

## 두유(豆乳)의 현탁안정성에 관한 연구

김은수·조재선\*

주식회사 정·식품, \*경희대학교 식량자원개발연구소

### Studies on Stability of Soymilk Suspension

Eun-Soo Kim and Jae-Sun Jo\*

Dr. Chung's Food Company, Ltd.

\*Institute of Food Research and Development, Kyung Hee University

#### Abstract

The effects of blanching, homogenization and heat sterilization on the stability of soymilk suspension were investigated by determination of nitrogen solubility index(NSI) of suspension and measuring the volume of precipitates and cream separated. The results obtained were that the NSI was decreased as the blanching temperature increased from 50°C to 80°C. The soybean particles having 8  $\mu$  by grinding showed more stable soymilk than that of 53  $\mu$ . The stability was increased as the homogenizing pressure increased to 200 kg/cm<sup>2</sup> and repeated homogenizing process gave more stability than single one. The sterilization resulted a significant decrease in stability as it was heated at 120°C-125°C for more than 30 minutes.

Key words: soymilk, stability of suspension, homogenization, heating

#### 서 론

콩을 원료로 한 두유는 단백질이 풍부한 영양음료로서 우리나라에서는 오래 전부터 이용되어 왔으나 본격적으로 공장생산되어 상품화된 것은 1967년 이후부터이다. 대두가공품은 trypsin inhibitor<sup>(1,2)</sup>, hemagglutinin<sup>(3,4)</sup>, flatulence<sup>(5,6)</sup>, 각종 무기질을 봉쇄하는 phytic acid, 불쾌취를 생성하는 lipoxigenase<sup>(7,8)</sup> 등 품질과 영양을 저해하는 인자들이 들어있어 그의 이용을 제한하고 있다.

그러나 두유를 제조하는 동안에 이들 저해인자들이 대부분 불활성화 되거나 제거되기 때문에 상품화된 두유에서는 별 문제가 없지만 유통 저장기간 동안에 발생하는 침전과 크림층의 분리현상이 두유의 품질을 떨어뜨린다<sup>(9)</sup>.

두유를 오래 저장하는 동안 형성되는 침전의 원인으로 분쇄 및 균질처리가 잘못되거나 일부 단백질의 소수적인 특성<sup>(10,11)</sup>과 열변성<sup>(12,13)</sup>에 기인되는 것으로 생각된다.

한편 상하부의 크림층 분리현상은 분산된 지방구의 응

결에 의한 것으로서 이러한 현상에 대해서 Nelson 등<sup>(10,11)</sup>은 지방질과 단백질이 복합체를 형성하여 현탁액의 안정성에 영향을 미친다고 하였고, Priepke<sup>(14)</sup>은 균질처리시 압력, 온도, 그리고 지방질 및 고형물의 농도가 중요한 인자라고 하였다. 또한 현탁액의 계면장력, 입자의 크기, 연속상의 점도 등이 안정성에 영향을 미친다고 하였다<sup>(15,16)</sup>. 이러한 현탁액이나 유화액의 안정성 요인에 관한 연구들은 우유나 순수한 물 중 기름형 에멀전(oil in water emulsion)에 관한 것이 대부분이고 두유의 크림층의 분리나 단백질의 침전현상에 관하여는 몇 편<sup>(10,11,14)</sup>의 연구가 있을 뿐이다.

따라서 본 연구에서는 두유 제조조건이 현탁안정성에 미치는 연구의 일환으로 분쇄, 균질 및 열처리조건이 현탁안정성에 미치는 영향을 실험하였다.

#### 재료 및 방법

##### 재료

본 실험에 사용한 대두는 1988년 수원산 황금콩으로 건전한 대두를 탈피하여 사용하였는 바 그의 화학적 조성은 수분 8.8%, 조단백질 38.1%, 조지방 20.1%, 회분 4.3%, 탄수화물 28.7%였다.

