

고농도 질소함유폐수의 경제적 처리를 위한 단축질소공정 파일럿플랜트 실증화 및 운영 결과

이재명^a, 전지형^b, 최홍복^{c†}

Demonstration and Operation of Pilot Plant for Short-circuit Nitrogen Process for Economic Treatment of High Concentration Nitrogen Wastewater

Jae Myung Lee^a, Ji-hyeong Jeon^b, Hong-bok Choi^{c†}

(Received: Jan. 13, 2020 / Revised: Mar. 11, 2020 / Accepted: Mar. 12, 2020)

ABSTRACT: A 2m³/d combined wastewater treatment pilot plant containing the multi-stage vertical stacking type nitrification reactor was installed and operated for more than 1 year under the operating conditions of the short-circuit nitrogen process (pH 8, DO 1mg/L and Internal return rate 4Q from nitrification to denitrification reactor). For economically the combination treatment of food wastewater and the leachate from a landfill, the optimal combination ratio was operated by adjusting the food wastewater with the minimum oil content to 5-25% of the total throughput. The main treatment efficiency of the three-phase centrifugal separator which was introduced to effectively separate solids and oil from the food wastewater was about 52% of SS from 116,000mg/L to 55,700mg/L, and about 48% of normal hexane (NH) from 53,200mg to 27,800 mg/L. During the operational period, the average removal efficiency in the combined wastewater treatment process of BOD was 99.3%, COD_{Cr} 94.2%, COD_{Mn} 90%, SS 70.1%, T-N 85.8%, and T-P 99.2%. The average concentrations of BOD, COD_{Cr}, T-N, and T-P of the treated water were all satisfied with the discharge quality standard for landfill leachate ("Na" region), and SS was satisfied after applying the membrane process. On-site leachate had a relatively high nitrite nitrogen content in the combined wastewater due to intermittent aeration of the equalization tanks and different monthly discharges. Nevertheless nitrite nitrogen was accumulated, denitrification from nitrite nitrogen was observed rather than denitrification after complete nitrification. The average input of anti-forming chemical during the operation period is about 2L/d, which seems to be economical compared to the input of methanol required to treat the same wastewater.

Keywords: Combined Wastewater Treatment, Short circuit Nitrogen Removal Process, Food Wastewater Pre-treatment, Alternative Carbon Source

초 록: 다단수직형 적층 방식의 질산화조가 포함된 2m³/d 병합폐수처리 파일럿플랜트를 설치하여, pH8 이상, DO 1mg/L, 내부반송율 4Q이상의 단축질소제거공정의 질산화조 운전 조건으로 약 1년 이상 운영하였다. 음폐수와 침출수의 경제적인 병합 처리를 위하여, 유분이 최소화된 음폐수를 전체 처리량의 5~25%로 조절하여 최적의 병합 비율을 검토하였다. 음폐수의 고형물과 유분을 효과적으로 분리하기 위하여 도입된 3상원심분리기의 주요 처리 효율은 SS는 116,000mg/L에서 55,700mg/L로 약 52% 제거 되었으며, 노르말헥산(NH)의 농도는 53,200mg/L에서 27,800mg/L

^a (주)케이드 기술연구소 과장(Manager, KEID Co., Ltd.)

^b (주)케이드 기술연구소 사원(Staff, KEID Co., Ltd.)

^c (주)케이드 기술연구소 연구소장(Research director, KEID Co., Ltd.)

† Corresponding author(e-mail: hbokchoi@hanmail.net)

로 약 48%로 제거되었다. 운전 기간 중 병합 폐수처리 공정의 BOD 평균 제거 효율은 99.3%, CODcr 94.2%, CODmn 90%, SS 70.1%, T-N 85.8%, T-P 99.2%로 분석되었다. 처리수의 BOD, CODcr, T-N, T-P 평균 농도는 침출수 배출 허용 기준("나"지역)을 만족하였으며, SS는 멤브레인조를 적용한 후 만족하였다. 현장의 침출수는 유량조정조의 간헐적 폭기 및 월별 상이한 방출량의 영향으로 병합폐수 중 아질산성 질소의 성분이 비교적 높았다. 아질산성 질소가 축적된 상태에서도 완전질산화 후 탈질보다는, 아질산성 질소에서 탈질되는 결과가 나타났다. 또한 운전 기간 중 평균 소포제 투입량은 약 2L/d로 같은 폐수를 처리할 시 필요한 메탄올 투입량 약 2.8L/d 대비하여 경제적인 것으로 보인다.

주제어: 병합폐수 처리, 단축질소제거 공정, 음폐수 전처리, 대체탄소원

1. 서론

2015년 기준으로 퇴비화, 사료화 등 음식물류폐기물 자원화 시설에 반입된 약 14,260톤/일의 음식물류폐기물에서 고품질 및 협잡물을 제외한 약 9,671톤/일의 음식물류폐기물 폐수(음폐수)가 발생되고 있다¹⁾. 지난 2013년부터 음폐수의 해양배출이 금지되면서 전체의 약 70%는 하수처리장 및 침출수처리장으로 병합 및 연계 처리되고 있으며, 나머지는 가축분뇨와 병합하여 혐기성소화²⁾, 소각시 요소수 대체제³⁾, 낮은 C/N비 폐수처리장의 외부 탄소원 등의 다양한 방법으로 활용되고 있다.

한편 침출수는 매립지로 침투한 우수가 복토재와 폐기물층을 통과하면서 각종 오염물질과 함께 투수되며 발생하는 폐수이며, 2016년 환경부 전국폐기물 통계조사 기준 197개소 총 474,629,421m³ 매립용량에서 4,713,374톤/년이 발생하고 있다. 매립지에서 발생하는 침출수는 쓰레기의 조성, 매립방법, 경과 시간 등에 따라 수질의 농도 변화가 매우 크며, 통상적으로 매립 후 오랜 시간이 경과될수록 유기물이 분해 되어 생물학적으로 처리가 쉽지 않은 난분해성 물질로 인해 BOD/CODcr의 비가 낮고, TN농도가 높은 것으로 알려져 있다. 침출수의 처리방법으로 자체 처리 후 연계하거나 종말 처리장으로 직접 연계 처리하는 비율이 71.6%로 가장 높고, 그 뒤를 이어 자체 처리 후 직접 방류하는 방식 21.5%, 위탁 처리 6.4%, 기타처리 0.5% 순으로 조사되었다⁴⁾.

