

ORIGINAL ARTICLE

하수처리공정의 물 자원 생산 시스템 설계에 대한 적용

1. 하수처리공정의 처리효율 분석 및 평가

신춘환*

동서대학교 에너지환경공학과

Application of Sewage Treatment Processes to a System Design for Water Resource Production.

1. Analysis and Assessment of Sewage Treatment Process Efficiency

Choon Hwan Shin*

Department of Energy & Environmental Engineering, Dongseo University, Busan 47011, Korea

Abstract

The treatment efficiencies of domestic sewage treatment processes were analysed and assessed to suggest and design a suitable technology for coal seam gas (CSG) water treatment. Two sewage treatment plants (S and G in Busan) were selected. The former operates with standard activated sludge and modified Ludzak Ettinger processes while the later uses the combination of A₂O and gravity fiber filtration. For both plants, the concentrations of BOD, COD_{Mn}, T-N and T-P were about 5.0, 19.0, 5.0, 11.0 and 1.0 ppm, respectively, which satisfy the discharge standards. Therefore, although sewage treatment processes seems to be applicable for CSG water treatment, additional processes to remove total dissolved solids and ionic compounds (i.e. bicarbonate) need to be introduced to produce fit-for-purpose water resources for beneficial use (in accordance with Water ACT 2013). This, for the CSG treatment process design, it is necessary to align the operating conditions with merging methods of combinable unit technology obtained from sewage treatment processes.

Key words : CSG water treatment, Sewage treatment plants, Water resource for beneficial use

1. 서론

인구증가와 산업화로 인해 수자원의 수요량은 매년 증가하는 반면, 기후변화 및 수질 오염 등으로 인해 안정적인 수자원 공급이 어려워지고 있어 2025년에는 세계인구 절반수준인 30억명이 물 부족 상태에 직면할 것이라고 전망하고 있다(Randol, 2013). 이에 전

세계적으로 안정적인 수자원 확보를 위한 연구와 노력이 치열하게 진행되고 있으며 최근 대체 수자원으로서 석탄층가스 회수 및 생산 과정에서 발생하는 지하수에 대한 관심이 높아지고 있다.

석탄층에서 가스(coal seam gas; CSG)를 회수하는 과정에서 동반 회수되는 지하수(CSG Water)는 충분한 수량을 제공하고 있으나 염분 등 수질문제로 인해

Received 15 June, 2016; Revised 14 July, 2016;

Accepted 18 July, 2016

*Corresponding author : Choon Hwan Shin, Department of Energy & Environmental Engineering, Dongseo University, Busan 47011, Korea

Phone: +82-51-320-1787

E-mail: 6116shin@dongseo.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

가용 수자원으로는 인정받지 못하고 있었기 때문에 빈 대수층에 공급하거나 하천이나 해양으로 방류하는데 그치고 있었다(Chris, 2013; Paul et al., 2014). 하지만 2011년 브리즈번 지역의 대홍수로 인해 수자원 확보가 시급하다고 판단한 호주 정부는 CSG Water를 수자원으로서의 개발을 계획함에 따라 수요 맞춤형 용수 생산을 위한 정책을 수립하고 이에 대한 후속 조치를 진행하고 있다(APLNG, 2013; AUS Dept.Nat. Res., 2013; AUS Env. Prot. Agen., 2013).

이에 따라 CSG Water의 수자원으로서의 개발을 위해서는 총용존고형물(total dissolved solids, TDS) 제거, 분자량이 상대적으로 큰 총유기탄소(total organic carbon, TOC) 저감, 염분 제거를 위한 공정이 필요한 것으로 확인되었으며(Shin, 2014; 2015) 섬유여과 및 막분리에 의한 여과기술(Sseng Co., 2012), 유기물 제거를 위한 고도산화기술, 이온성물질 및 TDS 제거를 위한 전기분해(Chen et al., 2002)와 역삼투압(reverse osmosis, R/O) 공정(Matsumura, 2001; Saito et al., 2012) 등의 병합 시스템을 제안한 선행 연구를 수행한 바 있다(Shin, 2015).

