

제조조건에 따른 두부의 물성연구

김학정 · 김병용 · 김명환*

경희대학교 식품가공학과, *단국대학교 식품공학과

Rheological Studies of the Tofu upon the Processing Conditions

Hag-Jung Kim, Byung-Yong Kim and Myung-Hwan Kim*

Department of Food Processing, Kyunghee University

*Department of Food Engineering, Dankook University

Abstract

The changes in the rheological properties of soybean curd upon the processing conditions were measured by the failure test, and analyzed by the stress-relaxation data. Soybean curd coagulated with CaCl_2 showed a higher failure stress value than other coagulants such as MgCl_2 , CaSO_4 and Glucono- δ -lactone (GDL), whereas addition of 0.3% CaCl_2 produced higher failure stress value than other concentrations (0.2~0.6%). Also, maximum failure stress of soybean curd was shown at the higher heating temperatures(95°C) and greater molding pressures, respectively. Initial and equilibrium stress at the stress relaxation curves showed the same tendency as those of failure test, and magnitude of elastic elements(E_0 , E_e) and viscous element(η) were numerically expressed through simple Maxwell model analysis.

Key words: soybean curd, failure stress, stress-relaxation

서 론

대두에는 전체단백질의 80~90%를 차지하는 glycinin과 albumin 등의 단백질 성분과 비단백 질소 화합물이 함유되어 있는데 이 대두를 물과 함께 마쇄할때 대두에 함유되어 있는 단백질과 각종 염류가 용액내로 녹아 들어가 교질 현탁액인 대두유를 이룬다. 여기에 응고제를 첨가하면 교질상태로 현탁되었던 단백질이 침전되는데 이것이 응고되어 gel을 형성한 것이 두부이다⁽¹⁾. 이러한 과정을 거쳐서 제조된 두부의 품질, 조직, 수율 등은 원료대두⁽²⁾, 및 제조조건들에 의해 영향을 받는다. 즉 대두의 단백질⁽³⁾, 대두의 수침시간⁽⁴⁾, 지방⁽⁵⁾, phytic acid함량⁽⁶⁾, 대두유 농도⁽⁶⁾, 대두유의 가열온도⁽⁷⁾ 및 응고제의 종류⁽⁸⁾나 양⁽⁹⁾, 응고온도⁽⁸⁾, 응고제 첨가속도⁽¹⁰⁾, 응고시간⁽¹¹⁾, 압착시 성형압력⁽¹²⁾ 등에 따라 달라진다.

두부를 포함한 양갱⁽¹³⁾, 전분⁽¹⁴⁾, 어묵^(15,16), 도토리묵⁽¹⁷⁾ 등과 같은 많은 gel상 식품의 구조는 고분자 물질로 이루어져 있으며 소량의 고형분이 다량의 용매를 보유하면서 일정한 형태를 유지하는 점탄성체로서의 성질을 보인다. 점탄성 성질이란 순간적으로 변화하는 힘에 대해서는 탄성적인 행동, 시간과 함께 변화하지 않는 일정한 힘에 대해서는 점성유체로서의 성질을 갖는 특성을

보이는 것을 말하며⁽¹⁸⁾ 이런 점탄성을 갖는 물질의 성질을 측정할수 있는 방법에는 응력완화 현상(stress-relaxation)을 이용한 수학적인 모델 연구가 있다. 손과 윤⁽¹⁴⁾ 등은 점성 및 탄성의 구성요소로 이루어진 일반화된 Maxwell모형을 이용하여 동부와 녹두전분젤의 점탄성을 설명하였고 김과 이⁽¹⁹⁾ 등은 도토리묵의 점탄성을 Maxwell 모형에 적용하여 설명하였다. 그러나 이와같은 탄수화물 식품들의 경우 많은 연구가 이루어지고 있으나 대두단백질을 이용한 두부의 경우 공정조건에 따른 물성학적 변화에 대한 연구는 극히 미비한 실정이다. 본 실험에서는 두부의 품질에 영향을 주는 제조공정 조건중 응고제 종류 및 양, 두유액의 가열온도, 압착시의 압력 등을 달리하여 제조한 두부를 파괴실험을 통하여 두부제조시 최적의 조건을 얻은후 얻어진 최적의 공정조건하에서 응력완화현상을 조사하고 두부의 물성학적 역학모형분석을 통하여 두부조직에 영향을 주는 인자들의 영향을 밝히고 두부조직의 물성학적 성질을 규명해 보고자 하였다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 콩은 수입산 미국대두를 사용하였으며, 두부응고제는 CaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 , Glucono-delta-lactone(GLD) (Sigma)을 사용하였다.

