

각국의 연소생성물 독성기준에 관한 고찰

이 형 섭
〈시험소 기사〉

I. 序 言

1985년도 내무부 화재통계에 의하면, 建物火災에의 사망자 중 연소생성물에 의한 窒息 사망자의 수가 46.9%를 차지하고 있으며, 일본도 消防白書에 의하면, 일산화탄소의 中毒·窒息에 의한 사망자의 수가 40%를 차지하고 있으며, 이외에 화상에 의한 사망자(약 50%)중에도 일부 질식에 의한 行動不能에 의한 화상을 입은 사망자도 있을 것이라고 추정하였다. 이와 같이, 建物내의 可燃性 內裝材나 收容器등은 화재시 연소확대의 요인 이외도 有毒性 가스에 의한 인명피해는 물론이고, 소화활동에도 막대한 지장을 초래하고 있다. 따라서 본고에서는 선진제국의 燃燒生成物 및 그의 毒性에 대한 規制, 시험방법 및 최근 研究 동향에 대하여 考察하고자 한다.

1. 미국

從來의 연방정부법이나, 건축법규에는 火災 傳播速度와 發煙係數에 대한 規制는 있었으나, 연소생성물에 대한 規制는 없었다. 그러나 수

년전부터 미국화재국, NBS^{*)} 화재연구센타를 주축으로 NFPA, 주정부의 지방행정기관은 Upholstered furniture(천, 융단등으로 씌워져 있는 가구)의 材料, 製品의 着火性 低下 및 煙毒性 저하에 큰 관심을 기울이고 研究 및 對策을 추진 중에 있으며, 1986년부터 New York주는 처음으로 연소생성물의 規制를 시작하였다.

이 규제는 “Smoke Toxic Data Bank”를 構築할 목적으로 Upholstered furniture의 재료, 제품에 대하여, 재료 제조회사가 Pittsburgh 대학(New York주 소재)에서 開發한 試驗法(소위, University of Pittsburgh Method)에 의한 煙毒性 Data를 作成하여, 州機關에 提出하도록 義務化하며, 主기관은 해당 재료, 제품의 毒性評價結果에 대하여 List를 작성하여 일반에게 공개하는 制度이다. 그러나, 主기관은 그 제품이 양호한가, 불량한가에 대한 특정한 기준을 정하지는 않고 있다. 소비자는 그 Data를 보고 어느 제품을 선택할 것인가 판단만 하면된다.

아직 New York 주의 制度는 試驗的인 方式으로서 단지 “Smoke Toxic Data Bank”를 목적으로 하고 있다.

다음은 동물을 이용한 NBS의 독성시험방법을 소개한다.

주) NBS : 미국 상무성 표준국(National Bureau of Standards)

가. 試驗裝置는 燃燒爐, 動物暴露室, 化學分析 System의 3가지로 되어 있다. 연소로는 동물폭로실의 아래에 부착 固定된다. 이 爐는 Potts와 Leder가 고안한 Cup Furnace를 사용한 다.

나. 동물폭로실은 용적이 200ℓ이며, 동물 고정대를 6개 설치한다. 동물은 주로 Fisher 344의 마우스를 주로 이용하며 1회 실험에 6마리를 사용하며, 30분 동안 폭로시킨다. 6마리중 1~2 마리의 血液을 採取 할 수 있도록 금속관을 연결한다. 血液 채취는 폭로개시시, 15분후, 종료시, 각각 3회를 실시하여, CO, 헤모그로빈 농도를 측정한다.

다. 毒性效果의 決定은 30분 폭로시간중이나, 그후 14일내에 사망여부를 관찰한다. 毒性評價는 LC₅₀(50% 致死濃度)에 의하며. 이 LC₅₀은

폭로 동물의 50% 치사에 필요한 실용적당 시료의 질량(mg/ℓ)의 단위로 표시한다.

