멤브레인(Membrane Journal)
Vol.8, No.4, December, 1998, 220-227

국내 먹는 물 수질에 따른 막모듈의 적합성 검토

권 영 남 · 최 중 구 · 김 종 호* · 탁 태 문

서울대학교 생물자원공학부, *상주대학교 섬유공학과
(1998년 7월 25일 접수, 1998년 10월 26일 채택)

Evaluation of Membrane Module on the Basis of the Domestic Water Quality

Young-Nam Kwon, Jung-Goo Choi, Jong-Ho Kim*, and Tae-Moon Tak

Division of Biological Resources and Materials Eng., Seoul Nat'l Univ., Suwon, Korea
*Dept. of Fiber Eng., Sangju Univ., Sangju, Korea
(Received July 25, 1998, Accepted October 26, 1998)

요 약 : 국내 정수장 · 수도전 · 간이상수도등 2000여 곳의 수질을 환경부가 검사한 결과, 지역별로 세균 · 무기이온등 몇몇 항목에서 환경기준을 초과한 것이 밝혀졌다. 이중에서 문제가 되고 있는 질산성 질소 · 암모니아성 질소 · 불소 · 염소등의 농도를 임의로 조작한 후, 시중에 유통되고 있는 가정용 정수기 모듈로 정수처리시켰을 때의 효과와 지역별로 문제시되는 항목들을 효과적으로 제거하기 위한 적당한 분리막을 선정하고자 측정 검토하였다. 정수처리하여 얻은 투과수를 일정 온도 하에서 보관하고, 일정 시간마다 세균수를 측정하여 세균수와 온도 및 시간과의 관계를 측정 조사함으로써 막 사용을 좀 더 효율적으로 할 수 있게끔 검토하였다.

Abstract : Recent data from Environmental department show that some out of 2,000 places surveyed are contaminated by nitrate, ammonia, fluoride, chloride and so forth in excess of the environmental standard-including purification plants, water taps, small water supply systems. In this study, some items which exceed drinking water standard were chosen and their concentrations were made varying from around standard level to around detected maximum concentration. After they permeated through the membrane module sold in the domestic market and made for household water-purifier, the most suitable membranes were selected according to individual water quality of various regions. In addition, the bacterial growth after storage for various days and under various temperatures was examined for the purpose of the effect of the time and temperature on bacterial growth.

1. 서 론

물은 인간을 포함한 모든 생명체의 구성물질로서 필수 불가결한 요소이지만, 인구증가로 인한 생활하수의 증가와 산업발달에 따른 폐수의 증가 및 오염물질의 다양화로 인하여 상수원이 점점 오염되어 가고 있는 실정이다[1]. 지금까지는 오염된 물을 재래적인 여과나 염소 처리등의 과정으로 정수하여 왔으나, 그 제거정도가 충분치 못하여 지역별로 세균·무기 이온등 몇몇 항목에서 먹는 물 기준치를 초과한 것이 환경부 조사결과 밝혀졌다[2-3]. 재래적인 정수방법으로 먹는 물 기준을 만족시키지 못할 경우 물을 손쉽게 정수할 수 있는 방법중 하나가 분리막을 이용하는 것이다[4-5]. 이러한 분리막에는 여러 종류가 시판되고 있으나 정수장이나 수도전 · 간이상수도의 경우, 지역에 따라 그 수질이 현격히 틀리므로 수질에 따라 막을

차별화 하여 사용하는 것이 경제적이다.

본 연구에서는 환경부가 1995년에 전국 2,000여 곳의 정수장·수도전·간이상수도에서 측정한 먹는 물 수질검사결과 [2-3]를 토대로 지역별로 먹는 물 기준을 초과하는 몇몇 항목을 실험 대상으로 정하였다. 이 중 대표적인 항목의 농도를 임의로 조작한 후 시중에서 유통되고 있는 몇몇 가정용 정수기 모듈로 투과시켰을 때 어느 정도나 제거되는지를 조사하여, 지역별로 문제시되는 항목들을 효과적으로 제거하기 위한 적당한 분리막을 선정하고자 측정 검토하였다. 또한, 각각의 막으로 처리한 물을 일정온도·일정시간 보관하였을 때, 일반세균이 얼마나 번식하였는가를 실험·관찰함으로써 막 사용을 좀더 효율적으로 할 수 있게끔 하였다.

2. 실 험

2.1. 재료

본 실험에서는 농도조절을 위하여 sodium chloride, sodium fluoride, sodium nitrate, ammonium chloride를 100℃ 건조기에서 완전 건조 후 사용하였고, 세균수 측정을 위해서는 trypton glucose extract agar를 사용하였다.

