

# 乳加工에서의 膜分離法 利用

서울대학교 農科大學 食品工學科  
助教授 李 炯 周

## 1. 서 론

우유는 생물학적인 액체로서 수분, 탄수화물, 지방, 단백질, 광물질, 비타민, 효소 등을 포함하고 있다. 유가공을 하는 사람의 입장에서 원료인 우유의 특성을 본다면 우선 그 것이 수분을 많이 함유한 액체라는 점과 성질이 전혀 다른 여러가지의 생화학 물질을 포함하고 있다는 점이 두드러진다. 원료인 우유가 액체인 것은 유가공 공정을 개발하거나 기계를 설계하는데 편리한 점이 많으나 여러 성분을 모두 갖고 있다는 것은 유가공 제품의 종류에 따라 각 성분의 분리나 제거를 필요로 하게 하는 경우가 있다. 예를 들어 우유의 농축이나 건조에서는 수분을 제거하거나 함량을 줄이는 것이 목적이 되고 크림이나 버터의 생산을 위해서는 유지방을 분리하여 치즈 제조 중 커드가 형성되면 주로 지방과 케이스린이 나머지 성분과 분리되게 되고 기타 유당이나 광물질도 필요에 따라 공업적으로 분리할 수 있다. 1950년대 이후 사용되기 시작한 여러 막분리법은 최근 들어 선진국의 식품공업에서 광범위하게 쓰여지고 있으며 특히

유가공업계에서 많이 이용되므로 그 일부를 간단히 소개하고자 한다.

## 2. 막분리법 (Membrane Separation)

막분리법에는 역삼투(Reverse osmosis), 한외여과(Ultrafiltration), 전기투석(Electrodialysis) 등이 있는데 이 중 유가공에서 자주 쓰이는 것은 역삼투와 한외여과이다. 역삼투와 한외여과는 반투성막을 사이에 두고 용액 또는 현탁액에 압력을 가하여 용질 또는 교질을 분자량의 차이에 따라 분리하는 방법이다. 역삼투의 원리는 그림 1에서 살펴 볼 수 있다. 순수 용매와 용액이 반투성막을 사이에 두고 존재할 때 얼마의 시간이 지나면 용매부분 중 일부가 용액 쪽으로 이동하여 용액 쪽의 수위가 높아지는데 이를 삼투현상이라 하는 것은 잘 알려진 사실이다(그림 1, a). 반대로 용액 쪽에서 압력을 가해주면 용액 중의 용매가 반투막을 통해 유출되고 용액은 농축되며 이를 역삼투 현상이라 한다(그림 1, b). 역삼투나 한외여과는 모두 반투막과 압력을 사용하여 물질을 분리한다는 점

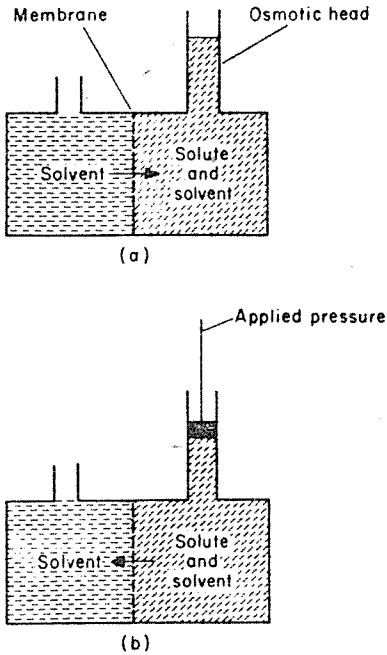


그림 1. 역삼투의 원리

(a) 삼투현상 (b) 역삼투현상

에서 같고 두 방법사이에는 명확한 구별이 없는 형편이다. 그러나 일반적으로 역삼투는 저분자량의 물질에 대해서도 높은 반투과성을 보이는 반투막을 사용하여 소금과 같은 저분자량의 용질을 용매와 분리시키는 과정을 말하고 한외여과는 선택성이 적은 막을 사용하여 저분자량의 용질을 통과시킴으로써 고분자량의 물질과 분리하는 과정을 말하게 된다. 막에 있는 미세공극의 크기가 작아 저분자량의 물질에 대해서도 선택성을 보이게 되는 역삼투의 경우에는 물질의 분리에 필요한 압력도 커지게 되며 따라서 이때 필요한 압력이 50기압 이상일 때는 역삼투, 그 미만일 때는 한외여과로 구별하는 방법도 있다.