Corresponding author: Byung-Yong Kim, Department of Food Processing, Kyunghee University, Yong-in, Kyunggi-do 449-701, Korea

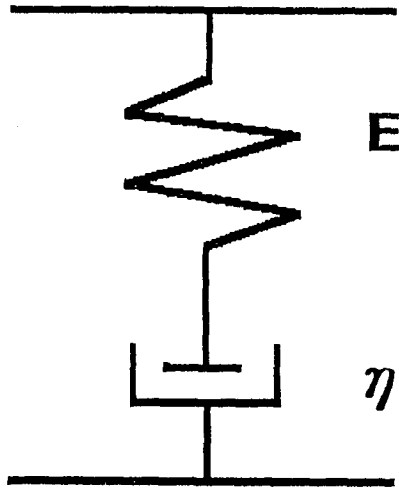


Fig. 1. Schematic diagram of simple Maxwell model

두부의 제조

깨끗이 수세한 대두(300g)를 12시간 수침, 팽윤시킨 후 blender에서 5분간 마쇄하여 충분히 마쇄된 콩을 여과포에 넣고 두유를 압출하였다. 가수량은 원료대두의 10배로 하였다. 얻어진 두유액을 95°C에서 10분간 끓인 후 끓인 두유액에 응고제를 첨가하였다. 응고제 첨가후 20분 방치하여 배포를 간 성형틀(12×12×20 cm)에 응고물을 옮긴 후 일정무게로 압착, 성형하고 냉각후 물성변화를 측정하였다.

파손강도(Failure stress)의 측정

두부의 내부조직 강도를 나타내는 파손강도는 시료의 크기를 일정하게 자른 후(2×2×2cm) rheometer(Sun. Co. CR-200D, Japan)를 이용하여 10 kg load cell에 부착시킨 후 압축속도 200 mm/min, 변형율(strain) 0.4에서 파손강도를 측정하였다.

응력완화(Stress-relaxation)의 측정

각 제조공정에 따라 제조한 두부의 응력완화 현상의 측정은 rheometer를 이용하여 일정크기의 시료를 10 kg load cell에 부착시키고 일정 변형율 0.2에서 고정시켜 수직방향으로 일정한 압축속도 200 mm/min으로 이동하여 힘을 가한후 응력완화 현상을 측정하였다. 순간응력과 시간에 따른 응력의 감소는 300 mm/min에서 30분간 기록하였다.

응력완화(Stress-relaxation) 곡선의 분석

응력완화 측정으로부터 얻어진 data를 이용한 점탄성 성질의 분석방법으로서 각기 다른 물체의 작용을 가시화하여 분석하였다. Elastic spring과 viscous dashpot 각각 1개씩으로 이루어진 가장 간단한 Maxwell 모델(Fig. 1)에 적용하였으며 조직을 예측할 수 있는 식은 다음과

Table 1. Effects of various coagulant concentrations upon the failure stress of Tofu made at the 95°C heating temperature and 15 kgf molding pressure

Coagulant concentration (%)	Coagulants			
	CaCl ₂	MgCl ₂	CaSO ₄	GDL
0.2	16.07 ¹⁾ (1.04) ²⁾	— ³⁾	—	—
0.3	33.01 (1.87)	18.88 (1.20)	9.18 (1.28)	6.00 (0.40)
0.4	23.08 (3.32)	18.87 (0.60)	8.96 (0.53)	7.56 (1.22)
0.5	12.50 (2.00)	16.70 (0.98)	15.95 (1.29)	8.47 (0.93)
0.6	—	—	6.33 (1.00)	6.77 (1.44)

¹⁾The value is the mean value of 5 times measurements. Unit of a: kPa.