2.2. 실험 방법

2.2.1. 전국 수질 현황 조사

전국의 먹는 물 수질이 환경부가 제시한 수질기준에 적합한가 하는 여부를 알아내기 위하여 환경부가 1995년에 전국 2,000여곳의 정수장·수도전·간이 상수도에서 측정한 먹는 물 수질검사 결과[2-3]를 조사·분석하였다. 그리하여 각 지역별로 환경기준을 초과하는 주 항목들을 선정하였다.

2.2.2 막 투과 실험

정수장 및 수도전에서 문제가 되는 검사 항목의 농도를 임의로 조작한 후, 여러 종류의 막에 투과시켰을 때 어느 정도 제거되는지를 조사하여 어느 막이 정수처리하는데 있어서 효과적인가를 검토하였다. 국내에서 시판되고 있는 가정용 정수기 모듈을 공극의 크기에 따라 MF, UF, NF, RO로 구분하였으며, UF는 MWCO에 따라 다시 3가지로 세분화하였고, RO는 제조회사에 따라 크게 2가지로 구분하여 측정, 검토하였다. 먹는 물 수질 검사 결과 중 기준을 초과한 대표적인 것으로 불소·염소·질산성 질소·암모니아성 질소 등이 있음을 알았고, 이것의 농도를 환경부가 제시한 기준치 전후 농도에서 실제 측정된 최대치 전후 농도로 임의 조작한 후 Fig. 1에서와 같은 장치로 25℃, 3 Kg/cm^2, 2 ℓ/min 조건하에서 실험하였다. 사용된 각 module의 재질과 투과 특성은 Table 1과 같다.

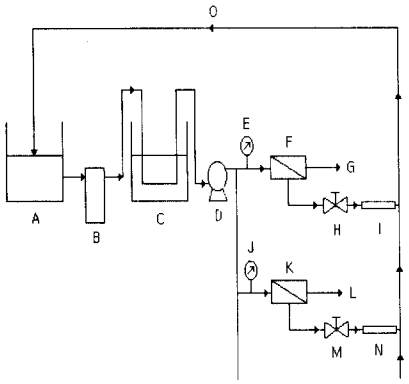

Fig. 1. Schematic diagram of filtration experimental apparatus.

A : Feed tank	F, K : Membrane
B : Cartridge Filter	G, L : Permeate
C : Water Bath	H, M : Needle valve
D : Pump	I, N : Flowmeter
E, J : Pressure gauge	O : Retentate

Table 1. Membrane materials and permeation characteristics[a]

막종류[b]	막재질	투수량(ℓ/m^2 hr)
RO1	Polyamide	7.3
RO2	Polyamide	3.4
NF	Polyamide	8.1
UF1	Polysulfone	76.2
UF2	Polysulfone	98.3
UF3	Polysulfone	137.7
MF	Polysulfone	172.0

a) Experimental conditions; 온도 25℃, 압력 3 Kg/cm^2, 유속 2 ℓ/min.

b) The membranes are sold in the domestic market and made for household water-purifier.

2.2.3. 세균수 측정

시중에서 유통되고 있는 가정용 정수기 모듈로 투과시켜 얻은 투과수를 일정 온도 하에서 보관하고, 일

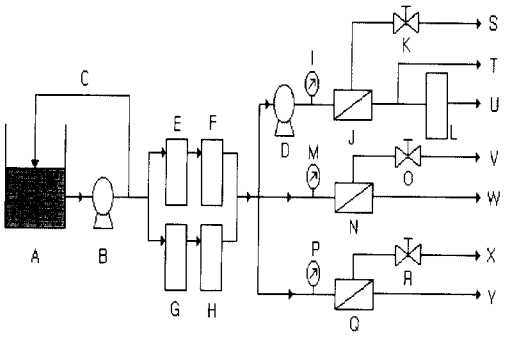

Fig. 2. Schematic diagram of bacteria experimental apparatus.

