

메주 단백질 가수분해 효소가 탈지 우유의 기능성에 미치는 영향

이진실* · 윤 선

*덕성여자대학교 교양학부, 연세대학교 식품영양학과

Modifications of skim milk protein by Meju protease and its effects on solubility, emulsion and foaming properties

Jinsil Lee* and Sun Yoon

*General Education, Duksung Women's University, Dept. of Food & Nutrition, Yonsei University

Abstract

This study was attempted to investigate the effects of enzymatic modification of milk protein with protease on functional properties. The selected functional properties were solubility, emulsifying activity (EA), emulsion stability (ES), foam expansion (FE), and foam stability (FS). These properties were measured from pH 3.0 to pH 8.0. The proteases used in this study were isolated from Meju (fermented soybean) and had specific activity of 250 units/mg protein at pH 7.0, 1600 units of protease was used for 1 gr. of skim milk protein. Skim milk showed 30.5% degree of hydrolysis for 1 hr. and 36.4% degree of hydrolysis for 3.5 hrs. of protease treatment at pH 7.0. Solubility of native skim milk, control, 1 hr. and 3.5 hrs. groups were 3.37, 3.64, 10.21, 14.34% at pH 4.0 respectively. The emulsifying activity of native skim milk, control, 1 hr. and 3.5 hrs. groups were 38.8, 42.0, 43.0, 46.7% at pH 4.0, respectively. Enzymatic modification resulted in the increase of solubility and emulsifying activity at pH 4.0. However at pH 5.0 emulsifying activity of 1 hr. and 3.5 hr. group were lower than native skim milk and control groups. 1 hr. protease treatment was found to be most effective way of increasing foam expansion at pH 4.0 to 6.0. It was supported that, protease treated skim milk can be used to improve solubility, emulsifying activity, foam expansion at acid pH.

key words : meju protease, skim milk, solubility, emulsion, foam.

I. 서 론

단백질은 필수 아미노산을 공급해 주는 중요한 영양소일 뿐 아니라 용해성, 겔 형성, 기포성, 유화성, 항산화성과 같은 다양한 식품학적 기능성을 가진 우수한 식품소재로서¹⁾ 최근에는 천연 단백질이 갖는 물리, 화학적 성질을 변형시킴으로써 기능성을 향상시키고 이를 식품 산업에 적극 이용하는 사례가 증가하고 있다.

우유에 존재하는 총 카제인의 10% 정도는 용해성이 높은 단일 분자로 존재하고 나머지는 복합체 혹은 micelle로 존재한다²⁾. 우유 단백질 중에서도 유청 단백질은 비교적 식품학적 기능성이 우수하나 전 단백질의 80%를 차지하는 카제인은 pH 4.6 부근에서 응고물을 형성해 식품 소재로서의 이용도를 제한시켜 왔다. 용해도는 유화성, 기포성, 겔화에 영향을 주는 중요한 기능성 중의 하나이다. 특히 카제인은 pH 4.6 부근에서 용해도가 0%에 가깝기 때문에 산성 음료와 같은 산성 식품에의 이용에는 한계가 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 Chobert *et al.*^{3,4)}은 카제인과 유청 단백질을 트립신으로 처리하여 등전점 부근에서의 카제인의 용해도를 증가시켰다. 단

백질 식품의 유화력과 기포성은 분자내 친수성과 소수성이 동시에 존재함으로써 나타나는 기능성으로, Chobert *et al.*⁴⁾, Kuehler and Stine⁵⁾의 연구에 의하면 트립신, 혹은 펩신과 같은 효소에 의한 부분적인 가수분해로 이러한 기능성이 향상된다고 보고되었다.

이에 본 연구에서는 식품화학적으로 가치가 높은 새로운 단백질 식품개발의 일환으로 재래식 메주에서 분리한 단백질 가수분해 효소를 이용하여 우유 단백질의 식품학적 기능성을 개선시켜 조제 분유나 산성 식품에 이용될 수 있는 식품소재 개발을 목적으로 하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료 및 시약

(1) 실험재료

우유는 시판 연세우유, 카제인은 Sigma Chemical사 제품이었으며 일반 시약들은 모두 특급품이었다.

