외장재 연소확대방지용 헤드 개발에 관한 연구 A Study on the Development of a Head for Prevent the Fire Spread of Exterior

민세홍 · 김미숙*[†] · 장영진** · 사재천** · 배연준** · 이재문***

Se-Hong Min · Mi-Suk Kim*[†] · Young-Jin Jang** · Jae-Chun Sa** ·
Yeon-Jun Bae** · Jae-Moon Lee***

가천대학교 공과대학 소방방재공학과, *가천대학교 화재·소방과학연구센터,
가천대학교 환경디자인대학원 소방방재공학과, * (주)창우FE&C

요 약

본 연구에서는 건축외장재 화재로 인한 수직화염의 확산을 방지하기 위하여 연소확대방지용 헤드를 개발하였다. 헤드개발의 성능기준은 NFPA 80A 7.7.4.3 조항(Recommended Practice for Protection of Buildings Exterior Fire Exposures)에 의거하였으며, 방사압 0.05 MPa, 방수량 60 l/min 기준을 적용하였다. 헤드개발은 국내에서 사용되는 드렌처헤드와는 사용용도 및 구조가 전혀 상이하나 이를 응용·가공하여 총 5차례의 실험과정을 통해 방사압 0.05 MPa일 때 방수량 65 l/min의 연소확대방지용 헤드를 개발하였다. 연소확대방지용 헤드의 헤드 간 적정 이격거리는 실험결과, 3~5 m 이내로 건물별 화재위험강도에 따라 선택적으로 설계에 적용하면 되는 것으로 판단된다.

ABSTRACT

In this research, in order to prevent spread of vertical flame from building exterior fire, A head was developed. The performance standards of Head development complied with NFPA 80A 7.7.4.3 (Recommended Practice for Protection of Buildings Exterior Fire Exposures) and the standards are applied to the discharge pressure was 0.05 MPa and the discharge flow rate was 60 l/min. The head was developed about applied to 0.05 MPa and 65 l/min through the process of the experiment of five times, it is processed from drencher head and used in domestic intended use and structure are quite different. An appropriate distances between the head and the head proved as the experimental results to within 3 m~5 m and it selectively applied to the design is being considered depending on the fire hazard strength.

Key words : Sprinkler head, Exterior fire, Vertical flame

1. 서 론

최근 건축물은 기능과 더불어 외관상 디자인을 강조하는 추세이다. 이와 관련하여 유리커튼월 외장재 및 알루미늄 복합패널 등의 다양한 금속패널 외장재를 사용함으로써 미관상의 수려함과 독특한 외장디자인을 적용한 건축물의 건설이 주를 이루고 있다. 그러나 안전성을 배제하고 외적 디자인만을 중시한 무분별한 외장재의 사용이 얼마나 위험한가에 대한 화재의 심각성

을 2009년과 2010년 발생한 서울 강남 화진빌딩 화재와 부산 우신골든스위트 오피스텔 화재에서 증명된 바 있다.

2010년 부산에서 해운대 우신골든스위트 오피스텔 대형화재가 발생하였다. 지하 4층 지상 38층으로 이루어진 초고층건축물로 외장재는 알루미늄복합패널로 시공되었다. 해운대 우신골든스위트 화재는 지상 4층에서 발생한 불이 건축물 외장재인 알루미늄복합패널의 폴리우레탄에 전이되면서 30분도 채 지나지 않아 38층인 옥상까지 화재가 확산되었다. 화재진압을 위해 인근에 있던 소방대가 도착하였지만, 초고층건축물의 외장

[†] E-mail: kmisuk85@hanmail.net

재에 의한 수직 확산 화재에 대한 설비가 전무하여, 최상층까지 확대되는 화재에 의한 피해가 증가하였던 것이다. 강남 화진빌딩 화재도 이와 같은 화재 사례이다.

