

## 반응표면분석법을 이용한 생선연육 스낵의 건조조건 최적화

김성희 · 채지연 · 최기범 · 김종민 · 이지호 · 김선봉 · 김영목 · 김진수<sup>1</sup> · 이정석<sup>2</sup> · 조승목\*

부경대학교 식품공학과/식품연구소, <sup>1</sup>경상대학교 해양식품생명과학과/해양산업연구소, <sup>2</sup>경상대학교 수산식품산업화 기술지원센터

## Optimizing the Drying Conditions of Surimi Snacks Using a Response Surface Methodology

Seonhui Kim, Jiyeon Chae, Gibeom Choi, Jongmin Kim, Jiho Lee, Seon-Bong Kim, Young-Mog Kim, Jin-Soo Kim<sup>1</sup>, Jung-Suck Lee<sup>2</sup> and Suengmok Cho\*

Department of Food Science and Technology/Institute of Food Science, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

<sup>1</sup>Department of Seafood and Aquaculture Science/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

<sup>2</sup>Research Center for Industrial Development of Seafood, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

Surimi has been widely investigated for developing fish snacks; however, few studies have examined the optimal drying conditions of surimi for fish snacks. This study used a response surface methodology to optimize the drying conditions for the overall acceptance of fish snacks. The drying temperature ( $X_1$ , 51-65°C) and drying time ( $X_2$ , 1.5-2.5 h) were chosen as independent variables. The dependent variables were overall acceptance ( $Y_1$ , points), hardness ( $Y_2$ , N), moisture content of the dried intermediate product ( $Y_3$ , %), and volatile basic nitrogen of the fried final product ( $Y_4$ , mg/100 g). The estimated optimal conditions for overall acceptance ( $Y_1$ ) were  $X_1=64^\circ\text{C}$  and  $X_2=2$  h. The predicted values of the dependent variables at the optimal conditions were overall acceptance ( $Y_1$ )=8.60 points, hardness ( $Y_2$ )=10.07 N, and moisture content of the dried intermediate product ( $Y_3$ )=10.00% and were similar to the experimental values. Scanning electron microscopy images revealed that the drying conditions affected the microstructure of the fish snacks. Our results could be used to increase the productivity of fish snacks made by small- and mid-sized seafood companies.

Key words: Drying condition, Fish snack, Quality, Response surface methodology, Surimi snack

### 서 론

생선연육(surimi 또는 fish meat paste)은 어묵, 게맛살, 어육 소시지, 어육스낵 등 다양한 수산가공식품의 주요한 원료로 이용되고 있다. 생선연육은 어육의 마쇄 및 수세 공정을 통해 근원섬유 단백질을 농축한 후 냉동변성방지제를 첨가하여 제조된다(Heu et al., 2011; Oh et al., 2018). 생선연육의 품질과 등급은 겔 강도, 수분함량, 백색도, 불순물의 함량 등에 의해 결정되는데, 일반적으로 백색육 어류가 품질이 뛰어난 것으로 알려져 있다(Park and Morrissey, 2000; Sampels, 2015). 생선연육을 이용한 가공식품의 조직감은 어종과 연육 등급에 가장 큰 영

향을 받으며, 또한 부재료로 사용되는 전분 등도 영향을 미친다(Jin et al., 2007). 최근 생선연육을 이용한 스낵은 아시아 지역을 중심으로 다양한 제품이 상용화되었으며, 많은 연구자들에 의해 생선연육 스낵의 품질특성 조사 및 제조공정 개발연구가 활발하게 이루어지고 있다(Ramesh et al., 2018). 생선연육 스낵의 가공공정은 일반적으로 1) 생선연육에 부원료를 첨가한 후 특정한 형태로 성형하는 공정, 2) 성형된 혼합원료를 건조하는 공정, 3) 건조한 중간단계 반제품을 굽거나 유당처리하여 최종제품을 생산하는 공정으로 나눌 수 있다. 특히, 건조공정의 조건에 따라 생선연육 스낵의 수분함량, 경도, 관능적 조직감에 변화가 발생하여 생선연육 스낵의 품질에 영향을 미치

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5833 Fax: +82. 51. 629. 5824

E-mail address: scho@pknu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0571>

Korean J Fish Aquat Sci 52(6), 571-579, December 2019

Received 14 November 2019; Revised 25 November 2019; Accepted 26 November 2019

저자 직위: 김성희(대학원생), 채지연(대학원생), 최기범(학부생), 김종민(학부생), 이지호(학부생), 김선봉(교수), 김영목(교수), 김진수(교수), 이정석(교수), 조승목(교수)

게 된다(Debnath et al., 2003). 건조조건이 생선연육 스낵의 품질에 대한 영향에 대한 연구가 중요함에도 불구하고 그동안 관련된 연구가 거의 이루어지지 않았다. 또한, 일반적인 생선연육 스낵 제조과정 중 혼합원료를 중간단계 반제품으로 건조하는데 약 6 h이 소요되어 생산성 증대의 방해요인이 되고 있다. 이러한 관점에서 볼 때, 본 연구를 통해 생선연육 스낵 제조를 위한 중간단계 반제품의 적정 건조조건을 찾는 것 또한 의미가 클 것으로 사료된다.

