



친환경 자원순환정책

4차시

1. 폐자원 에너지화 정책 추진배경

정부는 2050년까지 2014년 기준으로 4.08%에 불과¹⁾한 국내 총 1차 에너지 대비 신·재생에너지의 비율을 20%까지 확대시킬 계획이다. 현재 신·재생에너지의 84.3%가 바이오 및 폐기물에서 생산되었고(2014년 신재생에너지 보급통계, 에너지관리공단), 생산단가 또한 태양광의 10%, 풍력의 66% 수준으로 저렴하다. 이에 폐기물을 통한 에너지 생산은 신·재생에너지 이용을 가장 비용 효과적으로 조기에 활성화할 수 있는 방안으로 떠오르고 있다.

폐기물의 에너지화는 화석연료를 대체하고 온실가스 발생을 줄임으로써 기후변화에 대응할 수 있는 유력한 수단이다. 2013년 기준 우리나라의 온실가스 배출량(tCO₂)은 694.5백만톤이며, UNFCC 온실가스 의무감축국(부속서 I)들과 분석한 결과 우리나라의 온실가스 총배출량 순위는 미국, 러시아, 일본, 독일, 캐나다 다음으로 6위이다(국가 온실가스인벤토리, '15). 이에 따라 우리나라는 2020년 온실가스 배출 전망치(BAU)의 30%에 달하는 온실가스 감축 목표를 수립, 추진 중에 있으며, 이 목표는 기후변화에 적극 대처하기 위한 정부의 강한 의지를 반영하고 있다.

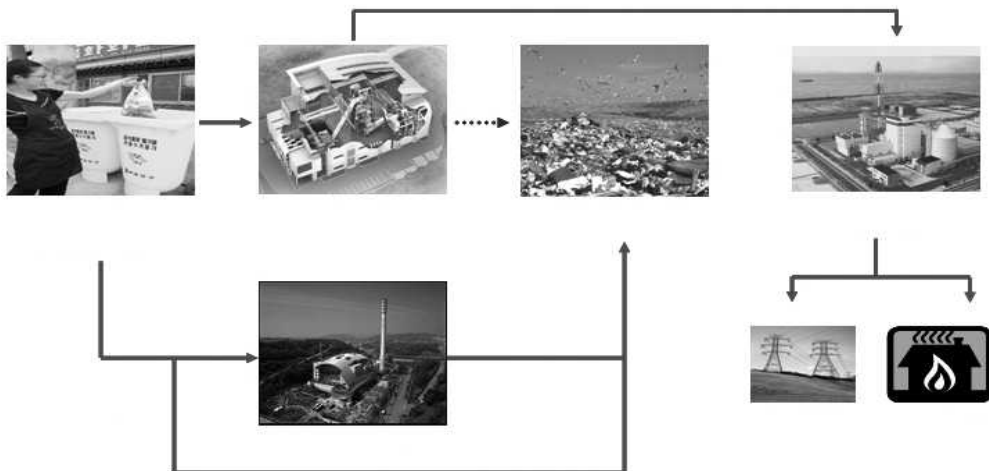
한편, 2006년 3월부터 발효된 '런던협약 96의정서'에 따라 유기성폐기물 중 하수슬러지 및 가축분뇨는 2012년 1월부터, 음폐수는 2013년 1월부터 해양배출이 금지됨에 따라 매립·소각 등 단순처리 보다는 유기성 폐기물을 처리하면서 바이오가스 등 재생에너지를 생산하고 온실가스 감축 등 생산적 처리기회를 얻을 수 있는 육상처리 대체수단을 적극 활용할 필요가 있다.

