 측정결과에서도 수리미의 복어 첨가량이 증가할수록 L값이 감소하는 결과를 보여 부재료로 첨가되

는 식품의 색이 어묵의 색도에 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

반죽의 점도와 색도에 대한 회귀분석 결과는 Table 4와 같다. 반죽의 점도(Y_1)는 p -value가 0.005로 나타났으며 ($p < 0.01$), R^2 값이 0.93으로 매우 높은 결과를 보였다. 색도 L값(Y_2)과 b값(Y_4)의 p -value는 각각 0.053, 0.024로 유의적 결과를 보였으나, R^2 값이 0.83, 0.75으로 나타나 b값(Y_4)은 쌀 전분 및 단백질 배합비를 최적화를 위한 model에서 제외하였다. 어묵의 점도와 L값에 대한 반응표면도는 Fig. 2에 제시하였다. 쌀 전분과 쌀 단백질 함량이 증가할수록 점도가 증가하였으며, L값은 쌀 단백질 함량이 증가할수록 명도가 낮아지는 결과를 보였다.

Table 3 Viscosity of paste and color of ball-eomuk with the experimental design

No. ¹⁾	Viscosity (Y_1) cP	Responses		
		L (Y_2)	a (Y_3)	b (Y_4)
1	14,867 ± 1,262 ^{d2)}	47.73 ± 0.45 ^c	3.35 ± 0.50 ^{ab}	12.32 ± 0.31 ^{bc}
2	33,834 ± 2,090 ^b	48.09 ± 0.46 ^c	2.03 ± 0.19 ^c	12.17 ± 0.31 ^{bc}
3	7,567 ± 398 ^{fg}	50.33 ± 0.74 ^b	2.71 ± 0.35 ^{bcd}	12.04 ± 0.21 ^c
4	8,133 ± 4,759 ^{fg}	47.92 ± 1.16 ^c	3.14 ± 0.42 ^{abc}	12.50 ± 0.13 ^b
5	11,634 ± 725 ^e	49.94 ± 0.56 ^b	2.82 ± 0.17 ^{bcd}	12.07 ± 0.18 ^c
6	42,609 ± 1,434 ^a	42.12 ± 0.78 ^d	3.48 ± 0.58 ^a	12.86 ± 0.12 ^a
7	11,600 ± 288 ^e	49.90 ± 0.36 ^b	3.19 ± 0.26 ^{abc}	12.06 ± 0.30 ^c
8	25,367 ± 3532 ^c	50.02 ± 0.40 ^b	2.94 ± 0.53 ^{bcd}	11.10 ± 0.30 ^d
9	5,567 ± 127 ^g	53.13 ± 0.67 ^a	2.10 ± 0.33 ^c	9.74 ± 0.43 ^c
10	12,300 ± 296 ^{de}	47.73 ± 0.45 ^c	3.05 ± 0.53 ^{abc}	12.05 ± 0.20 ^c
11	10,467 ± 456 ^{ef}	53.18 ± 0.31 ^a	2.53 ± 0.36 ^{de}	10.80 ± 0.32 ^d

¹⁾The number of experiment conditions by central composite design for manufacture.

²⁾All values are mean ± SD.

^{a-g}Means with different superscripts in the same column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

볼 어묵의 기호도 검사

쌀 전분 및 단백질 첨가량에 따른 어묵의 관능적 기호도 (Y_{5-13})를 평가하였다(Table 5). 색(Y_5)의 기호도는 시료 간의 차이를 보이지 않았으며, 향(Y_6)은 5번 및 7번 시료가 5.73, 5.55로 가장 높은 기호도를 보였다($p < 0.05$). 경도(Y_9)에 대한 기호도는 쌀 전분의 대체비율이 높을 때 3.45-3.82점으로 평가되어 쌀 전분 함량이 증가함에 따라 반죽의 점도가 증가하고, 이는 어묵의 경도를 단단하게 하여 기호도가 낮아지는 것으로 판단되었다. 어묵의 탄력성(Y_{11})과 씹힘성(Y_{12})은 중심점(Rice starch 20% : rice protein 3%)에 해당하는 No. 5, 7, 10 시료의 기호도가 높았으며, 전반적인 기호도(Y_{13})는 쌀 단백질 대체비율이 높은 시료가 5점 미만으로 낮은 기호도를 보였다. 전분은 보관과정

