

大豆蛋白質의 製造에 관한 研究 (第1報)

乾燥工程이 分離大豆蛋白質의 Gel 성질에 미치는 영향

大韓綜合食品株式會社

文 準 雄

(1970. 9. 7 受理)

Technological Studies on Textured Soybean Protein (Part I) Effect of Drying Process on Gelling Properties of Soybean Protein Isolate

by

Moon Juhn Woong

Korea General Foods Co., Ltd., Seoul, Korea

(Received Sept. 7, 1970)

Abstract

In preparation of textured soybean protein, drying process of the isolated protein affected its gelling property and other related characteristics such as water holding capacity and viscosity.

In model systems, denaturation of the protein, as determined in terms of nitrogen solubility index (NSI), was appeared to be a parameter of the gel strength of soybean protein isolate.

The gel strength was maximum when the protein was denatured properly during drying process of which the NSI was 43 in this experiment and decreased at either the higher or the lower NSI.

It indicated that proper denaturation of the protein during drying operation is advantageous for the preparation of textured soybean protein but not necessary to make highly undenatured one.

1. 서 론

분리대두단백(soybean protein isolate)의 제조와 식품공업에의 이용은 그 물리적 화학적 성질, 즉. 분산·중점·유화, 물과 지방의 결합력, 포말형성(foaming), gel 형성, 그리고 섬유형성 등의 역할에 의하여 급격히 발전되어 왔다.

분리대두 단백질의 가열에 의한 gel 형성은 단백질(textured protein food—simulated meat)의 조직을 형성하는 matrix로서의 중요한 역할 때문에 특별히 연구되었다⁽¹⁾. 대두단백의 gel 형성과 섬유형성 기작에 관한 물리화학적 연구는 이미 여러 문헌에 소개된 바 있으며

(2-10, 17), gel 형성에 미치는 상호 관련된 요인들 즉, 단백질 농도, 처리온도, 처리시간·pH·염류·산화환원제·지방·다당류 첨가제·효소처리 등의 영향도 연구되었다. (7, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 19) 분리대두단백의 제조 공정 중 사용하는 단백질 분산제나 침전방법, 세척방법이 gel 성질에 미치는 영향도 단편적으로 발표되었다. (8, 24)

분리한 대두단백의 건조공정은 단백질의 변성을 초래하며 단백질 gel의 성질에 영향을 주는 것은 명확한 사실이다. Horan⁽²⁰⁾은 대두분말에 있어 단백질의 변성도에 따라 식품가공에 있어 그 기능적 역할이 다른 점을 기술하였고 Aoki⁽¹³⁾는 질소용해계수 50인 대두분말이 질소용해계수 80인 대두분말보다 gel strength가 큰 단

백 gel을 형성하는 결과를 관찰하였다.

대두단백육(textured soybean protein)의 제조에 있어 단백질의 gel 형성 능력은 매우 중요한 조건이며 따라서 분리한 대두단백의 적합한 건조 조건이 요망되나 분리대두 단백질의 gel 형성과 대두단백의 건조공정중 변성에 관한 정량적 데이터가 없다.

본 실험은 열풍건조·분무건조·냉동건조·드림건조의 네 가지 방법에 의하여 건조된 분리대두 단백질의 gel 강도 및 조직·보수력·가열시 점성계수를 비교하고, 건조공정중 가장 단백질 성질에 영향을 미치는 것은 가열 변성이므로, 모델시스템(model systems)을 만들어 동일한 조건에서 단백질의 가열에 의한 변성이 gel 성질에 미치는 정량적 관계를 규명하기 위하여 본 연구를 시도하였다.

2. 실험

2.1 재료 및 단백질 분리

Clark 중(황색 미국품종) 대두를 탈피기로 탈피한 다음 n-hexane으로 지방을 추출하고 Cogan⁽²⁰⁾ 등이 제안한 방법에 의하여 분리대두단백을 제조하였는데 그 제조공정은 그림 1에 요약하였다.

