

자동연계공정을 적용한 소형 두부생산시스템 개발

김경아* · 김현 · 한남수 · 차은종*

*씨케이인터네셔널, 충북대학교 식품공학과 생물건강산업개발연구센터

Development of a Small Soybean-curd Production System through Automatic and Consecutive Processes

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

*CKInternational Co. Ltd.

Department of Food Science and Technology, Chungbuk National University,
Reserach Center for Bioresource and Health

Abstract

This study was performed to manufacture soybean curd (tofu) in a more effective and faster way by using a grinding-disc unit of dry soybeans and by elimination of soybean-soaking process. During the soybean cutting and grinding process using the three consecutive 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 over 10 hours. Using this new process, we could make 30 cakes of tofu (500g per each) from 5 kg of dry soybeans in a consecutive manner.

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

서 론

두부는 오래전부터 우리나라, 중국, 일본 등지에서 섭취되어온 단백질 식품으로 최근 식품과 건강에 관심이 높아가면서 건강식품으로 인정되어 세계적으로 그 소비가 증가되고 있다. 기존의 두부 생산기술은 대두를 물에 침지하여 팽윤시킨 후 마쇄, 끓임, 여과과정을 거친 후 응고 및 압착하는 공정으로 구성된다. 그 밖의 순두부와 연두부 등도 비슷한 과정을 통해 제조되나 일부 대기업 외에는 공정상 자동화가 힘들며 상당수가 소규모 형태로 생산되어 공급되고 있다. 두부의 제조공정에 대한 연구는 주로 대두의 단백질, 침지시간, 가수량, 가열 온도, 응고제의 종류와 첨가방법, 성형조건 등이 두부의 품질과 수율에 미치는 영향을 조사하거나(Kim, 2000; Shen, 1991; Lim, 1990), 다양한 첨가물을 이

용하는 연구(김성숙 등, 2003; 박연주 등, 2003), 그리고 부패 미생물 동정(주길재 등, 1998) 및 저장성 증대(전기환 등, 1997)를 위한 것과 관련되었다. 두부제조는 장시간이 소요되는 데, 대두를 물에 6시간 내지 12시간 침지하는 과정이 특히 오래 소요되어 영양소의 침출(최광수와 김순희, 1983) 및 미생물 오염(이갑상 등, 1990)의 가능성이 높은 단계이다. 본 침지과정을 피하여 제조공정을 줄이고자 대두 대신 대두분말을 이용하여 두부를 가공하는 공정이 개발되기도 하였다(장희순 등, 2003; 김순동 등, 1994).

2005년 현재 국내의 두부 시장규모는 약 4천억 원으로 이중 대기업이 주로 생산하는 포장두부가 약 50%정도를 차지하고 있고 나머지 시장은 여전히 소규모 생산 업체에 의존하고 있다. 또한 다른 상품에 비해 짧은 유통기한과 제조업의 신고제도 등은 지역중심의 소규모 생산을 여전히 선호하게 하는 요소이다. 하지만 소규모 생산 시스템은 균일한 품질과 생산성을 유지하기 위하여 자동화 및 기계화해야 할 필요가 있다. 이를 위해 두부 자동화 제조 기기가 해외에서 수입되거나 국내에서 일부 생산되

Corresponding author: Eun Jong Cha, CKInternational Co. Ltd.
Chungbuk National University, Gesindong, Cheongju, 361-763
Phone: 043-261-2856, Fax: 043-261-2856
E-mail: ejcha@chungbuk.ac.kr

고 있으나 전통적인 기법을 단순히 공정별로 대형화한 수준에 머물고 있어 비효율적인 면이 있고 규모에 비해 일체화되어 있지 않은 공장형 시스템으로서 소규모 생산용도로는 적합하지 않다.

따라서 본 연구에서는 소규모 제조업체에 적합한 자동화 두부제조기를 개발하고자, 대두를 미세분쇄하면서 팽윤시켜 침지 및 마쇄공정을 단시간에 처리하는 방법과 모든 부품이 소형화 및 일체화 되도록 한 새로운 제조공정을 수립하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 두부제조용 원료 콩은 미국에서 수입한 혼합품종의 대두를 인천결기연식품공업협동조합을 통해 구매하여 이용하였다. 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.

