

## 국내외기술정보

# 유가공산업에서 막분리 기술의 이용현황 및 전망

김 희 수

축산물이용연구부

## 서 론

새로운 막(membrane)의 개발, 막처리 기술의 발전 및 유성분의 기능성에 대한 이해의 폭이 넓어짐에 따라 유가공산업에서의 막분리기술(membrane separation process) 이용범위가 우유 전체 성분으로 확대되고 있으며, 진보된 막이용기술에 힘입어 유용한 우유성분의 회수 및 정제가 가능케 되었다. 현재 막기술의 주요 이용 목표는 유단백질의 기능성 강화, 케이스인과 유청단백질의 분획, 우유의 미생물학적 품질제고 및 우유의 표준화에 두고 있으며 전통적인 유가공기술과 막분리기술의 조화로 각종유제품의 품질이 향상되고 있다.

막분리기술은 액상물질내의 여러가지 구성 성분에 대한 막의 선택적 투과성을 이용하여 어떤 한 종류의 액체를 농축하거나 조성이 다른 두 종류의 액체로 분리할 때 사용된다. 이때 사용되는 막(membrane)의 종류, 막에 의한 분리 조건, 장치의 구조 등에 따라 몇가지의 막분리 기술이 개발되어 있으며 주요 막분리 기술로서 한외여과(UF),

역삼투(RO), Microfiltration(MF) 및 Nanofiltration(NF)의 4가지를 들 수 있다.

막분리를 가능케 하는 추진력(driving force)은 막을 통하여 또는 여과과정중 쌓인 침적층(deposited layer)을 따라 필요한 유체역학적 흐름을 주는 유압기울기(hydrostatic pressure gradient)이며 경우에 따라서는 농도기울기(concentration gradient) 또는 전기적기울기(electrical potential gradient)가 부가적으로 사용되기도 한다.

막분리기술은 유가공산업에서 오래전부터 사용되고 있는데 초기에는 주로 유청처리에 이용되어 왔지만 최근들어 유가공의 다른 분야로 활용범위가 확대되고 있으며 기술 자체도 초기에는 단일 막분리공정(single pressure-driven membrane process)이 사용되었으나 최근에는 두 종류 또는 그 이상의 분리메카니즘을 조합한 기술이 개발되어 이용되고 있다.

본고에서는 유가공산업에서의 막분리기술의 최근 개발현황과 향후 전망에 대해 알아보려고 한다.

## 용어 설명

한외여과(Ultrafiltration, UF)	<p>분자량 1~200kDa이내의 물질을 통과시킬 수 있으며 pore의 크기가 0.01<math>\mu</math>m이내인 막을 사용하는데 이때 사용 압력은 1000kPa 이상이다. 우유에 사용하면 농축액(retentate)에 단백질, 지질 및 콜로이드성 광물질이 원래의 우유보다 매우 높은 함량으로 있게 되며 투과액(permeate)에 수분, 가용성 광물질, 유당 비단백태질소화합물 및 수용성 비타민이 남아 있게 된다.</p>
Microfiltration(MF)	<p>pore의 크기가 0.2~2<math>\mu</math>m인 막을 사용하여 분자량 200kDa를 기준으로 물질을 분리할 수 있다. MF에서는 UF보다 비교적 낮은 압력을 사용하며 유량(flux)이 훨씬 더 많다.</p> <p>유가공업에서 MF는 박테리아 또는 기타 비교적 큰 입자 제거 및 유단백질들의 분획에 사용된다.</p>
역삼투(Reverse Osmosis, RO)	<p>분자량 100Da 이내를 기준으로 물질을 분리할 수 있으며 사용압력은 UF의 5~10배 이상이다. 유가공업에서는 수분과 이온화된 광물질을 제거하여 우유 또는 유청을 농축하는데 이용된다.</p>
Nanofiltration(NF)	<p>분자량 300~1000Da범위의 물질을 분리할 수 있다. NF를 사용하면 그 막의 분산성 및 전하적 특성에 의해 이온제거가 가능하다. NF는 삼투압에 결정적인 영향을 주는 이온을 제거할 수 있으므로 사용되는 압력이 RO에서 보다 낮다. NF에 의한 분리는 mass transfer에 의한 것으로서 분산 및 pore를 통한 흐름에 의해 이루어지며 유당이 통과하지 못할 정도의 pore크기를 가진 막이 사용된다. 음전하의 NF막이 사용될 경우 음이온의 repulsion정도에 따라 막을 통과할 수 있는 염의 범위가 결정된다. 음이온의 전하가 클수록 제거범위가 커진다.</p>
Diafiltration(DF)	<p>DF의 목적은 UF또는 MF과정에서 막을 통과하는 용질의 회수율을 향상시키는데 있다. 이 방법은 농축액을 물로 희석하는 공정과 목표하는 정도까지 분리하는 공정으로 구성되어 있다.</p>

# 1. 우유처리 공정에서의 막분리기술의 이용

## 1.1 세균의 제거

전통적으로, 액상유제품에 오염되어 있는 미생물은 열처리로 제거하여 왔지만 MF막 및 관련 처리기술이 개발됨에 따라 액상유제품제조시 MF를 이용하여 오염되어 있는 미생물을 제거할 수 있게 되었다.

