

제21호 2020. 07.

고양시 하수처리장 에너지 자립 현황 및 개선 방안

도시환경연구부 부연구위원 **임지열**(토목환경공학박사)
jyim@gyri.re.kr

도시환경연구부 위촉연구원 **소가람**(행정학석사)
amaruak1222@gyri.re.kr

Contents

- I. 서론
- II. 고양시의 하수처리장 현황
- III. 하수처리장 에너지 자립율 현황
- IV. 하수슬러지 처리 현황
- V. 국외 하수처리장 바이오가스 이용 선진 사례
- VI. 시사점



전 세계적으로 기후변화에 대한 문제가 대두되고 있으며, 국제협력을 기반으로 하는 대응 방안을 모색하고 있다. 이에 우리나라도 「저탄소 녹색성장 기본법」의 제정을 통해 산업, 건축, 수송, 폐기물 등 여러 분야에서 온실가스 배출을 줄이기 위한 ‘온실가스 감축 로드맵’을 수립하였다. ‘온실가스 감축 로드맵’에서 폐기물 분야는 건물, 탈루, 수송부문 다음으로 높은 감축률을 목표로 설정하였으며 이를 위해 화석 연료 기반의 현 에너지체제에서 에너지 효율화, 신·재생에너지의 도입 및 에너지 사용량의 저감 등 다양한 방안들이 제시되고 있다. 그 중 도시를 구성하는데 있어 필수적인 사회기반시설이며, 다량의 에너지를 소비하는 하수처리장은 매력적인 신·재생에너지원으로 주목받고 있는 상황이다. 그 이유는 하수처리과정에서 필연적으로 발생하는 바이오매스를 기반으로 하는 에너지의 활용은 폐기물 저감과 더불어 에너지 자립 수준을 높이는 일거양득의 효과가 있다는 점과 생산량적인 측면에서 높은 효율이 있기 때문이다.

2018년 기준 우리나라에서는 총 4,111개 하수처리장이 운영되고 있으며, 이를 바탕으로 93.4%라는 세계적으로 높은 수준의 하수도 보급률을 달성하였다. 또한 우리나라와 같이 일정 수준 이상의 하수처리시스템을 구축한 국가들의 경우 하수처리장 신설을 통한 공급보다 하수처리장 개조를 통한 효율 개선, 운영 최적화 및 에너지 효율화 등에 대해 정책적 방향을 수립하고 있는 상황이다. 이에 우리나라 역시 「국가하수도종합계획」 및 「하수처리시설 에너지자립화 기본 계획」 등을 수립하여 이와 같은 부분에 많은 관심을 기울이고 있다.

고양시의 경우 2020년 기준 일산하수처리장, 원능하수처리장, 벽제하수처리장, 삼송하수처리장을 운영하고 있으며, 일부 하수의 경우 서울특별시에서 관리하는 난지물재생센터에 위탁처리하고 있다. 이 중 일산하수처리장은 고양시 하수 처리용량인 404,000 m³/day의 67% 가량을 처리하고 있어 고양시의 대표적인 하수처리장이라 할 수 있다. 하지만, 일산 하수처리장의 에너지 자립 수준은 타 지자체의 선진 하수처리장과 비교하였을 때 낮은 수준으로 조사되었다.

본 이슈브리프에서는 하수처리장 바이오매스를 이용하는 바이오 에너지와 관련하여, 국내 현황 및 우수 사례를 바탕으로 다음과 같은 정책적인 시사점을 제시하였다. 첫째, 소화조 운전에 대한 모니터링 시스템 구축 및 운영 최적화, 둘째, 지속적인 교육을 통한 에너지 전문 인력 양성 및 전문운영체계 구축, 셋째, 소화조 효율 개선 및 바이오가스 발생량 증대를 위한 신기술 도입 및 노후장비의 개선, 넷째, 분뇨, 음식물폐기물 등 유기성 폐기물의 통합 처리시스템 구축을 통한 바이오가스 발생량 증대, 다섯째, 민간기업과의 협력체계 구축, 그리고 마지막으로 바이오가스 인프라 구축 및 시장창출 노력이다. 환경 선진 도시로 도약하고자하는 고양시에서 신·재생에너지원으로 하수처리장에 적극적으로 활용하는 것은 전 지구적 문제인 온난화 및 에너지문제에 기여하는 시의적절한 방안이라 할 수 있으며, 지속적인 연구를 통해 고양시 하수처리장의 선진화 방안에 대해 검토할 필요가 있다.

I. 서론

GYRI

- 기후변화는 인류가 직면한 중요한 위기로 제시되고 있으며, 전 세계적으로 그 대응 방안에 대해 모색하고 있는 상황임. 이에 정부 간 기후변화 협의체 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 등의 국제기구 및 각국 정부에서는 지속가능한 성장에 집중하며 기후변화의 완화를 위한 적극적 관리에 대해 집중하고 있음. 이에 발맞추어 우리나라에서도 2010년에 「저탄소 녹색성장 기본법」을 제정하여 온실가스 감축 목표를 제시하였음. 이에 따르면 2030년까지 온실가스를 BAU (Business As Usual) 대비 37%인 850.8백만 톤의 감축을 목표로 설정함 (환경부, 2018).
- <표 1>은 2018년에 발표한 우리나라 정부의 온실가스 감축 로드맵을 정리한 내용으로, 이에 따르면 부문별로 온실가스 감축 목표를 설정한 것을 알 수 있음. 크게 보면 온실가스 감축 방안은 배출원의 온실가스 배출량 감축 (산업, 건물, 수송, 폐기물, 공공, 농축산 및 탈루 등) 과 온실가스 감축수단 활용 (전환, E신산업¹⁾, CCUS, 산림흡수원, 국외감축 등) 으로 분류할 수 있음. 여기서 주목할 점 중 하나는 폐기물 부문으로, 건물, 탈루²⁾ 그리고 수송부문 다음으로 감축률이 높게 설정되어 있음. 이를 달성하기 위해 적극적인 온실가스 감축수단의 적용이 필요한 상황임. 여기서, 제시된 목표 달성을 위해서는 화석연료 사용의 저감이 필수적이며 이를 대체하기 위한 신·재생에너지의 보급이 시급함. 이러한 상황에서 핵심 사회기반시설 중 하나이며 다량의 에너지를 소비하는 하수처리장의 에너지 효율화는 현 시점에서 시의적절한 문제로 볼 수 있음.

