

유해화학물질관리를 위한 그린화학(GC)제도 연구(4)

박정규

한국환경정책·평가연구원 연구위원

차례

제1장 서론

1. 연구의 목적
2. 연구내용 및 방법

제2장 그린화학에 대한 고찰

1. 시행배경
2. 그린화학의 목적과 주요원리
3. 그린화학의 기법

제3장 그린화학의 국제적 시행현황

1. 연구 및 개발프로그램
2. 교육 및 홍보프로그램
3. 정보수집 및 공유프로그램
4. 정부의 활성화방안
5. 관련학술단체

제4장 그린화학의 시행효과 및 향후 전망

1. 그린화학의 시행효과
2. 그린화학의 향후 전망

제5장 그린화학 관련 국내제도 및 연구동향 분석

1. 그린화학 관련제도 및 프로그램
 - 가. 유해화학물질 배출량조사제도
 - 나. 청정생산기술
 - 다. 환경표지제도
 - 라. Responsible Care

2. 그린화학 관련연구
3. 그린화학과의 비교

제6장 화학물질관리와 그린화학과의 연계방향

1. 우리나라 화학물질의 관리현황
2. 화학물질 관리상의 문제점과 향후 전망
 - 가. 화학물질 관리상의 문제점 - 그린화학과 연계하여
 - 나. 화학물질 관리의 향후 전망
3. 그린화학의 국내 도입의 필요성
4. 화학물질 관리와 그린화학과의 연계방향
 - 가. 그린화학 시행을 위한 역할분담
 - 나. 세부 연계방향

제7장 결론



박정규

- 한국환경정책·평가연구원 연구위원
- 美 오리건주립대 이학박사
- 서울대 농학학사

제4장 그린화학의 시행효과 및 향후 전망

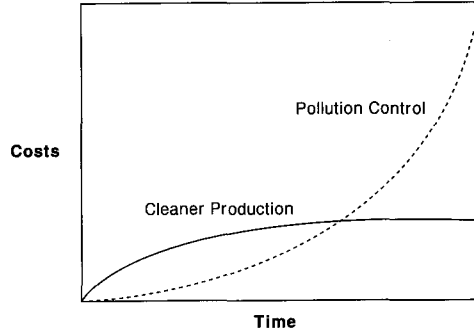
1. 그린화학의 시행효과

그린화학이 미국에서 처음 시작된 지 10년이 지났으나 다른 국가에서는 대부분 1990년대 중반 이후에 본격적으로 시행되고 있어 아직 그 시행효과에 분석자료가 충분하지 못한 실정이다. 그린화학의 유사한 개념인 청정생산기술의 경우 다음 <그림 4-1>에서의 같이 청정생산을 실시함으로써 얻는 사전오염 예방효과와 경제적 가치는 지속적으로 증가함을 알 수 있고, 특히 기술도입 초반에 비해 도입 후 시간이 경과하면서 그 경제적 가치는 급격히 증가하고 있다. 이는 청정생산에 투자되는 초기비용이 사후처리(EOP) 비용보다는 다소 많아 초기의 경제적 효과는 적으나, 생산량 증대에 따라 오염배출물질의 증가로 사후처리비용은 증가하는 반면 청정생산 비용은 증가하지 않아 기술도입 후반으로 갈수록 청정기술 도입에 따른 초기 투자비 회수는 물론 실질적으로 기업의 환경관련 비용이 감소하게 된다. 화학물질 분야의 사전오염예방정책중 하나인 그린화학역시 청정생산기술과 마찬가지로 장기적인 관점에서 볼 때 그 경제적 가치는 급격히 증가할 것으로 예상된다.

한편 1998년 개최된 OECD의 제1차 그린화학 워킹에서 오스트리아는 1984년부터 실시하고 있는 사전오염예방 노력에 따른 시행효과를 발표한 바 있다. 이는 물론 그린화학만의 시행효과로 볼 수는 없으나, 오스트리아가 시행한 여러 사전오염예방정책에는 그린화학이 포함되어 있으므로 간접적으로나마 그린화학의 시행효과를 가늠해 볼 수 있을 것이다. 오스트리아 정부는 1984년부터 환경 보호를 위해 공장에서의 배출량 조사(수질, 대기, 폐기물)와 인체 및 환경에 대한 악영향을 저감시키는 제품과 공정(최근의 그린화학개념)을 개발하도록 유도하였으며, 이와 더불어 에너지 저감에도 힘쓰도록 권고하였다.

이에 대해 오스트리아 화학산업에서의 배출에 대한 연구가 1998년(대기, 수질), 1990~1991년(폐기물), 1993년(대기, 수

<그림 4-1> 청정생산기술의 시간에 따른 경제적 효과



질)에 수행되었으며, 그 결과 생산량의 증가와 에너지 소비의 감소, 공장 폐수에서의 COD, BOD 및 중금속 감소(<표 4-1> 및 <표 4-2>참조), 배출되는 대기 중의 유기화합물질, CO, NOx, SO₂ 저감효과를 거두었으며, 이외에도 폐기물의 경우 화학물질 생산량의 증가에도 불구하고 1986년을 기준으로 약 50% 이상이 저감되었음이 확인되었다.

