

연속 회분식 공정(SBR)을 이용한 선박 오·폐수의 고도처리

박상호* · 김인수**

*한국해양대학교 건설환경공학부 시간강사, **한국해양대학교 건설환경공학부 교수

Advanced Wastewater Treatment using Sequencing Batch Reactor on ship's sewage

Sang-Ho Park* · In-Soo Kim**

*Division of Civil and Environmental System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Professor, Division of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 선박에서 발생하는 오·폐수를 처리하기 위하여 생물학적 질소 및 인의 제거공정으로 사용되고 있는 연속 회분식 공정을 이용하여 유기물의 제거 특성과 산소 소모량, 반응조내에서 우점하고 있는 *Bacillus sp.*균주의 상태를 알아보기 위하여 Lab-scale로 수행하였다. 반응조에서 COD의 제거효율은 92.0%, 암모니아성질소는 90.0%, 총질소의 제거효율은 84.0%, 인의 제거효율은 93.0%로 나타났다. *Bacillus sp.*를 이용한 SBR를 사용한 선박폐수의 처리효율은 안정적이었다. 포기시에 SBR 내의 pH는 초기의 8.1에서 30분동안에 pH는 7.0으로 감소하였다. 무산소 단계인 3단계와 4단계에서 pH는 증가하기 시작하여 최종적으로 pH는 7.3으로 유지되었다. TOC제거량에 대한 슬러지 생성량은 약 0.36kg · MLSS/kg · TOC으로 나타났으며 낮은 슬러지 발생률과 높은 슬러지 침강성을 나타내었다. 반응조에서 바실러스균의 평균 우점율은 24.2%로 나타났고 각 반응단계에서 안정적인 처리효율을 얻을 수 있어 충분히 우점화 되었다고 판단할 수 있었다.

핵심용어 : 선박 오·폐수, 연속회분식 반응조, 산소량, 바실러스균 우점화, DO, pH

Abstract : Lab scale experimental study was carried out for SBR process, to investigate the effects of influent ship sewage organic compound removal and *Bacillus sp.* state on design parameters. This process was able to remove nitrogen and phosphorus as well as organic matter efficiently. More than 92.0% of chemical oxygen demand(COD) were removed. In addition, about 84.0% of total nitrogen (T-N) was reduced. The total phosphorus(T-P) reduction averaged 93%. The performance load of SBR process was shown to be 0.095kg · TOC/m³ · day. The pH was decreased from 8.1 to 7.0 within 30 min and increased to 7.3 at the end of anoxic stage, and these phenomena were explained. The sludge produced in the SBR process is characterized by low generation rate (about 0.36kg · MLSS/kg · TOC) and excellent settleability. The number of *Bacillus sp.* in the SBR was 24.2%, indicating that *Bacillus sp.* was a predominant species in the reactor.

Key words : Ship sewage, Sequence Batch Reactor (SBR), *Bacillus sp.*, DO, pH

1. 서 론

우리나라는 해산물동량 6위이고 선박의 보유량은 세계 8위의 해양강국이다. 하지만 선박에 의한 물동량의 증가로 선박에서 발생하는 오염물질로 인한 연안해역의 오염은 날로 심각해지고 있고 피해규모도 해마다 증가하고 있다. 또한 항만의 오염과 주변해역의 오염으로 인해서 양식장이나 어장의 피해는 늘어나고 있으며 다양한 오염물질로 인해서 생태계의 교란까지 발생한다. 유엔 국제해사기구(IMO)는 이러한 문제점을 인식하고 선박에 의한 해양오염을 줄이기 위하여 MARPOL 73/78 협약을 채택하였다. 선박에서 발생하는 주요 오염물질은 배기가스, 쓰레기, 빌지수, 오수와 폐수, 방오도로 물질 등이 있고, 새롭게 문제가 되는 밸리스트수 내에 포함되어 있는 외래생물종, 원유의 유출 등이 있다. 그 중에서도 항