1) '에너지 신산업' 의 준말

2) 석탄이나 석유, 천연가스 등의 화석연료들의 연소 과정에서 발생한 것이 아닌 채광, 생산, 공정, 정제, 운송, 저장, 유통과정 등에서 발생하는 온실가스를 의미

<표 1> 온실가스 배출 로드맵 (환경부, 2018)

부문	배출전망 (BAU, 백만 톤)	감축 목표		주요 내용		
		감축 후 배출량 (백만 톤)	감축률 (%)			
배출원 감축	산업	481.0	382.4	20.5	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 공통기(전동기, 보일러 및 펌프 등) 효율개선 ▷ 공장 에너지관리 시스템 (FEMS, Factory Energy Management System) ▷ 신기술 개발·보급, 고부가제품 전환, 친환경 공정개발 및 냉매대체 등 	
	건물	197.2	132.7	32.7	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 신규 건축물 허가기준 강화, 기존건축물 리모델링 및 도시재생 등 → 건축물 에너지 성능 향상 ▷ 가전·사무기기·조명 효율 개선 및 정보인프라 구축 등 → 건물 에너지 사용 효율화 	
	수송	105.2	74.7	29.3	▷ 친환경차 보급 확대, 전기버스 상용화, 차량 평균연비 기준 강화, 대중교통 중심 교통체계 구축, 녹색물류 효율화 등	
	농축산	20.7	19.0	8.2	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 논·물관리 감축기술 개발·보급 ▷ 가축분뇨 에너지화 및 자원화 	
	폐기물	15.5	11.0	28.9	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 폐기물 감량 및 재활용 강화 ▷ 매립지 메탄가스 회수 및 에너지화 	
	공공 기타	21.0	15.7	25.3	▷ LED 조명 및 가로등 보급, 신재생에너지 설비 보급 등	
	탈루 등	10.3	7.2	30.5	▷ 채광·공정·정제·저장·운송 등 과정에서의 관리	
감축 수단 활용	전환	확정	-23.7	-	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 환경기초시설 탄소 중립프로그램 ▷ 재생에너지 활용, LNG 발전 확대 → 저탄소 에너지화 ▷ 전력 수요 관리 강화, 석탄화력발전소 개조 등 → 전력 사용의 효율화 ▷ 발전연료세제 개편, 분철 석탄발전 상한제 도입 등 	
		추가 잠재	-34.1			
	신산업 CCUS	-	- 10.3	-		▷ Carbon Capture Utilization and Storage (탄소 포집, 활용, 저장)
	산림흡수원	-	- 22.1	4.5		-
국외감축 등	-	- 16.2	-			
합계	850.8	536.0	37.0			

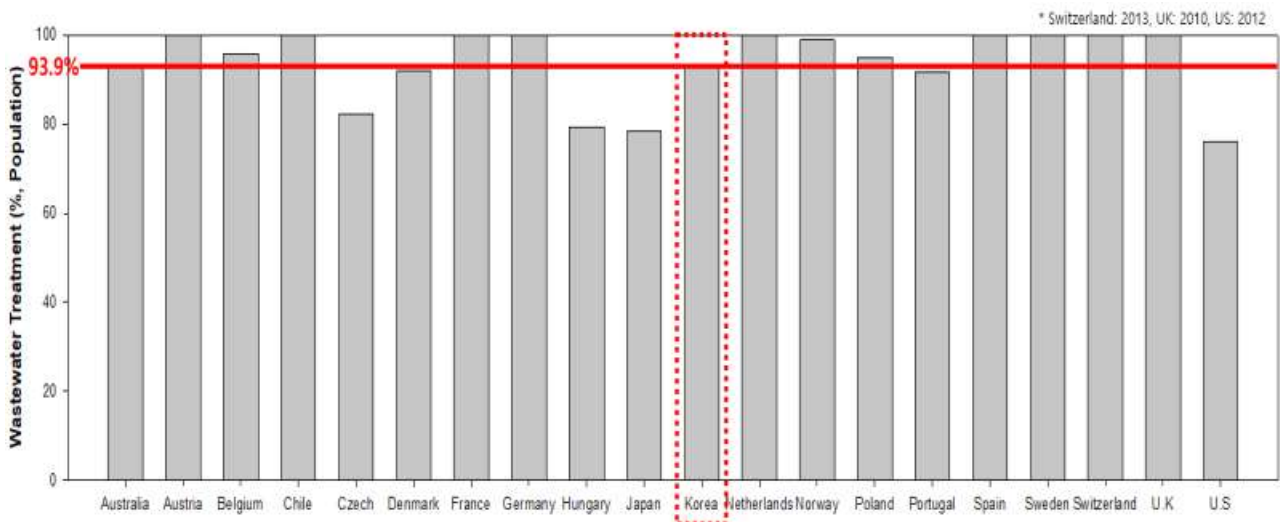
- 한편 해외에서는 도시의 물관리 측면에서의 물의 사용과 에너지의 사용을 분리할 수 없으며 양자의 사용에서 소비되는 타자까지 신경 써야 한다는 Energy Nexus라는 개념이 등장함. 이는 물의 이용과 에너지의 연결성과 관련된 것으로, 하수처리 또한 에너지를 사용하는 만큼 환경적 문제가 주요 관심사로 부상한 지금, 고양시 또한 선제적으로 대응할 필요가 있다고 보여짐.

