

청정기술의 개념, 접근방법 및 적용사례

배재훈

수원대학교 화학공학과

Concept of Clean Technology, Its Approaching Methods and Case Studies

Jae-Heum Bae

Dept. of Chem. Eng., The Univ. of Suwon

I. 서론

청정기술은 원료의 조달, 제품의 생산, 그리고 이의 사용후 폐기까지 전과정에 걸쳐 자원을 적게 사용하고 환경오염을 사전 예방하거나 최소화하는 기술이다. 선진 각국에서는 70년대 후반부터 개발을 시작하여 현재 20여년간의 기술 축적 및 확산을 통하여 청정기술 관련산업에서 경쟁력 우위를 확보하여 수출산업으로 육성하고 무역규제의 수단으로 활용을 시도하고 있다. 이들 국가의 청정기술의 도입은 i) 인구의 급속한 증가, 산업의 고도화 및 다양화에 따른 대량의 오염물질의 발생과 ii) 오염물 발생후의 사후처리기술로는 날로 엄격해지는 환경기준을 맞추기 어렵고 이의 생산원가에 차지하는 비중이 급증하고 iii) 산업 공해의 효율적 대처방안의 일환으로 원천적으로 원료와 에너지를 적게 사용하고 오염물 발생을 최소화시키는 기술의 필요성이 대두하였기 때문이다.

청정기술을 기업에 도입하여 성공한 좋은 예는 미국의 다국적 회사인 3M Co.를 들 수 있다(1). 이 회사는 1975년 3P(Pollution Prevention Pays) Program을 시작하여 1992년까지 3000개 이상의 3P Program을 추진하여 600,000ton이상의 오염물을 원천적으로 제거하여 5억달러 이상의 오염물 처리비를 절감할

수있었다. 이 회사의 3P Program이란 환경 친화적 제품의 재구성(reformulation) 및 장치의 재설계, 공정변경, 자원회수 및 재활용방법을 통해서 오염물을 원천적으로 줄여 경제적으로 막대한 이득을 가져올 수 있었다(2).

그림 1은 미국산업체의 오염처리비용을 도시한 것이다(3). 1991년도에 전 미국산업체의 오염물 처리비용은 209억달러로 이중 화학, 석유화학, 펄프 및 제지, 1차금속, 기계공업 등의 순서로 오염물처리비용이 많이 발생하는 것을 보여주고 있다. 산업원료로부터 제품폐기까지 오염물 발생을 원천적으로 줄이는 기술인 청정기술의 개발 및 도입은 이처럼 막대한 오염물 처리비용을 저감시켜 기업에 이득을 가져올 수 있다.

따라서 수출의 비중이 큰 국내 산업체들은 갈수록 엄격하여지는 선진국의 환경관련 무역규제에 대비하기 위하여서는 원천적으로 오염물을 저감시킴으로써 자원을 절약하고 경제적 이득을 가져와 국제경쟁력을 갖추는데 큰 역할이 기대되는 청정기술을 조속한 시일 내에 도입을 추진시켜야 할 것이다. 본 고에서는 아직까지도 많은 국내 산업체들이 청정기술을 일반 환경기술과 구분하지 못하고 동일시하고 있어 이를 명확히 하고 국내 청정기술의 개발 및 도입에 일조를 하고자 UNEP를 위시한 각국에서 사용하는 청정기술의 정의, 현재 많이 사용하고 있는 사후

처리 기술과의 청정기술의 비교, 청정기술 추진시 검토하여야 할 전과정 평가, 청정기술의 도입 및 적용 방법, 그리고 성공적인 선진 청정기술 적용사례를 정

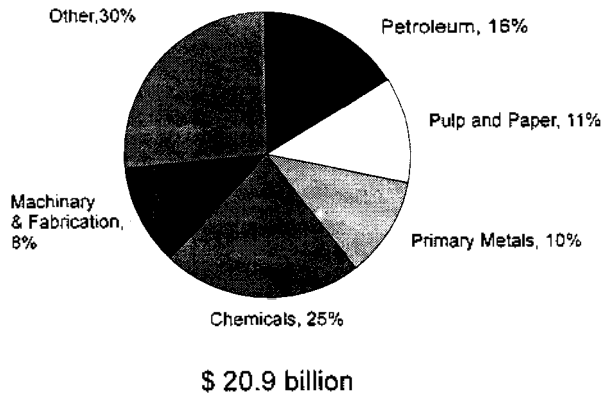


Figure 1. U. S. Manufactures' Pollution Control Expenditure

II. 청정기술의 개념

1. 청정기술의 정의

청정기술은 오염물 발생후의 사후처리로는 오염물처리의 기술 및 경제성의 한계에 부딪쳐 일찌기 미국에서 시작되었고 유럽, 일본과 같은 선진국에 전파되어 현재 이의 기술이 선진국을 중심으로 원숙한 경지에 도달하였다고 할 수 있지만 나라마다 청정기술의 도입 및 접근하는 방법이 달라 사용하는 용어에 조금씩 차이가 있다. 그러나 청정기술은 본질적으로 산업 생산활동에서 원료와 에너지를 적게 사용하고 제조 과정중 환경오염요인을 사전에 감소시켜 폐기물발생량을 최소화 시키는 기술이라는 의미를 내포하고 있다.

청정기술은 폐기물의 최소화(waste minimization), 청정생산(cleaner production), 오염예방(pollution prevention), 폐기물 저감(waste reduction), 오염원 저감(source reduction), 환경적으로 유익한 기술(environmentally benign synthesis), 환경을 고려한 제조기술(environmentally conscious manufacturing), 산업생태기술(industrial ecology), 저오염 무오염기술(low and non-waste technologies)과 동의어로 사용되고 있

다(4,5).

미국에서는 주로 오염예방(pollution prevention)이라는 용어를 사용하고 있다. 미국환경청(EPA)에서는 "오염예방은 오염물 또는 폐기물의 발생을 원천적으로 저감시키거나 제거시키는 물질, 공정, 또는 관행의 사용"으로 정의하고 있다. 이 용어는 유해물질, 에너지, 물 또는 다른 자원의 사용 저감법 그리고 천연자원의 보존과 보다 효율적인 이용을 통한 보호방법을 포함하지만 공장 밖에서의 재활용(off-site recycling)은 포함하지 않고 있다(5).

영국에서는 청정기술(clean technology)이라는 용어를 사용하고 있다. 이 말은 "경제적으로 경쟁적인 대체방법보다 전반적으로 자원을 적게 사용하고 환경적인 피해를 최소화하면서 인간에 유익을 제공하는 기술"로 정의하고 있다(6-8). 여기에서는 i) 대체방법보다 경제적으로 이득이 있고 ii) 원료로부터 제품의 최종처분단계에까지 전과정 평가(Life Cycle Assessment, LCA)를 도입하여 자원소비와 환경피해의 분석이 요구되며 iii) 인간에게 유익을 주거나 서비스를 제공하는데 초점을 두며 iv) 폐기물 최소화와 오염예방의 개념을 내포하고 있다.

