

하수재이용시설 농축수가 하수처리장 생물반응조 운영에 미치는 영향

임지영, 김현식, 배민수*, 김진한†

인천대학교 건설환경공학부, 인천환경공단*

Effects of Membrane Filtration Concentrate of Sewage Reuse Facility on Performance of Bioreactor in Sewage Treatment Facility

Ji-Young Lim, Hyun-Sik Kim, Min-Su Bae*, Jin-Han Kim†

Department of Civil & Environmental Engineering, Incheon National University
Environmental Corporation of Incheon*

(Received: Jun. 8, 2018 / Revised: Jul. 14, 2018 / Accepted: Jul. 16, 2018)

ABSTRACT: This study investigated the effect of concentrate of membrane filtration of sewage reuse facilities on bioreactor's microorganisms in sewage treatment facility, and concentrate was analyzed, oxygen uptake rate and continuous activated sludge experiment were performed. As a results, the concentration of organic matter and TP concentration in concentrate was closely related to the concentration of SS and the concentration of ionic substances in concentrate was higher in order of $Cl^- > Na^+ > Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+} > F^-$. And the analysis value of analytical items was greatly fluctuated according to sampling time of concentrate. Result of OUR test according to the mixing ratio of concentrate to sewage, it was found that the concentrate acts as an organic matter in the activated sludge microorganism and it increases with the increase of the concentrate mixing ratio. As a result of continuous activated sludge experiment, MLSS concentration, organic removal efficiency and TN removal efficiency gradually decreased with increasing concentrate mixing ratio. Based on the experimental results, expected mixing ratio of concentrate to affect the treatment efficiency of activated sludge is 25%.

Keywords: Concentrate, Microorganism, OUR(oxygen uptake rate), Activated sludge

초 록: 하수재이용시설 막여과 농축수가 하수처리장 생물반응조 미생물에 미치는 영향을 알아보기 위하여 기 운영 중인 하수재이용시설 농축수를 채취·분석하고 농축수 주입에 따른 산소섭취율 변화 및 연속식 활성슬러지 실험을 수행하였다. 기 운영 중인 하수재이용시설 농축수를 분석한 결과 농축수의 유기물과 T-P 농도는 SS 농도와 밀접한 관계가 있고 농축수 내의 이온성 물질은 $Cl^- > Na^+ > Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+} > F^-$ 순으로 높게 나타났으며 농축수의 항목별 분석값은 농축수 채취시기에 따라 크게 변함을 알 수 있었다. 농축수 비율에 따른 미생물 산소섭취율(OUR) 실험을 실시한 결과 농축수 비율이 증가함에 따라 농축수가 활성슬러지 미생물에 유기물로 작용하여 산소섭취율이 증가함을 알 수 있었으며 OUR 실험만으로는 독성영향을 주는 농축수 비율을 산정할 수 없었다. 연속 활성슬러지 실험을 실시한 결과 농축수 주입비율이 증가함에 따라 MLSS 농도, 유기물 제거효율 그리고 T-N 제거효율은 서서히 감소하였다. 따라서, 실험결과 농축수가 활성슬러지의 처리효율에

† Corresponding author(e-mail : jinhan@inu.ac.kr)

영향을 주기 시작하는 주입비율은 25% 이상인 것으로 판단된다.

주제어: 농축수, 미생물, 산소섭취율, 활성슬러지

1. 서론

산업화와 도시화로 물 오염이 가중되고 물 수요량은 급격히 증가하여 사용 가능한 물이 부족해지고 있으며 기후변화로 인한 가뭄 및 수질오염으로 인해 향후 물 부족 문제가 더욱 심화될 수 있다. 이러한 물 부족 상황에 대응하기 위해 정부는 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」¹⁾을 제정하고 다양한 수자원 확보 노력을 하고 있으며 하수처리수 재이용과 빗물이용이 현실적인 대안으로 제시되고 있다. 하수처리수 재이용은 비교적 처리방법이 간단하며 공공수역으로 배출되는 오염부하량을 저감시킬 수 있지만 재이용수에 대한 심리적 거부감이나 난분해성 유기물이나 중금속의 발생여부에 대한 우려도 공존하고 있다. 일반적으로 하수처리수를 재이용하기 위하여 재처리할 경우 수요처가 요구하는 목표수질에 따라 물리화학적 처리 또는 막분리 등의 공정이 이용되고 있으며 수돗물 수준의 목표수질이 요구되는 경우 UF (ultra filtration)와 RO (reverse osmosis)의 공정으로 처리공정이 구성된다. UF와 RO 등의 막분리 공정에서 하수처리수를 처리하면 염분, 질소, 이온성 물질 등이 고농도로 함유된 농축수가 필연적으로 발생된다. 일부 하수처리장의 경우 하수재이용시설에서 발생된 RO 농축수를 하수처리장 전단으로 반송하여 재처리시키고 있으나, 고농도의 농축수가 하수처리장에 연계처리되는 경우 하수처리에 부하로 작용되어 안정적인 생물학적 하수처리에 문제를 유발할 수 있다. 특히, 높은 염분농도는 미생물내 원형질분리를 일으켜 세포내 기능저하를 유발하고 세포파괴로 이어지며, 결국, SVI (sludge volume index) 상승과 플러크체 등으로 방류수질에 직접적인 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다²⁾. 이러한 문제점이 있음에도 불구하고 RO 농축수가 생물학적 하수처리시스템에 미치는 영향에 관한 연구결과는 미비한 실정이므로 적정처리를 위한 대안선정이

나 공정설계에 어려움이 있는 것으로 보고되었다³⁾.

