

Dimethylglutarylation에 의한 변형대두단백질의 기능적 특성

최원균* · 정철원**

서울대학교 기초과학연구원* · 한림정보산업대학 건강식품가공학과**
(1999년 10월 29일 접수)

Functional Properties of Modified Soybean Protein Isolate by Dimethylglutarylation

One-Kyun Choi* and Chul Won Jung**

Research Institute for Basic Sciences, Seoul National University*
Department of Health Food Processing, Hallym College of Information & Industry**
(Received October 29, 1999)

Abstract

This study was conducted to improve the functional properties of soybean protein isolate by dimethylglutarylation and acetylation. Amino acid composition and solubility of modified soybean protein by dimethylglutarylation were not changed, but lysine and trypsin inhibitor activity was decreased an isoelectric point was moved from pH5 to pH4 as a result of modification. Emulsification capacity and stability, foaming capacity and thermal stability were increased by the modification. In that 91% dimethylglutarylated protein did not coagulate when heating at 100°C for 20 min. while its foaming stability was decreased. Whereas specific gravity was decreased by the modification of the soybean protein, relative viscosity and whiteness were improved. Generally, dimethylglutarylation produced more conformational changes in protein system than did in acetylation.

I. 서론

우리나라에서 대두는 쌀, 보리와 함께 중요한 식량 자원이며, 특히 대두단백질은 중요한 영양공급원이다. 국내 대두의 재배역사는 확실치 않으나 기원전 4-5세기라고 한다¹⁾. 대두의 세계 생산량은 미국이 절반이상을 차지하며 국내에서도 많은 양은 수입하고 있다. 현재 대두단백질은 값싼 자원으로 광범위하게 이용되고 있으며, 특히, 그 기능적 특성을 용도가 확대되고 있다. 대두단백질의 기능적 특성은 열, pH, 염 및 사용용매 등의 조건에 따라 영향을 받는다. 이러한 기능성을 향상시키기 위한 연구로 산²⁾, 알칼리³⁾, 효소⁴⁾에 의한 가수분해법이 보고되었다. 그러나 이러한 방법들은 기능성은 향상되나 산가수분해시 과도한 가수분해와 humin이 발생하며, 알칼리에 의한 가수분해시 아미노

산의 파괴와 독성물질인 lysinoalanine의 생성등이 문제 시되고, 효소에 의한 가수분해시 쓴맛을 내는 peptide가 형성되는 문제점을 갖고 있다^{5, 6)}. 따라서 이러한 단점을 보완할 수 있는 방법인 화학적인 변형으로 functional group을 함유한 화학제와 아미노산 잔기의 acyl화로 알려져 있다. 대두단백질의 화학적 변형은 영양가의 향상과 변패방지, 물리적상태의 안정화 및 단백질의 여러 가지 기능성 향상, 추출율의 증가 등이며, 화학적 변형방법으로는 acetyl화⁷⁻¹³⁾, phosphoryl화¹³⁻¹⁸⁾ 그리고 succiny^{19, 20)}화 등이 알려져 있으나 계속해서 새로운 변형방법을 추구하고 있다. 따라서 본 연구에서는 아직까지 시도되지 않은 dimethylglutarylation 시킨 변형대두단백질의 기능적 특성을 밝히고 아세틸화 대두단백질과 특성을 비교하였다.

II. 재료 및 실험방법

1. 재료

1) 시료 및 시약 준비

본 실험에서 사용한 대두(*Glycine max* L. Merrill)는 1992년 작물시험장에서 재배한 장엽품종이었다. 사용한 시약들은 모두 특급으로 Sigma사(St.Louis, MO, USA)에서 구입하였으며 전기영동에 사용한 시약들은 BioRad사(Sunnyvale, CA, USA)에서 구입하여 사용하였다.

