

연소독성지수와 마우스 행동정시시간 비교 연구 A Comparative Study on Toxic Gas Index and Stop Time of Mouse Activity

조남욱[†] · 이종천 · 이동호*

Nam-Wook Cho[†] · Jong-Cheon Lee · Dong-Ho Rie*

한국건설기술연구원, *인천대학교 소방방재연구소
(2011. 4. 11. 접수/2011. 8. 12. 채택)

요 약

연기독성생성물로 인한 인명피해가 주요한 화재피해로 보고되고 있다. 화재로 인한 연기독성을 평가하기 위해 국내외의 다양한 시험이 있으며, 국내에서는 KS F 2271의 가스유해성시험으로 건축 마감재료의 유해성을 평가하고 있다. 현행 가스유해성시험은 발연가스를 설치류(실험용 흰 쥐)에 노출시켜 행동시간을 측정하여 연소가스 독성을 평가한다. 본 연구에서는 가연성 고분자소재(우레탄 및 고무바닥재)를 대상으로 가스유해성시험을 수행하고 이때 발생하는 가스를 FT-IR로 정량분석하였다. 정량분석결과는 BS6853에서 규정하는 기준값과 비교하여 독성지수(R)를 산정하였다. 동물시험과 독성지수의 상대적 비교를 통해 두 시험법의 상관성을 분석하여 다양한 독성평가를 시도하고자 하였다.

ABSTRACT

Casualties due to toxic smoke products have been reported as major fire damage. There are various tests in order to evaluate toxic smoke from a fire at home and abroad, and KS F 2271 as a test of the gas hazard of building finish materials has been conducted in Korea. The current test of the gas hazard exposes rodent, laboratory rat, to smoke gases to evaluate combustion gas toxicity by measuring acting time of that. this study performed a test of the gas hazard for combustible polymer material, Urethane and rubber flooring, and determined gases with the FT-IR. Quantitative results compared with standard value defined in BS6853 and toxicity index (R) was calculated. Using relative comparison with animal test and the toxicity index, We tried a variety of toxicity evaluation by correlation analysis of two tests.

Key words : Toxic gas index, Gas hazardous test, BS6853, FT-IR

1. 서 론

독성 연기 생성물에 대한 노출은 화재에 처한 사람이 직면하게 되는 위험 요소 중 하나라는 사실이 인식된 지는 오래 된 일이다. 영국에서 수행된 연구에서 1970년대 중반에 화재사고 희생자에 대해 수행된 여러 차례의 통계조사가 있었다. 화재(특히 주택화재)사고 희생자들에 대한 통계조사를 통해 밝혀진 바에 따르면, 화재사고 희생자 중 상당 비율이 ‘열 및 화상’보다는 ‘연기 및 독성가스’로 인한 피해를 입었을 뿐 아니라,

1955년부터 1971년 사이에 ‘연기 및 독성가스’ 피해는 4배로 증가했다(Figure 1, 2 참조). 이러한 증가 추세는 1980년대에도 계속 이어져 주택화재(대부분 가구 및 침구 화재로 인해 발생)의 경우, 모든 사망자 중 1/2 정도와 부상자 중 1/3 정도가 ‘연기 및 독성가스’ 피해를 입은 것으로 보고된 바 있다.¹⁾

연기 관련 부상자가 증가한 이유는 합성고분자재료의 양적증가와 생활양식의 변화에 따른 결과라는 해석이 있다. 즉, 가정 내에서 비품등의 사용량이 증가함에 따라 화재하중도 증가했다는 것이다. 미국의 화재 사망률은 20년 전에 영국, 서유럽 및 일본의 2배 정도였으나, 1990년대까지 꾸준히 개선되어 현재는 영국 및

