

군 내무실의 실내공기질 개선을 위한 환기량 산정에 관한 연구

최 정 민[†], 유 진 상, 정 영 일^{*}
창원대학교 건축학부, ^{*}창원대학교 산업정보대학원

A Study on the Calculation of Ventilation Rate for the Improvement of Indoor Air Quality on the Barracks

Jeong-Min Choi[†], Jin-Sang Yu, Young-Il Jeong^{*}

School of Architecture, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

^{*}Industrial Information School, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

(Received August 4, 2005; revision received September 14, 2005)

ABSTRACT: The purpose of this study is to improve indoor air quality of the barracks which have been changed from floor-type living barracks to bed-type living barracks since 2003. Therefore, the ventilation rates of newly constructed two type barracks were simulated with the various building materials including VOCs and HCHO components. And indoor air quality of two type living barracks was measured by the field experiments. With these steps, the measures for upgrading indoor air quality depending on building material types and ventilation rate are suggested.

Key words: Indoor air quality(실내공기질), Ventilation(환기), Floor-type living barracks(침상형 내무실), Bed-type living barracks(침대형 내무실), VOCs(휘발성유기화합물), HCHO(포름알데히드)

기 호 설 명

- C : 실내농도 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- E : 재료의 단위면적당 방출속도 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]
- K : 오염물질 발생량 [m^3/h], [mL/h], [mg/h]
- L : 오염물질 부하율(= S/V) [m^2/m^3]
- N : 환기회수 [회/h]
- Q : 환기량 [m^3/h]
- S : 재료의 표면적 [m^2]

1. 서 론

군 내무실은 타시설과 달리 다수 장병이 거주 목적과 휴식공간 등 다양한 용도로 많은 시간을 지내는 공간으로 병영시설 중 어느 시설보다도 실내공기환경이 우선적으로 고려되어야 한다. 이에 국방부에서는 2003년부터는 신세대 장병 취향을 고려하여 분·소대단위 침상형 내무실에서 분대단위 침대형 내무실로 변경하여 시공하고 있으며, 동시에 구형·노후 통합 막사도 민간자본 유치(BTL) 사업으로 2009년까지 점차 새롭게 리모델링하여 장병들에게 쾌적한 병영환경을 조성할 계획을 적극 추진 중에 있다.

그러나 군 내무실의 경우 2005년 5월 30일부터 시행된 '다중이용시설 등의 실내공기질 관리법'의

[†] Corresponding author
Tel.: +82-55-279-7612; fax: +82-55-285-1120
E-mail address: jmchoi@changwon.ac.kr

관리대상에 포함되어 있지 않고 있고 이에 대한 실태조사도 극히 미비한 상황이다.

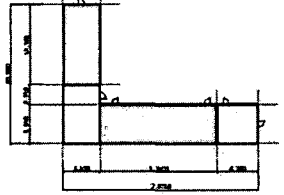
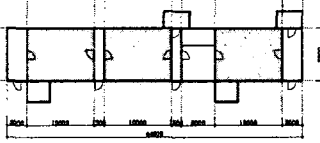
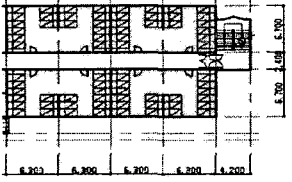
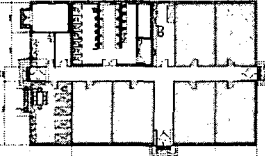
이에 본 연구에서는 군 내무실에 대한 실내공기오염 정도(VOCs, HCHO, CO, CO₂, PM10)를 측정, 분석하여 공기질 실태와 관련한 문제점을 파악하고 군 내무실의 실내공기질 개선을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 예비적 고찰

2.1 내무실 개요

군 내무실은 창군 이후 현재에 이르기까지 사회변화에 따라 다양한 형태 및 평면, 건축재료 등의 변천을 거듭해 왔다. 각 시대별 우리나라 군 내무실의 형태 및 평면상의 변천과정은 Table 1과 같다.

