

KEI/2001
기본과제 연구보고서

방염제의 환경위해성평가 및
대응방안 연구

2001. 12

박정규
정다운



한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

序 言

우리는 일상생활에서 플라스틱을 포함한 다양한 산업용 제품을 사용하고 있습니다. 이들 제품의 중요한 물리·화학적 특성 중 하나는 불에 의해 쉽게 연소된다는 점입니다. 이에 우리나라를 위시한 대부분의 국가에서 산업용 제품의 가연성 및 이로 인한 피해를 최소화하기 위해 반드시 방염제(防炎劑) 또는 난연제를 처리하도록 법제화하고 있습니다.

현재 사용되고 있는 방염제의 종류는 매우 다양하나, 저렴한 가격과 높은 효과로 인해 주로 브롬화 방염제가 전세계적으로 많이 사용되고 있습니다. 그러나 1970년대 들어 일부 브롬화 방염제의 심각한 위해성이 확인되어, PBBs는 이미 대부분의 국가에서 사용이 금지되었습니다. 또한 상대적으로 안전하다고 평가된 나머지 브롬화 방염제 중 일부 물질의 위해성이 최근 들어 속속 확인되고 있어, 이들 물질의 안전관리에 대한 국제적인 관심이 높아가고 있습니다. 우리나라의 경우 아직도 산업용으로 사용되는 방염제의 대부분이 브롬화 방염제라, 이들 물질의 피해로부터 안전하다고 확신할 수 없는 실정입니다.

이에 지금까지 확인된 브롬화 방염제의 위해성, 사용현황 및 환경중으로의 배출현황 등을 살펴보고, 국제기구 및 주요 국가의 관리동향을 파악하여, 국제적으로 강화되고 있는 브롬화 방염제의 위해성으로부터 국민의 건강과 환경을 보호할 수 있는 대응방안을 마련하고자 본 연구를 수행하게 되었습니다. 유해화학물질로 인한 생태계 파괴가 날로 심각해져 가는 요즘, 본 연구가 국제적으로 심각한 환경문제로 인식되고 있는 브롬화 방염제의 효과적인 관리정책을 수립하는데 일익을 담당하는 초석이 되길 바랍니다.

끝으로 본 연구를 수행한 본원의 박정규 박사님과 정다운 연구원에게 감사를 표합니다. 또한 바쁘신 중에 과제진행을 위해 귀중한 자문을 해 주신 국립환경연구원의 최경희 박사님과 김필제 박사님, 인제대학교 황인영 교수님, 환경부 화학물질과 이석조 과장님께 진심으로 감사드립니다.

아울러 본 연구의 내용은 저희 연구원의 공식 견해가 아닌 연구자 개인의 견해를 밝혀 드립니다.

2001년 12월

한국환경정책·평가연구원

원장 윤서성

목 차

I. 서론	1
1. 연구의 목적	1
2. 연구의 내용 및 방법	2
II. 방염제에 대한 일반적 고찰	3
1. 방염제의 정의	3
2. 방염제의 종류	3
3. 방염제의 물리·화학적 특성	6
4. 국제적 사용현황	7
5. 인체 및 환경에 대한 위해성	11
5.1 PBBs	12
5.1.1 환경에 대한 위해성	13
5.1.2 인체에 대한 위해성	13
5.2 PBDEs	14
5.2.1 환경에 대한 위해성	14
5.2.2 인체에 대한 위해성	15
5.3 그 외 브롬화 방염제	17
III. 방염제의 환경배출현황	17
1. 생산 및 반제품 사용단계	18
1.1 원료물질의 배출현황	18
1.2 반제품의 배출현황	19
1.3 생산공정에서의 배출현황	19
2. 최종제품 사용단계	19
2.1 전기·전자제품	19
2.2 섬유제품	21
2.3 건축자재	22
2.4 운송분야	23
2.5 기타 용도	24
3. 폐기물 처리단계	25
3.1 방염제 처리제품의 재활용현황	25
3.2 고형폐기물 처리시 배출현황	26
3.3 액상폐기물 처리시 배출현황	26

IV. 국제기구 및 주요 국가별 관리동향	28
1. 국제기구별 관리동향	30
1.1 EU	30
1.2 OECD	33
1.3 UNEP	34
2. 주요 국가별 관리동향	35
2.1 스웨덴	35
2.2 덴마크	37
2.3 미국	41
2.4 일본	44
2.5 독일	45
2.6 기타 국가	46
V. 국내 오염실태 조사 및 관리동향	47
1. 사용현황	47
2. 배출현황	48
3. 국내 오염실태 사례조사	49
4. 방염제 사용에 대한 국내 관련규정	51
5. 방염제의 국내 규제내용	53
6. 국내 관리정책의 문제점	54
6.1 방염제 위해성에 대한 국민노출 저감방안 미비	54
6.2 관련협약에 대한 국내이행 준비 부족	54
6.3 선진국 규제강화와 미흡한 국내 산업체의 대응	55
VI. 브롬화 방염제의 효과적 관리방안	56
1. 생산단계에서의 관리정책	56
1.1 『유해화학물질관리법』 상의 관리방안	56
1.2 다이옥신 혼재가능물질의 관리	59
1.3 최적가용기술(BAT)의 개발	59
1.4 대체물질 개발 및 적용	60
1.5 잔류성 유기오염물질(POPs) 관리정책과의 연계	62
2. 사용단계에서의 관리정책	63
2.1 실내공기질 관리정책과의 연계	63
2.2 환경표지제도를 통한 간접규제	63
2.3 『품질경영 및 공산품안전관리법』 상의 관리방안	64
3. 폐기단계에서의 관리정책	65
3.1 TRI 대상물질로 확대	65
3.2 산업폐수에서의 관리강화	65
3.3 방염처리 제품의 재활용	66

VII. 결론	67
VIII. 참고문헌	68
부록 I. 브롬화 방염제의 물리·화학적 특성	69
부록 II. OECD의 “산업체의 자발적 이행”에 대한 브롬화 방염제 생산업체 보고서	76
부록 III. 브롬화 방염제의 주요 대체물질	85
부록 IV. 유독물 및 관찰물질 지정기준	91
부록 V. 약어 정리	93

표 목 차

<표 II-1> 방염제의 분류	4
<표 II-2> 주요 브롬화 방염제 종류	5
<표 II-3> 열가소성 플라스틱에 이용되는 브롬화 방염제의 물성	6
<표 II-4> 기본원소별 방염제 시장규모	7
<표 II-5> 브롬화 방염제의 지역별 시장규모(1999)	8
<표 II-6> 주요 브롬화 방염제의 특성 및 적용분야	9
<표 II-7> 서유럽 시장에서의 브롬화 방염제 사용현황	11
<표 II-8> 브롬화 방염제와 그 분해산물의 노출경로	12
<표 II-9> PBDEs의 구성	14
<표 III-1> 원료 또는 반제품형태로 수입되는 브롬화 방염제	18
<표 III-2> 플라스틱으로부터의 PBDEs의 배출율	20
<표 III-3> 섬유제품에 사용된 브롬화 방염제 소비량(덴마크, 1997)	21
<표 III-4> 건축자재에서 이용되는 브롬화 방염제 소비량	22
<표 III-5> 차량 내부의 방염처리 부분	23
<표 III-6> 최종제품에서의 브롬화 방염제 총소비량(덴마크, 1997)	24
<표 III-7> 폐수에 함유된 브롬화 방염제의 잠재적 발생원	27
<표 IV-1> 각 국의 PBBs 규제조치	28
<표 IV-2> 각국의 브롬화 방염제(PBBs제외) 규제 내용	29
<표 IV-3> 유럽에서의 브롬화 방염제 사용량	30
<표 IV-4> OECD의 VIC 참여 산업체	33
<표 IV-5> PIC 대상 화학물질	34
<표 IV-6> 덴마크의 브롬화 방염제 사용량	38
<표 IV-7> 덴마크의 브롬화 방염제 최악의 배출시나리오(1997년)	38
<표 IV-8> 방염제에 대한 환경표지 기준	39
<표 IV-9> 미국의 방염제 수요량	41
<표 IV-10> 다이옥신 혼재가능성이 있는 브롬화 방염제 종류	43
<표 IV-11> 일본의 브롬화 방염제 수요량	44
<표 IV-12> 독일 다이옥신 법령 중 브롬화 방염제 관련 내용	45
<표 V-1> 브롬화 방염제의 국내 수요량	47
<표 V-2> 국내 브롬화 방염제의 적용 현황	48
<표 V-3> DecaBDE의 국내 배출량(1999년)	49
<표 V-4> 어류 및 양서류에서의 PBDEs 오염현황	50

<표 V-5> 소방법 상의 방염제 정의	52
<표 V-6> 국내 방염성능의 기준	52
<표 V-7> 유해화학물질관리법상의 브롬화 방염제 규제내용	53
<표 VI-1> 브롬화 방염제의 연차별 규제계획(안)	57
<표 VI-2> 브롬화 방염제의 유독물 및 관찰물질 지정가능성	58
<표 VI-3> 할로겐 비함유물질/제품의 이용가능성	61
<표 VI-4> 브롬화 방염제의 대체제 종류	62
<표 VI-5> 환경표지제도를 통한 브롬화 방염제 규제현황	64

그 립 목 차

<그림 II-1> 브롬화 방염제의 분류	4
<그림 II-2> 브롬화 방염제의 적용분야	8
<그림 II-3> 브롬화 방염제가 사용되는 전기·전자 부품	9
<그림 II-4> 바다 표범에서의 PBDEs의 농도	14
<그림 II-5> 모유에서의 PBDEs 수준(스웨덴, 1972-1997년)	16
<그림 III-1> 전기·전자제품 폐기물별 브롬화 방염제 발생비율	25
<그림 III-2> 전기·전자제품의 재활용과정	26
<그림 IV-1> 브롬화 방염제 함유 플라스틱 폐기물의 처리현황	32
<그림 IV-2> 브롬화 방염제 함유 플라스틱 폐기물의 처리계획(2004년 이후)	32
<그림 V-1> PBDEs의 평균 농도 비교(근로자, 일반주민)	51
<그림 V-2> PBDEs의 평균 농도 비교 (남자, 여자)	51

I. 서론

1. 연구의 목적

우리는 일상생활에서 매우 다양한 산업용 제품들을 사용하고 있으며, 컴퓨터, TV와 같은 전자제품, 건축용 자재, 각종 플라스틱 제품 등 그 수를 헤아리기조차 어려울 정도이다. 이들 제품은 열가소성이 매우 높아 불로 인한 연소를 방지하기 위해 방염제(防炎劑, flame retardants)를 처리하고 있다. 거의 모든 산업용 제품생산에 사용되는 방염제는 그 종류가 매우 다양하며, 그 중 브롬화 방염제는 낮은 가격과 높은 방염효과로 인해 전세계적으로 많이 사용되고 있다. 그러나 사람의 건강과 환경에 미치는 높은 위해성으로 인해 최근 국제적인 관심이 높은 물질이다. 이에 본 연구에서는 방염제 중 브롬화 방염제를 중심으로 환경위해성을 확인하고, 이에 대한 대응방안을 도출하고자 하였다.

우리나라에서 많이 사용되고 있는 브롬화 방염제는 PBBs, PBDEs, TBBPA 등 세 종류로 구별되는데, 이중 PBBs 계통의 방염제는 이미 1970년대부터 발암성과 간독성이 확인되어 사용이 중지되었다. 또한 PBBs는 내분비계 장애물질로 알려져 있으며, 향후 UNEP의 잔류성 유기오염물질 규제협약(일명 스톡홀름협약)의 관리대상물질로 선정될 가능성이 매우 높다. PBDEs 역시 사람의 건강이나 환경에 영향을 미친다는 연구결과가 최근 보고되고 있어, 스웨덴 등 EU 국가를 중심으로 PBDEs의 사용을 제한 또는 금지하려는 움직임이 활발히 진행되고 있다. 일부 국가에서는 위해성이 확인된 PBBs와 PBDEs뿐 아니라 전체 브롬화 방염제로 그 규제대상을 확대하고 있는 실정이다. 따라서 국제적으로 날로 강화되고 있는 브롬화 방염제의 규제에 대한 우리나라의 대응방안 마련이 매우 시급한 실정이다.

한편 우리나라에서는 1999년에 PBBs의 사용이 금지되었으나, 아직 PBBs가 포함된 제품이 다수 사용되고 있어 사용 또는 폐기과정에서 위해가 발생할 가능성이 매우 높다. 즉, 다른 유해화학물질과는 달리 브롬화 방염제는 생산 또는 사용단계에서 근로자나 사용자에게 지속적으로 노출되어 장기적인 건강피해를 유발하고, 방염제를 포함한 제품의 폐기단계에서는 소각시 다이옥신을 배출하거나 매립할 경우 환경으로 용출되어 인근 토양과 지하수를 오염시킨다. 한편 PBDEs에 대해서는 유해화학물질 관리의 규제대상에서 조차 제외되어 있는 실정이다.

따라서 방염제가 포함된 제품에 둘러싸여 생활하고 있는 우리는 더 이상 방염제의 관리를 소홀히 할 수 없는 입장이다. 이에 본 과제에서는 국내에서 사용되고 있는 방염제 중 위해성이 높고 사용량이 많은 브롬화 방염제를 중심으로 종류별 위해성을 확인하고 각국의 관리정책을 사용단계별로 살펴보고자 한다. 또한 국내 오염실태를 파악하기 위해 일부 조사사업과 함께 관련 연구결과를 살펴보고, 이를 토대로 국내 브롬화 방염제의 관리방안을 도출하고자 한다. 본 과제의 결과를 통해 브롬화 방염제의 위해성으로부터 국민의 건강과 환경을 보호하고, 나아가 방염제를 처리한 산업제품에 대한 무역상의 불이익을 사전에 예

방하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

위의 연구목적을 달성하기 위한 효과적인 수행기법으로 본 연구의 내용은 다음과 같이 다섯 부분으로 나누어 진행하였다.

첫째 방염제에 대한 일반적인 특성을 고찰하였다. 방염제의 정의, 종류, 사용현황 등을 조사하였으며, 주요 물질의 물리·화학적 특성과 함께 위해성을 확인하여 브롬화 방염제 관리의 필요성을 도출하였다.

둘째, 브롬화 방염제의 사용단계별 환경배출현황을 조사하였다. 이는 생산 및 반제품 사용단계, 최종제품 사용단계, 폐기물 처리단계 등 3단계로 나누어 자료를 조사·분석하였으며, 최종제품 사용단계에서는 브롬화 방염제가 처리된 주요제품을 대상으로 하였다.

셋째, 관련 국제기구와 주요 국가별로 브롬화 방염제의 관리동향을 살펴보았다. EU, OECD 등의 국제기구와 미국, 일본, 스웨덴 등 선진국을 대상으로 주요 관리정책 및 향후 규제전망을 파악하였다.

넷째, 국내 브롬화 방염제의 사용 및 배출현황, 관리동향 등을 살펴보고, 이를 통해 브롬화 방염제 관리의 문제점과 필요성을 도출하였다.

다섯째, 브롬화 방염제 관리의 문제점을 해결하기 위한 정책적 대안을 도출하였으며, 이는 생산단계, 사용단계 및 폐기단계로 나누어 정리하였다.

연구의 방법은 국내외 관리동향 부분은 주로 인터넷을 통해 국내외 관련자료를 수집하여 분석하였다. 또한 2001년 5월 스웨덴 스톡홀름에서 개최되었던 브롬화 방염제에 대한 국제 워킹샵에 참석하여 관련자료를 수집하였으며, 참석한 각국의 전문가를 통해 관리동향을 살펴보았다. 국내 오염현황을 파악하기 위해 일부 사례조사를 포항공대 환경공학과에 위탁하여 수행하였다.

II. 방염제에 대한 일반적 고찰

1. 방염제의 정의

현대사회에서 플라스틱은 싸고 편리하기 때문에 다양한 산업용 제품에 사용되고 있으나, 탄소, 수소, 산소로 구성된 유기물질이라 불에 의해 쉽게 연소되는 단점이 있다. 이와 같은 성질을 물리·화학적으로 개선해 잘 타지 못하도록 첨가하는 물질을 방염제 또는 난연제라고 한다. 최근 방염제는 단순히 방염효과를 증진시키는 특성 이외에 제품의 발연성, 유해성, 부식성 등을 증진시키는 방향으로 개발되고 있다.

방염제의 주요 원리는 플라스틱의 가열·분해·발열 등 특정한 연소단계를 방해하는 것으로, 이는 다음과 같은 여러 방법에 의해 가능하다.

첫째는 냉각방식으로, 방염제에 의해 연소과정에서 유지되어야 하는 열에너지를 소비시킴으로써 연소를 억제한다.

둘째는 코팅방식으로, 가연성 물질인 플라스틱이 기체와 접촉하지 못하도록 고체나 기체로 응축시킨다.

셋째는 희석방식으로, 연소시 불연성 증질가스를 생성시켜서 연소를 진행시키는 가스들끼리의 반응을 억제시킨다.

넷째는 활성라디칼을 흡수하는 방식으로, 연소반응에 참가하는 수소기 또는 수산기같은 라디칼을 방염제가 흡수해서 연속적인 연소반응을 억제시킨다.

한편 이와 같은 원리를 이용하여 플라스틱을 방염효과를 증진시키는 방법으로는 첫째, 분자구조 변경을 통한 내열성 플라스틱의 제조, 둘째, 방염성분을 플라스틱 구조내에 화학적으로 결합, 셋째, 방염제를 플라스틱내에 물리적으로 첨가, 넷째, 기타 방염제를 코팅 또는 페인팅하거나 제품 디자인 변경을 통한 내열성 향상 등이다.

2. 방염제의 종류

현재 시판되고 있는 방염제는 구성성분이나 사용법 등 몇 가지 기준에 의해 분류되고 있다<표 II-1>.

우선 구성성분에 의해 크게 유기계와 무기계 방염제로 나뉘며, 유기계 방염제의 경우 세부적으로 인계, 인과 할로겐의 혼합물질 및 할로겐계로 다시 분류된다. 인계 방염제는 연소과정에서 가연성 물질과 반응해 응축된 탄화막을 형성하고 이로 인해 연소에 필요한 산소가 차단됨으로써 방염효과가 발생하는 것으로, 인산에스테르, 폴리인산염계 등의 제품이 시판되고 있다. 할로겐계 방염제는 할로겐 원소를 갖는 유기화합물이 연소과정에서 생성되는 라디칼과 반응해 방염효과를 내는 제품으로 브롬계, 염소계, 요오드계, 불소계 등으로 나뉜다. 그 외 유기계 방염제에는 인과 할로겐 성분이 혼합된 제품이 있다.

한편 무기계 방염제에는 안티몬계(삼산화 안티몬, 오산화 안티몬 등), 인계(반응형 인계, 첨가형 인계

등), 수산화물계(수산화 알루미늄, 수산화 마그네슘 등) 등이 사용되고 있다.

그 외 사용방법에 의한 방염제의 분류는 다음 <표 II-1>에서와 같이 주요 방염성분을 첨가시키는 첨가형과 화학적 반응을 유도하여 방염효과를 발생시키는 반응형으로 나뉜다. 첨가형 방염제의 원리는 주로 열가소성 플라스틱에 물리적으로 방염성분을 분산·처리하는 것이며, 반응형 방염제는 방염성분이 플라스틱에 화학적으로 결합되어 있어서 방염성이 지속되고 주로 열경화성 플라스틱에 응용된다.

<표 II-1> 방염제의 분류

기 준	분 류	
구성성분	유기계	○ 인계 ○ 인 + 할로젠 ○ 할로젠계
	무기계	○ 금속수산화물계 ○ 안티몬계 ○ 기타(몰리브덴계 등)
사용법	첨가형	○ 유기계 ○ 무기계
	반응형	○ 비닐기 함유 ○ 카르복실기 함유 ○ 수산기 함유 ○ 에폭시기 함유

자료 : CIS Chem. Com., 1997

앞에서 살펴본 다양한 방염제 중에서 전세계적으로 브롬화 방염제를 포함한 할로젠계가 가장 많이 사용되고 있다. 주요 할로젠 원소의 라디칼 포착체로서의 효과는 요오드, 브롬, 염소, 불소 순이나, 요오드계의 경우 비용이 브롬계에 비해 고가이며 내열성 및 내광성이 부족하다. 그에 비해 브롬계는 가격도 다른 방염제에 비해 경제적이며 방염효과가 매우 뛰어나 많이 사용되고 있다.

브롬화 방염제는 일반적으로 50-85%의 브롬을 함유하는데, 다음 <그림 II-1>과 같이 크게 3가지로 분류된다.

- ┌ 방향족 : TBBPA, PBDEs, PBBs 등
- 브롬화 방염제 ─ 지방족(aliphatic) : 상대적으로 이용량이 적음
- └ 고리지방족(cycloaliphatic) : HBCD 등

<그림 II-1> 브롬화 방염제의 분류(자료 : Danish EPA, 1999)

이 중 방향족 방염제에는 TBBPA(Tetrabromobisphenol-A¹⁾), PBDEs (Polybromodiphenyl ethers), PBBs(Polybrominated biphenyls) 등이, 고리지방족에는 HBCD(Hexabromocyclododecane)가 포함되며 그 외 주요 브롬화 방염제는 다음 <표 II-2>와 같다. 현재 국내에서는 TBBA(TBBPA), DBDPO, HBCD, FF-680, OBDPO, B·E·O 등의 종류가 널리 사용되고 있다.

<표 II-2> 주요 브롬화 방염제 종류

TBBA(또는 TBBPA)	: Tetrabromobisphenol-A
FF-680(=BTBPE)	: Bis(Tribromophenoxy)ethane
DBDPO	: Decabromodiphenyloxide
HBCD	: Hexabromocyclododecane
DBDPE	: Decabromodiphenylester
OBDPO	: Octabromodiphenyloxide
TBBA-AE	: TBBA-Allyl Ether
TBP	: Tribromophenol
TBP-AE	: Tribromophenol Allyl Ester
BC-48	: Tetrabromocyclooctane
BC-58	: TBBA Polycarbonate Oligomer
PDBS-80	: PolyDecaBrominated Polystyrene
PC-68PB	: Brominated polystyrene계통
PBB-PA	: Pentabromopenylpolyacrylate
Saytex BT-93	: Ethylenbistetra-bromophthalimide
B·E·O	: Brominated Epoxy Oligomer

자료 : CIS Chem. Com., 1997

1) TBBPA는 방염제의 주요 첨가제뿐 아니라 반응제로도 사용됨

3. 방염제의 물리·화학적 특성

방염제의 종류별 물리·화학적 특성은 <부록 I>에 상세히 기술하였으며, 본 장에서는 주로 브롬계 방염제를 중심으로 물질 특성을 살펴보았다.

일반적으로 PBBs는 브롬의 수가 증가할수록 휘발성이 낮아지며 고체상태로 존재한다. 물에 잘 녹지 않으며, 지방성분에서는 쉽게 용해되고 다양한 유기 용매에서는 정도의 차이는 있으나 비교적 잘 녹는다. 이때 지방에 대한 용해도는 브롬수가 증가할수록 감소한다. PBBs 화합물들은 비교적 안정하며 화학적으로 비반응성을 나타낸다. 단 브롬의 수가 많은 PBBs의 경우 자외선에 노출되었을 때 브롬수가 감소(debromination)되기도 한다(WHO, 1994).

한편 PBDEs는 끓는점이 310-425℃의 범위이고, 20-25℃에서 증기압이 3.85-13.3 Pa로 낮아 비교적 안정한 화학물질이다. 또한 친지질성을 띠고 물에서는 잘 녹지 않으며, 특히 브롬수가 많을수록 녹지 않는다. PBDEs의 옥탄올/물 분배계수(logPow)의 범위는 4.28-9.9이다. PBDEs의 환경 매체내 거동에서 생물학적 분해는 중요한 영향을 미치지 않고, 주로 광화학적으로 분해된다고 알려져 있다(WHO, 1994).

그 외 물질별 브롬화 방염제의 특성은 다음 <표 II-3>과 같다.

<표 II-3> 열가소성 플라스틱에 이용되는 브롬화 방염제의 물성

방염제 종류	브롬함유율 (%)	녹는점 (°C)	분자량	TGV** (wt loss/°C)
TBBA carbonate oligomer (BC-52)	52	210-230	2494	5/430
BC-58	58	230-260	3537	5/430
Saytex BT-93	66	446	952	dec.450
OctaBDE	79.8	70-150	801	5/304
DecaBDE	83.3	300-315	959.2	5/357
Bis(tribromophenoxy)ethane (FF-680)	70	223-225	655.5	5/290
HBCD	74	185-195	641.7	-
PentaBDE*	70.8	>200°C	564.66	-
B·E·O	49.5	105-115 (연화점)	1600	5/350

자료 : LG고분자기술 제 33호

* : EU Report, 2000

** : Thermogravimetric Analysis를 통해 혼합·변형 공정 중에서 제품의 열안전성을 나타내는 값

4. 국제적 사용현황

전세계의 방염제 사용량 중 안티몬 등 무기계 방염제는 세계 시장의 약 50% 정도를 차지하고 있으며, 브롬계를 포함한 유기계 방염제는 약 22%를 차지하고 있다<표 II-4>. 방염제의 주요 원소별 세계 시장 규모를 살펴보면, 알루미늄과 브롬이 가장 많이 사용되고 있음을 알 수 있다. 1992년의 경우 이 두 원소의 사용량은 25 - 28%로 비슷하였으나, 1996년의 알루미늄 사용량은 1992년도에 비해 2배 이상 증가하였다. 이는 방염제 시장에서 염소를 비롯한 다른 원소의 사용이 점차 감소한 것에 기인하고 있다.

<표 II-4> 기본원소별 방염제 시장규모

원 소 명	시장규모(1992년) (단위:톤)	시장규모(1996*) (단위:톤)
브 롬	150,000 (25%)	202,000 (22%)
염 소	60,000 (10%)	50,000 (5%)
인	100,000 (16%)	137,000 (15%)
안 티 몬	50,000 (8%)	70,000 (8%)
질 소	30,000 (5%)	**
알루미늄	170,000 (28%)	410,000 (45%)
기 타	50,000 (8%)	55,000 (6%)
전 체	610,000	924,000

자료 : Danish EPA, 1999

* 미국, 서유럽, 아시아 통계

** 기타에 포함

한편 브롬의 주요 생산국가는 미국²⁾, 이스라엘, 요르단 등이며, 이들 국가의 연간 브롬 생산량(2001년 기준)은 각각 3,800-5,000ppm/년(미국), 300,000톤/년(이스라엘), 50,000톤/년(요르단) 이다. 최근에는 중국에서의 생산량이 점차 증가하고 있는 추세이다. 브롬화 방염제의 주요 생산업체 역시 이들 국가에 속해 있으며, 미국의 Great Lakes Chemical(GLC)사와 Albemarle Corporation(Albem)사, 이스라엘의 Dead Sea Bromine Group(DSB)사 등 세계 3대 생산업체에서의 제품들이 미국과 서유럽 시장의 약 70%를 차지하고 있다. 또한 브롬화 방염제의 전세계 사용량은 지속적으로 증가하는 추세로, 1990년 145,000톤에서 2000년에 310,000톤으로 2배 정도 증가하였다.

브롬화 방염제의 1999년도 시장규모를 보면 절반 이상이 아시아 지역에서 사용됨을 알 수 있다<표 II-5>. 종류별 시장규모를 보면 과거에는 PBBs 계통의 방염제가 많이 사용되었으나 그 위해성으로 인해 사용을 금지한 국가가 늘어, 최근에는 주로 TBBPA와 PBDEs가 많이 사용되고 있다. 현재 가장 많이 사용되는 브롬화 방염제인 TBBPA는 전세계 사용량의 약 59%를 차지하고 있다. PBDEs의 경우 tri-에

2) 대부분이 아칸소주에서 생산되고 있음

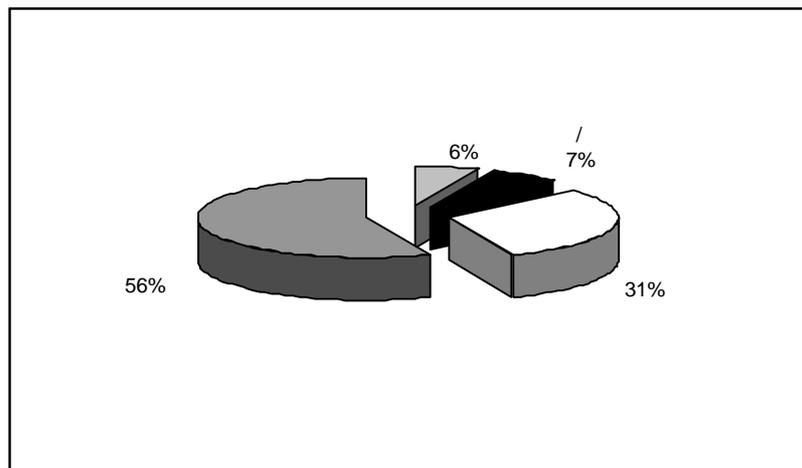
서 decaBDE까지 있으나, 상업적으로는 주로 pentaBDE, octaBDE, decaBDE 등이 쓰인다. 1992년 전 세계적으로 PBDEs는 약 40,000톤이 소비된 것으로 조사되었는데, 이중 75%는 decaBDE, 15%는 octaBDE, 10%는 pentaBDE형태로 소비되었다(Danish EPA). 다음 <표 II-5>에서와 같이 1999년도 BSEF 자료를 보면 decaBDE는 전체 브롬화 방염제 사용량의 26.8%를 차지하며, 이는 PBDEs계통의 방염제 사용량의 약 80% 이상을 차지하는 양이다.

<표 II-5> 브롬화 방염제의 지역별 시장규모(1999)

종류	유럽	미주대륙	아시아	총계	비율
TBBPA	13,800	21,600	85,900	121,300	59.4%
HBCD	8,900	3,100	3,900	15,900	7.8%
Deca-BDE	7,500	24,300	23,000	54,800	26.8%
Octa-BDE	450	1,375	2,000	3,825	1.9%
Penta-BDE	210	8,290	-	8,500	4.1%
Total	30,860	58,665	114,800	204,325	100%
비율	15.1%	28.7%	56.2%	100%	

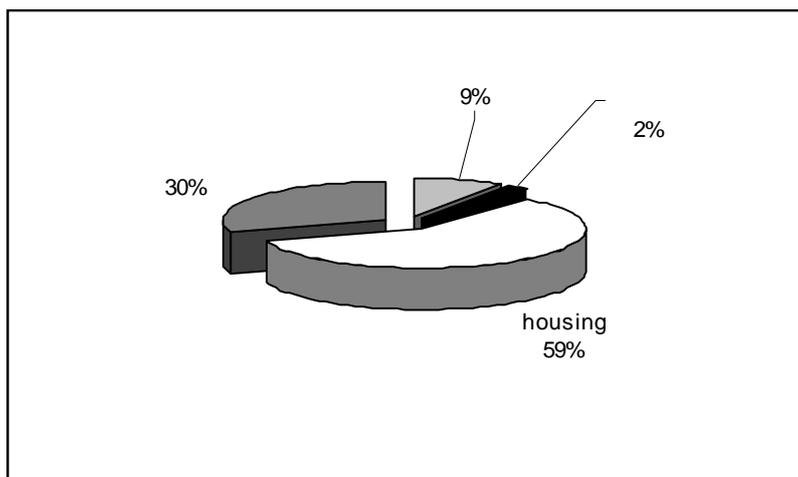
자료 : BSEF, 2000

이들 브롬화 방염제는 다음 <그림 II-2>에서와 같이 주로 전기·전자분야에 사용되며, 그 외 건설업, 운송업, 직물산업 등에 사용된다. 전기·전자분야에서는 주로 TV, 냉장고 등 가정용 전자제품에 절반 이상이 사용되고 있으며, 그 외 인쇄회로판, 커넥터와 계전기, 전선과 케이블을 만드는 데에도 다수 사용되고 있다<그림 II-3>. 이와 같은 브롬화 방염제의 각 종류별 적용분야 및 대상은 <표 II-6> 및 <표 II-7>과 같다.



<그림 II-2> 브롬화 방염제의 적용분야

자료 : BSEF, 2000



<그림 II-3> 브롬화 방염제가 사용되는 전기·전자 부품

자료 : BSEF, 2000

<표 II-6> 주요 브롬화 방염제의 특성 및 적용분야

방염제명	브롬 함유율 (%)	반응형(R) /첨가형(A)	주요 적용대상 (전세계적으로)
TBBPA	59	R, A	에폭시, polycarbonates (PC), unsaturated poly ester resins(UPE)
TBBPA carbonate oligomer	55	A	ABS, 엔진, 열가소성 플라스틱
TBBPA-bis(allylether)	51	R	-
DecaBDE	83	A	일반용도
OctaBDE	79	A	ABS, PC, thermosets
PentaBDE	71	A	직물, 폴리우레탄(PUR)
HBCD	75	A	EPS, XPS
Ethylene bis (dibromono-bornanedicarb oximide)	48	A	나일론, 폴리올레핀
2,4,6-Tribromophenol(TBP)	73	R	페놀류(phenolics), 에폭시
Bis(tribromophenoxy) ethane(HBPE)	70	A	ABS, PC, thermosets
TBPAAE	65	R	-
Poly(pentabromobenzylacry late)(PBB-PA)	70	A	중합체(polymeric), 폴리부틸렌(polybutyl-en)etere phthalate(PBT)
Brominated poly styrene(BrPS)	60	A	PBT 등

자료 : Danish EPA, 1999

<표 II-6> 주요 브롬화 방염제의 특성 및 적용분야(계속)

방염제명	브롬 함유율 (%)	반응형(R) /첨가형(A)	주요 적용대상 (전세계적으로)
TBBPA-bis(2,3-dibromopropylether)	68	A	폴리올레핀
TBBPA epoxy oligomer	52	A	styrenics, PBT
TBBPA-bis(2-hydroxyethyl ether)	51	A	엔진, 플라스틱, 코팅
Decabromobiphenyl(DeBB)	84	A	일반적인 목적
Tetrabromophthalic anhydride	69	R	UPE, 코팅
TBPA diester/ether diol	45	R	PUR foam
Ethylene bis(tetrabromophthalimide)(EBTBP)	67	A	DecaBDE와 유사
Tetrabromophthalimide	69	A	엔진, 열가소성 플라스틱
Disodium salt of Tetrabromophthalate	15	A	EPS, XPS
Dibromoethyldibromocyclohexane	75	A	PS, PUR
Dibromoenoptylglycol(DBNPG)	64	R	UPE, PUR
Tribromoneopentyl alcohol(TBNPA)	72	R	PUR
Vinyl bromide(VBr)	75	R	modacrylic fibers

<표 II-6> 주요 브롬화 방염제의 특성 및 적용분야(계속)

방염제명	브롬 함유율 (%)	반응형(R) /첨가형(A)	주요 적용대상 (전세계적으로)
Poly(dibromophenylene oxide)(PDBPO)	62	A	DecaBDE와 유사
Pentabromoethylbenzene(5BEB)	82	A	DecaBDE와 유사
Polydibromostyrene(PDBS)	60	A	PBT, PS

〈표 II-7〉 서유럽 시장에서의 브롬화 방염제 사용현황

기본물질	시장규모 (톤)	전체 브롬화 방염제 중 차지하는 비율(%)*	주요 적용 사례
폴리에틸렌	3,500	6	케이블 커버링, 파이프, 운송 및 건설용 판자
폴리프로필렌	5,000	8	파이프, 운송 및 건설용 판자, 전기용품, 개폐기, 비디오테이프, 필름, 거푸집, 바닥재
ABS	6,000	10	자동차부품, 거푸집, 전기·전자제품
HIPS	2,500	4	전자제품, 개폐기, 판자, 조명, 전화, 거푸집
UP	1,000	2	운송, 지붕 판자, 위생도기(변기, 욕조 등), 개폐기, 전자제품
PET/PBT	6,500	10	계전기, 모터, 개폐기, 전자제품
폴리아미드	3,000	5	개폐기, 플러그상자, 단말기, 프린트 커넥터 등
폴리카보네이트	3,000	5	전기·전자기기
EPS/XPS	8,500	14	절연판
에폭시	12,000	19	인쇄회로판, 캡슐, 전문 바닥재
폴리우레탄	9,500	15	절연판
직물	1,500	2	
기타**	500	1	

자료 : Danish EPA, 1999

* 각 기본물질에 사용된 브롬화 방염제의 총 소비량 중의 %를 나타낸 것.