2. 국내 폐자원 에너지화 현황

2014년 우리나라 신·재생에너지 총 생산량은 1,154만TOE²⁾로, 이 중 폐기물 에너지는 폐가스를 포함하여 약 690만TOE에 달한다. 폐가스를 제외한 폐기물재생에너지 생산량(바이오가스, 폐목재 포함)은 275만TOE로서 1차에너지 대비 0.97%, 신·재생에너지의 23.8%를 차지하고 있다. 이는 주로 생활폐기물 소각시설에서 발생하는 여열을 회수하거나 폐기물 매립가스를 회수한 양으로서, 정부의 적극적인 폐자원 에너지화 정책에 의한 실적으로 보기는 어렵다. 따라서, 보다 적극적인 폐자원 에너지화를 위해 선진국과 같이 가연성폐기물을 이용한 고형연료(SRF) 생산 및 전용발전, 유기성폐기물의 바이오

가스화를 통한 전력 생산·정제 이용 등 사업의 확대가 필요하다. 2015년 12월 현재 폐기물 고형연료 부문에서는 SRF생산시설 11개소(원주시 2개소), 수도권매립지, 남해군, 부천시, 부안군, 가평군, 부산시, 무주군, 순천시, 나주시)와 민간주도의 고형연료제품(SRF) 제조시설 257개소(162만톤 생산, '15)가 가동되고 있으나 아직 많이 부족한 상황이다. 음식물쓰레기·음폐수, 가축분뇨 및 하수슬러지 등 유기성폐자원 에너지화시설의 경우 부산 생곡, 서울 동대문구 등 71개 시설이 가동되는 것으로 조사되었으나, 최근 완공된 일부시설을 제외하면 대부분 폐기물 감량 및 처리를 목적으로 설치된 시설로 바이오가스 생산 효율은 그리 높지 않은 실정이다.

국내에서 폐자원 에너지화가 미흡한 요인은 무엇보다 소각 및 매립시 가격이 사회적 비용을 충분히 반영하지 못해 재활용이나 에너지화를 활성화하는 가격구조가 형성되지 못한 때문이다. 남비 현상 등으로 관련 시설이 입지하는 데에 많은 시간이 소요된 점 또한 문제점이며, 신·재생에너지 개발·보급을 담당하고 있는 산업통상자원부에서도 태양광·풍력·소수력·지열 등의 분야를 중점 지원하고, 폐기물 분야의 지원에는 미온적으로 대처하는 등 전반적으로 정부의 정책적·재정적 지원이 부족했던 측면이 있었다. 기술 측면에서도 가연성폐기물의 고형연료화기술은 실증단계에 있고, 유기성폐기물의 바이오가스화기술은 Pilot플랜트 및 소규모시설 설치·운영 단계에 있어 선진국에 비해 아직 초보단계 수준으로 평가되었다. 그러나, 정부의 폐자원 및 바이오매스 에너지 대책('08.10) 추진 이후 상용설비가 정상가동에 들어가는 등 그동안 선진국에 비해 60~70% 수준으로 평가되어온 기술이 본격적으로 발전하는 전환기에 접어들었다.



(출처: 환경백서, 환경부, 2016)

그림1. 폐자원 에너지화 흐름도

1) 추진 목표

환경부는 2008년 10월 ‘폐자원 및 바이오매스 에너지 대책’과 2009년 7월 동 대책의 실행 계획을 발표하고 폐자원 에너지화를 위한 각종 대책 추진에 박차를 가하고 있다. 동 대책에 따르면, 2013년 에너지화 가용 가연성 폐기물 및 유기성 폐기물의 양은 각각 약 384만톤/년 및 785만톤/년에 달하나, 이 중 각각 1.5%(5.8만톤/년)와 2%(16만톤/년)만이 에너지원으로 활용되고 있다. 이에 환경부는 동 대책에서 2020년까지 가용 가연성 폐기물의 90%(345만톤/년), 가용 유기성 폐기물의 36%(283만톤/년)를 에너지화하는 것을 목표로 관련 대책을 추진하고 있다.

