Journal of Korean Society of Water and Wastewater
Vol.24, No.6, pp.683-690, December, 2010

상하수도학회지, 논문
24권 6호, pp.683-690, 12월, 2010

저탄소 녹색도시 조성을 위한 신도시 하수처리시설의 에너지 자립 효과 분석

Effect Analysis on Self-supporting Energy of Newtown Sewage Treatment Facility for Low-carbon Green City

안수정[1] · 현경학[1*] · 김종엽[1] · 정연규[2]

Soo Jeung Ahn[1] · Kyoung Hak Hyun[1*] · Jong Yeob Kim[1] · Youn Kyoo Choung[2]

1 한국토지주택공사 토지주택연구원, 2 연세대학교 토목환경공학과

(2010년 3월 10일 접수 ; 2010년 10월 20일 1차수정 ; 2010년 12월 7일 2차수정 및 채택)

Abstract

Renewable and unutilized energy (biogas power generation, wind power, solar, small hydro-power, sewage heat source, etc.) seems to be suitable to install for the sewage treatment facilities. There are 357 sewage treatment plants in 2007. 17 plants among these have been operating for self-supporting energy by using solar power, small hydro-power and biogas in 2008.

Newly built sewage treatment plant of 96,000 m^3/day for a newtown is expected to get up to energy consumption of 10 GWh/yr. If solar energy, small hydro-power and biogas-equipments were applied to the new treatment plant, self-supporting energy of the new sewage treatment plant will get up to 56.1%. As a results, about 2,379ton CO_2/yr CO_2 emission reduction can be expected by using renewable energy. These efforts for self-supporting energy will lead sewage treatment plant to new energy recycle center.

Key words : **renewable energy, unutilized energy, CO_2 emission, sewage heat source, small hydro-power**

주제어 : **재생 에너지, 미활용 에너지, 이산화탄소 방출, 하수열, 소수력**

1. 서 론

기후변화와 에너지 시대의 도시 문제 해결 방안으로 등장한 새로운 도시 모델은 '저탄소 도시(Low Carbon City)', '탄소중립 도시(Carbon Neutral City)', '탄소제로 도시(Zero Carbon City or Zero Emission City)' 등이 있다. 저탄소 녹색도시란 탄소배출을 최소화하기 위해 화석에너지 의존형 도시에서 신재생에너지를 적극적으로 이용하는 도시로 전환하는 것이다. 이러한 저탄소 녹색도시 조성을 위한 주요 구성 요소는 크게 녹지, 토지이용, 교통, 에너지, 물 및 폐기물 등으로 나누어 볼 수 있다 (김 등, 2010a). 물과 에너지는 21세기 삶의 기본적인 요소로, 더 이상 분리하여 고려할 수 없다. 즉, 물 문제는 에너지 문제이고, 에너지는 물 문제이다. 물-에너지 결합은 물의 펌핑, 처리와 이송에 에너지가 소요된다는 것이고, 에너지 생산에 물이 소비된다는 점에 있다. 에너지는 집수, 송수, 정수 처리, 급수, 이용, 폐수 집수, 폐수 처리와 재이용 또는 방류에 필요하다. 물 공급에 필요한 비용의 80%가 에너지와 관련된다는 보고들이 있기도 하다 (Lamberton, et al., 2010). 미국의 물 관련 에너지 사용량은 미국 전기 소비량의 13%에 해당하고, 탄소 배출량의 5%에 해당한다고 한다. 그래서 수자원 보호, 이용 효율성 향상, 재이용 등으로 에너지를 획득하

* Corresponding author Tel:+82-42-866-8444, Fax:+82-42-866-8472, E-mail: khhyun85@naver.com(Hyun, K.H.)

고 온실가스를 저감하는 쪽으로 물 관련 시설의 초점을 맞출 필요가 있다고 주장하고 있다 (Griffiths-Sattenspiel and Wilson, 2009). Hammarby Sjöstad는 스톡홀름 재개발 지구로 에너지, 물 및 폐기물 순환 시스템의 Hammarby model을 개발, 적용하여 하수도 등의 도시 기반시설을 에너지도 생산하는 시설로 전환하였다. 즉, 도시 기반구조 자체를 지속가능하게 시스템화한 도시이다. 특히, 하수처리시설 소화조에서 바이오 가스를 추출하여 시내버스, 쓰레기 트럭, 택시 및 가스난로의 연료로 사용하도록 하고 있으며, 소화 후의 biosolid는 퇴비로 사용하고 있으며, 하수 처리수의 하수열 에너지도 활용하고 있다 (Fränne, 2007).

