

# 녹색기술 연구개발 정책방향

이귀호 · 주홍신\*

한국생산기술연구원 국가청정생산지원센터 · \*서울산업대학교 에너지환경대학원

## Policy Direction for Green Technology Development

Kwiho Lee · Hong Shin Ju\*

Korea National Cleaner Production Center, Korea Institute of Industrial Technology

\*Department of Energy Policy, Seoul National University of Technology

### 1. 녹색성장과 녹색기술

#### 1.1. 주요 개념

2008년 8월 15일 ‘저탄소 녹색성장’ 국가비전이 발표된 이후 정부 내 여러 부처 및 관련된 많은 기관에서 녹색성장과 녹색기술에 대한 정의와 개발정책을 쏟아내고 있다.

Table 1. 녹색성장 관련 용어

용어	정의
저탄소	화석연료(化石燃料)에 대한 의존도를 낮추고 청정에너지의 사용 및 보급을 확대하며 녹색기술 연구개발, 탄소흡수원 확충 등을 통하여 온실가스를 적정수준 이하로 줄이는 것
녹색성장	에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 기후변화와 환경훼손을 줄이고 청정에너지와 녹색기술의 연구개발을 통하여 새로운 성장동력을 확보하며 새로운 일자리를 창출해 나가는 등 경제와 환경이 조화를 이루는 성장
녹색기술	온실가스 감축기술, 에너지 이용 효율화 기술, 청정생산 기술, 청정에너지 기술, 자원순환 및 친환경 기술(관련 융합기술을 포함한다) 등 사회·경제 활동의 전 과정에 걸쳐 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스 및 오염물질의 배출을 최소화하는 기술
녹색산업	경제·금융·건설·교통물류·농림수산·관광 등 경제 활동 전반에 걸쳐 에너지와 자원의 효율을 높이고 환경을 개선할 수 있는 재화(財貨)의 생산 및 서비스의 제공 등을 통하여 저탄소 녹색성장을 이루기 위한 모든 산업
녹색제품	에너지·자원의 투입과 온실가스 및 오염물질의 발생을 최소화하는 제품
녹색생활	기후변화의 심각성을 인식하고 일상생활에서 에너지를 절약하여 온실가스와 오염물질의 발생을 최소화하는 생활
녹색경영	기업이 경영활동에서 자원과 에너지를 절약하고 효율적으로 이용하며 온실가스 배출 및 환경오염의 발생을 최소화하면서 사회적, 윤리적 책임을 다하는 경영

그 중 녹색기술에 대한 여러 가지 논의를 종합 정리한 정의가 지난 2월에 고시된 ‘녹색성장기본법’ 제정안<sup>1)</sup>에 담겨 있다. 앞으로도 녹색성장과 관련된 논의가 많이 될 것으로 예상되므로 기본법에 담긴 몇 가지 정의를 그대로 옮겨보면 Table 1과 같다.

녹색성장기본법에서 정의한 용어가 국제적으로 사용되는 개념과 다를 수도 있다. 그러나 정확한 정의를 내리는 것도 중요하지만 진정한 녹색성장을 위해 무엇을 할 것인가를 생각한다면 앞으로는 기본법에서 정의한 것을 따르는 것이 좋을 것으로 생각한다.

녹색기술은 Table 1의 정의에서도 알 수 있듯이 크게 에너지지원기술, 기후변화대응기술, 환경기술 등 3가지로<sup>2)</sup> 요약된다(Fig. 1). 아래에 분류된 예시를 보면 에너지지원기술과 기후변화대응기술이 대부분 에너지와 관련된 기술로 구성되어 있음을 알 수 있다.

#### 1.2. 정부의 녹색기술개발 정책사례

다음에는 그동안 정부 각 부처에서 녹색성장과 관련하여 발표한 정책개발 사례를 살펴보기로 한다. 먼저 2008년 12월 지식경제부에서 발표한 ‘지식·혁신주도형 녹색성장 산업발전전략’이 있다. 이 계획은 ‘저탄소형 산업구조’, ‘가치사슬 녹색변환’, ‘주력산업 녹색혁신’ 등 3대 비전을 달성



Fig. 1. 녹색기술의 범위.

E-mail: kholee@kncpc.re.kr

Tel: 02-2183-1510

Fax: 02-2183-1519

**Table 2.** 지식혁신주도형 녹색성장 산업발전전략

녹색성장 산업발전전략		
<p><b>&lt;저탄소형 산업구조&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>지식서비스산업 육성·녹색화</li> <li>Green Ocean 발굴·육성</li> <li>지식경제 R&amp;D 시스템의 혁신</li> <li>지식재산의 창출·활용</li> <li>기후변화 대응 지원</li> <li>녹색경제 활성화</li> </ul> <p><b>&lt;가치사슬 녹색변환&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Green Standard 정립</li> <li>Green IT 추진</li> <li>Green Hub Korea 구축</li> <li>녹색 유통·물류 혁신</li> <li>국제환경규범과 시장 확대</li> <li>산업계 자원생산성 혁신</li> </ul>	<p><b>&lt;주력산업 녹색혁신&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(활강) 공정혁신을 통한 에너지효율 혁신</li> <li>(석유화학) Eco-산업단지화</li> <li>(조선해양) 미래형 신개념 선박·해양시스템</li> <li>(일반기계) 고효율 청정생산기반</li> <li>(가전) Energy Saving &amp; Ecology 가전</li> <li>(섬유) 초경량 그린섬유소재 산업화</li> <li>(반도체) 초저전력 고효율 그린 반도체</li> <li>(Display) Aqua-Green Window Display</li> <li>(자동차) 저탄소 플러그인차</li> </ul> <p><b>탄소성숙유</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>LED, 태양광패널</li> <li>AMOLED</li> <li>연료전지차</li> </ul> <p><b>그린에너지산업 발전전략</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>신재생에너지 태양광, 풍력, 수소연료전지, KCC</li> <li>화학석탄로청정화, 석탄액화, 가스액화, CCS</li> <li>효율향상 LED, 전례T, 에너지저장 소형열병합 히트펌프</li> </ul>	<p><b>&lt;저탄소 에너지경제구조&gt;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>에너지사용효율의 개선</li> <li>에너지 시장의 효율화 및 합리적 가격체계 구축</li> <li>신재생에너지 개발·보급</li> <li>원전의 공급능력 및 국민이해기반 확충</li> <li>해외자원개발 역량 확충</li> <li>에너지의 안정적인 공급</li> <li>기후변화대응역량 강화</li> <li>에너지 기술혁신</li> <li>에너지산업 해외진출</li> <li>에너지복지 에너지 안전사회 구현</li> </ul> <p><b>국가에너지 기본계획</b></p>

하는 것이 목표이며, 기존의 ‘그린에너지산업 발전전략’과 ‘국가에너지 기본계획’을 통한 저탄소 에너지경제구조 구축과 연계된 종합계획이라고 할 수 있다.

