

Polyurethane foam의 유해가스 분석에 관한 연구

A Study on Noxious Gases Analysis of Polyurethane foams

이창우* · 김정환* · 현성호†

Chang Woo Lee* · Jung Hwan Kim* · Seong Ho Hyun†

*경민대학 소방과학연구소
경민대학 소방안전관리과

요 약

쿠션제조용, 마네키제조용 및 건축내장재용 폴리우레탄 폼의 열적특성을 조사하기 위하여 시차주사열량계(DSC, Differential Scanning Calorimeter) 및 열중량 분석기(TGA, Thermogravimetric Analysis)를 이용하여 온도에 따른 발열개시온도, 무게감량 등을 조사하였으며, 발화온도 측정방법 중 정온법을 이용하여 각 폴리우레탄 폼의 발화온도를 조사하였다. 이로부터 각 폴리우레탄 폼의 연소 조건에 따라 발생할 수 있는 유독성 가스를 가스분석기와 가스텍을 이용하여 조사하였다. 연구결과 시제품인 건축내장재용 폴리우레탄 폼의 분해개시온도가 다소 낮으며, 분해열이 매우 크게 나타났다. 발화온도는 420°C였다. 연소 시험시 420°C까지 무염연소의 형태를 가졌으며, 500°C에서 유염연소가 발생하였다. 연소형태에 관계없이 연소온도의 증가에 따라 일산화탄소, 이산화탄소의 농도는 증가하였고, 유염연소를 나타내는 500°C에서 질소산화물이 10 ppm 이상 관찰되었다. 한편 유독성이 매우 강한 HCN의 경우 온도의 증가에 따라 크게 증가하였다.

ABSTRACT

We had investigated thermal stability, ignition temperature and fire gas for polyurethane foams used for manikin, cushion and interior finishing material. Decomposition of polyurethane foams with temperature was investigated using a DSC and the weight loss with temperature increase using a TGA in order to find the thermal hazard of polyurethane foams, and the ignition temperature of polyurethane foams according to species. We studied constant temperature among ignition temperature measuring methods. In addition, noxious gases for polyurethane foams according to combustion condition were analyzed using gas analyzer and GASTEC. As results, initial decomposition temperature of polyurethane foam used for interior finishing material was lower than those for manikin and cushion, and exothermic energy was higher. Ignition temperature of polyurethane foam of interior finishing material was 420°C. All of combustion forms at 420°C and under were smoldering combustion, and it was combustion at 500°C. As furnace temperature was increased, concentration of noxious gases such as carbon oxide, carbon dioxide, and hydrogen cyanide was increased. And nitrogen oxide at combustion condition(500°C) was over 10 ppm.

Keywords : polyurethane foams, thermal hazard, ignition temperature, smoldering, noxious gases

1. 서 론

최근 불특정 다수가 이용하는 다중시설, 특히 청소년 등이 출입하는 유흥시설의 화재로 인해 대형 인명피해가 급증하고 있는 실정이다. 특히 이들 다중 용도의 건물에서는 피난활동에 필수적인 시설 등과 연기를

적절히 제어할 수 있는 시설이 마땅치 않아 한국의 저층 다중시설의 화재 취약성에 대한 기술적 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 더구나 최근에 발생한 인천 인현동 호프집사고(99년), 성남 카라파크 호프집 화재(98년), 신촌 롤링스톤즈 락카페에서 일어난 화재(97년)등은 세 화재가 동일하게 배연되지 않는 무창층이나 지하층에서 화재가 일어나 많은 인명피해를 발생시켰다는 점에서 일치하며, 또한 내부 인테리어 장식