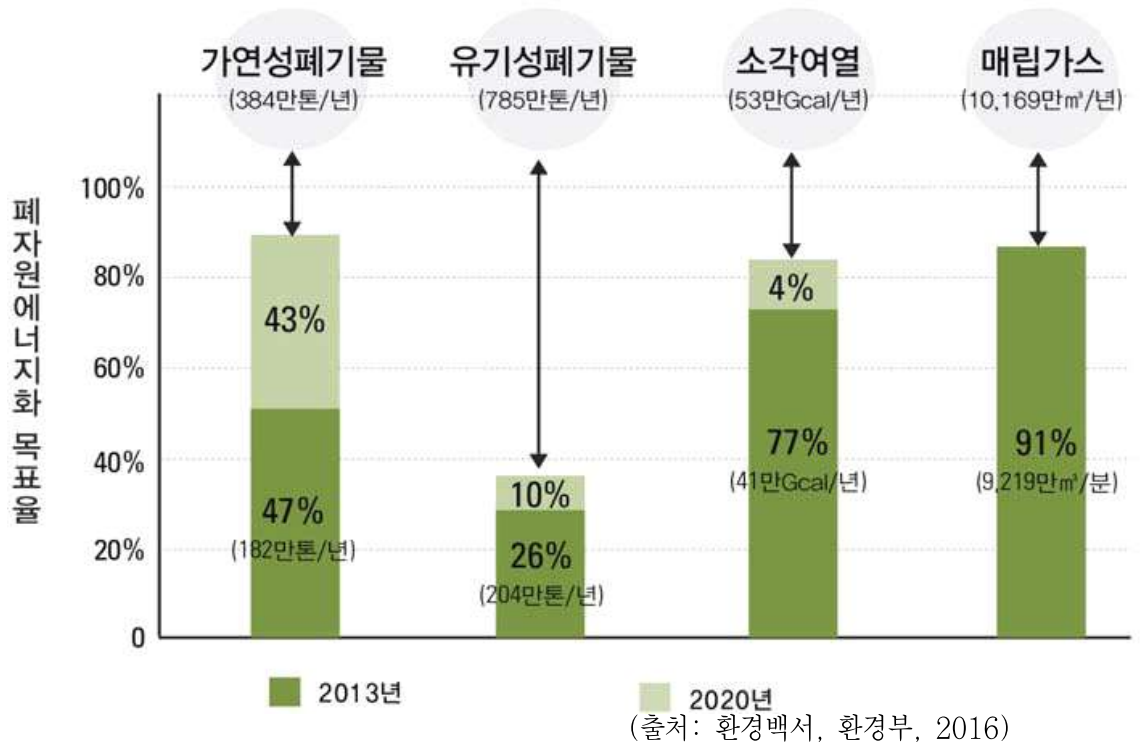


그림2. 폐자원 에너지화 추진목표

2) 폐자원 에너지화 시설 확충

2007년 이후 단계적으로 폐자원 에너지화 시설 설치에 필요한 국비 지원을 확대한 결과, 2015년에는 약 626억원 규모의 국비를 지자체의 폐자원 에너지화 시설 설치에 지원하였다. 2015년 12월 현재 원주, 부산 등 SRF 제조시설 11개소가 완공되었으며, SRF 제조시설 7개소 및 전용보일러시설 3개소가 설치 중에 있다. 또한 수도권매립지,

동대문구, 대구, 광주 등 유기성폐자원 바이오가스화 시설 총 10개소가 설치되어 운영 중이며 대전, 전주 등 11개소에 음식물 등 유기성폐자원 바이오가스화 시설이 설계·시공 중에 있다.

3) 폐자원 에너지화 활성화를 위한 제도개선

2012년부터 유기성폐기물의 해양투기 금지로 하수슬러지 에너지화 대책이 본격 추진됨에 따라 「폐기물관리법 시행규칙」을 개정('13.12)하여 석탄화력발전소에서 하수슬러지를 연료로 사용할 수 있도록 하고, 고형연료제품의 제조원료를 확대하고 제조방법을 다양화하였다. 또한, 고형연료제품의 수입을 허용하도록 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」을 개정·시행('14.7)하고 있으며, 기존 고형연료제품 정보관리시스템(www.SRF-info.or.kr)을 확대·개편하여 '폐자원에너지 종합정보관리시스템'을 구축 운영('15.5)하고 있다.