지식경제부에서 2009년 1월에 발표한 ‘녹색성장을 위한 IT산업 전략’은 우리나라가 세계적으로 우위에 있는 IT분야에 녹색기술을 적용하여 소위 Green IT 산업으로 발전시키겠다는 계획이다. 이 계획은 ‘IT산업(기기)의 녹색화’, ‘IT 활용을 통한 녹색성장 기반구축’, ‘제도개선 및 국민참여·실천 유도’를 3대 과제로 추진할 예정이다.

2008년 11월 지식경제부 산업환경과에서 발표한 ‘그린

**Table 3.** 녹색성장을 위한 IT산업 전략(Green IT)

① IT산업(기기)의 녹색화	<ul style="list-style-type: none"> <li>PC, 서버의 고효율화</li> <li>LED, OLED 핵심기술 개발</li> </ul>
② IT 활용을 통한 녹색성장 기반구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양광발전 핵심기술 국산화</li> <li>실시간 에너지 절감기술(AMI) 상용화</li> <li>비IT 분야의 RFID/USN 활용 확대</li> <li>에너지관리시스템(EMS) 구축</li> </ul>
③ 제도개선 및 국민참여 실천 유도	<ul style="list-style-type: none"> <li>전력소비규정제도 도입</li> <li>고효율친환경 기기 보급</li> <li>국민참여 공간 마련</li> <li>온라인 정보유통 활성화</li> </ul>

**Table 4.** 그린오션 100대과제

3대 위협요인	9대 해결분야	분야별 과제수
국민 삶의 질 저하	<ul style="list-style-type: none"> <li>웰빙생활공간</li> <li>안전하고 맑은 물</li> <li>Zero Waste Plus Resource</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>휴먼웰빙 하우스 등 11개</li> <li>웰빙 수도물 등 11개</li> <li>폐기물 활용 소재 등 13개</li> </ul>
지구온난화	<ul style="list-style-type: none"> <li>이산화탄소 저이용 및 자원화</li> <li>저탄소화 소재 및 공정</li> <li>IT기반 솔루션</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>이산화탄소 활용 플라스틱 등 11개</li> <li>초경량 초단열 에어로겔 소재 등 11개</li> <li>반값 전기료 e-Home 등 11개</li> </ul>
석유자원고갈 및 유가불안정	<ul style="list-style-type: none"> <li>청정석탄</li> <li>바이오매스 경제</li> <li>지속가능제품·서비스</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>UCC(Ultra Clean Coal) 생산 등 11개</li> <li>고농도 수송용 바이오디젤 등 11개</li> <li>폐에너지 및 인간동력 활용 제품 등 10개</li> </ul>

**Table 5.** 녹색기술 연구개발 종합대책(안)

<27대 중점육성기술>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>기후변화 예측 및 모델링개발 기술</li> <li>기후변화 영향평가 및 적응기술</li> <li>실리온계 태양전지의 고효율 저가화 기술</li> <li>비실리온계 태양전지 양산 및 핵심원천 기술</li> <li>바이오에너지 생산요소기술 및 시스템 기술</li> <li>개량형 경수로 설계 및 건설 기술</li> <li>친환경 핵비확산성 고속로 및 순환 핵주기시스템 개발 기술</li> <li>핵융합로 설계 및 건설 기술</li> <li>고효율 수소제조 및 수소저장 기술</li> <li>차세대 고효율 연료전지 시스템 기술</li> <li>친환경 식물성장 촉진기술</li> <li>석탄가스화 복합발전 기술</li> <li>고효율 저공해 차량 기술</li> <li>지능형 교통, 물류 기술</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>생태공간 조성 및 도시재생 기술</li> <li>친환경 저에너지 건축 기술</li> <li>환경부하 및 에너지 소비 예측을 고려한 Green Process 기술</li> <li>조명용 LED·그린 IT 기술</li> <li>전력 IT 및 전기기기 효율성 향상 기술</li> <li>고효율 2차 전지기술</li> <li>CO<sub>2</sub> 포집, 저장, 처리기술</li> <li>Non-CO<sub>2</sub> (이산화탄소제외 온실가스) 처리기술</li> <li>수계수질평가 및 관리기술</li> <li>대체수자원 확보기술</li> <li>폐기물 저감, 재활용, 에너지화 기술</li> <li>유해성물질 모니터링 및 환경정화 기술</li> <li>가상현실 기술</li> </ol>

오션 100대 과제'는 기존의 환경, 에너지, 자원관련 산업분야에 IT, NT, BT 등이 융합되어 환경, 에너지, 기후변화 문제 해결에 직간접적으로 기여하고, 새로운 시장과 부가가치를 창조하는 환경산업의 Blue ocean으로 육성하기 위한 사업으로 'Wellbeing 생활공간', '안전하고 맑은 물' 등 9개 분야에 총 100개의 과제를 발굴하여 2010년부터 본격적인 사업에 착수할 예정이다.

2009년 1월 국가과학기술위원회에서는 '녹색기술 연구개발 종합대책(안)'을 발표하였는데, 이 계획은 각 부처에서 제안한 녹색기술 분야를 종합하여 총 27개로 정리한 종합개발계획이라고 할 수 있다.

이 밖에도 국무총리실 기후변화대책기획단에서 수립한 '기후변화대응 종합기본계획(2008.12)', 등 많은 정부대책이 발표된 바 있다.

## 2. 녹색기술 개발정책 방향

앞에서 녹색성장과 관련한 여러 부처의 개발정책을 중심으로 간단히 살펴보았다. 대통령 직속 녹색성장위원회에서 발표한 자료에 따르면 녹색성장 관련하여 각 부처에서 발표한 정책이 10개가 넘는다. 이들 정책을 종합적으로 분류해 보면 모든 정책이 일정부분에서 중복되고 있음을 알 수 있다. 녹색성장기본법이 입법예고되고 녹색성장위원회가 지난 2월 16일 공식출범함에 따라 녹색성장위원회를 중심으로 각 부처에 산재된 개발정책의 조율과 통합과정이 진행될 것으로 보인다. 이러한 작업을 수행하는 데 있어 몇 가지 고려할 사항을 정리하면 다음과 같다.

첫째 좀 더 민간의 수요를 반영할 필요가 있다. 물론 정부정책 수립과정에서 민간부문의 참여가 있지만 보다 폭넓게 참여해야 수요자 중심의 정책수립이 가능할 것으로 생각된다.

둘째 녹색기술의 3대 분야라고 할 수 있는 에너지, 자원, 환경기술의 균형이 이루어져야 한다. 지금까지 발표된 모든 정책은 에너지기술에만 너무 치우쳐있다. 저탄소 녹색 성장을 이루기 위해서는 에너지관련 기술이 무엇보다 중요하지만 자원의 활용과 환경기술도 모두 에너지와 연관되어 있기 때문이다.

