

## 슬러지탄화공정수 연계처리가 하수처리효율에 미치는 영향

한주은<sup>a</sup>, 박수형<sup>b</sup>, 이원태<sup>c†</sup>

### Influence of Effluent from a Sludge Carbonization Facility on Wastewater Treatability

Joo Eun Han<sup>a</sup>, Soo-Hyung Park<sup>b</sup>, Wontae Lee<sup>c†</sup>

(Received: Feb. 28, 2019 / Revised: Mar. 23, 2019 / Accepted: Mar. 23, 2019)

**ABSTRACT:** We investigated influence of connected influent on the treatability of a wastewater treatment plant (WWTP), recently accepting effluent from a sludge carbonization facility. Based upon the pollutant loading rates (kg/d) of each connected influent, food waste leachate and livestock wastewater contributed to high BOD and COD loadings, while sludge carbonization facility effluent certainly contributed to T-N and NH<sub>3</sub>-N loadings. The nitrification rate in aerobic tank decreased to 55% with the carbonization facility effluent entering to the WWTP, while it was 89% with no carbonization facility effluent entering. The sludge carbonization facility effluent may need to be pretreated to reduce T-N and NH<sub>3</sub>-N loadings before entering to the WWTP for further treatment.

**Keywords:** Wastewater treatment, Connected-influent, Sludge carbonization, Nitrification

**초 록:** 유입하수와 기존 연계처리수(축산폐수, 분뇨, 음폐수 등)에 더하여 슬러지탄화시설에서 발생하는 유출수가 추가로 유입되며 질소성분의 처리에 어려움을 겪고 있는 하수처리시설을 대상으로 연계처리가 처리효율에 미치는 영향을 조사하였다. 하수처리시설에 유입되는 연계처리수의 부하량(kg/d)을 산출한 결과, BOD 및 COD의 경우 음폐수와 축산폐수가 차지하는 비중이 상대적으로 크게 나타났고, T-N과 NH<sub>3</sub>-N은 탄화공정수가 차지하는 비중이 가장 큰 것을 확인할 수 있었다. 탄화공정수가 방류수질에 미치는 영향을 분석하기 위하여 탄화공정수 유입 유무에 따른 공정별 처리효율을 분석결과, 호기조에서 NH<sub>3</sub>-N의 질산화율이 탄화공정수가 유입되지 않는 경우 89%이었으나 탄화공정수가 유입되는 경우 55%로 낮아져 탄화공정수 유입시 질산화효율이 현저히 떨어지는 것을 확인하였다. 탄화공정수 유입으로 인한 질소 및 암모니아 부하량 증가 및 이로 인한 제거율 악화를 해결하기 위해서는 탄화공정수의 전처리를 통해 질소성분의 부하를 낮추어야 할 것으로 판단된다.

**주제어:** 하수처리, 연계처리수, 슬러지탄화, 질산화

<sup>a</sup> 금오공과대학교 환경공학과 석사과정 (Master course, Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

<sup>b</sup> 금오공과대학교 환경공학과 박사과정 (Ph.D. course, Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

<sup>c</sup> 금오공과대학교 환경공학과 부교수 (Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

† Corresponding author(e-mail: wtlee@kumoh.ac.kr)

## 1. 서론

매년 하수도 보급률 및 하수처리시설이 증가하고 있는 추세로 2017년 기준 우리나라의 하수처리시설은 총 3,963개, 처리량 19,699,677.61 m<sup>3</sup>/d 이다. 또한 하수처리시설에 연계하여 처리하는 연계처리수량(2017년 기준, 분뇨 71,112 m<sup>3</sup>/d, 축산폐수 26,368 m<sup>3</sup>/d, 기타 553,787 m<sup>3</sup>/d)도 2010년(분뇨 33,183 m<sup>3</sup>/d, 축산폐수 연계처리량 4,984 m<sup>3</sup>/d)에 비하여 급격히 증가하였다.<sup>1)</sup> 특히, 축산폐수의 경우 해마다 약 10%씩 연계처리량이 증가하고 있으며 더욱이 2005년 1월부터 유기성 폐기물의 직매립이 금지되고, 2012년 해양투기마저도 금지되어 실제로 처리해야 할 분뇨량이 더욱 증가하게 되었다.<sup>2)</sup>

