

# 복사열을 기준으로 한 비차열 방화유리의 설치 가능성에 대한 연구

박수영 공학박사, 방내화팀 책임연구원

## 1. 서론

국내에서는 화재시 인명 및 재산 피해를 막기 위해 내화구조 및 방화구획을 설치하도록 건축법에서 규정하고 있다. 근래 건축물의 형태 및 내부 공간이 개방, 미관 등을 중요시함으로 인해 유리구획부재의 사용이 늘어나고 있는데, 유리부재를 방화구획 등에 설치시 내화구조 성능, 즉 차열성 및 차염성을 모두 만족해야 하므로, 비차열 방화유리는 사용이 불가능한 실정이다.

일반적으로 방화유리는 차열 방화유리와 비차열 방화유리로 나눌 수 있다. 차열 방화유리는 여러 겹의 유리 사이에 투명한 겔타입의 단열재를 넣어 화염을 차단하는 기능과 함께 온도상승을 제한하는 기능을 가지고 있으며, 비차열 방화유리는 단판으로 이루어져 화염만을 차단하는 기능을 가진다. 따라서, 비차열 방화유리는 유리가 깨어지지 않는 한 화염의 확산우려는 없지만, 유리 표면을 통하여 인접 거실로 복사열에 의해 화재가 확대될 가능성이 있다.

국외에서는 각 나라의 건축법에 방화유리를 사용할 수 있는 용도, 구획을 정하고, 차열성(Insulation, 온도상승을 막는 성능) 및 차염성(Integrity, 화염의 이동을 막는 성능) 등급에 따라 차열 또는 비차열 방화유리를 사용하도록 하도록 정하고 있다. 특히 IBC Code에서는 비차열 방화유리를 사용할 경우, 전체 벽 면적의 일정 비율을 넘지 않는 선에서 사용하게 하는 등 비차열 유리의 사용한계를 명확히 하고 있다.

본 연구에서는 국내에서 사용되는 비차열 방화유리에

대하여 면적별로 4가지 실험체를 구성하여 내화실험을 실시하였다. 실험 결과 측정된 복사열유량 및 온도를 적용하여 화재안전성을 평가하고, 이를 근거로 화재안전성을 확보하면서 사용이 가능한 비차열유리의 면적을 산정하였다.

## 2. 유리구획 화재 성능기준

### 2.1 국내

국내에서는 국토해양부고시 제2012-625호(내화구조의 인정 및 관리기준)에 따라 제조사의 품질기준 및 공장에서 채취한 시험체가 규정을 만족할 경우, 내화구조로 인정하여 건축물의 방화구획 등에 사용할 수 있다. 유리부재에서는 차열 방화유리가 내화구조인정구조로 등록되어 있다.

반면, 비차열 방화유리의 경우는 국토해양부고시 제2012-552호(자동방화셔터 및 방화문의 기준) 및 제2012-745호(발코니 등의 구조변경절차 및 설치기준)에서 유리방화문 및 발코니 방화창으로 사용할 수 있도록 하고 있으나, 그 이외에서는 비차열 유리의 사용 근거를 찾아볼 수 없다.

### 2.2 IBC 및 NFPA

IBC code에서는 Table 1과 같이 방화유리창의 성능을 규정하고 있다. 방화유리창에 사용되는 비차열 방화유리는 NFPA 257 또는 UL 9에 따라 시험을 실시하여 성능을 만족한 것을 사용해야 하고, NFPA 80에 따른

크기 제한을 만족해야 한다. Table 2에 최대면적 제한 사항을 나타내었다.

Table 1. Fire Window Assembly Fire Protection Ratings(IBC code, 2012)

Type of wall assembly	Required wall assembly rating (hours)	Minimum fire window assembly rating (hours)
Interior walls	All	Not permitted*
Fire walls	>1	Not permitted*
Fire barriers	1	Not permitted*
Incidental use areas	1	3/4
Mixed occupancy separations	1	3/4
Fire partitions	0.5	1/3
Smoke barriers	1	3/4
Exterior walls	>1	1 1/2
	1	3/4
	0.5	1/3
Party wall	All	Not permitted

\* Not permitted except fire-resistance-rated glazing assemblies tested to ASTM E 119 or UL 263.