셋째 국가차원의 녹색기술에 대한 분류체계를 정립할 필요가 있다. 각 부처에서 수행하는 사업 중심의 기술분류가 아닌 녹색성장 기본법의 정의에 따른 새로운 기술분류가 되어야 한다. 또 한 가지는 이러한 기술을 분류할 때 기존에 수립한 여러 가지 기술로드맵과 연계해야 한다는 점이다. 최소 10년 이상 활용이 가능한 기술분류가 되어야 할 것이다.

마지막으로 각 부처에서 수행하고 있는 녹색기술 개발과 관련된 기존사업의 투자확대가 고려되어야 한다. 새로운 사업을 발굴하는 것도 중요하지만 이미 사업이 진행되어 성과를 내고 있는 사업에도 투자를 확대하면 더 많은 성과를 얻을 수 있을 것이다.

## 3. 녹색기술 개발정책 : 자원, 환경 측면

앞에서도 언급하였듯이 녹색기술이 정의와는 달리 에너지기술에 집중되어 있으므로 환경 및 자원분야 기술이 좀 더 포함되어야 한다. 그리고 에너지·자원·환경문제는 개별적으로 해결하는 차원보다 동시에 해결할 수 있는 방안을 모색해야 하며, 이를 위해 다음과 같은 몇 가지가 추진되어야 한다.

첫째, 자원사용의 효율성을 극대화하여 천연자원과 같은 1차 자원의 사용량을 최소화하는 것이다. 이를 위해서 제품을 환경친화적으로 설계해야 한다. 또한 사용된 제품은 효율적인 자원순환이 되어야 한다. 순환자원, 즉 2차 자원이 얼마나 효율적으로 사용되는가에 따라 자원생산성이 달라진다. 제품설계는 환경친화적으로 되었으나 사용된 후 2차 자원이 순환되지 않으면 1차자원이 지속적으로 고갈되기 때문이다. 2차 자원의 순환에 있어서도 효율성을 고려해야 한다. 재제조나 재활용과 같이 제품 또는 부품을 순환하는 것이 보다 바람직하다. 사용된 제품을 분쇄하여 재료별로 순환하는 것이 차선이며, 소각을 통해 얻어진 에너지를 얻는 것은 최후의 수단에 불과하다.

Table 6. 자원순환 방법과 우선순위

방법	내용	우선 순위
재제조 (Remanufacturing)	제품을 부품 단위로 모두 분해하여 세척하고 성능이 떨어지는 부품은 새것으로 교환하여 신제품과 동일한 성능을 갖도록 하는 것	1
재이용(Reuse)	사용한 제품을 그대로 사용하는 것	1
재활용 (Recycle)	제품을 분해 또는 분쇄하여 재료별로 재자원화하는 것	2
에너지 회수 (Recovery)	제품을 분해 또는 분쇄하여 불에 타는 것을 연소하여 에너지로 회수하는 것	3

2차 자원의 순환이 얼마나 중요한지 알루미늄 캔의 예를 들어보자. 알루미늄 캔을 1 kg 재활용하면 알루미늄 원광석(보크사이트)으로 만들 때와 비교하여 원광석 6 kg과 14 kwh의 전기를 아낄 수 있다. CO<sub>2</sub> 배출량은 5% 밖에 되지 않는다. 고철의 경우도 마찬가지이다. 고철 1 kg을 재활용으로 얻을 수 있는 효과는 다음과 같다.<sup>3)</sup>

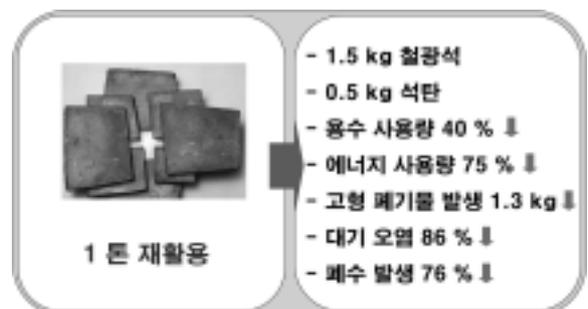


Fig. 2. 고철 재활용에 따른 경제적, 환경적 효과.

둘째, 제품 생산과정에서 오염물질 등 부산물의 발생을 원천적으로 차단·저감하는 청정생산이 도입되어야 한다. 생성된 부산물을 순환이용하기 위해서는 추가적인 분리·정제 등의 공정이 필요하며, 특히 오염물질은 순환도 어려울뿐더러 처리하는데 많은 비용이 소요된다. 오염물질을 처리하기 위해 적용되는 사후처리(EOP, End of Pipe)기술은 고비용이 투입됨에도 불구하고 오염물질이 남겨나 이차오염이 발생하기도 한다. 반면 청정생산은 오염물질 발생을 근원적으로 억제하는 것으로 환경문제를 효과적으로 해결할 수 있다.

예를 들어보자. 2003년도 청정생산기술개발을 통해 BOD ‘발생’을 12,000톤 제거하였다. 이는 한강 전체 BOD를 1 ppm 낮추거나, 소양호 수질을 3급수에서 1급수로 높일 수 있는 양이다. 이를 사후처리 할 경우, 리터당 100 mg (100 ppm)의 BOD를 하루에 10만톤 처리하는 종말처리장 약 3.3개가 필요하다. 비용으로 환산하면 건설비 510억원과 매년 50억원의 시설운영비가 소요된다. 반면에 BOD 12,000톤 사전저감에 소요된 청정생산기술개발보급사업 정부출연금은 약 90억원으로 10년간 성과를 비교하면 사후처리보다 11.2배의 효과가 있다.

셋째, 모든 에너지·자원·환경문제는 공공부문과 함께 기업부문에서 풀어가야 한다. 기업에서 투자를 하지 않으면 성과를 달성하기 어렵다. 기업들은 환경투자가 세계 시장에서 경쟁력 확보를 위한 필수 요건임을 인식할 필요가 있다. GE의 사례가 대표적이다. 생태를 의미하는 Ecology 또는 경제를 의미하는 Economy와 상상을 뜻하는 Imagination의 합성어인 ‘Ecomagination’은 에너지효율을 향상시키고 온실가스를 적게 배출하는 제품을 만들고 이를 통해 수익을 올린다는 GE의 친환경 전략이다. 이를 위해 2004년부터 2010년까지 7억달러에서 매년 15억달러씩 늘린다는 계획이다. 2007년 이 분야의 제품과 서비스 매출액이 140억달러로 이미 가시적인 성과도 얻고 있다.

3.1. 청정기반기술에 대한 시대적 요구

에너지·자원·환경문제를 동시에 해결하기 위해서는 청

정기반기술이 유일한 수단이다. 청정기반기술을 적용함으로써 1차 자원의 사용량을 줄이고, 생산과정에서 오염물 발생을 최소화하며, 사용된 제품을 활용한 2차 자원의 순환을 촉진할 수 있다. 최근 관련 핵심기술이 급속도로 발전하고 있어 청정기반기술에 대한 수요와 적용범위가 크게 확대될 것으로 전망된다.

