

화재시 커튼월 프레임 최적설계조건 도출을 위한 실험적 연구

김형준 · 김정현 · 김홍열 · 이재승 · 임현창
한국건설기술연구원, 한남대학교, 포항산업과학연구원

An Experimental Study on the Optimum Design Conditions of Curtain-wall Flame in Fire

Kim, Hyung Jun · Kim, Jung Hyun · Kim, Heoung Youl · Lee, Jae Sung ·
Lim Hyun Chang

Korea Institute of Construction Technology, Hannam University, Research
Institute of Industrial Science & Technology

요 약

본 연구에서는 국외 커튼월 내화 Code인 EN 13830, EN 13501-1, EN 1364-3을 사용하여 알루미늄과 스틸프레임에 대해 화재시 최적설계조건 도출을 위한 실험을 실시하였다. 현재 국내 커튼월의 내화 법규는 2008년 ‘내화 충전구조 세부 운영지침’에서 조인트 부분에 대해서만 내화규정이 정립되어 있다. 따라서 본 연구에서는 EN 13830과 그 하위법을 이용하여 알루미늄과 스틸 커튼월의 최적설계조건 도출을 위한 실험을 실시하였다. 실험 결과 차열성은 알루미늄 커튼월과 스틸 커튼월의 성능시간이 각각 10분 26분으로 약 16분의 차이가 발생하였고, 차열성은 알루미늄 커튼월과 스틸 커튼월이 최고온도에서 6분과 9분으로 약 3분 정도의 차이를 보였고 평균온도에서는 9분, 24분으로 약 15분의 차이를 보였다. 그리고 복사열은 성능기준 $15\text{Kw}/\text{m}^2$ 를 통과하는데 알루미늄 커튼월은 16분 스틸 커튼월은 24분을 기록하였다.

1. 서 론

고층화·경량화·건식화로 대변되는 현대 건축의 흐름속에서 커튼월은 매우 중요한 건축적 요소가 되고 있다. 주로 상업용 건물에 적용이 국한되었던 커튼월은 최근 고층 주상복합 건물이 크게 늘어나면서 주거용 건물의 외복으로도 널리 이용되고 있다. 공장 생산, 현장 조립 등의 시공 효율성과 거불어 건물 형태의 유연성 및 기능과 미적 가치를 동시에 확보해 줄 수 있다는 장점으로 대부분의 고층 상업용 건물에 커튼월 적용이 일반화되어 있다. 현재, 고층 건축물에서는 압출 성형을 통해 원하는 형상으로 자유로운 가공이 가능하며, 경량으로 유닛화 시공이 용이한 알루미늄을 프레임으로 하는 알루미늄 유닛 시스템

커튼월이 많이 사용되고 있다. 반면, 스틸 커튼월은 알루미늄 커튼월이 높은 층고에 사용될 때 별도의 스틸 프레임이 필요한데 비해 스틸 자체의 높은 강도와 강성 때문에 별도의 프레임 없이 사용이 가능하여 공사비를 절감하고 시야를 확보할 수 있다는 장점을 갖는다. 특히, 스틸 커튼월은 건축물의 초고층화로 인해 대형화재로부터의 인명손실에 대한 저감 및 건축물의 화재안전성의 측면에서 유리하여 그 사용성이 증가될 것으로 판단된다. 유럽에서 스틸커튼월의 내화성능이 기존 알루미늄 커튼월에 비해 그 성능이 매우 우수하다는 장점이 스틸커튼월에 대한 수요를 증가시키는 중요한 인자이다.

본 연구에서는 EN 13830과 그 하위법을 이용하여 알루미늄과 스틸 커튼월의 최적설계 조건 도출을 위한 실험을 실시하였다.

