

MSBR을 이용한 크루즈선 오·폐수 처리 장치

† 김인수 · 이연승* · 오염재** · 김억조***

† 한국해양대학교 토목환경공학부 교수, *,**한국해양대학교 대학원, ***(주)영동엔지니어링

Shipboard sewage treatment using Membrane Sequence Batch Reactor

† In-Soo Kim · Eon-Sung Lee* · Yeom-Jae Oh** · Eog-jo Kim***

† Division of Civil and Environment, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

*,**Graduate school of National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

***Youngdong engineering, Pusan Jurye-dong 935, Korea

요 약 : 본 연구는 크루즈선에 적합한 생물학적 오·폐수처리장치 개발을 위하여 SBR, MBR, MSBR 공정을 Lab scale 실험을 수행하여 오염물 처리 효율과 크루즈선이라는 특수 환경과의 접목성을 검토한 결과 MSBR공정이 처리효율과 장치 운영 면에서 가장 적합한 공정으로 평가되었다. MSBR 공정은 처리 대상 물질이 특정 성분에 국한 되지 않고 유기물, 영양염류, 병원성 미생물 처리에 있어 모두 안정적인 효율을 나타내었으며, 소요용적 및 장치의 운영 면에서도 우수한 결과를 나타내어 선박이라는 특수한 현장 적용에 매우 유리한 공정으로 확인되었다. MSBR 공정의 BOD, COD 및 SS 제거 효율은 99%, 98%, 99%로 나타나 IMO의 규제 기준을 모두 만족하였으며, 총질소와 인의 제거 효율도 76%, 59%로 강화되어 가는 해양오염기준을 충족시킬 수 있는 공정으로 판단되었다.

핵심용어 : 국제해사기구, 크루즈선, 선박 오수, 바실러스균, 연속회분식 반응조

Abstract : Lab scale experiment study was carried out for biological process development on cruise. SBR(Sequence Batch Reactor), MBR(Membrane Bioreactor), and MSBR(Membrane Sequence Batch Reactor) system were investigated for practical application on shipboard sewage treatment. From the results it was suggested that MSBR system might be suitable process for cruise in terms of pollutant removal efficiency, maintenance and special environmental conditions of cruise. About 99% of BOD, 98% of COD and 99% of SS were removed in MSBR system. In addition, about 76% of total nitrogen was reduced and the total phosphorus reduction averaged 59%.

Key words : IMO, MSBR, SBR, cruise, shipboard sewage, *Bacillus sp.*

1. 서 론

세계적으로 삶의 질이 향상됨에 따라 선박이 고급화되고 여행객의 증가로 대형 여객선이 출현하게 되어, 오폐수에 대한 해양오염의 방지 및 통제의 필요성이 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization) 해양환경보호위원회(MEPC, Marine Environment Protection Committee) 등에 의해 제기되어 왔다. IMO는 선박에서 발생하는 오수를 관리하고 처리하기 위한 MARPOL 73/78의 부속서 IV를 2003년 9월 27일부터 국제적으로 발효하였고 국내에서도 2004년 협약을 발효하였다.

현재 세계적으로 크루즈 선박용 오폐수 처리 장치로 개발되어 시판되고 있는 장치는 대부분 MBR 공정을 도입하고 있다. MBR 공정은 유기물 처리에 있어 안정적인 수질을 보장하는 장점은 있으나 설치 및 유지 관리에 많은 비용이 들며 질소,

인의 처리 효율이 낮다는 단점이 있다.

국내에서 생산되고 있는 선박용 오수처리 장치는 최대 300 인승 규모의 일반 선박용으로 크루즈선에 적용하는 것은 적합하지 않으며 그 처리 대상 물질도 일반 유기물만 제거할 수 있어 부영양화와 적조의 주범이 되는 질소와 인의 처리는 미흡하다.

따라서 IMO의 Res. MERP.159(55)의 기준을 만족하면서 선박의 특수성에 부합하고, 향후 규제 항목으로 추가될 가능성이 유력한 질소, 인의 고도처리까지 가능한 크루즈선용 오수처리 장치의 개발이 필요한 실정이다.

