한국농화학회지 제 40권 제 3호(1997)
Agricultural Chemistry and Biotechnology
Vol. 40, No. 3, pp. 225~231(1997)

두부콩들의 물성학적 기능성 비교 및 최적화에 관한 연구

윤원병 · 김병용[1]* · 함영태[2]

위스콘신 대학 식품과학과, [1]경희대학교 식품가공학과, [2]중앙대학교 생물공학과

초록 : 임의로 선정되어진 국산두부콩과 수입두부콩들의 물성 및 색도에 대한 최적화이론을 적용하였다. 제조한 두부의 파손강도와 응력완화현상은 rheometer를 사용하여 측정하였으며, 색도는 colorimeter를 이용하였다. 각 두부콩들의 효과는 수식화된 non-linear canonical regression model로 표현하였으며 각 콩들의 기여도는 trace plot으로 나타내었다. 국산콩은 그 첨가량이 증가할수록 두부의 파손강도는 다른 수입콩보다 우월하게 나타나 두부조직의 강도에는 뛰어남을 보여주었으나 두부조직의 점탄성에 있어서는 약간 뒤떨어짐을 보여주었으며 색감에서는 크게 뒤지는 것으로 나타나서 선정된 물성반응에 대하여 선별적인 경쟁력을 가짐을 보여주었다. 그러나 국산콩의 흡습능력은 수율에 결과적으로 영향을 주며 이를 새로운 반응치로 최적화이론에 적용하였고 그 결과 가격경쟁과 반응에 대한 취약점을 보완하여 최적화된 결과에 기여함을 보여주었다. 이와같은 국산두부콩과 수입두부콩의 최적화된 배합비율은 수율과 가격이라는 두 양립되는 목적함수로써 발산함을 보여 주었으며 이를 수렴시키기 위하여서는 가중치도입과 국산콩의 흡습능력조절에 대한 가공공정의 새로운 연구가 필요하며 이에 대한 조절이 품질향상에 기여할 수 있음을 보여 주었다.(1997년 3월 24일 접수, 1997년 4월 23일 수리)

서 론

다가오는 시장개방을 앞두고 우리의 농촌을 지키기 위한 경쟁력 마련과 기술축적 및 시장성확보에 있어서 신제품 또는 대체품 개발 및 선정에 있어서 식품공정과 조성에 대한 최적화 (optimization)이론의 적용은 필수적인 역활을 한다. 현재 국내에서 뿐만 아니라 외국에서도 많은 신제품들이 소개되지만, 신제품이 성공할수 있는 가능성은 극도로 낮아 새로운 경영 기술 및 최적화의 도입이 문제해결의 일환으로 제시되고 있다.[1] 특히 식품개발에 있어서 조성 (composition) 성분이 차지하는 비중은 다른 고정된 요인 (설비, 인력)에 비교하여 상대적으로 크며 또한 효과적으로 조절되어 질 수 있다. 이와 같은 새로운 경영전략의 도입과 식품 조성성분의 조절로 인한 신제품 혹은 대체품개발에 있어서 적절한 실험계획법 및 수학적 모형의 도입과 최적화이론의 적용과 해석은 필요불가결한 선결조건이라 하겠다.

현재 국내에서 사용되고 있는 콩을 이용한 가공식품들은 대부분 수입콩으로서 앞으로도 싸고 다양한 외국의 콩을 이용한 건강식품이 국내시장을 단시간내에 잠식할 것으로 예상되고 있으며, 콩가공시 정확한 품질의 연구없이 국산콩을 산업계에 요구한다는 것은 경쟁력 상실을 가져온다. 즉, 국산 콩의 수입품 대체역활은 가격과 품질이 동시에 만족될때 가능하며, 이와같은 제약조건을 해결하기 위하여 두부공정에 사용되어지는 주 원료인 콩의 국산품 대체에 대한 최적화이론의 적용과 해석이 도입되었다.

두부의 조직감과 색도는 중요한 품질 요인들이라고 볼 수 있다. 그 조직감을 나타내는 척도로써 물성학적 모형과 그 계수들이 이용되어 지고 있으며,[2,3] 색도 (whiteness)는 시각적인 기호도의 척도로써 이용되고 있다. 이와같은 많은 품질 요인들을 기준치 이상으로 만족시키며 가격을 최소화하는 콩의 배합을 찾는 것을 최적화의 정의로 이 연구에서 사용하였다.

