

두부제조공정의 최적화

한명륜 · 김에정* · 정진섭** · 이수정*** · 김명환
단국대학교 식품공학과, *혜전대학 식품영양과,
연세대학교 생물자원공학과, *부천대학 식품영양과

Development of Optimum Processing Conditions for Soybean Curd

Myung-Ryun Han, Ae-Jung Kim*, Kun-Sub Chung**,
Soo-Jung Lee***, and Myung-Hwan Kim

Department of Food Engineering, Dankook University

*Department of Food & Nutrition, Hyejeon College

**Department of Biological Resources & Technology, Yonsei University

***Department of Food and Nutrition, Bucheon College

Abstract

We selected five major factors among soybean curd processing parameters based on pre-experimental data, which were significantly affected on the quality of soybean curd product. The selected five major factors were coagulation temperature, coagulation time, pressing pressure, coagulant concentration and soya milk concentration. The changes of the sensory hedonic scores of soybean curd product on the processing conditions were analyzed by response surface methodology. The 27 experimental points were designed using a central composite method. Affecting factor for the sensory hedonic scores of soybean curd product was arranged according to soya milk concentration, coagulation temperature, coagulant concentration, pressing pressure and coagulation time. Soya milk concentration and coagulation temperature were significant factors at the 5% level. The optimum processing conditions for soybean curd were coagulation temperature(60°C), coagulation time(27.2 min), pressing pressure(45.45 gf/cm²), coagulant concentration(1.44%) and soya milk concentration(5.0 °Brix). The sensory hedonic score of soybean curd product was 6.2 with above optimum processing conditions.

Key words: soybean curd, sensory evaluation, optimization

서 론

두부의 원료인 대두(Glycine max)는 glycinin과 albumin 등의 단백질과 지방뿐만 아니라 올리고당, isoflavone, saponin 및 섬유질 등과 같은 기능성 성분 또한 많이 함유하고 있어 영양 생리적으로 매우 우수한 식품으로 인정되고 있다(Kim *et al.*, 2000a). 최근 들어 대두의 생체 조절기능에 대한 연구가 활성화 되면서 콜레스테롤 저하효과 이외에도 대두에 많이 존재하는 flavonoid 성분들은 항암효과, 골다

공증, 신부전, 심장질환 등과 같은 만성질환의 예방에 효과가 있는 것으로 밝혀졌다(Lee *et al.*, 1995; Kim, 1996). 대두단백은 고혈압예방에도 탁월하여 25g 이상 섭취하는 여성은 하루에 2.5g 섭취하는 군에 비하여 수축기혈압은 1.9 mmHg, 이완기혈압은 0.9 mmHg 정도 낮추는 것으로 나타났으며 혈압감소경향은 나이가 많을수록 더욱 효과적이라는 결과를 보였다. 또한 대두의 영양 장애물질로 알려진 성분들이 오히려 우리 몸에 유익한 작용을 한다는 사실들이 밝혀지고 있다(Bennink, 1995).

두부의 제조원리는 대두를 물과 함께 마쇄할 때 대두에 함유되어있는 단백질과 각종염류가 용액내로 녹아 들어가 교질 현탁액인 대두유를 이룬다. 여기에 응고제를 첨가하면 교질상태로 현탁되었던 단

Corresponding author: Myung-Hwan Kim, Department of Food Engineering, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea
Phone: +82-41-550-3563, Fax: +82-41-550-3566
E-mail: kmhl@dankook.ac.kr

백질이 침전되는데 이것이 응고되어 gel을 형성하는 것이 두부이다(Lee 와 Rha, 1978). 두부의 품질, 조직, 수율 등은 원료 대두 및 제조조건에 따라 영향을 받는데 즉 대두 단백질, 지방, phytic acid 함량, 대두의 수침시간, 대두유 농도, 대두유의 가열 온도 및 응고제의 종류 나 농도, 응고온도, 응고제 첨가속도, 응고시간, 압착 시 성형압력 등에 따라 달라진다(Chi 와 Kim, 1983; Choi et al., 2000a; Choi et al., 2000b; Kim et al., 2000b; Kim et al., 1995; Kim et al., 2001). 식품의 품질에 관한 최종판단은 소비자들에 의해 이루어지기 때문에 제품의 관능적평가결과는 매우 중요한 분석방법 중의 하나이다. 반면에 두부의 제조공정에 따른 이화학적 분석에 관한 연구는 많이 이루어졌으나 관능적 품질에 관한연구는 미미한 편이다.

