

농촌 지역의 하수관거 정비사업이 하수처리장 운영에 미치는 영향

김성중·이지원·길경익[†]

서울과학기술대학교 건설시스템공학과

The Effect of Sewer Pipe Retrofit on The Operation of Sewage Treatment Plant in Rural Area

Seongjung Kim·Jiwon Lee·Kyungik Gil[†]

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology

(Received : 26 April 2019, Revised: 15 May 2019, Accepted: 15 May 2019)

요약

최근 농촌지역은 급속도로 발전하고 있으나 기존의 기반시설은 발전하는 농촌실정에 비해 부족하고, 노후화 되어있다. 그 중 가장 대표적인 것이 하수관거 시스템이다. 본 연구에서는 경기도 A시의 농촌지역을 연구대상 지역으로 선정하여 하수관거 정비사업이 하수처리장 운영에 미치는 영향을 분석하였다. 분석항목은 유입하수량의 변화와 대표 오염물질 항목에 대한 하수농도, 유입하수 부하, C/N비 마지막으로 오염물질 처리효율을 비교 분석하였다. 분석결과 농촌지역 개발로 하수 발생량이 증가하였으며, 하수관거 개량 및 신설로 하수관거 내 불명수의 유입차단 및 관리가 향상되어 하수처리장내 고농도의 하수 유입으로 하수 부하량이 증가한 것으로 사료되며, 이는 C/N비 증가와 더불어 TN 및 TP 제거효율의 개선까지 영향을 미친 것으로 판단된다. 향후 본 연구 결과는 농촌지역의 하수관거 정비사업이 하수처리장의 운영에 긍정적인 영향을 미친 대표적인 사례로 활용될 수 있다.

핵심용어 : 농촌지역, 하수관거, 정비사업, C/N비, 하수처리장

Abstract

Recently, rural areas are rapidly developing, while existing infrastructure is inadequate and aging compared to developing rural areas. The most representative of these is the sewer system. Therefore, in this study, the rural area of Gyeonggi A city was selected as the study area and analyzed the effect of the sewer maintenance business on the operation of the sewage treatment plant. The analysis items were pollutant treatment efficiencies, the changes of inflow sewage amount, sewage concentration, influent load, and C / N ratio by comparing before and after the development. As a result of the analysis, the sewage amount increased significantly after the development, and the sewage concentration increased after the development and the load of the sewage in the wastewater treatment plant also increased after the development. And improvement and management of inflow of unidentified water such as infiltration water and influent water in the sewage pipe was improved due to improvement of sewage pipe, which is considered to have affected the increase of C / N ratio and the improvement of TN and TP removal efficiency. The results of this study can be used as a representative example of the sewerage maintenance project in the rural area that positively influenced the operation of the sewage.

Key words : Rural area, sewer pipe, Maintenance, C/N ratio, STP

1. 서 론

1995년 본격적인 지방자치제 시행 이후 현재 우리나라는 17개의 광역자치단체와 226개의 기초자치단체를 형성하고 있다. 지방자치단체는 각 지역의 실정과 특색에 맞게 지역경제를 운영하고 있으며, 최근 농촌 지역의 경우 대규모 아파트단지나 산업

단지 등의 건설이 급격히 증가하고 있다. 농촌 지역 개발 시 발생할 수 있는 문제점 중 하나는 하수관거 시스템의 부족 및 노후화로 인해 증가한 점오염원 및 비점오염원을 적절히 처리하기 어렵다는 점이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 노후화 되거나 신규 하수관거가 필요한 지역에 교체, 보수·보강, 추가로 신설하는 것을 통틀어 하수관거 정비라 한다.

농촌 지역에서는 농사 및 각종 동물의 사육을 통해 가축분뇨 및 침출수 등을 많이 발생시키고 있으나, 하수관거 시스템이 제대로 정비되어 있지 않아 농경지에서 발생하는 오염물질 등이 강우 유출수에 섞여 지역 수계로 직접 방류되고 있는 곳이 상당

[†] To whom correspondence should be addressed.
Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea
E-mail: kgil@seoultech.ac.kr

한 실정이다(Im and Gil, 2015; Gil et al., 2012). 이러한 농촌지역의 비점오염원을 처리하기 위해 다수의 연구들이 선행되었는데, 한강수계에 직접적인 영향을 주는 지역수계를 대상으로 농촌지역의 강우 시 유출수를 분석하여 비점오염물질의 유출특성에 대한 연구, 농촌 지역에서 발생하는 하수 특성 분석 연구 등 주로 비점오염원의 특성과 현황을 주로 파악하는 연구결과들이었다(Lim, Lee and Choi, 1984; Kim et al., 2005; Kim et al., 2008; Im et al., 2012; Im and Gil 2014).

