

# 연속 회분식 공정을 이용한 선박오수와 외부탄소원의 혼합처리

박상호\* · 최정혜\* · 고성철\*\* · 김인수\*\*

\*한국해양대학교 토목환경시스템공학부 박사과정, \*\*한국해양대학교 토목환경시스템공학부 교수

## Sequencing batch reactor treating ship sewage and external carbon source

Sang-Ho Park\* · Jeong-Hye Choi\* · Sung-Chul Ko\*\* · In-Soo Kim\*\*

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

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

**요 약 :** 선박에서 발생하는 오·폐수를 처리하기 위하여 생물학적 영양염류 제거공정에서 질소와 인 등의 제거효율은 유기물의 양과 구성성분에 따라 영향을 받는 경향이 있다. 선박에서 발생되는 음식폐기물을 이용하여 생성된 산발효액을 이용하여 영양염류를 효율적으로 제거하기 위한 외부탄소원으로 사용하여 산발효액의 적용성을 평가하였다. 음식폐기물 산발효액의 탈질율을 평가한 결과 질산성 질소가 완전히 제거되는 시간은 140분이었고, 탈질속도는 0.30g NO<sub>3</sub>-N/g VSS · day로 나타났다. 산발효액의 주입으로 인하여 유출수 중의 CODcr 농도가 증가함을 알 수 있었는데 이것은 산발효액에 존재하는 유기물을 미생물이 다 이용하지 못하는 부분이 존재하고 25입량의 증가에 따른 유출수 중의 CODcr 농도를 증가시켰다. 암모니아성 질소의 성상은 산발효액의 첨가에 크게 영향을 받지 않았으며 산화된 질소의 변화는 산발효액 주입량이 증가할수록 무산소단계에서 농도가 감소하여 전체 제거효율이 증가함을 볼 수 있었다.

**핵심용어 :** 선박 오·폐수, 영양염류 제거, 외부 탄소원, 음식폐기물 산발효액,

**ABSTRACT :** In Sequence Batch Reactor (SBR), the removal efficiencies of nutrient materials such as nitrogen and phosphate depend highly on quantity and quality of organic carbon source. Food waste that contains abundant organic materials has been produced in ship. The applicability of anaerobically fermented of food waste (AFFW) as an external carbon source was examined in the lab-scale SBR process operated at 25°C. With the addition of AFFW increased, average removal efficiencies of CODcr, T-N, T-P changed to 98.5%, 95%, 93%, respectively. Denitrification rate is 0.30g NO<sub>3</sub>-N/g VSS · day. In summary, it was suggested that AFFW could be used as an economical and effective carbon source for the biological nitrogen and phosphate removal.

**KEY WORDS :** Sequence Batch Reactor (SBR), Anaerobically Fermented of Food Waste, External Carbon Source.

### 1. 서 론

최근 들어 지구환경보전문제가 세계적인 중대현안으로 등장하고 있는 가운데 해상에서 발생하는 다양한 오염물질에 대한 환경보호조치의 하나로 선박에 대한 각종 환경규제가 대폭 강화되고 있다. 이는 선박에 의한 해양오염을 방지하는 것이 특정 국가만의 의무나 책임이 아니라, 전 세계가 공동으로 대처해야 한다는 이유 외에도 환경을 문제로 한 조선이나 해운, 자원개발 등 해양산업에 대한 무역장벽의 강화를 뜻하고 있어 적극적인 대응방안의 모색이 필요하다. 유엔 국제해사기구(IMO)는 이러한 문제점을 인식하고 선박에 의한 해양오염에

관련된 MARPOL73/78 협약을 채택하였다. 국제해사기구에서 MARPOL73/78의 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 발효된다. 이에 따라 우리나라는 200톤 이상 선박의 오수처리장치를 검사하고, 200톤 미만 선박을 위해 주요 항만 및 터미널에 대용량의 수용시설을 설치하여 처리하여야한다. 또한 부속서 V에서는 선박에서 발생하는 폐기물에 대하여 규제를 하고 있다. 선박에서 발생하는 음식물쓰레기의 처리도 규제하고 있어 선박에서 오수와 음식물쓰레기를 동시에 효과적으로 처리하기 위한 방법의 개발이 요구되어지고 있다. 기존선박에 적용된 처리장치는 1차적으로 발생하는 오수만을 처리할 수 있고 처리성능도 뛰어나지 못해 완벽한 처리가 힘들다. 현재 대부분 사용되고 있는 생

