

화학산업의 청정기술 개발

김영훈·이종협·김화용·이현구

서울대학교 공과대학 응용화학부

Clean Technology in Chemical Industries

Younghun Kim · Jongheop Yi · Hwayong Kim and Hyun-Ku Rhee*

School of Chem. Eng., Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

요 약

최근 지속 가능한 개발과 유해화학물질의 국제적 규제를 목표로 한 바젤협약, Agenda 21, POP 의정서 등 여러종류의 국제협약이 진행되고 있으며, 환경규제는 점차 무역규제 형태로 나타날 전망이다. 특히, 화학산업의 경우 이러한 국제협약에 우선적으로 큰 영향을 받을 것이다. 따라서 국내외 환경규제에 대비하기 위하여 오염원에 대한 원천적인 제거와 오염물질을 감량시킬 수 있는 청정기술의 개발 및 도입이 시급하다. 환경친화적 기술개발을 바탕으로 국제 경쟁력의 우위를 유지 또는 선점하기 위하여 우리나라도 환경정책을 선진화하고 환경기술 개발을 촉진시켜 특히 화학산업의 경쟁력을 꾸준히 높여나가야 할 것이다. 본 연구에서는 화학산업과 관련된 국내외 환경규제와 유해화학물질의 관리현황을 살펴보고 화학산업의 발전을 위한 청정기술 개발의 방향을 고찰하고자 한다.

ABSTRACT : A variety of international treaties have been developed for the world-wide control of hazardous chemicals, including production, transportation, use and disposal. Those conventions would be appeared as a barrier for the international trade. In particular, chemical industries in Korea would face a serious problem unless a proper measure should be provided. One of the solutions is to develop a clean technology including elimination and/or source reduction of hazardous chemicals. In this study, international environmental treaties and management status of hazardous chemicals in Korea are reviewed. In addition, strategies for the development of clean technologies are suggested.

1. 서 론

1960년대 이전의 생산개념은 단순히 원료 취득과 가공을 통한 상품의 생산이 전부였으며 이에 따른 건강이나 환경영향은 무시되었다. 60년대 후반에

이르러서 환경오염에 대한 우려가 거론되면서 배출되는 오염물질을 단순히 회석하여 배출시킴으로써 통하여 환경에 미치는 영향을 감소시켰다. 70년대에 들어서 발생한 오염물질을 처리해 주는 사후처리(End of Pipe, EOP)기술이 각종 산업에서 발생한 환

경문제 해결의 주요 방법으로 시행되었다. 그러나 사후처리기술의 적용에 의한 오염방지가 고가의 비용이 투입됨에도 불구하고 오염물질이 완전히 제거되는 것이 아니라 한 물질에서 다른 물질로 단순 전환시키는 기술이었다. 80년대에는 오염발생 근원에서부터 오염물질을 방지 또는 제거하는 청정생산(Cleaner Production)기술의 개념이 환경오염방지 수단으로 도입되기 시작했다[1-3]. 1992년 브라질 리우회의에서 인류의 지속가능개발(Sustainable Development)을 위하여 청정생산기술의 개발을 권고하는 Agenda 21을 채택함으로써 각국에서 정부차원의 본격적인 기술개발이 촉진되었다.

이와 같이 최근 환경문제는 국가 단위의 지역적인 문제에서 탈피하여, 전세계적으로 지속 가능한 개발을 도모하는 방향으로 나아가고 있다. 이러한 인식하에 국제 사회에서는 각종 국제기구들을 통하여 환경규제를 효율적으로 수행하기 위하여 논의들 진행하고 있으며, 그 규제 범위를 점차 확장, 강화해 나가고 있다. 뿐만 아니라 그린라운드의 전개가 점차 공정 및 생산방식(Process and Production Methods, PPMs)에 까지 확대됨에 따라 제품의 교역단계에 국한되었던 과거 그린라운드의 영향이 산업의 생산공정에 까지도 확대되었다. PPMs 규제는 수입국의 환경여건, 환경기술 수준, 산업계의 이해관계, 경제적 여건, 산업구조, 가치적 우위 등을 반영하며, 수출국 및 수출업체에 불리한 차별적 효과를 초래할 것이다. 특히 개발도상국의 경우 심각한 수출 경쟁력 약화를 겪게 될 것으로 예상된다.

이러한 상황은 선진국의 환경보전을 명분으로 하는 무역규제의 움직임으로도 해석될 수 있다. 즉, 선진국은 고도의 환경친화적 기술능력을 바탕으로 국제 경쟁력의 우위를 지속적으로 유지할 수 있을 것이다. 이에 우리나라도 환경정책을 선진화하고 환경기술 개발을 촉진시켜 우리산업의 경쟁력을 꾸준히 높여나감과 동시에 이를 계기로 환경을 개선하여 삶의 질을 높이는 기회로 삼아야 할 것이다. 뿐만 아니라 국제 환경규제에 의하여 국내산업이 받을 영향을 예측하고 적절히 대처하여야 한다.

이와 같이 국제적 환경규제 움직임이 강화되고 있으며, 또한 WTO 발족 후 무역환경위원회가 설치

되어 광범위하고 강력한 환경규제책을 동원하여 무역문제와 환경문제를 연계시킬 것이 매우 확실하다. 이러한 움직임은 WTO 뿐만 아니라 UN 산하기관을 통하여 국제협약과 같은 국제적 압력으로도 대두되고 있다. CO₂ 규제를 위한 기후변화 협약은 그 중 한가지 예라 할 수 있다. 동시에 우리나라는 OECD 가입에 따른 여러 가지의 환경관련 협약을 준수하여야 한다. 이러한 국내외 환경규제에 대응하는 방법론과 청정기술의 개발에 대한 파급효과는 다른 산업군에 비하여 화학산업이 담당하는 역할과 영향이 가장 클 것으로 판단된다.

본 연구에서는 유해화학물질에 대한 국제환경규제와 관련하여 화학산업에 미치는 영향을 조사하고, 국제 경쟁력에 미치는 영향을 분석하여 국제환경규제 강화에 따른 대처방안의 확립을 위한 기본자료를 제공하고자 한다. 아울러 청정기술의 개념과 도입 사례의 분석을 통하여 화학산업의 발전을 위한 청정기술 개발의 방향을 제시하고자 한다.

2. 화학산업 관련 환경규제와 관리현황

2.1 국제환경규제

우리나라는 오존층 보호를 위한 비엔나 협약, 오존층 파괴물질에 관한 몬트리올 의정서, 기후변화에 관한 유엔 기본협약, 유해폐기물의 국가간 이동 및 처리에 관한 바젤협약을 비롯하여, 대기, 해양 및 폐기물, 자연환경, 핵 기타 여러 분야에 관해 국제환경협약에 가입되어 있다.

