

옥외 광고물 소재의 연소특성 평가

엄상용 · 김경진* · 이수경**†

혜천대학 소방안전관리과, *(주)한국소방엔지니어링 R&D센터, **서울과학기술대학교 에너지안전공학과

Evaluation of Combustion Characteristics of Outdoor Advertisement Materials

Sang-Yong Eom · Kyoung-Jin Kim* · Su-Kyung Lee**†

Department of Fire Safety Management, Hyecheon University

*Korea Fire Protection Engineering R&D Center

**Department of Energy Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology

(Received September 4, 2012; Revised October 12, 2012; Accepted October, 2012)

요 약

상층 및 인접건물로의 연소확대 위험성이 있는 옥외 광고물 소재의 연소특성을 평가하였다. 본 연구에서는 UL 94와 ASTM D 2863에 따라 난연성과 한계산소지수를 평가하였다. 난연성 평가결과, 포맥스가 V-0의 높은 난연성을 보이는 반면 다른 시료들에서는 등급외의 난연성을 보였다. 한계산소지수 평가 결과에서도 포맥스의 한계산소지수가 가장 높았다. ISO 5660-1에 따라 콘칼로리미터를 이용하여 연소특성을 평가하였으며, 콘칼로리미터 시험결과 옥외 광고물 소재들은 화재확대 예방에 취약하다는 것을 알 수 있었다. 플렉스의 착화시간이 가장 빨랐으며, 특히 아크릴판은 최대 열방출을 뿐만 아니라 총 방출열량 또한 다른 소재들에 비해 높았다.

ABSTRACT

Combustion characteristics of outdoor advertisement materials were evaluated for fire risk assessment about fire expanding. At this study, the flame retardancy and the limiting oxygen index (LOI) was measured by UL 94 and ASTM D 2863 respectively. At the result of flame retardancy, foamex was V-0 grade and those of others were out of grade. LOI measurement showed that the LOI of foamex was highest in the samples. The cone calorimeter test was done by ISO 5660-1 to find the combustion characteristics. The cone calorimeter test showed that the outdoor advertisement materials were not good to prevent of fire expanding. The time to ignition (TTI) of flex was the fastest and the peak heat release rate (PHRR) as well as the total heat release (THR) of acrylic panel was higher than those of others.

Keywords : Outdoor advertisement, Flame retardancy, Limiting oxygen index, Cone calorimeter

1. 서 론

옥외 광고물 등 관리법(법률 제10466호)에 따르면, 옥외 광고물은 상시 또는 일정기간 계속하여 공중에게 표시되어 공중이 자유로이 통행할 수 있는 장소에서 볼 수 있는 것으로서 간판·입감판·현수막·벽보·전단 및 기타 이와 유사한 것을 말한다. 이러한 옥외 광고물은 상점 등을 알려주는 본래의 기능적인 측면 이외에 도시환경 측면에서 아름답고 쾌적한 분위기를 조성해 주는 심미적인 면도 중요하다⁽¹⁾.

이미 많은 선진국에서 친환경 및 에너지 절약을 위해 각종 규제가 시행되고 있는 반면, 우리나라의 경우 무질서한

불법 옥외 광고물의 설치로 본래의 기능적 측면과 도시환경 측면에서 많은 문제가 발생하고 있으며, 화재소방 측면에서도 많은 취약점을 안고 있다. 특히, 옥외 광고물 내부에 설치된 전기시설에서의 전기합선, 누전 등에 의해 전기 화재가 발생할 가능성이 매우 높으며, 상가 밀집 지역에서는 옥외 광고물이 상층 및 인접 건물로의 연소확대를 가속화하는 매개체가 될 수 있다. 또한 옥상에 설치되어 있는 대형 광고물은 지상에 비해 훨씬 강한 바람을 맞는 만큼 태풍 등에 의해 광고물이 지상으로 추락할 경우 인명피해를 동반하는 대형사고 유발 가능성이 크며, 대형화재가 발생할 경우 옥상을 통해 인근 건물로 불길이 확산될 위험마저 안고 있다.