음폐수를 병합처리하기 위한 선행 연구로 음폐수와 하수 병합시 유입수, 유출수의 영향과 사업장의 저해요소 여부를 평가하여 병합처리가 가능하다는

연구가 있다⁵⁾. 또한 P시 음폐수를 육상처리하기 위하여 P시의 기존 침출수 처리장에 음폐수를 연계하여 운전하는 방안이 검토되었으며, 환경부에서 고시한 음폐수의 하수 연계처리 관련 법규에 따라 하수처리장 연계 방안을 4개의 시나리오로 세분화하여 제시하였다⁶⁾. 또한 음폐수를 외부탄소원으로 이용시 생분해 및 탈질특성에 미치는 영향에 대하여 조사 분석하여 생물학적 질소 인 제거시 경제적이고 효과적인 외부탄소원이라는 점을 밝힌 바 있다⁷⁾. 그러나 시나리오별 예상 연구는 실제 운영 상황 및 현장별 특이한 상황을 적용하는데 한계가 있으며, 랩스케일 규모의 연구는 비교적 긴 시간동안의 실증화 운영 결과가 부족하기 때문에 현장에 적용할 시 미흡하다.

본 연구가 수행된 G군에서는 퇴비화 과정에서 발생한 약 15톤/일의 음폐수를 자체 처리한 후 인근 가축분뇨공공처리시설에 연계 처리한다. 그러나 음폐수의 유분 문제로 인해 응집 처리시 약품이 많이 필요하였으며, 후단의 생물학적 처리 시설에서 연계 처리 기준을 충족시키지 못하여 지속적인 반출이 어려운 상태였다. 한편 G군의 매립장에서 발생하는 침출수는 간헐 폭기 등의 간단한 처리 과정을 거쳐 2m³/일~110m³/일을 가변적으로 인근 하수처리장으로 연계 처리하고 있었다. 본 연구에서는 음폐수와 침출수의 경제적인 병합처리를 위하여 음폐수의 3상원심분리기를 도입하여, 부하의 원인을 사전에 제거하는 한편, 다단수직형 적층 방식을 적용하여 2m³/d 병합폐수 파일럿플랜트를 설치하여⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾ 병합폐수처리 효율을 분석하였다. 또한 침출수와 병합 처리시 기존의 완전질산화 공정대비 이론적으로 약 25% 산소

와 약 40%의 외부탄소원 절약이 가능하다고 알려진 단축질소제거의 운전 조건을 적용하였다¹¹⁾¹²⁾¹³⁾.

2. 실험방법

2.1. 병합폐수처리 파일럿플랜트 구축

2.1.1. 음폐수 유분 분리를 위한 3상원심분리기 설치

G군 자원순환시설의 음식물 퇴비화 공정에서 탈수된 음폐수는 고형물 및 유분이 잔존하여 이를 분리하고자 3상원심분리기((주)센텍기술, ST-42P)를 설치하였다(Fig. 1). 3상원심분리기는 기존 2상원심분리와 달리 유분을 추가로 분리할 수 있는 특징을 가지고 있다. 본 연구에 적용된 3상원심분리기의 규격은

3.5M*1.8M*1.0M, 무게 3.5톤, 동력은 30kW*380V*4P이며, 용량은 5m³/hr, 최대 3,000rpm으로 운전 프로그램을 통해 자동 제어된다. 3상원심분리 후 고형물 함수율은 80% 이하이며, 회수율은 30%이상, 유분 회수율은 50%이상으로 제원상 표기되어 있다. 3상원심분리기의 설비 보호를 위해 전단에 저속원심분리기를 두었고, 하루에 평균 3시간정도 정상 가동하였다.

2.1.2. 산발효조 공정 설치

음폐수를 병합폐수 및 대체탄소원으로 활용하기 위하여 산발효조 공정을 제작, 설치하였다(Fig. 2). 산발효조의 규격은 1.21M*1.21M*3.0M로 용적 3.94m³로 제작되었다. 설계유입유량은 0.04m³/hr로 체류시간은 평균 4.52일이지만 유출배관의 밸브 작동 및 유입량 시간 조절에 따라서 체류시간의 조절이 가

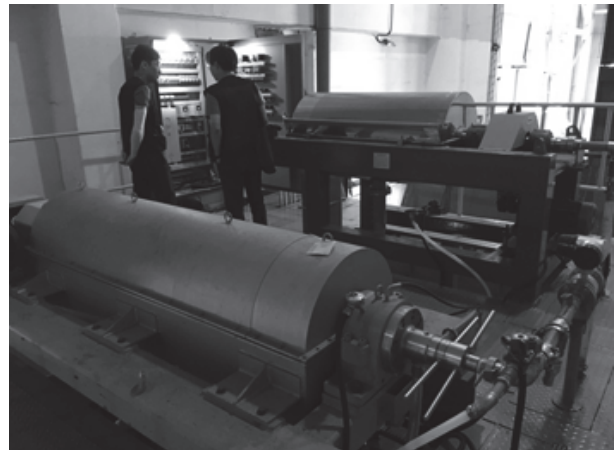
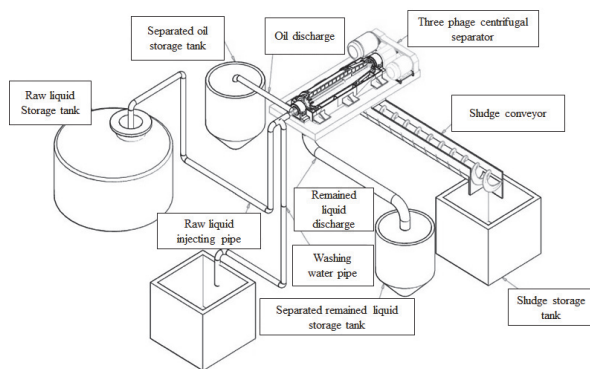


Fig. 1. Schematic diagram and picture of the three phase centrifugal separator.

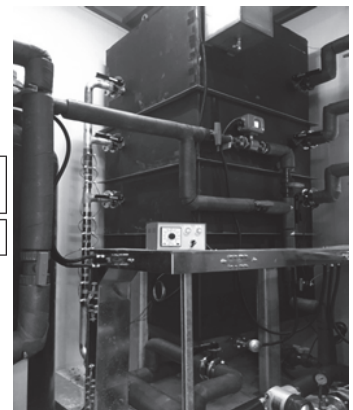
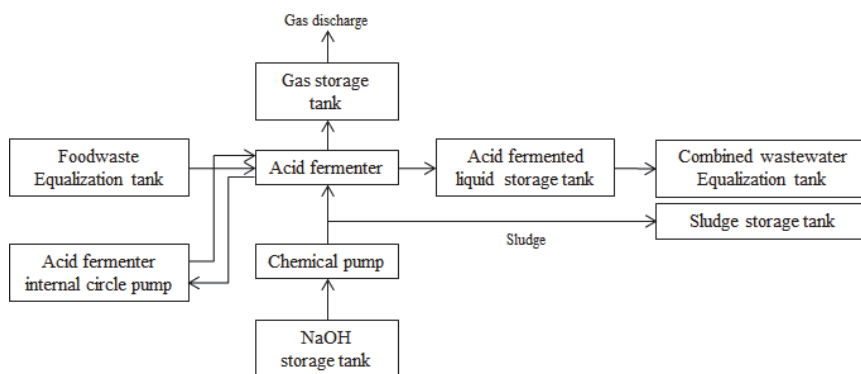


Fig. 2. Schematic diagram and picture of the acid fermenter.