1979년 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)주관으로 제1차 세계기후회의가 개최된 이후 온실가스가 기후변화에 미치는 영향에 관하여 연구되었고, 온실가스 배출량 감축필요성이 제기되었다. 일본 교토 총회에서는 2008년에서 2012년 사이에 부속서 I 국가 전체(타키 제외)에 대하여 온실가스 배출총량을 90년 대비 연평균 5.2% 감축하되 개별국가별로는 -8%에서 +10%까지 차별화하였다. 우리나라는 경제협력개발기구(OECD) 회원국이자 온실가스 배출량이 11위 국가라는 점에서 강력한 압력을

받고 있다. 본 협약에서 온실가스 저감수단으로 에너지/탄소세와 같은 조세수단, 공동이행제도, 청정개발체제, 배출권거래제 등의 신축적 체제와 자발적 협약 등을 제시하고 있다[4].

바젤협약은 1992년 제1차 당사국총회가 개최된 이래, 유해폐기물의 국가간 이동 및 발생을 억제하고 발생된 폐기물에 대해서는 환경적으로 건전하고 안전하게 관리 및 처리되도록 하기 위한 국가공동체간의 협약으로 자리잡았다. 이 협약을 통하여 선진국에 의한 최종 처리용 유해폐기물의 개도국 이동금지, 유해 폐기물의 국가간 이동과 배출에 따른 책임, 보상 문제에 관한 법적 현안 마련 등과 같은 성과를 거두었다. 바젤협약의 이행으로 폐기물 수출·입시에 교역국 정부의 통관승인 절차의 엄격화로 인한 환경오염방지 효과를 얻을 수 있다.

1992년 브라질 리우에서 유엔환경 개발회의(United Nations Conference on Environment and Development, UNCED)를 개최하여, 178개국의 대표가 모여 '리우선언'과 'Agenda 21'을 채택하였다. 이는 거의 모든 참가국이 서명함으로써 지구환경보호를 위한 새로운 장을 열었고, 무역과 환경문제를 다루는데 있어서 기본원칙으로 삼게 되었다. Agenda 21에서는 유해화학물질의 안전관리 부문에 대해 6개 세부 실천사항을 다루고 있으며, 각 사항별 목표달성을 위하여 화학물질의 평가와 관리에 관한 국제적 협의체를 구성하도록 권고하고 있다. 또한 유해폐기물의 불법 교역 금지와 환경안전관리 부문에 대해서 유해폐기물의 발생억제와 감량화를 촉진하는 청정생산기술개념을 도입하도록 제시하고 있다.

1995년 UNEP (United Nations Environment Program) 집행이사회는 잔류성 유기오염물질(Persistent Organic Pollutants, POPs) 의정서를 채택하기 위하여 POPs 12종(Aldrin, Chlordane, DDT, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Hexachlorobenzene, Mirex, PCB, Toxaphene, Dioxins, Furans)의 물질에 대한 생산·사용 규제를 통한 이들 물질의 완전제거를 결의하였다[5]. 또한 POPs관련 전문가 회의에서는 한 국가에서 취하는 규제조치만으로는 POPs가 환경에 미치는 악영향을 효과적으로 다룰 수 없다는 점을 강조하고 1997년 12월까지 UNEP에서 POPs 정의, 선정기준 및 목록

을 제시해 줄 것을 요청하였다. 98년 제1차 정부간 협상회의가 개최된 이래 현재까지 다환방향족탄화수소(PAH) 등 4종(Chlorodecane, Hexabromobiphenyl, HCH, PAH)의 물질 추가와 개발도상국에 대한 기술 및 재정지원 등에 합의하였다. 이에 우리 정부는 향후 12개 협약대상물질 중 국내에 도입되지 않은 신규물질인 Mirex, Hexachlorobenzene 등을 제외한 나머지 8개 물질의 과거 사용실태를 파악하는 중이다.

이와 같이 온실가스 및 POPs에 관한 배출량의 의무적 감축 등으로 인하여 우리나라와 같이 산업구조상 이산화탄소 발생 연료에 대한 의존도가 높은 나라의 경우 환경규제로 인한 산업계에 미치는 영향이 클 것으로 예상된다. 따라서 국제환경협약과 규제에 대비하기 위해서는 산업체에 적극 홍보하고 정책적, 기술적 지원을 통하여 대체물질 및 청정생산기술 개발 등을 적극적으로 유도하여야 한다.

2.2 유해화학물질 관리 제도

유해화학물질은 주로 산업체의 생산활동 중 환경으로 유출되거나 사용 후 폐기되는 과정에서 환경을 오염시키고 있다. 현재 유해화학물질관리법에 의하여 다수의 화학물질이 관리되고 있지만 최종적으로 배출되고 있는 물질의 양만을 파악할 수 있으며, 생산과정에서 배출되는 물질에 관한 관리는 거의 불가능한 실정이다. 유해화학물질은 배출되는 양은 적은 규모라 하더라도, 환경독성으로 환산하면 환경오염의 대부분을 차지한다. 따라서 유해 화학 물질의 처리를 위한 기술개발이 반드시 필요하다.

산업체에서 환경으로 유출되는 유해화학물질의 종류와 유출량을 생산공정별로 상세히 파악하고 유출량을 저감시킨다면, 유해화학물질로 인한 환경오염의 증가와 환경위해를 사전에 예방할 수 있게 되며, 유해화학물질 유출 사고시 사전 정보를 활용하여 적절히 대응할 수 있다. 뿐만 아니라, 원료물질의 사용효율의 증대와 폐기물 처리비용의 절감을 통한 경영이익을 기대할 수 있으며, 환경친화적 청정생산 공정으로 유도하는 기술의 발전도 기대할 수 있다.

이러한 의도에서 경제협력 개발기구와 미국, 캐나다 등 많은 선진국에서는 유해화학물질의 종류별 환경 배출량을 국가적으로 파악하고자 하는 노력을 기울이

고 있다. 미국과 캐나다는 각각 유해화학물질환경배출 (Toxic Release Inventory, TRI), 국가오염물질배출 (National Pollutant Release Inventory, NPRI) 제도를 운영하고 있다. 또한 OECD에서는 오염물질 배출 및 이전 등록(Pollutant Release and Registers, PRTRs) 체계를 수립하고 원하는 국가에 기술이전을 하고 있다.

