Journal of Environmental Science International
24(11); 1485~1491; November 2015
pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2015.24.11.1485

ORIGINAL ARTICLE

SBR 및 MBR 공정을 이용한 분뇨폐수에서의 질소제거 특성

정진희 · 윤영내[1)*] · 이슬기 · 한영립 · 이승철 · 최영익
동아대학교 환경공학과, [1)](주)ESSA

Nitrogen Removal Characteristic of Excreta Wastewater Using SBR and MBR Processes

Jin-Hee Jung, Young-Nae Yoon[1)*], Seul-Kee Lee, Young-Rip Han, Seung-Chul Lee, Young-Ik Choi

Department of Environmental Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea
[1)]ESSA, Gyeongju 780-934, Korea

Abstract

There are two treatment processes that are currently applied to ships are the biological treatment process using the activated sludge and the electrochemical treatment. However, neither of them are able to remove both nitrogen and phosphorus due to their limited ability to remove organic matters, which are main causes of the red tide. This study was conducted to identify the characteristics of nitrogen removal factors from manure wastewater by replacing the final settling tank in SBR (Sequencing Batch Reactor) process and applying immersion type hollow fiber membrane. SBR process is known to have an advantage of the least land requirement in special environment such as in ship and the immersion type hollow fiber membrane is more stable in water quality change. As the result, the average in the cases of DO (Dissolved Oxygen) is 2.9(0. 6～3.9) mg/L which was determined to be the denitrifying microorganism activity in anaerobic conditions. The average in the cases of ORP (Oxidation Reduction Potential) is 98.4～237.3 mV which was determined to be the termination of nitrification since the inflection point was formed on the ORP curve due to decrease in the stirring treatment after the aeration, same as in the cases of DO. Little or no variation in the pH was determined to have positive effect on the nitrification. T-N (Total Nitrigen) removal efficiencies of the finally treated water were 71.4%, 72.3% and 66.5% in relatively average figures, thus was not a distinct prominence. In being applied in ships in the future, the operating conditions and structure improvements are deemed necessary since the MEPC (Marine Environment Protection Committee). 227(64) ship sewage nitrogen is less than the standard of 20 Qi/Qe mg/L or the removal rate of 70%.

Key words : IMO (International Maritime Organization), MEPC. 227(64) (Marine Environment Protection Committee), MARPOL, SBR(Sequencing Batch Reactor), MBR (Membrane Bio Reactor), DO (Dissolved Oxygen), ORP (Oxidation Reduction Potential), T-N (Total Nitigen)

1. 서 론

국제해사기구(IMO :International Maritime Organization)는 해상안전과 해양오염방지를 위한 제반 기술사항에 대한 정부간의 협조체제를 구축하고 국제 교역에 있어서 차별적 조치나 불필요한 제한을 철폐하도록 심의

Received 1 October, 2015; **Revised** 29 October, 2015;
Accepted 2 November, 2015
[*]**Corresponding author** : Young-Ik Choi, Department of Environ -mental Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea
Phone: +82-51-200-7675
E-mail: youngik@dau.ac.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
ⓒⓒ This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

함과 동시에 이에 관한 정보를 교환하는데 끊임없이 노력하고 있다. 그에 따라 IMO의제들은 갈수록 다양해지고 있으며, 관련 기술개발에 대한 논의가 매 회의마다 이루어지고 있다(Choi et al., 2009).

