재질별 창호의 화재위험성 평가에 대한 실험적 연구(II) Experimental Study on Fire Risk Assessment of Windows by Material (II)

이병훈* · 김윤성** · 진승현*** · 권영진****

Lee, Byeong-Heun*, Kim, Yun-Seong**, Jin, Seung-Hyun***, and Kwon, Young-Jin****

Abstract

In this study, the fire safety standards for windows in Korea, the United States, and Japan were compared to prevent fire expansion through exterior wall openings. Experiments on polyvinyl chloride (PVC) and aluminum window frames widely used in Korea were performed. The tests were conducted according to KS F 2845, in which frames with equal thickness and area in a single-window form and 1 h fire-resistance glass with an 8 T thickness were combined. The experimental results showed that the PVC window was approximately 9 min, and the aluminum window was approximately 26 min. However, in Korea, there are no test standards for windows installed at the opening of exterior walls. In addition, fire safety standards for windows should be established along with designations of fire prevention zones.

Key words : Building Fire Safety, Window, Ejected Flame, Fire Resistance Test

요 지

본 연구는 외벽 개구부를 통한 화재확대를 방지하기 위해 한국·미국·일본의 창호 화재안전기준을 비교하였으며, 국내에서 많이 사용되는 PVC, 알루미늄 창호 프레임을 이용해 실험을 진행하였다. 실험은 KS F 2845으로 단창 형태에 8 T 두께의 1시간 내화성능 유리에 동일한 두께와 면적의 프레임을 결합하였다. 실험결과 PVC 창호는 약 9분, 알루미늄 창호는 약 26분의 시간을 기록하였다. 다만, 국내의 경우 외벽 개구부에서 설치되는 창호에 대한 시험기준 자체가 부재한 실정이다. 또한 방화지구의 지정과 더불어 창호에 대한 화재안전기준이 정립되어야 한다.

핵심용어 : 건축물 화재안전, 창호, 분출 열기류, 내화성능 시험

1. 서 론

국내의 경우 도시의 밀집화로 인해 건축물이 고층화되어가고 있으며, 특히 주거시설 중 아파트 또는 공동주택의 고층화가 두드러진다. 이러한 건축물의 경우에는 실내 거주자의 대부분이 야간에는 취침한다는 특징으로 인해 화재가 발생하면 인명피해가 다른 시설에 비해 높은 편이다(Kim, 2015).

일례로 2017년 영국에서 발생한 Grenfell Tower 화재의 경우에는 부엌에서 발생한 화재가 창문을 통해 분출되어 외부 벽면에 설치된 패넬을 통해 확대되어 건축물이 전소되고 약 160여명의 사상자가 발생했다.

일반적으로 실내에서 발생한 화재는 최초 착화물의 재질에 따라 성장하게 되며 초기화재는 가연물의 중량 및 재질 등 연료에 영향을 받기 때문에 연료지배형 화재로 구분된다.

*정회원, 호서대학교 소방방재학과 박사과정(E-mail: lll8930z@naver.com)

Member, A Doctor Course, Department of Fire&Disaster prevention of Hoseo University

**정회원, 호서대학교 소방방재학과 석사과정

Member, A Master course, Department of Fire&Disaster prevention of Hoseo University

***정회원, 호서대학교 소방방재학과 박사과정

Member, A Doctor Course, Department of Fire&Disaster prevention of Hoseo University

****교신저자, 정회원, 호서대학교 안전소방학부 교수(Tel: +82-41-540-5497, Fax: +82-41-540-5738, E-mail: jungangman@naver.com)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire&Disaster prevention of Hoseo University

이렇게 화재가 성장하는 과정에서 실내의 온도가 일정시점을 넘게 되면 화재가 일시에 전실로 화재가 확대되는 과도기적 현상인 플래시오버가 발생하며, 플래시오버가 발생하면 천장 및 바닥에 위치한 가연물에 일시적으로 화염이 발생하며 실내의 산소가 급격하게 감소하게 된다(Kwon et al., 2009). 이로 인해 화재의 성상이 환기 지배형 화재로 전환되며 이렇게 성장한 화재는 환기인자와 반응하며 외부에서 공급되는 산화제와 반응하게 되는데 주로 개구부를 통해 공급되는 산소가 이에 해당된다(Shin, 2018).