축산폐수, 분뇨 등을 하수처리시설에 연계하여 처리할 경우 단독처리를 하는 경우에 비하여 수처리뿐만 아니라 경제적, 유지관리 측면에서도 효율적이다.<sup>3)</sup> 연계처리를 하게 되면 단독처리에 비하여 목표수질 달성이 용이한데, 통상적으로 유입되는 질소 성분의 20~30% 제거가 가능하고 특히 하수처리장의 유입하수 유기물 농도가 낮을 경우 효과적인 처리효율을 기대할 수 있다. 또한, 연계처리의 부하량 절감을 위하여 단독처리시 존재하는 3차 처리 일부를 생략할 수 있어 시설 설치비 및 유지관리비의 절감이 가능하다. 더불어 축산폐수의 경우 공공처리시설을 단독으로 운영하는 것보다 하수와 연계처리 할 경우 시설비 50%, 운영비 30%를 절감할 수 있다는 보고도 있다.<sup>3,4)</sup> 이러한 이유로 인하여 하수처리시설에 연계하여 처리하는 연계처리수의 양이 증가하고 있는 추세이다.

대부분의 연계처리수는 하수처리장으로 유입되는 하수에 비해 유량이 적으나 고농도로 유입되기 때문에 처리에 주의를 기울여야 한다.<sup>5)</sup> 하수처리시설에 유입되는 하수와 연계처리수의 수질특성에 따라 달라지겠지만, 축산폐수나 분뇨 등을 하수처리시설에 연계처리 할 경우 유기물과 오염물질 부하량이 평균 부하시에 비하여 20~30% 정도 증가되며 충격 부하시에는 40~70%까지 높아진다는 보고도 있다.<sup>6)</sup> 또한, 유기물질 및 질소나 인과 같은 영양염류를 과량 포함하고 있어 수처리 계통에 부가적인 부

하를 가중시켜 처리수의 수질악화와 영양소의 과다 방출을 초래할 수 있다.<sup>6,7)</sup> 최근에는 연계처리하는 폐수도 다양해 지고 있어 새로운 연계처리수를 유입할 경우 하수처리시설의 처리효율에 미칠 수 있는 영향에 대한 분석이 필요하다.

본 연구의 대상인 A 하수처리시설은 일차침전지, 생물반응조(혐기조, 무산소조, 호기조), 이차침전지, 사여과, 총인처리설비 순으로 구성되어 있다. 기존에 축산폐수, 분뇨, 음폐수를 유입하수에 연계처리하고 있었고, 2018년부터 10,000 m<sup>3</sup>/d 가량의 탄화유출수를 추가로 연계처리하고 있다. 이에 본 연구를 통해 하수처리시설 유입수 연계처리가 처리효율에 미치는 영향을 파악하고, 다양한 연계처리수가 하수처리시설 방류수질에 미칠 영향을 분석하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 시료 채취

A 하수처리시설의 유입수 특성변화를 조사를 위해 최근 4년간('14~'17) 수질자료와 2018년 상반기 수질 자료를 검토하였다. 다음으로 하수처리시설의 유입원 정상 및 처리효율 분석과 연계처리수 영향 분석을 위해 유입수, 공정별 처리수, 방류수, 연계처리수 등을 채수(2018년 7월 비강우시 3회)하여 분석하였다. 연계처리수는 음폐수, 정화조 슬러지, 축산폐수, 슬러지탄화공정수를 포함한다. 또한, 슬러지탄화시설 폐수의 유입 유무에 따른 하수처리시설 처리효율 변화를 파악하기 위해 탄화처리시설 폐수의 유입을 조절(2018년 9-10월)하며 채수 및 분석을 하였다. 탄화공정수 유입 유무에 따른 공정별 처리효율을 파악하기 위해서 유입수, 1차 침전조/생물반응조(혐기, 무산소, 호기)/2차 침전조 유출수를 채수하여 분석하였다.