라. 본시험은 폭로 종료후 14일간 마우스의 체중을 매일 체크한다. 화학분석 System은 그림1과 같은 폭로실 내에 연소가스의 CO, CO₂, O₂ 농도를 자동적으로 측정하는 System이다. CO, CO₂는 非分散型赤外線濃度計로 O₂는 갈빈電池式酸素濃度計로 측정하며, HCN은 Sampling 검출기를 통하여 채취하여 가스크로마토그라피로 분석한다.

이외에 California, Maryland, Massachusetts, Connecticut, New Jersey, Indiana, Minnesota, Pennsylvania, Texas州등이 이미, 대학교나 연구소가 추천한 試驗方法(표1 참조)에 의한 규제 法案을 연방정부에 提出하여 制度化를 추진 중이다.

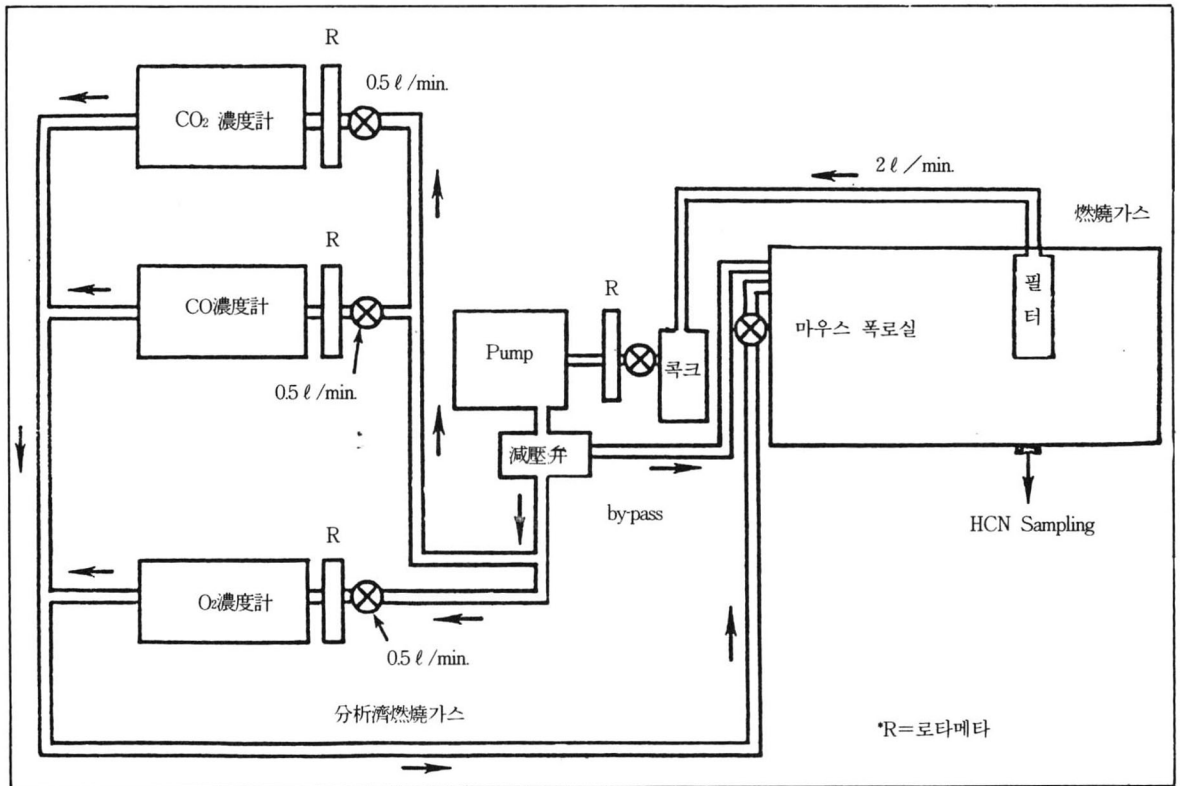


그림1. 연소가스 화학분석 System

표1. 추천 독성평가 시험 방법

Federal Republic of Germany(DIN)Method
Federal Aviation Administration(FAA)Method
National Bureau of Standards(NBS)Method
Radiant Heat Test Method
University of Sanfrancisco Method.
University of Pittsburgh Method
Dow Chemical Company Test Method
Harvard Medical School Test Method
Japanese Combustion Toxicity Test Method
McDonnell-Douglas Corporation Test Method
Stanford Research Institute International Test Method
U.S.Testing Company, Incorporated Test Method
University of Michigan Test Method
University of Tennessee Test Method
University of Utah Test Method
USSR Test Method
Carnegie Mellon Institute of Research(CMIR) Method

