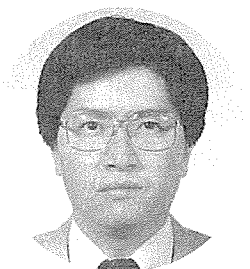


CFC대체물질개발

“獨自的 대체기술개발 시급”



李 潤 又

한국과학기술연구원 CFC 대체기술센터
선임연구원

CFC는 그의 우수한 특성으로 현대도시 거대 인구를 유지할 수 있게한 식품의 냉동가공/수송 또는 쾌적한 생활환경의 창조 등에 쓰이는 냉매, 안락의자 또는 단열 등에 사용되는 우레탄 폼의 발포제, 각종 정밀기기부품, 광학부품, 전자부품의 세정제, 드라이클리닝용제, 에어로졸의 안전하고 불연성의 분사추진제 등으로 인류의 문명과 산업이 발전하면서 현대사회에 필수적인 역할을 하여 온 물질이다. 그러나 CFC는 일단 대기중으로 방출되면 화학적으로 안정하기 때문에 대기권에서 축적되며 성층권에 있는 오존층에서 분해되어 생성된 염소원자가 오존과 연쇄반응하므로써 오존층을 파괴하는 물질이라는 사실이 과학적인 연구와 관측결과로 알려졌다. 오존층이 파괴되면 태양으로부터 나오는 유해한 자외선이 흡수되지 않고 지구상에 도달하므로 인체에는 피부암, 백내장, 면역기능저하 등의 악영향을 미칠 뿐아니라 식물플랑크톤의 체질변화, 식물의 광합성기능 억제 등으로 먹이사슬이 파괴되어 생태계의 생존을 위협하게 된

다. 따라서 지구의 환경과 생태계를 보전하기 위하여 오존층 파괴를 막자는 비엔나협약(Vienna Convention)이 1985년에 채택되었으며, 1987년에는 오존층을 파괴하는 물질의 생산과 사용을 규제하는 몬트리올의정서(Montreal Protocol)가 채택되기에 이르렀다. 이 몬트리올의정서는 CFC 15종과 소화제로 쓰이는 Halon 3종, 그리고 용매로 쓰이는 메틸클로로포름과 사염화탄소의 생산과 소비를 단계적으로 감축하여 2000년에 전폐토록 규정하고 있으며 이를 준수하지 않는 국가에 대해서는 무역규제를 가하도록 하고 있다. 더욱이 몬트리올의정서의 규제내용과 일정이 강화되어 전폐일정이 1996년으로 앞당겨질 전망이다.

우리나라는 1992년 2월 몬트리올의정서에 가입을 신청하여 5월에 가입국이 되었다. 따라서 우리나라도 몬트리올의정서의 규정을 준수하여야 하며 CFC사용량을 대폭 감축하지 않으면 안된다. 따라서 정부에서는 몬트리올의정서의 가입을 전제로 1인당 CFC 0.5kg사용을 기준으로

금년도의 CFC수급계획을 수립하였다. 금년에 우리나라에서 사용할 수 있는 CFC의 양은 수요에 약 71%, Halon은 75%로 축소조정되어 국내산업전반에 걸쳐서 심대한 영향을 미치게 될 것이 예상된다. 현재 우리나라에서 CFC를 사용하는 업체수가 1400여개에 이르고 있고 또한 CFC가 우리나라 주력산업인 자동차, 전기전자, 냉동공조산업 등에 필수적으로 사용되는 점을 감안할 때 이와같은 CFC의 사용감축으로 인한 산업체의 과급효과는 매우 클 것이다. 더욱이 과거 수년간 우리나라의 산업이 급속도로 발전함에 따라서 CFC의 수요가 연평균 25%씩 증가하였고 또한 관련산업의 규모가 11조원에 이른다는 것을 감안하면 이와같은 CFC감축에 의한 산업계의 생산차질이 20%만 영향을 미친다고 해도 그 액수는 약 2조원에 이른다는 것을 쉽게 예상할 수 있다.

