알루미늄 복합 외장재를 사용한 고층 건축물의 외기 풍속, 풍향 변화가 화염전파에 미치는 영향에 대한 수치해석 연구

김 홍 진[1], 배 승 용[1], 최 영 기[2], 유 홍 선[3*]

NUMERICAL STUDY ON THE EFFECT OF EXTERNAL AIR VELOCITY AND DIRECTION ON FLAME SPREAD IN HIGH RISE BUILDING WITH THE ALUMINUM COMPOSITE EXTERNAL MATERIALS

H.J. Kim[1], S.Y. Bae[1], Y.K, Choi[2] and H.S. Ryou[3*]

The aluminum composite panel are widely used for the external materials of high rise building because of well insulation of heat and sound, and improved Constructability. However, the polyethylene in main material of the aluminum composite panel shows weakness in thermal and fire resistances. For this reason, flame is spread more quickly when the fire break out. Therefore, the potentiality of fire spread to the exterior wall is high due to difficulty of early extinguishment and effect of external air.

In this study, numerical investigation was performed by using FDS program for flame spread characteristics with various external air velocity and direction in ten-story building with the aluminum composite external materials. As a result, the flame spread velocity is 0.134m/s and it takes 224 seconds for flames to spread to the 10th floor without external air velocity. however, the flame spread velocity decreases 40% and it takes 348 seconds for flames to spread to the 10th floor when external air velocity is 2.5 m/s. and air direction is little effect compared to air velocity.

Keywords: 고층빌딩(High Rise Building), 화염전파(Flame Spread), 알루미늄 복합판넬(Aluminum Composite Panel)

1. 서 론

최근 국내에서 신축되는 건물은 그 기능과 효율성을 고려하여 초고층건축물로 건축되고 있으며 다양한 종류의 외장재를 사용하여 기능성과 외관의 미려함을 추구한다. 그 중 많이 사용되고 있는 알루미늄 복합판넬은 단열 및 소음 차단효과가 높으면 시공성 또한 뛰어나다. 하지만 알루미늄 복합판넬을 구성하는 주 재료인 유기단열재 폴리에틸렌 수지가 내열 및 내화성이 취약하다. 폴리에틸렌과 같은 재료는 목재와 같은 일반적인 가연성 재료보다 열방출율이 약 3~5배 더 높아 상대적으로 화재위험도가 매우 높다[1].

1 정회원, 중앙대학교 공과대학 기계공학부
2 중앙대학교 공과대학 기계공학부
3 종신회원, 중앙대학교 공과대학 기계공학부
* TEL : 02) 820-5280
* Corresponding author E-mail: cfdmec@cau.ac.kr

화재가 외벽이나 내부에서 발생하여 개구부를 통해 외장재에 착화되면 화염이 빠르게 전파되어 건물의 벽을 타고 수직으로 건물 전체에 확산된다. 2007년[2]과 2008년[3] 화재통계 연감에 의하면 발화지점 별 화재 현황에서 외벽에서의 화재가 1,629건, 1,897건으로 증가 추세를 보이고 있다. 2007년 경남의 영화관 3층 냉각탑에서 난 화재가 알루미늄 패널을 타고 16분 만에 최상층인 12층까지 번져 외벽과 옥상 시설물을 모두 전소되었으며, 2008년 서울 강남구의 빌딩 1층 에어컨 실외기 주위에서 화재가 발생하여 알루미늄 복합판넬 외장재에 의해 18층까지 순식간에 확대되었다. 작년 부산 해운대에서 발생한 주상복합 아파트 화재는 4층에서 난 불이 불과 10여분 만에 외벽을 따라 최상층인 38층까지 확대되었으며, 개구부를 통해 건물 실내로 유입된 화재에 의해 큰 피해를 입었다. 국외에서도 1997년 뉴질랜드 웰링턴의 박물관 신축현장에서 용접으로 인해 외장재에 착화되어 수직 확산 화재가 발생하였다. 그렇기 때문에 외장재에 의한 외부 수직화재의 확

Table. 1 Properties of concrete and polyethylene

CONCRETE	
specific heat	0.750 kJ/kg · K
conductivity	1.6 W/m · K
density	2400 kg/m^3
POLYETHYLENE	
specific heat	2.15 kJ/kg · K
conductivity	0.42 W/m · K
density	930 kg/m^3
ignition temperature	340 °C
heat of combustion	43600 kJ/kg
heat of reaction	4300 kJ/kg

산에 대한 연구는 중요하다.

