

## 청 정 기 술

### A Review on Basic Concepts for Clean Technology

김 상 환

건국대학교 화학공학과

Sang-Hwan Kim

Department of Chemical Engineering  
Konkuk University  
Seoul 133-701, Korea

#### 1. 서 론

인간이 삶을 영위하기 위하여는 자연에서 끊임없이 자원과 에너지를 이용하여 일생활에 유용한 각종 제품을 생산하고 이를 사용하였다. 이러한 과정에서 인간에 유용한 각종 제품외에 폐기물이 필연적으로 발생되어 자연을 오염시켰고 지구상에 인구가 많지 않았을 때에는 자연의 자정능력이 더 커서 발생된 폐기물에 의한 환경오염의 문제는 발생되지 않았다. 따라서 인간은 활발한 경제활동에 의하여 더 많은 제품을 생산하고 더 많은 폐기물을 자연으로 방출하였다. 이러한 산업화와 더불어 도시화는 지구 생태계가 가진 자정능력의 한계를 훨씬 넘어 환경을 오염시켰다. 지구 전체적으로도 심각한 문제가 되는 CFC에 의한 오존층의 파괴, CO<sub>2</sub>에 의한 지구온난화, SO<sub>x</sub> 및 NO<sub>x</sub> 등의 배출에 의한 산성비 그리고 산림의 황폐등이 심각한 오염문제로 대두되어 국경을 초월한 전세계적인 문제로 확대되어 “하나뿐인 지구”를 지키기위한 노력이 전세계인의 관심속에 합심하여 강구되고 있다.

이와같이 아주 심각하고 광역화되는 환경오염 문제를 해결하기 위한 지금까지의 노력은 주로 오염물질이 발생한 후에 이를 처리하는 사후처리기술(End of Pipe Technology)에 의존하여 왔고 이러한 기술의 개발에 중점을 두어 왔다. 그러나 사후처리기술은 투자비와 운영비가 높을 뿐만 아니라 오염물질의 배출이 대량화하고 다양화해지는 추세에서 한층 엄격해지고 있는 환경규제치를 만족시키기 어렵

다. 더우기 제품을 생산하기 위하여 사용되는 자원과 에너지의 낭비를 막을 수 없다. 따라서 발생된 오염물질을 단순히 처리하는 방식에서 탈피하여 오염물질의 발생을 극소화시키거나 원천적으로 없애는 방식으로 바뀌어지고 있는 것이 최근의 세계적인 추세이다. 이러한 오염물질에 대한 사전예방기술을 청정기술(Clean Technology) 혹은 무오염물기술(Low and Non-Waste Technology : LNWT)이라 부른다. 따라서 청정기술이란 경제적으로 제품을 생산하고 동시에 오염물질도 적게 배출하는 일석이조의 기술로 한마디로 요약하면 “보다 효율적인 생산과 동시에 오염물질을 적게 배출하는 (Better Production and Less Pollutants)기술”이라고 말할 수 있다.

청정기술에 대한 관심은 1970년대부터 유럽, 미국, 일본등의 선진국이나 인도, 태국, 브라질 같은 개발도상국에서 이에 대한 연구개발에 관심을 갖고 상호간의 정보교환은 물론 기술이전을 꾀하여 왔다. 이러한 공동목표를 달성하기 위하여 1987년에 국제청정기술협회(International Association for Clean Technology)가 발족되어 오스트리아의 비엔나에 본부를 두고 활발히 활동중이다. 유엔환경계획(UNEP)에서는 산업의 발달과 자연환경의 보존을 동시에 이룩하기 위하여 무오염물기술(LNWT)이나 폐기물의 회수 및 재이용기술을 확대하여 보급해야 된다는 인식하에 1977년부터 유럽경제위원회(ECE)와 공동으로 무오염기술을 촉진시켜 1987년 1월경에는 화학 및 제지산업에 적용시킬수 있는 129종의

무오염물기 기술을 수집하여 전세계적으로 보급하고 있다. 또한 1년에 4회정도 “Cleaner Production”이란 소식집을 발간하고 있다.