본 연구에서는 I시 G하수처리장의 하수재이용시설에서 발생하는 막여과 농축수로 활성슬러지 연속실험과 산소섭취율(OUR, oxygen uptake rate) 측정을 통해 하수재이용시설 막여과 농축수가 하수처리장 생물반응조 미생물에 미치는 영향을 확인해 보고자 하였다.

2. 실험방법

하수재이용시설 농축수가 생물반응조의 처리효율에 미치는 영향을 알아보기 위하여 농축수 성상 분석, 활성슬러지 OUR 측정실험 그리고 실험실 규모의 반응조를 이용하여 활성슬러지 연속실험을 실시하였다. 본 연구에서 각 시료의 항목별 분석 방법은 수질오염공정시험기준⁴⁾ 및 Standard Methods⁵⁾에 준하여 분석하였으며, COD_{Cr}, T-N, T-P는 Hach사의 바이알 및 흡광광도계(DR 2700, Hach, USA)를 사용하여 분석하였다.

2.1. 하수재이용시설 농축수

본 연구에서는 I시 G하수처리장에 설치되어 운전 중인 하수재이용시설에서 발생하는 농축수를 채취하여 사용하였다. G하수처리장의 처리공법은 MLE+ Disk filter이며, 하수재이용시설은 G하수처리장의 방류수를 UF로 전처리 후 RO로 처리하는 공정으로 구성되어 있다. 재이용시설의 계획처리용량은 10,800 m³/day이다.

농축수는 실험기간동안 7회 채취하여 농축수 분석과 활성슬러지 연속실험에 사용하였으며, 7회 중 3회는 중금속물질(ICP optical emission spectrometer, Varian 720-ES, USA), 이온물질(Metromhm 850 profic IC, Switzerland), 기타 각종 오염물질에 대해 정밀분

석을 실시하였다.

2.2. 산소섭취율 측정

미생물의 용존산소 소비에 영향을 주는 주요 인자는 유기물의 생분해도와 독성물질이다. 유기물이 생분해성일 경우 미생물의 산소섭취율은 높지만 난분해성일 경우에는 산소섭취율이 상대적으로 낮다. 독성물질이 수중에 존재하면 미생물의 활성에 영향을 미치므로 산소섭취율은 독성 물질의 농도에 따라 감소한다^{6,7,8)}.

본 연구에서는 BOD병에 농도가 1,000 mg/L, 1,500 mg/L, 3,000 mg/L, 그리고 5,000 mg/L인 활성슬러지를 채운 후 하수재이용시설 농축수를 각 농도에 대하여 1%, 5%, 10%, 25%, 그리고 50%의 비율로 첨가한 다음 시간에 따른 DO 변화를 측정함으로써 산소섭취율을 구하였다.

2.3. 연속식 활성슬러지 실험

연속식 활성슬러지 실험에 사용된 장치는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 폭기실과 침전실로 구성된 모형반응조를 사용하였다. 폭기실의 유효용량은 6.3L로서 압축공기로 폭기되며 반응조 내의 수온은 16~20°C의 실온으로 유지하였다. 침전실에서 침전된 슬러지는 바닥의 간격을 통하여 폭기실로 자연 반송되며 잉여슬러지는 폭기실로부터 인위적으로 폐기시켰다. 먼저 반응조에 활성슬러지를 채운 다음 하수를 미량펌프를 사용하여 6시간의 HRT로 반응조에 주입하였으며 정상상태에 도달한 것으로 판단되었을 때 하수재이용시설 농축수의 주입농도를 증가시키면서 처리수의 수질을 분석하였다. 폭기조에

주입된 하수 및 농축수 혼합 하수 그리고 처리수에 대하여 BOD, COD_{Cr}, T-N, NH₃-N, NO₃⁻-N, T-P 농도를 측정하였으며 폭기조의 혼합액에 대해 MLSS 농도와 SVI를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 농축수 분석

본 연구에서 사용된 I시 G하수처리장의 하수재이용시설에서 발생하는 농축수에 대해 유기물, SS, 그리고 영양염류 농도를 분석한 결과는 Table 1과 같다. 1차 농축수 시료는 지하와 지상에 위치한 농축수 배관에서 각각 채취하여 분석하였고, 2차부터는 지하에 위치한 농축수 배관에서 시료를 채취하였다.