Table 4 Regression analysis on the viscosity of paste and color of ball-eomuk

Response	Model	F-value	p value	R ²	Polynomial equation
Viscosity (Y_1)	Quadratic	15.02	0.005	0.93 ¹⁾	18609 - 1453A ²⁾ - 3887B + 51.2A ² + 307B ² - 183AB
L (Y_2)	Quadratic	4.88	0.053	0.83	53.63 + 0.053A - 0.98B - 0.00277A ² + 0.058B ² - 0.0336AB
a (Y_3)	Quadratic	2.39	0.181	0.70	0.60 + 0.1728A + 0.231B - 0.00359A ² + 0.0108B ² - 0.00625AB
b (Y_4)	Quadratic	7.25	0.024	0.75	8.07 + 0.1396A + 1.151B - 0.00177A ² - 0.0806B ² - 0.0125AB

¹⁾0 ≤ R² ≤ 1, close to 1 indicates regression line fits the model.

²⁾A: Rice starch content (X_1), B: Rice protein content (X_2)

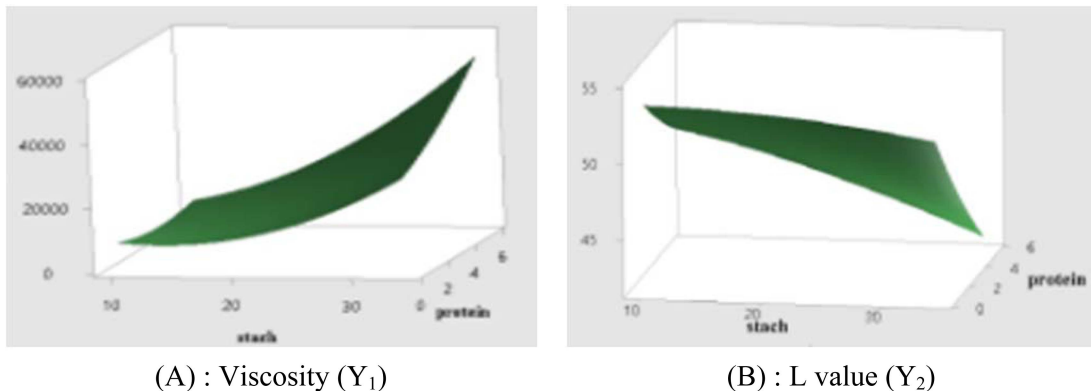


Fig. 2. Response surface plot of viscosity (Y_1) and L value (Y_2) according to the starch contents (%) and rice protein contents (%).

중 발생하는 이수현상을 방지하여 품질을 유지시킬 수 있으며, 겔을 형성하기 때문에 탄력성을 부여하는 역할을 하는 것으로 보고된 바 있다(Han & Lee, 2014). 하지만 본 연구에서는 어묵의 경도를 증가시키는 요인으로 작용하여 No. 2, 6, 8 시료의 조직감 특성과 전반적인 기호도가 낮게 평가되었다. Kim et al. (2020)의 연구에서 품종별 쌀가루를 첨가한 어묵의 품질을 평가하였으며, 20명을 대상으로 7점 척도를 이용한 기호도 검사 결과 4.50-5.30점의 분포로 ‘약간 좋다’수준의 기호도를 보였다. 반면에 본 연구에서는 쌀 전분과 쌀 단백질의 첨가비율에 따라 전반적인 기호도가 3.64(약간 싫다)-6.64(약간 좋다)점의 넓은 분포를 보여 쌀 전분과 쌀 단백질 함량이 소비자의 기호도에 미치는 영향이 큰 것으로 판단되었다. 이는 소비자의 기호도를 저하하지 않는 쌀 전분과 쌀 단백질의 적절한 배합비율이 중요하며, 본 연구를 통해 쌀 전분과 쌀 단백질의 적절한 사용량을 제안하는 것은 쌀소재 활용 어묵의 제조조건을 설정하는 기초자료가 될 수 있을 것으로 판단되었다.