<그림 1> Water-Energy Nexus의 개략도 (Lee, M. et al., 2017)

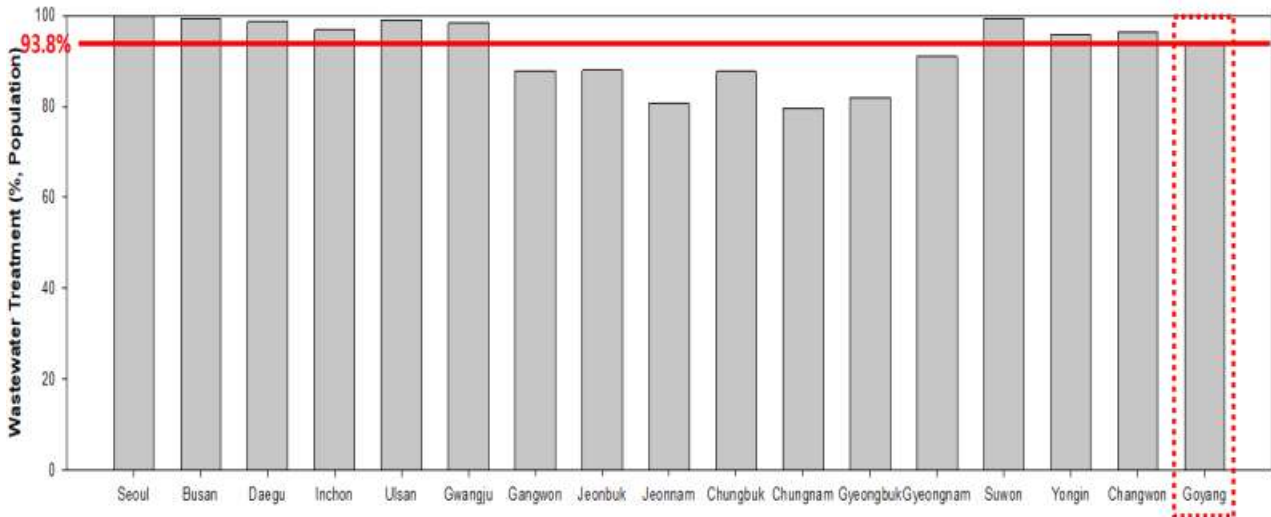


- 우리나라 하수처리장은 1976년 청계천하수처리장(현 중랑물재생센터)을 시작으로 본격적인 보급이 이루어졌으며, 2018년 기준 총 4,111개소(500m³/d 이상 671개소, 500m³/d 이하 3,440개소)의 하수처리장이 운영되고 있음(환경부, 2018 하수도통계). 이를 바탕으로 우리나라는 세계적 수준의 하수도 보급률(2018년 기준 93.9%)을 달성하였으며, 이는 OECD 주요 회원국과 비교하여 절대 뒤처지지 않은 수준임. <그림 1>과 <그림 2>는 고양시의 현황 분석을 위해 고양시를 포함한 우리나라 주요 지자체의 하수도 보급율을 비교한 결과임. 고양시의 경우, 2018년 하수도보급률은 93.8%로 국가 평균 수준의 안정적인 하수도 시스템을 구축한 상태라 평가할 수 있다음 하지만, 서울특별시, 부산광역시, 대전광역시 등과 같은 국내 주요 지자체와 인구 100만 이상의 도시(수원: 99.4%, 용인: 95.7%, 창원: 96.5%)에 비해 다소 낮은 수준임.

<그림 2> 주요 OECD 회원국 하수도 보급률 비교



<그림 3> 국내 주요 지자체 하수도 보급률 (2018년)



- 일정 수준 이상의 하수도 시스템을 확보한 환경선진국이나 지자체의 경우, 하수도 정책은 시설 보급과 더불어 하수처리장 효율 개선, 운영 최적화 및 에너지 효율화 등에 대해 관심을 기울이고 있는 실정임. 그 중 최근에는 기후변화 대응과 관련하여 하수처리장 에너지 효율화에 대한 관심이 증가하고 있음, 하수슬러지 자원화(에너지화)를 포함한 하수처리장 에너지와 관련된 정책은 <표 2>에 정리하였으며, 이를 통해 우리나라 정부 또한 하수처리의 에너지 자립에 대해 관심을 가지고 관련 정책을 추진하고 있음을 확인할 수 있음. 특히, ‘하수처리시설 에너지 자립화 기본계획’에서는 2030년까지 하수처리장의 에너지 자립율 50% 달성을 그 목표로 선정하였으며, 이와 관련하여 단계별로 사업을 진행하고 있음. 특히, 서울특별시와 같은 선진 지자체의 경우, 자체적인 목표를 국가 수준의 목표보다 한 단계 높게 수립하여 관련 사업을 추진하고 있는 실정임.
- 이에 환경 선진 도시로 도약하고자하는 고양시에서 산·재생에너지원으로 하수처리장 적극적 활용 방안을 모색하는 것은 필수적이라 할 수 있으며, 지속적인 연구를 통해 고양시 하수처리장의 선진화 방안에 대해 검토할 필요가 있음. 따라서, 본 이슈 브리프에서는 현재 고양시 하수처리장 에너지 자립 현황을 비교·분석하고, 국내·외 선진 사례 조사를 통해 고양시 하수처리장의 에너지 선진화 확보 방안에 대해 논하고자 함.

<표 2> 국내 주요 지자체 하수도 보급률 (2018년)

하수처리장 관련 계획	주요 내용
국가하수도종합계획	하수도 시설의 에너지 효율 제고, 부생가스 ³⁾ 의 자원화 및 재생에너지 도입 등
폐기물에너지화 종합대책	폐기물의 에너지화 빈도 제고
하수처리시설 에너지자립화 기본계획	녹색기술 적용, 에너지 사용량 저감 및 신재생에너지 생산 등 2030년 하수처리시설 에너지 자립률 50% 달성 목표
환경기초시설 탄소중립프로그램	하수처리장 내 유힬부지를 활용하여 태양광 등 신재생에너지 생산
2030 바이오가스 생산·활용 중장기계획	하수슬러지로 바이오가스 생산·활용 찌꺼기 감량화 및 에너지 사용량 감축
온실가스·에너지목표관리제	온실가스 감축 및 에너지 소비량 절약 유도

