

클린텍 (Clean Technology) 의 국내외 동향 연재 I

이 화영 / 서울대학교 화학공학과교수

1. 서론

오염(Pollution)이란 말은 너무나 자주 신문지상에 등장하는 반갑지않은 단어이다. 소음공해, 악취, 상수원 오염, 공기오염, 해양오염 등은 지구의 환경보전을 통한 인간의 생존을 위해서 이를 방제(방지하고 제거함) 해야 한다는 데에 누구나 인식을 같이하고 있다. 지구상에 인류가 적었던 원시사회에서는 자연환경과 자연자원만으로도 인간의 생존에 지장을 주지 않았으나 인구의 증가와 인간문명의 발전에 따른 산업의 고도화 및 다양화로 인하여 자원의 물리, 화학 및 생물학적 가공이 불가피하게 되었고 이는 곧바로 환경 변화와 오염원을 유발시키는 결과를 가져오고 있다. 그림 1.1에서 보는바와 같이 현대 생활에서 필요한 인공적 제품의 순환과정은

-자연자원으로부터 제품생산에 필요한 원료의 추출과정

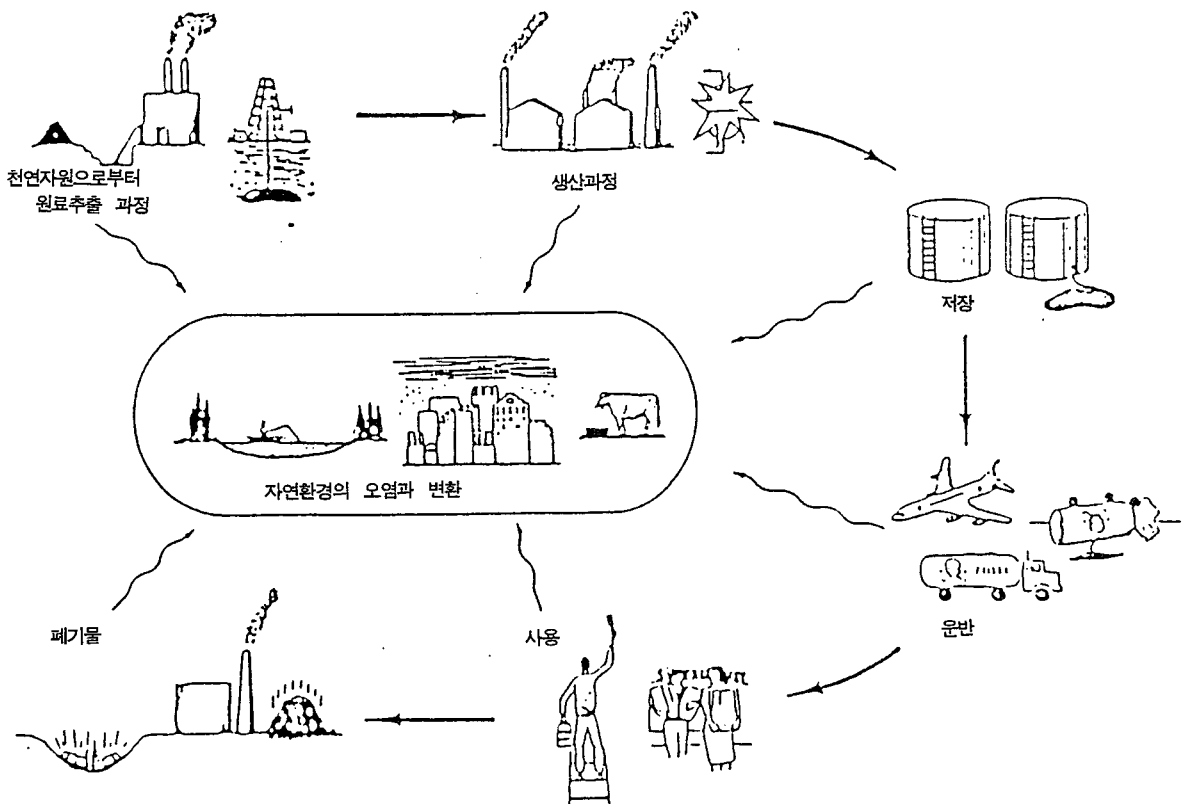
- 이물질로부터 인간에게 유용한 제품의 생산과정
- 제품의 저장 및 수송과정
- 제품의 이용과정 및
- 폐기물의 방출 등

