외장재 설치 공간의 화재확산 차단에 관한 연구

민 세 홍* · 윤 정 은** · 김 미 숙**

*가천대학교 공과대학 소방방재공학과 · **가천대학교 화재·소방과학연구센터

A Study on Block from Spread of Fire of the Exteriors Installation Space

Se-Hong Min* · Jung-Eun Yun** · Mi-Suk Kim**

*Dept. of Fire & Disaster Protection Engineering, Gachon University

**Research Institute of Fire Science & Engineering, Gachon University

Abstract

In this study, FDS fire simulation experiments and measured wind speed by applying the exterior installation portion for blocking the spread of the fire was investigated. As a result, aluminum composite panels installed in the lower and the upper part of the panel to remove all the lower side, and then the maximum wind speed 0.24 m/s and the upper side 0.58 m/s were measured. In the FDS, the measured wind speed difference air currents are approximately 3.7 times in 12 seconds, the occurrence of 17 seconds early moment wind 2.2 m/s was measured from. Before and after the fire occurred in early of the air velocity about 39 seconds was 3.5 times difference. Such air currents caused by the temperature of the building but also by the building height was found. Turbulent flame of fire by expanding the vertical extent of damage become greatly important factor. Therefore, through the exterior installation portion of the block that can delay the spread of fire is expected that this should be taken.

Keywords : Stack effect, Exterior fire, Vertical flame.

1. 서 론

2010년 10월 1일, 부산 해운대 우신 골든 스위트 지상 4층에 위치한 미화원 작업실에서 처음 발생한 불은 건축물 외장재인 알루미늄복합패널의 폴리에틸렌에 전이되면서 30분이 채 지나지 않아 38층인 옥상까지 번졌다. 이 화재로 인해 건축물 외장재가 순식간에 연소하면서 창을 통해서 내부로 확산되었으며 인근으로 떨

어진 잔해물로 인해 주변 건물에까지 피해가 발생하였다.[1][2] 건물과 건물사이의 바람이 강한 해안가라는 지리적 특성으로 인해 굴뚝과 같이 화재가 급속히 확산되어 이 부분은 완전히 전소되었다. 본 연구에서는 이러한 고층빌딩에 사용된 알루미늄복합패널의 화재 시 연소확대의 원인을 건물 외벽에 고정하는 외장재의 설치 공간의 연돌효과와 바람의 영향 등에 관하여 연구하고자 한다.

† 본 연구는 소방방재청 2010차세대핵심소방안전기술개발사업(사업단:한국소방산업기술원) 지원에 의해 이루어졌음.

† 교신저자: 윤정은, 경기도 성남시 수정구 성남대로 1342 가천대학교 화재·소방과학연구센터

M.P : 010-9119-4111, E-mail :bumpy1226@hanmail.net

2012년 4월 19일 접수, 2012년 6월 11일 수정본 접수; 2012년 6월 11일 게재확정

연돌효과는 화재발생으로 인하여 실내온도 상승, 침투 또는 전파되는 연기의 온도에 의한 밀도의 저하에 의해서 부력이 발생하여 화염은 위로 급속히 상승하게 된다. 또한 고층일수록 외풍이 세므로 그에 따라 부압도 크기 때문에 구동력으로 작용한다. 이는 화재 시 화염이 급속히 상승하는 원인으로 작용한다.

연돌효과에 대한 연구에는 임현우(2010)가 고층 사무소 건물의 사용단계에서 연돌효과 발생 특성의 검토 방법과 대응방안에 대해 연구·제안하였으며[3], 박동률(2009)은 고층건물에서 연돌효과의 영향요인 분석과 저감방안에 대해 연구를 하였다.[4] 김진수(2007)는 초고층 건물에 나타나는 연돌효과에 대해 연돌효과에 영향을 주는 요인으로 건물의 구조, 공기기능, 배치효과, 승강기 운행에 대하여 연구하여 상술하였으며[5], 김정엽(2008)은 연돌효과가 급기가압 제연시스템에 미치는 영향에 대해 현장실험을 통해 고층건물의 피난환경과 제연시스템에 대해 연돌효과가 미치는 영향을 검토하였다.[6] 이상과 같이 앞서 언급한 연돌효과와 관련한 연구들은 피난과 관련된 제연설비와의 관계에 대한 연구이다. 국외에서는 YANG Dong(2012)이 KLOTE의 모델링 프로그램을 사용하여 샤프트 공간에서의 연돌효과의 영향을 분석하였다[7]. 본 연구에서 적용한 FDS 모델링과는 다른 모델링 프로그램을 적용하여 연돌효과의 영향을 분석하였다.