여기에서는 대체물질의 탐색, 합성경로, 공정개발, 생산계획 등 대체물질개발에 관한 전반적인 국내외 최신동향을 해설하고자 한다.

○CFC대체물질의 탐색

1. CFC와 용도

「프레온」이란 이름은 미국의 제너럴모터스사에서 1930년 Midgley에 의해 독성과 가연성이 없는 자동차용 냉매를 개발, 그후 듀폰사에서 공업화되면서 붙여진 상품명이다. 그러나 최근 환경문제가 대두되면서 세계적으로 상품명 대신에 CFC(Chloro Fluoro Carbon : 염화불화탄소)라고 부르는 것이 일반화되었다. CFC는 불연성이고 독성과 자극성이 없으며 열적, 화학적으로 안정하고, 가격이 싼 장점이 있다. 이 밖에도 끓는점, 어는점, 증발잠열, 점도, 표면장력 등의 여러물성이 각종 용도에 적합하기 때문에 인류가 현대문명생활을 영위하는데 꼭 필요한 물질이 되었다. 예를 들어 냉장고의 경우, 사용되는 냉매가 CFC이고 단열재도 CFC가 포함되어 있으며 압축기를 제작할 때도 CFC를 사용한다. 텔레비전, 라디오, 비디오, 오디오, 전

화기, 컴퓨터 등의 인쇄회로기판의 세척할 경우에도 CFC를 사용한다. 자동차의 경우 에어컨의 냉매뿐만 아니라 의자, 핸들, 범퍼 등도 제작시 CFC를 사용하여야 하며, 카메라, 시계, 광학기기 등의 정밀기기의 제작시에도 CFC가 사용되고 있다. 이밖에도 화장품이나 모기약, 파리약과 같은 에어로졸제품, 유통산업의 냉동창고, 쇼케이스, 냉동차, 냉동선박, 음료용 자동판매기 등 CFC의 용도는 헤아릴 수 없이 많다.

2. 대체물질의 선정기준

새로운 대체물질은 CFC가 가지고 있는 우수한 특성을 가짐과 동시에 환경에 영향을 최소화시킬 수 있는 것이라야 하며 이의 선정기준을 표 1에 나타내었다.

표 1 대체물질의 선정기준

- | |
|---|
| <p>(1) 환경을 파괴하지 않아야 함
 -낮은 오존파괴지수(가능하면 염소나 브롬이 없는 것)
 -낮은 지구온난화지수(낮은 대기수명을 갖는 것)</p> <p>(2) 높은 안전성-독성, 가연성, 자극성, 부식성이 없음</p> <p>(3) 열적, 화학적 안정성</p> <p>(4) 우수한 열역학적물성 및 전달특성</p> <p>(5) 경제성</p> |
|---|

또한 대체물질은 용도에 따라서 요구되는 물성이 각각 그 중요성이 다르기 때문에 대체물질을 탐색하는 데에는 용도별로 특성이 중요한 성질에 맞도록 선정하여야 한다. 표 2에 용도별로 주로 요구되는 물성을 보였다. 우선 대체냉매를 선정하는 경우에는 공통조건 이외에 증기압, 증발잠열, 전기절연성 등의 물성이 중요한 기준이 되나 표면장력은 그다지 중요한 성질은 아니다. 그러나 대체세정제를 선정하는 경우에는 표면장력, 불점, 점도, 용해력이 중요한 기준이 되며 증기압은 덜 중요하다. 분사제로서 가장 중요한 성질은 물론 증기압이며 발포제로는 열전도도와

용해능력이 중요한 선택기준이 된다.

