

개구부에 설치되는 유리의 화재위험성 분석에 관한 연구

Fire Risk Analysis of Glass Installed in an Opening

한지우* · 김혜원** · 이병흔*** · 진승현**** · 권영진*****

Han, Jiwoo* · Kim, Hyewon** · Lee, Byeongheun*** · Jin, Seunghyeon**** · Kwon, Youngjin*****

Abstract

This is an experimental study that analyzes the fire resistance performance of the types of glass installed in an opening to prevent a fire from spreading through the opening. The fire resistance test for glazed elements (KS F 2845) was performed on four materials: laminated glass, general glass, double-layer glass, and toughened glass. To analyze the risk of fire of each glass type, the temperature prediction of the fire room in the building was analyzed. As a result, the laminated glass ruptured at 617 °C, and it was found to be the most resistant to heat amongst all the glass types. Additionally, the temperature of the fire in the compartment was predicted to reach 617 °C in 3 min. A performance review is required for the glass installed in the opening to prevent the fire from spreading.

Key words : Opening, Glass, KS F 2845, Compartment Fire Temperature

요 지

본 연구는 건축물 화재 시 개구부를 통한 화재확산방지를 위하여 개구부에 설치되는 유리 종류별 내화성능을 분석한 시험적 연구이다. 강화유리, 접합유리, 복층유리, 일반유리 등 4가지 재료를 대상으로 유리구획 부분의 내화시험(KS F 2845)을 실시하였으며, 유리 종류별 화재에 대한 위험성을 분석하기 위해 건축물 용도별 화재실 온도예측을 통해 분석하였다. 그 결과 유리종류 중 접합유리가 617 °C에 파열되었고, 열에 가장 잘 견디는 것으로 나타났다. 하지만 구획화재온도를 예측한 결과 약 2분 만에 617 °C에 도달하는 것을 확인되어 화재확산을 방지하기 위한 개구부에 설치되는 유리에 성능적인 재검토가 필요하다.

핵심용어 : 개구부, 유리, KS F 2845, 구획화재온도

1. 서 론

외벽 개구부 유리의 파손은 구획 화재 시 발생하는 미연소 가스와 외부의 산소가 만나 격렬하게 연소반응을 일으키며 분출화염을 발생시킨다. 이후 분출화염은 높은 복사열과 대류열로 인해 직접적인 가열과 외단열재의 착화로 인한 화재확산으로 인접건축물 및 상층부 개구부에 설치된 유리

를 파손시켜 건축물 내부로 화염 및 연기가 확산될 위험성이 높다. 이러한 위험성이 나타난 화재사례로는 2010년 부산 우신골든스위트 화재사례, 2015년 의정부 대봉그린 아파트 화재사례가 있으며, 개구부의 성능미비로 인해 화재확산이 발생하였고, 막대한 인명피해와 재산피해를 발생시켰다.

국내의 경우 외벽 개구부에 설치되는 유리에 대해 채광 및 환기를 목적으로 기밀성, 수밀성, 단열성, 차음성, 내풍압

*정회원, 호서대학교 소방방재학과 석사과정(E-mail: hanjioo92@naver.com)

Member, A Master 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

****정회원, 호서대학교 소방방재학과 박사과정

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

*****교신저자, 정회원, 호서대학교 소방방재학과 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

성, 개폐유연성, 내구성 및 결로 방지효과 등의 기능을 요구하고 있으며(Chung, 2012), 화재확산을 방지하기 위해 건축물의 피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제 23조에 의거하여 방화지구 내 건축물의 인접 대지 경계선에 접하는 외벽에 설치하는 창문 등 연소 우려가 있는 부분에 대해 갑종방화문 설치 등 성능적 기준을 제시하여 인접건축물로의 화재확산 방지에 대한 대책이 마련되어 있다.

하지만 방화지구 내 연소우려가 있는 범위에 속하지 않은 건축물 외벽 개구부에 대해서는 수직적 인 화재확산을 방지하기 위한 대책이 미비하며, 또한 비방화지구에 위치한 건축물의 외벽 개구부를 통한 인접건축물과 수직적인 화재확산을 방지하기 위한 성능적 기준이 제시되지 않고 있다.

