

## 유용성 물질의 분리를 위한 두부순물의 한외여과\*

서성희 · 황인경

서울대학교 생활과학대학 식품영양학과

### Ultrafiltration of Soybean Curd Whey for the Separation of Functional Components

Seong-Hee Seo and In-Kyeong Hwang

Department of Food & Nutrition, Seoul National University

#### Abstract

To separate and concentrate functional components contained in soybean curd whey, ultrafiltration was performed using regenerated cellulose or polysulphone membrane of spiral-wound type with MWCO 10,000, and the permeate and retentate solutions were analyzed. As the pH of soybean curd whey increased, the permeate flux decreased in both membranes. Treatment of 0.01 M EDTA rather decreased the permeate flux compared with control. The concentration of ionic calcium, which decreased with the pH increase, was thought to affect the permeate flux also. In case of polysulphone membrane, the permeate was efficiently purified and the retentate protein was concentrated significantly in which the membrane rejection value (MRV) for chemical oxygen demand (COD) was 79.25% and that of protein was 98.42% at the volume concentration ratio (VCR) of 10. MRV of the protein of regenerated cellulose membrane was lower than that of polysulphone membrane. To recover oligosaccharides to the permeate solution and increase the content of raffinose and stachyose, regenerated cellulose membrane was more suitable than polysulphone membrane and the optimum VCR was 4.

Key words: ultrafiltration, soybean curd whey, permeate, retentate, membrane rejection value, volume concentration ratio, oligosaccharides

#### 1. 서 론

요즘 국민들의 환경에 관한 인식이 높아지면서, 산업폐수 처리에 관한 관심 또한 고조되고 있다. 그동안 식품산업은 원료특성상 폐수처리가 큰 문제가 아니었으나, 최근 폐수 유출에 대한 강력한 규제들이 생김으로써 폐수처리와 이의 배출에 따른 업계의 부담은 점점 증가하고 있다.

이<sup>1)</sup>의 연구에 의하면 서울, 경기도, 강원도 일대의 두부공장 10곳을 선정하여 조사한 결과, 규모가 작은 영세업체 3곳에서 별다른 처리없이 두부제조시 발생하는 순물이나 침지액을 그냥 버리고 있는 것으로 드러났으며, 이들 두부공장에서 배출하는 두부순물은 BOD가 13,170~22,760 ppm, COD가 17,000~37,000 ppm으로 우리나라 법적규제치가 BOD 60~80 ppm,

\*본 연구는 1996~1997년도 농림수산 특정연구과제(첨단)의 일부 연구비 지원으로 수행되었음.

COD 70~90 ppm 임을 고려할 때, 환경오염에 심각한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 외국의 경우 건포도세척수로부터 당분을 회수하거나<sup>2)</sup>, 치즈 Whey의 유용성 고형물의 수거 및 활용을 위한 연구<sup>3,5)</sup> 등 식품산업에서 나오는 용수로부터 부가가치가 높은 성분들을 회수하려는 노력이 많이 진행되어 왔으나, 우리나라의 두부공장에서 배출되는 두부순물은 그 함유성분에 관한 연구, 콩올리고당을 생산하기 위한 한외여과 연구 등이 매우 단편적으로 행해졌을 뿐이다.

두부순물에 함유된 유용성 물질 중 콩 올리고당은 자당, 라피노오스, 스타키오스 등으로 이루어져 있으며, 이 중 라피노오스와 스타키오스는 인체의 효소에 의해 분해가 되지 않는 난소화성이므로 저칼로리당으로 사용될 수 있고 장내 유익세균을 활성화시키고 변비 및 설사를 예방할 수 있고 충치예방의 효과를 나타내며, 설탕의 약 70%에 해당하는 감미도와 청량감, 열이나 산 등에서의 안정성 등이 있어 식품소재로서 가능

성을 인정받고 있다. 또한 김동만 등<sup>9)</sup>은 역삼투법으로 분리, 농축한 두부순물로부터 분리한 단백질의 기능성 중 pH에 따른 용해도는 분리콩단백질에 비해 전반적으로 다소 높은 값을 나타내었다고 하였고, 이<sup>10)</sup>는 두부순물의 아미노산 패턴을 분석한 결과 필수 아미노산인 lysine의 함량이 높고 총아미노산에 대한 필수 아미노산의 비율도 0.49로 비교적 높은 편이라고 보고하였다.