### 2.2. 분석 방법

하수처리시설의 수질 특성을 파악하기 위하여 Biochemical Oxygen Demand(BOD), Chemical Oxygen Demand(COD), Suspended Solid(SS), Mixed Liquor Volatile Suspended Solids(VSS), 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N),

총인(T-P), pH, 용존산소(DO) 등의 항목을 분석하였다. 수질항목들은 수질오염공정시험방법에 따라 분석하였다.<sup>8)</sup> TOC 및 DOC는 고온연소법을 이용하여 총유기탄소검출기(TOC-VCPH, Shimadzu, Japan)로 분석하였고 UVA at 254 nm(UVA<sub>254</sub>)는 흡광광도계(DR6000, Hach, USA)를 이용하여 분석하였다. 질산성질소와 인산염은 이온크로마토그래피(Dionex ICS-1100, Thermo Fisher Scientific, USA)로 분석하였다.<sup>9)</sup> 그 외의 수질 변화 영향을 규명하기 위해 필요하다고 판단되는 수질항목에 대하여 실험하였고, 오염 부하량은 측정 유량에 분석된 오염물질의 농도 값을 곱하여 산정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 연도별 유입수 및 방류수 농도 변화

연구대상 하수처리시설의 운영현황을 파악하기 위해 하수처리시설의 유입수 및 방류수 유량과 성상을 분석하였다. 최근 4년간('14-'17) 유입하수량은 평균 314,440 m<sup>3</sup>/일로 시설용량(330,000 m<sup>3</sup>/일) 대비 약 95.2 %로 유입되었고, 2014년 324,728 m<sup>3</sup>/일에서 2017년 298,381 m<sup>3</sup>/일로 지속적인 감소추세를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 다만, 계획 설계하수량보다 많은 양의 하수가 실제 유입되고 있었다. 예를 들어 2015년 기준 설계하수량은 301,302 m<sup>3</sup>/일인데 실제 유입하수량은 320,487 m<sup>3</sup>/일 이었다.

하수처리시설 유입수의 연도별 수질변화를 살펴보면 BOD의 경우 연평균 기준 101.3~149.0 mg/L, 월최대 232.9~356.4 mg/L로 유입되고 있지만, 매년 지속적으로 감소추세를 보이고 있었다. COD<sub>Mn</sub>(이하 COD로 표기)과 SS의 최근 5년 연평균치는 각각 67.9~86.4 mg/L, 99.8~170.6 mg/L이었고, BOD와 마찬가지로 2014년부터 매년 농도가 감소하는 추세를 보였다. 하수의 유입농도 특성은 BOD 및 COD의 경우 하절기(6-8월)에 상대적으로 낮은 농도로 유입되고 있으며, 봄 및 겨울철인 건기에는 고농도의 수질이 유입됨을 확인할 수 있었다. SS는 강우빈도가 높은 시기인 5-8월에 상대적으로 높은 농도를 보였고 강우빈도가 낮아지면 변동폭도 점점 작아지는 경향

을 보였다. T-N의 연평균 농도는 28.5~33.56 mg/L를 나타냈고, 최대값이 102 mg/L로 설계유입수질인 50 mg/L를 넘는 경우도 있었다. T-P의 농도는 연평균 기준 2.76~4.13 mg/L이었고, 최대값은 9.89 mg/L로 설계유입수질인 6 mg/L를 초과하여 유입되는 경우도 있었다. 계절적 요인으로 건기 및 동절기에는 T-N 농도가 높은 추세를 보이며, 하절기(7-9월)에는 T-N 농도가 낮은 경향을 보였다. T-P의 농도는 계절적 경향이 뚜렷하지 않았다.

해당 하수처리시설의 최근 5년간('14-'18) 방류수질을 분석한 결과, 평균치 기준 BOD 2.56 mg/L, COD 9.32 mg/L, SS 1.88 mg/L, T-N 8.84 mg/L, T-P 0.106 mg/L의 농도로 유출되어 수질기준 이하로 안정적으로 처리되는 것으로 나타났다. 다만, 2016~2017년에 비하여 2018년 상반기에 농도가 다소 높아진 경향을 보였다. Fig. 1은 해당 하수처리시설의 방류수질 중 주요 항목인 BOD, SS, T-N의 연도별 농도변화를 나타낸 것이다. BOD의 경우 2016년 이후 점차적으로 증가하는 추세를 보이며 2018년도에는 연최대 4.8 mg/L의 농도로 방류됨을 확인할 수 있었다. 2014~2017년 BOD 제거율은 매년 평균치 기준 97.7% 이상으로 유지되었으나 2018년 상반기에는 평균 96.8%로 다소 낮은 처리효율을 보였다. SS와 T-N이 농도증가는 BOD에 비하여 낮으나 평균치 기준으로 2018년 상반기에 다소 증가하였다. 2018년 상반기에 방류수의 BOD 등 오염물질 농도가 높아진 것은 유입수 및 연계처리수의 오염물질 부하량이 증가하였거나 처리효율이 낮아졌기 때문일 수 있어 정확한 원인 규명이 필요하다.

