

다중이용시설 바닥마감재의 연소가스 독성평가에 관한 실험 연구 The Experimental Study on the Toxic Gases Released from the Floor Finishing Materials in Entertainment Service Industry Buildings

강성동[†] · 이창우* · 현성호** · 윤명오***

Seong-Dong Kang[†] · Chang-Woo Lee* · Seong-Ho Hyun** · Myung-O Yoon***

서울시립대학교 도시과학대학원 방재공학과
*서울시립대학교 지진·방재연구소
**경민대학 소방학과
***서울시립대학교 건축도시조경학부
(2002. 05. 06. 접수/2002. 05. 30. 채택)

요 약

다중이용시설에서 많이 사용중인 바닥마감재를 대상으로 연소가스의 독성을 NES 713의 방법에 의해 평가하였다. 또한, 공기가 공급되지 않는 밀폐된 공간에서의 연소시 각 시료에 따라 발생할 수 있는 유독성가스를 가스분석기를 이용하여 시간변화에 따라 연속적으로 측정하여 비교·분석함으로써 화재 시 내포하고 있는 바닥마감재의 위험성을 평가하였다. NES 713 방법에 의한 각 제품의 유독가스의 독성지수를 살펴본 결과 2~9.7의 값을 갖고 있으며, 화재시 유독가스에 의한 매우 큰 위험성을 내포하고 있다.

ABSTRACT

The several floor finishing materials that widely used in entertainment service industry buildings were evaluated according to the method of NES 713. Also, toxic gases of floor finishing materials in combustion without air flow rate were checked as concentration of fire gases variation according to time using gas analyzer. We had estimated the smoke hazard of floor finishing materials in fire. As results of gas analyses using the method of NES 713, toxic index of samples was estimated range of 2~9.7. Therefore, a large amount of toxic gases will release from a floor finishing materials fire and connoted great smoke hazard in fire.

Keywords : Entertainment Service Industry Buildings, Floor finishing materials, NES 713, Toxicity index

1. 서 론

현대사회의 발전은 사회구조의 복잡 다양화와 건축 기술의 발달과 주거환경의 개선을 가져왔으며, 이로 인한 건축물의 고층화, 지하의 심층화, 복잡화, 에너지의 소비량의 급속한 증가로 위험물의 수요도 급증하였으며 필연적으로 화재의 위험성 또한 대단히 높아져 소방의 여건변화를 가져왔다. 화재에 의한 물질 피해는 물론 인적피해가 현저하게 증가하고 있으며, 이들 화

재에 의한 희생자의 사인이 종래에는 화재시의 열에 의한 화상을 중심으로 하는 소사였지만 화재시 발생하는 유독가스의 영향에 의해 사망하는 경우가 증가하고 있다.¹⁾

1990년대 후반부터 불특정 다수가 이용하는 다중시설로서 청소년 등이 출입하는 유흥접객시설의 화재로 인한 대형인명피해가 급증하고 있는 실정이다. 특히 이들 다중업소에서의 피난활동에 필수적인 시설 등과 연기를 적절히 제어할 수 있는 시설이 마땅치 않아 저층 다중시설의 화재 취약성에 대한 기술적 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다.²⁾ 더구나 최근 몇 년 사

[†]E-mail: threeng@netian.com

이에 발생한 신촌 롤링스톤즈 락카페에서 일어난 화재(1996년), 인천 인현동 호프집 화재(1999년), 성남 아마존 단란주점 화재(2000년) 등은 세 가지 화재가 동일하게 배연되지 않은 무창층이나 지하층에서 화재가 일어나 많은 인명피해를 발생시켰다는 점에서 일치하며, 내부 인테리어 장식재가 유독가스를 발생시키는 재료로 되어 있었다는 점에서 그 맥을 같이 하고 있다. 특히, 국내 소방법상 지하 노래방, 호프집, 등의 다중시설에 사용되는 장식마감재에 대한 규제가 미흡하고, 화재 시 영향평가가 전무한 상태에서 유독가스 및 발열성 재료를 미관 및 형성조형이 뛰어나다는 이유로 무분별하게 사용하고 있으므로 이들 재료에 대한 연소특성을 조사하는 것은 매우 의미있는 일일 것으로 사료된다. 이들 재료의 연소 시 위험성을 결정하는데 고려해야 할 요소들로서는 재료의 착화성, 연소성, 재료가 타면서 발생하는 열, 열발생 속도, 연기 및 연소가스 발생이 있다.³⁾ 물론 각 재료의 위험성 요소를 종합적으로 평가하는 방법이 무엇보다도 중요하겠지만 화재 시 인명피해의 주원인은 연소 시 발생하는 연기나 연소가스에 의한 질식, 중독 등에 의한다. 국내에서 발생한 화재참사의 대부분을 살펴보면 연소가스에 의한 질식사 사망 원인으로 판명됨에 따라 연기발생농도와 가스유해성이야말로 가장 중요한 평가요소로서 부각되고 있다.⁴⁾ 특히, 탄화수소계 내장재에서 발생하는 일산화탄소와 이산화탄소에 의한 인명피해 비율이 높은 것으로 알려져 있다. 이러한 이유로 연소가스의 방출량을 평가하는 것은 매우 의미있는 일이라 할 수 있다.