2. 기술동향

현재 국외에서 커튼월 내화 실험에 사용되고 있는 내화 Code로는 독일(Raico사, Stabalux사)의 EN 13830, 스위스(Forster사)의 DIN 4102, 미국(TGP사)의 ASTM E-119, 영국(Wright style사)의 BS 476 등을 볼 수 있다. 이번 연구에서는 독일과 스위스에서 가장 널리 사용하고 있는 EN 13830의 Code를 분석하였다. EN 13830은 건축물 내화 범규 기준에서 가장 큰 상위 법이며 다음 표는 언급하고 있는 하위 Code에 관한 내용을 간략히 정리한 것이다.

표 1. EN Code 종류 및 Details (EN 13830)

내용	Details			
CODE 종류	EN 12153	공기투과성 실험	ENISO 140-3	풍하중에 의한 소음 측정 실험
	EN 12155	수밀성 실험	ENISO 717-1	풍하중에 의한소음측정실험2
	EN 12179	풍하중 실험	EN 1991-1-1	층격, 자중에 대한 건물의 반응
	prEN13119	용어정리	EN13501-2	내화실험
	EN12600	진동 실험	PrEN13947	열전도 현상
내화 조건	E-차염성 (integrity)	화재에 의해 구조물이 어느정도 변형없이 견딜수 있으나에 따른 것이며, 가장 중요한 조건임		
	I-차열성 (Thermal insulation)	열전달없이오직한쪽면에불을노출시켜견뎌내는것으로건물요소의능력을하느냐에관한것임		
	W-복사열 (Radiation)	열로부터 사람을 보호하기 위함을 위한 것임.		
실험보고서	제품 설명, 실험체, 구조물 유형, 참고코드, 재료, 실험체 도면, 제작사, 실험실, 실험방법, 실험결과			

EN 13830에서 제시한 내화조건으로는 차염성, 차열성, 복사열으로 나뉘게 된다. 커튼월의 경우 이를 측정하는 방법에 대해서는 세부법인 EN 1364-3에서 다음과 같이 제시하고 있다.

EN 1364-3이 제시하고 있는 평가기준은 크게 3가지(DIN EN1363-1에 명시됨)로 요약된다. 그 첫 번째 평가기준은 차염성(E:Integrity)에 관한 실험으로 시험체의 비가열면에

cotton pad를 설치하여 내부 화염에 의한 외부의 화염발생 시간을 측정하는 방법과 gap gauge를 사용하여 시험체의 균열 사이즈를 검토하는 방법, 그리고 비가열면의 화염발생 시간 및 특이사항을 측정하는 방법으로 요약된다.

두 번째 평가기준인 차열성(I:Thermal insulation)은 비가열면에서 초기온도에서부터 각 열전대의 평균온도가 140℃ 증가하거나, 초기온도에서부터 특정한 하나의 열전대가 180℃ 증가했을 때 시간을 측정한다. 세 번째 평가기준인 복사열(W:Radiation)은 실험체의 중앙에서 비 가열면으로부터 1m 떨어진 위치에서 측정하게 되어 있으며 15Kw/m2이상 증가하였을 때의 시간을 기록하게 되어있다. 마지막으로 내화조건에는 포함이 되지 않으나 실험도중 커튼월 제품이 화재에 노출될 때 발생할 수 있는 취약부분에 대한 변형은 밀리언의 경우 ±5mm, 트랜섬의 경우 ±25mm 로 정해져 있으며 기준이상으로 변형이 발생하게 되면 실험을 중단토록 하였다.

3. 실험계획

본 연구에서는 상기에서 언급한 EN 13830과 그 하위법을 이용하여 내화 실험을 실시하였다. 알루미늄과 커튼월의 성능 비교를 위하여 각 1회씩 실시하였으며, 실험여건상 커튼월의 내부실험과 외부실험을 따로 하지 않고 내부실험만을 실시하였다.

