

## 식품의 혼합 제품에서의 상호 interaction 효과와 최적화에 관한 연구

윤원병 · 김병용\* · 신동훈\*\*

위스콘신 대학, \*경희대학교, \*\*고려대학교 생명공학부

### Study Upon the Optimization and Interaction Effects for the Food Mixture Product

Won-Byung Yoon, Byung-Yong Kim and Dong-Hoon Shin\*\*

University of Wisconsin, \*Kyung-Hee University, \*\*Korea University

#### Abstract

Dynamic rheological properties such as storage modulus ( $G'$ ) and loss modulus ( $G''$ ) of wheat-job's tears (yulmu)-water mixture were measured by Bohlin mechanical tester using modified distance based design, and analyzed by linear and non-linear backward regression model. As the job's tears content increased in the mixture,  $G'$  and  $G''$  values were decreased, while moisture content played a most important role in the mixture. Compared to linear model, non-linear model showed a lower probability value ( $p < 0.001$ ) and generated a higher interaction term between wheat and job's tears. The response trace plot, showing the effects of changing job's tears content from the reference blends upon the  $G'$ ,  $G''$ , viscous constant ( $\eta$ ) and elastic constant ( $E$ ), showed that viscoelastic properties was negatively affected by job's tears content and the addition of water into mixture caused dramatic changes. Viscoelastic properties, protein content and lipid content were considered for the target region in a least cost linear program suggested the optimum ratio and minimum cost for the mixture.

Key words: job's tears, mixture design, dynamic rheological properties, trace plot, non-linear regression model.

#### 서 론

울무는 화분과에 속하는 일년생 재배식물로서 그 열매는 울무차, 복합 울무차, 제약 및 한약재 등의 의약용으로 사용되고 있다. 울무에는 단백질과 지질함량이 다른 곡류에 비해 월등히 높고 무기성분으로서 칼륨, 인, 마그네슘 등의 함량이 많으며 isoleucine, leucine, alanine과 같은 아미노산이 풍부한 편이다. 국내에서는 주로 비상대치 식품으로 혹은 사료로서 대부분의 연구가 진행되어 왔으나 최근에는 주식대체식품으로서 영양가가 높은 울무의 지질, 특히 중성지질, 지방산 조성, triglyceride 조성, 극성지질의 조성 등의 함유량을 분석하여 영양학적인 의의를 찾았고 지방식품으로서의 적부를 알기위한 연구가 실시되고 있다. 또한 단백질이 높은 이유로 인한 단백질 대체 식품으

로서의 개발도 이루어지고 있다. 울무자체의 팽윤도 본원적인 점도, 노화와 같은 이화학적인 특성이 연구되고 있으며 건조한 울무미숫가루의 보존기간과 관련한 포장재질의 적절한 선별도 제시되었다. 그러나 근본적으로 울무가루를 다른 분말과 섞어 제품화하거나 혹은 반죽을 만들어 제품화를 하였을 경우 기능성에 대한 상호간의 긍정적인 혹은 부정적인 효과에 대한 연구는 전무한 편이며 적절한 실험디자인과 통계처리에 의한 상호효과를 제시하는 것이 바람직하다고 하겠다. 복합물질에서의 공정 및 성분비의 최적화 방법은 최근 식품공학분야에서 활발하게 일어나는 편이며, 증류, 건조 및 살균과 같은 단위공정에서 사용되고 있다. 그러나 대부분 성분변화(compositional variable), 측정기준(quality parameter) 및 constraints에 의해 linear 공식으로 나타내고 있고 이러한 linearity에 접근하는 방법으로는 서로간의 결합력으로 인해 multi-ingredient mixture를 위한 해결책은 제시되지 못하고 있다.