II. 고양시의 하수처리장 현황

GYRI

- <표 3>은 고양시에서 발생하는 하수를 처리하는 하수처리장 운영 현황을 간략하게 정리하였음. 고양시에서 발생하는 하수는 일산하수처리장, 원능하수처리장, 벽제하수처리장, 삼송하수처리장 그리고 난지물재생센터에서 처리되고 있음. 또한 도시 개발에 따라 추가적인 하수처리 용량이 필요하여, 삼송2하수처리장(16,000 m³/d) 신설 및 일산하수처리장 증설도 계획함. 참고로 난지물재생센터는 다른 하수처리장과 다르게 서울특별시에서 관리하는 시설로, 고양시 하수 일부 (약 5%)를 위탁처리를 실시하고 있는 상황임. 현재, 고양시가 확보한 하수처리장 용량은 총 404,000 m³/d(난지물재생센터 24,000 m³/d 제외)이며, 이 중 일산하수처리장 용량이 약 67%를 차지하고 있음. 일산하수처리장의 경우, 일반적인 하수처리장 계획년도인 20 ~ 30년을 고려하였을 때 하수처리장 개·보수를 준비해야 하는 상황임. 또한, 벽제하수처리장과 원능하수처리장 가동률 (유입하수량/시설용량)은 약 90% 수준으로 처리 용량적인 측면에서 하수처리장 개·보수 검토가 필요함.

3) 제품의 생산 공정에서 필요로 하는 화학 연료 외에 부산물로 발생하는 가스를 일컬음
 (두산백과, 2020 04 확인)

<표 3> 고양시 하수처리장 운영 현황 (2018년)

시설명	위치	준공년도 (년)	시설용량 (m ³ /day)	유입하수량 (m ³ /day)	가동률	에너지 자립율 (%)	비고
삼송	덕양구	2014	16,000	9,228	0.506	-	-
벽제	일산동구	2007	38,000	33,298	0.913	-	2017년 증설 8,000 (m ³ /day)
원능	덕양구	2008	80,000	70,625	0.886	-	-
일산	일산서구	1999	270,000	190,157	0.704	6.2	-
삼송2	덕양구	-	16,000	-	-	-	신설
난지	덕양구	1986	24,000 (860,000*)	552,676	-	-	서울특별시 위탁처리

III. 하수처리장 에너지 자립율 현황

GYRI

- 하수처리장 에너지자립율은 국가하수도정보체계 (<http://www.keco.or.kr>)에서 제공하고 있으며, 다음 <표 4>는 국내 주요 하수처리장의 신·재생에너지원 별 에너지 자립율을 정리하였음. 현재 우리나라 하수처리장에서 에너지 자립을 위해 활용하고 있는 신·재생에너지는 바이오매스(소화가스), 소수력, 풍력, 태양광, 하수열 및 기타(에너지 효율화 등)의 6종류로 구분할 수 있음. 또한 현재 우리나라 하수처리장 중 에너지자립을 위해 신·재생에너지를 활용하는 하수처리장은 총 271개소이며, 그 중 태양광(233개소) 및 바이오가스(68개소)를 이용하는 시설이 상대적으로 많음. 태양광의 경우 하수처리장 내 유휴 부지를 활용하는 등 도입을 위한 공간 확보가 용이한 점, 그리고 바이오가스의 경우 기존 공정을 활용하여 쉽게 적용이 가능(하수슬러지의 감량을 위한 슬러지 처리과정 중 혐기소화과정에서 발생하는 바이오가스 회수를 통해 적용)하다는 점이 장점으로 작용하여 이를 도입한 하수처리장이 많은 것으로 판단됨. 반면, 상대적으로 소수력, 풍력 및 하수열에너지가 도입된 하수처리장이 적은 것은 별도의 추가 설비 설치 필요한 점 및 지리·지형적 영향 등 자연환경에 민감하다는 점 등의 제약이 있기 때문임.
- 국가하수도정보의 각 신·재생에너지를 활용하는 하수처리장들의 에너지 자립율을 분석하였을 때, 상대적으로 바이오가스를 이용한 에너지 회수의 효율이 타 에너지원과 비교하여 높은 것으로 나타남. 하수처리장 신·재생에너지 효율관련 선행연구 결과에 따르면, 바이오가스가 하수열과 소수력과 비교하여 각

각 9.2배, 6.3배 이상의 효율(520,000 m³/day 규모 하수처리장)을 보인다고 발표된 바 있으며, 현재 우리나라 하수처리장 신재생에너지 현황과 유사한 결과라 할 수 있음. 또한 우리나라 하수처리장 개소수가 가장 많은 태양광발전과 비교하여도 최대효율 기준 약 10배 이상의 높은 에너지 회수 효율을 보이는 것으로 분석됨. 이와 같은 연구 자료와 현황은 바이오가스를 이용한 에너지 회수의 효율성을 보여주는 연구 결과라 할 수 있음.

<표 4> 국내 주요 하수처리장의 신·재생 에너지원 운용 현황 및 에너지자립율 (2020, 환경부; 2019, 한국환경공단)

신·재생에너지 구분 (적용 시설 개소수)	주요 적용 대상 시설	월 에너지자립율 (%) ¹⁾	연 에너지자립율 (%) ²⁾
바이오가스 (68개소)	울산시 용연하수처리장	59.0 ~ 93.7	80.8
	대구시 서부하수처리장	29.1 ~ 49.2	40.8
	광주시 광주하수처리장	28.1 ~ 38.3	33.0
	고양시 일산하수처리장	0.0 ~ 17.1	6.2
태양광발전 (233개소)	부천시 굴포하수처리장	0.5 ~ 1.0	7.4
	포항시 포항하수처리장	0.1 ~ 0.8	6.5
	서울시 난지물재생센터	0.1 ~ 0.2	2.9
	고양시 일산하수처리장	-	-
풍력발전 (3개소)	제천시 제천하수처리장	0 ~ 5.08	2.80
	영암군 대불하수처리장	0 ~ 0.016	0.007
	진해시 진해하수처리장	-	-
소수력발전 (6개소)	대전시 대전하수처리장	0.2 ~ 0.4	0.3
	청주시 청주하수처리장	0.0 ~ 1.5	0.7
	안양시 석수하수처리장	0.0 ~ 0.003	0.001
하수열에너지 (4개소)	서울시 탄천하수처리장	-	-
	대구시 서부하수처리장	-	-
	용인시 용인하수처리장	-	-
	남양주시 제1화도처리장	2.35 ~ 6.18	3.10
기타 (9개소)	대구시 신천하수처리장	19.1 ~ 33.6	25.72
	서울시 탄천하수처리장	0.0 ~ 4.8	2.70
	안산시 안산하수처리장	0.1 ~ 5.1	1.26