† Corresponding Author, E-Mail: lsk@seoultech.ac.kr
TEL: +82-2-970-6374, FAX: +82-2-977-9703

ISSN: 1738-7167
DOI: http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.5.079

Table 1. Specification of Experimental Materials

Experimental materials	Component	Type	Thickness (mm)	Weight* (g)	Density (g/cm ³)
Acrylic panel	Acrylic resin	Board	1.25	15.63	1.25
Foamex	Expanded PVC	Board	2.00	13.40	0.67
Flex	PVC resin+Additives (stabilizer, plasticizer, etc.)	Sheet	0.85	8.75	1.03
Banner fabric	Polyester	Sheet	0.25	2.21	0.88

* Size (mm): 100×100.

한편, 유럽국가를 중심으로 백열등의 사용을 규제하고 친환경 조명소재의 사용을 적극 권장하는 상황에서 최근 발광원으로 가장 많이 주목받고, 사용되는 것이 바로 LED (발광다이오드, Light Emitting Diode)이다. LED는 1일 12시간 사용 시 수명이 10년 이상 보장되며 소비전력도 타 제품에 비해 현저하게 적고 저전압으로 감전이나 화재의 위험도 적다. 따라서, 옥외 광고물에 의한 화재확대 위험성을 감소시키기 위해서는 이러한 소재의 발전과 함께 관련법의 개정 및 강력한 적용 또한 필요하다고 생각한다.

우리가 통상 주변에서 쉽게 볼 수 있는 옥외 광고물에는 간판, 입간판, 현수막 및 에어라이트(air light) 등이 있으며 그 형태 및 소재가 다양한 만큼 화재특성 또한 매우 다양하다. 옥외 광고물의 소재로 철재, 목재 등이 사용되기도 하나 가공 편의성 및 경제성 등의 이유로 플라스틱 및 친 형태의 고분자 물질(Acrylic, Polyester, PVC, PET 등)이 주로 사용된다.

고분자 물질은 연소하기 쉬운 재료로서 급속한 화염전파, 높은 열방출율, 다량의 연기발생 등 화재 위험성 측면에서 다른 물질에 비해 상대적으로 많은 문제점을 안고 있다⁽²⁻⁴⁾. 이러한 고분자 물질에 대한 화재 위험성을 평가하기 위해 콘칼로리미터(cone calorimeter)를 이용한 열방출율(HRR, Heat Release Rate) 등에 관한 연구^(5,6)와 독성 연소생성물에 대한 연구^(6,7)가 지속적으로 진행되어 오고 있으며, 특히 플라스틱 단열재 및 내장재 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다⁽⁶⁻¹⁰⁾.

본 연구에서는 일반적으로 많이 사용되는 옥외 광고물의 소재를 선정하여 연소특성 평가실험을 수행하였다. 소재의 난연성 평가 및 점화원(전기 스파크) 유무에 따른 착화특성과 열발생 특성을 분석하였으며, 피난 및 소화활동 저해요인인 연기발생 특성 등을 분석하여 옥외 광고물의 화재위험성을 평가하였다.

2. 실험

2.1 실험재료

앞서 기술한 바와 같이 현재 시중에 사용되고 있는 옥외 광고물의 소재들은 종류가 매우 다양하나 본 연구에서는 간판, 입간판, 현수막 및 에어라이트에 일반적으로 많이

사용되고 있는 아크릴판(acrylic panel), 폼엑스(foamex), 플렉스(flex) 및 현수막천(banner fabric) 등 총 4가지 재료

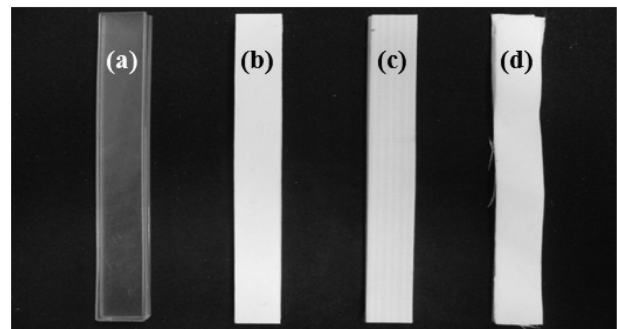


Figure 1. Experimental materials of UL 94 test; (a) Acrylic panel, (b) Foamex, (c) Flex, and (d) Banner fabric.

