

중공사형 한외여과 막분리 공정에 의한 하천수 처리

박진용

한림대학교 환경학과

(1997년 1월 20일 접수, 1997년 4월 11일 채택)

Lake Water Treatment Using a Ultrafiltration Membrane Process of Hollow Fiber Type

Jin Yong Park

Dept. of Environmental Science, Hallym University, 1-Okcheon-dong, Chunchon, Kangwon

(Received January 20, 1997, Accepted April 11, 1997)

요 약 : 자체적으로 설계한 막분리 장치 시스템을 사용하여 먼저 순수한 물(3차 처리수)을 대상으로 polysulfone 재질의 중공사형 한외여과막에 대한 분리 성능을 조사하였다. 분획분자량(Molecular cutoff) 5,000 및 10,000 두 종류의 한외여과막에 대하여 실험한 결과, 온도가 증가함에 따라 공급량에 대한 투과량의 비인 회수율이 증가하는 경향을 보였다. 또한, 다양한 분자량의 polyethylene glycol 및 dextran 2,000 ppm 수용액으로 분획분자량을 확인한 결과, 표시된 값보다 다소 큰 값을 얻을 수 있었다. 이러한 기초 실험결과를 토대로 하여, 최종적으로 생활하수의 유입으로 수질이 악화되고 있는 춘천시 공지천의 물을 처리 대상으로 선정하여 원수의 성분을 분석하고, 한외여과 실험을 실시하였다. 그 결과, 생물학적 산소요구량(BOD) 및 총고형물(TS), 탁도가 모두 처리수에서 원수보다 탁월한 감소를 나타내었다. 따라서, 중공사형 한외여과막을 사용한 생활하수 처리에 가능성을 본 연구를 통하여 확인할 수 있었다.

Abstract: The self-designed membrane system was tested to examine the performance of the hollow fiber type polysulfone ultrafiltration(UF) membrane for the treatment of pure water(the 3rd treated water). The molecular weight cut-off's(MWCO) of the membranes used in this study were 5,000 and 10,000, respectively. The recovery rate, the ratio of permeate flow rate to the feed flow rate, increased as the temperature rose. The values of MWCO obtained in this study, using 2,000 ppm polyethylene glycol and dextran solutions with various molecular weights, showed higher values than those suggested by SKI. Based on the results of the primary experiments, the water of the Gongji-stream, in which water quality is deteriorated by the inflow of domestic wastewater, was selected for the UF membrane test. Biological oxygen demand(BOD), total solids, and turbidity of the treated water had much lower values than those of the source water. Therefore, this study confirmed the possibility of the domestic water treatment using the hollow fiber type UF membrane.

1. 서 론

수처리 공정은 원수 중에 포함된 콜로이드, 미립자

등의 현탁물질, 이온과 유기물 등의 용해성 물질의 제거에 주안점을 두고 있다. 이러한 목적을 위해서 수처리공정에 막분리 기술을 이용하는데 관심이 높아

지고 있고, 이미 일부에서는 실용화되었다[1-4]. 분리막에는 분리막의 기공의 크기에 따라 역삼투(Reverse Osmosis, RO) 막, 한외여과(Ultrafiltration, UF) 막, 정밀여과(Microfiltration, MF) 막이 있으며, 대상 폐수에 따라 다양하게 사용할 수 있다.

분리막에 의한 폐수 및 하천수 처리는 분리막 단독으로 하는 단독 처리와, 분리 및 분획 등급이 다른 분리막의 조합에 의한 다단 처리로 구분할 수 있다. 한편, 처리 공정에 따라 분리막에만 의존하는 직접여과 처리와, 생물학적 처리 및 화학적 처리, 물리적 처리를 연합시킨 조합(Hybrid) 시스템에 의한 처리로 구분하기도 한다. 그 중에서도 활성슬러지의 고액분리에 막을 사용하는 생물학적 처리와의 조합 처리는 유기성 하천수 및 폐수 처리, 생활 하수처리와 고도화, 효율화를 목적으로 세계적으로 활발히 연구되고 있으며 일부 실용화되기 시작하였다. 1985년부터 일본 통상산업성의 "Aqua Renaissance '90 Project"에서 생물학적 여과기(Bioractor)에서 분리막에 의한 균체 분리를 기본으로 한 고농도 유기성 폐수 처리의 새로운 기술이 개발되고 있다[5, 6].

도시하수와 생활폐수는 유입 COD의 18~45%가 부유물질이며 이중 생물분해 가능한 것은 30~60% 정도로 부유물질이 활성오니 처리공정에 유입되면 축적되어 미생물의 활성을 저하시키고 다시 유출되는 장애를 일으킨다. 하수의 고도처리에 분리막의 응용은 에너지 절약형이며 오니 발생량의 저감, 처리수질의 향상 및 유지관리의 용이함을 목적으로 기존처리공정의 후단에 적용하는 것과 새로운 생물학적 여과기와 혼용되는 경우로 구분된다.

