내장용 판재 및 루버의 연소발열특성 연구

남동군[†] · 김성찬*

한국소방산업기술원, *경일대학교 소방방재학과

A Study on the Burning Characteristics of Interior Boards and Louvers

Dong-Gun Nam[†] · Sung-Chan Kim*

Korea Fire Institute

*Dept. of Fire Safety, Kyungil University

(Received January 20, 2014; Revised March 26, 2014; Accepted April 17, 2014)

요 약

건축물의 성능위주 소방설계의 활용성 및 신뢰성을 향상시키기 위해서는 다양한 화재실험 및 조사 등을 통해 가연물의 연소특성에 관한 광범위하고 다양한 데이터베이스가 필요하다. 본 연구에서는 건축물의 성능위주 소방설계에 활용하기 위해 건축물의 내장용 판재 2종과 내장용 루버 3종을 대상으로 연소시험을 실행하여 연소발열특성 등을 파악하였다. 또한 내장용 판재는 그 두께에 따라 최대열방출률 등 연소발열특성에 차이가 발생할 가능성이 있으므로 판재의 두께에 따라 연소시험을 수행하였다. 실험결과 내장용 판재 및 루버의 단위연소량당 평균발열량은 15.3 MJ/kg~16.9 MJ/kg이었고, 내장용 판재의 평균최대열방출률과 평균최대이산화탄소 농도는 판재의 두께에 따라 차이가 있는 것이 확인되었다.

ABSTRACT

It is necessary to enhance its availability and reliability of performance based fire design of building with various type of database such as experiments, survey and fire properties and so on. In order to utilize to the performance based fire design, the present study has been performed a series of experiments to investigate the burning characteristics of building materials for two types of interior board and three types of interior louver. The burning test has been also conducted for different thickness because it may show different characteristics of burning behavior such as flame spread rate and flame propagation time. The result shows that the effective heat release per unit mass of interior materials were almost constant with 15.3~16.9 MJ/kg regardless of its thickness while the peak heat release rate and maximum CO₂ concentration was varied with thickness.

Keywords : Fire safety design, Heat release rate, Total heat release, Building material

1. 서 론

2009년 1월 특정소방대상물의 성능위주 소방설계의 시행은 기존의 사양 규정의 설계기법을 탈피하고 건물의 형상, 사용 목적 등에 부합하는 소방설계가 가능하며 소방방재 신기술을 적용할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 특히 성능위주설계의 대상인 30층 이상의 고층건축물은 도시경쟁력 향상 등의 차원에서 지속적으로 건립되고 있으며 이러한 고층건축물을 대상으로 성능위주설계가 활발히 적용되고 있다. 그러나 성능위주설계의 신뢰성 및 활용성을 향상시키기 위해서는 다양한 실험 및 조사 등을 통해 연소물성 등 광범위하고 다양한 데이터베이스가 필요하지만 화재실험 및 현장실태조사의 제한성 등으로 인해 부족한

상황이다. 한편 건축물의 합리적인 화재안전설계를 수행하기 위해서는 화재규모를 예측하기 위한 고정가연물의 최대열방출률이 중요한 인자이므로, 시험을 통한 고정가연물의 측정 결과값을 합리적으로 화재안전설계에 반영할 필요가 있다. 그러나 기존 연구에서는 고정가연물의 종류에 따른 열방출률을 측정된 사례가 있지만^(1,2), 고정가연물의 두께를 고려한 실험사례가 거의 없다. 특히 고정가연물의 두께가 얇을 경우에는 연소진행과정에서 공기공급량이 순간적으로 증가하기 때문에 최대열방출률에 영향을 미칠 가능성이 있지만⁽³⁾, 이 가능성에 대해 실험 등을 통해 검증한 사례가 없다.

따라서, 본 연구에서는 건축물의 성능위주 소방설계에 활용하기 위해 건축물의 고정가연물을 대상으로 연소시험

[†]Corresponding Author, E-Mail: nam@kfi.or.kr
TEL: +82-31-289-2944, FAX: +82-31-289-2944

을 실행하였다. 연소시험에서는 콘칼로리미터시험기를 사용하여 고정가연물인 내장용 판재와 내장용 루버를 가열하여 연소발열특성 및 유해가스특성을 측정하였다. 또한 연소시험에서는 내장용 판재의 두께에 따른 연소발열특성 및 유해가스특성을 비교 및 분석하기 위해 내장용 판재의 두께를 다르게 하여 각각 가열하였다.

