

유해화학물질관리를 위한 그린화학(GC)제도 연구(3)

박정규

한국환경정책·평가연구원 연구위원

차례

제1장 서론

1. 연구의 목적
2. 연구내용 및 방법

제2장 그린화학에 대한 고찰

1. 시행배경
2. 그린화학의 목적과 주요원리
3. 그린화학의 기법

제3장 그린화학의 국제적 시행현황

1. 연구 및 개발프로그램
2. 교육 및 홍보프로그램

3. 정보수집 및 공유프로그램

4. 정부의 활성화방안

5. 관련학술단체

제4장 그린화학의 시행효과 및 향후 전망

1. 그린화학의 시행효과
2. 그린화학의 향후 전망

제5장 그린화학 관련 국내제도 및 연구동향 분석

1. 그린화학 관련제도 및 프로그램
 - 가. 유해화학물질 배출량조사제도
 - 나. 청정생산기술
 - 다. 환경표지제도
 - 라. Responsible Care
2. 그린화학 관련연구
3. 그린화학과의 비교

제6장 화학물질관리와 그린화학과의 연계방향

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

제7장 결론



박정규

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

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 워킹 개척 및 참여, 과학저널 및 서적 출판, 컴퓨터 기법 및 DB의 개발 및 보급에 관한 여러 프로젝트를 지원하고 있다.

또한 EPA는 그린화학전문가시스템을 구축하여 운영하고 있는데, 이는 그린화학과 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 제조공정에 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 그린화학전문가시

〈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 참고 자료들 첨부기능을 제공한다.

스템은 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 그린화학DB를 구축하여 일반대중에게 제공하고 있다.

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, 토론 기회의 제공 등에 힘쓰고 있다. 2000년 3월에 조직된 그린화학네트워크는 국제적인 그린화학활동, 정보교환, 커뮤니케이션, 교육 등에 힘쓰고 있어 향후 일본 그린화학 프로그램 운영에 의 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 환경보호그룹에 의해 정보가 수집된다. 폐기물 관리 및 오염방지를 위한 시민의 모임, 환경산업 개발 네트워크, 환경관리 산업협회, 퀸스랜드 대학 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 정보

를 제공하기 위해 「그린화학(Green Chemistry)」이라는 국제적인 과학문헌을 발간하고 있다. 「그린화학」지는 학계, 산업체, 공공부문으로부터의 그린화학기술 또는 청정생산 기술 관련 연구논문, 각종 리뷰 등을 신고 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.

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 유럽그린화학상 제도를 도입하기 위한 기반은 마련되었으나, 아직 수상자를 내고 있지는 않다. 우선 유럽그린화학상의 구성을 살펴보면 위원회는 EEA, FECS, European Commission Services와 산업체 대표로 구성되어 있다. EU 그린화학의 중점분야는 다른 국가와 마찬가지로 ① 대체 합성경로의 이용(축매/생축매작용, 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 기업상, 중소기업상, 학계상, 교육상 등이 제시되었으며 수상자의 채택기준은 다음 <표 3-5>와 같다.

