

오염발생원의 위치인식에 의한 환기장치 제어방안

한 화택*, 한 정 일, 권 용 일

*국민대학교 기계·자동차공학부, 국민대학교 대학원, 신홍대학 건축설비과

Ventilation System Control by Location-Aware of Pollution Source

*H. Han, Jung-il Han, and Yong-il Kwon

**School of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea*

Graduate School, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

Department of Building Mechanical Engineering, Shinheung College, Euijngbu, Korea

ABSTRACT : This paper presents a control algorithm of supply and exhaust diffusers by recognizing a contaminant source location. CFD analysis has been conducted to calculate steady state airflow and concentration distributions in a model room, which has two supply and two exhaust openings on the ceiling. Calculations have been performed for five cases out of nine different ventilation modes by combining on/off control of the supply and exhaust openings. Local mean residual life times are obtained and compared at 9 internal points for each ventilation case. Depending on the contaminant source location, the ventilation system is operated at an optimum ventilation mode, which can results in maximum exhaust performance.

Key words: Ventilation efficiency(환기효율), Location-aware(위치 인식), Local mean residual life time(국소잔여 체류시간), CFD(전산유체역학)

기 호 설 명

- C_{ex} : 배기구에서의 농도
- LMR : 국소평균잔여체류시간 [s]
- \dot{m} : 오염 발생량 [$kg/m^3 \cdot s$]
- Q : 환기량 [m^3/s]
- t : 시간 [s]
- V : 체적 [m^3]

그리스 문자

- τ_n : 명목 시간상수 [s]

1. 서 론

최근 유비쿼터스 환경의 지능형 홈과 관련된 연구와 개발로 인간에게 최적의 환경을 만들어 주기 위한 노력이 계속되고 있다. 지능형 홈 기술에서 상황인지 컴퓨팅의 위치인식 시스템을 실내환경에 적용함으로써 거주자의 생활패턴 및 요구사항을 거주환경에 설치된 센서를 통해 관측하고 거주환경 스스로 환경의 변화를 조절하는 제어 알고리즘을 이용하여 거주자에게 편리함과 쾌적함을 제공할 수 있다. 이러한 최적 환경을 만들을 주기 위해 제어해야 할 실내환경 조건으로 온도 및 습도에 관련된 열환경과 유해가스 등과 관련한 공기 질 환경, 음환경 및 빛환경 등이 있다. 특히, 에너지 소비를 줄이기 위한 건축물의 기밀화와 단열화로 인해 실내에서 발생하는 오염물질의 제거 및 신선 외기를 공급해야 하는 실

†Corresponding author

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

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

내공기질(IAQ)환경에 대한 관심이 높아졌고 이에 따라 실내공기질 기준과 공동주택의 환기기준이 마련되어 시행되고 있다. 올해부터는 다중이용시설과 일정 규모 이상의 공동주택에 대하여 24시간 환기를 할 수 있는 환기시스템 설치가 의무화되어 있다. 이에 따라 환기장치의 가동의 따른 에너지 소비를 최소화하면서 실내공기질 환경의 조건을 만족시키기 위한 노력이 필요하다. 이전까지 실내공기질 환경과 지능형 홈의 홈오토메이션의 각각의 분야에 있어서 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 하지만 두 분야가 연계된 연구는 아직까지 시작단계라 할 수 있다. 따라서 두 분야를 연계하여 지능형 홈 기술의 상황인지 컴퓨팅을 통해 에너지 절약과 함께 실내공기질 환경을 만족시키기 위한 연구가 활성화되어야 한다.

본 연구에서는 사람의 재실여부를 인식하는 알고리즘과 실내오염원의 발생위치에 따라 급배기구의 on/off 제어방법을 이용해 실내평균 오염농도의 변화를 분석하여 오염발생원에 따른 환기제어 가능성을 검토하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 위치인식을 통한 제어알고리즘

지능형 홈에서 거주자 위치는 상황인지 서비스 제공을 위해 가장 중요시 되는 상황정보이다. 현재 연구되고 있는 위치인식 시스템의 대표적인 기술로는 삼각측량(triangulation)과 장면분석(scene analysis), 그리고 근접방식(proximity)이 있다. (1,4)