2. 실험방법

(1) 메주 단백질 가수분해 효소의 추출

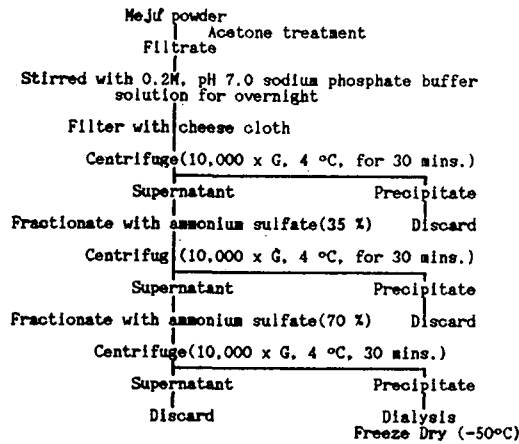


Fig. 1. Extraction Procedure of Meju Protease.

Table 1. Classification of experimental group of Meju Protease

Group	Treatments(50°C, pH 7.0)
NSM	Diluted native skim milk 100 ml + 5 ml of .2 M, pH 7.0 sodium phosphate buffer solution
Con	Diluted skim milk 100 ml + 5 ml of protease solution Hydrolyzed for 0 hr & heat treatment(100°C, 15 min)
1 hr.	Diluted skim milk 100 ml + 5 ml of protease solution Hydrolyzed for 1 hr & heat treatment(100°C, 15 min)
3.5 hrs.	Diluted skim milk 100 ml + 5 ml of protease solution Hydrolyzed for 3.5 hr & heat treatment(100°C, 15 min)

재래식 메주로부터 단백질 가수분해 효소의 추출은 Fig. 1과 같이 행하였다.

(2) 효소의 활성 측정

효소의 활성은 Kunitz method⁶⁾을 변형한 최⁷⁾의 방법을 이용하였다. 1분 동안 0.001의 흡광도 증가에 소요된 효소량을 1 unit로 정의하였다.

(3) 효소에 의한 탈지 우유의 가수분해

우유는 3,000×G, 20°C 에서 20분간 원심분리시켜 지방을 제거하여 탈지 우유를 제조하였다. 단백질의 함량이 1%(W/V)가 되도록 탈지 우유 원액을 희석하여 효소의 기질로 사용하였으며, 효소 용액은 5 ml의 sodium phosphate 완충용액(0.2 M, pH 7.0)에 1,600 units의 냉동 건조된 효소 분말을 녹여 사용하였으며, 각 실험군의 처리는 Table 1과 같다.

(4) 가수분해도 측정

탈지 우유 용액을 효소와 1, 2, 3.5, 5시간 동안 반응시킨 후 같은 부피의 5% TCA용액과 혼합하였다. 30분간 실온에 방치시킨 후 3000×G에서 20분간 원심분리시켰다. 원심분리 후 얻은 상등액의 조단백질의 함량은

Kjeldahl method⁸⁾로 측정하여 다음과 같은 식에 의하여 가수분해도를 측정하였다.

$$\text{Degree of Hydrolysis(DH, \%)} = \frac{\text{TCA Soluble N in Sample} - \text{TCA Soluble N in Control}}{\text{Total N in Sample}} \times 100$$

(5) 용해도 측정

효소에 의해 변형된 시료의 용해도는 Li-Chan and Nakai⁹⁾의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료를 20 ml씩 취한 후 4N NaOH로 pH를 3.0에서 8.0까지 조절하였다. 30분간 방치 후 10,000×G에서 15분간 원심분리하여 불용성 단백질을 제거한 후 상등액의 흡광도를 280 nm에서 측정하여 최대치를 100으로 환산한 후 비교치로 용해도를 표시하였다.

(6) 유화력(Emulsifying Activity: EA) 측정

유화력(EA)은 Yasumatsu *et al.*¹⁰⁾의 방법으로 측정하였으며, 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\text{EA(\%)} = \frac{\text{Height of emulsified layer}}{\text{Height of total contents in the tube}} \times 100$$

(7) 유화 안정성(Emulsion Stability: ES) 측정

열처리 후의 유화력은 Yamauchi *et al.*¹¹⁾의 방법을 이용하였으며, 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\text{ES(\%)} = \frac{\text{Height of emulsified layer after heating}}{\text{Height of total contents in the tube}} \times 100$$

