

농어촌의 수질오염과 수질특성에 적합한 정수 처리시스템의 개발에 관한 연구(1)

정문호 · 김영규* · 조태석 · 배현주 · 신명옥 · 김수연 · 김민지 · 김민영 · 김수복* · 신현순* · 권병철*

서울대학교 보건대학원 환경보건학과, *용인대학교 환경보건학과

A Survey of water pollution and the development of water treatment system on agricultural Area

Moon-Ho Chung · Young-Gyu Kim* · Tae-Suk Cho · Heun-Ju Bai · Meomg-Ok Shin Su-Heun Kim · Min-Ji Kim · Min-Young Kim · Su-Bok Kim* · Heun-Sun Shin* · Byung-Chul Kuen*

Department of Environmental Health, School of Public Health, Seoul National University

** Department of Environmental Health, Yongin University*

Abstract

The purpose of this study was to investigate the removal effect and variation of contaminated water by various water treatment processes using sediment filter, activated carbon, photocatalysis, reverse osmosis, ultra violet sterilizer and ultra filtration. The removal effect of chloride and trace metal 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 but high in impregnated activated carbon. The removal effect of TCE was low in sand and ultra filter system as compared with activated carbon. Ultra filtration process was effective for purify agricultural water without *E. coli*. Reverse osmosis was effective to remove heavy metal and activated carbon was effective to remove halogenated organic chemical compound. The flux and the removal effect of COD in spiral wound ultrafilter were higher than the hollow fiber ultrafilter.

I. 서론

우리나라의 농어촌은 산업폐수, 축산폐수, 생활하수와 분뇨, 농약, 농경지에서 유출되는 유기물 등에 의하여 수질이 악화되고 있다. 현재 사용하고 있는 간이상수도나 개인수도의 지하수 수심이 대부분 20m 이내이고 하천이나 산에서 내려오는 지표수나 지하수의 관리부족으로 질산성질소, 일반세균, 대장균 등의 오염이 심각한 것으로 나

타고 있다. 정^{1,2)}의 조사에 의하면 간이급수시설의 70%가 일반세균 및 대장균으로 오염되었으며 탁도와 질산성 질소의 오염이 20% 정도를 차지하고 있다. 그러나 농어촌의 식수를 소독하여 먹는 가정은 거의 없으며 이는 염소소독시 냄새가 심하여 사람이나 가축이 음용하기를 기피하며 실제 염소소독하기가 어렵기 때문인 것으로 나타나 수인성질병의 위험이 상존하고 있는 실정이다. 염소소독

을 하는 경우에도 유기물이 다량 들어있는 현재의 물을 염소소독하면 THMs등의 발암성물질이 발생하므로 또 다른 위해요인을 야기하고 있다³⁾. 또한 농촌에는 계절별로 수량이 부족하여 오염된 물을 활성탄, 멤브레인등으로 처리하여 재사용을 실시하여야 할 필요성이 커지고 있다. 현재 많이 연구되고 있는 막분리 기술은 염소소독을 하지 않으므로 trihalomethane 등의 발암성 물질과 부산물이 생성될 염려가 없고 자동화가 가능하여 상수처리에 이용되고 있다^{4,6)}. 따라서 본 연구에서는 간이상수도와 개인수도를 사용하는 농촌지역의 지하수와 지표수에서 유기물질과 일반세균등의 미생물, 질산성질소등이 검출되는지를 조사하고자 한다. 또한 미생물과 유기물로 오염된 물을 역삼투막, 한외여과막, 활성탄, 자외선, 염소소독등으로 처리하여 미생물, 중금속, 미량유기화합물질의 시간적 변화와 일반세균 및 대장균으로 오염된 물을 처리하기에 적합한 공정을 조사하고자 하였다. 기존의 정수처리 방법을 개선하기 위해 PILOT PLANT를 설치하여 염소소독의 대체제로 활성탄소독제와 역삼투막이 농촌지역의 음용수 정수처리 방법으로 적합한지와 기존의 소독방법을 개선하기 위한 방안을 연구하였다. 또한 휘발성 유기물질, 중금속, 미생물등으로 오염된 물에 모래여과, 활성탄 및 멤브레인, 광촉매를 병행처리하여 음용수 수질에 적합한 양질의 물을 공급하기 위한 정수처리시스템을 개발하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시료수

농어촌의 간이급수시설과 개인수도의 지하수 및 지표수의 유기물질과 일반세균, 대장균, 질산성질소, 중금속등이 검출되는지를 조사하였으며 농어촌의 수질특성에 적합한 수처리시스템에 사용한 시료수는 지하수, 질산성질소와 미생물로 오염된 물, 일반세균 및 대장균, 중금속등을 넣어 인위적으로 오염시킨 인공수를 사용하였다. 농어촌에서 문제시 될 수 있는 수질항목을 중심으로 선정하였으며 처리공정과 시간에 따른 유량 변화를 조사하고 원수와 처리수의 일반세균 및 대장균은 평판배지법, pH는 Orion 920 pH Meter, 염소이온은 Mohr법, COD는 산성하에서 과망간산칼륨에 의한 방법, 잔류염소는 DR-2000으로 측정하고 Ca, Mg, Pb, Cd등의 중금속은 시료 일정량을 취하여 ICP-AES(Inductively Coupled

Plasma Atomic Emission Spectrometry)로 측정하였다. 휘발성 화합물인 Trichloroethylene(TCE), Chloroform, Bromoform Bromodichloromethane, Dibromochloromethane은 시료를 25ml 취하여 Hexane 5ml로 농축한후 ECD가 있는 Gas Chromatography(Hewlett Packard 5890 A)로 측정하였다⁷⁾.

2. 농어촌의 수질특성에 적합한 수처리 시스템

2.1. 농촌 일부지역의 수질에 대한 주민인식 및 수질조사

1996년 6월에 강원도 춘천시 농촌의 일부지역에 대한 간이상수도와 자가수도에 대한 주민의 인식과 수질 조사를 실시하였다. 설문은 112가구 329명을 대상으로 하였으며 수질검사는 간이상수도 7가구, 자가상수도 15가구를 조사하였다. 설문은 면접조사하였으며 질산성질소, 암모니아성질소, 탁도, 경도, 철, 망간의 이화학적 검사는 DR-2000 Spectrophotometer와 일반세균 및 대장균은 평판계수법으로 측정하였다.

