

Enzyme Modified Cheese의 숙성도 및 기능성 평가

서형주 · 홍재훈* · 손종연**

고려대학교 병설 보건전문대학 식품영양과, *건양대학교 식품공학과,

**고려대학교 생물공학연구소

Evaluation of the Ripening Degree and Functional Properties on Enzyme Modified Cheese

Hyung-Joo Suh, Jae-Hoon Hong*, Jong-Youn Son**

Department of Food and Nutrition, Junior College of Allied Health Science, Korea Univ.,

*Department of Food Technology, Keonyang Univ., **Institute of Biotechnology, Korea Univ.

Abstract

The studies was carried out to investigate ripening degree and functional properties of EMC produced with pancreatic protease and palatase ML.

During production of EMC, the amounts of free amino acid and free fatty acid were increased with increasing the reaction time. The amount of total nitrogen(T-N) and water soluble nitrogen(WSN) were increased with increasing time. EMC had contents of 1.79% T-N and 0.52% WSN at 60 min of hydrolysis time. SRI and FRI value had also a similar relationship. On the gel filtration, 2 kinds of soluble protein fractions were identified. The solubility of EMC was maximized in alkali solution. The highest level of foaming capacity was also shown in alkali solution. Furthermore the foaming stability had the same result as that of the solubility. The water absorption of EMC showed the highest level at pH 4.0 and 5.0.

Key words : enzyme modified cheese(EMC), accelerate ripened cheese(ARC).

서 론

역사적으로 cheese는 대부분 농가에서 만들어졌으며, 1851년에 Jesse Williams가 공장 규모의 cheese 공장을 만든 것이 효시라 할 수 있으며, 오늘날 약 800여종이 넘는 cheese가 생산되고 있다.

현재 cheese의 소비의 증가와 각종 가공식품에 원료로 cheese가 사용됨에도 불구하고 공업적으로 상당한 제약이 따르게 되는데, 이는 cheese의 숙성이 짧게는 60일에서 1년 이상의 시간이 소요되고 또한 넓은 장소를 필요로 하기 때문이다. 이 때문에 가공제품을 제조하는데 상당한 원가 부담을 안게 된다. 이러한 제약을 해소하고자 자연 숙성한 cheese와 동일한 풍미

를 가지며, 제조시간을 단축하는 연구가 진행되어 왔다¹⁻³⁾.

Cheese 숙성에 관여하는 여러 물리적 환경에 대한 연구³⁾가 진행되었으며, 또한 효소를 이용한 cheese의 제조로 인해 숙성시간의 단축이 상당한 효과를 거두었다. 효소를 처리하여 cheese의 숙성기간을 단축하거나 향을 조절하는 연구가 진행되어 왔다⁴⁻⁷⁾. 그러나 효소를 이용하여 제조한 cheese의 경우 효소의 단가가 높고, 효소의 역가가 일정치 않을 뿐 아니라 쓴맛이 나타나므로, 근래에는 cheese 제조에 적합한 효소를 얻고자 하는 연구가 진행되고 있다.

Protease와 lipase를 사용하여 cheese의 조직감과 풍미를 변형시키는 다양한 방법이 이용되고 있다. 즉, enzyme modified cheese(EMC)^{8, 9)}와 accelerate ripened cheese(ARC)^{10, 11)}가 있는데, ARC는 숙성 기간중에 lipase를 첨가하여 지방산의 생성을 촉진시

커, 숙성을 단축시키거나 protease를 첨가하여 cheese의 조직감을 개선시키는 방법으로 EMC에 비하여 풍미가 좋고 조직감이 뛰어난 cheese를 만들 수 있는 반면에 숙성기간이 오래 걸린다.

EMC는 lipase와 protease 등 여러 효소를 첨가하여 cheese를 제조하는 방법으로 일반적으로 fungal lipase와 neutral lipase를 혼합 사용하며, ARC와는 달리 많은 양의 효소와 여러 종류의 효소가 사용된다. 또한 ARC에 비해 제조기간이 짧아 4~8일 정도의 기간이 필요하며, 자연숙성시킨 cheese에 비해 풍미가 5~15배 강한 특징을 갖고 있다.

본 연구에서는 pronase와 pancreatic lipase를 이용하여 제조한 EMC의 숙성도와 제품의 물리적 특성을 측정하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용한 전지분유와 무당연유는 서울우유(주) 제품을 사용하였다.