#### 3.2. 연계처리수 성상 분석

하수처리시설의 유입수 및 연계처리수가 방류수질에 미치는 영향을 분석하기 위하여 3회에 걸쳐 수질 모니터링을 실시하였다. 평균 유입유량은 309,187 m<sup>3</sup>/일이었고, 연계처리수의 경우 탄화공정수 10,000 m<sup>3</sup>/일, 축산폐수 110.5 m<sup>3</sup>/일, 음폐수 73.7 m<sup>3</sup>/일, 정화조 48.0 m<sup>3</sup>/일 순으로 유입되었다. Table 1은 하수처리시설에 유입되는 하수와 연계처리수의 수질인자별 평균값을 나타낸 것이고, Fig. 2는 유입원 농도에 유량을 곱하여 구한 평균 유입부하량을 산출한 자료

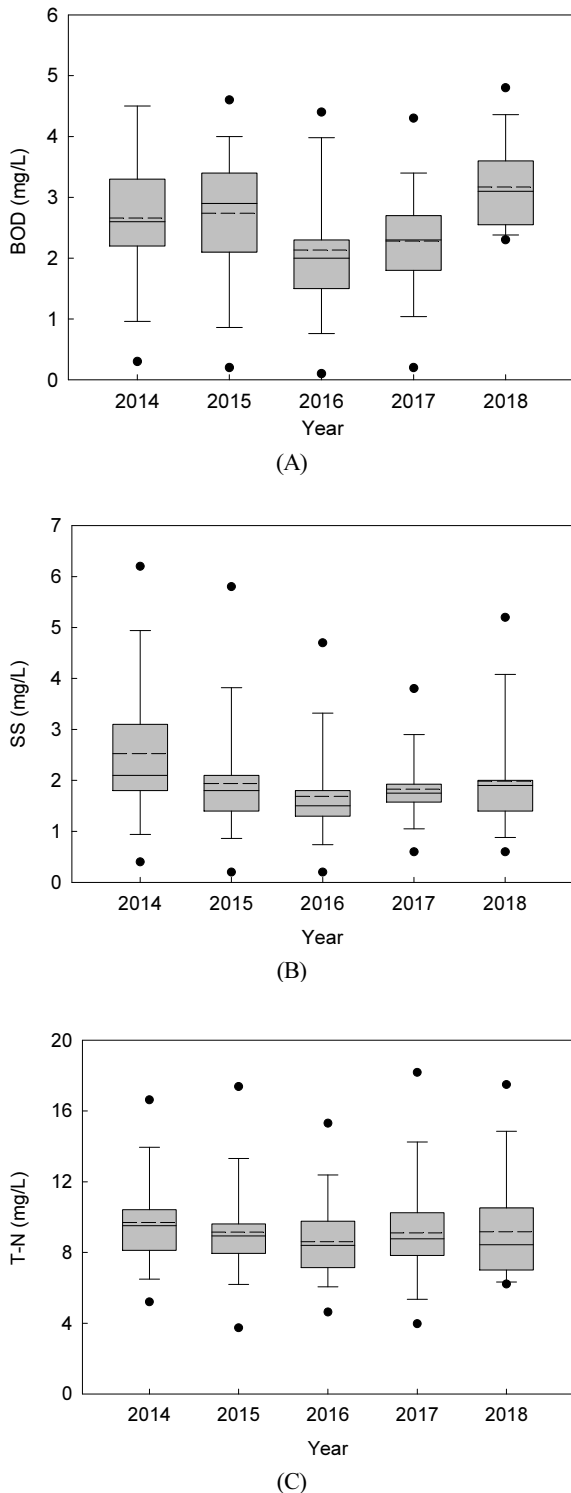


Fig. 1. Annual variations in water qualities of effluents from WWTP A: (A) BOD, (B) SS, and (C) TN (Box plot from bottom to top, 25th percentile, median (solid), average (dash) and 75th percentile, respectively;  $\perp$ : 10th and 90th percentiles;  $\bullet$ : low point, minimum, high point, maximum).