만이나 연안 해역의 수질에 직접적으로 영향을 미치는 오수에 대해서 다음과 같이 규정을 하고 있다. 국제해사기구에서 MARPOL 73/78의 부속서 IV의 발효로 선박에서 오수를 배출할 경우 200톤 이상 선박은 육상의 정화조 설비와 유사한 오수처리장치에서 처리한 후 배출해야 한다. 또 200톤 미만 선박은 저장용기에 저장하였다가 육상의 수용시설에 배출해야 한다. 이 협약은 국내에서 2004년 3월 28일부터 발효되었다. 이에 따라 우리나라는 200톤 이상 선박의 오수처리장치를 검사하고, 200톤 미만 선박을 위해 주요 항만 및 터미널에 대용량의 수용시설을 설치하여 처리하여야 한다. 하지만 기존선박에 적용된 처리공법은 1차적인 활성슬러지공법을 이용한 생물학적 처리장치와 전기화학적 처리장치가 있으나 모두 유기물 제거에 국한되어 해양오염원 중의 하나인 질소와 인을 동시에 제거할 수 없는 공법들이고 처리효율도 높지 않다. 우

* 대표저자: 박상호(정회원), sangho@bada.hhu.ac.kr 051)410-4983

** 정회원, iskim@hanara.kmaritime.ac.kr 051)410-4416

리나라의 항구들은 대부분 폐쇄해역에 존재하여 해수의 순환이 원활하지 못하여 정박중인 선박에서 유출된 오염물질과 선박운항의 증가로 인한 선박에서 배출되는 분뇨와 화물로 운송되는 가축에서 나오는 폐수가 항내의 바다와 주변해역을 오염시키고 있다. 또한 각 나라마다 엄격한 처리기준을 제시하고 있어 처리기준을 만족하기 위해서는 선박에서 발생되는 폐수에 포함된 유기물 뿐만 아니라 질소와 인을 동시에 처리할 수 있는 선박용 오·폐수 고도처리장치에 대한 연구와 개발이 이루어져야한다.

본 논문에서는 유기물 제거는 물론 질소와 인을 동시에 제거할 수 있고 유기물 고부하로 인한 냄새문제를 처리하는 바실러스균(*Bacillus sp.*)을 이용하였다. 육상의 고도처리장에서 활발하게 사용되고 있는 미생물인 바실러스균을 이용하여 선박의 특수한 공간에서 모든 처리가 이루어질 수 있도록 생물학적 처리공정의 하나인 연속 회분식 반응기(SBR)를 사용하여 오·폐수 처리시스템에 대한 설계인자의 도출에 관한 연구와 함께 선박 오·폐수에 대한 본 공정의 적용가능성을 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에 사용한 연속 회분식 반응조는 두께 5mm의 투명 아크릴로 제작된 원형조를 사용하였고 총용적은 14ℓ이며 유효용적은 12ℓ로 운전하였다. 처리후 배출되는 유출수의 양은 7ℓ이고 남은 슬러지 부분의 용량은 5ℓ로 하였다. 선박 오폐수 저장조는 총용적은 하루에 처리할 수 있는 량을 저장하기 위하여 50ℓ로 제작하였고, 유입 및 유출 튜브는 직경 5mm의 실리콘 튜브를 사용하였으며, 유입 및 유출 펌프는 미량조절이 용이한 정량펌프(Peristaltic pump)를 이용하여 일정한 량이 주입되고 배출되게 하였다. 반응조에 유입된 폐수의 혼합을 위해 교반기를 설치하여 50~70rpm으로 교반시켰고 공기 공급장치를 통하여 공기를 공급하였다. 반응조의 온도는 항온항습기를 사용하여 25±0.5℃를 유지하였고 시간조절장치(time controller)를 통하여 자동으로 반응조를 운전하였다. 전체적인 장치의 구성도를 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 시료의 성상

본 실험에 사용된 유입수의 성상을 Table 1에 나타내었다. 유입수는 한국해양대학교 실습선에서 발생한 오·폐수를 사용하여 실험에 사용하였다(김 등, 1998). 유입수의 CODcr은 평균 450mg/L, T-N은 평균 27.5mg/L, T-P는 평균 4.5mg/L 이었다. 선박폐수내의 기름성분은 평균 1.5mg/L이고, 동물성 기름과 식물성 기름도 각각 평균 1.5mg/L이다. 질소 및 인의 거동에 미치는 영향을 파악하기 위해서 온도센서, ORP probe 및 pH meter가 부착된 반응장치를 이용하여 탈질속도와 인 방출 거동을 분석하였다. 한편, 최적처리 조건에서 반응조내의 변화를 알아보기 위하여 미생물 균집을 분석하였다.