최근 빈발하고 있는 다중이용업소의 화재와 이에 따른 인명피해에 대한 사회적 위기의식이 증대되고 있으며, 내부구조를 전혀 모르는 불특정 다수인이 이용하는 관계로 화재발생초기에 대피할 수 있는 시간적인 여유를 최대한 확보하고, 인명 및 재산피해를 최소화하는 것이 가장 중요한 일일 것이다. 한편 다중이용시설은 불특정 다수인이 출입하는 시설이라 화재시 다수의 인명피해를 방지하는데 화재안전 성능구비에 초점을 맞추어야 한다.

따라서 본 연구에서는 현재 영업중인 단란주점, 노래연습장, 유흥주점 등의 다중이용시설에서 사용중인 바닥내장재로 사용하고 있는 합성수지가 주성분인 여러 종류의 바닥마감재를 대상으로 NES 713 방법^{5,6)}에 의하여 연기유독성을 평가하고자 하였다. 아울러 공기가 공급되지 않는 밀폐된 상태에서의 연소시 시간 변화에 따른 유독가스의 발생량을 측정함으로써 그 유독성을 비교·평가하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시료의 준비

본 연구에 사용한 시료는 현장 실태조사를 통하여 현재 서울시내의 다중이용시설에서 널리 시공되고 있는 바닥재로 2개회사 10여개 제품을 선정하였다. 실험체로부터 각각의 시료는 화염에 의해 가열되는 면적을 동일하게 하고자 2 cm×2 cm(1~3 g)로 절단하여 23±2°C, 상대습도 50±5%의 조건에서 24시간 보관한 후 실험에 사용하였다.

2.2 실험장치

NES 713에 의한 시료의 연소가스 분석을 위해 제작된 실험장치는 그림 1과 같다. 실험 장치는 체적 0.96 m³인 연소챔버, 분젠버너(높이 125 mm, 구경 11 mm), 연소챔버 외벽의 가스검지관 삽입구, 강제배출장치, 혼합팬으로 구성되어 있으며, 메탄가스 및 공기를 조절하는 유량조절장치, 시간측정장치, 가스검지관 등으로 구성되어 있다. 이들 구성요소의 규격 및 용도는 표 1에 나타내었다.

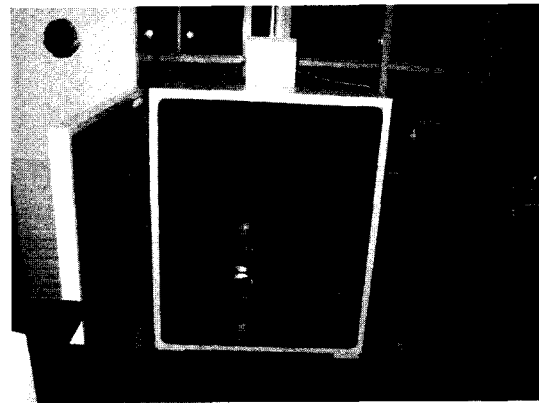


그림 1. 연소가스 분석장치.

표 1. 실험장치 구성요소의 규격 및 용도

구성요소	규격 및 용도	비고
연소 챔버	체적 0.96 m ³	
분젠 버너	높이 125 mm, 구경 11 mm	
혼합팬	챔버내 연소가스 농도를 균일하게 함	
강제배출장치	연소가스 배출장치	
가스검지관 삽입구	가스농도 측정(가스텍과 검지관)	

2.3 실험방법

본 실험에서는 NES 713 방법을 이용하여 실험을 하였으며 규격에 맞추어 Test Chamber 및 시료 등을 준비하여 실험하였다. 가스의 측정은 가스 검지관(Gastec Chemical Detector)을 이용하였다. 한편, 공기를 공급하지 않는 밀폐된 상태에서의 화재시 시간에 따라 발생하는 유해가스의 양을 측정하고자 가스분석기(ECOM A⁺)를 이용하였다.

