

유해화학물질관리를 위한 그린화학(GC)제도 연구

2002.12

박 정 규



한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

서 언

21세기에 접어든 우리의 환경정책은 과거의 그것과는 다른 새로운 양상을 나타내고 있습니다. 사후처리 위주의 환경정책이 사전예방 중심으로 전환되고 시장경제와 민주주의에 입각한 환경정책이 추진되며 경제정책과 환경정책이 통합되고 있습니다. 또한 물, 공기, 폐기물 등 매체 중심으로 이루어져 왔던 환경관리방식이 오염원인물질인 유해화학물질의 위해성을 중심으로 한 통합환경관리체제로 전환되고 있습니다. 이는 리우선언과 WSSD 회의 등 환경과 관련된 국제회의에서도 확인된 바 있어 우리 뿐 아니라 지구상 모든 국가의 환경정책 기초이기도 합니다.

특히 환경오염의 원인물질인 유해화학물질에 대한 국제적인 관심은 지속적으로 증가하고 있어 그 규제수준이 한층 강화되고 있으며, 유해화학물질의 위해성 관리분야에서도 사전오염예방 정책이 추진되고 있습니다. 위해성 저감을 위한 사전오염예방 정책으로는 환경중으로의 유해화학물질 배출량을 조사·발표함으로써 해당기업이 배출량을 줄이도록 유도하는 유해화학물질 배출량조사제도(TRI), 환경친화적인 제품에 환경마크를 부착시켜 소비자로 하여금 좀 더 안전한 화학제품을 구매하도록 유도하는 환경표지제도 등이 있습니다. 그러나 이와 같은 정책은 매우 소극적인 정책으로, 현재 전세계적으로 사용되고 있는 약 10만여 종의 화학물질 위해성을 사전에 예방하기에는 역부족입니다.

이에 1990년 미국은 새로운 개념의 화학물질 사전오염예방정책을 개발하게 되었습니다. 즉, 좀 더 안전한 화학제품(원료인 화학물질 포함)을 생산하면 환경에 대한 오염도 최소화하고 최종소비자인 국민의 건강도 보호할 수 있다는 생각에서 그린화학이라는 새로운 환경정책을 도입하게 되었습니다. 그린화학이란 독성이 없고 폐기물의 발생을 최소화하면서 에너지를 적게 사용하는 화학제품을 생산하거나 관련공정을 바꾸는 모든 기술을 의미합니다.

사전오염예방기술은 우리나라를 위시한 대부분의 국가에서 이미 개발되고 있으나, 주로 전기·전자제품이나 자동차와 같이 환경친화적인 제품을 개발하여 시장에 출시

할 경우 경제적인 이익을 빨리 얻을 수 있는 첨단산업에 치중되어 기술개발이 이루어져 온 것이 사실입니다. 그러나 사전오염예방기술은 단순히 경제적인 이익만을 창출하는 것이 목적의 전부가 아닌 바, 환경 및 국민의 건강과 바로 직결되는 화학물질 분야에서의 환경친화적 제품생산에 좀더 집중적으로 지원해야 됩니다. 따라서 기존의 사전오염예방기술과는 별도로 화학산업에서의 안전한 화학제품생산을 위한 그린화학이 미국에 도입되었으며, 그린화학을 통한 유해화학물질의 위해성 저감효과를 확인한 많은 국가들이 앞다투어 그린화학제도를 도입하여 시행하고 있습니다. 최근에는 OECD나 EU 등 국제기구에서는 화학물질 분야의 지속가능한 발전을 구현하는 정책의 일환으로 그린화학을 도입하도록 적극 권고하고 있으며, 이와 같은 의미로 그린화학이라는 용어대신 지속가능한 화학이라는 용어를 사용하고 있습니다.

그러나 우리나라는 그린화학에 대한 개념조차 파악하고 있지 못해 화학물질 관리의 국제적인 움직임에 동참하고 있지 못하며, 아직 선진국 수준에 미치지 못하고 있는 국내 화학물질 관리체계 완비를 위해서는 그린화학과 같이 사전오염예방 차원의 정책이 도입되는 것이 시급합니다. 따라서 본 연구원은 그린화학에 대한 고찰과 함께 국내 화학물질 관리현황을 분석하여 그린화학의 도입 필요성을 확인하였으며, 도입할 경우 현행의 화학물질 관리체계내에서의 연계방향 및 추진사항을 도출하였습니다. 본 연구가 향후 우리나라의 화학물질 관리의 선진화를 꾀하는데 밑거름이 될 것을 확신합니다.

끝으로 본 연구를 맡아 수행해 주신 본 원의 박정규 박사께 사의를 표하며, 바쁘신 중에도 불구하고 심사를 맡아주신 한국화학연구원 김균 박사, 화학물질심사단 김필제 박사, 환경부 화학물질과 이상팔 과장, 그리고 본 원의 이희선 박사, 공성용 박사, 방상원 박사께도 감사를 드립니다. 아울러 본 연구의 내용은 본 연구원의 공식견해가 아닌 연구자 개인의 견해를 밝혀둡니다.

2002년 12월

한국환경정책·평가연구원

원장 윤 서 성

국 문 요 약

그린화학은 『효율적·효과적이며 안전하고 환경친화적인 화학제품 및 공정의 설계·제조·사용』을 촉진하는 제도로, 화학물질 관리분야의 사전오염예방정책이며 지속가능한 사회 구현을 위해 선진국에 실시하고 있는 환경정책이다. 즉, 위해성 없는 화학제품, 폐기물 발생이 없는 화학제품 및 에너지 효율이 높은 화학제품을 생산하여 화학물질로 인한 위해성을 사전에 최소화시키려는 정책이며, 이는 정부의 화학물질 관리를 위한 비규제수단으로 산업체 등 다양한 이해당사자들의 자발적 참여로 이루어진다.

그린화학은 1990년 미국 EPA에서 처음 도입되어 현재 영국, 독일, 일본 등 대부분의 선진국에서 시행하고 있으며, OECD는 1998년 위해성관리프로그램내에 그린화학 위원회를 설치하여 각 회원국이 그린화학을 시행할 수 있도록 적극적인 노력을 기울이고 있다. 그린화학을 시행하고 있는 대부분의 국가들은 첫째, 혁신적인 그린화학기술의 개발 및 연구를 적극 지원, 둘째, 화학 및 환경교육 프로그램에 그린화학 개념과 기술을 도입하여 교육, 셋째, 인터넷과 그린화학네트워크 등 다양한 경로를 통해 그린화학 관련정보를 수집 및 확산, 넷째, 정부에서 수상제도, 세제감면 등 그린화학 활성화를 위해 다양한 유인제도를 개발하여 시행하고 있다.

그린화학이 미국에서 처음 시작한 지 10여 년이 흘렀지만 대부분의 국가들은 1990년 중반에서야 그린화학을 도입하였으므로 그 시행효과를 정량적으로 분석하기에는 관련자료가 부족한 실정이다. 그러나 미국과 오스트리아가 OECD의 그린화학 워킹그룹에서 발표한 그린화학 시행효과를 볼 때 화학물질 관리의 사전오염예방정책으로서의 그 경제적 가치는 매우 큰 것으로 확인되었다.

한편 우리나라의 화학물질과 관련된 사전오염예방 관련정책으로는 환경부의 유해화학물질 배출량조사제도와 환경표지제도, 산업자원부의 청정생산기술, 산업체의 자

발적인 운동인 Responsible Care 등을 들 수 있으며, 직접 관련이 있는 그린화학에 대한 개념은 아직 도입되지 않은 실정이다. 또한 그린화학에 대한 별도의 R & D 사업은 없으며, 현재 환경부에서 추진중인 차세대환경핵심기술개발사업과 산업자원부, 과학기술부에서 추진중인 연구사업에서 그린화학과 관련된 연구가 일부 수행되고 있다. 그러나 청정생산기술은 화학산업 뿐 아니라 모든 산업체를 대상으로 오염물질이 최소한으로 배출되는 제품생산에 주력하는 기술개발사업으로, 그린화학과 같이 안전한 화학제품 생산에 집중적으로 지원하지 못하고 있다. 그 외 유해화학물질 배출량조사 제도나 환경표지제도 등은 안전한 화학제품 생산을 간접적으로 유도할 수 있는 소극적인 개념의 사전오염예방정책이라, 국내에서는 엄밀한 의미에서의 화학물질 분야의 사전오염예방기술이 개발되고 있지 못한 실정이다.

아직 선진국 수준에 미치지 못하고 있는 우리나라 화학물질 관리체계에서의 시급히 해결해야 할 문제점으로 첫째, 화학제품중 불순물 및 부산물에 대한 관리미흡, 둘째, 화학제품에 대한 관리정책 미흡, 셋째, 화학물질 관리의 비규제수단 부족 등을 들 수 있다. 한편 WSSD 등에서 제시한 화학물질 관리방향 등을 고려해 볼 때 국제적으로 화학물질 규제기준이 지속적으로 강화될 것이며, 화학제품의 통합관리정책(IPP) 등 새로운 관리정책 시행이 국제적인 압력으로 다가오고 있다. 이와 같이 국내 화학물질 관리상의 문제점을 해결하고 국제 동향에 효과적으로 대응하기 위해서는 안전한 화학제품 생산은 필수적이며, 이를 적극적으로 지원하는 그린화학은 반드시 도입되어야 하는 선진정책인 것이다. 이러한 그린화학의 구체적인 국내 도입방안은 향후 관련연구 수행과 함께 진행되어야 하며, 본 보고서에서는 우선 조사된 외국의 시행현황과 국내 관련제도의 운영현황을 비교·분석하여 다음과 같이 국내 화학물질 관리와 그린화학의 연계방향을 제안하고자 한다.

우선 그린화학 시행을 위한 역할분담을 보면, 정부는 그린화학관련 R & D사업 지원, 교육 및 홍보프로그램 개발 및 시행, 세제감면과 보조금 지급 등과 같은 활성화방안 마련, 위해정보 공유를 위한 위해정보전달체계 구축 등의 역할을 수행하여야 할 것이다. 학계는 그린화학 기술개발의 주체이며, 그 외 화학제품에 대한 위해성평가·검증 및 기법개발, 그린화학 교육교재 개발 등을 담당하여야 하고, 산업체는 그린화학

기술개발 및 실용화방안 마련, 화학물질 및 제품의 위해정보생산 및 제공, Responsible Care와 그린화학과의 연계방안 등을 모색하여야 한다. 전문협회 및 시민단체는 그린화학의 연구방향 및 결과에 대한 토론에 적극 참여하고, 화학제품에 대한 사회적 요구사항을 수렴하여 제안하는 역할을 수행하여야 한다. 또한 시민단체는 학계에서 수행하게 될 화학제품에 대한 위해성평가 및 검증과정에 적극 참여하여 소비자의 안전에 노력하여야 한다.

한편 그린화학을 국내에 도입할 경우 현재의 화학물질 관리체계내에서의 그린화학의 연계 및 추진방향은 다음과 같이 제안하고자 한다.

첫째, 그린화학에 대한 연구 및 개발프로그램은 기존의 환경기술에 대한 R & D 사업을 확대하여 그린화학을 포함시키는 것이 타당하다. 환경부의 『차세대핵심환경 기술개발사업』 내에 『그린화학 기술(가칭)』이라는 단위사업을 신설하여 그린화학(즉, 화학제품과 관련된 기술)은 이 사업내에서 통합적으로 추진될 수 있도록 하고 화학제품과 관련이 없는 환경친화형 물질 개발 등은 단위사업 『사전오염예방기술』에 포함시키도록 한다. 그린화학 기술(가칭)의 주요 중점과제로는 그린화학의 원칙에 맞춰 ① 위해성 없는 화학제품 개발, ② 폐기물 발생이 없는 화학제품 생산, ③ 에너지 효율이 높은 화학제품 생산 등으로 하며, 중점과제별 핵심소재를 대체원료물질, 대체 반응물질, 대체용매, 대체제품/대체분자, 공정분석화학, 대체촉매 등의 개발로 하여 그린화학에 관련된 여러 기술에 대해 균형 있는 지원이 이루어지도록 한다. 각 과제의 선정기준은 첫째, 산업공정 및 생활에서 화학제품으로 인한 위해성을 저감시키는 데 크게 기여하는 기술 및 소재, 둘째, 한정된 예산에서 성과를 얻을 가능성이 높은 소재개발, 셋째, 그린화학의 주무부처인 환경부의 역할 및 정책적 지향에 적합한 소재 개발지원 등으로 제안하고자 한다. 이상과 같은 제안을 기초로 향후 구체적인 국내 그린화학 R & D 사업계획 및 추진 일정 등이 마련되어야 할 것이다.

둘째, 교육 및 홍보프로그램은 학교교육, 산업체교육 및 시민교육으로 나누어 추진한다. 우선 학교교육으로는 그린화학 강좌를 개설하고 관련 교과서 발간, 화학물질 합성과 관련된 교과목 내용에 그린화학을 포함시키며, 산업체 교육은 화학과 관련된 학술지에 그린화학 코너를 신설하여 외국의 최신 연구동향 및 국내외 연구결과를 제

공하고, 그린화학과 관련된 워크숍 및 심포지엄을 정기적으로 개최한다. 일반 시민들에 대한 교육은 그린화학에 대한 안내책자를 발간하거나 사이버교육 형태가 바람직한데, 이는 별도의 사이버교육프로그램을 개발하기보다는 기존에 정부가 실시하고 있는 환경관련 사이버교육프로그램(환경부의 사이버교육프로그램은 한국환경정책·평가연구원에서 운영하고 있음)의 화학물질 관리분야에 그린화학을 포함시켜 운영하는 것이 현실적이며 효과적이다.

셋째, 자료수집 및 공유프로그램으로는 선진국과 같이 그린화학네트워크를 구성하는 것이 바람직하며, 자료공유 및 그린화학에 대한 일반 시민들의 적극적 참여는 국가 차원의 『위해정보전달체계』 구축시 이를 고려하여 추진되어야 할 것이다.

넷째, 정부의 활성화방안은 그린화학에 대한 수상제도 마련, 현재의 신기술에 대한 세제감면제도 활용, 그린화학물질 및 제품에 대한 심사자료 면제 및 감면 등을 추진하여야 한다.

차례

제1장 서론	1
1. 연구의 목적	1
2. 연구내용 및 방법	2
제2장 그린화학에 대한 고찰	4
1. 시행배경	4
2. 그린화학의 목적과 주요원리	9
3. 그린화학의 기법	13
제3장 그린화학의 국제적 시행현황	18
1. 연구 및 개발프로그램	21
2. 교육 및 홍보프로그램	32
3. 정보수집 및 공유프로그램	36
4. 정부의 활성화방안	39
5. 관련학술단체	51
제4장 그린화학의 시행효과 및 향후 전망	59
1. 그린화학의 시행효과	59
2. 그린화학의 향후 전망	65
제5장 그린화학 관련 국내제도 및 연구동향 분석	69
1. 그린화학 관련제도 및 프로그램	69
가. 유해화학물질 배출량조사제도	69
나. 청정생산기술	71

다. 환경표지제도	74
라. Responsible Care	75
2. 그린화학 관련연구	77
3. 그린화학과의 비교	82
제6장 화학물질관리와 그린화학과의 연계방향	85
1. 우리나라 화학물질의 관리현황	85
2. 화학물질 관리상의 문제점과 향후 전망	89
가. 화학물질 관리상의 문제점 - 그린화학과의 연계하여	89
나. 화학물질 관리의 향후 전망	92
3. 그린화학의 국내 도입의 필요성	93
4. 화학물질 관리와 그린화학과의 연계방향	97
가. 그린화학 시행을 위한 역할분담	97
나. 세부 연계방향	102
제7장 결론	113
참고문헌	117
<부록> OECD의 그린화학조사보고서	119
Abstract	144

표차례

<표 2-1> 그린화학 목적에 따른 실천원리	10
<표 3-1> OECD 조사결과에 따른 각국의 그린화학시행현황	20
<표 3-2> 일본의 Simple chemistry program의 주요 프로젝트	26
<표 3-3> 영국의 그린화학연구네트워크 중점분야	31
<표 3-4> 미국 그린화학전문가시스템의 모듈	37
<표 3-5> 유럽그린·지속가능화학상 채택 기준	40
<표 3-6> 미국의 Presidential Green Chemistry Challenge Program 제출보고서 내용	44
<표 3-7> 미국 그린화학 프로그램 협력체	45
<표 3-8> 호주의 그린화학상 수상기준	48
<표 4-1> 오스트리아 화학산업체의 폐수배출	61
<표 4-2> 오스트리아 화학산업체의 대기 배출	61
<표 5-1> 청정생산기술의 발전 추이	72
<표 5-2> 선도기술개발사업의 그린화학 연구과제 수행성과	78
<표 5-4> 차세대핵심환경기술개발사업의 그린화학 연구과제 수행현황	80
<표 5-5> 청정생산관련기술 국내 추진현황	81
<표 5-6> 그린화학과 국내 관련제도와의 비교표	84
<표 6-1> 신규화학물질의 유해성심사의 신청에 필요한 자료	87
<표 6-3> 그린화학 시행을 위한 역할분담	101

그림차례

<그림 2-1> 미국의 환경법 증가추세	5
<그림 2-2> 유해화학물질의 정책개념 변화	8
<그림 2-3> MARS에 보고된 중대사고 발생추이	11
<그림 2-4> MARS에 보고된 사고의 심각성 정도	11
<그림 3-1> 미국 EPA의 그린화학 로고	23
<그림 3-2> 미국 EPA의 그린공학 로고	23
<그림 3-3> 그린화학교육 프로그램의 주요 참여대상 연구원·기관	33
<그림 3-4> 그린화학과 교육체계의 통합수단	33
<그림 3-5> 그린화학교육의 주요수단 및 교재	34
<그림 3-6> 그린화학교육 관련 주요 프로그램·프로젝트	34
<그림 3-7> 유럽그린·지속가능화학상 체계도안	41
<그림 4-1> 청정생산기술의 시간에 따른 경제적 효과	60
<그림 5-1> 청정생산기술의 개념도	73
<그림 5-2> Responsible Care의 로고	76
<그림 6-1> 우리나라 화학물질 관리체계도	86
<그림 6-2> 화학물질 관리방안과 그린화학과의 관계	95
<그림 6-3> 사회구성원의 그린화학에 대한 실천	97
<그림 6-5> 환경부 차세대핵심환경기술개발사업내의 그린화학기술사업(안)	105

제1장 서론

1. 연구의 목적

1990년대 들어 선진국의 환경정책이 위해성에 기초한 통합환경관리(Risk-based Integrated Environmental Management) 체계로 전환되었고, 리우선언에서도 지속가능한 사회를 건설하기 위해 화학물질의 위해성 관리를 강조한 바 있다. 위해성 관리란 우리가 일상생활에서 사용하고 있는 화학물질 중 위해가 있다고 확인되거나 의심되는 물질의 사용을 제한하여 화학물질로 인한 피해를 최소화하는 것이다. 그러나 이와 같이 화학물질 생산 이후의 관리에 치중하던 종전의 관리체계에서 화학물질 합성 단계 또는 화학제품 생산단계부터 위해성이 적은 물질을 생산하도록 하는 화학물질 관리의 사전오염예방정책이 새롭게 시도되었다. 이것이 1990년 미국 EPA에서 처음으로 도입하여 시행하고 있는 그린화학 정책으로 화학물질 위해성 관리정책으로의 그 실효성을 인정받아 1990년대 중반부터는 일본, 영국, 독일 등 선진국들이 이 정책을 도입하였으며, 최근에는 OECD 등 화학물질 관련 국제기구에서 그린화학의 제도를 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 그린화학은 또한 물질관리에서 제품관리체제로 전환되고 있는 국제적인 화학물질 관리정책 변화 기조에서 제품관리를 위한 기반확립을 위해 반드시 요구되는 정책이다.

그러나 아직 우리나라에서는 환경정책 전반에 대한 사전오염예방원칙이 강조되고는 있으나, 화학물질 관리에서 사전오염예방을 위한 구체적인 정책이 시행되고 있지는 못한 실정이다. 또한 대부분의 국가들이 리우선언과 WSSD 회의에서 제의된 화학물질 분야의 지속가능발전전략에 따라 안전한 화학제품 생산을 21세기 화학물질 관리정책의 주요 목표로 선정할 가능성이 매우 크기 때문에 우리도 이에 대한 대응책 마련이 요구된다. 한편 우리나라 화학물질 관리의 가장 큰 문제점 중 하나는 유해화학물질 관리로 지정된 이후의 관리정책, 즉 유해화학물질 사용을 제한 또는 금지하고

이들의 대체물질 사용을 의무화하는 등의 정책이 선진국에 비해 매우 미흡한 실정이며, 이는 대체물질 개발에 대한 정부의 지원과 산업체의 관심이 부족한 때문이다. 따라서 향후 국제적인 화학물질 관리기조에 동참하고 국내 화학물질 관리의 기반을 다지기 위해서는 안전한 화학제품 생산을 정책적으로 유도하고 장려할 수 있는 제도가 요구되며, 이는 선진국과 같이 그린화학 정책을 통해 해결가능하다.

이에 본 연구에서는 화학물질 관리의 사전오염예방정책으로 국제적으로 시행되고 있는 그린화학에 대해 도입배경과 주요 원리, 각국의 시행현황, 시행효과 등을 살펴보고, 화학물질의 위해성 관리체계 확립을 위해 국내도입이 필요한지를 살펴보았다. 또한 외국의 시행사례와 우리나라 화학물질 관리현황에 비추어 국내 관리체계내에서 그린화학을 시행하게 될 경우 고려해야 할 사항으로 화학물질 관리주체의 역할분담 및 분야별 연계방향을 도출하였다. 본 연구는 OECD 등 국제적으로 적극 권고하고 있는 그린화학에 대한 연구를 통해 화학물질의 위해성으로부터 국민의 건강과 환경을 보호하고 우리나라 화학물질 관리정책의 선진화를 꾀하고자 수행되었다.

2. 연구내용 및 방법

본 연구의 주요내용은 국내외 그린화학에 대한 주요 동향을 분석하고 이를 토대로 국내 도입방안을 도출하고자 다음과 같이 구성되어 있다.

첫째, 그린화학에 대한 고찰로, 그린화학의 시행배경과 시행목적을 파악하고 그린화학의 주요 원리와 기법을 살펴보았다.

둘째, 그린화학의 국제적 시행현황을 살펴보고자 연구 및 개발프로그램, 교육 및 홍보프로그램, 정부의 활성화방안, 정보수집 및 공유프로그램 등 네 분야로 나누어 미국, 일본, 영국 등 선진국과 OECD, EU 등 국제기구의 시행현황을 비교·분석하였다. 또한 국제적으로 그린화학 활동을 활발하게 하고 있는 관련학술단체와 그린화학 네트워크 등을 조사하여 그린화학에 대한 그들의 역할과 주요 활동사항을 조사하였다.

셋째, 그린화학이 도입된 지난 10년 동안의 시행효과를 미국과 오스트리아를 중심으로 살펴보고, 향후 그린화학 기술이 나아갈 방향에 대해 전망해 보았다.

넷째, 아직 국내에서는 그린화학이 도입되지는 않았으나 그린화학에 관련된 청정생산기술, Responsible Care 등의 제도가 시행되고 있어 이들 관련제도를 그린화학과의 비교·분석하였고, 국내에서 시행되고 있는 그린화학 관련 연구동향을 살펴보았다.

다섯째, 국내 화학물질 관리와 그린화학과의 연계방향을 모색하고자 우리나라 화학물질의 관리현황과 화학물질 관리상의 문제점을 그린화학에 연계하여 도출하였으며, 이에 따른 그린화학의 국내 필요성을 확인하였다. 또한 그린화학에 국내 화학물질 관리와의 연계방향을 도출하고자 화학물질 관련 주체들, 즉 정부, 산업체, 시민 등의 역할분담과 분야별 추진방향을 제안하였다.

그 외 1998년 OECD가 회원국을 대상으로 각국의 그린화학 시행현황 및 관련제도를 조사하기 위해 실시한 설문조사 결과를 부록에 수록하여, 우리나라를 위시한 다른 국가들의 그린화학 시행현황을 비교할 수 있도록 하였다.

관련자료는 주로 문헌조사, 관련저널 및 인터넷을 통해 수집하였으며, 관련문헌은 미국 등 선진국에서 대학교 교재로 개발된 그린화학 책을 참조하였다. 또한 「그린화학지」 등의 그린화학 전문학술지를 통해 그린화학의 기술동향 및 전망을 도출하였으며, 각국의 그린화학네트워크에 접속하여 현황자료를 수집하였다.

특히 일본의 통산성과 일본화학혁신연구소(JCII)를 방문하여 그린화학에 대한 일본 정부의 활성화방안 및 관련 기업의 자발적 노력 등을 살펴보고 관련자료를 수집하였다. 우리나라와 화학물질 관리체계가 유사한 일본의 그린화학 시행현황은 향후 국내에 그린화학을 도입하기 위한 좋은 사례이며, 이는 본 보고서 『제 6장 화학물질 관리와 그린화학과의 연계방향』을 도출하는데 참조자료로 활용되었다.

그 외 국내 화학물질 관련전문가 및 시민단체와의 토의를 통해 화학물질 관리의 문제점과 그린화학 도입의 필요성, 도입시 고려하여야 할 사항을 도출하였다.

제2장 그린화학에 대한 고찰

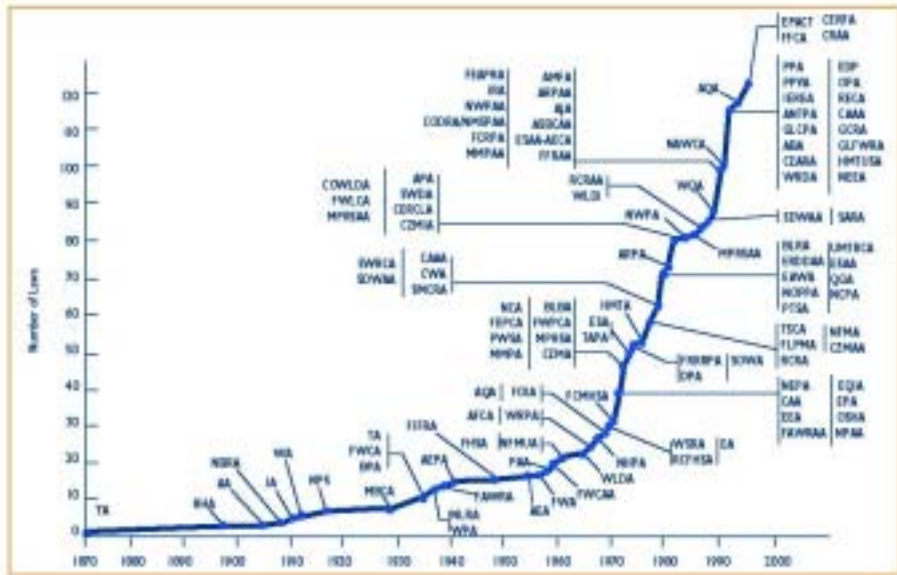
1. 시행배경

지난 세기동안 화학분야는 항생물질과 같은 약품의 개발을 통해 의학적인 혁명을 이끌었다. 그 결과 1900년에는 47세이던 기대수명이 1990년대에는 75세로 늘어났다. 또한 화학을 통해 작물을 보호하고 성장을 촉진하는 물질들을 개발함으로써 전세계 식량공급이 폭발적으로 증가하였고, 운송, 통신, 의복, 주거 등에서도 삶의 질을 향상시켰다.

이처럼 많은 화학물질의 유용성에도 불구하고, 1950년대 후반과 1960년대 초반 들어 인체의 건강이나 환경에 미치는 화학물질의 위해성 문제가 제기되기 시작하였다. 특히 1961년에 유럽에서 일어난 탈리도마이드¹⁾ 문제와 1962년에 출판된 레이첼 카슨의 「침묵의 봄」 등의 영향으로 사람들은 화학물질의 사용으로 인해 예기치 못한 부작용이 일어날 수 있음을 깨닫게 되었다. 이어 1960-1980년대에는 화학물질로 인한 환경문제가 좀 더 명료하게 나타나 이들 문제 해결을 위한 관련법률 및 규정이 마련되기 시작하였다(<그림 2-1>). 여기에 타임즈 비치사건과 러브 커넬사건으로 인해 화학물질을 위시한 환경오염에 대한 우려가 더욱 커져, 결국 전세계적으로 가장 먼저 미국 의회가 특정 환경문제를 다루는 새로운 법안을 통과시켰다.

그 법안이 바로 Superfund로 이를 통해 오염지역의 정화가 이루어지고 있으며, 때로는 환경재앙을 통해 새로운 법률이 마련되기도 하는데 1970년대의 「맑은 물(Clean Water)」과 「깨끗한 공기(Clean Air)」 관련법규가 제정되었으며 1980년대의 CFCs 관련 규정, 인도의 보팔사고로 인해 미국의 Emergency Planning and Community Right-to-Know Act 등이 제정되기도 하였다.

1) Thalidomide, 임신초기의 구토증상등을 완화시키는 약품



<그림 2-1> 미국의 환경법 증가추세

그러나 초기의 환경법률들은 환경으로의 화학물질 유출과 인체에 대한 노출에 대한 이해가 부족하여 일단 환경에 배출된 화학물질을 대기, 수질 및 토양내에서 처리하는 것에 초점을 맞추었다. 그 후 화학물질의 독성 종말점(end-points)과 환경적 영향에 대한 개념이 알려지면서 환경법도 환경으로 배출되는 화학물질의 양을 엄격히 제한하는 방향으로 전환되었는데, 이때의 환경규정은 대부분 정부의 직접규제(Command and Control)에 의해 실행되었다. 1990년대 들어서는 단순히 환경배출을 억제시키고 환경질에서의 농도를 규제하는 사후처리 방식에서 사전에 오염원의 발생을 최소화시킬 수 있는 화학물질의 전생애 관리 또는 사전오염예방으로 관리정책이 전환되었으며, 이와 같은 기초에 발맞추어 미국의 경우 1990년에 오염방지법²⁾이 의회에서 통과되었다.

2) Pollution Prevention Act

사전오염예방(Pollution Prevention, P2)을 실천하기 위한 새로운 정책들이 1990년대에 수립되었는데, 특히 화학물질 및 화학산업에 대한 정책이 많이 개발되었다. 미국의 TRI³⁾ 조사결과에 의하면 환경중으로 유해화학물질을 배출하는 대표적인 산업은 화학산업으로, 유해물질을 배출하는 상위 10위까지의 산업분야중 화학산업은 나머지 9개 분야의 배출량 총합보다 많은 양의 유해물질을 배출하는 것으로 확인되었다. 따라서 산업 전반에서의 사전오염예방도 매우 중요하지만, 화학산업에서 화학물질의 배출을 최대한 억제하는 예방정책이 환경오염을 저감하는데 매우 효과적임이 입증되었다. 화학산업에서의 사전오염예방은 배출원 관리, 공정관리, 재활용 증대, 가정내에서의 화학제품 안전관리, 그린화학 등을 통해 실현될 수 있다(<그림 2-2>).

그린화학 또는 지속가능한 화학이란 『효율적·효과적이며 안전하고 환경친화적인 화학제품 및 공정의 설계·제조·사용⁴⁾』을 촉진하는 제도로서, 유해⁵⁾ 물질(또는 독성물질)의 생산 또는 사용을 최대한 저감하기 위해 화학제품과 화학공정을 설계하는 것을 의미한다. 이는 다른 사전오염예방과는 달리 화학산업 및 화학제품에 국한하여 실시되는 제도이며, 유해한 물질(제품의 개념도 포함)의 배출을 저감하는 단계를 넘어 유해한 물질의 생산 자체를 최소화하는 상위개념의 사전오염예방정책이다. 따라서 주로 분자(Molecule) 수준에서의 환경친화적이며 안전한 제품의 합성 및 생산을 활성화시킨다. 물론 다른 사전오염예방정책에서도 안전한 제품의 생산을 장려하고는 있으나, 20세기 들어서부터 사용되어 온 오래된 제품이나 공정을 좀 더 안전하게 바꾸기보다는 새로운 제품의 안전성을 높이는데 많은 노력을 기울이고 있다. 이에 비해 그린화학은 신규제품 뿐 아니라 기존의 제품이라도 그 위해성이 의심되는 제품을 좀 더 안전한 제품으로 바꾸어 화학물질로 인한 위해성을 최소화 또는 사전에 예방하고자 하는 노력이다⁶⁾.