삼각측량 방식은 여러 개의 기준점으로부터 거리를 측정하여 자신의 위치를 알아내는 방식이다. Fig. 1은 이 방식에 의한 3가지 모델을 보인다. 모델 1은 이동노드(mobile node)에서 주기적으로 송신된 신호를 건물천장이나 벽에 부착된 고정노드(fixed node)에서 수신하는 방식이고 모델 2는 반대로 고정노드에서 송신된 신호를 이동노드에서 수신하는 방식이다. 전력사용 측면이나 PC와의 연결측면에 있어서 장단점을 가지고 있다. 모델 3은 고정노드가 없고 이동노드만 존재한다. 각각의 이동노드는 서로 간에 위치를 계산하고 이 정보를

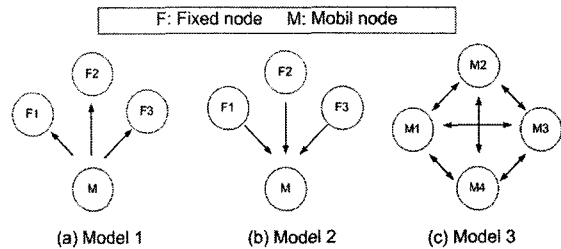


Fig. 1 Location aware method by triangulation

PC에 전송한다. 이 모델은 모델 1과 2처럼 기준노드를 정할 필요가 없다. 하지만 복잡한 알고리즘을 사용하고 서로간의 위치측정은 많은 연산을 필요로 하고 이로 인해 위치추적 속도가 비교적 느리다는 단점이 있다.

이외에 장면 분석기술이란 비전 시스템이나 전파신호를 이용하여 관측된 장면의 특징으로부터 위치를 찾아내는 방식을 의미하고, 근접방식 기술은 물체가 알려진 위치 근처에 있을 때 위치를 인식하는 방식으로 물리적 접촉에 의한 위치인식 방법과 자동식별시스템이나 식별태그에 의하여 위치를 유추하는 방법을 말한다.

여기서는 위치인식 알고리즘에 관하여 상세한 설명은 생략하기로 하고 이를 이용한 환기장치의 제어 알고리즘에 관하여 살펴보기로 한다. Fig. 2는 재실자에게 쾌적한 실내환경을 제공하기 위해 재실여부와 오염농도 설정치,

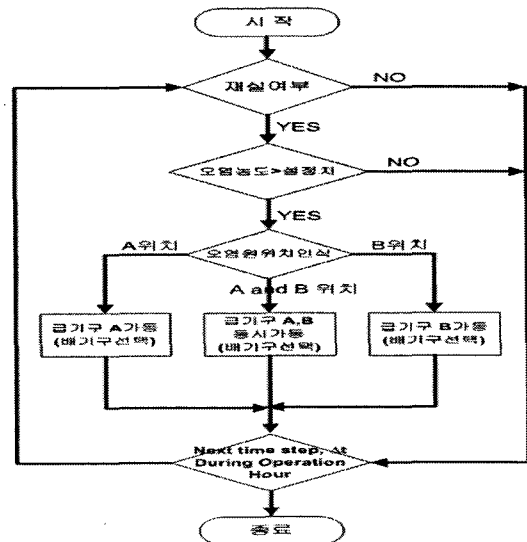


Fig. 2 Diagram of control of ventilation system by location aware 그리고 오염원 위치에 따라 환기장치의 운전

모드를 변환시키는 알고리즘을 나타낸다. 사람의 재실여부는 Noury et al^(2,3)이 연구한 근접 방식 위치인식 기술로 적외선 센서를 이용하였다. 출입문의 내부와 외부에 적외선 센서를 설치하여 사람의 적외선을 감지하고 센서의 반응 순서에 따라 출입여부를 판단하고 공간내의 여러 곳에 가스센서를 부착하여 오염원의 위치에 따라서 환기장치의 운전모드를 변환시킴으로써 동일한 풍량으로 효과적인 환기가 될 수 있도록 한다.