\*대표저자: 박상호

회원, sangho@bada.hhu.ac.kr 051)410-4983

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

물학적 처리방식은 질소제거과정에서 질산화동안 생성된 질산염을 완전히 탈질시키기 위해서 미생물이 이용가능한 탄소원을 충분히 공급하여야 한다. 외부 탄소원을 경제적으로 얻을 수 있는 방법으로 선박에서 발생하는 음식물 쓰레기를 이용하여 산발효액(anerobically fermented of food waste, AFFW)을 통해 얻을 수 있다.

본 논문에서는 질소와 인을 동시에 처리하는 육상의 고도처리장에서 활발하게 사용되어지고 있는 미생물인 *Bacillus* sp.를 이용하여 선박의 특수한 공간에서 모든 처리가 이루어질 수 있도록 생물학적 처리공정의 하나인 연속 회분식 반응기(SBR)를 사용하여 선박에서 발생하는 오수와 음식물 쓰레기를 산발효시킴으로써 얻어진 유기산을 질소, 인을 처리하기 위한 외부탄소원으로 이용하는 연구를 수행하였다. 최적의 운전조건을 찾아 미생물을 우점화 하기 위하여 반응조내의 미생물을 분석하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에 사용한 반응조는 두께 5mm의 투명 아크릴로 제작된 원형조를 사용하였고 총용적은 14ℓ이며 유효용적은 12ℓ로 운전하였다. 처리후 배출되는 유출수의 양은 7ℓ이고 남은 슬러지 부분의 용량은 5ℓ로 하였다. 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 공기공급장치를 통하여 공기를 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 유입수 및 음식폐기물의 산발효액의 성상을 각각 Table 1, 2에 나타내었다. 유입수는 한국해양대학교 실습선에서 발생한 오수의 특성을 참조하여 실험의 지속성을 유지하기 위하여 인공폐수를 제조하여 사용하였다(김 등,1998). 글루코스(Glucose)를 탄소원으로 이용하여 COD를 400mg/ℓ가 되게 하였고, 질소농도는 NH<sub>4</sub>Cl를 사용하여 40mgNH<sub>3</sub>-N/ℓ로 맞추어 시료의 질소성상을 암모니아성 질소의 형태로 주입하였으며, 인의 농도는 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>를 사용하여 10mgPO<sub>4</sub>/ℓ로 하였다. 산발효액은 본교 심습선의 식당에서 수거하여 산발효장치를 이용하여 생산하였다. 음식폐기물에서 산발효액의 첨가가 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 반응조내

의 변화를 알아보기 위하여 미생물 군집을 분석하였다.

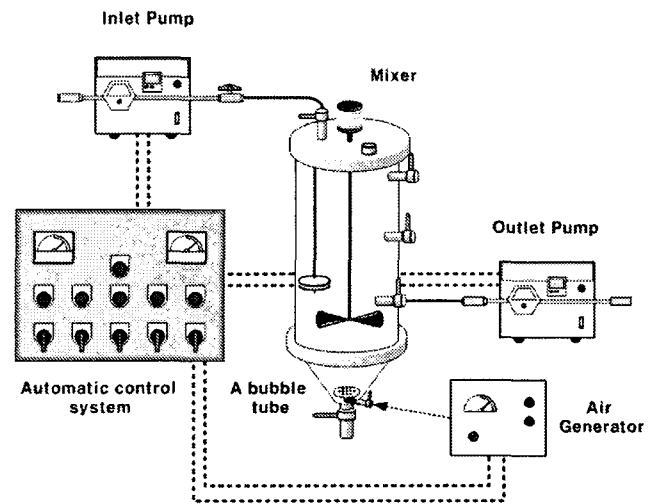


Fig. 1 SBR system used in this study

Table 1 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 2 Characteristics of AFFW

Constituents	AFFW
CODcr (mg/ℓ)	27,250
SS (mg/ℓ)	5,340
Nitrogen (mg/ℓ)	1,725
Phosphorus (mg/ℓ)	179
VFA as CODcr (mg/ℓ)	7.8
Initial pH	< 4.0