의 과정을 통해 공기, 물 및 토양의 오염을 유발하고 환경의 변화를 가져와 “하나뿐 인 지구”를 우리 후세들에게 안락한 생존의 터전으로 넘겨줄 수 없는 위험에 처해 있다.

인공적인 물질중에서도 특히 화학물질은 지구환경에 가장 심한 영향을 미친다. 과도한 화석에너지의 이용은 산성비를 만들고 이는 인간생존에 필요한 식물성장에 많은 악영향을 주며 위험한 액체 및 고체형태의 화학 폐기물은 강 및 바다의 오염은 물론 지하수마저 오염시켜 동식물의 생태계에 변화를 주고 있다. 이미 잘 알려져 있는 인공제품에 의한 환경문제를 몇 가지 요약하면 표 1.1과 같다.

지구 전체의 문제를 볼 때 1986년도에 체결된 Montreal 의정서에서 규제하기로 한 CFC (Chlorofluorocarbon)의 경우 대기 상층권에서 오존층을 파괴함으로써 지구 생태계에 심각한 영향을 주게 되었으며 CO₂나 CH₄에 의한 “온실효과” 역시 지구상의 온도상승 효과를 가져와 생태계에 큰 부작용을 유발하고 있다.

지역적으로는 NO_x, SO_x에 의한 산성비로 인해 농



<그림 1.1> 자연환경에서 인조제품의 순환과정

업용수는 물론 금속의 부식문제가 제기되고 자동차 배기가스로부터의 납이나 CO에 의한 문제 및 인도 Bhopal에서 발생한 Methylisocyanate와 같은 유독물질의 누출, Cd에 의한 Itai-Itai병 등 화학물질에 의한 환경 오염은 화학기술자들이 해결해야하는 가장 중요한 과제라 할 수 있다.

화공 기술자는 화학물질의 제조 및 처리과정에 전적으로 관련되어 있기 때문에 환경측면에서 이것들을 안전하게 관리할 책임이 있으며 환경보존이야말로 화공 기술자들이 미래에 당면할 가장 중대한 도전분야이다. 화공 기술자들이야말로 "화학물질의 요람으로부터 무덤"에 이르기까지 이들을 관리 할 수 있는 가장 잘 훈련되어 있는 책임있는 위치에 있기 때문에 이들로 부터 야기될 수 있는 문제들을 미리 예견하고 방지해야 한다. 이렇게 하기 위해서는,

- 모든 공정을 보다 안전하게 그리고 오염물질이 적게 발생하도록 해야하고

<표 1.1> 잘 알려져 있는 환경문제

| 구분 | 환경문제 |
|---------|---|
| 전세계(지구) | Chlorofluorocarbon이 지구 오존층에 미치는 영향 탄산가스 등의 "온실효과"에 의한 지구온도 상승 DDT PCB |
| 지역 | 산성비(NO _x , SO _x) 산업폐수의 농업용수에 대한 영향 |
| 도시 | 자동차 배출물 중 공기부유 납 자동차 배출물 중 NO _x , SO _x , CO, H. C 등 광화학적 산화물(예: Oxone) SO _x , 분진물 |
| 특수장소 | 유기화학물질 피해 인도 보팔에서 methyl isocyanate 사고 Cadmium에 의한 Itai-Itai병 실내공기(formaldehyde, asbestos, NO, CO) |