이처럼 높은 부가가치를 지닌 성분들을 포함하고 있는 두부순물을 한외여과법으로 처리하면 방출되는 두부순물을 부분적으로 정화시킬 수 있을 것이며 또한 함유되어 있는 유용성 물질을 분리, 농축하여 기능성 물질로 이용할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 두부순물을 한외여과할 때의 효율성을 분석하고, 여과액과 농축액의 특성을 조사하고자 하였다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험 재료

서울 시내의 한 두부공장을 선정하고 이 공장으로부터 계속적으로 두부순물을 제공받아 실험 재료로 사용하였다. 이 공장에서는 두부 제조시 2%의 CaSO<sub>4</sub>를 응고제로 이용하였으며, 두부의 수득률은 약 280%였다.

### 2. 한외여과

두부순물을 먼저 45 μm의 체로 거른 다음, 한외여과의 주입용액으로 사용하였다. 한외여과는 한외여과시스템(Bus-200, Sunkyung Industry, Korea)에서 여과한계분자량(MWCO: molecular weight cut off)이 10,000이고 spiral-wound 형태의 막인 재생섬유소(regenerated cellulose)막과 polysulphone막(Millipore Co.)을 사용하여 25°C, 2 kgf/cm<sup>2</sup>의 압력하에서 행하였다. 먼저 막투과속도가 최적인 조건을 찾기 위해 두부순물의 pH를 변화시킨 시료와 calcium sequestering 시약인 EDTA를 0.01 M 첨가한 시료를 위와 같은 조건으로 한외여과하여 막투과속도가 최적인 조건을 설정하고, 이 조건으로 조절한 시료를 한외여과하여 각각 용적농축비(VCR: Volume Concentration Ratio) 2~10로 조절하여 여과액(permeate)과 농축액(retentate)을 얻었다.

### 3. 이온칼슘 측정

이온 농도 측정기(Orion model 920A)를 사용하여

이온칼슘의 양을 측정하였다. 칼슘이온 강도 조절제(ISA, Orion) 2 ml을 첨가한 증류수 100 ml에 칼슘 전극(Orion model 93-20)을 담겨둔 후, 100 ppm과 1,000 ppm의 칼슘 표준 농도 용액(Orion)으로 보정하고, 0.1 N HCl, NaOH로 pH를 변화시킨 두부순물의 이온 칼슘 농도를 측정하였다. 이 때 표준용액과 시료 용액의 온도는 25°C로 고정하여 사용하였다.

### 4. 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand: COD)

물과 폐수의 정규검사 방법<sup>11)</sup>에 따라 COD를 측정하였다. 적절하게 희석한 시료 2.5 ml을 고농도범위 화학적 산소요구량 시약(0~15,000 ppm, HACH)이 들어 있는 7.5 ml 분해용기에 넣고 잘 흔들어 섞은 후, 미리 예열한 150°C의 차단분해기에서 2시간 동안 분해하고 방냉하여 침전을 가라앉힌 후 COD 측정기(DR/2000, HACH)를 이용하여 600 nm에서 흡광도를 측정하여 COD를 계산하였다.

### 5. 이화학적 특성 분석

두부순물의 고형분 함량은 105°C 상압건조법, 회분은 회화법으로 정량하였고, 단백질은 micro-kjeldahl 법<sup>12)</sup>, 총당 함량은 포도당을 표준물질로 하여 페놀-황산 방법<sup>13)</sup>을 사용하여 측정하였다.

색도는 색도계(Minolta Spectrophotometer CM-3500d)를 사용하여 Hunter 체계에 의한 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)값으로 나타내었다. 시료의 점도와 유동특성은 회전점도계(Physica, standard measuring drive system SM-LM, Z4 Din)를 사용하여 20°C에서 전단속도(shear rate)를 40.3~2270 1/s의 범위에서 단계적으로 변화시키면서 전단응력(shear stress)의 변화를 측정하여 분석하였다.

