

율무국수를 이용한 최소가격/최적배합 프로그래밍

김상수 · 김병용 · 함영태* · 신동훈**

경희대학교 식품가공학과, *중앙대학교 생물공학과

**고려대학교 식품생물공학과

Least Cost and Optimum Mixing Programming by Yulmu Mixture Noddle

Sang-Soo Kim, Byung-Yong Kim, Young-Tae Hahm and Dong-Hoon Shin

Department of Food Sci. & Tech., Kyung-Hee University

*Department of Biotechnology, Chung-Ang University

**Department of Food & Biotenology, Korea University

Abstract

Noodle was made using a combination of yulmu, wheat and water through mixture design. Statistical models of yulmu noodle were shown by analysing tensile stress and color (L^*), and sensory evaluation with other constraints. Analysing the linear and non-linear model, the linearity in the values of tensile stress, lightness (L^*) and sensory evaluation showed that each component worked separately without interactions. In studying the component effect on the response by trace plot, the result indicated that the increase in the amount of yulmu enhanced tensile stress of noodle while degrading L^* value and sensory evaluation score. In the range of satisfying the conditions of noodle in every tensile stress, L^* value and sensory evaluation point, the optimum mixture ratio of yulmu:wheat:water was 2.27%:66.28%:28.45% based on least cost linear programming. In this calculation, the least cost was 9.924 and estimated potential results of the response for tensile stress was 2.234 N and those for L^* was 82.39. Finally, the potential response results affected by mixture ratio of yulmu, wheat and water were screened using Excel.

Key words: Yulmu, mixture design, opimization, trace plot

서 론

신제품의 개발 및 대체품의 선정에 있어서 최적화 이론의 적용은 필수적인 역할을 하며⁽¹⁾ 최근 중류, 건조 및 살균과 같은 식품공학분야에서 활발하게 일어나는 편이다⁽²⁾. 특히 식품개발에 있어서 조성(composition) 성분이 차지하는 비중은 다른 고정된 요인(설비, 인력)에 비교하여 상대적으로 크며 또한 효과적으로 조절되어 질 수 있다. 따라서 이와 같은 새로운 식품 조성 성분의 최소가격을 얻는 최적 배합비를 산출해 내는데 있어서 적절한 실험계획법 및 수학적 모형의 도입과 최적화이론의 적용과 해석은 필요 불가결한 선결 조건이라 하겠다⁽³⁾. 최적 배합비를 산출하기 위한 실험 계획법의 선정에 있어서 가능한 한 모든 배합을 최소

한의 실험 회수로 평가할 수 있는 것이 중요하다. 일반적으로 수학적 최적화이론의 방법으로 선형계획법과 비선형계획법이 널리 사용되며 그 응용도는 주어진 목적과 회귀모형에 의존한다. 혼합물질에서 3개 이상의 성분들의 효과를 설명하기 위해 trace plot 제시가 바람직하다. 이는 특정성분의 양을 증가시켰을 때, 다른 성분들의 양은 감소하나 그것들의 총 비율은 일정하게 유지된다는⁽⁴⁾ 전제조건이 표면 반응분석법(response surface methodology)에서 보다는 배합비 결정에 적합하기 때문이다. 따라서 반응에 가장 영향을 미치는 성분과 그 반응의 경향 등이 trace plot에서 결정되어질 수 있다.

본 연구는 혼합실험 계획법에 의거하여 율무-밀가루-물을 이용한 국수를 제조하고, 결과의 분석에 수학적 모델을 적용하여, 배합물들의 연관작용을 조사하며, 최소가격을 얻기 위한 최적의 배합비를 선정하는 programming을 연구하는 것이다. 또한 이 programming

Corresponding author: Byung-Yong Kim, Dept. of Food Science & Technology, Kyunghee Univ. Yongin-si Kyunggi-do 449-701, Korea

에 대한 다른 제약조건을 적용하고 screen화하여 다양한 혼합식품의 최적화에 적용을 이루고자 하는 것이다.

