

페놀 폼 단열재의 연기밀도 및 가스유해성 평가

박 형 주

호원대학교 소방행정학과

(2009. 12. 25. 접수 / 2010. 2. 3. 채택)

Evaluation of Smoke Density and Noxious Gas for Phenol Foam Insulation

Hyung-Ju Park

Department of Fire Service Administration, Howon University

(Received December 25, 2009 / Accepted February 3, 2010)

Abstract : The smoke density and noxious gas for phenol foam and polyurethane foam were measured according to test methods in ASTM E 662 and KS F 2271. It was observed that phenol foam had the possibility of application for sandwich panel and board compared with polyurethane foam. In the experimental results, phenol foam showed comparatively excellent property than polyurethane foam in smoke density and noxious gas. The polyurethane foam showed comparatively high smoke density and didn't meet the evaluation standard of noxious gas in KS F 2271. From the experimental results of smoke density and noxious gas, it can be said that phenol foam has both comparatively good safety and high possibility of application than polyurethane foam in the building fire of sandwich panel structure because of lower smoke density and noxious gas.

Key Words : smoke density, noxious gas, phenol foam, polyurethane foam, insulation

1. 서론

국내에서 주로 사용되고 있는 건축용 단열재는 단열성이 우수하면서 상대적으로 가벼워 취급 및 시공성이 좋은 스티로폼, 우레탄폼 등의 유기질 단열재가 대부분이다. 그러나 유기질 단열재는 모두 연소하기 쉬운 가연성물질로서 화재시 급속한 화염 전파, 높은 열방출율, 다량의 연기발생 등으로 인해 화재의 위험성이 상대적으로 높은 단점이 있다. 또한 화재시 발생되는 연소생성물 중 많은 양의 검은 색의 연기로 인해 가시거리의 확보에 어려움을 느껴 피난 및 소화활동에 큰 장애를 일으키며, 이들 연기 중에 포함된 일산화탄소(CO), 염소가스(HCl), 시안화수소(HCN) 등은 피난자의 감각기관과 호흡기관을 자극하여 피난시 피난자의 행동장애 뿐만 아니라 고농도에 노출될 경우 사망에 이르게 하는 등의 심각한 위험성을 가지고 있다^{1,2)}.

또한 이들 재료의 난연성과 내열성을 높이기 위해 첨가되는 할로젠계와 인계 난연제 등은 미국과 유럽을 중심으로 그 사용에 대한 규제가 강화되고 있어 이를 대체할 수 있는 새로운 단열재의 개발이

매우 중요하게 대두되기 시작하고 있다²⁾.

최근에는 별도의 난연제를 첨가하지 않아도 자체적인 난연성을 가지고 있는 고분자의 사용과 이와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중에서도 열경화성 수지로서 내열성이 우수하며 자기소화온도가 480℃로 매우 높은 페놀수지(phenol resin)를 이용한 대체소재의 개발이 국내외적으로 진행되고 있다. 열경화성수지(thermosetting resins)인 페놀수지는 연소시 분해가스로 이산화탄소(CO₂)와 물(H₂O)이 주 생성물로서 연기 발생량이 적고 독성가스의 발생량이 적어 발포 폼 형태의 제품으로 개발 및 생산이 진행되고 있다³⁻⁶⁾.

따라서 본 연구에서는 국내에서 생산되고 있는 페놀 폼 보드, 우레탄 폼 그리고 일본에서 시판되고 있는 페놀 폼 보드에 대한 연기밀도와 가스유해성을 비교하고 페놀 폼의 활용 가능성에 대해 검토하였다.

2. 실험

2.1. 실험재료

시험체는 샌드위치 패널 또는 보드 등의 심재료

사용되고 있는 단열재 3종으로써 국내에서 생산된 폴리우레탄폼 1종과 페놀폼 1종 그리고 일본에서 생산되고 있는 페놀폼 1종에 대해 시험하였다. 시험체의 종류별 밀도와 두께는 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Test specimens

	Insulation	Density	Thickness	The home
Type A	Phenol foam	25kg/m ³	40mm	Japan
Type B	Phenol foam	40kg/m ³	30mm	Korea
Type C	Polyurethane foam	50kg/m ³	50mm	Korea

2.2. 실험장치 및 방법

2.2.1. 연기밀도(Smoke density)

연기밀도는 Fig. 1과 같이 ASTM E 662(2001)의 규정을 만족하는 smoke density chamber(FTT, England) 사용하였으며, pilot flame의 작동 유무에 따라 flaming mode와 non-flaming mode로 시험하였다⁷⁾.

