

멀티존 네트워크 모델을 이용한 주거용 건물의 환기량 분석

차 지 형, 한 화 택*, 박 절 훈, 김 영 하, 백 창 인

국민대학교 대학원, *국민대학교 기계자동차공학부, 포스코건설, 인벤티이엔지

Analysis of Ventilation Rates in Residential Buildings using a Multizone Network Model

Ji-Hyoung Cha, H. Han*, C. H. Park**, Y. H. Kim**, C. I. Paik°

ABSTRACT: The supply outdoor airflow rates are calculated and analyzed using a multizone network model in a high-rise residential apartment. The system parameters include parameters related to weather conditions, building conditions, operation conditions, and facility conditions. Simulations are conducted according to the method of design of experiments and analysis of variance is conducted to investigate the effects of parameters on ventilation rate. A correlation equation is derived to predict ventilation rates of the building depending on the various parameters.

Key words: Ventilation(환기), Multizone model(멀티존 모델), Analysis of variance(분산분석), Design of experiment(실험계획법)

1. 서 론

최근 건축되고 있는 아파트들의 기밀도가 점차 높아지는 추세이다. 또한 초고층 아파트는 그 높이 때문에 창문을 통한 자연환기 방식으로는 필요환기를 충족시키기에 한계가 있거나 제어되지 않은 환기가 발생할 수 있으므로 기계설비에 의한 강제환기를 도입하여야 한다. 보다 나은 실내 환경과 쾌적감을 유지하기 위한 초고층 아파트의 공조설비를 위해서는 계획단계에서부터 치밀한 계획과 설계가 필요하게 되었다. 실제로 실험을 통한 건물내 환기량 연구는 갖가지 변수들의 제어가 용이하지 않으므로 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 연구가 필요하게 되었다. 이에 관한 해외연구로 Li⁽¹⁾는 몇 가지 시뮬레이션 프로그램의 정확

성을 확인하였고 Yuill와 Upham⁽²⁾은 고층건물의 공기유동이나 오염물질의 확산을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 알아보고 입력 인자들의 정확성과 민감도를 테스트하였다. 국내연구에 Lee⁽³⁾는 7가지 변수에 대한 건물의 환기량을 분석하고 환기량 예측 모델을 제시하였고 Kim⁽⁴⁾은 주방 및 욕실배기 시스템 계획에 있어 실험계획을 통한 변수들의 조합으로 시뮬레이션을 하여 구해진 배기량을 통해 인자들의 영향정도를 분석하였다.

따라서 본 연구에서는 멀티존 모델 공기유동 해석 프로그램을 이용하여 여러 가지 변수에 따른 고층 아파트의 외기도입량을 분석하고자 한다. 실험계획법을 이용하여 변수들의 조합에 따른 멀티존 네트워크 모델의 환기량 결과를 분산분석하여 실내환기량의 변화를 예측하기 위한 상관관계를 구하고 각 변수에 따라 환기량에 미치는 영향과 유의수준을 파악하고자 한다.

† Corresponding author

Tel.: +82-2-910-4687; fax: +82-2-910-4839

E-mail address: hhan@Kookmin.ac.kr

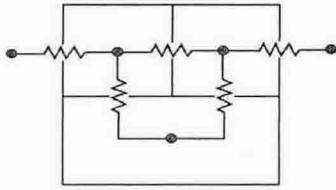


Fig. 1 Concept of multizone model showing nodal points and interface resistance

2. 멀티존 모델

멀티존 모델은 Fig. 1에 보이는 바와 같이 건물의 실을 각각의 노드로 간주하고 건물전체를 이러한 노드들로 구성된 격자시스템으로 가정하며, 두개의 노드간의 연결은 주어진 저항을 갖는 공기유동 경로로 표현한다. 네트워크 모델에서의 공기 유동방정식은 각 노드의 압력차와 노드사이에 임의의 저항을 갖는 개구부를 통해 이루어지는 공기유동을 고려하여 구해진다.

멀티존 모델은 개별 실 사이의 공기유동을 해석하기 위한 것으로 다중 존으로 구성된 건물에서 외피와 개구부, 실내공간을 통한 공기유동 해석에 적합한 모델이다. 따라서 본 연구에서는 아파트 내의 환기량을 구하기 위하여 멀티존 환기 및 오염 확산 해석에 있어 유용한 프로그램인 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발된 CONTAMW를 사용하였다.

