Food Engineering Progress
Vol. 9, No. 4. pp. 303~308 (2005.11)

무침지 자동연계공정으로 생산한 두부의 특성조사

김현 · 김경아* · 차은종* · 한남수
충북대학교 식품공학과 생물건강산업개발연구센터, *씨케이인터네셔널

Property Analysis of Soybean Curd Produced by Automatic and Consecutive Processes

Hyun Kim, Kyung Ah Kim*, Eun Jong Cha*, and Nam Soo Han

Department of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Reserach Center for Bioresource and Health
**CKInternational Co., Ltd.*

Abstract

Bean is one of very nutritious grain including protein, and soybean curd(tofu) made of bean is a preferred food item worldwide. In the traditional process of tofu, soybean-soaking process was the most time-consuming stage. In order to overcome this problem, tofu was made in a more effective and faster way by using a soybean-grinding disc units and by skipping soybean-soaking process. During the soybean grinding process using the three consecutive cutter and grinder units, shattering and swelling of soybean particles were simultaneously occurred and thus the processing time required to make soybean curd was reduced to 45 minutes from 12 hours. When compared with commercial tofu products, the soybean curds manufactured in this process had similar contents of solid, crude protein, and crude lipid. The sensory test of odor and taste couldn't find any significant differences between the fotu from this study and commercial products. The rheological analysis showed that the soybean curd made in this process was more proper for the use of pan-fried cake rather than pot-stew use.

Key words : soybean-curd production, automatic consecutive process, tofu, property analysis, rheological analysis

서 론

두부는 우리나라뿐만 아니라 중국, 일본 등지에서 풍부한 단백질 공급원으로 널리 식용되는 오랜 전통의 가공식품이다(김동만 등, 1980). 두부는 다른 식품에 비해 담백하며, 곡류위주의 식생활에서 부족하기 쉬운 라이신 등 필수아미노산의 함량이 많아서 신진대사와 성장발육에 꼭 필요한 아미노산 공급에 좋은 식품이다(이경원, 1982; 최규서, 1998). 또한 칼슘, 철분 등의 무기질이 풍부할 뿐만 아니라 이소플라본, 사포닌, 올리고당류 등과 같은 여러 기능성 생리활성 물질을 다량 함유하고 있는 식물성 식품이다(Kwon, 1996; Kim, 1996). 두부의 영양성분은 두유의 추출 및 응고방법, 대두품종에 따라 차이가 있으나, 일반적으로 수분 85%, 조단백질 7.8%, 조지방 4.2%와 칼슘 2mg/g, 100g 당 84 kcal의 열량을 지니고 있고, 소화흡수율은 가열처리로 인해 96%로 생대두의 소화율 82%에 비해 높은 편이며, 단백가는 우유나 달걀 단백질의 85~95% 정도에 해당하는 고영양의 단백질 식품이다(Kim, 2001; 김철재, 1998). 두부의 제조공정에 따른 물리화학적 특성을 조사하고자, 우리나라에서 재배되는 14품종의 콩으로 두부를 제조하고 화학적 조성, 수율및 관능적인 특성을 비교하였으며 파손강도와 응력완화 현상을 측정하여 비교하는 등 다양한 연구가 진행

Corresponding author: Nam Soo Han, Department of Food Science and Technology, Chungbuk National University 48 Gaeshin-dong, Cheongju, Chungbuk, 361-763, Korea.
Phone: 043-261-2567, Fax: 043-261-2567
E-mail: namsoo@chungbuk.ac.k