RO 농축수는 높은 염분농도와 높은 질소농도를 나타내고 있으며, 미생물 성장에 필수적인 탄소원은 매우 낮은 농도로 존재하는 것으로 알려져 있는데⁹⁾ Table 1을 보면 총 7회의 시료채취 분석 결과 유기물 농도인 BOD와 COD는 각각 9.7~64 mg/L, 50~150 mg/L, 영양염류 농도인 T-N과 T-P는 각각 66~115 mg/L, 1.81~9.12 mg/L로 측정되어 본 연구에 사용된 막여과 농축수도 비교적 낮은 유기물 농도와 높은 T-N 농도를 나타냄을 알 수 있다. 또한 각 항목별 농도는 채취시기에 따라 크게 변화함을 알 수 있는데 이는 농축수를 하수처리장에 연계처리할 경우 생물반응조 유입부하를 불안정하게 만들 수 있는 요인으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

유기물과 영양염류 농도 변화를 SS 변화와 비교해 본 결과 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 유기물과 T-P는 SS 변화와 유사한 경향으로 나타나 대부분 입자성 유기물과 입자성 T-P에 의한 것임을 알 수 있다. T-N은 SS 변화와 크게 유사하지 않았으며 이는 Table 1에 나타낸 바와 같이 T-N의 대부분이 이온성 물질인 암모니아성 질소 성분이기 때문인 것으로 판단된다.

한편 약 30일 간격으로 채취한 1차, 3차, 그리고 7차 농축수 채취시료에 대한 정밀분석 결과를 살펴보면 농축수의 이온성 물질은 Cl⁻ > Na⁺ > Ca²⁺ > K⁺ > Mg²⁺ > F⁻순으로 높게 나타났고 역시 시료채취 기간에 따라 측정값 편차가 크게 나타났다. 특히 Cl⁻

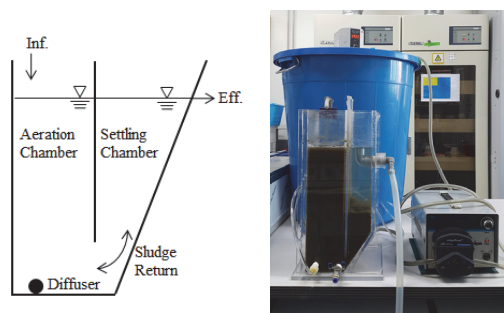


Fig. 1. Experimental apparatus for CSTR

Table 1. Analytical Results of Concentrate

Item	Date	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th
		GF ¹⁾	Bunker ²⁾	Bunker	Bunker	Bunker	Bunker	Bunker
pH		-	-	7.86	7.18	-	-	-
BOD(mg/L)		-	-	9.7	64	56	13	19
COD _C (mg/L)		70	152	50	50	84	62	61
SS(mg/L)		23	143	90	38	95	94	49
T-N(mg/L)		111	82	99	87	77	115	73
Ammonia-N(mg/L)		75	-	-	46	-	-	-
Nitrate(mg/L)		3.51	-	-	2.63	-	-	-
T-P(mg/L)		4.08	9.12	6.18	2.52	4.12	1.81	3.44
Item	Date	1 st	3 rd	7 th				
Chloride(mg/L)		1,368	-	1,902				
Fluoride(mg/L)		16.3	-	18.6				
Sodium(mg/L)		681	-	ND				
Potassium(mg/L)		67	82	78				
Calcium(mg/L)		143	170	165				
Magnesium(mg/L)		42	74	72				
Heavy metals (mg/L)	Cd	N.D	N.D	0.001				
	Cr	0.027	0.016	0.095				
	Cu	0.051	0.033	0.131				
	Fe	0.606	0.438	2.350				
	Mn	0.265	0.287	0.271				
	Ni	0.358	0.337	0.471				
	Pb	0.001	0.001	0.002				
	Zn	0.547	2.128	3.875				
UVA ₂₅₄ (cm ⁻¹)		0.534	0.436	0.479				
SUVA ₂₅₄ (cm ⁻¹ /mg/L)		0.080	0.011	0.010				
TOC/DOC(mg/L)		9.20/6.67	39.6/38.5	49.2/45.8				
THM	Trihalomethane	0.006	0.008	0.013				
HAA5	Haloacetic acids	N.D	N.D	N.D				
HANs	Dichloroacetonitrile	N.D	N.D	N.D				
	Trichloroacetonitrile	N.D	0.003	0.003				
	Dibromoacetonitrile	N.D	N.D	N.D				
1,4-Dioxane(mg/L)		0.226	N.D	0.027				
Toluene(mg/L)		0.003	N.D	0.008				

1) ground floor, 2) Basement, 3) N.D: not detected

농도가 높게 나타나 농축수 내의 염 농도가 비교적 높은 편임을 알 수 있다.

이온성 물질 외에 중금속 8종, UV₂₅₄, TOC, DOC, THM, HAA5, HANs, Dioxane, Toluene에 대해 분석

을 실시하였으나 미량으로 측정되거나 검출되지 않았으며, 시료채취 기간에 따라 측정값의 편차도 커서 농축수의 일반적인 특성으로 규정하기 어려울 것으로 판단된다.