[†]E-mail: nwcho@kict.re.kr

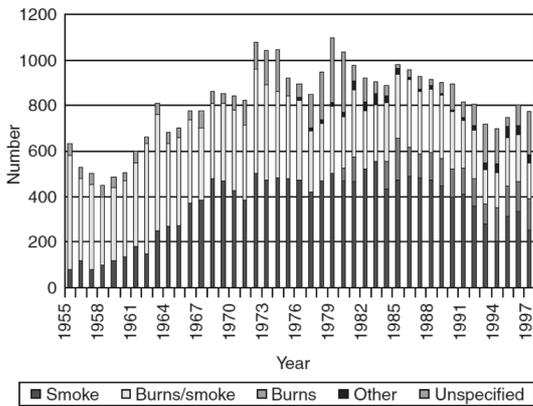


Figure 1. U.K. fire deaths.

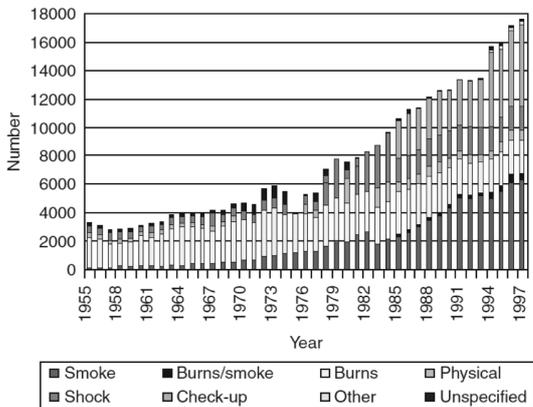


Figure 2. U.K. nonfatal fire injuries.

유럽수준(백만 명당 14명 정도)에 가까워졌다.^{2,3)} 그러나 영국 및 미국에서는 여전히 독성 연기생성물이 주된 화재사망 원인으로 인식되고 있다.⁴⁾ 미국의 경우에는, 발화실 밖까지 확산된 화재(주로 플래시오버 후 화재)에 대해 사망자의 50% 이상이 발화실로부터 멀리 떨어진 장소에서 발생하는 것으로 보고되고 있다.⁵⁾ 확산형 화재가 일어난 경우, 발화실로부터 멀리 떨어진 지점에서 연소가스에 의해 사망자가 발생하는 것은 영국에서도 보편적인 경향으로 알려져 있다.

국내의 경우, 1999년, 인천시 인현동 호프집 화재사고에서 내부 장식재였던 우레탄폼이 타면서 57명이 유독가스로 사망했으며 2007년 2월 10명이 사망하고 17명이 부상을 입은 여수 화재 참사 역시 피해를 키운 원인으로 내부 마감재료 및 우레탄 단열재의 연소로 발생한 유독가스였다. 2008년 이천냉동창고화재에서도 40명이 유독가스에 의해 사망하는 사고가 발생했다.

한국화재소방학회 논문지, 제25권 제4호, 2011년

이처럼 화재로 인한 연기독성의 피해는 화염에 의한 직접적인 피해보다 광범위하고 치명적이다. 그동안 국내에서 마감재료에 대한 연소독성평가는 설치류(마우스)를 이용한 가스유해성시험(KS F2271)으로 실험용 쥐의 평균행동정지시간으로 평가되어 왔다. 가스유해성시험은 대상 시험체의 연소로부터 발생하는 미지 가스를 실험용 쥐에 노출시켜 마우스의 행동시간으로 피난시간을 예측하는 방법이다. 그러나 최근 동물보호법에 의한 동물시험의 제한이 입법화되어 건축재료의 연소유해성판정에 빈번하게 사용되는 동물시험(KS F2271)의 대체시험개발연구가 시급하다. 본 연구에서는 고분자소재인 우레탄과 고무바닥재를 대상으로 기존의 가스유해성시험(ISO 9122-4에서 규정하는 화재모델)을 수행하고, 동시에 ISO 19702를 적용하여 가스유해성시험기의 피검상자로부터 연소가스를 정량분석하였다. 정량분석결과는 국내 철도차량안전기준에서 채택하고 있는 독성지수로 계산하여 결과를 비교 분석하였으며 동물시험 대체시험으로서의 다양한 가능성을 제시하고자 하였다.