A : Feed tank	J : RO
B : Feed pump	N : UF
C : By-pass	Q : MF
D : Pump	L : Post-carbon filter
E, G : Sediment filter	K, O, R : Needle valve
F, H : Pre-carbon filter	S, V, X : Retentate
I, M, P : Pressure gauge	T, U, W, Y : Permeate

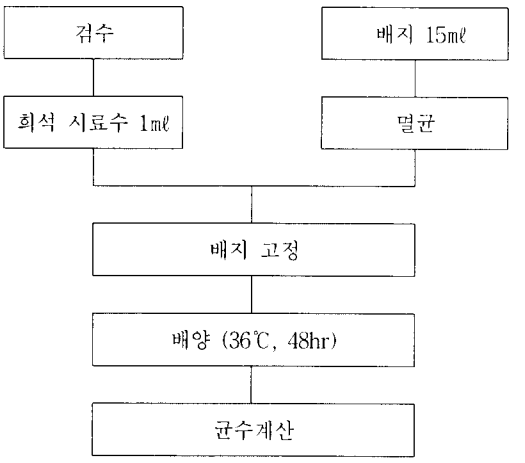

Fig. 3. Procedure of bacteria culture.

정 시간마다 세균수를 측정하여 세균수와 온도 및 시간과의 관계를 검토하였다. Fig. 2 장치를 거쳐 얻은 투과수를 5℃, 15℃, 25℃로 보존하고, 일정 시간마다 Fig. 3의 절차로 세균수를 측정하였다. 이때 UF와 MF의 압력은 일반수도의 압력인 0.8 Kg/cm^{2}으로, RO는 5.5 Kg/cm^{2}으로 유지 시켰다. RO는 post-carbon filter 유무에 따라 세분화하였으며, 여기서 사용된 각각의 module은 Table 1의 RO2, UF3, MF이다.

또한 투과수의 수질을 조사하여, 온도와 시간에 따른 세균수 변화의 관계를 살펴보았다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 먹는 물 수질 검사

환경부가 1995년 전국 2000여곳의 정수장·수도전·간이상수도에서 측정한 먹는 물 수질검사를 검토한 결과, 기준을 초과하는 대표적인 것으로 불소, 염소, 질산성질소, 암모니아성 질소임을 알았다. Table 2는 이들의 농도와 측정장소를 요약한 것이다.

3.2. 막모듈 적합성 검토

3.2.1. 불소

Fig. 4는 먹는 물 기준치 불소 1 ppm인 경우로서, feed의 농도를 0.9, 1.35 ppm으로 조작한 후, Fig. 1의 장치를 사용하여 시간에 따른 투과수의 농도를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, RO의 제거율이 가장 우수하였고, NF가 그 다음, 그리고 UF와 MF는 큰 차이 없이 비슷한 결과를 보여 주었다. Feed의 농도가 0.9 ppm에서는 RO와 NF, UF와 MF가 모두 먹는 물 기준치에 적합한 물을 얻을 수 있었던 반면에, 약 1 ppm을 넘을 경우에는 UF와 MF로는 불소를 충분히 제거하지 못하였다. 결국 불소의 경우, 1 ppm 이하의 농도를 가지는 지역에서는 어느 막이나 별 문제가 없었으나, 1 ppm을 초과하는 지역에서는 RO나 NF를 사용하여야 먹는 물 기준에 적합한 물을 얻을 수 있는 결과를 얻었다.

3.2.2. 염소

염소이온은 먹는 물 기준이 150 ppm이고 최대치가 560 ppm으로 나타났기 때문에, 기준치를 전후한 135, 270 ppm과 최대치를 전후한 450, 720 ppm의 농도로 실험한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 불소의 경우와 마찬가지로 RO1· RO2 > NF > UF1 · UF2 · UF3 · MF의 순으로 제거율을 보이고 있지만, UF와 MF의 경우는 MWCO에 상관없이 거의가 비슷한 정도의 제거율을 보이고 있다. Feed의 농도를 135 ppm으로 하였을 때는 어느 막이나 모두 먹는 물 기준에 적합한 수질을 유지시킬 수 있었다. 그러나 feed의 농도가 약 150 ppm을 넘어서면서부터는 UF와 MF가 기준을 벗

Table 2. Water quality at various places in 1995 : (a) purification plant (b) water tap (c) small water supply system

(a)

시 도		경기	충남	전 남		경 북						
정 수 장 명	기준	우정	옥룡	몽탄	돌산	도산	점곡	신령	청통	일직	의성	금성
불 소	1					1.5						
암모니아성질소	0.5		2.64	1.5								
질 산 성 질 소	10						28	14	13.2	23.2	12.3	13.9
염 소	150	157			265	185						

(b)

시도		경기	충남	전남		경북					
수도전명	기준	우정	옥룡	몽탄	돌산	도산	금성	점곡	신령	청통	일직
불소	1					1.3					
암모니아성질소	0.5		2.5	1.41							
질산성질소	10						14.2	27.6	14	13.4	22.9
염소	150	201			353						

(c)

