

## Effect of heat treatment on physicochemical properties of soybean

Sun Hee Kim, Eun Suk Jung, So Young Kim, Shin Young Park,  
Yong Sik Cho\*

*Fermented Food Science Division, Department of Agro-food Resources, Nat'l institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wangju 55365, Korea*

### 열처리 방법에 따른 대두의 이화학적 특성 변화

김순희 · 정은숙 · 김소영 · 박신영 · 조용식\*

농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 발효식품과

#### Abstract

Soybean is one of the most common food materials for making traditional Korean foods such as soybean paste, soy source and soy snack, and their manufacturing processes include heat treatment of soybean. This study was carried out to investigate the effect of heat treatment on the physicochemical properties of soybean. All samples were heat treated under commercial steamed, puffed or air-fried conditions, and then the protein molecular weight distribution, thermal properties, fluorescence intensity, protein solubility, and water and oil holding ability of the heat treated soybeans were examined. Sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis indicated that heat treatment caused fragmentation of polypeptide chain in soybean, showing the band of low molecular ranging from 17 to 40 kDa. The differential scanning calorimetric analysis showed the decrease of enthalpy values ( $\Delta H$ ) by heat treatment. Fluorescence spectroscopy indicated that the heat treatment caused lipid oxidation as proved by increasing emission intensity. The protein solubility at pH 3-6, and water holding capacity of heat treated soybeans were the higher than no treatment. These results suggest that the heat treatment resulted in decreased enthalpy values, and increased protein degradation, lipid oxidation and water affinity of soybean. Moreover, the effect of heat treatment on physicochemical properties of soybeans was more significant under air-fried condition.

**Key words** : heat treatment, soybean, steamed, puffed, air-fried

#### 서 론

대두는 단백질과 지방질, 탄수화물 등 영양원으로 우수한 식품일 뿐 아니라 비타민, 미네랄 등 미량성분과 이소플라본, 올리고당 등 기능성 성분을 함유한 활용도가 높은 농산물이다(1). 우리나라에서는 전통 조미료인 된장, 간장, 고추장의 주원료이며, 미국, 브라질 등은 식용유 생산에 주로 활용되고 있다. 대두유 부산물로 얻어지는 탈지대두

박은 단백질이 높고 유화능 같은 기능성을 보유하여 동물용 사료 뿐 아니라 식품가공 산업에서 영양적 가치와 가공성을 높이는 첨가물로도 널리 사용되고 있다(2).

특히, 농축대두단백 또는 분리대두단백은 가공제품의 특성에 적합 하도록 화학적 및 효소적 처리를 통하여 기능을 개량시켜 왔으며, 용해성, 거품성, 유화성, 수분 및 유지의 흡착성이 영향인자로 알려져 있다(3). 또한 건강에 대한 관심 증가로 대두의 기능성이 밝혀지면서 소비 증가에도 일조하고 있다. 대두의 기능 성분인 isoflavone은 항암효과(4)와 폐경기 이후 여성의 골다공증에 유효한 효과가 밝혀졌고(5), 대두 중에 함유된 난소화성 단백질은 내분비계를 조절하여 콜레스테롤 저하를 유도한다고 보고되었다(6).

열처리 공정은 대두의 가공과정에서 대부분 수반되는 단위조작으로 살균효과는 물론 식품의 물리적 형태를 바꿀

\*Corresponding author. E-mail : yscho@korea.kr  
Phone : 82-63-238-3623, Fax : 82-63-238-3843  
Received 14 September 2017; Revised 19 October 2017;  
Accepted 23 October 2017.  
Copyright © The Korean Society of Food Preservation. All rights reserved.

뿐만 아니라 단백질의 변성과 지방질의 산화 등 화학적 변화를 야기할 수 있고 색, 풍미 및 조직감에 영향을 미칠 수 있다(7,8). 그러한 변화는 원료의 품종이나 생산 조건 등 다양한 요인들이 관여하나 이에 못지않게 중요한 것이 열처리 조건이다(9). 대두 단백질의 가공적성 향상(10,11)이나 생리활성 소재 개발을 위한 기능성 연구가 활발하게 진행되고 있는 것(12-15)과 대조적으로 우리나라에서 대두의 가열처리에 관한 연구는 미흡한 실정으로 가열처리에 의한 대두의 열 변성에 관해서는 일부 연구결과(16,17)가 보고되고 있다.

Yoon과 Jeon(18)은 증탕 시간이 증가하면서 단백질 용출량이 증가하고 열에 의해 합성된 열충격 단백질(heat shock protein)이 용출되어 단백질 농도가 증가한다고 하였다. Ryu 등(19)은 가압증자 대두의 전기영동 패턴은 열처리 전과 차이가 없다고 하였다. Seol 등(20)은 볶음한 대두는 열처리하지 않은 대두에 비하여 단백질의 추출 수율이 낮고 단백질의 분자량 밴드가 약해진다고 하였다. 열처리에 의해 대두의 단백질 용해도와 수분 흡수력은 향상되나 유지 흡수력은 감소하며(21), 대두는 가열에 의하여 용융 열량이 감소하며, 볶은 대두는 열처리하지 않은 대두에 비하여 초기 과산물기는 높으나 저장 중 지질산화는 안정하다고 알려져 있다(22).

