

오수 중 질소와 유기물의 고효율 처리를 위한 침적형 분리막 처리 방법 연구

김종성 · 김종찬 · 김요용 · 윤용수*

경기도보건환경연구원, *단국대학교 화학공학과

The Immersed Separation Membrane Process for the High Efficient Treatment of Nitrogen and Organic Matter in Sewage

Jong Sung Kim, Jong Chan Kim, Yo Yong Kim and Youg Soo Yoon*

Kyonggi-do Insitute of Health and Environment

Jangan-gu, Pajang-dong, 324-1, Suwon, Kyonggi-do 440-290, Korea

**Department of Chemical Engineering, Dankook University*

Yongsan-gu, Hannam-dong, 8, Seoul 140-210, Korea

The purpose of this study is to investigate three significant points such as optimum pumping time, the flux of membrane and the behaviors of nitrogen and phosphorus in A/O process. The sample for the study was domestic sewage filtered one time, and a reactor is composed of an anoxic and an aeration tank. The membrane was operated intermittently and cleaned by blower air for 24 hours. The advantage of membrane process was maximized by increasing the MLSS to 14,000 mg/l without a sludge withdrawal. The treated water had a lower value than 1.0 mg/l in BOD, 7.0 mg/l in COD and attained 70% of removal rate for T-N in optimum conditions having a pumping time as 10 min. with 5 min. of interval, 15 LMH flux, MLSS more than 8,000 mg/l and 2Q internal sludge return rate.

1. 서 론

환경에 대한 질적 욕구와 더불어 급격한 인구 증가와 용수의 과다 사용 등 물 부족 사태가 그 어느 때보다도 심각한 상황으로 부각되고 있으며, 팔당호등 상수원은 아파트와 음식점의 오수, 공장폐수, 축산폐수로 인해 유기영양물질의 증가로 악화되어가고 있다.

이러한 현상은 오·폐수처리시설이 유기물질 처리를 제대로 하지 못하고 영양물질에 대한 처리공정의 생략이나, 무계획적인 배출시설의 설치 등을 들 수 있다.

이런 문제점을 개선하고자 활성슬러지법과 분리막을 결합시킨 공법으로 대안을 찾을 수 있는데,¹⁻³⁾ 관형막, 평막, 중공사막, 관형막 평막혼용 제품 등이 이용되고 있다. 가압식 관형막은 높은 투과유량 및 막오염에 강한 장점으로 침적형 중공사막은 운전비가 적고, 그 적용범위도 저농도에서 고농도의 분포,⁴⁾

축산폐수 뿐만 아니라 정수분야까지 이용된다.⁵⁾

본 연구는 사용된 침적형 중공사막이 침전조 없이 폭기조에서 흡입처리 할 수 있기 때문에 전문기술 없이도 정상수질을 유지할 수 있고, 국내 생산이 가능하기 때문에 막설치, 교체시 선택의 폭이 큰 이점이 있다.

이에 따라 본 연구에서는 실험실 규모의 막분리장치로 안정적인 운전을 위한 flux, 흡입시간 등의 최적운전인자를 도출하고, MLSS를 고농도로 유지하면서 BOD, COD, T-N, T-P의 변화추이를 보고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험재료

실험에 사용한 재료는 아파트의 생활오수로 No.

10 mesh에 1차 여과한 후 No. 100 mesh로 2차 여과하여 사용하였고, 침적형 분리막은 Fig. 1과 같이 일본 미쓰비시사의 0.4 μm 중공사막으로 면적은 0.2 m^2 이고, 재질은 폴리에틸렌(PE)이다.

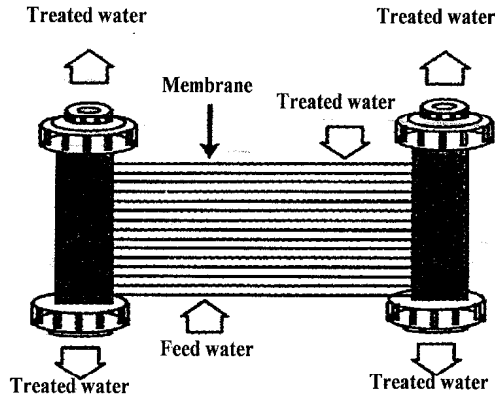


Fig. 1. Schematic diagram of the membrane used in pilot system.