### 2.3 실험조건

본 연구에 사용된 식중슬러지는 울산의 S하수처리장의 B3(Best-Bio-Bacillus System) 반응조로부터 채취하였으며 15일간의 적응기간을 거친 후 반응조에 식중하였다. 포기시간에서의 용존산소(DO)는 바실러스속 세균(*Bacillus* sp.)의 성장특성에 맞추어 산기관의 포기강도에 의해 1단계로 1.5~2mg/ℓ, 2단계 0.8~1.0mg/ℓ, 3단계 0.5~0.5mg/ℓ, 4단계 0.3~0.5mg/ℓ로 점감포기를 하였다. 반응조작은 1일 4주기로 하였으며, 운전조건을 Table 3에 나타내었다. 1주기당 처리량은 약 7ℓ이고 모든 조작은 시간조절기(Time controller)에 의해 자동으로 제어 되도록 하였다.

**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
AFFW inject	300%					-			

Aerobic : ▨ Anoxic : ■

2.4 분석방법

실험분석치가 안정화되는 정상상태에서 유입수와 처리수에 대하여 MLSS, CODcr, SS, TKN, T-P등의 분석은 Standard Methods에 의거하여 측정하였다. 각 항목별 분석방법은 Table 4에 나타내었다.

**Table 4** Summary of analytical methods

Item	Analytical Method
pH	pH meter
ORP	ORP meter
TOC	TOC Analyzer(SHIMADSU 5000A)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Indophenol Method
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	UV Spectrophotometric Method
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -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

(1) *Bacillus* 균주의 분리 및 동정

*Bacillus* 균주의 분리를 위해 1/2 strength의 TSA (Trypticaxe Soy Agar, Difco) 배지를 이용하여 27°C에서 24~48hr 배양하였다. 배양된 *Bacillus* 균주는 visible counting 후 우점종 5종을 선택하여 순수 배양하였다. 분리균주의 동정을 위해 colony PCR 기법을 이용하여 16S rDNA를 증폭하였다. 증폭 조건은 95°C 15분간 cell lysis한 후 95°C 45초, 60°C 45초, 72°C 1분 30초, 30cycle 증폭하였다. 증폭에 사용된 primer는 27F (5'-AGA GTT TGA TCM TGG CTC AG-3'), 1492R (5'-GGY TAC CTT GTT ACG ACT T-3')를 사용하여 수행하였고 증폭 산물의 크기는 약 1466bp이다. sequence data는 National Center for Biotechnology Information (NCBI) programs 을 이용하여 분석하였다.

(2) *Bacillus* 균주의 균집구조 분석

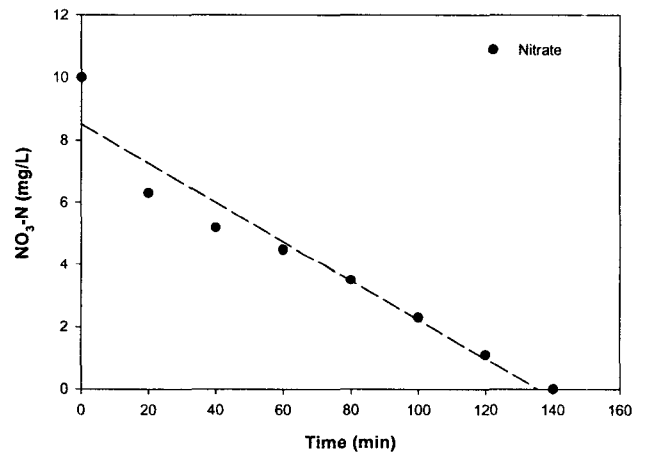
*Bacillus* 균주의 균집구조를 분석하기 위해 PCR-DGGE 기법을 이용하였다. 원심분리 된 슬러지의 총 DNA를 추출하였다. DNA 추출은 Fast DNA SPIN KIT (for soil) (BIO 101 Systems, Q-BIO Gene)를 이용하여 매뉴얼에 따라 수행하였다. 추출된 DNA는 16S rDNA를 증폭한 후 16S rRNA 유전자의 V3 region을 증폭하였다. V3 region 증폭에 수행된 primer는 341F-GC(5'-CCT ACG GGA GGC AGC AG-3'), 518R(5'-ATT ACC GCG GCT GCT GCT GG-3')을 이용하였다. DGGE는 DCode system (Bio-Rad laboratories, Hercules, CA)을 이용하여 매뉴얼에 따라 수행하였다.

