

화재시 방화문의 복사열에 관한 실험적 연구 An Experimental Study on the Radiant Heat of the Firedoors in Fire

전준표[†] · 전수민 · 조남욱 · 인기호 · 이동호*

Jun-Pyo Jeon[†] · Soo-Min Jeon · Nam-Wook Cho · Ki-Ho In · Dong-Ho Rie*

한국건설기술연구원, *인천대학교 소방방재연구센터
(2011. 1. 13. 접수/2011. 6. 10. 채택)

요 약

화재시 재산과 인명의 피해를 최소화하기 위하여 건축물의 규모 및 용도에 따라 방화구획을 설치하여 화재 확산을 방지하도록 제도화 되어 있다. 방화구획의 개구부에는 방화문이 사용되며, 이러한 방화문의 성능기준은 국토해양부 고시로 규정되어 있다. 현재 방화문에 대한 국내 기준은 비 차열성능 위주로 되어 있으며 복사열로 인한 화재확산 위험성에 대한 기준은 제시되고 있지 아니하다. 이에 본 연구에서는 방화문의 구조 및 재료별 복사열을 측정하여 복사열에 의한 화재확산 위험성을 확인하고 방화문 성능기준 추가 필요성을 제시하고자 한다.

ABSTRACT

The fire compartments which are composed of fire walls and fire doors for buildings are compulsorily required to minimize the fire damage in Korea. The performance standards of fire doors for compartments are regulated by the notification of the ministry of land, transport and maritime affairs and are mainly about the Integrity of the doors not insulation. In this study, we measured the radiant heat of six different kinds of fire doors in fire and analyzed the results and presented the reasons of the need to consider adding the radiant heat standard for fire doors to the notification.

Key words : Fire door, Radiant heat, Fire compartment, Fire resistance test

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

현대 사회가 발전함에 따라 신개념의 건축자재가 등장하였고, 건축물이 대형화, 고층화 및 복합화 됨에 따라 화재 발생 시 인접건축물로의 화재확산과 인명 및 재산피해 또한 증가하여 대형 화재로 이어질 수 있는 실정이다. 따라서 건축법에서는 내장재료 및 방화구조에 관한 화재안전 기준을 규정하여 운영하고 있으며 용도별, 면적별로 방화구획을 형성하여 화재확산 및 재산피해를 줄이기 위하여 노력하고 있다. 건축법에서 규정한 방화구획은 내화구조의 바닥, 벽으로 일정 규모 이상의 바닥 면적으로 구획되는 안전공간이지만 방화구획에 피난을 위하여 설치되는 방화문은 건축물의 용도에 따라 다양한 크기 및 형태로 개발되어 화재확산

방지 및 피난을 목적으로 방화구획의 중요한 역할을 하고 있다. 2005년 경기도 양주 아파트 화재나 2008년 경기도 용인의 아파트 화재사건 등의 계기로 피난계단의 출입문은 물론 세대 현관문 및 실내문에 대해서도 방화성능을 확보하여 인명피해를 최소화 할 수 있도록 적용하기 위한 제도적인 문제가 야기되고 있다. 따라서 신개념의 건축 자재와 기술의 발달로 다양한 재료를 적용한 방화문이 개발되어 사용하고 있으나, 현재 국내 기준에서 요구하는 방화문의 성능은 1시간 과 30분으로 구분하고 있으며 성능기준은 10초 이상의 불꽃 발생이 없어야하며 일정 기준이상의 균열 및 변형이 없어야 하는 것으로 되어 있다. 이는 화재시 발생하는 고온의 열량이 방화문을 통하여 이면으로 방출되는 복사열에 의하여 화재가 확산 될 수 있는 부분을 고려하지 않은 기준이다. 화재시 발생하는 높은 복사열은 화재확산 및 재실자의 피난에 지장을 줄 수 있으며 화재시 발생하는 복사열의 강도가 2 kW/m^2 를 초과하면 인

[†] E-mail: junha@kict.re.kr

Table 1. Performance Criterion³⁾

성능기준			국내기준
방화문 성능	차열 (炎)성	균열개이지 관통 되지 않을 것	○
		면패드 착화 되지 않을 것	×
		화염발생 없을 것(10초 이상)	○
차열 (熱)성	비 가열면 평균온도	140 °C 이하	×
	비 가열면 최고온도	180 °C 이하	×

