

UF를 이용한 Cheese 제조

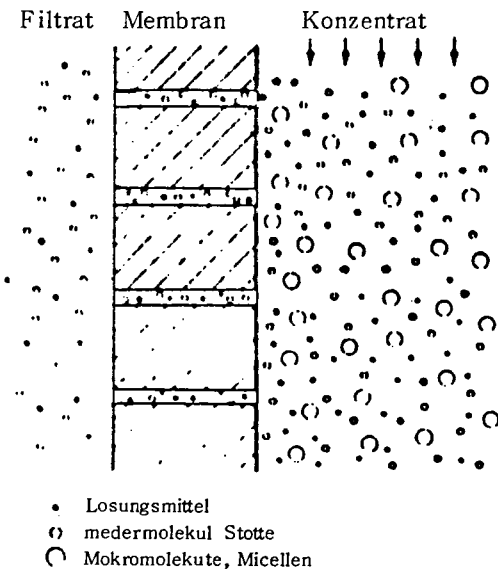
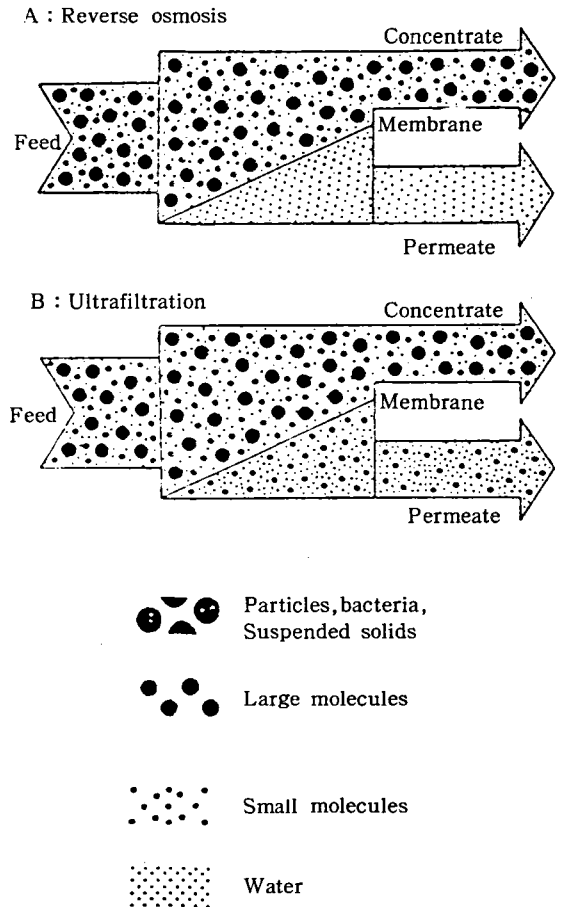
서울우유협동조합
 시설건설단 기술과장
 김재교

I. UF 시설의 기본원리 및 구조

UF는 용도에 따라 차이가 있으나 보통 여과공(pore)의 크기가 $0.002 \sim 0.01 \mu(2 \sim 10 \text{ mm})$ 인 반투과성 막(membrane)을 이용한 일종의 여과법으로서 분자량이 다른 물질들이 혼합되어 있는 원료액을 여과하면, 물과 저분자 물질은 막을 통과하여 투과액(permeate)으로 분리되고, 고분자 물질은 농축액(concentrate)으로 회수된다(그림 1, 그림 2 참조).

이러한 특성으로 해서 거의 순수한 물만을 투과시키는 RO(역삼투)와 구분하고 있다. UF와

RO의 적용 범위를 그림으로 보면, 도표 1과 같다.



<그림 1> 여과공(Pore) 모형도

<그림 2> UF/RO의 원리 모형도

〈도표 1〉 각종 여과법의 적용범위

	Scanning electron microscope		Optical microscope		Visible to naked eye	
	Ionic range	Molecular range	Macro molecular range	Micro particle range	Macro particle range	
Micrometers (Log scale)	0.001	0.01	0.1	1.0	100	1000
Angstrom units (Log scale)	1	100	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁷
size of Molecular weight	100 200 1,000 10,000 20,000	100 200 500 1000 2000 3000 5000 100,000	2000 3000 5000 100,000	2 3 5 8	2 3 5 8	2 3 5 8 2
Relative common materials	Aqueous salts Metal ion	Pyrogen Virus	carbon black paint pigment	Yeast cells Bacteria	Human hair Mist	Beach sand
Process for separation	Sugars Atomic radii Reverse osmosis	Colloidal silica / particles Albumin protein	Tobacco smoke Lung damaging dust	Coal dust Red blood cells Milled flour	Particle filtration	
The filtration spectrum		Ultrafiltration	Microfiltration			

대체로 UF에 의해 분자량 1,000 이상의 물질이 회수될 수 있는데, 우유에 있어서는 유당, 염류 등이 수분과 함께 투과되고, 단백질, 지방 등이 회수되어진다(도표 2 참조).

〈도표 2〉 우유성분별 분자량 비교

Component	Molecular weight
Water	18
Chloride ion	35
Calcium ion	40
Lactose	342
α -lactalbumin	14500
β -lactoglobulin	36000
Blood serum albumin	69000
Casein micelles	10^7-10^9
Fat globules	-

UF용 membrane은 초기에는 cellulose acetate로 만든 것이 사용되었으나, 열 및 pH 변화에 대한 저항성이 약하고, 미생물과 화학세척제, 살균제 등에 민감하기 때문에 실용적이지 못하여, synthetic polymer인 polyamide, polysulphone 등으로 제조된 것이 개발되었는데, 오늘날에는 polysulphone 제품이 가장 널리 사용되고 있다.

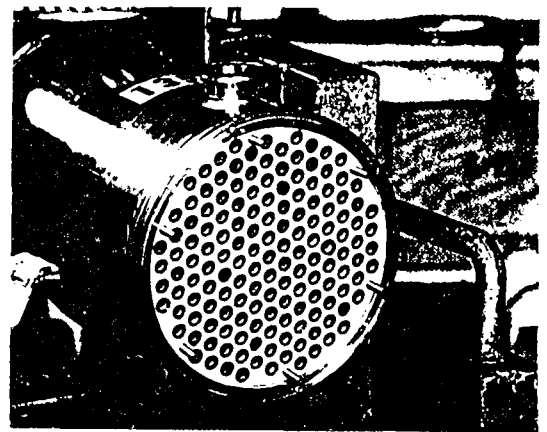
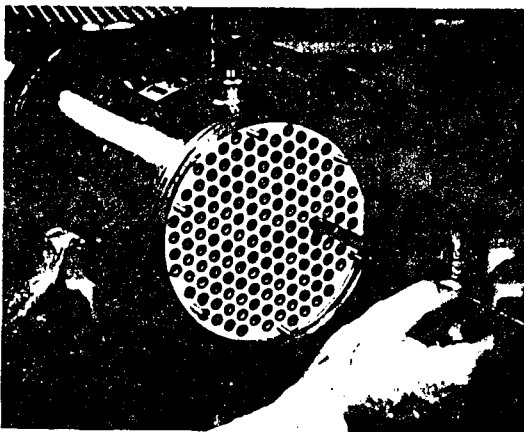
Zirconium oxide라는 광물질로 만든 새로운 형태의 membrane도 개발되어, carbon support와 함께 Tube형으로 제작, 시판(그림 3 참조)되고 있는데, 이는 400°C까지의 고열에 견딜뿐만 아니라, 모든 pH 영역에서 사용가능하며, 또한 20 bar까지의 고압에도 투과 특성의 변화없이 견디므로, 고농도의 단백질 농축액을 얻을 수 있다.