2. 일본

일본은 아직 연소생성물의 毒性을 法으로 規制는 않고 있으나, 1976년 건설성 고시 제 1231호 “準不燃材料 및 難燃材料을 지정하는등의 件”(難燃 2·3급 재료에 한함)에서 材料表面에 화재초기에 상응하는 복사열을 주어 연소생성물의 급성흡입 독성을 실험 동물의 行動不能 指標로 하여 評價하고 그 相對的 毒性度를 비교 검토하고 있다.

또한 일본국유철도규격(JRS)17400-6A, 17400-7A에 의하여 철도차량의 객실에 사용하는 內裝材 및 좌석에 대하여 연소 생성물의 독성을 規制하고 있다.

일본방염협회(JFRA)는 防災製品 및 防災劑의 品質을 認定 할때 火災에 대하여 人體의 安全性을 확보할 목적으로 방염제품인정위원회에서

는 각 제품(특히 의복류, 침구류 및 Upholstered furniture)에 대하여 使用範圍를 고려하여 急性毒性(LD₅₀), 發癌試驗(Ames' Test), 皮膚刺戟性試驗등의 독성심사를 실시하고 있다. 이에 대한 방염제품 및 심사항목은 표2와 같다.

한편, 1986년 일본에서는 熱川 大東館 火災(24명 사망), 大阪市の 상가아파트 화재(8명 사망)등에서 사망자 발생의 주된 원인이 발생한 연기 및 독성가스에 의하였다는 화재조사결과에 따라 消防廳은 일본방염협회의 協助를 얻어, 소방안전센터의 「화재로 인한 연소생성물의 독성」에 관한 조사연구위원회를 발족하여 화재시 建材, Upholstered furniture, 의복류, 침구류 등의 연소에 의해 발생하는 연기, CO, HCN, HCl 등의 독성에 관하여 조사연구를 실시케 하고 있으며, 주요 연구대상은 연소생성물이 인명에 주는 危險性的의 評價方法, 연소생성물의 독성에 관여하는 건축물 내부에 存在하는 可燃物의 종류 및 특성, 연소생성물의 感知方法, 避難方法, 燃燒生成物の 抑制정도 등이다.

3. 프랑스

프랑스에서는 1970년 11월 선모랑 다리의 덴스홀 火災(150명 사망), 1973년 5월 파리의 중학교 화재(10명의 학생 사망)등이 발생하여 정부당국은 合成材料의 燃燒性和 毒性가스의 規制를 1975년부터 시작하였다. 그 규제는 「不特定 다수인이 이용하는 建築物에 사용하는 합성 재료 및 物品에 대한 規制」(내무부령 1975년 11월 4일 제정, 1976년 12월 1일 개정) 및 기술상의 示達(시민안전보장청, 1977년 1월 20일)이다. 이 내용의 概要는

가. 對象建築物은 불특정 다수의 시민이 이용하는 건물로서 300인 이상 收容能力이 있고, 1977년 1월 10일 이후에 허가에 의하여 新築하는 건물 및 既存 건물중 내부를 변경하는 건물에 適用한다.