알루미늄복합패널은 건축법상 불연재인 0.5 mm의 알루미늄 박판 사이에 에틸렌을 중합시켜 얻은 열가소성수지 3~5 mm의 폴리에틸렌으로 구성된 구조이다.¹⁾

폴리에틸렌과 같은 재료는 목재와 같은 일반적인 가연성 재료보다 열방출율이 약 3~5배 더 높아 상대적으로 화재위험도가 매우 높다. 재건축물의 외장재로 많이 사용되고 있는 알루미늄복합패널 및 외단열시스템(EIFS)은 화재에 매우 취약한 안전상의 문제점이 대두되고 있다.^{2,3)}

부산 우신골든스위트 오피스텔 화재 직후, 우리나라의 각 소방서에서는 관할 소방관련회사에 안내문을 보내 11층 이상의 고층건축물에 대해 초고층건물의 외벽 마감재 불연화 및 16층 이상 층에 5개 층마다 거실 커튼월 부근에 측벽형 스프링클러 헤드를 일렬로 설치하도록 하는 등 4개 조항에 대한 권고가 있었다. 그러나, 이를 뒷받침할 수 있는 규정이 없으며 또한, 본 조항은 외벽보호용 설비는 개발된 바가 없어 실효성에 의문을 가지게 되었다. 본 권고사항으로 인해 소방관련 회사에서는 현재까지 유사한 설비인 드렌처설비로 이를 대응하는 실정이며, 이로 인해 배관의 외부 노출 및 드렌처헤드의 외벽 설치 등 외관상 및 기능상 많은 문제점을 내포하고 있는 실정이다.

미국의 NFPA 13에서는 심각한 연소문제를 포함하는 많은 건물이나 시설물에 다른 건물이나 외부에서 발생한 화재로부터 시설물을 보호할 수 있는 외부 스프링클러설비를 설치하도록 규정하고 있다.³⁾ 이는 우리나라의 NFSC에서 규정하고 있는 드렌처설비와는 상이한 설비이다.^{4,7)}

이에 본 연구에서는 외벽 화재 시 급격한 화재확산을 지연할 수 있는 연소확대방지 전용 헤드를 개발을 수행하였다.

2. 헤드성능시험에 의한 외벽방호용 헤드 개발

외벽방호용 헤드 개발을 위해 헤드성능시험과 실물 살수시험을 수행하였다. 헤드성능시험에서는 개발된 헤드에 대해 방수량 측정과 살수패턴을 확인하였으며, 실물살수시험에서는 성능시험에서 완성된 헤드를 실 건물에 설치한 후 외벽 면의 살수패턴 및 헤드 간 적정 이격거리를 확인하였다. 이와 같은 시험의 수행으로 방수압, 방수량 및 살수패턴의 적정성을 분석하여 최종

헤드의 기준을 선정하였다.

헤드설계기준은 미국의 NFPA 80A 7.7.4.3 조항 (Recommended Practice for Protection of Buildings Exterior Fire Exposures)에 명시된 연소방지용 스프링클러설비기준을 적용하였다.

2.1 헤드성능시험 방법 및 장치구성

2.1.1 시험개요

헤드성능시험은 외벽방호용 헤드를 개발하기 위한 시험으로 기존의 국내에서 사용되는 드렌처헤드의 구조를 응용 가공하여 총 5차례의 과정을 통해 외벽면에 적용이 가능한 외벽방호용 헤드를 개발하였다.

헤드개발품의 성능시험은 동일한 헤드를 2개씩 가공

Figure 1. Output equipment.

Figure 2. Head testing equipment.

한 후, 방수량 측정실험 및 외벽면의 살수페턴실험을
진행하였다.

2.1.2 실험장치 구성

Figure 1은 방수량 측정실험장비로 각 치수별 가공된 헤드에 대해 설계기준상의 방수량의 측정이 가능하다. Figure 2는 살수실험 배관을 제작하여 개발된 헤드가 벽면에서 적절하게 살수되는지 확인하였다.

2.2 실험

2.2.1 헤드

Figure 3은 각 차수별 개발된 헤드이다. 1차용 헤드와 2차용 헤드는 내경 $\varnothing 13$, 방사각 180° 인 드렌처 헤드를 가공하였다. 3차와 4차의 헤드는 내경 $\varnothing 14$, 방사각 180° 인 드렌처 헤드를 설계상의 방수량 기준을 맞추는데 초점을 두고 개발하였다.

