

## 한외여과에 의한 순물 농축액의 기능적 특성

김유풍 · 엄상미 · 장은정 · 김우정 · 오훈일\*

세종대학교 식품공학과

### Functional Properties of *Summul* (Soybean Curd Whey) Concentrate by Ultrafiltration

You-Pung Kim, Sang-Mi Eom, Eun-Jung Chang, Woo-Jung Kim, and Hoon-Il Oh\*

Department of Food Science and Technology, Sejong University

**Abstract** This study was carried out in order to investigate the feasibility of utilizing concentrated *summul* (soybean curd whey), which is a waste by-product of soybean curd processing, as a functional food ingredient. *Summul* powder was concentrated by ultrafiltration and spray dried with or without dextrin. Oil adsorption capacity of UF retentate powder was similar to that of ISP (Isolated Soy Protein) and higher than that of *summul* powder, whereas water holding capacity of UF retentate powder was lower than that of ISP. Protein solubility of all types of UF retentate powder was significantly higher than that of ISP at pH 2.0-10.0 with the lowest protein solubility seen at pH 4.0 and solubility increasing as the conditions became more acidic or alkaline. Emulsifying activity indexes of UF retentate powder at pH 2.0-10.0 were not influenced by pH. Emulsion stability of 4% *summul* solution was lowest at pH 4.0, but that of UF retentate powder was higher at acidic pH values and decreased with increasing pH. Foaming capacities of *summul* and UF retentate powder were high at pH 4.0-6.0, but the foam of UF retentate powder disappeared within 20 minutes in all conditions of pH.

**Key words:** soybean curd whey, *summul*, ultrafiltration, solubility, emulsifying activity, foaming capacity

## 서론

우리나라의 연간 두부 생산량은 2003년에 약 307,936톤으로 두부를 제조 및 가공하는 업소만 하더라도 약 1,160개에 달한다. 순물은 두부 제조 시 압착공정에서 나오는 부산물로 전체 물 침가량의 약 50% 정도가 발생되며 규모가 큰 공장에서는 폐수 처리하여 방류하지만 일부 소규모 생산 공정에서는 처리비용이 높아 폐수처리 없이 그대로 버려지고 있는 실정이다(1). 하지만 두부 공장에서 배출되는 순물에는 콩의 불용성 섬유질과 응고된 고분자 단백질 외에 수용성 물질이 포함되어 있고, 두부 응고에 사용되고 남은 소량의 응고제가 함유되어 있어 토양과 하천의 오염원으로 작용하게 된다. Kim 등(2)의 연구에 의하면 순물에는 BOD와 COD가 각각 4,090 ppm과 8,419 ppm으로 이는 수질오염의 법적 규제치인 BOD 60-80 ppm, COD 70-90 ppm을 훨씬 넘는 수치임을 알 수 있다. 그동안 식품산업의 경우 원료 특성상 폐수 처리가 큰 문제가 되지는 않았으나 최근 환경오염에 관한 법률적 규제가 강화 되면서 두부 가공공장에서의 폐수 처리와 이의 배출에 따른 업계의 비용 부담이 증가되고 있다.

순물의 고형분 함량은 2-3%로 고형분 중 단백질 등의 질소화합물은 약 16%, 당류는 약 53% 정도이며(3) isoflavone, saponin

및 oligosaccharides 등의 기능성 물질이 함유되어 있는 것으로 알려져 있다(4-5). 특히 순물의 단백질은 본래 콩에 들어있는 단백질과 아미노산 조성, 전기영동 패턴에서 차이점을 보이는데 콩의 주요 단백질인 glycinin(11S)과  $\beta$ -conglycinin(7S)은 응고제에 의해 응고되어 두부 형성에 사용되나 이들 단백질 보다 분자량이 적은 저분자 단백질과 펩타이드, 유리 아미노산은 두부순물에 잔류하게 된다. 따라서 원료콩과 비교할 때 전기영동에 나타난 순물 단백질의 subunit는 콩 단백질의 경우보다 낮은 부근에서 보이게 된다(3). 이와 같이 순물의 단백질은 비교적 분자량이 작은 수용성 단백질로 구성되어 있어 원료 콩 단백질 보다 높은 용해도를 나타내며 이런 수용성 단백질을 분리 농축하여 활용 측면까지 고려한다면 신소재 식품의 개발 측면에서도 큰 의미를 가지게 될 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 두부 제조 시 부산물로 다량 생산되는 두부순물에 함유된 여러 가지 기능성 물질들을 효과적으로 분리, 회수하기 위해 순물을 한외여과 하여 농축, 건조한 UF 분리농축분말의 일반 성분 및 기능적 특성을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용한 ISP(Protein Technologies International, PPTM 500E, USA)와 순물은(주) 두술(충남, 예산)에서 공급받아 사용하였으며 순물은 미국산 혼합콩종의 콩으로  $CaSO_4$ 와  $CaCl_2$ 의 복합응고제를 사용하여 두부를 제조할 때 발생하는 두부 압착 직후의 것을 사용하였다. 순물의 막 분리 농축을 위하여 사용한 막분리 농축기는 Millipore Co.(Bedford, MA, USA) 제품을 사

\*Corresponding author: Hoon-Il Oh, Department of Food Science and Technology, Sejong University, 98 Kunja-dong, Kwangjuing, Seoul 143-747, Korea  
Tel: 82-2-3408-3229  
Fax: 82-2-3408-3319  
E-mail: ohhi@sejong.ac.kr

Received January 24, 2006; accepted May 31, 2006

**Table 1. Properties of membranes used in microfiltration and ultrafiltration**

Membrane	Microfiltration	Ultrafiltration
Model	Econo-Klean	Biomax-10
MW cut-off	1-40 microns	10 kDa
Material	Cellulose	Polyethersulfone
Module size (cm)	Depth type (6.1×24.8)	Cassette type (5.6×21.0)
Effective area (m <sup>2</sup> )	-	0.1
Temp. range (°C)	121	4-50
pH range (25°C)	1-14	1-14