2.2 국소평균 잔여체류시간

실내 오염발생원의 위치에 따라 급배기구를 가변 개방/폐쇄함으로써 효율적으로 오염물질을 제거하기 위해서는 각 운전 상태에 의한 배기 성능을 비교하여야 한다. 배기 성능은 잔여체류시간의 개념⁽⁵⁾을 이용하여 구한다. 잔여체류시간이란 실내 임의의 점으로부터 배기구까지 빠져나갈 때까지 소요된 시간이다. 이때 공기의 입자는 여러 가지 경로를 통하여 배기구로 빠져나가기 때문에 배구에 도달하는 공기입자의 평균값을 국소평균 잔여체류시간(local mean residual life time)이라 한다. 국소평균 잔여체류시간(LMR)을 이용하여 오염물이 배기되는 성능을 정량화 하는데 이용될 수 있다. 실내의 임의의 점에서 국소평균 잔여체류시간을 구하기 위해서는 Fig. 3과 같이 원하는 지점 P에서 오염 물질을 갑자기 발생하기 시작하여 배기구에서의 시간에 따른 농도변화를 측정함으로써 구할 수 있다.

$$LMR_p = \int_0^{\infty} \left(1 - \frac{C_{ex}^p(t)}{C_{ex}^p(\infty)} \right) dt \quad (1)$$

여기서 $C_{ex}^p(\infty)$ 는 정상상태 도달 후 배기구에서의 농도로서 \dot{m}/Q 과 같다. 여기서 \dot{m} 은 P점에서의 시간당 오염 발생량이며 Q 는 급기구를 통한 환기량을 나타낸다. 이러한 계산방식에 의하면 비정상상태의 농도변화를 해석하여야 한다. 그런데 실내오염 발생량과 배기구에서의 유출량의 차이는 실내 보유량(hold-up)⁽⁵⁾의 증가와 같으므로 정상상태의 실내보유량으로부터 LMR을 계산할 수 있다. 이에 따라 식을 다시 정리하면 다음과 같이

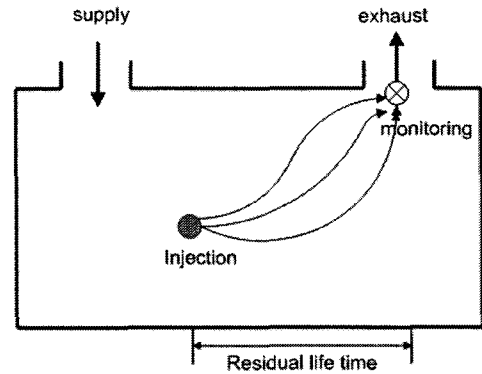


Fig. 3 Concept of local mean residual life time

된다.^(6,7)

$$\begin{aligned} LMR_p &= \frac{1}{\dot{m}} \int_0^{\infty} \dot{m} - Q C_{ex}^p(t) dt \\ &= \frac{\langle C^p(\infty) \rangle V}{\dot{m}} \quad (2) \\ &= \frac{\langle C^p(\infty) \rangle \tau_n}{C_{ex}^p(\infty)} \end{aligned}$$

여기서 농도 C 의 하첨자 ex 는 측정점이 배기구임을 의미하며, 오염 발생지점 P 가 구하고자 하는 지점의 국소평균 잔여체류시간의 위치이다. 또 $\langle C^p(\infty) \rangle$ 는 P 지점에서 오염물질이 발생했을 때 정상상태의 실내평균농도를 의미한다. 따라서 비정상상태의 배기구 농도변화 대신 정상상태의 공간내 농도분포로부터 평균 잔여체류시간을 구한다. 그리고 시간의 차원을 갖는 명목시간상수 (nominal time constant) τ_n 는 공기 교환율의 역수로서 실내 체적만큼의 공기가 치환되는데 걸리는 시간을 의미하며 아래의 식으로 표현된다.

$$\tau_n = V/Q \quad (3)$$

3. 수치해석

3.1 수치해석 모델

본 연구에서 설정한 대상실의 체적은 Fig 4에 보이는 바와 같이 4x8x2.4 m이다. 천정면에 2개의 배기구와 2개의 급기구(0.1x0.1 m)를 교차하여 설치되어 있다. 급배기구의 on/off

