

청정기술

1. 서론

인류가 삶을 영위하기 위하여는 끊임없이 자연에서 자원과 에너지를 이용하여 일상생활에 유용한 각종 제품을 생산하고 이를 저장·운반하여 최종적으로 인간이 사용하였다. 이러한 일련의 과정에서 필연적으로 폐기물이 발생되어 자연을 오염시켰다. 지구상에 인구가 적었을 때는 자연의 자정능력(自淨能力)이 더 커서 발생된 폐기물에 의한 환경 오염이 별로 문제가 되지 않았다. 따라서 인간은 자연의 소유주로서 활발한 경제활동에 의하여 더 많은 제품을 생산하고 더 많은 폐기물을 자연으로 방출하였다. 더우기 산업의 고도화와 다양화는 인구의 증가와 더불어 도시화하면서 자연훼손은 지구 생태계가 가진 자정능력의 한계를 넘어 환경을 오염시켰다. 지구 전체적으로 CFC(Chloro fluorocarbon) 등에 의한 오존층의 파괴, CO₂에 의한 지구온난화, SO_x 및 NO_x 등에 의한 산성비 그리고 삼림의 황폐 등이 심각한 오염문제로 대두되어 국경을 초월한 전세계적인 문제로 확대되어 “하나뿐인 지구”를 지키기 위한 노력이 전세계적으로 강구되고 있다.

심각한 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



김상환 / 건국대학교 화학공학과 교수

왔다. 그러나 이러한 사후처리기술은 투자비와 운영비가 높고 다양화해지고 대량화하는 오염물질을 줄이기 위하여 한층 강화된 환경규제치를 만족시키기 어려운 것으로 보고 있다. 더우기 원료로 사용되는 자원과 에너지의 낭비를 감소시킬 수 없다. 따라서 발생된 오염물질을 단순히 처리하는 방식에서 오염물질의 발생을 원천적으로 없애거나 극소화시키는 방식으로 바꾸어가고 있는 것이 최근의 세계적인 추세이다. 이러한 오염물질에 대한 사전예방기술(Preventive technology)을 청정기술(Clean technology) 혹은 무오염기술(Low and non-waste technology)이라 부른다. 따라서 청정기술이란 경제적으로 제품을 생산하고 동시에 환경오염을 줄일 수 있는 일석이조의 기술로 한마디로 요약하면 “보다 효율적인 생산과 동시에 오염물질을 적게 배출하는(Better production and less pollutants)기술”을 뜻한다. 다시말하면 오염물질의 발생을 원천적으로 없애거나 극소화하며 이들의 환경에 대한 유해성을 줄이고 효율적인 관리를 통하여 자원, 에너지와 물의 소비를 감소시키는 것이다.

청정기술에 대한 관심은 1970년대부터 유럽, 미국, 일본 등의 선진국이나 인도, 태국, 브라질 같은 개발도상국에서 이에 대한 연구개발에 관심을 갖고 상호간의 정보교환은 물론 기술이전을 위하여 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 무오염물기술을 축적시켜 1987년 1월경에는 화학 및 제지산업에 적용시킬 수 있는 129종의 무오염물기술을 수집하여 전세계적으로 보급하고 있다. 또한 1년에 4회정도 “Cleaner production”이란 소식지를 발간하고 있다.

유럽공동체(EC)는 1973년부터 청정기술에 대한 관심을 가지고 표면처리, 파혁산업, 섬유산업, 제지산업 및 식품산업의 폐기물 재이용에 관한 연구에 연구비를 투자하고 있다. 이외에도 유럽에서는 EC를 중심으로 한 19개국이 참가한 Eureka기구에서