Corresponding author: Byung-Yong Kim, Department of Food Science and Technology, Yongin-kun, Kyunggi-do 449-701, Korea

최적성분비 혹은 결합효과를 찾아내기 위해 일반적으로 response surface methodology(RSM)가 사용되나 최적효과를 나타내는 영역의 superimposing으로 인해 그래프로 나타내는데 어려움이 있다. 즉 contour map의 경우 성분(component)의 수가 3개 보다 클 경우 반응(response)에 대한 모든 성분들의 효과를 나타낼 수가 없다. Derringer와 Suich(1980)는 constraint내에서 가장 좋은 반응을 나타내기 위해서 desirability function이라는 새로운 개념을 도입하였으며 그 방법을 이용하여 non-linear적으로 해석하였다. 또한 Cornell(1990)은 혼합물질에서 3개 이상의 성분들의 효과를 설명하기 위해 trace plot을 제시하였다. 특정성분의 양을 증가시켰을 때, 다른 성분들의 양은 trace plot에서는 감소하나 그것들의 비율은 일정하게 유지된다. 따라서 반응에 가장 영향을 미치는 성분과 그 반응의 경향등이 trace plot에서 결정되어 질 수 있다.

실험상에서 많은 요소(factor)가 존재한다고 할 때, 반응에 영향을 미치는 key factor를 찾는 데는 factorial design이 사용되어지나, 혼합물질내에 성분들의 비율이 서로 독립적이지 않고 각 요소들이 성분에 비례하기 때문에 식품의 최적 formulation을 이루는 데에는 mixture experiment가 사용되어야 한다. 모든 variable들이 완전한 simplex area를 나타낼 경우 simplex-lattice design이나, simplex-centroid design이 사용되어지나 본 연구에서는 혼합물질을 이루고 있는 성분들의 비가 최소 또는 최대점이 존재하므로 extreme vertice design을 이용하여 울무-밀가루-물의 interaction을 조사하였다.

따라서 본 연구의 목적은 적절한 실험 mixture design을 이용하여 울무-밀가루의 동적특성을 밝혀내고, rheological 및 regression modeling을 적용하여 밀가루-울무-물 반죽의 동적물성특성에 대한 울무의 효과 및 interaction 효과를 조사 하며 최소가격선형 프로그램(least cost linear programming)을 이용하여 최적 반죽비와 그에 따른 최소한의 가격을 제시하는 것이다.

**재료 및 방법**

**재료**

연천에서 나오는 울무(21.3 g 단백질, 3.7 g 지방/100 g 울무, 10% 수분함량)를 이용하여 bleached 밀가루(All purpose, Phillsbury Co.)와 섞고 mixture 반죽을 만들었다.

Mixture 반죽의 complex viscosity, elastic and viscus component 값들은 Bohlin dynamic tester(Bohlin instrument Co., Minneapolis)를 이용하여 측정하였다. 모든 밀가루-울무의 13개의 혼합 실험디자인에 따라 수분과 일정하게 섞은 후(Table 1), cone(angle=4°, diameter=40 mm)-plate (diameter=60 mm)에 일정 양을 넣고 stress sweep과 frequency sweep을 하여 선형성을 측정하였으며 그 범위내에서 복합반죽의 점탄성의 성질(storage modulus, loss modulus, complex viscosity)들을 측정하였다.

**Simple rheological dynamic model**

실험 design에 따라 측정되어진 동적 특성을 가장 간단한 2 element 요소인 Kelvin model에 적용하여 그 model을 이루고 있는 탄성요소(E)와 점성요소(η)를 계산하고 regression model에 적용하여 그 유효성 및 반죽내의 각 성분들의 영향성을 조사하였다.