유럽공동체(EC)는 1973년부터 청정기술에 대한 관심을 가지고 표면처리, 피혁산업, 섬유산업, 제지산업 및 식품산업의 폐기물 재이용에 관한 연구에 연구비를 투자하고 있다. 이외에도 유럽에서는 EC를 중심으로 한 19개국이 참가한 Eureka기구에서 수행하는 Enviroment 프로젝트에는 6억불에 달하는 예산으로 110개의 회사와 200개의 연구소 및 대학이 참가하여 32개의 연구과제를 수행하고 있다 (Vigneswaran et al, 1989). 우리와 이웃한 일본에서도 1983년부터 산업공해방지협회와 상공부가 중심이 되어 일본에서 발생하는 폐기물의 양을 조사한 후 일본의 협소한 국토를 가지고는 매립이나 소각으로는 폐기물 문제를 근본적으로 해결할 수 없어 폐기물의 발생량 감소, 회수 및 재이용을 위한 청정기술의 개발이 정부, 기업 및 소비자의 노력으로 이루어지고 있다. 중요한 청정기술로는 폐자원에서부터 알코올의 생산 그리고 도시하수나 산업폐수에서 발생하는 슬러지로 부터 연료유를 생산하는 연구가 수행되고 있다. 산업화 과정에있는 우리나라에서는 제조업이 차지하는 비중이 높아 자원과 에너지의 소비가 많고 폐기물의 배출량이 많아 환경오염이 날로 심각해지고 있다. 따라서 제품의 생산 과정에서 자원과 에너지의 최대활용을 통하여 자원의 보존은 물론 폐기물의 배출량을 최소화해야 함으로 청정기술의 개발이 필요하다.

## 2. 청정기술의 특징

청정기술을 사용하지 않는 사후처리기술의 공정은 Fig. 1에 표시된 바와 같다. Figure에서 알 수 있는 바와 같이 제품외에 각종 오염물질을 사후처리한 후에도 다량으로 방출하고 있다. 청정기술을 알기 쉽게 설명하기 위하여 청정기술을 사용하지 않는 기존의 공정은 Fig. 2a의 Open System에서 알 수 있는 바와 같이 원료, 에너지 및 물을 사용하여 일상 생활에 유용한 제품을 생산하고 나머지는 폐기물의 방출로 환경오염이 더욱 심각해진다. 그러나 막대한 폐기물의 일부를 Fig. 2b에 나타난 바와 같이 회수하고 나머지는 2차적인 공정의 원료로 사용하면 폐기물의 양을 대폭 줄일 수 있다. 더 우기 폐기물의 전부를 Fig. 2c에 나타난 바와 같이 재순환시킬 수 있다면 폐기물의 발생이 없어져 환경오염의 문제가 해결됨과 동시에 자원, 에너지 및 물을 효과적으로 이용할 수 있다. 이렇게 함으로

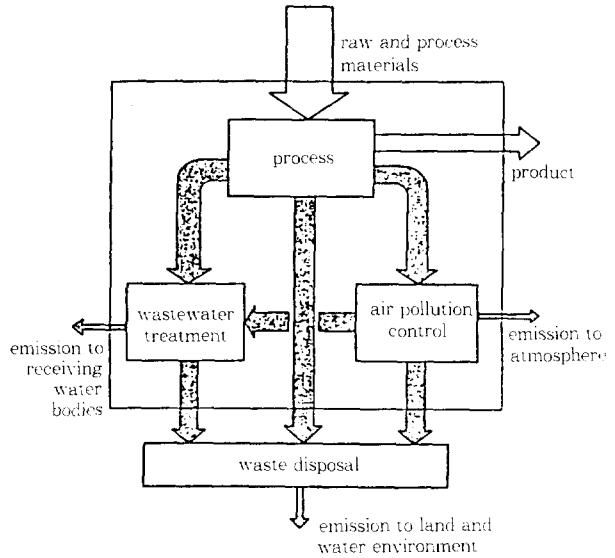


Fig. 1. End of pipe technology.