2.2. 멤브레인, 활성탄을 이용한 지하수

멤브레인과 활성탄의 시스템에 의한 효과를 보기위해 실험원수는 용인대학교의 지하수를 200 l의 통에 받아 사용하였고, 모든 공정은 미생물의 영향을 배제하기 위하여 처음에 0.3%의 NaOCl 약 18 l로 소독한후 증류수로 씻어내고 실험을 시작하였다. 활성탄은 일본 비즈비시의 야자껍질활성탄을 사용하였으며 여과필터는 기공이 20 μ m크기의 Polyethylene, 한외여과막은 0.01 μ m의 spiral wound type이며 분자분획 15,000 MWCO, 역삼투막은 0.0001 μ m의 spiral형이며 표면적이 0.263m²이고 membrane의 재질은 polyamid와 polysulfon의 복합막이다. 한외여과막의 spiral과 hollow type의 형태에 따른 수처리 효과를 보기 위해 분자분획이 30,000의 한외여과막을 사용하였다. 공정 A는 원수, 공정 B는 여과필터, 한외여과막, 공정 C는 여과필터, 한외여과막, 활성탄, 공정 D는 여과필터, 한외여과막, 활성탄, 역삼투막 등을 사용하였다. 막의 처리수와 crossflow유량은 유량계를 부착하여 측정하였고 실제 유량을 메스실린더로 측정하였으며 막 모듈의 유입구에 압력계를 부착하여 초기의 투과압력을 조절하고 실험중 투과압력의 변화를 측정하였다. 유입부의 압력은 공정 C는 6.3 kgf/cm²의 압력으로 68일간 측정하였으며 초기를 제외하곤 1주일에 1번씩 샘플을 채취하여 flux변화와 수처리효율을 조사하였다. 공정 Q는 여과필터, 활성탄, spiral wound type한외여과막을 사용하였고 공정 R은 여

과필터, 활성탄, hollow fiber type 한외여과막을 사용하였으며 1.0kgf/cm²의 압력으로 53일간 측정하였다.

2.3. 유기물과 미생물로 오염된 물

실험원수는 축산폐수와 인분을 1차 처리하고 생활하수를 표준 활성슬러지법으로 합병처리한 하수처리장의 방류수를 200 l의 통에 받아 실험원수로 사용하였고 처리수와 폐수를 원수조에 넣어 사용하였다. 원수조의 교반은 원수조로 반송되는 crossflow의 유속에 의한 흐름을 이용하였다. 실험에 사용한 활성탄은 일본 미쯔비시의 아자겍질활성탄을 사용하였으며 기공크기는 15.7 μ m, 비표면적은 1,251m², 길이는 19.3cm, 부피는 390ml이었다. 여과필터는 기공이 20 μ m크기의 Polyethylene, 한외여과막은 0.01 μ m의 spiral type으로 분자분획이 6,000 이고 표면적은 0.292m²이며 역삼투막은 0.0001 μ m의 spiral type이며 표면적이 0.263m², polyamid과 polysulfon의 복합막을 사용하였다. 실험장치는 여과막, 활성탄, 한외여과막, 역삼투막을 조합하여 정수처리의 각 공정이 수처리에 미친 영향을 파악하였다. 공정 F는 실험원수이고 공정 H는 여과필터, 활성탄, 공정 I는 여과필터, 활성탄, 한외여과막, 공정 J는 여과필터, 활성탄, 한외여과막, 역삼투막, 자외선 등을 사용하였다. 막의 처리수와 crossflow유량은 유량계를 부착하여 측정하였고 실제 유량을 메스실린더로 측정하였으며 막 모듈의 유입구, crossflow 유출부에 압력계를 부착하여 초기의 투과압력을 조절하고 실험중 투과압력의 변화를 측정하였다. 유입부는 6.3kgf/cm²의 압력으로 99일간 측정하였으며 초기를 제외하곤 1주일에 1번씩 샘플을 채취하여 물의 Flux변화, 압력의 변화, 시간에 따른 오염도의 변화, 수처리효율을 조사하였다. 한외여과막의 spiral과 hollow type의 모듈 형태에 따른 수처리 효과를 보기 위해 분자분획이 30,000의 한외여과막을 사용하였다. 공정 S는 여과필터, 활성탄, hollow 한외여과막, 공정 T는 여과필터, 활성탄, spiral 한외여과막을 사용하였으며 1.0 kgf/cm²의 압력으로 측정하였다.

2.4. 미생물, TCE, Pb로 오염시킨 인공수

조제액은 6ml의 TCE를 에틸알콜 12ml에 녹인후 20 l의 하수처리장 방류수에 넣고 원자흡광용 납(Pb)표준액(1000ppm) 100ml를 넣었다. 이액을 잘 섞은후 100 l의 수도수가 있는 물에 100ml를 넣고 잘 흔들어 주었으며 조제액을 분당 약 5ml/min의 유속으로 원수에 섞어 주었