표 2 용도에 따라 요구되는 물성

	냉 매	발포제	세정제	분사제
비 점	△	△	○	
증 기 압	○	△		○
증 발잠열	○	△	○	△
열 전도도	△	○		
점 도	△		○	
표면 장력			○	△
용 해능력	△	○	○	△
전기절연성	○			

○ : 중요
△ : 보통

3. 기존대체물질

규제 CFC 화합물 대신에 이미 개발되어 상품화되어 있는 화합물의 사용이 검토되고 있다. 냉매로서는 HCFC-22, HCFC-22/HCFC-142b, DME/CFC-12, CFC-500와 같은 혼합물 및 암모니아 등이 검토되고 있으며, 발포제로서는 물, 탄산가스, HCFC-22, pentane 또는 butane과 같은 탄화수소 및 methylene chloride 등이 이용이 늘어나고 있다. 그러나 품질의 저하가 문제되고 또 탄화수소는 가연성의 문제가 있으며 methylene chloride는 발암성이므로 작업안전에도 주의할 해야 한다. 세정용매로서는 CFC-113과 알코올의 혼합물 등을 사용하여 CFC-113의 사용량을 줄이면서도 최대의 세정효과를 얻으려는 노력외에 물 세정, 탄화수소계 용매 등이 검토되고 있다. 분사추진제로서는 LPG, HCFC-22, DME, HFC-

152a, HCFC-142b 등으로 상당부분 이미 대체되고 있다. 기존물질 중에서 가장 많이 대체물질로 이용되고 있는 것으로는 HCFC-22가 있으며 현재 가정용 에어컨, 히트펌프, 전차등의 대형차의 냉난방에 쓰이고 있다. 이밖에 R-500 (CFC-12/HCFC-152a)을 사용하면 CFC-12보다 냉동성능을 10%정도 향상시키면서 CFC-12의 양을 26.2% 줄일 수 있어 경과대체물로 고려되고 있으며, R-502(HCFC-22/CFC-115)는 HCFC-22보다도 냉동성능이 뛰어나고 압축기의 배출온도를 20℃가량 낮출 수 있지만 기름과의 상용성이 적은 단점이 있다. 표 3에는 기존대체화합물과 대표적인 물성을 나타내었다.

4. 신규 CFC 대체물질

규제되는 CFC를 대체할 새로운 화합물은 궁극적으로는 기존의 CFC의 장점을 고루 갖추면서 동시에 환경을 파괴하지 않는 물질이어야 한다. 그러나 현재 이러한 理想의인 화합물의 제조기술은 개발되지 않은 상태이고 가까운 장래에 개발되리라는 전망도 없다. 우선적으로 쉽게 전근할 수 있는 방법이 현재 사용하고 있는 CFC를 변경시켜 CFC와 유사한 성질을 가지면서 환경에 영향을 줄이는 것으로 두가지의 대체물질그룹이 있다. 첫번째로 CFC에 최소한 하나 이상의 수소원자를 치환하여 갖고 있는 물질들의 성층권의 오존파괴능력은 CFC-11과 같이 완전히 할로겐화된 CFC보다 훨씬 낮아진다. 그 이유는 탄소와 수소의 결합이 대기권중에 투과되는 자외선에 의해 쉽게 분해되어 대기중에 방출된 상당량의 물질이 성층권에 도달하기 전에 비에 의해 흡수되어 다시 지표로 내려오기 때문

표 3 기존대체물질

기 호	화 학 식	비점(℃)	연소범위	ODP	GWP	주요용도
HCFC-22	CHClF ₂	-40.8	불 연	0.05	0.34	냉 매
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	-25.0	4.7-16.8	0	0.03	냉매, 발포제
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	-9.7	7.8-16.8	0.06	0.36	발 포 제
R-500	12/152a	-33.5	불 연	(0.7)	-	냉 매
R-502	22/115	-45.6	불 연	(0.3)	-	냉 매