Parallel(Kelvin) model에서의 spring과 dashpot는 다음의 식 (1)과 같이 나타내어진다(Mohsenin, 1986).

$$\sigma(\omega) = E\epsilon(\omega) + \eta \frac{d\epsilon(\omega)}{dt} \tag{1}$$

Sinusoidal 측정에 따라 각 stress 및 strain 값은 최종 complex term으로 나타내어진다(식 2).

$$\begin{aligned} \sigma_m e^{i\alpha\omega} &= E(\epsilon_m e^{i(\alpha\omega - \delta)}) + \eta (\epsilon_m i \omega e^{i(\alpha\omega - \delta)}) \\ G^* &= \frac{\sigma_m e^{i\alpha\omega}}{\epsilon_m} = E + i \omega \eta = G' + iG'' \end{aligned} \tag{2}$$

**Table 1. Experimental points of mixture of yulmu, wheat, and water**

obser.	Yulmu	Wheat	Water
1	0.10	0.40	0.50
2	0.10	0.40	0.50
3	0.00	0.50	0.50
4	0.00	0.50	0.50
5	0.105	0.40	0.495
6	0.105	0.40	0.495
7	0.05	0.45	0.50
8	0.102	0.40	0.498
9	0.052	0.45	0.498
10	0.052	0.45	0.498
11	0.084	0.417	0.499
12	0.034	0.467	0.499
13	0.068	0.43	0.499

\*Low and high limitation of each component

	Yulmu	Wheat	Water
Low limit	0	0.4	0.4953
High limit	0.11	0.5	0.5

\*Constraint of moisture contents of mixture  
0.55 < (0.14 yulmu + 0.1 wheat + 1 water) < 0.555

여기서,  $\sigma$ =stress,  $\epsilon$ =strain,  $E$ =elastic constant,  $\eta$ =viscous constant,  $\sigma_m$ =max. stress,  $\epsilon_m$ =max. strain,  $\delta$ =phase angle ( $\omega\Delta t$ ),  $G^*$ =complex modulus,  $i$ =imaginary number,  $\omega$ =rate of angular rotation

이에 따라 측정 및 계산되어진  $G'$ ,  $G''$  와  $E$ ,  $\eta$ 의 값들을 각각 regression model에 적용하여 model화에 따른 유효성을 검증하였다(Yoon *et al.*, 1996a, 1996b).

Experimental design and statistical modeling

실험 디자인, data 분석 및 최적화는 Design expert (Stat-Easy Co., Minneapolis)를 이용하였고 모든 실험 방법은 Fig. 1에 나타난 flow chart의 과정에 기준하였다. Constraint의 값으로서 울무-밀가루 혼합물의 dynamic 성질로 정하였다. Extreme vertice design을 위한 밀가루, 울무 및 물의 최소 및 최대비율은 각각 40~50%, 0~11%, 49.5~50%로 정하였고, 각 실험의 vertex에서 고정하기 위해 혼합반죽에서의 밀가루와 울무의 수분함량은 각각 10%와 14%로 정하였으며, 전체 수분범위는 55~55.5%로 정하였다. 총 constraint의 weight(모든 variable의 합)은 100%로 하였고 fixed variable은 0%로 하였다. 합당한 디자인 지역내에서 혼합물의 다른 비율을 할당하기위해 modified distance based design(Snee, 1979)를 사용하였고, 밀가루 반죽 내에서의 interaction 효과를 알아보기 위해, 또한 실험점(point)을 할당하기 위해 quadratic experimental design을 적용하였다.

Coefficient를 계산하기 쉽게하기 위해서 이용되어지는 각 실험 점에서의 pseudo 성분들은 다음의 식 (3)을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Pseudo components} = (\text{Real} - L_i)/(1-L) \quad (3)$$

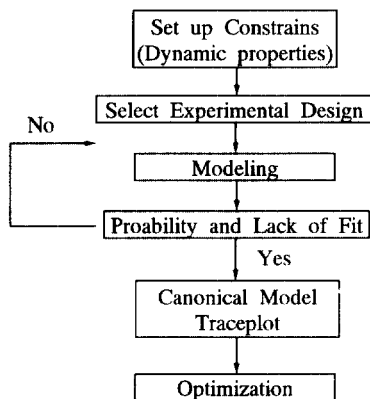


Fig. 1. Optimization outline for Yulmu-wheat-water mixture.

여기서  $L_i$ =lower constraint in real value,  $L$ =sum of lower constraints in real values.

