

# BM 미생물제제를 이용한 선박 오·폐수 내 유해물질처리

김인수\* · 이연승\*\* · 하신영\*\*\* · 정경철\*\*\*\* · † 고성철

\*,† 한국해양대학교 토목환경공학부 교수, \*\* , \*\*\* , \*\*\*\* 한국해양대학교 토목환경공학과,

## Harmful Materials treatment in Shipboard sewage by SBR process with BM

In-Soo Kim\* · Eon-Sung Lee\*\* · Shin-Young Ha\*\*\* · Kyoung-Chul Jeong\*\*\*\* · † Sung-Cheol Koh

\*,† Professor Division of Environment Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea

\*\* , \*\*\* , \*\*\*\* Graduate school of Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea

**요 약** : 본 연구에서는 선박에서 발생하는 오·폐수의 처리를 위하여 SBR공정에 유효미생물을 주입하는 변법을 이용하여 Lab scale 실험을 수행하였다. 유해물질 유입에 따른 생물학적 처리 장치의 효율 저하 문제를 해결하기 위하여 SBR공정에 유효미생물을 주입하는 변법은 크루즈선이라는 특수 환경과의 접목성과 생물학적 처리 시 야기될 수 있는 문제를 대비하기 위한 대안으로 선박환경에 매우 적합한 공정으로 평가되었다. 슬러지 관찰 결과 기존의 활성슬러지에 유효미생물의 주입함으로써 슬러지의 안정성을 확보할 수 있었으며, 슬러지의 EPS 함량도 40% 이상 높아진 것을 확인할 수 있었다. 또한 슬러지의 미생물 분석 결과 유효미생물 주입으로 인해 수처리에 유리한 미생물종이 다수 출현하여 휘발성 유기화합물과 같은 유기 유해물질이 생분해되어 안전한 물질로 전환되는 것을 확인할 수 있었으며, 중금속과 같은 무기 유해물질도 중금속의 종류와 유입농도에 영향을 받지 않고 70% 이상의 안정적인 처리 효율도 확보할 수 있는 것으로 확인되었다.

**핵심용어** : 연속회분식반응조, 유효미생물, 선박 오수, 오수 처리, 유해물질

**Abstract** : Lab scale experiment study was carried out for biological treatment process development in shipboard. SBR(Sequence Batch Reactor) process with BM(Beneficial Microorganisms) was investigated for practical application on shipboard sewage treatment. From the results it was suggested that SBR process with BM might be a suitable process in terms of harmful materials removal. By adding BM to SBR system, the useful species of microorganisms and EPS(Extracellular Polymetric Substances) in sludge was increased. It was found that the biodegradability and harmful organic compounds like VOCs and harmful inorganic compounds like heavy metals. was reduced over 70%. As far as reclamation water is considered, this process is very advantageous to special environments such as cruise ships, because the method of adding BM makes it unnecessary to add other facilities on the SBR system.

**Key words** : SBR, BM, shipboard sewage, sewage treatment, harmful materials

## 1. 서 론

선박의 오수처리는 선상에서 오수를 처리하여 배출해야 한다는 점에서 육상에서 오수처리시 고려되어야 하는 요건 외에도 선박이라는 특수한 환경에서 요구되는 요건들이 추가적으로 충족되어야 한다. 선박에는 많은 기기들이 한정된 공간에 밀집되어 있기 때문에 우선 오수처리장치의 크기가 최소한으로 작아야 하고, 선박용 오수처리장치는 전문가가 아닌 선원들에 의해 운영되어야 하므로 장치는 간단하고 운전의 자동화가 필수적이다. 이러한 면에서 연속회분식반응조(SBR, Sequence Batch Reactor) 공법은 선박환경에 매우 적합한 공정으로 판단된다.