UF module은 그 형태에 따라 Plate & Frame형, Tubular형, Hollow Fiber형, Spiral Wound형 등으로 구분되어지는데, 유가공업에 있어서는 membrane 세척 및 교환이 용이한 Plate & Frame형과 Tubular형이 널리 쓰이고 있다.

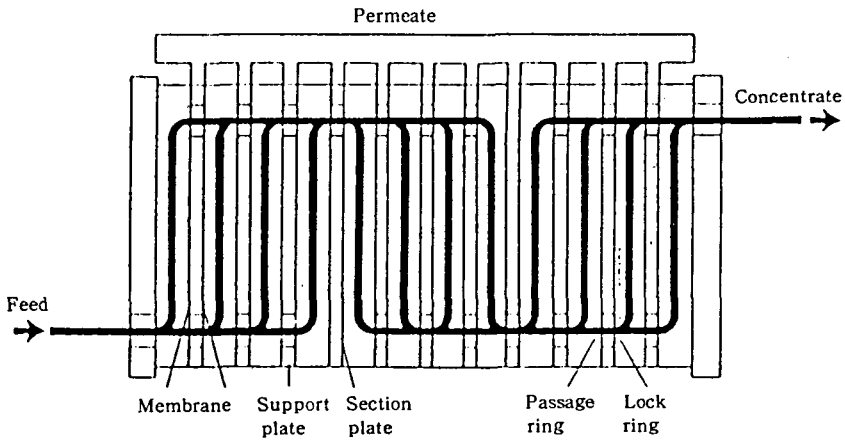
UF 처리공정에는 Batch식(그림 8 참조)과 연속식(single pass type, 그림 9 참조)이 있는데, Batch식 공정은 주로 실험용, 또는 소규모 공장에 적용되며, 대규모 상업적 처리에는 Multi-stage형 연속식 공정이 이용된다(그림 10 참조).

UF 처리에서는 원료액의 온도, 유속 및 유입 압력 등에 따라 permeate 투과량(Flux: Permeation rate)이 변동되므로, 가장 적합한 조건을 충족시켜 주어야 한다.

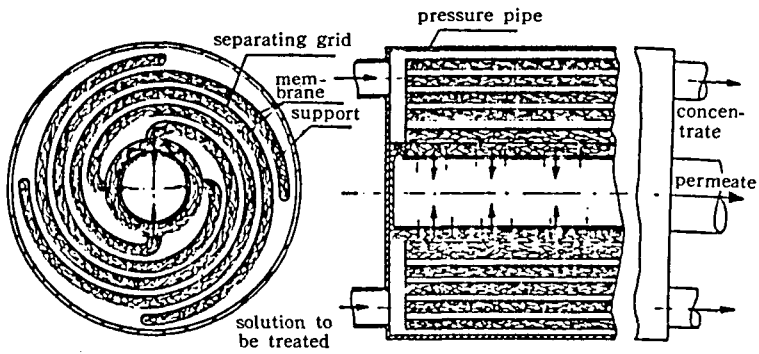
원료액의 온도는 신속한 투과를 보장하면서도



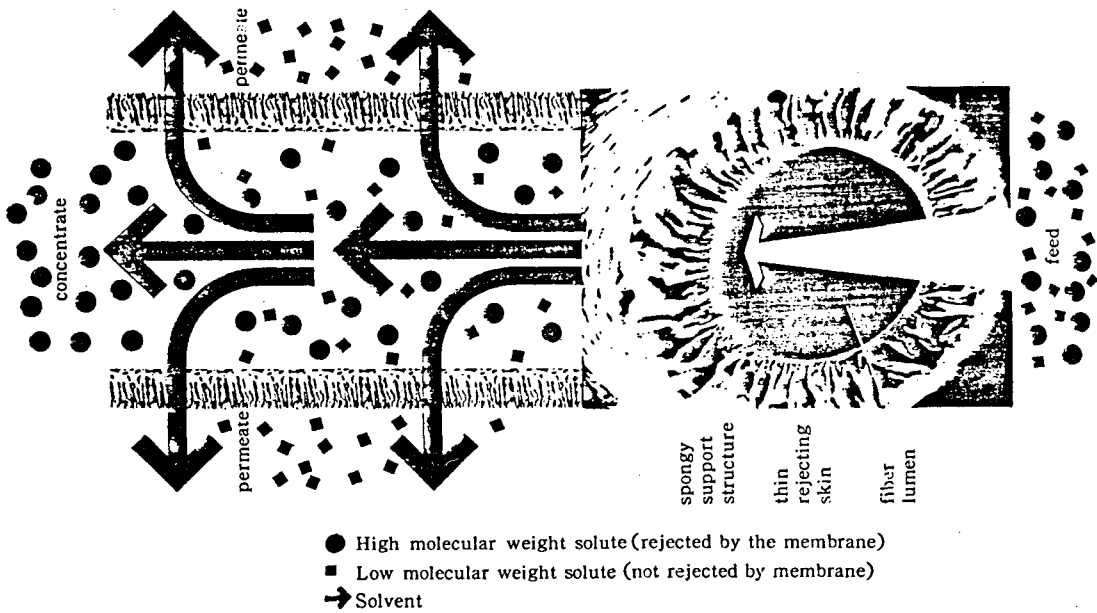
〈그림 3〉 Zirconium Oxide로 제조된 membrane module