EMC제조에 사용한 효소, pancreatic lipase(태평양화학, 200,000 U/g)와 palatase ML(Novo. Co., 1,000 LU/g)을 각각 구입하여 사용하였다.

그 외의 분석에 사용된 시약은 일급이상의 시약을 사용하였다.

2. EMC의 제조

기질인 무당연유와 전지분유를 85g과 15g을 혼합 후 균질화 시키고 pronase를 원료 g당 200 unit에 해당하는 양을 첨가하여 30℃에서 1시간 반응하였다. 반응이 끝난 후 80℃에서 10분간 가열 처리하고 냉각한 다음, 원료 g당 16 LU에 해당하는 pancreatic lipase를 첨가하여 37℃에서 4시간 반응하였다. 반응이 끝난 후 80℃에서 효소를 불활성 시킨 후 5℃에서 3일간 숙성시켰다. 제조공정은 Fig. 1과 같다.

3. EMC의 숙성도 측정

1) 총질소량의 정량

5 g의 시료를 50 mM sodium citrate용액 100 ml

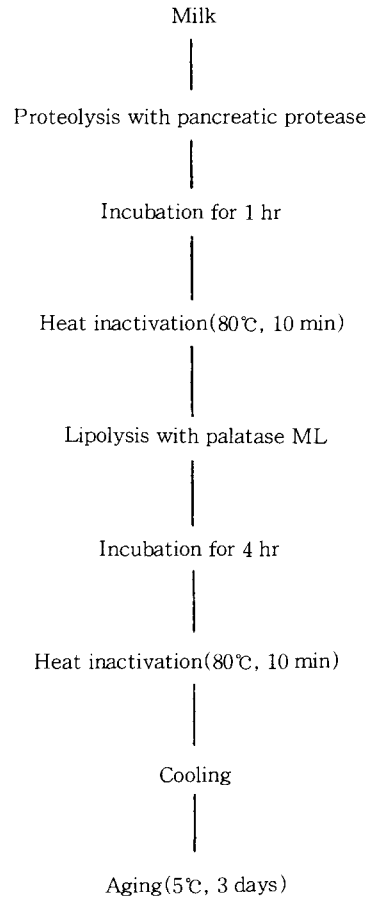


Fig. 1. Procedure of enzyme modified cheese (EMC).

로 현탁 후, 이 현탁액 1 ml를 A.O.A.C⁽¹²⁾법으로 질소를 정량하였다.

2) 수용성 질소의 정량

5 g의 시료를 50 mM sodium citrate용액 100 ml로 현탁 후 이 현탁액을 원심분리(12,000 rpm)하여 얻은 상등액의 질소량을 A.O.A.C. 법⁽¹²⁾으로 측정하였다.

3) Shilovich method

Cheese의 숙성도를 나타내는 Shilovich ripening

index value는 Inikhov¹³⁾의 방법에 따라 시료 5 g에 증류수 50 ml로 40°C에서 2분간 균질화 하였다. 이 현탁액을 Whatman No. 40 여과지를 이용하여 여과 후, 여액 10 ml를 각각 2개의 삼각플라스크에 취하였다. 각각의 삼각플라스크에는 1 ml phenolphthalein을 가하고 첫 번째 삼각플라스크는 blue color가 될 때까지 0.1 N NaOH로 적정하였으며(A), 다른 삼각플라스크는 pink color가 형성될 때까지 적정(B)하여 EMC의 숙성도를 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Shilovich ripening index value} = A - B$$

4) Formal titration method

EMC의 formol titration ripening index value는 Tateo¹⁴⁾의 방법에 따라 3)의 방법에서 얻은 현탁액에 phenolphthalein을 가하고 2 ml의 neutral formaldehyde 용액을 첨가하였다. 0.1 N NaOH 용액을 가지고 핑크색이 나타날 때까지 적정하였고, 적정시 소비된 양을 formol titration ripening index 로 표시하였다.

5) Chromatography를 이용한 숙성도

Baliev¹⁵⁾ 및 Sidey¹⁶⁾의 방법에 따라 Sephadex G-100을 column(3.0×140 cm)에 충전 후 시료 5 ml을 주입한 후 50 mM phosphate buffer로 용출하였으며, 이때 10 ml씩 분획하였다.