Igor Oleszkiewicz[4]와 윤정은 등[5]은 외장재에 의한 수직화재의 확산에 대해 Full Scale 실험을 진행하였으며, Rodman R. Linn 등[6]은 풍속과 풍향이 화염전파 영향에 관한 실험 및 수치해석 연구를 진행하였다. 하지만 외기의 풍속, 풍향이 고층건축물에서 외장재의 화재에 미치는 영향에 대해 수치해석한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 고층건물의 외장재로 많이 사용되고 있는 알루미늄 복합패널에 의한 수직화재의 위험성을 연구하기 위하여 수치해석을 수행하였다.

2. 수치해석 조건

2.1 수치해석 모델

본 연구에서 알루미늄 복합패널의 화재전파를 수치해석 적으로 분석하기 위하여 CFD 기반의 필드 모델 화재해석 프로그램인 FDS(Fire Dynamics Simulator) ver.5 [7]을 이용하였다. FDS는 난류유동장을 해석하기 위하여 LES(Large Eddy Simulation)을 적용하였다.

$$\rho\frac{D\mathbf{u}}{Dt}\cdot\mathbf{u}=\rho\frac{D(|\mathbf{u}|^2/2)}{Dt} = \rho\mathbf{f_b}\cdot\mathbf{u}-\nabla p\cdot\mathbf{u}+\nabla\cdot(\tau_{ij}\cdot\mathbf{u})-\epsilon \quad (1)$$

$$\mu_{LES}=\rho(C_s\triangle)^2\left(2\overline{S_{ij}}:\overline{S_{ij}}-\frac{2}{3}(\nabla\cdot\overline{\mathbf{u}})^2\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$k_{LES}=\frac{\mu_{LES}c_p}{\mathrm{Pr}_t};(\rho D)_{l,LES}=\frac{\mu_{LES}}{Sc_t} \quad (3)$$

여기서 C_s는 경험적 상수로 smagorinsky model[8]을 이용해 정의된다. $\triangle$는 격자 크기를 나타내며 Pr_t는 난류 Prandtl 수를 나타낸다.

2.2 모델링 및 조건

Fig. 1은 화재가 발생한 건물을 나타낸다. 건물의 내부는 콘크리트, 외부는 알루미늄 복합패널의 주재료인 고밀도 폴리에틸렌으로 이루어졌으며, 해석에 적용된 물성치는 Table. 1에 나타내었다.

Fig. 2는 수치해석에 사용된 계산도메인, 경계조건과 좌표를 나타낸 것으로써, 외기유동이 생기는 왼쪽 면을 제외한 나머지 경계조건은 Pressure boundary로 설정하였다. 계산도메인의 크기는 경계조건이 화재전파에 영향을 주지 않게 하고 외기의 풍속과 풍향 변화에 대한 영향을 보기 위하여 가로 110m, 세로 66m, 높이 43m로 설정하였다. 또한 해석시간을 단축하기 위하여 계산도메인을 다중 격자(Multiple meshes)를 사용하여 해석의 주요한 화원주변의 격자는 조밀하게 하고 화원에서 멀어질수록 성기게 구성하였다.