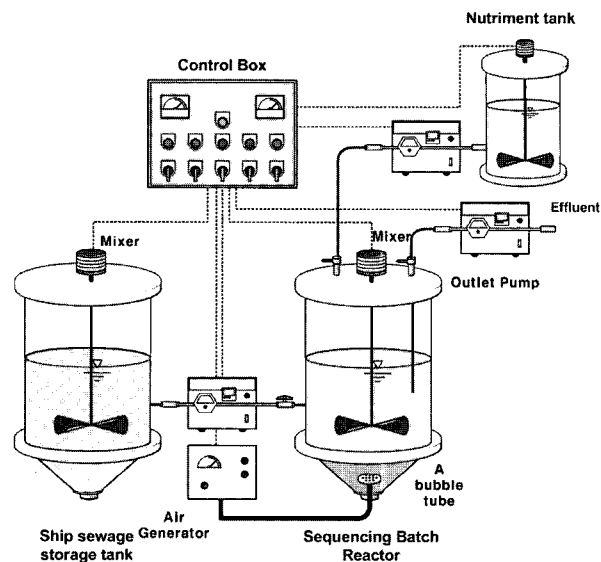


Fig. 1 Sewage treatment system used in this study

Table 1 Characteristics of ship wastewater

Division	Concentration(mg/ℓ)	Mean(mg/ℓ)
CODcr	400~500	450
T-N	25~30	27.5
T-P	4~5	4.5
MBAS	10~20	15
Mineral Oil(Diesel)	1.3~1.7	1.5
Animal Fat	1.4~1.6	1.5
Vegetable oil	1.4~1.6	1.5

2.3 운전조건

본 연구에 사용된 식종슬러지는 울산의 S하수처리장의 B3(Best-Bio-Bacillus System) 반응조로부터 채취하였으며 15일간의 적응기간을 거친 후 반응조에 식종하였다. 포기시간에서의 용존산소(DO)는 바실러스속 세균(*Bacillus sp.*)의 성장특성에 맞추어 산기관의 포기강도를 점감포기에 의해 1단계로 1.5~2mg/ℓ, 2단계 0.8~1.0mg/ℓ, 3단계 0.3~0.5mg/ℓ, 4단계 0.1~0.3mg/ℓ로 점감포기를 하였다. 반응조작은 1일 4주기로 하였으며, 운전조건을 Table 2에 나타내었다. 1주기당 처리량은 약 7ℓ이고 모든 조작은 시간조절기(Time controller)에 의해 자동으로 제어되도록 하였다. 반응조내의 혼합액 농도(MLSS)는 2,250~2,680mg/ℓ로 유지하였다. 또한 활성균소를 주성분으로 하는 미생물제제를 0.02 kg/kgBOD·day의 속도로 반응조에 주입시켜 바실러스종을 우점화하였다.

Table 2 Operating conditions for SBR

Step	Fill	1	2	3	4	Settle	Idle	Draw	Total (min)
RUN	10	60	60	60	70	80	10	10	360

Aerobic : ▨ Anoxic : ▣

2.4 분석방법

실험분석치가 안정화되는 정상상태에서 유입수와 처리수에 대하여 시료를 1주기인 360분 동안에 10분마다 취하여 총11개의 항목을 분석하였다. 본 연구에 사용된 각 항목별 분석방법은 수질오염공정시험법(2000) 및 Standard Methods(1992)를 참조하였다. 각 항목별 분석방법은 Table 3에 나타내었다. 반응조 내의 미생물의 변화를 보기위하여 위상차현미경을 이용하여 관찰하였다.

Table 3 Summary of analytical methods

Item	Analytical Method
pH	pH meter(Thermo Orion 720)
ORP	ORP meter(Thermo Orion 720)
TOC	TOC Analyzer(SHIMADSU 5000A)
NH ₄ ⁺ -N	Indophenol Method
NO ₃ ⁻ -N	UV Spectrophotometric Method
NO ₂ ⁻ -N	NED, Colorimetric Method
T-N	UV Spectrophotometric Method
T-P	Automated Ascorbic Acid Reduction Method
DO	DO Meter (YSI Model 58)
MBAS	Methylene Blue Method

3. 결과 및 고찰

3.1 SBR 반응조의 처리수질 변화

Fig. 2에는 시간의 변화에 따른 CODcr, TOC의 유출수의 농도와 총질소 농도와 총인인 농도변화를 나타내었다. 약 60 일간의 운전기간동안 선박 오·폐수처리 공정은 안정적이고 높은 유기물 제거효율을 나타내었다. 유기물(CODcr, TOC)의 변화는 유입수의 CODcr, TOC의 농도가 각각 370mg/L, 240mg/L이고 유출수에서 6.5mg/L와 3mg/L로 제거효율이 95%를 나타냈다. 측정된 결과가 우리나라의 오수처리시 방류수 배출의 법적 기준인 COD 40mg/L이하를 만족하였다(김 등, 2002). SBR반응조내의 용적과 제거된 유기물량에 대한 설계 부하는 0.095kg · TOC/m³ · day의 값을 보이고 있다.