한편 SBR 공법과 같은 생물학적 처리 방법은 화학적 처리 방법에 비해 친환경적인 방법으로 매우 많은 장점을 가지고 있으나 성공적인 수처리 효율을 확보하기 위해서는 미생물의 정상 상태 유지가 필수적으로 수반되어야 하며 미생물은 주변 환경 인자에 대해 큰 영향을 받으므로 공정에 대한 심도 깊은 이해와 기술이 요구된다. 또한 생물학적 처리에 있어서의 주요 문제점 중 하나는 유기성 화학물질과 무기성 화학물질로 대별되는 유입수 내 유해물질이 수처리 미생물에 독성을 나타내어 수처리 효율이 저하되고 이로 인해 유출 수질이 악화되는 것이다. 그러나 선박의 경우 그 환경의 특수성으로 비전문가가 타 업무와 오수처리장치 운영 업무를 함께 수행할 가능성이 매우 높아 이러한 문제 발생시 신속한 대처를 기대하는 것은 매우 어렵다.

† Corresponding author : 정희원, skoh@kmou.ac.kr 051)410-4418

\* 정희원, iskim@kmou.ac.kr 051)410-4416

\*\* 정희원, les@ks.ac.kr 051)410-4983

\*\*\* 정희원 hsy4625@kmou.ac.kr 051)410-5211

\*\*\*\* 정희원 icons22@nate.com 051)410-4983

생물학적 처리를 기본으로 한 여러 공정들이 최근 개발과 수정을 거치면서 유기물 등 규제치가 제시되어 있는 오염물질은 안정적으로 처리되고 있으나, 미생물에 독성을 나타내는 물질의 처리 등 부수적으로 발생할 수 있는 문제의 대처법은 미미한 실정이다. 생물학적 처리에 있어 독성 및 난분해성 화합물의 분해 능력은 1차적으로 적절한 미생물들에 의한 처리와 순응 시간의 존재 여부에 달려 있다. 유효미생물(BM, Beneficial Microorganisms)은 수처리에 매우 유용한 것으로 알려져 있으며 매우 다양한 종류의 미생물 복합체이다. 또한 생물학적 수처리에 적용할 경우 기존 시설에 여타의 시설 추가 없이 활성슬러지에 BM 제제를 주입하는 것만으로 상승효과를 얻을 수 있어 생물학적 처리시 발생할 수 있는 문제의 해결책으로 그 적용이 매우 용이할 것으로 판단된다

이에 본 연구에서는 선박환경에 적합한 SBR 공정을 도입하여 기초실험을 수행하였으며, BM 미생물 제제를 추가 주입하여 유해물질 유입에 따른 생물학적 처리 장치의 효율 저하 문제에 대한 대처법을 찾고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

본 연구에서는 선박오수의 생물학적 처리시 발생할 수 있는 문제 해결과 안정적인 수처리 효율을 확보하기 위하여 BM의 적용을 검토하였다. 이를 위하여 기존의 SBR 프로세스를 활성슬러지로 운영하는 경우를 run-1, 활성슬러지에 BM을 추가 주입하여 운영한 경우를 run-2로 하여 결과를 비교 관찰하였으며, Lab scale로 제작한 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 도시하였다.

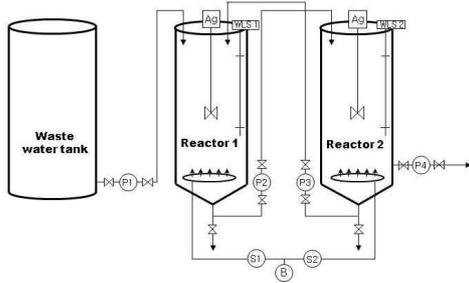


Fig. 1. Schematic diagram of SBR system

Lab scale 실험 장치는 운영시의 상태 관찰을 위하여 10mm의 투명 아크릴 재질로 처리용량 200L/d로 제작하였다. SBR 반응조는 원형조로 전체 용적은 146L(D=0.5m)로 1cycle당 50L로 운영하여 폭기에 따른 여유 공간을 두었다.

생물학적 처리를 위한 SBR 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 이용

한 협작물 제거와 수 차례의 세척과정을 거친 후 10 일간 인공 폐수를 이용한 기질 적응기간을 두어 공정에 투입하였으며, MLSS(Mixed Liquor Suspended Solid) 농도는 약 3000 mg/L 정도를 유지하여 운전하였다.