유엔 환경프로그램(United National Environmental Programme, UNEP)은 청정생산기술(cleaner production)이라는 용어를 사용하고 있다. "청정생산은 하나의 제품 또는 공정의 전과정의 모든 단계가 인간의 건강과 주위 환경에 장·단기적인 위협의 예방 또는 최소화의 목표로 추구되는 생산의 개념적이고 순차적인 접근방식"으로 정의되고 있다(6,8). 이 말은 원료로부터 제품의 최종 처분단계에 까지 전과정의 모든 단계에서 기술의 청정성과 환경적인 위해성의 평가가 요구되고 있다.

근래에 미국의 Gradel과 Allenby는 청정기술의 유사어로 산업생태계기술(industrial ecology)라는 용어를 도입하였다(9,10). "산업생태계기술은 인간이 주어진 경제적, 문화적, 기술적 발전하에서 자연의 바람직한 수용능력에 사려깊고 합리적으로 접근하고 이를 유지시키는 것"으로 정의하였다. i) 이의 기본개념은 지속 가능한 개발(sustainable development)이고 ii) 산업활동에서 사용되는 모든 물질을 산업체내에서 완전 순환(zero-discharge)을 목표로 하며 iii) 원료로부터 부품, 제품, 폐품 및 최종처분 단계에까지 총체적인 물질순환의 최적화를 이루기 위한 접근 방식을 제시하고 있다.

우리나라에서는 “청정기술을 원료로부터 제품 생산까지의 전과정에서 환경오염을 최소화하는 기술”로 정의하고 청정생산기술이라는 용어와 함께 병행하여 사용되고 있다. 청정기술 또는 청정생산기술에는 공정기술, 제품 및 원료기술, 처리기술 등으로 다시 구분되는데 그림 2에 이를 오염발생후의 사후처리기술과 구분하여 도시하였다(11-17).

있다(19).

이에 비하여 청정기술은 지속가능한 개발(sustainable development) 기술로 기술적인 접근 방법은 물론 비기술적인 접근방법도 채택하고 있고 기술 개발사에 전체 시스템에서는 물론 각 단계에서의 물질 및 에너지 사용의 저감화를 위하여 환경을 고려하여 제조업체의 내부구조 및 관리방법의 변화를 요

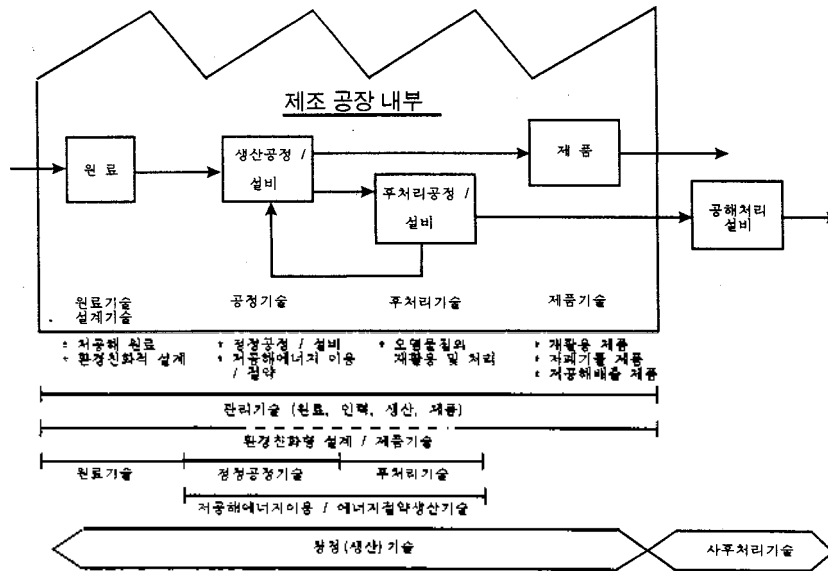


Figure 2. Classification of Clean Technology

2. 청정기술과 사후처리 기술과의 비교

청정기술은 사후처리기술(end-of-pipe technology 또는 clean-up technology)과 대비되며 표 1에 이들 기술들을 비교 요약하였다(18).

산업체에서 오염이 발생한 연후에 처리하는 사후처리기술은 오염을 하나의 환경매체(공기, 물, 토양)에서 또다른 환경매체로의 전이하는 기술을 말하는데 이는 오염물 처리 후에 토양이나 지하수와 잠재적인 오염을 초래할 수 있다. 또한 사후처리기술은 생산공정에 발생된 오염물을 환경배출 기준에 맞춰서 방출하는 것을 목표로 생산공정을 바꾸지 않고 수행할 수 있으며 특정 환경문제에 매우 효율적이고 신뢰성 있게 처리할 수 있는 장점이 있다. 반면에 생산공정과 관계없이 추가적으로 오염물처리시설 및 운전비가 소요되며 처리시설의 문제가 발생하였을 때 오염물질이 그대로 주위에 배출될 수 있는 위험이 항상 내포되어 있고 갈수록 엄격하여지는 환경기준에 따라 오염물의 사후처리비는 급증하여 예상되고

구한다. 그리고 청정기술은 원료비와 오염물처리비를 저감시켜 생산비를 낮추며 유독물질사용을 줄여 작업환경을 개선하고 근로자의 안전을 증진시킬 수 있다. 또한 오염물 배출의 사전 예방에 따라 오염물배출량 측정과 관리비용을 저감하고 환경규제를 줄일 수 있으며 개선공정과 운전방법에 따라 원료를 효율적으로 사용하여 생산성을 증가시킬 수 있다. 더우기 폐기물발생을 원천적으로 줄여 장기적으로 환경보호에 이바지하고 오염물발생에 대한 미래의 책임 부담비(liability cost)를 줄일 수 있다(20).

그러나 이러한 청정기술의 긍정적인 효과는 전 회사 차원의 끊임없는 환경 친화적인 개선프로그램의 결과에서 얻을 수 있다. 그리고 청정기술을 적용하기 위해서는 투자가 필요할 수 있고 제약산업에서와 같이 청정기술의 도입에 따른 새로운 허가사항이 따를 수 있으며 제품품질의 변화를 초래할 수 있어 제품에 대한 소비자기호에 영향을 끼치는 위험 부담이 따를 수 있다. 또한 청정기술은 폐기물 방출량을 최소화하고 자원사용 효율을 극대화하며 품질이 좋고 환경적으로 친화적인 제품의 개발을 목표로 함으

로써 산업체에서 반드시 추구하여야 할 기술로 평가된다. 표 2는 미국환경청에서 구분한 청정기술과 사후처리기술을 분류한 것이다(3). 청정기술이 앞으로 각 산업체에서 꾸준히 추진되어야 할 기술이겠지만 이의 기술개발이 조기에 달성하기 어려운 과제들은 단기적으로는 사후처리기술들로 대처하여야 함으로 청정기술과 사후처리기술을 조화롭게 추진하는 지혜가 있어야 할 것이다.

