

연구논문

유동상 생물 담체를 이용한 하수 슬러지 저감 가능성에 관한 연구

천성일¹ · 조강희² · 정경훈^{3*}

¹조선대학교 환경공학과 박사과정, ²서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원, ³조선대학교 환경공학과 정교수

Assessment of Reduction in Sewage Sludge Using Fluidized Bed Biological Carrier

Seongil Chun¹, Kanghee Cho² and Kyunghoon Cheong^{3*}

¹PhD Student, Department of Environmental Engineering, Chosun University

²Senior Researcher, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

³Professor, Department of Environmental Engineering, Chosun University

*Corresponding Author. Kyunghoon Jeong, khjung@chosun.ac.kr, Department of Environmental Engineering, Chosun University, Gwangju, Korea

Received

5 April 2021

Final version Received

28 April 2021

Accepted

28 April 2021

Abstract

To solve the problem of sewage sludge discharge into the ocean, reduction in the sewage sludge discharge in the reaction system (anoxic, aeration, and cohesion-precipitation) using a fluid bed biological carrier (FBBC) was investigated. After operation of a 30 m³ reaction system for 5 months, the FBBC adhesion bacteria showed high distribution of denitrification-organic oxidizing bacteria (anoxic reactor) and nitrification-organic oxidizing bacteria (aeration reactor). Additionally, the water discharged from the system was within the emission standards. Furthermore, no difference in the ammonia nitrogen (NH₃-N) removal efficiency was observed according to the sewage temperature since the C/N ratio was relatively high under low sewage temperature conditions.

Key words : Fluid bed biological carrier, attached bacteria, sewage temperature, sewage sludge, C/N ratio

요약

하수슬러지의 해양투기 배출규제에 대한 대체 처리방안으로, 유동상 생물 담체(FBBC)를 이용한 반응 시스템(무산소조 + 포기조 + 응집-침전조)의 하수 슬러지 저감 가능성을 조사하였다. 30m³ 크기의 반응 시스템을 5개월 동안 운영한 결과, FBBC의 부착 미생물은 탈질-유기 산화 미생물(무산소조), 질산화-유기 산화 미생물(포기조)의 분포도가 높게 나타났다. 시스템의 방류수는 관련 법적 기준에 적합하였으며, 하수 온도에 따른 암모니아성 질소 제거 효율의 차이가 나지 않았다. 이는 C/N의 비율이 저수온조건에서 상대적으로 높게 나타났기 때문이다.

주요어 : 유동상 생물 담체, 부착미생물, 하수 온도, 하수 슬러지, C/N 비

서 론

실험 재료 및 방법

최근 총인 및 총질소의 방류수 기준이 강화되는 추세에 있으며, 특히, 총인의 기준 강화는 잉여슬러지 발생이 높아지는 문제점으로 이어져 왔다. 국내 대부분의 공공하수처리시설은 과다하게 발생하는 슬러지 처리를 위하여 많은 예산이 들어가고 있는 실정이다. 한편으로 예산이 부족한 지자체에서는 외부로 처리되지 않고 발생하는 잉여슬러지를 시스템 내에서 순환시키는 방법을 사용하고 있으며, 시스템 내에서 슬러지가 순환됨으로써 방류수 수질기준을 맞추기 어려워지는 문제가 발생하는 이중고를 겪고 있는 실정이다. 특히 신도시 및 도심재개발구역은 정화조를 설치하지 않고 분류식 하수도를 적용하고 있으며, 하수관거 정비 사업이 활발하게 이루어지면서 이러한 지역에서 하수유입수내 총질소 농도가 일반적인 지역의 평균 40 mg/L보다 2배 이상 높게 유입되는 경우가 있다. 기존 총질소 유입부하량으로 설계된 하수고도처리시설의 경우 질소제거에 어려움을 겪을 수 있는 실정이다. 따라서 기존의 질소 및 인 제거를 위한 하수고도처리시설에서도 고농도질소 유입 및 슬러지 저감이라는 문제점을 해결하기 위한 개량방안이 도출되어야 한다.