시험체는 Table 1에 나타난 것을 75mm×75mm의 크기로 절단하고 온도 23±2℃, 상대습도 50±5%의 조건으로 전 처리한 후 사용하였다. 시험체는 약 0.04mm두께의 알루미늄 호일의 반짝이지 않는 면으로 감싸 시편 홀더에 넣고 노출되는 부분이 65mm×65mm가 되도록 알루미늄 호일을 잘라낸 후 복사가열기 전면에 설치한다. Smoke density chamber의 크기는 914mm×914mm×610mm로서 밀폐된 방식으로 내부에 복사가열기가 설치되어 있으며, 복사가열기를 바라보는 수직으로 설치된 중심 38.1mm 반경에 발광수준이 25±0.5kW/m²가 발생하도록 하였다.

Non-flaming mode의 경우 25kW/m²의 복사열만 가하고, flaming mode의 경우 25kW/m²의 복사열원과 함께 복사가열기와 시험체 사이에 설치된 버너(공기 500cm³/min, 프로판 50cm³/min)에 의한 불꽃(6.4mm)을 시험체 하단에 인가한다.

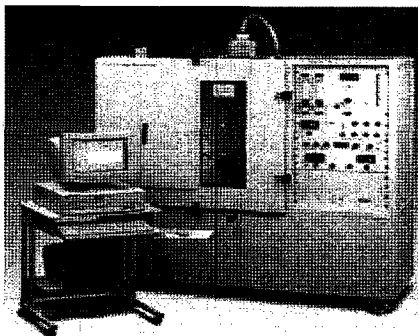


Fig. 1. Smoke density chamber(ASTM E 662).

Non-flaming mode와 flaming mode로 20분 동안 시험하여 발생하는 연기는 chamber내에 모아지게 되고 수직으로 설치된 광학장치에 통과된 빛의 강도를 측정하여 연속적으로 연기밀도를 ASTM E 662 X4.2.2항에 규정되어 있는 다음의 식 (1)을 이용하여 산출한다.

$$D_s = G \times \left(\log \frac{100}{T} + F \right), \quad G = \frac{V}{A \times L} \quad (1)$$

D_s : 광학밀도[-]

T : 광선 투과율[%]

F : 광선투과때 필터를 사용하면 “0”, 필터를 사용하지 않으면 “1”

A : 시편의 노출면적[m²]

L : 광선투과 길이[m]

V : 시험장치의 챔처 체적[m³]

식 (1)에서 광선 투과때 필터를 사용할 경우 $F = 0$ 이 되고, ASTM E 662 X4.2.2항에 규정된 $G = 132$ 를 적용하면 식 (1)은 다음 식 (2)와 같이 간단하게 표현된다.

$$D_s = 132 \times \log \frac{100}{T} \quad (2)$$

2.2.2. 가스유해성(Noxious gas)

가스유해성 시험은 Fig. 2와 같이 KS F 2271(2006) 6의 규정을 만족하는 mouse test 2005(FESTEC, Korea)을 사용하였다⁸⁾.

시험체는 Table 1에 나타난 것을 사용하여 Fig. 3과 같은 크기로 절단 후 시험체의 표면에서 뒷면으로 관통하는 지름 25mm인 구멍을 3개 뚫은 것을 시험에 사용하였다. 시험체의 개수는 2개로 하

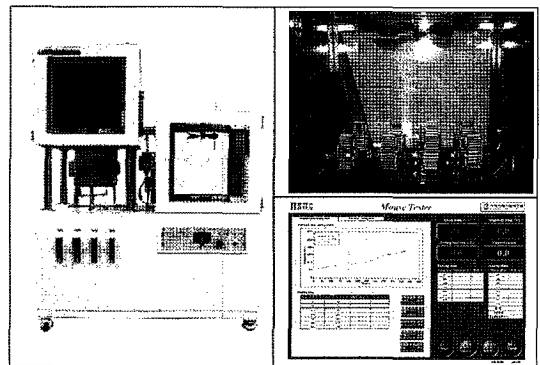


Fig. 2. Mouse test 2005(KS F 2271).

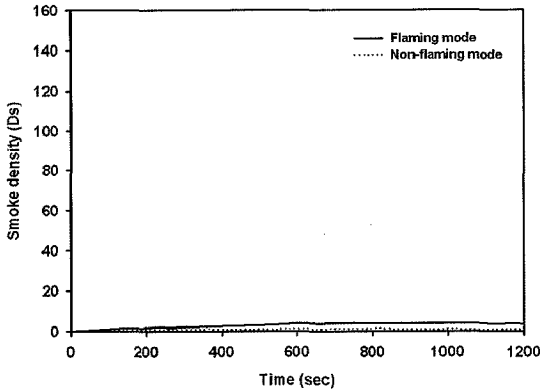


Fig. 4. Specific optical density of Type A.