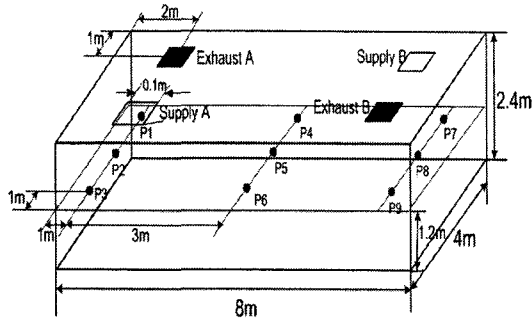


Fig. 4 Schematic diagram of the model room

제어에 따라서 Fig. 5와 같이 9가지의 경우의 수를 생각할 수 있다. 여기서 Case1과 Case4, Case2와 Case5, Case3과 Case6, 그리고 Case7과 Case8은 서로 대칭이므로 Table 1에 있는 것과 같이 다섯 가지의 경우에 대하여 수치해석을 수행하였다. 급기구를 통한 환기량은 1.5 ACH에 해당하는 115.2 CMH로 설정하였다. 급배기구의 작동모드에 관계없이 총 급기량과 배기량은 일정하다. 이것은 급기구가 한쪽만 개방될 때는 급기풍속이 3.2 m/s, 급기구가 두개 모두 개방될 때는 1.6 m/s에 해당한다. 주어진 유동장에 대하여 오염원의 위치에 따른 배기성능을 평가하기 위해 실내 9점을 고려하였다. 오염원은 이산화탄소로 가정하였고 호흡선 높이인 1.2 m지점에서 0.15 kg/m^3 로 발생시켰다.

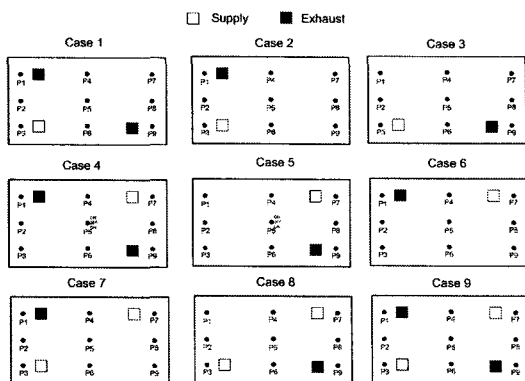


Fig. 5 Various cases of supply/exhaust operations

3.2 수치해석 방법

Table. 1 Operation conditions of supply and exhaust openings

	Supply A	Supply B	Exhaust A	Exhaust B	비고
Case 1	on	off	on	on	symmetric with Case 4
Case 2	on	off	on	off	symmetric with Case 5
Case 3	on	off	off	on	symmetric with Case 6
Case 7	on	on	on	off	symmetric with Case 8
Case 9	on	on	on	on	

3차원 정상상태의 유동과 오염농도의 분포를 해석하기 위하여 상용 프로그램인 Fluent Ver 6.2.16을 사용하였다. 전산유체역학에 필요한 연속방정식과 운동량방정식, 그리고 농도방정식 등의 지배방정식에 대한 내용에 관해서 여기서는 설명을 생략한다. 유동장의 해석에는 SIMPLE 알고리즘을 이용하였고 난류 모델은 표준 k-e 모델을 사용하였다. 경계조건으로는 수직방향으로 속도 입구조건을, 배기구에서는 경계조건으로 일정압력조건으로 대기압을 주었다. 나머지 외부 경계면은 벽경계조건을 적용하여 해석하였다. 격자수는 $56 \times 102 \times 32$ 으로 비균일격자계를 사용하였다. Table 1의 주어진 각 경우에 대하여 정상상태의 유동장을 먼저 해석하고 주어진 유동장에서 각각의 오염원에 의한 실내 오염농도 분포를 계산하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 오염발생점에 따른 배기성능 분석

Table. 2는 대칭 Case를 제외한 5가지 Case에 대해서 각 Case별로 9개 지점에서의 발생된 오염원을 제거하기 위한 국소평균 잔여체류시간 결과를 나타내고 있다. 참고로 본 해석에서 사용된 명목시간상수는 2400 s이다. 해석한 5가지 Case에서 실의 중앙점인 P5점의 LMR은 Case별로 비교하였을 때 최대값과 최소값의 편차가 130 s 정도로 다른 점들에 비해 크지 않음을 알 수 있다. 이것은 P5점에서는 급기구 및 배기구의 선택적인 가동에 따른 모든 Case의 실내유동에 의한 배기성능의 차이가 크지 않다는 것을 나타낸다. 반면 배기구A 또는 B 지점 근처의 오염발생 지점인 P1과 P9에서의 LMR은 Case에 따라 크게 차이가 나타남을 알 수 있다. 즉 오염원이 급기구에 가까이 위치하면 오염원을 제거하는