반응조내 호기성공정에서는 암모니아성 질소(NH₄-N)가 40 mg/ℓ에서 4mg/ℓ로 변화였고 무산소 공정에서는 질산성 질소(NO₃⁻)는 0.5mg/ℓ에서 2.7mg/ℓ로 증가하였다. 호기성 공정과 무산소 공정을 거치면서 질소가 제거되었다. 암모니아의 질산화가 원활하게 일어나서 전체의 90%이상이 제거되었고 질산성질소는 5mg/ℓ 이하로 안정적으로 배출되었다. 본 연구에서 사용된 SBR공정으로 선박에서 발생하는 유기물의 처리와 질소를 제어할 수 있다는 것을 확인하였다.

한편 인의 제거에 있어서는 선박폐수의 수질특성상 인의 농도가 매우 낮아 선박에서 발생한 분뇨와 주방폐수를 섞어 이 문제를 해결할 수 있다. 인의 제거기작으로 미생물에 의한 방출과 과잉섭취를 이용하는 본 공정은 폐수에서 인이 다량으로

존재할 때 인제거에 매우 효과적이었다. 실험결과 인의 제거가 이루어져 반응공정 중에 총 93%가 제거되었다.

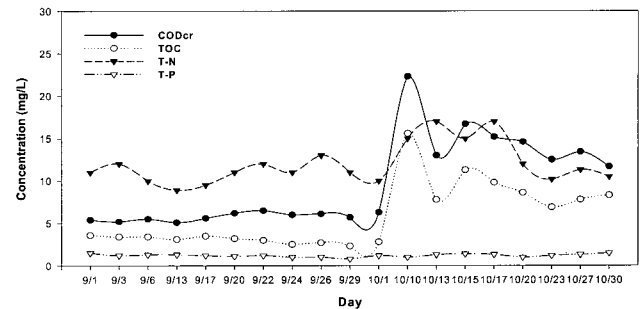


Fig. 2 Variation of CODcr, TOC, T-N and T-P in the outflow water

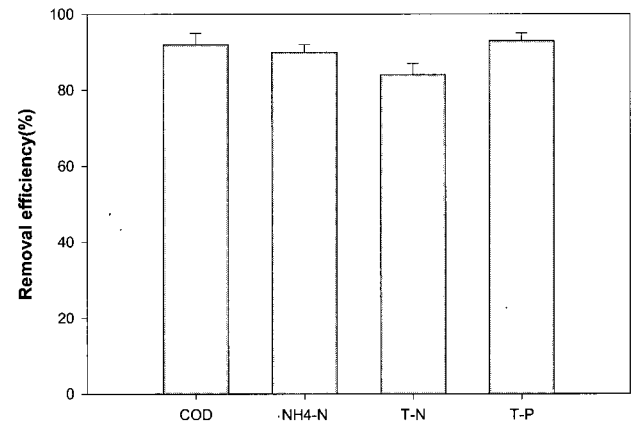


Fig. 3 Removal efficiency of COD, NH₄-N, T-N and T-P in the SBR system

반응조 내에서 각 분석항목에 대한 처리효율을 Fig. 3에 나타내었다. 각각의 COD의 제거효율은 92.0%, 암모니아성질소는 90%, 총질소의 제거효율은 95%, 인의 제거효율은 93%로 나타났다. *Bacillus* sp.를 이용한 SBR를 사용하여 선박폐수에 대하여 안정적인 처리효율을 나타내었다.