3. 폐자원 에너지화 기술 개요

1) 폐자원 에너지화 기술범위

폐기물 에너지화 기술은 3R(Reduce, Reuse, Recycle)이후 매립·소각·해양 배출되는 가연성 폐기물 및 유기성 폐기물과 매립가스, 산업폐가스 등을 열화학적 또는 생물학적 방법으로 열, 전력, 수송연료 등으로 에너지화 하는 기술을 말한다. 가연성 폐기물 등을 열화학적 및 생물학적인 방법으로 열, 전력 등의 에너지로 전환하는 기술, 유기성 폐기물의 생물화학적 전환이나 폐플라스틱과 같은 폐화학제품의 화학전환 등에 의한 화학원료 및 수송연료 등의 에너지로 전환하는 기술로 분류한다.



(출처: 폐자원 에너지화 기술동향 보고서, 2013, 한국환경산업기술원)

그림3. 폐자원 에너지화 기술 범위

2) 고형연료화 기술

폐기물 고형연료(RDF : Refuse-Derived Fuel)는 폐합성수지류, 폐종이류, 폐목재류 등과 같은 가연성 고체폐기물을 원료로 하여 수분과 불연성 성분들을 제거하고 분쇄, 분리, 선별, 건조, 성형 등의 가공 공정을 거쳐서 제조되는 고위발열량이 5,000 kcal/kg 이상인 저공해 고체연료로 전처리 및 제조하는 것을 말한다. 고형연료화에 의한 에너지 생산은 가연성폐기물을 이용하여 수거 및 원료전처리 과정을 거쳐 고형연료를 생산하여 열병합발전 및 혼소, 전용보일러기술을 이용하여 최종적으로 전기와 열을 생산하는 기술이다.

3) 목재칩 및 펠릿 기술

우드칩 저장기술, 전자동 성형기술, 혼소기술, 오염물질 저감기술의 개발을 통해 원료의 안정적 확보를 위함이며, 목질계 바이오매스 및 폐목재를 이용하여 목질계 바이오매스의 생산기술을 포함, 폐목재 및 목질계 바이오매스를 수거 및 원료 전처리 과정을 거쳐 고형연료를 생산하여 열병합발전 및 혼소, 전용보일러기술을 이용하여 최종적으로 전기와 열을 생산하는 기술이다.

4) 열분해 유화

열분해는 무산소분위기에서 고분자폐기물을 열분해하여 액체 연료유로 변환시키는 기술로서, 무촉매 분해와 촉매분해로 구분되며 촉매분해는 촉매를 열분해 반응기에서 고분자 폐기물 용융물등과 접촉시키는 액상촉매 반응과 분해되어 얻어진 생성물과 접촉시키는 기상촉매 반응이 있다. 열분해에 의한 에너지 생산은 초본계 및 목질계 바이오매스와 가연성폐기물을 이용하여 초본계 및 목질계 바이오매스의 생산기술로부터 수거 및 원료 전처리를 거쳐 열분해 공정을 통하여 열병합발전 및 전용보일러기술을 이용하여 최종적으로 전기와 열을 생산하는 기술이다.

5) 폐기물가스화

고온의 환원조건에서 가스화반응을 통해 일산화탄소(CO)와 수소(H₂)가 주성분이 합성가스를 생산하는 기술로서 가스화기, 합성가스 냉각, 폐열회수장치, 연료공급장치, 버너 및 내화재, 열교환 기술이 해당되며 가스화제와의 균일한 접촉을 위한 반응기 설계 기술, 최적운전 기술 등도 이에 속함. 또한 반응기의 잔류물로 남아 있는 반응기에 남아 있는 불연성 폐기물의 환경친화적 처리를 위해 수반되는 고온용융기술등도 이에 속하며 연소버너 기술, 내화재, 열교환기술 및 슬랙 배출기술이 해당된다. 가스화에 의한 에너지 생산은 초본계 및 목질계 바이오매스와 가연성폐기물을 이용하여 초본계 및 목질계 바이오매스의 생산기술로 부터 수거 및 원료 전처리를 거쳐 가스화 공정을 통하여 연료전지, 열병합발전, 전용보일러, 액화기술을 이용하여 최종적으로 전기와 열을 생산하는 기술이다.