<표 3-5> 유럽그린 · 지속가능화학상 채택 기준

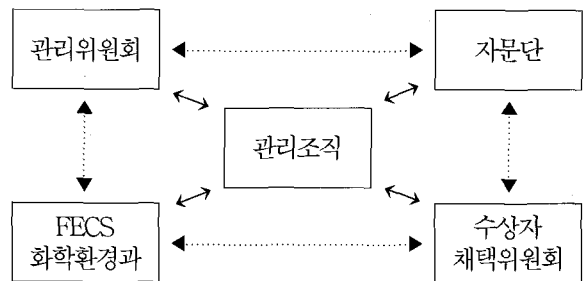
상 범위 및 최소 하나의 중점분야에 해당되는 기술이어야 함
인체건강 및/또는 환경적 이점을 제공해야 함 <ul style="list-style-type: none"> • 독성(급성/만성), 질병/손상, 가연성, 폭발잠재성 저감 • 배출 또는 기타 유출 저감 • 유해물질의 이동저감 • 반응공정에서 유해물질의 이용저감 • 천연자원(재생가능한 원료 등)의 이용증가 • 생물다양성의 증진
화학물질 제조, 사용 또는 단체에 광범위하게 적용가능해야 함 <ul style="list-style-type: none"> • 그린화학에 대한 현실적 접근방식 • 실제 환경관리문제에 대한 구체적 제공 • 다른 시설, 위치 또는 산업부문에서 이전가능한 것
혁신적이고 과학적 이점을 제공하는 것이어야 함 <ul style="list-style-type: none"> • 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 그린화학저널 및 환경과학 및 오염연구와 같은 문헌에 수록될 예정이다.

이와 같이 유럽그린화학상제도를 구축하는 데에 소요되는 비용은 국가의 대규모 화학협회와 European Commission에서 부담할 것이다. 시행 첫 해의 예상예산은 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 미국화학협회에서 소환 기술전문가 모임들 통해 해마다 5개의 상이 산업체 및 정부 후원자, 학계 연구자, 소규모사업자에게 수여된다. 또한 연구보조금을 지급하는데 수여자는 해마다 평균 \$120,000을 받고, 일반적으로 3년간 지급되며 지원 자격은 미국에 위치한 대학 및 비이익 단체 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(ORD)은 새로운 STAR의 일환으로 국립과학재단과 함께 환경연구기금을 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 포



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 미국화학협회에서 소환 기술전문가 모임들 통해 해마다 5개의 상이 산업체 및 정부 후원자, 학계 연구자, 소규모사업자에게 수여된다.

합되어야 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, 재생 가능한 원료와 같은 자연 자원 이용을 증진시키며, 생물 다양성을 증진시키는 것 등이 있다. 셋째, 화학물질 제조업체, 이용자 또는 넓게는 사회의 광범위한 분야에서 널리 이용될 수 있어야 한다. 이를 위해 최소한 그린화학에 대한 현실적인 접근과 실제 환경 관리문제에 대한 구체책이 마련되어야 하고, 다른 시설, 공장 및 산업 부문에 지속적으로 이 전될 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 장학금

이 상은 초창기 미국에서 그린화학을 위해 활동한 국립과학협회의 Kenneth G. Hancock을 기리기 위한 상으로, 그린화학을 연구하는 학부생 및 대학원생에게 수여되는 상이

다. 해마다 열리는 그린화학 및 공학회의에서 미국화학협회의 지원으로 수여된다.

〈표 3-6〉 미국의 Presidential Green Chemistry Challenge Program 제출보고서

항 목	내 용
표 지	<ul style="list-style-type: none"> ■ 개인 또는 기관의 성명, 주소, 전화번호, 팩스 번호, 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	<ul style="list-style-type: none"> • 프로젝트 제목 • 지난 5년간 그린화학기술이 증명, 수행 및 적용되어온 상황을 입증하는 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	<ul style="list-style-type: none"> • 대상 프로젝트에 대한 1장 분량의 총괄
나머지 다섯 페이지	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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

분 류	조 직 명
과 학 기 구	미국화학협회 ¹ , 화학연구위원회 ² , IUPAC ³ , 국립연구위원회 ⁴ , 국립과학재단 ⁵ , 환경독성학및화학협회 ⁶
산업체	BF Goodrich사, Dow 화학회사, Dow coming주식회사, E.I. DuPont de Nemours, Eastman Kodak사, Polaroid주식회사, Rochester Midland 주식회사, Solutia사

