

S 하수처리장 반류수가 방류수 수질에 미치는 영향

김미란* · 김경희 · 박해식¹⁾ · 강동호¹⁾ · 이제근

부경대학교 환경공학과, ¹⁾부산환경공단

(2009년 10월 27일 접수; 2009년 12월 2일 수정; 2010년 1월 12일 채택)

The Effect of Reject Water on the Water Quality of Effluent from S Sewage Treatment Plant

Mi-Ran Kim*, Kyoung-Hee Kim, Hae-Sik Park¹⁾, Dong-Hyo Kang¹⁾, Jea-Keun Lee

Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹⁾Busan Environmental Corporation, Busan 607-830, Korea

(Manuscript received 27 October, 2009; revised 2 December, 2009; accepted 12 January, 2010)

Abstract

To acquire preliminary data for the control of total nitrogen (TN) in S sewage treatment plant, which processes merging food waste and sewage, the effect of reject water on the total nitrogen in the effluent was examined in this study. Water quality data for the plant during the winter period were applied to calculate the mass balance. It was calculated that at least more than 231 kg/d TN should be removed to control the TN concentration in the effluent. Assuming 18 ppm as the goal TN concentration in the effluent, about 941 kg/d TN should be removed from this plant. Approximately 10% more TN should be removed than at present to achieve this result. It was observed that dewatering the filtrate had a considerably greater effect on the total nitrogen in the effluent than the reject waters. The dewatered filtrate contained 1,399kg/d TN. The contribution of the dewatered filtrate to the TN concentration in the effluent was 0.183, which was 7 to 23 times greater than the other reject waters. In addition, the amount of total nitrogen from the reject water, with the exception of the dewatering filtrate, was lower than the amount of TN that should be removed from S sewage treatment plant. Therefore, it was concluded that one of the most effective methods for controlling the TN concentration in effluent was the removal of the TN contained in the dewatering filtrate.

Key Words : TN control, Reject water, Mass balance, Sewage treatment

1. 서론

방류수역의 수질개선을 위해 배출허용기준이 점차 강화되고 있으며, 2008년 1월부터 강화된 방류수 수질기준이 적용되고 있다. 이 기준치를 만족하는데 고도처리방법이 적용되고 있는 신설하수처리장은 물론

고도처리방법이 적용되고 있지 않는 기존하수처리장의 경우도 크게 문제는 없다. 그러나 가정이나 사업장의 음식물쓰레기를 병합처리하는 일부 하수처리장의 경우 BOD, SS, TP는 강화될 기준치를 만족하고 있으나, 강수량의 감소와 처리량의 변화로 인하여 TN 농도가 동절기에 기준치인 20 ppm 이상으로 높아지는 현상이 발생하고 있어 강화된 배출허용기준치를 만족시키기 위한 적절한 방안이 시급한 실정이다.

일반적으로 하수처리공정은 크게 수처리 시스템과

*Corresponding Author : Jea-Keun Lee, Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
Phone: +82-51-629-6524
E-mail: Leejk@pknu.ac.kr

슬러지처리 시스템으로 구성되며, 소화조, 농축조, 탈수조 등의 슬러지처리시스템에서 발생된 상징액 및 여액은 수처리 시스템으로 반송 후 처리된다. 이들 반류수는 유입량 대비 1~3%의 적은 유량이지만, 고농도의 유기물과 질소, 인을 함유하고 있다(부산환경공단, 2008; 한 등, 2007). 따라서 하수처리장에서 최종 배출되는 방류수의 총질소 농도를 제어하기 위해서는 수처리 시스템의 개선과 함께 반류수 내 총질소 농도 제어를 고려하여야 될 것이다.