²⁾The value in parenthesis is the standard deviation.

³⁾Coagulation is occurred but molding is impossible.

같다.

$$\sigma_0 = \epsilon_0 \cdot E \tag{1}$$

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot (e)^{-t/\tau} \tag{2}$$

여기서 σ_0 는 초기응력, τ 는 응력완화 시간으로서

$$\tau = (\eta/E) \tag{3}$$

으로 나타내어진다. η 는 점성 성분을 나타내며 E는 탄성성분을 나타낸다.

결과 및 고찰

파손강도의 측정

여러 응고제의 종류(CaCl₂, MgCl₂, CaSO₄, GDL) 및 첨가농도(0.2~0.6%)에 따라 제조한 두부의 파손강도의 결과를 Table 1에 나타내었다. 응고제는 두유양에 대한 백분율로서 나타내었다. CaCl₂ 응고제를 사용하여 제조한 두부의 경우에는 0.2%에서 0.3%로 응고제양이 증가시 파손강도는 16 kPa에서 33 kPa로 증가했으나 0.3%의 응고제 첨가 이후부터는 파손강도가 감소하는 경향을 보였으며 0.6%에서는 응고는 되었으나 성형이 되지않았다. MgCl₂나 CaSO₄ 응고제를 이용한 두부는 0.2%의 응고제양에서는 모두 응고는 되었으나 성형이 되지 않았고 0.3% 응고제 양에서부터 성형되었으며 MgCl₂ 두부는 0.3% 응고제양에서 최대 파손강도 18.9 kPa를 CaSO₄ 두부는 0.5% 응고제 양에서 최대 파손강도 15.95 kPa를 각각 보였다. GDL 응고제를 사용하여 제조한 두부는 0.2%에서는 응고는 되었으나 성형이 되지 않았고 0.5% 응고제 농도에서 최대 파손강도 8.47 kPa를 보였고 이후부터는 파손강도가 감소하였다. 이는 응고제마다 단백질과 결

Table 2. Effect of heating temperatures upon the failure stress of Tofu made at the 0.3% coagulant concentration and 15 kgf molding pressure

Heating temperature(°C)	Coagulants			
	CaCl ₂	MgCl ₂	CaSO ₄	GDL
80	11.11 ¹⁾ (0.87) ²⁾	4.26 (0.36)	—	—
90	24.21 (1.32)	11.70 (0.86)	— ³⁾	—
95	33.01 (1.87)	18.88 (1.20)	9.18 (1.28)	6.00 (0.40)
100	30.45 (1.59)	18.17 (1.39)	2.89 (0.38)	—

¹⁾The value is the mean value of 5 times measurements. (Unit: kPa).

²⁾The value in parenthesis is the standard deviation.

³⁾Coagulation is occurred but molding is impossible.

합하는 염의 양이 다르기 때문에 과잉의 응고제를 사용하면 결합에 사용된 염 이외의 나머지 염은 전해질로 작용하여 단백질에 양이온은 알칼리 분해를 음이온은 산분해를 일으켜 도리어 단백질과 염의 결합을 방해하기 때문에 두부조직의 강도를 낮게 하며⁽²⁰⁾ 맛에도 영향을 미치는 것으로 보인다⁽¹¹⁾. 0.3% 응고제를 첨가하여 만든 두부들의 파손강도를 비교해보면 CaCl₂, MgCl₂, CaSO₄, GDL순으로 강도가 감소하는 경향을 보였는데 이는 GDL, CaSO₄, CaCl₂순으로 강도가 감소한다고한 Lu⁽²¹⁾ 등의 보고와 CaSO₄, GDL, MgCl₂, CaCl₂, acetic acid 순으로 강도가 감소한다고 보고한 문⁽²²⁾ 등의 보고와는 차이를 보이니 CaCl₂, MgCl₂, CaSO₄, GDL순으로 강도가 감소한다고 보고한 고와 김⁽⁶⁾과는 일치하는 경향을 나타내었으며 이러한 파손강도의 차이는 각각 첨가한 응고제의 농도에 따라 크게 영향을 받음을 알 수 있었다.