최적화 이론의 적용은 식품조성 성분이 한정된 계 (system) 내에서 각 성분의 역활을 나타낼 수 있는 수학적 모형에 근간하여 이루어진다.[4,5] 그러나 식품자체가 가지고 있는 복합성으로 인해 이론적인 수학적인 모델식 보다는 통계학적 모형 (statistical model)의 도입이 바람직하다.[6] 이와같은 통계학적인 모형은 적절한 실험계획법 (experimental design)내에서 진행되어진 실험의 결과에 의해 형성될 때 그 모형 (model)의 타당성과 적용성을 가질 수 있다. 결과적으로 명확한 문제규정에 이은 적절한 실험계획법의 선정이 최적화이론 적용에 있어서 가장 중요한 역활을 한다. 조성성분의 실험계획에 있어서 모든 성분비의 합은 항상 1 (또는 100%)을 만족 시켜야 하는데 이와같은 제약조건으로 인하여 혼합물 실험계획법 (mixture design)의 연구가 많이 이루어져 왔다.[7,8] 주어진 문제에 대하여 가능한한 모든 배합을 최소한의 실험 회수로 평가할수 있는 것이 혼합물 실험계획의 목적이라 할 수 있다. 최소자승법에 의거한 회귀모형은 현대 통계적 모형중의 가장 효과적인 추정법으로 알려져 있으며, 일차 또는 이차 회귀모형은 최적화 이론을 적용하기 위한 모형으로 많이 사용되고 있다. 수학적 최적화이론의 방법으로 선형계획법과 비선형 (non-linear) 계획법이 널리 사용되며 그 응용도는 주어진 목적과 (회귀) 모형에 의존한다. 일반적으로 생물학, 화학공학 및 농학 계열에서는, 반응표면계획법 (response surface methodology)을

찾는말 : Tofu, rheological property, optimization, trace plot
*연락저자

이용한 작도법에 의거한 최적화 방법을 많이 사용하고 있으나,[9,10] 이와같은 작도법에 근거한 최적화방법은 시간적 제약과 함께 복수의 제한조건 (multiple constraints)을 만족시키는 정확한 해답을 구하는데 어려운 점이 있다. 따라서, 연산방식 (algorithm)의 적용이 정확한 수치적인 해와 복수의 제약조건을 동시에 만족시키기 위하여 사용되고 있다.[6]

따라서 본 연구의 목적은 두부제조공정에 따라 제조한 두부의 물성학적 성질을 바탕으로 국산두부콩의 물성을 밝혀내며, 수입 두부콩의 대체품으로서의 타당성을 적절한 실험 design 및 수학적인 regression model을 적용하여 체계적인 최적화이론을 도입하여 해석하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

임의로 선정된 한 종류의 국산콩 (장엽, 수원86호)과 두 종류의 외국콩(수입 US No. 1., 수입 I.O.M)을 재료로 사용하여 장 등[3]이 제시한 두부제조공정에 따라 두부를 제조하여 시험하였다. 응고제는 두유액에 대하여 0.2% (w/w) $CaCl_2$ (Shinyo Pure Chemical Co., Japan)을 사용하였다.

두부의 제조

깨끗이 수세한 대두 (300 g)을 12시간 수침한 후, blender로 5분간 마쇄하였다. 충분히 마쇄한 콩을 여과포에 넣고 두유를 압출하였으며, 가수량은 원료대두의 10배로 하였다. 제조된 두유를 95℃에서 10분간 끓이고 끓인 두유액에 응고제를 80℃에서 첨가하였다. 응고제를 첨가한 후 20분간 방치하고 나서 성형틀 (12×12×20 cm)에 응고물을 옮기고 일정무게 (15 kgf)로 압착 성형한 후 물성을 측정하였다.

물성학적 특성 및 색도의 측정

여러 콩에 따라 제조한 두부의 파손강도를 구하기 위해 rheometer (Sun Co., CD-200D, Japan)을 사용하였다. 일정한 크기로 절단한 두부 (2×2×2 cm)를 10kg load cell에 부착시키고 200 mm/min의 압축속도를 이용하여 40%의 변형율로 압축하여 두부의 파손강도를 측정하였다. Record의 chart speed는 200 mm/min이며 모든 측정은 실온에서 행하였다.

같은 두부제조 공정에 따라 만든 두부의 응력완화 (stress relaxation)도 rheometer (Sun Co., CD-200D, Japan)를 사용하였다. 즉, 일정한 크기로 절단한 두부 (2×2×2 cm)를 10 kg load cell에 부착시키고 200 mm/min의 압축속도를 이용하여 20%의 변형율로 압축하여 두부의 초기응력 (instantaneous stress), 평형응력 (equilbrium stress) 및 응력완화시간 (relaxation time)을 측정하였다. 응력완화시간은 초기응력과 평형응력의 차이 값이 1/e에 도달할때 걸리는 시간으로 구하였다.