SBR 공정은 다른 처리 방법에 비해 필요공간이 작아 협소한 공간에 설치되어야 하는 선박에 적용하기 매우 용이하며 유입, 반응, 침전, 배출 과정이 한 조에서 이루어져 선박의 이동 환경에 가장 적합한 방식이다. 또한 오·폐수 중에 포함된 질소, 인까지도 동시에 처리할 수 있으므로 향후 질소, 인에 관

† 교신저자 : 종신회원, iskim@hhu.ac.kr 051)410-4416

* 정회원, les@ks.ac.kr 051)410-4983

** 정회원, herolight@nate.com 051)410-4983

*** 정회원, mail@eydeng.com 051)316-9212

한 규제가 실시될 경우 변경된 기준에 즉시 적용할 수 있다.

한편 Membrane을 이용한 분리막 기술은 미세공을 가진 분리막을 이용하여 액체 속에 존재하는 물질들을 선택적으로 분리할 수 있는 공정으로 화학적인 처리 시 문제시 되는 2차 오염의 염려 없이 병원성 미생물과 탁도까지 처리할 수 있다. 분리막 기술은 용도에 맞는 막의 선택과 막의 운영 시 발생하는 Fouling 부분을 효과적으로 제어할 수 있다면 오수 처리 공정에 있어서 처리수의 재활용까지 고려할 수 있는 매우 이상적인 고도처리 공법이다.

이에 본 연구에서는 SBR 공정과 Membrane Separation process를 결합한 MSBR(Membrane Sequence Batch Reactor) 공정을 고안하여 고효율의 컴팩트한 크루즈션용 오수처리장치를 개발하는데 목적을 두고 그 기초 연구로 Lab scale의 실험장치를 비교 운영하여 scale-up을 위한 기초 자료를 도출하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 연구에서 제시한 MSBR 공정의 운전 성능을 평가하기 위하여 SBR 프로세스, MBR프로세스, MSBR프로세스를 동시에 가동하여 그 결과를 비교 관찰하였으며, Lab scale로 제작한 실험장치의 개략도를 Fig. 1에서 Fig. 3에 도시하였다. Fig. 2의 채래식 활성오니공정에 침지막을 설치하여 미생물 현탁액에서 직접 처리수를 유출시키는 MBR공정과 Fig. 3의 SBR 공정의 처리수 후단에 침지막을 설치하여 막의 효율을 극대화시킨 MSBR 공정은 Membrane의 위치에 근본적인 차이가 있다.

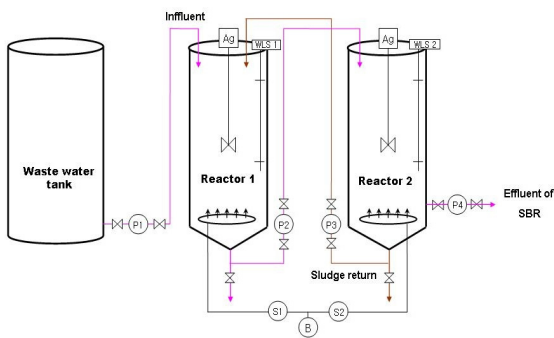


Fig. 1 Schematic diagram of SBR system

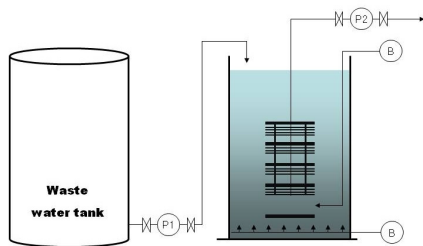


Fig. 2 Schematic diagram of MBR system

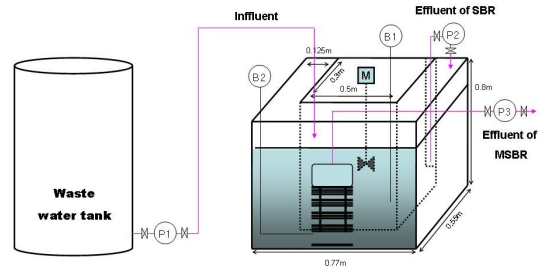


Fig. 3 Schematic diagram of MSBR system

Lab scale 실험 장치는 운영시의 상태 관찰을 위하여 10mm의 투명 아크릴 재질로 처리용량 200 l/d 로 제작하였다.