이러한 하수도 시설 중 하수처리시설은 대개 도시 변두리에 위치하여 넓은 침사지, 침전지, 폭기조 등을 설치하여 운전하고 있으며, 비교적 일정한 유량을 처리한다는 특징을 가지고 있다. 주변에 다른 시설물 또는 건물들이 위치하는 경우도 드물다. 이러한 입지 여건상 슬러지 소화를 통한 바이오 가스 발전, 풍력, 태양광, 소수력 및 하수열 등의 재생 및 미활용 에너지 활용에 유리한 여건을 갖추고 있다고 볼 수 있다 (김 등, 2010b). 이에 이러한 하수처리시설의 여건을 잘 활용하면 환경기반시설을 에너지 생산 시설로 전환하여 기후변화 대응 도시, 저탄소 녹색 도시의 지속가능성을 높이게 될 것이다.

하수처리시설은 에너지 다소비 시설의 하나로 에너지 자립화 필요성이 제기되고 있다. 하수처리시설은 하수의 수집 및 처리과정에서 많은 에너지를 소비한다. 이러한 에너지 다소비 시설을 오히려 에너지 생산시설로 전환하여 기후변화 협약에 대비하는 역할을 증대시키고자 하는 움직임이 나타나고 있다. 우리나라 하수처리시설에서 사용되는 전력은 '07년도 기준으로 연간 총 전력 사용량의 0.5%이나, 공공 하수처리시설 에너지 자립율은 0.8% 수준이다. 여기서 에너지 자립이란 하수처리시설에서의 연간 전력사용량에 대한 신재생에너지 생산을 통한 전력 발생량과 에너지 절감량 합계의 비율이다. 하수처리시설은 하수열, 슬러지 등의 풍부한 에너지 잠재력을 가지고 있다. 즉, 하수처리 과정에서의 소화가스, 소수력, 하수열 및 입지 특성상의 풍력, 태양광 등의 그것이다. 이제는 하수처리시설을 운동, 문화공간 등의 주민 공동체 공간으로의 활용과 더불어 기후변화에 대비하는 저탄소 녹색도시 조성을 위한 에너지 자립화와 온실가스 감축 기능을 하는 시설로 전환할 필요가 있다. 미국, 일본은 사업장별로 20~100%의 에너지 자립을 이미 확보하고 있는 상태이다. 일본 동경도 하수도국은 '09년까지 '90년 대비 6% 이상의 온실가스 감축 목표를 추진하였으며, 이를 위해 하수처리시설의 에너지 자립화 작업을 진행하였다 (김 등, 2010b; 환경부, 2009; 환경부, 2010).

이렇듯 도시에서의 기후변화 대응은 복합적으로 추구되며, 도시 기반시설과 시스템에 녹아 들어가야 지속성을 가질 수 있다. 특히, 신도시 하수처리시설에서 탄소 발생을 저감시키고 에너지를 생산·절약한다면, 신도시를 녹색도시로 조성함에 있어 유용한 방안이 될 것이다. 따라서 현 시점에서 하수처리시설의 에너지 자립화 사례를 분석하여 개발예정 신도시에 하수처리시설을 신설하는 경우 에너지 자립 달성 가능성을 검토하고, 그 효과 및 가능한 에너지 자립율 수준을 분석함으로써 저탄소 녹색도시 조성을 위한 주요 고려인자로 삼을 수 있는지를 살펴보고자 한다.

2. 국내 하수처리시설의 재생에너지 이용현황

2.1 국내 하수처리시설의 에너지 자립 현황

국내에서는 2007년 기준으로 총 357개의 하수처리시설이 운영되고 있으며, 이중 15개소의 공공 하수처리시설에 태양광, 소수력 및 소화가스 등의 재생에너지 시설을 설치하고 있다. '08년 이후 대전, 속초 하수처리시설에 태양광과 소화가스 발전시설을 각각 설치함으로써 재생에너지 설치 하수처리시설은 17개소로 증가하였다. 이중 제주, 제천 및 속초 하수처리시설은 20% 이상의 에너지 자립율을 보이고 있다. 재생에너지 시설은 중대형 하수처리시설 위주로 설치 운영되고 있으며, 17개소의 재생에너지 시설 설치 하수처리시설의 처리 하수량은 총 7,389천 ton/일(공공 하수처리시설에서 처리되는 하수량의 약 31%)이며, 전력소비량은 총 467.35 GWh/년이다 (환경부, 2010).

대전과 속초 하수처리시설의 자료를 추가하여 재구성한 Table 1에서 보듯이, 재생에너지 시설을 설치한 하수처리장 17개소에서 자체 생산되는 에너지는 약 18.37 GWh/년으로 평균 에너지 자립율은 3.93%이다. 재생에너지 시설을 통해 생산되는 에너지 약 18.37 GWh/년은 국내 공공하수처리시설에서 소비되는 총 전력의 약 1%에 해당되는 양이다.

