CLEAN TECHNOLOGY, JUNE, 1997, 3(1) pp 9-26

국내 미래청정기술 개발을 위한 전략

김 영 대, 심 상 준, 이 중 기, 최 광 진, 박 태 진, 조 영 상
한국과학기술연구원 청정기술연구센터

Strategy for the Development of Innovative Clean Technology in Korea

Young Dae Kim, Sang Jun Sim, Joong Ki Lee,
Guang Jin Choi, Tae-Jin Park, and Young Sang Cho
Korea Institute of Science Technology
P.O. BOX 131, Cheongryang, Seoul 130-650. Korea

요 약

공해 유발형 산업기술/제품의 폐기 요구 점증, 배출된 오염 물질 제거를 위한 후처리기술(EOP 기술) 활용의 한계, Green Round에 의한 국제 무역 규제 및 환경 부담금 문제 가시화(PPMs 규제) 및 지속가능한 환경조화형 산업기술 확보(Sustainable Development)요구 등에 능동적 대처를 위해 산업활동에서의 환경오염 발생을 원천 억제 또는 제거하는 미래형 청정기술개발에 대한 요구가 급증하고 있다. 미래청정기술은 산업활동에서의 환경오염 발생을 원천 억제 또는 제거하는 미래형 환경오염 방지 기술로 정의될 수 있다. 선진국에 비해 청정기술 개발이 늦은 국내 현실에서 청정기술의 예속화를 피하고 기술 자립을 위해서는 원천 기술의 확보가 필수 불가결하며, 이의 달성을 위한 효과적인 청정기술의 개발 전략이 요구된다. 현재 국내·외에서 진행 중인 연구개발 프로그램을 비교 분석하고, 원천 기술인 미래형 청정기술의 성격을 규명한 뒤 효과적인 연구 수행을 위한 전략을 소개한다.

Abstract : The recent movement toward the better environment urges the shift of pollution prevention strategy from traditional "command/control" and "end-of-pipe" technologies to clean technologies. Development of Clean Technology, which makes products without creating pollutions, is a way to solve Environmental Problems fundamentally. The main objective of this study is to define the long-term strategy to develope "Innovative Clean Technology". "Innovative Clean Technology" is an active way of solving the environmental problems arising from industrial activities. It aims to find ways either to make products without creating pollution, to produce environmentally benign end-products, or else to recover and re-use the materials which have hitherto considered waste.

1. 청정기술의 발전 배경

전 지구적인 환경오염의 악화에 따라 이에 대응하는 인류의 생각과 기술도 진화, 발전하고 있다. 즉 오염물의 처리나 처분을 위주로 하는 오염의 사후처리와 이를 뒷받침하는 후처리 기술(End-of-pipe technology) 위주의 오염물 처리방법에서, 오염의 사전 예방을 목표로 원천적으로 오염물발생을 차단하는 기술인 청정 기술(Clean technology)로 패러다임의 전환이 이루어지고 있음은 주지의 사실

이다. 부언하면 오염원/오염자 관리 (Source management)에서 피오염체 관리 (Receptor management)로 환경관리의 패러다임이 전환되고 있는 것이 세계적인 추세이다.

1980년대 말에야 청정 기술의 개념이 도입되기 시작한 우리 나라로서는 환경청이 환경처가 되었고, 최근 들어 다시 환경부로 승격되는 추세처럼 환경 행정 및 관리, 환경 과학·기술 연구개발의 고도 성장기를 맞고 있다. 학계에서도 클린텍연구회/환경오염사전예방연구회를 거쳐 1995년 한국청정기술학회의 탄생을 보게 되었고, 이들 연구회 및 학회를 중심으로 여러 분야에 걸친 연구활동과 더불어 청정기술 사례집, Clean Technology등의 학회지가 간행되고 있다. 그러나 이 모든 청정기술의 조사 및 개발 노력은 매우 단기적이며 외국의 기술의 도입 적용을 위주로 이루어지고 있기 때문에 보다 한국 실정에 맞는 장기적 안목에서의 미래 청정기술에 대한 연구 방향 설정과 연구개발 노력은 심히 미흡한 실정이다.

1.1 환경기술 및 청정기술의 발전

18세기 영국에서 시작된 산업혁명이후 급속히 발전을 거듭해온 과학기술은 인류생활의 풍족함과 고도화를 이룩하는데 가장 중요한 역할을 수행하여 왔다. 그러나 19세기 후반에 들어오면서 인지되기 시작한 환경오염문제의 심각성은 1970년 미국에서 EPA (Environmental Pollution Protection)의 설치를 강요하였고 이어서 유럽, 일본, 아시아의 여러 나라에서도 환경관련 부처의 설립을 보았으며, 이제 환경문제는 여러 가지의 국제적인 협업을 필요로 하기에 이르렀다.

1972년 Stockholm에서 UN의 주최로 열린 "인류환경"회의는 이러한 국제적 협업의 시초라고 평가된다. 여기에서 토의된 인구, 양식, 여성권리, 과학기술 등의 문제는 제 3세계에서도 주요한 국제적 안건으로 등장하기에 이르렀으며, 1992년 Rio de Janeiro에서 개최된 "Earth Summit"에는 182개의 국가에서 수뇌만도 102명이 참가하는 등 규모적으로는 지금까지 가장 커다란 국제환경회의로 기록되었다. 주요 안건으로는 전 지구적인 문제인 지구 온난화, 삼림보호, 해양오염, 인구조절 등이 활발하게 토의되었다. 그러나 당초 커다란 기대와는 달리 각 국가간의 정치·경제적 이해관계와 산업발전 정도에 따른 입장의 차이에 의해서 지구적 환경문제의 해결방안의 구체적인 모색에는 한계가 있었다고 평가된다. 1994년 UN주재로 Cairo에서 열렸던 "Population & Development" 국제회의도 같은 이유로 커다란 성공을 거두지는 못하였다.

그러나 이러한 국제회의의 성과가 미흡했음에도 불구하고 지구 온난화, 오존층 파괴, 산성비등과 같은 인간의 생존을 단기적으로 위협하는 문제들을 해결하기 위한 국제적인 규제제도의 설치를 위한 여러 형태의 국제협약 등에서는 약간의 성공도 가시화 되고 있다. 예를 들면, 지구 온난화 및 오존층 파괴의 주요 원인이라고 알려져 있는 CFC의 소비를 1986년 이전 수준의 50% 까지 줄이기로 한 Montreal 의정서가 1987년 협약되었으며 1996. 1. 1부터는 선진국에서 생산 또는 사용되는 유해폐기물의 국가간 이동을 금하는 바젤협약이 1989년에 체결되기에 이르렀다. 또한 환경규격에 관한 국제 인증제도로서 ISO-14000이 1993년 채택됨으로써 환경문제가 향후 국제무역에 상당한 장벽으로 발전할 가능성이 매우 높아졌다.

1.2 환경 패러다임의 변천 및 발전

1970년대까지의 환경관리는 생성된 오염물질을 대상으로 한 후처리 기술(end-of-pipe technology) 중심이었으나, 1980년대에 들어서면서 자연의 수용능력을 감안하여 오염물질의 절대 생성량을 줄이기 위한 청정기술(clean-technology) 개념이 도입되었다. 인구 증가, 사회발전과 함께 오염의 다양화, 광역화가 꾸준히 진행됨에 따라 1990년대에는 지금까지의 오염원(source) 위주의 관리에서 피오염체(receptor) 관리의 필요성이 대두되며 환경복원 및 생태계 보전 기술이 부각되었다.

다시 말해 환경관리에 관한 의식의 변화와 함께 환경관리의 대상이 확대되면서 "자연과 인간의 연대를 회복하여 쾌적하고 안전한 환경 속에서 높은 삶의 질을 누릴 수 있는" 환경공동체 의식이 태동되었으며 이를 성취하기 위한 신제품 및 신 공정의 필요 등이 강하게 부각되기 시작하였다.

최근 UN에서는 여러 산하기구(UNEP, IEO, ECE 등)를 통하여 청정기술의 보급 및 확산을 위하여 크게 노력하고 있다. 1989년 5월에는 프랑스 파리에 본부를 둔 IEO를 청정생산계획의 주관기관으로 선정하였으며 이 기관에서 청정생산을 독려하기 위한 프로

그램으로는 청정기술 관련 정보의 발간사업, 훈련 및 기술지원사업, ICPIC (International Cleaner Production Information Clearinghouse) 지원사업 및 실무 위원회 활동 등 4대 기본사업을 수행하였다.

1990년 9월에는 영국 Canterbury 에서 "Seminar on the Promotion of Cleaner Production"이 열려 각국의 청정기술 보급 활동이 소개되었고 정보 network 의 구성이 토의되었다. UNCED 의 Agenda 21 에도 포함된 청정기술의 보급 촉진을 위하여 1992년 10월 27일에는 불란서 파리에서 각료급 회의가 개최되었으며 연이어 28-29일에는 Canterbury에 이은 제 2차 Senior Level Seminar 가 열렸다. 두번째 세미나에서는 개발도상국에서의 청정기술 보급에 관한 문제가 크게 다루어진 것이 특징이다.