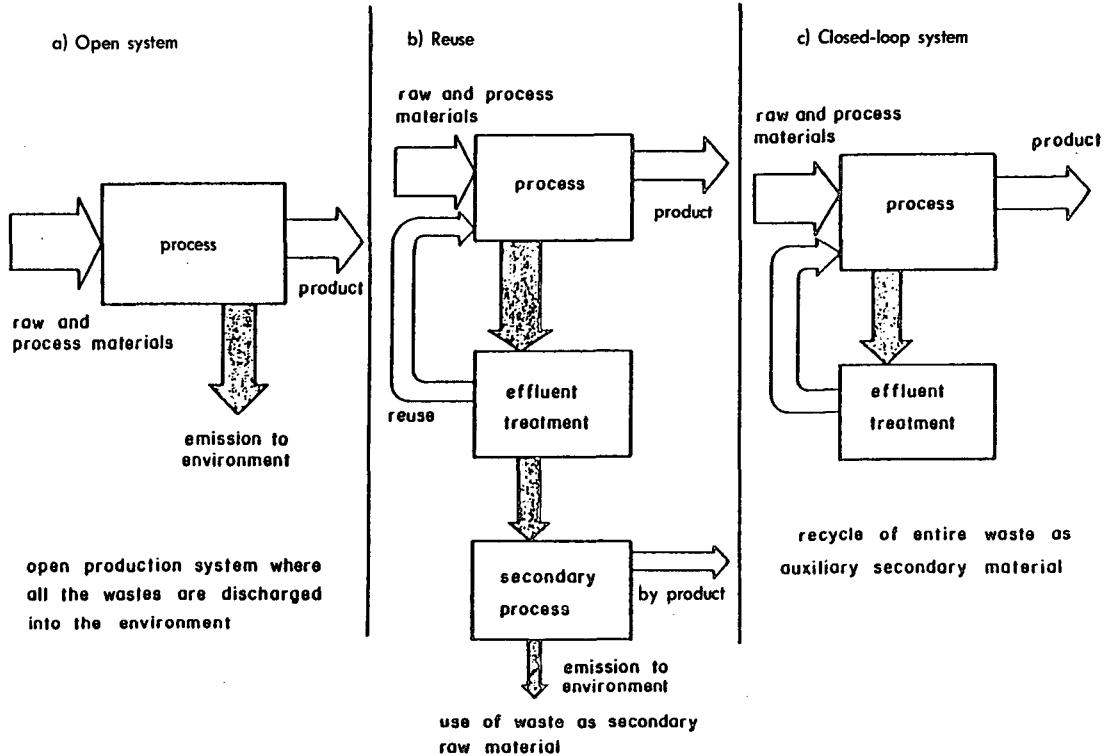
수행하는 Environment 프로젝트에는 6억불에 달하는 예산으로 110개의 회사와 200개의 연구소 및 대학이 참가하여 32개의 연구과제를 수행하고 있다. 우리와 이웃한 일본에서도 1983년부터 산업공해방지협회와 상공부가 중심이 되어 일본에서 발생되는 폐기물의 양을 조사한 후 일본의 협소한 국토를 가지고는 매립이나 소각으로는 폐기물 문제를 근본적으로 해결할 수 없어 폐기물의 발생량 감소, 회수 및 재이용을 위한 청정기술의 개발이 정부, 기업 및 소비자의 노력으로 이루어지고 있다. 중요한 청정기술로는 폐자원으로부터 알코올의 생산 그리고 도시하수나 산업폐수에서 발생되는 슬러지로부터 연료유를 생산하는 연구가 수행되고 있다. 산업화 과정에 있는 우리나라에서는 제조업이 차지하는 비중이 높아 자원과 에너지의 소비가 많고 폐기물의 배출량이 많아 환경오염이 날로 심각해지고 있다. 따라서 제품의 생산과정에서 자원과 에너지의 최대활용을 통하여 자원의 보존은 물론 폐기물의 배출량을 최소화해야 함으로 청정기술의 개발이 절대적으로 필요하다.

2. 청정기술의 특징

청정기술은 그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 원료, 에너지 및 물을 사용하여 일상생활에 유용한 제품을 생산하고 나머지 부산물은 폐기물로 자연에 방출되는 것을(그림 1.a) 일부는 회수(Recovery)하고 나머지는 2차적인 공정의 원료로 사용하든지(그림 1.b) 혹은 전체의 폐기물을 재순환(Recycle)하는 방법으로(그림 1.c) 폐기물의 발생을 줄이고 자원, 에너지 및 물을 효과적으로 이용하는 방법이다. 이렇게 함으로써 경제적으로 제품을 생산할 수 있고 폐기물의 발생이 감소되어 환경오염을 줄일 수 있다. 이를 구체적으로 이해하기 위하여 청정기술을 이용하는 경우에 얻을 수 있는 혜택을 환경보전, 자원과 에너지의 절약, 제품의 향상, 생산성과 수익율의 증가, 작업조건의 개선 등의 관점에서 살펴보기로 한다.

