

균질기 압력을 변화시켜 제조한 두유의 유화안정성

이경석 · 김경태 · 정용면 · 이기영[†]

호서대학교 식품생물공학과

Emulsion Stability of Soymilk Produced by the Varied Homogenizing Pressure

Kyung-Seok Lee, Kyung-Tae Kim, Yong-Myun Jung and Ki-Young Lee[†]

Dept. of Food & Biotechnology, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea

Abstract

The purpose of this study was to make soy milk without using any food additives. First, it was attempted to find the effects of homogenizing pressure on the emulsion stability of soy milk without addition of monoglyceride. The soy milk was made with the ratio of bean and water as 1:8, and the yields of soy milk was measured to be 5.87 fold of the beans used. After making soy milk by differentiated pressure of the homogenizer at 50 kg/cm², 100 kg/cm², 150 kg/cm² and 200 kg/cm², general composition of the center part of soy milk was analysed. The analysis results indicated that the lipid content increased by the increase of the emulsion pressure. Moreover, the suspension stability, emulsion stability and viscosity also increased by the increase of the emulsion pressure. Therefore, we thought that the production of soy milk without adding any emulsifier was possible only by homogenizing at higher pressure over 150 kg/cm².

Key words: soymilk, emulsion stability, homogenizing pressure

서 론

콩을 원료로 제조한 두유는 단백질이 풍부한 영양음료로서 우리나라에서는 오래 전부터 산업적으로 널리 제조되어 왔으며 여러 나라의 연구자들이 두유의 품질향상을 위한 다양한 연구를 진행시켜 왔다. 최근 콩에 함유된 isoflavone, 올리고당, peptides 등의 만성질환에 대한 유익한 기능성이 밝혀지면서(1) 콩을 원료로 하는 두유 또한 건강에 유익한 음료로 각광받고 있다. 그러나 두유 특유의 텁텁하고 비린 맛과 저장 중 층분리, 갈변화 등의 품질 특성은 개선되어야 할 연구과제로 남아있다.

대두가공품의 유해성분인 trypsin inhibitor(2), 적혈구 응집활성을 갖는 hemagglutinin(3), 가스 발생인자인 flatulence(4), 각종 무기질 흡수를 억제하는 phytic acid(5), 불쾌취를 생성하는 lipoxygenase(6) 등 품질과 영양을 저해하는 인자들은 두유를 제조하는 동안 불순물제거공정, 열처리 공정 등을 통해 대부분 불활성화 되거나 제거되기 때문에 상품화된 두유에서는 문제를 야기시키지 않지만 유통 및 저장기간에 발생하는 침전과 크림층의 분리현상이 두유의 품질을 떨어뜨린다(7). 하지만 현탁액이나 유화액의 안정성 요인에 관한 연구들은 순수한 물 중 기름형 emulsion에 관한 것이 대부분이고 두유의 크림층 분리나 단백질의 침전현상

에 관하여는 몇 편의 연구가 있을 뿐이다(8-11). 유화안정성에 영향을 미치는 것은 균질 처리시 압력, 온도, 지방질 및 고형분의 농도가 중요한 인자로 알려져 있으며(8), pH, 유화제, 당, 식염 등 첨가물 양의 변화가 현탁안정성에 영향을 미치는 것으로(9) 보고되었다. 또한 추출 방법과 가열시간에 따른 현탁액의 안정성 연구 등(11)이 보고되었으나 유화에 직접적으로 영향을 미치는 유화기의 유화압력을 변화시켜 안정성을 연구한 결과는 보고되지 않고 있다. 또한 두유의 유화제로는 monoglyceride가 널리 사용되어 유화안정성을 높여주는데 비록 monoglyceride의 안전성이 입증되어 사용량에 크게 제약을 받지 않고 있다고 하나 우리나라 소비자 입장에서는 식품안전을 해치는 가장 큰 위해요인으로 식품첨가물을 꼽을 만큼(12) 식품첨가물에 대한 강한 거부감을 가지고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 소비자들에게 보다 친환경적인 이미지를 주는, 유화제를 첨가하지 않은 두유를 제조하기 위해 균질화 공정에서 압력조건을 변화시켜 유화안정성에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 대두는 (사)푸른들 영농조합법인에서

[†]Corresponding author. E-mail: kylee@office.hoseo.ac.kr
Phone: 82-41-540-5641, Fax: 82-41-532-5640

저농약 재배하여 건조한 것을 공급받아 건조시킨 대두를 탈피하여 냉장보관(4°C)하면서 사용하였다. 두유제조를 위해 첨가한 유지는 (주)한살림의 미강유를 사용하였다.