복합미생물을 이용한 선박오수 처리의 적용 가능성을 검토하기 위하여 다른 조건들은 동일하게 유지하고 BM 제제를 주입하면서 반응기를 운영하여 그 결과를 비교하였다. BM 제제는 원액(B사, BM-S-1)을 구매하여 50배 희석한 후 사용하였으며, BM 제제가 안정적으로 식종될 수 있도록 초기에는 슬러지 부피의 10%에 해당하는 양의 희석액을 반응조에 3일간 주입하고, 이후 반응조 운영 시에는 유입수 부피의 1%에 해당하는 양을 유입수에 섞어 주입하였다.

각 공정 내 미생물의 성장 환경 확인을 위하여 pH, DO, 온도, ORP, SV<sub>30</sub>을 지속적으로 측정하였고, 슬러지의 현미경 관찰과 생균수 확인을 통하여 미생물 성장 상태의 정상 여부를 판단하였다.

### 2.2 실험방법

#### 1) 시료의 성상 및 반응조 운전방법

반응조 가동에 사용한 시료는 한국해양대학교 학생기숙사에서 발생하는 오수에 한국해양대학 학생들의 도색작업 실습으로 발생한 폐수를 인위적으로 혼합하여 현장 실험과 가까운 데이터를 얻을 수 있도록 하였다. 기숙사 오수는 선박오수의 일반적인 조성과 매우 유사하였고 시간대에 따라 배출량과 농도 편차가 심한 특성도 선박오수와 유사하게 나타났다. 또한 유입 오·폐수에는 도로로부터 배출되었을 것으로 추정되는 유분, 톨루엔 등의 VOCs류와 Pb 등의 중금속 성분이 함유되어 있었다. 유입된 오수의 주요 특성은 Table 1과 같다.

Table 1 Characteristics of influent

Parameter	Concentration (mg/L)	
	Range	Mean
BOD <sub>5</sub>	100 ~ 200	160
COD <sub>Cr</sub>	200 ~ 270	230
T-N	20 ~ 95	50
T-P	5 ~ 15	7
TSS	150 ~ 350	260

반응기는 2010년 1월부터 2010년 3월까지 약 3개월 동안 연속 운전하였으며, 수온은 20℃로 유지하고, DO 2.0~ 5.0 mg/L, pH 6.5 ~ 7.5, F/M비 0.15 kg·BOD/kg·MLVSS·DAY로 운전하였다.

#### 2) 반응기 내 미생물 관찰

반응조의 슬러지는 현미경 관찰과 MLSS, SV<sub>30</sub>, 생균수 확인을 통하여 미생물 성장 상태의 정상여부를 판단하였다.

우선 실험에 사용된 활성슬러지와 BM 제제 식종 슬러지의 미생물 조성을 조사하기 위하여 반응기 내 슬러지를 채취하여 순수 배양하였다. 순수 배양한 미생물은 미생물자동정기(VITEK2 Compact, Biomeroeux)로 동정하거나 16S rDNA법으로 분석하였

다.

또한 BM 제제를 첨가한 슬러지와 첨가하지 않은 슬러지의 EPS(Extracellular Polymeric Substances) 성분을 정량하여 BM 제제 주입에 따른 오수처리 능력의 차이를 규명하고자 하였다.

### 3) 분석방법

BM 제제 주입에 따른 유해물질 처리 특성을 파악하기 위하여 유입수 및 유출수의 미량 성분을 주기적으로 분석하였다. 유기성분은 Purge & Trap(O.I4560, VOCARB™ Trap)법으로 전처리하여 GC/MSD(Agilent 6590/5973N) Scan mode로 분석하고, 중금속은 ICP(Perkin Elmer, OPTIMA2000DV)를 이용하여 분석하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 생물반응기 내 미생물 관찰

슬러지의 현미경 관찰 결과 장치 운영기간 동안 반응조 내 슬러지는 전반적으로 정상적인 플록을 형성하고 있었다. 활성슬러지로 운영 시 평균 SVI(Sludge Volume Index)는 117을 나타내었으며 BM 제제 주입 시 SVI는 거의 일정하게 평균 105를 나타내었다.