으며 원수에 유입되는 수도수의 유속은 처리수의 유속과 비슷하게 조절하였다. 모든 공정은 중류수로 씻어내고 실험을 시작하였으며 막의 처리수와 crossflow유량은 유량계를 부착하여 측정하였고 실제 유량을 메스실린더로 측정하였다. 막 모듈의 유입구에 압력계를 부착하여 초기의 투과압력을 한외여과막은 1.0kgf/cm², 역삼투막의 유입부 압력은 6.3 kgf/cm²의 압력으로 각 일수에 샘플을 채취하여 유량과 압력의 변화, 수처리효율을 조사하였다. 마지막 날에 받은 처리수의 일부는 0.5 μ l - NaOCl 을 500 ml의 처리수에 넣어 흔들어 준후 15분간 발효하고 잔류염소를 측정하고 차아염소산나트륨에 의한 소독효과를 보았다. 실험항목은 잔류염소, 대장균군, TCE, THM, 중금속(Cd, Pb, Ca, Mg), pH, COD, 압력의 변화, 유량의 변화를 측정하였다. 한외여과막의 형태와 역삼투막에 의한 인공수의 수처리를 평가하기 위해 A1은 역삼투막, A2는 hollow type의 한외여과막, A3은 spiral type의 한외여과막을 사용하였다. S사에서 만든 hollow type의 한외여과막의 재질은 polysulfon, 분자분획은 30,000이며 제거율이 90%, 비표면적(Surface area)이 0.2m² 이었다. J사에서 만든 spiral type의 한외여과막 재질은 polysulfon, 분자분획은 30,000이며 제거율이 80%, 비표면적(surface area)이 0.5m² 이었다. 모래와 활성탄, 한외여과막을 이용한 인공수의 수처리효과를 보기위해 사용한 모래는 0.8mm의 급속여과사이며 사용한 량은 2.5kg이었다. 톱밥활성탄은 604kg, 침착톱밥활성탄은 595kg, 한외여과막은 J사에서 만든 spiral type으로 재질은 polysulfon, 분자분획은 35,000이며 제거율이 80%, 비표면적(surface area)이 0.5m² 이었다. 수처리시스템을 보면 B1은 모래여과후 살균하였으며 B2는 모래와 톱밥활성탄후 살균, B3은 모래와 침착톱밥활성탄후 살균, B4는 모래와 한외여과막(spiral, 1.0kgf/cm²)후에 살균을 실시하였다. 광분해효과를 검토하기 위해 수돗물 40 l에 TiO₂ 분말 20g과 조제액 40ml를 넣고 UV를 조사하며 실험을 하였다. TiO₂ 분말이 다시 반응조에 유입되도록 한외여과막의 폐수를 반응조에 넣어 연속적인 반응이 일어나도록 하였다.

D1은 TiO₂ 반응조후에 살균, D2는 UF(spiral, J사, 분자분획 30,000)후에 살균, D3은 역삼투막후에 살균, D4는 UF(hollow, S사, 분자분획 30,000)후에 살균을 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 농어촌 지하수의 수질에 대한 인식과 수질조사

수질에 대한 만족도는 간이상수도물 사용하는 주민은 33.3%, 자가수도를 사용하는 주민은 17.3%가 불만족을 나타내고 식수에 대한 소독은 응답자중 31.9%만이 소독한다고 대답하였다. 22개 수원에 대한 수질검사에서 일반세균은 21개소(95.5%), 대장균군은 13개소(59.1%), 질산성 질소는 2개소(9.1%), 철은 2개소(9.1%), 암모니아성 질소는 1개소(4.5%)에서 음용수 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 관정의 깊이가 얇은 곳에서 지하수를 사용하는 자가상수에서 일반세균 및 대장균이 수질기준을 초과하는 것으로 나타나 소독과 정수방법의 개선이 요구되었다.

2. 농어촌의 수질특성에 적합한 수처리 시스템

농어촌의 지하수나 지표수는 주로 미생물오염과 질산성질소의 오염이 문제점으로 나타나 기존의 응집과 침전, 모래여과 공정보다는 한외여과막과 소독에 중점을 둘 필요가 있다.

2.1. 미생물이 있는 지하수의 처리 효과

지하수와 비슷한 성분으로 되어있는 물에 미생물을 약간 오염시켜 활성탄, 역삼투막, 한외여과막의 모듈형태들에 의한 수처리효과를 조사하였다.

2.1.1. 일반세균의 시간적 변화

원수의 일반세균은 시간이 지남에 따라 증가하여 43일 후에는 1,200CFU/ml로 증가하였다. 43일후에 한외여과막을 사용한 B공정은 560 CFU/ml로 53.3%, 한외여과막과 활성탄을 사용한 C공정은 580 CFU/ml로 51.7%의 제거효율을 나타냈고 한외여과막과 활성탄뒤에 역삼투막을

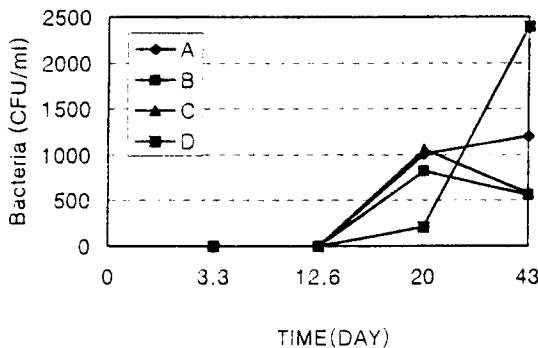


Fig. 1. Variation of bacteria in each process

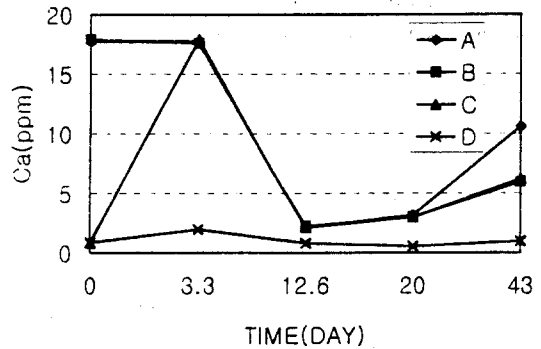


Fig. 2. Variation of Ca in each process

사용한 D공정은 2,400 CFU/ml로 증가하였다. 한외여과막의 모듈 형태에 따른 처리효과를 보면 원수의 농도는 53일후에 460CFU/ml로 나타났으며 Spiral 한외여과막을 사용한 Q공정은 80 CFU/ml로 82.6%, hollow 한외여과막을 사용한 R공정은 180 CFU/ml로 60.9%의 제거효율을 나타내 hollow type의 한외여과막보다는 spiral 한외여과막이 미생물의 제거에 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 spiral type의 한외여과막은 cross flow의 배출시 membrane에 있는 미생물의 fouling을 제거하는 효과가 있기 때문으로 보인다. 활성탄과 멤브레인을 사용한 모든 공정에서 시간이 지남에 따라 미생물이 부착하고 용출되는 것으로 나타나 미생물이 다량으로 포함된 물을 정수 처리할 경우에는 미생물의 소독이 요구되었다.