3) Toxic Release Inventory, 유해화학물질배출량조사제도

4) OECD는 그린화학을 “The design, manufacture and use of efficient, effective, safe and more environmentally benign chemical products and processes”로 정의함

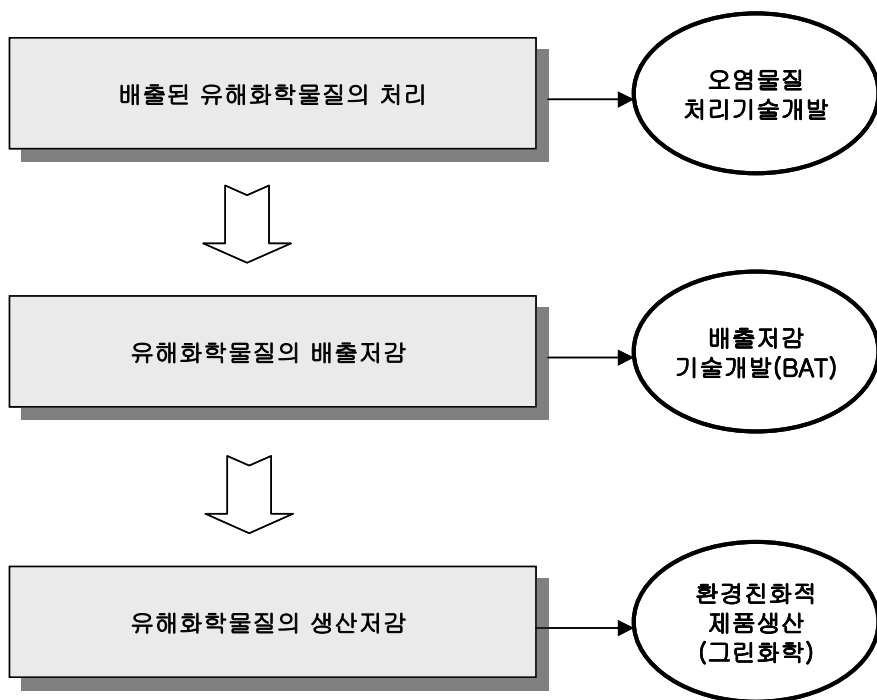
5) 이때 “유해한 물질”은 hazard 또는 toxicity 개념에서 물질 자체의 독성이 있는 물질을 의미함. 이에 비해 “위해한 물질”은 risk 개념에서 유해한 물질이면서 인간이나 환경에 노출이 많이 되는 물질을 의미함

6) 그린화학의 도입으로 인해 그동안 환경문제 해결에 소극적이었던 합성화학 전문가들의 역할이 매우

또한 그린화학은 지속가능한 사회(Sustainable Society) 구현을 위한 화학물질 분야의 추진 과제 중 하나로 안전한 화학제품의 생산 및 사용으로 인해 화학물질의 위해성으로부터 국민의 건강과 환경을 보호하고 자원을 절약하기 위한 기반사업이다. 이런 이유로 OECD는 그린화학 대신 “지속가능한 화학”이라는 용어를 사용하고 있다.

이와 같은 그린화학은 1990년 미국 EPA에서 처음 도입되어, 현재 영국, 독일, 일본 등 대부분의 선진국에서 시행되고 있다. OECD는 1998년 위해성 관리프로그램(Risk Management Program, RMP)내에 그린화학위원회를 설치하여 각 회원국내의 정부, 산업계 및 학계에서 수행중인 그린화학 관련현황을 조사한 바 있으며, 현재 10개 국가가 참여하여 그린화학 시행지침을 작성 중에 있다. 그러나 우리나라에서는 아직 그린화학에 대한 개념조차 소개되지 않은 상황으로, 일부 유사한 개념의 제도(본 보고서 제 5장 참조)가 시행되고는 있으나 화학물질분야의 사전오염예방 및 지속가능한 발전 실현을 위한 제도로는 미흡한 실정이다.

중요해짐. 화학분야중 전공분야에 따른 환경문제 관련여부를 살펴보면, 분석화학은 환경오염의 평가 및 확인 과정에, 물리화학은 환경시스템 모델개발에, 지구화학은 지구환경문제 해결에 관련되어 있음



<그림 2-2> 유해 화학물질의 정책개념 변화

2. 그린화학의 목적과 주요원리

그린화학의 궁극적인 목적은 “제품의 기능은 그대로 유지하되 독성(또는 유해성) 없는, 폐기물발생이 없는, 에너지 효율적인 화학제품의 생산⁷⁾”이며, 본 보고서에서는 이와 같은 그린화학의 목적을 통틀어 포괄적인 개념인 “안전한 화학제품 생산”으로 서술하고자 한다. 한편 안전한 화학제품을 생산하기 위해서는 다음 <표 2-1>에서와 같은 원리를 적용해야만 한다.

우선 독성이 없거나 적은 화학제품을 생산하기 위해서는 이와 같은 안전한 화학제품을 합성하는 기술의 개발이 요구된다. 환경적으로 안전한 화학물질은 첫째, 독성기작을 일으키는 특정 반응에 대한 화학물질의 구조변경, 둘째, 독성기작에 대한 정보가 부족할 때 화학물질의 구조와 독성간의 상관관계를 통해 독성영향을 저감·제거, 셋째, 화학물질의 생체이용가능성(bioavailability)을 최소화하는 방법 등을 통해 생산될 수 있다. 또한 제품이 폐기물 형태 또는 사고로 환경중으로 배출되었을 때 쉽게 분해될 수 있도록 합성되어야 할 것이다. 최근 들어 사람의 건강과 환경을 위협하는 유해 화학물질의 일반적인 특성 중 하나가 환경에 오래 잔류하고 쉽게 분해가 안되며 먹이사슬을 통해 고농도로 생물 농축된다는 점이다(예, POPs⁸⁾, 내분비계 장애물질, PBTs⁹⁾ 등). 최근의 화학물질 및 제품의 개발과정에서는 이와 같은 화학물질의 특성이 최소화될 수 있도록 노력하는 것이 국제적인 추세이다.

한편 근래 들어 우리나라를 비롯한 대부분의 국가에서 사고로 인한 화학물질의 노출로 많은 인명상 피해와 환경파괴가 발생되고 있다. EU의 중대사고보고지침(MARSI¹⁰⁾)에 의하면 사고발생률이 높은 주요 산업체는 석유·정유·석유화학 산업, 제약·농약 산업 등 주로 화학물질과 관련된 것으로 밝혀졌다. 사고의 발생빈도와 피해규

7) “The ultimate goal of hazard-free, waste-free, energy-efficient synthesis of non-toxic products without sacrificing efficacy of function”

8) Persistent Organic Pollutants

9) Persistent, Bioaccumulative, Toxicants

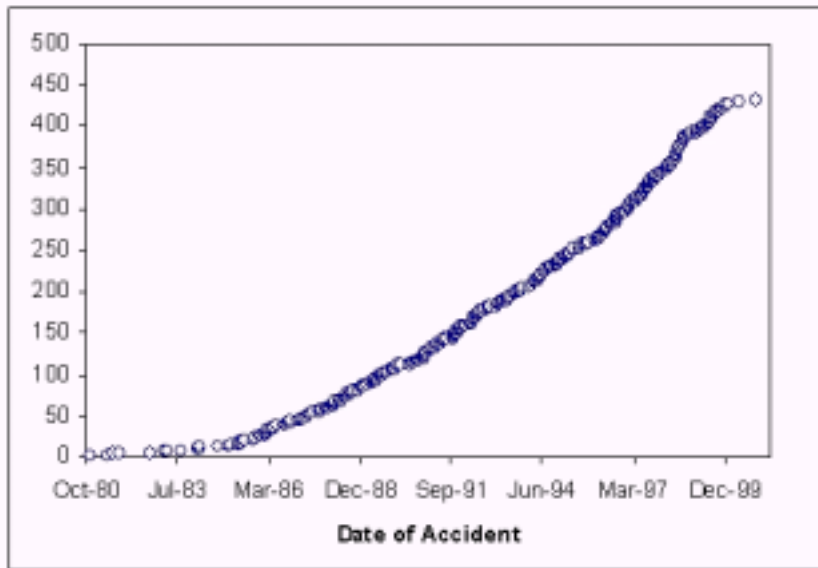
10) Major Accident Reporting System

모가 갈수록 증대되고 있는데, 다음 <그림 2-3>와 <그림 2-4>에서 보면 1980년대부터 1990년대까지 화학물질로 인한 사고가 갈수록 증가하고 있음을 알 수 있으며 대부분의 사고의 피해규모가 매우 큰 것을 알 수 있다. 따라서 향후의 화학제품은 사고 원인이 될 수 있는 폭발성, 인화성, 확산속도 등을 고려하여 사고의 발생가능성 및 그 피해 규모를 최소화할 수 있도록 개발되어야 할 것이다

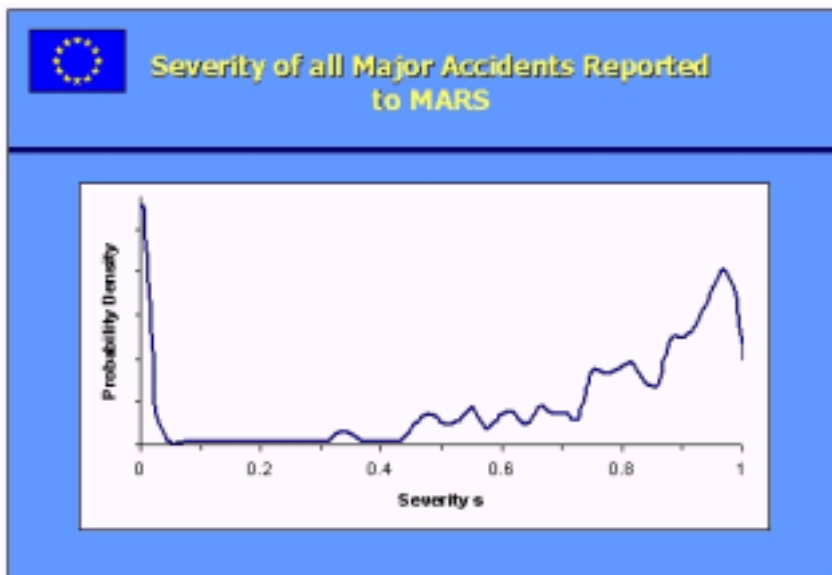
<표 2-1> 그린화학 목적에 따른 실천원리

목적	주요 원리
○독성없는 화학제품생산	○사람의 건강과 환경에 미치는 독성이 없거나 최소화할 수 있는 합성방법 개발 ○환경에서 쉽게 분해되는 제품 개발 ○사고의 위험이 적은 제품개발로 사고로 인한 인명 및 환경상 피해를 최소화
○폐기물 발생이 없는 화학 제품생산	○폐기물의 사전발생 예방 ○화학공정에서 보조제의 사용을 최대한 억제 ○재생가능한 원료물질의 사용 ○불필요한 파쇄공정을 최대한 억제
○에너지 효율이 높은 화학 제품생산	○모든 원료물질이 제품에 최대한 포함될 수 있는 합성방법 개발 ○독성을 낮추더라도 제품 고유의 기능은 손상되지 않는 합성방법 개발 ○최적온도 및 압력을 유지할 수 있는 합성방법 개발 ○에너지 효율을 극대화 할 수 있는 방법 개발

자료 : Anastas & Warner. 1997. 「Green Chemistry : Theory and Practice」



<그림 2-3> MARS에 보고된 중대사고 발생추이



<그림 2-4> MARS에 보고된 사고의 심각성 정도

한편 기존 화학제품에 비해 폐기물의 발생이 최소화 될 수 있는 제품을 생산하기 위해서는 화학공정에서 사용되는 모든 원료물질을 가능한 한 재생가능한 물질로 대체하여 사용하는 것이 바람직하다. 또한 불필요한 파쇄공정을 최대한 억제하여 폐기물의 발생을 사전에 예방한다. 그 외에도 화학공정에서 용매나 분리제와 같은 보조물질의 사용은 필수적이나 가능한 한 그 사용을 억제하고, 만약 사용할 경우 무해한 보조제를 선택하여야 한다. 보조물질은 분자 또는 화학제품의 합성에서 특정 장애를 극복하기 위해 고안된 물질로, 용매뿐 아니라 분리액 등 많은 종류의 보조물질들이 널리 이용되어 왔다. 특히 용매 중 할로젠화 용매의 경우에는 효과가 좋아 널리 사용되어 왔지만 독성에 대한 우려가 점차 높아지고 있는 실정이다. 분리액의 경우에는 재결정화(recrystallization)와 크로마토그래피가 대표적인 방법으로 이용되는데 에너지 소모, 보조물질의 독성, 폐기물 문제 등이 제기되고 있다. 기존의 보조물질을 대체할 수 있는 방법에는 초임계 유체의 이용, 무용매 시스템, 수성(aqueous) 시스템, 고정화된 용매(immobilized solvent) 이용 등이 있다. 초임계 유체의 경우 온도 및 압력 변수를 변화시켜 용매의 특성을 조절할 수 있다는 점을 이용해 유해한 용매들을 대체할 수 있고, 무용매 시스템의 경우 여러 기업체 및 학계에서 활발한 연구가 진행되고 있다.

그 외 에너지 효율이 높은 화학제품 생산을 위해서는 우선 화학물질의 제품화율을 극대화시켜 공정에 이용되는 모든 물질들이 최종 제품에 포함되도록 합성방법이 고안되어야 한다. 원자경제(Atom economy)란 모든 반응물질들이 최종 제품화되는 정도를 평가하는 것으로, 만약 모든 반응물질이 완전히 제품에 통합될 경우 그 합성경로는 원자경제학적으로 100%에 도달했음을 의미한다. 따라서 공정에 이용되는 물질의 제품화율을 극대화시키면 공정중에 환경으로 배출되는 물질이 최소화되므로, 가능한 한 화학제품의 원자경제적 효율을 극대화하도록 개발되어야 한다. 그 외 독성을 낮추더라도 제품 고유의 기능은 손상되지 않는 합성방법과 함께 최적온도 및 압력을 유지하여, 화학제품 생산에 필요한 에너지 효율을 극대화시켜야 할 것이다.

3. 그린화학의 기법

그린화학의 목적과 원리를 실천하기 위한 노력으로 현재 사용되는 있는 주요 기법 등은 다음과 같다.

가. 대체 원료물질

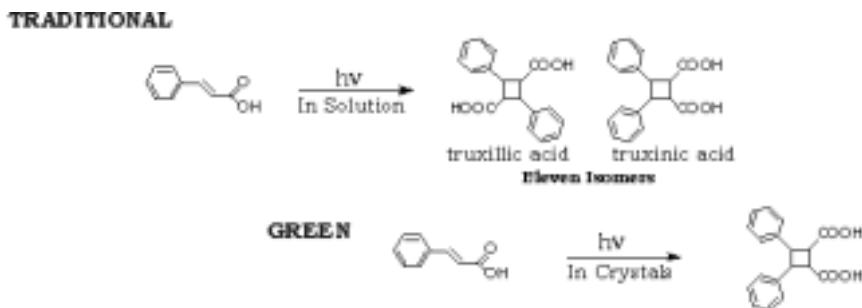
반응형태 또는 합성경로의 특성은 대부분 원료물질의 선택에 좌우되며, 원료물질의 선택은 합성경로의 효율뿐 아니라 공정으로 인한 환경 및 보전에 영향을 미친다. 즉, 제조업자들이 어떤 원료를 선택하느냐에 따라 해당물질을 취급하는 근로자, 공급자, 운송업자 등의 노출 및 위해성이 결정된다. 따라서 원료의 선택은 그린화학의 의사결정 과정 중 매우 중요한 부분이다.

현재 미국의 모든 유기화학물질의 98%가 석유원료로부터 합성된다. 또한 석유정제에 드는 에너지가 미국에서 사용되는 총 에너지의 15%를 차지하며 그 양은 점차 증가하고 있다. 석유를 유용한 유기화학물질로 전환하기 위해서는 산화과정을 거쳐야 하는데, 이 과정이 모든 화학물질 합성에서 오염을 야기하는 주요 공정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 대체원료를 개발하고 있는데 일반적으로 농업 및 생물학적 원료(예, 다당류 폴리머, 글루코즈 화합물 등)가 뛰어난 대체원료로 사용될 수 있다. 이외에도 요즘 연구가 활성화되고 있는 대체원료로는 빛이 있는데, 기존의 석유 산화공정에서 사용된 중금속을 가시광선으로 대체할 수 있음이 밝혀졌다.

나. 대체 반응물질

각 합성 공정에서 물질전환에 요구되는 반응물질을 평가하기 위해 효율, 이용가능성(availability), 영향 등의 기준을 비교·평가해야 한다. 또한 물질전환 과정도 화학량(化學量) 적인가 또는 촉매작용을 하는가, 원자경제학적인가의 여부와 해당 반응물질의 사용으로 인해 발생하는 폐기물의 특성에 대해서 평가되어야 한다. 대체 반응물

질에 대한 최신 경향은 다음 <그림 2-5>에 볼 수 있는데, Cinnamic acid의 이량체화(dimerization) 과정에서 과거의 방법은 11개의 isomer를 생산하여 불필요한 반응물질을 부산물로 만들었으나 그린화학 개념이 도입된 최근의 방법에서는 반응물질이 생성되지 않는다.

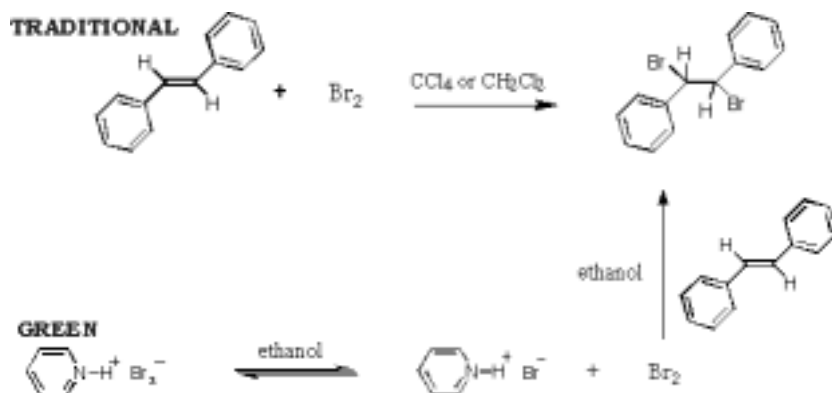


<그림 2-5> 그린화학을 이용한 Cinnamic acid의 이량체화

자료 : Bell, C.E., Clark, A.K., Taber D.F., Rodig, O.R. 1997, 「Organic Chemistry Laboratory: Standard and microscale experiments」 Saunders College Publishing, Philadelphia, 2nd Ed., Ch.32

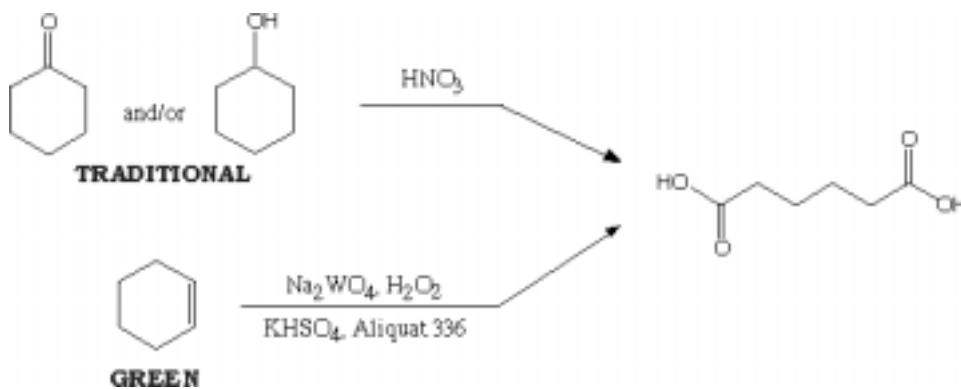
다. 대체 용매

현재 용매는 전자산업, 페인트 및 코팅, 인쇄, 세정분야, 의약과 농약 등 여러 산업 분야에서 사용되고 있지만 대부분의 경우 휘발성 유기화합물질(VOCs)이거나 독성이 있어 대체용매의 필요성이 더욱 커지고 있다. 용매의 사용 추세는 무용매 사용> 물> 저독성용매 순으로 전환되고 있으며 이에 따라 수성시스템(aqueous system), 이온 용액(ionic liquids), 고정화된 용매(immobilized solvent), dendrimer, amphiphilic star polymer, 초임계 유체(supercritical fluid) 등과 같은 대체용매가 개발되고 있고 ethyl lactate, butyl lactate, methyl siloxanen 등의 용매 사용이 점차 증가하고 있다. 실제로 <그림 2-6>의 올레핀의 브롬화과정을 보면 과거에는 사염화탄소(CCl_4)가 용매로 사용되었으나, 최근에는 저독성 용매인 에탄올이 사용되거나, <그림 2-7>의 Adicic acid 합성과 같이 아예 용매가 사용되지 않는 방법이 개발되기도 하였다.



<그림 2-6>그린화학을 이용한 Olefin의 브롬화

자료 : Bell, C.E., Clark, A.K., Taber D.F., Rodig, O.R. 1997, 「Organic Chemistry Laboratory: Standard and microscale experiments」 Saunders College Publishing, Philadelphia, 2nd Ed., Ch.32



<그림 2-7>그린화학을 이용한 Adipic acid 합성

자료 : Bell, C.E., Clark, A.K., Taber D.F., Rodig, O.R. 1997, 「Organic Chemistry Laboratory: Standard and microscale experiments」 Saunders College Publishing, Philadelphia, 2nd Ed., Ch.32

라. 대체 제품 · 대상 분자

화학물질 분자의 일부 조작을 통해 화학물질의 효능은 유지하면서 독성 또는 유해성을 줄일 수 있으며, 이를 위해서는 분자의 어떤 부분이 유해한 기능을 하는지 밝히고 그 부분을 제거하는 연구가 요구된다. 최근 대체제품의 개발이 활발한 분야는 내분비계 장애물질로 확인되었거나 의심되는 물질로, 특히 플라스틱의 첨가제인 비스페놀 A와 프탈레이트, 노닐페놀류 등에 대한 대체제품 개발에 많은 투자와 관심이 집중되고 있으며 TBT¹¹⁾에 대한 대체물질은 이미 개발되어 일본 등의 국가에서는 상용화되고 있다.

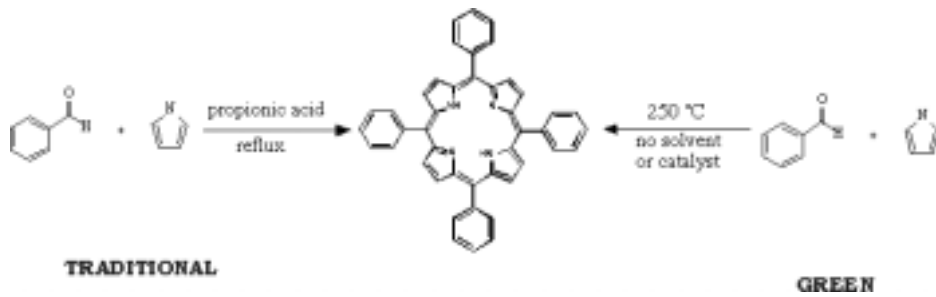
마. 공정분석 화학

공정분석 화학을 통해 화학물질 합성 중 반응조건을 실시간으로 측정하고 그 결과에 따른 반응변환 능력을 평가할 수 있다. 공정분석 화학분야에서 여러 연구가 수행되고 있으며 특히 생명공학분야에서 적용가능성이 높다.

바. 대체 촉매

지난 수 십년간 화학, 특히 산업화학에서 크게 발전한 분야는 촉매분야이다. 촉매는 화학공정의 효율성을 높일 뿐 아니라 환경적으로 많은 이점이 있다. 그 예로 촉매의 개발 및 사용으로 공정에 드는 반응물질의 양과 폐기물 발생량을 저감할 수 있다. 하지만 일부 촉매, 특히 중금속류의 촉매는 독성이 매우 높아 저독성 촉매를 개발하거나 촉매를 사용하지 않는 화학공정을 개발하는게 그린화학의 최근 추세이며, 이는 다음 <그림 2-8>에서와 같이 5,10,15,20-meso-Tetraphenylporphyrin를 촉매없이 합성하는 방법을 보면 확인할 수 있다.

11) Tri-butyl Tin, 유기주석계 방오제



<그림 2-8>그린화학을 이용한 5,10,15,20-meso-Tetraphenylporphyrin 합성

자료 : Bell, C.E., Clark, A.K., Taber D.F., Rodig, O.R. 1997, 「Organic Chemistry Laboratory: Standard and microscale experiments」 Saunders College Publishing, Philadelphia, 2nd Ed., Ch.32

제3장 그린화학의 국제적 시행현황

그린화학은 1990년 초 미국에서 처음 그 개념이 도입되었는데, 1990년 미국의 오염 예방법(the Pollution Prevention Act)이 제정된 후 EPA의 오염예방 및 독성물질국(OPPT¹²⁾)은 기존의 화학제품과 화학공정을 사람의 건강과 환경에 덜 유해한 것으로 대체할 수 있는 아이디어를 개발하게 되었다. 그 결과 1991년 『사전오염예방을 위한 대체합성경로¹³⁾』라는 연구지원프로그램을 착수하였고, 이 프로그램이 후에 그린화학프로그램으로 확대되었다. 그린화학프로그램을 통해 사전오염예방이 효과적으로 이루어짐을 확인한 미국 정부는 1995년 3월 『Presidential Green Chemistry Challenge Program』을 실시하여, 이를 통해 미국은 자국 내에서 화학기술의 혁신을 통한 오염물질배출과 자원이용 저감효과 및 학계의 그린화학 연구 활성화를 달성하게 되었다. 이러한 미국의 성공적인 사례는 유럽과 아시아의 다른 국가들을 고무시켰고, 이로 인해 영국에서는 그린화학네트워크가 창립되었다. 또한 이탈리아, 독일, 오스트레일리아에서는 그린화학상을 포함한 여러 활동들이 시작되었다. 이들 국가들 이외에도 OECD, IUPAC, CEFIC, IFCS 등 국제기구·국제활동 등은 화학물질 관리와 관련된 의제에 그린화학을 포함하기 시작하였다.

이중 OECD는 1998년 『지속가능한 화학(이하 그린화학)』이라는 환경적으로 건전한 화학제품을 생산하기 위한 새로운 프로젝트를 착수하였고, 그 첫 번째 단계로 1998년 봄 미국 EPA가 중심이 되어 OECD 각 회원국의 그린화학에 대한 현황조사를 실시하였다. OECD의 조사결과는 다음 <표 3-1>과 부록 I에 수록하였다. 그 후 1998년 10월 이탈리아에서 제1차 그린화학 워크숍¹⁴⁾이 개최되어 현재의 그린화학 관련기술 수준을 확인하고 향후 추진방향을 도출하였으며, 2000년 10월 제 2차 그린화학 워크숍¹⁵⁾이 일본에서 개최되어 그린화학 추진의 근간이 되는 R&D사업을 도출한 바 있다.

12) Office of Pollution Prevention & Toxics

13) "Alternative Synthetic Pathways for Pollution Prevention"

14) OECD 관련문서 : [ENV/JM/MONO(99)19]

OECD의 1차 그린화학 워킹숍에서는 다음과 같은 OECD에 대한 권고사항이 결의되었다.

첫째, 혁신적인 그린화학기술의 개발 및 연구를 적극 지원하고 권장할 것.

둘째, 화학산업체, 연구소 및 대학의 과학자들이 그 동안 수행한 그린화학의 성과를 확인할 것.

셋째, 인터넷 등을 통해 그린화학 관련정보를 확산시킬 것.

넷째, OECD국가들에게 그린화학의 시행지침을 개발·제공하여 향후 그린화학에 대한 비회원국들의 관심을 유발할 것 .

다섯째, 화학교육에 여러 단계에 그린화학의 개념과 원리를 도입하여 교육시킬 것 등이다.

따라서 OECD회원국인 우리나라도 화학물질 관리와 사전오염예방의 원칙을 준수하기 위해 그린화학의 개념 도입과 함께 선진국에서 시행하고 있는 그린화학 현황을 파악하는 것이 요구된다. 이에 다음과 같이 그린화학을 연구 및 개발프로그램, 교육 및 홍보프로그램, 정부의 활성화방안, 정보수집 및 공유프로그램, 관련학술단체로 나누어 각 국의 시행현황을 조사하여 다음과 같이 정리하였다.

15) OECD 관련문서 : [ENV/JM/MONO(2002)12]

<표 3-1> OECD 조사결과에 따른 각국의 그린화학시행현황

국가	연구 및 개발활동	교육 및 홍보활동	정부의 활성화활동	정보수집 및 공유활동
호주	1	1	-	O
벨기에	11+	5	3	O
캐나다	-	-	1	O
프랑스	6+	6+	3	O
독일	12+	7	3	O
이탈리아	13+	10+	5	O
일본	8+	9	7	O
한국	2+	2+	3	O
스웨덴	1+	-	3	O
스위스	1+	2	-	O
영국	4+	2+	4	O
미국	12+	9+	3+	O
EniChem*	6+	-	2	-
Euro*	1	-	-	-

*하나 이상의 국가에서의 활동사항을 보고한 산업체

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

1. 연구 및 개발프로그램

대부분 그린화학을 실행하고 있는 국가에서의 관련 연구 및 개발프로그램의 범주는 크게 재생·재활용이 가능한 원료 이용연구, 에너지 효율을 증가시키거나 생산대비 에너지 사용 저감연구, 잔류성·생물농축성·독성물질 사용저감방안연구로 구분된다. 이를 좀더 세분화하면 다음과 같다.

- ① 유해물질의 사용 및 발생저감을 통해 인체건강과 환경에 미치는 영향을 고려한 제품과 공정 디자인 추구
- ② 오염물질 배출 및 부산물, 잔재물, 폐기물 발생을 최소화할 수 있는 공정개발
- ③ 다양한 제조공정에 실용적으로 널리 적용할 수 있는 공정 디자인 추구
- ④ 에너지와 자원소비를 저감하고 원료 및 화학물질의 순환적 이용을 증진시킬 수 있는 기술/운영 체계 개발
- ⑤ 재생가능한 원료의 이용을 증진시킴으로써 재생불가능한 원료에의 의존도를 저감시키는 혁신기술 개발
- ⑥ 원료들을 재생가능화하여 환경자원을 보존할 수 있는 혁신제품 개발
- ⑦ 인체건강 및 환경에 미치는 화학제품과 공정의 결과를 예측하는 개념 및 방법 개발

한편 R & D의 주체는 화학산업체, 연구단체 및 학계 등이었으며, 몇몇 정부와 관련 협회들도 연구에 참가하기도 하였다. 각 국의 R & D 시행현황은 다음과 같다.

가. OECD

그린화학을 이미 실시하는 국가를 보면 정부, 산업체, 학계 등으로 구성된 그린화학 협력체계가 운영되고 있는데, 이와 같은 협력체계는 특히 그린화학의 기초가 될 새로운 과학 및 기술의 개발과 보급에 중점을 두고 있다. OECD는 그린화학에 대한 OECD의 역할을 회원국들이 그린화학 프로그램을 구축하고 정부, 학계 및 산업체에서 이를 수행할 수 있도록 도와주는 것으로 규정하고 있다.

한편 OECD는 그린화학의 주요 기술분야를 크게 세 분야로 나누어 여러 활동을 계획하고 있다. 주요 기술분야는 첫째, 대체합성을 이용하는 것이다. 대체합성이란 재생 가능성이 있고 인체 및 환경에 대한 독성이 상대적으로 적은 대체 물질을 사용하고, 덜 유해하고 촉매작용이 가능한 시약을 이용하며, 효율 및 선별을 위해 생합성, 생촉매작용, 생명공학에 기초한 화학물질 변환을 이용하는 것이다. 둘째, 대체용매 및 반응조건을 이용하는 것이다. 이에 해당하는 예에는 환경에 대한 잠재 위해성을 줄일 수 있는 용매를 디자인하고 이용하는 것, 생산된 물질의 선별성을 증가시키고 분리공정의 dematerialization이 가능한 반응 조건을 디자인하는 것, 투입 에너지 요구량과 과도한 에너지 이용에 따른 환경적 영향을 저감시키는 방향으로 화학물질 변환을 디자인하는 것 등이 있다. 셋째, 보다 안전한 화학물질로 디자인하는 것이다. 이를 위해 독성원리를 통합하는 분자구조 디자인과 생물 및 생태계에 대한 독성을 최소화하는 활동기작 등을 이용한다.