능하다. 교반 방식은 모노펌프(1m³/hr)에 의한 내부 순환 방식과 내부 설치된 E.Cell에 의한 자체 교반을 채택하였으며, 순환 배관에 열선을 감는 방식으로 내부 온도를 35°C로 유지할 수 있다. 또한 NaOH 약품 펌프의 자동 제어가 가능하도록 설치하였으며 pH5 조건으로 설정하였다.

2.1.3. 병합폐수 생물학적 처리 공정 설치

병합폐수 2m³/일을 처리할 수 있는 생물학적 처리 공정을 설계, 제작 및 설치하였으며 주요 시설물의 제원은 아래와 같다(Table 1). 음폐수는 전처리 설비인 3상원심분리기를 거쳐 분리된 액상의 물질이 10일에 3톤씩 주기적으로 음폐수 저장조(3m³)로 이송하였다. 침출수는 파일럿플랜트 바로 옆에 위치한

침출수처리장의 유량조정조에 수중펌프를 설치하여 실험 조건량에 따라 병합폐수저장조(5m³)로 이송하였다. 병합폐수저장조는 겨울에도 유입 온도를 일정하게 유지할 수 있도록 히터봉을 설치하였다. 무산소조(5.85m³)내 조건 변화를 모니터링하기 위하여 pH, ORP, 온도 센서를 장착하였다. 또한 질산화조(8m³)내 조건 변화를 모니터링하기 위하여 pH, ORP, DO, 온도 센서를 장착하였다. 특히 질산화조는 기존 개발한 E.Cell¹⁴⁾을 내부에 적층하였으며, 이로 인해 각 단의 상부에 기체 체류공간이 생기며, 기액접촉면 증가로 인하여 적은 산소로도 높은 산소전달효율의 운전 가능하다. 또한 조내 체류시간 증가로 인하여 고농도 MLSS 유지가 가능하다(Fig. 3). 블로워의 송풍량은 최대 2Nm³/min으로 인버터를 통하여 유량 제

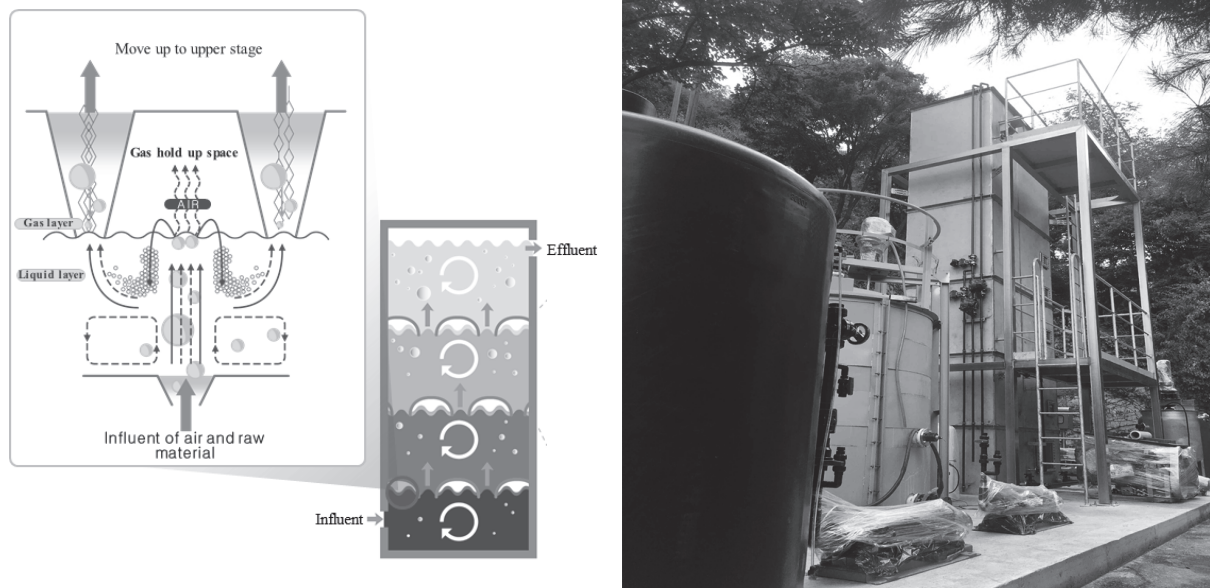


Fig. 3. Schematic diagram and picture of the biological treatment reactor.

Table 1. Specification of the Pilot Plant

Item	W(m)	L(m)	He(m)	Unit	V(m ³)	HRT(d)	
Foodwaste Equalization		D1.4	1.85	1	3	1.5	
Acid fermenter	1.210	1.210	2.7	1	3.95	4.52	
Combined wastewater Equalization		D1.9	2.4	1	5	2.5	
ECOPAT	Anoxic	0.880	1.210	5.5	1	5.85	3
	Oxic	1.210	1.210	5.5	1	8	4
	Settlement		D0.75	0.75	1	0.33	0.17
Discharge		D1.08	1.385	1	1	0.5	

어가 가능하다. 내부반송펌프는 실험 조건에 따라 최대 10Q까지 설정할 수 있다. 슬러지반송펌프는 내부반송배관과 인발배관을 자동 밸브로 조절 가능하도록 구성하였다. 또한 병합폐수 생물학적 처리 공정 운영의 편의성을 위하여 자동제어프로그램으로 관리할 수 있도록 설정하였다.

2.1.4. 후단 멤브레인 공정 추가 설치

병합폐수 생물학적 처리 공정 운전 중, 침출수 배출허용 기준을 만족시키기 위하여 기존의 침전조를 멤브레인조로 보완 및 변경하였다. 멤브레인은 침지형 중공사막((주)에코니티, C-TYPE) 멤브레인로 1개의 카트리지를 침전조 내부에 결합하여 설치하였다. 막의 소재는 HDPE(High-density polyethylene)이며, 중공사막의 형태 및 슬릿구조로, 공칭공경 0.4 μ m, 외경/내경 0.65mm/0.42mm, 카트리지가당 면적 16.8m², 운전플럭스는 0.3~0.5m³/m²day(12~20 LMH)로 제원상 표기되어 있다.

2.2. 실험 수행 및 분석 방법

2.2.1. 실험 수행 방법

1) 원수 성상: 본 연구 기간(2018년 10월 17일~2019년 11월 28일) 중에 사용된 음폐수, 침출수 및 병합폐수의 농도 범위는 Table 2와 같다. 운전 기간 동안 병합폐수의 수질의 평균 농도는 BOD 4,898mg/L(2,220~7,570mg/L), COD_{Cr} 12,827mg/L(748~61,200mg/L), COD_{Mn} 1,388mg/L(766~5,180mg/L), SS 5,059mg/L(840~26,000mg/L), T-N 707mg/L(93~1,890mg/L), T-P 407mg/L(10~2,500mg/L)였

으며, 유입수의 pH는 5.7(5.02~6.56), 수온은 24.1°C(10.5~40°C)로 나타났다.