3. 기능성 측정

1) 용해도 측정

용해도는 Butler¹⁷⁾의 방법에 따라 측정하였다. 즉 시료 0.5g을 50 ml의 증류수에 가하고, 0.1 N NaOH 또는 0.1N HCl용액으로 pH를 2~11한 용액에 용해시킨 후 원심분리하여 불용성 단백질을 제거하였다. 불용성 단백질이 제거된 상등액의 단백질 함량을 측정하였다.

$$\text{Solubility} = \frac{\text{Weight of protein solved in tube}}{\text{Weight of protein in the sample}} \times 100$$

2) 수분흡수력

수분흡수력은 Beuchart¹⁸⁾의 방법으로 측정하였다. 시료 0.5 g에 10 ml의 50 mM sodium citrate buffer(pH 4.0)를 가하여 혼합시킨 후 3시간 동안 정치시켰다. 30분간 원심분리(3,000 rpm)한 후 시료에 흡수된 수분의 무게를 측정하였다.

$$\text{Water absorption(\%)} = \frac{\text{Weight of moisture in the sample}}{\text{Weight of sample}} \times 100$$

3) 기포 형성력

기포 형성력은 Beuchart¹⁸⁾ 등 방법을 변형하여 측정하였다. 즉 시료 1.0 g에 1 N NaOH와 1N HCl로 pH 2~11까지 조절한 후 20 ml씩을 취한다. 각 용액을 4,000 rpm에서 4분간 균질화하여 기포를 형성시킨다. 이때 발생된 기포의 양을 측정하여 다음식에 의해 계산하였다.

$$\text{Foam expansion(\%)} = \frac{\text{Total volume of foam initial liquid including liquid volume}}{\text{Initial liquid volume}} \times 100$$

4) 기포 안정성

기포 형성력 측정시와 같은 방법으로 기포를 형성시켜 형성된 기포의 부피를 측정하고, 실온에서 10분, 20분, 30분 경과 후의 남아있는 기포의 부피를 동일한 방법으로 측정하여 다음 식에 의해 계산하였다.

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

결과 및 고찰

1. EMC의 제조시 특성

전보¹⁹⁾에서 선택한 pancreatic protease와 pal-

atase ML를 이용하여 Fig. 1의 제조공정에 따라 EMC를 4제조시 특성을 검토한 결과(Fig. 2), 단백질 분해효소인 pancreatic protease에 의한 가수분해시 반응시간이 증가할수록 유리아미노산이 증가하는 경향을 보였으나, 반응말에는 유리아미노산의 증가량은 미미하였다. 지방산 분해효소인 palatase ML에 의한 가수분해시 반응시간에 따라 유리지방산이 증가하는 경향을 보였다. 유리아미노산은 40분 이상 반응시 증가량은 미미하였으나, 유리지방산은 4시간 반응시에도 높은 증가량을 보였다.

2. EMC의 숙성도 측정

1) 질소함량에 따른 숙성도 평가

Pancreatic protease와 palatase ML을 이용하여 제조한 EMC의 숙성도를 비교하고자 숙성중인 EMC

의 총질소량과 수용성 질소량을 측정된 결과(Table 1), pancreatic protease 처리시 질소의 함량은 시간이 경과할수록 증가하여 60분 처리시 총질소량이 1.79%, 수용성 질소량이 0.52%를 보였다. 그러나 palatase ML을 처리하는 동안에는 질소량의 변화는 거의 없었으며, 또한 5℃에서 3일간 숙성 후에도 질소량은 변화가 없었다. 또한 숙성도를 나타내는 R.D 역시 60분 반응시 급격히 증가하다가 palatase ML처리시에는 큰 변화가 없었다. 즉 이는 EMC의 제조 및 숙성시 생성되는 단백질은 반응초 거의 대부분 생성됨을 의미한다.

