

기술자료

## 브롬화 난연제의 환경오염도 관리 방안\*

김용범\*\* · 이상훈\*\*\* · 정 용\*\*\*\*

순천대학교 기초과학연구소\*\*, 수원대학교 환경과학과\*\*\*, 연세대학교 의과대학 예방의학교실\*\*\*\*  
(2005년 3월 11일 접수, 2005년 4월 6일 승인)

### Monitoring of Brominated Flame Retardants (BFRs) for the management of Their Contamination in Environments\*

Yong-Bum Kim\*\* · Sang-Hoon Lee\*\*\* · Yong Chung\*\*\*\*

Institute of Basic Science, Suncheon National University Suncheon\*\*,  
The Dept. of Environmental Engineering, Suwon University\*\*\*,  
The Dept. of Preventive Medicine and Public Health, College of Medicine, Yonsei University\*\*\*\*  
(Manuscript received 7 January 2005; accepted 3 March 2003)

### Abstract

Brominated flame retardants have the market share of 40%, comparing others because of their low cost and highly effective retardation against the flame. However, their toxic effects in human and properties of the accumulation in the environments have been issued among the international organization such as EU, OECD and etc. It, therefore, was surveyed the classification, toxic effects, and the usage of Brominated flame retardants, the trends for their managements in the world and Korea, and their contaminated levels in Korean Peninsula. In addition, the management directions for them were proposed.

Penta, octa, and deca-BDE among brominated retardants will seem to be prohibited by the regulation as a flame retardants for plastics in Europe because of their toxic effects. Although Penta and Octa BDEs was used marginally in Korea, deca-BDE was 27% of brominated flame retardants (49,050 ton) which had been used in 2002. However, risk assessment for brominated retardants might not launched in Korea, yet. These reports demonstrate that toxic brominated retardants such as PBDEs will be assessed for their usage and the level of contamination in the environment in the area of the point sources like the industrial areas, incinerators and etc. However, the law to regulate the hazardous chemicals seems not to be dictated the monitoring

Corresponding Author: Yong-Bum Kim, Institute of Basic Science, Suncheon National University, 315 Magok-Dong, Suncheon, Jeonnam, 540-742, Korea Tel: 82-61-750-3617 Fax: 82-61-750-3608 E-mail: yongbkim@suncheon.ac.kr

\* 이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2004-075-C00014)

of their contamination in the environment. We, therefore, suggest how to evaluate and to monitor the toxic contaminants with EIA (Environmental Impact Assessment) and LCA (Life Cycle Assessment) system. Further, to establish the management system of BFRs (such as the monitoring of contamination levels in environments, life cycle assessment, and risk assessment for the toxic chemicals), It can be recommended the law to deal with the method analyzing chemicals will be established, which contains QA/QC (Quality Assurance and Quality Control) to evaluate the analytic capability of the companies to prepare EIS (Environment Impact Statement) or other institutes for analyzing chemicals.

Key words : Brominated Flame Retardants, Toxic substances, EIA, EIS, Harzardous materials, PBDEs, PBBs

## I. 서론

브롬화 난연제(Brominated Flame Retardants, BFRs)는 컴퓨터, TV와 같은 가전제품, 건축용 자재, 그리고 실내장식재 등에 사용되는 플라스틱제품 또는 섬유를 원료로 한 각종 가연성 제품의 연소를 지연시키기 위하여 플라스틱 수지에 물리적으로 첨가되거나 화학적으로 결합시키는 물질이다(박정규·정다운, 2001). 브롬화 난연제는 저렴한 가격과 높은 난연 효과로 인해 전 세계 불연제시장의 약 40%정도를 차지하고 있다(박정규·정다운, 2001; 광물과 산업, 2000). 그러나 브롬화 난연제들이 위해하다는 보고가 최근 확인되고 있다. 따라서 브롬화 난연제는 생산, 가공과정에서 노출, 제품의 사용 및 폐기 과정 그리고 화재로 인한 노출, 그리고 대기, 수질, 및 토양 등 환경에서 먹이사슬을 통한 축적을 통하여 인간 및 생태계에 영향을 미칠 수 있다(박정규·정다운, 2001; WHO, 1994; SAEFL, 2003).

EU를 포함한 선진국들의 신화학물질관리정책(REACH)은 화학물질의 사용량 및 유해성 정도에 따라 등록, 평가, 허가 등을 의무화한 것으로서 2005년도에 법령으로 제정이 예정되어 있다(한국생산기술연구원, 2004). 그리고 화학물질분류체계(GHS)에 따르면 화학물질에 대하여 세계적으로

통일된 분류기준 및 표기방법을 사용하는 제도로 2006년부터 시행될 전망이다. 유해물질사용제한지침(RoHS; the Restriction of Hazardous Substances in electrical and electronic equipment)에 따르면 전자제품에 포함된 중금속 등 6개 유해물질 사용을 제한하는 법안으로 2006년 7월 1일부터 시행예정이다(한국생산기술연구원, 2004; CSCBCD, 2004). 이러한 RoHS 지침의 경우 전기기기의 신제품에 납(Pb), 수은(Hg), 카드뮴(Cd), 육가크롬의 중금속과 브롬계 난연제인 PPB(polybrominated biphenyls)와 PBDE(polybromodiphenyl ethers)들이 2006년 7월 1일까지 원칙으로서 함유되지 않도록 하는 것을 목적으로 하고 있다. 이러한 보고들은 위해성이 확인된 브롬화 난연제의 사용의 체계적인 관리, 사용 금지뿐만 아니라 이미 사용된 유해물질의 관리가 국제적 동향이라는 것을 의미한다.

한국의 경우 선진국에 비하여 난연제의 사용이 적은 편이나 최근 지하철 화재 등을 통하여 난연제 사용의 필요성이 증가하고 있다. 따라서 난연제 사용 증가는 필수적으로 브롬화 난연제 사용 증가를 야기할 것으로 판단된다(광물과 산업, 2000). 전술한 바와 같이, 브롬화 난연제 중 일부 물질은 위해성이 증명되어 유럽 및 미국 등에서 이들의 사용금지에 대한 논란이 있으며(ECRPC, 2003), 논란이 되고 있는 물질에 대해서 한국에서

도 관리대책을 수립하고 있다.