본 연구에서는 습열방식과 건열방식이 대두의 열변성에 미치는 효과를 비교하기 위하여 일반적으로 사용되는 고압증자와 이미 상용화 단계에 이른 회전식 가열팽화나 Air-frying 등 건열 방식을 적용하여 대두를 열 변성시킨 후 대두의 단백질 분자량 분포와 용해도, 수분과 유지 흡착력 및 열 특성과 산패도 등 가열방법의 차이에서 발생하는 이화학적 특성의 변화를 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 시료의 준비

대두는 2016년 경북 영주지방에서 재배한 백태를 동광산업(농협-61-09-01)에서 구입하였고 불순물을 제거한 후 정선하여 사용하였다. 생 대두와 열처리 대두 등 모든 분석용 시료는 48시간 동안 동결건조(MCFD 8518, Ilshinbiobase, Seoul, Korea)한 다음 분쇄(DA338-G, Daesung Artron Co., Ltd., Paju, Korea)하였고 40 mesh 체를 통과한 분말을 시료로 하였다.

### 대두의 열처리

증자 대두(steamed soybean)는 고압 증자기(VS-1321-100, Vision Sci. Co., Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 121°C에서 60분간 삶았다. 팽화 대두(Puffed soybean)는 생 대두 3 kg을 회전식 가열장치(puffing gun, Gumi, Korea)에 넣어 내압이 3 kgf/cm<sup>2</sup>에 도달할 때까지 직화식 가스불로 가열하고 순식

간에 압력을 제거하여 대두가 폭발(팽화)되도록 하였다. 대두 튀김(Air-fried soybean)의 공정은 180°C로 가열된 에어 프라이어(HD 9220, Philips Air-Fryer, Philips Electronics N.V., Amsterdam, NLD)에서 12분 동안 실행하였고 열처리하지 않은 대두(no treatment soybean)는 대조구로 사용하였다.

### 일반성분

시료의 일반성분 함량은 AOAC(23) 분석법에 준거하여 수분은 105°C에서 항량이 되도록 건조하여 정량하였으며, 단백질은 micro-Kjeldahl법으로 전질소를 정량하고 질소계수 6.25를 곱하여 조단백질로 하였다. 지방은 soxhlet법을 이용하였고 회분은 650°C에서 회화시켜 정량하였다.

### Sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis(SDS-PAGE)

열처리 방법에 따른 대두 단백질의 패턴 변화를 보기 위하여 Laemmli(24)의 방법에 따라 SDS-PAGE를 실시하였다. 각 샘플 2 g 분말에 10 mL n-Hexane을 넣고 실온에서 1시간 동안 교반한 후 원심분리를 통하여 지방이 녹아 있는 상등액을 제거한 다음 남아 있는 침전물에 10 mL n-Hexane을 넣고 실온에서 1시간 교반을 통하여 지방 성분을 제거하였다. 지방을 제거한 침전물은 후드 내에서 n-Hexane을 휘발시켜 건조하였다. n-Hexane을 제거한 대두 분말에 10배의 30 mM Tris-HCl 완충용액(pH 8.0)을 가하고 회전식 진탕기(SK-71 Shaker, Jeio Tech, Kimpo, Korea)로 실온에서 9시간 동안 단백질 성분을 추출하였다. 이 용액을 4°C에서 원심분리(12,000 ×g, 30분, KUBOTA 6200, Kubota Co., Ltd., Tokyo, Japan)한 후 상등액을 사용 전까지 -20°C에 보관하였다. 추출된 단백질은 Pierce TM BCA Protein Assay Kit(Thermo Scientific, Rockford, IL, USA)로 정량하였고, 표준물질로 BSA(Bovine Serum Albumin, Thermo Scientific)을 사용하였다. Gel은 4-20% gel(GenScript USA Inc., Piscataway, NJ, USA)을 이용하였고, 각 시료는 5배 농도의 sample buffer(1 M Tris-HCl, pH 6.8, 50% glycerol, 10% SDS, 2-mercaptoethanol, 1% bromphenol blue)와 최종 단백질 농도 3 µg/mL로 맞추어 로딩, 분리하였다. 전기영동은 130 볼트에서 90분간 시행하였으며 전기영동 후, gel은 Coomassie Blue staining solution(AE-1340 Ezstain Aqua, Atto Co., Tokyo, Japan)으로 염색하고 탈색한 후 단백질의 분포를 비교분석 하였다.