2.2 태양광

태양광 발전은 다른 발전에 비해 대기오염, 소음, 발열 및 진동 등의 공해가 없는 청정에너지로 연료 수송 및 발전설비 유지관리가 거의 불필요하며 장치 수명이 길고 설비규모의 선택과 설치가 쉽다. 태양광 발전시스템은 태양광전지의 배열 판을 어떻게 그리고 어디에 설치하느냐에 따라 가정용, 건물 일체형 및 발전 시설용으로 구분된다 (정, 2007). 하수처리시설의 경우, 관리동 등의 지붕이나 하수처리시설 주변의 유휴지, 침전지 등을 이용하여 태양광 발전 도입이 가능하다. 태양광 발전 시설을 침전지 상부에 설치할 경우

상하수도학회지, 논문
24권 6호, pp.683-690, 10월, 2010

Table 1. Self-supporting energy of domestic sewage treatment plants

Plant	Sewage Capacity (10^3m^3/day)	Electricity Consumption (GWh/yr)	Annual Energy Production(GWh/yr)				Self-supporting Rate(%)
			Total	Solar	Small Hydro-power	Biogas	
Plant with Renewable E(17)	7,389 (31.02%)	467.35 (25.76%)	18.37	1.50	0.81	16.06	3.93
Tancheon, Seoul	1,100	65.26	2.60	-	-	2.60	3.98
Seonam, Seoul	2,000	131.31	4.40	-	-	4.40	3.35
Nanji, Seoul	1,000	58.52	2.31	-	-	2.31	3.95
Sooyoung, Busan	550	24.36	2.28	-	-	2.28	9.36
Shincheon, Daegu	680	38.76	0.91	0.56	0.35		2.35
Daejeon, Daejeon	900	60	0.13	0.13	-		0.22
Bukok, Kyunggi	10	2.6	0.05	0.05	-		0.19
Byuckje, Kyunggi	30	2.2	0.006	0.006	-		0.27
Seocksoo, Kyunggi	300	19.93	0.18	-	0.18		0.90
Chooncheon, Kangwon	150	11.93	0.15	0.15	-		1.26
Sokcho, Kangwon	46	7	2.11	-	-	2.11	30.14*
Jecheon, Choongbuk	70	4	0.93	0.14	-	0.79	23.25
Cheonan, Choongnam	150	17.15	0.22	-	0.22		0.29
Asan, Choongnam	63	7.48	0.93	-	0.05	0.88	12.43
Jinhae, Kyungnam	60	5.14	0.18	0.17	0.01		3.50
Onsan, Ulsan	150	9.25	0.29	0.29	-		3.14
Jeju, Jeju	130	2.46	0.69	-	-	0.69	28.05

※ 환경부(2010), '하수처리시설 에너지 자립화 기본계획' 수정, 보완 (*는 현장 관리소 추정치)

태양광 차단으로 침전지 내 조류 발생 방지효과 등도 기대해볼 수 있다 (김 등, 2010b).

Table 1에는 신천, 춘천, 부곡, 온산, 진해, 제천, 벽제, 대전 등 8개소의 하수처리장에서 태양광 발전시스템이 설치·운영되어 연간 약 1.50 GWh/년의 전력을 생산하고 있음을 보여주고 있다. 이는 17개의 재생에너지 적용 하수처리시설에서 발생하는 총 발전용량의 8.17%에 해당한다.

2.3 소수력

소수력 발전은 하천이나 저수지의 유량과 낙차를 이용하여 전기에너지를 생산하는 방식이다. 일반적으로 2005년 이전에는 설비용량이 10,000 kW 이하의 수력 발전을 소수력이라 하였으나, 2005년도에 개정된 규칙에서 용량 기준이 삭제되어 "물의 유동 에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 설비"를 수력이라 하고 있다. 다만, 하수처리시설 방류수를 이용한 발전에 관한 연구는 부족한 실정이다. 현재 하수처리시설에 설치한 소수력 발전 중 경기 석수의 용량이 가장 크다 (나·이, 2010). 여러 환경 문제를 야기하는 대규모 수력 발전에 비해 소수력은 입지 조건과 조화가 가능한 발전 방식이라고 할 수 있다. 소수력은 여러 신재생 에너지 중 에너지 밀도가 가장 높고, 시스템 국산화율이 90%를 상회하며, 반영구적인 시설로 지속적인 에너지 생산이 가능하다 (박·이, 2004). 정수장이나 하수처리시설에서의 소수력 발전의 적용은여러 장점을 가지고 있다. 최소한의 설비 변경으로 설치가 가능하고, 안정적인 유량 확보로 가동률이 하천(40~50%)의 2배(약 90% 이상) 이상이며, 기