표2

방염 제품 품목			침구류		의복류		Upholstered furniture		피난용 Hood		기타제품
			이부자리, 베게, 매트리스		겉감	내피	겉감, 완성품	충전물	겉감, 완성품	충전물 (프라스틱, 발포체 포함)	텐트류, 암막류 등
독성심사 항목			겉감 완성품	충전물 (프라스틱 발포체 포함)							
방염약제의 성분, 순도, 불순물 함유율			○	○	○	○	○	○	○	○	○
기타사용 염료의 화학명, 상표명					○						
일 반 시험	기본 시험 1차	1 치사농도(LD 50)	○	○			○				
		2 발암시험(Ames' Test)	○	○			○				
	2차	3 Small Nuclei Test	□	□			□				
독 성 시험	기본 시험	1 급성 치사 독성	△	△			△				
		2 만성 독성	△	△			△				
		3 발암 독성	△	△			△				
피 부 자 극 성 시험	1 패치식 봉지시험(46시간) (Closed Patch Test)		○	○			○		○		
	2 Kawai's법 (Sump Test)										
		3 세포독성시험(Cytotoxicity Test)									
피부 Allergenic성 시험							○				

주 : ○는 필수 심사, □, △는 필요시 심사

나. 對象物品은 합성재료와 그 물품으로서, 플라스틱, 섬유 및 섬유제품, 합성고무, 도료 및 그리스, 접착제등으로 HCN, HCL을 放出할 가능성이 있는 질소 또는 염소를 함유하는 것을 말한다. 다만, 防火·防災性能의 수준이 M₀⁽²⁾ 및, M₁⁽³⁾의 물질은 제외한다. 또한 天然材料는 제외하고, 일산화탄소의 독성은 당분간 고려하지 않는다.

다. 室內裝飾物은 장식재, 천정·벽내장재, 카텐, 고정식가구 및 노출된 배관·배선의 재료에 해당한다.

주2) M₀ : 불연성(non Combustible), 주3) M₁ : 고난연성(non flammable)

라. 合成材料만을 대상으로 하나, 천연재료와 합성재료가 複合되어 있는 경우는 합성재료가 25%이상인 경우에 적용한다.

마. 합성재료 사용 許容量은 室內容積當(m³) 질소는 5g 또는 염소 25g를 각각 초과해서는 않된다. 이 이유의 판단기준은

- 1) 빌딩으로부터 탈출 할때까지의 시간은 재료의 1/3이 熱分解 또는 然燒 할때이며,
- 2) 실내에 사람이 있을때 HCN의 致死濃度는 450PPM이고, HCl의 치사농도는 1500PPM이기 때문에 절대로 이 농도에 도달 되지 않아야 하며

3) 질소의 허용량은 2배로 한다. 이것은 HCN이 가연성 가스로서 화염중에서 연소 할 가능성이 있기 때문이다.

바. 고정식가구류의 충전물(폴리우레탄발포체 등)이 M_1 또는 $M_2^{*4)}$ 주로서 200°C 이하에서는 용융되지 않는 재료로, 밀폐상태로 피복되어 있는 경우는 중량계산에서 제외한다.

사. 바닥재가 M_2 또는 $M_3^{*5)}$ 이면 제외한다.

위 規制의 주요 목적은 불특정 다수인이出入하는 건축물에 대하여 피난통로를 알지 못하는 群衆을 건물로부터 안전하고 빨리 피난시킬 수 있도록 하기 위함이다.

4. 영국

영국에서는 영국규격협회(BSI)의 技術委員會 중 화재규격 위원회(FSM)의 16^{*6)}에 의하여 연소생성물의 독성에 대하여 ISO/TC92/SC3와 함께 연구중이며, 소방기관은 연소생성가스의 영향을 줄이기 위해 현행 건축법규 및 소방법규를 運用하여 避難距離, 脫出時間등을 제한하고 있다.

또한, 국방부 해군국은 해군기술기준(NES)-711, 713을 제정하여, 해군에서 사용하는 材料, 섬유류에 대하여 제한하고 있다. 이 기준을 소개하면,

가. 測定方法: 0.7m³의 연소실내에 1.5~2g의 시험편을 버너로 연소시켜 생성가스를 分析한다. 시험편이 自然性일 경우는 15초후 버너를 제거하고, 自然性이 없는것은 有機物이 연소가 끝날때까지 버너를 炎燃시킨다.