본 연구에서는 생선연육 스낵의 제조에 있어 주요 공정에 해당하는 건조공정을 건조온도 및 건조시간을 변수로 설정하여 모니터링 하였으며, 기호도가 높은 생선연육 스낵을 제조할 수 있는 최적조건을 구명하였다. 통계적 기법으로 반응표면분석법(response surface methodology, RSM)을 이용하였으며, 독립변수로는 건조온도( $X_1$ , °C) 및 건조시간( $X_2$ , h), 종속변수로는 종합적 기호도( $Y_1$ ), 경도( $Y_2$ ), 중간단계 반제품의 수분함량( $Y_3$ ) 및 VBN ( $Y_4$ )을 설정하였다. 건조조건에 따른 스낵의 물성 변화에 대해 알아보기 위하여 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)을 이용하여 연육스낵의 미세구조를 조사하였다. 이를 통하여 생선연육스낵 제조 시 건조조건을 최적화하여 스낵제품의 생산성을 증가시키고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

주원료인 명태(*Theragra chalcogramma*) 냉동연육은 알래스카산 RA등급으로 (주)블루션(Busan, Korea)에서 구입하였다. 명태 냉동연육은 실험에 사용되는 동안 -80°C의 심온동결고(CLN-52U; Nihon Freezer Co., Ltd., Saitama, Japan)에서 보관하면서 실험에 사용하였다. 유탕처리 생선연육 스낵의 제조에 사용된 팜유와 베이킹파우더는 (주)오뚜기(Anyang, Korea)에서, 소금은 (주)사조해표(Seoul, Korea)에서, 찹 전분은 (유)지엠대진(Seoul, Korea)에서, 쌀이 첨가된 탄수화물 페이퍼는 (주)M&F (Goyang, Korea)에서 각각 구입하여 사용하였다. 이외에 실험에 사용된 모든 시약 및 화학물질은 분석 등급을 사용하였다.

### 명태 연육스낵의 제조

명태 연육스낵은 명태 냉동연육(57.5 g), 찹 전분(1.5 g), 소금(1 g), 베이킹파우더(1 g), 황태가루(2.5 g), 정제수(28.5 g)를 일정비율로 silent cutter (5 L; Goodprice Foodmachine Co., Kimpo, Korea)에 넣고 분쇄하면서 혼합하였다. 이때 명태 냉동연육을 먼저 5 min 분쇄하고 나머지 부원료를 3회에 걸쳐 나누어 첨가함으로써 효율적으로 균질화하였다. 성형공정은 실리콘 받침판 위에 1 mm 두께의 폴리프로필렌 성형틀을 올려놓은 후, 혼합된 원료를 주걱으로 발라서 성형하였다. 이후 열풍건조기(WFO-700; EYELA Co., Japan)에서 건조 조건에 따

라 1차 건조공정을 실시한 다음 쌀이 첨가된 탄수화물 페이퍼를 이용하여 코팅공정을 거친 후 50°C, 20 min 동안 2차 건조공정을 실시하였다. 건조된 원료를 190°C의 튀김기(BS-1820-DF, BSW Co., China)에서 약 40 s 간 유탕처리하여 생선연육 스낵을 제조하였다.

### 반응표면분석법 설계

본 연구에서는 반응표면분석법(RSM) 중 중심합성계획법(central composite design)을 이용하여 실험을 설계하였다. 독립변수(independent variable)로는 건조온도( $X_1$ , °C), 건조시간( $X_2$ , h)을 설정하였으며, 종속변수(dependent variable)로는 종합적 기호도( $Y_1$ , score), 경도( $Y_2$ , N), 중간단계 반제품의 수분함량( $Y_3$ , %) 및 VBN ( $Y_4$ , mg/100g)을 설정하였다. 실험 범위에 따라 독립변수 건조온도 및 건조시간에 대한 부호화 및 부호화 되지 않은 실제 실험값을 Table 1에 나타내었다. 독립변수의 범위는 예비 실험의 결과를 토대로 설정되었다. 본 연구는 4개의 factorial points, 4개의 axial points, 3개의 center points로 실험을 구성하였다. Table 2에 나타낸 11개의 실험군들은 통계적인 오차를 줄이기 위해 무작위적인 순서로 진행되었다.

### 반응표면분석법 통계분석 및 최적화

Table 2와 같이 실험을 통해 얻어진 종속변수(반응변수)의 값들은 MINTAB 통계프로그램(Version 16, MINITAB, Pennsylvania, USA)을 이용하여 분석하였으며, 다음과 같은 이차 회귀식을 도출하였다.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^4 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^4 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i+1}^4 \beta_{ij} X_i X_j$$

여기서  $Y$ 는 종속변수  $\beta_0$ 는 상수,  $\beta_i$ ,  $\beta_{ii}$ ,  $\beta_{ij}$ 는 회귀계수,  $X_i$ ,  $X_j$ 는 독립변수이다. 생선연육 스낵의 건조조건 최적화는 MINTAB 통계프로그램의 response optimizer를 통해 이루어졌으며, 통계적으로 추정된 최적조건 하에서 실제 실험을 통하여 얻어진 종속변수의 값과의 비교를 통해 추정된 종속변수의 값을 검증하였다. 또한 3차원 그래프는 MAPLE software (MAPLE Ver.7, Maple Soft, Waterloo, Canada)를 이용하여 작성하였다.

### 경도

생선연육 스낵의 경도(hardness) 측정은 rheometer (CR-

Table 1. Experimental range and values of independent variables in the central composite design for hot-air drying processing in preparation of the surimi snack

Independent variables	Symbol	Range and levels				
		-1.414	-1	0	+1	+1.414
Drying temperature (°C)	$X_1$	51	53	58	63	65
Drying time (h)	$X_2$	1.5	1.6	2.0	2.4	2.5

100D; Sun Scientific Co., Ltd., Japan)을 이용하였으며, 측정 조건은 mode 20, load cell 2 kg, penetration speed 120 mm/min, plunger diameter 15 mm (No. 1)였다. 무작위로 선정된 10개의 연육스낵을 시료홀더에 올려 놓고 경도를 측정하였다.

