화재시 비차열 유리의 복사열에 관한 실험적 연구

박수영 · 서희원 · 김대희 · 왕남웅 · 여인환* · 최동호[†]

방재시험연구원, *한국건설기술연구원

The Experimental Study for Radiant Heat Flux of Non-insulated Glazed Window in Fire

Soo-Young Park · Hee-Won Seo · Dae-Hoi Kim · Nam-Woong Wang ·
In-Hwan Yeo* · Dong-Ho Choi[†]

Fire Insurers Laboratories of Korea

*Korea Institute of Construction Technology

(Received January 17, 2014; Revised March 14, 2014; Accepted April 17, 2014)

요 약

최근 국내에서는 건축물에서 공간의 미관이나 활용성 때문에 유리창 및 유리벽체의 사용에 대한 관심이 높아지고 있다. 하지만, 건축물의 내부공간은 화재시 연소확대 및 인명피해를 막기 위해 건축법에 따라 내화구조로 방화구획을 하여야 한다. 이러한 방화구획에 비차열 유리를 사용할 경우, 화재시 인접 거실로 복사열에 의한 화재의 확대, 인명 피해가 일어날 수 있다. 본 연구에서는 비차열 유리창에 대한 복사열의 위험성을 평가하기 위하여 내화실험을 실시하여 실험체 이면에서의 온도와 열유량을 측정하여 그 결과를 분석하였다.

ABSTRACT

Recently in Korea, the interest for using window and window-wall in building picks up due to the beauty and utilization of space. But, interior space of the buildings shall be compartmentalized by fire resistance structures in accordance with the Korean building codes to prevent the spread of flame and damage of human life in fire. In case of installing non-insulated glazed window in compartment wall, the flame spread to adjacent space and the damage of human life by radiant heat can occur in fire. On this study, to confirm the risk of radiant heat for non-insulated glazed window in fire, the fire resistance tests were conducted. The temperature rise and heat flux on unexposed space was measured and analyzed.

Keywords : Non-insulated glazed window, Fire risk, Fire test, Radiant heat, Temperature rise

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

국내 건축법에서는 일정 규모 이상인 건축물에 대하여 내부 및 외부 벽구조를 내화구조로 설치하도록 하고 있고, 또한 내부공간도 화재시 화염 및 온도의 급격한 확대를 막기 위하여 일정한 바닥면적 이하로 방화구획 하도록 되어 있다. 이러한 방화구획에는 일반적으로 콘크리트 벽체, 건식벽체, 조립식 패널 벽체 등을 사용하여 왔으나, 근래에는 건축물의 고층화 및 대형화로 인하여 공간의 미관이나 활용성을 중요시하여 유리창 및 유리벽체의 사용에 대한 관심이 높아지고 있다.

화재시 위험을 방지하기 위해 사용되는 방화유리는 2가지로서, 복층으로 이루어져 유리와 유리사이에 단열재를

삽입하여 화염과 온도상승을 막는 기능이 있는 차열 유리와 유리 단판으로 이루어져 화염만을 막는 비차열 유리로 나누어진다. 비차열 유리를 사용할 경우, 화재시 유리가 깨어지지 않아 화염의 이동에 의한 확산 우려는 없지만, 유리창 표면을 통하여 인접 거실로 복사열에 의한 발화로 인해 화재가 확대될 수 있다.