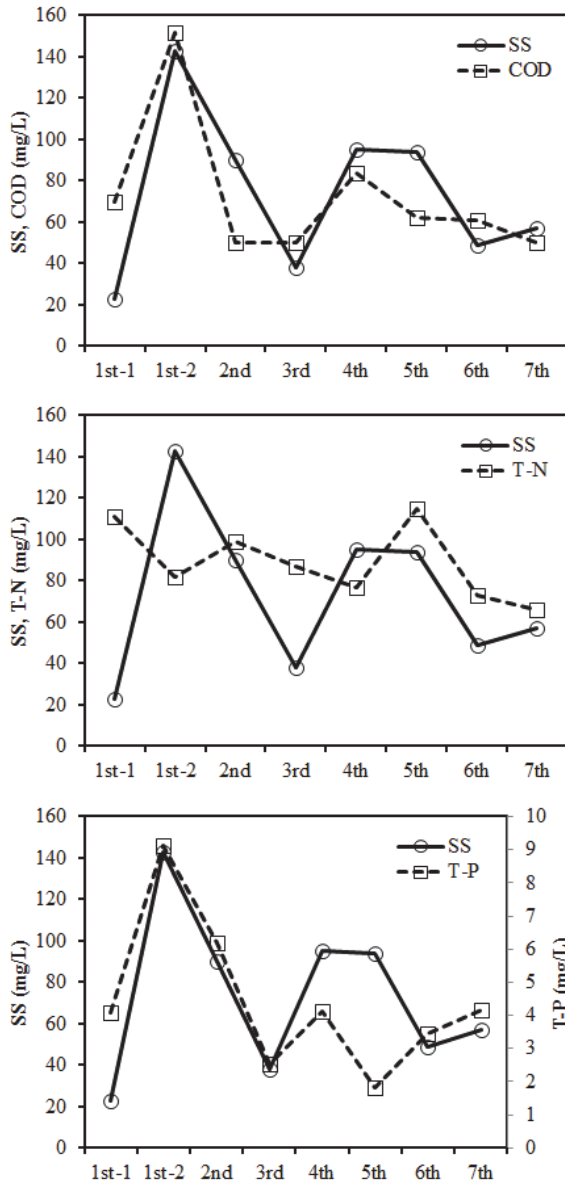


Fig. 2. Relation of SS versus COD, T-N, T-P of Concentrate

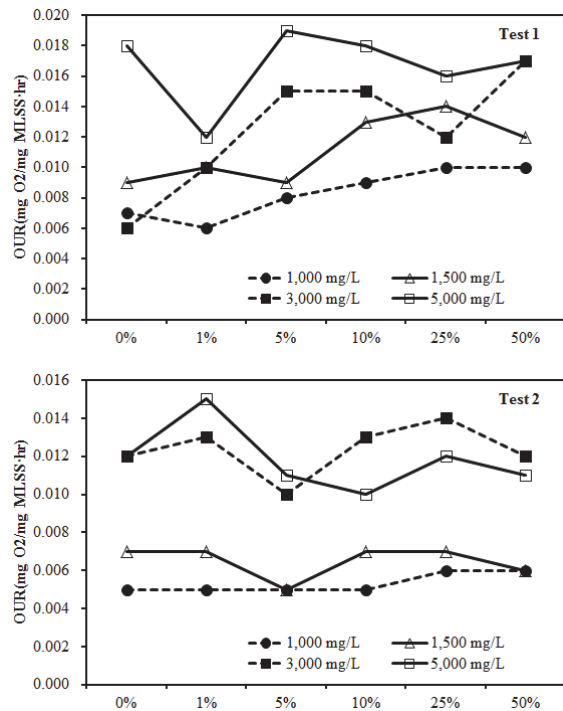


Fig. 3. Result of Oxygen Uptake Rate Test

3.2. 산소섭취율 측정

하수재이용시설 농축수 비율 및 MLSS 농도에 따른 활성슬러지 산소섭취율을 2회 측정된 결과를 Table 2 및 Fig. 3에 나타내었다. MLSS가 1,000, 1,500, 3,000 그리고 5,000 mg/L로 증가할수록 산소섭취율이 점차 증가하는 경향으로 보이고 있다.

Fig. 3에 도시한 Test 1의 결과를 보면 농축수 비율이 0~50%로 증가함에 따라 산소섭취율이 증가함을 알 수 있는데 이는 농축수가 활성슬러지 미생물에 유기물로 작용하기 때문인 것으로 판단되며 OUR 실

Table 2. Result of Oxygen Uptake Rate Test

(unit: mg O₂/mg MLSS · hr)

Mixing ratio \ MLSS Conc.	1,000 mg/L		1,500 mg/L		3,000 mg/L		5,000 mg/L	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 2	Test 2	Test 1	Test 2
0%	0.007	0.005	0.009	0.007	0.006	0.012	0.018	0.012
1%	0.006	0.005	0.010	0.007	0.010	0.013	0.012	0.015
5%	0.008	0.005	0.009	0.005	0.015	0.010	0.019	0.011
10%	0.009	0.005	0.013	0.007	0.015	0.013	0.018	0.010
25%	0.010	0.006	0.014	0.007	0.012	0.014	0.016	0.012
50%	0.010	0.006	0.012	0.006	0.017	0.012	0.017	0.011

험에 의해서는 활성슬러지 미생물에 독성 영향을 주는 하수재이용시설 농축수의 비율을 산정할 수는 없었다.