<표 4-1> 오스트리아 화학산업체의 폐수배출

연도	COD(t/a)	BOD(t/a)	중금속(kg/a)
1970	85,000	38,500	6,400
1975	87,000	38,500	3,480
1980	83,000	35,500	2,090
1987	30,790	7,159	406
1990	17,110	5,567	380
1992	9,310	2,228	118
1995	8,800	1,820	97
2000	8,920	1,772	76

자료 : OECD, 1999. 「Proceedings of the OECD workshop on sustainable chemistry」

<표 4-2> 오스트리아 화학산업체의 대기 배출

배출과 관련된 공정 및 에너지	1970년(t/a)	1990년(t/a)	변화율(%)
유기 화합물질	10.392	8.455	-19
CO	16.832	12.823	-24
NOx	11.377	6.493	-43
SO ₂	20.539	7.443	-64

자료 : OECD, 1999. 「Proceedings of the OECD workshop on sustainable chemistry」

한편 전세계에서 가장 먼저 그린화학의 개념을 도입하고 실행한 미국에서는 특히 1995년부터 실시된 『Presidential green chemistry challenge』의 각 분야별 시행효과(수상효과)를 다음과 같이 평가하고 있다.

① 연구분야 : 1996년 Texas A&M 대학에서 폐기물의 생물량을 동물사료, 산업용 화학물질 및 연료로 전환하는 기술을 개발하여 이 상을 수여하였다. 폐기물 생물량에는 도시고형폐기물, 하수 슬러지, 비료, 농업용 찌꺼기 등이 포함되는데 농업용 찌꺼기의 경우 석회로 처리되어 동물사료로 이용되었다. 또한 석회로 처리된 생물량은 발효조에 투입되어 칼슘아세테이트, 프로피오네이트, 부틸레이트와 같은 휘발성 지방산으로 전환되고, 휘발성 지방산은 다시 농축 및 몇몇 과정을 거쳐 연료 및 화학물질로 전환된다. 이러한 기술은 인체 및 환경에 여러 이점을 제공하였는데, 한 예로 석회처리한 동물 사료의 경우 전체 생산량의 약 88%에 해당되는 옥수수를 대체하는 효과를 거둘 수 있다. 옥수수 재배는 토양 침식뿐 아니라 대량의 비료, 제초제, 농약 이용으로 지하수 오염을 야기하는데 본 기술의 적용으로 이들 문제를 방지할 수 있다. 또한 폐기물 처리에 드는 비용을 저감하고, 산화된 연료를 이용함으로써 연소로 인한 지구 온난화 문제예방에도 기여한다.

② 소규모 사업장분야 : 지난 30년 동안 광저항성(光抵抗性)을 제거하기 위해 piranha 용액이 이용되었다. Piranha 용액은 황산, 과산화수소 또는 ashers로 구성된 용액으로 반도체, flat panel display 및 미세기기 산업에서 널리 이용되었으나 대기, 지하수 및 수질오염을 야기하였다. 1997년 Presidential green chemistry challenge를 수여한 Legacy Systems Inc.(LSI)는 반도체, flat panel display, 미세기기 산업에서 포토레지스트와 유기오염물질을 제거하는 습식공정기법인 Coldstrip을 개발하였다. Coldstrip기법은 원료로 오직 물과 산소만을 이용한다. 이를 piranha 용액의 대체물질로 이용한 결과 첫째 silicon wet station마다 1년에 8,400 갤런, flat panel display station마다 1년에 25,200 갤런 이상이 소요되던 환경에 유해한 piranha 용액이

제거되었다. 둘째 전체적인 물소비량도 silicon wafer wet station마다 1년에 3,355,800 갤런, flat panel display station마다 1년에 5,033,700 갤런 이상이 저감되었다.

③ 대체합성경로 분야 : 대체합성경로상은 촉매반응/생물촉매반응, 천연공정(광화학 및 생물의태합성(biomimetic synthesis), 덜 유독하고 재생가능한 대체원료 등에 수여하는 상이다. 2001년 Roche Colorado 주식회사는 강력한 항바이러스제인 Cytovene의 제조에 그린화학의 원리(무독성 원료, 반응물질, 용매를 사용한 환경친화적 합성방법 개발, 폐기물을 발생원에서 제거, 독성폐기물 및 부산물 생성 제거)를 적용함으로써 이 상을 수상한 바 있다. Cytovene은 cytomegalovirus(CMV)으로 인한 망막염 감염에 이용되는 항바이러스제이다. Roche Colorado 주식회사는 1990년대 초반 처음으로 상업적으로 이용가능한 Cytovene 생산공정을 개발하였는데 여기에 그린화학의 원리를 도입함으로써 여러 이점을 얻었다. 이 공정 중 Guanine Triester (GTE) 공정단계에서는 반응물질 및 중간물질이 22개에서 11개로 감소하였고 2개의 유해한 고체폐기물 stream이 제거되었으며, 액체폐기물 stream에서는 11개의 화학물질이 제거되었다(액체폐기물 1.12백만 kg/yr, 고형폐기물 25,300kg/yr 제거). 또한 5개의 원료 중 4개 물질이 재활용 및 재사용화 되었다. 전체적으로 GTE 공정의 개선을 통해 Cytovene의 생산이 총 25% 증가하였고 production throughput(일정 시간대의 작업처리량)에서는 100%의 증가를 나타냈다.

