

비압착 분리대두단백 두부의 물리적 특성에 미치는 가수량과 가열조건의 영향

구경형 · 김동원* · 김우정**

한국식품개발연구원, *신흥전문대학 식품영양학과, **세종대학교 식품공학과

Effect of Water Addition and Heating on Textural Properties of Uncompressed SPI Tofu

Kyung-Hyung Ku, Dong-Won Kim* and Woo-Jung Kim**

Korea Food Research Institute, Sungman

**Department of Food Science and Nutrition, Shinheung junior college*

***Department of Food Science and Technology, Sejong University*

Abstract

In order to prepare SPI tofu without compression step, amounts of water added to SPI suspension was studied for textural properties of uncompressed SPI tofu prepared by first heating at 100°C for 6 minutes and second heating at 75°C for 25 minutes and use of CaSO₄-GDL(0.07g, 0.0075 g/g SPI) as coagulants. The hardness and uniformity were gradually increased as the water addition ratio (gH₂O/g SPI) raised from 6.0 to 8.0 and cohesiveness was rather decreased. The increase in second heating time increased the hardness and gumminess and relatively higher values in hardness were measured for those tofu heated at 85°C than those at 75°C or 95°C. A multiple regression equation calculated and RSM figure showed that the effects of water addition ratio was become to be less as the heating time and temperature increased. Addition of 8 g of water per g SPI and second heating at 85°C for 30~60 minutes were found as optimal conditions to prepare uncompressed SPI tofu.

Key words: soy protein isolate, tofu, water addition ratio, heating, texture

서 론

두부는 콩을 침지 후 마쇄를 하여 가용성 물질을 분리한 다음 단백질을 응고시키고 압착 성형시킨 것으로 오랫동안 우리식탁에서 즐겨 취하여 오던 고단백식품이다. 우리가 가장 많이 섭취하는 보통두부는 제조과정상 자동화가 힘들며, 저장성이 낮아 주로 소규모 업체에서 생산하여 공급하고 있다. 또한 식생활의 변화에 의한 동물성 단백질 및 지방의 과다 소비로 성인병이 대두되면서 서민들의 영양원으로 섭취해온 식물성 단백질인 대두의 영양가와 대두유 제조 후의 부산물에 대한 연구와 소비가 확대되고 있다. 본 실험실에서는 대두유 제조시 부산물로 나오는 분리대두단백을 이용하여 대두를 원료로 하는 보통두부와 비슷한 물성과 맛을 가지면서도 보통두부의 재래식 공정중 침지-마쇄-여과의 과정과 압착과정을 생략한 두부의 제조 가능성을 연구하여 왔다.

그러나 분리대두단백을 이용하여 두부를 제조코저한 연구는 고 등⁽¹⁾의 분리대두단백으로 압착두부 제조시에 미치는 응고온도 및 응고제 영향과 김 등⁽²⁾의 분리대두단백에 기름, 설탕, 덱스트린 등을 첨가하여 압착두부를 제조할 때 단일응고제 및 혼합응고제의 영향을 본 것이 있을 뿐 보고된 것이 거의 없다.

본 연구에서는 전보⁽³⁾의 분리대두단백두부 제조시 가열시간이 단일 응고제 소요량과 혼합응고제의 두부수율 및 텍스처, 관능적 특성에 미치는 영향 조사를 기초로 하여 비압착 두부에 필요한 수분첨가량과 응고제 첨가 후의 2차 가열온도 및 시간에 따른 두부의 물리적 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

분리대두단백(Soy protein isolate, SPI, PP_{TM}500E, Protein Technol., Co., U.S.A.)은 단백질 91.5%, 수분 5.5%, 지방 0.5%, 회분 0.2%, NCI(nitrogen soluble index) 50.04%인 것을 사용하였으며, 응고제인 CaCl₂와 CaSO₄, glucono-delta-lactone은 1급 시약을 사용하였다.

