

## 단백분해 효소처리가 두유단백질의 기능성에 미치는 영향

변진원 · 황인경\*

수원여자전문대학 식품영양과, \*서울대학교 식품영양학과

### Effects of Protease Treatment on Functional Properties of Soymilk Protein

Jin-won Pyun and In-kyeong Hwang\*

Department of Food and Nutrition, Suwon Women's College

\*Department of Food and Nutrition, Seoul National University

#### Abstract

This study was carried out to investigate the effect of protease on the functionality of soymilk protein. The protease from *Bacillus polymyxa* was selected because of the least production of bitter taste and calcium-aggregation. The results are summarized as follows: 1. Solubility of SMP(soymilk protein) and SPI(soyprotein isolate) were lowest at pH 4.7 and increased as the pH value reached closer to either ends. PT-SMP(protease treated soymilk protein) showed higher solubility at all pH range, especially at pH 4.7 than SMP, SPI. 2. Emulsion activity of three samples was lowest at pH 4.7 and significantly increased as pH approached higher acidic or alkaline regions. PT-SMP showed similar activity to other samples, but less stability. 3. Foam capacity of PT-SMP was lowest at pH 8 and increased in acidic, alkaline pH. PT-SMP showed higher foam capacity at all pH range, but lower foam stability than SMP and SPI. 4. PT-SMP showed higher heat coagulability than other samples at all pH range except pH 4.7.

## I. 서 론

예로부터 이용되고 있는 대두는 유용한 영양성분을 가지고 있는 식품인 반면에 영양저해성분도 가지고 있어 적당히 가공하지 않으면 섭취하기가 곤란하므로 가공과정을 거쳐 음식으로 이용하게 된다.

전통적인 대두가공품 중 음료의 형태로 이용되고 있는 두유는 1967년 공장생산되어 상품화된 이래 영양적 우수성과 낮은 콜레스테롤 함량<sup>1-3)</sup> 등으로 인해 수요가 날로 증가되고있다. 그러나 두유는 우유와 달리 영양저해성분과 장내가스발생인자, 콩비린내 등 여러가지 문제점을 가지고 있는데 이들은 많은 연구를 통해 보완시정되고 있다<sup>4-8)</sup>. 반면 성장기 아동 및 노인들에게 필수적으로 필요한 칼슘의 부족은 고단백 우유대체식품으로서의 가치를 인정받고 있는 두유가 가진 큰 문제점중의 하나인데도 칼슘첨가에 대해 이루어진 연구는 미비한 형편이다. 한편 대두단백질은 칼슘과 결합하여 침전하므로 두유에 칼슘을 첨가하게 되면 음료의 성질상 부적합하게 된다. 몇 가지 칼슘을 첨가한 연구가 보고되었지만<sup>9-10)</sup> 처리가 너무 복잡하고 또 불용성 칼슘염의 사용으로 첨가된 칼슘염이 침전되는 현상을 초래하므로 실용성은 떨어진다. 그러나 단백질의 기능적 특성을 향상시키기 위하여 사용했던 단백질분해효소(protease)를 처리하게 되면 단백질 분자량의 감소 및 단백질구조의

변화로 칼슘내인성(calcium intolerance)이 증가되므로 이를 이용하면 두유의 칼슘부족 문제가 해결될 수 있으리라 생각되나, 두유에 칼슘을 강화하고자 단백질분해효소를 적용한 연구보고는 이루어진 바가 없다.

본 연구에서는 부분가수분해에 의한 칼슘강화두유를 제조하기 위한 연구의 일환으로 단백질분해효소로 처리하여 부분가수분해시킨 두유단백질의 기능적 특성의 변화를 분석하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 재료

두유제조용 대두는 농촌진흥청에서 분양 받은 장엽(91년산)을 사용하였으며, 단백질 가수분해 효소로는 *Bacillus polymyxa*에서 추출한 단백질가수분해효소(P 5647, Sigma)를 사용하였다. 두유단백질의 특성을 비교, 분석하기 위한 상업용 분리대두단백(soy protein isolate : SPI)으로는 PP590(Purina Co. LTD.)을 사용하였다.