응고제 투입량

응고제로 사용된 간수는 glucono-delta-lactone, 황산칼슘, 그리고 정제염을 혼합하여 사용하였으며 적정혼합비율은 두유의 농도와 부피에 따라 각각 조성을 달리하면서 제조된 두부의 외관과 관능검사 결과로 결정하였다.

결과 및 고찰

두부제조 신공정

마른콩의 수침단계를 없애고 분쇄와 불림을 동시에 수행하는 두부 제조공정을 Fig. 1과 같이 수행하였다. 마른콩이 세척단계를 지나 분쇄된 후 1차 마쇄, 2차 마쇄를 거치며 이송되면서 미세 콩 입자가 단시간에 불림이 진행되도록 하여 수침단계와 마쇄가 동시에 진행되는 것이 가능하였다. 이후 두부제조 과정은 기존의 방법과 기본적으로 유사하였고 필요시 자동연계공정을 위해 일부 변경하였다.

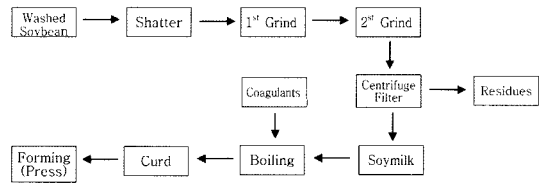


Fig. 1. Modified procedure for the manufacture of soybean curd.

기계장치

두부제조 초기 단계부터 대두를 미세분쇄하면서 수침단계를 단시간에 처리하고자 기존의 재래식 장치에 비해 자동세척기 기능을 강화하고 콩파쇄기 (shattering unit)를 추가하였다.

(1) 정량투입 및 자동세척기

마른콩의 투입량을 일정하게 유지하고자 프로펠러 형태의 투입판을 설계, 제작하고 전기모터로 회전시키되 회전수를 제어함으로써 투입량을 조절하였다. 자동세척기는 물의 와류를 이용해 석발 등의 이물질과 부유물을 제거하고 나선기어(worm gear) 이송로를 지나며 자동으로 세척이 이루어지도록 설계하였다(Fig. 2). 스크루가 일정속도로 회전하여 콩을 이송시키고 반대방향에서 세척용 물을 흘려주어 세척하는 방식으로 세척된 콩에 유량계로 결정되는 적정량의 물을 혼합하여 다음 공정으로 이송하였다. 스크루의 구동을 위해 스텝모터(step motor)를 채택하였고 미리 설정한 분당 회전수(RPM)를 직렬전송 통신을 통해 모터펄스 발생회로에 명령을 전달하여 드라이버에 펄스가 전달되면 모터가 회전되도록 하였다.

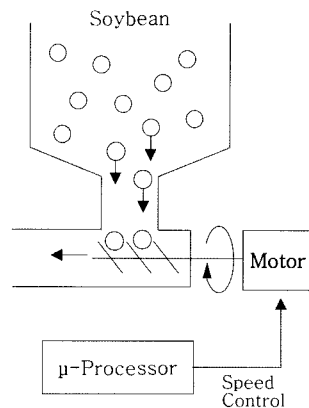


Fig. 2. Schematic of conveyer unit for soybean washing.

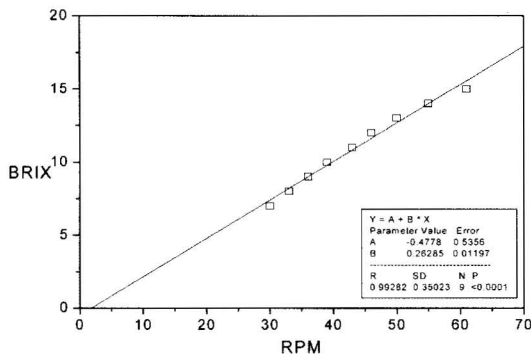


Fig. 3. Correlation curve of step motor speed(RPM) vs. soy milk concentration(Brix).

