

정수처리공정에 따른 일반세균과 대장균군의 제거에 관한 연구

조태석 · 김영규* · 정문호
서울대학교 보건대학원 환경보건학과
*용인대학교 환경보건학과

A Study on the Removal Effect of Bacteria and E. Coli. by Water Treatment Processes using Activated Carbon and Membrane

Tae Suk Cho, Young Gyu Kim* and Moon Ho Chung
Department of Environmental Health,
School of Public Health, Seoul National University
*Department of Environmental Health, Yong in University

ABSTRACT

This study has been designed to check the removal effect of contaminated water by various water treatment processes using sediment filter, activated carbon, reverse osmosis membrane, ultra violet sterilizer and ultra filtration and then to analyze the change of pH, the concentration of chlorides, bacteria and E. coli. after 24 hours. pH has increased as much as 0.15-0.32 by activated carbon but decreased sharply by reverse osmosis treatment after 24 hours. The removal effect of chloride was low by activated carbon and ultra filter but high in reverse osmosis. The removal effect of bacteria and E. coli was low by activated carbon and membrane filter system using activated carbon. Ultra filtration process was effective for purify agricultural water containg bacteria and E.coli.

Keywords : Membrane, Bacteria, E. coli., Activated carbon, Water

I. 서 론

우리나라 농촌의 수질은 농공단지의 산업폐수, 축산단지의 축산폐수, 생활하수와 분뇨, 공장폐수 등으로 오염되어 수질이 악화되고 있으며 최근 농어촌 개발공사에서 실시한 조사에서는 일부 지하수가 질산성질소나 세균등으로 오염되어 있다는 보고가 있었다.¹⁾ 또한 식수를 소독하여 먹는 경우가 거의 없는 농촌 지역의 간이급수 시설에서는 일반세균 및 대장균군이 검출되고 있다.²⁾ 또한 유기물을 함유한 물에 염소소독을 하는 경우 trihalomethane[THM]등의 발암성 물질이나 기타 염소계 화학물질 등이 생성됨으로써 또 다른 위해 요인이 되고 있다.^{3,4)} 이러한 문제점을 해결하기 위해 사용하는 막분리공정은 처리를 위한 소요부지면적이 적어 대도시등과 같이 지가가 높은 지역의 중·소규모 중수처리기술로서 적용

가능성이 매우 크다.^{5,7)} 또한 염소소독을 하지 않으므로 trihalomethane 등의 발암성 물질과 부산물이 생성될 염려가 없고 자동화가 가능하여 상수 및 중수처리에 이용되고 있다.^{8,12)} 그러나 역삼투막은 인체에 유익한 물 속의 미네랄을 거의 제거하고 막오염으로 인한 투과유량의 감소가 문제점으로 지적되고 있다.^{9,13)}

본 연구는 활성탄, 역삼투막, 자외선(UV)살균 및 한외여과막 등의 처리공정을 조합하여 여러가지의 정수처리공정을 만들고, 각 처리공정을 거친 처리수의 수소이온농도(pH) 및 염소이온 농도, 그리고 대장균군과 일반세균의 처리효과를 측정함으로써, 일반세균 및 대장균으로 오염된 지하수 및 음용수의 처리방법으로서 가장 적합한 공정과정을 조사하여 기존의 정수처리방법을 개선하기 위한 방안을 마련하고자 하였다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에서 사용한 역삼투막은 polyamide와 polysulfone성분의 복합막으로 pore size는 0.0001 μm , 여과 방식은 spiral형이며, 한외여과막은 0.01 μm 의 중공사막으로 여과 방식은 전 여과방식을 사용하였다. 활성탄은 야자껍질 활성탄으로 크기는 전 활성탄이 12×30 mesh, 후활성탄이 20×50 mesh 이었다. 여과 필터는 polyethylene의 성분으로 만들어졌으며, 자외선 살균장치는 석영관에 자외선등을 장치하여 사용하였다.¹³⁾

