

학교교실의 환경개선 환기시스템 최적화 기반 연구

장 용 성[†], 서 승 직^{*}, 홍 성 희^{**}, 박 효 순^{**}, 박 중 훈^{***}

^{*}인하대학교 건축학부, ^{**}한국에너지기술연구원, ^{***}LG 전자(주)

Optimization of a Ventilation System for Indoor Environment Improvement in School Building

Yong-Sung Jang[†], Seung-Jik Suh^{*}, Sung-Hee Hong^{**}, Hyo-Soon Park^{**}, Jong-Hoon Park^{***}

ABSTRACT: This study aims to build basic data for a optimization of a ventilation system for indoor environment improvement in school building. To this end, we conducted field tests and computation fluid dynamics simulations about a indoor environment in dependence on operation of a ceiling type inverter air conditioner and ventilation system. The results could be summarized as follows. (1) For the ventilation system of 350CMH, 500CMH and 850CMH, reduction of each CO₂ concentration was measured 662ppm, 748ppm and 526ppm. (2) A optimal discharge angle of the ceiling type inverter air conditioner system was evaluated 45 degree in heating and cooling.

Key words: Indoor Environment Improvement(실내환경개선), Ventilation System(환기시스템), Field Test(실측실험), Computational Fluid Dynamics(전산유체)

1. 서론

1.1 연구배경 및 필요성

학교건물은 교실이라는 제한된 공간에 다수의 학생들이 장시간 이용하는 시설로서 잠재에너지 수요가 매우 큰 건물이다. 환기는 쾌적한 실내환경 유지를 위한 필수적인 요소이나 재실자의 건강과 안전을 위한 주거환경의 관점에만 국한시켜 취급될 성질의 것은 아니며 에너지절약적인 측면도 동시에 고려되어야 할 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 이는 쾌적 보건환경 유지를 위한 필요 환기량 이상의 과도한 환기량은 냉·난방부하, 팬용량 및 동력의 증가를 요하게 되어 불필요한 에너지손실 및 실내소음을 초래하기 때문이다.

최근에 개발되어 학교교실에 급속하게 보급되고 있는 에너지절약적이고 환경친화적인 천장형

인버터 냉난방시스템의 경우 환기가 고려되어 있지 않아 쾌적 실내환경조성에 어려움이 있는 실정이다. 따라서 학교교실의 실내환경개선을 위해서 기류성상과 환기효율을 고려한 급·배기구 위치, 재실인원 및 실 사용용도에 적합한 최적 환기시스템 개발이 절실히 요구되고 있다.

1.2 연구목적 및 내용

본 연구는 학교교실에서 냉난방기간 동안 건물 에너지절약을 위해 개구부를 밀폐시킨 상태에서 천장형인버터 냉난방시스템을 운전함에 따라 발생하는 실내공기질 저하를 최소화하고, 쾌적 실내환경 조성과 아울러 에너지를 절약할 수 있는 환기시스템 최적화 기반 구축 및 기초 설계 자료를 제시하는 것이 목적이다.

이를 위해 본 연구에서는 학교교실 냉난방시 환기시스템 운전 유무 및 환기시스템 설치용량에 따른 실내환경개선 정도를 실측실험 및 전산유체 시뮬레이션을 수행하였다.

† Corresponding author

Tel : +82-32-873-5277 ; Fax : +82-32-873-5277

E-mail address : jangys0718@empal.com

2. 냉난방시 학교교실의 실내공기질 측정

학교교실 냉난방시 개구부를 밀폐시킨 상태에서 천장형인버터 냉난방시스템 운전에 따른 실내 공기질을 대상학교 선정 후 실측실험을 수행하였다. 측정기간은 난방기간, 실내오염물질은 학교교실의 주된 오염원인 인체 호흡시 발생하는 이산화탄소(CO₂)로 제한하였다.

2.1 측정대상학교 개요

측정대상학교는 부산 서부지역 7개 학교와 대전지역 3개 학교로 주변 환경에 따라 본 연구에서는 교통혼잡지역, 주거지역 및 주변산간지역으로 분류하였고, 측정항목과의 관련여부를 평가하기 위해 재실인원 및 창문형태 등을 추가로 조사하였다. 측정대상 교실의 재실인원은 30명 이상, 바닥면적은 66m² 이며 창호형태는 외기측에 이중창(AL+PVC), 복도측에 단창(Wood)으로 구성되어 있다.