Table 2. Size Limitations of Fire Window (NFPA 80, 2013)

Window assembly rating (hours)	Maximum area
1/2, 1/3	The maximum area tested
3/4	The maximum area tested
1, 1/2, 3	Not permitted

\* Individual glazing material exposed area shall not exceed 0.84 m<sup>2</sup>, with no dimension exceeding 1.37 m unless otherwise tested.

IBC code에 따르면, Fire wall이나 Fire barrier에는 일반적으로 비차열 방화유리의 사용이 불가능하고, ASTM E 119 또는 UL 263시험을 합격한 차열 방화유리는 사용이 가능하다. 내벽으로 사용되는 Fire partition과 Fire barrier에 사용되는 비차열 방화유리는 최대 1시간 내화성능의 구획부재에만 제한적으로 사용할 수 있다. 또한 비차열 방화유리의 전체면적은 벽면적의 25%를 넘지 않도록 하고 있다. 외벽 개구부의 비차열 방화유리는 최대 1시간 내화성능의 구획부재에만 제한적으로 사용할 수 있다.

NFPA 80에 따르면, 3/4시간 이하 등급의 비차열 방화유리는 시험을 실시한 최대크기로 사용이 가능하며, 시험을 실시하지 않았을 경우에는 최대면적 0.84m<sup>2</sup>, 최대치수 1.37m로 사용이 가능하다.

### 3. 복사열에 따른 화재안전성 평가

#### 3.1 복사열에 의한 일반적 현상

화재시 화재의 확산은 불꽃의 이동에 의한 것과 온도 상승으로 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 20kW/m<sup>2</sup>를 초과하면 재실자의 피해, 물체의 발화 위험이 우려된다. 아래 Table 3에 손상을 일으킬 수 있는 최소 열유량을 나타내었으며, Table 4에는 재실자의 열유량 크기에 대한 인내한계를 나타내었고, Table 5에는 열유량의 크기에 따른 일반적 현상을 나타내었다.

Table 3. Minimum Heat Flux for Thermal Damage (K. H. Oh et al. 2004)

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

Table 4. Human Endurance Limit and Pain (Y. J. Kwon et al. 2006)

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

Table 5. Typical Radiant Heat Intensities for Various Phenomena(NZS 4232, 1988)

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

### 3.2 화재안전성 평가방법

비차열 유리의 경우, 화재시 유리면을 통하여 복사에 의한 영향이 발생하므로, SFPE Handbook (2008)에서 제시하고 있는 허용 한계열유량  $2.5\text{kW/m}^2$ 을 본 연구의 화재안전성 평가방법으로 선정하였다.

Table 6. Limiting Conditions for Tenability Caused by Heat(SFPE Handbook, 2008)

Mode of Heat Transfer	Intensity	Tolerance Time Radiation
Radiation	$< 2.5\text{kW/m}^2$	$> 5\text{min}$
	$2.5\text{kW/m}^2$	30s
	$10\text{kW/m}^2$	4s
Convection	$< 60\text{ }^\circ\text{C}$ 100% saturated	$> 30\text{min}$
	$100\text{ }^\circ\text{C}$ $< 10\%$ H <sub>2</sub> O	12min
	$120\text{ }^\circ\text{C}$ $< 10\%$ H <sub>2</sub> O	7min

## 4. 비차열 유리의 내화실험

본 장에서는 비차열 유리의 유리/벽체 면적비에 따른 화재시 특성을 확인하기 위하여 내화실험을 실시하여 그 결과를 분석하였다.

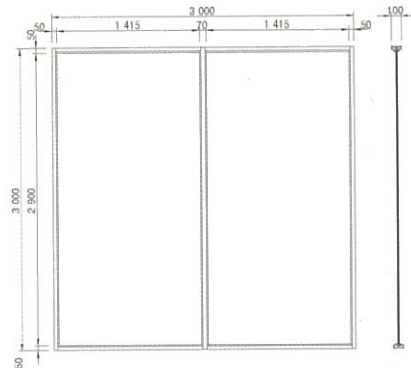
유리구획 부분에 대한 내화실험은 KS F 2845(2013) 유리구획 부분의 내화시험방법을 사용하여 수행하였으며, KS F 2845에서는 차열 유리에 대해서는 차열성 및 차염성으로 성능을 평가하며, 비차열 유리에 대해서는 차염성만으로 성능을 평가하고 있다. 기타 내화시험에 관련된 기본적인 장비 및 시험절차는 KS F 2257-1(2005)을 따르고 있으며, 필요시 복사 열량계를 사용하여 비가열면의 복사열을 측정하도록 하고 있다.