④ 대체용매/반응조건 분야 : 대체용매/반응조건상은 인체건강 및 환경에 대해 영향을 감소시키거나 선택성을 증가시키고 폐기물 및 배출을 저감시키는 용매의 이용에 수여하는 상이다. 1997년 이상을 수여한 Imation사는 기존의 silver halide 사진필름 방식과 다른 photothermographic 필름 방식에 기초하여 DryView를 개발하였다. Silver halide 필름 방식은 chemical developer와 고정액에 독성물질(hydroquinone, silver, 아세트산 등)이 함유되어 있고, 해마다 수십억 갤런에 해당하는 액체 폐기물을 배출한다. 이에 반해 photothermographic 필름 방식

은 습식 화학방식이 아니기 때문에 액체폐기물을 배출하지 않고 건조단계와 같은 후공정이 필요하지 않다. 또한 DryView 기술은 panchromatic film 제품을 취급하는 모든 산업에 적용 가능하다.

한편 photothermographic 이미지의 질이 향상됨에 따라 시장에서 silver halide 기술과 성공적으로 경쟁하게 되었다. 1996년 Imation사는 1,500대 이상의 DryView 의학용 레이저 imager를 설치하였다. 그 결과 연간 developer에서 192,000 갤론, fixer에서 330,000 갤론, waste stream에서 54,500,000 갤론의 오염수가 제거되었다.

⑤ 안전한 화학제품 디자인 분야: 현재의 대체제보다 독성이 약하거나 사고 잠재성 측면에서 보다 안전한 화학제품의 디자인에 수여하는 상이다. 1997년 이 상을 수여한 Albright & Wilson Americas사는 tetrakis(hydroxymethyl) phosphonium (THPS)라는 물질을 개발하였다. THPS는 기존의 산업용 냉각시스템, 기름 관련분야, 공정 적용시 세균, 조류 및 곰팡이의 성장억제를 위해 사용되던 biocide를 대체하는 물질이다. 기존 biocide가 인체, 수중생물에 대해 강한 독성을 나타내고 종종 환경에 잔류하여 장기간의 손상을 입혔던 것에 반해, THPS biocide는 뛰어난 세균억제 효과와 동시에 상대적으로 낮은 독성을 띠어 결과적으로 인체건강 및 환경에 대한 위해성을 저감시키는 효과를 얻을 수 있었다. 또한 THPS는 적은 양으로도 기존 biocide와 동일한 효과를 내며 환경 내에서 가수분해, 산화, photodegradation, biodegradation을 통해 빠르게 분해된다. 이외에도 THPS biocide는 수용액이고, VOC를 함유하지 않으며 할로젠 물질로 이루어지지 않았기 때문에 다이옥신 발생과 같은 문제를 야기하지 않는다. THPS는 이미 광범위한 산업용수 체계에 미생물 제어를 위해 적용되고 있으며, 500,000개 이상의 사업장에서 사용되고 있다.

2. 그린화학의 향후 전망

그린화학은 미국 등 몇몇 국가에서만 시행하고 있는 제도가 아니라, 화학산업체가 있고 화학물질을 관리하고 있는 모든 국



그린화학은 미국 등 몇몇 국가에서만 시행하고 있는 제도가 아니라, 화학산업체가 있고 화학물질을 관리하고 있는 모든 국가가 향후 지속가능한 화학관리를 위해 반드시 추진하여야 하는 기반정책이다. 그러나 다른 화학물질 관리 정책에 비해 아직 시작단계이므로, 각국에서 중점적으로 개발하고자 하는 요소기술의 동향을 살펴보는 것은 아직 그린화학에 대한 개념조차 생소한 우리에게 매우 중요한 일이라 사료된다.

가가 향후 지속가능한 화학관리를 위해 반드시 추진하여야 하는 기반정책이다. 그러나 다른 화학물질 관리정책에 비해 아직 시작단계이므로, 각국에서 중점적으로 개발하고자 하는 요소 기술의 동향을 살펴보는 것은 아직 그린화학에 대한 개념조차 생소한 우리에게 매우 중요한 일이라 사료된다. 따라서 OECD에서 제시한 그린화학 기술개발 분야별로 향후 필요한 요소기술과 각 기술별로 발전전망 등을 다음과 같이 정리하였다.