최근 10년간 분출화염을 동반한 화재건수는 평균적으로 매년 1,577건이 발생되고 있다(Shin, 2018). Table 1에서 나타낸바와 같이 약 3.4%의 분출화염 발생 비율을 나타내고 있다. 이에 방화지구 또는 비방화지구 구분없이 이격거리가 협소한 모든 건축물과 상층부로의 화재확산을 방지하기 위한 방화설비의 기준 등 제도마련이 필요할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 외벽 개구부에 설치되는 유리중류별 화재 위험성을 분석하기 위하여 강화유리, 복합유리, 접합유리, 일반유리를 대상으로 KS F 2845(유리구획 부분의 내화시험)를 실시하였으며, 건축물 용도별 구획화재온도에 측에 따른 유리중류별 위험성 분석을 실시하였다.

2. 개구부를 통한 화재확산 사례분석

2.1 부산 우신골든 스위트 화재

2010년 10월 1일 부산광역시 해운대구에 위치한 우신골든 스위트에서 화재가 발생하였다. 화재는 오전 11시 45분경 건물 4층에 위치한 미화원 작업실에서 콘센트 내부 전기 스파크로 인해 시작되었으며, 인명피해는 부상자 5명이 발생하였다. 당시 본 건물은 주상복합 건물로 최고층 38층에 202세대가 거주하고 있어 화재로 인한 인명, 재산에 큰 피해가 발생할 위험성이 있었던 화재사례이다.

Fig. 1에서 나타낸바와 같이 4층 구획실 내부에서 발생한 화재는 외벽 개구부에 위치한 유리를 파손시키고 분출화염을 발생시켰다. 이후 Fig. 2와 같이 분출화염으로 인해 외벽 마감재에 착화되어 38층에 위치한 스카이라운지까지 빠르게 화재는 확산되었다. 이때 화재로 인해 37층에 위치한 일부 세대의 개구부 유리가 파손되면서 건축물 내부로까지 확산되어 피해가 컸던 화재사례이다.



Fig. 1. Wooshin Golden Suite Fire Case



(a) Top Floor Fire Damage (b) Igniter Opening Status

Fig. 2. Spread of Fire Through External Opening

2.2 의정부 아파트 화재사례

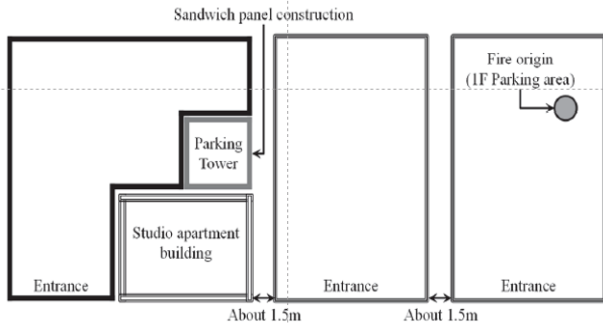
2015년 10월 10일 9시 13분경 경기도 의정부시에 있는 도시형 생활주택에서 화재가 발생하여 인접 건축물로까지 화재가 확산되었으며, 인명피해 130명 중 사망자 5명을 발생시킨 대형화재이다. 화재의 원인으로서는 4륜 오토바이 키박스를 라이터로 가열 하면서 부주의에 의한 화재로 조사되었다. 주차장에서 시작된 화재가 건축물 내부와 인접건축물로 빠르게 확산되어 피해가 컸던 화재사례이다(Fig. 3).

