Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering
Vol. 29, No. 12(2017), pp.628-637
ISSN 1229-6422(Print), 2465-7611(Online)
http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2017.29.12.628

공동주택의 세대별 균등 배기량을 확보 하는 제어방법에 관한 연구

Control Method to Ensure Uniform Exhaust Function by Household of Apartment House

권용일(Yong-Il Kwon)†
신한대학교 기계자동차융합공학과
Shinhan University, Department of Mechanical and Automotive Engineering, UijeongbuSi, 11644, Korea

(Received September 6, 2017; revision received October 13, 2017; Accepted: October 24, 2017)

Abstract This study was conducted to present an effective control method for the common duct system to uniformly discharge volume flow rate exhausted from the kitchen and bathroom of each household in an apartment regardless of the position of household. Since the common duct system is installed vertically and the ventilator is installed in the terminal, the static pressure of each household decreases when vertical height increases. Therefore, the volume flow rate exhausted from each household is different. In order to improve such a phenomenon, a constant air volume damper shall be installed in a branch duct coupled with a common vertical duct system. The selected ventilator should also be able to handle the maximum volume flow rate considering diversity factor. Therefore, a uniform volume flow rate must be exhausted from all households where the hood is operated. This paper mainly focuses on suggestion of an optimum exhaust control method by comparing exhaust performance of each household according to the presence or absence of a constant air volume damper.

Key words Optimum exhaust control method(최적배기제어방법), Common vertical duct(공용 수직덕트), Constant air volume damper(정풍량댐퍼)

† Corresponding author, E-mail: *yikwon@shinhan.ac.kr*

기호설명

M.D. : 모터 구동 댐퍼
CAVD : 정풍량댐퍼
F.D. : 방화댐퍼

1. 연구배경 및 목적

공동주택의 화장실과 주방은 환기를 위해, 대부분 배기용 송풍기만 존재하는 국소배기시스템을 적용한다. 이러한 국소배기시스템은 각층 배기방식과 공용 수직덕트를 이용한 중앙 배기방식으로 구분되며 공동주택의 건축개념에 적합한 방식을 선택적으로 적용하고 있다. 2005년 환경부에서 공동주택의 실내공기질을 관리하기 위해, 실내공기질 관리법이 제정된 후, 많은 연구자들은 공동주택의 국소배기시스템의 배기성능 개선을 위한 연구를 지속적으로 수행하여 중앙배기시스템의 배기성능 문제점을 확인하고 개선방안을 제시하였다.[1-3] 최근에 30층 이상의 공동주택을 건설하는 빈도가 증가함으로 인해, 주방 및 화장실의 배기 불균형으로 인한 환기성능저하현상이 발생하여 각층 배기방식을 적용하는 공동주택도 늘고 있는 추세이지만 공용 수직덕트를 이용하여 옥탑층으로 오염물질을 배출하는 중앙식 국소배기시스템이 여전히 적용되고 있다. 중앙식 국소배기시스템이 제공하는 환기성능을 개선하기 위해, LH공사는 2017년부터 공용 수직덕트 말단에 설치하는 송풍기의 제어방식을 배기 풍량의 대소에 관계없이 정정압 제어를 적용하도록 강제하고 있으며 정정압 제어가 적용된 송풍기의

 ⓒ SAREK

운전 정확성을 확보하기 위해, 각 세대에 설치하는 후드에는 배기용 송풍기를 설치하지 않고 공용 수직덕트와 연결되는 각 세대의 가지관에 정풍량 댐퍼를 필수적으로 설치하도록 시공지침을 제시하고 있다. Moon et al.[4]은 고층 아파트 욕실 배기스템의 층별 유량배출특성을 T-method를 이용하여 연구하였으며 연구 결과, 욕실 동시 사용율이 45%인 경우에도 최상층의 배기풍량은 설계풍량보다 크게 유지되지만 최하층의 배기풍량은 설계풍량보다 낮게 유지됨을 확인하신안였다. 최하층의 배기풍량을 설계풍량 이상으로 유지하는 방법은 덕트 직경 또는 송풍기의 양정을 증가시키는 두 가지 방법이 있으며 공용 수직덕트 말단에 설치하는 송풍기의 정격 양정을 약 1~2 mmAq 상승시키면 최하층의 배기풍량이 설계풍량보다 높게 유지할 수 있음을 제시하였다. Kwon et al.[5]은 50층으로 건설된 초고층 공동주택 국소배기용 입상덕트시스템를 가정하여 입상덕트 최상부에 송풍기를 설치하고 송풍기 하부에 정압센서를 설치한 후, 송풍기의 회전수를 배기풍량에 비례하여 증가하도록 제어시스템을 구성하여 입상 수직덕트시스템의 배기성능을 평가하였다. 그 결과, 저층부와 고층부가 동시에 배기를 수행할 경우, 운전하지 않는 세대와 연결된 가지관을 밀폐시키는 댐퍼를 설치하지 않으면 송풍기와 가까운 고층부에서 설계풍량보다 많은 배기량이 발생하고 저층부에서는 각 세대에서 설계풍량만큼 배기가 되지 않는 현상이 발생하여 가지관에 ON/OFF 댐퍼의 설치 필요성을 제시하였다. LH공사는 2017년부터 중앙식 국소배기시스템이 제공하는 환기성능 저하현상을 해결하기 위해, 각 세대의 가지 덕트에 모터구동형 ON/OFF 댐퍼와 정풍량 댐퍼를 설치한 후 정정압 제어시스템를 수행하여 배기를 수행하도록 시공기준을 제정하였다. 이에 본 연구는 주방 혹은 화장실배기를 위해 중앙식 국소배기시스템이 적용된 40층 공동주택에서 선정한 송풍기 성능을 실험을 통하여 확인한 후, 전산유동해석에 송풍기의 성능을 적용하여 공용 수직덕트에서 발생하는 유동저항과 세대별 배기풍량을 계산하고 정풍량 댐퍼가 층별로 흡수해야 될 차압범위를 제시할 목적으로 수행되었다.