일반적으로 하수 등을 포함하는 하폐수 처리시 물리·화학적 방법은 처리수량이 적은 공정에서는 효율적이지만 비용적 측면 등으로 실제규모 공정 적용에 비효율적이다. 특정 미생물을 대상 하폐수에 개체로 분산시키지 않고 유동상 담체에 부착한 후 생물막(Biofilm)을 형성시켜 처리하는 유동상 생물 반응공정은 일반적인 표준 활성 슬러지공법에 비하여 5배 이상의 고부하 처리가 가능하며, 충격부하 및 독성물질에 대한 저항성이 높다(Kim, 2014).

하수처리 슬러지 저감에 관한 연구로 Choi *et al.*(2009)은 하수슬러지의 해양투기 배출규제에 대한 대체 처리방안으로 하수슬러지의 초음파 가용화를 통한 재기질화와 하수처리 공정에 대한 개선을 통한 슬러지 발생량의 저감 방안을 모색하였으며, Lee *et al.*(2011)은 슬러지 처분법의 대안으로 전기분해를 활용한 슬러지 가용화 연구를 수행함으로써 고도처리 공정에서 슬러지 발생 저감과 함께 전기분해에 의해 가용화된 슬러지를 반송시킴으로써 외부 탄소원으로 활용 가능성을 파악하였다. 하지만 현실적으로 고농도 질소 유입 및 슬러지 증가를 해결하기 위하여 시설개량을 통한 비용증가문제 보다 운전인자의 조작을 통한 처리효율의 안정성을 우선적으로 적용해야 하는 실정이다.

본 연구의 목적은 동절기 생물반응조 시스템에 유동상 생물담체를 충전하여 침전슬러지 반송 없이도 유기물 및 질소의 안정적인 처리가 가능한 하수처리공정 적용성을 파악하는 것이다.

유입수 특성분석

본 연구에 적용된 대상수는 국내 A사업소의 최초침전지 율류수를 이용하였다. 유입수의 오염물질 특성은 Table 1과 같이 요약하였으며, 특성분석 기간은 총 5개월간 55회 시료채취 및 특성분석을 실시하였다.

운영 기간 내 유입수의 BOD : T-N : T-P 비는 평균 10.4 : 3.5 : 1 로써 일반적으로 생물학적 처리의 경우의 BOD : N : P = 100 : 5 : 1의 범위와 비교해 볼 때 BOD 농도가 낮은 것으로 조사되었다.

유동상 생물 담체 (Fluid bed biological carrier, FBBC)

본 연구에 사용된 FBBC은 폴리에틸렌(Polyethylene)재질이며, 구형 톱니바퀴형태의 지름 15 cm, 높이 8 cm의 크기와 0.93~0.96 g/cm³의 평균 밀도를 가지고 있다(Fig. 1).

Table 1. Summary of characterization of sewage influent

Elements	Concentration (mg/L)		
	Max.	Min.	Mean
BOD	210.0	60.6	134.2
COD _{Cr}	410.0	140.0	260.4
COD _{Mn}	60.2	31.5	43.6
SS	162.0	44.0	80.2
T-N	67.0	35.0	45.1
T-P	23.2	4.4	12.4
NH ₃ -N	43.7	29.5	35.9
NO ₃ -N	0.8	N.D	0.23
PO ₄ -P	10.8	5.0	8.1
pH	8.1	5.7	7.1
Temp.(°C)	19.5	11.1	15.2



Fig. 1. Photo of the fluid bed biological carrier (FBBC).

기존의 생물담체로 많이 적용된 정입방체 형태의 발포고무 또는 스폰지 형태 및 재료를 가지는 담체는 대상수에서 너무 잘 부유됨에 따라 생물반응조 내 부상하고, 이로 인하여 부착 미생물과 오염물질과의 접촉이 잘 이루어지지 않는 단점을 극복하기 위하여 제작되었다.