되었다(Chang, 1990; Kim, 1995). 두부의 제조 시 품질과 수율에 영향을 미치는 요인으로는 대두의 단백질, 수침시간, 가수량, 가열온도, 응고제의 종류와 첨가방법, 성형조건 등 다양하지만 무엇보다 품질에 중요한 인자는 응고제의 종류와 양으로 알려져 있다(Kim, 2000; Shen, 1991; Lim, 1990). 보통의 두부는 대두를 물에 침지하여 팽윤시킨 후 마쇄, 끓임, 여과과정을 거친 후 응고 및 압착을 통해 제조되나 유통기간이 짧고 공정상 자동화가 힘들어 아직도 상당양이 소규모 제조업체에서 생산되어 공급되고 있다. 콩을 6시간 내지 12시간 물에 침지하는 과정(수침공정)은 두부제조 공정에서 가장 시간을 많이 차지하며 영양소의 침출(최광수와 김순희, 1983) 및 미생물 오염(이갑상 등, 1990)의 가능성이 높은 단계로서 가급적 공정시간을 줄이는 것이 바람직하다. 본 연구진은 수침공정을 거치지 않고 마른콩을 회전분쇄기와 2단계의 회전맷돌로 마쇄하여 두부를 45분 이내에 연속으로 제조하는 공정을 개발하였다(김 등, 2005).

본 연구에서는 위에서 개발한 무침지 연속공정으로 생산된 두부의 적정 응고제 첨가량을 조사하고 시중에서 유통되는 일반두부와 비교하고자, 화학조성검사, 물성검사 및 관능검사를 실시하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 콩은 미국산 수입콩을 인천결기연식품공업협동조합을 통해 구매하여 이용하였고, 비교실험재료로 사용된 두부류는 2005년 충청북도 청주에 소재하고 있는 유명백화점 및 대형마트에서 판매되고 있는 포장두부 3종을 구입하여 실험하였다. 두유 응고제로 이용된 황산칼슘, glucono-delta-lactone(GDL) 외 시약은 Sigma Inc.(U.S.A)에서 구입하여 사용하였고 정제염은 식용으로 지역 대형마트에서 구입하여 사용하였다.

기계장치

두부생산시스템 제작에 소요된 단위조작기기와 제어장치는 (주)씨케이인터네셔널에서 자체적으로 제작하거나 주문 제작하였다. 두부제조기를 구성하는 단위기기는 Fig. 1에 제시되었고 다음과 같은 순서로 설치되었다. [콩 정량투입 및 자동세척기>콩 고속 순간분쇄기>2단계 마쇄불림기>원심분리기>가열증숙기>응고제 혼합기>압착성형기](김 등, 2005). 본

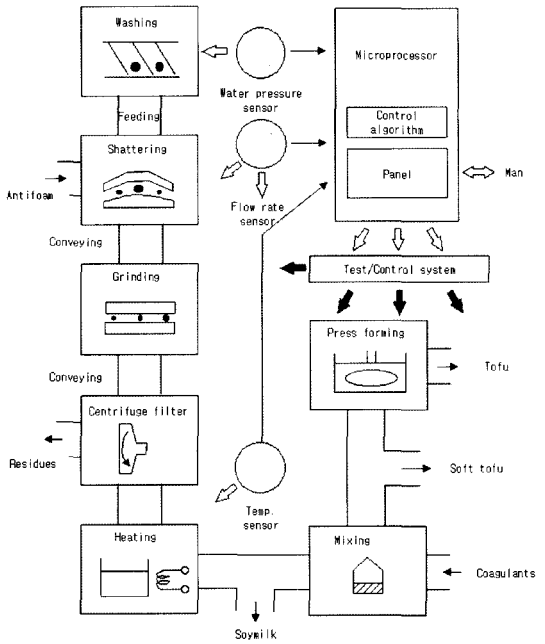

Fig. 1. Schematic of soybean curd production process without soy-swelling unit.

시스템은 마른콩을 분쇄한 후 간극이 보다 좁은 2단계 마쇄기를 통과시켜 미세한 입자로 만들어 물에 쉽게 불려지는 효과를 이용하였다. 이후의 기계장치는 기존의 두부제조 공정을 자동화하여 연속공정으로 운전하였다.