우리나라도 OECD 회원국으로서 PRTR 제도를 도입하지 않을 수 없는 입장이다. 이에 따라 우리나라에서는 1996년 국립환경연구원을 중심으로 석유화학 및 정제업 26개 업체를 시범대상으로 선정하여 배출량을 조사하였으며, 그 결과를 토대로 1998년 배출량보고를 위한 표준지침서를 만들어 고시하였다. 1999년에 시행한 TRI는 보고대상업종을 한국표준산업분류코드 232(석유 정제품 제조업), 241(기초화학물질 제조업), 242(기타 화학제품 제조업), 243(화학섬유 제조업)에 해당하는 석유정제 및 화학업종으로 종업원 수 100명 이상인 사업장으로 제한하였다. 2000년에는 조선, 섬유, 자동차 등 23개 업종으로 확대하였다. 2000년부터는 그 대상범위를 '대기환경보전법 제10조 제1항' 또는 '수질환경보전법 제10조 제1항'에 의한 배출시설 설치허가 또는 신고한 사업장으로서 종업원 수 50명 이상인 모든 사업장으로 확대하는 법령을 공포하였다[6-8].

Table 1은 기존의 유해화학물질의 처리방법과 TRI제도를 비교한 것으로, 이러한 보고제도를 통하

여 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다. 정부는 유해화학물질에 대한 위험성감소와 환경오염물질 배출량의 동향 파악, 환경관련 규제의 통합관리 기반 구축, 위험관리지역 확인, 화학물질 배출경로 조사, 다양한 국제협약에 따른 보고의무의 이행 등의 효과를 얻을 수 있으며, 기업체는 손실된 파악, 폐기물로부터의 회수를 통한 비용절약, 작업장 안전 증진, 기업 경쟁력 강화 등의 이점을 얻을 수 있다.

2.3 유해화학물질 관리현황

화학물질의 안정성 확보를 위한 화학물질의 관리에 Fig. 1과 같이 신규화학물질에 유해성 심사와

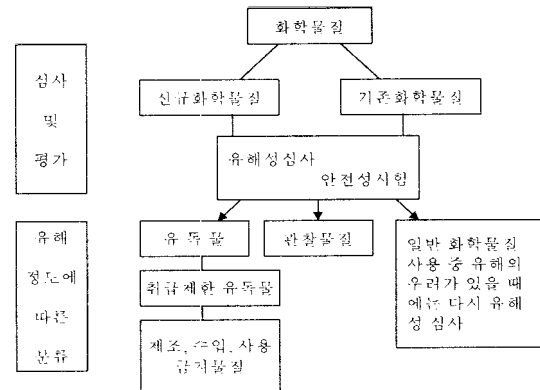


Fig. 1. 화학물질 관리 체계도[12]

Table 1. 기존체제와 유해화학물질 환경배출량 보고제도의 비교

구 분	기 존 체 제	T R I
관리목적	• 오염물질의 저감	• 사고대비 계획수립 등 위기관리 능력 제고
관리대상 화학물질	• 수질 : 폐놀 등 20종 • 대기 : 벤젠 등 22종 • 폐기물 : 납 등 71종 • 유해화학물질 : 유독물, 특정 유독물, 취급제한 특정유독물	• 유해화학물질, 유독물, 농약류 등
관리방법	• 수질, 대기, 폐기물 등 배출 매체별로 별도 관리 • 유해화학물질관리법 : 제조, 수입판매, 취급하는 원료물질관리	• 사업장별 환경배출량 통합관리
관리범위	• 일정 배출구에서 배출되는 물질 중심으로 관리	• 사업장에서 배출되는 모든 물질을 총체적으로 관리 • 배출구 외에 배관 등 공정상 배출되는 물질 포함
관리방안	• 지도 단속 등 강제수단 위주	• 배출량 공거 등으로 사업자 자율 저감 유도

기존 화학물질에 대한 안전성 시험을 거쳐 유해정도를 구분하고 있다. 유독물은 특정용도에만 사용하는 취급제한유독물과 제조·수입·사용을 금지하는 물질로 분류하고 있다. 만성독성이 우려되는 물질은 관찰물질로 지정하여 유독물 지정여부를 검토한다. 환경부는 유해성심사를 위하여 1991년부터 전문가로 구성된 화학물질심사단을 운영하고 있으며, 급성독성, 분해성 등 국민건강과 환경에 미치는 영향을 평가하고 있다. 1997년 말 현재 총 971종의 화학물질을 심사하여 이중 64종을 유독물로 지정·고시하였다[9-12].

유해화학물질관리법 시행(1991.2.2) 이전의 유통물질에 대한 자료가 없기 때문에 인체나 환경에 위해성이 의심되는 화학물질은 우선 순위별로 안전성 시험 및 평가를 실시하여 유해성이 인정되는 물질은 유독물로 지정·관리하고, 작업장에서 안전관리가 필요한 화학물질에 대해서는 노동부등 관계부처에 통보하고 있다. 그리고 1997년까지 총 344종의 기존화학물질에 대한 안전성시험을 실시하여 41종을 유독물로 지정·관리하고 있다. 1997년 통계에 의하면 유독물 등록업소수는 제조업 317개소, 판매업 1,819개소, 취급업 1,401개소에 이르고 있다. 또한 유독물의 유통량은 2천만여톤이며, 유독물을 제조·수입하거나 판매 취급하는 원료물질의 위해성관리는 「유해화학물질관리법」에 준하고 있다. 사용후 배출되는 오염물질 및 폐기물의 관리는 「대기·수질환경보전법」 및 「폐

기물관리법」의 적용을 받고 있다.

2.4 유해화학물질에 대한 정부의 규제

유해화학물질에 대한 정부의 규제는 법을 통한 직접적인 규제와 경제적 유인제도를 통한 간접적인 규제를 취하고 있다. 전자는 법 제정을 통하여 위반한 경우 행정상의 강제조치나 형법상의 제재를 가하는 방법으로, 시행방법이 비교적 단순하고 효과가 신속하게 나타나므로 환경목표 달성을 위한 가장 기본적인 정책수단으로 사용되고 있다. 직접규제는 배출시설 자체와 배출구에서 나오는 오염물질에 대하여 규제하고 있다. 배출시설에 대한 규제로는 배출시설로부터 배출되는 오염물질로 인하여 환경기준의 유지가 곤란하거나 환경위해성이 심할 경우, 오염방지시설의 설치 및 운용에 대한 특정기준 준수를 법으로 강제할 수 있다. 배출구에서 나오는 오염물질을 규제하는 방법은 정부에서 환경기준을 설정하고, 그 준수방법은 오염자들이 자유롭게 선택할 수 있도록 함으로써 오염자에게 오염물질 배출저감 노력에 대한 인센티브를 제공한다.