용하였고, 마이크로여과(microfiltration, MF, Cuno Inc., USA)를 사용하여 예비여과를 거친 후 TMP(trans-membrane pressure) 2.3-2.4 bar, 순물 온도 33-34°C, 최대 투과 flux 55 L/m<sup>2</sup> hr의 조건에서 한외여과를 실시하였으며 막 분리에 이용된 막의 재료는 Table 1과 같다. 위와 같은 조건으로 UF system을 작동시켜 계속 막을 통과시키면서 원하는 농도배수로 농축된 retentate를 수거하고 이러한 과정에서 생긴 UF 농축액을 건물량 기준으로 DE 값이 12인 dextrin을 0, 20, 40% 첨가하여 Nitro Atomizer Pilot(Nirosco, Denmark)를 사용하여 분무 건조시켰다. 건조 전 농축액의 고형분 농도는 40°Brix로 조정하였으며 건조조건은 송풍(inlet)온도 160°C, 배풍(outlet)온도 95°C, atomizer speed 15,000 rpm, 풍량 140 mmH<sub>2</sub>O이었다.

#### 일반성분 분석

일반성분 분석은 AOAC방법(6)에 따라, 수분은 105°C 상압가열건조법, 조단백질은 micro-Kjeldahl법, 조지방은 Soxhle법, 회분은 550°C에서 직접회화법으로 분석하였다. 탄수화물함량은 시료에서 수분, 조지방, 조단백질 및 회분의 함량을 빼서 계산하였다. 비단백질질소(non-protein nitrogen, NPN)함량은 Bertola 등(7)의 방법에 따라 trichloroacetic acid로 단백질을 침전시킨 후, 여과하여 여과지에 남은 침전물을 건조시켜 micro-Kjeldahl법으로 질소량(TN)을 측정하여 순 단백질 함량을 계산(TN×6.25) 한 뒤 조단백질함량에서 순 단백질 함량을 빼서 계산하였다.

#### 유지 및 수분 흡착력

유지 및 수분 흡착력은 Lin 등(8)의 방법을 변형하여 시료 1g을 원심분리관에 넣은 후 유지 흡착력의 경우는 콩기름(CJ Co., Korea) 20 mL, 수분 흡착력의 경우는 증류수 20 mL를 가하여 실온에서 1시간 동안 vortex mixer(Scientific Industrial Inc., USA)로 15분마다 10초 동안 교반하였다. 이를 원심분리(1,600×g, 25 min, Hanil Industrial Inc., Korea)하여 상정액을 제거한 후 무게를 측정하여 건조시료 100g에 대한 유지 및 수분 흡수량으로 나타내었다.

#### 단백질 용해도

단백질 용해도는 Lowhan 등(9)과 Franzen과 Kinsella(10)의 방법을 변형하여 pH 및 NaCl 농도변화에 따른 UF 분리농축분말의 단백질 용해도를 측정하였다. 시료 0.1g에 증류수, 0.1M 또는 0.5M NaCl 수용액 10 mL를 가하여 5분간 자석 교반기를 이용하여 분산시키고, 4N NaOH 나 4N HCl을 이용하여 pH 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 및 12.0으로 pH를 조절한 후 25°C shaking water bath(Hanbaeck Scientific Co., Korea)에서 3시간 교반시켜 1,700×g에서 15분간 원심분리 하였다. 이들 상정액에서 0.1 mL를 취하여

3 mL의 Bradford reagent(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)와 상온에서 20분간 반응시킨 후 595 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 용해도는 pH 12.0에서의 흡광도를 100%로 하여 계산하였다.

#### 유화력 및 유화안정성

UF 농축분말의 유화력 및 유화 안정성 측정은 Casella와 Whitaker(11)의 방법에 따라 4.0% 및 6.0% 시료용액의 pH를 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 및 10.0으로 조절하여 6 mL씩 취하고 여기에 콩기름(CJ Co., Korea) 4 mL를 첨가하여 Waring blender로 2분간 유화시켰다. 생성된 유화 용액 0.1 mL를 0.1% sodium dodecyl sulfate(SDS)용액으로 250배 희석한 후 500 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이렇게 측정된 흡광도로부터 Emulsifying activity index(EAI)를 다음의 식에 의해 계산하였다.

$$EAI = 2T/\theta \cdot C$$

$$T: \text{탁도} = 2.3 \times A/I$$

$$(A = 500 \text{ nm에서의 흡광도}, I = \text{빛의 통과길이} = 1 \text{ cm})$$

$$\theta: \text{기름상의 부피분율} = 0.4$$

$$C: \text{UF 농축분말의 농도} = 0.04, 0.06 \text{ g/mL}$$

유화안정성은 유화력 측정과 같은 방법으로 유화액을 만들어 80°C 수조에서 30분간 방치한 후 이 유화액 0.1 mL를 0.1% SDS 용액으로 250배 희석한 후, 500 nm에서 흡광도를 측정하여(8) 다음의 식에 의해 계산하였다.

$$\text{Emulsion stability}(\%) = (EAI_{\text{max}} - EAI_{80^\circ\text{C}}/EAI_{\text{max}}) \times 100$$

$$EAI_{\text{max}}: \text{초기 유화력,}$$

$$EAI_{80^\circ\text{C}}: 80^\circ\text{C, 30분후의 유화력}$$

#### 거품 형성력 및 안정성

거품 형성력은 Sathe와 Salunkhe(12)의 방법을 변형하여 시료 0.1g에 증류수, 0.1 M 또는 0.5 M NaCl 용액 10 mL씩을 가하여 pH 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 및 10.0으로 조절한 후 Waring blender로 5분간 거품을 형성시키고 100 mL 눈금실린더로 부피 변화를 측정하여 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{Volume increase}(\%) =$$

$$\frac{\text{Volume after whipping (mL)} - \text{Volume before whipping (mL)}}{\text{Volume before whipping (mL)}} \times 100$$

거품 안정성은 거품 형성 후 0-2시간 동안 5분 간격으로 시간이 경과한 뒤 남아있는 거품의 부피를 재어 초기 거품부피에 대한 부피변화(%)로 나타내었다.