국내 하수처리장은 에너지 절감형 처리기술을 적용하거나 운전 방법 개선을 통해 에너지 효율 및 처리 효율을 높이는 운전기술을 병행하여 방류수 기준을 만족하는 고도처리 기술을 도입하고 있다. 따라서 이러한 고도처리 기술은 CSG Water의 유입원수의 유기물, 부유 고형물(suspended solid, SS), 총질소(total nitrogen, T-N), 총인(total phosphorus, T-P)의 처리효율을 개선할 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

또한 국내 환경부는 환경기초시설의 적절한 운영

· 관리와 예산집행의 효율성을 높이기 위하여 환경기초시설에 대한 운전 효율성을 방류수 기준으로 제공하고 있기 때문에 이들 수질기준을 만족하기 위한 처리기술의 우수성을 보증하고 있다. 따라서, 국내하수처리공정은 TDS의 처리, TOC 제거, 유기물 및 T-N, T-P 등의 처리기술로 적용이 가능할 것으로 판단되기 때문에 CSG Water를 이용한 수자원 생산공정에 적용할 수 있는 가능성을 제시하고자 하였다(Randall et al., 1992; Comeau et al., 1986).

이에 따라 본 연구에서는 국내하수처리장 중, 부산수영 및 강변하수처리장의 처리공법을 표본 공정으로 선택하여 처리수질의 분석과 함께 처리효율을 평가함으로써 국내 하수처리장의 처리기술을 CSG Water의 수익적 이용방안을 위한 처리 기술로서의 도입가능성을 타진하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. CSG Water의 현황 및 수질분석

CSG water의 회수 공정은 석탄층 탈수 단계(dewatering stage), 안정적인 석탄층 지하수 생산 단계(stable production stage), 그리고 발생량 감소 단계(decline stage)로 구성되어 있으며, 단계별로 수량은 감소하고, 가스 발생은 증가한다(Paul et al., 2014)는 선행연구(Shin, 2015)의 분석결과를 적용하였으며 CSG water의 수질은 Table 1과 같다(AUS Environment Protection Agency, 2012; Galiee Energy, 2013). 여기서 보면 일반적으로 TDS, 염분, bicarbonate 농도가 상대적으로 높은 특성을 알 수 있다.

Table 1. Characteristics of CSG water quality (Bowen basin)

Water quality	Unit	Concentration (ppm)
pH		8 - 9
Total Dissolved Solids	mg/L	1,200 - 4,300
Calcium	mg/L	3 - 9
Magnesium	mg/L	1 - 3
Sodium	mg/L	300 - 1,700
Chloride	mg/L	590 - 1,900
Sulphate	mg/L	5 - 10
Bicarbonate	mg/L	580 - 950

1. 하수처리공정의 처리효율 분석 및 평가

2.2. 표본하수처리장

부산의 하수시설은 대부분 우수, 생활하수, 공장폐수가 동일 관로로 배출되는 이른바 합류식 관로로 과거 도시화되기 전에 설치된 것이어서 이들 시설의 개보수가 필요한 시점에 있으며 2013년 말 기준 하수관로 보급률은 79.6%, 하수도 보급률은 99.2%이나 이는 대부분 우수배수를 위한 시설이므로 가정오수 등을 별도 차집할 수 있는 순수한 오수관로의 정비·확충 사업을 단계별로 시행중이다.

우선, 표본 처리장인 부산의 수영 및 강변하수처리장의 처리 공법 및 효율의 비교를 위해 수영하수처리장의 1단계, 표준활성슬러지공법(standard activated sludge process; ASP)(처리용량: 122,000 m³/일) 2단계, modified ludzack ettinger (MLE)(처리용량: 230,000 m³/일), 3단계, A2O+분리막 공정(membrane bioreactor; MBR)(처리용량: 100,000 m³/일)과 Table 2와 같은 단계별 시설현황을 분석하였으며 평균 유입수 유량, 생물화학적 산소요구량(biochemical oxygen demand, BOD), 화학적 산소요구량(chemical oxygen demand, COD), SS, T-N, T-P 는 각각 365,261 m³/일, 143.9 mg/L, 78.2 mg/L, 174.4 mg/L, 41.1 mg/L, 4.5 mg/L 으로 제시된 결과와 2014년 1월 1일부터 2015년 9월 30일 까지 측정된 처리효율을 적용하였다.

또한 강변하수처리장은 1단계, A2O+여과시설(gravity fiber filter; GFF)(처리용량:271,000 m³/일), 2 단계, A2O+GFF(처리용량: 179,000 m³/일)의 공정과 Table 3과 같은 단계별 시설현황을 적용하였으며 이들 시설기준과 처리효율을 CSG Water 처리 공정에 필요한 단위 시설의 설계 조건으로 활용하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수영하수처리장 처리효율