지난 2002년 남아공의 요하네스버그에서 개최된 지속가능발전 정상회의(WSSD)에서는 1992년 UN환경개발회의(UNCED)에서 채택한 의제21(Agenda 21)의 국가별 이행결과를 점검하고 산업계에 청정생산 도입을 촉진하기로 하는 등 국제적인 요구도 계속되고 있다.

3.2. 청정기반기술 개요

청정기반기술은 생산공정과 제품, 서비스 등에서 종합적이고 예방적인 환경전략을 지속적으로 적용하여 환경경제효율(Eco-efficiency)을 향상하고 인간과 환경에 미치는 위험을 줄이기 위한 기술이라고 할 수 있다. 여기에서 환경경제효율을 높이는 것은 환경오염 발생을 줄이면서 경제적 부가가치는 오히려 증가한다는 것을 의미한다. 다시 정리하면 원료의 도입에서 제품생산, 사용, 재자원화 등 순과정에서 자원생산성을 향상하고 환경오염물질 발생을 근원적으로 제거 또는 최소화하는 기술이다. 청정기반기술은 UNEP(유엔환경계획)를 중심으로 일반적 용어로 사용되고 있으며, 북미지역에서는 오염 예방(P2 ; Pollution Prevention) 또는 오염물 최소화(Waste Minimization), 아시아에서는 녹색생산성(GP ; Green Productivity) 등으로 사용되기도 한다.



Fig. 4. 청정기반기술 개념도.

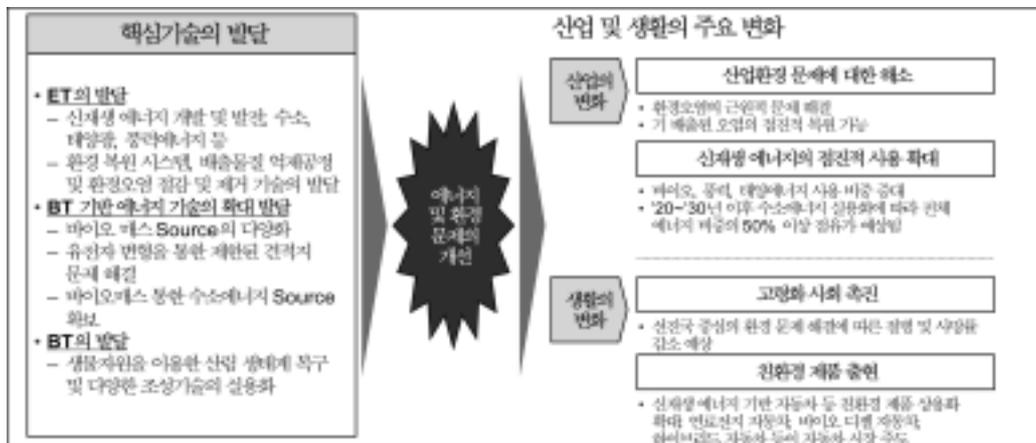


Fig. 3. 청정생산으로의 패러다임 변화.<sup>4)</sup>

청정기반기술은 다음과 같은 특징이 있다.

첫째, 전체 산업과 연관되며 생산 과정에서 환경친화적이면서 경제적인 제품 및 기술개발을 위해 IT, NT, NT, ET 등 복합 기술이 요구된다. 새로운 기초기술과 복합된 기술을 적용함으로써 청정기반의 확대가 가능하다. 형상기억합금기술을 이용하여 조립한 휴대폰의 경우 사용 후에 일정한 파장의 에너지를 가하면 저절로 해체가 되도록 하는 것이 좋은 예이다.

둘째, 국내외 환경규제가 청정기반기술 시장수요와 매우 밀접한 관계가 있다. EU의 통합제품정책(IPP: Integrated Product Policy)에 기반한 환경규제는 기존의 생산공정 규제방식에서 제품 규제방식으로 전환되어 제품 자체의 환경성을 강조함으로써 청정기반기술을 요구하고 있다.

셋째, 타 산업의 인프라 지원성격이 강하면서도 E2 (Ecological and Economical)제품 및 공정 등 특징적인 산업 육성성이 가능하다. 제품 서비스(Product service), 환경경영·청정생산기술서비스 등 서비스 기반기술은 물론 E2제품,

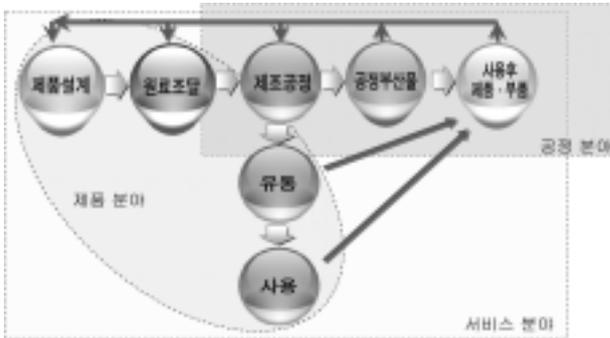


Fig. 5. 청정기반기술의 범위.



Fig. 6. 次次世代 성장동력으로서 청정기반기술의 가능성.

E2공정 등 글로벌 산업환경 동향에 부합하는 산업으로 발전할 수 있다.

넷째, 소득 수준 향상에 따른 환경 질 개선 요구가 수요를 촉발함으로써 선진국형 산업으로 인식되고 있다. 환경친화적인 제품에 대한 수요가 확산되면서 실용적이면서 경제적인 제품을 선호하게 된다. 우리나라 소비자 10명 중 6~7명이 전자제품 구매 시 제품의 기능과 환경성을 동시에 고려하는 것으로 조사되고 있다.<sup>9)</sup>

3.3. 청정기반기술 분류

청정기반기술은 크게 청정생산 원천공정기술, 자원순환 효율 증대기술, 기업간 네트워크 구축기술, 지식기반 서비스기술 등 4개 분야로 구분할 수 있다. 청정생산 원천공정기술은 청정기반기술의 정의에 있듯이 생산과정에서 오염물질 발생 자체를 원천적으로 줄이기 위한 기술이라고 할 수 있다. 자원순환효율 증대기술은 사용된 2차자원의 효율을 증대하여 자원 및 에너지사용량을 절감하는 것으로 再제조(Remufacturing) 기술, 도시광석(Urban mining)