** 페놀성 수지, PVC, 고무, 코팅, 기능성 유체(페인트 등에 사용되는), 목재 등에 쓰이는 브롬화 방염제 소비량은 그 양이 적어 측정하기 어려움.

5. 인체 및 환경에 대한 위해성

브롬화 방염제를 포함한 최종제품뿐 아니라 여러 공정(소각 포함)에서 발생하는 부산물들은 다양한 경로를 통해 인간과 환경에 노출되어 왔다. 인간에 대한 노출경로는 생산작업장에서 근무하는 근로자, 방염제 처리제품을 사용하는 소비자, 그리고 방염제에 오염된 환경에 노출되는 일반인 등으로 구분될 수 있다 <표 II-8>.

인간의 건강이나 환경에 악영향이 예상되는 주요 브롬화 방염제는 PBBs와 PBDEs이며, 이미 PBBs는 그 위해성이 확인되어 사용이 제한되었고 PBDEs에 대한 위해성 연구는 현재 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 이때 관련연구의 대상은 방염제뿐 아니라 이들의 부산물(polybrominated

dibenzofuran과 dibenzodioxin 등)까지도 포함한다. 이에 본 장에서는 PBBs와 PBDEs를 중심으로 브롬화 방염제가 사람의 건강과 환경에 미치는 위해성을 조사·정리하였다.

<표 II-8> 브롬화 방염제와 그 분해산물의 노출경로

근로자 노출	소비자 노출	일반 대중 노출
<ul style="list-style-type: none"> • 생산 • 혼합 및 변형 • 최종제품 생산 	<ul style="list-style-type: none"> • 최종제품 사용 • 화재 	<ul style="list-style-type: none"> • 대기 • 수질 • 토양 • 음식섭취 • 생태계

자료 : WHO, 1997

5.1 PBBs

PBBs에 대한 관심은 1973년 미국 미시간주에서 발생한 오염사고로 인해 전세계적으로 확산되었다. 미시간주에서는 PBBs를 포함한 300kg의 소방제가 가축사료로 뒤마편 채 시중에 판매되는 사고가 발생하였으며, 이로 인해 수많은 가축이 죽고 사람들이 신경마비 증세를 보이게 되었다(WHO, 1994). 오염된 먹이를 섭취한 몇 주 후의 소에서 250mg/kg 체중 수준의 농도로 검출이 되었고, 약 50% 정도의 식욕 감퇴와 함께 우유의 생산율도 약 40% 이상 감소하였다. 또한 어떤 소에서는 배뇨와 눈물의 증가, 혈중, 종양, 발굽의 기형 성장, 절름발이, 탈모증, 각막 비후증, 건강 불량 등의 증상이 관찰되었다. 특히 상업적인 화합물인 Fire Master BP-6(penta, hexa, heptaBBs 혼합물)는 염증, 행동 장애 등의 만성적인 신경 증상을 일으켰다. 더군다나 음식물 연쇄 현상까지 발생하여 많은 사람이 노출되었으며, 모유를 통해 노출된 아이들에게서 성장장애 등이 보고되었다(De Boer, 2000).

이는 PBBs의 위해성에 대한 연구를 촉진시키는 계기가 되었으며, 그 후 발암성과 같은 PBBs의 독성이 밝혀졌다. 설치류를 이용한 실험에서 0.5 mg/kg 체중/일의 농도에서 간 종양 등의 암을 유발하였으며, 유인 영장류와 멍크에 대해서는 아주 낮은 농도에서도 생식에 영향을 주었다. 이와 같은 독성으로 인해 PBBs는 내분비계 장애물질로 분류되었고, 최근에는 잔류성 유기오염물질(Persistent Organic Pollutants, POPs)에 대한 국제협약(일명 스톡홀름 협약)의 후보 대상물질로 검토되고 있다.

현재 상업적으로 이용가능한 PBBs는 주로 decaBB로 전체의 94%이상을 차지하고 있으나, 그 외 nonaBB와 octaBB의 대사물질도 환경중에서 발견되고 있다.

5.1.1 환경에 대한 위해성

PBBs 화합물은 환경중에서 분해가 잘 되지 않아 매우 안정적이며, 잔류성과 생물농축성이 강하다. 또한 몇몇 PBBs 화합물의 대사는 생체 내에서 매우 느려서, 밖으로 배출되지 않고 지방 조직에 잘 축적된다. PBBs의 생물농축성은 브롬수가 증가할수록 커지나, decaBB같이 분자량이 너무 크면 오히려 흡착율이 떨어진다. 따라서 물고기의 경우 decaBB의 생물농축성은 $BCF < 5$ 로 매우 낮다. 한편 수서생물에 대한 PBBs의 급성독성은 그리 크지 않은 것으로 확인되었다(KemI report 5/96).

일반적으로 PBBs는 PBDEs에 비해 낮은 농도로 검출되고 있는데, 이는 이미 수 년 전부터 실시된 PBBs의 강력한 규제정책 때문이다. 1997년 미국 오대호에서 송어를 분석한 결과, Lake Huron 15 ± 8.5 ng/g lw, Lake Ontario 5.3 ± 2.9 ng/g lw, Lake Erie 1.4 ± 0.29 ng/g lw, Lake Superior 1.7 ± 0.89 ng/g lw의 수준으로, 검출된 화학물질은 주로 hexaBB와 pentaBB 등이었다. (Luross et al., 2001). 유럽의 경우 decaBB와 hexaBB는 서유럽의 큰 강의 삼각주에서 채취한 침적토 시료에서 검출되었다. 또한 프랑스의 PBBs 생산공장 주변에서 브롬수가 5개에서 10개 사이의 PBBs가 어류, 조류 및 해초에서 검출되기도 하였다. HexaBB는 북유럽의 식용어류에서 다수 발견되기도 하였는데, 그 오염원은 주로 decaBB가 분해되어 발생했을 것으로 추정된다. 그 이유는 decaBB는 잔류성이 크지만 자외선 또는 생물학적으로 브롬수가 낮은 물질로 분해된다는 연구결과가 있기 때문이다(Jansson et al., 1993)

5.1.2 인체에 대한 위해성

사람에 대한 PBBs의 노출은 PBBs가 함유된 제품을 사용하거나 재활용할 때, 그리고 그러한 제품들의 매립처리 후에 발생할 수 있다. 물론 PBBs를 함유한 제품에서 배출되는 속도는 매우 느릴 것으로 예상되지만, 이러한 제품이 분해될 때 PBBs는 서서히 외부로 유출될 수 있다.

DecaBB는 인체 내로 호흡, 음식물 섭취 및 피부접촉을 통해 흡수된다. DecaBB의 급성독성은 크지 않은 편이나, 만성노출의 경우 주로 간에 영향을 미치며 간 무게 증가, 세포 파괴, 글리코겐 함량 감소 등의 증상이 관찰된다(NOEL 35mg/kg 체중/일)(WHO, 1994a). 또한 decaBB는 동물실험에서 피부와 눈에 염증을 유발하며, decaBB에 노출된 산업근로자들을 대상으로 조사한 결과 주로 갑상선에 영향을 미치는 것으로 관측되었고 이러한 실험결과는 동물실험에서도 유사하게 나타났다(WHO, 1994).

한편 nonaBB에 대한 동물실험 결과 발암성이 확인되었으며, 간에서 주로 영향이 발현되었다. OctaBB는 decaBB에 비해 보다 높은 간독성(NOEL < 2.5 mg/kg)과 생식독성(태아사망 및 낮은 생존율)이 확인되었다. 또한 브롬수가 작은 tetra-에서 heptaBB까지의 PBBs 연구결과 매우 독성이 높은 것으로 나타났으며 이 화합물들은 다이옥신, PCBs 등 유기염소계 화합물과 유사한 구조를 가지고 있으며 동물실험 결과도 그와 유사한 경향을 나타냈다. 즉, 급성독성 용량에서 기형, 간손상(종양 생성 포함), 면역감소, 생식장애, 갑상선기능저하, 피부손상, wasting syndrome³⁾ 등의 영향을 야기하였다. 이와 같은 연구결과를 볼 때 PBBs는 브롬수가 적을수록 독성이 강해지는 것을 확인하였다.

3) 쇠약 및 체중의 극심한 감소를 유발함

5.2 PBDEs

PBDEs는 브롬수가 4개에서 10개(tetra에서 deca)까지 합성가능하며, 현재 상업적으로 사용되고 있는 주요 PBDEs는 다음 <표 II-9>와 같이 decaBDE, octaBDE, pentaBDE 등이다. 이들 물질은 단일물질로 상품화되는 것이 아니라 각각 여러 PBDEs로 구성되어 있으며, 각각 환경중의 분포, 잔류, 생물농축, 독성 등 개별적인 특성을 나타낸다(WHO,1997).

<표 II-9> PBDEs의 구성

제 품	구 성 (%)							
	TrBDE	TeBDE	PeBDE	HxBDE	HpBDE	OBDE	NBDE	DeBDE
DeBDE							0.3-3	97-98
OBDE				10-12	43-44	31-35	9-11	0-1
PeBDE	0-1	24-38	50-62	4-8				
TeBDE*		41-41.7	44.4-45	6-7				

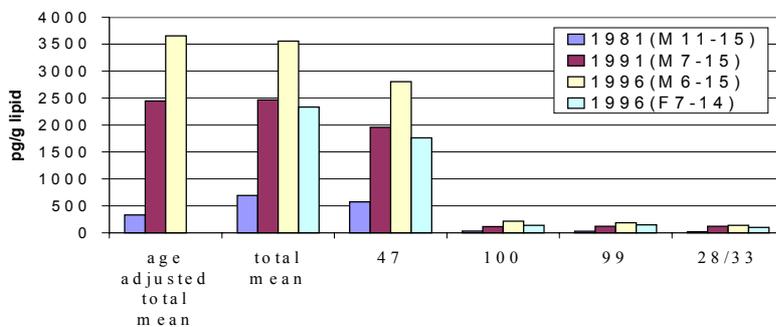
자료 : WHO, 1997

*: 더 이상 상업적으로 생산되지 않는 물질

5.2.1 환경에 대한 위해성

PBDEs의 환경으로의 배출은 방염제의 제조, 운송, 이용 또는 폐기물 처리단계에서 발생되며, 배출되는 주요 환경매체는 수질, 대기, 토양이다. OctaBDE와 decaBDE는 대기를 통해 분산될 수 있고, 물과 대기 중에서 잔류성을 띤다. 그러나 decaBDE의 경우 자외선에 의해 일부 분해되며, 브롬수가 적은 PBDEs의 경우 혐기성 환경에서 미생물에 의해 분해될 수 있다.

환경중에서 검출되는 PBDEs의 수준은 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 캐나다 북서부 지역에 위치한 홀맨섬(Holman)에서 서식하는 바다표범의 경우 1981년에서 2000년까지 약 20년간 PBDEs 농도가 10배 이상 크게 증가하였다<그림 II-4>. 1981년의 경우 0.6ppb 가량으로 아주 낮은 수준이었으나, 2000년의 경우 6ppb가량으로 높게 나타났다. 또한 미국 5대호 지역에 서식하는 갈매기 알의 경우 역시 1981 - 2000년 사이에 매 3-5년 간 2배 정도의 PBDEs 농도 증가를 보여, 2000년에 채집된 갈매기 알에서는 약 200-1,400 ng/g(체중)의 수준이 검출되기도 하였다.



<그림 II-4> 바다 표범에서의 PBDEs의 농도

자료 : M.G.Ikonomou(2000)

PBDEs 중 pentaBDE는 환경중의 생물체와 침적토에서 광범위하게 발견되고 있으며, 주로 1970년 - 1980년대에 그 수준이 급격히 증가하였다. 그 영향으로 스웨덴에서는 1990년대까지 바다오리의 알이나 창꼬치류(pike)에서 고농도로 검출되기도 하였다. PentaBDE는 난분해성 및 생물농축성(BCF가 5,000에서 35,000의 범위임)이 다른 물질에 비해 매우 강하며, 휘발성이 커서 대기를 통해 먼거리까지 쉽게 이동된다. 또한 독성도 다른 물질에 비해 높아 쥐를 대상으로 한 실험결과, 간 뿐 만 아니라 갑상선 호르몬에 영향을 미치고 행동양식에도 변화를 유발시켰다(Sweden, 1999).

그에 비해 octaBDE와 decaBDE는 생물농축 정도가 현저히 낮았는데(BCF가 5에서 50사이), 이는 이 두 물질의 분자량이 상대적으로 커서 생물체로의 흡수가 잘 일어나지 않기 때문이다(Sweden, 1999). 한편 난분해성으로 인해 환경에 오래 잔류되나, 자외선이나 미생물에 의해 브롬수가 적은 물질로 일부 분해되기도 한다(EU, 1998a). 따라서 octaBDE와 decaBDE의 독성은 pentaBDE에 비해 높지 않으나, 환경중에서 독성이 높은 pentaBDE로 분해될 가능성이 높기 때문에 이에 대한 연구가 선진국을 중심으로 진행 중이다.

5.2.2 인체에 대한 위해성

가. 실험동물에 대한 위해성

이들 물질의 인체에 대한 위해성을 확인하기 위하여 아만성 동물실험을 실시한 결과 간이 가장 영향을 받는 신체장기로 밝혀졌다. 쥐를 먹이를 통해 pentaBDE에 노출시키면 물질농도가 1mg/kg을 초과할 때 간의 형태와 기능 모두가 영향을 받으며, 고농도의 경우 피부 염증과 갑상선 호르몬 이상증세가 나타났다. 또한 어린 쥐에게 tetraBDE와 pentaBDE를 투여한 후 성장 후의 결과를 연구하였는데, 운동능력, 기억 및 학습능력에서 모두 이상을 보였다(EU, 1998).

한편 octaBDE는 실험동물의 생식이상을 일으키며, 배(embryo)의 치사율을 높이고 골격형성을 늦추는 독성을 나타냈다(투여량이 2mg/kg 체중/일 이상일 때)(EU, 1997a). DecaBDE의 경우 배(embryo)의 골격형성에 영향을 미치지만 octaBDE보다는 그 가능성이 적었으며, decaBDE에 장기간 노출되었을 때 간암을 유발할 가능성이 있는 것으로 나타났다(EU 1997).

현재 영국과 스웨덴을 중심으로 한 EU국가들은 이와 같이 이미 확인된 PBDEs의 위해성뿐 아니라 새로운 위해성⁴⁾을 확인하기 위한 작업을 진행 중이다. 이 연구결과를 바탕으로 PBDEs에 대한 규제 수준을 결정하고 POPs 또는 내분비계 장애물질로의 가능성도 확인할 예정이다.

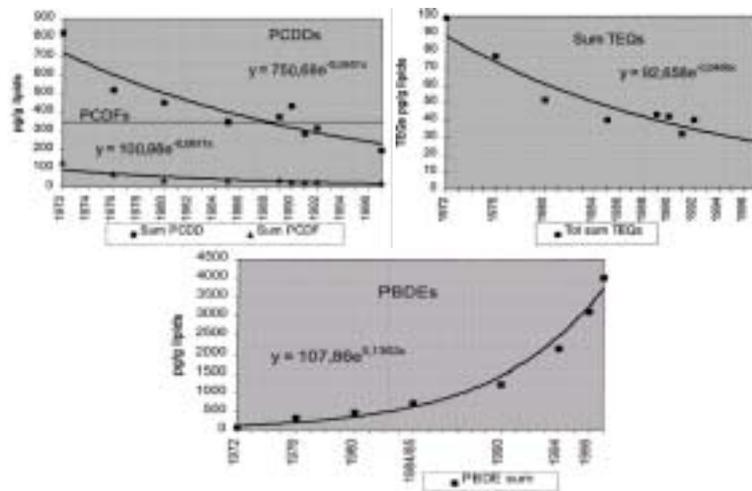
나. 사람에게 대한 위해성

북유럽에서는 PBDEs중 tetraBDE와 pentaBDE는 사무실의 오염된 실내공기와 어류섭취를 통해서 사람에게 노출된다. 특히 이들 물질은 장어류(eel), 농어류(perch), 창꼬치류(pike) 등 식용어류에서 고농도로 농축되어 있음이 확인되었다(EU, 1998a). 또한 다른 연구결과를 보면 1970년대 이후 스웨덴 여성

4) Life-time exposure, 침적토와 육지에 대한 local assessment, 방염처리된 제품의 사용에서 발생하는 2차 오염문제 등

의 모유에서 PBDEs의 농도가 급격히 증가하고 있음이 관찰되었다(Noren, 1998). 스웨덴 뿐 아니라 덴마크에서도 2001년 1월에 식품이사회(the Food Directorate)에서 브롬화 방염제로 인한 식품오염관련 조사보고서를 발표하였다. 기존의 연구결과를 참고로 작성된 이 보고서에는 주로 어류와 모유에서의 브롬화 방염제 수준이 게재되어 있는데, 보고서 내용에 따르면 어류(청어, 연어, 고등어, 뱀장어, 대구 등 21종의 어류)의 경우 1인당 0.1-0.36 $\mu\text{g}/\text{일}$ 의 PBDEs가 검출되었다. 반면 덴마크 여성의 모유의 경우 PBDEs가 매우 저농도로 검출되었다.

그러나 1997년 실시된 이와 유사한 스웨덴의 연구결과에 따르면 우유의 지방성분에 평균 $4\mu\text{g}/\text{kg}$ 의 PBDEs가 검출되었다. 또한 1972년부터 1997년 동안 매 5년마다 2배씩 PBDEs 농도가 증가하여 이 기간동안 약 60배 정도의 농도 증가를 보였다. 이 중 tetraBDE가 60 - 70% 정도를 차지했고, 다음으로 pentaBDE, hexaBDE순이었으며 그 농도는 0.07 - 4.02ng(BDEs)/g(lipids)였다. 이는 체중 5kg의 유아가 하루에 1.5mL의 모유를 섭취할 경우 1.5에서 84 ng PBDEs정도를 섭취하는 양에 해당된다<그림 II-5>.



<그림 II-5> 모유에서의 PBDEs 수준(스웨덴, 1972-1997년)
 자료 : K.Noren, D. Meironyte(2000)

한편 1998년 작성된 독일의 한 보고서에서는 우유의 지방성분에서 0.6-11 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 의 PBDEs이 검출되었는데, 이는 아이들이 일반적으로 하루에 평균 0.7리터의 우유를 섭취한다고 가정하면 하루 평균 약 0.016-0.28 μg 의 PBDEs를 섭취함을 의미한다. 이러한 결과를 바탕으로 예측한 결과 전체 스칸디나비아 사람들은 음식을 통해 하루에 0.2-0.7 μg 의 PBDEs를 섭취하는 것으로 나타났고, 체중이 60kg인 사람은 체중 당 하루에 3-12ng의 PBDEs를 섭취하는 것으로 추정되었다(Danish EPA, 2001).

OctaBDE 역시 가전제품(컴퓨터나 TV)을 통해 실내 공기를 오염시키고 있음이 확인되었고, 직업적으로 컴퓨터를 다루는 사람의 혈액속에서 고농도의 octaBDE가 분석되기도 하였다(Bergman, 1997). 이는 노출되지 않은 일반 사람에 비해 최고 65배 이상의 높은 수치이다.

한편 PBDEs중 decaBDE는 가장 낮은 휘발성을 갖고 있어, 다른 물질에 비해 방염제를 처리한 제품으로부터의 방출이 매우 서서히 일어난다. 그러나 이 물질 역시 공기를 통한 흡입으로 인해 인체 혈액에 농축되어 있음이 확인되었다(Bergman, 1998).

이와 같은 연구결과를 뒷받침하기 위해 최근 EU는 방염체를 처리한 가전제품으로부터 얼마나 많은 양이 방출되는 지를 실험하였다. TV의 표면온도를 38-40°C로 설정해놓고 방출량을 시험한 결과, tri-, tetra-, penta-, hexa dibenzofuran이 각각 25, 2.7, 0.5, 0.1 pg/m³ 검출되었다(실외 대기 중에는 <0.05,에서 0.16 pg/m³ 검출). 즉 브롬수가 적은 물질일수록 휘발성이 커 대기중으로 많은 양이 방출됨을 확인하였다(EU, 2001).

5.3 그 외 브롬화 방염제

TBBPA의 인체와 환경에 대한 영향을 조사한 결과 PBBs와 PBDEs 방염제에 비해 생물농축성이 높지 않았다(BSEF, 2000). 수서 무척추동물과 척추동물에 대한 생물농축을 조사한 결과 BCF는 20-3200이었으며, 어류에서의 반감기는 하루 이하, 굴에서의 반감기는 5일 이하였다. 또한 실험결과 TBBPA는 최고 온도 약 600°C에서 다이옥신과 퓨란을 생성하였다(OECD, 1994).

한편 bis(2,3-dibromopropyl)phosphate는 인체에 대해 발암성이 있고, 이 물질로 처리된 섬유와의 접촉을 통해 인체에 심각한 영향을 미칠 수 있다는 연구조사가 발표되었다. 이에 따라 1977년 미국 소비자 제품안전위원회(Consumer Product Safety Commission)에서는 아이들의 옷에 이러한 물질의 사용을 금지시켰으며, EU도 1979년 이 물질의 사용을 금지시켰다(WHO, 1997).

III. 방염제의 환경배출현황

앞장에서 살펴본 바와 같이 사람의 건강이나 환경에 악영향을 미치는 브롬화 방염제는 각 사용단계별로 환경중으로 배출되는 종류나 양이 매우 다르다. 이에 각국에서는 브롬화 방염제의 관리정책을 각 사용단계별로 실시하고 있다. 이와 같이 사용단계별로 브롬화 방염제의 관리방안을 도출하기 위하여는 각 단계별로 브롬화 방염제의 적용분야, 사용되는 방염제 종류, 환경으로의 배출량 등을 정확히 파악하는 것이 요구된다. 그러나 아직 우리나라에서는 이와 같은 기초조사가 이루어지지 않아 관리방안 마련에 어려움으로 작용하고 있다.

따라서 선진국에서 실시된 배출조사 중 가장 우수하다고 판단된 덴마크 환경청의 연구결과를 중심으로 브롬화 방염제의 각 사용단계별 환경배출현황을 살펴보고, 이를 국내 관리방안 도출을 위한 참고자료로 활용하고자 한다.

1. 생산 및 반제품 사용단계

1.1 원료물질의 배출현황

덴마크에서는 브롬화 방염제를 더 이상 생산하지 않고 있어, 대부분은 최종제품에 포함되어 수입되고 있다. 그러나 방염제로 사용되는 일부 화학물질은 다음 <표 III-1>에서와 같이 총 29톤이 수입된 것으로 확인되었으나, 이는 1997년도 조사결과이기 때문에 2001년에는 이보다 훨씬 감소되었을 것으로 추정된다. 화학물질로 수입되는 방염제 물질 중 PBDEs나 TBBPA는 연간 3.1톤만이 수입되어 전체 수입량의 10%에 불과하다.

그 외에도 플라스틱의 원료물질인 고분자화합물에 포함되어 수입되는데, 이와 같은 형태로 1997년에 수입된 브롬화 방염제의 양은 총 130-190톤이었다. 1997년의 경우 덴마크 정부는 이미 플라스틱 제품에서 PBDEs의 사용을 제한하고 있어 PBDEs가 포함된 플라스틱 화합물은 거의 수입되지 않아, 주로 TBBPA나 다른 브롬화 방염제가 처리된 화합물이 수입됨을 알 수 있다<표 III-1>. 그러나 플라스틱 화합물에 처리된 TBBPA의 99%가 첨가형으로 존재하기 때문에, 최종제품의 사용시에 TBBPA가 환경으로 쉽게 방출되고 있다.

<표 III-1> 원료 또는 반제품형태로 수입되는 브롬화 방염제
(덴마크, 1997)

유형		총수입량 (톤)	물질별 수입량(톤)				
			PBDEs	TBBPA	PBBs	HBCD	기타 브롬화 방염제
원료 형태	화학물질	29	1	2.1			26
	플라스틱혼합물	130-190	0.1-0.2	34-42	3.3-4.9	6.1-13	86-126
반제품 형태	플라스틱 반제품	2.6-7		2-5.2		0.1-0.3	0.5-1.5
	전기전자 반제품	100-160		100-160			
합계		260-390	1.1-1.2	140-210	3.3-4.9	6.2-13	110-150

자료 : Danish EPA, 1999

1.2 반제품의 배출현황

덴마크에서는 브롬화 방염제를 포함한 반제품(semi-manufacture)은 더 이상 생산되지 않아 외국에서 전량 수입되고 있다. 브롬화 방염제를 포함한 반제품은 크게 플라스틱 반제품과 전기·전자 반제품으로 구별되며, 앞의 <표 III-1>에서와 같이 수입되는 플라스틱 반제품에는 거의 브롬화 방염제가 포함되어 있지 않은데, 이는 플라스틱은 반제품 형태보다는 플라스틱 고분자화합물 형태로 수입되고 있기 때문이다.

전기·전자제품에 사용되는 반제품은 주로 적층(積層) 플라스틱(laminate) 형태로 수입되며, 각종 전자제품의 인쇄회로판에 사용된다. 이 제품에 사용되는 브롬화 방염제는 전량이 TBBPA이다.

1.3 생산공정에서의 배출현황

원료제품 또는 반제품에 포함된 브롬화 방염제는 이들 제품이 최종제품으로 생산되는 공정에서 환경중으로 배출될 수 있다. 공정 중 환경배출은 실측이 매우 어렵기 때문에 손실율(loss factor⁵⁾)을 이용하여 간접적으로 추정 가능하다.

화학물질 형태의 브롬화 방염제를 이용하는 합성 공정(compounding)에서 초기엔 주로 대기중으로 배출되나, 최종적으로 방염제의 주요 성분은 고체폐기물 또는 폐수로 배출된다. 합성공정에서의 손실율은 최악의 경우 0.052%로 가정하면 화학물질 형태의 전체 수입량(29톤/1997년)에서 약 0.02톤 정도가 환경중으로 배출됨을 알 수 있다.

반제품 형태를 이용하는 변환공정(conversion)에서도 브롬화 방염제 성분은 초기에는 대기로 배출되나, 최종적으로는 지속적인 응축과정을 통해 폐수로 배출된다. 이들 각 공정에서의 손실율은 다음과 같다.

- 열린 공정 : 0.01%(고체형태) - 0.02%(기체형태)
- 부분적으로 열린 공정 : 0.006%
- 폐쇄공정 : 0.002%

열린 공정에는 플라스틱의 열성형공정, 광택공정, 섬유강화용 플라스틱 제조공정 등이 포함되고, 폐쇄 공정에는 열경화성 수지의 전환, 압출(extrusion) 및 주형 공정 등이 포함된다. 이와 같은 손실율을 토대로 브롬화 방염제의 환경중 배출을 예측한 결과 변환공정에서는 총 0.04톤이 배출되며, 노출경로는 대기 와 폐수로 각각 50%씩 방출되는 것으로 확인되었다.

2. 최종제품 사용단계

2.1 전기·전자제품

전기·전자제품에 사용되는 브롬화 방염제는 주로 인쇄회로판, 전자제품의 거푸집(housing), 각종 부품 등에 사용된다.

먼저 인쇄회로판은 구리를 입힌 적층 플라스틱(laminate)과 작은 전기부품들로 구성되어 있으며, 이들 모두 방염처리 되어있다. 적층 플라스틱은 강화 유무에 따라 두 가지로 나뉘는데, 강화공정을 거치지 않은 유연 플라스틱판은 폴리에스테르나 폴리아미드로 만들어진다. 강화 처리된 플라스틱 판은 일반적으로 유리섬유 강화 에폭시(FR4, glass fiber reinforced epoxy)와 셀룰로로지 강화 페놀수지(FR2, cellulose paper reinforced phenol resin)로 구성되며, FR4는 컴퓨터, 통신수단, 인쇄회로판 등과 같은 전자제품

5) EU의 "Use Category Document" 활용

에 주로 사용되는 플라스틱으로 약 15%의 TBBPA를 함유하고 있다. FR2의 경우 유럽에서 생산된 제품은 TBBPA를 처리하였으나, 아시아 제품은 pentaBDE를 포함하고 있다. 두 경우 모두 평균적으로 0.036kg/m²의 브롬화 방염제를 함유하는 것으로 나타났다.

전자제품의 거푸집에는 주로 PBDEs가 방염제로 많이 사용되어 왔다. TV와 비디오 등의 가정용 전자제품, 컴퓨터, 프린터, 팩스기기 등의 사무용 전자제품, 의료용 및 연구용 전자제품 등의 거푸집은 주로 HIPS(high-impact polystyrene)와 ABS-폴리카보네이트 혼합물로 이루어졌으며, HIPS에는 decaBDE가, ABS에는 octaBDE가 주요 방염제로 사용되어 왔다. 그러나 PBDEs 사용을 부분적으로 제한한 1990년대 중반 이후에는 유럽에서 생산된 전자제품의 방염제 종류가 PBDEs에서 TBBPA로 빠르게 대체되고 있다.

전기·전자제품의 주요 부품은 스위치, 스위치보드, 모터, 펌프 부분, 기타 플라스틱 단열 부분 등 매우 다양하다. 부품을 만드는데 사용되는 고분자 화합물은 열가소성 폴리에스테르(PBT, PET), polyamide(PA, 나일론), poly-carbonate(PC) 등인데, decaBDE는 이들 고분자화합물의 방염처리에 주로 사용된 방염제이다. 1992년의 실시된 한 조사에 따르면 EU 시장에서 사용되는 PET의 20%, PA의 15%에 decaBDE가 포함되어 있었다.

전자제품에서 광범위하게 사용되어 온 PBDEs는 최근 TBBPA나 다른 대체제로 전환되고 있으나, 아직도 PBDEs를 포함한 많은 제품들이 소비자들에게 사용되고 있다. 플라스틱 제품에서의 PBDEs 배출율은 다음 <표 III-2>에서와 같이 브롬수가 적은 pentaBDE가 가장 높고, decaBDE가 가장 높다. 특히 열경화성 수지에 사용되는 반응형 방염제는 플라스틱의 고분자 구조와 결합되어 있어 쉽게 방출되지 않으나, 첨가형의 경우 고분자 구조를 따라 이동할 수 있어 환경상으로의 배출이 매우 용이하다.

<표 III-2> 플라스틱으로부터의 PBDEs의 배출율

화학물질	배출율(%)/년
DecaBDE	0.038%
OctaBDE	0.054%
PentaBDE	0.39%

자료 : Danish EPA, 1999

브롬화 방염제를 포함한 전자제품들이 대부분 실내에서 사용되므로, 방출된 방염제 입자들은 실내의 다른 제품 표면에 붙거나 환기 등을 통해 외부로 방출된다. 가전제품이 들어있는 실내공기 중의 PBDEs를 분석한 결과에 따르면 먼지 1g 중에 함유된 PBDEs 농도는 0.5-0.3mg이었다(대조군의 경우 0.0003mg/g). Tetra에서 decaBDE까지 모든 PBDEs가 함유되어 있었고, 실내의 총 PBDEs 농도는 96-969pg/Nm³이었다(blank의 경우 0.06pg/Nm³). 사무실과 컴퓨터실에서 TBBPA 및 PBDEs의 방출을 실험한 결과 정확한 농도는 확인되지 않았으나 TBBPA가 사용 중에 방출된다는 사실을 밝혀졌다. 또한 전자제품 내에 쌓인 먼지들에 흡착된 브롬화 방염제를 연구한 결과 TV의 뒷면에 있던 먼지 중에 nonaBDE가 15-43mg/m², decaBDE가 40mg/m²의 수준으로 각각 검출되었다. TV의 측면에서는 heptaBDE가 3mg/m², 인쇄회로판에서는 hexaBDE가 0.3mg/m²정도가 각각 검출되었다. 이와 같은 일련의 실험 결과들을 통해 실내공기가 브롬화 방염제에 의해 오염되어 있으며, 특히 브롬화 방염제의 상당량이 전자제품 내의 먼지에 존재하고 있음이 확인되었다. 따라서 이러한 제품들이 재가공을 위해 분해될 때, 작업장 대기 중으로 먼지가 방출되면서 근로자들이 방염제에 노출될 가능성이 매우 크다.

2.2 섬유제품

전세계적으로 브롬화 방염제가 사용되는 섬유제품 형태는 의류(특히 보호용 의류), 카펫, 커튼, 가구덮개, 텐트, 차량용 직물, 사무실 및 빌딩의 내부장식용 직물, 유리섬유 제품 등이 있다. 덴마크에서 이와 같은 섬유제품에 사용되는 브롬화 방염제는 HBCD와 decaBDE이며, 두 물질 모두 첨가형으로 처리되었다<표 III-3>.

보호용 의류의 경우, 1984년부터 덴마크 군대에서 화생방용 군복(ABC 군복)에 decaBDE를 처리하였고, 아직까지 제복에 남아있는 decaBDE가 약 4톤 이상일 거라고 덴마크 정부는 추정하고 있다. 어린이용 잠옷 또한 방염처리되는데, 영국과 미국에서는 아이들의 잠옷에 대해 인화성 규제가 존재하고 이러한 제품들이 덴마크 시장에서도 유통되고 있다. 대부분의 경우 잠옷의 방염처리에는 유기인산염이 사용되고, 브롬화 방염제는 가능한 한 사용되지 않는다. 한편 전세계적으로 텐트는 브롬화 방염제를 함유한 주요 완제품 중의 하나인데, 현재 덴마크 내에서는 브롬화 방염제를 함유한 텐트를 생산하지 않으나 수입 등에 의해 1톤 이하의 브롬화 방염제가 소비되는 것으로 추정된다. 카펫과 커튼의 경우 합성카펫에는 decaBDE가, 블라인드를 포함한 커튼에는PBDEs나 HBCD가 사용되기도 하나 구체적인 조사가 실시되지는 않았고 단지 소량일 것이라 추정하고 있다. 그 외 가구 및 가구에 사용되는 직물, foam, 제품 속(쿠션, 매트리스 속의 솜 등)에도 브롬화 방염제가 사용되며, 전체 섬유제품 중에서 가장 많은 브롬화 방염제가 사용되고 있다.

<표 III-3> 섬유제품에 사용된 브롬화 방염제 소비량(덴마크, 1997)

제품	브롬화 방염제 총소비량		방염제별 소비량(톤)				
	톤	경향	PBDEs	TBBPA	PBBs	HBCD	기타 브롬화 방염제
보호용 의류	<0.1	감소	<0.1			<0.1	<0.1
커튼, 카펫, 텐트	<1	감소	<1			<0.5	<0.5
가구용 섬유	2-8	감소	<3			2-8	<3
foam 형태, 제품 속 직물	0.2-1.7	감소	<1			0.2-0.7	<1
합계	2-11	감소	<5			2-9	<5

자료 : Danish EPA, 1999

한편 섬유제품에 포함된 브롬화 방염제는 주로 첨가형이기 때문에 제품을 세탁할 경우 일정량이 배출되는 것으로 추정된다. 가정에서 세탁을 통해 배출되는 브롬화 방염제는 무시할 만한 수준이나, 군대에서 배출되는 폐수속의 브롬화 방염제는 상당량이 될 것으로 추정된다. 덴마크 정부의 조사에 의하면 화생방용 군복의 세탁으로 통해 연간 50kg 이상의 decaBDE가 환경중으로 방출되는 것이 확인되었다.

2.3 건축자재

항상 화재의 위협에 노출되어 있는 건설분야에서 사용되는 제품에는 방염처리를 한층 강화하여 적용하고 있다. 방염처리 된 건축용 제품으로는 합성 단열물질, 폴리올레핀 호일, 투명 유리섬유 강화판넬 등이 있으며, 이들 제품의 기초 고분자 화합물은 EPS(Expanded polystyrene), XPS(extruded polystyrene foam), PUF(Polyurethane foam) 등이다<표 III-4>. 이 중 XPS는 덴마크에서 방염 처리되고 EPS는 특정 조건에서만 방염 처리되며, 두 화합물질 모두 HBCD가 방염제로 사용되고 있다. 또한 PUF는 단열성이 우수하기 때문에 냉장공장, 냉동실, 냉장실 등의 시설에 널리 쓰인다. 이 때 첨가형 및 반응형 두 형태 모두 사용되나, 일반적으로 반응형으로 자주 처리된다. 한편 호일은 PE, PP와 같은 폴리올레핀 또는 PVC로 만들어지는데, PVC는 방염 처리되지 않고 나머지는 염소 및 브롬화 파라핀, PBDEs, 기타 첨가형 방염제(TBBPA 등)를 이용하여 방염처리된다. 호일은 지붕, 벽과 지붕 밑의 damp course, 터널의 지하수 차단 등에 이용되고, 약 1-4톤의 브롬화 방염제가 이 부문에서 이용되는 것으로 추정된다.