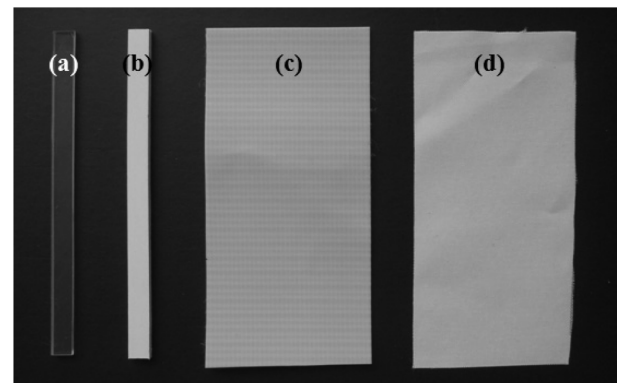


Figure 2. Experimental materials of ASTM D 2863 test; (a) Acrylic panel, (b) Foamex, (c) Flex, and (d) Banner fabric.

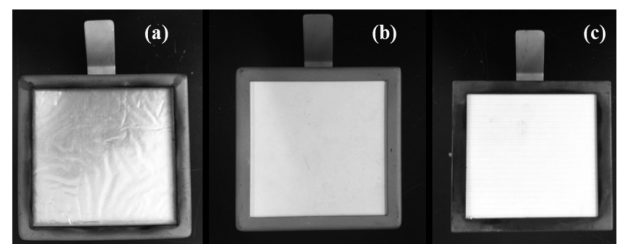


Figure 3. Experimental materials of ISO 5660-1 test; (a) Acrylic panel, (b) Foamex, and (c) Flex.

를 선정하였다. 포맥스와 플렉스는 특정회사의 상품명이나 현재는 업계에서 일반적으로 통칭하는 제품명으로 사용되고 있다. 시료의 기본적인 특성은 Table 1에 제시하였으며, 포맥스의 경우 PVC를 발표한 제품으로 밀도가 상대적으로 낮다.

난연성 및 한계산소지수(LOI, Limiting Oxygen Index), 열방출을 측정 등의 평가를 위해 기준 규격 크기^(3,11)로 준비한 시료의 사진을 Figure 1~3에 제시하였다.

2.2 실험장치 및 방법

난연성 평가는 UL 94 규격에 따라 실험을 수행하였다. Figure 1과 같이 준비한 시료(127×65 mm)를 난연성 평가 장비인 UL Flame Retardance(FTT, Fire Testing Technology, Korea)에 거치한 후 메탄가스에 의한 불꽃을 20 mm 길이로 10초 동안 시료 하단 중앙에 댄다. Burning이 30초 이내에 꺼지면 불꽃을 10초 동안 다시 대고 burning과 glowing 시간을 측정한다. 측정된 잔진시간 및 잔염시간 등의 값을 기준표에서 찾아 난연등급을 구분한다.

한계산소지수는 Limited Oxygen Index 2005(페스텍 인 터내셔널, Korea)를 이용하여 ASTM D 2863에 따라 평가하였다⁽³⁾. Figure 2와 같이 준비한 시료를 질소와 산소가 공급되는 세워진 투명 유리관에 설치한 후 점화기를 이용하여 15~20 mm의 불꽃으로 점화한다. 연소시간이 3분 이상이거나 연소 길이가 50 mm 이상이 되는데 필요한 최저 산소유량으로부터 산소 지수를 구하였다.

실험의 신뢰성을 높이기 위하여 각각의 실험은 5번씩 측정하여 가장 높은 값과 낮은 값을 배제하고, 나머지 3개 값을 평균하여 사용하였다.

ISO 5660의 Part 1 시험방법^(3,11)을 기준으로 국내 FESTECS사에서 제작한 콘칼로리미터를 사용하여 실험재료의 착화시간(TTI, Time to Ignition), 최대 열방출율(PHRR, Peak Heat Release Rate), 총 방출열량(THR, Total Heat Release), 연기발생율(SPR, Smoke Product Rate) 등의 화재변수들을 측정하였다. 옥외 광고물과 같은 외부구조물의 경우 직접적인 복사열의 영향이 적을 것으로 판단되어 열유속은 20, 25 kW/m²로 선정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 난연성 평가

UL 94V에 의한 연소성 시험은 수평시험체 표면의 연소 특성을 평가하는 시험방법과 달리 시험체를 수직으로 고정시킨 후 화염을 하단부에 접촉시켜 시험체의 착화시간 및 잔염, 잔진시간 등을 확인하는 시험으로 수직화염의 전 과정을 측정하는 시험이다.