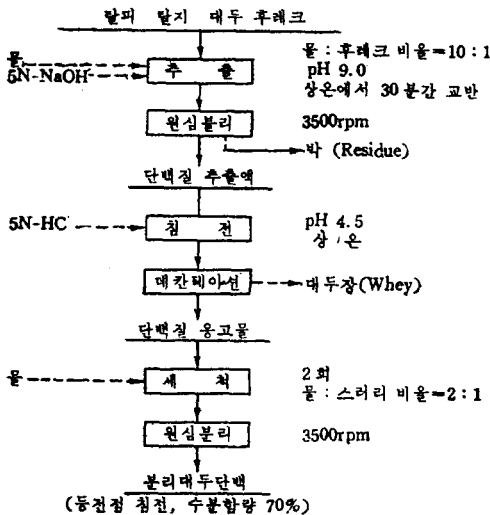


그림 1. 실험공장에서 단백질 분리과정

2.2 건조방법

원심분리기로 분리한 순수한 대두단백은 약 70%의 수분을 함유하고 있으며 용용성이 가장 많은 네가지 건조방법에 의하여 건조하였다.

(1) 열풍건조(hot air drying)—분리한 대두단백을

건조판 상에 약 1/2인치 두께로 펴고 cabinet 식 열풍 건조기로 60°C에서 8시간 건조하여 수분함량 7.5% 수준으로 건조시켰다.

(2) 냉동건조(freeze drying)—건조판상에 1/6인치 두께로 편 분리 대두단백을 냉동한 다음 'Stokes' 냉동 건조기에서 8시간 건조하여 수분함량 4.2%의 건조대두 단백을 얻었다.

(3) 분무건조(spray drying)—분리 대두단백을 20%의 슬러리(slurry)로 만든 다음 실험실용 'Niro' 분무 건조기로 공기의 내입온도(inlet temperature) 200°C, 외출온도(outlet temperature) 45°C, 원료공급속도(feeding rate) 0.45kg/시간, 오오토메이저 회전속도 20,000 rpm의 조건에서 건조시켰다.

(4) 드림건조(drum drying)—원심분리한 분리 대두 단백을 25%의 슬러리(slurry)로 분산시키고 double drum dryer에서 증기압력 60 psig, 드림간격 0.1mm, 로타 회전속도 4 rpm의 조건하에서 건조시켰다.

건조된 분리대두 단백질은, 분무건조한 시료를 제외하고, 입자크기를 균일하게 하기 위하여 hammer mill로 분쇄하고 72 mesh체를 통과시켰다.

2.3 모델 시스템(model systems)

모델시스템은 동일한 조건에서 건조공정중 단백질의 가열 변성을 대두단백 gel 및 관련된 물리화학적 성질에 영향을 주는 단순 변수로 설정하여 그 정량적 관계를 밝히기 위하여 설계되었다.

분리한 대두단백의 동일한 batch를 냉동건조하여 단백질 변성이 최소로 되게 한 다음, 포화습도하에서 48시간 방치하여 11.6%의 수분함량으로 수분량을 증가시키고, 즉시 30°C, 60°C, 90°C, 120°C, 150°C에서 60분간씩 가열 처리하여 단백질을 인위적으로 변성시켜 동일한 조건에서 변성도만이 다른 5개의 분리대두 단백질시료를 만들었다.

2.4 측정방법

(1) 질소용해계수(nitrogen solubility index)—미·농림성 북부연구소(Northern Regional Research Laboratory)의 방법에 따라 측정하였다⁽²³⁾.

(2) 점성도(viscosity)—분리대두 단백질 분말을 농도에 따라 물과 혼합, 교반기에서 5분간 분산시키고 가성소다 용액으로 pH 7로 맞춘 다음 재차 10분간 분산시켰다. 각 시료는 정온수조에서 30°C, 50°C, 70°C, 90°C에서 30분간씩 가열한 다음 실온으로 냉각하고 brookfield viscometer로 점성도를 측정하고 단백질분산액의 "thixotro-

ophic" 성질을 고려하여 "apparent viscosity"로 나타냈다⁽⁹⁾.

(3) 보수력(water holding capacity)—25 ml의 원심 분리관에 3g의 분리대두단백을 15 ml의 물과 혼합하고 충분히 수화하도록 10분간 정치한 후, 500 rpm 과 3,000 rpm 에서 각각 원심분리시켰다. 원심분리 후 침전된 단백이 보지하고 있는 수분량을 그 원심력에서 보수력으로 표시하였다. gel 형성후의 분리대두 단백질의 보수력은 위와 동일하게 처리한 분리단백의 분산액을 70°C의 항온수조에서 30분간 가열한 다음 같은 조건에서 보수력을 측정하였다.