Table 2. Substitution effect of small hydro-power

Plant	Capacity (10^3m^3/day)	Electricity consumption (GWh/yr)	Electricity production (MWh/yr)	Annual substitution effect of fossil fuel (TOE/yr)	Annual CO_2 emission reduction(ton/yr)	Self-supporting rate (%)
Shincheon, Daegu	680	38.76	350	75.25	148.4	0.90
Seocksoo, Kyunggi	300	19.93	180	38.7	76.32	0.90
Cheonan, Choongnam	150	17.15	220	47.3	93.28	1.28
Asan, Choongnam	63	7.48	50	10.75	21.2	0.67
Jinhae, Kyungnam	60	5.14	10	2.15	4.24	0.19
Total	1,253	88.46	810	174.15	343.44	0.92

* 1 MWh =0.215 TOE = 0.424 CO_2 ton(에너지관리공단)

존 정수장과 하수처리시설의 운영 시스템에서 운영이 가능하여 유지관리비가 적게 드는 장점도 있다 (남, 2002).

Table 1, 2에서 보듯이, 국내에는 현재 대구 신천, 아산, 천안, 진해 및 경기 석수 등 5개의 하수처리장에서 소수력 발전을 하여 810 MWh/년의 전력을 생산하고 있다. 이는 343.44 ton CO_2/년의 이산화탄소 배출 저감 효과가 기대되는 규모이다.

2.4 소화 가스

그동안 폐기물의 재생에너지원으로 소각열을 이용한 발전이 주를 이루어 왔다. 메탄가스와 이산화탄소는 지구 온난화의 원인이나, 혐기성 소화로 발생하는 메탄가스와 이산화탄소는 전력을 생산할 수 있어 온실가스로 분류되지 않기에 온실가스를 배출하지 않고, 폐기물의 혐기성 소화처리 과정에서 나오는 소화가스를 이용한 발전이 꾸준히 증가하는 추세이다 (환경부, 2008). 또한, LNG 발전설비를 하수처리시설의 혐기성 소화가스를 연료로 이용하는 가스엔진 설비와 연료전지설비로 대체하여 운전하는 경우 예상되는 온실가스 배출 감축 잠재량을 정량적으로 분석, 평가하는 연구가 진행되기도 하였다 (신 등, 2009). 하수 처리 과정에서 발생하는 슬러지를 혐기성 소화 처리하면 메탄 성분을 함유한 가스가 발생하게 된다. 소화 가스는 메탄가스를 50~60% 함유하고 있어 경제성이 높다. 다만, 바이오 가스로 생산된 에너지를 처리장 내에서 제한적으로 사용하고 있는 실정으로 바이오 가스 에너지 사용의 광역화를 위한 저장, 이동 기술의 개발 필요성이 제기되고 있다 (정, 2008). 하수처리시설에서의 소화 가스 사용은 전력 생산 및 소화조 가온용 등 전기와 열로 동시에 활용할 수 있는 장점이 있다. 또한, 하수처리시설에 도입되는 재생에너지 중 소화가스 발전이 가장 효용성이 높다 (김 등, 2010b).

Table 1에서 보듯이 소화 가스를 이용한 에너지 생산은 현재 하수처리시설에 적용된 신재생에너지 기술 중 하수처리시설의 에너지 자립에 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 속초 하수처리시설의 소화가스를 이용한 발전 생산량은 약 2,106 MWh/년으로 예상된다. 이러한 소화가스 발전을 통한 에너지 절감량은 약 453 TOE/년으로 기대되며, 이를 이산화탄소로 환산할 경우 연간 약 893 ton CO_2/년의 탄소 저감 효과를 얻을 수 있는 양이다.

2.5 하수열

하수가 갖는 열에너지는 하절기와 동절기에 외기와의 온도차를 이용하는 것으로 일정한 하수 유입량과 외기 온도에 비해 적은 변동 폭의 수온으로 하수 부존 열량이 많다. 2010년 현재 전국의 하수처리시설에서 발생하는 하수가 가지는 연간 에너지 부존량은 약 320만 TOE 정도로 추정되며, 이는 가정·상업 부문 에너지 소비량의 약 8.8% 수준이다. 열 수요처가 비교적 가까워 열 수송비를 절감할 수 있고, 냉각탑을 사용하지 않는 등 절수효과 등도 기대할 수 있다. 하수열은 하수처리시설 관리동의 냉난방, 소화조 가온 외에 지역 냉난방, 도로 융설 에너지 등으로도 활용 가능하다. 국내에서는 탄천, 울진, 대구 서부 하수처리시설 등에서 하수열을 관리동 냉난방에 활용하고 있다. 용인 하수처리시설에서는 국내 최초로 하수열을 지역 난방에 활용하고자 하고 있다. 일본, 스웨덴, 노르웨이 등에서는 도시 에너지 공급차원에서 주로 지역냉난방 에너지로 활용하고 있다 (박, 2010). 가정에서도 온수는 에너지원이다. 즉, 가정에

