



# 유역하수도 공공하수처리시설의 방류수 수질 준수농도 설정방안 연구: 진위천 수계를 중심으로

## A study on Determination Method of the Compliance Concentration of Effluent Limitation from Public Sewage Treatment Works in the Jinwee-stream Watershed Sewer System

정동환·조양석·김영석·안경희·정현미\*·권오상

Dong-Hwan Jeong·Yangseok Cho·Youngseok Kim·Kyunghee Ahn·Hyen-Mi Chung\*·Ohsang Kwon

국립환경과학원 상하수도연구과

Water Supply and Sewerage Research Division, National Institute of Environmental Research

### ABSTRACT

In accordance with the Watershed Sewer System Maintenance Plan enforced on February 2, 2013, the different compliance concentration of effluent limit be applied to effluent discharged from public sewage treatment works(PSTWs) in each watershed on the basis of water quality thereof. With the introduction of watershed sewer system, it is necessary to set the compliance concentration of effluent limit for PSTWs situated in the watershed, by region and PSTW size, to achieve water quality criteria for regional watersheds or target water quality under TMDL program. Watershed Environmental Agencies establish the Watershed Sewer System Maintenance Plan and set the compliance concentrations of effluent limit for PSTWs under the plan. The agencies plan to apply tougher effluent BOD concentration limits in Class I to IV areas. Effluent BOD concentration limits will be toughened from 5~10 mg/L to 3 mg/L in class II~III areas, from 10mg/L to 5mg/L in class IV areas. Uniform application of effluent BOD concentration limits to PSTWs in the watershed sewer system need to be complemented considering type of sewage treatment technology employed and watershed characteristics. Therefore, this study presents method to determine the compliance concentration of effluent limit from PSTWs in the watershed.

**Key words:** Best treatment technology, Determination method, Effluent limitation, Sewage treatment works, Watershed sewer system

**주제어:** 방류수 수질기준, 설정체계, 유역하수도, 최적처리기술, 하수처리시설

## 1. 서 론

2012년 2월 『하수도법』 개정으로 유역별 하수도 관리체계가 도입되어 시·군이 수립하는 하수도정비기본계획의 상위계획으로 유역환경청이 유역하수도정비계획을 수립하도록 하였다. 또한 2013년 2월 2일 시행된

유역하수도정비계획에서는 유역별 수질상황을 고려하여 하수처리시설별 방류수 수질 준수농도를 별도로 적용하는 것이 가능하다(환경부, 2013). 2011~2012년까지 유역환경청이 수립한 유역하수도정비계획 보고서를 검토한 결과 공공하수처리시설 방류수 수질 준수농도를 설정하는데 있어 II지역인 미호천 유역의 경우 BOD 5 mg/L에서 3 mg/L, II·III지역이 혼재되어 있는 영산강 상류유역의 경우 BOD 5~10 mg/L에서 3 mg/L로, IV지역

Received 15 June 2015; Revised 5 August 2015; Accepted 7 August 2015

\*Corresponding author: Hyen-Mi Chung (E-mail: hyenmic@me.go.kr)

pp. 447-457

pp. 459-468

pp. 469-479

pp. 481-491

pp. 493-502

pp. 503-510

pp. 511-517

pp. 519-531

인 안성천 유역의 경우 BOD 10 mg/L에서 5 mg/L로 일률적으로 강화하도록 제시하고 있다(환경부, 2011; 영산강유역환경청, 2013; 환경부-한강유역환경청, 2014). 보다 효율적으로 해당 유역의 수질환경기준(중권역 목표기준) 또는 수질오염총량관리 목표수질을 달성하기 위하여 유역 내 개별 공공하수처리시설에 대한 방류수 수질 준수농도(안)를 설정하는 것이 필요하다.

미국은 Clean Water Act(CWA)의 국가 오염물질 배출 규제제도(National pollutant discharge elimination system, NPDES)에 의한 허가절차에 따라 공공수역별로 용도를 유지하기 위해 설정된 환경기준을 달성할 목적으로 지표수에 직접 오염물질을 배출하는 공공하수처리시설 등 점오염원의 방류수 수질기준을 설정하고 오염물질의 배출허가 여부를 결정하고 있다. 그리고 지방정부는 주별 특성을 반영한 엄격한 방류수 수질기준을 제시하거나 기준항목 이외의 유해물질에 대한 기준을 도입하는 것이 가능하다(US EPA, 2010). 일본의 하수처리시설 방류수 수질기준은 하수도법과 수질오염방지법에 규정되어 일률적으로 적용되나, 수질오염방지법에서 정한 기준은 도도부현지사가 공공수역의 보전을 위하여 필요하면 수질기준을 강화하여 적용할 수 있으며, 하수도법에서 정한 기준은 기술에 근거하여 처리기술별 수질기준을 적용한다(日本, 2012). 유럽연합에서는 통일된 하수처리시설의 방류수 수질기준을 가지고 있으나 회원국별 특성에 따라 별도의 방류수 수질기준을 가지고 있다(EU, 1991 and revised 1998). 독일은 하수처리시설 규모를 인구당량으로 환산하여 구분하고 수질기준을 차등하여 규정하고 있으며, 영국과 프랑스는 농도와 제거율을 함께 적용하고 있다(Federal Environment Agency, 2014; Ministere de l'ecologie, de l'energie, du developpement durable et de la mer, 2009; England and Wales, 2003; Northern Ireland, 2007; Scotland, 2003). 우리나라는 『하수도법 시행규칙』 제3조에서 하수처리시설의 방류수 수질기준을 지역별, 규모별로 차등을 두어 법적으로 규제하고 있다(환경부, 2013).