Table 1 Living barracks according to time period

Year	Plan	Persons
1950~1980		40
1980's		28
1990's		18
After 2003		9

2.2 연구의 방법 및 범위

최근에 문제시되고 있는 VOCs와 HCHO의 오염물질 발생량이 군 내무실에서 문제가 될 수 있는 정도의 양인지를 살펴보기 위해 신축된 내무실 건축 마감재 및 가구의 종류와 사용량, 즉 자재종류에 의한 오염물질 방출 정도와 사용면적에 따른 오염물질 발생 정도를 산정하고, 이러한 VOCs 및 HCHO의 오염물질 농도를 일정치 이하로 유지하기 위한 적정환기량을 시뮬레이션을 실시한다. 또한, 군 내무실 신축 이후 장병들이 실제 거주하는 상황 하에서의 오염물질 측정을 통한 환기량 평가도 실시한다.

군 내무실은 군 표준설계 도면을 적용한 분대 또는 소대 규모로 계획하는 경우가 일반적이므로 시뮬레이션 및 측정을 위한 평가대상 내무실은 구형 침상형 내무실(소대급 18인실로 2003년 12월 신축, 이하 Model 1)과 전군에 현재 신축중인 침대형 내무실(분대급 9인실로 2004년 12월 신

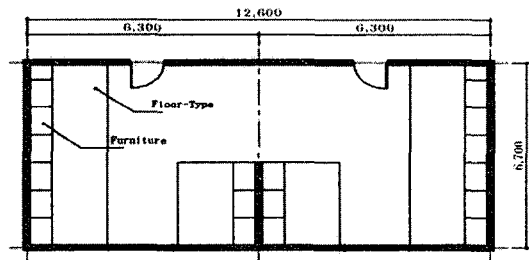


Fig. 1 Living barracks of floor-type for 18 persons (Model 1).

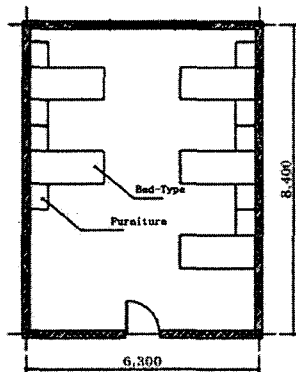


Fig. 2 Living barracks of bed-type for 9 persons (Model 2).

Table 2 Simulation model

Type	Floor area (m ²)	Volume (m ³)	Emission surface area (m ²)	Remarks
Model 1	84.6	217	163.2 (surface only) 408.1 (including furniture)	For 18 person
Model 2	52.9	158	81.9 (surface only) 185.4 (including furniture)	For 9 person

측, 이하 Model 2)을 대상으로 하며, 측정시에는 Model 1, 2실을 각각 2개소씩 선정하였다.

대상 내무실 제원은 Fig. 1, Fig. 2, Table 2와 같으며, 마감재료는 Model 1, 2 모두 내부 벽체 마감의 경우 수성페인트 도색을, 바닥은 인조석 현장물갈기 테라조를 사용하였으며, 침상형 내무실의 침상재 재료는 비닐장판을 사용하고 있다.

내무실의 실내 마감 건축재료에 대해서는 공기청정협회 HB마크 인증등급 기준을 적용하여 건축자재 사용면적에 따른 적정환기량을 산정하되 등급기준이 마련되어 있지 않은 가구, 비품 등은 건축자재의 HB마크 인증등급 기준을 동일하게 적용하여 평가하는 것으로 한다. 내무실내 가구, 비품으로는 개인관물함, 총기보관함, 공용물품 보관함, 공용테이블, 의자, TV/오디오 장식대, 음료대 등이 있으며, 이 중 Model 1에서는 오염물질의 다량 방출 가능성이 높은 침상과 개인관물함, Model 2에서는 개인관물함만을 대상으로 환기량을 산정한다.

측정과 관련해서는 2005년 4월 26일 1차와 2005년 4월 28일 2차로 구분하여, 1차 측정에서는 온도, 습도, 기류속도와 VOCs, HCHO, CO, CO₂의 오염물질을, 2차 측정에서는 CO, CO₂, PM10을

측정하였다. Table 3은 측정기자재 중 VOCs 및 HCHO 측정장비를 나타낸 것으로, 국내 실내공기질 공정시험방법에 명시된 바와 같이 VOCs의 경우 고체흡착에 의한 열탈착법을 적용하여 Tenax-TA를, HCHO의 경우 2,4-DNPH 카트리지를 이용한 DNPH 유도체화 방법을 사용하였다.