활성슬러지로 운전하면서 도료를 함유한 폐수를 유입하여 반응을 관찰한 결과 아크릴 반응기 내 수면 위로 유분이 뜨는 것을 확인할 수 있었으며 SVI값이 285, 320을 나타내며 팽화현상이 발생되었다.

슬러지의 팽화를 제어하고자 슬러지 침강성 향상을 위하여 50 배 희석한 BM 제제를 1일 1회 슬러지 부피의 10% 비율로 주입한 결과 아크릴 반응기 내 수면 위에 떠 있던 유분층은 사라지며 슬러지 플록도 안정적으로 형성되는 것을 관찰할 수 있었다.

또한 BM 주입 5일 이후 SVI는 150~170 정도로 낮아졌고 이후 SVI는 100~110으로 관측되어 정상적인 SVI 값을 보이며 안정된 수치를 나타내었다.

SVI 측정과 현미경 관찰을 통해 BM 제제 주입 시 슬러지의 침강성이 향상됨을 확인할 수 있었으며, 본 실험에서도 Yu(2005)의 연구 결과와 유사하게 BM 제제의 주입에 의해 슬러지의 EPS 함량이 단백질과 탄수화물의 합으로 약 40% 정도 높아졌다. 이는 BM 제제가 슬러지의 활성을 향상시켜 EPS의 분비가 증가된 결과로 해석되며, 결과적으로 슬러지의 침강성도 향상시킨 것으로 판단된다.

생물학적 처리 방법은 친환경적인 방법으로 공정을 정상적으로 운영할 수 있다면 약품으로 인한 2차 오염의 우려가 없는 등의 매우 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 생물학적 공정은 주변 환경 인자에 대해 큰 영향을 받으므로 정상적으로 유지하며 운전하기 위해서는 공정과 기술에 대한 심도깊은 이해가 요구된다. 선박의 경우 그 환경의 특수성으로 비전문가가 오수처리장치 운영 업무를 타 업무와 함께 수행할 가능성이 매우 높다. 이에

BM 제제를 식중 한 슬러지에서 관찰된 안정적인 특성으로 미루어 생물학적 처리 시 발생할 수 있는 문제에 대한 대책으로 BM 제제의 적용은 매우 간단한 해결방법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

활성슬러지를 이용한 run-1에서 공정 내 반응조의 미생물은 *Bacillus* sp.로 우점화되어 있었으며, run-2 공정에 주입한 BM 제제는 Pyrosequencing 결과와 미생물자동동정기(VITEK2Compact, Biomerieux)로 동정한 결과 130종의 다양한 세균 및 효모로 구성되어 있었다. BM 종균에서 동정된 유산균 균주들은 불용성 염도 가용화 하는 것으로 보고되고 있으며(Lee, 2009), 동정된 메탄올 자화성 효모(Methanol-assimilating yeast)인 *Candida boidinii*는 증식속도가 빠르고 생장환경이 넓으며 효소생성능력이 높을 뿐 아니라 폐놀화합물의 분해능 또한 높아 수처리에 매우 유용한 미생물로 알려져 있다(Assiam. et al, 2007).

이에 동정된 다양한 균들이 서로 공존공생하며 시너지 효과를 나타내면서 run-2에서 난분해성 유기오염물질의 제거율 향상에도 복합적으로 기여하였을 것으로 사료된다.

Pour plate method로 측정된 생균수 또한 run-1의 SBR 반응조에서는  $3.2 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^7$  CFU/mL로 나타났으며, run-2의 BM 제제 식중 시는  $8.7 \times 10^7 \sim 7.2 \times 10^8$  CFU/mL로 나타났다.

BM 제제를 주입한 경우 예상대로 미생물종의 다양성과 함께 높은 미생물 개체수를 보였으며, 이러한 미생물의 조성의 차이에 기인하여 유해물질의 처리에 있어서도 안정적인 수처리 효율을 확보할 수 있었던 것으로 판단된다.

### 3.2 유기화합물 저감 특성

실험에 사용된 기숙사 오수의 경우 유입수의 유기물의 농도가 매우 낮아 F/M비가 매우 낮게 나타났으며, 전체적으로 생물학적 처리 가능한 유기물로 구성되어 있었다. 이에 운영기간 동안 run-1, run-2 두 공정 모두에서 BOD<sub>5</sub>의 경우 처리효율은 95%, COD<sub>Cr</sub>의 경우 93%를 상회하였다.