관능적 기호도의 회귀분석 결과는 Table 6에 나타내었다. 색(Y_5), 이취(Y_7), 경도(Y_9), 점착성(Y_{10}), 탄력성(Y_{11}), 씹힘성(Y_{12}) 및 전반적인 기호도(Y_{13})의 p 값이 <0.05 의 수준으로 나타나 어묵제조를 위한 배합비율에 따라 기호도에 차이를 보였다. 향(Y_6)과 맛(Y_8)의 기호도를 제외한 관능적 특성 항목의 R^2 값도 0.88-0.95로 높게 분석되었다. 어묵의 기호도 검사 결과의 반응표면도는 Fig. 3에 제시하였다. 모든 관능적 특성 항목의 기호도는 쌀 전분 함량이 20%일 때 가장 높게 평가되었으며 쌀 단백질 첨가비율 3%까지 기호도가 증가하다가 3% 이상일 때 다시 감소하는 결과를 보였다.

불 어묵의 미세구조

쌀 전분과 단백질 활용 불 어묵의 구조적인 특징을 관찰하기 위한 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope) 분석 결과는 Fig. 4와 같다. 쌀 전분함량이 30%로 높은 시료의(No. 2, 6, 8) 표면은 기공의 생성이 적고, 상대적으로

Table 5 Acceptance test of ball-*eomuk* with the experimental design

No. ¹⁾	Responses								
	Color (Y_5)	Flavor (Y_6)	Off-flavor (Y_7)	Taste (Y_8)	Hardness (Y_9)	Cohesiveness (Y_{10})	Springiness (Y_{11})	Chewiness (Y_{12})	Overall acceptance (Y_{13})
1	5.00±0.63 ^{ns2)}	3.91±0.94 ^c	4.09±1.30 ^{bcd}	4.00±1.00 ^{bc}	3.27±0.65 ^d	4.09±0.54 ^{ab}	4.09±0.70 ^{abc}	4.36±1.03 ^{ab}	4.09±0.70 ^{cd}
2	4.27±1.01	4.27±0.90 ^{bc}	3.00±0.89 ^d	4.09±0.70 ^{bc}	3.45±1.13 ^d	3.64±1.29 ^b	3.27±0.79 ^c	3.55±1.21 ^b	3.64±0.92 ^d
3	4.82±1.17	4.45±0.82 ^{bc}	3.36±1.69 ^d	4.45±1.21 ^{bc}	5.27±1.19 ^{ab}	4.18±0.98 ^{ab}	4.91±1.30 ^a	4.36±1.12 ^{ab}	4.55±0.93 ^{cd}
4	4.64±1.03	4.09±0.70 ^{bc}	3.64±1.29 ^{cd}	4.55±1.75 ^{bc}	4.55±0.04 ^{bc}	4.45±1.13 ^{ab}	4.55±1.04 ^{ab}	4.18±0.98 ^{ab}	4.09±1.22 ^{cd}
5	5.73±0.90	5.73±1.01 ^a	5.36±0.81 ^a	5.18±1.25 ^{ab}	5.36±1.50 ^{ab}	5.18±1.40 ^a	5.09±1.22 ^a	5.09±1.14 ^a	6.64±1.29 ^a
6	4.55±1.51	4.45±1.04 ^{bc}	3.18±0.87 ^d	3.36±1.86 ^c	4.18±1.40 ^{cd}	3.82±0.87 ^b	3.64±1.50 ^{bc}	3.64±1.63 ^b	4.64±0.92 ^{cd}
7	5.18±0.87	5.55±1.13 ^a	5.18±1.66 ^{ab}	5.91±1.22 ^a	5.73±1.01 ^a	5.18±1.08 ^a	4.64±0.67 ^{ab}	5.09±0.94 ^a	6.00±1.34 ^{ab}
8	4.82±0.87	5.00±1.18 ^{ab}	4.64±0.92 ^{abc}	4.00±1.26 ^{bc}	3.82±0.87 ^{cd}	3.64±1.12 ^b	3.64±0.92 ^{bc}	3.36±1.03 ^b	4.00±1.00 ^d
9	5.00±1.00	4.82±0.87 ^{abc}	4.09±1.51 ^{bcd}	5.09±1.04 ^{ab}	4.73±1.10 ^{abc}	4.36±0.81 ^{ab}	5.00±1.10 ^a	4.00±1.10 ^{ab}	5.09±1.22 ^{bc}
10	5.45±0.93	4.91±1.04 ^{ab}	5.36±1.57 ^a	4.91±1.30 ^{ab}	5.27±1.19 ^{ab}	5.09±1.30 ^a	5.09±1.22 ^a	5.00±1.00 ^a	5.91±1.14 ^{ab}
11	5.27±1.10	4.91±1.04 ^{ab}	4.82±1.17 ^{abc}	4.27±0.79 ^{bc}	4.55±1.21 ^{bc}	4.45±1.51 ^{ab}	4.27±1.35 ^{abc}	4.27±1.19 ^{ab}	5.09±1.22 ^{bc}

