



## 한외여과로 농축된 원유로부터 제조된 Mozzarella 치즈의 이화학적 특성에 관한 연구; 총설

\*송광영<sup>1</sup> · \*이종익 · 천정환<sup>1</sup> · 현지연<sup>1</sup> · 서건호<sup>1</sup> · 윤여창\*

건국대학교 동물생명과학대학 축산식품생물공학전공

<sup>1</sup>건국대학교 수의과대학 공중보건학전공

### Physicochemical Properties of Mozzarella Cheese Made by Raw Milk Retentate using Ultrafiltration; A Review

\*Kwang-Young Song<sup>1</sup>, \*Jong-Ik Lee, Jung-Whan Chon<sup>1</sup>, Ji-Yeon Hyeon<sup>1</sup>, Kun-Ho Seo<sup>1</sup>  
and Yoh-Chang Yoon\*

*Dept. of Food Science & Biotechnology of Animal Resources, College of Animal Bioscience & Technology,  
Konkuk University, Seoul 143-701, Korea*

<sup>1</sup>*Dept. of Public Health, College of Veterinary Medicine, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea*

#### ABSTRACT

Mozzarella cheese is recently the most consumed cheese in USA, European, South Korea, etc., and also a various different-type Mozzarella cheese could have great market appeal. However, many consumers would be more concerned about the nutritional aspects and physicochemical properties of Mozzarella cheese. Hence, ultrafiltration (UF) as a best tool of solving those concerns has been recognized. The objective of this review's paper would be suggested that the ultrafiltration (UF) techniques could be directly applied for manufacturing various different-type Mozzarella cheese with high physicochemical properties on fulfilling the consumers' various needs and desires for health.

Keywords : Mozzarella cheese, ultrafiltration, physicochemical properties

#### 서 론

이탈리아의 가장 유명한 치즈 중의 하나인 비숙성 연질 치즈 종류에 포함되는 Mozzarella 치즈는 처음에는 이탈리아의 남쪽 지방에서 물소의 고지방유를 이용하여 만들어졌으나, 그 후 북부 지방에서 젖소의 우유를 이용하여 제조하기 시작하였고, 미국, 캐나다, 호주 및 프랑스 등 전세계에

서 제조되고 있다. 이 치즈는 원래 부드럽고 윤기나는 구형 또는 타원형이었으나(Kosikowski, 1982), 현재 대량 생산 방법에 의해 블록형으로 제조된 후 블록형 또는 절단된 상태로 유통되고 있다(Rudan *et al.*, 1998). 미국에서는 지난 20여년간 pizza 산업의 빠른 증가에 의해 Mozzarella 치즈의 소비와 생산이 급격히 증가하고 있는 추세이며, 연간 자연치즈 생산량 30억 kg 중 30%에 해당하는 양이 Mozzarella 치즈 생산량이고 이중 70% 이상인 6억 kg이 pizza의 topping용으로 사용되고 있다(Matzdorf *et al.*, 1994). 한국에서는 정확한 자료는 제시되고 있지 않으나 빠른 외식 산업의 발달과 청소년층의 pizza에 대한 높은 기호성으로 지속적으로 신장되고 있다. 국내의 치즈 소비량은 자연치즈 소비량이 가공치

\* These authors contributed equally to this work.

\* Corresponding author: Yoh-Chang Yoon, Dept. of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, College of Animal Bioscience & Technology, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea. Tel: +82-2-450-3692, Fax: +82-2-458-7305, E-mail: ychoon@konkuk.ac.kr

즈 소비량을 증가하고 있으며, 자연치즈 소비량이 계속 증가되고 있다(낙농편람, 2000). 국제낙농협회(IDF)에서 1999년부터 2005년까지 OECD 국가의 치즈 소비를 예측하였는데, 매년 1.8%씩 증가할 것으로 보고하였다(IDF, 2000). 현재 국내에서 소비되는 치즈는 수입 제품에 크게 의존하고 있고, 이러한 수입치즈는 pizza 제조를 위한 원료인 Mozzarella 치즈가 주종을 이루고 있어 이를 국산으로 대체하는 문제가 시급하다. Mozzarella 치즈의 10% 정도는 국내에서 제조되나, 가격경쟁력에서 수입제품에 비해 크게 불리한 위치에 있다(낙농편람, 2000). 즉, 국산 Mozzarella 치즈는 불리한 가격 경쟁력이라는 문제에 처해 있는데, 이 문제는 낙농선진국에서 널리 보급되고 있는 신기술인 한외여과(ultrafiltration) 기법을 이용하여 수율 증가 등 많은 부분을 해결할 수 있다(Jameson, 1983). 한외여과란 압력을 이용한 막 공정으로서 분자량의 차이에 의한 물질의 분리와 농축에 이용된다. 용액을 적용된 압력의 결과로 용매와 용해된 특정한 성분이 막을 통과하여 투과액(permeate)의 형태로 분리된다(Jayaprakasa *et al.*, 1993). 또 농축을 함으로서 관리가 용이하고 부패를 방지할 수 있는데, 한외여과에 의한 농축은 가열농축에 비하여 에너지가 절약되고, 단백질이나 비타민의 열에 의한 변성을 막을 수 있다(Yan *et al.*, 1979). 한외여과를 치즈 제조에 이용할 때에 이점으로는 whey 단백질이 casein matrix 내로 포집되기 때문에 10~30%의 수율 증가를 얻을 수 있고, 일반 치즈 제조공장에서는 가열 시간이 긴데 비하여 전반적으로 에너지 소비가 적고, 우유 응고에 소용되는 시간을 단축시킴으로써 효소 사용량을 감소시킬 수 있다(Jayaprakasa *et al.*, 1993). Mozzarella 치즈는 직접 소비되기 보다는 향신료 및 여러 가지 재료들과 함께 pizza 위에 topping시킨 후 고온에서 가열처리되어 용융된 상태로 소비되어 치즈의 용융성과 신장성 및 외관 등이 Mozzarella 치즈의 품질을 결정하는데 중요한 기준이 된다. Mozzarella 치즈의 중요 기능성은 갈변화, 지방 분리, 신장성, 용융성, 절단성 등이 있으며, 이들 특성들은 국가 및 지역과 생산조건에 따라 다소 차이가 있다. 언급된 중요 기능성들은 기술된 공정중 원유의 표준화 정도, 사용되는 응유효소의 종류, 접종된 starter의 종류 및 비율, 그리고 가열, whey 배제, 분쇄, stretching 과정 중 pH 및 온도, 염지시 NaCl의 농도 및 시간, 냉동 및 해동 조건 등에 의한 복잡한 영향을 받기 때문에 각 요소들에 대한 상호관계에 대한 입체적인 이해와 연구가 필요하다(이 등, 1996). 전통적으로 만들어진 Mozzarella 치즈는 부드럽고 수분이 있고 비숙성 치즈로서, 생치즈로 소비되거나 또는 가열되어 이용된다. 부드러움이 Mozzarella 치즈가 pizza로 응용되는데, slicing과 shredding에서 문제가 발생하였다. 이것들이 pizza 치즈가 건조되고 단단해지고 또한 호두 풍미를 가지도록 숙

성하게 되었다. 이 새로운 치즈를 pizza 치즈라고 명칭되었으며, 1967년에 미국 식품의약청인 Food and Drug Administration (FDA)에 의해서 저수분 Mozzarella 치즈로 정의되었다. 지방 함량에 따라 전지 Mozzarella 치즈와 부분탈지 Mozzarella 치즈 또는 저수분 Mozzarella 치즈로 나누어질 수 있다(Partridge, 1980). 지난 수십 년간 북미 지역에서의 일인당 치즈 소비량은 매년 증가 추세에 있고, 우리나라에서도 pizza 산업 등의 활성화에 힘입어 치즈의 소비량이 급증하고 있다. 치즈 제조산업이 어느 정도의 궤도에 오르게 되면 소비자들은 다양한 향미, 조직감 및 모양을 갖는 제품의 다양성을 추구하게 되므로 치즈 제조에 한외여과라는 새로운 공정의 도입은 신제품 개발 측면에서도 그 가치가 인정되고 있다(Fox, 1993).

따라서 본 총설 논문의 목적은 한외여과를 이용하여 제조되는 Mozzarella 치즈와 전통적인 방법에 의해서 제조된 치즈의 물리화학적 성질 등을 비교 분석 평가하여 Mozzarella 치즈 제조 시 한외여과의 이용가능성을 적극 모색하고자 문헌을 정리 서술하였다.

## 한외여과(Ultrafiltration)

### 1. 막의 정의 및 막분리 공정의 분류

환경관련 산업, 정수산업, 식품산업 등에 널리 이용되고 있는 막의 대부분은 artificial membrane(인공막)으로서 다양한 합성 고분자물질들을 재질로 하고 있다(Gutman, 1987). 막의 기능과 역할에 있어서 가장 중요한 1차적 기능은 막의 선택적 투과성(selective barrier)에 있다. 막의 적용범위는 용액 속에 녹아 있는 용질의 분리부터 가스혼합물의 분리에 까지 이르고 있다(우, 1997). 막의 분류는 i) 막의 성질에 따라 natural vs. synthetic, ii) 막의 구조에 따라 porous vs. non-porous, iii) 막의 적용 범위에 따라 gaseous phase separations, gas-liquid separations, liquid-liquid separations, iv) 막의 작용 기작에 따라 adsorptive vs. diffusive, ion-exchange, osmotic 혹은 non-selective membranes로 분류된다(Bungary *et al.*, 1986). 일반적으로 5대 막분리 공정이라 함은 i) 역삼투(reverse osmosis, RO; hyperfiltration, HF), ii) 한외여과(ultrafiltration, UF), iii) 미세여과(microfiltration, MF), iv) 투석(dialysis), v) 전기투석(electrodialysis, ED)을 지칭한다(Fig. 1). 삼투(osmosis) 현상은 희석된 쪽에서 농축된 쪽으로 반투과성 막(semi-permeable membrane)을 통하여 화학적 전위차(chemical potential differences)를 구동력으로 하여 용매가 이동하는 현상을 말한다. 이러한 자연적인 삼투현상의 구동력과 반대방향으로 인위적인 압력을 가하여 용매(물)를 제외한 용액 내의 모든 성분 물질들을 거르는 물을 제거하는 기술을 역삼투라고 한다(Gutman, 1987; Ho와 Sirkar, 1992). 유가공산업에 가장 많

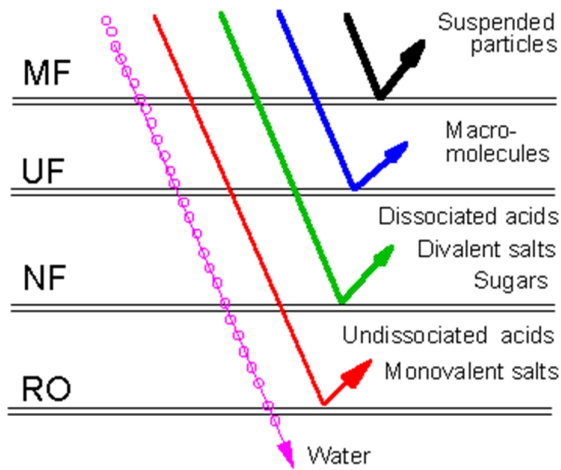


Fig. 1. Components separated by microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), nanofiltration (NF), and reverse osmosis (RO) processes (Gutman, 1987).