나. 계산방법: 각 성분가스의 농도C(VPPM)^{*7)}로부터 다음 식을 이용하여 毒性指數를 계산한다.

$$T_{index} = \sum C_n / C_{fn}$$

여기서 n: 성분가스의 번호

Cf: 해당가스에 사람이 30분간 노출될때 致死濃度

다. 각 가스의 Cf

가 스 명	Cf (ppm)
이산화 탄소(CO ₂)	100,000
일산화 탄소(CO)	4,000
황화수소(H ₂ S)	750
암모니아(NH ₃)	750
Formaldehyde(HCHO)	500
염화수소(HCl)	500
acrylonitrile (CH ₂ =CHCN)	400
아황산 가스(SO ₂)	400
이산화질소(NO ₂)	250
청산가스(HCN)	150
취화수소(HBr)	150
불화수소(HF)	100

5. 서독

독일 규격 DIN E 53436은 動物을 이용한 毒性試驗方法이며, DIN 4102, Part-1, Class A₂는 건축재료의 방화성능시험방법에 연기농도 및 독성기준을 포함하고 있다. DIN E 53436의 시험방법은 不燃材의 試驗片을 그림 2와 같은 加熱爐 試驗裝置에서 공기의 흐름과 가열로의 방향을 역방향으로 하여 溫度를 증가하여 熱分解를 시켜 燃燒生性物을 발생케 하여 동물의 行動不能時間, CO, CO₂ 및 O₂의 濃度를 측정하여 독성지수와 비교평가 한다.

이상과 같이 각국의 연소생성물 독성기준에 관하여 고찰한 바를 비교하면 표3과 같이 요약할 수 있다.

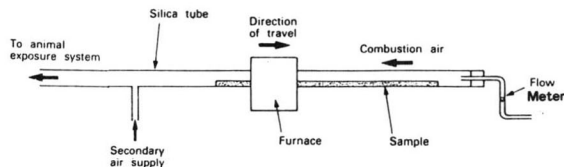


그림2 DIN E 53436의 연소 독성 시험장치

주4) M₂: 난연성(low flammable)

주5) M₃: 가연성(moderately flammable)

주6) FSM/16: 연소생성물의 독성에 관한 연구

주7) V ppm: Volume part per million

1. 각국 연소 생성물 독성 비교

항목 국명	제도(기준)명	대 상 물	평 가 방 법
미 국	New York 주 (Univ. of Pittsburgh Method)	Upholstered furniture 재료, 제품	재료의 연(煙)독성 Data를 작성하여 일반에게 공개
	NBS 독성시험 방법	건자재, 플라스틱제품, 섬유류	동물의 폭로 시간 측정(LC50), CO, HCN, CO ₂ , O ₂ 측정-상대 평가
일 본	건설성고시(제1231호)	난연 2,3급 재료	마우스 행동정지시간 측정, 적라왕의 측정치와 비교
	국유철도규격(JRS 17400-6A, 7A)	객실의 내장재, 좌석	-
	방염협회	의복류, 침구류, Upholstered, furniture	급성 독성(LD50), 발암독성(Ames' Test), 피부자극 독성
프랑스	내부부령(1975.11.4 제정)	건축내장재에 쓰이는 합성재료(프라스틱)및 제품	HCl, HCN 농도를 측정하여 기준농도와 비교(단 CO농도 제외)
영 국	NES-711, 713	해군이 사용하는 건자재, 섬유류	연소가스를 분석-치사농(C _i)와 비교
	소방기관	-	피난거리 제한(요양소 등)
서 독	DIN E 53436 DIN 4102 Part 1	불연재	동물의 행동불능시간, CO, CO ₂ , O ₂ 측정-상대평가
한 국	건설부 고시(제242호)	난연 2, 3급 재료	마우스 행동시간 측정-9분이상 일때에 적합

II. 연소생성물의 抑制에 대한 최근 연구 동향

1. 합리적인 화재위험(Reasonable Risk of Fire)의 확보

미국소비자제품안전위원회(CPSC)^{주8)}는 可燃性 織物法에 의하여 섬유제품의 難燃規制를 할 경우는 불합리한 화재시험(Unreasonable Risk of Fire)로부터 公衆을 保護하자는 표현을 사용하고 있다. 여기에 대하여 합리적인 화재시험이라 하는 概念을 도입하여 건물내에 積載된 재료등의 防火·防炎性能 또는 量을 이미 알 수 있는 경우는 화재 및 災害에 程度를 預測할 수

있기 때문에 그 대책을 세울 수 있다. 프랑스에서는 이미 섬유류, 침구류 및 의복류등 섬유제품 전품목에 대하여 기준을 설정하였고, 영국에서는 이를 병원에 대하여 實施하고 있다.

