

論 文

膜分離를 이용한 水道原水の 高度處理에 관한 研究

Water Purification Using Hollow Fiber
Microfiltration Membrane趙 奉 衍
Cho Bong Yeon

Abstract

Constant rate permeate experiments using polyethylene hollow fiber membranes were conducted in order to treat dam water for potable purposes.

The experiments consisted of two series. One series consisted of six bench scale apparatuses, each having a 0.4m^2 nominal permeate area, which were applied in determining the optimum operating conditions. The other series was comprised of two pilot scale plant, each having a 40m^2 nominal permeate area. Both series were operated for six months. Coagulant was not used in any of the experiments.

To suppress an increase in differential pressure between the inlet and outlet of the membrane, a hydrophilic membrane was found to be better than a hydrophobic membrane. Also, permeate flux should not be more than $0.03\text{m}^3/\text{h}$, and air bubbling-washing for 1 minute should be conducted at 180 minutes intervals or less.

1. 序 論

膜을 이용한 固液 分離技術은 超純水製造, 下水 再利用 및 糞尿處理등 여러분야에서 適用되고 있다. 이러한 分野에서 사용되고 있는 膜의 種類나 材質도 모듈(Module)에 따라 여러가지 種類가 있다. 上水道 분야에서도 膜의 固液分離 技術을 이용하면 微細한 浮遊物質을 직접 제거 할 수 있기 때문에 原水를 직접 膜 分離한 후 殺菌處理하면 飲料用水로 使用할 수가 있다. 이러한 觀點에서 固液分離는 淨水處理에 있어서 중요한 單位操作이므로 膜 技術의 適用은 設備의

compact(Compact)함, 操作의 용이함 때문에 점차 그 이용이 확대 될 것으로 생각된다.

본 研究에서는 日本의 川崎縣의 나가사와 淨水場에서 Pilot Plant 규모의 實驗裝置(사진 1, 2)를 만들어 직접 原水를 대상으로 外壓式 中空絲精密濾過膜(Microfiltration)을 利用하여 膜分離 技術의 淨水處理에 대한 適用性을 檢討하였다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

본 實驗에 使用한 實驗裝置는 2계열로 나누어 서, 第1系는 中空絲膜의 面積이 40m^2 인 大型 實驗裝置 2개를 실외에, 第2系는 中空絲膜의 面積이 0.4m^2 인 小型 實驗裝置 6개를 室內에 設