이 이용되고 있는 막분리 공정으로는 역삼투와 한외여과이다. 최근 수년간 유가공산업에 nanofiltration(NF)과 미세여과 공정이 도입됨으로써 유가공분야의 막분리공정의 이용가능성이 높아지고 있다(Ho와 Sirkar, 1992). 한외여과는 10~200 Å 이상의 크기를 갖는 입자들만 거르는 공정이며, 미세여과는 시료시스템으로부터 ‘마이크론’(micron) 범주내의 부유입자들을 거르는 공정이다. 한외여과시 분리대상 거대분자의 분자량 범위는 1,000~1,000,000 dalton에 해당되며, 막에 적용되는 막횡단 압력(transmembrane pressure)은 역삼투에 비하여 상대적으로 낮은 압력(1,000 kPa)이 적용되고 있다. 우유를 한외여과시키면 투과액으로 유당, 수용성 무기질, 비단백태 질소와 수용성 비타민이 수분과 함께 빠져나온다. 반면에 투과액의 양이 증가함에 따라 농축액(retentate) 내의 유지방과 유단백질의 함량은 비례적으로 증가한다. 역삼투에 적용되는 압력은 한외여과에 적용되는 압력의 5~10배의 높은 막횡단 압력을 필요로 한다(우, 1997). 역삼투막을 통과할 수 있는 물질의 크기는 약 150 dalton 정도로 우유 성분중 유지방과 유단백은 물론이고, 한외여과시 투과액으로 빠져나가는 유당과 많은 무기질 성분들이 농축액으로 남아 농축되며, 물과 약간의 이온성 무기질 성분만이 투과액으로 분리된다. 미세여과는 분자량 200,000 dalton 이상의 물질들을 선택적으로 분리하는데 유효한 공정으로서 미세여과 막에 의하여 분리 가능한 우유성분으로서 whey 성분,  $\beta$ -casein과 탈지유 성분 등이 있다. 분리공정 중 NF는 일명 loose RO라고 불리며, 역삼투와 한외여과의 중간범주에 해당된다. 분자량으로는 300~1,000 정도의 물질들이 NF 막을 통과한다. NaCl은 물과 함께 NF 막을 통과하는 반면에 유당, 유지방, 유단백질은 농축액으로 남으므로 whey의 탈

염에 적합한 공정이다(McGregor, 1986).

## 2. 막의 발달과 유가공산업에 이용되는 막분리 장치

### 1) 막제조와 발달

막제조와 역사를 살펴보면 1865년에 Fick가 최초로 nitro-cellulose를 이용해서 막을 제조하여 합성막 제조의 효시가 되었으며, 1907년에 Benchhold는 용매의 증발속도 등을 조절하여 막의 구멍 크기 조절하는 기술을 개발하게 되었다(Nielsen, 1990). 개발된 막의 용도를 보면 1945년 이전까지는 주로 미생물이나 입자를 제거하는데 이용하였으며, 1945년부터 막을 이용한 미생물 배양기법이 개발된 후 수질분석, 음용수 분석, 해수의 담수화 및 가스의 분리 등 산업적으로 다양한 용도로 이용되고 있다(Howell *et al.*, 1993; Nielsen, 1990).

### 2) 유가공산업에 이용되는 막분리 장치

산업적으로 이용 가능한 막분리 장치로는 tubular module, hollow fibers, plate-type units와 spiral-wound module 등이 있다(Schweitzer,1979; Cheryan, 1986). 과거에는 한외여과와 역삼투용 막 재질로서 cellulose acetate가 가장 널리 사용되었으나, 현재는 거의 polysulfone 막으로 대체되어 있다. 최근에는 한외여과와 미세여과 분야에 zirconium oxide를 소재로 한 무기질 막 혹은 자기(ceramic) 막의 이용이 점차 한외여과와 미세여과 분야에서 증가하고 있다. 이러한 막 재질들은 강도가 강하고 고분자 재질의 막보다 pH와 온도에 있어서 운용 범주가 넓어 비록 가격은 비싸지만 내구성이 좋은 것으로 알려져 있다. 분리 대상물질의 특성이 막 모듈(module) 선정시 가장 중요한 관건이다(McGregor, 1986; Ho와 Sirkar, 1992).

## 3. 막분리 기술의 유가공 산업에의 응용

유가공업적 규모의 막분리 장치는 1971년 뉴질랜드에서 whey의 농축에 이용된 것이 세계 최초였고, 이후 점차 전 세계적으로 막분리 기술이 보편화되어 갔다(Cheryan, 1986; Ho와 Sirkar, 1992).

### 1) 유가공에 한외여과의 이용

유럽에서는 한외여과를 이용한 유가공은 보편화되어 있고, 북미지역에서도 널리 그 기술을 이용하고 있다. 지금까지 20여년 이상 유가공산업에서 한외여과 공정이 적용되었던 유제품으로는 시유, 탈지유, whey, 물소유 등을 들 수 있다. 다른 식품가공분야에의 적용에 비하여 우유에는 3.5%의 단백질과 4.0%의 유지방이 함유되어 있어 농축 극성(polarization)과 고장(fouling)을 야기시키는 주된 인자로 작용하기 때문

에 유가공 분야에의 적용이 간단하지 만은 않다(McGregor, 1986). 치즈와 기타 유제품을 제조하는데 있어서 한외여과 농축액을 치즈와 유제품 제조의 원료로 사용하면서 새로운 제조 기술의 발달에 크게 기여하였다. 탈지유와 전유의 구성성분이 선택적으로 농축액으로 농축되었음을 알 수 있다. 우유를 한외여과시키면 농축액은 얇은 혹은 두꺼운 크림 성상을 나타내며, 밝은 황록색을 띠는 단백질이 제거된 투과액을 얻게 된다. 우유 한외여과에 사용되는 막은 차단분자량(molecular weight cut-off, MWCO) 20,000의 polysulfone 막을 사용하며, 운용조건으로는 입구(inlet) 압력 25~45 psi, 온도 52~54°C에서 막분리가 이루어진다. 최대 농축비는 탈지유의 경우 7:1(총단백질 21%), 전유의 경우는 5:1(총단백질 16%)이며, 이 농축비는 넓은 채널 막을 사용하면 더 증가시킬 수 있다(Mistry *et al.*, 1996). 현재 유가공에 이용되는 한외여과 막의 재질은 대부분 polysulfone이며, 다른 식품산업에도 널리 이용되고 있다. 한외여과 막의 재질은 대부분 polysulfone 이고, 다른 식품산업에도 널리 이용되고 있으며, 앞서 언급된 디자인들이 널리 통용되고 있다. 요컨대 한외여과공정이 유가공산업에 이용되는 대표적인 예로는 치즈 whey의 분리와 치즈 제조용 원유의 예비농축으로 구분할 수 있다(Cheryan, 1986).

## 2) 치즈 제조에 한외여과의 이용

치즈 제조에 한외여과공정이 처음 도입된 것은 1969년 Maubois 등에 의해서이고, 이 공정은 주로 Mozzarella, Camembert, Brie, Cottage 치즈와 같은 수분함량 45% 이상의 연질치즈 제조에 이용되었으며, 반면에 Cheddar, Brick, Colby, Swiss와 같은 경질치즈(수분함량 45% 미만) 제조에 적용된 사례는 드문 편이다(Howell *et al.*, 1993). 왜냐하면 한외여과를 거친 'pre-cheese'에서 최종 치즈에서와 같은 유지방, 단백질 및 수분의 조성을 갖기 위해서는 경질치즈의 경우 50~55%의 고형분 함량을 유지해야 하는데, 현실적으로 용이한 일이 아니기 때문이다(우, 1997). 한편, 연질치즈의 고형분 함량(Feta 26%, Cottage 16~20%, Quark 18%, Mozzarella 45%)을 보면 한외여과 공정이 연질치즈 제조에서 성공률이 높은 이유를 알 수 있다. Maubois 등(1969)은 유가공과 치즈 제조에 적용하여 1969년과 1980년에 프랑스와 미국 특허를 획득한 바 있다. 실례로 덴마크산 연질치즈의 15%, 프랑스산 연질치즈의 경우는 20% 이상이 Maubois의 방법을 이용하고 있다. 미국에서는 Wisconsin에 소재한 Ridgeway Foods Ltd.가 1984년 6월 최초로 상업적 규모의 Maubois 공법을 도입하였다(van Reis *et al.*, 1997).

한외여과에 의한 치즈와 일반 치즈와의 차이점은 일반치즈 제조시 whey으로 유리되는 whey 단백질이 pre-cheese에

함유되어 치즈의 수율을 증가시켜 준다(우, 1997). 1982년 말까지 전세계적으로 막분리 공정(한외여과 혹은 역삼투)을 치즈 제조시 전처리 공정으로 이용하는 유가공회사는 100여 개에 이르고 있다(Ho와 Sirkar, 1992; van Reis *et al.*, 1997).

한외여과를 치즈 제조에 이용할 때의 이점은 다음과 같다. i) whey 단백질이 casein matrix내로 포집되기 때문에 10~30%의 수율 증가를 얻을 수 있다. ii) 일반 치즈 제조공정에서는 가열시간이 긴데 비하여 전반적으로 에너지 소비가 적다. iii) 우유 응고에 소요되는 시간을 단축시킴으로써 효소 사용량을 감소시킬 수 있다. iv) 한외여과후의 투과액에는 약간의 비단백태질소를 제외하고 거의 단백질이 존재하지 않기 때문에 기존의 일반 치즈 제조시의 whey 폐기문제를 감소시킬 수 있다. v) 단위무게의 치즈 제조시 사용되는 우유의 부피가 줄어들기 때문에 시설 사용공간을 줄일 수 있는 큰 장점으로 작용한다(Cheryan, 1986; Nielsen, 1988). 유럽에서는 연질 혹은 반연질 치즈(semisoft cheese)의 제조에 한외여과 공정이 도입되어 성공적으로 운용되고 있다. 1977년 Oleson-Delaney가 Ymer(3%의 지방과 11%의 무지고형분을 함유한 curdled milk product)의 제조에 한외여과 공정을 사용하였는데 수율이 52%에서 60%로 증가하였으며, whey 단백질에서 비롯된 새로운 기능적 특성 때문에 품질이 향상되고, 저장성이 좋아지고, 더 상큼한 신맛을 부여하는 것으로 보고되고 있다(Patel와 Mistry, 1997). Creamed Cottage cheese와 유사한 크림 치즈 유제품인 Quark의 생산에 한외여과공정의 도입도 성공한 일례로 꼽히고 있다. 한외여과 공정은 유단백질의 등전점에서 이루어지기 때문에 불안정한 유단백질이 우유 시스템으로부터 분리되어 침전한다. 이때 모달내의 유체 흐름의 속도가 빠르면 등전되어진 단백질이 막에 침착되는 것을 막을 수 있다. 이 공정에 특히 적합한 막 구조로는 얇은 채널 디자인을 꼽을 수 있다(Cheryan, 1986).