실험 디자인 및 통계학적 modeling

혼합물 실험디자인, data 분석 및 최적화는 design expert (Stat-Easy Co., Minneapolis)를 이용하였고 제약조건 (constraint)의 값으로서는 각 두부의 응력완화값, 파손강도 값 및 색도 등으로 정하였다. 본 연구에서는 각 콩의 배합비율이외는 다른 제약조건은 무시한 중심합성 계획법 (central-composite)을 이용하였으며, 각 실험점은 혼합물 실험계획법에 따라 정하였다.[7] 회귀분석 모형사용에 있어서 제약조건으로 사용되는 각 성분의 합은 1 (또는 100%)이라는 조건을 고려하여 canonical model이 만들어 졌으며 그 결과로 intercept항의 삭제와 사용되는 모든 콩의 역활의 수식화를 이루었다.[5] Linear와 canonical 형태의 quadratic model은 modified least sequare regression에 의해 만들어졌으며 full quadratic model은 step wise regression 방법 (α=0.1)으로 data 선택의 폭을 넓혔으며 그 model과 coefficient 값들은 F-test 및 lack of fit으로 그 유의성을 검증하였다.

그 모형에 따른 각 성분의 반응에 대한 기여도를 보기 위하여 piepel의 방향[7]을 이용하여 trace plot을 그렸다. Trace plot은 각 성분을 고정된 비율로 변화 시키며 한 성분에 대한 반응의 기여도를 가식화하여 자체 성분내에서 각 성분의 기여도를 쉽게 제공한다.

최적화

Canonical 모형을 근간으로 하여 최적화방법을 선정하였다. 선형계획법의 사용은 상호 (interaction) 작용이 없는 선형적 관계가 변수내에 존재할때만 사용되나, 단순한 알고리듬과 많은 부가적 해석방법의 제공으로 널리 사용되고 있으며 때로는 상호작용을 무시하며 선형화된 가정하에 적용되기도 한다.[4] 비선형 계획법은 알고리듬상 그 사용의 제한이 많아 작도법에 의한 국부적인 해석법이 많이 사용되어지나, 제한된 실험범위내에서의 자료를 바탕으로 만들어진 모형에 대한 수치적 해석방법도 많이 권장되고 있다.[6] Derringer와 Suich method (DSM)는 비선형적 모형에 대하여 복수의 제한 조건을 만족시키는 최적화 방법으로 많이 사용되어지고 있다.[5] 본 연구에 있어서 선형계획법과 함께 DSM을 비선형 계획법으로 사용하였다.

결과 및 고찰

실험점과 반응 (response)

본 연구의 전제조건으로써 성분의 배합비외에 또 다른 제약조건이 없으므로 (오직 각 성분의 분율만이 반응치에 영향을 준다는 가정하에) 중심합성계획법에 의거하여 각 비선형 모형에 따른 14개의 실험점들을 정하였으며 4개의 반복회수 (replicate)를 결정하였다 (Table 1). 비선형모형으로 계산되어진 실험점들은 선형모형의 실험점들을 포함하므로 실험결과의 해석시 선형성과 비선형성을 동시에 고찰할 수 있다. 전체 분율의 75%는 콩이 차지하는 분율이며 나머지 25%는 고정된 상수로서 실험에 영향을 미치지 않는다는 가정하에 서로 다른 3 가지 종류의 콩들의 비로 각 실험점들을 구성하였다. 각 콩의 분율의 최소치 0%에서 최대치 75%

Table 1. Experimental points and responses based on linear and non-linear model

Obs.	Run order	Native soybean	Imported soybean(1)	Imported soybean(2)	E_o	E_e	τ_{rel}	σ	ΔE
1	3	0.75	0	0	15.4	161.72	10.5	7.81	20.43
2	8	0.75	0	0	14.45	173.25	12.0	7.53	20.08
3	1	0	0.75	0	17.36	199.56	11.5	7.05	21.14
4	14	0	0.75	0	23.1	288.8	12.5	8.09	20.96
5	5	0	0	0.75	15.4	139.78	10.0	6.48	19.29
6	7	0	0	0.75	12.92	135.7	10.5	5.84	19.85
7	9	0.375	0.375	0.0	22.47	235.95	10.5	9.58	21.28
8	12	0.375	0	0.375	15.14	151.36	10	6.71	20.79
9	2	0	0.375	0.375	11.18	123.01	11	7.67	21.06
10	5	0.25	0.25	0.25	11.29	112.91	10.0	5.74	21.35
11	7	0.5	0.125	0.125	14.98	157.3	10.5	6.46	21.04
12	13	0.125	0.5	0.125	14.77	147.66	10.0	7.64	21.64
13	7	0.125	0.125	0.5	11.97	119.73	10.0	6.19	21.07
14	6	0.125	0.125	0.5	15.77	173.49	11.0	6.78	21.19

Obs, observation order; E_o, instantaneous modulus; E_e, equilibrium modulus; τ_{rel}, relaxation time; σ, failure stress; ΔE, color difference.