Table 1. Percentage of Exteral Flame Spread in Building Fire

Devison	Building Fire	Exteral Flame Spread	Rate of Exteral Flame Spread
The year of 2013	40,932	1,437	3.51 %
2014	42,135	1,463	3.47 %
2015	44,435	1,424	3.20 %
2016	43,413	1,539	3.55 %



(a) Uijeongbu Apartment



(b) Cross-sectional view and ignition point of the accident building

Fig. 3. Uijeongbu Apartment Fire

9시 15분 무렵 1층 주차장에 주차되어 있던 4륜 오토바이에 최초로 화재가 발생하여 20여분 뒤인 9시 35분경 주차장 전역으로 화재가 성장되었고 대봉그린아파트 주차장 외벽을 따라 상층부로 화재가 확대되었다. 외벽가감재를 통해 확대된 화재는 인근 건축물인 드림타운과 해뜨는 마을의 외벽으로 확산되었으며, Fig. 4에서 나타낸바와 같이 외벽 개구부에 설치되는 유리를 열에 의해 파손시키고 건축물 내부로 화재가 확산되었다.



(a) A Building Entrance (b) External Flame Spread

Fig. 4. Fire Spread Through Openings

2.3 화재사례조사 고찰

의정부 대봉그린 화재사례의 경우 외벽 개구부에 설치되는 유리의 파손에 의한 인접건축물로 화재가 확산된 것을 조사할 수 있었고, 부산우신골든 스위트 화재사례의 경우 구획화재 발생 후 유리의 내화성능적 미비로 인해 파손되어 분출화염이 발생하였고, 가연성 외단열재의 착화로 인해 상층부로 확산된 화염은 37층에 위치한 일부 세대의 개구부 유리를 파손시켜 다시 건축물 내부로 확산되었다. 이에 외벽 개구부에 설치되는 유리의 파손은 화재확산과 밀접한 관계가 있으며, 방화성능이 미비한 유리의 경우 위험성이 높다고 판단된다.

따라서 화재 시 상층부와 인접건축물로의 화재확산을 방지하기 위해 개구부에 설치되는 유리에 대한 성능적인 재검토가 필요하며, 개구부에 설치되는 유리종류별 화재실험을 통한 위험성 분석할 필요가 있다고 판단된다.

3. KS F 2845(유리구획 부분의 내화시험)

3.1 시험개요

Table 2는 시험체 규격 및 시료 종류에 대해 나타낸 것으로 일정한 화원에 따른 유리의 균열시간 및 파손시간을 알아보기 위해서 KS F 2845 (유리구획 부분의 내화시험)에 의거하여 시험을 실시하였다. 시험체의 크기는 1,000 mm × 2,000 mm × 100 mm이고 시험실 개구의 크기는 0.8 m × 2.0 m로 설정하였다. 시험에 사용된 유리의 종류는 건축물에 주로 사용되는 접합유리, 일반유리, 강화유리, 복층유리로 선정하였다. 접합유리 및 일반유리는 외벽 개구부에 가장 많이 사용되는 유리재료이며, 복층유리의 경우 2겹으로 구성되어 있으며 중간에 형성되는 공기층에 의해 뛰어난 단열효과가 뛰어나 많은 건축물에 설치되고 있다. 강화유리의 경우 건축물 1층에 유리문 및 창호 등에 많이 사용되며, 특수한 용도를 구획할 때 사용된다.

3.2 시험 방법

Table 3은 KS F 2845 (유리구획 부분의 내화시험)시험순서를 나타낸 것이다. 우선 시험 시료를 콘크리트 틀에 결합시킨 뒤 결합된 부분에 유리섬유를 채워 넣어 공기의 유입을 차단한다. 그리고 크레인을 이용하여 시험장치 앞까지 이동시킨 뒤 시험 장치에 콘크리트 틀을 고정시킨다. 모든 준비가 완료되면 가열로 구멍에서 순차적으로 가열 후 일정한 온도까지 상승시켜 시험을 진행한다. 시험은 각 유리별 30분 동안 진행하였으며, 30분 전에 유리가 파손될 경우 파손된 지점에서 시험을 종료하고 유리의 파손시간과 균열시간과 균열시간을 측정하였다. 모든 시료에 대해 시험 장치는 한번 시험을 실시한 후 약 30분 정도 안정화를 진행하였으며, 시험 시작 시 시험체 내부의 초기 평균 온도 및 비가열면 온도는 $20 \pm 10[^\circ\text{C}]$ 가 유지된 후 시험을 실시하였다.