<표 III-4> 건축자재에서 이용되는 브롬화 방염제 소비량
(덴마크, 1997)

제품	브롬화 방염제 총소비량		방염제별 소비량(톤)				
	톤	경향	PBDEs	TBBPA	PBBs	HBCD	기타 브로화방염제
EPS*	0.5-2.7	안정				0.5-2.7	
XPS**	11-29	안정				11-29	
PUF***	40-60	안정					40-60
지붕처리 호일	1-4	안정	1-4			1-4	1-4
기타	0-3	안정	0-1	0-2			0-2
합계	50-100		1-5	0-2		13-36	41-66

자료 : Danish EPA, 1999

* EPS(Expanded polystyrene)의 총 소비량은 약 200,000-300,000m³ 이었으며, 이 중 5%만이 방염처리되었다.

** XPS(extruded polystyrene foam)의 총 소비량은 약 35,000-45,000m³이었으며, 이 중 80%가 방염처리되었다.

*** Polyurethane foam

2.4 운송분야

운송 부분에서도 방염처리가 요구되는데, 모든 차량의 차 내부와 모터 부분에 방염기준이 있으며 그 대상은 다음 <표 III-5>과 같다.

<표 III-5> 차량 내부의 방염처리 부분

직물	플라스틱	전기/전자 부품
<ul style="list-style-type: none"> • 내부 라인, 가장자리, 바닥, 벽면, 천장 • 머리받침, 시트 쿠션, 커버 	<ul style="list-style-type: none"> • 내부장식과 개폐지붕 • 계기판, 계기관 • 선반받침대, 선반 • 가열, 통풍 • 핸들 • 연료탱크 	<ul style="list-style-type: none"> • 인쇄회로판 조립부품 • 스위치, 전선, 소켓 • 크기가 큰 전기부품(모터, 변압기, 응축장치) 등

자료 : Danish EPA, 1999

유럽에서 생산되는 차량 내부 직물은 대개 HBCD로 방염처리되고, 차량 한 대당 직물에 0.1-0.3kg의 브롬화 방염제를 사용하는 것으로 조사되었다. 이와 달리 극동 아시아 국가와 미국에서 생산되는 차량은 방염처리를 위해 PBDEs가 주로 사용된다. 또한 극동 아시아 국가의 차량 생산자들이 보고한 자료에 따르면 승용차 한 대당 차내 직물에 250g의 PBDEs를 사용하는 것으로 나타났다. 이에 비해 차내의 플라스틱 부품에 사용되는 브롬화 방염제의 양은 미미한데, 차량 한 대당 플라스틱 부품에서 0.075kg의 브롬화 방염제가 사용되는 것으로 보고되었고, 주로 사용되는 브롬화 방염제는 PBDEs, TBBPA 부산물이다. 차내의 전자·전기 시스템은 일반적으로 0.04-0.1kg의 브롬화 방염제를 함유하고 있는 것으로 나타났다. TBBPA, PBDEs, 기타 브롬화 방염제로 구성되어 있다.

기차는 엄격한 인화성 규제가 적용되는데, 특히 기차에 사용되는 직물에 대해서는 다른 운송 수단보다 엄격한 규제가 적용된다. 일반적으로 기차 내의 모든 물질 - 통로 간 고무 연결부위, 내부 장식자재, 다공성 플라스틱과 고무 물질, 단단한 열가소성 플라스틱, 전기 케이블 등 - 에는 방염 기준이 적용되며, 주로 염소계 및 TBBPA, PBDEs, PBBs와 같은 브롬계 방염제가 주로 이용되고 있다. 한편 덴마크의 기차내 직물과 의자 쿠션에는 브롬화 방염제가 사용되지 않는다.

항공기 역시 엄격한 방염처리가 요구되며, 주로 염소계 방염제, 브롬화 방염제(TBBPA와 같은)와 같은 할로겐 방염제, Sb_2O_3 와 같은 기타 방염제가 널리 이용되고 있다. 그러나 직물 및 의자 쿠션 공급업자들의 노력으로 인해 항공기에서 사용되는 직물과 충전물질에서 브롬화 방염제가 점차 사라지고 있는 추세이다.

한편 선박에 사용되는 방염제에 대한 연구는 미비한 상태이나, 브롬화 방염제가 기타 비할로겐 방염제들과 혼합되어 사용되고 있는 것으로 추정된다. 선박 내의 직물과 내부 플라스틱, 전기 시스템 등에 사용되며, 선박에 이용되는 브롬화 방염제의 양은 연간 최고 10톤에 이르는 것으로 추측된다(덴마크, 1997).

2.5 기타 용도

페인트와 각종 목재에 방염제가 첨가되는데, 페인트의 경우 해양용 방오도료와 산업용 페인트에 PBDEs(주로 decaBDE)가 사용되고 있다. 목재의 방염처리시에는 브롬화 방염제 뿐만 아니라 비브롬화 방염제도 사용되고 있다.

또한 항상 화재의 위험이 있는 각종 조명기구에도 방염처리가 요구되는데, 주로 조명기구의 소켓, 소형 형광튜브, 스위치, 플라스틱 커버, 차양 및 가열부위와 근접한 부품 등에 방염제가 포함되어 있다. 백열등에 사용되는 소켓은 세라믹, 열가소성 플라스틱 또는 페놀성 열경화성 플라스틱으로 만들어지며, 이 부분에 11-12%의 TBBPA가 함유되어 있다. 또한 플라스틱 커버에는 PBDEs, TBBPA 및 기타 방염제들이 사용되는 것으로 조사되었다.

화재 안전기준을 만족시키기 위해 가정에서 사용하는 대부분의 배선 및 배전은 고분자 화합물(특히 PVC)로 구성되어 있는데, 여기에는 PBBs(고무케이블)와 PBDEs 등의 브롬화 방염제뿐 아니라 염소계, 인계, 무기계 방염제 모두 사용된다.

지금까지 조사한 덴마크에서의 최종제품에 사용된 브롬화 방염제 양은 다음 <표 III-6>과 같이 정리하였다.

<표 III-6> 최종제품에서의 브롬화 방염제 총소비량(덴마크, 1997)

제품	브롬화 방염제 총소비량		물질별 소비량(톤)*				
	톤	%	PBDEs	TBBPA	PBBs	HBCD	기타 브롬화 방염제
인쇄회로판	100-180	29	0.3-5.2	100-180			0-2
전기전자제품의 외양	80-130	21	3-10	56-89			25-49
전자전자제품의 기타 부분	20-50	7	5-14	3-8	0-2		16-43
조명기구	4-14	2	1-7	4-11			1-9
배선 및 배전	30-80	11	7-29	4-15	1-5	2-4	20-49
섬유제품	2-11	1.3	0-5			2-9	0-5
건축자재	50-100	15	1-5	0-2		13-36	41-66
페인트 및 충전재	0.6-1.7	0.2	0.1-0.5				0.5-1.2
운송	30-90	12	13-46	14-52		9.4-30	19-71
기타 용도	0-3	0.3	0-2	0-2		0-1	0-2
합계	320-660	99	30-120	180-360	1-7	26-80	120-300

자료 : Danish EPA, 1999

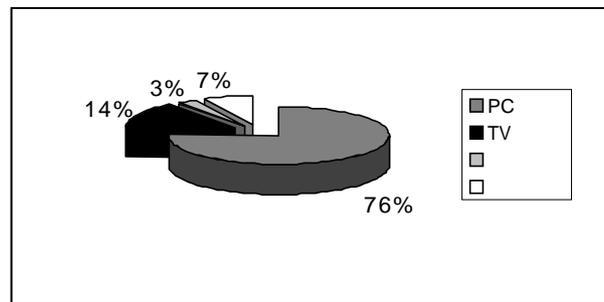
* 브롬화 방염제 소비량 조사시 각 물질들은 'either-or'와 같이 보고되기 때문에, 총 브롬화 방염제 양이 물질별 소비량의 합보다 더 적게 나타난다.

3. 폐기물 처리단계

3.1 방염제 처리제품의 재활용현황

방염제 처리제품 중 재활용율이 높은 제품은 전기·전자제품 폐기물, 자동차 및 금속폐기물이다. 1995년 덴마크에서 발간된 “전기·전자제품 폐기물의 소각 및 매립에 따른 환경적 영향”이라는 보고서에 따르면, 1995년 한해동안 재활용된 전기·전자제품 폐기물은 총 120,000톤이며, 이중 21%가 플라스틱으로 구성되어 있다. 전체 플라스틱 중 대략 26% 정도가 방염처리 되었으며 처리 방염제의 약 18%가 브롬화 방염제(주로 decaBDE)라 가정하면, 전기·전자제품 폐기물 중 플라스틱에서 발생한 브롬화 방염제의 양은 1,150톤으로 추정되었다. 또한 인쇄회로판에서 약 127톤의 브롬화 방염제(주로 TBBPA와 pentaBDE)가 추가로 발생되므로, 전체 브롬화 방염제 발생총량은 1,280톤에 이를 것으로 추정되었다.

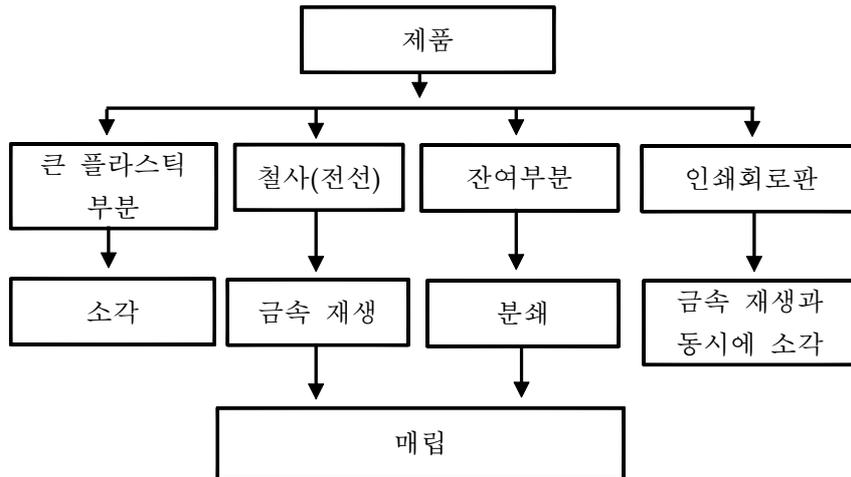
한편 전기·전자제품 폐기물 중에서 브롬화 방염제의 발생비율은 컴퓨터가 76%로 가장 높았고, TV와 복사기 등에서도 일부 발생하는 것으로 나타났다<그림 III-1>. 독일의 한 연구에 의하면 재활용공장에 있는 78대의 TV와 34대의 컴퓨터를 연구한 결과, 78%의 샘플에서 PBDE가, 16%의 샘플에서 PBB가, 3%의 샘플에서 1,2-bis(tribromophenoxy)ethane(기타 3%는 다른 방염제로 처리)가 검출되었다. 또한 스웨덴의 재활용 공장에서는 모든 컴퓨터 모니터의 80-90%, TV 후면판의 60-70%가 각각 브롬화 방염제로 처리되어 있었다.



<그림 III-1> 전기·전자제품 폐기물별 브롬화 방염제 발생비율

이와 같은 방염처리된 전기·전자제품에서 재활용되는 부분은 주로 인쇄회로판이며, 인쇄회로판의 금속부분은 재활용되고 나머지는 소각된다<그림 III-2>. 전기·전자제품의 거꾸집은 제거되어 이 중 5%만이 포장용 상자나 케이블 감는 틀 등으로 재활용되고 나머지 95%는 소각된다. 이때 재활용되는 플라스틱은 방염제가 처리되지 않은 제품인데, 일반적으로 방염제가 처리된 플라스틱은 열경화성 제품으로 기본 수지(ABS, PC/ABS, HIPS 등) 이외에 다양한 첨가제를 포함하고 있어 재활용이 어렵다. 이들 방염제 처리 플라스틱은 일부 재가공되어 공원벤치의 재료나 소음방지벽으로 이용되기도 하는데, 특정한 기준없이 사용되고 있어 브롬화 방염제가 환경중으로 널리 분산되는 효과를 야기하고 있다. 따라서 나머지 대부분의 방염제 처리 플라스틱은 소각되처리되며, 이때 부산물로 다이옥신 발생이 우려되고 있다.

<그림 III-2>에서와 같이 전기·전자제품 폐기물 중 나머지 작은 플라스틱 부분들은 추가적인 공정을 위해 선별되고 분쇄공정을 거쳐 매립된다. 한편 케이블은 제품으로부터 제거되어 케이블 재생공장에서 재가공되며, 전선에 부착된 플라스틱과 고무부분은 재활용이 거의 불가능하여 최종적으로 매립된다.



<그림 III-2> 전기·전자제품의 재활용공정

자료 : Danish EPA, 1999

3.2 고품폐기물 처리시 배출현황

덴마크 환경부는 연간 260 - 560톤의 브롬화 방염제가 고품폐기물에 포함되어 발생하는 것으로 추정되었다. 이 중 고품폐기물 내에 있는 브롬화 방염제 총량의 78%가 전기·전자제품에서 발생하였고, 자동차가 7%, 건축자재가 6%, 인쇄회로판 생산 중 발생하는 폐기물에서 7%가 발생된 것으로 추정되었다. 브롬화 방염제가 처리된 고품폐기물 중 170- 360톤이 소각에 의해 처리되었으며, 나머지 90 - 200톤이 매립되었다.

고형폐기물의 소각시에 연소되지 않고 대기중으로 방출되는 브롬화 방염제의 양은 극히 미미하여 덴마크에서 연간 0.04톤 미만 수준인 것으로 확인되었다. 그러나 브롬화 방염제가 포함된 폐기물 소각시 브롬화 방염제의 발생보다는 다이옥신과 퓨란(PBDDs/PBDFs)이 발생되어 대기중으로 방출되는 것이 더욱 큰 환경문제로 제기되고 있다. 다이옥신과 퓨란의 발생은 소각로에서 브롬화 방염제와 같은 전구물질로부터 형성되거나, 소각로의 브롬 제공물질(bromine donor)과 유기물질로부터 형성(de novo synthesis) 되는 것으로 보고되었다.

또한 브롬화 방염제는 매립지로부터 발생하는 침출수에도 존재할 가능성이 있으나, 매립지 내에서 브롬화 방염제가 어떻게 거동하는지에 대한 연구결과는 많지 않다. 그러나 매립 후 플라스틱에서 브롬화 방염제의 방출이 오랜 기간동안 지속될 수도 있으므로 이에 대한 추후 연구가 유럽국가에서 진행될 예정이다.

3.3 액상폐기물 처리시 배출현황

폐수에 함유되어 배출되는 브롬화 방염제의 대부분은 주로 입자에 흡착되어 최종적으로 슬러지에 함유된다. 덴마크에서는 연간 170,000톤(건중량)의 슬러지가 발생하는데, 이를 스웨덴에서 측정된 슬러지 내

의 브롬화 방염제 최고량과 조합하여 덴마크의 슬러지 내에 함유된 브롬화 방염제 양을 추정하였다. 스웨덴의 연구에서 하수처리장의 슬러지 중 pentaBDE는 13-15mg pentaBDE/kg(건중량), 2,2',4,4' tetraBDE는 9-10mg tetraBDE/kg(건중량)이었다. 또한 매립지의 침출수에서 기인한 폐수의 슬러지를 대상으로 TBBPA를 분석하였는데, 두 처리장에서 각각 56mg/kg(건중량)과 31mg/kg(건중량)이 검출되었다. 이를 토대로 덴마크의 슬러지 내에 함유된 브롬화 방염제 양을 추정한 결과 triBDE에서 hexaBDE까지(상업적인 pentaBDE의 구성성분) 총 브롬화 방염제 농도는 30mg/kg(건중량) 미만인 것으로 추정되었다. 슬러지 내의 decaBDE에 대한 연구는 아직 보고된 바가 없는데, EU의 조사에 따르면 폐수 내에 DecaBDE가 유입되는 주된 경로는 브롬화 방염제로 처리된 직물의 세탁인 것으로 추정되었다.

스웨덴에서 산업지구 인근의 강 상·하류를 대상으로 실시된 브롬화 방염제 조사결과에 따르면, 산업체가 위치한 지점의 상류에서 가장 낮은 농도의 PBDEs와 HBCD가 검출되었고 산업체가 밀집된 지역에 인접한 강으로 갈수록 높은 수준의 브롬화 방염제가 검출되었다. 특히 대부분의 섬유공장에서 decaBDE를 사용하고 있으며 일부에서는 HBCD도 사용하는 것으로 조사되었는데, 이들 섬유공장의 폐수에 상당량의 브롬화 방염제가 포함되어 있는 것으로 나타났다.

한편 PBDEs는 매우 안정적인 화합물이어서 대기 중에 방출된 PBDEs는 건식 또는 습식침적을 통해 육지나 바다에 유입된다. 아직 실측자료는 조사된 바 없지만, <표 III-7>의 덴마크의 추정치를 살펴보면 강수는 결국 폐수처리장으로 이동하여 연간 약 50-200kg의 PBDEs가 처리장으로 흘러들게 된다. 또한 1일 PBDEs 섭취량을 0.2-0.4mg으로 추정하여, 이를 기본으로 인체 배설물을 통해 폐수처리장에 유입되는 PBDEs를 살펴본 결과 약 0.4-0.8kg/년이 유입되는 것으로 추정된다. 따라서 <표 III-7>의 발생원만을 고려하면 덴마크에서는 한해 약 50-530톤의 브롬화 방염제가 폐수로 흘러 들어가는 것으로 추정된다.

<표 III-7> 폐수에 함유된 브롬화 방염제의 잠재적 발생원

발생원	잠재적 부하량(kg)	주요 브롬화 방염제
플라스틱 제조	<15	TBBPA, 기타
직물 세탁	50-200	PBDEs
강수	<30	PBDEs, 기타
roofing	<280	기타
기타 용도	-	-
매립지의 침출수	-	-
인체 배설물	0.4-0.8	PBDEs
합계	50-530	

자료 : Danish EPA, 1999

IV. 국제기구 및 주요 국가별 관리동향

브롬화 방염제중 PBBs는 이미 1970년대에 그 위해성이 확인되어 사용이 규제되어 왔으며, 현재는 우리나라를 위시한 많은 국가에서 사용금지 화학물질로 취급되고 있다<표 IV-1>. EU국가들은 EC Directive 89/677에 의해 주로 섬유에 사용되는 PBBs를 규제하고는 있으나, 산업체의 자발적인 사용금지로 거의 모든 회원국내에서 PBBs는 더 이상 생산 또는 사용되지 않는다. 다만 방염처리한 수입제품을 통해 PBBs가 일부 EU 국가에 유입되고 있다.

PBDEs의 경우 PBBs에 비해 비교적 안전한 물질로 취급되었으나, 1990년 들어서 일부 PBDEs(주로 pentaBDE)의 위해성이 PBBs와 거의 유사한 수준임이 밝혀졌다. 또한 이들 물질이 포함된 폐기물을 소각처리시 다이옥신과 퓨란화합물이 발생되어 사용을 제한하여야 한다는 주장이 강력하게 제기되고 있다 <표 IV-2>. 이미 스웨덴은 모든 PBDEs류 방염제를 2003년 7월부터 자국내에서 사용 금지시켰겠다는 규제정책을 발표하였으며, 영국은 최근 EU에 보고한 pentaBDE의 위해성 평가보고서에서 전면 사용금지를 주장하였다. 미국은 PBDEs의 위해성평가를 심도있게 실시중이며, OECD는 이들 물질의 제조, 공정, 취급시에 최적가용기술(Best Available Technology, BAT)의 도입을 회원국에게 권장하고 있다.

이에 최근 전세계적으로 관심이 높아지고 있는 PBDEs를 포함한 브롬화 방염제의 사용현황 및 관리동향을 규제를 서두르고 있는 관련 국제기구와 주요 국가들을 중심으로 다음과 같이 살펴보았다.

<표 IV-1> 각 국의 PBBs 규제조치

국 가	법
오스트리아	○PBBs와 이를 함유하는 제품의 제조, 유통, 수입 금지
캐나다	○상업, 제조, 공정 목적을 가진 PBBs의 제조, 이용, 공정, 판매를 위한 공급, 판매 또는 수입 금지
덴마크	○섬유제품에 대한 PBBs의 사용금지(83/264/EEC)
핀란드	○섬유제품에 대한 PBBs의 사용금지(83/264/EEC)
프랑스	○섬유제품에 대한 PBBs의 사용금지(83/264/EEC)
네덜란드	○PBBs 및 그 부산물의 저장 또는 공정에 대한 규제 ○제 3국으로의 판매금지
노르웨이	○섬유제품에 대한 PBBs의 사용금지(EC Directive 76/769/ EEC, 83/264와 89/677의 이행)
스웨덴	○섬유제품에 대한 PBBs의 사용금지(83/264/EEC)
스위스	○PBBs와 이 물질을 포함하는 제품의 제조, 공급, 수입, 사용 금지 ○PBBs를 포함하는 충전기, 변압기의 공급과 제조 금지
미국	○현재 PBB의 모든 생산과 사용 금지 ○다시 제조를 시작하려는 회사는 승인받기 위해서 90일전에 미리 US EPA에 신고하여야 함
우리나라	○PBBs 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물질을 제조·수입 또는 사용을 금지되는 화학물질로 지정

자료: WHO, 1997

〈표 IV-2〉 각국의 브롬화 방염제(PBBs제외) 규제 내용

국가/기관	규 제 내 용
EU	<ul style="list-style-type: none"> ○ EU Council Directive 76/769/EEC이 2001월 24번째로 수정되면서 pentaBDE이 새로운 규제 대상으로 제안되었고, 이것이 채택될 경우 2002년 12월 31일까지 회원국들은 법, 규제, 행정적 조항들을 규정해야 하고, 2003년 7월 1일부터 시행될 것임 ○ PentaBDE의 경우 현재 유럽에서는 제조업체가 거의 사라진 상황 ○ 2004년까지 E&E 제품생산에 제거시킬 물질의 리스트인 Restriction of Substances(ROS)"에 PBDEs 포함
스웨덴	<ul style="list-style-type: none"> ○ "The Phase-out Project" 를 통해 2002년 12월 31일 이후에는 PBDEs의 모든 생산과 사용금지 ○ TCO'95(The Swedish Confederation of Professional), TCO'99, Nordic eco-labelling은 PC, 팩스기, 복사기, 프린터기 등의 플라스틱 부분 혹은 커버와 케이스에 대해 PBDEs 사용을 간접적으로 제한
덴마크	<ul style="list-style-type: none"> ○ 브롬화 방염제를 'the Danish List of Undesirable Substances'에 포함 ○ 피부에 닿는 직물에 대해 tris(2,3-dibromopropyl) phosphate (TRIS)의 사용금지
미국	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1997년 미국 소비자 제품 안전위원회에서는 어린이 옷에서 (tris(2,3-dibromopropyl)phosphate와 bis (2,3-dibromopropyl) phosphate의 사용금지
독일	<ul style="list-style-type: none"> ○ Dioxin Ordinance를 통해 PBDE 규제 ○ tris(2,3-dibromopropyl)phosphate(Tris)는 Foodstuff and Commodities Act에 포함되어 규제되고 있음 ○ Blue Angel 라벨은 비할로겐화 방염제가 이용된 제품에만 사용
네덜란드	<ul style="list-style-type: none"> ○ 산업체의 자발적인 PBDEs 사용저감운동
오스트리아	<ul style="list-style-type: none"> ○ 피부에 닿는 직물에 대해 tris(2,3-dibromopropyl)phosphate (TRIS)와 tris(aziridin-1-yl)phosphinoxid의 판매 및 생산 금지
프랑스	<ul style="list-style-type: none"> ○ 피부에 직접 닿는 직물에 TRIS금지
노르웨이	<ul style="list-style-type: none"> ○ 피부에 닿는 직물의 PBBs와 TRIS사용을 금지
OECD	<ul style="list-style-type: none"> ○ deca-와 octaBDE, pentaBDE의 제조, 공정, 취급에 있어 BAT 도입권장
일본	<ul style="list-style-type: none"> ○ 산업체의 자발적 동의 방식을 통해 hexaBDE, tetraBDE의 생산과 사용을 규제함
우리나라	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1999년 TRI(Toxics Released Inventory)에 DecaBDE포함하여 배출량 및 이동량 조사 실시 ○ 현재 PBB를 제외하고, 법적으로 규제되는 브롬화 방염제는 없음

1. 국제기구별 관리동향

1.1 EU

1.1.1 사용현황

전세계 방염제 시장에서 유럽이 차지하는 비율은 15%에 불과해 아시아와 미주대륙에 비하면 상대적으로 적은 양이 사용되고 있다(II장의 <표 II-5> 참조). 유럽시장내에서 사용되는 브롬화 방염제에 대한 WHO(세계보건기구)의 조사결과에 의하면 다음 <표 IV-3>과 같이 TBBPA와 PBDEs계통이 가장 많이 사용되고 있다. 1996년도에 실시된 사용현황 조사는 유럽시장에서 브롬화 방염제의 점유율이 높은 6개 국가를 대상으로 실시되었으며, 그 결과 TBBPA와 PBDEs류가 전체 시장의 50%이상을 차지하고 있었다. 한편 TBBPA의 부산물은 기타 항목에 포함되어 조사되었다. 1998년도 서유럽 국가를 대상으로 한 조사결과 역시 1996년도와 비슷한 양상을 나타내지만, PBDEs계통의 방염제 사용이 급격히 감소됨을 알 수 있다. 이는 1998년도에 이미 EU가 PBBs뿐 아니라 PBDEs의 사용도 일부 제한하고 산업체의 자발적인 사용감소를 유도하였기 때문으로 추정된다.

1.1.2 관리동향 및 전망

1980년대 후반 EU 국가 중 독일에서 가장 먼저 PBBs 등 브롬화 방염제의 유럽내 사용을 금지하자는 의견이 제기되었다. 그러나 그 당시 이와 같은 의견은 EU에서 채택되지 않아 독일만이 자국내 다이옥신 관련법령에 의해 PBBs와 PBDEs를 규제하기 시작하였고, 마침내 1989년 독일내 모든 화학산업체 및 플라스틱제조업체는 더 이상 이들 물질을 생산하지 않기로 합의하였다. 그 후 1990년대 들어 EU에서도 이들 물질의 위해성을 확인하고 사람의 피부와 직접 접촉하는 모든 섬유에 PBBs의 사용을 금지하였으며 2000년 5월 모든 EU 국가에서의 PBBs 생산을 금지하였다. 관련 EU 지침중 83/264/EEC은 피부와 접촉되는 제품에 대해 PBBs 및 Tris-aziridinyl phosphin oxide의 사용을 금지하고, EU지침 79/663/EEC은 섬유에 대해 Tris(2,3-dibromopropyl) phosphate의 사용을 금지하고 있다.

<표 IV-3> 유럽에서의 브롬화 방염제 사용량

방염제	베네룩스 3국, 프랑스, 영국, 독일(1996년)		서유럽(1998년)	
	vol(톤)	%	vol(톤)	%
TBBPA	9,700	31	13,150	21
TBBPA 부산물	-	-	3,650	6
PBDEs	8,300	26	7,050	11
HBCD	2,200	7	8,950	14
EBTBP	-	-	5,250	8
TBPA	1,900	6	-	-
기타	9,200*	29	24,450	39
합계	31,300	100	62,500	100

자료 : WHO, 1997, Danish EPA, 1999

* 1996년도 자료에는 TBBPA 부산물이 기타에 포함된 것으로 추정

또한 EU는 2000년 6월에 2종의 지침을 제안하였는데, 하나는 전기·전자 폐기물(Waste Electrical & Electronic Equipment, WEEE)에 대해 전기·전자제품의 수집, 재활용, 재사용에 대한 책임을 전기·전자제품 생산자에게 부과하는 내용이고, 또 다른 하나는 “금지물질목록(Restriction of Substances, ROS)”으로 2004년까지 전기·전자제품에 사용 금지시킬 물질의 목록을 제시한 것이다. EU의 금지물질목록(ROS)에는 초기에 모든 할로겐화 방염제를 포함하였으나, 점차 해당물질을 3종의 PBDEs(deca, octa, pentaBDE)와 PBBs로 축소하였다.

PBDEs에 대한 EU의 관리는 각 물질군에 따라 각각 다르게 진행되고 있으며, 주로 기존화학물질(existing substances) 관리의 일환으로 추진중이다. 이에 따라 EU Council Directive 76/769/EE⁶⁾에 의해 3종의 PBDEs 물질(deca, octa, pentaBDE)에 대한 위해성평가가 현재 실시중이며, 이 세 물질 모두 영국에서 위해성을 평가하고 있다. 위해성이 가장 큰 pentaBDE의 경우 이미 위해성평가가 마무리되어 최종보고서가 EU에 제출된 상태이다. 모유를 통해 아이들에게 노출되는 pentaBDE까지 광범위하게 조사한 이번 위해성 평가결과, pentaBDE의 생산뿐 아니라 pentaBDE를 함유한 폴리우레탄(polyurethane foam, PUF)의 사용도 제한해야 한다는 주장이 제기되었다. 이에 EU는 우선 pentaBDE의 사용을 제한하는 지침을 마련중이며, 이 지침이 채택될 경우 2003년 7월 1일부터 시행될 예정이다.

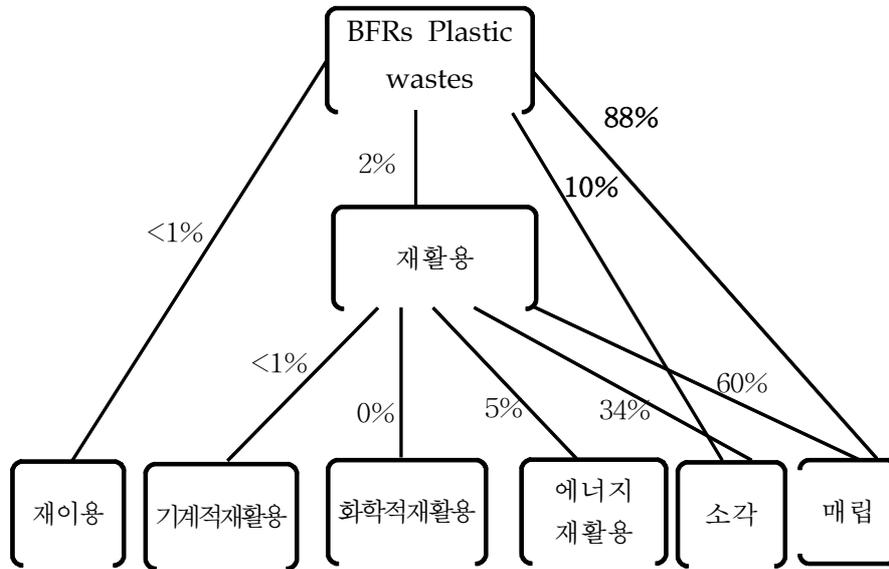
DecaBDE와 octaBDE에 대해서는 아직 위해성평가가 실시중이며, 2001년 말에야 완료될 예정이다. 이 평가결과에 따라 EU국가 내에서의 규제기준 및 관리방향이 결정될 것으로 예측된다.

1.1.3 폐기물의 재활용방안

EU는 PBBs와 PBDEs의 사용을 제한하는 한편, 이미 방염제가 사용된 제품의 안전한 폐기처분에 많은 노력을 기울이고 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 방염제를 포함한 폐기물을 소각할 경우 PBDDs/Fs(brominated dioxins /furans)가 발생하고, 매립시에는 방염성분이 매립지에 유출될 가능성이 매우 크다. 다음 <그림 IV-1>은 현재 유럽에서 브롬화 방염제를 포함한 플라스틱 폐기물의 처리현황을 나타낸 것인데 88%가 매립, 10%가 소각, 2%가 재생 처리되고 있다. 또한 재생처리를 거친 전체 2%의 브롬화 방염제를 포함한 플라스틱 폐기물은 다시 60%가 매립, 34%가 소각처리되고 있다.

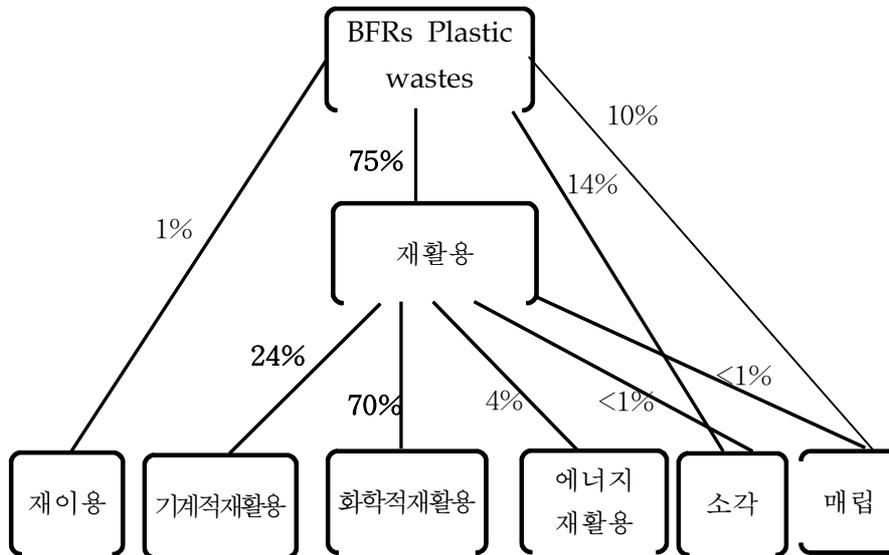
따라서 EU는 이들 폐기물의 매립과 소각이 차지하는 비율을 감소시키고자 <그림 IV-2>와 같이 브롬화 방염제를 포함한 폐기물의 처리계획을 수립하였다. 이 계획에 따르면 2004년 이후에는 방염제를 함유한 플라스틱 폐기물 전체 발생량의 10%를 매립, 14%를 소각, 75%를 재생처리할 것을 계획하고 있다. 또한 재생처리 후 매립과 소각은 1% 미만, 브롬을 재생하는 화학적 재활용은 70%, 플라스틱 제품의 기계적 재활용(mechanical recycling in plastic products)은 24%로 목표치를 설정하였다. 이로 인해 EU는 제품에 함유된 브롬화 방염제의 환경 내 피해를 감소시키고, 브롬과 플라스틱을 재활용할 수 있는 효과를 얻을 것으로 기대하고 있다.

6) 1976년 7월에 채택된 유해물질의 판매 및 사용 규제에 대한 지침으로, 2001년 24번째로 수정되면서 브롬화 방염제의 일종인 pentaBDE(pentabromo-diphenyl ether)를 새로운 규제대상으로 제시함



<그림 IV-1>브롬화 방염제 함유 플라스틱 폐기물의 처리현황

자료 : Bromine Science and Environmental Forum(BSEF), 2000



<그림 IV-2> 브롬화 방염제 함유 플라스틱 폐기물의 처리계획(2004년 이후)

자료 : BSEF, 2000

1.2 OECD

브롬화 방염제에 대해서 OECD는 회원국들에게 강제적인 규제조치는 취하지 않고 있으며 단지 회원 국내 산업체로 하여금 PBDEs와 PBBs규제에 관해 자발적인 참여를 유도하고 있다. OECD는 1991년 수립된 『위해성 저감프로그램』을 통해 회원국내 브롬화 방염제 사용현황에 대한 조사를 착수하였으며, 1994년에는 방염제의 상업적·환경적인 생애를 조사하고 회원국들의 위해성 저감방안을 본격적으로 토의하기 시작하였다. 1995년에 개최된 회의에서 PBBs, PBDEs, TBBPA의 위해성 관리를 위해 주요 생산업체들로 구성된 위원회 설립이 제안되었으며, 1995년 6월 파리에서 열린 회의에서는 다음과 같은 산업체들의 자발적인 동의를 얻었다.