두유에 첨가한 함유는 말레이시아산 주식회사 농심에

Corresponding author: Jae-sun Jo, Department of Food Processing, Kyung Hee University, 1, Soechun-ri Kiheung-myun, Yongin-gun, Kyunggi-do, Korea

서 수입 정제된 계곡(산값 0.2, 요오드값 58.1, 검화값 194, 과산화물값 3.0), 유화제는 일신산업제품인 글리세린모노스테아레이트(용점 50~60°C, 모노글리세리드 50~60%, 디글리세리드 40~50%)를 사용하였다.

**두유의 조제**

탈피 대두를 98°C의 끓는 물에서 5분간 blanching 한 후 물을 가하여 Warling blender로 마쇄하되 이 때 첨가하는 물의 양은 건조 탈피 콩 중량의 9배량이 되도록 하였다. 마쇄된 것을 원심분리하고 균질처리를 하되 1차 균질화압력은 150~300 kg/cm<sup>2</sup>, 2차는 50 kg/cm<sup>2</sup>로 하였고, 균질화된 것은 121°C에서 15분간 살균하여 두유시료로 하였다. 한편 일부 시료는 균질화하기 전에 팜유와 글리세린모노스테아레이트를 각각 1.5%와 0.4%를 첨가하고 homomixer로 70°C에서 3,600 rpm으로 20분간 혼합한 뒤에 위의 시료와 같은 조건으로 균질, 살균하여 시료로 하였다. 이상의 두유 제조공정은 Fig. 1과 같고, 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

**일반성분 분석**

시료의 총 고형분은 105°C 건조법, 조단백질은 micro-Kjeldahl법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 회분은 dry ashing법 등 상법<sup>(17)</sup>으로 측정하고 탄수화물은 환산법에 의하여 계산하였다.

**점도측정**

시료의 점도는 Brookfield viscometer를 사용하여 20°C에서 spindle No. 2로 60 rpm에서 60초간 회전시킨 후 측정하였다.

**Stability index 및 stability rating 측정**

현탁액의 안정성의 지표가 되는 안정도지수(stability index)는 부위별 고형분을 측정, 대비하여 환산하였다. 즉 시험관에 시료 100 ml를 넣고 3~5°C에 48시간 방치 후 크림이 포함된 상징액 50 ml를 진공 흡입 tube로 제거하였다. 남은 부분 중 침전부위를 제외한 윗 부분에서 일부 시료를 채취, 고형분의 함량(%)을 측정하여 크림이 분리되기 전에 측정된 초기 고형분 함량(%)으로 나눈 값을 백분율로 나타낸 것을 stability index로 하였다<sup>(18)</sup>. 한편 안정비율(stability rating)은 다음 식에 따라 구하였다<sup>(19)</sup>.

Stability index =

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

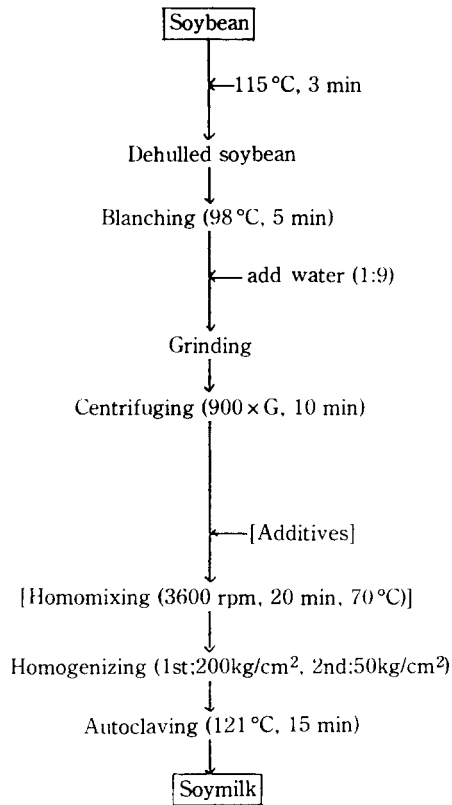


Fig. 1. Flow sheet for the preparation of soymilk

Table 1. Chemical composition and physical properties of soymilk

Total solids (%)	7.80
Protein (%)	3.70
Fat (%)	1.55
Ash (%)	0.36
Carbohydrate (%)	2.20
Specific gravity (15°C)	1.018
Viscosity (20°C, Cps)	4.8
pH (25°C)	7.45

Stability rating =

$$\frac{100 - \text{Moisture in bottom portion of test sample}(\%)}{100 - \text{Moisture in bottom portion of initial sample}(\%)} \times 100$$

**크림층 및 침전량 측정**

두유시료를 뚜껑달린 시험관에 50 ml 씩 무균상태에서 주입 후 일정기간 동안 상온에서 정치하여 분리된 크림층 및 침전량을 용적(ml)으로 측정하였다.

