

초고층공동주택 국소배기용 입상덕트의 배기성능평가에 관한 연구

권용일*, 이태규* 안정현*

신흥대학 건축설비과[†], (주) 세원시스템벤처

Study on the Performance Evaluation of the Exhaust Stack used in High Riser Public House

Yong-il Kwon[†], Tae Kyu Lee*, Jung Hun Ahn*

[†] Department of Building Mechanical Engineering, Shinheung College, Euijungbu, Korea

* 416-1, Sewon system vent, Gwangjuk, Yangju, Korea

ABSTRACT : Exhaust system used in toilet and cooking place of high riser public house is roof fan of two basic types : natural roof ventilator and natural/forced roof ventilator. Natural/forced roof ventilator has a motor in the rotary shaft. There are many high riser public house in Korea. These buildings were not viewed as being major contributors to exhaust pollutants produced in indoor. It was because many engineers thought that exhaust in high riser building depend on stack effect. This study investigates on stack pressure determined by exterior pressure and the difference pressure control in exhaust stack used in high riser public house. This paper focuses mainly on the effect of the time interval for power supply of motor installed in roof fan with function of natural wind velocity and of exhaust air volume of toilet. It is observed there are higher exhaust efficiency than the existing natural roof ventilator.

Key words: Exhaust efficiency(배기효율), Natural/forced roof ventilator(자연/강제겸용 벤틸레이터), Difference pressure control (압력제어), Exhaust stack(배기입상덕트)

1. 서론

고가의 토지를 효율적으로 이용하기 위해, 국내에서는 초고층 건물의 건설에 대해 신중히 검토하고 있는 시점이다. 이러한 현상 초고층 공동주택의 건설에도 영향을 미치고 있다. 초고층 건물의 정의는 뚜렷하지 않으나 3~5층 정도의 건물을 중층, 그 이상의 건물을 고층이라고 분류하였지만 이러한 식으로 생각하는 방법은 이미 과거

의 것이 되어버렸다. 현재 일반적으로 정의되는 초고층건물은 지상고 100m, 30층 이상의 건물로 제안하는 정도이다. 건축기계설비 관점에서 고층과 초고층과의 구별을 하기 위해 고층이 아닌 건물과 설비적으로 차이가 있고, 특이성이 있어야한다. 즉, 초고층이기 때문에 발생하는 특이점에 의해, 차별화된 설비시스템이 구성되면 초고층건물로 칭할 수 있게 될 것으로 판단된다. 예를 들어 기계설비를 위한 층이 별도로 계획되거나 열부하 및 재실밀도에 따라 고속 엘리베이터 및 강제환기설비의 설치 등이 필요한 경우가 이에 해당되는 것으로 판단된다. 주변 건물보다 현저하게 솟아있는 경우, 기계설비관점에서 고려할 사항은 다

[†] Corresponding author

Tel.: +82-031-870-3319; Fax: +82-031-870-3742
E-mail address: yikwon@shc.ac.kr

양하게 존재하지만 국소배기장치를 적용하는 환기설비관점에서는 수직높이에 의한 위치 에너지 차이와 수직높이에 따른 기압 및 내외부 온도차에 의한 굴뚝효과가 나타나며 동시에 침기에 의한 영향을 고려하여 환기설비시스템을 구성해야 실내환경을 쾌적하게 유지하고 에너지절약을 도모할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 초고층 공동주택의 국소배기를 위해, 설치하는 입상덕트의 국소배기성능에 미치는 영향을 건물의 외피에 작용하는 풍압 및 풍향에 의한 영향을 고려하여 굴뚝효과의 영향을 평가한 후, roof fan의 오염물질 배출능력과, roof fan이 말단에 설치된 국소배기시스템의 자동제어 운전실험 자료에 의한 국소배기시스템 최적화 방안을 제시하고자 한다.