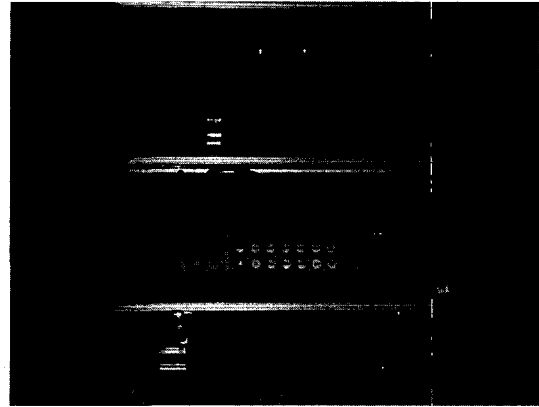
연소챔버 바닥 중앙에 위치한 시편지지대에 시편을 올려놓고 버너로 들어가는 연료인 메탄가스를 10 l/min, 공기를 15 l/min으로 유지시키고, 버너 불꽃의 길이를 100 mm 정도로 유지시킨다. 온도계를 이용하여 버너의 온도가 1,150±50°C가 되도록 하여 시편에 노출시켰다. 연소챔버의 밀폐를 확인하고 강제배출장치가 꺼져 있는지 확인한 다음, 연소챔버 우측면에 장치된 가스검지관 삽입구를 통하여 가스검지관을 삽입하고 연소챔버의 문을 닫고 버너에 연료를 공급함과 동시에 점화시킨 다음 시간을 측정하였다. 연소시간은 시편이 완전연소될 수 있는 충분한 시간 동안이며, 이 시간을 기록하고 버너를 끈 후 30초 동안 혼합팬을 작동시킨 후 즉시 연소챔버로부터 각각의 가스검지관을 통하여 차례로 가스를 뽑아내는 가스샘플링을 개시하였다.

일정공간 내에서 공기가 충분히 유입되는 경우 연소시 발생하는 유독가스의 양을 측정하였다. NES 713 방법은 시료의 유독가스 위험성을 평가하기 위하여 가스를 100 g/m³를 기준으로 각 유독가스별로 ppm 또는 %의 단위로 측정된다. 이렇게 측정된 각 유독가스별로 C_g값으로 나눈 것을 합하여 그 물질의 독성지수를 계산할 수 있다. 이 독성지수의 값이 크면 그 만큼 인체에 유해한 환경이 조성된다는 결과를 얻을 수 있다.

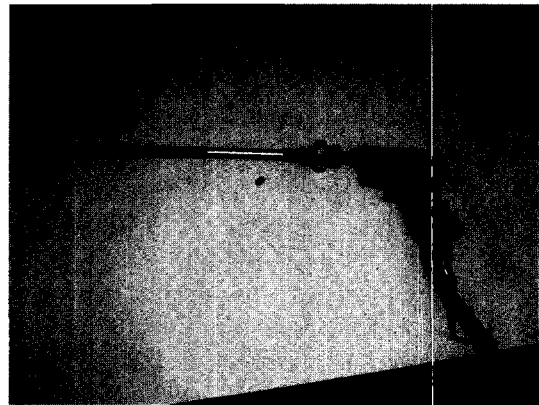
각 연소가스의 농도는 각 시료마다 3회의 실험을 통해 얻어진 값을 평균해서 사용하였으며, 측정오차범위는 10% 이내의 값을 사용하였다. 이때 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO) 및 녹스(NO_x) 가스 농도는 실험전 연소챔버 내에서 버너의 불꽃을 1,150±50°C로 조정하고 1분 동안 자유연소시킨 후 연료를 차단하고 30초 동안 혼합팬을 작동시킨 후 가스농도를 분석하고 이 값을 보정하여 사용하였다.

가스분석이 끝나면 즉시 문을 열고 강제배출장치를 통하여 연소챔버 내의 잔류 연소생성물을 완전히 배출시키고 3분 이상 강제배출을 계속하였다. 시편 모두 연소되었는지 확인하기 위해 시편의 잔량을 확인한 다음, 만약 타지 않은 부분이 있는 것은 새로운 시편을 사용하여 실험을 다시 실시하였다.

한편, 공기가 공급되지 않는 상태에서의 연소시 시



(A) 기기본체



(B) 센서

그림 2. 가스 분석기(ECOM A⁺).

간의 변화에 따라 발생하는 유해가스의 농도를 측정하고자 가스분석기(Ecom A⁺)를 이용하여 이산화탄소, 일산화탄소, 산화질소, 이산화질소 및 이황산가스의 농도를 측정하였으며, 이를 RS-232 port를 이용하여 컴퓨터로 데이터를 수집하였다. 유해가스 농도를 측정하기 위해 사용한 가스분석기를 그림 2에 나타내었다.

