

D-1

수막으로 보호된 유리벽 시스템의 내화성능에 관한 연구

이창섭, 김 홍*

경기도소방학교, *호서대학교 안전공학과

**Studies on the Fire Resistance Performance of the Glazing System
Protected by Water Film**

Chang-Seop Lee and Hong Kim*

Gyeonggi-Do Fire Service Academy, *Hoseo Univ. Safety Engineering Dept.

I. 서론

현대의 건축물에는 외관이 세련되고 채광도가 우수하며 개방감을 주는 유리가 건축물의 재료로 많이 사용되고 있다. 그러나 유리는 충격에 약하고 크기의 제한이 있어서 사용이 제한되는 단점이 있고 특히 화재 시 열에 의한 파열로 인접공간이나 인접건물로의 연소확대저지를 기대할 수 없는 문제점이 있다.

스프링클러라는 공격적인 시스템으로 유리벽 시스템(glazing system: 틀을 포함한 유리창호 전체)을 보호함으로써 유리벽에 내열성을 부여하여 방화구획의 능력을 가지게 하고 피난을 용이하게 하는 연구와 실험이 미국^{1,2)}, 캐나다^{3,4)}, 영국⁵⁾, 호주⁶⁾ 등의 선진국에서 수행되어 왔으며 이들 국가에서는 그 결과를 토대로 스프링클러로 보호된 유리벽을 방화구획으로 허용하고 있다. 국내에서도 건축업계를 중심으로 이의 허용에 대한 요구가 증가하고 있으나 아직 법적·제도적 장치가 마련되어 있지 않다.

본 연구에서는 1990년 NRCC 실험⁴⁾에서 사용된 연소실(burn room)과 표준 시간-온도 곡선⁷⁾(standard time-temperature curve)을 이용하여, 국내에서 생산되고 있는 여러 가지 유리를 사용하여 설치한 유리벽 시스템에 수막(water film)을 형성시켜 내화성능을 평가함으로써 NRCC 실험의 결과를 검증하고, 이를 토대로 스프링클러로 보호된 창호의 방화구획으로서의 이용 가능성 여부를 검토하였다.

II. 스프링클러로 보호된 유리벽 시스템의 내화성능시험

1. 실험장치

연소실(burn room)은 1990년에 NRCC(National Research Council of Canada) / NFL(National Fire Laboratory)에서 행한 실험⁴⁾의 연소실(burn room)을 기본 모델로 노를 설계·제작하였다. 바닥 면적이 3.6m×3.3m, 천장 높이가 3.3m의 크기로, 250mm 두께의

콘크리트 벽돌과 25mm 두께의 세라믹 화이버(ceramic fiber) 단열재로 보호된 벽들로 구성되었으며, 천장은 C형 강으로 이루어진 그리드(grid)에 두께가 2.3mm인 철판이 부착되었고 여기에 25mm의 두께의 세라믹 화이버와 50mm 두께의 세라믹 화이버 2개 층으로 이루어진 단열내화구조이다.

연소실의 북쪽 벽 하부에는 580kW와 930kW의 화염을 공급할 수 있는 2단(two-stage) 방식의 경유 버너를 위치시켰으며, 연소 생성물과 수증기는 동·서쪽 벽 하부에 위치한 0.6m×0.45m 크기의 두개의 배출구(stack)를 통해 자연 배출되고, 연소실 내부에 양쪽 배출구를 가로지르는 강철 방판(steel baffle)을 설치하여 기류의 순환을 차단함으로써 차가운 수증기는 배출구를 통해 제거하고 연소실 내에는 고온의 가스를 유지할 수 있도록 함과 동시에 물 분사로 인한 버너의 연소효율 저하를 막고자 하였다.