따라서 본 연구는 예비실험을 통하여 제조공정과정에서 두부의 품질에 주요한 영향을 미치는 5가지 요인을 선별한 다음 각 비선형모형에 따른 중심합성설계법으로 실험설계를 한 후 각 요인의 수준에 따른 두부의 전체적인 품질의 기호도에 미치는 영향을 반응표면분석법에 의하여 분석하여 최적제조조건을 정립하는데 있다.

재료 및 방법

재 료

두부제조에 사용된 대두는 미국산 수입대두(수입 US No. 1)이었으며 두부제조를 위한 응고제로는 태진산업의 두부용 응고제 황산칼슘(CaSO₄·2H₂O)을 사용하였다.

실험설계

실험설계는 중심합성설계법을 이용하였으며 5가지 요인으로 응고제 첨가온도(X₁), 응고시간(X₂), 압착압력(X₃), 응고제첨가량(X₄), 두유농도(X₅)에 대하

여 Table 1과 같이 수준을 조절하여 두부를 제조한 다음 관능검사를 통하여 최적 제조조건을 설정하였다. 각 인자의 수준 변화에 따른 두부의 전체적인 품질의 기호도 영향을 조사하기 위하여 분산분석, 이차다항회귀곡선식 및 반응표면분석법(response surface methodology, RSM) 등의 통계방법을 이용하였으며 모든 통계분석은 SAS를 이용하였다(SAS, 1993). 이차다항회귀곡선식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 Y = & A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + A_4X_4 + A_5X_5 + A_6X_1^2 \\
 & + A_7X_1X_2 + A_8X_2^2 + A_9X_3X_1 + A_{10}X_3X_2 + A_{11} \\
 & X_3^2 + A_{12}X_4X_1 + A_{13}X_4X_2 + A_{14}X_4X_3 + A_{15}X_4^2 \\
 & + A_{16}X_5X_1 + A_{17}X_5X_2 + A_{18}X_5X_3 + A_{19}X_5X_4 + A_{20} \\
 & X_5^2
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서 Y는 종속변수로 제조된 두부의 전체적인 품질의 기호도이고, X₁, X₂, X₃, X₄, X₅는 독립변수이며 A_i는 계수이다. X₁, X₂, X₃, X₄ 및 X₅의 각 독립변수는 수준을 5가지로하여 -2~2범위의 code value를 갖도록 선형화하였다.

두부의 제조

수세한 대두 100 g을 상온(20~22°C)에서 24시간 증류수에 수침시킨 후 건져내어 증류수 1000 ml와 함께 blender를 이용하여 3분간 마쇄한 다음 면포를 이용하는 여과방법으로 두유를 제조하였다. 본 실험에서 두부의 저장성 향상을 위하여 자몽종자추출물(grape seed extract)을 150 ppm 첨가하였다. 제조된 두유를 5분간 끓인 다음 교반하면서 적정한 두유농도(3.0~5.0°Brix)에 대두함량을 기준으로 적정량(1~5%, w/w)의 응고제를 적정온도(60~100°C)에서 첨가하였다. 응고제를 첨가한 후 적정시간(5~45min) 방치하고 나서 성형틀(Fig. 1)에서 적정압력(18.18~72.73 gf/cm²)으로 1시간 동안 압착하여 두부를 성

Table 1. Factors and levels of soybean curds manufacturing

Code Value	Coagulation temp. (°C)	Coagulation time (min)	Pressing pressure (gf/cm ²)	Coagulant concentration (%)	Soya milk concentration (°Brix)
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
-2	60	5	18.18	1	3.0
-1	70	15	31.82	2	3.5
0	80	25	45.45	3	4.0
1	90	35	59.09	4	4.5
2	100	45	72.73	5	5.0

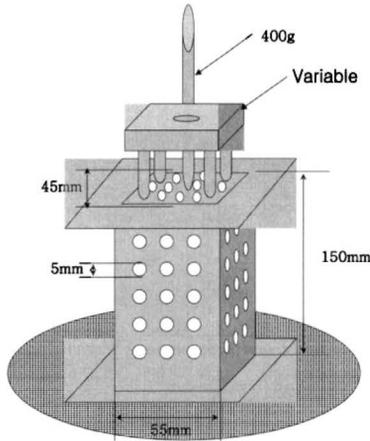


Fig. 1. Apparatus for soybean curds Manufacturing.

