

하수처리장 신재생에너지 설치 사례 연구를 통한 에너지 절감 방안

(Case Studies of Energy-Saving Method for Renewable Energy Installation in Sewage Treatment plant)

윤중원* · 김주영 · 최창규**

(Jong-Won Yoon · Chu-Young Kim · Chang-Kyu Choi)

Abstract

Sewage treatment facilities can purify sewage enough to be send to river or sea water, that discharged from human life and industrial activities. In the sewage treatment process, we can get large amount of by-product energy resources and materials such as heat of sewage, digester gas and purified water etc., it can be utilized by applying various technologies thereby we can reduce energy consumption in the process. In this paper, it was analyzed using the data collected from the operational case study for the energy savings effect that can be obtained when using the digester gas, one of the by-product materials of sewage treatment process, for electric power generation. Cost of 623million won is an annual reduction of 4,032MWh corresponding 9% of the annual electricity consumption of the sewage treatment plant, such an alternative power generation using digester gas was proposed in this paper has been verified the feasibility of the proposed reduction of energy.

Key Words : Sewage Treatment Facilities, Digester Gas, By-Product Materials

1. 서 론

하수처리시설은 하수의 수집 및 처리 과정에서 많은 에너지를 소비하고 있으며 처리 과정에서 여러 가지

부생물질이 발생한다.

그동안 하수도사업은 시설 확충과 처리시설의 효율 향상을 위한 신기술 도입 등에 집중한 나머지 에너지 효율성에 대한 고려가 미흡하여 에너지 소비량에 대한 대책이 필요한 실정이다.

본 논문에서는 저탄소 녹색성장을 국가비전으로 채택하고 녹색성장을 통해 범국가적 패러다임을 전환하려는 정부의 방침에 따라 공공하수처리시설에 대해 청정에너지 사용을 확대하고 에너지와 자원을 절약하는 등의 녹색기술 도입을 활성화하는 신재생에너지 설치 사례 중의 하나인 소화가스를 활용하여 공공하수처리장에서의 에너지 절감방안을 제시하였다.

* 주저자 : 서울과학기술대학교 전기공학과 대학원
** 교신저자 : 서울과학기술대학교 전기공학과 교수
* Main author : Master, Seoul National University of Science and Technology
** Corresponding author : Professor, Seoul National University of Science and Technology
Tel : 02-970-6410, Fax : 02-978-2754
E-mail : choick@seoultech.ac.kr
접수일자 : 2014년 1월 15일
1차심사 : 2014년 2월 19일, 2차심사 : 2014년 2월 20일
심사완료 : 2014년 3월 20일

2. 하수처리장 현황

2.1 공공하수처리시설의 현황

2012년말 기준으로 전국에 가동 중인 시설규모 500 m³/일 이상의 공공하수처리장은 총 543개소이며, 시도별 현황은 다음의 표 1과 같다[2].

표 1. 시도별 공공하수처리시설의 현황
Table 1. The public sewage treatment plant facilities

서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	세종	경기	
4	11	7	10	2	2	5	2	129	
강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	계	
51	33	54	44	66	52	61	8	543	

2.2 에너지 소비 현황

하수처리장 전력 원단위는 약 0.29kWh/m³, BOD당 전력 원단위는 2.35kWh/kg.BOD으로 폭기조의 송풍기 및 전처리시설의 유입펌프가 전체 전력 소비량의 약 62.4%를 차지한다. 또한 다음의 표 2에서 보는 바와 같이 2012년말 기준 가동 중인 543개소 공공하수처리장의 하수 처리량은 일약 25,246천m³, 운영관리비는 연간 1,040,277백만원, 하수 1톤당 처리비용은 약 142.6원이 소요되는 것으로 나타났으며, 전력비는 연간 207,723백만원으로 운영관리비의 약 20% 비율을 차지하고 있는 다량의 에너지를 소비하는 공공시설 중의 하나이다[2].