한국은 조선 및 해운 강국으로써, 해양환경관리공단에서는 국제협약(MARPOL 73/78)에 근거하여 선박폐유 등의 배출에 의한 해양오염방지 및 해양환경보전을 위하여 전국 13개 항만에 설치한 선박폐유 수용시설을 1998년 국토해양부(구 해양수산부)로부터 위탁받아 운영하는 등 국제협약을 준수하고 있다(Choi et al., 2009; Kim et al., 2009). 최근 IMO에서는 소형선박의 오염에 대한 논의가 제기되고 있으며, 국·내외에서 강화되고 있는 규제에 맞출 수 있는 선박용 오수처리장치를 개발하고 있지만, 전문가 부재, 변동량이 많은 오수의 특성 때문에 처리가 힘든 질소와 인의 처리가 미흡한 실정으로 기존선박에 적용된 처리공법으로 활성 슬러지공법을 이용한 생물학적 처리장치와 전기화학적인 처리장치가 있으나, 모두 유기물제거에 국한되어 해양오염원 중 적조의 원인물질인 질소와 인을 동시에 제거할 수 없는 공법들이다. 국내의 항구들은 대부분 폐쇄해역에 존재하며, 정박 중인 선박에서 유출된 질소와 인이 부영양화를 일으켜 해양환경오염과 적조발생에 한 원인을 제 공하고 있다(Kim et al., 2009; Lee et al., 2001). 또한 각 나라마다 엄격한 처리기준을 제시하고 있어 처리기준을 만족하기 위해서는 질소와 인을 동시에 처리할 수 있는 선박용 고도처리장치의 개발이 시급한 실정이다(Park et al., 2004).

SBR (Sequencing Batch Reactor)공정은 질소와 인의 동시제거가 가능하며, 하나의 반응조 내에 원수를 유입시켜서 폭기, 침전, 탈진산소의 3가지 공정이 동시에 수행된 후에 침전공정을 거친 처리수는 방류된다(Lee et al., 2001). 또한, SBR 공정은 유지관리비가 적은 공정으로 축산폐수, 분뇨, 수산가공 폐수 등에 적합한 공정이며, 국내 · 외에서 소규모 하수처리장의 영양염류 제거 공정으로 현재 많이 사용되고 있는 공정이다(Park et al., 2002). 질소와 인을 제거하기 위해서는 폭기의 On-Off 기간은 매우 중요한 인자이며, 폭기 기간, 산화환원전위(ORP), pH, 용존 산소 및 운전주기를 이용한 제어법들이 다양하게 나오고 있는 실정이다(Oh et al., 1999; Sim et al., 2003; Kim et al., 2002; Kim et al., 2001; Lee et al., 2009). 본 연구에서는 선박 등 특수 환경에서 부지를 최소화 시킬 수 있는 장점을 가진 SBR 공정에 최종침전지 대체 및 수질변동에 안정적인 침지식 멤브레인 공정을 적용시켜 분뇨폐수에서 질소인자 제거특성을 알아보는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 분석방법

2.1. 실험재료

본 연구에 사용할 원수를 얻기 위해 실제 40명 내외의 인원이 사용할 수 있는 화장실을 자체적으로 설계 및 제작 하였으며, 실제 발생한 오수를 사용하였다. 또한 화장실에서 배출된 오수는 직접 pilot plant의 혐기성조로 바로 유입 되도록 유도해 장치를 제작하였다.

본 연구에 사용된 원수의 경우 동절기 채수 및 3회 측정 하였으며, 성상은 Table 1에 세부적으로 제시하였다.

Fig. 1. Schematic diagram of the advanced shipboard sewage treatment plant.

Table 1. The average concentration of the raw water for experiment

Parameters		Units	Measured values		
			Minimum	Maximum	Average
Influent flow rate		m^3/day	0.91	1.01	0.96
Temperature		℃	7.2	9.8	9.2
pH		-	7.1	7.4	7.2
DO		mg/L	0.44	0.75	0.62
ORP		mV	77	89	84
T-N	Conc.	mg/L	181.938	526.943	325.236
	Load	kg/day	0.17	0.53	0.31

2.2. 실험장치 및 방법

2.2.1. 실험장치

본 연구에서 사용한 장치는 고도처리를 위한 SBR 및 MBR공정으로 장치용량의 경우 1 ton/day으로 규격 1,322 mm x 1,022 mm x 1,200 mm로 제작하였다. 여객용 선박의 특수성(여객선 운행시간 및 탑승인원의 변동)을 고려할 때 처리용량 1 ton/day의 선박용 고도수처리 장치의 경우 약 100명 정도의 용량도 가능할 것으로 추정된다.