FBBC의 투입조건 중 무산소조 및 포기조에 투입하는 담체의 양은 시스템 운영전 무산소조와 포기조내 유동성 실험(등간격 채취된 시료내 담체량 분석)을 통하여 충전율을 결정하였다. 또한 무산소조 및 포기조내 담체의 원활한 유동과 미생물의 적절한 활동을 위해 DO 3 mg/L 이상을 유지하였으며, 담체의 유실을 방지하기 위해 수조 간벽에 여재 유실 방지망을 설치하였다. FBBC 내 부착된 미생물의 양을 파악하기 위하여 기간별 총 3회에 걸쳐 무산소조와 포기조에서 임의적으로 30개씩의 담체를 채취하였다. 채취된 FBBC를 건조기(105°C)에서 2시간 건조한 후 데시케이터에 넣고 20분간 방냉하고 난후 미생물이 부착된 담체의 무게를 측정하였다.

FBBC 내 부착된 미생물의 군집변화를 파악하기 위하여 연구 시작 6개월 전과 연구 종료 후 무산소조와 포기조에서 100개씩의 담체를 채취하였다. 채취된 담체 내 미생물 군집의 DNA를 추출하고, 추출된 DNA에 대한 염기서열분석(Next Generation Sequencing)과 데이터 베이스 EzTaxon-e (<http://www.ezbiocloud.net/eztaxon>)을 이용한 데이터 분석을 실시하였다(Kim *et al.*, 2012; Cho *et al.*, 2017).

FBBC 반응 시스템

시스템의 처리용량은 30 m³/d로써 운영 기간 동안 시스템 유입 전 유량계를 통하여 29.2 m³/d~32.1 m³/d (평균 30.1 m³/d)의 대상수가 유입되었다.

FBBC 반응 시스템은 크게 5단계로 구성되었으며, 1단계로 3 m³ 용량의 원수저장조와 유량균등화조, 2단계로 무산소조로 이루어져 있다. 무산소조는 연속흐름 혼합반응조 형태로 50% 충전된 유동상 생물 담체의 일정한 혼합을 위해 교반기와 산기장치를 동시에 이용하고, 무산소조 전 단부는 담체가 충전된 내부반송슬러지의 DO저감을 위한 인터베리어조를 두었으며, 혐기성 슬러지층을 유도 형성하여 용존산소 저감 기능을 가지도록 하였다. 3단계로 포기조는 유기물의 산화와 안정적인 질산화를 위해 연속흐름 혼합반응조 형태로 포기조의 산소공급 및 교반을 위해 산기장치를 반응조 내에 균등하게 분배하여 배치하였으며, 미생물을 안정적으로 유지하기 위해 담체를 충전(50%) 하였다. 질산화된 슬러지 내부반송을 위한 반송펌프라인(포기조 → 유량균등화조)이 설치되어 있다. 4단계는 총인(T-P) 및 유기물의 제거를 위해 응집제 투입 및 교반을 목적으로 설치되었다. 마지막 5단계로 슬러지를 고액분리하고,

Table 2. FBBC reaction system flow chart.

Step	Process	Remark
1	Sewage influent reservoir	capacity - 3m ³
	Flow equalization tank	
2	Anoxic reactor	
3	Aeration reactor	Return pump line (→ flow equalization tank)
4	Flocculation reactor	
5	Sedimentation tank	

처리수 유출과 슬러지를 배출 목적으로 침전조가 설치되었다(Table 2).