¹⁾The number of experiment conditions by central composite design for manufacture.

²⁾All values are mean±SD.

^{a-d)}Means with different superscripts in the same column are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 6. Regression analysis on the acceptance test of ball-*eomuk*

Response	Model	F-value	Prob<F	R ²	Polynomial equation
Color (Y_5)	Quadratic	9.13	0.015	0.90 ¹⁾	$3.209 + 0.2172A^2 + 0.127B - 0.005612A^2 - 0.0355B^2 + 0.00113AB$
Flavor (Y_6)	Quadratic	4.16	0.072	0.80	$2.726 + 0.2193A + 0.376B - 0.00533A^2 - 0.0982B^2 + 0.00225AB$
Off flavor (Y_7)	Quadratic	11.31	0.009	0.91	$-0.669 + 0.5239A + 0.518B - 0.01180A^2 - 0.0750B^2 - 0.01262AB$
Taste (Y_8)	Quadratic	2.66	0.153	0.72	$3.00 + 0.161A + 0.727B - 0.00472A^2 - 0.1334B^2 - 0.0012AB$
Hardness (Y_9)	Quadratic	22.62	0.002	0.95	$2.834 + 0.2115A + 0.617B - 0.00676A^2 - 0.1276B^2 + 0.00675AB$
Cohesiveness (Y_{10})	Quadratic	7.38	0.023	0.88	$2.044 + 0.2426A + 0.543B - 0.00661A^2 - 0.0968B^2 + 0.00112AB$
Springiness (Y_{11})	Quadratic	22.46	0.002	0.95	$4.033 + 0.0961A + 0.358B - 0.004191A^2 - 0.0857B^2 + 0.00563AB$
Chewiness (Y_{12})	Quadratic	8.42	0.018	0.89	$3.496 + 0.1566A + 0.219B - 0.00585A^2 - 0.0866B^2 + 0.01375AB$
Overall acceptance (Y_{13})	Quadratic	9.53	0.014	0.90	$1.66 + 0.3923A + 0.501B - 0.01146A^2 - 0.1691B^2 + 0.0200AB$

¹⁾ $0 \leq R^2 \leq 1$, close to 1 indicates regression line fits the model.

²⁾A: Rice starch content (X_1), B: Rice protein content (X_2)

