대한설비공학회 2006하계학술발표대회 논문집 pp.399~404

06-S-063

공동주택의 환기방식별 다수실 환기 성능에 관한 연구
- 다수실의 환기경로 및 환기효율 -

권 경 우*, 조 시 진**, 최 의 성*, 박 준 석†
한양대학교 건축대학 건축공학부, *한양대학교 대학원 건축공학과, **한양대학교 공학대학원

Study on Ventilation Performance of Multi-room in Apartment
- Airflow and Ventilation Effectiveness in Multi-room -

Kyung Woo Kwon*, Si Jin Cho**, Eui Sung Choi*, Jun Seok Park†
Department of Architectural Engineering, The College of Architecture, Hanyang Univerisity, Seoul 133-791, Korea
**Graduate School of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea*
***Graduate School of Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea*

ABSTRACT: Heating and cooling load of ventilation is a very important part of building energy saving. Improving ventilation effectiveness can save building energy consume and supply fresh air to indoor efficiently. So this study measured mulity-zone aiflow and ventilation effectiveness according to ventilation types. Result of measurement show that ventilation effectiveness is depends on ventilation system design rather than ventilation types.

Key words: Age of Air(공기령), Ventilation Effectiveness(환기효율), Tracer Gas(추적가스), Multi-room(다수실)

기 호 설 명

V : 실체적 [㎥]
Q : 풍량 [㎥/h]
C : 트레이서가스 농도 [㎎/㎥]
t : 시간 [hour]

하 첨 자

i : 측정대상 실 기호
j : 실 i와 인접한 실 기호

† Corresponding author
Tel.: +82-2-2220-1743; fax: +82-2-2296-5331
Email address: junpark@hanyang.ac.kr

1. 서론

2006년 2월 건설교통부에서는 주거 건물의 실내공기질 개선을 위해 '건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 일부 개정령안'을 공포하고 신축 또는 리모델링하는 100세대 이상의 공동주택의 경우 시간당 0.7회 이상의 환기횟수가 확보되도록 기계환기설비 또는 자연환기설비를 설치하도록 하고 있다. 하지만 자연환기 또는 기계환기를 이용하여 환기횟수를 증가시킬 경우 필연적으로 냉난방에너지 소비가 증가하게 되는데 기존 연구결과를 참조해 보면 공동주택의 경우 0.7회 환기를 실시할 경우 전체 냉난방에너지 소비량이 약 50% 증가하게 된다[1].

환기에 의한 에너지 소비를 줄이기 위한 방법으

로는 배출공기의 폐열을 회수하는 방법과 도입공기의 환기효율을 향상시켜 외기도입량을 최소화하는 방법을 생각할 수 있다. 폐열회수장치의 경우 공동주택의 기계환기설비 도입과 함께 적용사례가 늘고 있으며 관련 연구도 활발하게 진행되고 있으나, 공동주택의 평면 등을 고려한 적정 환기시스템 및 환기효율 향상 방안에 관한 연구는 아직 초기 단계에 머물고 있다. 따라서 본 연구에서는 기계환기설비를 도입한 신축공동주택의 환기방식별 환기효율을 측정하여 기계환기설비 적용실태를 분석해 보고, 최적환기시스템 설계시 고려되어야 할 사항들에 대해 살펴보고자 한다.

2. 측정대상 및 방법

2.1 측정대상주택

측정대상은 현재 신축 중인 공동주택 및 주거용 오피스텔 3개소(1종, 2종)와 Mock-up 주택(3종)을 선정하였으며 평면은 Fig. 1과 같다. 1종 환기방식인 A, B 주택의 경우 거실과 각 방에 급배기 장치가 설치되어 있다. 2종 환기방식의 B 주택은 거실과 방1, 방2에 급기장치만 설치되어 있고 배기구는 따로 설치되지 않았다. 3종환기방식인 D 주택의 경우에는 거실과 방1에 인접한 화장실을 통해 배기가 이루어지도록 설계되어 있으며 별도의 급기구는 없다.