Regression model을 나타내는 coefficient 값들은 Scheffe의 polynomial form(Cornell, 1990)에 근거를 두고 계산되어졌다.

Linear와 canonical 형태의 quadratic model은 modified least square regression에 의해 만들어졌으며 full quadratic model은 step-wise regression방법( $\alpha=0.1$ )으로 data 선택의 폭을 넓혔으며 그 model과 coefficient 값들은 F-test 및 regression coefficient( $R^2$ ) 또한 lack of fit으로 그 유의성을 검증하였다. 혼합물질에서의 각 성분들의 효과를 살펴보기위해 Piepel의 방향(Cornell, 1990)을 이용하여 trace plot을 그렸다.

Optimization using least cost linear programming

Least cost linear programming은 objective function (cost/kg)과 canonical 형태의 decision variables (dynamic properties) 및 target constraints(자체의 기준)으로 구성되어 있다. Objective function의 coefficient 값들은 임의의 밀가루 및 울무의 비율가격(1:2)으로 정하였고, decision variables로서는 울무와 밀가루를 혼합반죽하여 얻어진 동적 물성값( $G'$ ,  $G''$ ,  $E$  및  $\eta$ )으로 하였으며, target constraint로서는 측정된 동적물성의 data에서 0.1 Hz에서 구한 값들과 model 상수값을 기준으로 그 범위를 정하였으며, 단백질과 지방함량은 측정된 값을 기준으로 하여 일정한 범위내에서 정하였다.

결과 및 고찰

Rheological effects of the addition of yulmu on dough

확립된 modified distance-based 실험 디자인에 의해 설립된 울무-밀가루-물의 혼합비를 나타내는 actual value의 실험점과 pseudo value의 실험점은 Table 1과 2에 나타내었다. 총 13개의 실험점이 정하여 졌으며 4개의 replicates가 결정되었다. Pseudo value의 개념은 실험디자인의 완성과 모델의 fitting을 더욱 간단히 하기위해서 사용되었다(Cornell, 1990).

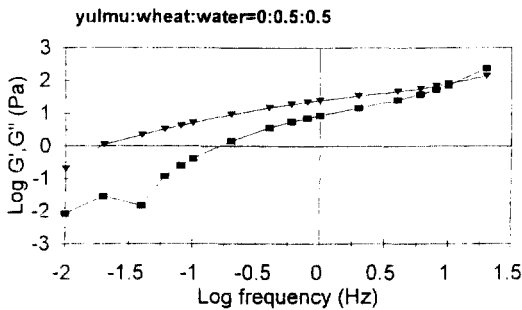
실험디자인에 따라 설정된 각 배합비에 따라 측정된 response의 결과는 Figs. 2와 3, 또한 Table 3에 나타내었으며 각 response는 동적물성값과 모델상수값으로서 나타내었다. Fig. 2는 울무:밀가루:물의 혼합비율이 0:0.5:0.5로 혼합시킨 시료의 frequency에 대

**Table 2. Pseudo experimental points of mixture of yulmu-wheat- water based on the equation 3**

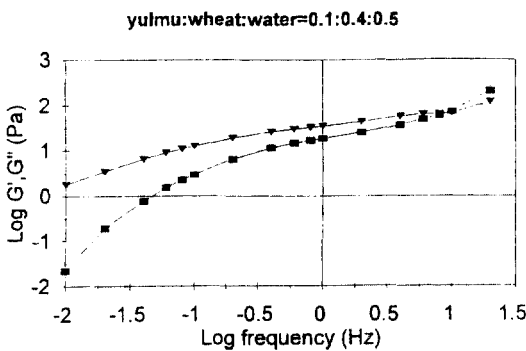
Observed	Yulmu	Wheat	Water
1	2.50	10.00	12.50
2	2.50	10.00	12.50
3	0.00	12.50	12.50
4	0.00	12.50	12.50
5	2.62	10.00	12.38
6	2.62	10.00	12.38
7	1.25	11.25	12.50
8	2.56	10.00	12.44
9	1.31	11.25	12.44
10	1.31	11.25	12.44
11	2.10	10.42	12.48
12	0.85	11.67	12.48
13	1.71	10.83	12.46