첫째, decaBB를 제외한 나머지 PBBs의 제조, 공정, 수입 및 사용을 제한한다. DecaBB는 오늘날 유일하게 생산되는 PBBs로서 decaBB의 생산업체는 반드시 수요를 예측하고 이에 대한 위해성평가를 실시해야 한다.

둘째, 상업적으로 주로 이용되는 deca-, octa-, pentaBDE의 제조, 공정, 수입 및 사용은 지속한다.

셋째, 브롬화 방염제로 인한 오염을 최소화하기 위해서 deca-와 octaBDE의 제조에 있어 최적가용기술(Best Available Technology, BAT)을 도입한다.

넷째, 오염물질의 배출량을 최소화하기 위해 pentaBDE의 제조, 공정, 취급에 최적가용기술을 도입한다.

이어 1998년 11월 파리에서 개최된 제 28회 회의에서 브롬화 방염제의 위해성 관리정책의 일환으로 「산업체의 자발적 이행(Voluntary Industry Commitments, VIC)」에 관한 각 산업체들의 보고가 있었으며, 이 때 자발적 이행의무에 동의한 주요 산업체는 다음 <표 IV-4>와 같다. 미국 및 유럽의 8개 산업체와 일본의 9개 산업체가 VIC에 동의하였으며, 미국·유럽의 산업체는 업체별로 보고서를 제출한 반면, 일본의 경우 9개 업체가 공동으로 조사하여 한 개의 보고서를 제출하였으며 각 보고서의 주요 내용은 부록 II와 같다

<표 IV-4> OECD의 VIC 참여 산업체

위원단 (위원회)	CMA* 가입업체	CEFIC** 가입업체	OECD 프로그램 가입업체
브롬화 방염제 생산업체명	<ul style="list-style-type: none"> • AKZO 화학주식회사, 뉴욕주 • Albermarle 주식회사, LA • AmeriBrom(이스라엘의 Dead Sea Bromine 중속 회사), 뉴욕주 • Great Lakes 화학회사, 인디애나주 	<ul style="list-style-type: none"> • Albemarle S.A., 벨기에 • Elf Atochem, 프랑스 • Eurobrom(이스라엘의 Dead Sea Bromine의 자회사), 네덜란드 • Great Lakes 화학회사, 스위스 	<ul style="list-style-type: none"> • Asahi Glass사 , • Albemarle Asano사 • Teijin Chemicals사 • Tosoh사 • Nippoh Chemicals사 • Bromoken(Far East)사 • Manac사 • Miki & Co.사 • Mitsui Toatsu Fine Chemicals사

* 미국화학물질제조업체협회(U.S. Chemical Manufacturers Association, CMA)

** 유럽화학산업위원회(European Chemical Industry Council, CEFIC)

1.3 UNEP

UNEP는 브롬화 방염제에 대해 직접적인 규제조치는 취하지 않고 있으나, 유해화학물질의 수출입시 사전통보제도와 관련된 로테르담 협약과 유해폐기물의 국가간 이동에 관한 바젤협약으로 간접적으로 관리하고 있다.

우선 로테르담 협약(Rotterdam Convention)은 1996년부터 UNEP에서 본격적으로 추진되었다. 전세계 95개국이 국제무역과 유해화학물질·살충제의 연계에 대한 협약 필요성에 동의한지 2년 후인 1998년 9월 로테르담에서 UNEP(United Nations Environment Programme)와 FAO(Food and Agriculture Organization)의 주관으로 『유해화학물질 및 살충제에 관한 국제협약』이 체결되었다. 이 협약의 주요 목적은 수입국가들로 하여금 어떠한 화학물질을 수입할 것인지를 결정하고, 그것을 안전한 방식으로 관리할 수 있도록 하는 것이다. 이를 위해 “최소한 2개국에서 금지한 또는 엄격하게 제한하는 유해 살충제 및 화학물질은 수입국가의 명백한 동의 없이는 수출해서는 안된다”는 협약의 기본 원칙을 결정하였다. 이와 같은 원칙을 『사전통보승인제도(Prior Informed Consent Procedure, 이하 PIC)』라고 하며, 현재 우리나라를 포함한 약 60여개 국가가 이 협약에 서명하였다. PIC 대상 화학물질은 22개의 농약과 5개의 산업용 화학물질로, 이 중 산업용 화학물질에 브롬화 방염제인 PBBs와 TRIS가 포함되어 있다<표 IV-5>.

한편 바젤협약은 1989년 3월 스위스 바젤에서 1백 16개국의 대표들이 유해 폐기물의 국가간 이동과 그 처분통제에 관하여 서명한 협약이다. 우리나라는 1994년 바젤협약에 가입하였고, 그에 따라 『폐기물의 국가간 이동 및 그 처리에 관한 법률』을 제정하였다. 바젤협약에 따라 반드시 수입국의 서면동의를 있어야 수출이 가능한 적색폐기물에 PBBs가 포함되어 있어, 이 물질이 포함된 폐기물의 국가간 이동을 제한하고 있다.

<표 IV-5> PIC 대상 화학물질

농약(17종)	농약제제(5종)	산업용 화학물질(4종)
2,4,5-T, Aldrin, Capta fol, Chlordane, Chlor dimeform, Chlor benz ilate, DDT, Dieldrin, Dinoseb, 1,2-dibromo ethane(EDB), Fluoro acetam ide, HCH, Heptachlor, Hexachloro benzene, Lindane, Mercury compounds, Pentachlorophenol	Monocrotophos, Methamidophos, Phosphami don, Methylparathion, Parathion	Polybrominated biphenyls(PBBs) Polychlorinated biphenyls(PCBs) Polychlorinated terphenyls(PCT) Tris(2,3-dibromopropyl)phosphate

자료 : 환경부

2. 주요 국가별 관리동향

2.1 스웨덴

2.1.1 사용현황

스웨덴에서 방염제로 주로 사용되는 물질은 PBDEs로 decaBDE, octaBDE, pentaBDE 등이다. 이들은 브롬함유율⁷⁾이 높아 방염효과가 뛰어나고, 고온에서도 안정적이며 값이 싸서 주로 사용되고 있다. 그러나 이들 물질은 스웨덴에서는 전혀 생산되지 않으며, 전량을 외국에서 수입하고 있다. 특히 방염제로서 뿐만 아니라 전기·전자제품과 같은 최종제품 형태로 수입되기도 한다.

매년 스웨덴은 약 400톤의 PBDEs(1997년 기준)를 수입하고 있으며, 이 중 decaBDE가 300톤, octaBDE가 60톤, pentaBDE가 40톤일 것으로 추정된다. PBDEs의 수입총량 중 30%에 해당하는 120톤⁸⁾만이 화학물질 형태의 방염제로 수입되었고, 나머지는 주로 제품에 함유된 형태로 들어왔다. 이때 순물질(pure substances)이나 혼합물(mixtures)의 형태로 수입될 때에는 생산품 등록에 포함되어 수입량의 통계가 가능하나, 상품에 포함된 방염제는 기록되지 않아 정확한 수입량을 추정하기가 어렵다.

한편 플라스틱과 고무제조에 첨가되는 방염제인 PBBs는 더 이상 스웨덴에서 생산 또는 수입되지 않으나, 모든 종류의 가전제품에 함유되어 있을 가능성이 매우 높다. 스웨덴의 200여개 산업체를 대상으로 조사한 결과 PBBs를 함유한 전자제품들은 주로 동남아시아에서 제조되고, 스위스 등 여러 단계를 거쳐 스웨덴에 수입되는 것으로 확인되었다. 1997년의 경우 스웨덴에 수입된 상품에 함유된 연간 PBBs량은 10톤으로 추정되었다.

2.1.2 관리동향 및 전망

1990년대 들어 스웨덴 정부는 사람의 건강을 위협하고 환경에 심각한 피해를 주는 일부 브롬화 방염제의 사용을 금지하고자 많은 노력을 기울였다. 이와 같은 노력을 기울이는 가장 큰 이유는 PBBs와 PBDEs가 대표적인 잔류성 유기오염물질(POPs)이며, 환경중에 광범위하게 분포하고 다양한 노출경로를 가졌기 때문이다. 또한 인간의 건강과 생태계에 미치는 위대한 영향을 미치나, 이를 단순히 소비자에게 방염제가 포함된 제품의 선택을 억제하라고 권고하는 기존의 정책만으로는 충분치 않다고 판단했기 때문이다. 이는 다른 선진국에 비해 훨씬 앞선 결정으로, 2001년 현재 스웨덴은 EU의 브롬화 방염제 규제정책을 선도적으로 이끌어가고 있다. 그동안 스웨덴에서의 브롬화 방염제 규제정책의 개발 및 수행은 다음의 과정을 거쳐 진행되었다.

우선 1990년 6월에 스웨덴의 국립화학검사원(National Chemicals Inspectorate, NCI)은 브롬화 방염제의 위해성을 확인하였으며, 이를 브롬화 방염제 제조업자와 수입업자에게 통보해야 함을 『국가 위해성 감소 위원회 (Risk Reduction Commission)』에서 제기하였다.

같은 해 스웨덴 정부는 Government Bill 1990/91:90 『a living environment』라는 정책을 통해

7) 스웨덴의 방염제의 브롬농도는 대부분 5 - 30% 사이임

8) 화학물질 형태로 수입된 방염제는 모두 decaBDE의 형태이며, 주로 케이블에 적용되는 화학제품 형태로 수입됨

스웨덴내 브롬화 방염제 사용을 제한하려는 기본 입장을 취하였다. 무엇보다 브롬화 방염제 중 특히 유해한 물질들을 선정하여 이들의 조속한 단계적 저감(phase-out)을 목표로 하였다.

이를 위해 『방염제계획(The Flame Retardants Project)』을 수립하여, 브롬화 방염제의 위해성을 파악하고 위해성 감소대책을 제시하고자 하였다. 이 계획의 수행결과, 심각한 생물농축성과 잔류성을 나타내는 PBDEs와 PBBs는 반드시 금지되어야 한다는 것과 이러한 물질들이 스웨덴에 유입되는 주요 경로는 수입제품을 통해서라는 결론을 도출하였다.

이에 스웨덴정부는 『방염제저감계획(The Phase-out Project)』을 수립하여 첫째, 정부는 PBDEs와 PBBs의 사용을 금지해야 함, 둘째, 스웨덴의 산업체들은 PBDEs의 대체물질을 개발해야 함, 셋째, 2002년 12월 31일 이후에는 PBDEs의 생산과 사용이 스웨덴내에서 보고되어서는 안되며, 전기·전자제품 수입업자들은 2002년 12월 31일 이후 PBBs가 보고되어서는 안된다는 정책목표를 정하였다. 이와 같은 정책은 1997년도의 『스웨덴 환경정책목표(Swedish environmental targets) Government Bill 1997/98:145』에서 다시 한번 강조되어 브롬화 방염제의 사용을 제한해야 된다는 정부의 입장을 확고히 하였다.

1998년에는 국립화학검사원(National Chemicals Inspectorate, NCI)에서 PBBs와 PBDEs의 금지, 입법제안, 금지시킨 후의 결과, PBBs, PBDEs를 함유하는 폐기물의 재활용방안 등을 포함한 『브롬화 방염제의 저감계획안(phase-out proposal)』을 수립·제출하였다.

스웨덴에서는 정부의 직접적인 규제 이외에도 환경표지제도(Eco-labelling system)를 통해서 브롬화 방염제의 사용을 간접적으로 제한하고자 하는 노력도 기울이고 있다. 즉, TCO'95(The Swedish Confederation of Professional), TCO'99, Nordic eco-labelling을 통해 개인용 컴퓨터, 팩스기, 복사기, 프린터기 등의 플라스틱 부분 혹은 커버와 케이스에 PBBs와 PBDEs 사용을 간접적으로 제한하고 있다. 2001년 현재 스웨덴의 개인용 컴퓨터 공급자의 약 80%는 이 체계에 합의하고 있어, 결과적으로 환경표지를 부착한 개인용 컴퓨터의 커버와 케이스에는 더 이상 PBBs나 PBDEs가 함유되어 있지 않음을 의미한다.

또한 스웨덴 환경부는 브롬화 방염제를 다량 함유하고 있는 전기·전자제품을 포함한 폐기물들의 전처리 규정에 대해 초안을 작성하고 있다. 이는 PBBs와 PBDEs를 함유한 폐기물이 처리될 때, 이 물질들이 환경의 각 매체로 유출되거나 다이옥신/퓨란 등 유해한 물질이 발생할 수 있기 때문에 이에 대한 안전한 처리기준 및 절차를 마련하고자 추진되고 있다.

한편 스웨덴은 자국의 PBBs와 PBDEs 저감정책(phase-out)의 효율적인 수행을 위하여 관련 국제기구들과도 유기적으로 협동하고 있으며, 주로 자발적 동의방식을 표명하고 있다. 또한 자국의 방염제 저감정책의 실효를 거두기 위해 이 정책에 대한 국제적인 동참을 적극 유도하고 있는데, 이는 PBBs와 PBDEs를 함유한 제품의 상당수가 스웨덴과 유럽을 제외한 국가에서 수입되기 때문이다.

브롬화 방염제의 국제적인 사용저감을 유도하기 위해 스웨덴 정부가 추진하고 있는 전략은 첫째, EU 차원에서 협력하여 PBBs와 PBDEs의 금지를 유도하는 것이다. 즉, 외국의 제품 공급업자들에게 단계적인 PBBs와 PBDEs의 사용제한 압력을 가함으로써 결과적으로 국제적인 사용제한을 유도하는 것이다. 더군다나 브롬화 방염제의 사용량이 많은 전기·전자제품의 경우 스웨덴의 제품시장은 크지 않기 때문에 EU 회원국 전체의 동의를 얻어 유럽 외의 제품공급업체에 압력을 가하는 것이 보다 효율적인 전략이라 판단하고 있다. 이를 위해서 산업체로 하여금 제품에 함유된 PBDEs와 PBBs를 선별하는 방법을 연구·개발하도록 유도하고 있다. 두 번째 전략은 유럽 이외의 국가들, 즉 스웨덴에 제품을 수출하는 국가들과 직접적인 협상을 통해 브롬화 방염제의 금지를 유도하는 전략이다.

이 때 추진하는 규제방식은 모든 사용에 대해 규제를 실시하는 방법과 특정 적용분야에만 규제를 실시

하는 것이다. 전자의 경우 스웨덴에서 전통적으로 접근해 온 방식이고, 이런 경우 투명성이 보장된다는 장점이 있다. 후자의 경우 EU 지침에서 주로 채택하는 방식인데, EU에서는 물류의 자유로운 이동을 저해하지 않으면서 규제가 이루어져야 한다는 기본 방침을 가지고 있기 때문에 노출 가능성이 적거나 위해성이 적다고 판단된 경우에는 규제 대상에 포함시키지 않는다. 그러나 이 방식의 경우에는 특정 부문을 대상으로 한 규제가 전반적인 규제로 발전되기에는 오랜 시일이 걸린다는 단점이 있다.

또한 스웨덴은 EU의 PBBs와 PBDEs의 규제 입법화 시기를 2003년 이내로 보고 있으며, 이에 맞추어 유럽에 제품을 공급하는 업체들은 대체제 개발 등의 조치를 강구할 것을 권고하고 있다. 그러나 대체물질 개발에는 상당한 부가비용이 소요되어 대체제 개발을 방해하는 장애물이 될 수도 있다. 현재 PBDEs의 대체 방염제를 사용하는 것은 일반 브롬화 방염제 사용보다 약 2배 가량 비용이 더 드는 것으로 평가되고 있는데, 이는 영세업자들에게 경제적인 어려움을 초래할 수 있다. 따라서 이와 같은 대체제의 고비용 문제를 해결하는 방안의 하나로 “fixed-term exemption”(일정기간동안 의무를 면제해주는 것) 제도도입 등을 고려하고 있다.

2.2 덴마크

2.2.1 사용 현황

덴마크는 모든 브롬화 방염제를 더 이상 생산하지 않고 전량 수입하여 사용하고 있다<표 IV-5>. 1997년 덴마크의 브롬화 방염제 수입량을 살펴보면 최종 제품을 기준으로 총 260 - 390톤이었다. 이와 같이 수입량의 추정치 범위가 넓은 것은 수입제품에 함유된 방염제 예측에 불확실성이 매우 크기 때문이다. 화학물질 형태로 수입되는 양은 전체의 약 10%에 불과하며, 나머지는 플라스틱제품이나 인쇄회로판 등 방염제를 처리한 제품을 통해 유입되고 있다. 방염제의 물질별로는 주로 TBBPA 및 그 부산물이 전체의 47%를 차지하고 있고, PBDEs가 12%, HBCD가 11%씩 차지하고 있다. 또한 화학물질 형태로 수입되는 양은 260-390톤이며, 이중 54%가 TBBPA이다.

2.2.2 배출 현황

덴마크에서는 지난 몇 년간 실내 환경에서 방염처리된 제품으로부터 배출되는 브롬화 방염제에 대한 조사가 이루어졌다. 단위 상품별로 정확한 배출량 조사는 실시하기 어려워 방염제를 처리한 제품군에 대한 총배출량을 추정하였으며 그 결과는 다음과 같다.

실내 환경중에 사무기기로부터 방출되는 브롬화 방염제의 심각성을 알아보기 위해 사무실, 컴퓨터실, 대조군(control room)의 실내공기 중의 화학물질을 검사하였다. 가장 많은 배출이 일어날 것으로 추정되는 것은 첨가형 방염형태로 처리된 제품이다. 이를 확인하기 위해 프린터 3대, TV 2대, 컴퓨터 모니터 2대로부터 PBDEs, dibenzodioxin, dibenzofuran의 배출에 대해 Chamber 실험이 이루어졌으며, 각 chamber unit에의 공기량은 85-100m³ TV온도는 36-39℃, 모니터는 46-48℃로 고정하여 3일 동안 시행되었다.

<표 IV-6> 덴마크의 브롬화 방염제 사용량

제품그룹	브롬화 방염제 총수입량	물질별 수입량(톤)				
	톤	PBDEs	TBBPA 및 부산물	PBBs	HBCD	기타 브롬화 방염제
화학물질*	29	1	2.1			26
플라스틱 화합물	130-190	0.1-0.2	34-42	3.3-4.9	6.1-13	86-126
기타 플라스틱 반제품	2.6-7		2-5.2		0.1-0.3	0.5-1.5
인쇄회로판 조각	100-160		100-160			
합계	260-390	1.1-1.2	140-210	3.3-4.9	6.2-13	110-150

자료 : Danish EPA, 1999

* 화학물질의 대부분은 수출되는 반제품(semi-manufactures)의 생산에 이용됨

실험결과 TV에서는 1,924ngPBDEs/unit, 모니터에서는 9,889 ngPBDEs /unit의 배출을 보였고, 프린터에서는 소량의 PBDEs만 검출되었다. TV와 모니터에서는 tetraBDE와 pentaBDE가 주로 발생하였으며, 이는 상업용 pentaBDE와 octaBDE의 주요 성분이다. 한편 dibenzofuran과 dibenzo-dioxin의 최고치는 9ng PBDEs를 배출한 모니터에서 검출되어, PBDEs와 다이옥신/퓨란과의 직접적인 상관성을 나타내진 않았다. TV 결과로 측정된 배출율(emission rate) 192ng/unit/3days을 TV의 상품수명인 10년에 외삽했을 때, TV의 전체 사용기간 동안 약 0.2g의 PBDEs가 발생하는 것으로 나타났다. 이것은 TV에 함유된 전체 PBDEs 함유량의 0.1%에 해당하는 양이다(TV는 약 180g의 PBDEs를 함유하고 있다고 추정). 또한 같은 방법으로 PC 모니터의 배출을 889ngPBDEs/unit/3days을 상품수명 10년에 외삽하면 1.4g PBDEs가 발생하고 이는 모니터에 함유된 전체 PBDEs양의 0.4%에 해당되는 양이다(340g PBDEs를 함유할 것으로 추정).

이와 같은 실측방법 이외에 노출모델을 이용하여 브롬화 방염제의 배출량을 추정하였다. 각 물질의 배출계수(최악의 시나리오로 산정)를 산정한 후 이를 덴마크에서 지난 10년간 사용된 브롬화 방염제 양에 적용한 결과, 약 1.5톤이 제품에서 배출된 것으로 나타났다<표 IV-7>.

<표 IV-7> 덴마크의 브롬화 방염제 최악의 배출시나리오(1997년)

물질그룹	1992년 방염제시 장에서의 비율(%)	덴마크에서 사용된 양*(톤)	배출계수 (%/년)	배출량 (톤)
TBBPA (반응형)	36	1,800	0	0
TBBPA (첨가형)	4	200	0.05	0.1
DecaBDE	20	1000	0.038	0.4
OctaBDE	4	200	0.054	0.1
PentaBDE	2.7	130	0.39	0.5
기타 반응형 브롬화 방염제	17	830	0	0
기타 첨가형 브롬화 방염제	17	830	0.05	0.4
합계		5,000		1.5

자료 : Danish EPA, 1999

* 덴마크에서 지난 10년간 사용된 브롬화 방염제의 양을 500톤/년으로 가정하여 추정

2.2.3 관리동향 및 전망

덴마크는 1997년 12월 유해화학물질과 특정제품에 대해 판매와 사용을 제한하는 환경·에너지부 관련 법령(the Ministry of Environment and Energy's Statutory Order No.1042)를 통해 피부에 닿는 직물에서의 PBBs와 tris(2,3-dibromopropyl) phosphate(TRIS)의 사용을 금지시켰다. 이와 함께 브롬화 방염제의 완화적 규제조치의 하나로 『the Danish List of Undesirable Substances』에 포함시키고, 대상물질의 주요 관련자들 - 생산자, 제품개발자, 소비 단체 등 - 에게 해당물질의 사용저감과 함께 궁극적으로는 사용을 금지시켜야 한다는 정보를 제공하고 있다.

브롬화 방염제의 환경매체별 기준은 아직 마련되어 있지 않으며, 수질에 대해서는 1994년 『The Danish EPA's Guidelines No.6』과 1996년 『the Ministry of Environment and Energy's Statutory Order No.921』에서 산업폐수 및 하수처리과정에 BAT⁹⁾를 도입할 것을 규정함으로써 간접적으로 브롬화 방염제에 대한 수질오염을 방지하고자 하였다. 또한 1998년 『환경·에너지부 관련법령(The Ministry of Environment and Energy's Statutory Order No.106)』에 전기·전자제품을 폐기할 때에 방염제가 포함된 플라스틱은 반드시 분리 수거할 것을 규정하였다.

현재 덴마크에서 브롬화 방염제는 더 이상 생산되지 않고 외국에서 전량 수입되는데, 일부는 화학물질 형태로 수입되나 대부분은 최종제품 형태로 들어온다. 이와 같이 수입되는 최종제품에서의 브롬화 방염제 사용을 저감하고자 하는 노력으로 EU Flower와 Nordic Swan같은 환경표지(ecolabel)를 브롬화 방염제를 사용하지 않는 제품에만 허용되고 있다. 환경표지의 주요 대상제품은 직물, TV, 컴퓨터 등이며, 각 대상제품별 표지부착이 요구되는 기준은 다음 <표 IV-8>와 같다.

그 외에도 덴마크 정부는 『환경지침서(Environmental Guidelines)』를 매년 발간하여 친환경정책의 기본지침으로 활용하고 있는데, 주요 내용에 방염제 중 브롬뿐 아니라 염소까지 포함한 제품을 강력히 규제해야 한다고 제안하고 있다. 또한 이들 물질의 대체물질 개발에 대해 정부 차원에서의 지원정책을 제시하고 있다.

<표 IV-8> 방염제에 대한 환경표지 기준

제품그룹	Nordic Swan	EU Flower
고정 PC와 모니터	<ul style="list-style-type: none"> ○ 되도록 폴리브롬화유기화합물 또는 클로로파라핀 류의 방염제는 커버와 새시의 플라스틱 부분에서 25g이상 초과해서는 안됨 ○ 커버와 새시의 플라스틱 부분 그리고 인쇄회로판에서 방염제가 25g을 초과할 경우 CAS번호를 명시해야 함 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 브롬을 함유한 유기화합물은 부품에서 25g을 초과하면 안됨.
노트북 PC와 모니터	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고정 PC와 동일 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 플라스틱 부품과 전선 등에서 PBBs, PBDEs, 짧은고리 클로로파라핀이 25g 이상 초과해서는 안됨.

9) 청정기술과 처리기술을 포함

<표 IV-8> 방염제에 대한 환경표지 기준(계속)

제품그룹	Nordic Swan	EU Flower
프린터와 팩스기	○ housing과 새시에서 브롬화 방염제가 25g이상 초과되면 안됨	○ 기준없음
잔디깎기	○ 인쇄회로판을 제외한 나머지 플라스틱 부품에 PBBs와 PBDEs가 함유되면 안됨. ○ 기타 할로젠방염제는 전기안전규격에 의해 정의되어야 하고, 이를 문서화해야 함	○ 기준없음
사진복사기	○ 되도록 커버와 새시의 플라스틱부분에서 PBBs, PBDEs 또는 클로로파라핀이 25g이상 초과하면 안됨 ○ 커버와 새시의 플라스틱 부분과 인쇄회로판에서 방염제가 25g을 초과할 경우 CAS번호를 명시해야 함	○ 기준없음
냉장고와 냉동고	○ 브롬화파라핀과 PBDEs가 플라스틱물질에서 함유되면 안됨	○ 브롬화 방염제에 대한 어떠한 조건도 없음
식기세척기	○ 브롬화파라핀과 PBDEs가 플라스틱물질에서 함유되면 안됨	○ 브롬화 방염제에 대한 어떠한 조건도 없음
창문	○ 되도록 브롬화파라핀과 PBDEs가 플라스틱물질에서 함유되면 안됨	○ 기준없음
마루	○ PBDEs와 브롬화파라핀이 되도록 제품에 첨가되지 않을 것	○ 기준없음
보드(Chipboard와 fibreboard)	○ 할로젠유기방염제가 포함되어서는 안됨	○ 기준없음
직물	○ 브롬화 방염제함유량이 1%를 초과하면 안됨	○ 유해물질로 분류된 방염제 함유금지(단, 반응형방염제는 사용될 수 있음)
매트리스	○ 기준없음	○ 유해물질로 분류된 방염제 함유금지
가구	○ 플라스틱함유량이 10%이상인 가구는 되도록 플라스틱에 할로젠 유기화합물을 함유해서는 안됨	○ 기준없음

자료 : Danish EPA, 2001

2.3 미국

2.3.1 사용현황

미국의 전체 방염제 수요량은 1991년의 경우 30만톤에 이르며, 이 중 브롬계 방염제(brominated hydrocarbons와 brominated bisphenol A)는 약 17% 정도를 차지하고 있다<표 IV-9>. 한편 앞의 <표 II-7>에서와 같이 미국을 포함한 북미국가에서 주로 사용되는 브롬화 방염제는 TBBPA와 decaBDE이다. 미국은 브롬화 방염제의 주요 수출국이기 때문에 자국내에서 생산되는 양은 수요량보다 훨씬 많을 것으로 추정된다.

<표 IV-9> 미국의 방염제 수요량

방염제 종류	1986년(톤)	1991년(톤)
Phosphate esters	20,000	18,000
Halogenated phosphates	13,000	16,000
Chlorinated hydrocarbons	15,000	15,000
Brominated hydrocarbons	28,000	36,000
Brominated bisphenol A	16,000	18,000
Antimony trioxide	22,000	25,000
Borates	8,000	8,000
Aluminum trihydrate	140,000	170,000
Magnesium hydroxide	2,000	3,000
합계	264,000	301,000

자료: WHO, 1997

2.3.2 관리동향 및 전망

미국은 이미 1973년에 PBBs로 인한 피해사고(앞의 II장 참조)를 경험하였기 때문에 1970년대 후반에 PBBs에 대한 광범위한 위해성평가를 실시하였다. 그 결과 PBBs는 쥐(mouse와 rat)에서 기형유발, 태아독성 및 면역억제성을 갖는 등 PCBs와 유사한 독성을 발현시킨다는 사실이 밝혀졌다. 또한 EPA가

1980년에 PBBs 생산 공장에서 42명의 노동자들을 대상으로 조사한 결과, 대조군에 비해 갑상선기능저하 증세의 발생률이 현저히 높았다. 한편 1970년대 후반 PBBs의 대체물질이 개발되자 산업체들은 자발적으로 PBBs¹⁰⁾의 생산과 사용을 금지하기 시작하였다. 따라서 현재 미국내에서 PBBs의 생산 및 사용은 금지되었으며, 다시 제조(주로 수출용)를 시작하려는 산업체는 EPA의 승인을 받아야 한다.

PBDEs류에 대한 미국 정부의 관리조치는 1990년 들어 시작되었다. EPA는 1991년 유해물질관리법(Toxic Substances Control Act, 이하 TSCA)의 section 4에 따라 브롬화 방염제 제조업자들에게 일부 위해성이 의심되는 PBDEs에 대한 인체건강영향평가(암, 만성영향, 생식독성, 신경독성, 발달장애, 돌연변이 유발성 등), 환경독성 및 환경 중 동태시험을 실시하도록 제안하였다. 이때 대상이 된 PBDEs 방염제는 decaBDE, hexaBDE, pentaBDE, octaBDE, 1,2-bis(2,4,6-tribromophenoxy) ethane 등 5종이었다. 또한 decaBDE, octaBDE, pentaBDE, TBBPA, TBBPA-bis(ethoxylate), TBBPA-allyloxide, 2,4,6-tribromophenol, 1,2-bis(2,4,6-tri-bromophenoxy)ethane 등 8종의 브롬화 방염제에 대해서는 TSCA에서 제시하는 규정에 따라 폐기물 소각시의 브롬화 다이옥신과 브롬화 퓨란생성을 연구하도록 제안되었다(OECD, 1994).

그 결과 tris(2,3-dibromopropyl)phosphate와 bis(2,3-dibromopropyl) phosphate가 사람에게 암을 유발시키며, 주로 화학물질로 처리된 섬유와의 피부접촉을 통해 노출된다는 사실을 확인하였다. 이에 1997년 미국 소비자 제품 안전위원회에서는 이 두 방염제를 어린이 옷을 만드는 섬유제품에 대해 사용 금지시켰다(Danish EPA).

그러나 다른 브롬화 방염제에 대해서는 아직 위해성을 제대로 평가하기 위한 자료가 부족하다는 판단 하에 EPA는 다음과 같은 3단계의 브롬화 방염제의 위해성 평가계획을 마련하여 실시중이다. 이는 첫째, 기존의 브롬화 방염제를 대상으로 브롬화 다이옥신/퓨란의 형성시험, 둘째, 방염제의 직접적인 위해가능성 실험, 셋째, 새로운 방염제의 다이옥신/퓨란 오염에 대해서 각 적용사례별로 실험하는 것이다(Danish EPA, 1999).

그 외에도 미국의 TSCA에서는 다이옥신 뿐 아니라 다이옥신과 관련된 화학물질을 관리하고 있다. 1987년 발효된 40 CFR 766은 다이옥신과 관련된 화학물질을 제조·수입 등을 하는 자는 정해진 기간에 일정 시험자료를 제출하도록 규정하고 있다. 이는 TSCA의 Section 4¹¹⁾ 및 Section 8¹²⁾에 근거하여 마련된 규정으로, 다이옥신/퓨란이 혼재될 가능성이 있는 물질 32종과 최종산물에 다이옥신/퓨란이 생성될 가능성이 있는 전구물질 28종을 명시하고 있다.

우선 다이옥신/퓨란이 혼재될 가능성이 큰 32종의 화학물질을 제조, 수입 또는 가공하는 자는 제조 또는 수입 후 90일 이내에 첫째, 다이옥신/퓨란의 존재여부에 대한 기준시험자료, 둘째, 비공개된 건강 및 환경영향 평가자료, 셋째, 중대한 악영향 진술에 대한 보고서, 넷째, 분석시험결과 등을 제출하여야 한다. 이와 같은 1차 자료제출의 심사결과, 다이옥신이 혼재될 가능성이 확인되면 추가로 “다이옥신/퓨란보고서(Dioxins/Furans Report)”를 제출하여야 한다. 이 보고서는 다음의 4단계로 구성되어 있다.

10) 산업체가 자발적으로 사용이 금지한 PBBs 종류는 4-bromo-1,1-biphenyl, 4,4-dibromo-1,1'-biphenyl, 2-bromo-1,1'-biphenyl, 3-bromo-1,1'-biphenyl, decabromo-1,1'-biphenyl, nonabromobiphenyl, octabromobiphenyl, hexabromobiphenyl

등임

11) 시험자료 제출의무 : 특정의 화학물질 및 혼합물질을 제조, 수입 또는 가공하는 자에게 인체 및 환경에 대한 영향을 시험하여 제출하도록 명시

12) 보고의무 : TSCA 목록에 있는 화학물질 및 혼합물질을 제조, 수입, 가공 및 공급하는 자에게 일정의 기록유지 및 보고의무를 부여함

- Part 1 : 일반정보 (제출자, 해당 화학물질명 등)
- Part 2 : 공정 및 배출정보 (block flow diagram¹³⁾, 배출저감기술 등)
- Part 3 : 제조 및 사용정보 (년간 생산/사용량, 사용범부, 표시사항, 근로자 및 노출정보 등)
- Part 4 : 물질목록

미국 EPA에서 다이옥신 혼재가능성이 있다고 발표된 32종의 화학물질 중 브롬화 방염제는 PBDEs와 TBBPA 등 11종에 달하며, 이중 국내에서 사용되는 물질은 다음 표 <IV-10>에서와 같이 8종이 확인되었다.

한편 중간체 등으로 사용할 경우 다이옥신/퓨란이 혼재될 가능성이 있는 28종에 해당하는 화학물질을 제조 또는 수입하는 자는 위의 다이옥신/퓨란보고서의 part 2에 해당하는 공정 및 배출정보를 제출하여야만 한다. 28종의 화학물질 중 브롬화 방염제의 생산에 사용가능한 브롬계 화학물질은 6종¹⁴⁾이 포함되어 있다.

<표 IV-10> 다이옥신 혼재가능성이 있는 브롬화 방염제 종류

종류	다이옥신 혼재 가능성 물질	국내 사용여부**
DecaBDE	○	○
OctaBDE	○	○
PentaBDE	○	○
TBBPA	○	○
TBBPA-bis(2-hydroxyethylether)	○	×
TBBPA-bis(allylether)	○	○
Tribromoneopentylalcohol	×	○
Pentabromotoluene	×	○
2,4,6-tribromophenol	○	○
1,2-bis(2,4,6-tribromophenoxy)ethane	○	○
Tetrabromophthalic anhydride	×	○
N,N'-Ethylene-bis(tetrabromophthalimide)	×	○
poly(2,6-dibromophenylene oxide)	×	○
Brominated polystyrene	×	○
HBCD	×	○
ethylene-bis(5,6-dibromonorbornane-2,3-dicarboximide)	×	○
2,4-dibromophenol	×	○
TBBPA 2,3-dibromopropyl ether	○	○
Bismethylether of TBBPA	○	×
Pentabromophenol	○	×

자료 : 미국 EPA(<http://www.epa.gov/opptintr/>), CIS Chem Com.

13) 제조공정, 중간체, 부산물, 단위조작단위, 원료투입, 공정온도, 압력, 환경배출지점 등을 설명
 14) Bromobenzene, 2-Bromophenol, 2,6-Dibromo-4-nitroaniline, 1,2,3,4,5-Pentabromo-6-chlorocyclohexane, Pentabromoethylbenzene, 1,3,5-Tribromobenzene.

2.4 일본

일본의 브롬화 방염제 연도별 수요량을 <표 IV-11>에서와 같이 점차 사용량이 증가하고 있는 추세이다. 또한 우리나라를 위시한 다른 국가와 마찬가지로 일본에서 가장 많이 사용되고 있는 브롬화 방염제는 TBBPA이다.