2.1.2. 칼슘농도의 시간적 변화

원수의 Ca농도는 초기에 17.8ppm이었으나 43일후에는 10.6ppm으로 약 7.1ppm이 공정중의 재질에 오염되어 제

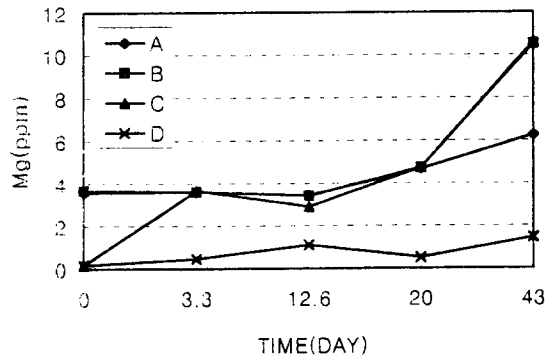


Fig. 3. Variation of Mg in each process

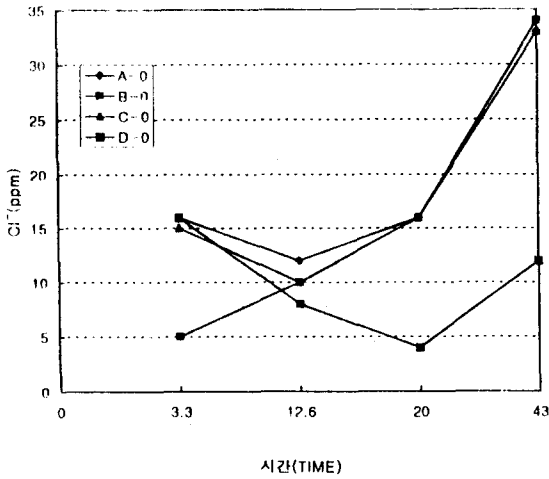


Fig. 4. Variation of Cl⁻ in each process

거된 것으로 나타났다. 43일후에 한외여과막을 사용한 B공정은 5.97ppm으로 16%, 한외여과막과 활성탄을 사용한 C공정은 6.24ppm으로 12.1%, 한외여과막과 활성탄뒤에 역삼투막을 사용한 D공정은 0.98ppm으로 86.2%의 제거효율을 나타냈다. 한외여과막의 모듈형태에 따른 처리효율에서는 원수의 Ca농도는 초기에 17.7ppm 이었으나 53일후에는 3.7ppm으로 약 14ppm이 공정중의 재질에 오염되어 제거된 것으로 나타났다. Spiral 한외여과막을 사용한 Q공정은 53일후에는 5.05ppm, hollow 한외여과막을

사용한 R공정은 3.49ppm으로 한외여과막에 의한 칼슘의 제거효율을 나타내지 못했다.

2.1.3. 마그네슘농도의 시간적 변화

원수의 Mg농도는 초기에 3.55ppm이었으나 43일후에는 6.26ppm으로 약 2.7ppm이 공정중의 재질에 의해 증가된 것으로 나타나 활성탄의 Mg농도가 용출되어 증가한 것으로 생각되어 추가적인 조사가 요구된다. 43일후에는 한외여과막을 사용한 B공정은 10.5ppm, 한외여과막과 활성탄을 사용한 C공정은 10.6ppm, 한외여과막과 활성탄뒤에 역삼투막을 사용한 D공정은 1.45ppm으로 76.8 %의 제거효율을 나타냈다. 한외여과막의 모듈형태에 따른 처리효율에서는 원수의 Mg농도는 초기에 3.6ppm이었으나 53일후에는 5.19ppm으로 약 1.6ppm이 공정중의 재질에 의해 증가된 것으로 나타났다. Spiral 한외여과막을 사용한 Q공정은 초기에 3.57ppm이었으나 53일후에는 4.89ppm, Hollow 한외여과막을 사용한 R공정은 초기에 3.58ppm이었으나 53일 후에는 5.02ppm으로 제거효율을 나타내지 못했다.

2.1.4. 염소 이온의 시간적 변화

염소이온의 농도는 초기에 16ppm이었으나 43일후에는 33ppm으로 나타나 약 17ppm이 공정중의 재질과 염소화합물의 분해에 의해 증가된 것으로 생각된다. 43일후에는 한외여과막을 사용한 B공정과 한외여과막과 활성탄을 사용한 C공정은 각각 34, 33ppm으로 원수와 거의 비슷하게 나타나 한외여과막과 활성탄은 염소이온을 제거시키지