6) 바이오가스화

혐기성 미생물을 이용하여 가축분뇨, 음식물쓰레기, 하수슬러지, 유기성도시고형폐기물, 유기성 산업폐기물 등의 유기성 폐기물로부터 바이오가스 생산 극대화 및 맞춤형 이용 기술과 더불어 환경오염을 획기적으로 저감할 수 있는 바이오가스화 환경 플랜트 및 운전 기술을 뜻한다. 혐기성소화에 의한 에너지 생산은 초본계 바이오매스 및 유기성폐자원을 이용하여 초본계 바이오매스의 생산기술을 포함, 유기성폐자원을 수거 및 원료 전처리 과정을 거쳐 바이오가스를 생산하여 열병합발전 및 혼소, 수송연료화 기술을 이용하여 최종적으로 전기와 열, 수송연료를 생산하는 기술이다.

7) 바이오알콜

폐목재 등의 유기성폐자원을 이용하여 수송연료용 바이오알콜을 생산하는 기술이다. 미생물 발효에 의한 바이오알콜 생산을 통한 에너지이용기술은 당질계, 전분계, 목질계 바

이오매스를 이용하여 바이오매스의 생산기술로부터 수거 및 원료 전처리를 거쳐 미생물 발효 공정과 물성향상기술을 통하여 최종적으로 수송용 연료를 생산하는 기술을 뜻한다.

8) 바이오디젤

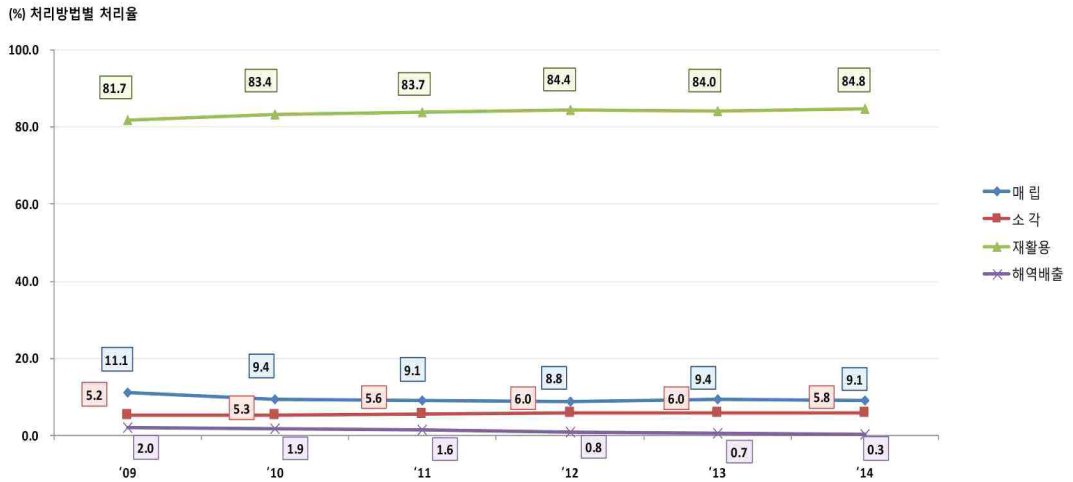
폐식용 등의 유기성폐자원을 이용하여 바이오디젤 생산하는 기술로서, 추출에스테르화에 의한 바이오디젤 생산을 통한 에너지이용기술은 초본계 바이오매스와 폐식용유 등을 이용하여 바이오매스의 생산기술로부터 수거 및 원료 전처리를 거쳐 바이오디젤 생산 공정과 물성향상기술을 통하여 최종적으로 수송용 연료를 생산하는 기술이다.

4. 폐자원 에너지화 국내 · 외 기술개발동향

1) 폐자원 에너지화 기술개발 필요성

지정폐기물을 제외한 국내 전체 폐기물의 처리현황을 살펴보면 2014년 기준 재활용 처리 비율이 약 84.8%로 가장 높은 것으로 나타났다. 매립, 소각, 해역배출은 각각 9.1%, 5.8%, 0.3%의 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 2014년 처리현황은 2009년과 비교하여 큰 변화를 나타내지는 않지만 매립과 해역배출처리 비율은 조금씩 감소하였으며, 반면 소각과 재활용처리 비율이 지속적으로 증가한 것으로 나타났다. 하지만 84.8%의 높은 재활용률은 발생량의 약 50% 수준을 차지하는 건설폐기물의 재활용률이 매우 높기 때문인 것으로 판단된다.