수영하수처리장은 합류식 관로를 이용하는 시설로서 유입유량은 강우의 영향을 받는 것으로 나타났으며 안정적인 운영을 위한 유량조정조의 역할이 필요할 것으로 확인되었다. 또한, BOD, COD, SS, T-N, T-P 방류수 농도는 각각 4.1 mg/L, 22.6 mg/L, 58 mg/L, 11.9 mg/L, 1.3 mg/L 였으며, 제거율은 각각 97.2%, 88.2%, 97.5%, 69.8%, 81.4%으로 확인되었다. 특히 방류기준을 만족하기 위해 1단계, 2단계, 3단계 유출수를 혼합하여 방류하고 있으며 1단계 시설인 표준활성슬러지 유입유량은 평균 75,525 m³/d(31,900 - 166,328 m³/d)로 강수량의 영향으로 유입 편차가 크기 때문에 이에 대한 개선이 필요할 것으로 판단된다. 또한, Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이 동절기의 MLSS

Table 2. Operating condition of S-sewage treatment plant : Standard activated sludge process (Phase 1), MLE (Phase 2), A2O+MBR (Phase 3)

Item	Standard Activated sludge process (Phase 1)		MLE (Phase 2)		MBR (Phase 3)	
	Volume	Quantity	Volume	Quantity	Volume	Quantity
Air blower	100 Nm ³ /min	7 unit	250 Nm ³ /min	5 unit	Aerobic tank 120 Nm ³ /min Membrane cleaning 245 Nm ³ /min	5 unit 5 unit
Final clarifiers	1,141 m ³	18	1,238 m ³	28	Membrane tank 301 m ³	12
Aeration tank	2,160 m ³	18	2,750 m ³	28	Bioreactor 2,225 m ³	12
First settler	506 m ³	18	675 m ³	28	Mesh screen 1 mm	4
Grit chamber	55.5 m ³	2	54 m ³	4	Fine neck screen 6 mm	4
Pump inlet	2,790 m ³ /h	4 unit	4,800 m ³ /h 7,200 m ³ /h	4 unit 2 unit	2,790 m ³ /h 1,800 m ³ /h	2 unit 2 unit

Table 3. Operating condition of G-sewage treatment plant : A2O+Filtration facilities Phase 1, Phase 2

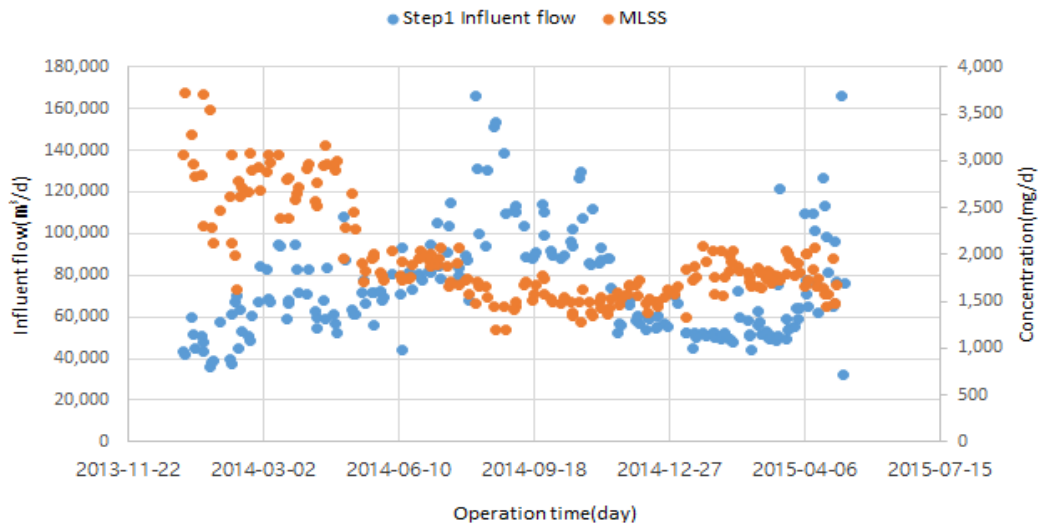
Item	Step 1		Step 2	
	Volume	Quantity	Volume	Quantity
Pump inlet	69, 90 m ³ /min	5 unit	50~100 m ³ /min	4 unit
Air blower	370 Nm ³ /min	4 unit	430 Nm ³ /min	3 unit
Grit chamber	111.8 m ³	4	81.9 m ³	4
Primary settler	1,890 m ³	15	1,607 m ³	15
Bioreactor	8,986 m ³	12	3,580 m ³	21
Final settler	3,623 m ³	12	2,381 m ³	15
Fiber filtration tank	23,000 m ³ /d	16 unit	23,000 m ³ /d	12 unit

평균농도는 1,846 mg/L(1,050-3,720 mg/L)로 계산되어 기온의 변화에 따라 농도 편차가 큰 것을 알 수 있기 때문에 CSG Water의 처리를 위해서는 온도 조절을 고려해야 할 것으로 판단된다. 또한 포기조의 DO 농도 범위는 1.0-4.0 mg/L로 측정되어 효율적인 BOD 제거를 위한 DO 농도인 1.0 mg/L이상을 만족하고 있는 것으로 나타났다(BECO, 2015).