일반성분 분석

콩과 두유의 일반성분은 AOAC 표준시험법(13)에 따라 분석하였으며, 콩은 마쇄하여 분석시료로 사용하였으며 두유는 메스실린더에 주입하여 10분간 방치 후 중심부에서 시료를 채취하여 사용하였다.

두유의 제조

탈피 대두를 100°C의 끓는 물에서 5분간 가열하고 찬물에 10분간 침지시킨 후 콩 중량의 8배량의 물을 첨가하여 마쇄하였다. 80°C에서 30분간 holding 시킨 후 170 mesh의 체로 걸러내어 두유와 비지를 분리한 후 미강유를 1.5% 첨가한 뒤 균질화했는데 이때 균질화 압력은 50 kg/cm², 100 kg/cm², 150 kg/cm², 200 kg/cm²로 각각 다르게 조절하였다. 균질시킨 두유를 75°C에서 30분간 유지시킨 후 파우치 팩에 주입, 밀봉하여 121°C, 15분간 멸균한 후에 시료로 이용하였다. 이상의 두유 제조공정은 Fig. 1과 같다.

수율측정

두유의 수율은 원료대두의 단위 무게 당 두유의 생산량

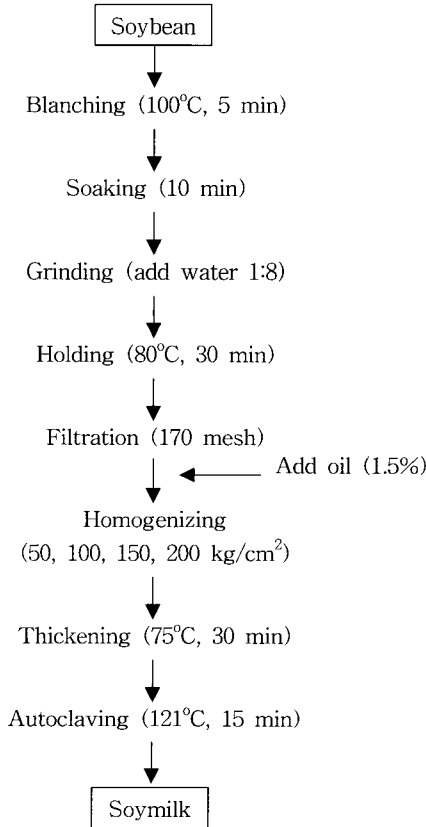


Fig. 1. Flow sheet for the preparation of soymilk.

(mL/g)으로 표시하였으며, 고형분수율, 단백질수율, 지질수율은 다음 식에 의해 산출하였다.

$$\text{Solids yield (\%)} = \frac{\text{Weight of total solids recovered in soy milk}}{\text{Weight of solids in soybean}} \times 100$$

$$\text{Protein yield (\%)} = \frac{\text{Weight of total protein recovered in soy milk}}{\text{Weight of protein in soybean}} \times 100$$

$$\text{Lipid yield (\%)} = \frac{\text{Weight of total lipid recovered in soy milk}}{\text{Weight of lipid in soybean}} \times 100$$

현탁안정성(suspension stability) 측정

현탁안정성은 부위별 고형분을 측정, 대비하여 환산하였다. 시험관에 두유를 넣고 4°C에서 0일, 5일, 10일, 15일, 20일간 보관한 후 크림이 포함된 상등액을 제거하였다. 남은 부분의 상층 부위에서 시료를 채취, 고형분의 함량(%)을 측정하여 초기 고형분 함량(%)으로 나눈 값을 백분율로 나타내었다(9).

$$\text{Suspension stability (\%)} = \frac{\text{Total solid of sample, removed cream portion (\%)}}{\text{Total solid of initial sample (\%)}} \times 100$$

유화안정성(emulsion stability) 측정

유화안정성은 Kim 등(14)의 방법을 변형하여 측정하였다. 0일, 5일, 10일, 15일, 20일간 4°C로 보관한 두유를 교반, 혼합한 후 100 mL 취하고 이를 80°C의 항온수조에서 70 rpm으로 2시간 동안 shaking한 후 분리된 상등액을 제거하여 용량을 측정해 초기 용량으로 나눈 값을 백분율로 나타내었다.

$$\text{Emulsion stability (\%)} = \frac{\text{Volume of emulsified layer after heating}}{\text{Volume of emulsified layer}} \times 100$$

점도 측정

점도는 Brookfield 점도계(Programable Rheometer, Model DV-III, Brookfield Engineering Lab. Inc., Stoughton, MA, USA)를 사용하여 30°C에서 spindle No. 2로 100 rpm, 60초간 회전시킨 후 측정하였으며 5일, 10일, 15일, 20일 간격으로 변화를 측정하였다.