또한, 농촌 지역에 아파트단지나 산업단지 등의 건설로 하수처리인구가 증가하게 되면 점오염원이 증가하게 된다. 일반적으로 유입 하수 내 유기물의 농도가 증가하면 C/N(Carbon/Nitrogen)비가 증가하여 하수처리장 내 오염물질 제거효율이 증가하게 된다(Rho and Gil, 2007; Eom and Kim, 2018). 그러나 농촌 지역에 경우 이러한 점오염원을 하수처리장까지 이송시킬 수 있는 하수처리 시스템이 개발되어있지 않거나, 하수관거가 노후화되어 있어 I/I(Infiltration/inflow)가 증가하여 C/N비가 감소하여 하수처리장 운영이 어려운 것으로 보고되고 있다(Choi and Choi, 2016; An and Song, 2011). 본 연구는 비점오염원과 점오염원 모두를 적절히 처리할 수 있도록 기존의 노후관거를 보수, 보강하였으며, 새롭게 필요한 지역은 신설을 하여 농촌지역의 하수관거 정비사업이 실제 하수처리장 운영에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구를 진행하였다는 점이 상기 선행연구들과의 차이점이라 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 경기도 A시 지역에 실시된 하수관거 정비사업의 전후를 기점으로 하수처리장의 오염물질 부하변화와 이에 따른 C/N비 개선효과 및 오염물질 제거율 변화를 분석하여 농촌 지역의 하수관거 정비사업이 하수처리장에 미치는 영향을 제시하였다. 향후 본 연구 자료는 농촌 지역의 하수관거 개발 및 개선공사의 효과를 나타내는 근거자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구방법

2.1 연구대상 지역

본 연구의 대상 지역은 최근 급속도로 발전하고 있는 경기도 A시의 농촌 지역을 선정하였다. 해당지역은 공동주택 신축공사를 실시함으로써 신규 하수관거 설치 및 노후관거 정비사업이 실시되어 개발 전후의 오염물질 발생량과 부하를 비교하기 용이하여 본 연구대상 지역으로 선정하였다. 또한 우수관거 및 오수관거 2계통으로 하수배제 계획을 수립한 분류식 계획지역으로 당 해 신설되는 분류식 관거에 의해 발생하는 오염원을 분석하였다. 본 연구대상지는 기존의 농경지 및 임야를 개발하여, 새로운 주거환경 조성 및 정비기반시설을 확충하는 사업을 실시하였기 때문에 토지이용 현황의 변화가 발생하였다. 불투수층이 증가하여, 개발 전 발생 유량보다 발생 유량이 증가하였으며, 공동주택 신축으로 인한 외부인구의 유입으로 인구증가가 발생하였다. 본 개발사업의 공사기간은 2015년 8월부터 2018년 4월까지로 상 기간을 개발 전 기간으로 정하였고, 2018년 4월부터 동년 12월까지를 개발 후 기간으로 정하였다.

농촌 지역에서 발생한 하수를 처리하는 하수처리장은 동일지역에 위치한 B하수처리장으로, 하수관거 공사 전·후의 하수처리장 운영 자료를 분석하여 하수처리장내 C/N비 변화나 오염물질 제거율 변화 등을 분석하였다. B 하수처리장의 기본현황은 아래 Table 1과 같다.

2.2 분석방법

오염항목은 TSS, BOD, COD, TN, TP 이상 5개 항목을 분석하였으며, 모든 항목은 Standard Methods 23th(AWWA, 2017)과 수질오염 공정시험기준(환경부, 2017)에 의거하여 분석 하였다.