간이 생존할 수 있는 시간이 급격히 떨어지며 10~20 kW/m²에 노출 시 가연 물체에 점화를 일으킬 수 있다.¹⁾

현재 국내 방화문의 기준은 [건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙] 제26조에 의거하여 국토해양부 고시 제2010-528호 「자동방화셔터 및 방화문의 기준」에 따라 갑종방화문 및 을종방화문으로 방화문을 구분 하고 있으며 성능기준은 Table 1에서 보는 바와 같이 KS F 2268-1(방화문의 내화시험 방법)에서 규정 한 (이면의 온도는 평가하지 않음) 성능만을 확인하도록 되어 있다.^{2,3)}

현재 방화문의 내화시험 방법에서는 화염의 발생 및 개구부의 발생에 대해서만 평가하고 있으며 시험기준 (KS F 2268-1)에서는 이면(반대면)의 복사열 측정방법은 제시하고 있으나 성능기준이 마련되어 있지 않아 복사열에 의한 화재의 확산 위험성이 매우 심각하다.

따라서 국내사용 중인 방화문에 대하여 내화시험시 측정된 복사열의 data를 활용하여 화재시 재실자의 피난에 영향을 줄 수 있는 피난자의 인내한도와 열에 의해 손상을 받을 수 있는 최소 값과 대조 분석하고 KS F 2268-1(방화문의 내화시험 방법)의 해설에서 참고자료로 언급하고 있는 IMO(International Maritime Organization: 국제해사기구)의 FTP(Fire Test Procedure) Code에서 제시한 유리 구획의 비차열 1시간의 복사열 기준인 56.5 kW/m²의 제한 값과 비교 검토하여 방화문의 성능평가에 추가 할 수 있는 자료로 활용 하고자 한다.⁴⁾

1.2 복사열

복사열은 물체로부터 방사되는 복사에너지의 질량과량은 그 물체의 온도에 의해서만 결정되어 지며 Stefan-Boltzman의 법칙에서는 단위 면적당 발생하는 복사에너지와 절대온도의 4승에 비례한다고 정의 하고 있다.

$$R \propto \sigma T^4 \tag{1}$$

(여기서 R은 복사속밀도, s는 볼쯔만상수, T는 복사 온도)

Table 2. Heat Flux¹⁾

구분	열손상의 최소 값
1.0 kW/m ²	노출 피부에 대한 통증
4.0 kW/m ²	노출 피부에 대한 화상
10~20 kW/m ²	물체의 점화

Table 3. Endurance Limit⁵⁾

구분	피해자의 인내한도
2.27 kW/m ²	12분
2.44 kW/m ²	6분
2.33 kW/m ²	50초간 노출시 아픔을 느낌
11.64 kW/m ²	10초간 노출시 화상

지구 표면에서 태양으로부터 받는 복사열은 약 1 kW/m²로 정의 되고 있으며, Table 2에서 보는바와 같이 1 kW/m²라는 복사열에 노출되었을 시 피부에 대한 통증과 화상을 입을 수 있고 10 kW/m² 이상이면 물체에 점화를 일으켜 화재가 확산될 수 있다.

Table 3은복사열의 강도가 일정시간 지속적으로 노출 될 경우 화상을 입을 수 있는 수치를 나타내고 있다.

2. 시 험

2.1 시험계획

복사열 측정에 사용된 방화문은 크기, 구성재료, 마감재질 및 내부심재별로 구분 하였으며 상세 내용은 Table 8에서 보는 바와 같으며 각 구조별 내화시험 및 복사열 측정은 1회씩 진행 하였다.

Table 4. Test Specimens

종류	심재의 구성	크기
철재 방화문	종이 허니컴	1000(W) × 2000(H)
	그라스울 24 kg/m ³	1100(W) × 2100(H)
	미네랄울 60 kg/m ³	1000(W) × 2100(H)
목재 방화문	3 mm HDF, 마그네슘 보드, 난연심재	900(W) × 2000(H)
유리 방화문	8 mm 방화유리	1100(W) × 2200(H)
	16 mm 차열유리	1100(W) × 2100(H)

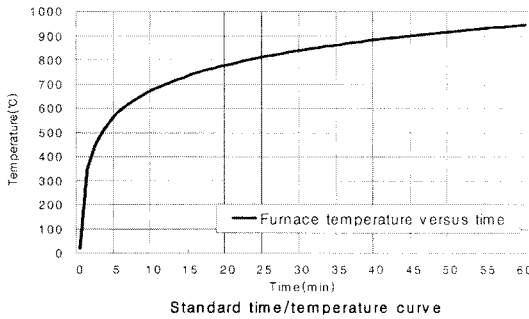


Figure 1. Standard time/temperature curve.

