

다중이용업소에서 사용되는 플라스틱 가연물의 연소가스독성에 관한 실험연구

이지섭 · 노호성 · 이준석 · 여한승 · 이영순*

한국화재보험협회 부설 방재시험연구원 · *서울산업대학교 안전공학과

1. 서론

최근 인천광역시 중구 인현동 라이브 호프집 화재, 경기도 성남시 소재 아마존 단란주점 등과 같은 다중이용업소에서의 화재로 인하여 많은 인명손실이 발생하였다. 소방법령상 다중이용업소는 단란주점, 유흥주점, 비디오감상실, 노래연습장, 찜질방, 산후조리원, 고시원 등과 100인 이상을 수용하는 학원, 영화상영관이 새로 포함되어 분류되어 있다. 이러한 다중이용업소는 ① 단위면적 당 재실자 수가 많고 ② 동선이 복잡하여 피난이 어렵고 ③ 불특정 다수인이 출입하며 ④ 가연성 물품이 많은 특징을 가지고 있다. 따라서 화재시 다량의 연기와 독성가스가 발생하여 재실자들의 피난에 가장 큰 영향을 미치고 인명까지 앗아가게 된다. 이에 대한 방지대책으로 실내장식물의 불연·준불연재로 설치하도록 의무화하고 있다. 그러나 다중이용업소는 그 특성상 재실자들의 접촉을 위한 내부 수용품들을 많이 사용할 수밖에 없다.

내부 수용품 중 가연물은 보통 섬유계와 플라스틱계로 구분할 수 있는데, 섬유계는 커튼, 카펫 등으로 분류 될 수 있고 플라스틱계에는 반자, 집기비품 등으로 나눌 수 있다. 일반적으로 이들에 의하여 화재가 발생될 때는 연소 독성가스의 영향이 크나 고분자화합물인 플라스틱계의 연소가스독성이 더 치명적인 것으로 알려져 있다. 따라서 본고에서는 다중이용업소의 내부 수용품에 대표적으로 사용되는 플라스틱 재료인 PVC(Polyvinyl Chloride), FRP(Fiberglass Reinforced Plastics), SMC(Sheet Molding Compound)의 3종을 선정하고, 일정한 실험조건하에서 연소시켜 발생하는 가스의 독성 성분을 비교, 분석해 보았다.

2. 실험

2.1 실험개요

화재시 발생하는 연소가스를 분석하기 위해서는 일반적으로 습식분석방법, 가스검지관법, 가스크로마토그래프(GC/MS), 이온크로마토그래프(IC), FTIR분광기법 등 다양한 분석방법들이 있다. 최근 들어 국제표준화기구(ISO)등에서는 다양한 연소가스를 연속적으로 정밀하게 분석할 수 있는 FTIR(Fourier Transform Infrared Spectropy)분석방법이 국제적으로 널리 활용되고 있는 추세이다. 따라서 본고에서는 복사열에 의한 화재발생을 가정하고 콘칼로리미터를 이용하여 PVC, FRP, SMC를 연소시킨 후, 배기덕트를 통하여 배출되는 연소가스를 샘플링하여 FTIR분광기에서 분석하였다.

보통 플라스틱재료의 연소 생성 가스 중에는 일산화탄소(CO) 및 이산화탄소(CO₂)이외의 유해성분으로서 Cyan계 물질, 염화 수소계 물질 및 기타 합성수지류 등에서 발생되는 시안화수소(HCN), 염화수소(HCl) 등 여러 가지의 유독가스가 있다. 이것들은 그 독성이 상당히 강하여 극히 미량으로도 인체에 해로운 영향을 미친다. 그러므로 본 실험에서는 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO) 이외에 시안화수소(HCN), 브롬화수소(HBr), 염화수소(HCl), 이산화질소(NO₂), 이산화황(SO₂)가스를 분석하였다.

표 1 은 가스별 인체에 폭로시 위험한 농도를 나타낸 것이다.

표1 연소가스의 유해성

연소가스	단시간 노출에서의 위험농도(ppm)
이산화탄소(CO ₂)	100,000
일산화탄소(CO)	4,000
시안화수소(HCN)	300
염화수소(HCl)	1,500
아황산가스(SO ₂)	500
이산화질소(NO ₂)	120

2.2 실험체 구성 및 실험장치

연소가스독성분석에 이용한 실험체는 표2에 나타내었다.