2. 풍압에 의한 건물주변의 압력분포

공동주택 등 건축물의 외피에 작용하는 풍압에 의해, 발생하는 누기율은 Table 1과 같이 외피의 기밀도에 따라 차이 나게 된다. 건물외피에 존재하는 크랙(crack)과 이 주변에서 발생하는 풍압에 따라 실내의 압력은 식(1)과 같이 결정된다. 예를 들어 Fig.2와 같이 모든 면에 똑같은 누설구를 가진 경우에 바람이 빌딩에 45° 방향으로 불때, 내부압력은 바람방향과 후면방향의 표면압력의 평균이 되고 외벽에 수직(0°)으로 바람이 불어오는 경우, 내부압력은 P_w 에서 바람방향과 후면방향의 압력차의 90%를 뺀 것이 되는 것이다. 즉, 바람방향을 바라보는 누설구와 바람방향에 등진 누설구의 누기면적의 비율에 의해, 실내압력이 부(-)압 혹은 양(+)압으로 유지되게 된다.⁽¹⁾ 이러한 현상으로 인하여 굴뚝 내부의 압력도 실내압력의 영향을 받아 양압 혹은 부압을 형성하게 된다.

$$\frac{P_w - P_i}{P_w - P_l} = \frac{1}{1 + \left(\frac{A_w}{A_l}\right)^2} \quad (1)$$

여기서, P = pressure

A = air leakage area

i = indoor, w = windward, l = leeward

결과적으로 실내외의 압력차이는 식(2)와 같이 풍압에 의해 결정된다.

$$\Delta P = P_o + P_w - P_l \quad (2)$$

여기서, $P_w = C_p \rho (V^2/2)$, C_p = dimensionless wind surface pressure coefficient

Table 1 Air leakage rates in commercial building($\Delta P=75\text{Pa}$, $C_D=0.65$)

wall tightness	air leakage rates
tight	500cc/s m ²
average	1500cc/s m ²
loose	3000cc/s m ²
fire door measured in Korea	7000cc/s m ²

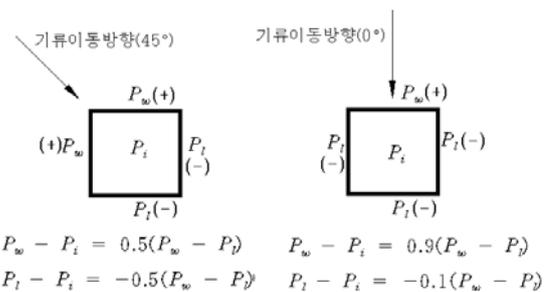


Fig. 2 Wind pressure distribution with wind angles of 0 degrees and 45 degrees with uniform leakage openings in the exterior walls.

2.1 건물주변기류에 의한 입상덕트 압력평가

Table 1과 같이 모든 건물은 일정한 누기 혹은 침기가 발생하게 된다. 또한 건물주변에 형성된

Table 2 Boundary condition for evaluating wind pressure

Building dimension (L×W×H)	100m×25m×150m
Wind velocity	2m/s, 3m/s, 5m/s
Wind angle	0°, 15°, 45°
Air leakage opening area	0.09m ²

바람에 의해, 풍압이 형성되며 이로 일정한 입상덕트의 압력이 영향을 받게 된다. 본 연구에서는

기류가 Table 2와 같은 초고층 공동주택의 주변에 발생할 때, 건물외벽체 및 국소배기용 건식입상덕트에 작용하는 압력변화를 누기울 유무에 따라 기류유동시물레이션을 수행하여 평가한다.

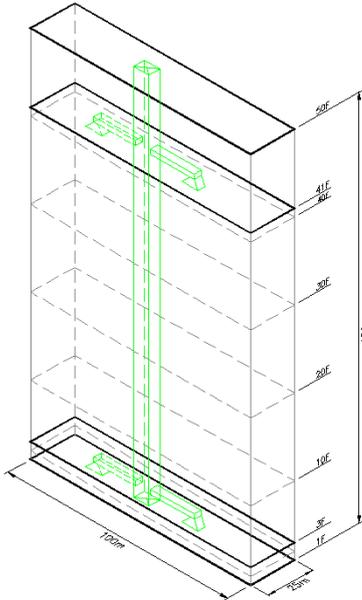


Fig. 3 Schematic diagram of a single public house with wind pressure on various wind velocities and angles.