정부의 직접 규제의 방안으로 경제적 유인제도를 도입하였다. 지금까지 OECD 회원국들은 약 150여개에 달하는 각종 경제적 유인제도를 사용하고 있으며, 나아가 스웨덴, 노르웨이, 덴마크, 네덜란드, 핀란드 등 북구 5개국은 환경친화적인 조세개혁을 통

Table 2. 우리나라의 주요 경제적 유인제도의 현황[10]

구분	배출부과금	환경개선부담금	수질개선부담금	폐기물예치금	폐기물부담금
근거 법령	수질·대기환경보전법	환경개선비용 부담법	먹는물관리법	자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률	자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률
기본 성격	배출허용기준 초과시 부과하는 벌과금 및 기준이내에 부과하는 기본부과금	유류·소비과정오염 원인사 부담금	지하자원 이용료	폐자원의 적정 처리를 위한 원인자 예치금	폐기물발생 원인자 부담금
부담 주체	배출업소	시설물 및 경유차 소유자	먹는물샘물업자 및 수입업자	해당제품 생산·수입업자	해당제품 생산·수입업자
부과 대상	대기: 황산화물, 암모니아, 먼지 등 10개 품목 수질: 유기물질, 부유물질, 카드뮴 등 17개 품목 · 기본부과금 · 초과부과금(중별부과금 및 처리부과금)	업종구분없이 160ml, 경유 자동차 · 시설물: 지역계수 및 용도 등을 기준 · 자동차: 배기량, 차령등을 감안	먹는샘물 판매가액의 20%	종이팩등 6개 품목 12종	종이거저귀 등 12개 품목 32종

해 환경과 경제의 통합을 유도하고 있다. 경제적 유인제도는 환경재의 사용을 시장기구에 맡겨 적정오염물질 배출을 유도하는 것으로써, 직접규제에 비하여 오염물질 상호간 연계관계의 고려가 가능하며 비점오염원이나 전국적인 환경오염에 대해 규제가 가능하다. 또한 경제적·사회적 정책과의 연계관계를 잘 고려할 수 있다. 이에 대한 자세한 사항은 Table 2에 나타나 있다. 우리나라에서는 1983년 사업자가 배출허용기준 이상 오염물질을 배출할 경우 위반한 업체에게 벌과금 성격의 부담금을 부과하는 배출부과금 제도가 도입된 이래, 1992년에 환경개선부담금과 폐기물예치금·부담금, 1997년 배출부과금에 기본부과금 개념을 도입하였다. 환경개선부담금의 도입은 종전까지 고려되지 않았던 소비·유통분야와 경유차에 원인자부담금 부과를 정착시키는 계기가 되었으며, 폐기물예치금·부담금 제도를 통해 폐기물의 사전적 감량화 및 재활용을 목표로 시장기능에 의한 폐기물 관리정책을 도모하고 있다.

3. 청정기술

3.1 후처리기술과 청정기술

미국에서는 연간 발생하는 수십억 톤의 산업폐기물을 관리하고 합법적으로 처리하기 위하여 연간 수천억 달러가 소요되고 있으며, 이는 지난 10년간 급속도로 증가해 왔다. 또한 국제 환경규제 강화와 함께 유해화학물질의 방출과 처리기준이 더욱 엄격해지면서 비용부담은 지속적으로 증가하고 있다. 이

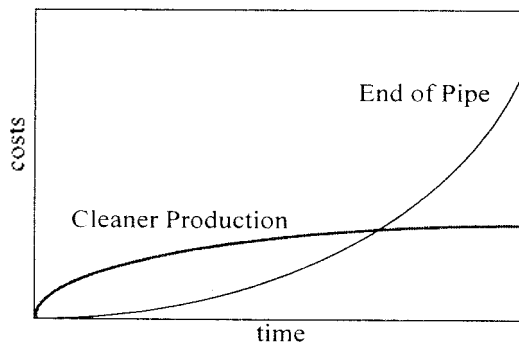


Fig. 2. 청정생산과 오염제어의 비용비교[1]

에 따라 오염물의 처리기술은 비용절감과 오염방지 효과면에서 사후처리기술 보다 탁월한 청정생산기술로의 대체가 추진되고 있다. Fig. 2는 두가지 오염제어에 따른 비용을 나타낸 것으로, 청정기술 도입을 위한 초기투자비는 후처리기술에 비하여 높지만 시간이 어느정도 지난후는 경제성이 월등하다. 따라서 지속적으로 증가추세에 있는 오염물질처리 비용과 강도 높은 환경규제 이행에 직면하면서 오염물질관리를 위한 전통적인 종말처리방식은 매력을 잃게 되고 환경친화적인 기술이 두드러진 관심을 끌게 되었다. 이 기술의 기본전제는 생성된 오염물의 제어와 처리비용이 과중하기 때문에, 오염물의 원천적 발생방지와 발생된 물질에 대한 재사용 등을 하는 것이 경제적이며 환경친화적이라는 점이다.

선진국들은 이미 이러한 청정생산 기술의 중요성을 인식하여 환경오염 관리정책을 사후처리에서 청정생산에 의한 사전예방으로 수정하고 있다. 또한 청정생산에 의한 제품생산을 통하여 환경 비용을 산업 내부에 흡수시켜 산업 경쟁력 및 환경 생산성을 높이고 있다. WTO 및 OECD 등 각종 국제 기구들이 환경문제를 무역과 연계하여 규제이행에 관한 구속력을 점차 강화함에 따라 개발도상국 및 후발공업국들도 자국의 지속적인 수출활로 확보와 환경문제 해결을 위하여 청정생산기술 확보와 보급에 적극적으로 참여하고 있다.

이와같이 1990년대에 들어서면서 환경과 경제의 조화라는 '지속가능개발'의 핵심은 환경오염을 최소화하는 제품 생산기술인 청정생산기술을 요구하고 있다. 새천년에는 청정생산기술만이 경쟁력을 확보할 수 있어, 청정기술은 단순한 기술의 변화가 아니라 산업과 환경과의 관계에 대한 새로운 접근을 의미하게 된다. 이러한 청정생산기술은 기존의 생산기술에 환경성을 고려한 새로운 기술형태로 저오염, 저에너지, 저소비 산업기술을 포함하며, 첨단 메카트로닉스, 마이크로일렉트로닉스, 생명공학기술 등과 함께 새로운 기술패러다임의 형태를 보이고 있다.

청정기술은 각 산업체의 특성에 따라 고유의 기술을 필요로 하지만, 제한된 연구여건을 감안하여 모든 종류의 기술을 연구 대상으로 할 수는 없다. 따라서 청정기술 개발 선정시에는 우선 청정성이 우수하

고, 많은 산업체가 그 기술을 필요로 하는 범용성이 넓은 기술이 고려되어야 한다. 발생원에서의 폐기물 감량기술을 최우선 순위로 하고 차선책으로 내부 재사용 기술이 선정되어야 한다. 또한, 연구 집단의 연구개발 결과를 우리 나라 전 산업체에 파급시킬 필요가 있으므로 동종업체에 쉽게 기술이전이 가능한 과제여야 할 것이다.