**Nitrogen solubility index 측정**

Microfuge 용 시험관에 시료 1.2 ml을 취한 후 14,

000 rpm (17,000×G)에서 10분간 원심분리 후 크림을 제거한 다음 상장액의 단백질 함량을 원래시료의 단백질 함량으로 나눈 값을 백분율로 나타낸 것을 질소용해도 지수 (NSI)로 하였다.

$$NSI(\%) = \frac{\text{Protein of supernatant}(\%)}{\text{Protein of original sample}(\%)} \times 100$$

### 결과 및 고찰

#### Blanching의 영향

대두 중에 들어 있는 lipoxygenase와 trypsin inhibitor 등을 제거하여 불쾌취발생을 억제하고 소화율을 증진시키기 위해서 50~100°C에서 5~30분간 건열처리 후 20°C 및 80°C의 물을 가하여 분쇄한 시료의 단백질 변성도를 나타내는 NSI는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 20°C의 물로 마쇄한 경우 blanching 처리온도와 시간이 증가할 수록 NSI가 감소하였으며 특히 온도증가에 따른 NSI 감소는 매우 현저하여 50°C와 100°C로 처리한 시료를 비교하여 볼 때 약 2배 이상의 차이가 났다. 또한 열처리 시간에 따른 NSI의 감소는 처리온도가 높을 수록 심하였다.

한편 80°C의 물로 마쇄한 경우 처리온도와 시간이 증가할 수록 NSI가 감소하였으나 그 감소폭은 20°C 물로 마쇄하는 경우에 비해 매우 작았다.

Albrecht 등<sup>(20)</sup>은 콩을 침지할 때 수분 흡수량이 증가하고 blanching 처리시간이 증가할 수록 NSI가 감소한다고 하였고 Johnson 등<sup>(21)</sup>은 콩을 가열처리한 후 마쇄

하면 protein body가 변성되지만 균질처리에 의해서 변성된 단백질이 다시 분산된다고 하였다. 본 실험에서도 blanching 시간 증가에 따라 NSI가 비례하여 감소하고 높은 온도로 열처리한 것을 고온에서 마쇄한 것이 저온에서 마쇄한 것보다 NSI가 높게 나타났다. 한편 Rackis 등<sup>(22)</sup>은 전지 대두분을 100°C에서 습윤 가열처리할 때 열처리시간이 증가함에 따라 NSI는 감소되지만 단백질의 PER은 오히려 증가하여 열처리하지 않았을 때 1.13이던 것이 9분간 열처리시에는 2.19, 20분간 처리시는 2.08이었다고 한다. 따라서 blanching 할 때 열처리조건은 trypsin 저해인자 등의 영양저해인자, 불쾌취발생, NSI 및 단백질의 이용률을 고려하여 결정되어야 하겠다.

#### 입자크기의 영향

시료 대두를 마쇄하여 각종 크기의 체로 걸러서 균질 및 열처리를 한 두유의 저장기간에 따른 침전 생성량을 측정된 결과는 Fig. 3과 같다.

즉, 입자크기가 120 mesh (평균 입자의 크기 53μ)에서 400 mesh (평균 입자의 크기 8μ)로 작아질 수록 침전량이 감소하여 안정성이 증가함을 알 수 있다.

한편 균질처리는 지방구나 단백질 입자가 어느 정도 분쇄되므로 균질처리를 1회한 것보다 2회한 것의 침전량이 감소되었다. 이 때 1회 처리시는 입자크기에 따라 침전량이 현저히 달랐지만 2회 처리시에는 1회 처리시료에 비해서 입자크기별로 차이가 심하지 않았다.