3.2 반응조내의 산소 요구량 산정

유기물 제거에 필요한 산소량은 질소제거에 필요한 유기물량 계산에 따라 구한다. 유입유량은 48m³/day이고 반응조의 용적은 12m³/day, MLSS는 3000mg/L, VSS/TSS는 0.7이다. 유입 TOC는 240mg/L이고 유출 TOC는 3mg/L이다. 유입 TN은 27.5mg/L이고 유출 TN은 3mg/L이며 상온상압에서의 O₂의 질량은 0.277kg/m³,air이고 산소전달율은 0.12%, 안전계수(S.F)는 1.2, 미생물의 내생호흡계수는 0.06를 사용하였다(하수도 시설기준, 1998). 일반적인 탈질시 소요되는 유기물은 전체 탈질과정에서 10%가 일반질산화 탈질 과정으로 계산한다. 20×2.86×0.1 = 5.72이고 호기성 탈질시 소요되는 유기물은 전체 탈질에서 70%가 호기성 탈질 및 질산화로 20×0.86×0.7 = 12.04이다(Fikret et al., 2003).

- 1) 제거TOC당 필요한 산소량[$\text{kg O}_2/\text{kg BOD}$] \times {(유입BOD-탈질에 필요한 유기물)-유출TOC} \times 유량/1000
 $=0.4 \times \{(240-17.76-3) \times 48/1000 = 4.2 \text{ kg O}_2/\text{day}$
- 2) 내생호흡에 필요한 산소량 (VSS/TSS \approx 0.7)
 내생호흡계수 \times MLSS \times 반응조의 용적 \times (VSS/TSS)/1000
 $=0.06 \times 3,000 \times 12 \times 0.7/1000 = 1.5 \text{ kg O}_2/\text{day}$
- 3) 질소제거에 소요되는 산소량
 호기성탈질에 필요한 산소량 (70%)
 처리할 암모니아성 질소(=TKN)=(유입TN-유출TN) \times 유량
 $= (27.5-4) \times 48/1000 = 1.1 \text{ kg NH}_4\text{-N}/\text{day}$
 전체제거량의 70%가 호기성 탈질로 제거
 $= 1.1 \times 0.7 = 0.77 \text{ kg O}_2/\text{day}$
 호기성 탈질 반응식 : $2\text{NH}_4^+\text{-N} + 2\text{O}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{N}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$
 $\text{O}_2 : \text{NH}_4\text{-N} = 2.29:1 \rightarrow 2.29 \times 0.77 = 1.76 \text{ kg O}_2/\text{day}$
 질산화공정에서 소요되는 산소량 (30%)
 $4.57 \times \text{유량} \times \text{제거되는 암모니아성 질소} \times 0.3/1000$
 $= 4.57 \times 48 \times (27.5-4) \times 0.3/1000 = 1.5 \text{ kg O}_2/\text{day}$
- 4) 필요한 총산소량은 다음과 같이 구한다. 유기물질제거에 필요한 산소량과 질소제거에 소요되는 산소량을 모두 합하면 다음과 같다.
 $4.2 + 1.5 + 0.77 + 1.5 = 7.97 \text{ kg O}_2/\text{day}$
 분당 필요한 산소량을 구하면 다음과 같다.
 $7.97 \div 0.277 \div 0.12 \times 1.2 \div 24 \div 60 = 0.2 \text{ m}^3 \text{ Air}/\text{min}$

선박 오·폐수 처리 SBR에서 유기물의 제거와 내생호흡에 필요한 산소량 그리고 질소의 제거에 필요한 산소량은 $0.2 \text{ m}^3 \text{ Air}/\text{min}$ 이다. 질소와 인을 제거하는 다른 생물학적 고도처리 공법인 A_2O 공법은 $0.3 \sim 0.5 \text{ m}^3 \text{ Air}/\text{min}$ 가 필요하지만 본 처리 공법은 산소 소모량이 적게 들어 경제적인 처리가 가능하다.

3.3 SBR반응조에서 DO와 pH의 변화

선박 오·폐수 처리장치에서 포기시 용존산소(DO)는 바실러스속 세균(*Bacillus* sp.)의 성장특성에 맞추어 산기관의 포기강도를 점감포기에 의해 1단계로 $1.5 \sim 2 \text{ mg}/\ell$, 2단계 $0.8 \sim 1.0 \text{ mg}/\ell$, 3단계 $0.3 \sim 0.5 \text{ mg}/\ell$, 4단계 $0.3 \sim 0.5 \text{ mg}/\ell$ 로 점감포기를 하였다. 이때 SBR에서의 DO와 pH의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 초기 20분 이내에 $1.5 \text{ mg}/\ell$ 정도를 유지됨에 따라 충분한 호기성 상태를 유지하는데 문제가 없는 것으로 판단된다.