수분

수분함량(%)은 적외선 수분측정기(MX-50; A&D, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다.

휘발성 염기질소

휘발성 염기질소(volatile basic nitrogen, VBN)의 측정은 식품공전 상의 conway unit을 사용하는 미량확산법을 일부 수정하여 3회 반복 실시하였다(MFDS, 2019). 분쇄한 시료 10 g에 증류수 50 mL를 가하여 30 min 교반하였다. 교반 후 원심분리기(1580R; LABOGENE Co., Korea)를 이용하여 1,107 g의 속도로 10 min 용액을 원심분리 하였다. 원심분리 후 얻어지는

상층액을 여과시킨 후 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 이용하여 pH 4.5로 보정하였다. 보정된 용액을 100 mL로 정용하고, 이를 sample 용액으로 이용하였다. Conway unit 내실에는 0.01 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mL, 외실에 sample 희석액 1 mL 및 포화 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 1 mL를 각각 첨가하고 25°C에서 1 h 동안 반응시켰다. 반응이 끝난 다음 내실에 brunswik 지시약을 1-2방울을 첨가한 후 0.01 N NaOH 적정하여 VBN 값을 산출하였다.

관능평가

관능평가는 부경대학교 식품공학과 식품화학실험실 소속 22세에서 27세 사이의 훈련된 전문 패널 10인(남성 5명 및 여성 5명)을 구성하여 수행되었으며, 모든 패널은 맛에 친숙 되도록 1개월간 훈련되었다. 관능적 기호도의 척도가 되는 외관, 색, 향, 맛, 바삭함(crispiness) 및 종합적 기호도에 대하여 9점 평점법(1점, 대단히 나쁘다; 5점, 나쁘지도 좋지도 않다; 9점, 대단히 좋다)으로 평가하였다. 종합적 기호도가 다른 평가지표와 유사

Table 2. Central composite design matrix and values of dependent variables for hot-air drying processing in preparation of the surimi snack

Number	Independent variables				Dependent variables				
	Coded values		Uncoded values		Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>					
Factorial portions	1	-1	-1	53	1.6	6.0	13.90	11.18	1.40
	2	1	-1	63	1.6	7.9	9.56	10.51	5.13
	3	-1	1	53	2.4	6.4	10.52	10.34	6.53
	4	1	1	63	2.4	7.8	9.75	10.02	3.27
Axial portions	5	-1.414	0	51	2.0	6.8	11.73	11.00	3.27
	6	1.414	0	65	2.0	8.8	9.55	10.28	3.73
	7	0	-1.414	58	1.5	7.2	13.90	11.90	2.80
	8	0	1.414	58	2.5	7.8	13.63	10.62	2.80
Center points	9	0	0	58	2.0	8.0	13.13	10.08	5.60
	10	0	0	58	2.0	8.2	13.24	10.02	4.20
	11	0	0	58	2.0	8.3	13.68	10.07	3.27

X<sub>1</sub>, Drying temperature (°C); X<sub>2</sub>, Drying time (h); Y<sub>1</sub>, Overall acceptance (points); Y<sub>2</sub>, Hardness (N); Y<sub>3</sub>, Moisture content of dried intermediate product (%); Y<sub>4</sub>, VBN of fried final product (mg/100 g).

Table 3. Estimated coefficients of the fitted quadratic polynomial equations for dependent variables based on the t-statistic

Parameters	Y <sub>1</sub>		Y <sub>2</sub>		Y <sub>3</sub>		Y <sub>4</sub>	
	Coefficient	P-value	Coefficient	P-value	Coefficient	P-value	Coefficient	P-value
Constant	8.167	0.001	13.350	0.001	10.057	0.001	4.357	0.001
X <sub>1</sub>	0.766	0.004	-1.024	0.033	-0.251	0.057	0.140	0.729
X <sub>2</sub>	0.144	0.381	-0.446	0.258	-0.393	0.012	0.409	0.333
X <sub>1</sub> X <sub>1</sub>	-0.340	0.115	-1.673	0.010	0.182	0.192	-0.195	0.685
X <sub>2</sub> X <sub>2</sub>	-0.490	0.040	-0.110	0.802	0.492	0.010	-0.545	0.284
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	-0.125	0.580	0.892	0.131	0.087	0.570	-1.748	0.023

X<sub>1</sub>, Drying temperature (°C); X<sub>2</sub>, Drying time (h); Y<sub>1</sub>, Overall acceptance (points); Y<sub>2</sub>, Hardness (N); Y<sub>3</sub>, Moisture content of dried intermediate product (%); Y<sub>4</sub>, VBN of fried final product (mg/100 g).