청정기술을 오염물질의 처리에 이용하는 경우에 기존의 사후처리기술과 비교하여 먼저 폐기물의 발생량이 현저히 줄어들어 이의 운반비용이 절약되고 이를 처리하기 위한 처리시설이 필요없게 되어 투

〈그림 1〉 정성기술의 개념도



자비와 운전비용이 절약된다. 또한 영양분인 질소와 인의 화합물이 자연으로 빙출되지 않고 유해한 수은, 카드뮴, 납 같은 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 물은 재순환시켜 사용함으로써 자급자족할 수 있게 된다. 이외에도 새로운 원료대신에 재생된 원료를 사용함으로 제품을 생산하는 데 드는 에너지가 절약된다. 예를들면 1톤의 제지를 생산하는 데 30,000리터의 물이 소비되는 데 청정기술을 이용하면 물의 소비량을 100리터이 하로 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.

청정기술을 제품의 생산에 이용하면 생산공정이 개선되어 더 정교하고 부가가치도 높은 제품을 생산하게 되어 경쟁력도 높아지고 기업의 수익율도 증가한다. 따라서 고용의 기회도 늘고 수출활 수

있는 기회도 증가되며 폐적하고 깨끗한 환경에서 제품을 생산할 수 있게 된다. 제품의 생산에 사용되는 원료, 에너지 및 물의 소비가 줄어들면 제품의 생산원가가 낮아지어 경쟁력은 물론 기업의 수익율도 증가된다. 기업의 작업환경이 개선되어 불량품의 비율이 낮아지고 조업중지가 적어지어 기업이 이로부터 입는 경제적인 손실을 경감시킬수도 있다.

3. 청정기술의 방법

오염물질의 발생과 피해를 줄이는 데 여려가지의 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 표면처리산업에서 청정기술을 이용하는 실제의 예를 들어 살펴보기로 한다.

(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 각종 측정장치나 제어장치의 비용은 별로 비싸지 않아 생산성의 향상이나 자원, 에너지 및 물의 절약으로 쉽게 보상될 수 있다.

(2) 공정의 개선(Process modification)

기존의 공정에서 자원, 에너지 및 물을 회수하거나 재순환시키고 폐기물을 2차공정에서 원료 등으로 재사용하여 공정을 개선한다. 도금에서 이온교환수지를 이용하여 구리, 니켈 및 크롬 같은 금속을 회수한다는지 도살장의 혈액폐기물을 나무의 접착제 사용되는 아교로 사용한다든지 제지산업에서 폐기물로 배출되는 아황산용액을 연료, 도료 접착제, 비료 및 단열재로 사용하는 것이 폐기물의 회수(Recovery)의 예이다. 폐기물의 재순환(Recycle)은 고갈되는 자원을 보존하고 제품의 생산에 사용되는 원료의 소비를 감소시켜 원료의 절약은 물론 값싸게 제품을 생산하여 폐기물의 배출이 감소되어 환경오염의 문제를 해결할 수 있다.

예를들면 도료산업에서 한외여과법(Ultrafiltration)을 사용하면 폐수중에 포함된 도료를 재순환시킬 수 있다. 또한 제지산업에서는 물이 많이 사용되는 데 폐수의 일부를 재순환시키는 경우에 제지 1톤을 생산하는 데 30,000리터의 물이 들던 것이 9,100리터로 줄었고 폐수를 완전히 재순환시키는 경우에는 사용되는 물이 1,000리터로 줄었고 동시에 표1에 나타난 바와 같이 매년 발생되는 폐수 중의 총 BOD나 COD양이 대폭 줄었음을 알 수 있다.

