

# 난연섬유제품의 환경규제 및 평가인증

유의상, 최은경 · 한국생산기술연구원 섬유소재본부

## 1. 서론

화재위험이 높은 유기고분자 물질(천연섬유, 합성섬유, 셀룰로오스, 목재, 플라스틱 등)에 방염 처리를 하여 불에 잘 타지 않도록 하여 화재로부터 인간을 방어해 주고자 하는것을 방염 또는 난연처리라고 한다. 생활환경에서 쉽게 접할 수 있는 커튼, 카펫, 침구류, 실내 장식물 등은 일반적으로 불에 잘 타는 가연성 물질로 되어 있다. 특히 섬유제품은 의복을 포함하여 자동차등 운송수단의 실내장식에 이르기까지 가장 폭 넓게 사용되고 있는 대표적인 유기고분자 물질이라 할 수 있다. 이러한 가연성 물질에 방염 또는 난연 처리를 하면 화재 발생 시 화재의 위험으로부터 지연해 주는 효과가 있으며 일반적으로 방염과 난연 이라는 용어를 혼용하여 사용한다. 소방관계 법령에서는 방염이라는 용어를 사용하고 있다.

올해 5월 발효된 국내소방법에서 정하고 있는 방염설치 대상으로는 아파트를 제외한 건축물로서 층수가 11층 이상인 경우, 안마사술소, 헬스클럽장, 특수목욕장, 관람집회 및 운동 시설, 호텔, 관광숙박시설, 종합병원, 전시장, 일반음식점, 주점, 비디오 감상실, 노래연습장, 수용인원 100명 이상의 학원, 고시원 등 사람이 많이 모일 수 있는 실내환경에 대하여 거의 모든 장소를 망라하고 있다. 따라서, 방염 또는 난연 처리에 사용되는 화학물질은 생활환경에 그대로 노출될 가능성이 있으며 화재 시에 유독가스를 발생함으로써 인체에 치명적 위험을 가져오기도 한다. 이에 많은 국가에서는 방염제 또는 난연제의 사용을 법으로 규제하고 있으며 인체유해성에 대한 실험을 지속적으로 연구하여 그 결과를 속속 발표하고 있는 실정이다.

미국과 일본 EU 등은 소방법규 및 환경 법규가 매우 강하여 난연섬유의 수요가 촉진되고 있다. 일본의 경우 지하철 등 공공시설물에 대해 난연 섬유 사용을 법제화 하였다. 미국의 경우 미국 내에서 판매되는 매트리스의 경우 모두 난연 제품으로 만들도록 하고 있고, 특히 유아용은 더욱 엄격한 기준을 적용하고 있으며 최근에는 의류도 유아용은 난연 소재를

사용하도록 권장하고 있다. 또한 공공시설에 대한 소방법도 엄격하고 적용되고 있다.

EU 지역은 소방법의 적용도 엄격하지만 상대적으로 환경 관련 법규에도 매우 엄격한 기준을 요구하고 있다. 유통되고 있는 섬유제품에 '에코라벨'을 반드시 달도록 엄격한 기준을 적용하고 있으며 이는 새로운 무역장벽으로 이용되고 있는 일부 비난도 일고 있으나 현재 세계적으로 거역할 수 없는 추세로 자리 잡고 있다.

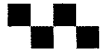
국내의 경우 지난해 5월 소방법 개정안을 시행하려다가 다중업소 업주들의 반발과 여론으로 1년간 미루어졌다. 올해 개정된 소방법에는 아파트를 제외한 대부분의 다중이용시설이 포함되어 있다. 현재 국내 소방법의 문제점은 후 방염시설을 허가하고 있다는데 있다. 다중업소 업주들은 저가의 난연제품을 사용하려고 하고 이는 후 방염시설의 사용을 부추기게 되며 결과적으로 화재 발생 시에 오히려 더 큰 피해를 가져올 수 있다는 점이다. 국내에서도 미국처럼 침대 매트리스나 다중시설에 사용되는 섬유제품에 대하여 난연섬유를 사용하도록 의무화해야 할 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

국내 난연 관련 시장에서 후 난연제품이 현재 80~90% 점유하고 있는 것으로 파악되고 있으며 유럽에서는 국가별로 차이는 있으나 70~80%가 난연섬유이고 나머지 시장을 후 난연제품이 차지하고 있다. 유럽의 경우 난연성 뿐 아니라 유독가스 측정까지 검사하고 있지만 국내에서는 형식적인 경우가 많아 이러한 사실상 문제점을 그대로 방치하고 있다.

환경분야에서 접근을 하면 이러한 문제들에 대한 좀더 근본적인 해결책을 찾을 수 있다. 생활환경에서 인체에 노출되는 난연제에 대한 규제가 EU 등의 선진국을 중심으로 벌써 시작되었으며 국내에서도 수출 섬유제품을 중심으로 이러한 규제에 부합되는 섬유제품을 생산하기 위한 노력이 이루어지고 있다.

본 고에서는 소방법의 개정에 따라 한층 강화되고 있는 난연섬유제품이 가지고 있는 환경위해성, 인체위해성에 대한 개념을 고찰해 보고 이에 따른 법적 규제현황, 인증현황을 국





과정에서 그의 난연성을 상실해서는 의미가 없다. 따라서 의류용 난연섬유제품은 내세탁성에 대하여 엄격하게 규제하고 있는데, 예를 들어 어린이 잠옷에 대한 미국의 규격 DOC FF 3-71을 보면 50회 세탁후에도 방염성을 유지하도록 규제하고 있다.

섬유를 난연화하는 방법에는 섬유고분자를 합성할 때 난연성 단량체를 공중합시키는 방법, 방사 시 방사액에 난연제를 첨가하는 방법, 후가공에 의한 방법 등이 있다. 따라서 천연 섬유는 합성섬유와 달리 후가공에만 의존할 수 밖에 없다. 방사 시 방사액에 난연제를 첨가하여 난연성을 부여하는 방법도 방사액에 다른 물질을 첨가하기 때문에 방사성이 나빠질 뿐 아니라 섬유의 기계적, 물리적 성질이 달라진다는 단점이 있다. 따라서 내세탁성을 해결한다면 후난연제품이 유리하나 현재로서는 많은 양의 난연제로 처리해야 하며 태의 변화를 가져오는 단점이 있고 무엇보다도 화재발생 시에 인체에 유해한 가스를 발생시킨다는 단점이 있다. 셀룰로스계 섬유제품의 난연가공은 내세탁성의 정도에 따라 비내구성 난연가공, 반내구성 난연가공 및 내구성 난연가공으로 나누어진다.

