

기후변화시대에 대비한 환경 에너지 및 온실가스 저감기술

동 종 인

서울시립대학교 환경공학부 · 폐자원에너지화 및 non-CO₂ 온실가스 사업단

Waste Eco-Energy and GHGs Reduction Technologies in the Era of Climate Change

Jong-In Dong

Department of Environment Engineering, The University of Seoul,
Center for Waste Eco-Energy and Green House Gases

1. 폐자원 에너지 기술개발의 시급성

최근 에너지 가격이 급격하게 상승하고 화석에너지 자원이 고갈되어 가는 시대를 맞아 신재생에너지 개발이 국가적인 당면 과제로 떠오르고 있다. 세계 각국에서는 환경친화적인 에너지 기술개발과 사업화를 위하여 다양한 노력을 경주하고 있으며 에너지 부존자원이 부족한 우리나라의 경우 보다 시급히 해결하여야 하는 문제로 인식되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 우리나라에서는 2011년까지 국가에너지 사용량의 5%를 신재생에너지로 공급하고자 하는 계획을 수립하였으며 다양한 신재생에너지 기술개발 역량을 강화하기 위하여 노력하였다.¹⁾

아래의 Fig. 1에 도시한 바와 같이 2007년을 기준한 신재생에너지 공급량은 2.2% 수준인 498만TOE수준으로 열에너지 175만TOE, 전력공급량 40억kWh 규모를 나타내고 있다. 그러나 이러한 결과는 2005년을 기준한 독일의 신재

생에너지 공급량 4.9%, 일본의 3.2%, 미국의 4.7%와 비교할 때 상대적으로 낮은 수준을 보이고 있으며 에너지 소비량이 우리나라 보다 월등히 많음을 고려할 때 우리나라의 신재생에너지 공급 비율은 보다 향상되어야 하며 이를 달성하기 위한 다양한 기술개발과 자원 확보 노력이 그 어느 때 보다 절실한 상황이다.

우리나라에서는 2004년 12월 『신에너지 및 재생에너지 개발 이용 보급 촉진에 관한 법률』을 제정하였고 2008년 3월14일에 일부가 개정되는 등 다양한 형태의 신재생에너지 공급을 확대하기 위한 노력을 기울여왔다. 지금까지의 정부차원의 노력을 살펴보면 기술개발 측면은 주로 신에너지에 중점을 두고 보급정책은 재생에너지에 초점을 맞추어 균형적인 발전을 꾀하였으나 최근 신재생에너지 공급의 필요성이 증가하며 재생에너지에 대한 비중이 높아지게 되었다. 현재 국내에 공급되고 있는 신재생에너지 공급현황을 살펴보면 폐자원 에너지가 전체 공급량의 76% 수준인 370만 TOE를 공급하고 있어 공급되는 신재생에너지의 대부분을 폐자원 에너지가 차지하고 있음을 알 수 있다.



Fig. 1. 국내 에너지 공급 및 소비 현황(2007 에너지 자원 정책 방향, 산업자원부).



Fig. 2. 신재생 에너지원별 공급비중(에너지관리공단, 2006).

E-mail: jidong@uos.ac.kr
Tel: 02-2210-2532

Fax: 02-2244-2245

Table 1. 지원금 1억원 당 생성 에너지양

(단위: TOE)

풍력	태양광	태양열	소수력	지열	바이오	폐기물	GV	기타
28	8	12	21	15	56	91	3	21

Table 1은 지원금 1억원당 생성가능한 에너지량을 신재생에너지 원별로 정리한 결과이다. 폐자원에너지의 경우 지원금 1억으로 생산가능한 에너지의 양이 91TOE로 신에너지인 태양광, 풍력의 8, 28 TOE와 비교할 때 매우 효율적인 투자가 됨을 확인할 수 있다²⁾.

2. 폐자원 에너지 기술 개발

폐자원을 이용한 에너지화 기술은 유기성폐기물 및 바이오매스 연료화 기술, 가연성폐기물 연료화 기술로 구분할 수 있으며, 현재 이 외에도 기존 소각시설의 여열회수를 통한 에너지 활용 기술 등이 개발 중에 있다. 런던협약 및 해양환경보전을 위해 해양투기가 금지되는 유기성폐기물은 하수슬러지, 가축분뇨, 음식물류폐기물 폐수(음폐수) 등으로 이들을 각각 소화나 가스화 공정을 통해 에너지화 하거나 병합처리를 통하여 에너지를 생산하는 기술이 개발되고 있다.