SBR 반응조는 원형조로 전체 용적은 146 l (D=0.5m)로 처리수 기준 1cycle당 50 l로 운영하여 폭기에 따른 여유 공간을 두었으며, MBR 공정은 200 l/d 용적 0.396m³(0.6m×0.6m×1.1m)으로 제작하였다. MSBR은 1cycle당 50 l로 총 용적은 0.34m³(0.77m×0.55m×0.8m)으로 제작하였다. 모든 반응조작은 자동제어장치에 의해 조절하였다.

Fig. 2와 Fig. 3과 같이 증공사 형태 막모듈을 반응조에 수직 방향으로 세워 반응조 외부지대에 고정하여 반응조 내부에 위치한 산기관의 상부에 설치하였으며 막간차압을 확인하기 위해 흡인펌프 앞에 압력계를 설치하였다. 반응조 내 호기 조건과 공기방울에 의한 상향류 발생을 유도하여 분리막 표면의 케이크층을 억제하기 위해 air blower를 이용하여 반응조 하단 산기관에 공기를 공급하였으며 분리막 여과 시 막의 물리적 손상을 최소화하기 위하여 흡인펌프와 air blower에 자동 제어 timer를 설치하였다.

반응조에 설치한 분리막은 이(1995), 김(2003), Judd(2002) 등의 결과를 비교 평가하고 선박이라는 특수한 환경을 고려하여 저압에서 운전이 용이한 MF, follow fiber를 사용하였다. 선정된 분리막의 재질은 PVDF(Polyvinylidene fluoride)이며 pore size는 0.2~0.4μm, 실험실용 막 모듈은 유효 막 길이 0.6m, 막 면적은 모듈당 0.03m²이며, 순수 투과플럭스는 25℃, 0.5kgf/cm²에서 8.3LMH(200 l/day)로 자세한 막의 특징은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Characteristics of membrane

Classification	Membrane	Picture
Shape	follow fiber	
Pore size	0.2~0.4μm	
Material	PVDF	
Hydrophile property	Hydrophilic	
Area	0.03m ²	
Pure permeate flux	0.35m ³ /m ² · day	

생물학적 처리를 위한 SBR 및 MBR 반응조의 미생물은 *Bacillus sp.*을 우점종으로 하여 연구하였으며, 초기 *Bacillus*

sp.의 우점화를 위해 B3공법으로 운전하고 있는 P-분뇨처리장 (부산 감전동)의 폭기조 내 농축 슬러지를 채취하여 사용하였다. 슬러지는 체를 이용한 협작물 제거와 수 차례의 세척과정을 거친 후 10 일간 인공 폐수를 이용한 기질 적응기간을 두어 공정에 투입하였다. SBR 공정과 MSBR 공정의 MLSS 농도는 약 3000mg/ℓ 정도, MBR의 MLSS는 약 4500mg/ℓ를 유지하여 운전하였다.

각 공정 내 미생물의 성장 환경 확인을 위하여 pH, DO, 온도, ORP, SV₃₀을 지속적으로 측정하였으며 활성슬러지의 현미경 관찰을 통하여 미생물 성장 상태의 정상 여부를 판단하였다.

2.2 실험방법

1) 시료의 성장 및 측정

반응조 가동에 사용한 시료는 실험결과와 일관성을 유지하기 위해서 육상 하·폐수 배출농도와 IMO의 성능시험 규정을 참조하여 인공폐수를 조제하여 시험하였다. 인공폐수는 글루코스를 탄소원으로 하여 유기물 농도를 조정하고, 고도처리 여부를 확인하기 위하여 NH₄Cl 및 K₂HPO₄를 사용하여 질소와 인의 농도를 조정하였으며, 조제한 인공폐수의 농도는 Table 2 과 같다.