였다. 회전수의 제어를 위해 마이크로 프로세서가 되먹임하여 모터 회전수를 감지하였는데 기 설정한 회전수와 드라이버가 제시하는 실 회전수 간에 20% 이상의 차이가 감지되면 경보를 발령하고 시스템을 정지하도록 하였다. 스텝 모터 회전수(RPM)와 마쇄 공정 생산물(두유) 농도(Brix)를 동시 측정하는 실험을 수행한 결과 Fig. 3과 같이 매우 정확한 선형 관계를 얻었는데, 모터 회전수에 비례하여 콩 원료의 투입량과 두유의 농도가 함께 증가하는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 실험에서 두유의 농도는 정량투입기 스텝모터의 속도로 조절하기로 하였다. 두유의 농도(Brix)는 두유 용액을 건조 후 건조잔량의 백분율로 환산하였다.

(2) 고속 순간분쇄기

마른콩 파쇄기는 마른콩을 분쇄하여 콩즙상태로 가공하기 위한 1차 단계에 사용되었다. Fig. 4와 같이 중앙으로 투입된 콩이 회전 원심력에 의해 바깥 방향으로 이동하고 고정된 외부 칼날 안쪽에 전기 모터로 회전하는 내부 칼날이 있어 물과 함께 투입되는 콩을 직경 1 mm 이내로 분쇄하였다. 칼날의 간극은 상단에서 조절이 가능하게 하였다.

(3) 마쇄 · 불림기

마른콩이 분쇄공정을 거쳐 세절된 후 더욱 작은 입자로 마쇄되는 2단계 공정이 콩불림 공정과 함께 동시에 진행되었다. 콩을 분쇄하는 공정에서 발생하는 열은 두유의 품질을 떨어뜨리는데 이는 응고 제와의 응집을 어렵게 하여 두부생산 수율이 현저히 저하되는 원인이 되었다. 따라서 본 마쇄기 (grinding unit)는 Fig. 5와 Fig. 6에 제시된 것처럼

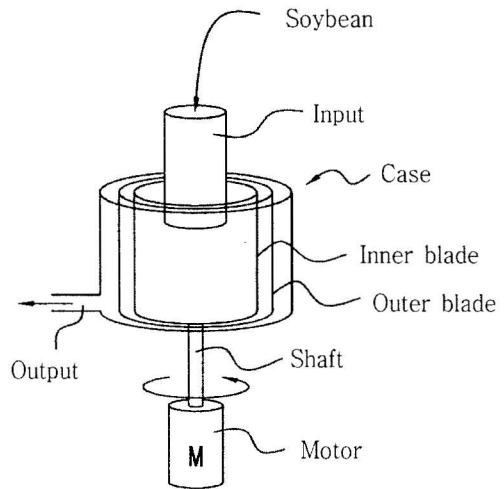


Fig. 4. Schematic of soybean shattering unit. The outside disk blade is fixed and inner disk blade is spun by a motor. The washed soybean is loaded from upside with water.

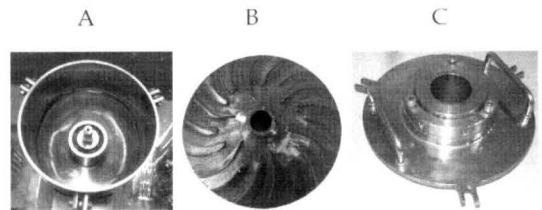


Fig. 5. Structure of soybean grinding unit. A : Vessel for soybean grinder, B : Grinding disc, C : Lid

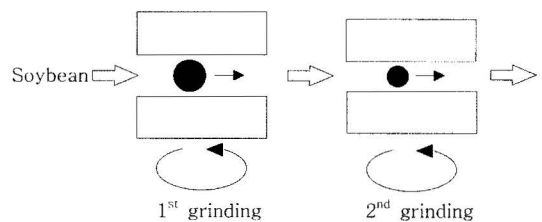


Fig. 6. Scheme of soybean grinding using two consecutive grinding units.