2. 연구방법

공동주택의 각 세대의 주방에서 배출되는 오염물질을 효과적으로 배출하기 위해, 공용 수직덕트 말단에 송풍기가 설치된 배기 덕트시스템은 Fig. 1과 같으며 송풍기의 제어는 각 세대에서 배출되는 오염물질의 배출

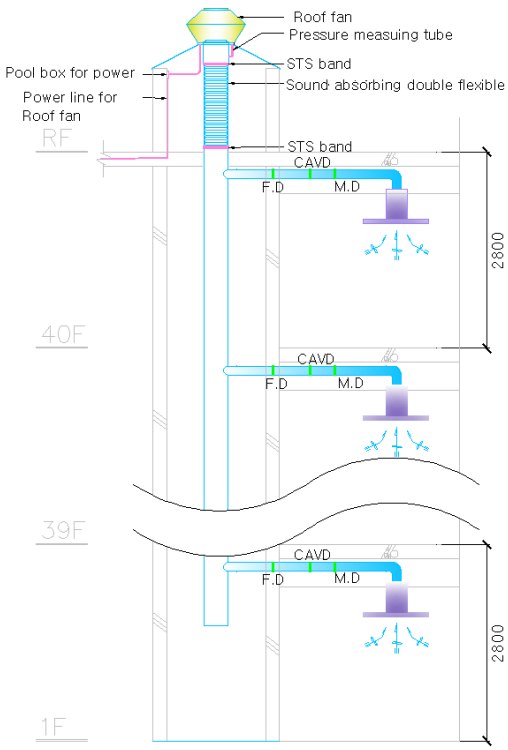
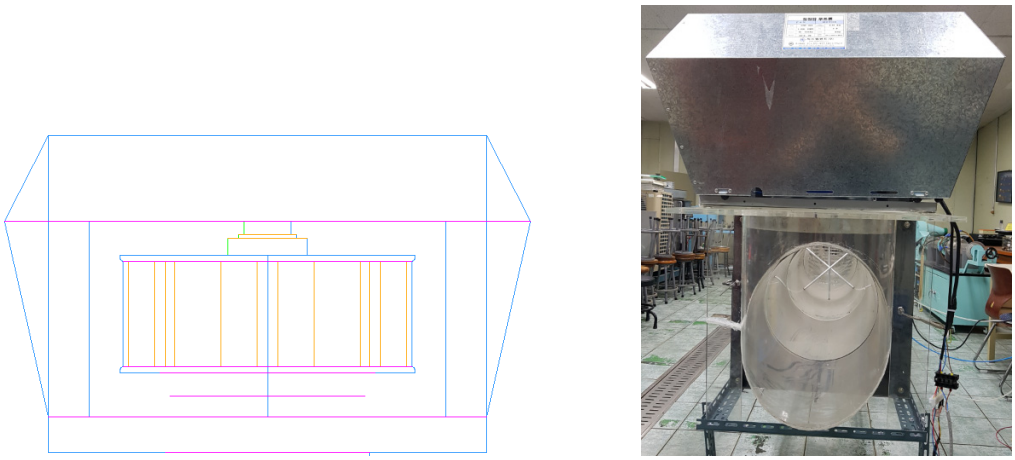


Fig. 1 Schematic diagram of common vertical duct.



(A) 3D ventilator for numerical analysis (B) ventilator for performance test

Fig. 2 3 dimensional ventilator for numerical analysis and performance test.

속도를 풍속계를 이용하여 측정한 후, 그에 적합한 정압을 제공하도록 송풍기의 회전수를 제어하는 제어시스템을 적용하고 있다. 각 세대의 주방에서 배출되는 오염물질은 공용 수직덕트의 말단에 설치된 송풍기가 운전됨으로 형성되는 부압에 의해, 대기압으로 유지되는 후드의 유입면을 통하여 공용 수직덕트로 이송된 후, 송풍기가 설치된 공용 수직덕트의 말단으로 이동하게 된다. 이 과정에서 공용 수직덕트의 상부와 하부의 압력이 차이 나게 되어 상부에 체결된 세대의 가지관을 통해 배출되는 배기량과 하부에 체결된 세대의 가지관을 통해 배출되는 배기량이 차이 나게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 각 세대의 가지관에 Fig. 1과 같이 정풍량댐퍼(constant air volume damper; CAVD)를 설치한다. 또한 하나의 공용 수직덕트에 전 세대의 가지관이 체결되어 있기 때문에 배기를 수행하지 않는 세대에서 의도하지 않는 배기현상이 발생할 수 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해서는 Fig. 1의 가지관에 표기된 바와 같이 가지관의 개폐기능을 갖는 모터 구동 댐퍼(motorize damper; MD)를 설치하여 세대 내에서 주방환기를 위한 후드를 운전하지 않을 때는 가지관을 통한 유동이 발생하지 않도록 M.D의 댐퍼의 날개를 차단방향으로 이동시킨다. 이상과 같이 CAVD와 MD를 설치함으로 인하여 공용 수직덕트의 말단에 설치된 송풍기의 제어운전 성능이 양호하게 유지할 수 있다. 그러나 각 세대의 가지관에 설치되는 정유량 댐퍼의 차압범위에 대한 기준은 제시되지 않고 있다. 이러한 정유량댐퍼의 차압범위를 제시하기 위해, 본 연구는 수치해석 방법을 이용하여 유동해석을 수행하였으며 이를 통하여 각 세대별로 요구되는 차압범위를 제시할 목적으로 수행되었다. 전산유동해석을 통하여 덕트시스템의 압력강하를 해석하기 위해서는 본 연구를 위해서는 3차원 송풍기의 실제형상을 Fig. 2와 같이 모사하였으며 치수(L×W× H)는 600 mm×600 mm×250 mm이다.