청정생산계획의 제6주년이 되는 1994년 10월에는 폴란드 바르샤바에서 제3차 High Level Advisory Seminar on Cleaner Production 이 열렸다. 이 회의에서는 UNEP 의 청정생산 계획에 대해 다음 사항이 강조되었다;

(1) LCA, Total Cost Assessment and Audits 같은 과제를 계속 추진, 완료한다.

(2) ICPIC 개선사업으로 1995년 말까지 diskette version을 완성하고 Internet와 연결시킨다.

(3) 중국, 인도, 아프리카, 동구 등지의 시범사업의 결과 및 교훈을 보급한다.

(4) UNDOO/UNEP NCPC의 활용을 극대화한다.

(5) UNEP Working Groups 을 활성화한다.

환경문제에 대한 비정부 기구의 가장 두드러진 활동은 녹색당(Green Party)에서 볼 수 있으며, 청정기술분야만을 떼어놓고 볼 때 1987년에 발족한 국제청정기술협회 (IACT: International Association of Clean Technology)를 들 수 있다. 국제청정기술협회는 비엔나에 본부를 두고 있으며, 에너지 생산을 포함한 모든 산업공정의 저오염 청정기술의 연구개발과 환경 및 에너지자원의 합리적 활용기술을 개발하는 것을 그 설립이념으로 하고 있다. 이 협회는 러시아, 중국, 가이아나, 체코, 포르투갈, 유고슬라비아, 헝가리, 오스트리아 등에 네트워크 센터를 두고 있으며 설립이념에 따르는 자유로운 활동을 보장받기 위하여 비영리조직 및 비정부기관으로부터의 참가만을 인정하고 있다.

네덜란드의 National Environmental Center 나 스위스의 IEB(International Environmental Bureau) 등은 정부 혹은 공공기관의 재정적 보조 하에 청정기술의 국제적 보급을 위해 전문가들의 자문 및 정보교류 업무를 수행하고 있으며, 1989년에 설립된 미국의 AIPP (American Institute of Pollution Prevention)도 유사한 활동을 전개하고 있는 대표적 Non-Government Organization 이다.

우리 나라 통상산업부는 위와 같은 청정기술개발 보급의 문제점을 인식하고 1995년 "환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률"을 제정하였다. 법률의 내용을 간략히 도시화하면 Fig. 1과 같다. 이렇게 제정된 법률은 환경친화적 산업구조로의 전환을 촉진하기 위하여 다음과 같은 내용을 포함하고 있다.

가. 산업구조 전환 촉진을 위한 종합시책의 수립

1) 5년 단위의 종합시책을 수립, 고시

·산업 구조의 현황과 장기 발전 전망

·산업 구조 전환 촉진을 위한 목표 설정과 이의 달성을 위한 대책

·업종별 공정개선, 청정생산기술개발, 에너지 소비 절약 방안

·환경산업의 육성방안

·환경경영인증 제도 실시방안

2) 환경친화적인 산업 구조로의 전환촉진을 위한 기준을 제시

·환경친화도 : 오염물질 배출량을 기준으로 하여 환경부하 정도 측정

·에너지 소비 수준 : 에너지원단위를 기준하여 에너지 저소비형 구조로 전환 유도

·공업용수 사용수준 : 공업용수 절약공정 및 재활용증대

·자원 재활용율 : 원료조달 및 생산공정에서의 자원 절약, 후처리기술 개발에 의한 회수율 증진

·부가가치율 : 업종별 부가가치생산액의 변화추이

나. 구조전환 촉진을 위한 산업환경실천계획 수립, 추진

1) 업종별, 품목별 사업자 단체는 구조 전환을 효율적으로 추진하고 환경친화적 산업활동을 촉진하기 위하여 산업환경 실천계획(5년 단위)을 수립하여 추진

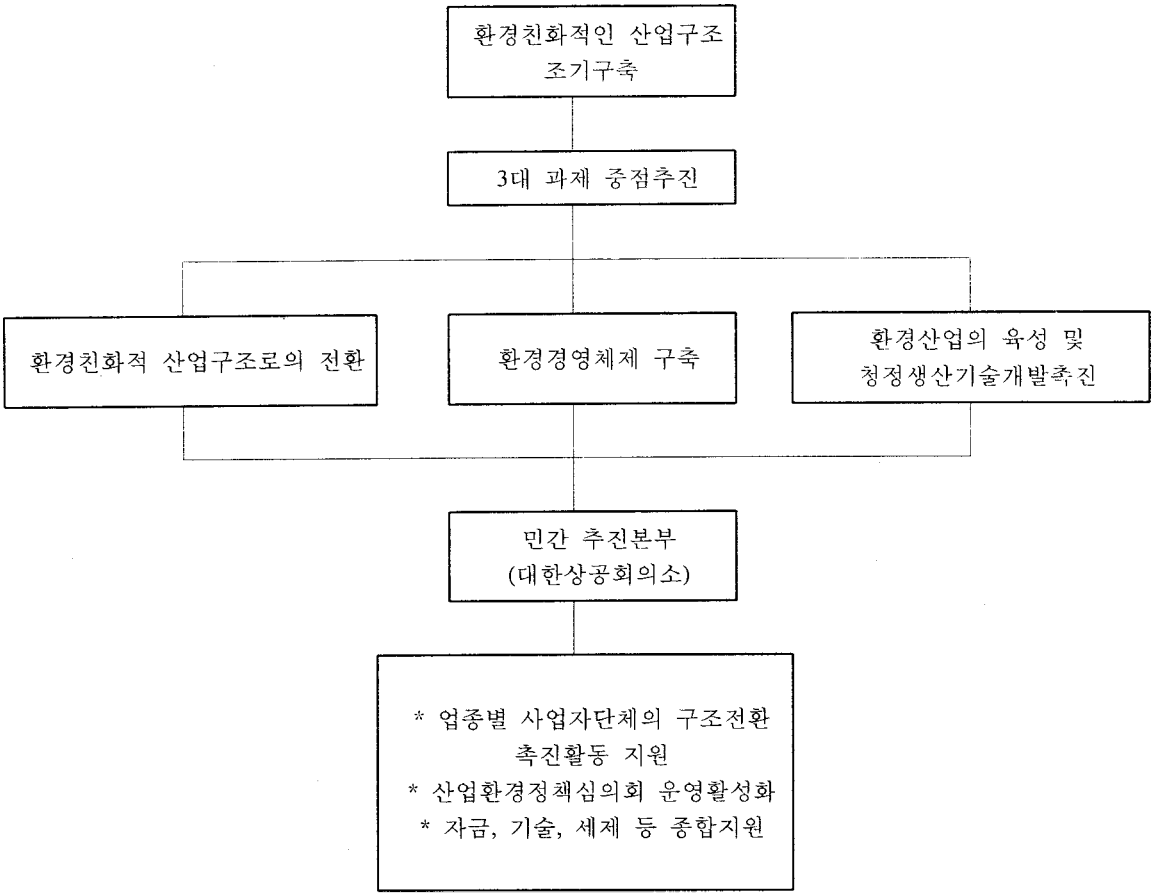

Figure 1. Illustration of the methods to develop an environment friendly industry structure.

·원료조달 단계에서의 환경부하를 감소시킬 수 있는 원료 및 연료조달 방안, 재생 자원 활용 제고방안

·생산공정에서의 에너지절약 및 온실가스 저감방안, 오염물질제거 및 감축방안, 부산물 유효이용방안, 용수 재이용 확대방안 등 생산공정 개선에 관한 사항

·폐기 단계에서의 폐기물 감량화, 자원재활용 확대방안

·환경친화적 제품개발 등 대체상품개발 계획

다. 환경산업육성

1) 환경산업육성대책 수립 시행

·환경설비 산업육성을 위한 설비기술개발지원, 품질인증제 실시

·설계, 감리 등 엔지니어링 부문에 대한 육성방안 수립

·공공분야의 환경설비공사에 대한 발주제도 개선 (콘소시움 형태 또는 건설공사와 분리 발주)

·환경컨설팅 등 신규분야에 대한 지원방안

2) 환경설비 공제사업 실시

·개발된 환경설비기술의 실용화에 따른 기업의 초기 위험부담을 줄이고 품질 및 하자보증을 위한 공제사업실시

라. 청정생산기술지원

1) 청정생산기술개발을 활성화하기 위해 공공연구기관 중 청정 생산기술 개발센타를 지정 운영하고 기술지원을 강화

2) 산업 및 에너지분야의 청정생산기술개발지원

·산/학/연 협동개발 활성화, 청정생산기술정보 보급확산, 개발기술의 실용화지원

3) 기술인력교육 및 기업에 대한 기술지도 확대

4) 선진국과의 청정기술교류 및 협력개발사업 지원

1.3 미래형 청정기술연구의 필요성

우리 나라는 1960년대 초에 시작된 제 1차 5개년 경제개발계획을 발판으로 하여 매우 급속도로 발전하여 지금은 세계 10대 무역국으로서의 위치를 확보할 수 있게 되었다. 우리 나라는 이제 일부 첨단분야를 제외하고는 많은 제조산업 분야에서 선진국과 어깨를 나란히 할 수 있는 위치를 고수할 수 있게 되었다. 그러나 현재의 국내 주요 산업구조를 자세히 분석하여 보면, 생산현장에서 사용되는 산업공정기술의 바탕이 선진국에서 20-30년 전에 개발되어 국내에 도입된 것들이다. 이들 대부분의 공통적인 특징은 기술이 경제성의 극대화를 목표로 하여 개발되었기 때문에 산업시설의 가동에 따른 환경오염물질의 배출에 관해서는 전혀 고려되지 않았다는 점이다. 이러한 특징으로 인하여 그 간 세계경제 호황을 맞이하여 급속도로 발전된 국내산업이 수십 년간의 누적된 오염물질을 대량으로 배출함으로서 오늘날의 심각해지고 있는 환경문제를 야기하기에 이른 것이다.