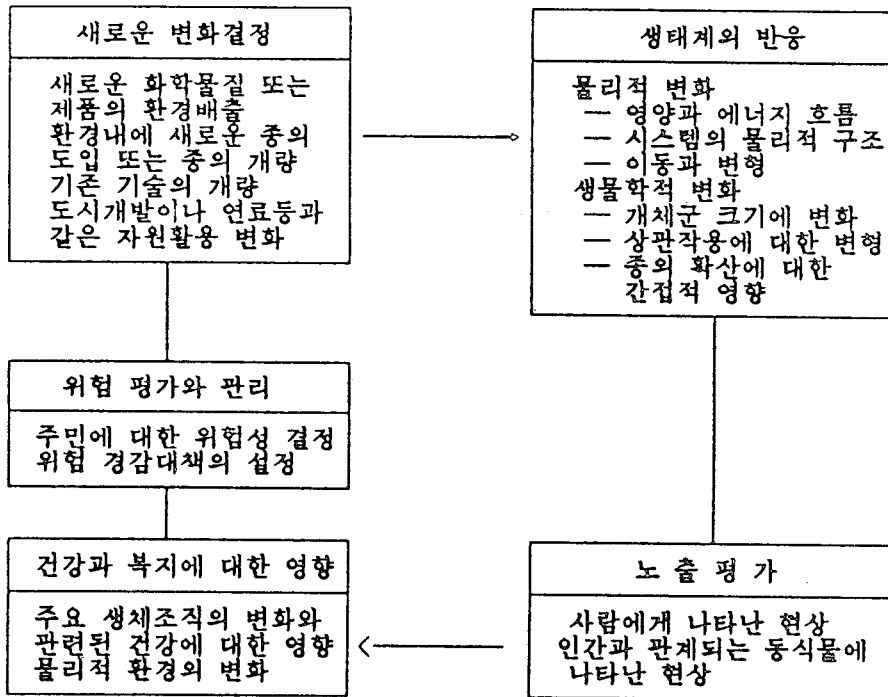
- 위험한 폐기물질들의 독성을 줄이고 관리할 수 있는 보다 좋은 방법을 개발해야 하며

- 환경에 미치는 화학물질의 속성을 이해하고 화학물질이 인체와 생태계에 미치는 영향을 숙지해야 한다.

- 또한 근원적으로 환경에 영향을 미치지 않는 청정 에너지(Clean Energy) 및 물질의 개발은 물론 환경오염을 최소화 하기 위한 물질 및 에너지의 효율적 이용 기술의 개발이 있어야 한다.

인류의 생존을 위한 과학의 지속적인 발달과 더불어 새로운 기술, 새로운 물질 등을 대상으로 한 연구가 지

속되게 되며 이때 이러한 인간의 새로운 도전이 환경에 어떤 영향을 미치는가에 대해서는 그림 1.2에 설명하고 있다. 결국 환경에 대한 새로운 도전을 하기 위해서는 이러한 신제품, 신기술, 신원료가 생태계에 물리적 또는 생물학적으로 어떤 영향을 줄 것인가를 조사하고, 생태계의 반응이 인류 및 동식물에 노출되었을때 동식물의 건강에 끼치는 영향을 조사하여 그 결과를 Feed back시켜 동식물의 생태계와 지구환경에 영향을 주지 않는 방향으로 추진하는 것이 화공기술자들이 해야하는 당면과제라고 할 수 있다.



<그림 1.2> 인위적 환경변화의 결정과정

2. 클린텍(Clean Technology)이란?

클린텍(Clean Technology)이란 한마디로 요약하면 보다 효율적인 생산과 보다 적은 오염물질을 배출(Better production & Less pollutants) 하는 기술을 뜻한다. 다시말해서 물질 및 에너지 절약기술과 오염방제(방지하고 제거하는) 기술을 지향하는 기술이다.

최근까지의 환경정책은 오염물질이 발생한 후에 이를 처리하는 기술(End of Pipe Technology)에 의존

하여 왔고 이러한 기술의 개발에 중점을 두었다. 그러나 기존의 End of Pipe Technology는,

- 투자비와 운영비가 높다.

