난연소재와 일반소재 알루미늄복합패널의 연소특성 비교에 관한 실험적 연구 An Experimental Study on Combustion Characteristics of Aluminum Composite Panels for Flame Retardant and General Materials

민세홍 · 윤정은*[†] · 김미숙*

Se-Hong Min · Jung-Eun Yun*[†] · Mi-Suk Kim*

가천대학교 공과대학 소방방재공학과, *가천대학교 화재소방과학연구소
(2012. 2. 14. 접수/2012. 4. 2. 수정/2012. 4. 13. 채택)

요 약

본 연구에서는 건축외장재로 많이 사용되고 있는 알루미늄복합패널의 일반재와 난연재에 대한 화재성능 비교분석에 관해 연구하였다. 실험방법은 중소형 실험장치 중 콘칼로리미터 실험과 SBI(Single Burning Item)를 적용하여 분석하였다. 그 결과 콘칼로리미터 실험에서 최대 열방출률이 일반 알루미늄복합패널은 1,293 kW/m²(75 kW/m²), 난연 알루미늄복합패널은 70 kW/m²(75 kW/m²)가 측정되었다. SBI 실험에서 화재확산지수가 일반 알루미늄복합패널은 약 743 W/s이고 난연 알루미늄복합패널은 약 97 W/s의 값이 측정되었다. 이는 일반 알루미늄복합패널의 경우 건축물 내장재의 성능기준에서 난연기준에도 훨씬 못 미치고, 플래쉬 오버(Flash over) 발생 가능성을 나타내었다. 따라서 이러한 알루미늄복합패널의 화재 위험성을 평가하여 외장재로서 사용 시 갖춰야 할 조건에 대한 기준마련이 시급히 요구된다.

ABSTRACT

In this research, aluminum composite panels of the general materials and fire retardant materials as building claddings make researches about fire performance comparison analysis. Test methods of the small and medium cone calorimeter experiments and SBI (Single Burning Item) experiments was applied to the determination. As a result, in the experiments peak heat release rate cone calorimeter the general aluminum composite panel 1,293 kW/m² (75 kW/m²), flame-retardant aluminum composite panel 70 kW/m² (75 kW/m²) was measured. In the SBI experiments fire growth rate the general fire aluminum composite panel is approximately 743 W/s and the flame-retardant aluminum composite panel is approximately 97 W/s of the value were measured. Thus, a standards enactment are urgently required in this case it is used as building claddings of the aluminum composite panel by fire risk assessment.

Key words : Exterior fire, Vertical flame, Aluminum composite panel, Cone calorimeter test, SBI (Single Burning Item)

1. 서 론

현재 국내에는 건축물의 내·외장재로 알루미늄복합패널이 많이 사용되어지고 있다. 이 중 내장재로 사용되는 경우에 한하여 건축물 실내마감재료의 난연성능평가 방법 및 기준¹⁾에 의해서 규제되어지고 있다. 하지만 외장재로 사용되는 알루미늄복합패널은 내장재와 같은 평가기준 없이 무분별하게 건축물에 적용하고 있다.

지난 2010년 10월 1일 부산 해운대 우신골든스위트 지상 4층에서 처음 발생한 불은 외장재인 알루미늄복합패널의 폴리에틸렌에 전이되면서 30분이 채 지나지 않아 38층인 옥상까지 화재가 급속히 확산되었다.²⁾ 부산 우신골든스위트에 시공된 외장재인 알루미늄복합패널은 폴리에틸렌수지(2~3 mm)에 2장의 알루미늄 박판(0.5 mm × 2)을 접합시킨 샌드위치 구조의 복합패널로서, 화재 시 외장재 패널의 알루미늄을 용융시키고 내부에 인화성이 강한 폴리에틸렌수지에 쉽게 착화되면서 빠르게 상부로 연소확대 되었음을 선행 연구에서

[†] E-mail: bumpy1226@hanmail.net

확인한 바 있다.³⁻⁵⁾ 이처럼 외장재의 규제 없이 무분별하게 사용되는 한 이와 같은 피해는 피할 수 없을 것이다.