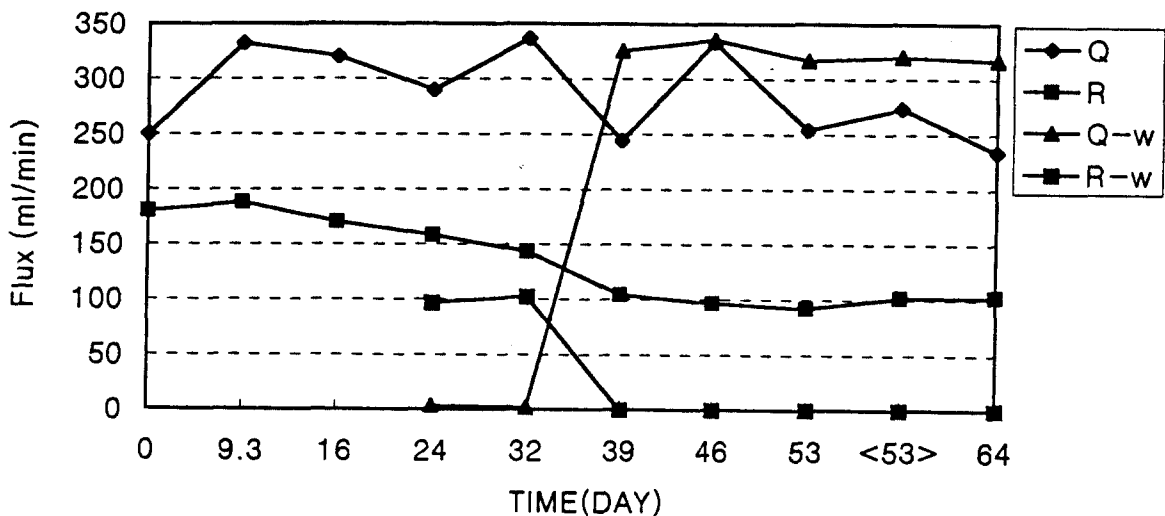


Fig. 5. Variation of flux in each process

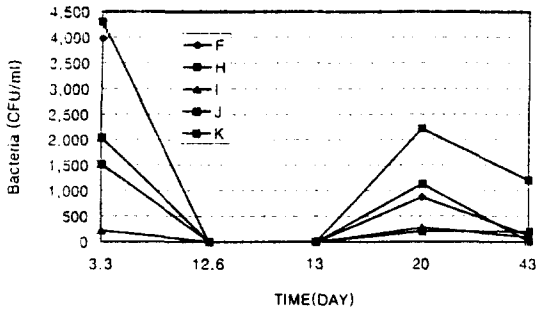


Fig. 6. Variation of bacteria in each process

못하는 것으로 나타났다. 한외여과막과 활성탄뒤에 역삼투막을 사용한 D공정은 12ppm으로 나타나 원수에 비해 63.6%의 제거효율을 나타냈다. 한외여과막의 모듈형태에 따른 처리효율에서 염소이온의 농도는 초기에 16ppm이었으나 53일후에는 37.2ppm으로 약 21.2ppm이 공정중의 재질과 염소화 화합물의 분해에 의해 증가한 것으로 생각된다. Spiral 한외여과막을 사용한 Q공정은 53일후에는 36.87ppm, Hollow 한외여과막을 사용한 R공정은 37.2ppm으로 염소이온의 제거효율은 나타나지 않았다.

2.1.5. 유량의 시간적 변화

Spiral 한외여과막을 사용한 Q공정의 유속은 초기에 250 ml/min이었으나 시간이 지남에 따라 감소하다 폐수를 325.6 ml/min으로 흘려주고 일주일후에는 유속이 244ml/min에서 333ml/min으로 증가하였다. 53일째는 254ml/min으로 감소하고 0.3% NaOCl로 소독후 273ml/min으로 증가하였으나 64일째는 233.5ml/min으로 감소하였다.

Hollow 한외여과막을 사용한 R공정의 유속은 초기에

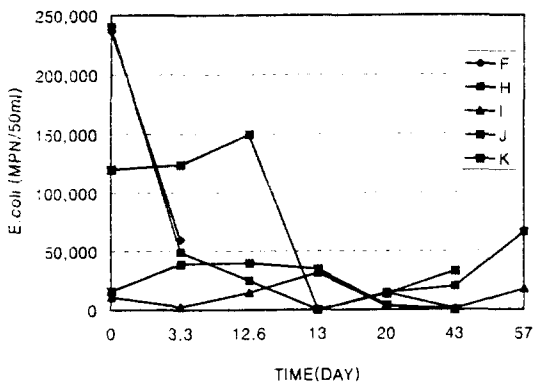


Fig. 7. Variation of E. coli in each process

180ml/min이었으나 시간이 지남에 따라 감소하였으며 폐수를 막고는 더욱 유량이 감소하여 오염물질이 기공을 막기 때문에 Flux가 감소한 것으로 보인다. 53일째는 92ml/min으로 감소하고 0.3% NaOCl로 소독후 102ml/min으로 증가하였으며 64일째는 102.5ml/min를 나타냈다. Spiral type이 Hllow type보다 유량이 크게 나타났으며 역세척이나 차아염소산나트륨으로 세척하면 1.0kgf/cm²의 압력에서 유량이 일정하게 지속될 것이다.

2.2. 미생물과 유기물로 오염된 물의 수처리 효과

2.2.1. 일반세균의 시간적 변화

원수의 일반세균은 초기에 3,980 CFU/ml이었으나 43일후에는 130 CFU/ml로 나타났다. W회사의 야자겉껍질활성탄을 사용한 H공정은 43일후에는 1,200 CFU/ml로 원수보다 일반세균이 더 높게 나타난 것은 활성탄에 담지되어 증가되었던 일반세균이 용출되었기 때문으로 보이며 조 등의 연구⁹⁾와 일치하고 있다. 활성탄과 한외여과막을 사용한 I공정은 90 CFU/ml, 활성탄과 한외여과막뒤에 역삼투막을 사용한 J공정은 200 CFU/ml, J공정에 자외선을 연결한 K공정은 10 CFU/ml로 나타났다. 미생물이 다량으로 포함된물에서는 자외선살균을 하더라도 미생물이 검출되는 것으로 나타났다. 한외여과막의 모듈형태에 따른 처리효과를 보면 원수의 일반세균은 초기에 0 CFU/ml이었으나 30일후에는 130CFU/ml로 나타났다.

30일후에는 spiral 한외여과막을 사용한 T공정은 10 CFU/ml로 92.3%의 제거효율을 hollow 한외여과막을 사용한 S공정은 불검출을 나타냈다.