차열성 측정도구인 Cotton pad의 경우 상기에서 제시한 부착형 Cotton pad 대신 이동형 Cotton pad를 사용하였다. 차열성 측정도구인 열전대는 각 지정위치마다 총 19개를 사용하였으며, 복사열 측정도구인 Vertical Furnace Heat Flux Measuring System을 실험체 비가열면으로 부터 1m떨어진 곳에서 사용하였다. 마지막으로 평가기준에 들어있지 않지만 실험조건중 하나인 변화량을 측정하기 위하여 Static Measuring System을 사용하였다. 세부사항으로는 노 내 초기온도는 26.5℃이며 기압은 5.8Pv 상태에서 실시하였다.

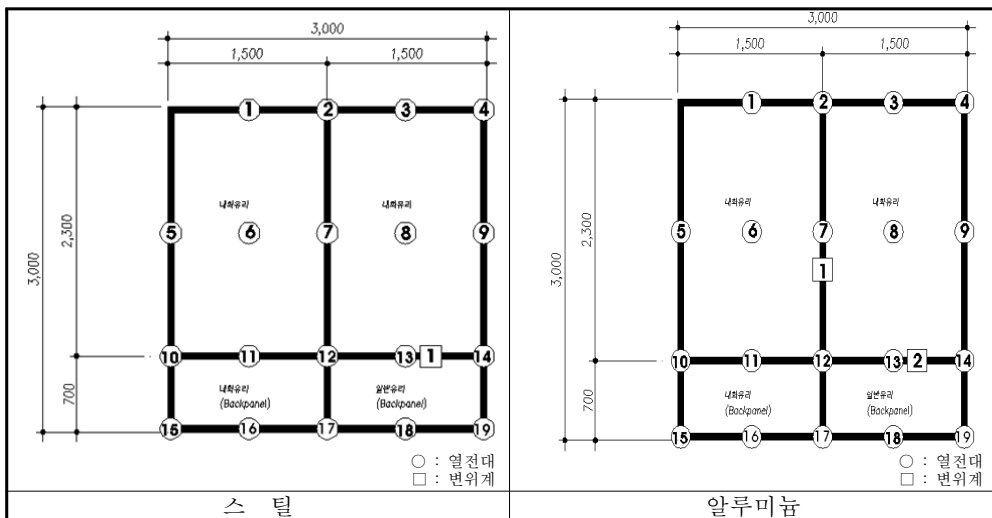


그림 1. 시험체 도면 및 측정도구 위치

그림 1은 알루미늄 커튼월과 스틸 커튼월의 도면 및 측정도구 위치를 나타낸 것이다. □는 변위계의 위치를 나타낸 것이며 ○는 열전대의 위치를 나타낸 것이다. 알루미늄 실험시 변위계는 중앙 멀리언의 변화량과 우측 중간부 멀리언의 변화량을 측정하기 위해 2 곳에 설치 하였으며, 스틸 실험시 변위계는 트랜섬 변화량만을 측정하였다. 실험 전 예측한 멀리언 부분의 좌굴의 변형이 예상과 달리 화염방향으로 진행되어 변위계손실로 인해 DATA값을 구할 수 없었기 때문에 스틸 커튼월에는 트랜섬 방향에만 변위계를 부착하였다.

4. 실험결과

차염성에 관한 평가는 Cotton pad의 화염 발생시간 측정이거나 Gap gauge를 통한 균열 측정, 비가열면의 화염 및 특이사항 발생 시간 측정이 있다. Cotton pad의 경우 실험체 외부에 특이사항이 발생하기 전까지 측정을 하였으나 화염이 발생하지 않았다. 다음 표 2는 알루미늄과 스틸 커튼월의 시간에 따른 특이사항에 대해 정리한 것이다.