흰 치즈라고 불리는 Feta 치즈의 제조에 도입된 한외여과 공정이 자동화되어 일일 20시간의 공장 가동률이 가능하였고, 자본회수는 9~18개월만에 이루어질 수 있었다. 네덜란드 Feta 치즈 생산량의 95% 이상이 한외여과 플랜트에서 생산되는 것으로 보고되고 있다(Mistry *et al.*, 1996).

수분함량이 극히 높고 고형분함량이 낮은(TS 20.3%) Cottage 치즈의 제조에 용량농축비율(VCR) 5.0인 농축액을 사용한 결과, 단백질, 회분, 칼슘과 인의 함량이 높아진 것으로 나타났다. 그러나 칼슘의 함량이 많아지면 많아질수록 치즈의 품질은 떨어지는 것으로 나타났다. 이 문제는 치즈 발효와 숙성 전에 농축액을 탈염(diafiltration)시킴으로써 전반적인 치즈의 질을 향상시킬 수 있었다(Patel와 Mistry, 1997).

## 한외여과에 의한 Mozzarella 치즈 제조시 주의사항

한외여과 중에 casein 응집과 같은 물리적 변화뿐만 아니라 상대적 조성의 변화가 일어나기 때문에 우유의 화학적 조성 변화는 조사되어야 한다(St-Gelais *et al.*, 1992). Fox(1984)는 한외여과에 의한 농축된 우유의 연구에서 치즈 조성과 숙성을 완전하게 통제하기 위해서는 rennet 응고, 겔 형성, whey 분리 등을 완전히 이해하여야만 가능하다. 치즈 원료유 중 통제될 수 없는 변이요소는 치즈 제조공정의 변형으로 가능하다. 농축계수, 열처리 강도, 단백질 변성, 농축물 성분 등과 같은 여러 요인들은 한외여과되어진 원료유부터 만들어진 curd의 whey 분리에 영향을 준다고 보고하였다(Marshall, 1982; Peri *et al.*, 1985; Casiraghi *et al.*, 1987; Guinee *et al.*, 1995). Peri 등(1985)은 whey 분리에 있어서 우유 농축이 미치는 영향을 조사하였는데, 우유 또는 한외여과로 5배 농축된 우유의 whey 분리는 처음에 일어나는 반응이고, 단백질 농축과는 무관하다고 보고하였다. van Dijk와 Walstra(1986)는 겔의 투과성은 우유농축이 높을수록 감소한다고 하였지만 Casiraghi 등(1987)은 whey 분리는 농축되지 않은 우유보다 농축된 것에서 더 높게 나타났다. 한외여과하기 전에 행하여진 열처리는 whey 분리 공정에 영향을 준다고 보고하였고, Casiraghi 등(1989ab)은 열처리 안한 원유로 만들어진 curd보다 살균 처리된 우유로 만들어진 curd에서 whey 배제가 매우 늦어진다고 보고하였다. 가열에 의해 whey 단백질 변성이 증가할수록 저장 중 겔의 whey 분리는 감소되었다고 보고하였다(Casiraghi *et al.*, 1989b; Smith와 McMahan, 1996). 한외여과하는 동안 우유조성의 물리화학적 변화는 curd 구조에 영향을 미친다(Dalgleish, 1981; Korolczuk와 Mahaut, 1991). van Dijk와 Walstra(1986)는 curd의 투과성은 우유의 지방함량이 증가할수록 감소한다고 하였다. Casiraghi 등(1989a)은 치즈 제조 성질 중 curd 경도의 약간 감소와 whey 분리 비율을 감소 같은 것을 밝혔다. 이들 변화는 한외여과 공정 중 한외여과 장치의 기계적 스트레스와 시료의 온도적 스트레스에 기인한다. 한외여과 처리공정의 특성에 영향을 주는 요인이 조사되었는데, Green 등(1983)은 한외여과 장치를 통해 우유 농축물이 재순환하면서 높은 유속(flow rate), 온도(50℃), 그리고 전단력(shear stress)이 지방구 분산과 casein 마이셀 응집에 영향을 준다고 보고하였다. 이것은 우유 응고와 curd 형성에 있어서 매우 중요하다. Calvo와 Espinoza(1999)는 농축하지 않은 우유와 농축한 우유(CF 1, CF 1.5, CF 2)의 whey 분리 연구에서 whey 분리는 비슷한 경향을 나타내었다. 5배까지 농축한 우유의 whey 분리의 실험을 한 Peri 등(1985)의 결과와도 비슷하였다. Calvo와 Espinoza(1999) 그리고 van Dijk

와 Walstra(1986)는 농축이 증가할수록 whey 분리 비율은 감소하였다고 보고하였다. 각각 다른 온도에서 열처리된 샘플을 한외여과 후 농축을 비교해본 결과 차이가 있었는데, 이것은 열처리온도에 따라 whey 단백질 변성에 기인한 것이다(Calvo와 Espinoza, 1999). 그러나 Montilla 등(1995)은 70℃에서 5분과 30분 가열했을 때 우유에 있어서 whey 단백질 변성의 차이는 발견되지 않았다. 또한 열처리는 saline 균형을 변화시켰고, 한외여과와 열처리하는 동안 식염(salt) 조성의 변화는 curd의 구조와 결과적으로 whey 분리의 비율에 영향을 주었다(Casiraghi *et al.*, 1989a). 한외여과처리와 관련된 기계적 온도적 스트레스는 curd 형성에 영향을 미치는데, 우유의 열처리 유무에 따라 다르게 영향을 미친다(Calvo와 Espinoza, 1999). 한외여과는 압력으로 막을 통과시키는 것으로서 널리 사용되고 있다(Cheryan와 Kuo, 1984; Cheryan, 1986). 오늘날 이 방법은 heat coagulation cold precipitation 등과 같은 다른 전통적인 방법과 비교해서 자연적인 상태로 시료의 단백질을 얻을 수 있다(Melachouris, 1984). 한외여과로부터 얻어진 단백질 농축물은 식품산업에서 넓게 이용될 수 있는데, 왜냐하면 뛰어난 영양적 기능성 때문이다(Morr, 1982; Moulin과 Galzy, 1984; Morr와 Foegeding, 1990; Patel와 Jayaprakasha, 1993). 그러나 영양적 기능성은 시료를 한외여과하는 동안 사용된 처리조건에 따라 매우 다양하다(Marshall와 Harper, 1988; Gupta와 Reuter, 1987). 그럼에도 불구하고 시료의 조성은 적당한 작동 매개변수의 선택과 주어진 시료의 다양한 전처리로 식품에 이용할 수 있다(Glover, 1985; Renner와 Abd El-Salam, 1991). Flux(permeation rate)를 측정하면 시료가 효율적으로 한외여과되고 있는지를 알 수 있다(Kessler *et al.*, 1982; Fauquant *et al.*, 1985). 그러나 더 좋은 flux와 바람직한 최종 시료를 얻기 위해서 사용되어진 처리형태는 시료의 종류, 조성, pH와 이온강도에 따라 매우 다양하다(Hiddink *et al.*, 1981; Jayaprakasha *et al.*, 1993; Kuo와 Cheryan, 1983; Muller와 Harper, 1979). 한외여과 하기 전에 주어진 시료를 전처리와 처리공정 매개변수인 온도, 압력, 속도의 효과와 같은 최종 시료의 조성과 시료의 한외여과시 flux에 영향을 주는 다양한 유의사항은 다음과 같다.

### 1. 작동온도(Temperature of Operation)

한외여과에 의한 처리공정 중에 flux는 일반적으로 시료의 온도가 올라갈수록 증가한다. Permeate flux는 온도가 증가할수록 대수적으로(exponentially) 증가한다(Donnelly와 Delaney, 1974; Patel와 Reuter, 1985). 거의 모든 한외여과 이론에서 높은 온도에서 flux가 높으면 점도는 낮아지고 확산(diffusivity)은 높아지기 때문에 결과적으로 물질이동(mass transfer)이 증가한다(Cheryan, 1977). 그러나 Maubois(1980)는 우유

에서 높은 온도일 때 침착물형성(fouling) 비율이 증가한다고 보고하였다. 이것은 칼슘염은 온도가 증가할수록 용해성이 감소되는 이유이기 때문이다. Cheryan과 Kuo(1984)는 30°C와 40°C에서는 flux의 차이가 없었는데, 50°C일 때는 flux가 급격히 높았다.

## 2. 작동압력(Operational Pressure)

농축극성이론에 따르면, flux가 압력에 독립적으로 되는 농축단계에 도달해서 겔이 형성될 때까지 사용된 압력이 증가할수록 flux는 증가한다. 사용된 압력이 더 증가되면 flux는 일시적으로 증가한다. 그러나 압력은 한외여과를 위한 추진력을 증가시키지만, 용질을 다시 bulk stream으로 되돌아가는 수송에는 영향을 주지 않는다. 결과적으로 두껍고 질은 겔 층이 형성되어서 초기단계에 도달할 때까지 flux는 감소된다. 임계점 이상으로 압력이 증가되면 결과적으로 flux는 낮아지는데, 이것은 겔 층의 압착되어 수력저항성이 증가한다(Glover, 1985; Cheryan *et al.*, 1987; Renner와 Abd El-Salam, 1991). 비록 어떤 단계에서는 압력이 독립적일지라도 높은 속도는 높은 압력을 이용해서 높은 flux를 얻는다. 그러나 유속이 증가할수록 압력이 증가하는 것보다 유익하다(Glover, 1985). 사용되어진 압력은 모듈(module)의 종류와 막 규정에 따라 다르다.