40층 공동주택의 화장실 배기를 위해, 공용 수직덕트와 말단에 설치되는 하나의 송풍기를 설치된 국소배기 시스템은 층별로 일정풍량으로 배출되도록 제어할 필요가 있다. 이를 위해, 후드의 흡입면을 통하여 가지관까지 요구풍량이 배기하는데 필요한 정압을 구하고 전산유동해석을 이용하여 공용 수직덕트의 층별로 형성되는 정압을 구한 후, 일정한 풍량이 배기되기 위해, 조절해야 될 차압의 크기를 구하여야 한다. 이와 같이 층별로 형성되는 차압의 크기를 구하기 위해서는 40층 공동주택에 설치되는 송풍기의 성능시험이 필요하며 성능시험된 송풍기와 동일한 형상의 송풍기를 3차원 모델링하여 수치해석결과와 비교할 필요가 있다.

2.1 수치해석 방법

본 연구 대상인 공동주택의 규모는 40층이며 주방의 동시사용율은 37.5%로 가정하였다. 그러므로 동시에 배기를 수행하는 세대는 15개 층이다. 각 세대별로 설치된 후드에서 배출되는 풍량은 200 CMH로 가정하였으며 등온조건으로 가정하였다. 또한 각 세대에 설치된 후두는 LH공사의 정정압 송풍기의 기술기준에서 제시한 바와 같이 송풍기가 설치되지 않는 것으로 제시되어 본 연구에서도 후드의 송풍기는 없는 것으로 가정하였으며 후드 면의 흡입구는 대기압으로 가정하여 압력경계조건을 적용하였다.

 ⓒ SAREK

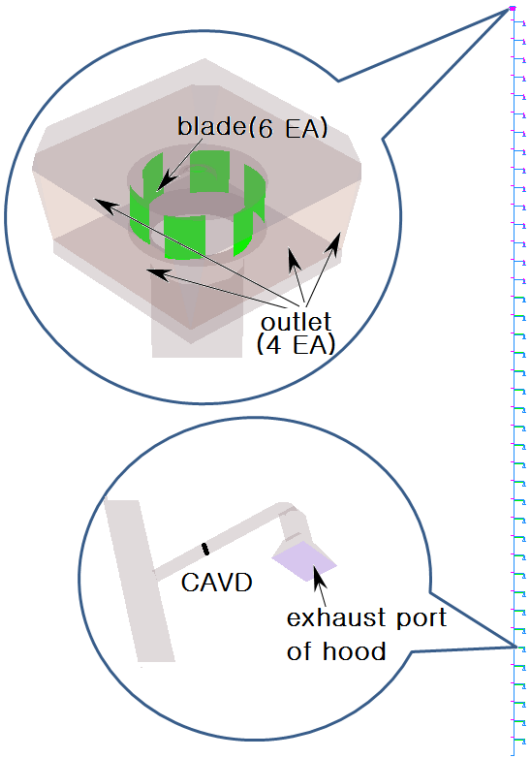


Fig. 3 Schematic diagram of common vertical duct system for numerical analysis.

Fig. 2(B)와 같은 형상의 송풍기의 형상을 3차원 모델링을 수행하여 Fig. 3과 같이 제작하여 Table 1과 같은 경계조건을 적용하여 전산 유동해석을 수행하였다. 송풍기의 원심형 날개 형상을 갖고 있으며 송풍기가 회전함에 따라 송풍기의 전단과 후단에 형성되는 압력을 계산하기 위해, 송풍기의 날개를 회전시켜야 하지만 송풍기 날개 주위의 유체를 일정한 속도로 회전시킴으로서 날개의 회전과 동일한 현상을 구현할 수 있도록 송풍기의 회전 날개가 포함된 영역을 moving reference frame zone으로 나누어 회전체 주위의 유체를 일정속도로 회전시키는 MRF (Moving Reference Frame)모델을 적용하였다. 또한 40층 공동주택에서 동시사용율을 고려하면 동시에 주방 후드가 운전되는 조건이 15개 층으로 감소하지만 15개 층에서 오염물질이 동시에 배출되는 조건을 선정하여 배출되는 배기의 총 풍량은 3,000 CMH가 됨을 검증하여야 된다. 본 연구에서는 Table 2와 같이 공용 수직덕트에서 유동 저항이 크게 형성될 수 있는 저층부와 중층부 및 고층부의 인접한 15개 층에서 동시에 오염물질이 배출되는 3개의 계산조건(case 1, case 2 and case 3)을 세대별 배기량 균등분배 계산조건으로 선정하였으며 인접하지 않는 층에서 오염물질이 배출될 경우를 가정하여 저층부와 고층부에서 1개 층씩 배기되는 세대를 이격하여 Table 2의 2가지 조건(case 4, case 5)을 계산조건으로 추가하였다. 이 과정에서 인접한 15개 층에서 연속적으로 오염물질이 배출되는 현상을 비교하였다.

Table 1 Boundary condition for numerical analysis

Rotational number of ventilator	Pressure in exhaust port of hood	Pressure in outlets of ventilator
1,380 or 1,800 rpm	0 Pa	0 Pa

Table 2 Exhaust hood operation schedule of 40 story apartment

condition	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4*	Case 5**
Exhausted floor	1F~15F	16F~30F	26F~40F	1F~29F	12F~40F

*operation for only odd floors, **operation for only even-numbered floors.