한편 슬러지처리 시스템은 농축조, 소화조, 탈수조 등 여러 단위공정들로 구성되어 있는데, 이들 각 공정에서 발생하는 반류수는 발생량이나 성상이 다르다. 그러므로 하수처리장 방류수의 총질소 농도를 제어하기 위해서는 반류수와 관련한 주요공정들의 영향이 우선 파악되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 음식물 쓰레기를 병합처리하고 있는 S하수처리장을 대상으로 슬러지처리 시스템의 각 공정에서 발생하는 반류수가 하수처리장에서 배출되는 방류수의 수질에 미치는 영향을 조사함으로써, S하수처리장의 적절한 총질소 제어방안을 도출하

는데 필요한 기초자료를 확보하고자 하였다.

이를 위해 S하수처리장의 수질현황을 조사함과 동시에 물질수지 계산을 통해 총질소 저감 필요량을 산정하였다. 또한 반류수와 관련한 주요공정별 물질수지 분석을 통해 방류수의 총질소 농도에 미치는 영향을 파악하고, S하수처리장의 방류수 중 총질소 제어를 위해 가장 적절한 방안을 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 강화된 기준치를 만족하는데 필요한 S하수처리장의 총질소 저감량을 산정하고 질소저감을 위한 주 대상공정을 선정하기 위해 2006년~2007년까지의 수질현황자료 조사 및 현장실험을 병행하였다. 최근 2년간의 수질현황 자료는 S하수처리장에서 직접 입수하였으며, 각 공정별 유입·유출수 내의 질소농도는 2007년 8월 채취한 시료에 대한 분석결과를 이용하였다.

S하수처리장은 외부에서 유입되는 최초유입수와 중력농축조 월류수, 원심농축조 월류수, 탈수기여액 등의 반류수를 혼합하여 처리하는 시스템으로 구성되

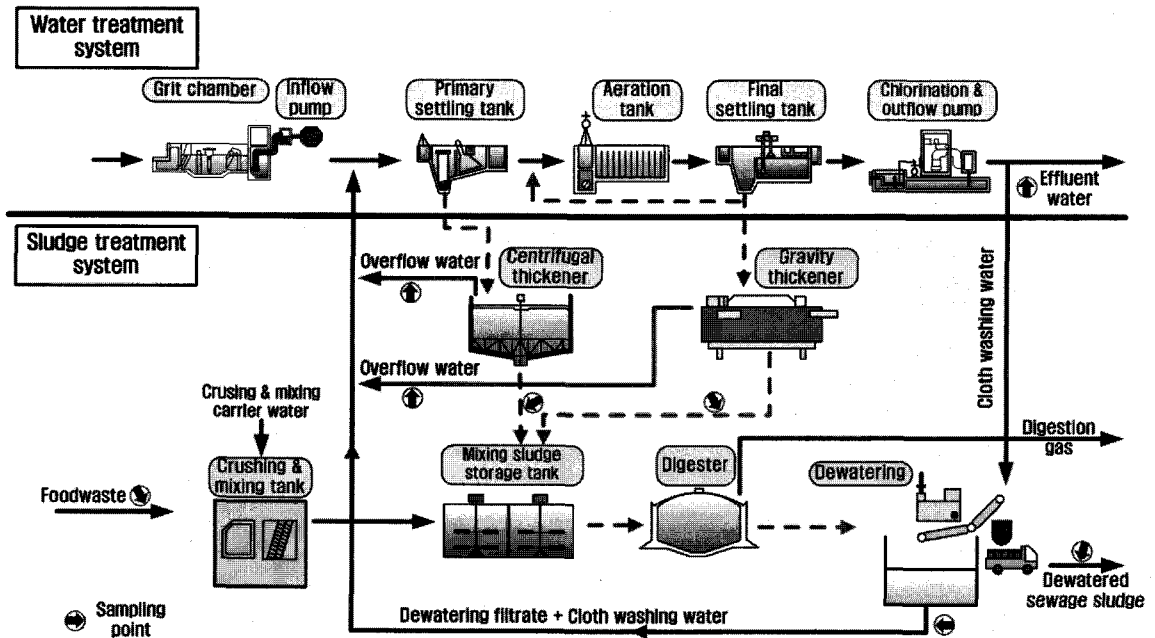


Fig. 1. Schematic diagram of S sewage treatment process and sampling point.