denaturing gradient 범위가 40~70%인 10% (wt/vol) polyacrylamid gel (acrylamide : bisacrylamide = 37.5 : 1) 은 1 × TAE에서 60V로 16시간 running 하였다. gel은 ethidium bromide가 포함된 staining 용액에 15분간 염색하였고, gel 이미지는 이미지 분석 시스템 (Kodak, U.S.A.)을 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 음식폐기물 산발효액의 탈질 속도 평가

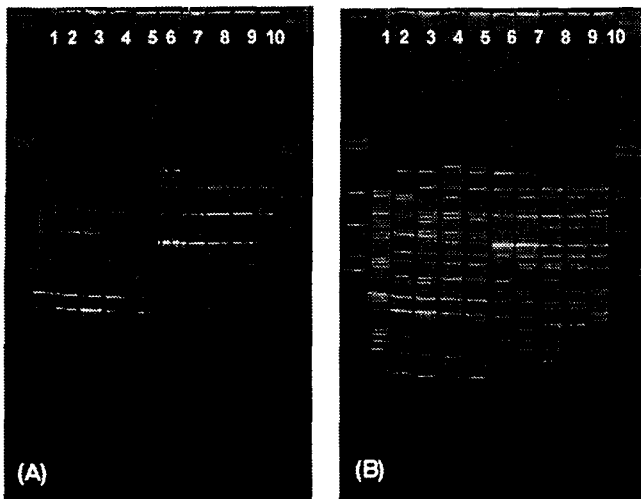
외부탄소원으로 음식폐기물 산발효액의 효과를 검증하기 위해서 실시한 회분식 실험을 수행하였다. 질산성 질소의 초기 주입농도는 10mg/l 로 운전하였으며, 질산성 질소가 완전히 제거되는 시간은 140분으로 나타났다. 탈질속도는 0.30g NO<sub>3</sub>-N/g VSS · day로 나타났다. 20분이 경과하였을 때 질산성 질소의 환원속도가 감소하는 것으로 나타났는데 그 이유는 주입된 산발효액 중에서 미생물이 쉽게 활용할 수 있는 VFAs성분이 소모되었기 때문이다.



**Fig. 2** Nitrate nitrogen profile in the batch test

3.2 반응조 내의 *Bacillus* sp. 미생물 분석

본 연구에서는 미생물 균집 구조를 분석하기 위하여 주 3회 시료를 채취하였으며, PCR-DGGE 기법을 이용한 균집구조 분석결과는 Fig. 3와 같이 나타났다. 그림 Fig. 3(B)는 digital image analyzer를 이용하여 분석한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 유입수 부하가 COD<sub>MIN</sub> 370ppm TOC 240ppm인 10/01/03시료 (band 5) 까지는 유사한 패턴을 나타내고 우점종으로 나타나는 종도 유사한 것으로 나타났다. 그러나 COD<sub>MIN</sub> 600ppm, TOC 400ppm으로 부하가 증가한 이후 band 패턴이 확실히 달라졌으며 나타나는 우점종도 바뀐 것을 볼 수 있다. 표 1에 나타난 것과 같이 각 lane에서 나타나는 band의 강도는 우점종의 변화 및 band 패턴의 변화를 정량적으로 나타낸 것으로 볼 수 있다.