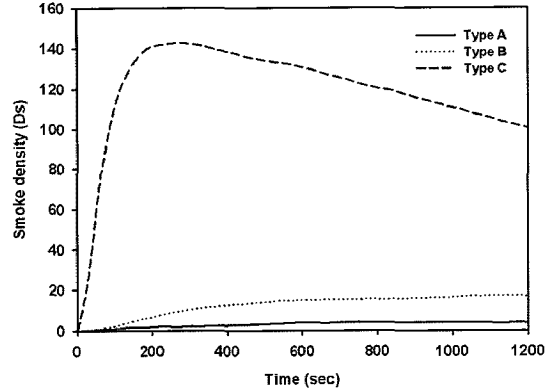


Fig. 7. Specific optical density in flaming mode of each type.

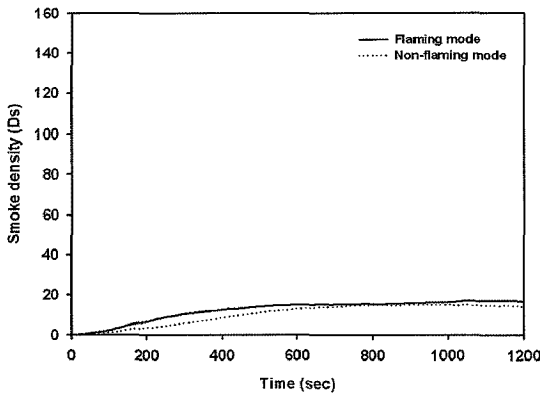


Fig. 5. Specific optical density of Type B.

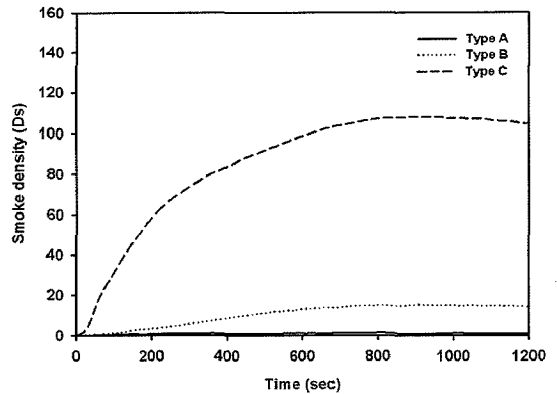


Fig. 8. Specific optical density in non-flaming mode of each type.

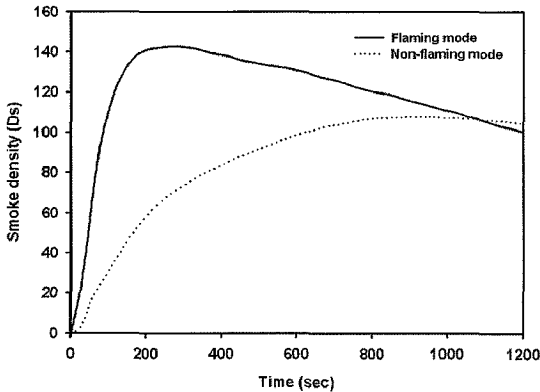


Fig. 6. Specific optical density of Type C.

thane은 연소시 최종 생성물로 탄소, 일산화탄소, 이산화탄소, 물, 시안화수소 그리고 니트릴(nitrile)이 발생하기 때문에 연기밀도에 있어 가장 높게 나타내는 것으로 판단된다⁹⁾.

각 시험체에 대한 연기밀도 측정에서 D_s 의 값이 16(transmission = 75%)에 도달하는 시간은 Type A의 경우 flaming mode와 non-flaming mode에 있어

서 모두 $D_m < 16$ 인 결과를 나타내었으며, Type B의 경우 non-flaming mode에서 $D_m < 16$ 이거나 554초, flaming mode에서 381~1004초를 나타내었다. Type C의 경우 non-flaming mode에서 50~59초, flaming mode에서 16~18초를 나타내었다.