(4) Gel strength—단백 gel의 형성은 가장 강한 gel이 될 수 있는 조건에서 만들어 졌다^(9, 18). 즉, 20%의 분리대두단백 분산액을 5분간 교반기에서 분산시킨 다음 0.1 N-NaOH 용액으로 pH 7로 조정하고 다시 10분간 분산시켰다. 분산액을 베비 후드판에 채운 다음 권체하고 90°C의 항온수조에서 30분간 가열하여 단백질 gel을 형성시키고 실온으로 냉각시켰다. 단백질 gel의 조직 및 강도는 관능평가와 gel-tester⁽²⁵⁾로 측정하고 gel strength는 단위 단면적당 shear force로 표시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 건조공정이 질소용해계수에 미치는 영향

분리대두단백의 제조공정 및 건조공정에 따른 질소용해계수(NSI)는 표 1에 나타났다.

표 1. 가공 공정별 대두단백의 질소용해계수(NSI)

생 대두	96.6
탈피 탈지 대두 후레이크	91.7
열풍 건조한 분리대두단백	58.2
분무건조한 분리 대두 단백질	54.0
냉동건조한 분리대두 단백질	75.3
드럼 건조한 분리대두 단백질	8.8
Promine-R(분무건조한 상업제품)	26.3

Belter⁽²⁷⁾ 등이 지적한 바와 같이 건조공정은 대두 단백을 결정적으로 변성시키며 그 정도는 건조방법에 따라 큰 차이를 나타냈다. 냉동건조법이 단백질을 최소로 변성시킨 반면 드럼건조는 극심한 변성을 초래하여 90% 이상이 비수용성이었다. 그러므로 드럼건조법 같은 단시간이지만 고온에서 수분을 증발시키는 건조법은 변성도가 적은 분리대두단백을 건조하는 데는

적합하지 않은 것으로 보인다. 상품화된 분무건조한 분대두단백인 Promine-R이 낮은 질소용해계수를 나타내는 것은 상이한 건조조건과 더불어 저장기간중 단백질의 불용화가 증가된 것으로 생각된다⁽²¹⁾.

모델시스템에서 질소용해계수는 표 2와 그림 2에서 보는 바와 같이 가열온도의 증가에 따라 지수적(exponential)인 감소를 나타내고 있다.

표 2. 모형 실험에서 가열처리별 대두단백의 질소용해계수(NSI)

가열처리온도(No.)	질소용해계수
30°C (I)	75.3
60°C (II)	70.1
90°C (III)	59.8
120°C (IV)	43.1
150°C (V)	18.1

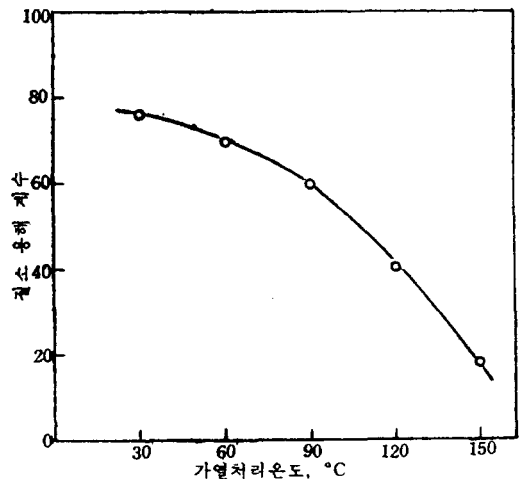


그림 2. 모형실험에서 분리 대두 단백질의 처리 온도별 질소용해계수 곡선

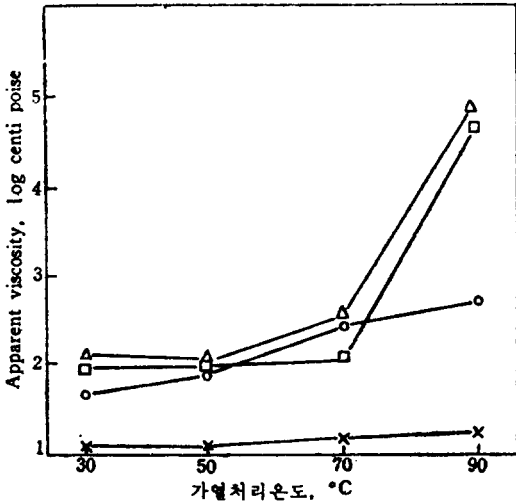
(동일한 batch의 냉동건조한 분리 대두 단백을 각 온도별로 1시간 처리했다.)