### 4.1 실험체

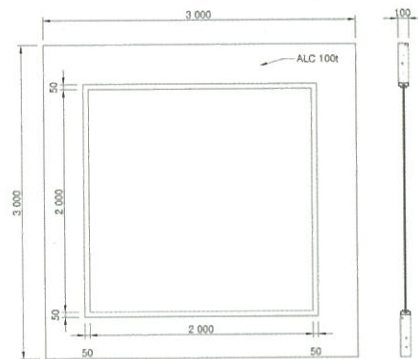
내화실험은 4개의 실험체에 대하여 진행하였다. 내화실험이 가능한 최대 크기인  $3.0\text{m} \times 3.0\text{m}$ 의 벽체를 기본으로, 삽입되는 비차열 유리창의 크기를 변수로 4가지 실험체를 설정하였다. 각 실험체에서 유리/벽체의 넓이 비율은 1.0, 0.49, 0.25, 0.11이며, 실험동안 이격거리에서의 열유량 및 온도는 2지점에서 측정되었다. 실험에 사용된 비차열 유리는 N.S.G (Nippon Sheet Glass)사의 Pyroclear 8mm 를 적용하였다. Table 7에

Table 7. Specimen Detail

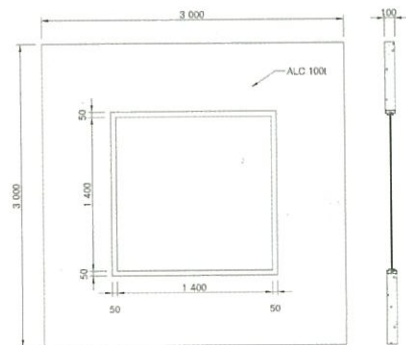
Specimen	Wall size(m) (m)	Window size (m)	Window Wall ratio	Measuring Point (m)	
				1	2
1	3.0×3.0	3.0×3.0	1.00	2.6	2.6
2	3.0×3.0	2.1×2.1	0.49	2.6	1.82
3	3.0×3.0	1.5×1.5	0.25	2.6	1.3
4	3.0×3.0	1.0×1.0	0.11	2.6	0.87



a) Specimen 1



b) Specimen 2



c) Specimen 3

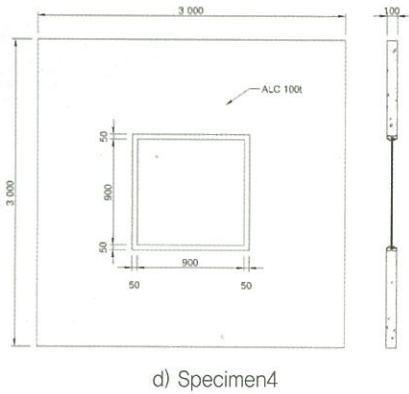


Fig. 1 Test Specimens

각 실험체 상세를 나타내었고, Fig. 1에는 각 실험체 모습을 나타내었다.

### 4.2 실험조건

실험동안 열유량 및 이면 이격거리에서의 온도를 측정하였다. 열유량의 측정은 각 실험체의 벽체를 포용하는 거리(측정위치 1 - 2.6m)와 각 실험체의 유리창을 포용하는 거리(측정위치 2)를 계산하여 실험체 이면으로부터 각각 계산된 위치에 열류계를 설치하고, 열류계 위치와 동일한 위치에 온도측정을 위한 열전대를 설치하였다. Fig. 2에 실험시 측정조건을 나타내었으며, Fig. 3에는 열류계의 포용거리 산정방법을 나타내었다.

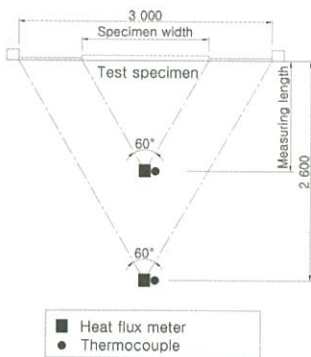
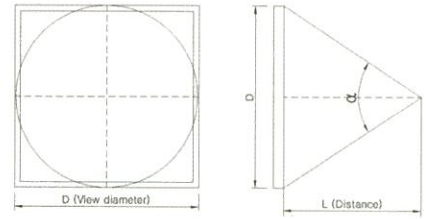


