

# 청정 기술의 개요

국립 공주 대학교 공과대학 화학공학과  
조교수 공학 박사 이 철 호

## I. 서론

70년대 후반부터 유럽을 중심으로 추구되어 오던 청정 기술은 80년대에 들어서 북미와 아세아 각국의 관심을 끌며 빠른 속도로 확산되고 있다. 특히 우리 나라에서도 청정 기술에 대한 관심이 고조되어 오던 중 금년에는 한국 청정 기술 학회가 창립되는 쾌거를 이루었다. 과학기술과 환경문제를 보는 많은 사람들의 견해는 인류가 직면하고 있는 환경문제가 과학기술의 발전을 토대로 한 풍요로운 삶을 누리기 위하여 필연적으로 지불하여야 할 대가로서, 풍요로운 삶과 쾌적한 환경이란 서로 양립될 수 없으며 과학기술이나 이를 활용하는 산업은 환경에 대하여 긍정적인 영향을 줄 수 없으리라는 것이다. 하지만 이러한 시각은 과학기술의 환경문제 해결에 대한 기여 가능성을 간과하는 소극적인 시각으로서, 기왕의 과학 기술이 상업성을 근간으로 하여 개발되어 온 결과만을 보기 때문이다. 따라서 산업 활동에 소요되는 자원의 활용도를 극대화하거나, 산업 활동 중에 발생하여 자연으로 순환되는 환경유해물을 극소화하는 데에 과학기술을 적극적으로 활용함으로써 쾌적성이 보장된 풍요로움을 지속시킬 수 있을 것이다. 본 고에서는 환경문제에의 총체적인 대응을 목표로 개발되어 온 청정 기술의 특징 및 해외 동향을 살펴보고 이 개념을 개별 산업에 도입하는 과정을 기술하고자 한다.

## II. 청정 기술의 특징

### II-1. 목표

청정 기술이란 인류의 산업 활동에서 발생할 수 있는 환경오염 요인을 사전에 감소시키기 위한 기술로서 다음의 세가지로 대별할 수 있다.

- 1) 자원의 소비나 오염물의 발생을 극소화할 수 있는 새로운 생산 기술 혹은 기존 공정의 개선 기술.
- 2) 부산물을 재 가공하여 자원 효율을 극대화하는 기술.
- 3) 기존 제품의 성능에 뒤지지 않으면서 생산시 혹은 사용후 물질의 환경위해성이 보다 적은 제품의 개발 기술.

청정 기술이 지향하는 목표를 요약하면 "Better Production And Less Pollutants"로 표현할 수 있으며, 산업 제품의 생산에서 폐기에 이르는 전주기에 걸쳐 야기될 수 있는 모든 환경오염 요인을 대상으로 이의 최소화를 목표로 한다. 따라서 규제하 배출 및 수집 처리를 기본 개념으로 하는 기존 방식에 비해 보다 적극적이고 총체적으로 환경문제의 해결에 접근하려는 기술이며, 산업 제품의 상업적 가치를 판단하는 기준으로서 경제성 및 환경위해성을 동등한 수준에 놓고자 하는 의도를 내포하고 있다. 이러한 개념에 입각하여 청정 기술이란 공정을 개선하여 원부자재 및 유틸리티의 활용도를 증가시키고, 생성된 부산물 및 폐기물을 회수 재 사용하여 자원의 활용도를 증가시키고, 오염물질의 환경 배출을 최소화하는 청정제조공정기술과, 기존 제품에 비해 성능은 뒤지지 않으면서 환경위해성이 보다 적은 제품을 개발하는 청정물질개발기술로 구분할 수 있다.

## II-2. 특성

청정 기술의 특성으로는 우선 적용 대상 및 요소 기술의 다양성을 들 수 있다. 적용 대상은 공정 내에 유입되는 원부재료 및 유틸리티와 이들의 물리 화학적 처리에 의해 생산되는 제품, 부산물 및 폐기물을 포함한다. 한편 이들 대상에 적용되는 요소 기술은 대상으로 하는 물질에 대한 물리 화학적 이해와 환경 영향 및 이를 만족시키는 처리 방법등 기존의 공정 개발 과정에서 요구되는 거의 모든 기술 분야를 망라하게 된다. 하지만 공정 및 제품의 경제성 이외에 환경적 요구라는 또 하나의 목표를 설정하게 되므로 이 둘을 동시에 만족시킬 수 있는 새로운 목표를 지향하는 점에서도 다양성을 느끼게 된다.

청정 기술은 기존의 환경 기술과 달리 실시 효과의 제일 척도로서 경제성을 들고 있다. 경제성의 평가에는 물론 환경오염 부담금도 고려하고 있으며 동일 제품을 생산하는 공장이라고 할 지라도 적용하고자 하는 생산 현장에 따라 적용 방법이나 기대 가능한 경제성이 서로 다른 특이성을 보인다. 이는 청정 기술을 성공적으로 도입하기 위하여는 이 기술을 구성하고 있는 기술 개념이나 장치 자체보다도 이 기술을 운영하는 작업자 혹은 여타 종사자들의 환경에 대한 인식이 선행되어야 하기 때문이다.

