

초고층공동주택 국소배기용 입상덕트시스템의 제어성능평가에 관한 연구

권 용 일^{*}, 안 정 현^{*}
신흥대학 건축설비과, ^{*}(주)세원시스템벤처

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

Yong-il Kwon^{*}, Jung Hun Ahn^{*}
Department of Building Mechanical Engineering, Shinheung College, Euijungbu, Korea
**Sewon system vent, Gwangjuk, Yangju, Korea*

(Received July 23, 2008; revision received January 4, 2009)

ABSTRACT: Local exhaust system used in toilet and cooking place of low-rise public house installed roof ventilator at terminal of stack. There are many high riser public houses 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 public house depends on stack effect. But Neutral pressure level represents in a terminal of stack with air tightness for the best exhaust efficiency. Thereby, lower floors have the worst indoor air quality. This paper focuses mainly on the exhaust efficiency improved by roof fan with motor installed in high riser public house. It is observed there is higher exhaust efficiency than the existing natural roof ventilator.

Key words: Exhaust efficiency(배기효율), Natural roof ventilator(자연배기용 벤틸레이터), Exhaust stack(배기입상덕트)

기 호 설 명

D : duct diameter(mm)
H : orifice heights(mm)

1. 서 론

국내에서는 토지의 효율성을 극대화하기 위해, 초고층 건물의 건설이 활발히 진행되고 있는 현실

이다. 이러한 현상에 의해, 초고층 공동주택의 건설이 급격히 증가하고 있다. 초고층 건물이기 때문에 기계설비관점에서 고려해야 될 특이점은 다양하지만 환기설비관점에서 특이하게 고려해야 될 사항은 수직높이변화에 따른 위치에너지와 기압 및 내, 외부온도차에 의한 굴뚝효과와 동시에 틈새바람에 의한 영향을 극복하는 환기설비 시스템을 구성해야 에너지효율과 청정도가 높은 실내환경을 구현할 수 있다. 공동주택의 화장실 및 주방에 적용되는 국소배기 시스템은 간헐적으로 운전되어 저층아파트의 경우, 배기량만큼 외벽에 설치된 유리창을 개방하여 실외에서 자연적으로 공급할 수 있다는 전제조건에서 적용되기 시작하였

[†] Corresponding author
Tel.: +82-031-870-3613; fax: +82-031-870-3619
E-mail address: yikwon@shc.ac.kr

다. 그러나 현재 건설되고 있는 초고층 주상복합 건물의 경우, 화장실과 주방에서 발생한 오염물질을 효율적으로 배출시키기 위해 수직건식덕트(AD)를 설치하지만 건물이 고층화됨으로 인해, 저층에서 배출된 오염물질의 체류시간이 증가되고 여름의 장마철과 같이 저기압이 발생하였을 때, 덕트 내의 압력불균형으로 인접세대로 역류현상이 발생하여 실내청정도를 악화시키는 현상이 빈번히 발생하고 있다. 초고층 공동주택에 설치되는 국소배기시스템의 배기효율을 향상시키고 청정도 높은 실내공간을 구현하기 위해, 세대별로 설치된 가지관과 체결된 수직건식덕트의 압력을 부압으로 유지시킴으로써 저층에서 배출되는 오염물질을 효과적으로 배출하도록 덕트 말단인 옥탑층에 루프팬(roof fan)을 설치함으로써 세대별로 배출되는 오염물질을 효과적으로 수직덕트말단으로 이송할 수 있는 방식으로 인식하고 있으며 국외⁽¹⁻²⁾에서는 초고층 건물의 국소배기시스템에 많이 적용하고 있다. 본 연구는 50개층 규모의 건식덕트의 말단인 최상부에 루프팬을 설치하여 동력에 의해 강제 구동될 경우, 향상되는 배기효율 특성을 연구하여 자연/강제겸용 루프팬의 설치 필요성을 제안하고 이러한 목적을 달성하기 위해 개발된 제어시스템을 소개하기 위해 수행되었다.

