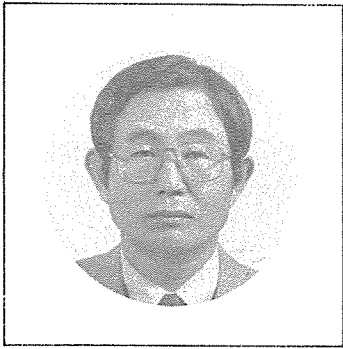


## 国内 클린텍의 연구방향

## 汚染物 발생 · 환경 有害性제거가 목표



李 華 榮

서울대교수 · 화학공학

최근 낙동강에 폐놀(phenol)이 유출되어 식수원이 크게 오염된 후 환경오염에 대한 국민들의 관심이 고조되어 가고 있다. 오염(Pollution)이란 말은 너무 자주 신문지상에 등장하는 반갑지 않은 단어이다. 소음공해, 악취, 상수원오염, 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 천연자원의 물리, 화학 및 생물학적 가공에 의해 필요로 하는 물질을 만드는 것은 불가피하게 되었고 이는 곧바로 환경변화와 오염원을 유발시키는 결과를 가져오고 있다.

현대 생활에서 필요한 인공적 제품의 순화과정은 천연자원으로부터 제품생산에 필요한 원료의 추출과정, 이 물질로부터 인간에게 유용한 제품을 생산하는 과정, 폐제품의 저장 및 수송과정, 폐제품의 이용과정 및 폐기물이 방출 등의

과정을 통해 공기, 물 및 토양의 오염을 유발하고 환경의 변화를 가져와 「하나뿐인 지구」를 우리 후세들에게 안락한 생존의 터전으로 넘겨줄 수 없는 위험에 처해 있다.

인공적인 물질중에서도 특히 화학물질은 지구 환경에 가장 심한 영향을 미친다. 과도한 화석에너지의 이용은 산성비를 만들고 이는 인간생존에 필요한 식물성장에 많은 악영향을 주며 위험한 액체 및 고체형태의 화학폐기물은 강 및 바다의 오염은 물론 지하수마저 오염시켜 동식물의 생태계에 변화를 주고 있다.

지구 전체의 문제를 볼 때 1986년도에 체결된 몬트리얼 의정서에서 규제하기로 한 CFC(Chlorofluorocarbon)의 경우 대기 상층권에서 오존층을 파괴함으로써 지구 생태계에 심각한 영향을 주게 되었으며 CO<sub>2</sub>에 의한 「온실효과」 역시 지구상의 온도상승 효과를 가져와 생태계에 큰 부작용을 유발하고 있다.

지역적으로는 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>에 의한 산성비로 인해 농업용수는 물론 금속의 부식문제가 제기되고 자동차 배기가스로 부터의 납이나 CO에 의한 문

제 및 인도 Bhopal에서 발생한 Methylisocyanate와 같은 유독물질의 누출, Cd에 의한 Itai-Itai병 등 화학물질에 의한 환경오염은 화학기술자들이 해결해야 하는 가장 중요한 과제라 할 수 있다.

화공기술자는 화학물질의 제조 및 처리과정에 전적으로 관련되어 있기 때문에 환경측면에서 이것들을 안전하게 관리할 책임이 있으며 환경보존이야말로 화공기술자들이 미래에 당면할 가장 중대한 도전분야이다. 화공기술자들이야말로 「화학물질의 요람으로부터 무덤」에 이르기까지 이들을 관리할 수 있는 가장 잘 훈련되어 있는 책임 있는 위치에 있기 때문에 이들로부터 야기될 수 있는 문제들을 미리 예견하고 방지해야 한다.

이렇게 하기 위해서는 모든 공정을 보다 안전하게 그리고 오염물질이 적게 발생하도록 하고 △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 청정에너지(Clean Energy) 및 청정물질의 개발은 물론 환경오염을 최소화하기 위한 물질 및 에너지의 효율적 이용기술의 개발이 있어야 한다.