## 3. 유속(Flow Velocity)

일반적으로 높은 유속(flow rate)은 fouling 비율을 감소시킨다. 그러나 fouling에 영향을 주는 flow rate와 trans-membrane 압력 사이에는 많은 상호작용이 있다. Flux는 상대적으로 낮은 transmembrane 압력에서는 감소한다. 일반적으로 flux 향상은 최소한 초기단계에서 높은 flow rate에서 관찰된다. 높은 flow rate는 fouling을 더 심하게 한다(Kuo와 Cheryan, 1983). 일반적으로 막표면에 있어서 높은 전단력은 막 고장에 대항하는 중요한 인자이다. 높은 전단력일 때 막에 침전물은 연속적으로 제거되고 fouling 층에 수력저항을 감소시킨다(Cheryan *et al.*, 1987; Renner와 Abd El-Salam, 1991). Flow velocity가 증가할수록 압력 증가보다 더 이로운 점이 많다. 극성화된 층의 분산을 돕기 때문이다(Glover, 1985). 충분한 접선(tangential) flow rate(4.5 또는 5 %) 이상일 때도 막은 높은 flux로 작동할 수 있는데, 어떤 제한 flux는 관찰되지 않았다고 보고하였다(Daufin *et al.*, 1992).

## 4. 한외여과막의 세척, 살균 및 관리

식품산업에 현재 사용되고 있는 살균제로 polysulfone UF 막 시스템의 박테리아를 완전히 세척할 수는 없다. 따라서 새로운 세척방법과 세척제가 요구된다. 많은 연구자들은 per-

meate flux가 회복할 때까지 UF 막 세척에 관해 많은 관심을 가지고 있다. 또 UF 막의 색깔, 냄새는 최종제품의 품질을 결정하는데 이용되기도 한다. 하지만 UF 막이 심하게 오염되었을 때 가능하지만, 세척된 상태에서는 나타나지 않는다. 최근 연구에서는 미생물학적인 분석과 scanning electron microscopy(SEM)에 의한 막을 직접 관찰하는 방법이 강조되고 있다. Bohner와 Bradley(1990)는 chlorine dioxide 세척제가 UF 시스템의 세척에 적합하고 공중보건에 위협을 주는 박테리아를 효과적으로 작용한다고 보고하였다. 1992년에 Bohner와 Bradley는 오염된 Polysulfone UF 막을 효과적으로 세척하는 기술을 개발하였는데, 다음과 같은 방법으로 하였다. 물, sodium hydroxide(pH 11), 그리고 1:1 혼합액(질산과 인산, pH 2)을 사용하였고, 온도는 54°C로 유지되었다. 세척된 막을 scanning electron microscopy에 의해서 조사하였는데 매우 효과적이었고, 또한 세척처리공정을 연속적으로 300 시간 사용하였지만 막에는 영향을 주지 않았다. 또한 막에 존재하는 미생물은 발견되지 않았다. 미생물학적인 자료와 flux만 고려해 본다면 세척제인 chlorine dioxide는 spiral-wound UF 시스템에 있어서 미생물을 통제하는데 매우 효율적이다. 세척제는 단백질 침전물 사이의 세균을 충분히 제거할 수 있지만, 오염된 막에서는 효과가 없다. 따라서 UF 시스템의 설계와 새로운 막 물질의 개발은 막 안의 침전물을 제거하는 기술이 요구된다.

## Mozzarella 치즈의 이화학적 특성

Mozzarella 치즈는 직접 소비되기 보다는 pizza 위에 topping 시켜 260°C 이상으로 가열처리되어 용융된 상태로 사용되기 때문에 치즈의 용융성, 신장성, 지방 분리, 갈변화 등이 중요한 Mozzarella 치즈의 기능적 특성으로 간주된다(Matzdorf *et al.*, 1994). 따라서 Mozzarella 치즈 제조업체들은 치즈의 용융성, 신장성, 지방 분리, 갈변화 등의 치즈의 외관에 대한 까다로운 요구를 충족시켜 양호한 품질의 치즈를 생산하는데 많은 노력을 하고 있다(이 등, 1996). Pilcher와 Kindstedt(1990)은 미국의 Mozzarella 치즈의 주 소비원인 pizza 전문점을 대상으로 치즈의 기능적 특성을 조사한 결과, 사용되는 Mozzarella 치즈 중 용융성 불량(67%), 신장성 불량(55%), 지방 분리 불량(67%), 갈변화 불량(50%), 절단 불량(55%) 등의 결과를 얻었다. 앞서 언급된 Mozzarella 치즈의 외관상 기능적 특징들은 치즈의 생산과정 중 원유의 균질화, starter 및 응유효소, 가열, whey 배제, 분쇄, stretching 시의 온도, pH, 염지(salting) 등에 의해 영향을 받고, 동결 및 냉장저장 중의 온도 시간 등에 의해 복합적인 영향을 받는다. 따라서 Mozzarella 치즈의 중요한 기능적 특성인 용융성, 신장성, 지방 분리,

갈변화 등에 영향을 주는 화학적 물질적 조건에 대한 연구가 필요하다(이 등, 1997).

### 1. 지방 분리(Oiling Off)

미국에서는 무지방(fat-free) 또는 저지방(low-fat) 숙성 치즈에 대한 소비자의 수요가 1960년대 초반부터 증가하여 왔으며, 저지방 치즈에 대한 수요 증가의 원인으로는 주로 체중조절을 위한 고칼로리 식품의 기피, 동물성 지방과 순환기 질환 간의 상호 관련 가능성 등이다(Hargrove *et al.*, 1966). 저지방 낙농제품 특히 치즈는 몇 가지 영양 및 경제적인 장점을 지니고 있다. Hurt(1972)는 유지방 섭취와 특정한 심장병 발생 간에 상호 관련성이 있음을 지적하였고, 또한 치즈 가격의 급격한 인상은 다른 유성분과 비교할 때 상대적으로 가격이 높은 유지방과 주로 관련이 있다(El-Neshawy *et al.*, 1986). 치즈는 지방함량이 풍부한 식품으로서 지방함량이 25~30%인 치즈가 널리 소비되고 있다(Jameson, 1990). 치즈 제품의 원하는 성분조성은 전통적인 제조기술의 적절한 수정 및 채택으로 해결할 수 있으나, 소비자의 기호를 충분히 만족시키는 제품을 생산하기에는 어려운 문제이다. 한편, 국민소득 향상 및 식생활 개선 등으로 국내 치즈 생산 및 소비량도 매년 급격히 증가하고 있으나, 자연치즈로서는 pizza 치즈가 대부분으로서 고지방 식품섭취를 기피하는 현대인의 식품소비형태에 부응하는 저지방 치즈의 제조 및 이의 제특성에 관한 연구는 아직도 미흡한 상태에 있다(이 등, 1996). Mozzarella 치즈는 용융시 free oil(FO)을 형성시키는 경향이 있으나, FO량이 너무 적은 경우 구워진 pizza 표면의 광택이 적고 조직이 부드럽지 못해 식감이 떨어지며, 또한 수분이 다량 증발되어 과다한 갈변화와 물집(blistering)을 유발할 수 있다(이 등, 1996). 그리고 과다한 FO는 치즈표면에 다량의 지방이 분리되어 바람직하지 않은 성질로 인식되고 있다. Oiling off 또는 fat leakage라 불리는 지방 분리 현상은 오븐에서 구워질 때 열처리에 의해 불안정한 casein의 망상구조가 일부 깨지면서 지방구가 분리되어 치즈 표면에 액상의 지방이 분리되거나 유출되는 현상이며(Tunick, 1994), Kindstedt와 Ripple(1990)은 FO를 총 지방함량으로 나눈 값을 FOFB(free oil on a fat basis)로 정의하고, FDB(fat in dry basis)의 양에 따라 FO 생성량이 영향을 받는다고 주장하였다. 즉, FDB가 30~37%인 경우에는 FO 함량이 10~20%로 거의 일정하나, 37% 이상일 경우 FO의 양이 점차 증가한다고 주장하였다. 이것은 치즈 고형분 함량 중 지방함량이 임계수준 이상일 경우, 치즈에 존재하는 지방구의 총 표면적이 너무 커서, casein의 자연유화작용이 불안정화 되어 FO가 생성된다고 보고하였다(Shimp, 1985). Kindstedt와 Kiely(1992)는 FDM(Fat in dry matter)의 값이 45% 이상인 고지방 저염

의 Mozzarella 치즈의 경우 FO가 발생하는 비율이 증가한다고 주장하여 FO와 지방함량 및 식염(NaCl)과의 상관관계를 주장했다. 한편, 지방 분리는 냉장보관 중 casein이 분해되어 유화능력이 감소되어 냉장보관 시간이 증가할수록 증가한다(Tunick, 1994). Mozzarella 치즈의 FO는 치즈 제조 공정 중 균질화 작업을 통해 지방구의 평균 크기를 감소시키면 FO 생성량을 감소시킬 수 있다고 보고(Lelievre *et al.*, 1990)하는 등 Mozzarella 치즈의 FO는 균질화, 지방함량, 염농도, 단백질 분해정도 등의 요인에 의해 영향을 받으며, 각 요인들은 제조 공정중 균주, 응유효소, 열처리온도, 공정시간, pH 등에 의해 영향을 받으므로 FO 현상은 여러 요인들의 상호 복합적인 유기적 관계를 통한 연구가 있어야 한다(이 등, 1996).

### 2. 갈변화(Browning: Blistering)

Pizza 전문점에서 대부분 260°C 이상의 온도의 오븐에서 Mozzarella 치즈를 굽기 때문에 과다한 비효소적 갈변화의 발생으로 인해 pizza의 기능적 특성 중 갈변화와 같은 외관적 질이 떨어지는 경우가 있다(이 등, 1996).

Matzdorf 등(1994)에 의해 가열온도에 의한 pizza의 갈변화에 대한 관능검사를 실시했으나, 갈변화의 정도에 대한 선호도 차는 관능검사요원에 의해 나타나지 않았다. 그러나 국가마다 Mozzarella 치즈의 갈변화 정도에 대한 선호도가 다르며 다수의 pizza 전문점에서 적당한 물집생성을 원하므로 물집에 대한 이해와 연구가 필요하다. 적절한 물집의 색깔 및 빈도수에 대한 국제적 규격은 제시되고 있지 않으나, 뉴질랜드의 낙농청에서 제시한 물집의 등급은 Table 1과 같다. 비효소적 갈변화인 물집은 가열에 의해 치즈내 유당 또는 환원당의 카보닐기와 casein의 아미노기가 반응을 하여 일어나며, 유당은 비교적 갈색화 반응이 느리지만 포도당이나 갈락토스와 같은 전화당은 갈색화되기 쉽다(이 등, 1996). 그러므로 Mozzarella 치즈의 물집은 치즈내 잔여 유당 및 생성 갈락토스의 양, 단백질의 가수분해 그리고 오븐에서 가열하는 온도와 시간에 의해 영향을 받는다(Yun 등, 1993).