청정 기술의 또 다른 특성으로서 미래지향성을 들 수 있다. 기술 선진국의 산업 발달 과정을 보면 산업 혁명 이후 범용 제품의 대량생산에 의한 자본집약기를 거친 후, 제품의 정밀화 차별화를 통하여 기술 집약적 고부가가치화를 이룩하였으나, 이러한 제품군이 갖는 수요량의 한계, 자원 순환량의 빈곤, 잉여 노동력 발생 등의 문제점을 해결하기 위한 새로운 형태의 산업이 요구되고 있으며 동시에 지구 규모 환경문제의 심각성 등이 결합되어 환경 위해요인을 저감하는 기술을 도입한 새로운 형태의 산업이 점차 부각되고 있는 추세이다. 이는 발전된 환경 기술과 일반 대중의 고양된 환경 의식을 발판으로 하여 환경 마크 제도 등의 소비자 운동이나 Montreal Protocol과 같은 형태의 다국간 규제를 앞세운 새로운 기술 수요를 창출하게 될 것이며 청정 기술은 이러한 세계적 기술 추세에 부응할 수 있는 미래지향적 기술이라 할 수 있을 것이다.

### II-3. 도입배경

일반적으로 환경오염을 야기시키는 3대 요인으로 인구 증가, 도시화 및 산업화를 들고 있다. 국내에서는 Table 1 에서 보는 바와 같이 1961년에서 1986년까지 25년 간에 걸친 도시화율이 인구 증가율의 1.7배를 상회하고 있으며, 산업화율은 인구 증가율 보다 4배 이상(에너지 사용량 기준) 증가하고 있음을 알 수 있다 [1]. 따라서 산업 현장에서 발생하는 환경위해물질의 배출을 억제하고자 하는 청정 기술은 국내 환경 문제중에서 가장 빠르게 확산되고 있는

Table 1. The increasing rate of domestic environment contamination factors

구분	지표	61년 기준치	86년기준치	증가율
인구 증가	총인구(천명)	25,441	41,569	60%
도시화	도시 인구(천명)	6,999	31,094	340%
	도시 인구 비율(%)	27.5	74.8	170%
산업화	5인 이상 공장수 (개)	15,204	70,869	370%
	자동차 보유 대수 (천대)	29	1,309	4,410
	석탄 환산 에너지 사용량(천톤)	8,760	61,709	610

산업 공해의 효율적 대처 방안 중 하나가 될 것이다. 이러한 적극적인 대처 방안이 청정 기술의 기본 개념이며 아래와 같은 환경 대응 개념의 변천 과정에서 청정 기술의 도입 배경을 찾을 수 있다.

산업 혁명 이후 수세기에 걸쳐 환경문제는 개발 논리에 억제되어 왔다. 세계적으로 환경문제의 해결을 위한 전담 기구가 정부 조직에 포함되어 본격적인 역할을 수행한 것은 1960년대의 일이나 당시의 대응 논리는 오염물의 회석 배출에 불과하였다. 1970년대에 이르러 인구 밀집 지역 혹은 산업 집중 지역을 중심으로 오염에 의한 피해가 확산되어 기존의 회석 배출의 개념은 수정이 불가피하게 되었고 각국은 배출원별 규제치를 선정하여 규제하 배출에 의한 Pollution Control의 방법을 사용하기 시작하였다. 이 방법은 공해 물질의 배출자가 정부 혹은 지방자치 단체가 지정한 규제치 이하로 사전 처리를 하여 배출하도록 의무화하는 것으로서 처리 기법은 주로 고품화, 감용, 및 매립을 근간으로 하고 있다. 그러나 이러한 기법은 최종매립지의 2차오염, 공해 물질의 혼합 및 회석에 따르는 처리상의 문제, 원천적 자원낭비등의 문제를 수반하게 되었다. 1980년대에 이르러 상기의 문제에 따른 환경 대응 개념의 수정이 불가피하여 쟁고 미국의

오염 방지(Pollution Prevention), 폐기물 재활용(Waste Recycling), 유럽의 LNWT(Low-and-Non Waste Technology), 청정 생산(Cleaner Production)등의 개념이 도입되었다.

기존의 환경 정화 방법인 오염 물질 사후 처리 기술(End-of-Pipe Technology)은 정부 혹은 지방자치 단체가 정한 기준에 의한 배출과 이의 수집 및 종합 처리를 기본 방침으로 하고 있다. 따라서 오염 물질 배출 자는 경제성이 허용되는 범위까지 기준에 맞추어 처리한 후에 배출하는 것으로서 법적인 의무를 다한 것이 되며, 이후의 수집 처리 및 환경 배출은 지방자치 단체나 유관 기관의 책임 하에 이루어지며 채택하고 있는 처리 기술은 오염물질의 고형화 및 이의 매립을 근간으로 하고 있다. 하지만 이러한 처리 개념은 오염물질의 배출자와 처리자가 서로 다르기 때문에 생기는 처리의 부적절성 및 매립지의 2차 오염등 변형된 양상의 오염물 처리 문제를 동반하게 되며, 오염물질의 생성 과정에서 원천적으로 에너지 및 자원의 낭비를 감소시킬 수 없다. 한편, 소비 합목적적 기능성만 고려된 합성수지, 농약, 합성 세제 등 각종 인위적인 화학 물질은 사용이 끝난 제품이 환경에 미치는 영향에 대한 배려가 이루어지지 않았기 때문에 자연계의 물질 순환을 단절시켜 부분적으로 이미 자연의 자정 능력으로는 들이킬 수 없는 환경오염을 유발시키고 있다. 이와 같은 규제하 배출 및 배출후 수집 처리를 기본 개념으로 하는 End-of-Pipe Technology로서는 환경문제의 근본적 해결이 어려우리라는 인식이 선진 산업국간에 확산되어 1970년대 중반부터 청정 기술의 연구 개발 및 정보 교환을 도모하여 왔다. "청정 기술"(Clean Technology)은 Low and Non-Waste Technologies(LNWT), Cleaner Production, Pollution Prevention, Waste Reduction, Waste Recycling, Resource Utilization, Residue Utilization등의 개념을 포함하고 있으며 제품의 생산, 사용 및 폐기 과정에서 발생하는 환경 유해 물질의 생성 또는 배출을 억제하고 이들을 회수 재사용 하여 자원화 하는 기술을 말한다.