표 2. 에너지 소비 현황
Table 2. The current energy consumption

유입하수량 (천m ³ /일)	운영관리비 (백만원/년)	전력비		톤 당 처리비 (원)
		(백만원/년)	(%)	
25,246	1,040,277	207,723	20	142.6

2.3 에너지 잠재력 현황

하수처리시설은 하수처리 과정(소화가스, 소수력, 하수열) 및 입지특성(풍력, 태양광 발전)등의 풍부한 에너지 잠재력을 보유하고 있으며, 그 내용은 다음의 표 3과 같다[1].

표 3. 에너지 잠재력 현황
Table 3. Amount of available renewable energy

구분	내용	에너지 발생량
소화 가스	소화가스 발생량 2,000N ³ /일 이상인 하수처리장 38개소	299,000 (MWh/년)
소수력	방류수 낙차 2m 이상, 발전설비 용량 10kW 이상인 하수처리장 15개소	11,000 (MWh/년)
하수열	하수처리수 평균 유량을 기준으로 이용 온도차 5℃로 가정하여 냉·난방 열 이용	230,000 (TOE/년)
태양광	하수처리시설 면적의 15%를 태양광 설치면적 기준으로 하수처리장 344개소	410,000 (MWh/년)
풍력	강가 및 해안가에 위치한 연평균 풍속 5m/s 이상 하수처리장 46개소	97,000 (MWh/년)

소화가스는 수집을 위한 별도의 에너지가 필요 없는 집약형 유기성 자원이며, 가용 에너지로 전환할 수 있는 소화조 등의 처리 공정 도입이 용이하고, 소수력은 하수 처리수 방류낙차, 방류관거 유속을 이용한 소수력 발전도입이 가능하며, 하수열은 계절의 영향을 받지 않고 안정된 양과 온도를 유지하므로 히트펌프를 활용하여 냉열원과 온열원으로 이용이 가능하다.

또한 하수처리시설 및 부대시설 공간을 활용하여 태양광 발전 및 풍력 발전이 가능하다.

2.4 에너지 이용 및 생산 확대

공공하수처리장에서 에너지 자립화 계획은 청정에너지 사용을 확대하고 에너지와 자원을 절약하는 방

법으로 운영 효율 개선을 통한 에너지 절감 추진 및 선제적 적용이 가능한 지방 자치단체를 대상으로 소화가스, 소수력, 하수열 이용 및 태양광, 풍력 등이 결합된 패키지형 시범사업 추진으로 에너지 절감 시스템을 구축하며 그 추진 방향은 다음 표 4와 같다[1].

표 4. 에너지 절감 시범사업 현황
Table 4. Energy utilization pilot project status

사업장	SW 하수 처리장 (52만m ³ /일)	CH 하수 처리장 (15만m ³ /일)	MS 하수 처리장 (50만m ³ /일)
적용 모델	· 소화가스 · 소수력 발전 · 하수열 이용 · 태양광 발전 · 폐열회수	· 소화가스 · 소수력 발전 · 하수열 이용 · 태양광 발전 · 풍력 발전	· 소화가스 · 소수력 발전 · 하수열 이용 · 태양광 발전
예상 사업비	85억원	76억원	66억원
사업 기간	24개월	24개월	24개월
자립율	10.2%	82.8%	36.5%

하수처리장에서 에너지 자립화는 에너지 다소비 시설인 하수처리시설에 녹색기술을 적용하여 에너지를 절감하고 청정에너지를 생산하는 것으로 2010년 하수처리시설 에너지 자립화 기본계획, 2011년 환경기초시설 탄소중립프로그램 등을 통해 공공하수처리시설에서 신재생에너지 도입이 확대되고 있다.

또한 공공하수처리시설에서 에너지 자립화 시범사업 분석·평가·에너지 잠재력을 바탕으로 적용기준 및 모델 등을 마련하여 단계별 에너지 이용·생산 사업을 추진, 하수처리시설에서 에너지 자립도를 50% 목표로 그 내용은 다음의 표 5와 같다.