분석방법

본 연구에서의 분석은 수질오염공정시험법을 적용하여 분석을 수행하였다. 분석항목은 각 주요 단계공정(유입수, 무산소조, 포기조, 방류수)별로 수온, pH, DO, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, SS, T-N, T-P, NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P, SCOD_{Cr} 이었으며, 잉여슬러지 SS 농도와 인발량, 유입유량 및 내부반송량을 유량계 등을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

유동상 생물 담체 특성 분석

운영 기간 내 무산소조와 포기조 내 충전된 FBBC 내 부착된 미생물의 양을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 무산소조는 시스템 운영기간이 길어질수록 수온이 낮은 동절기임에도 불구하고 반응조 생물 활성화에 따라 FBBC 부착 미생물의 양이 증가하였으며, 포기조의 경우 포기와 FBBC의 미생물 부착능에 따라 부착미생물의 양이 유지되었다.

부착 미생물에 대한 생물학적 변화추이를 파악하기 위하여 군집분석을 실시한 결과, 무산소조의 경우 운영 기간 6개월 전 안정화기간내 *Dechloromonas*, *Arcobacter*, *Geobacter* 등과 같은 탈질-유기물산화 미생물의 분포가 높았으며, 연구 종료후(11개월 후) 무산소조 내 간헐포기 운전됨에 따라 *Geobacter* 같은 유기물 산화미생물은 감소하고 *Rhodobacter*, *Sphingobium* 등과 같은 탈질균의 분포가 증가하는 경향을 나타냈다(Table 4). 포기조의 경우 연구 종료후 무산소조에 탈질효율이 증가됨에 따라 포기조로 유입되는 유기물의 농도가 감소하였으며, 이에 따라 *Nitrosomonas*, *Nitrospira* 등과 같은 질산화 미생물의 분포가 2배 이상 증가하는 경향을 나타냈다(Table 5).

Table 3. Mass of major bacteria attached to FBBC in the anoxic and aeration reactors

	Time (day)	Bacteria-attached FBBC mass (g, A)	FBBC mass (g, B)	Attached bacteria mass (g, A-B)	Attached bacteria ² (mg/L)
Anoxic reactor	61	0.302	0.284	0.018	4,130
	89	0.306		0.022	4,543
	124	0.310		0.026	4,956
	Mean	0.306		0.022	4,543
Aeration reactor	61	0.318		0.034	7,021
	89	0.319		0.035	7,227
	124	0.315		0.031	6,401
	Mean	0.317		0.033	6,883

²Attached bacteria (mg/L) = total Attached bacteria mass in reactor (mg) / reactor volume (L)

Table 4. Bacteria profiling results of major microbial community attached to FBBC in the anoxic reactor

Initial condition		Final condition	
Genus	%	Genus	%
<i>Dechloromonas</i>	12.57	<i>Hydrogenophaga</i>	4.49
<i>Arcobacter</i>	8.84	<i>Acidovorax</i>	2.44
<i>Geobacter</i>	5.71	<i>Comamonadaceae_uc</i>	2.30
<i>Rhodocyclaceae_uc</i>	3.08	<i>Rhodobacter</i>	2.25
<i>Methyloversatilis</i>	1.89	<i>Methyloversatilis</i>	1.57
<i>Hydrogenophaga</i>	1.48	<i>Thermomonas</i>	1.54
<i>Desulfobacteraceae_uc</i>	1.48	<i>Flavobacterium</i>	1.54
<i>Flavobacterium</i>	0.12	<i>Sphingobium</i>	1.26
		<i>Devosia</i>	1.12

Table 5. Bacteria profiling results of microbial community attached to FBBC in the aeration reactor

Initial condition		Final condition	
Genus	%	Genus	%
<i>Nitrospira</i>	7.44	<i>Nitrospira</i>	13.85
<i>Thiobacillus</i>	4.30	<i>Thermomonas</i>	4.37
<i>Opitutus</i>	1.73	<i>Thiobacillus</i>	4.30
<i>Thermomonas</i>	1.14	<i>Nitrosomonas</i>	3.02
<i>Rhizomicrobium</i>	1.08	<i>Rhizomicrobium</i>	2.31
<i>Flavobacterium</i>	1.08	<i>Hydrogenophaga</i>	1.57
<i>Hydrogenophaga</i>	1.02	<i>Rhodobacter</i>	1.15
<i>Nitrosomonas</i>	0.96	<i>Terrimonas</i>	1.11
<i>Rhodobacter</i>	0.63	<i>Sphingomonas</i>	1.03
<i>Sphingomonas</i>	0.45	<i>Sphingobium</i>	1.01