2.2.2. 대장균군의 시간적 변화

원수의 대장균군은 초기에 236,500 CFU/ml이었으나 43일후에는 14,500 CFU/ml, 57일후에는 1,000 CFU/ml으로

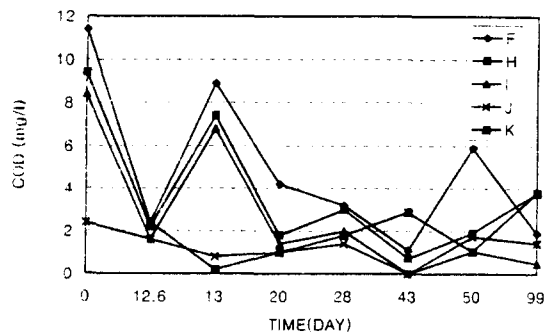


Fig. 8. Variation of COD in each process

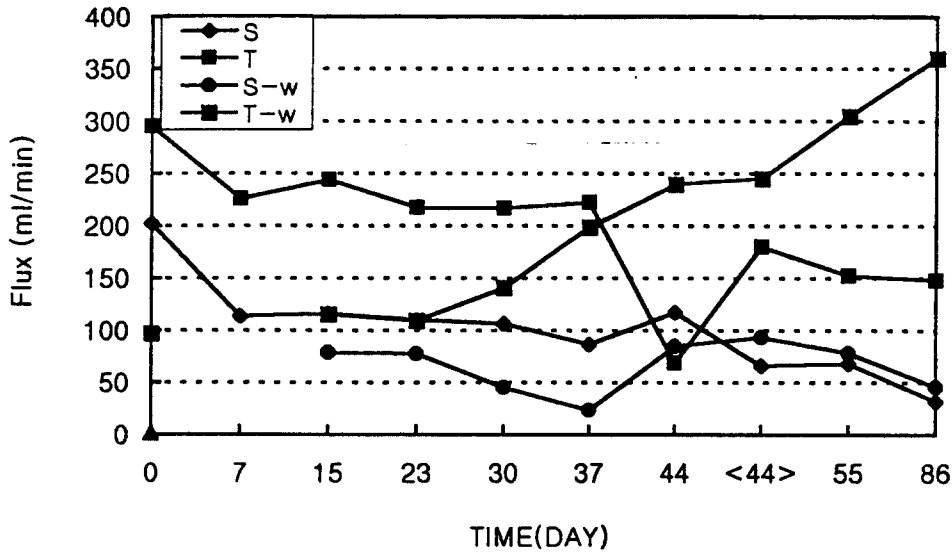


Fig. 9. Variation of flux in each process

나타났다. 57일후에 W회사의 야자껍질활성탄을 사용한 H공정은 66,500CFU/ml로 나타나 원수보다 대장균군이 더 높게 나타난 것은 활성탄에 담지되어 있던 대장균군이 용출되었기 때문으로 보인다. 활성탄과 한외여과막을 사용한 I공정은 18,000CFU/ml, 활성탄과 한외여과막뒤에 역삼투막을 사용한 J공정은 33,000CFU/ml로 나타났다.

J공정에 자외선을 연결한 K공정은 초기에 16,000 CFU/ml로 나타났으나 3.3일에는 39,000 CFU/ml로 증가하였으며 43일후에는 불검출로 나타났다. 미생물이 다량으로 포함된 물에서는 자외선살균을 하더라도 대장균군이 검출되는 것으로 나타났다. 우리나라의 중수도에 관한 수질 기준을 보면 대장균군은 수세식변소는 10개/ml를 넘지 않고, 살수용수와 조경용수는 검출되지 않을 것으로 되어 있다¹⁰⁾. 안규홍등⁶⁾이 Hollow fiber 한외여과막을 dead-end 방식으로 하수처리한 결과 대장균군은 100%의 제거효율을 나타냈으나 본 조사에서는 맴브랜과 활성탄을 사용한 공정의 처리수에서 대장균군이 검출되었다. 미생물을 포함하고 있는 물이나 자연 하천수를 상수도화할 경우에는 살균소독이 요구된다.

2.2.3. 칼슘과 마그네슘, 염소이온농도의 시간적 변화

활성탄과 한외여과막뒤에 역삼투막을 사용한 공정은 43일후에 칼슘과 마그네슘이 각각 87.3 %, 87.4%의 제

거효율을 나타낸 것을 제외하곤 활성탄과 한외여과막의 모듈형태와 관계없이 모든 공정에서는 칼슘과 마그네슘의 제거효율이 나타나지 않았다. 원수의 염소이온농도는 초기에 359ppm 이었으나 43일후에는 438ppm 으로 약 79ppm이 증가하였다. 활성탄과 한외여과막뒤에 역삼투막을 사용한 공정은 43일후에 106ppm으로 75.8 %의 제거효율을 나타냈으며 활성탄과 한외여과막의 모듈형태와 관계없이 모든 공정에서는 칼슘과 마그네슘의 제거효율이 나타나지 않았다.

2.2.4. COD의 시간적 변화

일본 건설성의 중수도에 관한 수질기준을 보면 COD는 수세용수가 30ppm이하로 규정하고 있다¹⁰⁾. 초기원수의 농도가 11.4ppm일 때 야자껍질 활성탄으로 처리한 H공정은 9.4ppm으로 나타나 17.5%의 제거효율을 나타냈으며 Spiral type의 한외여과막을 추가한 I공정에서는 8.4ppm으로 26.3%, 역삼투막을 추가한 J공정에서는 2.4ppm으로 78.9%의 높은 제거율을 나타내고 있었다. 시간이 지날 수록 활성탄의 파괴현상이 나타나 99일이 경과하면 원수의 농도 1.9ppm보다 높은 3.8ppm을 나타냈으나 한외여과막을 추가한 공정은 1.9ppm에서 0.5ppm으로 73.7%의 제거율을, 역삼투막을 추가한 공정은 1.4ppm으로 26.3%의 제거효율을 나타내 활성슬러지법 다음에 한외여과막만을 추가하는 공

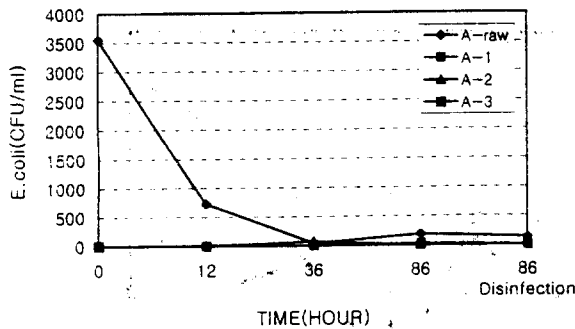


Fig. 10. Variation of E.coli in A process

정으로도 COD제거효율이 큰 것으로 나타났다.

또한 한외여과막의 종류에 따른 수처리에서는 86일이 경과한 경우 원수의 COD는 1.9ppm일 때 Hollow type은 3.6ppm으로 원수의 농도보다 높게 나타나고 수량도 크게 떨어져 있었으나 Spiral type은 1.0ppm으로 52.6%의 제거 효율을 나타냈고 유량도 크게 감소하지 않아 하수의 고도처리에는 Spiral type이 효과적인 것으로 나타났다. 역삼투막과 Hollow type의 한외여과막이 Spiral type의 한외여과막보다 처리능력이 떨어지는 것은 막표면에 부착되어 있는 오염물질이 제거되지 못하고 높은 압력으로 농축된 오염물질이 투과되기 때문인 것으로 보인다. 안규홍등이¹¹⁾ 활성탄을 사용한 공정에서는 57.5%의 제거율을 나타내고 dead-end 방식인 Hollow fiber 모듈의 한외여과막으로 하수를 처리한 결과 COD와 BOD는 한외여과막으로 30-50%의 제거율을 나타냈었다. 투과압력이 1.0kgf/cm²이하에서는 안정한 제거율을 나타내나 투과압력이 2.0kgf/cm²에서는 유입수의 농도보다 높은 유출수가 배출되는 경우가 있다고 하였다. 또한 회전원판조의 유출수를 원수로하여 한외여과막으로 처리한 공정은 57.1%, 입상활성탄으로 처리한 공정은 42.9%의 제거효율을 나타냈으나 활성탄과 한외여과막을 사용한 공정은 75.5%의 제거효율을 나타냈다. 한외여과막의 모듈형태에 따른 처리효과를 보면 원수의 COD농도는 초기에 3.2ppm이었으나 86일후에는 1.9ppm으로 나타났다. spiral 한외여과막인 T공정은 86일후에는 1.0ppm으로 47.4%의 제거효율을 나타내고 hollow 한외여과막인 S공정은 3.6ppm으로 나타나 hollow 한외여과막은 spiral 한외여과막보다는 막의 오염에 의한 막현상으로 유량이 감소하고 유기물질의 제거능력이 떨어지는 것으로 나타났다.