초기에 이루어진 연구결과에 따르면 세라믹 MF시스템으로 지방 함량 3.9%인 우유의 세균을 제거할 경우 먼저 지방을 분리하여 농도를 높임으로서 높은 수준의 flux를 유지하는 것이 필요하며 최적의 pore size는 0.6~0.7 $\mu$ m임이 밝혀졌다. 이후 MF에 uniform transmembrane pressure (UTMP) 개념이 도입되면서 Alfa-Laval사에서는 ml당 3만 cfu의 세균이 존재하는 탈지유의 세균수를 99.7% 제거할 수 있는 장치를 개발하였다.

UTMP개념은 통상의 concentrate-circulating system에 filtrating-circulating system을 도입한 것으로서 MF 모듈에서 독특하게 사용되는 것이며 Alfa-Laval system의 결과와 유사한 연구결과가 몇편 보고된 바 있다. 이 시스템에서는 비교적 낮지만 균일한 30-40kPa의 압력(transmembrane pressure)으로 high flux를 유지할 수 있는데 이 압력은 처리공정중 약간 증가하게 된다.

고온열처리(130 $^{\circ}$ C에서 4초)와 원유의 세균을 제거하기 위한 MF를 조합한 공정이 개발되어 상업적 규모로 장치(그림 1)를 구성하여 시험중에 있는데, 이 공정은 세균과 포자제거에 매우 효율적이긴 하지만 우유에 존재하는 병원성미생물을 100% 제거한다고 보장할 수는 없으므로 현재로서는 이 공정을 기존의 열처리에 의한 살균(pasteurization)공정에 대체하여 사용할 수는 없다.

MF에 의한 원유의 세균제거 연구결과에 따르면 총세균수는 99.8-99.9%가, *Bacillus cereus*는 99.95%가 제거되며 혐기성포자 미생물은 1리터당 3

개 이하로 감소된다고 한다.

우유를 MF/HTT로 처리할 경우 현재까지 이루어진 몇편의 연구결과에 따르면 주요 우유성분의 물리화학적 변화는 없는 것으로 알려지고 있다. 크림과 retentate 혼합물의 경우 고온열처리공정(HTT)에서 유청단백질이 변성되는데 이때 변성정도는 농축정도(concentration factor)와 열처리정도(온도와 시간)에 따라 다르게 나타난다. 결론적으로 MF/HTT 공정 결과 발생하는 우유 조성분의 물리 화학적 변화는 매우 작다고 할 수 있다.

우유에 존재하는 체세포수(somatic cell count)가 높을 경우 이 우유를 원료로 하여 제조된 유제품에서 문제가 발생할 수 있다. 확실한 연구결과에 의해 뒷받침 되는 것은 아니지만 MF/HTT 공정을 이용하면 우유중의 체세포를 100% 제거할 수 있을 것으로 기대된다. 액상시유나 기타 신선 유제품의 유통중 발생하는 문제는 대개 살균처리후에 살아남는 저온성 미생물에 의해 발생되는데 MF/HTT 공정을 이용하면 8 $^{\circ}$ C에서 저장할 경우 관능적으로 별 이상없이 유통기한이 12일에서 18일로 증가된다는 보고가 있다.

## 1.2 우유표준화 및 우유단백질의 농축

UF를 사용하면 물리화학적인 역효과를 내지 않고 유성분의 함량비를 조절할 수 있으며 유단백질의 표준화가 가능한데 이 때 retentate중의 유단백질, 유당 및 광물질의 상대적인 함량수준은 UF정도와 pH, 온도 등 UF조건에 따라 다르게 나타난다.

UF를 이용하면 원료유의 성분변이차를 극복하여 시유의 영양성분 표준화 및 분유의 성분 표준화를 할 수 있다. 발효유제품의 제조에 사용될 우유의 단백질과 총고형분수준을 UF로 표준화한 결과 분유나 연유(농축유)로 성분을 강화한 우유로 제조한 것보다 우수한 품질의 제품을 생산할 수 있었다고 보고된 바 있다. 막분리공정을 이용하여 발효유제품을 제조하면 점조성, 처리후 산성화현상 및