시 도		인천	광주	경 기 도				충 북			충 남			전 북				전 남				경 북								경 남		
간이상수도명	기준	용진	북구	안성	남양	평택	화성	옥천	충주	제천	논산	서산	태안	임실	완주	무안	전주	나주	해남	무안	영광	목포	안동	상주	경주	봉계	옥산	청통	군위	영천	진주	하동	창원
불 소	1		1.3					1.5						1.4									1.6	1.6							1.4		
암모니아성질소	0.5																								0.91								
질 산 성 질 소	10			15.7	37.7	22	12.3		11.5	27.8	11.7	13	16.8	11.5	12.4	13.6	11	12.3	18	24.8	13					14.5	12	12	18.3	14.2		11.9	17.4
염 소	150	153					181															360										

어나기 시작하였고, 약 500 ppm을 넘어서면서부터는 NF로도 기준치 150 ppm인 물을 얻을 수가 없었다. 결국 염소의 경우, 150 ppm미만의 농도를 띠는 지역에서는 모든 막모듈을 다 사용할 수가 있으나, 150 ppm을 넘어서는 곳에서는 NF를 사용하여야 하며, 농도가 500 ppm을 넘는 지역에서는 RO를 사용하여야 먹는 물 기준에 적합한 수질의 물을 얻을 수 있었다.

3.2.3. 질산성 질소

Fig. 6은 여러 항목 중 최근에 많은 문제를 야기시키는 질산성 질소의 경우로, feed의 농도를 9, 18, 27 ppm으로 조절하여 실험한 결과이다. 먹는 물 기준치 10 ppm인 질산성 질소의 feed농도가 9 ppm일 때는 모든 막모듈로 기준치에 적합한 물을 만들 수가 있었다. 그러나, 약 10 ppm을 넘어서면서부터 UF와 MF가 먹는 물 기준치를 초과하였고, 약 20 ppm을 넘어서면서부터는 NF역시 먹는 물 기준치를 초과하기 시작하였다. 결국 질산성 질소의 경우, 10 ppm 이하의 농도

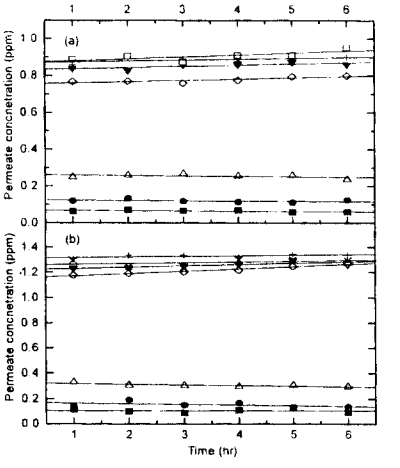

Fig. 4. Permeate concentration of fluoride of (a) 0.9 ppm and (b) 1.35 ppm aq. feed solution(■ RO1, ● RO2, ▲ NF, ▼ UF1, ◆ UF2, + UF3, × MF).

