



2

외국의 청정기술 개발 현황



이 철호 / 한국화학연구소 환경화학연구부
청정기술연구실장

I. 청정기술의 도입 배경

기존의 환경정화방법인 오염물질사후처리기술(End-of-Pipe Technology)은 정부 혹은 지방자치단체가 정한 기준에 의한 배출과 이의 수집 및 종합처리를 기본방침으로 하며, 채택하고 있는 처리기술은 오염물질의 고형화 및 이의 매립을 근간으로 하고 있다. 하지만 이러한 처리개념은 오염물질의 배출자와 처리자가 서로 다르기 때문에 생기는 처리의 부적절성 및 매립지의 2차 오염 등 변형된 양상의 오염물처리문제를 동반하게 되며, 오염물질의 생성과정에서 원천적으로 에너지 및 자원의 낭비를 감소시킬 수 없다.

한편, 소비함목적적기능성만 고려된 합성수지, 농약, 합성세제 등 각종 인위적인 화학물질은 사용에 끝난 제품이 환경에 퍼지는 영향에 대한 배려가 이루어지지 않았기 때문에 자연계의 물질순환을 단절시켜 부분적으로 어떠 자연의 자정능력으로는 돌이킬수 없는 환경오염을 유발시키고 있다.

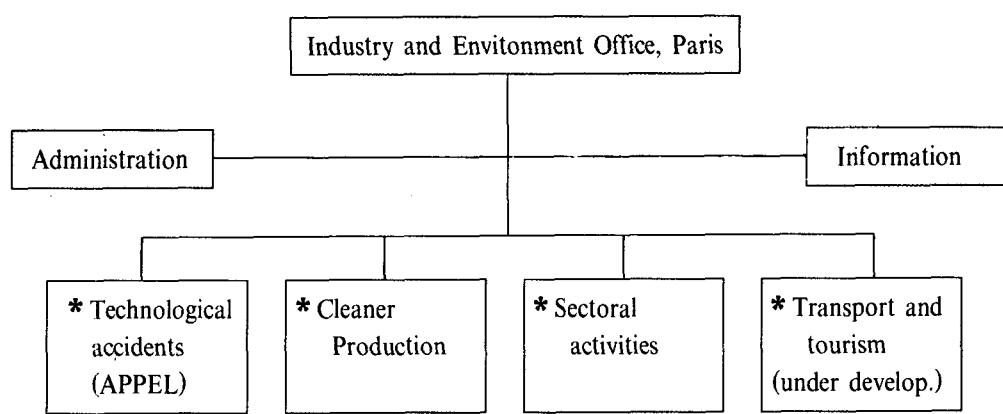
규제하배출 및 배출후 수집처리를 기본개념으로 하는 End-of-Pipe Technology로서는 환경문제의 근본적 해결이 어려우리라는 인식이 선진산업국 간에 확산되어 1970년대 중반부터 청정기술의 연구개발 및 정보교환을 도모하여 왔다. “청정기술”(Clean Technology)은 Low and Non-Waste

Technologies(LNWT), Cleaner Production, Pollution Prevention, Waste Reduction, Waste Recycling, Resource Utilization, Residue Utilization 등의 개념을 포함하고 있으며 산업체제품의 생산, 사용 및 폐기과정에서 발생되는 환경유해물질의 생성 또는 배출을 억제하고 이들을 회수 재사용하여 자원화하는 기술을 말한다.

청정기술을 그 대상에 따라 크게 구분하면 위에서 본 바와 같이 청정제조공정기술과 청정물질개발기술로 대별할 수 있으며 이의 개발 및 보급주체는 정부·공공기관, 산업계, 비정부기구(NGO : Non-Governmental Organization)로 나눌 수 있다. 청정기술에 대한 연구개발 및 이의 보급을 위한 노력은 유럽 각국, 미국, 일본 등 기술선진국과 인도, 타이란드, 브라질등 개발도상국을 중심으로 이루어져 왔으며 청정물질은 주로 산업계를 중심으로 개발되어 정부·공공기관을 통한 환경마크제도의 도입과 시민단체의 호응에 의해 보급되고 있다.