Fig. 1. Research areas : development area and sewage treatment plant(from right)

Table 1. Characteristics of B sewage treatment plant

Operating date (year, month)	Treatment area (km ²)	Treatment volume (m ³ /day)	Investment expense (Million)	Method
2010. 06	1.83	8,300	34,805	DeNiPho

오염물질 저감효율 산정방법으로는 대표적인 방법중 하나인, SOL(Summation of loads, SOL) 방법으로 오염물질의 총 저감 부하량을 총 유입부하량으로 나누어 산정하는 방법을 채택하였다(US EPA, 2002).

$$\text{Summation of loads(\%)} = \frac{\sum \text{Load}_{Inf} - \sum \text{Load}_{Eff}}{\sum \text{Load}_{Inf}} \text{ (Eq. 1)}$$

3. 결과 및 고찰

본 연구의 대상지는 개발 사업에 의해 공동주택 신축 및 그에 따른 정비기반시설을 확충하는 사업이다. 개발 사업으로 인해 기존의 토지이용현황이 변경되었고, 인구 또한 증가하여, 기존의 하수관거 시스템으로는 원활한 우수 및 오수배제가 불가하여 증가한 하수발생량을 원활히 배제할 수 있도록 분류식 배제방식으로 정비계획을 수립하였다. 이에 따라 본 연구지역에 실시한 정비사업 전·후로 하수처리장에 미친 영향을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

3.1 유입하수량 변화 분석

개발 전·후 하수량 변화를 분석해보면, 개발 전인 2015년~2018년 4월까지 유입하수량은 4,450m³/day ~ 6,375m³/day의 범위로 유입되어, 평균 유입량은 5,078m³/day로 유입되었다. 개발 후의 하수 유입량은 2018년 5월부터 12월까지 6,762m³/day ~ 7,170m³/day의 범위로 유입되어 평균 유입량은 6,984m³/day로 유입되었다. 분석결과 개발 전의 하수 유입량 보다 개발 후의 하수 유입량이 확연히 증가하였음을 알 수 있다. 이는 공동주택 신축으로 인구의 증가와 하수관거의 개량 및 신설로 인해 하수처리장으로 이송된 오수량이 증가한 것으로 판단된다.

연도별로는 2015년은 4,787m³/day ~ 5,737m³/day의 범위로 유입되어, 평균 유입량은 5,323m³/day로 유입되었으며, 2016년은 4,450m³/day ~ 5,317m³/day의 범위로 유입되어, 평균 유입량은 4,840m³/day로 유입되었다. 2017년은 4,516m³ ~ 5,979m³/day의 범위로 유입되어 평균 유입량은 5,102m³/day로 유입되었다. 또한, 2018년 4월까지 5,019m³/day ~ 6,375m³/day로 유입되어 평균 유입량은 5,460m³/day로 유입되었다. 계절별로는 겨울철인 1~2월 사이에 최저 유입량을 기록하였고, 여름철인 6~7월 사이에 최고 유입량을 기록하였다. 이는 겨울철 보다 더운 여름철에 상대적으로 급수량이 증가함에 따라 생활 오수량이 증가한 것으로 사료된다. Fig. 2는 총 기간별 유입하수량의 변화를 나타내었으며, 개발 전·후를 기점으로 유입 하수량의 변화가 크게 발생한 것으로 나타났다.

3.2 유입하수농도 변화 분석

개발 전·후의 하수농도 변화를 오염물질 항목별로 비교한 결과를 신뢰도 95% 구간에서 통계분석을 실시하여 Box plot으로 Fig. 3과 같이 나타났다. BOD의 경우 개발 전 평균 유입농도는 약 245.1mg/L 였으며, 개발 후의 평균농도는 약 316.4mg/L로 증가하였다. TSS의 개발 전 평균 유입농도는 240.55mg/L에

서 개발 후에는 225.65mg/L로 다소 감소하였으며, COD는 개발 전 평균 유입농도는 112.1mg/L에서 개발 후에는 115.9mg/L로 다소 증가했다. 또한, TN은 개발 전 평균 유입농도는 45.64mg/L에서 개발 후 52.35mg/L로 크게 증가했으며, TP는 개발 전 평균 6.13mg/L에서 개발 후 6.33mg/L로 소폭 증가하였다. 개발 전·후 하수농도 변화를 분석한 결과 개발 전후 기간으로 확실히 대부분의 오염물질 농도가 증가하는 경향을 보였으나, TSS는 조금 감소하는 것으로 나타났다. 이는 유입하수량의 변화와 밀접한 관계를 나타내는 것으로 판단되며, 희석효과에 의해 TSS의 농도는 조금 감소한 것으로 사료되었다. 오염물질 농도의 증가 원인으로는 개발 후 인구의 증가로 인하여 생활오수와 분뇨오수의 증가 및 하수관거의 정비사업에 따른 I/I 감소효과에 기인한 것으로 판단된다. 하지만 유입량과 농도가 모두 변화하였으므로 정확한 영향분석을 실시하기 위하여 부하분석을 실시하였다.