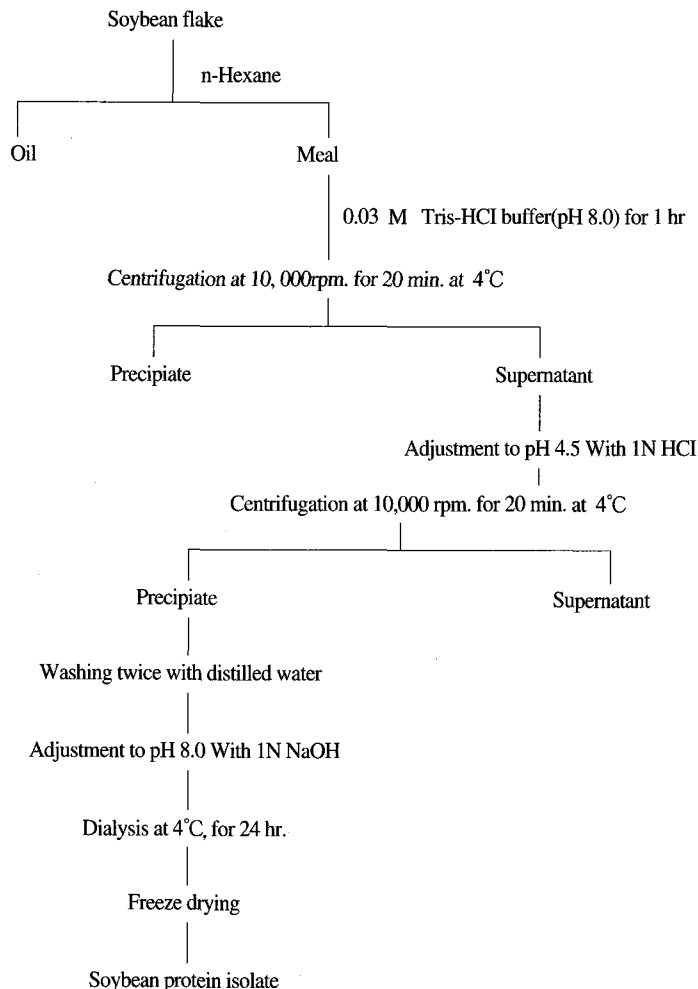
2) 분리대두단백질의 제조

분리 대두 단백질의 제조는 Thanh 등²¹⁾의 방법에

따라 <Fig. 1>과 같이 제조하였다. 즉, 대두의 지방을 n-hexane으로 24시간 5회 추출한 탈지대두를 건조 후 분쇄하여 100 mesh의 체를 통과시킨 탈지대두분 300 g을 0.03 M Tris-HCl buffer (pH 8.0) 3 L에 넣고 1시간 교반한 다음 4°C에서 10,000 rpm에서 20분간 원심분리하여 상층액에 1N HCl로 pH를 4.5로 조절하고 증류수로 세척한 후 pH 8.0의 증류수로 24시간 투석한 다음 냉동건조하여 시료로 사용하였다.

3) 분리대두단백질의 변형

Dimethylglutaryl화와 acetyl화에 의한 변형은 Riordan 등²²⁾의 acyl화 및 acetyl화 방법에 준하여 변형시켰다. 즉, 분리 대두 단백질 2g을 0.075M phosphate buffer



<Fig. 1> Flow diagram for preparation of soybean protein isolate

(pH 8.0)에 3,3-dimethylglytaric anhydride 및 acetic anhydride용액을 0.2mL씩 첨가하면서(최대량 2g) 1M NaOH를 가하여 pH를 7-8사이로 유지하면서 반응시켰다. 이 용액을 Spectra/Por molecular membrane No. 1 (pore diameter 4.8nm)을 이용하여 4°C에서 증류수(pH 8.0)로 투석을 행하여 불순물과 잔류된 시약을 제거하였고, 동결건조하여 변형된 분리대두단백질을 제조하였다.

2. 실험방법

1) pH에 따른 용해도

분리대두단백질 및 변형단백질의 용해도는 Franzen 등⁹⁾의 방법으로 하였다. 즉, 각 단백질 시료 1.0g을 0.1M NaOH 100mL에 용해하고, 이 용액을 5mL씩 분취하여 10mL 원심분리관에 넣고 pH를 12.0에서 2까지 pH 1 단위로 조절하였다. 이것을 25°C에서 1시간동안 교반하고 같은 온도에서 10,000rpm으로 20분간 원심분리하였다. 이것의 상층부를 분취하여 Biuret시약으로 발색시킨 후 UV 280nm에서 흡광도를 측정하여 pH에 대한 곡선으로부터 각 단백질이 pH에 따른 용해도를 구하였다.

2) 유화능력 및 유화안정도

분리대두단백질 및 변형단백질의 유화능력 및 유화안정도는 Franzen 등⁹⁾의 방법으로 하였다. 즉, 각 단백질 시료 0.7g을 증류수 10mL에 용해한 다음 시판대두유 10mL을 첨가하고 semi-micro blender를 이용하여 20,000rpm에서 1분간 균질 처리하였다. 이 용액을 2개의 10mL 원심분리관에 각각 넣고 유화능력은 10,000rpm에서 5분간 원심분리하여 원심분리관의 총량에 대한 유화된 양의 비율로써 계산하였으며, 유화안정도는 80°C에서 30분간 가열한 후 유화능력을 측정하는 방법과 동일한 방법으로 측정하여 원심분리관의 총량에 대한 유화된 양이 비율로 환산하였다.

3) 기포형성능력 및 안정도

분리대두단백질과 변형단백질의 기포형성능력 및 안정도는 Franzen 등⁹⁾의 방법으로 하였다. 즉, 단백질 2% 수용액을 제조한 후 blender를 이용하여 2,000rpm에서 5분간 교반한 후, 100mL volumetric cylinder에 넣고 기포형성능력은 30초 후에 잔존하는 기포양을 측정하였으며 기포안정도는 60분간 정지한 후 잔존하는 기포양의 비율로 표시하였다.

4) 열안정성

분리대두단백질과 변형단백질의 열안정성은 Barman 등²³⁾의 방법에 준하여 측정하였다. 즉, 각 단백질 2% 수용액을 15분간 자석 교반기로 저어준 후 10mL마개 달린 시험관에 각각 5mL씩 넣고 끓는 수용상에서 20분간 가열하였다. 이것을 실온에서 20분간 2,000rpm으로 원심분리하여 상등액의 단백질 함량을 가열하기 전의 단백질 함량에 대한 가열한 후의 단백질 함량 백분율로 표시하였다.