† E-mail: shhyun@kyungmin-c.ac.kr

재가 유독가스를 발생시키는 재료로 되어 있었다는 점에서 그 맥을 같이 하고 있다.^{1,2)} 특히, 국내 소방법상 지하노래방, 호프집 등의 다중시설에 사용되는 장식재에 대한 규제가 미흡하고, 화재시 영향평가가 전무한 상태에서 유독가스 및 발연성재료를 미관 및 형상조성이 뛰어나는 미명하에 무분별하게 사용되고 있으므로 이들 재료에 대한 연소특성을 조사하는 것은 매우 의미있는 일일 것으로 사료된다. 특히 이들 재료 중 플라스틱의 경우 유·무기원소들과 탄소의 결합으로 이루어진 대단히 복잡한 물질로써, 이것의 최종상태는 고체이지만 제조과정에 따라 대부분 열 또는 압력에 의하여 단일 또는 혼합의 상태로 용해되고 부드러워져 여러 가지 모양으로 성형될 수 있다.^{3,4)} 또한 이들은 성질이나 형태에 따라 열가소성 수지와 열경화성 수지로 나눌 수 있으며, 이 중 열가소성 수지는 가열이나 냉각에 의하여 화학적 변화가 일어나지 않고 용해, 경화가 반복될 수 있으며, 열경화성수지는 가열에 의해 화학적변화가 일어나며 물성을 영구히 바꾸는 화학적 변화가 없이는 가열에 의해 부드러워지지 않는다. 이와 같은 플라스틱은 크게 30여종으로 분류하는데 그 제품의 종류는 수천가지이며 비록 이들이 같은 종류의 원료일지라도 물리·화학적 화재위험 특성에는 큰 차이가 있다.^{5,6)} 특히 폴리우레탄의 경우 hard foam과 soft foam 형태의 쌍방이 이용되며, hard foam 폴리우레탄은 직접 콘크리트 위에 분무할 수 있기 때문에 편리하고, 또한 발포성으로 인해 흡음이나 단열 효과를 갖고 있기 때문에 건축 내장재료로 널리 사용되고 있다. 한편 soft foam 폴리우레탄은 침대나 가구의 쿠션 충진물이나 카펫트 재료로 널리 이용되고 있다. 이러한 폴리우레탄 화재의 경우 연소를 일으키는 것 외에도 대량의 열, 연기 및 일산화탄소, 질소산화물이나 시안화수소 등과 같은 매우 유독한 가스를 발생시켜 단 시간에 많은 사상자를 내는 전형적인 고분자물질이나, 현재 이러한 물질들에 대한 연소조건에 따른 유해가스의 종류 및 농도의 변화와 같은 연소특성에 관한 연구가 미흡한 상태이다.^{7,8)}

따라서 본 연구에서는 쿠션제조용 연질폼과 마네킹 제조용 경질폼의 두가지 종류와 건축내장재용으로 시판되는 것을 시료로 사용하여 시차주사 열량계 및 열중량분석기를 이용하여 발열개시온도, 분해개시온도 및 무게감량 등을 측정하여 폴리우레탄 폼의 열적 위험성을 살펴보고, 발화온도 측정장치를 이용하여 정온법으로 폴리우레탄 폼의 발화온도를 조사하였다. 또한, 폴리우레탄 폼의 연소 조건에 따라 발생할 수 있는 유독성 가스 중 이산화탄소, 일산화탄소, 산화질소, 이산

화질소 및 아황산가스를 가스분석기를 이용하여 시간 변화에 따라 연속적으로 측정하였으며, 가스분석기로 측정 불가능한 시안화수소, 암모니아, 벤젠, 페놀과 같은 유독성 가스에 대해 가스택을 이용하여 조사함으로써 화재시 내포하고 있는 폴리우레탄의 위험성을 평가해 보고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시료의 준비

본 연구에서 시료로 사용한 폴리우레탄 폼은 쿠션 제조용 연질폼과 마네킹 제조용 및 건축내장재용의 경질폼이다. 마네킹용이나 쿠션용으로 사용되는 폴리우레탄 폼은 제조공장에서 얻은 종류가 서로 다른 1액과 2액의 비율을 각각 무게비로 1:1 및 1:0.4로 배합하여 폼을 제조하여 사용하였으며, 내장재용 폴리우레탄 폼은 시제품을 구입하여 발포시켜 시료로 사용하였다. 각 폴리우레탄 폼의 특징은 Table 1에 나타내었다. 이후 그림에는 마네킹용, 쿠션용 및 건축내장재용의 폴리우레탄 폼을 각각 폴리우레탄 A, B, C로 표시하였다.