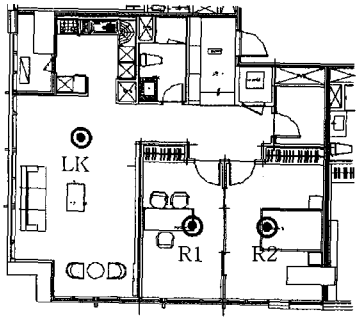
2.2 측정항목 및 방법

선정된 주택의 환기성능 평가를 위해 각 주택의 거주영역을 중심으로 거실과 방 2개소의 풍량과 환기량 및 환기효율을 측정하였으며 방문과

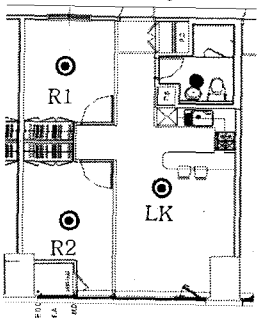
Table 1 Method and materials

Factors	Method
Airflow at diffuser	LoFlo Capture Hood(ALNOR)
Multi-zone airflow	Tracer Gas - SF_6 Photoacoustic Field Gas Monitor 1412(INNOVA) Multi-point Sampler 1309 (INNOVA)
Ventilation rate	
Local mean age of air	
Ventilation effectiveness	

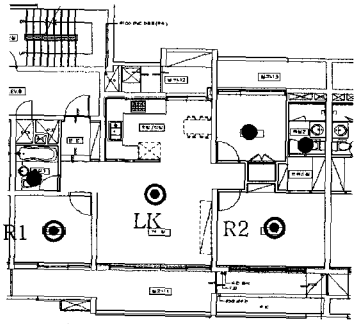
◉ Tracer gas injection & measure point
● Measure point



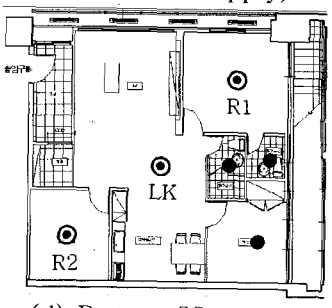
(a) A type 53 pyong
(mechanical supply / exhaust)



(b) B type 29 pyong
(mechanical supply / exhaust)



(c) C type 33 pyong
(mechanical supply)



(d) D type 33 pyong
(mechanical exhaust)

Fig. 1 Measure point and plan of the measured house

창문은 모두 닫아 일반적인 생활환경과 동일한 상태로 측정하였다.

급배기 디퓨져의 풍량측정은 면풍량계를 이용하여 환기시스템 운전 중 급기구와 배기구에서 이루어졌다. 실간풍량을 측정하기 위한 트레이서 가스법에는 각 실별로 서로 다른 트레이서 가스를 주입해 그 농도변화 데이터를 이용하는 방법과 하나의 트레이서 가스로 주입 장소를 달리해 측정하는 방법이 있다[2]. 본 연구에서는 후자의 방법을 이용해 측정하였다.

실간풍량 계산을 위해 트레이서 가스의 질량보존 방정식을 나타내면 식(1)과 같다.

$$V_i \Delta C_i = -\left(\sum_j Q_{ij}\right)\int_{t_1}^{t_2} C_i dt + \sum_j \left(Q_{ji}\int_{t_1}^{t_2} C_j dt\right) \quad (1)$$

식(1)은 실 i에서 시간 t_1에서 t_2 동안의 질량변화식을 나타낸 것으로 V_i 는 실 i의 체적이며 C_i 는 실 i에서의 트레이서 가스 농도다. Q_{ij}는 실 i에서 인접한 다른 실로 이동하는 풍량을 의미하며 Q_{ji}는 실 i의 인접한 실에서 실 i로 들어오는 풍량이다. 모든 실에서 구한 식(1)을 매트릭스로 만들면 다음의 식(2)와 같다.

$$\mathbf{V}\frac{d\mathbf{C}}{dt} = -\mathbf{Q}\mathbf{C} \quad (2)$$

여기서 V, C, Q는 아래와 같다.