셀룰로스계 섬유제품의 비내구성 난연가공은 붕소화합물을 이용하는 난연가공과 무기산, 산성염 및 가열에 의해서 산을 유리하는 염으로 처리하는 방법이 있다. 반내구성 난연가공으로는 주석, 아연, 알루미늄의 불용성 인산염 또는 붕산염 및 제 2주석, 제 2철, 아연, 실리콘 등의 산화물을 사용한다. 마지막으로 내구성 난연가공제란 섬유내부 또는 천의 표면에 반응 또는 물리적으로 결합시키는 화학약제를 말한다. 이 가공은 천의 수명이 다 할 때까지 향상된 난연성을 유지하면서 세탁이나 기타 클리닝에 견디어야 한다. 내구성 난연가공제는 일반적으로 유기화합물로 인, 질소 또는 할로젠(염소 또는 브롬)원자 또는 이들의 조합을 그 화학적 구조에 포함하고 있다. Table 1에 셀룰로스계 섬유에 사용되는 대표적 내구성 난연제를 나타내었다. 이 물질들은 보통 다른 약제와 결합하여 섬유내부 또는 천의 표면에 수지를 형성한다. 가공제는 천의 섬유와 반응하여 천에 영구적으로 결합되든지, 또는 서로 반응하여 천의 내부 및 틈새에 폴리머를 형성하여 물리적으로 영구적으로 부착된다. 내구성 난연제는 방사 전에 합성단계에서 섬유에 첨가할 수 있다.

합성섬유용 난연제의 주성분은 인, 질소 및 할로젠 등이고 가장 중요한 난연제는 유기할로젠, 인 화합물인데, 할로젠 중에서는 브롬, 염소가 난연 효과가 뛰어난 것으로 알려져 있다.

## 2.2. 합성섬유용 난연제와 환경문제

난연제는 1960년대 후반부터 미국과 유럽의 일부 선진국을 중심으로 주목받기 시작하였다. 당시에는 단순히 연소하기 어려운 재료를 개발하는데 초점이 맞추어져 있었지만 최근에는 환경문제가 대두되면서 단순한 난연효과 뿐만 아니라 환경과 인체에 대한 안전성을 고려하여 환경친화성이 보장된 제품의 개발로 관심이 집중되고 있다. 난연규제 규격도 선진국을 중심으로 하여 전기·전자 기기, 자동차, 건축용 재료, 선박, 항공기, 전선분야 등에 엄격히 적용되고 있다.

난연제는 첨가형과 반응형으로 나눌 수 있다. 첨가형 난연제는 난연성분의 화학물질을 플라스틱에 물리적으로 첨가하여 난연효과를 얻는 것으로 주로 섬유제품의 주류인 열가소성 플라스틱에 이용된다. 반응형 난연제는 분자내에 관능기를 가지고 화학적으로 반응하는 타입으로 외부조건에 크게 영향을 받지 않고, blooming 현상도 없이 난연성을 지속시키는 난연제로 현재 많은 연구가 진행되고 있다.

첨가형으로서 대표적인 난연제가 할로겐계 난연제이다. 할로겐계 난연제는 연소의 추진역할을 하는 활성라디칼인 OH·, H· 을 할로젠 화합물인 HX가 연소과정에서 포착함으로써 가연성 가스를 희석시키고 산소도 차단하는 효과를 가진다. 할로젠 원소 중 요오드는 가장 우수한 라디칼 포착제이지만 가격이 비싸고 내열성 및 내광성이 부족하여 거의 사용되고 있지 않으며, 불소는 라디칼 포착제로서 효과를 거의 나타내지 못한다. 브롬은 효과적인 라디칼 포착제로서 가장 많이 사용되고 있다. 할로겐계 난연제는 기체상에서 라디칼을 포착하는 난연 메커니즘을 가지고 있는데 할로젠 가스는 금형 및 전선 등의 금속을 부식시킬 뿐 아니라 인체에 유해하다. 따라서 할로겐 난연제를 단독으로 사용하기보다는 calcium stearate 등의 할로겐 안정제나 안티몬계 난연제, zinc borate, 인계 난연제 등과 함께 사용하기도 한다.

연소를 억제하는데는 초기 소화가 가장 효과가 크다. 할로겐계 화합물과 Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>계의 조합은 발화 시 기상에서의 난연화 메커니즘만으로도 충분히 효과적인 난연화가 가능하나, 환경대응형 난연제는 이러한 난연화 반응기구를 구현하는데 문제가 있다. 현재까지 알려진 바로는 할로겐계 화합물과 Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>계의 조합이 가장 난연효과가 뛰어난 것으로 알려져 있다. 최근에 대량 출시되고 있는 환경대응형 난연제는 발화 시의 난연효과가 약하다는 단점이 있어 탄화물 생성공연을 저온층으로 이동시킬 수 있는 난연제가 개발되어야 할 것이다.

브롬계 난연제를 선두로 하여 할로겐계 난연제의 사용량은

**Table 2.** 인계 난연제의 종류와 용도

구분	화학명	용도
인산에스터	TPP(Triphenyl phosphate)	페놀수지, PP, ABS, 엔플라용
	TXP(Trixylenyl phosphate)	가스제용
	TCP(Tricresyl phosphate)	가스제용, 페놀수지, PVC
	REOFOS (Triisopphenyl phosphate)	PVC, 페놀수지
합할로겐인산에스터	TCEP (Tris-Chloroethyphosphate)	PU foam, polyester
	TCPP (Tris-Chlorophylyphosphate)	PU
비할로겐 축합인계 난연제	CR-733S Resorcinol di-phosphate	PVC, cellulosics, 합성고무, 페놀수지,
	CR-741 Aromatic polyphosphate	에폭시, PPO, 폴리에스터수지
	CR-747 Aromatic polyphosphate	엔플라용, 합성섬유 등 엔플라용, 합성섬유
	PX-200 Aromatic polyphosphate	엔플라용
	Fyrolflex RDP	PC, ABS
	Polyphosphoric acid Ammonium	합성수지, 전선, 도료, 접착제, 섬유
적인계	Red Phosphorous	전선, 에폭시

계속적으로 증가하고 있으나 1983년에 독일에서 할로겐 난연재료 및 고분자의 연소 시 다이옥신이 발생된다는 주장이 발표되었고 환경적인 문제가 점점 더 주목되면서 유해성 HCl, HBr 가스를 배출하는 할로겐 난연제의 사용이 독일, 스웨덴 등 유럽선진국으로 중심으로 규제되기 시작했다. 그럼에도 불구하고 브롬계 난연제는 난연특성이 매우 우수하고 아직까지는 브롬계 난연제를 대체할 만한 난연제가 개발되지 않아 국내외에서 계속되고 있는 대체제에 대한 연구와는 별도로 브롬계 난연제의 수요가 해마다 늘고 있는 실정이다.