2. 루프팬(roof fan)의 구성과 자동제어 개념

Fig. 1과 같이 초고층 공동주택에 설치되는 건식 입상덕트의 말단에 루프팬(roof fan)을 설치하면 대기의 유동에 의해 발생하는 자연풍에 의해 Fig. 2(a)와 같이 일방향유동이 발생하며 루프팬

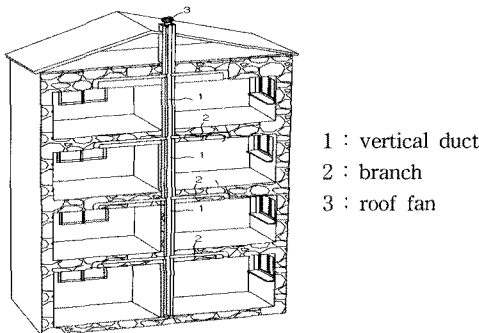
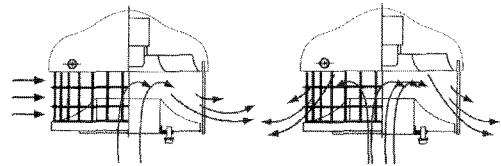


Fig. 1 Schematic diagram on the local exhaust system for toilet and cooking place.



(a) natural ventilation (b) forced ventilation

Fig. 2 Schematic diagram of flow pattern.

의 상부에 설치된 모터가 구동되면 Fig. 2(b)와 같이 원주방향으로 오염물질을 배출하게 구동됨으로써 Fig. 1과 같이 구성된 입상덕트에 체결된 저층부에서 배출되는 오염물질도 효과적으로 배출할 수 있게 된다. 이와 같이 세대에서 배출하는 오염물질을 효과적으로 이송시키기 위해 설치된 루프팬의 모터는 세대별로 설치된 국소배기장치의 운전여부와 자연풍의 발생유무를 평가하여 배출하도록 자동제어가 구성되면 에너지 절약적으로 오염물질을 배출할 수 있다. 이를 달성하기 위해, 세대에서 배출되는 오염물질의 유무를 판단하는 기능은 루프팬(roof fan)인접 하단부에 Fig. 3과 같이 설치된 차압센서에서 검출되는 차압과 설정압력을 비교함으로써 평가하도록 구성되어 있다.

수직입상덕트 최상부에 설치된 차압센서에서 측정된 압력이 설정압력보다 높게 유지되어 세대에서 오염물질을 배출한다고 인식하여도 태풍과같이 자연풍이 존재하면 수직입상덕트 내의 압력은 부압으로 형성되기 때문에 덕트내의 부압이 설정압력 이하가 되면 루프팬에 공급되는 전원을 차단하여 에너지절약을 도모하도록 Table 1과 같이 ON/OFF제어를 수행하는 제어시스템을 구성하였다. 초고층 공동주택의 화장실 및 주방의 배기를 위해, 설치되는 국소배기장치의 오염물배출성능을 평가하기 위한 실험장치는 수직으로 설치하기

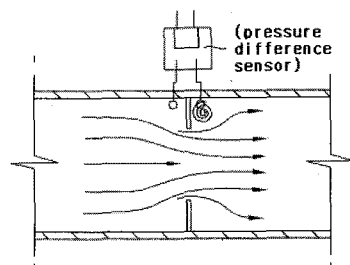


Fig. 3 Schematic diagram of differential pressure sensor for searching flow.

Table 1 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 numbers of exhaust floor	50 floors		
volume rate of exhaust fan	110 m ³ /hr		
duct diameter	350 mm		
power capacity of motor	300 W		

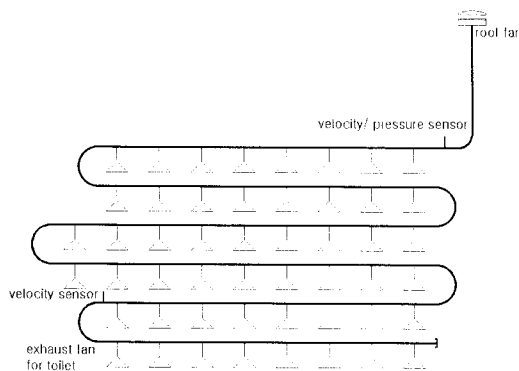


Fig. 4 Experimental devices for evaluating control performance of roof fan.