Table 7. 청정기반기술 분류체계도

대분류	중분류	소분류	비고
청정생산 원천공정 기술	공정설계	1. Zero Emission 생산 공정 기술	-부산물 또는 폐기물 발생이 없는 공정개발
		2. 폐순환 생산 공정 기술	-원료, 부산물, 용수, 부원료 등을 closed-loop 형으로 공정 내에서 재차 원화하는 기술
		3. 공정융합기술	-ET, BT, IT, NT 등과의 융합기술
	공정개선	1. 자원절약형(에너지포함) 생산 공정 기술	-기존 공정보다 생산효율이 높은 공정, 또는 저에너지를 사용하는 공정 기술
		2. 저오염 생산 공정 기술	-기존 공정보다 부산물 및 폐기물 발생이 적은 공정기술 개발 -미생물 전환공정, 촉매사용 수율증대, ionic liquid 사용 공정 등
		3. 공정단축기술	-반응중류 공정 등 단위 공정 감소 기술
		4. 장치 최소화 기술	-장치 효율 증대에 의한 부산물 감소 등
	공정 및 생산관리	1. 조업조건 개선기술	-유량, 온도, 압력 변경 등의 개선 기술
		2. 공정최적화 기술	-공정 자동화에 의한 최적화
		3. 원부재료 관리기술	-원부재료 관리, 물류 시스템 등
		4. 부산물 흐름 관리기술	-부산물 재활용 증대를 위한 라인 분리 등
	원부재료 대체	1. 유해물질 사용 제거	-플라즈마 세정, 초임계 유체 세정, 극저온 CO <sub>2</sub> 세정, 드라이아이스 세정, 기계세정 등
		2. 유해물질 대체(X-free)	-납, 수은, 카드뮴 등 중금속 대체 -저독성 원부재료 사용
		3. 고순도 원료사용	-정제 원료 사용 오염물질 발생을 최소화하는 기술개발.

자원순환 효율증대 기술	제품설계	1. LCA, DfE 등 설계기술	-제품설계 기법의 개발 및 시범적용 기술
		2. 재활용-용이 제품 설계	-설계기법을 이용한 재활용-용이 제품개발
		3. 포장재 재활용 설계	-재활용 또는 불필요한 포장 제거기술 등
	제품제조	1. 분해성 제품	-생분해, 광분해 제품 등
		2. 장수명 제품	-최적수명 제품 포함
		3. 자원효율 제고 제품	-저에너지 사용제품, 경량제품, 소형화제품 등 (청정생산물류와 연계됨)
		5. 환경성 개선 제품	-기존제품보다 환경성이 우수한 제품
	그린물류	1. 물류시스템 설계	-자원절약, 재사용, 재활용을 촉진하기 위한 환경친화적인 물류시스템 설계
		2. RFID 응용 물류관리	-자원의 순환 효율 극대화를 위한 부품 및 제품의 수명주기 예측시스템 구축 등
	역물류 (Reverse Logistics)	1. 포장용기 표준화	-역물류관리 효율 제고 및 활성화
		2. 역물류 기반조성	-효율적 역물류 관리를 위한 기반조성
	재제조 (Remanufacturing)	1. 재제조 기술개발	-사용제품(부품)을 분해, 세척, 잔류수명예측, 재조립 등에 의한 신제품과 대등한 제품개발
		2. 재제조 기반조성	-재제조 평가기반 기술 등
물질재활용 (Recycle)	1. 제품 및 부품 재활용	-부산물 고부가가치 제품생산에 재이용하는 기술개발	
	2. 화학물질 재활용	-액상 및 기상 화학물질의 포집, 분류, 재활용	
재이용(Reuse)	1. 재이용	-같은 용도로 재이용하는 기술(재제조 제외)	
에너지 회수 (Recovery)	1. 소각 열회수 기술	-소각과 열회수를 동시에 수반하는 기술	
	2. 폐열 회수기술	-폐열 회수 재이용	
청정처리	1. 청정처리기술	-부산물이나 폐기물을 무해하게 처리	
기업간 네트워크 구축기술	생태산업 네트워크 구축	1. 자원네트워크 구축	-부산물, 폐기물, 용수 등의 자원순환 네트워크 구축 -Waterpinch 기법 등 적용
		2. 에너지네트워크 구축	-폐열 순환이용 네트워크 구축
	대·중소 그린파트너십 구축	1. 그린파트너십 구축	-대기업이 보유한 청정생산기술 및 환경경영 기법 등을 중소기업에 보급
지식기반 서비스기술	제품서비스	1. 제품관리 서비스	-제품의 재고 및 수명관리, 사용제품 회수·재활용 등 제품 사용 소과정에 대한 서비스 제공
		1. 청정생산기술서비스	-생산공정의 오염물질 발생을 사전에 저감하는 청정생산 기법 및 기술의 적용
	물류서비스	1. 물류관리기술서비스	-환경친화적 물류관리 기법 및 기술의 적용
	환경경영서비스	1. 환경경영서비스	-환경경영체제 구축을 위한 컨설팅 기법 및 기술의 적용. ISO14000의 모든 내용을 포함
	환경규제대응 서비스	1. 청정생산 인력양성 서비스	-청정생산 및 환경경영 컨설턴트 양성 등
		1. 유해물질 분석 서비스	-유해물질 시험분석 및 관련 실험
2. 분석 표준화			-분석방법 표준화
3. 대응 지원 및 문서서비스	-규제대응 자문 및 관련서류 작성 대행		

에서 회유금속을 회수·대체하는 기술 등이 해당된다. 청정기반기술의 적용은 개별기업 차원에서도 효과가 있지만 기업간 연계를 통해서 더욱 극대화할 수 있다. 산업단지 내 기업간 연계를 통한 오염발생을 저감하고 에너지 및 자원효율성을 제고하기 위한 생태산업단지(Eco-Industrial Park) 구축사업, 대기업과 협력업체간의 공급망(Supply chain)을 활용하여 상생협력 체제를 구축하는 대·중소기업 그린파트너십 구축사업 등이 여기에 해당된다. 마지막으로 제품 및 공정에 관한 서비스 기술이다. 이러한 소프트웨어적인 기술은 앞의 하드웨어적인 기술을 적용하는 기반기술로서 앞으로 시장확대 가능성이 매우 높은 분야라고 할 수 있다.

### 3.4. 청정기반기술 주요 지원분야

다음에 3.3에서 열거한 기술 중 현재 또는 앞으로 지원할 주요 분야에 대해 알아보기로 한다.

#### 3.4.1. 국제환경규제 선도

EU를 중심으로 선진국들은 자국민의 건강과 환경보호를 명분으로 각종 환경규제를 양산해 내고 있다. 규제의 주 대상은 전기·전자, 자동차, 화학 등 우리나라의 주요 수출품목이다. 문제는 유사한 규제가 여러 국가에서 동시 다발적으로 시행된다는 것이다. 2006년 7월에 시행된 EU의 RoHS(특정 유해화학물질 사용 제한 지침)와 매우 유사한 법률이 일본(2006년 7월), 중국(2007년 3월)에서 잇따라