### 단백질 용해도

Morr 등(25)의 방법에 따라 대두 분말 0.1 g을 증류수 10 mL에 분산시켜 1 N HCl과 NaOH 용액으로 pH 2-12로 조정하고 원심분리(12,000 ×g, 30분, KUBOTA 6200, Kubota Co.)한 후 상등액을 취하여 BCA(Pierce BCA protein

Assay Kit, Thermo Scientific, Rockford, IL, USA) 방법에 따라 단백질을 정량하여 용해도를 구하였다.

### 수분 및 유지 흡착력

수분과 유지 흡착력은 Beuehat(26)의 방법을 이용하여 측정하였다. 각 시료 분말 0.5 g을 증류수 10 mL 또는 대두유 10 mL에 분산시켜 혼합한 다음 원심분리(12,000 ×g, 60분, KUBOTA 6200, Kubota Co.) 하였다. 수분과 유지 흡착력은 유리된 물과 대두유의 부피를 측정하여 시료 분말 1 g당 흡착된 물과 대두유의 부피(mL)로 나타내었다.

### Differential scanning calorimetry(DSC)

DSC는 시차주사열량기(DSC-Q-100, Dupont Co., Omaha, NE, USA)를 이용하여 30°C에서 250°C까지 분당 5°C의 속도로 승온하였다(27). 대두 분말 시료 10 mg을 DSC 전용의 알루미늄 용기에 넣고 밀봉하였으며 빈 알루미늄 용기를 대조구로 하였다. 얻어진 흡열곡선은 자체 프로그램(Universal analysis 2000, TA instruments, New Castle, DE)으로 개시온도(Onset), 정점온도(Peak), 엔탈피(ΔH)를 분석하였고 6회 반복 실험으로 평균값을 구하였다.

### 형광분광법(fluorescence spectrum test)

산화 지질과 단백질의 상호작용을 통해 생성되는 형광 물질을 이용한 형광분석법이 식품의 산화 변패 평가에 보고되었다(28). 대두 분말의 가열방법에 따른 산패도를 측정하기 위하여 Uhm과 Yoon(29)의 방법으로 Fluorescence intensity를 측정하였다. 대두 분말 시료 0.5 g을 넣은 15 mL 시험관에 넣고 10 mL CM 용액(chloroform:methanol, 2:1, v/v)을 가하여 혼합한 후 10분 동안 반응시켰다. 반응액은 실린지 필터로 여과한 다음 여과액 6 mL와 증류수 2 mL를 가하여 다시 혼합하고 원심분리(10,000 ×g, 30분, KUBOTA 6200, Kubota Co.)하였다. 시료 상층액 300 μL를 형광 분석용 플레이트(black 96 well assay plate, Costar®, NY, USA)에 넣어 fluorescence spectrometer(Gen5, Biotek Instrument INC., VT, USA)를 이용하여 emission 400-500 nm, excitation 360 nm, slit 8.0 mm, 측정간격 600 ms의 조건에서 fluorescence intensity를 측정하였다.

### 통계분석

모든 실험은 3회 이상 반복하여 평균값과 표준편차를 계산하였고, 각 시료 사이의 통계적 유의성 검정은 SAS 프로그램(v7.1, SAS Institute, INC., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석 후 최소유의차 검정(p<0.05, p<0.01)을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 일반성분

가열처리에 의한 대두의 일반성분 분석 결과는 Table 1과 같다. 열처리 하지 않은 대두의 수분함량은 6.7%이었고 증자 대두의 수분함량이 17.82%으로 가장 많았고 튀긴 대두가 2.05%로 가장 적었다(p<0.01). 조지방 함량은 15.36-19.06%의 범위에 있었으며 증자 대두의 조지방 함량이 가장 적었으나 가열방법에 따른 통계적 유의성은 없었다(p<0.05). 가열하지 않은 대두의 조단백질 함량은 33.90%, 조회분 함량은 5.40%로 나타났고, 이들 성분은 가열에 의해 증가하는 경향을 보였다. 튀긴 대두의 조단백질 함량이 35.78%로 가장 많았고, 팽화 대두(35.28%), 증자 대두(33.16%)의 순으로 적었다(p<0.05). 조회분 함량도 튀긴 대두가 5.70%로 가장 많았고 증자 대두가 4.48%로 가장 적었다(p<0.01). 본 실험에서 사용한 대두의 일반성분은 기왕의 보고(30)와 크게 다르지 않은 결과이지만, 습식가열 처리된 증자 대두의 경우 수분함량이 건식 열처리 된 팽화 대두보다 2.7배, 그리고 튀긴 대두보다는 8.7배 높기 때문에 증자 대두의 일반성분의 낮은 함량에 영향을 미친 것으로 생각된다.