(8) 기포 형성력(Foam Expansion: FE) 측정

기포 형성력은 Poole¹²⁾과 Wang and Kinsella¹³⁾의 방법으로 측정하였으며, 다음식에 의해 계산하였다.

$$\text{FE(\%)} = \frac{\text{Total volume of foam including liquid} - \text{Initial liquid volumes}}{\text{Initial liquid volume}} \times 100$$

(9) 기포 안정성(Foam Stability: FS)

기포 형성력 측정시와 같은 방법으로 기포를 형성시켜 형성된 기포의 부피를 기록하고 실온에서 30분간 방치한 후 남아있는 기포의 부피를 위와 동일한 방법으로 측정하여 다음식에 의해 계산하였다.

$$\text{FS(\%)} = \frac{\text{Foam volume after 30 min. standing including liquid}}{\text{Initial foam volume including liquid}} \times 100$$

III. 결과 및 고찰

1. 메주 단백질 가수분해 효소의 특이활성

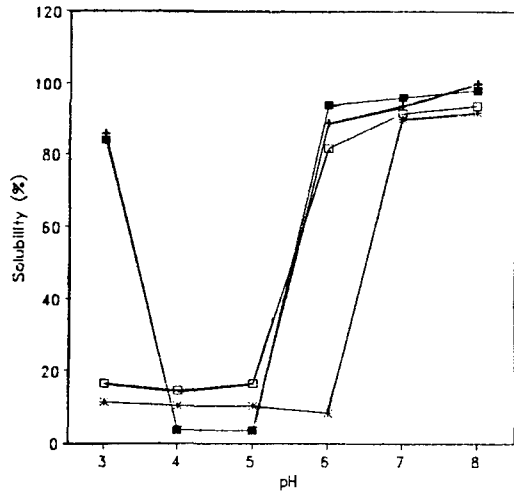


Fig. 2. Solubility profiles of native skim milk, control, and protease modified skim milk as a function of pH.
 NSM : Native skim milk
 Con : Protease modified for 0 hr. & heat treated skim milk
 1 hr. : Protease modified for 1 hr. & heat treated skim milk
 3.5 hrs. : Protease modified for 3.5 hr. & heat treated skim milk
 —■— NSM —+— Con —×— 1 hr —□— 3.5 hrs.

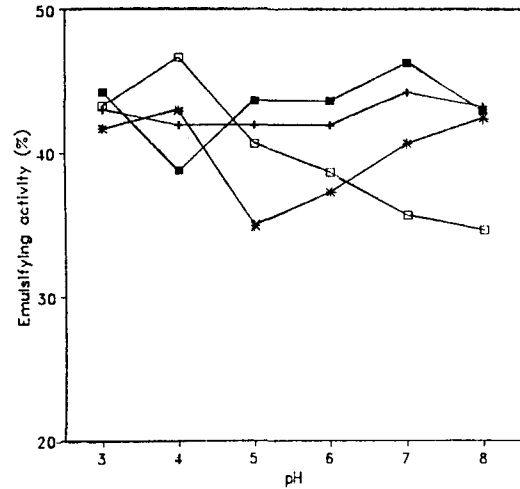


Fig. 3 Emulsifying activity of native skim milk, control, and protease modified skim milk as a function of pH.
 NSM : Native skim milk
 Con : Protease modified for 0 hr. & heat treated skim milk
 1 hr. : Protease modified for 1 hr. & heat treated skim milk
 3.5 hrs. : Protease modified for 3.5 hr. & heat treated skim milk
 —■— NSM —+— Con —×— 1 hr —□— 3.5 hrs.

재래식 메주로부터 추출한 단백질 가수분해 효소의 특이활성은 카제인을 기질로 하였을 때 pH 7.0에서 250 units/mg protein이었다.