2. 실험방법

실험에 사용한 실험장치는 여과막, 활성탄, 한외여과막, 역삼투막을 조합하여 정수처리의 각 공정이 수처리에 미친 영향을 파악하였다. 공정 A는 여과막과 활성탄, 공정 B는 여과막, 활성탄과 역삼투막을 사용하였고, 공정 C는 여과막과 역삼투막, 공정 D는 여과막, 활성탄, 역삼투막, 후활성탄, 자외선등을 사용하였으며 공정 E는 여과막과 한외여과막을 사용하였다. 본 실험은 수도수 180 l에 실험동물의 분변으로 오염된 오수 37 ml를 인위적으로 오염시킨 인공수를 사용하였으며 각 공정별로 초기처리수와 24시간후의 처리수 1 l를 경질유리병에 담아 pH는 Orion 940 pH Meter, 염소이온은 Mohr법, 일반세균과 대장균은 평판배지법을 사용하여 측정하였다.^{14,15)}

III. 실험 결과 및 고찰

Table 1. The change of pH in each process

Process Time	A	B	C	D	E
	After 0 hour	6.84	6.20	6.23	6.32
After 24 hour	7.10	6.41	6.13	6.26	6.94

Table 2. The change of chloride in each process

Process Time	A		B		C		D		E	
	conc. (ppm)	efficiency (%)	conc. (ppm)	efficiency (%)	conc. (ppm)	efficiency (%)	conc. (ppm)	efficiency (%)	conc. (ppm)	efficiency (%)
After 0 hour	16.1	10.1	13.7	23.5	7.7	57.0	13.7	23.5	17.3	3.4
After 24 hour	16.1	10.1	13.7	23.5	3.0	83.2	3.0	83.2	16.1	10.1

1. 각 공정별 처리수의 수소이온농도(pH)

수소이온농도(pH)가 6.77인 실험원수를 각 공정별로 처리할 경우의 pH변화를 보면 Table 1과 같다. 활성탄을 사용한 A공정의 초기 처리수의 pH는 6.84, 24시간 후에는 7.10으로 원수보다 약간 높게 나타난 것은 야자껍질 활성탄이 염기성을 띠고 있는 것에 기인하였다. 활성탄과 역삼투막을 사용한 B공정의 초기 처리수의 pH는 6.20, 24시간 후에는 6.51로 나타났다. 역삼투막을 사용한 C공정의 초기 처리수의 pH는 6.23, 24시간 후에는 6.13, 활성탄과 역삼투막뒤에 후 활성탄을 사용한 D공정의 초기 처리수의 pH는 6.32, 24시간 후에는 6.26으로 나타났다. 한외여과막을 사용한 E공정의 초기 처리수의 pH는 6.93, 24시간 후에는 6.94로 나타났다. 역삼투막을 사용한 공정에서 pH가 감소되는 원인은 완충역할을 하는 HCO_3^- , CO_3^{2-} 등의 음이온과 Ca^{2+} , Mg^{2+} 등의 양이온이 제거되어 물 속에 있던 CO_2 와 공기 중에서 용해된 CO_2 가 H_2CO_3 를 형성하였다고 판단된다.^{13,16)}

2. 각 공정별 처리수의 잔류 염소 농도

염소이온이 17.9 ppm인 실험원수를 각 공정별로 처리한 경우 Table 2와 같이 활성탄을 사용한 A공정의 초기 처리수는 16.1 ppm, 24시간 후에도 16.1 ppm으로 변화가 없었고, 원수의 농도와 비슷하여 활성탄은 염소이온을 10.1% 제거시키지 것으로 나타났다. 활성탄과 역삼투막을 사용한 B공정은 초기 처리수의 농도가 13.7 ppm으로 23.5%의 제거효율을 나타냈으며 24시간 후에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 역삼투막을 사용한 C, D공정은 초기 처리수가 각각 7.7 ppm, 13.7 ppm이었으나, 24시간 후의 처리수는 각각 3.0 ppm으로 염소이온의 처리효율이 각각 83.2%의 높은 제거효율을 나타냈다. 한외여과막을 사용한 E공정은 초기처리수가 17.3 ppm, 24시간 후의 처리수는 16.1 ppm으로 10.1%의 제거효율을 나타냈다.