까지의 제한 조건을 만족하는 가운데 simplex의 꼭지점과 변 그리고 영역내부의 중심점에 균일하게 분포하였으며 각 성분의 특징을 고르게 반응치 (측정치)에 고려 되어지게 설계하였다. 실험은 구획에 따른 오차를 없애기 위해 난수발생기에서 발생되어진 순서에 따라 무작위로 실행하였다.

실험디자인에 따라 설정된 각 두부콩의 배합비에 따라 측정한 response의 값들도 Table 1에 나타내었는데 각 response는 instantaneous modulus (E_o), equilibrium modulus (E_e), relaxation time (τ_{rel}), failure stress (σ)와 색도차 (ΔE)들로서 나타내었다. 각 Table의 run order는 무작위로 시행된 실험점들의 순서를 의미한다. 정해진 실험점에 따라 물성의 response 값들을 측정한 결과, 혼합비에 따라 instantaneous modulus는 11.18-23.1kPa, equilbrium modulus는 135.7~288.8 Pa, relaxation time은 10~12.5 sec, failure stress는 5.74~9.58 kPa의 범위를 나타냈으며 색도차 (ΔE)도 19.29~21.64의 범위를 보여주었다.

Analysis of response and trace plot

위와같이 비선형모형에 근거하여 작성한 실험점의 결과를 이용하여 선형 및 비선형 regression에 의해 통계적으로 분석하였고 각 모형의 probability value 및 lack of fit값을 기준으로 설정하였다 (Table 2). 선형모델의 경우 response에 따라 0.041~0.197의 probability값을 보여주었고 quadratic model의 경우 0.012~0.396의 probability값을 보여주었다. Step-wised (각 항의 유의차 <0.05) 기능으로 선별되어진 2차 회귀모형이 response에 따라 0.001~0.191 범위의 가장 낮은 probability value를 보여주어 가장 타당성 있는 모형으로 판명되어졌다. 이는 각 성분의 상호작용이 뚜렷이 있음을 나타내어 준다. 그러나 전반적으로 probability 값 <0.01의 적절한 유의성을 선형과 비선형 모형들이 모두 보여 주었다. 즉, 색도차이를 제외한 모든 반응치들은 거의가 probability 값 <0.01을 만족시켜 선형모형의 사용에 대한 타당성을 입증하였다. 또한 모델들의 적합성을 나타내는 lack of fit의 값도 stepwised non-linear model의

Table 2. Probability values of each response from models and lack of fit.

	Probability (model)	Probability (lack of fit)
σ		
Linear	0.057	0.380
Quadratic	0.156	0.350
Stepwised	0.057	0.380
E_o		
Linear	0.118	0.149
Quadratic	0.013	0.525
Stepwised	0.002	0.567
E_e		
Linear	0.041	0.266
Quadratic	0.012	0.676
Stepwised	0.001	0.806
τ_{rel}		
Linear	0.102	0.493
Quadratic	0.047	0.855
Stepwised	0.027	0.751
ΔE		
Linear	0.191	0.970
Quadratic	0.396	0.995
Stepwised	0.191	0.970

σ, failure stress; E_o, instantaneous modulus; E_e, equilibrium modulus; τ_{rel}, relaxation time; ΔE, color difference.

값이 0.38~0.970으로서 0.149~0.970 및 0.35~0.995의 범위를 나타낸 선형 및 quadratic model과 같거나 높게 나타났다. 이와같이 낮은 probability의 값과 높은 lack of fit의 결과에 따라, stepwised non-linear model이 가장 높은 적합성을 보였으며, 두부콩들을 혼합시 interaction term이 존재함이 드러났다.

두부콩들의 혼합물에서 각 두부콩의 효과는 수식화된 non-linear canonical regression model로서 표현되어졌다 (Table 3). Canonical 형식으로 나타내어진 이 모형들의 각항의 계수들은 각 성분의 반응에 대한 기여도 (activity)를 나타내는 것으로,[4,5,8] 콩의 종류가 두부의 물성특성에 미치는 영향력을 나타낸다. 또한 두부의 물성특

Table 3. Canonical forms for linear and non-linear models

Linear model:
Failure stress=7.627A+7.773B+5.781C
Instan. stress=15.67A+18.26B+11.38C
Equil. stress=168.0A+211.7B+104.0C
Relax. time=10.73A+11.40B+9.910C
Color difference=17.21A+16.13B+42.93C
Stepwised quadratic model:
Failure stress=7.627A+7.773B+5.781C
Instan. stress=15.48A+20.96B+14.08C-29.37BC
Equil. stress=165.8A+244.1B+136.4C-352.6BC
Relax. time=11.13A+11.77B+9.890C-5.59AB
Color difference=17.21A+16.13B+42.93C