3.2 국제 청정기술 개발 동향

산업화의 역사가 긴 기술선진국은 경제개발이 가져온 예기치 못한 환경오염 문제의 심각성을 일찍부터 인식하고 환경문제에 관심을 가져왔기 때문에 상대적으로 풍부한 경험과 노하우를 가지고 있다. 이들 선진국의 환경오염에 대한 청정기술을 위한 정책을 살펴보면 Table 3과 같으며, 입법, 재정, 정보 교육 등 다방면에 걸친 지원과 합의가 이루어지고 있다.

선진국에서 청정생산의 경험과 효과를 확인한

UN에서는 인류의 생존 및 지구환경보존 차원에서 UNEP를 시작하게 되었고, 청정생산을 전지구적으로 확산하기 위하여 적극적인 노력을 기울이고 있다. UNEP는 상대적으로 청정생산기술에 대한 경험과 노하우가 없는 개발도상국에 대하여 국가청정생산지원센터 설립을 지원하고 경험공유, 기술이전, 개념확산 등을 위하여 매년 각종 국제회의를 개최하고 있으며, 제5차 고위급 국제청정세미나가 1998년 9월에 한국에서 개최된 바 있다. 개발도상국 중에서 UNEP가 지원하여 국가청정센터를 운영하고 있는 국가로는 중국, 태국, 인도네시아, 멕시코 등을 포함한 15개국이며 업종별로 대도 프로젝트를 수행하여 성공사례를 보고하고 있다.

EU는 1979년 평의회에서 청정기술에 대하여 정의하고, 기존의 오염처리방식에서 탈피하여 청정기술의 개발에 깊은 관심을 갖고 연구개발과 기술이전을 촉진하고 있다. 그 결과 중 하나가 ACE (Action by the Community relating to the Environment) 프로

Table 3. 미국 및 유럽국가에서 청정생산 정책도구

구 분		네덜란드	덴마크	영국	프랑스	벨기에	독일	에이레	이태리	미국
입법	청정기술 승인안	●	●	●	○	○	○	▲	○	●
	자발적 합의	●	●	○	○	○	●	○	○	●
재정 도구	세금관세 수수료	●	●	○	●	▲	●	○	○	●
	보조금	●	●	●	●	●	●	○	▲	●
정보 교육	공정데모 프로젝트	●	●	●	▲	●	●	○	○	●
	제품데모 프로젝트	●	●	○	○	●	●	○	○	○
	자문가 지원	●	●	●	●	●	○	●	●	●
	전문센터	●	○	●	○	●	●	●	●	●
	뉴스레터	●	●	●	○	●	○	●	○	●
	일반매뉴얼	●	●	●	●	●	○	○	○	●
	특정산업 매뉴얼	●	●	▲	○	▲	○	○	○	●
	데이터베이스	●	●	○	○	●	○	○	○	●
	비디오	●	●	●	○	○	○	○	○	●
	학회 및 세미나	●	●	●	●	●	○	●	○	●
연구개발 프로그램	●	●	●	●	●	●	●	●	●	

● : 채택중 ○ : 비활동 또는 정보없음 ▲ : 준비중

그럼으로 1985년부터 1987년까지 청정기술 개발과 폐기물 재이용에 관한 36개의 청정기술 시범과제를 수행하였다. US/EPA의 PPIC (Pollution Prevention Information Clearinghouse)와 협력하여 청정기술에 관한 미국의 자료를 포함하는 자료검색 시스템인 ICPIIC (International Cleaner Production Information Clearinghouse)의 개발을 지원하였다. 또한 1989년에 결성된 NETT (Network for Environmental Technology Transfer)는 청정기술, 신제조 공정, 재활용 기술 등에 관한 기술 정보의 교류를 목적으로 DATA-NETT라는 database service를 실시하고 있다.

미국의 EPA에서는 오염방지 및 유해물질국 (Office of Pollution Prevention & Toxics)을 설치하여 청정기술의 연구개발을 가속화시키고 있다. 1980년대 중반부터 오염물질의 원천적 감량 및 회수 재사용을 최상위 개념으로 하여 가능한 오염물의 유출을 우선적으로 억제한 후, 불가피하게 배출되는 오염물질만을 적절히 처리 및 폐기할 것을 주개념으로 하는 오염예방 우선순위(Pollution Prevention Hierarchy)를 도입하였다. 1990년에는 오염방지법(Pollution Prevention Act)이 의회의 승인을 받은 것을 계기로 미국 환경청에서는 청정기술을 환경정책의 최우선 순위로 결정하고 이 분야에 연구개발비를 적극 지원하고 있다. 또한 오염예방국(Pollution Prevention Office)을 설치하여 청정기술 관련 전반의 업무를 취급하고 있다.

일본의 경우, 청정기술 분야의 정부주도 연구개발과제로는 통산성이 주관하는 에너지절약기술개발 (Moon Light Project)를 들 수 있다. 과제별로 10년 내외의 기간에 걸쳐 이루어질 이 계획은 연료전지, 고도열펌프, 초전도전력이용, 세라믹 터빈, 에너지절약 표준화 등을 연구 과제로 하고 있다. 1985년부터 1990년까지 6년에 걸쳐 수행된 물의 종합재생이용 시스템 (Aqua Renaissance '90 Project)에 의해 험기성 바이오리액터와 분리막을 결합한 폐수처리시스템을 연구하였다. 또한 New Sunshine Program을 추진하면서 1993년부터 2020년까지 15,500억 엔을 투자하고 있다.

영국은 1990년부터 상공부(Department of Trade & Industry)가 주관하여 ETIS (Environment Technology Innovation Scheme), EMOS (Environmental Manage-

ment Options Scheme), Euroenviron 등의 프로젝트를 추진중이며 과학기술회의(Science and Engineering Council, SERC) 주관하에 백만 파운드의 예산으로 청정공정 및 청정제품 개발 계획을 수행하고 있다.

3.3 국내 청정기술에 대한 지원상황

우리나라에서도 80년대에 청정기술의 개념이 도입되기 시작하여, 환경청이 환경처가 되고 다시 환경부로 승격되는 추세처럼 환경 행정 및 관리, 환경 과학기술 연구개발의 고도 성장기를 맞고 있다. 학계에서도 클린텍연구회 및 환경오염사전예방 연구회를 거쳐 1995년 한국청정기술학회의 탄생을 보게 되었다. 이들 연구회 및 학회를 중심으로 청정기술 사례집, Clean Technology 등의 학회지가 간행되고 있다. G7 프로젝트 중 환경공학기술개발 사업의 하나로 청정기술을 중요시하기 시작하였으며, 중소기업의 개별 사업장에서 이루어지고 있는 환경개선 작업 및 처리 장치의 개발에 의하여 상당수의 청정기술이 개발되어 운영중이나 아직 체계적인 현황조사는 이루어지지 않은 상태이다. 그리고 환경부가 1994년 말 입법한 「환경기술개발 및 지원에 관한 법률」에 따라 환경기술상의 5개 부문중의 하나로 청정기술상을 제정하여 청정기술 보급에 노력하고 있다.