재료 및 방법

재료

연천군에서 1997년 생산한 울무(단백질 21.3%, 당질 61.1%, 수분 10%, 지방 3.7%, 섬유질 2.0%)를 이용하여 중력 밀가루(대한제분, 곰, 인천)와 섞고 혼합 반죽을 하여 국수를 제조하였다.

국수의 제조

울무, 밀가루, 물, 소금을 13개의 혼합디자인의 실험 계획법에 따라 실험을 행하였다(Table 1). 밀가루, 울무, 물을 실험 비율에 따라 혼합하였으며 전체 무게의 3%에 해당하는 소금을 넣고 farinograph의 측정용 반죽기를 사용하여 35°C에서 8분 30초 동안 반죽하였다. 반죽된 dough를 롤 간격 2.5 mm에서 5회 면대(sheet)를 형성한 후 면대를 겹쳐서 롤 간격 2 mm에 3회 면대를 형성한 다음 국수 제면기를 사용하여 너비 4 mm 두께 2 mm인 생국수를 제조하였다.

국수의 인장응력 및 색도 측정

생국수의 인장응력을 구하기 위해 rheometer (Sun Co., CD-200D, Japan)을 사용하였다. 즉 생국수를 3 cm의 길이로 자르고 양면 15 mm의 holder에 장치후 2 kg load cell과 200 mm/min cross-head speed를 적용하여 상온에서 인장응력(N)을 구하였다. 생국수의 L* (lightness) 측정은 색차계(Color Techno System, JC 801, Japan)를 사용하였으며 10회 측정값의 평균값으로 나타내었다.

국수의 조리 및 관능검사

국수의 조리는 끓는 물(2 L)에 생국수 300 g을 넣고 5분간 끓인 다음 냉수에 5분간 냉각시킨 후 4분간 채에 걸러 물기를 제거한 다음 지퍼백에 담아 냉장실에 보관하였다.

조리한 국수의 관능 검사는 9단계 소비자 기호 척도 법으로 평가하였다. 실험 계획법에 의한 13개의 국수를 맛, 조직감, 전반적인 기호도에 대하여 1(대단히 좋다)에서 9(대단히 나쁘다)까지의 점수를 사용하여 평가하였고 Anova table에 의해 분석하였으며 유의성 검정을 실시하였다(Excel 97, Microsoft®, USA).

실험 디자인 및 통계적 modeling

혼합물의 실험 디자인, data 분석 및 최적화는 Design Expert (Stat-Easy Co., Minneapolis)를 이용하였다. 혼합물의 영역은 울무, 밀가루, 물이 각각 2.27~19.1%, 50.0~66.3%, 27.9~28.8%로 정하였다. 전체 제약조건 값으로는 총 수분함량과 소금의 양으로 정하였다. 총 수분함량은 37~38%의 범위로 설정하였고, 소금의 양은 3%로 하였다. 전체 제약조건 범위에 맞춰 혼합물의 다른 비율을 할당하기 위해 modified distance based design⁶⁾를 사용하였고, regression model을 나타내는 coefficient 값들은 Scheffe⁷⁾의 polynomial form에 근거를 두고 계산하였다⁸⁾.

Canonical 형태의 model은 modified least square regression에 의해 만들어졌으며 그 model과 coefficient 값들은 Anova table을 이용한 F-test 및 유의차에 의해서 유의성을 검증하였다.

혼합물질에서의 각 성분들의 효과를 살펴보기 위해 pseudo component를 이용한 Pipel의 방향⁹⁾을 이용한 trace plot을 그렸다.

울무국수의 배합비 결정을 위한 선형계획법

최소가격을 얻기 위한 선형계획법은 가격(목적함수)과 canonical 형태의 물리적 특성(결정변수) 및 자체의 기준(제약조건)으로 구성되어 있다. 울무, 밀가루 및 물의 가격을 임의로 120:10:2로 정하였고, 결정변수로는 혼합 반죽으로 만든 생국수의 인장응력과 L* 값으로 하였으며, 인장응력을 최대로, cost는 최소로 하였다.