그러나, 차열 유리와 비차열 유리를 구별하지 않고 방화구획벽 등에 비차열 유리를 사용하는 등의 오남용 사례가 발생하고 있다. 한국화재보험협회 2012 안전점검 결과분석 보고서⁽¹³⁾에서는 방화구획 부분에 유리벽이나 유리문, 유리창을 사용한 사례를 지적하고 있는데, 9,830건의 방화구획 벽체 설치현황 조사건수 중 41건(0.4%)이 유리설치로 인한 불량건수로 나타났다. 세부적으로 지하주차장과 연결되는 건축물의 내부공간과의 구획부(16건), 전체를 내

[†]Corresponding Author, E-Mail: dhchoi@kfpa.or.kr
TEL: +82-31-887-6681, FAX: +82-31-887-6680

화구조로 설치해야하는 피난계단실의 출입구쪽 벽 및 문(11건), 백화점 등 판매시설에 설치되는 자동방화셔터 옆 구획벽(4건), 방화구획 선상의 벽의 일부(7건), 건축물 내부 중정부분 경계 부분(3건) 등에 강화유리 또는 비차열 유리를 사용한 경우가 다수 보고되고 있다.

이처럼 화재시 유리를 통한 복사열의 화재 확대 위험성이 있으므로, 본 연구에서는 비차열 유리에 대한 내화실험을 실시하여 실험체 이면에서의 온도와 열유량을 측정하고, 그 결과에 대하여 기존 문헌들을 참고로 위험성을 평가함으로써, 연소확대 가능성을 고찰하였다.

1.2 국내외 현황

국내에서는 국토해양부고시 제2012-552호(자동방화셔터 및 방화문의 기준) 및 제2012-745호(발코니 등의 구조 변경절차 및 설치기준)에서 유리방화문 및 발코니 방화창으로 비차열 유리를 사용할 수 있는 근거를 마련하고 있으며, 그에 따라 사용되고 있다. 그 이외에서는 비차열 유리의 사용 근거를 찾아볼 수 없다. 건축법에서는 방화구획에 열을 차단하는 성능(차열성, Insulation)과 화염을 차단하는 성능(차염성, Integrity)을 가진 내화구조의 부재를 사용하도록 하고 있으므로, 차열성이 없는 비차열 유리는 방화구획에 사용하지 못하도록 되어 있다. 내화구조 성능을 보유하고, 내화구조 인정을 획득한 차열 유리시스템이 국내에 있지만, 비차열 유리시스템 대비 가격이 5배 이상 되어 경제적 이유로 인해 제한적으로 사용되고 있다. 이러한 실정에서 비교적 경제적이고, 차염성만이 있는 비차열 유리창을 설치하는 등의 오남용 사례가 보고되고 있으나, 관련 자료의 부족, 건축물 소유주 및 시공자의 낮은 법률 이해도 등으로 좀처럼 개선이 되지 않고 있다.

국외에서는 각 나라의 건축법에 비차열 유리를 사용할 수 있는 용도, 구획을 정하고, 차열성 및 차염성 등급에 따라 유리를 사용하도록 하고 있다. 특히 IBC Code⁽¹²⁾에서는 전체 벽 면적의 일정비율을 넘지 않는 선에서 사용하게 하는 등 비차열 유리의 사용한계를 명확히 하고 있다.

1.3 관련연구

국내에서는 2007년 여인환⁽¹⁾ 등이 국내의 방화문, 방화셔터, 방화유리에 대한 화재기준(복사열 포함)을 비교하여 발표하였고, 2011년 전준표⁽²⁾ 등은 국내 6종의 방화문에 대한 내화실험을 실시하여 복사열을 측정하여 분석하였으나, 복사열에 대한 위험성 평가는 다루어지지 않았다.

국외에서는 2006년 Michael S.⁽⁵⁾ 등이 복사열 노출에 의한 차열유리의 파괴 메커니즘에 대한 연구를 수행하였으며, 2012년 Liming Li⁽⁶⁾ 등은 복사열에 의한 유리의 파괴 메커니즘을 두께별로 실험한 연구를 발표하였다. 하지만, 국외에서도 복사열에 의한 위험성 분석에 대한 논문은 찾아보기 힘들다. 다만, 뉴질랜드 Code인 NZS 4232 (Performance Criteria for Fire Resisting Closures)⁽¹¹⁾에 복사열의 크기에

따른 일반적인 발화조건 등을 나타내어 위험성을 유추할 수 있으며, SFPE Handbook⁽⁷⁾에서는 복사열에 의한 인체 치사율을 언급하고 있어 위험성을 나타내지만, 이 값은 화재시에 국한된 것이 아니라 핵폭발 등의 여러 가지 상황에 대한 내용을 포함하고 있다.