'95년 「환경친화적 산업구조로의 전환 촉진에 관한 법률」의 제정으로 청정생산기술의 개발·보급, 국제협력, 지원센터 운영 등 청정생산에 대한 종합적인 지원근거를 마련하였다. 또한 정부에서는 98년부터 기술개발뿐만 아니라 기술보급, 기술기반조성, 국제협력, 인력양성 등의 분야까지 사업범위를 확대하고 있으며, 대기업에 비하여 기술력이 떨어지는 중소기업에 대한 지원을 강화하기 위해 중소기업만이 참여할 수 있는 중소기업 전용과제를 도입하고 중소기업에 대한 현장 기술 진단지도 보급사업을 추진하고 있다.

또한, 기업의 청정생산시설 투자에 대한 지원정책을 실시하고 있다. 98년 「조세감면규제법」 시행령, 시행규칙의 개정으로 청정생산시설투자에 대한 세제 지원 근거를 마련하였다. 정부는 우리나라가 21세기 선진산업국으로 발돋움하기 위해서는 청정생산방식의 도입이 절대적으로 필요함을 인식하고 청정생산

방식을 도입하는 기업에 대해 자금세제상의 지원을 더욱 확대하여야 할 것이다.

이와같이 청정생산은 개별기업에 대한 단순한 기술개발 및 설비자금 지원만으로는 전 산업에 대한 파급효과를 기대하기 어려워, 청정생산 기술 및 정보를 총괄보급하고 대외협력 기능을 수행하는 총괄중심기관이 절대적으로 필요하다. 청정생산 도입에 박차를 가하는 대다수 국가의 경우 청정생산 총괄중심 역할을 수행하는 국가센터를 설립하여 운영하고 있다. 우리나라에서도 국가청정생산지원센터가 설립되어 청정생산기술 개발보급의 총괄주관, 기업에 대한 청정생산 진단지도, 교육훈련, 대외협력홍보 등 종합 지원기관으로서의 역할을 수행하고 있다.

▶ 청정생산기술개발사업 (산업자원부)

국가청정생산지원센터는 청정생산기술의 개발·보급을 지원하여 전산업의 환경친화적 산업발전을 촉진하고 세계 각국의 환경규제 및 국제환경협약에 대하여 우리 기업의 국제경쟁력을 제고하고자 설립되었다. 또한 이사업은 생산단계에서 환경오염을 사전예방·저감하여 환경규제에 원천대응하고 고비용 저효율 환경관리 체제를 개선하여 21세기 유망시장인 환경시장 확보를 지원한다. 추진 사업은 청정생산기술개발사업, 청정생산기술개발지원센터사업, 청정생산기술기반조성사업으로 이루어져 있다. 산업자원부의 청정생산기술 지원사업은 염색, 도금, 주물 등 전통적으로 환경문제 및 환경비용 부담이 심각한 업종의 생산체제를 환경친화적으로 개편하고, 미국, EU 등 선진국에서도 환경규제를 강화하고 있는 반도체, 전자, 자동차, 업종의 환경친화적 제품개발을 지원하기 위한 것이다.

95년 12월 「환경친화적 산업구조로의 전환 촉진에 관한 법률」이 제정되었고 이를 근거로 하여 산업자원부에서는 14과제, 21억원 규모의 중기거점사업의 일환으로 청정생산기술개발사업을 시범 착수하였다. 96년에는 32개 과제, 41억원 규모, 97년에는 96개 과제, 120억원 규모의 공기반사업의 단위사업으로 확대 추진하였다. 또한 97년 11월에는 공기반사업에서 독립한 별도 기술사업으로 확대하여 98년 150개 과제, 174억원을 확보하였으며 98년말 99년 예산 300억원을 확보하여 전년대비 72.4% 증가 규모를 보였다. 자

난 99년까지 청정생산 기술개발을 위하여 총 534개 과제에 1,015억원(정부, 656억원)이 투자되었으며, 개발된 기술이 시설투자로 이어질 수 있도록 융자금 1,944억원도 산업기반기금을 통해 지원되었다.

산업자원부는 2000년 청정생산기술개발 사업에 출연금 247억원, 중소기업 진단·지도 및 국제협력 등을 통한 이전·확산사업에 45억원, 중소기업의 연구기반 조성을 위한 사업에 5억원 등 총 300억원을 지원하며, 주요 지원대상으로는 ① 기후변화협약에 의한 온실가스로 규제되고 있으면서 반도체 제조공정등에 주로 사용되고 있는 SF6 (Sulfur Fluoro 6) 및 PFC (Per Fluoro Carbons) 가스의 최소화 및 재이용기술, ② 최근 급속도로 보급이 늘어나고 있는 전자통신기기 등 제품의 재활용이 용이하도록 하기 위한 환경친화설계기법(DfE, Design for Environment)의 개발 등 총 17개 분야 63개 기술이다. 일반과제는 개별기업의 기술력 향상 및 경쟁력 확보를 위하여 기업의 참여를 전제로 한 기술개발 과제로서, 사업비의 일정 비율을 지원하고 사업성공시 정부출연금의 40%에 해당하는 기술료징수하며 사업결과는 민간이 소유하는 과제이다. 공유과제는 기술개발 성과를 업종별로 공유할 수 있는 과제 또는 성공가능성이 적어 연구개발투자에 위험이 따르는 기술개발 과제이며, 사업비의 전액까지 지원하되 사업결과는 정부소유(성공 후 사업성과의 보급의무가 있으며 이를 사업성공 판단 기준으로 활용) 형태를 취한다.

또한 국가에서는 우리 산업의 생산방식을 미래형 청정생산체제로 개편하기 위한 틀을 마련하는 등 환경친화적 산업구조 구축을 위한 3개년 계획을 수립, 추진할 계획 중이다. 이 계획을 통하여 우리 산업의 생산방식을 미래형 청정생산체제로 개편과 환경설비산업을 21세기 주력산업으로 육성, 자원순환형 산업구조의 구축, 기업의 자율적 환경경영 확산 등을 목표로 하고 있다.