* 東京大學 工學部 都市工學科 研究員, 工博

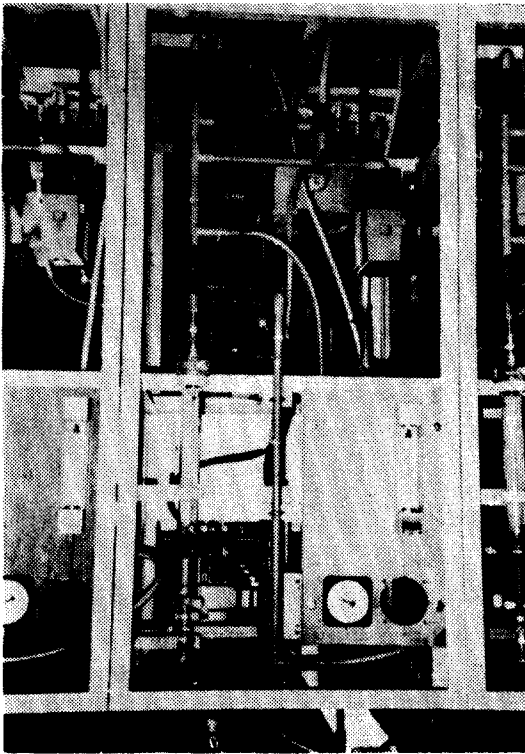


사진 1. Pilot Plant 실험장치

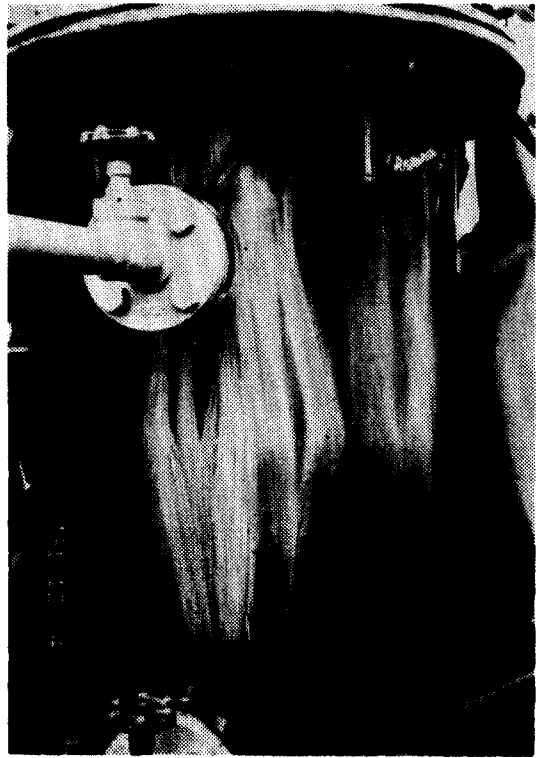


사진 2. 외압식중공사 정밀여과막

置하여 實驗을 하였다. 實驗裝置의 概要는 그림-1과 같다. 原水는 나가사와 淨水場의 流入水를 前處理하지 않고 供給펌프로 加壓하고 定流量弁을 設置하여 濾過速度를 일정하게 유지한 다음 全量 濾過方式으로 中空絲膜에 供給하여 濾過하였다. 따라서 膜은 洗淨方法과 洗淨排水의 排出口이 용이하고 容積당 膜 面積이 큰 中空絲膜을 사용했다.

洗淨方法은 大型 第 1 系의 實驗은 1시간에 1회 (1분) 空氣에 의한 洗淨, 小型 第 2 系는 實驗條件에 의해 스크라빙(Scrubbing)을 自動으로 실시하여, 양쪽 모두 시간에 의한 差壓의 變化와 水質을 測定하였다. 實驗條件은 표-1에 나타냈다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1. 膜 種類에 의한 여과속도의 영향 (Run A)

親水性膜과 疎水性膜의 Pore Size가 양쪽 모두 $0.1\mu\text{m}$ 로, 空氣洗淨을 1시간에 1회(1분) 自動으로 하고, 濾過速度만 바꾸어서 實驗 하였다. 實驗結果를 그림-2 및 그림-3에 나타냈다. 그림-2는 親水性膜으로, 濾過速度 0.1m/h 에서는 濾過抵抗의 上昇이 빠르고, 실험 10일째에는 濾過壓力이 1.68kgf/cm^2 를 넘었다.

이에 비해 濾過速度 0.03m/h 에서는 濾過抵抗의 上昇이 느렸고, 實驗 開始부터 26일 후에도 0.12kgf/cm^2 정도이며, 濾過速度가 적을수록 差壓이 안정하며 장기간 實驗이 가능했다. 그림-3은 疎水性膜으로 그림-2와 비교해 같은 모양이