결과 및 고찰

실험조건에 따른 반응

본 연구의 전제조건으로써 성분의 배합비 외에 전체 수분함량의 제약조건을 가지고서 확립된 modified distance-based design 실험디자인에 의한 울무-밀가루-물의 혼합비를 나타내는 actual value의 실험점과 실험 결과를 Table 1에 나타내었다. 9개의 실험점과 4개의 반복을 해서 총 13개의 실험점이 결정되었으며 소금 3%를 고정혼합물로 정하였다. 실험은 구획에 따른 오차를 없애기 위해 무작위적으로 실험 순서를 결정하여 실행하였다.

실험디자인에 따라 설정된 각 배합비에 따라 측정된 반응 결과도 Table 1에 나타내었다. 실험결과 인장응력은 1.852~2.675 N의 범위를 보였으며, L*값은 74.43~82.96의 범위를 나타내었으며 배합비에 따른 가격은 9.92~28.48의 범위를 나타내었다.

Table 1. Experimental points and response of noodles mixed with Yulmu

No.	Run order	Actual value			Response		
		Yulmu	Wheat	Water	Tensile stress (N)	L*	Cost
1	2	0.1820	0.5000	0.2880	2.029	75.67	27.42
2	9	0.1820	0.5000	0.2880	1.852	75.72	27.42
3	5	0.1910	0.5000	0.2790	2.675	75.69	28.48
4	13	0.1910	0.5000	0.2790	2.528	75.84	28.48
5	8	0.0284	0.6628	0.2788	2.617	82.02	10.59
6	7	0.0284	0.6628	0.2788	2.460	81.62	10.59
7	1	0.0227	0.6628	0.2845	2.440	82.96	9.92
8	10	0.1870	0.5000	0.2830	2.372	74.43	28.01
9	4	0.1870	0.5000	0.2830	2.293	77.09	28.01
10	3	0.1440	0.5410	0.2850	2.401	78.60	23.26
11	11	0.1490	0.5400	0.2810	2.450	77.63	23.84
12	12	0.0640	0.6210	0.2850	2.401	80.22	14.46
13	6	0.1060	0.5810	0.2830	2.391	79.51	19.10

Low limit Yulmu Wheat Water
 0.0227 0.0227 0.5 0.279
 High limit 0.191 0.663 0.288

*Multiconstraint of moisture contents of mixture

$0.37 \leq 0.12\text{Yulmu} + 0.14\text{Wheat} + \text{Water} \leq 0.38$, $\text{Yulmu} + \text{Wheat} + \text{Water} = 0.97$, Salt: 0.03

*The price; Yulmu: 120/%, Wheat: 10/%, and Water: 2/.

반응의 분석 및 trace plot

위와 같이 비선형 실험디자인에 근거하여 작성한 실험점의 결과를 이용하여 linear 및 non-linear model 들의 적합성을 측정하였다(Table 2). 인장응력, L*는 linear model을 적용시 유의차가 0.1% 이하를 나타내어 가장 적합함을 나타내어 국수를 제조 시에 율무-밀가루-물 사이에 상호작용이 거의 존재하지 않았음을 판단할 수 있었다. 그러나 Yoon (1997b)⁽²⁾ 등에 의하면 paste 상태의 yulmu-wheat-water 혼합물에서는 동적물성 즉 storage modulus, loss modulus, elastic component 와 viscous component에서는 interaction term이 존재하는 quadratic model이 적합함을 나타내었다.

율무, 밀가루와 물의 혼합물로 만든 국수에서의 각 성분들의 효과를 linear regression model로 Table 2에 나타내었다. 여기에 나타난 각 coefficient 들은 각 성분들이 각 response에 미치는 영향을 나타내는 activity이다⁽⁹⁻¹¹⁾. 이와 같이 linear model을 근거로 하여 혼합물에서의 각 성분들의 기여도를 가시화하기 위하여 trace

plot을 이용하여 Fig. 1~3에 나타내었다. Reference blend를 나타내는 plot의 center는 혼합물 vertices의 centroid에서 정하여졌다.