균질처리가 두유의 입자분포에 미치는 영향을 살펴보

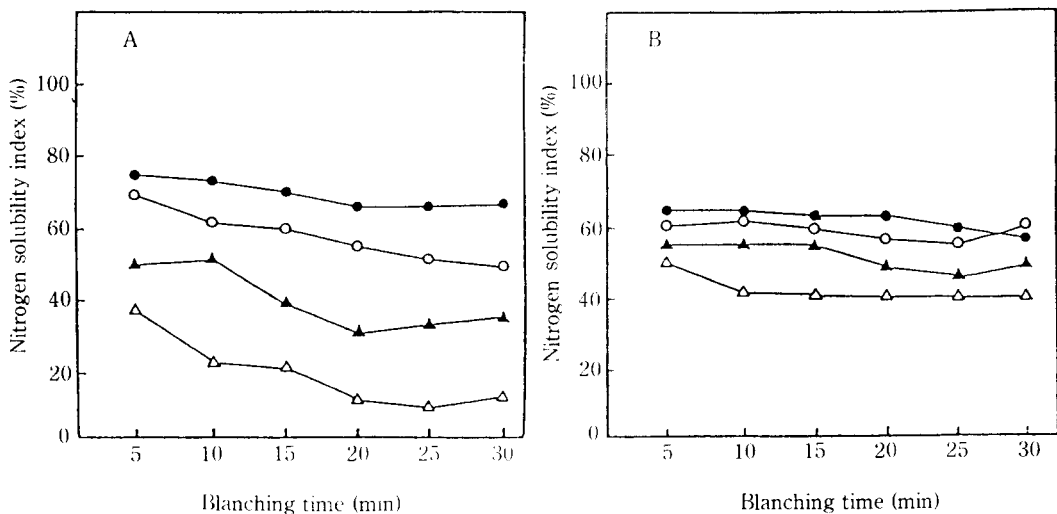


Fig. 2. Changes in nitrogen solubility index of soymilk during blanching at various temperatures ●, ○, ▲, △; blanched at 50, 70, 90, 100°C, respectively. A, B; ground at 20°C and 80°C after blanching



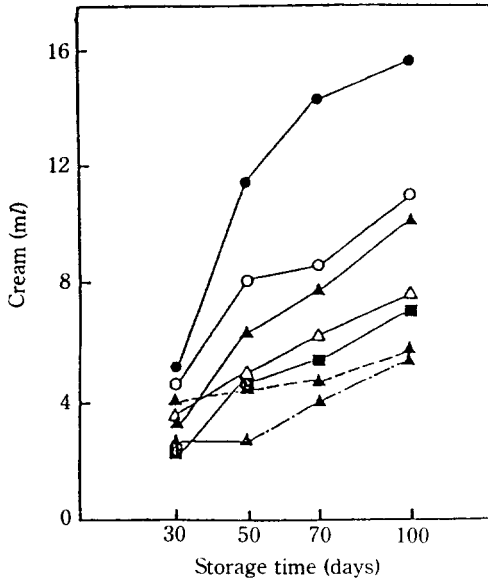


Fig. 5. Changes in cream separation of soymilk at different homogenizing conditions  
 ●-●, ○-○, ▲-▲, △-△, ■-■ : 150, 200, 250, 300, 350 kg/cm<sup>2</sup> of homogenizing pressure in first stage  
 ▲-▲, ▲-▲ : two and three times of homonization with the pressure of 250 kg/cm<sup>2</sup> in first stage

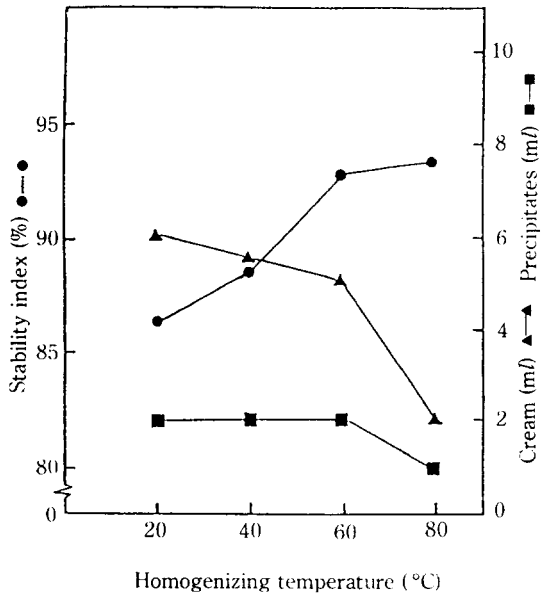


Fig. 6. Effect of homogenizing temperature on the colloidal stability of soymilk supplemented with palm oil after storage at 20 ± 2°C for 7 days