장치 운영에 따른 유입수와 유출수의 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub> 농도분포를 Fig. 2과 Fig. 3에 나타내었다.

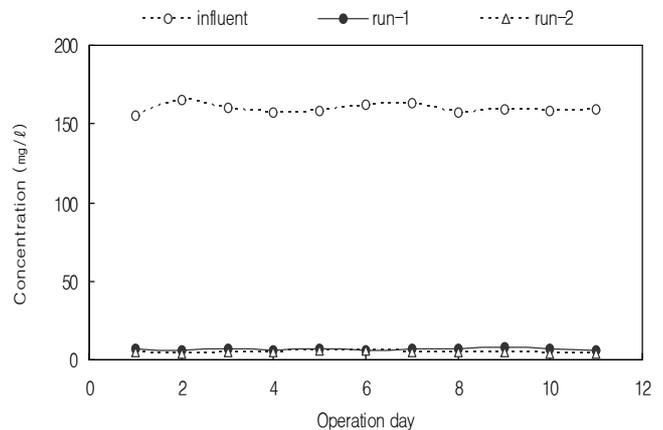


Fig. 2 Variations of BOD5 in influent and effluents.

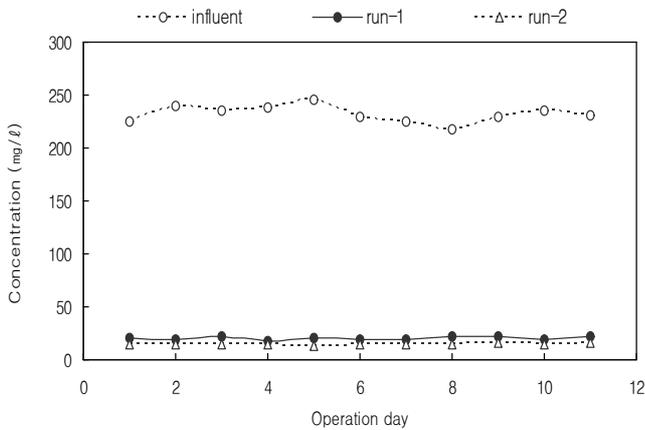


Fig. 3 Variations of CODCr in influent and effluents.

단 난분해성 유기물질에 있어서는 BM 제제에 의한 강력한 분해력을 확인할 수 있었으며, 미생물의 활성을 저하할 수 있는 독성 유기물에 대한 순응력도 BM 제제를 주입한 경우 더 높을 것으로 사료된다. 이에 안정적인 생물학적 처리 효율 유지를 위해 BM 제제의 적용은 매우 유용한 방안이 될 수 있을 것으로 판단된다. 유출수에 함유되어 있는 미량 유기화합물의 성분을 파악하고자 Purge & Trap을 이용한 GC/MSD Scan 모드로 성분들을 분석하였으며, BM 제제 주입 시와 주입하지 않은 유출수의 크로마토그램을 비교하여 Fig. 4 에 나타내었다.

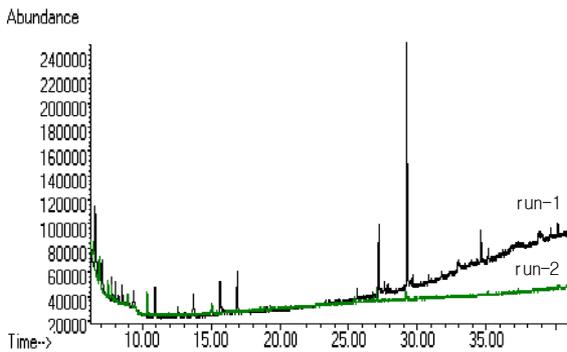


Fig. 4 Chromatogram of effluents of conventional activated sludge and adding BM.