Table 2 Composition of synthetic wastewater

Composition	Concentration
BOD (mg/ℓ)	400~500
COD (mg/ℓ)	500~750
T-N (mg/ℓ)	80~100
T-P (mg/ℓ)	15~20
TSS (mg/ℓ)	500~620
Thermotolerant Coliform (cell/100ml)	4~5 × 10 ⁴

막의 효율성 비교를 위하여 MBR, MSBR의 운영 시간 경과에 따른 Flux를 비교하였으며, SBR, MBR, MSBR의 오염물 제거 특성을 비교하여 현장 적용을 위한 MSBR의 설계인자를 도출하였다. 시험 항목은 IMO에서 규제 기준으로 정하고 있는 pH, BOD, COD, SS, Thermotolerant Coliform과 강화될 기준에서 추가 예상되는 T-N 및 T-P로 하였으며 수질오염공정시험법 및 Standard Method를 참조한 각 항목은 분석법은 Table 3과 같다.

Table 3 Analytical method

Test item	Analytical Method
pH	pH meter(Thermo Orion 720)
DO	DO Meter (YSI Model 58)
ORP	ORP meter(Thermo Orion 720)
BOD	Winkler-azide sodium method
COD	KMnO ₄ reflex method
SS	Standard Method 2540D
Thermotolerant Coliform	USEPA 1604
TN	UV spectrophotometer method
TP	UV spectrophotometer method

2) 운전방법

반응기는 2010년 1월부터 2010년 3월까지 약 3개월 동안 연속 운전 하였으며, SBR공정은 질소와 인 제거를 위해 호기(3HR/CYCLE), 혐기(1HR/CYCLE), 무산소혐기(1HR/CYCLE)의 조건을 맞춰 반응 기작이 일어나도록 유도하여 운전하였다. MBR공정은 호기조건 후 막 분리 배출되도록 운전하였으며, MSBR공정은 SBR공정과 동일한 반응기작을 사용 후 침전 상등액을 여과조로 이송하여 막 분리 배출되게 운전하였다. 동결기인 계절적인 특성상 미생물에 의한 생물학적 처리가 원활하지 못할 것을 우려하여 수온은 20℃로 유지하여 운전하였다. Table 4에 DO, F/M비, ORP 등의 운전인자를 나타냈었다.

Table 4 Operating condition of bioreactor

Content	Condition
DO	0.2 ~ 6.0 mg/ℓ
ORP	-180 ~ 220mV
MLSS	2,000 ~ 4,500 mg/ℓ
F/M ratio	below 0.15 kg·BOD/kg·MLVSS·DAY
pH	6.5 ~ 7.5
Temp	20 ℃

3. 실험결과 및 고찰

3.1 생물반응기 내 미생물 관찰

공정 내 반응조의 미생물은 *Bacillus sp.*으로 우점화되어 있었으며 분리 배양하여 미생물자동동정기(VITEK2 Compact, Biomeroex)로 동정하고 생화학 테스트를 거친 결과 *B.subtilis*, *B.vallismortis*, *B.cereus*, *B.megaterium* 속 등으로 동정되었고 이 결과를 현미경(Eclipse E200, NIKCON) 관찰 사진과 함께 Fig. 4에 나타내었다.

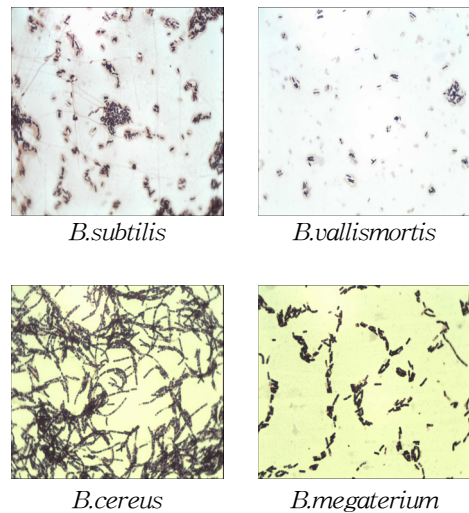


Fig. 4 Picture of bacillus sp.(×1000)

활성슬러지의 현미경 관찰 결과 장치운영 기간 동안 활성슬러지는 정상적인 플록을 형성하고 있었으며, 팽화 등의 문제시 나타나는 비정상적인 플록은 관찰되지 않았다. MBR 장치 운전 기간 동안 관측한 DO, 온도, ORP의 측정값은 DO 2.0~5.0mg/l, 온도 20℃, ORP는 180~220mV로 미생물 성장에 적합한 환경이 유지되고 있음을 확인할 수 있었으며, MSBR 공정의 호기 조건은 DO 5.0~6.0mg/l, 혐기 조건은 0.2mg/l 이하, 무산소 조건은 0.2~0.5mg/l, ORP는 -180~220mV로 고도처리를 위해 설정한 운전 조건이 유지되고 있음을 확인할 수 있었다.