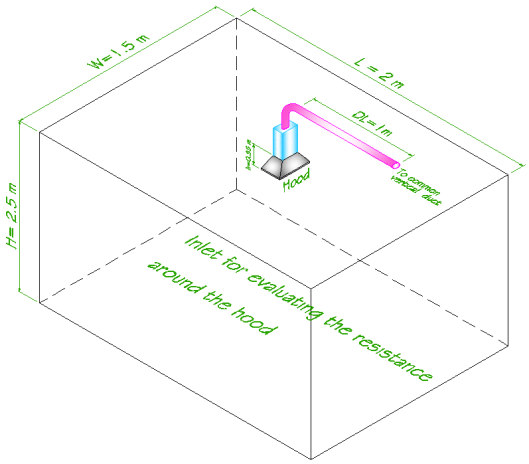


Fig. 4 Schematic diagram around the hood for evaluating the flow coefficient.

공용 수직덕트 말단에 설치된 송풍기가 3,000 CMH의 풍량을 배기하기에 적합한 회전수는 1,380 rpm으로 설계되었다. Table 2와 같이 다양한 15개 층에서 배출되는 배기의 총 풍량은 3,000 CMH를 유지하지만 송풍기에 인접한 세대의 후드에서는 설계풍량보다 큰 풍량이 배기될 것이고 상대적으로 먼 세대, 예를 들어 1층에서는 설계풍량보다 적은 풍량이 배출될 것이다. 이러한 현상을 방지하기 위해, Fig. 3과 같이 CAVD를 설치하여야 하는데 CAVD가 흡수할 압력을 산정할 때 사용되는 기준압력의 설정이 필요하다. 이를 위해서 후드 흡입부에서부터 후단 엘보우까지 유량계수를 Fig. 4와 같이 실 형상을 구성하고 해석하여 산정하였으며 이 값은 1.94로 구하였다. 또한 각 세대별로 배출이 요구되는 설계풍량인 200 CMH가 가지관으로 배기될 때, 필요한 압력강하는 식(1)을 이용하여 28 Pa로 나타났다.

$$\Delta P = 1.94 \frac{V^2}{2} \rho \tag{1}$$

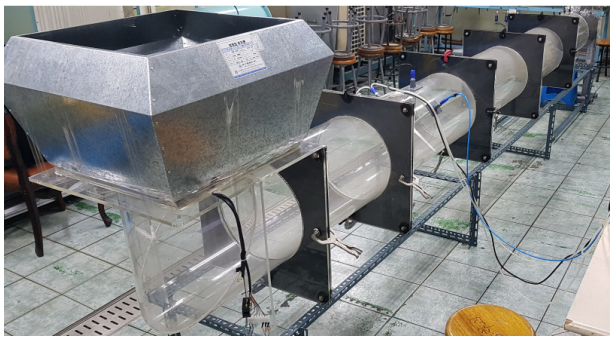
각 세대의 주방후드는 공용 수직덕트와 가지덕트로 연결되어 있으며 공용덕트의 최상부 말단은 각 세대에서 배출된 오염물질을 최상부로 이동시키 위해, 원심형 송풍기가 설치되어 있다. 이러한 40층 공동주택의 배기특성을 전산유동해석을 통해 조건별로 압력변화거동을 해석하기 위해, 상업용 전산유동해석 프로그램을 사용하였으며 격자계는 비 균일격자계를 사용하였으며 격자계의 개수는 1.2×10^5개를 적용하였다. 압력방정식은 SIMPLE 알고리즘을 적용하였고 해석결과의 수렴조건은 해석영역에 형성된 각 격자계에서 연속방정식을 만족하는 값이 1×10^{-7}인 조건으로 선정하였다.

2.2 송풍기 성능시험

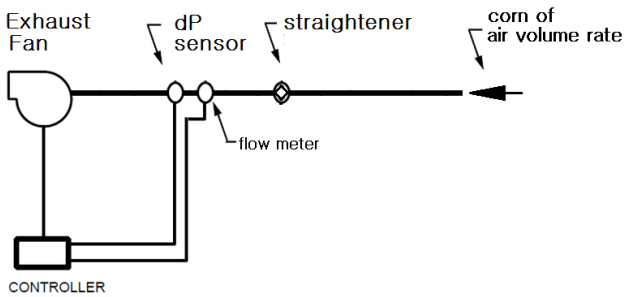
송풍기의 성능시험은 수치해석을 통하여 구하는 압력강하의 타당성을 입증하는데 필요하다. 49층 공동주택에 설치되는 송풍기의 성능시험을 위해 Fig. 5(B)의 개념도와 동일하게 시험장치를 Fig. 5(A)와 같이 제작하였다.

송풍기 성능시험은 주어진 회전수에서 덕트를 통하여 유입되는 유량과 정압을 측정하였으며 유량을 변화시키기 위해, 덕트말단에 풍량조절용 콘을 설치하여 배기되는 유량을 조절하였다. 이때, 정압은 덕트내부와 대기와의 차압을 이용하여 측정하였다. 정압과 풍량을 측정하는 센서는 1차형 6점 피토관을 사용하였으며 센서로 유입되는 공기는 층류유동이 발생하도록 정류기를 통과하여 센서로 유입되도록 덕트시스템을 구성하였으며 센서와 정류기 사이의 거리는 6 d거리를 유지시켰고 덕트의 직경은 40층 공동주택의 공용 수직덕트로 일반적으로 적용되는 350 mm를 설치하였다. 풍량과 정압측정을 위한 센서의 측정범위와 정확도는 각각 0~1,000 Pa, ±3 Pa이며 testo 454를 사용하여 측정하였다. 6점 피토관에 의한 차압으로부터 평균유속을 산정하였으며 주어진 유량계수인 0.716을 이용하여 식과 같이 구하였으며 단면적을 곱하여 배기 풍량을 산정하였다.