2.4 독성의 측정

일정량(1~3 g)의 시료를 충분한 공기가 제공되어진 환경에서 연소시켰을 때 발생하는 유독가스를 가스검지관과 가스검지관에 의해 측정하는 장치이다. 이렇게 측정된 가스의 양을 시료 100 g당에 대한 유독가스 발생량으로 다음의 식을 이용하여 계산하였다.⁵⁾

$$C_0 = \frac{C \times 100 \times V}{m} [\text{ppm}]$$

여기서, C : 챔버 내부 가스농도[ppm]

m : 시료 질량[g]
V : 챔버 용적[m³]

$$\sum \frac{C_{\theta 1}}{C_{f1}} + \frac{C_{\theta 2}}{C_{f2}} + \dots + \frac{C_{\theta n}}{C_{fn}}$$

한편, 시료의 독성 지수(Toxicity Index)는 다음의 계산식에 의해 계산하였다.⁵⁾

여기서, 1, 2, 3, ..., n : 검출된 각 가스
C_f : 30분 노출시 치명적인 가스농도[ppm]

여기서 30분 노출시 치명적인 가스농도[C_f]는 가스의 종류에 따라 서로 다르다. 그 값을 표 2에 나타내었다.

표 2. 30분 노출시 인체에 치명적인 가스농도[C_f]⁵⁾

가스명	ppm	가스명	ppm
CO ₂	100,000	SO ₂	400
CO	4,000	NO _x	250
H ₂ S	750	C ₆ H ₅ OH	250
NH ₃	750	HCN	150
HCHO	500	HBr	150
HCl	500	HF	100
CH ₂ CHCN	400	COCl ₂	25

3. 결과 및 고찰

3.1 NES 713에 의한 유해가스의 독성평가

3.1.1 연소가스의 측정

NES 713(Naval Engineering Standard 713) 방법에 의거하여 일정량(1~3 g)의 시료를 충분한 공기가 제공 되어진 환경에서 연소하는 경우에 생성되는 유독가스

표 3. 시료별 연소가스 발생량[ppm/100 g]

회사 및 제품		가스명	CO ₂	CO	NO _x	HCN	HF	HCl	SO ₂	NH ₃
H 사	A 제품		72,000	576	96	24	48	96	-	-
	B 제품		100,800	1,440	144	24	720	192	-	-
	C 제품		115,200	2,592	144	24	336	48	-	-
	D 제품		57,600	1,440	38	-	154	38	-	-
	E 제품		80,640	1,440	77	-	192	38	-	-
	F 제품		80,640	1,037	77	-	192	38	-	-
	G 제품		92,160	1,440	77	-	77	38	-	-
L 사	H 제품		91,637	1,571	175	22	463	131	-	-
	I 제품		72,000	1,728	58	24	480	240	24	-
	J 제품		92,160	1,440	154	-	77	38	-	-

표 4. 공기가 충분히 공급되는 화재시 시료별 질량변화 및 자연소화시간

회사 및 제품		시료 질량[g]			자연소화 시간	비 고
		실험전	실험후	질량손실		
H 사	A 제품	1.92	1.19	0.73	2분 0초	
	B 제품	2.08	1.20	0.88	2분 6초	+6초
	C 제품	2.04	1.24	0.80	2분 3초	+3초
	D 제품	2.06	1.70	0.36	1분 9초	-51초
	E 제품	2.06	1.77	0.29	1분 50초	-10초
	F 제품	2.04	1.77	0.27	1분 45초	-15초
	G 제품	2.08	1.76	0.32	1분 46초	-14초
L 사	H 제품	2.04	1.32	0.72	1분 29초	-31초
	I 제품	2.01	1.31	0.70	1분 27초	-33초
	J 제품	2.08	0.76	1.34	1분 46초	-24초

를 가스텍과 각 가스의 검지관을 이용하여 측정하였다. 이와 같이 측정된 가스농도를 다음의 식에 적용하여 시료 100 g당에 대한 유독가스 발생량을 계산하였다.

이렇게 계산된 각 제품별 유해가스의 발생량을 표 3에 나타내었다. 표 3에서 보는 바와 같이 모든 제품에서 이산화탄소와 일산화탄소의 양이 대부분임을 알 수 있으며, 암모니아는 발생되지 않았다. 비교적 독성이 강한 이산화황(SO_2)과 시안화수소(HCN) 가스도 일부 제품에서 발생하는 것을 볼 수 있으며, 또한 불화수소(HF)와 염화수소(HCl)와 같은 할로겐화수소 가스가 의외로 많이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이는 제품의 난연성을 높이고자 할로겐화 난연화제를 사용함으로써 발생하는 현상으로 사료된다.