### 6. 올리고당 정량

한외여과에 이용된 두부순물과 여과액 및 농축액의 올리고당 함량을 HPLC로 분석하였다. 시료의 전처리는 Black과 Bagley<sup>14)</sup>의 방법에 따라 시료 10 ml에 10% lead acetate 용액을 2 ml 첨가한 뒤 12,000 g에서 10분간 원심분리하고 이것의 상층액을 취한 다음 다시 10% 옥살산 용액 2 ml를 첨가하여 같은 조건으로 원심분리하여 상층액을 취하였다. 이 상층액을 syringe filter(Millex LCR 13 mm NS, MSCLRO, 0.5 μm, Millipore Co., U.S.A)로 여과하여 Table 1의 조건에서 HPLC로 분석하였다. 분석에 사용된 표준물질로는 자당, 라피노오스, 스타키오스를 Sigma Co.에서 구입하여 사용하였고, 각각의 함량은 표준검량곡선을

**Table 1. Conditions of HPLC for oligosaccharides analysis**

Instrument	Waters model 200 series
Column	Carbohydrate analysis column (3.9×300 mm, Waters)
Guard column	μ-bondapak insert C <sub>18</sub>
Mobile phase	77% Acetonitrile in water
Flow rate	1.2 ml/min
Temperature	40.0°C
Detector	Differential refractometer R401
Injection volume	10 μl

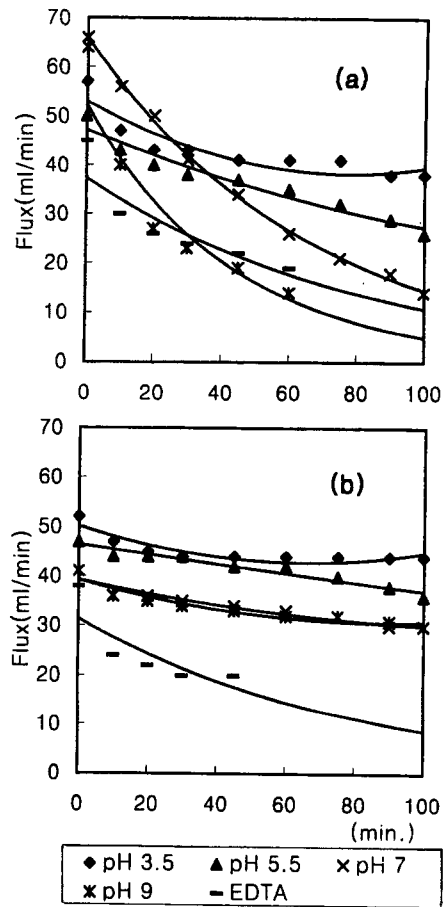
작성하여 산출하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. pH 변화와 EDTA 처리가 두부순물의 막투과속도 패턴에 미치는 영향

두부순물의 pH 변화와 EDTA 처리시 한외여과 막 투과율에 미치는 영향을 Fig. 1에 나타내었다. 재생섬유소막과 polysulphone막을 사용한 두 경우 모두 pH가 증가할수록 막투과속도는 감소하는 패턴을 보여, pH 3.5로 고정하는 것이 한외여과 효율이 가장 높게 나타났다. 재생섬유소막에서 pH 7.0으로 고정할 경우 초기의 막투과속도는 높았으나, 시간에 따른 막투과속도의 감소율이 커 한외여과 효율은 낮았다. 이러한 결과는 치즈 유장의 pH를 2~3으로 산성화한 후 원심분리하였을 때 막투과속도의 개선효과가 있었다고 보고한 Kuo와 Cheryan<sup>11)</sup>의 결과와 일치하며, 또한 유장의 pH가 막투과속도에 영향을 주며, 이때 pH는 단백질의 용해도와 유장의 이온강도와 관계가 있다고 한 Muller와 Harper<sup>12)</sup>의 연구와도 일치하였다.

EDTA를 0.01 M의 농도로 처리한 경우는 처리하지 않은 두부순물보다 막투과속도가 오히려 감소하는 것으로 나타났다. Lee와 Merson<sup>9)</sup>은 0.01 M의 EDTA 처리시 무처리 치즈 유장과 비교하여 66%의 막투과속도 향상 효과를 보였고, 0.2 M의 과량의 EDTA를 처리하였을 때는 22%의 막투과속도 향상 효과를 보였다고 하였다. 이 때, EDTA를 처리한 치즈 유장은 결합형성물질이 감소하여 잔여 카제인염이나 복합 단백질의 크기를 감소시키는 결과를 가져오고, 따라서 이들이 용액내에 잘 분산된 채 유지되며 이로 인해 막투과속도가 향상된다고 보고하였다. 본 실험에서는 위의 내용과 상반되는 결과를 보여 두부순물의 경우 치즈 유장과는 다른 형태로 칼슘이 존재하는 것으로 생각되어지며, EDTA를 두부순물에 처리하는 것은 한외



**Fig. 1. Effect of membrane type and chemical treatment on flux of soybean curd whey during ultrafiltration.** (a) regenerated cellulose membrane, (b) polysulphone membrane.