3. 전과정 평가(Life Cycle Assessment)

영국과 UNEP에서 정의하는 청정기술은 전과정 평가(Life Cycle Assessment, LCA)를 분명하게 내포하고 있다. LCA란 어느 제품의 원료조달 단계로부터 에너지 및 물질사용, 제조과정, 제품의 유통, 소비, 폐기단계에 이르기까지 제품의 전수명기간 동안의 환경영향을 조사하는 평가방법으로 전과정 목록분석(life cycle inventory), 전과정 영향평가(life cycle impact assessment), 전과정 개선평가(life cycle improvement assessment)로 구성되어 있다(3,21,22).

작성하여 오염원의 발생원과 발생량을 파악할 수 있게 하여 준다. 그리고 전과정 영향평가에서는 각 단계에서 확인된 오염물질의 환경부하 영향을 기술적으로 분석하고 이를 정성적이고, 정량적으로 평가하는 것이다. 이때 환경부하 평가인자로 인간건강과 자연생태계의 안전성, 자원의 고갈 등을 다룬다.

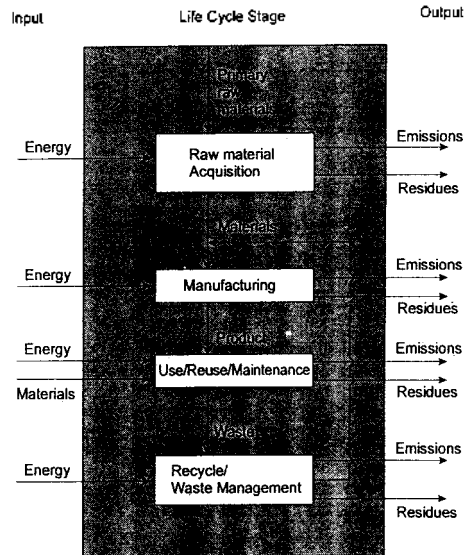


Figure 3. Environmental Life Cycle Analysis

Table 1. Comparison of Clean Technologies and End-of-Pipe Technologies

분류	청정기술	사후처리기술
오염물 취급	<ul style="list-style-type: none"> 오염원의 처리를 통한 오염예방 보다 높은 기준에 도달하기 위한 지속적인 작업 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 사후처리 방법에 의한 오염물 제어 환경기준의 달성이 목표
환경 제어	<ul style="list-style-type: none"> 제품과 공정개발의 통합적 작업 폐기물을 잠재적인 자원으로 간주 기술적/비기술 접근방법 포함 	<ul style="list-style-type: none"> 문제발생시 대처방법 강구 사후처리는 제조업체에 추가적인 시간과 자금낭비 초래 기술적인 접근방법만 가능
책임성소재	<ul style="list-style-type: none"> 관리직 사원을 포함한 모든 직원 	<ul style="list-style-type: none"> 환경 전문인
충점	<ul style="list-style-type: none"> 계속적인 현기술의 재평가와 기술혁신 필요 인간의 건강과 환경에 최소한의 영향을 주면서 고객의 필요를 만족시키는 것이 목표 	<ul style="list-style-type: none"> 문제해결만이 목표 제품품질은 고객의 요구조건을 만족시키는 것으로 정의

전과정 목록분석에서는 그림 3에서와 같이 원료 조달, 제품의 생산, 이의 사용/재사용/유지, 재활용/폐기물관리 등 각단계에서의 물질 및 에너지 수지를

Table 2. Classification of Clean Technologies

분류	성숙된 기술	개발 유망기술
사후처리기술	<ul style="list-style-type: none"> · 1차/2차/3차 하수오물 처리기술 · 촉매 컨버터장치 · 연소가스 탈황기술 · 소각로 기술 · 집진 장치 	<ul style="list-style-type: none"> · 유해폐기물처리기술 (예 : bioremediation) · 오염물배출 탐지기술 · 첨단 VOC회수기술 · CO₂회수/활용기술
청정기술	<ul style="list-style-type: none"> · 연료탈황 기술 · 열병합 발전 기술 · 가스터빈 기술 · 저 VOC발생 코팅 기술 · 염소 미사용 제지 기술 · 수용성 페인트 	<ul style="list-style-type: none"> · 오염물 배출 및 제어기술 · CFC 대체품개발 · 첨단 코팅기술 · 생촉매기술 · 광전기기술 · 연료전지 · 생분해성 고분자/계면활성제

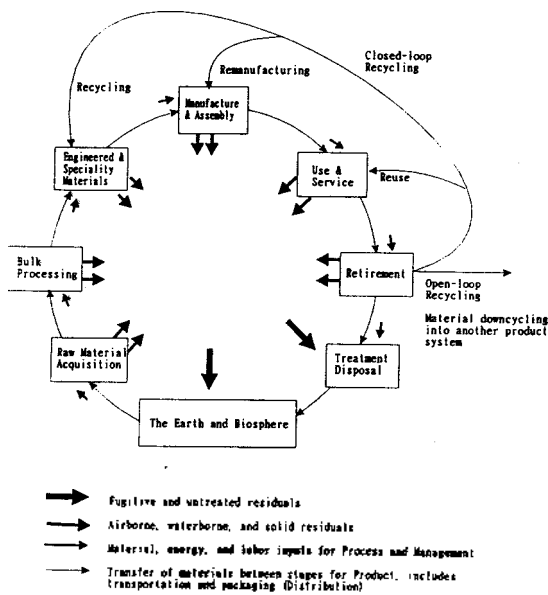


Figure 4. The Product Life Cycle System

또한 전과정 개선평가에서는 제품의 전과정에 걸쳐 원료 및 에너지의 사용, 폐기를 배출로 인한 환경부하를 저감하기 위한 필요성과 가능성의 체계적인 평가를 요구한다. 이 과정에서 제품설계, 원료사용, 제조공정, 제품의 소비자 이용 및 폐기물관리 등 전단계에서 정량적, 정성적 개선방법의 분석을 포함하게 된다. 그림 4는 제품의 원료조달부터 제품 폐기 과정까지 전과정 시스템을 도시한 것이다. 이 그림

에서 각 단계에서 제대로 처리되지 않는 오염물(기체, 액체, 고체)들은 결국에 가서는 지구와 생태계에 환경부하를 초래할 수 있다는 것을 보여주고 있다 (23).

