건물 외벽 화재확산 방지용 윈도우 헤드의 개발을 위한 실험적 연구

곽지현[†] · 김동준^{*}

방재시험연구원, ^{*}(주)파라다이스산업

An Experimental Study on Development of a Window Sprinkler for Fire Spread Prevention along Building External Walls

Jihyun Kwark[†] · Dong-Jun Kim^{*}

Fire Insurers Laboratories of Korea

^{*}Paradise Industry

(Received December 27, 2012; Revised June 4, 2013; Accepted June 14, 2013)

요 약

건물 내부에서 화재 발생 시 외벽에 설치된 유리벽이나 창이 파손되며 이를 통해 화염이 밖으로 노출되면 화재는 외벽을 타고 수직상승하며 급격히 확대될 수 있다. 이를 막기 위한 효과적인 방법으로는 현재 내화유리를 사용하거나 또는 유리가 화염에 견딜 수 있도록 냉각수 등으로 방호해주는 윈도우 스프링클러 방식이 있다. 본 연구에서는 실내 유리창 상단에 설치되어 화재 시 열기류에 의해 감열체가 개방되면 유리에 냉각수를 방수하며 화염으로부터 유리를 방호해주는 윈도우 헤드를 개발하여 이의 내화성능을 평가하고자 하였으며 이를 위해 실험용 수직가열로를 이용해 유리창 시험체를 표준 온도-시간곡선에 따라 가열하여 윈도우 헤드의 내화시험을 실시하였다. 실험결과 1개의 윈도우 헤드로 최대 너비 2,400 mm의 유리창을 2시간 동안 방호하는데 성공하였으며 이 때 유리창 이면의 최고온도는 국소적으로 126 °C까지 상승하였으나 평균 100 °C를 유지하며 안정된 내화성능을 나타내었다.

ABSTRACT

In case of fire in a high-rise building fire can be easily spread along the building external walls dramatically if the flame comes out through broken windows. There are a few effective methods to prevent the fire spread at the moment. One is using a fire resistance window, and the other is using a window sprinkler that discharges water to resist flame in case of fire. In this study a window sprinkler which is installed on top of windows and prevents fire by discharging water when its heat-responsive element opens was tested using a large scale furnace in accordance with the standard temperature-time graph. Test result showed that one window sprinkler was able to protect a 2,400 mm wide window from fire for 2 hours and the window backside's temperature locally increased up to 126 °C but kept stable around 100 °C for the test duration.

Keywords : Window sprinkler, Fire spread, High rise building, Building external walls

1. 서 론

최근 건축기술의 눈부신 발달과 더불어 도시의 고밀도화가 가속화되며 고층건물이 계속 등장하고 있다. 이와 함께 고층건물에서의 화재발생 시 이를 방호하기 위한 각종 소방설비 기술도 꾸준히 발전되어 왔는데, 건물 내부에서 발생한 화재가 창밖으로 확산되어 건물 외벽을 통해 전파되면 화재를 진압하기가 무척 어려워져 피해가 급증하게 된다. 특히 최근에는 건물의 디자인과 전망을 중시하는 경향이 있어 초고층화 되고 창의 크기도 점점 대형화되고 있으므로 창을 통한 화염의 확산이 쉽게 이루어지므로 이에

대한 방호가 절실하다⁽¹⁾.

창의 내화성능을 향상시키기 위한 방법은 여러 가지가 있을 수 있는데 창의 재질을 내화재료로 만들 수도 있으며, 화재 시 냉각수를 분사하여 창의 온도를 낮추어 주고 수막을 형성하여 화염을 차단해 주는 윈도우 헤드 방식도 있다. 이는 건물 외벽의 모든 창을 내화유리로 제작하는 것보다 훨씬 경제적이고 유리한 방법이라 할 수 있지만 아직 미국 등 일부 소방선진국에서만 개발되어 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이의 개발을 위하여 실험물과 같은 크기와 재질의 대형 창을 제작하고 고온가열로에서 내화실험을 통하여 윈도우 헤드의 성능을 평가하고 실용화 여부를 고

[†]Corresponding Author, E-Mail: kwark@kfpa.or.kr
TEL: +82-31-887-6600, FAX: +82-31-887-6660

참고하고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

외벽 화재확산 방지를 위한 윈도우 헤드의 내화성능을 평가하기 위한 실험장치는 Figure 1과 같이 고온가열로와 시험체인 유리창, 윈도우 헤드 및 배관, 배수장치 등으로 구성된다.

