

BCS-II 공법을 이용한 마을하수도 처리 효율 분석: 안동시를 대상으로

임지열 · 길경익**

고려대학교 건축사회환경공학과

* 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과

Analysis of RCSTP Treatment Efficiency using BCS-II Process: Case Study of An-dong City

Jiyeol Im · Kyungik Gil**

School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University

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

요 약

상수원과 같은 수계 수질 보호 및 농촌 지역 개발을 위해 마을하수도 보급이 필요하다. 본 연구에서는 안동 지역 마을하수도(11개소) 유입하수 특성 및 마을하수도에 도입된 처리 공법의 결과를 분석하였다. 안동 지역 마을하수도 유입하수는 도시지역에 비해 고농도의 유기물과 영양염류를 함유하고 있는 것으로 분석되었다. 안동시 마을하수도 공법은 안정적인 처리효율을 보였지만, 영양염류의 경우 유기물에 비해 solid retention time(SRT)와 food to microorganisms (F/M) ratio에 민감한 것으로 나타났다. 또한 안동 지역 마을하수도 공법은 타 공법(A²/O, SBR, media)들과 비교하여 전반적으로 높은 처리 효율을 보였으며, 본 공법은 마을하수도에 효과적으로 적용 가능한 공법이라 판단된다.

핵심용어 : 마을하수도, 영양염류, 유기물, SRT, F/M 비

Abstract

Supply of rural community sewage treatment plant (RCSTP) is need for protect of water quality like water source and development of agriculture areas. In this study conducted analysis on characteristics of RCSTP sewage and treatment efficiency of installed treatment process using operation results of RCSTP in an-dong area. high organic matter and nutrient were contained in RCSTP sewage of an-dong than urban area. RCSTP treatment process in an-dong was shown stable treatment efficiency. But nutrient treatment efficiency was shown more sensitive result about SRT and F/M ratio than organic matter treatment efficiency. And RCSTP treatment process in an-dong was shown higher treatment efficiency than other treatment proces like A²/O, SBR and media. Thus, this process is effective treatment process for application of RCSTP.

Key words : Rural community sewage treatment plant (RCSTP), Nutrient, Organic matter, Solid retention time, F/M ratio

1. 서론

1970년대 이 후 급속한 도시화와 경제 성장이 이루어짐에 따라 수계 수질이 악화되기 시작 하였다. 이를 방지하기 위해 도시지역을 시작으로 하수처리장 도입

등 점오염원에 대한 관리를 시작하였다. 최근 수행된 연구 결과 및 발표에 의하면, 팔당호 등 상수원 관리에 많은 노력, 인력과 비용을 기울임에도 불구하고 지속적으로 COD 농도가 증가하고 있다고 발표되고 있다. 이는 비단 팔당호만의 문제가 아니라 지금까지 주로 관리해온 도시지역 점오염원 이외에 다른 오염

+ Corresponding author : kgil@seoultech.ac.kr

원이 상수원 수질 악화에 영향을 준다는 것으로 해석될 수 있다. 이에 따라 많은 연구진이 점오염원 이외의 비점오염원, 내부생성물질 및 상수원 인근 지역의 하수 등을 상수원 수질 악화의 원인으로 제시하고 있다(Cho *et al.*, 2009; Gil and Kim, 2011; Gil *et al.*, 2011; Jang *et al.*, 2009; Jung and Kim, 2012; Lee *et al.*, 2009).

2012년 하수도 통계에 따르면 상수원 인근 지역은 대부분 농·어촌 지역으로 도시지역의 하수도 보급률에 비해 약 40%에 미치지 않은 수준이다(MOE, 2012). 농·어촌 지역의 하수도 보급률이 낮은 이유로 도시지역에 비해 인구밀도가 낮아 하수도 보급에 많은 어려움이 있으며, 상수원 인근 지역이 개발됨에 따라 마을하수도가 보급되지 않은 지역에서 발생하는 하수가 상수원으로 미처리되어 유입된다(NIER, 2011). 이를 인식한 정부는 농어촌의 마을하수도 보급을 통해 하수도 보급률을 올리고자하는 ‘농·어촌지역 하수도정비 종합계획’과 같은 사업을 체계적으로 진행하기 시작하였다(Choi, 2012; Kim, 2009; Moon *et al.*, 2010). 이는 도시지역에 비해 상대적으로 낙후된 농·어촌지역의 개발뿐만 아니라 궁극적으로는 상수원 수계 수질 보호의 목적이 있다. 현재까지 마을하수도는 도시 지역의 하수처리장과는 다르게 유기물과 부유물질을 처리하는 공법이 주를 이루었으나, 점차 악화되는 상수원 수질보호를 위해 영양염류의 처리까지 고려한 하수도고처리 공법을 도입하고 있다. 특히 농촌 지역에서 발생하는 비료 등을 포함한 농업용수와 가축분뇨는 고농도의 영양염류를 함유하고 있어 필수적으로 영양염류 처리가 필요하다(Im and Gil, 2011; Im *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2012; Koh, 2002; Kwon *et al.*, 2013).