한외여과막으로 하수를 고도처리할 경우에는 1.0kgf/cm²의 운전조건으로 Spiral type의 한외여과막을 선택하는 것이 좋을 것으로 보인다. 김대일의 연구¹²⁾에 의하면 친수성한외여과막은 유입수가 4.4ppm일 때 처리수는 2ppm으로 54.6%의 제거효율을 나타냈다.

2.2.5. 유량의 시간적 변화

Spiral 한외여과막을 사용한 T공정의 유속은 초기에 295ml/min이었으나 37일째는 222.5ml/min, 44일후에는 68.7ml/min으로 감소하여 0.3% NaOCl로 소독한 후에는 180ml/min으로 증가하였으며 86일후는 148.3ml/min으로 나타났다. 막에 걸리는 압력으로 폐수의 유량은 계속 증가하여 초기에는 97ml/min이었으나 86일후에는 360ml/min으로 증가하였다. Hollow 한외여과막을 사용한 S공정의 유속은 초기에 202.7ml/min이었으나 37일째는 87ml/min, 44일후에는 117.5ml/min로 나타났으나 0.3% NaOCl로 소독한 후에는 오히려 66ml/min로 감소하였으며 86일후는 31.7ml/min으로 나타났다. 막에 걸리는 압력으로 폐수의 유량이 계속 증가하지는 않았으나 처리수의 유량은 계속 감소하는 것으로 나타났다. 시간이 경과함에 따라 처리수의 유량이 감소하는 것은 유입수의 유기물이 분리막의 표면에 부착하여 기공을 막기 때문이었다. 유기물이 다량으로 함유한 물은 Spiral type의 한외여과막으로 처리하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

2.3. 미생물, TCE, Pb로 오염시킨 인공수의 처리효과

모든 공정에서 잔류염소는 0.01-0.02ppm을 나타내고 있으며 86시간이 지난 후 염소소독한 인공수는 0.01-0.1ppm으로 잔류염소가 약간 증가하였다. 그러나 TiO₂ 반응조의 잔류염소는 0.16-0.17ppm로 나타나 이에 대한 조사가 필요하다. 각 공정별 대장균수를 보면 가원수는 3550CFU/ml이며 86시간후에는 188CFU/ml, 소독후에는 130CFU/ml로 약간 감소하였다. 역삼투막을 사용한 가1은 초기에는 6CFU/ml이었으나 86시간후에는 18CFU/ml, 소독후에는 검출되지 않았다. Hollow type 한외여과막을 사용한 가2는 초기에 1 CFU/ml이었으나 86시간후에는 검출되지 않았으며 spiral type의 한외여과막을 사용한 가3은 초기에 1 CFU/ml이었으나 86시간후에는 29CFU/ml로 나타났다. 모래와 활성탄과 한외여과막을 사용한 공정에서 모래여과를 통과한 나1공정은 초기에 300CFU/ml이었으나 86시간후에는 3CFU/ml, 소독후에는 검출되지 않았다.

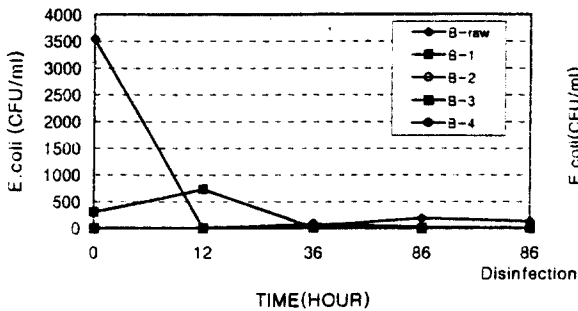


Fig. 11. Variation of E.coli in B process

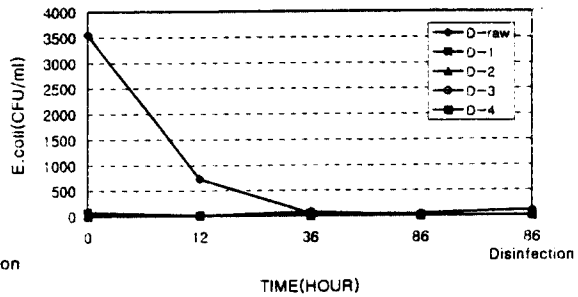


Fig. 12. Variation of E.coli in each process

모래와 톱밥활성탄을 사용한 나2공정은 미검출이었으나 86시간후에는 18CFU/ml, 소독후에는 검출되지 않았다. 모래와 침착톱밥활성탄을 사용한 나3공정은 초기와 86시간, 소독후의 공정에서 검출되지 않았다.

모래와 한외여과막을 사용한 나4공정은 초기에 미검출이었으나 86시간후에는 23CFU/ml, 소독후에는 1CFU/ml로 나타나 한외여과막 공정보다 침착톱밥활성탄의 공정이 대장균의 제거에 효과적인 것으로 나타났다. TiO₂ 반응조는 초기에 73CFU/ml이었으나 86시간후에는 10CFU/ml, 소독후에는 13CFU/ml로 나타났다. TiO₂ 반응조와 spiral 한외여과막을 사용한 라2공정은 초기에 20CFU/ml이었으나 86시간과 소독후에는 불검출로 나타났다. TiO₂ 반응조와 역삼투막을 사용한 라3공정은 초기에 9CFU/ml이었으나 86시간후에는 1CFU/ml, 소독후에는 불검출로 나타났다.