III. 청정기술의 접근 방법

청정기술을 도입하기 위한 방법은 그림 5와 같이 제품의 대체, 제품조성의 변경, 원료물질의 대체, 공정변경, 오염물 누설 차단과 같은 오염원 발생원으로 부터의 오염저감(source reduction)과 발생된 오염물질을 재활용(recycling)하여 사용하는 방법으로 구분할 수 있다.

청정기술의 도입의 최우선순위는 오염원 발생원으로 부터의 오염물 저감을 들 수 있으나 이에 대한 연구개발투자비 및 기간 소요, 그리고 도입에 따른 위험부담이 있을 수 있다. 그림 6은 기존 공장에서 청정기술 도입에 따른 투자효과를 보여주고 있다. 운전자의 교육, 단순 재활용 등이 기존 공장에서 가장 쉽게 접근할 수 있는 방법이며 또한 투자에 대한 효과(return on investment, ROI)가 가장 큰 것으로 평가된다. 다음에 최적 공정제어, 기기장치 변경 등의 방

법이 비교적 투자에 대한 효과가 크고 공정변경, 원료 및 촉매 변경, 제품변경 등의 순서로 투자에 대한 효과가 일반적으로 적다.

산업체에서 지속가능한 개발을 목적으로 청정기술의 도입을 위하여 적용할 수 있는 전략을 다음과 같이 열거할 수 있다(24).

1. 원료와 에너지 사용을 저감시킨다.

이를 위하여 원료 이용효율을 증진시키고 가능한 폐품을 원료로 재활용 하도록 한다. 그리고 에너지 소비를 최소화하도록 하며 생산공정에서 폐쇄순환 시스템을 사용하여 오염물의 배출을 억제한다.

2. 제품의 서비스강도(service intensity)를 증가시킨다.

이것은 제품의 수명을 길게하며 저가의 제품을 생산하고 제품의 생산 또는 이용시 에너지와 자원을 적게 소모케 함으로써 고객들을 만족시킬 수 있도록 하고 제품사용이 고객에게 충분한 기쁨과 편안함을 제공할 수 있도록 제품을 만들어야 함을 의미한다.

3. 제품의 원료를 회귀하거나 유해한 물질에서 자연에 풍부하고 무해한 물질로 대체한다.

이것은 고가의 Pt 촉매를 저가의 촉매로 전환시킨다거나 Cr, Cd 등의 중금속 도금을 무해한 금속도금의 대체, 그리고 청정세제 개발 등의 예를 들 수 있다.

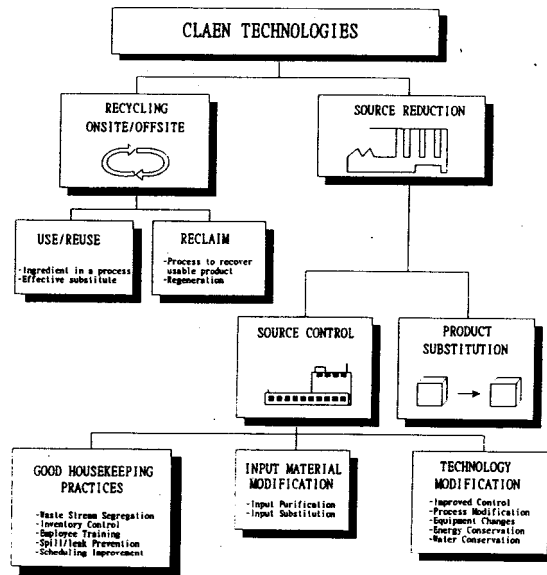


Figure 5. Clean Technologies Approach.

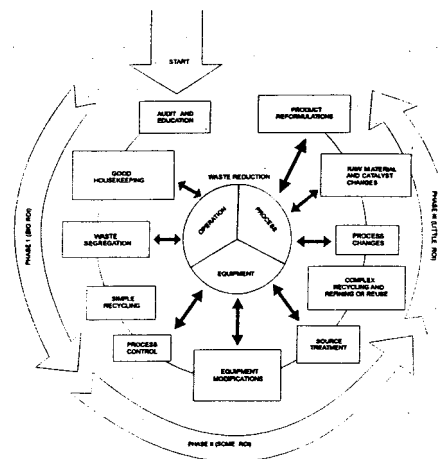


Figure 6. A Sustained Pollution Prevention Efforts at Existing Plant

4. 재생가능한 자원의 활용과 생물공학기술의 이용을 적극 장려한다.

지구상의 자원과 에너지는 유한하므로 자손대대로 오래도록 이를 사용하기 위해서는 재생가능한 자원을 활용하고 생물공학기술을 이용하여 현기술들을 자연순환시스템에 적용시킬 필요가 있다.

5. 자연의 복원력을 일정하게 유지할 수 있도록 한다.

지구생태계에 산업오염물의 배출은 산성비, 하천수, 토양 및 지하수의 오염 등 여러가지 복잡한 문제를 야기시킨다. 오염물 배출이 지나치면 자연의 복원력이 떨어져 회복이 불가능하게 될 수 있다. 따라서 산업체에서 원료 및 에너지의 사용과 이에 따른 오염물의 배출은 자연의 자정작용 한도 내에서 있어야 할 것이다.

IV. 선진 청정기술 적용사례

미국은 청정기술을 세계에서 가장 먼저(1970년도 중반) 도입하기 시작하였고 1980년 중반부터는 오염물질의 원천적 감량(source reduction)을 최상위 개념으로 한 오염예방 우선순위(pollution prevention hierarchy)를 도입하여 산업체에서 자발적으로 청정기술을 개발하고 도입하도록 장려하였고 현재는 청정기술이 대기업을 중심으로 원숙한 경지에 도달하였으며 중소기업에도 확산일로에 있다.

유럽연합(EU)은 미국에 비하여 비교적 청정기술의 도입이 늦었지만 현재 청정기술의 개발 및 도입에서 가장 활발하다. EU는 공동출자한 연구개발기금인 EUREKA project의 일환으로 PREPARE 라는 실무위원회가 조직되어 청정기술사업을 활성화시켰다(25).

일본은 부존자원과 에너지가 부족하여 에너지 절약기술(문라이트 프로젝트), 물재활용기술(아쿠아르네상스 '90 프로젝트) 등의 과제를 추진하였고 산업체에서 청정기술을 무배출(zero discharge)시스템 기술로 발전시켜 많은 성과를 보여주고 있다.