Table 2. Glass-resistant Test







Devison	Explanation	
Test Criteria	KS F 2845	
Test Specimen Size	1,000 mm × 2,000 mm × 100 mm	
Test Room Opening Size	0.8 m × 2.0 m	
Type of Glass	Laminated Glass, General Glass Toughened Glass, Double-Layer Glass	

Table 3. Order of Fire Resistance Test for Glazed Elements

	Sample Preparation	Air Block	Combine Test Device	Start of Test	Completion of The Test
Test Order					

4. 시험결과 및 고찰

Table 4와 Fig. 5는 유리구획 부분의 내화시험(KS F 2845)의 결과를 나타냈다. 접합유리의 경우 4가지 유리종류 중 내화성능이 가장 높게 나타났다. 시험 시작 후 569 °C에서 균열이 시작되어 617 °C에 파손이 일어났으며, 유리의 고정 부분을 제외한 모든 유리파편이 하강하였다. 일반유리의 경우 다른 유리 종류에 비해 균열과 파손되는 온도가 가장 낮은 것으로 나타났다. 최초 균열이 발생한 온도는 432 °C이며, 이후 약 40초 경과 후 494 °C의 온도에서 파손이 발생하였다. 일반유리 역시 파편의 하강현상이 발생하였으며, 작은 유리 조각이 비산(飛散)되는 현상도 나타났다. 그리고 강화유리의 경우 균열이 발생하지 않고, 590 °C 온도에서 파손이 발생하였으며, 파손 시 사각형의 모양으로 비교적 날카롭지 않은 파손조각으로 하강하는 현상이 나타났다. 마지막으로 복층유리의 경우 열이 가해지는 가열로 부근의 1차 유리의 파손이 먼저 발생하였고, 곧이어 2차 유리가 파손되었다. 1차 유리파와 2차 유리의 파손 온도에 대한 차이가 적으며, 567 °C에서 최초 균열이 발생했고 594 °C에서 2차 유리까지 파손되었다.

유리구획 부분의 내화시험(KS F 2845)을 실시한 결과 약 450 °C에서 높게는 600 °C까지 열에 견딜 수 있는 것으로 나타났으며, 이론적으로 구획실 화재온도 상승을 고려했을 때 화재초기에 파손될 위험성이 있다. 또한 화염에 직접 노출될 경우 유리의 파손시간은 더욱 빠를 것으로 판단된다. 화재 초기에 유리의 파손은 개구부를 통한 분출화염으로

상층부 또는 인접 건축물로 화재가 확산될 우려가 있다. 시험한 4가지 유리종류에서 모두 파손에 의한 유리조각이 하강하는 현상이 나타났으며, 유리의 파손에 의한 하강은 건축물 화재 시 재실자 및 이용객의 피난하는 과정에서 낙하물에 추가적인 피해를 발생시킬 위험성이 있다.

따라서 건축물 용도별 가연물의 특성을 고려한 구획온도 예측을 통하여 외벽개구부 유리의 성능적인 위험성을 분석이 필요할 것으로 판단된다.





5. 구획화재온도 예측에 따른 유리의 성능적 위험성 분석

구획화재온도 예측에 따른 유리의 성능적 위험성을 분석하기 위하여 Model 1 (주거시설)과 Model 2 (업무시설)를 대상으로 Case Study를 진행하였으며, Table 5는 구획화재온도를 예측하기 위한 조건에 대해 기술하였다.

구획실에 대한 기본 조건은 ISO 9705에서 제시하는 구획실 크기 및 개구부의 크기에 대해 인용하였다. 또한 Lee (2018)은 주거시설 및 업무시설에 대한 화재하중(kg/m²)을 제시하였으며, 주거시설 33.86 (kg/m²), 업무시설 45.5 (kg/m²)로 구획화재온도예측의 각 용도별 화재하중으로 선정하였다. 벽체는 콘크리트 구조, 벽체 두께는 0.05 m로 설정하였다.

따라서 주거시설과 업무시설을 대상으로 구획화재온도에 대한 Case Study를 실시하고 KS F 2845 (유리구획 부분의 내화시험)의 결과와 비교 분석을 통해 위험성을 분석하는데 목적이 있다.