비할로겐계 난연제로서는 인계 난연제와 무기계 난연제가 있다. 인계 난연제는 연소과정에서 가연성 물질과 반응하여 고분자 표면에 탄화막(char)을 형성함으로써 산소를 차단하게 된다. 또한 인산의 분해에 의해  $HPO_2$ 와  $PO$  등의 라디칼이 생성되어  $OH \cdot$ ,  $H \cdot$  를 안정화시키는 역할을 하며 할로겐계 난연제가 기체상태에서 난연효과를 발휘하는 것과 달리 고체 상태에서 난연작용을 하게 된다. Table 2에 인계난연제의 종류와 그 용도를 나타내었다.

무기계 난연제는 종류가 많지만 주로 플라스틱용으로 생산되는 수산화 알루미늄, 산화안티몬, 수산화마그네슘, 주석산 아연, 구아니딘계, 지르코늄 등이 있다. 이들은 각각 특성이

다르고 첨가하는 양에 따라 많게는 수지양의 50배 이상에서 소량 첨가하는 것까지 다양하다. 수산화 알루미늄은 무기계의 대표적인 난연제로 난연제 전체의 30%를 차지하고 있는 무독성, 저발연성으로 가공기계의 부식성이 적고 전기절연성도 우수하며 가격이 싸기 때문에 합성섬유 제품을 포함한 많은 분야에 응용되고 있다.

마지막으로 멜라민계 난연제는 할로겐계 대체 난연제로서 새로운 난연제 개발 요구가 증가함에 따라 인계, 무기계와 더불어 서유럽에서 사용량이 증가하고 있다. 할로겐계보다 독성이 적으므로 취급이 용이한 특성이 있고, 독성화학물질로 분류되어 있지 않다. 현재 나일론, 폴리우레탄 등에 주로 적용되고 있다.

### 3. 난연섬유제품의 환경규제 및 인증제도

#### 3.1 섬유제품의 잔류 유해물질과 인증제도

2001년 5월 “스톡홀름 협약”이 채택되었다. 잔류성 유기오염물질(POPs)의 국제적 규제를 위한 것으로 POPs (persistent organic pollutants)는 자연환경에서 분해되지 않고 먹이사슬을 통하여 동식물 체내에 축적되어 면역체계를 교란시키고 중추신경계의 손상을 초래하는 유해물질이다. 대부분 산업생산 공정과 폐기물 저온 소각과정에서 발생하는 것으로 알려졌다. 규제대상이 된 12종의 POPs는 다이옥신, Furan, DDT, Aldrin, Chlorden, Dieldrin, Endrin 등으로서 다이옥신은 브롬계 난연제를 포함한 플라스틱 제품을 소각할 때 발생하는 유해물질로 알려져 있다.

섬유산업이 가지고 있는 환경문제는 개선해야 할 점이 아직 많다고 할수 있다. 폐수발생량과 BOD 부하량이 전체 산업의 약 14%에 달하며, 오염배출량이 비금속광물(26%), 제지/담배(14.6%)에 이어 3번째를 차지하고 있으며 에너지 소비량은 제조업 부분 소비량의 4.5%를 차지하고 있다. 섬유산업에 있어 오염배출량의 95% 이상이 염색가공업에서 배출되고 있다.

섬유산업에서의 잔류유해물질의 발생원인과 유해성을 Table 3에 정리하였다.

난연제는 phosphate 화합물이나 브롬계 화합물이 땀 등에 용출됨에 따라 발암성, 피부자극 등을 유발하는 것으로 알려져 있으며 실제 브롬계 화합물의 경우 매우 심각한 인체 유해성 실험결과가 발표되었다.

섬유산업에서 발생하는 환경문제에 대비하고자 유럽선진국을 중심으로 1980년대 후반에 섬유제품에 대한 환경규제 음



**Table 3.** 섬유산업의 잔류유해물질의 발생원인 및 유해성

유해물질	발생원인	인체유해성	대상품목
Ph	염색/가공(산성/알칼리성 조제)	피부자극(무해범위: 4-7, 5)	모든 섬유제품
포름알데히드	수지가공 주원료 직접염료의 고착제	점막자극, 피부알레르기, 후두암 발생원인	방추, 방축, 유연 가공제품
염소계 페놀류	섬유유연제, 호제의 부패방지용, 면, 모제품의 방부, 방충제	전신중독, 발암성 근육이완, 순환계 쇠약 유발	천염섬유, 피혁 신발
잔류농약	천염섬유 재배, 보관 시 병충해 방지	발암성, 호르몬장애, 면역체계 손상, 간기능 장애, 중추신경장애	면, 마, 모 등의 천염 섬유제품
중금속	염/안료 및 무기화합물, 후처리제	피부염, 각막염, 결막염, 탈모증 운동신경 마비, 중추신경장애	염색가공제품 피혁가공제품
PVC 가소제	PVC 코팅제품의 강연도 조절 및 안정제	내분비계 장애원인, 간, 신장 등의 손상	PVC 코팅제품, 플라스틱 제품
유기주석 화합물	항균가공, 신발, 카펫의 악취 발생 방지제	간, 신장 손상, 피부자극 인체의 내부분비계 교란	항균가공제품 악취발생방지 제품
아조염료	색상이 선명하고 경제적인 아조기를 가진염료(산성, 직접 염료등의 일부염료)	피부염, 발암성 물질생성	염색가공 제품
발암성염료	염색가공 시 산성, 직접, 염기성, 분산염료 중 발암성 염료 사용	발암성 물질생성	염색가공 제품
알러지성염료	염색 가공 시 분산염료 중 알러지성 염료 사용	피부자극에 의한 알러지 반응	염색가공제품 (폴리에스터, 나일론, 아세테이트 등)
유기염소계 캐리어	염료 침투 촉진을 위하여 소수성 섬유에 사용한 염색조제	피부, 눈, 코, 목에 자극, 두통, 근육경련, 발암성 화합물	염색가공제품 (폴리에스터 등)
난연제	난연 가공제가 phosphate 화합물, bromo 화합물질로 용출	발암성, 피부자극	난연가공 제품

**Table 4.** Oeko-Tex Standard 100의 난연제 사용규제 기준

Product Class	유아용	피부에 직접 접촉	피부에 간접접촉	장식용
난연제 총량(mg/kg)	0.5	1.0	1.0	1.0

직업이 시작되었다. 이러한 움직임은 독일에서부터 시작되어 1992년에 Oeko-Tex라는 섬유제품 환경 인증시스템이 탄생하게 된다. 초기 Oeko-Tex에서 규제하기 시작한 항목은 pH, HCHO, PCP & TeCP, Aryl amines(24종), Allergenic dyestuffs(20종), Carcinogenic dyestuffs(6종), Heavy metal(10종), Pesticides(20여종), Organic carriers, Color fastness, PVC phthalates, VOC(emission of volatiles) 등이었다. 이후 1996년에는 섬유 제품에 특정 아조염료의 사용을 금지하는 독일법규가 시행되었으며 이러한 법적 효력을 배경으로 Oeko-Tex는 2000년 이후 급성장을 하게 된다. 현재는 EU 내의 일부 국가차원에서 규제를 하고 있으며 신 무역장벽이라는 비난에도 불구하고 세계적인 추세로 자리잡아가고 있다. 현재 Oeko-Tex에서 규제하고 있는 유해물질에는 섬유 난연제가 포함되어 있다.