통계처리

본 연구의 결과는 평균으로 나타내었고, 각 실험군 간의 비교분석은 SAS system을 이용하여 ANOVA 분석 후 α = 0.05에서 Duncan's multiple range test를 사용하여 유의성을 검증하였다.

Table 1. Chemical composition of soybean (%)

Moisture	6.59±0.01
Protein	36.13±0.49
Lipid	19.07±0.52
Carbohydrate	34.47±0.17
Ash	3.73±0.12

결과 및 고찰

대두의 일반성분

본 실험에 사용된 대두의 일반성분은 Table 1과 같다. 수분함량은 6.59%로 식품성분표(15) 상의 9.7%보다 다소 낮게 나타났다. 이는 원료 대두의 건조조건 등에 따른 결과로 보여진다. 단백질 함량은 36.13%로 식품성분표 상의 36.2%와 유사하게 측정되었다. 지질함량은 19.07%로 식품성분표 상의 17.8%보다 약간 높게 나타났으나 회분함량은 3.73%로 식품성분표 상의 5.6%보다 다소 낮게 나타났다. 이와 같은 화학적 성분조성 차이는 품종, 재배조건, 토양, 수확시기, 기후차이, 저장조건 등에 따라 다른 것으로 생각되며 이 때문에 좋은 두유를 생산하기 위해 콩의 선택이 매우 중요함을 알 수 있다. 본 실험에 사용된 대두는 단백질함량이 적당해 두유생산에 적합하다고 판단되었다.

두유 중심부의 일반성분

제조한 두유의 일반성분 결과는 Table 2와 같다. 수분함량은 86%~87%로 Kim과 Kim(11)의 90%~93%보다 비교적 낮게 나타났다. 이는 두유 제조과정의 차이로 Kim 등이 콩과 물의 배합비를 1:10으로 한 것에 비해 본 실험에서는 고품질의 두유를 제조하기 위해 1:8의 비율로 제조하였기 때문이다. 수분함량이 낮아진 만큼 단백질, 지질, 회분 등의 함량 또한 Kim과 Kim(11)의 결과보다 높게 나타났다. 유화압력조건에 따른 일반성분의 변화를 보면 유화압력이 높을수록 수분함량은 낮아졌고 지질함량은 증가하는 경향을 보였다. 이는 두유의 유화정도의 향상에 기인하는 것으로 추측된다. 즉 실험 시료를 두유의 중심부에서 채취하기 때문에 유화가 덜 된 제품의 경우 주입한 유지의 일부가 상부로 떠올라 지질함량이 낮아지고 상대적으로 수분함량이 증가하게 된다.

수율

원료대두로부터 얻은 두유의 수율을 측정한 결과는 Table

Table 3. Extract yield of soymilk

Pressure (kg/cm ²)	Extract yield of chemical composition			
	mL/g soybean	Solids yield (%)	Protein yield (%)	Lipid yield (%)
50	5.87	81.04±0.85 ^{b1)}	90.89±1.86 ^a	94.93±1.01 ^b
100	5.87	81.92±0.55 ^b	88.45±0.75 ^{ab}	95.55±0.63 ^b
150	5.87	84.71±0.18 ^a	87.42±0.47 ^b	104.88±0.50 ^a
200	5.87	85.77±0.31 ^a	87.80±0.47 ^b	104.36±2.52 ^a

¹⁾Values with different superscripts were significantly different by Duncan's multiple range test (p<0.05).

3과 같아 대두 1 g당 생산된 두유의 양(g)은 5.87 g으로 나타났다. 유화압력의 차이는 고형분, 지질의 수율에 영향을 미치지 않았는데 지질의 경우 유화압력에 따라 10% 가량 수율 차이가 났다. 이는 두유의 일반성분 차이로 인해 나타난 결과로 생각된다. 즉 낮은 유화압력에서 유지를 추가로 주입했음에도 지질의 수율이 100% 미만으로 측정된 것은 유화가 제대로 이루어지지 않아 두유내에서 지질분포가 골고루 이루어지지 않았음을 나타내고 높은 유화압력에서는 지질의 함량이 100% 이상으로 나타난 것은 첨가된 유지가 골고루 유화되었음을 나타낸다.