스프링클러의 주배관으로 내경 40mm 강철 배관을 연소실 외부에 설치하였으며, 여기에 압력 게이지, 유량 조절 게이트 밸브 및 순간 유량계를 차례로 설치하였고, 연소실 내부로는 직경 25mm 강철 배관을 연결하여 패쇄형 스프링클러 헤드를 설치하였다. 연소실의 구조는 Fig. 1에 나타내었다.

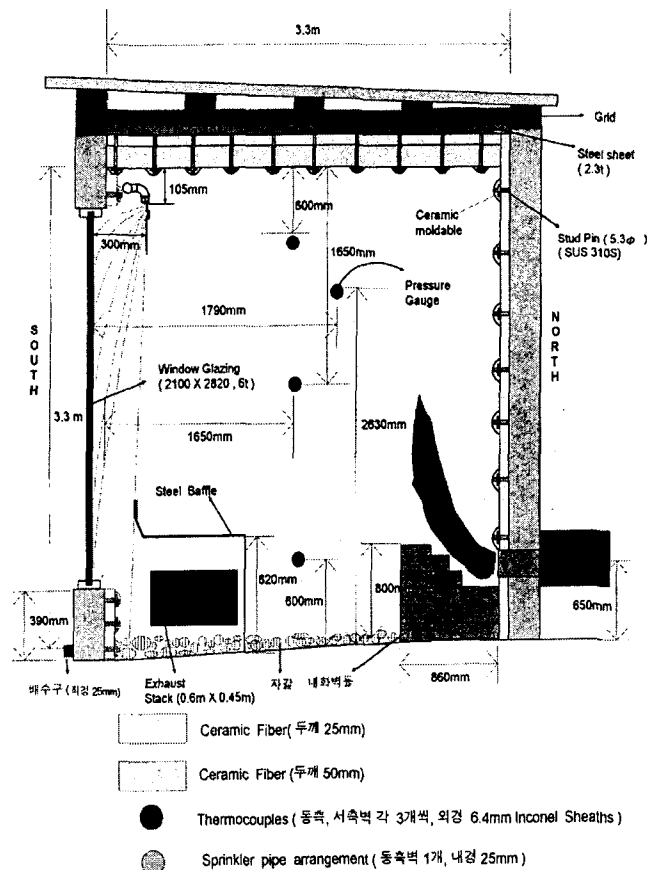


Fig. 1. Burn room

Table 1. Data of glass failure test without sprinkler

Item Glass type	Initial cracking time	Glass breakage		Average glass temperature at breakage time		
		Time	Shape	Inside	Outside	ΔT
Float	58sec	65sec	Breakage after partial cracking	195.8°C	57.7°C	138.1°C
Semi-tempered	113sec	227sec	Breakage after partial cracking	217.8°C	145.8°C	72°C
Tempered	-	385sec	Sudden breakage with no sign	230.2°C	202.1°C	28.1°C

2. 유리의 종류별 파열시험

유리가 열에 노출되었을 때 유리의 종류별 파열시간 및 표면온도 변화를 알아보기 위하여 실험을 하였는데, 2시간 내화도시험의 표준 온도-시간 곡선(Fig. 2 참조)을 적용 하였으며 유리의 크기는 가능한 최대로 하고 두께는 얇은 것을 채택함으로써 풀스케일 내화시험에서 가장 불리한 조건을 주었다. 유리의 두께는 6mm, 크기는 2.15m×2.87m이다. 실험은 한국유리에서 생산하고 있는 평유리(float glass), 반강화유리(semi-tempered glass), 그리고 강화유리(tempered glass)를 이용하여 세 차례 실시하였고 그 결과는 Table 1과 같다.

3. 풀스케일 내화시험

연소실 전체를 승온시키기에 충분한 화염을 공급하여 이때 작동하는 스프링클러에 의해 유리벽 시스템이 내화성능을 가지는지를 시험하는 풀스케일 내화시험(full-scale test)을 하였다.