건축물에서 발생하는 화재를 방지하기 위해서 화염을 가두기 위한 방화구획이라는 개념이 생겨났으며 방화구획 내에 갇혀있는 화재를 소화하기 위해 소방설비 등이 설치된다(Han, 2020). 하지만 실내에서 발생한 화재는 복도 등을 통해서만 확대되는 것이 아니며 외부로 통해 분출되는 경우도 존재한다. 위에 언급한 Grenfell Tower 화재와 같이 외기와 접하는 창문을 통해 화염이 분출되어 외부로 확대되는 경우에는 건축물의 전체로 화재가 확대될 위험이 존재한다. 국내의 경우 외벽을 통한 화재확대를 방지하기 위해 2019년 11월 건축법의 개정을 거쳐 3층 이상, 높이 10 m 이상인 건축물에는 가연성 외장재를 사용할 수 없도록 규제가 강화되었으며, 외벽에 설치하는 창호와 인접 대지경계선 간의 거리가 1.5 m 이내인 경우에는 창호를 방화유리창으로 설치하도록 개정 중에 있다.

하지만, 창호란 프레임 및 유리가 결합된 것임에도 불구하고 국내의 규정은 창문 중 유리에 대해서만 규정이 강화되고 있다. 즉, 창호 프레임에 대한 성능 규정은 고려되지 않아 실제 화재상황에서 화재확대를 방지하기 위한 제도적 개선이 여전히 이뤄지지 않고 있다. 따라서 창호 프레임의 연소특성에 따른 유리의 이탈과 이에 따른 화재확대 위험성에 대한 검증이 이뤄질 필요가 있다.

이전의 연구에서는 창호 프레임의 연소특성에 따라 유리의 내화성능이 충분한 상황에서도 프레임의 재질이 화재에 취약한 경우에는 창호가 탈락해 화염이 확대될 수 있다는 것을 검증하기 위해 PVC와 알루미늄으로 구성된 프레임 중 크기가 유사한 창호를 이용해 창호의 Cone Calorimeter 시험과 SBI 시험을 진행하였다(Lee et al., 2019). 다만, 완전히 크기가 동일한 기성제품을 구할 수 없었고 면적 등에 있어 어느 정도 차이가 있었기 때문에 검증에 있어 비교적 신뢰성이 부족했다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 미국과 일본의 창호 화재안전기준에 대해 조사하고 이를 국내와 비교한다. 또한 국내 사용비율이 높은 PVC와 알루미늄 창호 프레임의 크기와 두께를 동일하게 제작해 KS F 2845 시험을 진행하고 창호의 탈락시간을 비교해 국내 창호 화재안전기준의 방향성 및 고려사항에 대해 제안하고자 한다.

2. 창호를 통한 화재확대를 방지하기 위한 각국의 규정

창호의 경우 유리와 그 유리를 고정하기 위한 프레임으로 구성되어 있으며 유리의 경우 창문의 면적 대부분을 차지하고 있으나 불연재이기 때문에 화재확대에 비교적 영향이 적다. 따라서, 화재가 발생했을 때 창호를 통해 화염이 외부로 확대되는 과정에서는 유리를 고정하고 있는 창호 프레임이 강성을 잃어 창호가 벽에서 떨어지거나 고정된 부위가 녹아 유리가 이탈하는 현상이 일어난다(Grenfell Tower Inquiry, 2019). 이에 대해 국내와 유사한 법 체계를 가진 일본의 건축기준법과 국내 법 개정예 주로 참고되고 있는 미국의 기준을 국내와 비교하면 다음과 같다.

2.1 국내

국내의 경우 건축물에서 발생한 화재가 외부로 확대되는 것을 방지하기 위한 목적으로 건축법 제51조 3항에 의거하여 방화지구에 설치된 건축물의 개구부에는 방화설비를 설치하도록 규정하고 있다.

대상 건축물은 방화지구 내에 있는 건축물로서 1층의 경우에는 대지경계선을 기준으로 3 m 이하, 2층 이상의 경우에는 대지경계선을 중심으로 5 m 이하일 때 방화설비가 요구된다(Fig. 1).

여기서 방화설비는 방화문, 창문 등에 설치하는 드렌처 설비, 창문등과 연소할 우려가 있는 다른 건축물을 차단하는 내화구조나 불연재료로 된 벽·담장, 환기구멍에는 방화커버 또는 그물눈이 2밀리미터 이하인 금속망을 설치하도록 규정하고 있다.