본 연구에서는 유역하수도정비계획 수립 시 강화된 방류수 수질 준수농도를 설정하는 방안을 마련하기 위하여 방류수 수질기준 IV지역 등급에 해당하는 안성천유역의 소단위 단일유역인 진위천수계를 연구대상으로 선정하였다. 진위천수계 내 16개 공공하수처리시설에 대해 2009년부터 2013년까지 전국오염원조사 하수처리시설 유입수 및 방류수 수질 데이터를 이

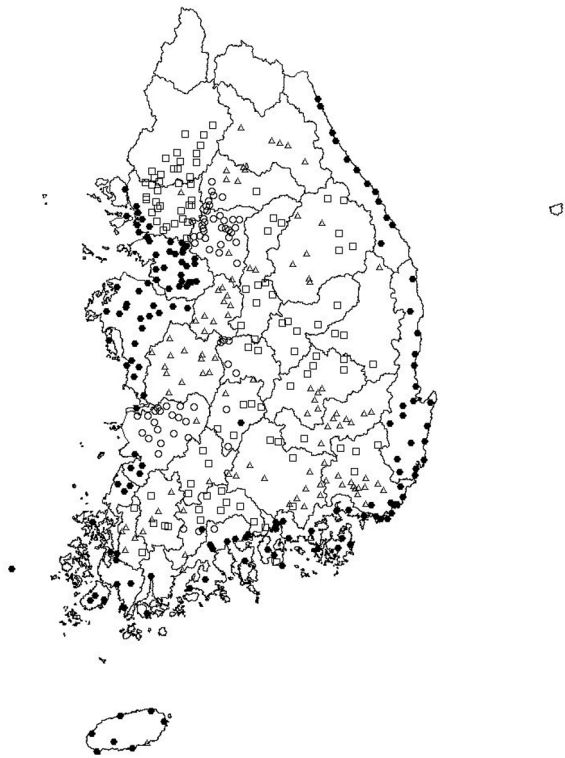
용하여 처리기술 그룹별 하수처리시설 및 개별 하수처리시설에 대한 수질 데이터를 정리하였다. 유럽과 미국에서 산업계 배출수 처리시설 허가 시 사용하는 방류수 수질기준 도출방법을 활용하여 유역하수도정비계획 수립 시 공공하수처리시설에서 준수해야 하는 방류수 수질 준수농도(안)에 대한 설정 방안을 고찰하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 대상지역 설정 및 대상시설 특성

외국의 경우 유역하수도 관리는 장기간에 걸쳐 추진되어 왔으며, 중앙정부의 일괄적인 재정 및 정책으로 추진하는 정부주도형 유역하수도 관리와 해당 유역의 수질악화로 인하여 자체적으로 유역내 지자체간의 협약을 맺고 조합을 구성하여 운영하는 지자체 참여형 또는 협력형 유역하수도 관리로 구분된다. 정부주도형 모델은 주로 미국 및 일본에서 시행하는 방식으로, 정부의 환경정책과 연계하여 일관된 정책추진이 가능하고, 제도 도입시 단축 및 효과를 조기에 달성할 수 가능하며, 비용 절감 효과가 상대적으로 우수한 장점이 있다. 지자체 참여형 모델은 독일, 프랑스 등 유럽지역에서 시행하는 방식으로 지역의 현실을 가장 잘 반영할 수 있고, 지자체 반발 및 민원 문제 해결이 용이하며, 소유역 차원의 현실적인 하수도 관리가 용이한 장점이 있다(환경부, 2008). 우리나라는 정부주도형 모델을 적용하여 유역환경청에서 유역하수도정비계획을 수립하고 지자체의 참여를 유도하고 있다.

환경부는 중권역 115개 단위유역을 대상으로 유역하수도정비계획에서 30개 세부 단위유역으로 구분하였다. 2013년 500 m<sup>3</sup>/일 이상 공공하수처리시설을 방류수 수질기준 지역등급을 고려하여 세부 단위유역으로 분류하여 지역등급에 따른 공공하수처리시설 분포도를 나타내었다(Fig. 1). 우리나라 유역하수도정비계획 수립에 대해 살펴보면, 2011년 미호천유역을 시범 권역으로 정하고 유역하수도정비계획을 수립하는 것을 출발점으로 하여 2013년 안성천 및 서부경남 유역에서 유역하수도정비계획을 수립하였고 2104년에는 한강분류 등 8개 유역에서 유역하수도정비계획을 수립 중에 있으며, 2016년까지 나머지 단위유역까지 모두 수립하는 것으로 추진하고 있다(Table 1).



**Fig. 1.** Distribution map of PSTWs over 500 m<sup>3</sup>/day facility capacity according to effluent limit area grade (○: I area PSTWs, △: II area PSTWs, □: III area PSTWs, ●: IV area PSTWs).

※ These polygons are 30 specific unit watersheds according to the Watershed Sewer System Maintenance Plan

본 연구를 위하여 유역하수도 개념을 고려하여 30개 세부 단위유역으로 구분하여 2013년 전국 500 m<sup>3</sup>/일 이상 시설용량을 갖는 공공하수처리시설 557개소에 대해

2009~2013년까지 5년간의 방류수 수질 자료를 검토하여 정리하였다. 유역하수도정비계획은 세부 단위유역별로 수립되기 때문에 이를 세부 단위유역별로 구분하여 정리하였고 세부 단위유역 내에서도 I~IV지역 방류수 수질 기준을 적용받는 공공하수처리시설이 혼재되어 있다(환경부고시, 2013). 유역특성에 따라 구분한 I~IV지역 공공하수처리시설의 방류수 수질 자료가 방대하여 데이터 처리 및 해석의 효율을 높이고 보다 쉽게 준수농도 설정 방법론을 도출하기 위해 안성천유역의 진위천수계를 대상으로 방류수 수질기준 항목에 대하여 유역별 방류수 수질 준수농도 설정 방법을 검토하였다. 또한 IV지역은 대부분 인처리시설이 도입되지 않아 처리에 따른 방류수 수질에 대한 영향이 다른 등급지역보다 상대적으로 적을 것으로 판단하였다. 안성천유역 유역하수도정비계획 수립 시 방류수 수질 준수농도 설정을 위한 데이터 활용을 위하여 이들 진위천수계 내 16개 공공하수처리시설을 혐기-무산소-호기(Anaerobic-Anoxic-Aerobic, A<sub>2</sub>O) 계열 7 개소, 연속회분식반응조(Sequencing Batch Reactor, SBR) 계열 4 개소, Media 계열 3개소, 기타 계열 2개소 등 처리기술 계열별로 그룹화하여 정리하였다(Table 2).