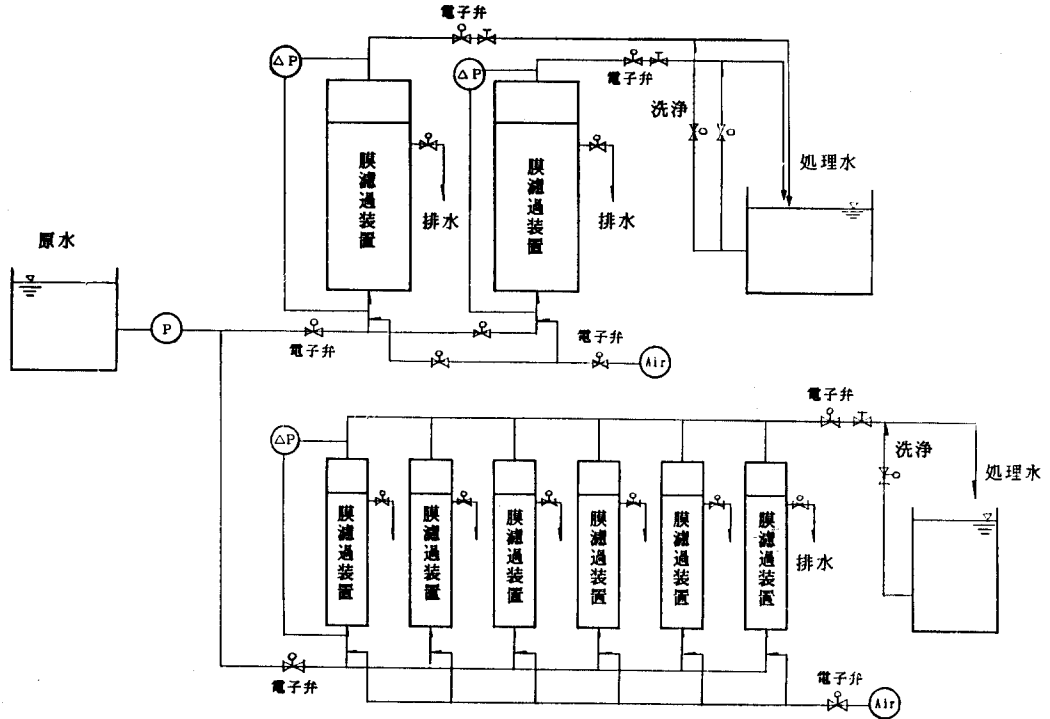


그림 1. 實驗裝置

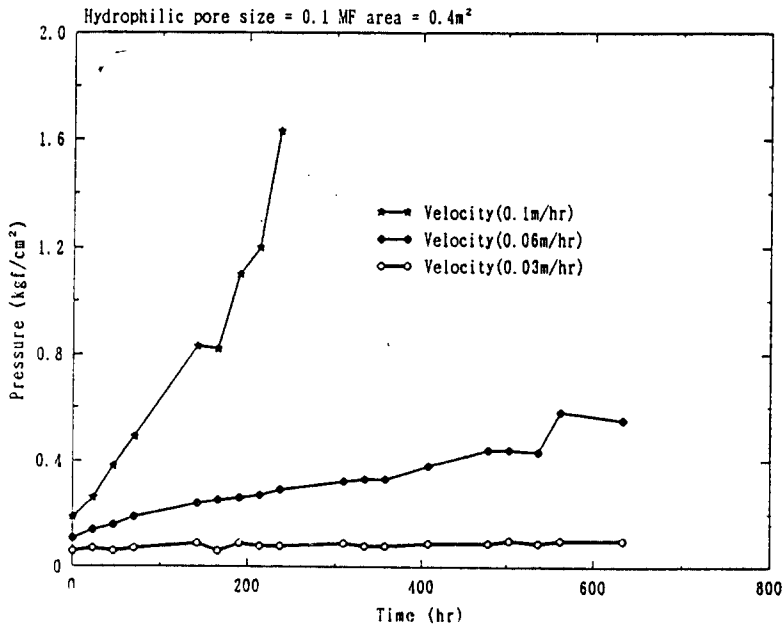


그림 2. 濾過時間과 差壓의 變化

丑-1. 實驗 條件

實驗名	膜의 種類	Pore Size(μm)	濾過速度(m/h)	膜의 面積(m^2)	洗淨時間	備 考
Run A	親水性膜	0.1	0.03	0.4	1/1 hr	濾過速度의 影響
			0.06			
			0.1			
	疏水性膜	0.1	0.03	0.4	1/1 hr	
			0.06			
			0.1			
Run B	親水性膜	0.05	0.06	0.4	1/1 hr	膜 Pore Size의 影響
		0.1	0.06			
		0.2	0.06			
Run C	親水性膜	0.1	0.06	0.4	1/1 5min	洗淨의 影響
		0.1	0.06		1/1 hr	
		0.1	0.06		1/3 hr	
		0.1	0.06		1/6 hr	
		0.03	0.06		1/1 hr	
		0.03	0.06		1/1 hr	
Run D	親水性膜	0.1	0.03	40	1/1 hr	膜面積에 의한 濾過의 影響
	疏水性膜	0.1	0.03		1/1 hr	