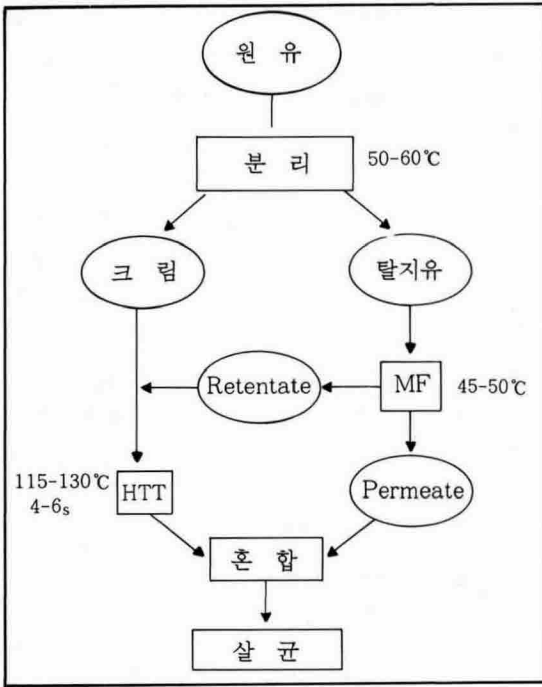


그림 1 Alfa-Laval사에서 개발한 우유처리용 “Bactocatch” 공정도  
HTT : High Temperature Treatment

유청분리 현상과 같이 제품의 품질에 영향을 주는 인자를 용이하게 조절할 수 있다. 또한 막의 종류, 분리조건 및 열처리정도를 잘 선택하여 사용하면 다양한 신제품 개발이 가능하게 된다. 그러나 UF 처리시 발생되는 여러가지 성분변화, 즉, UF가 유당과 광물질농도에 미치는 영향, 삼투압, 이온강도, 그리고 스타터균주의 성장을 억제하거나 활력을 변화시키는 물질의 농도 등을 고려하여 발효유 제품의 원료로 사용시에는 적절한 스타터를 선택해야 하고 적정 발효조건 선정에 유의해야 한다. 이러한 성분의 변화는 젖산균의 성장뿐만 아니라 발효형태 및 발효정도에도 영향을 줄 수 있으므로 치즈제조에 UF처리한 우유를 사용할 경우 이러한 영향을 충분히 고려되어야 한다.

최근에는 그림 2와 같은 막분리공정에 의해 생산되는 농축유단백질(milk protein concentrates)에 대한 관심이 높아지고 있다. 여기에서 농축유단백질(milk protein concentrates, MPC)과 유단백질(milk protein, MP)은 단백질함량이 각각 50 - 85%, 85%이상인 제품을 의미한다. UF, MF 및 DF를 조합하여 구성한 시스템을 사용하여 pH와 온도조건을 정확하게 조정하면 물리화학적, 기능적 성질이 다른 MPC와 PC제품을 제조할 수 있다. MPC 제조시에 관련되는 조성, 유동학적 성질 그리고 열안정성의 변화는 최종제품의 특성뿐만 아니라 농축의 다음공정에도 영향을 미치므로 실용적으로 그 중요성이 크다. MPC의 유동학적 특성은 UF공정을 50-60°C에서 실시하고 유동속도를 빠르게 하여 유청단백질의 변성이 최소화될 수 있도록 열처리 조건을 적합하게 선정하면 조절이 가능하다.

MF에 의한 우유단백질 분리기능(그림 2 참조)과 개량된 UF공정을 조합하여 사용하면 케이신의 종류별 함량비, 케이신과 유청단백질의 함량비, 단백질과 광물질과 유당간의 함량비가 다른 새로운 제품을 생산할 수 있다. 이와 같은 방법을 사용하면 필요에 따라 우유성분의 기능성을 조정할 수 있으며 고부가가치의 우유로부터 유래한 기능성 성분을 식품과 기타 다른 분야에 이용하는 것이 가능한데 여기에 관련된 주요 기능적 특성으로는 용해성, 보수력, 지방결합력, 유화력, 포말성 및 열안정성이 있다.

### 1.3 케이신의 분획

막분리기술을 이용하면 그림 2와 같이 케이신을 분획할 수 있다. 즉, 직경 0.2 μm의 pore size를 가진 막을 사용하여 MF방법으로 탈지유를 처리하면 우유를 permeate(주요 유청단백질로 구성되어 있음)와 retentate(원래의 케이신으로 구성되어 있음)로 분리할 수 있다. MF공정을 조정하여 사용하면 전체단백질중 케이신의 비율을 원하는 비율로 표준화하여 치즈제조에 사용할 수 있으며, MF