윈도우 헤드의 성능을 검증하기 위한 공인시험방법은 미국의 유수한 시험인증기관인 UL Inc.에서 사용하고 있는 기준이 유일한데 자회사인 UL Canada가 제정한 것으로 ULC/ORD-C263.1-99 ‘Sprinkler-Protected Window Systems’을 그대로 적용하고 있다⁽²⁾. 이 기준의 시험장치 및 시험방법을 살펴보면 3.3 m 높이의 수직가열로에 유리창 시험체를 수직으로 설치하고 가열로 안 쪽 유리창 상단 중심에 스프링클러헤드를 유리면으로부터 300 mm 띄어 설치한다. 가열로 화원은 1.7 m 길이의 관에 16 mm 간격으로 직경 4 mm의 홀이 여러 개 나있는 다공 가스버너를 사용하며 화염 앞에 1.2 m 높이의 배플을 세워 유리창의 직접 가열을 막도록 한다. 온도 계측을 위한 열전대는 각 10개의 열전대를 시험체의 양쪽에 설치하고 표준 시간온도곡선에 따라 가열한다.

2.1.1 윈도우 헤드

본 연구에서 개발한 고층건물 윈도우용 헤드는 화재발생 시 외벽에 설치된 유리벽이나 유리창을 깨고 화재가 외벽을 따라 상층으로 급격히 성장 및 확대되는 것을 방지하기 위해 개발된 것으로, 실내 유리창 상단에 설치하여 화

Figure 2. Window sprinkler.

Table 1. Specification of the Window Sprinkler

Type	Deflector	Heat sensor	Flow coefficient (K)	Max. distance
Pendent	‘L’ type one side discharge	Glass bulb (68 °C) fast response	80	2,400 mm

재발생 시 화염이나 열기류에 의해 감열체가 개방되면 유리창에 냉각수가 방수되어 유리가 화염에 의해 가열 및 파괴되는 것을 막아주는 폐쇄형 헤드이다(Figure 2 참조)⁽³⁾.

본 윈도우 헤드는 최대설치간격 2,400 mm를 목표로 개발되었으며, 또한 헤드 1개로 최대 2,400 mm의 너비를 가지는 유리창을 방호하는 것을 목표로 설계되었다. 헤드의 주요사양은 Table 1과 같다.

2.1.2 고온가열로 및 유리창

본 연구에서 사용한 고온가열로는 ISO 834-1 및 KS 2257-1에 규정된 표준 온도-시간 가열곡선에 따라 최고 1000 °C 이상 가열되는 3 m×3 m 크기의 수직가열로로서^(4,5), ULC의 가열로와 약간의 차이는 있으나 여기에 실제 외벽에 설치되는 유리창과 같은 사양의 이중창 강화유리 시험체를 제작하여 내화실험을 진행하였다. 이 유리창은 선행 시험에서 윈도우 헤드 없이 그냥 내화실험을 하는 경우 약 5분 경과 시 파괴되는 것으로 나타났다.

본 실험은 윈도우 헤드의 내화성능을 평가하기 위해 크기(너비)가 다른 2종의 유리창 시험체에 대해 가열로 내화 실험을 진행하였다. 먼저 목표로 삼은 최대 설치간격으로 2개의 윈도우 헤드를 설치하였을 때 내화성능을 확인하고자 하였으며, 실험결과가 양호하게 나타나면 1개의 헤드로 최대폭 2,400 mm 크기의 유리창을 2시간 이상 방호할 수 있는지 실험을 통해 확인하였다. 2개의 헤드 설치 시 유리

Figure 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

Figure 3. Test furnace and window.

Figure 4. Specification of the window specimen in accordance with sprinkler number.