2. 연소시험 개요

2.1 개요

시험은 KS F ISO 5660-1⁽⁴⁾기준에 의거하여 콘칼로리미터 시험기를 이용하여 실행하였다. 시험에서는 전기 콘히터로 내장재의 시편을 가열하여 자연발화를 유도하고 산소소모법에 의해 열방출률 등을 측정하였다. 콘칼로리미터

시험의 주된 특징은 초기화재시 외부 가열에 의한 열방출률, 발열량 등의 관계가 정량적으로 얻을 수 있는 점이다.

2.2 시편 개요

시편의 종류 및 특성 등을 Table 1에 나타내었다. 판재의 종류는 건축물의 신타조사로 입수한 자료와 건축물의 사양서를 토대로 선택하였다. 시험은 일반 시중에 유통되는 내장용 판재와 내장용 루버로 구분하여 실행하였다. 시편으로 사용한 합판과 MDF는 가구재, 칸막이 및 벽체 내부의 판재로 주로 사용되고, 루버는 주로 인테리어용으로 사용된다.

2.3 시험 조건 및 측정항목

시험에서는 콘칼로리미터시험기의 전기 콘히터로 방사열 50 kW/m²로 형성하여 시편을 수평으로 놓은 상태에서 상부면을 가열하였다. 콘히터 하단과 시편 상단의 거리가 25 mm이므로 시편은 25 mm의 거리에서 방사열을 지속적으로 받게 된다. 시험에서는 시편의 연소시 발생하는 연소가스를 분석하여 산소소모법에 의해 열방출률을 산정하고 유해가스농도(CO, CO₂) 등을 측정하였다.

2.4 시험 방법

시험에서는 내장용 판재와 루버의 종류에 따라 각각 3번 실행하였다. 또한 시험에서는 내장용 판재의 두께에 따른 연소발열특성을 파악하기 위해 건축물 내부에 보편적으로 사용되는 내장용 판재의 두께 3종류를 선택하여 실행하였다. 시편은 내장재를 가로 100 mm × 세로 100 mm의 크기로 절단하여 3개씩 제작하였다.

Table 1. Summary of the Interior Material for Fire Testing

Test NO.	Interior Materials		Thickness (mm)	Mass (g)
1	Interior Board	Plywood	6	31
2			9	50
3			12	65
4		MDF (Medium Density Fiberboard)	6	38
5			9	50
6			12	69
7	Interior Louver	Douglas Pine	9	38
8		Wrapping	9	53
9		Red Pine	12	68

Table 2. Summary of the Burning Characteristics of the Interior Material using ISO-5660 Test Method

Test NO.	Materials	Thickness (mm)	Initial Mass (g)	20 Minutes after Ignition			Average Heat Release Rate (kW/m ²)				Average of Maximum CO Concentration (%)	Average of Maximum CO ₂ Concentration (%)	Average of Maximum Smoke Density (1/m)
				Average Total Heat Release (MJ/m ²)	Average Burning Mass (g)	Average THR per Burning Mass (MJ/kg)	The First Peak	Time (s)	The Second Peak	Time (s)			
1	Plywood	6	31	57	30	16.6	272	43	441	148	0.015	0.821	1.448
2		9	50	76	46	14.5	220	35	209	323	0.013	0.357	0.528
3		12	65	95	58	14.4	254	35	298	440	0.014	0.504	0.818
4	MDF	6	38	74	38	16.8	243	40	469	183	0.018	0.848	1.774
5		9	50	87	48	16.0	285	37	238	353	0.013	0.415	1.114
6		12	69	109	62	15.5	316	37	245	538	0.016	0.522	1.409
7	Douglas Pine Louver	9	38	65	36	15.8	170	33	171	345	0.008	0.271	0.405
8	Wrapping Louver	9	53	84	48	15.3	332	42	209	378	0.024	0.494	3.513
9	Red Pine Louver	12	68	116	61	16.9	233	32	234	550	0.008	0.364	1.526