본 연구에서는 이러한 초고층빌딩의 건설에 앞서 건축 외장재로 많이 사용되고 있는 알루미늄복합패널에 의한 화재의 위험성을 평가하고자 알루미늄복합패널의 심재를 일반과 난연으로 나누어서 실험을 진행하였으며 실험은 중·소형 실험으로서 콘칼로리미터 실험과 SBI(Single Burning Item, EN 13823)를 진행하였다.

2. Cone Calorimeter Test (ISO 5660-1)

2.1 실험장치 구성

국내 표준규격 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터법 연소능시험기준의 의거한 한국건설생활환경시험연구원의 Figure 1의 장치로 실험을 하였다.

본 실험장비는 콘형태의 복사 전기히터, 시편의 질량측정을 위한 무게측정장치, 시편홀더, 산소분석장치, 유량측정장치가 부착된 배출시스템, 스파크점화회로, 열유속 측정기, 교정용버너와 데이터 수집을 위한 분석시스템으로 구성된다.

실험 시간은 시편에 지속적인 불꽃연소가 시작될 때부터 시험시간 30분에 추가데이터 기록시간 2분을 합하여 32분간 기록되었다.

성능평가요소는 착화시간(TTI, Time to ignition), 열방출률(HRR, Heat release rate), 질량감소율(MLR, Mass loss rate), CO, CO₂ 생성량 등이 측정된다.⁶⁾

2.2 실험조건

시편은 심재가 폴리에틸렌인 일반 알루미늄복합패널과 난연 알루미늄복합패널 2가지 종류의 알루미늄복합패널을 적용하였다. Table 1에 실험에 적용한 시편의

Figure 1. ISO 5660-1 test.

Table 1. Information of Specimens

Type	Materials of Inside	Size (Wide × High × Thickness) [mm]
Aluminum Composite Panels (General)	Polyethylene	100 × 100 × 50
Aluminum Composite Panels (Retardant)	Polyethylene containing flame retardants	100 × 100 × 50

Table 2. Conditions of Fire Test

No.	Heat Flux	AL TYPE	Test Number
Test 1	25 (kW/m ²)	General	C1-1
		Retardant	C1-2
Test 2	50 (kW/m ²)	General	C2-1
		Retardant	C2-2
Test 3	75 (kW/m ²)	General	C3-1
		Retardant	C3-2

사양을 나타내었다.

시편의 크기는 (가로 100 mm) × (세로 100 mm) × (두께 50 mm) 크기로 시편방향은 수평으로 하여 총 3회 실험을 진행하였다.

복사강도(Heat flux)는 저강도 25 kW/m²(Test 1), 표준 50 kW/m²(Test 2), 고강도 75 kW/m²(Test 3)를 적용하였다. 실험조건은 Table 2에 정리하였다.

2.3 실험결과

실험 결과 데이터 중 최대 열방출률(Peak Heat Release Rate), 평균 열방출률(Average Heat Release Rate), 총 방출열량(Total Heat Release), 착화시간(Time to

Table 3. Results of the Test

	Test 1		Test 2		Test 3	
No.	C1-1	C1-2	C2-1	C2-2	C3-1	C3-2
Peak HRR [kW/m ²]	6	8	644	8	1293	70
Average HRR [kW/m ²]	3	3	66	2	113	26
THR [MJ/m ²]	6	6	77	4	116	52
TTI [sec]	0	0	428	0	162	329

ignition)을 정리하여 Table 3에 정리하였다. 일반 알루미늄복합패널과 난연 알루미늄복합패널은 그 값에서 큰 차이를 보였으며, Test 1의 복사강도 25 kW/m^2 인 경우는 2종류의 알루미늄복합패널 모두 착화되지 않았다.

2.3.1 열방출률(HRR, Heat release rate)

앞에서 설명한 바와 같이 Test 1은 복사강도가 저강도 25 kW/m^2 로 알루미늄복합패널이 착화에 이르지 못하여 데이터값을 측정할 수 없었다. 이에 Test 2와 Test 3의 열방출률값을 비교 분석하여 Figure 2, Figure 3에 나타내었다. Test 2의 복사강도 50 kW/m^2 에서는 일반 알루미늄복합패널(C2-1)의 경우 428초에서 착화 후 열방출률이 급격히 증가하였으며, 최대 열방출률은 644 kW/m^2 로 측정되었다. 하지만 난연 알루미늄복합패널의 경우는 착화되지 않았다.