2.2 특성평가

2.2.1 열적 위험성 평가

본 실험에 사용한 폴리우레탄 폼의 열적 위험성을 평가하기 위해 시차주사 열량계(Model : DSC 2910, TA Instruments, U.S.A.) 및 열중량분석기(Model : STD 2960, TA Instruments, U.S.A.)를 이용하여 발열개시온도, 분해개시온도 및 무게감량 등을 측정하였다.

2.2.2 발화온도 측정

본 연구에서 시료로 사용한 폴리우레탄 폼의 발화거동을 조사하기 위하여 발화온도 측정장치(Model: PIT-031, Phillip Trading Co. Ltd.)를 이용하여 정온법으로 폴리우레탄 폼의 발화온도를 조사하였다. 이에 대한 장치도 및 방법은 이미 발표된 논문⁷⁾과 동일하다.

Table 1. Characteristics of Samples

Samples	Uses	Species	Synthesis
Polyurethane A	Manikin	Hard foam	1:1 (1액:2액)
Polyurethane B	Cushion, Sponge	Soft foam	1:0.4 (1액:2액)
Polyurethane C	Interior finishing material	Hard foam	Goods*

*Lucky-Silicone Industry Co. Ltd.

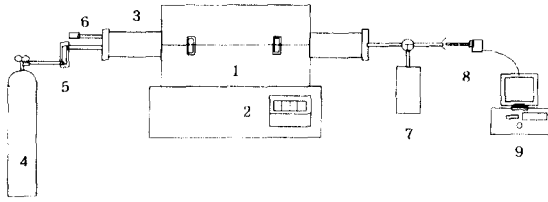


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.
 1. Tube Furnace 2. Temp. Controller
 3. Alumina Tube 4. Air Bomb
 5. Air Flow Meter 6. Thermocouple
 7. Gas Collector 8. Gas Sensor
 9. Computer

2.2.3 유독가스 분석

폴리우레탄 폼의 연소시 발생할 수 있는 유독성가스의 성분 및 농도를 조사하기 위하여 Fig. 1의 장치와 같은 관형로[Model: IS-F108, Il-Shin Science]를 제작·사용하였다. 시료를 연소시키기 위한 공간으로 알루미늄관(ID: 7 cm, L: 100 cm)의 체적은 $3.85 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 이다. 먼저 공기의 유량을 2 l/min으로 고정하고, 로내의 온도를 340, 420 및 500°C로 변화시키면서 각각의 시료 1g을 알루미늄 boat에 담아 로의 중심에 넣고 연소시켰다. 이때 발생하는 가스의 농도를 측정하고자 가스분석기(Ecom A+)를 이용하여 시간의 변화에 따라 연속적으로 이산화탄소, 일산화탄소, 산화질소, 이산화질소 및 아황산가스의 농도를 측정하였으며, 이를 RS-232 port를 이용하여 컴퓨터로 자료를 수집하였다. 한편, 가스분석기로 측정 불가능한 유독가스를 조사하기 위하여 각 연소조건에서 연소가스를 20분 동안 포집하여 가스텍과 각 가스 검지관을 이용하여 시안화수소, 암모니아, 벤젠 및 페놀을 조사하였다. 또한, 연소가 종료된 후 시료의 형태를 육안으로 관찰하여 무염연소(훈소)와 유염연소를 구분하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 열적 위험성 평가

폴리우레탄 폼의 종류에 따른 열적 안정성을 조사하기 위하여 시료 5 mg을 기준으로 하여 분위기 가스인 Air를 60 ml/min의 속도로 주입하면서 승온속도를 20°C/min로 하여 DSC 분석을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 쿠션용 폴리우레탄 폼과 마네킹용 폴리우레탄 폼의 경우보다 건축내장재용 폴리우레탄 폼의 경우 발열개시온도가 저온부로 이동하고 있으며, 발열량 또한 매우 크