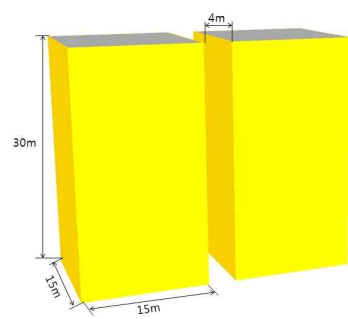

Fig. 1 Size of building

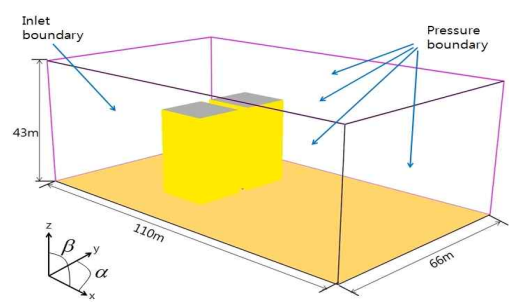

Fig. 2 Computational domain, boundary condition and coordinate

Table. 2 Inlet boundary condition

	case 1	case 2	case 3	case 4
풍속 (m/s)	0	2.5	2.5	2.5
풍향 (α)	무	0°	-45°	45°

Table. 3 Result of grid test

Grid Size (x, y, z)	Total CPU Time
5 cm	52.45 hr
10 cm	3.28 hr
20 cm	0.21 hr
40 cm	0.013 hr

외기의 온도는 20°C로 유지하였으며 Inlet boundary에 Table. 2와 같이 풍속과 풍향(x-y좌표의 α)에 변화를 주었다. 건물과 건물 사이 최하층에서 발생한 화재의 최대 열방출량(Heat release rate)은 600 kW로 가정하였다.

2.3 Grid independent test

본 연구에서 사용된 화재해석 모델인 FDS는 LES를 사용하여 난류유동장을 해석하기 때문에 격자의 크기가 계산결과에 많은 영향을 미치게 된다. 일반적으로 미세격자가 보다 나은 방정식의 수치해를 제공한다. FDS는 공간과 시간에 대해 2차 정확도를 가지는데 이는 격자크기를 절반으로 줄이면 지배방정식의 이산화 오류는 4배까지 감소함을 의미한다. 하지만 이산화 오류의 감소가 반드시 그만큼의 FDS 오류를 감소시키는 것은 아니다. 격자의 미세화가 해에 미치는 영향을 알아보기 위해서 출력변수가 각 격자에 대해 크게 변화하지 않을 때까지 미세화 하는 grid sensitivity test를 수행해야한다. 본 연구는 화염의 전파가 중요하기 때문에 격자의 크기를 5cm, 10cm, 20cm, 40cm로 변화시키며 화염속도를 비교하였다. Fig. 3은 gird test를 통해 격자크기에 따른 화염속도를 나타낸 것으로써, 격자가 작아짐에 따라 화염속도의 결과가 수렴하는 것을 알 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 Table. 3의 결과처럼 경제성을 고려하여 격자의 크기를 10cm로 설정하였으며, 수치해석을 위한 해석 격자의 수는 총 약 220만개로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

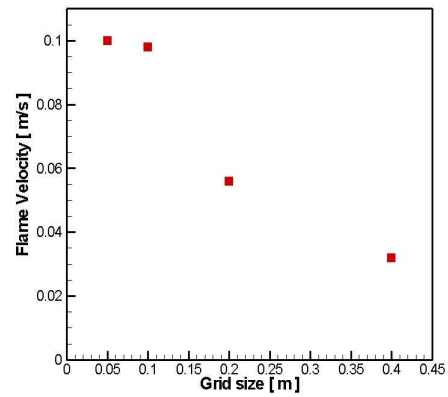

Fig. 3 Flame velocity for various gird cell size

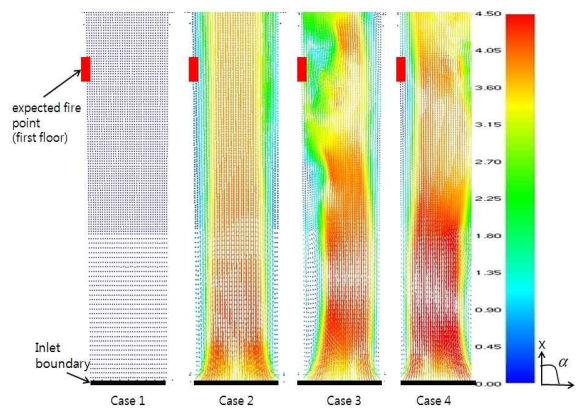

Fig. 4 Top view of velocity vector contours at 5m height between two buildings without fire

