

## T-method를 이용한 고층 아파트 욕실 배기시스템의 층별 유량분배 해석

문 종 선<sup>†</sup>, 강 석 윤, 이 승 철\*, 유 호 선\*\*, 이 재 현\*\*\*

한양대학교 대학원 기계공학과, \*동해대학교 자동차공학과, \*\*송실대학교 기계공학과 \*\*\*한양대학교 기계공학부

### Analysis of Air Flow Rate Distribution for the Bathroom Exhaust System in High-rise Buildings Using T-method

Jong-Sun Moon<sup>†</sup>, Seok-Yoon Kang, Seung-Chul Lee\*, Hoseon Yoo\*\*, Jae-Heon Lee\*\*\*

*Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Hanyang University, Seoul 133-791, Korea*

*\*Department of Automotive Engineering, Donghae University, Donghae 240-713, Korea*

*\*\*Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea*

*\*\*\*Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea*

(Received September 4, 2003; revision received January 13, 2004)

**ABSTRACT:** Based on the T-method, a new scheme for predicting air flow rate distribution in a bathroom exhaust system is developed. Introduction of individual duct route enables us to disintegrate a complicated multi-fan ductwork into a set of simultaneous single-fan subsystems. The scheme is validated via the analysis of a well-posed test problem, showing physical consistency. In order to demonstrate the utility and capability of our method, the bathroom ventilation system in a 20-story residential building is selected as an example. Under the typical design condition, the air flow rate of each exhaust fan at the balancing point is successfully predicted, and such information can lead to an engineering estimation for the overall system performance. While some deficiencies in ventilation are found at bathrooms at lower floors with 6mmAq-rated exhaust fans, they disappear over the whole building by using fans of enhanced static pressures, 7 and 8mmAq. Finally the present scheme seems to be useful for practical design of multi-branched, multi-fan ventilation systems.

**Key words:** Exhaust system(배기시스템), Flow rate distribution(유량분배), Ventilation(환기), Duct(덕트), T-method, bathroom(욕실)

기 호 설 명			
$A$	: 덕트의 단면적 [ $m^2$ ]	$D$	: 덕트의 지름 [m]
$C$	: 부차손실계수	$f$	: 마찰손실계수
		$i$	: $1 \leq i \leq n$ 범위에서 임의의 층
		$K$	: 덕트구간특성계수 [ $m^6/(s \cdot kg^2)$ ]
		$n$	: 층수
		$P$	: 정압 [Pa]
		$\Delta P$	: 압력강하 [Pa]
		$Q$	: 풍량 [CMH]

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-2290-0425; fax: +82-2-2293-5169

E-mail address: moon1129@hanmail.net

Re : Reynolds 수 [-]

### 그리스 문자

$\alpha$  : 욕실사용률 [%]  
 $\beta$  : 계수  
 $\epsilon$  : 덕트의 조도 [m]  
 $\rho$  : 공기의 밀도 [ $\text{kg/m}^3$ ]

### 하첨자

$B(i)$  : 분지덕트 구간번호  
 $Fan(i)$  : 송풍기 번호  
 $M(i)$  : 주덕트 구간번호  
 $rated$  : 송풍기의 정격사양  
 $route(i)$  : 개별 덕트경로

## 1. 서 론

사회환경의 변화와 생활양식의 다양화 및 생활 수준의 향상으로 욕실은 기본적인 생리적 욕구만을 해결하는 장소가 아닌 평온함, 쾌적성, 휴식, 활력 등을 창출할 수 있는 공간으로 이용되고 있다. 이러한 다기능성 욕실이 되기 위한 기본적인 전제조건 중의 하나는 욕실공간에 대한 적절한 환기이다. 욕실을 위한 환기시스템은 습기와 악취 제거를 포함한 복합적 인자들을 해결하는 설비로서, 신선한 외기도입이 가장 중요한 요소이다. 일반적으로 환기시스템에는 문, 창문 등을 통한 자연환기나 송풍기를 이용한 기계환기 방식이 이용된다.