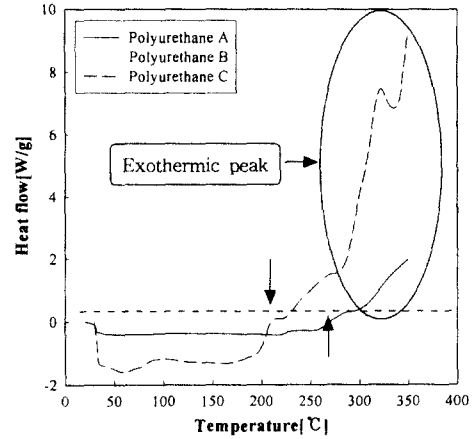


Fig. 2. DSC curves of polyurethane foams.
 [purge gas ; Air, heating rate : 20°C/min]

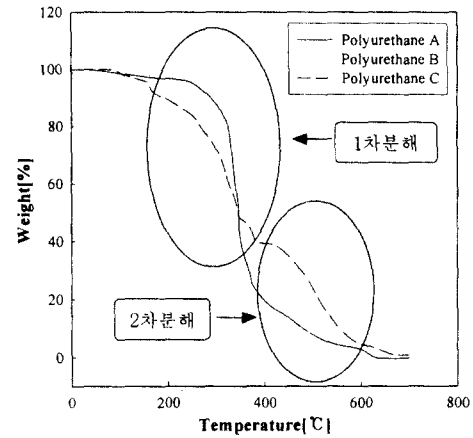


Fig. 3. TGA curves of Polyurethane foams.
 [purge gas ; Ar, heating rate : 20°C/min]

게 나타나고 있다. 따라서 다른 시료에 비해 건축내장재용 폴리우레탄 폼의 열분해시 큰 위험성을 내포하고 있으며, 이는 실제 연소시에도 위험할 것으로 사료된다. 또한 시료 모두 2차분해에 따른 발열 피크의 변화를 관찰할 수 있으며, 이러한 결과는 폴리우레탄 폼이 크게 두가지 물질을 혼합하여 제조되므로 2단계에 걸쳐 분해가 일어나고 있음을 시사하는 바이다.

Fig. 3은 폴리우레탄 폼의 종류에 따른 열분해 특성을 조사하기 위하여 시료 5 mg을 기준으로 분위기 기체를 아르곤을 사용하여 60 ml/min의 속도로 흘려보내면서 20°C/min의 승온속도로 각 시료의 분해에 따른 무게감량을 측정함으로써 분해개시온도나 분해특성에 미치는 영향을 TGA 분석한 결과이다. 그림에서 보는

Table 2. Ignition Temperature of Polyurethane Foams

Samples	Uses	Species	Ignition Temp.[°C]
Polyurethane A	Manikin	Hard foam	.*
Polyurethane B	Cushion, Sponge	Soft foam	410
Polyurethane C	Interior finishing material	Hard foam	420

*실험온도(≤430°C) 조건에서 표면탄화후 열분해만 발생.

바와 같이 폴리우레탄 폼의 종류에 따른 분해개시온도는 약 200~300°C 부근으로 비슷하며, 앞 그림에서 설명한 바와 같이 2단계에 걸쳐 분해가 일어나고 있음을 볼 수 있다. 또한 쿠션용 폴리우레탄 폼과 마네킹용 폴리우레탄 폼의 경우 350~400°C 부근에서 80~90% 정도의 급격한 무게감량을 보이고 있는 것으로 보아 이 온도 범위에서 대부분 열분해가 일어나는 것을 알 수 있다. 한편, 건축내장재용 폴리우레탄 폼의 경우 완전한 무게감량 곡선을 볼 수 있으며, 약 550°C가 되어야 90%의 무게감량을 나타내고 있다. 따라서 앞의 두 재료와는 달리 다소 낮은 온도에서 분해가 개시되어 위험성을 내포하고는 있으나, 열분해속도는 다소 느림을 알 수 있다. 그러나 앞의 DSC 분석에서 나타난 바와 같이 열분해에 따른 발열량이 매우 커 화재시 큰 위험성을 내포하고 있다고 할 수 있다.