어 있다. 본 연구에서는 각 공정별 질소농도를 파악을 위해 중력농축조 유입과 유출수, 원심농축조 유입과 유출수, 음식물 쓰레기의 침출수 및 고형물, 탈수기 여액, 여포세정수, 탈수슬러지를 채취하였다. Fig. 1은 S 하수처리장의 수처리 및 슬러지처리 계통도이며, 계통도 내에 물질수지 조사를 위한 시료 채취점을 표시하였다.

채취된 시료는 액상과 고상을 분리한 후 분석을 행하였다. 이때 액상분석은 수질오염공정시험법(환경부, 2004)에 준하여 실시하였으며, 고상의 경우 동결건조하여 원소분석기로 질소성분을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. S 하수처리장의 총질소 유입 및 유출 현황

하수처리장에서 배출되는 방류수 내 총질소 농도 저감방안을 도출하기 위해서는 우선 대상 하수처리장의 수질특성을 파악하여야 될 것이다. 그러므로 본 연구에서는 최근 2년간 S 하수처리장의 수질현황을 조사하였으며, 총질소 농도를 중심으로 살펴보았다.

S하수처리장의 월별 총질소 유입 및 유출현황을 나타낸 Fig. 2를 보면, 유입수의 총질소 농도는 대략 하절기 30 ppm, 동절기 43 ppm 정도이다. 또한 방류수의 총질소 농도는 하절기 13 ppm, 동절기 23 ppm 정

도로 동절기의 총질소농도가 2008년 강화된 기준치인 20 ppm보다 높은 것으로 나타나 총질소 농도 저감을 위한 대책이 필요함을 알 수 있다.

한편 월별 총질소 현황에서는 주로 동절기에 총질소의 농도가 향후 목표기준농도인 20 ppm을 초과하는 것으로 나타났으나, 이는 월별 평균농도에 한정된 것이고 일간 방류수의 총질소 농도를 대변하는 것은 아니다. 따라서 방류수 농도가 20 ppm 이하로 나타난 2007년 3월 ~ 5월의 일간 방류수 중 총질소 농도변화를 조사하였으며 이를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 2007년 3월 ~ 5월의 월 평균농도는 각각 20 ppm, 18.3 ppm, 18 ppm으로 향후 강화될 기준치보다 낮았으나, 3월의 일간 총질소 농도는 31일 중 17일이 20 ppm을 초과하는 것으로 조사되었으며 4월은 1일, 5월은 3일 정도 초과하는 날이 있었다. 이처럼 방류수 중의 총질소 농도는 일별, 월별로 최근 강화된 기준치 이상으로 높아지는 경우가 있었는데, 이는 대상 하수처리장으로 유입되는 하수유량 및 총질소 부하량이 일정하지 않아서 나타난 현상으로 부하량 변동에 적응하지 못하는 생물학적 처리의 한계라 판단된다. 또한 방류수의 총질소 농도는 시간대별로도 달라질 수 있으며, 이로 인해 최종방류수 내 총질소농도 또한 일정하지 않을 것으로 판단된다.

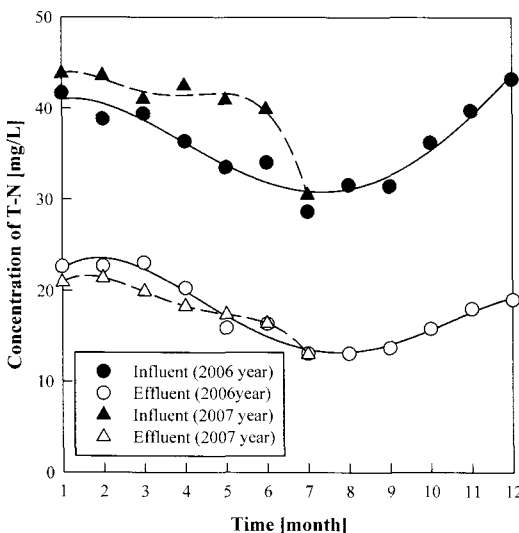


Fig. 2. Monthly TN concentration of influent and effluent.