현탁안정성

두유의 안정성에 영향을 미치는 인자는 다양하다. pH의 경우 7.0~7.7에서 가장 안정하고(16), 두유가 가열처리되면 단백질 분자가 겹쳐지고 소수기가 밖으로 노출되어 용해성이 떨어지지만 콩의 인지질이 존재하므로 단백질과의 상호작용으로 인하여 안정성이 증가된다고 보고되었다(11). 또한 설탕의 첨가는 점도를 상승시켜 어느 정도 안정성에 기여하지만 3% 이상 첨가시 탈수작용에 의해 단백질의 용해도를 감소시켜 안정성을 떨어뜨리고, 대두의 주 단백질인 globulin은 염류용액에 잘 녹지만 대두자체에 무기염류가 들어있어 추가되는 식염 또한 안정성을 떨어뜨린다고 보고되어 있다(9). 때문에 두유 제조시 이들을 고려하여 부재료를 첨가시켜야 할 것이다. 본 실험의 경우 첨가물에 의한 안정성의 변화를 배제하고 유화 압력 차이에 의한 안정성 차이를 알아보기 위해 당, 소금 등 부재료를 첨가하지 않았으며 그 결과 두유의 현탁안정성은 Fig. 2와 같다. 모든 군에서 저장기간이 경과함에 따라 현탁안정도가 서서히 감소하였다. Kim과 Jo(17)의 연구에 따르면 시간이 경과됨에 따라 크립층이 분리되었으며 균질화 압력이 높아질수록 분리되는 정도가 적다고 발표한바 있다. 본 연구에서도 유사한 경향을

Table 2. Chemical composition of soymilk (%)

Pressure (kg/cm ²)	Chemical composition				
	Moisture	Protein	Lipid	Carbohydrate	Ash
50	87.10±0.14 ^{a1)}	5.60±0.11 ^a	3.09±0.03 ^b	3.76±0.25 ^b	0.46±0.01 ^b
100	86.96±0.09 ^a	5.45±0.05 ^{ab}	3.11±0.02 ^b	4.01±0.08 ^{ab}	0.48±0.02 ^b
150	86.51±0.03 ^b	5.38±0.03 ^b	3.41±0.02 ^a	4.24±0.07 ^a	0.45±0.02 ^b
200	86.34±0.05 ^b	5.41±0.03 ^b	3.39±0.08 ^a	4.31±0.07 ^a	0.55±0.02 ^a

¹⁾Values with different superscripts were significantly different by Duncan's multiple range test (p<0.05).

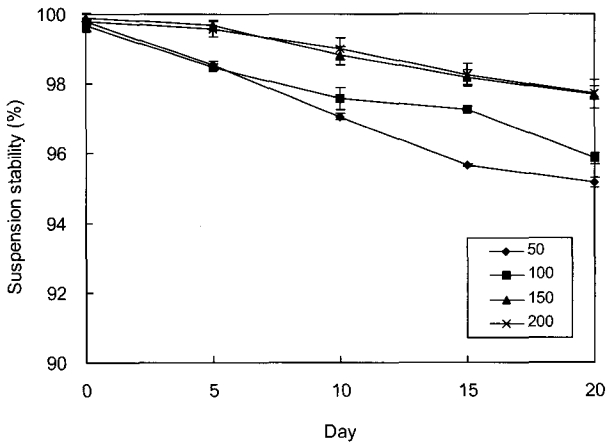


Fig. 2. Changes in suspension stability of soymilk for 20 days of storage at 4°C.
 -●-, -■-, -▲-, -×-: emulsion pressure (kg/cm²).

보여 시간의 경과에 따라 모든 군에서 현탁안정도가 조금씩 감소하였다. 균질화 압력에 따른 변화를 보면 150 kg/cm² 이상의 압력으로 균질화시킨 경우 50 kg/cm², 100 kg/cm²의 압력으로 균질화시킨 경우보다 emulsion이 더욱 안정되어 있음을 볼 수 있었다. 그러나 200 kg/cm² 이상의 균질압력에서는 150 kg/cm²와 차이가 보이지 않아 150 kg/cm²가 적당한 균질압력으로 생각되었다.