Fig. 2a에서는 2단계 시설인 MLE 공정의 1차 침전조에서 BOD 평균 제거율이 41.3%, 생물반응조로 유입되는 BOD는 평균 84.5 mg/L(37.1-183.3 mg/L)인

것으로 확인 할 수 있으며 생물반응조 유입수인 초침월류수의 낮은 BOD농도에 기인한 MLE 탈질조와 무산소조의 낮은 C/N비는 질소제거효율 저하의 원인이 될 것으로 예상이 가능하다(Shin, 2012).

또한 이 공정은 동절기 질산화를 위해 MLSS를 높게 유지하고 있으며 질산화조의 수온은 최대 28℃에서 10℃로, 평균 포기조 수온은 18.6℃를 유지하면서 가능한 한 MLSS는 높게 고형물체류시간을 길게 운전하여 통합방류수의 T-N 농도를 평균 12.4 mg/L로 감소시키고 있는 특징이 발견되었다(Fig. 2b). 특히 초침

**Fig. 1.** Inflow and MLSS changes of S-sewage treatment plant (phase 1).

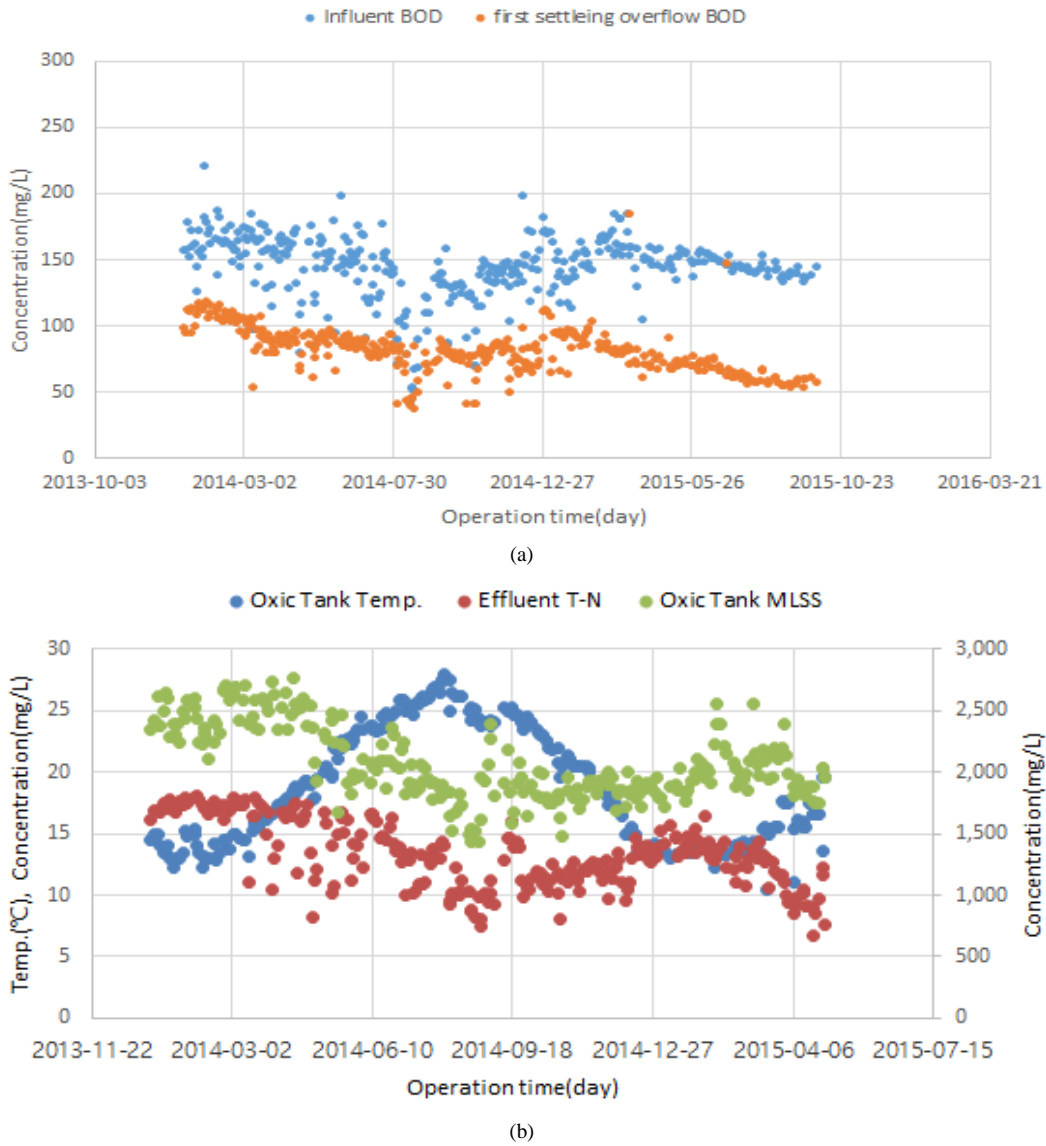


Fig. 2. BOD in the sedimentation tank of Phase 2 (a), temperature of Aeration tank, T-N of effluent and MLSS in aeration tank (b).