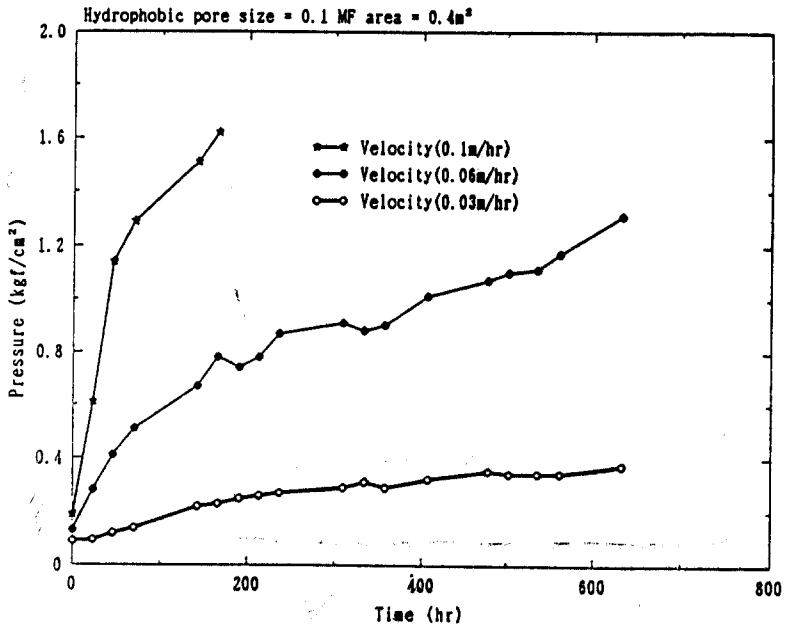


그림 3. 濾過時間과 差壓의 變化

지만 濾過速度 0.1m/h에서는 濾過抵抗의 上昇이 상당히 빠르고, 實驗 開始後 7일째는 1.76 kgf/cm²를 넘었다. 이에 비해, 濾過速度 0.03 m/h에서는 濾過抵抗의 上昇이 느리고, 實驗開始 26일후 차압은 0.45kgf/cm² 정도였다. 이 결과는 親水性膜의 差壓보다 거의 4배 정도 높은 값이며, 濾過時間도 매우 짧았다. 따라서 親水性膜이 疎水性膜보다 확실히 안정하며 장기간 사용이 가능하다고 생각된다.

膜의 材質에 관해서 比較해 보면, 通水 直後 兩者의 差는 거의 없지만 실험이 계속 진행되면 疎水性膜의 濾過抵抗이 크게 나타났다. 따라서 兩者의 差는 材質에 의한 것이 아니고 膜과 모듈의 形狀, 製造方法등에 의한 것이라고 생각되어진다.

3.2. 膜 Size의 影響(Run B)

이 實驗에서는 親水性膜만을 사용하고, 濾過速度를 0.06m/h로 일정하게 유지하면서 空氣洗淨을 1시간 1회(1분) 자동으로 실시하여, 膜의 Pore Size에 의한 濾過實驗을 하였다. 實驗結果를 그림-4에 나타냈다. 濁도가 3.0~5.0mg/l인 原水を 膜의 Pore Size 0.05μm의 경우, 濾過抵抗의 上昇이 매우 빠르고, 濾過時間도 짧았다(通水後 11일).

膜의 Pore Size가 0.1 및 0.2μm인 경우 濾過

抵抗이 비교적 安定하며, 0.05μm와의 差는 상당히 크게 나타났다. 이것은 膜의 清水의 透過性 自體에 差가 있기 때문이라고 생각되어지지만, 膜의 Pore Size가 작을수록 여과효율이 좋다고는 생각되어지지 않는다.

3.3. 洗淨의 影響(Run C)

親水性膜의 Pore Size 0.1μm를 사용하여 濾過速度를 0.06m/h로 일정하게 유지하면서 空氣洗淨만을 바꾸어서 濾過實驗을 하였다. 實驗結果를 그림-5에 나타냈다. 空氣洗淨을 6시간마다 1회(1분)를 실시하면 시간이 지남에 따라 濾過抵抗이 빠르게 커졌다. 이것은 空氣洗淨 시간이 길어지면 膜 表面에 蓄積된 固形物이 많아, 洗淨에 의해서도 除去되기 어렵다고 생각되어진다. 그러나, 15분, 1시간 및 3시간에 1회(1분)의 空氣洗淨은 서로 差壓의 上昇變化가 거의 없었다.