Corresponding author: Woo-Jung Kim, Department of Food Science and Technology, Sejong University, Kunja-Dong 98, Sungdong-Ku, Seoul 133-747, Korea

비압착 두부의 제조

비압착 두부의 제조는 분리대두단백 10g에 적당량의 물(6~8배)을 첨가한 후 homogenizer(SCM Co., Deerfield, Ill.)로 2분간 균질화시키고, 100°C에서 6분간 1차 가열하였다. 1차 가열한 SPI 분산액은 40°C로 냉각시킨 다음 응고제를 첨가하고 다시 homogenizer로 잘 혼합한 후, 75~95°C 범위에서 15~90분간 2차 가열시키고 10°C에서 2시간 방치하여 두부를 성형시켰다. 이때 1차 가열한 SPI 분산액에 첨가한 응고제의 양은 전보⁽³⁾의 압착 두부제조에 관한 혼합응고제의 실험에서 선정된 CaSO₄-GDL, 75 : 25로 하였으며, 각각의 양은 CaSO₄ 0.07 g/g SPI, GDL 0.0075 g/g SPI로 40°C 이하에서는 응고되지 않고, 70°C 이상이 되어야 응고되는 양이었다.

수분 첨가량 및 2차 가열조건 조사

비압착 SPI 두부제조에 관한 수분첨가량의 결정을 위하여 SPI의 6~8배의 증류수를 첨가하여 비압착두부를 제조하였으며, 이때 2차 가열조건은 75°C에서 25분으로 하였다. 또한 최적 2차 가열온도, 가열시간 및 수분첨가량의 조건을 결정하기 위하여 가열온도와 시간은 75°C, 85°C, 95°C에서 15~90분까지 15분 간격으로 하였으며, 수분의 첨가량은 7.0, 7.5, 8.0배로 하였다.

통계적 분석

SPI 두부제조시 수분 첨가량과 2차 가열조건인 온도와 시간에 따른 텍스처 특성을 측정된 뒤 이들 조건을 독립변수로 설정하고 각각의 조건에서 제조한 두부의 견고성을 종속변수 Y로 설정한 다음, stat-graphics를 이용하여 다중회귀분석하고 model식을 계산하였다. 이 model식을 이용하여 반응표면분석법(RSM, response surface methodology)으로 등고선(contour plot)작도와 3차원 분석을 통하여 최적화(optimization)⁽⁴⁾하였다. 이때 각시료의 측정치는 5회 측정하여 평균값으로 하였다.

물리적 특성 측정

두부의 텍스처 특성은 두부를 일정크기(1.5×1.5×1.5 cm)로 절단하여 Rheometer(Sun Rheometer CR-2000 D., Sun Scientific, Co., Japan)로 TPA test를 하였다. 즉 측정 Mode는 mastification로 설정하고 측정조건은 full scale의 힘 1 kg, probe 속도 120 mm/min, chart speed 1 mm/min, probe는 지름이 15 mm인, No. 1로 5회 측정하여 평균을 내어 견고성, 응집성, 부착성 및 점성을 조사하였다. 또한 SPI 두부를 만들 때마다 텍스처 측정전 일부 두부를 4인의 관능평가원으로 하여금 각 특성의 강도를 (+) 기호의 숫자로 대단히 약하다는 (+), 보통은 (+++), 대단히 강하다는 (++++)로 조사하였다. 균일성은 일정두께(1.5 cm)의 두부를 손으로 휘어서 잘러진 단면의 균일한 정도를 육안으로 평가하였고, 매끄러운 손으로 만져 보았을 때의 촉감으로 하였다. 또 이수량은 상온에서 하룻밤 지난 두부를 육안으로 관찰하였을 때 분리된 물의 양으로 하였다.