2.2 학교교실의 실내공기질 측정 결과

냉난방시 학교교실의 CO₂ 농도를 천장형인버터 냉난방시스템의 ON/OFF에 따라 측정하였고 그 결과는 Table 1과 같다.

Table 1 CO₂ concentration [Unit : ppm]

교통혼잡지역		괴정초	하단중	서대전고
난방기 ON	최대	3,536	3,293	4,070
	평균	3,378	2,754	3,526
난방기 OFF	최대	3,105	3,071	4,035
	평균	2,640	2,720	3,819
재실인원		39	39	37
주거지역		대평초	동신초	초장중
난방기 ON	최대	2,391	3,145	3,034
	평균	1,954	2,670	2,475
난방기 OFF	최대	2,232	2,856	3,306
	평균	1,936	2,249	2,769
재실인원		33	39	32
주변산간지역		태종대중	영도여고	유성여고
난방기 ON	최대	3,100	3,450	3,320
	평균	2,667	3,150	2,272
난방기 OFF	최대	3,115	3,241	3,620
	평균	2,870	2,947	2,733
재실인원		33	34	29

Table 1에 의하면 고학년 또는 재실인원이 많

은 경우, 난방시 실내온도가 높을수록 교실 내 CO₂ 농도가 높게 나타났고, 난방시 모든 측정교실의 CO₂ 농도는 기준치를 초과하고 있다.

측정대상 교실의 서로 상이한 CO₂ 농도는 재실인원 수의 영향이 지배적이기는 하나 대상교실마다 건물자체의 기밀성능을 나타내는 침기량 차이에 의한 영향이 다소 있을 것으로 판단된다.

3. 냉난방시 환기시스템 운전에 따른 실내 공기질 측정 및 분석

3.1 측정대상학교 개요

전열교환 환기시스템 설치 대상학교는 중등학교 교실로 재실인원, 창호종류 및 설치용량 등의 상세는 Table 2와 같다.

Table 2 Overview of a classroom

대상학교	재실인원 [명]	급배기구 [개]	창호종류	환기용량 [CMH]
해동중 (부산)	30 (남-19) (여-11)	급기구-4 배기구-4	이중창-외부측 목재창-복도측	350-1개 500-1개 총 850

3.2 천정매립형 환기시스템 설치

천장의 2개 보 사이의 350CMH와 500CMH 환기시스템에 급·배기구 2개씩, 총 8개의 급·배기구를 설치하고 덕트를 연결하였다. Fig. 1은 교실 천장내에 설치된 천정매립형 환기시스템의 설치단면도를 나타낸다.

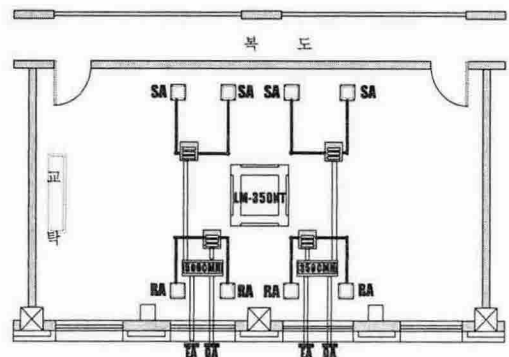


Fig. 1 Outline view of ventilation systems

3.3 환기시스템 운전시 측정결과(난방시)

난방장치 운전시 천정매립형 환기시스템

ON/OFF에 따른 교실 내 CO₂농도를 Table 3에 나타내었다. 환기시스템 미가동시 최대 CO₂농도는 2,283ppm인 것으로 나타났다.

급기풍량 350CMH의 천정매립형 환기시스템 운전시 수업시간의 평균 CO₂농도는 미가동시와 비교하여 230ppm, 급기풍량 500CMH인 천정매립형 환기시스템의 경우 460ppm, 급기풍량 850CMH인 천정매립형인 경우 650ppm정도 CO₂농도가 낮아지는 것으로 나타났다.