### 3. 신장성(Stretching)과 용융(Melting)

Mozzarella 치즈의 중요한 기능적 특징인 신장성 및 용융은 치즈의 조성뿐만 아니라 다른 여러 가지 요인에 의하여 영향을 받는다고 보고되고 있다(Smith *et al.*, 1980). Mozzarella 치즈와 저수분 Mozzarella 치즈의 제조에 있어서 가장 중요한 것은 신장성 처리공정이다(이 등, 1996). 우유와 curd의 산도가 stretch 품질을 나타낸다. pH 6.2일 때 rennet이 첨가된다. 이것은 calcium caseinate와 반응해서 dicalcium paracaseinate이 만들어진다. Dicalcium paracaseinate는 부드럽고 커스터드같은 curd를 형성한다. 그리고 이 curd는 절단되고 가열되

Table 1. Mozzarella functional standards

Functional	6	5	4	3	0	Our of Sepe
Blister						
Size(mm)	<10	10~15	15~20	20~25	25~50	
Coverage(%)	<20	20~30	30~40	40~50	>50	
Functional score	3		2		1	
Blister color	Light golden~Light brown	Medium brown~Dark brown	Blackish			
Background color	White~Light golden	Golden~Medium brown	Dark brown			
Stretch	150~200 mm	>200 mm	>50~150 mm		<50 mm	
Melt/appearance	Creamy, complete melt, not transparent, no sauce holes	Slight soupy, SI unmelt signs of transparency, some sauce holes	Unmelt, dry skin, plastic appearance, soupy, runny, overmelt transparency		>10% coverage of unmelted cheese	
Functional score	3		2		1	
Flavour	Pleasant, buttery	Slight bland, slight off flavour	Definite off flavour		Pronounced off flavour	
Stretch type	Long thick fibrous strands	Long thin strands, slighty webby	Fine short, webby stands			
Tenderness	Tender, slight chewy	Chewy, SI tough, SI gummy, SI mealy	Disintegrates in mouth very tough, tender			
Oiling off	Slight moist, glisteng	Medium collections of oil, none & dry	Heavy coating of oils orange discoloration large pools			

(Dairy Board of New Zealand)

고 퇴적(cheddaring)된다(Kosikovski, 1982). 퇴적하는 동안에 pH가 5.1에서 5.3될 때 dicalcium paracaseinate는 monocalcium paracaseinate로 전환된다. 60°C로 가열될 때 monocalcium paracaseinate은 부드럽고 끈끈한 특성을 가진 curd가 된다. Curd의 pH가 5.1 이하가 되기 전에 stretching되어야 하는 것이 가장 중요한데, 그렇지 않으면 monocalcium paracaseinate는 paracasein으로 변형되고, 이 복합체는 지방을 포함할 수 없기 때문이다(Kosikovski, 1982). 용융성(meltability)이란 잘려지거나 조각 상태의 Mozzarella 치즈가 균일하게 녹는 경향을 나타내며, 신장성은 점질성(stringiness)이라 하기도 하며, 용융된 치즈가 섬유형태로 길게 늘어나는 경향을 말한다. Oberg 등(1992)에 의하면 신장성과 용융은 서로 상반된 관계를 갖는다고 한다. 즉, Mozzarella 치즈의 경우 늘어나는 상태가 아주 좋을 경우 용융상태는 좋지 않은 상태를 나타낸다고 한다. 이것은 Mozzarella 치즈 curd의 응집성(cohesiveness)과 관련이 있다. 즉, stretching에 영향을 주는 curd의 결합성은 용융 성질에는 반대의 효과를 나타낸다. 용융성은 치즈 curd 내의 Ca, P의 농도에 의해서 영향을 받는다는 보고가 있고, Yun 등(1995)은 치즈내의 낮은 Ca 함량에 의해 Mozzarella 치즈의 경도가 감소되어 신장성에 영향을 준다

고 한다. Lawrence 등(1987)은 변형되지 않고 본래 그대로의 casein 상태에 의해서 용융성이 영향을 받는다고 보고하고 있다. Mozzarella 치즈의 신장성 및 용융은 casein의 구조에 영향을 주는 단백질분해 정도, 냉동, 해동, 저장조건 및 수분 함량과 지방함량 등 여러 가지 요인들에 의해 영향을 받는다.

#### 4. Starter와 Rennet에 의한 영향

전통적인 Mozzarella 치즈는 원유에 자연적으로 존재하는 산 생성 미생물인 유산박테리아를 이용한다. 우유를 29.4°C로 가열한 후 적당한 산 생성이 있는 후 rennet을 첨가하고, curd가 형성되면 절단하고 32.2°C에서 30분간 가열한다. Whey의 배제시킨 후 curd를 쌓아둔 후 얼음물에 넣어서 산 생성을 막는다. 그리고 비숙성 curd는 얼음에 포장되어 출고된 후 stretching을 위한 적당한 산 생성이 되는 상온에 놓여지게 된다. 이때 소비자들의 요구에 의해서 79.4°C의 물에 가열되고 거칠고 조잡한 조직을 가진 curd가 부드럽고, 탄력이 있을 때까지 손으로 stretching을 한다. 그리고 나서 성형, 냉각 그리고 무게당 1.5%의 비율이 되게끔 소금물에 넣는다. 하지만 Mozzarella 치즈는 품질의 일관성이 없고 제품의 안정성에 문제가 발생할 수 있다(Christensen, 1966; Kosikowski,



1982). 우유의 살균으로 유산 박테리아가 사멸하게 되므로 대체물질인 상업적인 유산균(direct vat starter)이 사용되면서 Mozzarella 치즈의 품질이 일관성은 가질 수 있었지만, 과숙성(over-ripening)의 문제가 발생하여 신맛향과 불량한 신장성이 나타났다. 이런 문제점들은 다음과 같은 방법으로 하였다. 첫째가 *Streptococcus durans*와 *Streptococcus faecalis*를 starter로서 사용한 것인데, 이 starter는 26.7°C 이하에서는 산생성이 되지 않기 때문에 냉각처리 공정 동안과 숙성을 막을 수 있다(Christensen, 1966; Kosikowski, 1951). 두번째로는 초산, 유산, 구연산, 또는 염산 같은 식품등급의 유기산을 사용해서 우유를 직접 산성화시켜 활력이 적거나 또는 활력이 넘치는 starter의 문제를 해결할 수 있었다(Fox, 1978; Kosikowski, 1982). 또한 연속적인 제품 생산에도 큰 도움이 되었다. 직접 산생성법을 통해서 품질 좋은 치즈를 만들 수 있지만 starter로서 숙성된 치즈보다 신맛미가 부족하고 가열시 지방 분리는 많이 생성되는 단점이 있다(Breene *et al.*, 1964; Fox, 1978; Kosikowski, 1982). 또 Bottazzi(1975)의 pre-culturing 기술의 개발로 치즈 제조 공정 중 가열과 퇴적 공정을 생략할 수 있다고 보고하였다.

##### 5. 원유의 미생물에 의한 영향

살균방법 중 미국에서 처음 사용된 방법은 저온유지살균법(LTLH)이다. 우유를 61.7°C에서 30분간 가열하는 것이다. 하지만 병원성균인 *Coxiella burnetti*는 61.7°C에서 생존한다는 연구결과가 나온 후 62.8°C까지 높게 되었다(Pelczar *et al.*, 1977). 다음으로 많이 사용되는 방법이 고온순간살균법(HTST)인데, 71.7°C에서 16초간 살균한다. LTLH 방법과 같이 빨리 4.4°C 이하로 냉각되어야만 비병원성세균의 성장을 막을 수 있다. HTST 살균은 치즈유의 rennet 응고를 조금 지연시킨다. 하지만 LTLH와 HTST 방법은 결코 치즈 curd에는 역효과를 미치지 않는다(Hall과 Trout, 1968). 원유에는 자연적으로 발생하는 4가지 형태의 미생물이 있는데, 저온세균, 중온성균, 고온성균, 그리고 내열성균이다. 저온세균은 7.2°C 이하에서는 상대적으로 빨리 자라고 0°C에서도 자랄 수 있는 능력이 있고, 대부분이 Gram 음성이며 비포자형성, 간균이고 열에 모두 민감하다(Witter, 1961; Pleczar *et al.*, 1977). *Pseudomonas* spp.는 가장 일반적인 저온균이다. 이 균들은 물과 토양에 자라고 살균 후 사멸된다. 이 균의 존재는 살균 후 오염의 지표가 되므로 냉각장치와 처리공정 또는 포장장치의 철저한 감시가 요구된다(Hall과 Trout, 1968). 저온세균은 두 개의 효소를 생성해서 우유와 유제품에 피해를 주는데, protease와 lipase가 있다. Lipase는 지질을 가수분해해서 우유에서 산패취를 발생시킨다. Protease는 단백질과 펩타이드의 가수분해를 통해서 유제품을 분해시킨다. Knopp

와 Peters(1979)의 연구에서 치즈용 원유를 10~12°C에서 78시간 저장한 것이 4°C에서 78시간 저장한 원료유보다 응고가 천천히 일어났다. 이 문제는 casein 마이셀의 단백질분해에 있어서 활력 높은 protease가 많이 생성되었기 때문이다. 살균유의 저온성균 오염은 심각한 피해를 줄 수 있고, 원유에서도 마찬가지로 오염되지 않도록 하여야 한다. 어떤 protease와 lipase는 높은 살균온도에서도 살아남을 수 있기 때문이다. Cousin과 Math(1977)는 저온성균이 있는 우유를 7일간 4.4°C에 보관한 후 Cheddar 치즈를 만들었다. 치즈의 보관은 4.4°C와 10°C에서 1, 3, 6, 그리고 9개월까지 보관하면서 치즈 품질과 특성을 비교하였다. 결론은 저온성균 수가 많을수록 치즈는 숙성하는 기간을 짧게 하여야 한다는 것이다. Adams 등(1975)은 조사된 샘플의 70~90%가 저온균이며 열저항성 protease를 생성할 수 있다고 보고하였다. 이들 protease는 149°C에서 90초 살균할 때 파괴된다고 하였는데, 이 시간과 온도는 우유 casein에 좋지 않은 영향을 준다. Barach 등(1976)은 열저항성 protease를 불활성화시키기 위해서 온도 낮추고 또는 시간을 줄여보았지만 효과는 없었다. 왜냐하면 우유를 149°C에서 단지 10초만 처리하면 우유의 casein에는 문제가 없지만 protease 활력은 단지 30%만 감소되기 때문이다. 50°C 이하의 온도에서는 열저항성 protease의 불활성화는 나타나지 않았다. 55°C에서 60분에서는 70%의 불활성화가 되었지만 많은 시간이 소요되었다. White와 Marschall(1972)은 *Pseudomonas fluorescens* p26을 첨가 후 12시간 정치 후 살균한 우유로부터 만들어진 Cheddar와 Cottage 치즈에 있어서 높은 단백질분해와 낮은 풍미값이 나타났다. 이것은 *P. fluorescens* p26에서 유래한 protease는 71.4°C에서 60초간 살균 후에도 75% 이상의 활력이 남아 있었기 때문이다. Cousin과 Marth(1977ab)는 저온세균으로 precultured된 살균우유가 대조구 우유보다 rennet 첨가시 더 빨리 응고되었다. Curd는 단단하였는데 이것은 whey의 고형분 손실이 낮았기 때문이다. Protease가 casein을 변형해서 rennet 반응에 더욱더 민감하게 만들었기 때문이다. Precultured 우유에 있어서 약간 높은 산생성은 응고의 속도를 빠르게 한다. 저온세균을 통제하는 방법으로 Sellars(1977)는 몇몇 치즈 공장들은 벌크(bulk) starter를 저장탱크에 첨가하였는데, 결과적으로 품질과 수율 면에서 향상이 있었다고 보고하였는데, 이것은 가산화수소(hydrogen peroxide)를 생산하는 상업 균주에 있어서 유산균은 강한 살균제 역할을 하기 때문이다. Juffs와 Babel(1975)은 저온세균이 접종된 멸균유에 0.5%의 상업적인 유산균주를 첨가하였는데, 초기 세균수의 감소보다는 성장속도가 느리게 된다고 보고하였다. 이것은 가산화수소를 분해하는 catalase의 첨가하면 저해를 감소시킬 수 있다. 가장 많은 가산화수소를 생산하는 균은 *Streptococcus* spp.이다. 저해 정

