

◆특집◆ 우리나라 청정생산시스템의 현주소

청정생산시스템 개발현황 및 방향

이귀호\*, 김재연\*\*

Overview and Future Direction of Cleaner Production System

Kwiho Lee\*, Jae Youn Kim\*\*

Key Words : Cleaner Production(청정생산), End-of-Pipe Technology(사후처리기술), Sustainable Development (지속가능 발전), Environmental Management(환경경영)

1. 서론

1987년 노르웨이 수상 G. H. Brundtland가 세계 환경개발위원회(WCED)에 제출한 보고서인 “우리 공동의 미래(Our Common Future)” 서 처음 언급된 ‘지속가능한 발전(Sustainable Development)’은 경제적 번영과 환경보전, 사회적 평등을 추구하는 개념으로 지구촌의 공동 목표로 부각되기 시작하였다. 이후 지속가능한 발전이 더욱 구체화되어, 1992년 브라질의 리우데자네이루에서 개최된 지구정상회담에서 지구환경보존을 위한 이념적 방향을 설정하는 리우선언과 이를 구체적으로 실천하는 행동강령으로서 “의제 21(Agenda 21)”을 채택하였다. 의제 21은 법적 구속력은 없지만 지속가능한 발전을 위한 정부, 기업, 사회의 실천을 권고하는 내용으로 각국 정부에서는 환경정책, 산업, 사회 전반에 걸쳐 이를 실현하기 위한 노력을 하고 있으며, 특히 지속가능한 발전을 위한 산업계의 대안이 바로 ‘청정생산(Cleaner Production)’이라는 인식이 확산되었다.

지난 2002년 8월, 남아공화국 요하네스버그에서 개최된 ‘지속가능발전세계정상회담(WSSD)’에서는 리우선언이 채택된 지 10주년을 맞아 그 성과를 평가하고 의제 21의 이행을 촉구하였다. 특히 지속가능한 생산 활동의 촉진을 위한 10개년 계획을 수립하고, 청정생산과 생태효율성 향상을 위한 투자 확대와 청정생산지원센터의 설립·지원을 강조하였다.

최근 강화되는 국제환경협약 중에서도, 지구온난화 방지를 위한 ‘기후변화협약’, 오존층파괴 방지를 위한 ‘몬트리올 의정서’, 유해폐기물의 국가간 이동을 금지 하는 ‘바젤협약’ 등은 우리나라 기업의 국제경쟁력에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상하고 있으며, WTO에서 논의되고 있는 무역과 환경의 연계는 우리 제품이 선진국 시장으로의 진입을 더욱 어렵게 만들고 있다. 또한 에너지절약법, 유해물질 규제와 폐기물 발생량을 줄이는 확대생산자책임제(Extended Producer Responsibility)의 도입과 같은 환경법규의 강화와 소비자의 환경제품에 대한 관심도가 점점 증가되고 있어 기존의 국내 산업구조를 보다 환경친화적인 청정생산체제로의 전환이 절실히 요구되고 있다.

2. 청정생산이란?

2.1 청정생산의 개념

\* 한생산기술연구원 국가청정생산지원센터 청정기획팀장  
Tel: 02-6009-3510, Fax: 02-6009-3519  
E mail: kholee@kitech.re.kr,  
지속가능 산업환경정책, 교육/훈련 업무 담당  
\*\* 한국생산기술연구원 국가청정생산지원센터 청정기획팀  
전문위원  
Tel: 02-6009-3510,1, E-mail: kholee@kitech.re.kr,  
국제협력, 청정생산기술사업 기획업무 담당

청정생산(CP, Cleaner Production)이란 Fig. 1과 같이 “공정, 제품, 그리고 서비스 등 전 분야에서 자원생산성 및 효율을 극대화하고 인체와 환경에 미치는 위해성을 최소화하는 것을 목표로 하는 통합 환경전략을 지속적으로 적용하는 활동”으로 유엔환경계획(UNEP)은 정의하고 있다. 유사한 용어로 미국, 캐나다 등 북미권에서 사용하는 사전오염 예방(P2, Pollution Prevention)과 폐기물 최소화(WM, Waste Minimization), 일본을 비롯한 동남아시아의 녹색생산성(GP, Green Productivity) 등이 있으나 이 프로그램들은 세부 실행 기법에서 차이가 있을 뿐 추구하는 목적이나 개념은 거의 같다고 볼 수 있다. 제품의 설계단계에서 폐기까지 전과정에서의 청정생산 개념도를 Fig. 2에 나타내었다.