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} V_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & V_2 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & V_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} Q_{11} & -Q_{12} & \cdots & -Q_{1n} \\ -Q_{21} & Q_{22} & \cdots & -Q_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ -Q_{n1} & -Q_{n2} & \cdots & -Q_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

식(2)를 풀기 위해서는 미지수 Q의 갯수 만큼 식(1)이 필요하기 때문에 각 실별로 트레이서 가스의 주입장소를 달리해 농도를 측정하였다. 식(2)를 풀기 위한 방법으로는 고유치법[2], 비선형 최소자승법[3], 몬테카를로법[2]이 있으며 본 연구에서는 몬테카를로법을 사용하였다. 몬테카를로법은 난수발생을 이용하는 방법으로 각 실에서 식(1)을 만족하는 풍량을 확률적으로 계산하는 방법이다.

환기량 및 환기효율, 국소평균공기령의 측정은 실간 풍량 측정과 함께 실시되었으며 트레이서 가스를 측정대상 실에 분사하여 그 실에서의 농도감쇠 데이터를 이용하여 측정하였다.[4),5)] 측정은 거실과 방1, 방2에서 각 실별로 순차적으로 이루어 졌다.

3. 측정결과

3.1 환기량

3.1.1 급기구풍량 및 환기횟수 측정결과

각 주택의 설계 환기횟수를 살펴보면 Table 2와 같이 최소 0.5회 이상의 환기횟수를 나타내고 있었으며 B주택의 경우 최고 2.4회로 환기량이 과다하게 산정된 것을 볼 수 있다. 또한 A 주택을 제외한 다른 주택의 경우 각 실별 편차가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

실제 급배기구 풍량을 측정한결과 Table 3에서 보는 바와 같이 A 주택의 급기풍량을 제외하

Table 2 Design ventilation rate

Apartment	L-K	Room 1	Room 2	Total
A	0.70	0.86	0.81	0.77
B	0.86	2.38	2.17	1.32
C	0.60	1.21	0.68	0.56
D	0.56	1.19	·	0.53

Table 3 Comparison design flow with measured flow at diffuser

Airflow		L-K		Room 1		Room 2	
		SA	EA	SA	EA	SA	EA
A	Design flow	90	90	30	30	30	30
	Measured at diffuser	85	83	30	20	32	23
B	Design flow	50	50	50	50	50	50
	Measured at diffuser	45	47	41	31	35	38
C	Design flow	50	·	25	·	25	·
	Measured at diffuser	40	·	19	·	20	·
D	Design flow	·	50	·	50	·	·
	Measured at diffuser	·	47	·	44	·	·

고는 대부분의 측정주택에서 설계치보다 낮은 값을 나타내는 문제점이 있었다. B 주택의 경우 설계치에 비해 약 40% 가량 낮은 수치를 나타냈다. A 주택의 급기 계통의 경우 정풍량계가 설치되어 있어 설계치와 거의 동일한 값을 나타낸 것으로 추정된다.

Fig. 2는 설계환기횟수 대비 트레이서 가스법을 이용하여 측정한 환기횟수의 비를 나타낸 것으로 침기에 의한 영향이 포함된 수치이다. B 주택의 방1과 C 주택의 경우 침기에 의한 영향이 포함된 수치임에도 불구하고 설계치보다 낮은 수치를 나타내어 설계치 만큼의 환기효과가 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. 또한 B 주택의 경우 A 주택과 같은 환기방식임에도 각 실별로 큰 차이를 나타내고 있다.

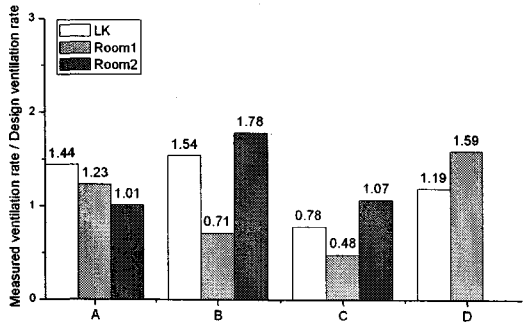


Fig. 2 Ratio of design ventilation rate to measured ventilation rate

3.1.2 실간 풍량

실간 풍량 계산결과는 Fig. 3과 같다. Fig. 4는 추정결과에 따른 트레이서가스의 실내농도 예측치와 실측치를 비교하여 나타낸 것으로 D 주택의 거실에 트레이서가스를 주입한 결과다. 시뮬레이션 결과와 실제 측정결과에 약간의 차이는 있지만 양호한 상관관계를 나타내고 있는 것으로 나타났다.