전기투석의 경우에는 전하를 띠고 있는 이온 교환막을 사용하여 물질을 분리하는 점이 역삼

투나 한외여과와 다른 데 따라서 전기투석법에 의해 분리할 수 있는 물질은 이온으로 해리할 수 있는 것이며, 대표적인 것이 나트륨 이온과 염소이온으로 된 소금이라 할 수 있겠고 전기투석이 많이 쓰이는 공정도 용액에서 각종 염류를 제거하는 탈염과정이다(그림 2). 그림에서 보는 바와 같이 음이온 투과막과 양이온 투과막을 번갈아 설치하고 예를 들어 소금물을 통과시킨다. 양쪽 전극에 전류를 통하면 용액 중의 양이온과 음이온은 각각 음극과 양극을 향해 이동하게 된다. 그러나 그림에서 A로 표시된 막은 음이온( $Cl^-$ )만을 통과시키고 양이온( $Na^+$ )의 이동은 막으며 C로 표시된 막은 양이온만을 통과시킬 수 있으므로 그림 중 ②와 ④ 부분에서는 탈염이 ①, ③, ⑤ 부분에서는 염분의 농축이 이뤄져 윗부분에서 탈염수와 농축염수를 분리할 수 있다.

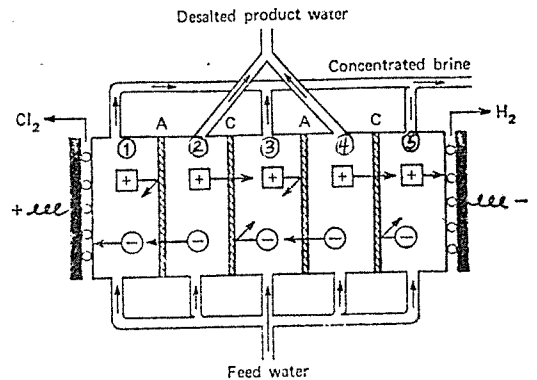


그림 2. 전기투석에 의한 탈염(脱鹽)

- A. 음이온 투과성막
- B. 양이온 투과성막

이상의 여러 막분리법은 성분의 분리나 농축을 할 때 재래식 증발 농축이나 여과에 비해 여러 가지 장점을 갖고 있다. 첫째는, 에너지 소모가 훨씬 적다는 점이다. 예를 들어 우유의 농축이나 물의 탈염을 위해 수분을 증발시킨다면 용액을 일단 비등점까지 가열해야 하고 비등점

에서 다시 상변화 즉, 액체에서 기체상태로 변화시키기 위한 기화열을 가해주어야 하는데 수분의 경우에도 기화열을 위해 막대한 에너지가 소모되게 된다. 그러나 막분리법에 의해 우유에서 수분을 제거함으로써 농축하는 방법은 가열이 필요없으므로 에너지 소비가 적으며 일반적으로 역삼투에 의한 양축과정은 재래식 증발농축에 비해 약 1/10 정도의 에너지만 요구하게 된다. 둘째는, 가열에 의한 성분의 변화나 손상을 피할 수 있다는 점이다. 대개의 화학반응이 높은 온도에서 빨라지므로 농축을 위해 가열하게 되면 효소반응, 생화학 반응, 기타 화학반응이 촉진되게 되어 품질의 열화를 일으키는 수가 많다. 또한 우유를 비롯한 각종 식품에 들어 있는 풍미 성분은 휘발성이 큰 경우가 많으므로 가열에 의해 손실될 우려가 큰데 감압상태 하에서 농축을 하여 풍미성분의 변화를 피한다 해도 이를 다시 응축시켜 회수하여야 하는 불편이 있게 된다. 셋째는 막에 있는 미세공극의 크기나 막의 성질을 자유자재로 조절할 수 있으므로 우리가 분리하려고 하는 성분의 분자량이나 기타 특성에 맞는 막분리법을 쉽게 찾을 수 있다는 점이다. 이 점은 수분의 제거에만 쓸 수 있는 증발농축이나 선택성이 적은 여과 등의 방법에 비해 커다란 장점이 아닐 수 없다.

유가공이나 식품공업에 효과적으로 사용되기 위해서는 여러가지 막이 첫째 여과속도가 빠르고 장기간 사용시에도 만족할 만한 분리능력을 가져야 하고, 둘째, 위생관리를 위한 세척과 소독에 견딜 수 있어야 하며, 셋째, 분리 조작조건하에서 수명이 길어야 하는 점이 요구된다.