3.2 발화온도 측정

폴리우레탄 폼의 발화온도를 측정하기 위하여 각각의 시료 0.3 g(0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm)을 기준으로하여 발화온도 측정장치에서 정온법으로 측정하여 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 발화온도는 400°C 이상에서 나타나고 있으며, 열분석 결과와는 달리 건축내장재용으로 사용되는 폴리우레탄 폼의 발화온도가 다소 높게 나타났다. 이러한 결과는 본 연구에서 시료로 사용한 폴리우레탄 폼과 같이 대부분의 고분자물질은 연소를 위해 분해과정을 거쳐야 하는데, 건축내장재용 폴리우레탄 폼의 경우 Fig. 3에서 설명한 바와 같이 분해속도가 완만하여 발생하는 분해가스가 연소하한계에 도달되어 발화하기 위해서는 보다 많은 에너지가 필요하기 때문에 발화온도가 상승한 것으로 볼 수 있다. 한편, 마네킹용의 폴리우레탄 폼의 발화온도를 측정하지 못하였는데, 이는 본 실험에 사용한 발화온도 측정장치의 내부온도가 450°C 이상 유지시킬 수가 없기 때문에 반응기 내부온도를

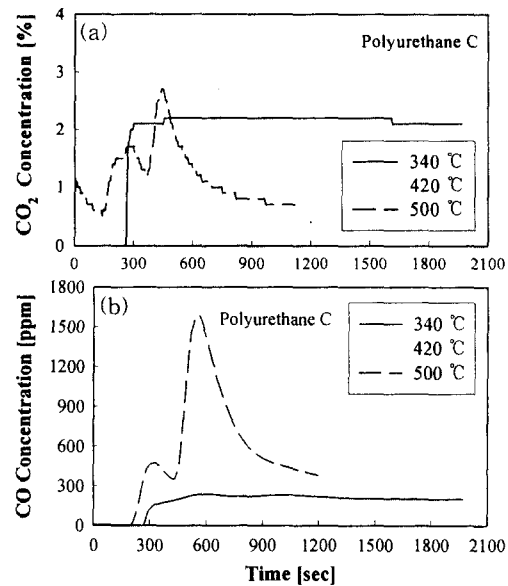


Fig. 4. Variation of CO₂ and CO concentration according to temperature[sample:1 g].

430°C이하의 조건에서 실험하였기 때문이며, 이 온도 조건까지 마네킹용 폴리우레탄 폼은 표면탄화가 일어나고 열분해만 발생하는 것을 관찰하였다.

3.3 유해가스 분석

Fig. 4는 시료 중 대표적으로 건축내장재용 폴리우레탄 폼(sample C)의 온도에 따른 연소가스 중 발생되는 이산화탄소 및 일산화탄소의 농도변화를 시간에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 측정된 농도 값이 420°C까지는 로 내부를 밀폐하고 배출가스 라인에 가스분석기의 센서를 위치시켜 배출되는 가스의 농도를 측정할 자료이며, 500°C는 배출가스쪽의 알루미늄관을 개방시켜 상단에 가스분석기의 센서를 위치시켜 측정할 자료이다. 이러한 이유는 시료의 발화점 이상에서 연소가스의 종류 및 농도를 측정하고자 반응기의 내부온도를 발화점 이상으로 유지하고 실험하는 과정에서 폴리우레탄 폼이 발화시 반응기 내부의 급격한 압력상승으로 인하여 장치의 파손을 우려하여 500°C의 경우 동일한 비교를 할 수 없었다. Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 온도가 상승할수록 이산화탄소의 발생량은 증가하고 있으며, 연소온도가 가장 높은 500°C의 경우 연소 초기에 거의 모든 량의 이산화탄소가 발생되는 것을 볼 수 있다. 이는 연소온도가 낮은 340°C, 420°C의 경우 혼소를 보이고 있기 때문에 500°C에서와 같은 유