2.2.2. 실험방법

혐기조의 경우 스크린에서 SBR 공정으로 자연유하를 유도하였으며, 생물 SBR 반응조의 경우 생물학적 반응의 효율을 증대하기 위해 media를 사용하였다. 초기 MLSS 농도를 3,500 mg/L로 유지하도록 하였고, SBR cycle을 폭기와 교반을 반복적으로 운전하여 MBR 공정을 거친 최종 생산수는 SBR 공정 중 폭기로 제시된 시간에만 가동하게 하여 막 표면에서의 미생물 부착과 막오염의 최소화 유도를 위해 7분 가동/3분 정지 순으로 운전하였으며, 세부적 운전 조건을 Table 2에 제시하였다.

2.2.3. 분석방법

수질오염공정시험법, DO meter, pH meter, ORP meter 및 Hach사의 수질분석 kit를 이용하여 분석하였으며 세부 방법은 Table 3에 제시하였다.

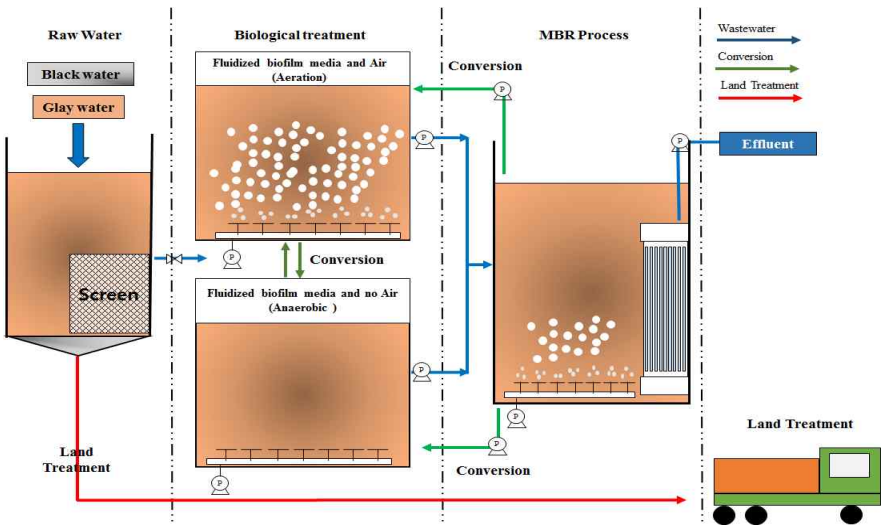

Fig. 2. Schematic diagram of the advanced shipboard sewage treatment plant.

Table 2. The average concentration of the raw water for experiment

Parameters		Unit	Conditions
Anaerobic tank	Drain flow	L/min	Auto
SBR reactor	MLSS	mg/L	3,500
	Aeration	min	120
	Air flow	L/min	40
	Mixing	min	60
	Media		Use
MBR(only aeration period)	Drain flow	L/min	1.5
	Drain (On/Off)	min/min	7/3
	Air flow	L/min	121
HRT		min	240
Flow		m^3/day	1.01

Table 3. Analytical methods and equipments

Parameters	Methods	Note
Temperature	Portable pH meter, Direct Measurement	YSI 55
pH	Portable pH meter, Direct Measurement	YSI 55
DO	Portable DO meter, Direct Measurement	YSI 550A
ORP	Portable ORP meter, Direct Measurement	RM-30P
T-N	Hach DR 2800, Method 10072	TNT HR TOTAL NITROGEN

3. 결과 및 고찰

3.1. DO 분석결과

SBR 반응조 내의 운영을 파악하기 위해 측정한 DO의 경우 평균 2.9(0.6~3.9) mg/L로 나타났으며, 무산소 조건에서 탈질 미생물 활동이 일어난 것으로 판단된다.

또한 Sasaki (Sasaki 등, 1995)의 연구에 의하면 생물반응조 내 폭기시간을 길게 유지하면 유입수 대비 수질 안정성이 증대되며, 질산화에 영향을 미치는 아질산균 및 질산화균의 활성도가 높아진다고 보고하고 있다.