2.3 환기량 산정

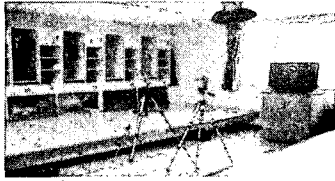
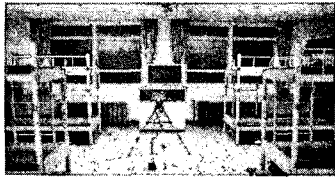
군 내무실의 실내공기환경 개선을 위해서는 이미 발생된 오염원을 배출할 수 있는 환기계획이 이루어져야 한다. 이때 환기량은 대상 오염물질의 발생량과 실내공기질 기준에 따라 식(1)에 의해 산정할 수 있다.

$$Q = \frac{K}{C} \tag{1}$$

오염원 중 VOCs와 HCHO에 대해 단위면적당 방출속도 E와 재료 표면적 S로 오염물질발생량 K를 대체하면 식(1)은 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{E \cdot S}{C} \tag{2}$$

Table 3 Measuring VOCs and HCHO

GC/MSD/TDS	<ul style="list-style-type: none"> • VOCs (TVOC) • ATD-400 • GC/MSD • BP-1 and PLTO 	
HPLC	<ul style="list-style-type: none"> • Formaldehyde • Vacuum elution rack • HPLC-grade acetonitrile • HPLC-360nm • Symmetry TM C18 	

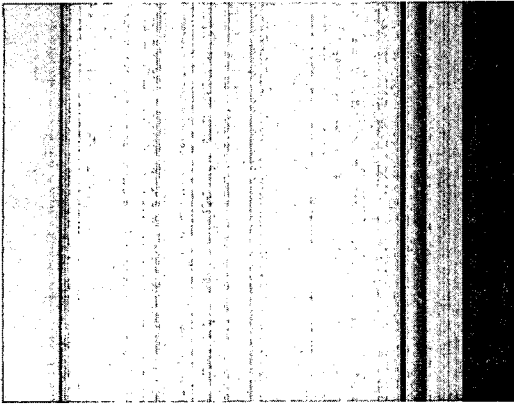


Fig. 3 Simulation result of IAQX.

여기서, 환기량 Q 는 실제적 V 와 환기회수 N 과의 곱으로 Q 대신 V 와 N 을 대입하여 식(2)를 S/V 의 형태로 정리하면 다음 식(3)과 같이 표현되며 이때의 S/V 가 오염물질 부하율 L 이 된다.

$$\frac{S}{V} = \frac{C \cdot N}{E} = L \quad (3)$$

본 연구에서는 이상의 식들을 적용한 군 내무실에서의 각종 오염물질에 대한 환기량 산정을 위해 Environmental Protection Agency의 National Risk Management Research Lab.에서 개발한 IAQX 프로그램을 이용하여 3.1의 신축 내무실의 자재선정에 따른 환기량 시뮬레이션 평가를 실시하였다.

3. 내무실 신축 및 운영시의 환기량 분석

3.1 신축 내무실의 자재 선정에 따른 환기량 시뮬레이션 평가

우리나라의 경우 2004년도 5월 30일부터 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법에 의해 지하역사, 도서관, 의료기관 등 다중이용시설의 종류 및 주요 오염물질 항목에 따라 실내공기질 기준을 유지기준과 권고기준으로 이원화하여 관리하고 있으나, 현재까지 군 내무실에 대한 기준이 없는 상태이므로 군 내무실에 거주개념을 적용하여 VOCs $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$, HCHO $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 기준으로 검토하며, 후술하는 내무실 운영시의 오염물질 측정결과 분석에서도 CO, CO₂, PM10을 유지기준인 10

ppm, 1,000 ppm, $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 기준으로 분석한다.

신축시 침상형 내무실과 침대형 내무실에 대해 공기청정협회에서 제시하고 있는 HB마크 인증등급 분류기준의 자재를 바닥 및 벽체, 천장에 적용하고 이와 동일한 개념으로 가구재를 추가로 설치하였을 경우의 VOCs와 HCHO 방출량을 분석한 것이 Table 4이다. Model 1의 경우, VOCs 오염물질을 기준치 이하로 조절하기 위해서는 HB마크 최우수등급은 시간당 0.2회 이내의 환기회수가 필요하고, 우수등급은 0.2~0.4회, 양호등급은 0.4~0.7회, 일반 I 등급 및 일반 II 등급은 각각 0.8~3.8회, 3.8~7.5회의 환기회수가 필요한 것으로 나타났으며, HCHO 오염물질에 대해서는 최우수등급의 건축재료는 시간당 0.2회 이내의 환기회수가 필요하고, 우수등급 0.2~0.3회, 양호등급은 0.3~0.7회, 일반 I 등급 및 일반 II 등급은 각각 0.8~3.8회, 3.8~7.8회의 환기회수가 필요하다. Model 2의 경우, VOCs 오염물질을 기준치 이하로 조절하기 위해서는 HB마크 최우수등급은 시간당 0.1

