

시스템 에어컨 설치 공간의 실내공기질 특성에 관한 연구

이상원, 김종민, 염승원, 조대근, 최재봉[†], 김석우*

성균관대학교 기계공학과, *삼성전자 DA총괄

A Study on Characteristics of Indoor-Air-Quality in Interior Space Equipped with System Air-Conditioner

Sang Won Lee, Jong-Min Kim, Seung-Won Yeum, Dae-Gun Cho,
Jae-Boong Choi[†], Seok-Woo Kim*

School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

*Samsung Electronics Co. LTD., Suwon, 442-742, Korea

(Received November 23, 2007; revision received March 5, 2008)

ABSTRACT: This paper investigates the indoor-air-quality (IAQ) characteristics of the interior space equipped with system air-conditioner. The behaviors of individual variables such as temperature, humidity and concentration of carbon dioxide (CO_2) that influence on IAQ of the interior space were characterized under various cooling conditions by numerical and experimental studies. The numerical analysis predicting the temperature behavior of the interior space was conducted, and its results showed a good agreement with the experimental ones. The CO_2 concentration and humidity were measured and their time dependent behaviors were monitored and analyzed. From the results, it was found that there existed the differences of the time-dependent behaviors of IAQ variables according to the locations. In addition, it is demonstrated that the large discharge angle of 45° made the temperature profile more irregular and the high discharge flow of 5.34 m/s produced similar temperature profiles at three different sensing locations. Finally, the humidity of interior space was less sensitive to the changes of the air cooling conditions than the case of temperature and the CO_2 concentration increase mainly depended on the number of individuals inside the space.

Key words: Indoor-Air-Quality(실내 공기질), System air-conditioner(시스템 에어컨), Discharge angle(토출 각도), Discharge velocity(토출 속도), Computational fluid dynamics(전산 유체 역학, CFD)

기호설명

p	: 밀도, [kg/m^3]
T	: 온도 [$^\circ\text{C}$]
μ	: 점성계수 [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]
μ_t	: 난류점성계수 [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]
α	: 표준 $k-\varepsilon$ 모델의 재료상수 식(1)

S_T : 평균변형률텐서계수 식(1)

1. 서 론

인간은 외부의 물리적 자극에 의한 감각, 지각과 인간의 내부에서 발생하는 고도의 심리적인 체험으로쾌적감, 불쾌감 등 복합적인 감정을 느끼게 된다. 현대의 공조시스템에도 건축설비에 의해 만 들어진 인공적인 공간과 환경에서 생활하는 인간의쾌적함을 증가시키기 위한 노력이 이루어지고

* Corresponding author

Tel.: +82-31-290-7458; fax: +82-31-290-5276

E-mail address: boong33@skku.edu

있다. Lee et al.⁽¹⁾은 ASHRAE에서 제안한 유효드래프트온도(Effective draft temperature, EDT)를 이용하여, 4-Way 천장형 카세트 에어컨의 토출량 변화에 따른 실내 열분포를 분석하여 열쾌적성을 평가하였고, Kim et al.⁽²⁾ 등은 평균복사온도가 온열쾌적지표에 미치는 영향에 대해 평가하였다. 또한, Ahn et al.⁽³⁾ 등은 건물 내부의 공기질에 영향을 미치는 이산화탄소의 농도에 따른 환기성능 평가를 수행하였다. 열쾌적성 및 공기질 관점에서의 연구는 Noh et al.⁽⁴⁾ 등이 시스템 에어컨의 토출풍량과 토출각도를 변화시키면서 열쾌적성을 평가하였으며 열교환방식의 환기 시스템을 고려하여 실내의 이산화탄소 농도를 평가하였다.