2.2 국소배기용 건식덕트의 오염물질배출제어
공동주택의 화장실 및 주방의 배기를 위해, 설치되는 건식입상덕트의 오염물질배출현황을 평가하기 위해, 동시사용율을 고려하여 50개 층의 건식입상덕트에 대해, 배출현황과 이에 따른 제어운전현황을 실험적으로 평가하였다. 실험조건은 Table 3과 같다.

Table 3 Experimental condition for evaluating control performance

control elements	control mode	ventilator suction parts	orifice
ventilator	on	> -10Pa	> (2-4)Pa
	off		< (2-4)Pa
maximum number of exhaust floors	50 floors		
exhaust volume rate	100CMH		

3. 결과 및 고찰

3.1 건물주변의 기류유동해석 결과

Fig. 3과 같은 규모의 건물에 외피의 누설구가 없고 풍향이 0°이고 풍속이 3m/s인 경우, 건물주변과 건식입상덕트의 압력분포는 Fig.4와 같다.

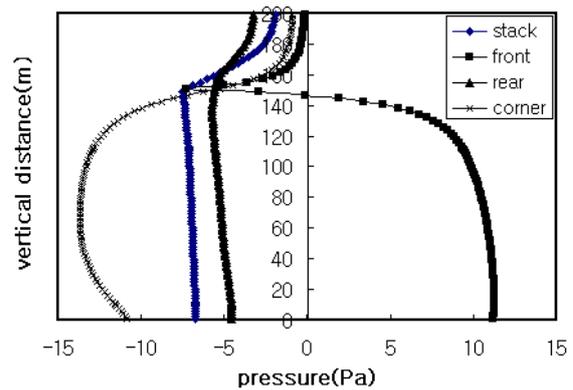


Fig. 4 Pressure distributions along vertical distance around public house.

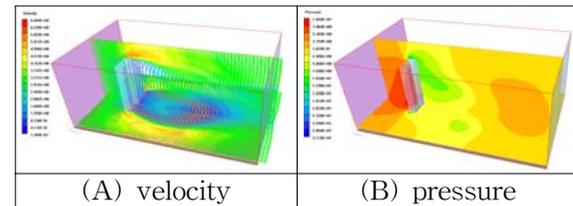


Fig. 5 Velocity and Pressure distributions around public house.

건식입상덕트(stack)의 압력과 바람이 유입되는 면(front)의 압력이 같아지는 지점(중성대)이 수직높이 150m지점에서 나타나며 건물주변의 압력은 바람을 등지고 있는 배면(rear)의 압력보다 바람의 방향이 급격히 바뀌어 동압이 증가하는 코너부분의 압력이 현저히 낮게 유지되고 있는 것을 알 수 있으며 수직높이에 관계없이 건식입상덕트(stack)의 압력이 부압으로 형성되고 상부가 하부보다 압력이 미소하게 낮으며 배면(rear)의 압력보다 낮게 유지되고 있으며 이러한 압력분포의 전체적인 구성형태는 Fig. 5에 나타내었다. 이는 전면부와 건식입상덕트의 차압이 후면부와 건식입상덕트의 차압보다 크기 때문에 전면부와 후면부에 동일한 면적의 누설구가 존재할 경우, 전면부에 위치한 세대의 국소배기능력이 증가할 것으

로 판단된다.