다만, 창문에 설치하는 드렌처 설비의 경우에는 Active 시스템이기 때문에 소방시설의 작동 신뢰성과는 별개로 Passive 적인 방화설비가 설치될 필요가 있으나 국내의 경우에는 방화커버 및 금속망으로 대체될 뿐이고 창호에 대한 방화기준과 시험기준이 전무하다. 또한, 도시의 밀집화가 가장 심한 서울의 경우에는 1975년 이후 방화지구에 대한 지정이 이뤄지지 않고 있는 상태이기에 실제 법령의 실효성

Fig. 1. Installation Target of the Fire Protection Facility

Table 1. Window Minimum Fire Resistance Time (IBC Code)

Division	Wall performance requirements (hours)	Minimum rating of fire doors and fire shutters (hours)	Display of fire performance glass (side/top lighting window)	
			Fire protection	Fire resistance
Walls with more than an hour of fire resistance	4	3	-	W-240
	3	3	-	W-180
	2	1½	-	W-120
	1½	1½	-	W-90
Shaft, interior exit stairway, and ramp closure of interior exit	2	1½	-	W-120
Horizontal Exit of Firewall	4	3	-	W-240
	3	3	-	W-180
Other Firewalls	1	¾	D-H	
Firewall: Corridor Wall	1	⅓	D-H-OH-45	
	0.5	⅓	D-H-OH-20	
Other fire partitions	1	¾	D-H-45	
	0.5	⅓	D-H-20	

W: Wall fire resistance performance criteria

OH: Fire prevention performance criteria (Including Water Spray)

D: Fire Door Performance Criteria

H: Fireproof door performance standard (Including Water Spray)

Table 2. Window Fire Safety Standards

Division	Korea	USA	Japan
Code	Building Act Article 51-3	IBC Code Chap.705 IBC Code Chap.716 NFPA 257	Enforcement Decree of the Building Standards Act (Japan) Article 108-3, 109-3, 110-3
Performance and Installation Criteria	Fireproof cover or mesh metal net with less than 2 mm	Glass windows of fireproof windows shall be rated for at least 20 minutes, and fireproof windows shall remain in shape during performance testing through NFPA 257	Install fire prevention facilities on parts of the exterior wall opening that are feared to cause combustion, and ensure integrity for at least 20 minutes on both sides

이 의심된다(Kang, 2003).

2.2 미국

미국의 경우에는 내화창과 스펀드럴의 창문의 최소 내화시간을 규정하고 있으며 이를 바탕으로 창문을 통한 화재확대를 방지하고 있다.

IBC에서는 건축물의 용도를 집회, 업무, 교육, 공장 및 산업, 위험물 저장시설, 연구소(병원 및 노약자시설), 상업시설, 주거시설, 저장·창고시설, 설비 및 기타로 구분하고 이를 10가지로 대분류하고 용도 및 특성에 따라 벽의 최소 내화시간을 규정하고 있다.

이렇게 구분된 벽의 최소 내화시간을 바탕으로 창문의 최소 내화시간을 규정하고 있다. 이 때 내화성능은 두 가지로

구분되는데 내화 시험과 주수 시험으로 이뤄진다. 내화성능의 측정은 NFPA 257의 온도곡선에 따라 작동하는 가열원에서 수행되며 형태를 유지할 것, 창문의 비노출면에 화염이 발생하지 않을 것, 유리의 틀이 분리되어 구멍이 발생하지 않을 것 등의 기준에 따라 평가된다(Table 1).

2.3 일본

일본의 경우 연소의 우려가 있는 개구부에 대해 방화설비가 요구되는데 건축물과 대지경계선의 거리를 기준으로 한다. 국내와 동일하게 1층의 경우에는 대지경계선을 기준으로 3 m 이하, 2층 이상의 경우에는 대지경계선을 중심으로 5 m 이하일 때 방화설비가 요구된다(Table 2).

방화설비의 정의는 방화문, 방화셔터, 방화담퍼, 드렌처

등을 충족하며 차염성능을 기준으로 60분 이상인 경우 특정 방화설비, 20분 이상인 경우 방화설비로 구분되며, 건축물의 용도 및 부위에 따라 요구성능이 차등적으로 적용된다 (Enforcement Decree of the Building Standards Act, 2020).