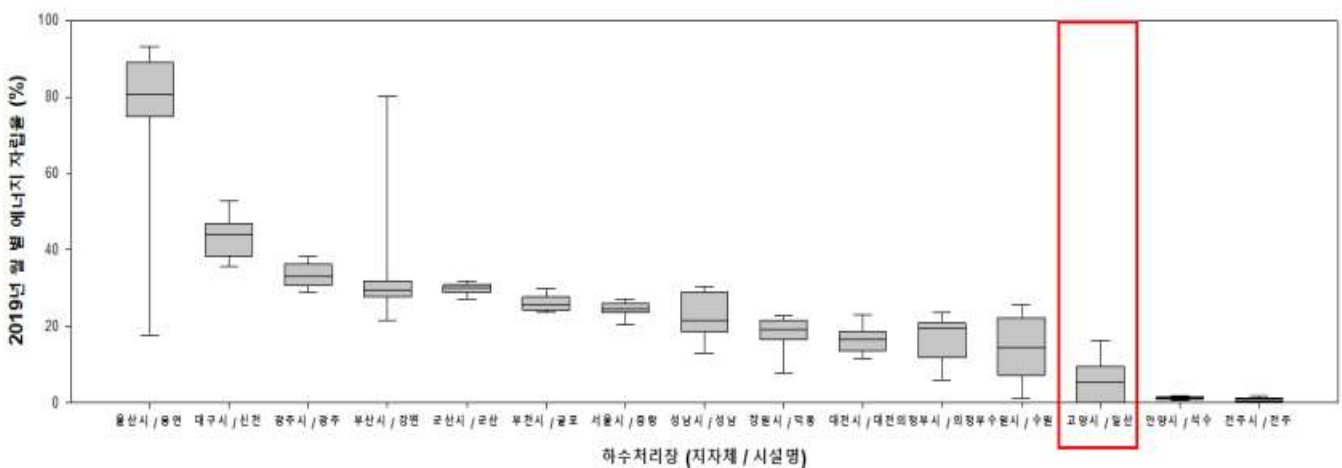
※ 본 자료는 '2019년 국가하수도정보자료'를 기반으로 작성한 것이며, '-'는 한국환경공단에서 정보를 제공하지 않은 경우임.

¹⁾ 월 별 해당 신재생에너지를 통해 회수한 에너지 / 하수처리장 에너지 사용량

²⁾ 년간 해당 신재생에너지를 통해 회수한 에너지 / 하수처리장 에너지 사용량

- 아래 <그림 4>는 2018년 고양시 일산하수처리장을 포함한 200,000 m³/d 이상 우리나라 주요 하수처리장의 에너지 자립율을 분석한 자료임. 고양 일산하수처리장도 바이오가스를 이용하여 2018년 기준 연 에너지 자립율 6.2% (소비 5,866,649 TOE, 생산 697,387 TOE)를 달성하였으며, 0.0% ~ 17.1%의 월별 에너지자립율의 범위를 보임. 한편 주요 지자체의 하수처리장의 연 평균 에너지자립율은 서울특별시 중랑물재생센터 24.4%, 부산광역시 강변하수처리장 30.3%, 대구광역시 신천하수처리장 43.3% 그리고 광주시 광주하수처리장 33.4% 등으로 고양 일산하수처리장의 에너지자립율을 상회하는 것으로 나타남.
- 또한 고양시와 유사한 인구규모(100만 이상 도시)를 지닌 도시와 비교해도 수원시 수원하수처리장(13.8%)과 창원시 덕동하수처리장(17.6%) 대비 낮은 에너지자립율을 확보한 것으로 조사됨. 이외에도, 2019년 기준 울산시 용연하수처리장은 우리나라에서 가장 높은 80.8%의 에너지자립율을 확보하여, 일산하수처리장 에너지자립률 대비 약 13배 높음. 물론, 슬러지 발생량 및 성상, 적용 공법, 바이오가스 발생량, 외부 환경 요인 및 하수처리장 시스템 등과 같은 다양한 인자가 에너지자립률에 영향을 줄 수 있다는 점은 감안해야 하겠지만 참고해야 할 만한 수치라는 점은 분명함.
- 일산하수처리장은 2012년 혐기 소화조에서 회수한 바이오가스를 지역난방의 에너지원으로 공급하는 사업인 ‘일산 하수처리장 바이오가스 활용사업’을 실시하여, 하수처리장에서 신재생에너지를 활용하는 선진 사례로 평가받아 ‘2012년 산업·발전부문 목표관리 유공자포상’을 수상한 바 있음. 이렇듯 과거 선진 시설로 주목받았던 고양시 일산하수처리장이 현재는 일부 광역시 및 고양시와 유사한 규모의 도시와 비교하여 하수처리장의 에너지자립률이 낮은 것은 자명한 사실이며, 이에 대한 대책 마련이 필요한 것으로 판단됨.