그러나 이러한 열쾌적성과 쾌적지표에 대한 연구들은 많이 수행되었으나, 공조시스템에 연구결과들이 반영되어 실내환경을 제어할 수 있는 활용측면에 대한 연구는 아직 미미한 설정이다. 또한 기존의 작용온도, 신유효온도, 신표준유효온도 그리고 PMV 등은 착의량, 활동량, 기류, 복사열 등 여러 인자들을 고려해야만 한다. 그리고 최근에 무선센서 기술의 향상과 더불어 Honeywell, Trane 등 외국 선진 업체들은 무선센서를 이용한 제어시스템에 대한 연구개발을 수행하고 있으며 생활 건물의 대형화, 고급화 추세 속에서 에너지 효율의 향상, 소비전력의 저감 및 쾌적성 향상을 꾀하고 있다. 현재 Zigbee 통신을 하는 무선센서 1개 노드에 탑재할 수 있는 최대 센서의 개수는 5개 정도이다. 이는 1개의 노드에 중앙처리장치, 통신장치, 전전지, 센서 등의 여러 모듈을 가지고 있기 때문이며 센서노드의 소형화에 따른 것이다. 무선센서노드의 접적화에 따라 노드 하나에 보통 3개의 센서가 탑재되는데 기존의 열쾌적성 평가 시 중요한 인자인 온도, 습도 등이 기본 센서로 선택되고 있으며 최근의 오염물질에 대한 관심이 증대되면서 이산화탄소 농도가 주요한 환경인자로 관심받고 있다.

따라서 본 연구는 차세대 혼합공조시스템을 개발하기 위한 사전 연구로 시스템 에어컨 내부센서에 의해 제어되는 현 시스템을 개선하여 실내공간에 무선센서를 부착할 수 있는 벽면의 상단부, 중간부, 하단부의 위치에서 온도 및 습도 등의 기본적인 환경인자를 고려하고, 추가적으로 이산화탄소 변화를 측정하고자 한다. 이를 기반으로 실내공기질을 평가하여 시스템 에어컨 제어알고리즘에 반영하고자 한다. 현재 건물 및 사무실의 시스템에

어컨 시스템의 주류는 '개별분산공조방식'으로 천장에 노출하는 '천장형 카세트 에어컨'의 비중이 크다. 따라서, 본 연구에서는 이를 이용하여 실제와 비슷한 환경을 갖춘 실험실 내의 온도, 습도, 이산화탄소 등 실내공기질을 구성하는 변수의 거동을 실험적으로 분석하고, 전산유체해석 방법을 이용한 수치적 해석을 통해 실내공간의 온도 거동을 예측하였다. 실험적 연구에 있어서 토출각과 토출유속의 변화에 따른 실내공간의 온도 변화를 분석하였고, 시스템 에어컨 가동에 따른 습도 변화, 그리고 환기시스템이 가동된 상태에서 실내공간의 재설자 수에 따른 이산화탄소 농도변화를 분석하였다. 상기한 시스템 에어컨 설치 실내공간의 실내공기질을 구성하는 변수의 개별적 특성을 수치적, 실험적 연구를 통해 분석함으로써 향후 무선센서를 이용한 시스템 에어컨 제어 성능 평가 및 알고리즘 도출에 이용한다.