2) 주요 공정 운영: 유분이 분리된 음폐수는 산발효조를 거쳐 병합유량조로 이송된다. 또한 현장의 침출수는 병합유량조정조로 일부 이송되어 병합된다. 병합폐수는 무산소조, 질산화조 및 침지식 멤브레인을 거쳐 최종적으로 방류된다(Fig. 4). 2018년 11월부터 2019년 1월까지 병합폐수 적응 운전 기간이었으며, 2019년 2월부터 부하 운전 실시 중 현장 침출수의 유량 부족과 병합폐수 이송배관의 막힘 현상 그리고 음폐수의 높은 농도로 인하여 펌프 소모품의 잦은 교체가 발생하여 약 2달간 운영이 불규칙적이었다. 2019년 4월 중순부터 정상운전을 시작하여 2019년 11월말까지 큰 문제 없이 운영하였다. 또한 2019년 8월 중순부터 산발효조 공정 시작으로 인해 기존의 3상원심분리된 음폐수 대신 산발효액을 병합폐수로 대체하여 실험을 수행하였다.

3) 주요 운전 조건: 본 연구 기간 중 주요 반응조의 운전 조건은 다음과 같다. 산발효조는 pH 5, 온도 35°C, HRT 4일로 운전하였다. 무산소조는 C/N: >4 kgCOD/kgN, pH: 7.0~8.0, ORP: -200mv~50mv, 온도 >20°C로 운전하였다. 질산화조는 기존 미생물학적 아탈질과 탈질과정에서 pH의 영향 연구¹⁵⁾에 따라 pH 8.0이상으로 설정하였다. 또한 DO 농도와 폭기시간이 암모늄 이온의 아질산 전환에 미치는 영향 연구¹⁶⁾에 따라 DO를 1mg/L로 설정하였다. 그 밖에 ORP: >150mv,

Table 2. Characteristics of Food Wastewater, Landfill Leachate and Combined Wastewater

Item	Food wastewater (mg/L)	Landfill Leachate (mg/L)	Combined wastewater (mg/L)
BOD	82,950~214,500	69.3~579	2,220~7,570
COD _{Cr}	144,000~202,000	433~1,960	748~61,200
COD _{Mn}	-	310~910	766~5,180
SS	26,700~94,000	12~5,400	840~26,000
T-N	3,907~4,806	271~916	93~1,890
T-P	803~915	1.67~27	10~2,500
pH	3.8~4.1	7.05~8.11	5.02~6.56
Temperature	-	-	10.5~40

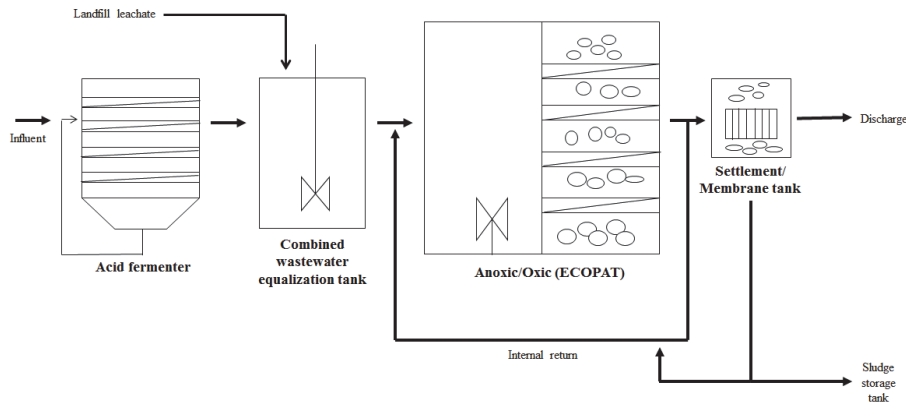


Fig. 4. Schematic diagram of the pilot plant.

온도: $>20^{\circ}\text{C}$, MLSS: $>6,000\text{mg/L}$, SVI: 50~150, 내부반송량: $>3Q$ 로 운전하였다. 침전조/멤브레인조의 슬러지 반송율은 1Q이다. 운전 기간 중 문제 발생을 제외하고는 대부분 기간 동안 비슷한 조건으로 운전을 수행하였다.

2.2.2. 시료 분석 방법

COD_{Cr}, COD_{mn}, T-N, T-P 등 시료의 분석은 분석 샘플을 적정 희석한 후, (주)씨맥의 상용화된 시험 키트의 매뉴얼대로 각 항목을 전처리한 후, 분석 장비((주)씨맥, Qvis X-100)를 이용하여 분석하였다. 다만 BOD의 분석은 공인분석기관인 한국화학융합시험연구원(KTR)에 의뢰하여 분석하였고, SS는 수질 오염공정시험 기준(ES 04303.1b)의 유리섬유중이거름법으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 3상원심분리기의 고형물 및 유분 제거 효율

음폐수의 고형물과 유분을 효과적으로 분리하기 위하여 도입된 3상원심분리기의 처리 효율은 Fig. 5와 같다. 3상원심분리기에 음폐수 5톤/hr이 유입되면, 탈수케익으로 0.73톤/hr, 유분으로 0.25톤/hr 그리고 나머지 음폐수로 4.02톤/hr으로 분리된다. 이 때 음폐수 원수의 BOD농도는 161,000mg/L에서 153,000mg/L로 약 5% 제거되었다. COD_{Cr}은 202,000mg/L에서

144,000mg/L로 약 29% 제거되었다. SS는 116,000mg/L에서 55,700mg/L로 약 52% 제거되었다. T-N과 T-P는 각각 3,040mg/L, 632mg/L이었으나, 제거가 거의 되지 않았다. TS는 148,000mg/L에서 101,000mg/L로 약 32% 제거되었으며, VS는 135,000mg/L에서 87,700mg/L로 약 35% 제거되었다. 유분을 지칭하는 노르말렉산(N-H)의 농도는 53,200mg/L에서 27,800mg/L로 약 48%로 제거되었다. 참고로 분리된 탈수케익의 함유율은 75.5%였다. 이는 3상원심분리기의 제원상 표기된 제거 효율을 만족하는 수치로 음폐수의 고형물과 유분을 분리시 효과적인 것으로 판단된다.