미국 캘리포니아주 Orange County에 있는 Water Factory 21 하수처리장은 지하수의 과잉사용에 의해 해수의 침투로 지하수의 수질이 악화되는 것을 방지하기 위하여 도시하수의 2차 처리수를 분리막을 이용 처리한 후 지하에 재유입시켜 해수의 침투를 방지하고 안정된 지하수를 확보하기 위한 처리공정이다. 도시하수 2차 처리수는 급속 혼화지에 유입되어 석회(lime)에 의해 응집되고 원수 중의 암모니아성 질소를 제거하기 위하여 공기 탈거(air stripping) 처리를 실시한다. 석회 정화 공정(Lime clarification)에 의해 pH 11까지 높아진 것을 재탄화조(recarbonation basin)에서 이산화탄소의 주입에 의해 pH 7.5까지 조정한 후, 모래 여과기(sand filter)와 활성탄 여과기(A/C filter)를 거친 후 역삼투막에 공급된다.

분리막은 CA와 PA막을 사용한 결과 CA막의 TDS와 COD 제거율은 90% 이상, NH₄-N은 거의 100% 제거 되었으며, PA막의 경우 TDS는 99%, COD는 95% 이상 제거되었다. 이 분리막은 운전초기에는 미생물에 의한 분리막의 오염(fouling) 현상이 유발되어 시스템의 성능이 저하된 적이 있으나, 현재까지 총용량 5 MGD, 회수율 85%로 순조롭게 운전되고 있다. 향후 운전경비의 절감과 설비의 확장을 목적으로 석회 정화 공정을 생략한 RO 설비와 전처리 시스템을 UF막으로 대체하고자 하는 연구가 진행되고 있다.

국내의 수자원의 총량은 연간 1,267억톤이나 22%인 282억톤만 사용되고 있으며 농업용수로 약 25억톤이 사용되고 있다. 1991년 용수공급능력은 309억톤/년으로 전국적으로 약 9%정도 공급능력이 있으나 울산공단, 서해안 개발지역 등에서는 용수공급에 상당한 어려움을 느끼고 있다. 국내의 석유화학단지에서 용수처리에 분리막(역삼투막)을 대규모로 사용하기 시작한 것은 1988년 충남 대산지역의 극동정유에 1일 9,000톤 규모의 담수화 공정이었다. 이 지역은 간척지에 공단을 건설하여서 공급되는 원수의 TDS가 800~1,500mg/ℓ로 기준의 수처리 방식인 이온교환수지 방법으로는 경제성이 없어 RO막을 사용할 수 밖에 없는 상황이었다. 1990년 삼성종합화학이 25,000톤/일 그리고 현대석유화학이 40,000톤/일 규모의 RO막 공정을 각각 완공하여 농업용수에 응용하고 있다. 서해안 지역에 대규모 공단이 들어서게 됨에 따라 TDS가 500~1,500mg/ℓ인 원수를 담수화시키기 위하여 역삼투 공정은 더욱 늘어날 전망이다. 석유화학단지가 위치해 있는 울산, 여천지역의 용수 공급도 점차 악화되어 기존 수처리시설이 포화상태에 도달하고 있으며, 특히 이온교환수지의 재생횟수가 증가하고 재생수의 폐수처리도 문제점으로 부각되고 있다. 따라서 기존의 수처리시설에 분리막 공정을 도입하여 처리수의 수질을 향상시키고 처리능력을 증대하는 방안들이 적극 검토되고 있다[7].

본 연구에서는 폴리설폰 재질의 중공사형 한외여과막을 사용하여 하천수를 처리하여 투과수와 원수의 수질을 비교함으로써, 분리막 기술에 의한 하천수 처리의 타당성 및 처리 효율을 고찰해 보고자 하였다. 대상 원수로 최근 생활하수의 유입으로 수질이 악화되고 있는 소양강의 한 지류인 공지천의 물을 사용하였다.

2. 실험

2.1. 한외여과 막소재 및 모듈 선정

본 연구에서 목표로 하는 폐수 처리를 위한 막소재를 조사한 결과, 한외여과 분리막 중에서 polysulfone계 분리막이 폐수 중에 함유되어 있는 화학물질에 대한 내화학성이 우수한 것으로 판명되었다. 또한, 단위 부피당 막면적이 다른 형태의 모듈보다 크기 때문에 여과 효율이 우수한 중공사형(hollow fiber type) 분리막이 하천수 처리에 적합한 것으로 나타났다.

이러한 조사 결과를 토대로 최종적으로 선정인더스트리(SKI) 회사의 중공사형 polysulfone 한외여과막을 선정하여 구입하였다.

2.2. 폐수처리용 한외여과막의 기초성능 조사

본 연구에서 선정된 한외여과막에 대한 기초 성능 조사는 성능 실험 장치를 사용하여 모듈의 분획분자량을 확인하였다. 성능 실험 장치는 공급 탱크 및 peristaltic pump, 모듈 연결부로 되어 있으며, 공급 유량 및 농축액의 유량을 측정하기 위하여 모듈의 공급액 유입부 및 농축액 유출부에 각각 유량계를 설치하였다. 또한, 중공사형 모듈의 일반적인 방식인 상향류식으로 공급액을 모듈의 하부로 공급하였다.