특히 연구 및 개발프로그램을 위해 OECD는 다국적 연구 협동체계를 지원하는데, 이는 각 국가들의 과학기금 재단을 위한 협동체계로서 다른 국가들의 연구자들 간의 협력 증진을 위한 다국적 연구기금으로 구성되어 있다.

나. 미국

미국 EPA에서 추진하는 사전오염예방정책에는 그린화학(Green Chemistry, GC)을 포함하여 환경을 위한 디자인(Design for Environment, DfE), 그린공학(Green Engineering, GE) 등 여러 정책이 있다.

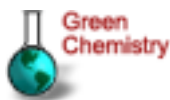
우선 그린화학의 경우 연구 및 개발사업은 미국 EPA의 그린화학프로그램에서 추진되고 있는데, 연구활성화를 위한 사업으로는 『Presidential Green Chemistry Challenge Program』이 가장 대표적이며 그 외 EPA의 『소규모사업장 혁신 연구사업 프로그램¹⁶⁾』과 EPA/NSF¹⁷⁾의 『지속가능한 환경을 위한 기술개발프로그램¹⁸⁾』

16) Small Business Innovation Research Program

17) National Science Foundation, 국가과학기금

18) Technology for a Sustainable Environment program

에서도 그린화학과 관련된 연구가 수행중이다. 미국의 그린화학 연구는 OECD에서와 같이 대체합성경로 연구, 대체반응조건연구, 안전한 화학물질의 디자인 등 세 분야로 나뉘어 진행되고 있으며, 『Presidential Green Chemistry Challenge Program』을 통해 1996년부터 현재까지 7년간 5개 분야에서 연구성과가 뛰어난 사업에 대해 수상을 한 바 있다.



<그림 3-1> 미국 EPA의 그린화학로고

반면 그린공학은 그린화학을 포함하는 포괄적인 개념으로, 그린화학이 환경적으로 안전한 화학제품 및 공정을 디자인하는데 그친 데 반해 그린공학은 그와 같은 화학제품 및 공정의 디자인·상업화·사용까지 포함하는 확대된 개념이다. 그린공학은 교육, 소프트웨어, 산업체, 보급활동의 4개 부문으로 이루어지고 있으며, 특히 “그린” 개념에 대한 기초교육을 중시해 학부 학생들을 위한 교재개발 등에 많은 노력을 기울이고 있다. 또한 화학공학자들이 공정 디자인을 할 때 화학물질의 위해성을 사전에 평가할 수 있는 소프트웨어를 개발하여, 새로 개발된 물질이 시장에 출시되기 전에 화학물질의 안전성을 확인할 수 있도록 하고 있다. 산업체에서는 학습 교제, 방법 및 사례 연구들을 변화시켜가며 지속적인 교육 과정을 수행하고 있고, 정부는 그린공학 관련 교육과정, 사례 연구, 공정 디자인 방법 등에 관한 정보의 원활한 흐름을 위해 학계 및 산업체에 관련 자료들을 제공하고 있다.



<그림 3-2> 미국 EPA의 그린공학로고

한편 환경을 위한 디자인(이하 DfE)이란 『기업체의 사업관련 의사결정과정에서 건강과 환경의 개념을 고려할 수 있도록 주요 정보를 제공함으로써, 산업체가 자발적으로 환경을 개선하도록 하는 정부와 산업체의 제휴프로그램』이다. 즉, 그린화학프로그램과 그린공학프로그램 등에서 개발된 기술과 정보를 관련 산업체에게 제공하여 산업체가 적극적으로 이들 정보를 의사결정과정에서 활용할 수 있도록 하는 제도이다. 관련 활동으로는 첫째, 산업체 내에서 특정 기능을 수행하는 기술·제품·공정들 및 이와 연관된 오염방지 기회 규명, 둘째, 대체물질의 위해성·효능·비용의 평가 및 비교, 셋째, 관련 정보를 산업계에 배포, 넷째, 지속적인 환경개선과 정보사용 장려를 위한 인센티브 제공 등이 있다. DfE 프로젝트는 잠재적으로 건강, 안전성 및 생태위해성을 저감시키고, 효율 및 소비자 수용성(customer acceptance)을 증가시키며, 근로자의 사기와 생산성을 높이는 장점을 갖는다. 또한 규제 부담을 줄이고, 이해당사자간의 대화, 협동 채널을 증진시키며 사업 및 시장기회를 확장시킬 수 있다. DfE의 접근방식에는 청정기술대체효과평가¹⁹⁾, 통합환경관리체계²⁰⁾, 전생애평가, Formulator initiative, Best shop practices, 공급체계의 녹색화 등이 있다. 특히 이 중에서 청정기술대체효과평가는 대체된 청정기술의 사용효과를 과학적 평가(즉, 위해성평가)와 비용효과 분석을 통해 산업체가 새로운 기술을 도입하는데 많은 효과가 있음을 확인시켜 주고 있다.

다. 일본

일본에서의 그린화학 연구는 『선사인 프로젝트』 등 국가 R & D사업에서 추진되고 있으며, 일본화학협회²¹⁾와 일본화학혁신연구원 등에서 관련사업이 진행되고 있다.

19) Cleaner Technologies Substitutes Assessment, CTSA

20) Integrated Environmental Management System, IEMS

21) Chemical Society of Japan, CSJ

1) 선샤인 프로젝트

1970~80년대에 일본 통산성²²⁾은 에너지 및 환경분야에서 3개의 독립된 프로젝트 - 신에너지에 관한 『Sunshine project』, 에너지 보존에 관한 『Moonlight project』, 환경기술에 관한 『R & D project』 - 를 시행한 바 있다. 이때 에너지와 환경분야에서의 업무가 상당부분 겹치거나 관련성이 있다는 점을 깨닫고 통산성은 이 세 프로젝트를 통합하여 1993년 『뉴선샤인 프로젝트(New Sunshine Project)』를 새로이 시작하였다. 이 프로젝트의 목적은 에너지 및 환경 문제를 해결하기 위해 혁신적인 기술을 개발하고 지속가능한 성장을 이루는 것이다. 뉴선샤인 프로젝트는 다음과 같이 3개의 체계로 이루어져 있다. 첫째는 혁신적인 기술개발로서, 지구 온난화 방지계획을 수행하기 위해 혁신적인 에너지 및 환경기술이 요구된다. 둘째는 국제적인 대규모의 협동 연구프로그램으로 『New Earth 21』이 수행되고 있다. 셋째는 적정 기술에 관한 R & D 협력사업으로, 협동연구와 증강된 개발 프로그램은 에너지 및 환경 기술을 협력국가에서 실용화 될 수 있도록 노력하고 있다. 한편 뉴선샤인 프로젝트의 주요 연구분야에는 재생가능한 에너지, 화석연료 이용의 개선, 에너지 운송 및 저장, 조직화기술, 환경기술, 에너지 및 환경 측면과 관련된 기초 기술, 선도 연구 프로그램, 계획에 기초한 창조적인 연구 및 개발 증진 프로그램 등이 있다.

이와 같은 뉴선샤인 프로젝트 중 그린화학과 관련된 세부연구분야가 『Simple Chemistry』로 이는 화학 공정을 단순화시켜 에너지와 자원의 절약을 최대화하고 오염물질 배출을 최소화하는 혁신적인 개념을 도입하는데 그 목적이 있다. 일본 화학업체들은 에너지와 자원 절약을 최대화하는 공정 기술 개발에 노력해왔고, 1994년 일본 화학엔지니어협회²³⁾에서는 산학 협동으로 에너지와 자원 절약 기술을 연구하기 시작했다(<표 3-2>). 일본화학엔지니어협회의 건의에 따라 1995년 일본 정부(통산성)는 예산을 투입하여 『Simple Chemistry』 프로그램을 개시하였고, 연구의 주제는 일본화학엔지니어협회, 일본화학혁신연구원, 일본화학산업협회, 신에너지·산업기술개발연구소²⁴⁾와 협의하여 선정하고 있다.

22) Ministry of International Trade and Industry, MITI

23) Society of Chemical Engineers, Japan, SCEJ

24) New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO

<표 3-2> 일본의 Simple chemistry program의 주요 프로젝트

주요 프로젝트명	연구 참여자
lower olefin으로의 naphtha 촉매전환	4업체, 3대학, 1국가기관
light alkane의 선택적 산화를 위한 새로운 촉매 및 화학반응공정	5업체, 7대학
고체 촉매를 이용한 단순 합성공정	3업체, 1국가기관
반응 및 분리 공정을 통합한 새로운 막 기술	4업체, 8대학, 1국가기관

자료 : 일본그린화학네트워크, <http://www.gscn.net>

2) 초임계유체²⁵⁾ 연구프로젝트

초임계 유체에 관한 연구 프로젝트는 물질및화학조사연구원²⁶⁾, 산업과학및기술청, 통산부, 일본화학혁신연구원²⁷⁾이 참여하는 프로젝트이다. 환경 친화적인 초임계 유체에는 주로 이산화탄소와 물이 사용되며, 초임계 유체를 이용하는 기술을 통해 에너지를 절약하고 유해한 유기 용매 사용을 피하며 유해폐기물을 분해할 수 있다. 이 프로젝트는 1997-1999년 동안 신에너지·산업기술개발연구소 등에 의해 수행되었다.

3) 일본화학협회의 연구활동

학계, 정부 및 산업체와의 합동 연구의 예로서, 일본화학협회와 지구혁신기술연구소²⁸⁾는 이산화탄소 저감 기술과 친환경적인 화학공정이라는 프로젝트를 공동으로 수행하였다. 이산화탄소 저감기술과 관련하여 중점적으로 연구되는 분야는 크게 ① 비화석연료(태양에너지 등)부터의 새로운 에너지원 개발, ② 에너지 절약을 위한 혁신적인 화학기술, ③ 촉매, 전기화학, 광화학공정, 생체시스템을 통한 이산화탄소 전환 증진의 3가지이다. 그리고 친환경적인 화학공정 프로젝트에서는 친지구환경 및 친천

25) Super Critical Fluids, SCF

26) National Institute of Materials and Chemical Research, NIMC

27) Japan Chemical Innovation Institute, JCII

28) Research Institute of Innovative Technology for the Earth, RITE

연자원에 중점을 두고 ① 폐기물(부산물)의 양, ② 물질의 위험성, ③ 에너지 소비, ④ 반응의 복잡성 등 4가지 관점으로부터 화학반응을 조사하고, E-factor와 원자이용도 (degree of atom utilization)를 사용하여 20개 이상의 관련 화학공정을 평가한다. 이 두 프로젝트를 통해 교육부의 재정적 지원을 받아 신축매 디자인과 촉매화학공정에 관한 연구가 시행된 바 있다. 또한 화학물질 안전성과 관련하여 일본화학협회는 환경 및 위해성 방지를 위한 두 전문가 그룹과 함께 『환경 및 안전을 위한 위원회』를 설립하였다.

4) 일본화학혁신연구원의 연구활동

일본내에서 그린화학에 대한 활발한 연구를 수행하고 있는 일본화학혁신연구원의 연구활동을 보면, 상업화된 연구결과로는 acrylamide의 효소합성, TBT에 대한 대체 방오제, 가성 소다 생산공정의 변환 등이 있다. 1985년 도입된 nitrile hydratase에 의한 acrylamide의 효소합성은 Nitto 화학회사가 개발한 것으로 미생물의 활성을 4배나 촉진시켰다. 또한 인체보건에 미치는 안전성 문제로 인해 1990년 사용이 금지된 TBT에 대해 여러 페인트 제조업체들은 TBT보다 독성이 적은 대체물질을 세계 최초로 개발하였다. 마지막으로 1976년 수은이 미치는 잠재적인 영향으로 인해 기존에 가성소다 생산을 위해 사용되었던 수은 방식이 금지되었고, 그 후 80% 이상의 공정이 이온교환막 방식으로 변환되어 수은 방식보다 약 30% 높은 에너지 효율을 나타내고 있다. 이상과 같이 일본내에서의 그린화학에 대한 연구 및 관련활동은 매우 활발하게 진행되고 있었다.

라. 독일

1) 개발도상국에서의 그린화학 현황연구

브라질과 독일의 대학에서 개발도상국의 그린화학 및 에너지 사용에 대한 연구 프로젝트를 수행한 바 있다. 개발도상국들은 많은 양의 생물량(biomass)을 가지고 있으며, 이들 국가의 재생가능한 자원 중 상당 부분이 에너지와 산업용 원료로 이용될 수

있다. 1995년 브라질에서 연료(석탄, 석유)와 원료 생산을 위해 생물량을 이용하는 연구가 시작되었는데, 이 프로젝트의 목적은 환경적으로 건전한 상황에서 생물량을 화학물질을 위한 에너지 및 원료로 이용할 수 있는 석유와 석탄으로 전환시키는 것이다.

화석연료로 사용하는 것 이외에도 생물량으로부터 숯을 사용하기도 한다. 철강을 생산하는 다른 모든 국가들은 석탄으로부터 코크스를 이용하는 반면, 브라질의 철강 공장에서는 생물량으로부터의 숯을 이용하였다. 1994년 브라질의 철 생산에서 무쇠의 34%, 강철의 18%가 숯을 이용하여 생산되었다. 프로젝트에서는 낮은 온도 전환의 열촉매 공정이 생물량에 대한 유망한 기술인지의 여부를 밝히기 위해 노력하였고, 그 결과 숯이 화석연료의 대체 원료로 이용될 수 있음을 알아냈다. 생물량은 석유 및 석탄과 유사한 제품으로 전환될 수 있고, 따라서 이러한 제품은 석유화학, oleochemistry 또는 에너지 이용과 연계될 수 있다. 결과적으로 이 공정은 유해 유기 염소 화합물(다이옥신 등)을 지속적으로 분해하고, 반응조건의 자극성이 적기 때문에 soft chemistry로 분류될 수 있다. 이후 적절한 주요 생물량 및 생물량 폐기물의 동정, 생물량의 이용가능성 및 지리적 분포, 질량평형 및 제품의 이용, 국소적, 지역적 및 지구적 생태학적 측면, 경제 및 마케팅, 사회적 측면 및 수용, 남반구의 다른 국가들에 대한 관련성 등의 연구도 진행되었다.

2) 독일연방교육연구부²⁹⁾

독일에는 연방정부로부터 지원 받는 환경연구활동 체계가 있고, 이를 통해 각 부서에서 승인된 연방 차원의 모든 연구 및 개발(환경 보호, 과학 및 기술, 농업, 운송, 경제 등)이 이루어진다. 그 주요목적은 지속가능성 지향, 환경부담 및 환경보호 비용 저감, 경쟁력 증강과 전세계 환경상품 시장의 확대, 산업체의 일자리 보존 등이다. 연구 분야에는 미화로 약 6억 달러가 지원되는데, 첫째, 지역 및 지구적 환경 공학(교외, 도시 집약, 지구적 변화), 둘째, 지속가능한 경제로의 접근(청정 생산, 디자인에 있어서 생태적인 제품, 환경관리), 셋째, 환경교육의 세 분야로 나뉜다. 이들 중 지속가능한 경제로의 접근법은 경제의 잠재적인 혁신성을 활성화시키고, 환경에 대한 부담을

²⁹⁾ German Federal Ministry of Education and Research, BMBF

줄이며, 자원 소비로부터의 경제 성장을 완화시키고, 비용저감 가능성 개발과 독일 환경산업의 경쟁력 강화에 그 목적이 있다.

한편 독일연방교육연구부는 『화학연구 및 기술 프로그램』을 통해 그린화학 관련 연구에 대한 자금을 지원하는데, 해당 연구에는 산업 관련 주요 기술들에 대한 경쟁력 있는 연구 및 개발 프로젝트, 지속가능한 개발에의 기여(원료 고효율, 폐기물 및 배출 저감, 에너지 소비 감소, 안전 공정 등), 산학 협동체계의 증진, 산업 경쟁력 강화 등이 있다.

이외에도 다가올 세대에 대비하여 촉매, 초분자 시스템, 화학공정의 비선형 역학, 조합(combinatorial) 화학, 미세반응기술 등의 연구에도 관심을 기울이고 있다. 촉매는 지속가능성의 측면에서 화학 및 화학공정을 증진시키는 데에 중요한 역할을 한다. 독일연방교육연구부가 지원하는 신촉매 개발 프로젝트의 예로서 합성고무의 생산을 들 수 있다. 이 공정은 기체상 반응에 기초하기 때문에 운송을 위한 용매가 필요하지 않고, 공정 단위의 수를 줄이며, 반응조의 디자인을 단순화시킨다. 이로 인해 에너지 소비와 연료 사용이 줄어들었고, 오늘날의 85% 효율이 약 99%까지 달성될 수 있으리라 예상된다.

또한 『비선형 규제 및 관리 방법을 통한 모형근거(model-based) 공정』에 관한 시험적인 프로젝트가 실시되었고, 그 결과 기존 공정과 비교하여 반응 시간이 약 25%까지 감소했으며 작동 시간이 감소되고 오염물질 배출이 저감되었다.

미세반응기술은 화학물질 생산공장을 집결시키기 위해 이용될 수 있는 미세구조 구성을 발전시켰다. 이러한 방식의 이점은 첫째, 이동가능한(mobile) 공장에서 유해 또는 불안정한 화합물질이 요구되는 시점과 장소에서 생산될 수 있기 때문에 저장 및 운송에 대한 높은 비용을 줄일 수 있다. 둘째, 많은 열을 생산하는 공정이 적절히 관리되고 안전한 방식으로 이루어질 수 있다. 셋째, 대규모 공장에서의 비정상(unsteady) 상태 또는 폭발 상태에서의 공정은 관리가 매우 어려운데 반해, 미세반응조는 제품이 높은 선별력과 양질로 생산되는 상황에서 외부 공정에 개방되어 있다.

종합적으로 볼 때 독일내에서 그린화학과 관련하여 각기 다른 단계에서 매우 다양한 접근이 독일연방교육연구부의 지원하에 이루어졌고, 이를 위해 정부, 산업체, 학계

및 협회 등이 노력해 왔다. 그러나 보다 강화된 협동체계가 요구되며 과학 및 기술 개발은 좋은 수단이 될 것으로 예상하고 있다. 또한 파이프 말단 기술 대신 기체상 고분자화 기술을 이용하는 사례와 같은 통합된 환경 접근방식이 국제적 협력 분야에서 요구된다.

마. 스웨덴

스웨덴에서 그린화학과 관련한 정부프로그램은 세가지가 있으며, 모두 기술및산업발전국가위원회³⁰⁾에서 시행하는 프로그램이다. 첫째, 『환경적으로 지속가능한 표면처리 프로그램』은 기술및산업발전국가위원회, 연구소, 학회, 산업체가 공동으로 수행하는 프로그램으로 참여업체들은 프로젝트 비용의 50%을 지원한다. 이 프로그램은 1994년에서 1997년까지 저온 고형분 코팅, 카드뮴 및 크롬을 제거한 공정에 관해 연구하였고, 1997년에서 1999년까지 인 공정, 배출수로부터 중금속 재생, 표면처리 기술에 대한 일반적인 정보에 주력하였다. 둘째, 『천연자원에 기초한 세제 센터』는 왕립기술연구원³¹⁾을 기본으로 구축되었고 기술및산업발전국가위원회, 왕립기술연구원, 산업체의 협동 하에 수행되었다. 주된 목적은 전체 또는 부분적으로 천연 자원을 이용한 안전성 있는 세제 정보 체계를 구축하는 것이다. 셋째, 『재생가능한 자원으로부터의 양수성(amphiphilic) 폴리머 센터』인데, 본 센터는 Lund 대학에 기초하고 기술및산업발전국가위원회, Lund 대학, 산업체의 동의에 의해 이루어졌다. 설립목적은 양수성 폴리머의 생산과 특성에 대한 기초 연구를 수행하여 섬유소 및 녹말과 같은 재생가능한 자원의 이용을 돕는 것이다.

30) National Board for Technical and Industrial Development, NUTEK

31) Royal Institute of Technology, KTH

마. 영국

그린화학연구네트워크³²⁾는 영국 공학물리학연구위원회³³⁾의 자금지원을 받으며, 연구진행 및 기술이전을 가속화시키기 위해 그린화학 관련 전문가와 다양한 단체들이 협동할 수 있는 기회를 제공하는 네트워크이다. 설립목적은 첫째, 산업체와 학계 간, 화학자와 공학자간 논의를 위한 포럼으로서 역할을 수행하고, 둘째, 그린화학공정을 상업적으로 적용시키기 위해 소규모 연구의 확대에 필요한 연구를 촉진하고 장려하며, 셋째, 청정합성 및 대체반응매체 분야의 근로자와 관련 공학자간의 협력을 증진시키는 것이다. 주요 분야는 청정합성과 대체반응매체의 두 분야이며, 그 예는 다음 <표 3-3>과 같다.

한편 그린화학연구네트워크에서는 청정합성 및 공학과 대체반응매체로 하위 네트워크 그룹을 만들어 워크숍을 개최하고 그린화학연구 및 적용에 관한 논의그룹을 구성할 계획이다. 이를 위해 그린화학연구네트워크는 하위그룹의 관심사를 반영한 워크숍을 해마다 개최하고, 전자메일, 연구자들간의 방문교환, 비디오 회의개최, 소식지 발간 등을 수행하고 있다.

<표 3-3> 영국의 그린화학연구네트워크 중점분야

분야	해당 사례
청정합성	• 선택적 공정을 통해 화학물질 합성에서 폐기물 발생을 저감시키고 원자이용율을 늘림 • 보다 지속가능한 원료 및 공정으로 전환 • 작업 단순화와 촉매재생 • 촉매로 반응물질 대체
대체반응매체	• VOC 이용과 손실(loss)을 저감시킴 • 보다 환경친화적이고 무독성인 용매로 전환 • 보다 지속가능한 공정으로 전환

32) Green Chemistry Research Network, GCRN

33) Engineering and Physical Sciences Research Council, EPSRC

2. 교육 및 홍보프로그램

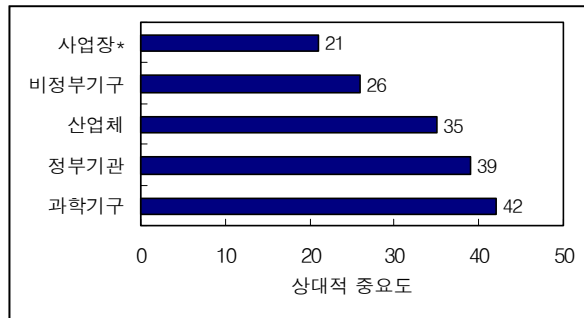
가. OECD-IUPAC³⁴⁾

2001년 이탈리아 베니스에서 IUPAC와 OECD는 그린화학 교육에 관한 워킹숍을 개최한 바 있다. 본 워킹숍은 INCA³⁵⁾에 의해 주관되었으며 정부기구, 학계, 산업체, 화학협회, 산업협회, 환경 연구원 등의 대표들이 참석하였다. 그린화학 교육에 관한 OECD-IUPAC 워킹숍에서의 중점 사항은 다음의 다섯 가지로, ① 그린화학을 교육시스템에 접목시킬 수 있는 기존의 정부 및 산업체 프로그램(R&D, 수상제도, 정보, 수단 등), ② 기존의 그린화학 교재, 수단, 수행근거, ③ 그린화학 교육을 실시하는 교육 분야, ④ 새로운 교재·수단을 통한 그린화학 교육프로그램 노력 및 수행, ⑤ 그린화학 교육프로그램 수행에 필요한 책임 및 권고사항 등이다.

한편 독일, 이탈리아, 영국, 미국, 네덜란드, 호주 등 총 20개 국가의 44개 기관에서 자국의 그린화학 교육현황에 대해 IUPAC에 워킹숍 보고서를 제출한 바 있다. 그 중 그린화학 교육프로그램의 주요 참여대상 연구원·기관, 그린화학 교육체계의 주요 통합원, 주요 수단 및 교재, 관련 주요 프로그램·프로젝트 등 세부적인 조사내용을 바탕으로 얻은 결과는 다음과 같다. 우선 그린화학 교육프로그램의 주요 참여대상 연구원·기관으로는 다음 <그림 3-3>에서 나타난 바와 같이 과학기구, 정부기관, 산업체 등이며, 산업체의 참여도가 가장 낮았다. 또한 그린화학을 기존 교육체계에 접목시키는 주요 방법은 대학과 정부프로그램이었으며, 교육수단은 온라인과 도서의 중요도가 가장 높았다(<그림 3-4>와 <그림 3-5>). 마지막으로 관련 주요 프로그램·프로젝트에서는 교사훈련과정과 대학강좌가 높은 중요도를 나타냈으며 이외에도 연구소 강좌, 회의·워킹숍, 특정자금지원, 전문강좌 등이 실시되고 있었다(<그림 3-6>).

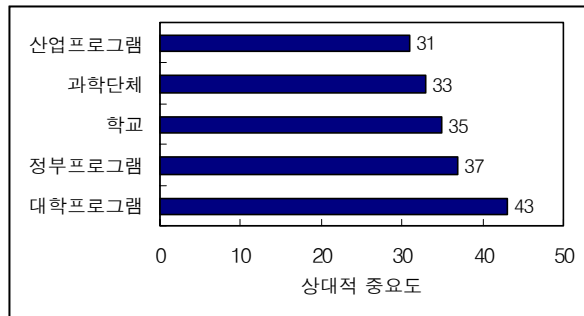
34) International Union for Pure and Applied Chemistry

35) Interuniversity Consortium "Chemistry for the Environment"(INCA)



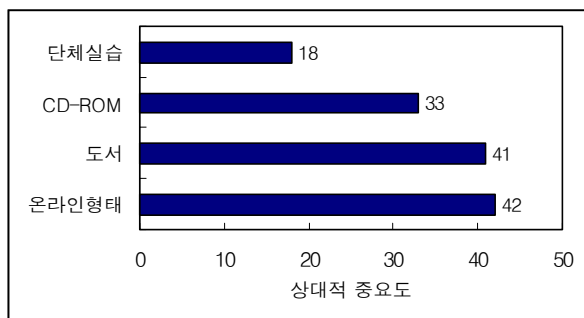
<그림 3-3> 그린화학교육 프로그램의 주요 참여대상 연구원·기관

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



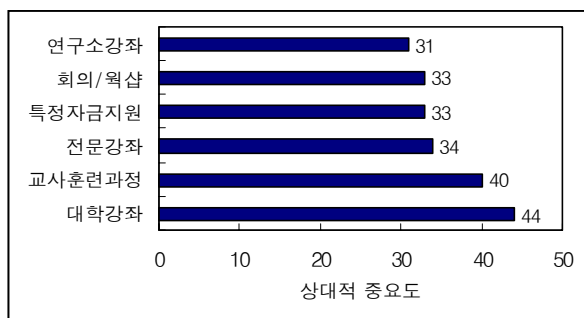
<그림 3-4> 그린화학과의 교육체계의 통합수단

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



<그림 3-5> 그린화학교육의 주요수단 및 교재

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



<그림 3-6> 그린화학교육 관련 주요 프로그램·프로젝트

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

나. 미국

산업체와 학계의 그린화학을 통한 오염방지 협력을 가속화시키는 방법중 하나는 화학 교과과정에 오염방지 문제를 거론하는 것이다. EPA는 이를 위해 산업체의 화학 전문가 훈련과 대학생의 교육을 보조하는 자료 및 교과과정 개발을 위한 다양한 노력을 지원하고 있다. 미시간 대학의 국가오염방지센터³⁶⁾, 환경기술교육을 위한 조합³⁷⁾, 미국화학협회가 EPA와 함께 그린화학 교육에 대한 활동을 수행하고 있다.

다. 일본

일본에서 그린화학을 위한 교육 활동의 대표적인 예는 『Dream Chemistry 21』 과 시민들을 위한 공공 강좌 등이 있다. 『Dream Chemistry 21』 은 학생들을 대상으로 한 운동으로서, 산업체 및 학계에서 7년 동안 합동으로 이 운동을 추진시키고 있다. 한편 시민들을 위한 공공강좌는 환경청에 의한 개방된 심포지엄, 1,000명 이상의 시민들이 참석하는 다이옥신에 대한 심포지엄, 산업체, 학계, 정부 및 비정부기구로부터의 토론자, 지방정부 기관을 위한 심포지엄 등이 있다.

36) National Pollution Prevention Center, NPPC

37) Partnership for Environmental Technology Education, PETE

3. 정보수집 및 공유프로그램

가. 미국

그린화학을 통한 사전오염방지가 산업체 및 학계의 기준이 되기 위해서는 산업체와 화학교육 및 화학 공동체의 모든 단계에서 그린화학에 대한 개념과 기술에 대한 효과적인 의사소통이 이루어져야 한다. 이를 위해 EPA에서는 과학 회의와 워크숍³⁸⁾ 개최 및 참여, 과학저널 및 서적 출판, 컴퓨터 기법 및 DB의 개발 및 보급에 관한 여러 프로젝트를 지원하고 있다.

또한 EPA는 그린화학전문가시스템³⁹⁾을 구축하여 운영하고 있는데, 이는 그린화학 과 관련반응들을 선택하는 데에 이용되는 독립된 컴퓨터 프로그램이다. 본 프로그램은 ① 화학물질 제조과정 중 유해화학물질의 사용 또는 발생을 제거하거나 저감시키기 위한 기회 규명, ② 독성을 최소화하기 위한 분자변형 제안 및 인체보건 및 환경에 대한 위해성 저감기술 제공, ③ 친환경적인 합성, 용매체계, 반응조건 및 화학제품에 관한 기술적 정보 제공, ④ 유용한 화학참고 DB 제공, ⑤ 읽기 쉬운 방식으로 결과를 인쇄하는 방법 등을 제공하고 있다. 본 프로그램 운영을 위해 필요한 정보에는 제조 공정에 있어서 사용·생산되는 각 화학물질의 양, 반응에 관여하는 각 화학물질의 역할(제품, 원료, 촉매, 용매 등), 연간 배치 수, 제품 생산, 연간 생산량을 포함한 기초 반응 자료 등이 있고, 이들을 이용하여 그린화학전문가시스템은 5개의 모듈을 통해 그린공정 설립, 디자인 또는 그린화학분야의 조사를 수행하게 된다(<표 3-4>).

그 외 EPA는 그린화학에 대한 대체합성방법, 촉매, 반응조건, 대체용매 등의 자료를 수집하고 이를 이용해 그린화학 DB를 구축하여 일반대중에게 제공하고 있다.

38) Green chemistry and engineering conference와 Gordon research conference on green chemistry 등

39) Green Chemistry Expert System, GCES

<표 3-4> 미국 그린화학전문가시스템의 모듈

모듈의 종류	내 용
Synthetic methodology assessment for reduction techniques(SMART)모듈	사용된 혹은 화학반응을 통해 생성된 유해화학물질을 정량화하고 분류한다. 또한 모든 반응들은 친환경성을 최적화시키기 위해 변형되고, 재평가된다.
친환경적 합성반응 모듈	화학물질을 친환경적으로 합성할 수 있는 방법에 관한 기술적 정보를 제공한다.
안전화학물질 구성 모듈	화학물질을 보다 안전하게 하기 위한 변형방법과 화학물질 분류, 특성 및 사용별 체계화 방법을 나타낸다.
친환경적 용매·반응상태 모듈	전통적인 용매체계에 대한 친환경적 대체 방법에 대한 정보와 물리화학적 특성을 기본으로 한 친환경적 용매검색을 제공한다.
친환경적 화학참고 모듈	다양한 검색 전략을 통한 부가적 정보 획득 및 참고자료들 첨부기능을 제공한다.

자료 : 미국 EPA. <http://www.epa.gov/oppt.gc>

나. 일본

일본에서는 일본화학협회, 통산성 및 그린화학네트워크 등이 그린화학 관련 정보를 수집하고 공유프로그램을 운영하고 있다. 우선 일본화학협회는 그린화학과 관련한 기술 등을 조사하고 있어, 향후 조사된 기술자료로 DB를 구축할 예정이다. 일본 통산성은 그린화학에 대한 일반 대중들의 이해를 높이기 위해 국가 전반에 걸친 그린화학 기술 보급, 연구 결과의 공개, 자료제공, 연구시설의 개방, 토론회의 제공 등에 힘쓰고 있다. 2000년 3월에 조직된 그린화학네트워크는 국제적인 그린화학활동, 정보교환, 커뮤니케이션, 교육 등에 힘쓰고 있어 향후 일본 그린화학 프로그램 운영에의 중추적 역할을 수행할 것으로 기대된다. 그러나 아직 운영된 지 얼마 되지 않아 관련정보를 공유할 수 있는 체계는 구축되지 않고 있다.