## 결과 및 고찰

#### 일반성분

순물분말과 순물의 UF 분리농축분말의 일반성분을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 순물분말과 순물의 UF 분리농축분말의 수분함량은 큰 차이가 없는 것으로 나타났고(결과 미제시) 탄수화물 함량에서도 미미한 차이를 나타냈는데 이는 연속적인 UF 막 분리 과정에서 단백질 등 거대분자가 막 주위에 쌓여 투과 flux량이 떨어지게 되는 fouling 현상 때문인 것으로 사료된다. 조단백질 함량과 비단백태 질소(NPN)의 함량은 UF막의 농축효과에 의해 UF 분리농축분말의 경우 순물에 비해 각각 2배와 2.5배정도 함량이 증가하였다. 또한 두부제조 시 사용되는 다량의 CaSO<sub>4</sub>와 CaCl<sub>2</sub> 때문에 칼슘의 양이 상대적으로 많은 순물의 회분함량

**Table 2. Proximate composition of *Sunmul* before and after concentration by a ultrafiltration** (unit: % dry basis)

	SP <sup>1)</sup>	UF <sup>2)</sup>
Ash	26.36 ± 1.27	14.30 ± 1.29
Crude fat	2.83 ± 0.12	1.04 ± 0.10
Crude protein	16.93 ± 0.73	33.37 ± 1.43
NPN <sup>3)</sup>	(8.74 ± 0.77)	(22.24 ± 1.10)
Carbohydrate	53.88 ± 1.50	51.29 ± 0.82

<sup>1)</sup>SP: freeze dried *sunmul* powder.<sup>2)</sup>UF: spray dried UF retentate powder.<sup>3)</sup>NPN: non-protein nitrogen.

\*Mean ± SD (n=3).

**Table 3. Oil adsorption and water holding capacities of *Sunmul*, UF spray dried with various dextrin concentrations** (unit: g/100g dry basis)

Sample	Oil adsorption	Water holding capacity
ISP <sup>1)</sup>	130.30 ± 2.12	544.36 ± 0.40
SP <sup>2)</sup>	106.09 ± 1.32	83.78 ± 1.24
UF 100 <sup>3)</sup>	115.67 ± 0.51	62.82 ± 2.17
UF 80 <sup>4)</sup>	131.60 ± 1.35	67.89 ± 0.86
UF 60 <sup>5)</sup>	129.00 ± 4.76	78.57 ± 0.15

<sup>1)</sup>ISP: isolated soy protein.<sup>2)</sup>SP: freeze dried *sunmul* powder.<sup>3)</sup>UF 100: UF retentate powder spray dried without dextrin.<sup>4)</sup>UF 80: UF retentate powder spray dried with 20% dextrin.<sup>5)</sup>UF 60: UF retentate powder spray dried with 40% dextrin.

은 26.36% 정도로 UF 분리농축분말의 회분함량인 14.30%에 비해 약 2배 정도 높았다. 조지방 함량에 있어서도 UF 분리농축분말이 순물분말에 비해 약 3배 정도 낮은 함량을 나타냈다.

### 유지 및 수분 흡착력

UF 분리농축분말의 유지 및 수분 흡착력을 측정된 결과는 Table 3과 같다. 유지 흡착력은 향미를 보존해 주고 입속에서 감촉을 좋게 해주는 육제품의 기능성 중 하나로 ISP의 유지 흡착력은 건조시료 100 g당 흡착한 유지양이 130.30 g으로 순물과 UF 분리농축분말보다 더 높았으며, 순물의 경우 106.09 g의 유지흡착력을 가지고 있었다. 즉, ISP > UF 분리농축분말 > 순물 순으로 유지흡착력이 높게 나타났으며, UF 분리농축분말의 경우 부형제로 dextrin을 첨가함에 따라 유지흡착력이 증가하였다. 이는 UF 분리농축분말이 순물분말에 비해 분자량이 큰 단백질 함량이 높기 때문인 것으로 생각된다. Sath와 Salunkhe(12)는 친수기와 소수기의 평형, 단백질의 농도, pH 등이 유화성에 영향을 미친다고 하였으며, 소수성 탄소수가 증가할수록 유화성이 증가한다고 보고하였다.

단백질의 수분흡착력은 단백질 제품과 물과의 상호반응을 나타내며 제품 내에 물의 일부가 남아 있는 것을 말한다. 이 친수 반응 능력을 평가하는 것은 소스나 gravies 같은 제품의 원료 배합비를 결정하는데 매우 중요하다. 수분흡착력은 ISP > 순물 > UF 분리농축분말의 순으로 나타났으며, UF 분리농축분말은 유지흡착력과 유사하게 dextrin 첨가 농도가 증가할수록 수분흡수력이 증가하는 결과를 나타내었다. 이는 UF 분리농축분말이 ISP와 순물에 비해 물에 대한 용해도가 높아 원심분리 과정에서 물과 함께 제거된 것으로 사료된다. ISP의 수분흡착력이 큰 것은 상업용 분리대두단백질을 제조하는 과정 중 산 침전을 사용하는 것이 단