청정 기술을 그 대상에 따라 크게 구분하면 위에서 본 바와 같이 청정제조공정기술과 청정 물질개발기술로 대별할 수 있으며 이의 개발 및 보급 주체는 정부, 공공 기관, 산업계, 비정부기구(NGO : Non-Governmental Organization)로 나눌 수 있다. 청정 기술에 대한 연구 개발 및 이의 보급을 위한 노력은 유럽 각국, 미국, 일본 등 기술 선진국과 인도, 타이란드, 브라질등 개발도상국을 중심으로 이루어져 왔으며 청정 물질은 주로 산업계를 중심으로 개발되어 정부, 공공 기관을 통한 환경 마크 제도의 도입과 시민 단체의 호응에 의해 보급되고 있다.

### III. 청정 기술의 동향

#### III-1. 정부 공공 기관

유럽 각국은 지리적, 산업적 특성에 따라 환경문제에 지대한 관심을 보여 왔으며 이러한 노력을 바탕으로 유럽 공동체(European Community)를 통한 공동 대응을 모색해 오고 있다. 그 결과 중 하나가 ACE(Action by The Community Relating to The Environment) Program으로 1987년까지 청정 기술에 관한 36개의 시범 과제에 대하여 과제별 소요 연구비의 30% 범위 내에서 총 6

백만 ECU(유럽 통화 단위)의 연구비를 지원하였다. 한 편 UNEP/IEO(Industry and Environment Office of United Nation of Environment Programme)는 1977 년부터 ECE(Economic Commission for Europe)와 공동으로 LNWT 관련 기술을 수집하여 보급하고 있다. 또한 1991 년부터 프랑스 파리에 있는 IEO를 청정 생산 계획(Cleaner Production Programme)의 주관 기관(Programme Activity Center)으로 선정하여 청정 생산(Cleaner Production)및 산업 재해(Technological Accidents) 방지를 우선과제로하는 Figure 1 과 같은 조직을 운영하고 있다 [2].

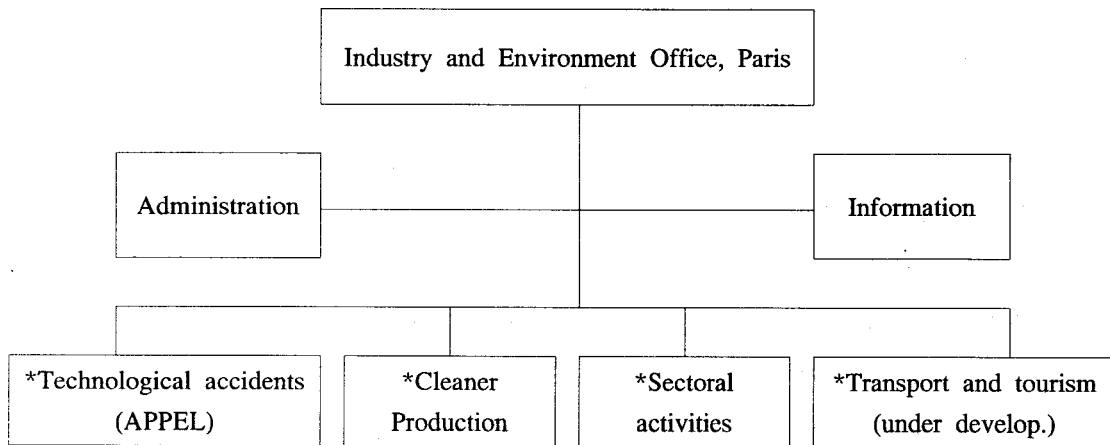


Figure 1. The Organization of UNEP IE/PAC

Figure 1 중 Cleaner Production 분야의 업무는 1) Working groups, 2) News letter, 3) Information exchange, 4) Hazardous waste management training으로 이루어져 있으며 1991 년 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 공공 기관을 중심으로 하여 설립. 운영 중이며 국제환경기술센터(International Environmental Technology Center)를 일본에 설립하기로 하였다 [3], [4].