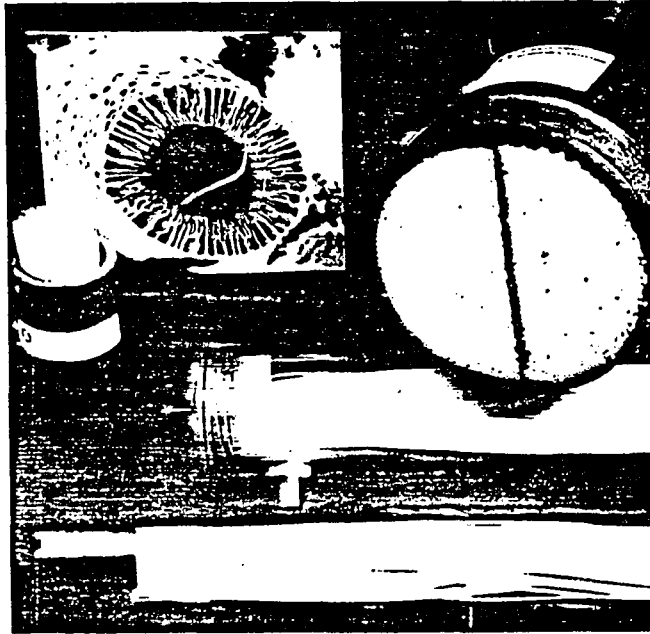
〈그림 4〉 Plate & Frame type



〈그림 5〉 Spiral Wound type



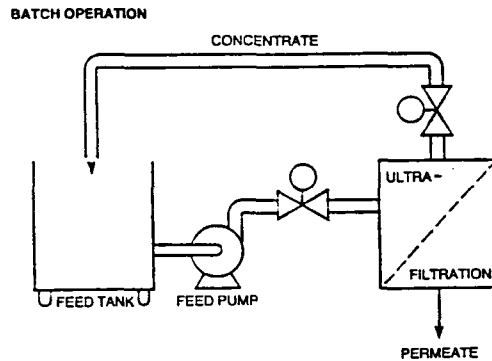
〈그림 6〉 Tubular/ Hollow Fiber type



〈그림 7〉 Hollow Fiber type module

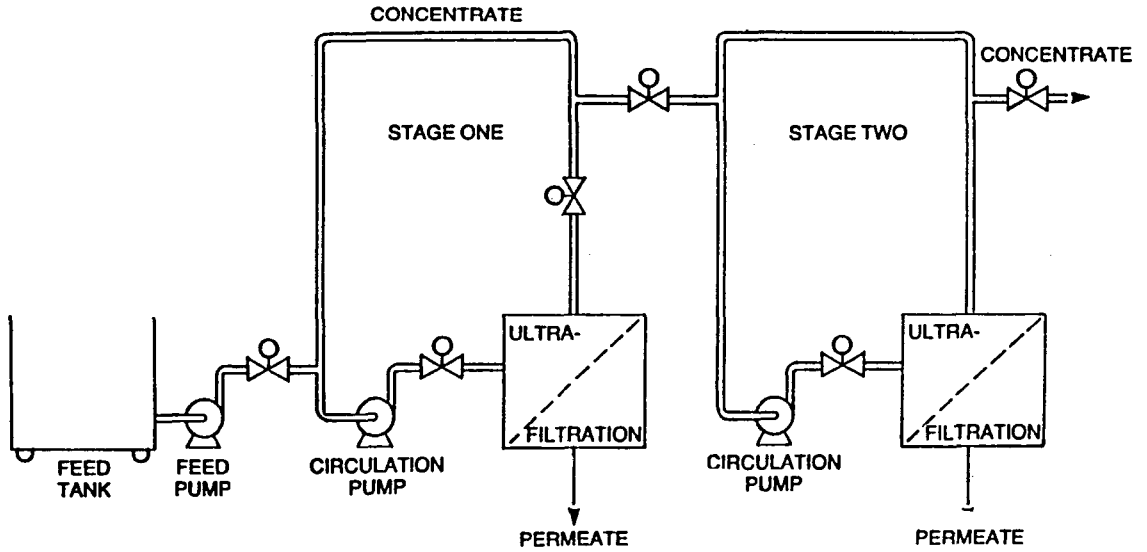
UF Module 형태별 주요 제조회사

형 태 명	제 조 회 사	비 고
Plate & Frame 형	DDS(Denmark), Rhone-Poulenc(France) Dorr-Oliver(USA)	
Tubular 형	Abcor(USA), Kalle(W. Germany) PCI(England), Phone-Poulenc, BSH(W. Germany)	
Hollow Filer 형	Romicon(USA), Du Pont(USA) Krupp(W. Germany)	
Spiral Wound 형	Abcor, Ladish(USA) Osmonics(USA)	

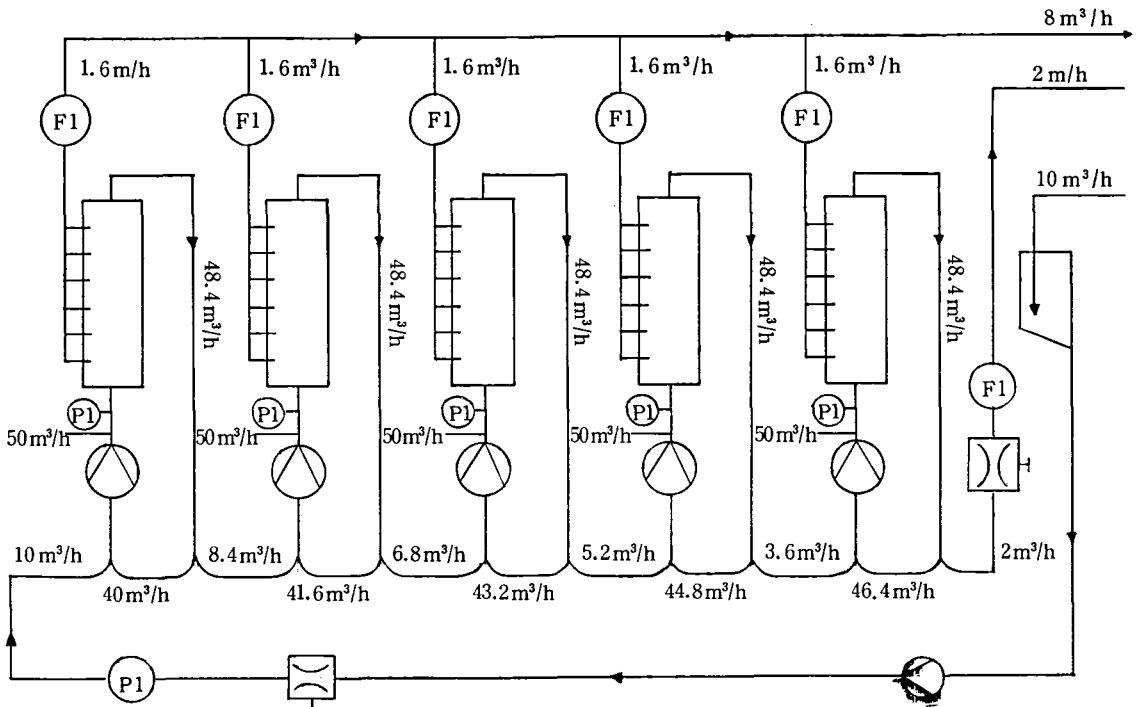


〈그림 8〉 Batch식 UF Process

CONTINUOUS OPERATION



〈그림 9〉 연속식 UF-Process



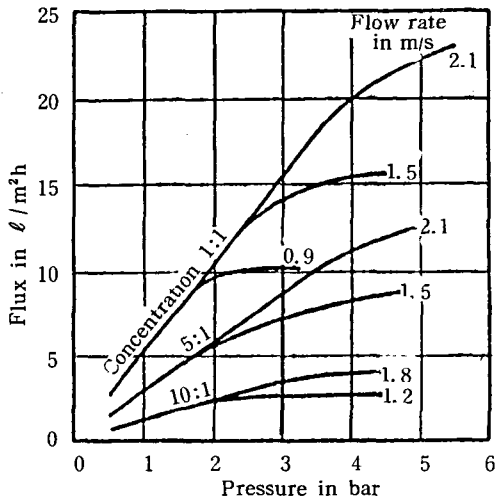
〈그림 10〉 Multi-Stage UF Module (예)

세균성장 적온이 아니어야 하며, 또한 membrane 이 견딜 수 있는 범위이내이어야 한다.