2.2.2 방수량 측정실험

각 차수별 헤드 개발품의 방수량 측정실험결과를 Table 1에 정리하였다. 1차부터 4차까지의 개발된 헤드

Figure 3. Step-by-step development of each head.

Table 1. Test Results of Measured Discharge Flow Rate

Head Type	Standards of Discharge Flow Rate (l/min)	Standards of Discharge Pressure (MPa)	Measured Discharge Flow Rate (l/min)
Step 1	60	0.05	35
Step 2	60	0.05	39
Step 3	60	0.05	42
Step 4	60	0.05	46

Figure 4. Step-by-step development of a sprinkler head test pattern.

의 측정된 방수량은 기존의 설계기준인 60 l/min에 미달되었다. 개발이 진행되면서 각 차수별 방수량은 증가하였지만 설계기준상의 방수량 값에는 적합하지 않았다.

2.2.3 살수패턴 실험

Figure 4는 1차부터 4차까지 개발된 헤드에 대한 살수패턴 실험 이미지이다. 살수패턴 실험결과, 1차용 헤드는 살수각도가 180° 가 아닌 240° 로 살수되는 문제점을 확인하고 2차용 헤드 가공 시 내부를 R가공(나사산 시작 부분의 예각을 없애고 모든 각도를 둥글게 처리하는 방법)하여 이에 대한 문제점을 해결하였다. 3차용 헤드와 4차용 헤드는 외벽 면으로 적정하게 살수되었지만 설계기준상의 방수량 값과 상이하여 5차용 헤드를 추가적으로 개발하게 되었다.

Figure 5. Head drawing of step 5 head.

Table 2. Outline of Step 5 Head

Type	A Type	B Type
Discharge Flow Rate	65 l/min	55 l/min
Head Inside Diameter	Ø 20	Ø 20
Image

2.2.4 실험 결과

헤드성능실험을 통해서 내경 Ø 13~Ø 14인 드렌처 헤드를 가공하여 설계기준에 맞춘 헤드를 개발하는 것은 불가하다고 판단하였다. 이에 5차용 헤드를 추가적으로 개발하였다. 최종 5차용 헤드는 내경 Ø 20로 가공하여 측정된 결과, 방사압 0.05 MPa인 경우 방수량 65 l/min가 측정됨으로써 설계기준에 적합한 헤드를 개발하였다.

최종 5차용 헤드의 도면은 Figure 5에 나타내었다.

Table 2는 최종 헤드인 5차용 헤드의 개요를 정리하였다. A TYPE 헤드가 최종개발헤드이며, B TYPE 헤드는 내부 가공에서만 근소한 차이로 인해 방수량이 55 l/min가 측정되었다.

3. 개발헤드의 성능평가실험

최종 개발된 5차용 헤드를 적용하여 실제건물에서의 헤드살수실험을 진행하였다. 실물살수실험은 헤드의 방수량 차이에 따른 살수패턴의 변화 및 외벽방호용 헤드의 적정 이격거리 여부를 확인하기 위함이다.

3.1 실물살수 실험 개요

실물살수실험은 Figure 6에 나타난 바와 같이 서울 은평구의 신축아파트 건물에서 진행하였다.

건물개요는 Table 3에 정리하였으며, 실험조건은 Table 4에 나타냈다. 실험조건은 유리커튼월 건물에서 최종 5차용헤드인 A Type의 헤드와 최종헤드보다 방수량이 부족한 B Type의 헤드를 적용하여 비교실험을 하였다. 이는 방수량 차이에 따른 외벽 면에서의 살수패턴 차

Figure 6. Applied to real experimental building sprinkler heads.**Table 3.** Outline of Building Real Sprinkler Experiments

No.	Building Type	Height (M)	Width (M)	Height of Piping Installation (M)
1	Glass Curtain Wall	18.2	14.5	18.5
2	Concrete Wall	19.5	13.0	19.0

Table 4. The Experimental Conditions of the Real Sprinkler Experiment

No	Building Type	Head Type	Distance	Discharge Pressure
1	Glass Curtain Wall	A Type (65 LPM)	Center of Pipe	0.05 MPa
2		B Type (55 LPM)		
3	Concrete Wall	A Type (65 LPM)	3 M	0.05 MPa
4			4 M	
5			5 M	

이를 확인하기 위함이다. 콘크리트건물에서는 최종 헤드개발품인 A Type 헤드의 헤드 간 적정 이격거리 확인하기 위해서 3 m, 4 m, 5 m의 이격거리를 두고 살수 실험을 각각 진행하였다.