Test 3의 복사강도 75 kW/m^2 에서는 일반 알루미늄복합패널(C3-1)의 경우 162초에서 착화 후 열방출률이 급격히 증가하였으며, 최대 열방출률은 $1,293 \text{ kW/m}^2$ 가 측정되었다. 난연 알루미늄복합패널은 329초에 착화하였으며, 최대 열방출률은 70 kW/m^2 로 착화 후에도 열방

Figure 2. Heat release rate(Test 2).

Figure 3. Heat release rate(Test 3).

Figure 4. Total heat release(Test 2).

Figure 5. Total heat release(Test 3).

출률의 변화가 미미하였다.

2.3.2 총방출열량(THR, Total heat release)

Test 2와 Test 3의 시간 변화에 따른 총 열방출량을 Figure 4, Figure 5에 나타내었다. Test 2의 경우 일반 알루미늄복합패널(C2-1)은 총 방출열량이 77 MJ/m^2 이 측정되었으며, 난연 알루미늄복합패널(C2-2)은 4 MJ/m^2 이 측정되었지만 이는 결과 데이터값이 아닌 복사강도에 의해 측정된 열량 값으로 판단된다.

Test 3는 일반 알루미늄복합패널(C3-1)의 경우 총 방출열량이 101 MJ/m^2 이 측정되었으며, 난연 알루미늄복합패널(C3-2)은 5.6 MJ/m^2 가 측정되었다.

3. Single Burning Item(EN 13823)

3.1 실험장치 구성

SBI(Single burning item)는 유럽 EN 13823 기준의 의거하여 한국건설생활환경시험연구소의 실험장비로 진행하였다.

SBI 실험장비는 실험실, 실험장치(시편설치대, 프레임, 버너, 후드, 연기포집기 및 덕트), 연기배기시스템,

Figure 6. SBI test equipments-1.

Figure 7. SBI test equipments-2.

주 측정시스템으로 구성된다. Figure 6과 Figure 7에 SBI의 실험 장치를 나타내었다.

SBI는 콘칼로리미터 실험과 같은 산소소비원리를 이용한 방식으로 서로 직각을 이루는 2개의 시편으로 ‘ㄱ’ 형태의 시편코너 바닥에 설치하고, 프로판 가스를 이용한 방출열량 30 kW를 가하여 20분 동안 시편의 성능평가가 실시된다. 그러나 선행연구결과 방출열량 30 kW에서는 알루미늄복합패널이 착화가 어려우므로 방출열량을 100 kW로 적용하였다.

300초 후 메인버너가 점화되고 1500초까지 실험에 의한 데이터가 기록된다. 실험 종료 후 60초 동안 간 염소화를 추가로 기록하면 실험은 종료된다.

성능평가의 요소는 화재확산지수(FIGRA, Fire growth rate), 총방출열량(THR, Total heat release), 측면화염 전파여부(LFS, Lateral flame spread), 연기성장률

(SMOGRA, Smoke growth rate), 총연기생성량(TSP, Total smoke production) 등을 측정한다.⁶⁾

3.2 실험조건

콘칼로리미터 실험과 동일하게 시편은 심재가 폴리에틸렌인 일반 알루미늄복합패널과 난연 알루미늄복합

Table 4. Information of Specimens

Type	Materials of Inside	Size (Wide × High × Thickness) [mm]
Aluminum Composite Panels (General)	Polyethylene	500 × 1500 × 110
Aluminum Composite Panels (Retardant)	Polyethylene containing flame retardants	500 × 1500 × 110

Figure 8. Detail view of the SBI general specimen(EN 14509).

패널 2가지 종류의 알루미늄복합패널을 적용하였다. Table 4에 실험에 적용한 시편의 사양을 나타내었다.

시편의 크기는 단시편부 (가로 495 ± 5 mm) $\times$ (세로 $1,500 \pm 5$ mm) $\times$ (두께 110 mm)이고 장시편부는 (가로 $1,000 \pm 5$ mm) $\times$ (세로 $1,500 \pm 5$ mm) $\times$ (두께 110 mm)로 실제 시공 상태와 동일하게 시편을 제작하였다. 가열조건은 방출열량 100 kW을 적용하였다. 실험은 각각 3회씩 시행하였다. Figure 8은 표준시편의 상세도이다.