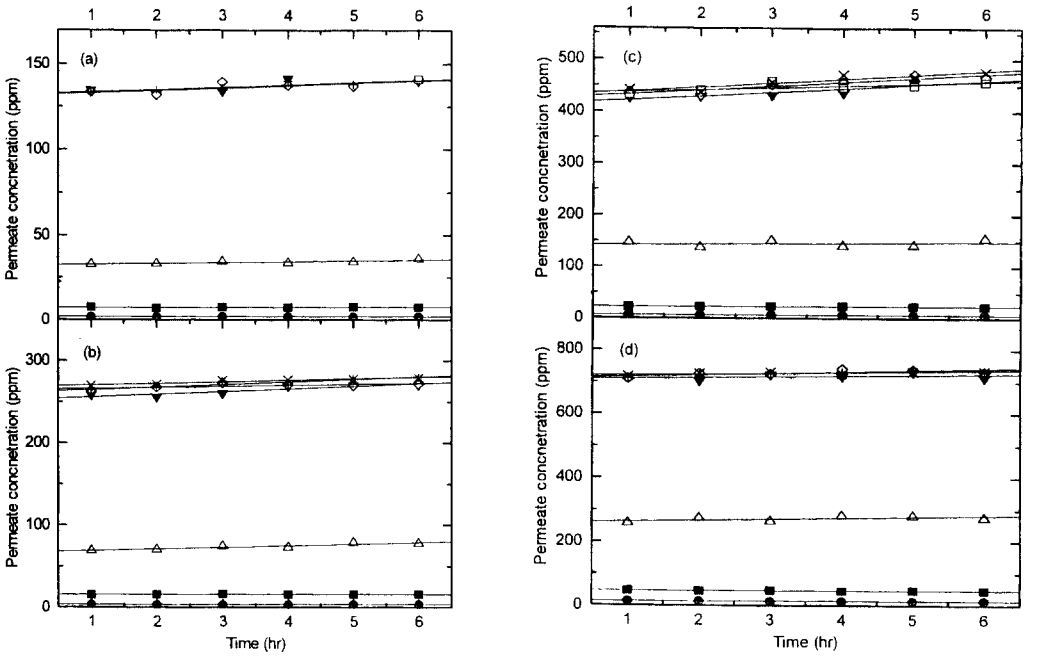

Fig. 5. Permeate concentration of chloride at (a) 135 ppm and (b) 270 ppm (c) 450 ppm (d) 720 ppm aq. feed solution (■ RO1, ● RO2, ▲ NF, ▼ UF1, ◆ UF2, + UF3, × MF).

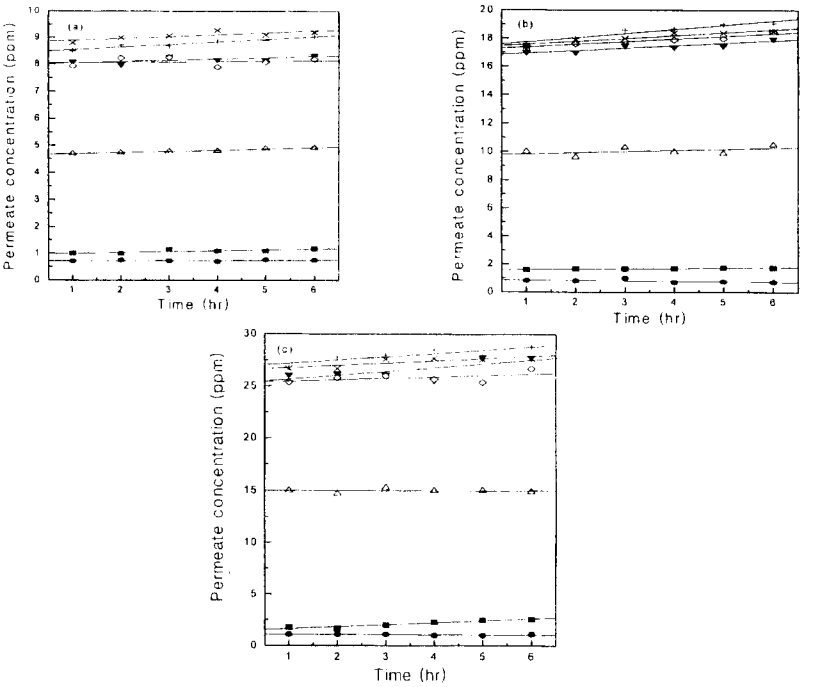

Fig. 6. Permeate concentration of nitrate nitrogen at (a) 9 ppm and (b) 18 ppm (c) 27 ppm aq. feed solution(■ RO1, ● RO2, ▲ NF, ▼ UF1, ◆ UF2, + UF3, × MF).

를 가지는 지역에서는 모든 막모듈을 사용할 수가 있으나, 10 ppm을 넘어서는 곳에서는 NF와 RO를, 20 ppm을 넘어서는 곳에서는 RO를 사용하여야만 환경부가 제시한 먹는 물 기준에 적합한 수질을 얻을 수 있다.

3.2.4. 암모니아성 질소

Fig. 7은 먹는 물 기준치 0.5 ppm인 암모니아성 질소의 경우이다. Feed의 농도를 약 0.5 ppm으로 맞추었을 때는 모든 막모듈이 먹는 물 기준치에 적합하였으나, 0.5 ppm을 넘어서면서부터 UF와 MF가 먹는 물 기준치를 벗어나기 시작하였고, 약 1 ppm을 넘어서면서부터는 NF 역시 먹는 물 기준치를 초과하였다. 결국 암모니아성 질소의 경우, 0.5 ppm 미만의 농도를 나타내는 지역에서는 어느 막을 사용하든지 별 문제가 없으나, 0.5 ppm을 넘어서는 지역에서는 NF를 사용하여야 하고, 1 ppm을 넘어서는 지역에서는 RO를 사용하여야만 먹는 물 기준에 적합한 수질의 물을 얻을 수 있다.

