



반응표면분석법을 이용한 마른멸치 제조 조건 최적화

윤현진 · 함인태 · 김진수 · 최종덕†
(경상대학교)

Optimization of the Manufacturing Process for Boiled-dried Anchovy Using Response Surface Methodology (RSM)

Hyun-Jin YOON · In-Tae HAM · Jin-Soo KIM · Jong-Duck CHOI†
(Gyeongsang National University)

Abstract

This study was to optimization of the manufacturing process for boiled-dried anchovy using response surface methodology (RSM). The independent variables in the central composite design for boiled-dried anchovy manufacturing process were selected as salt concentration (X_1 , %), dry temperature (X_2 , °C) and dry time (X_3 , h). The dependent variables were chosen as moisture content (Y_1 , %), water activity (Y_2) and WPS (Y_3 , %). The result of this study, Optimum conditions of X_1 , X_2 and X_3 were 5.41%, 22.09°C and 17.86 hour respectively. Under the above optimum conditions, the predicted values of Y_1 , Y_2 and Y_3 were 17.28%, 0.750 and 23.19%. Experimental values of Y_1 , Y_2 and Y_3 were 17.40%, 0.742 and 22.84% respectively. There was no significant difference on Y_1 , Y_2 and Y_3 between predicted and experimental values.

Key words: Boiled-dried anchovy, Response surface methodology(RSM), Optimum condition

I. 서론

다회성 소형 적색육 어류인 멸치는 청어목 멸치과에 속하며, 몸체가 길고 원통형이고, 등쪽은 암청색, 배는 은백색을 띤 연안성 회유어로서 플랑크톤을 섭취하고 세계적으로 막대한 양이 어획되고 있다(http://www.fips.go.kr., 2015).

멸치는 육조직이 연약하고, 사후변화에 관여하는 자가소화효소 활성이 커서 선도저하가 신속히 진행되어 대부분이 저장성이 있는 건제품인 마른멸치 및 염장품인 젓갈로 이용되고 있다. 이 중 마른멸치의 경우 선도가 좋은 원료를 수세 및 자속한 다음 건조하여 제조하는데 건조공정에 의하

여 품질 및 위생 안전성이 좌우된다(Kim et al., 2000).

현재 멸치에 대한 국내·외 여러 기준 규격이 제시되고 있지만 모든 마른멸치가 기준규격 내에 있는 것이 아니며 마른멸치의 제조 공정에 따라 수분이나 수분활성, 염도 등이 다르게 나타나 모든 기준 규격에 적합한 마른멸치를 제조하기는 어려운 실정이다.

현재 멸치의 품질에 관한 연구로는 시판 국내산 및 일본산 마른멸치의 품질비교(Heu et al., 2001), 시판 마른청어 및 마른멸치의 위생 특성 비교 및 품질기준 제시(Kang et al., 2015), 어획지 차이에 따른 마른멸치의 품질 비교(Heu et al.,

† Corresponding author : 055-772-9142, choijd@gnu.ac.kr

2002)등이 있고, 멸치의 식품성분에 대한 연구로는 시판 소건멸치의 식품성분 특성(Kim et al., 2000), 냉풍건조 멸치의 식품성분 특성(Kim et al., 2000), 자건셋줄멸의 식품성분 특성(Heu et al., 2008)등의 연구가 있다. 멸치의 품질비교와 식품성분에 관한 연구는 다소 보고되어 있고, RSM을 이용한 비규격 제주산 양식 넙치로부터 연제품의 가공 조건 최적화(Shin et al., 2011), 반응 표면분석법을 이용한 폴리만뉴로닉산 도토리묵 제조 조건의 최적화(Choi et al., 2007)등 다른 식품의 반응표면분석(RSM)을 이용한 연구는 있지만 마른멸치 건조의 최적조건을 구하여 규격에 적합한 지에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 반응표면분석(response surface methodology, RSM)방법을 사용하여 국내외 기준규격에 적합한 마른멸치의 최적 제조조건을 제시하여 참고자료로 활용하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

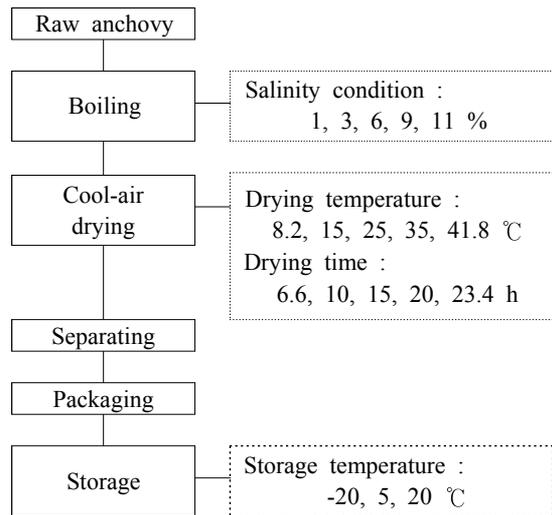
1. 재료

본 실험에 사용한 생멸치(Engraulis japonicus)는 2016년 3월 경상남도 통영시 기선권현망으로 어획하여 즉시 얼음을 채운 아이스박스를 이용하여 실험실로 옮겨 실험하였다. 체장은 10.1-13.4 cm (평균 12.2 cm)이었고, 체중은 8.98-11.94 g (평균 9.45 g)의 크기인 멸치를 사용하였다.