膜의 Pore Size가 0.03μm인 경우, 空氣洗淨을 1시간에 1회(1분)로 할 때는 다른 실험에 비해 濾過實驗의 半정도에서 膜이 閉塞되어 여과를 계속할 수 없었다. 이 점에서 洗淨간격은 짧을수록 좋지만, 洗淨에 필요한 시간의 관계에서 너무 빈번히 洗淨을 하면 효율이 낮아지게 되어, 본 實驗에서는 膜의 Pore Size 0.1μm에 대해 1~3시간에 1회(1분)가 적당하다고 생각된다. 그러나, 原水의 水質에 따라 處理效果는 상당히

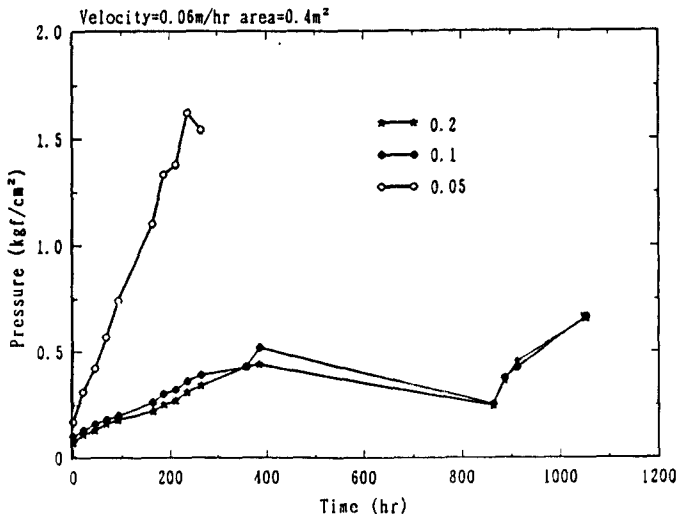


그림 4. 濾過時間과 差壓의 變化

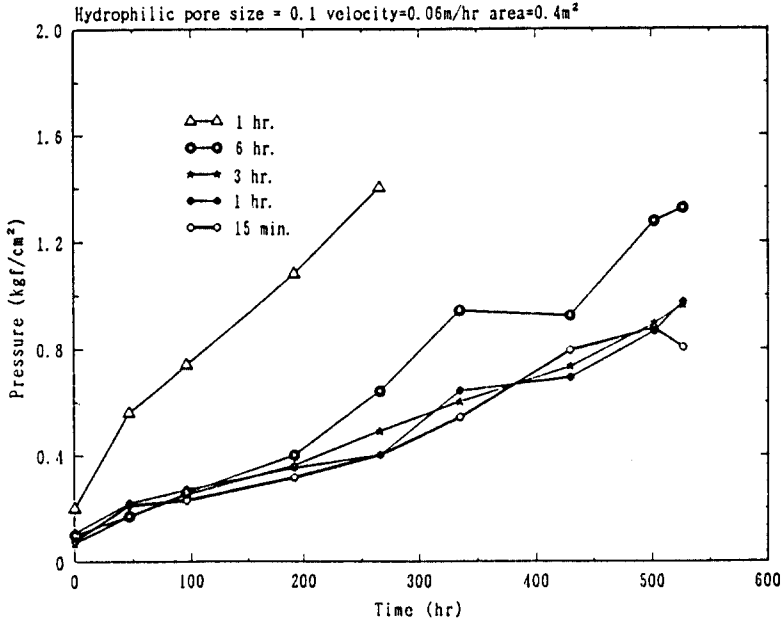


그림 5. 濾過時間과 差壓의 變化

달라 진다고 생각된다.

3.4. 膜 面積에 의한 影響 (Run D)

大型 實驗裝置에 親水性膜과 疎水性膜(40m²)을 사용하여 實驗을 하였다. 結果를 그림-6 및 그림-7에 나타냈다. 前述과 같이 親水性膜이 疎水性膜보다 差壓의 上昇이 작다고 記述하였지만 이 實驗에서는 다소 다른 結果가 나타났다. 實驗 初期부터는 前述과 같이 親水性膜의 差壓 上昇이 疎水性膜보다 낮지만 濾過時間이 6개월정도 장기간에 걸쳐 實驗을 하면 親水性膜의 差壓이 疎水性膜의 差壓과 같거나 또는 높게 나타났다.

이것은 여과운전 시간이 길어지면 實驗裝置의 결합과 親水性膜의 성능이 떨어지기 때문이라고 생각되어지지만 원인은 확실하게 알 수가 없다.

그리고 膜의 面積(0.4m²)이 작을수록 여과시간은 짧지만, 본 實驗과 같이 膜의 面積이 클수록 여과시간도 길어지며 안정된다고 생각된다.

