

論文

MARPOL73/78 ANNEX IV의 개정발효에 따른 선박 오수의 고도처리

박상호* · 임재동** · 박선정** · 김인수***

* 한국해양대학교 건설환경공학부 시간강사, ** 한국해양대학교 대학원, *** 한국해양대학교 건설환경공학부 교수

Advanced Wastewater Treatment on ship's sewage with new MARPOL73/78 ANNEX IV

Sang-Ho Park* · Jae-dong Lim** · Sung-jeng Park** · In-Soo Kim***

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

** -Division of Civil and Environmental Engineering, Graduate school, 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 오수를 처리하기 위하여 연속 회분식 공정을 이용하여 유기물의 제거 특성과 미생물 활성제 투입에 따른 변화, 반응조내에서 우점하고 있는 *Bacillus* sp.균주의 상태를 알아보기 위하여 연구를 하였다. 반응조에서 COD의 제거효율은 98.5%, 암모니아성질소는 90%, 총질소의 제거효율은 95%, 인의 제거효율은 93%로 나타났다. SBR를 이용하여 선박폐수를 처리한 결과 안정적인 처리성능을 나타내었다. 미생물 활성제를 첨가하면 바실러스균의 증식율에 좋은 효율을 타나낼 수 있을 것으로 보인다. NH₄-N의 제거율은 활성제 투입량이 많을수록 제거율이 향상됨을 알 수 있으나 T-N의 제거율에서는 차이가 없음을 나타내었다. 반응조에서 바실러스균의 평균 우점율은 24.2%로 나타났고 각 반응단계에서 안정적인 처리효율을 얻을 수 있어 충분히 우점화 되었다고 판단할 수 있었다.

핵심용어 : 선박 오수, 연속회분식 반응조, 바실러스균 우점화

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 95% of chemical oxygen demand(COD) were removed. In addition, about 97% 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.

1. 서 론

오늘날 선박에 의하여 다양한 물자들이 이송되고 있으며 우리나라는 해상물동량이 6위이고, 선박의 보유량은 세계 8위의 해양강국이다. 하지만 선박의 물동량 증가와 함께 해양오염 현상도 증가하여 피해액이 해마다 늘어나고 있다. 또한 항만의 오염과 연안해역의 오염으로 인해서 양식장이나 어장의 피해는 발생하고 있으며 다양한 오염물질로 인해서 생태계가 파괴되고 있다.

유엔 국제해사기구(IMO)는 이러한 문제점을 인식하고 선박에 의한 해양오염 현상을 줄이기 위하여 MARPOL73/78 협약을 채택하였다. 선박에서 발생하는 주요 오염물질은 배기가스, 쓰레기, 빌지수, 오수와 폐수, 방오물질, 밸러스트수, 중유, 디젤유, 윤활유 등이 있다. 그 중에서도 항만이나 연안 해역의 수질에 직접적으로 영향을 미치는 오수에 대해서 다음과 같이 규정을 하고 있다. 국제해사기구에서는 선박에서 배출되는 오수를 관리하고 처리하기 위한 MARPOL73/78의 부속서 IV를 2003년 9월 27일부터 국제적으로 발효되었고 우리나라는 2004년 2월 28일부터 발효가 되었다. 적용대상 선박 및 적용시기는 신조선의 경우 총톤수 400톤이상의 선박과 신조선으로 승선인원이 15인을 초과하는 총톤수 400톤 미만의 선박은 2004년 2월 28에 적용이 된다.