Oeko-Tex에서 제시하고 있는 기준인 Oeko-Tex standard 100에 따르면 난연제에 대하여 각 섬유제품에 따라 Table 4와 같은 기준을 제시하고 있다.

**Table 5.** Oeko-Tex standard 100에서 규제하는 섬유용 난연제

난연제 종류	CAS-No.
Polybrominated biphenyles(PBB)	59536-65-1
Tri-(2,3-dibromopropyl)-phosphate(TRIS)	126-72-7
Tris-(aziridinyl)-phosphin-oxide)(TEPA)	5455-55-1
Pentabromodiphenylether(penta BDE)	32534-81-9
Octabromodiphenylether(octa BDE)	32536-52-0

유아용일 경우 사용 총량이 0.5 mg/kg을 넘지 않도록 하며 나머지에 대해서는 동일한 1.0 mg/kg의 규제량을 정하고 있다. 한편 Oeko-Tex standard 100에서 규제하고 있는 난연제 종류를 Table 5에 나타내었다.

표에서 나타난바와 같이 대부분의 규제 난연제는 브롬계열의 난연제이다. 합섬섬유를 포함한 플라스틱 제품에서 가장 환경문제를 야기하는 주범인 브롬계 난연제는 전 세계적으로 섬유분야에서 뿐 아니라 모든 산업계에서 사용을 규제하는 움직임을 보이고 있다. Oeko-Tex에서 규제하고 있지 않은 섬유용 브롬계 난연제로서는 TBA-bis(2,3-dibromopropylether), TBA-bis(arylester), Hexabromocyclodecane (HBCD), Decabromodiphenyloxide(DBDPO), Ethylenebis(pentabromophenyl), tetrabromo phthalic anhydride, Bis(tribromophenoxyethane)등이 있다. 브롬계 난연제의 산업에의 적용은 전기전자

Table 6. 섬유산업의 환경규제 항목 및 근거

응용별 분류	세부산업	규제근거	규제 항목
수송용	자동차 내장재 및 타이어코드	ELV, 실내공기질법	세라믹 파이버, VOC, Pb, Cd, Hg, Cr(VI)
공업용	기름흡수제		
가정용	기저귀, 생리대, 각종필터류, 카펫	섬유에코라벨	HCHO, VOC, 중금속, Phthalates
의류용	기능성 의류, 입는 컴퓨터	섬유에코라벨, RoHS	유해아민, 알레르기염료, 중금속, TBTO, VOC, Pb, Cd, Hg, Cr(VI), 브롬계난연제(PBB&PBDE)
건축용	geotextile	실내공기질법	HCHO, VOC, 브롬계난연제(PBB&PBDE)
농업용	스펀본드 부직포	스톡홀름 협약	중금속을 비롯한 각종 POPs
부자재용	석면, 유리섬유	RoHS	석면, 유리섬유
포장용	부직포(티백)	PPW, 환경부	Pb, Cd, Hg, Cr(VI)
토목용	건축용과 유사		
스포츠용	의류와 비슷	섬유에코라벨	유해아민, 중금속, VOC, Phthalates
해양용	선박부자재	섬유에코라벨	TBT
보호용	방탄복, 소방복	섬유에코라벨	브롬계난연제, Phthalates

분야에 56%, 건설부분에 31%, 직물등에 7%, 그리고 운송에 약 6%가 사용되고 있다.

이 외에 산업용 섬유에서 환경규제대상인 항목을 살펴보면 의류용에서의 브롬계난연제뿐 아니라 건축용의 geotextile에서 사용되는 브롬계 난연제, 방탄복, 소방복등에서 사용되는 브롬계 난연제 등이 규제 대상이 되고 있다. Table 6에 의류용을 포함하는 섬유산업의 환경규제 항목을 제품 응용별로 구분하여 정리하였다.

### 3.2. 덴마크를 중심으로 본 브롬계 난연제와 섬유제품

전 세계적으로 브롬계 난연제가 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 브롬계 난연제는 HBCD와 deca-BDE이며, 두 물질 모두 첨가형으로 처리되어 진다.

보호용 의류의 경우 1984년부터 덴마크 군대에서 화생방용 군복에 deca-BDE를 처리하였고, 아직까지 제복에 남아있는 deca-BDE가 약 4톤으로 추정하고 있다. 어린이용 잠옷 또한 난연처리되는데, 영국과 미국에서는 아이들의 잠옷에 대해 인화성 규제가 존재하고 이러한 제품들이 덴마크 시장에서 유통되고 있다. 대부분의 경우 잠옷의 난연처리에는 유기인산염이 사용되고, 브롬계 난연제는 가능한 사용되지 않는다. 한편 세계적으로 텐트는 브롬계 난연제를 함유한 주요 완제품 중에 하나인데, 현재 덴마크 내에서는 브롬계 난연제를 함유한 텐트를 생산하지 않으나 수입 등에서 의해 1톤 이하의 브롬계 난연제가 소비되는 것으로 추정된다. 카펫과 커

튼의 경우 합성카펫에는 deca-BDE가, 블라인드를 포함한 커튼에는 PBDEs나 HBCD가 사용되기도 하나 구체적인 조사가 실시되지는 않았고 단지 소량일 것이라 추정하고 있다. 그 외 가구 및 가구에 사용되는 직물, foam, 제품속(쿠션, 매트리스 속의 솜 등)에도 브롬계 난연제가 사용되며 전체 섬유 제품중에서 가장 많은 브롬계 난연제가 사용되고 있다.

한편, 섬유제품에 포함된 브롬계 난연제는 주로 첨가형이기 때문에 제품을 세탁할 경우 일정량이 배출되는 것으로 추정된다. 가정에서 세탁을 통해 배출되는 브롬계 난연제는 무시할만한 수준이나, 군대에서 배출되는 폐수속의 브롬계 난연제는 상당량이 될 것으로 추정된다. 덴마크 정부의 조사에 의하면 화생방용 군복의 세탁으로 통해 연간 50 kg 이상의 deca-BDE가 환경중으로 방출되는 것으로 확인되었다.