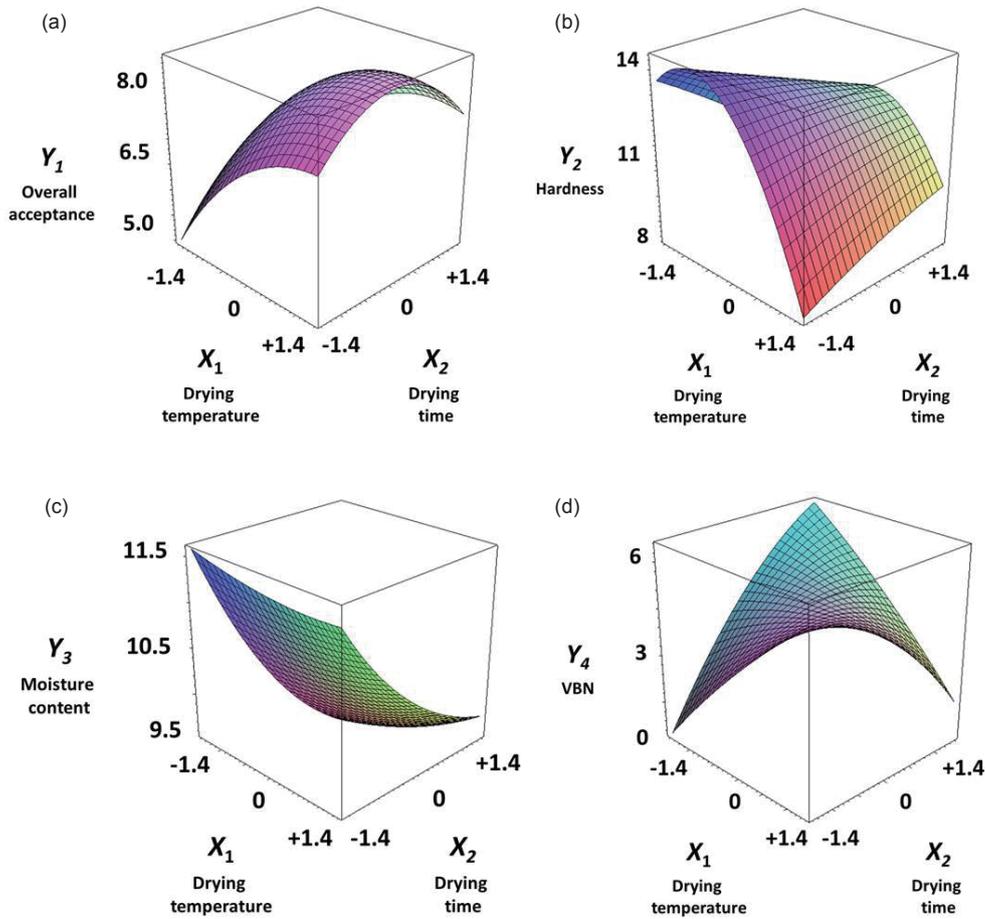


Fig. 1. Three-dimensional response surface plots for overall acceptance (a), hardness (b), moisture content of dried intermediate product (c), and VBN of fried final product (d).  $X_1$ , Drying temperature ( $^{\circ}\text{C}$ );  $X_2$ , Drying time (h).

한 경향을 나타내어 대표성을 가지는 종합적 기호도를 종속변수로 설정하였다.

#### 주사전자현미경

연육스낵의 표면 미세구조를 관찰하기 위해 주사전자현미경 (LV-SEM; JSM-6490LV, JEOL Ltd., Japan)을 이용하였다. 건

조된 시료는 동결건조기(CoolSafe; Lyngø, Denmark)에서 12 h 완전히 건조하였으며, 유탕된 시료는 유지를 제거하기 위하여 90% petroleum ether에서 24 h 침지 후 완전히 건조하였다. 시료를  $1 \times 0.5$  cm 자른 후 금으로 도금하여 전도성을 갖게 하였다(Nath and Chattopadhyay, 2008). 주사전자현미경을 이용하여 가속 전압 15 kV로 관찰하였다.

Table 4. Response surface model equations for monitoring effects of the independent variables on the dependent variables in the hot-air drying processing

Quadratic polynomial model equations	$R^2$	$P$ -value
$Y_1=8.167+0.766 X_1+0.144 X_2-0.340 X_1^2-0.490 X_2^2-0.125 X_1X_2$	0.880	0.024
$Y_2=13.350-1.024 X_1-0.446 X_2-1.673 X_1^2-0.110 X_2^2+0.892 X_1X_2$	0.860	0.034
$Y_3=10.057-0.251 X_1-0.393 X_2+0.182 X_1^2+0.492 X_2^2+0.087 X_1X_2$	0.884	0.022
$Y_4=4.357+0.140 X_1+0.409 X_2-0.195 X_1^2-0.545 X_2^2-1.748 X_1X_2$	0.725	0.155

$X_1$ , Drying temperature ( $^{\circ}\text{C}$ );  $X_2$ , Drying time (h),  $Y_1$ , Overall acceptance (points);  $Y_2$ , Hardness (N);  $Y_3$ , Moisture content of dried intermediate product (%);  $Y_4$ , VBN of fried final product (mg/100 g).

**결과 및 고찰**

**반응표면 모델식의 진단**

Table 2는 실험 설계와 그에 따른 건조조건(독립변수의 조합)에서 제조된 생선연육 스낵의 품질 특성(종속변수)에 대한 측정값을 나타낸다. 각각의 독립변수가 종속변수에 미치는 영향을 알아보기 위해서는 2차 회귀방정식의 도출이 필요한데(Bezerra et al., 2008), 이러한 반응표면 모델 방정식은 최소 제공