가. 우리나라는 런던협약에 따라 폐기물의 해양배출이 금지되고, 국내 기존 폐기물 처리 방식이 한계에 도달하여 폐기물 제로화 및 오염물질 배출 제로화를 해결할 수 있는 새로운 대안이 요구되는 상황이다. 2009.1.22일 런던협약에 따른 런던의정서에 가입함에 따라 2012년부터 하수슬러지와 가축분뇨, 2013년부터 음폐수의 해양배출이 단계적으로 금지되고, 하수슬러지, 가축분뇨, 음폐수 등은 재활용, 매립, 소각 등 기존의 처리 방식에 한계로 인해 새로운 처리 방식의 도입이 필요하다. 우리나라는 좁은 국토면적으로 인한 매립방식의 근본적 한계 존재가 존재한다. 폐기물 매립은 자연환경훼손 및 가용 토지자원 잠식을 초래할 뿐만 아니라 사후 환경관리에도 많은 비용이 소요되며, 특히 여름철 장마와 홍수로 인한 매립시설의 침출수 처리에 많은 어려움이 있다. 폐기물 매립지 면적이 2005년 35.6km²으로 2002년 21km² 대비 70%가 증가하는 등 매립으로 인한 환경적 부하가 심각한 상황이다. 이 같은 대규



(출처 : 2009~2014년도 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 환경부)

그림4. 국내 폐기물 처리 현황

모 매립지 확보에도 불구하고 매립지 수요가 증가해 매립지의 추가 확보가 필요하나, 용지 부족과 NIMBY(not in my back yard) 현상 등으로 매립지 확보에 어려움이 많다. 매립률을 낮추고 소각률을 높이기 위하여 신규 소각 시설 설치가 필요하나, 많은 예산이 소요되며 매립지와 마찬가지로 NIMBY 현상에 따라 시설 설치에 어려움이 존재한다.

나. 전 세계적으로 기후변화가 가속화됨에 따라 온실가스 감축을 위한 국제사회 및 우리나라정부 또한 노력을 강화하여야 한다. IPCC를 중심으로 2012년 이후, 교토의 정서를 대체할 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change : UNFCCC)의 Post-Kyoto 체제에 대한 논의가 활발하게 전개되고 있고, 2009년 11월, 우리나라 정부는 2020년 국가 온실가스 감축 목표를 '2005년 대비 4% 감축'으로 발표함에 따라 산업부문뿐만 아니라 전 분야 걸쳐 온실가스 감축 노력이 절실히 요구되는 상황이다.

이에 따라 정부는 2011년 7월에 각 부문별 온실가스 감축목표를 확정하여 발표하였으며, 폐기물부문의 경우 2007년도 배출량 대비 12.3%의 감축목표가 확정되어 이를 달성할 수 있는 방안 마련이 필요하다.

표1. 2020년도 배출전망치와 비교하여 각 부문별 온실가스 감축목표 확정안(%)

부문	산업	전환	수송	건물	농림어업	폐기물	공공기타	국가전체
감축목표(%)	18.2	26.7	34.3	26.9	5.2	12.3	25	30

(출처: 폐자원 에너지화 기술동향 보고서, 2013, 한국환경산업기술원)

다. 신 고유가 시대의 도래 및 이에 따른 에너지확보 경쟁 심화가 나타난다. 美 EIA는 2020년 유가를 배럴당 106.47달러로 전망하는 등 중장기적으로 화석연료 가격이 상승할 것으로 전망하였다. 중국을 비롯한 BRICs는 급속한 경제성장으로 인한 수요 증가에 따라 에너지 수급 불균형 현상이 발생하여 새로운 고유가시대가 지속될 전망이다.