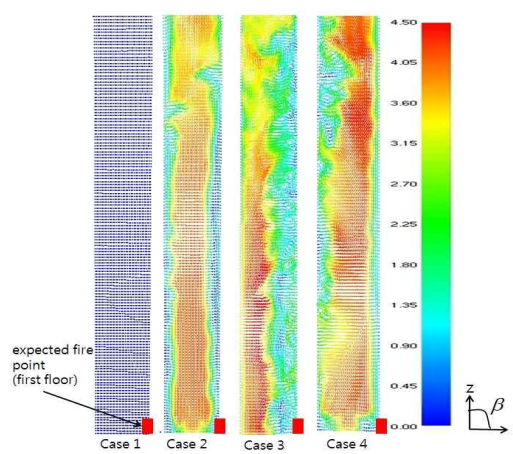

Fig. 5 Side view of velocity vector contours between two buildings without fire

Fig. 4과 Fig. 5은 화재가 발생하지 않은 상태에서 건물과 건물 사이를 지나가는 외기의 유동을 각각 top view와 side view로 나타낸 것이다. 그림을 통해 알 수 있듯이 case 1은 건물사이의 유동이 없으며, case 2와 case 4는 화재가 발생하는 위치의 유동이 비슷하다. case 3의 경우 화재가 발생하는 위치에 flow separation으로 인해 난류가 생성되는 것을 확인할 수 있다. 이런 유동의 차이가 화염의 전파에 영향을 미쳐 case 1이 다른 case들 보다 빠르게 총 열방출율이 증가한다. 이는 20°C의 외기가 유동에 의해 화염의 온도를 냉각시키는 효과가 있어 외기의 유동이 없을 경우보다 느리게 증가하였다. case 2, 4의 경우 유동이 비슷했던 것과 같이 총 열방출율도 유사한 결과가 나왔다. case 3은 난류로 인한 energy dissipation이 생겨 화재 성장에 영향을 주어 가장 느리게 증가하였다.

화염의 전파속도는 Fig. 7와 같이 head가 최상층까지의 이동속도로 정의하였다. 화염의 속도는 Table. 4와 같이 외기의 유동에 의해 화염이 냉각되지 않은 case 1이 가장 빠르게 결과가 나타났다. 화염이 Top point까지 도달하는데 걸린 시간 역시 case 1이 가장 빨랐으며, 총 열방출율의 증가하는 속도가 높을수록 빠른 시간에 도달한 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 화재의 성장에 따른 화염전파형상을 나타낸 것으로 case 1의 경우 외기의 유동이 없기 때문에 화염이 수직 확

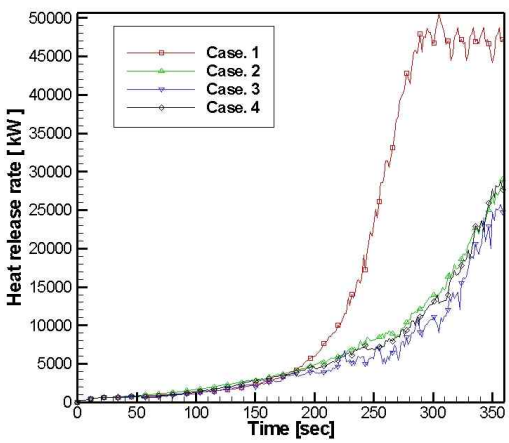

Fig. 6 Total heat release rate

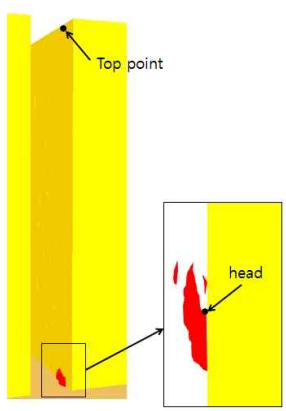

Fig. 7 Definition of flame velocity

Table. 4 Flame velocity and reaching time at top point and width

	case 1	case 2	case 3	case 4
Flame velocity (m/s)	0.134	0.088	0.084	0.086
Reaching time (sec)	224	340	357	348
Flame width (m)	2.3	2.9	3.0	3.0