3.5. 粒度分布

다음은 나가사와 淨水場의 Pilot Plant 規模의 實驗에 사용한 原水의 粒度分布를 分析한 結果이다. 우선, 原水 1l를 蒸發점시로 乾燥시켜 Total-SS를 測定하였다. 또, 같은 原水を 표-2와 같은 濾紙로 1l 全量을 濾過하여 SS를 측정하였다. 그 結果를 다음 표에 나타냈다.

濾紙에서 原水を 濾過한 물을 蒸發시켜 容存性 물질을 測定하면 45.2mg/l로, SS의 合計의 값을 더하면 49.7mg/l였다. 이것은 原水의 T-SS의 값(49.1mg/l)과 거의 일치하고 있다. 이 結果로서, 膜의 Pore Size가 작을수록 좋다고는

표-2. 粒度分布 結果

T-SS ; 49.1mg/l	탁도 ; 3.85mg/l							
濾紙(μm)	1.22	0.8	0.65	0.45	0.22	0.1	0.05	0.025
SS(mg/l)	4.05	0.35	0.1	0	0	0	0	0
탁도(mg/l)	0.34	0.2	0.13	0.092	0.07	0.054	0.05	—

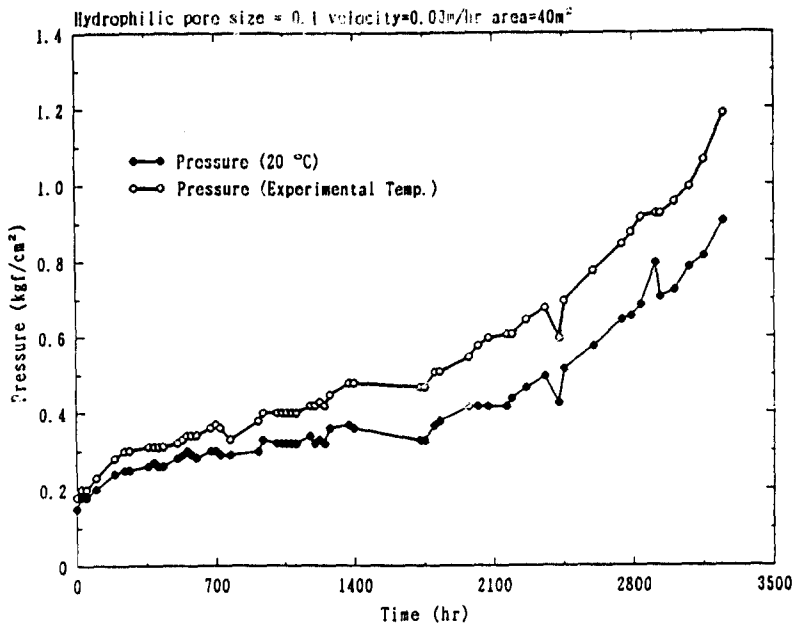


그림-6. 濾過時間과 差壓의 變化

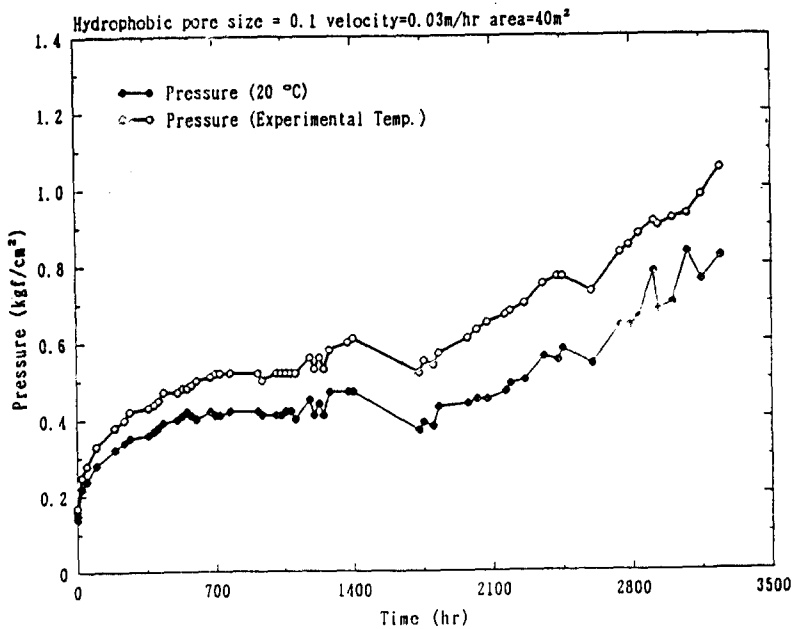


그림-7. 濾過時間과 差壓의 變化

말할 수 없으며, 본 실험의 결과로 濾紙의 Pore Size는 0.22, 0.45 μ m가 적당하다고 생각된다. 문제가 되는 것은 濁度로, 濾紙의 Pore Size가 0.45 μ m일 경우 약 0.1mg/l(除去率 97%)이고,

0.1 μ m의 경우는 0.054mg/l(除去率 99%)이다. 이것은 濁度의 除去率만을 생각하면 膜의 Pore Size가 작을수록 좋은 것이지만 그다지 영향을 주지는 않는 것으로 생각된다. 따라서, 본 실험

의 결과로서, 膜의 Pore Size는 0.2~0.4 μ m 정도의 크기가 적당하다고 생각된다.

3. 6. 膜濾過에 의한 濾過水質

中空絲膜의 濾過水 水質 分析結果를 표-3에 나타냈다.

前述에서 粒度分布의 實驗에서 容存性 成分은 충분히 除去할 수는 없었지만, 본 實驗에서 濁度, SS, 철 및 망간은 거의 除去되었다. 따라서 汚濁의 主要原因이 不容性物質일 경우에는 飲料水化는 충분히 가능하다고 생각된다.

표-3. 水質分析 結果

水質項目	原 水	膜濾過 處理水	
		大 型	小 型
pH	7.26~7.77		
濁度(mg/l)	3.90~6.80	<0.07	<0.07
色度(mg/l)	2 ~10	<2	<2
Fe(mg/l)	0.44~0.08	<0.02	<0.02