▶ 21세기 프론티어연구개발사업 (과학기술부)

과학기술부에서는 92년부터 시작된 선도기술개발사업(G-7프로젝트)의 2001년 종료에 대비하고 그동안 국가연구개발사업을 통해 축적된 기술역량을 최대한 활용하여 21세기 지식기반경제의 국제사회에

서 경쟁할 수 있는 우리만의 강점기술을 전략적 선택적으로 집중개발하기 위하여 21세기 프론티어연구 개발사업을 추진하고 있다. 그동안 산학연을 대상으로 한 설문조사에서 제안된 6,244개 과제를 토대로 유망 후보과제 15개를 도출하였다. 이 중 청정기술관련 과제는 폐기물 자원화 및 재활용기술 개발과 온실가스 분리·회수·처리 및 아용기술 개발이다.

2000년에는 산업폐기물 자원화 재활용기술 개발 사업 등 3개 사업을 선정하여 추진하고 있다. 『산업폐기물 재활용 기술개발 사업』 사업단은 전 지구적 차원에서 지속가능한 개발을 위해 환경보전과 자원 확보를 동시에 만족시키는 산업폐기물의 자원화와, 재활용 가치가 큰 산업폐기물을 대상으로 경제성 있는 원료물질과 에너지로 재활용하는 기술개발 및 실용화를 위하여 과제 수행이 이루어진다. 이 사업의 최종목표는 21세기 산업의 중추적 역할을 담당할 산업폐기물의 재활용을 위하여 핵심기술들을 발굴, 개발하여 이를 관련 산업에 보급 및 실용화하는 것이다. 구체적인 개발 기술은 Table 4와 같다. 이러한 노력을 통하여 21세기에 자원 자급을 향상 및 쾌적한 삶의 환경을 이루고, 나아가 자원 순환형 체제 구축과 환경선진국으로 도약하는 것을 목표로 하고 있다.

3.4 청정기술 적용을 위한 설문조사

국내 화학관련 사업장에서의 청정기술의 실태와 청정기술에 대한 의식을 조사하기 위하여 설문조사를 실시하였다. 설문조사의 내용은 국제환경규제가

미치게 될 영향에 대한 인식여부, 국내 환경규제의 동향, 청정기술의 도입과 그로 인한 영향 등의 파악으로 구성되었다. 설문조사는 유해화학물질 배출 대상업체 및 제조업(19개업체)과 국가출원연구소(3개소)의 환경관련 업무를 담당하는 실무자와 관리직을 대상으로 시행되었다.

국제 환경규제의 영향에 관한 설문조사 결과는 다음과 같다. 국제 환경규제의 동향에 관한 정보 습득은 주로 인터넷, 회사제공 자료, 컨설팅회사, 전자신문, 동종업계와 정보교환, 외국업체 문의 등을 통하여 이루어지고 있었다. 정보습득 응답자의 75%는 화학물질의 생산과 무역을 규제하려는 움직임에 대한 그 세부사항에 대해서는 모르고 있었다.

환경규제에 따른 영향은 74% 응답자가 자사의 생산과 무역에 국제환경규제에 의한 영향으로 매출액이 감소할 것으로 전망하였으나, 일부에서는 규제에 따른 청정기술개발이 주는 장기적인 이점으로 인하여 매출액이 오히려 증가할 것으로 전망하였다.

또한, 국제 환경규제의 영향으로 인한 국내 환경규제의 동향에 대한 인지도를 파악하였다. 국내 환경규제의 정보 습득은 국제 환경규제의 경우와 비슷한 경로를 통하여 이루어지고 있었다. 각사에서 사용하고 있는 규제 대상 화학물질의 종류를 동일 사업장내 대상자에게 설문했을 때, 서로 상이하게 응답을 보여 자사내에서 규제 대상 화학물질에 대한 홍보나 교육이 제대로 이루어지지 않고 있음을 보여준다. 국내 환경규제가 매출감소를 초래할 것이라고 예상하는 쪽이 70%를 넘어, 환경규제의 영향을 부정적으로

Table 4. 폐기물 자원화 및 지구온난화 가스 저감 개발 기술

분류	개발 기술	세부사항
폐기물의 자원화	소각, 소각가스 처리기술	액상폐기물 소각 페타아이어 등의 선회식 연소 소각가스 처리기술
	열분해, 촉매분해	감압 열분해에 의한 페타아이어의 오일화 페플라스틱, 페타아이어의 연료유화 및 원료물질 회수 슬러지의 처리 및 오일회수
	RDF 기술	폐합성수지의 산업체 연료화
	기 타	습식산화에 의한 유해, 유독물질 제거
지구온난화 가스저감 기술	이산화탄소의 분리회수 및 전환기술	고효율 흡수분리 및 고정화 탈수소화 반응에 의한 CO ₂ 전환 지구온실가스 저감기술 기획연구

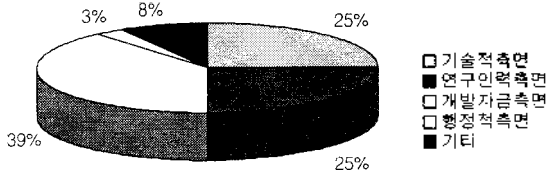


Fig. 3. 실제 청정기술 개발시의 문제점

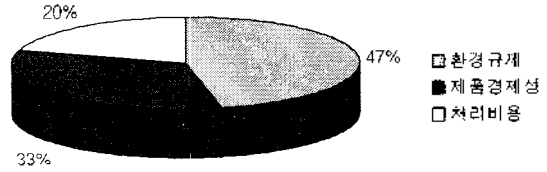


Fig. 4. 청정기술 도입 판단 기준

평가하는 경향을 보였다.

국내 및 국제 환경규제에 대한 대처방안으로 청정기술의 도입을 제안했을 때 청정기술에 대한 인지도와 시급성은 높게 나타나, 실제 청정기술 개발에 참여하는 의욕은 매우 보수적이었다. 이는 기술 개발의 필요성은 느끼지만 기술 개발에 따른 투자비 부담이 커서 투자시기를 늦추고 있기 때문인 것으로 보인다. 또한, 국내 청정기술의 개발 수준을 대부분 보통이거나 그 이하라고 평가하고 있으며, 청정기술의 개발 경험은 주로 공정 분야에 대한 청정기술이었다. 실제 사업체가 청정기술의 개발중에 가장 문제점으로 생각하는 것이 Fig. 3과 같이 개발자금과 연구인력의 부족이었으며, 정부의 지원 부족과 최고 경영자의 청정기술 개발에 대한 관심부족, 청정기술 정의에 대한 이해부족 등을 지적하고 있다. 청정기술에 대한 국내 화학산업의 대처를 위하여 필요한 조치는 국내 청정기술의 향상 도모, 국가의 정책적인 지원, 사업체의 경영자 설득, 외국 청정기술의 도입 순으로 나타났다. 정부 부처의 청정기술 개발 지원 역할에 대해서는 매우 적극적인 지원이 필요하다고 느끼고 있으며, 현재까지의 정부지원이 미흡하다는 인식을 드러냈다. 청정생산 기술이 오염배출 후 사후처리개념에서 사전오염예방 방식으로의 전환을 의미한다면 산업자원부에서 관계하여 지원하는게 가장 적합하다고 생각하는 것으로 나타났다.