2. 가수분해도

효소 처리에 따른 탈지우유의 가수분해도를 측정 한 결과, 효소처리 1시간의 가수분해도는 30.5%, 2시간은 33.9%, 3.5시간은 36.4%, 5시간은 38.4%로 효소반응 1 시간 동안 가수분해율이 가장 크게 증가했으며 그 이후 부터는 완만한 증가 추세를 보였다. 관능검사 결과, 가수분해 2시간까지는 쓴맛을 전혀 느낄 수 없었으나, 2 시간 이후부터는 쓴맛이 느껴지기 시작하여 3.5시간 이후에는 쓴맛이 강하게 느껴졌다. 즉 메주의 단백질 가수분해 효소의 경우 탈지 우유의 단백질 가수분해 효소의 출처가 Vegarud and Langsurd¹⁴⁾가 사용한 Maxatase Corolase PS같이 미생물로 부터 추출되었기 때문인 것으로 해석되며 메주에 존재하는 단백질 가수분해 효소는 쓴맛에 의한 관능적 품질 저하를 어느정도 지연할 수 있어 단백질 식품의 가공에 바람직한 효소로 생각된다.

3. 용해도

단백질 가수분해 효소 처리에 따른 용해도의 변화는 Fig. 2에 제시되었다. pH 4.0에서 탈지 우유균은 3.37%, 대조군은 3.64%, 효소처리 1시간군은 10.21%, 효소처리

3.5시간군은 14.34%로 효소처리 1시간군은 대조군의 2.8 배, 효소처리 3.5시간군은 3.9배의 용해도를 보였다. pH 5.0에서 탈지 우유균은 3.50%, 대조군은 3.37%, 효소처리 1시간군은 10.21% 효소처리 3.5시간군은 16.38%로, 효소처리 1시간군은 대조군의 3.0배 효소처리 3.5시간군은 4.9배의 용해도를 보였다. 이와같이 등전점 부근에서, 효소 처리군들의 용해도가 대조군에 비해 높은 것은 단백질이 효소에 의해 가수분해되어 NH₄⁺나 CO₂⁻와 같은 극성기가 노출되어 물과의 결합이 쉬워졌기 때문으로 풀이된다^{3,4,15,16)}. Chobert *et al.*¹⁵⁾은 카제인을 2.0%, 6.7% 가수분해 시킨 결과 등전점 부근에서 용해도가 0%로 부터 각각 25%, 50%로 증가하였으며 가수분해도가 높을수록 용해도 증가율이 높았다고 보고하였다. 또한 Chobert *et al.*⁴⁾도 β카제인을 트립신으로 3.2% 가수분해 시킨 결과 등전점 범위에서의 용해도가 10%에서 82%로, 7.4% 가수분해로 용해도가 10%에서 95%로 증가되었음을 보고하였다. 이와같이 효소처리에 의한 등전점 부근에서의 용해도 증가현상은 가수분해물의 분자량 이외에도 단백질의 종류 및 효소의 종류에 따라 서로 다르게 나타난다.

이와 같은 결과로 보아 메주 단백질 가수분해 효소에 의한 우유의 가수분해물은 pH 4.0~5.0사이의 산성 식품의 소재로 사용하는데는 바람직하다고 사료된다.

Table 2. Emulsion stability of native skim milk, control, and Protease modified skim milk as a function of pH

pH	Emulsion Stability(%)*			
	NSM	Con	1 hr.	3.5 hrs.
3	63.7± 2.08	63.5± 0.90	61.7± 3.52	62.5± 1.53
4	63.0± 0.46	55.3± 0.58	—	—
5	65.7± 1.61	68.7± 1.51	—	—
6	70.3± 1.93	65.3± 2.29	—	—
7	67.0± 2.58	69.7± 1.53	—	—
8	59.0± 1.35	66.0± 2.00	—	52.0± 3.38

NSM: Native skim milk

Con: Protease modified for 0 hr. & heat treated skim milk

1 hr.: Protease modified for 1 hr. & heat treated skim milk

3.5 hr.: Protease modified for 3.5 hr. & heat treated skim milk

4. 유화력(Emulsifying Activity: EA)