유출수의 BOD/TN는 평균 2.4로서 원활한 질소제거를 위한 C/N비에는 미치지 못하기 때문에 안정적인 질소제거를 위해서는 3.0 이상으로 유지할 수 있는 운전 방법의 개발과 함께 외부 탄소원을 주입하는 대안이 필요한 것으로 나타났다.

3단계인 MBR공정의 유입유량은 평균 81,689 m³

/d(30,800 - 99,900 m³/d)이며 이는 설계유량의 81.7%에 해당하는 유량으로 계산되며 Flux는 A계열 20.0 L/m² · hr, B계열 20.3 L/m² · hr로 유지되는 특징을 가지고 있다. 겨울철 TN 방류기준을 위한 MLSS 증가로 extracellular polymeric substances (EPS), soluble microbial products (SMP), 플록(floc) 구조와 크기 등

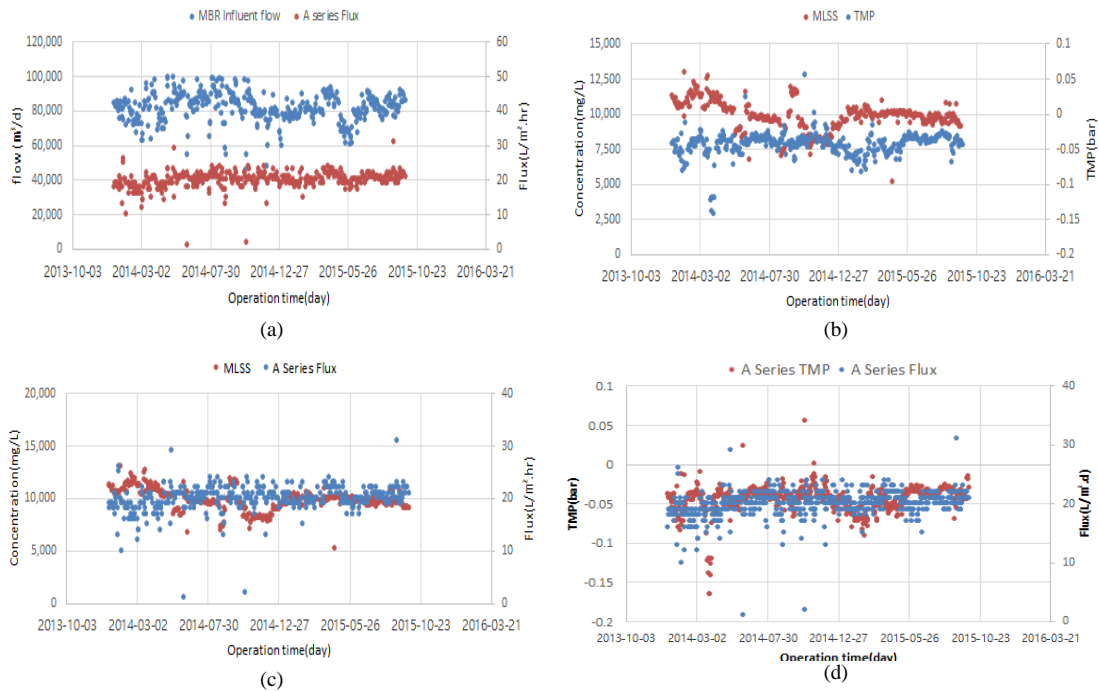


Fig. 3. Inflow and Flux (a), MLSS and TMP (b), MLSS and Flux (c), TMP and Flux (d) in MBR process (Phase 3).