<그림 4> 2019년 국내 주요 지자체 하수처리장의 에너지자립률 (2020, 환경부)

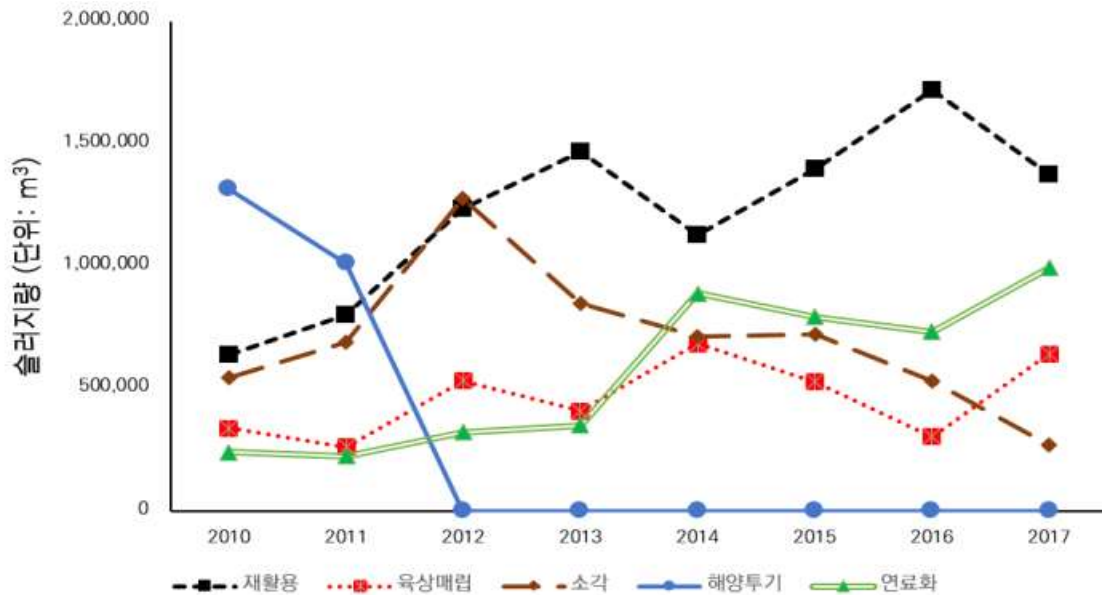


IV. 하수슬러지 처리 현황

GYRI

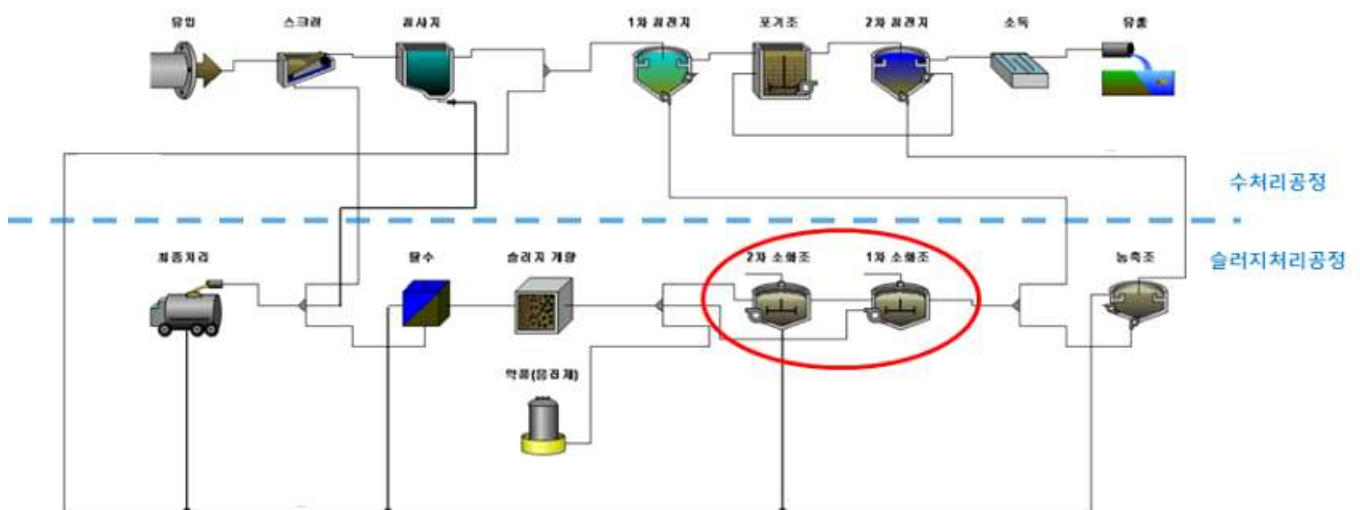
- <그림 5>는 최근 우리나라 하수처리장의 하수슬러지 처리 방식의 비중을 보여줌. 2012년 런던협약을 통해 하수슬러지의 해양 투기가 전면 금지되면서 하수슬러지의 해양투기는 이루어지지 않고 있음. 따라서 현재는 해양투기로 처분하던 하수슬러지를 재활용, 연료화, 소각 그리고 육상매립을 통한 처리로 대체하고 있음. 이러한 하수슬러지의 2017년 육상매립량은 2012년과 비교하여 약 245% 증가하였으며, 앞으로도 하수슬러지의 매립을 위해 추가적인 부지가 필요하게 된다는 문제점임. 따라서 지속가능한 하수슬러지의 처리를 위해서 하수슬러지 자체를 감량하는 것에 대한 중요성이 더욱 강조되고 있음.

<그림 5> 우리나라의 하수슬러지 처리현황 (2018, 환경부)



- <그림 6>은 일반적인 하수처리장의 하수 처리 모식도임. 하수처리장은 유입되는 하수를 처리하는 수처리공정(Main-stream)과 수처리공정에서 발생한 슬러지를 처리하는 슬러지처리공정(Side-stream)으로 구분됨. 수처리공정에서 미생물을 이용하는 생물학적 처리를 기반으로 하수 내 오염물질을 처리한다면, 슬러지처리공정에서는 수처리공정에서 발생한 슬러지를 처리하는 공정임. 즉, 수처리공정의 주요 목적은 유입 하수 내 오염물질의 처리 그리고 슬러지처리공정의 주요 목적은 수처리공정에서 발생한 하수슬러지의 감량 및 안정화라 할 수 있음.
- 하수처리장 슬러지처리공정에서의 하수슬러지 감량 기술은 물리적(초음파 및 열 가수분해 등), 화학(알칼리 약품 처리 및 오존 등) 그리고 생물학적(호기성 소화 및 혐기성 소화 등) 처리로 구분할 수 있음. 이와 같은 다양한 하수슬러지 감량 기술 중 산소가 없는 혐기성 조건에서 유기물을 분해시켜 메탄으로 전환시키는 혐기성 소화 기술에 대한 관심이 증가하고 있는 상황임.
- 혐기성 소화 기술이 주목을 받는 이유는 슬러지 감량 효율성과 운전 및 유지관리의 용이성 등과 더불어 최종생성물로 앞에서 지속적으로 언급한 바이오가스를 생성한다는 점이며 이를 에너지원으로 활용이 가능하다는 점임.
- 이는 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」에서 분류하는 신재생에너지원 중 바이오에너지로 분류 가능하며, 기존 화석에너지를 대체할 수 있는 재생에너지로 전 세계적으로 주목을 받고 있다. 이에 우리나라에서도 하수슬러지 자원화 사업을 포함하여 하수처리장 에너지 자립과 관련된 계획을 수립하여 적극적으로 추진하고 있고 있음.