일반성분분석

두부의 일반성분은 식품공전에 제시된 시험법에 따라 분석하였다. 고형분은 항량이 된 칭량접시에 검체 10~15 g을 정밀히 달아 105℃에서 항량이 될 때까지 건조시킨 다음 데시케이터 중에서 식히고 무게를 달아 측정하였다. 중금속은 식품공전 제7장 일반시험법 중에서 유해성 금속시험법의 중금속 측정법에 따라 시험하였다. 조단백질은 KJELTEC AUTO SAMPLER SYSTEM 1035 Analyzer로 분석하고 이에 질소계수 5.71을 곱하여 환산하였다. 조지방 함량은 에탄올 첨가한 시료에 진한 염산을 첨가하고 고온 가수분해한 후 Mojonnier tube에서 에테르 추출 및 휘발 후 데시케이터로 칭량하여 구하였다.

물리적 특성의 측정

제조된 두부의 물리적 특성을 측정하기 위해 대형마켓에서 판매되는 두부와 함께 RheoAnalyzer

(ATC, Japan)를 이용하였는데, 탄성은 probe No.10을 이용하였고, 강도, 경도 그리고 항복치는 probe No.9을 사용하였다. 일정크기($2 \times 2 \times 2$ cm^3)로 자른 두부를 2 kgf load cell에 부착시키고 수직방향으로 일정한 압축속도(300 mm/min)를 가하여 측정하였다. 응력완화현상에 따른 조직변화의 분석은 Simple Maxwell model의 방법을 이용하여 계산하였고 (Monsenin, 1986) 모든 측정은 5회 반복측정한 후, 최대값과 최소값을 제외한 3개 측정값의 평균을 비교하였다.

관능검사

두부관능검사 요원은 14명의 대학원생들로 구성하였고, 품질 특성으로 냄새, 맛, 그리고 전체적인 품질에 대하여 5점 채점법으로 실시하였다. 즉 각 항목에 대하여 아주 나쁘다(1점), 나쁘다(2점), 보통이다(3점), 좋다(4점), 아주 좋다(5점)로 등급을 정하였다. 이 결과의 통계처리는 Statistical Analysis System (SAS)로 각 처리 평균 간의 유의적인 검증을 하였다.

결과 및 고찰

응고제가 두부의 경도에 미치는 영향

응고제(간수)로 사용한 화합물은 $CaSO_4$, GDL, 그리고 정제염이었고, 실험 중간에 각각의 화합물이 본 두부제조기에서 배출된 두유의 응고에 미치는 영향을 조사하였다. $CaSO_4$은 물에 용해가 어려운 반면 두유와의 반응이 완만하며 보수성이 좋았다. 두유의 농도가 14 brix정도까지 농축되면 $CaSO_4$의 침전이 간혹 일어나 두유농도는 14Brix 이하로 운

Table 1. Optimal mixture compositions of coagulation agents

Soymilk volume (L)	Brix	GDL (g)	$CaSO_4$ (g)	Salt (g)	Soy feeding rate* (rpm)	Flow rate (liter/min)
40	9	68.00	35.64	28.00	25	3
	10	70.72	38.28	28.00	27	3
	11	73.44	40.92	28.00	29	3
	12	76.16	43.56	28.00	31	3
	13	78.88	46.20	28.00	34	3
	14	81.60	48.84	28.00	36	3
35	9	59.50	31.19	24.50	25	3
	10	61.88	33.50	24.50	27	3
	11	64.26	35.81	24.50	29	3
	12	66.64	38.12	24.50	31	3
	13	69.02	40.43	24.50	34	3
	14	71.40	42.74	24.50	36	3
30	9	51.00	26.73	21.00	25	3
	10	53.04	28.71	21.00	27	3
	11	55.08	30.69	21.00	29	3
	12	57.12	32.67	21.00	31	3
	13	59.16	34.65	21.00	34	3
	14	61.20	36.63	21.00	36	3
25	9	42.50	22.28	17.50	25	3
	10	44.20	23.93	17.50	27	3
	11	45.90	25.58	17.50	29	3
	12	47.60	27.23	17.50	31	3
	13	49.30	28.88	17.50	34	3
	14	51.00	30.53	17.50	36	3
20	9	34.00	17.82	14.00	25	3
	10	35.36	19.14	14.00	27	3
	11	36.72	20.46	14.00	29	3
	12	38.08	21.78	14.00	31	3
	13	39.44	23.10	14.00	34	3
	14	40.80	24.42	14.00	36	3

*The step motor speed to feed soybean into the shattering units. The motor speed(rpm) and soymilk concentration(Brix) showed a linear correlation curve.