3.2 실험장치의 구성

3.2.1 실험장치

실험장비의 주요 구성장비를 Figure 7에 정리하였다.

Figure 7. Component of laboratory equipment.

Figure 8. Infrared thermal image camera and video camera.

실물헤드실험의 실험장비로 실험배관 및 압력계와 감압변, 헤드로 구성되며, 수원원은 건물 내의 옥내소화전의 수원을 이용하였다. 실험배관은 배관용탄소강관(KSD 3507)의 $\varnothing 32$ 구경을 사용하였다.

3.2.2 기록장치

Figure 8에 나타난 바와 같이 헤드의 살수형태 및 방사각도 등을 확인하기 위해 Infrared Thermal Image Camera Thermopro TPB 모델로 영하 20°C 에서 영상 $2,000^{\circ}\text{C}$ 까지 측정 가능한 열화상카메라를 적용하였다. 또한, 비디오카메라 및 일반 카메라를 적용하여 기록하였다.

3.3 실험

Figure 9에 실물헤드 살수실험 이미지 및 헤드살수 실험을 위한 배관설계도면을 나타내었다.

실물 살수실험의 실험 진행 과정을 Figure 10에 정리하였다. 건물 내의 옥내소화전설비를 수원원으로 사용하고, 리프트를 이용하여 건축물 외벽의 실험배관을 설치하였다. 기존 옥내소화전 수원의 압력이 0.7MPa 이

Figure 9. Testing picture & head drawing.

Figure 10. Experimental procedure.

므로 살수실험을 위해서 감압변과 압력계로 설계기준의 압력인 0.05 MPa로 감압 후 실험을 진행하였다. 실험시간은 5분 동안 헤드를 개방하여 결과를 기록하였다.

유리커튼월 건물에서는 5차 헤드 A, B Type에 대해 살수 패턴을 실험을 확인하여 B Type 헤드의 방수량 부족에 따른 헤드의 살수패턴 변화를 확인하였다.

그리고 방수량을 만족한 A Type 헤드를 콘크리트 건물에 적용하여 헤드 간 적정 이격거리 확인을 위해 3 m, 4 m, 5 m의 이격거리를 조정하며 실험하였다. 기록은 리프트 위에서 수평면 상태에서 열화상카메라와 일반 동영상 카메라 및 디지털카메라를 이용하여 실험 내용을 기록하였다.

3.4 실험결과

3.4.1 방수량 차이에 따른 살수분포

유리커튼월 건물에서 진행된 헤드의 방수량 차이에 따른 살수 분포 실험결과를 Figure 11에 나타내었다. 열화상 이미지에서 헤드위치는 원으로 표시하였다.

최종헤드인 A Type 헤드는 방수량이 65 l/min이며, B Type 헤드는 방수량이 55 l/min으로 방수량이 설계기준보다 부족했던 헤드였다. 실험결과 방수량 차이에 따라 살수패턴의 차이를 확인할 수 있었다. 열화상 이미지의 분석결과 A Type의 헤드의 실험 시 건물의 중심부로 살수분포와 밀도가 B Type 헤드보다 적정하게 살수되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 헤드의 설계 시 방수량의 중요성을 다시 한 번 확인할 수 있었다.

Figure 12는 A Type 헤드를 FDS 5(version 5.4.3) 모델링을 사용하여 고층건물에서 살수패턴의 변화가 있

Figure 11. Head pattern results.

Figure 12. Result of the FDS modeling.

는지 확인하였다. 건물의 형태는 가로 35 m, 세로 25 m, 높이는 1층당 5m로 40개층을 고려하여 200m로 설정하였고, 헤드는 최상층에서 20 m 떨어진 위치에 일렬로 7개를 설치하였다. 헤드 간 이격거리는 3 m로 설정하고, 헤드의 방수압은 0.05 MPa를 적용하였다.