세척된 콩이 투입되면서 샷갓모양의 나선형 칼날에 마쇄 되도록 설계하여 마쇄 시에 콩이 뭉그러지지 않고 열의 발생을 줄이는 효과가 있었다. 또한 마쇄된 콩입자는 간극이 보다 좁은 2단계 마쇄기를 통과하며 미세한 입자가 되고 표면적이 넓어져 물에 쉽게 불려지는 효과도 있었다. 1번과 2번 마쇄기의 배출구에는 각각 5 m 길이의 호스를 연결하여

이동 중 콩즙의 불림효과(swelling effect)를 극대화 하였다. 이와같이 2단계로 구성된 마쇄 및 불림공정은 본 두부제조 공정의 핵심을 이룬다.

(4) 원심분리기

마쇄공정에서 배출되는 콩즙을 원심분리하여 콩비지를 생산하고 두유를 다음 단계로 이송하는 장치로 이용하였다. 회전통으로 콩즙을 투입하고 탈수망(mesh screen)을 통과해 나오는 두유는 펌프를 이용하여 증숙공정으로 이송하였다.

(5) 가열증숙기

두유를 일정 온도로 가열하여 증숙시키는 공정은 보일러로 가열된 증기를 두유 유입방향과 반대로 투입하는 향류 열교환기를 이용하여 100°C에서 약 5분간 가열하였다.

(6) 응고제 혼합기

응고제 혼합기는 응고제(간수)를 자동으로 투입하여 교반하기 위한 장치로서 두유탱크에 일정량을 투입하여 두유를 응고시켜 순두부를 생산하는 장치이다. 두유탱크는 2개의 동일한 탱크를 제작하여 교대로 동작시킴으로 연속공정이 가능하게 하였다. 두유탱크 내부에는 교반기를 설치하여 상부에 장치된 에어실린더에 의해 가동되도록 설계하였다.

(7) 압착 성형기

컴프레서 장치(3 마력, 한국기계공업)로 순두부에

일정 압력을 가하여 최종적으로 두부를 생산하는 압착성형기를 부착하였다. 압착하는 실린더 내부의 압력과 압착시간에 따라 다양한 경도의 두부를 생산하도록 조절할 수 있으며 두유탱크와 마찬가지로 동일한 형태의 압착성형기를 2대 설치하여 연속공정을 가능하게 하였다.

두부제조공정 및 운전

위에서 열거한 각 단위장치들을 Fig. 7 및 Fig. 8 과 같이 연결하여 연속적으로 가동하였다. 마른콩을 분쇄기를 통해 절단한 후 발생하는 거품은 소포제(실리콘소포제, LS-303)를 투입하여 제거하였고 바로 1차 마쇄기로 유입하였다. 1차 마쇄단계에서 배출된 콩즙은 2단계 마쇄기로 도달하는데 20초 정도가 소요되도록 하였고 본 과정에서 콩 미세입자는 불림이 동시에 진행되었다. 2개의 연속된 콩 마쇄기의 간극은 점점 좁아지도록 설정하였고 스크류 동작(screw moving) 방식으로 조절하였다. 본 두부제조공정을 통하여 배출되는 콩즙은 농도 9 brix의 두유로서 15분동안 40리터가 생산되는 속도로 운전하였고, 이때 분쇄된 미세콩의 평균입자크기는 0.33 mm³로 배출되었다.

Fig. 8은 마쇄액을 원심분리하여 비지와 두유를 분리하고 두유를 가열한 후 간수를 투입하여 두부를 경화시키는 공정을 보여준다. 2차 마쇄기에서 배출된 콩즙은 원심탈수기를 통하여 비지를 제거하고 두유를 분리하였다. 분리된 두유는 두유탱크를 거쳐 이송펌프에 의해 스티프열교환기를 통과하여 가열