3. 해석아파트의 개요

해석모델은 서울시 광진구에 위치하고 있으며 P사에서 건설 중인 58층 아파트의 65평-A Type으로 선정하였다. 층 내에서 해석 모델은 북쪽과 동쪽은 다른 세대와 맞닿아 있고 남쪽과 서쪽은 외부로 노출되어 있다. Fig. 2는 세대내 평면도를 보인다. 평면도를 단순화하여 존으로 구분하고 기계환기를 위한 덕트를 도식화하여 표현한 스케치패드를 Fig. 3에 보인다.

4. 실험계획법에 따른 해석인자

4.1 실험계획법

실험계획법은 실험에 대한 계획방법을 의미하

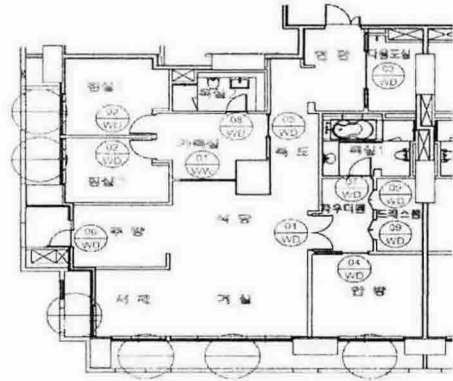


Fig. 2 Plane layout of the apartment

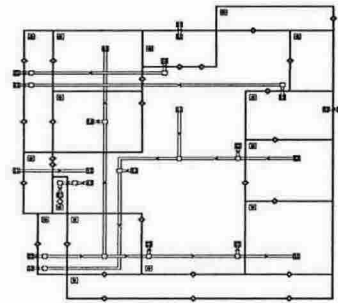


Fig. 3 Sketch pad for multizone model

는 것으로, 해결하고자 하는 문제에 대하여 실험을 어떻게 정하고 데이터를 어떻게 취하며, 어떠한 통계적 방법으로 데이터를 분석하면 최소의 실험횟수에서 최대의 정보를 얻을 수 있는가를 계획하는 것이다. 이렇게 얻은 데이터를 통해 분산분석을 실시하면 다양한 인자들의 수준변화가 결과 값에 얼마만큼의 영향을 미치는지를 파악할 수 있다. 그리고 기여율 및 영향력 계산을 통해 결과 값에 유의한 인자를 도출할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Taguchi가 개발한 직교배열표를 사용하여 실험을 계획하고 그 결과 값들로 분산분석을 하였으며 직교배열표는 인자들의 변화 값이 3수준이며 총 81번의 실험횟수를 가지는 $L_{81}(3^4)$ 을 사용하였다.

4.2 입력인자와 인자수준결정

건물의 환기량에 영향을 미치는 인자들은 크게 외부기후 조건, 건축적 조건, 설비적 조건, 그리고 운전 조건으로 나누어 생각할 수 있다.

실내 환기에 영향을 미치는 주인자는 다음 Table. 1에 제시한 바와 같이 인자명 A에서 O까지 총 15개로 선정하였다. 또한 직교배열표에는 두 가지 인자들의 교호작용을 알아보기 위한 자료로 선점도를 제공하는데 Fig. 4에서 보이는 것과 같이 화살표로 표시된 총 9개의 교호작용을 선정하였다.

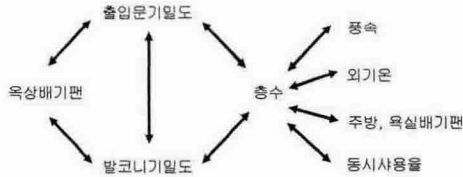


Fig. 4 A linear graph of factors for reciprocal action

Table. 1 Levels of factors.