일반적으로 유입압력이 높으면 투과율도 높아 지나 너무 높은 압력은 membrane 구조를 파괴할 위험이 있으며, 일정한 유속하에서는 압력이 어느 수준을 초과할 경우 Flux 증가율은 점차 둔화되거나 오히려 감소된다. 유속을 높이면 제품의 농축도가 떨어지므로 유입압력을 높이거나 UF module 수를 늘려야 하는데, 그리하면 시설 자금과 가동 비용도 증대되어야 하기 때문에 적정수준의 유속이 결정되어야 한다.

시설의 형태 및 원료액의 종류에 따라 차이가 있기는 하지만 대부분의 경우, 온도 50~60℃, 유속 2~3 m/sec 그리고 유입압력은 4~10 bar (0.4~1 MPa)가 적합한 것으로 되어 있다.

〈도표3〉 UF에서의 유속, 유입압력, 투과량 비교



II. 유가공 산업에서의 UF 이용

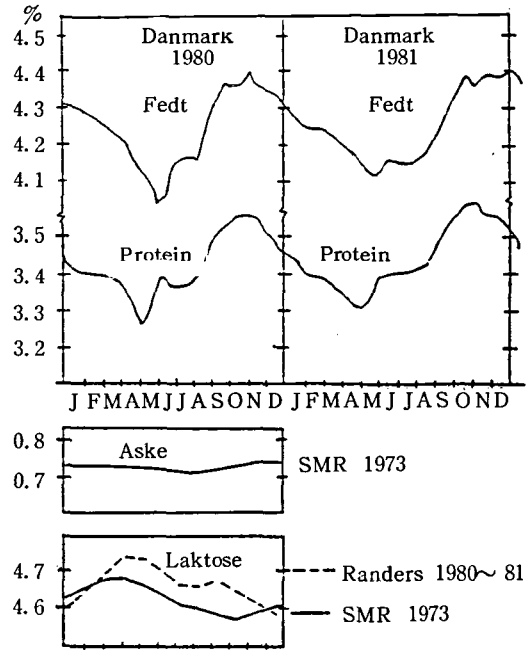
Whey, 또는 우유에 대한 UF처리는 단백질의 회수 및 농축이 주목적으로서 유가공 산업에서의 적용 대상은 다음과 같다.

- 단백질 표준화(또는 강화) 우유 및 분유
- Yoghurt, Ymer, Labneh (Concentrated Yoghurt) 등의 발효우유 제품
- Whey Protein Concentrates (WPC)

- 연유, 아이스크림, 유아식 등
- 각종 치즈 제품

우유중 단백질 함량은 계절별로 변화(도표 4 참조)할 뿐 아니라 지역, 유우품종 등에 따라서도 차이를 나타낸다.

〈도표 4〉 Seasonal Variations in the Milk Composition



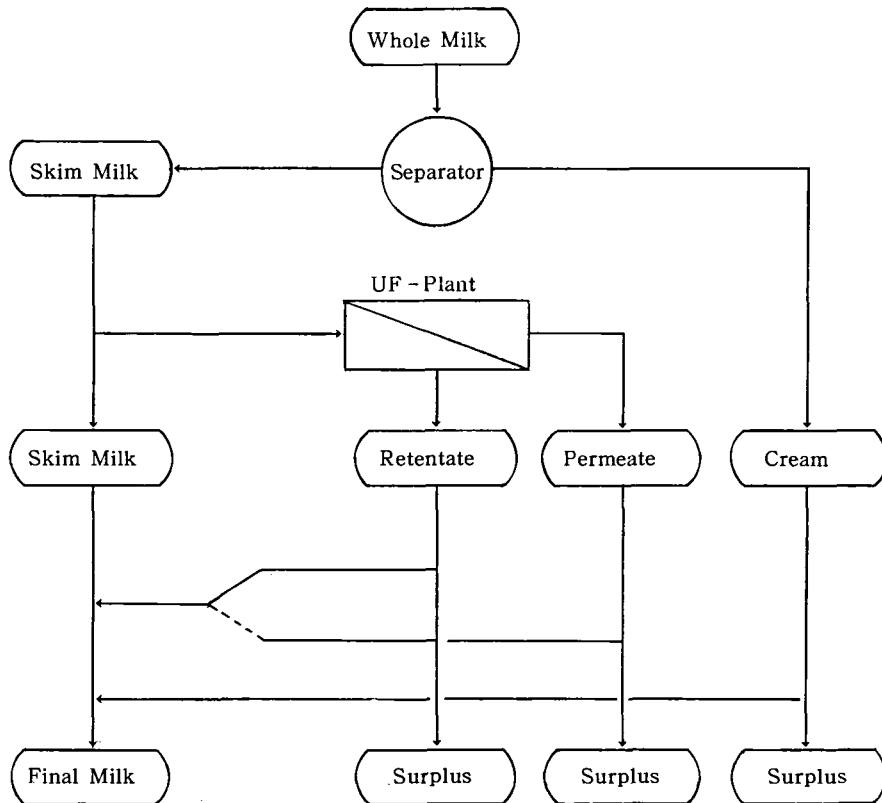
(Source : E. Waagner Nielsen, "Mælkekemi" (1985))

List of Words : Fedt = fat
Aske = ash

따라서 우유제품, 분유, 치즈 등의 원료유 중 단백질을 표준화 하므로써, 제품생산 공정관리를 용이하게 하고, 최종제품의 품질을 균질화할 수 있다(도표 5 참조). 실험 결과에 의하면, 전유(지방 3.5%)에서는 1.5~6.5%, 부분탈지유(지방 1.5~1.8%)에서는 1.75~6.5%, 탈지유에서는 3.1~6.4% 범위내에서 관능적 요소의 변화를 가져오지 않고 UF 시설로 단백질 함량을 조정할 수 있는 것으로 추정되었다.

Yoghurt 제조시 고품분 증가를 위하여 증발

〈도표 5〉 Fat/TRP standardization



농축시키거나 탈지분유를 첨가하는 대신, UF로 농축한 원료유를 사용하여 제품조직의 점도 및 외관에서 우수한 결과를 가져왔다. Ymer는 SNF 11% 이상, 지방 3.5%, 단백질 6% 이상의 덴마크 발효유제품으로 UF를 이용하므로써 원료유 소비량이 15~20% 절감되고, 또한 품질향상 및 공정의 간소화가 이루어졌다.

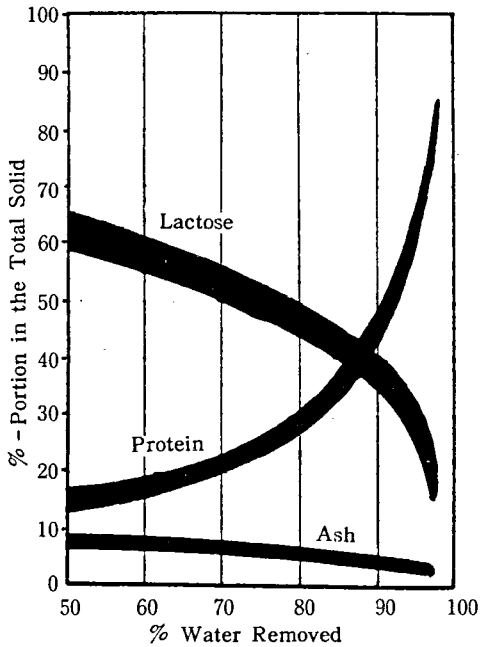
중동에서 널리 알려진 Labneh(도표 6 참조)의 제조에 있어서도 UF를 이용하여 11%의 수율 증가와 25%의 시간단축을 가져왔다고 한다. UF처리가 가장 먼저 성공적으로 적용되어오고 있는 분야가 Whey Protein Concentrates 생산인바, Whey를 UF 처리하면, 도표 7에서 보는바와 같이, Permeate가 증가할수록, 고흡분중유당 및 회분의 비율은 감소되고, 반대로 단백질의 비율은 증가된다.