옥외 광고물의 소재별 난연성을 평가한 결과를 Table 2에 제시하였다. 아크릴판, 플렉스, 현수막천의 경우 시료가 남지 않을 정도로 잘 타서 등급외의 난연성을 보이는 반면

Table 2. Results of Flame Retardancy and LOI Test

Experimental materials	Flame retardancy	LOI (%)
Acrylic panel	Burn out	17.3
Foamex	V-0	42.0
Flex	Burn out	23.6
Banner fabric	Burn out	18.8

포맥스는 잔염시간이 0으로 불꽃을 떼자마자 불꽃이 바로 꺼지는 등 V-0 등급의 우수한 난연성을 보였다. 이는 포맥스의 구성성분이 PVC이기 때문으로 판단되며, 김동석⁽³⁾ 등의 결과에서도 난연제를 첨가하여 제조한 플라스틱을 제외하고는 PVC의 난연성이 V-0로 가장 좋았다. 즉, PVC는 비닐기에 난연물질인 염소원소를 포함하므로 다른 플라스틱 소재대비 우수한 난연성을 보이므로 PVC를 구성 성분으로 하는 포맥스의 난연성 또한 우수하다고 할 수 있으며 실제화재시 화염전파가 지연되어 화재확산 예방에 도움이 될 것으로 판단된다.

아크릴판은 다른 연구 결과에서와 같이 등급외의 난연성을 보이며, 플렉스의 경우에는 다양한 물성을 구현하기 위하여 제조시 PVC 이외에 여러 첨가제를 첨가함으로써 이들 첨가제에 의해 난연성이 떨어지는 것으로 보인다.

한계산소지수는 고분자 재료의 연소성 및 난연성을 평가하는 지수로서 재료가 연소를 지속하는데 필요한 최저 농도의 산소수치를 말한다. 따라서 산소지수가 높다는 것은 상대적으로 연소를 지속하는데 많은 산소가 필요하다는 것을 의미하며, 산소의 지속적인 공급없이 일정한 공간 내에서 연소가 발생하였다면 보다 빠른 자기소화가 이루어질 수 있다는 것을 의미한다.

옥외 광고물 화재와 같이 옥외화재의 경우는 실내화재에 비해 산소의 공급이 용이한 편이나, 소재의 난연성을 상대적으로 평가해 보기 위하여 각 시료의 한계산소지수를 측정하였으며 그 결과를 Table 2에 제시하였다. 표에서 보는 바와 같이 주요 성분이 PVC인 포맥스의 한계산소지수가 42.0으로 가장 높았으며, 김동석⁽³⁾ 등의 실험결과에서도 경질 PVC의 경우 41.8, 연질 PVC의 경우 27.2로 다른 플라스틱 소재대비 매우 높았다. 이는 앞서 설명한 UL 94의 난연성 평가결과와 같은 결과로 PVC를 구성성분으로 하는 포맥스가 다른 소재대비 우수한 난연성을 갖고 있음을 의미한다.

다른 소재들의 한계산소지수는 플렉스>현수막천>아크릴판의 순서로 높았으며 현수막천과 아크릴판의 경우 대기 중의 산소농도인 21% 보다도 낮게 나타났다. 이는 낮은 산소농도 조건하에서도 연소가 지속될 수 있음을 의미하는 것으로 화재위험성 측면에서 더 취약함을 의미한다.

3.2 착화시간

착화시간은 재료의 연소성 및 특성을 나타내는 주요인

Table 3. Results of Cone Calorimeter Test Under 25 kW/m² Heat Flux (With Spark Ignition)

Experimental materials	TTI [s]	TTF [s]	Mean HRR [kW/m ²]	Peak		THR [MJ/m ²]
				HRR [kW/m ²]	Time [s]	
Acrylic panel	45	796	171.82	365.95	270	140.5
Foamex	None	-	-	-	-	-
Flex	41	823	53.36	124.37	85	59.0

자이며, 점화원 유무에 따른 착화시간 비교를 위해 전기 스파크가 있는 상황과 없는 상황으로 나누어 진행하였다. 즉, 인접화재에 의한 착화 및 연소확대 취약성을 평가하기 위하여 점화원인 전기 스파크가 없는 상황에서 복사열에 의한 착화시간을 측정하였으며 이를 전기 스파크가 있는 상황과 비교 평가하였다.