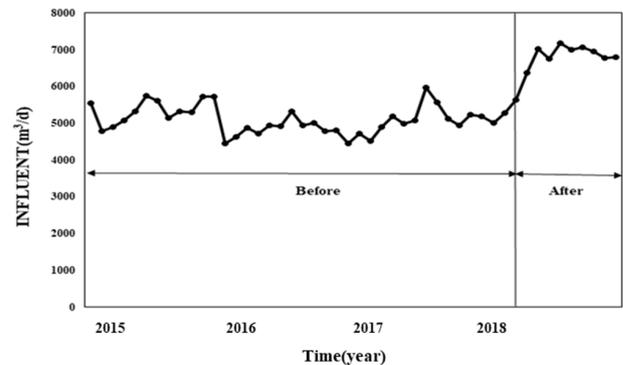


Fig. 2. Influent variation before and after development

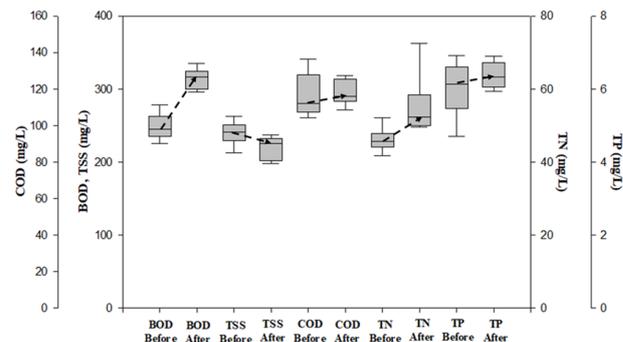


Fig. 3. Variation of influent sewage concentration before and after development

3.3 유입하수 부하량 변화 분석

개발 전·후의 하수처리장으로 유입되는 하수의 유입부하를 오염물질 항목별로 비교 분석한 결과를 마찬가지로 신뢰도 95% 구간에서 통계분석을 실시하여 Fig. 4와 같이 표현하였다. BOD의 경우 개발 전 평균 부하량은 1,258.1kg/day였으며, 개발 후에는 2,186.4kg/day로 개발 전 대비 약 74% 증가하였다. 중앙값 기준으로 TSS의 개발 전 부하량은 1,221.6kg/day에서 개발 후에는 1,531.1kg/day로 기존대비 약 25% 증가하였으며, COD는 개발 전 부하량 577.4kg/day에서 개발 후에는

810.4kg/day로 약 40% 증가했다. 또한, TN은 개발 전 증양값 부하량이 234.6kg/day에서 개발 후 358.2kg/day로 개발 전 대비 53% 증가했으며, TP 역시 개발 전 부하량 30.5kg/day에서 개발 후 45.1kg/day로 기존대비 48% 증가하였다. 개발 전·후 유입하수의 하수 부하량을 분석한 결과 모든 오염물질 항목이 증가한 것으로 나타났다. 앞서 농도만으로 분석한 결과와 다소 차이가 있으며, 이는 유입량과 농도가 모두 변화하였기 때문에 부하의 변화로 분석하는 것이 보다 정확한 분석방법임을 확인하였다.