2. 防火·防炎基準의 강화

미국항공국(FAA)는 항공기의 內裝品の 연소 생성물에 대한 毒性評價方法을 檢討하고 있으며, 좌석의 Cushion재(발포체)는 종래의 버너법 보다 엄격한 오일버너Oil burner법을 채택하여, 이에 따라 防火·防炎性能을 측정하여 합격한 걸감으로 被覆된 제품만 사용케 하였다(1987년 이후), 또한 캐나다, 일본의 항공국도 이 기준을 채택하기로 되어 있다. 이 기준은

주8) CPSC : Consumer Product Safety Committee

프랑스의 不特定 多數人이 이용하는 건물내에 사용되는 고정가구의 충전물을 등급이 M₁ 또는 M₂로 피복되어 있을 경우는 N 및 Cl의 함유량의 制限을 除外시키는 것과도 相通되는 것이다.

3. 독성가스의 길항작용(拮抗作用)의 연구개발 촉진

일본 동경 소방청의 과학연구소에서는 複合 가스^{주9)}의 독성에 대하여, 相加作用, 獨立作用 및 拮抗(상승)作用을 연구 중이다. 拮抗作用에 대한 研究사례는 그림3, 그림4에 있다.

4. 연기의 抑制劑의 研究開發의 촉진

각국에서는 建材, 內裝材등의 防火性能 이외에 發煙量이 規制되고 있는 것에 반하여 연기의 억제제의 개발이 추진되고 있다. 또한 연기와 독성가스 둘다를 抑制하는 防炎劑에 대한 연구도 함께 추진 중이다.

가스조성 (%)	치사시간 (min)				
	O ₂	CO	CO ₂	HCl	5
17.0	0.9				
17.0	0.8				
16.8	0.8				
19.6	0.7				
17.3	0.7				
17.9	0.7				
17.8	0.6				
17.5	0.6				
18.3	0.55				
18.7	0.4				
18.4	0.4				
19.1	0.2				
19.7	0.2				
20.0		0.6	1.08		
20.5		0.65	1.04		
20.3		0.6	0.72		
17.5		0.5	0.7		
19.5		0.67	0.5		
18.5		0.7	0.4		
20.0		0.7	0.2		
19.7	0.7		0.7		
19.6	0.7		0.7		
19.5	0.6		1.0		
19.5	0.6		0.6		
19.6	0.6		0.4		
19.7	0.5		1.25		
20.0	0.5		0.75		
20.1	0.5		0.75		
20.0	0.5		0.5		
20.0	0.5		0.5		

그림3 복합가스 상호반응에 의한 치사시간

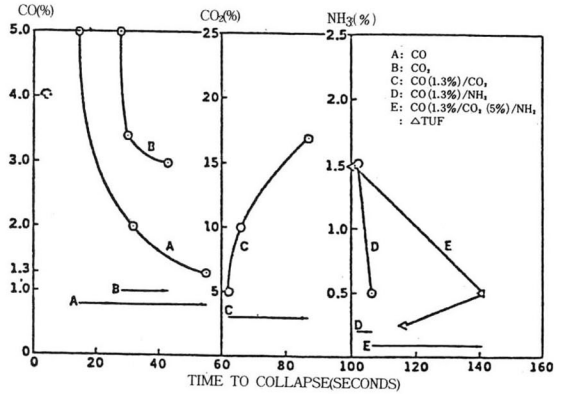


그림4 행동가능시간

5. 避難距離의 制限

영국 소방기관은 연소생성물의 評價方法이 制度化되기 전까지는 現行 건축법규 및 소방법규를 運用하여, 火災警報를 발한후부터 出口까지의 탈출거리를 定하고 있으며, 또한 독성가스의 영향을 최소화 하는데 이용하고 있다. 다음 표는 한 療養所의 避難거리이다.