이다. 하수의 경우 상대적으로 높은 유량으로 유입되기 때문에 부하량이 가장 높게 나타났고, 이에 반해 탄화공정수, 축산폐수 등의 연계처리수는 상대적으로 낮은 유량으로 유입되지만 유기물과 영양염류의 농도가 높아 각각의 부하량이 유량에 비해 매우 높게 나타났다. 유입수 대비 연계수에서 BOD 및 SS, T-N이 대체적으로 고농도로 유입됨을 알 수 있었다.

일반 하수를 제외한 연계처리수의 부하량 비율을 살펴보면 BOD 및 COD의 경우 음폐수, 축산폐수, 탄화공정수가 차지하는 비중이 상대적으로 크게 나타났다. SS, T-N,  $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 경우 탄화공정수의 비중이 큰 것을 확인할 수 있었다. 처리효율을 산정하였을 때 평균 제거율은 BOD 87.1%, COD 78.2%, SS 95.6%로, BOD 제거율이 과거 기록 데이터에 비하여 다소 낮게 나타났다. 또한 탄소 이중결합( $\text{C}=\text{C}$ )으로 분해되기 어려운 유기물을 나타내는  $\text{UVA}_{254}$  수치<sup>10)</sup>는 71.1%로 유기물을 통칭하는 BOD 제거율보다 낮았고, T-N(63.2%)과  $\text{NH}_3\text{-N}$ (72.7%)의 제거율도 타 항목에 비하여 낮았다. 2018년부터 주입된 탄화공정수가 처리효율에 미치는 영향이 있을 것으로 판단되어 추가적인 실험을 수행하였고 결과는 다음 절에서 설명한다.

### 3.3. 탄화공정수 유입 영향 분석

연계처리수 중 유입 유량이 가장 크고, 질소 성분(T-N,  $\text{NH}_3\text{-N}$ )의 부하량 비율이 가장 높은 탄화공정수가 처리효율에 미치는 영향을 분석하기 위하여 탄화공정수 유입 유무에 따른 처리공정별 수질분석을 하였다. 또한, 각 유입원별 존재하는 유기물 및 영양염류의 비중을 확인하기 위하여 질량유량(mass flow)을 산정하여 살펴보았다. Table 2는 탄화공정수가 유입되지 않는 경우의 공정별 수질인자 질량유량을 나타내고, Table 3은 탄화시설이 가동되어 탄화공정수가 하수처리시설 유입수로 연계되는 경우의 공정별 수질인자 질량유량을 나타낸 것이다.

1차 침전 유입부의 부하율을 비교하면 탄화공정수가 유입되었을 때 수질항목들의 부하량이 전반적으로 높았다. 특히, 탄화공정수가 유입되었을 때 상대적으로 고농도의 질소 유입으로 인해 유입수의 T-N과  $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 부하량이 상승함을 확인할 수 있었다.

Table 1. Flowrates and Water Quality Parameters of Each Influent to the Wastewater Treatment Plant (WWTP)

Parameter	Sewage	Carbonization facility effluent	Livestock wastewater	Food waste leachate	Septic tank sludge
Flowrate (m <sup>3</sup> /d)	309,187	10,000	110.5	73.7	48.0
pH	7.24	8.33	7.46	4.3	7.0
EC ( $\mu$ s/cm)	1,312	1,525	306.6	1,681	1,750
UVA <sub>254</sub>	0.396	0.354	1.413	1.8	2.0
BOD (mg/L)	82.9	139.5	18,920	69,108	1,405
COD (mg/L)	38.0	62.2	9,189	56,367	2,381
SS (mg/L)	105.5	334	5,533	47,833	4,125
VSS (mg/L)	61.1	108	3,333	6,000	2,275
T-N (mg/L)	32.3	91.4	3,718	4,009	353.9
NH <sub>3</sub> (mg/L)	21.9	77.6	305.2	248.6	18.4
T-P (mg/L)	1.55	2.01	333.3	297	149.2