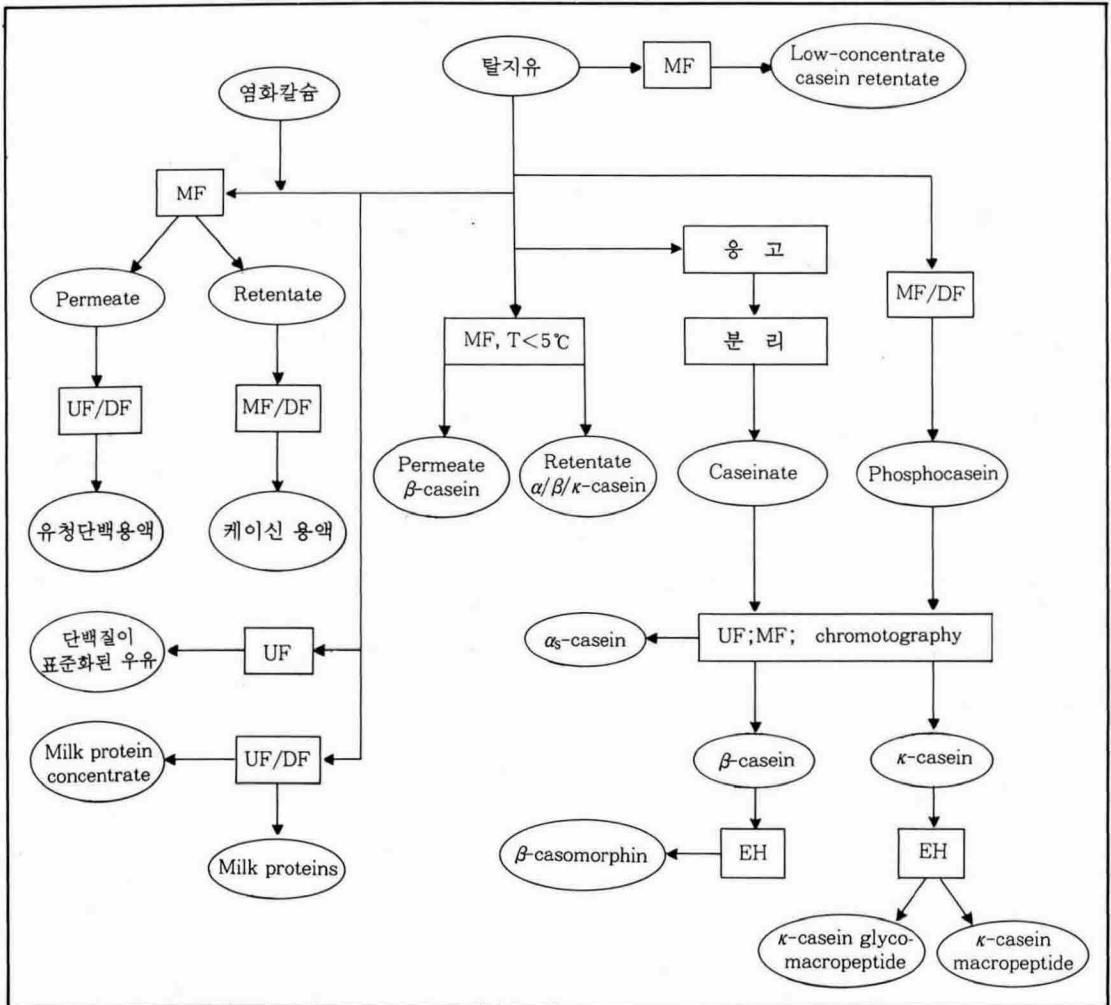


그림 2. MF와 UF를 이용한 우유단백질의 표준화 및 분획

EH : enzyme hydrolysis

T : temperature

retentate를 DF로 재차 처리하면 케이스인 함량이 90% 이상인 (총질소 함량비로 환산시) 제품을 얻을 수 있고 이 제품을 통상적으로 Ca-caseinate가 사용되는 분야에 쓸 수 있다.

몇가지의 케이스인 분획방법이 개발되어 있는데 기초원리는 케이스인의 결합특성을 이용한 것으로서 이 특성은 주로 이온강도와 온도의 영향을 받는다. 이 방법으로는 Ca-caseinate를 5°C에서 MF방법으로

처리하여  $\beta$ -케이신을 분리하는 방법, 탈지유를 4 °C, pH 4.2~4.6에서 MF로 처리하여  $\kappa$ -케이신을 분리하는 방법, Na-caseinate 희석용액을 UF로 처리하여  $\beta$ -케이신이 풍부한 permeate와  $\alpha_s$ -케이신과  $\beta$ -케이신이 풍부한 retentate로 분리하는 방법이 있다.

MF방법을 다른 막분리방법, 효소적 방법 또는 크로마토그래피 방법과 조합하여 탈지유 처리에 사용할 경우 케이신의 분리 및 정제가 가능할 것으로 보이며, 여기에서 유래한 생리활성 펩타이드는 의약산업에도 응용될 수 있을 것으로 보인다. 이들 펩타이드 중 특별히 관심의 대상이 되는 것은  $\beta$ -케이신으로부터 얻을 수 있는 모르핀과 유사한, 심장혈관과 면역기능을 자극하는 기능을 갖는 펩타이드이다.

## 2. 막분리기술을 이용한 치즈제조

치즈제조에서 막분리기술의 응용영역은 최근 다양한 분야로 확대되고 있다. 즉, 다양한 원료유를 사용한 후레쉬치즈, 연질치즈, 경질치즈, 반경질치즈 제조에 이용되고 있다. 또한 UHT 우유의 렌넷에 의한 응고성을 회복할 수 있는 막분리공정, 치즈원료유의 세균을 제거할 수 있는 MF공정 및 케이신이 풍부한 치즈원료유를 만들 수 있는 MF공정이 개발되고 있다.

UF처리를 하면 케이신의 zeta potential이 저하된다는 견해가 제시된 바 있는데, 이러한 저하효과가 사실이라면, UF처리된 우유의 경우, 효소적 응고반응시  $\kappa$ -케이신의 가수분해도가 처리하지 않은 우유에서 요구되는 수준보다 낮게 나타나는 현상과 UF로 먼저 처리된 UHT우유의 응고특성이 증진되는 현상에 대한 설명이 가능하다. 후자의 경우 UF처리에 의한 케이신 마이셀의 zeta potential 감소 효과에 의해 UHT처리중 발생하는  $\kappa$ -케이신과  $\beta$ -락토글로블린 간의 결합에 의한 응고의 저해작용이 보상될 수 있을 것으로 보인다.

치즈제조에 막분리공정(UF와 MF)을 이용할 때

는 막분리과정이 우유의 성질에 미치는 영향을 고려해야 한다. 이 경우 우유에 미치는 영향으로는 pH 6.7에서 UF를 실시할 경우 retentate의 완충력 및 이온강도의 증가, retentate의 유동특성에 대한 농도의 영향 및 처리된 우유의 렌넷응고특성의 변화 등이 있는데 이러한 영향은 매우 심각할 수 있으며 특히 고농도일 경우 기존의 치즈제조설비를 특별하게 변형하여 사용해야 할 필요성이 있을 수도 있다.

