

## ENVIS<sup>®</sup> MEMBRANE SYSTEM (평판형 정밀여과막)의 침지식 수처리 공정 적용에 관한 연구

장재영·이영무<sup>†</sup>

한양대학교 응용화학공학부

(2005년 8월 11일 접수, 2005년 9월 14일 채택)

### Application of ENVIS<sup>®</sup> MEMBRANE SYSTEM (Sumerged flat Sheet MF Membrane)

Jae Young Jang and Young Moo Lee<sup>†</sup>

School of Chemical Engineering, College of Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received August 11, 2005, Accepted September 14, 2005)

**요약:** 본 연구는 하수 및 폐수 처리를 위해 침지식 수처리 공정 적용을 위한 평판형 MF막인 ENVIS<sup>®</sup>을 이용한 MBR SYSTEM 적용에 관한 연구이다. (주)퓨어엔비텍에서 만든 장치를 이용하여 공장의 오수시설(10 m<sup>3</sup>/일)과 폐수처리장(30 m<sup>3</sup>/일) 현장에서 실험을 수행한 결과, 공장 오수처리에 있어 제거율은 각각 SS 99.7%, BOD 97.6%, COD 96.8%였으며, 폐수처리에 있어 제거율은 각각 SS 99.6%, BOD 95.6%, COD 80.3%였다.

**Abstract:** This study is investigated for the applications of MBR SYSTEM using ENVIS<sup>®</sup> which is a submerged flat membrane for treatment of sewage and waste water. The experiment was practiced on the scene of labor that are sewage facilities of factories (10 m<sup>3</sup>/day) and waste water treatment plant (30 m<sup>3</sup>/day) using equipments made by Pure-Envitech Co., LTD. SS, BOD and COD for the result of removal efficiency at the sewage facilities of factories were 99.7%, 97.6%, and 96.8%, respectively. SS, BOD and COD for the result of removal efficiency at the waste water treatment plant were 99.6%, 95.6%, and 80.3%, respectively.

**Keywords:** MBR, sewage water, flat sheet membrane, microfiltration

### 1. 서론

하수 및 오·폐수 처리의 대표적인 생물학적 처리 공정인 활성슬러지법은 포기조에서 미생물에 의해 유기물이 흡착, 분해되며 침전조에서 중력 침전시켜 미생물과 유출수를 고액 분리함으로써 최종 처리수를 얻는 시스템이다. 그러나, 이 처리 공정에서 빈번하게 발생하는 문제는 미생물의 침강성 악화로 인한 고액분리의 효율 저하이다. 미생물의 침강성 악화는 미생물의 유실을 가져와 반응기 내의 미생물 농도를 감소시켜 처리 효율을 감소시키며 유출수의 수질 저하를 가져오게 된다. 미생물의 침강 특성은 유입수의 특성과 부하, 반응기의 운전 조건에 따라 변화하며 이는 생물학적

폐수처리 공정의 운전을 어렵게 만드는 요인 중의 하나이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 노력으로 최근에는 분리막 모듈을 반응조내에 침지하여 처리수를 흡입여과로서 얻는 침지형 막분리(Submerged Membrane Filtration) 활성 슬러지공법의 사용이 점차 증가하고 있는 실정이다[1,2].

분리막 생물 반응조(Membrane Bioreactor: MBR)의 특징은 부유고형물(suspended solids)을 완전히 제거할 수 있기 때문에 슬러지의 침강성에 관계없이 안정적인 처리가 가능하고, 슬러지 체류시간(SRT)을 극대화하여 질산화를 유도할 수 있으며, 반응기 내의 낮은 F/M 비를 유지하여 잉여 슬러지 발생을 줄이고, 폐수의 특성에 맞는 특정 미생물을 성장 및 유지시킬 수 있다[3-7]. 또한, 낮은 흡입압력으로 운전이 가능하여 동력비가 적게 소모됨과 동시에 분리침전조가 필요 없고

<sup>†</sup>주저자(e-mail : ymlee@hanyang.ac.kr)

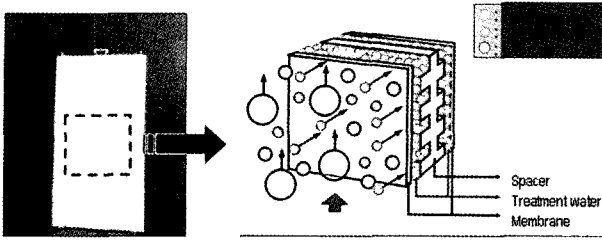


Fig. 1. Filtration of ENVIS®.