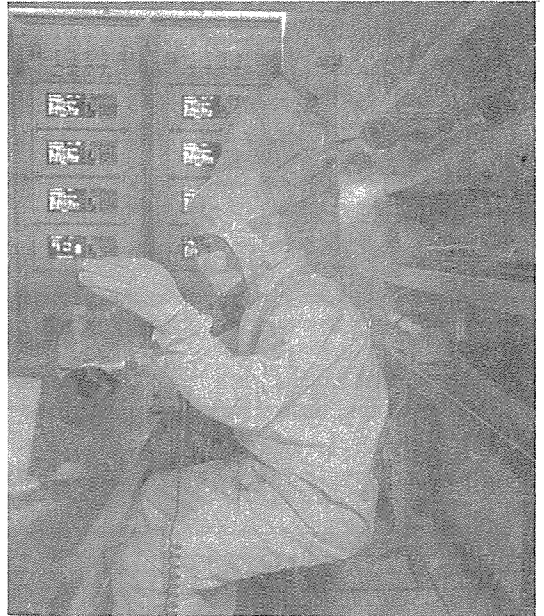
인류의 생존을 위한 과학의 지속적인 발달과 더불어 새로운 기술, 새로운 물질 등을 대상으로 한 연구가 지속되게 되며 이것은 바로 인간이 환경에 대한 도전으로 받아들일 수 있다. 환경에 대한 새로운 도전을 하기 위해서는 신제품, 신기술, 신원료가 생태계에 물리적 또는 생물학적으로 어떤 영향을 줄 것인가를 조사하고, 생태계에 미치는 영향이 인류 및 동식물에 노출되었을 때 동식물의 건강에 끼치는 영향을 조사하여 그 결과를 Feedback시켜 동식물의 생태계와 지구환경에 영향을 주지 않는 방향으로 기술개발과 신물질을 창출하는 것이 화공기술자들이 해야 하는 당면과제라고 할 수 있다.

## 클린텍(Clean Technology)이란

클린텍(Clean Technology)이란 한마디로 요약

하면 “보다 효율적인 생산과 보다 적은 오염물질을 배출(Better production & Less Pollutants)하는 기술을 뜻한다. 다시말해서 물질 및 에너지 절약 기술과 오염방제(방지하고 제거하는) 기술”을 지향하는 기술이다.

최근까지의 환경정책은 오염물질이 발생한 후에 이를 처리하는 기술(End of Pipe Technology)에 의존하여 왔고 이러한 기술의 개발에 중점을 두었다. 그러나 기존의 End of Pipe Technology는 △투자비와 운영비가 높다 △배출되는 오염물의 종류와 양은 증가하는 반면 보다 규제가 엄격



해지고 있는 환경기준에 맞추기 어렵다 △에너지 및 자원의 낭비를 감소시킬 수 없는 단점을 지니고 있다.

따라서 발생된 오염물을 단순히 처리하는 방식(Curative 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 Tec-

hnology)의 주된 목적이다.

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

## 외국의 동향

지구의 환경문제를 해결하는데는 기존의 “End of Pipe Technology”를 지양하고 새로운 클린텍으로의 전환이 불가피함을 인지하여 1970년대부터 유럽, 미국, 일본 등의 선진국이나 인도, 브라질같은 개발도상국에서 클린텍의 연구개발에 관심을 갖고 상호간의 정보교환과 기술이전을 도모하고 있다. 이러한 공동목표가 응집되어 1987년에 국제클린텍협회(International Association for Clean Technology)가 발족되었으며, 현재 오스트리아의 비엔나에 본부를 두고 있다. 국내의 클린텍의 연구개발내역과 현황은 다음과 같다.

UNEP(United Nations Environmental Programme, 유엔환경계획)의 IEO(Industry and Environment Office)에서는 산업발달과 자연환경 보존을 양립시키기 위해서는 전세계적으로 무오염물기술(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 유럽경제위원회(Economic Commission for Europe)와 공동으로 LNWT 기술을 축적하여 1987년 1월경에는 화학, 제지산업과 같은 주요산업체에 적용시킬 수 있는

LNWT 기술을 129종 수집하였고 이것을 UNEP/IEO에서 유럽외에도 보급하고 있으며 워크숍이나 세미나를 후원하고 있다. 또한 “CLEANER PRODUCTION” 이란 제목의 뉴스레터를 1년에 4회 발간하고 있으며, 특히 도금 섬유공업 할로젠류의 용매 그리고 탄닝 등 네가지 산업분야에서는 연구그룹을 형성하여 UNEP에 사무소를 두고 클린텍의 성공적인 적용을 위하여 국제적으로 회원을 구성하고 있다.