**Table 3. Dynamic properties of yulmu mixture**  
Elastic and viscosity constant values were calculated by Kelvin model,  $G' + G'' = E + i\omega\eta$

Observed	G'	G''	E	$\eta$
1	2.26	6.62	7.35	2.518
2	1.13	6.84	9.25	1.994
3	0.422	5.2	6.317	2.089
4	0.945	5.2	4.629	6.317
5	5.98	19.7	31.1	3.202
6	6.23	20.5	33.7	3.273
7	11	26.5	43.35	3.857
8	2.99	12.7	20.7	2.324
9	25.4	48.2	88.9	6.421
10	6.82	19.5	29.6	3.154
11	3.31	13.1	20.93	2.395
12	7.3	17.2	23.86	2.85
13	3.54	13.4	21.53	2.413



**Fig. 2. Dynamic properties of yulmu mixture as a function of frequency. Mixture ratio of yulmu:wheat:water is 0:0.5:0.5. ■—■: Log G', ▼—▼: Log G''**



**Fig. 3. Dynamic properties of yulmu mixture as a function of frequency. Mixture ratio of yulmu:wheat:water is 0.1:0.4:0.5**

한 변화량이고, Fig. 3은 울무:밀가루:물의 혼합비율이 0.1:0.4:0.5로 혼합시킨 시료의 변화량이다. 모든 storage modulus(G') 값과 loss modulus(G'') 값은 0.1 Hz의 frequency에서 선택하였으며 모든 13개의 실험 점에 대하여서도 같은 frequency 내에서 선택하였다.

동적물성의 측정결과, G' 값은 혼합비에 따라

**Table 4. Anova table for linear and non-linear model built by modified least square linear regression**

a) Sequential Model Sum of Square

Source	Sum of Square	DF	Mean Square	F value	Prob>F
Mean	3398.3	1	3398.3		
Linear	299.0	2	149.5	1.18	0.351
Quadratic	609.4	3	203.1	2.29	0.178
SpecCubic	8.2	1	8.2	0.08	0.791
FullCubic	110.8	2	55.4	0.40	0.700
Residual	412.2	3	137.4		
Total	4837.812				

b) Lack of Fit Tests

Model	Sum of Square	DF	Mean Square	F value	Prob>F
Linear	728.4	6	121.4	0.88	0.591
Quadratic	119.0	3	39.7	0.29	0.833
SpecCubic	110.8	2	55.4	0.40	0.700
FullCubic	0	0			
Pure ERR	412.2	3	137.4		

0.422-6.82 kPa의 범위를 보였으며 G'' 값은 5.2-48.2의 범위를 보여주었다(Table 3). Kelvin model에 적용하여 구한 elastic component(E) 값과 viscous component( $\eta$ ) 값들은 각각 4.629-88.9와 1.994-6.421의 값의 범위를 보여주었다. 이와같이 다양한 범위의 값을 linear 및 non-linear model들을 modified square regression에 의해 통계적으로 분석하였는데(Table 4), linear model의 probability 값은 0.351로서 model화 하기에 적합하지 않은 높은 값으로 나타났고 울무와 밀가루사이에는 interaction term이 존재하는 것으로 나타났다. Non-linear model 중에서는 quadratic model의 probability가 0.178로 가장 낮게 나타나 가장 적합한 model로서 결정되었으며 그의 speccubic이나 fullcubic model은 그 값들이 0.791과 0.7로서 부적절한 것으로 나타났다.