FBBC 반응 시스템 운영

운영 기간 중 유입수의 수온은 15.2(11.1~19.5)°C이었으며, FBBC 반응 시스템의 HRT(Hydraulic Retention Time, 수리학적 체류시간)는 무산소조 3.7 hr, 포기조 4.1 hr이었다. FBBC 반응 시스템을 BOD 용적부하 포기조 기준 0.21~0.74 kg·BOD/m³·day로 운전하였을 때, 오염물질 제거효율은 Table 6와 같다.

운영 기간 동안 BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}, SS, T-N 및 T-P에서 생물 반응 시스템 운전 후 배출수 평균농도는 우리나라 하수처리 방류수 수질기준에 적합하였으며, T-N과 COD_{Mn}를 제외하고 90% 이상의 제거효율을 보였다.

COD_{Mn}의 경우 산화제로 과망간산칼륨을 사용하며, 이중 산성 고온 과망간산칼륨에 의한 정량법은 황산은(Ag₂SO₄) 사용으로 염소이온의 방해를 방지하는 방법으로 탄소화합물들은 산화하기 쉬우나 질소화합물은 산화하기 어려운 특징을 가지고 있다(Yun and Kang, 2004). 따라서 본 연구에서 낮은 COD_{Mn}의 제거율의 원인은 대상수내 높은 T-N의 농도로 인한 영향으로 사료된다.

운영 기간 동안 공정단계별 하수 대상수의 농도변화를 파악한 결과, COD_{Cr}의 경우 유입수 대비 무산소조에서 가장 높은 제거율(57.2%)을 보였으며, 최종 유출수에서 90.4%의 제거율을 보였다. SS, T-P 그리고 PO₄-P의 경우 무산소조의 농도가 유입수보다 높은 것은 포기조로부터 내부 반응된 슬러지에 의한 것으로 판단된다. 하지만 최종 유출수에서 각각 92.2%, 96.8% 그리고 99.1%의 제거율을 보였다. T-N의 경우 무산소조에서 65%의 제거율을 보였으나 최종 유출수에서 68.5%의 가장 낮은 제거율을 보인 것은 무산소조에서의 탈질과 포기조에서의 질산화에 영향을 받았기 때문이다. 평균 슬러지 발생량은 시스템으로부터 배출 슬러지 기준으로 하루 3.01 kg/d로 나타났으며, 이는 기존 슬러지 발생량인 3.18 kg/d보다 낮게 나타났다.

수온에 따른 오염물질 제거

동절기 수온에 따른 FBBC 반응 시스템의 오염물질 제거 특성을 파악하기 위하여 수온에 따른 NH₃-N 제거율과 C/N의 비율을 도시하였다(Fig. 2). 유출수의 수온은 평균 15.3°C이었으며, NH₃-N 제거율은 평균 94.3%(유출수 농도 2.0 mg/L)로 나타났다. 수온 15°C를 기준으로 초과하거나 미만의 경우 관계없이 NH₃-N 제거율은 차이가 없었다.