### 2.1 UF를 이용한 치즈제조

UF는 Quarg, Ricotta, Camembert 또는 brine 치즈(Feta)의 제조에 많이 이용되고 있으며 여러 가지 기술적, 경제적 장점을 가지고 있다. UF를 후레쉬 산성커드 치즈 제조에 이용할 때 처음에는 산성화된 우유의 막을 이용한 처리에 어려움이 있었다. 즉, 발효공정 전에 높은 pH에서 UF를 이용했을 때에는 단백질해력 상승과 광물질분포의 불균형에 의한 관능에서의 문제점이 발생하게 되는 것이다. 그러나 세라믹과 polysulfone 재질의 막을 제조하는 기술이 발전하면서 UF공정을 pH 4.4~4.6의 발효유에도 사용할 수 있게 되어 기존의 방법에 의한 것보다 동등이상인 여러가지 후레쉬치즈를 생산할 수 있게 되었다. 즉, 치즈제조설비의 이용효율이 높아졌고, 수율이 향상되었으며, 렌넷사용량이 절감되었으며 품질이 균일한 치즈를 제조할 수 있게 되었다. Quarg 생산의 경우 기존공정에 비해 탈지유 사용량이 13~14% 절감되었다.

치즈제조시 UF의 응용방법은 주로 치즈를 제조하기 전 또는 제조중에 이루어지는 원료유의 농축 정도에 따라 다르다. 농축계수를 1.2~2:1로 하면 유조성의 변이를 극복하여 성분을 표준화 할 수 있고 치즈 원료유의 단백질 함량을 4.5~5%까지 증가시킬 수 있으며 LCR(low concentrated retentate)을 사용하면 Box1에서 보는 바와 같은 여러종류의 치즈제조에 이용할 수 있다. LCR개념은 최근 치즈원료유를 완벽하게 표준화 할 수 있을

정도까지 발전하였으며 치즈제조에 LCR을 이용하면 수율의 증대, 용량면에서 치즈vat 이용성 증대 및 기존 치즈설비의 활용성 극대화 등 많은 장점을 기대할 수 있다. 또한 LCR을 이용하면 균일성이 증가된 제품을 생산할 수 있으므로 지방/단백질 비율을 원하는 수준으로 조절하여 얻을 수 있고, 치즈 원료유의 광물질 profile을 어느정도 조절할 수 있게 된다. 농축계수가 2-6 : 1인 medium 또는 intermediate-concentrated UF retentate가 Box1에서 보는 바와 같이 여러종류의 치즈제조에 사용되고 있는데 기존의 치즈제조방법으로는 이와 같은 우유농축물을 가공할 수 없으며 특별한 장치가 필요하다. 이렇게 생산된 중간제품은 주로 APV-SiroCurd공정에 의한 체다치즈 제조에 이용되고 있다. 이 공정에 의하여 고품질의 매우 균일한 치즈를 제조할 수 있으며, 수율이 6~8% 증가한다고 알려져 있다. 치즈제조에서 UF를 이용하는 세번째 응용분야로는 liquid pre cheese(LPC) 제조가 있다. LPC는 유청빼기를 끝낸 커드에 상당하는 조성을 가지고 있고, 여러종류의 후레쉬치즈 제조에 사용되어 왔는데 최근에는 후레쉬치즈 외의 다른 몇 가지 치즈제조에도 이용되고 있다.(표 1 참조)

표 1 치즈제조에서 UF의 이용

LCR를 이용하여 제조가능한 치즈	
Cheddar	Brick
Cottage cheese	Colby
Mozarella	Edam
Saint Paulin	Quarg
MCR을 이용하여 제조가능한 치즈	
Cheddar	Gouda
Feta	Blue cheese
Havarti	
LPC를 이용하여 제조가능한 치즈	
Camembert	Mascarpone
Quarg	Feta
Saint Maure	Mozarella
Ricotta	Saint Paulin
Cream cheese	
LCR : low concentrated retentate	
MCR : medium concentrated retentate	
LPC : liquid pre-cheese	

LPC를 이용하게 되면 치즈vat 없이 치즈제조가 가능하며 배출되는 유청의 양도 최소로 줄일 수 있다.

## 2.2 MF를 이용한 치즈의 제조

치즈제조산업에서의 막분리공정의 이용범위는 원료유의 농축에만 국한되지 않는다.

MF를 사용하면 우유중의  $\alpha_2$ -casein과  $\beta$ -casein 함량비를 조절할 수 있으므로 치즈의 품질에 관여하는 요인을 개선할 수 있게 된다. 예를 들어 체다치즈의 조직감 및 관능적 특성은 주로 숙성중의 단백질분해도에 따라 큰 영향을 받게 되는데, 우유의  $\alpha_2$ -casein과  $\beta$ -casein 함량비를 조절함으로써 숙성중 단백질분해에 의해 생기는 펩타이드 profile을 원하는 형태로 조절할 수 있을 것으로 보이며 따라서 다양한 품질의 제품개발이 가능할 것으로 보인다. 여기에서 특히 중요한 것은  $\beta$ -casein으로 부터 유래한 쓴맛펩타이드에 의해 발생하는 저지방 치즈의 관능적 결함을 극복할 수 있을 것이라는 점이다.

향후 MF는 UF와 비슷한 방법으로 치즈원료유의 단백질 함량 표준화에 이용될 수 있을 것이다. 또한 MF와 분무건조에 의해 제조한 케이신 마이셀 분말을 치즈원료유에 첨가하여 강화할 수 있을 것이다. 치즈제조에서 MF/HTT를 사용하게 되면 치즈의 품질을 향상시키고, 단백질분해정도를 조절할 수 있을 것이며 호기성 포자형성 세균에 기인한 품질저하문제를 해결할 수 있을 것으로 보인다.