여기에서 제조된 Whey Protein Concentrates는 Water binding, Gelformation, Emulgating,

〈도표 6〉 Chemical composition of Labneh made by traditional and Ultrafiltration methods

	Traditional Labneh %	Ultrafiltration Labneh %
Total solids	26.10	26.60
Fat	10.00	9.80
Protein	10.30	11.00
Lactose	3.56	3.96
Salt	0.53	0.45
Ash	1.14	1.52

<도표 7> UF 처리에 의한 Whey 성분변화



<도표 9> Whey Protein 구성비율

Proteins	Weight %
β -lactoglobulin	54
α -lactalbumin	21
Serum albumin	5
Immunoglobulins	10
Proteose-peptons	10

III. UF를 이용한 치즈제조

1969년 프랑스에서 최초의 UF 치즈 생산 공정이 고안되었으며, 이 공정의 발명자인 Mau-bois, Mocquot 및 Vassal 등의 이름 첫글자를 인용하여 MMV-Process라고 일컫는다.

MMV-Process는 주로 Feta, Camembert, Ricotta 등의 soft cheese 생산에 적용되었으며, 그중에서도 특히 덴마크에서의 Feta cheese

<도표 8>

Composition	Product		90% demin.	WPC-	WPC-	WPC-
		Whey powder	whey powder	35	60	80
True protein	%	9.7	10.6	29.9	54.0	71.2
NPN	%	3.3	3.5	3.4	3.0	4.8
Total protein	%	13.0	14.1	33.3	57.0	76.0
Lactose	%	72.9	79.0	51.0	25.8	5.3
Ash (minerals)	%	8.1	0.8	6.3	4.4	3.1
Fat	%	1.0	1.1	3.1	5.5	7.6
Other components*	%	-	-	1.3	2.3	3.0
Total solids	%	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0
Protein/solids	%	13.7	14.8	35.0	60.0	80.0

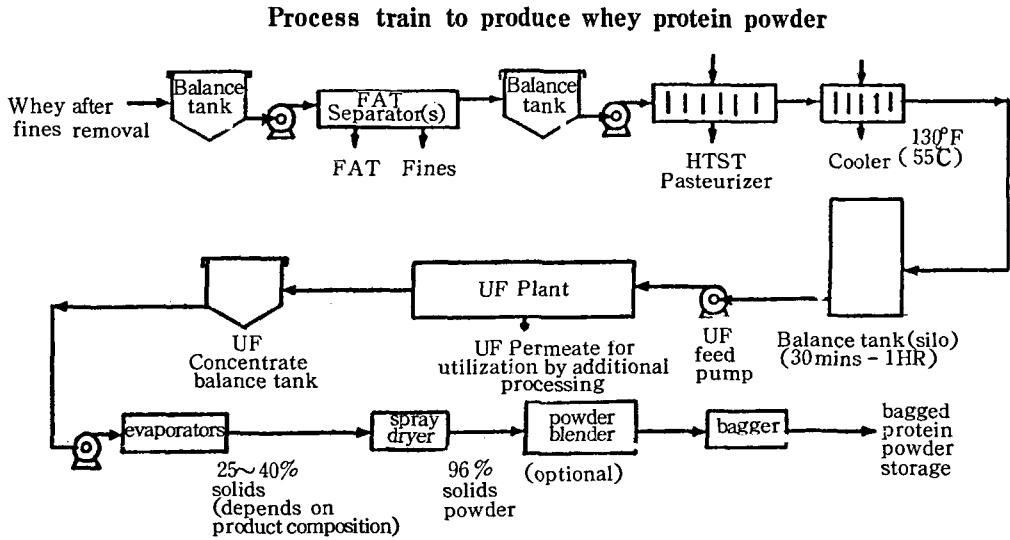
*) "Other components" in WPC refers to components which are not found in standard WPC analyses. If the N-conversion factor is higher than $\%N \times 6.38$, part or all of them may be protein

Composition of whey powder, demineralized whey powder and WPCs.

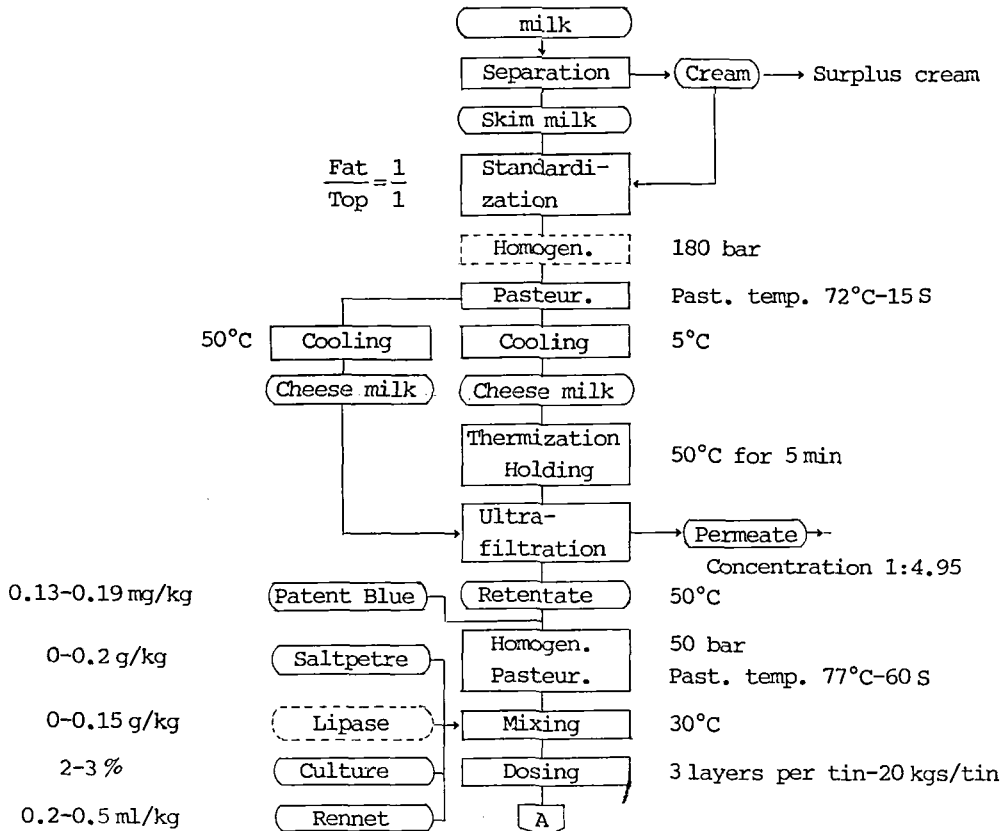
Whipping 등의 기능적 특성이 양호하여, 아이스크림, 빵, 치즈 및 육가공제품이 첨가물로 사용되며, 또한 뛰어난 영양가로 인하여 유아식, 환자식 등에 사용되기도 한다.

