

# 공동주택에서 각 실 문의 개폐에 따른 환기 특성 연구

최 임 규, 김 영 일\*, 정 광 섭\*†

서울산업대학교 주택대학원, \*서울산업대학교 건축학부

## A Study on the Effect of Open and Closed Room Doors on Apartment Ventilation Characteristics

Im-Kyoo Choi, Youngil Kim\*, Kwang-Seop Chung\*†

Graduate School of Housing, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

\*School of Architecture, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

**ABSTRACT** : The objective of this study is to propose basic design guidelines for more effective air ventilation system in apartments. It is well known that ventilation depends on whether the room doors are open or closed as well as people’s living patterns. This study considers 84 m<sup>2</sup>-sized apartment which has extended living room without balcony. Ventilation of bathroom and kitchen is not considered. The height of the building, external air pressure and air infiltration through the windows are also neglected. The regulation on indoor air quality made it mandatory that the air change per hour be more than 0.7. Four models are suggested to study the effect of open and closed doors. Models 1 and 3 are open door types and models 2 and 4 are closed door types. The open types have 50 mm hole near the top of the door to substitute exhaust outlet. The ventilation effectiveness was evaluated by 3-dimensional numerical simulation using finite volume method by a commercial software. This work compares air flow, temperature of air, age of air and the efficiency of ventilation of apartments with wooden doors of bedroom 1 and 2, which are open or closed.

**Key words** : Ventilation(환기), Age of air(공기연령), Ventilation efficiency(환기효율), Nominal ventilation time(명목환기시간), Apartment(공동주택), Numerical simulation(수치해석)

### 기 호 설 명

$LMA$  : 국소평균연령[s]

$\tau_n$  : 명목시간상수[s]

$V$  : 체적[m<sup>3</sup>]

$Q$  : 환기량[m<sup>3</sup>/s]

### 1. 서론

최근에 건설되는 사무용 건물, 공동주택은 고층화, 고급화되고 있으며, 시공기술의 발전과 창호성능 개선으로 기밀성능이 향상되어 자연환기가 감소됨으로서, 자연적으로 실내 공기질 유지를 위하여 기계 환기 시스템의 도입이 불가피한 실정이다.

아파트 세대 내 설치되는 각종 창호의 기밀성능은 준공 후 1~2년 후에 누기량은 2배 가깝게 증가하고, 그 후에는 변화하지 않는다고 했는데,

† Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6561; fax: +82-2-974-1480

E-mail address: kschung@snut.ac.kr

이것은 목재의 건조와 창이나 문의 마모가 주된 원인이라고 한다<sup>(1)</sup>. 또한 대부분 거주자들이 내부출입문 개폐여부 질문에 대한 응답은 문 면적의 1/4 정도를 열린 상태로 유지하면서 실내생활을 영위하고 있다고 한다<sup>(2)</sup>.

이러한 내부출입문의 개폐정도는 여러 가지 변수에 따라 그 값의 차이가 많이 발생되고 있다. 계절별, 가족 단위 구성요소별, 주변 환경 요소별 등에 따라 달라질 수 있으나, 가장 큰 변수는 역시 4계절이 뚜렷한 우리나라는 계절별 요소가 가장 큰 비중을 차지할 것이다. 겨울철에는 난방효율 측면에서 더 높은 기밀을 요구함으로써 실내출입문의 폐쇄율이 타 계절보다 높아 실내오염도가 증가하여 환기효율 측면에서는 떨어질 것으로 사료된다.

본 연구는 공동주택 내 실제적의 변화(실내출입문의 개폐 유무)에 따른 기류이동 및 온도분포, 공기연령, 환기효율 등을 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics) 상용 프로그램을 사용하여 시뮬레이션을 통하여 급배기구 위치와 각 실 문의 개폐여부가 환기효율에 미치는 영향을 비교함으로써, 동절기, 하절기의 공동주택 내의 효율적인 환기시스템의 설계방안을 검토하였다.