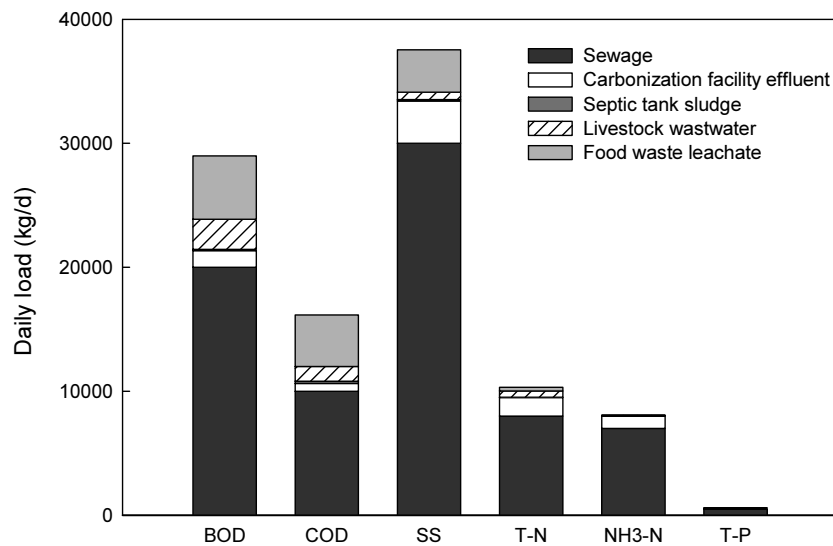


Fig. 2. Daily loadings of BOD, COD, SS, T-N, NH<sub>3</sub>-N, and T-P by each influent to the WWTP.

유입수의 T-N 질량유량은 탄화공정수가 유입되지 않을 때 8,157 kg/d이었으나, 탄화공정수가 유입되는 경우 9,266 kg/d로 증가하였다. 탄화공정수가 높은 농도의 NH<sub>3</sub>-N를 포함하고 있어 NH<sub>3</sub>-N 농도 상승폭은 더욱 크게 증가하였다. 생물반응조 중 호기조의 질소 질량유량을 보면 탄화시설 가동시 유입되는 T-N 및 NH<sub>3</sub>-N 부하량이 증가함에 따라 반응에 영향을 미치는 질산성 질소 및 유동적으로 감소해야 하는 암모니아성 질소 농도가 크게 영향을 받음을 알

수 있다. 탄화공정수가 유입되지 않는 경우 호기조에서 NH<sub>3</sub>-N의 질산화율은 89%인데 반해, 탄화공정수가 유입되는 경우 호기조에서 NH<sub>3</sub>-N의 질산화율은 55%에 그치고 있어 탄화공정수 유입시 질산화효율이 현저히 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 3은 탄화공정수 유입 유무에 따른 수질항목별 처리효율을 나타낸 것이다. 탄화공정수 유입이 유기물 제거에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단된다. 탄화공정수 유입시 DOC 제거율은 43.0%로

Table 2. Mass Flow of Water Quality Parameters by Each Process Without the Inflow of the Carbonization Facility Effluent

Parameter	Mass flow (kg/d) by process					
	Influent	Primary clarifier	Anaerobic tank	Anoxic tank	Aerobic tank	Secondary clarifier
DOC	3507	3291	2743	2343	2030	2117
T-N	8157	7047	4994	4578	4383	3858
NH <sub>3</sub> -N	3426	2571	4012	1888	203	227
NO <sub>3</sub> -N	14.3	9.1	65.6	281.5	1789.0	2009.7
T-P	784.5	508.3	499.0	320.2	85.4	30.7

Table 3. Mass Flow of Water Quality Parameters by Each Process with the Inflow of the Carbonization Facility Effluent

Parameter	Mass flow (kg/d) by process						
	Carbonization effluent	Influent	Primary clarifier	Anaerobic tank	Anoxic tank	Aerobic tank	Secondary clarifier
DOC	380.8	3385	3594	2438	2329	1735	1691
T-N	1009	9266	7102	6520	6242	5982	3829
NH <sub>3</sub> -N	466	4208	6428	4231	3696	1674	1937
NO <sub>3</sub> -N	7.3	99.5	7.3	6.8	9.6	981.8	646.0
T-P	0.9	817.9	336.2	971.3	841.9	64.0	25.4