3.3. 기타

3.3.1 Conductivity, TDS, TC, IC, TOC 측정 결과

수돗물을 원수로 하여 Fig. 2와 같은 장치로 얻은 투과수의 수질을 전도도, 총용존고형물, 총탄소량, 무기탄소량과 총유기탄소량으로 측정한 결과를 Table 3에 나타내었다. 물 속에 존재하는 이온들의 양을 대표하는 전도도나 총용존고형물의 경우를 보면, 원수에 대하여 MF처리한 경우 약 2.5%정도의 제거율을 보여주고 있는데, 이는 MF에 의해 이온들이 거의 제거되지 않았음을 의미한다. UF는 약 5% 정도의 제거율을, RO또는 RO에 post-carbon filter를 부착한 경우에는 거의 90%이상의 제거율을 보였다. 반면, 수중에 존재

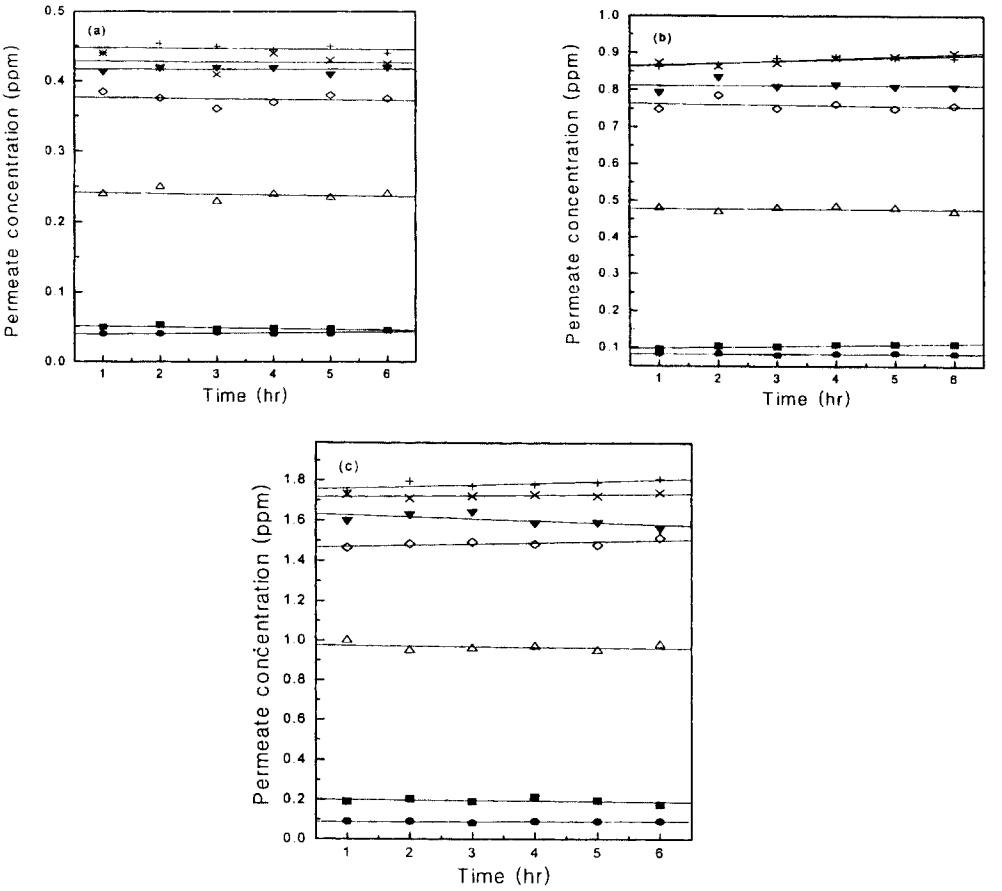

Fig. 7. Permeate concentration of ammonia nitrogen at (a) 0.45 ppm and (b) 0.9 ppm (c) 1.8 ppm aq. feed solution (■ RO1, ● RO2, ▲ NF, ▼ UF1, ◆ UF2, + UF3, × MF).

Table 3. Permeate qualities[a] by various membranes[b] against raw water

	Conductivity (μS/cm)	TDS (mg/ℓ)	TC (mg/ℓ)	IC (mg/ℓ)	TOC (mg/ℓ)
원수	189.4	91	12.14	10.72	1.42
MF	184.7	89	11.44	10.49	0.95
UF	179.4	86	11.17	10.25	0.92
RO	15.8	7	0.72	0.7	0.02
RO-C[c]	12.8	6	0.80	0.656	0.144

a) The operating pressure of each membrane module ; RO : 5.5 Kg/cm^2, UF : 0.8 Kg/cm^2, MF : 0.8 Kg/cm^2

b) The membranes used in this experiment are the same as shown in table 1. : RO2, UF3, MF.

c) RO-C means RO with post-carbon filter.