영국은 1990 년부터 상공부(Department of Trade and Industry)가 주관하여 ETIS(Environment Technology Innovation Scheme), EMOS(Environment Management Options Scheme), Euroenviron등의 프로젝트를 추진 중이며 과학기술회의(SERC : Science and Engineering Council) 주관 하에 백만 파운드의 예산으로 청정 공정 및 청정 제품 개발 계획을 수행하고 있다. 네덜란드는 1989 년에 발표한 국가환경정책계획(NEPP : National environmental Policy Plan)과 연계하여 화란 응용과학 연구 기금의 10 % - 1989 년 기준 미화 165만불 -를 환경 연구에 투자하고 있다. 주연구방향은 원료, 제조 공정, 제품 및 폐기물을 사이클 화하여 물질의 전주기 순환을 목표로 하며, 에너지 소비량을 절감하고 단위 효용당 에너지 효율을 극대화하여, Table 2 에 보이듯이 서기 2000 년까지 매립처리를 10 % 까지 낮추고, 재사용 및 원천제거율을 65 % 까지 향상시키는 것이다.

Table 2. The waste disposal program of Netherlands.

year	1988	1994	2000
Land Fill	55 %	30 %	10 %
Incineration	10	25	25
Recycle	35	40	55
Source Reduction	-	5	10
Total	100	100	100

프랑스의 경우는 환경 대책의 방향을 청정 제품(Ecoproducts)사용량의 증가, 회수 재활용, 경제적 보조에 의한 청정 기술의 개발에 두고 있다.

미국 환경청(US/EPA)은 전통적으로 End of Pipe Technology를 기본 처리 개념으로 하여 환경문제에 대응해 왔으나 서론에서 밝힌 바 있는 문제점이 노출되어 1980년대 중반부터 오염물질의 원천적 차단 및 회수 재사용을 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. Table 3은 이러한 개념을 도식화하여 나타낸 것이다.

Table 3. Environmental management options hierarchy

#	Methods	Examples
1	Source Reduction	Process change, Product change, Source elimination, Prolong the service life
2	Recycling	Reuse, Reclamation, Solvent recycling, Material recovery
3	Treatment	Stabilization, Neutralization, Precipitation, Incineration, Thermal destruction
4	Disposal	Land disposal at permitted facility

한편 Table 4는 Pollution Prevention의 최우선 목표인 source reduction을 수행하는 방법에 대해 요약한 것이다 [5].

Table 4. Source reduction methods

SOURCE REDUCTION METHODS		
Process Change	Input material	Feed purity, Substitution of less-toxic materials
	Technology	Layout change, Increase automation, Improve operation conditions, Improve equipment, New technology
	Operating practice	Improve operating & maintenance procedures, Stream segregation, Material handling improvement, Production schedule, Inventory control, Waste segregation, Training
Product Change	Ecoproduct	Design for less environmental impact product
	Responsible Care	Increase product life time

US EPA는 상기 개념의 효율적 수행을 위하여 오염방지국(Pollution Prevention Office)을 설치하여 전반적인 관련 업무를 조정하도록 하였으며, EPA의 주요 간부들로 구성된 오염 방지 자문 위원회(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 청정 기술의 개발과 보급에 주력하고 있으며, 그 동안 Pollution Prevention News, Waste Minimization Opportunity Assessment Manual, Pollution Prevention Case Studies Compendium, Waste Minimization for Hazardous Materials Inspectors등을 발간하였으며 현재 추진 중인 연구개발프로그램은 Table 5 와 같다.

Table 5. Pollution prevention program of US/EPA

Programs	Main Activities	Program Contact
Product Research Program	Product life cycle analysis, Safe substitute study, Tire recycling, diapers and dry cell batteries disposal and/or reuse	Mary Ann Curran, 513/569-7837
Process Research Program	WRITE(Waste reduction innovative technology evaluation), WREAFS(Waste reduction evaluation at federal sites), WRAP(Waste reduction assessments program)	Ivars Licis, 513/569-7718
Recycling & Reuse Research Program	Community recycling program, Industry recycling program	Garry Howell, 513/569-7756
NonTechnological, Socioeconomic & Institutional Research Program	Sociological and behavioral research, Economic studies with pollution prevention issues Identify and resolve legal mandates	
Anticipatory & Long-Term Research Program	Anticipating to environmental issues, Evaluating emerging technologies, Evaluating the effectiveness of pollution prevention research	

한편 PPIC는 UNEP등과 협력하여 청정기술에 관한 유럽의 자료를 포함하여 자료 검색 시스템인 ICPIC(International Cleaner Production Information Clearinghouse)를 운영하고 있다. 이 시스템은 개인용 전산기와 모뎀만 갖추면 세계 어디에서라도 무료로 접속이 가능하도록 되어 있다.

일본은 과거 산업화 과정 중에 집단 오염사건등 심각한 공해 문제를 경험하였으며, 세계적인 오일 쇼크를 에너지 효율화 기술을 통하여 성공적으로 극복하였으므로 이 두 가지의 경험과 기술은 전 분야에 걸쳐서 깊이 뿌리내려져 있다. 청정 기술 분야의 정부 주도 연구 개발 과제로는 통산성이 주관하는 에너지 절약 기술 개발 - 일명 문 라이트 프로젝트 - 를 들 수 있다. 과제 별로 10 년 내외의 기간에 걸쳐 이루어질 이 계획은 연료 전지, 고도 열 펌프, 초전도 전력 이용, 세라믹 터빈, 에너지 절약 표준화 등을 연구 목표로 하여 1991 년도에는 약 120억 엔의 연구비를 투입하였다. 한 편 1985 년부터 1990 년까지 6년에 걸쳐 수행된 수총합 재생 이용 시스템 - 일명 아쿠아 르네상스 '90 프로젝트 - 에 의해 혐기성 바이오리액터와 분리막을 결합한 폐수 처리 시스템을 연구하였다. 또한 신 에너지 개발 기구(NEDO : New Energy Development Organization)를 통한 폐기물로부터 알코올을 생산하려는 연구도 이루어졌다 [6].