메주 단백질 가수분해 효소가 탈지 우유의 유화력에 미치는 영향을 Fig. 3에 제시하였다. pH 4.0에서 탈지 우유균은 38.8%, 대조균은 42.0% 효소처리 1시간균은 43.0%, 효소처리 3.5시간균은 46.7%의 유화력을 보였다. 이와같이 pH 4.0에서는 효소처리균들이 탈지 우유균이나 대조균보다 약간 높은 유화력을 나타냈다. 이는 효소 처리에 의해 pH 4.0에서 용해도가 증가해 유화력을 향상시킨 것으로 보인다. 그러나, pH 5.0에서는 탈지 우유균은 43.7%, 대조균은 42.0%, 효소처리 1시간균은 35.0% 효소처리 3.5시간균은 40.7%로 효소 처리균들은 탈지 우유균이나 대조균에 비해 낮은 유화력을 보였다. 이와 같은 현상은 pH 6.0, 7.0, 8.0에서도 나타났다. 특히 pH 7.0 과 8.0에서는 효소처리 3.5시간균이 효소처리 1시간균에 비해 유화력이 낮았다. 이러한 결과로 보아 유화력은 용해도에 영향을 받기는 하지만 용해도가 높다고 반드시 유화력이 항상 높게 나타난다고는 할 수 없을 것으로 보인다.

Chobert *et al.*^{3,15)}은 카제인과 유청 단백질을 트립신과 *Staphylococcus* V8 protease를 처리하여 유화력을 측정한 결과 등전점 부근에서의 유화력은, 트립신으로 처리된 카제인은 대조군 카제인에 비해 낮은 수치를 보였으며 트립신이 처리된 유청 단백질의 경우도 등전점에서는 대조군 유청 단백질에 비해 낮았으나 그외의 pH에서는 효소 처리된 유청단백질의 유화력이 높게 나타났다고 보고하였다. 또한 *Staphylococcus aureus* V8 protease로 처리된 카제인의 유화력은 모든 pH에서 대조군 카제인 보다 낮게 나타났다고 보고하였다. 이와 같이 유화력은 펩타이드의 크기에도 밀접한 관계가 있지만 같은 정도의 크기라 하더라도 사용된 효소의 종류에 따라서도 다르게 나타날 수 있음을 시사하였다. 본 실험의 결과로 보아, 메주 단백질 가수분해 효소는 pH 4.0에서의 유화력 개선

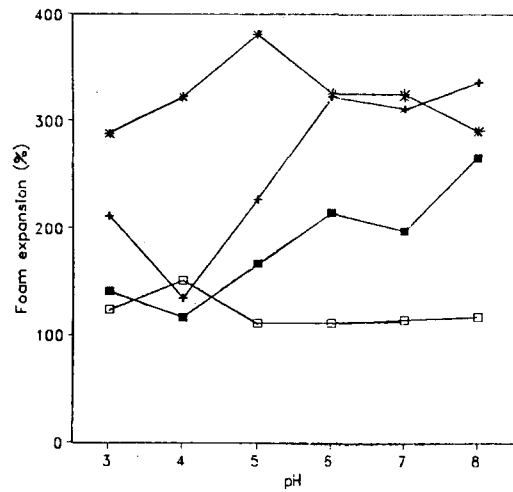


Fig. 4 Foam expansion of native skim milk, control, and protease modified skim milk as a function of pH.

NSM : Native skim milk

Con : Protease modified for 0 hr. & heat treated skim milk

1 hr. : Protease modified for 1 hr. & heat treated skim milk

3.5 hrs. : Protease modified for 3.5 hr. & heat treated skim milk

■ NSM —×— 1 hr. □ 3.5 hrs.

목적으로 사용이 바람직하다고 생각된다.

5. 유화 안정성(Emulsion Stability: ES)

메주 단백질 분해 효소가 탈지 우유의 유화 안정성에 미치는 영향은 Table 2에 제시되었다. 유화 안정성은 pH 3.0의 경우 각 군간에 커다란 차이가 없었다. 특히 효소 처리균들은 안정성이 낮아 80°C의 물에 중탕시키는 동안 유화가 깨졌다. 이는 효소에 의해 펩타이드의 크기가 작아져 기름입자를 둘러싸는 피막이 얇아 쉽게 파괴되었기 때문으로 풀이된다. 차¹⁷⁾의 연구에서도 펩신과 키위 단백질분해 효소로 처리된 대두 단백질 가수분해물들의 유화 안정성이 대조군에 비해 낮았음이 보고되었다. 그러나 Chobert *et al.*¹⁵⁾은 *Staphylococcus aureus* V8 protease가 처리된 카제인의 유화 안정성이 대조군 카제인에 비해 높았다고 보고하였다. 이와같이 유화 안정성에 대한 결과는 다양하게 나타난다. 예비실험 결과 효소처리균의 경우 MW 20,000 dal. 이하의 펩타이드가 주된 크기인 것으로 보아 유화 안정성을 높이기 위해서 MW 20,000 dal. 이상의 펩타이드들로 이루어져야 할 것으로 생각되며 메주 단백질 가수분해 효소는 유화 안정성을 개선시킬 목적으로는 사용하는 것이 바람직하지 않다고 생각된다.