포기시에 SBR 내의 pH는 초기의 8.1에서 30분 동안에 pH는 7.0으로 감소하였다. 초기의 pH의 감소는 유기질소에서 암모니아로 분해되는 과정과 인을 섭취하는 과정을 통하여 알칼리도가 증가하는 것보다 질산화에 의해 알칼리도를 소모하는 것이 많기 때문인 것으로 생각된다. 다시 pH가 증가하는 것은 질산화가 거의 완료되고 인의 섭취가 발생하기 때문이다.

무산소 단계인 3단계와 4단계에서 pH는 증가하기 시작하여 최종적으로 pH는 7.3으로 유지되었다. pH가 증가하는 것은 탈질화에 의한 수산화 이온의 영향으로 알칼리도의 공급이 증가하기 때문인 것으로 생각된다(박 등, 2003).

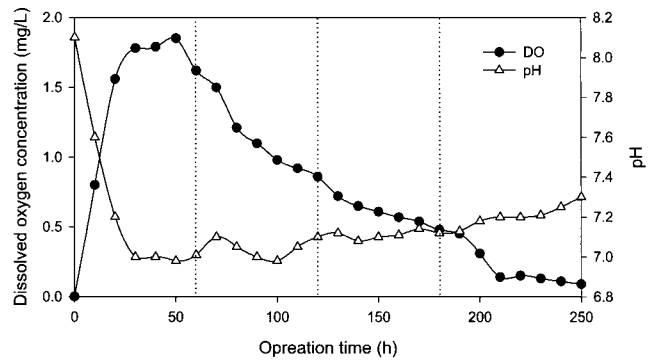


Fig. 4 Track analysis of DO and pH in SBR system

3.4 SBR에서 슬러지 발생량 및 침강성 분석

TOC제거량에 대한 슬러지 발생율을 분석한 것으로 TOC제거 누적량에 대한 MLSS증가 누적량을 Fig. 5의 그래프로 나타내었다. 그래프에서 알 수 있듯이 98%의 높은 연관성을 갖고 있으며, TOC제거량에 대한 슬러지 부하는 약 $0.36 \text{ kg} \cdot \text{MLSS}/\text{kg} \cdot \text{TOC}$ 로 나타났다. 이는 기존의 활성슬러지공법(약 $0.43 \text{ kg} \cdot \text{MLSS}/\text{kg} \cdot \text{TOC}$)과 비교해 볼 때 낮은 슬러지 발생율을 가지고 있음을 알 수 있다.

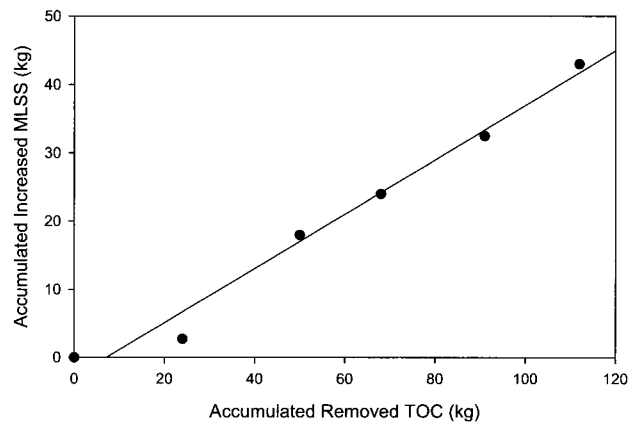


Fig. 5 Sludge production rate with respect to the removed amount of TOC

SBR에서 슬러지 침강성은 슬러지 체적지수(SVI)를 통하여 평가하였다. 그 결과 SBR에서 채취한 슬러지는 SVI_{30} 의 값이 100이하로 우수한 침강성을 가지고 있는 것으로 나타났다. SBR과 일반적인 활성슬러지공법의 SVI값을 비교한 자료를 Table 4에 나타내었다. SBR공법이 일반 활성슬러지공법보다 우수한 슬러지 침강성을 보이고 있다.