형 제조하였다. 여기서 적정조건은 각 요인의 수준 (흥미영역)을 의미한다.

관능검사

관능검사 과목을 이수한 학생들을 대상으로 관능 검사요원은 기본 맛 인지검사와 순위검사를 실시하여 24명의 관능검사요원을 선별하였다(Suh et al., 2001). 관능검사 방법은 보다 정확한 데이터를 얻고자 감각의 둔화작용을 최소화 하는 방법으로서 설문항목을 전체적인 품질에 대한 평가로 측정항목을 국한 시키고 또한 시료도 4가지로 제한하였다. 제조된 두부를 상온에서 1시간 동안 방치한 다음 두부의 전체적인 품질에 대한 기호도를 9점법에 의하여 측정하였다. 27가지의 시료에 대한 관능검사는 balanced incomplete block design법(Stone 과 Sidel, 1983)에 의하여 4가지 시료를 1 session으로 시행하였다.

결과 및 고찰

두부제조공정에 따른 전체적인 품질의 기호도에 미치는 영향

두부제조과정에서 5가지 요인 응고온도(X_1), 응고시간(X_2), 압착압력(X_3), 응고제첨가량(X_4), 두유농도(X_5)의 수준변화에 따른 두부의 전체적인 기호도의 결과는 Table 2와 같다. Raw 데이터를 기준으로 볼 때 관능적평가의 전체적인 품질의 기호도에서 최소값(3.46)을 보인 제조조건은 90°C의 온도에서 2%(w/w)의 응고제($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)를 첨가하여 35분간 방치

Table 2. The overall quality hedonic scores of soybean curds by processing variables

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Overall quality hedonic score
-1	-1	-1	-1	-1	5.15
1	-1	-1	-1	1	6.38
-1	1	-1	-1	1	6.38
1	1	-1	-1	-1	3.46
-1	-1	1	-1	1	6.27
1	-1	1	-1	-1	3.87
-1	1	1	-1	-1	5.67
1	1	1	-1	1	5.07
-1	-1	-1	1	1	5.64
1	-1	-1	1	-1	4.21
-1	1	-1	1	-1	5.14
1	1	-1	1	1	4.67
-1	-1	1	1	-1	6.40
1	-1	1	1	1	4.00
-1	1	1	1	1	5.33
1	1	1	1	1	3.73
-2	0	0	0	0	5.47
2	0	0	0	0	3.79
0	-2	0	0	0	6.21
0	2	0	0	0	5.79
0	0	-2	0	0	4.64
0	0	2	0	0	5.57
0	0	0	-2	0	5.00
0	0	0	2	0	5.00
0	0	0	0	-2	5.36
0	0	0	0	2	4.79
0	0	0	0	0	5.07

시키고 압착압력이 31.82 gf/cm², 두유의 농도는 3.5°Brix 일 때 이었다. 반면 최대 값(6.40)을 보인 제조조건은 70°C의 온도에서 4%(w/w)의 응고제를 첨가하여 15분간 방치시키고 압착압력이 59.09 gf/cm², 두유의 농도는 3.5°Brix 일 때 이었다. 본 실험 5가지 요인의 흥미영역(수준)에서의 전체적인 품질의 기호도 평균값은 5.11이었다. 5가지 요인의 수준 변화에 따른 전체적인 기호도에 미치는 영향정도를 분석하여 본 결과는 Table 3과 같다. 두부의 전체적인 기호도에 미치는 영향정도는 두유농도>응고온도>응고제첨가량>압착무게>응고시간의 순으로 나타났으며 두유농도와 응고온도는 5% 내에서 유의성 차이가 있었다.