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

** 정희원, envi311@nate.com 051)410-4983

** 비희원, tjswjdqkr@nate.com 051)410-4983

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

총톤수 400톤 미만의 선박은 2004년 2월 28에 적용이 된다. 현존선은 총톤수 400톤 이상과 승선인원 15인을 초과하는 총톤수 400톤 미만의 선박의 경우는 2008년 9월 27일부터 적용을 받는다. 하지만 기존선박에 적용된 처리공법은 1차 처리 방식인 활성슬러지공법을 이용한 생물학적 처리장치와 전기화학적 처리장치가 있으나 모두 유기물제거에 국한되어 해양 오염원 중의 하나인 질소와 인을 동시에 제거할 수 없는 공법들이고 유기물의 대한 처리효율도 높지 않다. 우리나라의 항구들은 대부분 폐쇄해역에 존재하여 해수의 순환이 원활하지 못하여 정박중인 선박에서 유출된 오염물질과 선박운항의 증가로 인한 선박에서 배출되는 분뇨와 오수 그리고 화물로 운송되는 가축에서 나오는 폐수가 부영양화를 일으켜 해양오염 발생에 한 원인을 제공하고 있다. 또한 각 나라마다 엄격한 처리기준(Table 1)을 제시하고 있어 처리기준을 만족하기 위해서는 선박에서 발생하는 폐수에 포함된 유기물 뿐만 아니라 질소와 인을 동시에 처리할 수 있는 선박용 오수 고도처리장치에 대한 연구와 개발이 이루어져야한다.

본 논문에서는 유기물 제거는 물론 질소와 인을 동시에 제거할 수 있고, 고부하의 유기물에 안정적인 처리효율을 나타내는 연속회분식 반응조(SBR)를 사용하여 선박오수를 처리하였다. 선박의 특수성을 고려하여 선박에 최적화된 연속 회분식 반응조를 사용하여 오수 처리시스템에 대한 설계인자의 도출에 관한 연구와 함께 선박 오수에 대한 본 공정의 적용가능성을 검토하였다.

Table 1. Analysis Standards for Waste Water Discharge from Vessels

Effluent Constituent	IMO Resolution MARPOL73/78 Annex IV	USCG 33CFR 159 PT1-300	Australian Agencies (3th)	Alaskan Standard 40CFR 133 33CFR 159 PT300-600
Test Duration	10days	10days		30days
BOD ₅ (mg/L)	50	Not required	20	30
Suspended Solids (mg/L)	50	150	30	30
Total Nitrogen	Not required	Not required	4	30
Total Phosphorus	Not required	Not required	1	
Fecal Coliform (MPN/100mL)	250	200	200	200

2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용한 연속 회분식 반응조는 두께 5mm의 투명아크릴로 제작된 원형조를 사용하였고, 반응조의 총용적은 14ℓ이며 유효용적은 12ℓ로 운전하였다. 처리후 배출되는 유출수의 양은 7ℓ이고 남은 슬러지 부분의 용량은 5ℓ로 하였다. 선박 오수 저장조의 전체용량은 하루에 처리할 수 있는 양을 저장하기 위하

여 50ℓ로 제작하였고, 유입 및 유출튜브는 직경 5mm의 실리콘 튜브를 사용하였으며, 유입 및 유출펌프는 미량조절이 용이한 정량펌프(Peristaltic pump)를 이용하여 일정한 양이 주입되고 배출되게 하였다. 교반시간(Mixing time)에서의 반응조의 원활한 혼합을 위해 교반기를 설치하여 50~70rpm으로 교반시켰고, 산기관을 통하여 공기를 일정하게 공급하였다. 반응조의 온도는 항온항습기를 사용하여 25±0.5℃를 유지하였고 시간조절장치(time controller)를 통하여 자동으로 반응조를 운전하였다. 전체적인 장치의 사진 및 구성도를 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 시료의 성상

본 실험에 사용된 유입수의 성상을 Table 2에 나타내었다. 유입수는 한국해양대학교 실습선에서 발생한 오수를 사용하여 실험에 사용하였다(김 등, 1998). 유입수의 CODcr은 평균 450mg/L, T-N은 평균 27.5mg/L, T-P는 평균 4.5mg/L이었다. 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 군집을 분석하였다.

선박에서 발생하는 오수의 부하는 배에 탑승하는 인원수에 따라 결정된다. 화물선의 탑승인원은 24명이고 폐수의 발생량은 4.3m³이며, 전투함은 235명이 탑승하고 54m³이 발생한다. 폐수의 발생량이 가장 많은 것은 여객선으로 4,000명의 승객이 탑승하고 폐수는 964m³이 발생한다. 하지만 선박오수의 성상은 일정하게 나타난다.