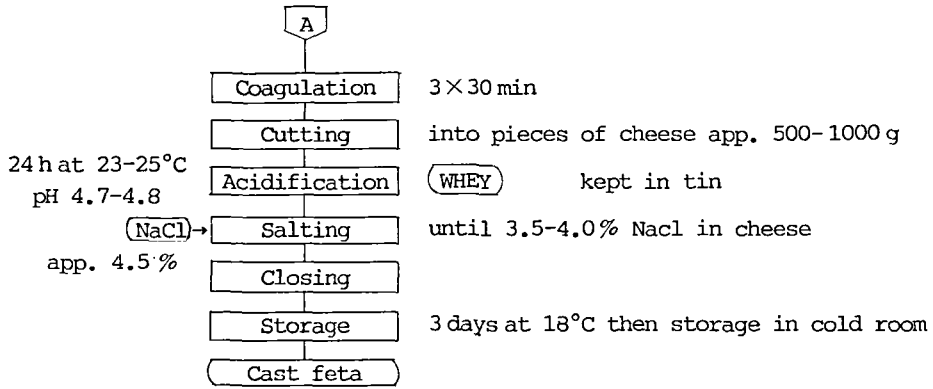
생산에 가장 성공적으로 이용되어 오고 있는데, 그 대표적인 제조공정을 소개하면 도표 11과 같다.

<도표 10> WPC 생산 공정도



<도표 11> Cast Feta 치즈 제조공정





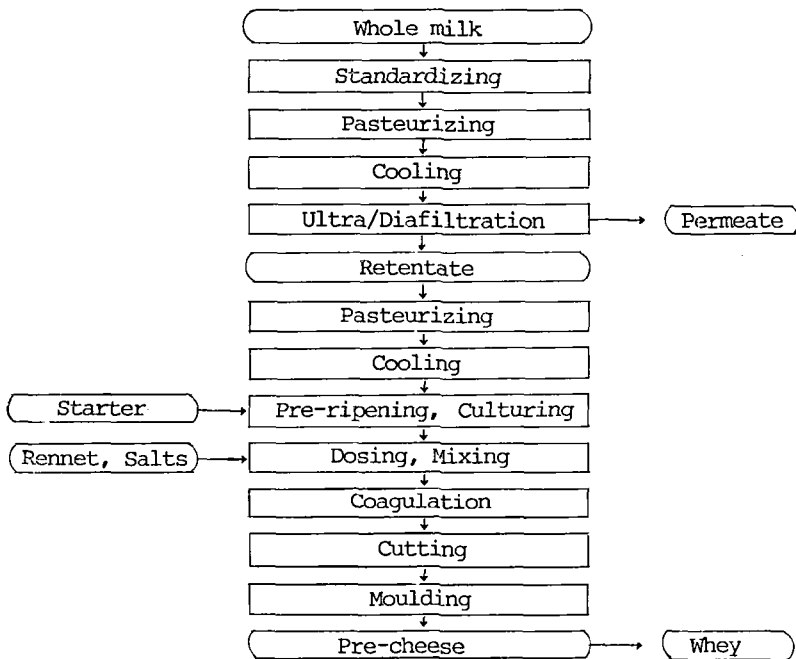
이와 같은 제조방법의 잇점으로는, 첫째, 재래식 제조법에서는 원료유 지방의 90%, 단백질의 75% 정도만 제품으로 활용되는데 비하여, 지방의 100%, 단백질의 95%가 최종제품으로 회수되므로, 치즈 종류에 따라 수율(Yield)이 15~30% 정도 증가하며, 둘째, stater 및 rennet의 사용량이 최대 70~80% 절감되고, 셋째, 인력절감과 아울러 제조공정의 연속자동화가 용이하며, 넷째, 균일한 품질의 보다 위생적인

제품생산이 가능하고, 다섯째, Whey Protein의 전량 회수에 따른 높은 영양가 등을 들 수 있다.

Quark, Cream cheese 등의 Fresh cultured cheese 제조에도 UF를 이용하여 16~20% 정도의 수율증가를 가져올 수 있다.

UF에 의한 우유의 농축은 일반적으로 최대 5배농축(TS 약 40% 내외)이 실용적인 것으로 되어 있어 앞에서 소개한 soft cheese 및 Fresh cultured cheese의 제조에 있어서는 최

〈도표 12〉 Semi-hard Cheese 제조 공정도



종제품 TS 수준까지 UF로 농축할 수 있으므로 Whey 배출을 생략할 수 있으나, Semi-hard 및 Hard cheese 제조에서는 UF에 의한 1차 농축에 이어, Whey 분리에 의한 2차농축 공정이 포함되어야 한다(도표 12 참조).

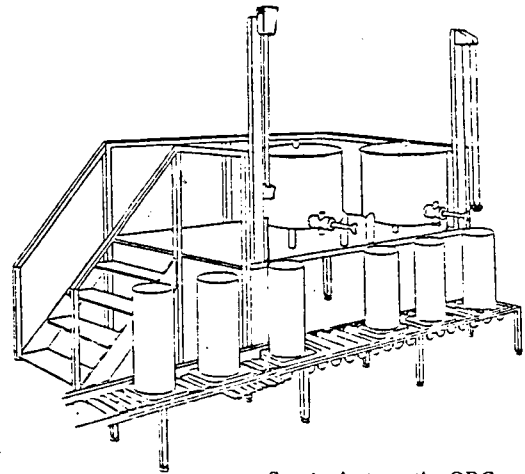
Havarti, Gouda, Blue cheese, Tilsit 등의 Semi-hard cheese 제조에 있어, UF에 의한 1차농축에서 2배내지 5배농축이 고려될 수 있다(도표 13 참조).

2배농축(TS 18~20%)에서는 curd 응고 및 절단, Whey 분리 등에 재래식 처리시설을 그대로 사용할 수 있을 뿐만 아니라, 기존 Curd처리시설 능력을 2배로 활용할 수 있고, starter 및 rennet 절감의 효과도 있으나, 다량의 Whey 배출에 따른 단백질, 지방 등의 손실로 수율은 증가되지 않는다.

UF에 의한 농축배수가 높아질수록 Curd의 응고가 빨라지며, 조직이 조밀하고 단단해지므로 2배농축을 초과할 경우 Whey 분리 공정에 재래식 Curd 처리시설은 부적합하다.

그리하여 몇 가지 형태의 연속식 Curd 응고 및 절단시설(continuous cheese coagulator & cutting unit)이 개발되었다(그림 11, 12 참조). 이러한 공정을 이용하므로써 치즈의 연속생산이 가능하고, 또한 8~10%의 원료유와 80~85%의 rennet를 절감할 수 있다.