그 동안 여러가지 종류의 재료와 형태가 막분리를 위해 개발되었는데 재료로는 셀룰로스에스터, 염화폴리비닐, 폴리아크릴로니트릴, 나

일론, 방향성 폴리아마이드 등이, 형태로는 평판형, 나선관형, 관형(Tubular) 등이 이용되어 왔다. 앞으로 유가공에서 여러 막분리법의 이용이 늘어날 것이 예상되므로 더욱 여러가지의 재료와 형태, 그리고 사용방법이 개발될 것으로 보인다.

### 3. 유가공에서의 막분리법 이용

#### 1) 우유의 농축

우유를 농축한 연유는 원래 우유의 저장성을 높이기 위해 개발된 것이나 근래냉장수단의 발달로 그 생산은 줄어들고 있는 형편이다. 그러나 아직도 연유는 아이스크림, 제과공업, 기타 식품의 원료로 사용되고 있으며, 환자의 병후 회복을 위해 농축된 영양음식으로 사용되기도 한다. 앞에서 얘기한 바와 같이 증발농축이 아니고 역삼투나 한외여과를 이용하여 우유를 농축할 경우 저렴한 비용으로 품질 좋고 영양소의 파괴가 적은 연유제품을 얻을 수 있다. 일반적으로 수분과 염류를 제거하면서 농축할 경우에는 49°C, 600psi 조건에서 역삼투를 이용하며, 기타 유당 성분도 제외시키며 농축시킬 때는 200psi 정도의 압력하에 한외여과를 이용하게 된다.

#### 2) 유청의 성분분리 및 농축

유청(乳清, Whey)은 치즈 또는 케이신 제조시 커드를 제하고 남는 액상의 물질인데 보통 수분 94%, 지방 0.1~0.5%, 단백질 0.8%, 유당 4.9%, 회분 0.5~0.8%, 젖산 0.1~0.4% 정도를 함유하고 있다. 즉, 전고형분이 6% 이상으로서 그 함량만을 따진다면 우유 영양소의 약 절반을 포함하고 있는 셈인데 얼마 전까지만 해도 그 이용이 적어 폐수로 처리되거나 가축 급식용으로 이용되기도 했었다. 그러나 유청에

포함된 유청단백질은 양질의 것이며 탄수화물의 함량도 높으므로 이들을 성분별로 분리하여 이용하려는 노력이 많았고 실제 유가공 분야에서 막분리법이 가장 먼저 그리고 활발히 이용되는 분야가 유청의 이용 부분이다. 우선 역삼투를 이용하여 염류를 제거하고 농축한 후 건조한 탈염 유청분말은 유당과 유청단백질이 농축된 형태인데 조제분유 제조시 유유성분에 유당과 유청단백질을 보강하기 위해 많이 사용되고 기타 유가공, 육가공, 제과, 제빵, 청량음료 등 식품공업의 원료 또는 첨가물로 널리 사용된다.

역시 역삼투를 사용하여 유당성분은 분리해 내면 나머지는 생물가가 높으며 유당불내증의 염려가 없는 양질의 유청단백질을 얻을 수 있으므로 여러 식품공업에 사용될 수 있고 또, 분리된 유당은 알콜생산을 위한 탄수화물 급원으로나 효모생산을 위한 기질로서 사용되고 있다.

현재 몇 나라에서는 유청을 원료로하여 알콜 또는 알콜음료를 공업적으로 생산하고 있으며 유청으로부터 효모를 생산해 사료자원으로 이용하려는 연구도 국내외에서 활발히 진행되고 있다.

유청을 성분별로 분리하지 않고 바로 한외여과를 이용해 농축한 농축유청이나 이를 건조한 유청분말은 다시 치즈제조시 첨가하거나 여러 식품제조시 원료로 사용될 수도 있고 케이스 제조시 부산물로 나오는 산성유청분말은 리코타 등 몇 종류 치즈의 응고제로 사용되기도 한다.