도는 유산균, 저온균의 초기수와 종류, 저장온도, 그리고 저장시간에 의해서 결정된다. Luck 등(1977)은 1 mL당 1마리의 저온세균에서 7일 후 0°C에서는  $2.2 \times 10^2$  CFU/mL, 7°C에서는  $1.2 \times 10^4$  CFU/mL, 그리고 10°C에서는  $1 \times 10^7$  CFU/mL로 나타났다. 어떤 균은 즉시 성장하고 반면에 다른 것들은 몇 일동안 성장이 없었지만 급격히 성장하였다고 보고하였다. 우유에서 가장 큰 그룹은 중온성균이다. 이 균은 25~40°C의 온도에서 가장 잘 자라는데, 이 그룹은 낙농산업에 문제를 일으키지 않는데, 왜냐하면 살균시 대부분이 파괴되고 4°C 이하로 냉각하면 성장이 어렵기 때문이다. 영양분의 부족, 산소의 존재 또는 적합하지 배양온도에서는 성장이 되지 않는다(Pleczar *et al.*, 1977). 농장에서 냉장 보관되어 있어도 위생설비가 불량하면 미생물검사를 통해서 알 수 있고, 미생물의 수는 위생상태를 나타낸다(Johns, 1978). 원유와 살균유에서 발견되는 미생물은 고온성균이다. 고온성균은 50°C 이상에서 잘 자라는데, 살균을 해도 생존하지만 냉장온도에서 생존능력이 한을 받기 때문에 문제가 되지는 않는다(Pleczar *et al.*, 1977). 원유에서 발견되는 마지막 미생물 그룹은 내열성균이다. 내열성균은 살균온도에서는 자라지는 않지만 생존해 있다(Pleczar *et al.*, 1977). Molska 등(1977)은 72°C, 76°C 그리고 84°C에서 15초간 살균했을 때 처음 내열성균의 수에서 22.1%, 42.4%, 그리고 77.1%가 감소되었다고 보고하였다. 이미 생물들은 그들의 적정 성장 온도에 따라 앞서 언급한 세 가지 미생물 그룹에 포함될 수도 있다. Witter (1961)는 내열성균 능력을 가진 저온균을 발견하였고, White 등(1978)은 내열성 저온균을 가진 우유를 우유공장에서 발견하였다고 보고하였다. 이 균의 대부분은 *Bacillus* genus의 species와 같이 Gram 양성이고 포자를 형성하고 *Microbacterium*, *Micrococcus*, 그리고 *Streptococcus* genera의 species도 포함될 수 있다(Molska *et al.*, 1977; Pleczar *et al.*, 1977). 이것들은 더러운 물건, 사료, 분뇨, 흙, 물, 그리고 소젖의 유관에서 분리할 수 있다. Boyd 등(1953)은 상업적인 살균유의 보전성 연구에서 유통기간이 가장 긴 우유는 결국 내열성균에 의해서 부패되었다. 내열성균은 살균유에 있어서 과거에는 식중독 미생물로 여겨졌다(Hall과 Trout, 1968). Molska 등(1977)의 연구에서는 내열성균으로 간주되지 않지만 산생성 박테리아와 caseolytic 박테리아가 포함되었다. 72°C, 76°C, 그리고 84°C에서 15초간 살균하면 산생성 박테리아는 99.7%, 99.9% 그리고 100%가 파괴되었고, caseolytic 박테리아는 88.4%, 92.3% 그리고 99.8% 감소되었다. 결론적으로 공급된 원유의 오염이 심할수록 비내열성균에 의해서 살균제품의 부패가 발생하게 된다.

## 6. 열처리, 단백질, 식염에 의한 영향

Jenness와 Patton(1959), 그리고 Rose(1963)는 열처리에 의한 우유 단백질의 이화학 성질의 변화에 관한 연구에서 casein은 비교적 열에 안정하고 whey 단백질은 약하다고 보고하였다. Webb 등(1974)은 우유 단백질 중의 casein은 물리적 구조형이 불규칙한 코일(coil)상을 하고 있으며, 그 구조 자체가 변성 단백질 구조에 가깝고, 또한 자연상태에서도 등전점에서의 응집 침전성이나 펩신에 의한 비효소적 작용성, 기타 전해물질에 의한 응집성 등이 변성 단백질과 유사하여 열에 안정하나, whey 단백질은 구조형이 매우 규칙적이며 특유한 공간구조를 가진 단백질로 변이성을 받기 쉬운 특징을 가지고 있다고 보고하였다. Whey 단백질의 열변성된  $\beta$ -lactoglobulin과  $\kappa$ -casein이 sulfhydryl-disulfide의 치환반응에 의해서 복합체를 형성하여 치즈 제조 시 rennet에 의한 응고 시간 지연 및 curd를 연하게 한다고 주장하였다(Fox, 1982; Singh와 Fox, 1987). Elfmag와 Weelock(1977)는  $\kappa$ -casein과  $\beta$ -lactoglobulin은 가열에 의해서 직접상호작용을 하지 않지만, 우유를 가열했을 때 우유 중의  $\beta$ -lactoglobulin과  $\alpha$ -lactoglobulin이 먼저 상호 작용에 의해서 복합체를 형성한 다음, casein 마이셀의  $\beta$ -casein과 반응하여  $\beta$ -lactoglobulin과  $\alpha$ -lactalbumin 그리고  $\kappa$ -casein의 큰 복합체를 형성한다고 보고하였다. 우유의 함유되어 있는 각종 염류와 이온도 가열에 의해 영향을 받으며, 염류평형의 변화는 콜로이드상을 불안정화 시키는 원인이 있다(Rose, 1963; Hansen과 Melo, 1977). 특히 칼슘과 인은 콜로이드의 안정성과 밀접한 관계가 있으며, 우유중의 총 칼슘의 2/3는 불용성으로 일부는 비대칭 구조를 한 인산칼슘 상태로 존재하거나 casein 마이셀에 함유되어 그 구조를 유지하고 있으며, 나머지 1/3은 가용성으로 존재한다. 열처리에 의한 우유 중의 총 칼슘함량과 인함량에는 변화가 없지만 65°C 이상에서부터 가용성 칼슘과 인은 감소하기 시작하며, 용해상으로부터 콜로이드상으로 전환하게 된다(Webb *et al.*, 1974; Pouliot *et al.*, 1989). 가열에 의한 수용성 칼슘의 변화는 우유의 pH 및 산도의 변화, rennet 작용에 의한 응고시간의 지연, casein 마이셀의 크기의 변화 등 우유의 물리적 성질에 영향을 준다고 하였다(Fox *et al.*, 1967; Freeman과 Mangino, 1981).

## 7. 단백질 분해에 영향을 주는 요소

자연 치즈의 숙성 중 단백질분해는 아미노산과 펩타이드 등의 생성에 대한 직접적인 기여(Lowrie, 1977)와 아미노산의 대사작용에 의한 아민, 산, thiols, thioesters 등의 생성(Law, 1987)에 대한 직접적인 기여한다. 그 밖의 치즈 curd 중의 rennet(Visser, 1977) 및 플라스민(Donnely와 Barry, 1983)의 잔존량, 식염에 대한 수분함량의 비(Tomas와 Pearce, 1981), 숙성온도와 습도(Fedrick와 Dully, 1984) 및 치즈의 pH 외

casein 중의 calcium 잔존량(Jong과 Groot-Mostert, 1977) 등에 의하여 크게 영향을 받는 것으로 보고되고 있다.

## 8. 풍미

치즈의 풍미와 조직은 숙성기간 중 치즈의 주성분인 단백질과 지방이 물리적, 화학적, 미생물학적인 변화를 받아 복잡한 과정을 거쳐서 유리아미노산, 휘발성 유리지방산, 휘발성 카르보닐화합물 등이 큰 영향을 미친다고 보고하였다(Aston과 Dulley, 1982). 이와 같이 치즈의 풍미는 복잡 다양하고 특수한 과정을 거쳐서 생성되며, 숙성실의 온도, 습도, 특히 숙성기간 등에 의해 큰 영향을 받는다. Bullock와 Irvine(1951), O'Keefe 등(1976, 1978)은 총 16종의 유리아미노산을 검출하였는데, 숙성기간이 증가함에 따라 총유리아미노산의 함량은 증가한다고 보고하였다. 총휘발성 유리지방산도 숙성기간이 증가함에 따라 증가하였는데, 치즈의 숙성기간 동안 지방분해에 의한 지방의 분해가 너무 지나치면 불쾌취가 생성되어 치즈의 풍미에 나쁜 영향을 미치며 숙성기간이 증가함에 따라 총휘발성 유리지방산도 증가한다(Ohren과 Tuckey, 1969). Ohren과 Tuckey(1969)는 풍미 품질은 치즈의 과도한 숙성으로 불쾌취가 생성될 수 있다고 보고하였다. 치즈의 유리아미노산 중에서 글루탐산의 함량이 높을수록 풍미 품질이 높다고 보고하였다(Bullock와 Irvine, 1951; O'Keefe *et al.*, 1976, 1978). Fross와 Patton(1966)는 초산, 낙산, caproic 산, caprylic 산 Cheddar 치즈의 필수적인 성분이며, 초산, 낙산, caproic 산의 비율이 8:1:0.3일 때 바람직한 풍미 품질을 생성한다고 보고하였다. 유리아미노산과 휘발성 유리지방산과의 관계도 중요하지만, 유리아미노산과 풍미 강도(intensity) 및 숙성기간과의 상관관계가 더 높게 나타났다(정과 유, 1988). 국민의 기호에 적합한 풍미성분을 위해 바람직한 풍미와 적절한 숙성기간 및 제조법의 상호관계에 대한 폭 넓은 연구가 필요하다.