브롬화 난연제 사용증가는 원칙적으로 플라스틱 틱류 사용의 증가에 의하여 부수적으로 수반되는 것이다. 플라스틱류는 석유를 원료로 하고 있기 때문에 플라스틱류는 자원고갈 및 폐기물 처리과정에서 발생하는 오염물질 문제 등을 수반한다. 따라서 자원 활용의 효율성을 증대시키고 깨끗한 환경을 유지하며 지속가능한 사회의 구현을 위해서는 브롬화 난연제의 사용 및 오염도 관리가 필요하다. 이를 위하여 현행 법적 체계 하에서 국제적으로 위해한 물질로 인정될 경우 또는 위해성 평가 결과 위해성이 크다고 판단 될 경우 해당 물질의 사용 금지를 시행할 수 있는 것으로 판단된다(환경부, 2004). 그러나 이러한 오염물질이 실제 인체에 미치는 영향은 환경으로 배출된 후 발생하는 바, 위해 물질에 대한 환경에 노출된 후 오염도의 적정 관리가 중요한 요소가 된다. 또한 사용 금지가 결정된 물질이라 할지라도 이미 사용된 플라스틱 제품의 의하여 지속적인 환경노출이 수반되지만 이러한 유해화학물질의 환경 중 오염도를 확인하기 위한 제도적 방안이 구축되지 않은 것으로 판단된다.

따라서 브롬화 난연제의 특성, 위해성, 관리 동향을 조사 및 평가하고, 이들의 환경 노출에 대한 위해성 평가를 포함하여 지속적 모니터링을 수행할 수 있는 방법으로서 환경영향평가 및 LCA와의 연계를 통하여 유해화학물질의 환경 오염도를 관리하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

## II. 조사 방법

본 연구는 브롬화 난연제의 특성, 독성, 사용량, 오염도, 관리 동향 등에 대한 자료수집, 수집된 자료의 분석 및 평가 그리고 브롬화 난연제 관리 및 대응 방안 모색의 3단계 과정을 통하여 수행하였으며, 그림 1에 본 연구 단계별 내용을 요약하여 나타내었다.



그림 1. 연구 단계별 조사 내용

브롬화 난연제 종류, 특성, 위해성, 사용 현황, 오염도 그리고 관리 동향에 대한 문헌 조사 및 관련 문헌을 확보하기 위하여 인터넷 검색 서버(www.google.com)을 이용하여 브롬화 난연제(Brominated flame retardants)를 검색단어로 사용하여 검색하거나 www.bsef.com 에서 관련 자료를 획득하였다. 국내 브롬화 난연제 관련 연구보고서 등은 환경부 담당자를 통하여 구독하였다. 그리고 한국의 브롬화 난연제 오염 정도를 파악하기 위하여 한국학술정보 데이터 베이스를 이용하여 검색하였다. 검색 키워드는 브롬화 난연제와 브롬화 난연제 화학 물질명(PBBs, PDBEs, TBBPA, HBCD 등)을 사용하였다. 최종적으로 검색된 연구 결과는 어연우 등(2000)과 Moon et. al (2001)로 조사되었다. 그리고 브롬화 난연제 hazard identification (위험성확인)과 용량반응(dose-reponse), 즉, 위해성에 대한 기존 자료의 검토는 CSCBCD (2004), Danish EPA (2001), CIEOX (2000) 그리고 ECRPC (2003) 등에 분석된 자료를 사용하였다.

수집된 자료의 분석과 평가는 브롬화 난연제의 한국 환경오염도, 브롬화 난연제의 특성 및 위해성, 그리고 세계적 관리 추세에 대해서 수행하였으며, 브롬화 난연제의 오염도 분석과 위해성은

메타 분석(각각 독립적으로 시행된 연구에서 얻은 데이터를 수집하여 일괄 비교하는 방법)을 통하여 수행하였다. 세계적 관리 추세에 대한 평가를 위하여 브롬화 난연제 또는 플라스틱 관련 기업 실무자(삼성, SK, 그리고 GM대우) 그리고 환경부 행정 실무자와의 전화 인터뷰를 통하여 조사된 브롬화 난연제의 세계적 추세가 미치는 영향 및 의미에 대하여 확인하였다. 기업 실무자와의 전화 인터뷰에서는 현재 해당 기업의 브롬화 난연제에 대한 인식과 대응 방향에 대한 유무 및 브롬화 난연제 외의 다른 대체물질 사용할 경우 처리 방안에 대하여 문의하였다.

마지막으로 브롬화 난연제의 관리방안은 환경유해물질관련 행정 실무자와의 focused depth interview와 email 교환 등의 방법을 이용하였고, 브롬화 난연제 관련된 현행 행정 체계와 대응방안의 적법성 또는 신규 법안 제정의 필요성 등을 파악하였다.

### III. 조사 결과

#### 1. 브롬화 난연제

##### 1) 브롬화 난연제 종류

플라스틱 제품에서 브롬화 난연제의 사용량은 제품의 종류에 따라 다르지만 총 중량의 5 - 30%까지 첨가되는 것으로 알려져 있다(WHO, 1994). 각각의 브롬화 난연제는 50 - 85%의 브롬을 함유하는데, 브롬이 결합되어 있는 물질 화학적 특성에 따라 방향족(TBBPA (tetrabromobisphenol-A), PBDEs, PBBs), 지방족(HBCD (hexabromo cyclododecane)), 그리고 고리지방족 등으로 분류된다. 이 중 PBDEs는 총 209개의 다른 화합물이 상용화되고 있는 것으로 알려져 있는데, 이들의 화학구조가 PCB(polychlorinated biphenyls), 다이옥신 그리고 퓨란과 비슷하다고

표 1. 브롬화 난연제 종류별 브롬 함유량 및 반응 특성

종 류	브롬함유율(%)	반응형(R)/첨가형(A)
TBBPA	59	R, A
TBBPA carbonate oligomer	55	A
TBBPA-bis(allylether)	51	R
Deca-BDE	83	A
Octa-BDE	79	A
Penta-BDE	71	A
HBCD	75	A
Ethylene bis (dibromobornane dicarboximide)	48	A
2,4,6-Tribromophenol(TBP)	73	R
HBPE	70	A
TBPAAE	65	R
PBB-PA	70	A
Brominated polystyrene	60	A

KISTI, 2002

알려져 있다(KISTI, 2002).

브롬화 난연제는 플라스틱 제조과정에서 단순히 첨가되는 첨가형과 플라스틱과 반응하는 반응형으로 구분된다(표 1). 반응형은 플라스틱과 화학적으로 결합되기 때문에 사용과정에서는 난연제가 환경 중으로 노출되지 않는다. 그러나 첨가형의 경우는 물리적으로 혼합된 것으로 화학결합을 형성하고 있지 않기 때문에 제품 사용과정에서 일정한 비율로 난연제가 배출된다(ECRPC, 2003). 표 1은 현재 사용되는 대부분의 브롬화 난연제가 첨가형이라는 것을 나타내고 있다. 이러한 결과는 브롬화 난연제가 이용과정에서 환경 중으로 배출된다는 것을 암시하고 있다.