Table 1. Proximate composition in freeze-dried soybean powders with pre-treatments

Soybean type	(unit: %)			
	Moisture <sup>**1)</sup>	Crude fat	Crude protein <sup>*</sup>	Crude ash <sup>**</sup>
No treatment	6.70±0.01 <sup>2)b</sup>	19.02±1.42 <sup>a</sup>	33.90±0.07 <sup>c</sup>	5.40±0.00 <sup>c</sup>
Steamed soybean	17.82±0.01 <sup>a</sup>	15.36±1.34 <sup>b</sup>	33.16±0.09 <sup>d</sup>	4.48±0.02 <sup>d</sup>
Puffed soybean	5.42±0.14 <sup>c</sup>	18.44±0.87 <sup>a</sup>	35.28±0.05 <sup>b</sup>	5.59±0.04 <sup>b</sup>
Air-fried soybean	2.05±0.08 <sup>d</sup>	19.06±0.57 <sup>a</sup>	35.78±0.19 <sup>a</sup>	5.70±0.04 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Means with different letters in the same column are significantly different (\*p<0.05, \*\*p<0.01) by Duncan's multiple range test.

<sup>2)</sup>All values are triplicate determination. Results are shown as mean±SD.

### 단백질 전기영동 특성

처리 방법을 달리한 대두의 단백질 분자량 변화를 살펴보고자 SDS-PAGE를 실시하였다(Fig. 1), 대두 단백질은 7s fraction과 11s fraction으로 구성되어 있다(31). 열처리 하지 않은 대두의 단백질 분자량 분포는 70-75, 56-58, 38-47, 29-34, 20-27, 15-17 kDa이었고 큰 것부터 차례대로 β의 conglycinin(α-72.4 kDa, β-50.2 kDa), unknown, glycinin의 acidic polypeptide(36.7 kDa), basic 7S globulin(HMWS, 32.2 kDa), unknown, glycinin의 basic polypeptide(21.7 kDa), basic 7S globulin(LMWS, 18.2 kDa)의 분포를 보였으며 Yoon과 Jeon(18)의 보고와 유사하였다. 증자하거나 가열팽화 또는 튀김과정을 거친 대두는 열처리에 의하여 SDS-PAGE상의 단백질의 농도를 나타내는 밴드의 굵기가

감소하고 저분자로 분해되는 형태의 분자량 분포를 나타냈는데 증자 대두와 튀긴 대두에서 뚜렷했다. 동일한 농도를 적용한 SDS-PAGE에서 단백질 분해가 소실되는 것은 낮은 분자량으로 인하여 아크릴아미드 겔을 통과한 때문이다. Han 등(32)은 100°C 열처리에서 소혈청알부민 밴드가 대부분 소실되었다고 보고한 바 있다. 또한 Seol 등(20)은 열처리한 대두는 열처리하지 않은 대두에 비하여 SDS-PAGE상의 단백질 농도가 낮고 단백질 밴드가 약해지는데 단백질이 amino acid와 peptide로 분해된 결과라고 본 연구와 동일한 경향을 보고하였다.

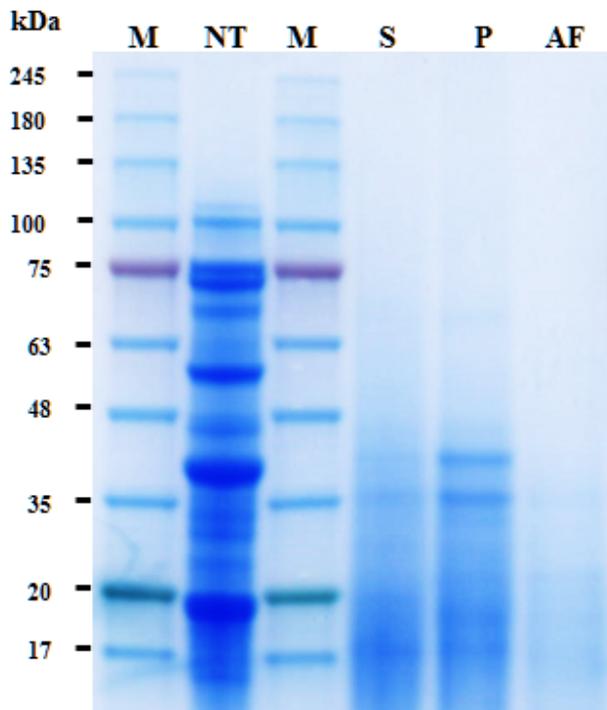


Fig. 1. SDS-PAGE analysis for freeze-dried soybean powders with pre-treatments.

M, molecular weight marker; NT, no treatment soybean; S, steamed soybean; P, puffed soybean; AF, air-fried soybean.