본 연구에서는 경상북도 안동시에 위치한 마을하

수도 11개소를 대상으로 운전결과를 분석하였다. 이를 바탕으로 안동시 마을하수도에 도입된 공법의 오염물 처리 효율을 분석하고 운전기간 중 하수처리장 주요 운전인자인 SRT와 F/M 비에 따른 처리효율을 분석하였다. 또한 기존 하수처리장에 도입된 공법들과 비교를 통하여 안동시 마을하수도에 도입된 공법의 효율을 비교하여 공법도입의 적정성에 대한 연구를 수행하였다.

2. 연구방법

2.1 대상 지역

본 연구의 연구 대상지역은 경상북도 안동시로 대구·경북 지역의 주요 상수원으로 사용되는 안동·임하댐 인근 낙동강 상류에 위치하고 있다. 안동시의 위치 및 연구 대상으로 선정한 안동시 내 마을 하수도(11개소)의 위치는 Fig. 1을 통해 확인 할 수 있다.

안동시는 총 면적 1,522km²으로 토지 이용 현황(면적, 비율)은 임야(1,069 km², 70.2%), 밭(125 km², 8.2%) 그리고 논(95 km², 6.2%)으로 이루어져 있다(an-dong city, 2009). 총인구는 169,490명으로 이 중 약 25%인 42,203명이 농업, 산림업 및 어업에 종사하고 있으며, 약 13만 마리의 소·돼지가 사육되고 있는 것으로 집계되었다(An-dong city, 2011). 안동시의 하수도 보급률은 2012년 집계된 소규모 지역의 하수도 보급률(38%)보다 높은 72% 정도로 나타났다. 이는 안동 시 인근의 봉화군(53%)과 영양군(2.5%) 보다 높은 하수도 보급률이지만, 도시 지역에 비해서는 25%이상 낮은 하수도 보급률을 보이고 있다(Bong-hwa gun, 2012, Yeoung-yang gun, 2011). 안동시 내 연구 대상 마을하수도의 처리 대상 지역 면적은 2.78 km², 처리 대상 지역 인구는 5,217 명으로 조사되었다.

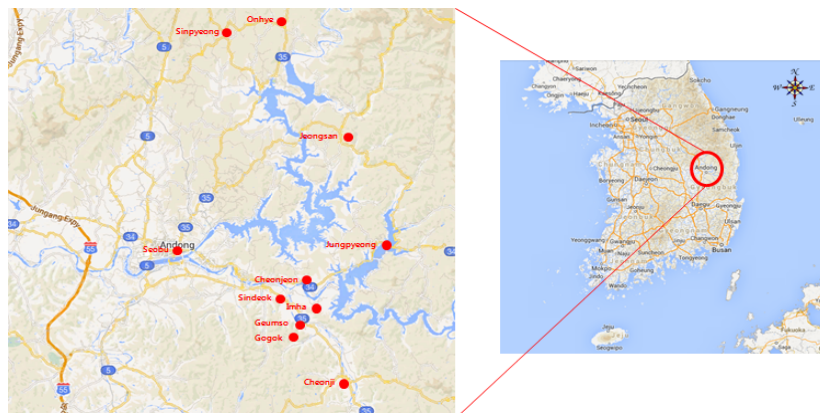


Fig. 1. Location of the research area (an-dong)

Table 1. Characteristic of an-dong and rural sewage treatment area in an-dong

Parameter	Target area
Total area (km ²)	1,522
Total population (person)	169,490
Sewage distribution rate (%)	72
Sewage treatment area (km ²)	2.78
Population in sewage treatment area (person)	5,217

2.2 마을하수도 공법

국내 마을하수도에 적용되고 있는 공법은 크게 막계열, 담체계열, SBR계열, 특수미생물계열 그리고 AO(A₂O)계열 등이 있다. 안동시에 적용된 BCS-II (bio-ceramic sequencing batch reactor)공법은 담체계열로 분류할 수 있으며, sequencing batch biofilm reactor(SBBR)공법을 개조한 하수 고도처리 공법이다. Fig. 2에서는 안동시 내 마을하수도에 도입된 BCS-II 공법의 모식도를 나타내고 있다. 공법의 구성은 유량 조절조에 이은 SBBR 반응조의 형태를 이루고 있으며, SBBR 내 침전 슬러지를 유량 조절조로 반송하여 유량조절조를 혐기조로 사용하는 특징을 가지고 있다. 즉, 유량조절조를 혐기조로 사용하며 SBBR에서는 부유 및 부착성 미생물을 성장시키며 SBBR 내 cycle 무산소-호기-침전-유출의 일련의 과정을 거치며 운전