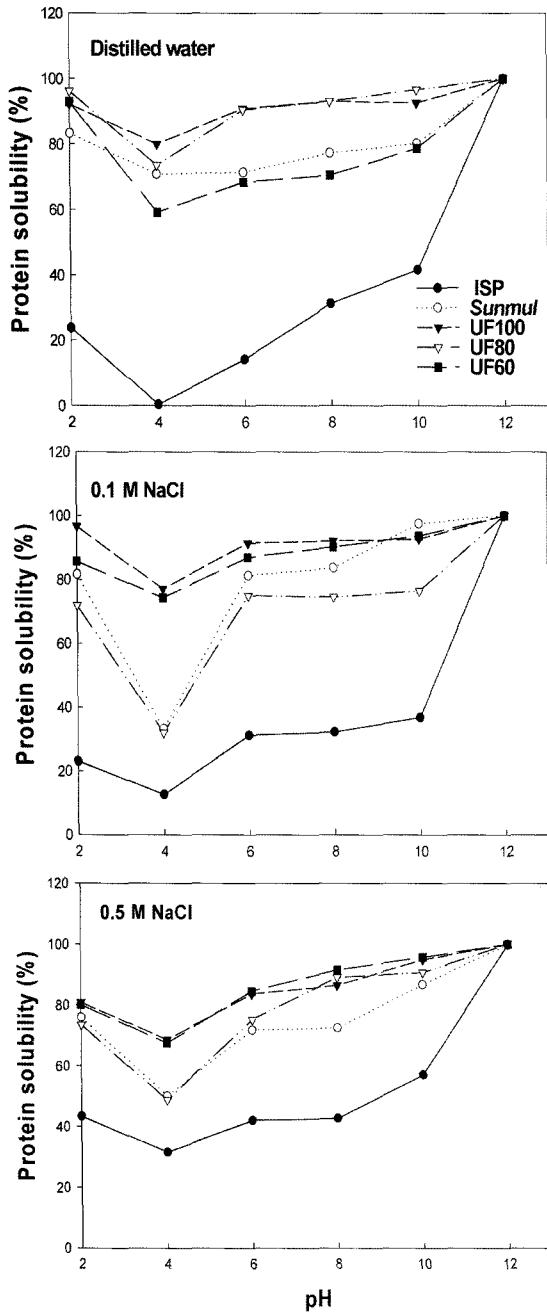
백질의 변성을 일으켜 수화능력을 증가시키는데 크게 기여한 것으로 보인다. Arrese 등(13)은 ISP에서 단백질의 변성도가 클수록 수분흡수력이 증가한다고 보고 하였는데, 이것은 polypeptide chain이 unfolding 되어 흡수된 물을 trapping 할 수 있는 matrix를 형성하기 때문이라고 보고하였다.

### 단백질 용해도

순물 및 순물의 UF 분리농축분말의 pH와 NaCl 농도에 따른 단백질 용해도를 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. 증류수에서 단백질 용해도는 대두 단백질의 등전점 부근인 pH 4.0에서 순물은 70.85%, UF 분리농축분말(UF 100)은 79.99%, 부형제로 20% dextrin을 첨가한 UF 80 및 40% dextrin을 첨가한 UF 60은 각각 73.61, 59.16%로 가장 낮은 용해도를 나타냈으며, pH 4.0 이하의 산성 영역에서는 용해도가 다시 증가하는 전형적인 대두 단백질의 용해도 곡선을 나타내었다. 단백질은 pH에 의해 크게 영향을 받는데 등전점에서는 순전하(net charge)가 '0'이 되므로 분자간에 반발력이 최소화되며 분자간 S-S 결합이나 수소결합이 연계되어 침전이 일어나기 때문에 pH 4.0에서 가장 낮은 용해도를 나타내고, 등전점에서 멀어질수록 순전하가 증가하여 단백질 분자 간에 반발력이 증가하여 용해도가 증가하게 된다(14,15). 또한 김 등(16)은 pH 2.0에서의 용해도가 pH 4.0에서보다 높은 이유를 단백질의 재 용해 때문이며, 이는 pH에 따라 단백질의 하전상태가 친수적 경향을 나타내기 때문이라고 보고하였다.

UF 분리농축분말의 경우 전반적으로 모든 pH 구간에서 ISP보다 높은 용해도를 나타내었는데 이것은 역삼투압법으로 분리농축한 두부순물단백질과 ISP의 용해도를 비교한 Kim 등(17)의 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 이는 대두에 함유되어 있는 대부분의 분자량이 큰 단백질의 경우 두부 제조 시 두부로 응고되고 분자량이 작은 수용성 단백질들은 순물로 유출되기 때문이라고 생각된다. 또한 ISP는 순물 및 UF 분리농축분말과 다른 방법 및 조건에 의해 제조되었으며, ISP가 순수 단백질인 반면 순물과 UF 분리농축분말의 경우 구성성분이 단백질 외에 탄수화물이 다량 포함되어 있어 각 pH에 대한 용해도에 관여한 것으로 사료된다. 순물 및 UF 분리농축분말에 0.1 M NaCl을 첨가하여 pH 변화에 따른 용해도를 조사한 결과 UF 60을 제외한 순물, UF 100 및 UF 80 분말은 pH 4.0에서 각각 33.23, 77.06, 31.99%로 증류수 처리구보다 용해도가 감소하였다. UF 80의 경우 전 pH 구간에서 증류수 처리 구간보다 평균 24% 정도 용해도가 감소하는 경향을 나타낸 반면, 나머지 시료들은 pH 4.0을 제외한 전 구간에서 용해도가 유사하게 증가하는 경향을 나타내었다.

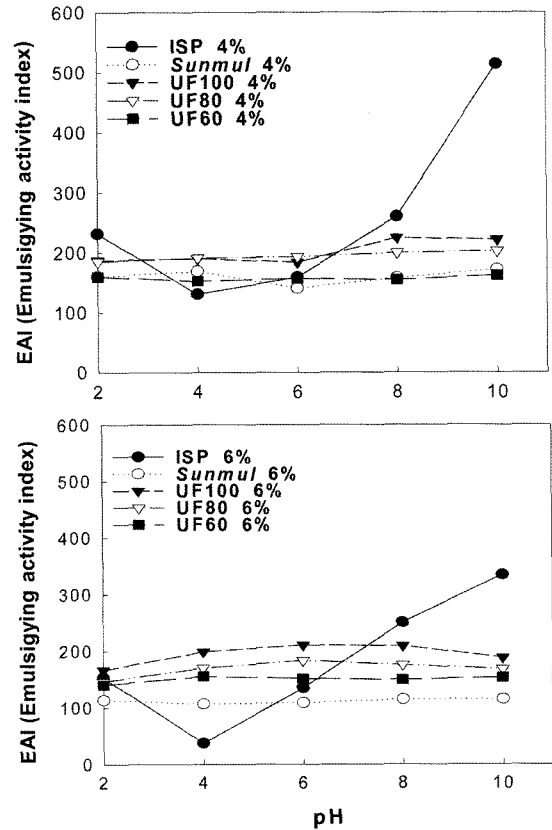
Kakalis와 Regenstein(18)은 달걀흰자 단백질에 소량의 염을 첨가하면 단백질의 용해도가 증가한다고 보고하였는데, 이는 염 농도가 낮을 때 염과 단백질 사이의 인력으로 정전기적인 단백질-단백질간의 상호작용(결합력)이 억제되어 용해도가 증가하는 염용(salting in)을 보이기 때문인 것으로 보인다. 이와 대조적으로 0.5 M NaCl을 첨가하면, 0.1 M NaCl 첨가 구보다 ISP의 경우 용해도가 증가한 반면, UF 80과 순물의 pH 4.0을 제외하고는 전반적으로 용해도가 감소하였다. 특히 UF 100의 경우 pH 2.0에서 0.1 M NaCl 첨가 구에 비해(96.55%) 용해도가 15.65% 감소하여 최고 감소치를 나타내었다. 이와 같이 염의 농도가 높을 때에는 염과 단백질이 결합하여 불용성의 복합체를 형성하거나, 염의 이온이 수화되려는 경향이 강해 단백질과 서로 경쟁하게 되므로 용해도가 감소된 것으로 생각된다.