Table 4 Simulation result of ventilation rate

Classification		Model 1 (times/h)		Model 2 (times/h)		
Mark	Emission rate (mg/m ² h)	A*	B*	A*	B*	
♣♣♣	VOCs	99	0.2	0.5	0.1	0.3
	HCHO	29	0.2	0.5	0.1	0.3
♣♣	VOCs	100	0.2	0.5	0.1	0.3
	HCHO	199	0.4	0.9	0.3	0.6
♣	VOCs	30	0.2	0.5	0.1	0.3
	HCHO	49	0.3	0.8	0.2	0.5
♣♣♣	VOCs	200	0.4	0.9	0.3	0.6
	HCHO	399	0.7	1.9	0.5	1.2
♣♣	VOCs	50	0.3	0.8	0.2	0.5
	HCHO	119	0.7	1.9	0.5	1.2
♣♣	VOCs	400	0.8	1.9	0.5	1.2
	HCHO	1999	3.8	9.4	2.6	5.9
♣	VOCs	120	0.8	1.9	0.5	1.2
	HCHO	599	3.8	9.4	2.6	5.9
♣	VOCs	2000	3.8	9.4	2.6	5.9
	HCHO	3999	7.5	18.8	5.2	11.7
♣	VOCs	600	3.8	9.4	2.6	5.9
	HCHO	1249	7.8	19.6	5.4	12.2

*A : Area for interior surface (m²)

B : Area for interior surface and furniture (m²)

회 이내의 환기회수가 필요하고, 우수등급은 0.1~0.3회, 양호등급은 0.3~0.5회, 일반 I 등급 및 일반 II 등급은 각각 0.5~2.6회, 2.6~5.2회의 환기회수가 필요한 것으로 나타났으며, HCHO 오염물질에 대해서는 최우수등급 재료의 경우 시간당 0.1회 이내의 환기회수가 필요하고, 우수등급 0.1~0.2회, 양호등급은 0.2~0.5회, 일반 I 등급 및 일반 II 등급은 각각 0.5~2.6회, 2.6~5.4회의 환기회수가 필요하다. 보편적인 실내공간의 자연환기회수값을 시간당 0.5회로 가정할 경우⁽¹⁾ Model 1에서는 최우수등급과 우수등급에 속하는 건축자재를 사용해야만 자연환기방식에 의해 VOCs와 HCHO 오염물질을 배출할 수 있으며, 그 이상의 자재방출강도를 나타내는 건축재료인 경우에는 0.5회를 초과하게 되므로 기계적인 환기방식의 검토가 요구된다. Model 2에서는 오염물질 방출면적 대비 체적비율, 즉 오염물질 부하율값이 0.52 m²/m³로 Model 1의 0.75 m²/m³보다 낮아, Model 1과 달리 양호등급 이상에 속하는 건축자재를 사용하게 되면 자연환기 방식으로 VOCs와 HCHO 오염물질의 처리가 가능한 것으로 나타났다. 비품과 가구재를 추가할 경우에는 오염물질 부하율값이 Model 1은 1.88 m²/m³, Model 2는 1.17 m²/m³로 나타나, Model 1, Model 2 모두 최우수등급에 속하는 건축자재만을 사용해야 자연환기방식에 의한 VOCs와 HCHO의 오염물질처리가 가능하다.

3.2 내무실 운영시의 오염물질 측정결과

Table 5는 Model 1, Model 2의 각각 2개소 내무실에서 측정된 VOCs와 HCHO의 오염물질농도로, 최근 2004년 12월에 신축된 침대형 내무실의 경우 VOCs는 817~830 µg/m³을 나타내어 의료기관, 보육시설 등의 실내 권고 기준인 400 µg/m³를 2배 이상 초과하고 있으나, 이보다 1년 전인

2003년 12월에 신축된 침상형 내무실의 경우에는 253~273 µg/m³를 보여 VOCs 권고 기준치를 초과하지 않고 있다.