Table 5. Results of the Test

	Unit	Aluminum Composite Panels (General)	Aluminum Composite Panels (Retardant)
FIGRA _{0.4MJ}	[W/s]	743	97
Peak HRR _{30s}	[kW]	330	70
THR _{600s}	[MJ]	60	5
TSP _{600s}	[m ²]	273	65
SMOGRA	[m ² /s ²]	23	4

3.3 실험결과

실험 결과 데이터 중 화재확산지수(FIGRA), 최대열 방출률(PHRR), 600초 동안의 총 방출열량(THR) 및 총 연기생성률(TSP), 연기발생지수(SMOGA)를 정리하여 Table 5에 나타내었다.

3.3.1 화재성상

Figure 9는 일반 알루미늄복합패널의 실험이다. 실험 시작 후 30초에 외장재 표면에 점화가 된 후 700초를 지나면서 내부의 심재가 모두 연소하고 화염의 크기가 최대가 되었다. 실험종료 후의 모습에서 보는 바와 같이 패널은 천공을 이루면서 안의 심재가 급격히 연소됨을 확인할 수 있었다.

Figure 10은 난연 알루미늄복합패널의 실험으로 일반 알루미늄복합패널과는 다른 연소패턴을 확인할 수 있었다. 일반 알루미늄복합패널이 700초에 최성기 도달했지만 난연 알루미늄복합패널은 1,000초를 지나면서 내부의 심재가 일부 연소함을 보였다. 화염의 크기 또한 일반알루미늄복합패널과 비교하여 작음을 알 수 있었다. 실험종료 후의 모습은 천공이 이루어지지 않

Figure 9. Fire behavior of SBI test(aluminum composite panels-general).

Figure 10. Fire behavior of SBI test(aluminum composite panels-retardant).

았으며, 외부 코팅처리 부분만 제거되고 표면에만 그 을음 형태로 나타났다.

3.3.2 열방출률

Figure 11에 일반 알루미늄복합패널과 난연 알루미늄복합패널의 열방출률을 나타내었다.

일반 알루미늄복합패널의 경우 약 550초에서 열방출률이 급격히 증가함을 확인할 수 있다. 최대값은 879초에서 330 kW/m^2 를 나타내었다. 이에 반해 난연 알루미늄복합패널은 약 600초에서 서서히 증가하여 약 1,065초에서 최대값인 70 kW/m^2 를 나타내었다.

3.3.3 화재확산지수

시간에 따른 열방출률의 순간 가속도인 화재확산지수는 화재확산속도를 알 수 있다. Figure 12는 화재확산지수 결과 데이터 그래프이다.

화재확산지수 값이 600 W/s 초과하면 플래쉬 오버(Flash over)가 발생한다는 연구결과가 있다.⁷⁾ 실험결과,

Figure 11. Heat release rate (SBI).

Figure 12. Fire growth rate (FIGRA).

일반 알루미늄복합패널에서의 최대 화재확산지수는 약 743 W/s , 난연 알루미늄복합패널은 97 W/s 의 값을 나타내어 플래쉬 오버가 발생할 600 W/s 를 일반 알루미늄복합패널은 초과하였다.

4. 결 론

2010년 10월 2일 발생한 부산 해운대 골든스위트 화재사례에서 알 수 있듯이 일반 알루미늄복합패널의 경우 외벽으로 확산된 화재의 경우 짧은 시간에 최상층까지 화재가 확산됨을 알 수 있다. 본 연구에서는 중·소형실험을 통하여 알루미늄복합패널의 일반재와 난연재의 화재에 대한 성능을 비교·분석하였다. 본 연구를 통해 도출된 결과는 다음과 같다.

(1) 콘칼로리미터 실험결과 일반 알루미늄복합패널의 최대 열방출률이 복사강도 50 kW/m^2 일 때 644 kW/m^2 , 복사강도 75 kW/m^2 일 때 $1,293 \text{ kW/m}^2$ 로 나타났다. 난연 알루미늄복합패널은 복사강도 50 kW/m^2 일 때 착화되지 않았으며, 복사강도 75 kW/m^2 일 때 70 kW/m^2 가 측정되었다.