Table. 2 Local mean residual life time at each point for the cases tested

Point	Local mean residual life time [s]				
	Case1	Case2	Case3	Case7	Case9
P1	2304	2123	2520	1838	2255
P2	2392	2268	2514	2103	2330
P3	2446	2392	2493	2340	2430
P4	2351	2385	2331	2220	2331
P5	2358	2426	2291	2324	2324
P6	2365	2473	2257	2432	2331
P7	2399	2622	2182	2622	2430
P8	2351	2615	2108	2662	2330
P9	2311	2628	2024	2703	2255
평균	2364	2437	2302	2360	2335
편차 (최대-최소)	142	505	496	865	175

데 오랜 시간이 걸리게 되고 배기구 근처에 오염원이 위치하면 오염원을 제거하는데 시간이 짧게 되어 배기성능이 높아진다는 것을 알 수 있다.

4.2 유동형태에 따른 배기성능 분석

Fig. 6은 배기성능을 나타내는 각 점에서의 LMR을 대칭조건을 포함한 9가지 모든 Case에 대해서 나타낸 것이다. 먼저 급기구와 배기

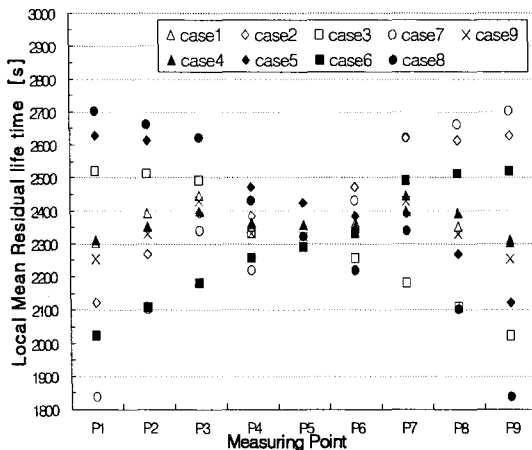


Fig. 6 LMR results at nine internal points for various supply/exhaust cases.

구가 한 개씩 사용하는 Case2와 Case3을 비교해 보면 LMR의 편차가 500 s범위를 갖고 오염원이 배기가 되는 것을 알 수 있다. 하지만 전체적인 배기성능을 평가할 때 LMR의 평균값이 Case2에 비해서 Case3가 100 s정도

배기가 빠르게 나타남을 알 수 있다. 이것은 실의 형상에 따라 긴 방향으로 급기구와 배기구를 설치한 Case3가 짧은 방향으로 급기구와 배기구를 설치한 Case2 경우보다 실의 전체적인 고른 유동을 형성한 뒤 배기가 되게 함으로 실의 배기성능이 높아짐을 나타낸다. 또한 각 Case에서 급기구와 배기구의 다른 운전모드로 인한 배기성능을 비교하기 위하여 배기구를 양쪽 모두 가동하고 급기구를 한쪽만 가동하는 Case1과 급배기구를 모두 가동하는 Case9의 경우에 LMR 편차가 Case1의 경우는 142 s, Case9의 경우는 175 s로 편차의 차이가 크지 않는 것을 알 수 있다. 이는 두개의 배기구를 모두 사용한 경우에는 공간내의 유동분포가 완전혼합에 가깝게 형성되어 균일한 오염농도를 보임을 의미한다. 즉 배기구를 두개 모두 가동하는 경우에는 급기구를 다른 운전모드로 가동하여도 배기성능에는 크게 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다. 이에 반해 배기구를 한쪽만 가동하는 경우인 Case2와 Case7과 같은 경우에는 Case2는 LMR의 편차가 505 s, Case7은 865 s 정도로 다른 Case들에 비해 크게 나타난다. 이는 배기구를 한쪽만 가동함으로 인해 급기구로부터의 신선외기가 전체 유동을 고르게 분포시키지 못하고 국소적인 배기 특성을 보이는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 국소적인 배기현상으로 인해 배기구를 한쪽만 가동할 경우 급기의 다른 운전모드는 배기성능에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다. Fig. 7에서는 국소적인 배기 현상을 보이는 Case7의 경우와 실 전체적으로 고른 유동을 보이는 Case9의 경우에서의 P1, P5, P9에 대해 LMR의 분포를 비교해 보았다. P1 점인 경우 Case7이 배기가 잘 되는 400 s정도 빠르게 배기됨을 볼 수 있고, P5점에서는 두 Case 모두 비슷한 배기성능을 보인다. P9점에서 대해서는 Case7이 400 s정도 느리게 배기가 되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 오염원이 P9에서 발생할 경우에는 Case7과 대칭인 Case8의 경우로 배기시킴으로써 오염원을 빠르게 제거시킬 수 있다. 따라서 특정 영역의 오염원을 빨리 배기시키기 위해서는 국소적인 배기현상을 갖도록 오염원과 가까운 쪽의 배기구만을 선택하여 가동해야 한다. 이