##### 2) 브롬화 난연제 위해성

브롬화 난연제는 산, 염기, 열과 빛 그리고 산화제나 환원제에 대한 저항성이 매우 크며 대기 중으로 방출되었을 때 분해가 잘 되지 않는 화합물로 알려져 있다(Danish EPA, 1999; Swedish EPA). CSCBCD(2004) 보고서에 개재된 BFRs의 종류별 독성을 표 2에 요약 정리하였다. 브롬화 난연제의 위해성과 관련된 자료(CSCBCD, 2004;

표 2. 주요 브롬화 난연제의 물질별 독성

난연제 종류(물질명)	독 성
PBB	간악영향 (무게 증가, 세포 파괴, 글리코겐 함량 감소 등) 피부, 눈에 염증을 유발 및 갑상선 손상, 여성호르몬 생성 촉진 남성 생식력 저하 등의 내분비계 장애 유발
Penta-BDE	간 기능 이상, 피부 염증과 갑상선 호르몬 이상 유발
Octa-BDE	배의 치사율을 증대, 골격형성 지연
Deca BDE	신경독성가능성, 발암유발가능성,
TBBPA(첨가제)	모유에서 발견, 간 독성 가능성
TCPP(Tris (chloroisopropyl) phosphate)	간과 신장축적, 돌연변이유발가능성 및 발암 위해성
HBCD	생체 축적성, 신경독성
Bis(pentabromophenyl) ethane	다이옥신생성 가능성, 독성 분석 자료 불충분

CSCBCD, 2004; Danish EPA 2001; OECD, 2004

Danish EPA 2001; OECD, 2004)에 언급된 브롬화 난연제의 독성을 요약하여 표 2에 나타내었다.

현재 사용하고 있는 주요 브롬화 난연제는 상대적으로 낮은 급성독성을 보이고 있으나(Danish EPA, 2001), penta BDE의 NOEL(the highest level having no effect)은 1mg/kg/day이며, 생체 축적율이 3.4 - 17,000으로 알려져 있다. Octa-BDE는 간에 부정적 영향을 줄 수 있는 최저 농도가 7mg/kg/day (약 100 ppm) 정도로 보고 되었다(Danish EPA, 2001). 또한, deca BDE의 NOEL은 약 2mg/kg/day이며 생체 내에서 28일간 분해가 관찰되지 않았다. TBBPA의 경우 어류의 NOEC (the highest concentration having no effect)가 조사되었는데, 세 가지 어류에서 1.0 - 0.26mg/l였으며, HBCD는 동물의 경우 NOEL이 80mg/kg/day로 보고 되었다(Danish EPA, 2001; CETOX, 2000). 대부분의 브롬화 난연제는 발암가능성이 없으며(CETOX,2000), deca-BDE의 경우 발암가능성이 제기되고 있으나 분자량이 매우 커 인체에 흡수될 가능성이 매우 낮다(OECD, 2004; CSCBCD, 2004). 따라서 사용하는 브롬화 난연제 중에는 발암 가능성이 있는 물질은 사용되지 않는 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 인체 장기에 손상 및 내분비 장애를 야기할 수 있으며, 환경 중에 축적되는 특징이 있다(CETOX, 2000; Danish

EPA, 2001). 즉, 브롬화 난연제의 위해성은 1) 생물 및 인체의 직접 독성, 2) 환경잔류 및 축적성, 3) 분해물질에 의한 독성, 4) 화학반응에 의한 독성, 5) 유해 첨가제에 의한 독성 등에 의하여 나타날 수 있다(OECD, 2004; CSCBCD, 2004). 그러나 특정 물질이 환경 중 화학변화에 의하여 발암 물질로 전환된 가능성을 배제할 수 없다.

### 3) 한국 브롬화 난연제 유통량

브롬화 난연제가 인체 및 생태계에 독성을 나타낼 수 있기 때문에, 한국의 환경으로 배출될 가능성을 확인하기 위하여 한국의 경우 브롬화 난연제가 생산, 이용, 폐기 등의 과정 즉, 브롬화 난연제의 사용량, 유통 및 수입현황을 조사하였다. 브롬화 난연제 생산량은 미국이 전 세계 생산량의 53%를 차지하고 있으며, 이스라엘이 29%이다(Danish EPA, 1999). 그러나 국내에서는 브롬화 난연제를 생산하지 않는 것으로 조사되었으며, 브롬화 난연제는 모두 수입에 의존하고 있었다. 또한 원재료로서 브롬화 난연제 자체가 수입되거나 일부는 수지에 포함된 상태로 수입되는 것으로 조사되었고, 플라스틱 완제품의 형태도 수입되고 있었다. 따라서 한국의 경우 브롬화 난연제 생산과정에서 환경 중으로 난연제가 배출될 가능성은 없는 것으로 판단된다.

표 3. 주요 브롬화 난연제 국내 유통량

구 분	제조량(천톤)	수입량(천톤)	사용량(천톤)	사용비율(%)
Penta BDE	0.00	0.01	0.002	0.004
Deca BDE	0.24	8.64	12.324	27.18
TBBPA	0.13	11.51	24.792	54.68
기타 BFRs	5.69	2.37	8.222	18.13
총 계	6.06	22.53	45.340	100

2002, 브롬화 난연제 유통량(환경부 조사 자료)

브롬화 난연제 국내 사용량은 1993년 16,800톤에서 1997년 39,300톤으로 2배 이상 증가하였다(KISTI, 2002). 이후 사용량에 대한 지속적인 분석이 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 2002 유통량에 대한 자료를 분석하였으며, 그 결과 표 1에서 보는 바와 같이 국내 브롬화 난연제 사용량은 45,340톤으로 조사되었다. TBBPA는 전체 브롬화 방염제 사용량의 약 55%를 차지하고 있었고, EU에서 위해성 평가 중에 있는 deca-BDE는 12,324톤으로서 비교적 많이 비율로 사용되고 있었다. 따라서 원재료와 플라스틱 수지의 유통 및 가공 과정, 즉, 플라스틱 수지를 다루는 작업장의 경우 브롬화 난연제가 환경 중에 배출될 가능성이 있는 것으로 판단된다.

#### 4) 브롬화 난연제 오염도

표 2에서 보는 바와 같이 한국에서 브롬화 난연제를 사용하고 있으며, 또한 사용량이 지속적으로 증가하였고, 브롬화 난연제의 사용 비율이 전체 난연제의 40% 이상을 차지하고 있었다

(KISTI, 2002). 따라서 이미 사용된 난연제가 한국 환경 중으로 배출되어 축적되었을 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 주요 브롬화 난연제 물질 즉, 위해성이 높아 사용이 금지된 PBBs, 상대적 위해성이 높으며 일정 수준이상 사용되는 PBDEs, 그리고 한국에서 가장 많이 사용하는 TBBPA에 대해서 한국 오염도 분석에 대한 기존 연구를 조사하였다.

PBBs(polybrominated biphenyls)는 세계적으로 사용이 금지되었으며, 한국에서도 1999년 사용이 중지된 물질로, 2000년에 수질, 토양 및 저질에 대한 PBB의 오염도를 조사한 결과 국내에서는 검출한계 내에서 PBBs가 검출되지 않았다는 것을 한국환경분석학회지에 보고하였다(어연우 등 2000).