Fig. 4 와 같이 run-2에서는 run-1보다 검출된 피크의 수와 피크의 강도가 매우 작게 나타났다. 또한 크로마토그램에서 보여지듯 run-2에서 검출된 피크는 대부분 RT(Retention time)가 짧은 분자량이 작은 유기물인 반면 run-1에서는 run-2보다 분자량이 큰 유기물들이 검출되는 특징을 나타내었으며, 알데하이드, 알콜류 등의 유기물질도 미량 검출되었다. 이에 활성슬러지로 운영 시와 BM 제제를 주입한 두 경우에서 유입수의 특성상 COD, BOD 와 같은 총괄적인 유기물의 제거효율은 크게 상이하지 않았으나,

크로마토그램의 피크 패턴으로 미루어 고분자 물질의 산화력이나 특정 유해 성분을 산화시킬 수 있는 분해력은 복합미생물 군집체인 BM 제제의 경우가 더 높을 것으로 판단된다.

반응기 운영 기간 중 일부 기간 동안 공과대학 학부생들의 실습으로 도색 작업이 이루어졌으며 도색과정에서 발생된 폐수를 유입수로 일부 혼합하였다. 이 기간 동안 유입수의 GC/MS 분석 결과에서는 도료로부터 함유되었을 것으로 추정되는 톨루엔 등의 VOCs류가 검출되었다.

톨루엔 등의 유독물질이 함유되어 있는 폐수를 반응기에 유입하여 운전한 결과 Fig. 5과 같이 활성슬러지로 장치를 운영한 유출수에서는 톨루엔을 비롯한 유해물질들이 분해되지 않고 그대로 검출되는 것에 반해 BM 제제를 주입한 유출수의 GC/MS 분석 결과에서는 관련 화합물은 검출되지 않았다.

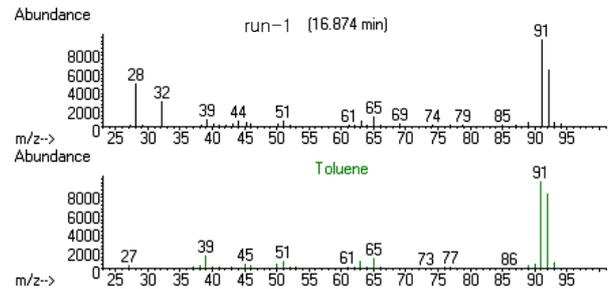


Fig. 5 Comparison of TIC between effluent in run-1 and standard at 16.874min.

유입수에서 검출된 벤조인산의 경우에서도 동일한 같은 결과가 도출되었으며, run-1의 유출수에서는 벤조인산은 분해되지 않고 Fig. 6과 같이 검출된 반면 BM 제제를 주입한 run-2의 유출수에서는 관련 화합물은 검출되지 않았다.

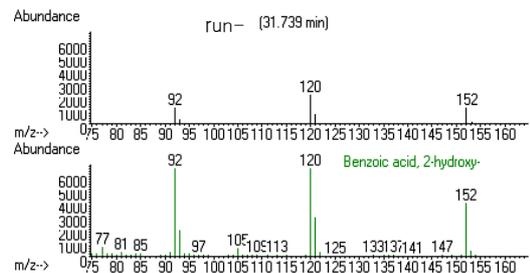


Fig. 6 Comparison of TIC between effluent in run-1 and standard at 31.739min.

한편 run-1의 크로마토그램에서 주 피크로 매우 강도가 높게 나타난 2-Ethylhexanol (RT : Retention Time, 29.235min)의 경우 run-2에서는 매우 미약하게 나타나 분해가 이루어지고 있음을

예측할 수 있었다.

난분해성 물질의 생분해를 위해서는 적절한 효소가 필요하며, 방향족 고리의 분열은 분열에 앞서 Monoxygenase에 의해 산소 분자가 방향족 고리에 도입되는 것으로 생화학적 분해 경로가 알려져 있다. 톨루엔과 벤조인산이 함유된 시료의 처리 결과로 유추해 볼 때 BM 제제를 주입한 경우가 단순 활성슬러지보다 함유된 미생물 종의 다양성 및 높은 개체수에 기인하여 분비 효소의 종류와 분비량 면에서 우월하고 유해화합물에 순응할 수 있는 미생물이 더 많이 존재할 것으로 예측된다. 이에 일반적인 생물학적 처리가 어려운 난분해성 물질을 함유한 폐수에 있어서 BM 제제의 적용은 매우 유용할 것으로 판단되나, 체계적인 자료의 적립을 위해서는 다양한 처리 대상 목표 화합물에 대한 분해 여부 파악과 분해 메커니즘을 정확하게 규명하기 위한 정밀한 시험이 추가적으로 이루어져야 할 것이다.