근래 건축기술의 발달과 토지이용의 효율화에 따라 20층 이상의 초고층 공동주택의 건설이 늘어나고 있다. 욕실환기의 관점에서, 현재 널리 사용되고 있는 축류식 송풍기에 의한 배기시스템은 5층 정도의 건축물에서는 효과적이지만, 20층 이상의 초고층 공동주택에서는 상당한 문제를 내포한 것으로 알려져 있다.<sup>(1,2)</sup> 이는 직관적으로 알 수 있듯이 배기경로가 길어져 환기가 적절하게 이루어지기 곤란하기 때문이다. 배기시스템에는 총 20개 이상의 송풍기가 병렬로 설치되어 상호 연동하여 운전되기 때문에 가동되는 송풍기의 수와 위치에 따라 각 욕실의 환기량이 변화하므로

이를 효율적으로 해석하기란 상당한 어려움이 있다. 따라서 고층 건물에서 전술한 욕실의 기능이 충분히 발휘되기 위해서는 배기시스템에 대한 타당한 해석방법과 이에 근거한 개선대책이 확립되어야 한다.

이러한 주제와 연관된 연구로서, Ham<sup>(2)</sup>은 20층 초고층 공동주택에서 1층, 10층, 20층 등 모두 3개 층을 선정하여 자연환기 및 기계환기 방식에 따른 환기량을 실측한 바 있다. Choi et al.<sup>(3)</sup>은 고층 공동주택의 욕실 배기시스템을 대상으로 배기팬의 풍속, 급기구의 크기와 위치에 따른 환기 성능에 대하여 실험적 연구를 수행하였다. 여기에서는 1개층 실물크기의 모형을 제작하고 추적 가스법(tracer gas method)을 이용하였다. 이 연구들은 특정한 경우에 대하여 부분적인 환기특성은 규명하였으나, 실험적인 제약으로 설계단계에 이용할 수 있는 보편적인 자료를 도출하지는 못하였다.

본 연구는 설계단계에서 고층 건물의 욕실 배기시스템에 대한 유량분배를 해석하는 새로운 접근방법을 제시하고자 한다. 적절한 시험 덕트시스템을 통하여 해석방법의 타당성을 검증할 것이다. 또한 이것을 실제 설계된 20층 공동주택의 경우에 적용하여 각 층별 욕실 환기량을 분석하고 개선안을 도출함으로써 제시된 방법의 유용성을 보이고자 한다.

## 2. 욕실 배기시스템의 구성

본 연구에서 취급하고자 하는 욕실 배기시스템의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 각 층의 욕실에서 발생한 악취와 습기는 배기용 송풍기에 의해서 흡입구(inlet grill)로 유입되어 분지덕트와 주덕트를 경유하여 배출구(outlet)를 통해 외부로 유출된다. 이중실선과 실선은 각각 주덕트 구간[M(1)~M(n)]과 분지덕트 구간[B(1)~B(n)]을, Fan(1)~Fan(n)은 층별 욕실에 설치된 송풍기를 나타낸다. 첨자 n과 i는 각각 층수와 임의의 층을 표시한다. 화살표는 공기의 유동방향을 가리키며, 층별 송풍기에는 역류방지 댐퍼가 내장되어 욕실이 사용되지 않는 경우 다른 층의 송풍기에 의한 역류는 없다. 배기시스템은 1개의 엘보연결부(elbow fitting), (n-1)개의 티연결부(tee fitting) 및 흡입구용 그릴 n개를 포함한다.

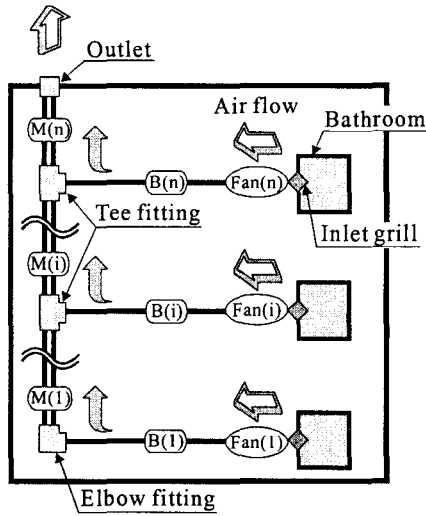


Fig. 1 Schematic of the bathroom exhaust system in a high-rise building.

실제의 욕실 배기시스템에서는 동계와 하계의 배기온도에 따라 층별 욕실 환기량에 변화가 발생한다. 다만 본 연구에서는 문제의 단순화를 위하여 중간기의 배기시스템을 고려하였으며, 이에 따라 배기온도에 따른 환기량의 변화는 배제하였다.