결과 및 고찰

수분 첨가량의 영향

압착과정이 없는 비압착 두부는 두부제조시 첨가된 수분이 그대로 두부에 존재하므로 SPI 분산액의 수분 함량은 중요한 조건이다. 비압착식 SPI두부의 제조를 위하여 적절한 수분첨가량을 정하고자 전보⁽³⁾의 압착두부 제조시 수율이 높고 비교적 견고하며 조직의 균일성이 우수하였던 SPI의 6배 수분첨가와 혼합응고제 CaSO₄-GDL(75 : 25)로 응고시킨 구를 참고로 하였다. 수분 첨가범위를 6~8.5배로 하여 두부를 제조한 다음 물리적 특성을 측정된 결과는 Table 1과 같다. 또 1차 가열은 100°C에서 6분간 하였으며, 2차 가열온도는 적당한 두부의 텍스처를 갖게 하는 응고온도가 80°C 이상이어야 한다는 보고⁽⁵⁾와 고 등⁽¹⁾의 분리대두단백 두부의 제조시 60°C 이상부터 응고가 형성되었다는 보고를 참고하여 가열온도를 75°C로 하였다. 두부의 견고성은 6배의 수분 첨가시 89.3g에서 수분 첨가량이 증가하면서 견고성도

Table 1. Effects of water and SPI ratio on the textural properties of uncompressed SPI tofu coagulated by mixed coagulant of CaSO₄-GDL(75:25)

Water/ISP (v/w)	Textural properties				Sensory description		
	H. (g)	Adhes. (dyne/cm ²)	Cohes.	Gumm. (g)	Uniformity	Smoothness	Syneresis
6	89.3	6.93	0.20	17.74	+	++	++
6.5	133.3	4.03	0.22	28.70	++	+++	++
7	141.3	6.38	0.21	29.02	++++	+++	+
7.5	150.3	5.08	0.16	23.64	+++++	+++	+
8	162.7	5.58	0.16	26.76	+++++	+++	+
8.5	140.0	3.31	0.13	18.41	++++	+++	++++

H; hardness, Adhes; adhesiveness, Cohes; cohesiveness, Gumm; gumminess

*The first and second heating for preparation of uncompressed SPI tofu were 6 minutes at 100°C and 25 minutes at 75°C respectively

Table 2. Effects of second heating time at 75°C, 85°C, 95°C on the textural properties of uncompressed SPI tofu prepared with different ratios of water addition

Water/ SPI (v/w)	Heating time (min)	75°C				85°C				95°C			
		H. (g)	Adhes. (dyne/cm ²)	Cohes. (g)	Gumm. (g)	H. (g)	Adhes. (dyne/cm ²)	Cohes. (g)	Gumm. (g)	H. (g)	Adhes. (dyne/cm ²)	Cohes. (g)	Gumm. (g)
7.0	15	105	5.09	0.27	28.20	123	6.39	0.19	22.86	105	5.01	0.18	19.71
	30	140	5.38	0.23	28.13	175	9.85	0.12	21.77	124	5.13	0.14	20.64
	45	139	5.08	0.22	30.44	189	5.64	0.16	30.67	139	5.09	0.18	30.57
	60	136	5.30	0.19	25.80	203	6.38	0.15	31.24	134	5.42	0.15	29.82
	75	145	4.94	0.18	26.22	224	7.04	0.15	33.22	145	5.94	0.16	32.85
7.5	15	131	6.59	0.22	28.75	139	6.87	0.23	31.73	128	5.89	0.14	18.51
	30	155	5.63	0.19	29.33	179	4.25	0.19	34.08	156	4.92	0.19	29.12
	45	165	9.76	0.19	30.62	187	5.43	0.22	40.91	160	4.64	0.19	27.12
	60	199	5.26	0.21	42.17	233	6.42	0.20	54.40	206	4.70	0.19	38.58
	75	232	6.42	0.17	40.30	239	3.70	0.19	48.62	199	4.27	0.19	38.15
8.0	15	127	6.50	0.21	27.75	134	2.93	0.22	30.01	120	4.14	0.18	20.81
	30	164	5.63	0.19	29.82	175	4.92	0.22	39.05	168	4.19	0.19	32.12
	45	172	3.74	0.27	45.91	193	3.31	0.26	49.52	166	4.31	0.20	34.37
	60	212	4.35	0.21	45.03	228	6.05	0.30	63.04	201	5.81	0.20	40.56
	75	190	6.62	0.17	33.00	248	6.45	0.20	50.13	221	6.23	0.20	43.19