### 2. 부분가수분해 두유단백질의 제조

대두를 수침(12시간), 마쇄(3분)하고 5분간 끓인 후 여과하여 두유를 만든 뒤 Fig. 1과 같이 pH를 조절하여 단백질을 침전, 동결건조하여 두유단백질(soymilk protein : SMP)을 얻었다. 또한 여기에 예비실험 결과 쓴맛과

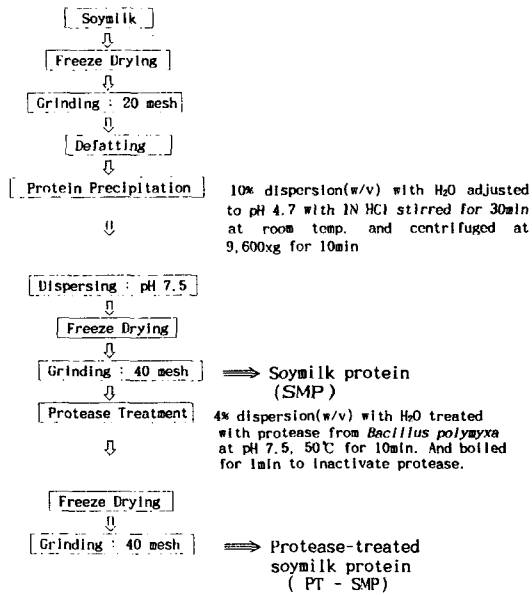


Fig. 1. Procedure for preparing of soymilk protein and protease treated soymilk protein.

칼슘응고성의 정도가 가장 낮게 나타난 *Bacillus polymyxa*의 단백질분해효소를 선택하여 단백질의 1/100의 비율로 pH 7.5, 50°C에서 10분간 처리하여 부분가수분해시킨 두유단백질(protease treated soymilk protein: PT-SMP)을 제조하여 시료로 사용하였다.

3. 실험방법

(1) 용해도

Franzen 등<sup>11)</sup>과 Sathe 등<sup>12)</sup>의 방법을 수정하여 SMP, PT-SMP와 SPI의 pH별 용해도를 측정하였다. 1%(w/v) 단백질용액을 1N NaOH나 1N HCl을 이용하여 pH 2, 4.7, 6, 8, 10, 12로 조절한 다음, bovine serum albumin을 표준단백질로 사용하여 biuret방법으로 가용성단백질을 정량한 후 전체 단백질에 대한 가용성 단백질의 백분율로 용해도를 표시하였다.

(2) 유화특성

1) 유화력

SMP, PT-SMP 및 SPI의 pH별 유화성은 Pearce 등<sup>13)</sup>의 탁도 측정방법을 이용하여 분석하였다. 0.4% 단백질용액을 용해도 측정시와 같이 pH를 조절한 후 자석교반기로 10분간 교반하였고 이 용액에 공기를 2 ml를 넣은 후 Osterizer blender의 'mix' mode에서 1분간 교반하였다. 생성된 유화용액 0.1 ml를 0.1% sodium dodecyl sulfate (SDS) 용액으로 1:150이 되게 희석한 뒤 500 nm에서 흡광도를 측정하였고 탁도는 다음 계산식에 의해 구하였으며 이 탁도로 유화성을 나타내었다.

$$T = 2.303A/l$$

T: 탁도

A: 흡광도

l: cuvette의 길이(1 cm)

2) 유화안정성

유화액 형성후 30분, 1시간 후에 0.1 ml의 유화액을 취해 위와 동일하게 흡광도를 측정한 뒤 탁도를 구하였고 안정성은 다음과 같은 식에 의해 계산하였다.

$$\text{유화안정성(\%)} = \frac{T \text{ of emulsion after } t \text{ min}}{T \text{ of initial emulsion}} \times 100$$

(t = 30 min, 60 min)

(3) 거품특성

1) 거품형성력

Yasumatsu 등<sup>14)</sup>의 방법을 수정하여 거품특성을 측정하였다. 단백질시료 0.2 g을 증류수 50 ml에 분산시키고 pH를 조절한 뒤 10분간 자석교반기로 섞어주고 Osterizer blender의 'whip' mode에서 5분간 교반하였다. 그 후 200 ml 눈금실린더에 붓고 30초간 방치한 뒤 거품의 부피를 측정하여 단백질 시료의 거품형성력을 나타내었다.