시험에서는 난연처리되지 않은 내장용 판재와 루버를 사용하였는데, 일반적으로 난연 판재의 최대열방출률은 비 난연 판재보다 작아진다. 따라서 시험에서 측정한 내장용 판재와 루버의 최대열방출률을 건축물의 화재안전설계에 보수적 수치로 활용할 수 있다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 총발열량 측정결과 및 분석

각 실험의 총발열량 및 열방출률을 Table 2에 나타내었다. Table 2에는 가열 개시 후 20분의 재료의 단위연소량당 발열량을 나타내었는데, 단위연소량당 발열량은 연소시 발생하는 적산발열량을 연소량으로 나누어 산정하였다. 이때 적산발열량과 연소량은 모든 실험에서 가열 개시 후 20분에 화염이 없는 상태에서 혼소하였으므로 가열 개시 후 20분의 결과 값을 적용하였다.

Table 2를 보면 단위연소량당 평균발열량은 내장용 판재가 14.4 MJ/kg~16.8 MJ/kg로 나타났다. 상세하게 살펴보면, 합판의 단위연소량당 평균발열량은 14.4 MJ/kg~16.6 MJ/kg이고, MDF의 단위연소량당 평균발열량은 15.5 MJ/kg~16.8 MJ/kg이었다. 두께 6 mm 합판의 시험 1의 초기 질량과 연소량을 보면 시편이 거의 전소 상태인 것을 알 수 있는데, 이때 단위연소량당 평균발열량이 16.6 MJ/kg로 가장 크다. 또한 두께 6 mm MDF의 시험 4가 전소 상태에서 단위연소량당 평균발열량이 16.8 MJ/kg로 최대로 나타났다으며, 합판과 MDF의 연소시 단위연소량당 평균발열량의 최대값이 거의 동일한 것으로 나타났다.

Table 2를 보면 내장용 루버의 단위연소량당 평균발열량은 15.3 MJ/kg~16.9 MJ/kg로 나타났다. 평균연소율은 미송루버가 95%, 램프루버와 홍송루버가 약 90%인 것을 보면 미송루버의 열분해 속도가 다른 루버보다 빠른 것을 알 수 있다.

내장용 판재 및 루버의 평균연소량과 평균발열량의 상관관계를 Figure 1에 제시하였는데, 평균연소량과 평균발열량은 상관관계가 아주 높은 것으로 나타났다. 평균연소량과 평균발열량은 합판과 MDF가 99% 정도의 상관을 갖고 내장용 루버가 98%의 상관을 나타내었다.

3.2 열방출률 측정결과 및 분석

열방출률 곡선을 Figure 2에 나타내었다. Figure 2를 보면, 모든 실험에서 열방출률의 피크가 2개 형성되며, 열방출률이 1차 상승하고 일정시간 후에 2차 상승하는 것이 보인다. 이것은 시편 앞면의 표면적 전체가 착화되면서 열방출률의 1차 피크가 발생되고, 그 후에 시편 내부로 점차적으로 연소되고, 시편 두께만큼 연소한 후에 시편 뒷면의 표면적이 전체적으로 점화되면서 열방출률 2차 피크가 발생하였기 때문이다⁽³⁾. 또한 합판의 열방출률을 보면 실험 1의 2차 피크가 1차 피크보다 큰데, 이것은 시편의 두께가

(a) Plywood (Test 1 ~ 3)

(b) MDF (Test 4 ~ 6)

(c) Louver (Test 7 ~ 9)

Figure 1. Relationship between burning mass and total heat release for the tested materials.

6 mm로 얇기 때문에 시편 앞면의 표면이 연소한 후에 탄화하면서 각리되고 복사열에 의해 합판이 휘면서 시편 뒤면의 공기공급량이 순간적으로 증가하였기 때문이다.