(2) 총방출열량은 일반 알루미늄복합패널이 복사강도 50 kW/m^2 일 때 77 MJ/m^2 , 복사강도 75 kW/m^2 일 때 101 MJ/m^2 이 측정되었으며, 난연 알루미늄복합패널이 복사강도 50 kW/m^2 일 때 착화되지 않았으며, 복사강도 75 kW/m^2 일 때 5.6 MJ/m^2 이 측정되었다.

(3) 일반알루미늄복합패널 실험결과 건축물 실내 마감재료의 난연성능평가의 기준에서 난연재에도 훨씬 못 미치는 값에 해당한다. 하지만 난연 알루미늄복합패널의 경우는 준불연재 또는 난연재의 성능을 보였다.

(4) SBI 실험을 통하여 화재의 성상이 일반 알루미늄복합패널의 경우 화염이 급속히 진행됨을 확인하였으며 화재확산지수는 약 743 W/s 로 플래쉬 오버(Flash over) 발생 가능성을 나타내었다. 이에 반해 난연 알루미늄복합패널은 화재의 확산속도가 일반 알루미늄복합패널에 비해서 서서히 진행되었으며, 화재확산지수는 약 97 W/s 의 값을 나타내었다.

(5) 위와 같은 결과에도 불구하고 일반재 알루미늄복합패널을 건축물 외장재로 사용할 경우, 외벽의 수직확산을 방지할 수 있는 시스템의 적용도 적극적으로 검토되어야 하겠다.^{8,9)}

이상과 같은 본 연구 결과로 알루미늄복합패널의 일반재와 난연재의 화재 위험성에 대한 특징을 분명하게 확인할 수 있었는 바, 외장재로서 갖춰야 할 조건에 대한 기준마련과 더불어 그 기준에 적합한 안전성이 확보된 제품의 개발과 보완이 시급히 요구된다.

감사의 글

이 논문은 소방방재청 2010차세대핵심소방안전기술 개발사업 지원에 의한 결과임(사업단, 한국소방산업기술원).

참고문헌

1. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs No.2009-866(2009).
2. http://www.fpn119.co.kr/data/fpn119_co_kr, Fire Prevention News, No.541.(2010).
3. S.H. Min and J.E. Yun, "A Study on the Modeling Vertical Spread Fire of Exterior Panel by Fire Dynamic Simulation (FDS)", J. of the Korea Safety Management & Science, Vol.11 No.2, pp.77-85 (2009).
4. S.H. Min, J.E. Yun, M.S. Kim, and S.B. Choi, "A Study on the Fire Characteristics of Aluminum Composite Panel by Large Scale Calorimeter", J. of Korea Institute of Fire Sci. & Eng., Vol.24, No.2, pp.89-96(2010).
5. J.E. Yun, "A Study on the Upper Combustion Expansion of Aluminum Composite Panel by Fire", Kyungwon University of Master's thesis(2009).
6. S.H. Min and M.S. Kim, "A Study on the Fire Risk Assessment of EIFS by Cone Calorimeter Test & Single Burning Item Test", J. of the Korea Safety Management & Science, Vol.12, No.1, pp.1-9 (2010).
7. K.W. Park and H.S. Im. etc., "Study on Correlation between Flashover and Smoke Production Rate in Real Scale Reaction-to-fire Test", J. of Korea Institute of Fire Sci. & Eng., Vol.23, No.2, pp.289-296(2009).
8. S.H. Min, M.S. Kim, Y.J. Jang, J.C. Sa, Y.J. Bae, and J.M. Lee, "A Study on the Development of a Head for Prevent the Fire Spread of Exterior", J. of Korea Institute of Fire Sci. & Eng., Vol.26, No.1, pp.113-119(2012).
9. S.H. Min, J.E. Yun, J.S. Sun, S.H. Jeong, C.H. Chea, and S.J. Kim, "Research for the Configuration of the Outside Sprinkler System", J. of Korea Institute of Fire Sci. & Eng., Vol.26, No.1, pp.102-112(2012).