인자(factor)	인자명	수준			
		0	1	2	
기후조건	외기온	A 겨울 -12.2℃	봄 가을 12.1℃	여름 34℃	
	풍속	B 최저 0 %	평균 2.5 %	최고 10.8 %	
	풍향	C 서풍	북동풍	북풍	
건축조건	층수	D 15층	30층	45층	
	발코니기밀도	E 새시 무	새시 유 누기면적 (3cm ² /m ²)	커튼월 누기면적 (0.59 cm ² /m ²)	
	외기유입구	F 무	주방 125Φ	주방 125Φ 욕실 100Φ	
	출입문기밀도	G	248.6 cm ²	41.8 cm ²	24 cm ²
	계단실 1층문		2.4 m ²	600 cm ²	95.6 cm ²
	운전조건	동시사용률	H 20 %	40%	60%
주방과 욕실 배기팬		I off	on (약)	on (강)	
설비조건	옥상 배기팬	J 무	무동력	동력	
	보조급기	K 무	주방 180 CMH	주방 180 CMH 욕실 60 CMH	
	샤프트	면적	L 0.5 배	1 배	1.5 배
		거칠기	M ε=0.18 mm	ε=2.59 mm	ε=5 mm
	하부 개방	N 밀폐	샤프트면적 1/2	샤프트면적	
	기계환기	O 0 CMH	100 CMH	200 CMH	

5. 결과

시뮬레이션 수행 결과, 각 층별 외기도입량이 출력값으로 구해진다. 여기서 외기도입량이란 순수하게 외부에서 실내로 유입되는 환기량을 말한다. 그러므로 유출되는 환기량은 고려하지 않았으며 다른 실내를 거쳐서 유입되거나 샤프트를 통하여 유입되는 양은 산입하지 않았다. 이렇게 계산된 각 층별 외기도입량을 모두 합산하여 전 건물의 총 외기도입량을 구하고 각 층당 평균값과 표준편차를 구하였다. 그 값들로부터 분산분석을 실시하여 각 인자들의 기여율을 조사하였다. 기여율이란 각 인자들의 변화가 외기도입량에 얼마만큼의 영향이 있는지를 백분율의 형태로 나타낸 것이다.

결과치인 외기도입량에 영향을 미치지 않는 무의미한 인자를 제거한 후의 기여율을 계산하면 주 인자에 관하여 O(기계환기), J(옥상배기팬), G(출입문기밀도), I(주방 및 욕실팬), A(외기온), L(샤프트면적), K(보조급기)의 순으로 나타나며 2 인자 교호작용으로는 D*H(층수*동시사용률), G*J(기밀도*옥상배기팬)이 유의한 것으로 나타난다. Fig. 5는 분산분석 후 유의한 인자들의 기여율을 그래프로 나타낸 것이다. 외기도입량에 큰 영향을 미치는 인자들 이외에 풍향이나 건물층수 그리고 샤프트내 표면 거칠기 등은 환기량 결과에 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

분산분석 후 외기도입량에 유의한 인자들로 부터 외기도입량(Y)에 관한 일반 선형 모형 관계식을 구하였다. 여기서 인자들은 연속형과 범주형의 두 가지 형태로 나눌 수 있다. Table. 1에서 연속형은 외기온이나 기계환기량과 같이 연속적

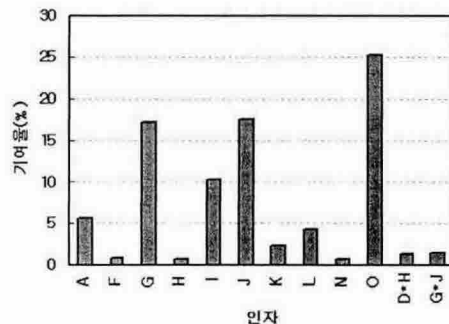


Fig. 5 Contribution ratio of factors.

인 숫자의 형태를 가지는 인자이며 범주형은 연속적인 수의 형태가 아니며 단지 범주로 구분되어지는 경우를 말한다. 이들 인자들을 변수로 하는 외기도입량에 관한 일반 선형 상관 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 Y = & 556.636 + F(-23.201, -53.820, 0) \\
 & + J(-169.732, -30.689, 0) \\
 & + G(286.963, 72.467, 0) \\
 & + K(-22.239, 57.743, 0) \\
 & + I(-160.367, -120.026, 0) \\
 & + JG(-88.673, -52.742, 0, \\
 & -176.220, -71.918, 0, 0, 0, 0) \\
 & + 126.396(O-100)/100 \\
 & - 7.239(D-30)/15 \\
 & + 31.176(L-1)/0.5 \\
 & - 21.032(N-0.5)/0.5 \\
 & + 11.030(H-40)/20 \\
 & - 51.012(A-12.1)/22.3 \\
 & + 31.712(D-30)/15(H-40)/20
 \end{aligned} \quad (1)$$

Fig. 6은 가장 중요한 인자중의 하나인 기계환기량의 변화에 따른 세대당 평균환기량의 변화를 보인다. 시뮬레이션을 3가지 수준, 즉 0, 100, 200 CMH에 수행한 81번의 실험횟수에 대한 결과를 증첩하여 표현한 것이다. 동일한 기계환기량 값에 대해서도 다른 인자들의 영향에 의하여 전체 환기량의 변화폭이 상당히 넓게 나타난다.