### 3. 배기시스템의 유량분배 해석

#### 3.1 T-method 개요

이미 설계된 덕트시스템에서 각 구간의 유량과 압력강하를 확인하는 대표적인 방법 가운데 하나가 T-method이다. 이 방법은 송풍기가 1대만 존재하거나 직·병렬로 배열된 다수의 송풍기가 1대의 등가성능으로 취급될 수 있는 경우에 대하여 덕트시스템의 유량분배 해석에 적용될 수 있다. 구체적인 해석방법은 문헌<sup>(4-6)</sup>을 참조하기 바라며, 여기서는 기본원리만 간략히 소개한다.

T-method는 기본적으로 다음과 같은 세 가지 원리에 근거하여 덕트시스템의 유량분배를 해석하는 접근방법이다.

- (1) 덕트 내의 각 분기점에서 유입풍량과 유출풍량은 일치한다.
- (2) 유입구와 유출구를 잇는 가능한 모든 경로에서의 압력강하는 송풍기의 정압과 같다.

(3) 송풍기는 그 성능곡선과 덕트시스템의 저항곡선이 일치하는 운전점(operating point)에서 운전된다.

전술하였듯이 본 연구에서 취급하는 배기시스템은 운전/정지가 임의인 다수의 송풍기 및 덕트 경로로 구성되므로, 이를 해석하기 위해서는 적절한 단순화가 필요하다. 이하의 내용은 이러한 모델링으로 구성된다.

#### 3.2 풍량 결정

욕실 배기시스템을 나타내는 Fig.1에서 주덕트 구간의 풍량  $Q_{M(i)}$ 과 분지덕트 구간의 풍량  $Q_{B(i)}$ 은 전술한 원리(1)에 따라 결정된다.

$$Q_{M(i)} = \sum_{k=1}^i Q_{Fan(k)} \quad (1)$$

$$Q_{B(i)} = Q_{Fan(i)} \quad (2)$$

여기서  $Q_{Fan(i)}$ 는 임의의 i층 송풍기 풍량을 나타낸다.

#### 3.3 압력강하 산정

배기시스템의 주덕트 구간에서 압력강하  $\Delta P_{M(i)}$ 과 분지덕트 구간에서 압력강하  $\Delta P_{B(i)}$ 은 모두 다음과 같은 형태로 결정된다.

$$\Delta P = \left( \frac{fL}{D} + \sum C \right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left( \frac{Q}{A} \right)^2 \quad (3)$$

여기서  $A$ 와  $D$ 는 각각 덕트의 단면적과 직경을,  $f$ ,  $C$  및  $\rho$ 는 각각 덕트의 마찰손실계수, 부차손실계수 및 공기밀도를 나타낸다. 덕트의 마찰손실계수  $f$ 를 구하는 식<sup>(6)</sup>은 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 f &= \beta && : \text{if } \beta \geq 0.018 \\
 f &= 0.85\beta + 0.0028 && : \text{if } \beta < 0.018
 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\beta = 0.11 \left( \frac{\epsilon}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25}$$

여기서  $\beta$ ,  $\epsilon$  및  $Re$ 는 각각 계수, 덕트의 조도(roughness) 및 Reynolds 수이다. 식(3)에 나타난

부차손실계수  $C$ 는 각종 연결부(fittings)에 의해 발생하는 손실을 나타낸다. 본 연구에서는 ASHRAE Duct Fitting Database<sup>(7)</sup>를 따랐다.

### 3.4 덕트경로의 개별화

다수의 송풍기가 병렬로 설치되어 있는 Fig. 1의 옥실 배기시스템에 T-method를 적용하기 위해서는 전체 시스템을 송풍기 1대만 포함하는 개별 덕트경로의 집합으로 분해하는 접근이 필요하다. 각층의 송풍기와 연결덕트로 구성된 개별 덕트경로의 예가 Fig. 2로서, 이러한 모델은 층별 유량분배 해석에 편리하다. 여기서 분해된 덕트경로의 주덕트 구간(Fig. 2에서 수직덕트)은 전체 배기시스템의 주덕트 구간과 같은 압력강하 특성을 가지면서 각층의 송풍기[Fan(i)] 풍량만 흐른다고 가정할 수 있다. 즉, 개별 덕트경로의 특성은 주덕트 및 분지덕트로 구분하여 취급한다.