3.2. 병합폐수의 음폐수 비율에 따른 오염물질 제거 효율

운전 기간 중 3상원심분리된 음폐수와 침출수의 병합비율은 Fig. 6과 같다. 운영 기간을 크게 초기 시운전 기간, 부하 운전 기간, 운영 중지 기간, 정상 운전 기간(산발효액)으로 5개의 구간으로 나눌 수 있다. 초기 시운전 기간에는 병합폐수 중 음폐수 비율 5%이하 유입하여 미생물 적응을 유도하였다. 부하 운전 기간에는 실험 목표였던 병합폐수의 음폐수 비율을 20%로 크게 늘려 투입하였으나, 현장의 침출수 부족으로 인하여 예상보다 많은 약 35%의 음폐수 비율이 되어 생물학적 처리조의 미생물이 사멸하였으며, 이송배관의 폐쇄와 투입 펌프 고장 등으로 인해 운영 중지 기간을 거쳤다. 식중 슬러지를 재시딩 한 후 4월부터 8월까지 음폐수 비율 5~8%로 정상 운전하였다. 산발효조 설치

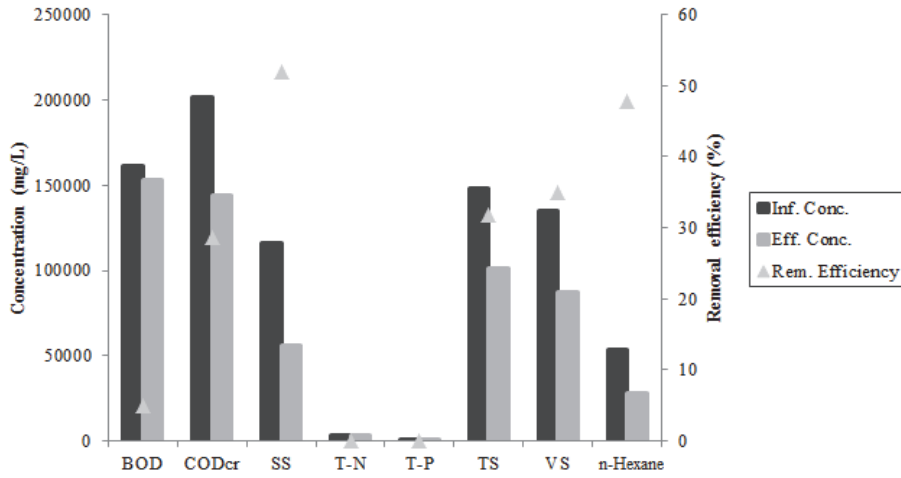


Fig. 5. Concentration and removal efficiency of BOD, CODcr, SS, T-N, T-P, TS, VS, n-Hexane on the three phase centrifugal separator.

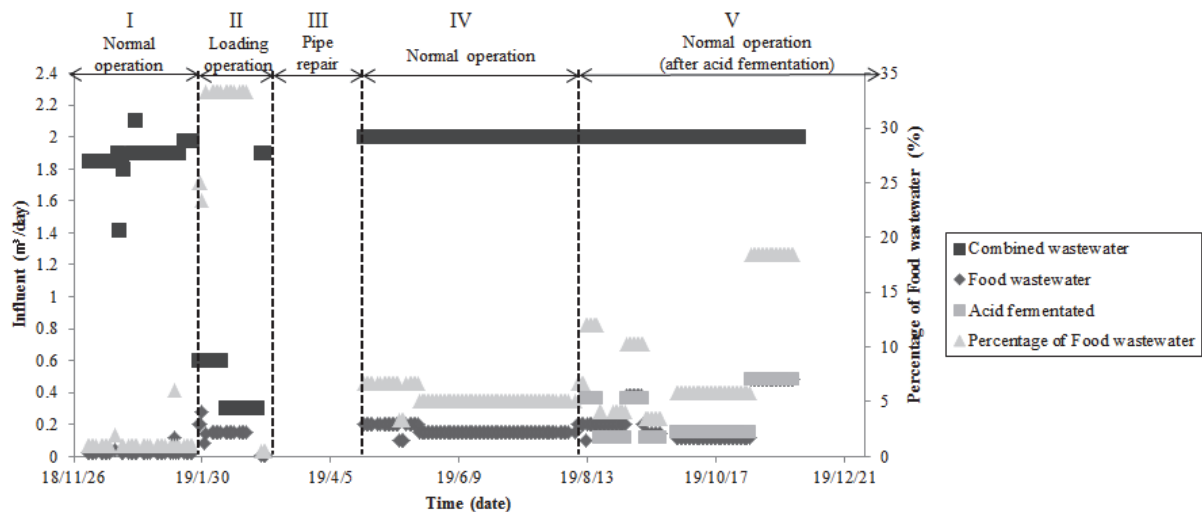


Fig. 6. Seasonal variation of influent for combined wastewater, food wastewater, acid fermented and percentage of food wastewater.

완료로 8월부터 11월의 정상 운전 기간(산발효액)에는 음폐수 산발효액을 병합하였으며, 유입수/유출수의 COD, TN 제거율 및 질산화조의 MLSS 농도를 살펴며 음폐수 산발효액의 비율을 10%(1주), 12%(1주), 18%(3주)로 투입하여 제거 효율을 관찰하였다 (Figs. 7, 8). 비록 음폐수 산발효액의 비율을 늘려 적용한 기간이 1주에서 3주로 짧았지만, 적용 기간 중에 병합폐수의 CODcr 제거 효율은 90% 이상, T-N 제거 효율은 80% 이상을 달성하는 것을 보아 음폐수 산발효액 병합 비율 18%까지는 정상 운전 가능한 것으로 판단된다. 추후 운전 기간을 길게 하여

추가 실험이 필요할 것으로 보인다.

음폐수의 병합비율은 운영 기간 중 평균 8%였으며, 병합폐수 투입량은 평균 약 2m³/d였다. 운전 기간 중 유입수 및 처리수의 평균 농도와 제거 효율은 Table 3와 같다. BOD의 평균 제거 효율은 99.3%, CODcr 94.2%, CODmn 90%, SS 70.1%, T-N 85.8%, T-P 99.2%로 분석되었다. 처리수의 BOD, CODcr, T-N, T-P 평균 농도는 침출수 배출 허용 기준(“나” 지역)을 만족하였으나 SS의 평균 농도는 만족하지 못하였다. 기준을 충족시키고자 2019년 6월말부터 기존 침전조를 멤브레인조로 개선하였다. 멤브레인조 도입 이후 SS제거

Table 3. Result of Influent, Effluent and Removal Efficiency

Item	Influent (mg/L)			Effluent (mg/L)			Removal Efficiency (%)	Discharge standard for landfill leachate (mg/L)
	Average	Max.	Min.	Average	Max.	Min.		
BOD	4,898	7,570	2,220	35.3	84.6	10.5	99.3	70
CODcr	12,827	61,200	748	742.1	3,990	59	94.2	800
CODmn	1,388	5,180	766	109.5	126.7	4.8	90.0	100
SS	5,059	26,000	840	1407.7	7,400	0.4	70.1	70
T-N	707	1,890	93	99.3	487	18.7	85.8	400
T-P	407	2,500	10	4.6	10.9	0.4	99.2	8
pH	5.7	9.2	3.9	7.9	9.2	4.5	-	-
Temperature	24.1	40	10.5	13.6	23.6	6.6	-	-