Fig. 7은 시뮬레이션 결과로부터 유추된 상관관계식을 이용하여 기계환기량과 인자들을 무작위로 배열하여 만든 그래프이다. 전체적으로 기계환기량이 증가할수록 전체 환기량이 증가하며 외기조건, 운전조건 등에 따라 중앙에 추세선을 중심으로 아래 위로 상당히 넓게 분포되어 있는 것을 볼 수 있다.

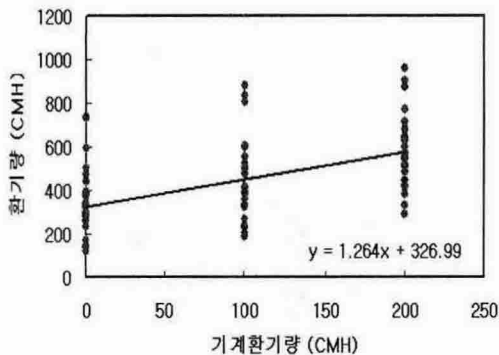


Fig. 6 Ventilation rates with respect to mechanical ventilation rates.

Fig. 8은 외기온도의 3가지 수준에 대하여 층별 환기량의 편차를 보인다. 외기온도가 낮은 겨울에 층간 환기량 편차가 커지는 것으로 나타났다.

다음으로 외기온도 3가지 수준에 대하여 기계환기량의 변화에 따른 층별 환기량의 변화를 알아보기 위하여 별도의 시뮬레이션을 수행하였다. 입력조건은 30층 건물에 대하여 실내온도 23°C, 풍속이 2.5 m/s로 서풍이며, 외기유입구가 없고 기밀수준이 높은 커튼월과 출입문으로 가정하였다. 수직샤프트에 대해서는 하부가 밀폐되어 있으며, 샤프트면적은 1배, 표면 거칠기는 0.18 mm를 적용하였다. 각층의 주방 및 욕실 배기팬은 꺼져있는 상태이며, 보조급기는 없는 것으로 가정하였다.

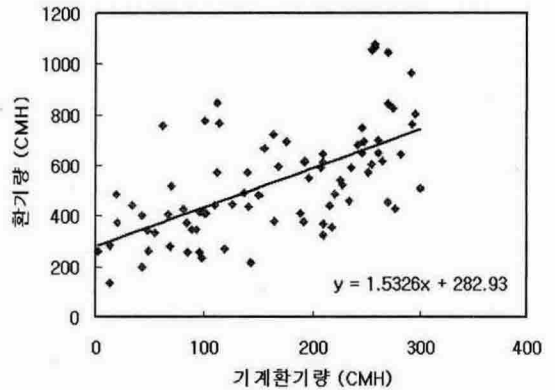


Fig. 7 Estimated ventilation rates with respect to mechanical ventilation according to the correlation equation.

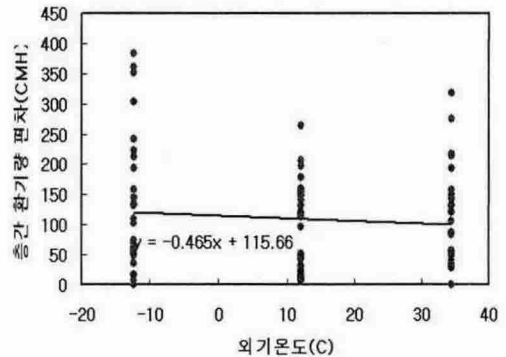


Fig. 8 Ventilation rates with respect to outside air temperature.

Fig. 9는 위의 입력조건에서 기계환기량이 0, 100, 200 CMH로 변할 때의 층별 환기량의 값에 대한 그래프이다. 여기서 각층의 세대별 환기량은 기계환기량에 따라서 3개의 그룹으로 나뉘어 나타난다. 또 각 그룹에서 거의 대부분의 겨울철 환기량이 가장 크게 나타나고 다음으로 봄가을철 그리고 여름철 순으로 환기량이 감소한다. 환기량의 층간 편차에 있어서는 겨울철에 가장 크고, 여름철, 봄가을철 순으로 나타났다. 연돌효과가 가장 작은 봄가을에 전층에 환기량이 가장 고르게 분포하고 있다.