물론 우유의 미생물학적 품질은 bactofugation에 의해 개선될 수 있다. 이 bactofugation에서는 기계적 분리공정 및 농축공정에 의해 우유중의 미생물을 우유전체용량중의 3% 정도에 해당되는 부분으로 농축이동시킨 다음 이 부분만을 고열(130°C, 3~4초)로 살균한 후 다시 원래의 우유로 환원시키게 된다. MF/HTT는 one-stage bactofugation보다 세균 및 포자제거에 더 효과적인 것으로 판명되고 있으며 MF/HTT로 처리한 우유로 치즈를 제조하면 렌넷에 의한 응고특성이 약간 좋아지며 커드의 보수성이 증가한다.

brining과정에서의 미생물 오염문제는 치즈산업에서 큰 관심사항이며 brine의 품질유지는 지속적으로 노력을 기울여야 할 부분인데, 이 brine처리에 MF를 이용하게 되면 이 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 즉 열처리나 화학제처리보다 월등한 결과를 기대할 수 있다.

### 3. 막분리기술을 이용한 유청가공

유청가공분야 중에서 가장 먼저 막분리 기술이 이용된 분야가 유청처리이다. UF와 RO는 현재 유청처리에 널리 이용되고 있으며, 다양한 농축유청단백(Whey protein concentrate, WPC)의 개발을 가능케 하였다. 최근 유청가공분야에서 막분리 기술이 이용될 것으로 보이는 유망한 분야는 단백질함량을 높은 농축유청단백(WPC)의 제조, 유청단백질의 분획, 유청단백질의 특정한 기능성 강화 분야이다.(그림 3 및 그림 4 참조)

#### 3.1 유청단백질의 기능성 강화

유청단백질은 영양적 가치외에도 유제품 및 기타 다른 식품의 성분으로서 유용한 여러가지 기능성, 즉 유화성(emulsifying), 포말성(foaming) 및 젤형성능(gelling)이 있다. 유청단백질의 기능성과 관련된 가장 큰 문제점 중의 하나는 우유 또는 유청의 불균일한 조성에 의하여, 또는 치즈제조 및 유청가공 조건의 차이에 따라 기능성이 불균일하다는 것이다.

유청단백질의 기능성에 영향을 주는 성분상의 요인에는 지질, 광물질(칼슘과 마그네슘) 및 구성단백질들의 함량비율이 있고 이외에 유청단백질의 hydrophobicity가 그 단백질의 기능성을 결정해 준다. 지질 및 잘게 부수진 유지방구막 조각들이 유청제품과 결합하게 되면 유청단백질의 기능성에 역효과를 주며, WPC 제조과정에서 UF막에서의 흐름을 나쁘게 하고 WPC제품에 생기는 불쾌취(off-flavour)의 생성을 촉진하게 되는데, WPC

제품제조시 지질을 제거하면 이러한 문제를 해결할 수 있다는 견해가 이미 제시된 바 있다.

막분리기술을 이용하여 유청중의 지질을 제거하는 방법으로는 약간의(moderate) 열처리를 할 경우 lipoprotein이 칼슘과 결합하여 응집되는 성향을 이용한 thermocalcic aggregation 기술이 있다. 이 방법에 의하여 lipoprotein을 응집시키고, 이 응집물을 pore size가 0.2  $\mu\text{m}$  인 MF로 제거하는 방법은 지질이 없는 유청단백제품 생산에 매우 효과적인 것으로 판명되었다.

이 방법은 다음과 같이 개량되었다. 즉, 첫번째 공정에서 비처리 유청대신 UF유청 retentate를 사용하여 MF retentate를 pH 7.5에서 유지하며 55  $^{\circ}\text{C}$ 에서 8분간 열처리를 하는 방법이 그것인데, 이 개량된 방법에 의하여 MF 공정중 flux가 개선되었고 단백질 회수율이 증가하였다. 또한 pore size가 0.2  $\mu\text{m}$  인 MF를 이용한 이 방법을 사용하면 유청중에 오염되어 있는 미생물중 상당량을 함께 제거할 수 있다고 알려져 있다. 여기에서 Lipoprotein-Ca 응집체는 원심분리로도 제거가 가능하지만 MF를 이용한 제거방법보다 비효율적이다.

MF를 이용하여 lipoprotein을 직접적으로 제거하는 방법은 문제점이 많은 것으로 지적되고 있으나 최근 MF 기술이 발달함에 따라 해결될 수 있을 것으로 기대되고 있다. 지질이 제거된 유청단백제품은 포말성(foaming)이 비처리된 제품보다 우수한 것으로 알려지고 있으며, 이때 사용되는 MF의 pore size가 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

MF로 처리된 유청의 UF retentate로 부터 형성되는 젤은 UF whey retentate의 젤보다 전단강도가 높다. UF과정 중 또는 전에 pH를 조절하거나 열처리를 하게 되면 retentate의 칼슘함량이 많아지게 되므로 WPC 젤의 강도를 높일 수 있게 된다. 전술한 지질제거기술을 사용하면 지질이 많은 retentate와 단백질이 많은 permeate의 두 부분으로 분리할 수 있게 되는데 유청의 MF retentate는 인지질함량이 매우 높으므로 이것을 정제하고 성분을 분리하면 식품과 화장품에 효과적