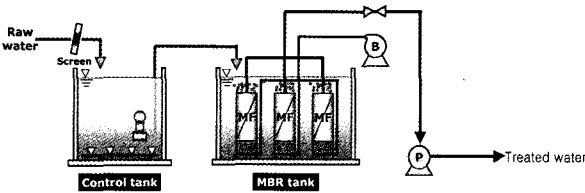


Fig. 2. Flow diagram of the pilot plant (Factory sewage).

농축조 부피 또한 감소되므로 공정의 compact화가 가능하다. 그러나, 일반적으로 막분리 공정에 있어 운전 시간의 경과에 따라 막 오염 현상으로 인한 투과율이 낮아지는 현상을 보인다. 막 오염이란 막이 처리수의 성분으로 인해 공경이 막히거나 코팅되는 현상으로 이로 인해 투과유량이 감소하는 것으로 막 주위의 환경이 비정상상태로 되는 것이라 할 수 있다[8]. 막분리 공정에 있어 막 오염의 영향인자는 크게 세 가지로 나누어 볼 수 있다[9]. 첫째 사용되는 분리막의 재질, 공경 크기, 공극률 또는 소수성 정도 등과 같은 분리막 자체의 특성이다. 둘째는 분리막 모듈의 운전조건으로서 막 투과 압력, 온도, 막면 유속 등과 같은 운전 변수들이다. 셋째는 여과 대상물질의 물리화학적 특성이다. 즉, 투과액의 유기물 농도, 현탁 고형물 농도, 입자 분포, 전하량, 이온 세기 등이다. 이러한 인자 등의 복합적인 원인에 의해 막 표면의 케이크층 형성으로 막 오염 현상이 나타나며, 막 투과 유속이 감소한다. 또한, 활성 슬러지 혼합액중의 용해성 성분이 주로 고분자물질로 구성된 막면 내부에 막힘 현상을 가져오고, 이러한 막투과 유속에 저하를 주는 용해성 성분은 주로 생물대사과정에서 생산된 생물대사성분(Soluble Microbial Products, SMP)이라고 하며[10], 이 대사물질이 막 표면에 gel 층을 형성하여 여과저항이 증대됨은 물론 투과수량 감소의 원인이 되는 것으로 보고되고 있다[11]. 흡인압력과 침지형 분리막에서 투과유량의 감소를 연구한 Chang의 연구에서 여과 저항이 압력의 증가로 이어지며, 결국은 투과유량의 감소를 초래한다

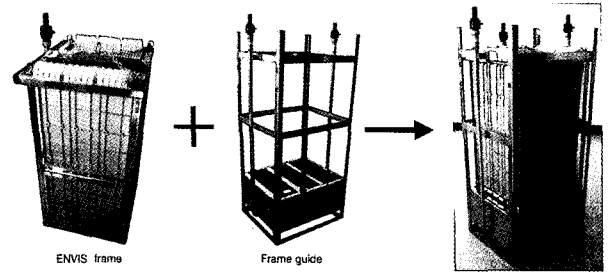


Fig. 3. Photograph of Flat Sheet membrane module used.

고 보고하였다[12].

본 연구의 목적은 MBR공법이 오·폐수 처리 분야에서 계속 증대되고 있는 가운데 침지형 MF 평막을 이용하여 실제 현장에 설치하여 처리수질이 우수하고 투과유량이 높은 장기간 안정된 운전인자를 찾고자 하였다.

## 2. 실험

본 연구는 (주)퓨어엔비텍에서 제작한 침지형 MF 평막인 ENVIS® (pore size = 0.4 μm, 막소재: CPVC)와 장치를 이용하여 H공장의 오수(10 m<sup>3</sup>/일)와 청주폐수 처리장의 폐수(30 m<sup>3</sup>/일)를 처리하였으며, 원수와 처리수의 CODMn, BOD, SS를 환경오염공정시험법[13]과 standard methods에 준하여 분석하였다.

침지형 평막 장치는 공기방울이 반응조에 상향류를 일으키고 상향류의 직각 방향으로 흡인펌프에 의해 처리수가 투과되는 십자형(crossflow filtration)여과 방식으로 막 표면에 이물질이 축적되게 되면 공기방울에 의한 상향류에 의해 세정이 된다. 운전방식으로는 설계 및 운전 그리고, 유량의 안정적인 확보 측면에서 정유량 방식으로 운전하였다. Fig. 1에 여과방식을 나타내었다.