범이라고 불리는 통계적 접근방식으로 도출될 수 있다(Bas and Boyaci, 2007). 4가지 종속변수에 대한 일차항( $X_1, X_2$ ), 이차항( $X_1X_1, X_2X_2$ ) 및 교차항( $X_1X_2$ )의 결과는 Table 3와 같다. 모든 종속변수에 대한 상수(constant) 계수의 유의수준은 0.001로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다( $P < 0.05$ ). 종속변수  $Y_1$  (종합적 기호도)의 경우  $X_1$ , 및  $X_2X_2$ 항이, 종속변수  $Y_2$  (경도)의 경우  $X_1$  및  $X_1X_1$  항이, 종속변수  $Y_3$  (중간단계 반제품의 수분 함량)의 경우  $X_2$  및  $X_2X_2$ 항이, 종속변수  $Y_4$ (VBN)의 경우  $X_1X_2$

Table 5. Analysis of variance for dependent variables

Dependent variables	Sources	DF	SS	MS	F-value	P-value
$Y_1$	Regression					
	Linear	2	4.85959	2.42980	13.60	0.010
	Square	2	1.59004	0.79502	4.45	0.078
	Interaction	1	0.06250	0.06250	7.58	0.580
	Residual					
	Lack of fit	3	0.84666	0.28222	12.10	0.077
	Pure error	2	0.04667	0.02333		
Total	10	7.40545				
$Y_2$	Regression					
	Linear	2	9.9854	4.9927	5.10	0.062
	Square	2	16.6979	8.3906	8.53	0.024
	Interaction	1	3.1862	3.1862	3.25	0.131
	Residual					
	Lack of fit	3	4.7251	1.5750	18.60	0.051
	Pure error	2	0.1694	0.0847		
Total	10	34.7641				
$Y_3$	Regression					
	Linear	2	1.73673	0.86836	10.49	0.016
	Square	2	1.37726	0.68863	8.32	0.026
	Interaction	1	0.03062	0.03062	0.37	0.570
	Residual					
	Lack of fit	3	0.41174	0.13725	132.82	0.007
	Pure error	2	0.00207	0.00103		
Total	10	3.55842				
$Y_4$	Regression					
	Linear	2	1.4936	0.7468	0.64	0.565
	Square	2	1.6861	0.8431	0.72	0.530
	Interaction	1	12.2150	12.2150	10.47	0.023
	Residual					
	Lack of fit	3	3.0798	1.0266	0.75	0.616
	Pure error	2	2.7513	1.3756		
Total	10	21.2258				

DF, Degrees of freedom; SS, Sum of square; MS, Mean square;  $Y_1$ , Overall acceptance (points);  $Y_2$ , Hardness (N);  $Y_3$ , Moisture content of dried intermediate product (%);  $Y_4$ , VBN of fried final product (mg/100 g).

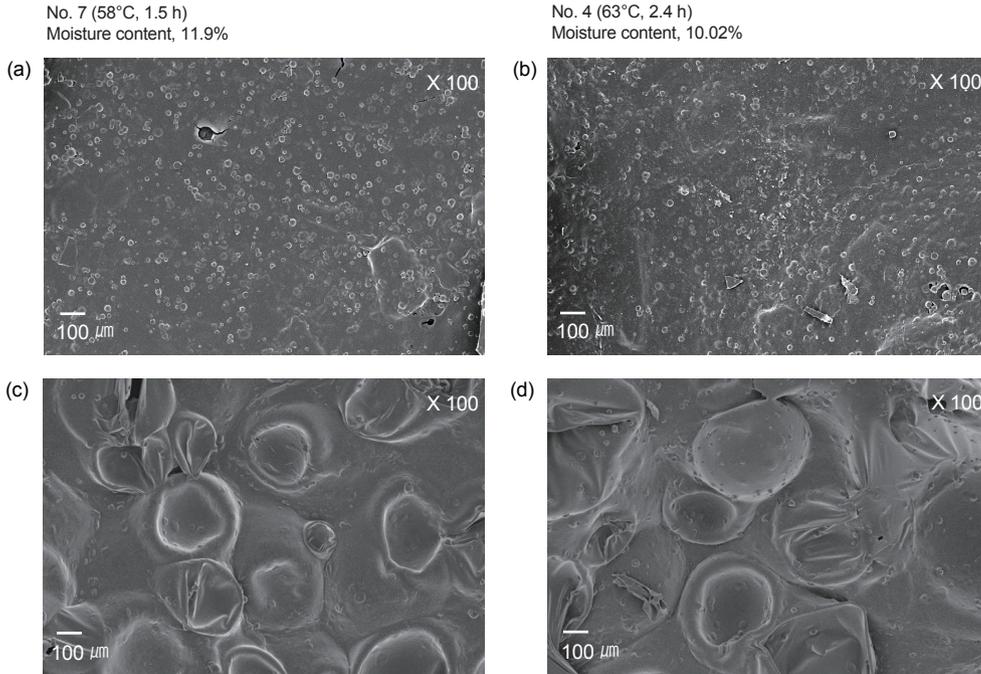


Fig. 2. Scanning electron microscope (SEM) images of dried intermediate products and fried final products. (a) Intermediate product dried at 58°C for 1.5 h. (b) Intermediate product dried at 63°C for 2.4 h. (c) Fried final product from intermediate product dried at 58°C for 1.5 h. (d) Fried final product from intermediate product dried at 63°C for 2.4 h.