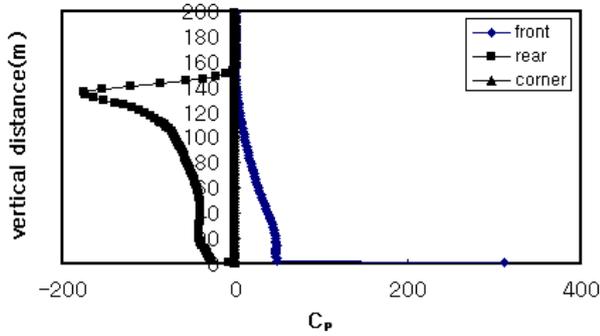


Fig. 6 Dimensionless wind surface pressure coefficient along vertical distance around residential house.

Fig. 6은 수직높이변화에 따른 국소풍압계수를 나타내고 있다. 이 값은 빌딩형상, 풍향, 주위빌딩, 조림, 지표의 특성과 같이 3가지 요소의 영향을 받는다. 바람 각도 $\theta = 0^\circ$ 이므로 바람은 표면에 수직이며 전면부(front)의 압력계수는 양의 값을 나타내어 양압이 유지됨을 알 수 있다. 측면 및 배면으로 이동하면서 이 값은 감소하며 높이에 따라 일반적으로 증가한다. 또한 측면에서 이 값은 음의 값을 가지며 최대 음압은 상류쪽 앞부분 모서리에서 나타난다. Fig. 7은 $\theta = 0^\circ$ 이고 바람이 불어오는 뒷면인 배면에 0.09m^2 의 누설구를 3층과 41층에 각각 주어진 경우, 풍속변화에 따른 건식입상덕트의 압력분포를 나타내고 있다. 이 값은 풍속이 증가함에 따라 현저히 낮은 값을 나타내어 풍속이 증가하면 굴뚝내부의 압력이 낮아짐을 알 수 있으며 풍속이 3m/s이하인 경우는 건식입상덕트의 상부압력이 하부압력보다 미소하게 높게 나타나며 이러한 현상은 풍속이 3m/s인 경우 현저히 나타난다. 그러나 풍속이 5m/s인 경우는 상부의 압력이 하부압력보다 미소하게 높게 나타난다. 이는 풍속이 3m/s이하 인 경우는 배면과 배면에 인접한 실내의 압력이 부압을 유지하지만 배면에 위치한 실내의 압력보다 배면에서 재순환되는 공기의 압력이 더욱 낮기 때문에 건식덕트 상부에서 유입된 외기가 실내를 경유한 후, 배출되는 것을 의미한다. 또한 풍속이 3m/s인 경우, 누설구가 없는 경우(Fig. 4와 비교)보다 건식 입상덕트의 내부 압력이 낮게 유지되고 있다.

배면에 위치한 세대에 누설구가 존재하면 배면의 재순환영역에 형성되는 부압의 영향을 지배적으로 받기 때문이다.

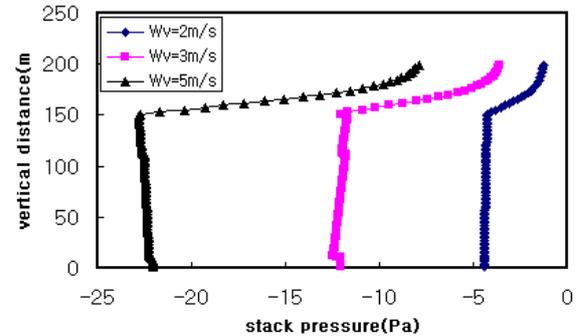


Fig. 7 Stack pressure along vertical distance for various wind velocities at $A_L=0.09\text{m}^2$ in rear side.

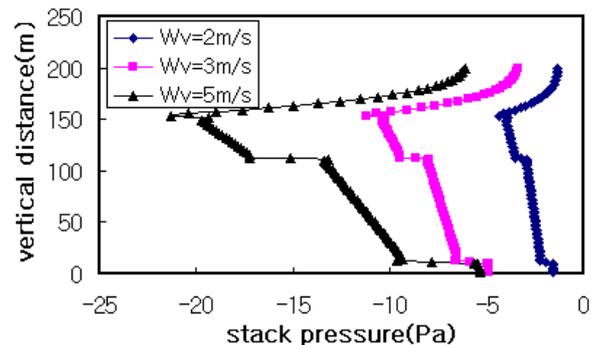


Fig. 8 Stack pressure along vertical distance for various wind velocities at $A_L=0.09\text{m}^2$ in front side.