VOCs를 성분별로 살펴보면 Benzene, Toluene, 1,4-Dichloro-benzene은 외부공기와 별 차이가 없었으나 Ethylbenzene, m,p-Xylene, Styrene의 결과치는 외부공기보다 훨씬 초과하고 있는 것으로 나타났다. HCHO의 경우 2004년 12월에 신축된 침대형 내무실의 농도가 178~182 µg/m³, 2003년 2월에 건축한 침상형 내무실이 82~86 µg/m³의 측정치를 보여 건물신축 이후 1년이 경과되지 않은 침대형 내무실에서도 기준치 이상의 HCHO가 방출되는 것을 알 수 있었다.

이와 같이 내무실에서 측정된 결과를 근거로 오염물질 제거를 위한 요구환기량값을 산정해 보면, VOCs의 경우 Model 1은 0.6~0.7회, Model 2는 2.0~2.1회, HCHO의 경우 Model 1은 0.7회, Model 2는 1.5회로 나타났다. 따라서 내무실이 신축된 직후만이 아니라 거주단계에서도 건축재료나 내무생활에 의한 오염물질이 지속적으로 발생하고 있으므로 이를 제거하기 위한 강제환기방식을 검토할 필요가 있는 것으로 사료된다.

VOCs 및 HCHO 이외의 CO, CO₂, PM10의 오염물질을 살펴보면 Table 6에서와 같이 CO의 경우 0.7~1.5 ppm 수준으로 기준치 10 ppm보다 적어 실내오염농도는 양호한 것으로 나타났다. 그러나 이산화탄소의 경우에는 내무실 인원이 일과 이후 80% 이상 거주하는 19시 이후부터 자정까지 1,000 ppm의 기준치를 계속 초과한 1,010~1,015 ppm을 나타내고 있어 이산화탄소 위험에 노출되어 있음을 알 수 있다. 또한 PM10의 경우도 기준치를 100 µg/m³으로 보았을 때, 115~750 µg/m³까지 측정되어 많은 미세먼지에 노출되어 있음을 알 수 있으며, 특히 침구류를 사용하는 취침시간인 22시경에서 그 값이 기준치를 훨씬

Table 5 Result of VOCs, HCHO measurement

Type (µg/m ³)		Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m,p-Xylene	1,4-Dichloro-benzene	Styrene	TVOC	HCHO
Model 1	1	0.945	12.368	22.661	43.461	0.098	4.477	273	81.9
	2	1.060	11.378	29.011	53.292	0.094	2.819	253	85.5
Model 2	1	0.959	11.588	18.250	36.501	0.095	10.02	817	178.4
	2	0.838	12.661	18.740	37.092	0.094	9.925	830	182.2
Outdoors		0.765	11.657	0.828	1.019	0.090	0.527	84	-

Table 6 Result of CO, CO₂, PM10 measurement

Type		No 1 14:00~14:30	No 2 15:30~16:00	No 3 16:30~17:00	No 4 19:30~20:00	No 5 22:00~22:30	No 6 23:30~24:00
CO (ppm)	Model 1	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	1.5
	Model 2	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7
CO ₂ (ppm)	Model 1	414	470	900	1010	1015	1010
	Model 2	589	450	620	630	750	740
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Model 1	115	110	245	330	750	710
	Model 2	120	120	205	295	610	520

상회하고 있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 군 내무실의 실내공기질 개선을 위한 기초자료를 제시하고자 건축 마감자재 선정과 오염물질 방출량에 따른 환기회수를 산정하고 내무실의 실내공기오염 정도(VOCs, HCHO, CO, CO₂, PM10)를 측정, 분석하였으며, 이에 대한 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 평가대상 내무실인 침상형 내무실 Model 1과 침대형 내무실 Model 2에 대해 공기청정협회에서 제시하고 있는 HB마크 인증등급 분류기준의 자재를 바닥 및 벽체, 천장에 적용하고 이와 함께 가구재도 추가로 고려한 경우의 VOCs와 HCHO 방출량을 시뮬레이션 분석한 결과, 오염물질 부하율값이 Model 1은 $1.88 \text{ m}^2/\text{m}^3$, Model 2는 $1.17 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 로 나타났다. 보편적인 실내공간의 자연 환기회수값을 0.5회로 가정할 경우 Model 1, Model 2 모두 최우수등급에 속하는 건축자재만을 사용해야 자연환기방식에 의한 VOCs와 HCHO의 오염물질처리가 가능하며, 이외의 등급에 속하는 건축자재나 가구재를 사용할 경우 오염물질 배출 정도에 따른 강제 환기설비의 검토가 필요한 것으로 나타났다. 2003년의 국방시설기준에 의하면 자연환기나 3종환기인 벽부형 환풍기를 설치하게 되어 있으나, 현재 자연환기에만 의존한 내무실이 다수 건립되어 있으므로 이에 대한 추가적 대책이 수립되어야 할 것으로 사료된다.