5) 색도

분리대두단백질과 변형단백질의 색도는 Franzen 등⁹⁾의 방법에 따라 건조된 단백질중 100mesh의 체를 통과시킨 것을 색차계(Nippon Denshoku, Co, Japan)를 이용하여 측정하였고 이것을 Hunter 값(L, a, b)으로 표시하였다. 이 때 사용한 표본 백판의 값은 Y: 93.80, X: 91.79, Z: 110.19였다.

6) 비중

각 단백질 시료의 비중은 무게를 알고 있는 10mL volumetric cylinder에 100mesh의 체를 통과한 단백질을 넣고 무게를 측정한 후 증류수를 넣고 무게를 측정하여 증류수의 무게에 대한 시료의 무게비율로써 측정하였다.

7) 상대점도

0.02 M phosphate에 2.0%가 되도록 단백질을 가한 현탁용액의 상대점도는 Ostwald점도계 (No.100)를 이용하여 측정하였다. 즉, 점도계에 단백질용액 5mL을 넣고 25°C 수욕상에서 측정하였으며 점도계는 chromic acid, buffer, 증류수, 아세트산으로 세척한 후 건조하여 사용하였으며 상대 점도는 단백질 용액이 capillary tube를 통과하는데 소요되는 시간을 측정하여 다음과 같이 계산하였다.

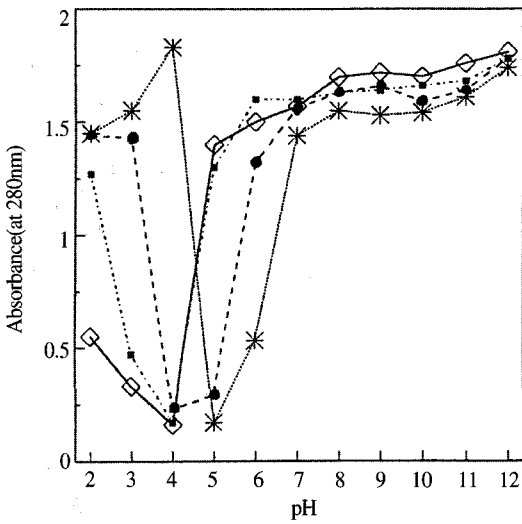
$$\text{Relative viscosity } \eta_v = T_s / T_b$$

Ts는 시료용액의 통과시간, Tb는 buffer용액의 통과시간임

III. 결과 및 고찰

1. 용해도변화

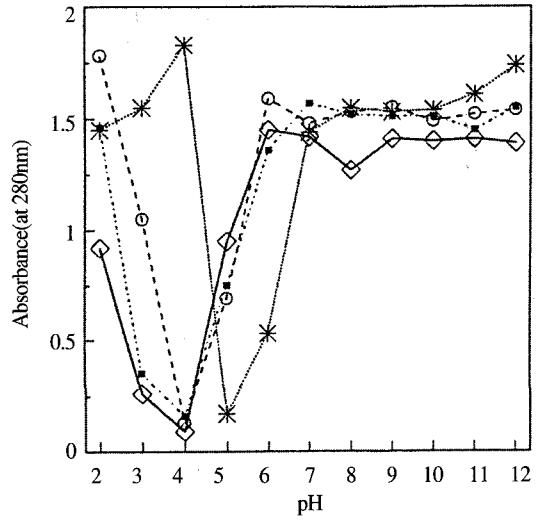
Dimethylglutaryl화와 acetyl화에 의한 변형 대두단백질의 용해도 변화는 <Fig. 2, 3>과 같이 분리대두단백질



<Fig. 2> Solubility profile of soybean protein isolate (*) and modified by dimethylglutarylation (● -33%, ■ -64%, □ -91%)

의 경우 pH 7.0이하에서 용해도가 현저히 감소되면서 pH 5.0에서 최소의 용해도를 나타내었으며, 그 이하의 pH에서는 다시 용해되었다. Dimethylglutarylation 단백질은 최소의 용해도를 나타내는 pH 즉, 등전점이 산성쪽으로 pH 1.0 단위가 이동되었으며, pH 5-8의 범위에서는 분리대두단백질보다 용해도가 급격히 증가하였고, 변형 정도에 비례하여 용해도도 증가하였다. 또한 등전점 이하에서는 다시 용해되지 않아 분리대두 단백질보다 용해도가 낮아졌으며, 변형의 정도가 증가할 수록 pH 5-8의 범위에서는 분리대두단백질보다 높은 용해도를 나타내었으나 dimethylglutarylation 단백질보다는 용해도가 낮았고, 반면 등전점 이하에서는 용해도가 더 높았다.