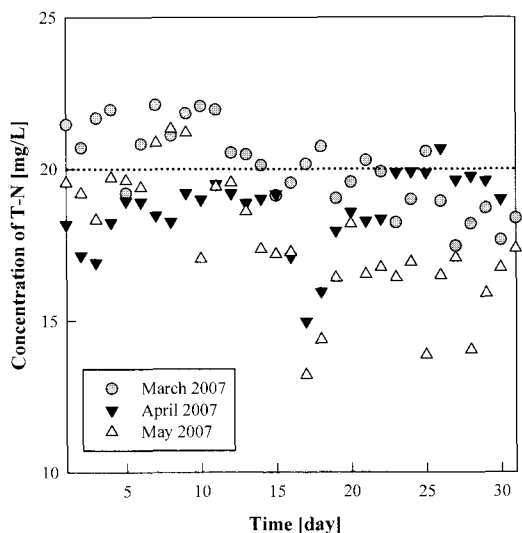


Fig. 3. Daily variation of TN concentration in effluent.

그러므로 대상 하수처리장의 총질소 농도 저감을 위한 방안 수립시에는 부하량의 변동에 관한 충분한 고려가 있어야 될 것이다.

3.2. 총질소 저감 필요량 산정

S하수처리장에서 배출되는 방류수 중 총질소 농도를 최근 강화된 기준치인 20 ppm이하로 낮추기 위해 필요한 총질소 저감량을 산정하고자 하였다. 대상하수처리장의 방류수 내 총질소 농도는 월별로 변동이 심하였는데, 동절기에 총질소 농도가 높아지는 것으로 나타났다. 이러한 총질소 농도는 하수유입량에 따라 변화될 수 있으므로 물질수지 검토를 위해 총질소량으로 환산하였으며, Fig. 4에 S하수처리장의 월별 총질소 유입 및 유출량을 나타내었다.

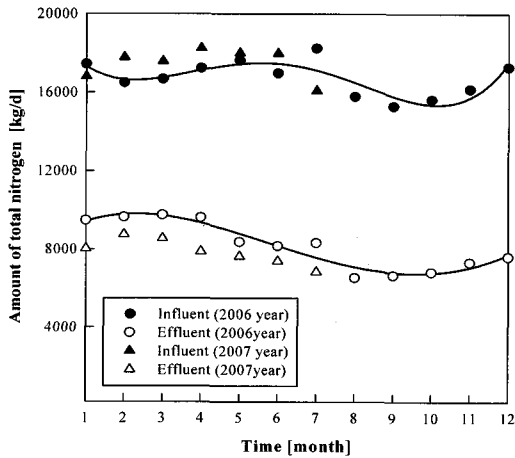


Fig. 4. Monthly TN amount of influent and effluent.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 대상하수처리장으로 유입되는 총질소량은 Fig. 2의 경향과는 달리 약 16,000 kg/d에서 18,000 kg/d로 계절별 변동폭이 비교적 적은 것으로 나타났다. 그러나 방류되는 총질소량은 Fig. 2와 유사하게 하절기는 약 6,600 kg/d, 동절기는 약 8,000 kg/d ~ 10,000 kg/d 정도로 나타나, 동절기에 방류되는 총질소량이 많은 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 많은 연구자들에 의해 보고된 바와 같이 수온변화에 따라 미생물의 활성이 크게 달라지기 때문에 판단된다(박 등, 2008; 임 등, 2002; 하 등, 2003). 일부 연구자들에 의하면 온도는 질소제거에 관여하는 미생물인 Nitrosomonas와 Nitrobacter의 성장속도 및 활성에 영향을 준다고 하였다(정 등, 2006). 우리나라는 연교차가 높아, 겨울철 평균기온이 10℃ 이하로 유지되며, 겨울철 유입하수의 수온이 평균 8~9℃로 낮다. 동절기의 낮은 수온은 생물학적 처리공정의 미생물 활성도에 악영향을 미치게 되고, 이것이 저조한 처리효율로 이어진 것으로 여겨진다.