2) 거품안정성

거품형성 후 30, 60, 120분이 경과한 뒤 남아있는 거품의 부피를 재어 초기 거품 부피에 대한 남아있는 거품의 부피비로 거품안정성을 나타내었다.

$$\text{거품안정성(\%)} = \frac{\text{vol. of foam after } t \text{ min}}{\text{vol. of initial foam}} \times 100$$

(t = 30 min, 60 min, 120 min)

(4) 열응고성

SMP, PT-SMP 및 SPI의 열응고성 분석은 Choi 등<sup>15)</sup>의 방법을 변형하여 다음과 같이 실험하였다. 용해도 측정에서와 같이 단백질용액을 원심분리하여(9,600xg, 15 min) 얻은 상등액 5 ml를 시험관에 담아 100°C 끓는물에서 20분간 가열하고 상온으로 냉각시킨 후 이 용액을 다시 원심분리하여 얻은 상등액을 biuret방법을 이용하여 흡광도를 측정한 뒤 다음과 같은 식에 의해 열응고성을 계산하였다.

$$\text{열응고성(\%)} = \frac{\left( \frac{\text{Abs. of supernatant before heating}}{\text{Abs. of supernatant before heating}} - \frac{\text{Abs. of supernatant after heating}}{\text{Abs. of supernatant before heating}} \right) \times 100}$$

III. 결과 및 고찰

앞에서 제시한 방법에 의해 추출한 시료의 건조중량에 대한 단백질함량은 SMP, PT-SMP, SPI가 각각 80%, 80%, 89%였고 PT-SMP의 가수분해정도는 11.65%였다.

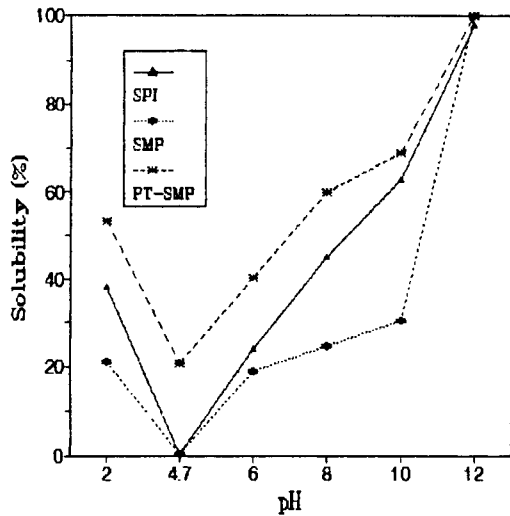


Fig. 2. Effect of pH on solubility of soymilk protein (SMP), protease treated soymilk protein (PT-SMP) and soy protein isolate (SPI).

### 1. 용해도

SMP, PT-SMP 및 SPI의 1% 수용액에 대한 pH별 용해도는 Fig. 2와 같다. 단백질의 용해도 곡선은 pH가 감소함에 따라 용해도가 감소하다가 pH 4.7에서 최소의 값을 나타내었고 더 산성쪽으로 기우는 경우 용해도가 다시 증가하는 전형적인 경향을 나타내었다.

단백질의 용해도는 식품가공에서 필요한 가장 중요한 기능적 특성 중의 하나로 가열처리를 하게 되면 단백질끼리의 결합으로 인해 단백질 중합체가 형성되어 용해도가 저하된다. 본 실험결과에 의하면 SMP와 SPI는 전형적인 단백질의 용해도 곡선을 나타내긴 하였으나 변성되지 않은 SPI<sup>16)</sup>에 비해 무척 낮은 용해도를 나타내었는데, SMP가 낮은 용해도를 보이는 것은 두유제조시 행한 열처리에 의해 변성되었기 때문이라 생각된다.

반면 효소처리가 된 PT-SMP는 전반적인 pH 범위에서 SMP에 비해 20% 정도의 용해도가 상승했는데 이는 효소처리로 인해 펩타이드 사슬의 분자량 감소, 단백질의 극성 이온기 증가, 분자적 공간배열의 변화가 일어났기 때문<sup>17)</sup>으로 생각할 수 있다. 보편적으로 단백질의 등전점에서는 순전하(net charge)가 0이 되어 단백질 분자간의 반발력이 최소가 되므로 용해도가 매우 낮아지지만 PT-SMP는 효소처리로 인해 작은 분자량의 펩타이드가 생성될 뿐만 아니라 또 전하의 변화, 즉  $\text{NH}_3^+$ 와  $\text{CO}_2^-$  같은 극성 이온기의 노출로 물과의 친화력이 커져 SMP의 용해도가 최소였던 pH 4.7에서도 SMP에 비해 20배 정도의 높은 용해도를 나타냈으며 이 결과는 단백질이 강화된 청량음료나 과일첨가 두유의 제조가능성을 보여주었다.