항이 각각 통계적으로 유의한 것으로 나타났다( $P < 0.05$ ). 4가지 종속변수에 대한 반응표면 모델식과 통계적 유의성은 Table 4와 같다. 도출된 반응표면 모델식의 결정계수( $R^2$ ) 값은 실험 설계의 적합성을 의미하는 중요한 통계적 지표이다(Shishir et al., 2016). 종속변수  $Y_1$ ,  $Y_2$  및  $Y_3$ 의 결정계수( $R^2$ )는 각각 0.880, 0.860 및 0.884로 1에 가까운 값을 보였으며, 통계적 유의성을 나타내었다( $P < 0.05$ ). 종속변수  $Y_4$ 의 경우, 결정계수( $R^2$ ) 값이 0.725로 다른 종속변수에 비해 낮았으며 P-value가 0.155로 유의성이 나타나지 않았다

분산분석

본 실험에 대한 반응표면 모델 방정식의 통계적 유의성은 ANOVA (analysis of variance)에 의해 평가되었다. 반응표면 모델 방정식의 독립변수와 종속변수 간의 상관관계를 ANOVA로 살펴본 결과는 Table 5와 같다. 종속변수  $Y_1$  (종합적 기호도)은 일차항(linear), 종속변수  $Y_2$  (경도)는 이차항(square), 종속변수  $Y_3$  (중간단계 반제품의 수분 함량)은 일차항 및 이차항 그리고 종속변수  $Y_4$  (VBN)는 교차항(interaction)이 각각 통계적으로 유의한 것으로 나타났다( $P < 0.05$ ). 적합성 결여(lack of

Table 6. Response optimization for hot-air drying of the intermediate product for preparation of surimi snack

Optimal conditions	$X_1$ (Drying temperature, °C)		$X_2$ (Drying time, h)	
	Coded value	Actual value	Coded value	Actual value
	1.129	64	0.014	2

	$X_1$		$X_2$	
	-1.414	0	-1.414	1.414
Target value	9.0		9.0	
$Y_1$ (Overall acceptance, points)	7.5		7.5	
Max	6.0		6.0	

fit) 테스트를 통해 반응표면 모델의 적합성을 검증할 수 있는데 P-value가 0.05 보다 크면 적합한 모델로 간주된다(Isa et al., 2011). 종속변수  $Y_3$  (중간단계 반제품의 수분 함량)의 적합성 결여에 대한 P-value는 0.007로 0.05보다 낮아 설계된 반응표면 모델이 완전하지 않은 것으로 나타났으나 다른 종속변수는 모두 통계적으로 유의성을 가지는 것으로 나타났다.

**반응표면 3차원 그래프 및 인자의 영향 분석**

생선연육을 건조시키는 방법 중에 열풍건조는 초기 투자비용이 저렴하고 빠른 건조가 가능하다는 장점으로 널리 사용되어 왔다(Hu et al., 2013). 일반적으로 건조온도 및 건조시간은 스낵을 제조하는데 있어 중요한 요소로 고려된다(Caixeta et al., 2002; Zhao et al., 2017). 종속변수에 대한 독립변수 건조온도 ( $X_1$ ) 및 건조시간( $X_2$ )이 미치는 영향을 3차원 그래프로 표현하여 Fig. 1에 나타내었다. 종합적 기호도( $Y_1$ )는 건조온도( $X_1$ )가 51°C (-1.414)에서 65°C (+1.414)로 높아질수록 증가하는 경향을 나타내었고, 건조시간( $X_2$ )이 코드 값 0인 2 h에서 가장 높게 나타났다. 건조온도( $X_1$ )가 높을수록 종합적 기호도( $Y_1$ )는 높게 나타났는데, 이는 관능평가지 함께 평가되었던 바삭함과 같은 경향을 나타내었다. 이는 바삭함이 종합적인 기호도에 큰 영향을 미친 것을 알 수 있었으며, Lujan-Acosta and Moreira (1997)은 유탕 제품의 경우 바삭함과 같은 조직감이 소비자의 기호도에 중요한 변수로 작용한다는 것을 보고하였다.

경도( $Y_2$ )는 건조온도( $X_1$ )가 51°C (-1.414)에서 65°C (+1.414)로 높아질수록 감소하는 경향을 나타내었지만 건조시간( $X_2$ )은 1.5 h (-1.414)에서 2.5 h (+1.414)로 길어질수록 소폭 증가하였다. Table 3에서 건조온도( $X_1$ )는 경도에 유의한( $P<0.05$ ) 영향을 미치는 것으로 나타났으나 건조시간( $X_2$ )은 큰 영향을 미치지 않았다( $P>0.05$ ). 이를 통해 건조온도( $X_1$ )가 경도( $Y_2$ )에 영향을 미치는 주요한 독립변수임을 확인할 수 있었다. 경도( $Y_2$ )는 스낵의 바삭함(crispiness)을 나타낼 수 있는 값으로 스낵의 매우 중요한 품질 요인이며, 기호성에 지대한 영향을 미친다(Bruns and Bourne, 1975). 일반적으로 경도가 낮을수록 바삭함이 증가하는 경향을 나타낸다(Nurul et al., 2009). 이는 본 실험에서 상대적으로 고온 건조된 스낵에서 바삭함에 대한 높은 기호도와 낮은 경도 값이 나온 결과와 일치한다.