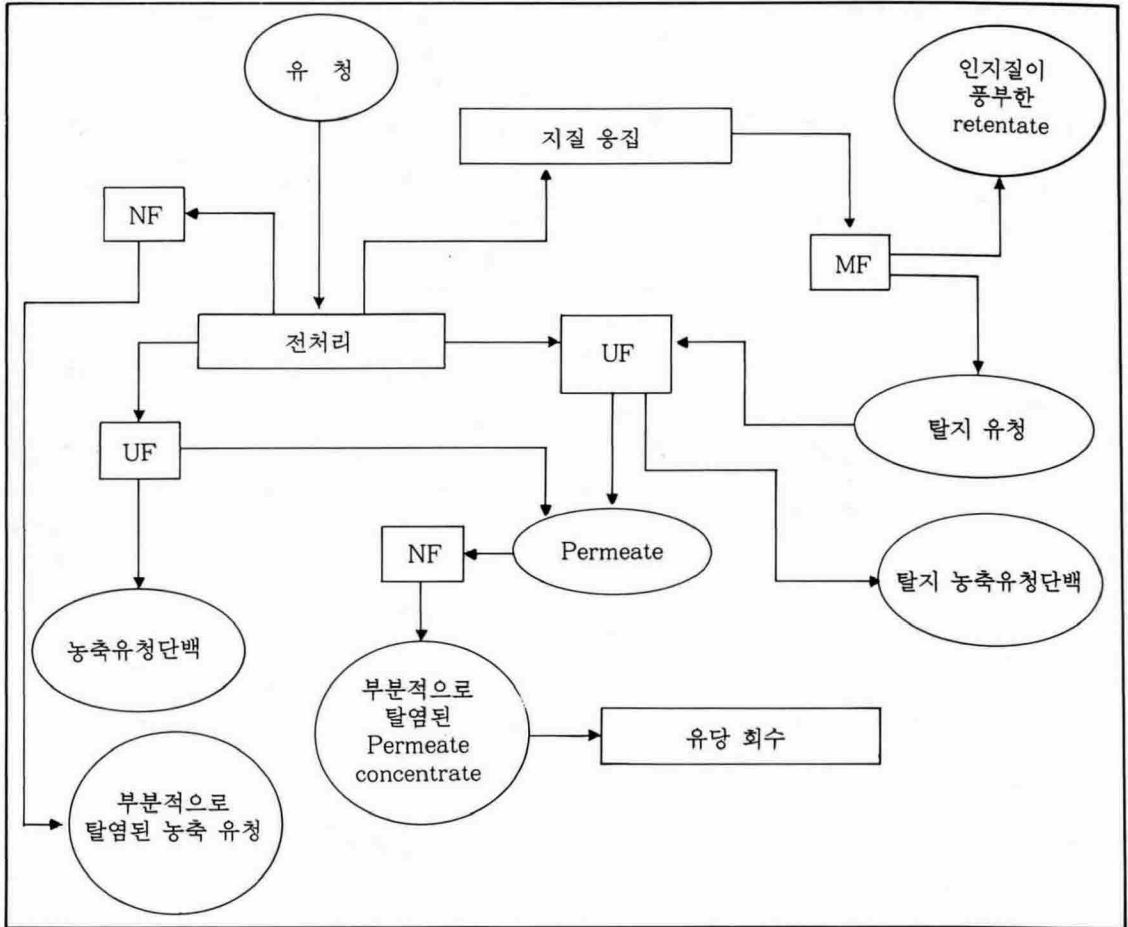


그림 3. UF, MF 및 NF를 이용한 유청가공

인 유화안정제로 사용할 수 있다. 또한 인지질의 영양적 가치를 고려해 볼 때 향후 식품산업에서 활용성이 높을 것으로 보인다.

### 3.2 유청단백질의 분획

유청단백질의 두가지 주요성분인 알파-락트알부민과 베타-락토글로불린은 기능적 특성이 서로 다르므로 이들 유청단백질의 성분을 분리하여 식품가공에 사용하는 것이 더욱 효율적인 이용방법이다.

이렇게 유청단백질을 분리함으로써 단일단백질로 이루어진 제품과 원하는 함량비로 조합한 제품의 생산이 가능하다.

그림4에서 보는 바와 같이 탈지된 유청으로부터 베타락토글로불린을 분리할 수 있는 열처리공정과 막분리공정을 조합한 기술이 개발되어 있다. 이 공정에서는 먼저 열처리공정(55℃, 30분, 낮은 pH)에 의하여 알파락트알부민을 중합시킨 후 응집되어 있는 응집물(알파락트알부민과 기타 베타락토글로불린 외의 유청단백질로 구성되어 있음)을 MF로