3.2. ORP 분석결과

ORP는 일반적인 산화환원전위에 해당하는 수질지표이지만 생물학적 처리에 있어서는 질산화 및 탈질화의

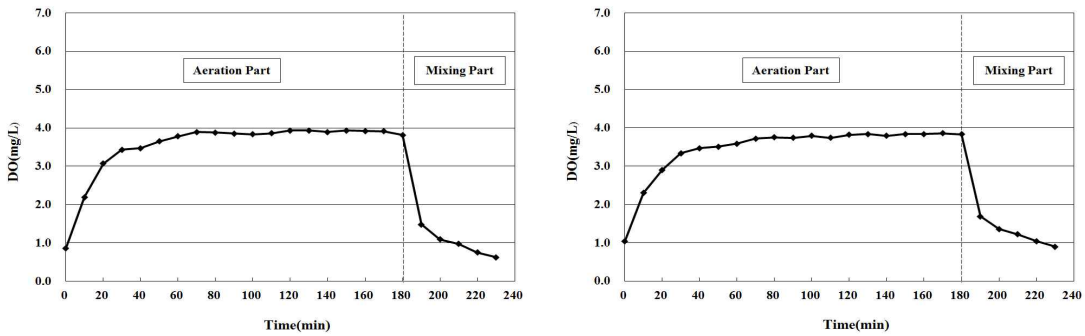

Fig. 3. DO variation of pilot plant.

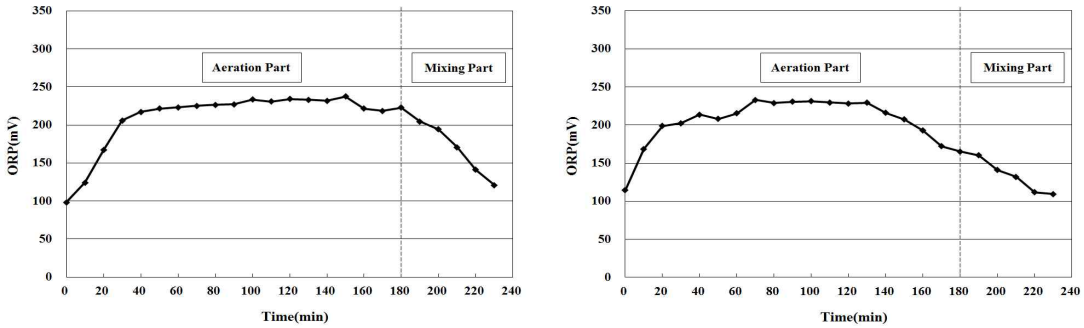

Fig. 4. ORP variation of pilot plant.

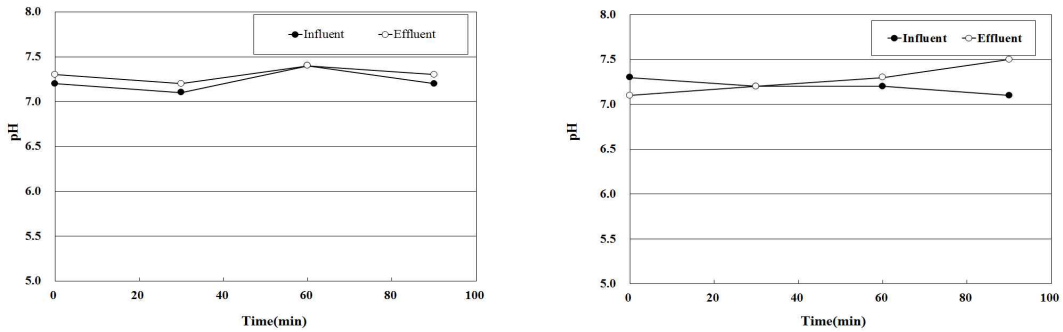

Fig. 5. pH variation of pilot plant.