어려움이 있어 Fig. 4와 같이 옥외에 수평으로 복층덕트를 설치하여 구성하였으며 각 세대에 설치된 배기팬의 토출풍량은 110m³/hr이고 배기팬의 설치간격은 2.8m이며 가지관은 개폐형 댐퍼를 설치하였다. 본 실험조건에서는 덕트를 수평으로 설치하였기 때문에 최하부층에 개구부를 설치하였을 경우 예견되는 굴뚝효과는 평가할 수 없다. 제어실험을 위해 설치된 루프팬의 동력과 덕트직경, 배기팬의 송풍량 및 루프팬의 운전조건은 Table 1과 같다. 유동실험조건은 등온조건이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 오리피스스의 차압측정

루프팬을 구동하기 위해서는 차압을 측정해야 되며 이를 위해, Fig. 5와 같이 원형관의 한쪽 외

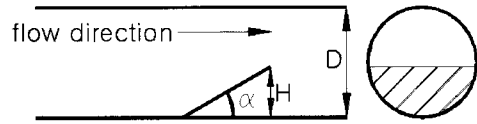


Fig. 5 Schematic diagram for installation of orifice.

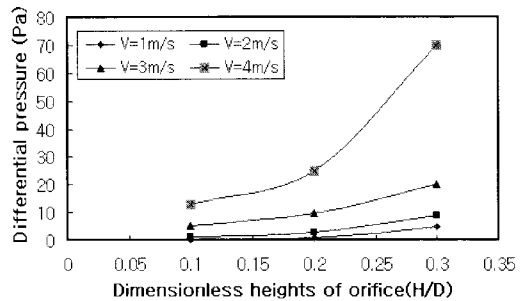


Fig. 6 Differential pressure along dimensionless heights of orifice.

벽에 차압측정이 가능한 오리피스를 설치하였다. 오리피스에서 발생하는 압력손실을 최소화하기 위해, 유동방향으로 일정한 각도를 갖도록 구성하였으며 오리피스의 각도(α)는 60°로 고정하였다. 오리피스의 무차원높이(H/D)를 변수로 하여 풍속을 변화시켜 차압을 측정된 결과는 Fig. 6과 같으며 차압측정은 검교정된 KANOMAX사의 model 6112를 사용하였다.

오리피스의 무차원높이(H/D)를 변화시킨 결과 직경의 30%까지 높이(H/D = 0.3)를 상승시키면 평균풍속이 1m/s에서도 차압이 5Pa범위에서 검출되어 제어에 용이한 차압이 검출되고 풍속이 3m/s 이상인 4m/s(동시사용율을 고려한 덕트 선정풍량)에서는 차압이 70Pa 범위까지 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 세대배기에 상대에 따라 루프팬의 구동여부를 판단할 수 있는 오리피스의 무차원높이는 0.3으로 선정하였다.

3.2 루프팬의 성능실험

전술한 바와 같이 세대 당 110m³/hr의 오염물질을 배출할 때, 50개층의 오염물질을 이송하는 수직덕트를 설치하였을 때, 효과적인 배기를 수행하기 위해, 루프팬을 설치한다. 루프팬은 자연 및 강제배기를 겸용으로 수행하며 강제구동을 위해, 설치된 모터의 정격출력은 300 W이다. 루프팬

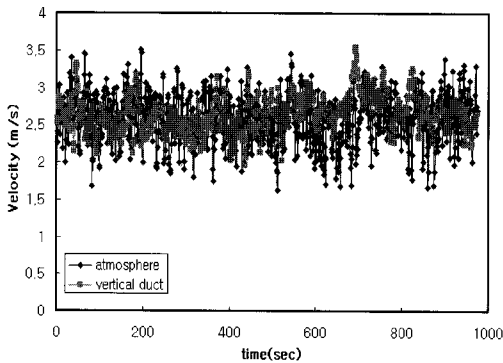


Fig. 7 The atmosphere and terminal velocity along time for natural exhaust.

의 배출성능평가는 Fig. 7과 같이 나타났으며 이 때, 대기풍속은 평균 2.65 m/s이며 수직덕트의 직경은 350 mm이다. 루프팬 주변으로 이동하는 대기풍속이 2.5m/s범위로 유지될 때, 덕트의 하부에서 유인되는 평균풍속은 2.5m/s로 나타나 자연풍에 의한 유인현상이 발생됨을 입증하였다.