## 2. 연구방법 및 범위

### 2.1 연구방법

본 연구에서는 공동주택의 각 실의 문 개폐에 따른 환기시스템의 효율을 비교 및 평가하기 위해 환기횟수는 실내 공기질 관련법에 의하여 0.7 회/h 기준으로 정했고, 급, 배기구 설치 위치 및 문의 열림 및 닫힘 상태에 따라 4가지 모델을 설정, 시뮬레이션을 진행하여, 각 모델 별로 온도분포, 기류분포, 공기연령 및 환기효율 등을 비교 검토하였다. 본 연구는 다음과 같은 방법으로 진행하였다.

(1) 급·배기방식은 기계 급·배기에 의한 제1종 환기방식으로 하였고, 실내 급기 온도는 12℃, 유속은 1.1 m/sec로 설정하였다. 실내는 바닥 복사난방으로 실 바닥 표면온도 30℃로 설정하였다.

(2) 해석 대상으로는 전용면적이 84 m<sup>2</sup>인 공동주택을 택하였고 이를 4가지 모델로 구분하였다.

### 2.2 환기방식

실내의 오염물질을 배출하고 실외의 신선공기를 도입하기 위하여 환기가 필요하다. 일반적으로 사람이 거주하는 공간에서는 1인당 25 cmh의 외기 도입이 권장된다.

기계환기방식에는 급기와 배기의 모두를 환기팬으로 이용하여 최적의 급기량과 배기량을 유지할 수 있는 제1종 환기방식과, 급기팬으로 실내로 급기하여 양압으로 유지시키는 제2종 환기, 배기팬과 배기구로 구성되어 실내를 부압으로 유지시키는 제3종 환기방식이 있다.

### 2.3 국소평균연령(Local mean age)

급기구를 통하여 실내로 유입된 공기가 실내 임의의 점에 도달할 때까지 소요된 시간을 연령(年齡)이라고 한다. 공기입자는 여러 가지 경로를 통하여 그 지점에 도달할 수 있기 때문에 그 지점에 도달하는 공기입자 연령의 평균값을 국소평균연령(Local mean age)이라 한다. 또한 실내 임의의 점으로부터 배기구까지 빠져나갈 때까지 소요된 시간을 잔여체류시간이라고 하는데 이것도 여러 가지 경로를 통한 입자들의 평균값으로서 국소평균 잔여체류시간(Local mean residual time)이라고 한다. 또한 국소평균연령과 국소평균 잔여체류시간의 합은 그 지점을 통과하는 공기입자의 실내 체류시간(Residence time)이 된다.

급기구를 통하여 공급된 공기입자가 현재의 위치까지 도달하는데 걸린 시간이 연령이며, 현재의 위치로부터 배기구로 배출될 때까지 남은 시간이 여생이다. 또한 나이와 여생의 합은 수명으로 이해하면 될 것이다. 국소 평균연령은 신선외기가 임의의 점 P점까지 도달하는 시간을 의미하므로 급기의 실내 분배 성능을 정량화하는데 사용될 수 있으며, 국소평균잔류체류시간은 그 지점으로부터 배기 성능을 정량화하는데 이용될 수 있을 것이다.

실 평균연령(Room average of local mean age)은 실 전체의 급기효율을 나타내고, 실 평균 잔류체류시간(Room average of local mean residual life time)은 실 전체의 배기효율을 나타낸다고 볼 수 있다. Fig. 1은 공기연령과 체류시간의 개념도를 나타내었다.

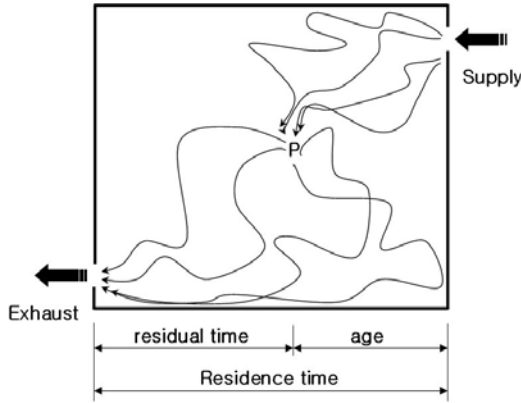


Fig. 1. Age and residual time

## 2.4 환기 효율

환기효율을 나타내기 위하여 실내의 공기가 완전 혼합되어 위치에 관계없이 일정한 농도 분포를 보이는 상태로 간주한다. 완전혼합의 환기상태에서 실내체적  $V$ 에 대한 환기량  $Q$ 를 환기횟수 (Air change rate) 또는 환기율 (Ventilation rate) 이라고 한다. 환기효율의 역수는 시간의 차원을 가지며 명목시간상수 (Nominal time constant) 라고 한다.