2) 숙성도의 비교

Shilovich method와 formol titration method로 측정된 EMC의 숙성도는 Table 2에 나타내었다. Shilovich method에 의해 측정된 숙성지수인 SRI

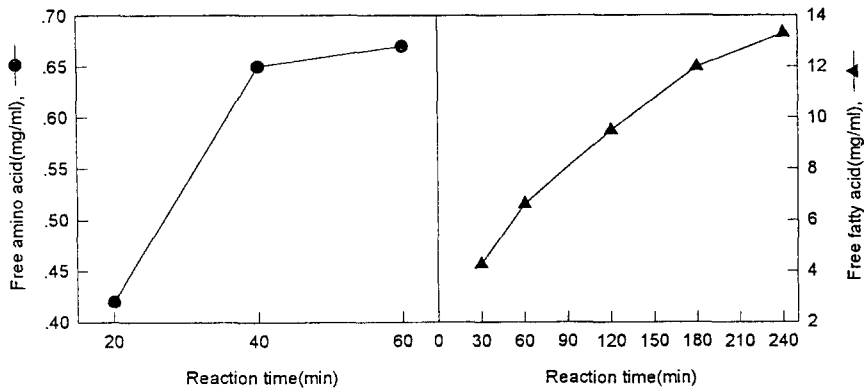


Fig. 2. The amount of free amino acid and free fatty acid during production of EMC. EMC was produced with pancreatic protease and palatase ML.

Table 1. Contents of total nitrogen, water soluble nitrogen and ripening degree (%)

Treatment	Pancreatic protease treatment			Palatase ML treatment		3 days aging
Reaction time	20 min	40 min	60 min	2 hr	4 hr	under 5℃
T-N	1.73	1.78	1.79	1.73	1.72	1.73
WSN	0.30	0.41	0.52	0.50	0.50	0.49
R.D.	17.34	23.03	28.60	28.90	29.07	28.30

T-N : Total nitrogen, WSN : Water soluble nitrogen
 R.D. : Ripening degree = $WSN / T-N \times 100$

Table 2. Ripening index determined by Shilovich and formol titration method

Treatment	Pancreatic protease treatment			Palatase ML treatment		3 days aging
Reaction time	20 min	40 min	60 min	2 hr	4 hr	under 5°C
S.R.I.	0.48	0.53	0.68	0.69	0.70	0.70
F.R.I.	0.55	0.62	0.77	0.78	0.80	0.79

S.R.I : Shilovich ripening index, F.R.I : Formol ripening index

value는 pancreatic protease로 20분 처리시 가장 낮은 0.48이었으며, 60분 처리시 0.68로 palatase ML을 처리하였을 때와 거의 유사한 숙성도를 보였으나, formol titration method에 의해 구한 FRI value는 pancreatic protease로 20분 처리시 가장 낮은 0.55, 60분 처리시 0.77이었으며, palatase ML을 처리하였을 때 다소 증가한 0.80정도의 숙성도를 보였다. 이상의 결과에서 알 수 있듯이 SRI와 FRI value 공히 pancreatic protease처리시 숙성도의 증가가 현저하였으나, palatase ML을 처리하였을 때 숙성도의 증가는 미미하였다. 또한 총질소에 대한 수용성 질소화합물의 백분율로 표시한 RD(Table 1)는 SRI와 FRI value와 정 상관관계를 보였다. 이는 금²⁰⁾ 등의 결과 같은 상관관계를 보였으며, cheddar cheese에서 SRI value가 0.6~0.7인 것과 유사하였다. 3개월 숙성시킨 SRI vlaue는 0.3에서 0.8로, FRI value는 0.2에서 1.1로 증가하였다는 Tawab와 Hofi²¹⁾의 결과와 거의 유사한 숙성도를 보였다.

3) Chromatography를 이용한 숙성도

EMC 제조와 숙성시 중요한 영향을 미치는 것으로 나타난 pancreatic protease 처리시의 수용성 단백질의 생성경향을 검토하고자, Sephadex G-100 column chromatography를 이용하여 용출 경향을 측정된 결과 (Fig. 3), pancreatic protease의 처리 시간에 따라 얻은 시료는 크게 두 개의 분획을 얻었으며, 가수분해가 진행될수록 저분자량의 단백질이 생성되는 것을 알 수 있었다. Pancreatic protease 처리하지 않은 시료의 경우 큰 분자로 구성된 단백질이 비교적 많았으나, pancreatic protease를 처리한 EMC는 저분자로 구성된 단백질이 상당히 많은 양이 존재함을 확인하였으며, 또한 처리시간이 증가할수록 고분자 단백질을 나

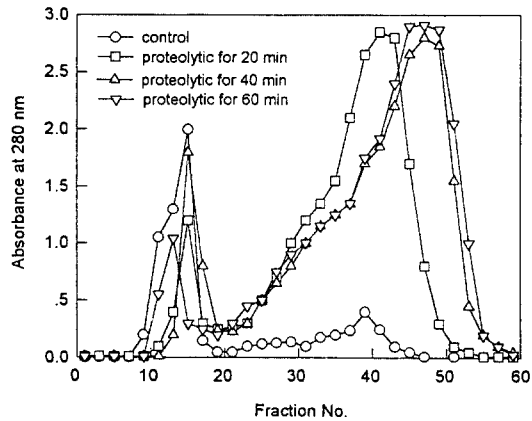


Fig. 3. Chromatography of EMC on Sephadex G-100 column. Column size : 1.5×40 cm, Flow rate : 10 ml/hr(2.5 ml/fraction).