- 배출되는 오염물의 종류와 양은 증가하는 반면 보다 규제가 엄격해지고 있는 환경기준에 맞추기 어렵다.

- 에너지 및 자원의 낭비를 감소시킬 수 없는 단점을 지니고 있다.

따라서 발생된 오염물을 단순히 처리하는 방식(Cur

ative Action)에서 에너지와 자원의 소비를 줄이면서 오염물의 발생을 원천적으로 없애거나 극소화시키는 방식(Preventive Action)으로의 전환이 절실히 요청되고 있다.

따라서

—오염물질의 발생을 원천적으로 없애거나 오염물의 양과 환경에 대한 유해성을 극소화시키고

—효율적인 관리를 통하여 에너지와 자원의 소모를 감소시키는 것이 클린텍(Clean Technology)의 주된 목적이다.

이러한 클린텍의 목적을 달성하기 위한 방법은 다음 세가지로 분류될 수 있다.

—새로운 생산공정(Production Process)을 도입하거나 기존의 공정을 수정(Process Modification)하여 오염물의 발생 및 에너지, 원료, 물 등의 소비를 극소화하는 생산공정의 최적화 연구.

—발생된 폐기물에서 에너지, 원료, 물 등을 회수하여 재이용하거나 폐기물을 가공하여 2차 생산품을 만듦으로써 경제적 및 환경보존의 효율성을 극대화하는 연구.

—기존의 제품과 성능은 유사하지만 환경에 대한 유해성이 보다 적은 에너지 및 신물질의 개발 연구.

앞에서 언급한 클린텍의 접근방법에서 보듯이 자연환경의 보존적 측면에서 클린텍은 기존의 "End of Pipe Technology"에 비하여 그 적용범위가 넓고 보다 근본적인 해결방법을 제시하고 있으므로 유럽, 일본, 미국 등 선진국에서는 최근 10년 사이에 클린텍을 환경정책의 기본골격으로 삼고 연구개발 및 교육홍보에 적극적인 노력을 기울이고 있다. 또한 클린텍의 적용에는 오염방지기술 뿐만이 아니라 새로운 제조공정이나 신제품의 개발 등 고도의 기술을 필요로 하므로 화학, 생물, 환경공학, 화학공학 기술에 대한 전문지식을 가진 연구자들이 모여 공동으로 연구 개발을 해야 그 성과를 기대할 수 있다.

3. 국내의 동향

지구의 환경문제를 해결하는데는 기존의 "End of Pipe Technology"를 지양하고 새로운 클린텍으로의 전환이 불가피함을 인지하여 1970년대부터 유럽, 미국,

일본등의 선진국이나 인도, 브라질같은 개발도상국에서 클린텍의 연구 개발을 관심을 갖고 상호간의 정보의 교환과 기술이전을 도모하고 있다. 이러한 공동목표가 응집되어 1987년에 국제 클린텍 협회(International Association for Clean Technology)가 발족되었으며 현재 오스트리아의 비엔나에 본부를 두고 있다. 국내외의 클린텍의 연구개발내역과 현황은 다음과 같다.

3. 1. 유엔 환경 계획, UNEP (United Nations Environment Programme)

UNEP의 IEO (Industry and Environment Office)에서는 산업발달과 자연환경 보전을 양립시키기 위해서는 전 세계적으로 무오염물 기술(Low and Non-Waste Technologies:LNWT)이나 폐기물의 회수 및 재이용(reutilization and recycling of wastes) 기술을 확대 보급해야 한다는 인식을 갖고 있다. 따라서 1977년부터 UNEP는 유럽 경제위원회(Economic Commission for Europe)와 공동으로 LNWT기술을 촉진하여 1987년 1월 경에는 화학, 제지산업과 같은 주요산업체에 적용시킬수 있는 LNWT기술을 129종 수집하였고 이것을 UNEP/IEO에서 유럽외에도 보급하고 있으며 Workshops이나 세미나를 후원하고 있다.

