바이오가스의 이용 현황과 연료전지로의 적용 타당성

정 진 도 | 호서대학교 환경공학과, 교수 | e-mail : jdchung@hoseo.edu
김 장 우 | 호서대학교, 교수 | e-mail : jwkim@hoseo.edu
권 영 석 | 환경관리공단, 처장 | e-mail : kyseok@emc.or.kr
이 종 연 | 환경관리공단, 팀장 | e-mail : leejongy@emc.or.kr

폐기물의 자원화, 에너지화를 통해 환경기초시설에서 발생하는 유기성 폐자원을 에너지원으로 활용하는 것이 시급한 실정이다. 이 글에서는 환경기초시설의 유기성 폐자원에서 발생하는 바이오가스의 이용 현황과 바이오가스를 연료로 하는 연료전지의 적용타당성에 대해 언급한다.

전 세계는 경제적 효율성만을 추구하는 산업화시대의 발전전략을 극복하고 환경과 경제를 동시에 고려하는 환경적 지속성과 경제적 효율성을 중심으로 저탄소와 녹색산업화를 기반으로 경제성장력을 배가시키는 신성장 패러다임인 녹색성장을 추진하고 있다. 이는 화석연료의 사용을 줄이고, 신재생에너지를 사용함으로써 이산화탄소 같은 온실가스와 환경오염을 줄이는 지속가능한 국가 성장의 원동력이라고 할 수 있다.

현재 산업에 쓰이는 연료로 화석연료가 많은 부분을 차지하고 있으며, 자원의 한정성으로 인해 에너지 자원을 둘러싼 국제사회의 불안정이 심화되고 있어 에너지 절약 및 환경보호의 중요성이 부각되고 있다.

따라서 친환경적이고 주변에서 쉽게 접할 수 있는 곡물, 식물, 축산분뇨, 음식쓰레기 등의 바이오매스에 대한 관심이 증가하고 있고 바이오매스로부터 대체에너지를 생산하는 바이오 에너지기술이 각광을 받고 있다. 바이오에너지기술은 수송용 연료분야, 유기성폐자원분야, 목질계 바이오매스 분야로 구분되며 그중에서 유기성 폐기물분야는 2012년 이후의 해양배출 불가에 따른 시급성으로 인해 국가의 주요 현안 문제로 대두되고 있으며, 폐기물의 자원화, 에너지화가 전 세계적 추세임을 감안하면 환경기초시설에서 유기성 폐자원의 에너지원으로의 활용이 시급한 실정이다.

이러한 배경하에 이글에서는 환경기초시설의 유기성폐자원에서 발생하는 바이오가스의 이용현황과 바이오가스를 연료로 하는 연료전지의 적용타당성에 대해 언급한다.

표 1 신재생에너지 중 바이오에너지 보급 비율 (단위: TOE)

구분	연도	2003	2004	2005	2006	2007
신재생에너지[1]		4,437,428	4,582,407	4,879,211	5,225,192	5,608,776
바이오에너지[2]		131,068	134,966	181,275	274,482	370,159
		(3.0%)	(2.9%)	(3.7%)	(5.3%)	(6.6%)
유기성 폐자원		86,052	95,539	86,410	131,221	190,075
총합(%)[3]		(65.7%)	(70.8%)	(47.7%)	(47.8%)	(51.3%)
유기성 바이오가스[4]		47,984	46,949	43,782	77,390	81,537
매립지가스[5]	전기	25,048	36,732	32,339	38,630	66,069
	열	13,020	11,858	10,229	15,201	42,469

1) 신재생에너지전체 보급량, 2) 바이오에너지보급량과 전체 신재생에너지 보급량 중의 바이오에너지 비율
3) 유기성폐자원에 의한 보급량과 전체 바이오에너지 보급량 중의 비율, 4) 바이오가스를 연료로 사용하는 설비
5) 매립지가스를 이용하여 전기 또는 열을 생산하는 설비
* 바이오가스와 매립지가스 이외에도 바이오디젤,우드칩, 성형탄 임산연료 등이 바이오에너지에 포함