풀스케일 시험 시 스프링클러 작동으로 인하여 분사된 물의 증발잠열로 연소실 내부의 온도는 같은 열량을 공급하더라도 유리의 종류별 파열시험 시보다 상당히 떨어지게 되므로 시간에 따른 연료 소모량을 측정하여 표준 온도-시간 곡선을 연료공급량-시간 곡선으로 대치하여 적용하였으며, 시험중 연소실의 평균온도와 표준 온도-시간 곡선에 의한 온도를 Fig. 2에 비교하였다.

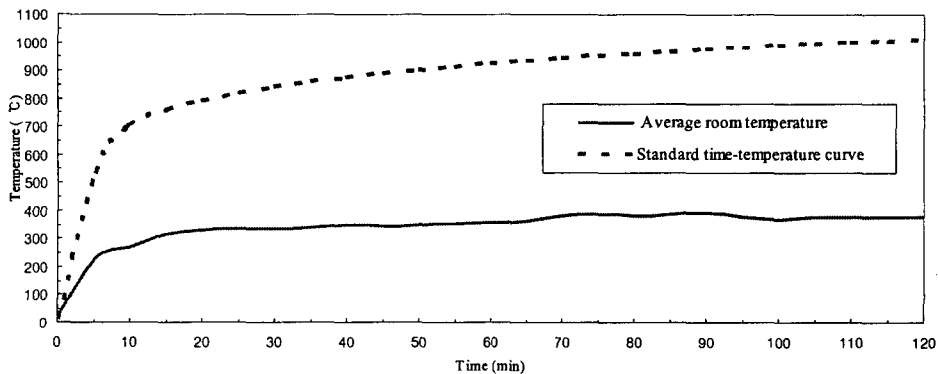


Fig. 2. Burn room average temperature and standard time-temperature curve in full-scale test

Table 2. Summary of full-scale test data

Item Glass type	Sprinkler activation time	Result	The highest temperature of glass surface (average)		
			Inside	Outside	ΔT
Float	40sec	No failure	126°C	66.8°C	59.2°C
Semi-Tempered	41sec	No failure	79.9°C	65.4°C	14.5°C
Tempered	42sec	No failure	77.7°C	73.3°C	4.4°C

Table 3. Summary of small-scale test data

item Glass type	Sprinkler activation time	Failure
Float	3min 25sec	No failure
Semi-tempered	3min 29sec	No failure
Tempered	3min 55sec	No failure

Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 폐쇄·측벽형 스프링클러 헤드 1개를 유리의 전면 중앙에 위치시키고, 방수량을 80 l/min로 고정시킨 후 실험을 행하였다.

4. 국부화재 내화시험

유리벽 시스템의 인접한 곳에 경유 액면화염(pool fire)을 적용시킴으로써, 유리벽 시스템에 국부적으로 열응력을 발생시키면서 스프링클러의 작동은 지연되는 조건인 서서히 발전하는 화재(slowly developing fire)에 대한 유리벽 시스템의 파열여부 시험인 국부화재시험(small-scale test)을 하였다.

조건은 플스케일 내화시험과 대부분 동일하고 단지 화원으로 가로 44.7cm×세로 44.7cm×높이 30cm 크기의 강철 포트(두께 3mm)에 12cm 높이까지 물을 채우고 그 위에 3cm 높이로 경유를 채운 후 착화시켜 화염을 만들어 적용시켰다. 액면화염의 위치는 유리벽 시스템 40cm 전방이었다.

III. 스프링클러와 다공관 시스템의 효율성 비교 시험

1. 실험

유리벽 시스템을 화염으로부터 보호할 목적으로 물을 분사하는 방법에는, 분사되어지는 전량의 물이 유리면에 수막을 형성하도록 하는 방법과, 분사되어지는 물의 일부는 수막을 형성하는 방향으로 분사되고 나머지는 화염과 유리면 사이에 액적으로 분사되게 하는 방법이 있다.