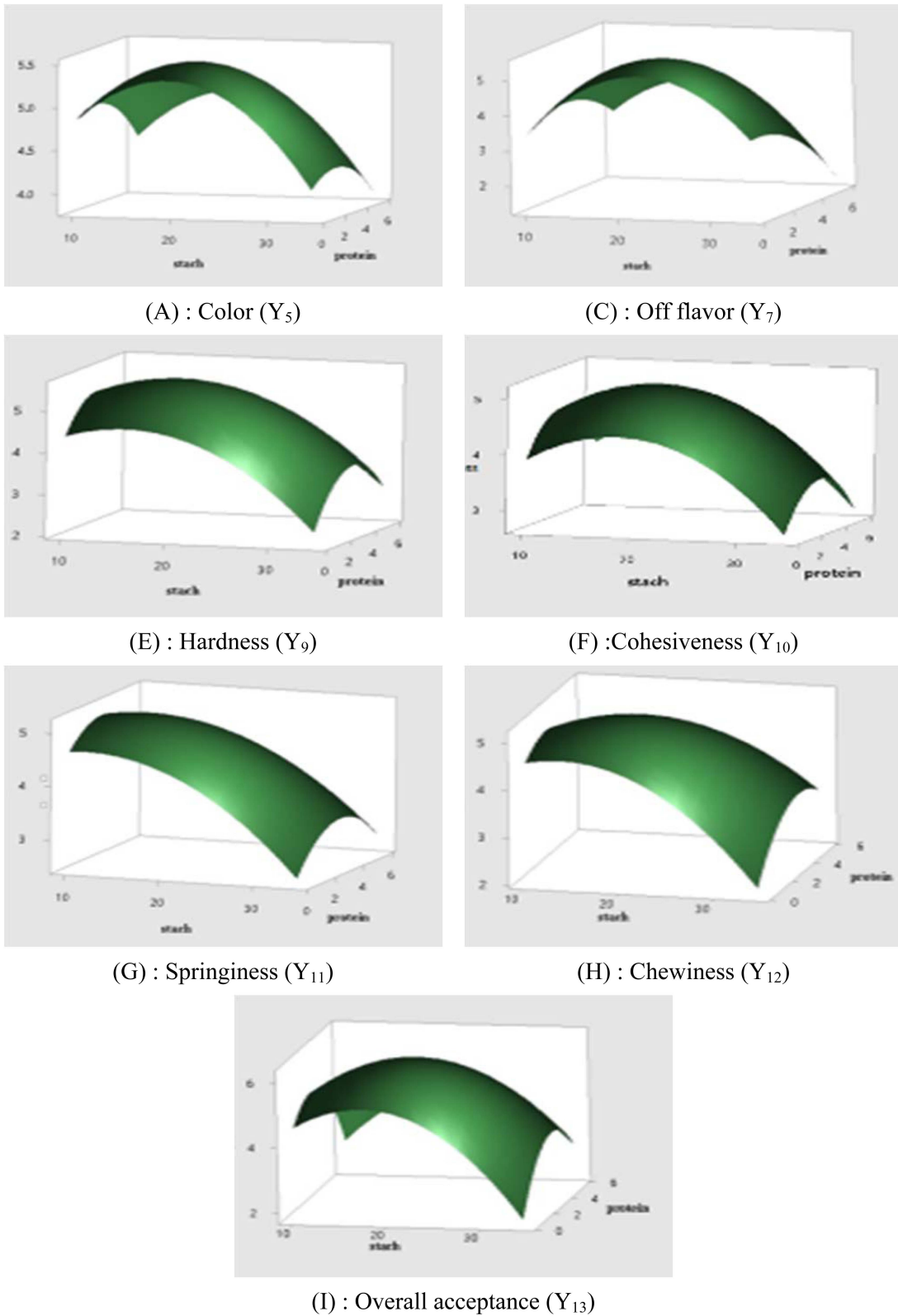


Fig. 3. Response surface plot of acceptance test (Y_5 - Y_{13}) according to the starch contents (%) and rice protein contents (%)