실간풍량은 A 주택의 경우 7.5~14.2 CMH, B 주택은 0.5~19.3 CMH로 나타났으며 C 주택의 경우 0.4~12.6 CMH로 나타났다. 3종 환기시스템을 채택하고 있는 D 주택의 경우 0.3~51.4 CMH로 나타나 가장 큰 수치를 보였는데 욕실에 인접한 공간에서 욕실로 이동하는 풍량이 많았기 때문으로 판단된다. 반면 욕실과 거리가 먼 방2의 경우 이러한 영향을 거의 받지 않아 실간풍량이 1.1 CMH에 머물렀다. D 주택을 제외한 실간풍량의 최고치가 약 12~19 CMH로 이는 30㎥의 실크기를 가정하면 환기횟수 0.4~0.6회에 해당하는 것으로 실간풍량이 각 실의 환기량에 상당한 비율을 차지하고 있음을 알 수 있다.

3.2 국소평균공기령 분포

국소공기령은 각 실의 공기가 외부로부터 공급되어 실의 한 지점까지 도달하는데 걸린 시간을 나타낸 것으로 환기성능을 나타내는 하나의 지표로 사용된다. 국소평균공기령은 각 측정결과는 Fig. 5와 같으며 각 주택별로 다소 차이를 나타냈다. 설계환기량이 큰 B 주택이 국소평균공기령이 가장 낮게 나타났으며 다른 주택에 비해 설계풍량이 작은 C 주택의 공기령은 다른 주택에 비해 높게 나타났다. D 주택의 방2의 경우 3종 배기에 의한 영향이 거의 없어 공기령이 약 10시간 가까이 나타났다.

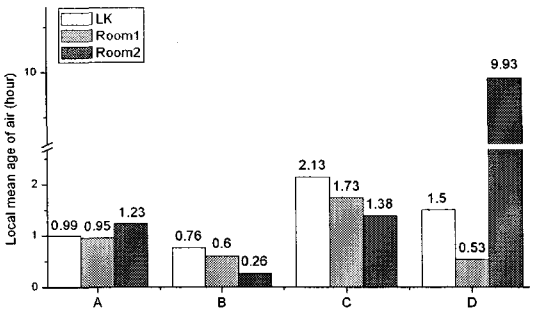
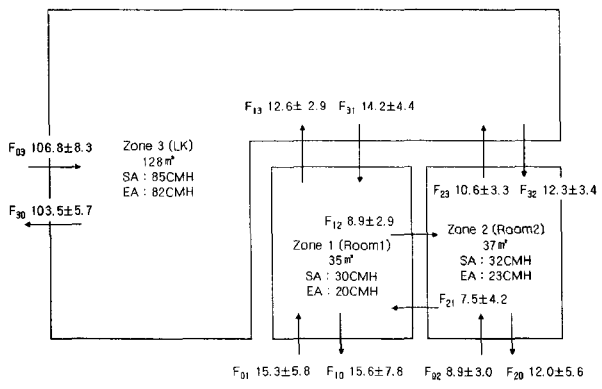