II. 정부·공공기관의 동향

유럽 각국은 지리적, 산업적 특성에 따라 환경문제에 지대한 관심을 보여 왔으며 이러한 노력을 바탕으로 유럽공동체(European Community)를 통한 공동대응을 모색해오고 있다. 그 결과 중 하나가



ACE(Action by The Community Relating to The Environment) Program 으로 1987년 까지 청정기술에 관한 36개의 시범과제에 대하여 과제별 소요 연구비의 30% 범위 내에서 총 6백만 ECU(유럽통화단위)의 연구비를 지원하였다. 한편 UNEP/IEO (Industry and Environment Office of United Nation of Environment Programme)는 1977년부터 ECE(Economic Commission for Europe)와 공동으로 LNWT(Low and Non-Waste Technology) 관련기술을 수집하여 보급하고 있다. 또한 1991년부터 프랑스 파리에 있는 IEO를 청정생산계획(Cleaner Production Programme)의 주관기관 (Programme Activity Center)으로 선정하여 청정 생산(Cleaner Production) 및 산업재해 (Technological Accidents)방지를 우선과제로하는 그림 1. 과 같은 조직을 운영하고 있다.

표 1. 중 “Cleaner Production” 분야의 업무는
1) Working groups, 2) News letter, 3) Information exchange, 4) Hazardous waste management training 으로 이루어져 있으며 1991년 11월 현재 Tannery, Metal finishing, Textiles, Biotechnology, Education, Pulp and paper, Halogenated solvent, Petroleum, Data networking 및 Policies, strategies and instruments to promote cleaner production의 10개 working groups가 주로 학계나 공공기관을 중심으로 하여 설립·운영 중이며 국제환경기술센터(International Environmental Technology Center)를 일본에 설립하기로 하였다.

표 1. 네델란드의 폐기물 처리 계획

년도	1988	1994	2000
매립	55%	30%	10%
소각	10	25	25
재활용	35	40	55
원천제거	-	5	10
합계	100	100	100

영국은 1990년부터 상공부(Department of Trade and Industry)가 주관하여 ETIS(Environment Technology Innovation Scheme), EMOS(Environment Management Options Scheme), Euroenviron 등의 프로젝트를 추진중이며 과학기술회의(SERC: Science and Engineering Council) 주관하에 백만 파운드의 예산으로 청정공정 및 청정제품 개발계획을 수행하고 있다. 네델란드는 1989년에 발표한 국가환경정책계획(NEPP: National environmental Policy Plan)과 연계하여 화란 응용과학연구기금의 10% – 1989년 기준 미화 165 만불을 환경연구에 투자하고 있다. 주연구방향은 원료, 제조공정, 제품 및 폐기물을 사이클화하여 물질의 전주기순환을 목표로 하며, 에너지 소비량을 절감하고 단위효용당 에너지효율을 극대화하여, 표 1.에 보이듯이 서기 2000년 까지 매립처리율을 10%까지 낮추고, 재사용 및 원천제거율을 65%까지 향상시키는 것이다.

프랑스의 경우는 환경대책의 방향을 청정제품(Ecoproducts) 사용량의 증가, 회수 재활용, 경제적

보조에 의한 청정기술의 개발에 두고 있다.

미국 환경청(US/EPA)은 전통적으로 Pipe Technology를 기본처리개념으로 하여 환경문제에 대응해 왔으나 서론에서 밝힌 바 있는 문제점이 노출되어 1980년대 중반부터 오염물질의 원천적 차단 및 회수재사용을 최상위개념으로 하여 가능한 오염물의 누출을 우선 억제한 후, 불가피하게 배출되는 오염물에 대하여 적절한 처리 및 폐기를 주개념으로 하는 이른바 “오염 방지(Pollution Prevention)”를 도입하였다. 이의 효율적 수행을 위하여 오염방지국(Pollution Prevention Office)을 설치하여 전반적인 관련업무를 종합·조정하도록 하였으며, EPA의 주요간부들로 구성된 오염방지자문위원회(PPAC : Pollution Prevention Advisory Committee)를 설립하여 EPA 전 부서간의 업무를 조정하도록 하고 있다. 이에 따라 EPA 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, 그동안 Pollution Prevention News, Waste Minimization Opportunity Assessment Manual, Pollution Prevention Case Studies Compendium, Waste Minimization for Hazardous Materials Inspectors 등을 발간하였다. 한편 PPIC는 UNEP 등과 협력하여 청정기술에 관한 유럽의 자료를 포함하여 자료검색 시스템인 ICPIC(International Cleaner Production Information Clearinghouse)를 운영하고 있다. 이 시스템은 개인용전산기와 모뎀만 갖추면 세계 어디에서라도 무료로 접속이 가능하도록 되어 있다. 현재는 용량이 부족하여 실제 접속에 어려움이 따르는 예가 있으나 증설작업이 완료되는 1993년 하반기 부터는 무척 유용하게 될 것이다.