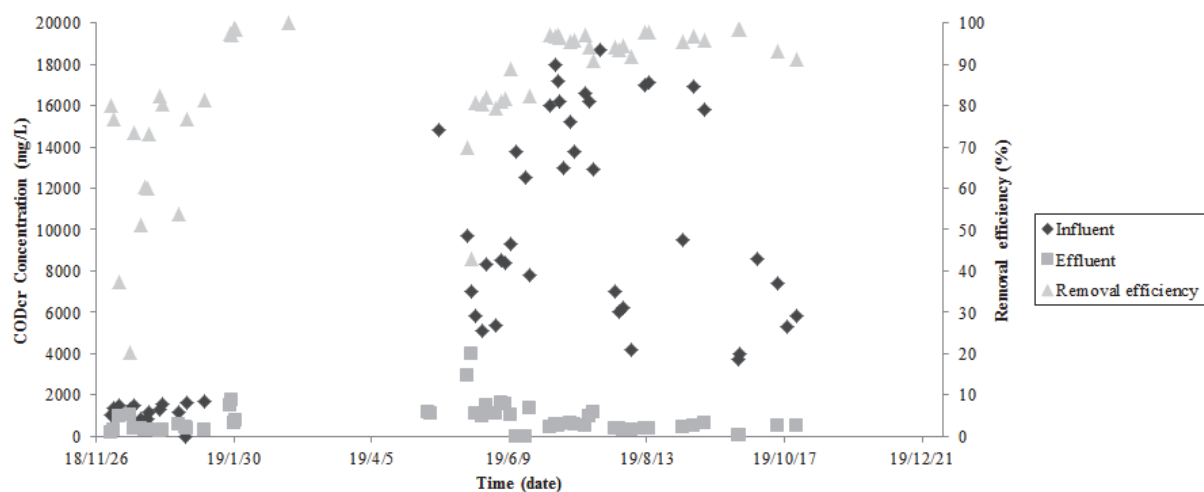


Fig. 7. Concentration and removal efficiency of CODcr during the operational period.

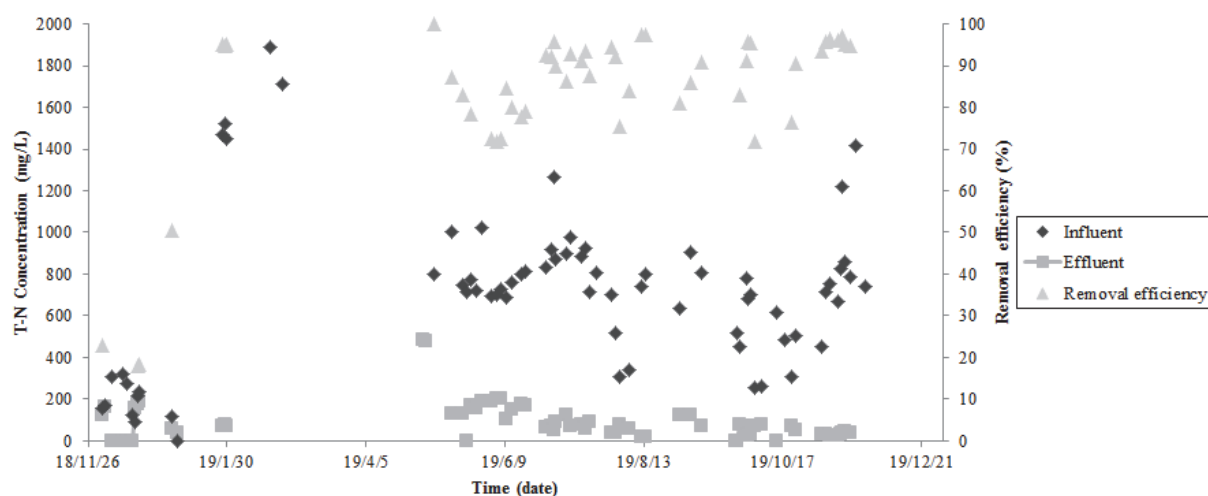


Fig. 8. Concentration and removal efficiency of T-N during the operational period.

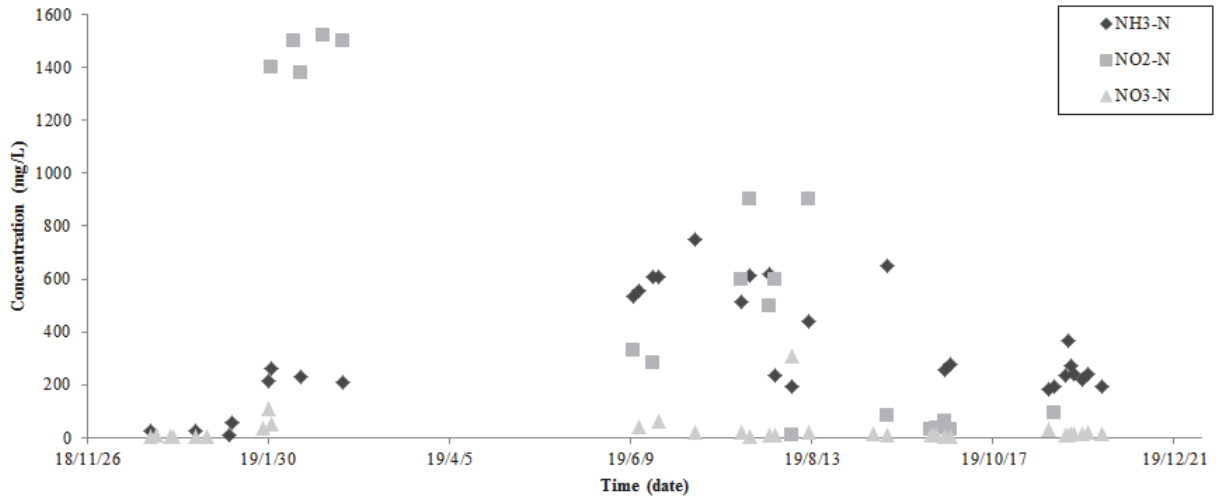


Fig. 9. Concentration of NH₃-N, NO₂-N and NO₃-N during the operational period.