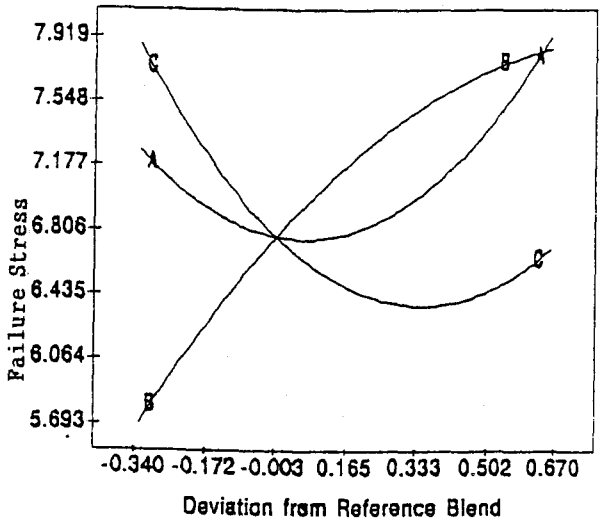

Fig. 1. Trace plot describing the effects of different soybeans on failure stress of tofu Reduced quadratic model was used for the non-linear regression. A-A, Native Soybean; B-B, Imported Soybean 1; C-C, Imported Soybean 2.

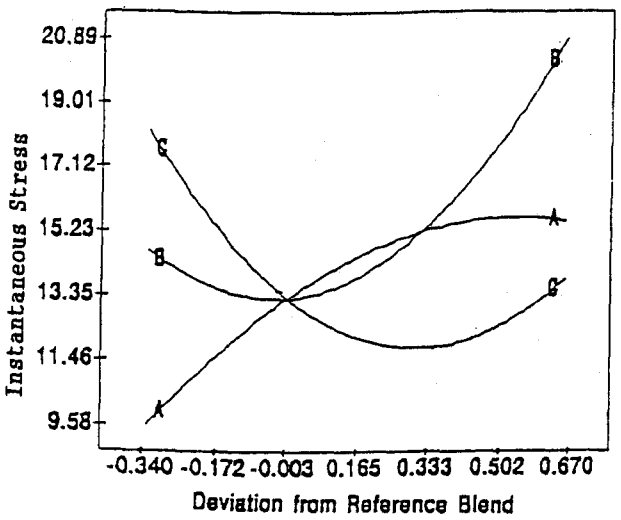

Fig. 2. Trace plot describing the effects of different soybeans on instantaneous stress of tofu.

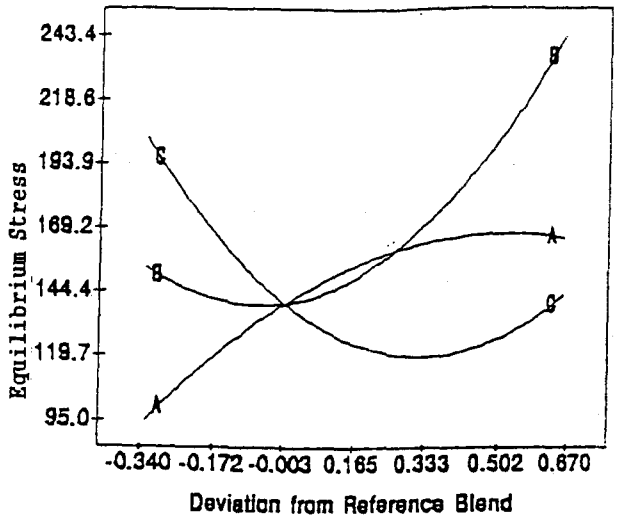

Fig. 3. Trace plot describing the effects of different soybeans on equilibrium stress of tofu.

성들에 여러 콩들의 상호작용이 negative한 영향을 미치는 것으로 나타났는데 모든 interaction term은 $t<0.01$의 범위에서 선택하였다. 이와 같은 각 성분의 기여도를 타당성을 지닌 수식화 모형으로 표현함으로서 최적화이론의 적용이 가능해졌다. 각 성분들의 계수들을 비교해 볼 때 국산콩이 각 물성반응에 대하여 많은 우월성은 보이지 않음을 알 수가 있다.

이와같은 non-linear model을 근거로하여 혼합물에서의 각 성분들의 기여도를 가식화 하기 위하여 trace plot이 σ (Fig. 1), E_o (Fig. 2), E_e (Fig. 3), τ_{rel} (Fig. 4)와 ΔE (Fig. 5)에 대해 그려졌다. Reference blend를 나타내는 plot의 center는 혼합물 vertice의 centroid에서 정하여졌다. Figs. 1~5에서 보듯이 모든 물성의 값들은 서로 비슷한 경향을 나타내었는데, 혼합물내에서의 상대적인 기여도를 나타내는 각 Figure의 기울기를 살펴볼때, 국산콩의 첨가량 (A-A선)이 증가할수록 두부의 파손강도는 다른 수입콩 (B-B, C-C)보다 우월하게 나타나 두부조직의 강도에는 국산콩의 영향력이 뛰어남을 보여주었다 (Fig. 1). 그러나 두부조직의 점탄성과 관련이 있는 E_o, E_e와 τ_{rel}은 중간적인 물성을 보여주었으며 (Figs. 2~4) 색도 (Fig. 5)에 있어서는 수입두부콩에 비해 뒤떨어짐을 보여주어, 두부강도와 같은 물성에는 국산콩의 기울기(기여도)가 상대적으로 높아 경쟁력을 가지나 색감에서는 수입두부콩2에 비하여 낮음을 보여주었다.