하는 유기물의 양을 보여주는 TOC의 경우, 원수에 대해 MF처리한 물의 제거율이 30%이상이다. 이것으로 RO나 UF에서 뿐만이 아니라 MF에 의해서도 상당량이 감소한 것을 확인할 수 있었다. Post-carbon filter를 사용한 경우에는 사용하지 않은 경우에 비해 전도도는 떨어졌고 TOC는 증가하였다. 이는 이온들이 post-carbon에 흡착하였기 때문에 전도도가 떨어졌으나, post-carbon에 흡착되어있던 유기물들이 용출됨으로써 총유기탄소량은 증가한 것으로 보인다.

3.3.2. 세균수 측정

Fig. 8은 시간과 온도에 따른 세균수의 변화를 측정한 것이다. RO와 UF 및 MF로 처리한 경우에는 시간에 따른 세균수의 증가가 거의 없는 결과를 얻었다. 이러한 결과는 크게 두 가지 이유로 해석되어 진다. 먼저 박테리아는 MF나 UF, RO등의 sieving effect로 인해 제거되기 때문에, 투과수에 처음부터 박테리아수가 극히 적었다. 이는 (a), (b), (c)와 (d)에서 처음 발견된 세균수로 확인할 수 있었다. 그리고 원수인 수도수는 정수장에서 이미 유기물 등이 충분히 제거가 된 상태였고, Table 3에서처럼 수도 속에 잔존하는 유기물들 역시 MF나 UF, RO에 의해 상당량 제거가 된 상태였다. 이는 유기탄소를 섭취해서 성장하는 대부분의 미생물에게 있어 주 영양원의 부족을 의미한다[6, 9-11]. 즉, 처음부터 성장할 수 있는 세균의 수가 적었고, 성장하기 위해 필요한 영양원 또한 희박했기 때문에 2주가 지나도록 미생물이 성장할 수 없었다고 볼 수 있다. RO에 post-carbon filter를 부착한 (b)의 경우에는 시간이 경과할수록 세균수가 뚜렷이 증가하여, 15℃에서는 7일째 이미 기준치 100 cfu/mℓ를

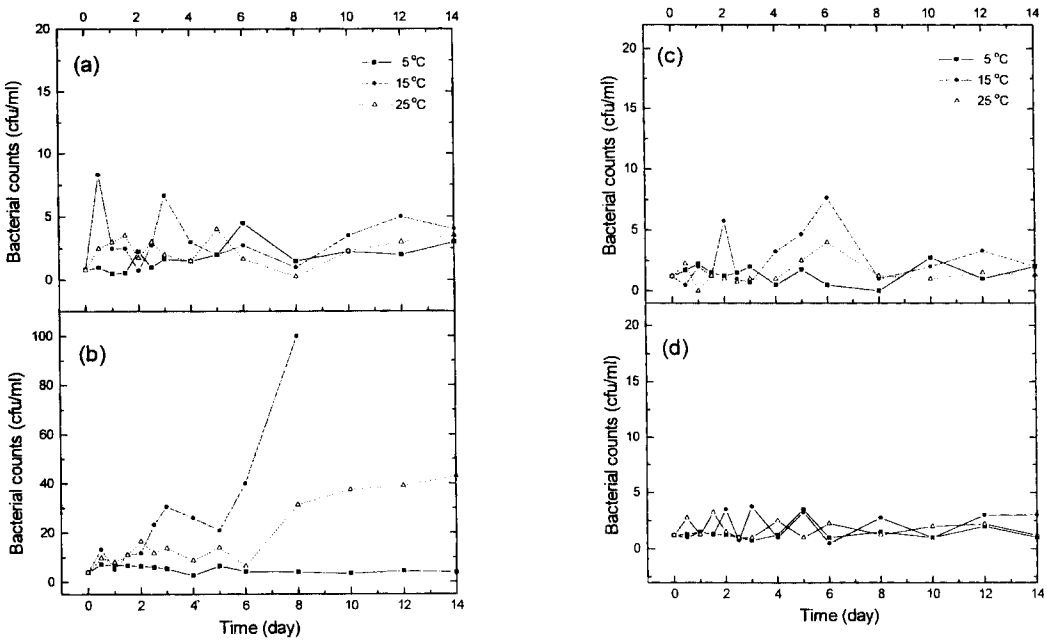

Fig. 8. Effect of time and temperature on bacterial growth (a) RO (b) RO-C (c) UF (d) MF.