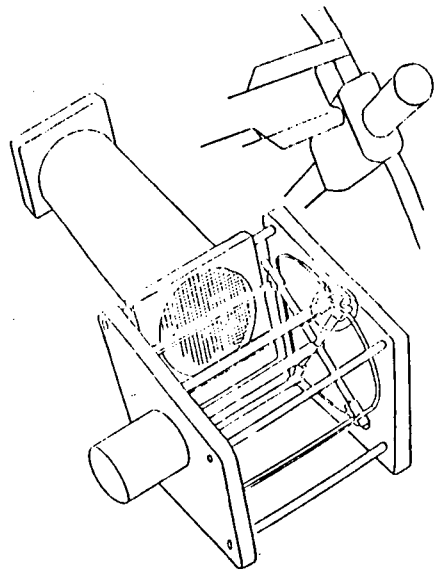
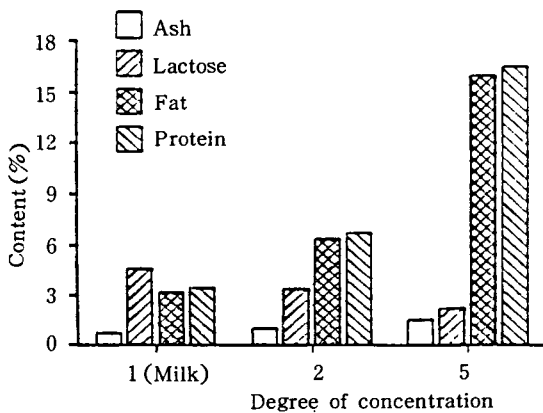
Hard cheese 제조에 있어서는 UF처리후에도 다량의 Whey 분리가 이루어져 수율증가를 기대하기 어렵고, 또한 UF처리에 의한 치즈의 성분변화로 장기간의 숙성중에 이상이 발생할 수 있는 위험 등으로 인하여 거의 실용화되어오지 못하였다.



Semi-Automatic ORC Filling-Mixing station

<그림 11> Cheese coagulator

<도표 13> Typical composition of cheese-milk and milk concentrated 2 or 5-fold by ultrafiltration

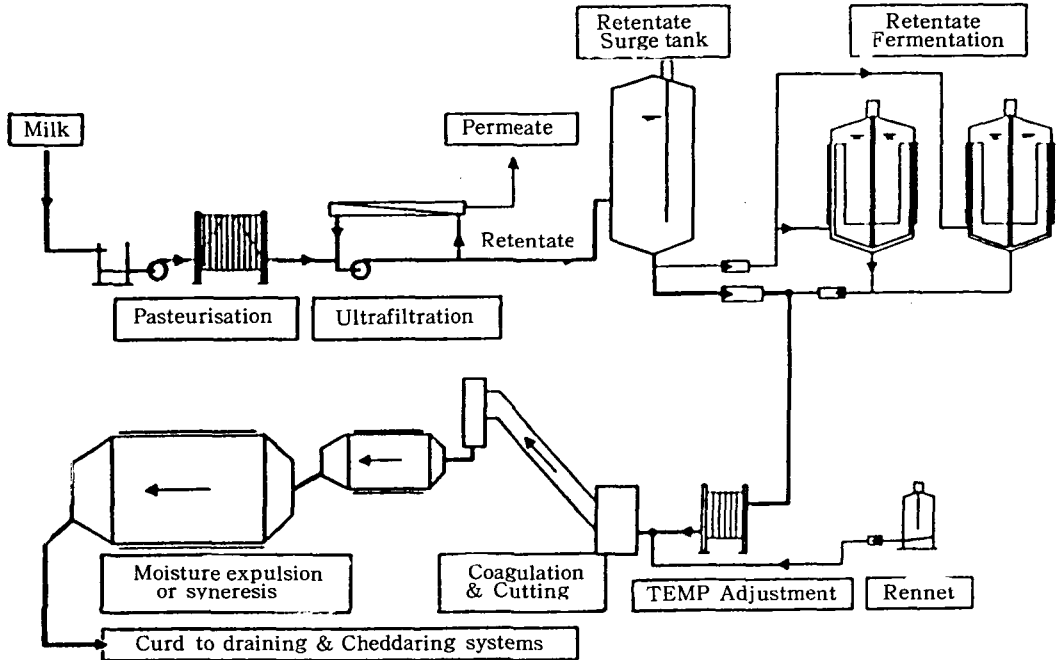


<그림 12> Cutting unit

최근에 이르러서야 호주에서 CSIRO 유가공 연구실과 APV 사의 공동연구가 결실되어, UF를 이용한 Cheddar 치즈 연속제조공정(Siro Curd, 그림 13 참조)이 개발되었으며, 1986년도에 첫

공장이 설치되어 가동되고 있다.

이 공정에 의한 Cheddar cheese 제조에서 최대 8%까지의 수율증가를 기대할 수 있다고 한다.



〈그림 13〉 UF 및 Siro curd를 이용한 Cheddar cheese 제조공정

IV. Cheese Base 제조 및 이용

UF 특성을 이용한 치즈생산 수율을 극대화하면서, 가공치즈 제조에 필요한 원료치즈를 대체할 목적으로 최근 개발된 제품이 Cheese Base이다.

따라서 이 제품은 그 최종 조성을 Cheddar Cheese에 맞추고 있는데, 즉 총고형분 60~65%, 고형분중 지방율 50%내외, pH5.2를 목표로 하고 있다. Cheese Base의 제조공정을 요약하면 〈도표14〉와 같다.

표준화 및 살균된 원료유를 먼저 UF로 5배 농축하여 TS가 약 40% 정도 되도록 하는데, 이 과정에서 Concentrate에의 유당함량을 조절하기 위한 Diafiltration이 적용된다(도표 15 참조).

필요로 하는 유당 수준은 Concentrate가 갖는 중화능력(Buffer capacity)과 관련하여 약간의 차이가 있으나 대략 0.8~1.0% 정도이다.

Concentrate는 HTST 살균처리후 염수 및 Starter를 첨가하고 탱크에서 pH5.2까지 배양된다.

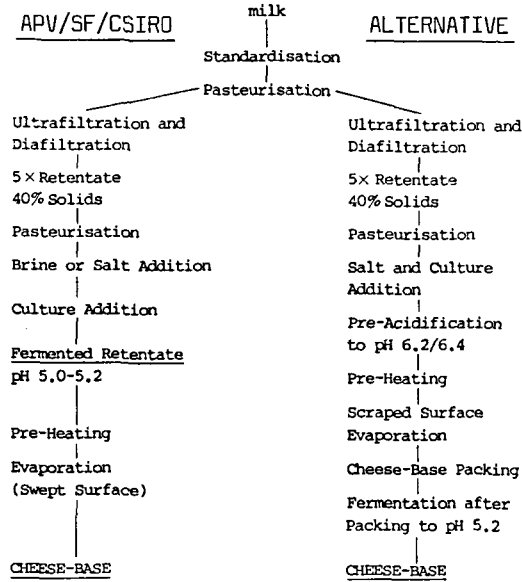
이때 첨가된 염분은 배양중에 상승되는 Concentrate의 점도를 중화시키는 역할을 함으로써 다음에 오는 증발 농축과정에서 적정점도를 유지시켜 준다. 증발농축기는 Concentrate의 점도 때문에 Scraped Surface evaporator를 사용하여야 하며, 농축온도는 43~44°C를 초과하지 않도록 한다.