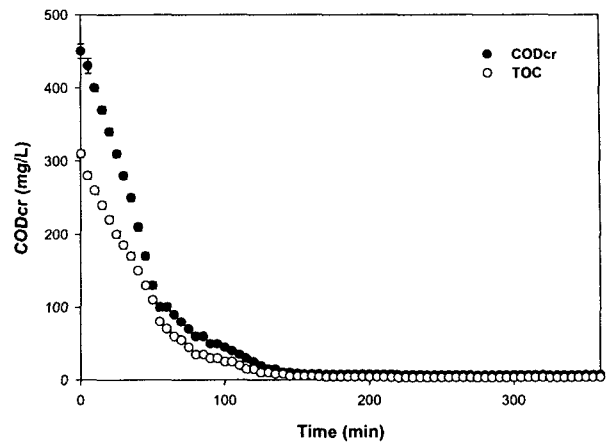


**Fig. 3** PCR-DGGE 기법을 이용한 미생물 군집구조 분석 (A); digital image analyzer를 이용하여 분석한 결과 (B); band 1: 09/22/03; 2: 09/24/03; 3: 09/26/03; 4: 09/29/03; 5: 10/01/03; 6: 10/10/03; 7: 10/13/03; 8: 10/15/03; 9: 10/17/03; 10: 10/20/03; 화살표: 유입수 성상 변화 (COD<sub>MN</sub> 370ppm, TOC 240ppm에서 COD<sub>MN</sub> 600ppm, TOC 400ppm으로 유입수 부하 상승)

처리 효율이 좋았던 09/22/03, 09/24/03, 09/26/03, 09/29/03, 10/01/03 시료에서는 서로 비슷한 패턴의 미생물 군집이 나타났다. 처리 효율이 좋을 때 band No. 1, 2, 3, 6 및 10 군주가 주 우점종으로 나타났다. 그러나 원수의 성상 변화로 인해 10/10/03 이후부터는 처리 효율이 감소하고 슬러지의 침전효율도 좋지 않았다. PCR-DGGE pattern이 보여주는 바와 같이 원수 성상이 변함으로 인해 주 우점종의 패턴이 바뀌어 10/10/03 시료 이후부터는 band No. 7, 13, 14 군주가 우점하는 것을 볼 수 있다. Fig.3 (A)에서 보는 바와 같이 09/22/03 시료에서는 band No. 2 군주가, 09/24/03과 09/26/03는 band No. 1, 09/29/03는 band No. 2 그리고 10/01/03는 1 군주가 각 시료들에서 가장 우점하는 종들로 나타났다. 10/10/03과 10/13/03 시료에서는 band No. 13 군주가 가장 우점화 되었고, 10/15/03, 10/17/03, 10/20/03 시료에서는 band No. 14 군주가 가장 우점하는 종으로 나타났다.

### 3.3 유기물 제거효율 평가

반응조에 유입된 유출수내의 COD<sub>Cr</sub>, TOC의 농도변화를 나타내었다. 유기물(COD<sub>Cr</sub>, TOC)의 변화는 유입수의 COD<sub>Cr</sub>, TOC의 농도가 각각 370mg/l, 240mg/l 이고 유출수에서 6.5mg/l 와 3mg/l 로 제거효율이 95%이상으로 높은 처리율을 나타냈다. 측정된 결과가 우리나라의 오수처리시 방류수 배출의 법적 기준인 COD 40mg/l, SS 20mg/l 이하를 만족하였고(김등,2002), USA 33 CFR 159 Alaskan waters cruise ships의 규정인 BOD<sub>5</sub>는 30mg/l 와 SS는 30mg/l 등을 만족하였다. 그리고 현재 사용되고 있는 다른 처리장치들에 비하여 우수한 성능을 나타내고 있다.

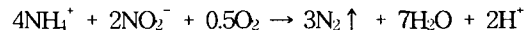
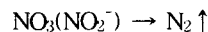
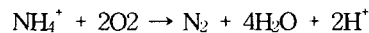


**Fig. 4** Variation of each concentration of COD<sub>Cr</sub> and TOC

### 3.4 질소, 인의 제거효율 평가

SBR 반응조의 처리 사이클 1회(6시간)동안 반응조 유출수의 유기물변화, 암모니아성 질소와 질산성 질소의 처리효율 및 인의 처리 효율을 Fig. 5에 나타내었다. 반응조내 호기성 공정에서는 암모니아성 질소(NH<sub>4</sub>-N)가 40mg/l 에서 4mg/l 로 변화였고, 무산소 공정에서는 질산성 질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)가 질산화되어 0.5mg/l 에서 2.7mg/l 로 증가하였다. *Bacillus* sp.의 생육특성에 따라 호기성 공정과 무산소 공정이 반복되면서 질소가 제거되었다. 질소제거의 반응기작은 아래와 같다.