2. 마른멸치의 제조

실험에 사용한 마른멸치의 제조공정은 [Fig. 1]과 같다. 실험실로 옮긴 멸치를 식염 농도를 각각 다르게 하여 3~4분간 자숙한 다음 건조발에 일정량씩 편 후 건조장으로 옮겨 건조온도와 건조시간을 다르게 하여 냉풍건조하여 크기별로 선별한 후 지퍼백(25×30 cm, Clean zipperbag, Cleanwrap Co., Seoul, Korea)에 300g 씩 포장하여 저장하면서 이화학적 성분조성과 품질검사용 시

료로 사용하였다.



[Fig. 1] Manufacturing process of the boiled-dried anchovy.

3. 표면반응분석 (response surface methodology, RSM)

중심합성계획(central composite design)에 의한 독립변수 (X_i)는 마른멸치 제조공정에서 중요한 변수 즉, 염도 (1-11%), 건조온도 (8.2-41.8°C), 건조시간 (6.6-23.4시간)과 같은 3항목으로 선정하였고, 이를 5단계로 부호화하여 <Table 1>에 나타내었다.

<Table 1> Experimental range and values of the independent variables in the central composite design for boiled-dried anchovy manufacturing process

Independent variable	Symbol	Range level				
		-1.682	-1	0	+1	+1.682
Salt concentration (%)	X_1	1	3	6	9	11
Dry temperature (°C)	X_2	8.2	15	25	35	41.8
Dry time (h)	X_3	6.6	10	15	20	23.4

중심합성계획에 따라 시료는 17구로 구분하여 무작위적으로 제조하여 실험을 진행하였다 (<Table 2>).

<Table 2> Central composite design of independent variables and responses of dependent variables for boiled-dried anchovy manufacturing process

Run no.	Coded levels of variable			Coefficients assessed by
	X ₁ (%)	X ₂ (°C)	X ₃ (h)	
1	3	15	10	Fractional factorial design (8 points)
2	9	15	10	
3	3	35	10	
4	9	35	10	
5	3	15	20	
6	9	15	20	
7	3	35	20	
8	9	35	20	
9	1	25	15	Star points (6 points)
10	11	25	15	
11	6	8.2	15	
12	6	41.8	15	
13	6	25	6.6	
14	6	25	23.4	Central points (3 points)
15	6	25	15	
16	6	25	15	
17	6	25	15	

X₁, (salt concentration, %), X₂ (dry temperature, °C), X₃ (dry time, h)

Y₁ (Moisture content, %), Y₂ (Water activity), Y₃ (WPS, %)

이 때 이들 독립변수에 의해 영향을 받는 종수 변수는 마른멸치 규격에 크게 영향을 미치는 수분 (%), 수분활성, WPS (%) 그리고 품질에 영향을 미치는 히스타민 (mg/kg)과 같은 4항목으로 하여, 이들을 3회 측정하여 그 평균값을 회귀 분석에 사용하였다. 회귀분석에 의한 정준형식 확인은 statistical analysis system (SAS) program을 이용하였고, 최적점의 예측 및 확인은 MINITAB

program을 이용하였으며, 독립변수와 종속변수 간에 관계는 Maple software를 이용하였다.

III. 결 과

1. 마른멸치에 대한 국내·외 기준규격

시판 마른멸치의 국내 규격은 식품의약품안전처의 식품공전(KMFDS, 2015), 해양수산부/국립수산물품질관리원의 수산물과 수산특산물의 품질인증 세부기준(Ministry of Oceans and Fisheries, 2014), 산업통상자원부의 KS 규격(KATS, 2011), 국립수산물품질관리원(NFQS, 2016)을 참고하였고, 국제 규격은 미국 FDA규격(US FDA, 2015), CODEX 규격(CODEX, 2003)을 조사하여 그 결과를 <Table 3>에 나타내었다. 마른멸치에 대한 국내 규격항목은 식품공전의 경우 히스타민(200 mg/kg 이하) 1건에 한하여 설정되어 있고, 수산물과 수산특산물품의 품질인증 세부기준의 경우 수분함량, 진균류 및 혼입/파손율 3건에 대하여 설정되어 있으며, KS규격(KATS, 2011)의 경우 수분함량, 염도, 산불용성 회분, 진균류 및 기준크기 이외의 혼입/파손율과 같은 5건에 대하여 설정되어 있고, 국립수산물품질관리원 고시 제 2016-3호의 경우 혼입/파손율 1건에 대하여 설정되어 있다. 마른멸치에 대한 국외 규격항목은 미국 FDA규격(US FDA, 2015)의 경우 수분활성, 염도, water phase salt(WPS), pH 및 히스타민과 같은 5건에 대하여 설정되어 있고, CODEX(국제식품규격위원회)규격의 경우 수분활성, 염도, 산불용성 회분 및 히스타민 과 같은 4건에 대하여 설정되어 있다.