### 3.3 중금속 성분 저감 특성

반응기 운영 기간 중 도색 폐수 유입 시 ICP 분석 결과에서는 도료로부터 함유되었을 것으로 추정되는 Pb와 Cr 및 Zn, As, Cu 등의 중금속이 검출되었다. 이에 생물학적 처리에 의한 중금속 제거 특성을 파악하고자 BM 제제를 주입 전후의 중금속 제거효율을 비교하였다.

기간 내 Cr과 Cu의 유입수 농도는 각각 평균 0.010 ppm, 0.089 ppm이었다. run-1과 run-2의 유출수에서 Cr은 모두 검출되지 않았으며 Cu는 run-1과 run-2의 유출수에서 모두 평균 0.017 ppm으로 유입수 대비 평균 80% 정도 제거율을 나타내며 그 처리 효율은 별다른 차이를 보이지 않았다.

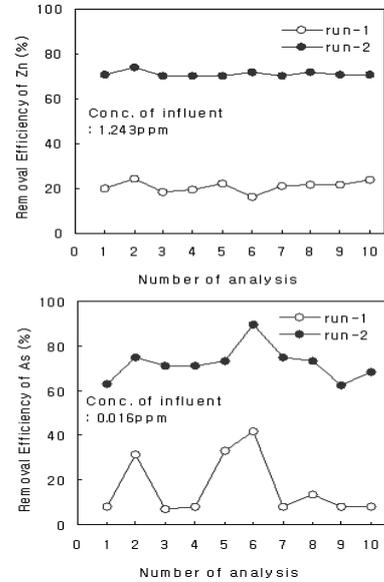
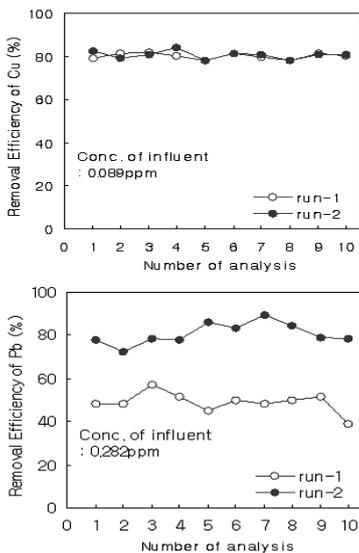


Fig. 7 Removal efficiency of heavy metals.

기간 내 유입수의 Pb 평균농도는 0.282 ppm, Zn 1.243 ppm, As 0.016 ppm으로 나타났으며, run-1 유출수의 Pb 농도는 평균 0.014 ppm, Zn 0.983 ppm, As 0.013 ppm으로 나타나 run-1에서는 Pb의 경우 50% 정도, Zn과 As의 경우 매우 낮은 처리 효율을 보였다. 반면, BM 제제를 주입하여 장치 운영한 run-2에서의 평균 유출농도는 Pb 0.005 ppm, Zn 0.358 ppm, As 0.004 ppm으로 나타나 Pb 80%, Zn 70%, As 70% 정도의 확연히 높은 제거효율을 나타냈다. run-1과 run-2에서의 Cu, Pb, Zn, As의 제거효율을 Fig. 7에 비교하여 도시하였다.

Bitton(1999)은 생물학적 처리공정에 있어 활성슬러지에 의한 중금속 제거율을 Cr과 Cu는 82%, Pb 65%, Cd 24%, Ni 43%로 제시하고 있으며, 이러한 수치는 본 연구에서 활성슬러지로 장치 운영 시 측정된 결과와 거의 일치한다.