타내는 앞쪽 분획의 면적은 감소하고 저분자 단백질을 나타내는 뒤쪽의 분획의 면적이 증가하였다. 이는 Cheddar cheese²²⁾와 Fresh cheddar cheese의 알칼리 추출물의 chromatography와 유사한 결과를 보였다.

3. EMC의 기능성

1) 용해도

pH를 각각 달리한 용액에 대한 EMC의 용해도를 측정된 결과(Fig. 4), pH 4.0 부근을 기준으로 알칼리 쪽 또는 산성쪽으로 갈수록 용해도가 증가하는 경향을 보였다. 이는 우유 단백질인 casein의 등전점이 pH 4.0 부근으로 이러한 등전점에서 용해도가 감소되는 경향을 보였으며, 산성용액보다는 알칼리 용액에서 용해도가 낮은 이유는 산에 의해 단백질이 변성되어 알

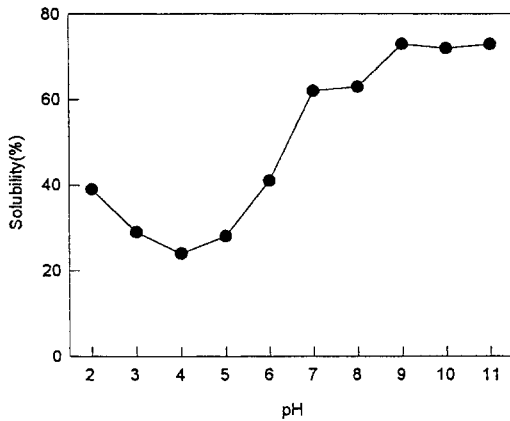


Fig. 4. Solubility of EMC at various pH.

칼리 용액에 비해 다소 낮은 용해도를 보였다. 그러나 우유의 경우 등전점이 pH 4.0 부근에서 10% 정도의 낮은 용해도를 보이는 반면 EMC는 이보다 다소 높은 28%의 용해도를 보였다.

Chobert²³⁾가 casein을 가수분해하여 얻은 가수분해물이 pH 4.0에서 40% 정도의 비교적 높은 용해도를 보였으며, 가수분해도가 높을수록 용해도가 증가한다고 보고하였다.

이상에서 알 수 있듯이 EMC는 알칼리식품의 소재로 사용하는 것이 바람직하며, 산성식품에 사용하여도 다른 유제품에 비하여 유리하다.

2) 기포 형성력

Fig. 5에서 알 수 있듯이 EMC의 기포 형성력은 pH 11에서 가장 높았으며, 산성 용액보다는 알칼리 용액에서 높은 기포 형성력을 보였다. 용해도와 비교시 용해도가 높을수록 기포 형성력이 높은 경향을 보였다. 즉 pH 4.0 부근에서 가장 낮은 용해도와 기포 형성력을 보이므로 기포 형성력은 단백질 용해도와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

3) 기포 안정성

EMC의 기포 안정성을 측정한 결과(Table 3), 기포의 안정성은 기포 생성력과 유사한 결과를 보였다.

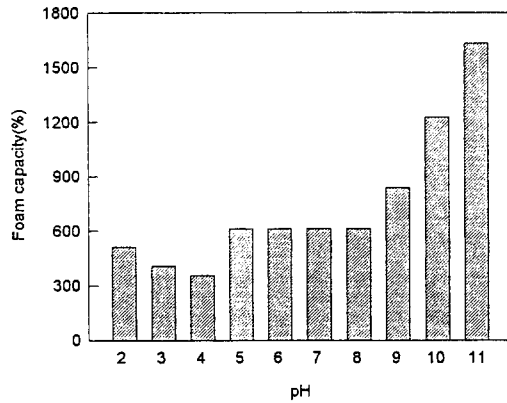


Fig. 5. Foam capacity of EMC at various pH.