3.2 오염물 제거 효율 비교

MBR공정, SBR공정, MSBR공정의 오염물 처리 특성을 관찰한 결과를 Fig.5에서 Fig.9에 비교하여 나타내었다. 유출수의 수질은 Table 5의 IMO의 Res.MEPC.159(55)에 의거하여 적합 여부를 확인하였으며, 아직 규제치가 제정되어 있지 않는 질소 및 인은 강화될 해양오염기준에 대비하여 공정별 오염물 제거 효율을 비교하여 고도처리 성능을 확인하였다.

Table 5 Contents of Res.MEPC.159(55)

Content	regulation
Thermotolerant Coliform	below 100cell/100ml
SS	below 35mg/l
BOD	below 25mg/l
COD	below 125mg/l
pH	6~8.5
chlorine (for disinfectant)	below 0.5mg/l

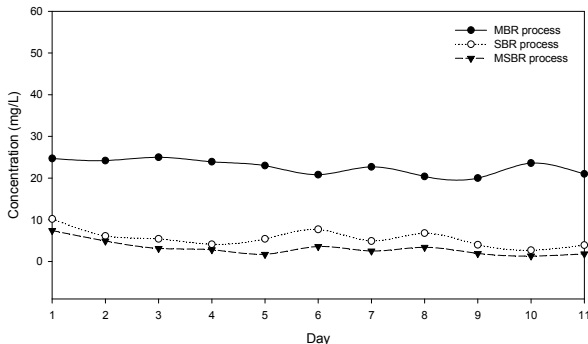


Fig. 5 Concentration of effluent for BOD

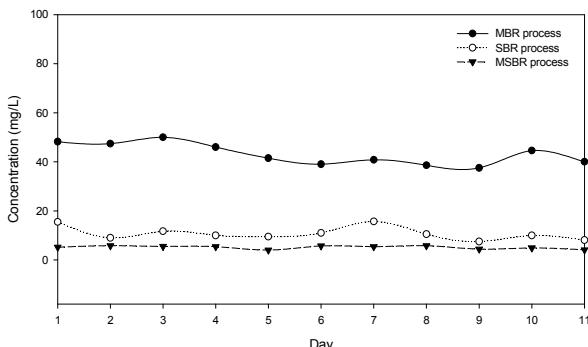


Fig. 6 Concentration of effluent for COD

생물학적 처리에 있어 유기물은 미생물의 분해작용에 의해 제거되며 이 이외에도 세포합성 및 미생물의 자기 분해 등에 의해 제거된다. 세 공정 모두 COD, BOD의 경우 90% 이상의 처리 효율을 나타내었으며 Fig.5 및 Fig.6과 같이 안정적인 유출 농도를 나타내어 Res. MEPC.159(55) 기준을 모두 만족하였다.

Fig.7의 TSS의 경우 Membrane을 통과한 MBR공정과 MSBR공정에서는 거의 검출 되지 않았으며 SBR공정 유출수와 육안으로 비교시도 확연한 차이를 나타내었다. 현장 적용시 청소용수나 화장실 세정수 등으로 유출수의 재이용 부분을 계획한다면 막에 의한 탁도 제거 효과에 의해 심미적인 부분까지 상당히 해소 할 수 있을 것으로 판단된다.