Table 4 SVI values of SBR and activated sludge processes

Process	MLSS (mg/L)	SVI ₁₀	SVI ₃₀
SBR	2,680	117	82
Activated Sludge	2,150	161	107

3.5 SBR반응조 내의 Bacillus sp.의 우점화

반응조내에서 우점하고 있는 *Bacillus* sp.균주의 상태를 살펴보고 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 1단계에서 바실러스균수는 11.2×10^7 CFU/mL, 포자수는 3.1×10^7 CFU/mL, 총 바실러스균의 개체수는 14.8×10^7 CFU/mL로 우점율은 30.2%이었고, 2단계에서는 바실러스균수는 6.3×10^7 CFU/mL, 포자수는 3.5×10^7 CFU/mL, 총 바실러스균의 개체수는 11.8×10^7 CFU/mL로 우점율은 22.0%이었다. 3단계에서는 바실러스균수는 5.6×10^7 CFU/mL, 포자수는 4.1×10^7 CFU/mL, 총 바실러스균의 개체수는 9.7×10^7 CFU/mL로 우점율은 24.3%이었고, 4단계에서는 바실러스균수는 2.8×10^7 CFU/mL, 포자수는 4.3×10^7 CFU/mL, 총 바실러스균의 개체수는 5.0×10^7 CFU/mL로 우점율은 20.4%이었다. 전체의 평균 우점율은 24.2%로 나타나 각 반응단계에서 안정적인 처리효율을 얻을 수 있어 충분히 우점화 되었다고 판단할 수 있었다. 또한 단계별로 진행함에 따라 반응조내에 포자가 형성됨을 볼 수 있었다. 이것은 *Bacillus* sp.를 우점화 하기 위하여 용존산소의 양을 단계별로 점감포기하였고, 4단계에서는 포자를 형성시키기 위해 유기물이 거의 존재하지 않는 빈 영양상태를 유지시키면 DO는 0.1mg/L이하로 유지시켰

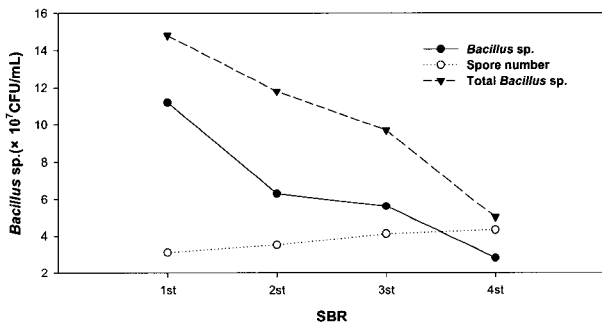


Fig. 6 Variation of *Bacillus* sp. number in the SBR system

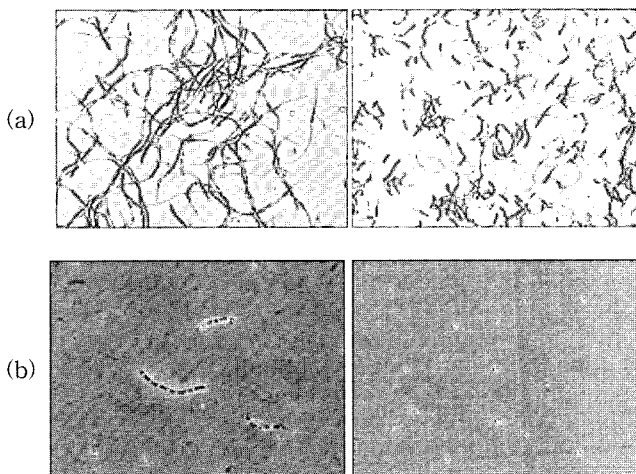


Fig. 7 Observation of *Bacillus* sp. on phase-contrast microscopy: (a) spores in settle($\times 300$), (b) endospores in the anoxic($\times 300$)

다(이, 2000). Fig. 7는 각 단계별 반응조내의 바실러스균의 상태를 나타내었다. (a)는 반응조내에 산소와 영양분이 충분히 공급되어 바실러스균이 활성화되어 있음을 볼 수 있다. (b)는 빈영양상태로 산소의 공급이 줄어들어 바실러스균이 포자를 형성함을 볼 수가 있다(김 등, 2004).