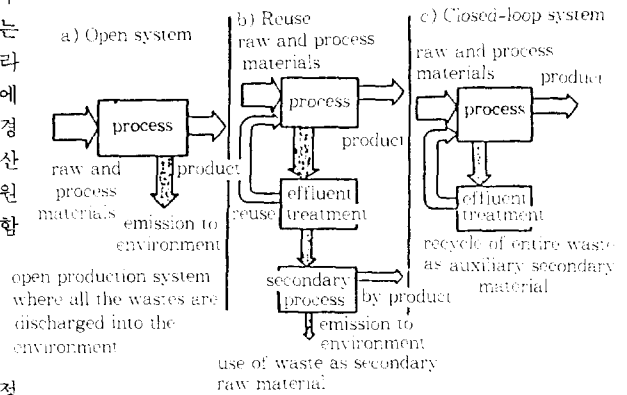


Fig. 2. Concepts of clean technology.

써 경제적으로 제품을 생산할수 있고 폐기물의 발생이 감소되어 환경오염을 줄일 수 있다. 구체적으로 청정기술을 이용하는 경우에 얻을 수 있는 경제적이고 환경적인 장점을 Table 1에 나타난 바와 같이 환경보전, 자원과 에너지의 절약, 제품의 향상, 생산성과 수익성의 증가, 작업조건의 개선 등의 관점에서 먼저 간략히 살펴보기로 한다.

청정기술을 오염물질의 처리에 이용하는 경우에 기존의 사후처리기술과 비교하여 먼저 폐기물의 발생량이 현저히 줄어들어 이의 운반비용이 절약되고 이를 처리하기 위한 처리시설이 필요없게 되어 투자비와 운전비용이 절약된다. 또한 영양분인 질소와 인의 화합물이 자연으로 방출되지 않고 유해한 수

은, 카드뮴, 납같은 중금속도 배출이 줄어들어 인체에 미치는 치명적인 피해를 경감시킬 수 있다. 환경보전이외에도 청정기술은 원료, 에너지 및 물을 절약할 수 있다. 원료가 절약되어 한정된 천연자원을 보존할 수 있고 물을 재순환시켜 사용함으로써 자급자족할 수 있게 된다. 이외에도 새로운 원료대신에 재생된 원료를 사용함으로써 제품을 생산하는 데 드는 에너지가 절약된다. 예를들면 1톤의 제지를 생산하는 데 30,000리터의 물이 소비되는 데 청정기술을 이용하면 물의 소비량을 100리터이하로 줄일 수 있고 중요한 화학제품인 하이드라진을 생산하기 위하여는 많은 에너지가 소요되는 데 청정기술을 이용하면 이에 소요되는 전기의 83% 그리고 가스는 50%이상 줄일 수 있다(Boettcher, 1985).

Table 1. Advantages of clean technology.

Environmental protection
· Reduced waste
· Less hazardous waste
Economical savings
· Raw material including water
· Energy
· Waste disposal & handling cost
Increased productivity & profitability
Improvement of product quality
Decrease of cost & damage
Improvement of working condition

청정기술을 제품의 생산에 이용하면 생산공정이 개선되어 더 정교하고 부가가치도 높은 제품을 생산하게 되어 경쟁력도 높아지고 기업의 수익율도 증가한다. 따라서 고용의 기회도 늘고 수출할 수 있는 기회도 증가되며 쾌적하고 깨끗한 환경에서 제품을 생산할 수 있게 된다. 제품의 생산에 사용되는 원료, 에너지 및 물의 소비가 줄어들면 제품의 생산원가가 낮아져서 경쟁력은 물론 기업의 수익율도 증가된다. 또한 기업의 작업환경이 개선되어 불량품의 비율이 낮아지고 조업 중지가 적어지어 기업이 이로부터 얻는 경제적인 손실을 경감시킬 수도 있다.

3. 청정기술의 방법

오염물질의 발생과 피해를 줄이는 데 여러가지의 장점을 가지고 있는 청정기술을 제품의 생산에 이용하는 방법은 크게 기존공정의 최적화, 공정의 개선 및 공정의 변화 등을 생각할 수 있다. 따라서 이들을 각각 제지산업, 섬유산업 및 표면처리 산업에서 청정기술을 이용하는 실제의 예를 들어 살펴보

기로 한다.