2.2 내화 시험

내화시험은 KS F 2268-1(방화문의 내화시험 방법)에 따라 진행하였으며 가열 온도 곡선은 Figure 1에서 보는 바와 같이 KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험 방법)의 관계식에 따라 계산된 표준시간-가열온도 곡선에 따라 실시하였다.⁶⁾

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20 \quad (2)$$

시험체의 설치는 가로, 세로 3 m의 시험체 틀에 방화문을 설치하고 개구부를 ALC 블록을 사용하여 밀폐하였다.

내화시험이 진행되는 동안 방화문의 비차열 성능기준인 10초 이상의 화염 및 개구부의 발생여부를 관찰함과 동시에 이때 발생하는 복사열을 측정하였다.

2.3 복사열 측정

복사열의 측정에 사용된 Heat Flux Meter는 0~100 kW/m²의 측정 범위와 넓은 면적의 복사열 측정에 적합한 Gardon Gage type을 사용 하였다.

복사열의 측정거리는 시험체의 크기 및 구조에 따라 높은 복사열이 측정될 수 있으므로 Heat Flux Meter의 시계 각을 30°로 설정하였다. 이는 방화문 전체에서 방사되는 복사열을 측정하게 되면 문이 아닌 복사열이 방사되지 않는 주변까지 측정을 하게 되고 또한 문의 크기에 따른 측정거리를 산출할 수 없기 때문이다.

따라서, 복사열 측정 거리의 산출은 Figure 2에서 보는 바와 같이 IMO(International Maritime Organization: 국제해사기구)의 FTP(Fire Test Procedure) Code Part 3 - Test for “A”, “B” and “F” class divisions, Appendix 1 (Thermal radiation test supplement to fire resistance test for windows in “A”, “B” and “F” class divisions)에서 규정한 창에 대한 복사열 측정방법으로 선정 하였다.

측정거리를 산출은 다음과 같은 식으로 설명되어진다.

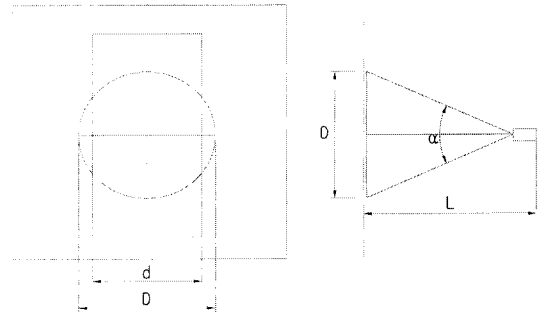


Figure 2. Measurement distance of radiation.

$$D = 2L(\tan \alpha/2) \quad (3)$$

α = 제한된 시계각, L = 거리(m), D = 시계 직경(m)

여기서, 시계직경(D) = 방화문의 폭(1.0) m, 제한된 시계각(α) = Heat Flux Meter의 시계각 30°으로 계산할 경우

$$1.0 = 2L(\tan 30/2) \text{ 이고}$$

$$L = 1.87$$

Table 5. Measurement Distance of Radiation

구 분	심재의 종류 및 크기	측정거리 (m)
철재방화문	미네랄울 1000(W) × 2100(H)	1.87
	그라스울 1100(W) × 2100(H)	2.05
	하니컴 1000(W) × 2000(H)	1.87
유리방화문	방화유리 1100(W) × 2200(H)	2.05
	차열유리 1100(W) × 2100(H)	2.05
목재방화문	900(W) × 2000(H)	1.68

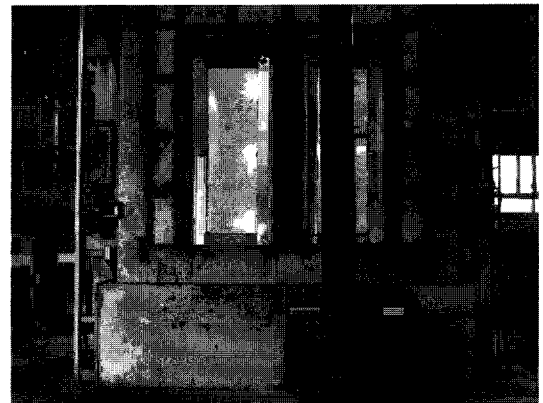


Figure 3. Measuring the radiant heat.