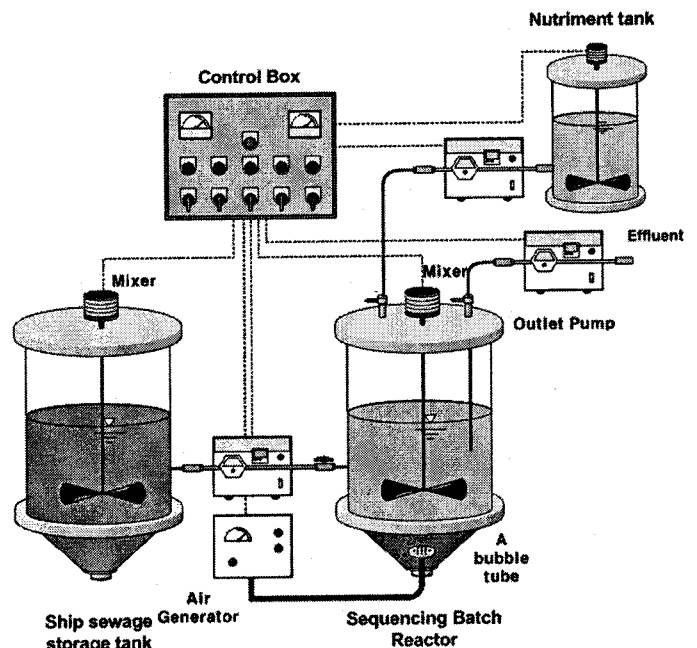


Fig. 1. Sewage treatment system used in this study.

Table 2. Characteristics of seawater

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

Table 4. 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	Metylene Blue Method

2.3 운전조건

본 연구에 사용된 식중슬러지는 울산의 S하수처리장의 B3(Best-Bio-Bacillus System) 반응조로부터 채취하였으며 15일간의 적응기간을 거친 후 연속회분식 반응조에 식중하였다. 포기시간에 용존산소(DO) 농도는 바실러스속 세균 (*Bacillus* sp.)의 성장특성에 맞추어 산기관의 포기강도를 점감 포기에 의해 1단계는 1.5~2mg/L, 2단계는 0.8~1.0mg/L, 3 단계는 0.3~0.5mg/L, 4단계는 0.1~0.3mg/L로 점감포기를 하였다. 반응조작은 1일 4주기로 하였으며, 운전조건을 Table 3에 나타내었다. 1주기당 처리량은 약 7L이고 하루 28L를 처리하였다. 모든 조작은 시간조절기(Time controller)에 의해 자동으로 제어되도록 하였다. 반응조내의 혼합액 농도(MLSS)는 2,250~2,680mg/L로 유지하였다. 또한 활성규소를 주성분으로 하는 미생물제제를 0.02 kg/kg BOD-day의 속도로 반응조에 주입시켜 바실러스종을 우점화하였다.

Table 3. 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 4에 나타내었다. 반응조 내의 미생물의 변화를 관찰하기 위하여 위상차현미경을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 SBR 반응조의 처리수질 변화

Fig. 2에는 시간의 변화에 따른 BOD₅, TOC의 유출수의 농도와 총질소 농도와 총인의 농도변화를 나타내었다. 약 60일간의 운전기간동안 선박 오수처리 공정은 안정적이고 높은 유기물 제거효율을 나타내었다. 유기물(BOD₅, TOC)의 변화는 유입수의 BOD₅, TOC의 농도가 각각 320mg/L, 517mg/L이고 유출수에서 4.1mg/L와 6.5mg/L로 제거효율이 98.7%를 나타냈다. 측정된 결과가 IMO 수질기준인 BOD₅ 50mg/L이하를 만족하였다(김 등, 2002). 또한 호주 등의 강화되는 수질 기준에도 만족하여 우수한 처리결과를 나타내었다. SBR반응조 내의 용적과 제거된 유기물량에 대한 설계부하는 0.095kg·TOC/m³·day의 값을 보이고 있다.

반응조내 호기성공정에서는 암모니아성 질소(NH₄-N)가 40mg/L에서 4mg/L로 변화했고 무산소 공정에서는 질산성 질소(NO₃⁻)는 0.5mg/L에서 2.7mg/L로 증가하였다. 호기성공정과 무산소 공정을 거치면서 질소가 제거되었다. 암모니아의 질산화가 원활하게 일어나서 전체의 90%이상 제거되었고 질산성질소는 5mg/L이하로 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.