표2 실험체의 물성

실험체명	두께 (mm)	크기 (mm)	밀도 (kg/m ³)	주요 성분
PVC 판	4.0	100×100	약 330	PVC: 83 %, 안정제: 8.5 %, Filler: 8.5 %
FRP 판	4.0	100×100	약 1850	불포화폴리에스테르 약 60 %, 유리섬유 약 30 %, 난연제 등 약 10 %
SMC 판	2.0	100×100	약 1700	불포화수지: 23 %(유기물) Glass Fiber: 22 %(무기물) 등

실험에 사용한 연소시험장치 및 FTIR분광기의 제원은 표3에 나타내었다.

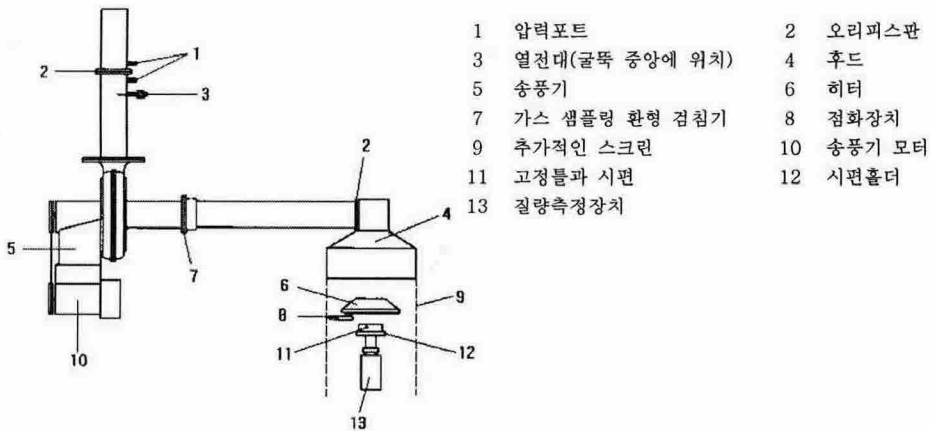
표3 실험장치의 제원

	연소시험장치(콘칼로리미터)	FTIR분광기
제조업체	ATLAS	MIDAC
구 성	콘히터, 산소분석기 배출덕트, 열량계 등	가스셀, 미켈슨 간섭계 MCT Detector, Beam Splitter 이동거울, 고정거울 등
원 리	산소소비원리	적외선 흡광도의 차이
사 양	0 ~ 100kW/m ² 수평, 수직방향 가열 등	분해능 (Resolution) : 0.5~32 cm ⁻¹ 파장범위 (Spectral range) : 7,800~650 cm ⁻¹ 파장정확도 (Wavenumber accuracy) : 0.01 cm ⁻¹ 이상

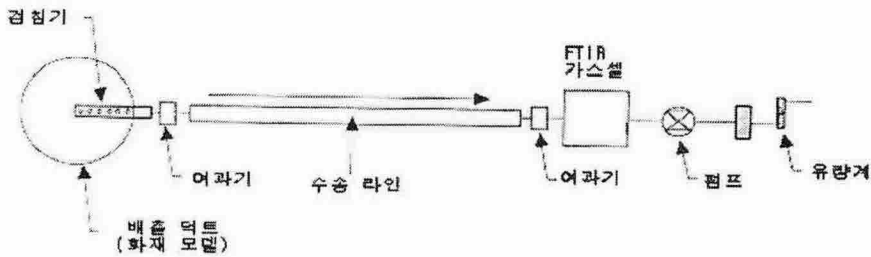
2.3 실험방법

실험체는 PVC, FRP, SMC의 순서대로 콘칼로리미터를 이용하여 700℃의 흑체방사와 동등하게 되는 값인 50kW/m²의 복사열을 가열원으로 하여 20분간 연소시켰다. 연소되면서 방출되는 가스가 배기덕트 내부를 경로로 하여 배출될 때, 삽입된 샘플링 흡입관을 통해 FTIR분광기로 실시간으로 흡입하였다. 흡입한 후 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO), 시안화수소(HCN), 브롬화수소(HBr), 염화수소(HCl), 이산화질소(NO₂), 이산화황(SO₂) 가스를 분석할 수 있도록 설정하고 8초 간격으로 연소가스를 측정하였다.

콘칼로리미터와 가스 샘플링 시스템의 개요도는 각각 그림1, 그림2와 같다.