이 막 오염과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있기 때문에(Shin, 2009) TMP가 커짐에 따라 막 파울링에 대한 후속 조치가 필요할 것으로 판단하였다. 또한 Fig. 3으로부터 MLSS가 일정하게 유지됨에 따라 TMP와 Flux가 안정되고 막의 정상운전을 위한 세정 간격이 길어져 세정액을 줄일 수 있으며 막 파울링이 줄어들면 막 분리조의 송풍량을 줄일 수 있을 것이라는 결론과 함께 자동운전 모드로 운전함으로써 다소 많은 양의 세정액이 들어갈 것으로 예상되기 때문에 유지 세정의 기준에 따라 탄력적 운전이 필요하다는 결론을 도출하였다.

3.2. 강변하수처리장 처리효율

강변하수처리장 A2O 공정 생물반응조의 수리학적 체류시간(hydraulic retention time, HRT)은 1단계 평균 10시간, 2단계 평균 15시간이며 하수중의 유기물질 및 영양염류 등이 미생물에 의해 산화, 분해되는 역할을 한다. 분해된 유기물질과 인 함유 미생물이 응집 침전물로 전환되어 최종침전지에서 고액 분리된 후 상

징액을 3차 처리시설로 이송하여 증력식 섬유여과 시설에서 미량의 SS를 제거한 후 소독하여 최종 방류된다. 최종 방류수의 평균 BOD, COD, SS, T-N, T-P 방류수 농도는 2.6 mg/L, 4.9 mg/L, 1.2 mg/L, 4.6 mg/L, 0.05 mg/L 였으며 제거율은 각각 97.4%, 85.7%, 98.2%, 70.2%, 90.4%으로 확인된 결과는 체류시간에 따른 제거효율을 결정하는 좋은 자료가 될 것으로 예상된다.

또한 강우의 전량이 생물반응조로 유입되는 구조로 되어있기 때문에 강우량이 20 mm를 초과한 경우에는 설계유량을 초과하는 일수가 장기간 지속된다. 이는 Fig. 4에서 볼 수 있는 바와 같이 생물반응조 C/N 비를 낮추어 T-N 효율에도 영향을 주는 것으로 나타났으며 외부탄소원 사용량 증가의 원인이 되고 있다. 따라서 안정적인 TN처리를 위한 방안으로 기존 시설을 활용하여 반류수의 총질소를 생물학적 처리(MLE)를 통하여 질소부하를 줄이거나 기존 염소 소독조를 활용하는 등의 반류수 처리 공정이 필요한 것으로 판단하였다.