2. 측정방법

2.1 KS F 2271(가스유해성시험)

건축법 제43조, 동 시행령 제61조 및 ‘건축물의 피난·방화등의 기준에 관한 규칙’ 제24조에서 건축물의 내부마감재료에 대한 용도 및 규모별 적용 대상을 정하고 있다. 이러한 분류기준에 따라 불연, 준불연 및 난연재료의 화재성능을 확보한 재료를 사용하도록 규정하고 있다.

난연성능 평가방법은 건축물의 피난·방화등 기준에 관한 규칙 제5조 내지 7조 규정에 따라 제정된 ‘건축물 마감재료의 난연성능기준’(국토해양부 고시 제2011-39호)에서 정하고 있으며 국제규격으로서 채택된 콘칼로리미터방법(KS F ISO 5660-1)과 불연시험방법(KS F ISO 1182) 및 가스유해성시험방법(KS F 2271)을 채택하여 그 성능기준을 Table 1과 같이 정하고 있다.⁴⁾ 연소독성을 평가하기 위한 가스유해성시험은 불연재료, 준불연재료 및 난연재료의 모든 등급시험에 필수 시험으로 적용되고 있다.

Figure 3의 가스유해성시험은 ISO/TR 9122-3(Toxicity testing of fire effluents-Part 4 : The Fire Model)에서 채택하고 있는 화재모델의 한 가지이다. 이 시험의 시편은 표면시험에 규정한 시험체를 사용하여 시험체의 표면에서 뒷면으로 관통하는 지름 25 mm인 구멍을 3개 뚫은 것으로 한다. 시험은 2회 실시하며 시험체 크

Table 1. Performance Criteria of Each Class⁶⁾

등급	규격	성능 기준
불연재료	KS F ISO 1182 (건축재료의 불연성 시험방법)	<ul style="list-style-type: none"> 가열시험 개시 후 20분간 가열로 내의 최고온도가 최종평형온도를 20 K 이상 초과 상승하지 않을 것 (단, 20분 동안 평형에 도달하지 않으면 최종 1분간 평균온도를 최종 평형온도로 한다) 질량감소율이 30 % 이하 일 것
	KS F 2271 (가스유해성시험)	<ul style="list-style-type: none"> 실험용 쥐의 평균행동 정지시간 9 분 이상일 것
준불연재료	KS F ISO 5660-1 (콘칼로리미터법)	<ul style="list-style-type: none"> 가열 개시 후 10분간 총방출열량 8 MJ/m² 이하이며, 10분간 최대열 방출율이 10초 이상 연속으로 200 kW/m²을 초과하지 않음. 10분간 가열 후 시험체를 관통하는 균열, 구멍 및 용융(복합자재의 경우 심재가 전부 용융, 소멸되는 것을 포함)등이 없어야 함.
	KS F 2271 (가스유해성시험)	<ul style="list-style-type: none"> 실험용 쥐의 평균행동 정지시간 9 분 이상일 것
난연재료	KS F ISO 5660-1 (콘칼로리미터법)	<ul style="list-style-type: none"> 가열 개시 후 5분간 총방출열량 8 MJ/m² 이하이며, 5분간 최대 열 방출율이 10초 이상 연속으로 200 kW/m²을 초과하지 않음. 5분간 가열 후 시험체를 관통하는 균열, 구멍 및 용융(복합자재의 경우 심재가 전부 용융, 소멸되는 것을 포함)등이 없어야 함.
	KS F 2271 (가스유해성시험)	<ul style="list-style-type: none"> 실험용 쥐의 평균행동 정지시간 9 분 이상일 것