### 3) 한외여과를 이용한 치즈의 연속제조방법

일반적인 치즈 제조공정은 원료우유에 유산균의 접종, 배양, 응유효소 첨가, 응고, 절단, 유청빼기, 압착 등의 과정을 거친다. 재래식 치즈제조법은 비연속 공정이어서 인력의 사용이 크고, 다량의 유청이 나오며 유청단백질을 이용할 수가 없다는 점에서 개선의 여지가 있어 왔다. 1969년 이래 치즈 제조시 원료우유를 막

분리 처리를 함으로서 위의 단점을 극복하려는 노력이 있어 왔으며 현재 미국·프랑스·덴마크 등 몇 나라에서 이 방법이 응용되고 있다.

이 방법의 기본 원리는 보통 탈지유인 원료우유를 한외여과에 의해 치즈의 조성과 가압도 록 농축한 후 필요에 따라 유지방을 첨가하며, 이에 미생물 종균, 응유효소, 염류 등을 첨가해 치즈를 만드는 것이다. 종래의 방법과 비교한다면 유청분리 과정에서 수동적으로 제거되던 수분이 미리 연속적인 방법으로 제거되어 별 다른 유청분리 과정이 필요없고 따라서 유청과 함께 유실되던 유청단백질의 이용이 가능해 치즈 생산효율을 높일 수 있는 것이 특징이다. 일반적으로 원료 탈지유는 2~52°C, 40~50psi 등의 조건에서 여러번 한외여과막을 통과시켜 치즈 종류에 따라 2~6배로 농축한다. 이를 32°C 정도로 조정후 크림, 스타터, 응유효소, 소금, 색소 등을 가해 혼합한 다음 치즈 형틀에 넣어 미숙성 치즈를 얻게 된다. 치즈 종류마다 제품특성이 달라 구체적인 공정은 달라지나 한외여과를 이용해 제조될 수 있는 치즈 종류는 카뎀베르(Camembert), 프로마지(Fromage), 크림(Cream), 카티지(Cottage), 쉐다(Cheddar), 모자렐라(Mozzarella) 등이다. 이 방법의 장점은 수율이 높아지고, 연속적이며, 폐쇄계에서 생산될 수 있어 위생적이며, 수질오염을 줄인다는 것 등이다. 그러나 온도와 pH에 대한 한외여과막의 제한때문에 어려움이 전혀 없지 않았으나 현재 이 문제가 괄목할 만한 속도로 개선되고 있으며, 앞으로 많은 발전이 있을 것으로 예상된다.

### 4) 폐수처리

폐수처리시 막분리를 이용하는 것은 유가공 공장에 한한 것이 아니라 일반 식품공장에 모두 응용될 수 있다. 세계적으로 폐수처리에 대한

규제가 까다로워져 모든 사람의 관심사가 되고 있다. 유가공 공장을 비롯해 식품공장에서 배출되는 폐수에는 이용 가능한 유기물이 많은데 이를 역삼투, 한외여과, 전기투석 등의 방법으

로 고형분을 회수하면 폐수의 산소요구량을 낮출 수 있으며 회수된 유기물은 부산물 등으로 이용할 수 있게 될 것이다.

## 報道資料

### — 농촌일손 支援센터 設置運營 —

農水産部는 農繁期를 맞이하여 不足되는 農村일손을 돕기 위하여 都市遊休 勞動力을 關係機關과 協助하여 計劃的이고 實質的인 支援이 되도록 措置하는 한便 都市 零細民就勞對策도 同時에 可能토록 措置하였다.

農村 일손 돕기는 國家機關 地方自治團體, 國營企業體, 民間企業體 및 其他團體 등 모든 機關이 參與토록 하고 軍人과 學生도 作戰 및 授業에 支障이 없는 範圍內에서 積極參與토록 協助 要請하였다.

參與者에 對한 參與 意識을 鼓吹시키기 爲하여 일손돕기를 한 筆地에 對하여는 一定한 規格의 팻말을 設置하고 모내

기한 筆地에서 반드시 가을에 벼베기 作業도 連繁 實施토록 措置하였으며 또한 옛날부터 農繁期에 慣習적으로 내려오던 “품앗이”라는 서로 도와 營農하는 美風이 近來 점차 사라져 가고 있어 農村일손 돕기의 一還으로 “農村품앗이”를 積極勸獎토록 하였다.

農水産部는 都市 遊休勞動力을 農村으로 擴大 活用하고 일손돕기에 便宜를 圖謀하기 위하여 大都市 市廳에 農村일손 돕기 支援센터를 設置하여 同센터에 서울 75-7648, 大邱44-4964, 仁川 73-2802, 光州 55-8024 等 代表電話를 設置運營하고 있다.