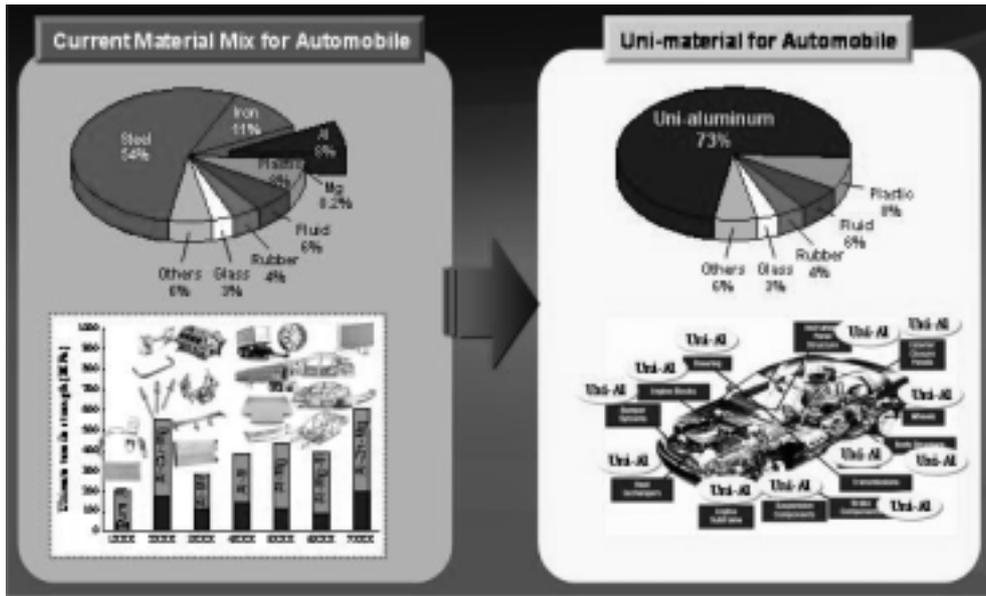


Fig. 7. 유니알루미늄 소재개발을 통한 국제표준화 가능 사례.

시행되는 등 관련산업에 미치는 영향이 매우 크다고 할 수 있다.

지식경제부에서는 1995년부터 국제환경규제 대응 기술개발 및 기반조성을 위한 사업에 2008년까지 총 994억원을 지원하였으며, 2009년에도 약100억원을 지원할 예정이다. 앞으로의 지원방향은 지금까지의 수동적 대응차원에서 벗어나 선제적인 대응체제로 전환하는 것이다. 우리나라 기업이 보유하고 있는 우수한 기술을 바탕으로 표준을 만들고 이를 바탕으로 국제환경규제를 선도하는 것이다. 우수한 기술을 발굴 또는 개발하여 국제표준, 국가표준, 단체표준 등 활용 가능한 표준절차를 최대한 활용할 필요가 있다.

유니알루미늄(Uni-aluminum) 부품을 사용한 자동차가 한 예이다. 자동차에는 여러 종류의 알루미늄합금이 사용되고 있다. 이들 합금은 폐차 단계에서 별도로 회수되지 못하고 섞이는데 이 경우 다른 용도로 재활용할 수 없게 된다. 2009년 청정기반 전략기술사업에서 수행하고 있는 ‘유니 알루미늄 소재개발’은 이러한 문제점을 해결할 수 있는 새로운 기술이다. 알루미늄 합금의 조성은 같지만 제조공정 과정에서 부품별로 필요한 성능을 모두 갖출 수 있는 세계 최초의 기술이다. 이 기술이 개발되면 자동차 제조시 유니알루미늄을 사용하도록 표준화와 법제화를 추진하여 세계 기술시장을 선점할 수 있을 것으로 예상된다.

3.4.2. 제품서비스

‘환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률(환친법)\* 제2조에 ‘제품서비스란 제품의 사용으로 발생하는 환경오염을 줄이고, 제품의 이용 효율성을 높이기 위하여 제품의 품질·기능 등을 서비스 형태로 제공하는 것’으로

정의되어있다. 지금까지 제품을 판매하던 방식에서 제품이 갖는 기능을 판매하는 것으로 이해하면 된다.

일본 마스시다(松下)그룹의 ‘불빛안심서비스’ 예를 들어 보자. 일본 산업계에서는 연간 1.6억 개의 형광등이 배출되는데 적정 처리되고 있는 형광등이 10%에 불과하여 적정처리의 필요성이 증대되었다. 이에 마스시다 그룹은 형광등 판매에서 「불빛」이라고 하는 편익을 제공하는 서비스 회사로 전환하였다. 그리고 백화점, 공장 등 형광등을 다량 사용하는 회사의 월별 사용현황을 파악하여 이를 근거로 정액제 지불 계약을 맺었다. 실제로 2002년 4월 수도권에서 시작하여 전국으로 확산되어 2004년 12월 기준으로 계약고객이 250개 법인의 600개 사업소에 이를 정도로 성장하였다. 이를 통해 소비자는 불빛을 서비스 받으면서 형광등 관리나 폐기에 소요되는 비용을 절감하고, 공급자는 새로운 서비스 시장 진출을 통한 이익을 창출하였다.

화학물질관리 서비스(CMS ; Chemical Management Service) 사업도 환경적으로 매우 유용한 사업모델이 되고 있다. 일반적으로 화학물질 공급자의 이익은 판매하는 양에 비례한다. 화학물질을 많이 팔수록 더 많은 이익을 얻는 방식이다. 반면에 CMS에서 공급자는 화학물질 관리서비스 제공자가 되며 화학물질을 성공적으로 제공하고 관리한 서비스에 대해 비용을 지급받는다. 따라서 서비스 제

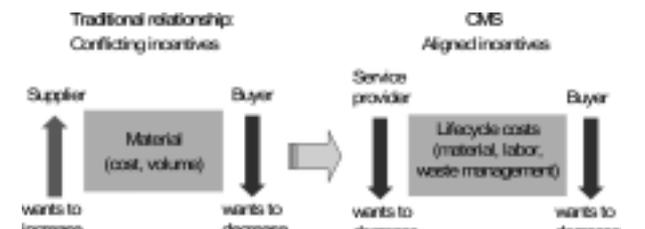


Fig. 8. 화학물질 관리서비스 도입에 따른 공급자와 소비자의 관계변화.

\* ‘녹색산업구조로의 전환촉진에 관한 법률’로 법령이 변경될 예정임.

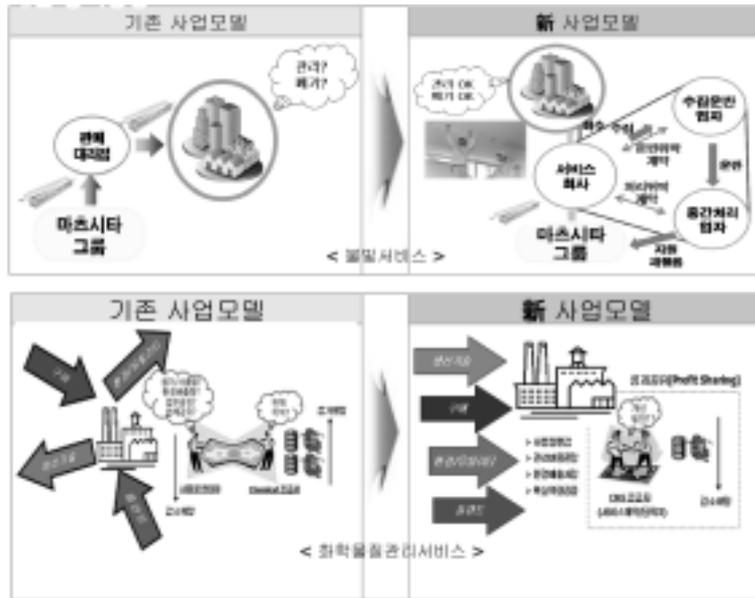


Fig. 9. 제품서비스 신사업 사례.