또한 "CLEANER PRODUCTION"이란 제목의 "newsletter"를 1년에 4회 발간하고 있으며, 특히 도금(Electroplating), 섬유공업(Textile industry), 할로겐류의 용매 그리고 탄닝(tanning)의 네가지 산업분야에서는 연구그룹을 형성하여 UNEP에 사무소를 두고 클린텍(Clean-Technology)의 성공적인 적용을 위하여 국제적으로 회원을 구성하고 있다.

3. 2. European Communities (EC) 유럽 공동체

유럽 공동체는 1973년부터 시작하여 1977, 1983, 1987년 4차례에 걸쳐 발전적으로 환경문제에 대한 정책을 채택하였다. 1979년 평의회에서 클린텍에 대한 정의를 내리고 3차부터는 기존의 오염처리방식에서 탈피하여 환경오염의 예방적 방식인 클린텍의 개발에 깊은 관심을 가지고 연구개발과 기술이전을 촉진하고 있다. 주목할 사실은 ACE(Action by the Community relating to the Environment) 프로그램을 계획하여 다음의 4가지 연구과제에 의한 "Demonstration Projects"에 대하여 연구비를 지원하고 있다.

- 클린텍의 개발
- 폐기물의 회수 및 재이용 기술의 개발
- 유해 폐기물에 의하여 오염된 지역의 정화
- 자연 환경의 질을 측정하고 추적할 수 있는 방법의 개발

“Demonstration Projects”는 실험실이나 pilot 단계에서는 연구가 끝났지만 아직 full-scale 단계에서 충분한 자료가 축적되지 못한 새로운 기술개발의 완성을 의미한다. 1985년에는 클린텍 개발에 관한 12종의 과제에, 그리고 1987년에는 클린텍 개발과 폐기물 재이용에 관해 모두 24종의 과제에 각각 연구비를 지급하였다.

2차에 걸친 연구지원에서 수행된 연구분야중 대표적인 클린텍 분야는 다음과 같다.

- 표면처리
- 피혁산업
- 섬유산업
- 셀룰로오스 및 제지공업
- 화학공업
- 농식품

또한, 폐기물의 회수 및 재이용 분야로서도 금속의 회수, 유출수의 재이용, 피혁산업, 광업, 화학, 농식품산업 등을 들 수 있다. 클린텍을 개발하는데 있어서 각 나라에서 중복되는 연구를 피하기 위하여 UNEP나 OECD등과 협력하여 전세계적으로 클린텍 기술의 보급을 실시하고 있다.

3.3. 미 국

미국의 환경정책은 환경청(Environmental Protection Agency)의 주도아래 지난 20년간 주로 환경오염의 예방보다는 오염물의 처리에 중점을 둔 end of pipe technology에 의존해 왔다. 이 기술의 개발로 인하여 대기, 수질 고형 폐기물의 관리에 어느 정도 효과를 보았다. 그러나 현재 미국에서 한도시를 제외하고는 대기중 오존의 농도가 기준치를 모두 초과하고 있다.

또한 대부분의 산업폐수에 가능한 최고의 처리기술에 근거한 기준치(Best Available Technology Standards)를 설정하고 있으나 기준치에 못미치는 수역이 많은 실정이다. 지하수의 오염도 심각하여 음용수의 수

질이 저하되고 매년 500~1000 종의 새로운 화학 물질이 개발되는 실정에서 기존의 end of pipe technology로는 이러한 제반 환경문제를 해결할 수 없다는 결론을 내리고 있다. 이러한 인식에서 미국 환경청은 오염방지부(Pollution Prevention Office)를 설치하여 클린텍의 연구개발을 가속화시키고 있으며, 미국 환경청에서는 클린텍을 적용함으로써 결국 경제적 이익을 얻을 수 있고 자원의 효율적 이용이 가능하여 오염물의 단순한 점이 문제를 해결할 수 있다고 결론짓고 있다.