표 1과 같이 바이오매스를 포함한 국내의 신재생에너지 보급량은 2007년 기준으로 총 5.6Mtoe이고, 그 중에서 바이오에너지는 2004년 이후 꾸준히 증가하여 370,159toe로 전체의 6.6%를 차지하고 있다. 이 중 유기성폐자원을 이용한 바이오에너지 보급량은 전체 바이오에너지 보급량의 51.3%를 차지하고 있다.(자료출처: 2007년 신재생에너지통계. 에너지관리공단, 신재생에너지센터)

국내의 대표적 고농도 유기성폐자원은 축산폐수, 음식물쓰레기, 하수슬러지이다. 유기물이 다량으로 함유된 폐액의 경우 혐기성 분해에 의해 다량의 바이오 가스 생산이 가능하며, 이때 생산되는 바이오가스에는 메탄가스가 50~60% 함유되어 있어 경제적 가치가 매우 높다. 그 외에 암모니아, 황화수소 등의 악취 및 유해성 물질을 함유함으로써 쾌적한 환경조성을 위한 처리방법이 필요하다.

연료전지의 적용가능성을 분석하기에 앞서 우리나라 몇몇의 환경기초시설에서 발생하는 바이오가스 대표 물질을 표 2에 나타내었다.

충남 아산의 경우, 축산폐수, 생활하수, 음식물 쓰레기가 혼합된 상태로 혐기성 소화조에 들어가서 메탄가스를 발생시킨다. 메탄의 비율이 다른 곳에 비해서 77%로 높게 나타났으며, 악취를 일으키는 황화수소도 3.7%로 높게 나타났다. 하루 100ton의 폐수를 처리하여 1,416m^3의 바이오가스를 생산하고 생산된 바이오 가스로 열병합발전을 하고 있다. 제주도 서귀포시의 경우 하루에 생활하수 50ton을 이용해 바이오가스 열병합발전을 하고 있으며 전

표 2 환경기초시설별 바이오가스 성상

구분	원료	CH_4	CO_2	H_2S
충남 아산	축산폐수 생활하수 음식물쓰레기	77%	20%	3.7%
전남 순천	축산 분뇨	55~65% 61.7%	35~45% 36.4%	0.3~1% air dilution 1.9%
		60.6%	37.1%	air dilution 2.3%
충남 청양	축산분뇨	60~70%	27%	3%
제주도 서귀포시	생활하수	55~75%	20~35%	0.3~1%
경남 창녕	축산분뇨	60~70%	25~30%	1%
서울시 탄천	생활하수	68%	35~45%	0.3~1%

표 3 바이오가스 열병합시설

구분	원료	종류
부산시 생곡동	음식물 폐기물	열병합발전
인천시 백석동	매립가스	5MW 열병합발전 (2012년 예정)
충남 공주	축산폐수	열병합발전
경기도 이천	축산폐수	열병합발전

남 순천시와 충남 청양군에서는 돼지에서 발생되는 분뇨 각 20톤을 활용해 하루 각각 1,000kW와 60kW 전력을 생산하고 있다. 경남 창녕군에서는 축산분뇨와 음식찌꺼기를 발효시킨 후 메탄가스를 발생시켜 하루 9,600kWh의 전기를 생산하고 있고, 서울시 탄천하수처리장의 경우 하수처리장 소화가스를 이용한 연료전지 발전시설이 2006년 3월부터 2007년 11월까지 운전되어, 20개월간 126만 4,000kWh 전력이 생산되었다. 그 밖의 다른 환경기초시설에서도 메탄의 비율이 약 55 ~ 75%로 나타나 경제적 가치가 있는 것으로 판단된다.

표 3에는 우리나라의 대표적인 바이오가스 열병합시설을 나타내었다. 부산 생곡매립장에서는 건식 혐기성 소화기술을 이용해 하루 200ton의 처리시설을 통해 4만 8,000kWh의 전력을 생산하고 있다. 인천시 백석동에 위치한 수도권매립지에는 5MW급 바이오가스터빈 열병합발전시스템이 2012년에 구축될 예정이다. 충남 공주시의 축산폐수 공공처리장에서는 하루 100ton의 축산폐수를 이용하여 1,200kWh의 전력과 경유 50리터에 상당하는 열에너지를 생산하고 있다. 생산된 전력은 공주 축산폐수공공처리장의 동력원으로 쓰이고 있으며, 열에너지는 축산폐수를 처리하는 혐기성 소화조의 온도를 유지하는 데 사용되고 있다. 경기도 이천에 상용화 중인 열병합발전시설은 하루 20ton의 축산분뇨를 이용하여 하루 480kWh의 전기와 860 Mcal의 열을 생산하고 있다.