응고제를 사용하여 두유의 가열온도(80~100°C)에 따라 제조한 두부의 파손강도를 측정된 결과를 Table 2에 나타내었다. CaCl₂, MgCl₂ 응고제로 제조한 두부는 모두 80°C에서 95°C까지 가열온도가 증가시 강도가 증가하였으며 95°C에서 최대치를 보여주었다. CaSO₄ 두부의 경우는 80°C와 90°C 가열시는 응고는 되었으나 성형이 되지않아 측정이 불가능하였으며 95°C에서 최대강도를 나타내었다. GDL을 사용하여 만든 두부는 95°C에서의 가열시만 성형되었으나 그 값은 다른 응고제에 비해 가장 낮은 값을 보여주었다. SH 결합의 변화가 두부의 조직형성에 중요한 역할을 하며 SH기의 양은 가열온도가 증가할수록 증가하다 일정온도 이상에서는 감소한다고 보고한 Saio⁽⁶⁾와 같이 본 연구에서는 어떤 응고제를 사용하던지 95°C의 가열온도에서 최대 파손강도를 나타낸 후 감소하였다. 또한 CaCl₂ 응고제를 사용시 일반적으로 어느 가열온도에서나 가장 높은 파손강도를 나타내었다. Lee⁽⁷⁾ 등은 단백질의 칼슘응고는 단백질 분자간 칼슘이온에 의한 cross-linking 때문이라고 하였으며 대두단백

Table 3. Effect of molding pressure upon the failure stress of Tofu made at the 0.3% coagulant concentration and 95°C heating temperature

Molding pressure (kg)	Coagulants			
	CaCl ₂	MgCl ₂	CaSO ₄	GDL
3	19.11 ¹⁾ (0.99) ²⁾	8.32 (0.55)	—	—
9	26.46 (3.30)	12.29 (0.68)	— ³⁾	—
15	33.01 (1.87)	18.88 (1.20)	9.18 (1.28)	6.00 (0.40)
21	36.26 (1.02)	24.08 (1.63)	—	—

¹⁾The value is the mean value of 5 times measurements. (Unit: kPa).

²⁾The value in parenthesis is the standard deviation.

³⁾Coagulation is occurred but molding is impossible.

질의 free carboxyl group이 중요한 칼슘 binding site 라고 하였다.

성형압력을 달리하여 두부의 파손강도를 측정된 결과는 Table 3에 나타내었다. CaCl₂ 두부와 MgCl₂ 두부는 성형압력이 증가할수록 파손강도가 증가하였는데 이는 성형시 가한 압력이 증가함에 따라 두부의 수분함량이 감소하여 단백질 응고물간의 결합면이 증가되어 두부 조직이 단단해지기 때문으로 사료되며 이 결과는 성형압력이 높을수록 응고제 종류에 상관없이 강도가 증가한다는 이와 안⁽¹²⁾의 보고와 성형압력을 높이면 수분함량과 수율은 감소하나 강도는 증가한다는 Gandhi⁽²³⁾ 등의 보고와 일치하는 결과를 나타냈다. CaSO₄, GDL 두부는 성형압력 15 kg에서는 성형은 되었으나 그 이상이나 그 이하의 성형압력 하에서는 성형이 안되었고 측정 불가능하였다.

응력완화현상의 측정 및 분석

각 응고제별로 standard 조건(응고제양 0.3%, 가열온도 95°C, 성형압력 15 Kg)을 이용하여 제조한 두부의 응력완화 곡선과 분석결과를 Fig. 2와 Table 4에 나타내었다. 초기응력은 CaCl₂, MgCl₂, CaSO₄, GDL 순으로 101.55 kPa, 43.49 kPa, 17.15 kPa, 16.54 kPa로 감소하였고 파손강도의 결과와 같은 경향을 나타내었으며, 일정한 응력을 가한 30분후의 잔존응력도 초기 응력의 크기와 비슷한 순서(33.01, 18.88, 9.18, 6.00 kPa)대로 응고제의 종류별로 차이가 났다.