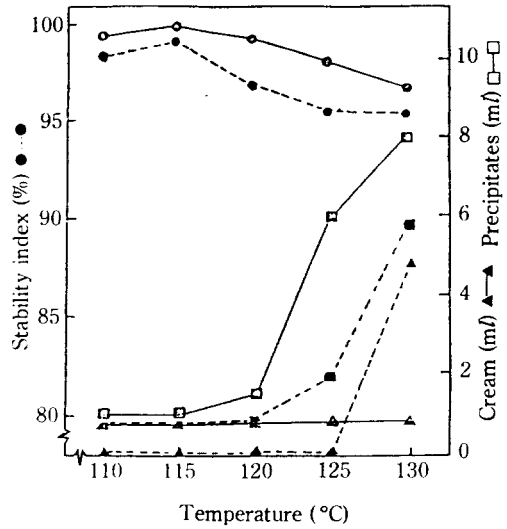


Fig. 7. Changes in stability of soymilk suspension after 7 days of storage by sterilization at various temperature for 15 minutes — soymilk, ---soymilk with palm oil and glycerine monostearate

이러한 현상은 실험에 사용된 유화제인 glycerine monostearate의 녹는점이 55°C이기 때문에 이보다 더 낮은 온도에서는 효과적인 유화작용이 이루어지지 않기 때문인 것으로 생각된다.

한편, 두유를 살균처리시 가열조건에 따른 안정성의 변화를 살펴본 결과는 Fig. 7과 같이 120°C까지는 침전량이 증가하지 않았으나 그 이상에서는 급격하게 증가하였으며 stability index도 가열처리 온도에 증가에 비례하여 감소하였다. 또한 크림 생성량은 열처리온도와 관계없이 일정하였다.

팜유와 glycerine monostearate를 각각 1.5% 및 0.4%를 첨가한 것도 첨가하지 않은 두유와 마찬가지로 살균온도가 증가할 수록 안정성이 감소되었으나 침전량은 첨가하지 않은 것에 비해서 적었고 크림층은 125°C까지는 거의 분리되지 않았다가 그 이상의 온도에서는 급격하게 증가하였다. 이것은 125°C 이상에서 대두단백질의 변성이 일어나기 때문인 것으로 생각된다.

살균온도를 121°C로 하여 가열시간을 달리하였을 때는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 30분까지는 안정성에 별다른 영향을 주지 않았으나 그 이상의 열처리는 안정성을 감소시켰다. 일반적으로 과도한 열처리는 유액 중의 단백질을 변성시키고 유화제를 분해할 뿐만 아니라 점도를 감소시키며 지방구의 운동에너지를 증대시킴으로써 지방구 간의 flocculation과 coalescence 등을 촉진시켜 유화

Table 3. Chemical composition of top, middle and bottom layers in the bottled soymilk after storage at  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  for 100 days (%)

Component Layers	Crude protein	Crude fat	Ash	Total solids
Top	2.73	5.39	0.39	13.73
Middle	2.85	2.73	0.54	11.44
Bottom	10.57	3.31	0.79	20.57

상태를 파괴하는 원인이 될 수 있다고 하며<sup>(23,24)</sup> 또한 Wolf 등<sup>(25,26)</sup>은 열처리량의 증가에 따라 대두의 주 단백질인 glycinin의 11s 획분이 불용성의 응결물질(aggregate)로 변한다고 하였는 바 본 실험결과에서도 이러한 단백질의 변성이 주 원인인 것으로 생각된다.