하수 내 T-N제거에 미치는 주요 인자는 HRT, SRT, Temperature, DO농도, pH range, C/N비 등이 있으며(Scrimshaw and Lester, 2003), 특히 C/N비는 autohydrogenotrophic bacteria(수소이용성 독립영양 미생물)의 성장뿐만 아니라 탈질물에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나로 알려져 있다(Nguyen *et al.*, 2017). Park *et al.*(2020)은 하수처리를 위한 A₂O 공정 적용 시 유입수의 C/N은 연평균 4.4(하절기 평균 5.0, 동절기 평균 3.9)로 나타났으며, BOD와 COD는 계절에 따른 수질의 차이가 크게 나타나지 않은 반면 T-N 및 NH₄⁺-N와 같은 질소 성분은 유입수온이 낮아질수록 제거 효율도 낮아지는 현상을 보였다. 또한 연구결과 C/N비가 높을수록 질소 성분 처리가 용이한 것으로 나타났다. Gil *et al.*(2008)은 동절기 수온저하로 인한 질산화 미생물의 활동 저하가 질소제거 효율을 떨어트리고, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 하수처리 시뮬레이션 프로그램인 GPS-X를 사용하여 각조의 HRT를 변화시켜 저수온 시 효율적인 질소제거를 위한 HRT의 조합을 도출하였다. 최적의 HRT 조합 시 T-N 제거율은 51.4%로 나타났다. 본 연구에서 FBBC 반응 시스템에 의한 질소제거효율이 하수수온에 영향을 받지 않은 이유는 저수온(15°C 미만)에서 상대적으로 C/N비가 높았기 때문이며, T-N 제거율이 높게 나온 이유는 FBBC의 생물학적 처리 효율이 증가하였기 때문이다.

Table 6. Summary of sewage treatment efficiency by the FBBC reaction system

Elements	Concentration (mg/L, n=55)			Efficiency (%)
	Range	Outlet Mean	Limit ²	
BOD	1.5~9.8	4.9	10	96.4
COD _{Cr}	5.0~85.7	17.3	-	93.2
COD _{Mn}	1.8~19.5	11.0	40	75.0
SS	2.0~9.4	6.3	10	91.7
T-N	4.6~19.1	14.2	20	67.9
T-P	0.03~0.9	0.4	0.5	97.1

²Sewage Treatment Plant (Sewage treatment capacity of 500m³/d or more, Area III) Emission Standards in Korea.

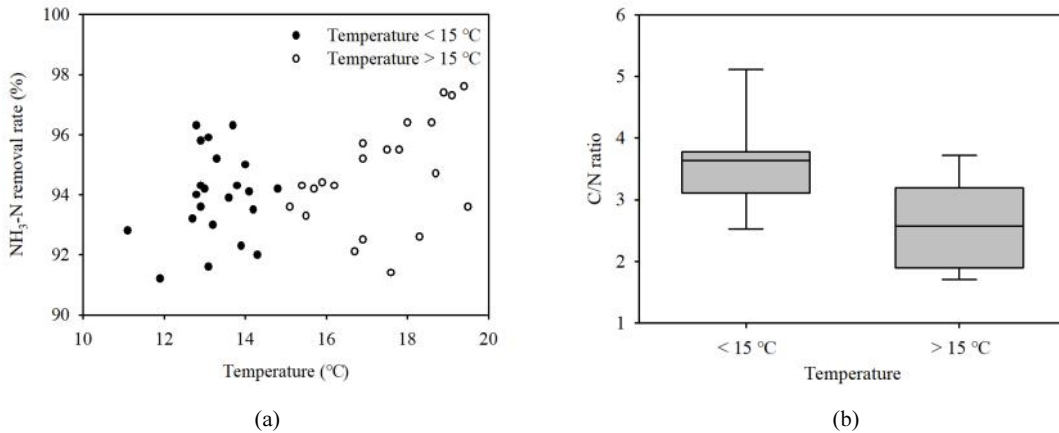


Fig. 2. Relationship between (a) NH₃-N removal rate and (b) C/N ratio according to sewage temperature.

결론

본 연구에서는 동절기 하수처리를 슬러지 저감형 FBBC 을 이용한 반응 시스템(무산소조 → 포기조 → 응집침전조) 을 운전을 통하여 FBBC 반응 시스템의 적용 가능성을 조사 하였다.