또한, model의 적합성을 나타내는 lack of fit의 값이 quadratic model의 값이 다른 model보다 가장 높아 (0.833), 울무와 밀가루 반죽사이에는 interaction term이 존재하는 non-linear model이 가장 적합한 것으로 나타났다. 따라서 non-linear model을 각 물성성분의 값에 적용하여 계산한 anova test의 결과는 Table 5에 나타내었다. Non-linear model은 G', G'', E, η값에 대해 0.125, 0.061, 0.097, 0.185의 각각 낮은 p-value를 보여주었으며 lack of fit 값은 각각 0.892, 0.902, 0.893, 0.855를 나타내었다. 이와같이 낮은 p-value의 값과 높은 lack of fit의 결과에 따라, non-linear model의 적합성을 보였으며, 혼합물에서의 각 성분들의 interaction 효과와 최적화 연구를 적용하기 위해 non-linear quadratic model이 경험적으로 사용하게 되었다.

울무와 밀가루와 물 혼합물에서의 각 성분(component)들의 효과는 non-linear canonical regression

**Table 5. The results of Anova test of models for dynamic properties of mixture of yulmu, wheat and water**

P-vale	G'	G''	E	η
Model	0.125	0.061	0.097	0.185
Lack of fit	0.892	0.902	0.893	0.855

\*Model was developed by stepwise regression.

**Table 6. Regression models for dynamic properties of mixture of yulmu (A), wheat (B), and water (C)**

$$G' = -2.73*A + -8.43*B + 211.49*C + 40.5*AB$$

$$G'' = 1.11*A + -15.17*B + 466.99*C + 66.60*AB$$

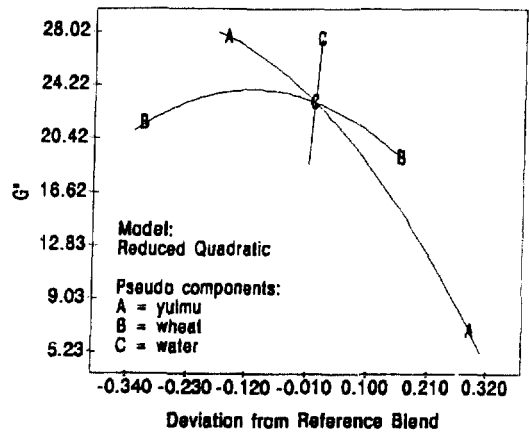
$$E = -0.06*A + -29.26*B + 784.22*C + 131.18*AB$$

$$\eta = 1.347*A + 0.479*B + 46.033*C + 5.848*AB$$

model로서 표현되어졌다(Table 6). 이 coefficient들은 각 성분들의 activity를 나타내는 것으로(Arteaga *et al.*, 1993, Yoon *et al.*, 1996a, 1996b), 수분함량이 동적특성에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 드러났다. 또한 G'과 G''과 같은 동적 물성특성에 울무와 밀가루의 상호작용(interaction)이 positive한 영향을 미치는 것으로 나타났는데 모든 interaction term은 t<0.01의 범위에서 선택하였다.

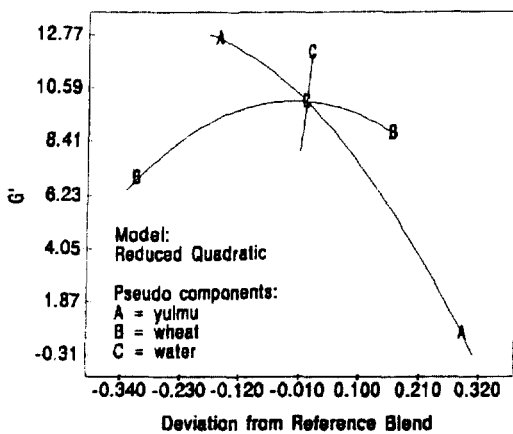
Non-linear model을 근거로 하여 혼합물에서의 각 성분들의 경향을 시각적으로 보기위해 trace plot이 G' (Fig. 4), G''(Fig. 5), E(Fig. 6), η(Fig. 7)에 대하여 그려졌다. Reference blend를 나타내는 plot의 center는, 혼