Table 3은  $121^\circ\text{C}$ 에서 30분간 열처리한 두유를 100일간 저장 후 부위별로 시료의 성분을 측정된 것이다. 즉, 상층부는 지방 함량이 많고 하층부는 단백질 함량이 많기는 하지만 상층이나 하층부에 각각 단백질이나 지방이 들어 있는 것으로 보아 지방과 단백질이 응집된 복합체를 형성하고 있음을 알 수 있다.

우유의 경우 균질처리시 casein 단백질이 지방구와 소수성 결합에 의해 복합체를 형성한다고 하였으며<sup>(27)</sup> 또한 균질처리 압력이 증가함에 따라 복합체 형성도 증가하여 안정성이 증가한다고 한다<sup>(28)</sup>.

Kamamoto 등<sup>(29)</sup>은 대두단백질과 레시틴의 용액에 초음파를 처리하여 이들의 상호작용을 연구한 결과 레시틴은 7s 단백질과 11s 단백질에 비특이적으로 결합하고 기름이 이 복합체에 결합하여 3중 복합체를 형성한다고 하였으며 Ohtsuru 등<sup>(30)</sup>은 이러한 복합체의 형성은 레시틴분자와 대두단백질간의 소수성 결합 및 lecithin lamellae와 대두단백질 표면에서의 정전기적 인력에 의해 형성된다고 하였고 oil은 lecithin lamellae와 대두단백질 복합체에 침투한 형태를 갖는다고 하였다. 또한 두유에도 이와 같은 기름-레시틴-단백질의 3중복합체가 형성될 것이라고 추정하였다.

### 요 약

두유제품을 저장하는 동안 단백질 등의 침전과 지방질의 크림층이 분리되는 현상에 미치는 두유제조 조건의 영향을 검토하기 위해서 분쇄, 균질처리 및 열처리조건이 두유의 현탁안정성에 미치는 영향을 조사하였다. 먼저  $20^\circ\text{C}$ 의 물로 마쇄한 것을 blanching 시 온도에 반비례하여 질소 용해도지수가 현저히 감소하였으나  $80^\circ\text{C}$ 의

물로 마쇄하는 경우 그 감소폭이  $20^\circ\text{C}$ 의 경우보다 적었다. 침지 대두를 분쇄하여 단백질 입자가  $53\mu$ 에서  $8\mu$ 으로 작아질 수록 침전량이 감소하여 두유의 현탁안정성이 증가하였고 균질처리를 1회한 것보다는 2회 반복처리한 것이 안정성이 증가하였으며 1회 처리하는 입자의 크기에 따라 차이가 심하였지만 2회 처리하는 그 차이가 감소되었다. 균질처리시 1단계 처리압력이  $200\text{ kg/cm}^2$ 까지는 안정성이 증가하였고 팜유를 첨가하여 균질처리를 할 때의 온도가  $80^\circ\text{C}$ 까지 온도를 높일 수록 안정성이 증가하였다. 두유제품을 살균할 때 열처리온도가  $120\sim 125^\circ\text{C}$ 에서 30분 이상 열처리시에는 안정성이 급격히 감소되었다.

### 감사의 말

본 연구는 문교부 학술연구조성비의 지원으로 이루어진 것으로서 문교부에 감사드립니다.

### 문 헌

- Collins, J.L. and Beaty, B.F.: Heat inactivation of trypsin inhibitor in fresh green soybeans and physiological responses of rats fed the beans. *J. Food Sci.*, **15**, 542(1980)
- Kakade, M.S., Hofta, D.E. and Liener, I.E.: Contribution of trypsin inhibitors to the deleterious effects of unheated soybeans fed to rats. *J. Nutrition*, **103**, 172(1973)
- Liener, I.: Significance for humans of biologically active factors in soybeans and other food legumes. *J. Am. Oil. Chemists' Soc.*, **56**, 121(1979)
- Catsimpooolas, N. and Meyer, E.W.: Isolation of soybean hemagglutinin and demonstration of multiple forms by isoelectric focusing. *Arch. Biochem. Biophys.*, **132**, 279(1969)
- Fleming, S.E.: A study of relationships between flatulus potential and carbohydrate distribution in legume seeds. *J. Food Sci.*, **46**, 794(1981)
- Rackis, J.J. and Sessa, D.J.: Soybean factors relating to gas production by intestinal bacteria. *J. Food Sci.*, **35**, 634(1970)
- Wilkins, W.F., Mattick, L.R. and Hand, D.B.: Effect of processing method on oxidative off-flavors of soymilk. *Food Technol.*, **21**, 86(1967)