그밖에 동구 유럽과 중국, 동남아시아는 UNEP의 기술자원을 받아 청정기술을 도입하여 오염물 배출저감의 좋은 결과를 보여주고 있다. 표 3은 여러산

업업종의 선진 청정기술들을 요약 정리하였다(2, 3, 20, 25-33). 표 3의 각 사례에서 보듯이 각 산업체에서는 공정개선, 재활용, 설계변경, 장치변경, 청정제품개발, 원료물질대체, 신공정개발, 품질관리 등 여러 청정기술 적용방법들을 활용하여 오염물배출 저감은 물론 많은 경제적 효과를 거두고 있음을 보여주고 있다.

V. 결론

청정기술은 원료를 구하여 제품을 생산하고 이를 소비자가 사용후 폐기 처분되기까지의 전주기에 걸쳐 자원과 에너지의 활용성 및 환경 위해성을 고려하는 기술로서 폐기물이 발생한 연후에 처리하는 사후처리기술과 달리 오염물발생의 사전예방기술이다. 청정기술은 단지 혁신적인 기술만이 아니다. 기존의 잘 알려진 단위 조작이나 공정기술을 조합하여 잘 활용하면 훌륭한 청정기술이 될 수 있다. 그리고 청정기술의 수요자는 실제적으로 제품을 생산 및 분배를 담당하는 산업계로서 해당 산업체가 오염물 저감과 환경친화적인 업체 고유의 청정기술들을 스스로가 적극적으로 나서서 발굴하여 도입을 추진하여야 할 것이다.

그 동안 국내 산업계에서는 사후처리 기술에 주력하여 왔지만 현재는 환경과 무역이 연계되는 국제현실에 따라 일부 대기업을 중심으로 청정기술의 중요성을 인식하고 청정기술의 개발에 힘을 쏟고 있다. 청정기술은 자연과 인간이 조화롭게 계속 살아가기 위하여 끊임없이 추구하여야 할 기술로서 산업체, 소비자, 자연 모두가 이익이 되는 기술이다. 따라서 산업계에서는 오염물 발생후의 사후처리기술과 같이 투자에 따른 손실이 아닌 새로이 이익을 창출할 수 있는 미래산업으로 인식하고 청정기술개발과 관련하여 여러 산·학·연 전문가들과 힘을 모으고 정부에서도 이에 협조하여 청정기술 연구비 및 투자비를 증액함으로써 청정기술들의 개발을 장려하고 개발된 청정기술들이 적극 활용되도록 청정기술 도입업체에 인센티브를 주는 것과 같은 제도를 만들어야할 것이다. 이렇게 산·학·연·관이 보조를 맞춘다면 비록 선진국들에 비하여 청정기술의 개발 및 도입이 늦었지만 조기에 청정기술이 국내에 정착·확산되어 환경친화적인 산업복지국가를 이룩할 수 있을 것이다.

Table 3. 선진 청정기술 적용사례(2, 3, 11, 20, 25-33)

부문	산업체명	청정기술분야	개발기술 내용	경제적/환경효과
전 기 / 자 전 자	GE Magnet system (U.S.A.)	화학물질 대체 공정개선 및 대체	전기/전자 제품의 주형해체시 사용 물질 대체 및 제조공정의 개선	· TCA ¹⁾ 의 95%발생 저감 · 공업용수 3000,000 (gallon/KW) 소비절감
	AT & T (U.S.A.)	사용화학 물질 대 체 및 품질 관리	전기/전자, 정보통신 제품 제조시 TCA ¹⁾ 대체 및 TQM ²⁾ 기술 도입	· 1989년이래 TRI ³⁾ 84% 제거 · 1993년 TCA 사용 완전대체 · 년 \$200,000 절약
	Rank Xerox (U.K.)	기기장치 변경	전기/전자제품제조시 nitrogen solder machine을 이용한 납땜 방법 도입	· 납땜 원료 60%저감 및 세척 폐수 원천적 발생제거 · 투자비를 제외한 년 82,000 파운드 절약
	Compaq & Computer (U.S.A.)	설계 변경 ; EPR(Extended Producer Responsibility)	제품의 포장, 플라스틱 원자재 선정, 분해 및 재활용, 에너지절약, 재사용 을 고려하여 설계 (Design for Environment)	· 1993년 ; 오존파괴물질 (CFC) 의 제조공정에서 사용 배제 · 1993~1994;제조 부산물 34% 저감 · 1995년 ; 에너지소비 \$6천만 절약
	Unisys (U.S.A.)	화학물질 대체 및 공정변경	컴퓨터 및 정보통신 제품 제조시의 유독화학물질 제어 및 수용성 세척 공정 도입	· Cr, Pb, MEK ⁴⁾ 및 염소화 용매의 93% 발생저감 · 1994년 오존 파괴 물질 사용 완전대체
	Gaileo Electric-Optics (U.S.A.)	화학물질 대체 및 공정개선	전자광학제품 제조시 Freon 대체 TCE ⁵⁾ 대신 수용성 Bioact 용매로 대체 유독물질(납등)사용 저감화	· Freon, TCE ⁵⁾ 발생 사전 배제 · 폐기물발생 저감화로 89년 이래 4백만달러 절약
기 계 / 금 속 / 자 동 차	Industrias Fronterizas CMI (U.S.A.)	공정개선	기계가공 공정에서 한외 여과 공정과 계면활성제를 사용한 냉각액 재생과 기름 폐액 처리기술	· 냉각액재생;년 \$306,000 절감 · 기름재생;월 \$62,000 절감 · 냉각액 부족해결, 폐수 감소
	CECA-ATO (France)	공정개선 및 재활용	기계부품 세척시 기름만을 제거하고 순도높은 세척액을 재이용할수 있는 원심분리기술 도입	· 환경규제 대응 · COD ⁶⁾ 를 대폭 낮춤