3. 1 기존공정의 최적화(Process Optimization)

기존의 제품을 생산하는 공정에 대하여 원료, 에너지 및 물의 수지(Balance)에 대한 이해를 넓힌 후에 이들의 사용량을 측정하고 관찰하여 원료, 에너지 및 물의 소비를 줄이고 오염물질의 발생을 줄일 수 있는 방법을 컴퓨터 등을 이용하여 생산공정을 최적화한다. 이를 위하여 구입하는 각종측정장치나 제어장치의 비용은 별로 비싸지 않아 생산성의 향상이나 자원, 에너지 및 물의 절약으로 쉽게 보상될 수 있다.

3. 2 공정의 개선(Process Modification)

기존의 공정에서 자원, 에너지 및 물을 회수(Recovery)하거나 재순환(Recycling)시키고 폐기물을 2차공정에서 원료 등으로 재사용(Reuse)하여 공정을 개선한다. 도금에서 이온교환수지를 이용하여 구리, 니켈 및 크롬 같은 금속을 회수한다든지 도살장의 혈액폐기물을 나무의 접착에 사용되는 아교로 사용한다든지 제지산업에서 폐기물로 배출되는 아황산용액을 연료, 도료, 접착제, 비료 및 단열재로 사용하는 것이 폐기물의 회수의 예이다(Ling, 1984). 폐기물의 재순환은 고갈되는 자원을 보존하고 제품의 생산에 사용되는 원료의 소비를 감소시켜 원료의 절약은 물론 값싸게 제품을 생산하고 폐기물의 배출이 감소되어 환경오염의 문제를 해결할 수 있다.

예를들면 도료산업에서 한외여과법(Ultrafiltration)을 사용하면 폐수중에 포함된 도료를 재순환시킬 수 있다(Applegate, 1984). 또한 제지산업에서는 물이 많이 사용되는데 Fig. 3에 있는 기존의 공정을 개선시켜 단순히 Fig. 4에 있는 바와 같이 폐수의 일부를 재순환시키면 제지 1톤을 생산하는데 30,000리터의 물이 들던 것을 9,100리터로 줄일 수 있고, 폐수를 완전히 순환시키는 경우에는 사용되는

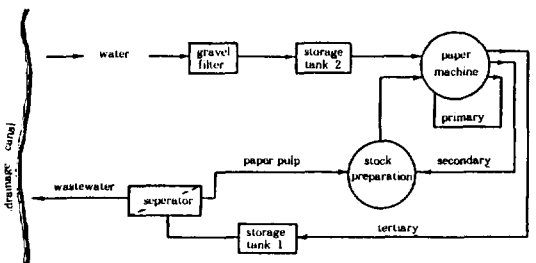


Fig. 3. Process with open wastewater disposal.

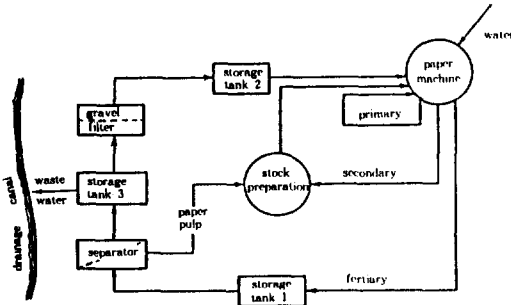


Fig. 4. Process with partial recycling of wastewater.

물이 1,000리터로 준다. 동시에 Table 2에 나타난 바와 같이 폐수의 양이 제지 1톤을 생산하는 데 27m<sup>3</sup> 배출되던 것이 공정의 개선으로 0m<sup>3</sup>으로 줄일 수 있고, BOD나 COD의 양도 대폭 감소됨을 알 수 있다.

Table 2. Comparison of wastewater for open, reduced and closed systems(Boettcher, 1985).