층별 분포는 30층 높이의 중성대에 해당하는 중간층인 10-15층 부근에서 최소값을 보이고 1층으로 내려가거나 최상층으로 올라갈수록 점차 증가하고 있다. 여기서의 환기량이 외기도입량을 의미하는 것을 되새겨 볼 때 단순 연돌효과 만에 의한 결과라기보다는 연돌효과와 풍압효과의 종합된 결과에 의한 것으로 판단할 수 있다. 또한 전체환기량에서 점선으로 나타난 기계환기량을 뺀 값은 자연환기량에 해당하는 것으로 볼 수 있다. 자연환기량은 계절에 따라서는 크게 달라지지만 기계환기량에는 크게 의존하지 않고 항상 유사한 분포를 보인다.

시간별 외기조건 변화에 따른 환기량 변화를 살펴보기 위하여 앞과 동일한 조건에서 기계환기장치가 없을 때 아파트의 1층, 15층, 30층에 대하여 분석하였다. 외기조건은 시간별로 측정된 WYEC(weather year for energy calculations) 데이터를 사용하였다.

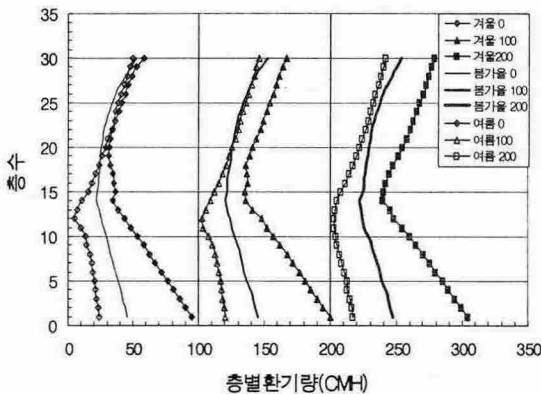


Fig. 9 Distributions of ventilation rates with respect to floor levels.

측정치의 특이한 점은 풍향이 북서풍으로 일정하게 분다는 것이다. 인자의 기여율 조사에서 풍향은 환기량에 거의 영향을 미치지 않으므로 이 측정치를 외기입력조건으로 사용하여도 무방하다. Fig. 10은 8월 8일의 하루 24시간동안 매시간 측정된 풍속과 외기온이다.

Fig. 11는 앞의 조건에 따른 시간별 환기량의 변화를 보인다. 자연환기시 환기량은 풍압효과와 연돌효과 간의 두 가지의 메커니즘이 복합적으로 작용되는 것으로 미루어볼 때, Fig. 11에서 새벽부터 오전 그리고 밤 시간동안은 실내외 온도차가 크지 않아 풍압에 의한 환기가 주로 일어남을 알 수 있다. 반면에 실내외 온도차가 커지는 낮 시간동안은 풍압에 의한 환기이외에 연돌효과로 인해 고층부에서 들어오는 외기가 저층부로 빠져나가게 되는데 그래프에서 볼 수 있듯이 낮 시간동안 1층에서의 환기량이 중성대 지점인 15층 보다 커짐을 볼 수 있다.

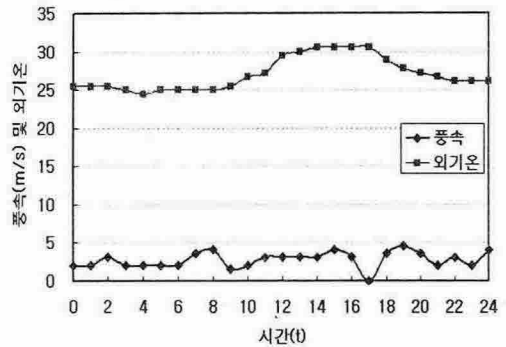


Fig. 10 Wind velocity and air temperature on an hourly basis in a day.