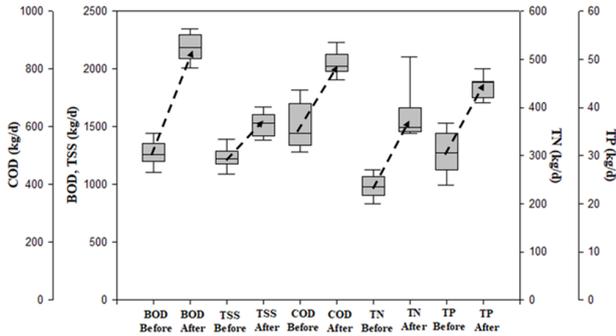


Fig. 4. Variation of influent load before and after development

3.4 C/N 비

C/N비는 하수처리장으로 들어오는 유입수질의 유기물과 질소의 비를 뜻하며, 일반적으로 국내 하수처리장의 C/N비는 해외에 비하여 낮은 편이다. 유기물 농도가 질소에 비해 낮게 유입되면 생물학적 처리를 할 경우 질소의 탈질 반응 시 필요한 유기물이 부족하게 되므로 질소의 제거율이 감소되는 것이 당연하며, 인의 경우도 luxury uptake 반응 시 유기물을 필요로 하므로 유기물이 풍부하게 들어올 경우 질소와 인의 제거율이 증가하게 된다. 본 연구에서는 BOD와 TN의 유입부하를 토대로 C/N비를 산정하였으며, 개발 전·후의 하수처리장으로 유입되는 C/N비를 95%의 신뢰구간에서 통계처리 하였다. 분석결과 증양값 기준으로 개발 전의 C/N비는 5.46으로 나타났으며, 개발 후는 5.99로 나타났었다. Fig. 5에 이를 나타냈으며, C/N비에 따른 하수처리효율 효과는 3.5장에 수록하였다.

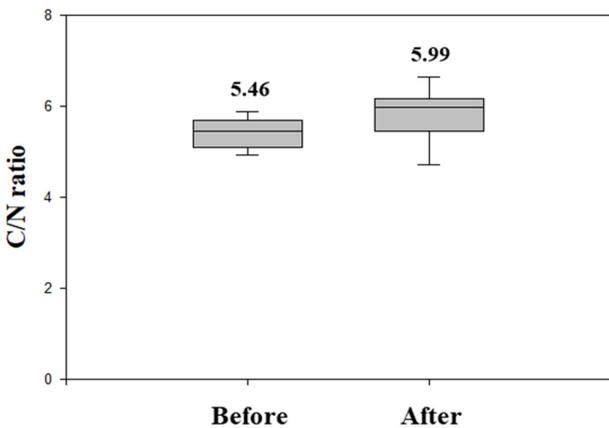


Fig. 5. Variation of C/N ratio before and after development

3.5 하수처리장 처리 효율 비교

앞서 분석한 부하량과 C/N비의 연구결과를 토대로 실제 하수처리장의 오염물질 제거효율이 상승하였는지 B하수처리장의 실제 운전데이터를 통해 분석하였다. 제거효율은 SOL방법으로 부하량을 토대로 산정하였으며, Fig. 6에 해당 결과를 나타내었다. 그림을 보면 확연히 알 수 있듯이 전체적으로 오염물질이 증가하는 경향을 보였으나, 특히 영양염류(TN과 TP) 항목의 제거효율이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 앞서 분석한 C/N비의 증가가 주원인인 것으로 판단된다. 항목별 분석결과 BOD는 98.4%에서 98.9%로 증가하였으며, SS는 98.0%에서 98.3%로 증가하였고, COD는 80.5%에서 92.1%로 증가하였다. TN은 80.5%에서 84.3%로 증가하였으며, TP는 86.2%에서 92.2%로 증가하였다. C/N비가 증가하면서 하수처리의 효율도 물론 증가하였으나, 이로 인해 기존에 투입되었을 메탄올이나 기타 약품의 절감까지 고려한다면, 하수처리장에서 하수관거 정비사업으로 인해 발생하는 효과는 경제적으로도 상당할 것으로 판단된다. 향후 경제성 분석까지 고려된다면 더욱 구체적인 기대효과를 분석할 수 있을 것으로 예상된다.

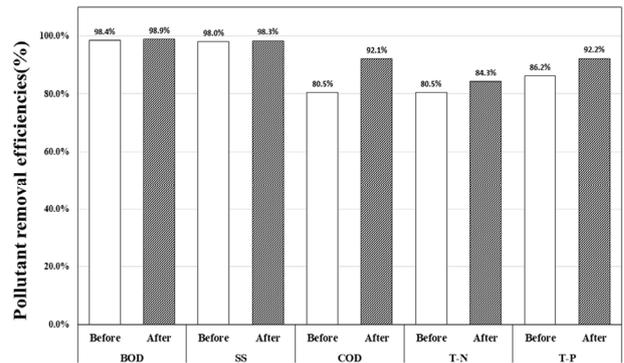


Fig. 6. Comparing efficiencies of pollutant treatment before and after development

4. 결 론

본 연구는 농촌지역의 개발과 그에 따라 하수관거의 개량 및 신설로 인하여 하수처리구역내의 하수처리장 운영에 미치는 영향을 연구하고자 시행하였다. 개발 전후의 하수처리장에 미친 영향을 비교하기 위해 하수량, 하수농도, 유입부하, C/N비, 오염물질 제거효율을 분석하였다.