### III-2. 산업계와 NGO

산업계의 동향은 청정 제조 공정 개발 분야와 청정 물질 개발 분야로 나누어 검토한다. 후자의 경우는 개발 결과가 기업의 수익에 직접 기여하므로 주로 기업 내부 혹은 기업과 연구 기관과의 협력에 의하여 이루어지며 수행 중에 얻어진 결과에 대하여는 비교적 엄격한 보안이 유지된다. 한 편, 전자의 경우에 있어서는 개발 성과가 단순히 기술에 의해서만 이루어지는 것이 아니라 적용 현장의 주변 여건, 종사원의 훈련 정도, 부산물의 국부적 상업가치등 많은 특이 요인을 포함하고 있으므로 동종 산업체라고 할 지라도 단순 모방에 의해 같은 효과를 기대하기 어려우며, 청정 제조에 대한 개발 실적이 주변 지역 사회나 일반 소비자의 기업 인상에 미치는 영향이 지대하므로 비교적 자유롭게 그 결과를 공개하고 있다.

Table 6 은 청정 기술에 의해 폐기물 저감 기술을 성공적으로 도입한 예를 정리한 것으로서 청정 기술이란 기존의 환경 기술과 달리 환경을 보호하면서도 기업의 cash flow에 긍정적인 결과를 가져옴을 알 수 있다 [7]. 이러한 노력 이외에도 중소기업 혹은 각 사업장 별로 얻어진 성공 사례(Case Study)가 다수 보고되어 있으며, 이러한 자료들은 전술한 UNEP IE/PAC의 각 Working Groups, US/EPA/PPO, 혹은 ICPIC등을 통하여 입수할 수 있다.

경제성을 유지하면서 환경을 개선하기 위하여는 환경 오염의 사전 예방체제를 구축하여야 하며, 환경 오염자가 환경 개선 비용을 부담하여야 한다는 논리는 그 발상이 이미 자본 축적을 달성한 기술 선진국을 중심으로 하여 전파되고 있다는 기업 윤리적 약점을 감안하더라도 국내외적으로 점차 강화될 수밖에 없을 것이다. 이러한 관점에서 화학 물질 자체를 무공해 또는 저공해화하여 환경 오염을 근원적으로 제거하기 위한 청정 물질의 개발은 플라스틱, 계면 활성제, 농약 등의 제품 분야에 특히 두드러진다. 태양 광에 의해 분해하는 광분해성 고분자, 미생물에 의



해 분해되는 생분해성 고분자, 두가지 성질을 겸비한 자연 분해성 고분자 등의 개발이 다각적으로 추진되고 있으며 부분적으로 실용화 단계에 있다. 대표적인 분해성 고분자 개발 방향과 개발 업체를 살펴보면 다음과 같다 [8].

1) 광분해성 고분자 개발 업체

- 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) 생분해성 고분자 개발 업체

- 미생물 제재 (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 석유 화학

3) 자연분해성 고분자 개발 업체

- 일본 생분해성 플라스틱 연구회 : 분해성고분자의 상품화와 국제회의 개최를 목적으로 약 60개 화학 회사(쇼와덴코, 스미토모화학, 아사리카세이 등)로 구성되어 있다.
- 일본 신에네르기 산업 기술 종합 기구 : 생물공학적인 기법에 의한 생물 고분자를 생산하려는 목적으로 화학, 건설, 설유 외 9개 대기업으로 구성되었으며 '90년부터 8년간 약 20억 엔을 연구비로 투자
- 미국 농무성, 대학 및 업체 간의 공동 연구

한편, 계면활성제에 의한 환경오염을 극소화시키기 위하여 천연 원료와 미생물을 응용한 생분해도가 높은 계면활성제 또는 소량으로 소기의 목적을 달성할 수 있는 고성능 계면활성제들이 주로 연구되고 있으며, 선진국에서의 계면활성제 개발 분야의 주요 목표는 저오염, 고분해성, 고성능, 고수율, 저가격 등이다.

1) 일 본 : 미생물을 이용한 surfactant 개발 (Kao 사)

2) 미 국 : 주로 해양 오염 제거용 oil recovery를 위해 개발되어 왔고 Philips Petroleum Co., NRC(National Research Council), NSERC등에서 연구중

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

Table 6. Summary of waste minimization assessments

Type of Plant or Manufacture	Example of Waste Minimization Opportunity	Estimated Savings, (\$/yr)	Implementation Cost, (\$)
Metal parts coating	Reduce primer partial pressure	2,997	2,900
Outdoor Illuminated signs	Improve spray equipment	8,529	6,000
	Use template for letter fix.	1,980	195
	Use mechanical fixation	5,280	1,500
Railway cars & component rebuilt	Reduce paint chips	33,414	13,500
	Retrain spray personnel	4,820	3,500
	Minimize overspray	2,143	0
Brazed Al air conditioner	Reduce paint carryover	4,347	2,790
Air condition	Alternating fastening	73,197	8,400
Bumper refinish	Reduce rinse volume	1,098	10
Printed circuit board	Install filter	1,690	810
	Reduce water usage	5,840	200
	Segregate acid soap	23,470	300
	Recycle waste copper sulfate	400	0
Multi-layered printed circuit board	Reduce water usage	2,670	250
	Recycle copper waste	1,090	0
	Reuse rinse water	1,270	650
Paint manufacturing	Pipe cleaning system	11,110	1,600
	Eliminate mercury additive	5,580	0
Aluminium can	Use non-hazardous wash	177,400	0