### 3.3. 브롬계 난연제의 인체 및 환경에 대한 위해성

#### 3.3.1. 생태 및 인체 독성

PBDE의 경우 결합되어 있는 브롬수가 작을수록 독성이 크지만 급성독성은 크지 않으며, 1998년 유럽에서 보고된 실험 결과에 따르면 Penta-BDE는 쥐를 이용한 동물실험에서 간기능 이상, 피부염증과 갑상선 호르몬 이상증세를 나타내었다. octa-BDE의 경우 실험동물 치사율이 높아지며 골격 형성을 늦추는 독성을 나타내었다. Table 7에 일부 브롬계 난연제의 독성결과를 정리하였다.

#### 3.3.2. 환경 잔류성 및 생물 축적성

환경잔류성과 생물축적성은 물질의 분해 가능성과 지방용해성 및 분자량에 의해서 결정된다. 환경 중에서 분해가 어려



Table 7. 브롬계 난연제의 독성

난연제 종류(물질명)	독 성
Deca-BDE(PBDE 중 하나)	신경 독성 가능성, 발암 유발 가능성
TBBPA(첨가제)	모유에서 발견되며 간독성 가능성
TCPP	간과 신장축적, 돌연변이 유발 가능성 및 발암 유해성
HBCD	생체 축적성, 신경 독성
Bis(pentabromo-phenyl)ethane	다이옥신 생성 가능성, 독성 분석자료 불충분
ATO(삼산화 안티몬; Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	간, 비장, 신장, 심장, 골격 및 갑상선 축적성, 발암 의심

은 물질은 환경 잔류성이 높으며, 이중 물에 용해되지 않는 것은 생물축적성이 높아지게 된다. PBDE의 경우 환경중에서 잘 분해가 되지 않기 때문에 환경 잔류성이 매우 크다. penta-BDE, octa-BDE, deca-BDE는 모두 토양 및 하천 하부에 축적되는 경향이 있다. 생물의 축적여부는 분자량과 상관이 있는데, penta-BDE의 경우가 생물 축적성이 가장 크며 octa-BDE, deca-BDE 등 분자량이 클수록 생물 축적성은 감소한다.

### 3.3.3. 분해산물의 독성

물질변화에 의한 독성은 환경 중에 존재하는 여러 가지 물리적 특성에 의하여 배출된 물질이 다른 형태로 전환되어 변환된 물질의 여러 가지 독성을 뜻한다. 분자량이 커서 생물 축적이 어렵다고 추정되는 deca-BDE는 자외선에 의해 브롬이 떨어져 나가 점차로 nona-BDE나 hexa-BDE 등으로 분해되는데 이 과정에서 PBDF(poly brominated dibenzofuran)가 생성된다. 현재는 각국의 규제에 의해 PBDE 중에서 deca-BDE가 주로 사용되지만 환경 중에는 tetra나 penta 동족체가 주로 발견되고 있다. TBBPA는 토양이나 수계의 혐기성 또는 호기성 환경에서 일부가 분해된다.

### 3.3.4. 독성물질 생성 가능성

유해물질 생성은 배출된 오염물질이 화학반응을 통하여 새로운 유해물질로 전환되는것을 의미하는 것으로 많은 폐기물들이 소각에 의해 처리되는 경우가 있다. 소각은 물질에 열을 공급하는 것으로 이 과정에서 브롬계 난연제는 브롬화다이옥신 또는 브롬화퓨란(PBDD/PBDF)이 형성된다. 염소와 함께 열이 가해질 경우에는 염화다이옥신/퓨란(PCDD/PCDF)도 형성 될수 있다. 브롬계 난연제의 생산과정이나 플라스틱에 처리하는 과정에서도 PBDD/PBDF가 생성될수 있다.

## 3.4. 국제기구의 브롬계 난연제 규제동향

### 3.4.1. EU(European Union)

1980년대 후반 EU 국가 중에서 독일이 가장 먼저 PBBs 브롬계 난연제의 유럽내 사용을 금지하자는 의견을 제기하여 1989년 독일내 모든 화학 산업체 및 플라스틱 제조업체는 PBBs 브롬계 난연제의 생산을 금지하였다. 이후 1990년대에 들어 EU에서도 이들 물질의 유해성을 확인하고 2000년 5월 모든 EU 국가에서 PBBs의 생산을 금지하였다. 또한 EU는 2000년 6월에 폐전기전자제품 처리지침(Waste Electrical and Electronic Equipment; WEEE)과 유해물질 사용제한 지침(Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances; RoHS)을 제안하여 전기전자제품의 일정 비율 이상의 재활용률과 생산자에게 재활용에 관련된 책임을 부과하도록 하였으며 전기전자제품에 사용금지 물질의 목록을 제시하여 브롬계 난연제의 생산금지를 제안하였다. 초기에는 모든 할로겐화 난연제를 규제대상으로 하였으나 현재는 PBBs와 PBDEs로 대상을 축소하였다.

EU의 PBDEs에 대한 유해성 평가에서 확인된 결과 PBDEs는 유아의 새 골격을 성장하는데 직접적으로 관여하는 갑상선 호르몬의 기능에 악영향을 끼치는 내분비계 파괴물질로서는 신경적/발육적으로 재생 가능한 독성물질로 밝혀졌다. 이러한 PBDEs중에 penta-BDE와 octa-BDE는 그 유해성이 확연히 드러나 2004년 8월 15일부터 EU 내에서 모든 생산이 금지되었고, deca-BDE 같은 경우 2004년 5월 유해성 평가에서 생물체의 낮은 흡수율과 유해성에 대한 불확실성으로 이 물질에 대한 즉각적인 법적 행동이 취해지지는 않았다. 그러나 최근 연구에서 전자제품 재활용업체 근무자들과 일반 가정의 산모의 모유에서 deca-BDE가 검출되는 결과가 계속해서 나오고 있고 deca-BDE가 자외선이나 미생물에 의한 분해로 penta-BDE와 octa-BDE로 화학적 변화를 일으킬 가능성을 배제할수 없기 때문에 deca-BDE도 사용을 자제하고 있다.

EU의 RoHS에서 PBBs와 penta\_BDE 및 octa-BDE를 EU 내에서 사용을 지침이 통과되어 EU 내에서의 생산은 물론, UE 시장에 출시되는 모든 제품에 내에서 제품 무게비의 0.1% 이상 함유되는 것을 규제하고 있다.