PBDEs는 해양 저질 및 생물체에서 이러한 물질에 대한 오염도가 조사되어 2001년 보고된 바 있다(Moon et al., 2001). 오염도는 BDE 종류별로 차이가 있으나 한국 연안의 경우 최대 4.03 ng/g dry weight였으며, 생체 축적량은 0.03 ng/net weight로 나타났다. 이러한 보고는 한국 연안에서도 브롬화 난연제가 검출되고 있음을 의미한다.

표 3과 4는 한국의 브롬화 난연제 오염도를 외국과의 환경 및 생물체내의 BDE의 오염도를 비교한 결과이다. 한국 연안의 BDE 오염 정도는 서부 유럽의 1990년대 초의 오염도와 비슷한 경향을 나타내는 것으로 판단된다(Akutsu et al., 2001; Allchin et al., 1999; Manchester-Neesvig, 2001; Moon et al., 2001; Watanabe, 1995). 그러나 PBDEs

표 4. 한국과 외국의 BDE 오염도 비교

(ng/g dry weight)

국가 및 측정장소	BDE #47	BDE #99	조사 년도
한국 연안	0.01 ~ 4.03	0.01 ~ 1.43	2001
서부유럽	<0.2 ~ 5.8	<0.2 ~ 6.9	1999
스웨덴 (강)	0.9 ~ 22.5	<0.7 ~ 51.4	1993
일본, 오사카	12 ~ 31(tetra)	9 ~ 28 (penta)	1995
영국, 특정 점오염원하류	0.3 ~ 368	0.6 ~ 898	1999

Akutsu et al., 2001; Allchin et al., 1999; Manchester-Neesvig, 2001; Moon et al., 2001; Watanabe, 1995

표 5. 한국과 외국의 생물체 BDE 함유량 비교

(ng/g wet weight)

국가 및 측정장소	종류	BDE #47	BDE #99	보고 년도
한국 연안	패류	0.01 ~ 0.08	0.02 ~ 0.37	2001
미국, 미시건호	연어류	26.0 ~ 95.1	5.9 ~ 18.9	2001
일본, 세토해	어류	0.07 ~ 2.1	0.006 ~ 0.29	2001
영국, (오염원 인근)	어류 및 패류	0.6 ~ 2.2	1 ~ 4.4	1999

Akutsu et al., 2001; Allchin et al., 1999; Manchester-Neesvig, 2001; Moon et al., 2001; Watanabe, 1995

의 오염은 기하급수적으로 증가하는 것으로 알려져 있고 (ECRPC, 2003), 한국 난연제 수요의 증가로 인하여 브롬화 난연제의 오염이 기하급수적으로 증가할 가능성이 있기 때문에 이러한 물질들에 대한 관리가 필요한 것으로 판단된다.

TBBPA는 환경에 배출된 후, 다이옥신을 형성할 수 있으며 내분비계 이상을 초래할 수 있어 대체물질을 찾는 것에 관심을 가지고 있으며 (GFEA, 2001), 유럽에서 이미 먹이사슬에서 발견되는 것으로 알려져 있다. 또한 한국에서 브롬화 난연제 중 가장 많이 사용되는 물질이기 때문에 (표 2) 관심의 대상이 될 수 있다고 판단된다. 그러나 이러한 물질의 오염도에 대해서 검색을 통하여 관련자료를 획득할 수 없었다. 따라서 이러한 물질에 대한 환경오염도 분석이 이루어지지 않았거나 분석을 시행 또는 준비 중인 것으로 판단된다.

상기 3가지 브롬화 난연제 오염도 조사결과 사용이 중지된 PBBs의 오염이 높지 않았다는 것은 앞으로 브롬화 난연제의 적정 관리가 이루어질 경우 이들의 환경오염도를 저감시킬 수 있다는 것을 의미한다. 또한 브롬화 난연제 오염도 조사결과를 분석하는 과정에서 유럽 등에서 사용되는 자료들은 각 물질의 오염도에 대한 시계열 분석 자료가 유용하게 이용되고 있음을 확인할 수 있었다(ECRPC, 2003). 이러한 것은 서구에서는 유해화학물질을 관리하고 국민과 생태계의 건강을 보호하기 위하여 지속적 모니터링 시스템을 구축되어 있음을 의미한다. 그러나 한국의 오염도 자

료는 특정 시기에 조사된 자료로 시계열 분석이 불가능한 자료였다. 이러한 것은 유해화학물질의 시계열 분석을 보다 체계적으로 환경 오염도 관리 시스템이 필요하다는 것을 암시한다.

## 2. 브롬화 난연제 관리 현황

### 1) 국제적인 브롬화 난연제 관리

브롬화 난연제의 위해성 및 오염도에 대한 시계열 자료 등은 브롬화 난연제가 1980년대부터 유럽에서 관리된 것을 의미하는 바, 브롬화 난연제에 대한 관리의 방향을 확인하기 위하여 관리의 변화과정을 조사하였다. 조사 결과 표 5에서 보는 바처럼 유럽지역에서 브롬화 난연제 관리(CSCBC, 2004; ECRPC, 2003)는 사용 제한 및 금지 등 엄격하게 관리를 강화 방향으로 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

세계에서 브롬화 난연제를 가장 많이 생산하는 미국에서도 브롬화 난연제의 안전성에 대하여 주목하고 있다. 특히 어린이의 화학물질 위험성에 관한 자발적 평가프로그램(VCCEP; Voluntary Children's Chemical Evaluation Program)의 대상에 PBDEs를 포함시키고, 산업계와의 자발적 협약에 기초하여 penta-BDE의 근절을 추진 중이다. 또한 미국은 PBDEs와 HBCD에 대한 Significant New Use Rule을 마련 중에 있다. 캘리포니아 주정부는 2008년까지 penta-BDE와 Octa-BDE의 사용을 금지할 계획임을 발표하였다(ECRPC, 2003). 또한 미국에서 발단된 CSCBCD(2004)년 자료에서는

표 6. 유럽지역에서 BFRs 관리 변화 과정

(ng/g wet weight)