Kim 등²⁴⁾과 다른 연구자들^{3, 13, 25-31)}은 여러 종류의 단백질들을 변형시켰을 때 등전점이 산성쪽으로 1만큼 이동하였고 등전점 이하에서 다시 용해되지 않았다고 보고하였다. 한편 이러한 현상은 glutaric anion의 첨가에 의하여 정전기적 반발력이 야기되어 물분자가 쉽게 침투할 수 있도록 단백질 구조의 분화, 즉, polypeptide가 팽윤되어 용해도가 증가한다고 하였다. 이들 총 음전하와 좁은 범위의 반발력을 좁은 범위의 인력으로 대체함으로써 dimethylglutarylation 단백질의 구조가 불안정한 unfolding 형태가 되어 용해도가 증가하며^{32, 33)}, acetylation에 의하여는 lysine의 cationic ε-amino기가 중성의 아세틸기로 대체됨으로써 양성의 아미노기와 음성의 carboxyl기간에 정전기적 인력이 증가되지만,

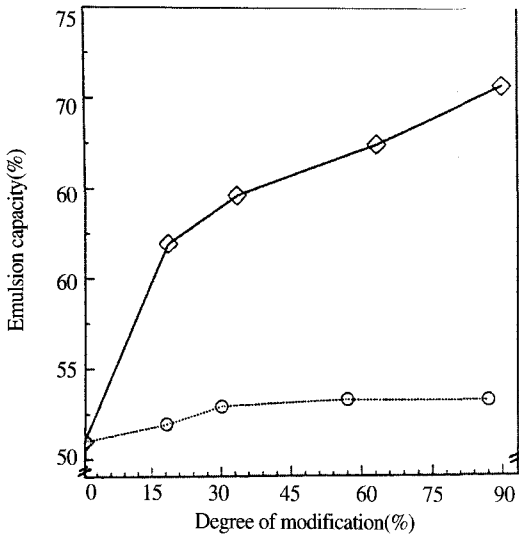


<Fig. 3> Solubility profile of soybean protein isolate (*) modified by acetylation (○ -30%, ■ -60%, □ -88%)

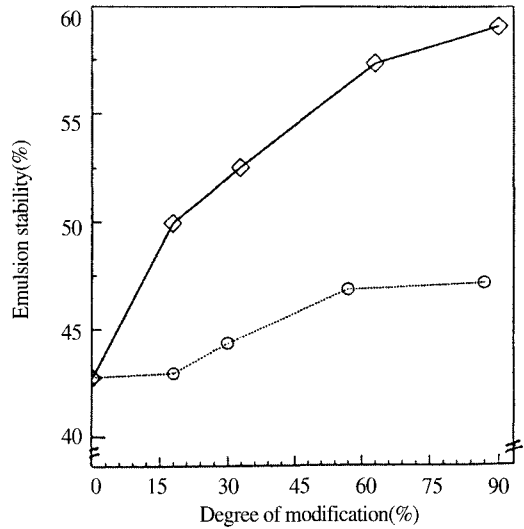
dimethylglutarylation에 의한 변형보다는 적다. 따라서 acetylation된 분리대두 단백질이 dimethylglutarylation 단백질보다 용해도의 증가율이 적다. 등전점 이하에서 화학적으로 변형된 분리대두 단백질이 다시 용해되지 않는 것은 전하가 음성으로 변화되고, 등전점이 낮아지면서 변형에 의해 양전하가 제거되어 등전점 이하에서 아미노산 잔기의 alkyl기 및 방향족기가 소수성 결합을 형성하여 응집력을 방지시키기에는 불충분한 수의 hydrophilic group 때문이다. 분리대두단백질의 경우에는 아미노기와 카아복실기 사이에 단백질과 단백질 상호작용이 증가하여 낮은 용해도를 나타낸다고 하였다³⁴⁻³⁶⁾.

2. 유희능력 및 안정성

분리대두단백질의 화학적 변형에 따른 유희 능력과 안정성의 변화는 <Fig. 4>에서 보는 바와 같이 dimethylglutarylation에 의하여 15%까지 변형시는 유희 능력이 62%로 급격히 증가하였으며, 그 이상의 변형에서는 완만한 증가를 나타내었다. 91% 변형시에는 분리대두단백질보다 40%이상의 형성능력이 향상되었으며, acetylation에 의하여는 7%이내의 유희 형성능력증가가 있었다. 유희안정성의 변화도 유희형성능력의 경우와 같은 경향을 나타내어 90% 변형시 dimethylglutarylation 단백질은 20%, acetylation 단백질은 7%가 개선되었다(Fig. 5). 이러한 유희 특성은 단백질의 형태, 소수성, 탄력성, 표면 전하량, 용해도와 같은 단백질 특유의 물리적 성질



<Fig. 4> Changes in emulsion capacity of soybean protein isolate by dimethylglutarylation (□) and acetylation (○)



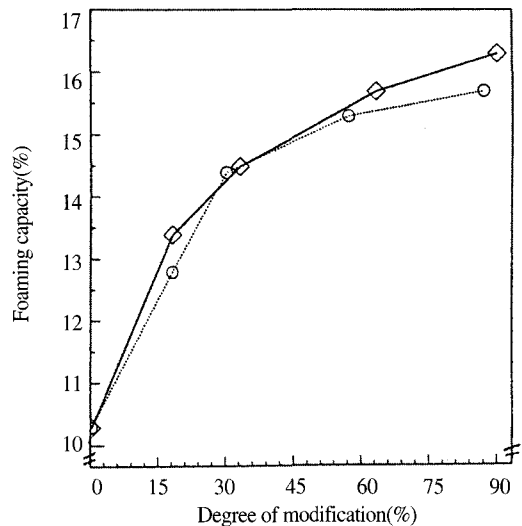
<Fig. 5> Changes in emulsion stability of soybean protein isolate modified by dimethylglutarylation (□) and acetylation (○)