기는 가로, 세로 각각 220 mm로 한다. 시험체의 가열은 부열원으로 3분간 가열한 후, 다시 주열원으로 3분간 가열하여야 한다. 공기는 가열 중에 한하여 공급하며, 그 공급량은 가열로의 1차 공급 장치에 의해 매분 3.0 l, 2차 공급장치에 의해 매분 25.0 l로 하여야 한다. 피검 상자의 배출장치에 의한 기체는 가열 중에 한하여 배출하며, 그 배출량은 매분 10.0 l로 하여야 한다. 배기 온도측정은 규정하는 열전대 및 온도계로 측정한다. 가열 시험을 시작할 때 피검 상자 내의 온도는 30°C로 하고, 시험용 흰쥐(DD계 또는 ICR계, 암컷 5주령, 18~22 g)를 1마리씩 넣은 회전 바구니8개를 피검



Figure 3. Gas hazardous test apparatus.

상자 내에 넣어 시험한다.

$$x = \bar{X} - \sigma \quad (1)$$

가스유해성시험은 가열을 시작해서 시험용 흰쥐가 행동을 정지할 때까지의 시간을 측정하며, 시작 후 15분간 개개의 시험용 흰쥐를 대상으로 한다. (1)식과 같이 흰 쥐의 평균행동정지시간(x)을 측정하여 9분 이상을 적합한 것으로 한다. \bar{X} 는 8마리 실험용 흰 쥐의 행동정지시간의 평균값이며 σ 는 8마리 실험용 흰 쥐의 행동정지시간의 평균값의 표준편차이다.⁷⁾

2.2 철도차량안전기준을 적용한 독성지수계산

철도차량의 객차등의 차체구조 및 외장재, 실내설비 등의 화재성능기준은 ‘철도차량안전기준에 관한 지침’에서 정의되고 별도의 세부기준으로 화재성능을 확보하도록 하고 있으며, 특히 연소독성을 평가하기 위하여 독성지수의 기준을 두고 있다. 독성지수(R)는 시료의 연소시 발생된 주요 가스(CO₂, CO, HF, HCl, HBr, HCN, NO₂, SO₂)의 농도를 기준값과 비교한 지수를 말하며 시험방법은 BS 6853 Annex B.1 또는 BS 6853 Annex B.2 방법에 의한다. 이번 연구는 우레탄등의 가연성 고분자재료에 대한 독성지수 산출을 위해 화재모델로 ISO 5659-2에 규정하는 연기밀도시험기(Smoke density chamber)를 사용하였다. 가열강도는 25 kW/m²이며 화염모드(Flame Mode)로 시험하였고 3개의 시편을 사용하여 BS 6853 Annex B.2에 의한 독성지수를 도출하였다.

$$r_x = c_x / f_x \quad (2)$$

$$R = \sum r \quad (3)$$

(2)식에서 c_x 는 대상 시험체의 연소로부터 발생된 각

Table 2. Reference Values for Gases

화학종	기준농도 g/m ²
CO ₂	14,000
CO	280
HF	4.9
HCl	15
HBr	20
HCN	11
NO ₂	7.6
SO ₂	53

화학종의 농도이며 f_x 는 Table 2에 제시된 각 화학종에 대한 기준값이다. 따라서 (3)식의 연소독성지수 “R”은 검출된 각 화학종에 대하여 분모에 기준값을 취하고 분자에 측정값을 대입하여 산출한다.⁸⁾