H; hardness, Adhes; adhesiveness, Cohes; cohesiveness, Gumm; gumminess

증가하다가 수분첨가량 8.5배에서는 다시 감소하여 7배 첨가구와 비슷한 140g의 값을 나타내었다. 부착성은 수분 첨가량이 따라 3.31~6.93 dyne/cm²의 범위를 보였으나 응집성은 수분 첨가량이 7배까지 증가하면서 변화가 거의 없다가 7.5배 이상에서는 감소하였다. 또 견고성과 관련이 있는 점성도 비슷한 경향으로 6배 첨가구는 17.74 g에서 수분 첨가량이 증가할수록 증가하다가, 8.5배 첨가구는 급격히 감소하였다. 이 결과는 콩을 원료로 한 두부의 경우 86.5~88.5% 수분 함량 구간에서 수분 함량이 증가함에 따라 견고성이 증가하였다는 보고⁽⁶⁾와 비교하면 SPI두부의 경우 수분 첨가량(85.7~87.5%)은 약간의 차이가 있으나 같은 현상을 보였다. 또 전보⁽³⁾의 100°C에서 6분간 1차 가열하여 혼합응고제 CaSO₄-GDL (75 : 25)로 제조한 압착두부의 견고성이 210.7g이었던 것과 비교할때 낮은 값을 보였는데 이는 압착하지 않았기 때문이라 사료된다.

한편 수분첨가량에 따른 두부의 관능적 특성에 관한 것으로 6배와 6.5배의 수분 첨가구는 조직이 균일하지 못하고 거칠었으며, 7~8배 첨가구는 연두부와 같이 매끄럽고 비교적 단단한 조직을 형성하였으나 그 이상의 수분 첨가에서는 약간의 물리적 충격을 주어도 조직이 부서졌으며 이수량의 경우 전체 무게의 10% 정도를 나타내었다. 이상의 결과로 비압착 두부의 수분첨가량은 비교적 견고성, 점성 등 물리적 측정치가 높고 관능검사 결과와 좋게 평가되었던 7~8배 수분첨가 범위로 정하였다.

가열온도의 영향

가열온도는 응고제에 의한 커어드가 탄력성과 견고성

을 갖기 위해서는 비교적 높은 온도인 80~90°C의 가열이 필요하다는 보고⁽⁷⁾와 탄력성이 큰 단백질 겔의 형성을 위해 7S는 80°C, 11S는 90°C가 적당하다는 보고⁽⁸⁾를 참고로 하여 각 조건별 두부를 제조하였다. 그 결과(Table 2) 응고제를 첨가한 다음 75°C에서 2차 가열할 경우 전반적으로 가열시간이 증가할수록 견고성이 증가되었고, 동일한 시간의 가열구는 수분 첨가량이 많을수록 높은 값을 보였다. 부착성은 수분 첨가구에 따라 큰 차이가 없었고, 응집성은 7배 수분 첨가구에서 감소 경향을 보였으나, 그 이상의 첨가구는 0.17~0.22의 범위로 큰 차이가 없었으며, 점성은 전반적으로 약간 증가하였다가 다시 감소하였다.

2차 가열온도가 85°C일 때 견고성은 가열시간과 수분첨가량이 증가함에 따라 증가하였고, 그 값은 대체적으로 75°C 때 보다 높은 값을 보여 주었다. 부착성은 전반적으로 가열시간에 따른 유의적 변화는 보이지 않았으나, 수분 첨가가 많을수록 낮아졌다. 응집성은 7배와 7.5배에서 가열을 오래할수록 약간 감소하였으나, 8배 첨가구는 오히려 증가하였고, 점성의 경우도 증가하는 경향이였다.