청정기술개발에 있어서 가장 어려운 점은 개발 자금이 부족하다는 것이다. 이밖에 기술적으로 개발 방향이나 개발 방법을 어떻게 선택해야 할지 모르는 경우와 기술적인 관점에서의 비전은 있으나 연구인력이 부족하다는 점, 정부의 정책적인 지원이 부족하다는 점을 지적하였다. 청정생산기술 개발에 관한 정부의 기존 지원책 및 정책인 통상산업부의 공업기술 발전기금, 환경부의 환경친화적 기업지정, G-7 프로젝트 등에 관한 다양한 의견을 접할 수 있었다. 공통

적으로 복잡한 절차 및 심사 기준의 일관성의 결여와 적은 지원금액을 지적하였다. 또한 기존 외국 기술의 답습으로 인하여 기술의 국산화를 이룬 후에는 후진 기술로 전락할 수 있는 위험성을 지적하였다.

청정기술개발이 여타 기술개발과 달리 보다 적극적으로 추진되어야 하는 이유로는 청정기술은 국제 경쟁력 제고나 산업육성 유지에 직결되고 환경규제차원을 넘어선 생산기술의 혁신이기에 그 추진이 필요하다고 보았다. 청정기술의 개발이 시급한 기술로써는 폐수 및 폐기물, 대기오염 물질 등의 효율적 처리기술(1), 에너지의 효율적 분리기술(2), 기존 공정의 대체(3) 순으로 나타났으며, 어느정도 가시적 효과가 가장 큰쪽을 선호하고 있음을 알 수 있다. 또한 청정기술 도입의 시급성에 대한 판단 기준은 환경규제, 제품의 경제성, 폐수 및 폐기물 처리비용 순으로 제시하였다(Fig. 4).

화학산업에서 공통으로 요구되는 청정기술 개발을 위하여 정부와 산업체가 공동 연구를 수행할 경우 참여 의향에 대한 설문은 수행하였다. 과제에 예로는 에너지 효율적 분리 기술, 기존공정의 대체, 폐수 및 폐기물, 대기오염 물질 등의 효율적 처리 기술 등을 제시하였다. 이에 대하여 부정적인 대답은 10% 미만으로 적은 편이었다. 이는 앞서 조사한 환경규제에 따른 청정기술 개발의향이 높은 것과 일치하는 것으로서 정부의 정책적 지원과 최고 경영자 수준에서의 청정기술에 대한 올바른 인식, 그리고 정부와 산업체간 의견교류의 활성화가 이루어진다면 청정기술이 보다 적극적으로 개발 될 수 있음을 알 수 있다.

이러한 설문을 정리 해 보면, 화학산업에서의 청정기술 개발은 경쟁력 제고와 산업육성 유지에 직결되는 것이기에 여타 기술개발과 달리 보다 적극적으로 추진되어야 한다고 지적하였으며 가장 시급한 청정기술로는 폐수 및 폐기물, 대기오염 물질 등의 효율적 처리기술의 개발이 주목되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 유해화학물질에 대한 국제환경규제와 관련하여, 화학산업에 미치는 영향을 조사하고, 국제 경쟁력에 미치는 영향을 분석, 국제환경규제 강화에 따른 대처방안의 확립을 위한 기본자료를 제공하고자 하였다.

최근 환경문제는 국가 단위의 지역적인 문제에서 탈피하여, 전세계적으로 지속 가능한 개발을 도모하는 방향으로 나아가고 있다. 이러한 인식하에 국제 사회에서는 각종 국제기구들을 통하여 환경규제를 효율적으로 수행하기 위한 국제환경규제에 대한 논의를 진행하고 있으며, 그 규제 범위를 점차 확장, 강화해 나가고 있다. 국제 환경규제에 의하여 국내산업이 어떤 영향을 받을 것인가를 예측하고 제대로 대처해야 할 것이다.

국내외 환경규제에 대응하는 방법론과 청정기술의 개발에 대한 과급효과는 다른 산업군에 비하여 화학산업이 담당하는 역할과 영향이 가장 클 것으로 고려된다. 화학산업은 다른 산업의 원자재로 사용되는 대부분의 기초물질을 제조하여 공급하는 역할을 담당하는 국가경제의 주요한 기반산업으로 현재는 석유화학과 정밀화학 분야 등이 국가 경제에서 큰 비중을 차지하고 있다. 그러나 화학산업은 그 동안 국가 경제 원동력의 근간이 되어왔음에도 불구하고, 생산과정에서 많은 종류의 환경유해성 오염물질이 배출되고 있어 오염물질을 가장 많이 배출하는 산업의 하나로 인식되고 있다. 동시에 국내외의 환경규제와 환경에 대한 대중의 관심이 높아지면서, 화학산업의 환경관리와 환경유해성 물질의 배출억제를 위한 새로운 개념의 기술과 청정기술의 도입이 시급한 과제가 되고 있다.

감사의 글

본 연구는 한국공학한림원의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 박원훈, 청정기술의 현황과 전망, 한국과학기술연구원 (1998)
2. 청정기술연구센터, 제1회 청정기술 심포지움 논문집(1998)
3. 통상산업부, 청정생산기술개발전략 수립을 위한 연구기획 (1996)
4. 국립환경연구원, 환경자료집 제2집 (1999)
5. 한국화학물질관리협회, 화학물질관련 국제협약에 대한 산업계와의 토론회 (1999)
6. 이종철, 김화용, 차순우, 박현수, 최경학, 유해화학물질 환경배출량 보고제도, NICE, 18(3), (2000)
7. 한국화학공학회, 화학물질 배출량조사 지침(안) (1999)
8. S. Chah and J. Yi, "Process Analysis Based on the Pollutant Release and Transfer Registrar (PRTR) with Risk Assessment", SETAC/UNIDO ASIA/PACIFIC Regional Symposium/Workshop on Environmental Risk Assessment and Management of Chemicals (1998, 4)
9. 환경관리연구소, '98 환경산업총람 (1998)
10. 환경관리연구소, '99 환경산업총람 (1999)
11. 환경부, 환경백서 (1998)
12. 한국화학물질관리협회, 화학물질정보 통권52호 (2000)
13. 산업자원부, 석유화학 및 석유정제업의 청정생산 신기술 개발을 위한 연구 기획 (1999)
14. 한국과학기술한림원, 21세기 창의적 frontier 공학 기술과제 도출에 관한 연구 (1999)
15. 통상산업부, 선진 청정기술의 사례분석 및 국내 적용 청정기술의 도출 (1997)