이차다항회귀곡선식의 적합도

두부제조조건 독립변수(요인, X)인 응고온도(X_1), 응고시간(X_2), 압착무게(X_3), 응고제첨가량(X_4), 두유

Table 3. Analysis variances for the effects of five process variables on the overall quality hedonic scores of soybean curds

Factor	Sum of square	Mean of square	F value	Pr > F
X ₁	5.971265	0.995211	4.36	0.0481
X ₂	1.600045	0.266674	1.17	0.4275
X ₃	3.014832	0.502472	2.20	0.1798
X ₄	3.928781	0.654797	2.87	0.1126
X ₅	6.107463	1.017910	4.46	0.0458

Table 4. Regression coefficients of second degree polynomials for the overall quality hedonic scores of soybean curds

Parameter	Estimate
Intercept	5.043928
X1	-0.495446
x2	-0.052113
X3	0.134554
X4	-0.044613
X5	0.079693
X1*X1	-0.100223
X2*X1	0.091831
X2*X2	0.242277
X3*X1	-0.084419
X3*X2	0.190581
X3*X3	0.018527
X4*X1	0.053081
X4*X2	0.110581
X4*X3	0.146831
X4*X4	-0.007723
X5*X1	0.033290
X5*X2	-0.141710
X5*X3	-0.447960
X5*X4	-0.552960
X5*X5	0.011027

Table 5. Determination coefficient of second degree polynomials for the overall quality hedonic scores of soybean curds

Regression	R-square	F value	Pr > F
Linear	0.4964	8.46	0.0109
Quadratic	0.1055	1.80	0.2474
Cross product	0.3277	2.79	0.1106
Total regress	0.9296	3.96	0.0475

농도(X₅)의 수준변화에 대한 종속변수(반응치, Y)인 두부의 전체적인 품질의 기호도를 예측하기 위하여 SAS program의 rsreg procedure를 이용하였으며 이차다항회귀곡선의 회귀계수 값을 계산한 결과는 Table 4와 같다. 또한 두부의 전체적인 품질의 기호도에 대한 이차다항회귀곡선에서의 일차다항회귀

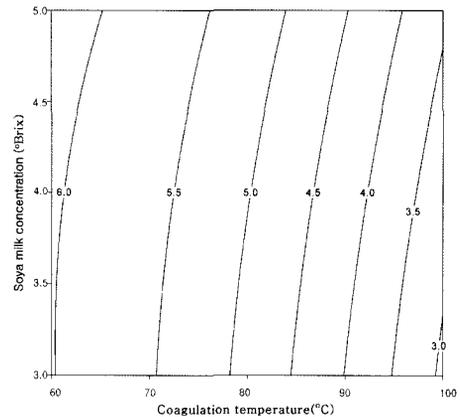


Fig. 2. The overall quality hedonic scores of soybean curds as related to coagulation temperature and soya milk concentration.

(linear), 이차다항회귀(quadratic), 교차회귀(cross product)의 기여도를 검정한 결과(Table 5) 기여도는 일차다항회귀, 교차회귀, 이차다항회귀 순으로 나타났으며 total regress는 0.0475로서 5% 내에서 유의성의 차이를 보였다.

두부제조공정의 최적화

5가지의 요인인 응고온도(X₁), 응고시간(X₂), 압착 압력(X₃), 응고제첨가량(X₄), 두유농도(X₅) 중 5%내에서 유의성 차이가 나타나지 않는 응고시간, 압착 압력, 응고제첨가량은 canonical analysis에 의하여 얻어진 최적 값인 27.2 min, 45.45 gf/cm², 1.44% (w/w) 으로 각각 고정시킨 다음 두부의 제조공정에서의 응고온도와 두유농도에 따른 전체적인 품질의 기호도에 미치는 영향을 반응표면분석법으로 분석한 결과 Fig. 2와 같다. 두부의 전체적인 품질의 기호도는 응고온도가 높아짐에 따라서 낮아짐을 알 수 있었다. 두유농도는 저 농도 보다는 고농도에서 전체적인 품질의 기호도가 높아졌다. 분석결과 응고온도가 60°C, 5.0 °Brix 두유농도에서 최적 점을 나타내었다. 본 실험의 흥미영역을 기준으로 볼 때

최적 제조조건에서 두부의 전체적인 품질의 기호도는 6.2를 나타내었다. 따라서 본 실험의 흥미영역에서 두부제조공정의 최적 제조조건은 응고온도(60°C), 응고시간(27.2 min), 압착무게(45.45 gf/cm²), 응고제 첨가량(1.44%, w/w), 두유농도(5.0 °Brix)이었다.