일본은 과거 산업화과정 중에 집단오염사건등 심각한 공해문제를 경험하였으며, 세계적인 오일 쇼크를 에너지효율화기술을 통하여 성공적으로 극복하였으므로 이 두 가지의 경험과 기술은 전 분야에 걸쳐서 깊이 뿌리내려져 있다. 청정기술분야의 정부주도 연구개발과제로는 통산성이 주관하는 에

너지절약기술개발-일명 문 라이트 프로젝트-를 들 수 있다. 과제별로 10년 내외의 기간에 걸쳐 이 루어질 이 계획은 연료전지, 고도열펌프, 초전도전력이용, 세라믹 터빈, 에너지절약표준화 등을 연구 목표로 하여 1991년도에는 약 120억 엔의 연구비를 투입하였다. 한편 1985년부터 1990년까지 6년에 걸쳐 수행된 수총합재생이용 시스템-일명 아쿠아 르네상스 '90프로젝트-에 의해 협기성 바이오리액터와 분리막을 결합한 폐수처리시스템을 연구하였다. 또한 신에너지 개발기구(NEDO : New Energy Development Organization)를 통한 폐기물로 부터 알코올을 생산하려는 연구도 이루어졌다.

III. 산업계와 비정부기구의 동향

산업계의 동향은 청정제조공정개발 분야와 청정 물질개발 분야로 나누어 검토한다. 후자의 경우는 개발결과가 기업의 수익에 직접 기여하므로 주로 기업내부 혹은 기업과 연구기관과의 협력에 의하여 이루어지며 수행중에 얻어진 결과에 대하여는 비교적 엄격한 보안이 유지된다. 한편, 전자의 경우에 있어서는 개발성과가 단순히 기술에 의해서만 이루어지는 것이 아니라 사업장의 주변여건, 종사원의 훈련정도, 부산물의 국부적 상업가치등 많은 특이 요인을 포함하고 있으므로 동종산업체라고 할 지라도 단순모방에 의해 같은 효과를 기대하기 어려우며, 청정제조에 대한 개발실적이 주변 지역사회나 일반소비자의 기업인상에 미치는 영향이 지대하므로 비교적 자유롭게 그 결과를 공개하고 있다. 표 2.는 세계적 대기업 혹은 다국적기업들이 전사적으로 별이고 있는 청정기술관련 계획을 발췌· 요약한 것이다.

이와 같은 대기업의 전사적 차원에서 이루어지는 노력 이외에도 중소기업단위 혹은 각 사업장 별로 얻어진 성공사례(Case Study)가 다수 보고되어 있으며, 이러한 자료들은 전술한 UNEP IE/PAC의 각 Working Groups, US/EPA/PPO, 혹은 ICPIC 등을 통하여 입수할 수 있다. 이러한 성공 사례들이 일반적으로 채택하고 있는 청정기술 개발 과정은 다음과 같다.