되어 질소와 인을 동시에 제거할 수 있는 구조를 이루고 있다. 본 공법이 기존의 하수고도처리 공법과 구분될 수 있는 대표적인 특징은 bio-ceramic 담체를 사용하였다는 부분이다. bio-ceramic 담체는 기존의 담체에 비해 높은 공극율과 넓은 표면적을 가지고 있으며 강도가 우수하다는 특징을 가지고 있다. 또한 충격부하 및 저온에서도 안정적인 질소제거가 가능하다고 알려져 있다. 일반적인 BCS-II 공법의 처리 효율은 BOD, SS, TP는 90% 이상, COD_{Mn}은 85% 그리고 TN은 65% 정도로 알려져 있으며, F/M 비 0.03 ~ 0.25 kg BOD/kg MLSS·d, MLSS 2,100 ~ 4,000 mg/L 그리고 SRT 9.8 ~ 31.7 day가 적정 운전 조건으로 보고되고 있다. 분석에 사용된 모든 수질 항목은 수질오염 공정시험법에 의거하여 분석하였다(MOE, 2008).

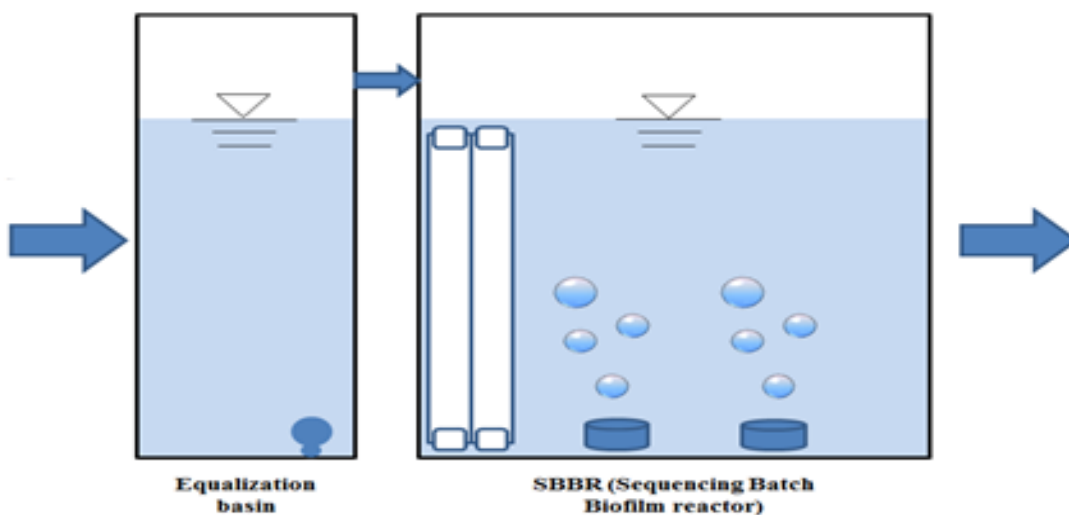


Fig. 2. Schematic diagram of sewage treatment process in An-dong

3. 연구결과 및 고찰

3.1 마을하수도 유입하수

Fig. 3에서는 운전 기간 동안 마을하수도 별 주 단위로 측정된 유입하수의 농도를 보여주고 있다. 안동시 지역의 유입하수 특성 파악을 위해 2012년 하수도 통계를 통해 제공된 대표적인 도시지역 및 농촌지역과 유입하수 농도를 비교하였다(MOE, 2012). Fig. 3 (a), (b) 유기물 항목의 경우 다른 두 지역에 비해 높은 농도로 유입된 것을 확인할 수 있다. 하지만 Fig. 3 (c), (d) 영양염류의 경우에는 농촌 지역과는 다소 유사하지만 도시 지역에 비해서 높은 농도로 유입되었다. 농촌 지역의 경우 도시 지역에 비해 높은 농도의 영양염류를 함유하고 있는데 이는 농업 및 축산업