유럽공동체(EC)는 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. 특히 다음의 4가지 시범프로젝트에 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

시범프로젝트는 실험실이나 pilot 단계에서는 연구가 끝났지만 아직 fullscale 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 표면처리, 피혁산업, 섬유산업, 셀룰로오스 및 제지공업, 화학공업, 농식품 등이다. 또한 클린텍을 개발하는데 있어서 각나라에서 중복되는 연구를 피하기 위하여 UNEP나 OECD 등과 협력하여 전세계적으로 클린텍 기술의 보급을 실시하고 있다.

이것과는 별도로 1985년에 발족한 EC 및 유럽의 19개국(오스트리아, 벨지움, 덴마크, 독일, 필란드, 프랑스, 그리스, 아이스랜드, 아일랜드, 이태리, 룩셈부르크, 네델란드, 노웨이, 폴투갈, 스페인, 스웨덴, 스위스, 터키, 영국)으로 구성된

EUREKA ENVIRONMENT는 6400 MECU에 달하는 예산으로 300여개의 프로젝트 연구수행을 위한 1600개의 회사, 연구소 및 대학들이 참여하고 있다. 이 연구계획에는 Information Technology, Robotics and Production Automation, Communications, New Materials, Medical and Biotechnology, Transport, Energy Technology, Lasers and Environment 등 모든 분야가 망라되어 있다.

1989년 비엔나에서 개최된 EUREKA 관계국 각료회의에서 채택한 1989~1992년에 수행될 중기계획은 32개의 프로젝트이며, 600 MECU예산에 110개의 회사와 200개의 연구소 및 대학을 포함한 340개의 관계기관들이 참여하고 있다.

EUREKA의 기구는 각료회의(Ministerial Conference), 고위급기구(High Level Group), 실무진기구(National Project Coordinators) 및 사무국(EUREKA Secretariat)으로 구성되어 있으며 회원국 참여기관간의 정보교환은 물론 연구결과를 토로하여 환경오염과의 전쟁에 만전을 기하고 있다.

미국의 환경정책은 환경청(Environmental Protection Agency)의 주도아래 이루어지고 있다. 미국 환경청은 Pollution Prevention Office를 설치하여 클린텍의 연구개발을 가속화시키고 있으며, 미국 환경청에서는 클린텍을 적용함으로써 결국 경제적 이익을 얻을 수 있고 자원의 효율적 이용이 가능하여 오염물의 단순한 전이문제를 해결할 수 있다고 결론짓고 있다. EPA는 PPO외에도 산하에 ORD(Office of Research and Development), WRISE(Waste Reduction Institute for Scientists and Engineers), OECM(Office of Cooperative Environmental Management), OSW(Office of Solid Waste) 등의 기관을 활용하여 클린텍의 개발과 환경정책에 이를 흡수하여 반영하기 위한 정책을 펴나가고 있다.

1983년 일본산업공해방지협회(Industrial Pollution Control Association of Japan)는 일본의 통산성(MITI)의 후원으로 제4차 일본 전지역의 산업폐기물에 대한 조사를 한 바 약 2억2천만 톤의 산업폐기물이 발생함을 확인해냈다. 일본은 협소한 국토로 인해서 매립이나 소각장의 용량이 거

의 한계에 도달하였으므로 이 방법은 더 이상의 폐기물처리 방법으로 이용될 수가 없다는 결론을 내리고 폐기물 관리의 측면에서 전환이 이루어져야 하고 폐기물의 발생량 감소, 회수 및 재이용을 위한 클린텍기술의 개발을 정부, 기업 및 소비자의 공동노력으로 이루어지고 있다. 그동안 통산성이 주축이 되어 신에너지 개발기구(New Energy Development Organization)에서 폐자원으로부터 알코올 생산을 위한 생물기술연구개발, 농산폐기물이나 산림폐기물로부터 알코올을 생산하기 위한 고정화공정(immobilization process)의 개발, 도시쓰레기에서 에너지와 자원을 회수하기 위한 연구 등을 수행하고 있다. 그러나 보다 근원적인 환경오염방제를 위하여 환경연구영역을 다음과 같이 3개의 영역으로 크게 나누어 장기적이고 체계적인 연구를 추진하고 있다.