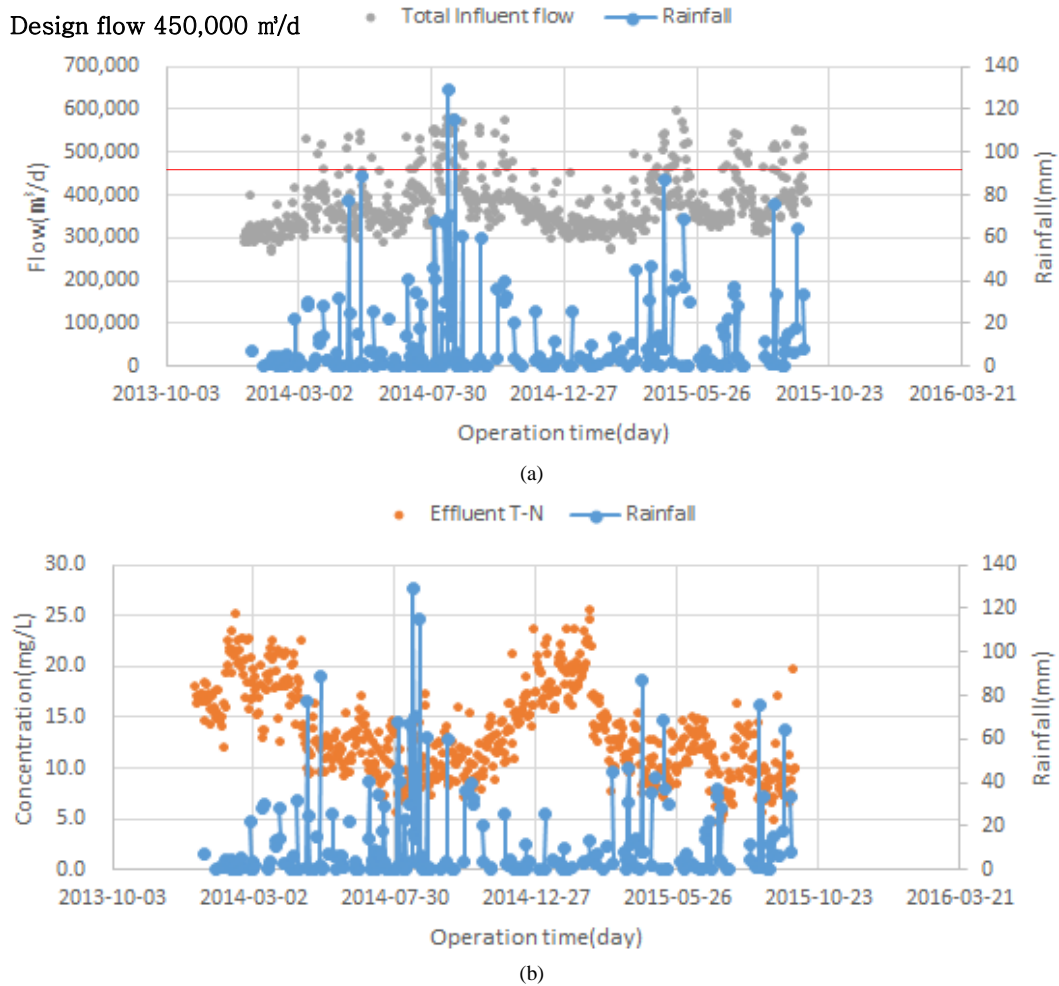


Fig. 4. Inflow, rainfall (a) and discharged T-N concentration (Phase 1) (b) of the G-sewage treatment plant.

포기조의 평균 DO 농도는 호기조 1단계 A계열은 0.5 mg/L, B 계열은 0.3 mg/L, C계열은 0.8 mg/L 으로 유지되고 있었다. 이는 질소, 인 제거를 위한 고도 처리시에는 무산소조와 혐기조에서 DO 농도가 미치는 영향이 겨울철 질산화에는 DO 농도가 2이상 유지되어야 질산화가 안정적으로 수행되기 때문에 송풍량 증가가 필요하다는 결과를 얻었다.

공정 단계별 HRT는 1단계의 경우 혐기조 2시간, 무산소조 3시간, 호기조 6시간으로 전체 생물 반응조 평균 HRT는 설계치 9.4시간 보다는 높은 것으로 나타났다. 하지만 최대 15.4시간, 최소 7.1시간으로 변화율

이 크기 때문에 생물반응조에 미치는 영향뿐만 아니라 3차 처리 공정인 GFF 공정에도 유량부하가 발생할 수 있어 유량 조정조 설치가 필요하다는 결과를 도출할 수 있다.

3.3. 하수처리공정의 CSG Water의 용수 생산 시스템에 대한 적용 가능성

선행연구를 통해서 CSG Water의 용수 생산을 위해서는 SS 제거를 위한 침유여과기, 유기물과 난분해성 탄화수소 제거를 위한 전기분해시스템, 그리고 TDS 및 이온성 물질 저감을 위한 RO 시스템의 적용

을 제안하였다(Chen et al., 2002; Shin, 2015). 본 연구를 통해서 부산 수영 및 강변하수처리시설의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 방류수 농도는 각각 4.1 mg/L, 22.6 mg/L, 58 mg/L, 11.9 mg/L, 1.3 mg/L 와 2.6 mg/L, 4.9 mg/L, 1.2 mg/L, 4.6 mg/L, 0.05 mg/L 으로 나타났기 때문에 국내 하수처리공정은 CSG Water의 용수 생산 시스템에 충분히 적용이 가능할 것으로 판단된다.

또한 국내하수처리공정에는 고도처리공정이 추가되어 있기 때문에 분자량이 큰 난분해성 유기물 및 색도제거도 가능할 것으로 판단되며 용도별 수질기준을 만족할 수 있는 최적 운전 조건 설정 등의 후속 조치가 추가된다면(Shannon et al., 2008) 하수처리공정의 단위 기술은 CSG Water의 용수생산 시스템 설계에 적용이 가능할 것으로 예상된다.

4. 결론

부산 수영 및 강변하수처리공정을 본 연구의 표본 공정으로 선택하여 운전 조건 및 처리 효율을 분석하여 CSG Water의 용수 생산시스템에 대한 적용 가능성을 평가하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 표본하수처리공정의 최종 방류수는 BOD 5 mg/L 이하, COD 25 mg/L 이하, SS 58 mg/L 이하, T-N 12 mg/L 이하, T-P 1.5 mg/L 이하의 안정적인 처리효율을 제공하고 있기 때문에 이 공정을 CSG Water의 용수 생산시스템 설계의 기본 공정으로 충분히 도입이 가능한 것으로 사료된다.