응력완화 곡선을 가장 간단한 모델에 적용하여 계산된 탄성성분은 CaCl₂, MgCl₂, GDL, CaSO₄ 순으로 50.78 kPa, 21.74 kPa, 11.64 kPa, 8.58 kPa로 나타났으며 점성 성분은 CaCl₂, MgCl₂, CaSO₄, GDL 순으로 888.56 kPa sec, 369.64 kPa sec, 171.50 kPa sec, 78.54 kPa sec로 나타났다. 파손강도와 응력완화 실험의 결과는 초기응력과 점탄성율은 파손강도의 결과와 일치하는 경향을

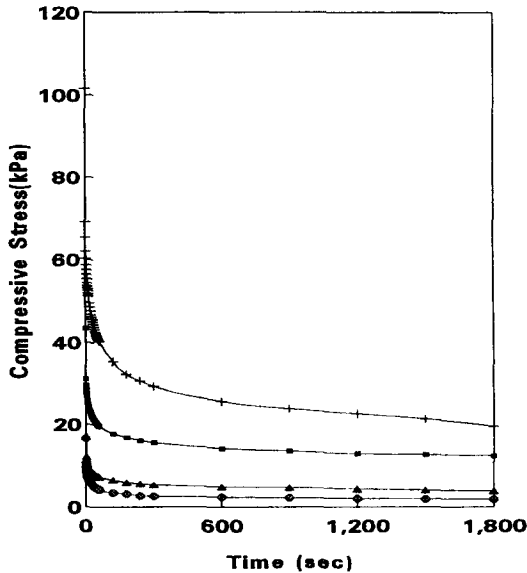


Fig. 2. Stress relaxation curves of Tofu made at the optimum processing conditions.

+—+, CaCl₂; □—□, MgCl₂; ▲—▲, CaSO₄; ○—○, GDL

나타냈다.

이는 파손 강도에서 나타난 두부 조직의 강도는 응고제의 종류에 따라서 비과괴적 방법을 이용하여 측정된 내부 조직의 점탄성의 변화와도 관계가 있음을 알 수 있다⁽¹⁵⁾.

파손강도 실험에서 최대의 강도를 나타낸 CaCl₂ 응고제를 사용하여 응고제 농도, 가열온도, 성형압력을 달리 하여 두부조직의 변화를 예측하기 위한 응력완화 실험에서 얻어진 응력완화 곡선을 simple Maxwell model식 (1)~(3)을 이용하여 분석한 결과를 Table 5에 나타내었다. 0.2% 응고제양의 경우 응력변화가 30.63 kPa에서 8.64 kPa로 0.3% 경우는 101.55 kPa에서 19.60 kPa로 0.4% 경우는 91.26 kPa에서 21.80 kPa로 0.5% 경우는 34.61 kPa에서 6.40 kPa로 변화하였다. 0.3% 첨가제에서 최대 초기 순간응력과 파손강도를 나타내었으나, 잔존 응력은 0.4%에서 최대 값을 나타내어 파손강도와 어긋남을 알 수 있었다. 또한 두부의 초기응력, 잔존평형응력의 변화가 파손강도의 변화와 일치하는 경향을 나타내었다. 탄성성분(E)과 점성성분(η)도 파손강도의 변화와 같이 0.3%에서는 50.78 kPa, 888.56 kPa·sec로 최대치를 나타내었고 0.4%부터는 감소하는 경향을 나타내었다. 가열온도의 경우 80℃에서 응력의 변화는 35.59 kPa에서 10.112 kPa로 90℃ 경우 46.551 kPa에서 12.25 kPa로 95℃ 경우 101.55 kPa에서 19.60 kPa로 100℃ 경우 62.72 kPa에서 15.93 kPa로 응력이 감소하였으며 탄성성분과 점성성분 또한 가열온도 95℃에서 최대치를 나타낸 후 감소하였다. 성형압력의 변화에 따른 응력의 변화는 3 Kg 경우 45.26