전하는 것이 바람직하였으나 그 이상 농도에서 제조한 두부는 제조 후 물에서 미반응의 $CaSO_4$이 용해되어 나가도록 충분히 침지하였다. GDL에 의한 응고는 $CaSO_4$과는 달리 두유에 균일하게 용해되어 조금씩 글루콘산으로 되고, 보수력이 우수하여 두부의 면이 보다 치밀하게 응고되는 결과를 나타내었다. $CaSO_4$은 첨가량을 증가시켜도 그다지 경도에 변화가 없었으나 GDL은 첨가량에 비례하여 경도가 증가하였다. 이러한 결과는 두부의 경도조절에 GDL이 편리하다는 것을 보여주었다. $CaSO_4$의 경우 가열 후 냉각하면 경도가 상당히 높아져 씹을때 부드럽지 않은 촉감이 있을 수 있었다. 이는 가열시 미반응의 $CaSO_4$이 두부 속에서 반응하여 더욱 단단하게 만드는 것으로 판단되어 적량의 간수 첨가가 필요하였다. 따라서 본 두부제조기를 이용하여 두부제조시 주어진 수압과 운전조건하에서 두부의 외형과 물성이 양호한 결과를 보인 응고제 적정 첨가량을 Table 1에 정리하였다. 본 실험에서는 9 Brix의 두유 40리터용량 조건에 GDL 68 g, $CaSO_4$ 36g, 그리고 정제염 28 g을 첨가하여 두부를 제조하였다.

일반성분 분석

위 간수 적정첨가량 하에서 제조된 두부의 일반성분을 식품공전에서 제안하는 분석법을 이용하여 시중에 유통되는 상품과 비교하여 분석하였다(Table 2). 연속공정으로 제조한 두부의 고형분 함량은 17.92 %로 일반 유통상품에 비해 약간 높은 값을 보였고 식품공전상의 규격이 12%이상임을 고려할 때 규격에 적합한 것으로 판정되었다. 물론 고형분 함량은 두유의 농도와 응고제 함량에 따라 변하여 조절이 가능하였다. 조단백질 함량도 약 44%로 유통두부와 유사한 값을 보였으며 식품공전상의 기준이 40% 이상임을 고려할 때에 규격에 적합한 것으로 판정되었다. 조지방 함량 역시 약 3.8%로써 다른 유통두부와 유사한 함량을 보였는데 식품공전에서는 전두부에서만 규격을 정하고 있다. 중금속 함량은 납에 대해서 측정하였는데 시료와 유통두부 모두 검출되지 않았으며 식품공전의 규격은 3.0 mg/kg 이하 농도를 요구하였다.

Table 2. Chemical content analysis of tofu samples

	Solid fraction (%)	Crude protein (dry weight %)	Crude lipid(%)	Heavy metals
Sample	17.92	43.59	3.79	ud*
W product	16.76	51.31	4.03	ud
P product	16.28	44.61	3.85	ud
H product	16.93	45.19	3.76	ud

Three samples were separately analyzed and averaged.
*ud : undetected.