Fig. 2 Test Measurement Condition



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

D : View Diameter

L : Envelop Distance

α : Restricted View Angle

Fig. 3 Measurement Distance of Radiation

### 4.3 실험실시 및 결과

내화실험은 KS F 2845 시험방법에 따라 방재시험연구원에서 실시되었다. 실험체는 표준 시간-가열온도곡선(Standard fire time/ temperature curve)에 따라 가열되었다.



a) Specimen 1

b) Specimen 2



c) Specimen 3

d) Specimen 4

Fig. 4 Test Pictures

#### 4.3.1 유리창 포용거리에서의 열유량 및 온도

각 실험체의 유리창 포용거리에서의 열유량을 측정하였다. 이 결과는 유리창만에 대한 열유량으로써, 실험체 1은 3.0m×3.0m, 실험체 2는 2.1m×2.1m, 실험체 3은 1.5m×1.5m, 실험체 4는 1.0m×1.0m 크기의 유리창에서 측정되는 열유량이다. Table 8에 측정된 열유량 값을, Fig. 5에는 시간에 따른 그래프로 나타내었다.

각 실험체의 열유량값은 실험 60분 경과시 54.4,

50.4, 50.2, 49.4kW/m<sup>2</sup>로써 비슷한 수준으로 측정되었으며, Fig. 5와 같이 시간에 따른 그 상승형태도 유사하게 나타났다. 이는 유리창의 크기와는 상관없이, 유리창 전체를 포용하는 거리에서의 열유량은 일정하다는 것을 나타낸다.

Table 8. Heat Flux on Window-envelop Distance (kW/m<sup>2</sup>)

Time (min)	Specimen (Distance)			
	1 (2.60m)	2 (1.82m)	3 (1.30m)	4 (0.87m)
0	0	0	0	0
5	5.4	6.2	6	4.7
10	11.1	13.7	13.9	9.8
15	18.8	21.4	18.6	15.6
20	25.5	24.7	23.5	21.2
25	28.7	27.1	27.1	25.6
30	33.5	31.2	31.5	30.1
35	37.1	33.8	35.4	34.9
40	41.6	34.6	38.3	38.8
45	44.7	42.1	41.4	41.2
53	46.6	45.7	43.6	43.9
55	50.8	46.8	47.4	47.2
60	54.4	50.4	50.2	49.4

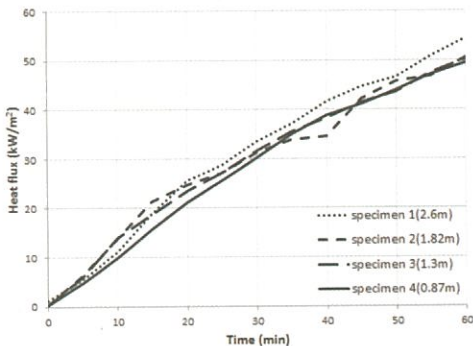


Fig. 5 Heat Flux on Window-envelop Distance

Table 9에는 열류계 측정위치와 동일한 곳에서 측정 한 온도를 나타내었다.

각 실험체의 온도는 실험 60분 경과시 189, 209, 200, 196℃로써 비슷한 수준으로 나타났다.

Table 9. Temperature on Window-envelop Distance (°C)

Time (min)	Furnace temp. (°C)	Specimen (Distance)			
		1 (2.60m)	2 (1.82m)	3 (1.30m)	4 (0.87m)
0	20	13	7	3	4
5	576	36	28	24	18
10	679	66	53	66	49
15	738	96	89	93	72
20	781	118	108	111	93
25	814	133	94	126	119
30	841	142	108	145	138
35	864	154	146	157	150
40	884	173	142	166	163
45	902	185	166	179	173
53	918	180	173	185	185
55	932	186	179	194	189
60	945	189	209	200	196

#### 4.3.2 벽체 포용거리에서의 열유량 및 온도

각 실험체의 벽체 포용거리에서의 열유량을 측정하였다. 이 결과는 유리창을 포함하는 3.0m×3.0m 벽체에 대한 결과값이다. 각 실험체의 유리창/벽체 면적비는 1.00, 0.49, 0.25, 0.11 로써, 열유량의 측정위치는 벽체의 포용거리인 2.6m 이다. Table 10에 측정된 열유량 값을 나타내었고, Fig. 6에는 시간에 따른 그래프로 나타내었다.