본 연구는 외장재를 건물 외벽에 고정하는 구조물에 의해 발생한 공간으로 인해 화재 시 빠른 수직확산이 발생하는 인자인 연돌효과와 바람의 영향 등이 미치는 영향을 분석·연구하였다. 이를 위하여 풍속측정실험과 FDS를 이용한 시뮬레이션으로 모사하여 화재의 위험성을 확인하였다.

2. 외장재 설치 공간의 화재확산 요인[8][9][10]

건물 화재에서 연기의 구동력은 연돌효과(Stack effect), 부력(Buoyancy), 바람의 영향(Wind effect), 공기시스템(Ventilation), 엘리베이터의 피스톤 효과(Elevator piston effect) 등을 들 수 있는데 초고층 건물 화재에서는 연돌효과, 부력 및 바람의 영향이 상대적으로 크게 작용한다. 외장재 설치 공간의 화재확산 또한 이러한 연돌효과와 부력, 바람의 영향에 의하여 빠르게 확산됨을 알 수 있다.

2.1 연돌효과(Stack Effect)

연돌효과는 건물 내·외부간의 온도차로 인하여 발생하는 실내공기의 부력이 수직방향으로 이동하는 현상으로 온도차와 높이와의 함수이다. 초고층 건물에서 계단실, 엘리베이터 샤프트, 전기 및 설비 피트(Pit) 등과 수직 샤프트는 구조적으로 일반건물에 비해 높이가 높아 화재 발생 시 연돌효과가 크게 발생하여 연기확산 및 피난 장애를 유발하는 주된 위험인자가 된다. 외장재의 설치 시 외벽과 외장재설치 사이의 공간에서도 이러한 수직공간이 형성되어 연돌효과에 의해서 화염이 빠르게 확산될 우려를 예측할 수 있다.

연돌효과로 인해 발생하는 건물 내·외부간의 차압은 파스칼의 원리에 의해 높이와의 함수가 되는데 같은 고도에서의 차압은 식 (1)과 같이 실내·외 온도조건에 따른 밀도차가 차압의 크기를 결정하게 된다. Figure 1은 실내·외 온도조건에 따른 연돌효과에 의한 차압을 나타낸 그래프이다.

$$\Delta P = (\rho_o - \rho_s)gh \quad \text{-----} \quad (1)$$

ΔP : 차압의 크기(Pa)

ρ_o : 외기의 공기밀도(kg/m³)

ρ_s : 샤프트 내부의 공기밀도(kg/m³)

g : 중력가속도(m/s²)

h : 높이(m)

[Figure 1] 연돌효과로 인한 압력차이[9]

2.2 부력(Buoyancy)

화재에서 나오는 고온의 연소가스는 밀도의 감소로 인해 상승하는 부력을 발생시키는데 이 부력이 강제 또는 자연배기시스템의 제연원리로 사용된다. 화재실 내의 부력으로 인한 차압은 식 2)로부터 계산할 수 있으며 Figure 2는 화재실과 외기의 압력차를 그래프로 나타낸 것이다.

$$\Delta P_{fo} = \frac{gP_{atm}}{R} \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_f} \right) h \quad (2)$$

ΔP_{fo} : 화재실과 외기의 차압(Pa)

T_o : 화재실 외부 공기의 절대온도(K)

T_f : 화재실 가스의 절대온도(K)

h : 중성대로부터의 거리(m)

P_{atm} : 절대대기압(Pa)

R : 공기의 기체상수(J/kg·K)

g : 중력가속도(m/s²)

[Figure 2] 부력으로 인한 압력차이[9]

2.3 바람의 영향(Wind effect)

외기풍속은 높이에 따라 증가하고 풍속의 제곱에 비례하여 풍압으로 작용하므로 초고층 건물의 경우 고도에 따라 증가하는 풍압이 건물 외피의 기밀도에 따라