(2) 침상형 내무실 Model 1과 침대형 내무실 Model 2에 대한 현장 실측에서는 VOCs의 경우 2003년 12월 신축된 Model 1보다 2004년 12월 신축된 Model 2에서 발생량이 약 3배 이상 초과하고 있었고, 기준치를 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가정할 경

우 약 2배 이상 초과, 장시간 노출시 장병 건강에 지장을 초래하며, 특히 Ethylbenzene, m,p-Xylene, Styrene 성분은 VOCs 성분 중 많은 양을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

HCHO의 경우에도 Model 1보다 Model 2에서 약 2배 이상의 값을 보이며, 기준치를 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가정할 경우 이를 상회하고 있으므로 이를 저감하기 위한 환기회수의 증가가 필요한 것으로 사료된다.

(3) Model 1과 Model 2 모두, CO, CO₂, PM10의 오염농도는 양호한 것으로 나타났으나, 내무실 인원이 상당수 거주하는 일과시간 이후부터 취침시간 전까지의 시간대에서 CO₂, PM10의 값이 기준치를 초과하는 경우가 있으므로 이에 대한 대책도 요구된다.

후 기

본 연구는 교육인적자원부의 NURI 사업 '지능형 홈 건축인력 양성사업'에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

- Kim, S.-D., 2005, The Method of Certificate in Eco-Friend Materials, AIK, pp.1-16.
- Kim, S.-H., No, S.-T. and Kim, K. S., 2005, A study on natural airflow efficiency and indoor airflow characteristics with different types of openings in high-rise residential buildings, 2005 SAREK Summer Annual Conference, pp.63-69.
- Kim, C.-N., Kim, D.-S., Kim, T.-Y., Lee, Y.-G. and Leigh, S. B., 2005, An estimation of VOCs concentration in the apartment

- housing with sensible & latent heat recovery ventilator, 2005 SAREK Summer Annual Conference, pp. 70-75.
4. Hong, G.-P., Kim, D.-W., Joo, H.-S., Kim, K.-H., Kim, T.-Y. and Kim, B. S., 2005, Prediction of hospital indoor air quality based on building material grades using CFD method, 2005 SAREK Summer Annual Conference, pp. 91-96.
 5. Kang, D.-H., Kim, J.-H., Choi, D.-H., Kim, S.-S., Y대, M.-S. and Kim, K. W., 2005, A numerical analysis of VOCs emission affected by temperature variation in floor heating space, 2005 SAREK Summer Annual Conference, pp. 109-114.
 6. Kang, H.-J., Yu, H.-K., Park, J.-C. and Rhee, E. K., 2005, An experimental study on the effect of IAQ improvement strategies for new apartment houses, 2005 SAREK Summer Annual Conference, pp. 795-800.
 7. Chun, C.-Y., Kim, S.-W., Sim, J.-B. and Jo, W. J., 2005, A improvement of indoor air quality for apartment housing, 2005 SAREK Summer Annual Conference, pp. 1001-1005.
 8. Yu, H.-K., Park, J.-C. and Rhee, E. K., 2005, A study on a proper reduction process of indoor air pollutants in newly constructed multi-family houses, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 5, pp. 468-476.
 9. Pang, S.-K., Sohn, J.-Y. and Ahn, B. W., 2005, Prediction of the concentration decay of volatile organic compounds under different air change rates and loading factor conditions, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 6, pp. 505-513.
 10. Yee, J.-J., Lee, J.-H. and Lee, S. M., 2005, IAQ field survey in an apartment housing equipped for heat recovery ventilation system with air cleaning function, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 7, pp. 688-693.
 11. Ministry of National Defense, 2003, Standard of Defense Facilities.
 12. Ministry of Land, Infrastructure and Transport in Japan, 2003, A Manual for the Prevention of the Sick Building according to the Revised Standard Law of Architecture, Engineering.