[그림 1] 콘칼로리미터 장치개요도



[그림 2] 가스 샘플링 시스템

3. 실험결과

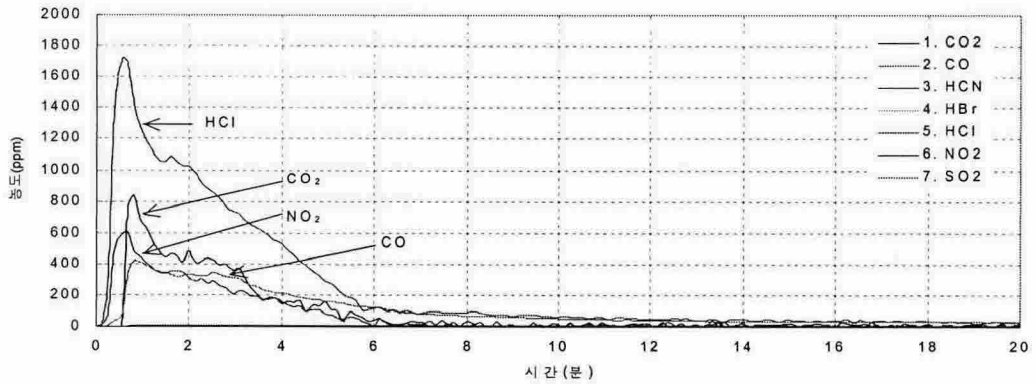
50kW/m²의 복사열 조건에 노출된 실험체가 연소될 때 측정된 발생 최대가스농도와 착화시간은 표4 에, 가열시간에 따른 연소가스량은 그림3~그림5에 나타내었다.

첫째, 연소가스종류에 따른 각 실험체의 가스농도는 이산화탄소(CO₂)의 경우, SMC에서 가장 많이 발생하였으며, PVC에서 가장 적게 발생하였다. 흡입하여 혈액중의 헤모글로빈과 결합하여 인체에 카르복시헤모글로빈(CO-Hb)을 생성하여 치명적인 해를 끼치는 CO는 PVC에서 가장 많이 방출되었으며, SMC에서 가장 적게 나왔다. 독성효과가 빠른 HCN의 경우는 PVC에서 가장 많이 나왔으며 FRP에서 가장 적게 나왔다. HCl 및 NO₂의 경우도 역시 PVC에서 가장 높게 나왔으며 FRP, SMC순으로 높게 나왔다. SO₂의 경우는 실험체 3종 모두 비슷한 값의 농도를 나타내었다.

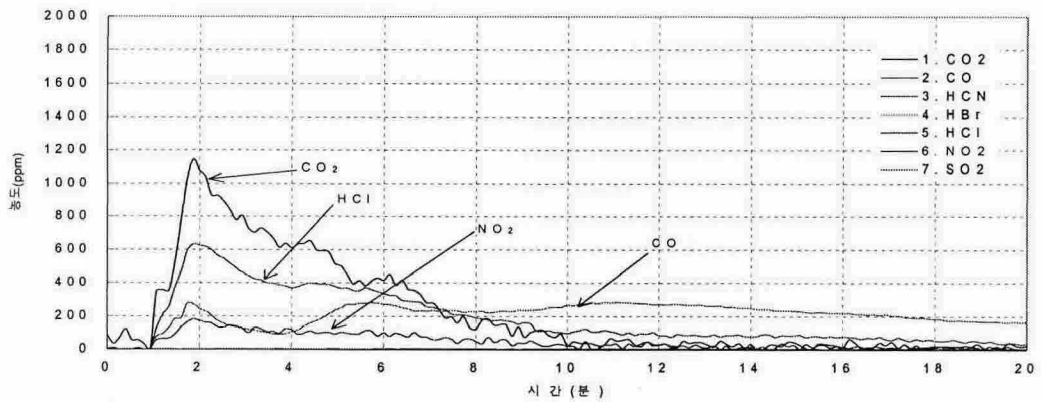
둘째, 실험체의 착화시간에 따른 방출되는 연소가스농도는 PVC의 경우 착화 이전인 시험 개시 후 1분 이내에 HCl 1719ppm, CO₂ 839ppm, NO₂ 603ppm, CO 419ppm으로 최대방출량을 보였다. FRP는 착화시간 약 1분 후에 CO₂ 1146ppm, HCl 632ppm, NO₂ 183ppm으로 연소가스농도가 최대에 이르렀다. SMC는 착화시간 약 40초 후에 CO₂ 1616 ppm, CO 273 ppm으로 농도가 최대값을 나타냈다.