 ⓒ SAREK



(A) Shape of test equipment



(B) Schematic of the performance test system

Fig. 5 Shape and schematic the performance test system for the ventilator.

$$V = 0.716\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \tag{2}$$

송풍기의 성능시험범위는 송풍기의 정격성능을 표현하는 회전수인 1,350 rpm으로부터 700 rpm까지 4등분하여 회전수를 변경하였으며 이때, 정압은 50~350 Pa범위를 유지하였다.

3. 주방배기시스템 성능

본 연구는 40층 공동주택의 각 세대 주방에서 발생되는 오염물질을 배기하기 위해, 설치된 공용 수직덕트 시스템으로 인해 발생되는 배기불량현상을 파악하고 해결방안을 제시하기 위해, 말단에 송풍기가 설치된 공용 수직덕트시스템에 대한 전산유동해석을 수행하였다. 배기성능이 감소되는 경우는 송풍기의 회전수를 증가시켜 각 층별로 200 CMH의 오염물질이 배출되는 회전수를 구하였고 각 세대별로 요구되는 풍량 만을 배출하기 위해 필요한 차압의 크기를 구하였고 그 결과는 다음과 같다.

3.1 송풍기의 성능시험 결과

40층 공동주택의 주방배기를 수행하기 위해, 공용 수직덕트시스템의 최상층부에 일반적으로 설치하는 송풍기의 성능은 회전수가 1,380 rpm일 때, 300 Pa의 양정을 갖고 있으며 배출풍량은 3,000 CMH이다. 이러한 송풍기의 성능을 Fig. 5와 같은 성능시험 장치를 이용하여 시험한 결과 Fig. 6과 같은 성능곡선을 얻었으며 최대 풍량이 3,000 CMH이고 회전수가 1,380 rpm일 때, 정압이 300 Pa로 운전됨을 확인하였으며 시스템특성 곡선은 송풍기 상사법칙을 적용하여 작도하였다.

3.2 공용 수직덕트의 배기성능

40층 공동주택의 최대 배기풍량은 송풍기의 임펠러 회전속도가 Fig. 6과 같이 1,380 rpm일 때, 3,000 CMH이다. 이는 동시사용율을 고려하여 15개 층에서 동시 배기되는 풍량이며 Table 2와 같이 3,000 CMH가 배출하는 조건을 5종류로 구분하여 계산한 결과, 저층부 15개 층이 연속적으로 배기되는 Case 1의 경우, Fig. 7과 같이 1층에서 배기풍량이 가장 낮게 나타나고 있으며 Case 1을 제외한 나머지 4개 조건 모두 하부영역에 위치한 세대의 배기풍량이 층별 배기풍량인 200 CMH를 배기하지 못하고 있으며 더욱이 고층부인 최상층부 15개 층에서 연속배기하는 경우, 하부영역에 위치한 세대에서도 세대별 요구 배기풍량을 충족하지 못하는 것으로 알 수 있다. 그러나 배기조건에 관계없이 15개 층에서 배기되는 풍량의 합계는 3,000 CMH이 상으로 유지되고 있다. 이는 배기조건에 관계없이 상부에 위치한 세대의 배기량은 층별 요구 배기풍량은 200 CMH 이상을 유지하는 것을 입증하는 것이다. 하부영역에서 발생되는 배기불량 현상을 해결하는 방법은 공용 수직덕트 또는

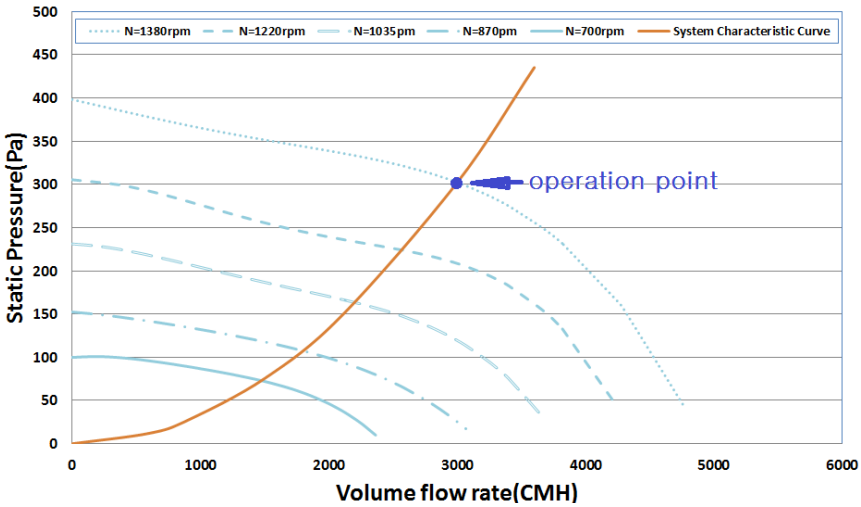


Fig. 6 Operation point of the ventilator installed in 40 story apartment.

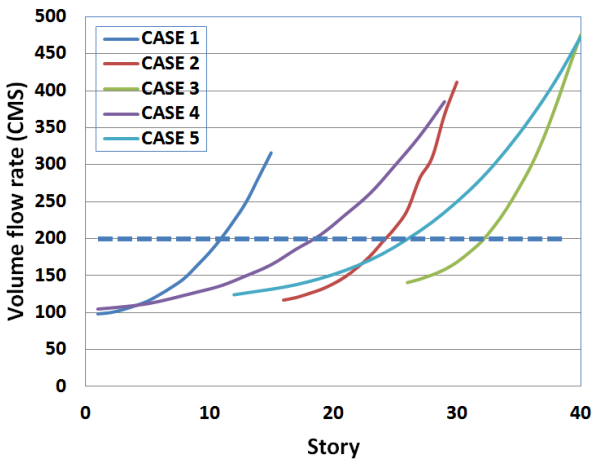


Fig. 7 Air volume rate exhausted in each household for various exhaust conditions at N = 1,380 rpm.