침기가 발생되고 이렇게 유입된 외기는 연돌효과와 함께 건물 내부 기류이동의 구동력이 되어 건물 내 압력 분포에 많은 영향을 끼친다. 식 (3)은 외기풍속이 건물에 미치는 압력을 나타낸 식으로 일반적으로 풍속은 평균값의 2~3배의 순간 피크값을 가지기도 한다. 이러한 순간 피크풍속은 건물의 구조에 미치는 영향을 고려할 경우에는 매우 중요하지만, 제연시스템의 평가나 연기이동에 대한 분석에는 주로 평균풍속을 사용한다.

$$P_w = \frac{1}{2} K_w C_w \rho_o U_H^2 \quad (3)$$

P_w : 풍압(Pa)

K_w : 1.00

C_w : 풍압계수

ρ_o : 외기밀도(kg/m³)

U_H : 높이 H에서의 바람의 속도(m/s)

3. 건축외장재의 풍속 측정

측정 건물은 부천시 오정구 소재의 철근콘크리트 건물로서 지하 2층, 지상 7층, 높이 24 m 규모의 사무소 건축물이며, 외벽의 외장재가 알루미늄복합패널로 되어 있다. 풍속의 측정은 알루미늄복합패널 하단부분을 제거하고 측정하며, 상단부분의 제거 후에 다시 측정하여 외장재 설치부분의 풍속을 측정하고자 하였다.

[Figure 3] 실험대상 건축물

3.1 측정장비의 구성

측정장비인 풍속계는 휴대용 다기능 풍속풍량계 VT200으로 측정요소가 풍속, 풍량, 온도의 측정이 가능하다. Figure 4에 풍속계의 본체와 풍속 측정봉을 나타내었다.

[Figure 4] 풍속계

3.2 실험방법

실험은 알루미늄복합패널 하단부분을 제거하고 풍속을 측정하였으며, 상단부분의 제거 후에 풍속을 다시 측정하여 풍속에 따른 연돌효과 여부를 판단하였다. 풍속의 측정은 30초 동안 측정한 결과 값의 평균값으로 하였다. Figure 5와 Figure 6에 알루미늄복합패널 제거 작업을 하고 있다.

[Figure 5] 하단부 제거작업

[Figure 6] 상단부 제거작업

3.3 풍속측정

측정은 하단부분에서 하단부분의 알루미늄복합패널의 한판을 제거하고 이를 기준으로 8개의 개소에 대해 풍속을 측정하였으며, 상단부분의 알루미늄복합패널을

제거하고 다시 하단부분의 측정이 이루어졌다. 또한, 상단부의 측정은 세 개소를 측정하였다. Figure 7과 Figure 8에 나타낸 바와 같이 풍속측정을 하고 있다.

[Figure 7] 하단부 풍속측정

[Figure 8] 상단부 풍속측정

3.4 풍속측정 결과

풍속측정 실험결과, 알루미늄복합패널이 설치된 공간 하부와 상부의 패널을 모두 제거했을 때 최대풍속이 0.24 m/s(하부 측), 0.58 m/s(상부 측)의 평균값을 확인할 수 있었다. 풍속측정 결과 값은 Table 1~Table 3에 나타낸 바와 같다.

<Table 1> 하단부 제거 시 풍속측정(하단부에서 측정)

번호	온도 (°C)	평균 풍속 (m/s)	최대 풍속 (m/s)	최소 풍속 (m/s)
1	21.89	0.016	0.10	0.00
2	21.31	0.028	0.18	0.00
3	20.78	0.142	0.28	0.00
4	20.48	0.085	0.21	0.00
5	20.47	0.02	0.00	0.00
6	20.60	0.101	0.37	0.00
7	20.53	0.00	0.00	0.00
8	20.39	0.009	0.026	0.00
평균	20.81	0.05	0.146	0.00

<Table 2> 하단부와 상단부 모두 제거 시 풍속측정
(하단부에서 측정)

번호	온도 (℃)	평균 풍속 (m/s)	최대 풍속 (m/s)	최소 풍속 (m/s)
1	25.35	0.014	0.09	0.00
2	23.54	0.107	0.26	0.00
3	23.01	0.049	0.18	0.00
4	22.62	0.121	0.21	0.00
5	21.38	0.216	0.89	0.00
6	21.79	0.005	0.08	0.00
7	21.94	0.00	0.00	0.00
8	21.79	0.026	0.20	0.00
평균	22.68	0.067	0.24	0.00