에 의한 것으로 판단된다. 여기서 비교한 농촌과 도시 지역의 유입하수 농도는 연간 대표 농도이지만, 안동시 지역은 주 별로 측정된 농도로 다소 차이가 있을 수 있다. 하지만 전반적인 농도 특성을 살펴보면 안동 지역에서 도시 지역의 비해 발생하는 하수 내 오염물질의 농도가 높은 것을 알 수 있다. 이는 고농도 오염물질(유기물, 영양염류 등)을 포함하고 있는 농업용수와 가축 분뇨의 유입에 의한 것으로 판단된다. 운전 기간 중 안동시 유입하수의 평균 농도 BOD: 104 mg/L, COD: 211 mg/L, TN: 39 mg/L 그리고 TP: 4.6 mg/L로 조사되었다. 또한 고도처리에 있어 주요 인자인 유기물/질소비와 유기물/인의 비는 각각 3.5 ~ 6.4와 30.3 ~ 53.4를 값을 보였다. 유입하수의 평균 오염물 농도는 Table 2에 정리하였다.

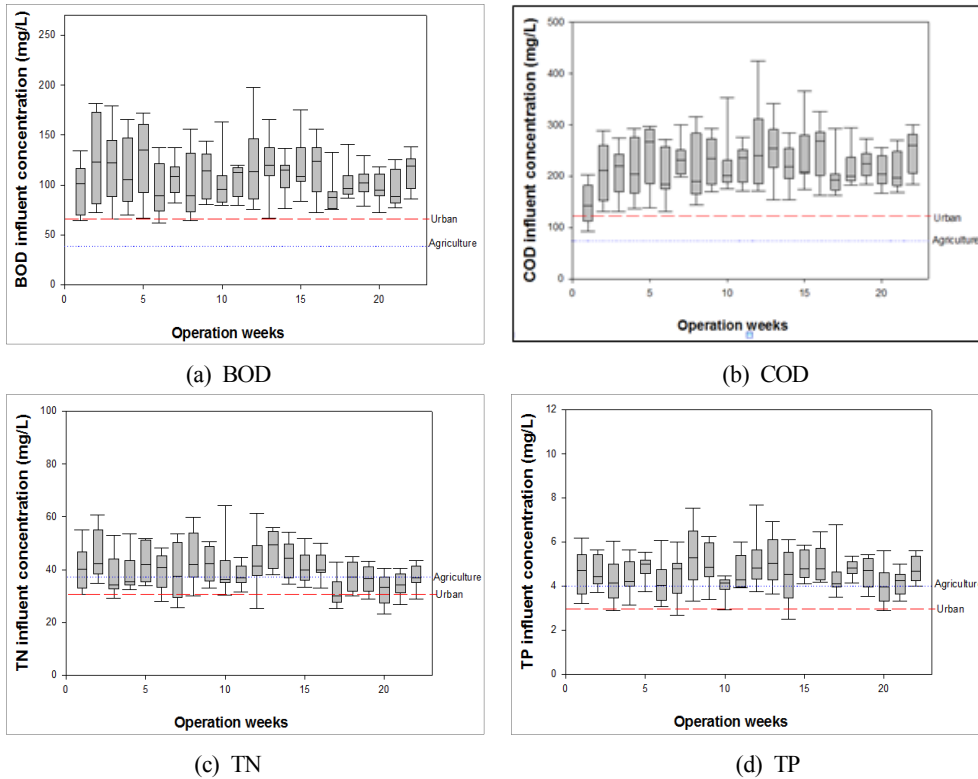


Fig. 3. Concentration of influent sewage in An-dong, urban and agriculture area

Table 2. Concentration of sewage in An-dong, urban and agriculture areas

Parameter	An-dong		Urban (mg/L)	Agriculture (mg/L)
	Range (mg/L)	Median (mg/L)		
COD	90.6 ~ 495.4	211.1	136	84
BOD	53.4 ~ 225.3	104.0	66	43
TN	21.1 ~ 65.8	38.9	31	38
TP	1.6 ~ 8.4	4.6	3	4

3.2 마을하수도 방류수

Fig. 4는 마을하수도 각 마을하수도 별 주 단위로 측정된 방류수의 농도를 보여주고 있다. 방류수 농도를 살펴보면 유기물의 경우 운전초기 방류수 농도가 운전 중반 이후 보다 낮게 나타난 것을 확인 할 수 있다. 이는 유입하수의 낮은 BOD 농도에 영향을 받은 것으로 판단된다. TP의 경우 다른 오염항목에 비

하여 방류수 농도의 범위가 넓은 것으로 나타났는데 이는 방류수 내 낮은 TP 농도에 의한 것으로 사료된다. 전체 운전기간 동안 방류수의 농도는 마을하수도 방류수 수질기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 이는 안동시에 적용된 BCS-II 공법이 마을하수도 오염물질 처리에 적합하게 운전되고 있음을 시사한다.