요 약

두부 제조공정의 최적화를 위하여 제조공정과정에서 두부의 품질에 주요한 영향을 미치는 5가지 요인을 예비실험을 통하여 선별하였으며 선별된 요인(독립변수)으로는 응고온도, 응고시간, 압착압력, 응고제첨가량, 두유농도이었다. 중심합성설계법에 의거하여 각 비선형모형에 따른 27개의 실험 점을 정하였으며 독립변수의 수준에 따른 두부의 전체적인 품질의 기호도에 미치는 영향을 반응표면분석법으로 분석하였다. 5가지 요인의 수준변화에 따른 두부의 전체적인 품질의 기호도에 미치는 영향을 분석한 결과 두유농도가 가장 영향력을 미쳤으며 응고온도, 응고제첨가량, 압착압력, 응고시간 순으로 나타났다. 두유농도와 응고온도는 5%내에서 유의성 차이를 나타내었다. 두부제조공정의 최적조건은 응고온도(60°C), 응고시간(27.2 min), 압착압력(45.45 gf/cm²), 응고제첨가량(1.44%), 두유농도(5.0 °Brix)이었으며 본 제조조건에서 전체적인 품질의 기호도 값은 6.2로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 농림기술관리센터에서 시행한 2004년도 농림기술개발사업(104003-02-1-CG000)의 수행된 연구결과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Bennink, R.M. 1995. Prevention of chronic diseases by soy foods: current research in the United States. Paper presented at international symposium. Korea Soybean Society. Seoul, Korea
- Choi, K.S. and S.H. Kim. 1983 Changes in soluble sugars and soybean curd yield with increased steeping time during soybean curd processing. *Korean J. Food & nutrition*. **12**: 401-406
- Choi, Y.O., H.S. Chung, and K.S. Youn. 2000a. Effects on coagulants on the manufacturing of soybean curd containing natural materials. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* **7**: 249-255
- Choi, Y.O., H.S. Chung, and K.S. Youn. 2000b. Effects of various concentrations of natural materials on the manufacturing of soybean curd. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* **7**: 256-261
- Kim, H.J., B.Y. Kim, and M.Y. Kim. 1995. Rheological studies of the Tofu upon the processing conditions. *Korean J. Food Sci. Technol.* **27**: 324-328
- Kim, J.S. 1996. Current research trends on bioactive function of soybean. *Korea Soybean Digest*. **13**: 17-24
- Kim, J.Y., J.H. Han, J.K. Kim and K.D. Moon. 2000a. Quality attributes of whole soybean flour Tofu affected by coagulant and their concentration. *Korean J. Food Sci. Technol.* **32**: 402-409
- Kim, J.Y., J.H. Kim, J.K. Kim and K.D. Moon. 2000b. Quality attributes of whole soybean flour Tofu Affected by coagulant and their concentration. *Korean J. Food Sci. Technol.* **32**: 402-409
- Kim, J.Y., J.H. Kim, J.K. Kim and K.D. Kim. 2001. Quality and sensory evaluation of whole soybean flour Tofu prepared from various processing conditions. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **30**: 455-459
- Lee, C.H. and C.K. Rha. 1978. Micro-structure of soybean protein aggregates and relation to the physical and textural properties of the curd. *J. Food Sci.* **43**: 79-84
- Lee, J.K., B.J. Park, K.Y. Yoo and Y.O. Ahn. 1995. Dietary factors and stomach cancer A case-control study in Korea. *J. Epidemiology*. **24**: 33-41
- SAS. 1993. *SAS/INSIGHT User's Guide. Version 6*. SAS Institute Inc., Cary, USA
- Stone, H. and J.L. Sidel 1985. *Sensory Evaluation Practices*. Academic Press, London, UK
- Suh, D.S., S.H. Kim, J.H. Hong and K.O. Kim. 2001. Application of quantitative descriptive analysis to commercial soybean curd. *Korean J. Dietary Culture*. **16**: 58-64

Bennink, R.M. 1995. Prevention of chronic diseases by soy foods: current research in the United States. Paper presented at international symposium. Korea Soybean