

공공하수도시설의 에너지 자립화 기술 및 적용사례

글 | 박준택 | 한국에너지기술연구원 지열에너지연구센터 책임연구원 Email : jtpark@kier.re.kr

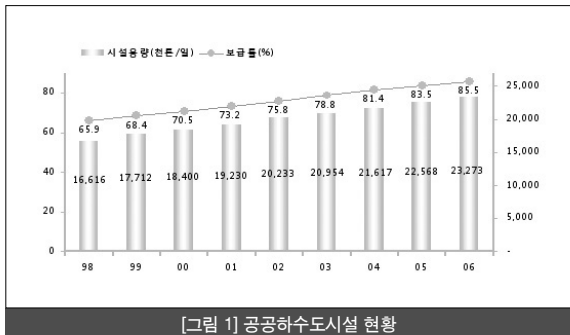
1. 머리말

‘하수처리시설’이라 함은 하수를 처리하여 하천·바다 그 밖의 공유수면에 방류하기 위하여 설치하는 시설을 말한다.

2006년 말 현재 하수도보급률은 85.5%이며, 전국에 가동 중인 공공하수처리시설은 344개소, 시설용량은 23,273천톤/일이다.

하수처리시설은 공공환경기초시설 중에서도 에너지 다소비 시설의 하나로 전체 하수처리시설에서의 연간 에너지소비량은 1,129toe에 달하고 있으며, 하수도보급률 상승에 따라 에너지소비량도 더욱 증가할 전망이다. 그간의 우리나라 하수도사업은 시설 확충과 처리효율을 높이기 위한 신기술도입에 초점이 맞추어져 있고 에너지자립화에 대해서는 미흡하였다.

고유가와 기후변화협약에 대응하기 위해서는 공공하수도시설의 에너지자립화가 절실히 요구되고 있다. 하수도시설에서의 사용에너지는 약 99%가 전력이다. 따라서 하수도시설에서의 에너지자립화기술은 전력회사로부터 구입하는 전력을 삭감하기 위해 주로 재생에너지를 이용한 발전기술이다.



하수처리시설에 적합한 에너지자립화기술로서는 소화가스를 이용한 가스발전이 예로부터 행해져 왔으며, 소화가스를 수소원으로 한 연료전지에 의한 발전도 채용되고 있다.

또 근년에 적용된 예에서는 태양광발전, 풍력발전 등의 자연에너지기술이나 수력발전 중에서도 특히 저낙차의 조건에서의 발전을 가능하게 하는 소수력발전의 적용 등 새로운 시도를 하고 있다.

이에 본고에서는 하수처리시설에 적합한 에너지자립화기술인 소화 가스 발전, 태양광 발전, 풍력 발전, 소수력발전에 대한 기술의 개요 및 적용사례 등을 간략히 소개하고자 한다.

2. 소화가스발전

슬러지 중의 유기물을 분해하여 안정화하기 위해서 소화조를 이용하고 있는 경우에 부산물로서 소화가스가 발생한다. 소화가스는

〈표 1〉 발전방식 비교표

구분	가스 엔진	연료 전지
발전 효율	28~33%	38% 정도
종합효율	75~85%	78% 정도
종류	이론공연비연소와 희박연소가 있다. • 이론공연비연소는 가스와 공기를 등량비로 연소시키는 방식으로 안정된 연소를 실시할 수 있다. • 희박연소는 공기 과잉율을 높게 하는 것에 의해 고효율화와 함께 배가스중의 저NOx의 저감을 실현한다.	- 인산형이나 고체 고분자형, 용융 탄산염형, 고체 산화물형이 있다 - 인산형이 소화 가스 발전으로서 실적이 있다.
배열 온도	배기가스 350~600℃ 냉각수 85℃	냉각수 70℃ (증기 120℃)
NOx 대책	• 연소개선에 의한 희박연소방식과 배가스 처리의 삼원촉매방식(이론공연비연소시)이 있다. - 삼원촉매방식 쪽이 희박연소방식 보다 저NOx로 할 수가 있다.	