2030년까지 공공하수처리장에서의 에너지 자립율은 다음의 표 6에서 보는 바와 같이 50% 달성으로 연간 907GWh 전력대체 효과와 연간 557,948CO₂톤 온실가스 감축 효과가 예상된다. 또한 에너지 절감, 생산설비 및 운영은 약 6,227명 고용창출, 연 511.5억원의 경제적 효과가 기대된다[1].

표 5. 에너지 자립화 추진 계획
Table 5. Action plan of energy self-sufficiency

구분	소화 가스 (개소)	소수력 (개소)	풍력 (개소)	태양광 (개소)	목표 에너지 자립율 (%)
1단계 (10~15)	26	7	10	14	18
2단계 (16~20)	-	-	33	60	30
3단계 (21~30)	-	-	-	270	50
계	26	7	43	344	50

표 6. 에너지 자립화 기대 효과
Table 6. Predictable effect of energy self-sufficiency

구분	에너지 자립율 (%)	전력대체 효과 (GWh/년)	온실가스 감축량 (CO ₂ 톤/년)	경제 효과 (억원/년)
에너지 절감사업	5	90	58,047	50.8
소 화 가 스	16.4	299	168,649	168.6
소 수 력	0.6	11	6,171	6.2
풍 력	5.4	97	62,362	54.7
태 양 광	22.6	410	262,719	231.2
계	50	907	557,948	511.5

2.5 신재생에너지 도입 현황

2007년말 기준 신재생에너지가 도입된 전국 16개소 공공하수처리장의 전력 사용량은 530,318MWh/년이며, 설치 운영 중인 신재생에너지로는 소화가스, 소수력, 하수열, 풍력 및 태양광 발전 등이며 에너지 자립율은 0.82%로 그 현황은 다음의 표 7과 같다[1].

표 7. 신재생에너지 도입 현황
Table 7. The current status of renewable energy

구분	소화가스 (6개소)	소수력 (5개소)	풍력 (1개소)	태양광 (1개소)	계
발전량 MWh/년	13,065	809	3	1,120	14,997
자립율 %	0.72	0.04	0.00	0.06	0.82

3. 사례 연구

3.1 하수처리 공정

경기도 ○○시에 위치한 사례연구 대상 ○○하수처리장은 1단계 220,000m³/일, 2단계 300,000m³/일 하수처리 용량으로, 1단계는 하수 고도처리 과정에서 발생하는 생 슬러지와 분뇨, 음식물이 혼합 처리된 산 발효 슬러지와 잉여 슬러지가 혼합된 슬러지를 소화 처리하고 있으며, 2단계 슬러지는 농축 및 탈수 공정을 통하여 1단계와 별도로 독립적으로 처리하고 있다[3].

소화가스 발전은 1단계 하수처리 과정에서 발생하는 생 슬러지와 분뇨, 음식물류 폐기물이 혼합된 슬러지에서 발생하는 가스를 활용하여 발전할 수 있으며, 하수처리장의 배치 현황은 다음의 사진 1과 같다.



사진 1. ○○하수처리장
Photo 1. ○○Sewage treatment plant

3.2 전력수요 현황

사례연구 대상인 ○○하수처리장의 최근 4년간 최대수요전력 현황은 다음의 그림 1에서 나타난 바와 같이 Peak 값은 약 6,795kW로 수전용량 11,000kVA 대비 변압기 평균 이용률은 55.7%로 여유가 많은 것으로 조사되었다.