2. 실내공기질 특성

2.1 실내공기질 영향 인자

쾌적성에 영향을 미치는 대표적인 인자로 온도, 습도, 유해가스, 조도, 기류 그리고 열복사량 등이 있다. 이 중 시스템에어컨 제어에 무선센서를 이용하여 실내공기질을 평가할 수 있는 항목으로 온도, 습도, 이산화탄소 등이다. 온도는 보통 20.6 °C ~ 23.7 °C, 기류속도 0.45 m/s, 착의량 0.63~0.9 clo 일 때 알맞은 쾌적감과 온열감을 느끼는 것으로 알려져 있으며 미국 난방 및 환기공학회에 따르면 피실험자의 85%가 쾌적을 느끼는 온도구간은 여름에는 20.6 °C ~ 22.8 °C, 겨울에는 19.4 °C ~ 21.7 °C로 보고되었다.⁽⁵⁾ 또한, 여름철 개인 쾌적 제어 온도로 25~29 °C 구간에서 쾌적성을 느낀 빈도가 급격히 증가하는 설문사례도 보고되었다.⁽⁶⁾ 또한, 서울지방 기상청 2006년 자료에 따르면 여름철(6월 ~ 8월) 국내 평균온도는 24 °C이고 최고 34.7 °C까지 온도가 상승하였으며 평균습도는 72%RH, 최고 습도는 96%RH였다. 습도는 공기중의 수분량에 의해 결정되는데 저습도시 정전기 발생과 고습도시 피부의 수분증발 억제로 불쾌감을 유발하는 것으로 알려져 있다. 쾌적 습도 조건으로는 여름철에는 50%~60%, 겨울철에 40%~50%의 상대습도가 유지되어야 한다.⁽⁷⁾ 또 다른 영향인자 중 하

나인 이산화탄소는 실내 사무실에서 사람의 호흡이나 기기가동 과정에서 발생하며 영향인자로는 실내체적, 실내인원, 난방 및 환기여부에 따라 그 농도가 달라진다. 일반적으로 대기 중의 이산화탄소 농도는 400~600 ppm으로 측정된다. 쾌적조건으로는 국내 다중이용시설에서 실내 권장치와 일본건축기준법 빌딩의 실내공기 기준치인 1000 ppm보다 낮은 농도 유지가 요구되며 규제치를 넘을 경우 건강에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.⁽⁸⁾ 이와 같이 본 연구에서는 온도, 습도 이외에 이산화탄소를 추가적인 요소로 반영하여 새로운 쾌적성 평가에 이용하고자 한다.

2.2 실내공기질 특성 분석 방법

본 연구에서는 실내공간에 센서를 부착할 수 있는 3곳을 선정하였으며 각 위치에서 온도, 습도 및 이산화탄소 변화 특성을 분석하기 위해 센서가 부착된 3곳의 위치를 중점으로 실험분석 및 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 이용한 수치해석을 수행하였다. 실내공간 유한요소 모델의 검증과 온도분포 특성을 파악하기 위하여 시스템에어컨의 토출각을 15, 30, 45도, 토출속도를 2.6, 5.34 m/s로 변화시켜 수치해석을 수행하였다. 수치해석 결과와 각 센서 위치에서 측정된 온도 데이터 및 시스템에어컨 내부 센서에 의해 측정된 온도 데이터를 비교하였으며, 시스템에어컨 설치 공간에서의 온도 대표성을 평가하였다. 또한 시스템에어컨의 냉방에 따른 유선센서 위치에서의 습도변화를 실험을 통해 측정하였다. 이산화탄소 농도 측정 실험에 있어서, 실내인원이 5, 10, 20명일 때 1인당 이산화탄소 발생량을 고려하여 환기시스템의 성능평가와 각 위치에서의 농도변화를 측정하였으며 발생위치는 실험공간의 정중앙의

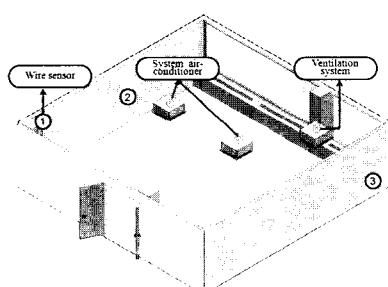


Fig. 1 3D model of interior space.

1.5 m 높이이며 사방으로 회전하는 Fan을 이용하여 전체공간에 이산화탄소가 고르게 분포하도록 하였다.

즉, 각 위치에서의 온도, 습도, 이산화탄소 변화를 종합적으로 살펴보도록 하였다. 또한 시스템에어컨과 환기시스템의 성능평가를 통하여 내부공간에 위치해 있는 사람이 느끼는 실내공기질 수준을 높이고 이를 이용한 효율적인 시스템에어컨 제어방안을 마련하기 위한 실험 및 수치적인 연구를 수행하였다.