2. 마른멸치 제조의 회귀방정식

마른멸치의 제조를 위한 독립변수 (염도, 건조 온도 및 건조시간)의 최적조건을 천구하기 위하여 중심합성계획에 따라 17구의 시료를 제조하여 종속 변수인 수분, 수분활성 및 WPS을 각각 측

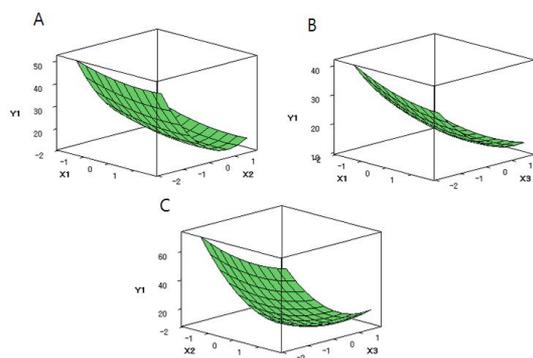
<Table 3> International and domestic standards on boiled-dried anchovy *Engraulis japonicus*

	Domestic standards				International standards	
	Korea Ministry of Food and Drug Safety	Ministry of Trade, Industry and Energy	Ministry of Oceans and Fisheries	National Fishery Products Quality Management Service	US Food and Drug Administration	Food and Agriculture Organization (FAO)
	Korean Food Code	Korean Industrial Standard (KS)	Standards on Quality of Seafood Product	Notification 2016-3	US Food Code	CODEX (Codex Alimentarius Commission)
Moisture content (%)	-	Less than 30(Less than 35 in very tiny size)	Less than 30(Less than 35 in very tiny size)	-	-	-
Water activity	-	-	-	-	Less than 0.85	Less than 0.75
Salinity (%)	-	Less than 8	-	-	Less than 10	Less than 15
Water phase salt (%)	-	-	-	-	More than 20	-
Acid-insoluble ash (%)	-	Less than 1.0	-	-	-	Less than 1.5
pH	-	-	-	-	Lower than 4.6	-
Yeast & molds (CFU/g)	-	Less than 1.0×10^3	Under than 1.0×10^3	-	-	-
Different size and breakage (%)	-	Less than 5	Less than 5	Less than 5	-	Less than 25
Histamine(mg/kg)	Less than 200	-	-	-	Less than 50	Less than 100

¹⁾Processors of unviscerated finfish products must demonstrate a process that results in either a water phase salt level of at least 20% or a water activity below 0.85 or a pH of 4.6 or less.

정한 결과는 <Table 4>와 같다. 이들 독립변수 (염도, 건조온도 및 건조시간)와 종속변수인 수분, 수분활성 및 WPS의 관계를 살펴볼 목적으로 MINITAB 통계 프로그램을 이용하여 RSREG (response surface analysis by least-squares regression)를 실시한 다음 수분, 수분활성 및 WPS에 대한 3종의 독립변수 상호간의 관계를 각각 3차원 도식화한 결과는 [Fig. 2], [Fig. 3], [Fig. 4]와 같다.

<Table 8>의 결과를 이용하여 MINITAB program의 RSREG로 수분, 수분활성 및 WPS의 일차항 (linear; X_1, X_2), 이차항 (quadratic; X_1^2, X_2^2) 및 교차항 (cross-product; X_1X_2)과 같은 여러 가지 2차 회귀방정식의 계수들과 이들의 유의

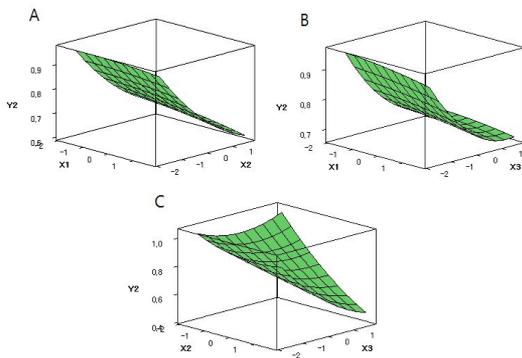


[Fig. 2] Response surface plots for optimization of moisture content in boiled-dried anchovy manufacturing process. Y_1 (Moisture content), X_1 , (Salt concentration, %), X_2 (Dry temperature, °C), X_3 (Dry time, h)