제조 회사에서 제시한 분획분자량이 5,000인 polysulfone 중공사형 한외여과 모듈(SKUS-206-0805) 및 분획분자량 10,000인 모듈(SKUS-206-0810)에 대한 분획분자량 확인 실험은 상온 25°C에서 분자량 9,500, 70,000, 162,000, 485,000의 dextran 2,000 ppm 수용액으로 실험하였으며, 또한 분자량 1,000, 4,000, 7,500, 10,000, 17,500의 polyethylene glycol 2,000 ppm 수용액에 대하여 조사하였다. 공급 수용액 및 투과액의 RI(refraction index) 값을 differential refractometer를 사용하여 측정하여, 두 값을 비교하여 투과액의 농도를 구하였다.

또한, 온도 변화에 따른 순수한 물에 대한 한외여과막의 회수율의 변화를 조사하기 위하여, 공급액인 순수한 물(3차 처리수)의 온도를 변화시켜 가면서 투과수의 유량을 측정하였다.

각 모듈에 대한 기초 성능 실험 결과를 토대로 하여 실제 원수에 대한 한외여과 성능 조사실험에서 각종 변수의 최적 조건을 결정할 수 있었다.

2.3. 원수의 선정

최근 춘천시의 발전과 함께 생활하수 등 각종 오수의 유입으로 인하여 수질이 악화되고 있는 공지천의 물을 원수로 선정하였다. 공지천은 춘천시의 중앙을 관통하고 있는 소양강의 한 지류로, 수도권 상수원 보호 및 감시 차원에서 보건환경연구원이 매일 수질 검사를 하는 중요한 곳이기도 하다. 따라서, 이러한 공지천의 중요도를 감안하고, 널리 일반 대중에게 알려져 있는 공지천 보트장에서 채수하여 본 연구의 한외여과 실험을 수행하였다.

2.4. 원수 및 중공사형 한외여과수의 수질분석

원수와 한외여과막을 통과한 투과수에 대한 수질을 비교하기 위하여, 탁도(Turbidity), 총고형물(Total solid), 생물학적 산소 요구량(BOD) 및 pH를 측정하였다.

(1) 탁도 측정법: HF Scientific사의 DRT-15CE turbidimeter를 사용하여 각 시료의 탁도를 측정하였다.

(2) 총고형물 측정법: 시료를 증발접시에 약 10ml 취하여 105~110°C의 건조기 안에서 시료수가 증발될 때까지 방치하여 질량을 측정한다. 이렇게 측정된 증발접시와 총고형물의 총질량에서 미리 측정된 증발접시만의 질량을 빼내어 단위 부피당 총고형물 양을 구하였다[8].

(3) 생물학적 산소 요구량: 잘 알려진 바와 같이 회석수를 준비한 다음, 시료를 회석액으로 50% 희석시킨 후 BOD병에 담아 20°C 배양기에서 5일간 배양한 후 DO meter(YSI Model 57)를 사용하여 용존산소량을 측정하였다. 이렇게 측정된 5일 배양 전후의 용존산소량으로부터 다음식에 의하여 생물학적 산소 요구량을 결정하였다.

$$BOD = \frac{(D_1 - D_2)}{P} \text{ [mg/L]} \quad (2-1)$$

여기서 D_1 은 회석후 15분간 방치후 용존산소량, D_2 는 5일간 배양후 용존산소량, P는 희석시료 중 시료의 부피분율(Weight fraction)이다.

2.5. 중공사형 한외여과에 의한 폐수 처리

본 연구에서 사용한 폴리설폰 중공사형 한외여과막의 형태와 특성을 Table 1에 나타내었다. 또한, 본 실험에서 사용하는 모듈의 재질인 폴리설폰 고분자에

Table 1. Polysulfone Hollow Fiber Type Ultrafiltration Membrane

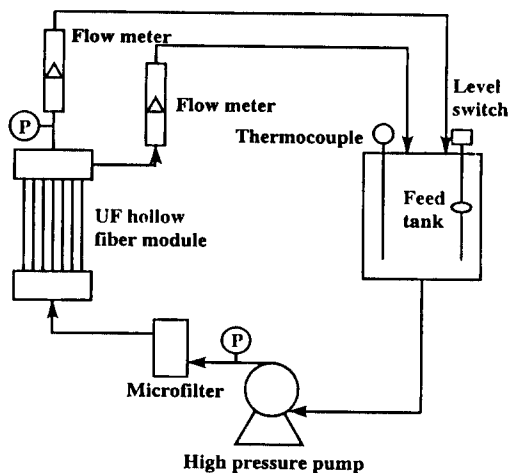
Size	Module size(OD×L)	φ 50×580mm
	Membrane diameter(ID/OD)	φ 0.8/φ 1.4mm
	Number of membranes	590
	Effective membrane area	0.7m ²
Performances	Water permeability	140 L/hr
	Molecular weight cutoff	5,000/10,000
Operating conditions	Maximum pressure	5kg _i /cm ²
	Economic pressure	2~3kg _i /cm ²
	Maximum temperature	80℃
	Available pH range	1~14
Materials	Membrane	Polysulfone
	Module Casing	Polysulfone
	Adhesives	Epoxy
	Inner spacer	Polyethylene