### 3.5 개별 덕트경로의 특성계수

개별 덕트경로 Fig. 2에서 주덕트 구간 특성계수  $K_{M(i)}$ 는 다음과 같이 산정한다.

$$K_{M(i)} = \frac{Q_{Fan(i)}}{\sqrt{\Delta P_{M(i)}}} \quad (5)$$

한편 분지덕트 구간 특성계수  $K_{B(i)}$ 는 아래 식으로 표현된다.<sup>(4)</sup>

$$K_{B(i)} = 1.11 \left\{ \rho D \left( \frac{fL}{D} + \sum C \right) \right\}^{-0.5} D^{2.5} \quad (6)$$

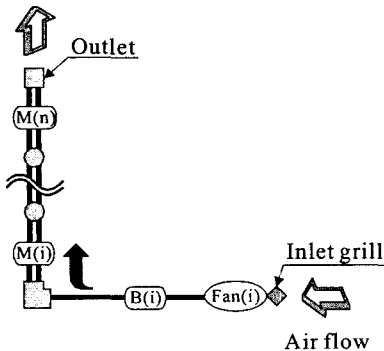


Fig. 2 Individual duct route of the  $i$ -th floor.

### 3.6 시스템 저항곡선

개별 덕트경로에서 풍량  $Q_i$ 와 압력강하  $\Delta P_i$ 의 관계인 시스템 저항곡선은

$$\Delta P_i = \left( \frac{Q_i}{K_{route(i)}} \right)^2 \quad (7)$$

로 표현된다. 여기서  $K_{route(i)}$ 는 개별 덕트경로의 덕트 구간 특성계수로서 다음과 같이 계산된다.

$$K_{route(i)} = \left( \sum_{k=i}^n K_{M(k)}^2 + K_{B(i)}^2 \right)^{-0.5} \quad (8)$$

### 3.7 층별 송풍기 풍량과 정압

송풍기 성능곡선과 개별 덕트경로의 시스템 저항곡선이 일치하는 운전점에서 각층의 송풍기 풍량과 정압이 결정된다. 즉,  $n$ 개층 각각에 대한 개별 덕트경로의 시스템 저항곡선을 이용하여 전 송풍기의 풍량과 정압을 구한다.

### 3.8 유량분배 해석방법

옥실 배기시스템의 유량분배 해석은 기본적으로 T-method에 근거하되 전술한 개별 덕트경로의 주덕트 구간에서 특성계수를 구하는 과정이 추가된다. 본 연구에서 개발된 층별 유량분배 해석 알고리즘을 Fig. 3에 정리하였으며, 구체적인 절차는 다음과 같다.

- (1)  $n$ 개의 송풍기 성능곡선(풍량-정압) 자료와 배기시스템의 모든 덕트의 크기를 입력한다.
- (2) 각 송풍기의 풍량을 가정한다. 이때 배기시스템의 주덕트 구간과 분지덕트 구간에서의 풍량은 식(1)과 식(2)에 의해 결정된다.
- (3) 배기시스템의 모든 덕트 구간에서 압력강하를 식(3)으로 산정한다.
- (4)  $n$ 개의 개별 덕트경로에서 주덕트와 분지덕트의 특성계수를 식(5)와 식(6)으로 구한다.
- (5) 각 개별 덕트경로의 시스템 저항곡선은 식(7)에 의해 결정된다. 이 곡선과 입력되어 있는 송풍기 성능곡선이 일치하는 운전점에서 해당층 송풍기의 풍량 및 정압을 구한다.
- (6) 새로운 풍량을 적용하여 배기시스템의 주 ·

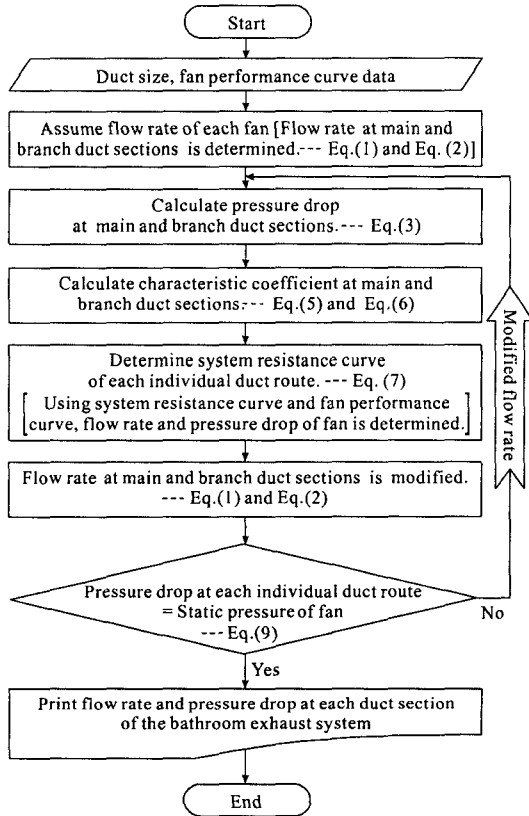


Fig. 3 Flow chart of the present algorithm.