다. 호주

호주의 그린화학 정보공유는 EnviroNET를 통해 이루어지고 있는데, 이는 그린화학을 포함한 환경 활동에 대한 최신 연구와 관련전문가들을 연계시키는 DB 네트워크이다. 이 네트워크는 교육, 연구, 환경기술, 산업 기술 등과 같이 각 부문에서 지역사회의 환경보호에 대한 관심과 요구를 수용하며 운영되고 있는데, 1995년 12월에 설립되었으며 산업체와 공동으로 연방환경부의 환경보호그룹⁴⁰⁾에 의해 정보가 수집된다. 폐기물 관리 및 오염방지를 위한 시민의 모임, 환경산업 개발 네트워크, 환경관리 산업협회, 퀸스랜드대학 등이 이에 참여하고 있다. 또한 인터넷 사용이 불가능한 대상을 위해 호주 전역에서 환경 보호방법에 대한 정보를 전화로 제공하고 있다.

라. 영국

영국 왕립화학협회는 그린화학의 최신개발에 관한 정보를 제공하기 위해 「그린화학(*Green Chemistry*)」이라는 국제적인 과학문헌을 발간하고 있다. 「그린화학」지는 학계, 산업체, 공공부문으로부터의 그린화학기술 또는 청정생산기술 관련 연구논문, 각종 리뷰 등을 싣고 있으며, 본 학술지에서 다루는 분야는 기존화학공정에 대한 혁신기술의 적용, 주요 제품에 대해 환경적으로 개선된 경로개발, 새로운 그린화학물질 및 원료의 디자인, 지속가능한 자원의 이용, 생명공학 대체물질의 이용, 환경영향평가를 위한 방법 및 수단 등 6개로 분류된다.

40) Environmental Protection Group, EPG

4. 정부의 활성화방안

각 국 정부는 그린화학을 활성화하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 그린화학은 다른 화학물질 관리정책과는 달리 비규제 성격이 강하고 산업계, 학계 및 시민들의 자발적인 참여를 유도해야 하므로, 주로 뛰어난 성과를 나타낸 연구실적에 대해 상을 수여하거나 그린화학 기술을 도입하거나 기술개발에 적극적인 산업체에게 세제감면을 시켜주는 방식으로 활성화시키고 있다. 또한 정부는 그린화학에 대한 전문가 네트워크와 정보 DB를 구축하여 그린화학의 확산을 돕고 있다. 이와 같은 각국 정부의 그린화학 활성화 노력은 다음과 같다.

가. EU

EU에서는 유럽그린화학상⁴¹⁾ 제도를 도입하기 위한 기반은 마련되었으나, 아직 수상자를 내고 있지는 않다. 우선 유럽그린화학상의 구성을 살펴보면 위원회는 EEA⁴²⁾, FECS⁴³⁾, European Commission Services와 산업체 대표로 구성되어 있다. EU 그린화학의 중점분야는 다른 국가와 마찬가지로 ① 대체 합성경로의 이용(촉매/생촉매작용, 천연공정, 무해하고 재생가능한 대체원료), ② 대체 반응조건의 이용(인체 및 환경에 대한 영향을 저감시키는 용매이용, 선택성을 증가시키고 폐기물 및 배출을 저감시키는 조건 등), ③ 화학물질의 디자인(현재 이용되는 대체물질보다 독성이 낮거나 본래 독성이 낮은 물질들) 등이다.

수상범주는 크게 넷으로 분류되는데, 위에서 정의한 중점분야에 대해서 모든 규모의 사업체를 대상으로 하는 기업상⁴⁴⁾, 중소기업상⁴⁵⁾, 학계상, 교육상 등이 제시되었으며 수상자의 채택기준은 다음 <표 3-5>와 같다.

41) European Green Chemistry Award

42) European Environment Agency, EEA

43) Federation of European Chemical Societies, FECS

44) Business award

45) Small or Medium Size Enterprise Award

<표 3-5> 유럽그린·지속가능화학상 채택 기준

상 범위 및 최소 하나의 중점분야에 해당되는 기술이어야 함
인체건강 및/또는 환경적 이점을 제공해야 함 • 독성(급성/만성), 질병/손상, 가연성, 폭발잠재성 저감 • 배출 또는 기타 유출 저감 • 유해물질의 이동저감 • 반응공정에서 유해물질의 이용저감 • 천연자원(재생가능한 원료 등)의 이용증가 • 생물다양성의 증진
화학물질 제조, 사용 또는 단체에 광범위하게 적용가능해야 함 • 그린화학에 대한 현실적 접근방식 • 실제 환경관리문제에 대한 구제책 제공 • 다른 시설, 위치 또는 산업부문에서 이전가능한 것
혁신적이고 과학적 이점을 제공하는 것이어야 함 • 최근 또는 독창적인 기술 • 과학적으로 근거가 확실한 기술

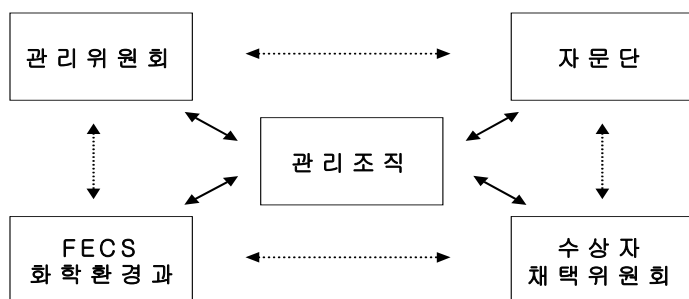
자료 : FECS. 2000. Establishment of an European green(and sustainable) chemistry award

수상자들은 트로피와 증명서를 받게 되며 상금은 없다. 수상 관련 정보는 인쇄물이나 홈페이지를 통해 보급되며, 수상자 프로젝트에 관한 요약은 그린화학저널⁴⁶⁾ 및 환경과학및오염연구⁴⁷⁾와 같은 문헌에 수록될 예정이다.

46) Green Chemistry Journal

47) Environmental Science and Pollution Research, ESPR

이와 같이 유럽그린화학상제도를 구축하는 데에 소요되는 비용은 국가의 대규모 화학협회와 European Commission에서 부담할 것이다. 시행 첫해의 예산예산은 트로피에 6,000유로화, 행정업무에 15,000유로화, 마케팅에 24,000유로화, 기준개발 및 업데이트에 10,000유로화, 평가단에 18,000유로화로 총 73,000유로화가 소요될 것으로 예상된다.



<그림 3-7> 유럽그린·지속가능화학상 체계도안

자료 : FECS. 2000. Establishment of an European green(and sustainable) chemistry award

나. 미국

미국의 그린화학에 대한 활성화는 정부의 『Presidential Green Chemistry Challenge Award』와 민간 수상제도인 『Kenneth G. Hancock 그린화학 장학금』을 통해 추진되고 있다.

1) Presidential Green Chemistry Challenge Award

Presidential Green Chemistry Challenge는 1996년부터 시작된 수상(受賞) 프로그램으로, 화학제품의 디자인, 제조 및 사용과 관련된 유해물질을 저감함으로써 인체 및 환경에 대한 위해성을 직접적으로 감소시키는 역할을 하고 있다. 매년 청정하고,

저렴하며, 고성능의 화학 혁신을 이룬 개인, 집단 및 조직을 선정하여 수상하고 있는데, 먼저 후보들을 선정한 후 미국화학협회⁴⁸⁾에서 소환한 기술전문가 모임들 통해 해마다 5개의 상이 산업체 및 정부 후원자, 학계 연구자, 소규모사업자⁴⁹⁾에게 수여된다. 또한 연구보조금을 지급하는데 수여자는 해마다 평균 \$120,000을 받고, 일반적으로 3년간 지급되며 지원 자격은 미국에 위치한 대학 및 비이익단체 등이다.

이와 같은 수상프로그램의 추진과정을 살펴보면 1992년 미국 EPA는 화학물질 합성시에 인체 보건 및 환경을 고려하도록 관련 기초연구 프로젝트에 6종의 보조금을 수여한 바 있고, 같은 해 EPA의 오염방지 및 독성물질국(OPPT)은 국립과학재단과 함께 그린화학프로그램 지원을 위해 양해각서에 서명하였다. 이에 1994년 EPA의 연구 및 개발국(ORD⁵⁰⁾)은 새로운 STAR⁵¹⁾의 일환으로 국립과학재단과 함께 환경연구 기금을 지원하기로 합의하였으며, 이 합의에 “그린환경기술”의 지원대상에 포함되었다. 그 후 그린화학 기술개발을 장려하고 연구성과의 확산을 위해 1996년 Presidential Green Chemistry Challenge Award를 시행하게 되었다.

동 수상프로그램은 다음 5개 분야에서 수상하고 있는데, 학계상(Academic award), 소규모사업자상(Small business award), 대체합성경로상(Alternative synthetic pathways award), 대체용매/반응경로상(Alternative solvent/reaction conditions award), 안전한 화학물질디자인상(Designing safer chemicals award) 등이다.

한편 그린화학상의 대상 기준은 다음과 같은데, 첫째, 그린화학 프로그램의 범위와 중점분야 중 최소 한 분야에 포함되어야 한다. 둘째, 인체 보건 측면 또는 환경적 이득이 있어야 한다. 구체적인 예로 독성(만성/급성), 질병 또는 상해, 가연성, 폭발 가능성, 배출 또는 기타 방출, 유해물질 운송 또는 반응 공정에서 유해물질의 이용 등을 저감시키고, 재생가능한 원료와 같은 자연 자원 이용을 증진시키며, 생물다양성을 증진시키는 것 등이 있다. 셋째, 화학물질 제조업체, 이용자 또는 넓게는 사회의 광범위한 분야에서 널리 이용될 수 있어야 한다. 이를 위해 최소한 그린화학에 대한 현실적

48) American Chemical Society, ACS

49) 소규모 사업장이란 연간 판매액이 4천만달러 이하인 사업체를 뜻함

50) Office of Research & Development

51) Science To Achieve Results

인 접근과 실제 환경 관리문제에 대한 구체책이 마련되어야 하고, 다른 시설, 공장 및 산업 부문에 지속적으로 이전될 수 있는 것이어야 한다. 넷째, 혁신적이어야 하고 과학적 장점이 있어야 한다. 해당 기술을 예로 들면 원래기술(기존 채택방식) 및 과학적으로 효과적인 기술(“후보대상 기술 또는 전략이 과학적인 정밀조사를 통해 뒷받침 되는가” 또는 “해당 활동의 메커니즘이 건전한 과학적 연구를 통해 명료하게 밝혀지는가”로 판단)등이 있다. 한편 Presidential Green Chemistry challenge program 지원 시 제출하는 보고서는 8페이지를 넘지 않아야 하며 해당내용은 다음 <표 3-6>과 같다.

2) Kenneth G. Hancock 그린화학 장학금⁵²⁾

이 상은 초창기 미국에서 그린화학을 위해 활동한 국립과학협회의 Kenneth G. Hancock을 기리기 위한 상으로, 그린화학을 연구하는 학부생 및 대학원생에게 수여되는 상이다. 해마다 열리는 그린화학 및 공학회의⁵³⁾에서 미국화학협회의 지원으로 수여된다.

52) Kenneth G. Hancock memorial scholarship in Green Chemistry

53) Green Chemistry and Engineering Conference

<표 3-6> 미국의 Presidential Green Chemistry Challenge Program 제출보고서
내용

항 목	내 용
표지	☐ 개인 또는 기관의 성명, 주소, 전화번호, 팩스번호, 이메일 주소 (선택사항) 등을 기재 • 주요 후원자(프로젝트를 주관하는 개인 또는 단체, 대학의 경우 주요 연구자) • 연락대상(Award 프로그램 후원자와 커뮤니케이션 책임이 있는 개인) ☐ 대학의 경우 주요 연구자, 정부 및 산업체의 경우 프로젝트 매니저나 기타 기술 대표이며, 산업체의 경우 공공 관계(public relations)에서의 연락대상도 요구 • 기부자(프로젝트 개발이나 수행에 대한 재정적 또는 기술적 지원자 및 단체) : 기부자에 대한 정보서술은 선택사항
표지 다음 페이지	• 프로젝트 제목 • 지난 5년간 그린화학기술이 증명, 수행 및 적용되어온 상황을 확증하는 진술첨부 • 해당기술이 소규모 사업체나 학계에 적합한가를 나타내는 진술첨부 • 해당 프로젝트가 그린화학의 중점분야 중 어떤 범주에 속하는가에 대해 진술첨부 • 200자 이내로 간단하게 해당기술에 대해 서술
세번째 페이지	• 대상 프로젝트에 대한 1장 분량의 총괄
나머지 다섯 페이지	☐ 대상 프로젝트가 본 상의 채택기준에 어떻게 부합되는가의 여부를 서술 • Presidential Green Chemistry challenge program의 중점 분야 및 범위에 어떻게 부합되는가 • 해당 기술의 환경 및 인체에 대한 모든 이점 • 산업체 및 화학 공동체(society) 어떻게 적용가능한가 • 기술이 어떤 방식으로 혁신적이며, 과학적 이점이 있는가

<표 3-7> 미국 그린화학 프로그램 협력체

분류	조 직 명
과학 기구	미국화학협회 ¹ , 화학연구위원회 ² , IUPAC ³ , 국립연구위원회 ⁴ , 국립과학 재단 ⁵ , 환경독성학및화학협회 ⁶
산업체	BF Goodrich사, Dow 화학회사, Dow corning주식회사, E.I. DuPont de Nemours, Eastman Kodak사, Polaroid주식회사, Rochester Midland주 식회사, Solutia사
무역 협회	미국석유연구원 ⁷ , 미국화학위원회 ⁸ , 플라스틱 산업협회 ⁹
학계	멕시코국립대학, 메사추세츠대학, 보스턴 대학, 남알라배마대학
교육 센터	지속가능한체계센터, 환경기술교육을위한협력체
연구 센터	워싱턴대학의 공정분석화학센터, 뉴저지 기술연구원의 배출저감연구센 터, 녹색화학연구원 ¹⁰ , 암허스트 메사추세츠 대학의 국가환경기술연구 원, 메사추세츠대학의 독성물질 사용저감 연구원
정부	주환경위원회 ¹¹ , Environment Canada, 국립기준기술연구원 ¹² , 미국에너 지부 ¹³
국가 연구소	로스알라모스 국립연구소 ¹⁴ , 국가재생에너지연구소 ¹⁵
환경 단체	환경방어 ¹⁶
국제 기구	그린화학센터(오스트레일리아), 환경을위한화학의대학간협회(이탈리 아), IUPAC, OECD, 그린화학네트워크(일본) ¹⁷ , 왕립화학협회(영국) ¹⁸
문헌	Green chemistry

1: American Chemical Society(ACS); 2: Council for Chemical Research (CCR); 3: International Union of Pure and Applied Chemistry; 4: National Research Council(NRC); 5: National Science Foundation(NSF); 6: Society for Environmental Toxicology And Chemistry(SETAC); 7: American petroleum institute(API); 8: American chemistry council; 9: Society of the plastics industry(SPI); 10: Green Chemistry Institute(GCI); 11: Environmental council of the states(ECOS); 12: National institute of standards and technology(NIST); 13:U.S. Department of energy(DOE); 14:Los Alamos national laboratory(LANL); 15: National renewable energy laboratory(NREL); 16: Environmental defense(EDF); 17: Green and Sustainable Chemistry Network(GSCN); 18: Royal Society of Chemistry(RSC);

다. 일본

일본 역시 그린화학을 장려하기 위해 외국과 마찬가지로 수상제도를 실시하고 있으며, 그 외 각종 세제 혜택을 주고 있다. 우선 일본은 세제를 통해 그린화학에 기여한 사람들을 보상하기 위해 특정 화학물질(chlorofluorocarbon 등)의 저감 또는 대체 기술의 적용에 대한 세제 프로그램/특정 감면 프로그램, 에너지 저감 또는 특정 화학물질의 재활용을 위한 신기술 개발 증진 세제 프로그램 등을 시행하고 있다.

또한 현재의 화학물질 관련학회 및 산업협회의 수상제도가 점차 확장되어 대부분의 수상제도에서 그린화학을 포함하고 있는데, 대표적인 수상제도로는 신화학기술상(일본화학협회), 신화학공정상(일본화학공업협회), 신화학공정 및 제품상(일본화학산업협회)이 있다. 이 중 일본화학협회는 일본 내 모든 화학산업을 포함하는 약 180여개 업체로 이루어진 협회로서, 환경 측면에서 필수적인 산업공정과 제품 개발을 달성한 업체에게 상을 수여하는데 1997년에는 지속가능한 화학과 관련하여 Konica사가 수상한 바 있다. 한편 그린화학을 좀 더 활성화하기 위해 그린화학만을 대상으로 하는 수상제도가 신설되었는데, 2001년 그린화학네트워크⁵⁴⁾에서 GSC상⁵⁵⁾을 제정하였고 모든 개인, 집단, 단체를 대상으로 혁신적인 화학기술, 인간 및 환경보건과 안전을 위한 기초과학 연구, 전생애를 통한 자원 및 에너지 저감, 그린화학의 보급, 교육 및 계몽 등의 분야에서 두드러진 활동과 결과를 보인 대상에게 상을 수여한다.

라. 독일

1) 정부 프로그램

독일의 그린화학에 대한 학계 프로그램은 정부에 의해 지원되지 않는다. 따라서 특정 수상 프로그램은 없고, 단지 일정액의 재정적 지원이 소규모의 프로젝트에 제공된다. 연구 및 개발프로그램에서 이미 언급하였듯이 연방교육연구부는 『화학연구 및

54) Green and Sustainable Chemistry Network, GSCN

55) Green and Sustainable Chemistry Awards

기술』 프로그램을 통해 그린화학 관련 연구에 대한 자금을 지원하는데, 산업 관련 주요 기술들에 대한 경쟁력 있는 연구 및 개발 프로젝트, 지속가능한 개발에 기여도, 산학 협동체계의 증진, 산업 경쟁력 강화 등이 그 대상이다. 소규모 프로젝트에 대한 재정적 지원과 연방교육연구부의 연구지원 이외에도 『Blue Angel』이라는 환경표지제도를 통해 간접적으로 그린화학이 지원된다.

2) Haltermann Innovation Prize

이 상은 1998년 함부르크에 있는 Haltermann사의 창립 100주년을 기념하여 만들어졌고, 2년에 한번씩 수여된다. 과학자들과 석사 이상의 학생들의 연구를 장려하기 위해 마련되었으며 재생가능한 원료물질에 기초한 환경친화적 제품과 분리공정에 중점을 둔다. 2000년 수상한 화학/고분자화학연구소의 Wasserscheid박사는 Hexafluorophosphate 이온을 이용한 이온용액(ionic liquids) 연구로 7,800파운드의 상금을 받았다. 그 외 독일화학협회⁵⁶⁾는 1997년 그린화학에 대해 해마다 수여하는 수상제도를 도입하였다. 또한 Braunschweig시와 Braunschweig 기술대학은 2년에 한번씩 그린화학 개발연구에 대해 100,000마르크의 상금을 수여하고 있다.

마. 호주

호주는 EnviroNET를 구성하여 환경 관련 최신 연구와 전문가들을 연계시키고 있으며, 그린화학분야에 종사하는 과학자, 산업체, 정부기관에게 활동을 승인하고 있다.

한편 1999년 왕립호주화학연구원⁵⁷⁾은 발생원 저감을 통해 오염방지를 달성하고 산업체에 널리 적용시킬 수 있는 혁신적인 화학기술 증진과 그린화학 교육에의 기여를 위해 그린화학상⁵⁸⁾ 수상제도를 도입하였다. 특히 이 제도는 미국의 그린화학 프로그램의 영향을 받아 도입되었으며, 모든 개인, 집단, 기관, 이익단체 및 비이익단체를 대상으로 수여된다(<표3-7>).

56) Gesellschaft Deutsche Chemiker, GDCh

57) Royal Australian Chemical Institute, RACI

58) Green Chemistry Challenge Award

수상범주는 크게 셋으로 요약되는데, 소규모 사업장의 프로젝트, 학계 또는 정부기관의 프로젝트, 그린화학교육으로 분류된다. 수상후보들은 지난 5년간 그린화학에서 두드러진 성과를 올린 기술들이며, 중점 분야는 대체합성경로의 이용, 대체반응조건의 이용, 대체화학물질 디자인의 세 분야이다. 수상자 결정은 학계, 산업계, 정부, 교육 및 환경단체로 구성된 왕립호주화학연구원의 기술전문가 패널에 의해 결정된다.

<표 3-7> 호주의 그린화학상 수상기준

- 프로그램 범위에 속해야 하고, 최소 중점분야 중 하나에 해당되어야 함
- 인체보건 및/또는 환경적 이점을 제공해야 함
- 화학물질 제조, 사용, 또는 사회전반에 걸쳐 광범위하게 적용가능해야 함
- 최소 다음의 특성을 나타내야 함
 - 그린화학에 대한 현실적인 접근방식
 - 실제 환경관리상의 문제에 대한 구체책 제공
 - 다른 시설, 위치, 산업부문에 이전가능한 것이어야 함
 - 혁신적인 기술이고 과학적 이점이 있어야 함

바. 캐나다

캐나다 정부는 그린화학을 오염방지의 일환으로 인식하여 1995년 오염방지를 위한 캐나다 연방 전략의 체계에 포함하였다. 또한 캐나다 환경부 위원회⁵⁹⁾는 청정생산 및 공정전환과 같은 다양한 분야에서의 혁신을 표창하기 위한 수상제도를 마련하여 시행하고 있다.

59) Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME

사. 이탈리아

이탈리아 외무부는 『과학과 첨단기술 국제센터⁶⁰⁾』의 프로젝트를 지원하고 있는데 이 프로젝트를 통해 주로 개발도상국가에게 기술을 이전하는 활동을 수행하고, 청정 화학기술 평가, 혁신 기술의 평가 및 검토 등을 추진하고 있으며 그린화학에 대한 업무를 수행하는 연구집단(대학, 산업체)에게 상을 수여하고 있다.

한편 이탈리아 연구부(Research Ministry)에서는 『화학에 대한 국가연구프로그램』과 『National Research Program for the Environment』에 연구비를 지원하고 있으며, 지속가능한 에너지 이용과 관련하여 이탈리아 정부는 태양 에너지를 이용하는 대상에게 인센티브를 제공하는 내용의 법률을 공포한 바 있다.

아. 영국

영국 무역산업부⁶¹⁾는 직접적으로 그린화학 증진 프로그램을 수행하고 있지는 않으나 환경 달성에 대한 Queen's Award, 환경기술 최적 적용 프로그램, Foresight challenge 등을 통해 그린화학을 간접적으로 장려하고 있다. 또한 왕립화학협회⁶²⁾, Salters'사, Jerwood Charitable 협회, DTI 및 DETR⁶³⁾의 지원을 통해 총 3개의 그린화학상이 운영되고 있다. 그 중 2개는 영국회사에게 기술, 제품 또는 서비스에 대해 트로피와 증명서를 발급하는 것인데 반드시 둘 중 하나는 소규모 또는 중규모 사업장에 수여되어야 한다. 나머지 상은 Jerwood Salters' 환경상⁶⁴⁾으로 해마다 10,000파운드가 학생(40세 이하) 특히 산업체와 협동으로 연구하는 경우에 수여된다.

60) International Center for Science and High Technology

61) Department of Trade and Industry, DTI

62) Royal Society of Chemistry, RSC

63) Department of the Environment, Transport and the Regions, DETR

64) Jerwood Salters' Environment Award

자. 기타 수상제도

위에서 언급한 것 이외에 그린화학 활성화를 위한 수상제도에는 유럽정보협회⁶⁵⁾의 유럽정보원상, 영국의 BCE⁶⁶⁾상, 환경계획수훈상⁶⁷⁾, 유럽환경친화사무국상, 유럽지속가능도시상, 독일연방환경협회의 독일환경상, 유럽 중소기업장(SME) 품질상, 이탈리아의 성프란시스환경상, EC가 지원하는 유럽환경교육협회⁶⁸⁾의 『Blue Flag』, 유럽환경상, EEA의 『Princes' Awards』 등이 있다.

65) European Information Association

66) Business Commitment to the Environment

67) Distinguished Service in Environmental Planning

68) Foundation for Environmental Education of Europe

5. 관련학술단체

가. 국제순수·응용화학협회(IUPAC⁶⁹⁾)

IUPAC는 국제적인 화학물질 협회로서 그린화학에 대한 많은 노력을 기울이고 있다. 우선 1998년에 OECD, INCA와 함께 이탈리아 베니스에서 열린 그린화학 워크숍을 개최한 바 있으며, 1996년 한국에서 열린 제 13회 물리유기화학에 관한 회의 중 IUPAC는 그린화학 실무단을 구성하였다. 2000년도에는 그린화학에 대한 25개의 제안을 기초로 백서를 발간하였으며, 2001년에는 그린화학과 관련하여 CHEMRAWN⁷⁰⁾의 『환경적으로 건전한 공정 및 제품지향』에 관한 제14차 회의를 지원한 바 있다.

나. 유럽화학협회연합(FECS)⁷¹⁾

FECS는 자발적인 기구로서 1970년 유럽 내 화학분야에서의 비이익 과학기술 협회들간의 협동을 목적으로 설립되었으며, 35개국의 약 50개 회원협회들과 학계, 산업체, 정부의 약 200,000의 화학자들로 구성되어 있다. 사무국은 왕립화학협회(RSC)와 헝가리화학협회⁷²⁾에서 주관하고 있으며, FECS의 조직은 6개의 분과, 4개의 실무단, 유럽지역화학위원회⁷³⁾로 구성되어 있다. 이 중 29개국의 32명 회원으로 구성된 화학·환경과⁷⁴⁾가 그린화학 관련 업무를 수행하고 있으며, 1999년에는 산하에 그린화학부위원회⁷⁵⁾를 신설하여 운영하고 있다. 이외에도 FECS는 수상제도에 대한 정보를 보급하고, 유럽 내의 화학자들 사이에 수상제도를 촉진시키는 역할을 담당하고 있다.

69) International Union of Pure and Applied Chemistry

70) Chemical Research Applied to World Needs, CHEMRAWN

71) Federation of European Chemical Societies

72) Hungarian Chemical Society

73) European Communities Chemistry Council, ECCC

74) Division on Chemistry and the Environment

75) Subcommittee on Green and Sustainable Chemistry

다. 유럽화학기술연합(AllChemE)⁷⁶⁾

AllChemE는 1995년 구성된 기구로서, 유럽의 화학 및 화학기술 증진과 상호이해를 위한 협동을 목적으로 하며, 유럽화학협회연합(FECS), 유럽화학공학연합(EFCE), 유럽화학산업협회(CEFIC), 유럽과학기술연구협동조합 화학기술위원회(COST Chemistry⁷⁷⁾), 유럽연구협의회 화학위원회 의장(CERC⁷⁸⁾)으로 구성되어 있다. AllChemE의 의제에 그린화학에 관한 사항이 포함되어 있고, 화학 이미지, 특히 청소년에 대한 화학이미지 제고로 그린화학의 잠재력을 고찰하고자 노력하고 있으며 유럽그린화학상 업무를 일부 담당하고 있다.

라. 유럽화학산업위원회(CEFIC⁷⁹⁾)

CEFIC는 AllChemE와 함께 유럽그린화학상의 계획그룹에 참여하고 있다. 또한 지속가능발전에 대한 인식의 확산을 지원하고, 그린화학부문을 포함한 과학교육상을 해마다 수여하고 있다. 1994년 CEFIC는 『SUSTECH』라는 공정산업을 위한 지속가능기술 연구개발 산학합동 프로그램을 마련하였다. SUSTECH의 대상 기술집단은 화학산업체들의 주요 기술부문에 대한 수요에 근거하여 생물공정 공학, 생명공학, 결정화 공정 및 최적화, 공정개발에 관한 실험방법, 촉매 디자인 및 적용, 안전관리, 분리기술, 지속가능기술을 위한 유럽연구네트워크 등 15개로 이루어져 있다. 또한 SUSTECH 산하에 그린화학을 위한 포럼을 구성하여 이해당사자들의 실험성화학 개발 및 수행을 위한 공동활동을 추진할 예정이다. 이외에도 CEFIC는 1999년 SUSTECH 심포지엄 기간동안 그린화학에 관한 세미나를 개최한 바 있다.

76) Alliance for Chemical Sciences and Technologies in Europe

77) European Co-operation in the field of Scientific and Technical Research: Technical Committee on Chemistry

78) Chairmen of European Research Councils Chemistry Committees

79) European Chemical Industry Council

마. 유럽화학주제네트워크(ECTN⁸⁰⁾)

1996년 구축된 ECTN은 24개국의 약 90개 대학들로 구성되어 있으며 European Commission의 Socrates/Erasmus 프로그램에 의해 지원된다. 그린화학은 ECTN의 화학및환경실무단⁸¹⁾과 화학이미지실무단⁸²⁾의 업무 및 보고의 한 부문에 포함되어 있다.

바. 그린화학연구소(미국)

그린화학연구소⁸³⁾는 환경적으로 건전한 화학 합성 및 공정에 관해 연구하고 교육하는 비이익 기구로서 1997년 산업체, 학계, 국립연구소, 정부로부터 구성된 전문가들에 의해 설립되었다. 화학 연구와 교육을 통한 오염방지를 지향하며 정보 보급, 화학 연구 의제 정착, 회의/워크샵, 강좌 개발 및 보급 등 4가지 형태의 활동으로 녹색 화학을 증진시키고 조성하는데 많은 노력을 기울이고 있다.

첫째, 정보 보급을 위해 그린화학연구소는 웹사이트에 이탈리아의 INCA, 영국의 IAC(Institute for Applied Catalysis) 등 그린화학 관련 사이트의 연결 정보를 제공하였다. 또한 관련 이메일 목록을 제공하는 GreenChemExchange 서버를 구축하였고, 이를 통해 약 100명의 가입자들이 그린화학 관련정보를 교환하고 있다.

둘째, 화학연구 의제의 정착을 위해 그린화학연구소는 특정 화학 또는 기술에 관심 있는 산업체 스폰서들과 함께 해당 분야의 수요를 기초로 한 연구 의제 개발에 관한 워크샵을 개최하여 그린화학을 증진시키고 있다. 또한 그린화학연구소는 미국 EPA의 오염방지및독성물질국, 산업기술에너지부와 함께 발생원 저감을 통해 오염을 방지하고 경제적으로도 산업체에 이득이 되는 화학의 발전을 위해 일하고 있다. 그 일환으로 위의 두 정부기관이 미국화학업체들과 공동으로 수행하고 있는 Vision

80) European Chemistry Thematic Network

81) Working Group on Chemistry and the Environment

82) Working Group on the Image of Chemistry

83) Green Chemistry Institute, GCI

2020(21세기 화학산업을 보다 효율적이고 지속가능하게 하려는 장기적 수행전략)을 적극적으로 지지하고 있다.

셋째, 관련회의 및 워크숍 개최를 통해 그린화학을 보급하고자 그린화학연구소는 미국화학협회와 공동으로 매년 그린화학 심포지엄을 개최하고 있다. 또한 미국 오염방지 및 독성물질국에서 지원하는 『그린화학 Gordon 연구회의』에서 주도적인 역할을 수행하고 있다.

넷째, 그린화학의 교육을 확대하기 위해 그린화학연구소는 모든 교육 분야에서 그린화학 강좌 개발을 위한 EPA의 OPPT와 미국화학협회간의 협정에 참여하였다.

사. 일본화학협회 등(일본)

일본에서 그린화학과 관련된 협회로는 일본화학협회를 들 수 있다. 120년 전통을 갖고 있는 일본화학협회는 일본에서 가장 큰 학회 중 하나로서 4만명의 회원과 800만 달러의 예산, 30명의 직원을 갖고 있는 기구이다. 해마다 2회의 회의를 개최하고, 그 외에도 그린화학을 포함한 특정 분야에 대한 심포지엄 및 강의 등을 실시하고 있다.

그 외 일본 통산성과 신에너지및산업기술발전연구소가 그린화학 시행을 위한 준비 위원회를 구성한 바 있었는데, 이때 참여한 단체는 학회에서는 일본화학협회와 일본 화학엔지니어협회, 산업협회에서는 일본화학산업협회와 일본생물사업협회, 비이익단체에서는 혁신기술연구원과 일본화학혁신연구원 등이었다.