연소실험 중에 연소실내로 연속적으로 공기가 충분히 공급되고 있는 경우 연소시 시료에 불이 붙은 후 완전히 탈 때까지의 시간과 질량손실을 표 4에서 나타내었다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 H사의 A, B, 및 C제품의 경우 질량손실이 동일회사의 다른 제품에 비해 약 2.5배 정도 크다는 것을 알 수 있다. 또한 자연소화시간에 있어 큰 차이를 보이고 있으며, 다른 제품에 비해 A, B 및 C제품이 완전히 연소가 되는데 걸리는 연소지속시간이 길다. 이는 D, E, F & G 제품보다 열분해 생성물이 많다는 것을 의미하며, 가연성의 휘발 및 열분해 생성물이 많아 연소가 잘 이루어지고 있음을 시사하고 있다. 이에 반하여 L사 제품은 모두 시료가 완전히 탈 때까지의 시간이 매우 짧으나, 질량손실이 H사에 비해 상대적으로 큰 것을 볼 수 있다. 이로부터 H사 제품보다는 L사의 제품이 가연성 휘발 및 열분해 생성물을 많이 함유하고 있다는 것을 알 수 있으며, 연소속도가 크다는 것을 알 수 있다. 특히 J제품이 동일회사의 H, I 제품에 비해 자연소화시간은 길고 질량손실이 매우 크게 나타나고 있는 것을 볼 수 있는데, 이러한 결과도 앞서 설명한 바와 같이 다른 제품보다 시료 자체 내에 가연성의 휘발 및 분해생성물이 많아 연소가 오래 지속되는 것이라고 사료된다. 따라서 이들 제품들에 있어 연소시 화염의 확대가 다른 제품들에 비해 빠르게 나타날 것으로 사료된다.

3.1.2 독성지수의 평가

각 시료의 독성 지수(Toxicity Index)를 계산하여 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 각 시료별 독성지수를 비교해보면 H사의 B제품이 9.7로 가장 높았으며, 5.0 이상인 제품이 40%에 달하였다. 앞서 표 4에서 설명한 바와 같이 가연성 휘발 및 열분해 생성물이 많으며 연소지속시간이 짧은 L사의 제품이 상대적으로 H사의 제품에 비해 연소가 빠르게 진행되는 경

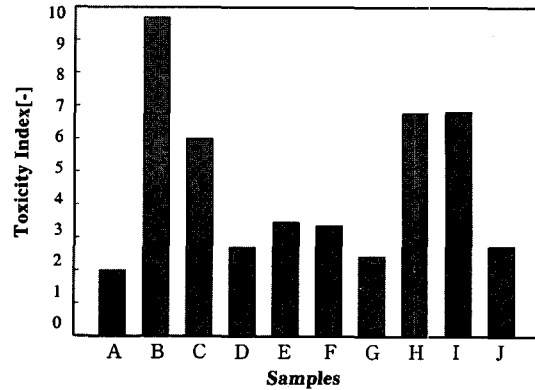


그림 3. 각 제품의 독성지수.

향이 있다. 따라서 그 독성도 클 것으로 사료되나, L사의 J제품의 경우 다른 제품에 비해 그 독성지수가 작음을 알 수 있다. 반면에 H사의 B와 C제품 및 L사의 H와 I제품의 독성지수가 크게 나타나고 있다. 이는 제품 자체의 가연성의 분해생성물이 많아 연소시 질량손실이 많더라도 할로겐화수소 등과 같은 독성이 강한 가스의 배출량이 적기 때문에 독성지수가 작은 것으로 평가된다. 따라서 연소가 진행되는 속도 즉 화재시 화염의 전파속도가 다소 빠르더라도 독성이 강한 가스의 배출량이 적을 경우 독성지수가 작을 수 있으며, 제품의 독성지수는 연소속도 보다는 독성이 강한 연소가스의 배출량에 더 많은 영향을 받고 있다. 따라서 제품 자체에 할로겐족 원소를 포함하고 있는 경우 연소속도가 작고 연소되기는 어렵더라도 일단 연소가 발생되면 상대적으로 독성이 커질 수 있다. 이는 앞서 설명한 것과 같이 연소가 빠르게 일어나 질량손실이 많았던 H사의 A제품은 다른 제품에 비해 독성이 강한 할로겐화수소 등과 같은 가스의 배출량이 적어 독성지수가 작게 나타난 것과 같이 일치하는 경향성을 보이고 있다.

3.2 공기의 유입이 없는 밀폐된 공간에서의 연소시 유해가스의 분석

일반적인 화재현장의 경우 불완전 연소가 발생할 확률이 매우 높으며, 특히 다중이용시설과 같이 지하에 위치해 있거나 개구부가 거의 없는 형태에서는 이러한 화재 형태를 가질 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 따라서 앞서와 동일한 실험장치를 이용하여 연소실 내로의 공기의 흐름만을 차단한 채 다른 모든 조건을 동일하게 하여 연소실험을 하였다. 이때 발생하는 가스의 농도는 시간의 변화에 따라 가스분석기를 이용하여 그 농도를 측정하였다.