OD : outer diameter, ID : inner diameter, L : length

Table 2. Chemical Resistance of Polysulfone Hollow Fiber Type Ultrafiltration Module

Chemicals	Conditions		Resistance
	Concentration	Temperature	
NaOCl	20ppm	25℃	●
	200ppm	50℃	△
H ₂ O ₂	2%	25℃	●
Formaline	3%	25℃	●
NaOH	0.2M	25℃	●
	1M	50℃	●
HCl	1M	60℃	●
H ₂ SO ₄	1M	60℃	●
H ₃ PO ₄	1M	25℃	●
CH ₃ COOH	1M	60℃	●
HCOOH	1M	60℃	●
NaN ₂	0.05%	25℃	●
Glycerine	100%	25℃	●
Aromatic solvent	-	25℃	×
Aliphatic solvent	-	25℃	×
Ethanol	50%	25℃	△
Urea	25%	25℃	●
Guanidine HCl	6M	25℃	●
Methanol	25%	25℃	●
Acetone	100%	25℃	×

● : usable continuously, △ : unusable more than 1 month, × : unusable

**Fig. 1.** Flow diagram of ultrafiltration apparatus.

대한 내화확성을 Table 2에 제시하였다.

본 연구에서 사용된 중공사형 한외여과 장치의 공 정도는 Fig. 1에 나타난 것과 같이, 전처리 여과막으로 Stainless steel로 제작된 정밀여과막(기공의 평균 크기 : 5μm)이 설치되어 있다. 또한, feed tank안의 온도와 수위를 조절하고 감지하기 위하여 thermocouple과 level switch가 장착되어 냉각장치 및 가열 장치로 시료의 온도를 일정하게 유지하는 것이 가능하며, 유량계 및 압력계가 한외여과막 공급부 및 농축부에 각각 설치되어 있다. 이 장치의 핵심이라 할 수 있는 고압 펌프는 최대 압력 50kg_i/cm², 최대 유량 28L/min의 능력을 갖고 있다.

공지천 물을 대상으로 한외여과 실험을 수행함에 있어, 공급액의 압력은 2kg_i/cm²으로 투과액의 압력은 1.5kg_i/cm²을 유지하였다. 또한, 시료의 온도는 28℃로 일정하게 유지하면서, 투과액과 농축액을 다시 공급탱크로 재순환시키면서 여과실험을 행하였다. 이렇게 5시간 정도 여과하면서, 공급액 및 투과액의 총고형물 및 탁도, 생물학적 산소요구량, pH, 유량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1. 폐수 처리용 한외여과막의 기초성능 조사 결과

제조 회사에서 제시한 분획분자량이 5,000인 Polysulfone 중공사형 한외여과 모듈(SKUS-206-0805)에 대한 분획분자량 확인 실험 결과 중 Dextran 수

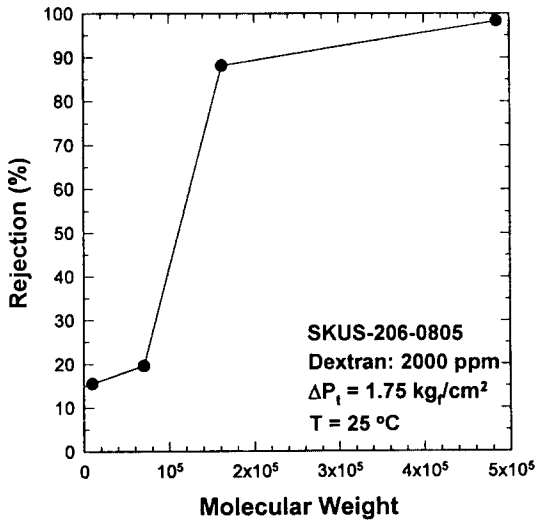


Fig. 2. Molecular cutoff of SKUS-206-0805 module for dextran solution.

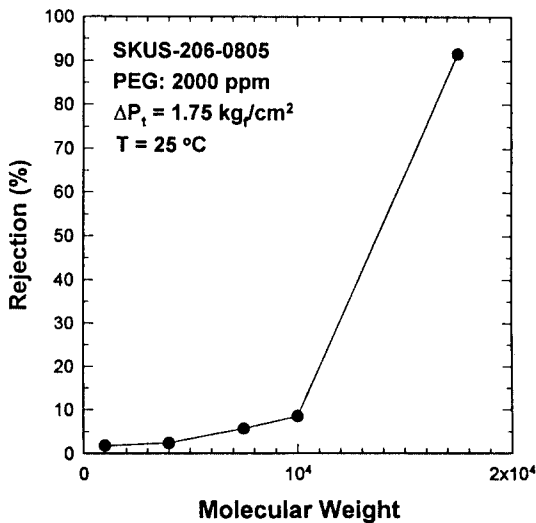


Fig. 3. Molecular cutoff of SKUS-206-0805 module for polyethylene glycol solution.