### 단백질 용해도 특성

대두 단백질은 음료 등 식품 시스템에 포함될 때 안정적으로 분산되어야 하며 겔화, 유화 및 거품 발생과도 관련이 있다(33). 열처리에 따른 대두에 함유된 단백질의 용해도 변화는 Fig. 2와 같다. 열처리 하지 않은 대두의 용해도는 등전점(pH 4.5 내외)에서 가장 낮고 산성과 알칼리 영역에서는 증가하는 용해도 곡선을 보였다. 반면 대두를 열처리한 경우 단백질의 용해도는 열처리 하지 않은 대두와 차이를 나타냈는데 산성(pH 3-6)에서는 용해도가 증가한 반면 알칼리 영역(pH 7-10)에서는 낮은 단백질 용해도를 보였다. 단백질의 이온강도가 증가하면 용해도는 향상되는데 Phillips와 Beuchat(34)은 펩타이드 사슬의 분자량 감소와  $\text{NH}_3^+$  와  $\text{COO}^-$  같은 단백질의 극성 이온기가 증가하는

결과라고 하였다. 알칼리성 영역에서 단백질 용해도의 감소와 관련하여 Mirsky와 Pauling(35)은 단백질 분자는 알칼리성 조건에서 일부 수소결합이 끊어져 원래의 배열보다 열린 형태를 취하게 되며 많은 펩타이드 그룹과 측쇄가 노출되게 되는 공간배열의 변화가 일어난다고 하였다. Kang(36)은 pH 6 이상에서 단백질 분해효소를 처리한 경우 분자적 공간 배열의 변화로 용해도가 감소한다고 본 실험과 같은 경향을 보고하였다.

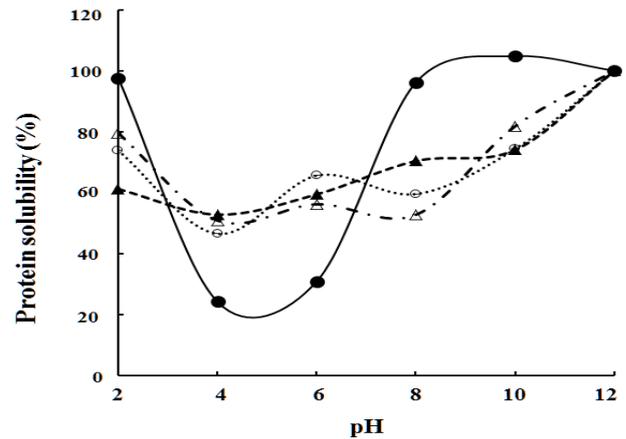


Fig. 2. Protein solubility of isolated soy protein different treatment methods at various pH.

●, no treatment; ○, steamed soybean; ▲, puffed soybean; △, air-fried soybean.

### 수분 및 유지 흡착력

열처리에 따른 대두 분말의 수분과 유지 흡착력을 비교한 결과는 Table 2과 같다. 열처리 하지 않은 대두의 수분흡착력이 2.38 mL/g 이었던 것에 비하여 열처리에 의해 대두의 수분흡착력은 증가하였고 튀긴 대두 분말이 2.82 mL/g로 가장 높은 수분 흡착력을 보였다. Yoon과 Jeon(21)은 중탕 처리시간이 길어지면 대두의 수분 흡착력도 증가한다고 본 실험과 일치된 결과를 보고하였다. Cha(22)는 옴 가열(Ohmic heating)처리에 의한 대두 단백질의 수분 흡착력과 속도는 모두 증가하며 단백질의 열 변성에 기인한다고 하였다. 수분 흡착력과 달리 유지 흡착력은 습식가열 처리된

Table 2. Water and oil absorption capacities of freeze-dried soybean powders with pre-treatments

Soybean type	(unit: mL/g)			
	No treatment	Steamed soybean	Puffed soybean	Air-fried soybean
Water absorption capacity	2.38±0.03 <sup>1(c2)</sup>	2.66±0.02 <sup>b</sup>	2.82±0.03 <sup>a</sup>	2.80±0.06 <sup>ab</sup>
Oil absorption capacity	2.12±0.03 <sup>ab</sup>	2.00±0.01 <sup>c</sup>	2.14±0.02 <sup>a</sup>	2.06±0.01 <sup>bc</sup>

<sup>1)</sup>All values are triplicate determination. Results are shown as mean±SD.

<sup>2)</sup>Means with different letters in the same row are significantly different ( $p < 0.01$ ) by Duncan's multiple range test.

증자대두에서 감소효과가 나타났다. 가열하지 않은 대두의 유지흡착력은 2.12 mL/g 이었고 건식가열 처리의 경우 전반적인 감소 경향을 보였으며 증자 처리된 대두의 유지흡착력은 유의적으로 낮았다( $p<0.05$ ). Yoon과 Jeon(18)은 가열 처리 시간에 따라 대두의 유지흡착력은 유의적으로 감소한다고 본 연구와 같은 경향을 보고하였다.