모델링 결과 A Type 헤드는 건물의 하부 30 m까지는 외벽 면으로의 살수 패턴이 직선 형태로 실물살수

Figure 13. Head distance adequate of a type results.

실험에서 헤드의 살수패턴과 유사하였지만 30 m 이상 넘어가는 지점부터는 물이 비산되는 것을 확인할 수 있었다.

3.4.2 헤드 간 적정 이격거리

Figure 13은 A타입 헤드의 이격거리 별 살수패턴결과이다. 실험결과 헤드 간 이격거리 별 외벽 면으로의 살수패턴이 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 추후 헤드 설치 시 건물의 화재위험성 정도에 따라 헤드간 이격거리는 3~5 m 이내로 선택하여 설계에 적용하면 될 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 외장재의 화재 발생 시 수직확산화염을 지연할 수 있는 대안으로 외벽에 설치 가능한 연소확대방지 전용 헤드개발을 위한 실험을 수행하였다. 본 연구를 통해 도출된 결과는 다음과 같다.

1) 5차례의 걸친 헤드 가공 후 방수량 측정실험 및 살수패턴실험을 거쳐 최종헤드를 개발하였다. 최종헤드는 내경 Ø 20인 드렌처헤드를 기준으로 응용 가공하여 방사압 0.05 MPa인 경우 방수량 65 l/min이 측정됨으로써 설계기준에 적합한 최종헤드를 개발하였다.

2) 헤드의 방수량 차이에 따른 살수실험 결과, A타입 헤드(방수량 65 l/min)가 B타입 헤드(방수량 55 l/min)에 비해 외벽 면에서 살수 시 건물의 중심부로 물의 살수 분포 및 밀도가 열화상카메라 이미지결과 확인한 차이를 보였으며, A타입 헤드가 적정하다고 판단되었다.

또한, A Type 헤드의 FDS 모델링 결과 헤드에서 하부 30 m까지는 살수패턴이 적정하였지만 30 m 이상으로는 물이 비산되는 것을 확인할 수 있었다. 이에 외벽화재 시 헤드가 적정하게 살수시킬 수 있는 높이는 30 m 이하가 되도록 하여야 한다.

3) 헤드간 적정 이격거리의 실험결과 3 m, 4 m, 5 m 인 경우 각각의 이격거리별 외벽 면으로의 살수분포

및 살수거리의 차이가 크지 않아서 헤드간 적정 이격거리는 추후 건물의 화재위험성 정도에 따라 3~5 m 이내로 선택적으로 설계에 적용한다.

4) 외벽을 통한 수직확산 화재를 제어하기 위해서는 본 연구에서의 개발된 연소확대방지용 헤드와 시스템을 개발하여 화재위험성이 높은 초고층 건축물에 대한 책으로 실용화가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 소방방재청 2010차세대핵심소방안전기술 개발사업 지원에 의한 결과임(사업단; 한국소방산업기술원).

참고문헌

1. 민세홍, 윤정은, “FDS를 이용한 외장재의 수직 확산 화재의 모델링에 관한 연구”, 대한 안전경영과학회 논문지, Vol.11, No.2, pp.77-85(2009).
2. 김미숙, “외단열시스템(EIFS) 외장재 화재 시 복사열 유속이 인접건물에 미치는 영향에 관한 연구”, 경원대학교 석사논문(2009).
3. 윤정은, 민세홍, 김미숙, 최승복, “라지스케일 칼로리 미터에 의한 알루미늄 복합패널 외장재의 연소특성에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.2, pp.89-96(2010).
4. NPA 80A 7.7.4.3, “Recommended Practice for Protection of Buildings Exterior Fire Exposures” (1993).
5. C.A. Wade and J.C. Clampett, “Fire Performance of Exterior Claddings”, Branz Report FCR1, Fire Code Reform Center Ltd.(2000).
6. P.N. Whiting, “Development of the Vertical Channel Test Method for Regulatory Control Of Combustible Exterior Cladding System”, BRANZ STUDY REPORT No.137(2005).
7. “Fire Performance of Exterior Claddings”, FCRC Project 2 B/2 Fire Performance of Materials(2000).