- ### 1) 계획설립 : 책임자선정, 방향설정, 참가자의 공

표 2. 대기업 혹은 다국적기업의 청정기술 관련계획

회사 명	명칭 및 개시년도	내용 및 목표	달 성 도
AMOCO	WMP, 1983 Waste Minimization Program	유해폐기물의 생성 및 배출억제, 일반폐기물처리 과정감시	개시후 1988년 까지 유해폐기물의 86% 감량하여 미화 5천만불 절감
CHEVRON	SMART, 1987 Save Money & Reduce Toxics Program	오염물 원천차단, 비독성 원료대체, 폐기물 회수, 재활용, '92년까지 65%감량 및 잔량 재활용	개시후 1990년까지 유해폐기물의 60%감량하여 미화 천만불 절감
DOW	WRAP, 1987 Waste Reduction Always Pays	제조시설에서의 원천차단 및 현장 재활용 감량활동의 행정지원, 포상, 사례자료화	SARA313 배출량 21%감량, 1984년에 비해 1989년 까지 54% 배출 감량
General Dynamics	Zero Discharge, 1985	폐기물 원천차단, 원료대체, 회수, 처리 및 소각 규제물질의 공장외 무배출	1988년 까지 8만톤감량(약 72%상당)동기간중 매출은 미화 20억불 증가
MONSANTO	Priority One (TRI wastes)	공정개선, 회수재사용, 유해물질 대기배출억제, TRI wastes 감량	1987 – 1990 기간에 유해물질 대기 방출량 39% 감량
3M	3P, 1975 Pollution Prevention Pays	1) 회수, 2) 원부재료교체 3) 공정 개선, 4) 장치개조 1992년 부터 3P+ 계획 추진중	1991년 까지 대기배출물 : 13만톤 폐수 : 625만톤 수질오염물 : 2만톤 고형폐기물 : 43만톤 감량 미화 5억불 절감

감대구축

- 2) 예비평가 : 자료수집, 현장확인, 개발대상의 우선순위결정
 - 3) 계획표작성 : 목적의 확실한 정의, 외부지원 고려, 장애요소 검토, 일정표 작성
 - 4) 상세평가 : 자료 및 현장 재확인, 가능한 개선 방법수집, 수집된 방법의 우열비교
 - 5) 실시가능성분석 : 기술적, 경제적, 환경영향적
 - 6) 개선작업수행 : 평가서 작성, 공정선정, 자금확보, 설치
 - 7) 개선도 평가 : 자료수집, 성과분석

화학 물질 자체를 무공해 또는 저공해화하여 환경 오염을 근원적으로 제거하기 위한 청정 물질의 개발은 플라스틱, 계면 활성제, 농약 등의 제품 분야에 특히 두드러진다. 태양광에 의해 분해하는 광분해성 고분자, 미생물에 의해 분해되는 생분해성 고분자, 두 가지 성질을 겸비한 자연 분해성 고분자 등의 개발이 다각적으로 추진되고 있으며 부분적으로 실용화 단계에 있다. 대표적인 분해성 고분자 개발 박학과 개발 업체를 살펴 보면 다음과 같다.

- 1) 광분해성고분자 개발업체
 - Ketone계 : Eco Plastics (Ecolyte) Eastman Kodak
 - Ethylene/CO계 : Dow Chemical, DuPont, Bayer, Union Carbide (ECO)
 - 첨가제계 : Ampact (Polygrade), Princeton Polymer Lab. (Plastigone), Bio Degradable Plastic
 - 2) 생분해성고분자 개발업체
 - 미생물제재 (PHB) : ICI (Bipol), MIT대학, 동경 공대
 - 전분 첨가품 : 미국 농무성, Archer Daniels Midland (Polyclean), Coloroll 일리노이대학, Iowa 주립대, 스위스 바텔 연구소, St. Lawrence, Starch (Ecosta)
 - 다당류 함유품 : 일본 공업 기술원, 미국 육군 연구소
 - 합성 고분자 : Union Carbide (Polycaprolactone), Purdue대 (Polylactic Acid), 일본 공업 기술원, Mitsui 석유화학

3) 자연분해성 고분자와 개발업체

- 일본 생분해성플라스틱 연구회: 분해성고분자
의 상품화와 국제회의개최를 목적으로 약 60
개 화학회사(쇼와덴코, 스미토모화학, 아사이
카세이 등)로 구성되어 있다.
 - 일본 신에네르기 산업기술 종합기구: 생물공학
적기법에 의한 생물고분자를 생산하려는 목적
으로 화학, 건설, 섬유의 9개 대기업으로 구성
되었으며 '90년부터 8년간 약 20억 엔을 연구
비로 투자