Table 3. Foam stability of EMC at various pH

pH	Foam stability(%)		
	10 min	20 min	30 min
2	20.4	20.4	20.4
3	25.0	25.0	25.0
4	14.3	14.3	14.3
5	33.3	33.3	16.6
6	33.3	33.3	33.3
7	33.3	16.6	8.2
8	33.3	16.6	8.2
9	50.3	16.6	8.2
10	74.8	33.3	32.7
11	68.7	37.5	32.5

즉 산성용액보다 알칼리용액에서의 기포 안정성이 뛰어났다. 산성용액인 pH 2와 3에서는 30분 방치시 20.4%와 25%의 기포 안정성을 보이는 반면, 알칼리 용액인 pH 10과 11에서는 32.7%와 32.5%로 다소 높은 기포 안정성을 보였다. 또한 pH 2와 3에서는 10분 방치하여도 기포가 급격히 제거되는 반면, pH 10과 11에서는 10분 방치시 74.8%와 68.7%로 비교적 높은 안정성을 보이면서 방치시간이 증가할수록 서서히 기포가 제거되는 경향을 보였다.

4) 수분흡수력

Fig. 6에서 보는 바와 같이 수분의 흡수력은 pH 2.

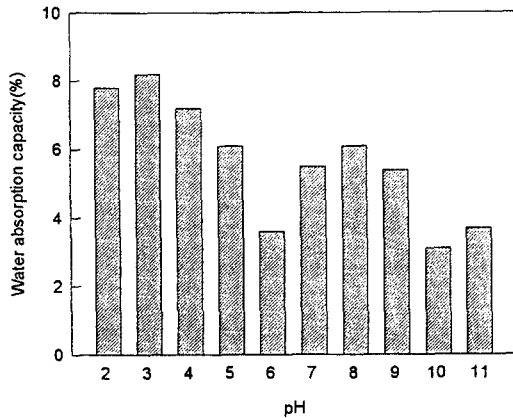


Fig. 6. Water absorption capacity of EMC at various pH.

0~4.0에서 최대의 흡수력을 보이는 반면 pH 10.0에서 최소의 흡수력을 보였다. 이는 용해도와 반대의 경향으로 알칼리 용액이 산성 용액에 비해 많은 양이 용해되었으므로, 수분을 흡수할 수 있는 양이 적어짐에 따라 수분 흡수력이 다소 낮은 경향을 보였다. 또한 배²⁴⁾는 단백질의 변성 정도에 따라 수분흡수력이 달라지며, 변성이 많이 진행될수록 수분흡수력이 증가한다고 보고하였다.

요 약

본 실험은 가공식품의 첨가물로 사용할 수 있는 EMC를 pancreatic protease와 palatase ML을 사용하여 제조한 EMC의 숙성도와 기능성을 검토하였다.

EMC 제조시 유리아니오산의 양과 유리지방산의 양을 측정할 결과 반응시간이 경과할수록 증가하는 경향을 보였다.

질소함량에 따른 숙성도 평가를 위해 총질소량과 수용성 질소량을 측정할 결과, pancreatic protease 처리시 질소의 함량은 시간이 경과할수록 증가하여 60분 처리시 총질소량이 1.79%, 수용성 질소량이 0.52%를 보였다. 그러나 palatase ML을 처리하는 동안에는 질소량의 변화는 거의 없었으며, 또한 5℃에서 3일간 숙

성후에도 질소량은 변화가 없었다.

숙성지수인 SRI value는 pancreatic protease로 20분 처리시 가장 낮은 0.48이었고, 60분 처리시 0.68이었으며, FRI value는 pancreatic protease로 20분 처리시 가장 낮은 0.55, 60분 처리시 0.77이었으며, palatase ML을 처리하였을 때 다소 증가한 0.80정도의 숙성도를 보였다.

EMC 제조와 숙성시 중요한 영향을 미치는 것으로 나타난 pancreatic protease 처리시의 수용성 단백질의 생성경향을 검토하고자, Sephadex G-100 column chromatography를 이용하여 두 개의 분획을 얻었으며, 가수분해가 진행될수록 저분자 단백질의 함량이 증가하였다.