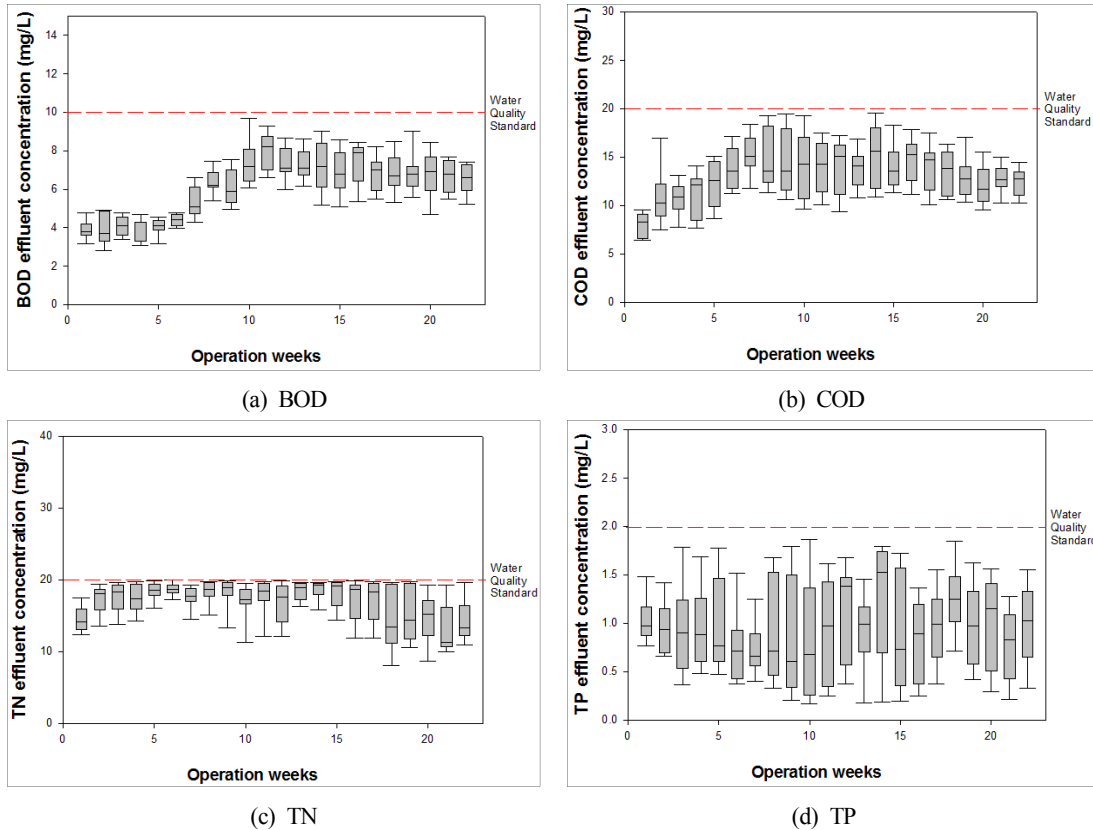


Fig. 4. Concentration of effluent RCSTP

3.3 체류시간의 영향

Fig. 5는 SRT에 따른 오염물질 별 처리 효율을 나타내고 있으며, 체류시간과의 관계를 파악하기 위해 오염항목 별 처리효율과 체류시간의 추세선을 표시하였다. Fig. 5의 체류시간과의 관계에서 유기물(BOD, COD) 처리 효율은 운전 기간 전반에 걸쳐 80% 이상을 보였으며, SRT에 따라 크게 변화하지 않는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 영양염류(TN, TP)의 경우가 SRT가 증가할수록 TN의 처리효율은 증가, TP의 처리효율은 다소 감소하는 경향을 보였다. 즉, 체류시간에 따라 유기물 처리 효율에 비해 영양염류 처리 효율의 보다 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 이는

마을하수도의 운전 및 유지관리 상태에 의한 차이 (Min, 2008)와 반응기 내 미생물 배양, 안정화 등에 의한 영향으로 생각할 수 있다(Choi, 2009; Im and Gil, 2011; Joo *et al*, 2011). 본 공법에서 안정적인 영양염류 처리 효율을 확보하기 위해서는 SRT에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다. 운전 기간 SRT 조건 (12 ~ 28day)에서 전반적인 처리효율은 BOD 95% 이상, COD 80% 이상, TP 70% 이상 그리고 TN의 경우 40% 정도까지 처리 효율이 떨어지긴 하였으나 약 60% 정도의 처리 효율을 보였다. 이는 전체적인 운전 기간 동안 SRT 조건은 적절히 조절 되었던 것을 확인 할 수 있다.