율무와 밀가루는 인장응력에서 positive한 영향을 미치며(Fig. 1) 그 기울기는 혼합물 내에서의 상대적인 기여도를 나타내는데 밀가루가 율무보다 기울기가 더 크므로 영향을 더 줌을 알 수 있었다. 3개의 성분중 물의 기울기가 가장 크므로 율무-밀가루-물의 혼합물에서 물이 인장응력에 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있었으며 율무 국수의 제조시에 수분의 양이 주된 요소임을 나타 내었다. 이는 곡류를 섞어 만든 혼합식품에서 수분이 가장 중요하게 나타난 다른 연구논문과 같은 결과이다^(2,3,10,11).

율무 국수에서 혼합물의 성분이 L*값에 미치는 영향을 살펴보면(Fig. 2) 율무는 감소하는 영향을 미치며 밀가루와 물은 증가하는 영향을 미쳐 율무와 밀가루는 상반된 경향을 나타내었다. 즉 율무를 국수에 첨가 시 율무의 첨가량이 증가할수록 제조한 국수의 색이

Table 2. The result of Anova test of models and regression models for noodles mixed with Yulmu

Source	Linear	Quadratic	Full cubic	Regression model
Tensile stress	<0.001	0.096	0.707	$Y_1 = 2.5605A + 2.6527B - 6.5650C$
L*	<0.001	0.778	0.480	$Y_2 = 75.727A + 82.389B + 82.402C$

Pseudo components A: Yulmu, B: Wheat, C: Water.

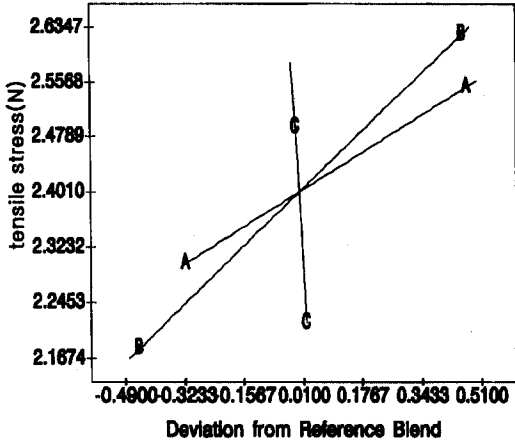


Fig. 1. Trace plot describing the effects of each component noodles mixed with yulmu on tensile stress. Pseudo components A: Yulmu, B: Wheat, C: Water.

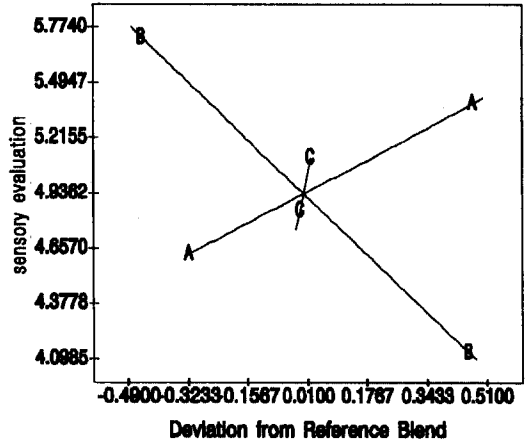


Fig. 3. Trace plot describing the effects of each component noodles mixed with yulmu on sensory evaluation. Pseudo components A: Yulmu, B: Wheat, C: Water. Rating scale: 1 (very good), 9 (very bad).

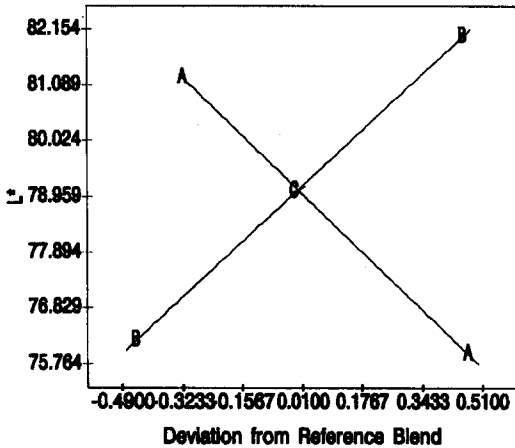


Fig. 2. Trace plot describing the effects of each component noodles mixed with yulmu on L*. Pseudo components A: Yulmu, B: Wheat, C: Water.

어두워짐을 보여 주었다.