2. 화재시 복사열에 의한 현상

화재시 화재의 확산은 불꽃의 이동에 의한 것과 온도상승으로 인한 것이 주된 이유이다. 온도의 상승에 의한 화재확산시 추가적으로 고려해야할 사항이 복사열로써, 발생하는 열유량의 크기에 따라 재실자의 피해, 물건의 발화 등이 일어날 수 있다. 열유량의 크기가 20 kW/m²를 초과하면 재실자의 피해, 물체의 발화 위험이 우려된다. 아래 Table 1에 손상을 일으킬 수 있는 최소 열유량을 나타내었으며, Table 2에는 재실자의 열유량 크기에 대한 인내한계

Table 1. Minimum Heat Flux For Thermal Damage⁽³⁾

Minimum value	Thermal damage
1.0 kW/m ²	Pain on exposed skin
4.0 kW/m ²	Burn injuries on exposed skin
10~20 kW/m ²	Ignition on exposed object

Table 2. Human Endurance Limit and Pain⁽⁴⁾

Value	Endurance limit and pain
2.27 kW/m ²	12 min
2.44 kW/m ²	6 min
2.33 kW/m ²	Pain after 50 s
11.64 kW/m ²	Burn injuries after 10 s

Table 3. Typical Radiant Heat Intensities for Various Phenomena⁽¹¹⁾

Phenomena	Intensity (kW/m ²)
Maximum for indefinite exposure for humans	1
Pain after 10 s to 20 s	4
Pain after 3 s	10
Piloted ignition of cotton fabric after a long time	13
Piloted ignition of timber after a long time	13
Non-piloted ignition of cotton fabric after a long time	25
Non-piloted ignition of timber after a long time	25
Non-piloted ignition of gabardine fabric after a long time	27
Non-piloted ignition of black drill fabric after a long time	38
Non-piloted ignition of cotton fabric after 5 s	42
Non-piloted ignition of timber in 20 s	45
Non-piloted ignition of timber in 10 s	55

를 나타내었고, Table 3에는 열유량의 크기에 따른 일반적 현상을 나타내었다.

열유량에 따른 현상을 종합해보면, 4 kW/m^2 일 때 피부가 노출된 부분에 화상이 생길 수 있으며, 11 kW/m^2 일 때 10초간 노출되면 화상이 발생할 수 있다. 25 kW/m^2 가 되면 불꽃이 없어도 장시간 노출시 면직류나 목재가 발화되며, 55 kW/m^2 에 이르면 불꽃이 없어도 목재가 10초 이상 노출되면 발화되는 수준이 된다.

3. 비차열 유리창 및 유리벽체의 내화실험

본 장에서는 비차열 유리의 화재시 특성을 확인하기 위하여 내화실험을 실시하여 이격거리에서의 열유량, 온도,

유리 표면온도를 측정하였으며, 그 결과를 분석하였다.

3.1 유리구획 부분의 내화시험방법

국내에서는 유리구획 부분의 내화성능을 확인하기 위하여 KS F 2845⁽⁹⁾: 유리구획 부분의 내화시험방법을 사용하고 있다. KS F 2845는 ISO 3009⁽¹⁰⁾ Fire resistance tests-Glazed elements와 부합화하여 국내에 적용한 표준으로써, 차열 유리에 대해서는 차열성 및 차염성으로 성능을 평가하며, 비차열 유리에 대해서는 차염성만으로 성능을 평가하고 있다. 내화시험에 관련된 기본적인 장비 및 시험 절차는 KS F 2257-1⁽⁸⁾을 따르고 있으며, 필요시 복사 열량계를 사용하여 비가열면의 복사열을 측정하도록 하고 있다.