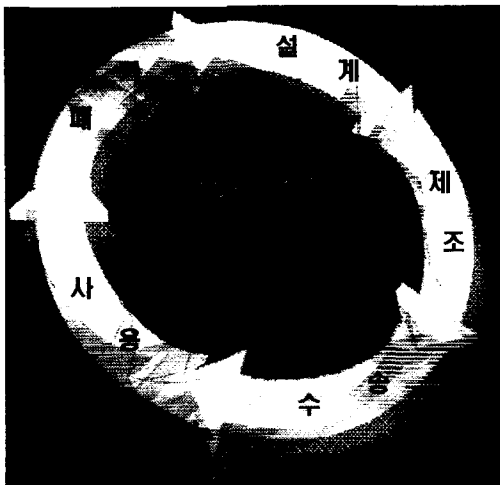


Fig. 1 The concept of Cleaner Production

## 2.2 청정생산기술과 사후처리기술

발생된 오염물질을 저감하기 위해 일반적으로 적용되는 기술인 사후처리(EOP, End of Pipe)기술은 오염방지를 목적으로 고가의 비용이 투입됨에도 불구하고 경우에 따라서는, 오염물질을 완전히 제거하는 것이 아니라 다른 오염물질로 전환하거나 이차 오염물질 발생을 초래하므로 환경문제를 근본적으로 해결하지 못하고 있다. 반면 청정생산기술은 오염물질 발생을 근원적으로 억제하는 것으로 환경문제를 효과적으로 해결할 수 있다. 청정생산기술과 사후처리기술의 비교는 Table 1과 같다.

청정생산기술(Cleaner Production Technology)은 제품의 생산과 서비스에 관련된 전 과정에서 청정생

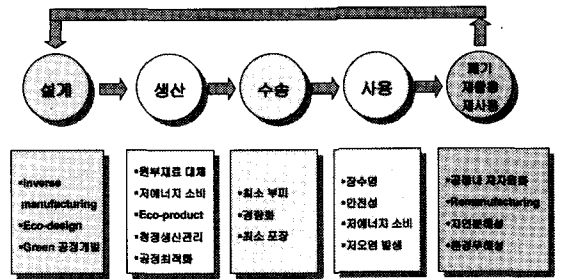


Fig. 2 The Conceptual diagram of Cleaner Production concerning on the whole process

Table 1 Comparison of Cleaner Production Technology and End-of-Pipe Technology

구분	청정생산기술	사후처리기술
기술 개념	자원생산성 향상 및 환경오염 물질배출을 사전에 예방하는 생산기술	환경오염물질이 배출된 이후 처리하는 기술(End of pipe)
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 자원 사용의 최소화 및 환경오염물질 발생의 최소화를 통한 자원환경문제의 근본적 해결</li> <li>- 사전예방, 원천적 제거</li> <li>- 자원생산성 및 순환성 향상</li> <li>○ 설비 투자비 회수가 가능</li> <li>- 생산에 따른 투자비 회수</li> <li>- 환경부하 및 제조원가 저감</li> <li>○ 사회적 비용의 감소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2차 환경오염물질 발생, 환경문제의 근본적 해결방안은 못됨</li> <li>- 다이옥신, 중금속, 유해가스 등</li> <li>○ 설비 투자비 회수가 불가능하며 지속적인 운영비 소요</li> <li>- 초기 투자비용이 상대적으로 낮음</li> <li>- 생산량 증가: 곧 환경부하 및 제조원가 상승으로 이어짐</li> <li>○ 사회적 비용의 증가</li> </ul>

산을 실행하기 위해 적용되는 기술이다. 즉 환경친화적이고 지속가능한 제품설계기술, 효율성 증대 및 기술개선 등을 통해 원천적으로 환경오염물질 배출을 사전 예방하거나 최소화 할 수 있는 공정기술, 원료의 변경에 의한 총 발생 오염물질을 감소시키는 청정원료 대체기술, 생산공정에서 배출되는 폐기물 혹은 부산물을 공정 내에서 재순환하거나 새로운 공정을 적용하여 유용 물질을 회수 혹은 타 산업에서 재활용(Recycling)되어 환경오염 부하를 저감시킬 수 있는 재자원화 기술, 그리고 공급망환경관리(SCEM, Supply Chain Environmental Management)와 환경관리회계 등 환경경영체제 구축을 위한 기법 등으로 세분화 할 수 있다.