진위천수계 공공하수처리시설의 처리효율은 처리기술 계열에서 BOD 처리율은 평균 97.8~98.6%의 범위로 처리기술에 따른 처리율이 높고 차이가 크지 않은 것으로 나타났고 TN 처리율은 69.0~82.6%, TP 처리율은 73.4~89.7%로 나타났다. 개별 하수처리시설의 경우 고매 공공하수처리시설에서 처리효율이 모든 항목에서 높게 나타났으며, 기타 하수처리시설에서도 그림처럼 BOD의

**Table 1.** Target establishment year of each Watershed Sewer System Maintenance Plan

Region	Total	2011~12	2013	2014	2015	2016
Total	30	2	2	8	8	10
Han-river	9	-	Anseong-stream	Main flow of Han-river	Upper area of Paldang-dam, Upper area of South-Han-river, Down area of South-Han-river	Upper area of North-Han-river, Down area of North-Han-river, Imjin-river, North area of east sea
Nakdong-river	8	-	West area of Gyungnam	Geunho-river, East area of Gyungnam	Upper area of Nakdong-river, Middle area of Nakdong-river, East area of South sea	South area of east sea, Andong-Imhadam
Geum-river	6	Miho-stream	-	Daecheong-dam, Yongdam-dam	Down area of Geum-river	Saemangeum, Sabgyo-stream
Youngsan-river	4	Upper area of Youngsan-river	-	Down area of Youngsan-river	South area of west sea	Jeju
Seomjin-river	3	-	-	Upper area of Seomjin-river, Down area of Seomjin-river	-	West sea of South area

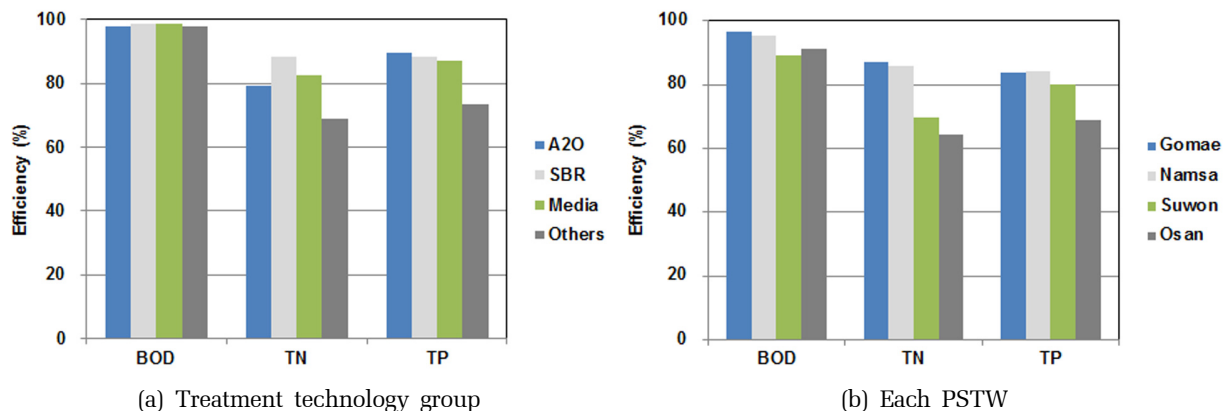
Source : Ministry of Environment · Korea Water and Wastewater Works Association, 2014.

**Table 2.** The status of PSTWs in the Jinwee-stream watershed over 500 m<sup>3</sup>/day facility capacity in 2013

PSTWs	Facility capacity (1,000 m <sup>3</sup> /day)	Treatment capacity (1,000 m <sup>3</sup> /day)	Treatment technology	Treatment technology group	Date of first operation	Discharge watershed
Total	947.3	827.1	-	-	-	-
Seoho**	47.0	39.0	4 stage-BNR	A <sub>2</sub> O	2011.09.15	Seoho-stream
<b>Suwon(1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>)*</b>	<b>520.0</b>	<b>491.0</b>	<b>TEC-, 4 stage-BNR</b>	<b>A<sub>2</sub>O</b>	<b>1996.12.30</b>	<b>Hwangguji-stream</b>
Gugal	35.0	32.3	DNR	A <sub>2</sub> O	2005.07.31	Osan-stream
Bugok(Gunpo)	4.5	2.4	HDF	A <sub>2</sub> O	2010.02.09	Hwangguji-stream
Bugok(Euiwang)**	15.0	12.6	DNR	A <sub>2</sub> O	1999.11.01	Hwangguji-stream
Jeongnam	17.0	8.7	ACS	A <sub>2</sub> O	2012.09.06	Hwangguji-stream
Sanghyun	13.0	8.7	5 stage-BNR	A <sub>2</sub> O	2008.12.17	Gasan-stream
<b>Gomae*</b>	<b>6.2</b>	<b>4.8</b>	<b>SBR</b>	<b>SBR</b>	<b>2008.09.17</b>	<b>Osan-stream</b>
<b>Namsa*</b>	<b>2.0</b>	<b>1.6</b>	<b>SBR</b>	<b>SBR</b>	<b>2009.09.11</b>	<b>Jinwee-stream</b>
Songjeon	2.3	2.0	SBR	SBR	2009.10.27	Songjeon-stream
Cheonri	9.0	3.2	SBR	SBR	2008.12.17	Songjeon-stream
Jangdang	65.0	55.4	S-BC	Media	1998.07.01	Jinwee-stream
Sema	8.3	4.7	DeNipho	Media	2010.06.15	Hwangguji-stream
Youngdeok	13.0	7.9	NPR	Media	2009.08.01	Woncheonri-stream
<b>Osan*</b>	<b>140.0</b>	<b>118.0</b>	<b>B3, HANT</b>	<b>Others</b>	<b>2000.04.28</b>	<b>Osan-stream</b>
Giheung	50.0	34.8	B3	Others	2005.07.31	Osan-stream

\* These four PSTWs are used the determination for compliance concentration of effluent limitation

\*\* These two PSTWs are to equip with the phosphorus treatment process.