BM 제제를 주입한 경우 높은 EPS 함유량에 근본적으로 기인하여 중금속의 흡착능이 활성슬러지보다 더 높아 중금속의 종류와 유입농도에 크게 영향을 받지 않고 안정된 처리 효율을 나타낸 것으로 사료된다. 최근 연구결과에서는 미생물의 EPS를 생물고분자 응집제로 이용할 수 있다고 보고하고 있으며, Holt 등 (2003)은 EPS가 폐수 처리 시 금속 착화 및 흡착을 돕는 중요한 역할을 한다고 기술하고 있다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 선박오수의 생물학적 처리 시 안정적인 처리 효율을 확보하기 위하여 유해물질의 유입에 따른 생물학적 처리 효율 저하에 대한 대안책으로 BM의 적용을 검토하였다. 이를 위하여 기존의 SBR 프로세스를 활성슬러지로 운영한 경우와 활성슬러지에 BM을 추가 주입하여 운영하여 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존의 활성슬러지는 *B.subtilis*, *B.cereus*, *B.valismortis*, *B.megaterium* 등으로 구성되어 있는 반면 BM 제제는 Pyrosequencing 결과 130종의 다양한 세균 및 효모로 구성되어 있어 오·폐수 내 유해물질 처리에 유리한 미생물종이 더 다양하게 존재하는 것으로 나타났으며 미생물의 개체수 또한 더 높게 나타났다.
2. BM 제제의 주입에 의해 슬러지의 EPS의 함량이 단백질과 탄수화물의 합으로 약 40% 정도 높아졌으며 이로써 유분 유입에 따른 슬러지 팽화현상을 제어할 수 있었다.
3. 기존의 SBR 공정에서 BM 제제를 주입하는 것에 의하여 휘발성 유기화합물과 같은 유기유해물질이 생분해 되는 것을 확인할 수 있었으며, 중금속과 같은 무기유해물질도 70% 이상의 안정적인 처리효율을 확보할 수 있었다.
4. 또한 이러한 결과는 여타의 시설 추가 없이 기존의 활성슬러지에 BM 제제를 주입하는 것만으로 얻을 수 있어 선박 환경에서 매우 유용하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

“Standard Method for the Examination of Water and Wastewater”, 20th ed., Am. Pub. Health Assoc., Washington

- [9] Yu, K. S.(2005), “The Effect of EM(Effective Micro-organism) on OUR(Oxygen Uptake Rate) and Settleability of Activated Sludge ”, Journal of Korean solid wastes engineering society , Vol. 22, No. 8, pp. 751-757.

---

Received 22 September 2014

Revised 22 November 2014

Accepted 11 December 2014

## References

- [1] Assiam, H., Penninckx, M. J and Benlemlih, M.(2007), “Reduction of phenolics content and COD in olive oil mill wastewater by indigenous yeasts and fungi”, Microb. and Bio tech., Vol. 23, No. 9, pp. 1203-1208.
- [2] Bitton, G(1999), “Wastewater Microbiology” 2nd ed., John Willey& Sons, p. 20, pp. 158-250, pp. 289-293.
- [3] Dong, Y. T.(2008), The Removal of Nitrogen and Phosphorus using Biosorption and Nitrifier enriched reactor, Seoul National University of Science & Technology.
- [4] Holt, J. G. and Krieg, N. R. and Sneath, P. H. A. and Staley, J. T. and Williams, H. Salehizadeh and S.A.Shohaosadsti(2003), “Removal ov metal ions from aqueous solution by polysaccharide produced from Bacillus. firmus”, Wat. Res., Vol. 37, pp. 4231-4235.
- [5] Karai, F. and Uygur, A.(2002), “Nnutrient removal performance of a sequencing batch reactor as a function of sludge age”, Enzyme Microb. Tech., Vol. 31, No. 6, pp. 842-847.
- [6] Kim, I. S. et al(2012), “Advanced Treatment of Shipboard Sewage by SBR Process with BM ”, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 36, No. 8, pp. 643-649.
- [7] Lee, S. W. et al(2009), “Original Paper : Resource of Food Waste using Indigenous Bacteria Isolated from Soils”, Journal of Korean Society of Environmental Engineers, Vol. 31, No. 1, pp. 35-41.
- [8] Leonre, S. E., Aronld, E. G. and Andrew, D. E(1998),