2) 표본하수처리공정은 기온 변화에 따라 MLSS의 농도편차가 큰 것으로 나타났기 때문에 CSG Water의 용수생산시스템에 적용하기 위해서는 온도 조절을 위한 운전 기술이 필요한 것으로 확인하였다. 또한 포기조의 DO 농도는 1.0 - 4.0 mg/L으로 유지되었으며 효율적인 BOD 제거를 위한 DO 농도인 1.0 mg/L 이상을 만족하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 CSG Water의 용도별 수질기준 만족을 위한 기본 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

3) 표본하수처리공정의 유입 우수는 생물반응조내의 C/N비를 낮추어 T-N의 처리효율을 저감시키는 원인이 되기 때문에 T-N 처리 효율 상상을 위한 추가설

비의 필요성을 확인 하였으나 CSG Water의 수질 성분 특성상 T-N 저감을 위한 별도의 공정보다는 CSG Water 저류조에 우수가 유입되어 전체 농도가 희석되는 영향을 방지하는 것이 효율적이라는 결론을 도출하였다.

4) 표본하수처리공정에 도입한 고도처리시스템의 분리막 공정은 HRT에 따라 처리효율이 변동되었기 때문에 사전연구에서 제안된 CSG Water 처리공정을 제작할 경우, 체류시간 설계의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 확인되었다. 또한 유량조정조를 설치하여 체류시간을 조절한다면 CSG Water의 유기물 및 TDS 저감 효과를 상승시킬 수 있다는 결론을 얻었다.

감사의 글

본 연구는 부산환경공단 연구보고서의 일부를 활용하여 2016년 부산지역녹색환경 지원센터의 연구비 지원(과제번호: 16-4-10-13)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- APLNG, 2013, CSG water production forecasts; Surat water production vs great artesian basin.
- AUS Department of Natural Resource, Queensland 2013, Coal seam gas water management study.
- AUS Environment Protection Agency, Queensland, 2012, Coal seam gas water quality.
- BECO, 2015, Technical report, Analysis of process efficiency for the improvement of sewage treatment plant.
- Comeau, Y., Jall, K. J., Jancock, R. E., Oldham, W. K., 1986, Biological model for enhanced biological phosphorus removal, *Wat. Res.*, 20(12), 1511-1521.
- Chen, G., Chen, X., Yue, P. L., 2002, Electro-chemical behavior of novel Ti/IrO₂-Sb₂O₅-SnO₂ anode, *J. Phy. Chem. B.*, 106, 775-788.
- Chris, M., 2013, Approach to understanding and managing impacts of co-produced water, 5th Annual CSG associated water conference.
- Galilee Energy, 2013, CSG water production forecasts; Water treatment(Process option, Water retention pond and evaporation).

1. 하수처리공정의 처리효율 분석 및 평가

- Matsuura, T., 2001, Progress in membrane science and technology for seawater desalination - A review, *Desalination*, 134, 47-54.
- Randall, C. W., Pattarkine, V. M., McClintock, S. A., 1992, Nitrification kinetics in single-sludge biological nutrient removal of activated sludge systems, *Water Science & Technology*, 25(6), 195-214.
- Randol, C., 2013, Managing the impacts of CSG water extraction in the Surat Basin, 5th Annual CSG Associated Water Conference.
- Paul, M., Muthia, E., Bae, J. S., Victor, R., Shin, C. H., 2009, Gas adsorption measurement on coals for CO₂-ECBM, *Asia-Pacific Coalbed Methane Symposium*, 88-92.
- Saito, K., Irie, M., Zaitso, S., Sakai, H., Hayashi, H., Tanioka, A., 2012, Power generation with salinity gradient by pressure retarded osmosis using concentrated brine from SWRO system and treated sewage as pure water, *Desalination. water treat.*, 41(1-3), 114-121.
- Shannon, M. A., Bohn, P. W., Elimelech, M., Georgiadis, J. G., Marininas, B. J., Mayes, A. M., 2008, Science and technology for water purification in the coming decades, *Nature*, 452, 301-310.
- Shin, C. H., 2012, Automatic addition control of the external carbon source by the measurement of ORP in biological nitrogen removal process, *J. Kor. Environ. Sci.*, 21(3), 383-390.
- Shin, C. H., 2014, Assessment and analysis of coal seam gas water management study for water resource production 1. Water production, *J. Kor. Environ. Sci.*, 23(8), 1395-1407.
- Shin, C. H., 2015, Assessment and analysis of coal seam gas water management study for water resource production 2. Prediction of treatment technology and design of co-treatment system, *J. Kor. Environ. Sci.*, 24(12), 1629-1637.
- Shin, C. H., Bae, J. S., 2009, Modification of a hollow fiber membrane and its three-dimensional analysis of surface pores and internal structure for a water reclamation system, *J. Ind. Eng. Chem.*, 15(6), 1151-1157.
- Sseng corporation, 2012, Technical report, Development of 2-stage fiber filtration process for the reuse of sewage.