본 연구에서는 전자의 방법으로는 분사되어지는 물의 전량이 유리면에 수막을 형성하게 하는 다공관 시스템(multi-nozzle pipe injecting system, Fig. 3)을, 후자의 방법으로는

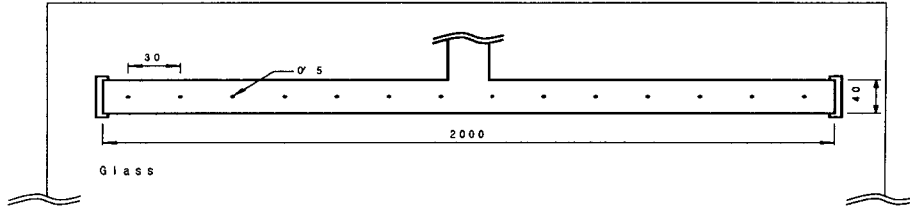


Fig. 3. multi-nozzle pipe injecting system

측벽형 글래스벌브형(glass-bulb type) 스프링클러헤드 2개를 1.8m 간격으로 설치하여 스프링클러가 작동하면 분사되어진 물 중 약 30%가 유리벽 시스템 전체에 수막을 형성하고 나머지의 물은 유리의 전면 30cm 위치의 공간에 또 하나의 수막을 형성하는 스프링클러 시스템을 썼다.

유리는 한국유리에서 생산한 6mm 두께의 강화유리를 썼으며, 최초로 공급되는 물의 유량을 100 l/min로 하여 유리면에 수막을 형성하도록 한 다음, 이전 실험에 적용한 시간-연료공급량 곡선에 의하여 연료를 공급함으로써 637kW의 화염을 연소실에 적용시켜서 각 부분의 온도가 최고온도에서 안정되는 평형상태를 시작점으로 하여 유리가 파열될 때까지 5 l/min씩 물의 공급유량을 줄여가면서 각 부분의 온도를 측정하고 파열되는 점을 찾아내어 양자를 비교하였다.

2. 결과 및 고찰

다공관 시스템으로 물을 전량 유리벽 시스템으로 향하게 하였을 때의 강화유리는 유량이 55 l/min일 때까지만 파열되지 않았지만, 스프링클러로 보호된 강화유리는 공급되는 물의 유량이 30 l/min일 때까지 파열되지 않고 견뎠다. 양 실험의 결과를 비교하면 후자의 경우인 스프링클러에 의한 분사방법이 전자인 다공관 시스템에 의한 분사방법보다 더 효율적이었는데, 이는 액적에 의한 복사열의 차단효과와 공간의 온도를 낮춰주는 냉각효과에 기인한 것으로 사료된다.

유리벽 시스템을 화염으로부터 보호하기 위해 형성된 수막이 발휘하는 냉각효과를 결정할 수 있는 실제적인 인자는 수막의 두께이다. 유리면과 같은 자유표면(free surface)에서 층류(layer flow)의 두께는 다음식으로 구할 수 있다.⁸⁾

$$\delta = \left(\frac{3\mu\Gamma}{\rho^2 g \cos \beta} \right)^{1/3}$$

여기서 δ 는 구하고자 하는 수막의 두께, μ 는 점도, Γ 는 액체하중(liquid loading), ρ 는 유체의 밀도, g 는 중력가속도, β 는 유체가 흐르는 표면이 수직선과 이루는 각이다. 이 식을 이용하여 분사되는 물의 전량이 유리벽 시스템에 수막을 형성하는 다공관 시스템으로 보호된 유리벽 시스템 내화성능 시험에서 강화유리의 파열직전에 유리면을 도포하는 수막의 두께를 구하면, 강화유리는 최상단부가 1.10mm, 최하단부가 0.98mm이다.