여과시 막투과속도의 향상에 도움이 되지 못하는 것으로 나타났다.

#### 2. pH에 따른 두부순물의 이온성 칼슘의 농도 변화

두부순물의 pH를 조절함으로써 한외여과시 막투과속도가 큰 영향을 받는다는 위 실험의 결과를 바탕으로 하여, pH에 따른 이온성 칼슘의 함량 변화가 막투과속도에 영향을 미칠 것으로 예상하고, 두부순물의 pH를 변화시키면서 이온성 칼슘의 농도를 측정하여 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

pH가 증가할수록 이온성 칼슘의 농도는 감소하였는데, 이는 치즈 유장의 pH를 감소시키면 용해성 칼슘의 농도가 증가하고, 특히 인산 칼슘의 용해도가 증가하여 막투과속도가 증가한다고 보고한 Kuo와 Cheryan<sup>11)</sup>의 결과와 일치하였다. 또한 Kroll<sup>13)</sup>은 유리 칼슘

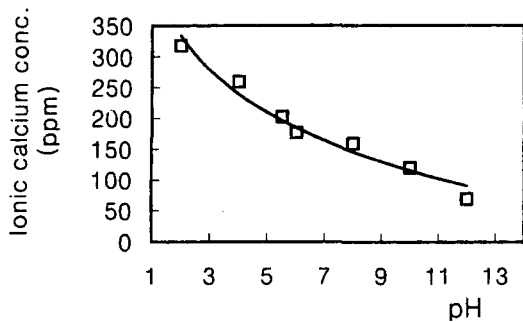


Fig. 2. Changes of ionic calcium concentration in soybean curd whey at various pH.

이 콩단백질과 결합할 때 수소이온과 같은 결합 부위에 경쟁적인 결합을 하며 pH가 증가할수록 칼슘이온의 결합부위에 대한 친화력이 증가한다고 보고하였다. 이로써 두부순물도 치즈 유장과 마찬가지로 pH의 변화가 이온성 칼슘의 농도에 영향을 주며, 이것이 한외여과시 막투과속도에 영향을 준다고 생각되어진다.

### 3. 용적 농축비에 따른 여과액과 농축액의 특성

#### (1) 화학적 산소 요구량(COD)

두부순물을 한외여과하여 얻은 여과액과 농축액의 COD를 측정된 결과를 Table 2에 나타내었다. 한외여과전 COD가 23,900, 23,800 ppm인 두부순물을 재생섬유소막과 polysulphone막을 사용하여 한외여과한 결과, 여과액의 COD는 각각 56.58%, 79.25%의 COD

Table 2. Effect of membrane type and volume concentration ratio (VCR) on the reduction of chemical oxygen demand (COD) of soybean curd whey during ultrafiltration

Fraction	VCR <sup>2)</sup>	Regenerated cellulose (unit: ppm)	Polysulphone (unit: ppm)
SCW(pH 3.5) <sup>1)</sup>			
		23,900	23,800
Permeate	2	13,600(27.66) <sup>3)</sup>	11,800(54.62)
	3	18,700(29.17)	14,100(63.28)
	4	19,350(37.58)	18,400(60.17)
	5	19,350(45.03)	20,200(65.17)
	10	19,450(56.58)	20,000(79.25)
Retentate	2	18,800	26,000
	3	26,400	38,400
	4	31,000	46,200
	5	35,200	58,000
	10	44,800	96,400

<sup>1)</sup> Soybean curd whey.

<sup>2)</sup> VCR: volume concentration ratio.

<sup>3)</sup> The value in parenthesis is MRV (membrane rejection value) of COD, %.  $MRV(\%) = [1 - (C_{permeate}/C_{retentate})] \times 100$ .

최고제거율을 보였다. COD의 막제거계수(MRV)는 한외여과시 농축비를 증가시킬수록 증가하는 경향을 나타내었으며, polysulphone막의 COD 제거율이 재생섬유소막보다 더 효과적인 것으로 나타났다.