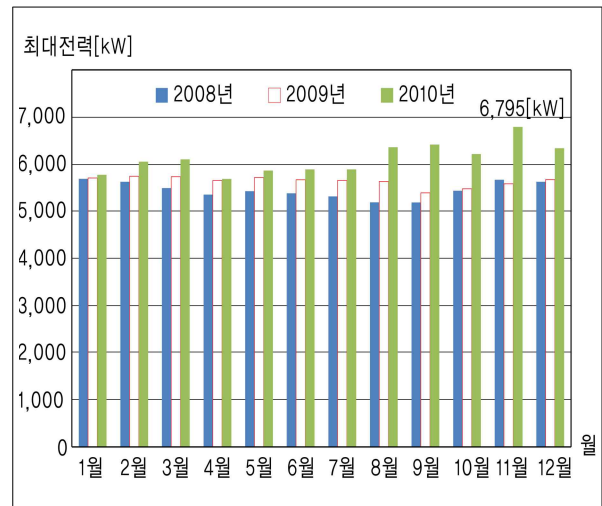


그림 1. 전력사용량 현황
Fig. 1. Trend of electric power consumption

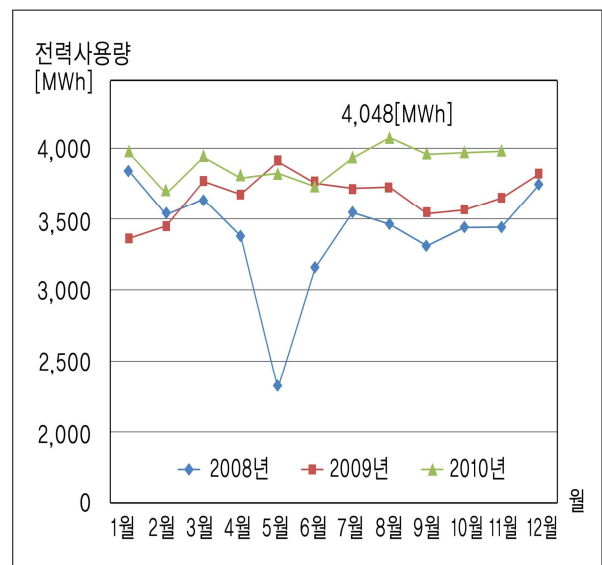


그림 2. 최대수요전력 현황
Fig. 2. Maximum electric power demand

또한 최대 월 전력 사용량은 다음의 그림 2와 같이 2010년 8월로 약 4,048MWh/월로 나타났으며, 연간 최대 전력 사용량은 43,877MWh/년으로 환경기초시설중의 하나인 하수처리장에서 소요되는 전력 사용량이 많음을 알 수 있었다[3].

3.3 에너지 사용 현황

하수처리장의 에너지 소비는 전력 외에 슬러지 처리를 위한 LNG, 등유 및 유지관리용 난방, 소화조 가온 연료로 사용하는 경우 등이 있으며, ○○하수처리장의 최근 1년 동안 에너지 총 사용량 15,769TOE 중 전력 사용량이 약 61%, 그 다음이 LNG로 약 37%이며, 그 현황은 다음의 표 8과 같다[3].

표 8. 연간 에너지 사용 현황
Table 8. Annual energy consumption

실내등유	경유	전력	LNG	소화가스
17,018 (ℓ/년)	19,244 (ℓ/년)	43,877 (MWh/년)	5,495 (천m ³ /년)	916 (천m ³ /년)
15TOE	17TOE	9,434TOE	5,798TOE	523TOE

3.4 소화가스 발전 규모 산정

하수처리 과정에서 발생하는 생슬러지와 진처리된 분뇨 및 음식물류 폐기물은 소화 효율을 향상시키고 탈수 성능을 증대시키기 위해서 열가수분해(THP)설비를 통하여 점도가 낮은 멸균 액체로 전환되어 소화조에 저장된다. 혐기성 소화조에서 약 15일의 체류시간을 거쳐 발생한 소화가스는 가스내에 함유된 수분, H₂S, 실록산 등의 이물질질을 정제 가스터빈 발전기에에 공급, “압축→연소→발전”의 과정을 거쳐 전력을 생산하여 소내 전력으로 사용하고 발전과정에서 발생하는 폐열을 회수하여 열가수분해(THP) 및 건조설비 열원으로 이용되는 열병합 발전시스템으로 소화가스 수집 방법 및 발전 구성도는

다음의 그림 3과 같다.