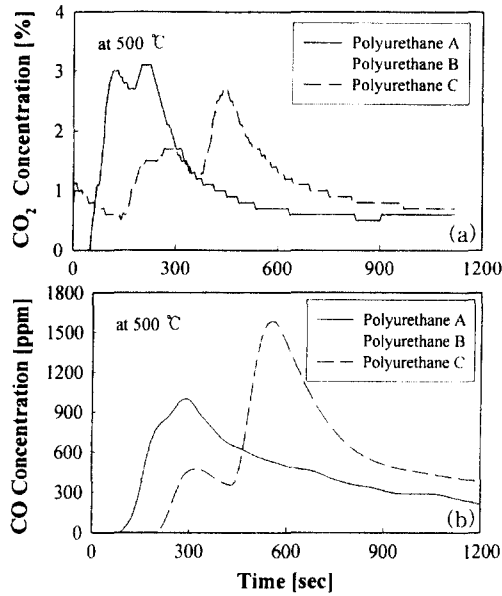


Fig. 5. Variation of CO₂ and CO concentration according to various polyurethane foams[sample:1 g].

염연소보다 이산화탄소의 발생이 다소 지속적인 것으로 볼 수 있다. 또한 500°C의 경우 340°C와 420°C의 경우처럼 반응기를 밀폐하고 실험을 할 경우 연소초기 이산화탄소의 발생량이 훨씬 많게 됨을 예측할 수 있을 것으로 사료된다. Fig. 4(b)에서 연소시간에 따른 일산화탄소농도의 변화는 이산화탄소 농도곡선과 매우 유사한 것을 알 수 있으나, 특이한 것은 500°C 온도조건은 개방 상태에서 가스 농도를 측정하였음에도 불구하고 폴리우레탄 폼의 발화에 따른 연소시 일산화탄소의 농도가 매우 증가함을 볼 수 있다. 이는 앞서 이산화탄소에 비해 일산화탄소의 발생량이 현저히 증가하는 것으로 보아 반응장치 내부의 연소조건이 화재시와 아주 흡사한 불완전연소 조건이 되기 때문인 것으로 사료된다. 한편, 마네킵용이나 쿠션용 폴리우레탄 폼의 온도별 이산화탄소 및 일산화탄소 농도곡선은 동일한 경향성을 보이고 있다.

Fig. 5는 각 폴리우레탄 폼을 500°C 조건에서 연소 시간에 따른 이산화탄소 및 일산화탄소 농도 변화를 조사한 결과이다. Fig. 5(a)에서 보는 바와 같이 각 폴리우레탄 폼의 연소시 이산화탄소의 발생량은 최대 3%(즉, 30,000 ppm)정도로 비슷한 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 5(b)는 배출되는 일산화탄소 농도 변화를 도시한 것이다. 앞서 나타낸 각 시료별 이산화탄소 농도는 큰 차이가 없는 반면, 그림에서 보는 바와 같이 일산

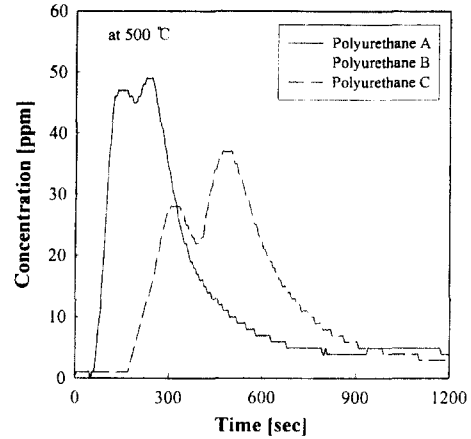


Fig. 6. Variation of NO concentration according to various polyurethane foams[sample:1 g].