$$\tau_n = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

따라서 국소급기효율과 국소배기효율은 다음 식(2)와 (3)과 같이 명목시간상수에 대한 국소평균연령이나 국소평균잔여체류시간의 비율로서 정의한다. 국소급기효율 및 국소배기효율은 그 값이 100% 이상 무한대로도 될 수 있기 때문에 효율이라는 용어보다는 국소급기지수 또는 국소배기지수라는 용어를 사용하는 것이 더욱 적합할 수 있다.

$$\alpha_p = \frac{\tau_n}{LMA_p} \quad (2)$$

$$\epsilon_p = \frac{\tau_n}{LMR_p} \quad (3)$$

여기서 하첨자  $P$ 는 실내의 임의의 점  $P$ 에서의 값을 의미한다. 또한 배기구에서의 국소평균연령 ( $LMA_{ex}$ )은 급기구에서의 국소평균잔여체류시간 ( $LMA_{sup}$ )과 동일한 것이며 이것은 명목시간상수와 같다는 것을 증명할 수 있다.

$$LMA_{ex} = LMA_{sup} = \tau_n \quad (4)$$

## 3. 해석모델의 개요

### 3.1 제원표

Table 1은 4가지 모델에 대한 설명을 요약하고 있다.

Table 1. Model specifications

Item \ Model	1, 2	3, 4
Room volume (m <sup>3</sup> )	Living room: 89.25 Bedroom 1, 2: 25.74 Bedroom 3: 21.04	
Diffuser diameter(mm) and number	D100 - 2EA D75 - 2EA D65 - 1EA	
Exhaust diameter(mm) and number	D100-2EA	D100-2EA D75-2EA D65-1EA
Diffuser air velocity (m/sec)	1.1	
Supply Temp. (°C)	12	
Floor surfact T.(°C)	30	
Room height (m)	2.4	
Door	Wood 0.8 m × 2.1 m	

Model 1, 3: door open, Model 2, 4: door closed

### 3.2 해석 모델별 환기덕트 시공 평면도

Fig. 2는 실제적으로 세대 내 급·배기 덕트를 설치한 평면도로서 급·배기 형태는 발코니 상부에 설치된 환기장치에 의해 급·배기 덕트를 통하여 각 실별로 급기 및 배기를 행하는 시스템이다. 모델 1, 2는 거실에 직경 100 mm 급·배기구 2개, 침실 1, 2에 직경 75mm 급기구 1개, 침실 3에 직경 65mm 급기구가 각각 1개씩 설치되어 있다 모델 3, 4는 거실에만 직경 100 mm인 급·배기구 2개, 안방 및 침실에 직경 75mm 급·배기구 각각 1개, 침실 2에는 직경 65mm 급·배기구가 설치되어 있다.

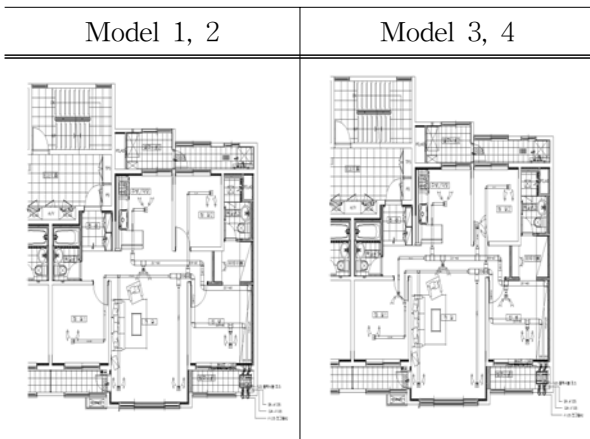


Fig. 2. A drawing of ventilation duct

### 3.3 해석 조건

경계면의 조건은 다음과 같다.