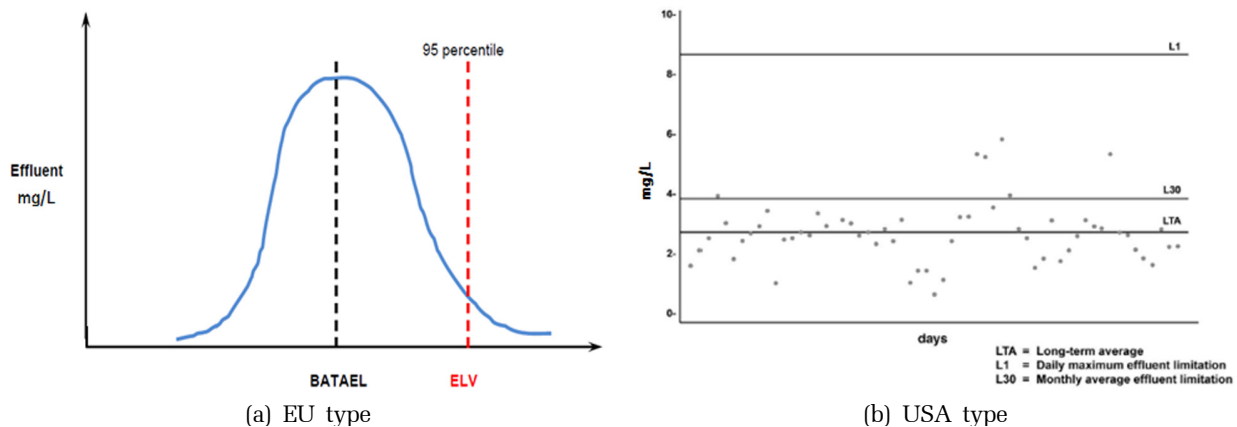


**Fig. 2.** Treatment efficiency(%) of PSTWs in Jinwee-stream watershed.

처리효율이 높은 반면 TN, TP의 처리효율이 다소 낮게 나타났다. BOD의 처리효율은 미국의 하수처리시설 방류수 수질기준(2차)에서 정한 처리효율 85%보다 높은 것을 알 수 있다(Fig. 2).

## 2.2 공공하수처리시설 방류수 수질 준수농도(안) 설정 방법

진위천수계 공공하수처리시설 중 수질오염총량관리 기본계획에 적용된 4개 공공하수처리시설의 개별 하수처리시설 데이터를 이용하여 방류수 수질 준수농도(안)를 구하고, 이들 개별 하수처리시설에서 극단적인 데이터의 오류가 발생하는 것을 배제하기 위해 16개 공공하수처리시설에 대해 처리기술 계열로 그룹화하고 정상운영 시의 수질 데이터를 활용하여 방류수



**Fig. 3.** Setting methods for effluent limit values of the public sewage treatment works in EU and USA(Revised)

Source: Frost, 2009; US EPA, 2010.

※ BATAEL = BAT associated emission level, ELV(Emission limit value, EU) = 95 percentile value of cumulative distribution, Effluent limit value(USA) = LTA × VF (Variability factor), LTA = Long term average, L1 = Daily maximum effluent limitation, L30 = Monthly average effluent limitation

수질 준수농도(안)을 산출하였다.

유럽은 산업계 배출수 관리를 위해 산업배출관리지침 (Industrial Emission Directive, IED)에서 배출시설에 대해 최적활용기술(Best available treatment, BAT)를 적용하도록 허가절차를 도입하고 있으며, 유럽(EU)은 산업계 배출시설에서 BAT 시설성능시험 누적분포의 95번째 백분위수 농도를 배출허용기준(Emission limit values, ELVs)로 산정하고 있다(EU, 1991 and revised 1998; Frost, 2009; 국립환경과학원, 2011). 미국의 산업계 배출수 처리시설에서는 배출수 장기평균값(Long-term average, LTA)에 변동계수(Variability factor)를 곱한 값을 기술에 근거한 배출허용기준(Technical-based effluent limitation, TBEL)인 EL1와 EL30을 정하는 하나의 방법으로 제시하고 있다(Fig. 3). 또한 미국의 폐수처리시설에서 일별 방류수 수질은 L1(일측정 데이터의 99번째 백분위수 농도)을 준수해야 하며, 월별 방류수 수질은 L30(월평균 데이터의 95번째 백분위수 농도)을 준수하도록 하고 있다(US EPA, 2010). 본 연구에서는 진위천수계 공공하수처리시설 처리기술계열 그룹(16 개소)에서 ELV, L1, L30을 산출하였고 개별 하수처리시설(4 개소)의 방류수 수질 데이터에서 ELV, L1, L30, EL1, EL30을 산출하였다.

이들 처리기술계열 그룹과 개별 하수처리시설의 일측정 및 월평균 데이터 세트가 정규분포하는지 확인하기 위하여 단일표본 Kolmogorov-Smirnov 검정 방법을 이용하여 적합도 검정을 실시하였다. 이 검정을 위하여 SPSS 통계패키지를 사용하였으며, 통계옵션으로 비모

수검정과 정규분포를 선택하여 검정을 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 진위천수계 공공하수처리시설의 방류수 수질 준수농도(안) 도출

진위천수계 공공수역의 수질 및 수생태계를 보전하기 위해 유역하수도정비계획을 수립 시 강화된 공공하수처리시설 방류수 수질 준수농도를 도출하는 것이 필요하기 때문에 앞 절에서 상세하게 설명하였듯이 미국과 유럽에서 산업계 배출수 처리시설에 대한 개별 배출허용기준을 결정할 때 사용하는 방법을 적용하는 근거로 삼았다. 이러한 진위천수계 공공하수처리시설에 대한 방류수 수질 준수농도를 설정하는 방법을 도식화하면 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다.