**Fig. 1. Effects of pH and NaCl concentrations on the protein solubility index of *Sunmul* powder and spray dried UF retentate powder with various concentrations of dextrin.** ISP: isolated soybean protein, *Sunmul*: freeze dried *sunmul* powder, UF 60: UF retentate powder spray dried with 40% dextrin, UF 80: UF retentate powder spray dried with 20% dextrin, UF 100: UF retentate powder spray dried without dextrin.

**유화력 및 유화안정성**

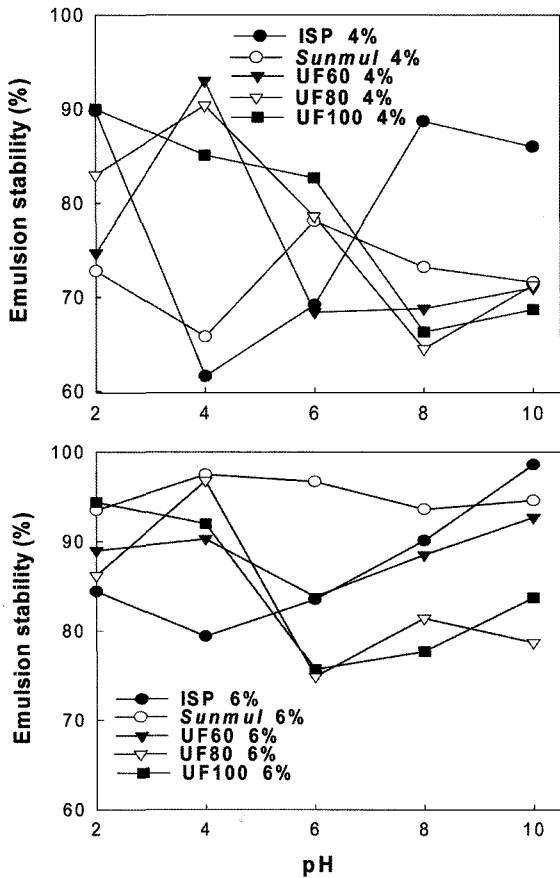
순물과 UF 분리농축분말을 각각 4%, 6% 용액으로 만든 후, pH에 따른 단백질의 유화력 및 유화 안정성을 측정된 결과는 Fig. 2, 3과 같다. 4% 순물 및 UF 분리농축분말 용액의 유화력은 전반적으로 pH에 따른 변화가 없었으며, 순물과 UF 분리농축분말에 부형제인 dextrin을 40% 첨가한 실험구(UF 60)는 EAI가 150 정도인데 반해, 부형제 무첨가 UF 분리농축분말(UF 100)과 20% 첨가 분말(UF 80)의 경우에는 EAI 값이 190-220 정도로 다소 높



**Fig. 2. Effects of pH on the emulsifying activity index of *Sunmul* powder and spray dried UF retentate powder with various concentrations of dextrin.** ISP: isolated soybean protein, *Sunmul*: freeze dried *sunmul* powder, UF 60: UF retentate powder spray dried with 40% dextrin, UF 80: UF retentate powder spray dried with 20% dextrin, UF 100: UF retentate powder spray dried without dextrin.

게 나타났다. 이러한 현상은 순물분말의 단백질 함량이 UF 분리농축분말의 단백질 함량의 1/2정도로 낮고, 부형제가 40% 첨가된 UF 분리농축분말의 경우는 부형제 첨가로 인해 전체 단백질 함량이 줄어들었기 때문인 것으로 사료된다. 한편, ISP는 등전점 부근인 pH 4.0에서 유화력이 급격히 감소하였으며, pH 8.0-10.0 정도의 알칼리 조건에서 유화력이 급격히 증가하여 pH 10.0에서는 EAI가 510 정도로 상당히 높은 수치를 나타내었다. 한편, 순물 및 UF 농축분말이 pH 4.0에서도 다른 pH 영역의 유화력과 큰 차이를 보이지 않는 것은 등전점이 각기 다른 여러 가지 단백질을 포함하고 있기 때문이라고 사료된다. Kim과 Lee(19)는 pH 변화에 따른 무우편콩 단백질의 유화력이 pH 4.0에서도 다른 pH 영역의 유화력과 큰 차이를 보이지 않다고 보고하여 본 실험 결과와 유사하였다. 6% 순물 및 UF 분리농축분말 용액의 유화력은 4% 용액에서와 같이 전 시료가 pH에 따른 변화가 없이 pH 2.0-10.0 사이에 거의 일정하였으나 순물의 유화력이 UF 분리농축분말 시료보다 낮았다. 따라서 이러한 결과를 토대로 보면, pH 전반에 걸친 유화력은 ISP에 비해 UF 농축분말의 유화력이 떨어지지만, ISP의 유화력이 떨어지는 pH 4.0 부근에서는 오히려 UF 농축분말을 ISP 대신 이용함으로써 유화를 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

pH 변화에 따른 유화안정성은 4% ISP 용액의 경우 등전점 부근인 pH 4.0에서 가장 낮았고 pH가 산성 또는 알칼리성으로 변함에 따라 급격히 증가하였다. 순물용액의 유화안정성은 ISP와