- (1) 실내 초기농도를 1로 균일화 하였다.
- (2) 실내기류는 농도분포의 영향을 받지 않고 정상적이며, 비정상 농도 분포 계산 과정에서도 변화하지 않고 일정하다고 가정하였다.
- (3) 실내에는 오염원이 존재하지 않으며 창문 등은 완벽하게 밀봉되어 외부 공기침투가 없다고 가정하였고, 다만 방문 닫힘 상태의 모델인 경우(2, 4번) 방문의 틈새를 통해 실(室)간 공기유동은 있는 것으로 간주 하였다(본 연구에서 방문 닫힘 상태의 환기해석은 주택 내 침실문의 재질이 목재 문으로서 틈새 범위가  $\pm 3\%$  이상인 경우로 제한하였다)
- (4) 오염물질의 질량보존법칙을 이용하여 비정상 상태의 농도방정식을 계산하였다.
- (5) 방문 닫힘 상태 모델인 경우(2, 4번) 방문 상단 부위에 방문 틈새 길이에 해당되는 면적만큼의 개구부가 있다고 가정하였다.

## 4. 수치모사

### 4.1 수치모사 조건

본 연구에서는 전산유체 상용 프로그램을 사용하여 각 모델별 실내공기유동에 따른 환기효율을 평가하였다.

본 연구에서는 급기구 및 배기구의 설치 개수의 변화만을 고려하였고, 실내공간의 문의 밀폐시 공기유동을 고려 문짝 상단 부위에 50 mm 관통부를 인위적으로 만들어 해석하였다.

환기횟수는 0.7회를 만족하도록 유량 및 유속

을 산정하였고, 실별로 공급되는 급기 및 배기량은 체적의 비율에 따라 각각 분배하였다.

급·배기구의 형태는 원형이고, 취출 기류의 방향은 중력 방향으로 설정하였다.

각 모델별 격자 구성은 Gambit이라는 격자 생성 프로그램을 사용하여 격자는 삼각형 사면체 비정렬격자로 이루어져 있다. 프로그램 내에 Size Function이란 기법을 사용하여 농도 변화가 많은 곳이라고 판단되는 지점은 격자 크기를 작게 하여 격자수를 증가시켰다.

### 4.2 시뮬레이션 결과

각 모델별 바닥으로부터의 높이 1.6 m에서의 수평 방향 해석 결과는 Fig. 3과 같이 나타내었다.

모델별 유선 및 벡터분포는 문 개폐상태인 경우 배기구 쪽 또는 거실 쪽으로 이동하려는 포물선 형태를 취하고 있고, 벡터분포는 밀폐상태보다 전체적으로 농도가 낮다. 문 밀폐상태는 유선이 회오리형태를 취하고 있으며, 또한 벡터분포도 문 쪽으로 갈수록 농도가 진하게 나타나고 있다.

국부공기연령은 모델 1인 경우 명목시간상수 5091sec에 대해 환기효율은 59.6%으로 나타났으며 높이 1.6 m 지점의 분포 값이 2500sec 범위대로 넓게 분포되어 있어 정체구역 없이 환기가 이루어지고 있음을 알 수 있다.

모델 2인 경우 환기효율은 57.2%이고 높이 1.6m 지점의 색상이 다양한 형태로 나타나 있어, 개방형에 비하여 환기가 실 전체에 균일하게 진행되기 보다는 실(室)간 환기효율 차이가 크게 발생된다는 것을 의미한다. 색이 어두운 부분(붉은 색 계통)일수록 공기가 정체되어 환기성능이 감소함을 의미한다.

모델 3은 환기효율 60.6%으로 높으며, 색상분포도 단순하면서도 넓은 지역이 균일한 값이므로 실 전체적으로 볼 때 정체구역 없이 환기가 잘 이루어지고 있다.

모델 4는 환기효율이 58.0%으로 환기효율이 낮음을 알 수 있다, 국부공기연령 분포는 매우 다양한 형태 색상으로 경계층을 형성하면서 진행됨을 볼 때 다른 모델에 비해 각 실(室) 및 급,배기 계통 구분이 명확한 관계로 실(室)간 환기효율 차이가 크게 발생되고 있음을 보여준다.