인구 증가에 따라 식량 증산을 위해 농약 사용량은 갈수록 증가하고 있으며, 잔류 농약에 의한 환경오염 문제 해결을 위해 선진국에서는 천연물의 유효 성분 또는 미생물의 대사 산물인 항생물질, 미생물 추출물 등 미생물 제제가 살충제, 살균제, 제초제 및 식물 생장 조절제로서 이미 상품화되고 있고, 타 식물에 대해 특이한 생리 작용을 갖는 식물이나 병원균의 분비 독소가 제초제로 연구되고 있다.

1) 살충제 :

- 아프리카산 식물 종자의 독성분인 Physostigmine 유도체의 핵심 성분인

N-Methyl carbamoyl기를 선도 화합물로 하는 carbamate계 살충제

- 제충국의 살충 성분 pyrethrin을 선도 화합물로 하는 pyrethrin제 살충제
- 미생물로부터 분리된 살충성 물질인 Avermectin의 상품화
- 미생물 살충제인 BT제 (또는 독소)

## 2) 살균제 :

- 방선균 같은 미생물의 대사 산물인 항생물질 (Streptomycin, Blasticidin S, Kasugamycin, Polyoxin, Validamycin etc.)의 농업용 상품
- 미생물제 Agrobacterium K84

## 3) 제초제 및 식물 성장조절제

- 미생물 제재인 Bialaphos
- 식물 병원균을 이용한 제재인 Collego, Devine

환경문제에 대한 비정부기구의 가장 두드러진 활동은 녹색당(Green Party)에서 볼 수 있으며, 청정 기술 분야만을 떼어놓고 볼 때 1987 년에 발족한 국제 청정 기술 협회(IACT : International Association of Clean Technology)를 들 수 있다. 국제 청정 기술 협회는 비엔나에 본부를 두고 있으며, 에너지 생산을 포함한 모든 산업 공정의 저오염 청정 기술의 연구 개발과 환경및 에너지 자원의 합리적활용기술을 증진시키는 것을 그 설립 이념으로 하고 있다. 이 협회는 러시아, 중국, 가나, 체코, 포르투갈, 유고슬라비아, 헝가리, 오스트리아 등에 네트워크 센터를 두고 있으며 설립 이념에 따르는 자유로운 활동을 보장받기 위하여 비영리조직및 비정부 관련 기관으로 부터의 참가만을 인정하고 있다.

## IV.청정 기술의 도입

### IV-1. 도입 방법

대상물질의 물리 화학적 처리에 의해 부가가치를 향상시키는 것을 사업 내용으로 하는 화학공업 분야는 사업 특성상 다른 산업 분야에 비해 화학 물질을 많이 취급하게 되며,화학적 처리시에 발생하는 부산물 혹은 폐기물의 처리에 관하여도 많은 어려움을 겪고 있다. 특히 환경문제에 관한 사회적 관심이 고조된 요즘 청정 기술의 적극적인 도입이 필요할 것이다. 청정물질 개발기술은 제품 단위의 개발 기술로서 기존의 신제품 개발 기술과 맥을 같이하므로 본 장에서는 청정 제조 기술에 한하여만 기술한다.

앞에서 살펴본 바와 같이 청정 기술을 적용하기 위하여는 처리 개념의 구상이나 이의 실현에 필요한 설비 시설등 hardware적인 접근과 아울러 처리 대상의 발굴이나 설비의 세심한 운영 등 software적인 접근이 동시에 이루어져야 한다. 특히 후자의 부분은 청정 기술이 갖는 특징의

하나로서 같은 설비를 갖추었다더라도 운전자의 마음가짐에 따라 그 운영 실적이 현저한 차이를 보이게 되므로 적절한 환경 교육이나 인센티브 부여 등 각회사별로 많은 배려를 하고 있다.

Figure 2 는 청정 기술을 도입 적용시키는 일반적인 과정을 9 단계로 구분하여 block diagram화한 것이다 [5]. 청정 기술을 도입하기 위하여 제일 먼저 하여야 할 일은 기업이나 해당 공장의 책임자에 의한 결정과 이 결정된 내용에 대해 사내에 널리 홍보하는 일이다. 이런 과정을 거침에 의해 참여자의 긍지와 목표 의식을 유도하게 되며 도입의 범위에 대하여도 명확히 정의할 수 있게 된다. 이러한 결정은 program의 목표 설정 및 수행팀 구성을 통해 도출된 세부 목표에 대한 평가를 거치면서 그 성격이나 추진 가능성 등에 대해 명확히 정의할 수 있게 된다. 다음 단계에서는 정의가 완료된 세부 목표를 달성할 수 있는 세부 기술에 대한 검토를 수행한다. 우선 상업적으로 확립된 기술들에 관한 정보를 수집하여 비교 평가를 수행하고, 그 결과가 만족스럽지 못할 경우에는 새로운 기술을 개발하거나 목표 혹은 계획 자체를 수정하게 된다. 이러한 기술적 및 경제적 평가가 완료되면 이를 종합 정리하여 추진 계획서를 작성한다. 이후 필요한 자금 확보 및 기술 제공자 선정 등의 절차를 거쳐 필요 설비의 설치 및 운영을 실시하고 효과를 평가하여 추진 계획서와 비교 검토하는 것에 의해 일련의 세부 목표를 달성하게 되면 다음 세부 목표를 설정하여 동일한 순서에 의해 청정 기술 계획을 추진하게 된다.