고매 및 남사 공공하수처리시설은 SBR 계열, 수원공공하수처리시설은 4-stage BNR 및 TEC-BNR(Taeyoung External Carbon addition Biological Nutrient Removal) 공법의 A<sub>2</sub>O 계열, 오산공공하수처리시설은 B3(Bio-Best-Bascillus) 공법의 기타 계열 처리기술을 도입하고 있다. 2009년부터 2013년까지 5년 동안의 진위천수계 공공하수처리시설의 방류수 수질 데이터를 이용하여 방류수 수질

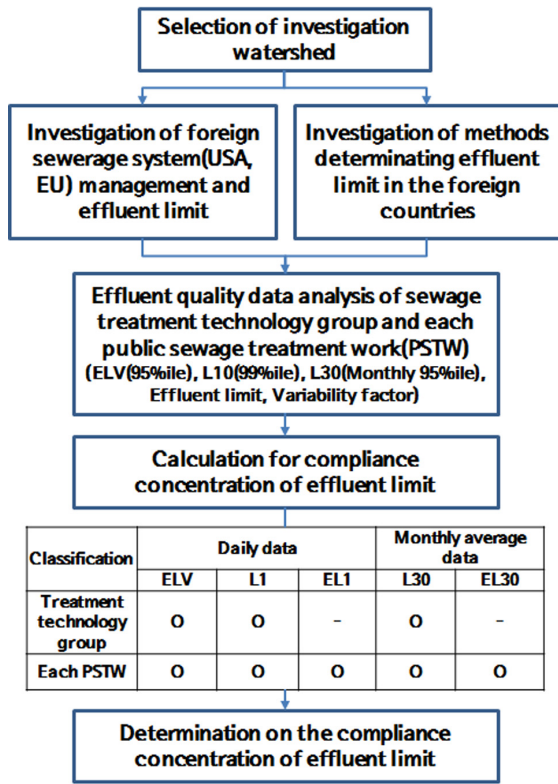


Fig. 4. Method framework determining the compliance concentration of effluent limit in public sewage treatment works(PSTWs).

※ Emission limit value(ELV) of EU, 95 percentile value of cumulative distribution; L1, Daily maximum effluent limitation(99 percentile value of daily data); L30, Monthly average effluent limitation(95 percentile value of monthly average data); Effluent limit 1(EL1) of USA, LTA of each PSTW × VF1; Effluent limit 30(EL30) of USA, LTA of each PSTW × VF30; LTA, Long term average; VF1(Variability factor of daily data in sewage treatment technology group), 99 percentile concentration ÷ daily data average; VF30(Variability factor of monthly average data in sewage treatment technology group), 95 percentile concentration ÷ monthly data average

준수농도를 도출하는 것은 현재 도입된 처리기술의 처리 효율에 근거한 방류수 수질이 얻어지므로 BPT(Best practicable control technology currently available)에 근거한 기준(준수농도)에 가깝다고 볼 수 있다(US EPA, 2010). 진위천수계 공공하수처리시설의 방류수 수질 준수농도 설정방법에 따라 공공하수처리시설 처리기술계열 그룹과 개별 하수처리시설의 일측정 및 월평균 데이터 세트에 대한 미국 및 유럽에서 배출허용기준을 설정하는 통계분석 방법을 이용하여 방류수 수질 준수농도를 산출하였다. 즉, 공공하수처리시설에서 처리기술 계열별 도입한 처리

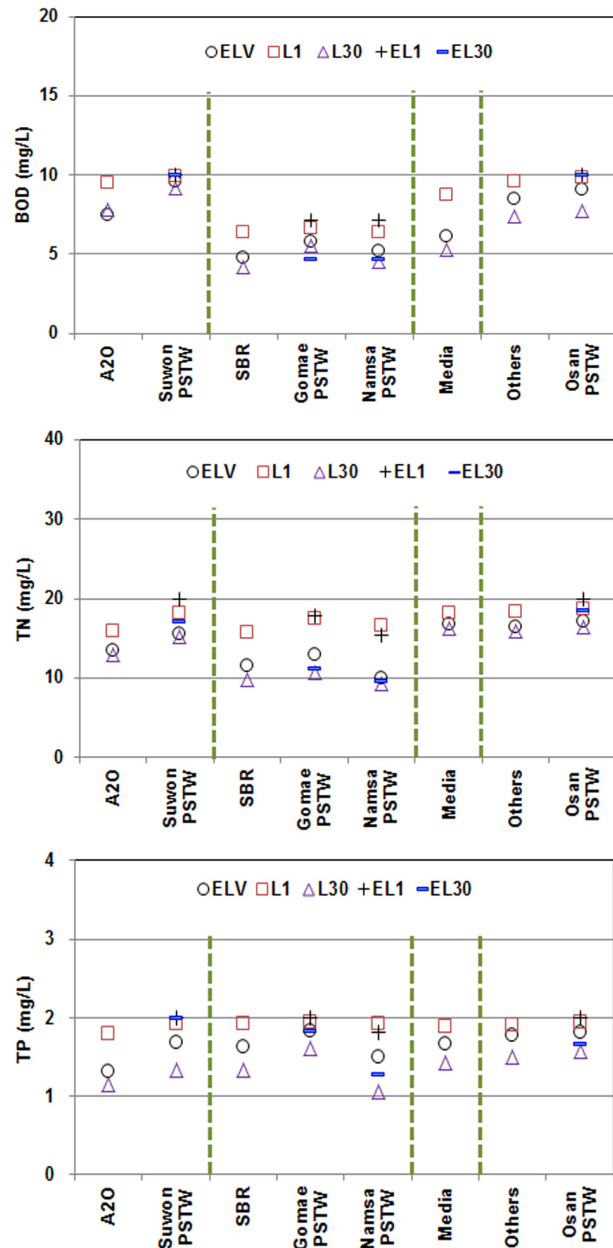


Fig. 5. Compliance concentration of effluent limitation of PSTWs with daily data and monthly average data in Jinwee watershed.