이와 같은 공정을 거쳐서 생산된 cheese Base는 cheddar cheese에 비하여 16~18% 정도 수율이 증가(도표16 참조)되며, 곧바로 가공치즈원료로 사용되거나 또는 냉장고에 저장해 둘 수 있는데, 경우에 따라 숙성실에서 숙성시키면 숙성취와 맛을 내므로 최종 제품으로도 소비될 수 있다.

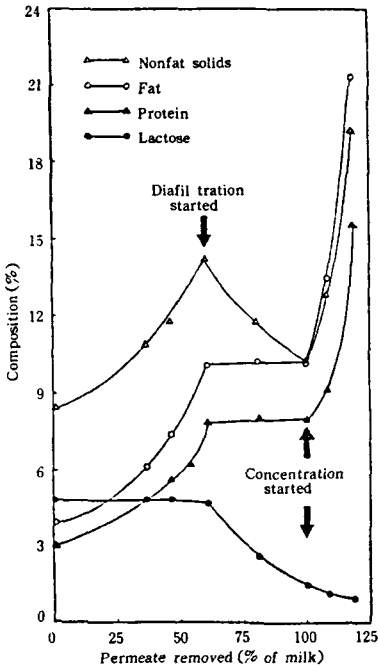
Cheese Base는 일반가공치즈 제조에서 원료

<도표 14> Cheese base 제조공정

Comparison on APV/Schreiber Foods/CSIRO and Alternative Process

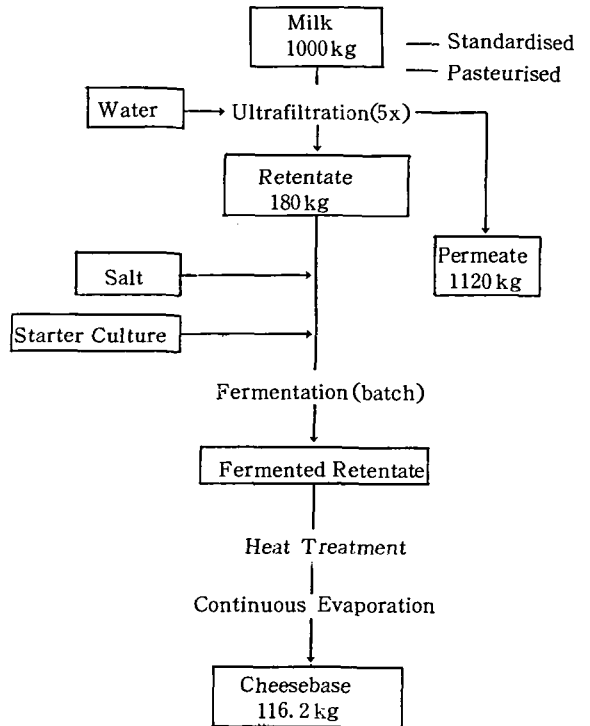


<도표 15> Composition of retentate during initial ultrafiltration, constant volume diafiltration and final UF concentration to 20% of the weight of sweet whole milk



<도표 16>

Cheesebase Manufacturing Process



치즈의 50%, cheese spread 제조에서는 90% 까지 대체 사용할 수 있다고 하나, 이는 나머지 원료치즈의 숙성도 및 최종제품의 용도에 따라

변동될 수 있으므로, 앞으로 많은 실험을 통하여 우리 현실에 맞는 수준이 결정되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Nielsen, P. S. 1987. Cheese production by Ultrafiltration, Scandinavian Dairy Industry, 1, 34-35.
2. Skovhauge, E. 1987. Production of cheese with Open Structure by means of Ultrafiltration Technique, North European Dairy Journal, No. 3-4, 61-67.
3. Qvist, K.B., 1987. Havarti cheese from Concentrated Milk, Scandinavian Dairy Industry, 1, 30-31.
4. Qvist, K.B., Thomsen, D., Forsingdal, K. and Hylding, G. 1987. Manufacture of Danbo, Havarti and Danablu cheese from Concentrated Milk by Ultrafiltration, Scandinavian Dairy Industry, 3, 156-161.
5. 1986. Continuous Cheddar Cheese Process, Caseus, December, 11-22.
6. Sutherland, B.J. and Jameson, G.W. 1981. Composition of Hard cheese Manufactured by Ultrafiltration, The Australian J. of Dairy Technology, December, 136-143.
7. Lelievre, J., Iyer, M. & Bennett, R.J. 1986. The Effect of Ultrafiltration per se on the Suitability of Milk for cheddar cheese Manufacture, New Zealand J. of Dairy Science and Technology, 21, 157-164.
8. Ernstom, C. A. Sutherland, B. J. and Jameson, G. W. 1980. Cheese Base for Processing, J. of Dairy Science, 63(2), 228-234.
9. Dairy Mail International, 1980. Membrane Filtration, Danish Turnkey Dairies, Ltd. Denmark.
10. American Dairy Review, 1981. April, 42-45.
11. Poulsen, P.R. 1978. Feasibility of Ultrafiltration for Standardizing Protein in Milk, J. of Dairy Sci. Vol. 61. NO. 6, 807-814.
12. Kessler H.G. 1981. Food Engineering and Dairy Technology, Verlag A. Kessler, W. Germany.
13. Ottosen, N. 1988. Protein Standardization, APV Pasilac As, Denmark.
14. Hofi, M.A. 1988. Labneh from Ultrafiltered Milk, Scandinavian Dairy Industry, 1, 50-52.
15. Nielsen, P.S. 1988. Membrane Filtration for Whey Protein Concentrate, APV Pasilac AS, Denmark.
16. Goldsmith, R. L. 1981. Ultrafiltration Production of Whey Protein Concentrates, Dairy Field, August, 88-95.
17. Robinson, R.K. 1986. Modern Dairy Technology, Elsevier Applied Science Publishers Ltd, England.
18. Ottosen, N. 1988. Feta by the Application of UF, APV Pasilac AS, Denmark.
19. Reuter, H. 1975. Ultrafiltration in der Lebensmittelverarbeitung, Die Molkerei-Zeitung Welt der Milch, 29, No. 33. 915-923.
20. Güngerich, C. 1976. Anwendung der Ultrafiltration und Umkehrosiose Zur Aufkonzentrierung von Magermilch und Rückgewinnung von Proteinen in der Milchindustrie, Sonderdruck aus Deutsche Milchwirtschaft.
21. Kessler, H.G. 1975. Die Membrantrenntechnik in der Molkereiwirtschaft, Deutsche Milchwirtschaft 46 (1673-1675), 47 (1696-1698), 49(1783-1787)
22. Maubois, J. L. 1980. Ultrafiltration of whey, J. of the Society of Dairy Technology, Vol. 33, No. 2, 55-58.
23. Glover, F.A., Skudder, P.J., Stothart, P.H. and Evans, E.W. 1978. Reviews of the Progress of Dairy Science : Reverse Osmosis and Ultrafiltration in Dairying, J. of Dairy Research, 45, 291-318.
24. 別役仁士, 1981. 逆浸透 / 限外濾過法の乳業への實用化 食品工業, 9F(33-37), 10F(57-62), 11F(63-68).