**G'' (Piepel)**



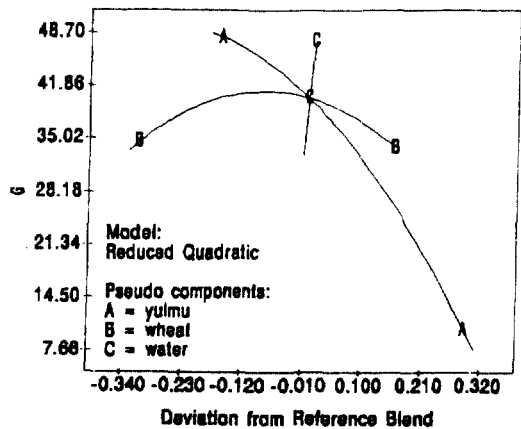
**Fig. 5. Trace plot describing the effects of yulmu-wheat-water mixture on loss modulus (G'').**

**G' (Piepel)**



**Fig. 4. Trace plot describing the effects of yulmu-wheat-water mixture on storage modulus (G').**

**G (Piepel)**



**Fig. 6. Trace plot describing the effects of yulmu-wheat-water mixture on elastic component in Kelvin model.**

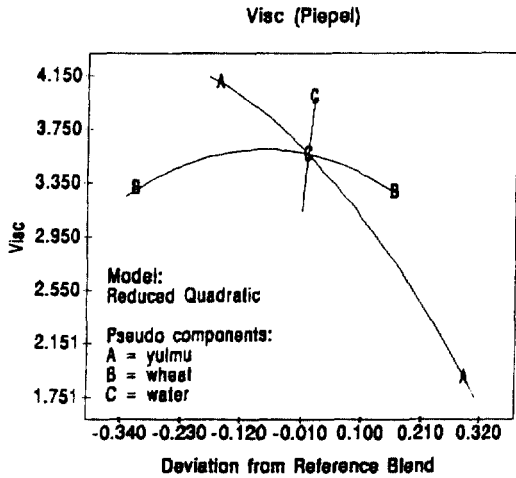


Fig. 7. Trace plot describing the effects of yulmu-wheat-water mixture on viscous component in Kelvin model.

합물 vertice의 centroid에서 정해졌다. 모든 동적물성 값들은 서로 비슷한 경향을 나타내었는데, 울무의 첨가량 (A-A선)이 증가할수록 모든 동적물성 값들을 감소시키는 경향을 보였으며, 밀가루의 경우는 (B-B선) reference blend까지는 어느정도 증가시키거나 일정한 값의 영향력을 보여주었다. 물의 첨가는 (C-C선) 모든 동적물성 값들을 순간적으로 감소시키는 매우 민감한 영향력을 보여주었다. 즉, 혼합울무제품을 제조시 울무의 양을 첨가시킬수록 영양학적인 면은 증가시키나, 물성면에서는 물의 첨가가 점탄성과 같은 물성값을 급작스럽게 떨어뜨리는 negative한 영향을 미치므로 물을 첨가하여 만드는 제품의 경우는 특히 주의하여야 하겠다. 따라서 울무제품의 제조시에 필요한 일정한 물성기준에 맞는 혼합비를 밝혀내고자 하였고, 그에 따른 최저가격을 산출하기 위한 least cost non-linear programming을 적용을 하였다.

Least cost formulation of yulmu using Derringer-Suich's method

낮은 probability 값으로 인해서 non-linear quadratic model을 사용하였고 canonical model이나 trace plot을 도식하여 본 결과, 물이나 울무의 첨가는 울무혼합물의 물성면에는 negative한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서, non-linear programming을 사용하여 최적혼합비를 구하기위해 모든 동적물성값들의 response들은 acceptable한 range로서 정하였다(Table 7). 즉, G' 값은 0.5에서 20 Pa, G'' 값은 25에서 40 Pa, 단백질 함량은 15~20%, 지방함량은 0~3.5%, 칼로리

Table 7. Constraints for least cost formulation of yulmu mixtures

Functionality	Low	High
G'	0.5	20.0
G''	25.0	40.0
E	30.0	70.0
$\eta$	2.0	4.0
Protein	15.0	20.0
Fat	0.0	3.5
Calory	2000	2500

\*The content of protein, fat and calory/100 g of each component.