반응조 내에서 각 분석항목에 대한 처리효율을 Fig. 2에 나타내었다. 각 항목의 TOC의 제거효율은 98.7%, 암모니아성 질소는 90%, 총질소의 제거효율은 95%, 인의 제거효율은 93%로 나타났다. 연속회분식 반응조를 이용하여 선박오수에 대하여 안정적인 처리효율을 나타내었다.

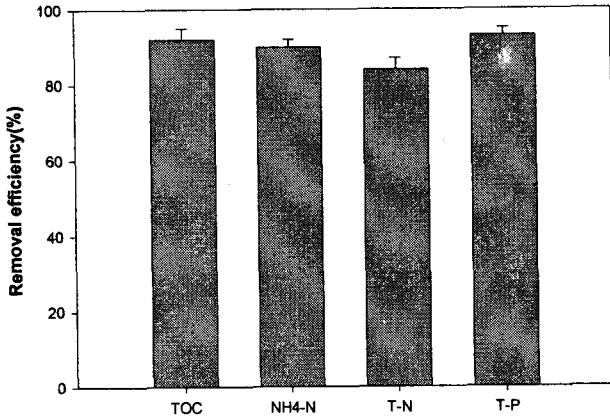


Fig. 2. Removal efficiency of TOC, NH₄-N, T-N and T-P in the SBR system.

3.2 미생물 활성제가 바실러스균의 성장에 미치는 영향

미생물 활성제를 첨가한 후 시간에 따른 바실러스균의 성장 상태를 O.D.로 측정하여 Fig. 3에 나타내었다. 미생물 활성제를 첨가한 조건에서 배양한 바실러스균은 무첨가 바실러스균에 비해서 초기 발아시간은 비슷하게 관찰되지만 높은 발아율을 나타내었다. 또한 증식율에 있어서도 무첨가에 비해 높게 나타났으며, 12.5시간 경과 후에도 무첨가 시료는 증식율이 약간 줄어들다 25시간 경과부터는 감소하나 활성제가 첨가된 바실러스균에서는 약 48시간까지는 증식이 계속 진행되는 것으로 관찰되었다.

이것으로 보아 미생물 활성제가 없는 조건에서 바실러스균은 증식으로 인하여 성장에 필요한 영양소 성분이 고갈되어 생장이 정지되었으나, 미생물 활성제를 첨가해준 조건에서의 바실러스균은 초기발아부터 증식이 진행되는데 있어서 성장에 필요한 영양소가 지속적으로 제공되므로 성장에 유리하게 이용한 것으로 나타났다. 따라서 미생물 활성제를 첨가하면 바실러스균의 증식율에 좋은 효율을 타나낼 수 있을 것으로 보인다.

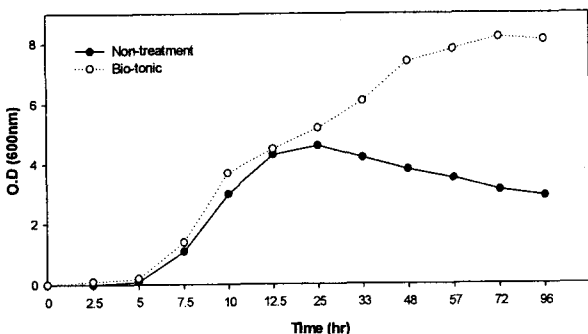


Fig. 3. Bacillus sp. growth curve of pass time.

3.3 미생물 활성제 주입농도에 따른 성장변화

마그네슘이나 구소 등의 미량원소가 포함되어 있는 활성제 주입에 따른 제거율을 알아보기 위해 실험한 결과를 Table 5에 나타내었다. NH₄-N의 제거율은 활성제 주입량이 많을수록 제거율이 향상됨을 알 수 있으나 T-N의 제거율에서는 차이가 없음을 나타내었다.