에 따라 변화한다³⁷⁾. 화학적 변형에 의하여 polypeptide chain에 아미노기가 공유결합과 총음전하의 증가로 unfolding 및 단백질의 hydrodynamic size가 감소하므로 표면적이 증가되어 유화 능력과 안정성이 증가한다. 특히 dimethylglutarylation에 의하여 dimethylglutaric anhydride에 있는 carboxyl기의 첨가에 의하여 단백질 분자와 emulsion의 수면과의 친화력이 증가하여 단백질 구조의 swelling과 unfolding이 발생하므로 소수성 기가 증가하며, 따라서 유화 능력과 안정성이 증가한 것으로 생각된다. Crenweldge 등³⁷⁾, Yasumatsu 등³⁸⁾, Pearson 등³⁹⁾, Wang 등⁴⁰⁾은 단백질의 용해도와 유화 특성과는 높은 상관관계가 있다고 보고하였으며, Franzen 등³⁾, Paulson 등⁴¹⁾, Johnson 등²⁹⁾ 및 Ma 등²⁷⁾은 대두 단백질, 채종 단백질, 완두콩 단백질 또는 귀리 단백질의 acetylation, succinylation 또는 citraconylation 등의 변형으로 유화 능력 및 유화 안정성의 향상을 보고하였는데, 본 실험 결과 분리 대두 단백질의 acetylation과 dimethylglutarylation에 의한 변형시에도 같은 경향을 나타내었다.

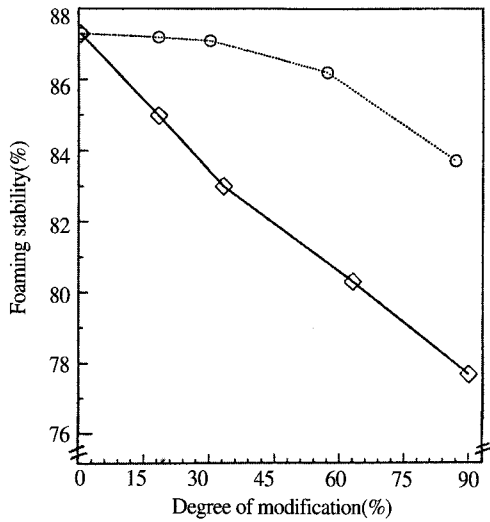
3. 거품의 형성능력과 안정성의 변화

분리 대두 단백질의 화학적 변형에 의하여 거품 형성 능력과 안정성이 변화되는 양상은 <Fig. 6, 7>과 같다. 즉 <Fig. 6>에서 보는 바와 같이 거품형성 능력은 30% 변형시까지의 직선적으로 증가하여 14% 이상의

개선되었으며 그 후 완만하게 증가하여 90% 변형시 16%가 개선되었다. 그러나 거품 안정성은 <Fig. 7>에서 보는 바와 같이 dimethylglutarylation 단백질의 경우 변형 정도에 따라 직선적으로 감소되어 91% dimethylglutarylation 단백질은 분리 대두 단백질에 비하여 약 10%가 감소된 반면 acetylation의 경우는 약 3% 저하되었다. 이와



<Fig. 6> Changes in foaming capacity of soybean protein isolate modified by dimethylglutarylation (□) and acetylation (○)

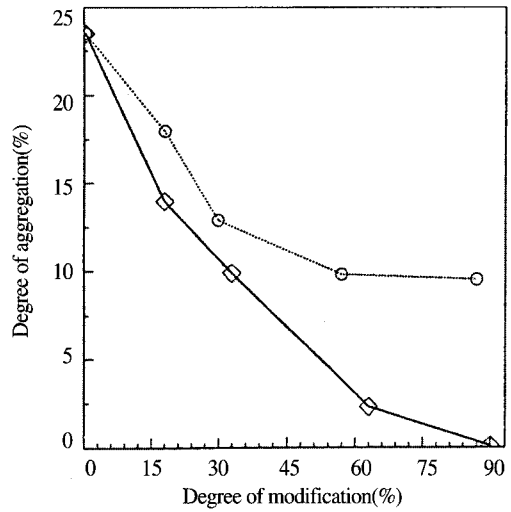


<Fig. 7> Changes in foaming stability of soybean protein isolate modified by dimethylglutarylation (□) and acetylation (○)

같이 단백질의 화학적 변형에 의해 거품 특성에 미치는 영향에 대하여 Bau 등⁴²⁾은 대두 단백질에서 점성, 소수성, 용해도의 증가가 거품 형성 능력을 증가시키지만, 총음전하의 증가가 거품 안정성을 감소시킨다고 보고한 것으로 미루어 보아, 분리 대두 단백질의 변형으로 소수성과 용해도는 함께 증가하지만 용해도의 증가가 표면 소수성의 증가보다 월등히 많아 소수성에 의한 것보다는 용해도의 증가가 단백질의 거품형성 능력의 주된 증가 요인으로 보여진다. Kim 등²⁴⁾은 화학적 변형으로 음 전하가 증가하여 단백질 분자를 unfolding 시킴으로서 거품 형성 능력이 증가되었지만, 과도한 변형에 의해서 단백질-단백질 간의 상호 작용이 증가하고 공기-액체의 계면에서 elastic film의 형성을 방지함으로써 거품 형성 능력의 증가가 둔화되고, 거품 안정성이 저하한다고 보고하였으며, Frenzen 등³⁾은 대두 분리 단백질의 succinyl화에 의하여 거품 형성 능력이 증가하였다는 보고와 본 실험 결과 분리 대두 단백질의 acetyl화, dimethylglutary화에 의한 변형시 거품 형성 능력의 증가 및 거품 안정성의 저하한 결과는 같은 경향을 나타내었다.