주요구조부가 내화구조인 건축물에는 연소의 우려가 있는 개구부에 방화설비를 설치하도록 규정되어 있는데, 극장, 병원, 학교, 백화점, 창고, 주차장 등이 해당된다. 또한, 공동주택의 경우에는 3층 이상 또는 연면적 300 m² 이상부터 설치하도록 규정되어 있으며 외벽과 접하는 개구부에는 20분 이상인 방화설비를 설치하도록 규정되어있으며 철제 프레임과 망입유리로 구성된 창호의 경우에는 사용이 가능하다.

다만, 기존에는 망입유리와 철제 프레임으로 이뤄진 창호 또는 ISO 834에 규정된 가열곡선으로 이뤄지는 차염시험을 통과한 창호만이 방화설비로 사용 가능했으나, 건축물의 에너지 소비성능 향상 및 단열성능의 향상을 위해 목재 및 합성수지 계열의 창호 프레임의 사용의 필요성이 대두되었다. 이러한 문제를 해결하기 위한 목적으로 2015년부터 위원회를 구축하고 국가지원사업으로 현재 민간 사업자 등과의 협업을 통해 차염성능을 확보한 창호를 선정하는 등 관련 기준에 대해 개선을 진행 중이다.

3. 창문 프레임의 연소특성에 따른 탈락시간 비교

3.1 실험개요

창호의 경우 유리가 면적의 대부분을 차지하고 있으나 유리는 취성이 높아 깨지기 쉬우므로 고정하기 위해서 유리 주변을 감싸는 프레임이 사용된다. 본 연구에서는 크기와 두께를 동일하게 설계한 창호를 제작해 실험을 진행하였으며, 유리구획부분의 내화시험방법을 이용해 30분간 진행하였다(KS F 2845, 2013). 시험은 시료별로 1회씩 진행하였으며, 초기 온도는 23 ± 2 °C, 습도는 $67 \pm 2\%$ 에서 진행하였다. 또한, 내부 온도가 지나치게 높아지는 것을 방지하기 위해 실험이 종료되고 4시간이 경과할 때마다 진행하였다. 벽체는 ALC 패널로 구성되었으며, 기건양생을 거쳤다.

또한, 창호 프레임보다 유리가 먼저 깨지는 것을 방지하기

위해 1시간의 내화성능을 가지고 있는 8 T 두께의 유리를 이용하였으며, 창호의 형태는 단창 형태로 구성되어있다.

시험체의 크기 및 기본 물성은 Table 3, Fig. 2와 같다. 창호는 볼트를 이용해 벽체에 추가적으로 고정했으며, 용융이나 관통부가 발생하는 경우에는 실험을 종료했다. 또한 모든 과정은 Fig. 3과 같이 열화상 카메라를 이용해 비가열면

Fig. 2. Wall and Window Size

Fig. 3. Front of Walls and Windows

Table 3. Characteristics of Various Samples

Division	PVC Frame	Aluminium Frame
Size [mm] (W × D × H)	2,210 × 40 × 1,210	
Glass [mm] (W × D × H)	2,000 × 8 × 1,000 (1 hour fire resistance glass.)	
Melting point (°C)	170	680
Poisson's ratio	0.4	0.31~0.34
Heat transfer coefficient (W/m ² · k)	5	1.814×10^{-3}
Heat conductivity (W/m · k)	0.13	204

의 온도를 측정하였으며, 창호 프레임의 연소성능에 따른 창호 탈락여부를 비교했다.

3.2 실험결과

PVC, 알루미늄 창호 프레임의 시간에 따른 실험체의 특이사항을 관찰하였다. 먼저 PVC 프레임의 시간대별 특이사항은 Fig. 4와 같다. PVC 프레임의 경우 실험 시작 후 4분이 경과한 시점부터 실린트의 발화로 인해 우측 하단부에서

Fig. 4. Combustion Behavior by Time Zone (PVC)

Fig. 5. Combustion Behavior by Time Zone (Aluminum Frame)

연기가 발생했다. 약 8분이 경과한 시점에서는 연기가 좌측 상단부에서도 발생하기 시작했으며, 약 9분이 경과한 시점에서는 우측 상단부의 결합부가 분리되기 시작해 연기가 외부로 연기가 분출되다가 약 12분이 경과하는 시점에서는 상단부의 접합부분이 완전히 떨어져내려 실험이 종료되었다.