또한, EU는 이미 난연제가 사용된 제품의 안전한 폐기처분에 많은 노력을 기울이고 있는데 이는 난연제 소각시 다이옥신 및 퓨란이 발생하고, 난연제 매립 시에는 난연 성분이 매립지에 유출될 가능성이 매우 큰 것으로 밝혀졌기 때문이다. WEEE 결정사항으로는 첫째, 난연제에 PBB, penta-PBDE, octa-PBDE는 사용을 금지하고(2007년 7월) 둘째, 재활용에 대해서는 기본적인 대상을 정하고 상세한 사항은 EU 각국에서 추진하며, 연간 1인당 4 kg(약 25%)을 목표로 하고 있다.

Table 8. 유럽의 난연제별 제한 법규 현황

브롬계난연제물질	제한항목	법적규제	적용기한	EU 과학적 유해성평가 현황
deca-BDE	재활용과 회수에서 우선하여 전기 및 전자제품에서 브롬계 난연제 함유 부품 분리처리	WEEE 지침	2006년 12월	유럽위원회의 유해성 평가는 2005년 10월에 완료되었고 deca-BDE는 RoHS에서 제외하기로 결정
	새로 출시되는 전기 및 전자제품에서 사용 금지물질의 예외	RoHS 지침	지령에서 제외하기로 결정	유해성 평가는 2004년 5월 완료
	환경과 수질 기준에서 배출, 방류 및 손실 관리의 확립	수자원정책 분야에서 우선물질 목록에 수록된 EU 지침		
octa-BDE	재활용과 회수에서 우선하여 전기 및 전자제품에서 브롬계 난연제 분리	WEEE 지침	2006년 12월	유해성 확정
	새로 출시되는 전기 및 전자제품에서 사용금지	RoHS 지침	2006년 7월	유해성 확정
	EU에서 생산 및 시장출시에 대한 모든 사용 금지	24번째 수정된 시장출시 및 사용금지 지침 (76/769/EEC)	2004년 8월 15일	유해성 확정
	환경과 수질 기준에서 배출, 방류 및 손실 관리의 확립	수자원정책 분야에서 우선물질 목록에 수록된 EU 지침		유해성 확정
penta-BDE	재활용과 회수에 우선하여 전기 및 전자제품에서 브롬계 난연제 분리	WEEE 지침	2006년 12월	유해성 확정
	새로 출시되는 전기 및 전자 제품에서 사용금지	RoHS 지침	2006년 7월	유해성 확정
	환경으로 배출 중단	수자원정책 분야에서 우선물질 목록에 수록된 EU 지침	2020년	유해성 확정
	EU에서 생산 및 시장출시에 대한 모든 사용 금지	24번째 수정된 시장출시 및 사용금지 지침 (76/769/EEC)	2004년 8월 15일	유해성 확정
PBBs (2000년 이후로 더 이상 생산 되지 않음)	EU에서 생산 및 시장에 출시된 직물에 적용금지	4번째 수정된 시장출시 및 사용금지 지침 (76/769/EEC)	1984년 11월	유해성 확정
	EU에서 생산 및 시장에 대한 모든 사용을 금지	RoHS 지침	2006년 7월	유해성 확정
TBBPA	재활용 회수에 우선하여 전기 및 전자제품에서 브롬계 난연제 분리	WEEE 지침	2006년 12월	진행중

난연성 플라스틱은 분리수거하며 브롬계 난연제는 회수하고 컴퓨터, 복사기, AV 기기 등에서는 75% 이상의 재활용을 목표로 하며 재활용 비용은 제조업체가 부담하도록 하고 있다.

Table 8에는 유럽의 난연제별 제한 법규 현황을 나타내었다.

### 3.4.2. OECD (Organization for Economic Cooperation and Development)

브롬계 난연제에 대해 OECD는 회원국들에게 강제적인 규제조치는 취하지 않고 회원국 내 산업체의 자발적인 PBBs와 PBDEs에 대한 규제를 유도하고 있다. OECD는 1991년 ‘유해성 저감프로그램(OECD’s pilot risk reduction program)’을 통하여 회원국의 브롬계 난연제 사용현황에 대한 조사를 착

수하여 1995년 6월 파리에서 열린 회의에서 ‘브롬계 난연제 산업체의 자발적인 동의(voluntary industry commitments; VIC)’를 이끌어내었다.

전 세계의 브롬계 난연제 제조업체는 그들의 소비자에게 브롬계 난연제의 적절한 취급, 하용, 재활용 및 처리방법에 대하여 알려주고 있는데 VIC 하에서 세계적 브롬계 난연제 제조업체들은 다음사항을 준수하여야 한다.

- PBBs를 생산 및 수입/수출하지 않음. 즉, 상업적인 deca-BDE, octa-BDE, penta-BDE가 제품의 한 부분으로서 사용되는 것을 제외하고, 개별적인 난연제로서 상업적이지 않은 PBDEs 물질들을 제조하지 않음.
- deca-BDE의 순도를 97%까지 올리고, hexa-BDE보다 브





- 롬의 갯수가 적게 함유된 난연제의 사용을 최소화
- penta-BDE를 적절하게 취급, 사용 및 처리하기 위해 responsible care pollution prevention and product stewardship programs를 정기적으로 검토하고 제조되는 동안 penta-BDE의 방출을 최소화
- 브롬계 난연제를 함유한 제품의 안전한 처리와 재활용 방안을 포함한 환경적 연구와 다양한 독성 자료를 제공.
- 정기적으로 OECD에게 상기 사항에 따라 보고.

### 3.4.3. UNEP(United Nations Environment Program)

UNEP은 브롬계 난연제에 대해 직접적인 규제조치는 취하지 않고 있으나 유해화학물질의 수출입시 사전통보제도와 관련된 로테르담협약과 유해폐기물의 국가간 이동에 관한 바젤협약으로 간접적 관리를 수행하고 있다. 우선 로테르담협약은 1996년부터 UNEP에서 본격적으로 추진되어 1998년 9월 UNEP와 FAO(Food and Agriculture Organization)의 주관으로 ‘유해화학물질의 교역 시 사전통보승인(PIC; prior informed consent procedure)절차에 관한 협약(convention on the prior informed consent procedure for certain hazardous chemicals and pesticides in international trade)’을 체결하였다. 이 협약은 사전통보승인제도를 원칙으로 하며, 현재 한국도 이 협약에 서명하였고 2004년 2월 24일 본 협약의 사전통보승인제도가 국제법으로 제정되었다. 이 국제법에 따라 수입국의 명백한 동의 없이는 절대 브롬계 난연제를 수출할수 없게 되었다. 한편 바젤협약은 1989년 3월 116개국 대표자들이 유해폐기물의 국가간 이동과 그 처리의 통제에 관하여 서명한 협약으로 한국은 1994년 바젤협약에 가입하고 1992년 12월 ‘폐기물의 국가간 이동 및 그 처리에 관한 법률’을 제정하였다. 바젤협약에 따르면 수입국의 서면동의 없이 수출이 금지된 품목에 PBBs가 포함되어 있다.