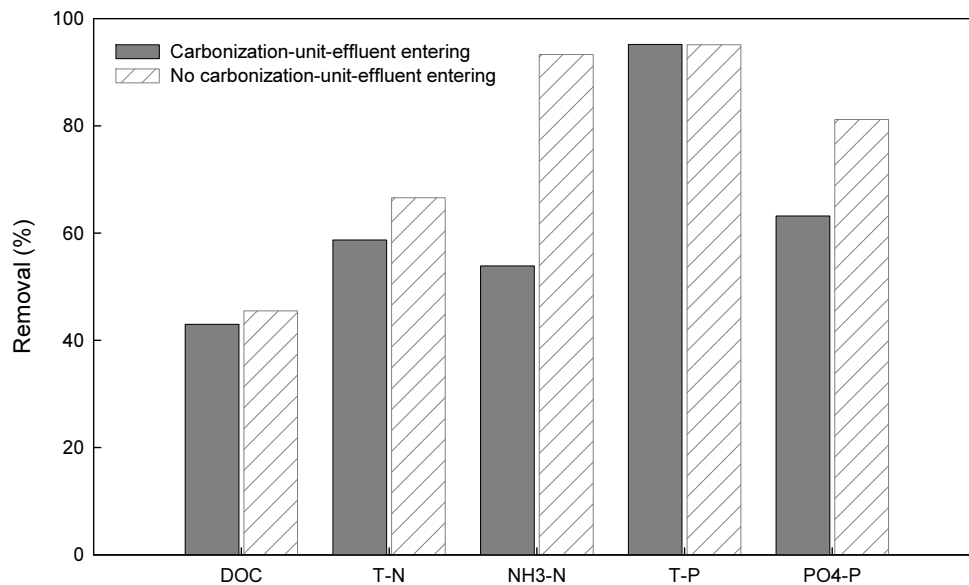


Fig. 3. Removal efficiency of organics and nutrients at the WWTP with and without carbonization-unit-effluent entering.

탄화공정수 유입이 없을 때 45.5%에 비하여 크게 차이가 없었다. 그러나, 질소성분(T-N, NH<sub>3</sub>-N)과 PO<sub>4</sub>-P의 제거율은 탄화공정수 유입이 있을 경우 현저히 감소하는 경향을 나타내었다. 탄화공정수가 유입되

지 않을 때 T-N과 NH<sub>3</sub>-N의 제거율은 각각 66.6%와 93.3%이었으나, 탄화공정수가 유입된 경우 처리효율은 58.7%(T-N)와 53.9%(NH<sub>3</sub>-N)로 낮아졌다. 이는 탄화공정수 유입으로 인한 질소 및 암모니아 부하량

증가에 의한 영향으로 판단할 수 있으며, 그 외에 처리시설 운영상에 있어 산화에 영향을 미치는 인자에 따른 산화 효율 저하 등의 원인도 들 수 있다.<sup>11)</sup> 일반적으로 T-N은 설계용량의 10%까지 초과유입을 허용할 수 있으나, 분석결과 본 처리장의 연계처리수는 설계치의 10-20% 사이로 유입되고 있어 하수처리시설의 처리효율에 일정 부분 영향을 준다고 볼 수 있다. 따라서 이러한 운영상 애로사항을 해결하기 위해서는 NH<sub>3</sub>-N 부하를 낮추기 위한 연계처리수에 대한 전처리가 필요하다고 판단된다.

#### 4. 결 론

유기물질 및 질소성분 처리에 어려움을 겪고 있는 A 하수처리시설에 대하여 연계처리가 처리효율에 미치는 영향을 파악하고, 연계처리수가 하수처리시설 방류수질에 미칠 영향을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 하수처리시설에 유입되는 연계처리수가 처리공정에 미치는 영향을 부하량(kg/d)으로 산출한 결과, BOD 및 COD의 경우 음폐수, 축산폐수, 탄화공정수가 차지하는 비중이 상대적으로 크게 나타났고, 질소 성분(T-N, NH<sub>3</sub>-N)의 경우 탄화공정수의 영향이 가장 큰 것을 확인할 수 있었다. 하수처리시설로 유입되는 탄화공정수를 분석한 결과, 평균적으로 T-N 91.4 mg/L, NH<sub>3</sub>-N 77.6 mg/L로 검출되었으며, 이는 해당 하수처리시설 유입수 농도에 비해 3배 정도 높은 수치이다.
2. 연계처리수 중 질소 성분(T-N, NH<sub>3</sub>-N)의 부하량 비율이 가장 높은 탄화공정수가 방류수질에 미치는 영향을 분석하기 위하여 탄화공정수 유입 유무에 따른 공정별 처리효율을 분석결과, 호기조에서 NH<sub>3</sub>-N의 질산화율이 탄화공정수가 유입되지 않는 경우 89%이었으나 탄화공정수가 유입되는 경우 55%로 낮아져 탄화공정수 유입시 질산화효율이 현저히 떨어지는 것을 확인하였다.
3. 탄화공정수 유입이 유기물 제거에 미치는 영향

은 크지 않은 것으로 나타났으나, 질소성분(T-N, NH<sub>3</sub>-N)의 제거율을 현저히 감소시키고 있다. 이는 탄화공정수 유입으로 인한 질소 및 암모니아 부하량 증가에 의한 영향으로 판단되며, 이를 해결하기 위해서는 탄화공정수의 전처리를 통해 NH<sub>3</sub>-N 부하를 낮추어야 할 것으로 판단된다.