Table 4. Comparison of 3-element model constants derived from stress-relaxation data of Tofu made by optimum processing conditions

Coagulants	Constants					
	$\sigma_0^{1)}$	$\sigma_3^{2)}$	E ³⁾	$\eta^{4)}$	$\tau^{5)}$	$\sigma_f^{6)}$
CaCl ₂	101.55	19.60	50.78	888.56	17.0	33.01
MgCl ₂	43.49	12.37	21.74	369.64	17.0	18.88
CaSO ₄	17.15	3.80	8.58	171.50	20.0	9.18
GDL	16.54	1.78	11.64	78.54	9.5	6.00

Unit of a: kPa, b: kPa, c: kPa, d: kPa sec, e: sec, f: kPa, ¹⁾Initial stress, ²⁾Equilibrium stress, ³⁾Modulus of elasticity, ⁴⁾Viscous component, ⁵⁾Relaxation time, ⁶⁾Failure stress

Table 5. Comparison of 2-element model constants derived from stress-relaxation data of CaCl₂ Tofu made by various processing conditions

Processing conditions	Constants						
	σ_0	σ_e	E	η	τ	σ_f	
Coagulant concentrations (%)	0.2	30.63	8.64	15.31	160.78	10.5	16.07
	0.3	101.55	19.60	50.78	888.56	17.5	33.01
	0.4	91.26	21.80	45.63	661.65	14.5	23.08
	0.5	34.61	6.40	17.30	250.90	14.5	12.50
Heating temperatures (°C)	80	35.59	10.11	17.79	204.62	11.5	11.11
	90	46.55	12.25	23.28	314.21	13.5	24.21
	95	101.55	19.60	50.78	888.56	17.5	33.01
	100	62.72	15.93	31.36	533.12	17	30.45
Molding pressures (Kg)	3	45.26	13.05	22.63	294.21	13	19.11
	9	57.58	15.93	28.79	403.02	14	26.46
	15	101.55	19.60	50.78	888.56	17.5	33.01
	21	82.08	22.30	41.04	595.04	14.5	36.26

Unit of a: kPa, b: kPa, c: kPa, d: kPa sec, e: sec, f: kPa,

kPa에서 13.05 kPa로 9 Kg 경우 57.58 kPa에서 15.93 kPa로 15 Kg 경우 101.55 kPa에서 19.60 kPa로 21 Kg 경우 82.08 kPa에서 22.30 kPa로 변화하였으며 탄성성분과 점성성분은 15 Kg에서 최대치를 나타내어 파손강도의 결과와 거의 일치성을 보였다. 이와 같은 현상을 볼때 두부의 파손강도는 점탄성의 변화를 이용하여 유추할 수 있으며, 두부의 침지액에 저장되는 저장 조건을 감안하여 점탄성의 변화 및 조직 강도의 변화를 비과괴적인 초음파의 잔존 시간과 관련지어 예측될 수 있겠다⁽²⁴⁾.

요 약

두부의 제조공정(응고제 종류 및 양, 두유가열온도, 성형압력)에 따른 두부의 물성학적 성질의 변화를 파손강도와 응력완화현상을 이용하여 측정, 분석하였다. 각 응고제(CaCl₂, MgCl₂, CaSO₄, GDL) 중에서 CaCl₂가 가장 뛰어난 파손강도를 보였으며 대부분 0.3%에서 최대치를 보였다. 가열온도는 95℃에서 최대의 강도를 나타내었고

성형압력 15 kgf에서 모든 응고제를 이용한 두부는 성형되었으며, 일반적으로 성형압력이 높을 수록 두부조직의 강도도 증가하였다. 각 제조조건에 따른 응력완화 실험에서는 초기응력 값이 파손강도의 결과와 일치하는 경향을 보였고 탄성성분과 점성성분 또한 파손강도의 변화와 같은 경향을 나타내었다. 응력완화실험을 통하여 측정된 두부조직의 물성을 수학적 모델에 적용하여 조직의 변화를 수치화 하여 설명하였다.