#### (2) 일반성분, 색도, 점도

한외여과시 용적농축비(VCR)에 따른 일반성분의 변화를 Table 3에 나타내었다. 고형분 함량은 재생섬유소막과 polysulphone막 모두 모든 용적농축비에서 여과액의 함량이 원액과 비교하여 낮게 나타났다. 회분의 경우도 마찬가지로 막종류에 상관없이 여과액의 함량이 원액과 비교하여 모든 용적농축비 범위에서 낮게 나타났다. 단백질 함량은 두가지 막 모두 원액보다 여과액의 농도가 훨씬 낮게 나타나 대부분의 단백질은 농축액으로 회수됨을 알 수 있었고, 용적농축비 별로 단백질의 막제거계수를 계산해 본 결과 재생섬유소막은 용적농축비 5에서 가장 높은 값을 나타낸 후 용적농축비 10에서 다시 낮아졌다. polysulphone막은 용적농축비가 증가함에 따라 단백질 제거계수 또한 증가하는 경향을 나타내었다. 두 막의 단백질 제거계수를 비교하여 보면, polysulphone막이 재생섬유소막보다 더 효과적으로 나타나, 여과액의 단백질을 제거하고, 농축액으로 단백질을 회수하고자 할 목적으로 한외여과를 행하고자 할 때에는 polysulphone막이 더 적합한 것으로 나타났다. 총당의 경우 재생섬유소막에서는 용적농축비 4까지는 여과액으로 회수되는 비율이 높았으나 용적농축비 5이상에서는 당의 제거계수가 증가하였기 때문에 여과액으로 당을 회수하고자 할 때에는 용적농축비 4가 적당하다고 여겨지며, polysulphone막에서는 용적농축비 5까지 당의 제거계수가 낮아져 당이 여과액으로 회수되는 비율이 높아졌지만, 용적농축비 10에서는 당 제거계수가 다시 증가하는 경향을 보였다. 따라서 polysulphone막을 이용할 때 당을 여과액으로 회수하고자 한다면 용적농축비는 5 정도가 적당한 것으로 여겨진다. 두 막을 비교하면 모든 용적농축비의 범위에서 재생섬유소막의 당 제거계수가 낮아 당을 회수하고자 할 때에는 재생섬유소막이 더 적합한 것으로 생각된다.

색도는 L(명도), a(적색도), b(황색도)의 Hunter 체계로 측정하였으며 그 결과는 Table 4와 같다. 여과액을 두부순물과 비교하여 보면 L값이 현저히 증가하였다. 용적농축비에 따른 유의적인 차이는 없었으며, polysulphone막으로 얻은 여과액의 명도가 더 큰 값을 나타내었다. 적색도를 나타내는 a값은 여과액 모두 음의 값을 나타내었으며, 황색도를 의미하는 b값은 모두 양의 값을 띠었다. 두 막 모두 농축액의 b값이 여과액

**Table 3. Proximate analysis of soybean curd whey, permeate and retentate**

Fraction	VCR <sup>2)</sup>	Regenerated cellulose				Polysulphone			
		Solid (%)	Ash (%)	Protein (%)	Total sugar (g/l)	Solid (%)	Ash (%)	Protein (%)	Total sugar (g/l)
SCW <sup>1)</sup> (pH 3.5)		2.58	0.64	0.43	20.10	2.94	0.56	0.462	17.05
Permeate	2	1.58	0.42	0.064(86.75) <sup>3)</sup>	8.99(27.91) <sup>4)</sup>	1.77	0.35	0.062(90.61)	8.55(42.31)
	3	2.05	0.54	0.061(91.21)	12.73(19.02)	2.12	0.51	0.053(95.43)	10.74(43.08)
	4	2.16	0.55	0.032(95.92)	12.59(16.95)	2.24	0.51	0.047(96.18)	12.72(43.21)
	5	1.70	0.51	0.021(98.30)	9.17(32.77)	2.12	0.53	0.037(98.36)	14.01(40.20)
	10	1.85	0.50	0.029(97.72)	9.43(48.22)	2.40	0.50	0.050(98.42)	13.25(61.76)
Retentate	2	2.35	0.48	0.483	12.47	3.25	0.57	0.66	14.82
	3	3.13	0.59	0.694	15.72	4.11	0.43	1.16	18.87
	4	3.51	0.57	0.785	15.16	4.77	0.64	1.23	22.40
	5	3.53	0.61	1.237	13.64	5.12	0.61	2.25	23.43
	10	4.36	0.60	1.270	18.21	8.39	0.60	3.16	34.65

<sup>1)</sup> SCW: soybean curd whey.