3.3. 연속식 활성슬러지 실험

하수재이용시설 농축수가 활성슬러지 미생물의 처리효율에 미치는 영향을 알아보기 위하여 MLSS 농도가 3,000~3,500 mg/L이고 폭기시간이 6시간이며 16~20°C의 실온에서 운영되는 폭기조 유효용적 6.3L 활성슬러지 모형반응조에 생활하수를 주입시키면서 운전하여 농축수 주입 비율에 따른 폭기조 MLSS 변화를 측정하고 유입수와 처리수의 SS, 유기물, 그리고 영양염류(T-N, T-P) 농도를 측정하여 제거효율 변화를 살펴보았다.

3.3.1. 폭기조 MLSS 농도 및 SS 제거효율

Fig. 4에 나타낸 실험기간동안의 MLSS 농도 변화를 살펴보면 농축수 주입비율이 높아짐에 따라 MLSS 농도가 점차 감소하는 추세를 알 수 있다. 김 등⁹⁾은 RO 농축수와 같은 고농도 염분폐수에 노출된 실험실규모의 재래식 활성슬러지공법과 A2O공법을 이용한 실험에서 MLSS 농도가 선형적인 감소추세를 보였다고 하였다. 또한, 이 등¹⁰⁾의 실험에서는 미생물의 성장에 필요한 기질을 충분히 주입하였음에도 불구하고 MLSS 농도가 지속적으로 감소하였는

데 고농도의 염분, 중금속 이온, 화학약품 등과 같은 독성물질들이 농축되어 있는 농축수가 미생물의 순응에 저해작용을 일으키기 때문이라고 보고하였다¹¹⁾.

농축수 주입비율 50% 후반부부터는 MLSS 농도가 급격히 감소하기 시작하였으며 농축수 주입비율 100%에서는 MLSS농도가 최저 2,530 mg/L까지 감소하였다. 이는 농축수 주입비율 50% 중반 이후부터 슬러지의 침강성 저하로 인하여 핀플록이 발생함에 따라 Fig. 5의 SS 농도변화에 나타난바와 같이 반응조내의 MLSS가 처리수와 함께 배출되어 처리수의 SS 농도가 증가한 것으로 판단된다.

3.3.2. 유기물 제거효율

하수재이용시설 농축수의 주입비율을 0%부터 점진적으로 높이면서 유입수와 처리수의 BOD 농도를 측정한 결과를 나타낸 Fig. 6과 BOD 제거효율 변화를 나타낸 Fig. 7을 보면 농축수 주입비율 10%, 25%, 50% 그리고 100%에서 BOD 제거효율이 각각 평균 86.3%, 79.9%, 67.5% 그리고 3.0%로 나타나 농축수 주입비율이 증가함에 따라 유기물 제거효율이 점진적으로 감소함을 알 수 있다. 본 실험 결과에 나타내지 않았지만 생활하수만으로 생물반응실험을 실시하였을 때 BOD 제거효율이 약 95%였기 때문에 농축수의 주입이 활성슬러지 미생물의 활성에 영향을 미쳐 유기물 제거효율이 감소하는 것으로 판단된다. 유기물 제거효율에 의하여 판단한다면 활성슬러지