美 EIA는 2020년의 유가를 저유가일 때 배럴당 50.43달러, 고유가일 때 배럴당 184.60달러에 이를 것으로 전망하였으며, 기준가로는 배럴당 106.47달러를 제시하였다. 에너지 수요 증가로 인한 에너지 수급 불균형, 장기적인 화석연료 고갈 위험성 등으로 전 세계적인 에너지 확보 경쟁이 심화되고 있으며 에너지 안보가 모든 국가의 중요한 문제로 부상하고 있다. 전 세계적으로 에너지 확보가 모든 국가의 중요한 안보 문제로 대두되고 있으며, 미국·러시아·유럽·일본 등의 에너지 및 자원 확보를 위한 외교 전쟁 격화되었고, 특히 러시아는 에너지와 자원을 정치적 무기로 활용하고 있으며, 베네수엘라를 중심으로 남미의 산유국들이 메이저 석유회사들의 권리를 회수하여 원유를 국유화 하는 등 자원 민족주의가 부상하고 있다.

우리나라의 에너지 자립도는 약 3% 수준이며, 2%가 신·재생에너지 생산, 1%가 자체 자원 확보에 의한 것으로 향후 에너지 안보를 위해서도 신·재생에너지 공급 확대가 반드시 필요한 실정이다. 국내에서 생산되는 천연 자원 중 에너지로 활용되는 것은 소량의 무연탄과 천연가스로 전체 에너지 보급량의 1%에 불과하며, 큰 폭의 증가를 기대할 수 없다. 따라서, 신·재생에너지 공급 확대가 에너지 자립도를 향상시킬 수 있는 유력한 대안이 될 것이다.

라. 선진국의 기술개발 및 산업 육성이 가속화되면서 관련 시장이 급속히 성장 중이나, 국내 기술 수준 및 시장 점유율은 미약한 실정이다. 미국, 유럽연합, 일본 등 선진국들은 신·재생에너지 기술개발 및 산업 육성을 국가의 주요 과제로 설정하고 이를 위하여 각종 정책적 수단을 동원하고 있다. 독일을 비롯한 세계 각국은 폐기물 및 바

이오매스 에너지 관련 기술을 개발하고 이를 상용화한 시설을 이미 운영 중에 있다. 또한, 정책적 목표를 제시하고 각종 기술개발 프로그램을 운영하여 관련 시장 확보를 위해 노력하고 있다. 반면, 국내 기술수준은 선진국의 약 60% 수준에 머물고 있으며, 상용화 실적이 매우 미미한 실정이다. 국내의 폐자원 및 바이오매스 에너지화 시설은 대부분 아직 상용화에 근접하지 못하고 있으며, 일부 상용화된 기술은 대부분 외국 기술을 도입하는 수준으로 나타난다.

2) 폐자원 에너지화 기술수준

국내의 기술 수준은 폐자원 및 바이오매스 에너지 관련 기술수준은 최고기술보유국대비 66~72% 수준으로 최고기술보유국과의 기술격차는 6~7년 정도이다.

표2. 폐자원 및 바이오매스 에너지 관련 기술 수준

세부기술	최고기술보유국 대비 기술수준	최고기술보유국 대비 기술격차
미활용에너지이용기술	65.7%	6.4년
폐기물 에너지화 기술	71.6%	7.3년
바이오 에너지 제조 및 활용 기술	67.4%	6.7년
평균	68.2%	6.8년

(출처: 폐자원 에너지화 기술동향 보고서, 2013, 한국환경산업기술원)

표3. 폐자원 에너지화 기술분야별 기술동향 및 기술수준

분야	국내외 기술동향	기술수준
RDF	<ul style="list-style-type: none"> - RDF 제조시설은 현재 국내에서는 2006년 9월에 준공된 원주시의 시설 가동 이후 수도권매립지 및 부천에 건설, 추가설비 건설 중 - 제조시설의 개선 지속 추진 중, RDF 전용발전소 건설 추진 중 - 전용 또는 혼소 보일러 개발 등의 신기술 필요 	62.1%
가스화	<ul style="list-style-type: none"> - 1990년대 후반부터 본격 추진 - Pilot 규모의 기술개발(중대형화는 국외기술에 의존, 제한적 추진) - 현재 상용화 실적은 일부 외국기술에 의해 추진됨 - 응용기술에 의한 회분 재활용으로 zero-waste와 연계 정책 시 활용 확대 	55.5%
열분해유화	<ul style="list-style-type: none"> - 1990년대부터 폐플라스틱 유화사업에 30여개 이상의 업체가 활동한 것으로 알려져 있으나, 상용화에 성공하였다는 조사결과는 없음 - 검증되지 않은 기술을 무분별하게 도입함으로써 유화기술에 대한 기술적 신뢰도 저하 - 상용화는 제한적으로 수행됨 	62.0%
소각 여열회수	<ul style="list-style-type: none"> - 2008년 기준 지자체의 중·대형 생활폐기물 소각시설에서 발생하는 여열 중 93%를 회수하여 이용 중 - 2013년까지 미회수 여열의 85%(41만Gcal/년)를 추가적으로 회수·이용 목표 - 생활폐기물 소각시설(48톤/일 이상)의 여열회수시설 보완(약 20개소) 	73.0%