일본은 PBBs, hexaBDE, tetraBDE의 생산과 사용을 규제하고 있으나, 이는 정부의 강제적 규제를 통해서가 아니라 산업체의 자발적인 규제를 통해서이다. 또한 decaBDE와 octaBDE를 제외한 기타 PBDEs도 산업체 및 수입업체의 자발적 결정을 통해 상업적으로 생산·수입되지 않는다. 이와 같은 자발적인 규제의 동기는 PBBs의 경우 물질자체의 높은 독성때문이며, hexaBDE와 tetraBDE는 소각시 발생하는 다이옥신/퓨란에 대한 우려 때문이다. HexaBDE와 tetraBDE는 1980년대까지 플라스틱에 널리 쓰이던 방염제라, 이들 물질을 함유한 플라스틱 폐기물이 소각될 때 다이옥신이 발생될 가능성이 매우 높았다.

현재 생산되고 있는 브롬화 방염제에 대해서도 엄격한 공정관리를 통하여 환경으로의 방출을 최대한 억제하고 있다. 즉, 브롬화 방염제들은 폐쇄된 시스템에서만 제조되고, 그 제품은 완전히 제어된 시설에서 제조 및 수송된다. 또한 생산 시설은 정기적으로 유지·시험·보수 공정을 거치며, 해당 공정이 완전히 제어될 때까지 일정 기간동안 생산을 중지한다. 이러한 공정관리는 환경 및 작업장 관리를 위한 법률 등을 통해 운영되고 있다.

그 외 PBDEs 중 decaBDE는 1974년에 화학물질관리법에서 “기존화학물질(existing chemical)”로 등록하고, 1978년에 정부에서 실시한 어류의 농축시험결과에 따라 decaBDE는 “생물농축성이 낮은 물질(low accumulative substance)”로 지정되었다. 일본환경청에서는 몇 차례(1977년, 1987년, 1988년)에 걸쳐 환경 내의 decaBDE의 농도를 모니터링한 결과 침적토에서만 검출되었고 수질 및 어류에서는 검출되지 않았다. OctaBDE는 1983년에 화학물질관리법에서 새로운 화학물질로 첨가되었으며, 어류를 대상으로 한 실험결과에 따라 “생물농축성이 낮은 물질”로 지정되었다(OECD, 1994).

<표 IV-11> 일본의 브롬화 방염제 수요량

단위 : MTA(metric ton annual)

구 분	1986	1988	1990	1991	1992	1993	1994	1995
TBBA	12,000	18,000	23,000	24,500	23,000	22,000	24,000	30,000
DBDE	3,000	5,000	10,000	9,800	6,300	5,800	5,500	4,900
HBCD	600	700	700	1,000	1,400	1,600	1,600	1,800
OBDFObistribromophenocycethane	500	1,000	1,100	1,500	1,100	900	500	300
BTBPE	400	400	400	1,000	1,000	900	900	750
TBP	100	450	450	1,500	2,000	2,700	3,500	4,000
Ethylenebistetrabromophthalimide	-	600	1,000	1,200	1,300	1,300	2,500	2,500
TBApolycarbonateoligomer	-	-	-	2,500	2,500	2,500	2,500	2,750
Brominated polystyrene	-	-	-	1,300	1,300	1,300	1,300	1,500
TBAEpoxyoligomer	-	-	3,000	4,700	6,000	6,500	7,000	7,450
Decabromophenylethane	-	-	-	-	-	1,000	1,600	2,600
Polybromophenyl oxide	100	200	200	200	200	200	200	200
Hexabromobenzene	200	250	250	300	300	350	350	350
기타	2,500	2,500	2,500	3,400	3,400	3,400	3,400	3,400
계	19,400	29,100	42,600	52,900	49,800	50,450	54,850	62,500

자료 : CIS Chem, 1997

2.5 독일

1980년대 말 독일은 이미 PBBs와 PBDEs의 사용금지를 EU에 제안한 바 있으나 기각되자, 자체적으로 이들 물질을 규제하기 시작하였다. PBBs와 PBDEs의 직접적인 사용을 금지시키기보다는 『다이옥신관리법령(Dioxin Ordinance)』를 통해 간접적으로 규제하였다<표 IV-12>. 다이옥신은 방염처리된 플라스틱의 생산 및 소각시 발생할 수 있기 때문에, 다이옥신을 규제하는 『다이옥신관리법령(Dioxin Ordinance)』는 결과적으로 PBDEs와 PBBs를 간접적으로 규제하게 되었다. 그 외 PBBs와 tris(2,3-dibromopropyl) phosphate는 『식품 및 화장품법(Foodstuff and Commodities Act)』에 부가적 사항으로 포함되어 일부 규제되고 있다.

또한 1989년 독일의 화학 산업체들과 플라스틱 제조업자들은 PBDEs의 생산과 사용을 금지하는 선언을 하였으나, 그 후 독일내의 생산금지는 지켜진 반면 수입품에 포함된 방염제가 계속 독일내로 유입되고 있어 이에 대해 독일정부는 대책을 마련중이다. 한편 브롬화 방염제에 대한 간접적인 규제의 일환으로 Blue Angel 제도가 시행되고 있는데, 이는 독일의 환경표지제도로 주로 컴퓨터, 키보드, 스크린 등을 대상으로 한다. Blue Angel 표지는 비할로겐화 방염제가 이용된 제품에만 사용될 수 있기 때문에, 자연적으로 브롬화 방염제의 사용을 억제시키는 효과를 유발하고 있다.

<표 IV-12> 독일 다이옥신 법령 중 브롬화 방염제 관련 내용

제품에 다음 4개 물질의 합이 10ppb를 초과하면 안됨
2,3,7,8-TBDD(tetrabromodibenzo-p-dioxin) 2,3,7,8-TBDF(tetrabromodibenzofuran) 1,2,3,7,8-PeBDD(pentabromodibenzo-p-dioxin) 2,3,4,7,8-PeBDF(pentabromodibenzofuran)
제품에 다음 8개 물질의 합이 60ppb를 넘으면 안됨
2,3,7,8-TBDD 2,3,7,8-TBDF 1,2,3,7,8-PeBDD 1,2,3,7,8-PeBDF 2,3,4,7,8-PeBDF 1,2,3,4,7,8-HxBDD(Hexabromodibenzo-p-dioxin) 1,2,3,7,8,9-HxBDD 1,2,3,6,7,8-HxBDD

자료 : Danish EPA, 1999

2.6. 기타 국가

지금까지 살펴본 국제기구 및 국가들 이외에도 브롬화 방염제의 국제적인 관리동향은 다음과 같다.

우선 1995년 개최된 제4차 북해회의(The Fourth North Sea Conference)에서 『the Esbjerg Declaration』를 통해 각국의 환경부 장관들은 브롬화 방염제를 덜 유해한 화학물질로 대체할 것에 동의하였다. 여기에 참여한 국가는 프랑스, 영국, 독일, 덴마크, 벨기에, 스웨덴, 노르웨이, 네덜란드, 스위스 등이다.

UN의 경우 PBBs 중 hexaBB를 POPs protocol(UN Convention on long-range transboundary air pollution(CLRTAP))에 포함시켜 회원국내에서의 생산과 사용을 금지시켰다.

EU국가 중 네덜란드의 경우 1990년대 초 PBBs와 PBDEs의 시장 내 허용을 금지하고 이 화학물질을 함유하는 상품의 판매 또한 금지해야 한다는 의견이 EPA에서 제안되었으나 받아들여지지 않았다. 다만 산업체들이 자발적으로 PBBs와 PBDEs의 사용을 점차 줄여나가자는 동의가 이루어졌고, 그 결과 1990년 이후로 PBBs와 PBDEs의 사용량은 반으로 감소되었다(1999년 조사). 그러나 이러한 자발적인 노력들은 주로 네덜란드 내에서 생산되는 화학물질로서의 PBBs와 PBDEs에만 영향을 미치고, 이러한 물질들이 함유된 수입품 등에 적용되지는 못하고 있다. 이에 네덜란드 정부는 향후 EU의 규제정책에 따라 좀 더 강력한 브롬화 방염제 관리정책을 수립하고자 계획하고 있다.

V. 국내 오염실태 조사 및 관리동향

1. 사용현황

브롬화 방염제의 국내 사용현황은 아직 정확히 조사된 바가 없다. CIS사(Chemical Information Service, 참고문헌 참조)의 조사에 따르면 1993년부터 1997년까지 국내에서 사용되는 브롬화 방염제의 사용량은 2배 이상 증가한 것으로 나타났다<표 V-1>. 1990년대 들어 가장 많이 사용되는 방염제는 TBBPA이며, 1997년도에는 22,000만톤이 사용되어 전체 브롬화 방염제 시장의 50% 이상을 차지하였다. TBBPA는 국내에서는 생산되지 않고 외국의 주요 생산업체(GLC사, Albem사, DSB사¹⁵⁾ 등)로부터 전량 수입되고 있다. 그 다음으로 많이 사용된 종류는 B·E·O¹⁶⁾로 대형모니터(TV)의 생산증가에 따라 1996년부터 급격히 국내 사용량이 증가하였으며, 이중 35%는 국내에서 생산되고 있으며 나머지 65%는 외국에서 수입되고 있다.

PBDEs에 속하는 브롬화 방염제 중 DBDPO의 사용은 증가추세라 1997년의 총 사용량의 15%를 차지하고 있으나, 반면 OBDPO의 사용량은 감소하고 있어 최근에는 거의 사용되지 않고 있다. 이와 같은 브롬화 방염제의 종류별 사용량 추세는, 각 방염제의 용도 및 최종제품의 시장에 따라 좌우된다. 즉, DBDPO의 경우 TV 캐비닛에, HBCD는 건축(65%)과 제지산업(35%)에, TBBPA와 B·E·O는 대형 모니터 생산에 주로 사용되기 때문에, 각 산업계의 국내외 시장경제 상황에 따라 방염제의 사용량이 변화하게 된다.

한편 이들 방염제의 국내 적용제품은 다음 <표 V-2>에서와 같다.

<표 V-1> 브롬화 방염제의 국내 수요량

(단위 : MTA)

구 분	1993년	1994년	1995년	1996년	1997년
TBBPA	9880	12,260	14,800	18,500	22,000
DBDPO	2970	3200	4100	4800	6000
HBCD	530	570	720	1150	1200
FF-680*	2020	2470	2360	2270	1700
OBDPO	430	260	150	150	100
B·E·O	NA**	NA	NA	4000	8000
기 타	970 (B·E·O 포함)	1042 (B·E·O 포함)	3070 (B·E·O 포함)	300	300
합 계	16,800	19,800	25,200	30,670	39,300

자료 : CIS Chem, 1997

* Bis(tribromophenoxy)ethane ** NA: Not Available

15) GLC : Great Lakes Chemical사, Albem : Albemarle Corporation사,

DSB : Dead Sea Bromine Group사

16) Brominated Epoxy Oligomer

〈표 V-2〉 국내 브롬화 방염제의 적용 현황

방염제 종류	적용제품
TBBPA	ABS, 에폭시 수지, 페놀성 수지, 폴리카보네이트, 폴리스티렌, 고무/elastomer, 방염제 중간생성물
tribromoneopentyl alcohol(FF-513)	폴리우레탄(연질, 경질), 방염제 중간생성물
Bis(tribromophenoxy)ethane(FF-680)	ABS
PentaBDE	에폭시 수지, 페놀성 수지, 불포화 폴리에스테르, 폴리우레탄(연질), 직물
OctaBDE	ABS, 폴리에틸렌, 폴리스티렌
DecaBDE	HIPS, PP 복합체, ABS, PBT
HBCD	EPS, PP 복합체, 폴리스티렌, SBR 라텍스, 직물
B · E · O	ABS
TBBA-AE	EPS
TBP-AE	EPS
Tetrabromocyclooctane (BC 48)	EPS
TBBPA polycarbonate oligomer (BC 58)	PBT
Dibromophenol	에폭시 수지, 페놀성 수지, 방염제 중간생성물
Tribromophenol	에폭시 수지, 페놀성 수지, 방염제 중간생성물
Pentabromotoluene	불포화폴리에스테르, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리스티렌, SBR 라텍스, 직물, 고무
PBBs-PA	나일론 PET, PBT, 폴리프로필렌, 폴리스티렌

자료 : CIS Chem. , 1997

제일모직 홈페이지, <http://www.starex.co.kr>

LG화학 홈페이지, <http://www.lgchem.co.kr>

2. 배출현황

국내에서 브롬화 방염제의 배출현황이 별도로 조사된 적은 없으며, 현재 환경부에서 실시중인 유해화학물질 배출량조사제도(Toxics Release Inventory, TRI)의 대상물질에 decaBDE¹⁷⁾가 포함되어 있다. 1999년도 실시된 배출량 조사결과 decaBDE는 관련산업체에서 대기중으로 배출¹⁸⁾되고 있으며, 대부분이 폐기물을 통해 이동¹⁹⁾하고 있음을 알 수 있다〈표 V-3〉. 1996년도부터 시범운영된 TRI제도는 1999

17) decabromodiphenyl oxide로 조사대상범위는 무게대상 함유율(%)이 1.0이상을 대상으로 함

18) 배출량은 사업장에서 화학물질을 취급(제조·사용)하는 과정에서 대기로 증발, 수계로 유출, 토양으로 침투되는 양이고, 저장 및 운반시설(저장탱크, 배관 등), 제품제조공정(혼합, 반응공정 등), 환경오염방지시설(집진장치, 흡수장치 등)로부터의 배출과 빗물을 통한 배출 등을 포함

19) 이동량은 사업장에서 폐수나 폐기물의 형태로 사업장 외부의 폐수·폐기물 위탁처리업체로 이동되는 양으로 적절한 처리를 통해 환경으로 배출되는 양이 현저히 줄어들 수 있다는 점에서 배출량과는 구별됨

년도에 본격적으로 시행되어 종업원 100인 이상인 석유정제·화학업종에서의 80개 화학물질의 배출량을 조사하였다. 따라서 1999년도 조사 대상 업체에서 decaBDE가 주로 사용되는 수지생산 및 전기·전자생산업체 등은 제외되어 있어 배출량이 적게 조사된 것으로 사료되며, 섬유업종에 사용되는 pentaBDE는 조사 대상물질에서조차 제외되어 있었다. 2000년도부터 화학물질 배출량 조사대상 업종이 23개 업종으로 확대되어, 브롬화 방염제 사용가능성이 매우 큰 섬유제품 제조업, 전자기계 및 전기변환장치 제조업, 운송장비 제조업 등이 포함되어 있으므로 향후 TRI 조사결과를 좀더 주목할 필요가 있다.

〈표 V-3〉 DecaBDE의 국내 배출량(1999년)

배출량(kg/년)				이동량(kg/년)		
대기	수질	토양	합계	폐수	폐기물	합계
230	0	0	230	0	230,300	230,300

자료 : <http://www.me.go.kr>

3. 국내 오염실태 사례조사

브롬화 방염제의 국내 오염실태는 별도로 조사된 바는 없으며, 내분비계 장애물질로 확인된 PBBs에 대해서만 환경부의 “내분비계 장애물질 중·장기연구사업”의 일환으로 실시되고 있다. 7종의 PBBs에 대해 수질 43지점, 저질 11지점, 토양 35지점에서의 실태조사를 실시한 결과 모든 지점에서 검출한계 이하였다. 생물시료에 대한 7종의 PBBs의 오염실태 조사는 전국 31개 지점에서 양서류 2종과 어류 2종을 대상으로 실시되었는데, 모두 검출한계 이하로 나타났다.

한편 본 연구의 일환으로 포항공대에서 생물시료에 대한 PBDEs 농도를 분석하였다(표 V-4). 이때 생물시료는 국립환경연구원에서 주관하는 2001년도 내분비계 장애물질 실태조사 용역의 일환으로 수행된 분석조사(포항공대 수행)에서 국내 31개 지점 중 임의로 선택된 시료를 선정하여 분석되었다. 그러나 PBDEs 분석을 위해 사용된 생물시료가 5종에 불과해 분석결과의 신뢰도가 매우 떨어지므로, 향후 오염 가능 지역을 중심으로 브롬화 방염제의 실태조사 사업이 추가로 진행되어야 할 것으로 사료된다. 또한 국립환경연구원의 2001년도 실태조사사업의 최종결과가 2001년도 12월 현재 발표되지 않아 다음 <표 V-4>의 정확한 시료명을 본 보고서에서는 밝히지 않는다. <표 V-4>의 분석결과를 살펴보면, 5종의 생물시료(어류 및 양서류)에서 검출된 PBDEs류는 tetra-, penta-, hexaBDE 등 3종으로 이 중 tetraBDE의 농도가 가장 높았다. 그러나 그 농도는 외국의 유사 연구(1981년 스웨덴의 농어에서 150ng/g ww 검출, 1996년 미국의 미시간 살모나이드 호수의 연어에서 52.1 ng/g ww 검출(tetraBDE))에 비해 대체로 낮은 수준인 것으로 나타났다.

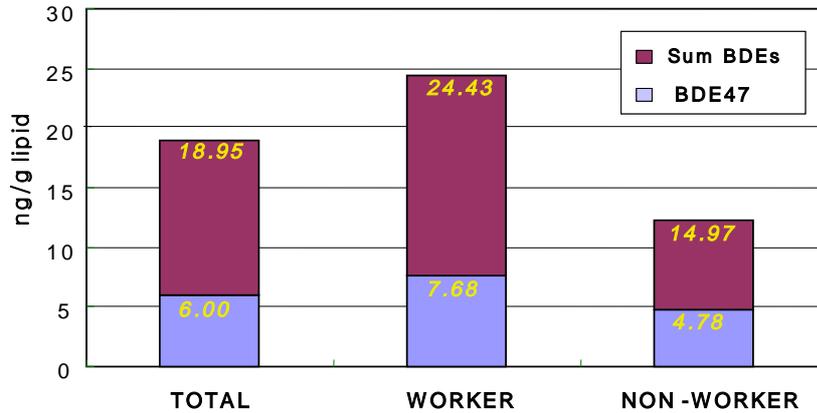
〈표 V-4〉 어류 및 양서류에서의 PBDEs 오염현황

(단위 : ng/g wet weight)

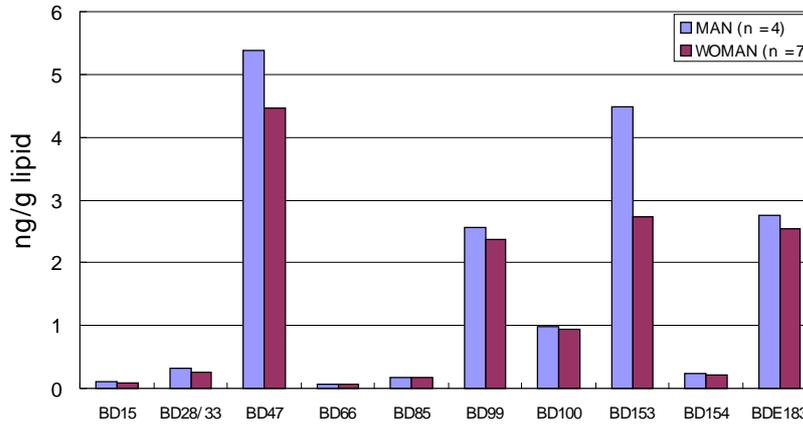
ID	시료량(g)	tetraBDE	pentaBDE	hexaBDE	합 계
F1	18.66	11.46	0.10	0.34	11.90
F2	28.35	8.12	<0.025	0.19	8.31
F3	27.13	19.48	0.34	1.12	20.94
F4	12.47	19.99	<0.025	3.62	23.62
F5	27.19	0.14	0.06	0.03	0.23

그 외 포항공대에서 수행된 사람 혈액에서의 PBDEs 분석은 소각장에서 근무하는 근로자 8명과 인근 주민 11명(남자 4명, 여자 7명)을 대상으로 실시되었다. 이 분석결과는 소각장이라는 특정 지역을 대상으로 실시되었고, 분석대상이 총 19명에 불과해 전체 국민의 PBDEs 오염실태 현황을 파악하기에 부족하다고 사료된다. 따라서 향후 사람의 혈액 및 모유에서의 브롬화 방염제 잔류실태 및 오염원 확인조사가 좀 더 심도있게 수행되어야 할 것이다. 혈액에서의 분석결과를 살펴보면, 우선 대상자의 혈액에서 tetra-, hexa-, heptaBDE가 주로 검출되었으며 그 농도는 0.07 - 7.7ng/g lipid로 PBDEs 종류별로 많은 편차를 보였다. 혈액 중 PBDEs 농도는 소각장 근로자가 일반 주민에 비해 높았고, 일반 주민에서는 남자가 여자에 비해 다소 높은 농도를 보였다<그림 V-1 및 그림 V-2>. 이와 같은 결과는 여러 가지 문제점(적은 샘플수와 제한된 대상지역)으로 인해 그 원인은 확인하기 어려우나, 근로자의 경우 직업적인 노출에 의한 일반 주민보다 높은 오염도를 나타낸 것으로 추정된다. 또한 남녀의 성별 차이는 여성의 수유 과정에 의해 PBDEs가 모유를 통해 체외로 배출되어 발생된 것으로 의심된다. 그 외 각각의 이성질체 분포 경향을 살펴보면, 일반적인 생물체에서의 경향과 비슷한 것으로 나타났다. 일반적으로 생물체의 경우, BDE-47, 99, 100의 tetra-, pentaBDE가 가장 많은 비율을 차지하며, 이는 생물막에 의한 선택적인 흡수, 생체 내에서의 대사 과정 등에 기인하는 것으로 알려져 있으며 이 연구결과에서도 비슷한 경향이 확인되었다. 이 중 tetraBDE(BDE-47)가 가장 큰 비율(약 33%)을 차지하였고, 소각장 근로자의 경우 heptaBDE(BDE-183)와 hexaBDE(BDE-153) 순으로, 일반 주민의 경우 hexaBDE(BDE-153)와 heptaBDE(BDE-183)으로 높게 나타났다.

이 외에도 국내에서는 일부 브롬화 방염제에 대한 위해성 시험이 실시된 바 있는데, 이는 환경부의 기존화학물질 안전성평가계획의 일환으로 수행되었다. 브롬화 방염제 중 decabromodiphenyl oxide는 1988년에, tetrabromo- bisphenol-A(TBBPA)는 1989년에, octabromodiphenyl oxide는 1992년에, tribromophenol은 1999년에 각각 안전성시험이 실시된 바 있으나, 모든 물질에서 유독물로 지정될만한 위해성은 발견되지 않았다. 그러나 현재 미국과 EU 국가를 중심으로 pentaBDE 등 PBDEs 방염제에 대한 보다 엄격한 위해성 시험이 실시되고 있으며, 그 결과 pentaBDE는 PBBs와 유사한 수준의 독성이 확인되기도 하였다. 따라서 향후 EU의 위해성평가에 대한 최종결과가 나오는 대로, 우리나라에서도 이들 물질의 위해성평가 및 관리계획이 수립하여야 할 것이다.



<그림 V-1> PBDEs의 농도 평균 비교(근로자, 일반주민)



<그림 V-2> PBDEs 농도 비교 (남자, 여자)

4. 방염제 사용에 대한 국내 관련규정

국내 방염제의 사용대상 및 사용기준은 소방법에 명시되어 있으며, 동법 제 11조에 따라 방염처리가 의무화된 대상은 대통령령이 정하는 특수장소²⁰⁾와 대통령령이 정하는 방염대상물품(커튼, 실내장식물(단, 종이벽지는 제외), 카펫, 합판 또는 섬유판) 등이다. 한편 동법 시행령 36조에는 이용시 행정자치부 장관의 형식승인이 필요한 방염제에 대한 정의가 명시되어 있으며, 이는 다음 <표 V-5>과 같다. 위와 같이 정의된 방염제들을 이용하여 방염 성능의 기준을 만족시키는 방염화 방법을 선택하는 것은 신청자가 제시하는 방법에 의한다. 이때 방염성능의 기준은 소방법 제11조 제2항의 규정에 의해 <표 V-6>

20) ① 아파트를 제외한 건축물로서 층수가 11층 이상인 것 ② 안마시술소, 헬스클럽장, 특수목욕장, 관람집회 및 운동시설(건축물의 옥내에 있는 것에 한하되, 수영장을 제외한다), 일반숙박시설 중 호텔, 관광숙박시설, 종합병원, 방송국, 촬영소 및 전시장 ③ 층수가 3층 이상인 건축물에 설치된 여관으로서 객실이 30실 이상인 것

의 각 호의 수치안에서 물품의 종류에 따라 행정자치부장관이 정하여 고시한다. 이와 같은 방염제의 사용 기준을 제시하는 것 외에도 방염제의 사용 및 보관의 제한에 대한 내용도 소방법에 포함되어 있다. 2000년 4월 26일에 신설된 『방염제의 형식승인 및 검정기술 기준』 고시를 보면 합성수지류를 주원료로 하는 방염제에 한하여 방염화 대상물의 표면에 두께 0.4mm이상 도포해서는 안된다고 규정되어 있다.

한편 전기용품은 화재예방을 위해 방염제를 사용한 절연처리를 하게 되는데, 이에 대한 사용기준은 소방법이 아닌 『전기용품기술기준²¹⁾』에 명시되어 있다. 전기용품 기술기준에서는 절연물 시험기준을 추가하여 외곽용 합성수지재료의 수평연소시험(1997. 7. 1부터), 열가소성 플라스틱의 불푸레셔시험(1998. 1.1부터), 절연물의 『사용온도 상한치시험(2001. 1.1부터)』을 실시할 것을 규정하였다. 또한 절연물 시험을 효율적으로 수행하기 위해 절연물 생산자가 등록기관에 등록함으로써 절연물시험을 생략하는 등의 사항을 제시하고 있다.

그 외 『양탄자류 안전검사기준²²⁾』, 『종이벽지 및 종이장판지 안전검사기준²³⁾』, 『유아용침대 안전시험기준²⁴⁾』 등에 제품의 방염성능 및 방염성 시험법이 명시되어 있다.

<표 V-5> 소방법 상의 방염제 정의

방염제	정 의
방염액	가연성재료에 대해 형상 등을 변화시키지 아니하고 방염화하기 위하여 방염성이 있는 물질을 물 또는 용제에 용해하여 만든 액체
방염도료	가연성재료에 대해 형상 등을 변화시키지 아니하고 방염화하기 위하여 방염성이 있는 물질을 도료와 혼합한 것
방염성물질	가연성재료에 대해 형상 등을 변화시키지 아니하고 방염화하기 위하여 방염성이 있는 물질을 고체 또는 분말형태로 만든 것

<표 V-6> 국내 방염성능의 기준

1. 버너의 불꽃을 제거한 때부터 불꽃을 올리며 연소하는 상태가 그칠 때까지 시간은 20초이내
2. 버너의 불꽃을 제거한 때부터 불꽃을 올리지 아니하고 연소하는 상태가 그칠 때까지 시간은 30초이내
3. 탄화한 면적은 50제곱센티미터이내, 탄화한 길이는 20센티미터이내
4. 불꽃에 의하여 완전히 녹을 때까지 불꽃의 접촉횟수는 3회이상

21) 국립기술품질원 고시 제98-197호
 22) 통상산업부고시 제 1996-320호
 23) 공업진흥청고시 제 1993-137호
 24) 기술표준원고시 제 2001-369호

5. 방염제의 국내 규제내용

방염제로 사용되는 주요 화학물질은 다른 화학물질과 마찬가지로 환경부의 『유해화학물질관리법』에 의해 관리되고 있다. 동 법에 의해 우선 가장 대표적인 브롬화 방염제인 PBBs계통은 이미 발암성 등 위해성이 확인되어 1999년 9월에 제조·수입 또는 사용을 금지하거나 제한하는 물질 목록에 고시되었으며, 고시 이후 6개월 경과한 시점인 2000년 3월부터 본격적으로 시행되었다²⁵⁾. 또한 방염제로 사용되는 tris(2,3-di-bromopropyl phosphate) 역시 발암물질로 밝혀져, PBBs와 마찬가지로 유독물로 지정되었다(표 V-7).

- ① PBBs와 이를 1% 이상 함유한 혼합물질
- ② tris(2,3-di-bromopropyl phosphate) 및 이를 0.1% 이상 함유한 혼합물질

이 중 Tris(2,3-dibromopropyl phosphate)는 『유해물질함유 섬유제품 안전검사기준²⁶⁾』에 의해 잠옷류와 침구류에서 검출되어서는 안 된다고 명시되어 있다.

〈표 V-7〉 유해화학물질관리법상의 브롬화 방염제 규제내용

고유번호	화학물질의 명칭	유해성	취급시 주의사항	유해그림
99-1-4 98	트리스(2,3-디브로모프로필)포스페이트 [Tris(2,3-dibromopropyl)phosphate; 126-72-7] 및 이를 0.1%이상 함유한 혼합물질	<ul style="list-style-type: none"> • 삼키면 유해함 • 암을 일으킬 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 적절한 보호복과 안면보호구를 착용할 것 • 사고시 혹은 불쾌감을 느끼면 즉시 의사의 검진을 받을 것 (가능하면 표시문을 보여줄 것) 	
99-1-5 02	피비비 [PBBs; 59536-65-1] 및 이를 0.1%이상 함유한 혼합물질	<ul style="list-style-type: none"> • 암을 일으킬 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 분진을 호흡하지 말 것 • 사고시 혹은 불쾌감을 느끼면 즉시 의사의 검진을 받을 것 (가능하면 표시문을 보여줄 것) 	

일부 브롬화 방염제에 오염된 폐기물은 국가간 이동이 엄격히 금지되고 있다. 이에 우리나라도 바젤협약과 OECD의 규정을 감안하여 『폐기물 국가간 이동 및 그 처리에 관한 법률시행령』 제2조 제2항의 규정에 의한 『폐기물의 국가간 이동 및 그 처리에 관한 법률적용 대상폐기물의 품목²⁷⁾』을 개정·고시하여 운영하고 있다. 해당폐기물은 수출입에 관련한 업무의 지침으로 이용될 수 있는 적색(Red)과 황색(Amber)폐기물로 나뉘는데, 현재 PBBs는 적색폐기물에 속한다. 적색폐기물의 경우에는 RA에서 RC까지 3종류로 분류되는데, PBBs는 주로 유기성분을 함유한 폐기물인 RA에 포함된다. PBBs가 포함된 적색폐기물의 국가간 이동시 재생을 위한 사전적 동의는 불가능하고, 해당 관련자의 특정 요구조건에 따라

25) 환경부 고시 제 1999-141호

26) 국립기술품질원고시 제1999-56호

27) 환경부고시 제1998-78호, 1998. 7. 15

수입국과 경유국으로부터 서면 동의를 받아야 한다. 또한 『폐기물의 국가간 이동 및 그 처리에 관한 법률』에 의해 해당폐기물의 처리가 국가간에 이루어질 때, 해당 폐기물이 적색폐기물 또는 황색폐기물에 해당되는지의 여부를 확인해야 한다²⁸⁾.

6. 국내 관리정책의 문제점

지금까지 살펴본 브롬화 방염제에 대한 국내외 관리동향을 비교해 보면 우리나라의 관리수준이 매우 낮음을 알 수 있다. 우리나라는 본격적으로 브롬화 방염제에 대한 관리를 시작한 시기가 1999년(2000년부터 시행됨)이므로, 아직 이들 물질의 위해성을 제대로 관리하기에는 관리정책상에 많은 문제점을 안고 있다. 따라서 다음과 같이 국내 브롬화 방염제 관리의 세가지 문제점을 지적하고, 이를 통해 관리의 시급함을 지적하고자 한다.

6.1 방염제 위해성에 대한 국민노출 저감방안 미비

현재 국내에서 관리되는 브롬화 방염제는 PBBs와 Tris(2,3-dibromo-propyl phosphate)에 국한되어 있다. 이들 물질의 사용제한은 1999년도에 이루어져 아직 실생활에서 사용하고 있는 많은 제품들에 이들 물질이 포함되어 있다. 특히 브롬화 방염제가 주로 사용되는 전기·전자제품이 많은 사무실의 경우, 유해한 방염제 성분이 실내공기질로 지속적으로 방출되어 근로자의 건강을 위협하고 있다.

PBDEs의 경우 PBBs에 비해 비교적 안전하다고 인식되어 왔으나, 최근 EU에서 실시한 위해성평가 결과 PBDEs중 pentaBDE는 PBBs와 거의 유사한 수준의 위해성이 확인되었다. 또한 octa-와 decaBDE의 위해성 평가는 아직 진행중이라 그 위해정도를 판단할 수는 없으나, pentaBDE는 그 자체로도 방염제로 사용되지만 주로 octa- 또는 decaBDE의 합성시에 일부 포함되기도 하고 또 이들 브롬수가 많은 화합물로부터 분해되어 방출된다. 따라서 그 위해성이 확인된 pentaBDE의 적절한 관리를 위해서는 이 물질 자체만의 규제뿐만 아니라 PBDEs 전체의 규제가 요구된다. 이에 스웨덴, 덴마크 등은 2003년부터 PBDEs 또는 브롬화 방염제 전체의 사용을 금지하고자 하는 법안을 이미 마련하였다. 반면 우리나라에서는 아직 PBDEs가 아무런 규제없이 사용되고 있는 실정이다. 이에 우리나라도 PBDEs를 포함한 브롬화 방염제의 점진적인 사용저감을 통해 국민의 건강을 보호할 수 있는 다양한 정책적 수단이 요구된다.

6.2 관련협약에 대한 국내이행 준비 부족

2001년 5월 스웨덴 스톡홀름에서 체결된 UNEP의 『잔류성 유기오염물질(POPs²⁹⁾) 대한 스톡홀름 협약』은 환경중에서 쉽게 분해되지 않고 먹이사슬을 통한 생물농축성이 매우 강한 독성물질을 국제적으로 규제하고자 마련된 협약이다. 현재 이 협약의 대상물질은 DDT 등 유기염소계 농약 8종, 다이옥신 등 부산물 3종, PCBs 등 산업용 화학물질 1종 등 총 12종의 유해화학물질이 관리대상으로 지정되어 있다.

28) OECD 적색폐기물(Red Lists of Wastes)/바젤협약 폐기물목록A3180 : 한가지 이상의 유해특성을 가지는 폐기물로 황색폐기물보다 엄격한 통제가 요구되는 폐기물 (예) PCB, PBBs함유폐기물, 석면, 세라믹 섬유 등)

29) Persistent Organic Pollutants

이 협약에서 아직 관리대상에는 포함되어 있지는 않으나 추후 관리대상의 유력한 후보물질 중 하나가 PBBs이다. 또한 유해화학물질³⁰⁾로부터 북대서양 해양환경을 보호하고자 1992년 채택된 OSPAR 협약의 우선조치 대상물질에는 브롬화 방염제 전체가 포함되어 있으며, 스웨덴에서도 POPs 물질로 PBBs 뿐 아니라 PBDEs까지도 포함키고 있다.

UNEP의 POPs 협약 체결 이후, 우리나라에서는 환경부를 중심으로 다이옥신, 퓨란, 헥사클로로벤젠 등 부산물의 배출원 확인 및 배출량 조사사업을 실시중이며, 향후 POPs 물질의 국내 비축현황(stockpile) 및 폐기물 배출현황 등을 조사할 예정이다. 수년 전부터 POPs 협약 체결이 유력시되는 가운데에서도 이들 POPs 물질에 대한 기초조사 등 협약 이행을 위한 준비를 소홀히 하는 바람에 현재 국가 이행계획을 수립하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 협약의 추가 관리대상물질로 확실시되는 PBBs에 대해서는 기존의 POPs 물질 관련사업의 추진시에 사전에 필요한 연구를 함께 수행하는 것이 바람직하다.

6.3 선진국 규제강화와 미흡한 국내 산업체의 대응

스웨덴과 덴마크, 독일 등을 중심으로 강하게 대두되고 있는 브롬화 방염제 사용제한 조치가 EU 국가 전체로 확산될 가능성이 매우 높다. 그 이유는 EU에서 실시하고 있는 브롬화 방염제의 위해성 평가결과 PBDEs의 높은 위해성이 확인되고 있기 때문이다. 특히 2003년 이후에는 스웨덴에서 수입되는 제품에서는 PBDEs가, 덴마크에서는 브롬화 방염제 전체가 검출되어서는 안 된다. 따라서 PBDEs의 규제는 거의 확실시되고 있으며, 그 대상이 앞으로 브롬화 방염제 전체로 확산될 가능성이 매우 높다.