로 매끄러운 것을 관찰 할 수 있었다. 반죽의 점도(Y_1)값도 전분함량이 증가할수록 높은 결과를 보여 어육을 대체

한 전분의 가교결합에 의해 겔 강도가 강한 어육제조가 가능하였을 것으로 판단되었다. 반면에, 쌀 단백질함량이 높

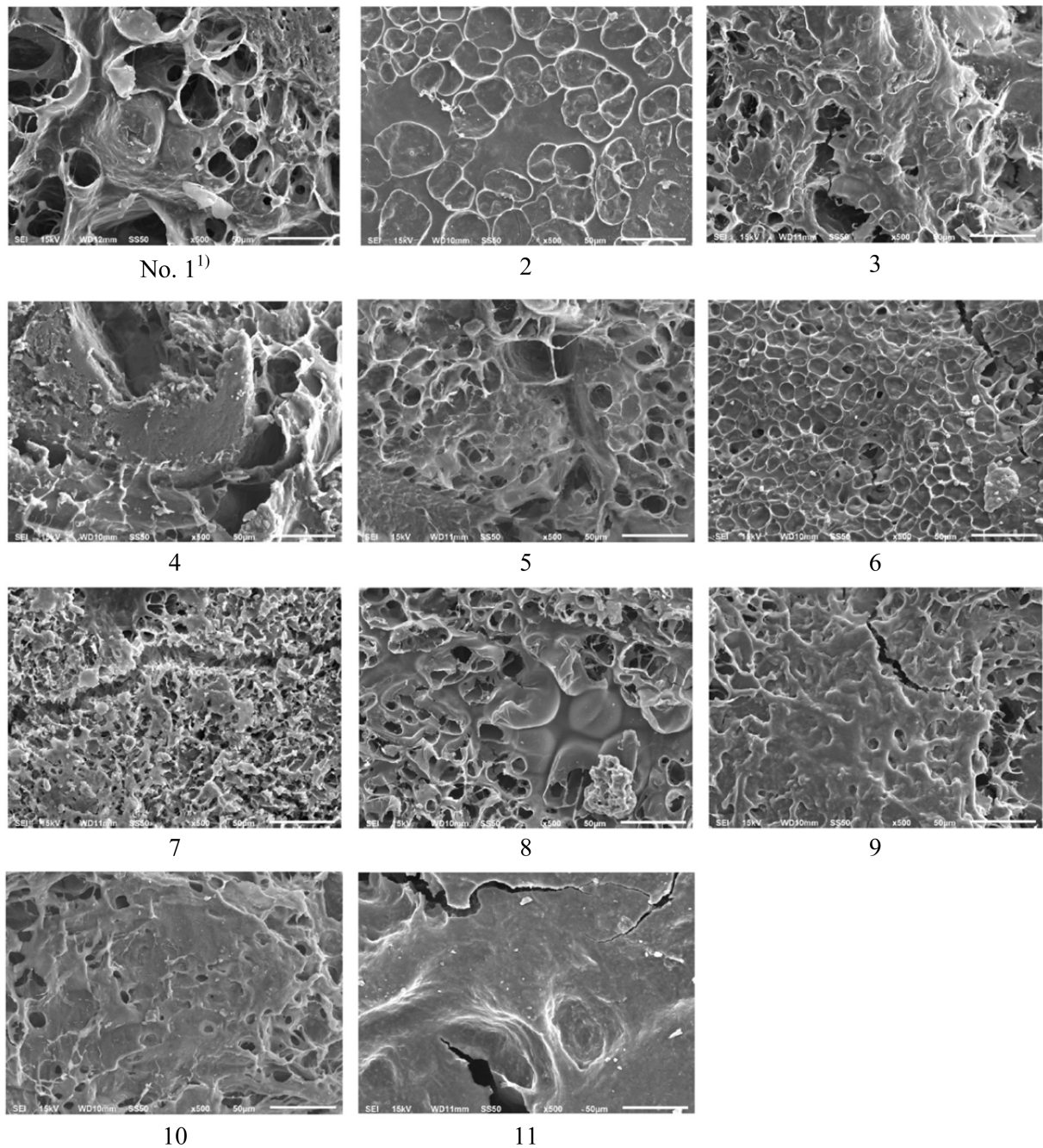


Fig. 4. The microstructure ($\times 500$) of the ball-eomuk according to the starch contents and rice protein contents. ¹⁾Referred to Table 1.

은 시료는 기공이 크고, 표면이 거친 느낌이 관찰되어 겔 강도가 낮을 것으로 예상되었다. 미세구조 분석을 통해 쌀 전분과 쌀 단백질의 첨가에 따라 어묵의 조직감 특성이 달라질 수 있음을 확인하였으며, 추가적인 연구를 통해 어묵의 조직감에 미치는 영향을 확인할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 연육을 함유하는 스낵(Chae et al., 2019) 및 어묵(Cha et al., 2020) 연구에서 미세구조와 겔 강도를 측정 한 결과, 단백질의 변성, 정제의 정도, myosin 함량 등의 요인들이 겔 강도에 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다.

본 연구에서는 연육을 쌀 단백질로 일부 대체함에 따라 연육용성 단백질인 액토미오신(actomyosin) 함량이 감소하고, 어묵을 제조하는 과정에서 단백질의 변성이 발생하여 겔의 형성에 영향을 미쳤을 것으로 예상하였으나, 쌀 전분의 대체비율이 높아 어묵의 조직감을 형성하는데 상쇄적인 작용이 발생하였을 것으로 판단되었다.