Table 3. The change of escherichia coliforms in each process (unit : MPN/50 ml)

Process	A		B		C		D		E	
	conc. (MPN/ 50 ml)	effi- ciency (%)	conc. (MPN/ 50 ml)	effi- ciency (%)	conc. (MPN/ 50 ml)	effi- ciency (%)	conc. (MPN/ 50 ml)	effi- ciency (%)	conc. (MPN/ 50 ml)	effi- ciency (%)
After 0 hour	0	100.0	20	99.0	0	100.0	0	100.0	0	100.0
After 24 hour	200	90.1	10	99.5	0	100.0	190	90.6	0	100.0

Table 4. The change of bacteria in each process (unit : CFU/ml)

Process	A		B		C		D		E	
	conc. (CFU/ 50 ml)	effi- ciency (%)	conc. (CFU/ 50 ml)	effi- ciency (%)	conc. (CFU/ 50 ml)	effi- ciency (%)	conc. (CFU/ 50 ml)	effi- ciency (%)	conc. (CFU/ 50 ml)	effi- ciency (%)
After 0 hour	0	100.0	160	96.5	0	100.0	0	100.0	0	100.0
After 24 hour	1,500	67.0	200	95.6	0	100.0	450	90.1	0	100.0

3. 각 공정별 처리수의 대장균군 변화

대장균수가 2,022 MPN/50 ml인 실험원수를 각 공정별로 처리할 경우 Table 3와 같은 결과를 보였다. 활성탄을 사용한 A공정의 초기처리수는 대장균군이 제거되었으나, 24시간 후에는 200 MPN/50 ml으로 90.1%의 제거효율을 나타냈다. 활성탄과 역삼투막을 사용한 B공정의 초기처리수는 20 MPN/50 ml으로 99.0%, 24시간후의 처리수는 10 MPN/50 ml으로 99.5%의 제거효율을 나타냈다. 여과막과 역삼투막을 사용한 C공정은 초기처리수 및 2시간후 처리수 모두에서 대장균군이 제거되었다. 활성탄과 역삼투막뒤에 후 활성탄을 사용한 D공정의 초기처리수는 0 MPN/50 ml이었으나, 24시간후의 처리수는 190 MPN/50 ml으로 90.6%의 제거효율을 나타내 활성탄만 사용한 A공정과 비슷하게 나타났으며 이것은 활성탄에 대장균군이 증식하고 있다가 투과 압력에 의하여 배출되었기 때문인 것으로 보인다. 한외여과막을 사용한 E공정의 초기처리수와 24시간후의 처리수의 대장균군은 전혀 나타나지 않아 역삼투막이나 한외여과막을 마지막 공정에 사용한 처리수에서는 대장균군이 검출되지 않는 것으로 나타났다.

4. 각 공정별 처리수의 일반 세균 변화

일반세균수가 4,550 CFU/ml인 실험원수를 각 공정별로 처리한 처리수의 일반세균수를 보면 Table 4와 같다. 활성탄을 사용한 A공정의 초기 처리수는 0 CFU/ml이었으나 24시간 후에는 1,500 CFU/ml으로 67.0%의 제거효율을 나타냈다. 활성탄과 역삼

투막을 사용한 B공정의 초기처리수는 160 CFU/ml로 96.5%의 제거효율을 24시간 후에는 200 CFU/ml로 95.6%의 제거효율을 나타냈다. 역삼투막과 한외여과막을 사용한 C공정과 E공정의 초기 처리수와 24시간 후의 처리수는 각각 0 CFU/ml으로 100.0%의 제거효율을 나타냈다. Jacangelo와 Adham 등의 연구^{17,18)}에서도 한외여과막 사용시 대부분의 박테리아와 바이러스를 제거하는 것으로 나타났다.^{19,20)} 활성탄과 역삼투막뒤에 후 활성탄을 사용한 D공정의 초기처리수는 0 CFU/ml이었으나 24시간 후의 처리수는 450 CFU/ml로 90.1%의 제거효율을 나타내 역삼투막뒤에 사용한 활성탄에 잔류되어 있던 일반세균이 용출된 것으로 생각된다. 세균이 검출될 가능성 있는 지하수와 거의 소독을 하지않고 음용하는 농어촌의 간이 급수시설의 물은 한외여과막공정을 고려해 볼 필요가 있다고 본다.

IV. 결론 및 요약

본 연구에서는 실험동물의 분변으로 오염된 실험원수를 활성탄, 역삼투막, 한외여과막 등의 공정을 적절히 조합하여 각 공정별로 처리한 pH, 염소이온 농도, 대장균군, 일반세균의 제거효율을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수소이온농도(pH)의 변화를 보면 활성탄을 통과한 처리수의 pH는 0.15-0.32 정도 증가하였고, 역삼투막을 통과한 처리수는 pH가 낮아졌으며, 한외여과막을 통과한 경우에는 거의 변화가 없었다.