### 2. 유화특성

한국조리과학회지 제 11 권 제 1 호 (1995)

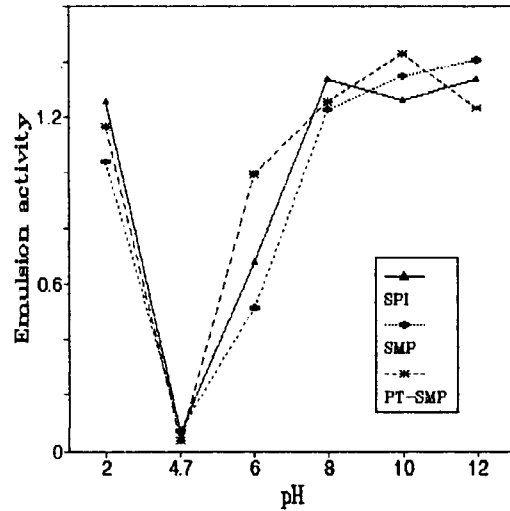


Fig. 3. Effect of pH on emulsion activity of soymilk protein (SMP), protease treated soymilk protein (PT-SMP) and soy protein isolate (SPI).

### (1) 유화력

3가지 단백질시료의 pH를 달리한 유화액의 탁도는 Fig. 3과 같다. 3가지 시료 모두 pH에 따른 유화력은 용해도와 같은 패턴으로 pH 4.7에서 최소를 보이며 산성 및 알칼리성이 커질수록 증가하는 경향을 보였는데 이는 유화력이 용해된 단백질의 양에 영향을 받는다는 보고<sup>18)</sup>와 일치하였다. pH 4.7에서는 단백질의 용해도가 최소화되어 기름-물 경계면에서 유화제로 쓰일 단백질이 감소하여 탁도가 가장 낮게 나타난 것이라 생각되며 반면 강알칼리(pH 12)에서는 단백질의 구조가 풀어져 좀 더 유연해지므로 계면으로의 펼쳐짐이 강해 유화력이 크게 나타난 듯하다.

또 3가지 단백질의 유화력은 거의 유사하게 나타났다. SPI는 사용목적에 맞게 유화형성이 잘 되도록 표면소수도가 크게 제조된 것이라 생각되며 또한 SMP도 한<sup>19)</sup>이 보고한 대두단백질에 비해 높은 유화력을 나타냈는데 이는 SMP가 가열처리를 거친 것으로 열변성에 의해 단백질 구조의 펼쳐짐이 일어나 소수기가 표면으로 노출되고, 열변성된 분자가 기름-물 계면으로 확산되는 속도도 증가되어 계면을 형성하는 단백질-단백질의 회합을 용이하게 해주어 유화력이 증대<sup>19)</sup>된 때문이라 생각된다.

효소처리된 PT-SMP도 SMP와 유사한 유화력을 나타내었다. 여러 보고에 의하면 단백질분해효소를 처리했을 때 유화력이 증가하였는데<sup>20)</sup> 이는 효소처리로 인해 물-기름 계면에서 유화에 참여할 수 있는 펩타이드의 수를 증가시키고, 또한 단백질 내부에 있는 소수성 잔기를 노출시켜 hydrophilic-lipophylic balance (HLB)를 높여주기 때문이라 보고되어 있다<sup>21)</sup>. 그러나 본 시료에서는 효소처리되기 전 SMP가 가열처리를 거치면서 이미 소

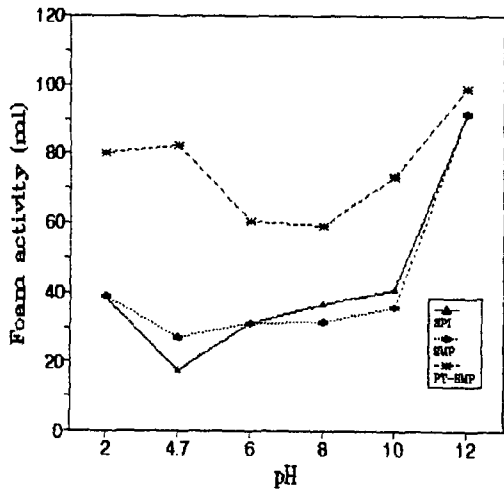


Fig. 4. Effect of pH on foam capacity of soymilk protein(SMP), protease treated soymilk protein(PT-SMP) and soy protein isolate(SPI).

수결합이 일어나 유화력이 증가된 상태이므로 효소처리로 인해 유화력의 큰 증가는 보이지 않았다고 생각된다.

(2) 유화안정성

SMP, PT-SMP와 SPI용액의 유화액을 형성한 후 30분, 60분이 경과될 때 보여진 유화안정성의 변화는 Table 1과 같다.