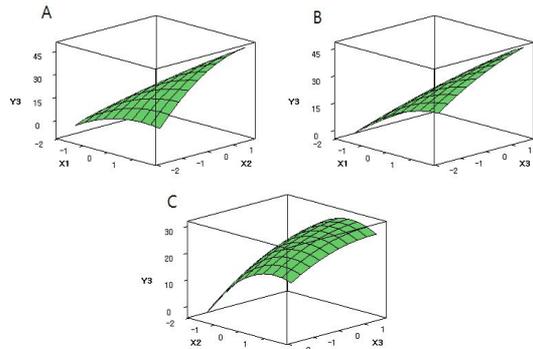
<Table 4> Central composite design of independent variables and responses of dependent variables for boiled-dried anchovy manufacturing process

Run no.	Factor			Response		
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3
1	3	15	10	42.92	0.918	4.88
2	9	15	10	39.73	0.903	16.41
3	3	35	10	18.48	0.816	11.49
4	9	35	10	14.25	0.782	35.96
5	3	15	20	24.33	0.851	9.65
6	9	15	20	22.98	0.834	26.3
7	3	35	20	10.59	0.574	11.59
8	9	35	20	9.88	0.551	45.65
9	1	25	15	26.15	0.769	2.61
10	11	25	15	19.32	0.738	33.65
11	6	8.2	15	46.95	0.961	9.97
12	6	41.8	15	21.91	0.661	20.93
13	6	25	6.6	38.27	0.948	12.16
14	6	25	23.4	14.15	0.715	29.43
15	6	25	15	17.13	0.745	24.97
16	6	25	15	17.46	0.744	24.94
17	6	25	15	17.22	0.744	25.2

X_1 (salt concentration, %), X_2 (dry temperature, °C), X_3 (dry time, h)
 Y_1 (Moisture content, %), Y_2 (Water activity), Y_3 (WPS, %)



[Fig. 3] Response surface plots for optimization of water activity in boiled-dried anchovy manufacturing process. Y_2 (Water activity), X_1 (Salt concentration, %), X_2 (Dry temperature, °C), X_3 (Dry time, h)



[Fig. 4] Response surface plots for optimization of WPS in boiled-dried anchovy manufacturing process. Y_3 (WPS, %), X_1 (Salt concentration, %), X_2 (Dry temperature, °C), X_3 (Dry time, h)

성의 결과는 <Table 5>와 같고, 이들 계수를 이용하여 작성한 반응 모형 방정식은 <Table 6>과 같다. 일반적으로는 MINITAB program의 RSREG로 작성한 2차 회귀 방정식 즉, 반응 모형 방정식은 일차항, 이차항 및 교차항과 같은 다양한 항을 구성하고 있어 <Table 6>과 같이 복잡하다. 그러나 그 유의성을 확인하는 경우 유의성이 인정되지 않는 다수의 항이 존재하는데 이를 제거하면 <Table 7>과 같이 간단하게 나타낼 수 있다. 따라서 MINITAB program의 RSREG로 분석한 수분함량의 반응 모형 방정식 중 일차항 (linear; X_1, X_2, X_3), 이차항 (quadratic; X_1^2, X_2^2, X_3^2) 및 교차항 (cross-product; X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3)에 대한 유의성은 일차항인 X_2, X_3 는 p-value가 각각 0.000, 0.001으로 0.05보다 작아 5%의 유의성이 인정되었고 X_1 은 0.214으로 0.05보다 커서 5%의 유의성이 인정되지 않았고, 이차항인 X_2^2 은 p-value가 0.006로 0.05보다 역시 작아서 5%의 유의성이 인정되었고 X_1^2, X_3^2 는 각각 0.587, 0.162로 0.05보다 커 5%의 유의성이 인정되지 않았고, 교차항인 X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3 는 모두 p-value가 0.974, 0.662 및 0.090으로 0.05보다 커서 5%의 유의성이 인정되지 않았다.

<Table 5> Estimated coefficients of fitted quadratic polynomial equation for different response based on t-statistic

	Y ₁		Y ₂		Y ₃	
	Coefficient	P-value	Coefficient	P-value	Coefficient	P-value
Intercept	17.6267	0.000	0.7458	0.000	24.8732	0.000
X ₁	-1.5352	0.214	-0.0103	0.067	10.1717	0.000
X ₂	-8.7042	0.000	-0.0943	0.000	4.8241	0.001
X ₃	-6.4557	0.001	-0.0733	0.000	3.9170	0.003
X ₁ X ₁	0.7034	0.587	-0.0019	0.723	-1.8790	0.086
X ₂ X ₂	4.8382	0.006	0.0184	0.010	-2.8265	0.020
X ₃ X ₃	1.9320	0.162	0.0256	0.002	-0.9368	0.352
X ₁ X ₂	-0.0500	0.974	-0.0031	0.631	3.7938	0.011
X ₁ X ₃	0.6700	0.662	0.0011	0.862	1.8387	0.143
X ₂ X ₃	2.8850	0.090	-0.0421	0.000	-0.6088	0.602