$D_s = 16$ (transmission = 75%)는 감광계수와 가지거리의 관계에서 건물 속지자가 피난에 지장을 느낄 정도로서 D_s 가 16에 도달하는 시간이 짧을수록 피난에 있어 많은 어려움을 느끼면 소요되는 시간이 상대적으로 길어진다는 것을 알 수 있다. 따라서 phenol foam의 경우 보다 polyurethane foam의 화재에 있어 건물 재실자의 안전한 피난에 있어 많은 장애를 초래할 것으로 판단된다.

3.2. 가스유해성(Noxious gas)

KS F 2271(2006)의 시험방법에 따라 샌드위치 패널 또는 보드 등의 심재로 사용되고 있는 단열재의 가스유해성을 측정한 결과는 Table 3과 Fig. 9~11에 나타내었다.

Table 3. Test result of noxious gas test

	Type A		Type B		Type C	
	1	2	1	2	1	2
$\bar{X}^{1)}$	14.33	13.87	13.85	12.97	9.35	8.58
$\sigma^{2)}$	0.62	0.95	1.12	1.95	0.45	0.48
$x^{3)}$	13.72	12.92	12.73	11.02	8.90	8.10

- 1) An average value of the deed stopping time(min)
- 2) The standard deviation of the deed stopping time(min)
- 3) The average deed stopping time(min)

Fig. 9~11은 각 시험체의 가스유해성 시험에 사용된 ICR계 흰쥐 8마리의 행동정지시간을 나타낸 것으로 Type A의 경우 11.70~14.95분, Type B의 경우 9.13~14.98분, Type C의 경우 8.38~9.30분 의 분포를 나타내었다.

Table 3은 15분 동안 개개의 시험용 흰쥐마다 행동 정지시간을 식 (3)~(5)를 이용하여 흰쥐의 평균 행동정지시간을 계산한 결과를 나타낸 것으로 Type A의 경우 12.92~13.72분으로 가장 길게

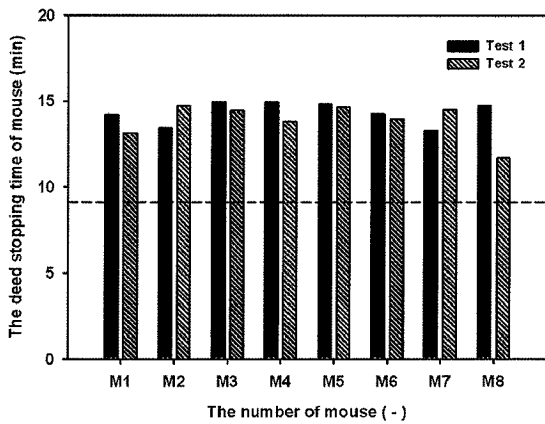


Fig. 9. The deed stopping time of mouse for Type A.

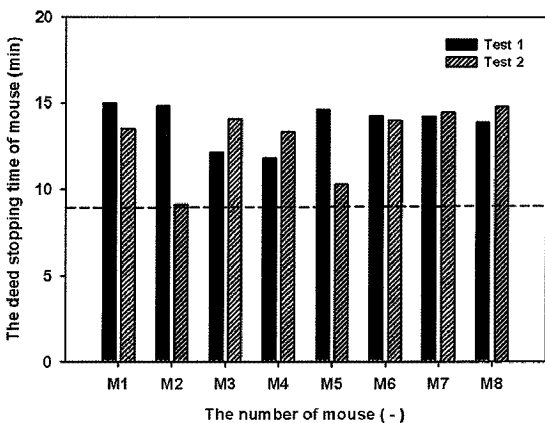


Fig. 10. The deed stopping time of mouse for Type B.

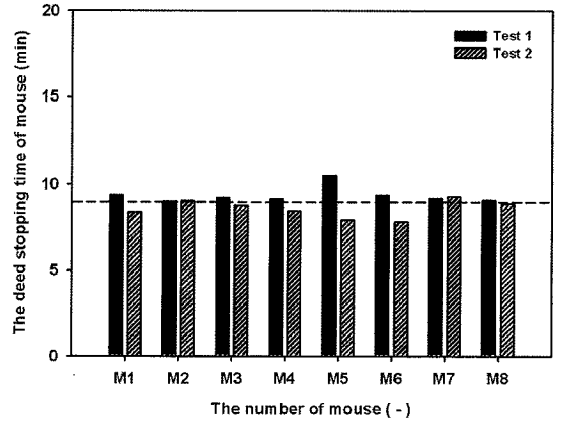


Fig. 11. The deed stopping time of mouse for Type C.

나타난 반면에 Type C의 경우 8.10~8.90분으로 가장 짧게 나타났다.