### 2.1. 공장오수 처리 실험

공장오수의 경우 원수는 침전 분리조와 스크린을 거쳐 기름과 큰 이물질을 걸러내고, 유량조 정조 및 Sieve screen을 통해 MBR조에 유입시켰으며, Fig. 2에 나타내었다.

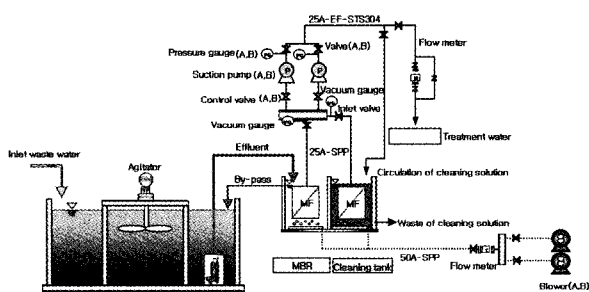
분리막 장치는 Fig. 3에서와 같이 0.4 μm의 막면적 0.98 m<sup>2</sup>의 ENVIS® 엘리먼트를 30개 장착하여 모듈화하였고, 모듈을 안착시킬 수 있는 가이드레일을 제작하였다.

**Table 1.** Operating Conditions for Sewage Facilities of Factories

Operating factor	Operating condition	Remark
Effective membrane area (m <sup>2</sup> )	29.4 (30 sheets of ENVIS membrane)	out → in
Treatment water flux	10	
Operating method	Submerged type with suction	
Operating period	7 min operation/ 3 min idle	
Operating pressure (cmHg)	0~15	
Scrubbing air (m <sup>3</sup> /hr-frame)	18	

**Table 2.** Operating Conditions for Waste Water Treatment Plant

Operating factor	Operating condition	Remark
Effective membrane area (m <sup>2</sup> )	97.02 (99 sheets of ENVIS membrane)	out → in
Treatment water flux	30.6	
Operating method	Submerged type with suction	
Operating period	15 min operation/5 min idle	
Operating pressure (cmHg)	12.5~44.0	
Scrubbing air (m <sup>3</sup> /hr-frame)	77.2	



**Fig. 4.** Flow diagram of the pilot plant (Industrial waste water).

가이드레일의 하부에 미생물성장에 필요한 산소공급, 슬러지와 유입원수의 완전혼합 및 분리막의 세정을 위해 bubble diffuser를 만들어 air blower와 연결하여 공기를 공급하였다. 처리수는 외부에 있는 흡인펌프에 의해 슬러지와 고액분리된 처리수를 얻을 수 있게 하였고 흡인펌프의 전단과 후단에 각각 진공압계와 유량계를 설치하여 TMP변화와 처리수량을 체크하였다. MBR조는 HRT 12 hr으로 하였고, MLSS는 3,000 ppm으로 시작하여 2년 동안 8,700 ppm으로 되었으며, 슬러지 인발없이 진행하였다. Table 1에 분리막 장치의 운전조건을 나타내었다.

2.2. 산업폐수 처리 실험

청주폐수 처리장의 폐수처리의 경우 별도의 MBR

tank를 만들어 포기조의 물을 투입하였다. 공장오수처리와 같이 ENVIS<sup>®</sup> 엘리먼트를 99개를 장착한 모듈을 설치하였고, 막 세정을 위해 모듈을 넣을 수 있는 별도의 약품 세정조를 옆에 설치하였다. MBR조는 포기조와 별도로 설치되어 있어 HRT 1.6 hr으로 계산하였고, MLSS는 1,600 ppm으로 시작하여 4개월 동안 4,500 ppm으로 되었으며, 슬러지 인발없이 진행하였다. Table 2에 분리막 장치의 운전조건을 나타내었다.

산업폐수의 경우 운전시간이 경과함에 따라 막오염 발생이 심해졌으며, 그에따른 운전압력이 증가하였고, 유기물세정제인 0.5%-NaOCl 용액을 약품 세정조에 넣고 12 hr 동안 침지하여 약품세정을 진행하였다. Fig. 4에 산업폐수의 처리 공정을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 공장오수 처리 실험결과

공장의 식당에서 나오는 생활오수 및 잡배수를 원수로 하는 FRP 정화조의 활성슬러지 포기조에 1일 10톤 규모의 처리량으로 하여 29.4 m<sup>2</sup> (ENVIS<sup>®</sup>엘리먼트 30장)의 침지형 분리막 모듈을 설치하였고, 7분 운전과 3분 휴기를 반복하여 흡인 펌프에 의해 처리수를 배출하였다.