2. 24시간 후의 염소이온의 처리 효율을 보면 활성탄을 사용한 공정은 24시간후에 10.1%, 활성탄과 역삼투막을 사용한 공정은 23.5%, 역삼투막을 사용한 공정은 83.2%의 높은 제거효율 한외여과막을 사용한 공정은 10.1%의 제거효율을 나타냈다.

3. 역삼투막과 한외여과막은 실험수의 일반세균과 대장균군을 모두 제거하였으나 활성탄을 사용한 공정에서는 일반세균과 대장균군이 검출되는 것으로 나타났다. 이는 활성탄에 미생물이 증식하고 있다가 투과압력에 의하여 용출된 것으로 보인다. 따라서 원수의 수질은 깨끗하나 일반세균 및 대장균으로 오염될 가능성이 높은 지하수나 간이 급수 시설의 물은 활성탄을 사용하지 않는 한외여과막 공정만으로 정수처리하는 것이 효과적인 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 농어촌 진흥공사 : 지하수 개발과 농어촌 용수, 19, 1994.
- 2) 정문호 : 일부 농촌 지역의 간이상수도의 운영실태와 개선방안에 관한 조사연구, 한국환경위생학회지, 17(1), 57-66, 1991.
- 3) 권숙표 : 먹는 물과 건강, 한국막학회 산학협동 심포지움, 5-26, 1996.
- 4) 조영하 : 수질오염과 물의 올바른 이용, 물과 인간 생활에 관한 세미나, 1-11, 1995.
- 5) Anselme, C. et al. : Optimum use of membrane processes in drinking water treatment. Proceedings of the IWSA conference, Special subject No.2, membrane technology, 1-11, 1993.
- 6) Thebault, P. et al. : Ultrafiltration in drinking water treatment. Proceedings of the Conference Euromembrane, Paris, 6(21), 127-132, 1992.
- 7) Pickering K.D., Wiesner M.R. : Cost model for low-pressure membranes filtration, Journal of Environmental Engineering, 119(5), 772-797, 1993.
- 8) 김정학 : MF/UF 막을 이용한 음용수 처리현황 및 전망, 한국막학회 산학협동 심포지움, 94-104, 1996
- 9) 김권일 : R/O 막을 이용한 먹는 물 처리, 한국막학회 산학협동 심포지움, 105-120, 1996.
- 10) Wiliam, W. J., Maclellan, S.A. : Membrane softening, J. AWWA, 81(11), 47-51, 1989.
- 11) Talor, J. S., Mulford, A., Duranceau, S. J., and Barrentt, W. M. : Cost and performance of a membrane pilot plant, J. AWWA, 81(11), 52-60, 1989.
- 12) 안규홍, 권지향 : 막분리를 이용한 중수도 기술, 11(6), 32-37, 1993.
- 13) 정문호 : 역삼투막을 통과한 처리수의 수질 특성에 따른 특정 질환의 발생 유무에 관한 연구, 웅진보고서, 1-20, 1996.
- 14) American Public Health Association : Standard Method 18th Edition, 9-132, 1992.
- 15) 동화기술, 공정시험방법(수질오염), 118-120, 261-267, 1993.
- 16) Manahan, S. E., : Environmental Chemistry, 4, Lewis Publishers, Inc., 22-28, 1990.
- 17) Jacangelo, K. G., Lainem, J. M., Carans, K. E., Cunings, E. W. and malleval J., : Low-Pressure membrane filtration for removing giardia and microbial indications, J. AWWA, 83(9), 97-106, 1991.
- 18) Adham, S. S., Snoeyink, V. L., Clark, M.M., and Bersillon, J.L., : Predicting and verifying organics removal by in an ultrafiltration treatment, J. AWWA, 83(12), 81-91, 1991.
- 19) Anselme C. et al., : Removal of total organic matters and micropollutants by membrane processes in drinking water treatment. Proceedings of the IWSA conference, Wasser Berlin, 1993.
- 20) Anselme, C. et al., : The use of powered activated carbon for the removal of specific pollutants in ultrafiltration process. Proceedings of the AWWA Membrane Processes Conference, Orlando, Florida, 571-586, 1991.