### 열 특성

시차주사열량기로 분석한 대두의 열 특성은 Table 3과 같다. 대두의 DSC thermogram은 전형적인 흡열 반응이었으며 열처리에 의한 정점온도( $T_{max}$ )와 엔탈피( $\Delta H$ )의 변화를 보였다. 가열처리 하지 않은 대두의 정점온도는 91.07°C 이었으며 엔탈피는 199.62 J/g로 나타났다. 반면 가열처리 한 대두의 정점온도는 84.25-85.37°C 범위로 나타났고 열처리 하지 않은 대두 보다 낮았다( $p<0.01$ ). 엔탈피도 열처리에 의하여 전반적으로 감소하여 123.07-135.90 J/g 범위를 나타냈고 튀긴 대두의 엔탈피가 가장 적었다. Arnfield와 Murray(37)는 단백질의 변성이 엔탈피의 감소에 관여한다고 보고한 바 있고 SDS-PAGE(Fig. 1)는 대두 단백질의 변성을 잘 나타낸다. Sorgentini 등(38)과 Renkema 등(39)도 대두 단백질의 열 변성정도에 따라 엔탈피 값이 감소하는 유사한 결과를 보고한 바 있다.

**Table 3.** DSC characteristics of freeze-dried soybean powders with pre-treatments

Soybean type	$T_o^{1)}$ (°C)	$T_p^{2)}$ (°C)*	$\Delta H$ (J/g) <sup>**3)</sup>
No treatment	36.96±4.04 <sup>a</sup>	91.07±1.93 <sup>a</sup>	199.62±11.32 <sup>a</sup>
Steamed soybean	37.63±0.87 <sup>a</sup>	84.71±2.58 <sup>b</sup>	135.90±8.24 <sup>c</sup>
Puffed soybean	36.93±1.03 <sup>a</sup>	85.37±2.65 <sup>b</sup>	154.48±10.72 <sup>b</sup>
Air-fried soybean	36.43±1.24 <sup>a</sup>	84.25±2.98 <sup>b</sup>	123.07±13.33 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup> $T_o$ , onset temperature.

<sup>2)</sup> $T_p$ , peak temperature.

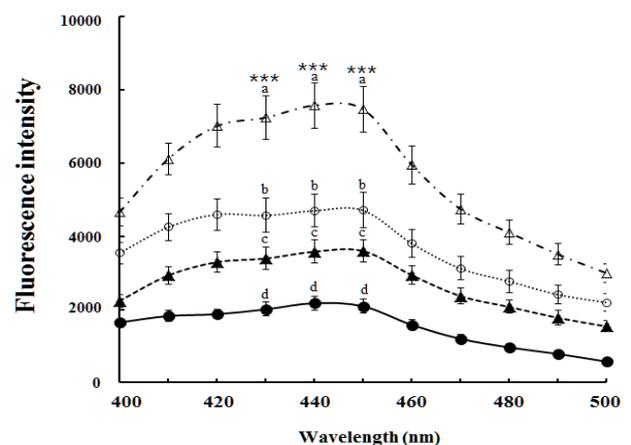
<sup>3)</sup>Means with different letters in the same column are significantly different ( $*p<0.05$ ,  $**p<0.01$ ) by Duncan's multiple range test.

<sup>4)</sup>All values are sextuplicate determination. Results are shown as mean±SD.

### 형광분광 특성

대두는 단백질 다음으로 불포화지방산 같은 지방 함량이 많은데(40), 고도 불포화 지방산의 산화는 산패로 이어져 식품의 품질을 저하시키는 원인이다. 형광분광법에 의한 열처리 대두의 산패도를 측정된 결과는 Fig. 3과 같다. Fluorescence intensity는 360 nm로 excitation 시켜 400-500 nm 사이에서 emission spectrum을 얻었으며 열처리에 따른 차이를 보였다. Fluorescence intensity는 440-450 nm 파장영역에서 최고값을 보였는데 열처리하지 않은 대두가 가장 낮은 fluorescence emission을 나타냈다. 열처리 대두의 경우 fluorescence emission의 증가를 나타냈고 팽화, 증자, 튀김의 순으로 fluorescence emission이 유의하게 높았다

( $p<0.0001$ ). 지질이 산화되면서 생성된 알데히드류는 단백질과 malonaldehyde 반응을 통하여 형광화합물을 생성(41,42)하는데 열처리 대두의 산패된 정도에 따라 자외선으로 조사시켜 얻어진 형광의 강도로 나타난다. 또한 fluorescence intensity는 산패도와 비례하는데 팽화, 증자, 튀김의 순으로 산패도가 높으며 대두 단백질의 분자량 분포(Fig. 1)에서 보여주는 분해정도와 같은 경향이다. Uhm과 Yoon(29)은 대두 분말의 저장기간이 경과할수록 fluorescence intensity가 증가한다고 본 연구와 같은 결과를 보고하였고, Estevez 등(43)은 형광분광법에 의해 고기 근섬유 단백질에서 산화정도를 측정된 바 있다.



**Fig. 3.** Fluorescence spectra (excitation=360 nm) in organic phase of chloroform/methanol extractions ( $***p<0.0001$ ).

●, no treatment; ○, steamed soybean; ▲, puffed soybean; △, air-fried soybean.