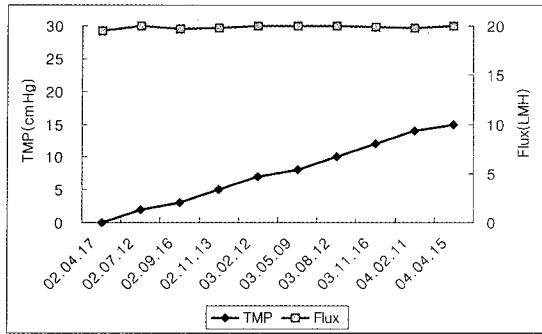


Fig. 5. Variation of flux and TMP at Factory sewage water.

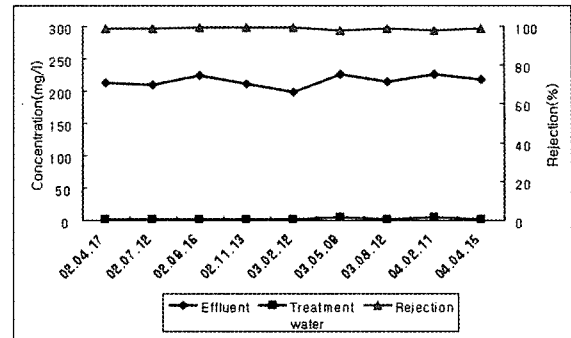


Fig. 8. Removal efficiency of BOD at Factory sewage water.

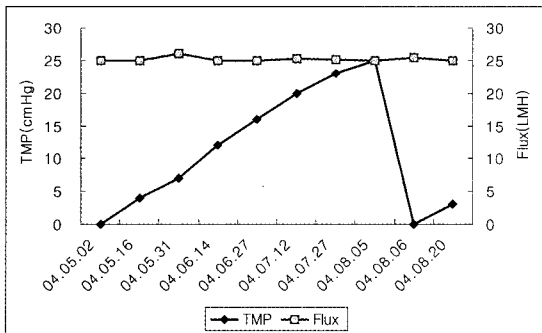


Fig. 6. Variation of flux and TMP at Factory sewage water.

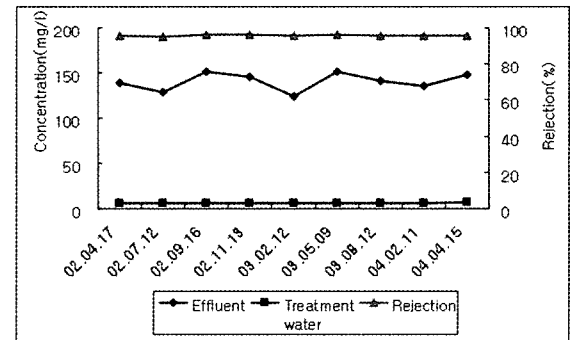


Fig. 9. Removal efficiency of COD at Factory sewage water.

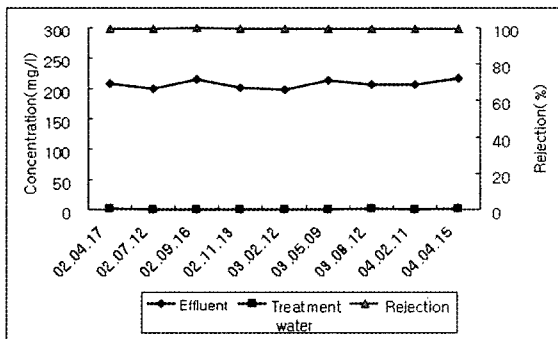


Fig. 7. Removal efficiency of SS at Factory sewage water.

3.1.1. TMP 및 투과유량

현장시험의 기간은 총 2년 동안 진행했으며, 현장 실험기간 동안의 흡인압력과 투과유량 변화를 Fig. 5에 도시하였다. 이때 투과유량은 정유량 방식으로 20 LMH로 유지시켰으며, 흡인압력은 초기 0 cmHg로 시작하여 2년 후에는 15 cmHg였고, 약품세정은 하지 않았다. 그러나 Fig. 6에 도시한 것처럼 4개월 동안 투과유량을 25 LMH로 유지시킨 실험에서는 흡인압력이

Table 3. Comparison before and after Treatment

	BOD	COD	SS
Swage water	275 mg/L	197 mg/L	259 mg/L
Treatment water	6.5 mg/L	6.4 mg/L	0.8 mg/L

막 fouling에 의해 3개월만에 25 cmHg로 상승하였다. 흡인압력이 초기에 0으로 나타난 것은 흡입펌프의 위치가 분리막 보다 낮은 곳에 있었기 때문에 싸이폰 효과에 의한 자연여과가 일어났다.