이다. 이러한 종류의 화합물을 HCFC(Hydro Chloro Fluoro Carbon)라고 부른다. 또 한가지는 화합물자체에 염소나 브롬이 포함되어 있지 않는 물질이라면 대기중의 수명이 길어서 오존층에 도달할지라도 오존층을 파괴하지 않게 된다. 이러한 종류의 화합물은 HFC(Hydro Fluoro Carbon)라고 부른다. 따라서 이상적인 대체물질이 개발되기까지는 주로 이 HCFC와 HFC가 당분간 CFC 대체물질로 사용될 것으로 보고 있다. 그러나 이들 중 HCFC는 규제 CFC에 비해서 비록 작은 양이라고는 하지만 염소를 함유하고 있어서 몬트리올의정서의 경과물질로 되어 있으며 2000~2010년에 전폐하자는 국제적인 조정과 규제가 있을 것으로 예상되고 있다. 그림 1에는 에탄계의 CFC, HCFC, HFC, FC 등의 코드번호와 독성, 연호성 그리고 오존층에 대한 안정성 분포를 삼각도표에 나타낸 것이다. 일반적으로 연소성의 경향은 메탄계와 에탄계의 화합물들은 분자중에 수소원자의 수가 할로젠원자수와 같거나 또는 많은 경우에 연소하는 경향을 가지고 있으며 프로판계에서는 수소원자가 4개 이상인 분자가, 부탄계에서는 5개 이상의 수소원자를 갖고 있는 화합물이 연소성을 갖고 있는 것으로 알려져 있다. 독성의 경향은 메탄계에서는 염소의 수가 많은 좌하 방향으로 독성이 강하고 에탄계에서는 HFC-161

(CH₃-CH₂F)와 HCFC-133a(CH₃-CH₂Cl)을 제외하고는 메탄계와 같은 경향을 갖는다. 최근 PAFT의 중간보고서에는 HFC-134a는 독성이 상당히 적은 것으로 발표되었으나 HCFC-123은 슛취의 말년에 고환에 악성종양이 나타났다고 보고되어 선진국의 선발 제조업자와 이용업체들이 이의 생산과 사용을 검토를 하며 최종결과를 기다리고 있는 중이다. 메탄계와 에탄계의 경향으로 미루어 보아 프로판계열에서는 HCFC-224, HCFC-225, HCFC-226, HFC-227, HCFC-235, HFC-236, HFC-245 등과 그들의 이성체군이 유력한 대체물질 후보로 주목을 받고 있다. 표 4는 CFC 대체물질로서 주목을 받고 있는 화합물과 대표적인 물성을 표시한 것이다.

5. PAFT와 AFEAS

대체물질을 상업적으로 생산하려면 대체물질의 독성, 안전성, 유전독성 및 환경안전성 등에 관한 검사가 필요하다. 이를 위하여 대체물질 개발 회사들은 대체물질 검사기구(PAFT : Program for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing)와 환경영향조사(AFEAS : Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study)를 공동으로 구성하여 대체물질의 조기 상업화를 위한 노력을 하고

표 4 신규대체물질

기 호	화 학 식	비점(℃)	연소범위	ODP	GWP	주요용도
HFC-32	CH ₂ F ₂	-51.8	13.3-29.3	0	0.13	냉 매
HCFC-123	CF ₃ CHCl ₂	28	불 연	0.02	0.02	냉 매
HCFC-124	CF ₃ CHClF	-12	불 연	0.02	0.1	발 포 제
HFC-125	CF ₃ CHF ₂	-48.5	불 연	0	0.58	발 포 제
HFC-134a	CF ₃ CH ₂ F	-27	불 연	0	0.26	냉 매
HCFC-141b	CCl ₂ FCH ₃	32	9.0-15.4	0.1	0.09	발 포 제
HCFC-225ca	CF ₃ CF ₂ CHCl ₂	51	불 연	0.01-0.04	N/A	세 정 제
HCFC-225cb	CClF ₂ CF ₂ CHClF	56	불 연	0.01-0.04	N/A	세 정 제

ODP : Relative Value of Ozone Depletion Potential based on CFC-11
 GWP : Relative Value of Global Warming Potential based on CFC-11

Selection for CFC Alternatives
(Ethane Series)