### 3.4.4. Eco-Labeling

EU에서 제품 제조자들이 자신의 제품을 환경친화적으로 인정받기 위해서는 자기선언(self-declaration)을 하는 방법과 환경마크(eco label)를 획득하는 방법이 있다. 환경마크는 법적 규제사항은 아니지만 현재 EU 내에서는 대부분의 수입업자가 환경마크를 요구하고 있어 EU로의 수출 시에 비 EU 국에게는 반드시 획득하여야 하는 신개념의 무역장벽으로 작용하고 있다. Figure 1에 EU의 환경마크와 대한민국의 환경마크등을 나타내었다.

EU flower는 EU에서 현재 24개 제품군에 대해 시행하고 있

는 제도로서, 이중 개인용 컴퓨터, TV, 침대 매트리스, 직물, 가구 및 전구 등 6개 제품이 난연제 관련 인증기준이 반영되어 있다. 제조자가 자발적으로 자신의 제품에 환경 친화성을 부각시키는 것으로 위해성이 검증되거나 위해성에 대한 가능성

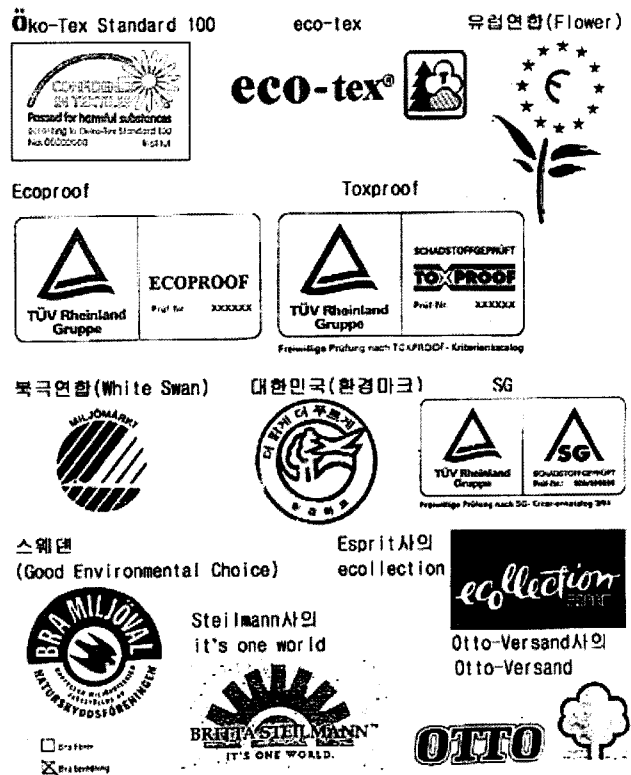


Figure 1. 세계의 대표적인 환경마크.

을 배제할 수 없는 난연제가 제품에 포함되면, EU Flower를 제품에 부착할수 없게 된다. 따라서 소비자의 환경에 대한 관심이 높아지고 있는 상황에서 환경마크처럼 법적 규제는 아니지만 시장 경쟁력을 높일수 있는 도구로서 브롬계 난연제를 생산금지 시킬 수 있다. EU flower 및 nordic swan에 의하면 직물의 경우 브롬계 난연제를 1%이상 사용하지 않아야 하며 동시에 유해물질로 분류된 난연제를 사용하지 않아야 한다.

## 3.5. 국가별 브롬계 난연제 규제동향

### 3.5.1 스웨덴

스웨덴에서 난연제로 주로 사용되는 물질은 PBDEs로 deca-BDE, octa-BDE, penta-BDE 등이다. 스웨덴에서는 이들 물질이 전혀 생산되고 있지 않으며 전량을 외국에서 수입하고 있다. 특히 난연제로뿐만 아니라 전기 전자제품과 같은 최종





는 브롬계 난연제에 대해 엄격한 공정관리를 통하여 환경으로의 배출을 최대한 억제하고 있다. 이를 위하여 생산시설은 정기적으로 유지/시험/보수 공정을 거치며, 해당 공정이 완전히 제어될 때까지 일정 기간동안 생산을 중지하도록 하는 공정관리 시스템을 법률 등을 통해 운영하고 있다.

일본에서는 방염표시자 등록제도를 운영하고 있어, 제조업자, 방염 처리업자, 수입판매업자, 재단/봉제/시공업자의 자격 기준을 정하여 기술요건을 갖추도록 하여 소방청에 방염표시자로 등록하며 방염 표시자로 등록된 자는 방염협회에 회원으로 가입하고 시험한 결과를 제출하여 시험번호를 부여받으며 정기적으로 협회에서 실시하는 교육을 받도록 하고 있다.

### 3.5.6. 한국

브롬계 난연제는 다른 유해화학물질과 마찬가지로 환경부의 '유해화학물질관리법'에 의해 관리되고 있다. 2004년 12월 개정된 유해화학물질관리법에 의하면 화학물질의 관리를 지속적으로 강화해 나가고 있는 국제사회의 움직임에 적극 대처하기 위하여 브롬계 난연제 같은 환경 유해물질에 대하여 유해성 평가 제도를 도입하여 화학물질 관리체계 선진화를 유도하고 있다. 현재 국내에서는 브롬계 난연제를 제조 또는 수입하고자 하는 사람은 해당 난연제가 유독물, 신규화학물질등에 해당하는지의 여부를 확인하여 환경부 장관에게 제출하도록 하고 있다. 또한, 신규 브롬계 난연제를 제조 또는 수입하고자 할때는 유해성 심사를 받아야 한다.

유해화학물질관리법에 따르면 특정의 화학물질이 유해화학물질관리법 시행령 제 2조에 규정된 유독물 또는 관찰물질에 해당되는 유해성이 있다고 평가되는 경우 해당 화학물질 및 이를 함유하는 혼합물질을 유독물이나 관찰물질로 지정하여 관리 할 수 있으며 유독물에 대해서는 별도의 평가를 거쳐 유해성이 크다고 판단되면 사용을 전면 금지하거나 취급을 제한할 수 있다. 이러한 규정에 의하여 PBBs와 tris(2,3-dibromopropyl phosphate) 2종의 난연제에 대하여 1999년 유독물로 지정고시하여 제조와 사용을 금지하고 있다.