상하수도학회지, 논문
24권 6호, pp.683-690, 10월, 2010

서 배관 열 교환기는 샤워, 세면대, 싱크대, 세탁기에서 나오는 온수에서 열을 회수할 수 있다 (U.S. Department of Energy, 2009). 따라서 앞으로 생활주변에서 바로 활용할 수 있도록 하여 수열원 에너지 활용의 효율성을 높이기 위해서는 공동주택단지, 도시 및 하수도 계획 분야에서 수자원 에너지 차원의 검토와 연구가 필요할 것으로 보인다.

3. 신설 공공 하수처리시설의 에너지 자립화 실현 가능성 분석

약 5만 3천 세대, 13만 명 거주 및 하루 처리용량 96,000 m^3의 공공 하수처리시설을 계획하고 있는 A 신도시에서 그 공공 하수처리시설에 대한 에너지자립화 가능성과 그 설치 방안을 분석하고자 한다. 96,000 m^3/일 규모의 공공 하수처리시설의 경우, 하수처리량 당 소비되는 전력 원단위를 0.285 kWh/m^3로 가정하였을 때 (박, 2008), 하수를 처리하는데 연간 약 10 GWh/년의 전력이 소요될 것으로 예상된다.

3.1 태양광 발전

하수처리시설의 태양광 발전 시스템은 통상 침전지 상부 및 유휴 부지에 도입할 수 있으며, 관리동의 경사 지붕에 태양광 발전시스템을 설치하거나 BIPV(Building Integrated Photovoltaic System)를 이용한 상징적 건축물을 도입하는 방안도 효과적이다. 하수처리시설의 지하화를 통해서 태양광 발전시스템 설치 가능 공간을 검토하여 볼 수 있다. Table 1에서 보듯이 기존 하수처리시설의 태양광 발전시스템 사례 중 온산 하수처리시설의 태양광 발전이 에너지 자립에 기여하는 비율이 3.14%로 대개 4% 미만의 전기에너지를 태양광 발전으로 충당하고 있다. 이를 참조하여 A 신도시 하수처리시설에 태양광을 예상 전력소모량 10 GWh/년의 4% 수준에서 설치하는 것으로 가정하였다. 예상되는 설치 규모와 발전량은 **Table 3**과 같다.

3.2 소수력 발전

하수처리시설 소수력 발전의 경우 방류구 등 최대 낙차폭을 확보할 수 있는 위치에 소수력 발전 시스템을 적극적으로 도입할 수 있다. **Table 4**는 국내 하수처리장 중 가장 유효낙차가 큰 경기 석수 하수처리장의 유효낙차에 준하여 검토한 A 신도시 신설하수처리시설의 소수력 발전 적용성 검토결과이다. 유효낙차 14.8m를 기준으로 소수력 발전을 통해 얻을 수 있는 전기량을 산정한 결과 년간 약 0.85 GWh/년의 전력을 생산할 수 있을 것으로 예상된다. 이는 유효낙차 3.5m, 유량 3.7m^3/sec 조건의 구미 하수처리장

Table 3. Application of solar power on new sewage treatment plant

Installation place	Installation area(m^2)	Power generation capacity (kW)[a]	Annual expected power generation (MWh/yr)[b]
Settling reservoir	2,400	320	365

a) power generation capacity = $\frac{kW}{7.5m^2} \times 2,400m^2 = 320kW$

b) Annual expect power generation = $320kW \times \frac{1,140kWh}{kW \cdot yr} \times \frac{1MWh}{1,000kWh} = 365MWh/yr$

Table 4. Application of small hydro-power on new sewage treatment plant

Item	Unit	Value
Plant capacity	m^3/day	96,000
Flowrate (Q)	m^3/sec	1.11
Head (H)	m	14.8
Composite efficiency (η)	%	68
Output (P)	kW	109.5
Facility utilization rate	%	90
Monthly expected power generation	MWh	71
Annual expected power generation	MWh	852

소수력 발전용량을 산정한 결과와 비교하여 보면 적은 유입 유량을 대신하여 높은 낙차에 의해 가능한 발전용량임을 보여주고 있다 (나·이, 2010).