메탄을 60% 정도 포함하고 있어 발전에 이용할 수가 있다. 일반적으로 가스발전에는 크게 나누어 3개의 방식(가스엔진, 가스터빈, 연료전지)이 있으며, 소화가스 가스엔진 발전과 연료전지 발전의 특징에 대하여 <표 1>에서 비교한다.

소화가스발전을 도입하기 위해서는 대체로 메탄가스 농도가 60% 이상이어야 하고 또한 이용 가능한 소화가스(잉여가스)가 1,000m³/일 이상이어야 가능하며, 설치를 위한 공간도 10m X 10m 정도가 필요하다.

소화조가 설치되어 가동 중인 59개소의 처리장에서 발생한 가스량은 413,967m³/일이며, 이중 약 6%(26천m³) 정도가 발전에 사용되고 있다. 소화가스를 발전에 활용하는 처리장은 서울의 난지, 서남, 중랑, 탄천하수처리장, 부산의 수영하수처리장, 충북의 제천하수처리장, 강원도의 속초하수처리장, 그리고 제주하수처리장 등 8개 하수처리장이며, 전체 발전용량은 16,678kW이다.

탄천, 서남 및 난지의 연간 발전량은 각각 2,604, 4,400, 2,306 MWh이다. 수영하수처리장은 발전용량 750kW급, 제주하수처리장은 375 kW급 1기가 운영 중이다.

연료전지는 탄천물재생센터에 250kW급이 설치되어, 2006년 4월부터 전력을 생산하고 있다.

일본의 경우 山形市에서는 소화가스를 이용 가스엔진발전기(1998년 가동 : 178kW X 1 기)와 연료전지발전기(2002년 가동 : 100kW X 2 기)의 2방식으로 발전을 실시하고 있다.

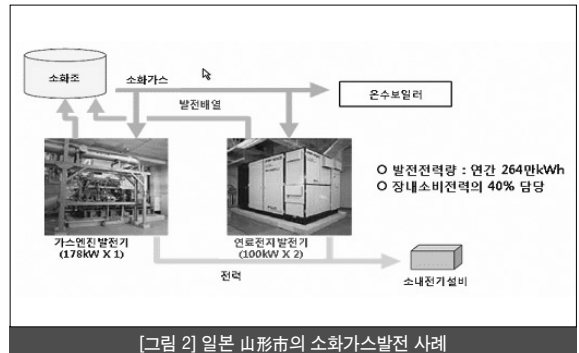
발전에 의한 전력은 연간 264만kWh(2003년도 실적)이며, 처리장 내 소비전력의 40%를 충당하는 외에 발전배열은 소화조의 가온이나 시설의 냉난방 등에 이용하고 있다.

이 시스템의 개략도는 <그림 2>와 같다.

<표 3> 부산 수영하수처리장 소화가스발전 적용사례

처리장명	부산 수영하수종말처리장
연간전력사용량 (kWh)	24,357,360
가스발생량 (m³/일)	19,676
발전기용량	750kW*1대
연간발전량 (kWh)	2,276,000
용도	하수처리장 전기공급
설치장소	하수처리장 발전기실
발전기종류	가스엔진
계통연계	한국전력계통과 연계
사업비	15.9억원
에너지자급률 (%)	9.3

설치에
(전경사진)



[그림 2] 일본 山形市의 소화가스발전 사례

<표 2> 국내 하수처리장 소화가스발전 적용현황

No	처리장명	시설용량 (m³/일)	위치	발전용량 (kW)	가동년월
1	난지	1,000,000	서울 고양 덕양구 현천동	720kW*3대	1994.
2	중랑	1,710,000	서울 성동구 송정동	846kW*3대 1,200kW*3대	1987.
3	탄천	1,100,000	서울 강남구 일원동	250kW*1대 800kW*2대 1,600kW*1대	2006,4 1986.
4	서남	2,000,000	서울 강서구 양천길	1,600kW*2대	1995.
5	수영	550,000	부산 수영구 안락2동	750kW*1대	2002.1
6	제천	70,000	충북 제천시 천남동	280kW*1대	2007.1
7	속초	46,000	강원 속초시 대포동	65kW*5대	2009년 예정
8	제주	130,000	제주 도두2동	375kW*1대	2005,12
계	8			16,678kW	

3. 태양광발전

태양광발전은 태양의 빛에너지를 직접 전기에너지로 변환하여 발전시에는 온실효과가스를 배출하지 않는다.