한편 95°C 가열구에서도 견고성은 가열시간이 증가함에 따라 전반적으로 증가하는 경향이였으며, 그 값은 75°C 가열구와 비슷하였다. 부착성은 75°C와 반대로 7배 수분첨가구는 증가하였고, 7.5배 수분첨가구는 약간 감소하였다. 또 응집성과 점성은 유의적인 변화는 없었으나 수분첨가량이 많을수록 약간 증가하였다. 즉 가열온도 85°C까지는 수분 첨가량, 가열시간이 증가함에 따라 견고성이 증가하였으나 가열온도가 비교적 높은 95°C는 가열시간이 증가하여도 견고성이 증가하지 않았다. 이는

100°C로 오랜시간 가열처리된 두유로 만든 두부는 보통 제조한 두부보다 견고성이 낮았으며 가열처리를 많이 할수록 SH group이 산화하여 응고제에 의한 겔형성이 약해졌다는 보고⁽⁹⁾와 비슷한 결과였다.

또한 혼합응고제(CaSO₄-GDL, 75 : 25)를 이용하여 18.85 g/cm²의 압력으로 30분간 압착하여 제조된 압착 두부의 견고성 210g과 비슷한 견고성⁽³⁾은 75°C의 경우

가열시간 7.5배와 8배 수분 첨가하고 60분 이상 가열한 구와 85°C의 경우 전구간에서 60분 이상 가열한 구였고, 95°C는 8배 수분 첨가를 하고 75분 가열한 구만 제외하고 다 낮은 값을 보였다.

Table 3. Values of regression coefficients calculated for optimal condition of second heating temperature and heating time according to water addition

Ind. variable	Coefficient	Std. error	t-value
Constant	201.53	5.40	37.29*
X ₁	39.16	3.01	12.99*
X ₂	9.14	2.61	3.50*
X ₃	10.74	2.61	4.11*
X ₁ X ₂	12.03	3.69	3.26*
X ₂ X ₃	4.40	3.69	1.19
X ₁ X ₃	-8.03	3.20	-2.50*
X ₁ ²	-15.69	5.10	-3.08*
X ₂ ²	-29.61	4.52	-6.55*
X ₃ ²	-3.58	4.52	-0.79

R-SQ=0.8849, R-SQ(Adj. for d.f.)=0.855

*Significance at p<0.05

X₁=Heating time, X₂=Temperature, X₃=Water addition

2차 가열온도 및 시간 결정

비압착두부의 견고성을 유지하면서도 균일성을 향상 시키기 위하여 수분첨가량, 2차가열온도 및 시간이 두부에 미치는 영향을 조사하였다. 실험 전반에 걸쳐서 각 조건에서 제조된 비압착 두부의 응집성, 부착성은 경향이 없는 값이었으나 견고성과 응집성으로 계산된 점성은 비교적 큰 관계가 있었다. 견고성과 부착성, 응집성의 상관관계는 각각 0.05와 1.02로 낮은 값이었으나, 점성과의 관계는 r=0.82로 비교적 높았다. 수분의 첨가량과 2차 가열온도 및 시간을 달리하여 제조된 비압착식 SPI두부의 텍스처 특성에서 비교적 온도의 영향을 많이 받았던 견고성을 주요 특성으로 보고 견고성에 미치는 여러조건을 다중회귀분석법으로 분석한뒤 최적조건을 결정하였다. 그 결과 계산된 각 독립변수의 상관관계, 표준편차, t-값은 Table 3과 같으며 p>0.05 이상인 항은 제외시켜 계산된 model식은 다음과 같다.