〈표 1〉 제지산업에서 폐수의 배출량

	Open system	Reduced system	Closed system
Amount of wastewater, m ³ /t	30	9.1	1.0
Annual quantity of wastewater, m ³	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) 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. 예를들면 제지산업에서 기존 공정의 투자비가 803,400불이던 것을 폐기물을 완전히 재순환시키는 신공정을 사용하는 경우에는 투자비도 428,500불로 절감되고 표2에서 알 수 있는 바와 같이 폐수, 부유분진 같은 폐기물의 발생이 없게 된다. 이것이 신공정을 도입하여 청정기술의 목표를 달성하는 경우이다.

〈표 2〉 제지산업에서 신공정의 도입 효과

Wastes	Old process	New process
Total wastewater, m ³ /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

제지산업에서 폐기물 발생량의 50% 정도는 표백(Bleaching) 과정에서 배출된다. 폐수의 COD는 표백과정에서 사용되는 유기염소화합물에 의하여 높아지는 데 기존에 사용되는 염소계통의 표백제 대신에 비염소계 표백제(과산화수소, 오존...)를 사용하면 표백과정에서 발생되는 COD의 40~90% 정도까지 줄일 수 있다. 오존을 표백제로 사용하는 경우의 공정도가 그림2에 도시되어 있고 오존 표백에 의하여 폐수의 양이나 부유분진 그리고 BOD등이 표3에서 알 수 있는 바와 같이 현저히 줄어들었다. 이와같이 공정도 변경하는 경우에 투자비가 표4에 나타난 바와 같이 소요되나 운영비는 적게 듬을 알 수 있다.

새로운 장치나 시스템을 사용하는 경우의 대표

적인 예는 제지산업에서 발생되는 Black liquor를 한외여과(Ultrafiltration)에 의하여 lignosulfonate 를 효과적으로 분자량에 따라서 분리하여 폐수의 배출을 줄이는 것이다. 이외에도 도금의 마무리 (Finishing)공정을 전공이나 건조한 조건에서 수행 함으로써 폐수의 배출을 줄일 수 있다. 공정의 최 적화보다는 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.

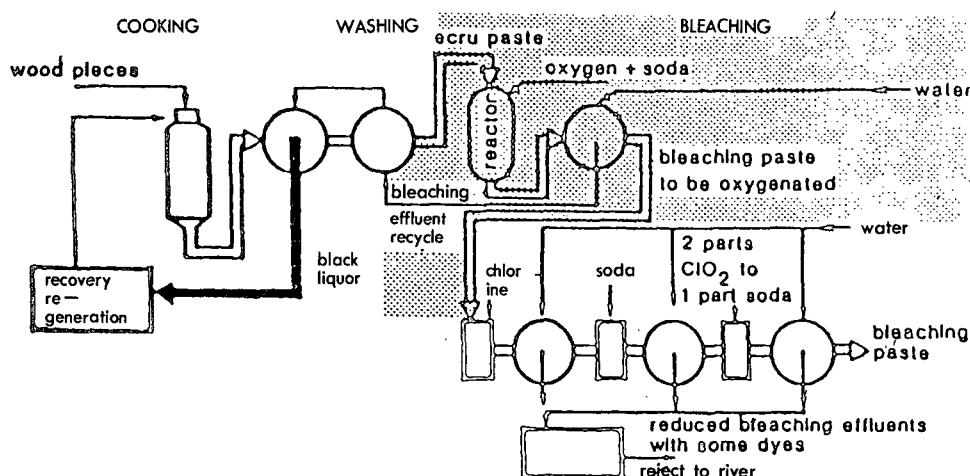
〈표 3〉 오존표백을 사용하는 경우의 폐수의 성상

	Old process	Modified process
Wastewater flow of bleaching effluents, m ³ /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

〈표 4〉 오존표백의 경제성(1982년 가격)

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

〈그림 2〉 오존포백을 사용하는 공정의 변경



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 Ugine Gulugnon회사는 강철의 pickling 공정에 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 높히는 노력이 정부, 기업 및 연구소나 학교에서 공동으로 추진되어야 한다. 이렇게 하는 길만이 상품의 국제경쟁력을 높이고 계속하여 수출 할 수 있으며 쾌적하고 깨끗한 우리의 환경을 보존 할 수 있다.