항 목	내 용
무 역 협 회	미국석유연구원 ⁷ , 미국화학위원회 ⁸ , 플라스틱 산업협회 ⁹
학 계	멕시코국립대학, 메사추세츠대학, 보스턴 대학, 남알라바마대학
교 육 센 터	지속가능한체계센터, 환경기술교육위협협력체
연 구 센 터	워싱턴대학의 공정분석화학센터, 뉴저지 기술연구원의 배출저감연구센터, 녹색화학연구원 ¹⁰ , 암허스트 메사추세츠 대학의 국가환경기술연구원, 메사추세츠대학의 독성물질 사용저감 연구원
정 부	주환경위원회 ¹¹ , Environment Canada, 국립기준 기술연구원 ¹² , 미국에너지부 ¹³
국 가 연구소	로스알라모스 국립연구소 ¹⁴ , 국가재생에너지연구소 ¹⁵
국 제 기 구	환경방어 ¹⁶
국 제 기 구	그린화학센터(오스트레일리아), 환경을위한화학의대학간협회(이탈리아), 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(일본화

학협회), 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 좀더 활성화하기 위해 그린화학만을 대상으로 하는 수상제도가 신설되었는데, 2001년 그린화학 네트워크에서 GSC상을 제정하였고 모든 개인, 집단, 단체를 대상으로 혁신적인 화학기술, 인간 및 환경보전과 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 연방교육 연구부는 『화학연구 및 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 연방 교육연구부의 연구지원 이외에도 『Blue Angel』이라는 환경 표지제도를 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 독일화학협회는 1997년 그린화학에 대해 해마다 수여하는 수상제도를 도입하였다. 또한 Braunschweig시와 Braunschweig 기술대학은 2년에 한번



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 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.

씩 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 왕립호주화학연구원은 발생원 저감을 통해 오염방지를 달성하고 산업체에 널리 적용시킬 수 있는 혁신적인 화학기술 증진과 그린화학 교육에의 기여를 위해 그린화학상 수상제도를 도입하였다. 특히 이 제도는 미국의 그린화학 프로그램의 영향을 받아 도입되었으며, 모든 개인, 집단, 기관, 이익단체 및 비이익단체를 대상으로 수여된다(〈표3-7〉).

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 사후전반에 걸쳐 광범위하게 적용가능해야 함
- 최소 다음의 특성을 나타내야 함
 - 그린화학에 대한 현실적인 접근방식
 - 실제 환경관리상의 문제에 대한 구체적 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 위원회는 청정생산 및 공정 전환과 같은 다양한 분야에서의 혁신을 표창하기 위한 수상제도를 마련하여 시행하고 있다.

사. 이탈리아

이탈리아 외무부는 『과학과 첨단기술 국제센터』의 프로젝트를 지원하고 있는데 이 프로젝트를 통해 주로 개발도상국가에게 기술을 이전하는 활동을 수행하고, 청정 화학 기술 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 무역산업부는 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 왕립화학협회, Salters' 사, Jerwood Charitable 협회, DTI 및 DETR의 지원을 통해 총 3개의 그린화학상이 운영되고 있

다. 그 중 2개는 영국회사에게 기술, 제품 또는 서비스에 대해 트로피와 증명서를 발급하는 것인데 반드시 둘 중 하나는 소규모 또는 중규모 사업장에 수여되어야 한다. 나머지는 Jerwood Salters' 환경상으로 해마다 10,000파운드가 학생(40세 이하) 특히 산업체와 협동으로 연구하는 경우에 수여된다.

자. 기타 수상제도

위에서 언급한 것 이외에 그린화학 활성화를 위한 수상 제도에는 유럽정보협회의 유럽정보원상, 영국의 BCE상, 환경계획수훈상, 유럽환경친화사무국상, 유럽지속가능도시상, 독일연방환경협회의 독일환경상, 유럽 중소기업장(SME) 품질상, 이탈리아의 성프란시스환경상, EC가 지원하는 유럽환경교육협회의 『Blue Flag』, 유럽환경상, EEA의 『Princes' Awards』 등이 있다.