-미국 농무성, 대학 및 업체 간의 공동 연구
한편, 계면활성제에 의한 환경오염을 극소화시키기 위하여 천연원료와 미생물을 응용한 생분해도가 높은 계면활성제 또는 소량으로 소기의 목적을 달성할 수 있는 고성능 계면활성제들이 주로 연구되고 있으며, 선진국에서의 계면활성제 개발분야의 주요 목표는 저오염, 고분해성, 고성능, 고수율, 저가격 등이다.

- 1) 일 본: 미생물을 이용한 surfactant 개발
(Kao 사)
 - 2) 미 국: 주로 해양오염 제거용 oil recovery를 위해 개발되어 왔고 Philips Petroleum Co., NRC(National Research Council), NSERC 등에서 연구중

3) 카나다: Alberta Oil Sands Research Authority에서 oil recovery용으로 개발

인구증가에 따라 식량증산을 위해 농약사용량은
갈수록 증가하고 있으며, 잔류농약에 의한 환
경오염문제 해결을 위해 선진국에서는 천연물
의 유효성분 또는 미생물의 대사산물인 항생
물질, 미생물추출물 등 미생물제재가 살충제,
살균제, 제초제 및 식품생장 조절제로서 이미
상품화 되고 있고, 타 식물에 대해 특이한 생
리작용을 갖는 식물이나 병원균의 분비독소가
제초제로 연구되고 있다.

1) 살충제 :

- 아프리카산 식물종자의 독성분인 Physostigmine 유도체의 핵심성분인 N-Methyl carbamoyl기를 선도화합물로 하는 carbamate계 살충제
 - 제충국의 살충 성분 pyrethrin을 선도화합물로 하는 pyrethrin제 살충제
 - 미생물로부터 분리된 살충성 물질인 Aver-

mectin의 상품화

- 미생물 살충제인 BT제 (또는 독소)

2) 살균제 :

- 방선균 같은 미생물의 대사산물인 항생물질 (Streptomycin, Blasticidin S, Kasugamycin, Polyoxin, Validamycin etc.)의 농업용 상품

- 미생물제 Agrobacterium K84

3) 제초제 및 식물 생장조절제

- ### -미생물 제재인 Bialaphos

-식물병원균을 이용한 제재인 Collego, Devine 환경문제에 대한 비정부기구의 가장 두드러진 활동은 녹색당(Green Party)에서 볼 수 있으며, 청정기술분야만을 떼어 놓고 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 활용 기술을 증진시키는 것을 그 설립이념으로하고 있다. 이 협회는 러시아, 중국, 가아나, 체코, 포르투갈, 유고슬라비아, 헝가리, 오스트리아 등에 네트워크 센터를 두고 있으며 설립이념에 따르는 자유로운 활동을 보장받기 위하여 비영리조직 및 비정부관련 기관으로부터의 참가만을 인정하고 있다.

IV. 맷음말

공업생산품 및 에너지의 제조, 운송, 사용 및 폐기의 전주기에 걸쳐서 발생하는 환경오염물질은 이미 지구의 자연정화능력을 벗어난 것으로 보인다. 이의 해결을 위해서는 기왕의 산업공해물질이라는 End-of-Pipe Technology의 개념을 적용하는 것으로는 미흡하며 제품의 전주기에 걸친 순환을 대상으로 각 단계별로 처해진 위치에서 가장 환경에의 충격이 적은 방법으로 자연계에 되돌려 놓거나 에너지 및 자원의 효율이 가장 좋은 방법을 채택하여 산업계로 순환시키는 길을 모색하여야 할 것이다. 이러한 노력은 70년대 중반부터 선진 산업사회를 중심으로하여 시도되었으며 80년대 중반을 넘어서면서 각 국으로 확산되고 있다. 하지만 이러한 노력이 결실을 보기 위하여는 앞에서 본 바와 같이 국가를 구성하고 있는 각 기관, 단체 및 개인들의 깊은 이해와 참여가 따라야 할 것이다.