창의 크기는 2600 mm×2438 mm이며 1개의 헤드로 실험하는 경우는 2400 mm×2438 mm이다.

각 실험에서 윈도우 헤드는 개발사양의 특성에 맞춰 유리 상단으로부터 50 mm 아래 위치에 유리면과 200 mm 띄어 설치하였으며, 헤드 1개의 경우 중앙 상단에 헤드 2개의 경우는 유리 양 끝단에서 각각 100 mm 안쪽 지점의 같은 높이에 유리면과 200 mm를 띄어 설치하였다. 이렇게 제작한 유리창 시험체를 철재틀(카트리지)에 장착하고 여백은 내열벽체로 막아 수직가열로에 장착하였으며, 시험 시간 동안 방수되는 물을 배출해 내기 위해 하단에는 배수통을 설치하였다.

2.2 실험조건 및 실험방법

본 윈도우 헤드의 내화실험을 위한 실험조건 및 방법을 요약하면 Table 2와 같다. 윈도우 헤드의 화재실험은 감열체의 로지먼트 현상(감열체의 완전 이탈 실패)에 의한 작동불량으로 실험이 실패하는 것을 방지하기 위해 가열로의 연소기 점화 30초 후에 수동으로 방수를 시작하여 수

Figure 5. Thermocouple position on window surface.

행하였다. 각 헤드의 유량계수는 80으로 최소사용압력 1 bar에서 실시하였으므로, 총방수량은 헤드 1개의 경우 80 L/min, 2개의 경우 160 L/min이며, 성능목표는 최대목표시간 2시간 동안 유리가 파손되지 않고 화염으로부터 방호되는 것으로 하였다.

실험기간 동안의 온도계측을 위해 열전대를 설치하여 실시간으로 온도변화를 측정하였는데 가열로 내부의 온도는 가열로 벽면에 3×3 형태로 총 9개의 열전대를 설치하였으며, 유리창 이면의 온도는 Figure 5와 같이 바깥쪽 비가열면의 중심과 두 대각선상의 1/4 지점에 대칭으로 총 5개의 열전대를 설치하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

두 경우의 실험에서 가열로 내부는 Figure 6의 실선과 같이 표준 시간온도곡선에 따라 가열하였으나 헤드로부터 지속적으로 방수된 물입자가 계속 기화하며 증발열을 빼앗아 이로 인한 냉각효과로 인해 가열로의 평균 내부온도는 Figure 6의 점선처럼 실험기간 동안 약 550~600 °C를 유지하였다. 또한 이 때 기화되는 수증기로 인해 화염에서 나오는 복사열의 차단도 일부 작용하였을 것으로 생각된다. 그러나 수증기는 연소가스 배출구를 통해 가열로 밖으로 함께 배출되므로 가열로 내에 축적되지는 않으므로 실제 상황과 유사하다고 사료된다.

또한 이 실험에서 가열로 연소기의 화염은 물이 방수되지 않는 일반 내화시험 때와 동일한 연료량으로 일정한 연소부하를 유지하고 있었으므로 화재의 강도는 일정하다고

Table 2. Experimental Condition

Sprinkler number	Sprinkler distance	Window size	Water flow rate	Water discharge pressure
1	-	2400 mm×2438 mm	80 L/min	0.1 MPa
2	2,400 mm	2600 mm×2438 mm	160 L/min	0.1 MPa

a) one sprinkler

b) two sprinklers

Figure 6. Temperature graph of furnace inside.

할 수 있다.

먼저 2,400 mm 간격으로 두 개의 헤드를 설치한 실험 결과 Figure 6의 (b)에서 보듯이 점화한지 약 8분 후에 가열로 내부의 평균온도는 500 °C를 넘어섰으며 이후 약 550 °C로 유지되는 동안 반대쪽 비가열 유리표면의 최고 온도는 Figure 7(b)와 같이 69 °C를 나타내며 2시간 동안 화염으로부터 이상 없이 방호에 성공하였다.