KS F 2271 연소가스 유해성 시험에서는 살아있는 마우스를 연소가스에 15분간 노출시켜 마우스의 행동 정지시간에 의해 가스유해성 여부를 판단하는 것으로 8마리의 마우스가 연소가스를 흡입하였을 때 시험에 사용된 마우스가 연소가스 흡입에 의해 행동정지에 도달하는 시간이 9분 이상이면 가스유해성 시험에 적합한 것으로 판정한다. 따라서 Type C의 경우 모두 9분 이하로 KS F 2271에 의한 가스유해성 판단기준을 충족시키지는 못하였다.

이와 같은 결과는 주성분이 phenol resin인 Type A와 Type B의 경우 연소시 발생하는 연소생성물의 종류 중 이산화탄소의 발생량이 현저히 많은 반면에 CO, HCHO, HCl, SO₂, NO+NO₂의 발생량은 상대적으로 낮아 전체적으로 독성지수가 8.5인 반면 주성분이 polyurethane인 Type C는 연소시 CO₂, CO, HCN, HBr, HCl, NO, NO₂, SO₂ 등이 방출되고 그 농도 또한 높아 전체적으로 독성지수가 30.0으로 높기 때문인 것으로 판단된다^{3,10)}.

흰쥐의 평균 행동정지시간이 9분을 만족하지 못하고 독성지수가 높은 제품의 경우 화재시 발생하는 독성가스의 발생 농도가 높아 화재로 인해 발생하는 독성가스로부터의 질식 및 가스중독의 위험성이 그만큼 높아진다고 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 샌드위치 패널 또는 보드 등의 심재로 사용되고 있는 단열재 3종에 대한 연기밀도 및 가스유해성 측정을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연기밀도의 측정에 있어 Type A의 경우 점화 불꽃의 유무에 관계없이 시간에 따른 연기발생량은 거의 없었으며, 최대 연기밀도에 있어서도 0.74~4.35로 가장 낮은 연기밀도를 나타내었다.

2) $D_s = 16$ 에 도달하는 시간 측정 결과에 있어 phenol foam의 경우 보다 polyurethane foam의 화재시에 건물 재실자의 안전한 피난에 있어 많은 장애를 초래할 것으로 예측할 수 있다.

3) 가스유해성 측정에 있어 Type A와 Type B는 KS F 2271에 의한 가스유해성 판단기준인 9분을 충족한 반면에 Type C는 충족하지 못하였다.

4) 연기밀도와 가스유해성 평가를 통해 phenol foam이 polyurethane foam에 비해 화재시 연기 발생량이 적고 가스유해성에 대한 위험이 낮아 상대적으로 안전할 것으로 판단되며, 샌드위치 패널 또는 보드로서의 그 활용도가 높을 것으로 판단된다.

감사의 글 : 본 연구는 2009년 호원대학교 교내 학술연구비 지원에 의하여 수행하였으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 박형주, 조명호, “EPS 샌드위치 패널 심재의 열방출율에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, 제 22권 제5호, pp. 72~78, 2008.
- 2) 김동권, 이수복, “단열재용 페놀폼의 물성과 열적 특성”, 공업화학, 제17권 제4호, pp. 357~360, 2006.
- 3) 박형주, 차종호, 이상길, “페놀폼 보드의 연기밀도 및 독성지수 평가”, 한국안전학회 춘계학술대회, pp. 235~238, 2009.
- 4) 박형주, “페놀 폼을 이용한 난연패널 및 방화문개발”, 산학 공동기술개발지원사업 최종보고서, 호원대학교, pp. 1~39, 2009.
- 5) 김동권, “난연성 고분자수지 합성 및 환경친화적 난연성 건축자재 실용화 기술개발-난연성 페놀수지의 물성에 관한 연구”, 한국화학연구원, pp. 12~28, 2007.
- 6) 김동권 외, “페놀수지 발포체의 제조방법”, pp. 1~10, 대한민국특허청, 등록특허 10-06 13887, 2006.
- 7) ASTM E 662, “Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials”, pp. 1~23, 2001.
- 8) KS F 2271, “건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험방법 - 가스유해성”, pp. 7~13, 2006.
- 9) Frank L. Fire, “Combustibility of Plastics”, VAN NOSTRAND REINHOLD, pp. 145-147, 1991.
- 10) 박수영, 이우석, 여한승, 임홍순, “샌드위치패널 단열재의 연기농도 및 연소독성가스에 대한 실험적 연구(연소챔버법)”, 한국화재소방학회 논문지, 제20권 제4호, pp. 26~32, 2006.