Table 5. Variation of each items concentration using biotonic dosage

(unit : mg/L)

	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-N	PO ₄ -P	T-P	COD	Alkalinity
Influent	29.2	0	1.13	30.5	3.86	4.5	450.0	208
COD 0%	11.3	0.41	7.9	21.7	3.25	4.3	232.5	134
COD 1%	8.9	0.40	8.6	18.5	2.94	4.1	135.7	98
COD 5%	7.5	0.45	9.3	18.2	2.98	3.8	80.6	59

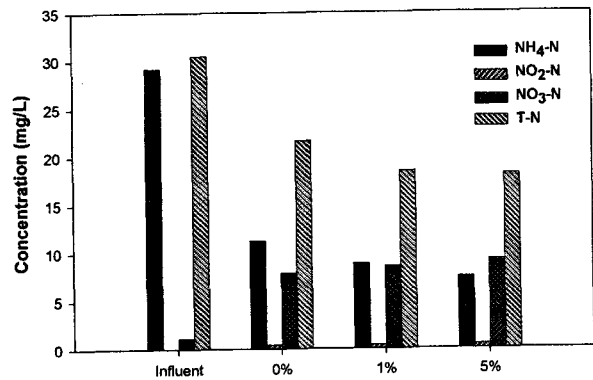


Fig. 4. Variation of each items concentration using biotonic dosage.

3.4 미생물 활성제에 투입에 따른 바실러스균의 구성성분 변화

바실러스 영양세포 및 포자의 성분을 분석하기 위하여 원소 분석을 하였다. 기존의 영양소제거공법에 분포하는 일반미생물과 비교한 결과 다음과 같은 분포를 나타내었다. 다음의 성분을 통하여 바실러스균의 영양세포 및 포자, 그리고 미생물의 화학적 성분비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

Table 6에서 나타낸 결과를 통하여 나타난 여러 종류의 화학적 성분으로는 미생물의 성상을 식으로 나타내기는 힘들었

다. 왜냐하면 실제적으로 미생물 뿐만이 아니라 제거되지 않은 유기물질 및 부유 성분들도 다소 포함되어 있기 때문이다. 일반 영양소 제거 미생물에 비해 바실러스균에 의해서 제거되는 질소량이 다소 많은 것을 파악할 수 있으며 상대적으로 제거되는 질소량도 많은 것으로 나타났다.

Table 6. Elementary analysis on *Bacillus* sp. in SBR system

element	C(%)	H(%)	O(%)	N(%)	S(%)	P(%)	C:N ratio
<i>Bacillus</i> nutrient cell	50.92	7.70	27.16	10.31	2.02	1.89	4.94:1
<i>Bacillus</i> Spore	49.37	8.68	26.34	12.11	1.23	2.27	4.08:1
Removal nutrient of microorganism in reactor	52.24	7.74	27.86	9.08	1.56	1.52	5.75:1

3.5 SBR반응조 내의 *Bacillus* sp.의 우점화

반응조내에서 우점하고 있는 *Bacillus* sp.균주의 상태를 살펴보고 그 결과를 Fig. 5에 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 우점화하기 위하여 용존산소의 양을 단계별로 점감포기하였고, 4단계에서는 포자를 형성시키기 위해 유기물이 거의 존재하지 않는 빈 영양상태를 유지시키면 DO는 0.1mg/L이하로 유지시켰다(이용두, 2000). Fig. 6는 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(김응호 등, 2004).

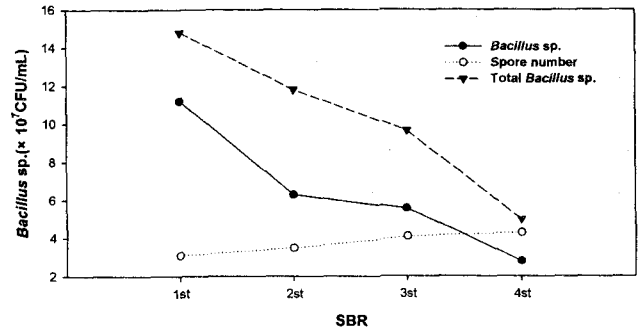


Fig. 5. Variation of *Bacillus* sp. number in the SBR system.