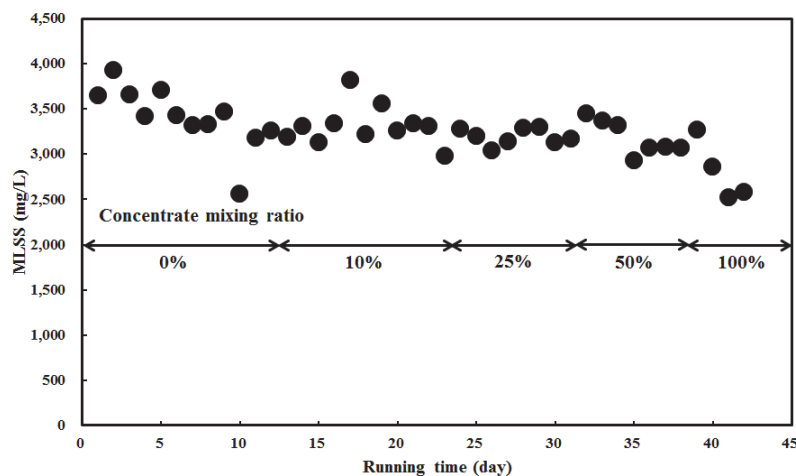


Fig. 4. Variation of MLSS concentration against concentrate mixing ratio

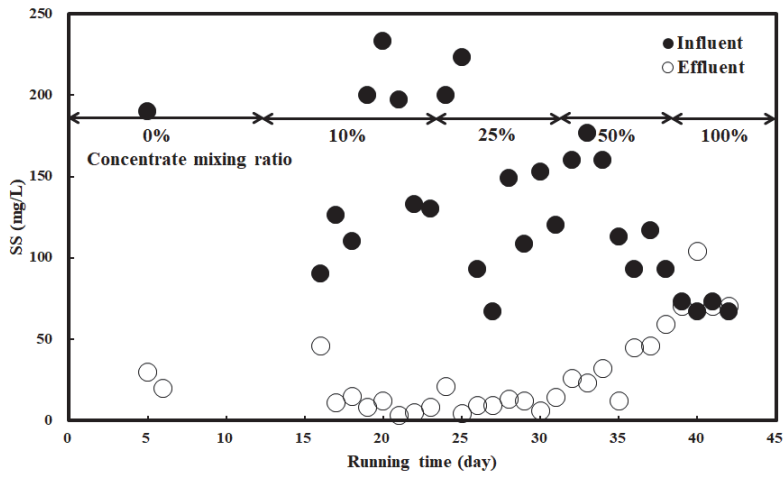


Fig. 5. Variation of SS concentration against concentrate mixing ratio

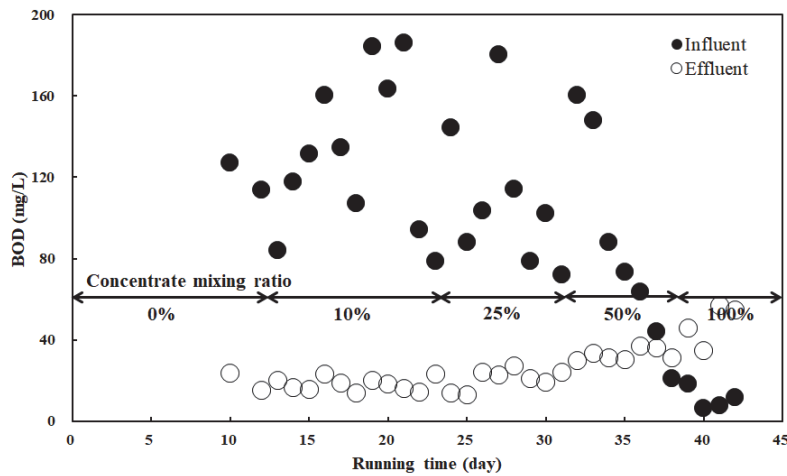


Fig. 6. Variation of BOD concentration against concentrate mixing ratio

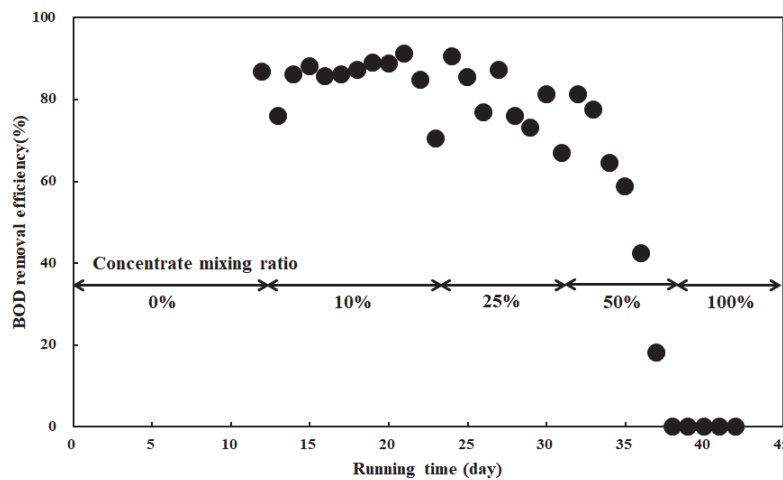


Fig. 7. Variation of BOD removal efficiency against concentrate mixing ratio

미생물에 독성영향을 주는 농축수 주입비율은 25% 이상인 것으로 판단할 수 있다.

3.3.3. 영양염류 제거효율

연속식 활성슬러지 실험에서 유입수와 처리수의 T-N과 NH₃-N 농도를 측정된 결과를 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 8을 보면 농축수 주입비율이 증가함에 따라 유입수 T-N 농도가 점차 증가하는 것을 확인할 수 있으며 이는 Table 1에 나타난 바와 같이 하수재이용 시설에서 발생되는 농축수의 T-N 농도가 66~115 mg/L로 생활하수의 T-N 농도 보다 높기 때문인 것

으로 판단된다. 농축수 주입비율 25% 이상 부터는 T-N 제거가 거의 이루어지지 않아 평균 10.4% 이하의 매우 낮은 T-N 제거효율을 보였다. 농축수 주입비율이 100%인 구간에서는 처리수의 T-N 농도가 유입수의 농도보다 높게 측정 되었는데 이는 3.3.1절에서 언급한 바와 같이 반응조내 MLSS가 처리수와 함께 배출되어 나타난 현상인 것으로 판단된다.