2NH<sub>4</sub><sup>+</sup> → Glutamine 합성



선박의 특성상 처리공간의 제약으로 인해서 단일 반응조에서 선박오수와 분뇨를 통합처리할 수 있어 공간의 활용 및 처리장치를 단순화 할 수 있어 매우 경제적이다. 현재 국제해사기구에서는 선박에서 발생하는 모든 폐수를 각 나라의 기준에 따라 처리한 후 배출하도록 유도하고 있다. 현재 우리나라에서는 정확한 방류수 기준은 없지만 수질환경보전법(2003)에서 배출수 처리기준은 청정지역에서 COD 40mg/l 이하, T-N 30mg/l 이하, T-P 4mg/l 이하이고, 현재 국제해사기구에 제안된 처리기준은 T-N은 40mg/l 이하, T-P는 10mg/l 이하이고 앞으로 T-N은 4mg/l 이하, T-P는 1mg/l 까지 강하하려고 한다. 본 연구에서는 이런 국제적인 규제에 적합하게 대처하기 위하여 선박에서 발생하는 화장실오수와 주방용수를 합류시켜 처리하였다. 합류될 경우 총질소가 30~40mg/l 정도가 존재하며 대부분이 암모니아성 질소로 바다의 부영양화의 주범이 되므로 처리한 후 배출하여야한다. 암모니아의 질산화가 원활하게 일어나서 전체의 90% 이상이 제거되었고 질산성질소는 5mg/l 이하로 안정적으로 배출되었다. 본 연구에서 사용된 SBR 공정으로 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 해결하였다.

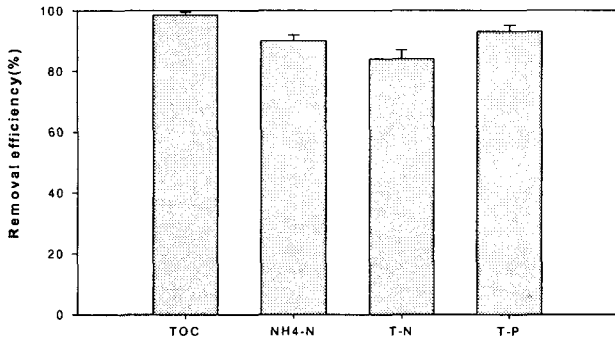


Fig. 5 Removal efficiency of TOC, NH<sub>4</sub>-N, T-N and T-P in the SBR system

반응조 내에서 각 분석항목에 대한 처리효율을 Fig. 9에 나타내었다. 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.

### 3.5 음식폐기물 산발효액이 주입된 SBR반응조의 유기물 및 영양물질 제거

반응조가 안정화된 후 6일간 연속 운전한 결과 외부탄소원으로 음식폐기물 산발효액을 첨가되지 않은 경우 유출수 중의 CODcr의 농도가 5.0~7.0mg/l로 나타났다. 음식폐기물의 산발효액을 주입한 경우에는 10.0mg/l 까지 증가하는 경우를 보였으나 다시 안정적인 처리가 가능하였다. 산발효액의 주입으로 인하여 유출수 중의 CODcr 농도가 증가함을 알 수 있었는데 이것은 산발효액에 존재하는 유기물을 미생물이 다 이용하지 못하는 부분이 존재하고 주입량의 증가에 따른 유출수 중의 CODcr 농도를 증가시켰다. 초기의 유기물 이용 속도가 크게 감소하는 것은 미생물이 쉽게 이용하지 못하는 성분이 존재하고 쉽게 분해될 수 있는 분자량의 크기가 작은 휘발성 유기산의 이용되었다.