가. 산화제 및 촉매

산화변환(oxidative transformation)은 여러 기본 화학물질들이 제 기능을 하기 위해 필요한 과정이기 때문에 산화화학(oxidation chemistry)은 가장 필수적인 분야가 되어왔으며, 동시에 가장 오염을 많이 야기하는 기술이었다. 화학산업은 일반적으로 석유를 기본으로 한 원료를 이용하기 때문에 산화 화학을 통해 원료를 최종적으로 소비자들이 사용하는 화학제품으로 만들 수 있다. 전통적으로 여러 산화제 및 촉매가 중금속과 같은 독성물질을 함유하고 있었고, 수십 파운드의 석유화학물질을 전환하기 위해 엄청난 양이 이용되었기 때문에 환경에 유출되어 인체 및 환경에 악영향을 끼쳐왔다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 그린화학 기술개발에 노력을 기울여왔고, 새로운 산화화학이 빠른 속도로 발달하고 있다. 새로운 산화기술에 만약 중금속이나 변형 금속이 사용될 경우 가장 무해한 금속을 사용해야 하고, 원자 조합(incorporation)의 효율을 극대화함으로써 유해물질의 사용과 생성을 최소화하거나 제거해야 한다. 산화 화학에 있어서 이러한 경향은 향후 눈에 띄는 결과를 초래할 것이며 모든 형태의 제품, 공정, 산업부문에 큰 영향을 미칠 것으로 전망된다.

나. 생물유사적, 다기능적 반응물질

생물학적 체계가 기능을 수행하는 메커니즘이 밝혀짐에 따라 미래의 반응물질을 디자인하기 위한 방식이 고안되었다. 촉매와 반응물질을 디자인할 때 이용하는 이러한 생물유사적 방식은 효소와 같은 생물학적 체계에서 발견되는 일반적인 고대어 난 특성들을 지닌다. 널리 이용되는 합성촉매와 반응물질이 산화·환원·메틸화와 같은 하나의 독립된 형태전환을 수행하는데 반해, 생화학 체계는 동일한 물질로 활성화, 배열의 적합화, 형태전환, 유도 등의 여러 기능들을 수행한다.

다. 조합(combinatorial) 그린화학

조합화학은 여러 화학물질들을 반응 매트릭스를 통해 소규모로 빠르게 제조할 수 있는 화학이다. 이러한 적용은 여러 분야, 특히 제약분야에서 널리 이용되어 왔으며 이 때 그린화학의 이점이 언급되어 왔다. 기존에 제약회사에서 특정물질들을 확인할 경우 일반적으로 많은 수의 파생물질들을 만들어 그 효능과 잠재성을 실험하였다. 그러나 조합화학의 등장으로 점차 폐기물의 영향 및 관련 물질들의 처리문제 없이 많은 수의 화학물질 특성이 평가되고 있다.

라. 오염문제를 예방·해결하는 화학

점차 그린화학기술이 오염예방뿐 아니라 기존의 오염문제 해결에도 이용될 수 있음이 보고되고 있다. 한 예로 이산화탄소

를 건물 자재의 대체원료로서 이용하는 것이다. 이산화탄소를 건물자재에 혼합함으로써 콘크리트 및 기타 물질들의 이용효과를 증가시킬 수 있고, 대기로의 이산화탄소 배출저감을 통해 기존의 온실가스문제를 완화시킬 수 있다. 또 다른 예로 화학물질 제조를 위해 생물량(biomass)을 이용하는 것이 있다. 생물량을 이용하는 그린화학기술을 통해 오랜 기간동안 심각했던 고형폐기물 문제를 해결할 수 있다. 이외에도 여러 화학물질 공정에서 발생하는 부산물인 할로젠화 방향물질들을 새로운 생촉매 기술을 통해 원료로써 이용하려는 노력이 이루어지고 있다.

마. 무용매 반응의 확산

그린화학에서 개발 중인 용매 대체방안에는 용매를 사용하지 않거나 적합한 반응 시스템을 이용하는 것이 있다. 반응 및 전체 제조공정은 점차 molten-state 반응, dry-grind 반응, 플라즈마, 점토나 지올라이트를 이용한 반응 등과 같이 용매를 사용하지 않은 조건에서 이루어지고 있다. 또한 이러한 기술들은 마이크로파, 초음파, 가시광선 변환과 같은 조건들을 이용한다. 형태변환과 무용매 합성경로가 개발됨에 따라 이러한 분야에서 생산물질의 동정, 분리 및 정화 방법의 개발이 요구될 것이다.

바. 에너지 사용저감

에너지 사용이 환경에 미치는 영향은 막대하지만 화학물질의 제조, 사용 및 처리에 이용되는 물질로 인한 위해성에 비해 가시적으로나 직접적으로 나타나지 않는다. 이러한 상황에서 화학물질 변환에 필요한 에너지 사용에 대한 새로운 초점이 그린화학 연구에 집중되었다. 즉, 촉매사용으로 인한 에너지의 절약효과는 매우 크며, 특히 석유화학분야에서의 효과가 가장 크게 나타났다. 따라서 에너지의 획득, 저장 및 운송에서 효과적이고 효율적이며 동시에 낮은 비용이 소요되는 물질 및 원료를 디자인하는 것이 에너지와 관련된 그린화학의 주요 목표이다. 향후 에너지의 비효율적 이용과 에너지원의 오염으로 인해 직

간접적으로 인체와 환경에 영향을 미치는 유해물질은 그린화학에 의해 관리될 것이다.