부문	산업체명	청정기술분야	개발기술 내용	경제적/환경효과
기 계 / 금 속 / 자 동 차	Adequa (France)	공정개선 및 재활 용	기계부품세척시 발생하는 폐유를 환의여과막을 이용한 재활용기술	· 알카리성 세척액을 재활용사용 · COD를 15mg/ℓ 로 낮춤
	ALARES Sepa-Centro Tecnico Processi, ALUMIX Group, (Italia)	재활용 기술	알루미늄과 알루미늄합금을 회수하 기위한 2차 제련 공정이 없는 CONFORM 신공정도입	· 2차제련공정이 삭제되어 금속 손실량이 10%로 감소 · 에너지소비량 73%저감 · 대기오염물질 미발생
	Klöckner Stahl GmbH, Bremen (Germany)	신공정개발	작업장의 분진 감소를 위한 유체상 의 선철로부터 공기중의 산소를 차 단시키는 공정개발	· 분진발생 90%이상 감소 (1kg/ton 발생분질을 0.002kg/ton으로 낮춤)
	Belheimer Metallwerk GmbH (Germany)	신공정개발	수성도료 도장기술	· 약 110ton의 도료 슬러지의 발생 방지 · 약 145ton의 용매물질 배출 방지
	OTTOKG (Germany)	신공정개발	아연도금 전처리 공정에 lifting stand를 이용하는 공정개발	· 연간 약 126,000DM절약 · Dioxin 함유 필터분진 발생량 1/200으로 감소
	환경보호청 (U.S.A.)	공정개선	세척공정에서 CO ₂ 분말 분사법 도 입	· 공해발생량의 65%감소 · 표면 세척속도와 세척 성능 우수
			기계부품의 헹금과정에서 기계적 세정방법, 초음파 교반방법 추가와 수 성세척제 사용	· 리사이클을 이용 폐수의 방류 를 완전 억제 · 배출되는 CFC-113의 59%, 1,1,1-삼염화에탄 30%, CFC-11 은 전량 대체
	Chartered Metal Industries Pte,Ltd (Singapore)	신기술개발	철강의 경화, 탄화, 질소 열처리를 위 한 유동화 처리법 개발	· 폐기물 배출 감소 · 작업 환경, 안정성향상
	제너럴 모터스 (U.S.A.)	공정개선 (공해방지 프로그램)	WE CARE TM 프로그램 도입	· 연간 \$ 750,000절약 · 90% 고분자 사용감소 · 용수 50% 절감
			매립량을 줄이기 위한 제로포장 매 립계획 도입	· 2년간 매립물 75%의 감소
FMS, Sosnowiec (Poland)	공정개선	모든 세척시스템에서 물의 재활용 과 원자재회수를 위한 최종세척액 탱 크에 ion exchange column 설치	· 각종 폐기물 배출의 감소 · 물의 재활용과 원자재 회수	

부문	산업체명	청정기술분야	개발기술 내용	경제적/환경효과
기계 / 금속 / 자동차	Opel, Eisenach (Germany)	신공정개발	Pigment가 43%, Cosolvent가 14%에 불과한 Hydro-Top Coating 도료개발	· VOC ^h 오염농도 약 50%감소 · Overspray를 직접 회수하여 재이용 및 자원 절약의 효과
화학 / 석유	Union Carbide (U.S.A.)	공정개선	폴리에틸렌 고압중합기에서 발생하는 폐기물중 VA를 분별증류하여 회수/재사용	· 년 \$ 650,000절감 (투자회수기간 : 23개월) · 원료절감효과 : 10% · 폐기발생량 : 년 10만톤
	Proctor & Gamble (OH, U.S.A.)	· 운전 및 장치변경 · 품질관리	· 세척제, 표백제 등의 제조 공장에서 폐수의 효율적 처리 및 재사용 · 8단계의 품질개선공정 (QIP) ^g 도입	· 6개월만에 38% 폐수 배출 저감 · 폐수 무방출 목표로 청정기술 도입 진행중
	Chevron Oil Field Research Co. (U.S.A.)	공정개선	실험실에서 발생하는 방향족 폐용매를 추출 및 증류공정을 조합하여 회수/재활용	· 년 \$ 2,000절감 · 폐용매 발생량을 1.2ton 에서 4~5ℓ로 감소
	Dupont Chemicals (U.S.A.)	공정개선	Acronitrile 생산공정에서 황산 암모늄 발생저감	· 황산암모늄 발생량을 100만 lb/yr에서 40만lb/yr로 저감 · 투자비없이 년 100만\$ 절감
	Blueminister (U.K.)	신제품개발	휘발성과 인화성 및 독성이 없는 수용성접착제를 다양한 수지의 분산기술에 의하여 개발	· 용매회수 시설 불필요 · 작업자보호 · 수질/대기 오염 문제 해결
	BCF3 베이징화학공장 (China)	장치개선 및 운전효율 향상	펜타에리스볼 공장의 냉동 시스템, 원심분리기 및 진공 펌프 증설 및 원료공급량 조절	· 연간 US\$30,000 절감 · 투자회수기간 0.5개월 · 용수 65ton/h 절감 · COD 152kg/h 저감
섬유 / 펄프 / 제지	Tecnit, Laupheim (Germany)	신공정개발	직조기술과 편모기술을 조합한 기술을 이용하여 날실로부터 직접 3차원의 시트커버 제작	· 재단과정에서 폐기물 억제 · 시트커버 재활용 · 약품의 약 25% 회수 · 재염색 비율 70%감소 · 원료 사용량과 폐기 발생량 20% 감소

부문	산업체명	청정기술분야	개발기술 내용	경제적/환경효과
섬유 / 펄프 / 제지	Textile Industry (France)	공정개선 및 재활용/재이용	양모 처리과정중 저폐기물 발생기술 및 재이용 기술도입	· 대기중의 분진농도를 0.5kg/ton 으로 저감 · 수용상의 폐기물 완전 제거 · 대기중의 SO ₂ 발생량을 2kg에서 1.5kg/ton으로 저감
	Chieng Sang Industry Co. Ltd. (Thailand)	공정개선	면/폴리에스테르 혼방섬유의 염색 공정시 처리약품의 회수를 위한 진공회수시설과 전산화된 염색분석 장치 도입	· 약품의 약 25% 회수 · 재염색 비율 70% 감축 · 원료 사용량 20% 절감과 폐기물 발생량 20% 감축
	Dominion Textiles, Inc (Canada)	재활용	나일론 양품류 염색 폐수의 염색원료 회수 및 재활용	· 염료 19%, 보조화학약품 35%, 에너지 57% 절감 · \$ 12,240/year 절감
	Century Textiles & Industries Limited (India)	화학물질 대체	Sulfur Black 염색 공정에서 Na ₂ S (100parts)를 옥수수 전분 부산물인 Hydrol (65parts)와 가성소다(25parts)으로 대체	· 공장 배출물중의 유황농도 저감 (30ppm→2ppm) · 폐기물/폐수 처리비; \$ 32,000절약 · 운전비; 년 \$ 1,800/year 절약
	Genencor International Ltd (Finland)	신공정개발	크래프트 펄프의 표백용 효소 전처리 기술로 Albzyme 표백 보조재료 개발	· 약품비용 절감 · Cl ₂ , ClO ₂ , NaOH 등의 사용량 감소 · AOX ¹⁰⁾ /TOC ¹¹⁾ 규제에 대비한 대안
	St. Regis Paper Co. Ltd. (U.K.)	공정개선	폐지 잉크 제거용으로 공기, 가성 소다, 비누, sodium silicate, hydroxide가 사용되 는 부유선광 장치개발	· 폐지사용에서의 분진 감소 · 선명도 향상 · 에너지, 폐기물 감소
	International Paper (Canada)	신공정개발	cooking 공정중 고농도의 Na ₂ S (12%)를 사용하여 펄프공정에서 발생하는 오염 물질을 저감시키는 기술 개발(SCMP ¹²⁾ 펄프공정 개발)	· 초기투자비: 3천만 \$ (투자회수기간: 3년) · 수질개선: BOD ¹³⁾ 72% 저감, H ₂ S 96.4% 저감, SO ₂ 100% 제거
	International Paper (U.S.A.)	공정개선 및 품질관리	펄프, 제지공장에서 단위공정 마다 TQM ²⁾ 방식 도입	· 섬유질 손실의 50% 절감 · BOD배출 60% 저감