Least cost linear programming을 이용한 최적화

울무 혼합물을 이용한 국수의 제조 시에 필요한 물성 기준에 맞는 혼합비를 밝혀 내고 그에 따른 최저가격을 산출하기 위한 least cost linear programming을 적용하였다.

최소가격에 따른 최적의 혼합비를 구하기 위한 제약범위로서 인장응력과 L*값의 response들은 국수에 적용되는 범위로 정하였다. 즉 인장응력은 1.852~2.675 N, L*값은 72.43~82.96의 범위로 정하였으며, 울무:밀가루:물의 가격을 임의로 120:10:2로 한 상태에서

Table 3. The least cost formulation of noodles mixed with Yulmu from Derringer and Suich's method

a) The least cost formulation	
Component	Ratio (%)
Yulmu	2.27
Wheat	66.28
Water	28.45
b) Predicted response and cost	
Response	Predicted response
Tensile stress (N)	2.342
L*	82.39
cost	9.924

cost를 최소로 설정하였을 때 linear programming의 최소 가격은 9.924의 가격이 나왔으며 그 때의 최적 배합비는 울무는 2.27%, 밀가루는 66.28%, 물은 28.45%로 계산되어졌다. 이 때 최적 배합비에 따라 예상되는 반응결과인 인장응력은 2.342 N, L*는 82.39로 예측되었다(Table 3).

확장된 제약 조건을 포함한 울무 국수의 최적화

초기 실험에서 고려되어지지 않았던 또 다른 중요한 제약조건을 부과하면 결과적으로 내부에 작용하였던 요인들의 해석에 큰 영향을 미친다고 판단된다. 따라서 새로운 제약조건하에서 관능검사를 실시하여 최적의 배합비를 찾고자 하였다.

배합비에 따라 조리한 국수를 맛, texture, 만족감을 기준으로 하여 실시한 관능검사 결과는 Table 4와 같

Table 4. Sensory evaluation score for noodles mixed with Yulmu

Sample	Taste	Texture	Acceptability
1	4.4 ± 1.76	4.68 ± 1.70	4.8 ± 2.04
2	5.84 ± 1.60	5.92 ± 1.91	6.16 ± 2.21
3	5.76 ± 1.79	6.04 ± 1.74	6.04 ± 2.03
4	5.84 ± 1.72	5.64 ± 1.85	6.2 ± 2.08
5	5.36 ± 1.58	5.48 ± 1.64	5.2 ± 1.98
6	4.96 ± 1.54	4.72 ± 1.43	5.16 ± 1.60
7	3.76 ± 1.39	3.68 ± 1.55	4.0 ± 1.87
8	4.08 ± 1.55	4.08 ± 1.61	4.2 ± 1.58
9	5.12 ± 1.99	5.12 ± 1.39	5.36 ± 2.06
10	5.92 ± 1.91	5.68 ± 1.65	5.8 ± 2.04
11	5.16 ± 1.77	4.64 ± 1.44	5.24 ± 1.94
12	4.56 ± 1.83	4.36 ± 1.68	4.76 ± 1.98
13	5.68 ± 1.57	4.96 ± 1.24	5.64 ± 1.80

Rating scale: 1 (very good), 9 (very bad).
Score: mean score ± standard deviation (p ≤ 0.05).

다. 각각의 점수를 평균을 내어 이것을 다시 modified least square linear regression에 의해 통계적으로 분석하였고 각 모형의 probability value 나타낸 결과 linear model의 유의치가 0.001 이하이며, non-linear model은 0.392~0.342를 나타내어 linear model이 가장 적합한 것으로 판단되었으며 이것을 회귀 모형을 이용한 canonical model로 나타내었다.

$$Y1(\text{sensory evaluation}) = 5.570A + 4.014B + 9.324C$$

Trace plot으로 나타낸 결과(Fig. 3) 울무가 증가함에 따라 기울기가 증가하는 경향을 나타내어(high score) 울무국수의 관능성에는 좋지 않은 영향을 미침을 확인할 수 있었다. 밀가루가 증가함에 따라 관능검사 점수가 감소하는(low score) 경향을 나타내어 울무국수의 관능검사에는 좋은 영향을 미침을 확인할 수 있었다. 수분이 증가함에 따라 관능검사 결과가 급격한 변화를 나타내어 수분 함량을 울무국수의 관능적용성에 가장 큰 영향을 미침을 나타내었다.