2.2. 실험장치

장치는 Fig. 2와 같으며, 원수조(80 l) 하단에 수중펌프로 교반하여 유입수의 성상이 일정하도록 유지하였다. 무산소조의 크기는 30cm×22cm×62cm 이고 원수유입은 폭기조 수위가 low level일 때 원수펌프가 가동되어 high level까지 4.6 l가 유입된다. 무산소조 내부에 1.5 cm × 3 cm 크기의 blade 2 개가 직각으로 붙어있는 교반기가 설치되어 있

고, 회전속도는 30 rpm로 하였다.

폭기조는 30cm×22cm×53cm이고 침적된 분리막이 들어있으며, 내부에 float type의 수위계를 설치하여 수위를 조절하였다. 분리막 밑 10 cm 지점에 봉형태의 산기관이 설치되어있으며, 내부반송은 정량펌프(masterflex pump)를 이용하여 반송하였고, 침적된 중공사막에 연결된 수중펌프(100 ml/min)나 정량펌프를 이용하여 처리수를 뽑아내었다. 흡입펌프의 가동시간은 timer에 의해 조절된다.

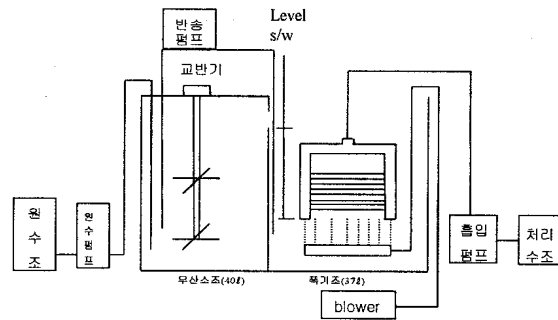


Fig. 2. Schematic description of pilot system.

2.3. 운전조건 및 실험 방법

blower를 사용하여 9 l/min 공기량으로 막세척 및 폭기조 산소농도를 유지하였고,⁶⁾ 농도는 원수유입에 의한 무산소조 월류수 유입시 0~1.5 mg/l에서 정지시 1~4 mg/l로 유지되었다. 흡입펌프

Table 1. Operation condition of pilot system.

Item	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5
Days	1~26	27~74	75~90	91~117	118~141
Suction Pump	Underwater Pump	Quantitation Pump	Quantitation Pump	Quantitation Pump	Quantitation Pump
Intermittent Suction Time	10min. operation, 5min. stop	10min. operation, 5min. stop	continuous operation except the raw water inflow	10min. operation, 3min. stop	10min. operation, 3min. stop
FLUX(LMH)	2.5~9.4	6.2~13.75	14.17~16.88	16.25~20.21	13.75~16.25
Treatment flowrate(l/day)	30~45	30~66	68~81	78~97	66~78
HRT(hr)	19~30	13~30	11~13	9~11	11~13
Internal Return amount	over 10Q	2Q	2Q	1Q	3Q
Acration tank MLSS(mg/ l)	5,705	8,038	12,053	13,216	14,014

의 가동시간은 timer에 의해 가동, 정지를 반복하는 간헐흡입방식으로 운전하였다.⁷⁾

흡입펌프의 흡입유량, 시간 flux(LMH = $\ell/m^2 \cdot hr$) 조절하여 막의 오염정도를 차압(cmHg)으로 나타내었다.

분리막 반응조의 운전조건은 Table 1에 나타내었다. 각 실험 조건(RUN1~RUN5)에서 다음 조건으로 넘어갈 때 약품세정을 하여 막을 세정한 후 분리막을 사용하였다.

약품세정은 폭기조에서 분리막을 분리한 후 수돗물로 1차 슬러지를 제거하고 차아염소산나트륨 5000 mg/l + 4%수산화나트륨 혼합용액에 15시간 동안 방치한 후 수돗물로 세척하여 사용하였다.⁸⁾

막처리수의 수질조사 항목은 BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}으로 실험을 하였고, 폭기조에서 슬러지 인출을 하지 않은 상태에서 MLSS의 증가추이를 평가하여, 내부반송에 따른 TN, TP변화추이를 보았다.

BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}, TN, TP, MLSS 실험은 우리나라 수질공정시험방법에 준하여 실험을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유입수질 성상

실험에 사용한 유입수질 성상은 Table 2와 같다. 전 실험기간 동안 BOD는 200~340, COD_{Cr}는 330~680, TN는 50~75, TP는 5~8mg/l로 나타났다. 이는 일반적인 분뇨병합 아파트오수의 성상과 유사하며, 단지 TN의 경우 2배 정도 높았다.

Table 2. Characteristic of sewage used in the pilot system.

Days Items	1~31Days	32~61Days	62~92Days	93~141Days
pH	8.36	8.22	8.00	7.81
BOD	319.65	338.84	208.14	202.90
COD _{Cr}	516.39	679.21	355.70	328.77
alkalinity	220.87	148.20	148.54	170.15
TN	73.16	71.54	51.91	51.85
TP	6.74	8.15	5.49	6.03

3.2. 처리수 중 BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr} 농도 및 제거율 추이

141일간의 기간 동안 슬러지 인출 없이 HRT 9~30 hr에서 처리수 중 BOD 성분은 대부분의 경우에 1 mg/l 이하를 유지했고, 최고 2.75 mg/l, 제거율은 98%이상이었다. MLSS 10,000 mg/l 이상에서 COD_{Cr} 15 mg/l 이하, COD_{Mn} 7 mg/l 이하를 유지해 현장운전자의 부주의로 인한 처리수질의 악화는 없을 것으로 생각된다. 이러한 처리수질의 안정화는 RUN1의 MLSS 농도 5,705 mg/l에서 슬러지의 인출 없이 반응기를 가동하여 RUN5의 14,014mg/l 까지 폭기조 MLSS를 고농도로 유지해 완벽한 BOD 성분의 제거 및 분리막에서 SS성분 차단으로 생각된다.

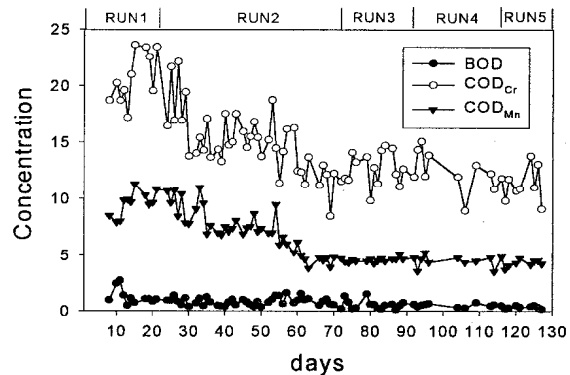


Fig. 3. BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr} conc. variation of treated water.

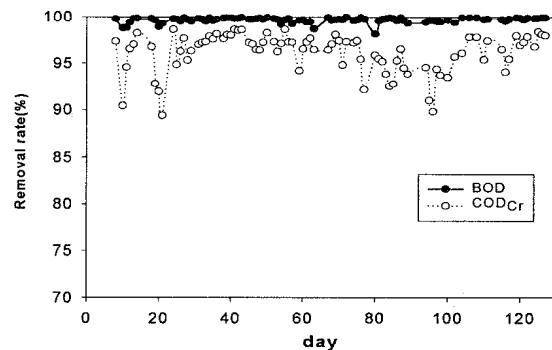


Fig. 4. Removal rate variation of BOD and COD_{Cr}.

3.3. 폭기조 MLSS 변화 추이

침전조 없이 분리막을 이용해 처리수를 분리하

고 슬러지 발생량, 슬러지 부상, 벌킹 등 폭기조 상태에 상관없이 폭기조에서 MLSS를 고농도로 유지할 수 있어 슬러지 저류조나, 농축조가 필요 없다.

MLSS가 12,000~15,000mg/l에서 슬러지 자산화가 활발하게 일어나 슬러지의 현저한 저감이 예상된다.

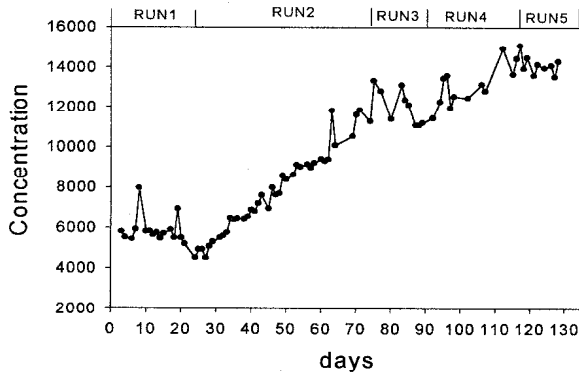


Fig. 5. MLSS change in pilot system.