X₁, (salt concentration, %), X₂ (dry temperature, °C), X₃ (dry time, h)
 Y₁ (Moisture content, %), Y₂ (Water activity), Y₃ (WPS, %)

<Table 6> Response surface model for processing conditions of boiled-dried anchovy manufacturing process

Responses	Quadratic polynomial model	R ²	P-value
Y ₁	17.6267 - 1.5352X ₁ - 8.7042X ₂ - 6.4557X ₃ + 0.7034X ₁ ² + 4.8382X ₂ ² + 1.9320X ₃ ² - 0.0500X ₁ X ₂ + 0.6700X ₁ X ₃ + 2.8850X ₂ X ₃	0.869	0.000
Y ₂	0.7458 - 0.0103X ₁ - 0.0943X ₂ - 0.0733X ₃ - 0.0019X ₁ ² + 0.0184X ₂ ² + 0.0256X ₃ ² - 0.0031X ₁ X ₂ + 0.0011X ₁ X ₃ - 0.0421X ₂ X ₃	0.978	0.000
Y ₃	24.8732 + 10.1717X ₁ + 4.8241X ₂ + 3.9170X ₃ - 1.8790X ₁ ² - 2.8265X ₂ ² - 0.9368X ₃ ² + 3.7938X ₁ X ₂ + 1.8387X ₁ X ₃ - 0.6088X ₂ X ₃	0.930	0.000

X₁, (salt concentration, %), X₂ (dry temperature, °C), X₃ (dry time, h)
 Y₁ (Moisture content, %), Y₂ (Water activity), Y₃ (WPS, %)

<Table 7> Briefed response surface model for processing conditions of boiled-dried anchovy manufacturing process

Responses	Quadratic polynomial model	R ²	P-value
Y ₁	Y = 17.4325 - 8.7042X ₂ - 6.4557X ₃ + 4.8382X ₂ ²	0.869	0.000
Y ₂	Y = 0.7458 - 0.0943X ₂ - 0.0733X ₃ + 0.0184X ₂ ² + 0.0256X ₃ ² - 0.0328X ₂ X ₃	0.978	0.000
Y ₃	Y = 24.8732 + 10.1717X ₁ + 4.8241X ₂ + 3.9170X ₃ - 2.8265X ₂ ² + 3.7938X ₁ X ₂	0.930	0.000

X₁, (salt concentration, %), X₂ (dry temperature, °C), X₃ (dry time, h)
 Y₁ (Moisture content, %), Y₂ (Water activity), Y₃ (WPS, %)

MINITAB program의 RSREG로 분석한 수분활성은 반응모형 방정식 중 일차항 (linear; X_1 , X_2 , X_3), 이차항 (quadratic; X_1^2 , X_2^2 , X_3^2) 및 교차항 (cross-product; X_1X_2 , X_1X_3 , X_2X_3)에 대한 수분활성의 유의성은 일차항인 X_2 , X_3 는 p-value가 각각 0.000, 0.000으로 0.05보다 작아 5% 수준에서 유의성이 인정되었고, X_1 은 0.067로 0.05보다 커 5%의 유의성이 인정되지 않았다.

이차항인 X_2^2 , X_3^2 은 p-value가 각각 0.010 및 0.002로 0.05보다 작아 5%의 유의성이 인정되었고 X_1^2 은 0.723으로 0.05보다 커 5%의 유의성이 인정되지 않았다. 교차항인 X_2X_3 은 0.000로 0.05보다 작아 5%의 유의성이 인정되었으며, X_1X_2 , X_1X_3 은 각각 0.631, 0.862로 0.05보다 커 5%의 유의성이 인정되지 않았다.

MINITAB program의 RSREG로 분석한 WPS는 반응모형 방정식 중 일차항 (linear; X_1 , X_2 , X_3), 이차항 (quadratic; X_1^2 , X_2^2 , X_3^2) 및 교차항 (cross-product; X_1X_2 , X_1X_3 , X_2X_3)에 대한 수분활성의 유의성은 일차항인 X_1 , X_2 , X_3 는 p-value가 각각 0.000, 0.001 및 0.003으로 0.05보다 작아 5%의 유의성이 인정되었다. 이차항인 X_2^2 은 p-value가 0.020으로 0.05보다 작아 5%의 유의성이 인정되었으며, X_3^2 , X_3^2 는 각각 0.086 및 0.352로 0.05보다 커 5%의 유의성이 인정되지 않았다. 교차항인 X_1X_2 는 p-value가 0.011로 0.05보다 작아 5%의 유의성이 인정되었으며, X_1X_3 , X_2X_3 는 각각 0.143 및 0.602로 0.05보다 커 5%의 유의성이 인정되지 않았다.