$$Y = 201.5 + 39.2X_1 + 9.1X_2 + 10.7X_3 + 12.0X_1X_2 - 8.0X_1X_3 - 15.7X_1X_2^2 (r = 0.93)$$

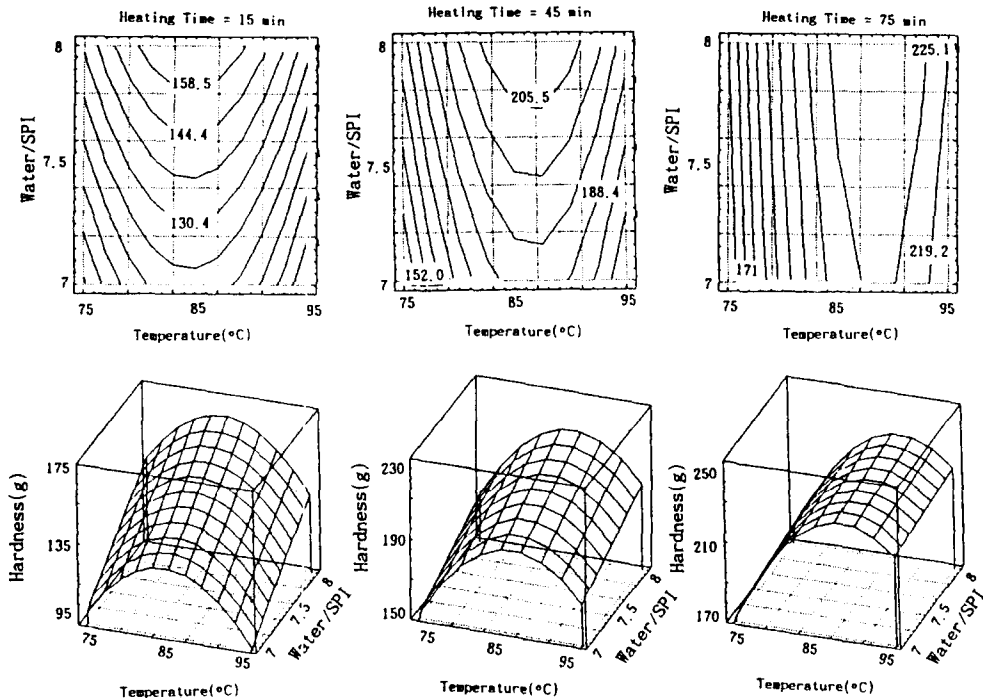


Fig. 1. Contour plots and response surfaces of hardness of SPI tofu at three different second heating times and ratio as affected by heating temperature

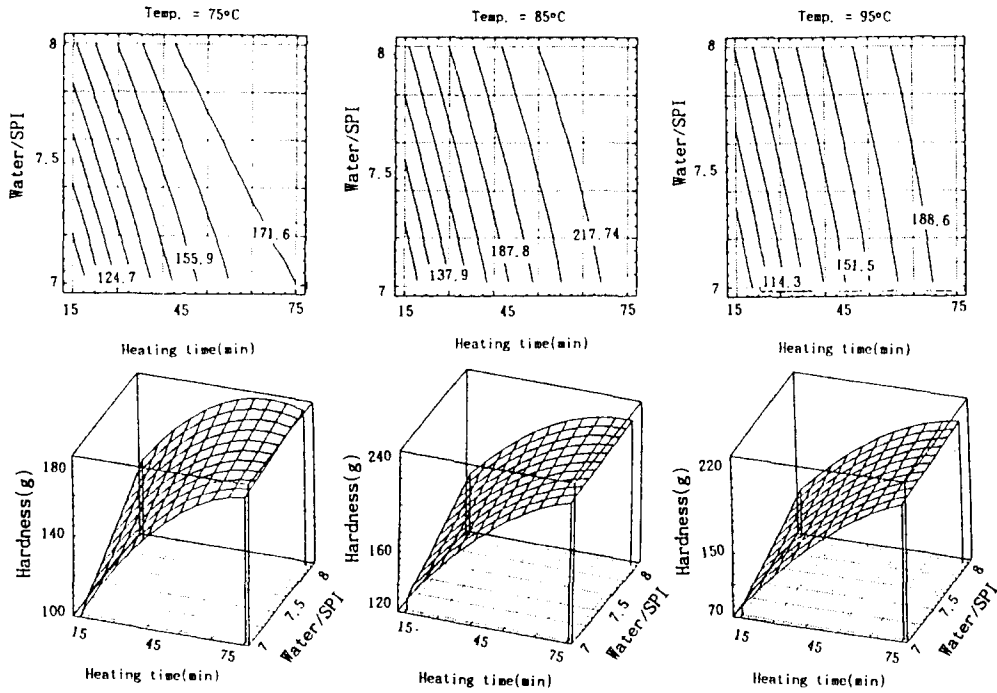


Fig. 2. Contour plots and response surfaces of hardness of SPI tofu at three different second heating temperature and heating time as affected by water addition