Table 4. Fire Resistance Test for Glazed Elements Test Results

Devison	Laminated Glass		General Glass		Toughened Glass		Double-Layer Glass	
Test Results								
	Time	Temperature	Time	Temperature	Time	Temperature	Time	Temperature
Crack	5 (min) : 05 (sec)	569 (°C)	2 : 40	432	-	-	5 : 48	567
Break	7 : 46	617	3 : 26	494	6 : 32	590	5 : 56	594
Broken Form	Fall		Shards of Glass Fly		Fall		1st Glass Break 2nd Glass Break	

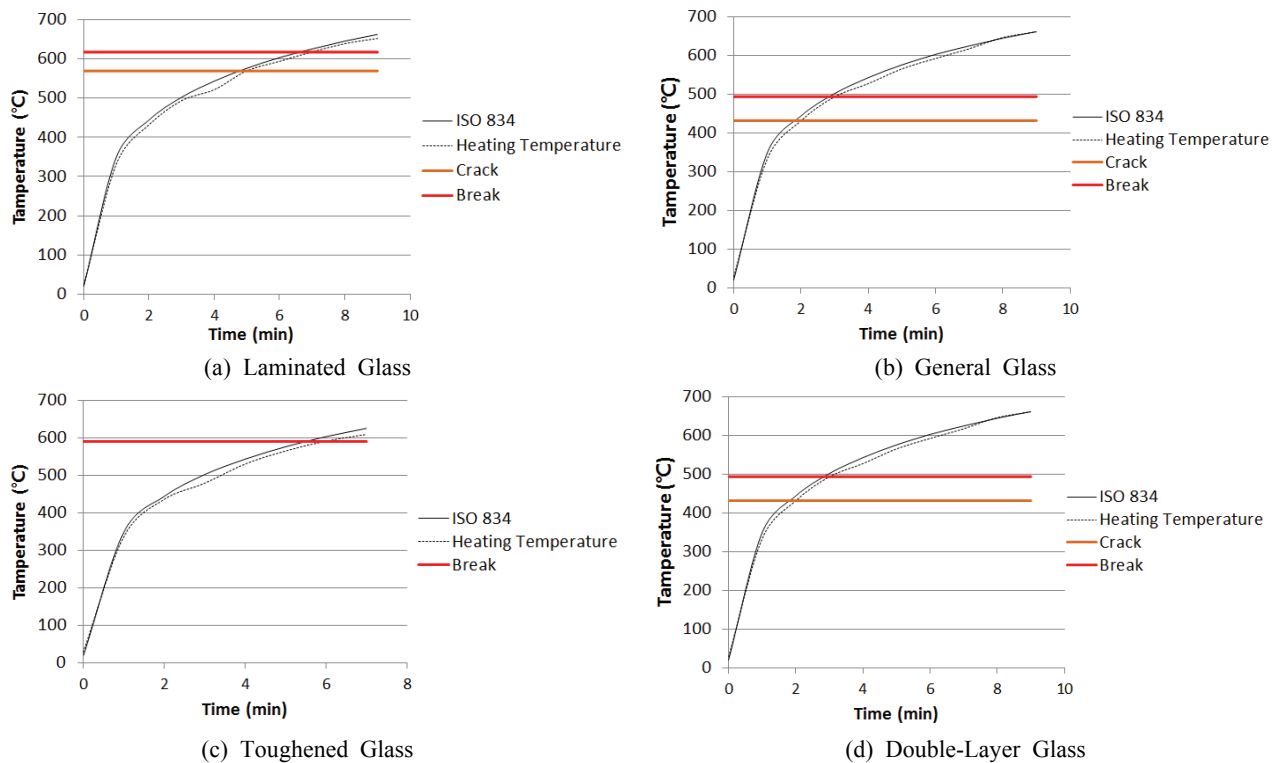


Fig. 5. Results of Test

Table 5. Analytical Condition

Quantity	Fire Model 1 (Housing Facilities)	Fire Model 2 (Business Facilities)
Temperature Measurement Position	Located in the Middle of the Room	
Fire Load (kg/m ²)	33.86	45.5
Room Size (W × D × H) [m]	2.4 × 3.6 × 2.4	
Opening Size (W × D) [m]	2 × 0.8	
Wall material	Concrete	
Wall Thickness [m]	0.05	