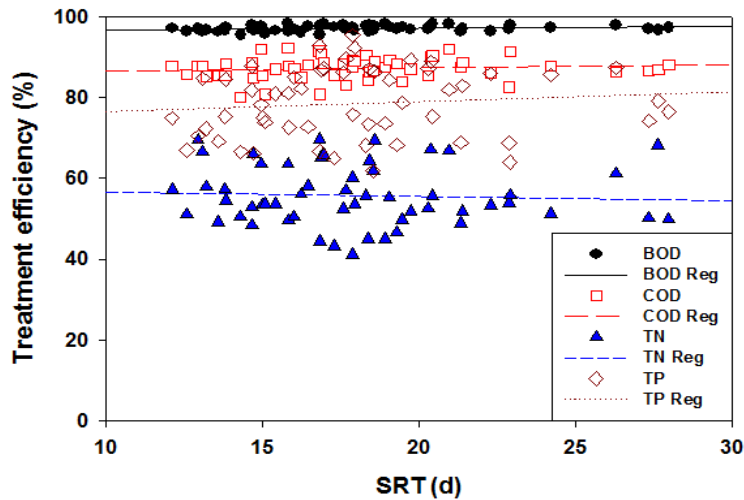


Fig. 5. Relationship of SRT and treatment efficiency

3.4 F/M 비의 영향

Fig. 6 에서는 하수처리장 처리 효율의 중요 인자 중의 하나인 F/M 비에 따른 오염물질 처리 효율을 분석하였다. 운전 기간 중 F/M 비는 0.03 ~ 0.11 kg BOD / kg MLSS·day의 범위를 보였다. 안동시 지역 SRT는 12 ~ 28day로 표준활성슬러지법의 F/M 비인 0.11 ~ 0.24 kg BOD / kg MLSS·day 보다는 낮았지만 장기 포기법의 F/M 비인 0.03 ~ 0.05 kg BOD / kg MLSS·day 보다는 높은 것으로 장기 포기법의 운영조건과 유사하였다고 할 수 있다. 이는 장기포기법에 비해 고부하의 오염물질을 처리할 수 있지만, F/M 비가 낮기 때문에 단위 미생물 당 오염부하는 낮은 것을 의미한다. 즉 장기포기법에 비해 보다 효율적으로 유기물 제거가 가능한 것으로 판단된다. 유기물과 TN의 경우 F/M 비에 영향을 받지 않고 고효율을 보인 것으

로 나타났다. TP의 경우 F/M 비가 증가할수록 처리효율이 증가하는 경향을 보였는데, 이는 운전 기간 중 F/M 비가 0.08 ~ 0.12 범위에 몰려있어 정확한 경향을 나타내고 있다고 보기는 어렵다. 하지만 TP는 다른 오염항목 처리효율 보다 F/M 비에 영향을 크게 받은 것으로 판단할 수 있으며, 적절한 F/M 비 유지를 통해 오염물질 처리효율을 안정적으로 유지시켜 줄 필요가 있다. F/M 비는 BOD와 MLSS의 비를 의미하기 때문에 F/M 비에 따라 BOD 처리 효율에 대한 영향이 크게 나타날 것으로 예측하였으나, 오히려 유기물 처리 효율에 영향을 미치지 않고 영양염류 처리 효율에 보다 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 F/M 비 변화에도 안정적인 유기물 처리가 가능할 것으로 보이며, 이 경우 영양염류(특히 TP) 처리 효율에 영향을 미치지 않도록 해야 할 것으로 판단된다.

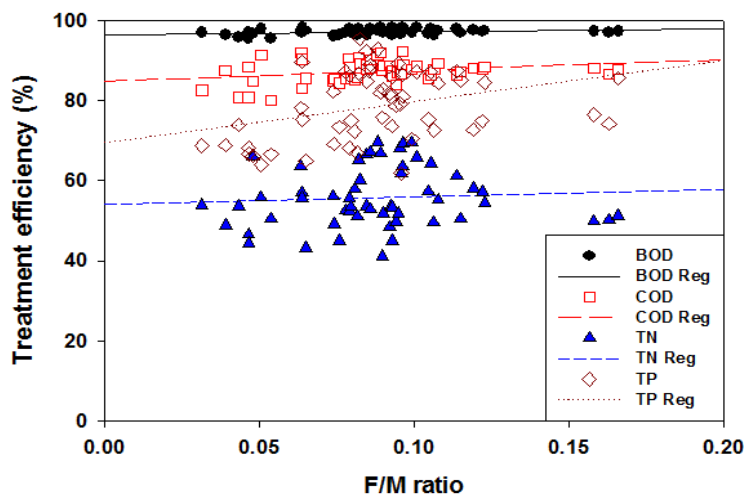


Fig. 6. Relationship of F/M ratio and treatment efficiency

3.5 처리효율 분석

Fig. 7에서는 안동시 마을하수도 공법의 전반적인 효율을 비교·분석하기 위해 현재 하수처리장에 일반적으로 사용되고 있는 SBR, A²/O 그리고 media 계열 공법의 BOD, TN 그리고 TP 처리 효율을 비교하였다 (Park, 2008). BOD의 경우 타 공법과 유사한 처리 효율을 보이는 것으로 나타났다. 하지만 TN의 경우 SBR계열의 공법보다는 낮지만, 다른 A²/O와 media