지금까지의 가정이나 산업체에서 유발되고 있는 대기오염, 폐수 및 폐기물은 각국에서 규정되어 있는 환경관련 법규나 법령에 의하여 규제 또는 처리시키는 end-of-pipe(EOP)방식에 의존하고 있는 실정이다. 그러나 점차 증가되는 공해물질의 배출량이 자연의 자정능력이나 산업처리시설의 수용규모를 더욱 앞질러 가는 추세에 있어서, 기존의 EOP에 의한 환경보호정책은 장기적인 안목에서의 지구환경문제를 더 이상 개선하기 어렵다. 또한 EOP처리에 의한 2차 오염 발생의 차단은 매우 어려우며 오염물질 처리에 관한 감시체계의 구축에도 어느 정도의 한계성을 가지고 있다.

청정기술은 "산업활동에서 발생하는 환경오염을 억제 또는 제거시키는 적극적인 개념의 환경오염 방지기술"로 정의될 수 있다. 그러므로 청정기술은 제품을 생산 또는 사용하는 과정에서 발생될 수 있는 오염물질을 최소화할 수 있는 설계, 생산, 처리, 재생기술 등을 함축하는 것이어서 자원사용의 극대화는 물론 오염물질의 후처리 비용을 크게 저감하게 할 수 있으므로해서 경제성의 극대화와도 직결될 수 있는 기술이다.

장차 국제무역은 Green Round의 출범에 의해 ISO-14000등 많은 국제환경규제에 영향을 받을 것으로 전망된다. 환경오염을 유발시키는 물질을 배출하는 산업체에 대하여 환경 부담금을 부과하고 나아가서는 국제무역을 제재하고자 하는 환경 인증 제도의 시행은 차후 세계 무역시장에서 생존권의 터전을 유지해야 하는 국내 산업의 장래와 직접적으로 연결되어 질 것이다. 또한 고도의 청정기술은 국제간의 기술경쟁에서도 핵심적인 부분이 될 것으로 예측된다. 그러므로 우리 나라가 기술선진국을 추구함에 있어서 청정기술의 자체개발에 의한 원천기술의 확보는 필수 불가결하게 될 것이다.

청정기술의 개발이 시급한 분야는 매우 다양하다. 따라서 지금까지 우리 나라의 여러 정부부처에서 주관하여온 청정기술의 개발사업은 거의 대부분 선진국의 개발된 기술을 국내에 시급히 도입하여 적용하는 방식으로 진행되고 있다. 이 결과 막대한 기술료를 지불하여야 하는 경제적인 문제뿐만 아니라 국내의 산업실정과 부합하고 꼭 필요한 요소핵심기술을 얻기는 매우 어려웠다. 환경오염문제를 근본적으로 해결하고 기술선진국으로서의 입지를 마련하기 위해서 기존의 해외선진기술 도입 등의 방식을 탈피하고 국내의 유수한 과학기술 연구인력을 활용하여 창조적이고 미래지향적인 청정원천기술의 개발사업을 추진하여야 할 것이다.

청정원천기술의 개발사업을 성공적으로 추진함으로서 우리 나라는 기술선진국으로의 발돋움할 수 있을 뿐 아니라 모든 국민의 삶의 질을 크게 향상시키고 나아가서 대대손손 후세에게 물려줄 국토를 청정하게 보존할 수 있을 것이다.

2. 청정기술의 국내·외 현황

2.1 국내의 현황

현재 국내의 청정기술은 개념 도입단계로서, 오염물질의 원천적인 발생시감, 저공해공정, 무공해 제품생산 등을 중심으로 한 청정생산기술개발은 착수단계에 불과하다. 청정기술이라는 용어는 90년대에 들어와 국내에 도입되어 아직까지도 많은 산업체에서 청정기술을 사후처리 기술과 혼동하고 있는 실정이다. 이에 따라 주로 대기업은 개발 초기단계에 있으나, 연구인력이 부족한 중소기업에서는 환경오염규제를 맞추는 데 급급하다. 또한, 국내환경관련 기술개발 총 투자액은 1992년 GNP 대비 0.005%로 1989년 OECD의 0.02%의 1/4 수준에 불과하여(1992년 정부지원: 한국 0.3억$, 독일 5.3억$, 일본 7억$, 미국

17.7억$), 매우 미미한 수준이다. 현재 국내 관련 청정기술 개발 현황은 Table 1과 같다.

가. 국내산업의 현황분석

우리 나라의 산업구조는 에너지를 많이 사용하고 환경오염유발이 큰 업종(화학, 석유화학, 철강, 비철금속, 제지 등)의 비중이 증가하고 있으며(90년도 33.1 % 에서 93년도에 36.9 %로 증가), 산업별 에너지 소비구조도 낭비적이며 청정생산기술개발 등을 통한 공정개선이 부진한 상태라고 판단된다.

환경문제를 극복하기 위해서는 생산공정개선 및 청정생산기술 개발 문제가 해결되어야 하나, 청정생산기술의 경우 UN 에서 개발도상국에 자금과 기술을 지원하고 있으나 우리 나라는 지원 대상에서 제외되어 자체 노력으로 개선해 나가야 하는 실정이다. 이에 따라, 국가적 차원에서의 지원이 없으면, 향후 생산공정에 대한 규제가 본격화될 경우 영세한 중소기업들이 경쟁력을 급속히 상실하게 될 것이 예상된다.

또한 국내에서의 환경 경영 인증 제도 실시를 위한 제도적인 장치가 미흡하다. 환경경영규격은 기업의 경영활동 뿐만이 아니라 제품의 생산에서부터 소비에까지 전 과정을 대상으로 하고 있기 때문에 체계적인 대응이 필요하다. 또한 국내기업이 국내에서도 환경인증 취득이 가능케 하여 기업의 무역환경을 개선하고 경쟁력을 확보해야한다.

1) 화학산업

화학산업 분야는 극히 광범위하여 유기화학, 무기화학분야 내에서도 수많은 화학제품을 제조하는 수많은 세부생산 공정들이 존재하여 환경오염물질의 종류 및 환경오염의 유발도가 매우 심각한 분야이다. 또한, 환경오염을 처리하는 정보들은 특정공정, 장비 또는 제품에 국한되어 있거나 경쟁업체간의 경쟁과 보안의 이유로 노출되기 어려운 특징을 갖고 있다. 이러한 이유로 해서 국내 화학산업에서의 환경기술 개발은 주로 제품을 생산하고 난 뒤 발생하는 환경오염물질의 사후처리기술 위주로 개발이 되어왔으며, 환경규제의 강화에 따른 사후처리 기술의 기술한계에 도달하고있어 처리비용이 증가하고 있어 기업환경에 커다란 부담이 되고 있다. 현재 국내에서는 에너지 절약 및 효율 향상을 위한 공정 개선은 꾸준히 추진해왔으나 여기에 환경오염물질저감 개념이 포함된 청정기술은 현재 도입단계에 머물러 있는 실정이다.

2) 석유화학

원유를 정류하여 생산/소비하는 과정에서 NO_x, SO_x, CO_2, 폐유, 분진 등의 환경오염물질이 발생한다. 이의 해결을 위해 에너지 절감형 장치의 도입, 고성능 촉매사용에 의한 최종처리물질 발생량 감소를 위한 기술, 유분 회수 및 재사용기술, 공정개선을 통한 환경친화형 공정시스템 기술 및 공정상의 환경오염물질의 유출을 근본적으로 차단할 수 있는 기술개발이 요구된다.

3) 비철금속

동, 아연, 연의 제련시 발생하는 각종 슬랙, 폐수처리 슬러지, 분진 등의 폐기물에 대한 매립, 고형화 등의 물리적인 처리방법이 한계점에 다다른 상태이다. 특히 공정 중 발생하는 폐산 처리를 위해 석회석, 소석화 처리에 의해 다량의 석고 슬러지가 발생하여 매립되고 있는 실정이며, 동 제련소에서 Sb, Te은 동정광중의 불순물로 유입되며 대부분 폐기물로 매립되거나 적치되어 있어, 활용 가능한 자원의 낭비 및 환경오염의 원인이 되고 있는 실정이다.

4) 섬유산업

국내의 섬유산업은 청정기술의 개발이 매우 미흡하여 산업활동에서 발생되고 있는 폐수를 포함한 폐기물은 대부분 처리 후 방류되는 수준으로 이어서 처리 비용의 가중으로 인한 산업 경쟁력이 지속적으로 약화되고 있는 실정이다. 섬유산업에서 발생되는 여러 가지 환경오염물질의 특징들은 폐기물을 일반적인 방법으로 처리하기가 곤란하며, 방출시 오염범위가 광범위하게 확산되며, 폐기물의 부피가 클 뿐만이 아니라 대부분이 유해 폐기물인 것이 특징이다. 또한 에너지 다소비 업종으로 인한 이산화탄소 발생과 코팅가공시 대기 중으로 비산되는 용제에 의한 대기오염이 심화되고 있는 실정이다.