따라서, 식(3)에 의해 산출된 구조별 방화문의 복사열 측정거리는 Table 5에서 보는 바와 같이 목재방화문의 폭이 0.9 m의 크기로 가장 가까운 1.68 m에서 복사열의 측정이 이루어졌으며, 1.1 m의 폭을 가진 철재와 유리방화문은 2.05 m의 거리에서 측정 되었다.

식(3)에 의해 산출된 측정 거리에 따른 방화문의 복사열의 측정은 Figure 3에서 보는 바와 같다

3. 결 과

방화문의 내화시험결과 철재 방화문은 초기 일정량의 연기와 약간의 변형이 발생하였으나, 개구부 및 화염의 발생이 없었으며, 목재 방화문은 소량의 지속적인 연기의 발생 이외에 특이사항 없이 내화시험이 종료 되었다. 반면 유리 방화문의 경우 초기 소량의 연기가 발생 하였고 고열에 의한 유리의 변형과 적열 현상이 발생 하였지만 성능기준인 화염과 개구부의 발생은 없었다. 따라서 모든 구조의 방화문은 비차열 1시간과 30분의 성능기준에 만족함을 알 수 있었다.

그러나 Table 6에서 보는 바와 같이 복사열의 측정 결과는 갑종방화문과 을종방화문으로 구분 지었을 때 방화유리에서 가장 높은(30.5 kW/m²) 복사열이 측정되었으며 이는 피난자의 인내한도를 초과하여 물체에 점화를 일으킬 수 있는 수치가 측정이 되었다. 반면 최근 사용량이 증가하고 있는 목재 방화문에서는 0.3 kW/m²로 가장 적은 복사열이 발생하였다.

3.1 복사열에 따른 인내한도

복사열의 측정결과 모든 구조의 방화문이 현재의 성능기준인 1시간 비차열의 성능은 만족 하였으며 시간별 복사열의 수치는 Table 7에서 보는 바와 같다.

각 구조별 방화문은 Figure 5에서 보는 바와 같이 시간적인 차이는 보였으나 인간이 인내할 수 있는 최소 수치인 노출시간 12분 동안 2.27 kW/m²를 목재방화문

Table 6. Radiant Heats of First and Second Fire Rating (kW/m²)

구분	가열시간(등급)		30분 (을종)	1시간 (갑종)
	심재			
철재방화문	미네랄울		0.9	5.2
	그라스울		2.7	10.1
	하니컴		8.8	14.1
유리방화문	방화유리		19.6	30.5
	차열유리		0.9	6.1
목재방화문	목재		0.3	-

Table 7. Results of Radiation Measurement

구분	심재의 종류별 복사열(kW/m ²)					
	그라스울	하니컴	미네랄울	방화유리	차열유리	목재방화문
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
5	-0.1	-0.1	0.0	2.7	0	0.0
10	-0.1	1.2	0.0	7.2	0.3	0.0
15	-0.2	3.9	0.0	10.7	0.3	0.0
20	0.4	5.8	0.0	13.9	0.6	0.1
25	1.5	7.3	0.3	16.9	0.91	0.3
30	2.7	8.8	0.9	19.6	0.3	0.0
35	4.0	10.1	1.8	21.9	0.91	-
40	5.6	11.2	2.1	24.4	1.52	-
45	7.0	12.3	2.4	26.6	2.13	-
50	8.5	13.1	2.7	28.8	3.35	-
55	9.6	14.4	4.0	30.5	4.57	-
60	10.1	14.1	5.2	30.5	6.09	-

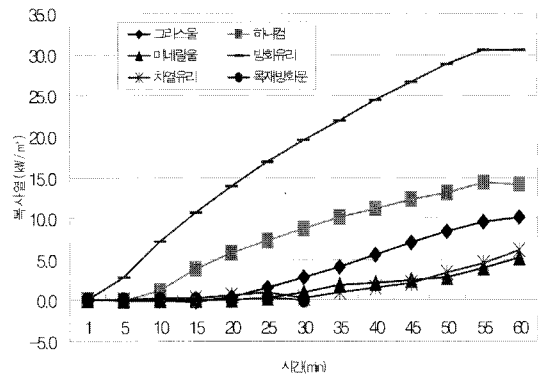


Figure 4. Results of radiation measurement.