최적화 되어진 모형(linear 또는 non-linear)들을 바탕으로 최적화이론이 실행되어진 사례들을 Table 5에 나타내었다. 각 반응치들의 반응범위를 제약 조건으로 설정하여 이 제약조건을 만족시키며 목적함수(가격)를 최소화시키는 경우를 최적화의 결과로서 채택하는 조건을 설정하였다(Table 5). Case 1은 목적함수로서 cost를 minimum으로 다른 제약조건은 반응치의 반응범위를 적용시킨 결과로서 최적의 배합비는 울무, 밀가루와 물이 각각 2.27%, 66.28%, 28.45%를 나타내었으며 그 때 울무국수에서 예상되는 반응결과로

Table 5. Optimization with sensory evaluation test for Yulmu mixture

case 1.			
response	Goal	Function	weight
cost.	min.	Objective	1
T.S	N/A	Constraints	
Sensory test	N/A	Constraints	
result			
mixture ratio (%)	desirability	prediction	
Yulmu : 2.27	D: 1.000	cost	: 9.924
Wheat : 66.28		T.S	: 2.342
water : 28.45		sensory	: 4.360
case 2.			
response	Goal	Function	weight
cost.	min.	Objective	1
T.S	max	Objective	1
Sensory test	N/A	Constraints	
result			
mixture ratio	desirability	prediction	
Yulmu : 2.84	D: 0.967	cost	: 10.59
Wheat : 66.28		T.S	: 2.650
water : 27.88		sensory	: 4.081
case 3.			
response	Goal	Function	weight
cost.	min.	Objective	1
T.S	max	Objective	1
Sensory evaluation	max	Objective	1
result			
mixture ratio	desirability	prediction	
Yulmu : 2.84	D: 0.935	cost	: 10.59
Wheat : 66.28		T.S	: 2.650
water : 27.88		sensory	: 4.081

는 비용이 9.924이며 인장력은 2.342 N, 관능검사점수는 4.360을 나타내었다. Case 2은 목적함수로서 cost는 minimum으로, 인장력을 maximum, 관능검사를 제약조건으로 부과하였을 때 최적의 배합비는 울무, 밀가루와 물이 각각 2.84%, 66.28%, 27.88%를 나타내었으며 그 때의 울무국수에서 예상되는 반응결과로는 cost가 10.59, 인장력이 2.650 N, 관능검사 점수가 4.081로 채택되었다. Case 3은 목적함수로서 cost는 최소로, 인장응력을 최대, 관능검사를 최대로 놓았을 때 최적의 배합비는 울무, 밀가루와 물이 각각 2.84%, 66.28%, 27.88%를 나타내었으며 그 때의 울무국수에서 예상되는 반응결과로는 cost가 10.59, 인장응력이 2.650 N,

	최저(%)	최고(%)	가격(%)			
A	율무	2.27	19.10	120		
B	밀가루	50.00	66.28	10		
C	물	27.88	28.82	2		

식적식의 반응계수를 입력하시오

	A	B	C	AB	BC	AC
Tensile strength	2.6905	2.8627	-6.686			
L*	75.727	82.389	82.402			
a*	-1.439	-2.936	-0.691			
b*	19.305	19.032	158.981	1.743	-137.832	-170.420

	Real value	Pseudo value	예측 결과
율무	2.27	0	Tensile strength 2,340.9
밀가루	66.28	0.9861721	L* 82,389
물	28.45	0.0338279	a* -2.86
총 합 계	97.00	1	b* 19,193
전체 수분 함량	37.9562	37.9562	배합가격 9.9241

Fig. 4. Prediction of the responses for optimum composition & least cost of noodles mixed with yulmu.