Figure 1. Test specimens.

Figure 2. Test measurement condition.

3.2 실험체

내화실험은 2개의 실험체에 대하여 진행되었다. 실험체 1은 시험 가능한 최대크기인 3 m × 3 m를 비차열 유리 벽체 전체로 구성되었으며, 실험체 2는 유리창이 벽체에 삽입된 형태의 실험결과를 확인하기 위하여 3 m × 3 m 경량콘크리트 벽체 중앙부에 1.5 m × 1.5 m의 비차열 유리창을 설치하였다. 실험에는 N.S.G (Nippon Sheet Glass)사의 Pyroclear 8 비차열 유리를 사용하였다. 각 실험체의 모습을 Figure 1에 나타내었다.

3.3 실험조건

실험동안 열유량, 이면에서의 온도, 유리표면온도를 측정하였다. 열유량의 측정은 각 실험체의 유리를 포용하는 거리를 계산하여 유리면에서 1.3 m 및 2.6 m 떨어진 곳에 열류계를 설치하고, 열류계 위치와 동일한 위치에 온도측정을 위한 열전대를 설치하였다. 비차열 유리의 표면에 열전대를 설치하였을 경우, 실험동안 유리의 파손이 우려되었으므로, 유리표면의 온도는 열화상 카메라를 사용하여 측정하였다. 열화상 카메라의 보정을 위하여 FLIR QuickReport 프로그램 사용하여 유리의 반사율 0.92, 측정거리 8 m를 적용하여 온도 측정 결과를 보정하였다. Figure 2에 실험시

$$D = 2L \left(\tan \frac{\alpha}{2} \right)$$

D : View diameter

L : Distance

α : Restricted view angle

Figure 3. Measurement distance of radiation.

측정조건을 나타내었으며, Figure 3에는 열류계의 유리창 포용거리 산정방법을 나타내었다. Table 4에는 측정에 사용된 장비를 나타내었다.

3.4 실험실시 및 결과

2가지 실험체에 대한 내화실험은 KS F 2845 시험방법

Table 4. Test Measurement Equipments

Equipment	Manufacturer	Model	Range	Uncertainty (k = 2, ~95%)
Heat flux meter	MEDTHERM Corporation	No.64-10-20	(0~100) kW/m ²	± 3%
Thermocouple	J.B Tech	K-Type	(-199~1300) °C	± 1.3 °C
Infrared imaging camera	FLIR systems	FLIR T340	(-20~1200) °C	± 2 °C

a) Specimen 1 (On test)

b) Specimen 1 (After test)

c) Specimen 2 (On test)

d) Specimen 2 (After test)

Figure 4. Test pictures.

Figure 5. Thermal infrared images of specimen 1 during the test.

에 따라 방재시험연구원에서 실시되었다. 실험체는 표준 시간-가열온도곡선(Standard fire time/temperature curve)에 따라 가열되었다. Figure 4에 시험시 각 실험체의 모습을 나타내었다.

3.4.1 비차열유리 표면온도

가열시간 30분 경과 후 비차열 유리는 표면이 서서히 액상화되기 시작하여 하부쪽으로 흘러내리는 현상이 발생한다. 그에 따라 흘러내려 묻쳐진 부분의 온도는 액상화되기 위한 열을 흡수하기 때문에 다른 부분에 비하여 소폭 상승하게 된다. 이러한 이유로 유리표면에서의 온도는 국부적

으로 높은 부분과 낮은 부분이 발생하게 되므로, 특정 부분의 온도를 측정하지 않고 전체 유리표면온도의 평균값을 측정하였다. 전체 표면온도 평균값은 유리면 전체에 대하여 열화상 카메라가 측정한 개별지점 각각의 측정값을 평균한 값이다. Figure 5에는 열화상사진을 나타내었고, Table 5 및 Figure 6에는 표면온도를 나타내었다.