사. 비공유결합 유도(derivatization)

화학물질의 제조, 공정 및 사용은 상당부분 공유결합에 의해 이루어지고 있다. 합성유기화학은 탄소와 탄소의 결합을 이루거나 분해하는 과정으로 정의되는데 그린화학에서는 이러한 패러다임을 변화시키려는 방향으로 연구를 진행하고 있다. 즉, 가능한 한 이와 같은 공유결합 없이 화학반응이 일어나게 하고 합성된 물질의 물리화학적 특성이 변형되도록 연구가 진행되고 있다.

제5장 그린화학 관련 국내제도 및 연구동향 분석

우리나라도 화학산업이 발달한 국가이며 화학물질의 엄격한 관리가 이루어지고 있어 안전한 화학물질 및 제품에 대한 관심이 매우 높다. 이에 환경부는 『환경백서(2001년)』에서 21세기 환경정책의 추진방향 중 하나로 사전예방정책을 제시하였으며, 『유해화학물질관리기본계획(2001-2005)』에서는 화학물질 관리의 목표로 과학적 관리원칙과 사전예방적 관리원칙의 조화를 제시하고 있다. 또한 2002년도에 수립된 화학물질 분야의 지속가능한 발전전략 역시 사전오염예방 실현과 함께 지속가능한 화학, 즉, 그린화학의 필요성을 강조하고 있다.

현재 화학물질과 관련된 우리나라의 사전오염예방 관련정책으로는 환경부의 유해화학물질 배출량조사제도, 산업자원부의 청정생산기술과 환경표지제도 등을 들 수 있으며, 국가의 관리정책은 아니지만 산업체의 자발적인 운동인 Responsible Care는 그 실천목표 중 하나를 화학산업의 사전오염예방으로 삼고 있어 그린화학과 부분적인 연계성이 있다. 그러나 이와 같은 제도 및 정책은 그린화학의 일부 유사한 점은 있으나 그린화학이 추구하는 목적인 『독성 없는, 폐기물발생이 없는, 에너지 효율적인 화학제품의 생산』을 실현하기 위해서는 매우 제한적이며 소극적이다. 따라서 국내 그린화학의 도입의 필요



우리나라도 화학산업이 발달한 국가이며 화학물질의 엄격한 관리가 이루어지고 있어 안전한 화학물질 및 제품에 대한 관심이 매우 높다. 이에 환경부는 『환경백서(2001년)』에서 21세기 환경정책의 추진방향 중 하나로 사전예방정책을 제시하였으며, 『유해화학물질관리기본계획(2001-2005)』에서는 화학물질 관리의 목표로 과학적 관리원칙과 사전예방적 관리원칙의 조화를 제시하고 있다.

성을 확인하기 위해 그린화학에 관련된 국내 제도 및 연구동향을 살펴보고, 이를 외국에서 시행하는 그린화학의 유사점 및 차별성을 다음과 같이 비교·분석하였다.

1. 그린화학 관련제도 및 프로그램

가. 유해화학물질 배출량조사제도

유해화학물질 배출량조사제도(이하 TRD)는 별도의 규제 조치 없이 최소의 비용으로 유해화학물질의 배출저감을 이끌어 낼 수 있는 제도로서 현재 우리나라를 위시한 미국, 캐나다 등 약 20여 국가에서 실시 중이다. TRI를 실시함으로써 사업장으로 부터 환경으로 배출되는 유해화학물질의 양을 파악하고 이에 따라 기업은 자율적으로 제품이나 원료의 누출 손실량을 줄임으로써 기업생산성을 향상시키며 환경오염을 최소화시킬 수 있다. 우리나라는 1996년 OECD 가입당시 이 제도의 도입을 약속하였고, 1999년 국내 사업장을 대상으로 배출량조사가 최초로 실시되었으며 그 후 매년 시행되고 있다.

유해화학물질관리법 14조에 명시된 바에 따르면 환경부장관은 환경부령이 정하는 기준 등에 의해 화학물질을 제조·사용

하는 영업자에게 화학물질 취급과정에서 배출되는 대통령령이 지정한 화학물질의 종류 및 양 파악을 위한 자료의 제출을 명할 수 있으며, 관계공무원으로 하여금 당해 사업장에 출입하여 당해 화학물질의 배출량을 조사하게 할 수 있다. 조사대상 업종은 수질환경보전법과 대기환경보전법에 의해 배출시설의 설치허가 및 신고를 한 업소 중에 전체 종업원수가 50인 이상(2000년까지는 100인 이상 사업장만 해당)인 사업장으로서 총 23개의 업종이 이에 해당되고, 조사대상물질은 특정 160개의 지정된 물질 중 해당 물질이 다음 취급품에 조사기준 이상의 농도로 함유되어 있고, 제조·사용총량이 품목별로 연간 50톤 이상인 물질이다.