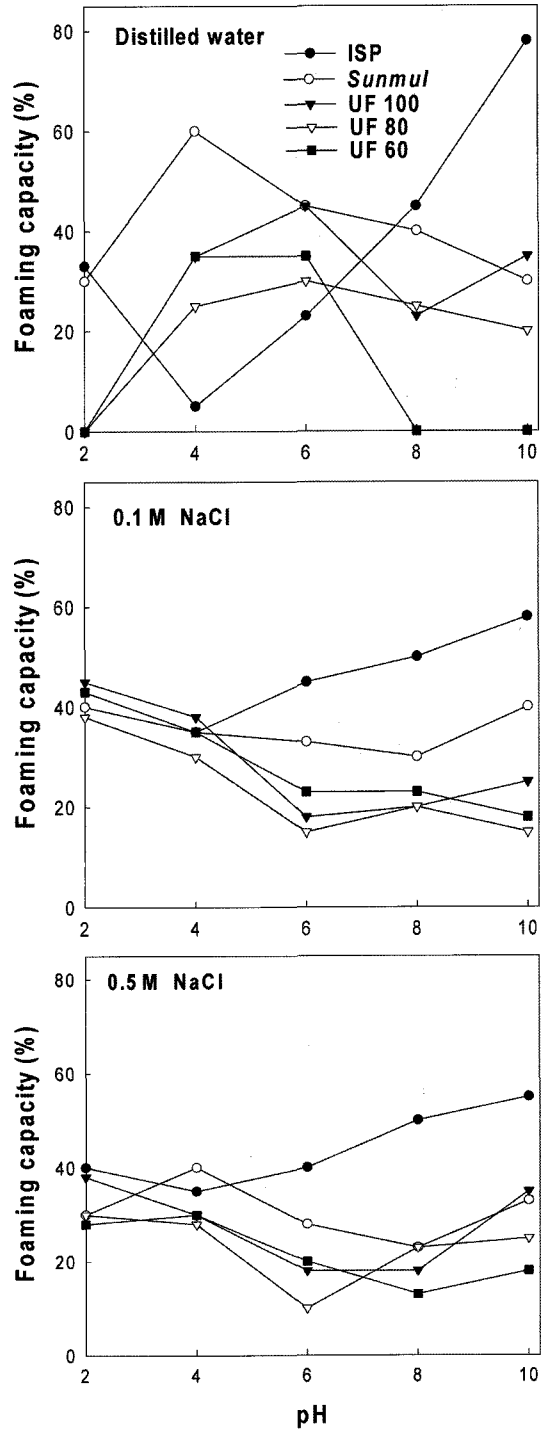


**Fig. 3.** Effects of pH on the emulsion stability of *Sunmul* powder and spray dried UF retentate powder with various concentrations of dextrin. ISP: isolated soybean protein, *Sunmul*: freeze dried *sunmul* powder, UF 60: UF retentate powder spray dried with 40% dextrin, UF 80: UF retentate powder spray dried with 20% dextrin, UF 100: UF retentate powder spray dried without dextrin.

같이 pH 4.0에서 가장 낮았고, 전반적으로 ISP와 유사한 경향을 보였으나 UF 농축분말 용액은 pH가 증가함에 따라 감소되는 경향을 보였다. pH에 변화에 따른 6% ISP 용액의 유화안정성은 4% 용액에서의 비슷한 경향을 나타내었으나 4% 용액에서 보다 훨씬 안정하였다. 이와 대조적으로 순물은 pH에 따른 유화안정성의 변화가 없이 거의 일정하였다. UF 분리농축분말 시료들은 pH 6.0에서 가장 낮은 안정성을 보였고 이보다 산성 pH에서는 유화안정성이 높았으며, 대체로 75-92%의 유화안정성을 나타내었다.