Figure 6에서 볼 수 있듯이, 각 실험에서 측정한 비차열 유리의 표면온도 값 및 상승 경향은 거의 유사한 것을 확인할 수 있다. 유리의 표면온도는 표준화재온도 곡선을 따라 유사하게 상승하고 있으며, 실험 후 60분 경과시 실험체 1은 571 °C, 실험체 2는 563 °C를 나타내었다. 이 결과는 내화시험 표준인 ISO 834-1, KS F 2257-1 등에서 제시하는 차열성의 기준이 평균상승온도 140 °C, 최고상승온도 180 °C임을 생각하면, 유리 표면 근처에서 발화 위험성이

Table 5. Temperature on the Test Specimens Surface

Time (min)	Standard fire temperature (°C)	Specimen 1 (°C)	Specimen 2 (°C)
0	20	20	3
5	576	226	220
10	679	341	364
15	738	415	419
20	781	458	447
25	814	475	468
30	841	502	485
35	864	525	507
40	884	536	520
45	902	548	533
53	918	557	540
55	932	565	549
60	945	571	563

Figure 6. Surface temperatures.

Table 6. Temperature on the Test Specimens Surface

Time (min)	Specimen1		Specimen2			
	Measurement length, 2.60 m		Measurement length, 2.60 m		Measurement length, 1.30 m	
	Temp. (°C)	Heat flux (kW/m ²)	Temp. (°C)	Heat flux (kW/m ²)	Temp. (°C)	Heat flux (kW/m ²)
0	13	1.2	3	0	3	0.3
5	36	5.4	6	1.7	24	6.0
10	66	11.1	14	5.6	66	13.9
15	96	18.8	22	7.1	93	18.6
20	118	25.5	26	9.5	111	23.5
25	133	28.7	30	10.1	126	27.1
30	142	33.5	34	11.8	145	31.5
35	154	37.1	35	14.0	157	35.4
40	173	41.6	40	14.5	166	38.3
45	185	44.7	43	15.9	179	41.4
50	180	46.6	44	16.4	185	43.6
55	186	50.8	50	17.9	194	47.4
60	189	54.4	54	19.6	200	50.2

매우 높음을 나타낸다.

3.4.2 이격거리에서의 열유량 및 온도

비차열 유리의 화재위험성을 평가하기 위하여 이격거리에서의 열유량 및 온도를 측정하였다. 실험체1 및 실험체2의 열유량 및 온도 값을 Table 6에 나타내었고, Figure 7에는 열유량, Figure 8에는 온도를 그래프로 나타내었다.

실험체1의 2.6 m 거리에서 열유량 및 온도는 10분 경과시 11.1 kW/m², 66 °C, 30분 경과시 33.5 kW/m², 142 °C, 60분 경과시 54.4 kW/m², 189 °C로 측정되었다. 실험체2의 1.3 m 거리에서는 10분 경과시 13.9 kW/m², 66 °C, 30분 경과시 31.5 kW/m², 145 °C, 60분 경과시 50.2 kW/m², 200 °C로 측정되었으며, 이 결과는 실험체1의 2.6 m 거리의 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 두 가지 실험결과가

비슷한 이유는 두 가지 실험조건이 비차열 유리창을 모두 포함하는 포용거리를 산정하여 측정하였기 때문인 것으로 판단된다.

실험체2의 2.6 m 거리에서 열유량 및 온도는 10분 경과시 5.6 kW/m², 14 °C, 30분 경과시 11.8 kW/m², 34 °C, 60분 경과시 19.6 kW/m², 54 °C로 측정되었다. 이 결과는 1.5 m × 1.5 m 크기의 비차열유리창을 포함한 3.0 m × 3.0 m 크기의 전체 벽체를 실험조건으로 설정하였으므로, 유리창만을 포용하는 결과보다 그 결과값이 적게 나타났다.