볼 어묵제조를 위한 제조조건 최적화

반응표면분석 결과에 따라 최적화된 쌀 전분 및 단백질

Table 7. Variables for optimization of ball-*eomuk* manufacturing condition

	Constraints name	Goal	Numerical optimization	
Independent variables	Rice starch (X_1)	In range	19.99	
	Rice protein (X_2)	In range	2.91	
Responses (dependent variables)	Viscosity (Y_1)	In range	11,999	
	L value (Y_2)	In range	49.27	
	Color (Y_3)	Maximize	5.44	
	Flavor (Y_6)	Maximize	5.36	
	Off flavor (Y_7)	Maximize	5.22	
	Sensory preference	Hardness (Y_9)	Maximize	5.46
	Cohesiveness (Y_{10})	Maximize	5.08	
	Springiness (Y_{11})	Maximize	4.92	
	Chewiness (Y_{12})	Maximize	4.99	
	Overall acceptance (Y_{13})	Maximize	6.11	

배합비율은 Table 7과 같다. 어묵제조를 위해 연육을 대체한 쌀 전분 및 단백질 첨가비율은 각각 19.99%, 2.91%로 조사되었다. 쌀 전분과 쌀 단백질의 연육 대체비율을 최적 조건으로 배합할 때, 예측되는 반죽의 점도와 색도 L값은 각각 11999 cP 및 49.27로 나타났으며, 어묵의 기호도는 색 5.44, 향 5.36, 이취 5.22, 경도 5.46 및 전반적인 기호도는 6.11점으로 보통 이상의 기호도를 보일 것으로 예측되었다. 따라서, 쌀 전분과 쌀 단백질의 연육 대체비율 최적화를 통해 적절한 어묵의 겔 강도를 형성하는 고품질의 어묵개발을 위한 기초자료가 될 것으로 판단되었다.

요 약

본 연구에서는 쌀 소재 활용을 위해 어묵의 연육을 쌀 전분 및 단백질로 대체한 배합비율을 최적화하여 제조조건을 확립하고자 하였다. 이를 위해 반응표면분석법을 이용하여 쌀 전분(X_1 ; 10, 20, 30%) 및 쌀 단백질(X_2 ; 1, 3, 5%)을 독립변수로 설정하였으며, 반죽의 점도(Y_1), 색도(Y_2 : L, Y_3 : a, Y_4 : b), 관능평가(Y_5 : Color, Y_6 : Flavor, Y_7 : Off flavor, Y_8 : Taste, Y_9 : Hardness, Y_{10} : Cohesiveness, Y_{11} : Springiness, Y_{12} : Chewiness, Y_{13} : Overall acceptance) 결과를 종속변수로 설정하였다. $Y_1, Y_2, Y_5, Y_7, Y_9, Y_{10}, Y_{11}, Y_{12}$ 및 Y_{13} 의 p 값이 <0.05 수준이며, R^2 값이 0.88-0.95로 높게 나타나 쌀 전분과 쌀 단백질의 함량에 따라 유의적인 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 쌀 전분과 쌀 단백질의 배합비율을 최적화한 결과, 쌀 전분 19.99%, 쌀 단백질 2.91%의 배합비율이 어묵제조를 위한 최적조건인 것으로 나타났으며, 최적조건에 따라 제조된 어묵의 기호도는 색 5.44, 향 5.36, 이취 5.22, 경도 5.46, 전반적인 기호도 6.11점으로 보통 이상의 기호도를 보일 것으로 예측되었다. 이와 같은 결과는 쌀 소재를 얻기 위한 방법을 구축하는데

기초자료가 될 것이며, 쌀 소재를 이용한 가공식품의 개발로 쌀을 소비하고, 활용도를 증진시키는데 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(PJ013634)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

References

Ahn BS, Kim BG, Hwang SM, Park NH, Lee HJ, Oh KS. 2019. Processing and quality of natural-tasting steamed fish containing unwashed pufferfish *Lagocephalous wheeleri* surimi. Korean J. Fish Aquat. Sci. 52: 562-570.

Cha JW, Yoon IS, Park SY, Kang SI, Lee JS, Heu MS, Kim JS. 2020. Development of fish cake using salmon *Oncorhynchus keta* frame muscle. Korean J. Fish Aquat. Sci. 53: 147-155.