용액에 대한 것은 Fig. 2에, Polyethylene glycol 수용액에 대한 것은 Fig. 3에 나타내었다. 두 그림에서 보는 바와 같이 실제로 확인한 분획분자량은 Dextran의 경우 100,000 부근이고, Polyethylene glycol의 경우 10,000으로 제조회사에서 제시한 값보다 다소 크게 나타났다. 분획분자량 10,000인 모듈(SKUS-206-0810)에 대한 분획분자량 확인 실험 결과, 이

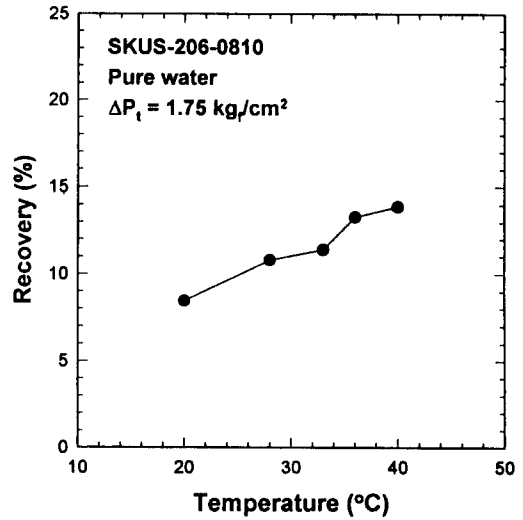


Fig. 4. Effect of temperature on recovery rate of hollow fiber module.

모듈의 실제 분획분자량은 Dextran의 경우 1000,000 부근으로 큰 값을 보였으나, Polyethylene glycol의 경우 10,000으로 제조회사에서 제시한 값과 일치하였다.

이러한 결과에서 알 수 있듯이 분리막의 분획분자량은 대상으로 하는 물질에 따라 변화할 수 있다는 것을 시사하고 있다.

한편, 순수한 물(3차 처리수)을 대상으로 온도에 따른 회수율(=투과량/공급량)의 변화를 살펴 본 결과를 Fig. 4에 제시하였다. 그 결과, 온도가 증가함에 따라 회수율은 증가하는 경향을 보여 주고 있다. 그 이유는 온도가 증가하면 물의 점도가 감소하므로, 투과량이 증가하여 회수율이 증가하게 되는 것으로 설명할 수 있다[9].

이러한 폐수처리용 중공사형 한외여과막의 기초 성능조사 결과를 토대로 하여, 실제로 생활하수 등 오수를 다량 함유하고 있는 공지천의 물을 대상으로 하는 한외여과실험을 수행하였다.

3. 2. 중공사형 한외여과 공정의 특성

공지천 물을 채수하여 분획분자량이 5,000인 Poly-sulfone 중공사형 한외여과 모듈(SKUS-206-0805)에 대한 실험을 약 5시간 동안 수행하면서, 총고형물 및 탁도, 생물학적 산소요구량을 측정하였다. 조업시간에 대한 공급액 및 투과액에 함유된 총고형물의 변화를 나타낸 것이 Fig. 5이고, 총고형물의 제거율로

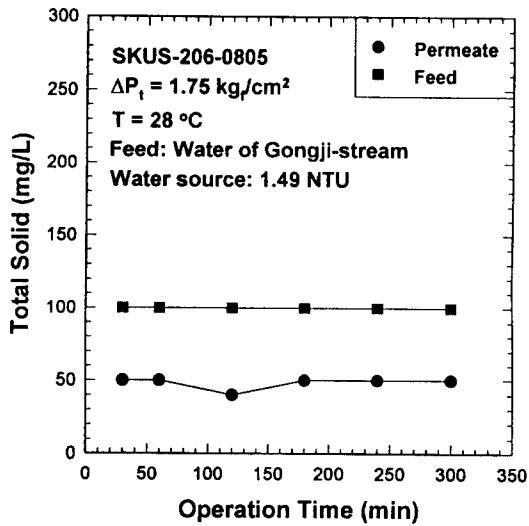


Fig. 5. Change of total solid in the permeate and feed during the operation time (SKUS-206-0805).