3.1.2. SS, BOD, COD 처리

현장실험에서 SS, BOD, COD의 제거효율을 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9에 각각 도시하였으며, 각각 유입된 원수의 값과 처리수의 값은 Table 3에 나타내었다.

제거율은 평균값으로 각각 SS 99.7%, BOD 97.6%, COD 96.8%였으며 BOD와 COD의 제거효율이 높은 것은 슬러지 인발이 없이 SRT의 기간이 2년동안 지속되어 그 효율이 높은 것으로 판단된다.

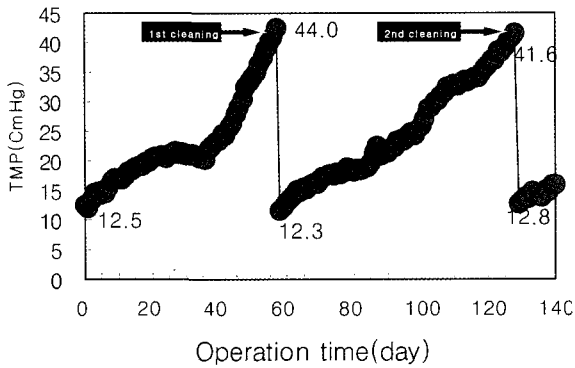


Fig. 10. Variation of TMP at Industrial waste water.

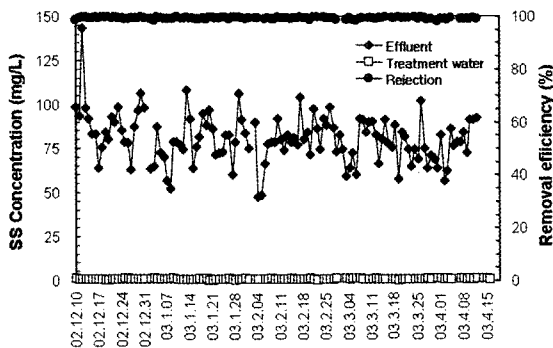


Fig. 11. Removal efficiency of SS at Industrial waste water.

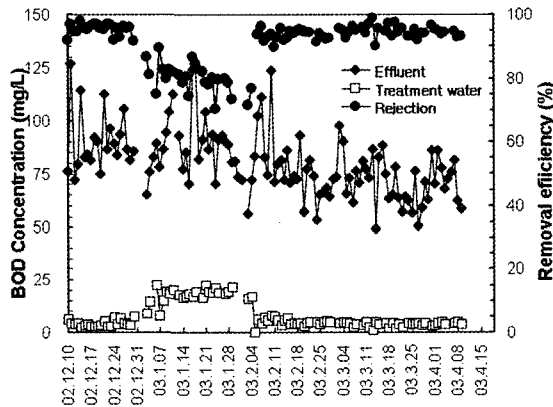


Fig. 12. Removal efficiency of BOD at Industrial waste water.

3.2. 산업폐수 처리 실험결과

주변 산업단지의 폐수를 모아 처리하는 폐수처리장의 1차 침전지 월류수를 원수로 폭기조의 물을 별도의 막분리조에 넣고 1일 30톤 규모의 처리량으로 하여 97.02 m<sup>2</sup> (ENVIS<sup>®</sup>엘리먼트 99장)의 침지형 분리막 모듈을 설치하였고, 15분 운전과 5분 휴기를 반복하여

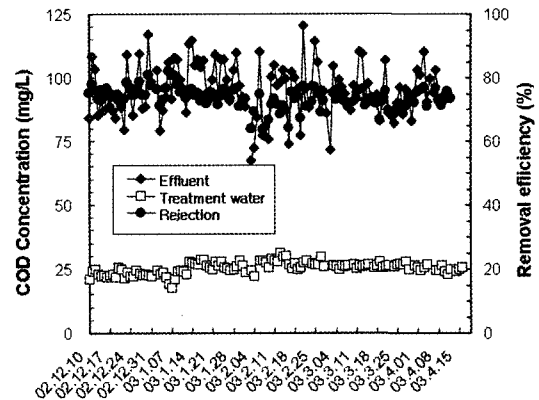


Fig. 13. Removal efficiency of COD at Industrial waste water.