화탄소의 경우에는 시료에 따라 큰 차이를 나타내고 있으며, 마네킵용이나 쿠션용보다 건축내장재용 폴리우레탄 폼의 경우 연소시 약 2배에서 5배 정도의 일산화탄소 배출량이 증가하는 것을 볼 수 있다. 다른 용도의 폴리우레탄 폼에 비해 화재시 위험성 또한 크다는 것을 간접적으로 확인할 수 있다. 시료 1g을 연소시켜 발생된 이산화탄소 및 일산화탄소의 농도는 시료의 양에 대한 건축물의 공간적인 개념이 정확한 대비를 이루는 것은 아니지만, 이산화탄소 및 일산화탄소의 허용농도가 각각 5,000 ppm과 100 ppm이라는 것을 감안하면 화재시 매우 위험하다는 것을 간접적으로 볼 수 있다.

Fig. 6은 반응기 내부온도 500°C로 앞서와 동일한 실험조건에서 각 시료의 연소시 배출되는 산화질소의 농도변화를 도시한 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 각 폴리우레탄 폼의 연소시 발생하는 산화질소의 양은 최대 40~50 ppm정도로 비슷한 것을 알 수 있다. 각 시료의 훈소시에는 발생되지 않았던 산화질소 가스가 연소시에는 세 시료 모두 측정되었다. 이는 질소산화물의 생성반응이 고온의 흡열반응이므로 무염연소에서는 발생하지 않으나, 유염연소시 온도의 상승으로 인하여 발생하는 것으로 사료되며, 이 때 연소가스중 질소산화물에 의한 적갈색의 연기가 다량 방출되는 것으로 보아 가시거리에도 많은 영향을 미칠 것으로 사료된다.

Table 3은 폴리우레탄 폼의 연소시 생성 가능성이 있는 가스 중 인체에 매우 유해한 것만을 조사한 결과이다. 시안화수소, 암모니아, 벤젠 및 페놀은 연소시간 20분 동안 포집된 연소생성가스를 각 가스별 검지관을

Table 3. Average Concentration of Fire Gases[sample:1 g]

Sample	Temp. [°C]	ECOM A ^{plus}					GASTEC			
		CO ₂ [%]	CO [ppm]	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	SO ₂ [ppm]	HCN [ppm]	NH ₃ [ppm]	C ₆ H ₆ [ppm]	C ₆ H ₅ OH [ppm]
Polyurethane A	340	1.5	97	N.T.	N.T.	N.T.	3	0.3	N.T.	N.T.
	420	2.9	612	N.T.	N.T.	N.T.	28	5	N.T.	N.T.
	500	1.0	442	14.1	N.T.	N.T.	.*	.*	.*	.*
Polyurethane B	340	1.8	97	N.T.	N.T.	N.T.	2	0.3	N.T.	N.T.
	420	2.9	1442	N.T.	N.T.	N.T.	36	0.1	N.T.	N.T.
	500	1.0	153	11.7	N.T.	N.T.	.*	.*	.*	.*
Polyurethane C	340	1.6	165	N.T.	N.T.	N.T.	3	1	N.T.	N.T.
	420	2.1	272	N.T.	N.T.	N.T.	35	0.3	N.T.	N.T.
	500	1.2	543	12.8	N.T.	N.T.	.*	.*	.*	.*

*: No Measuring, N.T. : No Trace.