3.3 국소배기시스템 운전현황실험 결과

Fig. 4와 같이 수평으로 설치된 50개의 화장실 팬과 이송덕트를 이용하여 층별로 배출되는 오염물질을 상부로 이송하는 과정에 측정된 평균풍속과 차압을 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내고 있다. 평균풍속을 측정하기 위해, 설치된 풍속계는 Fig. 4와 같이 8층과 9층 사이와 50층 상부 2개소 설치하였으며 차압은 50층 상부에 Fig. 5과 같이 설치된 오리피스를 통하여 구하였다. 각 층별로 오염물질의 배출능력을 실험하기 위해, 화장실 배기팬의 운전현황은 Table 2와 같으며 저층부(1F~4F)의 화장실 배기팬을 1000s이하동안 운전하고 일정시간이 경과하면 상층부 4개층씩 배기팬의 운전층수를 증가시켰다. Fig. 8은 Table 2와 같은 스케줄로 화장실 배기팬을 운전하여 6000s이상에서는 25개층의 배기팬이 운전되지만 말단에 설치된 루프팬이 정지된 조건에서 평균이동속도를 나타내고 있다. 이 값은 측정시간이 1000s이하, 즉 저층부(1F~4F)의 화장실 배기팬만 운전되는 경우, 8층과 9층사이의 저층부(lower floor)와 루프팬 하부인 고층부(upper floor)에 설치된 속도센서에 측정된 평균풍속이 약 1.2m/s범위로 유사하게 나타나고 있지만 측정시간이 1000s이상이어서 9층 이

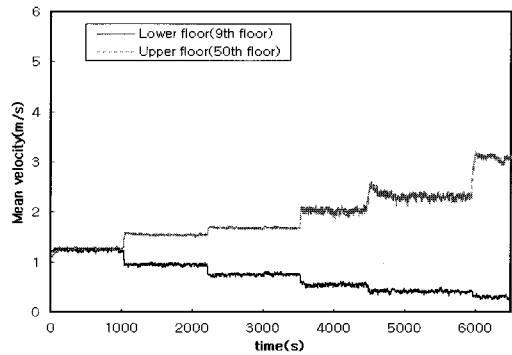


Fig. 8 Mean velocity along operating time of exhaust fan in toilet for off roof fan.

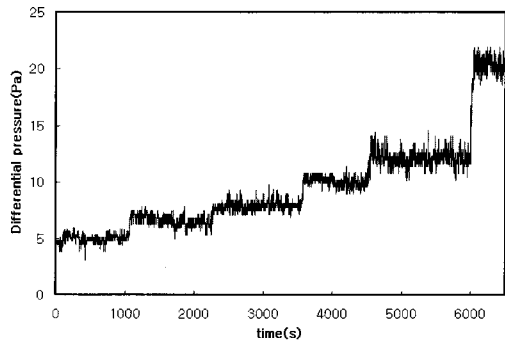


Fig. 9 Differential pressure along operating time of exhaust fan in toilet for off roof fan.

Table 2 Operating schedule of exhaust fan in toilet

time	< 1000s	1000~2200s	2200~3700s
operating floor of exhaust fan	1F~4F	1F~4F 9F~12F	1F~4F 9F~12F 17~20F
time	3701~4500s	4501~6010s	> 6010s
operating floor of exhaust fan	1F~4F 9F~12F 17F~20F 26F~29F	1F - 4F 9F - 12F 17F - 20F 26F - 29F 35F - 38F	1F~4F 9F~12F 17F~20F 26F~29F 35F~38F 46F~50F

상의 화장실 배기팬이 운전되는 대수가 증가 할수록 저층부(lower floor)에서 측정되는 풍속은 계단형태로 감소하고 25개층의 화장실 배기팬이 전부 운전된 경우, 0.25 m/s범위로 나타났지만 고층