Chae JY, Jeong CE, Kim SH, Mun SH, Kim SB, Kim YM, Yoon MS, Kim JS, Lee JS, Ha SK, Kwon SJ, Yang JN, Cho SM. 2019. Effects of freeze molding on the quality characteristics of alaska pollock *Theragra chalcogramma* surimi snacks. Korean J. Fish Aquat. Sci. 52: 445-451.

Cho HS, Kim KH. 2011. Quality characteristics of fish containing *Raja kenoei* powder. J. East Asian Soc. Dietary Life. 21: 808-813.

Choi SY, Choi EY, Lee KE, Song AS, Park SH, Lee SC. 2012. Preparation and quality analysis of fish paste containing *Styela clava* tunic. J. Korean Food Sci. Nutr. 41: 1591-1595.

Chung KH, Lee CM. 1996. Moisture-dependent gelation characteristics of nonfish protein affect the surimi gel texture. Korean J. Soc. Food Sci. 12: 571-576.

Han JS, Lee SM. 2014. Improvement of surimi seafood using modified food starches. Samyang Group Food R&D Center, Seoul, Korea, p 33-38.

Kim BM, Jung JH, Jung MJ, Kim DS, Jun JY, Jeong IH. 2016. The quality characteristics and processing of fish paste containing red snow crab *Chionoectes japonicus* leg-meat powder. Korean J. Fish Aquat. Sci. 49: 1-6.

Kim KM, Kim HS, Ra HN, Kim HY, Han GJ. 2019. Effect of rice varieties on the quality of dry milled rice flour and *Jeolpyeon*. J. Korean Food Cult. 34: 334-342.

Kim HJ, Lee YY, Lee BW, Woo KS, Cho JH, Lee JH, Lee BK. 2020. Quality characteristics of fish cakes containing flour derived from eight rice varieties. Korean J. Crop Sci. 65: 40-46.

Koo SG, Ryu YK, Hwang YM, Ha JU, Lee SC. 2001. Quality properties of fish meat paste containing enoki mushroom (*Flammulina velutipes*). J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 30: 288-291.

Kwon YM, Lee JS. 2013. A study on the quality characteristics of fish cakes containing rice flour. Korean J. Hum. Ecol. 22: 189-200.

Lee MH, Lee YT. 2006. Bread-making properties of rice flours produced by dry, wet and semi-wet milling. J. Korean Soc.

- Food Sci. Nutr. 35: 886-890.
- Park YK, Kim HJ, Kim MH. 2004. Quality characteristics of fried fish paste added with ethanol extract of onion. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 33: 1049-1055.
- Souza D, Sbardelotto AF, Ziegler DR, Marczak LDF, Tessaro IC. 2016. Characterization of rice starch and protein obtained by a fast alkaline extraction method. Food Chem. 191: 36-44.
- Shin DS, Choi YJ, Sim EY, Oh SK, Kim SJ, Lee SK, Woo KS, Kim HJ, Park HY. 2016. Comparison of the hydration, gelatinization and saccharification properties of processing type rice for beverage development. Korean J. Food Nutr. 29: 618-627.
- We GJ, Lee IA, Kang TY, Min JH, Kang WS, Ko SH. 2011. Physicochemical properties of extruded rice flours and a wheat flour substitute for cookie application. Food Eng. Prog. 15: 404-412.
- Ra HN, Park SR, Kim HY, Cho YS, Kim KM. 2019. Optimization of the high-pressure condition for rice protein extracting using response surface methodology (RSM). Korean J. Food Culture. 34: 779-784.
- Zhang L, Pan Z, Shen KQ, Cai Xh, Zheng BD, Miao S. 2018. Influence of ultrasound-assisted alkali treatment on structural properties and functionalities of rice protein. J. Cereal Sci. 79: 201-209.

Author Information

라하나: 농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 발효가공식품과, 박사후연구원

박사라: 농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 발효가공식품과, 석사후연구원

조용식: 농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 발효가공식품과, 농업연구관

황영: 농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 발효가공식품과, 농업연구사

장현욱: 농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 발효가공식품과, 농업연구사

김경미: 농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 발효가공식품과, 농업연구사