유기성폐기물을 이용한 에너지화 기술은 바이오가스(메탄) 생산 기술, 고형 연료화 기술, 수소 생산 기술 등으로 구분할 수 있다. 유기성폐기물을 이용한 바이오가스 생산 기술은 1970년대 초반에서 1980년대까지는 주로 농가에서 퇴비화 과정 중에 발생하는 바이오가스를 취사용으로 사용하면서부터 개발되기 시작하였다. 그러나 부식가스의 발생, 반응장치 및 미생물 생장 조건유지의 어려움, 낮은 처리효율 등으로 기술개발이 진전되지 못하였다. 이러한 기술적인 한계점을 개선하고자 최근 들어 고형물 함량이 높은 폐기물을 처리할 수 있는 혐기성 소화 공법 및 유기성폐기물 병합소화를 통해 바이오가스 생성을 극대화하고 에너지 생성을 최대화하는 기술 연구 등이 진행되고 있다.

유기성폐기물 병합소화처리를 통한 에너지화 연구는 1997년 ‘대체 에너지 기술 개발 기본계획’에 의거하여 본격적으로 시작되었다. 혐기성 소화에 의한 바이오가스 에너지화 연구개발은 국내 일부 기업에서 현재 소규모의 pilot plant 연구가 진행되고 있으며 대규모 실증 plant 사업도 추진되고 있다. 국내의 실증 공정 사례로는 파주시, 의왕시, 부산시, 이천시 등이 있다.

유기성 슬러지 연료화 기술은 낮은 외부 에너지 비용, 연료로서의 높은 가치, 하수처리장 내에서의 직접적인 처리 가능 등의 많은 장점을 갖고 있지만 국내의 경우 석탄 등의 화석연료를 대체하기 위해서는 발열량을 더욱 증가시켜야 한다. 현재 국내의 경우 탄화, 고화기술은 일부 기업에서 보유하고 있으며, 발열량 개선 후 발전소 등의 혼소연료로 사용될 수도 있을 전망이다. 가스화 에너지 이용 기술은 건조기가 설치된 하수슬러지 처리장 등을 대상으로 개발되고 있으며 잔재물의 재활용도 검토되고 있다.

유기성폐기물로부터 수소를 생산하기 위한 기술개발은 아직까지 기초연구가 소규모로 진행되고 있으나, 최근 환경문제와 더불어 수소에너지의 필요성이 요구됨에 따라 정부나 기업체에서 대형화하는 등 연구 개발을 서두르고 있다.

활용가치가 높은 바이오매스를 이용한 에너지 생산기술은 간벌목이나 원목의 가공공정에서 발생하는 부산물을 목재 에너지 생산에 활용하기 위해 개발되어 왔다. 기존 연구개발사업에 의해 소형 열이용시설 및 가정부분에 목질연료 공급의 활성화를 목적으로 유럽에서 크게 확대되고 있는 우드펠릿 연료 제조 기술 및 보일러 시스템을 개발한 상태이다. 바이오매스를 이용한 열병합 발전기술은 상업유동층 연소기술이 상용화되어 있으나 외국기술을 도입하여 사용하고 있어 독자적인 국내기술개발이 시급한 실정이다.

유럽, 일본, 미국 등 선진국의 유기성 폐기물 및 바이오매스 활용기술은 정부주도의 정책적·제도적 지원 아래 자국의 실정에 맞는 바이오에너지 사용기술을 개발하여 보급하고 있다. 현재까지 바이오가스 생산에 있어서 전세계적으로 50개 이상의 혐기소화 시설이 보급되어 있으며, 매립부지 확보가 어려운 EU와 일본 등에서는 유기성폐기물을 매탄생성 반응기에서 소화함으로써 바이오가스를 생성하여 열에너지원 또는 발전연료로 사용하는 기술을 개발·보급하고 있다.

유기성슬러지의 고형연료화 기술은 일본이 가장 높은 기술 수준을 보유하고 있으며, 유기성슬러지를 건조/고화/용융/탄화 등의 방법으로 연료화하여 생산된 제품을 시멘트, 철강, 발전소에 연료로 활용하고 있다. 또한 독일, 일본 등에서는 유기성폐기물로부터 수소를 생산하기 위한 환경조화형 기술개발이 정부주도하에 활발히 진행되고 있다.