5) 제지산업

제지산업에서의 주요 환경오염물질은 목재에서 용출된 리그닌 등에 기인하는 BOD, COD, 펄프, 고지의 처리, 초지의 각 공정에서 배출되는 폐수와 펄프용해, 표백, 종이의 건조과정에서 에너지 소비에 수반되는 NO_x, SO_x, CO_2, 폐진 등의 대기오염 물질

Table 1. The status of the clean technology developments in Korea

분야	사업명/사업내용	추진기관	비고
청정(생산)기술	환경공학기술개발사업(G7): 지구환경보전, 생태관리, 대기오염방지, 수질오염방지, 폐기물처리, 해양환경보전, 청정기술	환경부 주관, 과기처 통산부 참여	'92-2002 사업 총 8155억원 투자예정
	환경공학기술개발사업(G7)중 청정기술: 저 오염 무공해 공정기술: 유리, 도금, 유지 및 금속가공공정에서 발생되는 폐수, 폐촉매 및 폐오일 중 필요물질을 회수, 재이용하는 기술 개발	서울대 환경안전연구소	분리기술의 현장적용을 위한 기초연구로 청정생산보다는 사후처리적 성격이 강함
	환경공학기술개발사업(G7): 자동차 배출가스 저감기술: 디젤 및 CNG혼소 엔진의 배기가스저감을 위한 사후처리 장치개발	국립환경 연구원	청정기술 중 저공해배출 제품기술에 포함될 수 있으나 청정생산기술과 거리가 있음
	민간추진: 지금까지 14건 사례	기업	
청정에너지	청정에너지 개발사업	통산부	
	신 에너지 개발사업(G7)중 일부	통산부	
청정물질	신 의약/신농약사업(G7): 무공해 농약개발사업	과기처	
	신 기능성 생물 소재 사업(G7) 중: 분해성 고분자 및 계면활성제 연구사업	과기처	
	CFC 대체물질개발사업	과기처	KIST
에너지절약	에너지절약 기술개발사업	통산부	

들이다. 이들을 처리하기 위해 주로 생물처리 등 배수처리 설비의 설치, 배연 탈황 기술이나 전기 집진기의 설치, 악취가스의 포집, 연소분해 후 후처리 기술 등을 사용하고 있다. 그러나 악취의 해결을 위한 기술 개발, 공정의 염소 사용의 삭감 기술 개발, 공업용수의 클로즈드화 기술 개발 등 청정처리기술의 개발에 의한 수질오염 문제의 해결이 요구된다.

나. 국내 부처별 청정기술 연구사업

청정기술 개발과 관련하여 국내에서는 환경부 및 통산산업부에서 관련연구를 기획 추진하고 있으며, 농림수산부에서도 관련 연구를 추진하고 있다. 이렇게 추진되고 있는 청정기술의 개발 및 적용 현황을 부처별로 소개한다.

1) 통산산업부

청정생산기술의 개발을 위하여 14개 업종을 선정하여 업종별 환경관련 현황 및 문제점을 조사 분석하여 단기적으로 가시적인 개발이 가능한 기술을 중심으로 기술개발계획을 수립하였다. 선정 14개 업종들은 섬유, 제지, 화학, 주물, 비철금속, 도금, 전자기기, 가전제품, 자동차, 피혁, 의약, 시멘트, 석유 및 인쇄 등이다. 각 업종별 세부연구과제들은 Table 2의 "청정생산기술의 범위"에 준하여 선정되었다.

Table 2. Scopes of cleaner production technologies

청정생산기술분야	범 위
관리개선기술	생산원료, 공정, 제품의 관리개선 및 교육
원료개선/변경	CFC 대체, 저공해 물질사용 등 청정원료 활용기술
환경친화형 제품기술	저공해, 저폐기물, 리사이클링, 에너지 효율을 고려한 설계 및 제품기술
청정공정기술	생산 공정 중 환경오염을 근본적으로 줄이기 위한 신 공정 및 설비기술
청정처리기술	생산 공정 중 발생된 오염물질을 재순환 또는 공장 내에서 처리하기 위한 기술로 생산공정에 포함된 기술

위의 "청정생산기술의 범위"에 따라 전기·전자분야 9과제, 자동차/철강/주물분야 26과제, 비철/도금/표면처리분야 16과제, 석유/제지/인쇄분야 28과제, 석유/정밀화학분야 35과제, 식품/제약피혁분야 12과제가 연구 진행중이나, 연구과제의 성격이 주로 산업기술의 청정기술 실용화에 주안점이 두어져, 3D(염색, 도금, 주물)업종의 현장 애로기술 해소 및 중소기업 생산현장기술 개선 등, 단시간에 가시적인 개발이 가능한 연구에 주안점을 두고있다.

2) 환경부

환경부에서는 환경공학기술개발사업(G7)의 일부로 청정기술에 대해 기획 추진하고 있다. 대상분야는 기술대상분야의 환경부담 저감효과가 큰 기술, 기존의 end-of-pipe 기술을 계속 적용할경우 효율성이 낮은 기술, 선진국에서 기술도입이 용이하지 않은 기술, 대상분야의 환경오염이 시급히 해결되어야 할 기술, 국내시장에서의 수요가 크고 향후 기술수출이 가능한 기술 등을 기준으로 하여 아래와 같이 선정되었다.

(1) 청정공정 개발
- 공정수 회수 및 용수 절감기술 개발
- 저오염형 신 공정 개발
- 에너지 최적화공정 개발

(2) 청정부산물 재사용기술 개발
- 공정부산물로부터 유기금속 혹은 정밀화학 중간체 회수기술 개발
- 인쇄 회로기판 식각 폐수로부터 구리의 회수기술 개발
- 오일중의 불순물 제거기술 개발

(3) 청정가법 개발
- 도금공정의 청정작업법 개발
- 염색공정의 청정작업법 개발
- 중소제조업의 청정기술 도입기법 개발

(4) 청정제품 개발
- 환경친화적 플라스틱 혹은 계면활성제 개발
- 용출 조절용 물질 개발
- 저오염형 염료개발

위의 주요연구내용들을 기준으로 하여 세부과제들이 도출되었다. 세부과제는 폐기물 자원화기술 13과제, 저공해 소각기술 4과제, 유해폐기물 처리기술 5과제, 청정기술 8과제로, 주로 폐기물의 재활용(자원화) 및 소각/매립 관련의 EOP성의 기술개발이며, 청정기술에 대한 연구는 미미한 편이다.

3) 농림수산부

WTO체제 출범과 함께 국제적인 경쟁상태에서 농림수산업의 경쟁력 향상을 위해 수행하는 농림수산기술개발사업의 일부로 청정기술이 연구되고 있으나 연구의 범위가 극히 미미한 실정이며, 주로 무공해 생물방제제 및 무공해 비료개발에 대한 연구와 현장애로기술의 해소에 주안점을 두고 있다.

2.2 국외의 현황

청정기술의 보급 및 확산 노력은 UN을 중심으로 전개되고 있다. UNEP는 산하기구인 산업 및 환경사무국(IEO: Industry and Environment Office)을 통하여 1977년부터 ECE와 공동으로 LNWT(Low and Non-Waste Technology) 관련 자료를 수집하여 보급하

Table 3. Pollution prevention hierarchy

우선 순위	방 법	수 단(예)
1	원천적 감량	공정개선, 제품개량, 발생원 차단, 서비스 수명 연장
2	회수 재사용	재사용, 복원, 용매 회수재사용, 유용물질 회수 등
3	처리	안정화, 중화, 침전, 소각, 열분해 등
4	폐기	위생매립 등

고 있다. 1989년 5월에는 프랑스 파리에 본부를 둔 IEO를 청정생산 계획(Cleaner Production Programme)의 주관기관으로 선정하여 청정생산 기술보급 및 기술사고 방지를 우선 과제로 하여 운영하고 있다.

가. 미국의 청정기술

미국 환경청은 1980년대 중반부터 오염물질의 원천적 감량 및 회수 재사용을 최상의 개념으로 하여 가능한 한 오염물의 유출을 우선적으로 억제한 후에도 불가피하게 배출되는 오염물만 적절한 처리 및 폐기를 주개념으로 하는 오염예방순위(Pollution Prevention Hierarchy)를 도입하였다(Table 3).

또한 환경청(EPA)내에 오염예방국(Pollution Prevention Office)을 설치하여 청정기술관련 전반의 업무를 취급토록 하였으며, 환경청의 주요간부들로 구성된 오염예방자문 위원회(Pollution Prevention Advisory Committee)를 설립하여 환경청 전 부서간의 업무를 조정하도록 하고 있다. 이에 따라 환경청 산하의 ORD(Office of Research and Development), OCEM(Office of Cooperative Environmental Management), OSW(Office of Solid Waste), PPIC(Pollution Prevention Information Clearinghouse), WRISE(Waste Reduction Institute for Scientists and Engineers) 등의 기관과 협력하여 청정기술의 개발과 보급에 주력하고 있으며, 그 동안 Pollution Prevention News, Waste Minimization Opportunity Manual, Pollution Prevention Case Studies Compendium, Waste Minimization for Hazardous Materials Inspectors 등을 발간하였다. 이와 같은 일련의 오염예방계획은 아래의 6가지 기본 목표 하에 운영되고 있다.