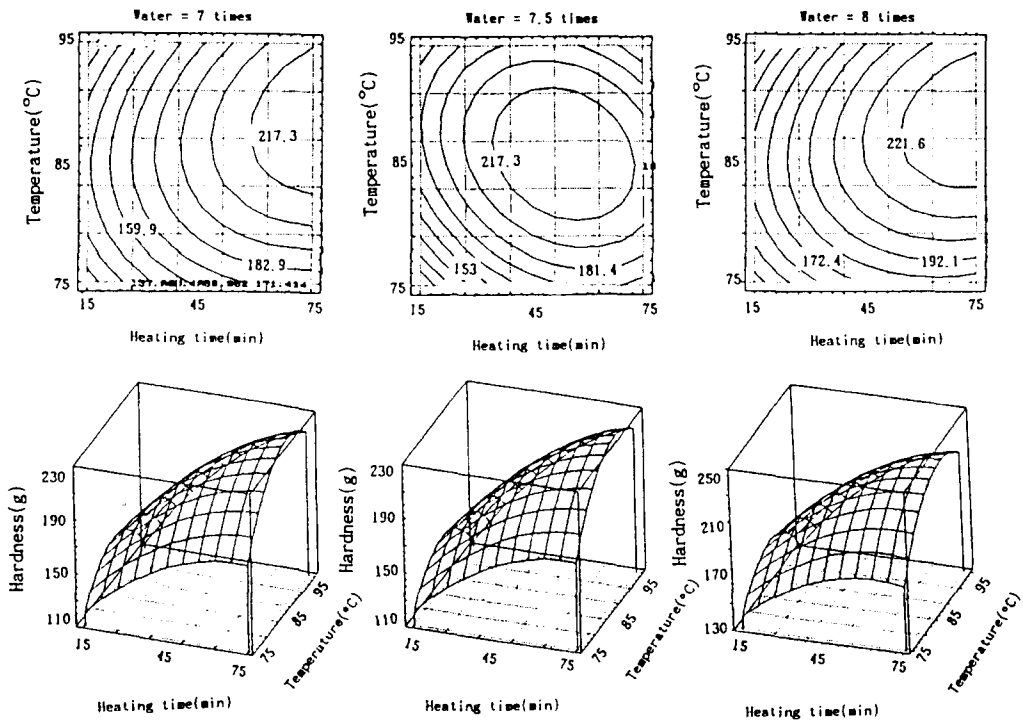


Fig. 3. Contour plots and response surfaces of hardness of SPI tofu at three different water ratios and second heating temperature as affected by second heating time

여기서 Y는 견고성, X_1 는 가열시간, X_2 는 가열온도, X_3 는 수분첨가량이었다. 이 model식을 이용하여 stat graphics program에 있는 반응표면 분석법(RSM)으로 도식한 결과는 Fig. 1~3과 같다.