주차장, 건물, 침전지 등의 상부 공간에 통상적으로 활용하기 어려운 장소에도 태양전지 패널의 설치가 가능하여 공간의 유효 이용에 기여한다.

기본적으로 일조가 있는 낮에 발전하여 전력 공급을 실시하며, 야간이나 우천시에는 상용전원 혹은 전력저장장치와 연계하여 전력을 공급한다.

밤낮간이나 기후에 의한 발전량 변동이 크기 때문에 기존 전원설비와 계통연계하여 증가감하는 전력량을 매전에 의해 보충하는 방법을 채택하는 경우가 많다.

태양전지는 비결정계에 비해 면적당의 발전량이 우수한 실리콘결정계가 주로 채용되고 있다.

태양광 발전설비를 설치하기 위해서는 태양전지를 설치할 용지 확보가 가장 문제가 되고 있으나, 하수처리시설에서는 미이용 용지나 관리동 건물들의 옥상, 침사지 복개 상부 등의 공간이 태양전지 설치에 좋은 장소가 될 수 있을 것이다.

용지는 대략 10kW 용량의 태양전지를 설치할 경우 약 60㎡ 정도의 용지가 필요하며, 태양전지 설치에 반드시 한 개소에 집중적으로 설치할 필요는 없으나, 설치비용면에서 근거리에서 설치하는 것이 바람직하다.

하수처리장의 침전지 등 상부를 태양광 발전 패널을 설치하여 발전하게 되면, 발전된 전력을 처리장내 소비하는 전력의 일부로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 조류발생 및 적조발생도 방지할 수 있다.

우리나라에서 현재 태양광발전설비를 도입한 처리장은 대구의 신천하수처리장, 강원 춘천하수처리장, 경기 벽제하수처리장, 부곡하수처리장, 울산시 온산하수처리장, 경남 진해하수처리장, 충북 제천하수처리장 등 7개 하수처리장이며, 전체 발전용량은 1,526kW이다. 미국의 경우 하수처리장에서의 태양광발전은 관리동 등의 지붕이나 침사지 복개를 이용하여 10-300kW급의 태양광발전이 도입되고 있다.

하수처리장의 부지 중, 관리동의 지붕에 태양광발전을 부설한 경우 포텐셜은 하수도시설의 에너지소비량 중 약5%를 조달 가능한 것으로 보고되고 있으며, <표 7>에서는 미국에서의 하수처리장 태양광발전 적용사례를 나타낸 것이다.

<표 4> 실리콘계 태양전지의 비교

비교 항목	단결정계	다결정계	비결정계(아몰퍼스)
형상	실리콘 기관	실리콘 기관	실리콘 박막
모듈 발전 효율	12~15%	11~14%	7~10%
특징	변환 효율이 높고, 실적이 많다	단결정보다 변환 효율이 낮지만 비용은 약간 저렴	변환 효율은 낮고 초기에 10%정도 출력열화 하지만 비용은 낮다
주된 용도	전력용	전력용	소형 민생용 (계산기·시계 등)



<표 5> 국내 하수처리장 태양광발전 적용현황

No	처리장명	시설용량 (㎡/일)	위치	발전용량 (kW)	기동년월
1	신천	680,000	대구 북구 서변동	879	1차:2004.8 2차:2008.3
2	춘천	150,000	강원 춘천시 호반순환로	100	2008.1
3	부곡	10,000	경기 의왕시 월암동	50	2007.3
4	온산	150,000	울산 울주군 온산읍 당월리	240	2007.1
5	진해	60,000	경남 진해시 덕산동	133	2002.6
6	제천	70,000	충북 제천시 천남동	100	2008.1
7	벽제	30,000	경기 일산동구 지역동	24	2007.7
계	7			1,526	