4. 열안정성의 변화

Dimethylglutary화와 acetyl화 단백질의 열 안정성을 살펴본 결과는 <Fig. 8>과 같다. 즉 100°C에서 20분간 가열하였을 때 분리 대두 단백질은 23.5%가 응고한 반



<Fig. 8> Changes in thermal stability of soybean protein isolate modified by dimethylglutarylation (□) and acetylation (○)

면 dimethylglutary화에 의한 33, 64, 91% 변형시 각각 9.9, 2.3, 0.1%가 응고되어 변형의 정도가 증가할수록 열 저항성이 커져서 91% dimethylglutary화에 의하여는 단백질이 거의 응고되지 않았으며, acetyl화의 경우 58% 변형까지는 계속 감소하여 안정성이 증가하였으나 이 이상의 변형시 큰 변화가 없었다. 각종 단백질의 변형 즉 대두 단백질¹³⁾, 채종 단백질^{25, 43)}, 면실 단백질^{44, 45)}, 난 단백질⁴⁶⁾ 또는 생선 단백질⁴⁷⁾을 acetyl화 또는 succinyl화에 의해 변형된 단백질을 100°C로 가열시 변형시키지 않은 단백질은 가열에 의하여 단단하며, 다시 용해되지 않는 gel을 형성하였으나, 변형 단백질은 점성이 강하여지고, 재 용해되는 gel을 형성하였다고 보고하였다. 분리 대두 단백질 형성에 의하여 단백질의 열에 대한 변성의 정도는 단백질 분자에 함유된 음 전하의 양에 비례하며, 단백질의 펩타이드사슬 사이에 dimethylglutary화 및 acetyl화의 변형에 의하여 lysine의 ε-amino 기에 cross-linking이 발생하여 단백질이 열에 대한 변성을 저하시키고, 화학적 변형에 의하여 정전기적 반발력이 증가하여 열변성의 대하여 안정성이 증대되는 것이다.

5. 색도의 변화

분리 대두단백질의 화학적 변형에 의한 색도 변화를 살펴 본 결과는 <Table 1>과 같다. 즉 분리 대두 단백질의 명도인 L 값이 85.1, 적색도인 a 값은 -0.7, 황색

<Table 1> Changes in Hunter color value of soybean protein isolate and acylated protein

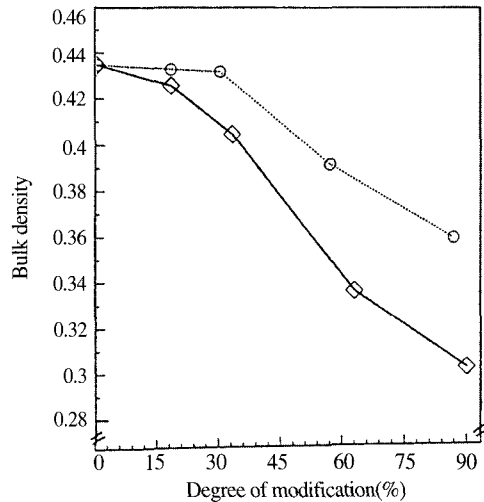
Sample		Hunter Value		
		L	a	b
Soybean Protein isolate		85.1	-0.7	6.1
Dimethyl-glutarylated protein	33%*	85.4	-0.6	6.1
	64%	85.7	-0.4	6.2
	91%	85.9	-0.7	5.2
Acetylated protein	30%	85.4	-0.8	6.4
	54%	85.6	-0.6	6.5
	88%	85.8	-0.7	5.5

* Degree of modification

도인 b 값은 6.1이었으나, dimethylglutaryl화 단백질은 명도가 변형의 정도에 따라 증가하여 91%에서는 85.9 였으나, 적색도는 거의 변화하지 않았고, 황색도는 91% 변형에 의하여 5.2로 감소하였다. 또한 acetyl화의 경우도 dimethylglutaryl화의 경우와 같이 적색도는 거의 변화가 없었으나 명도는 85.5로 증가하였고, 황색도는 88% 변형에 의하여 5.5로 감소하였다. 따라서 변형에 의하여 전반적으로 색이 희어짐을 알 수 있었다. Bouchat³¹⁾, Thompson 등²⁶⁾과 Franzen 등⁴⁸⁾은 땅콩 단백질, 분리 대두 단백질 또는 채종 분리 단백질을 acetyl화 또는 succinyl화 시켰을 때 변형시키지 않은 단백질 보다 변형 단백질의 색이 밝아졌다고 하여 본 실험 결과 명도의 증가와 같은 경향을 나타내었다. 이와 같이 빛깔이 희어지는 것은 이미 살펴본 변형 단백질의 SDS-polyacrylamide gel 전기영동에 의한 분자량 측정 결과 화학적 변형에 의한 hydrodynamic volume의 증가 및 해리에 의하여 단백질 분자량이 적은 subunit의 증가로 표면적이 많아져 변형단백질의 색이 분리 대두 단백질보다 희어진 것이다.