이용하여 가스텍으로 측정된 것이며, 이산화탄소, 일산화탄소, 산화질소, 이산화질소 및 아황산가스의 경우는 ECOM A+라는 가스분석기를 이용하여 20분 동안 측정된 값을 평균하여 나타낸 것이다. 먼저 본 연구에서 시료로 사용한 세가지 폴리우레탄 폼 모두 어느 연소 조건에서도 이산화질소, 아황산가스, 벤젠 및 페놀의 경우는 검출되지 않았다. 또한, 암모니아의 경우 미량이 검출되었으며, 온도에 따라서는 큰 차이를 보이지 않고 있다. 한편 허용농도가 10 ppm으로 인체에 대한 독성이 매우 강한 시안화수소의 경우에는 340°C보다 420°C에서 약 10배 이상의 농도 상승을 보이고 있다. 420°C는 앞서 언급한 바와 같이 평균 일산화탄소 발생량이 매우 높은 불완전 연소조건으로 질소 함유 유기물의 경우 일산화탄소 발생량이 많은 불완전 연소조건이나 불활성 분위기에서 매우 높은 시안화수소를 생성한다는 보고와 일치하는 경향성⁸⁾을 나타내고 있다. 즉 420°C에서와 같이 NO₂, CO, CO₂가 다량 발생하는 불완전 연소 조건에서 시안화수소의 발생량이 허용농도의 3배정도 발생하고 있으므로 측정의 조건은 다르나 500°C의 조건에서는 연소속도가 420°C보다 빠르기 때문에 420°C보다 더욱 더 산소가 부족한 불완전 연소가 발생할 것으로 사료되며 이로인해 시안화수소가스의 배출량도 급격하게 증가할 것이다. 따라서 폴리우레탄 폼의 화재시 불완전 연소로 인한 시안화수소의 발생량은 매우 크게 증가할 것이며, 이에 따른 인명피해에 대한 대책의 마련이 시급할 것으로 사료된다. 한편 본 연구에서 500°C의 유염연소 조건에서 시안화수소, 암모니아 등의 농도 값이 없는 것은 앞서 언급한

바와 같이 개방 조건으로 연소실험을 수행했기 때문에 연소가스의 포집에 문제가 있어 측정이 불가능하였다.

4. 결 론

이상의 폴리우레탄 폼에 대한 열분석, 발화온도 및 연소가스의 분석에 대한 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 시료로 사용한 세가지 폴리우레탄 폼의 경우 400°C이상에서 약 70% 이상 분해되었으며, 발화온도는 400°C이상을 나타내었다. 특히 시제품인 건축내장재의 분해개시온도가 다소 낮으며, 분해열이 매우 크게 나타나고 있어 화재시 보다 큰 위험성을 내포하고 있다고 할 수 있다. 건축내장재용 폴리우레탄 폼의 발화온도는 420°C였다. 유독가스 분석을 위한 연소시험에서 실험조건 420°C까지는 무염연소의 형태를 가졌으며, 500°C에서 유염연소가 발생하였다. 또한 연소형태에 관계없이 연소온도의 증가에 따라 일산화탄소, 이산화탄소의 농도는 증가하였고, 유염연소를 나타내는 500°C에서 질소산화물이 10 ppm 이상 관찰되었다. 한편 유독성이 매우 강한 HCN의 경우 온도의 증가에 따라 크게 증가하였으며, 시제품 폴리우레탄 폼의 경우 420°C에서 35 ppm이 검출되었다.

참고문헌

1. 윤명오, "화성 씨랜드 화재 문제 및 대책", 한국화재·소방학회지, Vol. 13, No. 4, pp. 57-60(1999)

2. 박형주, “인천 인현동 호프집 화재사건으로 본 저층 다중시설의 화재안정상 취약요인과 대책”, 한국화재·소방학회지, Vol. 13, No. 4, pp. 61-67(1999)
3. 위험관리 정보센터, 방재기술자료집 II, 한국화재보험협회, pp. 361-365(1998)
4. 위험관리 핸드북, 한국화재보험협회, pp. 333-351(1994)
5. Engene Mayer, Chemistry Hazardous Materials, 2nd edition, prentice-hall, pp. 436-437(1990)
6. Hazardous Materials, NFPA. 11th(1994)
7. 오치훈, 이창우, 김정환, 현성호, “유지류의 침윤량과 공기 주입에 따른 면화류의 발화거동에 관한 연구”, 한국화재·소방학회논문지, Vol. 14, No. 1, pp. 8-12(2000)
8. 위험관리 정보센터, 방재기술자료집 I, 한국화재보험협회, pp. 101-108(1992)