중간단계 반제품의 수분 함량( $Y_3$ )은 건조온도( $X_1$ )가 높아지고 건조시간( $X_2$ )이 길어질수록 감소하는 경향을 나타내었다. 일반적으로 중간단계 반제품의 수분 함량은 유탕시 스낵의 경도와 밀접한 상관성을 가진다(Nath and Chattopadhyay, 2007). 생선연육 스낵의 중간단계 반제품의 수분 함량이 가장 높은 실험군 7번(58°C 및 1.5 h)과 가장 낮은 실험군 4번(63°C 및 2.4 h)의 미세구조( $\times 100$ )를 주사전자현미경으로 관찰하였다(Fig. 2). 식품의 미세구조는 조직감과 밀접한 관련이 있는 것으로 많은 선행 연구를 통해 잘 알려져 있다(Ahza et al., 2015). 수분 함량이 낮은 중간단계 반제품(4번 실험군)이 상대적으로 기포가

없으며 전분입자로 추정되는 입자들의 간격이 치밀하고 유탕시 전분입자들이 더욱 크게 팽윤하는 것을 알 수 있었다(Nawaz et al., 2019). 또한 중간단계 반제품의 수분함량( $Y_3$ ) 범위는 약 10.02%에서 11.90%로 나타났으며, 유탕 완제품의 경우 모두 1% 이하로 차이가 나타나지 않았다(데이터 미제시). 생선스낵의 경우 유탕시 팽창을 많이 할수록 바삭함이 증가한다고 보고하였다(Paranginangin et al., 1997).

VBN ( $Y_4$ )은 건조온도( $X_1$ )가 51°C (-1.414)에서 65°C (+1.414)로 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었지만 반응표면 모델식의 결정계수( $R^2$ )가 낮고 통계적인 유의성이 나타나지 않았다. 이를 통해 본 연구에서 설정한 건조조건 범위에서는 VBN ( $Y_4$ )을 모니터링하기에는 적합하지 않은 것을 알 수 있었다. VBN ( $Y_4$ )은 신선한 원료에는 없거나 미량 함유되어 있는 성분으로 선도 저하에 따라 생성되어 증가하는데, 이러한 특성으로 인해 어패류의 선도판정에 주요한 지표로 널리 이용되고 있다(Lee et al., 2016). VBN에 의한 어류의 품질 평가 시 일반적으로 5-10 mg/100 g은 극히 신선한 어육, 15-25 mg/100 g은 보통 선도의 어육, 30-40 mg/100 g은 부패 초기의 어육 및 50 mg/100 g 이상인 경우 부패 정도가 심한 어육으로 판정한다(Song et al., 2005). 생선연육 스낵의 건조조건에서의 VBN 값은 모두 8 mg/100 g 이하로 극히 신선한 어육으로 판정되었다. 이러한 결과를 통해 설정된 건조조건의 범위 안에서는 생선연육 스낵의 선도에 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다.

**건조조건의 최적화 및 검증**

본 연구에서는 기호도가 우수한 생선연육 스낵을 제조하기 위하여 종속변수  $Y_1$  (종합적 기호도)를 최대화 시킬 수 있는 최적의 건조조건을 통계적으로 도출하였다. 종속변수  $Y_2$  (경도) 및  $Y_3$  (중간단계 반제품의 수분 함량)의 경우 품질 특성의 변화를 알아보기 위하여 모니터링하였다. 통계적인 최적화 결과, 종속변수  $Y_1$  (종합적 기호도)의 최대값을 나타내는 독립변수 건조온도( $X_1$ ) 및 건조시간( $X_2$ )의 코드값(실제값)은 각각 1.129 (64°C) 및 0.014 (2 h) 도출되었다(Table 6). 이러한 최적 건조조건에서의 생선연육 스낵의 종합적 기호도( $Y_1$ )의 예측값은 8.6 점이었다. 통계적으로 최적화된 독립변수의 조건에 추정된 종속변수의 값은 실제 최적조건하에서 실험된 실제값과의 비교

Table 7. Verification of predicted values

	$Y_1$ (Overall acceptance, points)	$Y_2$ (Hardness, N)	$Y_3$ (Moisture content of dried intermediate product, %)
Predicted values	8.60	10.07	10.00
Experimental values	8.10±0.74	9.99±4.36	10.47±0.36

Optimized conditions: drying temperature=64°C; drying time=2 h.

를 통해 검증을 해야한다(Cho et al., 2005; Yoon et al., 2017). 본 논문에서 VBN은 설정된 건조조건 범위안에서 생선연육 스낵의 선도에 영향을 미치지 않으므로 VBN값을 제외한 최적 건조조건(건조온도, 64°C 및 건조시간 2 h)에서 실제 제조된 생선연육 스낵의 종합적 기호도( $Y_1$ ), 경도( $Y_2$ ) 및 중간단계 반제품의 수분 함량( $Y_3$ )은 각각  $8.10 \pm 0.74$ 점,  $9.99 \pm 4.36$  N 및  $10.47 \pm 0.36\%$ 으로 나타났다. 이러한 실제 측정값은 통계적인 예측값과 크게 차이가 나지 않다는 것을 확인하였다(Table 7). 본 연구는 fish snack의 생산성 증대를 위하여 생선연육 스낵 제조를 위한 중간단계 반제품의 최적 건조조건을 설정하였고, 종합적 기호도가 최대가 되는 건조조건을 제시하였다.

## 사 사

이 논문은 2019년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(해역별 특성을 고려한 전통 수산가공식품 개발 및 상품화).