관련연구기관으로는 일본화학혁신연구원을 들 수 있는데, 1998년 3월에 설립된 화학혁신연구원은 100개 이상의 산업체와 학교 및 산업 협회의 지원을 받는 연구원으로 산학협동에 의한 지속가능한 사회 개발을 목적으로 한다. 주요 역할은 ① 특정 연구 및 개발주제 선별, ② 연구단체 설립, ③ 데이터베이스 구축, ④ 시민들의 교육을 위한 새로운 체계의 연구와 새로운 장학제도 및 수상제도 연구, ⑤ 국제 협력 증진 등이다. 일본화학혁신연구원의 자발적인 활동계획은 크게 에너지 절약 공정개발, 산업폐기물 저감, 휘발성유기화합물질의 저감으로 나뉜다. 첫째, 『에너지 절약 공정개발』에서 일본 산업체(특히 석유화학업체)들은 1973년 석유위기 이후 에너지 효율을 높이기 위

해 꾸준히 노력해 왔고, 그 결과 1996년의 에틸렌 생산무게 당 에너지 소비량이 1976년의 50% 수준에 도달할 정도로 저감되었다. 또한 1996년 일본 화학업체들은 이 비율을 2010년까지 1990년과 대비하여 10% 저감할 것이라고 공표한 바 있다. 이 계획은 일본 정부에서 수치 목표값으로 지정한 내용 중 하나이며, 정부는 이를 교토회의(COP3)에서 선언하였다. 둘째, 『산업폐기물저감』을 살펴보면 1995년 일본의 산업폐기물 발생량은 약 400백만 톤에 달하였는데(이 중 화학폐기물은 전체 산업폐기물의 4%인 16백만 톤), 1996년 화학업체들은 2010년까지 산업폐기물 최종 매립량을 1990년 대비 40% 감소시키고, 재활용율을 15% 증가시킬 것으로 계획하였다. 셋째, 『휘발성 유기화합물질 배출저감』에서 화학업체들은 1996년 7개 휘발성 유기화합물질(acrylonitrile, benzene, acetaldehyde, 1,3-butadiene, chloroform, vinyl chloride monomer, ethylene oxide)의 총량을 저감시킬 것이라고 발표하였다.

아. INCA⁸⁴⁾(이탈리아)

INCA는 1993년 10월 이탈리아 베니스에서 창설되었다. 30개의 이탈리아 내 대학들과 화학분야별 전문가들로 구성되어 있으며 설립목적은 다음과 같다. 첫째, 진보된 연구를 위한 실험실을 건설하고, 대학 및 공립-사립 단체들을 포함하여 연구 통합체를 구축한다. 둘째, 과학 단체들의 협동과 개발을 보조한다. 특히 관련 대학, 공립 및 사립 화학물질 업체들의 실무자 연구 통합체를 보조한다. 셋째, 박사 프로그램 활동을 지원하기 위해 기기 및 실험실을 공유하며 참가 대학에 연구원을 임명한다. 넷째, 장학금 및 특화된 교과 과정을 통해 환경화학에서의 전문가를 지원한다. 다섯째, 환경문제의 독립된 과학적 평가를 수행한다(여기에는 에코 라벨링과 환경 위해성 평가에 대한 EU Directive의 적용이 포함). 또한 공적 및 사적 기관에서 수행하는 연구 프로그램을 실행한다.

INCA는 과학분야에 대해 『토지환경 : 환경을 생각하는 화학⁸⁵⁾』이라는 계획을

84) Interuniversity, Consortium, Chemistry for the Environment

85) Ambiente Terrestre:Chimica per l'ambiente

발표한 바 있다. 이 계획은 폐기물의 정화, 그린화학 기술, 반응장치기술, 활성탄소의 생산 등과 관계된 프로젝트를 포함하고 있으며, 또한 협회의 네트워크를 통해 과학 및 기술정보를 교환하여 각 분야의 사람들을 교육시키고 있다.

이탈리아내 연구 네트워크로서 INCA는 에너지환경청⁸⁶⁾, 환경청⁸⁷⁾, 탄화수소연구청⁸⁸⁾에 의해 지정된 체계를 통해 과학연구부⁸⁹⁾ 규정에 부합되게 지역 및 정부 기관들과 상호교류하고 있다. 이러한 네트워크를 통해 협회는 각기 다른 분야에서 대학을 기반으로 연구를 개발하고 있다. 특히 협회에서 우선순위를 두는 국가적 주제 분야에는 화학물질 생산과정 및 그린화학기술, 환경에서의 전환기작, 최신 분석기법, 폐기물 및 그로 인한 오염영향의 최소화 등이 있다.

또한 INCA는 미국 EPA, IUPAC의 실무집단(그린화학에 관한 합성경로 및 공정), 연합유럽활동⁹⁰⁾, OECD의 그린화학을 위한 조정단⁹¹⁾과 협력하면서 국제적 네트워크를 구축하고 있다. 이와 관련하여 미국 EPA, 미국화학협회(ACS)와 함께 국제적인 공동작업을 수행하고 있으며, OECD의 환경보건및안전성과⁹²⁾의 그린화학 관련 활동에 적극적으로 참여하고 있다.

자. 그린화학센터(호주)

호주의 그린화학센터⁹³⁾는 호주 연구 위원회를 통해 정부로부터 기금을 지원 받는 특별연구센터로서 2000년 1월 3년 동안의 기금을 보장받고 활동을 개시하였다. 관련 분야는 산림학 및 그 제품, 광물, 분자 과학, 제조과학 및 기술분야를 포함한다. 센터는 의장, 대리 의장, 주요 협동 연구자, 사업체, 화학과의 인력 관리자로 구성되며, 자문위원회에는 산업체, 정부 및 학계 인사들이 포함된다.

86) Italian National Agency for Energy and Environment, ENEA

87) National Agency for the Environment, ANPA

88) National Research Hydrocarbon Agency, ENI

89) Ministry for Scientific Research, MURST

90) Azione Concertata European(United European Action)

91) Steering Group for Sustainable Chemistry

92) Environmental Health and Safety Division

93) Centre for Green Chemistry

그린화학센터의 목적은 그린화학 분야에서 국제적으로 승인 받는 연구 센터를 개발하는 것이고, 이를 위해 다음의 전략을 제시하였다. 첫째, 인체 및 환경적으로 건전하고 경제 및 기술적으로 실현 가능한 청정 화학공정을 디자인하고, 제조 및 이용에 대한 기초과학을 연구·개발한다. 둘째, 적절한 인프라 구조로 최첨단 시설을 확보하고, 대학원 연구생, 보조 연구원, 연구 집단들이 비평할 수 있는 체계를 마련한다. 셋째, 정부(보조금 등) 및 산업체의 지원과 같은 외부적인 기금을 통해 프로젝트를 증진시키고, 센터 외부의 연구자들과 협동을 장려하며, 기술 이전을 촉진시킨다. 넷째, 그린화학에 대해 학부 및 대학원 과정의 학생들에게 훈련 기회를 제공한다. 다섯째, 산업체와 정부에게 조언과 자문 역할을 하는 지식기반을 마련하고 이러한 기관들과의 효율적인 대화 수단을 개발한다. 여섯째, 그린화학센터에서 연구·개발한 여러 사항들에 대해 일반대중이 인식할 수 있는 프로그램을 마련한다.

그린화학센터에서 지원하는 프로그램은 크게 세 분야로 나뉜다. 첫째, 청정합성기술로서, 반응 및 용매 분리에 사용되는 유기용매의 대체, 에너지 투입 시 보다 청정하고 효율적인 수단의 이용, 효율적인 촉매의 개발이 포함된다. 둘째, 재생가능한 자원의 이용으로서, 폴리머, 의약품, 농약 제조시 재생가능한 생물학적 물질이용, 약용식물, 생물성 폐기물 발효공정을 통한 화학물질 등을 이용하는 것이 포함된다. 셋째, 바람직하지 않은 물질의 대체로서, 화학물질 합성 또는 제품사용 시, 독성과 유해성을 띠고 환경적으로 바람직하지 않은 물질들을 대체하는 것이다. 이와 관련된 주요 예에는 목재 방부제를 보론화합물로 이용하는 것, 폴리우레탄 제조시 phosgene route를 isocyanate로 대체하는 것, 수처리체계에서 새로운 부식방지제를 개발하는 것 등이 있다.

차. 그린화학네트워크(영국)

영국의 그린화학네트워크는 왕립화학협회에 의해 설립되었으며 York대학의 화학과에 본거지를 두고 있다. 그린화학네트워크의 주요 목적은 그린화학에 대한 정보 보급과 산업체, 학계에서의 교육, 훈련 및 적용을 증진시키는 데에 있다. 또한 산업체와

화학자들간에 그린화학기술을 증진시키기 위해 최적적용정보를 나누도록 돕고, 그들에게 그린화학을 통해 얻을 수 있는 이점에 대한 정보를 제공하고 있다.

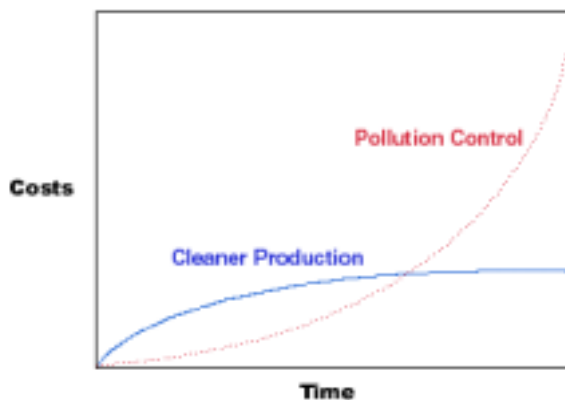
이와 같은 목표달성을 위해 그린화학네트워크는 다음과 같은 활동들을 수행하고 있다. 왕립화학협회의 웹사이트를 통해 해외 네트워크와 연계된 그린화학 DB를 구축하고, 기술이전중개를 체계화하며 다른 기관 및 정부부처와의 연계를 제공한다. 이외에도 회의/워크샵 및 훈련강좌를 개최하고 대학 및 학교에 교육자재를 제공하며, 새로운 그린화학 및 환경모니터링 저널과 연계된 소식지 및 단행본을 발간하고 회사 및 대학연구자들을 대상으로 수상제도를 도입하고자 한다.

제4장 그린화학의 시행효과 및 향후 전망

1. 그린화학의 시행효과

그린화학이 미국에서 처음 시작된 지 10년이 지났으나 다른 국가에서는 대부분 1990년 대 중반 이후에 본격적으로 시행되고 있어 아직 그 시행효과에 분석자료가 충분하지 못한 실정이다. 그린화학과 유사한 개념인 청정생산기술의 경우 다음 <그림 4-1>에서와 같이 청정생산을 실시함으로써 얻는 사전오염예방효과의 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 사전오염예방 정책중 하나인 그린화학 역시 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 가늠해볼 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.



<그림 4-1> 청정생산기술의 시간에 따른 경제적 효과

이에 대해 오스트리아 화학산업에서의 배출에 대한 연구가 1998년(대기, 수질), 1990~1991년(폐기물), 1993년(대기, 수질)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, NO_x, 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
NO _x	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 지방산⁹⁴⁾으로 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 용액

94) Volatile Fatty Acid

이 제거되었다. 둘째 전체적인 물소비량도 silicon wafer wet station마다 1년에 3,355,800 갤론, flat panel display station마다 1년에 5,033,700 갤론 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 시간내의 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 갤론에 해당하는 액체폐기물을 배출한다. 이에 반해 photothermographic 필름 방식은 습식 화학방식이 아니기 때문

에 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 의 학용 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 적용 시 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 국가가 향후 지속가능한 화학관리를 위해 반드시 추진하여야 하는 기반정책이다. 그러나 다른 화학물질 관리정책에 비해 아직 시작 단계이므로, 각국에서 중점적으로 개발하고자 하는 요소기술의 동향을 살펴보는 것은 아직 그린화학에 대한 개념조차 생소한 우리에게는 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. 생물유사적⁹⁵⁾, 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 일반적이고 뛰어난 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 오염문제해결에도 이용될 수 있음이 보고되고 있다. 한 예로 이산화탄소를 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 고형폐기

95) biomimetic

물 문제를 해결할 수 있다. 이외에도 여러 화학물질 공정에서 발생하는 부산물인 할로겐화 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 분야들에서 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 직간접적으로 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 필요성을 확인하기 위해 그린화학의 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 TRI)는 별도의 규제 조치 없이 최소의 비용으

로 유해화학물질의 배출저감을 이끌어 낼 수 있는 제도로써 현재 우리나라를 위시한 미국, 캐나다 등 약 20여 국가에서 실시 중이다. TRI를 실시함으로써 사업장으로부터 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·사용하는 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. 조사대상업종은 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 병행하여 실현하는 사전예방적 개념』이다. 즉, 제품의 생산과 관련된 전 과정에서 오염물질의 발생을 근원적으로 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 전환촉진에 관한 법률」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 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. 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 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.

<표 5-1> 청정생산기술의 발전 추이

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

자료 : <http://www.nccp.re.kr>

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

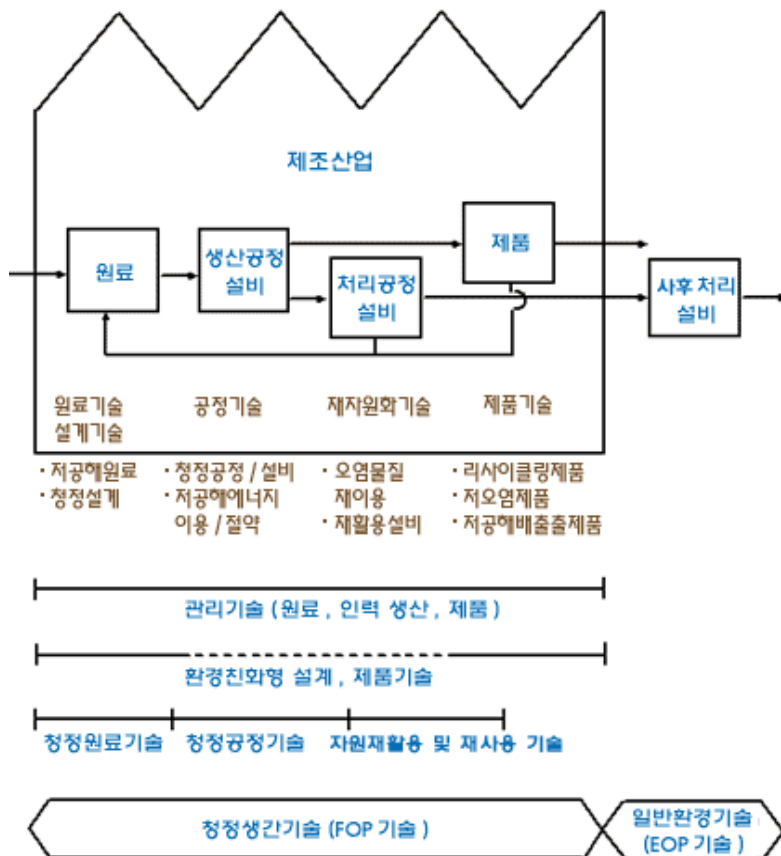
첫째, 제품의 기초설계 단계부터 저공해, 저 폐기물, 리사이클링, 에너지 효율 등을 고려한 환경친화형 제품설계기술로 전과정 제품평가기술(LCA) 및 환경친화형 설계 기술(DfE, LCD)이 여기에 속한다.

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

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.



<그림 5-1> 청정생산기술의 개념도

자료 : <http://www.nccp.re.kr>

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 소비생활을 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. 환경표지제도의 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, 주방용세제, 산업용 세정제 등이며, 환경오염물질 배출저감, 인체 및 생태계 독성저감, 환경친화적 제품설계 등의 기준에 의해 환경표지가 인증되고 있다. 인증제품은 녹색상품 구매네트워크(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 개발단계에서부터 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 운동⁹⁶⁾』이다. 즉, RC란 화학업계가 화학제품의 전과정(개발, 제조, 유통, 사용, 폐기)에 걸쳐 인간과 환경 건강보호를 경영방침으로 실행하는 생산자 중심의 자발적인 개선활동이다. RC는 일본에서는 『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 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 이미지제고와 지역주민의 신뢰성 회복을 목적으로 시작한 RC 운동은 그 후 전세계적으로 확산되었으며, 이를 좀더 촉진하고자 1990년에는 국제화학단체협의회(ICCA)가 RCLG(Responsible Care Leadership Group)를 조직하였다.

96) 한국 Responsible Care 협의회(KRCC)의 정의



<그림 5-2> Responsible Care의 로고

현재 46개국(세계화학제품 총생산량의 90% 차지)이 ICCA/RCLG에 가입되어 있으며 우리나라는 2000년 9월에 가입하였다. 또한 RC 협의회가 구성되어 67개 사의 일반 회원과 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.

2. 그린화학 관련연구

우리나라는 그린화학에 대한 별도의 R & D 사업은 없으며, 현재 환경부의 차세대 환경핵심기술개발사업과 산업자원부 및 과학기술부에서 추진중인 일부 사업이 그린 화학과 연관 있다. 우선 환경부의 관련 R & D 사업을 보면 1992년~2001년까지 추진되어 온 환경부의 선도기술개발사업(G-7사업)과 2001년부터 향후 10년간 추진될 예정인 차세대핵심환경기술개발사업(Eco-technopia 사업)에 그린화학 관련 과제가 포함되어 있다. 선도기술개발사업에서는 그린화학과 관련하여 청정공정기술, 청정제품기술, 청정기법개발기술 등 3개 단위사업이 진행되었으며, 각 단위사업별 총 진행과제 및 그린화학 관련과제의 수행현황은 다음 <표 5-2>와 같다. 표에서와 같이 선도기술개발사업에서 청정기술 관련 사업은 10년간 총 59과제가 진행되었는데, 이 중 그린화학 기술개발과 관련된 과제는 7개에 불과하였다.

<표 5-2> 선도기술개발사업의 그린화학 연구과제 수행성과

단위사업명	총 과제수 (그린화학관련과제수)	그린화학 관련과제명
청정공정기술	32(1)	○생분해성이 우수한 염색조제 개발
청정제품기술	21(6)	○환경친화성 계면활성제 개발 ○청정고분자 제품개발 ○사과해충 구제용 무공해 농약의 생산 ○분산 반응성염료 개발 및 국산화연구 ○환경규제물질을 포함한 고분자물질 대체 소재 개발 ○피혁가공용 무공해성 용제개발
청정기법개발기술	6(0)	-
총계	59(7)	

자료 : <http://www.kiest.org>

2001년 시작된 차세대핵심환경기술개발사업은 ① 다이옥신 등 환경현안 대응을 위한 종합적인 환경기술 개발, ② 선도기술개발사업 성과를 토대로 체계적인 환경기술 개발, ③ 국제 환경여건 변화에 적극 대응하기 위한 환경기술 개발 등을 목표로 2001~2010년까지 추진될 예정이다. <표 5-3>의 2001년도 사업내용을 보면 추진된 4개 단위사업 중 사전오염예방기술에 포함된 친환경소재·제품기술 및 친환경설계·관리기술분야에서 그린화학과 관련된 연구가 수행되었으며, 2002년에는 8개 단위사업으로 확대되었는데 이때는 친환경소재·제품기술이 별도의 단위사업으로 구분되어 환경오염 유발물질 대체물질(소재)개발 및 오염물질 제거효율향상 소재·제품개발이 중점과제로 선정되어 추진되고 있다.

<표 5-3> 차세대핵심환경기술개발사업의 추진과제현황

2001년도(1차 및 2차 공고)		2002년도(1차 및 2차 공고)	
단위사업	중점과제	단위사업	중점과제
통합환경관리기술 (21개)	-	통합환경관리기반구 축기술(8개)	-
		측정분석장비·장치 개발(4개)	-
생태계보전·복원기 술(2개)	-	맑고 안전한 대기보 전기술(6개)	-
		폐기물의 환경친화 적 처리기술(4개)	-
지구환경/기후변화 기술(2개)	-	자연생태계·오염토 양·지하수보전복원 기술(4개)	-
		수질보전 및 하·폐 수정화기술(6개)	-
사전오염예방기술 (2개)	-친환경소재제품기 술	사전오염예방기술 (2개)	배출량 저감 최적화 기술
	-친환경설계관리기 술	환경친화형 물질(소 재)·제품개발(2개)	-환경오염 유발물질 대체물질(소재)
			-오염물질 제거효율 향상 소재제품
4개 단위사업 27개 중점과제		8개 단위사업 38개 중점과제	

자료 : <http://www.kiest.org>

차세대핵심환경기술개발사업의 4개 단위사업에서 추진중인 과제 중 그린화학과 관련 있는 과제는 다음 <표 5-4>에서와 같이 9개 과제이다. 이는 과거 선도기술개발 사업의 총 사업기간 동안 7개의 과제만이 그린화학과 관련되었던 것에 비하면 점차

그린화학 기술개발에 대한 수요 및 관심이 증가하고 있음을 확인시켜주고 있다. 그러나 선진국에 비하면 아직 선정된 과제의 수가 매우 적고 과제의 주제 또한 분산되어 있어, 현행의 차세대핵심환경기술개발사업만으로는 그린화학의 수준을 선진국과 같이 발전시키기에는 어려운 실정이다.

<표 5-4> 차세대핵심환경기술개발사업의 그린화학 연구과제 수행현황

단위사업명	총 과제수 (그린화학관련과제수)	그린화학 관련과제명
친환경소재·제품기술	13(7)	○식물추출물을 이용한 생태계 친화형 농약 및 항균제개발 ○환경호르몬 전이 및 발생을 배제하는 PVC 용도의 생태친화성 가소제 개발 ○섬유날염용 안료개발 ○친환경 고체산 촉매 상업화연구 ○Non-phosgene Ethylene Carbonate (EC) 제조공정 개발연구 ○골프장의 화학농약 저감을 위한 환경친화형 미생물농약 및 IPM 기술개발 ○PVC 대체용 연질 폴리올레핀 소재개발
친환경설계·관리기술	7(1)	○PET 제조를 위한 청정 대체공정기술의 실용화
환경오염 유발물질 대체물질(소재)	3(0)	-
오염물질 제거효율 향상 소재·제품	5(1)	○환경오염물질 제거용 티타니아 나노코팅 입자개발
총계	28(9)	

자료 : <http://www.kiest.org>

한편 산업자원부는 『환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률』에 근거하여 다음 <표 5-5>에서와 같이 청정생산기술을 개발하고 있으며, 과학기술부는 청정물질 생산에 많은 지원을 하고 있다. 그러나 산업자원부와 과학기술부에서 추진하고 있는 청정생산기술개발은 산업 전 분야에 걸쳐 추진되고 있어 화학산업에 대한 지원은 자동차나 전자산업과 같은 첨단산업에 비해 거의 이루어지고 있지 않다.

<표 5-5> 청정생산관련기술 국내 추진현황

분야	사업명 / 사업내용	추진기관	비고
청정생산기술	o 청정생산 기술사업	산자부	1995~
청정에너지	o 청정에너지 기술개발사업 o 신에너지 기술개발사업(G7)중 일부 사업에 청정에너지 개발사업이 포함되어 있음	산자부	
청정물질	o 신의약 / 신농약 사업(G7) 무공해 농약개발사업	과기부	
	o 신기능 생물소재사업(G7) 중 분해성 고분자 및 계면활성제 연구사업	과기부	
	o CFC 대체물질 개발사업	과기부	
에너지절약	o 에너지절약 기술개발사업	산자부	

자료 : <http://www.nccp.re.kr>

3. 그린화학과의 비교

앞서 언급한 바와 같이 그린화학과 관련된 우리나라의 제도 및 프로그램은 환경부의 TRI, 산업자원부의 청정생산기술과 환경표지제도, 산업체의 RC운동을 들 수 있다. 우선 환경부의 TRI는 화학물질 관리를 위한 기초조사사업으로, 정부는 조사된 배출량 결과를 토대로 배출량의 저감 및 배출량이 많은 화학물질의 대체물질 또는 대체공정이 개발되도록 유도하고 있다. 따라서 TRI는 그린화학을 위한 기초자료를 생산하는 사업이지, 그린화학과의 비교는 화학제품의 생산과는 무관하다.

산업자원부의 청정생산기술은 그린화학을 포함한 포괄적인 의미에서의 사전오염 예방기술이다. 즉, 우리나라의 국가청정생산지원센터에서 정의한 다섯 가지 청정생산 기술(본 보고서 제 5장 1절 참조)중 하나인 “원료의 변경에 의한 총 발생 오염물질을 감소시키거나 환경친화적 제품으로 전환시키는 기술”이 그린화학과의 연관 있다. 그러나 이때 청정생산기술에서의 환경친화적 제품생산은 모든 산업을 포함하는 포괄적인 개념이라 화학제품의 개발보다는 전자산업이나 자동차산업에서의 환경친화적 제품 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 이는 앞의 <표 5-4>에서 보듯이 1995년부터 추진된 국내 청정생산기술사업에서 CFC대체물질이나 신농약사업 등 일부를 제외하고는 화학제품에 대한 기술투자가 거의 이루어지고 있지 않음을 확인할 수 있다. 청정생산기술이 그린화학을 포함한 넓은 의미의 사전오염예방기술이긴 하지만 현재 국내의 청정생산기술프로그램으로는 화학물질 관리에 필요한 그린화학기술 및 제품의 개발을 하기에 충분하지 못한 실정이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 미국의 경우 우리나라의 청정생산과 유사한 개념인 사전오염예방(P2 프로그램) 산하에 그린화학이 별도로 운영되고 있다.

한편 환경친화적 제품에 부착할 수 있는 환경표지는 소비자에게 제품의 환경정보를 제공하고 기업이 소비자의 제품에 대한 기대에 부응하기 위해 환경친화적 제품을 생산하도록 유도하는 제도로, 이 제도의 시행으로 인해 간접적으로나마 안전한 화학제품 개발 및 생산을 촉진할 수 있다. 독일의 경우 그린화학을 통해 안전한 화학제품 생산을 적극적으로 유도하고, 독일의 환경표지제도인 Blue Angel을 통해 간접적인

지원을 하고 있다. 따라서 환경표지제도는 그린화학에 비해 매우 소극적이며 간접적인 제도로, 이와 같은 제도의 운영만으로는 그린화학과 같은 사전오염예방 효과를 거두기 어렵다.

그 외 RC 운동은 산업체의 자발적인 운동으로, 화학산업만을 대상으로 한다는 점과 사전오염예방의 실현이라는 점에서는 그린화학과 유사하다. 그러나 RC는 그린화학과 같이 안전한 화학제품을 생산하기보다는 생산된 화학물질의 안전관리, 즉, 공정 안전 및 근로자의 안전관리에 많은 비중을 두고 있으며 이는 RC의 구체적인 실행지침에 명확히 나타나 있다. 또한 RC는 산업체의 자발적인 운동이므로 RC 이행에 대한 정부의 압력이나 성과에 대한 인센티브가 없다. 반면에 그린화학은 정부의 주도하에 산업체, 민간단체, 협회, 국민 등 화학물질과 관련된 모든 이해당사자가 관여하는 제도로, 그린화학에 대한 기여도 및 성과에 대한 평가(상 수여 및 인센티브 제공) 등이 있어 RC와는 차별된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 우리나라에서 안전한 화학제품의 생산과 관련된 일부 제도나 프로그램이 운영되고는 있으나, 그린화학과 같은 정부주도의 적극적인 제도는 운영되고 있지 못하다. 또한 이들 제도와 연계하여 일부 연구개발 사업에서 그린화학 관련 연구가 진행되고는 있으나 외국과 같이 활발하지 못하며 연구규모 또한 선진국에 비해 매우 작은 실정이다(<표 5-6> 참조).

<표 5-6> 그린화학과 국내 관련제도와의 비교표

구분	추진주체	실천목표	대상산업
그린화학	정부	사전오염예방 및 지속가능한 사회구현을 위해 안전한 화학물질생산	화학산업
TRI제도	정부(환경부)	사전오염예방 실천을 위한 오염물질 배출량조사	모든 산업
청정생산기술	정부(산업자원부 등)	오염물질 발생을 저감시키는 환경친화적 생산기술개발	모든 산업
환경표지제도	정부(산업자원부)	소비자의 친환경적 구매욕구에 부응하는 환경친화적인 제품과 기술개발을 간접적으로 유도	모든 산업
Responsible Care	산업체	산업체의 화학물질 안전관리	화학산업

제6장 화학물질 관리와 그린화학과의 연계방향

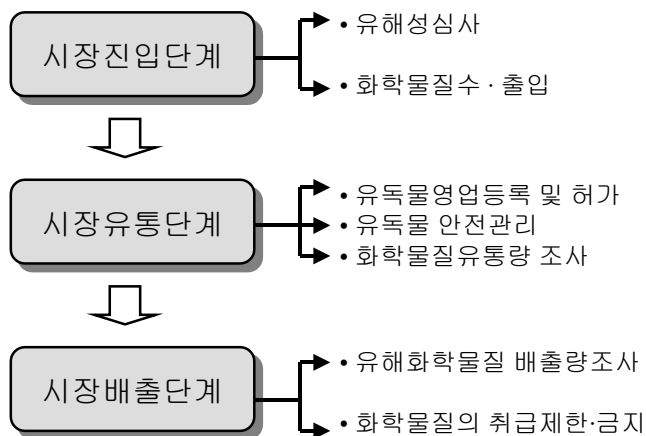
우리나라의 화학물질 관리는 1990년 유해화학물질관리법이 제정되면서 시작되어, 1996년 OECD가입을 계기로 본격적으로 선진정책이 도입되었으며 이를 통해 화학물질 관리체계의 기반이 마련되고 있다. 그러나 OECD의 다른 국가에 비해 우리나라 화학물질 관리역사는 매우 짧은 편이라 아직 그 수준이 낮은 편이며, 앞으로 개선해야 될 제도상의 문제점이 많이 남아있다. 또한 화학물질 규제강화에 대한 국제적인 압력이 점차 커지고 있어 이에 대한 대응책 마련이 요구되는 실정이다. 이에 선진국에서 화학물질 관리의 사전오염예방정책의 하나로 시행하고 있는 그린화학을 도입함으로써 국내 화학물질 관리의 문제점을 일부 해결하고 국제적으로 거세지고 있는 규제압력에 효과적으로 대응할 수 있는지의 가능성을 살펴보고, 도입의 필요성이 인정되면 현재의 화학물질 관리체계내에서 그린화학과의 연계하여 관리 효과의 극대화를 꾀할 수 있는 방향을 모색하는 것이 요구된다. 따라서 본 장에서는 우리나라의 화학물질 관리현황 및 문제점을 다시 한번 살펴보고 국제적으로 예상되는 화학물질 관리의 정책방향에 따라 그린화학 도입의 필요성을 확인해보았다. 또한 그린화학을 국내 도입할 경우 현행의 화학물질 관리체계내에서의 연계점을 모색하고 추진방향을 도출하여 제시하였다.

1. 우리나라 화학물질의 관리현황⁹⁷⁾

우리나라는 보다 효과적인 화학물질 관리정책 추진을 위하여 유해화학물질관리기본계획을 수립하고 이에 따라 종합적인 화학물질 관리를 수행해 나가고 있다. 화학물질은 전 생애 즉, 생산부터 폐기 모든 단계에서 적절하게 관리되어야 하며, 이를 위하여 새로운 화학물질이 개발되거나 수입되어 경제활동에 이용되기 전 단계인 시장진

97) 환경부 환경백서(2001년) 참조

입단계, 경제활동에 실제 이용되는 시장유통단계, 환경에 배출되는 배출단계로 나누어 다음과 같은 정책이 추진되고 있다(<그림 6-1>).



<그림 6-1> 우리나라 화학물질 관리체계도

화학물질은 그 유통특성상 시장에 진입할 단계에 해당 화학물질의 독성 여부 등에 대한 검토가 이루어지지 않는 경우 국내시장에 들어와서 판매, 유통, 사용, 폐기 등 전 단계에서 해당물질이 어떠한 방식으로 관리되어야 하는 물질인지 알 수 없게 되므로 화학물질의 시장 진입단계에서의 제도 운영은 화학물질 관리에 있어 첫 단추가 되는 매우 중요한 사안이라 할 수 있으며, 다음과 같은 절차에 의해 관리되고 있다.