한편, Fig. 9에 나타낸 NH₃-N 농도변화를 보면 농축수 주입비율이 증가됨에 따라 유입수의 NH₃-N 농도도 T-N 농도와 같이 증가함을 알 수 있는데, 이는 3.1절에서 언급한 바와 같이 T-N 농도의 대부분이 NH₃-N 농도로 존재하기 때문인 것으로 판단된다. NH₃-N의 평균 제거효율은 농축수 주입비율 0%, 10%,

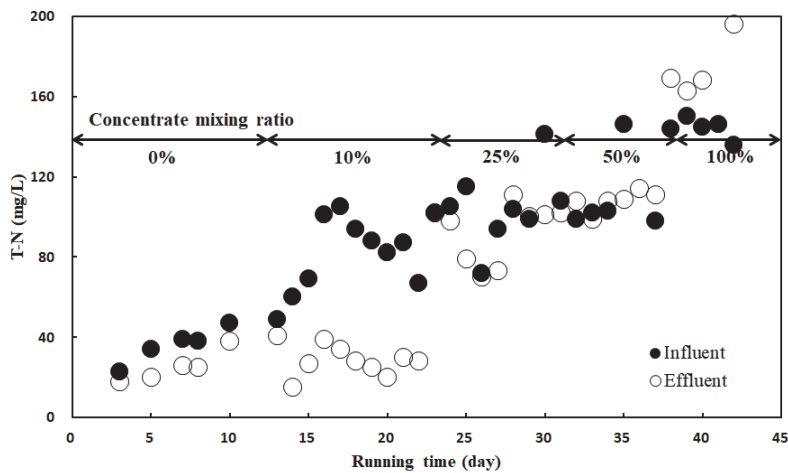


Fig. 8. Variation of T-N concentration against concentrate mixing ratio

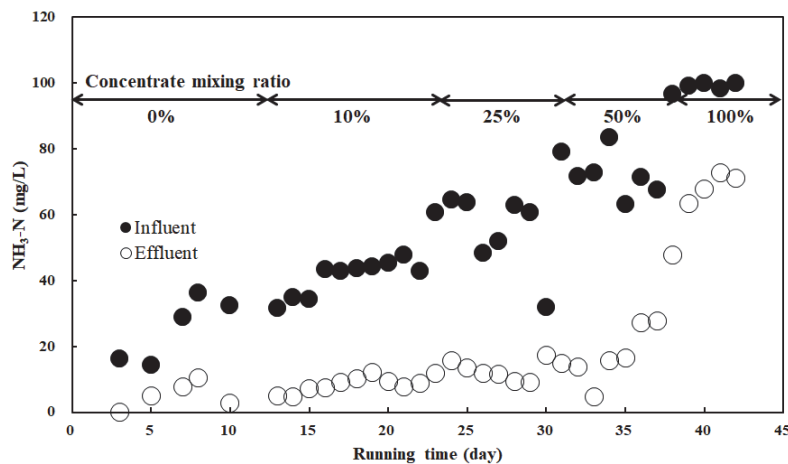


Fig. 9. Variation of NH₃-N concentration against concentrate mixing ratio

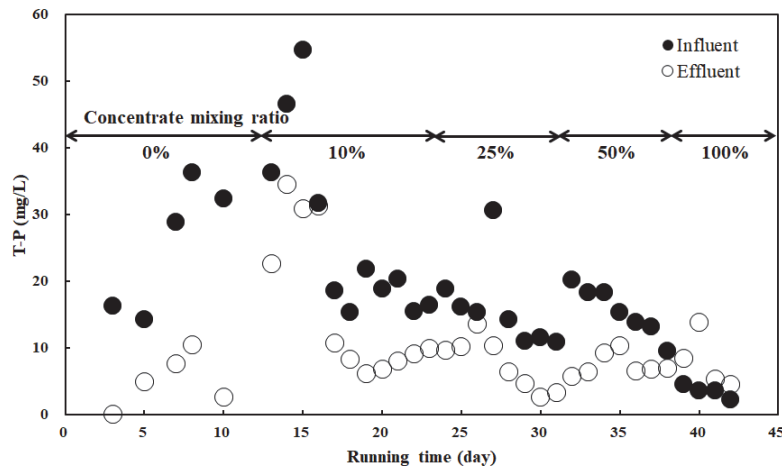


Fig. 10. Variation of T-P concentration against concentrate mixing ratio

25%, 50% 그리고 100%에서 각각 80.1%, 80.4%, 79.8%, 74.1% 그리고 38.8%로 나타나 농축수 주입비율 50% 부터 미생물의 NH₃-N 제거에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

유입수와 처리수의 T-P 농도를 측정한 결과를 나타낸 Fig. 10을 보면 농축수 주입비율이 증가할수록 유입수의 T-P 농도가 점차 감소함을 알 수 있는데 이는 3.1절 Table 1에 나타낸 바와 같이 하수재이용 시설 농축수의 T-P 농도가 1.81~9.12 mg/L로 낮았기 때문이다. T-P 제거효율은 농축수 주입비율이 10%에서 50%로 증가됨에 따라 평균 43%~63%로 나타났으며 농축수가 100% 주입된 구간에서는 처리수의 T-P 농도가 더 높게 측정되었다. 이는 T-N 농도와 동일하게 3.1절에서 나타낸 바와 같이 반응조내 MLSS가 처리수와 함께 배출되어 나타난 현상인 것으로 판단된다.