Optimization

이와 같은 콩두부들의 품질과 가격경쟁의 불리함 및 어떠한 제약조건의 변화를 고려하여 동등한 가중치 (weight)로서 각 성분을 비교했을 때 최적화를 위한 국산 두부콩의 경쟁력은 높지 않음을 알 수 있다. 이와같은 문제해결을 위하여 본 실험의 내부에 존재하여 그 결과와 해석에 영향을 미칠수 있는 또 다른 요인이나 변수를 고려하였다. 즉, 두부의 가공 공정중 콩을 물에 침지시키는 과정이 있다. 이 과정중의 수분함량 변화를 고려할때 국산콩의 흡습능력이 다른 콩들에 비하여 상대적으로 가장 높음을 알 수 있다 (Table 4). 흡습능력을 수식 1로 나타낼때;

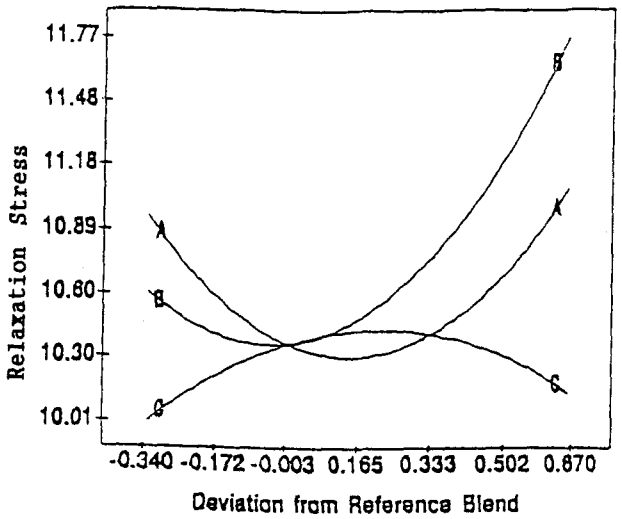

Fig. 4. Trace plot describing the effects of different soybeans on relaxation time of tofu.

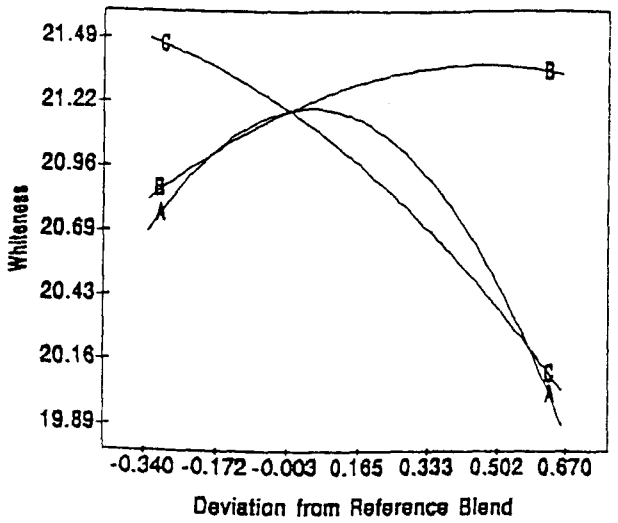

Fig. 5. Trace plot describing the effects of different soybeans on whiteness of tofu.

흡습능력=[(침지 후의 수분함량)/(침지 전의 수분 함량)]×100 (식 1)

그 흡습능력은 Table 4에 나타나 있듯이 국산 두부콩의 흡습능력은 초기 수분함량 9.8%에서 일정시간 침지후 63.46%로 늘어나 647%의 흡습능력을 나타내었고, 다른 수입콩은 초기 9.2% 및 9.4%에서 53.83% 및 60.32%로 늘어나 각각 639%와 642%의 흡습능력을 나타내었다. 본 실험의 실험계획법 선택시 수분함량의 영향을 무시한채 각 성분의 비율만이 반응치에 영향을 미친다는 가정을 하였었다. 침지전의 수분 함유량은 평균치 9.45 (±0.35)로써 각 성분에 따라 큰차를 보이지 않았지만 침지후 실제 두부 공정에 사용될 시는 상당히 큰 양의 수분함량의 차이가 있었음을 흡습능력의 결과로 쉽게 유추할 수 있다. 이와 같은 흡습능력의 차이로 생기는 실험 내부에 존재하였던 수분함량의 차이가 결과에 미치는 영향은 두가지로 해석 되어질 수 있다. 첫째, 실제 두부의 망상구조 형성에 관여 하는 고형분 (단백질)

Table 4. The relative sorption ability of each component.