6. 비중의 변화

분리 대두 단백질의 화학적 변형에 의한 비중의 변화는 <Fig. 9>와 같다. 즉, 분리 대두 단백질의 비중이 0.43인데 반하여 88% acetyl화 단백질의 비중은 0.36이었으며, 91% dimethylglutaryl화 단백질은 0.30으로 감소함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Kim 등²⁴⁾ 및 Franzen 등³⁾이 대두 단백질, Thompson 등²⁶⁾이 채종 분리 단백질을, Franzen 등³¹⁾이 잎 단백질을 acetyl화와 succinyl화 또는 citraconyl화에 의한 변형시 변형단백질의 비중이 감소하였다고 한 보고와 본 실험결과가 같

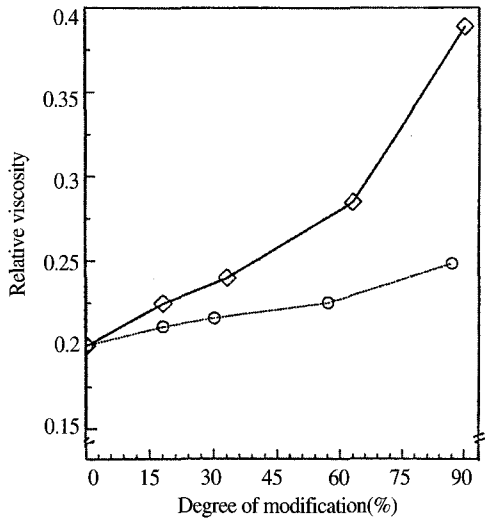


<Fig. 9> Changes in bulk density of soybean protein isolate modified by dimethylglutarylation (□) and acetylation (○)

은 경향이였다. 이와 같이 변형에 의해서 비중이 감소되는 것은 분리 대두 단백질에 있는 좁은 범위의 인력을 화학적 변형에 의하여 좁은 범위의 반발력으로 대체함으로써 interfolded polypeptide가 unfolding되기 때문으로 추정된다.

7. 상대점도의 변화

분리 대두 단백질의 화학적 변형에 의한 상대 점도의 변화를 측정된 결과는 <Fig. 10>과 같다. 즉 분리 대두 단백질의 상대 점도는 1.2였으나, 88% acetyl화의 경우는 1.23으로 약간 증가하였고, dimethylglutaryl화의 경우 60%변형도까지는 완만히 증가하였으나, 이후 91%까지는 1.39로 급격히 증가하였음을 알 수 있다. Kim 등¹⁰⁾과 Kim 등¹¹⁾은 분리 대두 단백질을, Beuchat 등⁴⁹⁾은 땅콩 단백질을, Choi 등⁴⁵⁾은 먼실 분리 단백질을, Grant 등⁵⁰⁾은 밀 단백질을 acetyl화 또는 succinyl화에 의한 변형시 단백질의 점도가 증가함을 보고하였으며, 점도는 고분자 물질의 분자량, 형태, 크기 및 용액의도에 따라 영향을 받으며, 화학적 변형에 의하여 단백질 구조가 unfolding 및 팽창되어 hydrodynamic volume이 증가됨으로서 점도가 증가한다고 하였다. Shetty 등⁵¹⁾과 Rao 등⁵²⁾은 단백질 분자내의 총 반발 전하량이 증가되어 단백질이 해리 되며, acidic과 basic subunit의 unfolding이 발생함으로써 hydrodynamic volume의 증가로 점성이 증가한다고 하였는 바 본 실험의 결과도 같은 이유에서 증가한 것이라고 판단된다.



<Fig. 10> Changes in relative viscosity of soybean protein isolate modified by dimethylglutarylation (□) and acetylation (○)

IV. 결론

분리대두단백질의 기능적 특성을 개선할 목적으로 아직 시도되지 않은 dimethylglutaryl화 시킨 변형단백질의 기능적 특성의 변화를 보았다. 변형단백질의 pH에 따른 용해도 양상은 대두단백질과 비슷하였으나 다만 등전점이 산성쪽으로 pH 1 단위가 이동되었으며, 등전점이하에서는 다시 용해되지 않았다. 유화능력과 유화 안정성은 변성 초기에 급격히, 후기에서는 완만히 증가하여 91% dimethylglutaryl화하였을 때 분리대두단백질에 비하여 40%가 향상되었고, 거품형성능력 또한 증진되었으나, 거품 안정성은 감소되었다. 가열 안정성은 변성 정도가 높을수록 증가되어 91% dimethylglutaryl화 단백질은 100°C에서 20분 가열하여도 응고되지 않았다. 그밖에 비중은 대두단백질이 0.43인 것에 비하여 91% dimethylglutaryl화 단백질은 0.30, 88% acetyl화 단백질은 0.36으로 감소하였고, 상대점도는 대두단백질이 1.2인데 비하여 1.23과 1.39로 증가하였으며, 변형에 의하여 황색도는 감소하고 면도는 증가하여 전반적으로 색이 희어졌다.