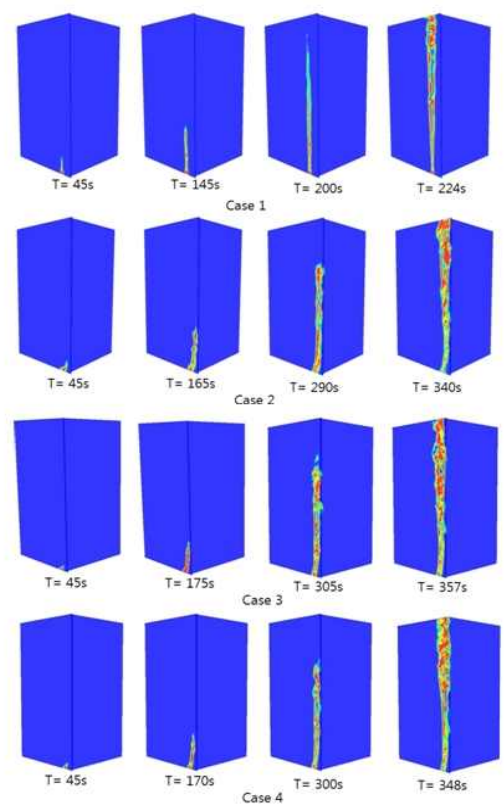

Fig. 8 Flame spread

산하였다. 하지만 case 2, 3, 4의 경우는 외기의 유동에 의해 화염이 유동의 방향으로 밀리면서 수직 확산하였다. 이로 인해 case 별 최대 화염직경이 Table. 4와 같이 차이가 생겼다.

4. 결론

본 연구에서는 알루미늄 복합패널 외장재를 사용한 건물에 화염 전파를 수치해석 연구를 실시하였다.

외기의 유동이 없는 경우 0.134 m/s의 빠른 속도로 화염이 수직 전파되었으며 화염이 최상층까지 도달하는데 224초가 소요되었다. 외기의 유동이 있는 경우 화염의 전파속도는 평균 0.08 m/s이며, 화염이 최상층까지 도달하는데 평균 348초가 소요되었다. 하지만 외기의 유동이 있을 때 전파속도는 유동이 없을 때보다 느리지만 화염의 최대 직경은 더 넓게 나타났다. 이 결과로 풍속이 알루미늄 복합패널의 화재전파에 많은 영향을 미치는 것을 확인하였다. 하지만 풍향은 풍속의 영향에 비해 미비하게 나타났다.

참고문헌

[1] 2009, 민세홍, 외1인, “FDS를 이용한 외장재의 수직 확산 화재의 모델링에 관한 연구,” *대한 안전경영과학회지*, Vol.11, pp.77-85.

[2] 2007, “2007년도 화재통계연감,” *소방방재청.*

[3] 2008, “2008년도 화재통계연감,” *소방방재청.*

[4] 1990, Igor, O., "Fire exposure to exterior walls and flame spread on combustible cladding," *Fire technology*, vol.26, pp.357-375.

[5] 2010, 윤정은, 외3인, “라지스케일 칼로리미터에 의한 알루미늄 복합패널 외장재의 연속특성에 관한 연구,” *한국화재소방학회 논문지*, Vol.24, pp.89-96.

[6] 2005, Rodman R.L. and Philip C., "Numerical simulations of grass fires using a coupled atmosphere-fire model: Basic fire behavior and dependence on wind speed," *J. Ceophys. Res.*, vol.110, pp.D13107.

[7] 2010, Kevin M. et al., Fire Dynamics Simulator (Version 5) - Technical Reference Guide, NIST, pp.31-33.

[8] 1972, Deardorff J.W., “Numerical Investigation of Neutral and Unstable Planetary Boundary Layers,” *Journal of Atmospheric Sciences*, Vol.29, pp.91-115.