모든 시료에서 전기 스파크 없이 20, 25 kW/m²의 복사열만 가했을 때 10분 이상 착화되지 않은 상태로 지속되며 탄화되었다. 일반적으로 복사열이 10~20 kW/m²일 때 고체가연물의 착화가 일어나는 것으로 알려졌으나⁽⁸⁾ 본 실험에 사용된 시료의 경우에는 얇은 가연물로서, 시간이 경과하면서 발생한 열분해 가연성 가스의 양이 유염착화 되기에는 부족한 상태였으며 두께가 얇아 가해진 열의 손실이 큰 것으로 생각 된다. 즉, 시료들은 서서히 열분해 되면서 탄화되었고 착화되지는 않았다.

Table 3에 점화원이 있는 경우 즉, 인접화재에 의해 발생한 복사열과 옥외 광고물 내부의 점화원(전기합선이나 누전 등에 의한 스파크)에 의한 착화 위험성 평가결과를 나타내었다. 포맥스는 25 kW/m²의 열유속 하에서 점화원이 있음에도 착화가 되지 않는 것을 확인할 수 있었고 이는 앞서 난연성 평가결과와 동일한 경향을 보인다. 즉, 포맥스의 경우 PVC라는 구성성분에 의해 난연성을 발휘함을 알 수 있었다.

아크릴판과 플렉스에서는 약 40여 초가 경과한 후 착화가 되었으며 플렉스가 아크릴판에 비해 더 빨리 착화 되는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 착화시간에 차이가 발생하는 것은 재료별 표면처리방식이나 구성성분의 차이로 인해 복사열 노출시 제품마다 열분해 속도의 차이가 발생하기 때문이다.

3.3 열방출 특성

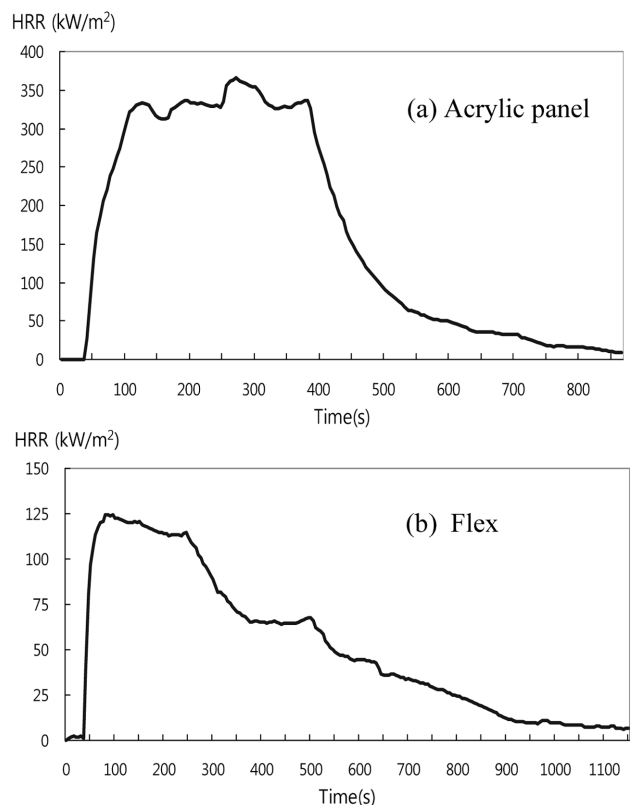
각종 재료의 열방출 특성은 화재의 성장과 전파에 직접적인 영향을 미치고 있으므로 정확한 열방출율의 측정과 분석이 중요한 요소로 인식되고 있다⁽⁵⁾.