두 번째 실험은 방수량이 앞 실험의 절반인 80 L/min로 1개의 윈도우 헤드를 설치하여 시험한 결과, Figure 6의 (a)와 같이 가열로 내부의 온도조건은 앞의 실험과 유사하게 나타났으나, Figure 7의 (a)에서 보듯이 점화 후 약 12분경에 비가열면의 최고온도가 국소적으로 126 °C까지 가열되었다. 그러나 이후 100 °C 전후의 온도를 유지하며 2

a) one sprinkler

b) two sprinklers

Figure 7. Temperature graph of window surface.

시간 동안 파손되지 않고 화염으로부터의 방호에 성공하였다. 위에서 Figure 6의 가열로 내부온도 그래프(점선)는 각 1분 단위로 측정된 9개 열전대의 실시간 평균온도를 나타낸 것이며, Table 3에 표시한 가열로 평균온도는 이 그래프의 120분 동안의 평균값을 나타낸 것이다.

실험기간 동안 유리창에 방사되는 살수분포를 유심히 관찰한 결과 디플렉터에 반사된 물이 유리 양쪽 끝단까지 퍼지며 유리면을 타고 아래로 흘러내렸는데, 유리면에 오염물질이나 먼지 등이 묻어 있는 경우 냉각수가 이를 피해 지나가는 현상이 관찰되었다. 따라서 이러한 부분에 국소적으로 온도가 상승할 수 있으며 내열한계를 벗어나면 파손의 위험이 존재할 수 있는 것으로 사료된다.

또한 유리 양 끝단 맨 윗부분은 헤드에서 방수된 물이

Table 3. Experimental Results

Sprinkler number	Window size (mm)	Sprinkler position or distance	Water flow rate (L/min)	Averaged furnace Temp. (°C)	Max. window surface Temp. (°C)	Damage	Test duration
1	2400×2438	Center	80	570	126	None	2 hours
2	2600×2438	2400mm	160	550	69	None

Figure 8. Principal fire test scenes.

닿지 않는 영역이 일부 존재할 수 있어 방수압을 적절히 유지하여 국소적인 온도상승으로 인해 방호에 실패하지 않도록 유의하여야 할 것으로 판단된다. 실험결과를 Table 3에 정리하여 나타내었으며, 각 실험 시 주요장면은 Figure 8과 같다.

4. 맺음말

본 연구에서 외벽 화재확산방지를 위해 냉각수를 방수함으로써 건물에 설치된 일반 강화 유리창의 내화성능을 확보해줄 수 있도록 개발된 윈도우 헤드의 실용화 가능성을 타진해 보기 위하여 두 가지 크기의 유리벽 시험체를 제작하여 고온가열로를 이용해 내화실험을 실시하였다.

실험결과 최대 크기 2400 mm×2400 mm 규모의 유리벽에 대하여 1개의 헤드로 2시간 이상 화재 방호가 가능한 것으로 나타나 상용화의 실용성이 높은 것으로 나타났다. 이는 윈도우 헤드가 없는 경우 화재 시 5분 만에 파괴되는 점을 감안해볼 때 상당한 내화성능을 확보하였다고 판단된다. 추후 실제 건물에 적용하기 위해서는 내화성능 외에도 감열체의 감도성능, 작동성능, 내환경성능 등의 기능이 검증되어야 하며, 외관의 디자인 향상을 위해 유리벌브형 외에 컨실드형 등의 형태도 고려되어야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 소방방재청 차세대핵심소방안전기술개발사업

의 지원을 받아 수행되었으며 관계제위께 감사드립니다.

References

1. C. S. Ahn, H. Y. Kim, Y. H. You and H. J. Kim, "A Numerical analysis for Fire Spread Mechanism of Residential Building Fire", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 1, pp. 31-37 (2012).
2. ULC, ULC/ORD-C263.1-99 "Sprinkler-Protected Window Systems", Canada (1999).
3. R&D Report, "Development of sprinklers made to order", NEMA (2013).
4. ISO 834-1, "Fire-resistance tests -- Elements of building construction -- Part 1: General requirements", ISO (1999).
5. KS F 2257-1, "Methods of Fire Resistance Test for Elements of Building Construction-general Requirements", KSA (2005).