독성지수를 측정하기 위해 반드시 연소가스의 정량분석이 선행되어야 한다. 화재시험에서 연소가스는 연속적으로 발생하는 가열된 가스이기 때문에 특별한 샘플링, 측정, 분석 등의 절차를 거쳐야 한다. ISO TR 9122-3에서는 각 대상가스별 다양한 분석방법을 제시하고 있다. 일산화탄소, 이산화탄소 분석법으로 가스크로마토그래피, 비분산형 적외선분석, 산소분석법으로 가스크로마토그래피법, 시안화수소 분석법으로 이온 선택성 전극(Ion Selective Electrode, ISE)에 의한 분석법, 비색분석법, 시안화수소 이온 크로마토그래피법, 염화수소와 브롬화수소 분석 방법으로 적정 분석법 및 이온 크로마토그래피 등을 제시하고 있다.⁹⁾ 그러나 화재시험의 특성상 연속적으로 발생하는 연소가스를 시간으로 샘플링하여 개별적 분석장비를 동시에 운용하는 것은 현실적으로 어려우며 따라서 푸리에 변환 적외선분광기(FT-IR)를 사용한 연속적 온-라인 분석이 현재 보편적인 분석방법으로 이용되고 있다. 본 연구에서도 FT-IR을 사용하여 다중 연소가스를 분석하였다.

2.3 ISO19702를 적용한 연소가스 분석

KS F2271의 가스유해성시험은 설치류를 대상으로 하는 동물실험으로, 시험체로부터 발생하는 연소가스에 대한 정량 및 정성분석이 포함되지 않으며 단지 실험용 쥐의 행동시간을 측정하여 연기독성을 평가한다. 본 연구에서는 철도차량안전기준에서 채택하고 있는 독성지수를 측정하기 위해 시험체의 연소로부터 발생하는 가스의 정성·정량분석을 수행하였다.

ISO 19702에서는 적외선분광광도계(FT-IR)을 이용하여 일산화탄소, 이산화탄소, 시안화수소, 염화수소, 브

롬화수소, 일산화질소, 이산화질소, 불화수소, 이산화황, 아크로레인 등 가스의 농도를 분석하는 방법에 대하여 규정하고 있다.¹⁰⁾

적외선 분광법은 물질의 정성 및 정량분석에 널리 응용되고 있으며 광학이성질체를 제외하고는 대부분의 경우 다른 화합물로부터 쉽게 구별할 수 있는 독특한 지문을 제공한다. 응용에서 대기오염 물질의 분석에 중요하게 적용되는데 이러한 응용은 Fourier 변환분광기의 개발로 촉진되었다.

가시광선 또는 자외선은 어떤 화학종의 전자를 높은 에너지의 궤도함수로 전이를 일으킬만한 에너지를 갖지만, 적외선과 마이크로파 복사선은 가시광선에서처럼 전자전이를 일으킬 정도로 충분히 큰 에너지를 갖지 못한다. 그러나 분자의 진동이나 회전운동으로 에너지의 변화를 일으킨다. 따라서 적외선의 흡수는 여러 가지 진동과 회전상태 사이에 작은 에너지 차가 존재하는 분자화학종에만 한정하여 일어난다. 적외선을 흡수하기 위하여 분자는 진동이나 회전운동의 결과로 쌍극자모멘트의 알짜변화를 일으켜야 한다. 다만 이러한 상황에서 복사선의 교류전기장은 분자와 상호작용하고, 그 운동 중 한 개의 진폭을 변화시킨다. 예로, 염화수소와 같은 분자의 전하분포상태는 대칭이 아닌데, 왜냐하면 염소가 수소보다 더 큰 전자밀도를 갖기 때문이다. 그래서 염화수소는 극성이라고 말한다. 쌍극자모멘트는 두 개의 전하중심 사이의 전하차이와 그 거리의 크기에 의해 결정된다. 염화수소분자가 진동하면 쌍극자모멘트의 주기적인 변동이 일어나고, 복사선의 전기장과 상호작용하는 장이 수립된다. 만일 복사선의 주파수가 분자의 자연 진동수와 정확하게 일치하면 에너지의 알짜전이가 일어나서 분자진동의 진폭을 변화시켜 결과적으로 복사선의 흡수가 일어난다. 마찬가지로 질량중심 주위에서 비대칭분자의 회전이 일어나면 복사선과 상호작용할 수 있는 주기적인 쌍극자변동을 유발한다. O₂ 등 대칭구조인 몇 가지 화합물을 제외하고는 모든 분자화학종은 독특한 적외선 흡수스펙트럼의 특징을 제공하여 특정화합물의 정성 및 정량에 효과적으로 활용된다.