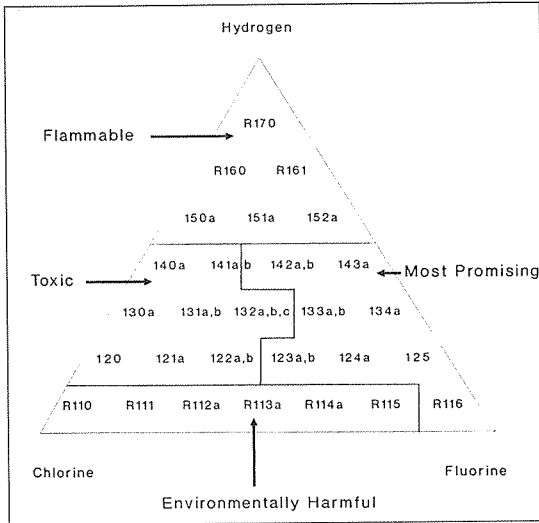


그림 1. 에탄계의 CFC대체물질 선정기준

있다. AFEAS에서는 HCFC-22, HCFC-123, HCFC-124, HCFC-141b, HCFC-142b, HCFC-225ca/cb, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a 등의 물질에 대한 대기 중에서의 분해메카니즘, 분해생성물의 환경영향, ODP, GWP의 계산, TEWI의 평가를 목적으로 하고 있다. 표 5에는 PAFT와 AFEAS에서 검사중인 대체물질과 참가기업을 표시하였다.

○ CFC대체물질의 합성경로

문헌에 보고된 CFC대체물질의 합성방법은 기존의 CFC제조방법과 같이 액상반응법과 기상반응법으로 나눌 수 있다. 액상반응법은 주로 5가의 Sb계통의 촉매에 의해 진행되는데 tar 생성 등 촉매의 비활성화 문제로 인해 점차 3가의 Cr계 촉매를 사용하는 기상반응법으로 바뀌어 가는 추세이다. 주요 에탄계 CFC대체물질의 원료

표 5 PAFT/AFEAS 참가기업

지 역	참여 기업체 이름	PAFT 대상 CFC 대체물질						AFEAS	
		I		II	III		IV		V
		123	134a	141b	124	125	225		32
미 국	Allied-Signal	○	○	○	○	○	○	○	○
	Du Pont	○	○	○	○	○	○	○	○
	LaRoche Chem.								○
유 럽	Akzo Chem.	○	○	○		○			○
	Atochem	○	○	○	○	○			○
	Chem. Ind. Greece								○
	Hoechst AG	○	○						○
	ICI Chem & Polymer	○	○				○	○	○
	Kali-Chem(Solvay)	○	○	○					○
	Montefluos SpA	○	○		○	○		○	○
Rhone-Poulenc	○	○	○					○	
아 시 아	Asahi Glass	○	○	○			○	○	○
	Central Glass			○					
	Daikin Industry	○	○	○	○	○	○	○	○
	Showa-Denko	○	○	○					○
	Ulsan Chemicals	○	○						
참여 기업의 수		13		10	5		5	8	12
연 구 기 간	개 시	1988		1988	1989		1990	1992	1988
	종 료	1993		1993	1995		1995	1997	1993

는 무수HF와 염소화합물인 trichloroethylene ($\text{CHCl}=\text{CCl}_2$), tetrachloroethylene($\text{CCl}_2=\text{CCl}_2$), 1,1,1-trichloroethane(CH_3-CCl_3), Acetylene($\text{CH}\equiv\text{CH}$), Vinylchloride($\text{CH}_2=\text{CHCl}$)가 주로 사용된다. 기상반응의 경우에는 보통 200~500℃, 상압 ~30기압의 조건하에서 진행되며 주로 Cr^{3+} , 또는 Al^{3+} 를 주로한 촉매가 사용되고 있다. 액상반응법에 비해 아직은 수율이 낮고 촉매의 수명이 짧은 것이 단점이다. 각 대체물질마다 여러 합성경로가 있으며 어느 방법도 절대 우위에 있지 않아서 공정개발을 하는데 많은 시간과 노력이 들어가며 기존 CFC합성보다 복잡하여 대체물질의 가격도 상승하게 된다.