Table 3 CO₂ concentration [Unit : ppm]

환기 시스템 용량 [CMH]	외기 CO ₂ 농도 [ppm]	교실 내 CO ₂ 농도[ppm]			
		환기시스템 미가동시 평균값	환기시스템 가동시 평균값		
			최대값	수업시간 평균	총시간 평균
350	430	1,847	1,812	1,613	1,384
500	440	1,953	1,735	1,490	1,249
850	435	1,964	1,466	1,315	1,239

3.4 환기시스템 운전시 측정결과(냉방시)

냉방장치 가동시 천정매립형 환기시스템 ON/OFF에 따른 교실 내 CO₂농도를 Table 4에 나타내었다. 환기시스템 미가동시 최대 CO₂농도는 2,207ppm인 것으로 나타났다.

급기풍량 350CMH의 천정매립형 환기시스템 운전시 수업시간의 평균 CO₂농도는 미가동시와 비교하여 662ppm, 급기풍량 500CMH인 천정매립형 환기시스템의 경우 748ppm, 급기풍량 850CMH인 천정매립형인 경우 각각 526ppm 정도 CO₂농도가 낮아지는 것으로 나타났다.

Table 4 CO₂ concentration [Unit : ppm]

환기 시스템 용량 [CMH]	외기 CO ₂ 농도 [ppm]	교실 내 CO ₂ 농도[ppm]			
		환기시스템 미가동시 평균값	환기시스템 가동시 평균값		
			최대값	수업시간 평균	총시간 평균
350	370	2,150	1,813	1,488	1,081
500	368	2,055	1,491	1,307	965
850	376	1,714	1,489	1,188	1,179

3.5 환기시스템 운전시 실내환경 평가

교육부의 학교보건법 시행규칙에서 규정하고 "학교교사 안의 환경위생기준"을 보면 교실에서 필요한 1인당 환기량은 21.6CMH이며 교사를 포함한 31인 기준일 경우 최소 670CMH 정도의 환

기량이 필요하다. 또한 이산화탄소(CO₂)에 대한 환경위생기준은 1,000ppm이하로 규정하고 있다.

실측실험에서 필요환기량 기준을 만족하는 경우의 환기시스템 설치용량은 850CMH이며, 이 때의 수업시간 평균 CO₂농도는 1,100ppm 이상을 나타내고 있다. 환경위생기준인 CO₂농도 1,000ppm에 비해 100ppm 이상 높은 수치이나 환기시스템을 운전하지 않았을 때의 측정값이 기준치의 2배 정도인 것을 감안하면 환기시스템 운전으로 인해 실내환경 개선의 정도가 크다는 것을 알 수 있다.

4. 학교교실의 실내환경 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 개요

천정형인버터 냉난방시스템이 설치된 교실에 환기시스템 적용시 시스템 운전으로 인한 실내온도 및 기류 분포의 변화와 시스템이 이들 요소에 미치는 영향을 냉방기간과 난방기간으로 나누어 분석하였다. 이를 위해 본 연구에서는 대상 공간의 실내온도 및 기류분포를 해석하기 위해 유체의 흐름, 열전달, 화학반응 등의 계산이 가능하며, 신뢰성이 입증된 범용 유체해석 프로그램인 Flunet 6.0을 이용하였다. 대상교실의 실내온도 및 유동장해석에 앞서 전처리 프로그램(Pre-processor)인 Gambit 2.0을 사용하여 공간의 형태 및 해석에 적합한 격자를 생성하였다.

그리고 주프로그램(Solver)에서 경계조건 및 계산조건을 적용하여 실내온도 및 기류분포를 해석하였으며, 후처리 프로그램(Post-processor)인 Techplot 9.0을 사용하여 온도 및 유동장을 가시화하였다.

Table 5 Supply angle and case of simulation

구 분	취출각도	
	냉방기간	난방기간
환기시스템	30도	30도
천정형인버터 냉난방시스템	30, 45, 60도	30, 45, 60도

대상교실의 온도 및 기류분포 해석시 실외공기 유입과 실내공기를 배출하는 환기시스템 취출각도는 Table 5와 같이 설정하였고, 천정형인버터 냉난방시스템의 취출각도는 Table 5에서와 같이 30, 45, 60도 변화시켜 가면서 CASE별로 시뮬레

이션을 수행하였다.