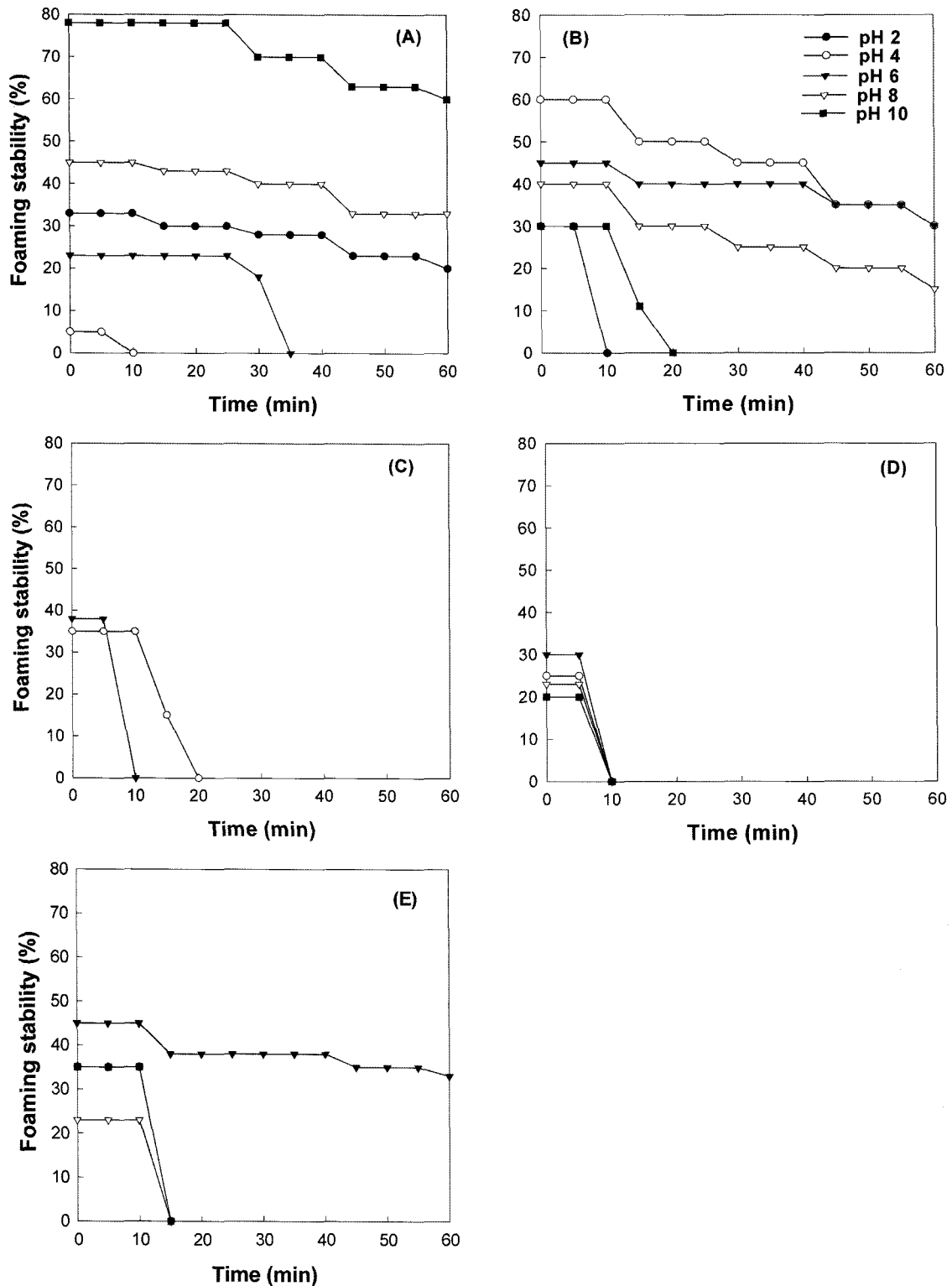
**거품 형성력 및 안정성**

순물과 순물의 UF 분리농축분말의 거품형성능을 pH 및 NaCl 농도에 따라 비교한 결과는 Fig. 4와 같다. ISP를 증류수에 용해 시켰을 경우 거품형성능은 등전점인 pH 4.0 부근에서 최소가 되었고, pH가 이보다 산성 또는 알칼리성 쪽으로 감소 또는 증가함에 따라 급격히 증가하였다. 가장 높은 거품형성능은 pH 10.0의 증류수에서 80%로 나타났다. Nath 와 Narasinga Rao(20)는 구아콩 단백질의 거품 형성력은 등전점에서 최소가 되며, 그 이유는 낮은 단백질의 용해성과 단백질 구조가 풀리는 것을 막으려는 분자간의 상호작용 때문으로, 전기적 반발력이 최소가 되어 분자 상호간의 응집성이 증가하고 거품을 형성하는 단백질 막의 기계적 성질과 점도를 증가시켜 주기 때문이라고 하였다. 그러나



**Fig. 4.** Effects of pH on the foaming capacity (%) of *Sunmul* powder and spray dried UF retentate powder with various concentrations of dextrin. ISP: isolated soybean protein, *Sunmul*: freeze dried *sunmul* powder, UF 60: UF retentate powder spray dried with 40% dextrin, UF 80: UF retentate powder spray dried with 20% dextrin, UF 100: UF retentate powder spray dried without dextrin.

이러한 등전점 부근을 중심으로 한 V자 모양은 0.1 M 및 0.5 M NaCl을 첨가함에 따라 커브가 완만해졌다. 이와 대조적으로 순물과 UF 분리농축분말 용액을 증류수에 용해 시켰을 때 각각 pH 4.0 및 6.0에서 최대 거품형성능을 나타내었다. 한편, UF 분리농축분말을 0.1 M 및 0.5 M NaCl 용액에 용해 시켰을 경우 pH가



**Fig. 5.** Foaming stability of ISP (A), *Sunmul* (B), UF 60 (C), UF 80 (D) and UF 100 (E) in water at different pH values. ISP: isolated soybean protein, *Sunmul*: freeze dried *sunmul* powder, UF 60: UF retentate powder spray dried with 40% dextrin, UF 80: UF retentate powder spray dried with 20% dextrin, UF 100: UF retentate powder spray dried without dextrin.

8.0까지 증가할수록 거품형성능은 감소하였으며 NaCl 농도가 증가함에 따라 전반적으로 약간 감소하는 경향을 보였다. 일반적으로 얻은 단백질의 용해도, 점도, 집합과 응고에 영향을 주면서 거품형성능을 향상시켜 주나 안정성은 감소시킨다고 보고되었으나 (21) 본 실험의 경우는 pH 4.0-6.0에서 거품형성능이 가장 우수

하였으며, 증류수에서는 pH가 알칼리 영역에 가까워질수록 거품형성능이 저하되었지만, NaCl이 첨가된 용액에서는 약간 상승하였다. 한편 pH에 따른 거품의 안정성을 비교한 결과(Fig. 5) ISP를 물에 용해하였을 경우 pH 2.0, 8.0 및 10.0에서는 거품이 60분까지 비교적 안정하였으나 pH 6.0에서는 35분에, pH 4.0에서

## 문 헌

는 거품이 10분에 소멸되었다. 이와 대조적으로 UF 분리농축분말들은 거의 모든 pH 에서 20분 안에 거품이 소멸되었으며 시료를 0.1 M 및 0.5 M NaCl에 용해하였을 경우 ISP는 pH 4.0을 제외한 모든 pH 에서 거품 안정성이 시간이 지남에 따라 점진적으로 감소하여 60분 후에도 초기 거품형성능의 반 정도를 유지하여 상당한 거품 안정성을 나타내었다(결과 미제시). 그러나 pH 4.0에서는 거품이 비교적 높은 안정성을 보였는데, 이것은 등전점에서 용해도의 감소가 단백질 표면에 높은 점도를 가지게 해서 거품형성은 어려우나 거품의 안정성은 증가한다는 Byun과 Hwang(22)의 결과와 일치하였다. 순물의 경우 pH 2.0 및 4.0에서는 시간이 경과함에 따라 60분까지 거품이 안정하였으나 pH 6.0, 8.0, 및 10.0에서는 10분 후에 거품이 소멸되었다. 이와 대조적으로 UF 분리농축분말들은 거의 모든 pH에서 거품형성 초기 또는 20분 안에 거품이 소멸되었다.