이는 단백질의 열변성이 생화학계의 reaction kinetics 상 1차반응에 속한다는 고전적 이론과 잘 부합된다⁽²⁸⁾.

3.2 건조공정이 점성도(viscosity)에 미치는 영향

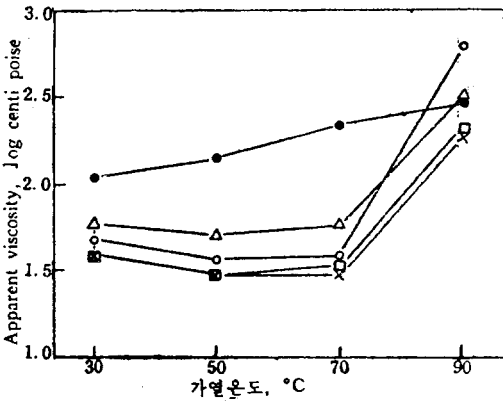
건조방법을 달리한 분리대두 단백질 분산액의 가열온도에 따른 점성도 변화는 그림 3에 나타난 바와 같이 상당한 차이를 보여준다.

일반적으로 70°C 이하의 온도에서는 온도의 증가에 따라 점성도 변화에 현저한 차이를 보이지 않으나 단백질이 gel화 하는 온도인 70°C⁽⁹⁾ 이상에서는 건조방



비고 { 단백질 농도 15% 분산액
 -△-△- 냉동건조
 -□-□- 열풍건조
 -○-○- Promine-R
 -x-x-x- 드림건조

그림 3. 건조방법을 달리한 분리 대두 단백질의 온도에 따른 점성도곡선



비고 { 분리 대두 단백질 농도 10% 분산액
 -○-○- I (30°C에서 1시간 처리)
 -x-x-x- II (60°C에서 1시간 처리)
 -□-□- III (90°C에서 1시간 처리)
 -△-△- IV (120°C에서 1시간 처리)
 -●-●- V (150°C에서 1시간 처리)

그림 4. 모형 실험에서 가열 처리한 분리대두단백의 가열온도에 따른 점성도 곡선

법이 뚜렷한 영향을 미치며 단백질의 열변성도와 상관관계를 나타내고 있다. 즉, 열변성이 적은 냉동건조 및 열풍건조한 분리대두단백은 급격한 점성도의 증가를 보이는 반면 변성이 심한 드림건조한 분리대두단백의 분산

액은 실질적으로 점성도가 증가하지 않았다.

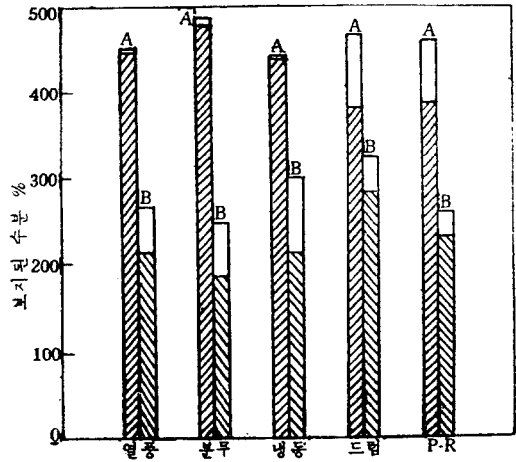
이러한 가열변성이 점성도에 미치는 영향은 모델시스템에도 잘 나타났다. 그림 4에서 보는 바와 같이 gel화 온도 이상에서 단백질의 질소용해 계수가 점성도 증가의 직접 변수로 나타났다.