공자의 이익은 화학물질을 많이 판매하여 얻는 것이 아니라, 얼마나 좋은 서비스를 제공하는가에 달려 있다. 그리고 공급자와 소비자는 화학물질 사용량 감소, 비용 절감, 폐기물 절감 등을 통해 공정의 이익을 얻게 된다.<sup>6)</sup>

CMS에 대한 예를 들어보자. 자동차 생산업자가 도색해야 할 자동차문이 100개로, 각 자동차문을 도색하는데 대략 4 L의 페인트가 필요하다. 이 경우 재고로 남는 것이 없고, 불량발생과 낭비가 없다고 가정한다면, 소비자는 400 L의 페인트를 구매해야 한다. 만약 페인트의 가격이 1 L 당 1불인 것을 공급자가 1.25불에 공급한다면 소비자는 페인트 대금으로 500불을 지불한다. 이 밖에도 페인트를 관리하고 도색하는 동안에 보관, 공장 내 운반, 세정 장비, 화학물질의 수집과 폐기와 같은 드러나지 않는 많은 간접비용도 동시에 발생하게 된다.

이 경우 공급자는 100불의 이익을 보게 된다. CMS를 도입하면, 공급자는 명세서에 나와 있는 대로 도색된 자동차 문을 제공한다. 만약 기준에 따라 도색된 문 한 짝에 4 불이 들고 5불을 받았다면 공급자 이익은 여전히 100불이지만, 화학물질 사용량 절감에 따른 인센티브는 제외되어 있다. 즉 공급자는 페인트 사용량을 줄여서 더 많은 이익을 얻으려고 할 것이다. 공급자가 페인트 도색 효율을 높여 자동차문에 대한 필요한 페인트 총량의 25%를 줄인다면, 자동차문 하나에 3 L의 페인트만 사용할 것이고 도색 비용을 3불로 줄일 수 있다. 따라서 공급자의 이익은 화학물질만 공급할 때의 두 배인 200불이 된다. 소비자도 화학물질 관리비용을 절감하게 되므로 서로 이득을 볼 수 있다.

2008년에는 제품서비스 사업화 모델개발 및 CMS 확산을 위해 8억원을 지원하였으며, 2009년에는 9억원을 지원할 예정이다.

3.4.3. 대·중소기업 그린파트너십 구축사업

대기업과 중소기업간의 공급망(Supply chain)을 활용하여 모기업이 그린구매지침을 수립하고 협력업체에 대한 공정 진단지도, 청정생산기술 노하우 이전 등을 통해 협력업체의 환경경영체제 확립을 지원하는 사업이다. 이를 통해 모기업은 양질의 환경친화적인 부품을 공급받고, 협력업체는 모기업의 그린구매에 적극 대응해 장기적이고 안정적인 거래관계를 구축할 수 있다.

2003년부터 추진해온 그린파트너십 성과가 2단계에 접어들면서 모기업에서 1차 협력업체를 넘어 2, 3차 협력업체로 범위가 확대되어 추진되고 있다. 2007년부터는 4개 협회를 중심으로 21개 대기업이 참여하는 수평적 확산이 이루어지면서 자동차, 전기, 전자 업종 외에도 화장품이나 유통분야까지 산업의 전분야로 확대되고 있다. 앞으로 수직적·수평적 확산을 통해 2010년까지 모기업 30개, 1차 협력사 450개, 2·3차 협력사를 1,000개까지 늘어날 전망이다. 최근 기후변화 대응과 연계하여 온실가스 배출 감축을 위한 산업별 저탄소 그린파트너십 네트워크 구축 및 화학산업과 타산업간의 파트너십 구축을 통한 REACH (新 화학물질관리제도) 대응 등 다양한 협력 프로그램을 추진하여 대중소기업의 동반성장을 가속화하고 있다. 그린파트너십 사업에 2008년에는 25억원이 지원되었으며, 2009년에도 약 25억원이 지원될 예정이다.

3.4.4. 재제조(Remanufacturing) 기술개발

재제조(再製造)는 사용後 제품 혹은 부품을 해체하여 세척하고 성능을 점검한 후 일정한 기준을 넘는 부품을 다시 조합해 신제품과 유사한 성능을 갖는 상품을 제조하는 것이다. 재제조는 재활용에 비해 제품에 이르는 과정이 효율적이고, 재사용에 비해 제품의 성능이 월등이 높으며, 사용한 제품의 효율적 순환이용이라는 측면에서 매우 중요한 산업이다.

재제조 자원절감 효과는 신제품 제조와 비교할 때 더욱 돋보인다. 대표적인 재제조 제품인 자동차 부품의 경우 신제품에 비해 가격은 50~70% 저렴하지만 품질은 신제품과 거의 유사하다. 에너지 및 자원절감 측면에서는 오히려 신제품 대비 75~90% 정도의 절감효과가 있는 것으로 확인되었다.

현재 환чин법에는 재제조 산업 육성을 위한 추진근거도 마련되어 있다. 자동차부품, 전기·전자제품 등을 재제조 대상 품목으로 품질인증을 실시하며, 인증 제품에 대해서는 공공기관이 우선 구매하도록 하는 것 등이 주요 내용이다. 재제조 기술개발 및 기반조성에 2008년에 21억원이 지원되었으며, 2009년에는 약 20억원이 지원될 예정이다.

3.4.5. 생태산업단지(Eco-industrial Park) 구축

자연생태계에서 한 생물에 의해 발생하는 부산물은 연쇄적으로 다른 생물의 먹이가 되어 생태계가 유지된다. 생태산업단지는 이와 같이 기업간 연계를 통해 청정생산의 효과를 극대화한 것이라고 할 수 있다. 실제로 생태산업단지 구축은 용수나 부산물 교환망 같은 하드웨어적인 연계가 있는 반면, 환경경영체제 구축 같은 소프트웨어적인 연계가 함께 이루어지는 그야말로 유기적인 연계가 수반된다.

생태산업단지는 기업과 기업의 생태학적 연결을 통해 물질 및 에너지의 사용과 오염물 발생을 최소화하는 유기적 관계로 구성된 산업단지이다. 여기에 참여하는 기업은 단독으로 청정생산을 도입하는 것보다 몇 배의 생산성 향상을 얻을 수 있으며, 국가측면에서는 기업에 대한 개별지원보다 많은 성과를 거둘 수 있다. 또한, 생태산업단지 구축을 통해 단지는 물론 기업과 지역사회, 종업원과 주민이 융화되는 형태로 발전할 수 있다는 것이 해외 사례를 통해 입증되고 있다.