표 2. 시간에 따른 시험체 비 가열면 특이사항

시간	스틸	알루미늄
5	-	프레임 상부 연기누출
6	오른쪽 패널에 검은 얼룩 발생	프레임 하부 연기누출
7	프레임 상부의 연기누출	오른쪽 하부 패널에 검은얼룩 발생
8	프레임 하부의 연기누출	-
9	멀리언중앙부의 좌굴발생	-
10	오른쪽 패널에 틈 발생	면의 좌굴에 의한 실리콘부분에 불이 붙음
11	-	오른쪽 패널 틈 발생
12	오른쪽 하부 패널의 검은 얼룩이 외부로 노출	-
13	오른쪽 하부패널 완전히 검게 변함	왼쪽 하부패널에 연기가 차오름
14	-	프레임, 유리 전면에 좌굴의 진행 및 전체 실리콘이 녹아 내림
15	왼쪽 하부패널 내부 쪽에 불이 붙음	유리 전면 곳곳에 검은얼룩 발생
17	왼쪽 하부패널의 불이 크게 번짐	중앙부 멀리언이 녹아내리기 시작함
18	-	왼쪽 패널 밑부분에서 화재발생
19	왼쪽 패널 녹기 시작함	-
20	-	왼쪽 상부 트랜섬 녹아내림
22	-	트랜섬, 멀리언 교차부에 불이 붙음
23	실리콘이 녹아내림, 왼쪽 패널 100% 녹아내림, 커튼월 유리면이 부풀기 시작함	왼쪽패널이 녹기 시작함
25	-	상부프레임 내부가 녹아 벌어짐
26	상부에서 백색가루날림, 왼쪽상부 프레임부분의 유리가 일부분 깨져 떨어져나감, 오른쪽 패널 녹기 시작함	-
27	-	왼쪽상부유리의 파괴
28	커튼패드사용(중앙부, 오른쪽 중앙), 오른쪽 패널 50%이상 녹아내림	실험종료
31	커튼패드 왼쪽 중앙부에 사용, 양유리 모두 휘어짐.	
34	트랜섬의 불이 멀리언으로 옮겨 불기 시작함.	
47	왼쪽 유리 상부부분이 프레임과 분리되기 시작.	-
52	왼쪽상부유리의 파괴	
53	실험종료	



그림 2. 스틸커튼월과 알루미늄 커튼월의 차열성능 비교

그림 2는 알루미늄 커튼월과 스틸 커튼월의 차열에 대한 성능을 비교한 사진이다. 스틸 커튼월의 경우 실험 시작 후 약 26분 후 커튼월의 상부 프레임과 왼쪽 유리 Joint부분에서 박리가 발생하였으며 약 52분 후 왼쪽 유리가 파괴되면서 실험을 종료하였다. 알루미늄 커튼월의 경우 약 10분 후 멀리언 중앙부에서 실린트에 화염이 발생하였고 약 28분 후 왼쪽 상부 유리가 파괴되면서 실험을 종료하였다.

실험 결과에 따라 스틸 커튼월은 약 7분에 상부에서 연기가 누출되었으며, 알루미늄 커튼월은 약 5분에 상부에서 연기가 누출되어 2분의 차열성능 차이가 발생되었다. 연기는 구조체 내부에서 발생한 연기가 수직 멀리언의 내부 공간을 따라 외부로 누출되었다.

표 3. 스틸커튼월과 알루미늄 커튼월의 차열성

	성능기준		측정결과	
	스틸커튼월 차열성	평균온도	166.5 °C이하	167 °C
	최고온도	206.5 °C이하	217 °C(내화유리)	9분
알루미늄커튼월 차열성	평균온도	166.5 °C이하	170.8 °C	9분
	최고온도	206.5 °C이하	217 °C(AL프레임)	6분

표 3은 알루미늄 커튼월과 스틸 커튼월의 시간에 따른 온도를 보여준다. EN 13830에 따른 차열성능의 경우는 초기 시작온도(26.5°C)로부터 각 열전대의 평균온도가 140°C이상 증가할 때의 시간과 최고 온도가 180°C이상 증가하였을 때의 시간을 그 평가 기준으로 적용한다. 열전대 평균온도가 166.5°C를 증가한 시간이거나 최고 온도가 206.5°C를 증가하였을 때의 시간이 평가 결과가 된다.