## 결 론

한외여과는 Mozzarella 치즈 생산에 이용될 수 있는 기술이며, 또한 Mozzarella 치즈 제조에 사용될 원유의 처리와 기기의 작동조건에 따라 다양한 성질이 나타날 수 있다. 한외여과 사용 시 경제성은 원유의 처리량과 투과량, 그리고 막의 효율에 전적으로 의존한다. 따라서 한외여과의 효율성을 높이기 위한 다양한 조건 등이 반드시 검토되어야 Mozzarella 치즈 제조에 널리 이용될 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 농림수산식품기술기획평가원

의 연구비 지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Adams, D. M., Barach, J. T. and Speck, M. L. 1975. Heat resistant proteases produced in milk by psychrotrophic bacteria of dairy origin. *J. Dairy Sci.* 58:828-832.
2. Aston, J. W. and Dulley, J. R. 1982. Cheddar cheese flavor. *The Aust. J. Dairy Tech.* 37:59-64.
3. Barach, J. T., Adams, D. V. and Speck, M. L. 1976. Low temperature inactivation in milk of heat resistant proteases from psychrotrophic bacteria. *J. Dairy Sci.* 59:391-396.
4. Bohner, H. F. and R. L. Bradley. 1990. Effective control of microbial population in polysulfone ultrafiltration membrane system. *J. Dairy Sci.* 73:2309-2317.
5. Bohner, H. F. and Bradley, R. L. 1992. Effective cleaning and sanitizing of polysulfone ultrafiltration membrane system. *J. Dairy Sci.* 75:718-724.
6. Bottazzi, V. 1975. Continuous fermentation in paste filata. *Dairy and Ice Cream Field* 158:59-62.
7. Boyd, J. C., Smith, C. K. and Trout, G. M. 1953. The role of psychrophilic bacteria in the keeping quality of commercially pasteurized and homogenized milk. Abstract paper presented at 48th Annual Meeting American Dairy Science Assoc. *Dairy Sci. Abstracts* 15:727-731.
8. Breene, W. M., Price, W. V. and Ernstron, C. A. 1964. Manufacture of pizza cheese without starter. *J. Dairy Sci.* 47:1173-1178.
9. Bullock, D. H. and Irvine, O. R. 1956. A chromatographic study of Cheddar cheese ripening. *J. Dairy Sci.* 39:1229-1235.
10. Bungary, P. M., Lonsdale, H. K. and de Pincho, M. N. 1986. Synthetic membranes: science, engineering and applications. D. Reidel Publishing Co., Holland.
11. Calvo, M. M. and Espinoza, N. A. 1999. Syneresis rate of cow's, ewe's, and goat's curd. Effect of thermal treatment and ultrafiltration. *J. Agric. Food Chem.* 47:883-886.
12. Casiraghi, E. M., Peri, C. and Piazza, L. 1987. Effect of calcium equilibria on the rate of syneresis and on the firmness of curds obtained from milk UF retentates. *Milchwissenschaft* 42:232-235.
13. Casiraghi, E., Lucisano, M. and Peri, C. 1989b. Rennet coagulation of milk retentates. II The combined effect of heat treatments and protein concentration. *J. Dairy Sci.*

- 72:2457-2463.
14. Casiraghi, E., Lucisano, M. and Piazza, L. 1989a. Rennet coagulation of milk retentates. I Effect of thermal and mechanical stresses associated with ultrafiltration. *J. Dairy Sci.* 72:2452-2456.
  15. Cheryan, M. 1977. Mass transfer characteristics of hollow fiber ultrafiltration of soy protein system. *J. Food Process Engr.* 1:269-273.
  16. Cheryan, M. 1986. *Ultrafiltration handbook*. Technomic Publishing Co., Pennsylvania.
  17. Cheryan, M. and Kuo, K. P. 1984. Hollow fibers and spiral wound modules for ultrafiltration of whey: energy consumption and performance. *J. Dairy Sci.* 67:1406-1413.
  18. Cheryan, M., Sarman, S. C. and Pal, D. 1987. Energy conservation in the manufacture of khoa by reverse osmosis. *Asian J. Dairy Res.* 6:143-150.
  19. Christensen, V. W. 1966. Manufacturing methods for high and low moisture Mozzarella. *American Dairy Rev.* 28: 38-43.
  20. Cousin, A. M. and Marth, E. H. 1977a. Psychrotrophic bacteria caused changes in stability of milk to coagulation by rennet or heat. *J. Dairy Sci.* 60:1042-1047.
  21. Cousin, A. M. and Marth, E. H. 1977b. Cheddar cheese made from milk that was precultured with psychrotrophic bacteria. *J. Dairy Sci.* 60:1048-1056.
  22. Dalglish, D. G. 1981. Effect of milk concentration on the nature of curd formed during renneting-a theoretical discussion. *J. Dairy Res.* 48:65-69.
  23. Daufin, G., Michel, F. and Merin, U. 1992. Study of ultrafiltration of defatted WPC withdrawn from an industrial plant. *Lait.* 72:185-190.
  24. Donnelly, W. J. and Barry, J. G. 1983. Casein compositional studies. III. Changes in Irish milk for manufacturing and role of milk proteinase. *J. Dairy Sci.* 50:433-441.
  25. Donnelly, J. K. and Delaney, R. A. M. 1974. Performance characteristics of ultrafiltration. *Plant Lebensmittel Wissenschaft and Technologie* 7:162-166.
  26. El-Neshawy, A. A., Abdel Baky, A. A., Rabie, A. M. and Ashour, M. M. 1986. An attempt to produce low fat Cephalotyre(Ras) cheese of acceptable quality. *Food Chem.* 22:123-137.
  27. Fauquant, I., Vieco, E., Brule, G. and Maubois, J. L. 1985. Clarification of whey by separation of fat with thermo-procedure and addition of calcium. *Lait.* 65:1-17.
  28. Fedrick, I. A. and Dully, J. R. 1984. The effect of elevated storage temperature on the rheology of Cheddar cheese. *New Zealand J. Dairy Sci. Tech.* 19:141-148.
  29. Fox, K. K., Harper, M. K., Holsinger, V. H. and Pallansch, M. J. 1967. Effects of high-heat treatment on stability of calcium caseinate aggregates in milk. *J. Dairy Sci.* 50: 443-450.
  30. Fox, P. F. 1978. Direct acidification of dairy products. *J. Dairy Sci. Abstracts* 40:727-729.
  31. Fox, P. F. 1982. *Developments in dairy chemistry-1*. Applied Science Publishing LTD, Essex, England.
  32. Freeman, N. W. and Mangino, M. E. 1981. Effects of ultrahigh temperature processing on size and appearance of casein micelles in bovine milk. *J. Dairy Sci.* 64:1772-1780.
  33. Fross, D. A. and Patton, S. 1966. Flavor of Cheddar cheese. *J. Dairy Sci.* 49:89-90.
  34. Glover, F. A. 1985. *Ultrafiltration and reverse osmosis for the dairy industry*. Technical Bull., 5: The National Institute for Research in Dairying, Reading, England.
  35. Green, M. L., Marshall, R. J. and Glover, F. A. 1983. Influence of homogenization of concentrated milk on the structure and properties of rennet curd. *J. Dairy Sci.* 72: 2452-2456.
  36. Guinee, T. P., Pudja, P. D., Reville, W. J., Harrington, D., Mulholland, E. O., Cotter, M. and Cogan, T. M. 1995. Composition, microstructure and maturation of semi-hard cheeses from high protein ultrafiltered milk retentates with different levels of denatured whey protein. *Int. Dairy J.* 5:543-568.
  37. Gupta, V. K. and Reuter, H. 1987. Studies on the ultrafiltration of cheese whey for the manufacture of whey protein concentrates. *Kieler Mikchw Forsch. Btr.* 39:39.
  38. Gutman, R. G. 1987. *Membrane filtration: The technology of pressure-driven crossflow processes*. Adam Hilger, England.
  39. Hall, C. W. and Trout, G. M. 1968. *Milk pasteurization*. AVI Publishing Co. Westport, CT.
  40. Hansen, A. P. and Melo, T. S. 1977. Effect on ultrahigh-temperature stem injection upon constituents of skimmilk. *J. Dairy Sci.* 60:1368-1373.
  41. Hargrove, R. E., McDonough, F. E. and Tittsler, R. P. 1966. New type of ripened low-fat cheese. *J. Dairy Sci.* 9:796-799.
  42. Hiddink, J. R., Boer, D. E. and Nooy, R. F. C. 1981. Effects of various pre-treatments on ultrafiltration of sweet whey