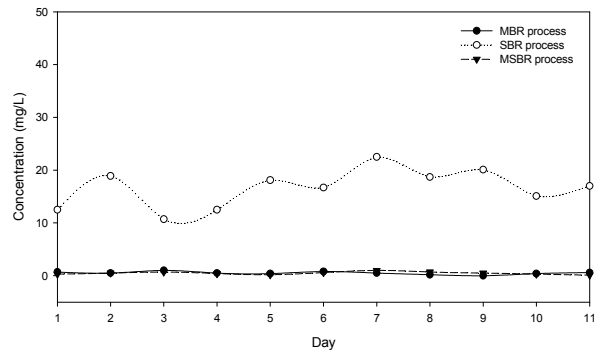


Fig. 7 Concentration of effluent for TSS

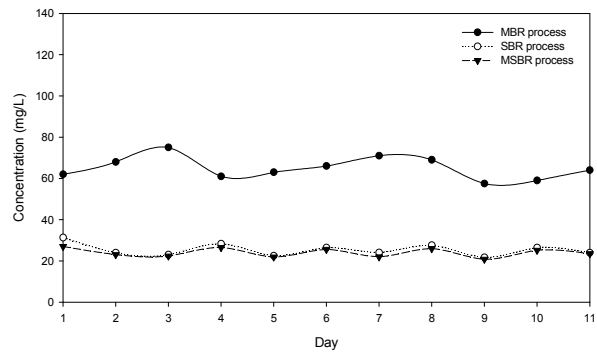


Fig. 8 Concentration of effluent for TN

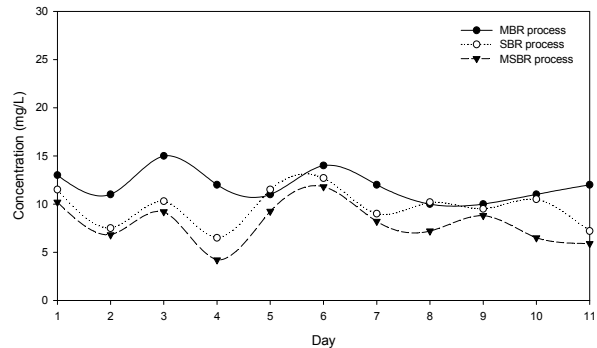


Fig. 9 Concentration of effluent for TP

Fig.8, Fig.9와 같이 질소와 인의 처리에 있어 MBR공정은 그 처리 효율이 매우 낮게 나타났다. 생물학적 처리에 있어 질소와 인은 세포의 합성에 사용되면서 순환 제거되며, 호기와

혐기 조건에서 질산화와 탈질 과정을 거치고, 인의 과잉 섭취와 방출 과정을 거치면서 처리된다. MBR공정은 Membrane과 활성슬러지가 한 조에서 운전되므로 효과적인 Membrane 운영을 위하여 호기 조건으로 운전되는 특성상 미생물이 생장에 필요한 질소와 인의 요구량 만큼만 제거되어 유출수의 농도가 높게 나타났다. MSBR 공정에서도 질소와 인은 생물학적 처리에 의해 주로 제거되므로 SBR공정과 MSBR 공정 유출수 내 질소, 인 농도는 별반 차이가 없었다. MSBR 공정에서 유출수 농도가 조금 더 낮은 것은 Membrane 여과시 제거된 SS에 함유된 미량의 질소, 인에 기인하여 농도가 낮아진 것으로 판단되며, SBR공정과 MSBR 공정의 질소 인 처리 효율은 유입수의 전처리 및 장치의 운전 방식을 변화시키면 더 높은 처리 효율도 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

pH의 경우 6.8~7.5 정도로 전 공정에서 기준치를 만족하였다.

SBR공정의 경우 유출수에서 Thermotolerant Coliform은 $2.1 \sim 4.8 \times 10^2$ cell/100ml로 나타났다. 안 등(2001)은 *Bacillus sp.*는 포자화 과정에서 Bacitracin, Polymyxin, Tryocidin, Gramicidin, Ciraulin등과 같은 항생물질을 방출하여 수중에 존재하는 일반세균이나 대장균을 사멸시킬 수 있으며, *Bacillus sp.* 내 존재하는 활성이 강한 프로티아제의 분비로 인해 대장균의 세포벽인 단백질이 가수분해되어 대장균이 사멸된다고 밝히고 있다. 이에 *Bacillus sp.* 등의 미생물에 의해 SBR공정에서도 상당수의 Thermotolerant Coliform이 제거되었으나 IMO의 Res. MERP.159(55)의 기준을 초과하여 현장 적용 시는 Thermotolerant Coliform 등의 병원성 미생물 처리를 위한 살균시설이 부수적으로 동반 설치되어야 할 것이다. 반면 MBR공정과 MSBR공정의 처리수에서는 Thermotolerant Coliform은 $2 \sim 35$ cell/100ml로 나타나 Res. MERP.159(55)의 기준을 충분히 만족하는 것으로 나타났으며, 이는 $1.5 \sim 4 \mu\text{m}$ 의 크기를 갖는 대장균이 Membrane 여과조를 통과하면서 Sieve mechanism에 의해 거의 완벽하게 제거된 것으로 사료된다. 결과에서 보여지 듯 Membrane을 도입한 공법은 약품의 주입 없이 병원성 미생물의 처리까지 가능하여 여타 살균시설이 필요하지 않으므로 2차 오염문제를 유발하지 않으며 장치의 간소화로 현장 적용 시 매우 유리한 고도처리 공법으로 판단된다.