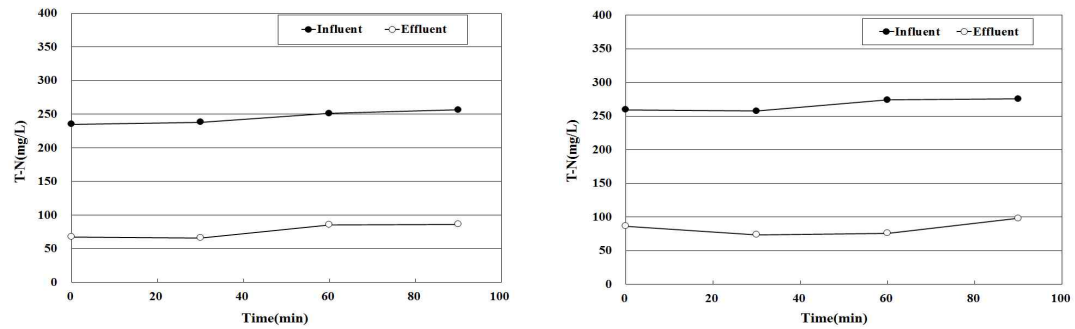

Fig. 6. T-N variation of pilot plant.

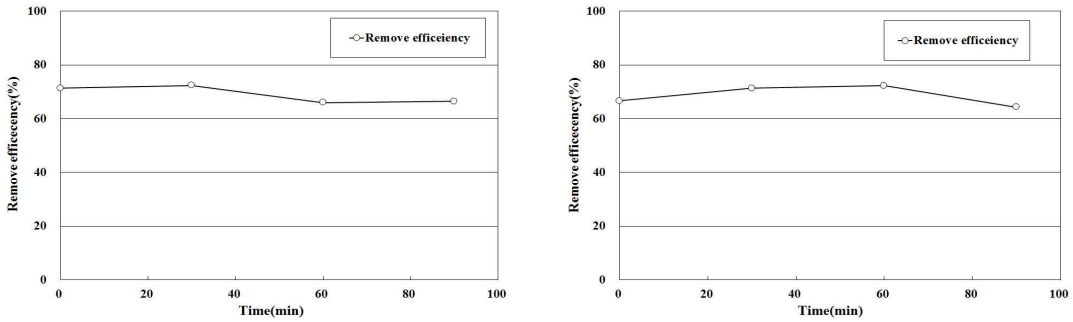

Fig. 7. Concentration profiles of T-N at influent and effluent with removal efficiency.

정도를 나타내는 좋은 지표로 용존산소가 존재하는 호기성 상태에서 100 mV 값을 보일 때 탄소원은 산화반응을 일으키고 질소원은 질산화 반응을 일으키며 인은 미생물에 의해 섭취되어지며, OPR의 경우 절대값이 아닌 ORP의 곡선형태가 중요하다. 본 연구에서 ORP 분석결과 98.4～237.3 mV로 나타나, DO와 마찬가지로 폭기 후 교반공정에서 감소하는 경향이 나타났다.

3.3. pH 분석결과

Dowing (Dowing. 1964)은 pH 7.2～8.0의 범위에서 질산화 속도는 영향을 받지 않으며, 또한 Hall (Hall, 1974)은 pH 7.0～9.4 에서 완전한 질산화가 가능했다는 연구발표가 있었다. 또한 pH는 반응조 내에서 수많은 영향을 미치고 개별적이 아닌 복합적으로 영향이 일어난다. 하지만 본 연구에서는 원수 및 최종 생산수 pH 경우 평균 7.2(7.1～7.4) 정도이며, pH의 변화는 거의 없는 것으로 나타나, pH 변화폭이 거의 없는 것은 질산화에 긍정적인 영향을 주는 것으로 판단된다.