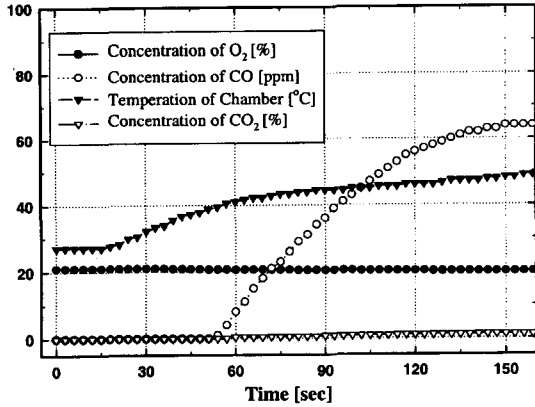


그림 4. 제품 A의 연소시간에 따른 연소 특성.

연소실 내로의 공기가 공급되지 않은 조건에서 시료별 연소특성을 제품A에 대해 대표적으로 그림 4에 나타내었다. 밀폐된 공간에서의 연소는 산소가 소모됨에 따라 일산화탄소의 농도가 증가되는 것으로 보아 불완전 연소가 발생하며, 산소농도가 한계산소 이하로 되면 자연 소화된다. 바닥감재는 일반적으로 고분자 소재로 연소시 물질의 표면에서 저분자로 열분해되고 가연성 분해생성물의 생성으로 인하여 연소가 진행되며,

이에 따라 표면에 다공성의 탄소층을 형성하므로 소재 층이 두꺼워져 열과 산소를 차단하여 분해율이 낮아지는 경향성이 있다. 그림은 각 제품의 연소시 시간의 변화에 따라 발생하는 CO₂[%]와 CO[ppm], 소모되는 산소[%]의 변화를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 모든 제품의 연소특성은 30~50초 사이에 시료에 불이 붙기 시작하여 시료에 착화 후 1~2분 사이에서 연소가 진행되다가 2분 이후에 서서히 자연 소화되는 것을 알 수 있다. 또한 연소실 내부의 온도는 점화시기에 27.2°C에서 소화되었을 때 50~55°C 정도로 완만하게 증가하는 경향을 나타내고 있다. 외부에서 공기의 공급이 차단된 상태에서 연소가 진행되므로 연소실 내의 산소 농도는 서서히 감소되고 있으며, 일산화탄소와 이산화탄소 성분은 점차 누적되어 증가하다가 소화 시기에 정상상태에 도달하여 일정한 농도를 나타내고 있으며, 각 제품은 약간의 차이는 보이고 있으나, 시간의 변화됨에 따라 발생하는 CO₂[%]와 CO[ppm], 소모되는 산소[%], 및 연소실내의 온도는 동일한 경향성을 보이고 있다.

각 회사의 제품별 비교를 위해 착화 후 연소가 지속되는 시간의 변화에 따른 연소실 내의 산소와 일산화탄소의 농도를 그림 5(a), (b)에 각각 나타내었다. 그림 5(a)에 나타난 바와 같이 산소의 농도는 각 시료가 자

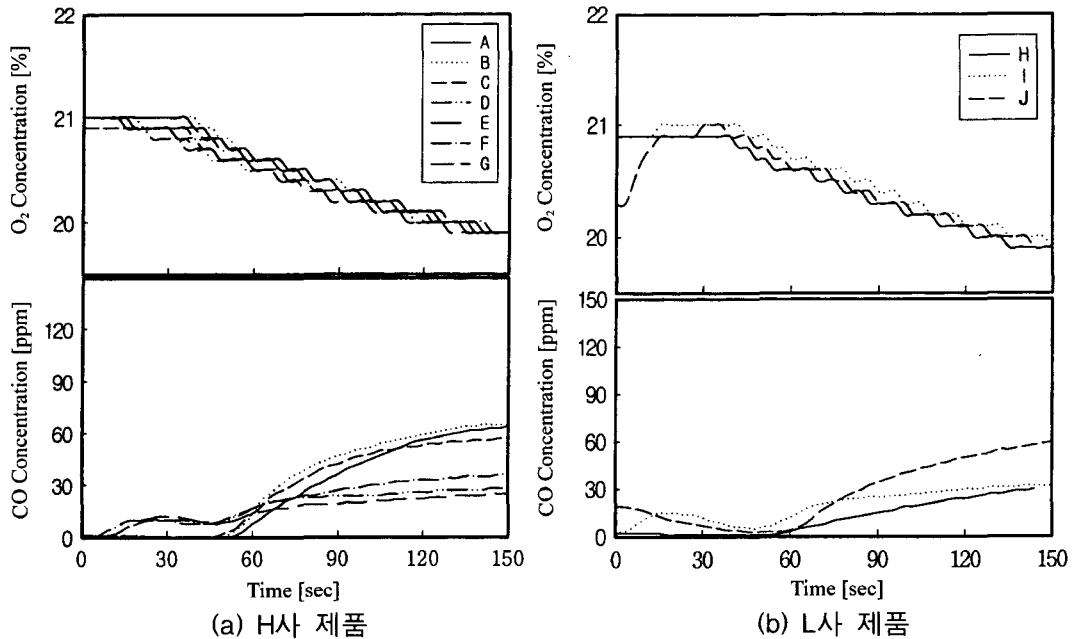


그림 5. 시간변화에 따른 산소 및 일산화탄소 농도 곡선:

연 소화되기 전까지 점차적으로 감소하고 있는 것을 볼 수 있으며, 일산화탄소의 배출량은 A, B 및 C제품에 있어 크게 나타나고 있으며, 시료에 착화되어 일산화탄소가 발생되어 가스분석기의 센서가 농도를 감지하는데 걸리는 시간이 동일회사의 다른 제품에 비해 다소 늦은 것을 볼 수 있으며, 초기 착화 후 일산화탄소의 배출 속도가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이는 A, B 및 C 제품이 착화되기는 어려우나 한번 연소가 시작되면 분해생성물이 만들어지는 속도가 크다는 것을 알 수 있다. 한편 L사 제품에 대한 착화 후 연소가 지속되는 시간의 변화에 따른 연소실 내의 산소와 일산화탄소의 농도를 그림 5(b)에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 산소의 농도는 각 시료가 자연 소화되기 전까지 점차적으로 감소하여 약 20%선 아래로 내려간 것을 볼 수 있으며, 일산화탄소의 배출량은 J제품의 경우 2배 정도 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 앞서도 설명한 바와 같이 일산화탄소의 배출량은 J제품에 있어 크게 나타나고 있으며, 시료에 착화되어 일산화탄소가 발생되어 가스분석기의 센서가 농도를 감지하는데 걸리는 시간이 다른 제품에 비해 다소 늦은 것을 볼 수 있으며, 초기 착화 후 일산화탄소의 배출 속도가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이는 J제품이 착화되기는 어려우나 한번 연소가 시작되면 분해생성물이 만들어지는 속도가 크다는 것을 알 수 있다.

연소실험 중에 연소실내로 공기를 공급하지 않는 밀폐된 상태에서 시료에 불이 붙은 후 완전히 탈 때까지의 시간과 질량손실을 표 5에서 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 H사의 A, B, 및 C제품의 경우 질량손실이 동회사의 다른 제품에 비해 약 2.5배 정도 크다는 것을 알 수 있으며, L사의 J제품이 역시 동일회사의 다

른 제품에 비해 질량손실이 2배 이상 많다. 한편 연소실 내로 산소가 공급되지 않는 밀폐된 곳에서의 연소이므로 연소가 지속되는 시간은 연소실 내의 산소농도에 의존하게 되므로 각 제품의 착화 후 자연 소화되는데 걸리는 시간은 비슷하며 큰 차이를 보이고 있지 않다. 따라서 연소가 지속되는 시간이 비슷하면서 질량손실이 크다는 것은 그 만큼 연소가 빠르게 진행된다는 것을 의미하며, 화재시 연소의 확대가 빠르게 진행된다는 것을 의미한다. 이는 다른 제품보다 가연성의 휘발성분 및 열분해 생성물의 생성속도가 빨라 연소가 잘 이루어지고 있음을 시사하고 있다. 따라서 이들 제품들에 있어 연소시 화염의 확대가 다른 제품들에 비해 빠르게 나타날 것으로 사료된다. 이러한 경향성은 공기가 충분히 공급되는 경우와 경향성에 있어 큰 차이를 보이지 않고 있다.

한편, 연소실 내로의 공기가 공급되는 경우와 공급되지 않는 경우 시간에 따른 각 시료의 연소에 의한 질량손실을 표 4와 표 5에서 비교해 보면 산소공급이 원활히 이루어지고 있는 경우 대체적으로 질량손실이 다소 크게 나타나고 있으며, H사의 A, B 및 C 제품과 L사의 H, I 및 J 제품의 질량손실이 다른 제품에 비해 크게 나타났으며, J제품의 경우 가장 크게 나타났다. 이는 앞서도 설명한 바와 같이 가연성 휘발성분 및 분해생성물이 많다는 것을 의미한다.

또한, 연소실 내로의 공기가 공급되는 경우와 공급되지 않는 경우 시간에 따른 각 시료의 일산화탄소 발생량을 가스분석기(ECOM A+)를 이용하여 측정 한 후 150초 정도의 일정 시간에서의 일산화탄소 농도가 수렴하는 값을 취하여 그림 6에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 공기의 공급이 없는 경우 공기의 공급이