년 도	국 가	대 응
1989	독 일	공장에서 PBDEs의 사용을 자발적으로 제한
1989	네덜란드	공장에서 PBBs와 PBDEs의 사용을 자발적으로 제한
1989	EU	피부에 직접 접촉하는 부분에 대해서 tris(2,3-dibromopropyl)-phosphate와 PBBs의 사용제한
1992	OSPAR	PBDEs와 PBBs를 최단기간내에 사용중지물질로 결정
1993	독 일	PBDEs를 다이옥신 처리규정에 따라 사용금지
1995	북 해	BFR을 독성이 적은 다른 대체물질로 바꿀 것을 결정
1995	OECD	산업계와 PBBs와 PDBEs의 저감프로그램의 자발적 협약 체결
1999	스웨덴	PBDEs와 PBBs를 5년 이내에 사용을 중지 궁극적으로 모든 BFR을 다른 물질로 대체하기로 결정
1999	WHO	BFR을 대체할 수 있는 지역에서 사용하지 않도록 권고
2000	OECD	PBB 생산 중지에 대한 생산업체의 자발적 동의를 받음
2003	호 주	환경옹호론자들이 deca BDE (PBDEs의 일종)를 사용 중지
2003	EU	HBCE와 TBBPA의 영향 조사 실시
2003	노르웨이	각 회사에게 BFR 사용 저감 및 중지하고자 하는 계획을 받음
2003	네델란드	TBBPA(bis(2,3-dibromopropyl) tetra bromobisphenol A) 생산금지
2004	EU	penta, octa BDE 사용중지
2004	EU	deca BDE 사용 중지에 대하여 논의
2004	노르웨이	penta, octa BDE 사용 중지
2005	노르웨이	deca BDE 사용중지예정
2005	노르웨이	EU의 별도 규정이 없더라도 HBCE와 TBBPA 사용중지 예정
2006	EU	EU로 수입되는 전기제품의 penta, octa, deca BDE 사용 제한
2020	OSPAR	모든 BFR의 사용 중지

## 2004. CSCBCD

여러 가지 난연제에 대한 관리 방안을 제시하였는데, 사용 중지 또는 저감 및 대체물질 개발이 주류를 이루고 있다. 따라서 이러한 국제적 변화 추세는 브롬화 난연제의 경우 장기적으로 사용을 중지하는 것을 권고하고 있는 것으로 판단된다.

## 2) 한국의 BFRs 관리

한국의 브롬화 난연제 관리는 산업자원부(전기용품안전관리법), 환경부(유해화학물질관리법), 그리고 행정자치부(소방법) 등으로 분산되어 관리되고 있다. 그러나 최근 추세는 화학물질의 위해성에 근거하여 환경부의 유해화학물질관리법에 의해 관리되는 는 경향이 높은 것으로 판단된다. 특히, 유해화학물질관리법 32조는 1) 위해성평가 결과 위해성이 크다고 인정되는 경우, 2) 국제기

구 등에 의하여 사람의 건강이나 환경에 심각한 위해를 미칠 수 있다고 판명되는 경우, 그리고 3) 국제협약 등에 의하여 제조·수입 또는 사용이 금지되거나 제한되는 경우 화학물질의 사용을 금지할 수 있음을 명시하고 있다. 이에 따라 PBBs는 유해화학물질관리법상 그 자체의 제품이나 PBBs를 1% 이상 함유한 제품에 대해서 규제가 되어있다. 그러나 이외의 다른 브롬화 난연제는 관리가 되지 않고 있는 실정이다.

브롬화 난연제가 포함된 폐기물에 대해서는 한국도 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 품목'을 개정 및 고시하여 운영하고 있다. 또



한 EU 등 선진국의 전자·자동차의 환경규제 (Waste electrical and electronic equipment, RoHS 등)에 대응하여 국제경쟁력을 향상시키고, 중국 등 동남아 등으로부터 수입되는 제품으로 인한 환경문제를 사전예방하기 위하여, 한국은 현재 사전제품환경성보장제 계획을 추진 중에 있다.

환경부는 EU 등 선진국의 전자제품 및 자동차에 대한 환경규제(WEEE, RoHS, ELV 등)에 대응하여 한국의 국제경쟁력을 향상시키고(한국생산기술연구원, 2004), 중국 등 동남아 등으로부터 수입되는 제품으로 인한 환경문제 사전예방하기 위하여『전자제품·자동차의 환경성보장제』를 도입하고자 연구용역을 실시하고 있으며 유럽의 시행시기 등을 고려하여 금년에 법제화할 계획이다. 이 제도는 가전, 자동차 제품에 대한 환경오염 유발 물질 사용제한과 재활용률 기준을 법적으로 부여하려는 것으로 향후 EU 소속 국가 등 선진국으로의 수출 과정에서 충분히 예상되는 '환경 크레임'에 미리 대응하는 것을 목적으로 하고 있다.

브롬화 난연제에 대한 위해성 평가와 관련하여, 이들의 오염도 및 혈액 내 잔류실태가 한국에서 분석된 바 있으나, 브롬화 난연제에 대한 기초 연구 및 사회적 관심도는 매우 기초적인 단계에 머물러 있어 한국은 브롬화 난연제의 국내 오염 실태에 대해서 조사가 미미한 실정이다. 단, 내분비계 장애물질로 확인된 PBBs에 대해서만 환경부의 "내분비계 장애물질 중·장기연구사업"의 일환으로 실시하고 있다. 또한 2001년 포항공대에서는 5종의 생물시료와 19명(소각장 근로자 8명, 인근주민 11명)의 혈액샘플을 채취하여 PBDEs의 잔류실태를 조사하였는데, 생물시료에서는 3종(Tetra-, Penta-,Hexa-)의 PBDEs가 검출되었지만 외국의 유사연구에 비해 낮은 수준인 것으로 나타났다 할 지라도 Tetra-, Hexa-, Hepta-가 주로 검출되었고 그 농도는 0.07-7.7ng/g lipid가 검출되었다(환경부, 2002). 그러나 이러한 정보로는 PBDEs로 인한 오염실태를 파악하기에는 역부족

이며, PBBs라 할 지라도 생물시료의 수와 혈액샘플 수가 브롬화 난연제에 대한 충분한 대표성을 갖는다고 판단하기 어렵다. 따라서 한국에서도 브롬화 난연제의 위해성 평가와 오염도에 대한 적극적인 관리가 필요하다고 판단된다.

본 연구에서 환경부 행정 실무자와 인터뷰를 통하여 브롬화 난연제에 대한 대응을 조사한 바, PBDEs 종류의 일부는 사용 금지 및 제한을 추진하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 아울러 브롬화 난연제는 주로 유해물질관리법(환경부, 2004)에 의하여 사용 유무가 관리되는데, 브롬화 난연제에 대한 국제적 동향을 고려할 때 국내에서도 penta, octa 또는 deca BDE의 사용이 금지될 가능성이 높다. 따라서 기존 브롬화 난연제를 대체할 수 있는 대체물질에 대한 위해성 평가 및 Life Cycle Assessment(LCA)가 새로운 이슈로 등장할 것으로 판단된다.