## References

- Ahza AB, Fidiana TI and Suryatman S. 2015. Physical, sensorial and chemical characteristics of simulated chips of cassava (*Manihot esculenta* Crantz): Rice (*Oryza sativa* L.) mix. *Procedia Food Sci* 3, 82-95. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.01.008>.
- Baş D and Boyacı IH. 2007. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *J Food Eng* 78, 836-845. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.024>.
- Bezerra MA, Santelli RE, Oliveira EP, Villar LS and Escalera LA. 2008. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta* 76, 965-977. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019>.
- Bruns AJ and Bourne MC. 1975. Effects of sample dimensions on the snapping force of crisp foods experimental verification of a mathematical model. *J Texture Stud* 6, 445-458. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1975.tb01420.x>.
- Caixeta AT, Moreira R. and Castell-Perez ME. 2002. Impingement drying of potato chips. *J Food Process Eng* 25, 63-90. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2002.tb00556.x>.
- Cho SM, Gu YS and Kim SB. 2005. Extracting optimization and physical properties of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) skin gelatin compared to mammalian gelatins. *Food Hydrocoll* 19, 221-229. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.05.005>.
- Debnath S, Bhat KK and Rastogi NK. 2003. Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food. *LWT-Food Sci Technol* 36, 91-98. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(02\)00186-X](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(02)00186-X).
- Heu MS, Shin JH, Park KH, Lee JS, Noe YN, Jeon YJ and Kim JS. 2011. Quality of bastard halibut with different weights as a surimi source. *Korean J Fish Aquat Sci* 44, 18-24. <https://doi.org/10.5657/kfas.2011.44.1.018>.
- Hu Y, Que T, Fang Z, Liu W, Chen S, Liu D and Ye X. 2013. Effect of different drying methods on the protein and product quality of hairtail fish meat gel. *Dry Technol* 31, 1707-1714. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.794831>.
- Isa KM, Daud S, Hamidin N, Ismail K, Saad SA and Kasim FH. 2011. Thermogravimetric analysis and the optimisation of bio-oil yield from fixed-bed pyrolysis of rice husk using response surface methodology (RSM). *Ind Crop Prod* 33, 481-487. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.024>.
- Jin SK, Kim IS, Kim SJ, Jeong KJ, Choi YJ and Hur SJ. 2007. Effect of muscle type and washing times on physico-chemical characteristics and qualities of surimi. *J Food Eng* 81, 618-623. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.001>.
- Lee HW, Choi YJ, Hwang IM, Hong SW and Lee MA. 2016. Relationship between chemical characteristics and bacterial community of a Korean salted-fermented anchovy sauce, Myeolchi-Aekjeot. *LWT-Food Sci Technol* 73, 251-258. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.007>.
- Lujan-Acosta J and Moreira RG. 1997. Effects of different drying processes on oil absorption and microstructure of tortilla chips. *Cereal Chem* 74, 216-223. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.3.216>.
- Nath A and Chattopadhyay PK. 2007. Optimization of oven toasting for improving crispness and other quality attributes of ready to eat potato-soy snack using response surface methodology. *J Food Eng* 80, 1282-1292. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.09.023>.
- Nath A and Chattopadhyay PK. 2008. Effect of process parameters and soy flour concentration on quality attributes and microstructural changes in ready-to-eat potato-soy snack using high-temperature short time air puffing. *LWT-Food Sci Technol* 41, 707-715. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.001>.
- Nawaz A, Xiong Z, Xiong H, Chen L, Wang PK, Ahmad I and Ali SW. 2019. The effects of fish meat and fish bone addition on nutritional value, texture and microstructure of optimised fried snacks. *Int J Food Sci Tech* 54, 1045-1053. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13974>.
- Nurul H, Boni I and Noryati I. 2009. The effect of different ratios of Dory fish to tapioca flour on the linear expansion, oil absorption, colour and hardness of fish crackers. *Int Food Res J* 16, 159-165.
- Oh JH, Karadeniz F, Gao Y, Kim HK, Kim SJ, Jung JM and Kong CS. 2018. Gel-forming ability of surimi from aquacultured pagrus major as affected by freeze-thaw cycle. *Turk J Fish Aquat Sci* 19, 423-430. [https://doi.org/10.4194/1303-2712-v19\\_5\\_07](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v19_5_07).
- Park JW and Morrissey MT. 2000. Manufacturing of surimi from light muscle fish. In: surimi and surimi seafood, Park JW, ed.

- Marcel Dekker, Inc., New York, NY, U.S.A., 23-58.
- Peranginangin R, Fawzia YN, Sugiyono and Mulyanah I. 1997. Food additives and effect of thickeness on fish crackers quality. In: Proceeding of the seminar on the advances in fish processing technology in Southeast Asia in relation to quality management, Kuang HK, Kim LL and Yong LP. eds. MFRD-SEAFDEC, Singapore, 106-114.
- Ramesh R, Shakila RJ, Sivaraman B, Ganesan P. and Velayutham P. 2018. Optimization of the gelatinization conditions to improve the expansion and crispiness of fish crackers using RSM. *LWT* 89, 248-254. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.045>.
- Sampels S. 2015. The effects of processing technologies and preparation on the final quality of fish products. *Trends Food Sci Tech* 44, 131-146. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.003>.
- Shishir MRI, Taip FS, Aziz N A, Talib RA and Sarker MSH. 2016. Optimization of spray drying parameters for pink guava powder using RSM. *Food Sci Biotechnol* 25, 461-468.
- Song HN, Lee DG, Han SW, Yoon HK and Hwang IK. 2005. Quality changes of salted and semi-dried mackerel fillets by UV treatment during refrigerated storage. *Korean J Food Cook Sci* 21, 662-668.
- Yoon M, Kim JS, Um MY, Yang H, Kim J, Kim YT and Cho S. 2017. Extraction optimization for phlorotannin recovery from the edible brown seaweed *Ecklonia cava*. *J Aquat Food Prod Technol* 26, 801-810. <https://doi.org/10.1080/10498850.2017.1313348>.
- Zhao CC, Jiang GH and Eun JB. 2017. Optimization of drying process for squid-laver snack by a combined method of fuzzy synthetic and response surface methodology. *J Food Qual* 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/9761356>.