#### 사 사

이 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 지원된 논문임.

#### References

1. [환경부, “하수처리시설 현황”] Korea Ministry of Environment, “Sewage treatment plant status statistics”, (2016).
2. [홍세일, 이인규, 문철환, 김현욱, “연계처리를 목적으로 유입되는 축산폐수공공처리장의 처리수가 하수종말처리장 성능에 미치는 영향 모사”, 대한환경공학회] Hong, S. I., Lee, I. G., Moon, C. H. and Kim, H. W., “Modeling performance of a wastewater treatment plant receiving effluent from a public livestock wastewater treatment facility”, J. Kor. Soc. Environ. Eng., 2006(10), pp. 459~464. (2006).
3. [한준석, 한기봉, “축산폐수 처리 시 화학적 전처리가 연계처리에 미치는 영향 연구”, 유기성자원학회] Han, J. S. and Han, G. B., “A Study on the Effect of Chemical Pretreatment for Livestock Wastewater on the Linked Treatment of Sewage”, J. of KORRA, 18(1), pp. 89~97. (2010).
4. [환경부, “축산폐수배출시설 및 처리시설 관리 개선방안 연구”] Korea Ministry of Environment, “Study on Improvement of Livestock Wastewater Discharge Facility and Treatment Facility Management”. (2003).
5. [길경익, 임지열, “가축분뇨와 반류수를 이용한

- 반응조 운전 결과”, 대한환경공학회 2010 추계학술연구발표회 논문집] Gil, K. I. and Im, J. Y., “Operation Result of Wastewater and Piggery Wastewater”, J. Kor. Soc. Environ. Eng., pp. 655~658. (2010).
6. [박종웅, 서혁준, 설동학, “하수처리장 반류수의 특성과 T-P 부하에 미치는 영향”, 대한환경공학회] Park, J. W. and Seo, H. J. and Sul, D. H., “Effect of T-P Load Characteristic on Recycle Water in Municipal Wastewater Treatment Plant”, J. Kor. Soc. Environ. Eng., pp. 47~53. (2006).
  7. [김신영, 김용범, 류우신, 김완수, 이동석, 안종화, “원주공공하수처리장의 반류수 및 연계처리수 특성 평가”, 화학공학의 이론과 응용] Kim, S. Y., Kim, Y. B., Liu, Y. C., Kim, W. S., Lee, D. S., and Ahn, J. H., “Evaluation of characteristics of reject water and treated landfill leachate, livestock, and slaughter effluents in Wonju wastewater treatment plant”, Theories and Applications of Chem. Eng., 19(2), pp. 2213~2216. (2013).
  8. [환경부, “수질오염공정시험 기준”] Korea Ministry of Environment, “Korea Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. (2018).
  9. [곽명률, 이원태, “수온과 pH가 복합유용미생물의 수질 정화능에 미치는 영향”, 대한환경공학회] Kwak, M. R. and Lee, W. T., “Effects of water Temperature and pH on Water Quality improvement by a mixture of beneficial microorganism”, J. Kor. Soc. Environ. Eng., 40(1), pp. 1~6. (2018).
  10. Takenouchi, S., Takasu, A., Inai, Y. and Hirabayashi, T., “Effects of geometrical difference of unsaturated aliphatic polyesters on their biodegradability III. Cross effects of molecular weight and geometric structure of poly(ethylene maleate/ fumarate) and its model compounds”, Polymer Journal, 34(12), pp. 882~890. (2002).
  11. [류홍덕, 정근욱, 이상일, “축산폐수의 Struvite 전처리가 질산화 과정에 미치는 영향”, 대한환경공학회] Ryu, H. D., Chung, K. Y. and Lee, S. I., “The Effect of Struvite Formation in Swine waste water on Nitrification”, J. Kor. Soc. Environ. Eng., 24(10), pp. 1691~1699. (2002).