5.1 건축물 용도별 초기화원의 성장속도

건축물 구획내의 초기화재성상은 화재하중과 재질 및 수납형태에 크게 의존한다. 따라서 열방출률 Q (kW)로 나타내는 방식을 통해 가연물의 위험성을 구분하게 된다. 열방출률 Q (kW)가 시간의 2승에 비례하며, Eq. (1)에 나타낸 바와 같다. 여기서 α 는 화재성장률(kW/s²)이며 t는 시간(s)이다.

$$Q = \alpha t^2 \tag{1}$$

초기화재성상에 관하여 Matsuyama et al. (2000)은 건축물 용도분류에 따른 화재성장률 α 의 정식화 모델을 제안하였으며 가연물밀도(kg/m³)와 화재성장률과의 관계를 Eq. (2)와 같이 제시하고 있다.

$$\alpha \propto w^{8/3} \tag{2}$$

α 는 화재성장률(kW/s²), w 는 가연물 밀도(kg/m³)로서 화재성장률과 가연물밀도와의 비례관계에 대해 제시하고 있다.

이에 Seo (2014)는 용도별 화재하중에 따른 화재성장률에 대한 관계를 Eqs. (3), (4)와 같이 제시하고 있다.

$$\text{(주거시설)} \quad \alpha = 0.10125 + 0.1 \times 10^{-6} \times w^{8/3} \tag{3}$$

$$\text{(업무시설)} \quad \alpha = 0.0125 + 2.25 \times 10^{-6} \times w^{8/3} \tag{4}$$

건축물 용도별 화재하중에 따른 화재초기의 발열속도(Q)는 Fig. 6에서 나타냈다. 구획실의 조건이 동일하고 용도별 화재하중을 다르게 설정한 결과 화재하중이 33.86 (kg/m²)인 Model 1 (주거시설)에 비해 45.5 (kg/m²)로 높게 설정된 Model 2 (업무시설)가 높은 발열속도가 발생하는 것으로 나타났다.

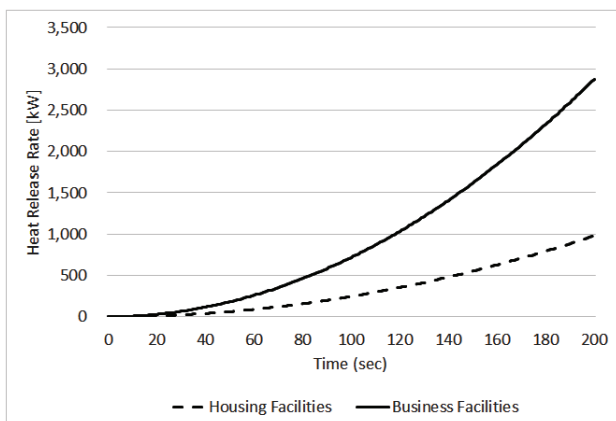


Fig. 6. Prediction of Heat Release Rate

5.2 구획화재온도 예측

McCaffrey et al. (1981)은 구획화재온도의 해석은 Eq. (5)에서 나타내는 실효열전달 계수 h_k 를 이용하였다.

$$h_k = \begin{cases} \frac{k}{\delta} & \left(t > \frac{\delta^2}{4\alpha} \right) \\ \left(\frac{k\rho c}{t} \right)^{1/2} & \left(t \leq \frac{\delta^2}{4\alpha} \right) \end{cases} \tag{5}$$

여기서, t 는 시간, δ 는 주벽의 두께, 또한 k, ρ, c 및 $\alpha (=k/c\rho)$ 는 각각 주벽의 열전도율, 밀도, 비열 및 열확산 계수이다.