① 오염을 줄일 수 있는 제품의 개발과 사용 고취

② 오염을 줄일 수 있는 공정의 개발 고취

③ 폐기물 재활용 비율과 재활용 제품에 대한 수요 향상

④ 오염방지를 위해 유용한 기술적 방법을 개발 보급

⑤ 미래의 환경문제 해결을 위한 연구과제 발굴

⑥ 개발된 오염방지 전략이나 기술을 적극적으로 보급

또한 제조업자에게 그들이 발생시킨 폐기물에 대해 그 발생부터 처리까지 책임을 지우는 법률인 RCRA(Resource Conservation and Recovery Act)의 통과 이후로 폐기물 발생자들은 그들이 발생시킨 폐기물에 의해 발생된 어떤 피해에 대해서도 무제한의 채무 가능성을 지게되었다. 이러한채무는, 현재 최상의 방법이라고 여겨지는 수단에 의해서 발생된 폐기물의 미래문제에도 적용된다. 폐기물을 각기 따로따로 현장 소거하는 비용은 수억 달러에 이를 수 있으므로, 이와 같은 채무를 가하는 것은 폐기물 발생처리에 관련된 모든 비용을 줄일 수 있게 한다. 이에 따라 정부만이 아니라 일반 기업들도 청정기술개발에 많은 투자를 하고 있다. 일례로 미국의 CMA(Chemical Manufacturing Association)는 화학산업들이 그들의 performance를 향상시키기 위해 청정기술 개발에 많은 투자를 한다고 보고하고 있다. 이에 따라 전 산업 분야에 걸쳐 청정기술의 개발과 적용이 활성화되어 있다.

나. 유럽의 청정기술

1) EU 추진동향

PREPARE : 유럽지역에 청정기술과 환경경영의 도입을 촉진시키기 위해 EUREKA/ EUROENVIRON 프로젝트 하에서 네덜란드 경제부의 주관으로 PREPARE (PReventive Enviro -nmental Protection AppRoaches in Europe)라는 working group을 1991년부

너 운영하고 있다. PREPARE-Mathode를 이용하여 각 사업장에서 오염물질 및 폐기물의 발생을 사스템 적으로 예방할 수 있도록 조직 및 기술적 대책을 수립하고 있다.

Prepare 그룹은 유럽 18개국의 산/학/연구계 분야의 청정기술 전문가로 구성되어 있으며, 1995-1997년간에 예정된 주요 업무는 다음과 같다.

- 산업체 위주의 국제 workshop 조직
- 국제적 청정기술 활동사항의 평가
- 테마별 network의 조직
- 유럽 R&D 프로그램과의 networking, 자문, synergy 효과 유발

IMS(Intelligent Manufacturing Systems): IMS 프로그램은 1990년 일본의 제안으로 EU와 공동연구로 시작되었으며, 1994년 feasibility study가 완료되어 국제협력관계가 논의 중이다.

AIT(Advanced Information Technology in Design and Manufacturing): AIT 프로그램은 1993년 EU내 산업체들이 주도가 되어 시작되었으며, 자동차, 항공, 전자산업 분야의 기업들이 프로그램 수행의주를 이루고 있다.

2) 영국

1990년부터 상공부가 주관하여 ETIS (Environment Technology Innovation Scheme), EMOS (Environment Management Options Scheme), Euroenviron 등의 프로젝트를 추진 중이며, 과학기술회의 주관 하에 백만 파운드의 예산으로 청정공정 및 청정제품 개발 계획을 수행하고 있다.

3) 독일

- BMFT(German Federal Ministry for Research and Technology)를 통한 청정관련 프로젝트 지원(295개 청정관련 프로젝트)
- BMBF(독일 연방 교육, 학문, 연구, 기술부)에서 1994년부터 1998년까지 168 Million DM을 지원
- BMWi(독일 연방경제부)에서는 산업체와 함께 3년 동안 1500개의 프로젝트 지원(연방경제부 170 Million DM, 산업체 250 Million DM)
- DFG(독일 연구협의회)에서는 1994년과 1995년에 120 Million DM 으로 중점과제 7개, 특수 연구분야 19 개를 지원
- DBU(독일연방 환경재단)는 1991 - 1995년 동안 총 1793개의 환경 관련과제를 지원하였으며, 이 중 약 1/4이 청정기술 관련과제이다.

4) 프랑스

환경대책의 방향을 청정제품 사용량 증가, 회수재활용, 경제적 보조에 의한 청정기술 개발에 두고 있다. 범부처적 위원회인 Clean Technology Mission이 1979년 구성되었으며 이 기구가 환경부 연구국의 청정기술 관련 과제의 관리, 연구비 지원, 청정기술에 대한 국제교류의 창구 역할을 하고 있다

5) 오스트리아

- 환경문제를 국가간의 문제로 인식하여 동유럽국가에 지원
- Stenum 이라는 단체를 통해 청정분야의 산학협동지원

6) 포르투갈

- Environmental Technologies Demonstration Unit 가 청정기술 개발연구 주도
- 산업계에서도 많은 참여

다. 아시아의 청정기술

1) 일본

1971년 환경관련 전문가들로 구성된 환경연구그룹을 발족하고 이 연구그룹을 중심으로 산업을 중심으로 하는 인류활동과 환경계와의 복잡한 상호관계를 이해하고 해석하기 위한 포괄적인 방법론으로서 산업-생태주의의 개념을 제안하였다. 통산성은 이러한 제안을 바탕으로 신 에너지와 청정에너지의 개발을 위한 연구개발을 통하여 에너지 절감을 이룩하려는 새로운 정책체계를 개발하였고 이를 뒷받침하기 위해 신 에너지 기술 개발을 위한 연구계획(일명 Sunshine project)을 도출하여 1974년부터 연구에 착수하였다.

Sunshine project는 제한된 에너지 자원을 기술로 대체하기 위한 시도이다. 한편 에너지의 효율을 향상시키기 위해 1978년에는 에너지 절약 기술에 대한 연구개발 계획(일명 Moonlight project)을 착수하였다. Sunshine project 와 Moonlight project에 투입된 일본 통산성의 연구예산은 1974년부터 통산성 연구예산의

5%에 불과했으나, 1978년도에는 14%로 신장하였고, 1982년에는 통산성 연구예산의 29%에 달했다. 이러한 연구예산은 계속 증가하여 1990년도에는 510억 엔으로 통산성 연구비의 20%에 달하였다.

80년대 말 세계 유가하락과 더불어 일본의 거품경제가 소멸되었다. 이즈음 화석연료의 연소에 의한 이산화탄소의 방출에 따른 지구온난화 현상은 특히 섬나라인 일본의 경우 사회적으로 심각한 문제로 대두되었다. 이에 따라 이산화탄소 방출억제 기술에 집약하려는 노력이 시작되었고, 그 일환으로 1989년에 지구환경기술 연구개발계획(Global Environmental Technology R&D program)이 시작되었으며 150억 엔의 연구비를 투입하였다.

Table 4. Principal counter measures for pollution prevention solution

Principal counter measure	1992	1995
Waste treatment	21.0 %	18.7 %
Energy saving	16.2 %	18.1 %
Resource recycling	15.1 %	16.6 %
Installation of treating facilities	12.6 %	11.0 %
Others	35.1 %	35.6 %
Total	100.0 %	100.0 %

거품경제의 시기를 거치면서 천연자원에의 의존도가 증가한 사실을 주목한 통산성은 자원효율의 향상과 폐기물 처리에 유효한 기술개발의 시급함을 느끼고 대책을 결토한 결과 폐기물의 처리기술을 개발하는 것이 우선책이라는 결론에 도달하였다. Table 4에서 보듯이 폐기물의 유효처리는 에너지 절약, 연료대체, 자원 및 물질의 재순환 등의 부수 효과를 가져올 수 있다.

지구환경과 에너지 문제에 대한 양면성을 동시에 극복하기 위해서는 청정에너지의 개발, 에너지 절약기술 개발, 환경기술 개발 등을 포괄적으로 다루는 기술개발 정책이 필요하다. 이러한 관점에서 일본통산성은 1993년 4월 New Sunshine Program을 확정하였으며 이는 기존의 Sunshine project, Moonlight project, Global environmental Technology project 를 통합하여 구성한 것이다. New Sunshine Program은 에너지 및 환경분야에서 아래 Table 5 에 나타난 바와 같이 세 가지 기술개발 프로그램으로 구성되어 있다.

Table 5. The structure of the New Sunshine Program

Programs	Target	Related program	Fund (bil. yen)
Innovative R&D Program	Acceleration of R&D on innovative technology essential for the achievement to stabilize per capita carbon dioxide emissions at 1990 level by the year of 2000	The action program to the global warming	500
Internation Collaboration Program	Initiating large international R&D projects expected to make a significant contribution to restore the earth over future decades through the reduction of greenhouse effect gases	New earth. 21	500
Cooperative R&D Program on Appropriate Technologies	Development and assimilation of appropriate technologies in neighbouring developing countries through cooperative R&D on technologies originating from the Sunshine project and Moonlight project.		550

이러한 New Sunshine Program의 주요 프로젝트는 아래와 같이 두 가지의 기본성격으로 구분할 수 있다.