PT-SMP는 SMP에 비해 산성과 알칼리성이 커지면서 낮은 유화안정성을 나타내었다. 효소처리 전의 SMP는 열에 의해 변성된 단백질로 응집체를 형성하므로 크기가 커서 기름방울 둘레에 두꺼운 막을 형성하는데 비해 효소처리한 PT-SMP는 효소처리로 인해 펩타이드의 길이가 짧아지면서 기름방울을 잘 둘러싸지 못하기 때문<sup>17) 22-23)</sup>이라 생각된다.

3. 거품특성

(1) 거품형성력

3가지 단백질시료의 pH를 달리하여 측정한 거품형성력은 Fig. 4와 같다. 결과에 의하면, 비슷한 유화력을 나타낸 SPI와 SMP는 pH 4.7에서 최소의 거품형성력을 나타내는 등 pH에 따라 비슷한 거품형성력을 나타내었고 PT-SMP는 더 큰 거품형성력을 나타냈는데 이는 가수분해로 인해 더 많은 공기를 포함할 수 있기 때문이라 생각된다. 또한 유화정도는 비슷하지만 SPI와 SMP에 비해 용해도가 큰 PT-SMP가 더 큰 거품형성력을 나타낸 것은 거품형성력이 단백질의 소수도와 용해도와와의 복합적인 효과에 의해 결정된다는 보고<sup>24)</sup>와 일치하였다.

PT-SMP는 산성 pH에서 높은 거품형성력을 나타내었고 pH 8까지 차츰 감소하였는데 이는 윤 등<sup>25)</sup>의 결과와도 일치하는 경향이였다. 일반적으로 단백질분해효

를 처리할 때 얻을 수 있는 거품형성력의 향상은 거품을 내기 위한 단백 단백질의 대체품이나 아이스크림의 첨가물로 이용도를 높이고 있으나, 본 시료는 특히 산성조건에서 높은 거품형성력을 보여 마요네즈나 과일첨가 후식의 첨가물로 사용될 때 높은 기능적 특성을 발휘하리라 사료된다.

(2) 거품안정성

SMP, PT-SMP와 SPI용액의 거품 형성후 30분, 60, 120분이 경과될 때 보여진 거품안정성의 변화는 Table 2와 같다. 단백질로 안정화된 거품에서 물이 빠져나가는 정도는 시간에 따라 다른데, 거품형성 후 초기에는 빠르다가 점차 낮아지며 단백질의 종류에 따라 다르기는 하지만 보통 30분 이후부터 감소정도가 낮아진다<sup>26)</sup>는 보고와 같이 본 시료도 30분까지 급격한 감소를 보이다가 차츰 감소 정도가 완만하게 나타났다.

SMP나 SPI는 pH 12에서 특히 낮은 안정성을 나타내었는데 이는 알칼리에 의한 용해도의 증가가 거품에서 생성되는 필름의 성질에 영향을 주는 것으로 알칼리에서는 용액의 점도가 저하되어 공기를 오래 가둘 수 없게 되기 때문이라 추측된다. 또 pH 4.7에서 최소의 거품형성력을 보였지만 안정도는 크게 나타났는데 이 결과는 용해도의 감소가 단백질 표면에 높은 점도를 가지게 하고, 이로써 거품형성은 어려우나 거품의 안정성은 증가한다는 보고<sup>27)</sup>와 일치하였다. 또 모든 pH 범위에서 SMP나 SPI에 비해 높은 거품형성력을 보였던 PT-SMP가 가장 낮은 거품안정도를 나타내었다. 부분단백 가수분해는 열변성된 단백질의 거품특성 향상을 위해서 쓰이기도 하는데 이것은 가수분해물의 용해도 향상에 의한 것으로 공기-물 계면에서의 단백질의 확산과 펼쳐짐을 용이하게 해주기 때문이다. 그러나 가수분해정도가 3~5%를 넘게되면 폴리펩타이드의 길이가 짧아지면서 흡착된 단백질의 점도와 두께는 유화액과 거품을 안정화시키기에 불충분하게 되어 가수분해 정도가 증가할수록 안정도에 음의 영향을 주게되는데<sup>19)</sup>, PT-SMP의 가수분해 정도는 11.65%로 가수분해 정도가 커 거품안정도에는 기여하지 못하였다.

4. 열응고성

SMP, PT-SMP, SPI용액의 pH를 달리하여 열처리하기 전과 후에 측정한 용해도 및 계산된 열응고성은 Table 3과 같다.