3. 최적 마른멸치 제조 조건

독립변수와 종속변수 간의 상관관계를 ANOVA 분석으로 살펴 본 결과는 <Table 8>과 같다.

마른멸치 제조를 위한 수분함량에 대한 반응모형 방정식은 일차항, 이차항의 p-value가 각각 0.000, 0.032로 0.05보다 작아 5% 수준에서 유의성이 인정되었으나, 교차항의 경우 p-value가

0.332로 0.05보다 커 5% 수준에서 유의성이 인정되지 않았다. 마른멸치 제조를 위한 수분활성의 반응모형 방정식은 일차항, 이차항 및 교차항의 p-value가 각각 0.000, 0.004 및 0.002로 0.05보다 작아 5% 수준에서 유의성이 인정되었다. 마른멸치 제조를 위한 WPS의 반응모형 방정식은 일차항, 삼차항의 경우 p-value가 각각 0.000 및 0.039로 0.05보다 작아 5% 수준에서 유의성이 인정되었으나, 이차항의 경우 0.079로 0.05보다 커 5% 수준에서 유의성이 인정되지 않았다.

<Table 8> Analysis of variance (ANOVA) for response of dependent variables (Y1, Y2, Y3)

Responses	Sources	DF	SS	MS	F-value	P-value
Y ₁ (Moisture content, %)	Model	9	1982.46	220.273	12.78	0.001
	Linear	3	1636.04	545.348	31.63	0.000
	Quadratic	3	276.22	92.072	5.34	0.032
	Cross-product	3	70.20	23.399	1.36	0.332
	Residual	7	120.70	17.242	-	-
	Lack of fit	5	120.64	24.127	829.12	0.001
	Pure error	2	0.06	0.029	-	-
Total	16	2103.15	-	-	-	
Y ₂ (Water activity)	Model	9	0.221202	0.024578	79.08	0.000
	Linear	3	0.196194	0.065398	210.43	0.000
	Quadratic	3	0.010724	0.003575	11.50	0.004
	Cross-product	3	0.014284	0.004761	15.32	0.002
	Residual	7	0.002175	0.000311	-	-
	Lack of fit	5	0.002175	0.000435	1304.88	0.001
	Pure error	2	0.000001	0.000000	-	-
Total	16	0.223378	-	-	-	
Y ₃ (WPS, %)	Model	9	2189.26	243.251	24.46	0.000
	Linear	3	1940.34	646.780	65.04	0.000
	Quadratic	3	103.77	34.590	3.48	0.079
	Cross-product	3	145.15	48.384	4.87	0.039
	Residual	7	69.61	9.944	-	-
	Lack of fit	5	69.57	13.914	687.66	0.001
	Pure error	2	0.04	0.020	-	-
Total	16	2258.87	-	-	-	

마른멸치 제조를 위한 수분함량의 반응모형 방정식 모델의 적합성 여부를 나타내는 적합 결여 검증 (lack of fit test)의 p-value는 0.001을 나타내어 0.05보다 낮아 설계된 모형이 완전하지 않는 것으로 나타났으나, 결정계수 (R^2)가 0.869로 1에 가까우며 model 값이 0.000으로 0.05보다 낮아 설계된 반응모형이 완전하진 않으나 적합한 것으로 나타났다. 마른멸치 제조를 위한 수분활성의 반응모형 방정식 모델의 적합성 여부를 나타내는 적합 결여 검증 (lack of fit test)의 p-value는 0.001로 0.05보다 낮아 설계된 모형이 완전하지 않는 것으로 나타났으나, 결정계수 (R^2)가 0.978로서 1에 가까우며 model 값이 0.000으로 0.05보다 낮아 설계된 반응모형이 완전하지 않으나 적합한 것으로 나타났다. 또한, 마른멸치 제조를 위한 WPS의 반응모형 방정식 모델의 적합성 여부를 나타내는 적합 결여 검증 (lack of fit test)의 p-value는 0.001로 0.05보다 낮아 설계된 모형이 완전하지 않는 것으로 나타났으나, 결정계수 (R^2)가 0.930으로 1에 가까우며 model 값이 0.000으로 0.05보다 낮아 설계된 반응모형이 완전하지 않으나 적합한 것으로 나타났다.

4. 최적 마른멸치 제조 조건에 의한 실측치와 예측치

마른멸치의 최적조건의 제조를 위하여 수분함량, 수분활성 및 WPS가 최대로 할 수 있는 독립변수 (염도, 건조온도 및 건조시간)의 최적조건 구명이 필요하다. 이러한 목적으로 <Table 4>의 결과를 MINITAB 통계 프로그램을 구동하여 얻은 수분함량, 수분활성 및 WPS 각각과 이들을 동시에 만족할 수 있는 조건에 대한 독립변수의 최적조건과 그리고 이들을 동시에 만족 하는 조건에 대한 독립변수의 최적조건과 그리고 이들을 동시에 만족하는 조건에서 수분함량, 수분활성 및 WPS 예측치를 <Table 9>에 나타내었다.