가) Acceleration projects:

기술개발에 의한 제조원가의 감소와 이에 따른 수요의 유발이 가능하여 대량 생산에 의한 상업화가 비교적 단기간에 이루어 질 것으로 기대되는 실용화

기술로서 태양광 발전소, 연료전지 발전소 등을 예로 들 수 있다.

나) Innovative synthetic system projects:

주요기술의 결합에 의해 비교적 고도의 기술적 돌파구를 얻을 수 있을 것으로 기대되는 기술로서 광대역 에너지 활용망 구축연구, 수소전환을 이용하는 국제적 청정 에너지 활용기술들을 예로 들 수 있다.

New Sunshine Program에 소요되는 연구비는 1993년에서 2020년까지 15,500억 엔으로 추정되며 이러한 투자에 의하여 2030년까지는 일본의 에너지 문제의 1/3과 환경문제의 1/2을 해결하는 데에 기여하게 될 것이다.

2) 중국

중국은 환경에 조화로운 경제발전이라는 명제의 중요성을 인식하고 1992년 리우 회담 준비과정에서나 회담자체에도 적극적으로 참여하였다. 또한 40개 이상의 정부연구소와 비정부기관이 참여하여 일년 이상 노력한 결과 중국정부는 중국헌장 21의 초안을 완성하였으며, 이 헌장은 74개 분야에 걸친 20개의 장으로 구성되어 있다.

중국의 GNP 성장률은 1980년 기준으로 년간 약 10%에 달하여 1990년에는 두 배에 도달하였으나 보호 우선 원칙과 환경보호에 대한 강력한 정부의 의지에 힘입어 이러한 발전과정에서 환경문제는 거의 악화되지 않았다. 예를 들면 산업폐수의 배출량은 년간 240억 톤으로 지난 10년간 거의 변화가 없으며 대기를 통한 매연과 먼지의 배출량은 년간 1400만 톤으로 거의 일정하다.

산업계가 청정생산을 증진시키도록 유도하기 위해 산업계의 경영자나 작업자에게 청정생산에 대한 개념을 이해하도록 할 필요가 있다. 이를 위해 국제기구의 지원을 받아 국립환경보호국(NEPA; National Environmental Protection Agency)에 워크샵과 훈련과정을 개설하였다. 예를 들면, 1992년 5월에 시아멘(Xiamen)시에서 개최한 청정생산에 관한 국제워크샵, 1993년 9월에 샤오밍(Shaoxing)시에서 개최한 시범기업을 위한 청정생산 훈련과정, 1993년 10월에 얀타이(Yantai)시에서 개최한 청정생산 워크샵 등을 들 수 있다.

또한 NEPA는 1991년부터 실용화 가능한 환경과학기술 개발결과를 조사하여 우수한 기술을 NBPET(National Beat Practical Environmental Technology)로 지정하고 있다. 1992년에는 744개의 기술을 의회에 추천하였으며 지방자치제의 심사를 거쳐 73개의 기술이 NBPRT로 선정되어 NEPA에 의해 발표되었고 1993년에는 75개의 기술이 선정 발표되었다. 선정된 기술의 대부분은 폐기물의 발생이 없거나 폐기물을 포괄적으로 활용하여 그 배출량이 아주 적은 기술이다.

3) 홍콩

홍콩정부의 환경 규제는 날로 강화되고 있으며 산업공해는 두 개의 중요한 법령에 의해 규제되고 있는 데 그 하나는 수질 공해방지법(WPCO: Water Pollution Control Ordinance)이고 다른 하나는 폐기물 처분법(WDO: Waste Disposal Ordinance)이다. 홍콩은 정부백서 1989: "A Green Challenge for Community"에서 밝히고 있는 바와 같이 산업계의 청정기술 도입 정도가 극히 낮은 실정이고 그 이유로는 청정기술에 대한 정보에 노출될 수 있는 기회가 적었던 점을 들 수 있다.

홍콩에서는 아직 청정기술에 대한 개발이 활발히 이루어지고 있지 않으나 다양한 환경관련 법률을 통한 환경보호부(EPD: Environmental Protection Department)의 노력에 의해 몇몇 지방산업체에서 청정기술을 추진하여 성공된 사례를 볼 수 있다. Table 6 은 인쇄 회로기판 제조, 전기도 금, 필름제조, 폐지 재활용 및 플라스틱 제조업체에서 청정기술을 성공적으로 실시한 결과를 정리한 것이다.

4) 대만

대만은 경공업형 중소기업을 근간으로 하여 일찍 산업화를 이루었으며 도시지역과 공업지역을 중심으로 과도한 환경부담을 지고 있다. 따라서 청정기술에 대한 관심이 높으며 1987년 폐기물 교환 정보센터를 설립하고 1988년 10월에는 자원 재생 서비스 센터를 개설하였다.

1989년 폐기물 절감을 시행하기 위해 가이드라인(Guideline for Implementation of Waste Reduction)을 발간하여 관련업계에 배포하였으며, 종합적인 폐기물

Table 6. Clean technology development examples in Hong Kong

산업분류	적용된 청정기술	비 고
PCB manufacturing	- recovery of spent etching solution for reuse - countercurrent rinsing techniques to reduce water consumption	production of pure copper sulphate for sale
electroplating of Ni, Cu, Ag & gold	- installation of a nickel recovery system	recovery of nickel as nickel sulphate solution which can be reused for nickel plating
film production	- replacing toxic cyanide by a non-toxic proprietary chemical	elimination of ~ 1 kg/day cyanide to the nearby watercourse
paper recycling	- fiber recovery and waste water recycling	water production output ratio is maintained at about 9.5 to 11 cubic meters per tonne of paper produced
plastic manufacturing	- DOP(dioctyl-phthalate) recovery system	elimination of white plasticizer mist and unpleasant odor and recovery of the costly DOP for reuse

대책을 위한 검토작업에 착수하여 그해 7월에 폐기물 감량을 지원하기 위한 중단기 계획(Support of Near and Mid-term Goal of Waste Reduction)을 수립하였다.

1990년에서 1991년에 걸쳐 인쇄 회로기판 제조업, 농약산업, 피혁산업을 대상으로 하여 산업폐기물 저감을 위한 시연 프로젝트(Demonstration Project for Industrial Waste Treatment, Recovery and Reuse)를 추진하였으며, 1993년에는 상기의 사업 외에 제강용 전기로 등을 대상으로 산업폐기물의 처리, 회수 및 재사용을 위한 시연 프로젝트를 수행하였다. 환경기술에 대한 인센티브 제도로는 재정지원, 포상 및 환경마크 제도를 운용하고 있다. 재정지원 제도는 1989년부터 실시하였으며 주요지원 내용은 환경개선이나 청정기술도입을 위한 시설투자에 대한 세금 감면, 가속 감가상각의 인정 등을 들 수 있다. 환경마크는 환경보호마크로서 1993년부터 실시하고 있다.

1993년 2월 기존의 "고형폐기물의 청소법"을 개정하여 1994년에는 폐용기의 재활용에 관한 실행 계획안을 작성하였고 산업폐기물의 관리계획과 국가 청정기술 센터의 설립을 추진 중에 있다. 한편 관련 산업체를 대상으로 한 폐기물 감량을 위한 Demonstration project의 수행에 의하여 많은 성과를 얻었다.

3. 청정기술의 분류

전 장에서 소개된 바와 같이 현재 국내의 청정기술 개발 현황은 선진국에 비해 도입시기가 늦어 연구 개발이 상당 수준 뒤떨어져 있는 상태이다. 또한 현재 진행중인 연구들도 단기간에 해결 가능한 단순 청정기술 적용 및 실용화, 그리고 폐기물 발생 후의 소각/매립 등의 후처리 기술 개발에 주로 치중하고 있다. 따라서 환경 현안 위주의 단기적 과제 중심으로 연구 개발이 진행되고 있어 장기적 미래 지향적 씨앗기술(Seed Technology) 연구가 미흡한 실정이다. 청정 기술의 선진국 예속화를 피하고 국내 청정 기술의 선진화를 위해서는 국내에서의 미래 지향적 씨앗기술의 개발이 필요하며, 효과적인 연구 방향의 설정 및 연구 개발을 위해서는 미래 청정기술의 개념 정립 및 청정기술의 분류가 필요하다.