유리벽 시스템의 파열에 결정적인 변수로 작용하는 것이 수막의 두께라는 앞의 고찰과 다른 방법으로 접근하여 유리벽 시스템의 높이에 따른 증발량의 차이를 무시하면 공

급되는 물의 유리 넓이별 최소한계유량(minimum flow rate)을 구할 수 있다. Richardson과 Chown도 1988년 그들의 실험⁹⁾을 이런 방법으로 해석하였다. 분사되어진 물이 전량 유리에 수막을 형성하는 쪽으로 투입될 때의 조건에서 강화유리가 파열되지 않고 견딜 수 있는 유리넓이별 최소한계유량은 $26.2 \ell / \text{min} \cdot \text{m}$ 이며 유리면적별 최소한계유량은 $9.3 \ell / \text{min} \cdot \text{m}^2$ 이다.

IV. 결론

수막으로 보호된 유리벽 시스템의 내화성능을 평가하여 이것이 건축물에서 방화구획으로서의 역할을 할 수 있는가에 대한 검증을 하고, 시스템을 설계하고 이를 수용하는 관련규정을 만드는데 있어서 고려해야 할 것들을 도출하는데 초점을 맞춘 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 유리벽 시스템의 유리면 전체에 고르게 수막이 형성될 경우 유리의 종류에 관계없이 2시간 이상의 내화능력을 나타내었다.

2. 공급되는 물의 유량 전체가 유리벽 시스템에 수막을 형성하는 쪽으로 투입될 때, 본 실험의 조건에서 유리면에 형성되는 수막 중 가장 얇은 곳의 평균두께가 0.98mm 이상이 되면 강화유리가 끼워진 유리벽 시스템은 내화성능을 나타내었다.

3. 공급되는 물의 유량 전체가 유리벽 시스템에 수막을 형성하는 쪽으로 투입될 때, 본 실험의 조건에서 강화유리가 끼워진 유리벽 시스템을 보호할 수 있는 유리의 넓이별 최소유량은 $26.2 \ell / \text{min} \cdot \text{m}$ 이며 면적별 최소유량은 $9.3 \ell / \text{min} \cdot \text{m}^2$ 이다.

4. 유리벽 시스템을 보호하기 위해서는 물의 분사 방법이 중요하며, 유리면으로 전량 분사하는 것보다 일부를 유리 전방에 액적으로 분사하는 것이 더 효율적인 것으로 나타났다.

결론적으로 수막으로 보호된 유리벽 시스템은 화재시 내화성능을 가지며 방화구획의 역할을 하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Malcolmson, R W., "Report on Window Sprinkler Systems", Underwriters' Laboratories Inc., Report no. NC529, (July, 1969)
2. Beason, D., "Fire Endurance of Sprinklered Glass Walls", Fire Journal, Vol. 80, No. 4, pp. 43~45, (July, 1986)
3. Richardson, J. K. and Oleszkiewicz, "Fire Tests on Window Assemblies Protected by Automatic Sprinklers", Fire Technology, Vol. 23, No. 2, pp. 115~132, (May, 1987)
4. J. K. Richardson and G. A. Chown, "Glazing in Fire-Resistant Wall Assemblies", Canadian Building Digest, pp. 2~7, (1988)
5. Poter, A. M. and Banfield, J. R., "The Use of Drenchers to Provide Fire Protection to Glazing", Fire Surveyor, pp. 4~13, (February, 1987)
6. Moulen, A. W. and Grubits, S. J., "Water Curtain to Shield Glass from Radiant Heat

- from Building Fire”, Technical Record 44/153/422, Experimental Building Station, Department of Housing and Construction, Australia, (July, 1975)
7. Underwriters' Laboratories of Canada, "Standard Methods of Fire Endurance Tests of Building Construction and Materials", National Standard of Canada, CAN/ULC-S101-M82, (December, 1982)
 8. Warren L. McCabe, Julian C. Smith, and Peter Harriott, "Unit Operations of Chemical Engineering", 5th Edition, McGraw-Hill Book Company, p. 114, (1993)
 9. J. K. Richardson and G. A. Chown, "Glazing in Fire-Resistant Wall Assemblies", Canadian Building Digest, pp. 4~5, (1988)