- about 55°C. *Milchwissenschaft* 36:657-663.
43. Ho, W. S. W. and Sirkar, K. K. 1992. *Membrane handbook*, Van Nostrand Reinhold., New York.
  44. Howell, J. A., Sanchez, V. and Field, R. W. 1993. *Membranes in bioprocessing: theory and applications*. Chapman & Hall, New York.
  45. Hurt, H. D. 1972. Heart disease- Is diet a factor? *J. Milk Food Technol.* 35:340-348.
  46. IDF. 2000. *Bulletin of the IDF* 359, p. 20.
  47. Jameson, G. W. 1990. Cheese with less fat. *Aust. J. Dairy Technol.* 45:93-98.
  48. Jayaprakasa, H. M., Patel, R. S. and Renner, E. 1993. Application of ultrafiltration technology for production of whey protein concentrate. *Proc X Nat Conf IMS on recent Trends in Membrane Science and Technology* Jan. 21-22, p. 123.
  49. Jenness, R. and Patton, S. 1959. *Principles of dairy chemistry*. Wiley, New York.
  50. Johns, C. K. 1978. Preliminary incubation for raw milk samples. *J. Milk and Food Technology* 23:137-142.
  51. Jong, L. and Groot-Mostert, A. E. A. 1977. The proteolysis action of rennet on different casein substrates under various conditions. *Neth. Milk Dairy J.* 31:296-302.
  52. Juffs, H. S. and Babel, F. J. 1975. Inhibition of psychrotrophic bacteria by lactic cultures in milk stored at low temperature. *J. Dairy Sci.* 58:1612-1619.
  53. Kessler, H. G., Gerredel, C. and Nakanishi, K. 1982. The effect of low molecular weight milk constituents on the flux in ultrafiltration. *Milchwissenschaft* 37:584-587.
  54. Kindstedt, P. S. and Rippe, J. K. 1990. Rapid quantitative for free oil (oiling off) in melted Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.* 73:867-873.
  55. Kindstedt, P. S. and Kiely, L. J. 1992. Revised protocol for the analysis of melting properties of Mozzarella cheese by helical viscometry. *J. Dairy Sci.* 75:676-682.
  56. Knoop, A. M. and Peters, K. H. 1979. Abstract (Structure changes in rennet coagulum during cheesemaking using refrigerated milk.) (*Deutsche Molherei-Zeitung* 99:776(De)) *Dairy Sci. Abstracts* 41:1086-1093.
  57. Korolczuk, J. and Mahaut, M. 1991. Effect of whey proteins and heat treatment of milk on the consistency of UF fresh cheese. *Milchwissenschaft* 46:329-336.
  58. Kosikowski, F. V. 1951. The manufacture of Mozzarella cheese from pasteurized milk. *J. Dairy Sci.* 34:641-648.
  59. Kosikowski, F. V. 1982. *Cheese and fermented milk foods*. 2nd ed. Edwards Brothers Inc., Ann Arbor, MI. pp. 179-212.
  60. Kuo, K. P. and Cheryan, M. 1983. Ultrafiltration of acid whey in a spiral wound unit: Effect of operating parameters on membrane fouling. *J. Food Sci.* 48:113-118.
  61. Law, B. A. 1987. Proteolysis in relation to normal and accelerated cheese ripening. *Physics and microbiology*. Vol. I. in *cheese chemistry*. 365-392. P. E., FOX ed Elsevier. Appl. Sci. Publ. Ltd., London. England.
  62. Lawrance, R. C., Creamer, L. K. and Gilles, J. 1987. Texture development during cheese ripening. *J. Dairy Sci.* 70:1748-1760.
  63. Lelievre, J. R., Shaker, R. and Taylor, M. W. 1990. The role of homogenization in the manufacture of Halloumi and Mozzarella cheese from recombined milk. *J. Soc. Dairy Technol.* 43:21-30.
  64. Lowrie, R. J. 1977. Influence of lactic streptococci on bitter flavor development in cheese. *J. Dairy Sci.* 60: 810-814.
  65. Luck, H., Mostert, J. F. and Husmann, R. A. 1977. Shelf-life of perishable dairy products. *South African J. Dairy Technol.* 9:25-34.
  66. Marshall, K. R. and Harper, W. J. 1988. Whey protein concentrates. *IDF bulletin* No 233. p. 21.
  67. Marshall, R. J. 1982. An improved method for the measurement of the syneresis of curd formed by rennet action on milk. *J. Dairy Res.* 44:329-336.
  68. Matzdorf, B., Cuppett, S. L., Keeler, L. and Hutkins, W. 1994. Browning of Mozzarella cheese during high temperature pizza baking. *J. Dairy Sci.* 77:2850-2853.
  69. Maubois, J. L. 1980. Ultrafiltration of whey. *J. Soc. Dairy Technol.* 33:55-64.
  70. Maubois, J. L., Mocquot, G. and Vassel, L. 1969. Procédé de traitement du lait de sous-produits laitiers. *French Pat. Appl.* 2, -052, p. 121.
  71. McGregor, W. C. 1986. *Membrane separations in biotechnology*. Marcel Dekker, Inc., New York.
  72. Melachouris, N. 1984. Critical aspects in development of whey protein concentrate. *J. Dairy Sci.* 67:2693-2700.
  73. Mistry, V. V., Metzger, L. E. and Maubois, J. L. 1996. Use of ultrafiltered sweet butter milk in the manufacture of reduced fat cheddar cheese. *J. Dairy Sci.* 79:1137-1145.
  74. Molska, I., Michalik, E. and Salek, A. 1977. The influence of different pasteurization temperatures on the microflora

- of milk with special consideration of heat-resistant bacteria. *Acta Alimentaria Polonica* 3:127-133.
75. Montilla, A., Balcones, E. Olano, A. and Calvo, M. M. 1995. Influence of heat treatment on whey protein denaturation and rennet clotting properties of cow's and goat's milk. *J. Agric. Food Chem.* 43:1908-1911.
  76. Morr, C. V. 1982. In development in dairy chemistry 1. Proteins(Ed.) P. F. Fox. Appli. Scil. Publ, London, p. 375.
  77. Morr, C. V. and Foegeding, E. A. 1990. Composition and functionality of commercial whey protein and milk protein concentrates and isolates. A status report. *Food Technol.* 44:110-119.
  78. Moulin, G. and Galzy, P. 1984. Whey a potential substrate for biotechnology. *Biotechnol, Genet. Engg. Rev.* 1:347-360.
  79. Muller, L. L. and Harper, W. J. 1979. Effects of membrane processing of pretreatment of whey. *J. Agric. Food Chem.* 27:662-664.
  80. Nielsen, P. S. 1988. Membrane filtration for fresh cultured cheese. *Marketing Bulletin, APV, January*, pp. 3-10.
  81. Nielsen, W. K. 1990. Membrane filtration. *Marketing Bulletin, APV, June*, pp. 3-22.
  82. O'Keefe, A. M., Fox, P. F. and Daly, C. 1976. Contribution of rennet and starter protease to proteolysis in Cheddar cheese. *J. Dairy Res.* 43:97-107.
  83. O'Keefe, A. M., Fox, P. F. and Daly, D. 1978. Proteolysis in Cheddar cheese role of coagulant and starter bacterial. *J. Dairy Res.* 45:465-477.
  84. Oberg, C. J., Merrill, R. K., Brown, R. J. and Richardson, G. H. 1992. Effects of freezing, thawing, and shredding on low moisture part-skim Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.* 75:1161-1170.
  85. Ohren, J. A. and Tuckey, S. L. 1969. Relation of flavor development in Cheddar cheese to chemical changes in the fat of the cheese. *J. Dairy Sci.* 52:598-607.
  86. Patel, R. S. and Jayaprakasha, H. M. 1993. Membrane technology application in dairy industry. *Proc Seminar on Production Processing and Marketing Strategies in Dairying Held at Tirupati, April 8-9*, pp. 30-38.
  87. Patel, R. S. and Reuter, H. 1985. Fouling of hollow fiber membrane during ultrafiltration of skim milk. *Milchwissenschaft* 40:731-733.
  88. Patel, R. S. and Mistry, V. V. 1997. Physicochemical and structural properties of ultrafiltered buffalo milk and milk powder. *J. Dairy Sci.* 80:812-817.
  89. Pelczar, M. J. Jr., Reid, R. D. and Chan, E. C. S. 1977. *Microbiology*. 4th ed. McGraw-Hill New York, NY.
  90. Peri, C., Lucisano, M. and Donati, E. 1985. Studies on coagulation of milk ultrafiltration retentates. II Kinetics of whey syneresis. *Milchwissenschaft* 40:650-652.
  91. Pilcher, S. W. and Kindstedt, P. S. 1990. Survey of Mozzarella cheese quality at restaurant end use. *J. Dairy Sci.* 73:1644-1647.
  92. Pouliot, Y., Boulet, M. and Paquin, P. 1989. Observations on the heat-induced salt balance changes in milk. II. Reversibility on cooling. *J. Dairy Res.* 56:193-199.
  93. Renner, E. and Abd El-Salam, M. H. 1991. Application of ultrafiltration in the dairy industry. Elsevir Applied Science, London.
  94. Rose, D. 1963. Heat stability of bovine milk: A review. *J. Dairy Sci. Abstr.* 25:45-52.
  95. Schweitzer, P. A. 1979. *Handbook of separation technology*. McGraw Hill, New York.
  96. Sellars, R. L. 1977. Maximizing cultured product yields: the success factor. *Dairy and Ice Cream Field.* 160:68F.
  97. Shimp, L. A. 1985. Process cheese principles. *Food Technol.* 39:63-72.
  98. Singh, H. and Fox, P. F. 1987. Heat stability of milk: Role of  $\beta$ -lactoglobulin in the pH-dependent dissociation of micellar  $\kappa$ -casein. *J. Dairy Res.* 54:509-521.
  99. Smith, C. E., Rosenau, J. R. and Peleg, M. 1980. Evaluation of the flowability of melted Mozzarella cheese by capillary rheometry. *J. Food Sci.* 45:1142-1150.
  100. Smith, M. and McMahon, D. J. 1996. Aseptic rennet coagulation of ultra-high temperature processed milk concentrates. *J. Dairy Sci.* 79:1513-1520.
  101. St-Gelais, D., Hache, S. and Gross-Louis, M. 1992. Combined effects of temperature, acidification and diafiltration on composition of skim milk retentate and permeate. *J. Dairy Sci.* 75:1167-1172.
  102. Tomas, T. D. and Pearce, K. N. 1981. Influence of salt on lactose fermentation and proteolysis in Cheddar cheese. *New Zealand J. Dairy Sci. Technol.* 16:253-259.
  103. Tunick, M. H. 1994. Effect of homogenization and proteolysis on free oil in Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.* 77:2487-2493.
  104. van Dijk, H. J. M. and Walstra, P. 1986. Syneresis of curd. II One-dimensional syneresis of rennet curd in contain conditions. *Neth. Milk Dairy J.* 40:3-30.

105. van Reis, R., Goodrich, E. M., Yson, C. L., Frautschy, L. N., Dzengeleski, S. and Lutz, H. 1997. Linear scale ultrafiltration. *Biotechnol. Bioeng.* 55:737-746.
106. Visser, F. M. W. 1977. Contribution of enzyme from rennet, starter bacteria and milk to proteolysis and flavor development in Gouda cheese. *Neth. Milk Dairy J.* 31: 210-219.
107. Webb, B. H., Jhonson, A. H. and Alford, J. A. 1974. *Fundamentals of dairy chemistry* (2nd ed), API Pub. Co., Westport, Conn.
108. White, C. H. and Marshall, R. T. 1972. Reduction of shelf-life of diary products by a heat-stable protease from *Pseudomonas flourescens* P26. *J. Dairy Sci.* 56:849-856.
109. White, C. H., Gillis, W. T., Simmler, D. L., Galak, M. K., Walsh, J. R. and Adams, J. T. 1978. Evaluation of raw milk quality tests. *J. Food Protection* 41:356-363.
110. Witter, L. D. 1961. Psychrophilic bacteria-a review. *J. Dairy Sci.* 44:983-1015.
111. Yun, J. J., Kiely, L. J., Barbano, D. M. and Kindstedt, P. S. 1993. Mozzarella cheese: Impact of cooking temperature on chemical composition, proteolysis, and functional properties. *J. Dairy Sci.* 76:3664-3673.
112. 낙농편람. 2000. 농림부낙농진흥회, pp. 116-119.
113. 우건조. 1997. 막분리 공정과 유가공산업. 한국축산식품학회 97 추계학술발표회. pp. 57-93.
114. 이건봉, 윤경, 이호택. 1996. Mozzarella 치즈의 이화학적 특성에 관한 연구. 서울우유협동조합 기술연구지 7:61-73.
115. 정종훈, 유제현. 1988. 원료치즈의 배합비에 따른 가공 치즈의 Flavor intensity 및 Flavor quality에 관한 연구. 한국낙농학회지 10, 34-43.

---

(Received 2011.9.19/Revised 2011.10.23/Accepted 2011.10.28)