기존 산업단지는 원료와 제품위주로 연계되는데 비해 생태산업단지는 기존 산업단지에서 고려하지 않은 부산물이나 폐기물의 연계를 통해 Network이 구성되는 점이 가장 큰 차이점이라고 할 수 있다.

정부 차원의 생태산업단지 구축은 2002년에 생태산업단지 구축을 위한 종합계획을 수립하면서 시작되었으며, 이를 토대로 2005년부터 2019년까지 3단계에 걸쳐 한국형 생태산업단지 구축사업이 추진된다. 현재 미포·온산, 여수, 포항, 시화·반월, 청주 등 5개 산업단지에서 1단계 시범사업이 진행 중이다. 이미 많은 성과도 나타나고 있다. 2007년에만 신·재생에너지 2개 분야, 부산물 재활용 2개 분야에서 연간 약 137억원의 경제적 효과와 CO<sub>2</sub> 2만여톤, SO<sub>2</sub> 140여톤 저감 등 환경적 효과가 발생하였다. 금년에는 총 55억원이 지원될 예정이다.

3.4.6. 금속자원 및 희유금속 회수·저감·대체기술개발

중국의 경제성장으로 촉발된 자원전쟁으로 인하여 세계 광물시장이 크게 요동쳐 왔으며 앞으로도 이러한 추세는 지속될 전망이다. 이에 따라 전기·전자제품 등에 포함된

유가금속을 회수, 정제, 재이용하는 산업이 소위 도시광산업(Urban mining)으로 부각되고 있다. 이러한 자원의 순환은 자원의 수명이 다하지 않은 상태, 즉 특정용도로 사용되는 과정에 있기 때문에 지식경제부의 핵심과제로 추진되고 있다. 특히 금속의 비타민으로 불리는 희유금속(Rare metal)의 경우 부존량이 적으면서 일부국가에 편중되어 있어 앞으로도 시장에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되어 2008년부터 전기·전자제품에 사용되는 인듐의 사용량 저감기술과 촉매에 사용되는 백금을 대체할 수 있는 소재개발을 위한 사업을 추진 중에 있다. 사업비는 2008년 34억원, 2009년에 43억원을 지원할 예정이다.

3.4.7. Non-CO<sub>2</sub> 지구온난화 물질(HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>) 회수, 재이용, 대체물질 개발

제품 제조과정에서 사용되는 3개 지구온난화물질(HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>)은 사용량은 많지 않지만 지구온난화지수가 매우 커서 이들 물질에 대한 회수, 재이용, 대체물질 개발을 중점적으로 지원하고 있다. 2003년 기준으로 HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub> 등 3개 지구온난화 물질 배출량은 7,000톤으로 우리나라 CO<sub>2</sub> 배출량 5.1억톤의 0.01%에 불과하나, 지구온난화지수를 감안할 경우에는 2,800만 CO<sub>2</sub>톤으로 4,000배가 증가하게 된다.

3개 지구온난화물질 회수, 재이용, 대체를 위한 기획연구는 1999년에 실시하여 그 결과에 따라 기술개발을 추진해 왔으며, 그 동안의 기술개발 결과를 반영하기 위해 2008년 12월부터 추가적인 기획연구를 진행하고 있다. 2008년에는 SF<sub>6</sub> 대체물질 개발을 중점으로 모두 11억원을 지원하였으며, 2009년에는 13억원을 지원할 예정이다.

3.4.8. 자연모사(Biomimicry)제품 개발

자연의 현상을 모사하여 제품을 개발함으로써 환경친화적이고 기능이 우수한 제품을 만드는 기술개발도 중점추진 분야의 하나다. 2007년도에 기획연구를 수행하고, 이를 토대로 2008년에는 ‘자연모사 초발수 표면가공기술개발’에 10억원을 지원하였으며, 금년에도 10억원을 지원할 예정이다. 앞으로 자연모사나 생체모사를 산업적으로 응용할 수 있는 분야를 더 많이 발굴하여 집중 지원할 예정이다.

4. 결론

앞으로 청정기반기술의 기본 방향은 산업생태학(Industrial Ecology) 측면에서 제품설계, 제조, 순환이 되어야 한다는 것이다. 현실적으로는 기술의 한계나 경제성이 떨어지는 등의 이유로 산업생태학적 생산방식을 달성하는 것은 어렵다. 그러나 산업생태학은 보다 선순환적인 생산을 하는데 중요한 지침을 제공하고 있다. 그것은 청정생산에서 정의한 환경경제효율(Eco-efficiency)을 극대화함과 동시에 생산 소과정에서의 효율증대, 즉 환경경제효과(Eco-effectiveness)를 고려해야 한다는 것이다.

글로벌 국제환경규제 대응을 위해서도 청정기반기술이 필수적이다. 신기술 개발이나 신제품 생산을 통해 국제 경쟁력을 배가하기 위해서는 선진국의 환경규제에 선제적으로 대응해야 한다. 획기적인 발상의 전환(Eco-innovation)으로 환경친화적이면서 경제적인 E2 (Ecological and economical) 제품을 만드는 노력이 무엇보다도 중요하다. EU에서는 통합제품정책(IPP; Integrated Product Policy)을 통해 제품개발 초기단계부터 생산과 소비 그리고 재자원화 단계에 이르기까지 순과정에 환경유해요소가 있는지 파악하고 이를 규제화하는 작업을 지속적으로 추진하고 있다. 이에 대응하기 위해 생산공정에서 청정기반기술을 도입함은 물론 환경경영체제와 같은 관리 측면의 지원도 필요하다. 그리고 공급망에 속해 있는 중소기업들의 친환경 생산체제 구축, 제품생산과 서비스를 통합하는 Product-to-service 시스템의 구축 등 산업전반의 혁신이 필요하다.

또한 앞으로의 청정생산은 기본적으로 개별 기업의 단위기술 개발보다는 산업단지별 또는 다수 기업들이 모여 있는 지역별로 기업간 부산물 교환사용, 용수 재이용 등

을 통한 통합 네트워크를 구축하여 시너지를 극대화하는 방향으로 전환되어야 한다. 이것이 바로 산업생태학을 산업에 구현한 것이라고 할 수 있다.

21세기 국가경쟁력 확보는 자원·에너지·환경문제 해결에 달려있다고 해도 과언이 아니다. 자원·에너지·환경 보전과 경제발전의 상생(相生) 전략, 즉 녹색산업구조로 전환하기 위한 최선의 대안이 바로 청정기반기술이다.

## 참고문헌

1. 녹색성장기본법 입법예고안(2009).
2. 대한민국정책포털([www.korea.kr](http://www.korea.kr)).
3. Waste online : Metal aluminum and steal recycling.
4. 산업자원부, 2015 산업환경 발전전략(2005).
5. 산업자원부, 전자제품의 기능과 환경성 정보에 대한 소비자 설문조사(2006).
6. Chemical Strategies Partnership. [www.chemicalstrategies.org](http://www.chemicalstrategies.org)