분석 결과 하수관거 정비사업으로 인하여 유입부하와 C/N비가 상당부분 증가하였으며, 이를 미루어 보아 하수관거 내 침입수 및 유입수 등의 불명수의 유입차단 및 관리가 향상되어 고농도의 하수가 하수처리장으로 유입된 것으로 판단된다. 이에 따라 하수처리 제거효율에 있어서도 유기물의 경우 소폭 증가하였으며, TN 과 TP의 제거효율은 기존대비 각각 5%와 7%나 증가한 것으로 나타났다. 이는 단순 오염물질 제거효율 뿐만 아니라 C/N비 개선을 위해 투입하는 메탄올이나, 기타 응집침전을 위해 투입하는 약품비용 또한 상당히 절감시켰을 것으로 판단되며, 전반적인 하수처리장의 운영효율을 상당히 개선시킨 것으로 나타났다. 본 연구결과는 향후 농촌지역 하수관거 정비사업에 기초

적인 자료로 활용될 수 있으며, 농촌지역의 하수관거 정비사업이 하수처리장의 운영에 긍정적인 영향을 미친 대표적인 사례로 활용될 수 있을 것이다.

사 사

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2017R1D1A1B06035481)

References

- APHA (American Public Health Association). (2012) Standard methods for the examination of water and waste water. American Public Health Association. Washington, DC.
- Lim, BS, Lee, BH, Choi, ES(1984). A Study on the Nonpoint Pollutant Loadings in Urban and Agricultural Areas A Study on the Nonpoint Pollutant Loadings in Urban and Agricultural Areas, *J. of The Korean Society of Civil Engineers*, 4(2), pp. 45-53. [Korean Literature]
- Im, JY, Gil, KI(2016). Effect of sewage flow on treatment efficiency of small scale wastewater treatment plant in rural community, *J. of Wetlands Research*, 18(3), pp. 267-274. [Korea Literature] [DOI: [10.17663/JWR.2016.18.3.267](https://doi.org/10.17663/JWR.2016.18.3.267)]
- Im, JY, Jung, DG, Gil KI(2012). Analysis of RCSTP Sewage Characteristics and Treatment Efficiency in Rurla Area, *J. of Korean Society in Water Environment*, 28(6), pp. 851-858 [Korea Literature] [<https://doi.org/10.17663/JWR.2013.15.4.453>]
- Im, JY, Gil, KI(2014). A study of RCSTP Nutrient Removal Efficiency in Winter Season, *J. of Wetlands Research*, 16(3), pp.363-370 [Korea Literature] [DOI: [10.17663/JWR.2014.16.3.363](https://doi.org/10.17663/JWR.2014.16.3.363)]
- Kim, JH, Han, KH, Lee, JS(2008). Characteristics of Agricultural Non-Point Source Pollutants by Rainfall Events in Rural Watersheds, *J. of Korean Society on Water Quality*, 24(1), pp.69-77 [Korea Literature]
- Kim, JH, Lee, JS, Ryu, JS, Lee, KD, Jung, GB, Kim, WI, Lee, JT, Kwun, SK(2005). Characteristics of Non-point Pollutants Discharge in a Small Agricultural Watershed during Farming Season, *Korean j. of Environmental Agriculture*, 24(2), pp. 77-82 [Korea Literature]
- Rho, HY, Gil, KI(2007). Optimization of Operational Conditions of Existing BNR Process with Various C/N Ratio using Simulation Method, *J. of Korean Society on water Quality*, 23(3), pp. 367-370 [Korea Literature]
- Eom, HK, Kim, SC(2018). A study on the denitrification and microbial community characteristics by the change of C/N ratio of molasses and nitrate nitrogen, *Korean j. of Microbiology*, 54(2), pp. 105-112 [Korea Literature] [<https://doi.org/10.7845/kjm.2018.8013>]
- Choi, IH, Choi, KS(2016). A Comparative Study on Sewage Unit Load with I/I and RDII, *J. of Korean Society of Environmental Technology*, 17(3), pp. 222-228 [Korea Literature]
- An, BM, Song, HM(2011). Analysis on the result of I/I calculation by the exiting method and the standardized maual method, *J. of Korean Society of water and Wastewater*, 25(2), pp. 213-221 [Korea Literature]