## 요 약

대두는 된장, 간장, 스낵 등 전통식품의 주요 원료이며, 열처리 공정은 대두의 가공과정에서 대부분 수반되는 단위 조작이다. 본 연구에서는 열처리가 대두의 이화학적 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 상업적인 조건에서 대두를 증자, 가열팽화, 튀김 처리한 다음 단백질의 분자량 분포와 용해도, 수분과 유지 흡착력 및 열 특성과 산패도의 변화를 조사하였다. 대두는 가열처리에 의하여 단백질이 10-40 kDa 범위의 작은 분자량으로 분해되는 경향을 나타내었다. 대두의 용융 엔탈피는 199.62 J/g이었으며 열처리에 의하여 123.07-135.90 J/g 범위로 엔탈피가 감소하였고 지질 산화를 보여주는 fluorescence intensity도 열처리로 증가하였으며 열처리 효과는 튀김, 증자, 가열팽화의 순으로 높았다. 또한 대두의 수분 흡착력은 열처리 한 경우가 비열처리 대두보다 상대적으로 높았으며, 단백질의 용해도는 산성 영역(pH 3-6)에서 같은 경향을 보였다. 결과적으로 대두는 가열처리에 의하여 용융 엔탈피가 감소하고 단백질이 분해

되며 지질 산화와 용해도 및 수분흡착력이 증가하는데 대두에 대한 열처리의 효과는 튀김 공정에서 뚜렷하였다.

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 어젠다사업(과제 번호: PJ0109912017)의 지원에 의하여 이루어진 것이며 깊은 감사드립니다.

### References

- Kim SO (2006) Research and industrial trend of the functional components of soybean. *Food Science and Industry*, 39, 2-10
- Giese J (1994) Proteins as ingredients: Types, functions, applications. *Food Technol*, 48, 50-60
- Kolar CW, Richert SH, Decker CD, Steinke FJ, Vander ZRJ (1985) Isolated soy protein. In: *New protein foods*, Altschul AM, Wilcke HL (Editor), Academic Press Inc, New York, NY, USA, p 259-299
- Coward L, Barnes NC, Setchell KDR, Barnes S (1993) Genistein, daidzein and their  $\beta$ -glucosidase conjugates: Antitumor isoflavones in soybean foods from American and Asia diets. *J Agric Food Chem*, 41, 1961-1967
- Potter SM, Baum JA, Teng H, Stillman RJ, Shay NF, Erdman JW Jr (1998) Soy protein and isoflavones: Their effects on blood lipids and bone density in postmenopausal woman. *Am J Clin Nutr*, 68, 1375S-1379S
- Matthan NR, Jalbert SM, Ausman LM, Kuvin JT, Karas RH, Lichtenstein AH (2007) Effect of soy protein from differently processed products on cardiovascular disease risk factors and vascular endothelial function in hypercholesterolemic subjects. *Am J Clin Nutr*, 85, 960-966
- Chun JK, Kim KH, Mok CK, Lee SJ, Kwon YA (2003) *Food Engineering*. McGraw-Hill Korea Inc, Seoul, Korea, p 283-286, 321
- Shu TS, Lee G, Seo YK, Lee KP, Kim DJ (2004) Micro particle technology in food science. *Food Science and Industry*, 37, 17-21
- Yang JB, Ko MS, Moon YH (2009) Physicochemical changes in pork loins affected by different cooking methods. *Korean J Food preserv*, 16, 534-540
- Kim SY, Park PSW, Rhee KC (1990) Functional properties of proteolytic enzyme modified soy protein isolate. *J Agric Food Chem*, 38, 651-656
- Franzen KL, Kinsella JE (1976) Functional properties of succinylated and acetylated soy protein. *J Agric Food Chem*, 24, 788-795
- Messina MJ, Persky V, Setchell KDR, Barnes S (1994) Soy intake and cancer risk: A review of the *in vitro* and *in vivo* data. *Nutr Cancer*, 21, 113-131
- Kim SH, Hwang IK (1998) Physicochemical characteristics of lipoxygenase-deficient soybeans. *Korean J Food Sci Technol*, 30, 751-758
- Clarkson TB (2002) Soy, soy phytoestrogens and cardiovascular disease. *J Nutr*, 132, 566S-569S
- Lee CH, Yang L, Xu JZ, Yeung SYV, Huang Y, Chen ZY (2005) Relative antioxidant activity of soybean isoflavones and their glycosides. *Food Chem*, 90, 735-741
- Son DY, Lee BR, Shon DW, Lee KS, Ahn KM, Nam SY, Lee SI (2000) Allergenicity change of soybean proteins by thermal treatment. *Korean J Food Sci Technol*, 32, 959-963
- Molina E, Defaye AB, Ledward DA (2002) Soy protein pressure-induced gels. *Food Hydrocoll*, 16, 625-632
- Yoon HH, Jeon EJ (2003) Characteristics of soybean soaking water after heat treatment. *Korean J Food Sci Technol*, 35, 1098-1103
- Ryu CH, Lee JO, Son DY (2012) Reduction of allergic potential of *Meju* by three step fermentation. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 41, 1066-1071
- Seol HG, Ko YJ, Kim EJ, Lee GL, Kim DG, Lee JO, Ahn KM, Ryu CH (2012) Allergenicity change of soybean proteins by thermal treatment methods. *J Life Sci*, 22, 524-531
- Yoon HH, Jeon EJ (2004) Functional properties of soy protein isolate from heat treated soybean. *Korean J Food Sci Technol*, 36, 38-43
- Cha YH (2011) Effect of ohmic heating on characteristics of heating denaturation of soybean protein. *Korean J Food Nutr*, 24, 740-745
- AOAC (2000) *Official Methods of Analysis*. 17th ed, Association of Official Analytical Communities, Washington DC, USA, Method 991.43
- Laemmli UK (1970) Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227, 680-685
- Morr CV, German B, Kinsella JE, Regenstein JM, Van Buren JP, Kilara A, Lewis BA, Mangino ME (1985) A collaborative study to develop a standardized food protein