액체와 고체에서는 분자의 회전이 크게 제한되어 불연속적인 진동선 및 회전선들은 안 보이고, 분자간의 충돌과 상호작용 때문에 넓게 퍼진 봉우리들이 나타난다. 그러나 기체상태에서는 몇 개의 회전에너지상태가 존재하므로 적외선스펙트럼은 일련의 밀집된 선들로 구성되며 이번 연구에서 분석대상으로 하는 가스들은 표준스펙트럼과 같이 명확하고 sharp한 peak를 가지게 된다. Figure 4는 본 연구에서 정량분석을 하기

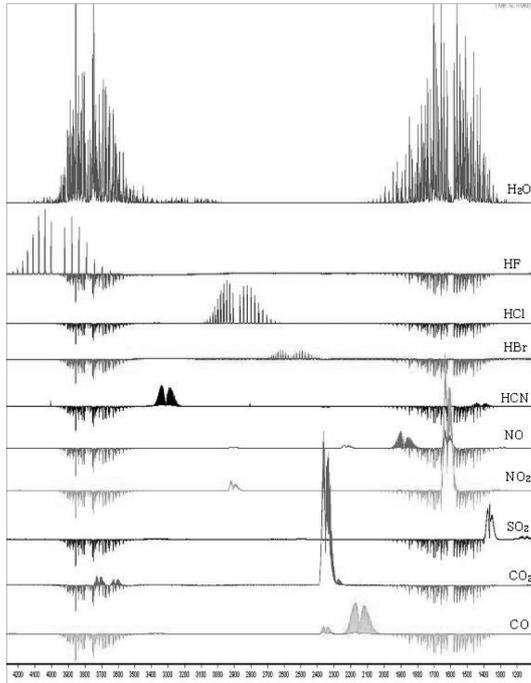


Figure 4. IR spectrum for each gases.

위해 구축된 표준가스에 대한 Library 스펙트럼이다.

FT-IR을 사용한 연소가스 분석의 장점은 다양한 가스를 분석할 수 있으며 실시간 정량분석이 가능한 것이다. 그리고 시간함수로 표현되는 결과를 가지기 때문에 다양한 종류의 화재 생성물을 연속적으로 모니터링 할 수 있고 분석을 실시한 이후에도 저장된 스펙트럼데이터로부터 새로운 정량 Method를 설정함으로써 재분석이 가능하다.¹⁰⁾

본 연구에서는 ISO 19702의 규정에 따라 샘플링 라인과 가스셀의 온도를 150 °C로 설정하여 산성가스 및 기타 물질이 샘플링 시스템이나 FT-IR 가스셀에 흡착되는 것을 방지하였다. 가스셀은 필터로 보호하였는데 그을음과 산성기체를 걸러내는 것을 목적으로 5 μm 필터를 사용하였다. 가스유해성시험기의 피검상자(Chamber) 상부에 별도의 샘플링 포트를 마련하였으며, FT-IR까지 샘플링 라인(직경 3 mm, 테프론재질)의 길이는 3 m, 흡입펌프유량은 3.5 l/min로 하였다.

3. 시험결과 및 고찰

Table 3, 4는 각각 우레탄과 고무바닥재를 대상으로 한 연소가스정량분석결과와 독성지수산출 및 가스유해

Table 3. Test result (Urethane)

화학적종	구분	우레탄			
		측정농도(ppm)			
		1차	2차	3차	평균
CO ₂	6,559	7,578	7,399	7,179	
CO	157	171	164	164	
HF	N.D	N.D	N.D	-	
HCl	N.D	N.D	N.D	-	
HBr	N.D	N.D	N.D	-	
HCN	34	53	40	42	
NO ₂	N.D	N.D	N.D	-	
SO ₂	N.D	N.D	N.D	-	
두께(mm)	25.3	25.3	25.3	25.3	
밀도(kg/m ³)	0.037				
“R” value (독성지수)	0.56				
가스유해성시험 (평균행동정지시간)	3분 52초		3분 48초		