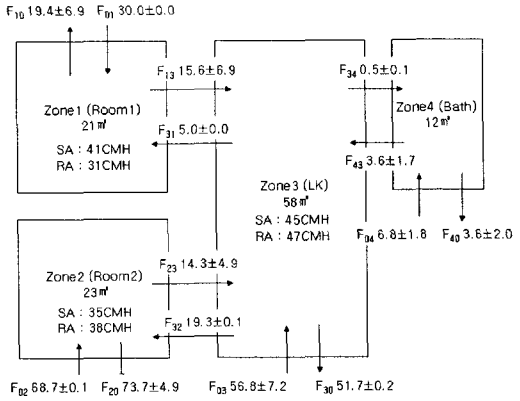
Fig. 5 Local mean age of air

3.3 환기효율

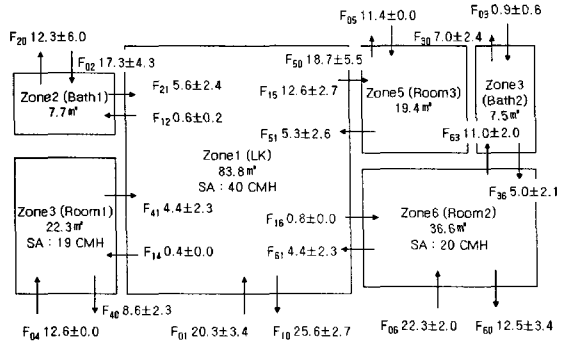
환기효율 측정결과는 Fig. 6과 같다. B 주택 방2의 효율이 2이상으로 계산된 것은 다른 실에 비해 침기 및 실간풍량의 영향이 컸기 때문인 것으로 판단된다. 앞의 환기량 및 국소평균공기령 측정값과 마찬가지로 주택 및 실별로 환기효율 측정값 또한 큰 편차를 나타냈으며 특히 B 주택의 경우 환기효율이 0.34~2.26으로 차이가 크게 나타났다. 환기방식별 차이에서는 2종 환기방식의 환기효율이 다소 낮게 나타났으나 이는 환기방식에 의한 차이보다는 환기방식의 특성을 충분



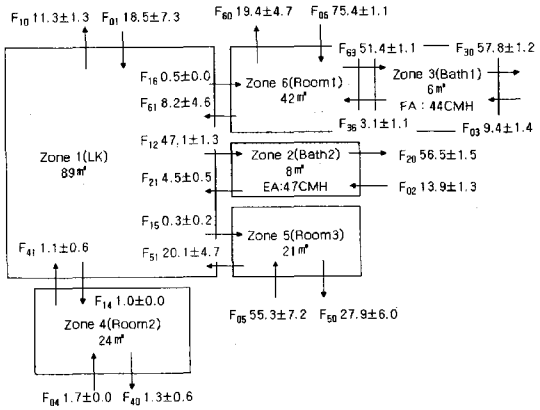
(a) A type (mechanical supply / exhaust)



(b) B type (mechanical supply / exhaust)

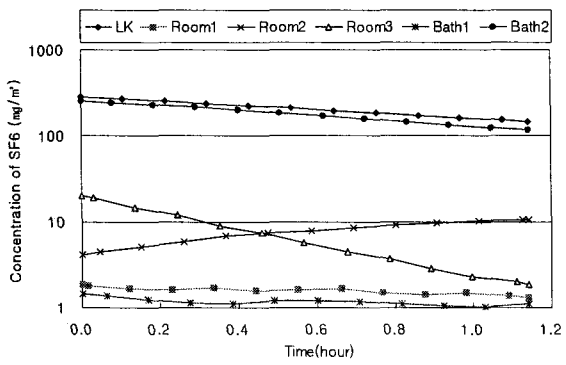


(c) C type (mechanical supply)

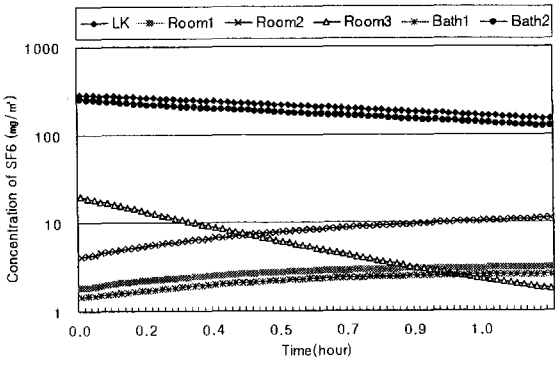


(d) D type (mechanical exhaust)

Fig. 3 Multi-room air flow network



(a) Measured concentration of SF_6



(b) Simulated concentration of SF_6

Fig. 4 Verification of multi-room airflow

히 고려하여 설계·시공하지 않았기 때문으로 판단된다. 따라서 환기효율에 영향을 미치는 인자는 환기방식에 따른 차이보다는 각 실의 배치와 급배기구의 위치 및 환기시스템의 설계방식에 따른 실간 공기유동 차이에 의한 것으로 판단된다.