건축물의 화재안전설계에 합리적인 반응을 염두에 두고 내장재 시편의 두께에 따른 최대열방출률의 관계를 파악하기 위해 합판과 MDF를 대상으로 연소실험을 실행하여 두께에 따른 최대열방출률을 측정하였다. 합판과 MDF의 두께에 따른 최대열방출률을 Figure 3에 제시하였다. 참고로 내장용 루버의 두께에 따른 최대열방출률도 Figure 3에

Figure 2. Time history of heat release rate during burning test (Test 1~9).

제시하였다.

Figure 3을 보면 최대열방출률은 내장재의 두께 6 mm가 400 kW/m^2 이상이고 두께 9 mm, 12 mm가 400 kW/m^2 이하로 두께 6 mm인 경우가 9 mm, 12 mm보다 큰 것을 알 수 있다. 단 내장재의 두께 9 mm와 12 mm의 최대열방출률은 300 kW/m^2 전후로 두께에 따른 큰 차이가 없었다.

3.3 가스농도 측정결과 및 분석

Table 2를 보면 합판의 최대이산화탄소 농도는 두께 6 mm가 9 mm, 12 mm보다 1.8배 정도 크지만, 최대일산화탄소 농도는 두께에 상관없이 거의 유사한 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 MDF의 경우도 동일한 경향을 보인다. 또한 내장용 루버의 일산화탄소 농도는 랩핑루버가 미

Figure 3. Average of peak heat release rate with thickness of the tested sample (Test 1~9).

Figure 4. Time history of gas concentration during the burning test of plywood (Test 2).

송루버와 홍송루버보다 3배 더 큰 수치를 나타내고, 미송루버와 홍송루버가 유사한 수치를 나타내고 있다.

시험 2의 일산화탄소와 이산화탄소 농도를 각각 Figure 4에 제시하였다. 이산화탄소 농도는 열방출률의 곡선 패턴과 동일하게 피크 2개가 발생한 후에 감소하였다. 일산화탄소 농도는 연소 후반기에 지속적으로 증가하였는데, 이것은 시편에 형성된 탄화층으로 인해 혼소하였기 때문이다⁽³⁾.

3.4 최대열방출률과 가스농도의 상관관계 분석

건축물의 화재안전설계에서는 인명 안전 유해성을 판단

Figure 5. Relationship between peak heat release rate and peak CO₂ concentration during the burning tests of interior materials (Test 1~9).

Figure 6. Relationship between peak heat release rate and peak CO concentration during the burning tests of interior materials (Test 1~9).

하기 위해 가연물의 열방출률에서 일산화탄소 및 이산화탄소의 농도를 예측한다. 여기서는 시험에서 측정된 최대 열방출과 최대일산화탄소농도, 최대이산화탄소 농도의 상관관계를 분석하였다.

내장용 판재와 내장용 루버의 최대열방출률과 최대이산화탄소 농도의 상관관계를 Figure 5에 제시하고, 최대열방출률과 최대일산화탄소 농도의 상관관계를 Figure 6에 제시하였다. Figure 5를 보면 최대열방출률과 최대이산화탄소 농도는 상관관계가 아주 높다. 즉 최대열방출률과 최대일산화탄소 농도는 $R^2 = 0.9697$ 로 약 97% 정도의 상관을 갖는 것으로 나타났으며, 아주 높은 관계성을 갖고 있다. 이처럼 상관관계가 아주 높은 것은 최대열방출률이 형성되었을 시점에 완전연소가 일어나므로 이산화탄소 농도가 최대값으로 증가하였기 때문이다. Figure 6을 보면 최대열방출률과 최대일산화탄소농도는 상관관계가 없는 것으로 나타났는데, 이것은 연소 후반기에 목재로 형성된 시편 잔존물이 탄화층을 형성한 상태로 혼소하면서 일산화탄소 농도가 증가하였기 때문이다⁽³⁾.

위와 같은 현상은 목재로 형성된 가연물에서 발생하지만, 고분자화합물로 생성된 가연물은 가열하면 용해하면서 풀연소하므로 연소 후반기에 일산화탄소농도가 증가하지 않을 가능성이 있다. 이 추정에 대해서는 추가 시험을 통해 검증할 필요성이 있으며, 고분자 화합물의 가연물이 연소 후반기에 일산화탄소농도가 증가하지 않을 경우 최대 열방출률에서 최대일산화탄소 농도를 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 론

본 연구에서는 건축물의 성능위주설계에 합리적으로 활용하기 위해 내장용 판재와 루버의 두께를 다르게 하여 연소시험을 실행하고 그 두께 차이에 따른 연소발열특성과 유독가스특성을 분석하였다. 실험에서는 KS F ISO 5660-1에 따라 콘칼로리미터시험기를 사용하여 내장용 판재와 루버를 가열하였는데, 다음과 같은 결과를 얻었다.