4.2 지배방정식

천정형인버터 냉난방 및 환기시스템이 설치된 학교교실의 기류는 3차원 난류유동으로 지배방정식을 텐서 표기를 사용하여 표현하면 식(1)~식(5)와 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + S_u \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_i}{\sigma_i} \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_i}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + E - \rho \epsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_i}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + \frac{\epsilon}{k} (c_1 E - c_2 \rho \epsilon) \quad (5)$$

4.3 경계조건

천정형인버터 냉난방과 환기시스템의 급기구 및 배기구, 교실공간을 형성하는 각 벽체에서의 온도 및 속도경계조건은 Table 6 및 7과 같다.

Table 6 Boundary conditions(Temperature)

구분	냉방	난방
천정형인버터 취출온도	288K	313K
환기시스템 취출온도	300K	284K
벽체	남측	300.6K
	북측	300.6K
	기타	단열조건
외기온도	303.7K	268.7K
실내온도	299K	293K

Table 7 Boundary conditions(Velocity)

구분	풍량 및 유속	
천정형인버터 냉난방시스템	급기	1,320CMH(2.66m/s)
	배기	outflow
환기시스템	급기	350CMH(0.55m/s), 500CMH(0.77m/s)
	배기	outflow
벽면	no-slip condition	

4.4 계산조건

경계조건을 적용하여 대상교실을 계산하기 위해 Fluent 6.0 주 프로그램에서 사용되는 계산조건은 모델링, 경계조건, 이산화방법으로 구분하여

정리하면 Table 7과 같다.

Table 8 Calculation conditions

구분	계산조건	
모델	공간	3D
	시간	Steady-State
	Viscous	Turbulent, Standard k-ε
경계조건	급기	Velocity Inlet
	배기	Outflow
	벽표면	Constant and Adiabatic
이산화방법	Pressure	Standard
	Pressure-Velocity Coupling	SIMPLE
	Momentum	First OrderUpwind
	Energy	First OrderUpwind
	Turbulent Kinetic Energy	First OrderUpwind
	Turbulent Dissipation Rate	First OrderUpwind

4.4 해석결과

대상교실을 Fig. 2와 같이 폭 및 높이방향의 단면으로 나누고, 각 위치에서의 온도 및 기류분포를 나타내고 결과를 분석하였다.

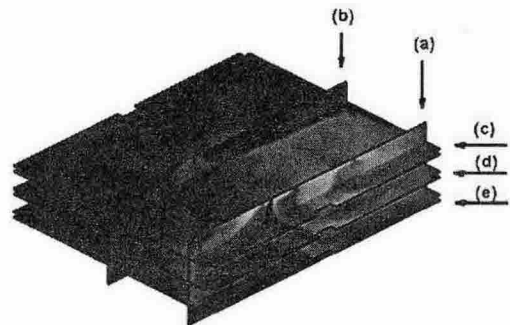


Fig. 2 Section of a analysis

4.1.1 냉방시 해석결과

환기시스템 급배기 디퓨저의 취출각은 30도로 고정하였고, 디퓨저를 통해 실외공기가 교실내부로 유입하게 된다. 천정형인버터 냉난방시스템의 취출공기 온도는 15℃, 취출각도는 30, 45, 60도 방향으로 교실을 냉방시키게 된다. 냉방시 천정매립형 환기시스템 운전시 교실에서의 온도 및 기류분포를 Fig. 3에 나타내었다.