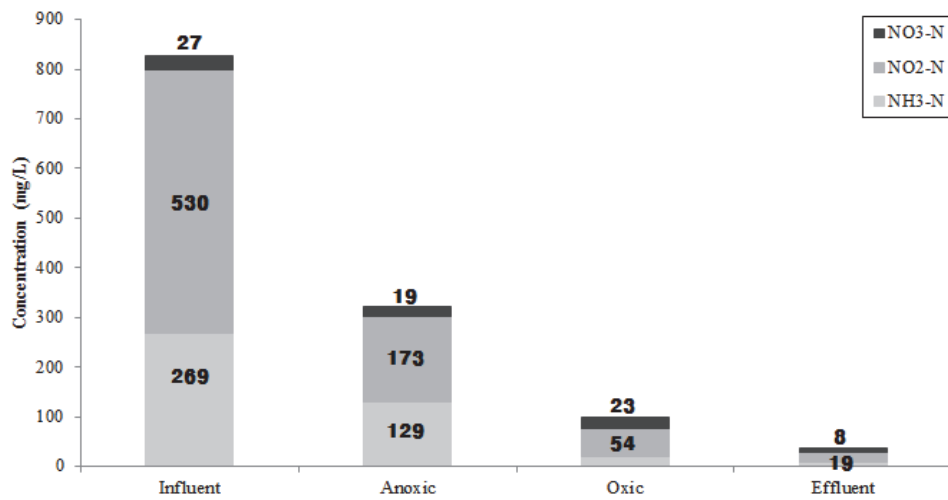


Fig. 10. Concentration of NH₃-N, NO₂-N and NO₃-N at the influent, anoxic, oxic and effluent.

율은 99%로 향상되었으며, 처리수 SS의 평균 농도는 23.83mg/L으로 배출 허용 기준을 만족하였다.

3.3. 병합폐수의 질소 성분 및 반응조별 제거 효율

운전 기간 중 현장의 계절별 침출수 방출량에 따라 침출수의 농도가 상이했으며 그에 따른 운전 기간 중 병합폐수의 질소 성분은 Fig. 9와 같다. 2019년 기준 현장의 침출수 방출 현황을 검토한 결과 1월에는 119m³/월, 2월 54m³/월, 3월 218m³/월, 4월 457m³/월, 5월 608m³/월, 6월 553m³/월, 7월 587m³/월, 8월 1,537m³/월, 9월 1,809m³/월 등 동절기(1~2월)의

방출량이 하절기(7~8월)보다 상대적으로 적었다. 이는 본 연구에 적용된 병합폐수 질소 농도의 변동성은 현장의 침출수 월별 방출량에 영향을 받았다고 판단된다. 또한 현장 침출수의 유량조정조는 간헐 폭기로 교반을 하기 때문에 동절기에 침출수의 양이 적을 때는 병합폐수의 질소 성분 중 아질산성 질소의 성분이 비교적 높은 비율을 차지한 것으로 보인다.

반응조별 총질소의 평균 구성 성분과 농도는 Fig. 10과 같다. 반응조별 총질소 성분 중 아질산성 질소의 성분이 제일 높은 비율을 차지하고 있었으며, 처리수의 총질소 농도는 원수 대비 96%이상 제거되었

음을 확인할 수 있었다. 기간 중 아질산성 질소가 높은 요인에는 현장 상황의 영향도 있지만, 질산화조에서 탈질조로의 내부반송량을 4Q로 운전하였으며, 질산화조의 평균 pH를 8.5로 유지하는 등 단축 질소제거 조건으로 운전한 부분이 주요 요인이라고 판단된다. 이는 아질산성 질소가 축적된 상태에서 질산성 질소로의 완전질산화후 탈질보다 부분질산화 상태에서 탈질된 것으로 볼 수 있다.

3.4. 전력비 및 약품비의 비용 절감에 따른 경제적 효과

운전 기간 중 사용 전력량은 Fig. 11와 같다. 초기 시운전 기간을 제외한 정상 운전 기간에는 평균

136kWh/일의 전력을 소모하였다. 병합수처리 파일럿플랜트 설비 전체 전력은 약 12kW로 구성되어 있었으며, 이 중 송풍기의 전력은 3kW이다. 송풍기는 수리기간을 제외한 대부분의 기간을 송풍량 대비 약 30~75%만 사용하도록 인버터 조절하여 운전하였다(송풍량 0.6~1.5Nm³/min). 또한 메탄올과 같은 외부탄소원은 전혀 사용하지 않았다. 그러나 음폐수 일부에 잔존해 있는 유분 등에 의해 질산화조에서 거품이 발생하여 소포제를 사용하였다. 소포제는 거품량에 비례하여 투입량을 조절하였으며, 기간 중 소포제 투입량은 평균 약 2L/day 였다(Fig. 12). 현장의 침출수(TN: 800mg/L, COD: 600mg/L)를 외부탄소원을 사용하여 단독 처리할시 메탄올 투입량은 약

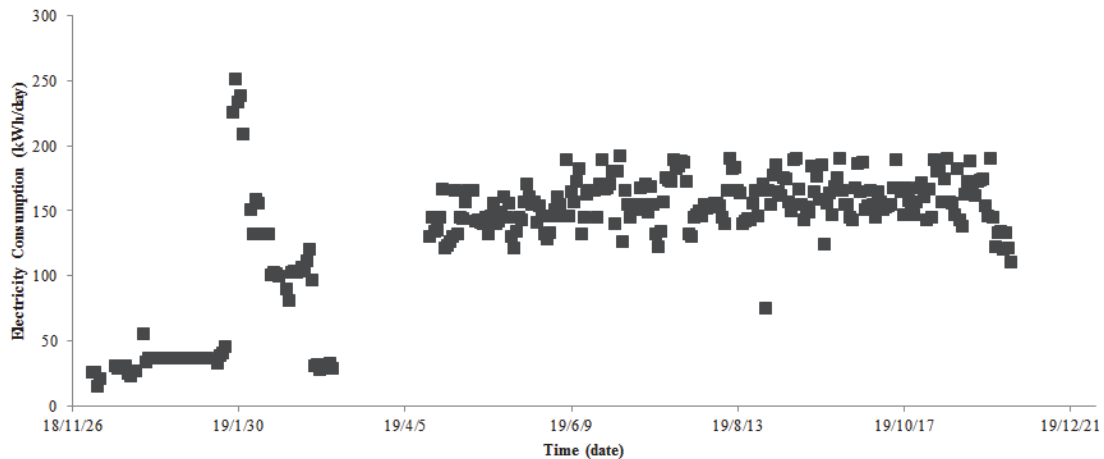


Fig. 11. Electricity consumption during the operational period.

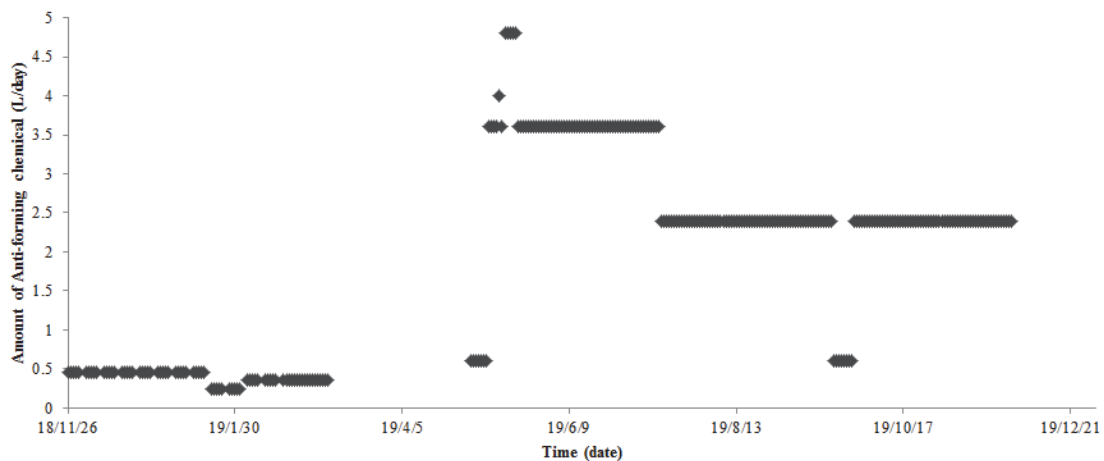


Fig. 12. Amount of anti-forming chemical during the operational period.