Table 8. The least cost formulation of yulmu mixtures from Derringer and Suich's method

a) The least cost formulation

Component	Ratio (%)
Yulmu	7.25
Wheat	42.77
Water	49.98

b) Predicted response and cost

	Predicted response
G'	11.86
G''	27.89
E	48.06
$\eta$	4.00
Protein	15.00
Fat	2.57
Calory	2619.0
Cost (min.)	1.307

\*The price of each component was determined as; yulmu: 1, wheat: 0.5 and water: 0

는 2000에서 2500 cal/(100 g 울무)의 범위에서 least cost formulation을 위한 constraint범위로서 정하였고 총 가격 response는 minimum으로 정하였다.

울무:밀가루:물의 가격을 임의로 1:0.5:0으로 정하였을 때 non-linear programming의 minimum objective value는 1.307의 가격으로 나왔고 그때의 최적배합비는 7.25% 울무, 42.77% 밀가루, 49.98%의 물의 함량비로서 계산되어졌다(Table 8). 이러한 혼합비를 이용하여 만든 혼합제품의 물성값도 예측되었는데 G' 값은 11.86, G'' 값은 27.89, 단백질함량은 15%, 지방함량은 2.57%, calory는 2619로 나타났다. 이와같은 최적혼합비와 최저가격에 대한 예측값과 산출은 모든 response들 자체가 성별, 연령, 혹은 생산자나 소비자 모두가 다른 비율의 강조성을 띠기 때문에 각 물성들의 weight이나 desirability를 모두 일정하게 놓은 계산법이다. 따라서 추후 서로다른 weight을 response에 두어 최저가격을 산출하는 테마가 더욱 연구되어야 하겠다.

## 결 론

혼합실험계획법에 의해 설정된 율무-밀가루-수분 혼합물들의 동적 물성변화를 측정하고 선형 및 비선형 수학적 모델에 의해 분석하였다. 선형 모델에 비해, 비선형모델은 더 낮은 probability를 보여주어 그 유효성을 검증하였으며 율무와 밀가루의 상호 interaction을 나타내었다. Trace plot을 통하여 본 결과, 율무의 첨가가 밀가루의 동적물성값들을 감소시키는 경향을 나타내었다.

최적 혼합비와 최저가격에 대한 예측값의 산출을 위해 최소가격 비선형 프로그래밍을 이용하였고, 모든 동적 물성 값들을 수용하는 범위에서의 최적혼합비를 제시하였다.

## 감사의 글

본 연구는 L.G. 연암재단의 연구비 후원에 의하여

수행된 결과로 이에 감사를 표합니다.

## 문 헌

- Arteaga, G.E., E. Linchan, S. Nakai, S. Comrades, and C.F. Jimenez, 1993. Ingredient interaction effects on protein functionality: mixture design approach. *J. Food Sci.*, **58**: 656
- Cornell, J.A. 1990. Experiments with Mixtures. 2nd Ed. John Wiley & Sons. New York.
- Derringer, G.C. and R. Suich, 1980. Simultaneous optimization of several response variables. *J. Qual. Technol.*, **12**: 214-219
- Mohsenin, N.N., 1986. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publish., NY
- Snee, R.D. 1979. Experimental designs for mixture systems with multicomponent constraints *Comm. Statist. Theory Methods*. 8, p337-3358
- Yoon, W.B., J.W. Park, and B.Y. Kim, 1996a. Linear programming in blending various components of surimi seafood. *J. Food Sci.*, (in press)
- Yoon, W.B., J.W. Park, and B.Y. Kim, 1996b. Surimi-starch interaction based mixture design and regression models. *J. Food Sci.*, (in press)