EPA는 PPO외에도 산하에 ORD(Office of Research and Development), WRISE(Waste Reduction Institute for Scientists and Engineers), PPIC (Pollution Prevention Information Clearing house), OECM(Office of Coopertative Environmental Management), OSW(Office of Solid Waste) 등의 기관을 활용하여 클린텍의 개발과 환경정책에 이를 흡수하여 반영하기 위한 정책을 펴나가고 있다.

3.4. 일 본

1983년 일본산업공해방지협회(Industrial Pollution Control Association of Japan)는 일본의 통상성(MITI)의 후원으로 제4차 일본 전지역의 산업폐기물에 대한 조사를 하였다. 그 결과 약2억2천만 톤의 산업폐기물이 발생함을 확인해냈다. 일본은 협소한 국토로 인해서 매립이나 소각장의 용량이 거의 한계에 도달하였으므로 이 방법은 더 이상의 폐기물 처리방법으로 이용될 수가 없다. 따라서 폐기물 관리의 측면에서 전환이 이루어져야 하고 폐기물의 발생량 감소, 회수 및 재이용을 위한 클린텍 기술의 개발이 정부, 기업 그리고 소비자의 공동노력으로 이루어지고 있다.

여기에는 기술적 문제뿐만 아니라 경제적 문제가 뒤따르므로 일본정부, 특히 상공부가 이에 대한 중요한 역할을 하고 있으며 많은 연구개발 프로젝트를 추진시키고 있다. 최근 개발중에 있는 클린텍 기술의 예를 살펴보면 다음과 같다. 신에너지 개발기구(New Energy Development Organization)에서 1983년 이래 폐자원으로부터 알코올 생산을 위한 생물기술연구개발을 하고 있다. 농산물폐기물이나 산림폐기물로부터 알코올을 생산하기 위한 우량 박테리아의 배양, 일정한 알코

을 농도를 유지하기 위한 발효공정의 개발 및 고농도의 박테리아를 유지하여 발효효율을 높일 수 있는 고정화 공정(immobilization process)의 개발에 중점을 두고 있다. 또한 유전자 조작이나 세포융합에 의하여 새로운 균주를 개발하고 다량의 바이오매스를 높은 온도와 고농도의 조건에서도 고효율로 분해시키는 것도 연구되고 있다. 1983년부터 통산성 주관 아래 열개의 개인회사와 공동으로 100억엔 이상을 투자하여 도시 쓰레기에서 에너지와 자원을 회수하기 위한 연구를 수행하고 있다.

또한 국립환경 및 자원연구기관(National Research Institute for Pollution and Resources)에서는 도시하수나 산업폐수처리에서 발생하는 슬러지로부터 연료유를 생산하는 연구를 수행중이다. 기존의 슬러지 처리는 탈수, 건조, 연소과정에서 엄청난 에너지를 소모하며 발효공정으로 비료를 생산해도 중금속오염의 문제를 유발하지만 슬러지에 함유된 유기물을 Sodium Carbonate 촉매로 적절한 온도와 압력에서 연료오일을 생산하는 클린텍은 병커C유와 동일한 70,000~80,000kcal/kg의 열량을 지니고 있다. 이것은 통산성의 "Aqua Renaissance-90" 프로젝트의 중요한 연구과제로 채택되고 있다.

3.5. 국내동향

선진국은 후기 산업화단계에 들어와 있으므로 제조업분야가 차지하는 비중은 점차 낮아지고 반면에 상대적으로 오염물 배출이나 자원의 소모가 적은 정보산업이나 서비스업 분야가 증가하는 추세에 있다. 그러나 우리나라는 산업화 과정에 있으므로 제조업이 차지하는 비중이 점증하고 있어 에너지의 소비량은 물론 오염물의 배출량도 증가하여 자연환경의 수용능력을 감안할때 환경기준을 더욱 강화할 수 밖에 없다. 따라서 생산과 소비과정에서 에너지와 자원의 최대 이용을 통하여 자원의 보존과 폐기물의 배출량을 최소화시켜야 될 형편이다. 즉 클린텍의 개발이 절대 필요하다고 볼 수 있다.