○ 제조공정개발 및 공장건설

앞서 기술한 합성에 관한 것은 대체물질제조 공정중에서 아주 중요한 부분이다. 그러나 전체 공정으로 보면 이는 극히 일부분에 지나지 않는다. 합성반응은 전체공정중에서 반응기에서 일어나며 그외에 복잡한 단위공정이 앞뒤로 배치되어 있다. 예를 들면 원료저장시설, 전처리시설, 여러개의 증류장치, 증분리기, 건조기, 저장탱크, 압축기, 펌프, 냉동기, 열교환기 등이 있다. 반응기에서 생성된 혼합물은 물세척을 통해 대부분의 염산을 회수하고 나머지는 NaOH 등의 alkali 용액으로 세척한다. 유기생성물과 불산혼합물은 냉각시켜 증분리에 의해 불산을 회수하고 회수된 불산은 반응기로 순환시킨다. 유기생성물은 silicagel, alumina, molecular sieve 등의 건조제를 사용하여 수분을 제거시킨다. 원료로 사용한 HF 및 HCl은 부식성이 크기 때문에 재질의 선정이 매우 중요하며 Nickel, Hastelloy-C, Monel, Inconel 등이 사용된다. 특히 원료에 포함된 수분은 장치의 부식은 물론 촉매를 파괴하게 되므로 전처리공정이 요구된다. 실험실적 합성반응으로 여러가지 경로중에서 경제성 검토 등에 의해 몇몇의 적합한 반응경로가 선정되면 촉매의 수명등 특성

을 평가하고 미세한 불순물의 영향, 그리고 자세한 엔지니어링과 경제성평가를 위하여 Bench Scale의 장치로 규모를 키워서 실험을 한다. 다음 단계는 상용공장의 설계를 위한 자료를 모으기 위하여 Pilot Plant를 건설하고 운전하는 일이다. 보통 이단계에서 압력의 영향과 중간체의 재순환을 평가하게 되며 자주 예기치 못한 결과를 얻기 때문에 더 크고 복잡한 반응기가 필요하게 된다. 많은 중간체, 부산물, 반응원료 등이 HF와 서로 공비를 이루게 된다. 새로운 대체물질에 관한 물리화학적 성질이 잘 알려지지 않았기 때문에 분리공정에 대한 모사를 정확하게 수행하기가 어렵다. 또한 어떠한 반응도 100% 선택성을 갖지 못하므로 아무리 작은 불순물이라도 정확히 물질수지를 정립하여야 한다. 그렇지 못할 경우에는 상당량의 불순물이 공정의 어느 부분 축적이 되어서 심각한 문제를 야기시킬 수 있다. 촉매의 수명 또한 중요한 문제이다. 한 촉매로 수백시간을 사용한 후에 갑자기 수명이 다하는 경우는 없다. 만약에 필요하다면 재생시스템을 고려하고, 여러대의 반응기를 설치하여 활성화하는 동안에 임무를 교체할 수 있도록 하여야 한다. 대체물질제조공정에는 HF, HCl, Cl_2 등과 같은 위험한 물질은 고온, 고압에서 취급하게 되기 때문에 부식문제는 안전과 경제성 측면에서 매우 중요하다. 각 단위장치에 대한 재질을 주의를 가지고 결정하여야 한다. 부산물이나 폐기물 등도 환경을 보호할 수 있는 방법으로 처리하여야 한다. 선진국에서 보통 대체물질을 개발하는 프로젝트의 기간은 약 7~10년이 소요된다.

이미 선진국에서는 1980년대 초부터 CFC대체물질개발연구를 시작하여 일부 물질에 대하여는 1990년부터 상업적인 생산을 시작하였다. 그리고 늦어도 1995년까지는 주요한 대체물질의 개발을 완료하고 본격적인 상업적 생산을 계획하고 있다. 미국의 Du Pont사는 1990년 까지 투자한 2억4천만불의 연구개발비 외에 앞으로 10년간 대체물질개발과 상업화를 위하여 10억불을 계상하고 있으며, 영국의 ICI사는 대체물질