Fig. 8은 $\theta = 0^\circ$ 이고 Fig. 7과 반대로 바람이 불어오는 전면에 0.09m^2 의 누설구가 3층과 41층에 각각 주어진 경우, 풍속변화에 따른 건식 입상덕트의 압력분포를 나타내고 있다. 이 값은 Fig. 7과 반대로 하부가 높게 상부가 현저히 낮은 값을 나타내고 있으며 풍속이 증가함에 따라 누설구가 존재하는 3층과 41층에서 입상덕트로 체결된지점의 압력이 현저히 감소하는 현상을 나타내고 있다. 이는 풍속이 증가함에 따라 누설구 전면의 압력이 상승하여 실내를 통하여 건식입상덕트로 유출되는 공기량이 증가하기 때문이다. 또한 풍속이 3m/s인 경우, 누설구(Fig. 4 참조)가 없는 경우보다 건식입상덕트의 상하 압력차이는 크게

나타나지만 전체적으로 압력은 높게 유지되고 있다. 이는 누설구가 풍압이 양압으로 유지되는 전면부에 위치하여 실내의 압력이 배면보다 높게 유지시키기 때문이다.

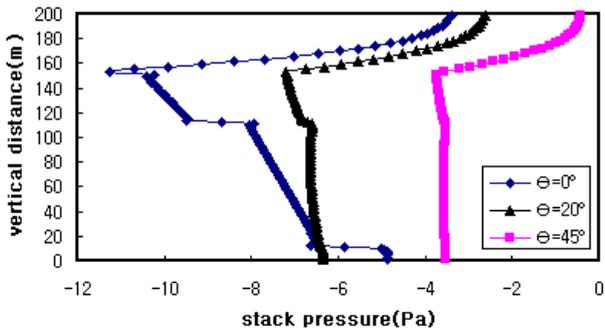


Fig. 9 Stack pressure along vertical distance for various wind angles at $V=3\text{m/s}$, $A_L=0.09\text{m}^2$ in front side.

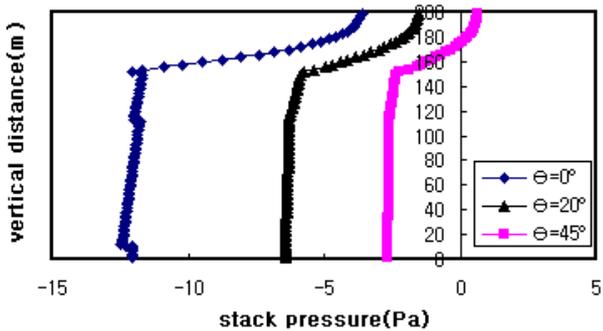


Fig. 10 Stack pressure along vertical distance for various wind angles at $V=3\text{m/s}$, $A_L=0.09\text{m}^2$ in rear side.

Fig. 9와 Fig. 10은 풍속이 3m/s 이고 전면과 배면의 누설구면적인 0.09m^2 으로 동일할 때, 건물로 이동하는 기류의 이동각도변화에 따른 입상덕트의 압력변화를 나타내고 있다. 이 값은 누설구의 위치에 관계없이 건물에 직교하게 유입되는 $\theta = 0^\circ$ 인 경우가 부압이 크게 형성되고 기류이동각도가 증가함에 따라 압력이 상승하는 현상을 나타내고 있다. 이는 건물로 이동하는 기류가 직교한 전면의 압력은 항상 최대 양압을 배면의 압력은 최대 부압을 유지하지만 건물면의 접선방향으로 기류가 유동하게 되면 건물내부의 압력변화에 크게 영향을 미치지 않는 것을 입증하는 것이다.