○○하수처리장에는 ø20.0m×H10.4m) 규모의 소화조 4기가 설치되어 있고, 여기서 발생하는 소화가스는 약 265.8m³/h로 그 현황은 다음의 표 9와 같다[3].

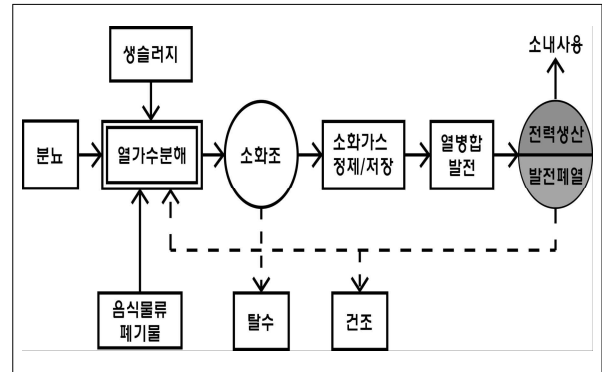


그림 3. ○○하수처리장 열병합발전 시스템 구성도
Fig. 3. Cogeneration system configuration

표 9. ○○하수처리장 소화가스 발생량 현황
Table 9. Amount of digester gas emission

유입 하수량 천 m ³ /일	소화가스 발생량		메탄 함유량 %	메탄 발열량 kcal/m ³
	m ³ /일	m ³ /h		
220	6,381	265.875	60	8,640

○○하수처리장의 1단계 유입하수량은 220,000m³/일, 하수처리 과정에서 6,381m³/일의 소화가스가 발생되어 유입하수량 대비 소화가스 발생 원단위는 0.029 m³로 발생 전력은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{전력}[P(\text{kW})] &= \text{소화가스발생량} \times \text{메탄함유량} \\ &\times \text{메탄발열량} \times \text{발전효율} \div 860\text{kcal/kWh} \\ &= 265.875 \times 0.6 \times 8,640 \times 0.315 \div 860 \approx 504\text{kW} \end{aligned}$$

3.5 에너지 절감 효과

사례연구 대상인 ○○하수처리장의 소화가스 발전시 약 4,032,000kWh/년 전력이 생산되어 하수처리장

총 전력 사용량 43,877,000kWh/년 대비 에너지 자립율은 9%, 에너지 절감액은 약 623백만원/년으로 분석되었으며 그 내용은 다음의 표 10과 같다.

표 10. ○○하수처리장 신재생에너지 도입 효과 분석
Table 10. Effectiveness of renewable energy

구 분	내 용
전 력 생산량 (kWh/년)	전력[kW]×연간 운전시간
	$504 \times 8,000 = 4,032,000$
석 유 환산량 (TOE/년)	전력생산량[kWh/년]×전기소비발열량 [kcal/kWh]× 10^{-7} [TOE/kcal]
	$4,032,000 \times 2,300 \times 10^{-7} = 927$
온실가스 저감량 (tCO ₂ /년)	전력생산량[kWh/년]×전기부문 온실가스 배출계수[tCO ₂ eq/MWh× 10^{-3}][MWh/kWh]
	$4,032,000 \times 0.4656 \times 10^{-3} = 1,877$
에너지 절감액 (백만원/년)	전력생산량[kWh/년]×SMP단가[원/kWh]
	$4,032,000 \times 154.6 = 623$
에너지 자립률 (%)	신재생에너지 생산량÷총 전력 소비량
	$4,032,000 \div 43,877,000 \times 100 = 9$

또한, ○○하수처리장에서 소화가스 발전을 통한 대체 시킬 수 있는 석유 환산량은 927TOE/년, 온실가스 저감량은 1,877tCO₂/년으로 다음의 표 11과 같이 분석되었다.