분리대두단백의 점성도는 상온에서는 주로 단백질의 물리적 구조에 따른 수화능력(hydration capacity)에 의하여 단백질이 gel화 할 때는 단백질 변성에 따른 단백질 분자의 물리화학적 변화에 의한다고 믿어진다. 즉 단백질 변성에 따른 점성도 증가는 증가되는 수화능력이나 단백질 분자의 응집(aggregation)뿐 아니라 단백질 분자의 해체(unfolding)와 구상(globular)으로부터 섬유상(fibrous) 형태로의 단백질 분자구조의 변화에 따른 점성도의 증가이론에 의하여 설명될 수 있다(4, 5, 9).

3.3 건조공정이 보수력에 미치는 영향

건조방법이 다른 대두단백의 보수력은 그림 5에 비교되었다.

예비실험에서 원심분리시 분리대두 단백질의 보수력은 원심분리 속도가 500 rpm 까지 증가하는 사이에는 급격히 감소한 다음 500 rpm 과 3000 rpm 사이에서 선형적으로 천천히 감소하였다. 그러므로 500 rpm 이하의 원심분리 속도에서 분리되는 수분은 유리수로 간주하고 500 rpm 과 3000 rpm 에서 보지된 수분을 대두단백의 보수력의 척도로 정하였다.



비고 : (1) A--겔화된 분리 대두 단백질의 보수력
 B--상온에서 " " " "
 (2) [hatched] 원심분리 500rpm에서 보수력
 [diagonal lines] " " 3000rpm " "

그림 5. 건조 방법에 따른 보수력 비교

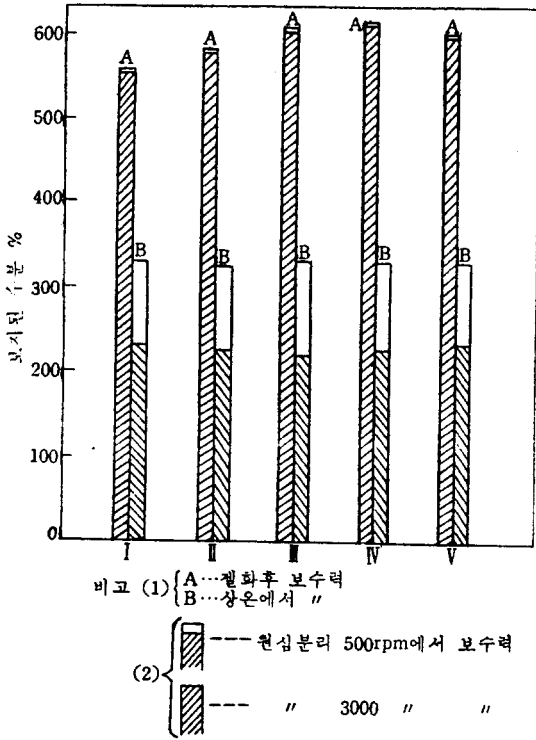


그림 6. 모형 실험에서 가열처리별 분리대두단백의 보수력 비교

상온에서 건조방법에 따라 보수력은 약간의 차이를 보였으나 현저하지 않으며 이는 그림 6에서 보는 바와 같이 모델시스템의 보수력 비교에서도 현저하지 않았다.

분리대두 단백질 gel을 형성할 때는 보수력이 급격히 증가하며 평균 200 퍼센트 이상의 증가를 보였다.

건조방법의 비교실험에서, 모델시스템의 결과와 일치하지는 않지만, 열변성을 많이 받은 시료는 gel화 후에도 높은 원심력에서는 약간의 수분분리를 초래하였다.

모델시스템에서 gel화 후, 단백질질의 사전 열변성(pre-historical heat denaturation)이 보수력에 미치는 영향의 특징은 열변성이 적은 분리대두단백보다 적당히 열변성을 받은 분리대두단백의 보수력이 약간 높은 사실이다.

분리대두단백의 뚜렷한 특징인 gel형성에 따른 보수력의 급격한 증가는 Giddy의 이론에 의하여 설명될 수 있다⁽¹⁸⁾. 즉 단백질질의 polypeptide chain에 결합되어 있는 물분자는 전체 보지되어 있는 물의 일부에 지나지 않는다. 대부분의 물은 gel형성시 단백질 gel의 matrix에 보지되어 있으며 이 물리적으로 보지된 물의 이동성(mobility)은 단백질이 gel화 될 때 형성되는 net-work에 의하여 급격히 감소되어 큰 보수력을 나타내게 된다.