Table 10. Heat Flux on Wall-envelop Distance(kW/m<sup>2</sup>)

Time (min)	Specimen (Window/Wall ratio)			
	1 (1.00)	2 (0.49)	3 (0.25)	4 (0.11)
0	0	0	0	0
5	5.4	4.9	1.7	0.6
10	11.1	9.3	5.6	1.8
15	18.8	14.8	7.1	2.8
20	25.5	19	9.5	2.8
25	28.7	20.8	10.1	3.9
30	33.5	23.3	11.8	4.6
35	37.1	25.3	14.0	5.8
40	41.6	26.9	14.5	6.6
45	44.7	32.5	15.9	5.5
53	46.6	34.3	16.4	6.6
55	50.8	36.0	17.9	6.1
60	54.4	37.9	19.6	6.7

각 실험체의 열유량값은 실험 60분 경과시 54.4, 37.9, 19.6, 6.7kW/m<sup>2</sup>로써 유리창의 면적이 작으면 측정된 열유량도 작아지는 것으로 나타났다. 또한, 시간에 따른 그 상승형태는 모두 일정하게 상승하는 경향을 나타내었지만, 그 기울기는 유리창의 면적이 클수록 크게 나타났다. 이는 벽체 전체를 대상으로 하였을 때, 복사열에 영향을 미치는 인자가 유리부분임을 나타낸다.

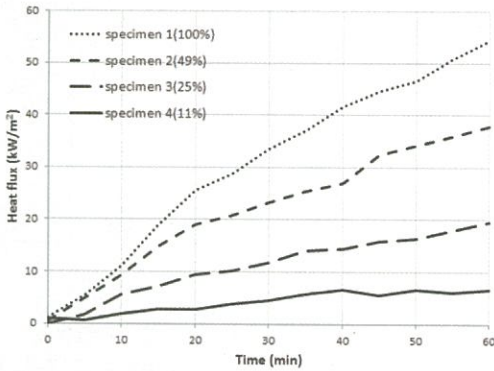


Fig. 6 Heat Flux on Wall-envelop Distance

Table 11에는 측정된 온도를 나타내었다.

각 실험체의 온도는 실험 60분 경과시 189, 108, 54, 48°C로써 유리창의 면적이 작으면 측정된 온도도 작아지는 것으로 나타났다.

Table 11. Temperature on Wall-envelop Distance(°C)

Time (min)	Furnace temp. (°C)	Specimen (Window/Wall ratio)			
		1 (1.00)	2 (0.49)	3 (0.25)	4 (0.11)
0	20	13	7	3	5
5	576	36	19	6	7
10	679	66	32	14	12
15	738	96	51	22	15
20	781	118	63	26	18
25	814	133	55	30	25
30	841	142	65	34	30
35	864	154	81	35	34
40	884	173	76	40	37
45	902	185	85	43	40
53	918	180	93	44	43
55	932	186	98	50	44
60	945	189	108	54	48

### 4.3.3 면적비에 따른 열유량비 및 온도비

4.3.2절에서의 열유량 및 온도를 벽체 전체가 유리창인 실험체 1의 결과를 기준으로 비율로 나타내었다. Fig. 7에는 열유량비를 시간에 따른 그래프로 나타내었다.

시간이 경과함에 따라, 열유량비는 특정값에 수렴하는 경향을 나타내었다. 실험체 1의 열유량을 기준으로, 면적비가 0.49인 실험체 2의 열유량비는 0.70, 면적비가 0.25인 실험체 3은 0.36, 면적비가 0.11인 실험체 4는 0.12 정도 수준으로 수렴하는 것을 그래프에서 확인할 수 있다.

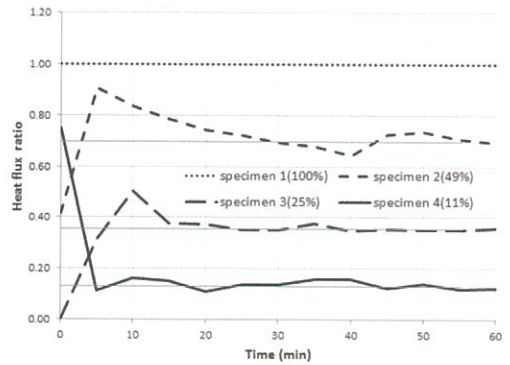


Fig. 7 Heat Flux Ratio

### 4.3.4 화재안전성을 만족하는 면적비

면적비에 따른 열유량비는 일정값에 수렴하는 경향을 보이므로, 수렴되는 열유량비와 면적비 상관관계를 그래프로 나타내었다.