첫째, 국내에 처음으로 도입되는 신규화학물질에 대하여는 그 제조 또는 수입하는 사람이 관련자료를 마련하여 유해성심사⁹⁸⁾를 받도록 의무화되었으며, 유통량심사제도의 도입 당시 국내에서 이미 유통되고 있는 기존화학물질은 목록화하여 정부에서 매년 계획을 세워 독성자료를 생산하여 유해성심사를 수행하고 있다(<표 6-1>).

98) 화학물질로 인한 위해 가능성을 사전에 예방하고자 화학물질이 국내시장에 유통되기 전에, 즉 제조 또는 수입전에 해당화학물질의 독성 등을 사전에 점검하여 독성 등의 문제가 있는 경우 유독물 등으로 지정하여 안전하게 관리하고자 하는 제도

둘째, 화학물질의 수출입시, 유해화학물질관리법령에 따라 ① 화학물질의 제조, 수입, 사용의 금지 또는 제한(법 제11조), ② 유독물의 수입 및 수출신고(법 제12조), ③ 관찰물질의 제조·수입신고(법 제13조), ④ 화학물질 확인증명서의 발급(법 시행령 제5조) 등의 규정을 준수하여야 한다.

<표 6-1> 신규화학물질의 유해성심사의 신청에 필요한 자료

- ① 주요용도, 녹는점, 끓는점, 증기압, 용해도 및 옥탄올물분배계수 등의 물리, 화학적 성질에 관한 자료
 - ② 급성독성, 유전독성 및 분해성에 관한 시험성적서 (GLP기관에서 작성)
 - ③ 환경에 배출되는 주요경로 및 예상배출량에 관한 자료
 - ④ 고분자화학물질의 수평균분자량, 단량체구성비, 잔류단량체함량 및 안전성등에 관한 자료(이상 유해화학물질관리법 시행규칙 제2조)
- 국립환경연구원장은 상위법의 위임에 따라 유해성심사에 필요한 서류 기타 관계자료의 제출을 추가로 요청하거나 명할 수 있으며, 이에 대한 세부적인 사항은 "화학물질의 유해성심사등에 관한 규정(국립환경연구원고시)"에서 정하고 있다.

자료 : 환경부. 「유해화학물질관리법」

시장유통단계라 함은 시장진입단계에서 유해성심사를 거쳐 유독물 등으로 지정된 화학물질들의 취급과정에서의 안전관리 등을 기하기 위한 것으로 다음과 같은 정책이 추진되고 있다.

첫째, 유독물이나 취급제한 유독물로 지정된 화학물질을 취급하는 영업을 하고자 할 경우에는 일정시설·장비 등을 갖추어 영업등록 또는 허가를 받아야 한다.

둘째, 유독물 취급시 취급자의 안전 및 환경에의 배출을 막기 위하여 유독물 관리자를 임명하고, 관리기준을 준수하여야 한다.

셋째, 유통단계 등에서의 안전을 도모하기 위하여 유독물의 보관·저장, 진열, 운반 등 취급 단계와 유독물 용기 또는 포장에 유독물 표시를 하여야 한다.

그리고 화학물질 관리정책수립의 기초자료로 활용하기 위하여 국내에 유통되는 모든 화학물질의 종류와 양 등을 파악하는 화학물질 유통량조사가 실시되고 있다.

마지막으로 화학물질은 제조, 사용, 판매 등 유통단계와 소비단계에서 환경중으로 유출되고, 유출된 화학물질들은 환경오염물질로 작용하여 환경을 오염시키는 등 국민건강과 환경에 위해를 주게 된다. 환경에 배출된 오염물질로서의 화학물질들은 대기, 수질, 폐기물, 토양 등 환경매체별로 제어되고 관리되어 환경에 위해를 최소화하고 있지만 환경매체별 관리는 한계가 있어 효율적인 관리를 위해서는 통합관리체제의 도입이 필요하게 된다. 이를 위하여 유해화학물질들의 환경매체별 누출, 유통량과 매체간 이동량을 파악하여 효과적인 관리방안 마련의 기초자료로 이용하고, 기업들은 사용화학물질들이 환경중으로 유출 또는 누출되는 양을 스스로 파악하고 이에 대한 저감계획을 수립할 수 있는 자료를 제공하는 화학물질배출량조사(화학물질 배출 및 이동량조사)가 실시되고 있다. 또한 국민건강 및 환경에의 유해정도가 크다고 인정되는 물질들에 대하여는 사용을 금지하거나 일정용도 외에는 사용을 제한하는 화학물질 취급제한 및 금지제도가 시행되고 있다.

2. 화학물질 관리상의 문제점과 향후 전망

가. 화학물질 관리상의 문제점 - 그린화학과의 연계하여

앞서 지적한 바와 같이 우리나라의 화학물질 관리의 역사는 다른 선진국에 비해 짧아 아직도 개선해야 할 사항이 많다. 그 중 그린화학, 즉 안전한 화학제품의 생산이나 공정개발과 관련하여 개선해야 할 문제점을 살펴보면 다음과 같다.

1) 화학제품중 불순물 및 부산물에 대한 관리미흡

우리가 사용하고 있는 화학제품 중 상당수는 여러 단량체⁹⁹⁾가 결합된 고분자화합물이다. 유해화학물질관리법상의 고분자화합물 정의는 『1종 이상의 단량체 단위가 연속하여 반복되는 분자로 이루어져 있고 각 분자내 단량체 단위의 반복 수에 따라 특징적 분자량 분포를 보이며, 3개 이상의 단량체 단위가 적어도 한 개 이상의 단량체 단위 또는 다른 반응물과 공유결합을 이루며 이러한 분자가 50% 이상이고 분자량이 같은 분자가 중량비로 50%를 초과하지 않는 화학물질』을 말한다. 국내에서 고분자화합물의 평가는 유해화학물질관리법(유해성심사등에관한규정) 제16조에 의해 ① 분자량이 적은 분자의 함량등 분자량 분포, ② 예상 단량체 단위의 구성 원소, ③ 특정 단량체의 함량, ④ 상온·상압조건에서 분해나 탈중합 가능성, ⑤ 생물학적 조직과의 반응성, ⑥ 용해도 등을 평가하고 있으며, 특히 안정하지 않은 고분자화합물로서 인체·환경에 대한 위해가 우려되는 경우 단량체 단위의 반복정도, 단량체 또는 분해산물에 대해 알려진 유해성 등을 평가하고 있다.

고분자화합물은 단량체의 결합으로 이루어지므로 합성과정에서 사용되는 모든 단량체가 고분자화합물에 포함되어 고분자화합물에 남게되는 잔류단량체의 함량을 최소화하도록 하는 것이 본 보고서의 제 2장에서 제시한 그린화학의 주요 원리인 『에너지 효율이 높은 화학제품생산』을 실현하는 방법 중 하나이다. 또한 잔류단량체에는 포름알린, 옥시란화합물 등 유해하다고 알려진 물질이 포함되어 있는 경우가 있어,

99) Monomer, 둘 또는 그 이상의 다른 분자와 결합하여 고분자화합물을 형성하는 화학물질

외국에서는 고분자화합물의 잔류단량체의 함량 및 특정 유해잔량체 함유여부를 규제하고 있으며 안전한 고분자화합물을 생산하기 위한 수단으로 그린화학을 추천하고 있다. 우리나라에서는 고분자화합물의 평가시 포함된 잔류단량체의 양과 상관없이 동일한 절차에 의해 실시되고 있어, 화학물질 관리의 사각지대로 남아 있다. 화학제품의 소비자 입장에서는 결국 유해한 잔류 단량체에 우선적으로 직접 노출되게 되므로, 이에 대한 정부의 관심과 정책수립이 요구된다.

2) 화학제품에 대한 관리정책 미흡

지금까지의 화학물질 정책은 주로 물질에 대한 관리로, 일차적으로 화학물질에 대한 심사와 평가를 통해 유해화학물질일 경우 사용을 금지하거나 제한하였다. 사용이 허용된 유해화학물질은 여러 용도로 제품에 포함되는데, 농약과 의약품 등 타 법에 의해 관리되는 제품을 제외한 대부분의 산업용 화학제품은 소비자와 환경에 대한 위해성이 검증되지 않은 채 사용되고 있다(산업용 화학제품 중 방오제 등 일부 제품은 유해화학물질관리법에서 관리됨). 이에 OECD를 위시한 국제기구와 선진국에서는 앞으로의 화학제품관리를 강화하기 위해 IPP(Integrated Product Policy, 통합제품관리 정책¹⁰⁰)을 추진하고 있다. 이에 대한 OECD의 1차 워킹그룹이 2002년 9월 일본 동경에서 개최되었으며, 본 워킹그룹에서 도출된 IPP제도 실행을 위한 제안들은 2002년 11월에 개최된 제 34차 OECD합동회의에 제출되었다. 또한 2002년 8월 개최된 WSSD 회의에서 IPP 제도의 필요성이 다시 한번 확인되어, 이행결의문에 지속가능한 사회를 위해 위해성이 적은 안전한 화학제품 사용은 필수적이며 이를 위해 모든 국가가 노력할 것을 강조하고 있다. 이 때 안전한 화학물질 제품생산은 그린화학을 통해 실현될 수 있다.

따라서 향후 화학물질 관리방향은 물질관리에서 제품관리로 전환되는 것이 국제적인 추세이며, WSSD와 OECD에서는 아직 IPP와 같은 화학제품 관리정책의 시행시기를 확정하지는 않고 있으나 2000년대 초반에는 제품관리를 위한 기반구축을, 2000년대 후반에는 시행을 목적으로 하고 있어 이에 대한 국내 대응책 마련이 요구된다.

100) IPP(Integrated Product Policy)란 물질/제품의 전생애 관리를 주요 원리로 하는 모든 제품체계와 환경영향을 포함하는 제도인. 이를 통해 생산과정 중 각기 다른 매체에서 발생하는 환경오염을 방지하고, 제품의 전생애에서 각 단계별로 발생하는 환경문제를 예방함

3) 화학물질 관리의 비규제수단 부족

현재까지의 우리나라 화학물질 관리는 주로 정부의 직접규제에 의해 이루어져 왔다. 외국도 이와 같은 명령과 통제로 화학물질을 관리해 오다, 1990년 들어 지속가능발전(Sustainable Development)의 개념이 도입되면서 여러 이해당사자들이 화학물질 관리의 주체로서 적극적인 활동을 할 수 있도록 하고 있다. 또한 화학물질과 관련된 비규제 정책, 즉 산업체나 시민들이 책임의식을 갖고 자발적으로 참여할 수 있는 정책을 개발하고 있다. 우선 화학물질 분야에서는 앞서 언급한 Responsible Care가 산업체의 자발적인 운동으로 사업장의 안전관리에 중점을 두고 있으나, 산업체를 중심으로 운영되다 보니 정부 주도의 비규제정책에 비해 다소 소극적이다.

정부 주도의 비규제정책으로는 그린화학을 들 수 있는데, 이에 대해 OECD는 관련 문서『그린화학의 연구 및 개발프로그램 필요성, ENV/JM.MONO(2002)12』에서 그린화학 실행을 위한 정부, 산업체, 학계 및 시민들의 역할을 제안한 바 있다. 따라서 지속가능한 사회를 위한 화학물질 분야의 새로운 governance 구축에 그린화학은 매우 적합한 정책 중 하나이므로, 미국 등 대부분의 선진국에서는 각종 수상제도와 세제해택 등 정부 차원의 그린화학 활성화방안을 마련하여 시행하고 있다.

이에 비해 우리나라는 화학물질과 관련된 대표적인 비규제정책인 그린화학은 아직 그 개념조차 생소한 실정이며, Responsible care에 대한 정부의 활성화방안도 선진국에 비하면 매우 미비한 실정이다. 따라서 다른 국가(예, 미국의 환경을 위한 디자인, 그린화학, 그린공학 등)와 같이 화학물질 관리를 위한 다양한 비규제 정책 개발이 요구되며, 이들 정책에 이해당사자의 자발적 참여를 유도할 수 있는 활성화 정책이 마련되어야 할 것이다.

나. 화학물질 관리의 향후 전망

우리나라를 위시한 대부분의 국가에서 화학물질의 유통과 사용은 증가추세에 있으며, 관련 산업이 국내·외 경제에서 차지하는 비중 또한 높아질 전망이다. OECD에 따르면 화학산업은 세계 총소득의 7%, 국제무역의 9%를 차지하고 있으며 향후 생산량은 GDP보다 빠른 속도로 증가할 것으로 예상되었다. 전세계적으로 화학물질의 제조, 이동·운반, 저장, 사용공정에서 각종 환경오염 및 중독사고 등이 일어나고 있으며, 식품 등의 오염사고도 빈발하게 발생하고 있다. 이와 같은 화학물질 관련 피해사례가 가시화되고 있어 화학물질 안전관리에 대한 사회적 요구가 급증하고 있는 실정이다.

이에 OECD, EU, UNEP 등 기존의 국제기구에서 화학물질 관련 업무가 확대되었으며, 화학물질과 관련된 IFCS(화학물질 안전을 위한 정부간 협의체), IPCS(국제화학물질안전계획) 등 새로운 국제기구가 신설되기도 하였다. 한편 지속가능한 발전을 위해 개최된 유엔환경개발회의('92)에서는 『리우선언』과 세부실천계획인 『의제21』이 채택되었고, 화학물질의 안전관리를 위해 다음 6가지 계획분야의 정책방향, 목표, 정책수단 및 실행방안이 제안되었다; ① 화학물질의 위해성에 대한 국제적 평가확대 및 강화, ② 화학물질의 분류 및 표시의 국제적 조화, ③ 유해화학물질 및 위해성에 대한 정보교환, ④ 위해성 저감계획 수립, ⑤ 화학물질 관리를 위한 국가역량 및 시설 강화, ⑥ 유해하거나 위험한 제품의 불법 국제거래 방지.

또한 『의제 21 제19장』에서는 위의 계획분야가 모두 성공하기 위해서는 위해성 평가(risk assessment), 위해도수용성(risk acceptability) 및 위해성관리(risk management)가 반드시 수반되어야 함이 강조되었다. 한편 리우선언이 채택된 지 10년이 지난 올해 8월 26일부터 9월 4일까지 개최된 지속가능발전 세계정상회의(WSSD)에서는 1992년 유엔환경개발회의 이후 지속가능발전의 추진성과 및 21세기 지구촌 발전을 위한 구체적인 이행계획이 마련되었으며, 이 이행계획에는 다음과 같은 화학물질 관련 사항이 포함되어 있다; ① 위해성 평가제도의 확립, ② 화학물질의 위해성에 대한 사회적 수용성 확보, ③ 통합적 화학물질 관리체계 구축, ④ 화학물질

관리에서 화학제품관리체계(IPP)로 전환, ⑤ 화학물질과 관련된 로테르담협약(PIC협약)과 스톡홀름협약(POPs협약)의 조속한 발효, ⑥ 국제적으로 통일된 유해화학물질에 대한 분류와 표시제도(GHS, Globally Harmonized Classification System¹⁰¹)를 2008년까지 도입, ⑦ 수은 등 중금속에 대한 국제적인 연구와 함께 위해성 저감대책 마련.

이상의 리우선언 의제 21과 WSSD 이행계획에 포함된 지속가능한 화학물질 관리 방향은 우리나라를 포함한 대부분 국가가 향후 정책적으로 추진할 사항들이므로, 이에 대한 국가 차원의 기반구축 및 대응책 마련이 요구된다.

3. 그린화학의 국내 도입 필요성

우리나라 화학물질 관리현황과 문제점, 그리고 화학물질 관리의 국제적인 추세를 살펴볼 때, 화학물질 관리분야에서 가장 시급한 것은 관리기반 확충과 지속가능한 화학물질 관리정책의 실현을 통한 선진국 수준의 화학물질 관리체계 완성이다. 미국과 일본 등 다른 국가에서는 화학물질 관리체계 완성을 위한 방안 중 하나로 그린화학 정책을 개발하여 시행하고 있어, 만약 국내에 그린화학이 도입될 경우 다음과 같은 관리효과를 거둘 것으로 예상된다.

우선 그린화학 도입을 통해 다음 분야의 화학물질 관리기반이 확충될 것으로 예상된다.

첫째, 안전한 화학제품 생산을 위한 R & D 사업이 활성화된다. 현재의 관리정책으로는 화학제품에 포함되어 있는 불순물이나 부산물이 제대로 관리되지 않고 있으며, 특히 고분자화합물에서의 불순물이나 부산물에는 암을 유발할 정도로 유독한 물질도 포함되어 있어 각별히 관리되어야 함에도 불구하고 이를 규제할 법적 근거와 방법이 없어 화학물질 관리의 사각지대로 남아 있다. 제품의 불순물 및 부산물 규제를 위해

101) GHS제도란 화학물질 표시제도를 국제적으로 통일하여, 화학물질의 저장·운반·국가간 이동시 일관된 기준을 적용할 수 있도록 하는 제도임

선행되어야 할 사항은 불순물이 포함되지 않은 화학제품이 생산될 수 있는 기술개발인데, 이에 대한 국가적인 지원이 부족하여 선진국 수준으로 규제를 할 경우 산업체에 미치는 영향이 매우 클 것으로 우려된다. 그린화학의 시행을 위해서는 관련 R & D 사업을 활성화시키는 것이 정부의 일차적인 역할이며, 이는 OECD의 권고사항이기도 하다. 따라서 그린화학을 도입한 국가는 그린화학 기술개발을 위한 R & D 사업이 매우 활성화되어 있고 지원 규모 또한 점차 증가하고 있는 추세이므로, 우리나라도 그린화학의 도입으로 인해 안전한 화학제품 생산에 대한 R & D 사업과 연구가 활발해질 것으로 예상된다. 이와 같이 활성화된 R & D 사업과 연구결과에 의해 유해 산 불순물 또는 부산물이 없는 제품이 개발될 것으로 예상된다.

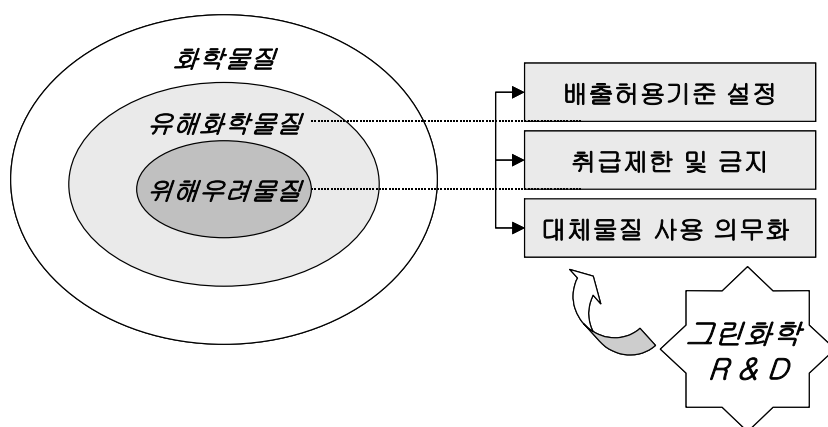
둘째, 화학물질 규제강화를 위한 기반이 구축된다. 현재의 화학물질 관리절차는 유해성심사를 통해 유해화학물질을 선정하고 이 중 위해가 특히 심하다고 판단되는 물질은 위해우려물질¹⁰²⁾로 선정하여 배출허용기준 설정, 취급제한 및 금지, 대체물질 사용 의무화 등의 관리규정을 적용하고 있다(<그림 6-2>). 이때 취급제한 및 금지되는 물질은 같은 효능을 유지하면서 위해가능성이 적은 물질로 대체되어야 하나 우리나라의 대체물질 개발 및 생산은 주로 해당 업체에 의존하고 있는 실정이므로, 정부가 특정 물질을 규제하려는 강력한 의지가 있다 할지라도 산업체가 대체할 물질을 개발하지 않은 상황이면 규제가 현실적으로 어렵게 된다. 또한 외국에서 이미 대체물질이 개발되었다 할지라도 대부분 수입 또는 생산단가가 기존물질에 비해 비싸므로 규제강화에 따른 국내 산업체의 경제적 부담이 매우 커지게 되어 취급제한 및 대체물질 사용 의무화 등의 강도 높은 규제를 실시하기 어렵다. 최근에는 POPs 물질과 같이 국제적인 사용금지물질이 증가하고 있고, TBT의 국제적 사용을 금지하는 협약이 국제해사기구¹⁰³⁾에 의해 추진되는 등 일부 위해가 우려되는 화학물질의 규제수준은 갈수록 높아지고 있는 실정이라, 선진국에서도 안전한 대체물질(화학제품 포함) 개발에

102) 환경부는 위해우려물질관리 기본계획(2002년도 수립)의 주요 추진사업은 다음과 같음

- 1단계 ('02~'03) : 위해우려물질 선정, 목록 작성
- 2단계 ('03~'05) : 환경 모니터링 및 위해성평가 실시
- 3단계 ('04~'05) : 환경기준 및 배출허용기준 설정 등 관리방안 마련

103) International Maritime Organization, IMO

많은 노력을 기울이고 있다. 우리나라의 경우 유해화학물질 또는 위해우려물질의 규제를 강화하고자 할 때 걸림돌 중의 하나가 대체물질의 부재이며, 이는 국제적인 협약의 국내 이행시에도 직면하는 문제이다. 따라서 유해화학물질 또는 위해우려물질의 대체물질 개발은 국가 차원에서 적극적으로 지원해야 할 사업으로, 위해정도 및 국제적인 규제일정에 따른 우선순위를 두어 가장 시급히 대체물질을 개발해야 하는 화학물질을 중심으로 개발계획을 수립하여야 할 것이다. 화학물질의 대체물질 개발은 안전한 화학제품 생산을 위한 그린화학의 주요기법(대체 원료물질, 대체 반응물질, 대체 용매, 대체 제품·대상 분자, 공정분석 화학, 대체 촉매 등)을 통해 가능하며, 그린화학의 세부내용에 해당된다. 따라서 현재의 화학물질 관리의 규제수준을 선진국 수준으로 강화하기 위해서는 그린화학의 국내 도입이 요구된다.



<그림 6-2> 화학물질 관리방안과 그린화학과의 관계

그린화학은 화학물질 관리기반의 확충 뿐 아니라 다음과 같이 화학물질 분야의 지속가능발전의 달성을 위해 요구된다.

첫째, 지속가능한 사회를 위한 화학물질 분야의 새로운 governance가 구축될 수 있다. 리우선언과 WSSD 이행계획에서는 민주적 의사결정 방식에 따른 참여와 합의정신을 원칙으로 화학물질 관리와 관련된 정부, 산업체, 시민단체, 전문가(대학 및 연구소)를 포함한 새로운 관계형성을 구축하도록 권고하고 있다. 그린화학은 정부 주도의 정책이기는 하지만 다양한 이해당사자들의 자발적 참여가 매우 중요하여 이미 그린화학을 시행하고 있는 국가에서는 그린화학에 대한 각 이해당사자들의 역할을 명확히 하고 네트워크를 구성하여 정보교류 및 적극적으로 참여할 수 있는 기회를 제공하고 있다. 이와 같은 이유로 OECD와 일부 국가에서는 그린화학 대신 지속가능한 화학이라는 용어를 사용하고 있다. 따라서 그린화학은 그동안 정부 주도의 규제정책에서 벗어나 다양한 이해당사자가 참여하고 주체가 되는 정책으로 화학물질 분야의 새로운 governance 구축의 좋은 사례가 될 수 있다.

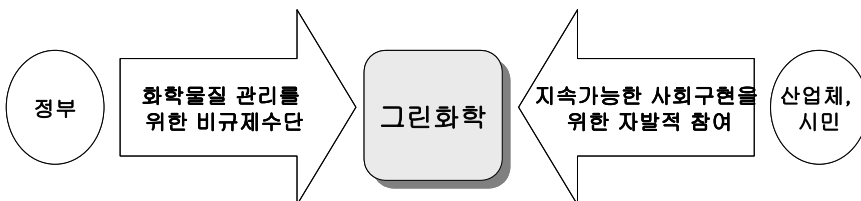
둘째, 그린화학을 통해 IPP(통합제품관리)제도의 국내 기반이 마련된다. 앞서 언급한 바와 같이 WSSD에서 제시한 화학물질 분야의 국가이행계획에는 관리대상을 화학물질에서 화학제품으로 확대하고 안전한 화학제품 생산을 위해 모든 국가가 적극적으로 노력하도록 권고하고 있다. 아직 IPP에 대한 세부계획 및 국제적인 추진일정은 확립되지 않은 상황이지만, WSSD 이행계획에 포함되어 있고 OECD에서도 위원회를 구성하여 활동을 개시하였으므로 조만간 IPP 정책의 시행이 가시화될 것이다. 따라서 IPP 시행을 대비한 정책방안 개발과 함께 전생애평가 기법 개발, 안전한 화학제품 생산 등 기반구축을 위한 여러 노력이 필요하며, 그린화학의 국내 도입은 IPP 시행에 대한 기초기반을 구축하는 것이 된다.

4. 화학물질 관리와 그린화학과의 연계방향

이상과 같이 그린화학은 현재의 국내 화학물질 관리의 문제점을 해결하기 위한 방안중 하나이며, 국제적으로 강화되고 있는 화학물질 규제기준에 효과적으로 대응하고 새롭게 대두되고 있는 IPP 같은 선진 관리정책의 국내 도입기반 마련을 위해 반드시 필요한 정책이다. 이러한 그린화학의 구체적인 국내 도입방안은 향후 관련연구 수행과 함께 진행되어야 하며, 본 보고서에서는 우선 조사된 외국의 시행현황과 국내 관련제도의 운영현황을 비교·분석하여 다음과 같이 국내 화학물질 관리와 그린화학의 연계방향을 제안하고자 한다.

가. 그린화학 시행을 위한 역할분담

그린화학 시행을 위한 첫걸음으로 OECD는 정부, 산업체, 학계, 전문협회 및 시민단체가 각각의 역할을 명확히 할 것을 권고하고 있다. 이때 정부는 화학물질 관리의 비규제 수단으로서의 그린화학의 중요성을 인식하고, 산업체와 시민단체는 지속가능한 사회를 위한 자발적 참여임을 명심하여야 한다(<그림 6-3>). 그린화학 시행과 관련된 각 단체 및 협회는 다음 <표 6-2>와 같다.



<그림 6-3> 사회구성원의 그린화학에 대한 실천

1) 정부

그린화학 시행에 있어 정부의 역할은 그린화학에 대한 연구 및 개발프로그램과 산업체의 관련 프로그램을 지원하는 것이다. 이때 연구 및 개발 프로그램은 ① 실험실 수준의 기술 및 과정의 혁신, ② 화학생산에 대한 새로운 하부구조 개발, ③ 기존의 하부구조 개선 등을 포함한 실용적인 화학제품의 생산의 개선을 목적으로 해야 한다. 또한 정부는 그린화학의 중요성과 실행효과에 대해 산업체와 일반 시민들을 대상으로 지속적인 교육과 홍보를 해야 한다. 마지막으로 정부는 학계나 산업체가 그린화학에 대한 연구와 이행을 할 수 있는 유인정책, 즉, 세금감면이나 보조금 지급 등을 개발하여 추진하여야 할 것이다.

2) 학계

그린화학에 대한 학계의 가장 큰 역할은 안전한 화학제품 생산을 위한 혁신적인 화학기술의 개발이다. 또한 산업체에서 개발한 신규 기술에 대해 위해성을 평가하고 검증하는 역할을 수행하여야 하며, 이를 통해 화학제품과 화학산업에 대한 사회의 불신을 해소시키고 신뢰감을 회복하는데 공헌해야 한다. 이는 학교에서의 교육이 매우 중요하므로 관련 교재를 개발하고 화학관련 교과목에 그린화학의 필요성을 포함시키도록 노력하여야 한다(예, 미국의 그린공학 프로그램). 또한 산업체에 대한 교육프로그램도 개발하여야 하는데, 이때 근로자, 엔지니어, 경영자 등이 교육대상에 포함되어야 한다.

3) 산업체

산업체는 자신들이 생산하는 화학제품이 사람의 건강과 환경을 위협하는 잠재적인 위해성을 인식하고, 이에 대한 책임감과 개선의지를 키워야 한다. 모든 화학제품의 생산이 그린화학의 개념 하에 디자인되고 생산되도록 하며, 사회에서 요구하는 안전한 제품생산 요구와 시장원리에 따른 제품가격을 효과적으로 고려하여 새로운 제품의 사회적 수용성을 최대한 확보하는 방향으로 추진하여야 한다. 특히 자체적으로 기술개발이 가능한 대기업과는 달리 중소기업에 대해서는 기존의 화학제품과 생산기술

을 대체할 수 있도록 정부의 지원이 요구된다. 또한 산업체는 위해성 평가를 통해 자사에서 생산하는 화학제품에 대한 위해정보를 제공할 의무가 있으며, 이는 위해정보 전달체계(risk communication)를 통해 전달되어야 한다. 그 외 산업체가 자발적으로 시행하고 있는 Responsible Care와 그린화학을 연계하면 시너지 효과를 기대할 수 있으므로, 산업체내에서 이 두 프로그램의 연계방안을 마련하는 것이 바람직하다.

4) 전문협회 · 시민단체

화학물질과 관련된 전문협회와 시민단체는 공통적으로 그린화학의 연구에 대한 토론에 적극적으로 참여하여 화학물질에 대한 사회적 요구사항이 반영될 수 있도록 한다. 이와 같은 노력은 화학물질에 대한 위해정보전달체계를 통해 진행되어야 하며, 전문협회와 시민단체 모두 화학물질에 대한 전문가집단과 일반 시민과의 가교역할을 충실히 수행하여야 한다. 또한 전문협회의 경우 그린화학과 관련된 저널발간, 심포지엄개최, 그린화학의 R & D에 대한 국제적 기준과 평가항목이 선정될 수 있도록 관련 국제기구에 촉구하여야 할 것이며, 시민단체는 학계와 협력하여 새로운 제품에 대한 안전성 검증을 실시하여야 한다.

<표 6-2> 우리나라 화학물질 관련조직 및 단체

화학물질 관련 주요조직		홈페이지 주소
학회	대한화학회	http://kcsnet.or.kr
	한국화학공학회	http://www.kiche.or.kr
	한국환경독성학회	http://www.kaoet.org
	대한약학회	http://www.psk.or.kr
협회	한국석유화학공업회	http://www.kpia.or.kr
	농약공업협회	http://www.kacia.or.kr
	한국화학물질관리협회	http://kcma.or.kr
	한국정밀화학공업진흥회	http://kscia.or.kr
	환경마크협회	http://www.kela.or.kr
	한국비료공업협회	http://www.fert-kfia.or.kr
시민단체	녹색연합	http://www.greenkorea.org
	소비자문제를연구하는시민의모임	http://www.cacpk.org
	환경운동연합	http://www.kfem.or.kr
	쓰레기문제해결을위한시민운동협의회	http://www.waste21.or.kr

<표 6-3> 그린화학 시행을 위한 역할분담

구분	그린화학 시행을 위한 역할
정부	○ R & D사업 지원 ○ 교육 및 홍보 ○ 그린화학 활성화방안(세제감면, 보조금지금 등) ○ 위해정보전달체계 구축
학계	○ 그린화학 기술개발 ○ 화학제품에 대한 위해성평가·검증 및 기법개발 ○ 교육교재 개발 및 교과목에 그린화학 포함
산업체	○ 그린화학 기술개발 ○ 화학물질 및 제품의 위해정보생산 및 제공 ○ Responsible Care와 그린화학과의 연계방안 모색
전문협회·시민단체	○ 그린화학 연구방향 및 결과에 대한 토론참여 ○ 화학제품에 대한 사회적 요구사항 수렴 및 제안 ○ 화학제품에 대한 위해성평가·검증(시민단체)

나. 세부 연계방향

그린화학이 처음 시작된 지 10년도 되지 않아 그 필요성은 국제적으로 확인되었지만 우리가 참고할 만한 실행을 위한 세부적인 지침 등은 아직 개발되지 않고 있다. OECD에서 그린화학의 R & D 사업에 대한 권고사항을 담은 제안서를 발표한 바 있으며, EU는 그린화학의 활성화방안 중 하나로 수상제도에 대한 계획서를 제안하였다. 그 외 일본 등 다른 국가에서는 그동안 여러 분야에서의 그린화학 관련활동을 통합 관리할 수 있는 체계마련에 착수하였으며, 이를 위한 기반구축의 하나로 그린화학 네트워크를 구축하였다. 따라서 우리나라 화학물질 관리체계내에서의 그린화학 시행 및 연계방향을 앞서 살펴 본 외국의 사례에서와 같이 연구 및 개발 프로그램, 교육 및 홍보프로그램, 자료수집 및 공유프로그램, 정부의 활성화방안 등으로 구분하여 제안하고자 한다.