### 3. 브롬화 난연제 관리 제언

#### 1) 환경과 브롬화 난연제

환경 중에 배출된 브롬화 난연제는 난분해성으로 인하여 환경에 축적되고, 먹이사슬을 통하여 궁극적으로 인체에 축적되어 악영향을 나타낼 수 있다. 본 연구 결과 브롬화 난연제는 생산, 제품의 제조과정 사용 과정에서 배출될 수 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 브롬화 난연제는 제품의 폐기과정 및 화재에 의해서 대량 환경 중으로 배출될 가능성이 높고, 환경에 배출된 후 분해 또는 화학변화를 통하여 위해성이 증가할 수 있다. 이와 더불어 환경에 배출된 브롬화 난연제는 여러 가지 경로를 통하여 하수처리장 슬러지에 축적될 수 있다(ESCPC, 2003). 그러나 한국에서는 브롬화 난연제 생산과정이 없기 때문에 이들의 환경 배출은 플라스틱 수지 제조, 이용 그리고 폐기 과정에서 주로 발생할 것으로 판단된다. 따라서 한

국 상황에 적합한 브롬화 난연제 배출 및 축적 과정을 모식화하여 그림 2에 나타내었다.

### 2) 브롬화 난연제의 위해성 평가

그림 2에서 보는 바와 같이 브롬화 난연제의 환경 중 배출은 제조, 이용, 유통 그리고 폐기 등의 단계에서 발생할 수 있다. 이것은 특정 브롬화 난연제 사용 금지와 같은 규제를 실시한다 할지라도, 소비자들이 사용 금지 이전에 구입한 제품은 이미 금지물질을 함유하고 있기 때문에, 소비자는 지속적인 위해성 물질에 노출될 수 있다는 것을 나타낸다. 또한, 최근에 내분비계장애물질을 비롯하여 인간 및 생태계 건강에 심각한 영향을 줄 수 있는 환경오염물질로 분류되는 화학물질이 점차 증가하고 있다. 따라서 국민의 건강을 위하여 비록 사용이 금지된 물질이라 할지라도 환경 축적성이 있는 위해물질의 경우 환경오염도에 대한 모니터링 및 그 결과를 공시할 수 있는 관리 시스템이 필요하다. 브롬화 난연제도 이러한 범주에 속하기 때문에 제품의 제조 및 이용 중에 환경에 노출되는 물질은 작업장 환경관리, 친환경 기업 인정제도, 그리고 위해성 평가 등의 현행 제도를 브롬화 난연제에 확장할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

한편, 위해성 평가는 위험성 확인, 노출평가, 독성평가(용량반응평가)의 단계로 이루어지는 것으로 본 연구과정에서 조사된 바에 의하면 각 브롬화 난연제에 대한 위험성확인 축적된 정보가 많아 비교적 효과적으로 이루어질 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 한국의 사람들이 전자제품 등에 노출되는 정도 및 브롬화 난연제에 대한 민감성에 대한 연구는 전무하다. 따라서 한국에서 수행될 위해성 평가는 노출평가에 보다 초점을 두고 진행될 필요성이 있다고 판단된다.

### 3) 환경영향평가와의 연계

유해물질관리법에는 제조공장, 소각장, 그리고

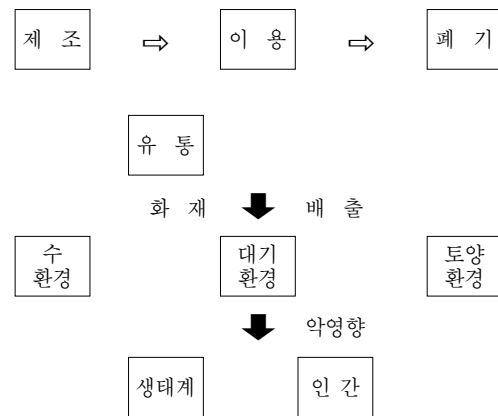


그림 2. 브롬화 난연제 배출 및 축적 과정

매립장의 경우 브롬화 난연제가 환경 중으로 노출될 가능성이 매우 높음에도 불구하고 환경중의 유해화학물질의 오염도를 모니터링 할 수 있는 제도적 장치가 마련되어 있지 않다(환경부, 2004). 이에 대한 제도적 대응이 필요하지만 유해화학물질관리법은 최근 개정되었으며, 또한 다양한 종류의 위해 물질이 매우 빠른 속도로 사회적 이슈가 되고 있다. 이와 같이 종류가 다양하고 빠르게 이슈가 변화되는 상황에서, 새로운 물질이 대두될 때마다 법 또는 시행령을 개정하는데 있어 절차에 다른 시간적 손실 및 비용 부담을 수반하는 바 다양하고 빠르게 변하는 이슈에 대하여 탄력적인 대응이 필요하다.

유해물질관리는 위해성 평가를 기초로 이루어 지는데, 환경영향평가에 있어서 건강위해성평가 기법의 활용방안에 대한 제안이 구자건과 정용(1992) 그리고 정용(1995)의 연구에 의하여 이루어진 바 있다. 또한 정용 등(1996)은 환경영향평가 사후 관리를 통하여 약 십 여년간 얻어진 해양환경 오염도 자료 분석하여 보고한 바 있고, 이상훈(1995) 장기 오염도에 대한 분석을 위한 통계적 방법을 제시한 바 있다. 이러한 보고들은 환경영향평가 사후관리가 특정한 오염물질의 모니터링과 축적된 자료를 통한 시계열 분석에 효과

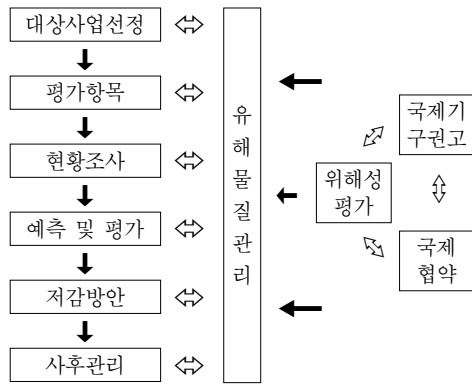


그림 3. 환경영향평가와 위해성평가의 연계 Network  
 ↓: 환경영향평가 절차, ⇔: 상호 협의, ←: 정보전달

적이라는 것을 의미한다. 또한 현행 한국 환경영향평가제도는 브롬화 난연제 제조과정과 관련된 공단, 그리고 폐기과정과 관련된 소각장, 매립장 그리고 하수처리장 등은 환경영향평가 대상사업으로 규정되어 있으며, 대상사업에서 발생하는 오염물질에 대해서 사후관리를 위한 오염물질을 모니터링하도록 규정하고 있다(환경부, 1999). 특히 대기보전법상의 관리물질 중에 브롬화합물을 포함되어 있으며(환경부, 2004), 환경영향평가 협의시 생태계에 위해가 우려될 경우 동식물상은 환경기준에 없어도 법적 보호종, 희귀종, 특히 보호가 필요한 종에 대하여 보호방안을 강구하고 주기적으로 모니터링을 실시하도록 하고 있다.