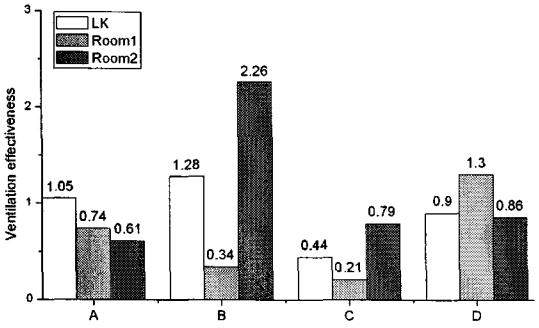


Fig. 6 Ventilation effectiveness

4. 결론

본 연구에서는 환기설비 시스템이 도입된 주택의 환기성능 및 문제점을 분석하기 위해 풍량 및 환기량, 국소평균공기령, 환기효율 등을 측정하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

(1) 풍량측정결과 설계풍량 대비 실제 풍량은 대부분 낮게 측정되었다. 환기횟수의 경우 침기에 의한 영향을 포함한 값으로 설계치의 48~178%로 큰 편차를 나타냈으며 동일 주택의 실별로도 큰 차이를 나타내 신선공기가 각 실로 균등히 배분되고 있지 않았다.

(2) 실간풍량은 A 주택의 경우 7.5~14.2 CMH로 나타났으며 B 주택은 0.5~19.3 CMH, C 주택의 경우 0.4~12.6 CMH로 나타났다. D 주택은 0.3~51.4 CMH로 나타나 환기횟수로 환산시 0.4~0.6회로 실간풍량이 각실의 환기량에서 차지하는 비율이 높게 나타났다.

(3) 환기효율 측정결과 동일한 환기방식의 주택에서도 실별로 환기효율의 차이가 크게 나타났으나 환기방식에 따른 뚜렷한 차이는 나타나지 않았다. B 주택의 방1, 방2에서 보는 바와 같이 같은 환기방식에 실체적과 설계풍량이 비슷한 공간이라도 환기효율은 각각 0.34와 2.26으로 큰 차이가 나 각 실의 신선공기 배분이 균등하게 이루어지지 않음을 알 수 있다. 환기효율은 환기방식에 따른 차이보다는 각 침기를 포함한 실간의 공기유동에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단된다. 따라서 효율적인 환기시스템을 설계하기 위해서는 각 환기방식별 특성을 충분히 이해하고 급배기 풍량과 위치, 실간 공기유동 및 틈새바람 등을 고려한 설계 및 시공이 이루어져야할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음 (R11-2005-056-02002-0(2006))

참고문헌

1. Kwon, K. W., Park, J. S., Ihm, P. C., 2005, Study on Ventilation System and Heating and Cooling Energy Consumption in Apartments : Part 1, Characteristics of Heating and Cooling Energy Consumption According to Ventilation Rates and Heat Recovery Systems, Proceedings of the AIK, Vol. 25, No. 1, pp. 427-430
2. F.D. Heidt, R. Rabenstein, G. Schepers, 1991, Comparison of Tracer Gas Methods for Measuring Airflows in Two-zone Buildings, Indoor air, Vol. 1, No. 3, pp. 297-309
3. S. L. Miller, K. Leiserson, W. W. Nazaroff, Nonlinear Least-Squares Minimization, 1997, Applied to Tracer Gas Decay for Determining Airflow Rates in a Two-Zone Building, Indoor air, Vol. 7, No. 1, 1997, pp. 64-75
4. Hiroshi Yoshino, Yasuo Utsumi, Hiroshi Kobayashi, Muneshige Nagatomo, 1995, Model Experiment of Multizone Ventilation Efficiency, Indoor air, Vol. 5, No. 1, pp. 76-82
5. ASHRAE STANDARD 129-1997(RA 2002), Measuring Air-Change Effectiveness