따라서 본 연구에서는 총질소 저감량 산정을 위한 물질수지 계산에 이용할 자료로 방류수 중 총질소의 농도가 비교적 높게 나타난 2006년 12월부터 2007년 3월까지의 자료를 선택하였다. 이들 자료로부터 물질수지를 세우고 하수처리공정에서 현재 제거되고 있는 총질소량 및 목표수질을 달성하기 위해 저감해야 할 총질소량을 계산하였으며, 결과를 Table 1에 나타내었다. 본 계산에 이용된 자료는 평균 유입하수량 405,000 m³/d, 평균 총질소 농도 42.8 ppm, 방류수 평균 총질소 농도 20.3 ppm이다.

Table 1. The estimated amount of TN reduction to achieve the goal of water quality

Present*			Goal		
Influent TN amount (kg/d)	Effluent TN concentration (ppm)	Effluent TN amount (A, kg/d)	Effluent TN concentration (ppm)	Effluent TN amount (B, kg/d)	Additional amount of TN removal (A-B, kg/d)
17,357	20.3	8,231	20	8,000	231
			19	7,695	536
			18	7,290	941
			17	6,885	1,346
			16	6,480	1,751

*The winter seasons (December 2006 ~ March 2007) statistical data

Table 1에서 보는 바와 같이 유입되는 총질소량 17,357 kg/d 중 8,231 kg/d가 방류되어 S하수처리장의 주처리 공정인 생물학적 처리에 의해 총질소의 약 53% 정도가 제거되고 있으며, 이 제거량은 하수처리 과정 중 제거된 총질소 이외에 탈수슬러지로 제거된 양도 포함한 것이다.

한편 방류수 중 총질소의 목표치를 강화된 기준치보다 약간 낮은 18 ppm으로 가정한다면, 현재 공정에서 941 kg/d의 총질소를 더 제거해야 되는 것으로 산출되었다. 이는 현재 제거되고 있는 총질소량보다 10% 이상 더 제거해야 함을 의미한다.

3.3. 방류수가 방류수의 총질소 농도에 미치는 영향 조사

S하수처리장은 표준활성슬러지법에 의한 수처리 시스템과 슬러지처리시스템으로 구성되어 있으며, 방류수 내 총질소 제어를 위한 최선의 방법은 표준활성슬러지법의 처리효율을 높이는 것이라 할 수 있다. 그러나 미생물에 의한 처리효율을 향상시키기 위한 대안은 고도처리방법으로 변경하는 것 이외에는 없으며, 때문에 총질소제어를 위한 공정은 생물학적 처리로 운영되고 있는 수처리시스템이 아닌 슬러지처리시스템에서 선정하는 것이 타당할 것이다. 따라서 본 연구에서는 방류수의 수질 즉, 총질소 농도에 가장 큰 영향을 미치는 공정을 파악하고자 하였으며, 이를 위해 슬러지처리시스템의 주요공정별 총질소 농도를 분석

하고 총질소 농도에 대한 방류수의 분율을 검토하였다.

먼저 슬러지처리시스템에서 총질소 물질수지를 계산하였으며, 이를 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 슬러지처리시스템으로 유입되는 총질소는 1차 및 최종침전지에서 발생된 슬러지, 음식물 쓰레기, 그리고 탈수조의 여포세정을 위한 여포세정수에 의한 것이며, 이들 총질소는 중력농축조 및 원심농축조에서 발생된 월류수, 탈수기 여액, 그리고 탈수슬러지에 포함되어 슬러지처리시스템에서 배출된다. 총질소 물질수지에서 보는 바와 같이 슬러지처리시스템 내로 유입되는 총질소량 중의 약 63% 정도가 최종침전지에서 발생된 슬러지에 의한 것이며, 발생량의 57% 정도가 탈수슬러지에 포함되어 배출된다. 그러나 이들 총질소의 43% 정도는 다시 수처리 시스템 내로 반송되므로 반드시 방류수 내 총질소가 제어되어야 함을 확인할 수 있었다.