기술에 따라 Fig. 5에서와 같이 BOD, TN, TP 항목의 방류수 수질 준수농도가 상이하게 산출되었는데, 고매공공하수처리시설은 BOD 4.2~7.1 mg/L, TN 9.9~17.8 mg/L, TP 1.6~2.6(2.0) mg/L, 남사공공하수처리시설은 BOD 4.2~7.1 mg/L, TN 9.3~16.7 mg/L, TP 1.6~1.9 mg/L, 수원공공하수처리시설은 BOD 7.5~19.8(10.0) mg/L, TN 13.0~20.9(20.0) mg/L, TP 1.3~2.1(2.0) mg/L, 오산공공하



수처리시설은 BOD 7.4~14.3(10.0) mg/L, TN 15.9~21.4(20.0) mg/L, TP 1.5~2.1(2.0) mg/L의 범위에서 산출되었다. 이를 BOD 항목에 대해 좀 더 상세하게 살펴 보면, 처리기술계열 그룹에 대한 방류수 수질 준수농도에서 A<sub>2</sub>O 계열은 7.5~9.5 mg/L, SBR 계열은 4.2~6.4, mg/L, Media 계열은 5.3~8.7 mg/L, 기타 계열은 7.4~9.6 mg/L의 범위에서 산출되었고, 개별 하수처리시설의 방류수 수질 준수농도에서 고매공공하수처리시설은 4.7~7.1 mg/L, 남사공공하수처리시설은 4.5~7.1 mg/L, 수원공공하수처리시설은 9.2~19.8(10.0) mg/L, 오산공공하수처리시설은 7.7~14.3(10.0) mg/L의 범위에서 산출되었다.

이들 하수처리시설의 처리기술에 따라 SBR 계열 처리기술을 도입한 고매·남사 공공하수처리시설에서 BOD 준수농도 값이 가장 낮게 나타나 유기물질의 제거에 유리한 것으로 나타났다. TN 제거에서도 SBR 계열 처리기술이 보다 유리한 것으로 나타났고, TP 제거에는 A<sub>2</sub>O 계열 처리기술을 도입하는 것이 유리한 것으로 나타났으나 이들 처리기술로는 99번째 백분위

수 농도가 IV지역 방류수 수질기준인 2 mg/L에 가깝게 나타나 TP를 처리하기 위해서는 별도 인처리시설을 갖추는 것이 필요한 것으로 판단되었다.

공공하수처리시설 방류수 수질 준수농도의 산출결과를 비교해 보았을 때 강화된 수질기준 설정 시 공공수역에 대한 오염부하 등 수질에 미치는 영향의 관점에서 월평균 데이터의 95번째 백분위수 농도인 L30 준수농도 값을 사용하는 것이 피크 농도 값이 크게 반영되는 ELV 준수농도 값보다 합리적인 것으로 판단된다. 그리고, 수질오염총량관리 시행계획의 이행평가기준 고시(환경부, 2014)에서 할당시설의 배출부하량을 산정할 때 일측정 데이터의 연평균 배출수질을 조사하여 배출부하량을 산정하여 평가하는 것을 감안하면 이와 유사한 방식의 월평균을 고려한 L30 준수농도를 적용하는 것이 공공하수처리시설 방류수 수질 관리에 적합한 것으로 판단된다. 또한 진위천수계 공공하수처리시설의 처리기술계열 그룹과 개별 하수처리시설의 준수농도 결과를 비교해 보면 남사공공하수처리시

**Table 3.** Compliance concentration of effluent limitation of PSTWs by treatment technology group with daily data and monthly average data in Jinwee watershed

Classification	Items	Daily data				Monthly average data			
		A <sub>2</sub> O	SBR	Media	Others	A <sub>2</sub> O	SBR	Media	Others
BOD (mg/L)	Sample numbers	9,444	6,705	4,895	3,652	317	220	161	120
	Average±Standard deviation (Min~Max)	2.8±2.0 (0.1~10.0)	2.2±1.3 (0.1~6.9)	3.2±1.6 (0.1~9.9)	3.4±2.5 (0.1~10.0)	2.9±2.0 (0.6~9.6)	2.2±1.1 (0.6~6.0)	3.2±1.4 (0.7~8.6)	3.4±2.2 (0.7~8.5)
	Z of Kolmogorov-Smirnov (Significant probability)	17.979 (0.000)	8.364 (0.000)	6.489 (0.000)	10.830 (0.000)	3.641 (0.000)	1.417 (0.036)	0.939 (0.342)	1.921 (0.001)
	Variability factor (VF1 or VF30)	3.4	2.9	2.7	2.8	2.6	1.9	1.7	2.2
TN (mg/L)	Sample numbers	9,746	6,702	4,886	3,646	320	220	161	120
	Average±Standard deviation (Min~Max)	8.212±2.947 (0.009~19.580)	5.082±2.877 (0.462~19.985)	10.370±3.805 (0.291~19.830)	9.756±3.605 (1.039~19.924)	8.219±2.240 (3.665~15.949)	5.105±2.412 (1.146~15.373)	10.367±3.366 (3.777~17.950)	9.774±2.849 (5.651~17.036)
	Z of Kolmogorov-Smirnov (Significant probability)	7.452 (0.000)	12.480 (0.000)	3.131 (0.000)	3.642 (0.000)	2.883 (0.000)	3.004 (0.000)	1.310 (0.065)	1.240 (0.092)
	Variability factor (VF1 or VF30)	1.9	3.1	1.8	1.9	1.6	1.9	1.6	1.6
TP (mg/L)	Sample numbers	9,641	6,644	4,894	3,620	320	220	161	120
	Average±Standard deviation (Min~Max)	0.442±0.405 (0.002~2.000)	0.597±0.475 (0.014~1.998)	0.955±0.441 (0.100~1.980)	0.966±0.437 (0.110~2.000)	0.450±0.347 (0.057~1.738)	0.605±0.337 (0.105~1.734)	0.959±0.327 (0.174~1.690)	0.968±0.321 (0.360~1.672)
	Z of Kolmogorov-Smirnov (Significant probability)	19.435 (0.000)	10.799 (0.000)	4.926 (0.000)	4.919 (0.000)	3.389 (0.000)	1.444 (0.031)	0.901 (0.391)	1.001 (0.269)
	Variability factor (VF1 or VF30)	4.1	3.2	2.0	2.0	2.6	2.2	1.5	1.6



설의 준수농도 값을 제외하면 전체 처리기술계열 그룹의 방류수 수질 준수농도가 낮게 나타나 고매·수원·오산 공공하수처리시설에 대해서는 효율적 운영관리, 시설개선 등이 좀 더 필요한 것으로 판단되었다.