<표 6> 신천하수처리장 태양광발전 적용사례

처리장명	신천 하수종말처리장
연간전력사용량 (kWh)	38,756,556
용량 (kW)	879 (1차: 679, 2차: 200)
연간발전량 (kWh)	559,000 (1차)
용도	처리장내 전기공급
설치장소	최초침전지
설치면적	15,000㎡
계통연계	계통연계
사업비	1차: 4,439백만원, 2차: 1,960백만원
에너지저급률 (%)	1.4
설치예 (전경사진)	

<표 7> 미국의 하수처리장 태양광발전시스템 적용 사례

처리장명	Oroville sewage commission	Alvarado water treatment plant
위치	Oroville california	미국/샌디에고
용량	520kW(최대)	1,135MWPV
설치면적		4,33acres(rooftop)
PV 패널	약 5,000매 (120W bp solar panels)	6,128매 (kyocera 130TM, kyocera 200GT)
에너지생산		처리장 사용전력의 20% 생산
에너지절감	소비되는 부하의 80% 담당	\$400,000/year
실시예		
기타	2002년 8월 완공	

4. 풍력발전

풍력발전은 바람의 운동에너지를 풍차에 의해 회전에너지로 변환하는 것에 의해 전력을 얻는 발전방식이다. 발전 시에 온실효과가스의 발생이 없고, 고갈할 염려가 없는 재생 가능 에너지로서 인식되고 있다.

풍황에 의해 발전량이 좌우되는 결점은 있지만, 다른 자연에너지를 이용하는 재생에너지 기술과 비교하여 일반적으로 대용량의 발전이 가능한 이점이 있어 중소 규모의 하수처리시설에 도입했을 경우에는 수요량을 넘는 발전전력을 전력저장장치에 저축하여 풍황이 나쁜 시간대의 전력수요를 조달해 완전한 에너지 자립을 달성하는 것이 가능한 경우도 있다.

풍력발전설비는 연간을 통하여 안정된 강한 바람을 확보할 수 있는 장소에 설치할 필요가 있다. 이 때문에 일반적으로는 다음과 같은 장소에 설치하는 것이 많다.

- 연안부
- 해상
- 구릉
- 산악

이 중 연안부, 해상은 구릉, 산악의 육상풍과 달리 바람의 혼란이 비교적 적고 안정되어 있으며, 또 설치공간을 잡기 쉽다는 특징이 있다. 하수처리시설은 하천이나 바다에 접해 설치되는 것이 많기 때문에 상기 연안부에 해당하는 경우가 많아 풍력발전설비의 입지로 적절하다.

풍력발전은 정격발전출력이 극히 작은 설비로부터 1,000kw가 넘는 대형 설비까지 여러 가지 규모의 설비가 있으나, 수 kw에서 수십 kw 정도의 소형 설비에 대해서는 설치 조건이 문제가 되는 것은 적지만, 발전 출력이 작으면 비용 대 효과 면에서 문제가 있을 수 있기 때문에 대개 100kw 이상의 것을 건설 하는 경향이이며, 이를 위해서는 약 20m x 20m 이상의 용지를 필요로 한다.

풍력에너지는 큰 풍속을 안정적으로 얻을 수 있는 지역에서의 도입이 기대되고 있으며, 현재 국내에는 적용사례가 없으나, 일본의 경우 현재 2개소의 하수처리장에서 풍력발전이 도입되어 있다.

〈표 8〉 일본의 하수처리장 풍력발전 적용현황

처리장명	시즈오카현 카케가와시 오스가 정화 센터	정강시 나카지마 정화 센터
정격 출력(kW)	660	1,500
정격 출력 풍속(m/s)	15	13
최소 출력 풍속(m/s)	4	3.5
연간 발전량(만 kWh)	115	256
전력 소비에 차지하는 비율	거의 100%	20% 정도
가동년도	2002년	2004년

〈표 9〉에 정강시 나카지마 정화센터의 풍력발전시스템의 적용 사례를 구체적으로 나타내었다. 현재 설치 중에 있는 오오이타현 분고다카다시 하수처리장의 풍력발전을 소개한다. 이 처리장은 구 니사키반도의 매립지에 위치하고 있어 연간을 통해 바람이 강한 곳으로 이 바람을 이용해서 풍력발전을 행하여 처리장으로 전력을 공급할 계획이다.