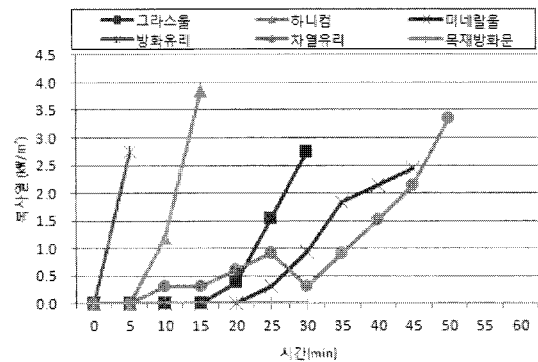


Figure 5. Time to reach the minimum limit of endurance of evacuees.

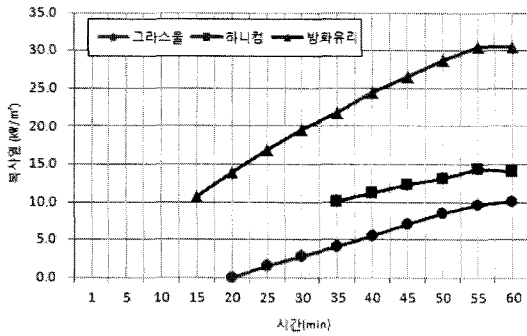


Figure 6. Measure results by the extent of ignition.

을 제외한 모든 구조의 방화문에서 초과함을 알 수 있었다.

또한 가장 대표적인 갑종방화문으로 사용되고 있는 심재가 종이 하니컴으로 이루어진 방화문의 경우 15분 전에 2.27 kW/m²를 초과 하였으며, 45분 만에 10초간 노출시 화상을 입을 수 있는 11.64 kW/m²를 초과하였다.

3.2 물체의 점화 시간

열유속은 인체에 피해를 입히기도 하고 점화의 원인이 되기도 한다. 화재시 열에 의한 손상을 받을 수 있는 최소 값은 앞의 Table 2에서 설명한 바 있다.

Figure 6은 구조별 방화문에서 방사된 복사열의 수치가 물체에 점화를 일으킬 수 있는 10~20 kW/m²의 범위 까지 도달한 시간과 수치를 나타내고 있다.

내부의 심재가 그라스울로 구성된 방화문은 60분에 점화를 일으키는 최소 수치인 10.1 kW/m²가 측정 되었으며, 하니컴으로 구성된 일반 방화문의 경우 35분에 10 kW/m²를 초과하여 55분 14.4 kW/m²가 측정되었다.

유리방화문은 건축물의 미관상으로 최근에 많이 사용되고 있다. 유리방화문의 복사열은 측정 20분 만에 13.9 kW/m²가 측정되어 인간에게 화상과 물체에 점화를 일으킬 수 있는 수치를 모두 초과하여 최종 1시간 일 때 30.5 kW/m²의 높은 복사열이 측정되어 주변의 적재물의 점화로 인한 화재 확대의 위험성이 가장 큰 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

화재발생시 방화구획과 재실자의 피난통로 확보를 위한 방화구조 중 중요한 부분을 차지하고 있는 방화문에 대하여 성능기준에서 제외하고 있는 복사열을 구조 및 재료별로 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 내화시험 실시결과 모든 방화문은 비차열 성능기준을 모두 만족하였다. 그러나 목재방화문을 제외한 모든 구조의 방화문은 Table 3에서 보는 바와 같이 12분간 노출시 인간이 인내할 수 있는 최소 수치인 2.27 kW/m²를 모두 초과 하였다. 또한 방화문의 대표적으로 가장 많이 사용되고 있는 심재가 종이 하니컴으로 된 방화문과 방화유리로 구성된 유리방화문도 마찬가지로 인간이 화상을 입을 수 있는 4.0 kW/m²를 20분과 10분에 초과를 하였으며, 피난자의 인내한도의 최대수치인 10초간 노출시 화상을 입을 수 있는 11.64 kW/m²도 45분과 20분에 초과하여 화재시 재실자의 피난에 지장을 줄 수 있음을 알 수 있었고 유리방화문은 빠른 시간에 복사열이 증가하여 초기 화재 시 피난자에게 화상을 입힐 수 있는 것으로 나타났다.