SPSS 프로그램을 이용하여 진위천수계 공공하수처리시설의 처리기술 계열별로 그룹화한 일측정 데이터 및 월평균 데이터 세트에 대한 단일표본 Kolmogorov-Smirnov 적합도 검정을 실시하였는데(이학삼·임지훈, 2005), Z 값이 크고 유의확률이 0.05보다 낮아 데이터 패턴의 변동성이 크기 때문에 정확한 데이터의 확보 및 관리에 좀 더 관심을 가질 필요가 있다고 판단된다(Table 3). 4개 개별 하수처리시설의 일측정 데이터 및 월평균 데이터 세트에 대한 단일표본 Kolmogorov-Smirnov 적합도 검정에서도 이와 유사한 결과를 얻었다.

### 3.2 유역하수도 공공하수처리시설 방류수 수질 준수농도(안) 설정방법 고찰

유역하수도정비계획 수립 시 필요한 공공하수처리시설 방류수 수질 준수농도(안)를 강화하기 위해 3.1 절의 방류수 수질 준수농도 도출 결과로부터 개별 하수처리시설에 대한 방류수 수질 준수농도를 산출할 수 있으며, 이들 준수농도를 개별 하수처리시설에 배분하여 공공수역인 진위천수계의 환경용량에 맞는 개별 준수농도를 설정할 수 있다.

진위천수계 공공하수처리시설에서 도입하고 있는 처리기술을 계열별로 그룹화하여 분류하면 A<sub>2</sub>O, SBR, Media, 기타 계열 처리기술 등의 4 가지 계열 처리기술로 분류할 수 있다. 이들 처리기술 계열에 따라 BOD, TN, TP 항목에 대한 방류수 수질 준수농도를 산출할 수 있다(Fig. 5). 이에 따르면 SBR 계열 처리기술을 도입한 고매 및 남사 공공하수처리시설과 같이 시설용량이 각각 하루 6,200 m<sup>3</sup> 및 2,000 m<sup>3</sup>으로 작은 규모로서 처리기술에 근거하여 도출한 BOD 방류수 수질 준수농도(안)의 범위가 4.2~7.1 mg/L로 낮게 나타나 다른 계열 처리기술을 도입한 하수처리시설의 준수농도(5.3~10.0 mg/L) 보다 좀 더 효율적으로 운영하고 있다고 평가할 수 있으나, 동일 처리기술계열에 비교하면 좀 더 개선의 여지를 보였다. 또한, 각각 A<sub>2</sub>O 및 기타(B3) 계열 처리기술을 각각 도입한 수원 및 오산 공공하수처리시설은 시설용량이 하루 520,000 m<sup>3</sup> 및 140,000 m<sup>3</sup>으로 규모로서 처리기술에 근거하여 도출

한 BOD 방류수 수질 준수농도(안)의 범위가 각각 7.5~19.8(10.0) mg/L, 7.4~14.3(10.0) mg/L로 높게 나타났는데, 동일 처리기술계열과 비교하여도 높아서 이들 공공하수처리시설의 운영관리에 대해 좀 더 효율적으로 개선할 필요가 있다고 판단되었다. 한편, 처리기술에 근거한 방류수 수질 준수농도(안)을 산출하여 고매 및 남사 공공하수처리시설에 강화된 준수농도(안)를 적용하는 것보다 수원 및 오산 공공하수처리시설에 이 보다 완화된 준수농도(안)를 적용하더라도 수원 및 오산 공공하수처리시설 처리용량이 매우 크므로 공공수역에 미치는 효과 역시 매우 크다는 것을 알 수 있다.

방류수 수질 준수농도 산출 방법별로 볼 때 Fig. 5에서 보듯이 공공하수처리시설별로 차이는 있으나 피크농도 값을 잘 반영하는 L1 방법(일측정 데이터의 99번째 백분위수 농도)의 준수농도와 EL1 방법(처리기술계열 그룹 일측정 데이터의 변동계수×개별 하수처리시설의 평균농도)의 준수농도가 높게 나타나고, 대표농도 값에 가까운 ELV(일측정 데이터의 95번째 백분위수 농도), L30(월평균 데이터의 95번째 백분위수 농도) 순으로 낮아졌다. 즉, 처리기술계열 그룹과 개별 하수처리시설에 대해 일측정 데이터 및 월평균 데이터의 백분위수 등 통계처리를 통하여 Fig. 5와 같이 공공하수처리시설의 방류수 수질 준수농도(안)를 산출할 수 있다. 4개 공공하수처리시설에 적용하고 있는 처리기술계열 그룹 및 이들 개별 하수처리시설의 데이터를 통계처리하여 산출한 BOD 방류수 수질 준수농도(안)에 대해 비교해 보았을 때 1) ELV 방법으로 고매공공하수처리시설 4.8~5.8 mg/L, 남사공공하수처리시설 4.8~5.2 mg/L, 수원공공하수처리시설 7.5~9.6 mg/L, 오산공공하수처리시설 8.5~9.1 mg/L, 2) L1 방법으로 고매공공하수처리시설 6.4~6.6 mg/L, 남사공공하수처리시설 6.4 mg/L, 수원공공하수처리시설 9.5~9.9 mg/L, 오산공공하수처리시설 9.6~9.8 mg/L, 3) EL1 방법으로 고매공공하수처리시설 7.1 mg/L, 남사공공하수처리시설 7.1 mg/L, 수원공공하수처리시설 19.8(10.0) mg/L, 오산공공하수처리시설 14.3(10.0) mg/L, 4) L30 방법으로 고매공공하수처리시설 4.2~5.5 mg/L, 남사공공하수처리시설 4.2~4.5 mg/L, 수원공공하수처리시설 7.8~9.2 mg/L, 오산공공하수처리시설 7.4~7.7 mg/L, 마지막 방법인 5) EL30 방법으로 고매공공하수처리시설 4.7 mg/L, 남사공공하수처리시설 4.7 mg/L, 수원공





공하수처리시설 16.4(10.0) mg/L, 오산공공하수처리시설 11.0(10.0) mg/L의 방류수 수질 준수농도를 산출하였다. 이 중 월평균 데이터의 95번째 백분위수 농도로 방류수 수질 준수농도를 구하는 3)의 L30 방법이 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 향후 국내 유역하수도정비계획 수립 시 강화된 방류수 수질 준수농도를 산출하는 방법으로 L30 방법을 사용하는 것을 적극 검토하는 것이 필요하다고 판단되었다.