청정생산기술은 적용분야에 따라 크게 제품, 공정, 그리고 서비스 측면으로 구분할 수 있으며 환경경영도 포함한다. 제품(Products) 측면은 원료 추

출, 제품으로 생산, 생태계로 폐기될 때까지의 전과정에 걸쳐 환경과 인체에 미치는 영향을 최소화하고 안전성(Safety)까지 고려하는 것을 목적으로 하고 있다. **공정(Process)** 측면은 원료, 용수 및 에너지 효율성을 극대화하고, 유독성, 유해성 원부재료 물질을 환경친화적인 물질로 대체하며, 배출량과 모든 독성을 저감하는 것을 목적으로 하고 있다. **서비스(Service)** 측면은 환경을 고려한 설계와 이송까지 포함한다. 또한 기업의 경영활동이 경제적 효율성과 환경적 효과성을 동시에 만족할 수 있도록 경영시스템 및 인프라를 환경친화적으로 구축하는 **환경경영(Environmental Management)**도 청정생산기술 범주에 포함된다. 세부기술 분류와 내용은 Table 2와 같다.

일부에서는 **청정기술(Clean/Cleaner Technology)**이라는 용어를 사용하고 있는데, 이는 청정생산기술의 협의의 개념으로 실제 제조공정에 초점을 두고 있으며 생산성 향상과 환경부하를 저감시키기 위한 기술이다.

### 3. 국내외 청정생산시스템 개발동향

#### 3.1 국외 현황

선진국들은 일찍부터 청정생산의 중요성을 인식하고 지속적으로 연구개발 하여 상당한 성과를 거두었다. 그 대표적인 성공사례를 열거하면 다음과 같다.

3M은 3P(Pollution Prevention Pays) 프로그램으로 1975년부터 2001년까지 821,000톤의 오염물질 감축과 8억 5700만 달러의 경제적 성과를 달성하였으며, 오염물질이 배출되지 않는 “Zero emission”을 목표로 지속적으로 개선활동을 하고 있다. 이것이 현재 미국 환경보호청(EPA)에서 적극적으로 추진하고 있는 사전오염예방(P2) 프로그램의 모태가 되었다.

다우케미칼(Dow Chemicals)은 1986년부터 폐기물 발생 최소화를 목적으로 WRAP(Waste Reduction Always Pays)프로그램을 추진하여, 1994년부터 2001년까지 연간 18%의 폐기물 감축실적을 달성하였으며 2005년까지 50% 감축 목표달성을 위해 노력하고 있다.

제너럴모터스의 경우, 오염예방프로그램의 일환으로 1990년부터 추진해 온 WE CARE(Waste Elimination and Cost Awareness)프로그램으로 연간

Table 2 Classification of Cleaner Production Technology

분야	주요기술분류	기술내용
제품 및 서비스	청정제품설계기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>제품설계단계에서 환경 및 자원보존을 고려한 기술</li> <li>- Life Cycle Assessment, Design for Environment, Eco-Design 기법 적용, LCI 구축 등</li> <li>- 장수명 소재 및 제품개발, 재활용율을 제고한 제품개발, 저에너지 사용제품 개발, 인체 및 환경에 무해한 제품개발 등</li> </ul>
	환경친화공정기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>생산공정을 근본적으로 개선하여 오염발생을 제거하거나 최소화하고 생산효율을 높이는 기술</li> <li>- 건식세정, 건식도금, CFC-free 발포, 공정최적화 등</li> </ul>
공정	유해성 원부재료 대체기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>환경친화적인 원부재료로 변경하여 오염물질의 발생을 제거 또는 최소화하는 기술</li> <li>- 6가 크롬 대체기술, 중공속 미사용 전자제조기술, 유기용매 미사용 도료개발 등</li> </ul>
	공정내 재자원화기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>발생한 폐기물 또는 부산물을 공정 내에서 재자원화하여 환경오염 부하를 최소화하는 기술</li> <li>- 공정 내수질 재이용률 향상시스템 구축, 공정내 부산물 재활용 등</li> </ul>
경영	환경경영	<ul style="list-style-type: none"> <li>환경친화적 경영시스템 구축기법</li> <li>- Supply Chain Environmental Management, 환경회계, 통합환경경영체제 구축 등</li> </ul>

75만 달러의 비용절감 효과를 거두고 있다.