여러가지 pH에서 각 단백질 시료의 열처리에 의한 용해도의 감소 정도를 비교하면 용해도와 비슷한 패턴을 나타내었는데 이는 원심분리한 상등액만을 가지고 열처리를 한 것이므로 가용성 단백질이 많을수록 응고된 단백질의 양이 많아질 수 있기 때문인 듯하다. 또 pH 4.7에서는 열처리로 인하여 감소되는 단백질의 양이 가장 적었고 pH 12에서는 감소된 단백질이 가장 많았음에도 불구하고 pH 4.7에서 매우 높은 열응고성을, pH 12에서는 낮은 열응고성을 보였다. 이는 열처리하기 전의 용

**Table 1. Change in emulsion stability of soymilk protein(SMP), protease treated soymilk protein(PT-SMP) and soy protein isolate(SPI) during 60 min after emulsification at various pH**  
unit: %

Sample	pH 2			4.7			6			8			10			12		
	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
SPI	100.0	84.2	80.7	100.0	86.8	86.8	100.0	65.2	58.7	100.0	88.6	73.8	100.0	78.2	77.7	100.0	80.3	72.5
SMP	100.0	81.9	77.7	100.0	85.6	87.2	100.0	66.4	59.4	100.0	90.3	80.0	100.0	93.2	80.2	100.0	90.4	84.9
PT-SMP	100.0	77.4	75.2	100.0	78.4	68.0	100.0	69.6	60.0	100.0	88.5	79.7	100.0	87.6	83.1	100.0	86.8	81.2

**Table 2. Foam stability of soymilk protein(SMP), protease treated soymilk protein(PT-SMP) and soy protein isolate(SPI) during 120 min after foaming at various pH**  
unit: %

Sample	pH 2			4.7			6			8			10			12			
	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60	
SPI	100.0	84.5	82.8	80.2	100.0	86.8	79.3	71.7	100.0	85.1	83.0	76.6	100.0	81.8	77.3	71.8	100.0	81.3	75.6
SMP	100.0	83.8	80.3	78.6	100.0	89.0	85.4	79.3	100.0	83.9	77.4	75.3	100.0	83.2	79.0	71.6	100.0	83.3	77.8
PT-SMP	100.0	55.0	39.4	31.9	100.0	73.3	67.3	55.2	100.0	63.6	60.3	52.9	100.0	53.4	48.3	43.2	100.0	46.9	42.2

**Table 3. Solubility changes of soymilk protein(SMP), protease treated soymilk protein(PT-SMP) and soy protein isolate(SPI) before and after heat treatment of 100°C for 20 min at various pH**  
unit: %

Sample	pH 2			4.7			6			8			10			12			
	Before	After	Diff.	Before	After	Diff.	Before	After	Diff.	Before	After	Diff.	Before	After	Diff.	Before	After	Diff.	
SPI	38.21	33.77	4.44	11.62	0.16	0.10	0.06	37.50	24.11	21.70	2.41	10.00	45.07	41.11	3.96	8.79	62.84	54.05	8.79
SMP	21.30	19.77	1.53	7.18	1.16	0.83	0.33	28.45	19.00	16.05	2.95	15.53	24.92	23.93	0.99	3.97	30.50	29.08	1.42
PT-SMP	53.60	43.20	10.40	19.40	20.76	19.41	1.35	6.50	40.24	33.78	6.46	16.05	59.84	54.22	5.62	9.37	68.81	61.66	7.15

Before: before heat treatment

After: after heat treatment

Diff.: difference of solubility before and after heat treatment

ratio =  $\frac{\text{diff.}}{\text{diff. before}} \times 100$  (= heat coagulability)

해도가 적은 pH 4.7에서는 열처리로 인한 단백질의 절대적 감소량은 작았지만 상등액에 존재했던 단백질이 워낙 적어 그 감소비율이 크게 나온 것이고 pH 12에서는 매우 높은 용해도를 보였던 상태라 상등액에 많은 단백질이 녹아 있었으므로 가열처리에 의해 상당량의 단백질이 응고되었어도 열처리로 인한 단백질의 감소비율이 작게 계산되었기 때문이다.

단백질을 가열하게 되면 구조가 펼쳐지면서 유효소수도가 현저히 증가하는데 너무 많은 소수기가 노출되면 노출된 소수기끼리 소수성 결합이 이루어지면서 단백질의 용해도가 감소하게 된다. Nakai<sup>20)</sup>에 의하면 이와 같은 소수성 결합이 열응고성의 주된 기작이며, 공유성 교차결합의 형성 즉 이황화결합의 형성과 SH기와 S-S결합간의 교환반응(exchange reaction)도 함께 관여하여 열처리에 의한 응집체를 형성하게 되는 것이다.