## 요 약

두부 순물을 UF막으로 농축시켜 제조한 UF 분리농축분말의 일반성분 및 이들 분말을 식품에 첨가할 경우 반드시 고려해야 할 용해도, 유화력, 거품형성능에 대해 살펴보았다. 그 결과 일반성분에 있어서, UF 분리농축분말의 수분함량과 탄수화물 함량은 순물과 큰 차이가 없었으며 단백질 함량은 순물분말보다 2배가량 높았으나 회분함량은 2배 낮았다. 유지흡착력을 비교 시 ISP > UF 농축분말 > 순물 순으로 높게 나타났으며 UF 분리농축분말의 용해도가 ISP와 순물에 비해 높기 때문에 수분흡착력은 매우 미약하였다. UF 분리농축분말의 단백질의 용해도는 등전점 부근인 pH 4.0에서 가장 낮았으며 산성 또는 알칼리성으로 갈수록 증가하는 전형적인 단백질 용해도 곡선을 나타내었다. 유화력은 ISP와는 달리 pH에 따른 변화를 보이지 않으며 150-200 정도의 EAI 값을 나타내었고, 유화안정성은 pH 6.0 이하의 산성에서 더 높은 값을 나타내며 대체로 75-92%의 높은 유화안정성을 보였다. UF 분리농축분말의 거품형성능은 증류수 처리구간에서 ISP와는 달리 pH 4.0-6.0에서 가장 우수하였으며 NaCl 농도가 높을수록 약간 감소하는 경향을 나타내었고, 거품안정성을 측정할 결과 ISP에 비해 대두 단백질의 등전점인 pH 4.0 부근에서 5-7배 높은 거품안정성을 나타내었으나 pH 4.0을 제외한 모든 pH 구간에서 20분 안에 거품이 소멸되었다.

UF 분리농축분말은 isoflavone 등 여러가지 기능적 성분을 함유하는 것으로 알려져 있을 뿐만 아니라 용해도, 유화력, 유화안정성, 거품형성능 등이 ISP보다 우수하여 식품가공에서 다양하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 농림기술개발사업 (ARPC, 102001-02-5B010)의 연구비 지원으로 수행된 연구결과에 일부로 이에 감사드립니다.

1. Kim HY, Eom KY, Kim JS, Kim WJ. Drying of isoflavone and oligosaccharides retentates separated by membrane filtration from tofu *sunmul*. Food Eng. Prog. 9: 81-87 (2005)
2. Kim HH, Cha BS, Kim WJ. Recovery and drying of isoflavone and oligosaccharides from tofu *sunmul* by membrane concentration. Korean Soybean Digest 22: 25-37 (2005)
3. Lee SM, Hwang IK. Texture characteristics of soybean-curd prepared with different coagulants and composition of soybean-curd whey. Korean J. Soc. Food Sci. 13: 78-85 (1997)
4. Kim JS. Current research trends on bioactive function of soybean. Korean Soybean Digest 13: 17-24 (1996)
5. Kwon HJ. Bioactive compounds of soybean and their activity in angiogenesis regulation. Korean Soybean Digest 16: 63-68 (1999)
6. AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC Intl. 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA (1990)
7. Bertola NC, Califano AN, Bevilacqua AE, Zaritzky NE. Textural changes and proteolysis of low-moisture Mozzarella cheese frozen under various conditions. Lebensm. Wiss. U. Technol. 29: 470-474 (1996)
8. Lin M, Jin Y, Humbere ES. Certain functional properties of sunflower meal products. J. Food Sci. 39: 368-371 (1974)
9. Lawhon JT, Rooney LW, Cater CM, Mattil KF. Evaluation of a protein concentrate produced from glandless cottonseed flour by a wet-extraction process. J. Food Sci. 37: 778-782 (1972)
10. Franzen KL, Kinsella JE. Functional properties of succinylated and acetylated soy protein. J. Agric. Food Chem. 24: 788-795 (1976)
11. Casella MLA, Whitaker JR. Enzymatically and chemically modified zein for improvement of functional properties. J. Food Biochem. 14: 453-475 (1990)
12. Sathe SK, Salunkhe DK. Functional properties of lupin seed protein and protein concentrates. J. Food Sci. 47: 491-494 (1981)
13. Arrese EL, Sorgener JR, Anon MC. Electrophoretic, solubility and functional properties of commercial soy protein isolates. J. Agric. Food Sci. 39: 1029-1032 (1991)
14. Han JS. Effects of functional properties of soy protein isolate and qualities of soybean curd upon proteolytic hydrolysis. MS thesis, Seoul National University, Seoul, Korea (1990)
15. Nissen JA, Olsen HS. Determination of the degree of hydrolysis of food protein hydrolysates by TNBS. J. Agric. Food Chem. 27: 1256-1262 (1979)
16. Kim YS, Hwang JK, Cho WK, Lee SY, Pyun YR. Studies on the functional properties of modified soy protein isolate. Korean J. Food Sci. Technol. 17: 383-388 (1985)
17. Kim DM, Baek HH, Jin JS, Lee SE, Kim KH. Physico-chemical properties of soybean curd whey concentrated by reverse osmosis. Korean J. Food Sci. Technol. 24:311-314 (1992)
18. Kakalis LT, Regenstein JM. Effects of pH and salts on the solubility of egg white protein. J. Food Sci. 51: 1445-1450 (1986)
19. Kim YW, Lee CH. Functional properties of lupin seed protein concentrate. Korean J. Food Sci. Technol. 19: 499-505 (1987)
20. Nath JP, Narasinga Rao MS. Functional properties of guar proteins. J. Food Sci. 46: 1255-1259 (1981)
21. Kinsella JE. Functional properties of proteins: possible relationships between structure and function in foams. Food Chem. 7: 273-288 (1981)
22. Byun JW, Hwang IK. Effects of protease treatment on functional properties of soymilk protein. Korean J. Soc. Food Sci. 11: 26-32 (1995)