Figure 2. Clean technology program overview

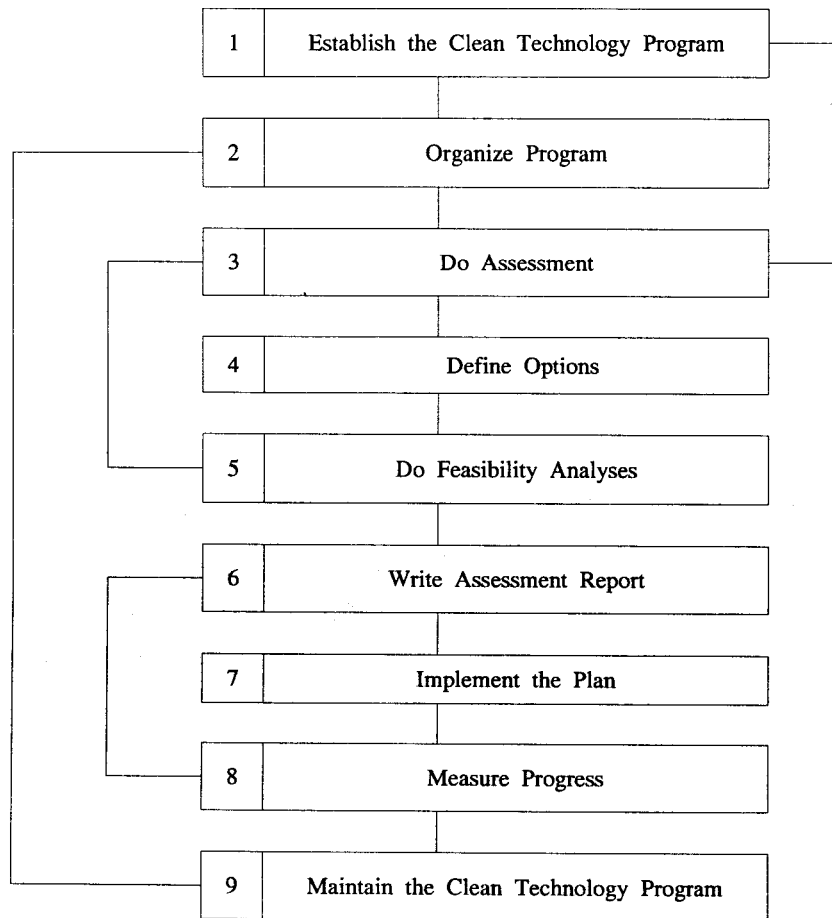


Figure 2 에 나타낸 이러한 순서는 극히 일반화된 것으로 모든 공장에 그대로 적용하기는 어려우나 최소한의 지표로 삼을 수 있을 것이다.

#### IV-2. 적용 사례

화학 공업계라고 하여도 그 취급하는 물질의 종류나 처리 방법, 시설 규모 등에 있어서 무척 다양하므로 일괄하여 고찰하기에는 어려움이 따른다. 일반적으로 널리 사용되듯이 화학공업을 석유 화학과 정밀 화학으로 구분할 때, 석유 화학의 경우에는 환경 유해 물질의 처리에 있어서는 비교적 진보된 방법을 도입하고 있으므로 주로 energy integration이나 process yield improvement와 같은 자원의 효율성 향상에 보다 관심을 기울이게 되며 정밀 화학의 경우는 hazardous materials control에 관심을 갖게 된다. 한 편 청정 기술을 적용하는 대상은 크게 나누어 신제품 설계, 신공정개발, 공정 최적화, 기존 공정 개선 등으로 나눌 수 있다. Table 7 은 화학 혹은 관련 제품을 생산하는 외국의 대기업 혹은 다국적 기업들이 전사적으로 벌이고 있는 청정 기술 관련 계획을 발췌, 요약한 것이다.

대기업의 전사적 차원에서 이루어지는 노력 이외에도 중소기업 단위 혹은 각 사업장 별로 얻어진 성공 사례(Case Study)가 다수 보고되어 있으며, 이러한 자료들은 전술한 UNEP IE/PAC의 각 Working Groups, US/EPA/PPO, 혹은 ICPIIC등을 통하여 입수할 수 있다.

이 외에도 University of Tennessee Waste Minimization Assessment Center의 보고에 의하면 [9] 연간 약 14만톤의 Acrylic emulsion, Low molecular weight resin 및 Specialty chemicals를 생산하는 공장의 제조공정을 개선하여 연간 약 \$140,000 을 절감시킬 수 있었으며 이에 소요된 비용은 \$365,000 이었다. General Dynamics Pomona Division Plant에서는 Freon 회수시설을 도입하여 연간 \$489,000 의 Freon 구입 및 처리 비용을 절감하였으며 이 시설의 도입에 따른 비용을 감안할 때 Payout Period는 0.55 년에 불과하였다. Union Carbide의 Seadrift Plant는 1987년 \$1,300,000 을 투입하여 Vinyl Acetate Recovery System을 도입하였으며 3년간 운전한 결과에 의하면 약 \$2,000,000 을 절감하였다 [10].