Table 3에 시료의 평균 열방출율, 최대 열방출율, 총 방출열량 등을 비교하여 나타내었다. 현수막천은 실험을 진행하기에 시료가 너무 얇아 생략하였으며, 포맥스의 경우 앞선 실험결과에서 알 수 있듯이 양호한 난연성을 나타내므로 열방출 특성 실험은 25 kW/m² 열유속 하에서 아크릴판과 플렉스를 비교 평가하였다.

최대 열방출율은 시료 표면적당 발생한 가장 큰 순간적인 열량의 크기로, 플렉스가 최대 열방출율에 도달하는 시간은 짧았으나 아크릴판의 최대 열방출율이 약 360 kW/m² 이상으로 플렉스의 약 3배였다. 이는 연소시 화재의 확대위험이 더 큰 재료임을 나타내는 것이다.

일반적으로 밀도가 낮은 실험재료에 비해 밀도가 높은 재료의 최대 열방출율과 총 방출열량이 크게 나타나는데⁽⁵⁾ 본 실험에서도 밀도가 낮은 플렉스보다 아크릴판의 최대 열방출율 및 총 방출열량이 높게 나타났다. 또한 같은 단위면적당 재료의 질량이 클 경우 총 방출열량도 증가하는데 이는 실험재료가 일단 착화되면 지속적으로 연소되므로 총 방출열량도 증가하는 것이다.

Figure 4에 아크릴판과 플렉스의 시간에 따른 열방출율 변화를 나타내었다. 플렉스의 열방출율은 착화 후 급격히 상승하여 100초 내에서 최대값을 나타내고 서서히 감소하는 반면, 아크릴판은 약 80~400초 동안 300~400 kW/m²

**Figure 4.** Change of HRR as a function of time.

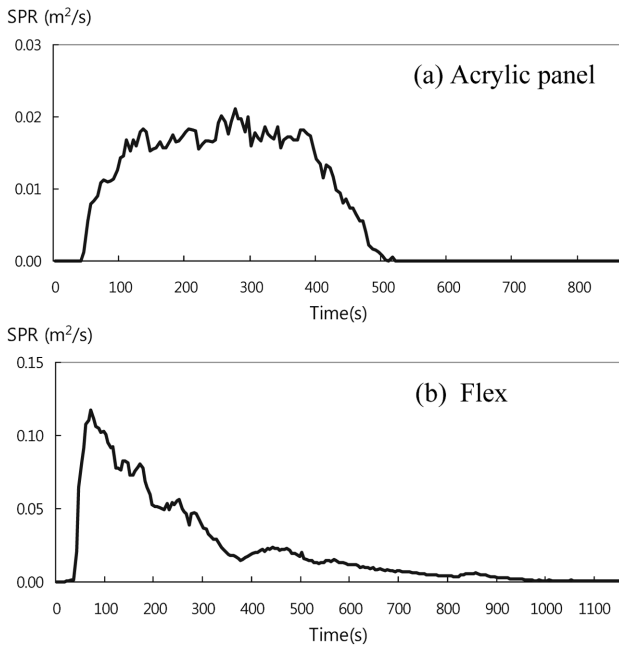


Figure 5. Change of SPR as a function of time.

부근에서 일정한 열방출율을 지속하다가 이후 급격히 감소하는 경향을 보인다.

이는 앞서 설명한 바와 같이 플렉스보다 아크릴판에서 최대 열방출율이 더 크고, 300 kW/m² 이상의 높은 방출율이 지속됨에 따라 총 방출열량 또한 더 큼을 알 수 있다.

3.4 연기 발생 거동

Figure 5에 아크릴판과 플렉스의 시간에 따른 연기발생율을 비교하였다. 시간경과에 따른 연기발생율은 열방출율의 경우와 같은 경향의 그래프를 보인다. 즉, 플렉스는 착화 후 급격히 상승하여 100초 내에서 최대값을 나타내고 서서히 감소하는 반면, 아크릴판은 약 80~400초 동안 일정한 연기발생율을 지속하다가 이후 급격히 감소하는 경향을 보인다.