<Table 3> 하단부와 상단부 모두 제거 시 풍속측정
(상단부에서 측정)

번호	온도 (℃)	평균 풍속 (m/s)	최대 풍속 (m/s)	최소 풍속 (m/s)
1	24.63	0.377	0.49	0.09
2	23.71	0.557	0.84	0.32
3	23.51	0.185	0.42	0.00
평균	23.95	0.373	0.58	0.00

4. 외장재 설치부분의 연돌효과에 대한 모델링

현장 실험에 의해 측정된 내용을 모사하기 위하여 전산유체역학인 CFD(Computational Fluid Dynamics) 프로그램 중 하나인 화재시뮬레이션FDS(Fire Dynamics Simulator)를 이용하여 외장재와 외벽사이를 통해 상승되는 바람의 속도를 측정하는 시뮬레이션을 구현하였다.

시뮬레이션 조건은 아래 Table 4와 같다.

<Table 4> 시뮬레이션 조건설정

Items	Spec.
외기온도	20.95 ℃
평균풍속	0.815 m/s
Meshe & Cells	4 Meshe, 2,400,000 Cells
Size	800 mm X 2,000 mm X 80 mm
외장재와 외벽틈새	80 mm

외장재와 외벽사이의 틈새가 80 mm에 불과하여 이를 정확히 모사하기 위하여 셀 하나의 크기는 20 mm로 구현하였으며, 나비에 스토크스 방정식을 사용한 수치해석 없이 난류 유동을 해석하는 모델인 DNS(Direct Numerical Simulator)를 적용하여 60초 동안 연산하였다.

Figure 9는 모델링에 대한 정면 및 측면 위에서 본 모습을 나타낸다.

[Figure 9] 화재모델링

Figure 10은 P1과 P2에서의 수직으로 상승하는 기류의 속도를 나타내는 그래프이다.

측정결과, 8초에 기류속도가 최대 차이가 발생하여 약 3.4배 정도를 보였으며, 평균 1.4배 차이가 보임을 알 수 있었으며, 이 결과로 건축물의 높이에 따라 수직으로 상승하는 기류가 증가함을 알 수 있었다.

Figure 11은 화재가 발생할 때를 가정하여 기류속도 변화를 측정한 그래프이다. 외장재의 화재발생을 가정하기 위하여 외장재 안쪽에 1,000 ℃의 온도를 발생시켜 기류변화를 측정한 결과, 12초에 약 3.7배 정도 차이가 발생하였으며, 17초에는 순간풍속이 2.2 m/s까지 상승했다.

[Figure 10] 기류 속도변화(정상 시)

[Figure 11] 기류 속도변화(화재 시)

또한, Point 2지점에서 화재발생 전과 화재발생후의 기류속도 차이를 확인한 결과, 39초에 약 3.5배 차이가 발생하는 것으로 분석되었다. 이와 같은 기류속도의 차이는 온도차에 의해서도 발생하지만 건축물의 높이에 의해서도 큰 영향이 미치는 것을 알 수 있었다.

Figure 12는 50초에 기류속도의 방향 및 크기를 나타내는 벡터의 그림이다. Point 2 지점에서 좁은 틈을 빠져나온 기류가 옥상의 바람과 섞이면서 심한 난류가 발생되고 있다. 이 난류는 화재 시 수직화염 면을 확대시켜서 피해 범위를 크게 하는 중요한 요인이 된다.

[Figure 12] 기류속도의 벡터(50초인 경우)

5. 결 론

본 연구는 건물외벽에 설치하는 외장재와 구조물간의 특성상 발생하는 공간에 대한 화재확산 차단에 대한 요인 분석에 관한 연구로서 풍속측정 현장실험을 수행함과 동시에 이에 대해 FDS를 이용한 화재시뮬레이션을 수행하였다. 연구 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

또한 외장재 설치 공간의 차단을 통해서 화재의 확산을 지연시킬 수 있는 방법이 강구되어야 한다고 판단된다.