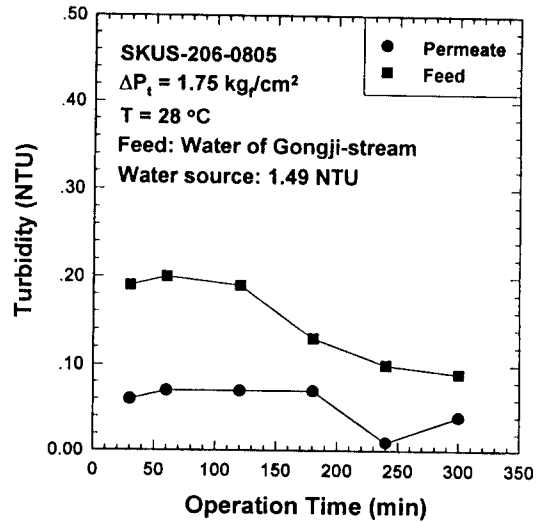


Fig. 7. Change of turbidity in the permeate and feed during the operation time (SKUS-206-0805).

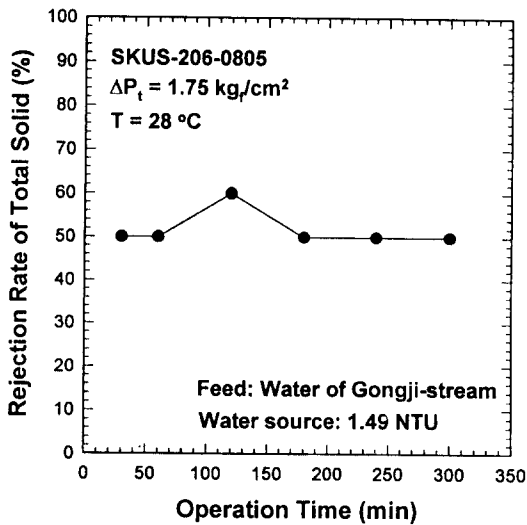


Fig. 6. Change of rejection rate of total solid during the operation time (SKUS-206-0805).

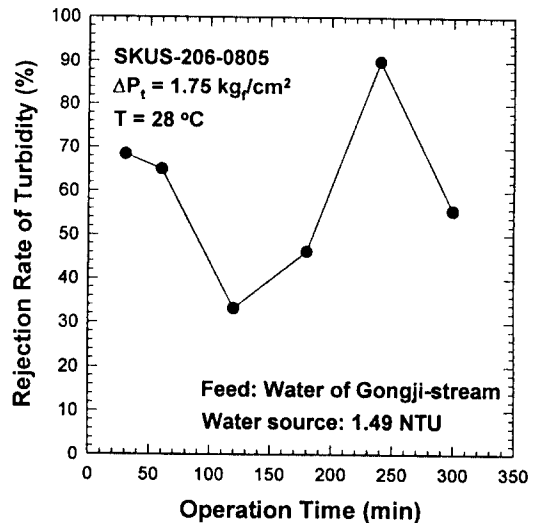


Fig. 8. Change of rejection rate of turbidity during the operation time (SKUS-206-0805).

표현한 것이 Fig. 6이다. 이 결과에서 보는 바와 같이 폐수 중에 함유된 총고형물의 제거율이 50 % 이상을 유지하는 것을 알 수 있었고, 시간에 따른 변화가 거의 없었다. 또한, 조업시간에 따른 탁도 및 탁도 제거율의 변화를 제시한 것이 Fig. 7과 8이다. 탁도는 시간이 경과함에 따라 다소 감소하는 경향을 보이

고 있는데, 이는 공급액 및 투과액의 연속적으로 재순환하는 과정에서 폐수 중의 미세한 입자들이 한외 여과막에 침착되어 다소 감소한 것으로 추정된다. 탁도의 제거율은 시간에 따라 다소 변화하였으나, 평균적으로 59.7% 정도를 보여 주고 있다. 한편, 생물학적 산소요구량 및 그 제거율의 시간적 변화를 측정된 결과가 Fig. 9와 10이다. 그 결과를 살펴 보면, 조업

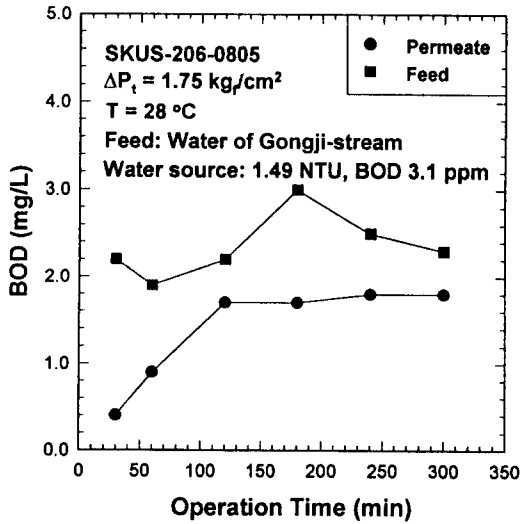


Fig. 9. Change of BOD in the permeate and feed during the operation time (SKUS-206-0805).