계획 중인 풍력발전장치는 300kw의 정격출력을 가지고 지상에서 프로펠러중심까지 30m, 날개의 직경은 29.6m, 탑의 규모는 하단에서 \varnothing 2.6m 상단에서 \varnothing 1.5m이다. 운전은 컴퓨터제어에 의해 행하며, 풍향, 풍력이 변화하여 발전능력을 일정하게 유지하도록 설정되어 있다. 풍속이 5~25m/s에서 자동운전을 행하며, 풍속 13m/s에서 정격300kw에 달한다. 태풍이라는 특유의 기상조건의 영향을 고려하여 2장 날개풍차를 채용하였다.

처리장부근의 기상데이터에 의하면 연간의 평균풍속은 4.1m/s, 최대20m/s로 월평균풍속은 6,7월에 크고 3,10월이 작다. 이것을 기본으로 계산한 결과 연간의 예상발전량은 약32만kwh였다. 계획 중인 발전장치는 날씬한 디자인으로 날개의 선단까지의 높이는 지상45m에 달하기 위해 시가지의 어디에서나 그 모습이 보이게 하여 하수도사업의 PR에 크게 공헌할 것으로 기대하고 있다.

〈표 9〉 나카지마정화센터의 풍력발전시스템의 적용 사례

처리장명	정강시(靜岡市) 나카지마(中島)정화센터
정격출력	1,500kW
제원	날개직경 70m, 지상고 65m(최고도달점 100m)
설치장소	처리장내 방류구 부근
용도	소내 전력용
풍차의 종류	수평형 프로펠러식(3매 블레이드)
발전량	연간 256만kwh
전력충당률	연간 소비전력의 약20%
총사업비	약 3억 5천만엔

실시 예



시스템의 특징

- 연간 166만kWh발전시 CO₂: 삭감량은 약 626 (t-CO₂)
- 본 설비는 널리 시민에게 개방되고 있어 수시 견학이 가능. 풍차 부근에는 발전전력 및 풍속을 리얼타임에서 확인 할 수가 있도록 풍력발전시스템 표시판이 설치되어 있다.

5. 소수력발전

소수력(SHP : Small Hydropower)발전은 일반의 수력발전과 같이 유수가 가지는 위치에너지, 운동에너지, 압력에너지를 수차에 의해 회전운동에너지로 변환하여 발전기를 회전시켜 전력을 얻는 것이다. 일반의 수력발전과 달리 대규모 토목시설을 필요로 하지 않는 것을 특징으로 하고 있다. 그 운용시에는 온실효과가스의 배출은 없다. 특히, 수량이 안정된 하수처리시설을 대상으로 했을 경우는 밤낮을 불문하고 안정된 전력을 얻을 수 있다.

다만 소수력발전설비의 출력은 낙차 및 유량에 의존하기 때문에 설치장소의 조건에 의해 거의 결정되어 임의의 출력으로 계획하는 일은 불가능한 것에 유의한다.

소수력 발전은 이름 그대로 소규모의 수력발전을 의미하는바, 이의 적용을 위해서는 적용 가능한 수량의 낙차가 대체로 2m 이상이며, 유량은 0.2 m³/s 이상이어야 한다. 또한 수차 설치장소의 부근에 부대설비를 설치할 수 있는 여유공간이 있어야한다. 하수처리 시설에서 널리 이용되는 고정날개 프로펠러 수차의 경우 필요한 수차의 설치용지는 10kw 정도의 설비에서 4.3 x 2.6m 정도이며, 수차 설치 용지이외에 2 x 2.5m의 배전반 설치 용지도 필요하다. 우리나라에서 현재 소수력발전설비를 설치한 처리장은 대구의 신천하수처리장, 충남의 천안, 아산하수처리장, 경남 진해하수처리장, 그리고 경기도 안양의 석수하수처리장 등 5개 하수처리장이며, 전체 발전 시설용량은 620kW이다.