- solubility procedure. *J Food Sci*, 50, 1715-1718
26. Beuchat LR (1977) Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *J Agric Food Chem*, 25, 258-261
  27. Tang CH, Chen Z, Li L, Yang XQ (2006) Effects of transglutaminase treatment on the thermal properties of soy protein isolates. *Food Res Int*, 39, 704-711
  28. Kikugawa K (1986) Fluorescent products derived from the reaction of primary amines and components in peroxidized lipids. *Adv Free Radical Biol Med*, 2, 389-417
  29. Uhm JT, Yoon WB (2012) Development of a direct evaluation method to measure the rancidity of *Yeonhaeju* soybean (*Bazaz*) powders during storage via the fluorescence spectrum test. *Korean J Food Preserv*, 19, 639-644
  30. KIM JS, Park SJ, Choi MK, Moon EY, Kang MH (2010) Comparison of physicochemical properties between organic and conventional soybean by steaming treatment. *J East Asian Soc Dietary Life*, 20, 963-968
  31. Petruccelli S, Aon MC (1996) pH-induced modifications in the thermal stability of soybean protein isolates. *J Agric Food Chem*, 44, 3005-3009
  32. Han GD, Fan JP, Suzuki A (2006) Changes of SDS-PAGE pattern and allergenicity of BSA and BGG in beef extract treated with heat and high pressure. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 35, 594-599
  33. Wang C, Johnson LA (2001) Functional properties of hydrothermally cooked soy protein products. *J Am Oil Chem Soc*, 78, 189-195
  34. Philips RD, Beuchat LR (1981) Enzyme modification of proteins. In: *Protein Functionality in Foods*, Cherry JP (editor), Am Chem Soc, Washington DC, USA, p 275
  35. Mirsky AE, Pauling L (1936) On the structure of native denatured and coagulated proteins. *Proc Natl Acad Sci USA*, 22, 439-447
  36. Kang YJ (1984) Enzymatic modification of soy proteins: Effects of functional properties of soy isolate upon proteolytic hydrolysis. *Korean J Food Sci Technol*, 16, 211-217
  37. Arntfield SD, Murray ED (1981) The influence of processing parameters on food protein functionality: I. Differential scanning calorimetry as an indicator of protein denaturation. *Can Inst Food Sci Technol J*, 14, 289-294
  38. Sorgentini DA, Wagner JR, Anon MC (1995) Effects of thermal treatment of soy protein isolate on the characteristics and structure-function relationship of soluble and insoluble fractions. *J Agric Food Chem*, 43, 2471-2479
  39. Renkema JMS, Knabben JHM, van Vliet T (2001) Gel formation by  $\beta$ -conglycinin and glycinin and their mixtures. *Food Hydrocolloids*, 15, 407-414
  40. Kuen S (2004) Effect of temperature and pH on the solubility of soy protein. Chemical Engineering undergraduate. Ph D Thesis, The University of Queensland, Australia, p 74
  41. Kikugawa K, Machida Y, Kida M, Kurechi T (1981) Studies on peroxidized lipids. III. Fluorescent pigments derived from the reaction of malonaldehyde and amino acids. *Chem Pharm Bull*, 29, 3003-3011
  42. Kikugawa K, Ido Y (1984) Studies on peroxidized lipids. V. Formation and characterization of 1,4-dihydropyridine-3,5-dicarbaldehydes as model of fluorescent components in lipofuscin. *Lipids*, 19, 600-608
  43. Estevez M, Kylli P, Puolanne E, Kivikari R, Heinonen M (2008) Fluorescence spectroscopy as a novel approach for the assessment of myofibrillar protein oxidation in oil-in-water emulsions. *Meat Sci*, 80, 1290-1296