그러나 환경보전의 측면에서 우리나라보다 상대적으로 유리한 입장에 있는 개발도상국들은 10여년 전부터 클린텍의 중요성을 강조하고 환경정책에 반영하고 있는 반면에 우리나라에서는 클린텍의 용어조차 대부분

사람들에게 익숙하지 않을 정도로 클린텍의 연구개발과 보급이 극히 미미한 실정이다.

우리나라에서 1년에 발생하는 산업폐기물의 양은 1989년도에 2천2백만톤으로서 1983년도의 1천만톤에 비교할 때 약2.3배가 증가하였으며 2000년에는 1989보다 약 3배가 증가한 6천 5백만톤이 발생될 것으로 추정된다.

환경문제와 직결되는 화석에너지 소비 현황을 보면 1965년과 1985년을 대비하였을때 무연탄 약3배, 석유류 21배 등으로 화석에너지의 소비가 급격히 증가하고 있다. 이와같은 고체 및 액체연료의 사용증가는 상대적으로 대기오염물질의 배출량을 가속화시키는 큰 요인이 되어 대기환경은 날로 악화되어가고 있으므로 산업체 폐가스나 자동차 배기가스 정화용 촉매의 개발 등이 날로 시급한 실정이다.

또한 생활하수, 각종 산업폐수 및 농축산 폐수에 의한 하천의 오염 특히 상수원의 수질 저하는 수도물에 대한 불신과 함께 국민의 건강을 위협하고 있다. 이처럼 중진국의 단계에서 산업화(Industrialization), 도시화가 가속되고 협소한 국토에 자원 및 에너지의 부족 상태에 있는 우리나라에서는 환경문제를 보다 근원적이고 다각적인 접근방법으로 해결하고자 하는 클린텍의 연구개발과 기술의 보급이 무엇보다 절실히 요청되고 있는 실정이다.

클린텍의 개념으로 볼때 우리나라에서도 전혀 연구가 이루어지지 않고 있는 것은 아니다. 단지 클린텍이란 용어를 사용하고 있지 않을 뿐 실제로는 폐기물의 재이용, 에너지 및 물질의 효율적 이용기술의 개발 및 청정에너지와 물질의 개발에 대한 기초연구와 실용화 연구가 부분적으로 이루어지고 있다. 또한 환경청 산하의 각 기관과 화학 및 에너지 관련국책연구소 및 산업체 연구소에서 환경보존을 위한 다각적 정책수립과 연구개발을 추진하고 있다. 각 분야별로 실용화되고 있거나 연구단계에 있는 것들을 몇가지 예시하면 다음과 같은 것들이 있다. 즉

폐기물 재활용 분야

— 폐수로부터 중수의 생산

— 농산물 폐기물로부터 메탄가스의 제조
물질 및 에너지의 효율적 이용 분야

- 열병합 발전
- 각 산업체의 전산기를 이용한 공정최적화 연구
- 청정에너지 및 물질개발 연구 분야
- CFC의 대체품 개발 연구
- 수소에너지의 저장 및 활용 연구
- 연료전지 개발 연구
- 생화학적 분해성 고분자수지 개발

- 무공해 농약 개발
 등의 연구가 단편적으로 진행되고 있으나 이와 관련된 기관이 산재되어 있어 체계적이고 종합적인 계획이 결여되고 있으며 아직 국제 클린텍협회에도 가입되어 있지 않아 이와 관련된 기술정보의 교환과 지구환경보전을 위한 국제적 기술이전이 이루어지지 않고 있는 입장에 있다. * (다음호에 계속)

회 고

보내실곳 : 서울시 중구 남대문로 4가 45 상공회의소 1221호
 (사) 환경보전협회 홍보부
T E L : 753-7640, 7669

각 회원사에서 일어나고 있는 일들, 연구·개발현황, 공지사항, 제언 그리고 시·수필 등을 200자원고지에 적어 보내주시면 본지에 선별·게재하고 게재된 원고는 소정의 고료를 드립니다. 단, 보내주신 원고는 일체 반환치 않습니다.