3.3 소화 가스

속초시에 따르면, 속초 하수처리시설(46,000m^3/일)은 2009년부터 2,106 Mwh/년(3,250백만원의 사업비, 314백만원의 절감) 규모의 소화가스 발전시설을 설치, 운영하고 있다. A신도시 96,000 m^3/일의 하수처리시설에 이와 비슷한 규모의 소화가스 발전 시설을 적용한다면, 연간 4,395 MWh/년의 발전량과 이에 따른 약 7억원/년의 에너지 절감을 기대할 수 있다.

3.4 하수열

하루 평균 96,000 m^3의 하수를 처리하게 될 신설 하수처리시설의 예상 열에너지 부존량은 **Table 5**와 같이 약 20 Gcal/h이다. 이처럼 많은 잠재 에너지를 가지고 있는 하수열을 적극적으로 활용하기 위한 방안으로 하수처리시설 내 관리동 또는 홍보관 등의 사무공간의 냉난방을 하수열을 이용하여 공급할 수 있다. 사무공간의 냉난방 부하량은 **Table 6**과 같다. 냉난방 부하는 전 냉난방 면적에 전부 시행되지 않고, 24시간 운전되지 않기에 다소 적게 산출되었다. 냉난방을 위한 히트펌프의 용량은 **Table 6**에서 보듯이 냉방 부하가 난방 부하보다 크다. 또한, 동일한 히트펌프로 하수열을 이용하여 냉난방을 모두 감당할 것이므로 242 RT라고 산출된 용량을 약 250 RT의 히트펌프가 해결할 수 있다. 이에 전체 하수량의 4%인 약 170 m^3/h의 하수에서 나오는 하수열을 가지고 히트펌프의 열원으로 이용한다고 하더라도 사무공간의 냉난방을 충분히 운영할 수 있을 것으로 예상된다. 하수처리시설에서 자체적으로 소비되는 열량을 제외한 나머지 하수열원은 하수처리시설 인근 주상복합 또는 상업용 시설에 냉난방용으로 공급하는 방안도 검토하여 볼 수 있을 것이다.

3.5 신설 하수처리시설의 에너지 자립화 가능 효과 분석

일평균 96,000 ton/일의 하수를 처리하는데 연간 10 GWh/년(하수처리량 당 전력원단위 0.285 kWh/m^3 기준)의 전력이 소요될 것으로 예상된다. 일 처리용량 96,000 ton의 공공하수처리시설에 태양광, 소수력 및 소화가스를 이용한 발전시설 등의 신·재생에너지 기술을 적용할 경우, **Fig. 1**에 나타난 바와 같이 하수를 처리하는데 소요되는 10 GWh/년의 전력소비량 중 약 5.61 GWh/년을 신·재생에너지를 통해 생산되는 전력으로 충당 가능할 것으로 보인다. 즉, 약 56%의 에너지 자립이 가능할 것으로 예측할 수 있다. 이는 공공하수처리시설 전체 전력사용량의 약 41~52% 수준에서 하수처리시설 에너지 자립을 예측한 연구보다는 다소 높은 결과이다 (김 등, 2010b).

Table 7은 신설 하수처리시설에 적용 가능한 신·재생에너지를 통한 이산화탄소 배출 억제효과를 나타내고 있다. 신·재생에너지 시설을 통해 생산되는 연간 약 5.61 GWh/년에 상당하는 전력 비용에 해당하는 연간 약 8억여 원의 운전비용 절감효과를 기대할 수 있다. 위에서 제시한 소수력, 바이오가스 발전 및 태양광 발전 등의 신재생에너지 시설을 설치할 경우 약 90억 원의 비용이 소요될 것으로 예상된다. 즉, 이는 약 10여년의 회수기간이 예상되어 경제성이 있는 것으로 판단된다. 이는 정부 지원을 고려하지 않은 것으로

Table 5. Expected sewage heat resource of new sewage treatment plant

Sewage capacity (m^3/day)	Sewage mean flow rate(m^3/h)	Expected heat resource (Gcal/h)
96,000	4,000	20.00

Table 6. Application of sewage heat resource on office building of new sewage treatment plant

Installation place	Heating area	Cooling area	Unit load (kcal/m^2 · h)			Heating load		Cooling load	
	m^2	m^2	Heating	Hot water	Cooling	kcal/h	RT	kcal/h	RT
Office building	9,182	8,264	86	5	100	529,833	160	803,235	242

* 아산탕정지구 집단에너지 사업계획서(대한주택공사, 2008)