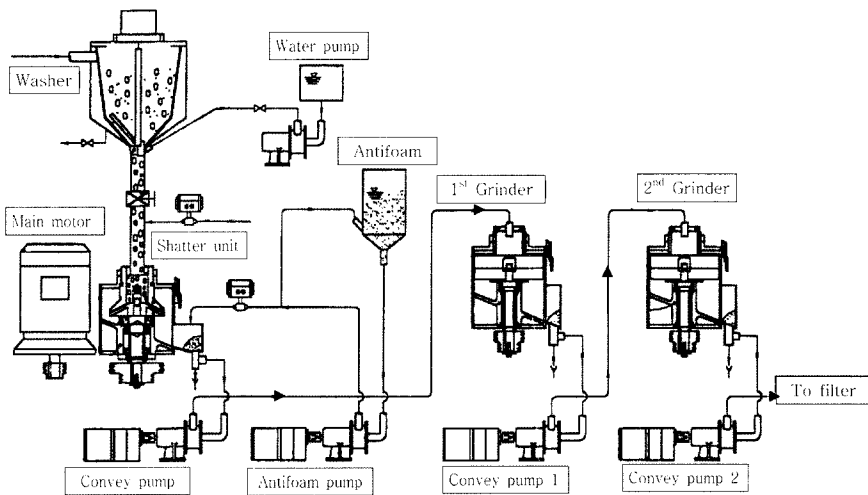


Fig. 7. Flowchart of washing, shattering, and grinding processes of soybeans.

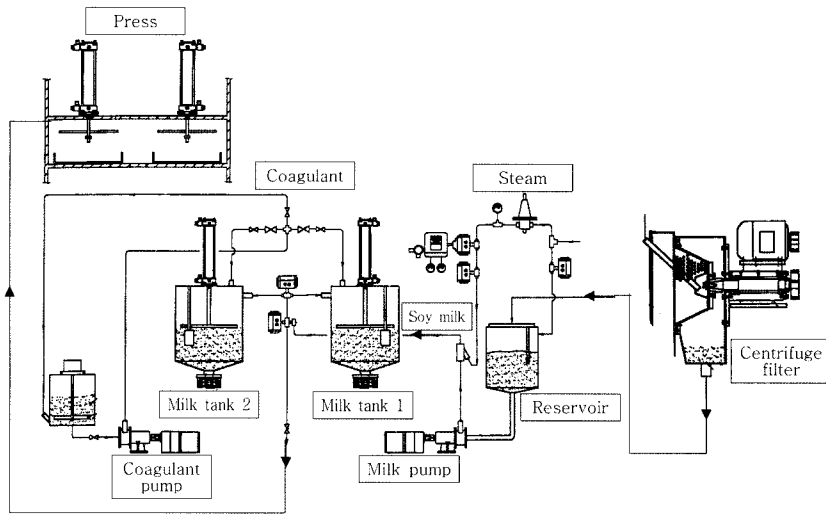


Fig. 8. Flowchart of soy milk extraction, heating, coagulant addition and curd formation.

되고 1번 두유탱크와 2번 두유탱크에 교대로 채워졌다. 두유탱크에서는 GDL, 황화칼슘, 정제염으로 구성된 응고제를 첨가하고 교반기로 혼합하였다. 응고제를 투입하여 15분 정도 숙성시키면 단백질이 응고되어 순두부가 되고, 이송펌프에 의해 두부압착성형기로 이동하여 압착하고 수분을 강제로 배출하여 두부를 성형하였다. 농도 9 Brix의 두유 40리터를 두유탱크에 채우고 응고제 조성을 변화시키며 두부의 외관과 식미를 함께 관능평가 하였고, GDL 68 g, 황산칼슘 36 g, 그리고 정제염 28 g 첨가하는 경우가 가장 좋은 결과를 보였다.

두부제조 소요시간

본 두부제조기를 이용하여 두부를 가공하는 공정은 기존의 두부제조에 필요한 평균 9시간 이상의 수침단계가 생략되고, 분쇄, 마쇄, 탈수 그리고 끓임 단계가 단축되면서 평균 12시간의 두부제조공정을 약 45분에 가능하게 하였다(Table 1). 또한, 본 공정으로 최초운전 시에는 45분이 소요되나 연속 생산하게 되면 매 15분마다 마른콩 5kg이 투입되고 동시에 500g의 두부 30모가 연속적으로 생산되었다.