Mn(mg/l)	0.01~0.02	<0.01	<0.01
TOC(mg/l)	1.06~0.62	0.61~0.88	

注 : 0.1 μ m Filter 濾過水

4. 結 果

이상 中空絲膜을 사용하여 직접 濾過實驗을 하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 親水性膜에서 濾過速度가 0.03m/h일때, 差壓이 0.42kgf/cm²로 변화가 없고 0.1m/h일 때는 濾過實驗 開始後 10일째 1.68kgf/cm²로 濾過抵抗이 상당히 높다. 또, 親水性膜은 疎水性膜보다 濾過抵抗의 上昇이 낮고 안정하며, 장시간 濾過實驗이 가능하다.

2) 膜의 Pore Size가 작을수록 여과시간은 짧고, 본 실험에서 0.2~0.4 μ m 정도의 크기가 적

당하다.

3) 洗淨間隔은 짧을수록 좋지만 본 실험에서 1~3시간에 1회(1분)가 적당하다.

4) 膜의 面積이 작을수록 여과시간이 짧지만, 面積이 클수록 濾過時間도 길다.

5) 濁度, 철 및 망간의 除去는 뛰어나다. 따라서 汚濁의 主要原因이 不容性 物質일 경우, 飲料水化는 충분히 가능하다.

6) 以上の 實驗結果를 바탕으로 最適運轉 條件을 구하면 실제의 上水原水處理 適用이 可能하다.

參 考 文 獻

1. 藤田賢二, 渡 輝海, 金子榮廣, 精密濾過膜及び限外濾過膜による濁度, 大腸菌, ウイル스及びフミン의 除去, 水道協會雜誌, Vol. 60, No. 3, pp.13-18 (199. 3)
2. 藤田賢二, 膜濾過技術と淨水處理, 工業用水 No. 389, pp.9-16 (1991. 2)
3. Laine, JM., et al, Effects of Ultrafiltration Membrane Composition, J. of AWWA, pp. 61-67 (1989. 11)
4. Cabassud, C., et al, Ultrafiltration as a Nonpolluting Alternative to Traditional Clarification in Water Treatment, Filtration & Separation, Vol. 28, No. 3, pp.194-198 (1991)
5. Mongkonsiri P., Ohgaki S., Fujita K., and Kaiya Y, Microbial Rejection by Microfiltration Process in Portable Water Treatment, 3rd Eur Asia Conference on Chemical Sciences (1992) (投稿中)