분지덕트 구간에서의 풍량을 갱신한다.

(7) 모든 개별 덕트경로에서 압력강하와 해당층 송풍기 정압의 일치 여부를 판단한다. 일치하면 계산을 종료하고, 불일치할 경우 갱신된 풍량을 사용하여 과정 (3)~(6)을 반복한다.

과정 (6)에서 반복계산의 수렴 여부는 다음 식에 의하여 판정하였다.

$$\left| \frac{\Delta P_{route(i)} - P_{Fan(i)}}{\Delta P_{route(i)}} \right| \leq 10^{-2} \quad (9)$$

여기서  $\Delta P_{route(i)}$ 와  $P_{Fan(i)}$ 는 각각  $i$ 층 개별 덕트 경로에서 압력강하와 해당층 송풍기의 정압을 나타낸다. 즉, 각각의 개별 덕트경로에 대하여 압력의 오차가 1% 이내일 때 수렴한 것으로 간주하였다.

건물의 층수, 덕트크기, 연결부 종류, 가동되는 욕실위치 및 송풍기 사양 등을 고려한 여러 가지

경우에 대해 상기의 계산절차를 거쳐 욕실 배기시스템의 층별 환기량은 예측된다.

#### 4. 타당성 검토

위에서 제시된 배기시스템 유량분배 해석방법의 타당성을 검증하기 위한 방법의 하나로서, 결과의 예측이 가능한 시험 덕트시스템을 선정하였다. 시험 덕트시스템은 대칭이고 단순한 구조의 덕트시스템으로서 Fig. 4는 그 개략도이다. 정격 풍량( $Q_{rated}$ )과 정격정압( $P_{rated}$ )이 각각 60 CMH와 0.5 mmAq인 축류식 송풍기가 대칭으로 2대 설치되어 있으며 각 흡입구로부터 유입된 공기는 주덕트 구간 M(1)을 거쳐 1개의 배출구를 통하여 유출된다. 모든 덕트는 직경 0.125 m의 원형이고, 길이는 주덕트 구간 3 m, 분지덕트 구간 0.5 m이다.

본 연구의 해석방법을 시험 덕트시스템에 적용한 해석결과, 각각의 개별 덕트경로에 대한 압력의 오차가 최대 0.38%로 나타나 식(9)를 만족하므로 수렴된 것으로 판단된다.

각 덕트구간에서의 풍량 및 압력강하를 Table 1에 정리하였다. 예상했던 바와 같이 풍량 및 압력강하 모두 대칭성을 잘 유지한다. 예측 가능한 경우에 대하여 물리적으로 부합되는 결과를 얻은 사실로부터 해석방법의 타당성을 간접적으로 확인할 수 있다.

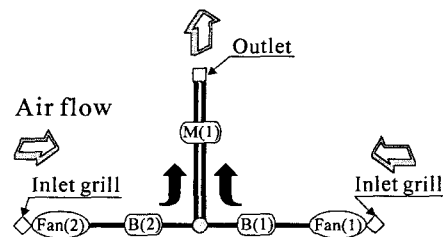


Fig. 4 A test duct system for validation.

Table 1 Flow rate and pressure drop of the test duct system

Duct section	Q [CMH]	$\Delta P$ [mmAq]
B(1)	66.6	0.017
B(2)	66.6	0.017
M(1)	133.2	0.356

### 5. 적용례

해석방법의 유용성과 적용례를 보이기 위하여 20층 공동주택의 욕실 배기시스템을 연구모델로 선정하고, 이것을 대상으로 유량분배 해석을 수행하였다. 적용대상 배기시스템은 Fig.1과 동일한 구조로서, 총 20개의 흡입구를 통해 유입된 욕실 내의 공기가 분지덕트와 주덕트를 경유하여 배출구를 통하여 외부로 유출된다.