물리적 특성

연속공정으로 제조한 두부의 물성을 측정하고 시중에 유통되는 찌개용(stew use) 및 부침용(pan-fry use) 두부상품과 비교하였다(Table 3). 실험 결과는 제조된 두부가 탄성(elasticity)에 있어서 유통두부 중 P사와 G사의 부침용 두부와 비슷한 탄성을 나타냈으며, 강도(strength), 경도(hardness), 항복치(yield value)는 P사의 두부보다 낮았고 반면에 G사에서 제조되는 부침용(pan-fry) 두부와 비슷한 물리적 특성을 보였다. 따라서, 전체적인 결과를 비교해 보면 G사의 부침용 두부와 비슷한 물리적 특성을 보여 연속공정으로 생산된 두부는 찌개용 보다는 부침용으로 이용되기에 적합한 것으로 판명되었다. 콩투입기의 모터 속도로 원료콩의 투입량을 증가시킬 때 두유 농도가 상승하였고 이때 생성되는 두부의 물성 항목들이 각각 조금씩 변하는 것을 관찰하였다. 또한 응고제 첨가단계에서의 두유 온도와 교반 속도, 그리고 두부 성형공정에서 압착기에서 가해지는 압력이 본 물성에 종합적으로 영향을 미쳤을 것으로 판단되었다.

관능적 특성

시판되는 두부와 sample에 대하여 사전 교육받은 연구원들을 대상(14명)으로 관능검사를 실시하였다. 품질특성으로 냄새, 맛, 그리고 전체적인 품질에 대

Table 3. Analysis of physical properties of tofu samples

Rheological factors	Sample	P product (Stew use)	P product (Pan-fry use)	G product (Pan-fry use)
Elasticity (dyn/cm^2)	2573991.3	1159880.3	2442259	2228771.3
Strength (g)	1206.38	1669.9	1664.4	1254.2
Hardness (dyn/cm^2)	1493402.7	2299786.3	1952607	1445394
Yield value (dyn/cm^2)	1505290.7	2083686.3	2076781.7	1564326

Three samples were separately analyzed and averaged.

Table 4. Results of sensory evaluation of soybean curd Data from fourteen panelists were averaged

Soybean curds	Panel test items		
	Flavor	Taste	Total quality
Sample	3.33	3.50	3.50
P product 1	3.33	3.50	3.42
P product 2	3.33	3.50	3.50
G product	3.50	3.67	3.50

하여 평가하였고, 각 항목에 대하여 아주 나쁘다(1점), 나쁘다(2점), 보통이다(3점), 좋다(4점), 아주 좋다(5점)의 5점 채점법으로 등급을 정하였다. 이 결과의 통계처리는 Statistical Analysis System(SAS)로 각 처리 평균 간의 유의적인 검증을 하였다. 두부의 주요한 관능적 성질 중 냄새와 맛, 그리고 전체적 식감에 대한 차이를 비교한 결과는 Table 4와 같다. 시료로 이용된 제조두부는 유통두부와 전반적으로 유사한 식감을 보였고 F-값이 모두 낮아 뚜렷한 유의성있는 차이를 보이지 않았다.

마른콩을 이용하여 무침지 연속공정으로 생산된 두부는 위의 결과로 볼 때 식품공전 규격에 적합한 것으로 판정되었고 물성적 특징은 부침용에 가까운 두부로 보였다. 본 공정의 특징은 콩을 장시간 불리는 단계를 생략하여 두부제조에 걸리는 시간을 45분 이내로 대폭 단축한 것이고, 연속적으로 운전하면 계속적으로 일정한 품질의 두부를 생산할 수 있는 장점이 있었다. 본 분석에 사용한 두부 제조조건은 외관과 관능검사로 결정한 조건들로서 부침용에 가까운 품질을 보인 반면, 응고제 첨가단계에서의 두유 온도와 교반 속도, 그리고 두부 성형공정에서 압착기에서 가해지는 압력을 변화시키며 물성특성을 측정하면 다양한 물성 특징을 보이는 두부를 일정한 품질로 생산할 수 있다.