세대별 가지덕트의 관경을 늘리거나 말단에 설치된 송풍기의 회전수를 증가시키는 방법이 있다. 본 연구에서는 덕트의 직경은 일정하다고 가정하고 층별로 불균일하게 풍량이 배출되는 원인이 공용 수직덕트의 말단에 송풍기가 배치되어 있고 주방 후드에는 송풍기를 설치하지 않아 공용 수직덕트의 층별로 형성되는 압력만에 의해, 각 세대의 배기량이 결정되기 때문이므로 만약 Fig. 4와 같은 층별 가지관에 정풍량댐퍼를 설치하였을 경우, 배기조건에 관계없이 배기를 수행하는 각 세대의 배기량을 균일하게 유지시킬 수 있을 것이다.

Fig. 8은 고층부의 15개 층이 연속배기 되는 Case 3의 경우, 송풍기의 임펠러 회전수가 1,380 rpm일 때, 가지관에 정풍량 댐퍼를 설치하지 않고 공용 수직덕트를 통하여 배기되는 풍량과 정압을 계산하고 이때, 발생하는 층별 배기풍량 불균형을 개선하기 위해, 층별 가지관에 정풍량 댐퍼를 설치하여 층별로 배기되는 풍량의 변화량을 구하였다. 회전수가 1,380 rpm으로 운전되지만 고층부영역의 15개 층이 연속 배기됨으로 인해 형성되는 유동저항에 의해, 고층부에 위치한 인접한 15개 층의 하부영역인 26층~31층에서 배출되는 배기량은 층별 요구 배기풍량인 200 CMH 이하로 유지되고 있다. 이러한 배기 불균형 현상을 개선하기 위해, 세대별 가지관에 정풍량 댐퍼를 설치하여 차압이 크게 형성되는 상부에 위치한 세대에서 추가적인 압력강하가 발생시킴으로써 세대별 유구 배기풍량을 만족시키고 상부에서 줄어든 풍량 만큼 하부세대의 풍량이 증가함으로써 고층부영역의 인접한 15개 층 전 세대에서 요구 배기풍량을 배기할 수 있음을 Fig. 8에서 확인할 수 있다.

ⓒ SAREK

그러나 40층 공동주택의 중간영역에 위치한 16층~30층까지 인접한 15개 층에서 배기가 연속적으로 발생하는 Case 3의 경우는 Case 2와 유사하게 하부영역에 위치한 세대의 배기불량현상이 16층~24층으로 확대되고 있다. 이러한 현상을 개선하기 위해, 정풍량 댐퍼를 세대별 가지관에 설치하여도 송풍기의 임펠러 회전수가 1,380 rpm인 경우는 16~21층까지 배기 불량 현상이 여전히 존재하고 있다. 이는 중간영역에 위치한 각 세대에서 배출된 오염물질이 말단에 위치한 송풍기까지 이동하면서 수직덕트에서 추가적인 유동저항이 증가하기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 송풍기 임펠러의 회전수를 1,600 rpm으로 증가시키면 세대의 배기불량현상이 회전수가 1,380 rpm인 경우와 유사하게 16~23층에서 발생되지만 상층부(30층)에서 배기되는 풍량이 회전수가 1,380 rpm인 조건보다 25%로 증가되었고 각 세대별로 10~25%의 풍량이 증가되었다. 이로 인해, 각 세대의 가지관에 정풍량 댐퍼를 설치하면 중층부 15개층(16층~30층) 전 세대에서 요구 배기풍량을 배기함을 Fig. 9에서 확인할 수 있다. 즉, 고층부영역에서 인접한 15개층이 연속배기를 수행하는 Case 3의 경우보다 유동저항이 증가하여 각 세대별로 요구풍량을 배기되기 위해서는 송풍기의 회전수를 증가시켜야 됨을 확인하였다.

40층 공동주택의 하부영역에 위치한 인접한 15개 층(1층~15층)에서 연속적으로 배기가 수행되는 Case 1의 경우, 송풍기 임펠러의 회전속도가 1,380 rpm으로 운전될 때 층별 배기풍량은 Case 2와 유사하게 저층부에 위치한 세대인 1층~8층에서 배기불량현상이 발생됨을 Fig. 10에 나타내고 있다. 이러한 현상을 개선하기 위해, 정풍량 댐퍼를 세대별 가지관에 설치하여도 송풍기의 임펠러 회전수가 1,380 rpm인 경우는 최하부 2개 층에서 세대별 요구 배기풍량보다 적은 풍량을 배기하고 있다. 이는 송풍기 임펠러 회전수가 1,380 rpm으로 운전하여도 최하부에 위치한 각 세대에서 배출된 오염물질이 공용 수직덕트 최상부층까지 이동해야 되는 거리가 Case 2와 Case 3보다 증가됨으로 인해 유동저항이 증가하였기 때문이다. 이와 같이 증가된 유동저항을 극복하면서 최하부에 위치 한 세대에서도 층별 요구 풍량이 배기되도록 송풍기 임펠러 회전수를 1,600 rpm과 1,800 rpm으로 증가시켰다. 회전수가 1,600 rpm으로 증가되면 1,380 rpm으로 임펠러가 회전되는 조건보다 최상층부(15층)에서 배기되는 풍량이 17%로 증가하였으며 15개층 전 세대에서 약 10~17%의 배기풍량이 증가하였으나 최하부 2개층에서 여전히 배기불량 현상이 발생하여 회전수를 1,800 rpm으로 증가시키면 최상층부(15층)에서 배기되는 풍량이 임펠러 회전수가 1,380 rpm인 조건보다 약 30%로 증가함을 알 수 있으며 이로 인해 세대별 가지관에 정풍량 댐퍼를 설치하여 세대별 풍량을 제어하면 세대별 요구 배기풍량을 만족할 수 있음을 확인하였다.