실효열전달계수를 이용한 구획화재온도의 간이 예측은 Eq. (6)과 같다.

$$\Delta T_g = 480 \left(\frac{Q}{\sqrt{g} c_p \rho_\infty T_\infty A_0 \sqrt{H_0}} \right)^{2/3} \left(\frac{h_k A_T}{\sqrt{g} c_p \rho_\infty A_0 \sqrt{H_0}} \right)^{-1/3} \tag{6}$$

ΔT_g 주위온도에 대한 상부 가스층 온도 상승값($T_g - T_\infty$) (K), Q 는 화재의 에너지(열)방출률(kW), g 는 중력가속도 (m/s²), c_p 는 가스의 비열(KJ/kg·K), ρ_∞ 는 주위 공기밀도 (kg/m³), T_∞ 는 주위온도(K), A_0 는 개구부면적(m²), H_0 는 개구부 높이(m), A_T 는 구획실을 둘러싸고 있는 표면의 총면적(m²)를 의미한다. 이를 이용하여 건축물 용도별 구획화재 온도예측을 실시한 결과 Fig 7에서 나타낸 바와 같이 Model 2 (업무시설)가 Model 1 (주거 시설)에 비해 빠르게 온도가 상승하였다.

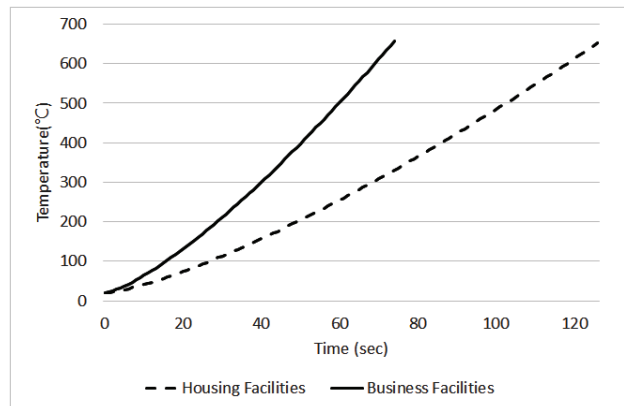


Fig. 7. Prediction of Fire Temperature

5.3 유리의 성능적인 위험성 분석 결과

Fig. 8은 업무시설과 주거시설에 대한 구획화재온도에 따른 유리의 파손 시간을 나타낸 것이다. 주거시설, 업무시설의 용도에 따른 구획화재온도예측과 유리구획 부분의 내화시험을 통해 4가지 종류의 유리에 대한 성능적 위험성을 분석한 결과는 다음과 같다. 주거시설의 경우 122초 만에 구획실 온도는 약 600 °C까지 상승하였다. 온도예측에

다른 유리의 파손 온도와 비교해보면 일반유리의 경우 432 °C에 균열, 494 °C에 파열이 발생하며 주거시설에 위치한 구획실에서 화재가 발생하여 온도가 상승한 다면 주거시설 외벽개구부에 설치된 일반유리의 경우 102초 만에 유리가 파손된다. 복층유리, 강화유리, 접합유리의 경우 각 118초, 120초, 121초로 분석되었다. 접합유리가 열에 가장 잘 견디지만, 화재초기 약 2분 이내에 외벽개구부에 설치된 유리의 파손이 발생함으로써 화재확산을 방지하기엔 성능적인 문제가 있다.

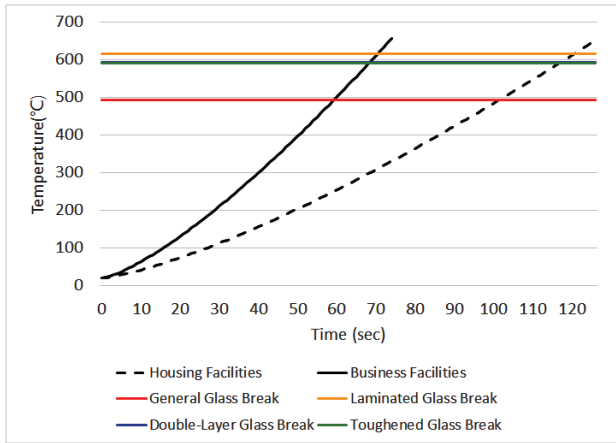


Fig. 8. Fire Temperature Prediction and Glass Break Temperature

또한 업무시설의 경우 주거시설에 비해 높은 온도상승곡선이 나타났으며, 일반유리는 60초, 복층유리는 69초, 강화유리는 69초, 접합유리는 71초로 유리의 파손시간이 주거시설에 비해 빠른 것으로 나타났다.