요양소의 실내로부터 탈출구까지의 거리(단위m)

피난방향수	피난에 필요한 경보설비가 있는 침실	화재 위험이 많은 지역	기 타
1방향	9(18)	12(약25)	18(30)
2방향 이상	6(12)	6(약12)	9(15)

주 : ()은 총탈출 거리를 말함.

III 結 言

이상에서 考察한 바와 같이, 선진 각국에서는 建築資料, 內部裝飾品, 家具, 纖維製品등에 대하여, 自國에 알맞는 基準 또는 法令을 제

주9) 복합가스 : 연소 생성가스들이 서로 반응에 의해 생성된 제3의 가스를 의미함.

정, 규제하고 있으나, 국내에서는 단지 건축내장재의 난연 2·3급에 대해서만 有害性試驗을 실시하고 있는 실정이다. 우리나라도 지금부터 내장재 뿐만 아니라, 건물내 수용품의 연소독성을 규제하는 적절한 기준을 마련함으로써, 火災時 내장재 및 수용품의 연소 생성물 독성으로 인한 인명피해를 줄이기 위한 대책을 마련해야 할 것으로 思料된다.

끝으로 각국의 연소 생성물 독성기준을 소개한다.

가. 일본

건설성 고시 제1231호 : 준불연재료 및 난연재료의 지정 - 연소가스 유해성 시험방법

농림성 고시 제319호 : 난연합판의 가스유해성 시험의 추가

JRS : 17400-6A : 차량용 재료의 초기 화재시 가스유해성 시험방법

JRS : 17400-7A : 차량용 재료의 성숙기 화재시 가스유해성 시험방법

나. 미국

ASTM E662 : Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials

ASTM E906 : Proposed Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials

ASTM D2843 : Density of Smoke from the burning or decomposition of plastics

NBSIR 83-2701 : Testing Method Acute Inhalation Toxicological Evaluation of Combustion Products.

다. 영국

BS 6041 : Method for measurement in the laboratory of the specific optical density of Smoke generated by materials

NES 711 : Determination of the Smoke Index of the Products of Combustion from Small Specimens of Materials

NES 713 : Determination of the Toxicity Index of the Products of Combustion from Small Specimens of Materials

라. 서독

DIN E 53436 : 동물을 이용한 독성시험 방법

DIN 4102 Part1 : Fire behaviour of building materials and building Component : Requirement and tests

마. 프랑스

내무부령 : 불특정 다수인이 사용하는 건물에 사용하는 합성재료 및 물품에 대한 규제(1975. 11. 4제정)

바. 한국

건설부고시 제242호 : 준불연재료 및 난연재료에 대한 가스유해성 시험

사. ISO

TR 5659 : Smoke generated by solid materials(NBS Test)

TR 5924 : Smoke generated by building materials(ISO Test)

TR 6543 : The development of Tests for

measuring toxic hazards in
fire(1979. 11. 01)

참고문헌

*기준 제정 기관

NES: Naval Engineering standard.

BS : British Standards.

DIN: Deutsche Industrie Normen.

ISO: International Organization for Standardization

JRS: Japanese Rail standard

ASTM: American Society for Testing and Materials

NBS: National Bureau of Standards.

JIS: Japanese Industrial Standards

- 1) 防災 News No83(1986.9)일본 Page 2~25.
(방염물질의 안전성 Test)
- 2) 防災 News No90(1987. 5)일본 Page11~14.
(연소생성물의 독성문제에 대한 미국의 최근동향)
- 3) Basic Aspects of Combustion Toxicology:
WD Wolley and P.J Fardell(영국)
- 4) Biological Studies of Combustion Atmospheres,
DA Purser(영국)
- 5) 건축내장재료 기획제1호 : 건축재료의 연소가스 독성 및 평가 방법의 고찰 Page25~30(방재시험소)

나를위해 이웃위해

나라위해 불조심