<sup>2)</sup> VCR: volume concentration ratio.

<sup>3)</sup> The value in parenthesis is MRV (membrane rejection value) of protein, %.

<sup>4)</sup> The value in parenthesis is MRV (membrane rejection value) of total sugar, %.

**Table 4. Hunter's color value of soybean curd whey, permeate and retentate**

Fraction	VCR <sup>2)</sup>	Regenerated cellulose			Polysulphone		
		L	a	b	L	a	b
SCW <sup>1)</sup>		57.71	0.05	12.38	60.48	0.27	12.76
Permeate	2	96.69	-1.53	5.27	98.27	-1.78	3.54
	3	94.91	-2.02	7.08	98.60	-2.40	6.05
	4	96.18	-1.90	7.46	98.44	-2.49	6.65
	5	94.74	-1.61	6.15	98.42	-2.46	5.66
	10	95.79	-1.68	6.70	98.32	-2.68	7.47
Retentate	2	61.46	0.20	11.15	61.03	0.36	12.84
	3	59.63	-0.07	12.10	48.80	-0.21	13.02
	4	60.67	-0.08	12.55	41.34	-0.77	13.22
	5	53.32	-0.22	12.21	32.33	-0.66	12.91
	10	40.02	-0.99	12.95	19.80	2.76	11.11

L=lightness (0~100), a=green~red (-60~+60), b=blue~yellow (-60~+60)

<sup>1)</sup> SCW: soybean curd whey.

<sup>2)</sup> VCR: volume concentration ratio.

의 b값보다 커 농축액이 더 노란색을 띠는 것으로 나타났다.

점도를 측정할 결과 두부순물의 점도는 1.10~1.70 cP, 여과액은 용적 농축비에 상관없이 0.96~1.13 cP, 농축액은 10배 농축시 2.61~2.88 cP로 나타났으며, 모두 전단속도의 변화에 관계없이 점도가 거의 일정한 Newton성 유체 성질을 보였다.

(3) 올리고당

두부순물과 한외여과 후 얻어진 여과액과 농축액의 올리고당 함량을 Table 5에 나타내었다. 콩 올리고당의 조성은 자당, 라피노오스, 스타키오스가 주성분이

며 일반적으로 자당이 약 50%, 라피노오스가 약 6%, 스타키오스가 약 30% 정도 함유되어 있다.

한외여과시 여과액으로의 라피노오스와 스타키오스 회수율을 높이고 또한 단백질 제거율을 높이는 조건을 찾기 위해 농축비 별로 라피노오스와 스타키오스를 합한 양의 막 제거계수를 계산하여 Table 6에 나타내었다. 재생섬유소막의 경우 용적농축비 4에서 라피노오스와 스타키오스를 합한 양의 막제거율이 최저 값을 보인 후 더 농축할수록 제거율이 증가하는 경향을 보였고, 용적농축비 4에서의 단백질 제거율 또한 95.92%로 효율적으로 여과액의 단백질이 제거되고 있

**Table 5. Oligosaccharide contents of soybean curd whey, permeate and retentate** (unit: g/l)

Fraction	VCR <sup>2)</sup>	Regenerated cellulose			Polysulphone		
		sucrose	raffinose	stachyose	sucrose	raffinose	stachyose
SCW <sup>1)</sup> (pH 3.5)		4.67	0.45	3.43	4.95	0.54	3.49
Permeate	2	1.93	0.22	1.23	2.80	0.26	1.43
	3	3.80	0.29	2.08	3.03	0.26	1.96
	4	4.21	0.30	2.43	3.52	0.26	2.45
	5	2.64	0.24	1.72	3.86	0.28	2.61
	10	2.97	0.29	2.12	4.66	0.42	2.58
Retentate	2	2.86	0.31	2.23	2.82	0.31	2.46
	3	4.18	0.43	2.90	3.78	0.44	3.72
	4	3.73	0.35	2.76	4.75	0.54	5.21
	5	3.74	0.26	2.53	4.57	0.67	5.50
	10	3.50	0.43	3.15	4.35	0.77	9.21

<sup>1)</sup>SCW: soybean curd whey.<sup>2)</sup>VCR: volume concentration ratio.**Table 6. Membrane Rejection Value of sum of raffinose and stachyose content** (unit:%)

VCR <sup>1)</sup>	Regenerated cellulose	Polysulphone
2	42.91	38.99
3	28.83	46.63
4	12.22	52.87
5	29.75	53.16
10	32.68	69.94

<sup>1)</sup>VCR: volume concentration ratio.