현재 우리나라에서 사용되는 방염제 시장규모 및 종류 등에 대한 정확한 조사가 이루어지지 않아 그 규모를 파악하기 어려우나, 저렴한 비용과 높은 효과로 인해 국내에서 브롬화 방염제가 다량 사용되고 있음이 확인되었다(<표 V-1> 참조). 빠르면 2003년부터 북유럽 국가를 대상으로 하는 수출제품에는 브롬화 방염제 대신 다른 대체물질을 사용하여야 할 것이다. 그러나 이에 대한 관련정부부처와 산업체의 대응전략 준비가 매우 미흡한 것으로 밝혀졌다. 따라서 향후 무역장벽으로 떠오를 브롬화 방염제의 국제적 규제 강화에 적극적으로 대처할 수 있는 대응전략을 수립함으로써, 이로 인한 경제적 손실을 사전에 예방할 수 있도록 하여야 할 것이다.

30) 다이옥신, 퓨란, PCBs 등 주요 POPs 물질이 포함되어 있음

VI. 브롬화 방염제의 효과적 관리방안

지금까지 살펴본 브롬화 방염제의 위해성과 환경중으로의 배출, 이와 관련된 국내외 관리동향을 살펴본 결과, 선진국의 규제정책은 크게 브롬화 방염제 및 방염제품의 생산단계, 방염제품의 사용단계, 폐기물 처리단계 등 3단계로 나뉘어 실시되고 있다. 또한 방염제의 규제대상별로 살펴보면 PBBs에 국한하여 규제하는 국가(미국, 프랑스, 한국 등), PBBs와 PBDEs를 규제하는 국가(EU, OECD, 스웨덴 등), 브롬화 방염제 전체를 규제하는 국가(덴마크)로 분류할 수 있다.

PBBs는 일찍이 그 위해성이 확인되어 우리나라를 위시한 많은 국가에서 엄격히 사용을 제한하고 있다. 그러나 최근에는 WWF(세계야생생물보호기금)와 미국 EPA에 의해 내분비계 장애물질로 분류되었으며, 2000년 5월 체결된 『잔류성 유기오염물질에 대한 스톡홀름협약』의 추가 대상물질로 확정될 가능성이 매우 높다. 따라서 이미 국내에서 사용이 금지된 물질이라 하더라도 협약을 대비한 대응전략이 요구된다.

PBDEs 등 다른 브롬화 방염제는 그동안 PBBs에 비해 비교적 안전한 물질로 인식되어 왔으나, 최근 EU를 중심으로 위해성 확인과정이 진행되고 있다. PentaBDE 등의 일부 방염물질은 PBBs 수준의 위해성이 확인되어 EU 국가를 중심으로 사용을 제한하고 있으며, 특히 스웨덴 등 북유럽 국가들은 이미 2003년부터 자국내 사용금지는 물론 수입되는 모든 제품에서도 철저히 사용을 제한할 예정이다. 따라서 다소 시일이 걸릴지라도 PBDEs를 위시한 브롬화 방염제의 국제적인 사용제한은 이루어질 것으로 예상된다. 이에 이미 사용이 중지된 PBBs, 사용규제 강화가 예상되는 PBDEs, 그 외 모든 브롬화 방염제의 사용을 저감하여 국민의 건강과 환경으로 보호하고자 다음과 같은 정책적 대안을 사용단계별로 나누어 제시하고자 한다.

1. 생산단계에서의 관리정책

비록 브롬화 방염제의 대부분이 수입되고는 있으나, 일부 물질은 국내에서 생산되고 있다. 이와 같은 방염제 생산공정 이외에도 방염물질을 이용하여 방염처리하는 공정과 최종제품의 생산공정에서 방염제가 환경중으로 방출될 수 있다. 따라서 이들 생산공정에서의 관리정책을 다음과 같이 도출하였다.

1.1. 『유해화학물질관리법』 상의 관리방안

현재 환경부의 『유해화학물질관리법』 상에서 관리되는 브롬화 방염제는 PBBs와 Tris(2,3-dibromopropyl phosphate)에 불과하다. 그러나 PBDEs 중 pentaBDEs는 EU의 위해성평가를 통해 이미 그 위해성이 확인되어 2003년 1월부터 사용을 금지할 예정이다. 나머지 PBDEs 물질에 대한 EU의 위해성평가 역시 진행중이며, 그 결과에 상관없이 북유럽 국가들을 PBDEs를 포함한 브롬화 방염제 전체를 사용 제한할 예정이다. 다른 국가들은 환경표지 및 엄격한 생산공정관리를 통해 간접적인

규제를 실시하고 있어, 사실상 PBDEs의 사용제한은 전세계적으로 확산되고 있는 추세이다.

우리나라에서의 방염제 사용현황은 1997년 CIS(Cheical Information Service)사에서 발간한 “국내 난연제 시장 및 환경규제 현황”에 일부 조사내용이 언급되어 있으나, 국가적인 차원에서의 조사는 이루어진 바가 없다. 따라서 브롬화 방염제의 관리방안을 마련하기 위하여는 사용현황에 대한 기초조사가 가장 시급하다. 우선 CIS사에서 조사한 1997년도 자료를 살펴보면 국내에 pentaBDE는 거의 사용되지 않고 주로 octaBDE와 decaBDE가 사용되는 것으로 나타났다. 비록 pentaBDE가 국내에서 거의 사용되지 않는다 하여도, 그 위해성이 PBBs 수준인 것으로 확인된 이상 우선 이 물질을 사용제한 물질로 지정하는 바람직하다. 특히 아직 위해성이 확인되지 않은 octaBDE와 decaBDE의 분해를 통해 pentaBDE가 환경중으로 배출되므로, 환경중으로의 pentaBDE의 배출을 저감하기 위하여는 반드시 octaBDE와 decaBDE의 규제도 함께 이루어져야 한다. 이들 두 물질의 규제는 영국에서 수행중인 EU의 위해성 평가결과가 확인되는 2001년 이후에 그 규제수위를 정하는 것이 바람직하다<표 VI-1>.

그러나 지금까지 국내외에서 확인된 이들 물질의 독성자료를 살펴보면 유해화학물질관리법에 의해 유독물 또는 관찰물질 지정이 가능함을 알 수 있다<표 VI-2>. 즉, 『유해화학물질관리법시행령』 제 2조에 의한 유독물 및 관찰물질의 지정기준은 <부록 IV>와 같은데, 현재 이 기준을 통해 주요 PBDEs(penta-, octa-, deca-) 및 TBBPA가 유독물 및 관찰물질에 포함될 수 있음을 알 수 있다. 따라서 향후 EU의 위해성 연구결과와 함께, 국내에서 심도있는 위해성평가를 실시하여 적절한 관리기준을 수립되어야 할 것으로 사료된다.

<표 VI-1> 브롬화 방염제의 연차별 규제계획(안)

종류		규제내용	규제시기
PBBs		○ POPs 협약에 대한 대응전략 수립	○ 2002년 이후
PBDEs	pentaBDE	○ 사용제한	○ 2003년 이후
	octa & decaBDE	○ EU 위해성평가 결과에 따라 규제정책 수립 ○ 점진적인 사용저감대책 마련	○ 2002년 이후
TBBPA 등 브롬화 방염제		○ 점진적인 사용저감대책 마련 ○ 북유럽국가에 수출품목에서 사용제한(2003년 이후)	○ 2002년 이후 ○ 2003년 이후

<표 VI-2> 브롬화 방염제의 유독물 및 관찰물질 지정가능성

물질명	위해성 평가 결과	관련 유독물 및 관찰물질 지정기준(부록 IV)
pentaBDE	<ul style="list-style-type: none"> • 잉어를 대상으로 8주 동안 실험한 결과 BCF가 10,000 이상이었음¹⁾ • BCF가 5,000-35,000이었고, 쥐를 대상으로 실험한 결과 간에 손상을 입힘²⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> • 유독물기준(7) : 어류에 대한 생물농축계수가 500이상인 물질로서 28일 반복투여독성시험 결과 최대무작용량이 10mg/kg/day이하이거나 보다 장기간의 시험에서 간·신장등에 특이한 영향을 주는 것으로 확인된 화학물질
octaBDE	<ul style="list-style-type: none"> • 쥐에 대한 흡입독성 LC50이 >50mg/L 였음¹⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> • 유독물기준(3) : 기체 또는 증기로 노출시킨 경우 설치류에 대한 급성 흡입독성시험에서 시험동물의 반수를 죽일수 있는 농도(LC50, 4hr)가 2,500ppm 이하인 화학물질
decaBDE	<ul style="list-style-type: none"> • 쥐에 대해 77.4% 순도의 decaBDE로 30일간 경구독성 실험한 결과 NOAEL 이 8mg/kg/day였음 (기간이 2년일 경우에는 1mg/kg/day)³⁾ • 쥐에 대해 94-97% 순도의 decaBDE로 103주 동안 경구독성 시험한 결과 liver centrilobular hypertrophy (mice에 대해) 및 liver thrombosis(간혈전증, rat에 대해)을 나타냄³⁾ • decaBDE에 장기간 노출되었을 때 간암을 유발할 가능성이 있는 것으로 나타남⁴⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> • 유독물기준(7): 어류에 대한 생물농축계수가 500이상인 물질로서 28일 반복투여독성시험 결과 최대무작용량이 10 mg/kg/day이하이거나 보다 장기간의 시험에서 간·신장등에 특이한 영향을 주는 것으로 확인된 화학물질

<표 VI-2> 브롬화 방염제의 유독물 및 관찰물질 지정가능성(계속)

물질명	위해성 평가 결과	관련 유독물 및 관찰물질 지정기준(부록 IV)
TBBPA	<ul style="list-style-type: none"> • 수서척추동물(bluegill sunfish, 무지개송어, fathead minnow)에 대해 96시간 동안 급성독성 실험결과 LC50이 각각 0.51, 0.40, 0.54 mg/L 였음⁵⁾ • 수서 무척추동물과 척추동물을 대상으로 실험한 결과 BCF가 20-3,200이었음⁶⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> • 유독물기준(6) : 어류에 대한 독성시험에서 시험어류의 반수를 죽일 수 있는 농도(LC50, 96hr)가 1.0mg/ℓ 이하인 화학물질 • 유독물기준(7) : 어류에 대한 생물농축계수가 500이상인 물질로서 28일 반복투여독성시험 결과 최대무작용량이 10mg/kg/day이하이거나 보다 장기간의 시험에서 간·신장 등에 특이한 영향을 주는 것으로 확인된 화학물질

자료 : 1) WHO, 1994 ; 2) Sweden, 1999 ; 3) US National Research Council, 1999 ; 4) EU 1997 ; 5) BFR 2001 Stockholm, 2001; 6) OECD, 1994

주 : 참고문헌에서 제시한 자료의 한계로 인해, 「유독물 및 관찰물질 지정기준」 중 일부 기준(실험기간 등)의 적합성 여부를 판단할 수는 없었다.

1.2 다이옥신 혼재가능물질의 관리

우리나라에서의 다이옥신 관리가 소각시설에서 발생하는 부산물에 국한되어, 유해화학물질 자체로서의 다이옥신 관리정책은 없는 실정이다. 이에 환경부에서는 현재 『다이옥신 등 특정유해화학물질 관리법(가칭)』의 제정을 준비하고 있다.

한편 미국의 유해물질관리법(Toxic Substances Control Act, TSCA)은 유해화학물질로서의 다이옥신 뿐 아니라 다이옥신과 관련된 화학물질을 관리하고 있다. 즉, 다이옥신/퓨란이 혼재될 가능성이 있는 물질과 최종산물에 다이옥신/퓨란이 생성될 가능성이 있는 전구물질을 선정하여, 이들 물질에 대해서는 좀 더 엄격한 규제를 실시하고 있다. 이들 물질목록에는 PBDEs와 TBBPA 등 국내에서 사용되고 있는 주요 브롬화 방염제가 대부분 포함되어있다. 이는 브롬화 방염제가 다이옥신 혼재가능성으로 인해 그 위해성이 다이옥신 수준으로 매우 크다는 것으로 의미한다. 따라서 미국에서는 브롬화 방염제에 대한 규제가 다이옥신 관리정책의 일환으로 간접적으로 실시되고 있다. 독일 역시 다이옥신 관리법에 tetra-, penta-, hexaBDD/F를 규제함으로써, 간접적으로 이들 물질을 생산하는 브롬화 방염제를 규제하고 있다.

그러나 우리나라 환경부의 『다이옥신 등 특정유해화학물질 관리법(가칭)』은 기본적으로 POPs 협약에서 요구하는 국제적 요구사항을 이행하기 위해 제정되는 법으로, 비록 다이옥신 관리법이지만 다이옥신이 포함될 가능성이 있는 화학물질은 관리대상에서 제외되어 있다. 국내의 유해화학물질관리법에서 다이옥신이 대상물질이 아닌 현 시점에서, 동법에 의해 브롬화 방염제를 포함한 다이옥신 관련 화학물질의 규제를 실시하기는 사실상 어려움이 많다. 따라서 『유해화학물질관리법』이 아닌 『다이옥신 등 특정유해화학물질관리법(가칭)』의 관리 대상물질을 확대하여 다이옥신과 관련된 화학물질도 포함시켜야 할 것이다. 이를 통해 대부분의 브롬화 방염제에 대한 위해성 관리가 될 것으로 사료된다.

1.3 최적가용기술(BAT)의 개발

브롬화 방염제의 환경중으로의 배출을 최대한 억제하기 위하여는 주요 공정별로 적절한 BAT가 요구된다. OECD는 브롬화 방염제로 인한 환경오염을 최소화하기 위해 제조 및 취급공정에서 BAT를 적용하도록 권고하고 있다. 현재 환경중으로의 브롬화 방염제 배출을 억제하기 위해 산업체에서 적용되고 있는 주요 BAT는 다음과 같다.

Albemarle 사는 공정중의 비공정수는 인공습지에서 생물학적 처리를 하고, 공정수는 브롬재생 설비를 통해 브롬을 재생시켜 재사용하고 있다. 또한 충전(filling) 및 포장된 물질의 운송과 관련된 오염된 먼지의 발생을 최소화하기 위하여 방염제 포장구역의 관리를 철저히 하고 포장형태를 개선하였다. Great Lakes 사는 TBBPA 공장에서 폐기물의 최소화를 위한 BAT를 적용하고 있으며, octaBDE 공정에 특수 필터세척단계를 개발·적용하여 필터에 포함된 브롬화 방염제의 재생을 하고 있다. Bromine Compounds 사는 활성탄소 재생시스템을 도입하여 TBBPA 공정에서 대기중으로 방출되는 브롬화합물을 최소화하였으며, 포장 단계에 발생가능한 먼지제거시스템의 개발로 근로자의 노출을 최소화하였다.

우리나라는 아직 브롬화 방염제 사용현황이나 공정이 정확히 조사되지 않아, 각 공정별 BAT의 적용

이 매우 어렵다. 따라서 OECD 권고사항인 BAT를 통한 브롬화 방염제의 환경중 배출저감을 위하여는 우선 국내 브롬화 방염제의 사용현황에 대한 기초조사가 수반되어야 하며, 그 후 적용가능한 BAT를 개발하여야 할 것이다. 최신의 BAT 개발현황은 부록 II에 정리된 OECD의 자발적 이행을 위해 산업체가 제출한 보고서를 참조하여 파악할 수 있다.

1.4 대체물질 개발 및 적용

브롬화 방염제의 높은 위해성으로 국제적으로 규제가 강화되기 시작한 1990년대부터 선진국에서는 대체물질 개발에 많은 노력을 기울여 왔다. 일부 국가에서는 브롬화 방염제 뿐 아니라 할로젠 방염제의 사용을 제한하는 의견도 제기되고 있어 비할로젠 대체물질이 최근 들어 많이 사용되고 있다. 일반적으로 대체물질을 개발할 때 다음과 같은 기준을 고려하고 있다.

- 첫째, 생산 중 무해할 것
- 둘째, 최소한의 인체독성
- 셋째, 제품사용시 환경중으로의 배출 최소화
- 넷째, 연소시 유해한 연기 형성을 억제시킬 것
- 다섯째, 최소한의 환경독성
- 여섯째, 연소 중 유해한 물질 형성의 최소화
- 일곱째, 재활용가능
- 여덟째, 분해가능
- 아홉째, 안전한 화학물질로 분해가능

브롬화 방염제의 대체물질은 다음 <표 VI-3>에서와 같이 PBT/PET 제품을 제외하곤 대부분의 제품에 활용가능하다. 그러나 비할로젠 방염제보다 대체로 가격이 비싸, 유럽에서는 할로젠 비함유 제품에 적용되는 환경표지 부착제품 등에 주로 사용되고 있다.

브롬화 방염제의 대체물질로는 <표 VI-4>에서와 같이 유기인계, 무기계 및 질소함유 방염제로 나뉘는데, 이들 대체물질의 물리·화학적 특성과 위해성 평가 결과는 부록 III에 정리하였다. 대부분의 국가에서 염소계 방염제를 브롬화 방염제의 대체물질로 사용하나, 덴마크 등에서는 염소계 방염제의 사용도 금지하고 있어 <표 VI-4>의 대체물질 종류에서는 이를 제외하였다.

전세계적인 브롬화 방염제의 규제강화에 따라 우리나라 산업체에서도 이들 대체물질 개발 및 적용을 서둘러야 할 것이다. 특히 외국에서는 PBDEs 뿐 아니라 TBBPA를 포함한 모든 브롬화 방염제로 규제 대상이 확대되고 있는데, 아직 우리나라에서는 TBBPA의 사용량이 브롬화 방염제의 약 50% 이상으로 매우 많다. 따라서 국내 관련 산업체에서도 <부록 III>에서 정리한 비용과 효과면에서 효율적인 브롬화 방염제의 대체물질 사용을 활성화하고, 그 외 각 제품별 대체물질 개발에 적극 동참하여 향후 발생가능한 무역상의 문제를 사전에 예방하여야 할 것이다.

〈표 VI-3〉 할로겐 비함유물질/제품의 이용가능성

제품	상업적인 할로겐 비함유 물질	브롬화 방염제 함유물질과의 가격비교	상업적인 할로겐 비함유 제품
	+ : 이용가능 (+) : 경우에 따라 이용가능 - : 이용불가능	= : 비용이 거의 같음 > : 더 높은 비용 >>: 2배 이상 높은 비용	+ : 이용가능 (+) : 경우에 따라 이용가능 - : 이용불가능
인쇄회로판에 사용되는 에폭시 함유 합판	+	>>*	+
인쇄회로판에 사용되는 페놀 함유합판	+	=	+
전자제품 케이스	+	>	+
전자장치 차단재	(+)	>	(+)
PBT/PET	-	-	-
폴리아미드	+	=	(+)
벽 소켓과 외장 상자	+	>	+
고무 케이블	(+)	>	(+)
기타 케이블	+	>	+
백열전등과 형광등 소켓	+	>	+
냉장창고, 냉동실 단열재	+	=	(+)
건설, 주차장 바닥 단열재 등	+	=	+
보호의류	+	다양함	+
가구에 쓰이는 직물	+	다양함	+
가구에 쓰이는 발포고무	+	=	+

자료 : Danish EPA, 1999

* 1999년 봄까지 조사한 결과 에폭시 함유 제품은 상업적으로 판매되고 있는 브롬화 방염제 함유 제품보다 30% 비싼 것으로 추정되었다.

〈표 VI-4〉 브롬화 방염제의 대체제 종류

방염제 종류	
유기인계	<ul style="list-style-type: none"> ○ Triphenyl phosphate ○ Tricresyl phosphate ○ Resorcinol bis(diphenylphosphate) ○ Phosphonic acid, (2-((hydroxymethyl) carbamyl) ethyl) dimethyl ester ○ Phosphorus and nitrogen constituents for thermosets
무기계	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aluminium trihydroxide ○ Magnesium hydroxide ○ Ammonium polyphosphate ○ Red phosphorus ○ Zinc Borate
질소함유 방염제	<ul style="list-style-type: none"> ○ Melamine

자료 : Danish EPA, 1999

1.5 잔류성 유기오염물질(POPs) 관리정책과의 연계

앞에서 서술한 바와 같이 PBBs는 POPs 협약의 가장 유력한 후보대상물질이다. 그동안 사전준비 차원에서 실시하던 POPs 관련 사업들이 2001년 스톡홀름 협약체결 이후에 본격적으로 진행되고 있다. 현재 환경부에서는 POPs 물질중 부산물에 대한 배출량 조사를 착수하였으며, 향후 “stock pile and waste” 조사사업을 착수할 계획이다. PBBs는 원료물질이므로 배출량 조사는 기존의 TRI 제도를 활용하여 대상물질에 포함시키는 방안이 있다. 그러나 관련 폐기물 현황 및 사용량/잔류실태 조사사업의 경우 현재 협약의 관리대상물질만을 대상으로 하기보다는 PBBs와 같은 후보물질도 함께 포함시켜 추진하는 것이 더욱 바람직하다. 이는 후보물질에 대한 협약 대응전략을 사전에 수립가능하며, 국가적인 차원에서도 전체 POPs 물질에 대한 국가이행계획 수립에 기초자료로 활용가능하다.

2. 사용단계에서의 관리정책

2.1 실내공기질 관리정책과의 연계

덴마크와 스웨덴 등의 국가에서 실시된 조사결과에 의하면 컴퓨터, 프린터 등 사무기기를 많이 사용하는 사무실의 실내공기가 브롬화 방염제에 의해 오염되어 있음이 확인되었다. 특히 반응형보다는 첨가형으로 처리된 브롬화 방염제의 방출량이 컸으며, 주로 전자제품 내의 먼지에 상당량의 방염성분이 검출되었다. 또한 대부분의 실내 건축자재는 방염처리가 의무화되어 있어, 이들 제품으로부터도 브롬화 방염제가 대기중으로 배출될 것으로 예측된다. 이와 같이 브롬화 방염제로 오염된 실내공기에 장기간 노출될 경우 간독성과 함께 발암가능성도 매우 커진다.

따라서 방염처리된 제품의 사용이 많은 대형빌딩 등 특정 시설에 대해서는 실내공기질 규제기준에 방염성분이 포함되어야 할 것이다. 이는 현재 환경부에서 입법예고한 『실내공기질관리법』에 시설특성에 따른 오염물질의 권고기균을 설정할 때 이를 고려하면 가능할 것으로 사료된다.

2.2 환경표지제도를 통한 간접규제

많은 국가에서 브롬화 방염제의 생산 및 사용금지 등의 직접적인 규제를 실시하는 한편, 환경표지 등 다른 제도를 통해 간접적으로 규제하고 있다. 브롬화 방염제가 일정 수준 이하 또는 전혀 없는 제품에 한해 환경표지의 부착을 허용함으로써, 산업체가 자발적으로 브롬화 방염제의 사용을 억제하도록 유도하고 있다. 다음 <표 VI-5> 예서와 같이 EU는 『EU Flower』 표지를 통해 컴퓨터와 모니터의 플라스틱 부품 및 전선에서 PBBs, PBDEs 등 브롬화 방염제의 수준이 25g이 넘지 않도록 규제하고 있다. 북유럽 국가를 대상으로 하는 환경표지는 방염처리가 필요한 거의 모든 제품을 대상으로 브롬화 방염제를 규제하고 있다. 건축자재로 사용되는 보드와 가구류에 대해서는 할로겐 방염제를 엄격히 규제하고 있다. 스웨덴 역시 자국의 환경표지 『TCO』와 북유럽국가의 『Nordic Swan』 제도를 통해 대부분의 제품에서 브롬화 방염제를 규제하고 있다. 가장 엄격하게 방염제를 규제하고 있는 독일의 경우 『Blue Angel』을 통해 규제대상을 브롬화 방염제에 국한시키는 것이 아니라 할로겐 방염제까지 확대하여 실시하고 있다. 즉, 『Blue Angel』 표지는 비할로겐 방염제가 처리된 제품에만 부착가능하다. 그 외에 스페인의 『AENOR Medio Ambiente』와 『El Distintiu』, 네덜란드의 『Milieukeur』, 오스트리아의 『Umweltzeichen』에서도 일부 제품에 대한 브롬화 방염제의 사용여부에 따라 환경표지 부착여부를 결정하고 있다.

이에 비해 우리나라의 환경표지제도에서는 1992년도에 도입된 제도로 2001년 11월까지 총 79개 제품군에서 총 310개 상품이 등록되어 있다. 환경표지제도란 사전에 제품군을 선정하고 동일제품들의 전과정을 고려하여 환경적으로 평가했을 때 개선효과가 상위 5 - 35%에 제품이 해당되도록 제품의 환경적 측면·품질적 측면·소비자정보 등 세 가지 부여기준을 마련한 후 이 기준에 만족하는 제품에 환경마크를 인증하여 주는 제도이다. 그러나 방염처리가 되는 건축자재, 전기전자제품, 페인트 등 대부분의 제품에서 인증시 방염물질에 대한 고려가 전혀 되고있지 않다. 따라서 방염처리 제품에 대한 인증기준에 브롬화 방염제의 수준을 설정한다면, 브롬화 방염제로부터의 사람의 건강을 보호할 수 있다. 외국과 같이 모든 브롬화 방염제를 대상으로 실시하기에는 관련 산업체에 대한 영향이 크므로, 우선 그 위해성이 확인된 일부 PBDEs에 대해 실시하고, 이를 점차 전체 브롬화 방염제로 확대하는 것이 바람직하다.

〈표 VI-5〉 환경표지제도를 통한 브롬화 방염제 규제현황

국가	환경표지	규제 내용
EU	『EU Flower』 	○ 컴퓨터와 모니터에 대해 브롬화 방염제 규제
북유럽	『Nordic Swan』 	○ 거의 모든 제품에 대한 브롬화 방염제 규제
스웨덴	『TCO』 	○ PBBs와 PBDEs 규제
독일	『Blue Angel』	○ 할로젠 방염제 규제
한국	『환경마크』 	○ 브롬화 방염제에 대한 아무런 규제가 없음

2.3 『품질경영 및 공산품안전관리법』 상의 관리방안

산업자원부의 『품질경영 및 공산품안전관리법』은 기업·공공기관·단체 등의 품질경영의 조성·지원에 관한 사항과 공산품의 안전관리에 관한 사항을 정함으로써 기업·공공기관·단체 등의 품질경쟁력을 강화하고 소비자의 이익과 안전을 도모하고자 제정되었다. 동법의 제 9조에 의하면 소비자의 생명·신체상의 위해, 재산상의 손해 또는 자연환경훼손의 우려가 있는 공산품중 산업자원부령이 정하는 공산품을 제조하는 자 또는 수입하는 자는 당해 공산품에 대해 산업자원부 장관이 지정하는 안전검사기관으로부터 안전검사를 받도록 명시하고 있다. 동법의 제 11조에는 안전검사 기준에 대해 언급하고 있으며, 안전검사대상 공산품별로 적용대상 및 종류, 성분·성능·규격 기타 안전에 관련된 사항, 검사방법, 표시

사항 및 방법 등을 검사한다.

동법에 의해 안전검사를 받는 제품중에는 종이벽지 및 종이장판, 유아용 침대, 양탄자 등에 대해서는 방염효과를 검사받게 되어 있다. 특히 유해물질 함유 섬유제품의 안전검사기준에는 잠옷과 침구류에서의 브롬화 방염제(TDBPP)가 검출되어서는 안된다고 명시되어 있다. 외국의 경우 섬유류에 대해 모든 브롬화 방염제의 함유량을 1% 이내로 규제하고 있다. 따라서 안전검사 대상 공산품 중 유해화학물질 함유 섬유제품 뿐 아니라 기타 방염제를 처리하는 다른 제품에 대해서도 브롬화 방염제의 함유기준을 선정하여 검사를 실시하는 것이 바람직하다. 이때 규제대상인 브롬화 방염제의 종류 및 함유량은 앞의 <표 VI-1>에서와 같이 추진한다.

3. 폐기단계에서의 관리정책

3.1 TRI 대상물질로 확대

2001년도 국내 TRI 제도의 대상 사업장은 23개 업종에서 전체 종업원수가 50인 이상인 사업장으로, 160개 화학물질에 대해 제조·사용 총량이 품목별로 연간 50톤 이상인 물질을 대상으로 조사되고 있다. 이 제도에 의해 현재 브롬화 방염제 중 배출량 조사는 decaBDE만이 조사대상으로 지정되어 있다.

미국의 경우 다이옥신 및 다이옥신 유사화합물(dioxin and dioxin like compounds)이 TRI 대상물질로 지정되어 있어, 다이옥신 혼재 가능성이 있는 PBDEs와 TBBPA 등 11종의 브롬화 방염제가 포함되어 있다.

한편 『유해화학물질관리법시행령』 제 11조의 2(배출량조사 화학물질)에는 TRI 대상 화학물질의 선정기준이 제시되어 있는데, 이 기준은 총 6개의 범주로 나뉜다. 이 범주에 따라 지정된 화학물질은 총 640여종이나, 이 중 국내에서 유통되고 있는 물질은 320여종으로 알려져 있다. 일단 TRI 대상물질로 선정된 화학물질은 화학물질별 취급량, 용도, 대기·수질·토양 등 환경으로의 직접배출량, 사업장 폐기물이나 폐수 등에 포함되어 사업장 외부로 이송되는 양 등이 조사·보고되어야 한다. TRI 대상 화학물질의 선정기준에 따르면 『유해화학물질관리법』 규정에 의한 유독물 및 관찰물질이 포함됨을 대상물질에 포함된다. 따라서 앞장에서 서술한 바와 같이 penta-, octa-, decaBDE 및 TBBPA는 그 위해성으로 인하여 유독물 또는 관찰물질로 지정될 가능성이 있으므로, TRI 대상물질로 포함될 수 있다. 그 외 TBBPA는 국내 사용량이 많아 정확한 유통량 조사를 실시 후 TRI의 조사대상물질에 대한 포함여부를 결정할 수 있다. 이와 같은 배출량 조사결과는 국내 브롬화 방염제 관리를 위한 기초자료로 활용될 뿐 아니라, 향후 국제협약의 대응전략 수립에도 반드시 요구되는 자료이다.

3.2 산업폐수에서의 관리강화

브롬화 방염제가 사용되는 대부분의 공정에서 폐수를 통해 브롬화 방염제 주요성분이 환경중으로 배출될 수 있다. 그 중 섬유공정에서 사용되는 브롬화 방염제는 주로 침가형으로 처리되기 때문에 세척과정을 통해 다량 환경중으로 배출될 가능성이 매우 높다. 따라서 앞의 조사대상물질이 확대된 TRI 제도를 통해 배출량이 확인되면, 섬유공정중의 브롬화 방염제 배출여부가 확인될 수 있다. 특히 군사용 섬유에서 다량

의 브롬화 방염제가 사용되므로, 이들 제품의 제조업체를 중심으로 그 배출량 결과를 확인한 후 외국에서 조사된 바와 같이 많은 양의 브롬화 방염제가 폐수를 통해 배출될 경우 이를 처리할 BAT를 적용하여야 할 것이다. 덴마크는 폐수를 통한 브롬화 방염제 배출을 최소화하기 위해 섬유업체를 포함한 모든 산업폐수 발생업체와 하수처리 과정에 BAT를 적용하도록 규정하고 있다.

한편 우리나라의 『수질환경보전법』 제2조에 따른 수질오염물질에 브롬화합물이 포함되어 있으나, 오염물질의 배출허용기준은 아직 설정되어 있지 않다. 향후 배출량 확인조사에 따라 pentaBDE의 배출량이 많을 경우 이를 특정수질유해물질로 선정하고, 이에 대한 배출허용기준을 마련하는 것이 바람직하다.

3.3 방염처리 제품의 재활용

브롬화 방염제를 처리한 제품의 소각시에는 다이옥신과 퓨란(PCBDs/PCBFs)이 발생하여 대기중으로 방출되며, 매립할 경우 침출수에 브롬성분이 용출될 가능성이 매우 크다. 이에 선진국에서는 브롬화 방염제가 처리된 제품(특히 플라스틱류)은 별도로 분리수거하여 처리할 수 있는 체계를 구축하고 있다. 또한 EU는 브롬화 방염제 포함 제품의 재활용계획을 수립하여, 2004년 이후에는 전체 발생량의 10%를 소각, 14%를 매립으로 처리하며 나머지 75%를 재활용하도록 목표를 설정하고 있다. 재생처리 후 브롬을 재생하는 화학적 재활용을 70%로, 플라스틱 제품의 기계적 재활용은 25%로 목표치를 정하였다. 일반적으로 브롬화 방염제를 처리한 제품, 특히 플라스틱은 경화성 플라스틱이 많아 재활용이 다른 제품에 비해 매우 어렵다. 또한 재활용제품에서 브롬 성분이 방출될 가능성도 높아, 제품활용도가 낮은 편이다.

우리나라에서는 브롬화 방염제가 포함된 플라스틱, 전기·전자제품 등은 주로 매립된다. 따라서 매립지 내 침출수에서의 브롬화 방염제 용출수준을 확인할 필요가 있다. 또한 폐기물의 증장기 관리정책의 일환으로 방염처리 제품의 철저한 분리수거와 함께 매립을 통한 처리비용을 낮추는 게 요구된다. 특히 브롬을 분리할 수 있는 화학적인 기술의 개발을 개발하여, 이를 폐기물 재활용업체에서 활용할 수 있는 정부의 적극적인 대책이 요구된다.

VII. 결론

산업화에 따라 그 사용량이 점차 증가하고 있는 방염제 중 브롬화 방염제는 값이 싸고 방염효과가 뛰어나 전세계적으로 많이 사용되어 왔으나, 최근 높은 위해성으로 인해 많은 국가에서 그 규제를 서두르고 있다. 우리나라는 일부 브롬화 방염제에 대해 규제를 실시하고는 있으나, 아직 선진국의 수준과는 많이 뒤떨어져 있다. 느슨한 브롬화 방염제의 규제로 인해 국민의 건강과 환경이 위협당하고 있으며, 앞으로 무역상의 불이익이 발생할 가능성도 매우 높다. 이에 본 연구에서는 브롬화 방염제의 생산, 사용, 폐기단계별로 추진해야 할 관리방안을 다음과 같이 도출하여 제안하고자 한다.

첫째, 브롬화 방염제의 생산단계에서는 『유해화학물질관리법』 상에서 PBDEs 물질을 규제하는 것이 시급하다. 우선 위해성이 확인된 pentaBE는 사용제한물질로 지정하고, octaBDE와 decaBDE는 EU의 위해성 결과가 확인되는 2002년 이후에 그 규제수준을 결정하는 것이 바람직하다. 또한 다이옥신 혼재가능물질의 관리를 통해 브롬화 방염제의 간접 규제를 실시하고, BAT와 대체물질 개발을 서둘러야 한다. 환경부에서 실시예정인 POPs 사업계획의 수립시 브롬화 방염제(PBBs)를 조사대상물질에 포함하여 향후 POPs 협약의 국가전략 수립을 위한 기초자료로 활용하는 방안이 요구된다.

둘째, 사용단계에서의 관리정책으로는 대기중 배출에 따른 국민건강을 보호하고자 환경부의 실내공기질 관리정책과 연계하여 대책을 수립하는 것이 요구된다. 또한 환경표지제도를 통한 간접규제와 산업자원부의 『품질경영 및 공산품안전관리법』 상에 브롬화 방염제의 안전검사 기준을 설정하는 것이 요구된다.

셋째, 폐기단계에서의 관리정책으로는 TRI 대상물질 범위를 브롬화 방염제를 포함할 수 있도록 확대 실시한다. 또한 섬유업체에서 배출되는 폐수에서의 브롬화 방염제 관리정책과 함께 방염처리 제품의 소각이나 매립시 발생할 수 있는 환경오염을 사전에 예방하기 위해 방염처리 제품의 재활용방안 마련이 시급하다.

VIII. 참고문헌

환경부 홈페이지, <http://www.me.go.kr>

BFR 2001 Stockholm, 2001, 「The second international workshop on brominated flame retardants」

BSEF, 2000, 「An introduction to brominated flame retardants」

Bo Jansson et al., 1993, Environmental toxicology and chemistry 12: 1163-1174.

CIS Chem. Com., 1997, 「국내 난연제 시장 및 환경규제 현황」

Commission of the European Communities, 2001, 「Proposal for a directive of the European parliament and of the council- amending for the 24th time Council Directive 76/769/EEC relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances an preparations (pentabromodiphenyl ether)」

Danish EPA, 1999, 「Brominated flame retardants : substance flow analysis and assessment of alternatives」

Danish EPA, 2001, 「Action plan for brominated flame retardants」

De Boer J., 2000, 「The handbook of environmental chemistry」 vol. 34

Jennifer M. Luross et al., 2001, Chemosphere, in press

M.G. Ikonou, 2000, Organohalogen Compounds 47:77-80

K.Noren, & D. Meironyte, 2000, Chemosphere 40:1111-1123.