N.D.: No Detection

Table 4. Test Result (Rubber Plate)

화학적종	구분	고무판 바닥재			
		측정농도(ppm)			
		1차	2차	3차	평균
CO ₂	14,384	13,992	15,240	14,539	
CO	420	450	619	497	
HF	N.D	N.D	N.D	-	
HCl	N.D	N.D	N.D	-	
HBr	N.D	N.D	N.D	-	
HCN	N.D	N.D	N.D	-	
NO ₂	N.D	N.D	N.D	-	
SO ₂	N.D	N.D	N.D	-	
두께(mm)	5.0	5.1	5.0	5.0	
밀도(kg/m ³)	1.62				
“R” value (독성지수)	0.38				
가스유해성시험 (평균행동정지시간)	8분 22초		7분 24초		

N.D.: No Detection

성시험 결과이다. 우레탄은 평균 7,179 ppm의 이산화탄소가 검출되어 14,539 ppm이 발생된 고무바닥재에

비하여 약 1/2 정도 수준으로 측정되었다. 일산화탄소의 경우, 우레탄이 평균 164 ppm, 고무판이 497 ppm이 검출되어 우레탄보다 고무판에서 약3배의 일산화탄소가 발생되었다. 그러나 우레탄은 Hydroxyl group(alcohol)과 Isocyanate group[-N=C=O-]의 반응으로 [-NH-(C=O)-O-]의 우레탄 연결기가 생성되므로 성분에서 [-C-N-]을 함유하여 연소시 시안화수소(HCN)가스가 발생한다.¹²⁾ 본 실험에서도 평균 42 ppm의 시안화수소가스가 측정되었다. 가능한 범위에서 실제로 사용되는 두께로 시험하여 우레탄시료와 고무판시료의 두께는 각각 25.3 mm, 5.0 mm로 약 5배차이가 있다. 그러나 밀도의 경우 고무판과 우레탄이 각각 1.62 kg/m³, 0.037 kg/m³로 발포성단열체인 우레탄이 고무판보다 약 43배 작다. FT-IR에 의한 정량분석결과에서와 같이 일산화탄소 및 이산화탄소는 두께가 두꺼운 우레탄이 얇은 고무판에 비해 적은 발생량으로 측정되어 이는 밀도차이에서 기인된 것으로 추측할 수 있다.

그러나 우레탄의 경우 시안화수소의 검출로 독성지수(R)에 큰 영향을 준 것으로 확인되었다. 독성지수(R)의 기준농도에서 시안화수소(기준농도: 11 ppm)는 일산화탄소(기준농도: 420 ppm)에 비해 농도대비 25배 독성이 크며, 이산화탄소(기준농도: 14,000 ppm)보다 1,272 배 유독한 것으로 상대 비교할 수 있다. 우레탄과 고무판의 독성지수는 각각 0.56과 0.38로 약 1.5배가량 우레탄이 더 큰 것으로 계산되어 우레탄이 43배만큼 밀도가 작고 이산화탄소와 일산화탄소가 각각 1/2, 1/3이 적게 발생했음에도 불구하고 시안화수소가 더 큰 독성지수를 나타내는 주요한 원인으로 작용했음을 알 수 있었다. 가스유해성시험은 우레탄이 3분48초와 3분52초로 기준인 9분에 훨씬 못 미치는 평균행동정지시간이 측정되었고, 고무판바닥재의 경우 7분24초와 8분22초가 측정되어 독성지수가 클수록 더 작은 평균행동정지시간이 측정되는 상관관계를 확인하였다. 마우스의 행동시간 역시 일산화탄소와 이산화탄소의 영향보다는 우레탄에서 발생된 시안화수소의 영향이 가장 크다는 것을 두 시험의 비교를 통해 확인할 수 있었다.