8. Wolf, W.J.: Lipoxygenase and flavor of soybean protein products. *J. Agr. Food Chem.*, **23**, 136(1975)
9. 김<sup>오</sup>-성, 콩우유의 품질향상에 관한 연구, 식품과학(한국식품과학회), **17**(2), 4(1984)
10. Nelson, A.I., Steinberg, M.P. and Wei, L.S.: Soybean beverage and process *U.S. Patent* No.3, 901, 978(1975)
11. Nelson, A.I., Steinberg, M.P. and Wei, L.S.: Illinois process for preparation of soymilk. *J. Food Sci.*, **41**, 57(1976)
12. Kinsea, J.E.: Functional properties of soyprotein. *J. Am. Oil Chemists' Soc.*, **56**, 242(1979)
13. Wolf, W.J.: Soybean proteins, their functional, chemical and physical properties. *J. Agr. Food Chem.*, **18**, 969(1970)
14. Priepke, P.E., Wei, L.S., Nelson, A.I. and Steinberg, M.P.: Suspension stability of Illinois soybean beverage. *J. Food Sci.*, **45**, 242(1980)
15. DeMan, J.A. et al. : *Rheology and Texture in Food Quality*, A V1. p.487(1976)
16. Furia, J.E.: *CRC Critical Reviews in Food science and nutrition*, CRC Press, p.240(1976)
17. 정동효, 장현기 : 식품분석, 진로연구사(1983)
18. Smith, L.M. and Dairki, F.: Stability of milk fat emulsion. 1. preparation of model oil in water emulsions and evaluation of their stability. *J. Dairy. Sci.*, **58**, 1249(1975)
19. Yeh, S.W., Wei, L.S., Nelson, A.I. and Steinberg, M.P.: Freeze-thaw stability of Illinois soybean beverage. *J. Food Sci.*, **47**, 299(1981)
20. Albrecht, W.J., Mustakas, G.C. and McGhee, J.E.: Rate studies on atmospheric steaming and immersion cooking of soybean. *Cereal Chem.*, **43**, 400(1966)
21. Johnson, K.W. and Snyder, H.E.: A comparison of processing methods on yield and composition. *J. Food Sci.*, **43**, 349(1978)
22. Rachis, J.J., McGhee, J.E. and Honig, D.H.: Processing soybeans into foods; selected aspects of nutrition and flavor. *J. Am. Oil Chemists' Soc.*, **52**, 249 A(1975)
23. Dickinson, E. and Stainsby, G.: *Colloids in Foods*, Applied Sci. Pub.(London and New York)
24. Tornberg, E. and Hermanson, A.H.: Functional characterization of protein stabilized emulsions; effect of processing. *J. Food Sci.*, **42**, 463(1977)
25. Wolf, W.J. and Tamura, T.: Heat denaturation of soybean 11s protein. *Cereal Chem.*, **46**, 331(1969)
26. Catsimpoolas, N., Funk, S.K. and Meyer, E.W.: Thermal aggregation of glycinin subunits. *Cereal Chem.*, **47**, 331(1970)
27. Fink, A. and Kessler, H.G.: The effect of heating on the state of the emulsion in homogenized cream. *Milch Wissenschaft*, **40**, 394(1985)
28. Fox, K.K., Holsinger, J.H. Caha, J. and Pallansche, M. J.: Formation of a fat-protein complex in milk by homogenization. *J. dairy Res.*, **68**, 1396(1960)
29. Kanamoto, R., Ohtsuru, M. and Kito, M.: Diversity of the soybean protein-phosphatidyl choline complex. *Agri. Biol. Chem.*, **41**, 2021(1977)
30. Ohtsuru, M., Kito, M., Takeuchi, Y. and Ohnishi, S.: Association of phosphatidyl choline with soybean protein. *Agri. Biol. Chem.*, **40**, 22, 61(1976)

---

(1990년 3월 20일 접수)