요 약

종래에 두부를 제조할 때에는 콩을 물에 불린 뒤 분쇄하여 콩죽을 만들고 이를 끓인 다음 천으로 콩비지를 제거하고 이 때 분리된 두유에 응고제인 간

Table 1. Comparison of the time required to manufacture soybean curd

	Traditional process	This process
Soaking	6hrs (Summer) or 12hrs (Winter)	-
Cutting	5min	
Grinding	-	15min
Dehydration	5min	
Boiling	20min	
Coagulation	15min	15min
Curd formation	15min	15min
Total	7hrs~13hrs	45min

수를 투입하여 일정 시간 후 응고상태가 진행되면 압착하였다. 그러나 이와 같은 종래의 방식으로 두부를 제조할 때에는 별도의 여러 단위공정으로 인해 공정이 번거롭고 6~12시간의 콩불림 과정으로 인해 제조시간이 많이 소요되는 문제점이 있었다. 하지만 본 연구에서는 수침공정없이 마른콩을 분쇄한 후 샷갓모양의 나선형 칼날로 세절하는 2단계 공정을 콩불림 공정과 함께 동시에 진행하여 연속으로 두부를 제조하는 공정을 수립하였다. 두부 응고제 조성을 포함하여 각 단위 공정별로 최적화를 실시한 결과 제조된 두부는 외관과 관능검사 결과 일반 두부와 차이가 없었다. 본 연구에서 수립한 공정에 따라 제작된 연속식 자동화 두부제조기는 매 15분 간격으로 마른콩 5kg을 투입하였을 때 작업 개시 45분 후 500g의 두부 30모를 연속으로 생산할 수 있었다. 본 연구를 통하여 확립된 새로운 두부제조공정은 침지단계가 없어 영양분 손실과 미생

물 오염의 가능성을 줄일 것으로 예상되었고 두부 제조에 걸리는 시간을 대폭 단축시키는 효과를 보였다. 따라서 본 두부제조 시스템은 소규모 제조업체에서 수요에 따라 능동적으로 일정한 품질의 두부를 연속적으로 생산하는데 적합하였다.

감사의 글

본 연구는 농림기술개발사업(과제번호: 20030042)의 연구비 지원으로 수행된 연구결과의 일부로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 김성숙, 박민경, 오남순, 김동청, 한민수, 인만진 2003. 클로렐라를 첨가하여 제조한 두부의 품질특성과 저장성. 한국응용생명화학학회지. **46(1)**: 12-15
- 김순동, 김미경, 김미향, 이명숙 1994. 전자렌지를 이용한 초미세 대두분말두부의 신속제조. 동아시아식생활학회지, **4(2)**: 57-61
- 박연주, 남영란, 전병록, 오남순, 인만진 2003. 마늘의 첨가가 두부의 품질과 저장성에 미치는 영향. 한국응용생명화학학회지. **46(4)**: 329-332
- 이갑상, 김동한, 백승화, 전승호 1990. 두부의 저장에 미치는 응고제와 침지액의 효과. 한국식품과학회지, **22(2)**: 116-120
- 장희순, 이상덕, 이기택, 오만진 2003. 미세 전지 대두분말과 단백질분해효소를 이용하여 제조한 연두부의 특성. 한국식품저장유통학회지, **12(2)**: 192-199
- 전기환, 김병용, 손태일, 함영태. 1997. 수용성 키토산분해물질을 침지액으로 이용한 두부의 저장성 증대. 한국식품과학회지. **29(3)**: 476-481
- 주길재, 허상선, 최용희, 이인구 1998. 부패하는 두부로부터 미생물의 분리 동정 및 특성조사. 한국식품저장유통학회지. **5(3)**: 292-298
- 최광수, 김순희 1983. 두부제조시 대두의 수침시간에 따른 수용성당류 및 두부수율의 변화. 한국영양식량학회지, **12(4)**: 401-406
- 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
- Shen, C.F. 1991. Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics (glucono-delta-lactone coagulant). J. Food Sci. **56**: 109-112