유리구획 부분의 내화시험을 진행한 4종류의 유리는 공동주택, 아파트 등 건축물 내 이용객과 거주자가 많은 건축물에 설치되고 있다. 화재 시 약 2분 이내에 외벽 개구부에 위치한 유리가 파손된 것으로 분석되었으며, 화재 초기의 화재성장으로 인한 개구부에 설치된 유리의 파손은 건축물 내 채실자 및 이용객들의 피난이 진행되고 있을 시간이며, 화재확산으로 인해 피난이 불가능한 현상을 발생시킬 수 있다. 또한, 상층부에서 발생한 화재로 인해 유리 파손에 의한 파편의 탈락으로 피난자에게 큰 피해를 입힐 위험성이 있다.

6. 결론

본 연구는 건축물 화재 시 화재확산을 방지하기 위해 외벽에 설치된 유리의 종류별 위험성을 분석한 결과를 아래와 같이 기술하였다.

- (1) KS F 2845 (유리구획 부분의 내화시험) 결과 약 600 °C 이내에 모든 유리가 파손되었다. 특히 일반유리의 경우

432 °C에서 균열이 발생하였고, 494 °C에서 파손되었다. 이는 초기 화재 시 외벽개구부에 설치되는 유리의 파손이 발생할 위험성이 있다.

- (2) 건축물 용도별 구획화재온도 예측에 따른 유리 종류별 성능적인 위험성을 분석한 결과 업무시설의 경우 45.5 (kg/m²)의 높은 화재하중으로 인해화재가 발생하고 69초 만에 600 °C에 도달하였으며, 시험을 실시한 모든 유리는 약 600 °C이전으로 파손된 것을 고려했을 때 화재 초기에 개구부에 설치되는 유리의 파손이 발생할 것으로 분석하였다. 또한 주거시설의 경우 구획화재온도예측 결과 122초 만에 600 °C에 도달한 것을 고려했을 때 외벽 개구부에 설치되는 유리에 파손에 의한 화재확산에 대한 위험성이 높다고 판단된다.
- (3) 따라서 이용객 및 채실자들의 피난시간을 확보하고, 피난 시 유리 파편 등 추가적인 피해의 발생을 억제하는 대책이 강구되어야 하며, 외벽 개구부에 설치되는 유리의 화재확산 방지 대책을 위한 방화성능 기준의 강화 및 적용범위에 대한 재검토가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비지원 (20AUDP-B100356-06)에 의해 수행되었습니다.

References

- Chung, J.M. (2012). *A study on the development of the door hardware's construction specification for safety and quality improvement of buildings door*. Master's thesis, Seoul National University of Science and Technology.
- Lee, B.H. (2018). *A study on the fire load and combustible characteristics for fire safety design related to BIM of building structures*. Master's thesis, Hoseo University.
- Matsuyama, K., Kobayashi, H., Nanbu, A., Mizuno, M., Harada, K., Tanaka, T., et al. (2000). Performance-based fire resistance design-fire compartment design of commercial complex Part 2. *AIJ Conference*, pp. 269-272.
- McCaffrey, B.J., Quintiere, J.G., and Harkleroad, M.F. (1981). Estimating room temperatures and likelihood of flashover using fire test data correlations. *Fire Technology*, Vol. 17, No. 2, pp. 98-119.
- Seo, D.G. (2014). *The analysis on the design factor such*

as design fire, occupant density and sprinkler droplet for performance-based fire safety design. Ph.D. dissertation, Hoseo University.

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 Standard-*

ization, Vol. 8, No. 3, pp. 41-53.

<i>Received</i>	September 10, 2019
<i>Revised</i>	September 17, 2019
<i>Accepted</i>	November 19, 2019