알루미늄 프레임의 시간대별 특이점은 Fig. 5와 같다. 알루미늄 프레임의 경우에도 약 5분이 경과한 시점에서 실린트의 발화로 인해 연기가 발생하기 시작했다. 약 9분이 경과한 시점에서는 하단부전체에서 연기가 발생하였으며, 약 14분이 경과한 시점에서는 상단 부분의 알루미늄이 용융되는 것이 관찰되었다. 약 19분이 경과했을 때는 용융되는 양이 많아지고 좌측면에서 분출되는 연기의 양이 늘어났으며, 약 21분이 경과한 시점에서는 내부에서 화염이 발생했다. 약 26분이 경과한 시점에서는 상단의 접합 부위가 분리되어 실험을 종료하였다.

3.3 시간대별 온도 결과 비교

실험결과 PVC 프레임은 약 9분이 경과한 시점에서 상단의 접합부가 분리되었으며, 알루미늄 프레임은 약 26분이 경과한 시점에서 분리되었다.

이 때 상단부를 통해 외부로 분출되는 열기류의 온도 및 창호 프레임의 온도를 비교하였다. 측정 위치는 Fig. 6과 같다.

PVC 프레임의 시간대별 온도는 Fig. 7과 같다. 비가열면인 Point 1~5번과 창호가 분리되어 벽의 온도를 측정한 Point 6~7번의 온도를 시간대별로 측정한 결과는 Fig. 8과 같다.

비가열면 중 유리의 온도를 측정한 1번 지점은 창호의 분리여부와 무관하게 지속적으로 온도가 상승하는 모습을 보였으나, 창호 프레임의 온도를 측정한 2~5번 지점의 경우에는 창호가 분리되는 9분이 경과하는 시점에서 196.5

Fig. 6. Temperature Measurement Point

Fig. 7. Temperature by Time Zone (PVC Frame)

Fig. 8. Temperature by Point (PVC Frame)

℃~272.2 ℃의 온도가 측정되다가 기준 약 40~75%까지 하락해 51.5 ℃~169.0 ℃의 온도가 측정되었다. 다만 분리가 일어난 5번 지점의 경우에는 이후에 온도가 다시 급격하게 상승해 372.0 ℃까지 측정되는데 이는 내부에서 분출되는 열기류로 인한 것으로 사료된다. 창호가 분리되는 시점에서 벽의 온도를 측정한 6, 7번 지점은 각각 95.4 ℃, 66.5 ℃에서 창호의 분리가 일어나자 178.3 ℃, 119.4 ℃까지 상승하다가 실험이 종료되자 다시 온도가 하락하는 것이 관찰되었다.

알루미늄 프레임의 시간대별 온도는 Fig. 9와 같다. 비가열 면인 Point 1~5번과 창호가 분리되어 벽의 온도를 측정한 Point 6~7번의 온도를 시간대별로 측정한 결과는 Fig. 10과 같다.

비가열면 중 유리의 온도를 측정한 1번 지점은 창호의 분리여부와 무관하게 지속적으로 온도가 상승하는 모습을 보였으며, 창호의 온도를 측정한 2~5번 지점은 창호가 분리된 시점에서는 439.5~483.6 ℃의 온도가 측정되었으나 PVC 프레임과는 다르게 온도가 하락하는 현상은 관찰되지 않았

Fig. 9. Temperature by Time Zone (Aluminum Frame)

Fig. 10. Temperature by Point (Aluminum Frame)

다. 외부의 벽의 온도를 측정한 6, 7번 지점의 온도는 각각 72.7 ℃, 57.5 ℃에서 창호의 분리가 일어나자 87.4 ℃, 63.8 ℃까지 상승했으나 이는 분리가 일어난 시점에서 바로 실험을 종료했기 때문에 벽의 온도가 비교적 낮게 측정된 것으로 사료되며, PVC 프레임의 실험과 거의 유사한 온도를 보였을 것으로 사료된다.

3.4 연소거동 및 온도 특성에 따른 결과 고찰

본 실험에서는 각기 다른 PVC와 알루미늄 창호 프레임을 대상으로 실험을 진행하였다. 실험결과 PVC 창호 프레임은 약 9분, 알루미늄 창호 프레임은 약 26분이 경과한 시점에서

벽에서 완전히 분리되었다. 유리의 내화성능과는 무관하게 프레임이 용융되거나 연소되면 창호가 벽으로부터 분리되어 내부의 화재가 외부로 확산되는 것으로 사료된다.