■참고문헌

1) Kwon SH, Korean J Food Sci Technol 4:158, 1972
 2) Tannenbaum SR, Ahern M, Bates RP. Food Technol 24:604, 1970

3) Cheftel C, Ahern M, Daniel IC, Tannenbaum SR. J Agric Food Chem 19:155, 1971
 4) Arai S, Yamashita M, Fujimaki M. Cereal Food World 20:107, 1975
 5) Degroot AP, Slump P. J Nutr 98:45, 1969
 6) Provencal DMP, Cug JL, Cheftel JC. J Agric Food Chem 23:938, 1975
 7) Akoi H, Orimo N, Shimazu R, Wakabayashi K. Nippon Shokuhin Kyogyo Kagashi 25:668, 1978
 8) Fulger CV, Dewey JE. US patent 4138500, 1977
 9) Franzen KL, Kinsella JE. J Agric Food Chem 24:788, 1976
 10) Kim KS, Rhee JS. Korean J Food Sci Technol 21:714, 1989
 11) Kim KS, Rhee JS. J Food Biochem 13:187, 1989
 12) Kim KS, Rhee JS. J Agric Food Chem 38:669, 1990
 13) Kim NS, Kwon DY, Nam YJ. Korean J Food Sci Technol 20:625, 1988
 14) Sung HT, Chen HJ, Liu TY, Su JC. J Food Sci 48:716, 1983
 15) Hirotsuka M, Kito M. US patent 4501194, 1983
 16) Ross LF, Bhatnager D. J Agric Food Chem 37:841, 1989
 17) Hirotsuka M, Taniguchi H, Narita H, Kito M. Nippon Shokuhin Kyogyo Kagashi 32:626, 1985
 18) Hirotsuka M, Taniguchi H, Narita H, Kito M. Nippon Shokuhin Kyogyo Kagashi 32:175, 1985
 19) Appu AG, Narasinga MS. Int J Peptide Res 14:307, 1979
 20) Kim SH, Kinsella JE. Cereal Chem 63:342, 1986
 21) Thanh VH, Shibasaki K. J Agric Food Chem 24:1117, 1976
 22) Riordan JF, Vallee BL. Biochem 3:1768, 1962
 23) Barman BG, Hanson JR, Mossey AR. J Agric Food Chem 25:638, 1977
 24) Kim YS, Hwang JK, Cho EK, Lee SY, Pyun YR. Korean J Food Sci Technol 17:383, 1985
 27) Ma CY. J Food Sci 49:1128, 1984
 28) Barber KJ, Waethesen JJ. J Agric Food Chem 30:930, 1982
 29) Johnson E, Brekke DJ. J Food Sci 48:722, 1983
 30) Messinger JK, Rupnow JH, Zeece MG, Anderson RL. J Food Sci 52:1620, 1987
 31) Franzen KL, Kinsella JE. J Agric Food Chem 24:140, 1976
 32) Kakade ML, Simons N, Linear IE. Cereal Chem

- 46:518, 1969
- 33) Melnychyn P, Stapley R. US Patent 3764711, 1973
- 34) Groninger HS. J Agric Food Chem 21:978, 1973
- 35) Groninger HS, Miller R. J Food Sci 40:327, 1975
- 36) Oppenheimer H, Baramy K, Hamoir G, Fenon J. Arch Biochem Biophys 120:108, 1967
- 37) Crenwedge D, Dill C, Tybor D, Landmann W. J Food Sci 39:175, 1974
- 38) Yasumatsu K, Sawada K, Moritaka S, Misaki M, Toda J, Wada T, Ishii K. Agric Biol Chem 36:719, 1972
- 39) Pearson A, Spooner M, Hegarty G, Bratzler L. Food Technol 19:1041, 1965
- 40) Wang JC, Kinsella JE. J Food Sci 41:547, 1976
- 41) Ponnampalam B, Delisle J, Gugne U, Amiot J. J Am Oil Chem Soc 67:531, 1990
- 42) Bau JM, Poulain B, Beaufrand MF. J Food Sci 43:106, 1978
- 43) Paulson AT, Tung MA. J Agric Food Chem 37:319, 1989
- 44) Choi YR, Lusas EW, Rhee KC. J Food Sci 47:1713, 1983
- 45) Choi YR, Lusas EW, Rhee KC. J Food Sci 48:1275, 1983
- 46) Sato Y, Nakamura R. Agric Biol Chem 41:2163, 1977
- 47) Groninger HS. J Agric Food Chem 21:978, 1973
- 48) Franzen KL, Kinsella JE. J Agric Food Chem 24:914, 1978
- 49) Beuchat LR. J Agric Food Chem 25:258, 1977
- 50) Grant DR. Cereal Chem 50:417, 1973
- 51) Sheetty IK, Rao N. Int J Pept Protein Res 11:305, 1978
- 52) Rao AGA, Rao MSN. Int J Pept Protein Res 14:407, 1979