6. 기포 형성력(Foam Expansion: FE)

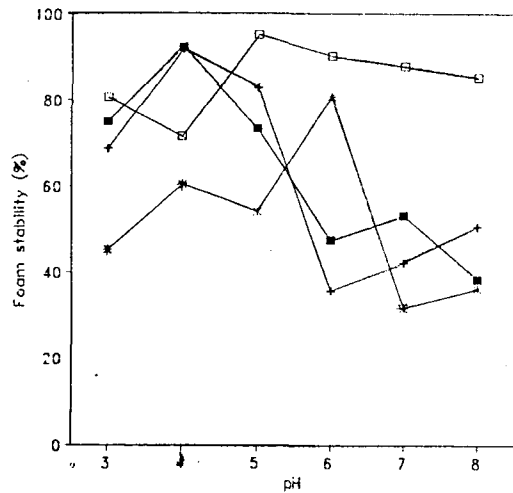


Fig. 5 Foam stability of native skim milk, control, and protease modified skim milk as a function of pH.

NSM : Native skim milk

Con : Protease modified for 0 hr. & heat treated skim milk

1 hr. : Protease modified for 1 hr. & heat treated skim milk

3.5 hrs. : Protease modified for 3.5 hr. & heat treated skim milk

■-NSM +Con ×-1 hr-□-3.5 hrs.

매주 단백질 가수분해 효소가 탈지 우유의 기포 형성력에 미치는 영향은 Fig. 4에 제시되었다. 전반적으로 탈지 우유의 기포 형성력은 pH 4.0에서 가장 낮은 수치를 보였으며 pH 4.0을 전후로는 증가하는 추세를 보였다. 효소 처리 1시간군은 탈지 우유군이나 대조군에 비해 높은 기포형성력을 보였다. 특히 pH 4.0에서 탈지 우유군은 116.3%, 대조군은 134.7%인 것에 비해, 효소 처리 1시간군은 322.0%, 효소처리 1시간군은 322.0%, 효소처리 3.5시간군은 151.0%로 높은 기포 형성력을 보였다. 이와같이 효소처리에 의해 기포 형성력이 증가되는 것은 가수분해로 단백질 분자가 풀리면서 내부에 존재하던 소수성기가 노출되어 친수성과 균형이 이루어져 기포형성에 유리하게 작용하기 때문으로 풀이된다. Lewis and Chen¹⁸⁾도 기포 형성력은 가수분해물의 분자량과 관계가 있는 것으로 보았으며 기포 형성력을 증가시키기 위해서는 분자량의 크기를 조절 하는 것이 가장 중요하다고 보고하였다.

이상과 같은 결과로 보아 효소처리 1시간군은 훌륭한 기포제로서 사용이 가능할 것으로 해석된다.

7. 기포 안정성(Foam Stability: FS)

매주 단백질 가수분해 효소가 탈지 우유의 기포 안정성에 미치는 영향은 Fig. 5에 제시되었다. pH 4.0에서의 기포 안정성은 탈지 우유군이 92.0%, 대조군은 91.5%,

한국조리과학회지 제 9 권 제 4 호 (1993)