1) 연구 및 개발프로그램

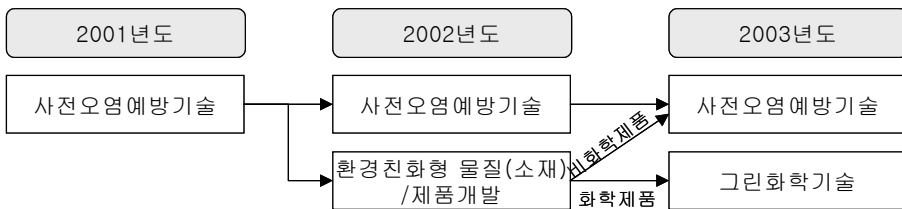
그린화학에 대한 연구 및 개발프로그램은 기존의 환경기술에 대한 R & D 사업을 확대하여 그린화학을 포함시키는 방법과 별도의 R & D 사업을 개발하는 방법이 있다. 미국은 그린화학 R & D 사업을 운영하는데 비해 일본은 국가기술개발사업내에서 그린화학을 세부사업으로 하여 지원하고 있다. 우리나라 산업자원부의 『청정생산기술사업』과 환경부의 『차세대핵심환경기술개발사업』에 그린화학과 관련된 세부사업이 일부 진행되고 있으므로, 별도의 R & D 사업을 개발하기보다는 일본과 같이 전체 환경기술 R & D 사업내에 그린화학을 포함시켜 지원하는 것이 바람직하다.

산업자원부의 『청정생산기술사업』은 전 산업을 대상으로 하기 때문에 화학산업에 대한 집중적인 지원을 기대하기 어렵고, 주로 산업체에서 시급히 필요로 하는 기술의 개발에 중점을 두고 있어 단기간에 연구를 하여 상업화가 가능한 기술들에 우선적으로 연구비를 지원하고 있어 화학물질 관리에 필요한 그린화학 제품 및 기술개발에 적합지 않다. 즉, 기술개발의 주목적이 무역, 통상 측면의 접근에 치우쳐 있어 상대

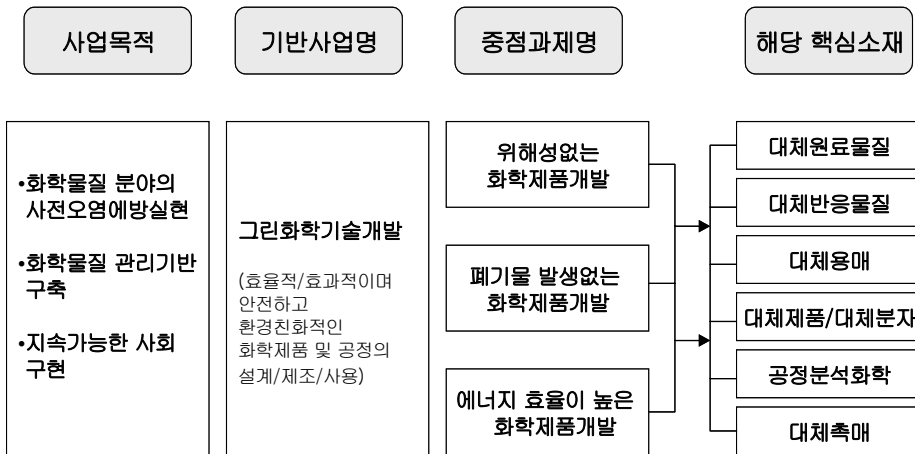
적으로 환경성에 대한 고려가 미흡한 실정이라, 경제성이 부족하더라도 화학물질 관리와 연계한 환경성 측면에서 그 개발이 요구되는 영역에 대한 지원이 소홀하게 된다. 기술은 필요로 하는 수요자의 요구에 의해 개발되어야 하는데, 그린화학을 통한 안전한 화학제품 생산은 산업체의 이익 뿐 아니라 소비자의 안전, 정부의 관리수준, 국제적인 규제요구 등이 모두 고려되는 것이므로 경제성만으로 지원여부를 판단해서는 안 된다. 이는 미국의 경우를 보면 좀 더 명확해지는데, 그린화학은 미국 EPA가 주무부처이며 화학물질 관리와 연계하여 필요한 그린화학 기술개발이 이루어지도록 유도하고 있다. 따라서 우리나라에 그린화학이 도입되면 화학물질 관리와의 연계성을 고려하여 주무부처는 환경부가 적합하며, 기존의 환경기술 관련 R & D 사업을 활용할 때 산업자원부의 청정생산기술사업보다는 환경부의 차세대핵심환경기술개발사업이 더 적절할 것으로 사료된다.

2001년부터 시작된 차세대핵심환경기술개발사업의 경우 앞의 <표 5-3>과 같이 사전오염예방기술 및 친환경소재·제품기술이라는 2개의 단위사업에서 그린화학과 관련된 연구가 진행중이나 이들 단위사업에 포함된 28개 과제 중 그린화학과 관련된 과제는 9개에 불과해 선진국에 비하면 과제수와 지원규모가 빈약하다. 또한 매년 (2001년도와 2002년도) 단위사업이나 사업내 중점과제의 일관성이 없고 개발이 시급한 화학제품이나 관련기술에 대한 우선순위 및 선정기준 없이 연구자나 기업이 제안한 내용에 의해 지원이 결정되다 보니, 여러 영역에 분산지원이 되고 상업화 단계까지 연속적으로 지원되기 어렵다. 따라서 사전오염예방기술 및 친환경소재·제품기술 등 여러 단위사업에서 분산되어 추진중인 화학제품과 관련된 사항은 『그린화학 기술(가칭)』이라는 단위사업을 신설하여 이 사업내에서 통합적으로 추진될 수 있도록 하고 화학제품과 관련이 없는 환경친화형 물질 개발 등은 2001년도와 같이 사전오염예방기술에 포함시키도록 한다(<그림 6-4>). 이는 기술개발의 적용대상 및 목적을 명확히 하여 화학물질 관리차원에서 시급한 제품 및 기술개발에 집중 투자하는 『선택과 집중』의 원칙을 준수하고, 일부 제품에 대해서라도 국제적인 경쟁력을 확보하고 선진 기술축적이 가능하도록 하는 노력이다.

그린화학 기술분야에는 다음 <그림 6-5>와 같이 사업의 목적을 ① 화학물질 분야의 사전오염예방실현, ② 화학물질 관리기반 구축, ③ 지속가능한 사회구현으로 하며, 주요 중점과제로는 그린화학의 원칙에 맞춰 ① 위해성 없는 화학제품 개발, ② 폐기물 발생이 없는 화학제품 생산, ③ 에너지 효율이 높은 화학제품 생산 등으로 한다. 중점과제별 핵심소재를 대체원료물질, 대체반응물질, 대체용매, 대체제품/대체분자, 공정분석화학, 대체촉매 등의 개발로 하여 그린화학과 관련된 여러 기술에 대해 균형 있는 지원이 이루어지도록 한다. 또한 미국 EPA에서와 같이 그린화학제품의 안전성을 평가하기 위한 위해성 평가기법 등이 그린화학 연구사업과 함께 진행되어야 하므로, 차세대핵심환경기술개발사업의 단위사업 『통합환경관리기반구축기술』 내에 이와 같은 화학제품의 위해성 평가연구가 포함되도록 한다.



<그림 6-4> 차세대핵심환경기술개발사업과 그린화학



<그림 6-5> 환경부 차세대핵심환경기술개발사업내의 그린화학기술사업(안)

각 과제의 선정기준은 첫째, 산업공정 및 생활에서 화학제품으로 인한 위해성을 저감시키는데 크게 기여하는 기술 및 소재에 대해 우선적으로 지원한다. 환경부는 2002년에 수립된 “위해우려물질관리 기본계획”에 따라 2003년까지 위해우려물질 목록을 1차 선정할 계획이므로 특히 위해가 우려되는 이들 물질의 위해성을 저감할 수 있는 그린화학 기술에 집중적으로 투자하는 것이 바람직하다. 향후 위해우려물질의 범위와 수가 증가하면 이에 따라 그린화학기술 분야의 대상물질을 확대시킨다. 두 번째 선정기준으로는 한정된 예산에서 성과를 얻을 가능성이 높은 소재개발에 지원한다. 미국의 별도의 그린화학 사업과 같이 사업의 규모가 크지 않으므로, 적은 투자로 활용가치가 높은 기술이 개발될 수 있는 핵심소재를 선정하여 투자하는 것이 바람직하다. 세 번째 선정기준으로는 그린화학의 주무부처인 환경부의 역할 및 정책적 지향에 적합한 소재개발을 지원한다. 그린화학은 화학물질 관리체계 완비를 위해 반드시 필요한 정책이며 관련기술 및 생산제품을 통해 화학물질 관리의 선진화를 꾀할 수 있다. 따라서 환경부의 정책, 특히 화학물질과 관련된 정책의 목표달성에 가장 적합한 소재에 대해 지원하는 것이 타당하다. 이상과 같은 제안을 기초로 향후 구체적인 국내 그린화학 R & D 사업계획 및 추진 일정 등이 마련되어야 할 것이다.

2) 교육 및 홍보프로그램

모든 환경분야에서 교육이 가장 중요하듯이 그린화학을 통한 화학물질 관리에서의 사전오염예방 및 위해성 저감효과를 극대화하기 위해서는 그린화학에 대한 교육과 홍보가 반드시 요구된다. 이는 이미 그린화학을 화학물질 관리체계에 포함시켜 실행하고 있는 모든 국가와 OECD 등 화학물질 관련기구에서 가장 강조하고 있는 분야이다.

우선 그린화학에 대한 교육 및 홍보의 주체는 정부와 학계에서 담당하여야 할 것이며, 대상자는 학생(특히 대학생), 산업체의 근로자와 경영자, 일반 시민 등이다. 학생을 대상으로 하는 교육에서는 다른 환경교육과는 달리 초·중·고등학교 학생보다 주로 대학교 이상의 학생을 대상으로 한다. 그 이유는 그린화학은 안전한 화학제품을 생산하는 것이 가장 큰 목적이므로 사회에 나와 그린화학 기술개발 및 적용에 직접 참여할 화학관련 학생과 환경관련 학생들이 주요 교육대상이 된다. 또한 대학의 화학실험실에서는 각종 용매, 촉매, 반응물질 등을 사용하고 화학물질을 합성하기도 하는데 이때 기존의 전통적인 방법을 사용하면 독성이 강한 화학물질이 합성 또는 사용되어 실험자의 건강을 해치거나 환경으로 방류될 가능성이 높다. 따라서 미국 등에서는 대학생 교육과정에 필수적으로 그린화학을 포함시켜 환경친화적 방법으로 화학물질과 관련된 실험실이 운영되도록 유도하고 있다.

2002년 현재 교육인적자원부의 교육통계자료에 따르면 우리나라 대학 이상의 교육기관에서 화학관련 학과 수는 약 300개 이상이며 환경관련 학과 수는 870여개가 넘는다. 이들에게 그린화학의 필요성과 각 분야별 최근 기술동향에 대한 올바른 교육은 바로 우리나라 그린화학 기술수준의 향상과 직결된다. 미국의 경우 EPA가 직접 그린화학에 대한 대학교재¹⁰⁴⁾를 발간하여 제공하고 있는데 이는 그린화학의 필요성을 가장 먼저 인식한 미국이 그린화학제도의 시행에 있어 교육을 얼마나 중요하게 여기는가를 확인시켜 준다.

학교에서의 그린화학 교육은 화학물질과 관련된 교과목 내용에 그린화학을 포함시켜 강의하거나 별도의 그린화학 강좌를 개설하여 운영한다. 현재 대학교에서 강의되

104) 『Green Engineering : Environmentally conscious design of chemical process』 등 다수

고 있는 교과목 중 그린화학과 관련 있는 과목은 유기합성, 고분자화학, 반응공학, 공업유기화학, 화학공정, 반응공정, 화학공정설계 등이며, 일부 그린화학에 대한 기술 등은 언급되어 있으나 체계적이지 못하고 산발적이므로 이들 교과목에 다음의 내용을 포함시켜야 할 것이다.

- ① 그린화학에 대한 이론적 배경(그린화학의 정의, 필요성, 목적 등)
- ② 그린화학의 기법
- ③ 그린화학의 원리
- ④ 그린화학의 응용기술
- ⑤ 그린화학의 효과 평가기법

산업체의 근로자와 경영자를 대상으로 하는 교육은 화학과 관련된 학술지에 그린 화학 코너를 신설하여 외국의 최신 연구동향 및 국내외 연구결과를 제공하고, 그린화학 관련된 워크숍 및 심포지엄을 정기적으로 개최한다. 그린화학을 추진하기 위한 관련 산업체의 내부적 역량부족은 그린화학 성공의 장애요인 중 하나이다.

우선 그린화학 기술을 도입하는데 필요한 투자자금이 부족하거나 외부조달에 어려움이 있으나, 이는 정부의 지원으로 일부 해결될 수 있다. 그리고 대부분의 화학관련 산업체가 그린화학에 대한 기본적인 정보도 부족한 게 현실이다. 예를 들면 저독성 용매를 사용하거나 환경친화적 제품을 만드는 등 그동안 그린화학 활동을 추진하고 있음에도 불구하고 이러한 활동이 그린화학이라는 인식이 부족하여 체계적인 접근을 하지 못하고 있으며, 더욱이 그 이익을 충분히 향유하고 있지 못하는 실정이다. 막연히 그린화학을 통해 장기적으로는 산업체에 이익이 있다는 것을 인식한다 해도 그린화학 도입에 따른 비용과 편익을 계산하는 방법을 모르면 구체적인 투자를 계획하고 시행하기가 힘들다.

또한 그린화학의 근본적인 장애요인으로 기술부족을 들 수 있는데, 이는 최신 기술 정보의 부족과 함께 전문기술인력의 부족으로 인한다. 따라서 산업체의 교육은 그린화학의 필요성에 대한 교육, 최신 기술정보 제공 및 기술인력의 재교육 등으로 구분되어 시행되어야 할 것이다.

일반 시민들에 대한 교육은 그린화학에 대한 안내책자를 발간하거나 사이버교육 형태가 바람직한데, 이는 별도의 사이버교육프로그램을 개발하기보다는 기존에 정부가 실시하고 있는 환경관련 사이버교육프로그램(환경부의 사이버교육프로그램은 한국환경정책·평가연구원에서 운영하고 있음)의 화학물질 관리분야에 그린화학을 포함시켜 운영하는 것이 현실적이며 효과적이라 사료된다.

아직 환경부내에는 화학물질 또는 환경교육에 대한 체계적인 교육 프로그램이 마련되어 있지 않고 현안문제에 대해 단편적인 교육이 실시되고 있다. 예를 들면 화학물질 분야의 경우 유해화학물질의 배출량조사를 위해 해당 지자체 공무원과 기업체 사람들에게 사업에 대한 조사자료 제출과 관련된 교육을 실시하고 있다. 그러나 화학물질 관리분야의 교육 및 홍보프로그램이 체계적이지 못한 실정이라 그린화학에 대한 별도의 교육프로그램을 개발하여 운영하기보다는 화학물질 관리 차원에서의 교육 프로그램을 개발하고 이에 그린화학을 포함시키는 것이 타당하다. 산업자원부는 이미 2001년에 청정생산기술사업에서 「청정생산인력구축·확산을 위한 교육/훈련 및 홍보사업개발」 과제를 발굴하여 2005년까지 진행시킬 계획이므로, 환경부도 그린화학을 포함한 교육프로그램을 조속한 시일내에 개발하는 것이 필요하다.

3) 자료수집 및 공유프로그램

미국의 그린화학전문가시스템, 일본의 그린화학네트워크, 호주의 EnviroNET, 영국의 그린화학네트워크 등은 그린화학 관련자료를 수집하고 이를 DB화하여 제공하며, 관련전문가들이 네트워크를 통해 자유롭게 관련정보를 교류할 수 있도록 기회를 제공하고 있다.

일본의 그린화학네트워크(GSCN)는 2000년 3월 일본화학협회 산하에 구축되었으며, 설립목적은 일본내 그린화학의 정보교류, 의견수렴, 관련 과제제안, 국제적 활동 등을 위한 중추적 역할을 수행하여 그린화학 기술을 향상시키는 것이다. 이와 같은 목적을 달성하기 위해 2002년 11월 현재까지 2회에 걸쳐 GSC Award 수상자를 선정하여 상을 수여하였고 교육프로그램 및 관련 R & D 연구사업을 발굴하고 있다. 또한 그린화학에 대한 뉴스레터를 발간하고 있으며, 2003년 3월 개최예정인 『GSC

TOKYO 2003』이라는 국제 심포지엄을 계획하고 있다. 일본은 그린화학에 대한 산업체의 자발적 노력이 활발한 국가라 일본화학협회 산하에 네트워크가 구성되었지만, 호주나 영국은 정부 주도로 네트워크가 운영되고 있다.

이와 같은 자료제공 및 공유프로그램을 국내에서 운영하기 위해서는 정부 또는 관련협회(화학물질관리협회 등)가 국내에서 일부 선행된 그린화학 관련정보를 수집하고 전문가집단을 조사하여, 이들 자료를 공유할 수 있는 프로그램 또는 네트워크를 구상하는 것이 바람직하다. 또한 이를 앞서 언급한 외국의 그린화학네트워크 등과 연계하여 국내외 정보를 교류하고 국내 전문가들이 외국의 선진기술동향을 빠르게 파악할 수 있도록 하며, 향후 국내에서 추진될 그린화학 연구 및 개발프로그램의 연구 주제 및 결과에 대한 논의의 장이 될 수 있도록 한다. 또한 일반 시민들이 이와 같은 논의과정에 적극 참여할 수 있도록 국가 차원의 『위해정보전달체계』 구축시 그린화학에 대한 정보공유 문제가 고려되어야 할 것이다.

4) 정부의 활성화방안

그린화학에 대한 정부의 활성화방안 중 가장 대표적인 것은 수상제도이다. 외국의 수상제도에는 단순히 트로피만 수여하고 그 연구결과를 네트워크 등을 통해 홍보하는 경우와 거액의 상금을 부상으로 수여하는 경우가 있다. 이때 수상주체는 미국의 경우 정부(대통령상)이며, 일본이나 유럽은 네트워크 또는 협회에서 주관하고 있으며 재원은 정부의 지원금과 함께 산업체의 후원금으로 충당되고 있다.

아직 우리나라에는 그린화학뿐 아니라 화학물질 분야의 권위 있는 수상제도는 없는 실정이므로, 그린화학의 연구 및 개발프로그램 및 그린화학네트워크 운영과 연계하여 수상제도를 신설하는 것이 바람직하다. 이때 그린화학상에 대한 권위를 높이기 위해서는 미국과 같이 정부(EPA) 주도로 수상제도가 운영되는 것이 바람직하며, 관련재원은 정부예산 및 화학산업체의 후원금으로 충당할 수 있는 제도적 장치를 마련하는 것이 요구된다.

한편 수상제도는 수상기준 및 절차마련이 필요한데, 이는 환경부 산하에 정부, 산업체, 시민단체 및 전문가로 구성된 “그린화학 위원회”를 구성하여 수상제도에 대한

세부 운영계획을 수립하는 것이 요구된다. 특히 그린화학의 R & D 사업과 연계하여 수상분야를 선정하되 외국과 같이 그린화학의 세부핵심기술별로 상을 수여하는 것은 관련 연구인력이 부족한 국내 현실에는 적합지 않으므로, 우선 그린화학에 대한 중점 분야를 화학제품과 화학공정으로 구분하여 수상하고 향후 관련연구가 활성화되면 수상분야를 세분화하는 것이 바람직하다. 또한 수상대상자가 주로 대기업에 편중되지 않도록 하기 위해 중소기업체를 위한 상을 반드시 고려하는 것이 요구된다.

수상제도 이외에 그린화학의 국내 활성화를 위해서 그린화학상을 수상하였거나 개발된 기술을 도입하여 안전한 화학제품을 생산한 기업에 대해서는 세제를 감면해 주는 방식도 있다. 1998년 개정된 『조세감면규제법 시행령 및 시행규칙』에 의해 청정 생산시설에 투자한 기업에 대한 세제지원 근거는 마련되어 있다. 동 법 제 10조에는 ① 특허받은 국내기술의 개발성과를 처음으로 기업화한 것, ② 기술개발 촉진법 제8조의2 및 동법 시행령 제7조제3항의 규정에 의하여 국산 신기술 제품으로 지원하기로 결정한 것을 처음으로 기업화한 것, ③ 기술개발 촉진법 제8조의3제1항 각 호의 기관 및 비영리 법인의 연구기관(과학기술분야를 연구하는 경우에 한한다)이 개발한 기술의 성과를 처음으로 기업화한 것, ④ 실용신안법에 의하여 등록을 한 신규의 고안을 처음으로 기업화한 것, ⑤ 컴퓨터 프로그램 보호법에 의하여 등록을 한 컴퓨터 프로그램 저작물을 처음으로 기업화한 것 등에 대해서 과학기술부 장관이 신기술 기업화 사업으로 인정하는 경우 재정경제원 장관에게 통지하여야 하고, 해당기업은 투자세액공제를 받을 수 있도록 규정되어 있다. 그린화학 기술 역시 신기술 기업화사업으로 인정될 경우 기업은 동 법에 의해 세제감면 혜택을 받을 수 있지만, 본 보고서에서 제안한 바와 같이 화학물질 관리와 관련있는 그린화학의 R & D사업이 환경부의 기존 R & D 사업내에서 추진된다면 현행과 같이 기술부 장관이 인정하는 신기술에만 세제감면을 하는 것은 불합리하다. 따라서 현재의 『조세감면규제법 시행령 및 시행규칙』의 제 10조에 의해 그린화학에 대한 신기술에 대한 세제감면은 이루어지되, 신기술의 선정주체에 과학기술부장관 뿐 아니라 환경부장관도 포함시켜야 할 것이다.

그 외 고분자화합물의 경우 ① 안전한 단량체로만 구성된 고분자화합물, ② 특정한 단량체의 잔류함량이 일정 수준이하인 고분자, ③ 현재의 고분자 생산공정을 잔류단

량체의 양을 크게 낮추거나 incorporation비율을 크게 하는 방식으로 개선하는 경우에 대해서는 화학물질 심사시 요구자료를 면제하거나 일부 자료를 감면하는 등의 유인제도가 가능할 것이다.

제7장 결론

그린화학은 『효율적·효과적이며 안전하고 환경친화적인 화학제품 및 공정의 설계·제조·사용』을 촉진하는 제도로 화학물질 관리분야의 사전오염예방정책이며 지속가능한 사회 구현을 위해 반드시 요구되는 정책이다. 또한 화학제품의 관리 및 현행의 화학물질 관리수준의 강화 등을 위해 국내 도입이 필요시 되는 정책이다.

그러나 그린화학에 대한 국제적으로 구체적인 지침 등이 마련되어 있지 않고 미국을 제외한 대부분의 국가가 그린화학을 1990년대 중반 이후에 도입하여 현재 그린화학의 제도적 정착을 위해 많은 노력을 기울이는 중이다. 따라서 우리가 이제 그린화학에 대해 관심을 갖는 것은 다른 국가에 비해 그리 늦은 게 아니다. OECD 등에서 그린화학에 대한 국제적인 논의가 한창이므로 우선 본 보고서에서는 그린화학에 대한 일반적 고찰과 함께 국내 도입의 필요성 및 화학물질 관리와의 연계방향을 모색해보고, 추후 국제적인 추진방향 및 지침 등이 마련되고 국내에서 관련연구를 진행한 후에 국내 실정에 적합한 구체적인 도입방안을 마련하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 이에 본 연구를 통해 도출한 그린화학과 화학물질관리와의 연계방향은 다음과 같다.

우선 그린화학 시행을 위한 역할분담을 보면, 정부는 그린화학관련 R & D사업 지원, 교육 및 홍보프로그램 개발 및 시행, 세제감면과 보조금 지급 등과 같은 활성화방안 마련, 위해정보 공유를 위한 위해정보전달체계 구축 등의 역할을 수행하여야 할 것이다. 학계는 그린화학 기술개발의 주체이며, 그 외 화학제품에 대한 위해성평가·검증 및 기법개발, 그린화학 교육교재 개발 등을 담당하여야 하고, 산업체는 그린화학 기술개발 및 실용화방안 마련, 화학물질 및 제품의 위해정보생산 및 제공, Responsible Care와 그린화학과의 연계방안 등을 모색하여야 한다. 전문협회 및 시민단체는 그린화학의 연구방향 및 결과에 대한 토론에 적극 참여하고, 화학제품에 대한 사회적 요구사항을 수렴하여 제안하는 역할을 수행하여야 한다. 또한 시민단체는

학계에서 수행하게 될 화학제품에 대한 위해성평가 및 검증과정에 적극 참여하여 소비자의 안전에 노력하여야 한다.

한편 그린화학을 국내에 도입할 경우 현재의 화학물질 관리체계내에서의 그린화학의 연계 및 추진방향은 다음과 같이 제안하고자 한다.

첫째, 그린화학에 대한 연구 및 개발프로그램은 기존의 환경기술에 대한 R & D 사업을 확대하여 그린화학을 포함시키는 것이 타당하다. 환경부의 『차세대핵심환경기술개발사업』 내에 『그린화학 기술(가칭)』이라는 단위사업을 신설하여 그린화학(즉, 화학제품과 관련된 기술)은 이 사업내에서 통합적으로 추진될 수 있도록 하고 화학제품과 관련이 없는 환경친화형 물질 개발 등은 단위사업 『사전오염예방기술』에 포함시키도록 한다. 그린화학 기술(가칭)의 주요 중점과제로는 그린화학의 원칙에 맞춰 ① 위해성 없는 화학제품 개발, ② 폐기물 발생이 없는 화학제품 생산, ③ 에너지 효율이 높은 화학제품 생산 등으로 하며, 중점과제별 핵심소재를 대체원료물질, 대체반응물질, 대체용매, 대체제품/대체분자, 공정분석화학, 대체촉매 등의 개발로 하여 그린화학에 관련된 여러 기술에 대해 균형 있는 지원이 이루어지도록 한다. 각 과제의 선정기준은 첫째, 산업공정 및 생활에서 화학제품으로 인한 위해성을 저감시키는 데 크게 기여하는 기술 및 소재, 둘째, 한정된 예산에서 성과를 얻을 가능성이 높은 소재개발, 셋째, 그린화학의 주무부처인 환경부의 역할 및 정책적 지향에 적합한 소재 개발지원 등으로 제안하고자 한다. 이상과 같은 제안을 기초로 향후 구체적인 국내 그린화학 R & D 사업계획 및 추진 일정 등이 마련되어야 할 것이다.

둘째, 교육 및 홍보프로그램은 학교교육, 산업체교육 및 시민교육으로 나누어 추진한다. 우선 학교교육으로는 그린화학 강좌를 개설하고 관련 교과서 발간, 화학물질 합성과 관련된 교과목 내용에 그린화학을 포함시키며, 산업체 교육은 화학과 관련된 학술지에 그린화학 코너를 신설하여 외국의 최신 연구동향 및 국내외 연구결과를 제공하고, 그린화학에 관련된 워크숍 및 심포지엄을 정기적으로 개최한다. 일반 시민들에 대한 교육은 그린화학에 대한 안내책자를 발간하거나 사이버교육 형태가 바람직한데, 이는 별도의 사이버교육프로그램을 개발하기보다는 기존에 정부가 실시하고 있는 환경관련 사이버교육프로그램(환경부의 사이버교육프로그램은 한국환경정책·평가연

구원에서 운영하고 있음)의 화학물질 관리분야에 그린화학을 포함시켜 운영하는 것이 현실적이며 효과적이다.

셋째, 자료수집 및 공유프로그램으로는 선진국과 같이 그린화학네트워크를 구성하는 것이 바람직하며, 자료공유 및 그린화학에 대한 일반 시민들의 적극적 참여는 국가 차원의 『위해정보전달체계』 구축시 이를 고려하여 추진되어야 할 것이다.

넷째, 정부의 활성화방안은 그린화학에 대한 수상제도 마련, 현재의 신기술에 대한 세제감면제도 활용, 그린화학물질 및 제품에 대한 심사자료 면제 및 감면 등을 추진하여야 한다.

참 고 문 헌

1. 환경부. 「유해화학물질관리법」
2. 환경부. 2001. 「환경백서」
3. American Chemical Society(ACS) *et al.*, 1996, 「Technology Vision 2020」
4. Anastas & Warner. 1997. 「Green Chemistry : Theory and Practice」
5. Bell, C.E., Clark, A.K., Taber D.F., Rodig, O.R. 1997. 「Organic Chemistry Laboratory: Standard and microscale experiments」 Saunders College Publishing, Philadelphia, 2nd Ed., Ch.32
6. Center for green chemistry. 2000. 「ARC Special research centre for green chemistry : 2000 annual report」
7. David T. Allen, David R. Shonnard. 2002. 「Green Engineering : Environmentally conscious design of chemical processes」
8. FECS. 2000. 「Establishment of an European green(and sustainable) chemistry award」
9. OECD, 1998(a), 「Proceedings of the OECD workshop on sustainable chemistry : Part 1」
10. OECD, 1998(b). 「Proceedings of the OECD workshop on sustainable chemistry : Part 2」
11. OECD, 1998(c). 「Proceedings of the OECD workshop on sustainable chemistry : Part 3」
12. OECD. 1999. 「Proceedings of the OECD workshop on sustainable chemistry」
13. Paul T. Anastas, John C. Warner. 2000. 「Green chemistry : theory and practice」

14. US EPA. 1997. 「Presidential green chemistry challenge award recipients」
15. US EPA. 1998. 「The presidential green chemistry challenge award program - summary of 1998 award entries and recipients」
16. US EPA. 1998. 「Green Chemistry Expert System(GCES)」
17. US EPA. 2002. 「The presidential green chemistry challenge : Awards opportunities」
18. US EPA. 2002. 「The presidential green chemistry challenge : Research grant opportunities」

<Websites>

1. 국가청정지원센터 <http://www.nccp.re.kr>
2. 환경기술진흥원 <http://www.kiest.org>
3. Green Chemistry Institute(GCI) <http://chemistry.org/portal/>
4. GSCN website <http://www.gscn.net>
5. Royal Society of Chemistry(RSC) <http://www.rsc.org/>
6. US EPA Green chemistry website <http://www.epa.gov/greenchemistry>
7. US EPA Green engineering website <http://www.epa.gov/opptintr/greenengineering/>
8. US EPA OPPT <http://www.epa.gov/oppt.gc>

<부록> OECD의 그린화학조사보고서

이 보고서는 미국 EPA가 작성한 것으로, OECD의 위해성 관리 프로그램에서 1998년 봄에 실시한 각 정부 및 산업체들의 그린화학에 대한 조사 결과를 요약한 것이다

『지속가능한 화학(Sustainable Chemistry)』은 『그린화학(Green Chemistry)』 또는 『환경친화적 화학(Environmentally Benign Chemistry)』으로도 불리며, 그와 관련된 활동들에는 대체원료(재생가능하고 독성이 적은)의 이용, 무독성 반응물의 이용, 천연 공정(생합성, 생촉매, 생물학적 기술에 근거한 화학전환 등)도입, 대체 용매의 사용, 보다 안전한 화학물질 디자인, 대체 반응조건 개발, 에너지 소비 최소화 등이 있다.

OECD가 조사한 설문지 내용은 크게 연구, 교육, 정부 프로그램, 정보/수집/배급 활동의 4부분으로 나뉘어져 있다.