부문	산업체명	청정기술분야	개발기술 내용	경제적/환경효과
섬유 / 펄프 / 제지	Procter & Gamble (U.S.A.)	공정개선 및 품질관리	· 펄프/제지 공장의 TQM ² 도입 · 표백방법 전환 및 염소사용 제거	· 공정개선으로 SO ₂ , NH ₃ , CHCl ₃ 방출 저감 · 년 \$25백만 절감
	Apcel Pty Ltd. (Australia)	신공정 도입	펄프/제지 공정에서 Magnefite 공정 및 Peroxide 표백공정 도입	· BOD ¹³ 96% 저감 · AOX ¹⁰ 99% 저감 · 투자비 \$195백만 (호주달러)
도금 / 표면처리	Whyco Chromium Inc. (U.S.A.)	신도금공정 개발	유독물질인 카드뮴을 사용하지 않는 신도금공정 개발	· 연간 25%의 운송비 절감 (\$1,000,000절약) · 폐기물의 90%감축
		신공정개발	기계부품의 Scale 제거방법개발	· 시안사용의 70%감축 · 오염제거, 폐기물 처리비용 절감
	Pratt & Whitney Facility (U.S.A.)	공정개선	최상의 운전경험과 폐쇄루프 시스템에 의한 무배출시스템 개발	· 2년내 100%투자회수 · 폐기물 발생량을 최종처리 과정에서 90% 저감
	Snap-on Tools (U.S.A.)	공정개선 및 재활용/재이용	도금공정시 증발회수 시스템과 행금과정에 새로운 분무노즐 설치	· 물의 재활용/재이용; 폐수 발생량을 대폭 감축 · 니켈, 크롬 배출을 각각 83.8%, 90.9% 감소
		공정개선	도금공정 폐수 처리시 적외선 슬러지 탈수기 설치	· 매년 \$99,786경비 절감 · 투자회수기간 1.62년 · 슬러지용적 66%경감
	Highland Plating Company (U.S.A.)	신공정개발	비시안구리 도금공정개발	· 1990년 7,630lb NaCN 발생 방지 · 투자회수기간 1/2년
	Northern Engraving Corp (U.S.A.)	유독화학물질대체	도금공정중 크롬물질 대체 시설도입	· 매년 143,600lb의 폐기물 감소 · \$117,570의 경비절감 · 폐수중 크롬양을 90%이상 저감
M & R Plating (U.S.A.)	재활용	행금수탱크의 용액을 정화후 재활용	· 1일 폐수발생량 10,000 gallon 에서 1,000gallon 으로 저감	

부문	산업체명	청정기술분야	개발기술 내용	경제적/환경효과
도금 / 표면처리	Ricoh UK (Hongkong)	공정개선	복사기드럼 제조공정의 페쇄루프 사스 템개발 및 CFC 최소화 공정 도입	· 3년간 생산비의 54% 절감 · 용제소비량 75%감소 · 셀레늄, 알루미늄의 소비량을 각각 70%, 39% 감소 · 투자회수기간 : 9개월
	Thorn Jam Konst (Sweden)	공정개선	탈지 및 도장공정의 알카리 탈지시설을 도입하고 정전식 분체 도료 사용법 개발	· 년 \$485,200 절감 · 유기용매 년 89ton 절감 · 폐기물년 80ton 감축
제약 / 식품 / 파효	Merk & Co. INC (U.S.A)	공정개선	제약공정중 발생하는 휘발성 용매를 회 수하고 이를 재생하기 위한 증류공정도 입	· 1995년까지 유독화학 물질의 90%까지 저감 · 연간 약 195,000gallon 용매 절약
		공정개선	약품의 미립자 제조 코팅과정 및 재형 상화시 chloroform, acetone, methanol과 같 은 용매 사용제거	· 년 2백만 lb 용매 방출제거 · 년 \$5백만 절약
		신공정개발 및 공정개선	발효공정에 의한 항생제 제조 공정을 화학합성법으로 대체하여 공정개선	· BOD부하 75%저감 · 폐수용매중 85%회수 재사용 · 년 \$10.4백만 절약
		유독화학 물질 대체	발효공정에의한 Coccidiosis Vaccine 제 조시 K ₂ Cr ₂ O ₄ 를 sodium hypochlorite 로 대체	· Cr발생 원천적 제거 · 년 \$322,000 절약
		사용물질 대체 및 운전방법 변경	톨레스를 저감용 약품 제조시 추출용매 toluene 대신 iso-propylacetate로 대체 및 향류 저온운전	· 90%용매 회수 및 재활용 · 수율 향상
	Hoechst (Germany)	신공정개발	· 7-ACS ⁽⁴⁾ 화학제조 공정을 효소공정 으로 대체 · 6-APA ⁽⁵⁾ 화학제조공정을 생물 촉매공정으로 대체	· 환경비용 90% 절감 · 사용시약의 대폭적인 저감 · 용매 부탄을 사용 배제 및 에너지사용량 50% 절약