40층으로 건설된 공동주택의 주방에서 최대 동시사용율에 적합하게 3,000 CMH의 오염물질이 배출될 경우, 공용 수직덕트에서 유동저항이 가장 크게 발생하는 조건은 인접한 15개 층에서 오염물질을 배기되는 조건중

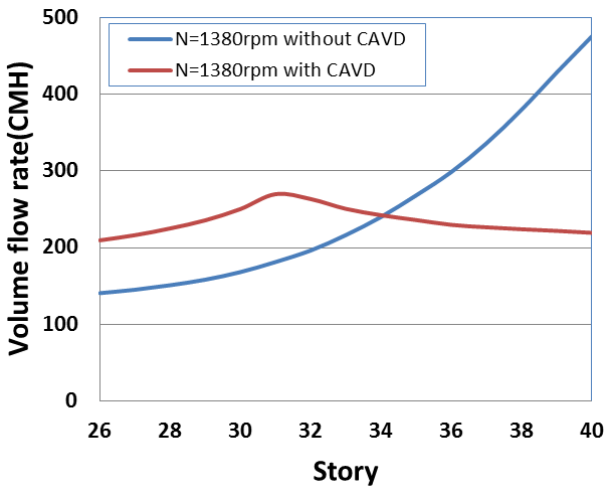


Fig. 8 Volume flow rate exhausted to common vertical duct along vertical distance at case 3, N = 1,380 rpm.

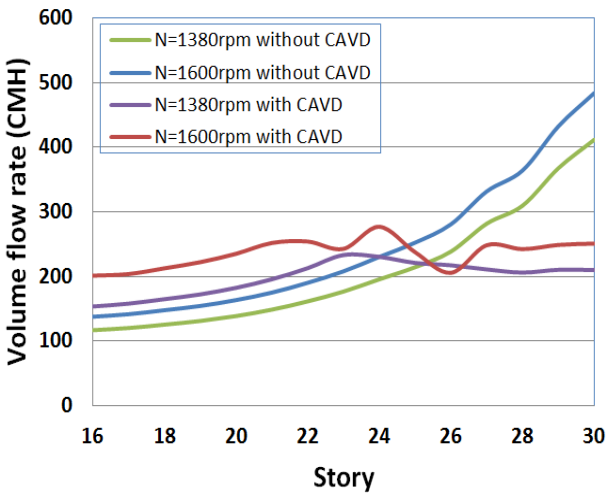


Fig. 9 Volume flow rate exhausted to common vertical duct along vertical distance for various rotational numbers at case 2.

에서 Case 1 조건이다. 말단에 설치된 송풍기 임펠러 회전수를 변수로 하여 세대별 요구 배기풍량을 각 세대에 배출하는 조건을 조사한 결과, 공용 수직덕트의 하부영역 15개 층(1층~15층)에서 연속 배기되어도 세대별 요구 배기풍량을 만족할 수 있는 임펠러의 회전수가 1,800 rpm임을 확인하였으며 동일한 회전수로 중층부와 고층부에서 인접한 15개 층에서 연속배기를 수행하여도 세대별 요구 배기풍량을 만족할 수 있다.

Fig. 11은 배기조건이 Case 1인 경우, 세대별 가지관에 설치되는 정풍량 댐퍼의 설치 유무에 따른 공용 수직덕트의 압력분포를 송풍기 임펠러 회전수를 변수로 하여 나타내고 있다. 세대별 가지관에 정풍량 댐퍼가 설치되어 있지 않고 송풍기 회전수가 1,380 rpm인 경우, 송풍기가 설치된 113 m지점의 압력은 -290 Pa을 유지하고 있으나 공용 수직덕트의 하부로 갈수록 압력이 계단식으로 상승하여 -7 Pa까지 증가한다. 그러나 후드가 운전되는 세대의 가지관으로 200 CMH의 풍량을 배기하기 위해서는 필요한 정압은 식(1)을 이용하여 구한바와 같이 28 Pa의 차압이 항상 유지되어야 한다. 후드 흡입부의 압력은 대기압이므로 Fig. 11과 같이 공용덕트 내의 정압이 -28 Pa 이상인 세대는 200 CMH의 풍량을 배기하지 못함을 압력분포를 통하여 확인할 수 있으며 송풍기 임펠러의 회전수가 1,380 rpm, 1,800 rpm인 경우 모두 저층부에서 세대 요구 배기풍량을 배출하지 못하고 있다. 또한 후두가 운전되는 저층부로부터 고층부로 이동할 수 있도록 계단식으로 감소되는 압력강하의 크기는 급격히 증가하고 있다. 이는 세대별 가지관에 정풍량 댐퍼를 설치하지 않았기 때문에 고층부로 이동할수록 세대별로 배기되는 풍량이 비선형적으로 급격히 증가되기 때문이다. 그러나 세대별 가지관에 정풍량댐퍼를 설치하고 임펠러 회전수를 1,800 rpm으로 운전하는 경우, 세대별 배기풍량이 Fig. 10과 같이 200 CMH~250 CMH 범위에서 유지되어 상부영역에 위치한 세대에서 초과되어 배기되는 풍량이 현저히 감소함으로써 공용 수직덕트의 유동저항이 감소하고 상부 층으로 이동하면서 발생되는 계단식 압력강하의 증가폭이 둔화시켜 최하부층(1층 및 2층)의 공용 수직덕트 압력이 -28 Pa 이하로 강하되어 최하부 세대의 배기풍량이 200 CMH 이상을 유지함을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구는 공동주택의 각 세대에 구성된 화장실 및 주방의 환기를 위해, 적용되는 중앙배기방식(말단에 송풍기를 설치한 공용 수직덕트시스템)에서 발생되는 세대별 배기불량을 개선하기 위해, 각 세대의 가지관에 후드운전과 연동하여 개폐되는 모터구동 차단댐퍼와 정풍량 댐퍼를 설치한 경우, 배기성능 개선방안을 검증할 목적으로 수행되었다.