<Table 9> Optimal condition of multiple responses for processing conditions of boiled-dried anchovy manufacturing process

Dependent variables	Quadratic polynomial model	Critical value		Predicted
		Coded	Uncoded	
Multiple response optimization	X ₁	0.3394	7.01	Y ₁ : 16.98 (Moisture content, %)
	X ₂	-0.4948	20.05	
	X ₃	0.9200	19.6	
	X ₁	1.5252	10.58	Y ₂ : 0.769 (Water activity)
	X ₂	1.6330	41.33	
	X ₃	-0.8382	10.81	
	X ₁	1.5179	10.55	Y ₃ : 26.88 (WPS, %)
	X ₂	-1.0106	14.99	
	X ₃	-0.3152	13.42	
X ₁	-0.1974	5.41	Y ₁ : 17.28	
X ₂	-0.2911	22.09	Y ₂ : 0.750	
X ₃	0.5714	17.86	Y ₃ : 23.19	

X₁, (salt concentration, %), X₂ (dry temperature, °C), X₃ (dry time, h)

마른멸치 제조의 수분함량의 최적 염도, 건조온도 및 건조시간은 coded value로는 각각 0.3394, -0.4948 및 0.9200이었고, 이를 uncoded value로 환산하는 경우 각각 7.01%, 20.05°C 및 19.6시간이었다. 이들 조건 즉, 7.01%의 식염수에 자숙을 하고 냉풍건조기에 20.5°C 및 19.6시간 동안 건조하는 경우 마른멸치 제조의 적정 수분함량은 16.98%로 예측되었다. 마른멸치 제조의 수분활성 최적 염도, 건조온도 및 건조시간은 coded value로는 각각 1.5252, 1.6330 및 -0.8382이었고, 이를 uncoded value로 환산하는 경우 각각 10.58%, 41.33°C 및 10.81시간이었다. 이들 조건 즉, 10.58%의 식염수에 자숙을 하고 냉풍건조기에 41.33°C 및 10.81시간 동안 건조하는 경우 마른멸치 제조의 적정 수분활성은 0.769으로 예측되었다. 마른멸치 제조의 WPS 최적 염도, 건조온도 및 건조시간은 coded value로는 각각 1.5179, -1.0106 및 -0.3152이었고, 이를 uncoded value로 환산하는 경우 각각 10.55%, 14.99°C 및 13.42시간이었다. 이들 조건 즉, 10.55%의 식염수에 자숙

을 하고 냉풍건조기에 14.99℃ 및 13.42시간 동안 건조하는 경우 마른멸치 제조의 적정 WPS는 26.88로 예측되었다. 마른멸치 제조의 수분함량, 수분활성 및 WPS의 최적 염도, 건조 온도 및 건조시간은 coded value로는 각각 -0.1974, -0.2911 및 0.5714이었고, 이를 uncoded value로 환산하는 경우 각각 5.41%, 22.09℃ 및 17.86시간이었다. 이들 조건 즉, 염도 5.41%, 건조온도 22.09℃ 및 건조시간 17.86시간에서 수분함량은 17.28% 수분활성은 0.750 및 WPS는 23.19%로 예측되었다.

이들 최적 염도, 건조시간 및 건조온도를 적용하여 마른멸치를 제조한 결과는 <Table 10>과 같다.

<Table 10> Experimental and predicated results of verification under optimized conditions

Dependent variables	Predicted values	Experimental values
Y ₁ (Moisture content, %)	17.28	17.40± 0.32
Y ₂ (Water activity)	0.750	0.742± 0.06
Y ₃ (WPS, %)	23.19	22.84± 0.18

최적 염도, 건조시간 및 건조온도를 적용하여 마른멸치를 제조한 수분함량, 수분활성 및 WPS는 각각 17.40%, 0.742 및 22.84%로 예측치의 각각 100.7%, 98.9% 및 98.5%에 해당하여 예측치와 실측치 간에 차이가 적었다.

이상의 결과로 미루어 보아 제시된 반응표면 모델은 마른멸치 제조를 위한 최적 모델이라 판단되었다.