Wastes	Open systems	Reduced systems	Closed systems
Amount of water, m <sup>3</sup> /t	30	9.1	1.0
Amount of wastewater, m <sup>3</sup> /t	27	7.5	0
Annual quantity of wastewater, m <sup>3</sup>	594,000	172,500	0
BOD, mg/L	1,500	2,500	2,000
BOD, t/ann	891	431	0
COD, mg/L	2,000	3,000	2,600
COD, t/annum	1,188	518	0
Sedimentary substances	0*	0*	0*

\* With optimal operating sedimentation cone

### 3. 3 공정의 변화(Process Change)

기존 공정을 변화시켜 청정기술의 효과를 달성하는 방법으로 가장 확실한 방법이나 사전에 치밀한 조사에 의하여 기술적으로나 경제적으로 혜택이 있다는 판단이 서야 가능하다. 공정의 변화는 아주 새로운 신공정을 도입하거나 기존의 공정에서 사용되는 원료와 아주 다른 원료를 사용하는 방법 및 새로운 장치를 사용하는 방법 등이 있다. 예를 들면 제지산업에서 Fig. 5와 같은 공정을 사용하던 것을 Fig. 6과 같은 신공정으로 바꾸면 투자비가 893,400불에서 428,500불로 감소되고 아울러 Table 3에서 알 수 있는 바와 같이 폐수, 부유분진, COD 및 BOD의 발생이 현저히 줄어든다(Overcash,1986). 제지산업에서 폐기물 발생량의 50% 정도는 표백

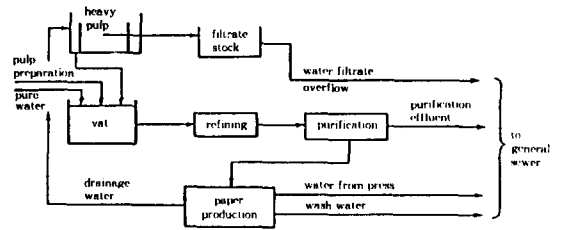


Fig. 5. Conventional process of pulp and paper industry.

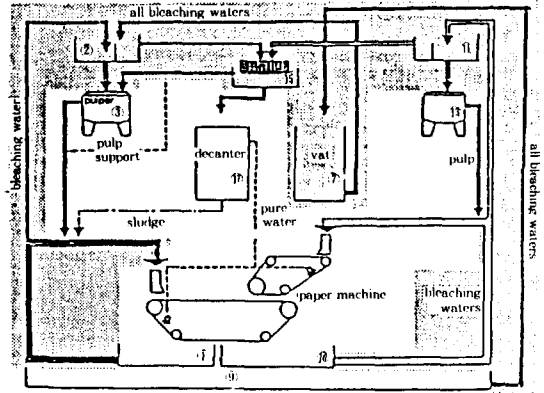


Fig. 6. New process of pulp and paper industry.

Table 3. Comparison of old and new processes in paper industry.

Wastes	Old process	New process
Total wastewater, m <sup>3</sup> /t	56	0
Suspended materials, kg/t	31	0
COD, kg/t	19	0
BOD, kg/t	9	0
Oxidizable materials, kg/t	12	0

(Bleaching)과정에서 배출된다. 폐수의 COD는 표백과정에서 사용되는 유기염소화합물에 의하여 높아지는데 기존에 사용되는 염소계통의 표백제 대신에 비염소계 표백제(과산화수소, 오존)를 사용하면 표백과정에서 발생하는 COD의 40~90%를 줄일 수 있다. 기존의 염소계통 표백제를 사용하던 Fig. 7과 같은 공정에서 표백제를 Fig. 8과 같이 오존으로 바꾸면 Table 4에 나타난 바와 같이 폐수의 양은 절반으로 줄고, 부유분진 및 BOD 등이 현저히 줄어들음을 알 수 있다. 이와같이 공정의 변화에 따른 투자비가 소요되나 이는 Table 5에 나타난 바와 같이 운영비의 절감으로 보상될 수 있다(Overcash,1986).

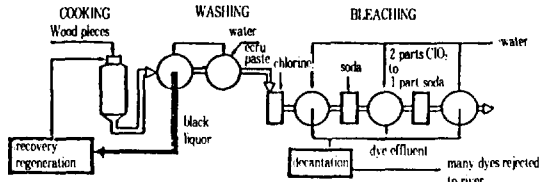


Fig. 7. Conventional process using chlorine bleaching.

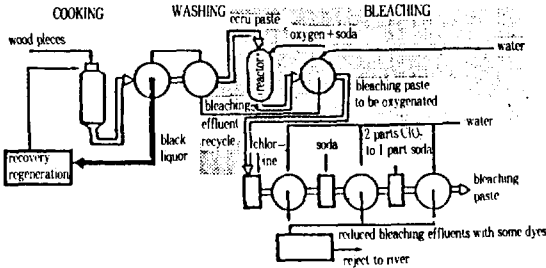


Fig. 8. Modified process using ozone bleaching agent.