표4 PVC, FRP, SMC의 최대 연소가스농도와 착화시간

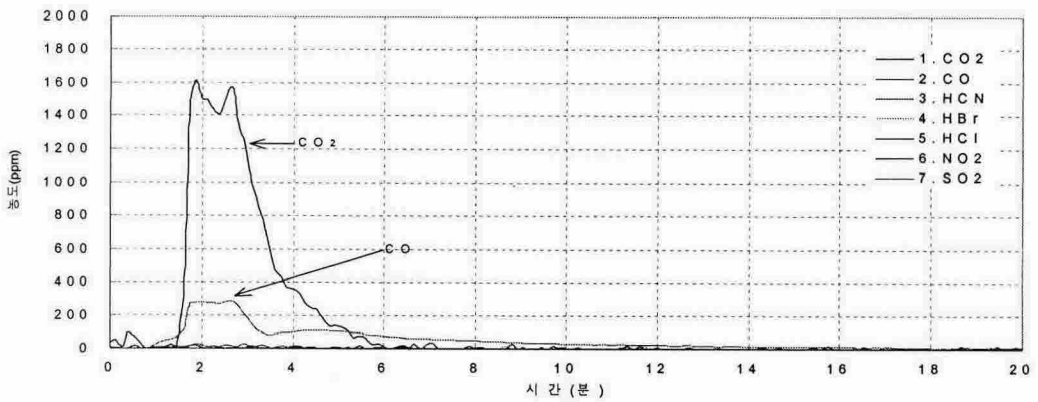
실험체	분석가스 (ppm)							
	CO ₂	CO	HCN	HBr	HCl	NO ₂	SO ₂	착화 시간(초)
PVC	838.83	419.79	7.96	5.46	1719.17	602.80	8.89	59
FRP	1145.53	275.44	2.65	3.83	632.46	182.64	6.51	45
SMC	1615.88	273.33	3.28	10.54	24.33	32.35	7.81	65



[그림3] PVC의 연소가스발생곡선



[그림4] FRP의 연소가스발생곡선



[그림5] SMC의 연소가스발생곡선

4. 결 론

다중이용업소의 여러 가지 집기비품, 반자 등에 많이 쓰이는 PVC, FRP, SMC 3종의 플라스틱가연물에 대하여 콘칼로리미터와 FTIR를 이용하여 연소가스를 분석하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, PVC의 경우 착화 이전인 시험 개시 후 1분 이내에 HCl 1719ppm, CO₂ 839ppm, NO₂ 603ppm, CO 419ppm으로 최대값을 보였다.

둘째, FRP는 착화시간 약 1분 후에 CO₂ 1146ppm, HCl 632ppm, NO₂ 183ppm으로 연소가스농도가 최대에 이르렀다.

셋째, SMC는 착화시간 약 40초 후에 CO₂ 1616 ppm, CO 273 ppm으로 농도가 최대값을 나타냈다.

이는 PVC는 재료의 착화 이전에 독성가스가 다량 발생하고, FRP와 SMC는 착화 이후 40초~1분의 시간이 경과된 뒤에 독성가스가 배출됨을 의미한다.

참고문헌

1. 한국화재보험협회, 방재기술자료집 “화재와 유독가스”
2. KS F ISO 5660-1 연소성능시험 열방출, 연기 발생, 질량감소를 Part 1 : 열방출률(콘칼로리미터법)
3. ISO 5660-1, Reaction-to-fire tests — Heat release, smoke production and mass loss rate — Part 1 : Heat release(cone calorimeter method)
4. ASTM E 1678 - 97, Standard test method for measuring smoke toxicity for use in fire hazard analysis, ASTM, 1997
5. NT FIRE 047, Combustible products : Smoke gas concentrations, continuous FTIR analysis, NORDTEST, 1993
6. ASTM E 800, Guide for measurement of gases present or generated during fires
7. Tuula Hakkarainen, Smoke gas analysis by fourier transform infrared spectroscopy, Final report of the SAFIR project, VTT building technology, 1999
8. ISO TR 9122-5, Toxicity testing of fire dffluents — Part 5 : Prediction of toxic effects of fire effluents, ISO, 1993
9. Gordon E. Hartzell, "Combustion products and their effects or life safety", NFPA handbook toxicology
10. Gordon E. Hartzell, Advances in combustion toxicology, Technomic publishing co. 1999