- 사업장에서 생산하는 화학물질 및 제품
- 사업장에서 사용하는 원료 및 첨가제(보조원료, 첨가제, 반응가스 등 직접 또는 화학적 변화를 통해 제품 속에 포함되는 모든 물질)
- 사업장에서 사용하는 공정보조 물질(제품에 포함되지는 않지만 촉매, 희석제, 용매, 건조 및 분리제, 세정제 등 제품생산과정에 사용하는 물질)
- 사업장에서 사용된 기타 물질(사업장내에서 폐수, 폐기물 처리에 사용하는 물질과 연료 등 사업장 시설 및 장치 유지·보수에 사용하는 물질)

그러나 이 제도는 환경부에서 실시하는 사전오염예방 차원의 조사사업으로 그린화학의 기술개발에 대한 기초자료로 활용될 수는 있으나 그린화학의 제도적인 측면에서의 유사성은 거의 없다.

나. 청정생산기술

청정생산기술(Cleaner Production)이란 『천연자원으로부터 원료를 추출, 제품으로 생산, 폐기물 및 부산물의 재 자원화, 생태계로 폐기될 때까지의 모든 과정에서 환경오염물질을 원천적으로 방지, 최소화하여 환경보전과 제조원가 절감을 병행하

여 실현하는 사전예방적 개념』이다. 즉, 제품의 생산과 관련된 전 과정에서 오염물질의 발생을 근본적으로 감소시키는 경제적이고 환경친화적인 생산기술을 의미한다. 청정생산기술에 대해 UNEP는 『환경보존과 생산성 향상을 동시에 실현할 수 있는 생산활동』으로 정의하고 있으며, 미국 등 북미에서는 이를 오염예방(P2, Pollution Prevention)이라는 용어로 사용하고 있다. 우리나라에서는 산업자원부의 「환경친화적산업구조로의 전환촉진에관한법률」에 의하면 『생산공정에서 환경오염을 제거하거나 감축하기 위한 기술 및 환경친화적인 제품을 생산하기 위한 기술』로 정의되어 있다.

이와 같은 청정생산기술의 추진배경 및 발전과정은 다음과 같다(표 5-1). 날로 심각해지는 환경오염으로 인해 지구의 생태적 자정능력이 한계에 도달하게 되었고 환경내 잔류물질 중 일부는 다 물질로 단순 전환되어 자연생태계내에서 재순환되며 환경과 인간의 건강에 많은 피해를 주게 되었다. 한편 산업화와 무분별한 개발로 인해 천연자원이 급속히 고갈되어 다음 세대가 사용할 수 있는 자원이 감소되고 있는 실정이다. 이는 또한 산업공정에서 필수적으로 발생하는 폐기물 및 부산물의 재자원화를 저조에 기인하기도 한다. 이에 1989년 3월에 개최된 UNEP 회의에서 청정생산에 대한 개념이 처음 언급되면서 관련기술의 개발이 필요함을 인식하게 되었다. 1990년 3월에 UNEP IE와 UNIDO 등이 협력하여 청정생산기술프로그램(CP program)을 발족하게 되었으며, 1992년 유엔환경개발회의(UNCED)에서 채택된 『환경과 개발에 관한 리우선언』에서는

〈표 5-1〉 청정생산기술의 발전 추이

60's	80's	00's
▶단순생산개념	▶오염물질 처리개념	▶청정생산개념
○환경오염물질 발생	○2차 환경오염물질 배출	○환경오염물질 최소화
○산업폐기물 매립, 방치	○오염관리, 사후처리기술	○사전처리·예방기술
○대기, 토양, 지하수오염	○유해성분 무해화, 감용화	○폐기물 재자원화
○산업단지의 황폐화	○저공해형 산업단지	○청정 산업단지
⇒ 개방형 물질시스템	⇒ 유사순환 물질시스템	⇒ 생태적 순환시스템

자료 : <http://www.nccp.re.kr>

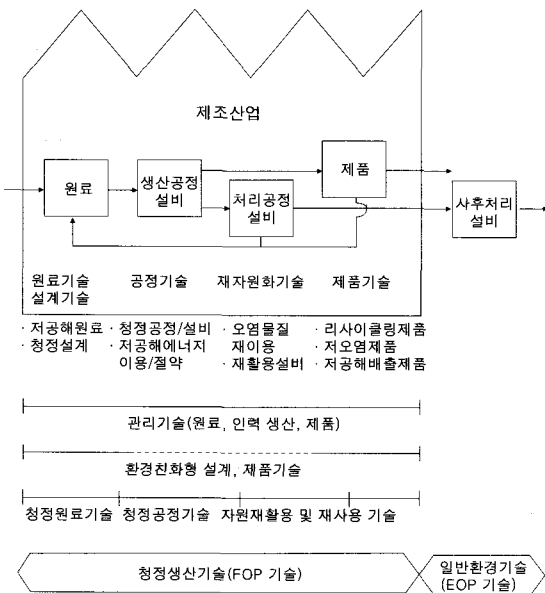
각 국에 청정생산기술을 개발하기 위한 경제적·법률적으로 지원토록 권고한 바 있다. 한편 우리나라는 1995년 12월 통산부(현 산업자원부)의 『환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률』이 제정되어 청정생산기술의 개념이 도입되었으며, 그 후 1999년에 『국가청정생산지원센터』가 개설되었다.