본 시료중 SMP는 다른 실험결과와 비교해볼 때 낮은 열응고성을 나타냈는데 이는 이미 가열처리를 통해 열응고성의 기작이 일부 진행되어 있는 상태여서 열응고성 증가에 많이 기여하지 않은 듯하다.

반면 PT-SMP는 다른 시료에 비해 비교적 많은 양의 단백질이 열에 의해 응고되었다. 열응고성은 일부 소수결합에 기인하여 단백질의 소수도가 커질수록 열응고성이 증가하는데 SMP의 제조시 열에 의해 이미 소수결합이 이루어진 상태에서 단백질분해효소처리로 인해 가수분해되면서 일부 소수기가 다시 노출되어 PT-SMP의 열응고성이 다소 증가되어진 것으로 사료된다.

#### IV. 요약

본 실험은 두유에 칼슘을 강화하기위한 사전실험으로 두유단백질을 단백질분해효소로 처리한 뒤 효소처리 전, 후에 나타나는 단백질의 기능적 특성을 비교 분석하였다.

두유단백질과 단백질분해효소의 비율이 100 : 1이 되도록 첨가하여 pH 7.5, 50°C 에서 10분간 처리하였다.

pH에 따른 용해도는 두유단백(SMP)과 분리대두단백(SPI)인 경우 pH 4.7에서 최소를 보이고 산성 및 알칼리성으로 갈수록 증가하였으나 전반적으로 매우 낮게 나타난 반면 효소처리된 두유단백질(PT-SMP)은 전 pH범위에서 SMP에 비해 높은 용해도를 보였고 특히 pH 4.7에서는 20배 정도의 높은 용해도를 나타내었다.

pH에 따른 유화력은 3가지 시료 모두 용해도와 같은 패턴으로 pH 4.7에서 최소를 보이고 산성 및 알칼리성으로 갈수록 증가하는 경향을 나타내었다. SMP와 SPI는 높은 유화력을 나타냈으며 PT-SMP도 이와 유사한 정도의 유화력을 나타내었다. 반면 PT-SMP의 유화안정도는 다소 낮게 나타났다.

SMP와 SPI는 pH 4.7에서 최소의 거품형성력을 나타내면서 그 외의 pH에서는 약간 증가하다가 pH 12에서는 높은 거품형성력을 보여주었다. PT-SMP는 pH 2와 4.7

에서 높은 거품형성력을 나타내었고 pH 8까지 차츰 감소하다가 pH 12까지 다시 증가하였다. 거품안정성은 3가지 시료 모두 30분까지 급격한 감소를 보이다가 차츰 감소정도가 완만하게 나타났다. SMP와 SPI는 pH 4.7에서 비교적 높은 안정도를 보였고 pH 12에서는 가장 낮은 안정도를 보였다. PT-SMP는 모든 pH에서 다른 두시료에 비해 낮은 안정도를 나타내었으나 pH 4.7에서는 다소 높은 안정도를 나타내었다.

PT-SMP는 SMP에 비해서 pH 4.7을 제외한 pH에서 높은 열응고성을 나타내었고 가열후 감소된 가용성 단백질의 양을 보면 모든 pH에서 PT-SMP가 높게 나타났다.

이상의 결과로 볼 때 두유단백질에 효소처리를 하게 되면 높은 용해도와 거품형성력, 또 비슷한 정도의 유화력을 나타낼 수 있다. 특히 산성 pH에서 월등한 용해도와 거품형성력을 나타내어 효소처리하여 부분가수분해된 두유에 과일을 첨가하는 것도 가능하리라 생각되며, 또 효소처리된 두유단백질이 청량음료나 마요네즈, 과일첨가후식의 첨가물로 사용될 때 높은 기능적 특성을 발휘하리라 사료된다.