내장용 판재의 단위연소량당 평균발열량은 합판이 최대 16.6 MJ/kg이고 MDF가 최대 16.8 MJ/kg이었다. 내장용 루버의 단위연소량당 평균발열량은 미송루버가 15.8 MJ/kg, 랩핑루버가 15.3 MJ/kg이고 홍송루버가 16.9 MJ/kg이었다.

합판과 MDF의 평균최대열방출률은 두께 6 mm일 때 각각 441 kW/m²와 469 kW/m²으로 두께 9 mm, 12 mm보다 큰 것을 알 수 있었다. 이것은 시편의 두께가 6 mm로 얇으면 시편이 탄화하여 각리되기 쉽고 복사열로 휘는 현상이 발생하므로 시편 뒷면의 공기공급량이 순간적으로 증가하였기 때문이다.

평균최대일산화탄소 농도는 두께 6 mm 합판이 0.821%로 12 mm 합판보다 1.6배 정도 크고, 두께 6 mm MDF의 평균최대일산화탄소 농도가 0.848%로 12 mm 두께보다 1.6배 정도 크게 나타났다. 평균최대일산화탄소 농도는 합판과 MDF의 두께와 상관없이 약 0.015%로 거의 유사한 것을 알 수 있었다. 이는 일산화탄소 농도가 두께의 영향보다도 합판이 연소한 후 잔존물이 혼소하는 연소 후반기에 증가하기 때문이다.

최대열방출률과 최대일산화탄소 농도의 상관관계를 분석한 결과에 따르면 약 97% 정도의 상관을 갖는 것으로 나타났으며, 아주 높은 관계성을 갖고 있었다. 이처럼 상관관계가 아주 높은 것은 최대열방출률의 형성시점에 완전연소하므로 이산화탄소농도도 최대치로 증가하였기 때문이다.

후 기

이 논문은 2012년도 소방방재청의 차세대핵심소방안전기술개발사업의 지원을 받아 수행되었으며 관계제위에 감사드립니다(2012-NEMA06-08-0101 0000-2012).

References

1. 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).
2. B. W. Lee, J. W. Lee, S. H. Sakong, H. S. Kim, B. H. Lee and H. J. Kim, "Buring Tests for Interior Flooring Materials", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 22, No. 2, pp. 30-37 (2008).
3. K. Kagiya, Y. Hasemi, A. Hokugo, H. Masuda, T. Harada, A. Miyatake and Y. Hiramatsu, "Investigation of a Large Wooden Gymnasium Fire-its Documentation, Estimation of the Fire Scenario by Experiments and Evaluation of the Structural Properties of Surviving Timber Elements", 2003 International Association for Fire Safety Science, pp. 1153-1155 (2003).
4. ISO 5660-1:2002. Reaction-to-fire tests-Heat release, smoke production and mass loss rate-Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) (2002).
5. D. G. Nam, "Experimental Study on Combustion Characteristics of Live Fire Load in a Bookstore", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. 47-53 (2011).
6. S. H. Min, J. S. Sun, S. C. Kim, Y. M. Choi and S. K. Lee, "A Study on Fire Performance Evaluation of EIFS on Anti-Flaming Finish by Cone Calorimeter Test", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 3, pp. 106-111 (2012).
7. I. H. Yeo, K. H. Park, K. S. Cho, B. Y. Min and B. O. Yoon, "An Experimental Study on the Charring Rate of Solid Sawn Timber Exposed to Fire", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 78-84 (2011).
8. 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).
9. S. Y. Park, D. H. Kim and H. S. Im, "The Experimental Study for the Combustion-Property of Sandwich Panels using ISO 5660 Cone Calorimeter", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 20, No. 4, pp. 33-41 (2006).