운영 기간 내 유입수의 BOD는 생물학적 처리의 경우의 BOD와 비교해 볼 때 BOD 농도가 낮은 것으로 조사되었으며, 수온은 약 15°C이었다. 시스템 운영에 따른 BOD, COD_{Cr}, SS, T-N 및 T-P의 제거율은 각각 96.4, 93.2, 91.7, 67.9 및 97.1로 나타났다. FBBC내 부착된 미생물에 대한 군집분석 결과, 무산소조에서는 탈질-유기물산화 미생물, 포기조에서는 질산화미생물의 분포가 높게 나타났다. 수온조건에 따른 NH₃-N 제거율은 차이가 없었으며, 이는 저수온 상태에서 C/N비가 상대적으로 높았기 때문이다.

사사

본 연구는 환경부의 환경시설 재난재해 대응기술개발사업(2020002870001)에서 지원받았습니다.

References

Cho, S.H., Park, H.S., Jo, S.W., Yim, E.J., Yang, H.Y., Ha, G.S., Kim, E.J., Yang, S.J., and Jeong, D.Y., 2017. Comparison of microbial community profiling on traditional fermented soybean products (Deonjang, Gochujang) produced in Jeonbuk, Jeonnam, and Jeju province area. *Korean Journal of Microbiology*, 53(1), p.39-48.

Choi, I.S., Jung, H.S., and Han, I.S., 2009. Study on sludge

reduction by sludge solubilization and change of operation conditions of sewage treatment process. *Journal of the Korean Society of Environmental Engineers*, 31(12), p.1113-1122.

Gil, K.I., Lee, U.G., and Rho, H.Y., 2008. A study on optimum HRT combination for efficient nitrogen removal at WWTP in winter days. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 8(3), p.165-169.

Kim, J.T., 2014. *Biological Color Removal of Dyeing Wastewater by Fluidized-Bed Pilot Plant Augmented Dye Degradable Microorganisms*, Ph.D. Thesis, Pusan National University, Korea, p4.

Kim, O.S., Cho, Y.J., and Lee, K.H., 2012. Introducing Eztaxon-e: a prokaryotic 16S rRNA gene sequence database with phylotypes that represent uncultured species. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 62, p.716-721.

Lee, J.S., Chang, I.S., Lee, C.K., and Joung, S.Y., 2011. Study on solubilization of sewage sludge using electrolysis techniques. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 12(2), p.979-984.

Nguyen, T.N.P., Chao, S.J., Chen, P.C., and Huang, C.P., 2017. Effects of C/N ratio on nitrate removal and floc morphology of autohydrogenotrophic bacteria in a nitrate-containing wastewater treatment process. *Journal of Environmental Sciences*, 69, p.52-60.

Scrimshaw, M.D. and Lester, J.N., 2002. *Endocrine Disruptors in Wastewater and Sludge Treatment Processes*, Vol. 1, CRC Press LLC and IWA publishing, London, UK, p.145-176.

Yun, C.J. and Kang, S.W., 2004. A study on the relation between COD_{Mn} and COD_{Cr} of each Industrial wastewater. *Rep. Busan Inst. Health & Environ*, 14(2), p.135-149.



천 성 일

2011년 조선대학교 공과대학 환경공학과
학사
2017년 조선대학교 공과대학 환경공학과
석박사통합과정

현재 동일미래과학고등학교 정교사
(E-mail; quistislg@naver.com)



조 강 희

2009년 조선대학교 학사
2011년 조선대학교 공학 석사
2016년 조선대학교 공학 박사

현재 서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원
(E-mail; kanghee1226@hanmail.net)



정 경 훈

1982년 조선대학교 학사
1987년 동경농공대 농학 석사
1990년 동경농공대 농학 박사

현재 조선대학교 환경공학과 정교수
(E-mail; khjung@chosun.ac.kr)