EMC의 기능성을 측정할 결과, 용해도는 pH 4.0 부근을 기준으로 알칼리쪽 또는 산성쪽으로 갈수록 용해도가 증가하는 경향을 보였으며, 기포 형성력은 pH 11에서 가장 높았고, 산성 용액보다는 알칼리 용액에서 높은 형성력을 보였다. 기포 안정성은 알칼리용액에 비해 산성용액에서 안정성이 높았다. 또한 수분흡수력은 pH 2.0~4.0에서 최대의 흡수력을 보였으나, pH 10.0에서 최소의 흡수력을 보였다.

참고문헌

- Kristofferson, T., Mikolajcik, E.M. and Gould, J.A. : Cheddar cheese flavor 4. Directer and acelerated ripening process. *J. Dairy Sci.* **50**, 292(1967).
- Christensen, T.M.I.E., Kristansen, K.R. and Werner, H. : Casein hydrolysis in cheese manufactured traditionally and by ultrafiltration technique. *Milchwissenschaft*, **46**, 279 (1991).
- Lee Olson, H.J. and Lund, D.B. : High pressure injection of fluids into cheese, *Process Biochem.*(Dec. 14, 1978).
- Farnharn, M.G. : *US pat.* **3**, 551, 329(Sep. 27, 1946).
- Richardson, G.H. and Nelson, H.J. : Rapid evaluation of milk coagulating and flavor

- producing enzymes for cheese manufacture. *J. Food Sci.* **51**, 1502(1968)
6. Sood, V.K. and Kosikowski, F.V. : Accelerated cheddar cheese ripening by added microbial enzymes, *J. Food Sci.* **62**, 1865(1979).
 7. Attia, A.A.B., Neshewy, A.E., Rabie, A.H. N. and Farahat, S.M. : *J. Dairy Res.*, **49** 339 (1982).
 8. Arbige, M.V., Freud, P.R. and Zelko, J.T. : Novel lipase for cheddar cheese flavor development. *Food Technol.*, **51**, 91(1986).
 9. Jao, Y.C., Haislip, J.R. and Johnson, B.R. : Method for producing a highly flavored cheeusse ingredient, *USP*, **4**, 752, 483(1988).
 10. Tomar, V. and Deodhar, A.O. : Nutritional evaluation of accelerated ripened cheddar processed cheese, *J. Food Sci.*, **50**, 1633(1985).
 11. Law, B.A., and Wigmore, A. : Accelerated cheese ripening with food grade proteinases. *J. Dairy Res.*, **49**, 137(1982).
 12. A.O.A.C. : Official Method of Analysis, Association of Official Agricultural Chemists, Sidney Wiliam, Washington D.C(1984).
 13. Inikhov, G.S. : Chemical analysis of milk products. Part II. Published by Food Industry, Moscow in Russian(1951).
 14. Tateo, F.A. : Volume 1. Chiriotti Editori, Pinerolo, Italy(1978).
 15. Bailey, J.L. : Techniques in protein chemistry. Elsevier Publishing Co. Amsterdam-London-New York(1967).
 16. Sidney, P.C. and Kaplan, N.O. : Methods in enzymology, Academic press,(1955).
 17. Butler, L. : Protein structure and properties., *J. Am. Oil Chem. Sci.*, **48**, 101 (1971).
 18. Beuchart, L.R. : Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour proteins., *J. Agri. Food Chem.*, **25**, 258 (1977).
 19. 서형주, 손종연, 김윤숙 : Enzyme modified cheese제조, 한국식품영양학회지, **8**, 192(1995)
 20. 금중수, 진현석, 박승용, 김종우 : Cheese 숙성지표로서의 신속 단백질 분해도 측정법에 관한 연구. *Korean J. Dairy.* **14**, 159(1992).
 21. Tawab, G.A. and Hofi, A.A. : Testing cheese ripening by rapid chemical techniques. *Indian J. Dairy Sci.* **19**, 39(1966).
 22. Foaster, P.M.D. and Green, M.L. : A quantitative gel filtration method for analysis of the proteinaceous fraction of Cheddar cheese. *J. Dairy Res.*, **41**, 259(1974).
 23. Chobert, J.M., Sitohy, M.J. and Whitaker, J.R. : Solubility and emulsifying properties of caseins modified enzymatically by *Streptococcus aureus* V8 protease. *J. Agric. Food Chem.*, **36**, 220(1988).
 24. 배송환 : 추출 pH가 분리대두단백질의 기능성에 미치는 영향, 고려대 박사학위논문(1993).

(1996년 5월 20일 수리)