초고층 공동주택의 욕실사용률(bathroom use factor,  $\alpha$ ) 설계기준은 44%이다.<sup>(8)</sup> 본 연구모델의 경우 이 수치를 참조하여 1층부터 17층까지 9개 홀수층의 동시 사용을 가정하여 45%의 욕실사용률을 기준으로 삼았다. 욕실의 설계환기량은 65 CMH로서, 이를 위해 정격풍량 66 CMH, 정격정압 6 mmAq의 배기용 축류식 송풍기를 각 욕실에 설치한다. 배기시스템을 구성하는 주덕트와 분지덕트는 모두 직경 0.2m의 원형이다. 주덕트 길이는 1~15층에서 2.6m, 16~19층에서 2.7m, 그리고 20층에서 4m이다. 분지덕트의 길이는 모두 0.5m이다. 배기시스템은 엘보연결부 1개, 티연결부 19개, 그리고 흡입그릴 20개를 포함한다.

배기시스템에는 총 20개의 송풍기가 병렬로 설치되어 있다. 각 송풍기의 운전점은 상호 연계되어 있기 때문에 가동되는 송풍기의 수와 위치에 따라 각 욕실의 환기량이 변화한다. 이 점을 고려하기 위하여 본 연구에서는 홀수층 9개 욕실의 송풍기가 동시에 가동되는 욕실사용률 45%(설계

기준)와 1층부터 20층까지 모든 욕실이 사용되는 욕실사용률 100%(최대부하조건) 등 두 가지 경우에 대하여 유량분배를 해석하였고, 전자의 유량분배 결과에 대해서는 개선안을 도출하였다.

### 6. 결과 및 고찰

#### 6.1 유량분배

적용대상인 20층 공동주택의 욕실 배기시스템을 대상으로 욕실사용률 45%와 100%인 두 가지 경우에 대하여 3장에서 제시된 접근방법을 적용하여 유량분배 해석을 수행하였다.

먼저 설계기준에 해당하는 욕실사용률 45%인 경우에 대하여 층별 송풍기의 운전점을 Fig.5에 정리하였다. 층별 시스템 저항곡선 ①~⑰과 송풍기 성능곡선의 교차점인 층별 송풍기 운전점은 저층일수록 유동저항의 증가로 풍량이 감소하는 경향을 나타낸다. 시스템 저항곡선의 변화형태는 고층일수록 풍량에 따라 완만히 증가하지만 인접층과의 차이는 보다 커진다. 층별 환기량은 대략 61.9~78.7 CMH 범위에 있다. 예측된 환기량을 설계값인 65 CMH와 비교할 때 11~17층에서는 65.0~78.7 CMH 분포로 설계환기량을 충분히 만족시키지만, 1~9층에서는 61.9~63.5 CMH 분포로 약간 부족하다. 저층에서 환기량 부족현상을 해결하기 위해서는 정압이 더 높은 송풍기를 선정할 필요가 있다.

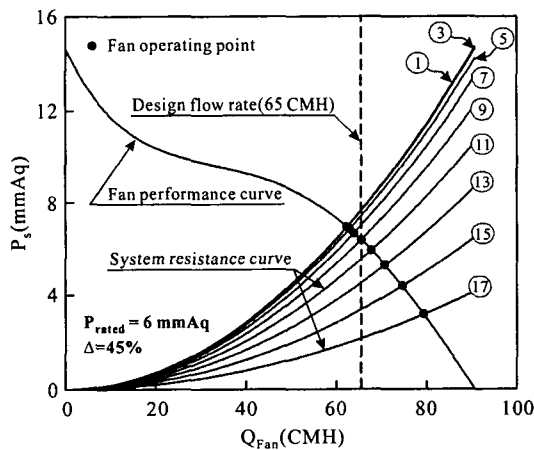


Fig. 5 Fan operating point at each floor for  $P_{rated}=6 \text{ mmAq}$  and  $\alpha=45\%$ .

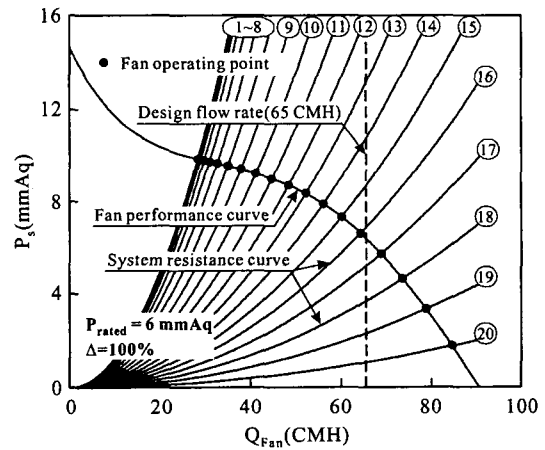


Fig. 6 Fan operating point at each floor for  $P_{rated}=6 \text{ mmAq}$  and  $\alpha=100\%$ .