우리나라의 『국가청정생산지원센터』가 정의한 청정생산기술은 다음과 같이 5가지 기술로 구분된다(〈그림 5-1〉).

첫째, 제품의 기초설계 단계부터 저공해, 저 폐기물, 리사이클링, 에너지 효율 등을 고려한 환경친화형 제품설계기술로 전과정 제품평가기술(LCA) 및 환경친화형 설계기술(DfE, LCD)이 여기에 속한다.

둘째, 공장내의 생산공정의 효율증대 및 기술개선 등을 통한 환경오염물질 배출을 원천적으로 사전 예방하거나 최소화할 수 있는 기술로, 단위공정 축소, 공정개선 및 최적화, 생산공정 관리 등이 여기에 속한다.

〈그림 5-1〉 청정생산기술의 개념도



자료 : <http://www.nccp.re.kr>



날로 심각해지는 환경오염으로 인해 지구의 생태적 자정능력이 한계에 도달하게 되었고 환경내 잔류물질 중 일부는 타 물질로 단순 전환되어 자연생태계내에서 재순환되며 환경과 인간의 건강에 많은 피해를 주게 되었다. 한편 산업화와 무분별한 개발로 인해 천연자원이 급속히 고갈되어 다음 세대가 사용할 수 있는 자원이 감소되고 있는 실정이다.

셋째, 원료의 변경에 의한 총 발생 오염물질을 감소시키거나 환경친화적 제품으로 전환시키는 기술로, 2차 환경오염물질 발생 원료 등의 대체 가능한 청정원료 개발 및 기존 제품에 비해 환경친화적인 제품 제조 및 설계가 여기에 속한다.

넷째, 생산공정 중 배출되는 폐기물 또는 부산물을 간단한 가공 및 조작에 의해 공정 내에서 재사용하거나 새로운 공정을 적용하여 유가물질 회수 또는 타 산업에서 재활용되어 환경오염 부하를 저감시킬 수 있는 기술이다. 여기에는 산업활동 중 발생 폐기물의 공정내 재 순환 또는 자원 수명연장 기술이나, 산업폐기물의 재 자원화나 유가물질 회수기술이 포함된다.

다섯째, 산업폐기물의 소각, 고형화, 유리화 등과 폐수처리 후 방류와 같이 오염물질을 자연 생태계에 방출하기 전에 무해화하는 오염처리기술이다.

다. 환경표지제도

환경표지제도 또는 환경마크제도는 동일 용도의 제품 중 생산

및 소비과정에서 오염을 상대적으로 적게 일으키거나 자원을 절약할 수 있는 제품에 환경표지를 표시하여 제품에 대한 정확한 환경정보를 소비자에게 제공하고, 기업으로 하여금 소비자의 선호에 부응하여 환경제품을 개발·생산하도록 유도하는 제도이다. 즉, 환경표지제도는 기업과 소비자가 환경친화적인 제품을 생산·소비할 수 있도록 소비자에게는 정확한 제품의 환경정보를 제공하여 환경보전활동에 참여토록 하고, 기업에게는 소비자의 친환경적 구매욕구에 부응하는 환경친화적인 제품과 기술을 개발하도록 유도하여 지속가능한 생산과 소비 생활을 이루고자 하는 것이다.

1979년 독일에서 처음 시행된 이 제도는 현재 유럽연합(EU), 북유럽, 캐나다, 미국, 일본 등 현재 40여개 국가에서 시행되고 있으며, 우리나라는 1992년 4월부터 시행하고 있다. 환경표지 제도의 운영은 각 나라의 문화·경제·사회여건에 따라 정부(EU), 민간단체(미국·스웨덴), 또는 정부와 민간협조(독일·일본) 등 다양한 형태로 운영되고 있으며, 우리나라의 경우 환경부(환경경제과)와 환경마크협회가 담당하고 있으며 법적 근거는 『환경기술개발및지원에관한법률』이다. 82개의 대상제품군 중 화학물질과 관련된 제품군은 스프레이제품, 수성페인트, 인쇄용 잉크, 산업용 축전지, 세탁용세제, 황동합금, 자동차용 창유리 세정액 및 다목적 세정제, 유성페인트, 주방용 세제, 산업용 세정제 등이며, 환경오염물질 배출저감, 인체 및 생태계 독성저감, 환경친화적 제품설계 등의 기준에 의해 환경표지가 인증되고 있다. 인증제품은 녹색상품구매네트워크(GPN)·소비자·환경단체 등을 통해 보급·확산되고 있으며, 정부의 조달물품 우선구매 대상으로 정부·지방자치단체·정부투자기관·특별법인·출연법인 등 650여개 기관이 구매대상기관이다. 정부는 환경표지 제품을 생산하는 기업에 대하여 많은 지원을 하고 있는데, ① 환경부의 환경친화기업 지정제도 지정시 가산점 부여, ② 환경부의 그린빌딩 인증제도 심사시 가산점 부여, ③ 환경개선 지원자금, 재활용산업 육성자금 등 환경분야 보조금 우선 지원, ④ 제품의 환경성 관련 각종 정부 및 공공기관의 포상제도 추천 등이 그것이다.