폭기조의 농도를 고농도로 유지하면서도 침적된 분리막의 오염은 추가로 일어나지 않았다.

3.4. 처리수의 TN, TP 제거율 추이

총질소(TN)의 경우에 내부반송이 1Q일 때 TN은 평균 58% 제거되었으며, 2Q일 때 평균 70%, 3Q일 때 82%, 반응기 가동 초기 10Q이상에서는 45%의 제거율을 가졌다. TN 처리수질은 10~25mg/l로 우수한 처리수질을 얻었으나 강화된 하수처리장 방류수기준(TN 20mg/l)을 고려한다면 좀더 운전 조건 및 공정을 좀더 연구하는 것이 필요 할 것으로 생각된다.

위의 결과로 보면 3Q일 때 가장 TN 제거율이 우수했는데 그 이유로는 내부반송으로 인한 원수 중 암모니아성 질소가 희석되어 폭기조로 유입, 산소에 의한 암모니아성 질소가 질산성질소로 산화, 무산소조에서 질산성 질소의 탈질로 총질소(TN)가 제거되는 것으로 설명된다.

무산소조가 정상적으로 운전될 때 산소는 전혀 없었으며, 질산성질소의 농도는 0.5mg/l 이하였다.

이론상으로는 내부반송이 많을수록 TN제거율이 높게되나, 본 실험 초기의 10Q 이상에서 무산소조

의 산소농도가(0.7~1.5mg/l) 높아 탈질이 잘 되지 않았다.

총인은 40~90%의 처리효율을 나타냈는데 A/O공법에서는 인 제거를 고려하지 않은 공법인데도 90% 처리효율을 보인 것은 MLSS(4,000~10,000 mg/l)의 계속적인 증가로 세포합성에 사용되어졌다고 여겨진다.

처리수질은 0.2~3.5 mg/l로 하수처리장 방류수 기준(TP 2 mg/l)을 적용한다면 좀더 공정연구가 필요한데, 폭기조에 응집제를 넣는 방법, 입상 인흡착제 이용 흡착 방법, 혐기조-무산소조-폭기조의 A₂O 공법 등을 생각할 수 있다.

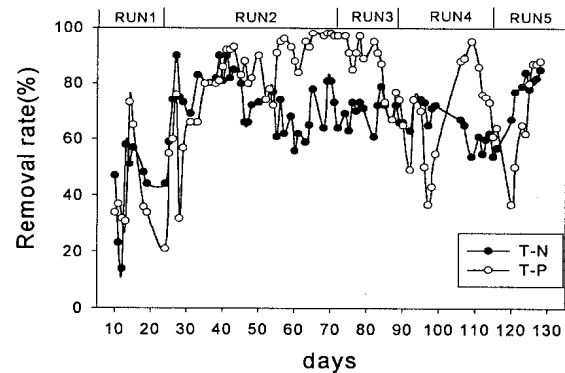


Fig. 6. Removal rate variation of TN and TP.

3.5. 처리량에 따른 FLUX 변화 및 막오염에 의한 차압 추이

RUN1에서는 흡입펌프로 수중펌프를 사용하였는데 펌프의 순간 부하와 산기관과 침적된 분리막과의 위치가 부적합하여 충분한 막세척이 안되어 급격한 막오염과 FLUX의 감소(9→3.4LMH)가 일어났다.

RUN2에서부터 산기관 위치조절 및 정량펌프를 사용하여 안정적인 FLUX를 유지할 수 있었고, 흡입펌프의 간헐흡입주기를 10분 가동 5분 정지로 하고, FLUX를 6.2~13.75 LMH로 단계적으로 올리면서 47일간 가동하였는데 급격한 막오염이나 처리수질의 악화 없이 정상가동 되었다.

RUN3에서는 FLUX를 14~17 LMH로 유지하고, 원수가 유입될 때를 제외하고 24시간 가동하였는데 15일만에 급격한 막오염으로 차압이 증가하였다.