감사의 글

본 연구는 1993년도 경희대학교 교비 지원 및 95년도 현장애로사항에 의하여 수행된 것의 일부로서 이에 감사드립니다.

문 헌

1. 최서규: 두부제품에 있어서의 당면과제. 한국콩연구회지, 5, 1 (1989)
2. Smith, A.K., Watanabe, T. and Nash, A.M.: Tofu from Japanese and United States soybean. *J. Food Technology*, 332 (1960)
3. Shimada, K. and Matsushita, S.: Gel formation of soybean 7S and 11S proteins. *Agric. Biol. Chem.*, 44, 637 (1980)
4. 박용곤, 박부덕, 최광수: 대두의 수침시간에 따른 조직의 미세구조, 단백질 특성 및 두부수율의 변화. 한국영양식량학회지, 14, 381 (1985)
5. 윤영미, 손경희: 두부의 생산량 및 수율에 미치는 지방의 영향. 한국식품과학회지, 1, 1 (1985)
6. Saio, K.: Tofu-Relationships between texture and fine structure. *Cereal Food World*, 24, 342 (1979)
7. Lee, C.H. and Rha, C.K.: Microstructure of soybean protein aggregates and its relation to the physical and textural properties of the curd. *J. Food Sci.*, 43, 79

- (1978)
8. 고순남, 김우정: 분리대두단백 두부의 물리적 특성에 미치는 응고 온도 및 응고제의 영향. 한국식품과학회지, 24, 154 (1992)
9. Sun, N. and Breene, W.M.: Calcium sulfate concentration influence on yield and quality of tofu from five soybean varieties. *J. Food Sci.*, 56, 1604 (1991)
10. 강호윤: 두부제조에 이론과 실제. 고려서적 (1992)
11. 김길환: 콩, 두부와 콩나물과의 과학. 세이정판사 (1982)
12. 이명환, 안혜숙: 두부제조시 응고제 및 성형압력이 미치는 영향. 서울여자대학 논문집 12호, 345 (1983)
13. 변유량, 전인선, 유주현: 양갱의 물성에 관한 연구. 한국식품과학회지, 10, 344 (1978)
14. 손경희, 윤계순: 동부와 녹두전분 gel 및 paste의 rheological properties. 대한가정학회지, 26, 93 (1988)
15. 강병선, 김병용, 이재권: 열처리 공정에 따른 생선 단백질의 물성 연구. 한국식품과학회지, 26, 103 (1994)
16. 박성진, 김병용: 생선단백질의 열안정성과 조직형성 속도에 공정조건이 미치는 영향. 24, 463 (1992)
17. 구성자: 도토리묵의 rheological properties 에 관한 연구. 대한가정학회지, 22, 99 (1984)
18. 岡小天: 레올러지 입문. 기전연구사 (1992)
19. 김영미, 이혜수: 응력완화실험에 의한 도토리 전분젤의 물성론적 모형분석. 한국식품과학회지, 5, 49 (1989)
20. 지성규: 식품첨가물, 도서출판 밝음, 585 (1989)
21. Lu, J.Y., Carter, E. and Chung, R.A.: Use of calcium salts for soybean curd preparation. *J. Food Sci.*, 45, 32 (1980)
22. 문수재, 손경희, 김영희: 각종 응고제에 따른 두부의 texture 특성에 관한연구. 대한가정학회지, 17, 11 (1979)
23. Gandhi, A.P. and Bourune, M.C.: Effect of pressure and storage time on texture profile parameters of soybean curd (Tofu). *J. Texture studies*, 19, 137 (1988)
24. 윤원병, 김병용, 김명환: 초음파를 이용한 단백질 식품젤의 물성변화의 예측에 관한 연구. 한국식품과학회지, 25, 632 (1993)

(1994년 11월 14일 접수)