옥실사용률 100%인 경우에 대한 층별 송풍기의 운전점은 Fig. 6에 도시되었다. 설계기준 옥실사용률인 Fig. 5에 비하여 층별 시스템 저항곡선의 변화형태는 보다 광범위해졌을 뿐만 아니라 인접 층과의 차이도 확대되었다. 층별 환기량은 28.3~83.7 CMH 정도의 분포를 보인다. 일부 고층(17~20층)에서 68.2~83.7 CMH 분포로 설계환기량을 상회할 뿐 대부분의 층에서는 28.2~63.8 CMH 범위로 환기량이 상당히 부족하다. Fig. 5와의 비교에서 알 수 있듯이, 같은 층의 경우 덕트경로의 길이는 불변이지만 총 풍량의 증가로 Fig. 6에서 시스템의 저항은 급격히 증가하는 형태를 보인다. 환기량 부족의 정도가 매우 심각한 수준으로 예측되었으나, 실제 옥실사용률 100%인 경우는 거의 발생하지 않는 극한임을 주지할 필요가 있다.

정해진 옥실사용률에 대하여 옥실이 사용되는 위치에 따라 다양한 계산결과가 나타나며, 옥실사용률 45%와 100% 사이인 경우에 해석결과가 반드시 직선적으로 변화될 것이라고는 판단하기 어렵다.

6.2 개선안

상기 6.1절의 유량분배 해석결과에서 설계기준 옥실사용률 45%인 경우에도 설계환기량에 미달하는 옥실이 발견되었다. 환기부족을 해결하기 위해서 덕트 단면크기나 송풍기의 정격정압을 증가

시키는 방법이 있다. 덕트 단면크기의 증가는 설계변경으로 건축공간이 감소하며 추가 시공비가 요구된다. 송풍기 변경의 경우 공동주택 최상층에서 하층으로 갈수록 정압이 증가된 송풍기를 설치하여 최적의 송풍기 조건을 찾을 수 있을 것이다. 그러나 실제 건설현장에서 각 층마다 다른 송풍기를 설치한다는 것은 설치상의 문제와 실제 제조되는 다양한 송풍기 사양의 제한으로 어려운 문제이다. 따라서 본 연구에서는 풍량은 동일하며 정격정압이 6 mmAq에서 7 mmAq와 8 mmAq로 각각 증가된 송풍기로 대체하여 동일한 이론 해석을 수행하고 그 결과를 고찰하였다. 만일 환기부족이 나타나지 않는다면 송풍기 정압증가는 하나의 개선안이 될 수도 있을 것이다.

정격정압이 7 mmAq인 송풍기를 채용하였을 때 설계기준인 옥실사용률 45%에 대한 층별 운전점을 Fig. 7에 정리하였다. 층별 환기량은 65.0~79.7 CMH 범위로서 설계환기량인 65 CMH를 잘 만족시킨다. 환기부족은 해결됐지만, 보다 보수적인 관점에서 안전율을 고려하여 정격정압이 8 mmAq인 송풍기에 대한 해석을 추가하고 그 결과를 Fig. 8에 도시하였다. 층별 환기량은 67.3~80.5 CMH에 걸쳐 분포되며 설계기준을 충분히 만족시킨다.

설계환기량을 만족한다는 점에서는 두 가지 개선안 모두 환기부족 해결방안으로서의 자격이 있다. 다만 옥실사용률이 설계기준을 상회하는 경우도 있음을 고려하면 본 연구모델의 경우 정격

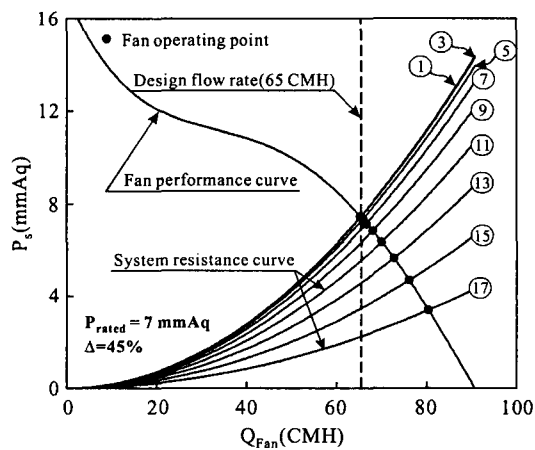


Fig. 7 Fan operating point at each floor for  $P_{rated}=7 \text{ mmAq}$  and  $\alpha=45\%$ .