3.4 건조공정이 단백질 gel의 조직 및 강도에 미치는 영향

건조방법을 달리한 분리대두단백이 형성한 gel 조직의 감각압축시험(finger compression test)에서 다음과 같은 순위로 탄력의 차이를 보였다. 냉동건조> 열풍 건조와 분무건조> promine-R> 드럼건조

냉동건조나 열풍건조한 분리대두단백은 탄성이 강한(strong, resilient and chewy) 반면 드럼건조한 분리대두단백의 gel은 매우 약하였다.

모델시스템에서 단백질 gel의 강도는 단백질의 열변성도와 밀접한 관계를 나타내었다. 표 3에 나타낸 바와 같이 관능평가(organoleptic evaluation)의 결과 120°C에서 1시간 가열처리한 시료 IV가 가장 강한(rigid and resilient) gel을 형성하였고 반면 조직의 grain은 열변성이 적은 단백질 gel보다 조대(coarse)하였다.

표 3. 모형실험에서 분리 대두 단백질 gel의 관능적 평가

No.	가열처리온도	외관	조직	색	
I.	30°C	섬세할 표면엔	그레인(grain) 유리수	약하다	열은 황백색
II.	60°C	(Grain은 유리수는	점점 조대, (점점 강인)	(색이 점점 진다)	↓
III.	90°C	↓	↓	↓	↓
IV.	120°C	Grain은 유리수는	조대 표면 없어짐	강인	↓
V.	150°C	Grain이 없음	형성되지 않음	매우 약하다	↓

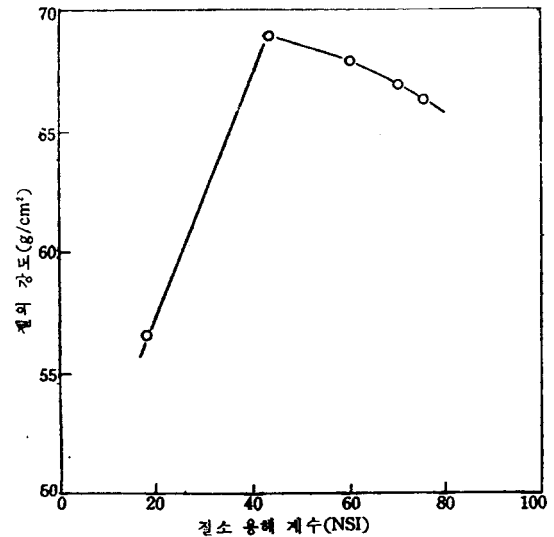


그림 7. 모형 실험에서 질소용해계수에 따른 분리대두 단백질 gel의 강도곡선

gel-tester 로 측정 한 gel strength 는 관능평가 결과와 잘 일치하여 그림 7에서 보듯이 단백질의 변성도는 gel strength의 중요한 변수로 나타났다.

단백질 변성도의 척도로 표시한 질소용해계수 (NSI) 는 gel strength의 특징적 척도로 나타나서 질소용해계수가 43일 때, 최대의 gel strength를 나타냈다.

단백질 변성도가 단백질 gel strength의 선형적(linear) 관계변수가 아니고 특정한 변성도의 범위에서 gel strength가 최대가 되는 사실은 대두단백육(textured soybean protein food) 제조를 위한 원료가공 공정에서 중요한 의의를 갖는다. 대두단백육의 원료인 분리대두단백을 건조시 가장 탄력있는 단백질 gel을 제조하기 위하여서는 대두단백이 최적(optimum)의 질소용해계수(적당한 단백질 변성)를 갖도록 조건이 선정되어야 하며 최대의 질소용해계수를 갖게 할 필요는 없다.

이러한 건조방법이나 공정변수(operation variables)의 선택은 적합한 대두단백을 얻을 뿐 아니라 불필요한 저온건조에서 초래하는 비경제성을 배제할 수 있다.

요 약

대두단백육(textured soybean protein food)의 제조 과정에서 분리한 대두단백의 건조공정은 단백질 gel의 성질과 보수력, 점성도 같은 단백질 특성에 영향을 미친다.