(출처: 폐기물의 에너지전환시설 적용 타당성 조사 및 연료화 증진을 위한 기술적 환경적 정책적 분석보고서(환경부, 2010) 등)

주요국 기술수준과의 비교하여 우리나라는 재생가능 에너지 전환 및 공급 기술의 경우, 우리나라는 미국, 일본, 유럽에 비해 기술개발 수준이나 산업 기술력이 뒤떨어지는 것으로 나타난다. 특히 중국과 비교할 때 기술개발 수준은 동등 수준으로 평가되고 있으나, 산업기술력에 있어서는 중국이 약간 우위를 점하고 있는 실정이다. 그러나 폐자원 에너지화 원료 수집·활용 관련 분야(폐기물 처리 기술)의 경우, 우리나라는 일본, 유럽에 비해 기술개발 수준이나 산업 기술력이 뒤떨어지지만, 미국과는 동등 내지 우위 수준으로 나타난다. 특히 중국과 비교할 때 기술개발 수준은 동등 수준으로 평가되고 있으나, 산업기술력에 있어서는 우리가 우위를 점하고 있는 것으로 나타난다.

표4. 주요국가 자원순환 관련 기술 수준 현황 및 기술의 추세

기술분야	구분	현황					기술의 추세				
		한국	일본	미국	유럽	중국	한국	일본	미국	유럽	중국
재생가능 에너지 전환 및 공급 기술	연구 수준	○	◎	◎	◎	△	↗	↗	↗	→	↗
	기술개발 수준	○	◎	○	◎	○	↗	→	→	→	↗
	산업 기술력	△	○	○	◎	◎	→	→	→	→	↗
폐기물 처리 기술 -중간 처리	연구 수준	△	○	△	◎	×	→	↘	→	↗	→
	기술개발 수준	△	◎	△	○	△	→	→	→	→	→
	산업 기술력	○	◎	△	◎	×	↗	→	→	↗	→
바이오매스계 자원 재활용기술 -하수슬러지	연구 수준	○	○	○	○	△	→	↗	→	→	↗
	기술개발 수준	○	◎	○	◎	△	↗	→	→	→	↗
	산업 기술력	◎	◎	◎	○	○	→	→	↗	→	↗
바이오매스계 자원재활용기술 -식품산업 등	연구 수준	○	○	○	◎	△	→	→	↘	→	↗
	기술개발 수준	○	○	○	◎	△	↗	→	→	→	↗
	산업 기술력	◎	◎	◎	○	○	→	→	↗	→	↗
바이오매스계 자원 재활용기술 -농림수산업 폐기물 등	연구 수준	○	○	◎	◎	△	→	→	→	→	↗
	기술개발 수준	○	○	○	◎	△	↗	→	→	→	↗
	산업 기술력	◎	○	◎	◎	○	→	→	↗	→	↗
폐기물처리 기술 -최종 처리	연구 수준	△	○	○	◎	×	→	→	→	→	→
	기술개발 수준	△	○	○	○	×	→	→	→	↗	→
	산업 기술력	△	◎	○	○	×	→	→	→	→	→
비고	기술수준 현황 : ◎ 매우 앞섬, ○ 앞섬, △ 뒤짐, × 매우 뒤짐 기술의 추세 : ↗ 상승 경향, → 현상 유지, ↘ 하강 경향										

(출처: 폐자원 에너지화 기술동향 보고서, 2013, 한국환경산업기술원)