이러한 현행 법 및 기존 보고들을 기초로 할 때 위해성 평가 및 관리 시스템에 의하여 관리가 결정된 유해화학물질을 환경영향평가제도를 이용하여 분석하거나 모니터링 할 수 있다는 것을 의미한다. 즉, 현행 오염물질관련법령과 환경영향평가제도는 브롬화 난연제가 비록 현행 환경기준에 포함되지 않은 물질이라도 건강 및 생태계 위해성이 확인되어 사용이 금지되거나 관리 대상의 유해화학물질을 환경영향평가 시 평가 및 오염도 분석에 포함시키는 것이 가능하다는 것이다. 따라서 환경영향평가 대상사업 중 브롬화 난연제와

같은 유해화학물질의 사용 및 배출이 수반되는 사업에 대해서는 그림 3에서 나타낸 바와 같이 환경영향평가와 위해성 평가를 연결하는 network 시스템을 제안한다. 환경영향평가 사후관리를 통하여 이러한 오염물질을 분석하고 이에 대한 데이터베이스를 구축한다면, 전국 규모의 한국의 유해화학물질에 대한 환경오염도 및 생태계 축적량을 평가에 유용할 것이다.

#### 4) 유해화학물질 분석체계 구축

브롬화 난연제가 유해화학물질관리법에 의한 유해물질서 취급제한이나 금지물질로 지정될 경우 환경영향평가의 사후관리 시스템을 활용하여 환경에 노출되는 브롬화 난연제를 분석함으로써 유해물질의 환경에 대한 노출을 지속적으로 모니터링 할 수 있을 것이다. 그러나 이를 위해서는 브롬화 난연제에 분석을 위한 화학물질 공정시험방법이 먼저 확립되어야 한다. 또한 환경영향평가는 환경영향평가 대행기관이 수행하고 있는 바, 이들 기업들이 브롬화 난연제 같은 유해화학물질의 환경오염도 분석을 수행할 수 있는 분석능력의 확보와 분석 능력에 대한 신뢰성이 필수적 요소가 된다.

유해화학물질 분석은 다른 일반 오염물질 분석보다 기술적으로 어렵기 때문에 이러한 물질의 분석은 학계와 소수의 분석 전문기관에서 수행되고 있다. 따라서 미량화학물질의 분석능력 제고와 저변 확대가 궁극적으로 환경영향평가와 위해성 평가를 통한 유해화학물질관리를 통합하는 제한요소가 될 것으로 판단된다. 이를 해결하기 위해서는 각 환경영향평가 대행기관의 분석능력을 평가와 관리하는 QA/QC 시스템 또는 분석의뢰 시스템을 확립할 필요성이 있다. 이러한 시스템 확립은 궁극적으로 분석능력을 기술적으로 발전시키고 데이터의 질적 향상 및 신뢰도를 제고할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 한국에서는 화학물질 분석방법에 대한 법령이 아직 제정

표 6. 브롬화 난연제 종류별 등급 관리(안)

(ng/g dry weight)

등급	구분	관리 방안	물질종류 (사례)
위해(강)	위해성이 확인되어 사용 금지 및 후보 물질	국제적 사용 금지 결정 후 즉시 규제	Penta BDE, Octa BDE
위해(중)	잠재적 위해성이 있어 연구 되는 물질	위해성 평가 실시 후 규제 결정, 대체물질개발	Deca BDE, TBBPA (첨가제)
위해(약)	잠재적 위해성이 미약하거나 연구가 필요한 물질	자발적 협약을 통한 규제, 궁극적으로 사용 금지, 대체 물질 개발 유도	TBBPA (반응제) TCPP
안전(강)	안전한 물질	사용 권고	미확인
안전(약)	상대적으로 안전 물질	사용 저감	HBCD
미확인	연구결과가 미흡하거나 확실하지 않은 물질	자발적 협약을 통한 규제 대체 물질 개발 위해성 확인 및 사용 저감 유도	Bis(pentabromophenyl) ethane, RDP 등

되어 있지 않은 상태이다. 따라서 현재 한국은 이에 대한 관련 법령으로서 상기 내용을 포함하는 가칭 “화학물질공정시험방법관리법”의 제정이 필요하다고 판단된다.

#### 5) 브롬화 난연제 등급관리

난연제의 위해성을 최소화하는 것은 화재가 발생하지 않도록 하여 사용을 원천적으로 봉쇄하는 것이지만, 현실적으로 이러한 목표를 달성하는 것은 불가능하다. 따라서 위해성이 적은 물질을 난연제로 사용하도록 유도하는 것이 바람직한 관리 방향으로 판단된다. 그러나 각 기업의 실무자들과 인터뷰 조사 결과 단기간에 위해성이 적은 대체 난연제로 바꾸는 것은 제품의 특성 변화로 금형 등의 변경을 수반하는바 기업의 적응 능력을 저하시켜 경제적 손실을 유발할 수 있다는 것을 확인하였다.

따라서 경제적 영향을 최소화하고 장기적 관리하는 방법으로서 브롬화 난연제의 등급관리가 필요한 것으로 판단되어, 본 연구에서 조사한 자료를 바탕으로 이에 따라 각 물질의 등급별 관리방안을 제안하였다(표 6). 본 제안에서는 브롬화 난연제가 발암성을 나타내지 않기 때문에 발암성을 포함시키지 않았다. 즉, 현재 브롬화 난연제의 독성 자료를 바탕으로 위해성이 확인되어 사용이 금지된 물질, 잠재적 위해성이 있어 사용 금지에 대한 논란이 이루어지고 있는 물질, 잠재적 위해

성이 있으나 미약하거나 확인되지 않은 물질, 안전성이 확인된 물질 그리고 연구결과가 미흡하거나 확실하지 않은 물질로 구분하였다.

#### 6) 브롬화 난연제 대체 물질 개발과 LCA

현재 유럽 및 중국의 RoHS 채택에 대한 대응을 위하여 브롬화 난연제 관리가 플라스틱과 관련된 회사에서 대응방안은 대부분 물질의 사용을 금지하고 대체물질을 개발하는 것으로 요약된다. 아울러 대체물질의 경우 기존 브롬화 난연제에 비하여 위해성이나 안전성이 좋다는 정보를 확보하여야 할 필요성이 있다. 본 연구 결과 브롬화 난연제는 제조, 관리, 운반, 보관, 사용 및 취급 및 폐기 과정에서 모두 환경으로 노출되며, RoHS 및 WEEE 등을 이용하여 제품 및 폐기 과정에서도 이들 물질의 함유를 고려하고 있는 것을 확인하였다. 즉, 브롬화 난연제와 같은 물질은 LCA (life cycle sssessment)의 대상 물질이라는 것을 의미한다. 따라서 대체 물질의 선정 과정은 LCA를 통하여 그 물질의 위해성 및 환경 친화성을 평가하여야 하며, 환경경영의 한 부문으로 유해화학물질이 다루어질 수 있는 제도의 수립이 필요하다고 판단된다.