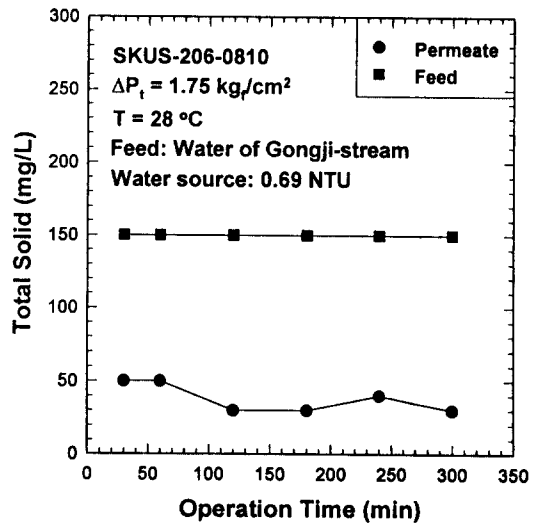


Fig. 11. Change of total solid in the permeate and feed during the operation time (SKUS-206-0810).

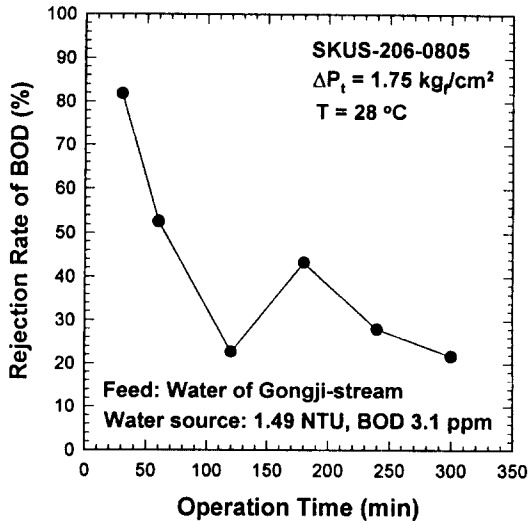


Fig. 10. Change of rejection rate of BOD during the operation time (SKUS-206-0805).

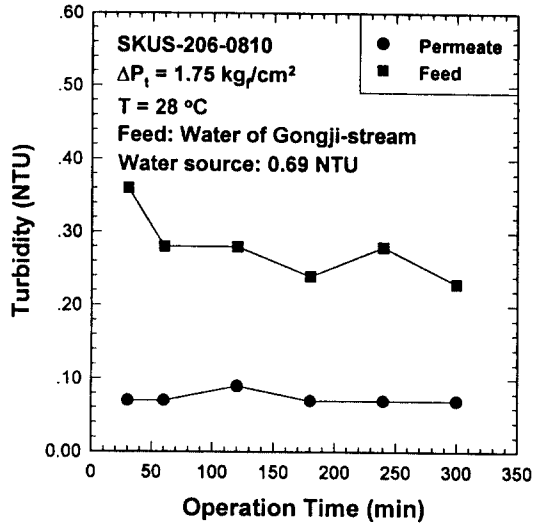


Fig. 12. Change of turbidity in the permeate and feed during the operation time (SKUS-206-0810).

시간이 경과함에 따라 공급액 및 투과액의 생물학적 산소요구량이 다소 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 약 5시간 실험하는 동안, 폐수를 재순환하였기 때문에 폐수 중 미생물이 증식하여 생물학적 산소요구량이 다소 증가한 것으로 추측된다. 한외여과 실험 동안 생물학적 산소요구량의 제거율은 평균적으로

1.7%를 유지하였다.

분획분자량 10,000인 모듈(SKUS-206-0810)을 사용하여 공지천 물에 대한 한외여과 실험한 결과, 조업시간에 대한 총고형물, 탁도, 생물학적 산소요구량의 변화를 각각 살펴 본 것이 Figs. 11~13이다. 총

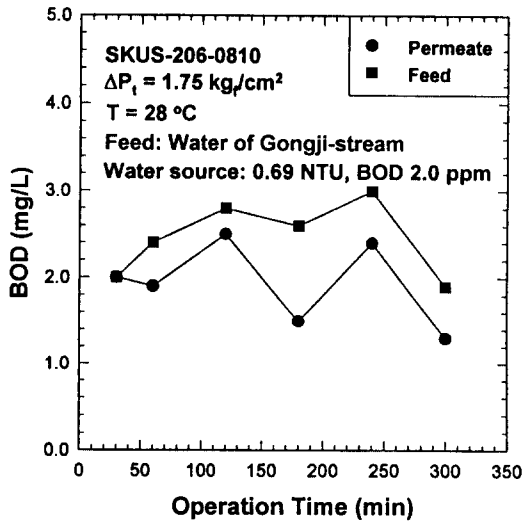


Fig. 13. Change of BOD in the permeate and feed during the operation time (SKUS-206-0810).