RUN4에서는 FLUX 16~20에서 10분 가동 3분 정지의 간헐흡입방식으로 운전하였는데 25일만에 막오염이 심했는데(차압=35 cmHg), 막표면에 겔층은 심하지 않았으나 고유량의 흡입에 따른 막내부의 오염이 심하기 때문인 것으로 생각된다.

RUN5에서는 FLUX를 15~16 LMH에서 10분 가동 3분 정지로 간헐운전을 한 결과 23일 동안 차압 5 cmHg 이하로 막오염 현상은 보이지 않았다.

산기관과 분리막과의 위치가 틀린 경우나, 세척공기가 충분하지 않아 사각지대가 생기는 경우 급격한 오염이 일어나므로 현장에 설치시 산기관위치, 세척공기량에 대한 충분한 연구검토가 필요하겠다.

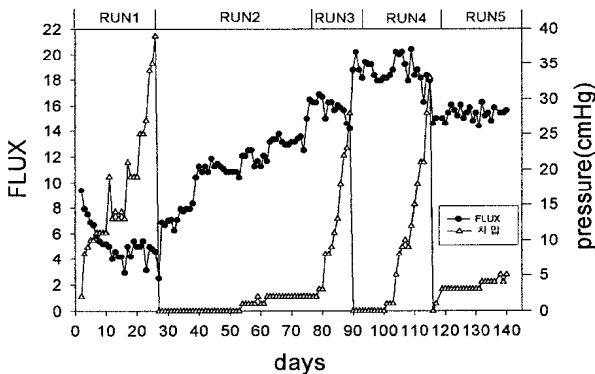


Fig. 7. Flux and pressure variation by membrane fouling.

4. 결론

중소규모 오수처리시설 보안을 위한 생물학적 처리공정과 침적식 막분리공법을 조합한 처리방법으로 안정적이고, 완벽한 유기물제거와 질소, 인 제거 공정을 적용해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 간헐흡입 10분 가동, 5분 정지, flux 15 LMH, MLSS 8,000 이상, 내부반송 2Q에서 처리수질 BOD 1 mg/l, COD_{Mn} 7 mg/l 이하, TN 제거율 70%를 얻었다.

2) 폭기조 MLSS가 12,000~15,000 mg/l에서 슬러지의 자산화가 활발하게 일어났으며, MLSS의 고농도 유지와 슬러지 자산화로 슬러지 저류조나, 농축조가 필요 없고, 슬러지 발생량의 저감이 예상된다.

3) 간헐흡입 “10분 가동, 5분 정지”, “10분 가동, 3분 정지”에서 같은 flux에서 막오염의 차이는 없었으나, 계속흡입조건에서는 급격한 막오염이 있었다.

처리 FLUX는 15 LMH 전·후가 적합한 것으로 나타났다. 장기간 막을 사용하기 위해서는 계획처리FLUX를 낮추어 막을 여유 있게 설치하는 것이 필요하며, 그러면 추후에 증설에 의한 유량증가나 유량충격부하에 대처하기 쉽다.

4) 부영양인자인 인의 제거는 본 공정에서 분리막 폭기조 내에 응집제 및 철, 알루미늄 접촉재 투입방법, 방류조에 입상흡착탑 설치방법, A₂O 공법, 처리수에 응집제 투입후 응집침전 방법 등으로 보완하면 2 mg/l 이하의 안정적 처리를 할 수 있다고 본다. 따라서 상수원 유역지역에 효율적인 오수처리장치로 이용할 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 上原 勝, 用水と廢水. 1995, 37(10), 45-50.
- 2) 山本 和夫, “造水技術, 1993, 20(2), 25-30.
- 3) 강광남, 정순형, 정우영, 윤용수, 대한위생학회지, 1999, 4(2), 105-112.
- 4) 様井 敏郎, “し尿の高負荷活性汚泥・UF膜法における處理の高度化と管理,” 1991, 33(10), 43-49.
- 5) 이정학, 첨단환경기술, 1999, 7(12), 2-15.
- 6) 化學工學會・膜分離技術 working group, “ユザのための實用膜分離技術,” 日刊工業新聞社, 1996, pp.10-15
- 7) 박재로, 지재성, 김응호, 한국수질보전학회지, 1997, 13(2), 191-197.
- 8) 한국건설기술연구원, “Green town 개발사업 I (환경부분), 1996, pp.147-152