Figure 7에서 실험체1의 2.6 m 거리와 실험체2의 1.3 m 거리의 열유량 그래프를 비교하면, 60분 경과시 열유량이 54.4 kW/m²와 50.2 kW/m²로서 4.2 kW/m²의 차이를 나타내었으나, 그 크기와 상승 추세는 유사한 것을 확인할 수 있었다. 또한 복사열 측정위치에서의 온도는 189 °C와 200 °C으로서 11 °C의 차이가 났으나 Figure 8에서 확인할

Figure 7. Heat flux according to the distance. **Figure 8.** Surface temperatures.

수 있듯이 그 크기와 상승추세는 유사한 것을 확인할 수 있었다.

실험체2의 2.6 m 거리의 열유량 및 온도 그래프는 완만히 상승하는 것을 확인할 수 있었다.

3.5 결과분석

복사열의 측면에서 측정된 열유량 결과를 바탕으로 2장에 따라 위험성을 평가하였다.

실험체1의 2.6 m 거리 및 실험체2의 1.3 m 거리(유리창 전체를 포용하는 거리)에서는 5분 경과시 인체의 노출된 피부에 화상 발생이 가능한 수준이고, 15분 경과시에는 10초간 노출시 화상이 발생한 수준이며, 25분 경과시에는 장시간 노출된 목재가 불꽃없이 발화되는 수준이며, 50분 경과시에는 5초간 노출시 면직류가 불꽃없이 발화되고, 60분 경과시에는 20초 동안 노출시 목재가 불꽃없이 발화되는 수준인 것으로 나타났다. 이 결과를 바탕으로, 방화구획벽 등에 비차열 유리를 사용할 경우, 화재시 유리창 표면을 통한 복사열에 의한 발화로 인해 화재가 확대될 수 있을 것으로 판단되었다.

실험체2의 2.6 m 거리(벽체 전체를 포용하는 거리)에서는 10분 경과시에는 인체의 노출된 피부에 화상 발생이 가능한 수준이고, 30분 경과시에는 10초간 노출시 화상 발생이 가능한 수준이며, 60분 경과시에는 불꽃이 없는 상태라면 면직류나 목재에 발화되지는 않는 수준인 것으로 나타났다. 따라서, 벽체 내부에 비차열 유리의 면적이 작아지면 복사열에 의한 발화위험 또한 작아짐을 확인할 수 있었다.

상승온도의 측면에서 실험체1의 2.6 m 거리 및 실험체2의 1.3 m 거리(유리창 전체를 포용하는 거리)에서 측정된 온도는, 50분에서 55분 경과시 차열성의 기준인 최고상승 온도 180 °C를 넘어서고 있다. 이 결과를 바탕으로 화재시 비차열 유리 전체의 포용거리 이내에 있는 물건 등에 온도 상승에 의한 발화가 생길 수 있는 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 비차열 유리창의 내화실험을 실시하여 화재시 특성을 확인하였다. 그 세부적인 결론은 다음과 같다.

1. 비차열 유리의 표면온도는 표준화재온도 곡선을 유사하게 반영하고 있으며, 실험후 60분 경과시 실험체1은 571 °C, 실험체2는 563 °C를 나타내었다. 따라서 유리 표면 근처에서 발화 위험성이 매우 높은 것으로 판단되었다.

2. 비차열 유리창 전체를 포용하는 거리에서 측정된 결과, 실험체1의 열유량 및 온도는 30분 경과시 33.5 kW/m², 142 °C, 60분 경과시 54.4 kW/m², 189 °C로 측정되었고, 실험체2는 30분 경과시 31.5 kW/m², 145 °C, 60분 경과시 50.2 kW/m², 200 °C로 측정되었다.

3. 벽체 전체를 포용하는 거리에서 측정된 결과, 실험체

2의 열유량 및 온도는 30분 경과시 11.8 kW/m², 34 °C, 60분 경과시 19.6 kW/m², 54 °C로 측정되었다. 이 결과는 유리창만을 포용하는 거리에서 측정된 결과보다 열유량은 약 40%, 온도는 약 25% 정도로 확인되었다.