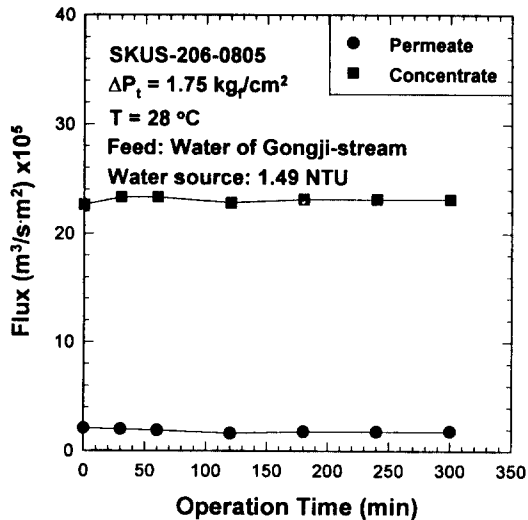


Fig. 14. Change of permeate and concentrate flux during the operation time (SKUS-206-0805).

고형물의 평균 제거율은 74.5%이고, 탁도의 평균 제거율은 73.2%로, 분획분자량이 5,000인 모듈의 경우보다 오히려 증가한 값을 보여 주고 있다. 반면에 생물학적 산소요구량의 평균 제거율은 20.9%로 분획분자량 5,000인 모듈의 경우보다 상당히 작은 값을 나타내고 있다. 이러한 결과는 두 실험의 경우 같은 장소에서 채수하였음에도 불구하고, 두 실험에서 사용한

폐수의 탁도가 각각 1.49 NTU와 0.69 NTU로 상당히 다른 수질을 갖기 때문에 발생한 것으로 추정된다.

한편, 원수를 대상으로 분획분자량 5,000인 모듈을 사용하여 한외여과를 수행하는 동안 여과선속(flux)의 변화량을 측정된 결과를 Fig 14에 제시하였다. Fig. 14에서 보는 바와 같이 5시간 동안의 한외여과 실험 중에는 여과선 속이 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있었다. 장기간의 한외여과 실험은 앞으로 수행해야 할 과제이다.

이러한 결과들을 종합하여 보면, Polysulfone 재질의 중공사형 한외여과막을 사용하여 공지천의 물을 대상으로 여과실험을 수행하여 총고형물 및 탁도, 생물학적 산소요구량을 상당히 제거할 수 있었다. 따라서, 본 연구를 통하여 중공사형 한외여과막을 사용한 생활하수 처리의 가능성을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 한외여과막은 선경인더스트리사 제품의 중공사형 polysulfone 한외여과막(MWCO = 5,000과 10,000)을 사용하여 실험한 결과, 온도가 증가함에 따라 공급량에 대한 투과량의 비인 회수율이 증가하는 경향을 보였다. 또한, 다양한 분자량의 polyethylene glycol 및 dextran 2,000ppm 수용액으로 분획분자량 확인 실험을 수행한 결과, 제작사에서 제시한 값보다 다소 큰 값을 얻을 수 있었다. 이러한 기초 실험결과를 토대로 하여, 최종적으로 생활하수의 유입으로 수질이 악화되고 있는 춘천시 공지천의 물을 처리 대상으로 선정하여 폐수의 성분을 분석하고, 한외여과 실험을 실시하였다. 그 결과, 생물학적 산소요구량 및 총고형물, 탁도가 모두 처리수에서 원수보다 탁월한 감소를 나타내었다. 따라서, 중공사형 한외여과막을 사용한 생활하수 처리에 가능성을 본 연구를 통하여 확인할 수 있었다.

이러한 실험결과가 실제 규모의 한외여과 막분리공정의 설계에 직접적인 기초 자료가 될 것으로 기대된다.

감 사

본 연구는 1995년도 한림대학교 지원 학술연구조성비에 의하여 연구되었으며 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. D. Argo, Improvements in Wastewater Demineralization with Advancing Membrane Technology, WSIA Conf. (1984).
2. G. H. Filteu and K. A. Klinko, Membrane Separation Experience in Municipal Wastewater Reuse, AWWA Annual Conf. Orlando, Florida, June (1988).
3. K. M. Abdullaev, I. A. Malakhov, L. N. Poletaev, and A. S. Sobol, "Urban Waste Waters Treatments for Use in Steam and Power Generation", Ellis Horwood Limited, Chichester, West Sussex, England (1992).
4. USGA, "Wastewater Reuse for Golf Course Irrigation", Lewis Publishers, Chelsea, MI (1994).
5. R. W. Baker, E. L. Cussler, W. Eykamp, W. J. Koros, R. L. Riley, and H. Strathmann, "Membrane Separation Systems: Recent Developments and Future Directions", Noyes Data Corp., Park Ridge, NJ (1991).
6. J. E. Cruver, Waste-treatment Application of Reverse Osmosis, *Trans. ASME*, Feb., 246 (1975).
7. 노수홍, 분리막을 이용한 수처리 기술의 국내 현황, *첨단환경기술*, 3권 11호, 10 (1995).
8. Metcalf & Eddy, Inc., "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse", McGraw-Hill, Inc., 3rd Ed., NY, NY (1991).
9. M. Cheryan, "Ultrafiltration Handbook", Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster, Pennsylvania (1986).