OECD, 1994, 「Risk reduction monograph no. 3 : Selected brominated flame retardants background and national experience with reducing risk」

OECD, 1998, 「Risk Management : Summary of reports from industry on their compliance with the voluntary industry commitments on brominated flame retardants」

Sweden National Chemicals Inspectorate, 1999, 「Phase-out of PBDEs and PBBs」

US National Research Council, 1999, 「Toxicological risks of selected flame-retardant chemicals」

WHO, 1994, 「Environment Health Criteria 152 : Polybrominated biphenyls」

WHO, 1994, 「Environment Health Criteria 162 : Brominated diphenyl ethers」

WHO, 1997, 「Environmental Health Criteria 192 : Flame retardants: A general introduction」

부록 I. 브롬화 방염제의 물리·화학적 특성

DecaBDE	<p>상품명 :</p> <p>FR-300 BA; DE-83-RTM; Saytex 102; Saytex102E; FR-1210; Adine 505; AFR1021; Berkflam B10E; BR55N; Bromkal81; Bromkal 82- ODE; Bromkal83-10DE; Caliban F/R-P 44; Chemflam011; DE83; DP10F; EB10FP; EBR700; Flame cutBR100; FR300BA; FR P-39; FRP53; FR-PE; FR-PE(H); Planelon DB100; Tardex100; NC-1085; HFO-102; HexcelPF1; PhosconBr-250; NCI-C55287 Caliban-F'RP-44</p>
<p>화학식 : $C_{12}Br_{10}O$</p> <p>분자량 : 959.22</p> <p>CAS 등록번호 : 1163-19-5</p> <p>브롬함유율 : 81-83%</p> <p>녹는점 : 290-306°C</p> <p>TGA*(% weight loss):</p> <p>1%(319°C), 5%(353°C), 10%(370°C), 50%(414°C) 90%(436°C)</p> <p>비중 : 3.0, 3.25 (20°C)</p> <p>증기압(mmHg): < 10⁻⁶(20°C), < 1(250°C), 2.03(278°C), 5.03(306°C)</p> <p>용해도 (25°C) : 물 20-30µg/l; 목화씨유 600 mg/l; 코프라유 920 mg/l; 아세톤 0.5, 1.0g/l; 벤젠 1.0, 4.8g/l; 클로로벤젠 6.0 g/l, 메틸렌브로마이드 4.2g/l; 메틸렌클로라이드 1.0, 4.9g/l; o-크실렌 8.7 g/l; 메탄올 1 g/l; 톨루엔 2 g/l; 메틸에틸케톤 1 g/l; 펜탄 < 1 g/l; 스티렌 < 1 g/l</p> <p>가연성 : 가연성없음</p> <p>logP_{ow}** : 5.24 ; 9.97</p>	<p style="text-align: center;">NonaBDE</p> <p>화학식 : $C_{12}HBr_9O$</p> <p>CAS 등록번호 : 63936-56-1</p> <p>분자량 : 880.37</p> <p>물리화학적 성질 : 자료없음</p>
	OctaBDE
	<p>화학식 : $C_{12}H_2Br_8O$</p> <p>CAS 등록번호 : 32536-52-0</p> <p>분자량 : 801.47</p>

* Thermogravimetric Analysis를 통해 혼합 또는 변형 공정 중의 제품 열안전성을 나타내는 값;

** n-옥탄올/물 분배계수

<p>상품명 :</p> <p>Bromkal 79-8 DE; DE-79TM; FR 143; Tardex80; FR1208; Adine404; Saytex111</p> <p>녹는점 : 200(167-257)°C</p> <p>증기압 : < 10⁻⁷ mmHg(25°C)</p> <p>용해도(25°C, g/l) :</p> <p>물 < 1; 메탄올 2(7); 메틸렌클로라이드 110; 톨루엔 190; 벤젠 200; 스티렌 250; 메틸에틸케톤 40; 아세톤 20</p> <p>비중 : 2.76</p> <p>logP_{ow} : 5.5</p>	<p>PentaBDE</p> <p>화학식 : C₁₂H₅Br₅O</p> <p>분자량 : 564.75</p> <p>CAS 등록번호 : 32534-81-9</p> <p>상품명 :</p> <p>DE71; Bromkal 70-5 DE; FR 1205/1215; Bromkal 70; Bromkal G1; Pentabromprop; DE-60 F</p> <p>녹는점 : -7에서 -3°C</p> <p>끓는점 : > 300°C</p>
<p>HeptaBDE</p>	<p>비중 : 2.28(25°C); 1.78(40°C)</p> <p>증기압 : 9.3mmHg(22°C)</p> <p>용해도 : 물에 녹지 않음(9×10⁻⁷ mg/l, 20°C) 메탄올 10g/l (20°C); 클로로포름, 벤젠, 톨루엔, 아세톤, 카본테트라클로라이드, 메틸렌클로라이드에 녹음</p> <p>점도 : 1-6Pa(50°C)</p> <p>logP_{ow} : 6.64-6.97</p>
<p>화학식 : C₁₂H₃Br₇O</p> <p>분자량 : 722.3</p> <p>CAS 등록번호 : 68928-80-3</p> <p>녹는점 : 70-150°C</p> <p>밀도 : 2.6(20°C)</p> <p>증기압 : < 13.3 Pa(20°C)</p>	
<p>HexaBDE</p>	<p>TetraBDE</p>
<p>화학식 : C₁₂H₄Br₆O</p> <p>분자량 : 643.62</p> <p>CAS 등록번호 : 36483-60-0</p> <p>상품명 : BR 33N</p> <p>증기압 : 0.95-0.99 kPa (25°C)</p> <p>logP_{ow} : 6.86-7.92</p>	<p>화학식 : C₁₂H₆Br₄O</p> <p>분자량 : 485.82</p> <p>CAS 등록번호 : 40088-47-9</p> <p>logP_{ow} : 5.87-6.16</p>

TriBDE	용해도 4.8mg/l, 에틸에테르에 녹음 log P _{ow} : 4.28
화학식 : C ₁₂ H ₇ Br ₃ O 분자량 : 407.1 CAS 등록번호 : 49690-94-0 증기압 : 4.70-4.95 Pa(25℃) log P _{ow} : 5.47-5.58	TBBA carbonate oligomer(BC-52)
DiBDE	브롬함유율 : 52% 분자량 : 2494 녹는점 : 210-230℃ TGV : 5%(430℃)
화학식 : C ₁₂ H ₈ Br ₂ O 분자량 : 328.02 CAS 등록번호 : 2050-47-7 녹는점 : 60.5℃ 끓는점 : 338-340℃ 증기압 : 3.85-4.02 Pa(25℃) 비중 : 1.8(용액) 용해도 : 벤젠에 매우 잘 녹음, 알콜과 에틸에테르에 녹음 log P _{ow} : 5.03	BC-58
MonoBDE	브롬함유율 : 58% 분자량 : 3537 녹는점 : 230-260℃ TGV : 5%(430℃)
화학식 : C ₁₂ H ₈ BrO 분자량 : 249.11 CAS 등록번호 : 101-55-3 상품명 : HSDB 2747; NSC 녹는점 : 18.72℃ 끓는점 : 310.14℃ 증기압 : 0.0015mmHg(20℃) 비중 : 1.4208(20℃) 발화점 : > 230°F	Saytex BT-93
	브롬함유율 : 66% 분자량 : 952 녹는점 : 446℃
	Bis(tribromophenoxy)ethane(FF-680)
	브롬함유율 : 70% 분자량 : 655.5 녹는점 : 223-225℃ TGV : 5%(290℃)

B · E · O	HBCD
브롬함유율 : 49.5% 분자량 : 1600 녹는점 : 105-115(TGV : 5%(350℃)	화학식 : C ₁₂ H ₁₈ Br ₆ CAS 등록번호 : 25637-99-4 분자량 : 641.7 녹는점 : 185-195℃ 증기압 : 4.7×10 ⁻⁷ mmHg 밀도 : 22.4g/cm ³ 용해도 : 0.0034 mg/l log P _{ow} : 5.6

자료 : PBDEss(mono- ~ deca-까지) 데이터 : IPCS(1994)

BC-52, BC-58, Saytex BT-93, FF-680, B · E · O데이터 : LG고분자기술 제 33호

HBCD데이터 : National Research Council(2000)

<p>TBBPA 화학식 : C₁₅H₂₃Br₄O₂ 분자량 : 543.92 CAS registry No.: 79-94-7 녹는점 : 178-180℃ 끓는점 : 316℃ 비중 : 2.18 발화점 : 178℃ 증기압 : <1 mmHg(20℃) 용해도 : 0.72 mg/l water(15℃)</p> <p>TBBPA bis(2,3-dibromopropyl oxide) 화학식 : C₂₁H₂₀Br₈O₂ CAS No. : 21850-44-2 녹는점 : 90-100℃ 용해도 : 1g/l water(25℃)</p> <p>TBBPA bis(allyl oxide) 화학식 : C₂₁H₂₀Br₄O₂ CAS No. : 25327-89-3 녹는점 : 115-120℃ 비중 : 1.8g/cm³ 용해도 : <1g/l water(25℃)</p>	<p>TBBPA bis(2-hydroxyethyl oxide) 화학식 : C₁₉H₂₀Br₄O₄ CAS No. : 4162-45-2 녹는점 : 약 112℃ 비중 : 약 1.80 g/cm³</p> <p>TBBPA methyl ethyl 화학식 : C₁₇H₁₆Br₄O₂ CAS No. : 27853-61-5</p> <p>TBBPA epoxy oligomer -EP Type 분자량 : 1300-40,000 형태 : 옅은황색분말 비중 : 1.8 브롬함유율 : 50-52 Softning point(℃) : 103->200</p> <p>-EC Type 분자량 : 1400-3000 형태 : 옅은황색분말 비중 : 1.9 브롬함유율 : 59-55 Softning point(℃) : 99-140</p> <p>Tetrabromophthalic anhydride (TBPA) 화학식 : C₈Br₄O₃ CAS No. : 632-79-1</p>
--	---

TBPA 잔재물	
<p>TBPA diester/ether diol(TBPA Diol) 화학식 : $C_{15}H_{16}Br_4O_7$ CAS No. : 20566-35-2</p> <p>Ethylene bis(tetrabromophthalimide) (EBTBPA) 화학식 : $C_{18}H_4Br_8N_2O_4$ CAS No. : 32588-76-4</p> <p>N,N' -bis(tetrabromophthalimide) (TBPA-lmide) 화학식 : $C_{16}Br_8N_2O_4$ CAS No. : 26040-45-9</p> <p>Disodium salt of tetrabromo phthalate 화학식 : $C_8Br_4O_4Na_2$ CAS No. : 25357-79-3</p>	<p>Dibromoethyldibromocyclohexane 화학식 : $C_8H_{12}Br_4$ CAS No. : 3322-93-6 녹는점 : 70-75℃ 밀도 : 2.27 at 20℃ 용해도 : 0.05% in water(20℃)</p> <p>Ethylene bis(dibromonorbornedicarboximide) (EBDNDC) 화학식 : $C_{20}H_{20}Br_4N_2O_4$ CAS No. 41291-34-3(52907-07-0) 녹는점 : 294℃ 밀도 : 2.07 (20℃) 용해도 : 물에서 거의 녹지 않음</p> <p>Pentabromochlorocyclohexane(Br/Cl cyclohexane) 화학식 : $C_6H_6Br_5Cl$ CAS No. : 87-84-3 녹는점 : 202℃ 끓는점 : 235℃ 증기압 : < 0.1 mmHg (20℃) 용해도 : < 1g/l in water</p>
Brominated cycloaliphatics and heterocyclics	
<p>Hexabromocyclododecane(HBCD) 화학식 : $C_{12}H_{18}Br_6$ 분자량 : 641.77 CAS No. : 25637-99-4 녹는점 : 170-180℃ 발화점 : 162-171℃ 비중 : 2.24(2.38 at 20℃) 용해도 : 물에서 녹지 않음 증기압 : < 133 Pa at 20℃</p>	<p>Hexachlorocyclopentadienyl dibromocyclooctane(C 56 Br cyclooctane) 화학식 : $C_{13}H_{12}Br_2Cl_6$ CAS No. : 51936-55-1 녹는점 : 200℃</p>

Brominated aliphatic and inorganic	CAS No. : 593-60-2
<p>Dibromoneopentyl glycol(DBNPG) 화학식 : $C_5H_{10}Br_2O_2$ 분자량 : 261.97 CAS No. : 3296-90-0 녹는점 : 109-110°C (112°C) 끓는점 : 134°C at 1 mmHg 증기압 : 25mmHg(200°C) 비중 : 2.23 용해도 : 20g/l water(25°C)</p>	<p>녹는점 : 139.5°C 끓는점 : 15.8°C 발화점 : 13°C 자가연소점 : 472°C 증기압 : 1.3447(25°C) 비중 : 1.4933 용해도 : 물에 녹지 않음</p>
<p>Tribromoneopentyl alcohol(TBNPA) 화학식 : $C_5H_9Br_3O$ 분자량 : 324.92 CAS No. : 36483-57-5 녹는점 : 62-67°C 비중 : 2.28(20°C) 용해도 : 2g/l water (25°C)</p>	<p>Ammonium bromide 화학식 : NH_4Br CAS No. : 12124-97-9 형태 : 흰색 결정 밀도 : 2.429(20°C)</p>
<p>Tetrabromodipentaerythritol 화학식 : $C_{10}H_{18}Br_4O_3$ 분자량 : 506 CAS No. : 109678-33-3 녹는점 : 80-82°C 비중 : 2.0 용해도 : 1 g/l water</p>	<p>2,4,6-Tribromophenol 화학식 : $C_6H_3Br_3O$ 분자량 : 331 CAS No. : 118-79-6 녹는점 : 96°C 끓는점 : 244°C 비중 : 2.55(20°C) 용해도 : 약 0.07 g/l water (15°C)</p>
<p>Vinyl bromide(VBr) 화학식 : C_2H_3Br 분자량 : 106.96</p>	<p>2,4-Dibromophenol 화학식 : $C_6H_4Br_2O$ 분자량 : 251.92 CAS No. : 615-58-7 녹는점 : 254°C 끓는점 : 37°C 비중 : 2.042 용해도 : < 1g/l water(25°C)</p>

<p>Bis(tribromophenoxy)ethane(BTBPE) 화학식 : $C_{14}H_8Br_6O_2$ CAS No. : 37853-59-1 분자량 : 687.66 녹는점 : 223-225°C 비중 : 2.58 g/cm³ 용해도 : 물에 녹지 않음</p> <p>Tribromophenyl allyl oxide(TBP-AE) 화학식 : $C_9H_7Br_3O$ CAS No. : NA 분자량 : 371 녹는점 : 75-76.5°C 비중 : 2.2</p> <p>Poly(dibromophenylene oxide)(PDBPO) 화학식 : $(C_6H_2Br_2O)_x$ CAS No. : 69882-11-7 녹는점 : 210-240°C 비중 : 2.07 용해도 : 1.6 mg/l water (25°C)</p> <p>Hexabromobenzene(HBB) 화학식 : C_6Br_6 분자량 : 552 CAS No. : 87-82-1 발화점 : 325-336°F</p>	<p>Poly(pentabromobenzyl acrylate)(PBBs -PA) 화학식 : $(C_{10}H_5BrO_2)_n$ 분자량 : 34,000 녹는점 : 205-215°C 증기압 : < 0.075 mmHg(20°C) 비중 : 2.05 g/cm³(20°C) 용해도 : 3.5-3.8 mg/l water</p> <p>Dibromostyrene(DBS)와 그 잔재물 (PDBS)</p> <p>-DBS 형태 : 연노란액체 브롬함유율 : 59% 끓는점 : 95°C</p> <p>-PDBS-10/80 브롬함유율 : 58-60% 녹는점 : 155-160°C 열안전성 : 355°C</p> <p>Brominated polystyrene(BrPS-68-60- LM)</p> <p>-68PB(분말) 브롬함유율(%) : 66 비중 : 2.1</p> <p>-60PB(미립자) 브롬함유율(%) : 60 비중 : 2.0</p> <p>-LM(분말) 브롬함유율(%) : 66 비중 : 2.1</p>
<p>Pentabromotoluene(5BT) 화학식 : $C_7H_3Br_5$ CAS No. : 87-83-2 녹는점 : 299°C 발화점 : 280-282°F 비중 : 3.15(20°C) 용해도 : 물에 녹지 않음</p>	<p>Pentabromoethylbenzene(5BEB) 화학식 : $C_8H_5Br_5$ CAS No. : 85-22-3 녹는점 : 136-138°C 용해도 : 물에 녹지 않음</p>

자료 : OECD, 1994

부록 II. OECD의 “산업체의 자발적 이행”에 대한 브롬화 방염제 생산업체 보고서

Part I. 산업체의 보고서 요약

1. 미국 및 유럽 산업체

1.1 Albemarle Corporation

본 보고서는 1995년 OECD의 위해성 저감 프로그램 하에서 특정 방염제의 주요 생산업체들에 의해 구성된 「산업체의 자발적 이행」에 관한 화학물질제조업체협회(Cheical Manufacturers Association, CMA) 브롬화 방염제 산업위원단(Brominated Flame Retardant Industry Panel, BFRIP)에 제출된 보고서이다.

Albermarle는 「산업체의 자발적 이행」에서 대상으로 하는 브롬화 방염제 중, decaBDE, TBBPA를 미국의 한 지역에서만 생산한다. OctaBDE의 경우 1995년에 생산을 중단하였고, PBB는 생산하지 않는다. 또한 EU에 거점을 둔 Albemarle에서는 decaBDE와 TBBPA가 생산되지 않는다. 1995년이래 생산되는 decaBDE의 순도는 평균 97% 이상이다.

Albemarle사는 CMA의 책임관리프로그램(Responsible Care program)의 회원업체이며, 생산책임규약(Product Stewardship code) 및 오염방지규약(Pollution Prevention code)에 가입하였고 그 시설들은 ISO 9002에 등록되어 있다.

1996년 Albemarle 생산책임프로그램은 각 제품과 관련된 위해성에 기초한 형태로 수정되었다. 이에 따라 Albemarle에서는 decaBDE와 TBBPA를 위해성 분류등급(low, medium, high) 중 ‘low’로 분류하였다. 비록 생산책임 프로그램의 관점에서 이것이 의미하는 바를 명확하게 설명하긴 어렵지만, 해당 물질에 관한 ‘물질안전정보문서(Material Safety Data Sheet)’의 규정이 본 요구조건에 부합된다는 것을 의미한다. 물질안전정보문서는 새로운 정보가 입수된 후 90일 이내에 갱신되고, 3년마다 검토·갱신된다. 뿐만 아니라 발표, 보고서 출간, 거래처들과의 모임을 통해 방염제의 이슈, 규제상황, 독성정보들을 논의하고 있다.

오염방지규약과 관련하여 산업체들은 EPA의 “33/50 Program”(산업체로 하여금 특정물질의 자발적인 배출저감을 요청)에 참여하고 있다. 1995년까지 산업시설로부터 17개의 대상 화학물질의 공기, 수체, 토양으로의 배출이 61% 저감되었다. 그러나 브롬화 방염제에 해당하는 물질이 17개의 화학물질 중에 포함되는지는 명확하지 않다(1995-1996년 동안의 CMA 책임관리증진검토보고서는 브롬화 방염제가 17개 대상화학물질에 포함되어 있지 않음을 밝혔다). 그 보고서는 decaBDE의 1996년 Toxic Release Inventory(TRI) 배출량이 1995년에 비해 9.6% 감소했다고 서술했다. 또한 산업체는 폐기물 처분 청부업체를 감사하였다.

생산시설에서 decaBDE의 폐기물 생산 및 고체공정 폐기물은 미국의 유해폐기물 처분기준에 따라 건

설된 현지의 매립지에 처분된다. 시설로부터 발생한 비공정수(non-process water)와 storm water는 인공습지에서 생물학적으로 처리된다. 공정수는 복잡한 브롬재생시설을 거치고, 재생된 브롬은 공장에서 수행되는 브롬화 공정에 사용된다. 또한 Albemarle은 충전(filling) 및 포장된 물질의 운송과 관련한 먼지 발생을 저감시키기 위해 방염제 포장구역(packaging area)과 포장형태를 증진시킨다.

Albemarle는 폐기물 최소화에 관한 공동목표를 추구해왔다. 그 예로 1997년의 유해폐기물 발생을 1991년을 기준으로 44%까지 저감시키는 목표 등이 있었다. 그러나 그러한 목표는 전체 생산 시설을 위한 것이지 브롬화 방염제의 생산에 별도로 해당되는 사항은 아니다.

Albemarle는 BFRIP의 일부로서 pentaBDE, octaBDE, decaBDE에 관한 물리화학적 특성, 생태독성 및 인체 위해성 등을 완료했다. 1998년 수행될 프로젝트에는 환경 및 직업 노출 평가(직물 사용을 포함하여) ; 전기·전자제품으로부터의 잠재적인 가스유출 ; 환경적 분해와 농축 문제 ; 재활용 등이 있다. 또한 브롬화 방염제를 함유한 플라스틱 소각 문제 연구에 공동출자하고 있다.

1.2 Ameribrom 주식회사

본 보고서는 OECD의 「산업체의 자발적 이행」의 이행문서이다.(1997년 11월 제출, 1998년 1월 수정)

Ameribrom는 미국에서 decaBDE와 TBBPA를 생산한다. DecaBDE의 순도는 평균 97% 이상이어야 한다는 OECD의 자발적 책임사항을 준수하고 있다.

Ameribrom 주식회사 또는 그 자매회사인 Bromine Compounds 주식회사(이스라엘과 네덜란드(Broomchemie B.V.)에 생산시설 위치)는 PBBs를 제조하지 않으며, 미국에서 octaBDE 또는 pentaBDE를 판매하지 않는다. Bromine Compounds 주식회사는 상업적인 pentaBDE를 제조하지 않는다.

미국에 있는 Ameribrom 주식회사는 ISO 9002 하에 인증되었고, 책임관리생산책무규약(Responsible Care Product Stewardship code)를 채택하였다. 또한 브롬화 방염제를 업체에 공급하는 Bromine Compounds 주식회사와 Broomchemie B.V.도 업체 시설에 ISO 14001 인증을 획득하였다. Ameribrom는 지속적으로 물질안전 정보문서와 표지에 관한 정보를 모니터링하고 갱신하며 거래처에게 브롬화 방염제의 알맞은 취급방법, 사용, 재활용 및 처분에 대한 정보를 제공한다. 배출저감 노력에는 제조시설에서의 최적가용제어기술 적용과 포장개선이 포함된다. 한편 Ameribrom는 BFRIP 시험 프로그램을 통해 심도깊은 시험 및 정보 생산에 노력하고 있다.

1.3 Great Lakes 화학 주식회사

본 보고서는 OECD의 「산업체의 자발적 이행」의 이행문서로 1998년 1월 제출하였다.

Great Lakes 화학 주식회사는 TBBPA, decaBDE, octaBDE, pentaBDE를 생산한다. OECD의 자발적 책임사항에 서명한 이래로 영국의 공장에서는 PBDE의 생산을 중단하였고, 현재 세 개의 PBDE는 미국의 한 지점에서 생산되고 있다. TBBPA는 미국, 이스라엘 두 곳의 공장에서 생산된다.

본사는 PBB를 생산하지 않는다.

제조되는 DecaBDE의 순도는 97% 이상이다.

본사에서 제조된 octaBDE의 순도는 OECD의 자발적 책임사항에 명시된 대표적인 congener 분류에 부합된다. 기존에 이용된 생산공정/반응 조건은 제품에 존재하는 브롬수가 적은(hexa-) PBDE의 양을 최

소화시키는데 반해, OECD의 자발적 책임에서 제시하는 기준보다 높은 nona- congener 수준을 야기한다(브롬수가 낮은 PBDE 최소화를 위해 bromination을 증진시키기 때문). 이에 따라 결과적으로 제품의 성능이 변할 수 있다.

본사는 CMA의 책임관리프로그램 하에 운영되고, 미국과 이스라엘에 위치한 공장들은 ISO 9002에 등록되었다. 또한 각 지점별로 책임관리규약의 수행을 위한 지침을 마련해두고 있으며 1998년 책임관리규약 프로그램의 평가수행에 자원하였다.

이스라엘에 위치한 TBBPA 공장은 유럽 내로 운송 시 사고로 인한 유출의 위해성을 줄이려는 노력을 해왔으며, 필요한 공정과 공정을 통해 발생하는 폐기물을 최소화시키는 최적가용기술을 적용하고 있다.

또한 Great Lakes 화학 주식회사는 pentaBDE의 생산 중 사고로 인한 화학물질의 유출 가능성을 줄이려는 프로그램을 수행해오고 있다. 그 일환으로 예방차원의 보수활동 및 미분류 물질의 처분을 최소화하는 통계상의 공정제어기술의 적용을 증진시키고 있다.

DecaBDE, octaBDE, TBBPA의 생산공정 일부를 변형시키고 있다. decaBDE와 TBBPA의 생산 공정에서 제품을 통해 발생한 원액은 다른 공정 단계에서 이용할 수 있도록 재활용되고, 생산업체는 이러한 원액을 안전처리하고 처분되는 양을 최소화하기 위한 추가적인 제어수단을 마련해왔다. 또한 octaBDE공정에 필터물질의 처분 전 잔재화합물의 재생을 위해 특정한 필터세척단계(filter bag washing step)를 도입하였다. 이와 같은 노력의 결과로 decaBDE의 경우 30% 이상, octaBDE의 경우 대략 40% 정도로 폐기물 발생량(생산된 화학물질량별 발생한 폐기물량)이 감소하였다.

본사는 유출가능성을 저감시키기 위해 포장(packaging)에 주력해 왔다. 그 예로 처리되는 포장재의 양과 근로자들의 노출을 최소화하기 위해 거래처들로 하여금 대형 컨테이너 및 거대 포장(packaging)에서의 브롬화 방염제를 구매하도록 권장하였다. PentaBDE의 경우 거래처들과 함께 환경으로의 유출을 저감시키기 위해 노력하였는데, 특히 소규모의 드럼을 재사용 가능한 화물상자 및 대형 트럭 운송으로 전환하는 데에 주력하였다. 또한 사용하지 않는 드럼에 대한 적정 재활용 공정에 관해서도 지침을 제시하고 있다.

본사는 고의로 PBDE를 방염 이외의 용도를 위해 제공하지 않으며, 유출과 노출에 대한 수단이 구비되어 있지 않을 경우 그 사용에 대해 지원하지 않는다. 이에 따라 제어되지 않는 환경유출 가능성이 있는 방염 이외의 용도로 거래처에게 pentaBDE를 판매하는 경우가 점차 줄어들고 있다.

주요 decaBDE 거래처와 잠재적인 판매업체를 대상으로 생산책임무발표(Product Stewardship presentation)가 개발·보급되었다. 또한 PBDE에 대한 세계보건기구의 EHC 162문서와 TBBPA 및 그 부산물에 대한 EHC 172문서를 거래처가 요구할 경우 무상으로 제공하였다.

PBDE와 TBBPA에 관한 물질안전정보문서가 1997년 갱신되었다.

1997년 BFRIP는 pentaBDE에 대해 기존의 생물분해, 급성 어류독성, 급성 물벼룩독성 및 조류독성 연구 등 보다 심도깊은 연구를 수행하였다.

브롬화 방염제를 함유한 플라스틱의 재활용 및 처분에 관한 정보가 각 업체 및 협의회와의 논의를 통해 전달되었다. DecaBDE가 도시폐기물 수처리공장 슬러지를 통해 Mersey 하구에 유입되었음이 밝혀지자, 업체들은 BFRIP와 함께 decaBDE의 직물산업 거래처에 대한 프로그램 개발에 착수하였다.

1.4 Great Lakes 화학주식회사(유럽지부)

Great Lakes 화학 주식회사에서 제출한 보고서 내용과 유사하다.

1.5. Bromine Compounds 주식회사

본 보고서는 OECD의 위해성 저감프로그램 하의 특정 브롬화 방염제의 전세계 주요 생산업체들에 의한 산업체의 자발적 책임사항의 이행 보고서이다.

본사는 TBBPA(이스라엘과 네덜란드), decaBDE(이스라엘), octaBDE(네덜란드)를 생산한다. PentaBDE의 경우 이전에 네덜란드에서 생산되었으나 1995년 초 이후로는 더 이상 제조되지 않는다. 또한 PBBs도 제조되지 않는다.

DecaBDE의 순도는 1995년 96.7%에서 1996년 97.5%로 증가하여 OECD의 책임사항을 준수하였다. 상업적인 octaBDE 내의 hexa 및 pentaBDE의 수준이 OECD의 책임사항에서 제시하는 낮은 수준에 속하는 것으로 보고되었다. 공정의 각 배치는 순도분석을 실시한다. Bromine Compounds 주식회사는 hexaBDE 및 그 이하의 브롬수를 갖는 PBDE를 저감할 수 있는 방법을 평가하는 책임이 있다.

이스라엘 생산 지부에서는 배출저감수단으로 새로운 생물학적 폐기물 수처리공장이 건설 중에 있다. 1996년에 활성탄소 재생시스템을 포함하여 최신 기술이 TBBPA공장에 도입되었고 이로 인해 용매의 대기로의 배출을 80%까지 저감시킬 수 있었다. 1997년 decaBDE 공장으로부터 브롬화수소(hydrogen bromide)의 배출을 저감시키기 위한 수단이 갱신되었고, 1996년에는 공장에서 발생한 폐기물의 유기성분을 최소화하려는 정책이 수행되었다. 또한 1997년에는 포장 영역에 향상된 먼지제거 시스템을 설비하였다. 폐기물의 용매함량 최소화와 건조단계 중의 근로자의 노출 최소화에 관한 프로젝트가 현재 수행중에 있다.

배출저감수단이 네덜란드의 생산공장에서 수행되어 왔는데, 1995년 TBBPA 및 octaBDE를 제조하는 공장에 Regenox 촉매 후연소 장치를 설비하였고 이를 통해 공정배출을 거의 0으로 저감하였다. 또한 1997년에는 폐기물 처분방법을 매립에서 소각으로 전환하였다. 포장 및 포장폐기물에 관한 EU Directive 94/62의 관점에서 유럽의 자매업체들은 모든 포장에 대한 검토를 실시하였다. 그 결과 TBBPA에 대해 정전기 방지용 포장으로 전환하였고, 포장폐기물 저감을 위해 대형공급 체계로의 전환가능성을 검토 중이다. 1996년 이와 같은 개량을 통해 TBBPA 공장으로부터 발생한 고형폐기물이 14.4% 정도 감소하였다.

생산공장에서는 ISO 9002와 ISO 14001을 이행하고 있으며, 이것은 본 업체가 제품생산의 전과정을 통해 환경적으로 건전한 공정을 개발·이용하고 있고, 나아가 대기로의 배출, 토양오염, 유출 및 유해폐기물 저감을 목표로 하고 있음을 의미한다

물질안전정보문서와 제품표지는 3년마다 혹은 중요한 정보가 새롭게 첨가될 때마다 갱신된다. DecaBDE는 1996년 11월에, octaBDE는 1996년 10월에, TBBPA는 1995년 4월에 그 정보가 갱신되었다. 정책전문가 및 직업안전과 위험성 교류 편성인원 (hazard communication unit personnel)이 거래처의 질의사항에 답해주고 있다. 또한 decaBDE 및 TBBPA의 생산 특별 프로그램의 일환으로 Bromine Compounds 주식회사는 그 자매업체와 함께 적정 및 효과적인 사용, 처리, 재활용 및 처분에 대한 위험성 교류 프로그램 및 지속적인 대화를 모니터링 하고 있다.

1.6 Ablemarile S.A.

Albemarle Corporation이 CMA에 보고한 내용과 유사하다.

1.7 Akzo Nobel 화학회사

본사는 pentaBDE를 미국에서 생산하고 있다. 그 생산시설이 ISO 9002에 인증되었고, 업체는 책임관

리프로그램을 준수한다(제조공장은 오염방지규약 하에서 운영되고, 해당 근로자들은 공정안전규약의 지시를 받는다. 또한 제조공장의 병참그룹은 책임관리배급규약(Responsible Care Distribution code)을 이행하였다. 1996년에는 전세계적으로 환경이슈의 표준이 된 ISO 14001 기준을 채택하였다.

1997년에는 pentaBDE의 잠재적인 지표수로의 유출을 “반드시 제거”하기 위해 생산시설에도 변화를 주었는데, 폐쇄된 시스템에서 반복적으로 생산공정이 이루어지기 때문에 환경으로의 유출 가능성이 저감되었다. 또한 본사에서는 새로운 드럼 적재시설을 도입하고 있는데 이를 통해 근로자가 증기상태의 화학물질에 노출될 가능성과 유출이 일어날 잠재성을 감소시키는데 기여하리라 기대하고 있다.

본사는 PBB를 생산하지 않는다.

제조되는 화학물질은 신축성 우레탄폼 산업체에 공급된다. 물질안전정보문서는 관례에 따라 수정되고, 최근 수정일은 1995년이였다. 거래처들과 함께 물질안전정보문서에 관해 대화하고 검토하기 위한 목적으로 1997년 모든 판매직원에 대한 교육프로그램이 실시되었다.

1.8 ELF Atochem

ELF Atochem은 decaBB(decabromobiphenyl)에 대한 보고서만을 제출하였다.

진행중인 위해성평가의 일환으로 상업적인 decaBB의 순도조사, 다양한 생산공정에서 발생하는 먼지 모니터링, 생산공장 및 제품 사용자가 많은 지역 부근의 decaBB 모니터링, 수생생물에 대한 배출의 잠재적 영향, 폴리머 매트릭스로부터의 decaBB의 유출, 독일 다이옥신 법령의 준거, 개선된 폐기물 수처리공장에 관한 실현가능성 연구 등을 실시하고 있다.

DecaBB는 브롬수가 8이하인 물질을 함유하지 않는 것으로 보고되고 있으며, 그 제품이 독일 다이옥신 법령에서 제시하는 기준에 부합된다.

DecaBB(decabromobiphenyl) 또는 브롬수가 적은 PBBs는 생산 또는 사용 지점으로부터의 유출수에서 검출되지 않으나, 제한된 양이 생산공장에 근접한 저토에서 검출되었고, 이는 하류지점으로 갈수록 감소하였다. 또한 유사한 양상이 수중생물에서도 발견되었다. 가능한 유입원은 제품에서 불순물들 제거하는 공정의 마지막 정화단계로 밝혀졌다. 이러한 대부분의 폐기물은 따로 수집되고 처리되지만 미세입자로 형성된 소량이 물에 부유하여 강으로 도달하게 된다. 이러한 decaBB의 양이 일년에 대략 4kg이고, 이중 200g은 브롬수가 낮은 화합물이다. 이러한 유출을 저감시키기 위한 가능성이 현재 검토중이다. 한편 폴리머 침출연구에서는 브롬수가 낮은 PBBs는 침출되지 않는 것으로 나타났다.

2. 일본 산업체

본 보고서는 일본의 9개의 브롬화 방염제 생산·유통업체에 대한 내용이다.

제조업체들의 자발적 결정에 의해 일본에서는 PBBs와 pentaBDE가 제조되거나 수입되지 않는다. 단지 decaBDE, octaBDE, TBBPA가 일본에서 제조·수입·판매되고 있다. 일본에서 이 세 종류의 브롬화 방염제의 생산은 폐쇄된 시스템에서 이루어지고 그 생산품은 “적합하게 제어되는” 시설에서 제조·운반된다. 포장시설로부터의 유출을 제어하기 위해 집진기가 설비되고 폐쇄시스템이 이용된다. 또한 정기적인 공장점검과 보수도 수행되고 있다.