바이오매스를 이용한 에너지 생산기술에 대한 주요 국가들의 현황을 살펴보면, 미국의 경우 정부주도하에 연료용 알코올 및 바이오디젤 보급, LFG 이용에 주력하고 있으며, 현재 옥수수를 원료로 한 바이오에탄올 혼합 연료가 시판되어 미국 전역에서 약 10%의 시장을 점유하고 있다. 또한 폐기물 가스화 기술개발에 지속적인 투자로 석탄 대신 폐기물을 이용하도록 기존의 가스화기를 응용하는 연구가 진행되어 다양한 형태의 가스화기와 가스화 공정을 개발하여 현재 상용화 단계에 진입하였다.

유럽의 경우 EU 차원의 기술개발 및 실증사업이 이루어지고 있으며, 바이오에너지 공급 사업자를 중심으로 보급 확대가 일어나고 있다. 일본에서는 도시고형폐기물 소각열 발전과 메탄을 생산기술 위주로 개발되고 있으며, 바이오매스의 열병합 기술개발 및 보급에 주력하고 있다.

가연성폐기물을 에너지로 활용하는 기술은 RDF 및 RPF를 생산하는 기술과 열분해·가스화 공정을 통한 에너지 회수 기술로 구분할 수 있다. 국내의 폐기물 고형 연료화 및 이용기술은 2000년에 이르러 관련 기술에 대한 집중적인 연구가 진행되어 RDF 제조 및 연소 보일러, 발전 시스

템 개발에 관한 기술이 개발되었으며 발전 효율 향상을 위한 연구가 진행되고 있다. 가연성폐기물 처리를 위한 열적처리 기술개발 현황이 기존 완전연소 위주의 소각방식에서 열분해·가스화 및 용융기술로 바뀌면서 이를 위해 학계/연구계를 중심으로 다양한 기술 접근이 이루어지고 있으나 국내의 경우, 실증규모 적용까지는 아직 이루어지지 않은 실정이다. 페타이어나 페플라스틱을 이용한 액화기술의 경우, 국내는 관련 기술이 지속적으로 개발되었으나 대규모 실증화 설비에까지 이르지 못하였다.^{3,4)}

이에 반해 일본이나 유럽에서는 1990년대에 열분해·가스화 실증화설비 건설을 시작하여 2000년대에 본격적인 상업화 설비 구축을 활발히 진행하고 있다. 일본에서는 산업폐기물, 일반폐기물을 포함한 지역형 폐기물 처리가 각지에서 진행되고 있어 산업단지 내의 산업폐기물, 일반폐기물, shredder dust를 가스화 용융로-고효율 발전설비로 연계하여 처리하고 있다. 또한 새로운 열분해·가스화 방식 개발을 위해 다양한 폐기물을 대상으로 지속적인 연구를 진행하고 있으며 향후 가스화기 및 가스 세정기술의 발전과 더불어 이 분야 기술의 실규모 적용 사례가 더욱 늘어날 전망이다. 페플라스틱이나 페타이어를 이용한 액화기술도 1970년대부터 석유의 대체에너지로 관심을 끌기 시작하여 최근 실증화 단계에 진입하기에 이르렀으나 경제성 측면에서 극복해야 할 과제들이 남아 있는 실정이다.

앞서 언급한 바와 같이 기존 가연성 폐기물 열적처리의 가장 일반적인 방식은 소각 방식이었다. 많은 소각시설들이 운영되어 왔으나 이들 시설로부터 에너지를 이용하는 방안은 크게 연구되지 못하였다. 그러나 근래에 소각시설 열이용에 많은 관심을 갖게 되면서 그 지역의 기반 열원 시설로 자리를 잡게 되었고 에너지 전환효율을 높이기 위한 다양한 기술들이 도입되고 있다. 국내의 소각열 이용 방안은 주로 폐열 보일러에 의한 온수제조 및 난방, 고압 증기 발전, 열병합 발전 등을 통한 에너지 이용 네트워크 구축 방법으로 주로 이루어져 왔다. 일본의 경우에는 열 공급 시스템의 주요 기술인 고성능 열교환 기술, 고효율 냉·온열 제조기술, 고밀도 열수송기술, 대규모 도시형 축열 기술 등의 기술개발을 수행해 왔다.