4. 비차열 유리창 전체를 포용하는 거리 이내에서는, 화재시 상승온도와 복사열 측면 모두에서 발화로 인해 화재가 확대될 수 있을 것으로 판단되었다. 따라서, 비차열 유리가 방화구획, 피난로 등에 설치되었을 경우, 인명위험, 연소확대의 위험이 높은 것으로 판단된다.

5. 본 연구의 범위에서 비차열 유리가 포함된 벽체 전체를 포용하는 거리에서는, 불꽃이 없는 상태라면 발화로 인한 화재 확산은 되지 않을 것으로 판단되었다. 따라서, 벽체 내부에 비차열 유리의 면적이 작아지면 복사열에 의한 발화위험 또한 작아짐을 확인할 수 있었다.

방화구획벽 등에 비차열 유리를 사용할 경우, 화재시 건축법에서 규정하는 연소확대를 막기 위한 기능 발휘에 어려움이 발생할 것으로 판단된다. 특히 화재시 복사열에 의한 우려되므로, 현장 설치 부분에 관리 감독이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 다만, 벽체 내부에 유리면적이 작아지면 연소확대 위험이 작아지는 것으로 판단되므로, IBC Code와 같이 벽체 전체 면적대비 비차열 유리창의 면적을 제한하여 사용할 수 있도록 유리 크기를 변수로 하는 연구가 추가로 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2012년 건설교통기술촉진연구사업과 관련하여 국토해양부의 연구비 지원(과제번호 : 12첨단도시C08)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. I. H. Yeo, J. H. An, K. H. In and B. Y. Min, "A Comparative Study on the Domestic and Foreign Performance Criteria of Fire Doors, Fire Shutters and Fire Windows applied to Building Fire Compartment", Proceedings of 2010 Autumn Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 49-57 (2007).
2. J. P. Jeon, S. M. Jeon, N. W. Cho, K. H. In and D. H. Rie, "An Experimental Study on the Radiant Heat of the Firedoors in Fire", Fire Science and Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 8-13 (2011).
3. K. H. Oh, D. I. Kim, W. H. Kim, Y. S. Kim, I. S. Oh, S. C. Woo, S. K. Lee, S. J. In, et al., "The Principles of Fire Safety Engineering", DongHwa Technology Publishing Co., Korea, pp. 75-78 (2004).
4. Y. J. Kwon, C. Y. Kim, J. W. Mun, M. H. Baek, S. K. Lee and S. K. Hong, "The Building and Fire", Dong-Hwa Technology Publishing Co., Korea, pp. 261-264 (2006).

5. M. S. Klassen, J. A. Sutula, M. M. Holton, R. J. Roby and T. Lzbicki, "Transmission Through and Breakage of Multi-Pane Glazing Due to Radiant Exposure", Fire Technology, Vol. 42, pp. 79-107 (2006).
6. L. Li, Q. Xie, X. Cheng and H. Zhang, "Cracking Behavior of Glazings with Different Thicknesses by Radiant Exposure", Fire and Materials, Vol. 36, pp. 264-276 (2012).
7. D. A. Purser, "Toxicity Assessment of Combustion Products", The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3nd edition, USA (2002).
8. Korean Standard Association, KS F 2257-1 : Methods fire resistance test for elements of building construction - General requirements (2005).
9. Korean Standard Association, KS F 2845 : Fire resistance test for glazed elements (2013).
10. International Organization for Standardization, ISO 3009 : Fire-resistance tests - Elements of building construction - Glazed elements (2003).
11. Standards Association of New Zealand, NZS 4232 : Performance Criteria for Fire Resisting Closures (1988).
12. International Code Council, Inc., International Building Code Chapter7 - "Fire and Smoke Protection Features" (2012).
13. KFPA, "2012 Fire Safety Inspection Result Report", Korea Fire Protection Association (2013).