2차 가열시간을 고정하였을 때(Fig. 1), 수분 첨가량이 증가할수록 견고성이 증가함을 볼 수 있었고, 수분 첨가량 8배와 가열온도 85°C 에서 가장 높은 값을 나타내어 15분 가열시 견고성이 158g, 45분은 206g, 75분 가열은 225g으로 가열시간이 증가될수록 견고성이 증가함을 보여 주었다. 또한 가열시간이 증가할수록 견고성 증가에 수분 첨가량 영향이 감소함을 볼 수 있었으며, 가열온도의 영향은 오히려 높아감을 알 수 있었다. 한편 가열온도별 견고성을 도식한 결과는 Fig. 2와 같이 85°C 에서 60분 이상 가열할 때 217.74g으로 가장 높은 견고성을 보였으며, 가열온도 75°C 에서는 171.6g, 95°C 에서는 188.6g의 값을 나타내었다. 가열시간을 고정시켰을 경우와는 달리 가열온도를 일정하게 하였을 때 수분 첨가량의 영향이 거의 없었으며, 가열시간의 영향은 비슷하였다. 수분첨가량을 고정한 경우(Fig. 3), 7배와 8배 첨가구에서는 가열온도 85°C, 45분 이상에서 각각 217.3g, 221.6g의 높은 값을 나타내었고, 7.5배는 가열시간이 앞의 두 실험구에 비해 가열시간이 적은 30분 근처에서도 비교적 높은 견고성을 나타내었다. 수분 첨가량을 고정하였을 때는 가열시간이 45분 이상에서는 가열온도가 영향을 주어 온도가 증가할수록 견고성이 증가함을 보였는데 45분 이하에서는 85°C 에서 약간 증가했을 뿐 비교적 낮은 견고성을 보였다. 이상의 반응표면 분석법에 의해 견고성을 도식한 결과 비교적 가열시간이 적게 걸리면서도 비압착두부에 적당한 견고성을 갖는 조건은 8배 수분을 첨가한뒤 85°C 에서 30~60분간 가열이었다.

요 약

압착 과정이 없는 SPI 두부를 제조하기 위하여 수분 첨가량을 조사하기 위하여 균질화된 SPI분산액을 100°C 에서 6분간 1차 가열한뒤 냉각하여 응고제($\text{CaSO}_4 \cdot \text{GDL}$, 0.07g, 0.0075 g/g SPI)를 첨가하고, 75°C 에서 25

분간 2차 가열하여 제조된 비압착 두부의 물리적 특성을 조사하였다. 전반적으로 수분 함량이 6배에서 8배로 증가함에 따라 견고성과 균일성은 증가하였고, 응집성은 감소하는 경향이었으며, 비압착두부의 수분 첨가 범위는 7~8배로 정하였다. 2차 가열시간이 증가함에 따라 견고성, 점성이 증가되었는데, 온도별로 살펴보면 85°C 가열구가 75°C 나 95°C 에서 가열한 것보다 높은 값을 나타내었다. 또 물리적 특성의 하나인 견고성을 다중회귀분석을 이용하여 계산된 식으로 표면반응분석을 도식한 결과 수분 첨가량의 비율이 가열시간이나 온도 증가에 의한 영향보다 비교적 적었다. 비압착 SPI두부의 최적 수분첨가량은 SPI g당 8g이었고, 2차 가열시간은 85°C 에서 30~60분간이었다.

문 헌

1. 고순남, 김우정: 분리대두단백 두부의 물리적 특성에 미치는 응고온도 및 응고제의 영향. 한국식품과학회지, 24(2), 154(1992)
2. 김동원: 분리대두단백 두부의 제조 조건에 관한 연구. 세종대학교대학원 박사학위논문(1992)
3. 구경형, 김우정: 분리대두단백 두부의 제조를 위한 가열시간 및 혼합응고제의 영향. 한국식품과학회지 발표예정
4. Static Graphics Corporation: User's guide Statgraphics Statical Graphics System. STSC Inc., U.S.A.(1987)
5. Utsumi, S. and Kinsella, J.E.: Forces involved in soy protein gelation. *J. Food Sci.*, 50, 1278(1985)
6. Shen, C.F., Deman, L., Buzzell, R.I. and Deman, J.M.: Yield and quality of tofu as affected by soybean and soymilk characteristics; glucono-delta-lactone coagulant. *J. Food Sci.*, 56(1), 109(1991)
7. 齊尾恭子, 佐藤巖, 渡辺篤二: 大豆蛋白質 組獲粉の加熱 gel 物性. 日本 食品工業學會誌, 21(5), 20(1974)
8. 황경주: 대두단백질의 변성과 식품가공에의 이용. 한국콩연구회지, 3(1), 38(1986)
9. 橋詰和宗, 前田正道: 豆乳の加熱 および 冷却條件と豆腐 硬度の關係. 日本食品工業學會誌, 25(7), 387(1978)

(1993년 10월 21일 접수)