신공정개발에 의한 사례로는 1990 년도에 Clean Technology Commits Prize를 수상한 BP Chemicals의 Gas Phase Polyethylene Process를 들 수 있을 것이다 [11]. 국내 사례로는 알코올 회수 방법 개선, 내열제 도포 작업 개선, 폐수무방류 시스템 도입 등의 예가 있다 [12].

#### V. 맺음말

공업 생산품 및 에너지의 제조, 운송, 사용 및 폐기의 전주기에 걸쳐서 발생하는 환경오염 물질은 이미 지구의 자연정화 능력을 벗어난 것으로 보인다. 이의 해결을 위해서는 기왕의 산업 공해 물질의 처리라는 End-of-Pipe Technology의 개념을 적용하는 것으로는 미흡할 것이다. 보다 적극적으로 검토하여 제품의 전주기에 걸친 순환을 대상으로, 각 단계별로 처해진 위치에서 가

장 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 산업 사회를 중심으로 하여 시도되었으며 80년대 중반을 넘어서면서 각국으로

Table 7. Clean technology related programs of large size chemical companies.

Company	Title	Target	Result
Allied Signal	WRP, Waste Reduction Program	유해 폐기물의 경제적 처리 방법의 개발	'84에서 '87 사이에 사이크로아만 폐기물의 85 %, 최종 폐기물 90 % 저감
AMOCO	WMP, Waste Minimization Program, 1983	유해 폐기물의 생성 및 배출 억제, 일반 폐기물 처리 과정 감시	개시 후 '88까지 유해 폐기물의 86 % 감량, 폐기물 처리 비용 5천만불 절감
BASF	Toxic Air Emissions Reduction, 1989	독성 대기오염 물질의 89 % 저감	
BP America	WMP, Waste Minimization Program, 1989	사업장별 자율적 목표 설정	
CHEVRON	SMART, Save Money & Reduce Toxics Program	원천 차단, 비독성 원료 대체, 폐기물 재활용	'90 까지 유해 폐기물 60 % 감량, 천만불 절감
DOW	WRAP, Waste Reduction Always Pays, 1987	원천차단, 원료대체, 회수, 행정 지원, 포상, 자료화	SARA313 배출량 21 % 감량, '84~'89 사이에 배출량 54 % 감소
General Dynamics	Zero Discharge, 1985	원천차단, 원료대체, 규제물질 무방류	'88까지 72 % (8만톤) 감량, 동기간 중 매출은 20억불 증가
MONSANTO	Priority One	"	'90 까지 유해물질 대기방출 39 % 감량
Polaroid	TUWR, Toxic Use and Waste Reduction Program, 1987	유해원료 및 폐기물 사용량을 매년 10 % 씩 5년간 감량	'89년 유해물 사용량 전년 대비 11 % 저감
3M	3P, Pollution Prevention Pays, 1975	1-회수, 2-원부재료 교체, 3-공정개선, 4-장치개조. '92 부터 3P+ 계획 착수	'91 까지 대기 13만톤, 폐수 625만톤, 고형 폐기물 43만톤 감량 및 이에 따른 처리 비용의 절약액 5억불 달성

확산되고 있으므로 국내 산업계에서도 보다 적극적으로 청정 기술을 도입하여야 할 것이다. 또한 이러한 노력이 결실을 보기 위하여는 앞에서 본 바와 같이 국가를 구성하고 있는 각 기관, 단체 및 개인들의 깊은 이해와 참여가 뒤따라야 할 것이다. 또한, 이러한 청정 기술을 효율

적으로 도입 실시하기 위하여는 오염을 줄일 수 있는 제품의 개발과 사용을 고취시키고 오염을 줄일 수 있는 공정을 개발하며, 폐기물의 재활용 비율과 재활용 제품에 대한 수요를 향상시키고, 오염 방지를 위해 유용한 비기술적 방법을 개발하여 보급하고, 미래의 환경문제 해결을 위한 연구 과제를 발굴하거나 개발된 오염 방지 전략이나 기술을 적극적으로 보급하는 등의 노력이 뒤따라야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 과학기술처, '88 한국과학기술년감, 1988.
2. UNEP/IEO, UNEP/IEO Activity Report 1990, 1990.
3. UNEP IE/PAC, Cleaner production, No.4, November 1991.
4. UNEP IE/PAC, Apell Newsletter, No.4, 1991.
5. EPA, Facility Pollution Prevention Guide, 1992.
6. Japan Aqua Renaissance Research Association, Aqua Renaissance '90.
7. EPA, Progress on Reducing Industrial Pollutants, 1991.
8. 국립환경연구소, 환경공학 기술개발을 위한 연구 기획, 1992.
9. EPA, Pollution Prevention Case Studies Compendium, 1992.
10. EPA, Achievement in Source Reduction and Recycling for Ten Industries in the United States, 1991.
11. UNEP, Industry and Environment, vol.14, No.2, 1991.