3.2 국소배기시스템 운전현황실험 결과

공동주택의 화장실 및 주방에 설치되는 국소배기시스템은 각 층에 설치된 팬이 운전됨으로써 강제배기를 수행하게 된다. 본 연구에서는 각층의 배출풍량이 100CMH 인 송풍기가 50개층의 가지관에 설치되어 있을 때, 자동제어 운전현황을 평가하기 위해, 오염물질 배출현황을 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 11은 300w 의 모터가 부착된 roof fan주위로 2.5m/s 로 대기가 유동할 때, 직경이 250mm 인 덕트로부터 유인되는 풍속을 측정하는 것이다. 평균대기풍속이 2.5m/s 인 경우, 덕트로부터 유인되는 평균풍속이 2.5m/s 가 됨이 측정되어 자연풍에 의한 유인현상이 발생됨을 입증하였다.

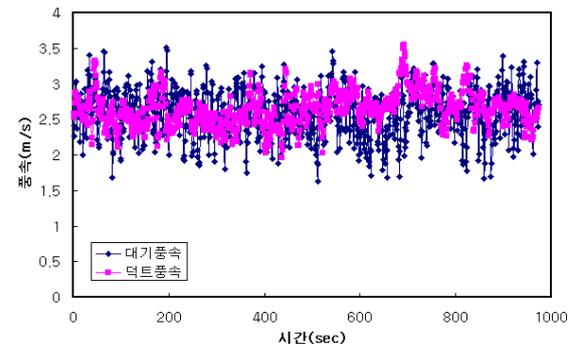


Fig. 11 The atmosphere and terminal velocity along time for natural exhaust.

Fig.12는 저층부, 중층부 및 고층부에 위치한 화장실용 배기팬이 3개층이 운전될 때, 250mm 입상덕트로 배출되는 풍속분포를 나타내고 있다. 평균 풍속은 약 1.17m/s 로 나타났다.

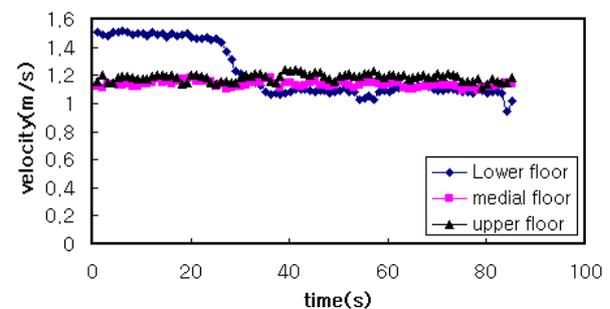


Fig. 12 Terminal velocity of vertical duct along time for forced exhaust in three floors.

Fig. 13은 50개층의 가지관이 댐퍼로 닫혀있고 무작위로 3개층의 화장실 배기팬을 동시에 운전

할 때, 입상덕트말단에 위치한 roof fan의 덕트말단에서 측정된 차압에 따라 자동으로 운전되는 현황을 Fig.14의 속도분포와 같이 나타내고 있다. 저층부, 중층부, 고층부 또는 전층에 대해 3개층이 동시에 풍속은 1.2-1.4m/s의 풍속을 나타내고 이때, 오리피스에서 측정되는 차압은 3-6Pa범위를 나타내고 풍속이 감소하면 차압도 시간차를 갖고 변화되는 것을 알 수 있다. 이는 3개층만 배기되어도 차압을 설정압력이상으로 유지하여 roof fan을 기동할 수 있으며 입상덕트말단의 풍속에 따라 차압이 종속적으로 변화됨을 입증하는 것이다.