미래청정기술(Innovative Clean Technology)은 "산업활동에서 환경오염 발생을 원천 억제 또는 제거하는 미래형 환경오염 방지기술"로 정의 될 수 있으며, 기술의 성격에 따라 청정공정기술, 청정제품기술 및 청정처리기술로 분류되어진다 (Fig. 2). 청정공정기술은 물질변환 공정에서의 오염물질 발생을 원천 억제하는 공정의 개발을 목표로 하며, 청정제품기술은 적용현장에서의 독성 및 오염물질의 저감 또는 봉쇄

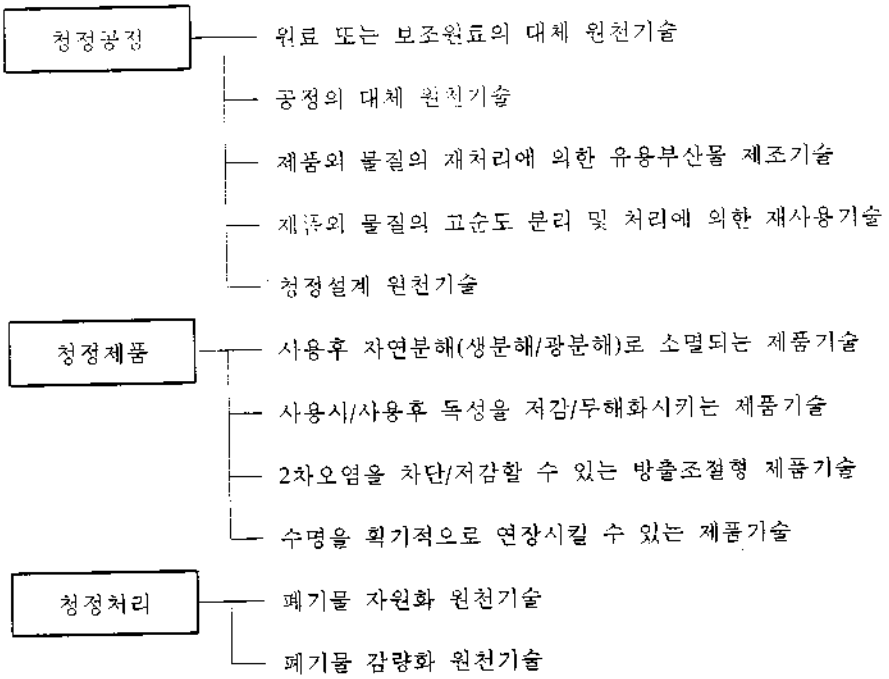

Figure 2. Classifications of the innovative clean technology

를 목표로 한다.

3.1 청정공정기술 분류

가. 원료 또는 보조원료의 대체 원천기술

a) 유해원료 대체 원천기술

예) - Phosgene 대체 (TDI 공정)
- Cl_2 대체 (chlorination 공정)
- HNO_3 대체 (Nitration 공정)
- H_2SO_4 대체 (Sulfonation 공정)
- 자연냉매 이용 냉동 기술

b) 유해용매 대체 원천기술

예) - 염소계 유기용매 대체
- 사안화 용매 대체
- acid/alkaline용매 대체
- CS_2 대체

c) 유독성 촉매 대체 공정 기술

예) - 독성 중금속 촉매 대체
- 강산 촉매 대체

d) 오염물질 생성 원료 대체 원천 기술

예) - 청정 연료 이용기술 (DME, 천연가스, 수소)

나. 공정 대체기술

a) 습식공정의 건식화 원천기술

예) - 도금 수세(水洗)공정의 건식화
- plastic finishing 공정의 건식화
- 습식 염색공정의 건식화

b) 부산물 저감 공정 원천기술

예) - 카프로락탐 공정에서의 유안 부산물 최소화
- 정련 공정에서의 황산 부산물 저감
- Chiro technology
- 제지공정의 폐부산물 저감

c) 독성 반응 생성물 억제원천기술

예) - 펄프 표백공정의 dioxin 저감기술
- 쓰레기 소각로의 dioxin 포집 저감기술

d) 미생물을 이용한 공정대체 원천기술

예) - 탄화수소류 reforming공정의 미생물공정으로 대체
- Chlorohydrin공정의 생촉매 공정으로 대체
- Acrlyamide의 구리촉매 공정의 생촉매 공정으로 대체

e) 에너지 생성과정의 오염물질 생성 원천저감

술

예) - 초고압 분사 등 엔진 배출물질 저감기술

다. 제품외 물질의 재처리에 의한 유용 부산물 제조기술

a) 제품외 물질의 활용기술

예) - Scrap recycle (금속, 고분자)

b) 폐량 플라스틱의 재사용기술

예) - 폐량 플라스틱의 액체 연료화 기술

- 폐량 플라스틱의 원료화 기술

라. 제품외 물질의 고순도 분리 및 처리에 의한 재사용기술

a) 용수의 재사용 기술

b) 휘발성 유기화합물 분리 기술

c) 미반응 유독성원료의 재사용 기술

마. 청정 설계 기술

a) 기계 설계의 환경영향 평가 index 기술

b) 청정설계를 위한 Concurrent Engineering 기술

예) - 재활용 극대화를 위한 설계 원천기술

- 청정 환경을 위한 기계공정계획 기술

c) 청정설계를 위한 소음 및 진동 관련 원천기술

3.2. 청정제품기술 분류

가. 사용후 자연분해로 소멸되는 제품기술

a) 난분해성 고분자제품 대체 원천기술

예) - 난분해성 플라스틱 대체 제품기술

- 난분해성 고무 대체 제품기술

- 난분해성 섬유 대체 제품기술

- 난분해성 도료 및 접착제 대체 제품기술

- 기타 난분해성 고분자 대체 제품기술

b) 난분해성 세제제품 대체 원천기술

예) - 난분해성 비누 대체 제품기술

- 난분해성 합성세제 대체 제품기술

- 기타 난분해성 세제 대체 제품기술

c) 난분해성 염료제품 대체 원천기술

예) - 난분해성 직접염료 대체 제품기술

- 난분해성 반응성 염료 대체 제품기술

- 기타 난분해성 염료 대체 제품기술

나. 사용시/사용후 독성을 저감/무해화시키는 제품기술

a) 유해 용제를 사용하는 제품의 대체 원천기술

예) - 유성페인트 대체 제품기술

- 유성접착제 대체 제품기술

- 기타 유해용제 대체 제품기술

b) 환경저해성 농약제품 대체 원천기술

예) - 환경저해 살충제 대체 제품기술

- 환경저해 제초제 대체 제품기술

- 환경저해 살균제 대체 제품기술

- 기타 환경저해 농약 대체 제품기술

c) 환경저해성 안료 및 도료제품 대체 원천기술

예) - 환경저해 무기안료 및 도료 대체 제품기술

- 환경저해 유기안료 및 도료 대체 제품기술

d) 환경저해성 작동매체 대체 원천기술

예) - 유해냉매 대체 냉동기술

- 기타 환경저해 작동매체 대체 제품기술

e) 환경저해성 비료제품 대체 원천기술

다. 2차 오염을 차단/저감하는 방출조절형 제품기술

a) 방출조절형 비료 제품기술

b) 방출조절형 농약 제품기술

c) 기타 방출조절형 제품기술

라. 수명을 획기적으로 연장시킬 수 있는 제품기술

a) 사용수명이 크게 연장된 제품기술

예) - 가정용 제품기술

- 산업용 제품기술

b) 재사용/재생이 획기적으로 용이한 제품기술

예) - 모듈화 제품기술

- 기타 제품기술

3.3 청정처리기술의 분류

가. 폐기물 자원화 원천기술

a) 유기폐기물 자원화 원천기술

예) - 폐유의 자원화 원천기술

- 폐합성 고분자의 자원화 원천기술

Table 7. Development stages for the innovative clean technologies

연구분류	연구성격	연구과제 예시	기간	비고
탐색연구	원천적 Idea에 대한 가능성 타진	습식 공해공정의 건식화 기술등 청정공정기술과 분해성 고분자제품 등 청정제품 기술 관련 씨앗기술 탐색 과제	1-2 년	연구기관 주도
발전연구	탐색연구 중 가능성이 나타난 연구과제에 대한 집중연구	청정 컬링 기술 개발, Polylactic acid 활용기술, 지효성 농약제품 기술 등 검증된 씨앗청정기술들의 실용화 가능성 제고를 위한 발전연구 과제	3-5 년	기업체 참여
개발연구	실용화 가능성이 높은 발전연구 과제에 대한 연구	발전연구에서 실용화 가능성이 나타난 과제들의 실용화를 위한 개발 연구 과제	3 년	기업체 주도

- 폐유기용제의 자원화 원천기술
- 폐산/폐알카리의 자원화 원천기술
- 폐농약의 자원화 원천기술
- 공장폐수처리 오니의 자원화 원천기술
- 식품 폐기물의 자원화 원천기술

b) 무기폐기물 자원화 원천기술

예) - 폐촉매의 자원화 원천기술
- 폐흡착제/폐흡수제의 자원화 원천기술
- 광재의 자원화 원천기술
- 폐주물사/샌드블라스트 폐사의 자원화 원천기술
- 분진의 자원화 원천기술
- 폐내화물의 자원화 원천기술
- 소각잔재물의 자원화 원천기술
- 슬러지의 자원화 원천기술
- 공정 폐액의 자원화 원천기술
- 폐수중의 무기물 자원화 원천기술

나. 폐기물 청정감량화 원천기술

a) 유기폐기물 감량화 원천기술

예) - PCB(Polychlorinatedbiphenyl)의 분해 원천기술
- 트리클로로에틸렌의 분해 원천기술
- 테트라클로로에틸렌의 분해원천기술
- VOC의 감량화 원천기술
- 유기인/유기질 화합물의 감량화 원천기술
- 오염생물 감량화 원천기술

b) 무기폐기물 감량화 원천기술

예) - TSP(분진)의 감량화 원천기술
- Cd의 감량화 원천기술
- Cu의 감량화 원천기술
- As의 감량화 원천기술
- Hg의 감량화 원천기술
- Pb 및 그 화합물의 감량화 원천기술
- Cr^{+6} 화합물의 감량화 원천기술
- SO_x, NO_x, CO등의 감량화 원천기술
- CN 화합물의 감량화 원천기술

4. 미래 청정기술 추진방법

4.1 연구개발 추진방법

미래 청정기술을 효과적으로 연구개발하기 위해서는 원천적 아이디어로부터 시작하여 씨앗기술(seed technology)을 발굴하고 실용공정으로까지 발전시키는 것과 같이(Table 7 에 도시한 바와 같이) 연구개발 과정을 세 단계로 구분하여 연구를 진행하는 것이 좋으리라 판단된다.