유화안정성

균질압을 변화시켜 제조한 두유에 열을 가한 후 층 분리 상태를 관찰한 유화안정성은 Fig. 3과 같다. 열을 가하지 않은 시료의 현탁안정성에 비해 전체적으로 낮은 안정성을 나타내어 열처리가 유액 중의 유화상태를 파괴하는 원인이 될 수 있음을 나타냈다(18). 균질압력이 50 kg/cm², 100 kg/cm²인 경우 20일 후 82%, 86%의 안정성을 보인 반면 150 kg/cm², 200 kg/cm²의 압력을 가하였을 경우 90%, 91%의

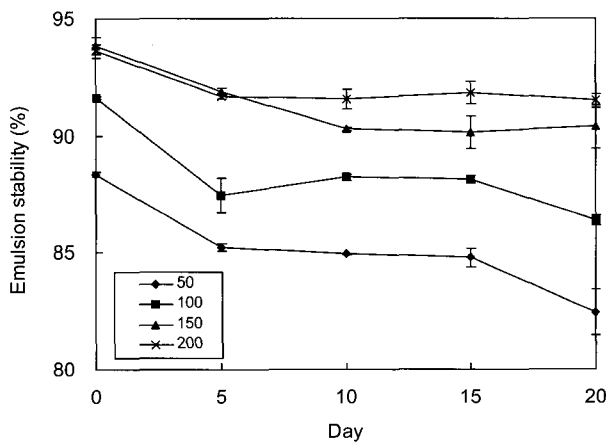


Fig. 3. Changes in emulsion stability of soymilk for 20 days of storage at 4°C.
 -●-, -■-, -▲-, -×-: emulsion pressure (kg/cm²).

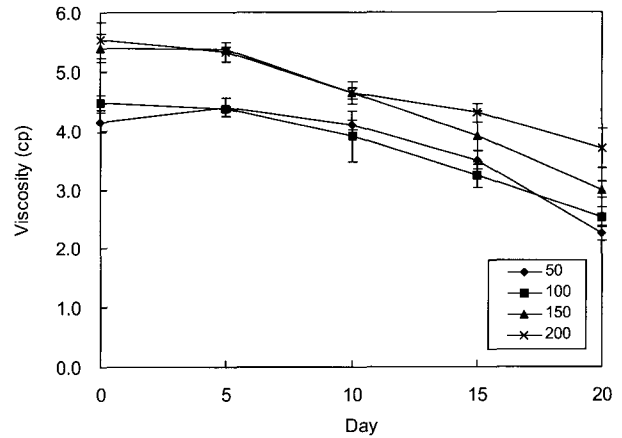


Fig. 4. Changes in viscosity of soymilk for 20 days of storage at 4°C.
 -●-, -■-, -▲-, -×-: emulsion pressure (kg/cm²).

안정성을 보여주어 보다 높은 압력으로 균질시켰을 경우 유화안정성이 증가됨을 알 수 있었다. 우유의 경우 균질처리시 카제인 단백질이 지방구와 소수성 결합에 의해 복합체를 형성하는데 유화압력이 증가함에 따라 복합체 형성도 증가하여 안정성이 증가한다(19). 두유의 경우에도 유화압력이 증가함에 따라 글리시닌 단백질과 지방구와의 복합체 형성량이 증가되어 유화안정도가 향상된 것으로 생각된다.

점도의 변화

두유 제조공정의 균질압력변화에 따른 두유의 점도변화는 Fig. 4와 같다. 균질압력이 낮을수록 점도가 낮아짐을 알 수 있었다. 균질압력이 낮은 두유의 단백질 함량이 비교적 높게 나온 결과와 비교하면 단백질 농도가 증가할수록 점도가 감소한다는 Lo 등(20)의 결과와 유사한 결과임을 알 수 있었다. 또한 시간에 따른 점도의 변화도 현탁안정성, 유화안정성과 비슷한 경향을 나타내 모든 군에서 서서히 감소가 일어나지만 유화압력이 높을수록 보다 높은 값을 나타냈다. 이러한 결과 역시 균질압력이 높을수록 글리시닌 단백질과 지방구의 복합체 형성량이 많아지면서 총 표면장력이 감소함에 따라 지방구가 크기는 감소하고 동시에 숫자가 많아진 결과로 생각된다.