그 외 환경성적표지제도가 국내에서 운영되고 있는데, 이 제도는 제품의 원료채취, 제조, 소비 및 폐기 등 제품의 전과정에서의 자연자원의 사용, 배출되는 오염물질 및 동 오염물질이 지구환경(자원소모, 지구온난화, 오존층 영향, 산성화, 부영양화, 광화학 산화물 생성 등)에 미치는 환경영향을 계량화하여 도표·그래프 등으로 표시하는 환경표지제도의 한 유형이다. 따라서 환경성적표지제도는 제품의 환경성을 숫자나 그래프로 계량화하여 제품에 부착함으로써 소비자에게 제품의 환경성을 고려한 구매를 가능하게 하고 제조업의 경우 부품 조달시 환경친화적인 부품의 구매를 가능하게 하여 친환경제품의 제조에 크게 기여하게 해주는 제도이다.

라. Responsible Care

Responsible Care(이하 RC)는 『화학업계가 화학제품을 개발 단계에서부터 제조·판매·유통·사용을 거쳐 폐기에 이르는 전생애동안 환경과 인간의 건강을 보호하도록 배려하고, 경영방침에 이를 공약하여 환경·안전·보건 대책을 실행, 지속적으로 개선을 도모하기 위하여 화학산업체들이 추진하고 있는 국제적인 운동』이다. 즉, RC란 화학업계가 화학제품의 전과정(개발, 제조, 유통, 사용, 폐기)에 걸쳐 인간과 환경 건강보호를 경영방침으로 실행하는 생산자 중심의 자발적인 개선활동이다. RC는일본에서는 『レスポンシブル・ケア(책임있는 배려)』로, 대만에서는 『責任照顧制度(책임관리제도)』로 각각 불리우고 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 화학산업은 크고 작은 사고가 많이

〈그림 5-2〉 Responsible Care의 로고



발생되어 공해를 유발하는 환경유해산업이라는 인식이 매우 강하였다. 특히 1985년 발생한 인도의 보팔사고 이후 화학산업에 대한 부정적인 이미지가 더욱 강해지자, 이를 개선하고자 캐나다의 화학공업협회(CCPA)가 RC를 처음 시작하게 되었다. 캐나다 화학산업체가 자발적으로 화학산업에 대한 이미지 제고와 지역주민의 신뢰성 회복을 목적으로 시작한 RC운동은 그 후 전세계적으로 확산되었으며, 이를 좀더 촉진하고자 1990년에는 국제화학단체협의회(ICCА)가 RCLG(Responsible Care Leadership Group)를 조직하였다.

현재 46개국(세계화학제품 총생산량의 90% 차지)이 ICCA/RCLG에 가입되어 있으며 우리나라는 2000년 9월에 가입하였다. 또한 RC 협의회가 구성되어 67개 사의 일반회원과 8개의 단체회원이 가입하여 다음과 같은 RC 목적을 실천하고자 활발히 활동하고 있다: ① 화학산업에 대한 이미지 개선, ② 화학산업의 경쟁력 제고, ③ 유사시 대응능력 및 관련근무자의 자긍심 향상, ④ 기업가치평가 제고, ⑤ 정부의 환경·안전·보건 정책과 세계적인 환경운동에 효과적 대응, ⑥ 국내 화학산업의 국제적 위상 확보.

RC는 회원들이 RC운동을 효과적으로 수행할 수 있도록 환경·안전·보건에 관한 기본방침과 실행지침을 마련하여 권고하고 있는데, 이 중 RC의 기본방침은 다음과 같다.

첫째, RC를 경영목표의 하나로 책정하고 기업구성원 모두 실행프로그램에 참여한다.

둘째, 제품의 생산, 수송, 사용, 폐기의 전 과정에 걸쳐 발생할 수 있는 위험성을 최소화하기 위하여 노력하고 환경·안전·보건을 우선적으로 배려한다.

셋째, 기업구성원, 고객, 지역사회, 관련단체의 환경·안전·보건의 관심사항에 대하여 적극적으로 대화하고 이에 응한다.

넷째, 고객에게 화학제품의 위험성에 대하여 충분히 자문하고 적절한 정보를 제공하여 안전한 사용, 수송 및 폐기를 유도한다.

다섯째, 환경·안전·보건과 관련된 문제해결 및 기술개발을 위해 정부기관 또는 전문가들과 협조한다.

여섯째, 국제화학산업계와 환경·안전·보건에 관한 정보교환을 적극 추진하고 필요한 국제활동에 참여한다.

일곱째, RC 활동을 촉진하기 위하여 기업상호간의 환경·안전·보건에 관한 지식 및 경험을 공유하는 협력체계를 구축한다.

한편 RC의 실행지침은 공정안전, 근로자의 안전보건, 비상대응 및 오염방지 등 네 분야에 걸쳐 제공되고 있다. 이상에서 보듯이 RC는 안전한 화학제품 생산에 초점을 두기보다는 화학산업체 내에서의 화학물질의 안전관리에 많은 노력을 기울이는 운동이다.

다음호에 계속