#### 7) 브롬화 난연제의 관리 일원화 및 홍보

전술한 바와 같이 브롬화 난연제는 4개 법률

부처간의 협력증진 또는 업무의 일원화가 필요한 실정이라고 판단된다. 일부 산업체에서는 브롬화 난연제에 대한 인식을 하고 있다고 판단되나 이들에 대한 일반 대중의 대한 인식도는 매우 낮다 (한국생산기술연구원 2004). 브롬화 난연제 사용 금지와 같은 규제를 실시한다 할지라도, 소비자들이 사용 금지 이전에 구입한 제품은 이미 금지 물질을 함유하고 있기 때문에, 소비자는 계속적인 위해성 물질에 노출될 수 있다는 것을 나타낸다. 즉, 소비자들은 보다 안전하고 쾌적한 환경에서 생활할 수 있는 권리를 향유하도록 하기 위해서는 제품의 사용 및 폐기에 대한 충분한 정보를 제공하여야 할 필요성이 있다. 따라서 효율적 관리를 위하여 환경부를 중심으로 한 브롬화 난연제 관리의 일원화 그리고 그들의 위해성에 대한 국민 교육 및 홍보가 필요하다고 판단된다.

### III. 결론 및 제언

브롬화 난연제는 화학적 특성에 따라 다소 차이는 있으나 환경축적성이 있으며 장기적으로 인간 및 생태계에 위해를 가할 수 있는 유해화학물질로 판단된다. 본 연구에서 브롬화 난연제의 사용, 위해성, 관리방안 등을 검토한 결과 다음과 같은 제안을 하고자 한다.

1. 플라스틱에 주로 사용되는 브롬화 난연제 중 penta, octa, 그리고 deca-BDE의 환경오염도 및 위해성으로 인하여 이들의 사용 중지에 대한 인식이 국제적으로 확산되고 있고, 국제적 수출입과 관련되어 있기 때문에 한국에서도 이들 물질의 사용 금지와 관련제품 수입 제한 필요성이 대두된다.
2. 브롬화 난연제 중 상대적으로 PBDEs 같은 독성은 종류는 정확한 사용 실태 파악 및 한국에 적합한 위해성 평가, 그리고 점오염원 주변의 오염도 분석과 함께 이러한 물질에 대한 환경오염도의 측정 및 시계열 분석을 위한 모니터링 시스템

이 필요하다고 판단된다.

3. 환경영향평가 대상 사업(예, 공단, 소각장, 하수처리장 그리고 쓰레기 매립장) 중 브롬화 난연제의 환경배출이 예상되는 사업의 경우 토양, 수질 및 대기오염에 브롬화 난연제와 같은 유해화학물질의 분석 및 평가하도록 유도할 필요성이 있다.

4. 화학물질분석방법을 체계적으로 정비하고, 환경영향평가 대행기관 같은 분석기관의 능력을 평가 및 관리할 수 있는 QA/QC 시스템과 정확한 분석을 위한 의뢰 시스템 등이 포함된 가치 "화학물질공정시험방법관리법"의 제정이 필요하다.

5. 난연제에 대한 LCA 체계를 구축하여 이미 알려진 브롬화 난연제의 대체 물질을 선정할 수 있는 시스템 구축하고, 등급별 브롬화 난연제의 관리를 유도할 뿐 아니라 이들의 위해성에 대한 국민 홍보가 필요하다.

### 사 사

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2004-075-C00014)

### 참고문헌

광물과 산업, 2000, 광물방염제, 편집부,  
 구자진, 정 용, 1992 환경영향평가에 있어서 건강 위해성평가 기법의 활용방안에 관한 연구 환경영향평가학회지 1(1): 51-59  
 박정규, 정다운, 2001, 방염제의 환경위해성 및 대응방안 연구, KEI  
 어연우, 박현미, 류재천, 홍종기, 김영만, 이강봉, 2000, 국내의 수질, 토양 및 저질 시료에서의 폴리브롬화비페닐(PBBs)의 분석, 한국환경분석학회지 3: 109-115.  
 이상훈, 1995, 수질자료의 추세분석을 위한 비모수적 통계검정에 관한 연구. 한국환경영향

- 평가학회지 4(2) :93-104
- 정 용, 1995, 환경영향평가에 있어 위해성 분석 기법의 도입. 한국환경영향평가학회지 4(3): 1-8
- 정 용, 김용범, 권용식, 이순희 1996, 제철슬래그 (Slag) 매립으로 인한 인근 해역의 중금속 오염도 변화 및 재활용 방향에 대한 연구. 한국환경영향평가학회지 5(2): 21-31
- 한국생산기술연구원, 2004, EU의 신화학물질규제에 대한 대응방안. 국가청정생산지원센터
- 환경부 2002, 내분비계 장애물질 중·장기연구, 2002, 환경부
- 환경부, 2004, 대기보전법, 환경부
- 환경부, 1999, 환경영향평가법, 환경부
- 환경부, 2004, 유해화학물질관리법, 환경부
- Akutsu et al., 2001 *Chemosphere*, 44:1325-1333
- Allchin, C.R. et al., 1999, *Environ. Pollut. Bull.* 105: 197-207
- CETOX(Centre for Intergrated Environment and Toxicology), 2000, Brominated flame retardants; Toxicity and ecotoxicity
- CSCBCD(The case for safer chemicals and better computer design), 2004, Brominated Flame Retardants in Dust on Computers.
- Danish EPA, 1999, Brominated flame retardants : substance flow analysis and assessment of alternatives
- Danish EPA, 2001, "Action for brominated flame retardants"
- ECRPC, 2003, Growing threats : Toxic Flame Retardants and children's health,
- GFEA(Umweltbundesamt (Germany's Federal Environment Agency)), 2001, Substituting environmentally Relevant Flame Retardants : Assessment Fundamentals ISSN 0722-186X, 2001
- KISTI, 2002, 난연제 심층분석보고서 KISTI
- Manchester-Neesvig. 2001, *Environ. Sci Techno.* 35:1072-1077
- Moon H-B et al, 2001, Levels of some polybrominated diphenylethers (PBDEs) Flame Retardants in Sediments and Organisms from the Coastal Areas of Korea, *J. of the Korea society for Environmental Analysis*, 4(3):177-186
- OECD, 2004, Brominated Flame Retardants (BFRs) : Hazard/Risk Information Sheets. [www.OECD.org/LongAbstract](http://www.OECD.org/LongAbstract)
- SAEFL(Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape) 2003, Selected polybrominated flame retardants - PBDEs and TBBPA",
- Swedish EPA, 2000 Phase-out of PBDEs and PBBs
- Watanabe. 1995 *Organo. Comp.* 24:337-340
- WHO(World Health Organization), 1994, International Program on Chemical Safety, Brominated Diphenyl Ethers, World Health Criteria #162