2.8L/day 산출된다. 이는 음폐수와 병합하여 소포제를 사용하는 것이 투입량 기준 약 28%로 보다 경제적인 것으로 보인다.

4. 결론

음폐수와 침출수의 경제적인 병합처리를 위하여 음폐수의 3상원심분리기를 도입하여, 후단 공정 부하의 원인인 유분을 사전에 제거하는 한편, 전체 5~25% 음폐수를 침출수와 병합하여 약 1년 동안 2m³/d 규모의 병합폐수처리 파일럿플랜트를 운영한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 3상원심분리기는 제원상 표기된 제거 효율을 만족하는 수치로 BOD 약 5%, CODcr 약 29%, SS 약 52%, TS 약 32%, VS 약 35%, N-H 약 48%로 제거되었다. 비록 T-N과 T-P는 제거가 거의 되지 않았지만, 음폐수의 고형물과 유분을 분리시 효과적인 것으로 판단된다.
2. 2018년 10월부터 2019년 11월말까지 병합폐수 파일럿플랜트를 운영한 결과, BOD의 평균 제거 효율은 99.3%, CODcr 94.2%, CODmn 90%, SS 70.1%, T-N 85.8%, T-P 99.2%로 분석되었다. 처리수의 BOD, CODcr, T-N, T-P 평균 농도는 모두 침출수 배출 허용 기준(“나” 지역)을 만족하였으며, SS는 멤브레인조 도입 이후 배출 허용 기준을 만족하였다.
3. 운전 기간 중 현장의 계절별 침출수 발생 특성에 따라 침출수의 농도가 상이했으며 그에 따른 운전 기간 중 병합폐수의 질소 성분의 편차가 발생했다. 반응조별로 총질소 중 아질산성 질소의 성분이 제일 높은 비율을 차지하고 있었으나, 처리수의 총질소 농도는 원수 대비 96%이상 제거되었음을 확인할 수 있었다. 이는 아질산성 질소가 축적된 상태에서 질산성 질소로의 완전질산화후 탈질보다 부분질산화 상태에서 탈질된 것으로 볼 수 있다.
4. 질산화조 블로워의 송풍량 대비 30~75%이상 절감하면서도 만족하는 오염물질 제거 효율을 보인 점으로 보아 해당 공정은 경제적으로 효

과가 있다고 판단되며, 기간 중 평균 소포제 투입량은 약 2L/d으로 같은 침출수를 외부탄소원으로 처리할 시 필요한 메탄올 투입량 약 2.8L/d 대비하여 약 28% 경제적인 것으로 보인다.

사 사

본 연구는 환경부 “환경정책기반공공기술개발사업(과제번호: 2017000710002)”으로부터 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Research on the Treatment Status and the Management Methods of Food Wastes, Seoul Tech Office of University Industry Relations, (2017).
2. Technical Guidelines for Combined Treatment Biogas Facility, National Institute of Environmental Research, (2015).
3. Treatment and Energy Recovery Technology of Food Waste Leachate Considering Risk, Kolon Environmental Service Co., LTD., (2015).
4. The 5th (2016~2017) National Waste Statistics Survey, Korea Environment Corporation, (2017).
5. Moon, T.-S., Ha, J.-H., Choi, M.-W., Park, H.-S., Cho, H.-G. and Kang, D.-H., “A Study on Biological Treatment of Supernatant from Foodwaste with Sewage”, J. of Korean Society of Environmental Technology, 10(4), pp. 229~235. (2009).
6. Park, J.-W. and Choi, D., “Effect of Biodegradation and Denitrification Characteristics using Carbon Source with Food Wastes Leachate”, J. of Korean Society of Urban Environment, 11(1), pp. 41~48. (2011).
7. Park, J.-W. and Choi, D., “Effect of Biodegradation and Denitrification Characteristics using Carbon Source with Food Wastes Leachate”, J. of Korean Society of Urban Environment, 11(1), pp. 41~48.

- (2011).
8. Lee, J. K., Choi, H. B., Shin, E. B., Park, J. H., Choi, E. J., Kim, J. R. and Park, Y. S., "Biological treatment process for Food wastewater Using ER-1 bioreactor", J. of KORRA, 14(4), pp. 113~120. (2006).
 9. Kim, B. S., Choi, H. B., Lee, J. K., Park, J. H., Ji, D. G. and Choi, E. J., "Anaerobic Organic Wastewater Treatment and Energy Regeneration by Utilizing E-PFR system", J. of KORRA, 16(2), pp. 57~65. (2008).
 10. Seok, J. H. and Choi, H. B., "Mixing Characteristics in a Plug-flow Multi-stage Anaerobic Reactor and Effects of Shock Loads in Food Waste Treatment", The Journal of Korea Society of Waste Management, 28(6), pp. 621~631. (2011).
 11. Choi, J.-H., Lee, Y.-W. and Yun, Z., "Removal of Concentrated Nitrogen from the Recycle Water by Biological Nitrification-denitrification", J. of KSEE, 23(3), pp. 371~381. (2001).
 12. Han, D. J., Kang, S. W. and Rim, J. M., "Factors Influencing Nitrite Build-up in Nitrification of High Strength Ammonia Wastewater", Korean J. Sanitation, 13(2), pp. 128~138. (1998).
 13. Moomen Soliman, Ahmed Eldyasti, "Development of partial nitrification as a first step of nitrite shunt process in a Sequential Batch Reactor (SBR) using Ammonium Oxidizing Bacteria (AOB) controlled by mixing regime", Bioresource Technology, 221, pp. 85~95. (2016).
 14. E.Cell Application to Improve Vertical Multi-staged Type Anaerobic Digester and Water Treatment System, Ecoday's CO., LTD., (2012).
 15. Hong, Y., Yun, Z., Yi, Y. and Choi, E., "The Effects of system pH on Nitrite and Nitrate Denitrification", J. of KSEE, 23(8), pp. 1405~1412. (2001).
 16. Park, H. S., Jeong, S. M. and Kim, J. H., "Effects of DO concentration and Aeration Time on the Conversion of Ammonium to Nitrite", J. of KSCE, 24(5b), pp. 515~520. (2004).