공법에 비해서는 높게 나타났고, TP의 경우에는 다른 공법들에 비해 높은 처리 효율을 보인 것으로 나타났다. 전반적으로 다른 공법과 비교하여 유사하거나 높은 효율을 보인 것으로 판단된다. 특히 영양염류의 경우에는 다른 공법에 비해 높은 효율을 보였는데, 이는 농촌지역의 마을하수도 유입하수의 영양염류가 높은 것을 고려할 때, 마을하수도 처리에 효과적으로 적용 가능한 공법이라 판단된다.

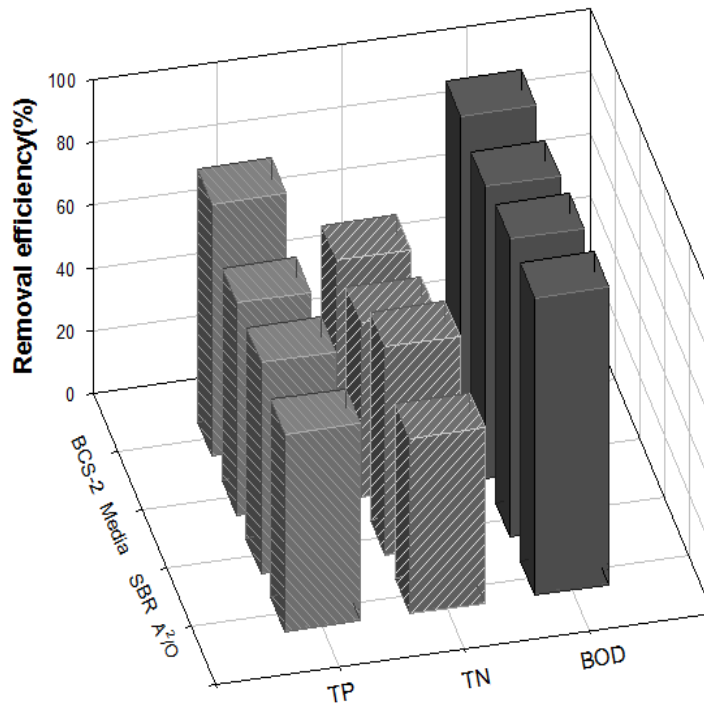


Fig. 7. Comparison of BCS-II, A²/O, SBR and media treatment efficiency

4. 결론

안동시 11개의 마을하수도 운전 결과 분석으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 안동시 마을하수도 유입하수의 특성을 분석하였을 때, 도시와 타 농촌 지역에 비해 고농도의 유기물질을 함유하고 있으며, 영양염류의 경우에는 도시 지역보다 고농도 타 농촌지역과 유사한 농도가 함유되어 있는 것으로 나타났다. 이는 안동지역에서 발생하는 농업용수와 가축분뇨에 의한 영향으로 분석되며, 농업용수 및 가축 분뇨의 관리가 필요할 것으로 판단된다.

2) 안동시 마을하수도에 적용된 공법의 운전 기간 중 운전된 SRT 조건은 방류수 수질 기준을 만족시키기 위해서는 적절히 유지되었던 것으로 보인다. SRT 변화에 따른 처리 효율 변화는 유기물보다 영양염류에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 SRT 변화에 따라 영양염류 제거에 관계된 미생물이 보다 민감한 반응한 것으로 보이며, 안정적인 영양염류 처리 효율을 확보하기 위해서는 SRT에 대한 관리가 필요하고 판단된다.

3) 안동시 마을하수도에 도입된 공법은 현재 하수처리장에 널리 사용되고 있는 A²/O, media 그리고 SBR 계통의 공법에 비해 높거나 유사한 처리효율을 보인 것으로 나타났다. 특히 영양염류 처리효율에 있

어서 다른 공법에 비해 높은 효율을 보였는데, 이는 농촌지역의 마을하수도 유입하수의 영양염류가 높은 것을 고려할 때, 마을하수도 처리에 효과적으로 적용 가능한 공법이라 판단된다.