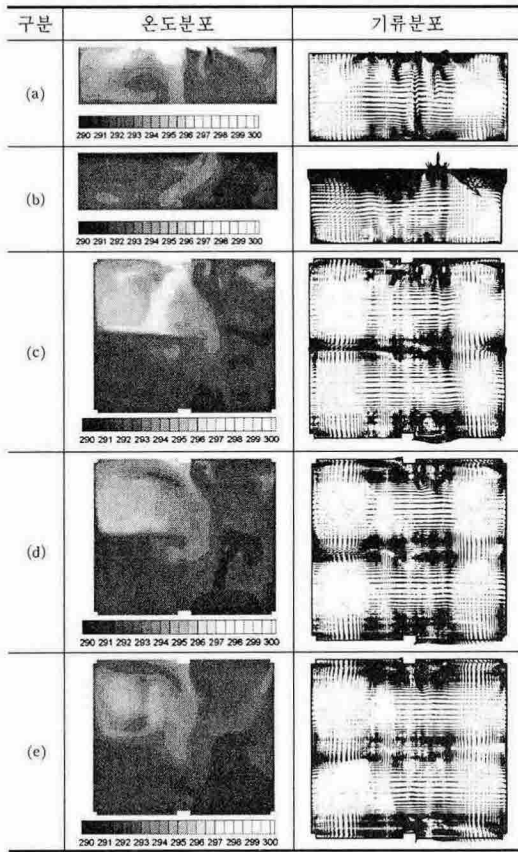


Fig. 3 Distribution of temperature and velocity(Cooling)

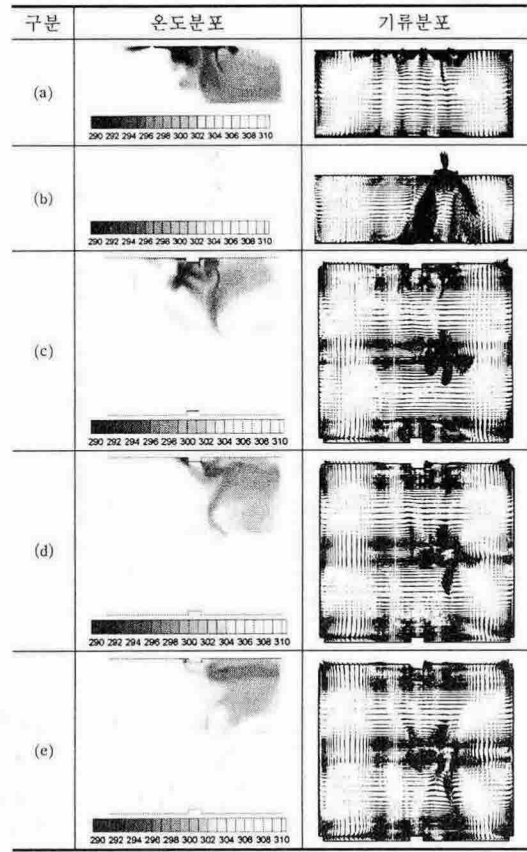


Fig. 4 Distribution of temperature and velocity(Heating)

4.1.2 난방시 해석결과

환기시스템 급배기 디퓨저의 취출각은 30도로 고정하였고, 디퓨저를 통해 실외공기가 교실내부로 유입하게 된다. 천장형인버터 냉난방시스템의 취출공기 온도는 40℃, 취출각도는 60도 방향으로 교실을 난방시키게 된다. 난방시 천장매립형 환기시스템 운전시 교실에서의 온도 및 기류분포를 Fig. 4 에 나타내었다.

4.1.3 냉난방시 교실 내 유동흐름

교실전체에서의 온도 및 유동흐름을 알아보기 위해 교실평면을 4등분 한 후 분석하였다. 이는 천장형인버터 냉난방시스템이 4Way 방식인 것으로 고려하여 설정하였다. Fig. 5는 냉방시 Path Line을 나타낸 것으로 냉방기에서의 공기 흐름을 교실 전체에서 어떠한 경향으로 분포를 나타내는 지 알아보았다.

모든 경우에서 환기시스템 급기구의 취출각도는 30도로 고정이 되어 있고 천정형인버터 냉난방시스템의 각에 변화를 준 것이다.