4. 결 론

선박에서 발생하는 오·폐수를 처리하기 위하여 생물학적 질소 및 인의 제거공정으로 사용되고 있는 연속 회분식 공정을 이용하여 유기물의 제거 특성과 산소 소모량, 반응조내에서 우점하고 있는 *Bacillus* sp.균주의 상태를 알아보기 위하여 실험실 규모로 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 각각의 COD의 제거효율은 98.5%, 암모니아성질소는 90%, 총질소의 제거효율은 95%, 인의 제거효율은 93%로 나타났다. *Bacillus* sp.를 이용한 SBR를 사용하여 선박폐수에 대하여 안정적인 처리효율을 나타내었다.
- (2) 선박 오·폐수 처리 SBR에서 유기물의 제거와 내생호흡에 필요한 산소량 그리고 질소의 제거에 필요한 산소량은 0.2m^3 Air/min이다. 질소와 인을 제거하는 다른 생물학적이고도처리공법인 A_2O 공법은 $0.3\sim 0.5\text{m}^3$ Air/min가 필요하지만 본 처리공법은 산소 소모량이 적게 들어 경제적인 처리가 가능하다.
- (3) TOC제거량에 대한 슬러지 부하율은 약 $0.36\text{kg} \cdot \text{MLSS}/\text{kg} \cdot \text{TOC}$ 으로 나타났으며 슬러지 침강성을 나타내는 SVI는 100이하의 값을 나타내었고 기존의 활성슬러지공법에 비해서 낮은 슬러지 발생율과 높은 슬러지 침강성을 나타내었다.
- (4) 포기시에 SBR 내의 pH는 초기의 8.1에서 30분 동안에 pH는 7.0으로 감소하였고 무산소 단계인 3단계와 4단계에서 pH는 증가하기 시작하여 최종적으로 pH는 7.3으로 유지되었다.
- (5) *Bacillus* sp.의 전체의 평균 우점율은 24.2%로 나타나 각 반응단계에서 안정적인 처리효율을 얻을 수 있어 충분히 우점화 되었다고 판단할 수 있었다. 또한 단계별로 진행함에 따라 반응조내에 포자가 형성됨을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 김병균, 서인석, 홍성택, 정위득(2002), 변형 연속회분식 반응기를 이용한 오수의 고도처리, 대한위생학회지, 제17권 제3호, pp.46~51
- [2] 김용호, 조연제, 박성주, 신광수, 임수빈, 정진권(2004), 망상형 회분식 발실러스 접촉장치를 이용한 하수의 고도처리공정에 관한 연구, 한국물환경학회지, 제20권, 제2호, pp.190~195

- [3] 김인수, 김억조, 김동근, 고성정, 안종수(1998), 선박용수의 재사용에 관한 기초연구(1), 해양안전학회, 제4권 제4호, pp.41~48
- [4] 박민정, 김동석(2003), SBR을 이용한 소규모 오수처리시설에 관한 연구, 한국환경과학회지, 제12권 제4호, pp.427~437
- [5] 수질오염공정시험법(2000), 동화기술, pp.115~269
- [6] 수질환경보전법(2003), 환경부
- [7] 이수구, 박상현, 조장호, 임병란(1998), SBR을 이용한 축산폐수처리에 관한 연구(I), 한국폐기물학회지, 제15권 제1호, pp.49~56
- [8] 이용두(2000), *Bacillus* sp.를 이용한 분뇨처리공정에 있어서 질소의 효율적 처리를 위한 최적운전조건에 관한 연구, 한국수처리기술연구회, 제8권, 제4호, pp.47~56
- [9] 최은희, 우혜진, 고주형, 부정민, 김창원(2002), 다양한 탈질용 대체기질물질의 성능평가, 대한환경공학회, 제24권, 제9호, pp.1561~1568
- [10] 허목, 이용두, 한지용(2001), SBR 공정에서 폭기/교반 시간비의 변화에 따른 하수중의 질소·인의 제거, 한국수처리기술연구회, 제9권, 제1호, pp.53~61
- [11] C.K.Lin, Y. Katayama, M. Hosomi, The characteristics of the bacterial community structure and population dynamics for phosphorus removal in SBR activated sludge process, *Water Research* 37, pp.2944~2952
- [12] Fikret Kargi, Ahmet Uygur(2003), Nutrient loading rate effects on nutrient removal in a five-step sequencing batch reactor, *Process Biochemistry*, pp.1~6
- [13] IMO MARPOL 73/78 의정서 부속서 IV, 부속서 V
- [14] IMO MEPC 44차, 45차, 46차 회의자료, (2003)
- [15] S. A. Klein and P. H. McGauhey(1965), "Degradation of biologically soft detergents by Wastewater treatment process", *JW.P.F.* 37(6), pp.857~866
- [16] Standard Methods 18th(1992), pp.4-75~4-96
- [17] Y. S. Choi, S. W. Hong, S. J. Kim and I. H. Chung(2002), Development of a biological process for livestock wastewater treatment using a technique for predominant outgrowth of *Bacillus* species, *Water Science and Technology*, vol 45 no 12, pp.71~78

원고접수일 : 2005년 4월 29일

원고채택일 : 2005년 6월 27일