상하수도학회지, 논문
24권 6호, pp.683-690, 10월, 2010

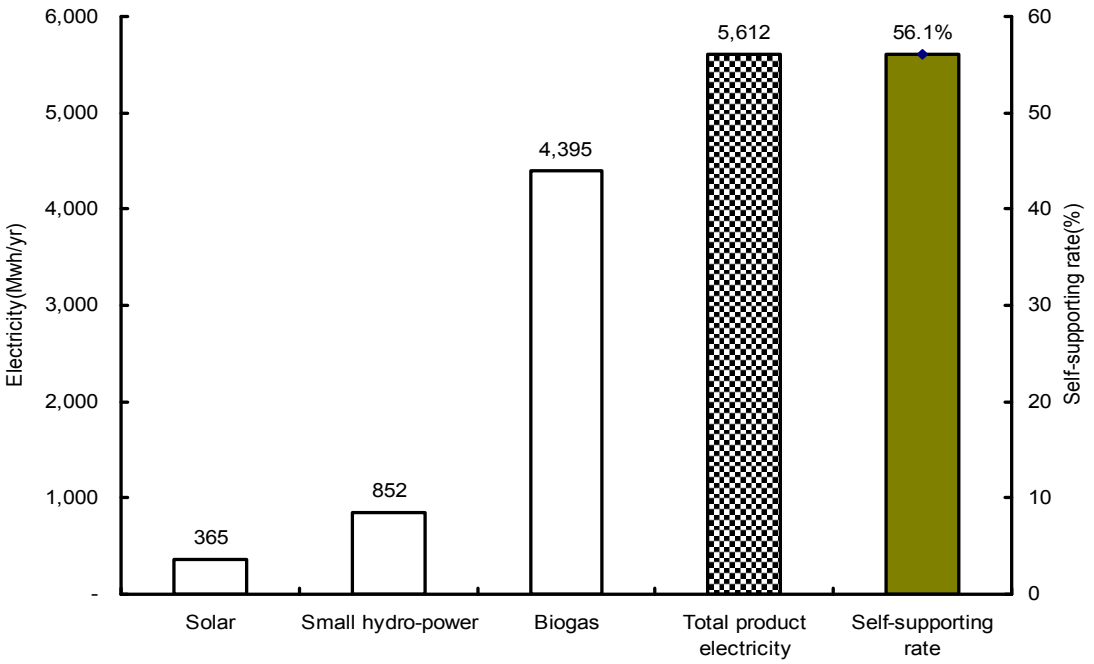

Fig. 1 Expected self-supporting energy rate of A sewage treatment plant

Table 7. Substitution effect of fossil fuel and CO2 reduction of new sewage treatment plant

Plant	Sewage capacity (m^3/day)	Electricity consumption (GWh/yr)	Electricity production (GWh/yr)	Annual substitution effect of fossil fuel (TOE/yr)	Annual CO_2 emission reduction (ton/yr)	CO_2 emission reduction rate (%)
Sewage treatment plant	96,000	10	5.61	1,206.58	2,379.49	56.1%

* 1 Mwh = 0.215 TOE = 0.424 CO_2 ton(에너지관리공단)

만약 정부지원을 받을 수 있고, 기술 적용 확대에 따라 설치 단가가 지속적으로 낮아질 경우 소요 비용이 낮아지면서 회수기간도 짧아질 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 화석연료 약 1,206 TOE/년의 대체효과와 더불어 연간 약 2,379 ton CO_2/년의 이산화탄소 배출 저감효과도 기대할 수 있을 것으로 보인다. 미 활용에너지원인 하수열을 하수처리시설 내 관리동 및 홍보관 등의 사무공간에 냉난방 열원으로의 활용을 더하면 추가적인 이산화탄소 배출 저감효과를 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결 론

저탄소 녹색도시 조성을 하나의 대안으로 공공하수처리시설에서의 에너지 자립화 가능성을 현 시점에서 검토하여 보고, 그 효과 등을 알아보았다. 이를 위하여 국내 공공하수처리시설의 신·재생에너지 적용사례를 살펴보고, 약 5만 3천 세대, 약 13만 명이 거주할 수 있는 17,642천 m^2 규모의 A 신도시에 건설 될 96,000 m^3/day 용량의 공공하수처리시설에의 적용을 가정하여 에너지 자립 방안을 모색하고, 그 적용 효과를 분석하였다.