3.4. T-N 분석결과

본 연구에서 원수 T-N 분설결과 235.135, 238.046, 251.098 및 256.465 mg/L로 나타났으며, 최종 생산수의 분석결과 67.311, 65.862, 86.042, 66.5 mg/L로 나타났다. 또한 원수대비 최종처리수의 제거효율은 71.4, 72.3, 및 66.5%로 나타나 비교적 평범한 수치를 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 선박 등 특수 환경에서 부지최소화 장점을 가진 SBR 공정에 최종침전지 대체 및 수질변동에 안적적인 침지식 중공사막(membrane)을 적용시켜 분뇨폐수에서 질소인자 제거특성을 알아보았다. DO의 경우 평균 2.9(0.6～3.9) mg/L로 나타났으며, 무산소 조건에서 탈질 미생물 활동이 일어난 것으로 판단된다. ORP의 경우 98.4～237.3 mV로 나타나, DO와 마찬가지로 폭기 후 교반공정에서 감소하는 경향이 나타났으며, ORP 곡선에 변곡점이 나타난 것으로 미루어 질산화가 종료된 것으로 판단된다. pH의 경우 변화는 거의 없는 것으로 나타났으며, pH 변화폭이 거의 없는 것은 질산화에 긍정적인 영향을 끼칠 것으로 판단되며, 최종처리수의 T-N 제거효율은 71.4, 72.3, 및 66.5%로 나타나 비교적 평범한 수치로 나타나 질소제거에 뚜렷한 두각을 나타내지 못한 것으로 나타났다. MEPC. 227(64) 선박오수기준을 만족하지는 못했지만, 향후 선박 적용 시 MEPC. 227(64) 선박오수 질소기준 20 Qi/Qe mg/L 이하 또는 제거율 70%을 달성하기 위해서는 세부 운전조건 및 구조개선이 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2014년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(선박오수처리를 위한 친환경 복합 고도수처리장치 개발).

REFERENCE

Choi, S. M., Heo, I. S., Yang, S. J., 2009, A case study on the development of new process for treatment of waste waters from ships, J. Korean Society of Marine Environment & Safety, 15(01), 71-78.

Kim, G. M., Jo, I. S., 2009, The latest agenda trends of IMO and the activities of rok in IMO, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 15(02), 111-117.

Lee, E. S., Kim, I. S., 2001, Shipboard sewage treatment by SBR process with BM, J. Korean Navigation and Port Research, 35(10), 817-822.

Lee, S. K., Lee, Y. I., Song, P. J., 2001, The change of organics and nutrients according to aerobic condition SBR process, Water and Waste Water Treatment, 9(3), 87-97.

Park, Y. S., Jeong, N. S., Kim, D. S., 2002, A comparison of nutrients removal characteristics by the variation of organics in A2O SBR and A2O SBBR for the small sewerage system. Korea Journal of Environmental Health, 8(5), 111-115.

Park, S. H., Kim, I, S., 2003, Ship sewage treatment with Sequencing Batch Reactor, J. Korean Society of Marine Environment Safety, 178-192.

Oh, J, I., Silverstein, J., 1999, Acetate limitation and nitrite accumulation during denitrification. Journal of Environ -mental Engineering, 152(3), 234-242.

Sim, M, Y., Bu, K, M., Park, J, Y, Jeun, B, H., Kin, C, W., Woo, H, J., 2003, Basic investigation for Sequencing Batch Reactor(SBR) process diagnosis using On-line sensor (ORP, DO, pH), Korean Society of Environ -mental Engineers, 2003, 163-170.

Kim, H. T., Sin, S, W., Park, C, G., Bae, S, S., 2002, The study of optimization in SBR by using ORP and pH, The Korean Society of Water and Wastewater, 2002, 417-421.

Kim, H, O., Hao, T. J., Mcavoy, 2001, SBR system for phosphorous removal : ASM2 and simpligier linear model, Korean Society of Water and Wastewater, 127(2), 98-104.

Lee, K, H., 2009, A Study on the elimination efficiency of nitrogen by using of ORP, pH, DO and operating cycle in SBR, The Journal of constructional and environ -mental research institute, 2009, 75-91.

Sasaki, Kousei, Yamamoto, Yasuji, 1995, Abstracts of foreign reference / simultaneous removal of nitrogen and phosphorus in intermittently aerated 2-tank activated sludge process using DO and ORP - bending - point control, Korea society of water science and technology, 3(3) 65-69.

Dowing, A. L, Gopwood, A. p, 1964, Some observations on the kinetics of nitrifying activated sludge plants, Schweizerische aeitsclurift fur hydrologie, 271.