Moisture content (%)	Native soybean	Imported soybean (1)	Imported soybean(2)
before soaking	9.8	9.2	9.4
after soaking	63.46	53.83	50.32
relative sorption	647	639	642

함유량에 차이가 있었음을 알 수 있다. 국산콩의 상대적으로 높은 흡습능력으로 인하여 상대적인 고형분 함유량이 두부형성에 있어서 적었음을 알 수 있다. 둘째, 국산콩의 우수한 흡습능력은 상대적으로 많은 수율을 제공함을 알 수 있다. 수율은 본 실험에서 고려되어 지지 않았던 또 다른 중요한 제약조건들 중의 하나라 볼 수 있다. 결과적으로 이 같은 내부에 작용하였던 요인들이 해석에 큰영향을 미쳤음을 알 수 있다.

이같은 흡습능력을 고려할시 새로운 제약조건을 설정함이 타당하다고 판단되므로 각 성분의 수율을 새로운 제약조건으로 포함시키게 되었다. 그 수율에 대한 모형은 흡습율을 식 2에 따라 계산하여 상대적인 수율의 비로써 만들어졌다.

상대 수율=(각 성분 흡습율/기준 성분 흡습율) (식 2)

각 상대 수율은 수입두부콩2를 기준 1로 했을 때 국산콩은 1.008, 수입두부콩2는 0.995로 나타내어진다. 이 수율에 대한 선형 모형의 사용은 두가지가 될 수 있다. 첫째, 수율 모형 자신을 하나의 목적 함수로써 사용하여 가격 대신 최대의 수율을 품질들의 함수로 이루어진 제약조건을 만족시키는 최적화 이론의 적용이 가능 하며, 둘째, 수율을 하나의 제약조건으로 포함시켜 최소 가격과 적정 수율과 다른 품질들의 제약조건들을 동시에 만족시키는 최적화이론의 전개가 또한 가능하다.

각 반응치에 대하여 최적화 되어진 모형 (선형 또는 비선형 모형)들을 바탕으로 최적화이론이 실행되어진 실례들은 Table 5A, B, C, D에 나타내었다. Table 5A의 경우 수율을 고려하지 않고 각 반응치에 대한 함수와 가격의 목적함수에 대한 최적화이론 적용결과이다. 각 반응치들의 평균값을 제약 (constraint) 조건으로 설정하여 이 제약조건들보다 같거나 크며 목적함수 (가격)를 최소화시키는 경우를 최적화의 결과로서 채택하는 조건을 설정하였고, Derringer와 Suich method에서 사용되는 desirability를 최적화 정도를 나타내는 척도로서 사용하였다.[8] 최고의 desirability가 반복 연산도중 계산되어지며, 그 값은 최적화되어진 결과를 찾았을 경우 한 값에 수렴(converge) 하게 된다. Table 5A에 나타난 결과에 나타났듯이, 국산 콩은 최적화 되어진 성분 배합비에 채택되지 않았고 그때의 desirability가 국산콩의 채택없이 0.5033의 값에 수렴함을 볼수 있다. Table 5B에 나타난 결과에서는 수율 (yield)을 최대의 목적함수로 하였으며 가격은 평균치를 만족하는 다른 제약조건들과 같게 다루었다. 이 경우 최적화되어진 결과는 48.5%의 국산콩을 채택하며 0.508의 최고 desirability를 수렴하게 되었

Table 5. The results of the optimization process based on Derringer and Suich method.

A. Case 1.				
Cost	Function	Objective funciton		
	Goal	Minimize		
Yield	Funciton	N/A		
	Goal	N/A		
Responses	Function	Constraints		
	Goal	Greater than average value		
Desirability	Converge	0.4278		
Solution	Native soybean: 0.0%			
	Imported soybean 1: 57.2%			
	Imported soybean 2: 16.1%			
B. Case II.				
Cost	Function	Constraints		
	Goal	Greater than average value		
Yield	Funciton	Objective		
	Goal	Maximize		
Responses	Function	Constraints		
	Goal	Greater than average value		
Desirability	Converge	0.5084		
Solution	Native soybean: 43.44%			
	Imported soybean 1: 0.00%			
	Imported soybean 2: 1.56%			
C. Case III.				
Cost	Function	Objective funciton		
	Goal	Minimize		
Yield	Funciton	Constraints		
	Goal	Greater than average value		
Responses	Function	Constraints		
	Goal	Greater than average value		
Desirability	Diverge A.	0.4539		
	Diverge B.	0.4542		
Solution			Diverge A.	Diverge B.
	Native soybean:		34.02%	0.00%
	Imported soybean 1:		0.00%	49.09%
	Imported soybean 2:		40.97%	16.59%
D. Case IV.				
Cost	Function	Objective funciton		
	Goal	Minimize		
Yield	Funciton	Objective function		
	Goal	Maximize		
Responses	Function	Constraints		
	Goal	Greater than average value		
Desirability	Diverge A.	0.4605		
	Diverge B.	0.4114		
Solution			Diverge A.	Diverge B.
	Native soybean:		43.42%	9.32%
	Imported soybean 1:		0.00%	49.04%
	Imported soybean 2:		31.58%	16.62%