효소처리 1시간군은 60.4%, 효소처리 3.5시간군은 71.5%로 효소처리 1시간군이 낮게 나타났다. 그러나 이러한 결과는 탈지 우유군, 대조군, 효소처리 3.5시간군의 기포형성력이 116.3, 134.7, 151.0%로 비교적 낮았기 때문에 상대적으로 형성된 기포의 감소 정도가 적어 기포 안정성의 수치가 높게 나타난 것으로 풀이된다. 한편 pH 6.0에서는 효소처리 1시간군의 기포 안정성이 80.8%로 탈지 우유군 47.5% 대조군 35.68%에 비해 높게 나타났다. 이러한 결과는 탈지 우유군과 대조군의 기포형성력이 각각 214.3, 322.3%로 높았기 때문에 기포 안정성이 상대적으로 낮게 나타난 것으로 해석된다. 이러한 현상은 효소 처리 3.5시간군의 경우에도 나타났다. 그러므로 기포 안정성 해석시 특히 기포형성력이 낮은 실험군의 풀이에 주의를 요한다. 이와같은 결과로 보아 효소처리 1시간군은 기포제로 사용시 산성 pH에서 이용하는 것이 바람직하다고 풀이된다. 차¹⁷⁾는 펩신에 의한 가수분해물은 산성 pH에서 기포 안정성이 대조군에 비해 높았으며, 키위 단백질 가수분해 효소에 의한 가수분해물은 알칼리 pH에서 대조군에 비해 기포 안정성이 높았다고 보고하였다. 이와같이 기포 안정성은 효소 종류에 따라 증가되는 pH 범위가 다르기 때문에 우리가 필요로 하는 식품의 pH에서 기포 안정성이 높은 가수분해물을 형성시키는 효소를 선택하는 것이 바람직하다고 생각된다.

감사의 글

이 논문은 (주) 미원 부설 한국음식 문화 연구원의 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Kim, S.Y., Park, P.S., Rhee, K.C., Functional properties of proteolytic enzyme modified soy protein isolate. *J. Agric. Food Chem.*, **38**: 651(1990).
2. Swaigswood, H.E., Chemistry of milk protein. in %Developments in Dairy Chemistry% I. Proteins. P.F.Fox ed., *Applied Science Publishers, Lodon*, **1**, (1982).
3. Chobert, J.M., Bertrand-Herb, C., and Nicolas, M.G., Solubility and emulsifying properties of caseins and whey proteins modified enzymatically by trypsin. *J. Agric. Food Chem.*, **36**: 883(1988).
4. Chobert, J.M., Bertrand-Herb, C., Dalgalarondo, M. and Nicolas, M.G., Solubility and emulsifying properties of beta casein modified enzymatically by trypsin. *J. Food Biochem.*, **13**: 335(1989).
5. Kuehler, C.A., Stine, C.M., Effect of enzymatic hydrolysis on some functional properties of whey protein. *J. Food Sci.*, **39**: 379(1974).
6. Kunits, M., Crystalline soybean trypsin inhibitor. *J. Gen. Physiol.*, **30**: 219(1947).
7. 최혜정, 키위 단백질 분해 효소가 casein의 기능성에 미치는 영향, 연세대학교 대학원 석사학위 논문(1991).
8. A.O.A.C., Official Methods of Analysis, Association of

- Official Agricultural Chemists. *Sidney William, Washington D.C.*, (1984).
9. Li-Chan, E. & Nakai, S., Rennin modification of bovine casein to simulate human casein composition: Effect on acid clotting and hydrolysis by pepsin. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 21: 200(1988).
 10. Yasumatsu, K., Sawada, K., Moritaka, S., Misaki, M., Toda, J., Wada, T. and Ishii, K., Whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agric. Biol. Chem.* 36: 719(1972).
 11. Yamauchi, K., Shimizu, M. and Kamiya, T., Emulsifying properties of whey protein. *J. Food Sci.*, 45: 1237 (1980).
 12. Poole, S., Review: The foam-enhancing properties of basic biopolymers international. *J. Food Sci. Technol.*, 24: 121(1989).
 13. Wang, J.C. and Kinsella, J.E., Functional properties of alfalfa leaf protein: Foaming. *J. Food Sci.* 41: 498 (1976).
 14. Vegarud, G.E., Langsrud, T., The level of bitterness and solubility of hydrolysates produced by controlled proteolysis of caseins. *J. Dairy Res.*, 56: 375(1989).
 15. Chobert, J.M., Sitohy, M.J. and Whitaker, J.R., Solubility and emulsifying properties of caseins modified enzymatically by *Staphylococcus aureus* V8 protease. *J. Agric. Food Chem.*, 36: 220(1988).
 16. Phillips, R.D. and Beuchat, L.R., Enzyme modification of proteins, In 'Protein functionality in foods' ed. Cherry, J.P., *Am. Chem. Soc.*, Washington D.C.(1981).
 17. 차명화, 1992, 단백질 분해 효소에 의한 대두 단백질의 식품학적 기능성의 변화, 연세대학교 대학원 석사학위논문