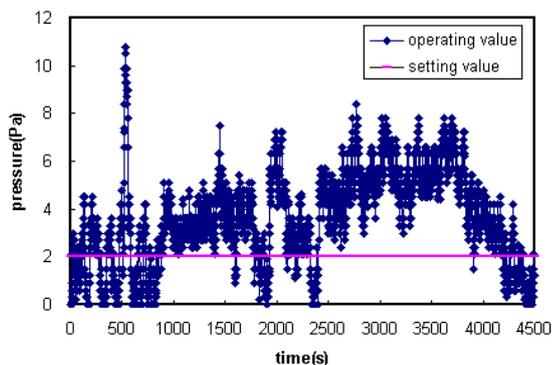


Fig. 13 Terminal difference pressure of vertical duct along operating time for forced exhaust.

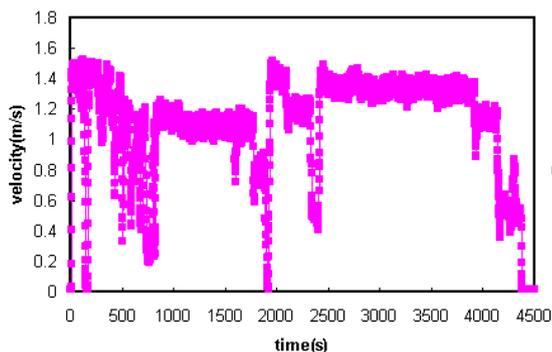


Fig. 14 Terminal velocity of vertical duct along operating time for forced exhaust.

4. 결론

최근, 공동주택의 높이가 증가함으로 인해, 화장실 및 주방에 설치되는 국소배기시스템의 성능을 향상시켜야 될 필요성이 증가하고 있다. 이러한 관점에서 초고층 공동주택에 설치하는 건식입

상덕트의 압력분포를 풍압, 풍향변화에 따라 분석하고 건식입상덕트의 차압을 감지하여 roof ventilator의 자동운전을 수행하는 제어시스템의 운전성능을 평가한 결론은 다음과 같다.

1. 초고층 건축물의 외피에 일정한 누설구가 존재하지 않고 건물주변에 기류가 존재할 때, 입상덕트의 최상부의 압력은 바람이 불어오는 전면부의 압력과 중성대를 유지하며 부압을 형성하고 수직높이 150m높이 전 구간에서 유사한 압력을 나타내고 있다. 최대부압을 유지하는 지점은 유동의 방향을 변화시키는 직각코너부근이므로 건물의 외벽면을 유선형으로 설계하는 것이 과도한 부압발생을 방지할 것으로 판단된다.
2. roof fan의 자연풍속이 2.5m/s일때, 덕트 유인 풍속이 2.5m/s로 나타났으며 자연풍속이 증가하면 유인풍속은 급격히 감소하는 것으로 나타났다.
3. 초고층 건축물의 외피에 일정한 누설구가 존재할 때, 바람과 마주보는 전면부 세대의 내압은 가압되며 배면부 세대의 내압은 진공을 유지하게 된다. 이때, 배면부에서 재순환되고 있는 기류의 압력이 실내압력보다 낮게 되면 입상덕트의 최상부로부터 실내로 역류하는 현상이 발생될 수도 있으므로 이를 방지하기 위해, 가시관 댐퍼를 필수적으로 설치하고 강제배기를 수행해야 한다.
4. 덕트말단의 차압을 측정하여 roof fan을 자동으로 운전하도록 구성된 제어시스템으로 세대별 배출풍량을 변화시켜 자동제어운전을 검증한 결과 3세대 동시배기 시 덕트말단의 풍속이 약 1.5m/s, 차압은 6Pa범위로 유지되었으나 8세대 배기시는 풍속이 약 2.5m/s, 차압은 10Pa범위로 유지되어 배기량증가에 따른 차압 증가는 입증되어 제어성능은 안정적인 것으로 판단된다.

REFERENCE

1. George T., Tamura, Smoke Movement and Control, 1994, NFPA

본 논문 중소기업청에서 시행하는 2007년 산학연 컨소시엄을 통하여 얻은 결과입니다.