<그림 6> 일반적인 하수처리장의 하수처리 모식도 (활성슬러지 공법, 2018, 한국환경공단)



○ 현재 우리나라에서 하수처리장 에너지자립률의 기여도가 높은 바이오가스의 이용현황을 분석하면 아래 <표 5>와 같음. 바이오가스 이용 현황 자료는 ‘국가하수도정보’에서 제공하지 않아 ‘2018 하수도통계’ 자료를 이용하여 분석함. 2018년 기준 우리나라는 고양시 일산하수처리장을 포함하여 총 68개 하수처리장에서 슬러지 처리 공정에 혐기성 소화 기술이 도입되었으며, 그 중 63개 시설에서 혐기 소화조에서 발생하는 바이오가스를 회수하여 에너지원으로 이용하고 있는 것으로 나타남. 그리고 회수한 바이오가스는 ‘자체활용’(60개소), ‘발전’(18개소), ‘기타 (CNG 등)’(13개소) 그리고 ‘판매’(8개소)로 자체활용하는 하수처리장이 가장 많은 것으로 조사됨. 또한 개별 하수처리장에서 바이오가스 에너지 이용비율(평균값기준)을 분석하였을 때도 ‘자체활용’(69.8%), ‘발전’(17.4%), ‘판매’(6.8%) 그리고 ‘기타 (CNG 등)’(6.0%) 순임. 특히, 바이오가스를 이용하는 하수처리장의 55% (34개소, 고양시 일산하수처리장 포함)는 회수한 바이오가스를 100% ‘자체활용’하는 것으로 분석되었음. 즉, 소화가스 이용현황을 분석한 바 현재 국내에서는 회수한 바이오가스의 대부분을 하수처리장에서 자체적 에너지원으로 이용하고 있음(2018 하수도통계).

<표 5> 국내 하수처리장의 바이오가스 이용 현황 (2018, 한국환경공단)

구분		이용항목	자체활용	발전	판매	기타 (CNG 등)
바이오가스 이용 하수처리장 (개소)			60	18	8	13
하수처리장별 바이오가스 이용비율 (%)	최대		0	0	0	0
	최소		100.0	100.0	87.9	78.6
	평균		69.8	17.4	6.8	6.0
일산하수처리장			100.0	0	0	0

V. 국외 하수처리장 바이오가스 이용 선진 사례

GYRI

- 바이오가스를 이용한 하수처리장 에너지 자립과 관련된 대표적 국외사례는 독일 Straubing 하수처리장과 Heidelberg 하수처리장, 스위스 Luzern 하수처리장과 Berne 하수처리장, 헝가리 Zalaegerszeg 하수처리장, 미국 Deer Island 하수처리장과 Boston 하수처리장 그리고 일본 Kurobe city 하수처리장을 들 수 있음.
- 독일 Straubing 하수처리장은 이미 100%이상의 에너지 자립율을 확보하였으며, 잉여 에너지는 인근 지역에 공급함. 특히, 분뇨 및 도축 슬러지를 소화조로 추가적으로 주입하여 바이오가스 발생량을 약 3배 정도 증가($2,500 \text{ m}^3/\text{d} \rightarrow 7,000 \text{ m}^3/\text{d}$)시킨 것은 주목할 부분이라 할 수 있음. 또한 Heidelberg 하수처리장은 고성능 소화시설을 도입하여 체류시간 감소와 효율 개선을 통해 에너지 회수량을 증대시킨 사례로 볼 수 있음.
- 스위스 Luzern과 Berne 하수처리장 역시 바이오가스를 기반으로 에너지 회수를 실시하고 있으며, 에너지 자립율은 27%와 24% 정도임. 하지만, 해당 처리장에서는 바이오가스를 정제하여 차량 연료로도 활용하고 있으며, 차량 연료 부분은 에너지 자립율에 포함되지 않아 실질적 에너지 회수량은 자립율보다 높을 것으로 예상할 수 있음.
- 헝가리 Zalaegerszeg 하수처리장은 운영적 측면에서 소화조 운영 모니터링 시설 설치 및 운영자에 대해 지속적으로 교육을 실시하여 운영의 안정성 확보 및 최적화를 이룸. 특히, 소화조 모니터링 및 전문 운영 인력 양성에 투자한 부분은 Zalaegerszeg 하수처리장의 특징이라 할 수 있음.
- 미국 Deer Island 하수처리장은 하수슬러지와 더불어 음식물 폐기물을 소화조로 투입하여 바이오가스 생산을 증대시켰으며, 약 60%의 에너지 자립율을 확보함.
- 일본 Kurobe 하수처리장은 음식물 폐기물과 인근 공장에서 발생하는 유기성 폐기물을 소화조로 유입하여 바이오가스 발생량을 증대시킴. 특히, 지자체 입장에서는 인근 공장에서 안정적으로 바이오가스 발생을 위한 유기성 폐기물을 확보할 수 있으며, 민간 기업의 입장에서는 유기성 폐기물 처리를 위한 이송 및 처리 비용을 절감할 수 있어 지자체와 민간의 협력 사례라 할 수 있음. 다음 [그림 7]은 바이오가스를 이용한 에너지 회수를 실시하는 대표적 하수처리장을 보여주고 있음.