취출각도가 30도 인 경우 냉방기에서 나오는 찬공기가 천정 벽을 타고 교실 벽면까지 이동하다가 교실 바닥으로 흐르는 유동을 보이고 있으나 ①, ③번 쪽에 위치한 디퓨저의 유동 간섭으로 ③쪽에서 찬 공기가 밀집되고 ④번 쪽으로는 냉방효과가 미치지 않는 것으로 예측이 되었다. 취출각도 45도의 경우 냉방기에서 나오는 찬공기가 교실 사방 벽면으로 흘러 교실 구석쪽으로 모이며 다시 중앙으로 흐르는 전체적으로 고른 유동을 보이고 있다. 취출각도 60도인 경우 45도일 때와 비슷한 유동을 보이지만 다만 각이 크게 되어 냉방 시스템 밑에 위치한 학생들에게는 직접적인 유동의 영향을 받기 때문에 불쾌감을 줄 수 있을 것으로 보인다.

유동 측면에서는 냉방기와 난방기가 비슷한 경향을 보였고 냉방 시스템의 유동에서도 취출각이 45도로 위치하였을 경우 냉방 효과가 좋고 학생들에게 불쾌감을 적게 줄 것으로 판단된다. 유속의 변화에 따른 해석을 수행 하지 못하였지만 유속의 변화에도 위와 같은 경향을 보일 것으로 예측이 되고 이 부분에 있어서는 좀 더 많은 경우의 해석이 요할 것으로 판단된다.

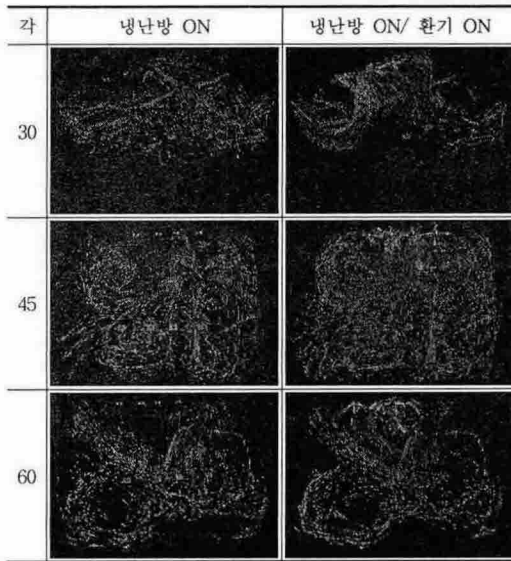


Fig. 5 Path line of a air flow(Cooling)

5. 결론

본 연구에서는 천정형인버터 냉난방시스템이 설치된 학교 교실에서 천정매립형 환기시스템을 적용하여 현장 실험 및 시뮬레이션을 통해 교실의 실내환경을 평가하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 급기풍량이 350CMH, 500CMH, 850CMH인 환기시스템 운전시 수업시간 동안 교실 내 CO₂ 농도는 각각 662ppm, 748ppm, 526ppm 정도 감소하는 것으로 나타났다.

(2) 천정형인버터 냉난방시스템에서의 취출각도 증가는 유동이 교실 바닥쪽으로 직접 부딪히기 때문에 시스템 밑에 있는 재실자에게는 불쾌감을 줄 수 있는 것으로 평가되었다.

(3) 천정매립형 환기시스템 운전시 천정형인버터 냉난방시스템의 취출각도가 45도 일 때 교실

전체에 균일한 유동분포를 나타냈으며, 취출각도가 45도 보다 작은 30도인 경우는 환기시스템 및 천정형인버터 냉난방시스템에서 취출된 공기가 도달되지 않아 국부적으로 공기가 정체되는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 환기시스템 용량 결정에 영향을 미치는 침기량 등을 고려하지 못하였으며, 천정형인버터 냉난방시스템과 환기시스템의 연동제어와 회전수 제어를 이용한 풍량 가변형 환기시스템에 대한 실험은 수행되지 않았다. 향후 학교교실의 실내환경 개선 및 에너지절약적인 최적 환기시스템 개발을 위해서는 침기량 실측실험 및 제어운전 등의 연구가 추가로 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Shin. H. S et al, 2004, Indoor Air Quality Impact of Ventilation with the Existence of Occupants in Schools, Proceedings of the SAREK 2004 Summer Annual Conference, pp. 713-716.
2. Han. C. W et al, 2005, Evaluation of Thermal Comfort and Ventilation Performance in the Lecture Room with Ventilation System and Two Different Air-conditioning System, Proceedings of the SAREK 2005 Summer Annual Conference, pp. 771-775.