Table 4. Comparison before and after Treatment

	BOD	COD	SS
Waste water	127 mg/L	132 mg/L	93 mg/L
Treatment water	5.6 mg/L	26 mg/L	0.4 mg/L

흡인 펌프에 의해 처리수를 배출하였다.

3.2.1. TMP 및 투과유량

현장실험의 기간은 총 4개월 동안 진행했으며, 현장 실험기간 동안의 흡인압력의 변화를 Fig. 10에 도시하였다. 이때 투과유량은 정유량 방식으로 20 LMH로 유지시켰고, 흡인압력은 12.5~44.0 cmHg의 범위로 운전하였으며, 2개월에 1회씩 0.5%-NaOCl 용액을 약품 세정조에 넣고 12 hr 동안 침지하여 약품세정을 진행 하였다. 약품세정 시 투과유량은 초기유량과 동일하게 회복되었다.

3.2.2. SS, BOD, COD 처리

현장실험에서 SS, BOD, COD의 제거효율을 Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13에 각각 도시하였다. 각각 유입된 원수의 값과 처리수의 값은 Table 4에 나타내었다. COD 제거에 있어서는 공장오수에 비해 산업폐수의 제거율이 낮는데 이는 산업폐수의 난분해성 유기물에 기인하는 것으로 생각된다. 제거율은 평균값으로 각각 SS 99.6%, BOD 95.6%, COD 80.3%였다.

4. 결론

침지형 MF 평막을 적용하여 공장오수 및 산업폐수

처리를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 오수 및 폐수에 있어서 현장에서의 정유량으로는 투과유속은 20 LMH로 운전하는 것이 막 fouling 저감을 위해 최적으로 나타났다.

2) 공장오수 인 경우 유기물의 제거는 평균값으로 제거율이 각각 SS 99.7%, BOD 97.6%, COD 96.8%였으며, 중수로의 사용도 가능성을 알 수 있었다. 산업폐수인 경우는 각각 SS 99.6%, BOD 95.6%, COD 80.3%였다.

3) 흡인펌프의 위치가 분리막 보다 낮은 곳에 설치했을 때 흡인압력의 상승이 늦어져 약품세정기간이 더 길어짐을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. C. Visvanathan, B. S. Yang, S. Muttamara, and R. Maythanuktraw, The 6th IAWQ Asia pacific Regional Conference, Seoul, Korea, 1461 (1997).
2. S. Elmaleh and L. Abdelmoumni, *J. Membrane Sci.*, **131**, 261 (1997).
3. C. Chiemchaisri and K. Yamamoto, *Wat, Sci. Tech.*, **28**, 325 (1993a).
4. K. Brindle and T. Stephenson, "The application of membrane biological reactors for the treatment of wastewaters", *Biotech. Bioeng.*, **49**, 601 (1996).
5. G. C. Cha and M. G. Hwang, "Nitrogen removal and behavior of soluble microbial product (SMP) in the MBR process with intermeittent aerobic condition", *Korean Membrane Journal*, **3**(1), 1 (2001).
6. T. H. Bae, G. G. J, T. M. T, "Effects of biomass concentration and sludge loading rate on bio-activity and membrane fouling in a submerged membrane bioreactor system", *Korean Membrane Journal*, **14**(4), 289 (2004).
7. S. H. Choi, N. U. Cho, and M. S. Han, "The estimating an effect of rapid flux increase to a membrane in the intermittent aeration MBR process using alum treatment", *Korean Membrane Journal*, **15**(1), 70 (2005).
8. M. Barger and R. P. Carnahan, *Desalination*, **83**, 3 (1991).
9. I. Chang, K. H. Choo, S. H. Yoon, and C. H. Lee, Proceedings of Korea-Australia Joint Symposium, Seoul, Korea, April, 231 (1994).
10. V. J. Boreo, "Soluble microbial product formation in biological systems", *Wat. Sci. Tech.*, **23**, 1067 (1991).
11. H. Nagaoka, "Nitrogen removal by submerged sludge membrane separation activated sludge process", *Wat. Sci. Tech.*, **39**, 107 (1999).
12. S. Chang, "Optimisation of submerged hollow fiber membrane modules", Ph D Thesis (submitted), UNSW (2001).
13. 환경부, 수질오염공정시험방법 (1999).