모델시스템의 실험에서 질소용해계수로 표시한 대두단백의 변성도는 분리대두단백 gel의 강도의 중요한 변수로 나타났다.

gel strength는 질소용해계수가 43이었을 때 최대가 되었고 질소용해계수가 그보다 증가할 때나 감소할 때는 gel strength가 감소되었다.

이러한 사실은 분리대두단백의 건조공정 중 적당한 단백질의 변성은 단백질육제조에 필요하며 그 이상의 높은 질소용해계수를 갖도록 할 필요는 없다.

본 논문은 저자가 FAO 국제 식품공학 연구원(FAO International Food Technology Training Center)에서 식품공학 석사학위를 위하여 제출한 논문의 일부로서 대한중합식품주식회사와는 관계가 없다.

저자는 논문을 위하여 지도하여 주신 인도 Central Food Technological Research Institute, Department of Protein Technology의 Mr. N. Subramanian에게 감사한다.

참 고 문 헌

1. Davidson, A.G., *Proc. 2nd Int. Cong. Food Sci. & Tech.*, (1967)
2. Ferry, J.D., *Advances in Protein Chemistry*, 4 : 1 (1948)
3. Naismith, W.E.F., *J. Appl. Chem.*, 4 : 188(1954)
4. Naismith, W.E.F., *J. Appl. Chem.*, 5 : 549(1955)
5. Naismith, W.E.F. and Thompson, R.H.K., *J. Appl. Chem.*, 5 : 195(1955)
6. Cater, C.W., Naismith, W.E.F., Thomson, R.H.K., *Nature*, 180 : 917(1957)
7. Kelley, J.J. and Russel Pressey, *Cereal Chem.*, 43 (2) : 195(1966)
8. Anson, M.L., *Arc. Biochem. Biophys. Supp.* 1 : 68 (1962)
9. Circle, S. J., Meyer, E. W. and Whitney, *Cereal Chem.*, 41 : 157(1964)
10. Circle, S.J, Witney, R.W., Castsimpoalas, N. and Meyer, E.E. 50th Annual Meeting, AACC(1965): (*Abst. Cereal Sci. Today*)
11. Circle, S.J., Catsimpoalas, N. and Meyer, E.W. 51st Annual Meeting, AACC(1966) : (*Abst. Cereal Sci. Today*)
12. Hiroshi Aoki, *Nippon Nogai Kagaku Kaishi*, 39 (7) : 262(1965)
13. Hiroshi Aoki, *ibid*, 39(7) : 270(1965)
14. Hiroshi Aoki, *ibid*, 39(7) : 277(1965)
15. Hiroshi Aoki, *ibid*, 42(9) : 544(1968)
16. Frank, S.S. and Circle, S.J., *Food Tech.*, 13(6) : 307(1959)
17. Meyer, E.W. *Proc. Inter. Confer. on Soybean Prot. Food*, USDA(1967)
18. Giddy, C., *Cereal Sci. Today*, 10 : 516(1965)
19. Anson, M.L. and Pader, M. U.S. Patent 2, 802, 738(1957)
20. Uri Cogan, Anina Yaron, Zeki Berk and Sylvia Mizrahi, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 44 May (1967)
21. Takashi Echigo, *Tamagawa Daigak Nogabuku Hokoku*, 6 : 95(1965)
22. Poulson, T.M. and Horan, F.G., *Cereal Sci. Today*, 10(1) : 14(1965)
23. Smith, A.K., Jackis, J.J., Isnardi, P., Catter, J.L.

- and Krober, O.A., *Cereal Chem.*, 43(2) : 261(1966).
24. Glabe, E.F., Goldman, P.F., Anderson, P.W., Finn, L.A. and Smith, A.K., *Food Technol.*, 10 : 51(1956)
25. Kertesz, Z.I., "The Pectic Substance" Interscience P, 499(1951) Pub. Inc., N.Y.
26. Horan, F.E., *Proc. Inter. Confer. on Soybean Protein Foods*, USDA(1967)
27. Belter, P.A. and Smith, A.K., *J. Am. Oil Chem. Soc.* 29 : 170(1952)
28. F.C. Webb, *Biochemical Engineering*, P. 147, D. Van Nostrand Co. Ltd., London, (1964)