- △인위기원 물질의 환경중의 순환과 제어
- △환경오염의 인체영향
- △도시권의 환경계획의 체계화

## 국내동향

선진국에 비하여 우리나라는 산업화 과정에 있으므로 제조업이 차지하는 비중이 점증하고 있어 에너지의 소비량은 물론 오염물의 배출량도 증가하여 자연환경의 수용능력을 감안할 때 환경기준을 더욱 강화할 수밖에 없다. 따라서 생산과 소비 과정에서 에너지와 자원의 효율적 이용을 통하여 자원의 보존과 폐기물의 배출량을 최소화시켜야 될 형편이다.

우리나라에서는 1년에 발생하는 산업폐기물의 양은 1989년도에 2,200만톤으로서 1983년도의 1,000만톤과 비교할 때 약 2.3배가 증가하였으며, 2,000년에는 1989년보다 약 3배가 증가한 6,500만톤이 발생될 것으로 추정된다.

환경문제와 직결되는 화석에너지 소비현황을 보면 1971년과 1989년을 대비하였을 때 석탄 약 4배, 석유류 4배 등으로 화석에너지의 소비가 급격히 증가하고 있다. 이와같은 고체 및 액체연료의 사용증가는 상대적으로 대기오염물질의 배출

량을 가속화시키는 큰 요인이 되어 대기환경은 날로 악화되어가고 있으므로 산업체 폐가스나 자동차 배기가스 정화용 촉매의 개발 등이 시급한 실정이다.

또한 생활하수, 각종 산업폐수 및 농축산폐수에 의한 하천의 오염 특히 상수원의 수질저하는 수도물에 대한 불신과 함께 국민의 건강을 위협하고 있다. 이처럼 증진국의 단계에서 산업화 및 도시화가 가속되고 협소한 국토에 자원 및 에너지의 부족상태에 있는 우리나라에서는 환경문제를 보다 근원적이고 다각적인 접근방법으로 해결하고자 하는 클린텍의 연구개발과 기술의 보급이 무엇보다 절실히 요청되고 있는 실정이다.

클린텍의 개념으로 볼 때 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 실용화연구가 부분적으로 이루어지고 있다. 또한 환경청 산하의 각 기관과 화학 및 에너지 관련 국책연구소 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 증수의 생산
  - 농산물 폐기물로부터 메탄가스의 제조
  - 폐유 및 페타이어의 재이용
- 물질 및 에너지의 효율적 이용분야
  - 열병합 발전
  - 에너지 절약기술의 개발
  - 각 산업체의 전산기를 이용한 공정최적화 연구
- 청정에너지 및 물질개발 연구분야
  - CFC의 대체품 개발 연구
  - 수소에너지의 저장 및 활용연구
  - 연료전지 개발 연구
  - 생화학적 분해성 고분자수지 개발
  - 무공해 농약개발 등의 연구가 단편적으로 진

행되고 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.

## 클린텍의 연구방향

클린텍 연구의 지향하는 목표는 오염물의 발생을 근원적으로 없애거나 극소화하고 환경에 대한 유해성을 감소시키며 아울러 에너지 및 자원을 절약하는데 있다. 기존의 end of pipe technology 처럼 이미 발생된 폐기물(기체, 액체, 고체)을 환경기준에 맞게 처리하는 것만으로는 앞에서 언급한 바와 같이 이러한 목표를 달성하기가 불가능하다. 따라서 환경보존의 과제를 보다 근원적이고 다각적인 방향에서 해결하기 위한 방안으로 다음과 같은 세가지 연구분야를 생각할 수 있다.

- 발생된 폐기물에서 에너지와 유용한 물질을 회수하여 이용할 수 있는 신기술을 개발하기 위한 폐기물(기체, 액체, 고체)의 처리 및 재이용기술의 연구개발분야
- 산업체에 공정의 최적화나 신공정을 도입하여 에너지 및 '원료를 절약하고 폐기물의 발생을 극소화시키기 위한 물질 및 에너지의 효율적 이용을 위한 연구분야
- 공해물질을 발생하지 않는 청정에너지(Clean Energy) 및 물질의 개발연구 분야

이러한 연구들이 효율적으로 진행되고 실효를 거두기 위해서는 환경공학, 환경화학, 생물공학, 공정최적화, 촉매화학 및 공학, 유기합성, 표면처리, 분리공정, 전기화학, 반응공학 등의 다양한 전공을 지닌 전문연구원들로 구성된 학제적연구(Interdisciplinary work)가 필요하다.

◇ 이 글은 '91 國內外 한국과학기술자 학술회의 春季워크숍에서 발표된 내용이다. .... 편집자