『Part I - 연구』에서는 국가의 그린화학 연구활동을 조사하고, 이를 수행하는 기관과 자금을 제공하는 기관을 언급한다. 조사결과 몇몇 응답자의 경우 그린화학에 대한 개별적인 특정 연구활동을 수행하고 있으나, 대부분은 일반적인 프로그램(대체용매 개발 및 이용 분야의 연구를 지원하는 협회 활동등)을 통해 접근하고 있었다. 비록, 학계, 산업체, 정부, 사회단체 모두 그린화학연구를 수행하고 있으나 주요 연구 주체는 학계와 산업체였고, 주요 자금 지원 주체는 산업체와 정부였다. 연구 내용에 있어서 학계는 주로 기초연구(신화학물질 기술 또는 합성에 관한 연구 등)를 수행하였고, 산업체는 응용 연구(특정 산업 부문에서 생산 또는 공정의 증진 등)에 주력하였다. 이외에도 연구 프로그램에는 폐기물 무발생 합성, 에너지 효율적인 합성, 제조 공정, 산업 공정에 대한 일반적인 개선 등이 조사되었다. 각 회원국의 그린화학의 특정 주력 분야에는 대체 원료, 반응물질, 용매 등이 있다. 대체 원료에서는 재생가능한 원료에 상당 부분 집중하고 있으며, 대체 반응물질의 경우 촉매, 독성 중금속물질의 대체, 청

정 산화에서 활발한 활동을 보인다. 또한 대체 용매에서는 수성상태(aqueous condition)와 초임계 유체 등이 있고, 대체 반응 조건에서는 용매를 사용하지 않은 고체상, 연구, 막 기술 등이 수행된다. 이외에도 안전한 화학물질 디자인을 수행하고 있다. 기타 분리 공정, 분석 방법, 공정/반응조 모델링과 디자인의 개선도 연구 내용에 포함된다.

『PartⅡ- 교육』에 대한 조사 결과 학계, 산업계, 정부 등이 그린화학 교육을 담당하고 있었으며 특히 이 중 학계가 가장 활발한 활동을 수행하고 있었다. 교육 대상은 어린이, 대학생, 교사, 산업근로자, 일반 대중 등이었고, 이들 중 대학생을 위한 프로그램이 가장 많았다. 학습 방법은 교과서와 강좌 개발, 안내 책자, 전단지 등을 통해서였으며 일부에서는 잡지, 텔레비전이나 라디오 등을 이용하기도 하였다.

『PartⅢ - 정부 프로그램』에서는 인센티브나 수상제도와 같은 그린화학을 증진시키려는 정부 정책에 대해 조사한 내용이다. 조사된 결과에 따르면 정부의 활성화 프로그램은 두 범주로 나뉜다. 첫째, 그린화학을 교육하고 증진시키는 전통적인 교육 활동이다. 여기에는 정보수집과 배급 활동도 포함되며, 그 예로 이용가능한 DB 구축, 보고서와 정보문서 작성 등이 있다. 이외에도 기술이전 활동 및 접속 네트워크 구축 등이 포함된다. 두 번째 범주는 수상과 인센티브 활동이다. 수상 프로그램은 그린화학에 대한 혁신적인 활동사항을 포상하는 데에 주력한다. 상여금이 제공되는 경우와 그렇지 않은 경우가 있으며, 소비자들의 구매를 장려하기 위한 eco-label, 재정적 지원, 세금 감면 등의 형태도 있다.

『PartⅣ - 정보수집/배급 활동』은 응답자들의 국가에서 행해지는 정보수집 및 배급활동, 특히 수행중인 그린화학에 대한 정보를 수집하고 배급하는 기작을 밝히고, 정보가 일반대중에게 제공되는 방식과 회의 등에서의 정보제공 방식을 조사하는 부분이다.

Part I : 그린화학 연구동향

<표 1> 그린화학 연구현황

응답자	연구주체	주요 연구분야	재정적 지원 주체
Environment Australia, 호주	정부	합성 폴리머	정부
Group Tessengerlo, 벨기에	정부, 학계 및 산업 체	재생가능한 원료	정부 및 산업체
Inspec Belgium N.V. 벨기에	정부 및 산업체	재생가능한 플라스틱	정부 및 산업체
Shell Research SA, 벨기에	산업체	이중 촉매	정부 및 산업체
	산업체	재생가능한 원료의 ethoxylation	산업체
	산업체	용매 무사용(고형분) 금속보호코팅	산업체
	산업체	수성(환경친화적 용 매) 유액 페인트	산업체
	산업체	에폭시 수지용 저독성 물질 개발	산업체
Agfa-Gevaert N.V., 벨기에	산업체	EPS foam 생산시 VOC(pentane)저감	산업체
	대학, 연구소, 산업 체	신 화학물질 제조 및 개발, 환경에 미치는 영향고려	Agfa사 및 정부

<표 1> 그린화학 연구현황(계속)

응답자	연구주체	주요 연구분야	재정적 지원 주체
Ministere de l'Emplor et du Travail, 벨기에	Wallon Region의 기업 및 산하회사	○과산화수소 생산 시 니켈을 필라듐으로 대체 ○vinyl chloride 생산시 질소 발생을 막기 위해 공기대신 산소 이용 ○염소 및 소다 생산시 수은전지를 막전지로 대체	산업체 및 Wallon Region
ADEME, 프랑스	산업체	대기오염(NOx, 용매, VOC)	ADEME(50%), 산하회사(50%)
	CNRS	폐기물 최소화; 청정 기술	
	대학	에너지 효율 공정	
INRS ¹⁾ , 프랑스	공립 연구소(학계 및 산업체 협동)	○산업공정의 안전 ○오염물질과 제품의 환경영향	정부(90%), 산업체(10%)
	INRS	독성, 전염병, 측정학 연구	산업체
University of Bremen, 독일	학계	분자 디자인	Securite Sociale
University of Oldenburg, 독일	학계	폐기물 무발생 합성	학계

<표 1> 그린화학 연구현황(계속)

응답자	연구주체	주요 연구분야	재정적 지원 주체
Max-Planck-Institut für Kohlenforschung (MPI), 독일	MPI	대체 원료	학계
	MPI & 산업체	환경적용을 건전한 용매	MPI 및 Deutsche Forschungsgemeinschaft(DFG)
	DFG Schwerpunkt (주로 학계)	초임계 유체의 이용; 청정 산화학	DFG
	BMBF Schwerpunkt (학계 및 산업체)	촉매	BMBF
German Aerospace Center, Organization on behalf of the Federal Ministry of Education, Research and Technology, 독일	학계, 산업체 단독 또는 협동으로 수행	물질 흐름의 차단 또는 내부연결; 독성물질유입의 대체 또는 부분대체; 원료물질이 재생이용	정부 및 산업체
Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie Gesellschaft Deutscher Chemiker, 독일	Universität Oldenburg	환경적으로 건전한 합성	Stiftung Umwelt
	Universität Tübingen	남반구의 재생가능한 자원	BMBF Bonn & CNPQ Brasilien
	Technische Universität München	촉매	FORKAT, Land Bayern

<표 1> 그린화학 연구현황(계속)

응답자	연구주체	주요 연구분야	재정적 지원 주체
Federal Environmental Agency, 독일	연방환경청과 산업 체의 혁신적 산업 시설에 대한 재정 지원 프로그램	화학산업에서의 BAT개발	환경부
	연구소 및 산업체 에 대한 Salz gitterstiftungdml 기부	재생가능한 원료, 지속가능한 기술 등	DBU ²⁾
ARPAT ³⁾ , 이탈리아	정부	천연 공정의 이용	정부
ICS-UNIDO, 이탈리아	학계 및 산업체	청정기술, 재생가능 한 원료등	정부 및 산업체
DCIM ⁴⁾ ANPA ⁵⁾ , 이탈리아	학계 및 ANPA	○재생가능한 원료 ○수처리 및 재이용 ○염소계 폐기물로 부터 에너지 재활 용	DCIM ⁴⁾
INSTM ⁶⁾ , 이탈리아	INSTM	○탄화수소 산화를 위한 촉매 ○NOx 저감을 위한 산화 촉매 ○가스분리를 위한 미공성 시스템 ○선택적 CO ₂ 흡착 을 위한 시스템 ○부식현상 등	MURST ⁷⁾ , CNR ⁸⁾ , INSTM, 기타 학계 (Torino, Milano, Genova, Venezia, Firenze, Cagliari, Roma, Carabria, Messina대학), 산업 체 (S N A M , EniChem, ECV), Brite Euram프로젝 트

<표 1> 그린화학 연구현황(계속)

응답자	연구주체	주요 연구분야	재정적 지원 주체
INCA ⁹⁾ , 이탈리아	INCA	광화학 공정, 대체 세척제개발, 안전 반응 · 공정 · 제품, 환경측매, 환경 모델링, 분석방법 개선, 대체재 개발, 폐기물의 재활용 및 감량, 오염물질 광촉매 제거	MURST
	INCA & CNR	친환경적 반응물질	CNR
	INCA & RECAM	새로운 원료, 카펫 재료의 효율적 재활용	EU
	INCA & MILLENNIUM	환경 촉매를 위한 지원	MILLENNIUM Inorganic chemicals Limited(프랑스)
JCII, MITI, CSJ, SCEJ, JCIA, 일본 bio-industry association	국립연구원	○ 해양폐기물로부터 다양류의 이용 ○ 농업폐기물로부터 퇴비연구 ○ 환경친화적인 촉매 개발	정부

<표 1> 그린화학 연구현황(계속)

응답자	연구주체	주요 연구분야	재정적 지원 주체
JCII, MITI, CSJ, SCEJ, JCIA, 일본, bio-industry association	국립연구원 및 산업체	○새로운 반응조 개발 ○고체상 반응을 이용하는 신기술의 개발	정부
	국립연구원 및 산업체	erythritol의 생촉매 생성	정부 및 산업체
	정부 및 산업체	○생물분해성 플라스틱의 개발 ○새로운 냉매, 성형 물질 및 세척제 개발	정부
	학계	특정 반응조건에서의 촉매 화학연구	학계
	학계 및 산업체	○생물자원 이용에 대한 신기술개발 ○화학공정에 초임계 유체도입 ○막반응조를 이용한 고분리 화학공정 개발	정부
	산업체	○페플라스틱의 연료화 개발 ○이온교환법을 이용한 부식 소다 생산 공정개발	정부 및 산업체
	산업체	선박 코팅에 쓰이는 부틸 주석 공중합체의 대체(주석을 포함하지 않은 biocide로)	산업체

<표 1> 그린화학 연구현황(계속)

응답자	연구주체	주요 연구분야	재정적 지원 주체
NIER ¹⁰⁾ , KCS ¹¹⁾ , 한국	정부, 학계, 산업체	폐기물 재활용 기술; 폐건전지로부터 중금속 제거기술; 청정제품 개발; 폐기물 재활용 기술; 대기/수질 오염위해성 평가 및 관리 연구; 온실가스 제어 및 이용 연구	정부, 정부&산업체
NIER ¹⁰⁾ , KCS ¹¹⁾ , 한국	Korea Environment Institute	환경청정기술 디자인 평가; 오염물질 방출 저감 모터 평가;환경 친화적인 제품 개발 평가	정부
NUTEK ¹²⁾ , 스웨덴	학계, 산업체, 연구 소, 정부	환경친화적인 표면 철; 천연물질에 기초 한 세제; 재생가능한 자원으로부터 폴리머 개발	정부, 산업체(NUTEK)
Swiss Federal Institute of Technology, 스위스	학계 및 산업체	안전한 공정개발 방 법; 생태 효율적인 공 정개발 방법; 식물공 정 화학물질의 순환 대자인; 다목적 공장 을 위한 에너지 모델	학계 및 산업체

<표 1> 그린화학 연구현황(계속)

응답자	연구주체	주요 연구분야	재정적 지원 주체
ICI, PLC, 영국	학계 및 산업체	청정기술 계획	정부, EPSRC ¹³⁾ , 산업체
	학계 및 산업체	폐기물 최소화 및 재 활용	EPSRC, DTI ¹⁴⁾
	학계 및 산업체	비식량 작물로부터 경쟁력있는 물질 개발	BBSRC ¹⁵⁾ , 농수산물
	학계 및 산업체	응용 촉매 및 촉매공정	
USEPA, 미국	학계	환경친화적인 화학합성	USEPA
	학계	모든 분야	USEPA, NSF ¹⁶⁾
	중소기업	모든 분야	연 방 정 부 (주 로 USEPA)
	학계	모든 분야	USDOE ¹⁷⁾
	정부연구소 (NIST) ¹⁸⁾	모든 분야	NIST
	USEPA의 Cincinnati 연구소	환경 친화적인 화학 합성	USEPA
	Los Alamos 국립 연구소	환경 친화적인 용매, 촉매	USDOE & USEPA
	Argonne 국립연구소	막기술, 환경친화적인 용매	USDOE
	NREL ¹⁹⁾	재생가능한 원료	USDOE

<표 1> 그린화학 연구현황(계속)

응답자	연구주체	주요 연구분야	재정적 지원 주체
USEPA, 미국	Michigan 대학의 CenCITT	촉매	USEPA 및 산업체
	Washington 대학 의 CPAC21)	공정	USEPA 및 산업체
	산업체	모든 분야	산업체
유럽	산업체	염소화학/PVC	산업체
EniChem(이탈리아, 프랑스, 영국, 독일, 벨기에, 헝가리, 미국)	산업체	○산화 프로필렌 신 공정 ○dimethyl carbonate 신공정	산업체
	산업체	○오염폐기물의 제거 ○폐기물 저감 및 에너지 절약 ○저독성 물질 이용 ○화학 센서 연구 ○독성 용매 이용 지양	정부, 산업체
	산업체	연료와 원료로 플라스틱 재활용	산업협회

<표 1> 그린활동 연구현황(계속)

응답자	연구주체	주요 연구분야	재정적 지원 주체
EniChem(이탈리아, 프랑스, 영국, 독일, 벨기에, 헝가리, 미국)	산업체	자동차 플라스틱 재 활용	정부, 산업체
	학계, 산업체	화학공정의 안전 방법 개발	정부, 산업체
	학계, 산업체	○환경 및 인체위해성 저감, 카펫 재료 재활용 ○제조공정 개선 ○화학 반응조 모델링 ○산업 가스액체 반응조 개선	European Commission, 산업체

- 1) INRS : Institute National de Recherche et de Securite
- 2) DBU : Deutsche Bundesstiftung Umwelt/German Federal Foundation Environment
- 3) ARPAT : Tuscan Environmental Protection Agency
- 4) DCIM : Dipartimento di Chimica Industriale e dei materiali Universita di Bologna
- 5) ANPA : Agenzia Nazionale per la Protezione dell' Ambiente
- 6) INSTM : Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza E tecnologia dei materiali
- 7) MURST : Ministry of University, Research and Technology
- 8) CNR : Consiglio Nazionale delle Ricerche
- 9) INCA : Interuniversity Consortium "Chemistry for the Environment"
- 10) NIER : Ministry of Environment and National Institute of Environmental Research
- 11) KCS : The Korean Chemical Society
- 12) NUTEK : National Board for technical and industrial development
- 13) EPSRC : The Engineering and Physical Sciences Research Council
- 14) DTI : The Department of Trade and Industry
- 15) BBSRC : The Biotechnology and Biological Sciences Research Council
- 16) NSF : The National Science Foundation
- 17) USDOE : United States Department of Energy

- 18) NIST : The National Institute of Standards and Technology
- 19) NREL : The National Renewable Energy Laboratory
- 20) CenCITT : Center for Clean Industrial Treatment Technology
- 21) CPAC : Center for Process Analytical Chemistry

Part II : 그린화학 교육현황

<표 2> 그린화학 교육현황

응답자	활동주체	교육수단	교육대상
Environment Australia, 호주	정부	인터넷을 통한 DB 네트워크	산업체, 연구자, 학생, 일반 대중
G r o u p Tessenderlo, 벨기에	정부, 학계, 산업체	public map 등	모든 학생
Inspec Belgium N.V. 벨기에	FCN	주간지	산업체
	IWT(정부)	월간지	산업체 및 대학
	산업체	잡지	일반 대중
Ministre de l'Emploi et du Travail, 벨기에	산업체	발표	근로자, 교육 희망자
ADEME, 프랑스	Ecoles d'ingenieurs	강좌	대학생
	대학기술센터	-	근로자
	IFP-ENSPM	-	-
INERIS, 프랑스	학계	강좌	어린이부터 대학생까 지
	산업체	전단지, 강좌, 정보회의	근로자, 일반 시민, 언론

<표 2> 그린화학 교육현황(계속)

응답자	활동주체	교육수단	교육대상
INRS, France	stages de formation de l'INRS	안내책자, 영화, 연극	Medecine du travail, ingenie urs et technicie ns de prevention
University of Bremen, 독일	정부, 하계	화학물질 교과서	대학생
	학계	화학강좌	대학생
	학계	화학물질의 독성 및 생태독성 위해성 평가 세미나	대학생
University of Oldenb-urg, 독일	학계	지속가능한 화학강좌	연구원, 학생
Max-Planck-Institut fur Kohlen forschung (MPI), 독일	MPI	초임계 유체 화학합성 교과서	연구원, 학생
	Gesellschaft Deutscher Chemiker(GDCh)	초임계 유체의 화학합성 강좌	산업체 및 학계 연구원
Federal Environmental Agency, 독일	산업체	화학산업 활동과 관계된 일반 대중업무	일반대중

<표 2> 그린화학 교육현황(계속)

응답자	활동주체	교육수단	교육대상
ICS-UNIDO, 이탈리아	학계	화학기술 강좌	대학생
DCIM;ANPA, 이탈리아	학계 및 ANPA	재생가능한 원료;수 처리 및 재이용;염소 계 폐기물로부터 에 너지 재활용	DCIM
Regione Abruzzo Settore Ecologia e tutela Ambiente, 이탈리아	ANPA	교과서	근로자 및 일반대중
	ENEA	강좌, 교과서	근로자 및 일반대중
	대학	강의, 교과서	대학생
INSTM, 이탈리아	학계	지속가능한 화학 강 좌	대학생
INCA, 이탈리아	학계	지속가능한 화학강 좌	대학생
	INCA-EU TMR 프 로그래	녹색화학에 대한 학 위 후 과정 여름학교	박사후 과정생
	INCA	낮은 환경영향 화학 기술	박사후 과정생

<표 2> 그린화학 교육현황(계속)

응답자	활동주체	교육수단	교육대상
JCII, MITI, CSJ, SCEJ, JCIA, Japan bio-industry association, 일본		교과서, 강의	근로자 일반대중
		강좌, 교과서	대학생
		강의, 회의, 워크숍	대학생, 석사생, 지역 공무원
		박사후 fellowship	박사후 과정생
		지속가능한 화학강좌	대학생
		학위취득 후 여름 녹색화학 학교	박사후 과정생
JCII, MITI, CSJ, SCEJ, JCIA, Japan bio-industry association	학계	기술 및 과학과 관련한 환경 교과과정	대학생
	학계	교과과정의 일부로서 강좌(1997년 최소 30개 학교 참여)	고등학생
	학계 및 산업체	환경활동을 포함한 화학 에세이 콘테스트(1995년 이래 해마다 9,000명 이상이 참여)	고등학생, 교사

<표 2> 그린화학 교육현황(계속)

응답자	활동주체	교육수단	교육대상
JCII, MITI, CSJ, SCEJ, JICA, 일본, bio-industry association	학계	기술 및 과학과 관련한 환경 교과과정	대학생
	학계	교과과정의 일부로서 강좌(1997년 최소 30개 학교 참여)	고등학생
	학계 및 산업체	환경활동을 포함한 화학 에세이 콘테스트(1995년 이래 해마다 9,000명 이상이 참여)	고등학생, 교사
	학계 및 산업체	“화학을 통한 꿈의 실현”이라는 화학연구소 프로그램 경험 (1997년 42개 대학에 6,000여명 참가)	고등학생, 교사
	학계 및 산업체	“화학의 꿈 21”이라는 화학연구소 프로그램 공개 및 박람회 (1997년 약 4,500명 방문)	초등학생, 학부모, 시민
	학계	강좌에 환경교육 포함(최소 23개 초등학교 참여)	초등학생
	학계 및 산업체	학생들에 의한 산성비 동시 국가 조사	초등학생

<표 2> 그린화학 교육현황(계속)

응답자	활동주체	교육수단	교육대상
JCII, MITI, CSJ, SCEJ, JCIA, 일본, bio-industry association	학계	환경에 대한 지역 라디오 프로그램(1994년 이래 일년에 12시간)	시민
	학계	국가 환경TV 프로그램	시민
NIER, KCS, 한국	NIER	교과서; 화학관리체계의 증진에 관한 연구; 화학안전성 핸드북	일반대중
	KCS 및 학계 한국	표어, 스티커	대학생, 일반대중
Swiss Federal Institute of Technology, 스위스	학계	제품 및 공정 디자인에 관한 사례연구	학생
		학위취득 후 강의	학계 및 산업체
ICI PLC, 영국	학계 및 산업체	책 목록; 교사들을 위한 워크샵	6-18세의 학생들, 교사
		국가적 커리큘럼에 관련된 교사들의 학습교재	중학교

<표 2> 그린화학 교육현황(계속)

응답자	활동주체	교육수단	교육대상
USEPA, 미국	Michigan대학의 국립오염방지센터	보충 참고자료	주요 대학학생, 화학교수
	미 국 화 학 협 회 와 USEPA 협력체	모든 형태 (교과서, 참고자료, 단기강좌, 다매체 도구)	모든 청중(화학교수, 고등학교, 대학생, 일반대중)
	환경기술교육을 위한 공동체(학계, 산업체, 정부의 지원)	지역사회 대학강좌, 워크샵	지역사회 대학 및 기술대학 학생
USEPA, 미국	Merrimack 대학의 미세규모 센터	교과 및 연구장비	고등학교, 지역대학 및 대학생
	과학, 수학 및 기술 교육센터(콜로라도주 대학)	교과 및 연구장비	고등학교, 지역대학 및 대학생
	Carnegie Mellon 대학	강의, problem sets	대학생
	Scranton 대학	강의	대학생
	Howard 대학	세미나	대학생
	Georgetown 대학	세미나	대학생

Part III : 정부 프로그램

1. 호주

정부에서 제공하는 수상제도나 인센티브가 없으나, EnviroNET에서 그린화학분야에 종사하는 과학자, 산업체, 정부기관에게 활동을 승인하고 있다.

2. 벨기에

Flemish 정부에서 BBT/EMIS 프로젝트를 통해 청정기술에 관한 정보를 산업체에게 제공한다. 예를 들어 페인트 산업에 관한 BAT 부문의 연구보고서를 시민들, 산업체 등에게 책자, 구두 및 인터넷으로 제공하였다.

3. 캐나다

캐나다 정부에서 그린화학은 오염방지의 일환으로 인식되어, 1995년 오염방지를 위한 캐나다 연방 전략의 체계에 포함되었다. Canadian Council of Ministers of the Environment(CCME)는 청정 생산 및 공정 전환과 같은 다양한 분야에서의 혁신을 표창하기 위한 수상제도를 마련하였다.

4. 프랑스

ADEME는 화학 산업체들로부터 청정기술 주제에 대해 제안하고, 이중 최적의 프로젝트로 채택된 것에 대해 자금을 지원한다. 또한 해마다 ADEME Award에서 청정기술에 대해 트로피를 수여하며, 몇몇 오염문제 해결을 위한 자금을 제공한다. INERIS는 기술적 위해성 방지, 배출저감, 배출의 위해성 평가 분야의 기술 프로그램에 적극적으로 참여하고 있다. 그리고 l'Association Francaise de Normalisation (AFNOR)에서 교부하는 두 개의 공식적인 eco-label인 NF Environment와 European eco-label 등이 시행되고 있다. 한편 2년마다 시행되는 eco-product award는 l'Assemblée des Chambres Francaise de Commerce et d'Industrie (ACFCI)에 의해 수여된다.

5. 독일

그린화학에 대한 학계 프로그램은 정부에 의해 지원되지 않는다. 특정 수상 프로그램은 없고, 단지 일정액의 재정적 지원이 소규모의 프로젝트에 제공된다. “환경연구-독일연방정부 프로그램”에서는 과학과 산업 부문의 협동 프로그램을 지원하고 있다. 이외에도 “Blue Angel” 환경 라벨을 통해 간접적으로 그린화학이 지원된다.

6. 이탈리아

이탈리아의 외무부는 International Center for Science and High Technology의 프로젝트를 지원하고 있다. 이 프로젝트는 주로 개발도상 국가에게 기술을 이전하는 활동을 수행하고, 그 외에도 청정 화학기술 평가 및 혁신 기술의 평가 및 검토 등을 수행한다. 그린화학에 대한 업무를 수행하는 연구 집단(대학, 산업체)을 표창하고, Research Ministry에서 “National Research Program for Chemistry”과 “National Research Program for the Environment”에 자금을 지원한다. 또한 지속가능한 에너지 이용과 관련하여 이탈리아 정부는 태양 에너지를 이용하는 대상에게 인센티브를 제공하는 내용의 법률을 공포한 바 있다.

7. 일본

◦ 세제 인센티브

일본은 세제를 통해 그린화학에 기여한 사람들을 보상하기 위해 특정 화학물질(chlorofluorocarbon 등)의 저감 또는 대체 기술의 적용에 대한 세제 프로그램/특정 감면 프로그램, 에너지 저감 또는 특정 화학물질의 재활용을 위한 신기술 개발 증진 세제 프로그램 등을 시행하였다.

◦ 수상제도

현재의 Academic Society and the Industry Associations의 수상제도가 점차 확장되고 있다. 또한 해마다 아사히 유리 협회의 지원으로 여러 과학부문의 활동들에 대한 수상이 있는데, 이 중 Blue Planet Prize는 1991년 이래 전세계적으로 환경에 기여

한 자에게 약 \$350,000을 수여고 있다. 이외에도 신화학기술상(일본화학협회), 신화학공정상(일본화학공업협회), 신화학공정및제품상(일본화학산업협회)가 해마다 수여된다.

8. 대한민국

Toxics Release Inventory(TRI) 시스템이 도입되었고, 석유정제 산업에서의 그린화학에 힘쓰고 있으며, 환경 친화적인 사업관리의 구성 및 환경표지 프로그램이 시행되어 왔다. 먼저 “환경 친화적인 사업관리 프로그램”은 1995년 시작되었고, 그 목적은 산업체들이 제품의 전공정에서 환경인자를 고려하도록 함에 있다. 만약 해당 사업이 환경부에 의해 환경 친화적인 사업으로 선정되었을 경우, 그 산업체는 지방정부나 지역 환경국에서 실시하는 정기적 검열을 면제받거나, 재정적으로 대출 조건을 용이하게 하는 등의 이익을 얻게 된다. “환경 표지 프로그램(Eco-labeling)”은 1992년에 도입된 프로그램은 23개의 재활용 상품과 저오염 상품이 환경 표지를 부여받았다. 환경표지가 부착된 재활용 상품은 정부기관의 소비, 세제혜택, 재정적 지원에서 우선순위를 차지한다.

9. 스웨덴

스웨덴 정부에서 그린화학과 관련한 세 가지 프로그램이 있는데 모두 UNTEK(National Board for Technical and Industrial Development)에서 시행하는 프로그램이다. 첫째, “환경적으로 지속가능한 표면 처리프로그램”은 UNTEK, 연구소, 학회, 산업체가 공동으로 수행하는 프로그램으로 참여업체들은 프로젝트 비용의 50%를 지원한다. 이 프로그램은 1994년에서 1997년까지 저온 고형분 코팅, 카드뮴 및 크롬을 제거한 공정에 관해 연구하였고, 1997년에서 1999년까지 인 공정, 배출수로부터 중금속 재생, 표면처리 기술에 대한 일반적인 정보에 주력하였다. 둘째, “천연자원에 기초한 세제 센터”는 Royal Institute of Technology(KTH)를 기본으로 구축되었고 UNTEK, KTH, 산업체의 협동하에 수행되었다. 주된 목적은 전체 또는 부분적으로 천연 자원을 이용한 안전성 있는 세제 정보 체계를 구축하는 것이다. 셋째, “재생가능한

자원으로부터 양수성(amphiphilic) 폴리머 센터"이다. 이는 Lund 대학에 기초하고 NUTEK, Lund 대학, 산업체의 동의에 의해 이루어졌다. 설립목적은 양수성 폴리머의 생산과 특성에 대한 기초 연구를 수행하여 섬유소 및 녹말과 같은 재생가능한 자원의 이용을 돕는 것이다.

10. 영국

영국의 무역 및 산업부에서는 직접적으로 그린화학을 증진시키는 프로그램을 수행하고 있지 않다. 다만 환경달성에 대한 Queen's Award, 환경기술 최적 적용 프로그램, Foresight challenge 등을 통해 그린화학이 간접적으로 장려되고 있다.

PartⅣ : 정보수집/배포 활동

1. 호주(Environment Australia)

EnviroNET은 환경 활동에 대한 최신 연구와 사람들을 연계시키는 DB 네트워크이다. 이 네트워크는 교육, 연구, 환경기술, 산업기술 등과 같이 각 부문에서 지역사회의 환경보호 요청을 제기하고 역할을 한다. 동 네트워크는 1995년 12월에 설립되었으며 산업체와 공동으로 연방환경부의 Environment Protection Group에 의해 정보가 수집되고 폐기물 관리 및 오염제어를 위한 시민모임, 환경산업 개발 네트워크, 환경관리 산업협회, Queensland 대학 등이 자료수집 활동에 참여하고 있다. 또한 인터넷 사용이 불가능한 대상을 위해 호주 전역에서 환경 보호방법에 대한 정보를 전화로 제공하고 있다.

2. 독일

독일 내외의 대학과 과학연구소 간에 공식·비공식 접촉이 이루어져 왔다. 또한 Oldenburg 대학의 폐기물 무발생 기술에 대해서는 과학 잡지와 특허 문서에 기재되었고, 국제회의 등에서 발표되었으며 인터넷을 통해서도 정보를 공개하였다. 또한 독일연방교육·과학·연구및기술부에서 수행한 "Product and Production Integrated Environmental Protection at the Chemical Industry"은 VDI-Technologiezentrum에서 발간되었다. 독일 화학자협회의 환경화학 및 생태독성학 전문 집단은 자원 및 환경절약 합성에 관한 활동계획 등을 전문잡지 등에 발표한다.

Abstract

Green Chemistry for Risk Management of Hazardous Chemicals

Green chemistry is the design, manufacture and use of efficient, effective, safe and more environmentally benign chemical products and precesses. Within the broad framework of sustainable development, government, academia and industry should strive the maximise resource efficiency through activities such as energy and non-renewable resource conservation, risk minimisation, pollution prevention, minimisation of waste at all stages of a product life-cycle, and the development of products that are durable and can be re-use and recycled.

Green chemistry is a relatively new concept and scientific area that aims to improve the efficiency with which natural resources are used to meet human needs for chemical products and services. In doing so, it can contribute to achieving a cleaner, healthier, and sustainable environment and improving the image of chemistry as a problem solving science in society. The ultimate goal of green chemistry is to contribute to the realisation of a "sustainable society", with the help of chemical technology.

Green chemistry products or precesses fall within three broad categories:

- 1) Use of renewable or recycled feedstocks;
- 2) Increased energy efficiency, or using less energy for the same or greater output;
- 3) Avoidance of substances that are persistent, bioaccumulative and toxic.

The promotion and implementation of green chemistry relies on a number of key actors; government, academia, industry, professional societies and NGOs. Each can play an important role either independently or working in collaboration with other actors. For academia and industry, green chemistry is a voluntary way to move toward a sustainable environment and society. For government, green chemistry is a non-regulatory way of making regulations work more effectively. Collaboration of the key actors is essential to make green chemistry activities like R&D, education and information exchange as effective as possible. Collaboration across different regions and disciplines will further promote and enhance green chemistry globally.

집필자 약력

朴貞圭

서울대학교 농학 학사(1987)

미국 오리건주립대학교 이학박사(환경독성 전공)(1996)

한국환경정책·평가연구원 연구위원

(E-mail : jgpark@kei.re.kr)

著書 및 論文

「방염제의 환경위해성평가 및 관리방안 연구」 (2001)

「잔류성 유기오염물질(POPs)의 관리현황과 대응방향 -부산물을 중심으로-」
(2000)

「Biocides의 국내 관리방안」 (1999)

「화학물질사고 피해저감을 위한 환경안전분석제 시행방안」 (1998)

「Fostering Commitment to Cleaner Production」 (1998)

연구진

연구책임자 박정규

산·학·연·정 연구자문위원회

김 균 (한국화학연구원 책임연구원)

김필제 (화학물질심사단 책임심사위원)

이상팔 (환경부 화학물질과 과장)

© 2002 한국환경정책·평가연구원

발행인 윤서성

발행처 한국환경정책·평가연구원

서울시 은평구 불광동 613-2

우편번호 122-706

전화 380-7777 팩스 380-7722

<http://www.kei.re.kr>

인쇄 2002년 12월

발행 2002년 12월

출판등록 제17-254호

ISBN 89-8464-046-8

값 6,000원