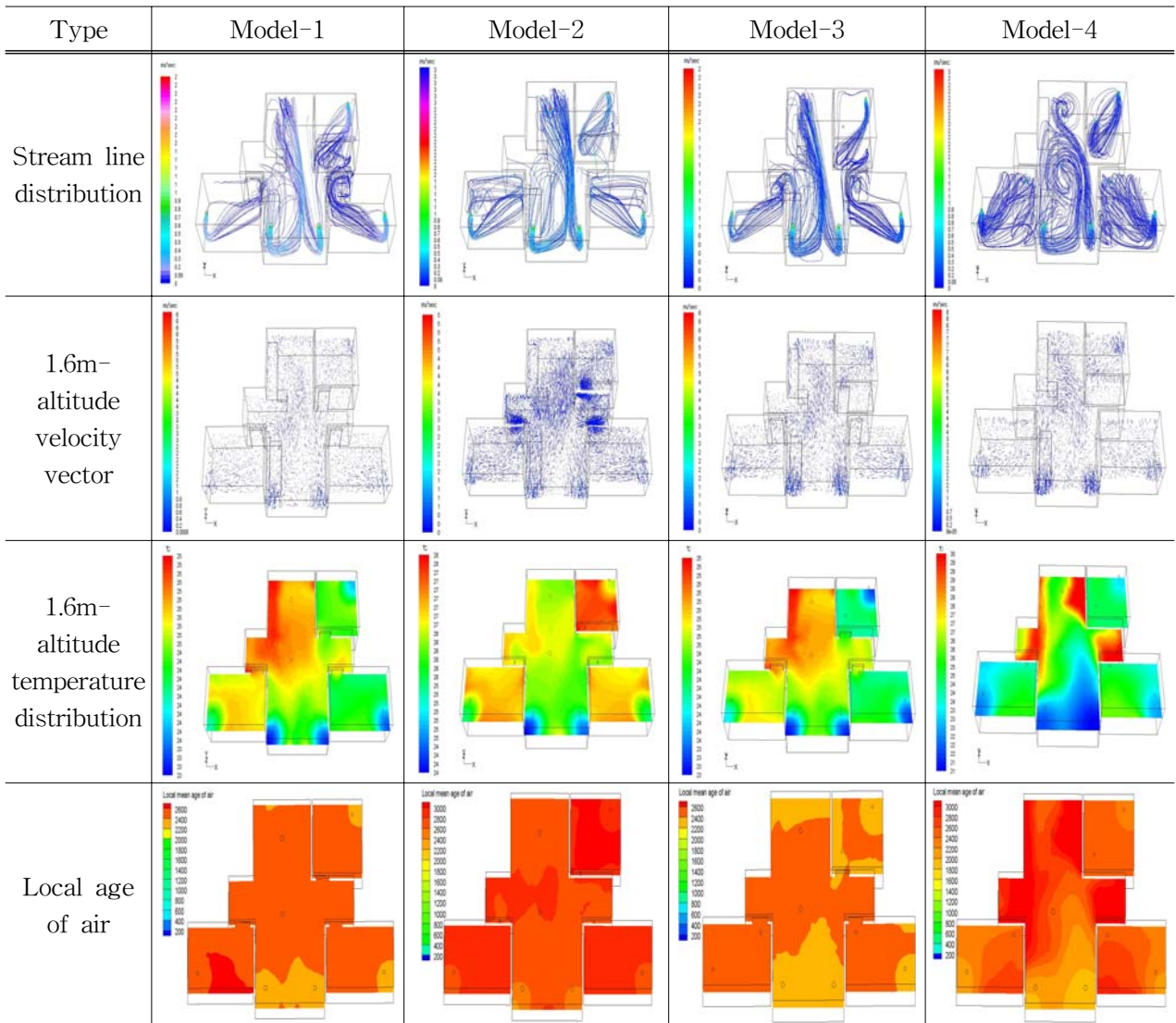


Fig. 3. Simulation results of each type

## 5. 결과

모델별 유선분포 벡터분포를 살펴보면 문 닫힘 상태가 문 열림 상태에 비하여 실내에서 급기구를 시작으로 큰 와류를 형성하고 있어 공기의 혼합성이 높게 보이지만, 이것은 거실측 부분보다 침실측 부분에서 이러한 현상이 두드러짐을 나타내는 것을 볼 때 좁은 공간에서 급기된 공기가 빠른 시간내 배기되지 못해서 발생된다고 생각되며, 효율은 낮게 나타났다.