표 11. ○○하수처리장 에너지 절감 효과
Table 11. Effectiveness of energy saving

전력 생산량 (MWh/년)	석유 환산량 (TOE/년)	온실가스 저감량 (tCO ₂ /년)	에너지 절감액 (백만원/년)
4,032	927	1,877	623

4. 결 론

에너지의 수급환경 변화, 고유가의 장기화와 지구

온난화 방지를 위한 기후 협약의 발효 등으로 에너지 사용의 절감이 절실한 국가적 과제가 되었다. 또한 에너지 자원의 고갈과 기후 변화에 능동적으로 대처하기 위해서는 1차 에너지의 사용을 최소화 하고 신·재생에너지의 보급·확대를 통해 온실가스 발생을 줄이는 녹색성장 전략은 선택이 아닌 필수 요소이다.

본 논문에서는 ○○하수처리장의 하수처리 과정에서 발생하는 부생물질 중의 하나인 소화가스 자원화 가능성을 분석한 결과, 연간 하수처리장에서 소비하는 전력량의 9%인 4,032MWh/년의 전력을 생산하여 연간 623백만원의 비용이 절감됨을 알 수 있었다.

따라서 에너지 소비가 많은 하수처리장의 하수처리 과정에서 발생하는 부생물질인 소화가스 및 하수처리수(소수력), 하수열 및 입지특성을 이용한 풍력, 태양광 등의 다양한 신·재생에너지 설치를 통하여 에너지를 절감하고 에너지 자립율을 향상시킴으로서 저탄소 녹색성장을 통해 범국가적 패러다임을 전환하려는 정부의 방침에 부응하고 CO₂ 배출량 저감으로 국제환경규제에 능동적으로 대처할 수 있을 것이다. 그러나 하수처리시설에서의 신재생에너지 적용은 품질과 운영기술 및 경제성이 최우선적으로 고려되어야 하므로 지속적인 기술개발과 관심 그리고 연구에 대한 정책적인 투자가 필요하다.

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 일부 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Ministry of Environment, "Basic Plan for Independent Energy Plan", pp. 1-15, 2010.
- [2] Ministry of Environment, "Analysis result of operation and management for 2012 year Survey of public sewage treatment plant ", pp. 1-8, 2013.
- [3] Korea Environment Corporation, "Energy Independent sewage treatment pilot project for 00 city", 2012.
- [4] Korea Environment Institute, "Improvement of the energy efficiency of wastewater treatment plant", pp. 1-8, 16-22, 2011.
- [5] Jae-Ho Bae, "Digested sewage gas power", 2007.
- [6] Jun-Tak Park, "Public sewer facilities and Application of

- Technology of Energy Independent”, 2008.
- [7] Ministry of Knowledge Economy, “Mandatory renewable energy supply system.(RPS)”, 2012.
 - [8] Ministry of Trade, Industry and Energy, “Energy Basic law Enforcement Rules Standards Chapter 5 in terms of energy calories.”, 2012.
 - [9] Incheon Development Institute, “Incheon Utilization of sewage heat for public sewage treatment plant sewage”, 2010.
 - [10] Korea Environment Corporation, “Phase 1 demonstration projects for Energy Independent sewage treatment”, 2011.

◇ 저자소개 ◇



윤중원(尹鐘元)

1968년 12월 5일생. 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업. 2013년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 GS E&C 근무중.
E-mail : bellkingy@gmail.com



김주영(金柱永)

1962년 6월 4일생. 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업. 2010년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 발송배전기술사. 2011~2012년 서울과학기술대학교 겸임교수. 1985~2001년 (주)서울환경기술단. 2001~2013년 (주)에다종합설계감리사무소. 2009년~현재 명지전문대학교 겸임조교수. 현재 (주)에다 대표이사.



최창규(崔昌圭)

1953년 2월 25일생 1979년 울산공과대학 전기공학과 졸업. 1981년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 연세대학교대학원 전기공학과 졸업(박사). 1981년~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수. 2004~2006년 한국산업기술평가원 전문위원. 2007~2010년 한국가스공사 비상임이사 2010~2012년 한국가스안전공사 비상임이사.
Tel : (02)970-6410
Fax : (02)978-8470
E-mail : choick@seoultech.ac.kr