청정생산기술 관련 선진국의 기술개발 동향을 살펴보면, 90년대에는 주로 생산공정에 초점을 두고 각 국가별로 공정기술개발에 주력하여왔으나, 최근에는 환경친화적 제품설계(DfE, Design for Environment)와 같은 제품중심기술로 전환되고 있는 실정이다. 환경친화적 제품설계란 제품의 가격, 성능 및 품질의 기준을 만족시키면서 환경적으로 적합한 제품이나 공정을 개발하는 것으로, 제품생산 전과정에 걸쳐 발생하는 환경영향과 비용을 최소화하는 것을 목적으로 하고 있다. 유럽에서는 지속가능제품설계(Sustainable Product Design)나 에코디자인(Eco-design)이란 용어로 널리 사용되고 있다.

#### 3.2 국내 현황

국내에서는 1990년대 이후 삼성, SK, 포스코 등 대기업을 중심으로 청정생산을 자체적으로 추진하여 상당한 성과를 거두었다. 그러나 많은 기업에서 환경에 대한 투자를 규제회피를 위한 비용으로 인식하는 등 청정생산에 대한 이해부족으로 청정생산 도입에 적극 나서지 않고 있는 실정이었다. 이에 산업자원부는 국내 산업구조를 보다 환경친화적인 구조로 전환하기 위해 1995년부터 “청정생산기술 사업”을 지원하게 되었다. 이로 인해 중소기업의 산업현장에서 청정생산기술의 개발이 활성화되고 있어 공정최적화나 공정 내 재자원화를 위한 기술은 선진국 수준에 도달하였으나, 환경친화적 제품 설계, 원천공정기술 등 핵심기술 분야는 아직 선진국의

20~30% 수준에 머무르고 있다. Table 3는 선진국 대비 청정생산시스템의 국내 수준을 보여주고 있다.

Table 3 Classification of Cleaner Production Technology

핵심기술내용	국외	국내개발현황	수준(국외대비)
설계 Eco-design Inverse manufacturing Green 설계개발	-LCA(DfE) 활용 -Software 개발	-Software 활용 단계	30
생산 원부재료 대체 Eco-product 공정 최적화 자에너지 재조 오염물질 저감	-유독성 물질대체 -환경호르몬 물질 대체기술 -Simulation tool 기술	-일부 대체 -simulation tool 개발은 미비	30
수송 최소 부피화 경량화	-설계와 연계기술	-경량화 기술 -최소부피화는 상대적연구미비	30
사용 장수명화 안전성 증대 자에너지 소비 저오염 발생	-제품설계에 반영	-사용을 고려한 제품설계 미흡	20
폐기, 재 활용, 재 순환 공정내 재자연화 Remanufacturing 재생산시스템 설계, 평가, 경량화기술 폐자재 재활용을 위한 분 해 및 분취기술 자연분해성 환경무해성	-정보관리시스템 구축, 운영 -설계와 연계한 재활용을 향상	-폐기물 발생량 DB 구축 -실용화속도를 위한 방법미비	30