다. 수율에 대한 고려가 있을시 국산콩의 성분 함량에 대한 기여도는 월등히 향상되며 반면 수입두부콩1의 경우 그 사용량은 0%가 된다.

이와같은 극한적으로 대립되는 두 상황은 수율의 평균값을 하나의 제한조건으로 포함시키며 가격목적함수를 최소화 시키는 경우 (Table 5C)와 가격과 수율을 동시에 목적함수로 고려하여 가격을 최소화 시킴과 동시에 수율을 최대화 시키는 경우를 최적화된 결과 (Table 5D)로 규정할 경우, 각 반복연산의 해들은 서로 다른 두 값을 향해 발산 (diverge) 함을 보여 주므로써 각 성분의 적절한 배합비의 선택에 어려움이 있음을 보여주었다. 즉, Table 5D의 경우 9%의 국산콩을 최적화된 결과는 채택하였지만 그 반복연산은 수렴하지 않음을 볼 수 있었다. 이같은 극한적으로 양립되는 두 성분의 최적화된 결과를 찾기 위해서는 적절한 가중치를 각 반응치 혹은 목적함수에 부여하는 방법이 적절하리라 본다.[8]

감사의 글

본 연구는 1995년 현장애로사항의 지원비에 의하여 수행된 일부로서 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Moskowitz, H. R., D. W. Stanley and J. W. Chandler (1977) The eclipse method: Optimizing product formulation through a consumer generated ideal sensory profile. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* **10**, 161-168.
2. 김학정, 김병용, 김명환 (1995) 제조조건에 따른 두부의 물성 연구. 한국식품과학회지, **27**, 324-328.
3. 장원영, 김병용, 신동훈 (1994) 침지저장액에 따른 두부의 물성변화에 관한 연구, 한국농화학회지, **38**, 135-140.
4. Arteaga, G. E. and S. Nakai (1993) Predicting protein functionality with artificial neutral networks: foaming and emulsifying. *J. Food Sci.* **58**, 1152-1156.
5. Yoon, W. B., J. W. Park, and B. Y. Kim (1996a) Linear programming in blending various components of surimi seafood *J. Food Sci.* **62**, (in press)
6. Box, G. E. P. and N. R. Draper (1987) Empirical Model Building and Response Surfaces, John Wiley & Sons, New York.
7. Cornell, J. A. (1990) Experiments with mixtures: Design, Models, and the Analysis of Mixture Data (2nd ed.), John Wiley & Sons, New York.
8. Yoon, W. B., J. W. Park, and B. Y. Kim (1996b) Surimi-starch interactions based on mixture design and regression models. *J. Food Sci.* **62** (in press)
9. Hill, W. J. and W. Hunter (1966) A review of response surface methodology: A literature survey, *Technometrics*, **8**, 571-590.
10. Myers, R. H., A. I. Khuri, and H. C. Walter Jr. (1988) Response surface methodology: 1966-1988, *Technometrics*, **31**, 137-157.

Study upon the rheological properties and optimiztion of tofu bean products

Won B. Yoon, Byung Y. Kim*[1] and Young T. Hahm[2] (*Department of Food Science and Tech., University of Wisconsin;* [1]*Kyung-Hee University,* [2]*Department of Biological Engineering, Chung-Ang University, Korea*)

Abstract : Optimization theory was applied to a native and two imported soybeans. Failure stress and stress relaxation curve was measured with rheometer, and color was measured by colorimeter. The effects of each soybean upon the tofu texture were expressed through a non-linear canonical regression model and trace plot. Compared to the other imported soybeans, native soybean produced a higher strength in tofu texture, and showed the positive increase in viscoelastic properties such as instantaneous stress, equilibrium stress and relaxation time, whereas it had no effect on whiteness from reference blend, represented that native soybean showed the individual strength upon the selected rheological texture properties. Higher soaking ability in native soybean was selected as a new response for the optimization mixture process, and it contributed positively to the rheological properties of tofu. New soaking process control system during processing and desirability for the mathematical model should be applied for a better mixture design in varieties of soybeans.

Key words : Tofu, rheological property, optimization, trace plot
*Corresponding author