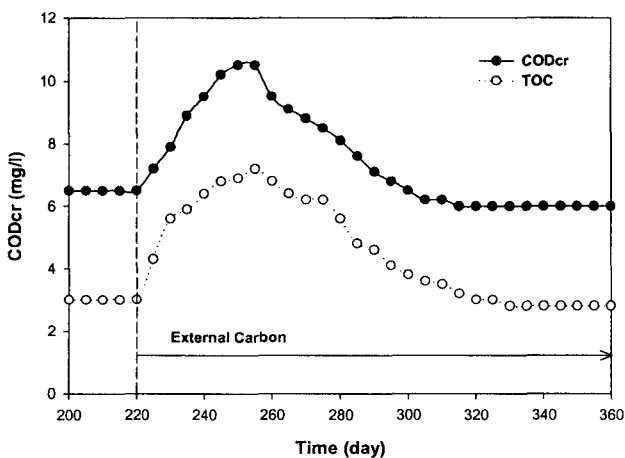


Fig. 6 SCODcr concentration in effluent of the AFFW applied SBR system

### 3.6 음식폐기물 산발효액이 주입된 SBR반응조의 질소와 인의 변화

음식폐기물 산발효액을 주입한 후 유기물 및 영양염류의 변화를 조사하였다. Fig. 7은 반응조에서 질소성분의 변화 양상과 산화된 질소의 변화를 보여주고 있다. 암모니아성 질소의 성상은 산발효액의 첨가에 크게 영향을 받지 않았으며 호기단계에서 95%이상 질산화되어 유출수 중에서는 5mg/l 이하로 유지되었다. 산화된 질소의 변화는 산발효액 주입량이 증가할수록 무산소 단계에서 농도가 감소하여 전체 제거효율이 증가함을 볼 수 있었다.

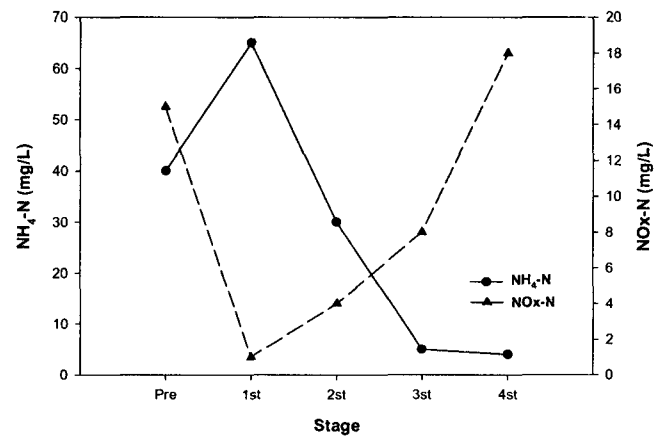


Fig. 7 Typical profiles of NH<sub>4</sub>-N and NO<sub>x</sub>-N of the AFFW applied SBR system

## 4. 결 론

선박에서 발생한 오·폐수를 고도처리하기 위한 음식폐기물의 산발효액을 주입하여 처리성능을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 음식폐기물 산발효액의 탈질율을 평가한 결과 질산성 질소가 완전히 제거되는 시간은 140분이었고, 탈질속도는 0.30g NO<sub>3</sub>-N/g VSS · day로 나타났다.
- (2) 반응조내의 상태에 따라 미생물종의 변화를 분석하여 우점화하는 것이 가능하였다. *Bacillus* sp.를 이용한 SBR를 사용하여 선박폐수에 대하여 안정적인 처리효율을 나타내었다.
- (3) 산발효액의 주입으로 인하여 유출수 중의 CODcr 농도가 증가함을 알 수 있었는데 이것은 산발효액에 존재하는 유기물을 미생물이 다 이용하지 못하는 부분이 존재하고 주입량의 증가에 따른 유출수 중의 CODcr 농도를 증가시켰다.
- (4) 암모니아성 질소의 성상은 산발효액의 첨가에 크게 영향을 받지 않았으며 산화된 질소의 변화는 산발효액 주입량이 증가할수록 무산소단계에서 농도가 감소하여 전체 제거효율이 증가함을 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, 안종수(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 질소·인 제거, 한국수처리기술연구회, 제9권, 제1호, pp.53~61
- [9] 이수구, 박상현, 조장호, 임병란(1998), SBR을 이용한 축산 폐수처리에 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] 신항식, 채소룡, 남세용, 강석태, 백병천(2002), 하수처리에서 음식물 산발효액이 영양염류 제거에 미치는 영향 (1), 대한환경공학회, 제24권, 제6호, pp.1023~1031
- [15] 최은희, 우혜진, 고주형, 부경민, 김창원(2002), 다양한 탈질용 대체기질물질의 성능평가, 대한환경공학회, 제24권, 제9호, pp.1561~1568