내어 각 성분간에 상호작용이 존재하지 않아 독립적으로 작용함을 보여 주었다. 반응에 영향을 미치는 성분과 그 반응을 trace plot을 이용하여 살펴본 결과 율무의 양이 증가함에 따라 국수의 인장응력을 어느 정도 증가 시켰으나, L*값을 감소시키며 관능적 품질을 떨어뜨리는 경향을 나타내었다. 모든 인장응력, L*값과 관능검사의 값들을 국수의 조건에 만족시키는 범위에서 least cost linear programming에 적용시 최소 가격에 따른 율무:밀가루:물의 비율이 각각 2.27%:66.28%:28.45%의 최적의 배합비 얻었으며, 그 때의 최소 가격은 9.924이고 예상되는 반응결과는 인장응력이 2.234 N, L*값은 82.39로 예측되었고, Excel을 이용하여 함량에 따른 예상되는 반응결과를 screen화 하였다.

관능검사 점수가 4.081로 채택되었다.

문 헌

Least cost linear programming을 이용한 최적배합비/최소가격screen화

Excel 97 (Microsoft, 1997)을 이용하여 linear & non-linear model을 적용시켜 반응결과를 예측하였다. 비선형 모형에 근거하여 작성한 실험점의 결과를 가지고서 linear 및 non-linear model들을 modified least square linear regression에 의해 통계적으로 분석한 model을 가지고서 제한 범위내의 component 양을 입력하면 예상되는 response의 값을 확인할 수 있으며 그 때의 비용을 확인할 수 있다. 우선 성분명을 입력하고 실험결과에서 나온 data의 범위를 설정해 주고 component의 가격(%)을 정해준다. 분석한 linear 및 non-linear model의 계수를 입력한다.

배합비를 제한 범위내에서 임의로 스크롤 키를 이동시키거나 수치를 입력하였을 때 전체 제한 범위의 값인 전체 수분 함량을 구할 수 있으며 예측결과인 인장응력과 L*가 수치로 나타난다. 또한 그 때의 배합가격을 구할 수 있었다(Fig. 4).

요 약

혼합실험계획법에 의해 율무-밀가루-물을 사용하여 국수를 제조하였다. 제조한 국수에 대해서 인장응력(tensile stress)과 색도(L*)를 측정하였고 또 다른 제약 조건으로 관능검사를 실시하여 통계학적인 모형으로 나타내었다. 선형 및 비선형 모델로서 분석한 결과 인장응력과 L* (lightness)값, 관능검사는 선형성을 나타

- Saguy, I., Mishkin, M.A. and Karel, M.: Optimization methods & available software, Part 1. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **20**, Issue 4, 275-299 (1984)
- Yoon, W.B., Kim B.Y. and Shin D.H.: Study upon the optimization and interaction effects for the food mixture product, *J. Food Engineering Process*, in korea, **1**, 47-53 (1997b)
- Yoon, W.B., Kim, B.Y. and Hahm, Y.T.: Study upon the rheological properties and optimization of tofu products, in korea, *J. Agricultural Chemistry and Biotechnology*, **40**, 225-231 (1997a)
- Cornell, J.A.: Experiments with mixtures. A review. *Technometrics*, **15**, 437-455 (1973)
- Derringer, G.C. and Suich, R.: Simultaneous optimization of several response variables. *J. Qual. Technol.*, **12**, 214-219 (1980)
- Snee, R.D. Experimental designs for mixture systems with multicomponent constraints. *Comm. Statist. Theory Methods*, **8**, 337-3358 (1979)
- Scheffe, H.: Experiment with mixture. *J. Royal Statistical Soc., Series B*, **20**, 344-360 (1958)
- Cornell, J.A.: Experiments with mixtures: Design, Models & the Analysis of Mixture Data (2nd ed.), John Wiley & Sons, New York, (1990)
- Arteaga, G.E. and Nakai, S.: Predicting protein functionality with artificial. neural networks: foaming & emulsifying. *J. Food. Sci*, **58**, 1152-1156 (1993)
- Yoon, Y.B., Kim, B.Y. and Park, J.W.: Linear programming in blending various components of surimi seafood. *J. Food Sci.*, **62**, 561-568 (1997a)
- Yoon, Y.B., Kim, B.Y. and Park, J.W.: Surimi-starch interactions based on mixture design & regression models. *J. Food Sci*, **62**, 555-560 (1997b)