Table 4. Comparison of wastewater characteristics in bleaching processes.

Wastes	Old process	Modified process
Wastewater flow of bleaching effluents, m <sup>3</sup> /t	100	50
Suspended materials, kg/t	10	negligible
BOD, kg/t	25	negligible
COD, kg/t	75	negligible
Color, kg(Pt/Co)/t	90	75

Table 5. Economics of ozone bleaching(in dollars, as of 1982).

Items	Old process	Modified process
Investment( \$ )	3,663,000	11,819,300
Annual Cost( \$ )	995,300	734,500

새로운 장치나 시스템을 사용하는 경우의 대표적인 예는 제지산업에서 발생하는 Black Liquor를 한 외여과에 의하여 Lignosulfonate를 효과적으로 분자량에 따라서 분리하여 폐수의 배출을 줄이는 것이다. 이외에도 도금의 마무리(Finishing)공정을 진공이나 건조한 조건에서 수행함으로써 폐수의 배출을 줄일 수 있다. 공정의 최적화보다는 공정의 개선이 이보다는 공정의 변경이 오염물질의 배출을 더 효과적으로 줄일 수 있으나 반대로 이의 투자비와

운영비는 증가함으로 기업의 상태에 따라서 최적의 방법을 선택해야 될 것이다.

#### 4. 결 어

청정기술은 기업의 측면에서는 새로운 투자로 생각될 수 있으나 원료, 에너지 및 물의 소비가 절감되고 오염물질의 제거비용이 절약되어 청정기술에 투자된 비용은 몇년이 지나면 보상될 수 있다. 예로써 미국의 Dow회사는 WRAP(Waste Reduction Always Pays)운동을 전개하여 1984년부터 1989년의 5년사이에 산업폐기물의 배출량을 95% 이상 감축하였고 불란서의 Uguine Gulugnon회사는 강철의 Pickling공정에 사용되는 질산과 불화수소산 대신에 과산화수소를 사용하여 대기 및 수질오염을 대폭 줄였으며 공장의 운전경비도 25% 이상 절감되어 새로운 시설에 투자된 비용이 4.5년 만에 보상되었다.

이와같은 청정기술에 대한 외국의 사례에서 알 수 있는 바와 같이 기업의 환경문제가 기업의 사활과 직결되어 수출의 높은 환경장벽을 넘고 경제발전을 지속적으로 유지하기 위하여는 산업의 발전과 환경오염의 절감이라는 목표를 동시에 달성할 수 있는 청정기술에 대한 연구를 시작하여 점차적으로 투자비를 높이는 노력이 정부, 기업 및 연구소나 학교에서 공동으로 추진되어야 한다. 이렇게 하는 길만이 상품의 국제경쟁력을 높이고 계속하여 수출할 수 있으며 쾌적하고 깨끗한 우리의 환경을 보존할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. Applegate, L. E. (1984) Membrane Separation Processes, J. Chem. Eng., 90, 64-88.
2. Boettcher, H. (1985) Wastewater Free Paper Production Technology on Waste Paper Basis, Intl. Symp. on Clean Technologies, FRG, 7-18 October, B1-B28.
3. Gonzalez, H. et al. (1985) Biotechnology for the Processing of Pineapple Wastes, UNEP : Industry and Environment, 8, 19-20.
4. Ling, J. T.(1984) Pollution Prevention Does Pay, UNEP:Industry and Environment, 7, 3-6.
5. Overcash, M. R. (1986) Techniques for Industrial Pollution Prevent, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Michigan, U.S.A..
6. Royston, M. G. (1987) Pollution Prevention Pays,

Pergamon Press, New York, U. S. A..

7. Valentino, F. and Walment, G. E. (1986) Industrial Waste Reduction—The Process Problem, UNEP : Industry and Environment, 28, 16–34.
8. Vigneswaran, S., Muttamara, S. and Sriandakumar, K. (1989) Low Waste Technologies in Selected Industries, Environmental Sanitation Reviews, 27,1–85.