#### 4. 청정생산시스템 개발방향

앞으로 청정생산시스템의 방향은 기본적으로 산업생태학(Industrial Ecology)적인 측면에서 설계, 생산, 재순환이 되어야 한다는 것이다. 생태학(Ecology)이란 생물이 외부환경과 다른 생물에 어떻게 대응하여 살아가는가를 연구하는 학문으로 물질의 완전한 내부순환을 이루고 있다. 이것을 모방하여 기업체를 하나의 생물로 보고 자연의 순환시스템과 같이 물질의 내부순환을 이루고자 하는 것이 바로 산업생태학이다. 산업생태학은 미국의 Ayres가 『Technology and Environment』라는 책에 실은 논문인 산업물질대사(Industrial Metabolism)를 통해 시작되었다. 산업생태학자들은 자원이용을 극대화하는 동시에 환경에 대한 영향을 극소화하기 위해 자연생태계를 모델로 한 폐쇄루프시스템(Closed-loop system) 혹은 자원이용의 순환구조(Cyclic structure of material use)를 만드는 것을 산업생태학의 목적으로 보고 있다. 그런데 기술적, 경제적 이유 등으로 완벽하게 순환적인 생산방식을 달성하는 것은 어렵다. 그렇지만 산업생태학은 보다 순환적인 생산시스템을 만드는데 필요한 중요한 지침을 제공하고 있다.

산업생태학에서는 기업끼리 협력하여 경제적 이익을 거두는 동시에 환경개선 효과를 달성하는 관계를 산업공생(Industrial symbiosis)이라고 한다. 이는 자연생태계에서 볼 수 있는 것처럼 서로 간에

폐기물을 이용하여 상호이익을 취하는 공생관계에서 유추한 개념이다. 그리고 산업공생이 지속적이고 체계적으로 이루어진 결과로 나타난 생산시스템을 산업생태시스템(Industrial ecosystem)이라 한다. 산업생태시스템에서는 자연생태계처럼 작동하는 유기적인 물질연계를 통해 한 기업의 폐기물이 다른 기업의 원료로 이용되는 순환적 물질이용이 가능해진다. 그러므로 1차 물질은 적게 이용하여 자원의 효율적 이용을 기하면서도 폐기물 발생은 줄여 환경에 가해지는 부정적 영향이 최소화될 수 있다. 자원이용의 효율성도 달성하겠다는 목적으로 산업공생을 형성발전시키려는 노력이 일어나고 있는 것이다.

산업생태학의 적용목적은 바로 지속가능한 산업발전을 이루기 위한 것이다. 이것은 청정생산에서 정의한 Eco-efficiency를 극대화함과 동시에 생산전과정에서의 효율증대, 즉 Eco-effectiveness를 고려해야 함을 의미한다. 과수에는 처음에 많은 수의 꽃이 피지만 과일을 맺는 꽃은 그렇게 많지 않다. 과일 수만으로 본다면 Eco-efficiency는 그다지 크지 않다. 그러나, 생태순환 측면에서 볼 때 떨어진 꽃과 잎이 썩어 흙 속의 미생물이나 과수의 비료가 됨으로써 하나의 순환시스템을 구축하는 것이다. 산업생산시스템에서도 전체적인 물질순환체제가 구축되어 자원의 낭비가 적고 오염발생이 적도록 해야 할 것이다.

한편, 기술개발에 있어서도 환경친화적으로 고려하는 DfE기법이나 또는 환경과 보건, 안전을 총괄적으로 고려하는 DfEHS기법 등은 미국을 비롯한 선진국에서는 제품생산 설계시 사용을 하고 있으나, 국내의 경우에는 일부 대기업에서 적용하고 있는 경우 외에는 아직 정착이 되지 않은 상황이다. 또한 해외 선진국에서는 환경친화적인 설계의 방법론보다 더욱 환경과 밀접하게 제품을 개발하는 기법으로 Natural step이나 Biomimicry기법들이 연구되고 있다. 자원의 효율적 사용을 위해서 자원을 재사용이 가능한 것과 재사용이 가능하지 않은 것으로 구분하여 가급적 재사용이 가능한 자원을 사용하도록 하는 것이 Natural step의 기본 개념이다. 예를 들어 광합성을 통한 제품의 생산이나 또는 재생 가능한 대체에너지의 사용 등이 이에 속한다. 이와 더불어 자연환경에 속해 있는 생물이나 식물들의 신진대사나 또는 자연에 적응하는 모습을 이용하여 제품을 만들거나 생산하는 기술을 개발하는