마을하수도는 소규모 시설로 토지 이용 상태에 따라 유입하수의 농도가 큰 차이를 보인다. 이는 마을하수도 공법 선정 시 반드시 고려되어야 할 부분이며, 그 대상 유입하수 성상에 적합한 하수고도처리공법을 선정하여야 한다.

사 사

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- An-dong city (2009) *Statistical Year Book of Andong* [Korean Literature]
- An-dong city (2011) *Statistical Year Book of Andong* [Korean Literature]
- Bong-hwa gun (2012) *Statistical year Book of Bonghwa 52th* [Korean Literature]
- Cho, DH, Kim, JS and Jung, YH (2009). Management plan for the control of eutrophication in the Paldang lake, *J. of Korean Society of Water and Wastewater*, 23(6), pp. 693-699. [Korean Literature]
- Choi, MY (2012). *A study on the characteristics of wastewater treatment using package(biokube) for small scale sewage works*. Master's Thesis, University of Seoul. Seoul, Korea. [Korean Literature]
- Gil, K and Kim, T (2011). Runoff characteristics of refractory organic matters from Kyongan river watershed during rainfall event and dry season, *J. of Korean society on water environment*, 27(4), pp. 397-404. [Korean Literature]
- Gil, K, Kim, T and Jung, MS (2011). Runoff characteristics of refractory organic matters from South-Han river watershed during rainfall event and dry season, *J. of Korean society on water environment*, 27(3), pp. 306-313. [Korean Literature]
- Im, J and Gil, K. (2011b) Evaluation of nitrification of high strength ammonia with variation of SRT and temperature using piggery wastewater, *J. of Korean society on water environment*, 27(5), pp. 563-571. [Korean Literature]
- Im, J, Jung, D and Gil, K (2012) Analysis of RCSTP sewage characteristics and treatment efficiency in rural area, *J. of Korean society on water environment*, 28(6), pp. 851-858. [Korean Literature]
- Jang, JH, Yoon, CG, Jung, KW and Lee, SB (2009). Characteristics of pollution loading from Kyongan stream watershed by BASIN/SWAT, *Korean J. of Limnology*, 42(2), pp. 200-211. [Korean Literature]
- Joo, JY, Kim, JS, Lee, HI, Nam, DH, Jung, IH and Park, CH (2011). Effect of HRT and temperature on sludge reduction in anaerobic endogenous respiration, *J. of Korean Society of Urban Environment*, 11(2), pp. 215-222. [Korean Literature]
- Jung, Y and Kim, S (2012). Characteristics of stormwater runoff from urban areas with industrial complex, *J. of Wetlands Research*, 14(1), pp. 131-137. [Korean Literature]
- Kim, YH (2010). *A study of the operation and maintenance in small scale sewage works*. Master's Thesis, Dongshin University. Naju, Korea. [Korean Literature]
- Kim, KJ, Kim JS, Kim LH and Yang KC (2012). Characteristics of Nutrient Uptake by Aquatic Plant in Constructed Wetlands for Treating Livestock Wastewater, *Korean Wetlands Society*, 14(1), pp. 121-130. [Korean Literature]
- Koh, JK (2002). Articles of general interest : a study of government failure in livestock wastewater management, *J. of The Korean Association for Policy Studies*, 11(3), pp. 137-165. [Korean Literature]
- Kwon, K, Kim, S, Jung, Y and Min, K (2013). The recovery of carbon source from municipal primary sludge using pilot scale elutriated acidogenic fermentation, *J. of Wetlands Research*, 15(2), pp. 165-170. [Korean Literature]
- Lee, SY, Marla, C, Maniquiz, Choi, JY and Kim, LH (2009). Determination of EMCs for rainfall ranges from transportation landuses, *J. of Wetlands Research*, 11(2), pp. 67-76. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE) (2008) *Certified Analytical Methods of Water Quality* [Korean Literature]

Literature]
Ministry of Environment (MOE) (2012) *Statistics of Sewage* [Korean Literature]
National Institute of Environmental Research (NIER). (2011). *Increasing Trend of Refractory Organic Matters and the Management Plans for the Han River Basin*. [Korean Literature]
Park, JH (2008) *Process Evaluation through Comparative Performance Analysis of Advanced*

Biological treatment Technologies for Municipal Wastewater, PhD Thesis. Konkuk University. Seoul, Korea. [Korean Literature]
Yeoung-yang gun (2011) *Statistical Year Book of Yeongyang* [Korean Literature]

- 논문접수일 : 2014년 04월 16일
- 심사의뢰일 : 2014년 04월 21일
- 심사완료일 : 2014년 06월 20일