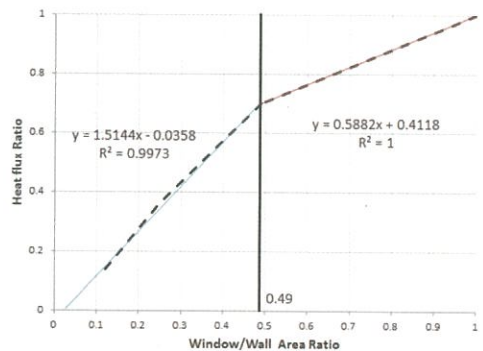


Fig. 8 Heat Flux Ratio depending on Area Ratio

면적비에 따른 열유량비는 면적비 0.49를 경계로 2가지 상관관계로 나타낼 수 있다. SFPE에 의한 화재안전성 기준인 2.5kW/m<sup>2</sup>의 열유량을 국외 최대 요구시간인 45분과 국내 요구시간인 60분에 대하여 열유량비를 산정하고, 그에 따라 면적비를 산정하였다. 그 결과, 45분 내화성능을 요구할 경우 0.061, 60분을 요구할 경우 0.054의 면적비까지는 화재안전성을 확보하는 것으로 나타났다. 이 값을 바탕으로 3m×3m 벽체에서는 0.55m<sup>2</sup>(45분 내화), 0.49m<sup>2</sup>(60분 내화)까지는 비차열 유리 설치가 가능한 것으로 판단되었다.

Table 12. Limited Area Ratio according to Fire rate

Fire Rate(min)	Heat Flux Ratio	Area Ratio	Limited Area(in 3m×3m)
45	$\frac{2.5}{44.7} = 0.056$	0.061	0.55m <sup>2</sup>
60	$\frac{2.5}{54.4} = 0.046$	0.054	0.49m <sup>2</sup>

## 5. 결론

본 연구에서는 복사열에 의한 화재안전성 측면에서 비차열 방화유리의 설치가능성을 고찰하였다. 세부적인 결론은 다음과 같다.

(1) 면적별 4가지 실험체에 대하여 실험을 수행한 결과, 유리창의 크기와는 상관없이 유리창 전체를 포용하는 거리에서의 열유량 및 온도는 일정하였다. 벽체 전체를 포용하는 거리에서의 열유량 및 온도는 유리창의 면적이 작아지면 그 크기도 작아지는 경향을 나타내었다.

(2) 열유량비는 면적비가 0.49인 경우 0.70, 0.25인 경우 0.36, 0.11인 경우 0.12 수준으로 수렴하였다.

(3) 화재안전성 기준인 2.5kW/m<sup>2</sup>의 열유량에 대하여 면적비를 산정한 결과, 45분 내화성능을 요구할 경우 0.061, 60분을 요구할 경우 0.054의 면적비까지는 비차열 유리 설치가 가능한 것으로 판단되었다.

## 참고문헌

1. International Code Council (2012), International Building Code Chapter7 - Fire and Smoke

Protection Features, pp. 135~137.

2. 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. (2004), The Principles of Fire Safety Engineering, DongHwa Technology Publishing Co., Korea.

3. KS F 2257-1 (2005), Methods fire resistance test for elements of building construction - General requirements, Korean Standard Association.

4. KS F 2845 (2013), Fire resistance test for glazed elements, Korean Standard Association.

5. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2012), Ministry of Land, Infrastructure and Transport Notification No.2012-552 Criteria for Automatic Fire Shutter and Fire Door.

6. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2012), Ministry of Land, Infrastructure and Transport Notification No.2012-745 Installation Criteria and Construction Remodeling Procedure of the Balcony, Etc.

7. NFPA 80 (2013), Standard for Fire Doors and Other Opening Protectives, National Fire Protection Association.

8. NZS 4232 (1988), Performance Criteria for Fire Resisting Closures, Standards Association of New Zealand.

9. Purser, D.A. (2008), The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - 4th Ed, Assessment of hazards to occupants from smoke, toxic gases, and heat, National Fire Protection Association.

10. Y. J. Kwon, C. Y. Kim, J. W. Mun, M. H. Baek, S. K. Lee, S. K. Hong (2006), The Building and Fire, DongHwa Technology Publishing Co., Korea, pp. 261-264.