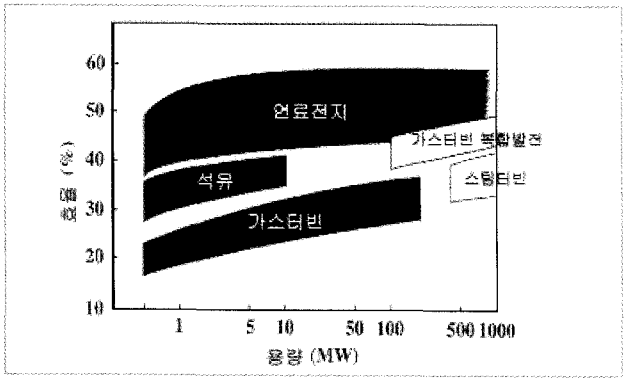


그림 1 **발전시설별 용량에 따른 효율**

이상과 같이 바이오가스를 원료원으로 하는 시설이 운용되거나 운용될 계획이다. 그러나 발전효율의 측면에서 보면 여러 가지 해결해야 할 기술적 문제에도 불구하고 연료전지를 이용하는 것이 가장 미래 지향적인 것으로 판단된다.

그림 1은 연료전지의 효율이 일반 가스 터빈 발전 시설보다 10~40% 높은 효율을 나타내고 있다.

서울시 탄천하수처리장의 조성을 표 4에 나타내었다. 연료전지 원료원으로 쓰이기 위해서는 바이오가스의 불순물 제거를 해야 한다. H_2S, COS가 1ppm 이상이면 촉매활동이 감소하게 되어 연료전지의 성능이 급격히 떨어지며, HCl과 같이 할로겐 조성을 갖는 1ppm 이상의 화학물질은 연료전지를 부식시키게 된다. 따라서, 불순물의 함유 정도에 따라 연료전지 운전에 큰 영향을 미친다고 볼 수 있다.

그림 2는 연료종류에 따른 발전시설별 효율성과 CO_2 발생량을 나타내고 있다. 천연가스를 사용했을 때 CO_2 배출량은 석유의 약 2배 정도 적었으며, 다른 발전시설과 비교 하였을 때 연료전지의 효율성이 더 높아 친환경적이면서 경제적인 것으로 나타났다.

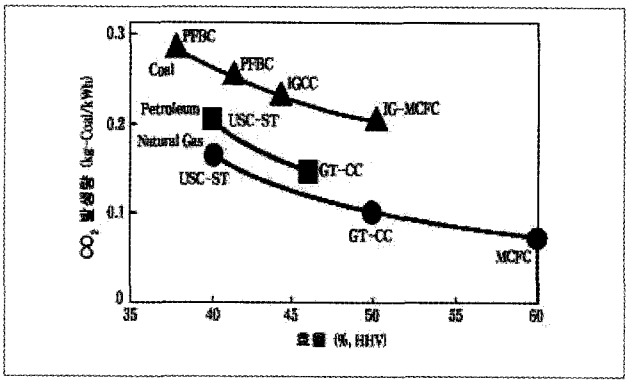
생산된 바이오가스의 현재 사용되는 기술은 주로 보일러 온수로 사용하거나 가스발전을 통해 전기를 생산하고 있다. 끊임없는 관심과 투자가 지속된다면 유기성폐기물의 자원화를 통해 매립지 부족난을 완화시켜 줄 것이며, 처리 부산물인 바이오가스의 이용은 신재생에너지로서 경제적, 자원적인 측면에서도 이바지 할 수 있을 것으로 판단한다.