Table 2는 방류수의 발생량 및 물질수지 분석을 통해 산정한 방류수 중의 총질소량에 대한 방류수의 분율을 나타낸 것이다. Table 2에서 보는 바와 같이 방류수 중 여포세정수의 유량이 가장 많긴 하나 총질소 발생량은 탈수기여액이 가장 많은 것으로 분석되었으며, S하수처리장 방류수의 총질소 농도에 가장 큰 영향을 미치는 공정은 방류수 중 탈수기여액인 것으로 판단되었다.

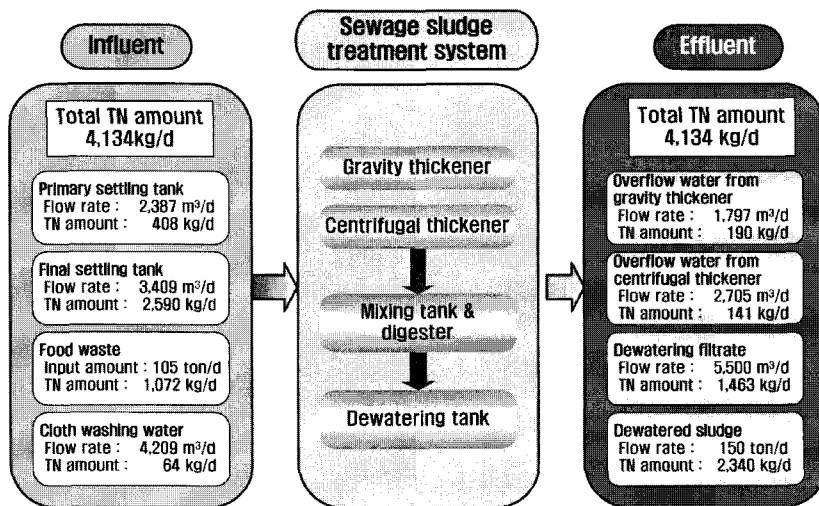


Fig. 5. TN mass balance in the sewage sludge treatment system (August 2007).

Table 2. The fraction of TN amount in the reject water from various processes to that in the effluent water (August 2007)

	Flow rate (m ³ /d)	TN amount (kg/d)	Fraction*
Reject water	Overflow water from gravity thickener	1,797	0.025
	Overflow water from centrifugal thickener	2,705	0.018
	Dewatering filtrate	1,500	0.183
	Cloth washing water	4,000	0.008
	Subtotal	10,002	1,794
Effluent water	480,074	7,681	-

$$* \text{Fraction} = \frac{\text{Removable TN amount in object process [kg/d]}}{\text{TN amount in the effluent water [kg/d]}}$$

한편 슬러지처리시스템에서 유출되는 반류수에서 발생하는 총질소량은 모두 1,794 kg/d인데, 이 중 탈수기여액의 총질소량이 약 1,399 kg/d로 방류수의 총질소량 7,681 kg/d에 대한 비율이 가장 높다. 이는 현 처리시스템에서 배출되는 총질소량의 18.3%정도에 해당되는 양으로 탈수기여액이 방류수의 수질에 매우 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

또한 S하수처리장의 방류수 중 총질소 농도를 기준치 이하로 유지하기 위해서는 최소 231 kg/d 이상이 제거되어야 하는데, 반류수 중 중력농축월류수, 원심농축월류수, 여포세정수에서 발생하는 총질소량은 S하수처리장에서 요구되는 총질소 필요제거량 보다 낮게 배출되는 것으로 나타났다.