각 공정들의 오염물 처리 효율을 Fig. 10에 비교하여 나타내었다.

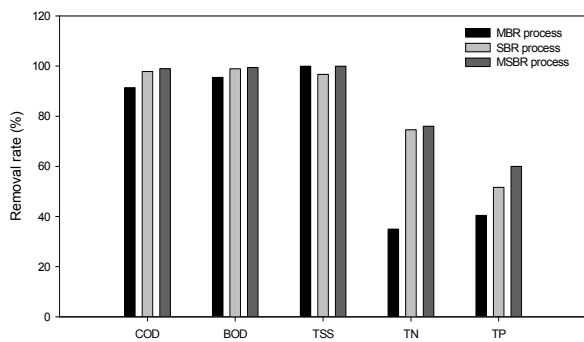


Fig. 10 Removal efficiency of each process

3.3 MBR 및 MSBR FLUX 비교

두 시스템에서 막의 성능을 평가하기 위하여 운전기간에 따른 막의 flux 변화를 살펴보았다. 두 공정의 순수 Flux 변화를 관찰하기 위해 MBR 및 MSBR공정에서 동일한 막을 이용하여 막간차압(Transmembrane Pressure, TMP)을 0.05MPa로 고정하여 공기세정을 제외하고 막 표면의 fouling 제어 없이 연속 운전하면서 flux 변화를 비교 관찰하였다.

Fig. 11과 같이 MBR공정에서는 가동초기 flux의 급격한 감소를 보이는 것에 반해 MSBR공정에서는 운전 기간 내내 Flux 변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있었다. 이는 MBR공정에서 막여과 유입수는 하폐수의 원수가 아닌 활성슬러지이며 MSBR 공정에서의 막여과 유입수는 SBR에서 침전 단계를 거친 처리된 상등액으로 막으로 유입되는 유입수의 EPS 함유율 자체가 다른 것에서 기인된 것으로 사료된다. EPS (Extracellular Polymeric Substances)는 미생물의 내외부에서 발견되는 polysaccharides, 단백질, 핵산 및 (phosphor-)lipids 등과 같은 고분자 물질(Flemming and Wingnder, 2001)로 최근 많은 연구에서 MBR 공정의 Fouling에 가장 많은 영향을 미치는 인자로 EPS를 주목하고 있다. (Chang et al., 2002; Rosenberger et al., 2005).

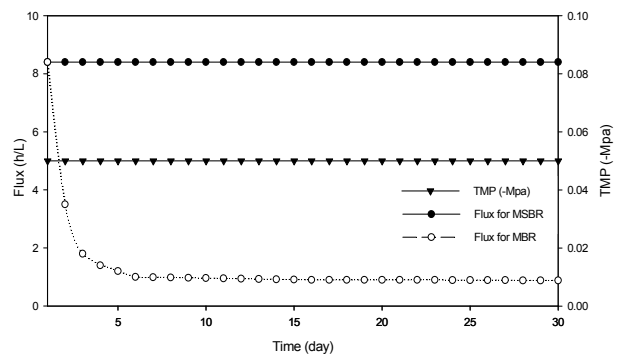


Fig. 11 Variation of flux in MBR, MSBR system

막 오염 현상을 설명하기 위해 일반적으로 사용되고 있는 직렬 여과 저항 모델(Resistance in series model)은 Sieve mechanism에 기초하는 모델로써 막투과유속(J)은 막간 압력차(ΔP)에 비례하고 막의 고유저항(R_m)과 막의 내부오염에 의한 저항(R_p), 표면 케이크층 저항(R_c)의 총합(R_t)과 점도(μ)의 곱에 반비례하는 것으로 기술된다(Cheryan M.,1998). 두 공정의 Flux 변화 관찰 결과로부터 막의 총 저항(R_t)은 MBR공정이 MSBR공정보다 큰 것을 알 수 있다. 이는 막의 Fouling 속도가 MBR공정에서 훨씬 높은 것을 의미하며 막의 Fouling은 역세 주기를 앞당기고, 역세에 의한 막의 수명 단축을 야기하는 주원인이 된다.