2) 물체에 점화를 일으키는 범위인 10~20 kW/m²까지 도달시간은 유리방화문이 15분으로 가장 빠르게 나타났다. 심재가 하니컴인 방화문 35분, 그라스울 단열재로 구성된 방화문이 60분으로 방화문 주변에 적재물로부터 화재가 확산될 수 있는 것을 알 수 있었다.

3) 목재방화문의 경우 본 실험에 측정된 방화문은 비차열 30분의 성능을 확보 하였으며 복사열 또한 측정이 되지 않았다. 목재방화문은 주로 실내 문으로 사용되고 있으며 이러한 수치의 복사열은 화재발생시 방화구획을 형성하여 인명 및 재산피해를 줄이는데 크게 기여할 것으로 사료된다.

4) KS F 2268-1(방화문의 내화 시험 방법)의 해설에서도 복사열에 의한 피난 활동에 미치는 영향성에 대해서도 언급은 하고 있지만 구체적인 제한값이 제시되지 않고 있다.

IMO(International Maritime Organization: 국제해사기구)의 FTP Code에서는 1시간 구획에 사용되는 비차열 방화문의 경우 1시간 경과 시의 제한 값을 56.5 kW/m²로 규정을 하고 있으나 실제 건축물에 사용되는 방화문의 복사열 측정결과 유리방화문이 30.5 kW/m²가 가장 높은 복사열이 측정되었다. 이는 선박에서의 화재와 건축물에서의 화재시 작용하는 화재 하중의 차이가 다소 있을 것으로 판단되며, 30.5 kW/m²의 복사열은 이미 물체에 점화를 일으키는 범위인 10~20 kW/m²를 초과하여 화재 확산과 피난자의 피난에 상당한 영향을 줄 수 있어 방화문의 성능기준에서 복사열에 의한 기준이 필요함을 알 수 있었다.

방화문의 복사열에 대한 제한 값을 정하기 위해서는 재현성을 확인할 수 있는 동일한 구조의 보다 많은 실험으로 관련 연구가 더 필요할 것으로 보이며, 설계 시방이나 사용자의 요구에 따라 시공하기 보다는 방화문

의 성능시험 시 관련규정에서 복사열측정을 의무화 하고 측정된 복사열에 따라 건축물의 구조별, 용도별로 제한하여 복사열로부터 화재가 확산되는 것을 방지해야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 오규형, 김동일, 김운형, 김유식, 오인석, 우성천, 이수경, 인세진, 최돈목, “화재공학원론”, 도서출판 동화기술, pp.75-78(2004).
2. 국토해양부 고시 제2010-528호 「자동방화셔터 및 방화문의 기준」(2010).
3. 한국산업규격 KS F 2268-1(방화문의 내화 시험 방법) (2006).
4. IMO(International Maritime Organization: 국제해사기구)의 FTP(Fire Test Procedure) Code Part 3 - Test for “A”, “B” and “F” class divisions, Appendix 1 (Thermal radiation test supplement to fire resistance test for windows in “A”, “B” and “F” class divisions) (2002).
5. 권영진, 김찬영, 문종욱, 백민호, 이수경, 홍순강, “건축과 화재”, 도서출판 동화기술 pp.261-264(2006).
6. 한국산업규격 KS F 2257-1: 건축 부재의 내화 시험 방법-일반요구사항(2005).
7. 여인환, 안재홍, 인기호, 민병렬, “건축물 방화구획에 적용되는 방화문, 방화셔터, 방화유리창의 국내외 성능기준 비교 연구”, 한국화재소방학회, 추계학술논문발표회 논문집, pp.49-57(2007).
8. 전준표, 전수민, 조남욱, 인기호, 이동호, “방화문의 성능기준 개선방안에 관한 연구”, 한국화재소방학회, 추계학술발표회 자료집, pp.3-6(2010).