수원과 오산처럼 개별 하수처리시설의 수질 데이터를 이용하여 산출한 방류수 수질 준수농도(안)이 현행 하수도법 시행규칙의 방류수 수질기준(IV지역 BOD 기준 10 mg/L)을 초과하는 경우가 발생하는 경우 방류수 수질 준수농도는 기존의 방류수 수질기준을 적용하여야 한다. 그리고, 산출된 방류수 수질 기준준수(안)이 공공수역에서 효율적으로 적용하는 것이 가능한지 판단하기 위해 향후 진위천수계를 대상으로 산출된 방류수 수질 준수농도가 해당 공공수역의 목표기준을 얼마나 달성할 수 있는지 평가하는 것이 바람직하며 이를 위해 진위천 수계에 대한 수질예측 모델링을 추가적으로 수행하는 것이 필요하다.

## 4. 결 론

유역환경청에서 수립하고 있는 유역하수도정비계획 수립 시 공공하수처리시설 방류수 수질 준수농도를 일률적으로 설정하고 있어 이를 해소하기 위해서는 하수처리시설의 처리기술에 근거한 방류수 수질 준수농도를 합리적으로 설정방법을 마련하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 우리나라 유역하수도정비계획 수립할 때 공공하수처리시설의 강화된 방류수 수질 준수농도를 산출하기 위하여 진위천수계를 대상으로 미국과 유럽의 배출허가 시 산업계 배출수 처리시설의 배출허용기준 설정방법을 적용하였다.

진위천수계 공공하수처리시설의 처리기술계열 그룹과 개별 하수처리시설에 대한 일측정 및 월평균 데이터 세트를 이용하여 미국과 유럽에서 배출허용기준을 정하는데 사용되는 백분위수, 평균값과 변동계수 등의 개념을 이용하여 5가지 방법으로 방류수 수질 준수농도를 구한 결과 월평균 데이터의 95번째 백분위수 농도값인 L30을 구하는 방법이 가장 좋은 결과를 도출하였으며 향후 이 방법을 사용하여 유역하수도정비계획을 수립할 때 강화된 방류수 수질 준수농

도(안)를 도출하는 방법으로 적용하는 것을 검토하는 것이 필요하다. 또한, A<sub>2</sub>O 및 기타(B3) 계열 처리기술을 도입한 공공하수처리시설에서 SBR 계열 처리시설을 도입한 공공하수처리시설보다 처리기술에 근거한 방류수 수질 농도 수준이 높아 개별 하수처리시설에 대해 처리기술계열별 처리효율을 감안한 현실적인 개선안을 도출할 수 있었다.

향후 유역하수도정비계획 수립 시 진위천수계 내 공공하수처리시설에 대해 처리기술에 근거하여 방류수 수질 준수농도를 설정하더라도 공공수역의 수질 목표기준을 달성하기 위해서는 해당 유역의 공공하수처리시설에서 방류되는 수질 준수농도가 공공수역에 어떠한 영향을 미치는지 수질예측모델링을 수행하고 그 결과를 검토하여 유역하수도 개별 하수처리시설의 방류수 수질 준수농도(안)을 설정하는 것이 필요하다.

## References

- England and Wales (2003) The urban wastewater treatment regulation.
- EU (1991) Water quality in the European Union, Council Directive of 21 May 1991 concerning Urban wastewater treatment(91/271/EEC).; EU (1998) Revised Directive.
- Federal Environment Agency (2014) Water resource management in Germany.
- Frost, R.C. (2009) EU practice in setting wastewater emission limit values, <http://wggw.org.ua/materials.php>.
- Haksik Lee · Jihoon Lim (2005) Manual of SPSS 12.0, Beopmoon-sa.
- Ministere de l'ecologie, de l'energie, du developpement durable et de la mer (2009) Directive europeenne du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines residuaires.
- Ministry of Environment (2008) A study of management measures and maintenance for watershed sewer system.
- Ministry of Environment (2011) Commission report to establish the Watershed Sewer System Maintenance Plan in the Miho-stream watershed.
- Ministry of Environment (2013) Guideline for the establishment of Watershed Sewer System Maintenance Plan.
- Ministry of Environment (2013.02.01) Specified unit watershed of the Watershed Sewer System Maintenance Plan, The notice of MOE No. 2013-10.
- Ministry of Environment (2013.11.29) Implementation regulation of Sewerage Act, The Ordinance of Ministry

pp. 447-457

pp. 459-468

pp. 469-479

pp. 481-491

pp. 493-502

pp. 503-510

pp. 511-517

pp. 519-531

- of Environment No. 526.
- Ministry of Environment (2014.04.30) Assessment guideline for implementation plan of Water Pollution Total Load Management, The notice of MOE No. 2014-71.
- Ministry of Environment · Han-River Basin Environmental Office (2014) Commission report to establish the Watershed Sewer System Maintenance Plan in the Anseong-stream watershed.
- National Institute of Environmental Research (2011) Manual of standard technological assessment for establishment of individual wastewater limitations of each industrial facility.
- Northern Ireland (2007) The urban wastewater treatment regulation.
- Scotland (2003) The urban wastewater treatment regulation.
- US EPA (2010) NPDES permit writer's manual.
- Youngsan-River Basin Environmental Office (2013) Commission report to establish the Watershed Sewer System Maintenance Plan in the upper area of Youngsan river.
- 日本 (2012) 下水道法 施行令(平成 24年).