#### 참고문헌

1. Hashimoto, S., The soymilk industry. The Food Industry, 26: 62 (Japanese) (1983).
2. Murphy, P.A., Phytoestrogen content of processed soybean products. Food Technol., 1: 60 (1982).
3. Saio, K., About soymilk. Shoku No Kagaku, 70: 58 (Japanese) (1983).
4. Nelson, A.I., Steinberg, M.P., and Wei, L.S., Illinois process for preparation of soymilk. J. Food Sci., 41: 57 (1976).
5. 김우정, 오훈일, 오명원, 변시명, 대두발아가 대두유의 품질 및 아미노산 조성에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 15: 12 (1983).
6. 김은수, 조재선, 두유의 현탁안정성에 관한 연구, 식품과학회지, 22, 312 (1990).
7. 하상도, 김성수, 박철수, 김병목, 대두의 데치기와 발아가 대두유의 품질에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 23: 485 (1991).
8. Johnson, L.A., Deyoe, C.W., and Hoover, W.J., Yield and quality of soymilk processed by steam-infusion cooking. J. Food Sci., 46: 238 (1981).
9. Weingartner, K.E., Nelson, A.I., and Erdman JR, J.W., Effects of calcium addition on stability and sensory properties of soy beverage. J. Food Sci., 48: 256 (1983).
10. Hirotsuka, M., Taniguchi, H., Narita, H., and Kito, M., Calcium fortification of soymilk with calcium-lecithin liposome system. J. Food Sci., 49: 1111 (1984).
11. Franzen, K.L., and Kinsella, J.E., Functional properties of succinylated and acetylated soy protein. J. Agric. Food Chem., 24: 788 (1976).
12. Sathe, S.K., and Salunche, D.K., Solubilization and electrophoretic characterization of great northern bean

- proteins. *J. Food. Sci.*, **46**: 82 (1981).
13. Pearce, K.N., and Kinsella, J.K., Emulsifying properties of proteins; Evaluation of a turbidimetric technique. *J. Agric. Food Chem.*, **26**: 716 (1978).
  14. Yasumatsu, K., Sawada, K., and Moritaka, S., Whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agric. Biol. Chem.*, **36**: 719 (1972).
  15. Choi, Y.R., Lusas, E.W., and Rhee, K.C., Succinylation of cottensed flour; Effect on the functional properties of protein isolates prepared from modified flour. *J. Food Sci.*, **46**: 954 (1981).
  16. 한진숙, 효소처리가 대두단백질의 기능특성과 두부의 품질에 미치는 영향. 서울대학교 석사 학위논문 (1990).
  17. 강영주, 대두단백질의 효소적 변형. 한국식품과학회지, **16**: 211 (1984).
  18. 변시명, 김철진, 탈지대두박에서 추출한 분리대두단백의 식품학적성질. 한국식품과학회지, **9**: 123 (1977).
  19. Quaglia, G. B., and Orban, E., Influence of enzymatic hydrolysis on structure and emulsifying properties of *Sardine(Sardine pilchardus)* protein hydrolysates. *J. Food Sci.*, **55**: 1571 (1990).
  20. Chobert, J.M., Bertrand-Herb, C., and Nicolas, M.G., Solubility and emulsifying properties of caseins and whey proteins modified enzymatically by trypsin. *J. Agric. Food Chem.*, **36**: 883 (1988).
  21. 차명화, 윤선, 단백질분해효소에 의한 대두단백의 기능적 특성변화. 한국식품과학회지, **25**: 39 (1993).
  22. 강영주, 이기춘, 박영호, Hydrolysis of 7S and 11S soy proteins by commercial proteases. 한국식품과학회지, **20**: 338 (1988).
  23. 이철호, 김찬식, 이삼빈, 효소처리에 의한 대두단백질의 가수분해. 한국식품과학회지, **16**: 228 (1984).
  24. Nakai, S., Structure-function relationship of food proteins with an emphasis on the importance of protein hydrophobicity. *J. Agric. Food Chem.*, **31**: 676 (1983).
  25. 윤선, 최혜정, 이진실, 키위단백질 분해효소가 카제인의 기능성에 미치는 영향. 한국조리과학회지, **7**(4): 93 (1991).
  26. Elizalde, B.E., Giaccaglia, D., Pilosof, A.M.R., and Bartholomai, G.B., Kinetics of liquid drainage from protein-stabilized foams. *J. Food Sci.*, **56**: 24 (1991).
  27. Pomeranz, Y., Functional Properties of Food Components. AP Inc., p200 (1985).
  28. Kim, S.Y., Park, P.S.W., and Rhee, K.C., Functional properties of proteolytic enzyme modified soy protein isolate. *J. Agric. Food Chem.*, **38**: 651 (1990).
  29. German, B., Damodaran, S., and Kinsella, J.E., Thermal dissociation and association behavior of soy proteins. *J. Agric. Food Chem.*, **30**: 807 (1982).