(1) 세대별 가지관에 정풍량 댐퍼가 설치되지 않는 공용 수직덕트시스템은 세대별 배기되는 풍량이 상부에 위치한 세대에서 증가하고 하부에 위치한 세대에서 감소하여 세대별 배기량 불균형이 발생하고 하부에 위치한 세대는 세대별 요구 배기풍량을 배출하지 못하고 있다.

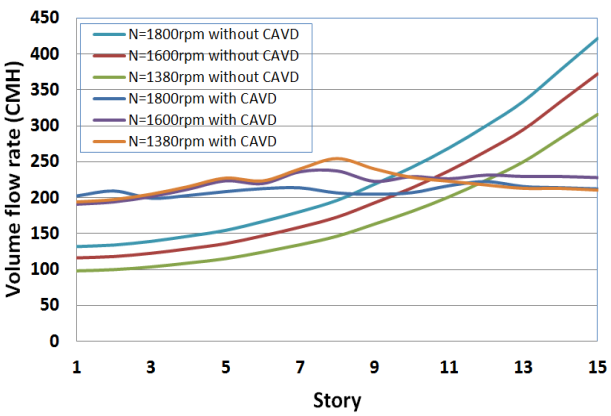


Fig. 10 Volume flow rate exhausted to common vertical duct along vertical distance for various rotational numbers at case 1.

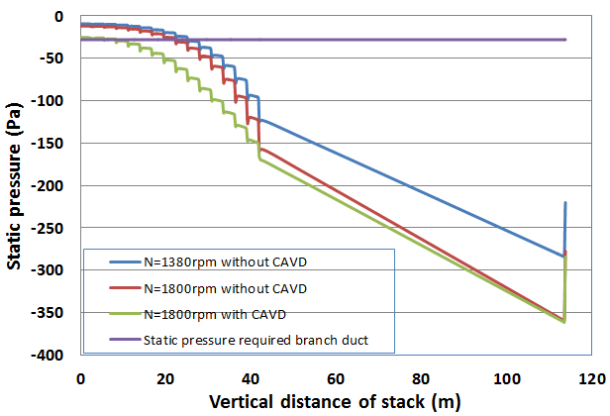


Fig. 11 Static pressure of common vertical duct along vertical distance for various rotational numbers at case 1.

ⓒ SAREK

(2) 세대별 가지관에 정풍량 댐퍼가 설치함으로써 세대별 배기량 불균형이 개선되고 하부에 위치한 세대에서도 요구 배기풍량을 배출할 수 있다.
(3) 40층 공동주택의 경우, 하부영역(1층~15층)에서 연속배기가 발생하는 경우, 세대별 가지관에 정풍량 댐퍼가 세대별 요구 배기풍량을 배출하지 못하는 경우가 발생하고 있다.
(4) 본 연구에서 사용된 송풍기를 40층 공동주택에 적용할 때, 선정된 임펠러의 회전수는 동시사용율을 고려하여 3,000 CMH의 풍량을 배기하도록 1,380 rpm으로 선정하였으나 최하층 세대의 배기불량현상을 개선하기 위해 회전수를 1,800 rpm으로 증가시킨바와 같이 세대별 가지관에 정풍량댐퍼를 설치한 중앙배기방식에 적용되는 송풍기 임펠러의 회전수는 최악조건인 공용 수직덕트의 최하층 세대에서도 요구 배기풍량을 배출할 수 있도록 회전수를 재설정하여 하며 본 연구 대상인 40층 공동주택에 적용된 공용 수직덕트시스템의 경우, 송풍기 임펠러의 회전수는 1,800 rpm으로 선정해야 된다.
(5) 중앙배기방식으로 배기를 수행하는 세대별 가지관에 정풍량댐퍼를 설치하면 세대별 요구 배기풍량합계보다 높은 배기풍량을 배출하도록 송풍기의 임펠러 회전수를 선정해야 되므로 에너지소비량이 층별 배기방식보다 증가할 것으로 예측된다. 이에 관련된 연구는 추가적으로 수행할 예정이다.

References

1. Kwon, Y. I., Jeong, Y. W., and Ahn, J. H., 2011, Study on the Performance Improvement of Roof Fan Used for Local Exhaust System Installed in Apartment, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 24, No. 2, pp. 136-142.
2. Ham, J. S., 1998, The study of the ventilation design of apartment houses considering intake and exhaust duct efficiency, Korean Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 14, No. 11, pp. 387-395.
3. Choi, U. J. and Ham, J. S., 1999, A study on the ventilation efficiency at bathroom of apartment houses by condition of intake and exhaust, Proceedings of the SAREK ‘99 Winter Annual Conference(II), pp. 344-348.
4. Moon, J. S., Kang, S. Y., Lee, S. C., Yoo, H. S., and Lee, J. H., 2004, Analysis of air flow rate distribution for the bathroom exhaust system in high-rise buildings using T-method, Vol. 16, No. 3, pp. 265-272.
5. Kwon, Y. I. and Ahn, J. H., 2009, Study on the control performance evalution of the exhaust stack used in high riser public house, Vol. 21, No. 2, pp. 103-108.