또한 구획공간에서 발생한 열기류는 창호의 탈락과 동시 외벽에 직접적으로 전달되기 때문에 건축물에서 창호가 차지하는 비율이 높은 것을 고려했을 때 프레임과 유리를 결합하여 설치하는 창호의 특성을 고려한 시험방법의 구축과 더불어 창세트 기준에서 방화성능시험에 대한 검토가 이뤄질 필요가 있다.

4. 결 론

본 연구는 창호의 화재안전기준 개선을 위해 한국, 미국, 일본의 창호화재안전기준을 조사하고 국내에서 많이 이용되는 PVC, 알루미늄 프레임을 대상으로 실험을 진행한 것으로 다음과 같은 결론을 도출했다.

- 1) 한국, 미국, 일본의 외벽 창호 화재안전기준을 조사한 결과 각각 화재확산 방지를 위해 기준을 정립하고 있으나 미국, 일본에서는 창호에 적용되는 성능기준과 시험기준이 명시된 것에 반해 국내의 경우에는 방화커버와 금속망에 대해서만 명시되어 있어 화재확산 방지에 대한 기준이 미흡하다. 또한, 이러한 외벽 개구부에 대한 기준은 방화지구에 한정됨에도 불구하고 방화지구에 대한 지정이 이뤄지고 있지 않아 실제 화재확산방지 기준이 유명무실한 실정이다. 따라서 방화지구에 대한 전면적인 재검토가 이뤄질 필요가 있으며, 화재위험성이 높은 건축물에 대한 방화설비 적용기준도 마련되어야 한다.
- 2) 실험결과 PVC 창호 프레임의 중심 온도는 유리창 온도는 약 유리 중심부의 온도는 약 390 °C, 프레임의 온도는 196.5~272.2 °C까지 측정되었으며, 창호가 벽에서 분리되는 시점에서 약 178 °C까지 상승했다. 알루미늄 창호의 유리 중심부 온도는 약 493 °C까지 상승했으며, 프레임의 온도는 439.5~483.6 °C까지 측정되었으며, 외벽의 온도는 약 87.4 °C까지 상승했다. 즉, 내부의 화재가 외부로 확산되는 것을 방지하기 위해서는 유리 이외에도 창호 프레임의 연소성능이 확보될 필요가 있다.
- 3) 창호가 벽과 분리되는 시점에서의 열기류가 외부로 분출되는 상황을 고려한다면 외기와 접하는 창호의 경우에는 최소 차열성능 시간이 확보되어야한다. 다만, 현행의 규정상 어느 것도 규정된 것이 없기 때문에 우선적으로는 창호의 프레임에 대한 성능규정의 추가도 시급할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 소방청 재난현장긴급대응기술개발사업(20015074)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- Enforcement Decree of the Building Standards Act. (2020). Retrieved August 7, 2021, from <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=325CO0000000338>
- Grenfell Tower Inquiry. (2019). Grenfell Tower Inquiry : Phase 1 Report - Report of the Public Inquiry into the Fire at Grenfell Tower on 14 June 2017.
- Han, J.W. (2020). *A study on the improvement of domestic fire compartment standards through analyzing building fire cases and fire risks*. Master's thesis, Hoseo University.
- Kang, Y.S. (2003). The current state of the anti-fire zone and the guidelines to improve it. *Korea Planning Association*, Vol. 38, No. 2, pp. 65-76.
- Kim, D.E. (2015). *A study on the combustion characteristics of combustible materials and fire propagation for the analysis of fire behavior in domestic apartment house*. Ph.D. dissertation, Hoseo University.
- KS F 2845. (2013). *Fire Resistance Test for Glazed Elements*.
- Kwon, Y.J., Son, B.S., Lee, H.P., and Lee, D.M. (2009). *Fire mechanics for PBD*. Paju: Donghwa Technology Publishing Co., pp. 194-235.
- Lee, B.H., Jin, S.H., Kim, H.W., and Kwon, Y.J. (2019). An experimental study on the fire risk assessment of windows by material. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 19, No. 4, pp. 19-27.
- Shin, Y.C. (2018). Standardization on the risk assessment method of the radiation heat flux from ejected flame in building fire. *Journal of Standards and Standardization*, Vol. 8, No. 3, pp. 41-53.

Received	August 26, 2021
Revised	August 27, 2021
Accepted	September 13, 2021