부(upper floor)에 설치된 속도센서는 3.2 m/s범위의 평균풍속을 나타내고 있다. 이는 50개층의 세대에서 배출되는 오염물질을 하나의 수직덕트를 통하여 배출하기 때문에 저층부(1F~4F)만 오염물질을 배출하는 경우는 기류에 의해 발생하는 저항없이 일정한 시간경과 후, 수직덕트 말단까지 오염물질이 배출되지만 저층부와 고층부의 세대가 동시에 오염물질을 배출하는 경우는 고층부에서 배출되는 오염물질에 의해 형성되는 기류저항 때문에 저층부의 오염물질 배출속도가 감소된 것으로 판단되며 이를 극복하기 위해, 수직덕트 말단에 루프팬을 설치해야 됨을 입증하였다. Fig. 9는 덕트 말단에 설치된 루프팬의 하부에 설치된 오리피스에서 측정된 차압을 나타내고 있다. 덕트의 평균풍속이 1.2 m/s범위에서는 약 5 Pa의 차압을 나타내고 있으며 25개층에서 오염 물질이 배출되어 평균풍속이 3.2 m/s범위를 유지할 때는 약 20 Pa의 차압을 나타내고 있어 4개층 이상의 화장실 배기팬이 운전되는 경우, 차압은 루프팬의 운전설정차압인 2 Pa이상 압력을 나타내고 있다. Fig. 10과 Fig. 11은 Table 2에 표현된 운전스케줄 반대로 화장실 배기팬이 운전됨과 동시에 루프팬이 운전될 때, 덕트의 평균풍속과 차압변화를 나타내고 있다. 즉, 화장실 배기팬은 운전시간이 1000 s 이상에서는 최상부에 위치한 5개층(47층~50층)부터 화장실 배기팬의 운전을 정지시키면서 단계적으로 4개층씩 화장실 배기팬의 운전을 종료시켜 5600 s 이상에서는 저층부(1F~4F)의 배기팬만 운전되는 경우이다. 화장실 배기팬과 300 W의 정격출력을 갖는 루프팬이 동시에 운전됨으로 인해, 25개층이 운전되는 1000 s이하의 경우, Fig. 10과 같이 4.5 m/s의 풍속을 나타내어 루프팬이 운전되지 않는 Fig. 8보다 약 1.3 m/s이상의 풍속이 증가되고 이로 인하여 저층부(lower floor)의 풍속도 0.25 m/s에서 1.2 m/s로 증가되는 현상이 발생하였다. 이는 덕트 말단에 설치된 루프팬이 운전되면, 덕트내부의 압력이 부압으로 유지 되며 이로 인해, 세대와 수직입상덕트 사이의 차압이 증가하여 오염물질을 신속하게 배출할 수 있음을 입증한 것이다. 이로 인해, 저층부(1F~4F)의 배기팬만 운전되는 운전시간 5200 s 이상인 지점의 경우, 루프팬을 운전하지 않는 Fig. 8(평균풍속 = 1.2 m/s)과 현저히 차이 나는 2.85 m/s범위의 풍속으로 유지되어 루프팬의 운전으로 인해 저층부에서 과도

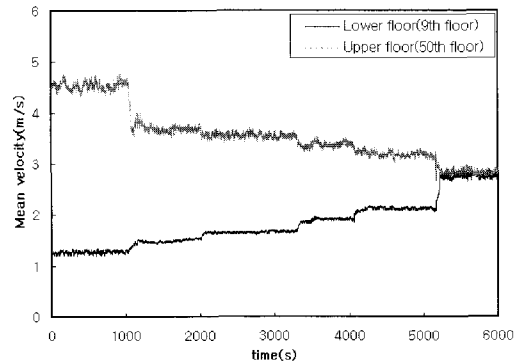


Fig. 10 Mean velocity along operating time of exhaust fan in toilet for on roof fan.

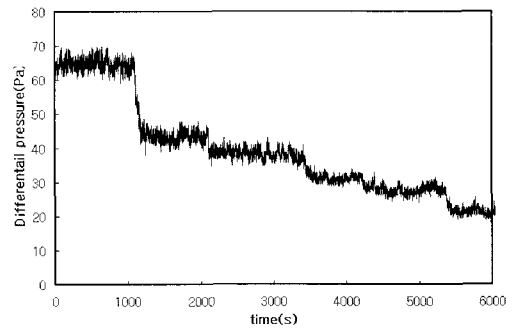


Fig. 11 Differential pressure along operating time of exhaust fan in toilet for on roof fan.