1) 풍속측정 실험결과, 알루미늄복합패널의 설치된 부분의 풍속이 하부와 상부의 패널의 모두 제거했을 때 최대풍속이 0.24 m/s(하부 측), 0.58 m/s(상부 측)의 평균값을 나타내었다.

2) FDS에 의한 시뮬레이션 결과, 기류변화를 측정한 결과 12초에 약 3.7배 정도 차이가 발생하였으며, 17초에는 순간풍속이 2.2 m/s까지 올라갔다.

3) 또한, 화재발생 전과 화재발생 후의 기류속도 차이를 확인한 결과, 39초에 약 3.5배 차이가 발생하는 것으로 분석되었다.

4) 좁은 틈을 빠져나온 기류가 옥상의 바람과 섞이면서 심한 난류가 발생되고 있다. 이 난류는 화재 시 수직화염 면을 확대시켜서 피해 범위를 크게 하는 중요한 요인이 됨을 알 수 있었다.

6. 참 고 문 헌

- [1] 민세홍, 윤정은, “FDS를 이용한 외장재의 수직 확산 화재의 모델링에 관한 연구”, 대한안전경영과학회지 논문지, Vol. 11, No. 2, (2009) : 77-85.
- [2] 민세홍, 윤정은, 선주석, 정상호, 채창훈, 김석준, “외벽방호 스프링클러시스템 구성에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol. 26, No. 1, (2012) : 102-112.
- [3] 임현우, “고층 사무소 건물의 사용 단계에서 연돌 효과 발생 특성의 검토방법 및 대응방안의 제안” 성균관대 대학원 석사학위논문 (2010).
- [4] 박동률, “고층건물에서 연돌효과의 영향요인 분석 및 저감방안에 대한 연구” 성균관대 대학원 석사학위논문 (2009).
- [5] 김진수, “초고층 건물에 나타나는 연돌효과” 한국화재소방학회 논문지, Vol. 3, No. 1, (2007) : 14-20.
- [6] 김정엽, “연돌효과가 급기가압 제연시스템에 미치는 영향에 대한 현장실험”, 한국화재소방학회 논문지, Vol. 22, No. 3, (2008) : 194-200.
- [7] YANG Dong(陽東), LI Baizhan(李百戰), DU Tao (杜濤), LI Nan(李楠), “Analytical models for evaluating buoyant cydriven ventilation due to stack effect in a shaft considering heat transfer from shaft interior boundaries”, JOURNAL-CENTRAL SOUTH UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Vol. 19 No. 3, (2012) : 651-656.

- [8] Klote J. H. and Mike J. A. "Principles of Smoke Management ch 5 Effective Areas and Smoke Movement", ASHRAE, (2002).
- [9] Klote J. H. "The SFPE handbook of Fire Protection Engineering ch 12 Smoke Control", SFPE, (2002) : 274-277.
- [10] MacDonald, A. J, "Wind Loading on Buildings", Newyork, Wiley, (1975).

저 자 소 개

민 세 홍

가천대학교 공과대학 소방방재공학과 교수. 단국대학교 공학박사 취득. 소방방재청 중앙소방기술심의위원 및 화재조사전문위원, 각 시도 설계자문위원, 한국소방산업기술원 평가위원 등
관심분야 : 화재모델링(CFD), 성능설계, 연소시험 등

주소: 경기도 성남시 수정구 성남대로 1342 가천대학교 공과대학 소방방재공학과

윤 정 은

가천대학교 공과대학 소방방재공학과 겸임교수 및 소방기술사. 가천대학교 대학원 공학석사취득. 현재 경기도 건설심의위원, 안양시 설계자문위원, 소방기술사회 편집위원 등
관심분야 : 건축방재, 위험성평가, 연소이론 등

주소: 경기도 성남시 수정구 성남대로 1342 가천대학교 화재·소방과학연구센터

김 미 숙

가천대학교 대학원 공학석사 취득. 현재 가천대학교 화재·소방과학연구센터 연구원 및 (사)한국화재소방학회 논문심사위원 등의 활동 중.

관심분야 : 플랜트설계, 연소이론 및 시험, 방재계획 등

주소: 경기도 성남시 수정구 성남대로 1342 가천대학교 화재·소방과학연구센터