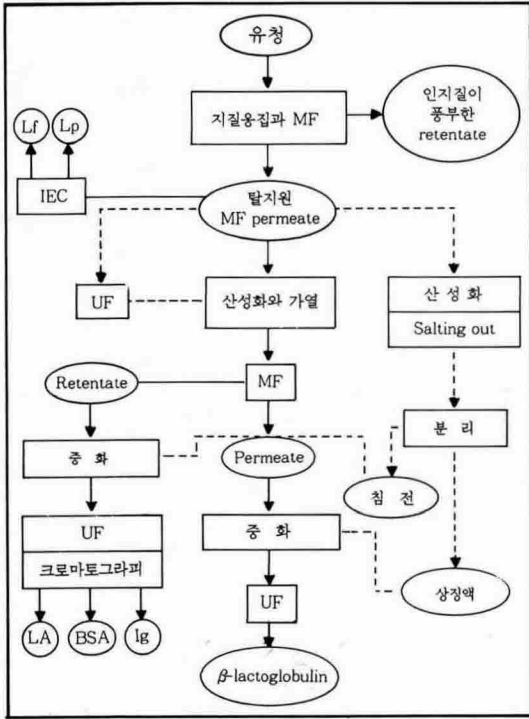


그림 4. 유청단백질의 분획

BSA : bovine serum albumin IEC : ion exchange chromatography  
 Ig : immunoglobulin LA :  $\alpha$ -lactalbumin  
 Lf : lactoferrin Lp : lactoperoxidase

제거하게 되며 이어서 MF permeate를 DF 또는 투석방법과 UF를 병행한 방법으로 처리하여 정제된 순수한 베타락토글로불린을 얻게 된다.

알파락트알부민은 MF retentate를 중성 pH에서 용해시킨 후 분자량 50kDa 이하를 통과시킬 수 있는 UF 막을 사용하면 순수하게 얻을 수 있다. 이때 알파락트알부민의 순도가 문제가 될 수 있는데 이것은 유청단백질 중의  $\kappa$ -casein glycomacropeptide(GMP)의 존재와 알파락트알부민의 부분적인 glycosylation에 기인한다. 정제된 알파락트알부민은 모유의 조성보다 가깝도록 유아

식을 제조하는데 매우 유용하게 사용될 수 있다. 알려진바에 의하면 정제되고 부분적으로 가수분해된 알파락트알부민은 필수 아미노산인 트립토판의 함량이 매우 높기 때문에 생리활성물질(bioactive substance)로서 nicotinic acid, kynurenate 및 serotonin과 같은 화합물의 형성과정에서의 트립토판의 역할과 관련된 생리적 활성을 가질 것이라고 한다.

유청단백질을 일종의 UF/DF로 처리하여 분리하면 최종 UF retentate에서 유청단백질 중에 존재하는 베타락토글로불린을 83% 이상 회수할 수 있으며 이때 순도는 (reverse phase HPLC로 분석시) 99% 이상이 된다. GMP는 매우 높은 생리적, 약리적 기능을 가지고 있고 유청은 GMP의 좋은 source가 된다. 분리회수방법은 이미 개발되어 있는데 이 분리 공정에서는 분자량 cutoff가 50-200kDa인 UF막이 사용된다.

유청을 pore size가 큰 친수성 셀룰로스 막으로 처리하면 낮은 분자량을 가진 화합물(알파 락트알부민과 베타 락토글로불린)과 높은 분자량을 가진 화합물(면역글로불린, bovine serum albumin 및 락토페린)로 분획할 수 있다. 탈지된 WPC를 이온교환 크로마토그래피로 분리하면 락토페린과 락토페록시데이스로 분획되는데 이러한 락토페린과 락토페록시데이스는 상업적 규모로 생산 가능하고 식품산업, 수의분야 및 제약분야에 이용될 수 있음이 밝혀졌다.

### 3.3 NF를 이용한 유청의 탈염

pH 4.5~5인 산성유청은 카테지치스나 퀘크(Quarg) 제조시 대량 생산되며, 체다치스 제조시 커드에 대한 가염공정을 거친 후에는 염을 함유하고 있는 유청이 생기게 된다. 이와 같이 치즈제조 중 생산된 일종의 부산물인 산성유청과 염이 많은 유청 중의 유청단백질은 기능성이 좋지않고, 폐기할 경우 환경오염문제를 야기하게 된다. NF는 광물질의 분리 및 농축을 동시에 가능케 하므로 유당

이나 탈염유청 제조시 염을 많이 함유하고 있는 유청의 염성분 제거(제거율 84%), 산성 유청의 부분적인 산 제거(42%) 및 sweet whey의 광물질을 부분적으로 제거하는데 이용되고 있다.(그림 3 참조) 또한 유당회수 공정에서 whey UF permeate의 농축 및 부분적 탈염에 이용되고 있으며 caseinate 제조시 생성된 유청의 부분적 탈염 및 농축에도 이용되고 있다.

#### 4. 결 론

유가공산업에서의 막분리기술은 관심이 점점 높아지고 있는 분야이다. 막분리기술을 응용함에 따

라 기존의 유제품의 품질이 개선되었고 신제품이 개발되고 있으며 공정의 효율화와 적정화가 이루어지고 있다. 특히 최근 개발되고 있는 진보된 막분리기술에 의하여 우유성분분리에 새 지평이 열리고 있다. 즉, 유제품의 영양적, 기능적 표준화가 가능해지고 분리된 유성분으로부터 새로운 기능성을 가진 성분을 얻을 수 있게 되어 유가공산업에 새로운 가능성을 주고 있다. 앞으로 막분리기술은 그 잠재력으로 보아 유가공산업에 큰 영향을 미칠 것으로 보인다.

출처 : *Trends in Food Sci. & Technol.* 6 (1), 12 ~19 (1995)