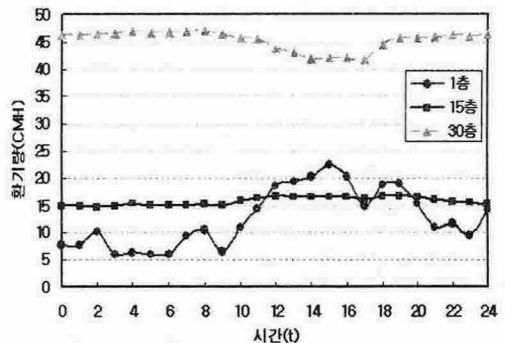


Fig. 11 Hourly variations of ventilation rates.

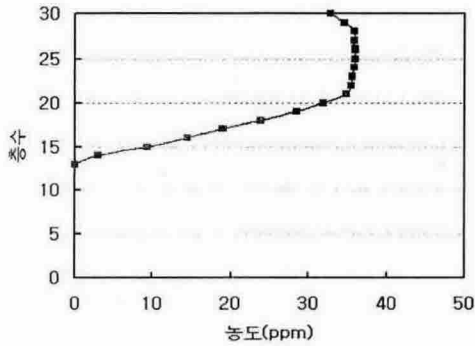


Fig. 12 CO₂ concentration distributions by airflow between levels.

마지막으로 1층에서 발생한 오염물질이 건물층간에 어떠한 분포로 확산되는지를 알아보았다. 건물 입력조건은 앞의 조건과 동일하며 외기조건은 겨울(-12.2℃), 풍속은 서풍이 2.5 m/s로 부는 상태이다. 해석 오염물질은 CO₂로 1층에서 1000 ppm으로 유지된다고 가정하였다. Fig. 12는 건물층간 유동에 의한 CO₂ 농도를 나타낸다. 14층부터 CO₂ 농도가 검출되고 점점 증가하다가 30층에 가까워지면서 다시 감소하는 것으로 나타났다. 이는 겨울철 연돌효과로 저층부에서 흘러들어온 공기가 수직샤프트나 계단실을 통해 고층부로 흘러나가는 과정에 의해 생겨난다고 볼 수 있다.

6. 결론

지금까지 멀티존 모델을 이용하여 고층아파트에서의 외기도입량을 분석하였다. 실험계획법에 의하여 여러 가지 인자에 따른 환기량을 분석하였고 결과분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 데이터 분석 결과 환기량에 영향을 미치는 인자는 전체를 100%로 하였을 때 기계환기의 유무(25.38%), 옥상 배기팬의 유무(17.6%), 출입문의 기밀도(17.08%)의 순으로 나타났다.

(2) 또한 교호작용에 의한 인자로는 아파트 층수와 동시사용률의 조합과 출입문 기밀도와 옥상 배기팬의 조합이 환기량에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 반면 풍향이나 건물층수, 그리고 샤프

트내 거칠기 등은 본 연구대상 아파트의 경우 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났으며, 풍속의 경우에도 예상과는 다르게 그리 큰 영향을 미치지 않았다.

(3) 본 연구에서 65평 아파트의 환기량 결과를 선형 모형으로 적합한 결과에 따라 외기도입량을 나타내는 선형 상관관계식을 구하였다.

(4) 층간 환기량 이동을 분석하기 위하여 1층에서 발생한 오염물질의 이동을 살펴본 결과, 중간층까지는 확산되지 않으나 건물의 상층부로 상당히 유입되는 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. Li, H. M., 2002, Validation of three multizone airflow models, MS, thesis, Concordia University, Quebec, Canada
2. Yuill, G. K. and Upham, R. D., 1998, A validation study of multizone airflow and contaminant migration simulation programs as applied to tall buildings, Report for ASHREA
3. Lee, Y. G., 2000, A study on prediction model of ventilation performance for multifamily housing using airflow analysis, SAREK, Vo. 16, No. 8, pp. 159-166.
4. Kim, Y. D., 2004, A study on the planning optimum exhaust system in high-rise apartment buildings, Ph.D. thesis, Seoul University, Seoul, Korea.
5. Persily, A.K. and Ivy, E. M., 2001 Input data for multizone airflow and IAQ analysis, NISTIR 6585, NIST.
6. Taguchi, G., 1987, System of experimental design, UNIPUB,
7. Dols, W. S. and Walton, G. N., 2002, CONTAMW 2.0 user manual, NISTIR 6921, NIST.
8. Gao, Y., 2002, Coupling of a Multizone Airflow Simulation Program with Computational Fluid Dynamics for Indoor Environmental Analysis, MS thesis, MIT, Massachusetts, America.