초과하였다. 이는 우발적으로 filter를 통과한 세균이, 영양이 극히 제한된 환경 하에서 효율적으로 영양분을 섭취하기 위해 Post-carbon filter에 부착하였고, carbon-filter에 축적된 유기물을 영양원으로 이용하여 성장한 것으로 보여진다[6]. RO나 UF, MF에서는 온도에 따른 세균수 변화가 그리 크지 않았지만, 0℃나 25℃에서 보다는 15℃에서 조금 더 많이 관찰이 되었다. 그리고 이런 현상은 특히 RO-C에서 두드러졌다. 미생물에게는 그 미생물이 가장 잘 증식할 수 있는 정상환경온도라는 것이 있는데, 수중세균의 경우 최적 온도가 10~20℃이기에[12], 0℃나 25℃에서 보다는 15℃에서 많이 관찰된 것으로 보인다. 결국, 오염 없이 보관만 잘 한다면, 실온 이하의 온도에서는 post-carbon filter를 부착하지 않은 RO, UF, MF로 처리한 물은 약 2주까지 안전하였다. 반면, post-carbon filter를 부착한 module로 처리한 물은 6일 이상을 넘기면 세균에 의한 오염이 심각하였다.

4. 결 론

본 실험에서는 전국수질결과를 분석하여 먹는 물 기준을 초과하는 주 항목을 선정한 뒤, 국내에서 시판되고 있는 막 모듈을 이용하여 먹는 물 기준에 적합한 수질을 만들어 낼 수 있는가를 검토함으로써 지역별로 막선택을 차별화 하였다. 또한 막으로 처리하여 얻은 투과수를 일정 온도 하에서 보관하고, 일정 시간마다 세균수를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

	지방	RO	NF	UF, MF
정수장	경기	옥룡	우정	그 외 지역
	충남			
	전남	몽탄	돌산	
	경북	점곡, 일직	금성, 신령, 청통, 도산, 의성	
수도전	경기	옥룡	우정	그 외 지역
	충남			
	전남	몽탄	돌산	
	경북	점곡, 일직	도산, 금성, 신령, 청통	
간이상수도	인천	평택, 남양	옹진	그 외 지역
	광주		북구	
	경기		안성, 화성, 남양	
	충북	제천	옥천, 충주	
	충남	무안, 목포	논산, 서산, 태안	
	전북		완주, 임실, 부안, 전주	
	전남		나주, 영광, 해남	
	경북		경주, 군위, 상주, 영천, 안동, 봉계, 옥산, 청통	
	경남		진주, 하동, 창원	

(1) 지역별로 적합한 막 모듈을 검토한 결과 다음과 같았다.

(2) Post-carbon filter를 부착하지 않은 RO, UF, MF의 경우, sieving effect에 의해 세균과 유기물질들이 충분히 제거되었기에 2주간의 시간이 지나도 세균수 증가는 별로 없었다.

(3) RO에 post-carbon filter를 부착한 경우에는 carbon에 흡착된 유기물에 의해 세균이 증식할 수 있는 영양원이 제공되기에, 시간이 지날수록 세균수가 증가하였다. 보관 온도 15℃에서는 7일 이내에 기준치 100 cfu/㎖를 초과하였다.

(4) 온도에 따른 세균수 변화는 크지 않았지만, 5℃나 25℃에서 보다는 15℃에서 세균수가 조금 더 많았다.

감 사

본 논문은 과학재단 기능성 고분자 연구센타의 일부 지원에 의해 수행된 것으로서 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. The Membrane Society, *Drinking Water and Membrane Processes*, (1996).
2. 환경부, *1995년 상반기 먹는 물 수질검사 결과*, (1996).
3. 환경부, *1995년 하반기 먹는 물 수질검사 결과*, (1996).
4. S. T. Hwang and K. Kammermeyer, *Membranes in Separation*, (1975).
5. H. Strathmann and B. Bauer, *7th European Summer School in Membrane Science*, (.1989).
6. US Environmental Protection Agency, *Health Effect of Nitrates in Water*, (1977).
7. 박승조, *분석화학실험*, (1995).
8. 유명진, *상수처리*, (1995).
9. Ronald M. Atlas, *Pinciples of Microbiology*, (1995).
10. 정재춘, *상수처리와 미생물*, (1996).
11. S. S. Madaeni, A. G. Fane, *J. Memb. Sci.*, **102**, 65, (1995).
12. Shuji Nakatsuka, Ichiro Nakata, *Desalination*, **106**, 55, (1996).