개발에 약 1억7천만불의 연구개발비를 투자한 것으로 알려져 있다. 불란서의 Atochem사는 1억4천만불을 연구개발비로 지출한 것으로 보고 되어 있고, 日本에서는 회사의 독자적인 연구개발의 결과로서 이미 100여건에 달하는 대체물질 관련 특허가 출원된 한편, 통산성에서는 보다 이상적인 대체물질개발을 위한 제3세대 CFC 연구를 지원하고 있는 실정이다. 각 회사의 생산 계획 및 생산능력 등에 관한 정보는 자세히 알려져 있지 않지만, 대체물질 생산은 1990~1995년 사이에 실현될 것으로 예상되고, 이를 위하여 앞으로 2000년까지 소요될 시설비용은 세계적으로 적어도 40억불은 될 것으로 추산되고 있다. Du Pont, Hoechst, Atochem, Allied-Signal, Akzo, Montefluos, Showa Denko, Daikin, Ashai Glass사 등 유력한 CFC 제조회사들이 CFC대체물질공장 건설을 서두르고 있다. HFC-152a와 HCFC-142b는 상용공장이 있는 기존대체냉매이며, 가장 먼저 상업화가 되고 있는 CFC 대체냉매는 HFC-134a, HCFC-141b 그리고 HCFC-123이라고 할 수 있다. 현재 가장 유력한 대체물질로 알려진 HFC-134a의 세계적인 시장수요는 연 100,000톤으로 추산되고 이는 현재 사용중인 CFC-12의 40%를 대체할 수 있을 것으로 내다보고 있다.

○ 결 언

우리나라에서는 몬트리올의정서에 가입을 전제로 오존층을 파괴하는 특성물질의 제조 및 사용 등을 규제하고 대체물질의 개발 및 이용의 촉진과 특정물질의 배출억제 및 사용합리화 등을 효율적으로 추진하기 위해 1991년 '오존층 보호를 위한 특정물질의 제조규제 등에 관한 법률'을 제정, 공포하였으며 1992년부터 시행하여 왔다. 또한 1992년 5월27일부터 몬트리올의정서의 가입국이 되었으며 현재 UNEP에서 개도국으로 분류되어 있으나 국내산업의 타격을 최소화할 수 있는 유리한 조건으로 분류되기 위한

외교적인 노력을 경주하고 있다. 그러나 몬트리올의정서에 가입이 되었고 CFC 사용감축계획이 확정되었으며 또한 CFC전폐일정이 앞당겨질 전망이 큰 점을 감안할 때 CFC사용업체에서는 기존공정의 개선 및 재설계 등에 의해 누출 및 증발에 의한 손실을 감소시키고, 회수 및 재생 처리 등으로 CFC를 합리적으로 사용하여야 하며 각종 혼합물기술을 이용하여 CFC를 절감하려는 방안을 강구하지 않으면 안될 것이고, 가능한한 CFC가 아닌 기존의 대체물질로 대체하려는 노력을 하여야 한다. 보다 궁극적인 해결 방법은 CFC대체물질을 개발하고 이를 이용하는 기술을 적극적으로 개발하는 것이다. 한국과학기술연구원에서는 CFC대체물질과 이용기술을 개발하기 위하여 CFC대체기술센터를 설립하고 현재 HFC-152a, HCFC-123, HFC-134a 등의 대체물질 개발연구가 진행중에 있고 1995년 말에 상용공장의 기본설계를 완성할 예정이며 생산기술연구원에서는 CFC대체기술사업단에서 공기조화 냉동관련 이용기술개발연구를 하고 있다. 또한 최근 인하대학교에 CFC대체시스템 공학연구소가 설립되어 이 분야의 연구개발에도 활발한 활동이 전개될 전망이다. 결론적으로 CFC는 현대문명을 이끄는 모든 산업에서 필수적으로 사용하는 것이므로 이의 사용금지에는 전 산업계에 커다란 기술변혁을 일으키게 될 것이다. 독자적인 기술개발이 없는 기술경쟁시대에서 주도권을 잃게 될 것이며 따라서 몬트리올의정서에 대한 가장 궁극적인 대응방안은 오직 독자적인 기술개발 뿐이라 할 수 있다.

아깁만큼
내집크고
모은만큼
나라크다