4. 결 론

특정 물질의 연소독성 효능은 주어진 독성효과를 발생시키기 위해 필요한 양에 따라 달라진다. 그 기준농도가 작을수록 해당 독성물질의 효능이 강하다. 화재 상황에서 시안화수소의 효능은 일산화탄소 대비 20~40배 정도로 알려져 있다. 이처럼 큰 차이가 나타나는 이유는 시안화수소의 경우에 일산화탄소보다 탈진에

이르기 위해 흡입해야 하는 양이 훨씬 더 적기 때문이다. 또한 일산화탄소 중독의 발생은 느리고 잘 드러나지 않는 반면, 시안화수소 중독은 매우 빠르고 현저하다⁵⁾

이번 실험은 화재에 취약한 가연성 고분자물인인 우레탄과 고무바닥재를 대상으로 하였다. 일산화탄소 및 이산화탄소는 우레탄보다 고무바닥재에서 2~3배에 해당하는 양이 검출되었음에도 불구하고 시안화수소(42 ppm)의 영향으로 우레탄의 연소독성이 큰 것으로 확인되었으며 마우스의 행동정지시간에도 2배차이가 발생됨을 확인하였다. 실험용 쥐의 평균행동정지시간의 산술적 2배 차이는 실제 화재상황에서 피난에 치명적인 영향을 미칠것으로 사료된다.

현재 국내에서 수행되는 '가스유해성시험'은 다양한 독성지수산정과 관련하여 비교연구 및 독성지수기준 설정이 필요하다. 본 연구는 ISO TR9122-4에 규정하는 화재모델(가스유해성시험, 일본 건설성모델)을 적용하여 설치류의 평균행동정지시간을 측정하고 동시에 ISO 19702를 적용한 연소가스정량분석 및 독성지수를 산정하였다. 본 연구를 통해 독성지수평가방법 및 연소가스분석방법 등의 다양한 접근을 모색하고 시안화수소, 일산화탄소, 이산화탄소의 상대적 독성을 평가하고자 하였다. 연소독성은 개별적인 영향도 중요하지만 질식효과를 포함한 다중가스의 상승효과 및 국내실정에 적합한 다양한 소재의 연소배출가스 D/B구축 등 독성평가의 지속적인 연구가 필요하리라 사료된다.

참고문헌

1. United Kingdom Fire Statistics 1983, Home Office, London(1983).
2. B.F. Clarke, in Fire Deaths, Causes and Strategies for Control, Technomic, Lancaster, PA(1984).
3. J.R. Hall and A.E. Cote, in Fire Protection Handbook, 18th ed. (A.E. Cote, editor-in-chief), NFPA, Quincy, MA, Ch. 1-1(1997).
4. V. Berl and B. Halpin, NBS Grant Contract Report NBS-GCR 168, National Bureau of Standards, Washington, DC(1979).
5. The SFPE handbook of Fire Protection Engineering 3rd edition, NFPA(2002).
6. 국토해양부 고시 제2011-39호, 건축물 마감재료의 난연성능기준.
7. KS F 2271:2006, 건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험 방법.
8. BS 6853:1999 Code of practice for fire precautions in the design and construction of passenger carrying trains.

9. ISO/TR 9122-3:1993 Toxicity testing of fire effluents- Part 3 : Methods for the analysis of gases and vapours in fire effluents.
10. ISO 19702:2006 "Toxicity testing of fire effluents - guidance for analysis of gases and vapours in fire effluents using FT-IR gas analysis".
11. D.A. Skong, F.J. Holler, and T.A. Nieman, Principle of Instrumental Analysis, Saunders College Publishing (1998).
12. J.H. Sander and K.C. Frich, "Polyurethane Chemistry and Technology", Interscience, New York(1962).