IV. 결론 및 요약

표면반응분석을 사용하여 국내·외 기준규격에 적합한 마른멸치 제조의 최적조건은 염도 (X₁, %), 건조온도 (X₂, ℃), 건조시간 (X₃, h)을 독립변

수로 선정하였고, 수분 (Y₁, %), 수분활성 (Y₂), WPS (Y₃, %)을 종속변수로 하였다. X₁, X₂, X₃의 최적 조건은 각각 5.41%, 22.09℃, 17.86h 이었다. 최적 조건에서 Y₁, Y₂, Y₃의 예측값은 17.28%, 0.750, 23.19% 이었고, 실험값은 17.40%, 0.742, 22.84% 이었다. Y₁, Y₂, Y₃의 예측값 및 실험값 간의 차이는 적었다. 이 값은 국내 마른멸치 수분함량 기준인 30% 미만에 적합하였으며, 대미 수출을 위한 미국 FDA 수분활성 및 WPS 기준인 0.85, 20% 미만에 적합하였으며, 모든 국내·외 기준규격에 적합하였다.

References

- Choi, Hee-Sook · Ko, Soom-Nam & Lee, Kyoung-Hae (2007). Optimization of Preparation Conditions of Polymannuronate Acorn Mook Using RSM. Journal of East Asian Society Dietary Life 17(1), 103~109.
- Codex Alimentarius Commission (CODEX)(2003). Retrieved from <http://www.codexalimentarius.org/standards/list-of-standards/en/?provide=standards&orderField=fullReference&sort=asc>.
- Food and Drug Administration (FDA)(2015). Retrieved from http://www.accessdata.fda.gov/cms_ia/importalert_48.html.
- Kang, Sang-In · Lee, Su-Gwang · Kim, Yong-Jung · Kim, Min-Joo · Park, Sun-Young · Heu, Min-Soo & Kim, Jin-Soo(2015). Sanitary Characterization of Commercial Boiled-dried Pacific Herring *Clupea pallasii* and Boiled-dried Anchovy *Engraulis japonicus* and Proposal of Quality Standards. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 48(5), 604~613.
- Kim, In-Soo · Lee, Tae-Gee · Yeum, Dong-Min · Cho, Moon-Lae · Park, Hae-Wook · Cho, Tae-Jong · Heu, Min-Soo & Kim, Jin-Soo(2000). Food Component Characteristics of Cold Air Dried Anchovies. Journal of Food Science and Nutrition 29(6), 973~980.
- Kim, Jin-Soo · Yang, Soo-Kyeong & Heu, Min-Soo(2000). Food Component Characteristics of Plain Dried Anchovies on the Market. Journal of

- Korean Society of Food Science and Nutrition 29(1), 20~25.
- Korea Industrial Standard (KS)(2011). Dried anchovy. Retrieved from. <http://www.law.go.kr/admRulSc.do?menuId=1&query=%EC%88%98%EC%82%B0%EB%AC%BC#liBgcol>.
- Minstry of Food and Drug Safety(2015). Korean Food Code. Retrieved from http://fse.foodnara.go.kr/residue/RS/jsp/menu_02_01_03.jsp?idx=80.
- Ministry of Oceans and Fisheries(2014). Standards on Quality of Seafood Product. Retrieved form http://www.standard.go.kr/CODE02/USER/0B/03/SerKs_Search.asp?Olap Code=STAU020201.
- Ministry of Oceans and Fisheries(2015). Information of anchovy. Retrieved form http://www.fips.go.kr/jsp/kn/kn_lan_info.jsp?menuDepth=080201 on Jun 2.
- Ministry of Oceans and Fisheries(2016). Information of anchovy. Retrieved form http://www.fips.go.kr/jsp/sf/ss/ss_kind_law_list.jsp?menuDepth=070104 on May 5.
- National Fishery Products Quality Management Service(2016). Information of anchovy. Retrieved <http://www.nfqs.go.kr/2013/contents.asp?m=3&s=1&s2=1>
- Shin, Jun-Ho · Park, Kwon-Hyun · Lee, Ji-Sun · Kim, Hyung-jun · Lee, Dong-Ho · Heu, Min-Soo · Jeon, You-Jin & Kim, Jin-Soo(2011). Optimization of Processing of Surimi Gel from Unmarketable Cultured Bastard Halibut *Paralichthys olivaceus* using RSM. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 44(5), 435~442.
- Heu, Min-Soo · Kim, Jin-Soo & Kim, Hey-Suk(2001). Quality Comparison of Commercial Boiled-Dried Anchovies Processed in Korea and Japan. Journal of the Korean Fisheries Society 34(6), 685~690.
- Heu, Min-Soo & Kim, Jin-Soo(2002). Comparison of Quality among Boiled-Dried Anchovies Caught from Different Sea. Journal of the Korean Fisheries Society 35(2), 173~178.
- Heu, Min-Soo · Lee, Jae-Hyoung · Kim, Hyung-Jun · Jung, In-Kwon · Park, Yong-Seok · Ha, Jin-Hwan & Kim, Jin-Soo(2008). Food Component Characteristics of Boiled-Dried Silver-Stripe Round Herring. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition 37(7), 891~899.

-
- Received : 28 September, 2017
 - Revised : 12 October, 2017
 - Accepted : 17 October, 2017