것이 바로 Biomimicry이다. 예를 들어 섬유의 경우 Kevlar를 만드는 경우 여러 가지 유해 부산물이 생성되어 이에 대한 사후처리가 문제점으로 남지만, 거미의 경우 유해 부산물의 생성없이 섬유의 일종인 거미줄을 만들어내기 때문에 이를 응용하는 경우 환경친화적인 생산이 가능할 수 있다. 화학제품의 경우에도 현재 개발되고 있는 IT, NT기술을 접합하는 경우 유해화학물질의 사용량을 획기적으로 줄일 수 있는 녹색화학(Green chemistry)에 대한 연구가 선진국에서 활발히 진행 중에 있다. 따라서 국내의 경우에도 신기술의 개발이나 신제품의 생산을 통한 국제 경쟁력 배가를 추구하기 위해서는 EU 등의 선진국 환경규제에 단순히 맞추는 정도의 환경관련 기술의 접목보다는, 획기적인 발상의 전환(Eco-innovation)을 통하여 친환경 제품을 만드는 기술의 확보가 무엇보다도 더 필요하다. EU의 경우에 통합제품정책(IPP)을 입안을 통해 제품의 개발 초기단계부터 생산과 소비 그리고 폐기단계에 이르기까지 전과정에 환경유해요소가 있는지 파악하고 무역을 규제할 움직임을 보이고 있다. 이에 대한 대응을 위해서는 생산 공정의 청정생산시스템화뿐만 아니라 환경경영, 그리고 공급자망에 속해있는 중소기업들의 친환경 생산체제구축, 제품의 생산과 서비스가 통합적으로 묶이는 Product-to-service 시스템의 구축 등 산업전반의 혁신이 필요하며, 이를 위한 지속가능한 기술개발도 무척 필요하다.

향후 국제동향에 대한 적극적인 대처와 국내 산업의 지속적인 발전을 위해서는 Cradle-to-cradle 개념의 신속한 도입을 통한 환경친화적인 기술개발 방향정립과, By-product synergy 기법 등을 활용한 산업단지 생태화, 그리고 친환경 청정원천기술의 확보가 무엇보다도 중요하며, 이를 뒷받침해 줄 수 있는 환경경영(환경관리회계, 기업의 지속가능성 평가, Natural resource에 대한 Natural capital 개념도입 등) 도입 또한 중요한 요소라 볼 수 있다. 청정생산시스템의 국내 기업들의 도입과 적용은 대학과 연구소에서 위에서 언급한 친환경기술들의 개발과 이를 제품의 지속가능한 생산과 지속가능한 소비에 맞추어서 설계하고 판매하도록 경영시스템을 개혁할 때 성공할 수 있으리라 판단된다.

## 5. 결론

앞으로 청정생산시스템의 방향은 기본적으로

개별 사업장의 청정생산, 오염물질 최소화, 폐수의 무배출 등과 같은 단위 기술들의 적용에 의한 청정화보다는 산업단지별 또는 입지별로 기업들간의 부산물이나 폐기물의 교환사용 등을 통한 통합 청정생산시스템 구축으로 시너지를 극대화하는 방향으로 진행될 것으로 판단된다. 이와 함께 국제 환경규제나 국제 환경협약에 따른 무역규제가 심화될 전망이어서 이에 대한 효과를 위해 차세대 친환경 기술 개발을 Natural step, Biomimicry, Enviromatics 등의 기법이나 방법론 등을 활용하여 추진할 필요가 있으며, 대기업과 중소기업간의 협력체계 확대를 통하여 지속가능한 공급자망 구축(Partnership)도 또한 필요하다. 이를 위한 대학과 연구소의 혁신적인 친환경기술개발이 매우 필요하며 정부에서도 이에 대한 지원이 계속 증대될 필요가 있다.

## 참고문헌

1. 국가과학기술지도, 비전V, 2002.
2. 이병욱, “지속가능한 산업발전정책 및 전략,” 지속가능산업발전, 제6권, 제2호, pp. 12-15, 2003.
3. 최정석, “산업생태학과 생태산업단지,” 지속가능산업발전, 제6권, 제1호, pp. 27-29, 2003.
4. 산업자원부, 환경친화적 산업구조 구축을 위한 비전과 발전전략, pp. 9-62, 2003.
5. 김재연, 이귀호, 변기정, “청정생산과 지속가능한 화학산업 발전,” 공업화학전망, 제5권, 제6호, pp. 2-6, 2003.
6. 김재연, 청정생산기술의 발전전략, 제65호, pp. 26-29, 2003.