요 약

재래식 두부는 콩을 물에 침지하여 불린 뒤 분쇄하여 콩죽을 만들고, 이를 끓인 다음 천으로 콩비지를 제거하고 이 때 분리된 두유에 응고제를 추가하여 일정 시간 후 응고상태가 진행되면 압착하여 두부를 제조한다. 두부제조에 사용된 응고제 중 GDL의 함량이 높을수록 두부의 경도조절에는 유리하였고, GDL과 $CaSO_4$의 비율이 높을수록 두부의 맛에 나쁜 영향을 줄 수 있기 때문에 본 실험은 가장 수율이 좋고 응고제의 함량이 적당한 GDL 68 g, $CaSO_4$ 36 g 그리고, 9 Brix의 두유 40리터용량 조건에 정제염 28 g을 첨가하여 두부를 제조하였다. 본 연구에서 분석한 두부는 장시간의 콩 불림 과정을 생략하고 마른 콩을 분쇄와 동시에 단시간에 불리는 연속식 방식으로 생산한 제품으로서, 일반조성분석, 물성분석, 그리고 관능검사를 실시하였을 때 식품공전에 제시한 두부규격에 적합하였고 일반 유통두부와 유사한 결과를 보였다. 특히 물성측정 결과는 본 연속식 제조두부가 부침두부용에 가까운 특징을 보였다. 연속식 두부자동화 제조기술은 일정한 품질의 두부를 생산하는 장점이 있는데, 앞으로 본 연구에서 적용한 시스템을 이용하여 두부제조시간을 대폭 줄이는 특징 외에도 찌개용두부, 연두부등의 다양한 물성특성을 가지는 제품의 추가와 두부제품의 성분강화에 관련된 연구가 폭넓게 이루어져야 하겠다.

감사의 글

본 연구는 농림기술개발사업의 지원(과제번호: 20030042)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

김동만, 장규섭, 윤한수 1980. 분말두부의 수분흡착특성. 한국식품과학회지, **12**: 292

김철재. 1998. 두부 제조용 콩에 대한 품종별 비교연구 시급. 식품저널, **11**: 80

김현, 김경아, 한남수, 차은종 2005. 자동연계공정기술을 적용한 소형 두부생산시스템 개발, 식품산업공학,

이갑상, 김동한, 백승화, 전승호 1990. 두부의 저장에 미치는 응고제와 침지액의 효과. 한국식품과학회지, **22(2)**: 116-120

이경원. 1982. 국민영양과 대두의 수입정책. 식품과학, **15**: 40

최규서. 1998. 두부제품 종류 다양화돼야(냉장유통 법제화 시급). 식품저널, **11**: 74

최광수, 김순희 1983. 두부제조시 대두의 수침시간에 따른 수용성당류 및 두부수율의 변화. 한국영양식량학회지, **12(4)**: 401-406

Chang C.I. 1990. Comparison of Soybean Varieties for yield, Chemical and Sensory Properties of Soybean Curds. Korean J. Food Sci. Technol. **22(4)**: 439-444

Kim AK. 2001. General component and mineral content of commercial soybean curds in Seoul. Report of S.I.H.E., **37**: 120-125

Kim H.J. 1995. Rheological Studies of the Tofu upon the Processing Conditions. Korean J. Food Sci. Technol. **27 (3)**: 324-328

Kwon H.J. 1996. Bioactive compounds of soybean and their activity in angiogenesis regulation. Korea Soybean Digest. **16(1)**: 63-68

Kim J.S. 1996. Current research trends on bioactive function of soybean. Korea Soybean Digest. **13(2)**: 17-24

Kim J.Y. 2000. Quality Attributes of Whole Soybean flour Tofu Affected by Coagulant and Theirs Concentration. Korean J. Food Sci. Technol. **32(2)**: 402-409

Lim, B.T. 1990. Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics (calcium sulfate coagulant). J. Food Sci. **55**: 1088-1092

Mohsenin, N.N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials.(2nd ed.) Gordon and Breach, Science Publisher, Inc. p.155

Shen, C.F. 1991. Yield and quality of Tofu as affected by soybean and soymilk characteristics (glucono-delta-lactone coaglant). J. Food Sci. **56**: 109-112