3. non-CO₂ 온실가스 저감기술 개발

폐기물 에너지화 기술은 폐기물 처리 및 신·재생 에너지 확보뿐만 아니라, 발생된 바이오가스의 활용 및 바이오매스의 탄소중립성 등으로 온실가스 저감효과도 얻을 수 있다. 지구온난화의 원인이 되는 각종 온실가스의 배출량 증가는 우리나라뿐만 아니라 전세계적인 문제로 대두되고 있다. 1997년 교토의정서가 채택된 이후, 2012년까지 온실가스 감축을 위한 이행 프로그램들이 실행 중에 있으며, 2007년 12월 제 13차 기후변화협약 당사국 총회를 통해 발리 로드맵이 타결되면서 의무 저감 대상국가가 아니었던 개도국도 온실가스 감축에 참여해야 하는 실정에 이르게 되었다.

현재 우리나라는 온실가스 배출순위 세계 9위로 지난 1990년에 비해 배출량이 약 80% 증가하여, OECD 회원국 가운데 가장 높은 증가율을 보이고 있어 우리나라에 대한 온실가스 저감의무 부과는 명확한 현실로 다가오고 있다. 그동안 우리나라의 온실가스 저감 기술개발은 총 배출량이 많은 이산화탄소 위주로 이행되어 왔으나 그 외의 온실가스 물질(CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆)들은 이산화탄소에 비해 총 발생량은 적지만 온실효과 기여율이 매우 높아 이를 감축하기 위한 기술 개발은 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.⁵⁾

국내의 메탄(CH₄)을 주성분으로 하는 매립가스 이용을 통한 메탄 저감 기술은 수도권, 대구, 대전, 울산, 부산 등 광역매립지를 중심으로 시행되고 있다. 그동안 연구되어 온 매립가스 자원화 방안은 중질 또는 고질가스를 직접 연료로 사용하는 방법과 전력 생산(가스엔진, 가스터빈, 증기터빈 등) 기술로의 적용 방법 등이다. 그러나 현재 매립가스에 관련된 국내 자원화 방안은 중질가스를 통한 전력, 보일러 연료에 집중하여 다양성이 부족하고 수요처에 대한 고려가 부족하다고 할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 매립가스 활용 방안으로 CNG, LNG, DME 제조를 통한 수송연료의 활용, 또는 연료 전지의 활용 등을 들 수 있으나 실험적인 데이터 확보와 더불어 경제성 분석도 필요한 실정이다.

N₂O 저감기술을 위한 촉매 개발은 일본, 유럽, 미국 등의 선진국에서 활발히 진행되어 왔으며 국내에서는 학계 및 연구소 등에서 소규모로 기술개발이 진행되고 있는 실정이다.

반도체 공정에서 주로 배출되는 HFCs, PFCs, SF₆ 가스의 분리/회수/재생/분해/폐기 기술 및 대체물질 개발 관련 연구는 주로 상용화가 용이하고 그 효과가 가시적일 수 있는 기술 위주로 개발되어 왔다. 최근 정부 주관 하에 여러 연구가 진행되어 반도체 공정에 적용되는 일부 성과를 거둔 바 있다. 반도체 및 LCD와 관련된 온실가스는 국내 PFCs 다소비 기업들이 공정개선, 처리시설 도입, non-PFCs 사용기술개발 등을 적극적으로 지원하고 있어서 향후 국산 기술 개발과 적용이 용이할 것으로 기대된다.

반도체 공정에서 배출되는 저농도 HFCs와는 달리 냉매로 사용되는 HFCs는 노후된 냉장고, 에어컨 등을 폐기하거나 냉동기에서 냉매를 교체할 때 고농도로 회수가 가능하다. 냉매로 사용된 HFCs는 저온의 응축공정을 통해 회수·정제한 후 재생냉매로 재활용하거나 분해시켜 폐기할 수 있다. 국내에서는 일부 recycling center에 저온 응축공정이 보급되어 HFCs를 회수하고 있으나 경제성있는 정제공정의 운영이 필요한 실정이다.