그 첫 단계는 탐색연구로서 약 1-2년에 걸쳐 제안된 아이디어의 실현 가능성을 타진하는 단계이다. 주로 연구소 및 학교에서 주도가 되어 원천적인 아

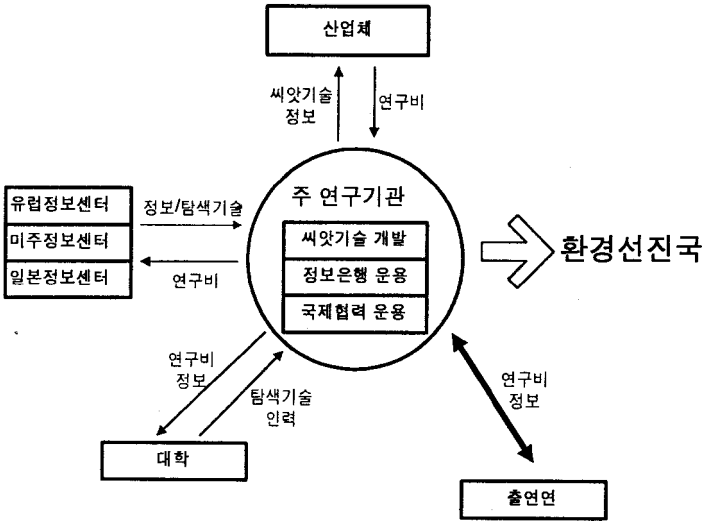

Figure 3. Development procedure for the innovative clean technology

이디어를 도출하고, 도출 된 아이디어의 타당성을 검증한다. 즉, 제안된 원천적 아이디어에 대하여 짧은 연구 기간동안 그 아이디어의 타당성을 검토하는 것이다. 1차 년도의 탐색연구 수행 후 연구결과를 평가하여 계속 여부를 결정하되 판정이 어려운 경우에는 1년간 연구를 계속하여 판단을 한다. 이와 같이 1-2년의 탐색기간을 거친 뒤 실현 가능성이 높지 않다고 평가된 과제는 연구를 중단하며 실현 가능성이 입증된 과제는 실현 가능성을 제고하기 위한 발전연구로 전환한다.

2단계 연구인 발전연구 기간은 3년으로 하되 이때 산업계와의 긴밀한 협의를 통해 기업이 연구에 참여하도록 유도한다. 현재 관련 분야의 연구개발을 통해 기술 기반이 형성되어 있는 기술들은 탐색연구 과정을 거치지 않고 직접 발전연구 단계로부터 출발하여도 무난할 것으로 판단된다. 3년간의 발전연구 뒤에는 연구결과를 평가하여 충분히 실용화 가능성이 인정된 과제에 한하여 개발연구로 전환한다. 실용화 가능성이 희박한 것으로 판정된 과제는 이 단계에서 중단하되 판정이 곤란한 과제는 1-2년의 유예기간을 둘 수 있다. 이 단계에서는 실용화 가능성을 보다 심도 있게 설정하기 위하여 산업계의 의견을 우선적으로 반영할 필요가 있다.

개발연구 단계에서는 pilot test 등 실용화에 직접 연계된 연구를 수행하게 되므로 원칙적으로 기업체가 연구를 주도하도록 하여 발전연구를 통해 가능성이 확인된 연구결과를 단기간에 실용화할 수 있도록 한다. 다만 경우에 따라서는 연구기관과 산업체가 공동으로 개발연구를 수행할 수도 있다. 개발연구기간은 3년을 기준으로 하되 과제의 성격, 규모 등에 따라 유연하게 조정하도록 한다. 개발연구가 완료된 기술은 참여 기업체 등을 통하여 기술 이전 및 보급이 이루어지도록 한다.

4.2 연구개발 추진체계

연구의 성공적 수행을 위해서는 선진국의 연구동향을 비롯한 각종 정보의 수집 활동도 필수적이다. 이를 위해 Fig. 3 에 도시한 바와 같이 주 연구기관에 정보은행을 설치하고 미주, 유럽과 일본에도 정보센터를 운용하는 것이 필요하다. 특히 청정기술의 실수요자이며 가장 관심이 높은 산업체와의 협력을 강화하여 산업체의 수요를 파악하고 연구 및 정보수집 활동을 통하여 축적된 정보를 제공하며 연구비 제공 등 연구 참여를 적극 유도한다.

연구의 원활한 진행을 위하여 각 출연연구소간의 협력 연구를 수행하며 연구비와 정보 등을 공동으로 활용하도록 한다. 또한 관련 분야 전문가를 다수 보유하고 있는 대학과의 협조도 최대한 강구하여야 한다.

5. 요약 및 결론

청정기술 개념의 성립과정과 그 배경 그리고 해외에서의 청정기술 개발 현황 및 UN, APEC 등을 중심으로 하는 범 지구적 청정기술의 보급 및 발전을 독려키 위한 협력 및 협정의 역사와 현황 등을 조사하였다. 또한 이와 같은 국제적인 움직임과 관련한 국내에서의 청정기술 현황 및 부처별 청정기술 연구사업 그리고 그 전반 및 보완 사항을 검토하였다. 이와 같은 조사와 분석을 토대로 21세기에 가장 큰 연구개발 및 기술수요가 될 것으로 예상되는 청정기술의 확보 및 조기 고도화를 위하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 환경오염의 문제는 이제 국지적 부분적인 문제가 아니라 전지구적/전인류적인 문제가 되었으며 특히 고도의 발전을 지속하여온 우리 나라에서는 환경오염의 문제는 이제 국민의 생존 문제로까지 비약하기 시작하였다.

2. 이러한 환경오염의 문제를 해결하기 위해서는 종래의 사후처리와 규제 그리고 관리의 방법에만 의존할 수는 없으며 원천적으로 오염발생이 없는 새로운 산업기술 즉 청정기술의 개발 및 보급을 범국가적 사업으로 추진할 필요가 있다.

3. 현재 진행되고 있는 청정기술 연구 및 보급사업은 통산부의 산업기술 청정화 연구사업, 환경부의 공공기술 청정화 연구사업, 농림부의 농업기술 청정화 연구사업 등의 형태로 전개되고 있으며 해양수산부, 보건복지부 등의 신규 참여가 유력시되고 있다. 이러한 범부처적 청정기술 개발 및 보급사업은 매우 바람직하지만 청정기술 관련부처 모두가 기술수요 부서이기 때문에 기 개발된 해외 청정기술에 바탕을 두고 해외기술의 조기도입에 의한 단기적용에 치중하고 있어 장기적으로는 국내청정기술의 해외선진국 예속화가 우려되고 있다.

4. 따라서 기술수요부처의 기술수요를 예측하고 향후 20년 내 환경문제로 인하여 폐쇄 또는 폐기가 예상되는 산업기술, 공공기술의 청정화를 위한 미래 청정기술 연구사업을 전개하여 국내 청정기술 수요를 충당하고 나아가서 청정기술의 해외수출까지 도모하는 청정기술의 선진화에 선도적인 역할을 조속히 수행해야 한다.

감사

본 연구는 1996년 KIST 미래청정기술 종합기획 연구와 관련 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 환경부 : "환경백서", (1995)
2. 환경관리공단 : "유해폐기물 처리기술", (1995)
3. H. M. Freeman : "Industrial Pollution Prevention Handbook", McGraw-Hill, (1995)
4. 생산기술연구원 : "청정생산기술 개발전략 수립을 위한 연구 기획" 연구보고서, (1996)
5. 통산산업부 : "선진 청정기술의 사례분석 및 국내 적용 청정기술의 도출" 연구보고서, (1996)
6. 과학기술정책관리연구소 : "국가환경과학기술 종합연구기획" 보고서, (1994)
7. 통산산업부 : "청정생산기술개발사업" 제안요구서, (1996)
8. 농림수산부 : "농림수산기술개발사업안내", (1996)
9. 박원훈 : "청정기술의 동향", 국제청정기술 심포지움, (1996)
10. 배재홈 : "유럽의 청정기술 사례", 국제청정기술 심포지움, (1996)
11. 한명근 : "국내 산업별 청정기술현황 분석 및 개선방향", 국제청정기술 심포지움, (1996).
12. 신동식 : "정부의 청정생산기술 지원대책", 생물화공 제10권 3호 4-16, (1996)
13. 이재성 : "Design for the Environment: 환경기술의 신개념", 화학공업과 기술, 제14권 제3호, (1996)
14. 이철호 : "청정기술과 화학공업", 화학공업과 기술, 제10권 제6호, (1992)
15. KIST-2000 연구사업단 : "일본 통산산업성 기술개발관련 시책"보고서, (1996)