참고로 일본의 경우 현재 4개소의 하수처리장에서 도입되어 있다.

〈표 10〉 국내 하수처리장 소수력발전 적용현황

No	처리장명	시설용량 (m ³ /일)	위치	발전용량 (kW)	가동년월
1	신천	680,00	대구시 북구 서변동	139	2005. 6
2	아산	36,000	아산시 실옥동	36	2000. 12
3	천안	150,000	천안시 신방동	35 (20*1, 15*1)	2002. 1
4	진해	90,000	진해시 덕산동	10	2004. 9
5	석수	300,000	안양시 만안구 석수동	400	2007. 12
계	5			620	

〈표 12〉 일본의 하수처리장 소수력발전 적용현황

처리장명	동경도 카사이(葛西) 처리장	동경도 모리가사키 물재생센터	코베시 스즈람다이 하수처리장	코토시 이시다(石田) 물환경보전센터
정격 출력(kW)	24	954	56	9.4
평균 유량(m ³ /s)	0.67	50.3	0.185	1.1
유효 낙차(m)	5.05	2.52	65	2.13
연간발전량(만kWh)	14	80	49	8
전력 소비에 차지하는 비율	0.2%	0.7%	13.6%	0.5%
가동년월	2005. 6			

〈표 11〉 천안 및 진해하수처리장 소수력발전 적용사례

처리장명	천안하수처리장	진해하수처리장
용량	출력 : 35kW (20kW 1대, 15kW 1대)	10kW * 1대
제원	유효낙차 : 3.3m 유량 : 0.161 m ³ /s	유효낙차 : 1.6m 유량 : 1.041 m ³ /s
연간 전력 사용량(kWh)	17,146,752	5,136,264
연간 발전량 (kWh)	219,000	11,680
용도	처리장내 전기공급	처리장내 전기공급
설치장소	처리장 최종방류구	처리장 최종방류구
수차종류	Kaplan 수차	Kaplan 수차
계통연계	계통연계	계통연계
사업비	221.5백만원	-
에너지 자급율(%)	1.3	0.2
설치 예 (전경사진)		

6. 맺음말

이상 하수처리시설에서의 주된 에너지자립화기술에 대한 개요 및 적용사례 등을 간략히 소개하였다. 하수처리장에서 소비되는 전력량은 약 16억kWh이며, 국내 전체 전력소비량의 약 0.4%를 차지하고 있어 이로 인해 지구온난화의 원인물질인 이산화탄소가 다량 배출되고 있다.

그간의 우리나라 공공하수도시설에 도입되는 대부분의 환경기술은 수처리, 약취, 하수찌꺼기 등 각각의 처리공정상의 성능향상에 초점이 맞추어져 있었다.

에너지 고갈과 지구환경 문제에 대처하기 위하여 공공하수도시설에서도 에너지사용을 절감하고 하수처리과정에서의 부생물질의 자원화와 미활용 재생에너지의 이용을 극대화하여 공공하수도시

설의 에너지자립화가 절실히 요구되고 있다.

하수처리장은 부지면적이 넓어 태양열, 태양광등 태양에너지를 이용하기 좋은 여건을 가지고 있으며, 하수처리장이 해안에 입지하여 사시사철을 통하여 바람이 강한 경우에는 풍력발전시설의 도입도 가능하다.

이 외에도 하수가 가지고 있는 열에너지, 방류수 낙차를 이용한 소수력발전, 슬러지소화가스에 의한 발전 등 하수처리장은 미활용·재생에너지의 보고(寶庫)라고 말할 수 있다.

따라서 대부분의 하수처리장에서 미활용·재생에너지를 이용하면 사용에너지의 대부분을 외부에 의존하지 않고 자립 가능하다. 일본의 경우 "하수도 비전 2100"에서 에너지 자립형 하수도를 최종 목표로 하고 있다. **S**