TiO₂ 반응조와 hollow 한외여과막을 사용한 라4공정은 초기에 불검출, 86시간후에는 2CFU/ml, 소독후에는 불검출로 나타났다. 이는 김 등에 의한 연구¹³⁾와 이론상으로는 미생물을 모두 제거할 수 있는 한외여과막과 역삼투막도 재질의 수명과 수압에 의해 재질이 손상되거나 미생물이 기공에 오염되었다 높은 압력으로 용출될 수 있는 가능성을 내포하고 있다고 보는 연구^{8,14)}와 비슷하게 나타났다. 미생물로 오염된 물은 flux와 유기물질의 처리 효율을 볼 때 spiral type의 한외여과막을 사용하는 것이 효과적으로 본다.

IV. 결론

1. 농어촌 지하수의 수질특성과 처리

수질에 대한 만족도는 간이상수도물 사용하는 주민은 33.3%, 자가수도를 사용하는 주민은 17.3%가 불만족을 나타내고 식수에 대한 소독은 31.9%만이 소독한다고 대답하였다. 22개 수원에 대한 수질검사에서 일반세균은 21개소(95.5%), 대장균군은 13개소(59.1%), 질산성질소는 2개소(9.1%)의 순으로 음용수 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 멤브랜과 활성탄을 이용한 지하수의 수처리에서 일반세균과 대장균이 한외여과, 활성탄, 역삼투막재질에 부착하여 압력으로 용출되어 염소소독이 요구되었다. 중금속이 문제시 되지 않는 물은 역삼투막 공정을 사용할 필요가 없으며 한외여과막과 활성탄은 중금속과 염소이온을 제거하지 못하는 것으로 나타났다. Hollow type 한외여과막보다는 Spiral type의 한외여과막이 미생물의 제거에 효과와 flux가 큰 것으로 나타났다.

2. 유기물로 오염된 방류수의 처리효과

다량의 유기물과 미생물로 오염된 물을 역삼투막, 한외여과막, 활성탄을 이용하여 처리한 결과를 보면 활성탄을 사용한 공정은 원수보다 미생물이 많이 검출되었으며 한외여과막과 역삼투막과 자외선을 통과한 물에서도 미생물이 검출되어 음용수로 사용하기 위해서는 소독이 요구된다. 99일 가동후에 원수의 COD가 1.9ppm인 COD 제거효율을 보면 아자겹질활성탄은 오히려 증가하였으며 활성탄과 한외여과막을 사용한 공정은 0.5ppm으로 73.7%, 활성탄과 한외여과막뒤에 역삼투막을 추가한 공정은 1.4ppm으로 26.3 %의 제거효율을 나타내 역삼투막에 부착되어 있던 오염물질이 높은 압력으로 기공을 빠져나오는 것으로 생각된다. 미생물이 다량으로 포함된 방류수의 일반세균은 한외여과막의 모듈형태에 관계없이 제거 효과가 비슷한 것으로 나타났다. 원수의 COD농도가 86

일후에 1.9ppm인 원수의 제거효율을 보면 Spiral 한외여과막인 공정은 1.0ppm으로 47.4%의 제거효율을 나타냈으나 Hollow 한외여과막 공정은 3.6ppm으로 나타나 Fouling 현상이 나타났다. 시간이 경과함에 따라 처리수의 유량이 감소하는 것은 유입수의 유기물이 분리막의 표면에 부착하여 기공을 막기 때문이었다. 유기물이 다량으로 함유한 물은 Spiral type의 한외여과막으로 처리하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

3. 미생물, TCE, Pb로 오염된 인공수의 처리효과 모래와 침착톱밥활성탄을 사용한 공정은 초기와 86시간, 소독후의 공정에서 검출되지 않았다. 모래와 한외여과막을 사용한 공정은 초기에 미검출이었으나 86시간후에는 23CFU/ml, 소독후에는 1CFU/ml로 나타나 한외여과막 공정보다 침착톱밥활성탄의 공정이 대장균의 제거에 효과적인 것으로 나타났다. TiO₂ 반응조와 Spiral 한외여과막을 사용한 공정은 초기에 20CFU/ml이었으나 86시간과 소독후에는 불검출로 나타났다. TiO₂ 반응조와 Hollow 한외여과막을 사용한 공정은 초기에 불검출, 86시간후에는 2CFU/ml, 소독후에는 불검출로 나타났다. 따라서 미생물을 포함하고 있는 농촌의 물은 차아염소산나트륨을 한외여과 공정과 조합하여 처리하거나 소독제 활성탄과 한외여과막을 조합하는 방법이 효과적으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 1996년도 교육부의 학술연구조성비(지역개발연구)에 의하여 연구되었으며 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 정문호 : 일부 농촌 지역의 간이상수도의 운영실태와 개선방안에 관한 조사연구, 한국환경위생학회, 17(1), 57-66, 1991.
2. 정문호 : 일부 농촌 지역의 간이상수도와 Pump수의 계절별 수질에 관한조사연구, 한국환경위생학회지, 9(1), 77-84, 1983.
3. 권숙표 : 먹는 물과 건강, 한국막학회 산학협동 심포지움, 5-26, 1996.
4. Wiliam, W.J., Maclellan, S.A. : "Membrane softening", J. AWWA, 81(11), 47-51, 1989.
5. 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.
6. 안규홍, 권지향 : 막분리를 이용한 중수도 기술", 11(6), 32-37, 1993.
7. 환경부 : 공정시험방법, 동화기술, 62-104, 1996.
8. Ridgway, H.F. ET Al : "Bacterial adhesion and fouling of reverse osmosis membranes, J. of AWWA, 97-106, 1985.
9. 조태석, 김영규, 정문호 : 정수처리공정에 따른 일반세균과 대장균군의 제거에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 23(2), 24-27, 1997.
10. 환경부 : 처리수 재이용시스템 기반기술개발, 1996.
11. 안규홍 : 처리수 재이용 시스템 기반기술개발, 136-138, 1996.
12. 김대일 : UF막법을 이용한 오수 고도처리시 조작인자의 영향에 관한 연구, 국민대학교 석사학위논문, 40-42, 1995.
13. Dong Hyun Kim, Tomokazu Iyoda, Kazuhiro Hashimoto and Akira Fujishima : Photocatalytic Disinfection of E.coli in reservoir water using a supported TiO₂ thin film under weak UV light, J. KSWO 12(4), 417-423, 1996.
14. Jacangelo, K.G., et al. : Low pressure membrane filtration for removing giardia and microbial indication, J. AWWA, 83(9), 97-106, 1991.