표 5. 공기의 유입이 없는 밀폐공간에서의 연소시 시료별 질량손실 및 자연소화시간

회사및제품	시료 질량[g]			자연소화 시간	비고	
	실험전	실험후	질량손실			
H 사	A 제품	2.00	1.19	0.81	2분 30초	
	B 제품	1.90	1.19	0.71	2분 38초	+8초
	C 제품	1.93	1.20	0.73	2분 37초	+7초
	D 제품	2.00	1.80	0.20	2분 24초	-6초
	E 제품	2.00	1.70	0.30	2분 32초	+2초
	F 제품	2.08	1.70	0.38	2분 34초	+4초
	G 제품	2.00	1.70	0.30	2분 38초	+8초
L 사	H 제품	2.07	1.50	0.57	2분 26초	-4초
	I 제품	2.00	1.40	0.60	2분 30초	
	J 제품	2.00	0.70	1.30	2분 28초	-2초

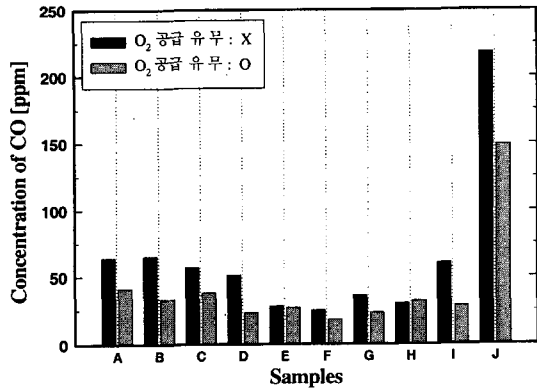


그림 6. 각 시료별 CO 발생농도.

원활히 이루어지는 경우보다 불완전 연소에 의해 많은 양의 일산화탄소를 배출하는 것을 볼 수 있다. 한편, 앞서의 결과와 마찬가지로 질량손실이 비교적 많은 제품들이 일산화탄소의 배출도 많은 것을 알 수 있다.

4. 결 론

이상과 같이 다중이용시설에서 사용중인 바닥내장재에 대한 연소가스 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

공기가 충분히 공급되는 상태에서의 연소시 제품의 연소지속시간은 가연성 휘발성분 및 열분해 생성물의 양에 의존하고 있으며, NES 713 방법에 의한 각 제품의 유독가스의 독성지수를 살펴본 결과 2~9.7의 값을 나타냈다. 제품의 독성지수는 연소속도나 휘발성분 및 열분해 생성물의 양보다는 독성이 강한 연소가스의 배출량에 더 많은 영향을 받고 있다. 제품자체에 할로겐족 원소를 포함하고 있는 경우 연소속도가 작고 연소되기는 어렵더라도 일단 연소가 발생되면 상대적으로 독성이 커질 수 있다. 또한 공기의 유입이 없는 상태에서의 연소시 연소지속시간은 연소실 내의 산소농도

에 의존하게 되므로 각 제품의 착화 후 자연 소화되는데 걸리는 시간은 비슷하며 큰 차이를 보이고 있지 않다. 그러나 연소지속시간이 비슷하면서 질량손실이 크다는 것은 그 만큼 연소가 빠르게 진행된다는 것을 의미하며, 화재시 연소의 확대가 빠르게 진행된다는 것을 의미한다. 이는 가연성의 휘발성분 및 열분해 생성물의 생성속도가 빨라 연소가 잘 이루어지고 있음을 시사하고 있다. 한편, 공기의 공급이 없는 경우 공기의 공급이 원활히 이루어지는 경우보다 불완전 연소에 의해 더욱 많은 양의 일산화탄소를 배출하는 것을 볼 수 있다. 이로부터 공기의 공급이 없는 경우의 연소시 더욱 위험하다고 할 수 있으며, 공기의 공급이 충분히 이루어지는 경우에도 독성지수가 매우 크기 때문에 연소가스에 의한 피해가 심각하다고 할 수 있다. 따라서 다중이용업소에서 사용하고 있는 바닥재에 대해 재료의 성능기준 평가시 유독가스 최저허용기준을 정하여 적용하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 윤명오, “화성 씨랜드 화재 문제 및 대책”, 한국화재·소방학회지, 13(4), pp57-60(1999).
2. 박형주, “인천 인현동 호프집 화재사건으로 본 저층 다중시설의 화재안정성 취약요인과 대책”, 한국화재·소방학회지, 13(4), pp61-67(1999).
3. 이창우, 김정환, 현성호, “Polyurethane foam의 유해가스 분석에 관한 연구”, 한국화재·소방학회지, 15(1), pp2-8(2000).
4. Gordon E. Hartzell, “Advances in Combustion Toxicology”, Vol. 3, Technomic Publishing Co., Inc., PA, pp8-18(1989).
5. NES 713(Naval Engineering Standard 713), “Determination of the Toxicity Index of the Products of Combustion from Small Specimens of Materials Issue 3”, March(1985).
6. 함상근, 김홍, 한상범, 김운형, “아파트 마감재의 연기 유독성”, 한국화재·소방학회, 15(3), pp36-43(2001).