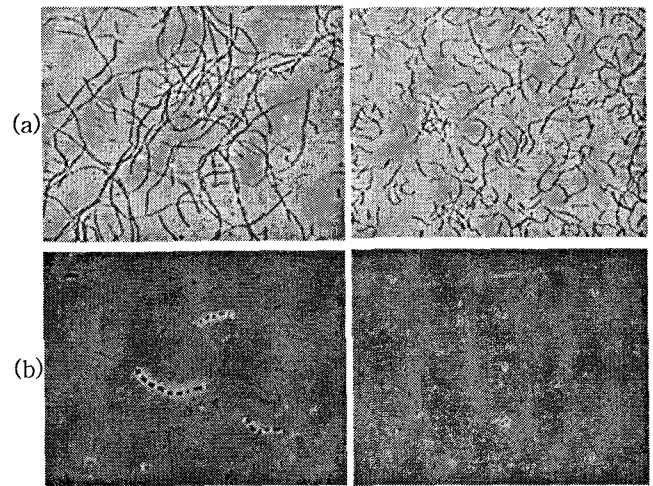


Fig. 6. Observation of *Bacillus* sp. on phase-contrast microscopy: (a) spores in settle($\times 300$), (b) endospores in the anoxic($\times 300$).

4. 결론

선박에서 발생하는 오폐수를 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 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) 미생물 활성제를 첨가해준 조건에서의 바실러스균은 초기발아부터 증식이 진행되는데 있어서 생장에 필요한 영양소가 지속적으로 제공되므로 생장에 유리하게 이용한 것으로 나타났다. 따라서 미생물 활성제를 첨가하면 바실러스균의 증식율에 좋은 효율을 나타낼 수 있을 것으로 보인다.

- 3) NH₄-N의 제거율은 활성재 주입량이 많을수록 제거율이 향상됨을 알 수 있으나 T-N의 제거율에서는 차이가 없음을 나타내었다.
- 4) 일반 영양소 제거 미생물에 비해 바실러스균에 의해서 제거되는 질소량이 다소 많은 것을 파악할 수 있으며 상대적으로 제거되는 질소량도 많은 것으로 나타났다.
- 5) 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] IMO MARPOL 73/78 의정서 부속서 IV, 부속서 V
- [2] IMO MEPC 44차, 45차, 46차 회의자료, 2003
- [3] 김인수, 김억조, 김동근, 고성정, 안중수(1998), 선박용수의 재사용에 관한 기초연구(1), 해양안전학회, 제4권 제4호, pp.41~48
- [4] 수질오염공정시험법(2000), 동화기술, pp.115~269
- [5] Standard Methods 18th(1992), pp.4-75~4-96
- [6] 김병균, 서인석, 홍성택, 정위득(2002), 변형 연속회분식 반응기를 이용한 오수의 고도처리, 대한위생학회지, 제17권 제3호, pp.46~51
- [7] 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
- [8] 허목, 이용두, 한지용(2001), SBR 공정에서 폭기/교반 시간비의 변화에 따른 하수중의 질소인의 제거, 한국수처리기술학회, 제9권, 제1호, pp.53~61
- [9] 이수구, 박상현, 조장호, 임병란(1998), SBR을 이용한 축산폐수처리에 관한 연구(I), 한국폐기물학회지, 제15권 제1호, pp.49~56
- [10] Fikret Kargi, Ahmet Uygur(2003), Nutrient loading rate effects on nutrient removal in a five-step sequencing batch reactor, Process Biochemistry, pp.1~6
- [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] 수질환경보전법(2003), 환경부
- [13] 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
- [14] 최은희, 우혜진, 고주형, 부경민, 김창원(2002), 다양한 탈질용 대체기질물질의 성능평가, 대한환경공학회, 제24권, 제9호, pp.1561~1568
- [15] 김용호, 조연제, 박성주, 신광수, 임수빈, 정진권(2004), 망상형 회전식 바실러스 접착장치를 이용한 하수의 고도처리공정에 관한 연구, 한국물환경학회지, 제20권, 제2호, pp.190~195
- [16] 이용두(2000), Bacillus sp.를 이용한 분뇨처리공정에 있어서 질소의 효율적 처리를 위한 최적운전조건에 관한 연구, 한국수처리기술학회, 제8권, 제4호, pp.47~56
- [17] Niranjani Kumar Shrestha, Shigeru Hadano, Toshiaki Kamachi, Ichiro Okura (2002), Dinitrogen production from ammonia by *Nitrosomonas europaea*, Applied Catalysis, 237, pp.33-39
- [18] 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
- [19] S.H. Lin, K.W. Cheng (2001) A new sequencing batch reactor for treatment of municipal sewage wastewater for agricultural reuse, Desalination 133, pp.41-51