막 처리 공정에서의 flux의 감소는 오페수 처리 시 단위시간 당 처리 수량의 감소 또는 처리 수량 당 처리 시간의 증가를 의미하며 이는 장치의 규모와도 직결되는 부분이다. 선박의 오페수 처리장치는 오수처리시간을 단축하고 설치공간을 최소화

할 수 있는 컴팩트한 장치여야 한다는 특수성을 고려할 때 flux 면에서 MSBR공정이 유리함을 확인하였다. 또한 막의 운영의 관건은 막의 Fouling을 제어하여 막의 수명을 최대한 연장하는 것으로 막의 효율적인 운영 면에서도 MSBR공정이 유리함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

크루즈선에 적합한 오수처리장치 개발을 목적으로 MSBR 공정을 고안하고 그 기초연구로 Lab scale의 SBR, MBR, MSBR 실험장치를 제작하여 비교 실험 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 오염물 처리 특성 분석 결과 SBR 공정은 Thermotolerant Coliform, MBR 공정은 질소와 인 처리 효율이 매우 낮게 나타난 것에 반해, MSBR 공정은 유기물 및 영양염류, 병원성 미생물의 처리 효율이 모두 매우 우수하였으며, 처리 효율의 변동 또한 매우 작아 오염물질 부하에 따른 적응력이 매우 높은 공정으로 나타났다.
2. 제작한 Lab scale 규모의 실험 장치는 하루 200ℓ 용량의 오폐수를 처리하기에 적합하였으며, 소요 용적 비교 시 MSBR 공정이 0.34m³으로 가장 작게 나타나 협소한 공간 내에 설치해야 하는 크루즈선의 공간적인 제약성을 충분히 만족시킬 수 있는 공정으로 나타났다.
3. 운전기간에 따른 Flux 변화 관찰에서 MBR 공정은 Flux가 급격히 감소한 반면 MSBR 공정은 운전기간 내내 안정적인 Flux를 나타내어 장치의 운영 면에서도 매우 유리한 공정으로 판단되었다.

참 고 문 헌

[1] 김형수(2003), “막분리 수처리 개요 및 국내외 기술 현황”, 막분리 수처리 단기교육자료, 무배출형 환경설비 지원센터

[2] 노수홍(1995), “분리막을 이용한 수처리기술의 국내 현황”, 첨단환경기술 11월호 pp. 11-21.

[3] 안태석, 홍선희, 김옥선, 유재준, 전선옥, 최승익(2001), “B3 공법을 사용하는 하수종말처리장에서 *Bacillus* 속 세균의 변화”, 미생물학회지 제 37권 제3호, pp .209-213.

[4] 이병호(2005), “막분리 기술의 현재와 미래“, 첨단환경기술 5월호, pp. 5-13.

[5] 최용수, 권용운(2004), “B3 공법을 이용한 하·폐수의 고도 처리”, 한국물환경학회 · 대한상하수도학회 · 한국수도협 공동춘계학술발표회 논문집, pp. 235-238.

[6] Flemming, H. C. and Wingender(2001), “Relevance of microbial extracellular polymeric substance (EPSs). Part I. Structural and ecological aspects” *Water Sci. Tech*, Vol43, pp. 1-8.

[7] Judd, S(2006), “The MBR book : Principles and applications of membrane bioreactors in water and

wastewater treatment”, Elsevier, Oxford

[8] Rosenberger, S. and Kraume, M.(2002), “Filterability of activated sludge in membrane bioreactor, *Desalination* Vol. 146, pp. 373-379.

원고접수일 : 2010년 4월 13일
 심사완료일 : 2010년 6월 23일
 원고채택일 : 2010년 6월 25일