따라서 S하수처리장 방류수의 총질소 농도를 제어하기 위해서는 방류수 중 총질소량에 대한 비율이 높으면서 총질소 필요제거량보다 많은 양을 함유하고 있는 탈수기여액의 총질소를 제거하는 것이 효과적일 것으로 판단되었다. 그리고 방류수의 총질소 농도 목표치를 18 ppm으로 가정할 경우 탈수기여액의 총질소를 약 67% 이상 제거할 수 있는 기술의 적용이 필요한 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 음식물 쓰레기를 병합처리하고 있는 S하수처리장에서 반류수가 방류수의 수질에 미치는 영향을 조사함으로써, S하수처리장의 적절한 총질소 제어방안을 도출하는데 필요한 기초자료를 확보하

고자 하였다.

이를 위해 우선 대상하수처리장의 수질현황에 대해 조사하였으며, S 하수처리장의 경우 유입되는 하수량이나 총질소량은 월별, 일별, 시간대별로 다르고 최종방류수 중 총질소농도 또한 일정하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 방류수 중 총질소 농도는 대체로 하절기에 비해 동절기가 높았으며, 대상하수처리장의 적절한 총질소 제어방안을 도출하기 위해 동절기 수질분석자료를 활용하였다.

S하수처리장 방류수의 총질소 농도제어를 위한 최소 총질소 제거량은 주요공정별 물질수지 분석에 의해 231 kg/d 이상인 것으로 산출되었으며, 방류수의 총질소농도 목표치를 18 ppm 수준으로 가정하면 941 kg/d 정도로 현재 제거되는 총질소량보다 10%이상 더 제거해야 되는 것으로 계산되었다.

한편 방류수의 수질 특히, 총질소 농도에 미치는 반류수의 영향을 검토한 결과 탈수기여액의 총질소량이 방류수 중 총질소량의 약 18.3%정도로 방류수의 수질에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 다른 반류수 공정에 비해 총질소량이 7 ~ 23배 이상 높은 것이다. 또한 탈수기여액을 제외한 반류수에서 발생하는 총질소량은 S하수처리장에서 요구되는 총질소 필요제거량보다 낮게 나타났다. 따라서 S하수처리장 방류수의 총질소 농도제어를 위해서는 반류수 중 방류수 수질에 가장 큰 영향을 미치는 탈수기여액의 총질소를 저감시키는 것이 가장 효과적일 것으로 판단되었으며, 방류수의 총질소 농도 목표치를 18 ppm

으로 가정할 경우 탈수기여액의 총질소를 약 67% 이상 제거할 수 있는 기술의 적용이 필요한 것으로 나타났다. 또한 탈수기여액의 총질소 제거를 위해 적용되는 기술은 계절적 변동에 영향을 받지 않는 기술이 되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 부산환경공단의 연구개발(R&D) 사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

부산환경공단, 2008, 방류수의 영향분석 및 실증처리 통한 방류수 수질개선, 2008년 부산광역시환경시설공단 산·학·연·관 공동연구 세미나 자료집(제5호), 89-106.

- 한진희, 권민, 한중훈, 윤주환, 남해욱, 고주형, 2007, 방류수처리를 위한 현장 pilot plant 생물막 아질산화 반응조에서 운전인자 평가, 한국물환경학회지 23(5), 636-641.
- 환경부, 2004, 수질오염공정시험방법, 환경부, 182-186.
- 박운지, 안종화, 이찬기, 2008, 폐타이어 담체를 이용한 파일럿 규모 유동상 생물막 공정에서 하수의 질소제거에 미치는 온도 영향, 대한환경공학회지, 30(5), 507-516.
- 임정훈, 오경아, 우혜진, 최은희, 이상일, 김창원, 2002, MBBR에서 부착 미생물의 거동과 공정성능에 대한 온도영향, 대한환경공학회지, 24(10), 1819-1827.
- 하준수, 최의소, 박재홍, 길경익, 김성원, 2003, 영양소제거 공정의 기질 정량관계에 대한 온도와 기질부하의 영향, 상하수도학회지, 17(6), 777-784.
- 정인철, 정병길, 성낙창, 2006, 수온 감소기와 증가기의 질소제거 특성 평가, 한국폐기물학회지, 23(5), 397-403.