<그림 7> 국외의 주요 바이오가스 이용 에너지 회수 방식의 하수처리장



Straubing in Germany



Heidelberg in Germany



Luzern in Switzerland



Zalaegerszeg in Hungary



Deer Island in USA



Kurobe in Japan

VI. 시사점

GYRI

- 기후변화 적응 및 온실가스 감축을 위해 다량의 에너지를 소비하는 사회기초시설인 하수처리장의 에너지 자립에 대한 요구가 증가하고 있음. 하수처리장 에너지 자립 수준 향상을 위해 다양한 신재생에너지가 활용되고 있으며, 하수슬러지의 감량과 더불어 에너지원으로 활용 가능한 바이오가스 회수가 가능한 혐기 소화 기술에 대한 관심이 증가하고 있음. 이에 국내에서도 다수의(63개) 하수처리장에서 해당 기술을 적용하고 있으며, 바이오가스는 각 하수처리장별 에너지 자립율에 기여도가 타 신재생에너지 대비 높은 것으로 나타났으며, 이는 혐기 소화 기술의 효율성을 직접적으로 보여주는 것이라 할 수 있음.
- 특히 기존에 부산물로서 버려지는 슬러지를 에너지원으로 활용한다는 점에서 근래 부상하고 있는 Energy-Nexus 개념을 충족시키며 이를 바탕으로 폐기물의 저감 등 좀 더 친환경적인 처리가 가능하다는 점에서 현대 사회에 필요한 방향성이라 할 수 있음.

○ 2019년 기준으로 고양시 일산하수처리장(바이오가스 및 태양광 적용)의 에너지 자립율은 연 평균 3%대 수준이며, 이는 국내 환경 선진 도시의 대표 하수처리장과 비교하면 낮은 수준임. 따라서, 고양시가 친환경적인 도시의 이미지 구축을 위해서 하수처리장의 에너지 자립율을 확보할 수 있는 정책이 필요하다고 할 수 있으며, 본 이슈브리프를 통해 제안하고자하는 하수처리장 에너지 효율화 관련 정책 방향은 다음과 같이 정리할 수 있음.

- 소화조 운전에 대한 모니터링 시스템 구축 및 운영 최적화
- 지속적인 교육을 통한 에너지 전문 인력 양성 및 전문 운영 체계 구축
- 소화조 효율 개선 및 바이오가스 발생량 증대를 위한 신기술 도입 및 노후 장비 개선
- 분뇨, 음식물 폐기물 등 유기성 폐기물의 통합 처리 시스템 구축을 통한 소화 가스 발생량 증대
- 민간 기업과의 협력 구축
- 바이오가스 인프라 구축 및 시장 창출 노력

참고문헌

- 강연준, 2018, 하수처리장의 잠재에너지 추정 및 미활용에너지 효과 분석, 충남대학교 일반대학원.
- 강연준 · 장용철, 2018, Stl 하수처리장의 잠재 에너지원 활용과 온실가스 감축 효과 분석 연구, 한국폐기물자원순환학회지, 36(1), 41-48.
- 김귀훈, 2019, 물-에너지-식량 넥서스를 위한 시설재배지 물-에너지 관계 분석, 서울대학교 일반대학원.
- 김길정, 2019, 하수처리장 바이오가스 연료를 이용한 열병합 발전시스템의 최적운영, 서울과학기술대학교 에너지환경대학원.
- 녹색성장위원회, 2012, 2012년 산업·발전부문 목표관리 유공자포상 우수사례, 녹색성장위원회.
- 송민수 외, 2020, 에너지 생산형 하수처리장을 위한 가용 기술과 통합관리 방안, 한국물환경학회지, 36(1), 55-68.
- 유호성, 2019, Water-Energy Nexus에 의한 하수처리장 에너지 자립화 고찰, 한양대학교 공학대학원.
- 이정임 외, 2015, 경기도 환경기초시설 에너지 이용 효율화 방안, 경기연구원.
- 이종수, 2003, 경제성 평가에 근거한 슬러지 최적 감량화 방안에 관한 연구, 성균관대학교 과학기술대학원.
- 조승희, 공공하수처리시설의 「에너지 50-50-50 전략」 추진 방안, 전남발전연구원 정책연구, 전남발전연구원.
- 조승희, 2016, 광주광역시 공공하수처리시설의 에너지 효율 개선 및 자립화 방안, 광주전남연구원 정책과제, 광주전남연구원.
- 조을성 외, 2019, 공공하수처리시설 에너지자립화 정책방안 연구, 환경부 용역보고서, KEI.
- 환경부, 2018, 2030 온실가스 감축 로드맵 수정안 및 2018~2020년 배출권 할당계획 확정, 환경부 보도자료.
- 환경부, 2018, 2017 하수도 통계, 환경부.
- 한국환경공단, 2020 열람, 2017년 공공하수처리시설 운영현황, 한국환경공단 통계자료.
- Lee, M. et al., 2017, Water-energy nexus for urban water systems: A comparative review on energy intensity and environmental impacts in relation to global water risks. Applied Energy, 205, 589-601.
- Lems, R. & Dirkse, E.H.M., 2010, Biogas Upgrade to Green Gas and Vehicle Fuel: Start-up and first results of two DMT-PWS plants, DMT environmental technology, 15th European Biosolids and Organic Resources Conference & Exhibition.
- Tsolas, S. D., Karim, M. N., & Hasan, M. F., 2018, Optimization of water-energy nexus: A network representation-based graphical approach. Applied energy, 224, 230-250.

고양시정연구원 이슈브리프

제21호

발행일 2020.07.24.
발행인 이재은
발행처 고양시정연구원

TEL 031.8073.8341
FAX 031.8073.0710
HOME PAGE www.gyri.re.kr
ADDRESS 10393 경기도 고양시 일산동구 태극로 60 빛마루방송지원센터 11층 **고양시정연구원(GYRI)**

- 이 보고서에 실린 내용은 고양시정연구원의 공식의견과 반드시 일치하는 것은 아닙니다.
- 이 책에 실린 내용을 인용할 시 반드시 출처를 명시해야 하며 무단전재 또는 복제하는 것을 금합니다.