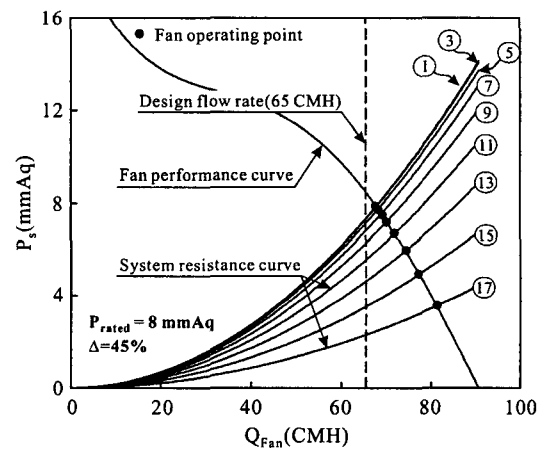


Fig. 8 Fan operating point at each floor for  $P_{rated}=8 \text{ mmAq}$  and  $\alpha=45\%$ .

풍량 66 CMH, 정격정압 8 mmAq인 송풍기가 추천된다.

시스템의 설계 및 평가에 편리하게 적용될 수 있으리라 기대된다.

## 7. 요약 및 결론

다수의 송풍기로 구성된 옥실 배기시스템을 대상으로 기존의 T-method를 확장하여 새로운 유량분배 해석방법을 개발하였다. 단순한 시험 덕트시스템을 선정하여 해석방법의 타당성을 검증하고, 초고층 공동주택의 옥실 배기시스템을 모사한 연구모델에 적용하여 층별 환기량을 예측하였다.

설계환기량 65 CMH인 20층 공동주택의 옥실 배기시스템에 설계기준 옥실사용률 45%를 적용하여 정격풍량 66 CMH, 정격정압 6 mmAq인 송풍기가 설치된 경우를 대상으로 층별 유량분배를 해석하여 얻은 결과는 아래와 같이 요약될 수 있다.

(1) 설계기준 옥실사용률에서 예측된 층별 환기량은 61.9~78.7 CMH의 범위로서, 설계환기량과 비교할 때 고층에서는 충분하지만 덕트경로가 긴 저층에서는 미흡하다. 이 결과는 정격정압이 보다 큰 송풍기 요구됨을 의미한다.

(2) 극한의 경우로서 옥실사용률이 100%일 때 예측환기량은 최상층부를 제외한 대부분의 층에서 설계환기량에 크게 미달한다. 주덕트 총 풍량의 증가로 특히 저층에서 유동저항이 급격히 상승하였기 때문이다.

(3) 설계기준인 옥실사용률 45%에서 발생하는 저층에서의 환기부족을 해결하기 위한 방법으로 송풍기의 정격정압이 각각 7 mmAq와 8 mmAq인 경우를 추가로 해석하였다. 각 경우에 대한 예측환기량은 65.0~79.7 CMH 및 67.3~80.5 CMH로서 설계환기량을 상회한다. 안전율을 고려한다면 본 연구모델의 경우 후자, 즉 정격풍량 66 CMH이고 정격정압 8 mmAq인 송풍기가 추천된다.

해석결과와 유용성으로 미루어 본 연구에서 제시된 유량분배 해석방법은 고층건물 옥실 배기시

## 참고문헌

1. 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.
2. Ham, J. S., 1999, A study on the estimate concerned air change rates in skyscraper apartment housing, Korean Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 15, No. 3, pp. 135-142.
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. Tsal, R. J., Behls, H. F. and Mangel, R., 1988, T-method duct design, Part I: Optimization theory, ASHRAE Transactions, Vol. 94, Part 2, pp. 90-111.
5. Tsal, R. J., Behls, H. F. and Mangel, R., 1988, T-method duct design, Part III: Optimization theory, ASHRAE Transactions, Vol. 96, Part 2, pp. 3-31.
6. Lee, S. C., Moon, J. S. and Lee, J. H., 1998, Analysis of loop duct system by extended T-method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 4, pp. 389-397.
7. ASHARE Duct Fitting Database, 1994, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
8. Editorial Department, 1999, Handbook for mechanical equipment and design, 2th ed., Korea National Housing Corporation, Seoul, Korea.