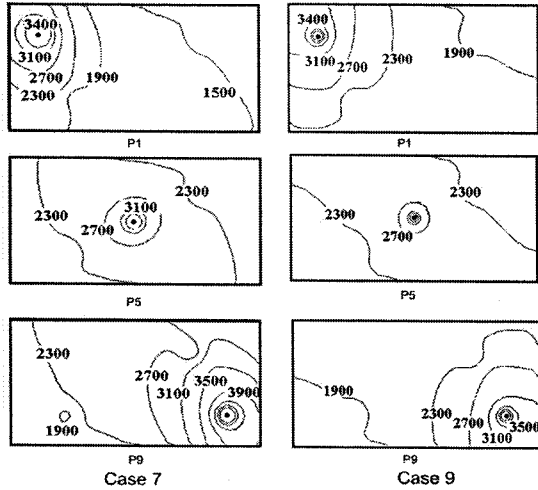


Fig. 7 Comparison of LMR distributions between Case 7 and Case 9

때 급기구는 양쪽 모두를 가동함으로써 특정 영역의 배기성능을 높일 수 있도록 해야 한다.

5. 결론

본 연구에서는 오염발생원의 위치에 따른 환기장치의 운전 모드를 제어하는 방식에 대하여 연구하였다. 배기성능을 분석하기 위해 오염발생원의 위치에 따른 국소평균농도의 변화에 따라 살펴본 결과 위치 인식에 의한 오염원 제거를 위한 환기 제어 방법에 적합한 Case는 국소평균 잔여체류시간의 편차가 커서 최소값이 작게 나오는 Case7과 그와 대칭조건을 갖는 Case8, 중간영역에서 최소값을 갖는 Case3이 가장 적합하다고 할 수 있다. 이번 연구에서는 오염원의 발생점을 9점에 대해서만 배기성능을 비교하였는데 실 전체에 대하여 해석을 하면 실내의 오염원의 위치에 따라 운전모드를 결정하는 맵을 작성할 수 있을 것이다.

향후 발생점이 여러 지점에 위치하여 동시에 오염원이 발생하는 경우와 에너지 측면을 고려한 다양한 실내환경 제어방법에 관한 연구가 위치인식기술과 연계되어 활발한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Cho, S.. 2005, Design of low powered indoor positioning system based on sensor network, Vol. 12, No. 2, pp. 1463-1464.
2. Noury, N., Virone, G., and Creuzet, T., 2002, The health integrated smart home information system (HIS2): Rules based system for the localization of a human, Micro-technologies in Medicine & Biology 2nd Annual International IEEE-EMB Special Topic Conference on, 2002, pp. 318-321.
3. Noury, N. Herve, T., Rialle, V., Virone, G., Mercier, E., Morey, G., Moro, A., and Porcheron, T., 2000, Monitoring behavior in home using a smart fall sensor and position sensors, Micro-technologies in Medicine and Biology, 1st Annual International Conference on, 2000, pp. 607-610.
4. Hightower, J., and Borriello, G., Location systems for ubiquitous computing, Computer, Vol. 34, No. 8, 2001, pp. 57-66.
5. Sandberg, M., 1981, What is ventilation efficiency?, Building and Environment, Vol. 18, No. 4, pp. 181-197.
6. Han, H.. 1992, Numerical approach to calculate ventilation effectiveness, Magazine of the SAREK, Vol. 21, No. 4, pp. 271-281.
7. Han, H., 1999, On the definition of ventilation effectiveness, Magazine of the SAREK, Vol. 28, No. 1, pp. 38-47.