고전압중전기에 사용된 SF₆도 반도체 공정에서 배출되는 저농도 SF₆와는 달리 장비에서 충전물을 교체할 때 고농도로 회수할 수 있으나 국내의 SF₆ 분리, 정제, 재활용 기술개발 연구는 아직 기초단계에 머물러 있다. 국내의 HFCs, PFCs, SF₆ 가스의 분리/농축/정제/재활용 또는 분해

기술개발은 고효율 분리소재 기술 개발과 공정 최적화 기술이 미흡하며 산업에 대한 적용성이 낮은 편이다. 이러한 기술개발에 대한 정책적 지원이 우선적으로 필요하며 향후 기존 공정과 연계시켜 경제성 있는 고효율 및 저에너지 소비형 처리기술 개발 유도가 필요할 것이다.

우리나라의 CDM 사업은 개도국(non-Annex I 국가)이 CDM 사업을 발굴하고 투자하여 개도국이 CERs(Certified Emission Reductions)을 팔거나 이월하는 unilateral CDM 사업 결정에 따라 2005년 올산화학 HFC-23 저감사업을 시작으로 현재 18개 사업이 등록되어 있고 추진 중인 사업들도 다수 있어 향후 기술개발을 통한 사업의 활성화가 이루어질 것으로 전망된다.

Non-CO₂ 온실가스 저감 기술의 개발·보급, 실증 사업화, CDM 사업 등은 미국, 유럽, 일본 등 선진국을 중심으로 활발히 진행 중이다. 메탄저감을 위해 유럽에서는 매립가스 자원화로 발전을 하는 경우에는 신재생/대체 에너지로 규정하여 재정적 지원을 하는 등 정책지원을 통한 기술개발을 유도하고 있다. N₂O 저감을 위한 촉매기술도 대부분 선진국에서 보유하고 있으며, 최근에는 직접 분해 방법으로 제거하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. HFCs, PFCs, SF₆ 저감기술 또한 선진국을 중심으로 분리/회수 및 대체가스 제조기술 등에 대한 개발, 보급이 이루어지고 있다. 전세계 CDM 사업은 2004년 브라질이 매립지 CDM 사업을 처음 등록한 이후, 기하급수적으로 증가하여 현재 1,085개 사업이 등록되었으며 성장세는 당분간 지속될 것으로 전망된다.

4. 맺음말

폐기물의 자원화는 국제적인 관심사로서 많은 국가에서 매립 및 소각의 한계성을 극복하기 위하여 자원순환형 사회형성, Zero Waste라는 슬로건하에서 폐기물의 발생량을

원천적으로 줄이면서, 발생된 것을 자원화하기 위하여 많은 노력을 하고 있다. 또한 2005년 음식물쓰레기의 직매립 금지와 해양배출의 금지는 유기성 폐기물처리방식의 근본적인 변화를 요구하고 있어 기술개발이 시급한 실정이다.

Non-CO₂ 온실가스는 배출원 중에 대부분이 산업공정이 고, 점오염원이므로 저감기술 적용이 용이하다. 또한 지구 온난화지수가 높아 CO₂와 비교하여 동일한 노력으로 저감효과가 탁월하다. 그러므로 non-CO₂ 온실가스 저감기술 개발 및 보급이 시급한 실정이다.

현재 기술개발 및 실용화의 기치를 걸고 『폐자원에너지화 및 non-CO₂ 온실가스 사업단』이 2008년부터 본격적으로 가동되고 있다. 사업단은 세계수준의 기술개발, 혁신적 기술 창출 및 에너지/온실가스 목표 달성, 3E의 3대 요소(Environment, Energy, Economy)들의 조화로운 추구, 실제 사업화를 통한 환경일자리 창출, 산·학·연·관·민·국제제의 효율적 네트워크 구축을 통하여 폐자원 에너지화 및 non-CO₂온실가스 저감을 실천적으로 달성해 나가도록 노력하고 있다. 향후 핵심 국산 기술의 개발, 국내 에너지 수요처들에 대한 적용 및 사업화, 국제시장 진출등의 일련의 과정을 통해 이 분야의 새로운 시장 창출이 기대된다.

참고문헌

1. 환경통계연감, 환경부(2007).
2. 유기성폐기물 종합관리기술 구축(I), 국립환경연구원(2004).
3. 신재생에너지 RD&D 전략 2030(유기성폐자원 바이오에너지분야, 산업자원부(2007).
4. 국내 매립가스 자원화시설 현황 및 기술사례집, 수도권매립지관리공사(2006).
5. 환경부문 온실가스 배출통계 D/B 구축, 환경부(2006).