EU와 마찬가지로 국내에서도 환경부 산하 환경마크 협회에서는 환경마크를 부여할 때 국내/국외에서 유해성이 평가된 난연제를 사용한 제품에 대해서는 환경마크를 부여하지 않으므로서 유해성이 확인된 난연제의 사용을 자발적으로 금지하도록 유도하고 있으며 산업자원부의 "품질경영 및 공산품 안전관리법"법에 의한 '유해물질 함유 섬유제품 안전검사기준'에 의해 잠옷류와 침구류에서 tris(2,3-dibromopropyl phosphate)는 절대 검출되어서는 안되는 것으로 규정하고 있다.

또한 브롬계 난연제 PBBs가 포함된 폐기물에 대해서는 우리나라도 바젤협약과 OECD의 규정을 감안하여 '폐기물 국가간 이동 및 그 처리에 관한 법률시행령' 제 2조 제 2항의 규정에 의한 '폐기물의 국가간 이동 및 그 처리에 관한 법률 적용 대상폐기물의 품목'을 개정 고시하여 운영중에 있다.

## 4. 결 론

화재로부터 인간의 안전성을 보장하기 위한 난연제의 사용은 일차적으로 화재를 억제 또는 화재의 진행을 저지하기 위해 필수적이다. 그러나 1990년대를 전후로 일부 난연제들이 인체와 환경에 유해하다는 실험결과가 발표되고 실제 인체에 치명적인 사례들이 알려지면서 소방관리와 동시에 환경관리를 할 필요성을 느끼게 되었다.

미국과 EU 등 선진국들을 중심으로 하여 2000년대부터 본격적으로 난연제품에 대한 환경규제를 시행하게 되었는데 특히 몇몇 브롬계의 난연제품에 대한 인체 및 환경 유해성 결과는 전 세계적으로 브롬계 난연제를 사용하지 않는 방향으로 유도하고 있다.

섬유제품에 사용되는 난연제의 종류는 매우 다양하며 여러 가지 이유에서 브롬계 난연제도 현재 이용되고 있는 현실이다. EU를 중심으로 섬유제품에 함유된 몇종의 브롬계 난연제에 대한 규제가 진행중이며 앞으로도 인체 유해성이 확인되는 다른 종류의 난연제도 규제 대상이 될것으로 전망된다. 국내에서도 EU 등에서 법적인 규제 또는 환경마크를 통한 자발적 규제에 대응하여 적절한 조치를 행하고 있다.

환경법과 관련하여 인체에 유해한 것으로 판명된 몇몇 종류의 브롬계 난연제의 사용규제와 환경마크인증 시스템을 통한 산업계의 자발적 인체유해 브롬계 난연제의 사용자제가 현재 전 세계적으로 진행되고 있는 흐름이지만 브롬계 난연제의 뛰어난 난연효과 등으로 인하여 아직도 전 세계적으로 많은 양의 브롬계 난연제가 유통되고 있는 것 또한 현실이다. 아직까지 많은 브롬계 난연제에 대하여 인체 및 환경 유해성에 대한 검토가 진행중이며 동시에 환경문제와 소방효과를 동시에 만족시키기 위한 기타 난연제에 대한 많은 연구가 진행중이다.

난연섬유제품은 생활환경에 사람과 가장 밀접하게 접하는 제품중 하나이기 때문에 인체 및 환경 유해성에 대해 국내에서도 좀더 정확한 실험 등이 이루어져야 할것이며 특히 섬유제품에 사용되는 난연제가 인체에 미치는 영향은 지속적이고 매우 치명적인 경우가 있기 때문에 매우 신중하게 다루어져야 할 사안이라 생각된다.

## 참고문헌

1. "Study on the European Environmental Requirements and Ecolabel Certification on Textile Products", KITECH's Final Report to the Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2001.
2. <http://www.oeko-tex.com>
3. "Oeko-Tex Standard 100", Ed.03/2000, Oeko-Tex, Zuerich, 2002.
4. "Oeko-Tex Standard 200", Ed.03/2000, Oeko-Tex, Zuerich, 2000.
5. Commission Decision establishing the ecological criteria for the award of the Community eco-label to textile products, *Official Journal of the European Communities*, L57, 21, (2002).
6. E. K. Choe, E. J. Son, and C. R. Park, 섬유제품 에코라벨의 현황 및 전망, *Fiber Technology and Industry*, 3(3/4), pp.85-103, (1999).
7. "Ecology:The Oeko-Tex Standard 100", Technical Bulletin, Dystar, Germany, pp.13-14, (2002).
8. BRF in Dust on Computers, 2004.  
[www.bsef-site.com/regulation/eu\\_legislation/eu\\_legislation.php](http://www.bsef-site.com/regulation/eu_legislation/eu_legislation.php), 2005
9. "고분자용 난연 첨가제의 개발 현황", *Prospectives of Industrial Chemistry*, 8(6), 2005.
10. "난연성 고분자 재료의 기술개발 동향", *공업화학 전망*, 8(6), p.36. 2005.
11. "난연제의 소개 및 최근 동향" 고무기술, 1(1), p.114, 2000.
12. "브롬화 난연제의 환경오염도 관리방안", *환경영향평가*, 14(2), p.83, 2005.
13. "브롬화 난연제의 특성 및 분석 현황", *Analytical Science & Technology*, 14(5), 83A-108A, 2001.
14. "브롬화 난연제의 국제적 규제동향과 대응방안", *Prospectives of Industrial Chemistry*, 8(6), 3, 2005.
15. "방염제의 환경위해성 평가 및 대응방안 연구", KEI/2001 기본과제 연구보고서, 한국환경정책 평가연구원.
16. "최신 국내/세계의 난연제 시장 및 환경규제 현황 보고서", *Cischem.Com Co.,Ltd.*, 2005.



유 의 상

한국생산기술연구원

1991. 한양대학교 섬유공학과 졸업  
 1993. 한양대학교 섬유고분자(석사)  
 1998. 한양대학교 섬유고분자(박사)  
 2001-2004. Univ. of Massachusetts, Dept of Polymer Science and Engineering, 박사후 연구원  
 2005-현재. 한국생산기술연구원 선임연구원 섬유환경분석실 기술책임자 (330-825) 충남 천안시 입장면 홍천리 35-3  
 전화: 041-589-8569, Fax: 041-589-8460  
 e-mail: esyoo@kitech.re.kr



최 은 경

한국생산기술연구원

1982. 서울대학교 화학교육과 졸업  
 1984. 서울대학교 화학교육 전공  
 1987. Cornell University 화학과(M.S.)  
 1991. Cornell University Dept. of Textiles and Apparel (Ph.D.)  
 1994-현재. 한국생산기술연구원 수석연구원 섬유환경분석실 운영책임자