부문	산업체명	청정기술분야	개발기술 내용	경제적/환경효과
계 약 / 식 품 / 피 혁	La Fromagerie (Canada)	공정개선	치즈공정생산 공정에서 생산 단위공정마다 공정개선에 의한 오염물의 원천적 저감	· 사후처리시설 도입비에 비해 \$270,000 절약 · 오염배출물 대폭저감
	Avebe Faxhol (Netherland)	재활용	감자전분 생산 공장의 배출 수처리용 RO ¹⁶⁾ 공정을 도입 ; 처리수는 공업용수로, 여과물은 단백질 사료로 제품화	· 용수사용량 저감 (7→0.6m ³ /ton potato) · 폐기물 발생량 저감 (3.2→1.1 백만 m ³ /yr)
	Aloy M CTC (France)	재활용	피혁공장 폐기물을 생물학처리하여 메탄가스를 발생시켜 피혁공장 보일러의 연료로 재활용	· COD; 75% 감축, · 휘발성 물질; 62% 저감 · 건조폐기물체적 ; 44%감축 · 단위휘발성물질 kg당 515 l gas 연료생산 (73%CH ₄) · 투자회수기간 ; 4.5년
	ICI Colours and Fine Chemicals (U.K.)	유독 화학 물질 대체	피혁처리 공정의 tanning agent의 크롬화합물을 Synektan TAL로 부분 또는 완전 대체	· 크롬 함유 폐기물 발생 감축 · 투자회수기간 ; 5~10년
	AGA AB (Sweden)	유독 화학 물질 대체	피혁처리공정의 Deliming agent로 암모니아 화합물/유기산을 CO ₂ 로 대체	· 암모니아 냄새제거로 작업 환경 개선 · BOD, COD 저감 · 투자회수기간 ; 1~2년
	Germanakos (Greece)	재활용	피혁처리공정에서의 tanning agent 함유 폐수중의 Cr ³⁺ 의 회수 및 재활용	· 폐 Cr ³⁺ 의 95~98% (12m ³ /day)회수 · 년\$43,550절약 · 제품의 품질향상 및 배출수중의 Cr함량 저감

- (주) 1) TCA; 1,1,1-trichloroethane 2) TQM; total quality management
 3) TRI; toxic release inventory 4) MEK; methylethylketone
 5) TCE; trichloroethylene 6) COD; chemical oxygen demand
 7) WECARE; waste elimination and cost awareness reward everyone
 8) VOC; volatile organic chemicals 9) QIP; quality improvement process
 10) AOX; adsorbable organic halogens
 11) TOCl; total organic chlorinated compounds
 12) SCMP; sulphonated chemi-mechanical pulp
 13) BOD; biochemical oxygen demand 14) 7-ACS; 7-aminocephalosporanic acid
 15) 6-APA; 6-aminopenicillanic acid 16) RO; reverse osmosis

참고문헌

1. Geiser, K., "Toxics Use Reduction and Pollution Prevention", *New Solution*, pp1-8 (Spring 1990).
2. Total Quality Management - A Framework for Pollution Prevention, Quality Environmental Management Subcommittee President's Commission on Environmental Quality, Washington, DC (Jan. 1993).
3. Industry, Technology, and the Environment: Competitive Challenges and Business Opportunities, OTA-586, Washington, DC (Jan. 1994).
4. Overcash M., "Cleaner Production: Basic Principles and Development", *Clean Technology*, 2(1), pp. 1-6(1996).
5. Freeman, H. M., "All about Pollution Prevention" in *Cleaner Technologies and Cleaner Products for Sustainable Development*, Edited by H. M. Freeman, Z. Puskas, and R. Olbina, Springer-Verlag, Berlin, pp. 417-441(1995).
6. Clift, R. Clean "Technology - An Introduction", *T. Chem. Tech. and Biotech.* 62, pp. 321-326 (1995).
7. Clift, R. "The Concept of Clean Technology", *Clean Technology*, 1(1), pp. 34-46(1996).
8. Clift, R. and A. J. Longley, "Introduction to Clean Technology" in *Clean Technology and the Environment*, Edited by R. C. Kirkwood and H. J. Longley, Blackie Academic & Professional, London, pp. 174-198(1995).
9. Gadel, T. E. and B. R. Allenby, *Industrial Ecology*, Prentice Hall, Inc. (1995).
10. 최우진, 홍순성, "The Concept of Industrial Ecology", *Clean Technology*, 2(1), pp. 32-43(1996).
11. 배재흠, "청정기술의 개요 및 사례연구", *생물화학공*, 10(3), pp. 17-26(1996).
12. 이철호, "청정기술의 개요", *Clean Technology* 1(1), pp. 47-61(1995).
13. 박원훈, "청정기술의 동향", *ibid*, pp. 12-27(1995).
14. 정운철, "화학공업에서 환경보전기술 현황 및 전망", *화학공업과 기술*, 11(3), pp. 149-156(1993).
15. 박원훈, "청정기술의 동향", *International Symposium on Clean Technology*, The Korean Society of Clean Technology, Seoul, pp. 1-24(Sept. 1996).
16. 김상용, "생산공정에서의 청정기술 적용", *생물화학공*, 10(3), pp. 27-34 (1996).
17. 이영철, *Overview of Korean Clean Technology*, 청정생산기술세미나, 서울교육문화회관 (Nov. 7, 1995).
18. Nassbaumer, M. and H. Schnitzer, "Clean Technologie versus End of Pipe Technologies - A Chance for Economies in Transition" in *Cleaner Technologies and Cleaner Products for Sustainable Development*, Edited by H. M. Freeman et al., Springer-Verlag, Berlin, pp. 13-23(1995).
19. Schroeter, K., "Research Development in Clean Technologies in Germany", *ibid*, pp. 99-126(1995).
20. Freeman, H. M., *Industrial Pollution Prevention Handbook*, McGraw-Hill, Inc., New York (1995).
21. *Life Cycle Design Guidance Manual - Environmental Requirements and the Product System*, EPA /600/R-92/226 (Jan. 1993).
22. Shen T. T., in "Designing Environmentally Compatible Products", Springer, Verlag-Berlin, pp. 143-161(1995).
23. Hopper, J. R. et al., "Waste Minimization by Process Modification", *Waste Management*, 13, pp. 3-14(1993).
24. Schnitzer, H., "Sustainable Development & cleaner Production - How Do They Fit Together" in *Cleaner Technologies and Cleaner Products for Sustainable Development* Edited by H. M. Freeman et al. Springer-Verlag, Berlin, pp. 26-32(1995).
25. PREPARE - ÖSTERERRELCH, Initiative for Innovation and Ecological Awareness in Economy.
26. 전진, 청정기술의 사례분석 및 국내적용 청정기술의 도출(중간보고서), 통상산업부 (1996. 8).
27. EPA International (Non-US) *Industrial Pollution Prevention, A Case Study Compendium*.
28. *Pollution Prevention Handbook*, Edited by T. E. Higgins, Lewis Publishers, Boca Raton (1995).
29. *Innovative Clean Technologies Case Studies Second Year Project Report*, EPA/600/R-941169 (April 1994).
30. *Pollution Prevention Possibilities for Small and*

Medium - Sized Industries - Results of the Write Projects, EPA/600/R-951070 (May 1995).

31. Cleaner Production Worldwide, United Nations Environment Programme Industry and Environment Programme Activity Center, ISBN 92-807-1369-8 (1993).

32. 업미정, 이정학, “프랑스 청정기술 사례”, Clean Technology, 1(1), pp. 64-79 (1995).

33. 청정기술의 도입과 사례, 환경오염 사전예방연구회/한화그룹 ECO-2000추진본부 편저, 동화기술 (1996).