4. 결론

하수처리장 처리수를 재이용하기 위해 RO 등의 막공법이 적용된 하수재이용시설에서 발생하는 농축수가 하수처리장 생물반응조 처리효율에 미치는 영향을 파악하기 위해 기 운영중인 하수재이용시설 농축수를 채취·분석하고 농축수 주입에 따른 산소섭취율 변화 및 연속식 활성슬러지 실험을 수행한

결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 하수재이용시설 농축수를 분석한 결과 농축수의 유기물과 T-P 농도는 SS 농도와 밀접한 관계가 있어 대부분 입자성 유기물과 입자성 T-P임을 알 수 있었으며 T-N 농도는 대부분이 이온성 물질인 암모니아성 질소 성분인 것으로 판단된다.
2. 농축수 내의 이온성 물질은 $Cl^- > Na^+ > Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+} > F^-$ 순으로 높게 나타났으나 시료채취 기간에 따라 측정값 편차가 크게 나타났다.
3. 농축수의 농도 분석결과를 통해 농축수의 채취 시기에 따라 크게 변함을 알 수 있었으며 이는 농축수를 하수처리장에 연계처리할 경우 생물학적 처리시설의 안정적인 부하유지에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.
4. 농축수 비율에 따른 미생물 산소섭취율 실험을 수행한 결과 농축수 비율이 증가함에 따라 농축수가 활성슬러지 미생물에 유기물로 작용하여 산소섭취율이 증가함을 알 수 있었으며 산소섭취율 실험만으로는 독성영향을 주는 농축수 비율을 산정할 수 없었다.
5. 연속 활성슬러지 실험을 실시한 결과 농축수 주입비율이 증가함에 따라 MLSS농도는 서서히 감소하였고 농축수 주입비율 50% 이상에서는 처리수의 SS 농도가 증가하여 MLSS가 처리수와 함께 배출되었다. 유기물 제거효율과

T-N 제거효율도 농축수 주입비율이 증가함에 따라 감소하였으며 농축수가 활성슬러지의 처리효율에 영향을 주기 시작하는 주입비율은 25% 이상인 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 중소벤처기업부에서 지원하는 2017년도 기술개발사업(No.C0526780)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

1. Ministry of Environment, Act on Promotion and Support of Water Reuse. (2017).
2. Kim, Y. K., Seo, I. S., Kim, J. Y. and Moon, Y. T., "Evaluation on the Performance of Modified A2O Process for RO Brine Water Treatment", *Journal of Korean Society of Water Science and Technology*, 19(5), pp. 23~30. (2011).
3. Choi, H. J. and Lee, S. M., "Treatment of Reverse Osmosis concentrate by using Biological Filter", *Korean Society of Water Science and Technology*, 20(4), pp. 43~51. (2012).
4. Ministry of Environment, Water pollution standard method. (2017).
5. American Public Health Association (APHA), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st Ed., APHA, Washington D.C. USA. (2015).
6. Constable, S. W. C., Rozich, A. F., Dehaas, R. and Colvin, R. J., "Respirometric investigation of activated sludge bioinhibition by cobalt/manganese catalyst", *Proceedings 46th Industrial Waste Conference*, Purdue University, May, pp. 659~670. (1992).
7. Dilek, F. B. and Yetis, U., "Effect of heavy metals on activated sludge process", *Water Science & Technology*, 26, pp. 801~813. (1992).
8. Kwon, H. J., Park, S. Y., Bum, B. S., Cho, K. M. and Jang, Y. H., "Evaluation of Toxicity of Toilet Bowl Cleaner on Microorganisms of Sewage Treatment Facilities", *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 20(1), pp. 45~54. (1998).
9. Kim, Y. K. and Kang, S. H., "Evaluation of the Effect of High Salinity RO Concentrate on the Microbial Acclimation/Cultivation Characteristics in Biological Wastewater Treatment Process", *Journal of Environmental Impact Assessment*, 21(5), pp. 707~713. (2012).
10. Lee, D. H., Jang, H. J. and Kim, H. S., "Application of MBR process for the treatment of RO concentrate from wastewater reuse process", *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 27(3), pp. 339~349. (2013).
11. Chelme-Ayala, P., Smith, D. W. and El-Din, M. G., "Membrane concentrate management options: a comprehensive critical review", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36(6), pp. 1107~1119. (2009).