환기 평균효율이 가장 높은 것은 모델 3의 문 열림 상태의 60.6%이고, 가장 효율이 낮은 것은 모델 2의 문 닫힘 상태로 57.2%로 약 3.4%의 차이를 보이고 있다.

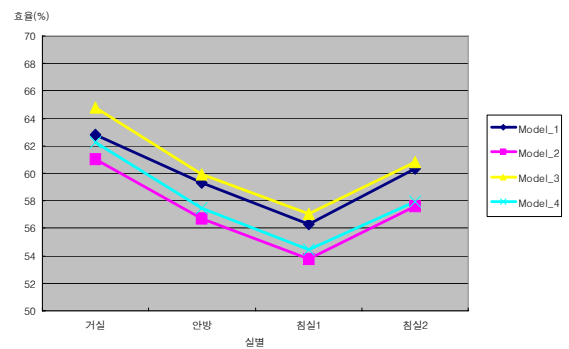


Fig. 4 Ventilation Efficiencies of each room

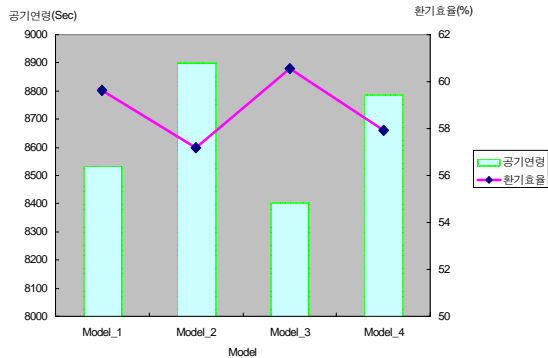


Fig. 5 Ventilation Efficiencies of each model

실험조건이 동일한 모델 3의 문 열림 상태와 모델 4의 문 닫힘 상태에서는 모델 3가 모델 4에 비하여 2.6% 높게 나타났다.

급기구 규격 및 설치 개수가 동일하고, 거실에만 배기구 D100을 2개 설치하여 방문 열림 상태의 환기효율을 해석한 모델 1의 효율은 59.6%이고, 거실에 배기구 D100 2개, 침실1에 배기구 D75 1개, 침실2에 배기구 D75 1개, 침실3에 배기구 D65 1개가 각각 설치한 방문 열림 상태의 모델 3의 환기효율은 60.6%이다. 각 실의 문을 모두 개방하여 단위세대 전체를 1개의 공간으로 하여 환기효율을 해석한 값의 차이는 1.0%로서 큰 차이점을 보이지 않는다.

## 6. 결론

본 연구에서는 공동주택에서 문의 개폐에 따른 환기효율 특성을 수치해석을 통하여 살펴보았다.

모델별로 최대 공기연령값과 최소 공기연령값의 값이 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 평균공기

연령을 환기성능 지표로 활용하는데 있어, 최대 공기연령값과 평균 공기연령값의 차이가 클 경우 평균 공기연령값이 환기성능을 대표하지 못하므로 재검토가 필요할 것이다.

## 참고문헌

1. Park, W. S. and Yoon, J. O., 2003, The field measurement of airtightness in apartment buildings, Proceedings of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol. 3, No.3
2. Choi, J. H. and Hong, G. P., 2007, Estimation on locations of air-supply and exhaust ports for optimum ventilation effectiveness in the apartment, Proceedings of the summer conference, The Society of Air Conditioning and Refrigerating Engineers, pp. 464~469
3. Hyun, S. H. and Park, C. S., 2006, Indoor CO<sub>2</sub> concentration depending on diffuser location, Proceedings of the Architectural Institute of Korea, Vol. 34, No.1
4. Korea Association of Air Conditioning Refrigerating and Sanitary Engineers, Vol. 23, No. 6(2006)
5. The Society of Air Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 34, No. 5.(2006)
6. Kim, G. H., 2003, A Study on the ventilation planning for the improvement of ventilation effectiveness in apartment buildings, Chung-Ang University, Seoul, Korea