연료전지는 아직 기술적 문제와 경제성의 측면에서 내연기관 등을 이용한 발전 또는 열병합시스템에 비해 경쟁

표 4 **서울시 탄천 물 재생 센터 조성**

그룹	조성	2006.09.12 량	2006.10.12 량	단위 ppm
Sulfur	COS (carbonyl sulfide)	0.1	0.1	ppm
	H_2S	33.39	1167.4	ppm
	CS_2 (carbon disulfide)	0.2	0	ppm
	C_2H_5SH (ethyl mercaptan)	0	0.6	ppm
	$(CH_3)_2S$ (dimethyl sulfide)	0	2.2	ppm
Others	O_2	0.7	0.1	%
	N_2	1.1	0.8	%
	H_2	0	0	%
	CO	0	030.0	%
	CO_2	25.8	67.7	%
	CH_4	71.5	1.1	%
Alkane & Olefins	$n-C_6H_{14}$ (hexane)	0	0.4	ppm
	Nonane	0.4	0.6	ppm
Heavy Hydrocabon	Decane	0.5	1.5	ppm
	Limonene	0	0.8	ppm
	Undecane	0	6.3	ppm
BTX	Toluene	13.3	7.1	ppm
Siloxanes	Decamethylcyclopentasiloxane	7.2		

1) 분석 실시기관 : RIST(포항산업과학연구원), 2006



1) PFBC(Pressurized Fluidized Bed Combustion: 가압 유동층연소)
2) IGCC(Integrated Gasification Combined Cycle : 석탄가스화복합발전)
3) USC-ST(Ultra Super Critical – Steam Turbine : 초초임계압 스팀터빈발전)
4) GTCC(Gas Turbine Combined Cycle : 가스터빈복합발전)
5) MCFC(Milten Carbonate Fuel Cell : 용융탄산염 연료전지)

그림 2 연료종류에 따른 발전시설별 효율과 CO_2 발생량

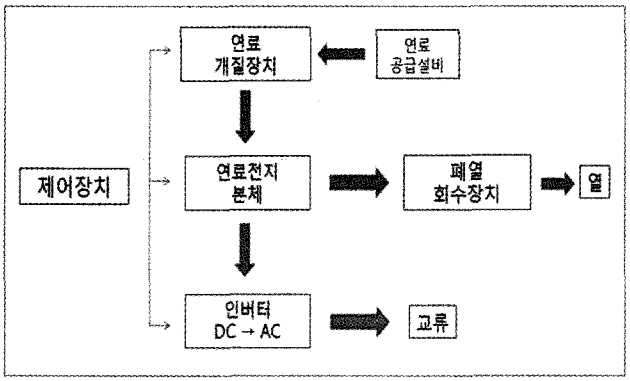


그림 3 연료전지 시스템

력이 떨어지나, 기술개발 및 대량생산 등을 통해 충분히 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 판단된다.

유기성폐기물을 처리하는 과정에서 얻어지는 바이오 에너지를 연료전지에 활용할 경우, 환경개선과 아울러 청정에너지 생산이라는 두 가지의 효과를 동시에 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

(1) 정진영, "유기성 폐자원의 바이오메탄 전환기술", 공업화학 전망, 제 11권, 제 3호(2008), pp. 22~34.
(2) 박현수, 유성인, 홍승모, "고농도 유기성 폐기물을 이용한 바이오가스 열병합 발전(DBS)", 유기물자원화학회, 제 16권, 제4호(2008), pp. 20~30.
(3) 홍승모, "고농도 유기성 바이오매스의 바이오가스 발전 및 자원화 동향 및 전망", 지반환경, 제 7권, 제 1호(2006), pp. 61~67.
(4) Saiful Bari, "Effect of carbon dioxide on the performance of biogas diesel duel-fuel engine", Journal of Biotechnology, 142(2009), pp. 56~63.

기계용어해설

오스템퍼링(Austempering)

강(鋼)에 점성과 강도를 부여하고 변형과 균열을 막기 위해, 오스테나이트 범위부터 열욕 속에서 급랭시켜 변태를 일으킨 뒤 실온까지 천천히 냉각시키는 과정.

자동연소제어(自動燃燒制御; Automatic Combustion Control)

보일러의 증기압과 노(爐)내 온도를 일정하게 유지하기 위해 연료 공급량 및 공기비, 노내압 등을 자동으로 조정해 연소상태를 제어하는 것.

자동 프로그래밍(Automatic Programming)

부품가공을 위해 작업순서를 결정한 뒤에, 프로그램 언어로 된 프로그램을 컴퓨터를 이용하여 수치제어 테이프에 내장시킨 것.