5. 관련학술단체

가. 국제순수·응용화학협회

IUPAC는 국제적인 화학물질 협회로서 그린화학에 대한 많은 노력을 기울이고 있다. 우선 1998년에 OECD, INCA와 함께 이탈리아 베니스에서 열린 그린화학 워킹숍을 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 CHEMRAWN의 『환경적으로 건전한 공정 및 제품지향』에 관한 제14차 회의를 지원한 바 있다.

나. 유럽화학협회연합(FECS)

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 헝가리화학협회에서 주관하고 있으며, FECS의 조직은 6개의 분과, 4개의 실무단, 유럽지역화학위원회로 구성되어 있다. 이 중 29개국의 32명 회원으로 구성

된 화학·환경과가 그린화학 관련 업무를 수행하고 있으며, 1999년에는 산하에 그린화학부위원회를 신설하여 운영하고 있다. 이외에도 FECS는 수상제도에 대한 정보를 보급하고, 유럽 내의 화학자들 사이에 수상제도를 촉진시키는 역할을 담당하고 있다.

다. 유럽화학기술연합(AllChemE)

AllChemE는 1995년 구성된 기구로서, 유럽의 화학 및 화학기술 증진과 상호이해를 위한 협동을 목적으로 하며, 유럽화학협회연합(FECS), 유럽화학공학연합(EFCE), 유럽화학산업협회(CEFIC), 유럽과학기술연구협동조합 화학기술위원회(COST Chemistry), 유럽연구협의회 화학위원회의장(CERC3)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(CEFIC)

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 산학협동 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 기간 동안 그린화학에 관한 세미나를 개최한 바 있다.

마. 유럽화학주제네트워크(ECTN)

1996년 구축된 ECTN는 24개국의 약 90개 대학들로 구



미국의 그린화학연구소는 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, 화학연구 의제 정착, 회의/워크샵, 강좌 개발 및 보급 등 4가지 형태의 활동으로 녹색 화학을 증진시키고 조성하는데 많은 노력을 기울이고 있다.

성되어 있으며 European Commission의 Socrates/Erasmus 프로그램에 의해 지원된다. 그린화학은 ECTN의 화학맞춤경실무단과 화학이미지실무단의 업무 및 보고의 한 부분에 포함되어 있다.

바. 그린화학연구소(미국)

미국의 그린화학연구소는 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, 화학연구 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 관심있는 산업체 스폰서들과 함께

해당 분야의 수요를 기초로 한 연구 의제 개발에 관한 워십을 개최하여 그린화학을 증진시키고 있다. 또한 그린화학 연구소는 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 2020(21세기 화학산업을 보다 효율적이고 지속가능하게 하려는 장기적 수행전략)을 적극적으로 지지하고 있다.

셋째, 관련회의 및 워십 개최를 통해 그린화학을 보급하고자 그린화학연구소는 미국화학협회와 공동으로 매년 그린화학 심포지엄을 개최하고 있다. 또한 미국 오염방지및독성물질국에서 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 준비위원회를 구성한 바 있었는데, 이때 참여한 단체는 학회에서는 일본화학협회와 일본화학엔지니어협회, 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 국제협력 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 위해 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. INCA(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 『도지환경 : 환경을 생각하는 화학』이라는 계획을 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 에너지환경청, 환경청, 탄화수소연구청에 의해 지정된 체계를 통해 과학 연구부 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 생산 과정 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), 연합유럽활동, OECD의 그린화학을 위한 조정단과 협력하면서 국제적 네트워크를 구축하고 있다. 이와 관련하여 미국 EPA, 미국화학협회(ACS)와 함께 국제적인 공동작업을 수행하고 있으며, OECD의 환경보건 및 안전성과의 그린화학 관련 활동에 적극적으로 참여하고 있다.

자. 그린화학센터(호주)

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

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 제조 시 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, 수처리 체계에서 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/워크숍 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.

다음호에 계속