스틸 커튼월의 경우 평균온도는 23분 뒤 166.5°C이상 증가하였으며 최고온도는 9분 뒤 206.5°C이상 증가하여 스틸 커튼월의 차열성능은 9분이었다. 알루미늄 커튼월의 경우 평균온도는 9분 뒤 166.5°C이상 증가하였으며 최고온도는 6분 뒤 206.5°C이상 증가하여 알루미늄 커튼월의 차열성능은 6분이었다.

표 4. 스틸커튼월과 알루미늄 커튼월의 복사열

시험항목	측정결과	
스틸커튼월 방열성	15.39kW/m ²	24분
알루미늄커튼월 방열성	15.39kW/m ²	16분

표 4는 알루미늄 커튼월과 스틸 커튼월의 시간에 따른 복사열이다. 복사열의 기준은 15Kw/m² 이상 증가하였을 때의 시간이 평가 결과가 된다. 스틸의 경우 실험 시작 후 약 24분 뒤 15Kw/m² 이상 증가하였고 알루미늄의 경우 실험 시작 후 약 16분 뒤 15Kw/m² 이상 증가하였다. 다른 실험과 달리 약 10분 정도 차이를 보인 이유는 알루미늄의 열전도율이 약 5배정도 높은 측면을 볼 수 있다. 또한 스틸과 달리 구조체의 균열에 의해 열이 지속적으로 방출되고 가열면에 화염이 발생하여 복사열에 영향을 준 것이다.

평가기준에서 속해있지 않지만 밀리언의 경우 ±0.5mm, 트랜섬의 경우 ±2mm이상 변위가 생기면 실험을 중단하게 되어있다. 스틸의 측정은 실험시작 약 30초 뒤 변위계가 파손되어 Date값을 얻지 못하였다. 알루미늄의 경우 5분 뒤 밀리언은 -0.6mm의 변위가 생겼으며 트랜섬은 6분 뒤 -2mm의 변위가 생겨 실험 시작 후 5분까지의 Date값이 평가 기준이 되었다.

5. 결론 및 논의

현재 국외에서 사용되고 있는 커튼월 내화 Code(EN 13830, EN 13501-2, EN 1364-3)를 분석하여 스틸 및 알루미늄커튼월 내화실험 진행하였다.

- 알루미늄커튼월은 측정결과 차염성 5분, 차열성 6분, 복사열은 16분으로 나타났고, 스틸커튼월의 경우는 차염성 7분, 차열성 9분, 복사열은 24분으로 나타났다.
- 스틸커튼월은 52분경과시 왼쪽 유리가 떨어져 나가며 실험이 종료되었고 알루미늄커튼월은 27분에 왼쪽상부 유리가 파괴되며 실험이 종료되었다. 즉 스틸프레임이 알루미늄 프레임보다 약 25분정도 파괴가 지연되는 것으로 나타났다.
- 이러한 내화실험 결과 차염성의 경우 시험전 가열로와 커튼월 사이의 GAP에 대한 완벽한 충전이 필요하고, 차열성은 커튼월에 사용되는 방화유리에 대한 검토 및 스틸 커튼월의 경우 방화유리가 보강된다면 내화성능이 더 개선 될것으로 판단된다. 마지막으로 복사열은 방화유리와 실린트의 종류에 따라 방열성능이 개선될 수 있을것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업으로 수행된 “(11주요)구조물 성능기반 화재거동 해석 및 설계기술연구” 과제와 관련되어 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 송승영 “커튼월 앵커부의 단열성능 향상” 대한건축학회지 제 47권/Vol.47 No.9, pp40-43(2003)
2. 이재승,조봉호,임현창(2010), “커튼월 내화성능에 관한 고찰”, 강구조학회지, Vol 22, No. 5 , pp.14-18
3. EN 13830 (2003), “curtain walling. Product standard”