그러나, 앞서 열방출율 실험의 결과와 다른 점은 열방출율의 경우 아크릴판의 최대 열방출율과 총 방출열량이 더 컸던 것에 비해 연기발생율은 플렉스가 아크릴판에 비해 6배 이상 컸다. 다른 연구⁽³⁾ 결과에서도 다른 플라스틱 소재대비 아크릴의 최대 열방출율이 컸으며, 특히 총 방출열량은 가장 큰데 비해 최대 연기밀도는 가장 낮았고 그 값은 일반 목재보다도 낮은 값이었다. 이러한 원인은 플렉스의 경우 경화제, 가소제 등의 첨가제가 다량 함유되어 이들 첨가제에 의해 많은 연소가스가 발생하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

옥외 광고물에 주로 사용되는 소재들의 연소특성을 평

가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) UL 94 난연성 평가결과 포맥스가 V-0의 매우 양호한 난연성을 보이는 반면, 나머지 시료들은 V-2에도 미치지 않는 성능을 보였다.

(2) 한계산소지수는 포맥스가 42.0으로 다른 시료들에 비해 상대적으로 높았으며 플렉스>현수막천>아크릴판의 순으로 높게 나타났다.

(3) 접화원이 없는 경우 20, 25 kW/m²의 복사열만 가했을 때 착화되지 않고 탄화되었으며, 25 kW/m²의 복사열 및 접화원이 있는 경우 아크릴판, 플렉스의 착화시간은 약 40여 초였다.

(4) 아크릴판의 최대 열방출율 및 총 열방출율은 플렉스의 경우보다 컸으며, 일정시간 지속됨을 알 수 있었다.

(5) 시간에 따른 연기생성율의 그래프는 열방출율의 경우와 유사한 경향을 보였으나, 플렉스의 연기생성율이 아크릴판에 비해 6배 이상 컸다.

참고문헌

1. M. J. Song, "Analysis on the Current Cityscapes in Korea and Their Problems", Journal of the Korea Contents Association, Vol. 8, No. 5, pp. 134-144 (2008).
2. S. G. Lee, "High Temperature Properties of Polymer Materials in Building Fire", Journal of Korean Architects, Vol. 136, No. 6, pp. 4-19 (1980).
3. D. S. Kim, J. S. Lee, Y. H. Jin, J. S. Lee and S. Y. Kim, "A Study on the Combustion Characteristics of Construction Materials", Fire Insurers Laboratories of Korea (2010).
4. B. S. Moon, N. S. Kim, N. W. Lee and S. D. Seol, "Evaluation of Fire Hazard about Polymer Materials Under High Temperature", Proceedings of 2005 Autumn Annual Conference, Korean Institute of Industrial Safety, pp. 407-412 (2005).
5. K. W. Lee and K. E. Kim, "Fire Characteristics of Plastic Insulating Materials from Cone Calorimeter Test", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 17, No. 1, pp. 76-83 (2003).
6. B. W. Lee, S. P. Kwon, J. W. Lee, B. H. Lee, H. S. Kim and H. J. Kim, "Evaluation of the Burning Properties of Various Carpet Samples by using the Cone Calorimeter and Gas Toxicity Test", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 23, No. 6, pp. 1-9 (2009).
7. N. W. Cho, D. H. Lee and E. H. Oh, "A Toxicity Evaluation for the Toxic Gases of Building Finish Materials", Journal of Korean Oil Chemists Society, Vol. 29, No. 1, pp. 129-140 (2012).
8. K. H. Oh, Y. Y. Choi and S. E. Lee, "A Study on the Combustion Characteristics of Wall Paper", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 21,

- No. 1, pp. 90-97 (2007).
9. B. W. Lee, J. W. Lee, S. H. Sakong, H. S. Kim, B. H. Lee and H. J. Kim, "Burning Tests for Interior Flooring Materials", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 22, No. 2, pp. 30-37 (2008).
 10. H. P. Lee and Y. T. Kim, "A Study on the Fire Risk of Car Interior Materials", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 24, No. 2, pp. 82-88 (2010).
 11. ISO 5660-1, "Reaction to Fire Tests - Heat Release, Smoke Production and Mass Loss Rate - Part 1 : Heat Release Rate (Cone Calorimeter Method)", ISO (2002).
 12. H. P. Lee and Y. J. Park, "A Study on Fire Characteristics of Carpet and Curtain Treated or Untreated with Flame Retardant", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 21, No. 1, pp. 74-81 (2007).