한 풍량이 배출됨을 예측할 수 있다. 그러므로 루프팬을 운전할 때, 수직입상관과 체결된 가지관에 댐퍼를 설치하지 않는 경우는 저층부에서 배출되는 오염물질을 효과적으로 배출하지 못하고 오염물질을 배출을 수행하지 않는 중층, 고층부의 공기가 배출됨으로써 배기 대상실의 실내환경은 악화시키고 비배기대상실의 실내에너지 손실이 증가할 것으로 예측된다. 화장실 배기팬이 운전되지 않는 층의 가지관은 댐퍼로 닫혀있고 층수에 관계없이 무작위로 2~4개층의 화장실 배기팬을 동시에 운전할 때, 입상 덕트말단에 위치한 루프팬의 덕트말단에서 Fig. 12와 같이 측정된 차압에 따라 자동으로 운전되는 현황을 Fig. 13의 속도분포와 같이 나타내고 있다. 전층에 대해 전술한 바와 같이 4개층에서 오염물질이 배출되면 평균풍속이 1.2 m/s로 유지되고 차압이 5 Pa 이상 발생됨으로 인해 루프팬이 기동되고 있으며 운전

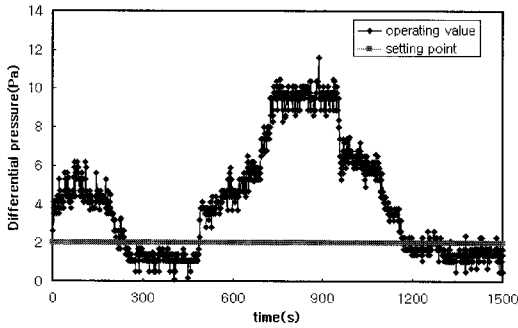


Fig. 12 Differential pressure of vertical duct along operating time for auto operation of roof fan.

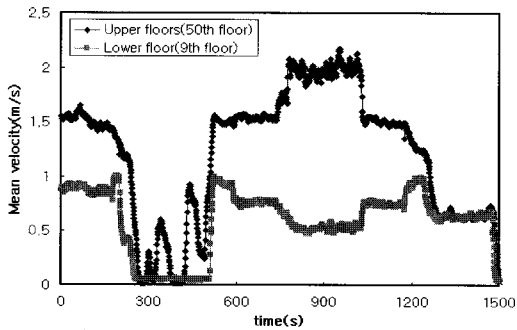


Fig. 13 Mean velocity of vertical duct along operating time for auto operation of roof fan.

시간이 300~550 s범위와 1300 s이상은 세대배기팬이 정지되거나 저층부 2개층만 가동하여 설정차압이하로 압력이 유지됨을 알 수 있다. 이는 통과풍속이 1 m/s이상으로 유지되면 설정압력이상으로 차압이 검출되어 루프팬이 가동됨을 입증하는 것이다.

4. 결 론

초고층 공동주택에 설치될 화장실 배기용 입상덕트의 오염물질 배출현상과 차압센서를 이용하

여 루프팬을 자동 운전하는 제어시스템의 운전성능을 평가한 결론은 다음과 같다.

(1) 대기가 2.65 m/s로 이동할 때, 루프팬의 덕트 유인 평균풍속이 2.5 m/s로 유지되어 자연풍에 의한 배기능력이 충분히 확보됨을 알 수 있다.

(2) 루프 팬이 정지된 경우, 동시사용율을 고려하여 25개층의 화장실 배기팬이 균일하게 동시에 운전되는 경우, 중, 고층부에서 발생하는 기류의 유동저항에 의해, 저층부화장실의 오염물질의 배출능력이 급격히 감소되어 강제구동 루프팬의 설치필요성을 입증하였다. 그러나 루프팬을 설치할 경우, 건식입상 덕트가 전체적으로 부압이 형성되므로 배기팬이 운전되지 않는 층의 배기를 방지하기 위해, 개폐형 댐퍼(motorized damper)를 설치해야 된다.

(3) 덕트말단의 차압을 측정하여 루프팬을 자동으로 운전하도록 구성된 제어시스템으로 세대별 배출풍량을 변화시켜 자동제어운전을 검증한 결과, 덕트 평균풍속이 1 m/s이상인 경우, 측정되는 차압이 루프팬운전설정압력(2 Pa)보다 높게 유지되어 제어안정성은 확보를 입증하였다.

후 기

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

참고문헌

1. Tamura, G. T. and Wilson, G. T., 1967, Pressure Differences Caused by Chimney Effect in Three High Buildings, ASHRAE Transactions, Vol. 73(II), pp. II.1.1-II.1.10.
2. Shaw, C. Y. and Tamura, G. T., 1977, The Calculation of Air Infiltration Rates Caused by Wind and Stack Action for Tall Building, AHSRAE Transactions, Vol. 83, No. 2, pp. 145-148.