일본의 브롬화 방염제 업체들은 일본화학산업협회(Japan Chemical Industry Association)에서 개발한 책임관리프로그램을 기본으로 활동 수행의 책임을 이행한다. 그 책임사항은 다음의 내용을 포함한다. 첫째, decaBDE는 순도 97% 이상의 제품을 생산할 수 있는 기술로 제조되어야 한다. 둘째, octaBDE 내

에 존재하는 브롬수가 적은 PBDEs의 농도를 현재 사용중인 또는 향후 개발될 유용기술을 이용하여 최소화해야 한다. 셋째, 생산공정으로부터 발생한 폐기물은 환경으로의 유출을 최소화하기 위한 최적가용기술을 이용하여 처리·처분되어야 한다. 넷째, 방염제의 제조, 유통, 이용 중 발생할 수 있는 사고나 오염을 방지하는데 최대의 노력을 기울여야 한다. 다섯째, 브롬화 방염제가 적정하게 사용되고 그 폐기물을 제대로 제어하기 위해서 주요 사용자들과의 밀접한 관계를 유지해야 한다. 여섯째, 독성에 관해 국제적인 프로그램과 공동으로 운영해야 한다.

안정성 정보는 제조안전정보문서(Manufacturing Safety Data Sheet)를 통해 해당물질의 주요 사용자들에게 공급되며, 새로운 정보 또한 전달된다. 국외로부터의 안전성 정보는 워크샵이나 회의 등을 통해 자유롭게 공급된다.

Part II. 미국/유럽 및 일본 VIC 요약

1. 미국 및 유럽 산업체(1995)

OECD의 위해성저감 프로그램에서 채택된 특정 브롬화 방염제에 대해 전세계 주요 생산자들에 의한 조사가 이루어졌다. 크게 일반적인 사항과 각 업체에서 자발적으로 이루어진 부가적 수단으로 나뉜다.

1.1. 자발적 이행의 일반사항

첫째, OECD의 위해성저감 프로그램에 포함된 브롬화 방염제에는 PBBs, PBDEs, TBBPA가 있다. 현재 제조되어 방염제로 사용되고 있는 PBDEs 중에는 decaBDE, octaBDE, pentaBDE가 포함된다. PBDEs와 TBBPA는 전자제품에서 가정용가구 및 직물에 이르기까지 다양한 폴리머에 방염성을 부여하거나 화재안전기준에 부합되도록, 그리고 결과적으로 소비자의 안전 증진을 위해 사용된다. DecaBDE와 TBBPA는 오늘날 상업적으로 사용되는 주요 브롬화 방염제이다.

둘째, PBBs 중 오직 decaBB만이 유럽에서 상업적으로 이용되는데, 유럽에서 decaBB의 제조 및 사용은 방염제 시장의 극히 일부분만을 차지한다. 반면 미국에서는 1970년대 PBBs의 제조 및 사용을 자발적으로 중지했고, PBBs의 제조 및 사용은 오직 미국 EPA에 대한 신고와 EPA의 승인에 의해서만 재개될 수 있다.

셋째, PBDEs, TBBPA, decaBB는 브롬이 질량으로 50% 이상 함유된 방향족 유기화합물이다. 이 브롬 원소를 다루는 어려움과 비용 때문에 브롬화 방염제는 단지 전세계적으로 몇몇 시설에서만 제조되고 있는 실정이다. 이러한 제품들은 유기성 기질(substrate)과 브롬원소의 반응에 의해 밀봉된 공정에서 생산되고, 브롬 공정을 위해서는 반드시 제대로 구성되고 적합하게 유지되는 시설이 요구된다.

넷째, OECD가 채택한 브롬화 방염제의 상당수준이 공정 중 또는 방염처리된 제품으로부터 환경에 유입되지는 않는 것으로 보고있다. PentaBDE가 매우 점성이 높은 액체인데 반해 decaBDE, octaBDE, decaBB, TBBPA는 분말형태이고, 물에 대한 용해도가 거의 없으며 매우 낮은 증기압을 가지고 있기 때문이다. 또한 이러한 방염제들은 밀폐된 공정장치 내의 폴리머 시스템에 첨가되고, 폴리머의 비활성 주형으로 방염제가 첨가되기 때문에 이들 방염제가 환경으로 유출되는 가능성은 최소화된다. 실험결과도

decaBDE가 환경노출의 경우보다 극심한 환경에서도 폴리머로부터 추출되지 않음을 나타냈다.

다섯째, 이러한 요건들 때문에 브롬화 방염제 산업위원단(Brominated Flame Retardant Industry Panel, BFRIP)과 유럽 브롬화 방염제 산업위원단(European Brominated Flame Retardant Industry Panel, EBFRIIP) 회원들은 해당 브롬화 방염제가 인체 또는 환경으로 유출될 가능성이 작다고 확신한다. 그러나 다음의 부가적인 자발적 수단들은 환경에 악영향을 미칠 가능성을 더욱 저감시키기 위해 수행되는 사항이다. 이러한 자발적 수단들은 미국화학물질제조업체협회(CMA)의 BFRIP와 유럽화학산업위원회(CEFIC)의 EBFRIIP 회원업체들에 의해 수행되고 있으며, 이 두 위원단은 전세계 주요 브롬화 방염제 생산업체들을 대표한다.

1.2 부가적인 자발적 수단

① 환경 노출

환경노출에 관한 각 회원업체의 부가적인 자발적 수단은 크게 6가지 항목으로 보고되었다. 첫째, 미국 내에 제조공장을 가진 BFRIP 회원업체들은 CMA의 책임관리프로그램에 동의하고 있다. 책임관리프로그램은 오염방지, 생산책임, 건강 및 안전, 공정안전, 유통, 지역사회 자각/비상 반응체계에 대한 높은 기준을 책정하였다. CMA에 속한 회원업체는 이러한 기준을 고수한다. 이 중 특히 생산책임규약과 오염방지규약의 실행에 중점을 두고 있다. 미국제조 공장은 또한 ISO 9002 인증을 획득하였다. 둘째, 책임관리의 생산책임규약의 목적은 건강, 안전 및 환경보호를 화학제품의 디자인, 제조, 마케팅, 유통, 사용, 재활용 및 처분의 내적 요소에 포함시키는 데에 있다. 생산책임규약은 모든 단계에서 화학물질의 안전한 사용을 증진시키기 위해 고안되었으며 화학물질을 다루는 모든 사람들이 책임을 가지고 규약을 준수할 것을 강조하고 있다. 오늘날 생산책임의 개념은 미국 화학산업에서 발달된 다양한 프로그램의 산물이다. 이러한 실습(practice) 및 프로그램은 생산안전(product safety), 생산보전(product integrity), 생산책임(product responsibility)을 포함한 여러 이름으로 수행되고 있다. 셋째, 책임관리의 오염방지규약은 폐기물발생과 오염물질 배출을 저감함으로써 인체 및 환경을 보호하려는 산업체들의 노력을 증진시키기 위해 구상되었다. 또한 본 규약은 건전한 폐기물 관리시행을 장려하고 증진시키려는 목적을 가지고 있다. 이를 위해 세가지 큰 목표를 설정하였다; ① 대기, 수체 및 토양으로의 배출을 장기간 저감시키는 것, ② 시설로부터 발생하는 폐기물량의 지속적인 저감, ③ 잔재 폐기물과 유출의 책임관리. 넷째, 유럽에 제조공장을 두고 있는 EBFRIIP 회원업체들 또한 CEFIC 산하의 책임관리프로그램에 동의한다. 이스라엘에 제조공장을 가진 EBFRIIP 회원업체들은 ISO 9002에 인증 받았다. 다섯째, BFRIP는 환경에서 이러한 방염제들이 야기할 가능성이 있는 반응들을 깊이 이해하기 위해 1995년 부가적인 환경거동 연구, 특히 생물분해에 대한 연구에 착수했으며 그 결과에 따라 환경거동 연구는 향후 진행될 것이다. 어떤 환경거동 연구의 수행을 선택하는 문제는 이전의 그리고 진행중인 작업의 결과에 기초하여 이루어진다. 여섯째, BFRIP와 EBFRIIP는 폴리머 생산자와 최종 사용·제조업자(원 기기 및 직물 제조업자들)와 함께 브롬화 방염제를 함유한 폴리머의 안전처분 및 재활용에 관해 공동작업을 하고 있다. 브롬화 방염제를 함유한 제품에 대한 환경적으로 건전한 폐기물 관리는 단순히 브롬화 방염제가 아닌 모든 생산요소를 포괄해야 한다. 폴리머의 적절한 재활용은 이러한 브롬화 방염제와 관계없는 다양한 요소들을 고려해야 한다.

② 독성연구

브롬화 방염제 제조업자들은 이러한 방염제들이 미치는 영향에 대해 광범위한 연구를 수행해 왔다. 이러한 연구결과들은 규제기관, 국제기구, 거래업체들에게 지속적으로 제공될 것이며 산업위생적용에 이용

될 것이다. 또한 BFRIP는 세계보건기구의 화학물질안전에 관한 국제적 프로그램 및 미국 EPA, EU에 의해 제시된 바와 같이 추가적인 독성연구를 계획하고 있다. 이러한 연구의 세부사항은 현재 미국 EPA와 EU에서 진행 중인 프로그램에 의해 결정될 것이다. 현재 미국 EPA는 decaBDE, octaBDE, pentaBDE에 관한 여러 건강, 화학거동 및 환경영향 시험을 제안하였고, 현재 수행되어야 하는 정확한 실험을 검토 중에 있다.

③ **위해성 관리**

OECD의 자발적 책임사항에 참여한 BFRIP 및 EBFRIIP 회원업체들은 브롬화 방염제에 대한 위해성 관리를 위해 다음 7가지 사항에 동의하였다. 첫째, PBBs의 제조 또는 수입·수출을 금지하는데, decaBB의 경우는 한 EBFRIIP 회원업체에 의해 제조·수출되고 있다. 둘째, 해당물질이 상업적인 deca-, octa-pentaBDE에 포함되어 있는 경우를 제외하고는 비 상업적인 PBDEs (nona-, hepta-, hexa-, tetra-, tri-, di-, monoBDE)를 제조 또는 수입·수출하지 않는다. 셋째, deca-, octaBDE의 순도를 증진시키기 위해 과도한 비용소요 없이 최적가용기술을 사용하며 그 세부사항은 다음과 같다.

DecaBDE, octaBDE의 순도증진을 위한 세부사항	
DecaBDE	OctaBDE
<ul style="list-style-type: none"> • 상업적 decaBDE에 대한 평균순도를 97% 이상으로 함 • 이러한 책임사항은 이러한 책임사항은 OECD와 전세계 주요 생산업체의 자발적 동의에 의해 즉각 실효성을 가짐 	<ul style="list-style-type: none"> • OctaBDE에 함유된 hexa- 및 브롬수가 작은 PBDE 수준을 최소화¹⁾ • 이러한 사항은 자발적 동의가 채택된 이후 1년 이내에 실효성을 가짐

자료 : OECD, 1998

¹⁾ 오늘날 상업적인 octaBDE는 다음과 같이 구성된다.

DecaBDE : 0.0~3.0%, NonaBDE : 8.0~14.0%, OctaBDE : 26.0~35.0%, HeptaBDE : 43.0~58.0%, Hexa/pentaBDE : 1.4~12.0%

넷째, PentaBDE를 생산하는 회원업체들은 제조 중 유출을 최소화하기 위해 과도한 비용부담없이 최적가용기술을 도입한다. 또한 적절 운영, 사용 및 처분을 검토하기 위해 오염방지 및 생산책임프로그램을 정기적으로 점검한다. 다섯째, 유출수 및 제조공정으로부터의 배출을 적정처리하여 브롬화방염제의 환경 노출을 최소화한다. 여섯째 브롬화 방염제의 안전사용에 관해 거래업체들을 교육시키기 위해 생산조사보고서를 정기적으로 갱신한다. 업체별 생산조사보고서는 단순히 물질안전정보문서에 제한되는 것이 아니라, 생산 및 사용에 관한 기술적 정보 및 생산에 이용가능한 독성정보들을 포함한다. 일곱째, 해당 브롬화 방염제의 위해성을 정기적으로 평가하기 위한 최적의 정보를 이용할 것이다. 이런 새로운 정보를 이용하여 각 업체들은 평가를 통해 규명된 위해성을 최소화하기 위해 노력한다.

④ **체계**

CMA와 CEFIC는 BFRIP 및 EBFRIIP 회원업체들의 입장에서 자발적 동의를 착수하고, BFRIP 및 EBFRIIP 회원업체들은 24개월을 주기로 각 CMA와 CEFIC 위원단에게 자발적 동의에 대한 그들의 이행 사항을 보고한다. 이 보고된 사항을 기초로 각 CMA 및 CEFIC 위원단은 각 회원업체의 이행사항을 종합하여 OECD에 보고하게 된다.

2. 일본 산업체(1995년 7월)

일본에서는 PBBs와 PBDEs(decaBDE와 octaBDE를 제외한 나머지)를 상업적으로 제조 및 수입하지 않고 있어 결과적으로 OECD에서 제시한 특정 브롬화 방염제 중 세 종류의 방염제 즉 decaBDE, octaBDE, TBBPA만을 제조, 수입, 판매하고 있다. 이러한 브롬화 방염제들은 적절히 관리된 화학공장의

특정 구획에서 제조되고, 환경 및 작업장 환경제어에 관한 관련 일본법률에 따라 관리된다. 9개의 일본 내 브롬화 방염제 제조업체들은 장기적인 안목을 가지고 일본 화학산업협회에 의해 증진된 책임관리프로그램에 기초한 활동을 수행하며 OECD의 특정브롬화 방염제에 대한 논의에 기초한 위해성 관리를 수행하고 있다.

한편 브롬화 방염제에 대한 OECD의 「산업체의자발적책임사항」 이행을 위해 일본은 다음과 같은 향후활동을 계획하였다.

① 위해성 관리

일본의 브롬화 방염제에 대한 위해성 관리 계획은 크게 6개 조항을 포함하며 대부분이 미국 및 유럽업체들의 자발적 동의사항과 일치한다. 첫째, 회원업체의 발언에 따라 PBBs, PBDEs(deca-, octa-는 예외)를 제조 또는 수입하지 않는다. 둘째, decaBDE의 제조 시 오직 순도 97% 이상을 달성할 수 있는 기술만을 사용한다. 셋째, octaBDE의 제조업체들은 현재 사용 중인 또는 향후 개발될 실용적인 방법을 사용하여 브롬수가 작은 PBDEs 함유 농도를 최소화시킨다. 넷째, decaBDE, octaBDE, 및 TBBPA의 제조업체들은 생산과정 중에 발생하는 폐기물을 환경으로의 유출을 최소화할 수 있는 최적가용기술을 이용하여 처리·처분한다. 다섯째, 해당 브롬화 방염제의 안전한 사용을 위해 입수된 제품에 대한 최신정보는 주요 사용자에게 공급한다. 여섯째, 관련법률, 공정 및 생산품질제어, 주요 사용자에게 정보제공을 포함하여 현재 수행 중인 다양한 활동들을 지속시켜 나가며 환경보호 및 안전성 확보를 위한 활동을 증진시키기 위해 최신 이론과 기술을 도입한다.

② 환경 노출

DecaBDE, octaBDE, TBBPA의 제조, 운송, 사용 시 오염과 사고를 방지하는데에 최대한의 노력을 기울이고, 최신 정보를 통해 decaBDE, octaBDE, TBBPA의 적정 사용과 그 폐기물의 환경유출 최소화를 위한 제어를 목적으로 주요 사용자와 긴밀한 관계를 유지한다.

③ 국제적 협력

브롬화 방염제의 독성에 관한 국제적인 조사프로그램에 공동 참여한다.

④ 상황보고

12개월마다 활동의 진전상황을 일본화학산업협회에 보고한다.

부록 III. 브롬화 방염제의 주요 대체물질

1. 염소계 방염제

1995년 폴리우레탄과 불포화 폴리에스테르에 사용되는 염소-유기 인 방염제에 대해 Nordic Council of Minister에서 위해성평가를 실시하였다. 비록 자료의 양은 적지만, 염소-유기 인 방염제는 인체와 환경에 유해하고, 환경에서 분해되지 않고 축적될 가능성이 있다고 결론을 내렸다.

2. 유기인계 방염제

2.1 Triphenyl phosphate(TPP)

가. 적용분야

TPP는 일반적으로 PC/ABS 블랜드, 즉 열가소성 및 페놀성 수지 공정에 이용된다.

나. 물리화학적 특성

CAS No.	115-86-6
분자식	C ₁₈ H ₁₅ O ₄ P
분자량	326.3
끓는점	245°C (11mmHg), 234°C (5mmHg)
녹는점	49-50°C
증기압	0.15mmHg(150°C)
용해도	1.9 ; 0.73 (mg/l)
logPow	4.63 ; 4.61 ; 4.76

자료 : Danish EPA, 1999

다. 위해성

동물실험결과 TPP는 낮은 독성을 나타냈는데, 피부에 미치는 영향이 없었고 돌연변이를 유발하지 않았다. 현재까지 알려진 인체위해성은 없다. 또한 환경에 미치는 영향을 실험한 결과 수체에 유입된 후 빠르게 저토에 흡착되었으며 생물학적 분해 속도가 빨랐다. 몇몇 종의 어류를 대상으로 실험한 결과 BCF는 6-18,900의 범위였고, 반감기는 1.2-49.6 시간이었다.

한편 덴마크에서는 작업장 대기에서 triphenyl phosphate의 한계치를 3mg/m³로 규정하고 있다. 또한 IPCS는 일반적인 수체 환경 내에서 TPP의 농도는 낮고 이 농도는 수중 생물에게 거의 영향을 미치는 않는 수준이라고 결론을 내렸으나, TPP로 처리된 가구 등이 수체에 폐기될 경우에는 수중 생물에게 영향을 미칠만한 농도가 유출될 가능성을 시사하였다.

2.2 Tricresyl phosphate(TCP)

가. 적용분야

TCP는 PVC 가소제, 폴리스틸렌, 기타 열가소성 플라스틱에 이용된다. 상업적으로는 tri-o-cresyl phosphate, tri-m-cresyl phosphate, tri-p-cresyl phosphate와 혼합되어 이용된다.

나. 물리화학적 특성

CAS No.	1330-78-5
분자식	C ₂₁ H ₂₁ O ₄ P
분자량	368.4
끓는점	241-255°C (4mmHg) ; 190~200(0.5~10mmHg)
증기압	1E ⁻⁴ mmHg(20°C)
용해도	0.36 ; 0.34 (mg/l)
logPow	5.11 ; 5.12

자료 : Danish EPA, 1999

다. 위해성

TCP의 세 이성질체(tri-o-cresyl phosphate, tri-m-cresyl phosphate, tri-p-cresyl phosphate)는 독성 차이가 많이 나고, o-이성질체가 가장 독성이 강해서 일반적으로 가능한 한 상품에서는 사용하지 않고 있다. 덴마크에서는 tri-o-cresyl phosphate가 작업장 대기 중에서 0.1mg/m³ 초과하면 안 된다. TCP의 물리화학적 특성에 따라 생물농축 가능성이 높으나, 실제 환경에 저농도의 TCP가 노출될 경우 빠른 생물학적 분해로 인해 생물체에 축적되는 현상은 발견되지 않고 있다. 그러나 민물 조류(algae)의 경우 상대적으로 TCP에 민감하여 1.5-5.0mg/l의 농도범위에서 50% 성장억제현상을 나타냈으며, 무지개송어(rainbow trout)의 경우 1mg/l 이하의 농도에서도 만성 독성을 나타내었다. IPCS에서는 TCP에 대해 tri o-cresyl phosphate 배출을 막기 위해 대신 tri m-, p-cresyl phosphate 사용을 권장하고 있다.

2.3 Resorcinol bis(diphenylphosphate)**가. 적용분야**

열가소성 플라스틱 제조에 사용된다.

나. 물리화학적 특성

triarylphosphate와 비교하여 Resorcinol bis(diphenylphosphate)는 고온에서 휘발성이 작다.

CAS No.	57583-54-7
분자식	C ₃₀ H ₂₄ O ₈ P ₂

자료 : Danish EPA, 1999

다. 위해성

환경과 인체에 대한 독성은 알려진 바가 없다.

2.4. Phosphonic acid, (2-((hydroxymethyl)carbonyl)ethyl)-, dimethyl ester

가. 적용분야

직물에 널리 사용되는 방염제이고, 상업명으로 Pyrovatex CP라고도 불린다.

나. 물리화학적 특성

CAS No.	20120-33-6
분자식	C ₆ H ₁₄ NO ₅ P
분자량	211.18

자료 : Danish EPA, 1999

다. 위해성

스웨덴 방염제 프로젝트에서 인체에 대한 위해성 평가를 실시한 결과 acetyl choline esterase(AChE)와 microsomal enzyme system에 약한 억제제(inhibitor)로 작용하였다. 또한 쥐(rat)에 대한 급성 독성 실험 결과 Pyrovatex CP는 실제적으로는 독성이 없었고(LD50, 13g/kg), 고농도에서는 염색체 변형과 돌연변이를 유발하는 것(10mg/ml 투여시 20%의 metaphase cell에서 나타남)으로 나타났다.

2.5 인과 질소를 함유한 열경화성수지

가. 적용분야

인쇄회로판 및 전자부품 캡슐용 비할로겐화 열경화성 수지에 이용된다.

나. 위해성

할로겐 비함유 열경화성수지의 독성판별은 연소 중 독성을 띤 연기(toxic fume)가 발생하는가에 중점을 둔다. 그러나 여기에 대해 보고된 인체 및 환경에 대한 정보는 없다.

3. 무기계 방염제

가장 일반적으로 사용되는 무기계 방염제는 금속 수산화물로, aluminium trihydroxide, antimony trioxide, magnesium hydroxide 등이 있다. 이 중 aluminum trihydroxide와 magnesium hydroxide는 브롬화 방염제 대신 사용되는 비할로겐 방염제로 이용된다. 이외에도 무기인계 화합물과 아연 화합물이 있다.

3.1 Aluminium Trihydroxide

가. 적용분야

Aluminium trihydroxide는 가장 많이 사용되는 방염제이고, 응결 또는 증기상 두 형태 모두 사용 가

능하다. 그러나 매우 다량이 사용되어야 하는 단점이 있다(최대 50%).

나. 물리화학적 특성

CAS No.	21645-51-2
분자식	Al ₂ O ₃ H ₂ O
분자량	78.01
용해도	물에 녹지 않음

자료 : Danish EPA, 1999

다. 위해성

1998년 실시된 독성 연구결과 aluminium trihydroxide는 일부 특정 상황에서 고농도에 노출되는 경우를 제외하고 일반적으로는 독성이 매우 작은 것으로 나타났다. 환경에 대한 독성평가는 수행되지 않았으나 그 영향이 미미할 것으로 추정되고 있다.

3.2 Magnesium Hydroxide

가. 일반정보

방염 메카니즘은 Aluminium trihydroxide와 유사하나, 분해온도가 Aluminium trihydroxide에 비해 약 100℃가 더 높고, 연기도 덜 발생시킨다.

나. 물리화학적 특성

CAS No.	1309-42-8
분자식	Mg(OH) ₂
분자량	58.3
용해도	물과 알콜에 녹지 않음

자료 : Danish EPA, 1999

다. 위해성

환경에 대한 영향은 알려진 바가 없고, 다만 그 영향이 미미할 것으로 추정하고 있다.

3.3 Ammonium Polyphosphate(APP)

가. 적용분야

APP는 ammonium phosphate로부터 생산되고, 상품에 따라 여러 결정체와 각기 다른 분자량, 입자 크기, 용해도, 표면 코팅 특성을 갖는다. 팽창성 페인트, 일반 페인트, 방수제 등에 이용되고, 열가소성 플라스틱에 사용될 때에는 aluminium trihydroxide나 melamine과 같은 다른 방염제와 함께 쓰인다.

나. 물리화학적 특성

CAS No.	68333-79-9
분자식	OP(O)(ONH ₄)단위의 반복
분자량	다양함

자료 : Danish EPA, 1999

다. 위해성

인체와 환경에 대한 독성평가 자료는 없다.

3.4 Red Phosphorus

가. 적용분야

일반적으로 폴리아미드에 사용되나, 플라스틱 전반에 걸쳐 사용될 수도 있다. 덴마크에서는 작업장 대기 중의 red phosphorus의 한계치를 0.1mg/m³로 규정하였다.

나. 물리화학적 특성

CAS No.	7723-14-0
분자식	P
원자량	30.97
녹는점	590℃
용해도	물과 알콜에 녹지 않음

자료 : Danish EPA, 1999

다. 위해성

붉은 인은 인화성과 자가연소 특성을 가지고 경우에 따라 독성 phosphine을 발생시키기도 한다. 따라서 미세캡슐화 시키거나, 안정화시킨 형태로 사용된다. 그러나 현재 널리 사용되고 있음에도 불구하고, 이러한 취급상의 문제 때문에 소규모의 업체에서는 되도록 사용하지 않고 있다. 인체와 환경에 대한 위해성 평가 자료는 없다.

3.5 Zinc Borate

가. 적용분야

아연화 방염제 중 가장 많이 쓰이는 방염제이고, 특히 antimony trioxide의 대체물질로 사용된다. Aluminium trihydroxide를 비롯하여 다른 방염제와 함께 사용되기도 한다.

나. 물리화학적 특성

CAS No.	1332-07-6
분자량	다양함
녹는점	980℃
용해도	물과 묽은 산성용액에서 녹지 않음

자료 : Danish EPA, 1999

다. 위해성

한편 인체와 환경에 미치는 영향에 대한 자료는 없다.

4. 질소계 방염제

4.1 Melamine

가. 적용분야

Melamine과 그 부산물(melamine cyanurate, melamine polyphosphate 등)은 플라스틱과 방수제 및 팽창성 페인트에 널리 사용된다.

나. 물리화학적 특성

CAS No.	108-78-1
분자식	C ₃ H ₆ N ₆
분자량	126-13
끓는점	승화물
증기압	50mmHg(315℃)
용해도	물, 에탄올, 글리콜, 글리세롤에 다소 녹음. 디에틸에테르 및 벤젠에는 녹지 않음

자료 : Danish EPA, 1999

다. 위해성

1995년의 「스웨덴 방염제 프로젝트」를 통해 인체위해성이 연구되었다. 설치동물에 대해서 급성 경구독성을 실험한 결과 LD50이 3.2-7.0mg/kg body weight였다. 스웨덴 지침에 따르면 melamine은 “moderately acute toxic substance”로 분류된다. 한편 melamine은 rat의 소장내 지속적으로 흡수되고, 빠르게 소변을 통해 배출되며 피부에 대한 흡수는 보고된 바가 없다. 기니아피그를 대상으로 한 실험에서 특정 반응을 나타내지 않았으며, 인체에 대해서 patch test를 한 결과에서도 특정 반응을 확인할 수 없었다. 또한 rat을 대상으로 먹이에 1.6-1.9%의 melamine을 투여한 결과 subchronic effect로 소변의 나트륨, 칼륨, 암모늄, 칼슘의 농도와 pH를 떨어뜨렸고, 만성적으로 방광에 결석이 생성되는 증상을 보였다. 방광에 결석이 생기는 증상은 수컷에서만 발견되었고, 결석은 암과도 강한 연관성을 보였다. 따라서 melamine이 야기하는 암종(carcinoma)은 종(種) 뿐 아니라 성별에도 의존적이다. 하지만 melamine이 melamine을 함유한 제품 사용 시 얼마만큼 배출되는가 알 수 없는 상황에서 이러한 결과들을 통해 melamine이 얼마만큼 위해성을 지니는가를 판단하기는 간단하지 않다. 한편 환경에 대한 영향을 나타낸 자료는 없다.

부록 IV. 유독물 및 관찰물질 지정기준

〈표 1〉 유독물질 지정기준

(1) 설치류에 대한 급성경구독성시험에서 시험동물의 반수를 죽일 수 있는 양(LD50)이 200mg/kg이하인 화학물질
(2) 설치류에 대한 급성경피독성시험에서 시험동물의 반수를 죽일 수 있는 양(LD50)이 1,000 mg/kg이하인 화학물질
(3) 기체 또는 증기로 노출시킨 경우 설치류에 대한 급성흡입독성시험에서 시험동물의 반수를 죽일 수 있는 농도(LC50, 4hr)가 2,500ppm 이하인 화학물질
(4) 분진 또는 미립자로 노출시킨 경우 설치류에 대한 급성흡입독성시험에서 시험동물의 반수를 죽일 수 있는 농도(LC50, 4hr)가 2.0mg/ℓ 이하인 화학물질
(5) 피부나 점막에 대한 자극성이 염산이나 황산 10%수용액 또는 페놀·수산화나트륨·수산화칼슘 5%수용액과 동등이상인 화학물질
(6) 어류에 대한 독성시험에서 시험어류의 반수를 죽일 수 있는 농도(LC50, 96hr)가 1.0mg/ℓ 이하인 화학물질
(7) 어류에 대한 생물농축계수가 500이상인 물질로서 28일 반복투여독성시험 결과 최대무작용량이 10mg/kg/day이하이거나 보다 장기간의 시험에서 간·신장등에 특이한 영향을 주는 것으로 확인된 화학물질
(8) 유전독성시험중 동물시험(in vivo)과 박테리아를 이용한 유전자변이시험 또는 이와 동등 이상의 시험에 해당하는 시험관내시험(in vitro)에서 양성인 화학물질로서 발암성시험을 하지 아니한 물질
(9) 2종이상의 발암성시험에서 암을 유발한다는 증거가 있거나 국제암연구센터 등 국제적인 전문기관에서 인간에 암을 유발하는 것으로 분류된 1급화학물질 및 인간에 암을 유발할 우려가 있는 것으로 판정된 2A급화학물질
(10) 인체와 관련한 증거를 통하여 인체의 생식능력·발생에 악영향을 주는 것으로 알려졌거나, 동물실험 및 기전연구에서 생식능력·발생에 악영향을 준다는 충분한 증거가 있어 인체에도 그러한 악영향을 줄 것으로 추정되는 화학물질

자료 : 환경부

비고 :

- ① 흡입독성의 단위는 기체 또는 증기로 노출시키는 경우에는 ppm으로, 분진 또는 미립자를 노출시키는 경우에는 mg/ℓ로 표시하는 것을 원칙으로 하되 식 $[mg/ℓ = (ppm \times \text{분자량} / 24.45) \times 1/1,000 (\text{상온, 상압})]$ 에 의하여 ppm 또는 mg/ℓ로 환산하여 적용한다.
- ② 어독성을 평가함에 있어 제7조의 시험방법에 의하지 아니하고 실제환경을 고려하여 수행된 시험자료가 있는 경우 이를 우선적으로 고려할 수 있다. 즉, 대상물질이 수계에서 쉽게 흡착되거나 분해되는 경우와 같은 특별한 사유가 있는 경우 이를 고려하여 수행된 시험결과를 기준으로 유독물로 지정할 수 있다. 그리고, 어독성 시험자료가 96시간 기준이 아닌 48시간 기준인 경우 잠정적으로 계수 2를 사용할 수 있으며, 여러 어종에 대한 자료가 있는 경우 국내 서식 어류를 우선하여 고려한다.
- ③ 옥탄올물분배계수·생물농축성 등을 평가함에 있어 여러 항목에 대한 자료가 있는 경우 알려진 과학적 사실에 근거하여 우선순위를 둔다. 즉, 생물농축성이 낮음에도 불구하고 옥탄올물분배계수가 높다는 이유로 관찰물질로 지정하여서는 아니된다. 또한, 옥탄올물분배계수가 높은 경우에 불구하고 물질의 특성상 생체막에 용해되지 아니하거나 생체막을 통과할 수 없는 물질은 관찰물질로 지정하지 아니할 수 있다.
- ④ 어독성·생물농축성·유전독성·난분해성 및 옥탄올물분배계수등에 관한 평가는 OECD국가에서 일반적으로 사용되고 있는 구조화성관계 예측프로그램을 통하여 얻은 자료에 기초할 수 있다.
- ⑤ 난분해성 물질의 평가는 일반 OECD분해성 시험지침에 의하되, 광분해·가수분해등 비생물적으로 빠르게 분해되는 경우에는 미생물적 분해에 우선할 수 있다.

<표2> 관찰물질 지정기준

- (1) 난분해성물질로서 옥탄올물분배계수(logP_{ow})가 4 내지 7인 화학물질 또는 어류에 대한 생물농축계수가 500이상인 화학물질
- (2) 박테리아를 이용한 유전자변이시험과 포유류배양세포를 이용한 염색체이상 시험 또는 이와 동등이상의 시험에 해당하는 시험에서 모두 양성이거나 시험동물을 이용한 시험에서 유전적 손상을 주는 화학물질
- (3) 1종이상의 시험동물에 대하여 암을 유발한다는 증거가 있거나 국제암연구센터등 국제적인 전문기관에서 인간에 암을 유발할 가능성이 있다고 판정하는 2B급 화학물질
- (4) 인체 및 동물에 대한 시험(in vivo 또는 in vitro)에 기초한 자료를 통하여 인체의 생식능력·발생에 악영향을 준다고 의심되며, 인체에 그러한 악영향을 주지 아니한다는 증거가 미약한 화학물질

자료 : 환경부

비고 : <표1>과 동일

나. 제1호의 항목별기준에 해당하는 경우에 불구하고 그 화학물질의 물리화학적 특성, 용도, 예상노출량, 사용빈도 등을 고려하여 유독물 또는 관찰물질로 지정하지 아니할 수 있다.

다. 제1호의 항목별기준에 해당하는 화학물질이 포함된 화합물질·혼합물질에 대한 유독물 및 관찰물질의 지정기준은 국립환경연구원장이 이를 정하여 고시한다.

부록 V. 약어 정리

ABS	Acrylonitrile butadiene styrene
APP	Ammonium polyphosphate
BAT	Best available technology
BC-48	Tetrabromocyclooctane
BC-58	TBBA polycarbonate oligomer
BCF	Bioconcentration factor
B·E·O	Brominated epoxy oligomer
BFR	Brominated flame retardant
BSEF	Bromine science and environmental forum
CIS	Chemical information service
DecaBDE(=DBDE)	Decabromodiphenyl ether =Decabromodiphenyloxide(DBDPO)
E&E	Electrical and electronic
EEC	European economic community
EHC	Environmental health criteria
EPA	Environmental protection agency
EPS	Expanded polystyrene
EU	European union
FF-680(=BTBPE)	Bis(tribromophenoxy)ethane
HBCD	Hexabromocyclododecane
HIPS	High impact polystyrene
IPCS	International programme on chemical safety
ITC	Interagency testing committee
LD50	Lethal Dose 50
NonaBDE(=NBDE)	Nonabromodiphenyl ether
OctaBDE(=OBDPO)	Octabromodiphenyl ether =Octabromodiphenyl oxide
PBBs	Polybrominatedbiphenyl
PBDEs	Polybromodiphenyl ether = Polybrominated diphenyl oxide = Polybrominatedbiphenyl oxide
PCB	Polychlorinatedbiphenyl

PentaBDE(=PeBDE)	Pentabromodiphenyl ether
HexaBDE(=HBDE)	Hexabromodiphenyl ether
OECD	Organization for economic cooperation and development
PA	Polyamide
PBBs-PA	Pentabromopenylpolyacrylate
PBDD	Polybrominated dibenzodioxin
PBDD/F	Polybrominated dibenzodioxin/furan
PBDF	Polybrominated dibenzofuran
PBT	Polybutulene terephthalate
PC	Polycarbonate
PET	Polyethylene terephthalate
POPs	Persistent organic pollutants
PP	Polypropylene
PUF	Polyurethane foam
PUR	Polyurethane
PVC	Polyvinyl chloride
Pyrovatex CP	Phosphonic acid(2-((hydroxymethyl)carbamyl)ethyl)- dimethyl ester
ROS	Restriction of substance
Saytex BT-93	Ethylenbistetrabromophthalimide
SNUR	Significant new use rule
TBBA-AE	TBBA-Allyl Ether
TBBPA(=TBBA)	Tetrabromobisphenol-A
TBP	Tribromophenol
TBP-AE	Tribromophenol allyl ester
TCP	Tricresyl phosphate
TetraBDE(=TeBDE)	Tetrabromodiphenyl ether
TPP	Triphenyl phosphate
TRI	Toxics release inventory
TriBDE(=TrBDE)	Tribromodiphenyl ether
TRIS	Tris(2,3-dibromopropyl)phosphate
TSCA	Toxic Substances Control Act
UP	Unsaturated polyesters
WEEE	Waste electrical and electronic equipment
WHO	World health organization
XPS	Ekstruded polystyrene foam
ZVEI	German electrotechnical and electronic association