일 평균 96,000 ton의 A 신도시 하수 처리에 10 GWh/년의 전력이 소요될 것으로 보인다. 이러한 하수처리시설에 태양광, 소수력 및 소화가스 등 신재생에너지의 적용 분석 결과, 각각 365 MWh/년, 약 852 MWh/년 및 4,395 MWh/년을 발전하여 총 5.61 GWh/년의 발전량이 예상되며, 소화가스의 에너지 자립율에의 기여율이 가장 높을 것으로 보인다. 따라서 약 56.1%의 에너지 자립화가 가능할 것으로 판단된다. 즉, 현 시점에서도 기술적, 경제적으로 약 50% 이상의 에너지 자립시설의 적용은 실현 가능한 것으로 보인다. 또한, 신재생에너지를 통해 화석연료 약 1,206 TOE/년의 대체효과와 약 2,379 ton CO_2/년의 이산화탄소 저감효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

하루 평균 96,000 m^3의 하수를 처리하게 될 A 신도시 신설 하수처리시설의 예상 열에너지 부존량은 약 20 Gcal/h이다. 이중 약 4% 하수의 하수열을 이용해 하수처리시설 내 관리동 또는 홍보관 등의 사무공간의 냉・난방을 운영할 수 있을 것으로 판단된다. 잉여 하수열은 하수처리시설 인근 주상복합 또는 상업용 시설에 냉난방용으로 공급하는 방안을 고려할 가치가 있다고 판단된다.

앞으로 하수처리시설이라는 환경·수자원 시설부터 물의 수급뿐만 아니라 에너지 생산(Harvesting) 시설로 전환하는 출발점으로 삼을 필요가 있다. 하수처리시설의 에너지 절약, 미활용에너지와 재생에너지 활용율의 향상 등은 향후 하수처리시설의 에너지 자립율을 100%까지도 가능하게 할 수 있을 것으로 보인다. 즉, 하수처리시설은 저탄소 녹색도시 조성을 위한 주요한 요소이다.

향후 하수열의 도시 냉난방 열원으로의 공급 등 도시 환경·수자원 시설을 에너지 생산시설로 전환하고, 단지 및 도시계획과 연계하는 연구 및 도시 환경기반시설을 그린 인프라로 전환하는 연구 등이 저탄소 녹색도시 조성에 필요하다.

감사의 글

이 논문은 수행중인 “신재생에너지를 이용한 아산탕정 저탄소도시 조성방안 연구” 의 일부 결과이며, LH의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

김정곤, 이기홍, 현경학, 황하진, 오정익, 임주호, 이지은, 최정은 (2010a), *저탄소 녹색도시 모델 개발 및 시범도시 구상*, 토지주택연구원.

김영준, 이종연, 강용태 (2010b) 하수처리시설의 에너지 자립화 방안 연구, *설비공학 논문집*, **22**(1), 49-55.

나동훈, 이승환 (2010) 구미하수처리장 방류구에서의 소수력발전 설치 및 운영에 관한 연구, *상하수도학회지*, **24**(2), pp. 173-181.

남광현 (2002) *신천하수종말처리시설 소수력발전 적용 검토*, 대구경북개발연구원.

대한주택공사 (2008) *아산탕정지구 집단에너지 사업계획서*.

박완순, 이철형 (2004) 소수력 기술개발 및 보급 추진 현황, *설비저널*, **33**(10), pp. 50-58.

박준택 (2008) *하수처리장 에너지 사용 및 자립시설 현황*, 2008년도 기후변화 대응 에너지자립형 하수도 기술 세미나, 대한설비공학회.

박준택 (2010) *하수열 에너지 이용현황과 전망*, 하수열 에너지 세미나, 미래환경, pp. 33-45.

신승복, Ankur Gaur, 송호준, 박진원 (2009) 혐기성 소화가스를 이용한 발전의 온실가스 배출 감축 잠재량 분석, *한국폐기물학회지*, **26**(1), 1-10.

정재학 (2007) 태양광 발전시설의 시스템과 광발전산업, *NEWS & INFORMATION CHEMICAL ENGINEERS*, **25**(4), pp. 395-398.

정진영 (2008) 유기성 폐자원의 바이오메탄 전환기술, *공업화학전망*, **11**(3), pp. 22-34.

환경부 (2008) *폐기물에너지화 종합대책*, 환경부.

환경부 (2009) *환경분야 녹색성장 실천계획*, 환경부.

환경부 (2010) *하수처리시설 에너지 자립화 기본계획*, 환경부.

Fränne, L (2007) *Hammarby Sjöstad - a unique environmental project in Stockholm*, www.hammarbysjostad.se

Griffiths-Sattenspiel, B. and Wilson, W. (2009) *The Carbon Footprint of Water*, River Network, Portland, OR, USA.

Lamberton, M., Newman, D., Eden, S., and Gelt, J. (2010) *The Water-Energy Nexus*, Water Resources Research Center, College of Agriculture and Life Sciences, The University of Arizona.

U.S. Department of Energy (2009) *Drain-Water Heat Recovery,* www.energysavers.gov/your_home/water_heating/ index.cfm/mytopic=13040