음을 의미해 여과액으로 올리고당의 회수율을 높이고 농축액으로 단백질을 회수하고자 할 때 농축비는 4배 정도가 적당한 것으로 나타났다. 반면 polysulphone막은 용적농축비가 증가할수록 라피노오스와 스타키오스를 합한 양의 제거율도 증가하여 여과액쪽에서의 회수가 비효율적이었으며, 용적농축비 2에서의 단백질 제거계수는 90.61%로 이 값 역시 재생섬유소막보다는 효율성이 떨어지는 것으로 나타났다.

#### IV. 요약

두부순물에 함유되어 있는 유용성 물질을 분리·농축하고자 한외여과법을 행하고 그 효율성을 분석하였다. 재생섬유소막과 polysulphone막 모두 pH가 증가할수록 막투과속도가 감소하였고, pH 3.5에서 한외여과 효율이 가장 높게 나타났다. EDTA를 0.01 M 처리한 두부순물의 경우, 처리하지 않은 것보다 오히려 막투과속도가 감소하였다. 또한 pH가 증가할수록 두부순물의 이온성 칼슘의 농도가 감소하여 이온성 칼슘

의 농도 또한 막투과 속도에 영향을 준다고 생각되었다. Polysulphone막의 경우 용적농축비가 10일 때 COD의 막제거계수가 79.25%, 단백질 막 제거계수가 98.42%로 나타나 정화효과와 농축액으로의 단백질 농축효과가 컸으며, 재생섬유소막은 단백질의 막제거계수는 polysulphone막보다 낮았으나 당을 여과액쪽으로 회수하고자 할 때 더 효율적인 것으로 나타났다. 올리고당을 여과액쪽으로 회수하고자 할 때 라피노오스와 스타키오스의 농도를 상대적으로 높이기 위해서 polysulphone막보다 재생섬유소막이 더 적합하며, 용적농축비는 4배 정도가 적합한 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

- 이윤경: 두부 제조시 발생하는 침지액과 순물의 이화학적 특성 및 기능성 물질의 함량 분석. 서울대학교 가정학석사학위논문 (1997).
- 박기환: 미국 식품산업계의 용수처리 및 재활용. 식품산업과 과학 **27**(1): 43-51 (1994).
- Turgeon, S.L. and Gauthier, S.F.: Whey peptide fractions obtained with a two-step ultrafiltration process: process and characterization. *J. Food Sci.* **55**(1): 106-110 (1990)
- Lee, D.N. and Merson, R.L.: Chemical treatments of cottage cheese whey to reduce fouling of ultrafiltration membranes. *J. Food Sci.* **41**: 778-786 (1976).
- Patocka, J. and Jelen, P.: Calcium chelation and other pretreatments for flux improvement in ultrafiltration of cottage cheese whey. *J. Food Sci.* **52**(5): 1241-1244 (1987).

6. 김동만, 백형희, 진재순, 이세은, 김길환: 역삼투법을 이용한 두부순물의 가용성 물질 제거에 관한 연구. *한국식품과학회지* **24**(4): 306-311 (1992).
  7. Standard methods for the examination of water and wastewater. (1989) 17th ed. American Public Health Association.
  8. AOAC: Association of official analytical chemists. (1990) 15th ed. Washington D.C.
  9. Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. and Smith, F.: Determination of total sugar using phenol-sulfuric acid method. *Anal. Chem.* **28**: 350 (1956).
  10. Black, L.T. and Bagley, E.B.: Determination of oligosaccharides in soybean by high performance pressure liquid chromatography using internal standards. *J. Am. Oi. Chem. Soc.* **55**: 228 (1978).
  11. Kuo, K.P. and Cheryan, M.: Ultrafiltration of acid whey in a spiral-wound unit; Effect of operating parameters on membrane fouling. *J. Food Sci.* **48**: 1113-1118 (1983).
  12. Muller, L.L. and Harper, W.J.: Effects on membrane processing of pretreatments of whey. *J. Agric. Food Chem.* **27**(4): 662-664 (1979).
  13. Kroll, R.D.: Effect of pH on the binding of calcium ions by soybean proteins. *Cereal Chem.* **61**(6): 490-495 (1984).
- 
- (1997년 10월 10일 접수)