요 약

본 실험은 식품첨가물을 사용하지 않고 두유를 제조하는데 목적이 있다. 이를 위해 일반적으로 두유제조시 사용되는 유화제인 monoglyceride를 사용하지 않고 균질기 압력만을 변화시켜 제조할 경우 유화안정성에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 두유는 콩과 물의 비율을 1:8로 하여 제조하였으며 두유의 수율은 콩의 5.87배로 측정되었다. 균질기의 압력을 50 kg/cm², 100 kg/cm², 150 kg/cm², 200 kg/cm²로 달리하여 두유를 제조한 후 중심부의 일반성분을 분석한 결과

유화압력이 높을수록 지질의 함량이 높게 나타났다. 또한 시간의 경과에 따른 고형분의 침전정도를 측정된 현탁안정성과 열처리에 따른 분리정도를 측정된 유화안정성 그리고 점도측정결과 역시 유화압력이 높을수록 우수한 결과를 보여주었다. 실험결과 유화제를 첨가하지 않고 균질기 압력을 150 kg/cm^2 이상으로 유지하는 것만으로도 두유제조가 가능할 것으로 생각되었다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 호서대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문헌

1. Setchell KR, Cassidy A. 1999. Dietary isoflavone: biological effects and relevance to human health. *J Nutr* 129: 758-767.
2. Jiang XJ, Zhang ZJ, Cai HN, Hara K, Su WJ, Cao MJ. 2006. The effect of soybean trypsin inhibitor on the degradation of myofibrillar proteins by an endogenous serine proteinase of crucian carp. *Food Chem* 94: 498-503.
3. Catsimpoalas N, Meyer EW. 1969. Isolation of soybean hemagglutinin and demonstration of multiple forms by isoelectric focusing. *Arch Biochem Biophys* 132: 279-285.
4. Jung SS, Lee SR. 1986. Enzymatic characteristics of α -galactosidase for the removal of flatulence factor in soybean. *Korean J Food Sci Technol* 18: 450-457.
5. Oberleas D. 1973. *Toxicants occurring naturally in foods*. National Academy of Science, Washington DC. p 363-370.
6. Snyder HE. 1973. A simple technique for inhibiting production of green, beany flavor in soybeans. *Korean J Food Sci Technol* 5: 33-35.
7. Kim WJ. 1984. Review on quality improvement of soymilk. *Korean J Food Sci* 17: 443-448.
8. Priepke PE, Wei LS, Nelson AI, Steinberg MP. 1980. Suspension stability of Illinois soybean beverage. *J Food Sci* 45: 242-248.
9. Kim ES, Chung SS, Jo JS. 1990. Effect of pH, chemical composition and additives on stability of soymilk suspension. *Korean J Food Sci* 22: 319-324.
10. Lee EK, Hwang IK. 1994. Study on the physicochemical, nutritional and sensory characteristics of the calcium-fortified soy-milk (tofu-milk). *Korean Soybean Digest* 11: 23-31.
11. Kim YS, Kim CJ. 1999. Effects of extraction methods and heating times on physicochemical properties of soymilk. *Korea Soybean Digest* 16: 40-55.
12. Han WK, Lee GJ. 1991. A study on the consumer recognition of food safty and food additives. *Kor J Soc Food Sci* 7: 23-34.
13. AOAC. 2000. *Official methods of analysis*. 15th ed. Association of official analytical chemists, Washington DC.
14. Kim YJ, Shin TS, Oh HI. 1996. Solubility, emulsion capacity, and emulsion stability of protein recovered from red crab processing water. *Korean J Food Nutr* 9: 319-324.
15. R.D.A. 2001. *Food Composition Table*. 6th ed. National Rural Living Science Institute. p 70-71.
16. Yeh SW, Wei LS, Nelson AI, Sterinberg MP. 1981. Freezethaw stability of Illinois soybean beverage. *J Food Sci* 47: 299-302.
17. Kim ES, Jo JS. 1990. Studies on stability of soymilk suspension. *Korean J Food Sci Technol* 22: 312-318.
18. Tornberg E, Hermanson AH. 1977. Functional characterization of protein stabilized emulsions; effect of processing. *J Food Sci* 42: 468-472.
19. Fox KK, Holsinger JH, Caha J, Pallanshe MJ. 1960. Formation of a fat-protein complex in milk by homogenization. *J Dairy Sci* 68: 1396-1406.
20. Lo WL, Steinkraus KH, Hand DB. 1968. Concentration of soymilk. *Food Technol* 22: 1028-1030.

(2006년 9월 19일 접수; 2006년 12월 2일 채택)