3. 실내공간모델

수치해석 및 실험에 사용된 공간은 Fig. 1과 같이 크기가 10 m(L) × 6.2 m(W) × 3.0 m(H)이고, 체적은 192 m³인 공간에 대하여 3차원 모델링하였다. 실험공간 중앙을 중심으로 천장형 4-way 카세트 타입의 에어컨 2대를 설치하였으며 에어컨 사이의 거리는 3 m이다. 또한 실내공간의 온도, 습도, 이산화탄소 데이터 획득을 위하여 유선 센서를 이용하였으며, LabVIEW와 Compact field point(CFP)로 유선센서와 연동하여 데이터를 수집하였다. 유선센서는 스위스 Sensirion AG사의 SHT1x를 사용하였다.

유선센서의 위치는 우선적으로 벽면에 설치하였다. 이는 실험 공간에 센서를 설치할 때 센서를 공간 중앙에 떠 있도록 위치시키지 못하기 때문에 시스템에어컨 제어상황을 고려하여 벽면에 유선센서를 부착하였다. 이는 향후 유선센서가 위치한 벽면에서의 해석값과 실험값을 비교하여 수치해석 모델의 정확도를 높이고, 수치해석 결과를 통해 실내공간 임의 위치의 온도값을 추정할 수 있는 이점이 있다. 실험을 위한 유선센서의 설치높이로

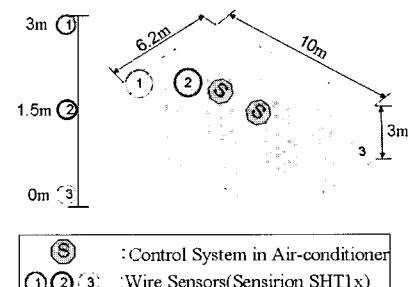


Fig. 2 Simulation model of interior space and sensor locations.

Table 1 Material properties

Properties	Units	Value(s)
Density	kg/m ³	1.23
Specific heat(C_p)	J/kg · K	10006.43
Molecular weight	kg/kg · mol	28.97
L-J Energy parameter	K	78.60
L-J Characteristic length	angstrom	3.71
Viscosity	Pa · s	1.79 × 10 ⁻⁵

Table 2 Boundary conditions

		Value(s)
Initial temperature		28 °C
Designed temperature		18 °C
Velocity magnitude		2.67 m/s
External radiation temperature		28 °C
Convection heat transfer coefficient	floor window door	0.37 W/m ² · K 3.26 W/m ² · K 3.18 W/m ² · K

는 실내공간의 최상부인 3m, 사람이 활동하는 높이인 1.5m 그리고 최하부인 0m이고 좌측 시스템 에어컨에서 1번 유선센서와의 수평 거리는 4.42m, 2번 유선센서는 2.6m이며 우측 시스템에어컨에서 3번 유선센서와의 수평거리는 3m이다. 시스템 에어컨, 환기장치, 센서의 위치를 Fig. 1에 도시하였다. 각 센서의 위치는 무선센서 설치가능 지역을 고려하였다. 1번 센서의 위치는 실내공간 상부에 부착하여 건물내에 인입된 전기와 연결을 할 수 있으며 라우터의 역할을 수행할 수 있다. 2번 센서는 일반적인 무선센서가 설치되는 위치로 인간이 활동하는 높이에 위치해 있어 폐적도 측정의 대표지역이 될 수 있으며 3번 위치는 전력소모량이 많은 이산화탄소 센서를 위치시켜 유사시 전력공급을 받을 수 있는 위치이다. 또한, 시스템 에어컨의 원활한 제어와 실제와 같은 환경의 공조시스템 구축을 위해 Data management server(DMS)와 시스템 에어컨을 연동시켰다.

4. 수치해석 및 실험

4.1 수치해석

실험만을 통해서는 실내공간 모든 부분의 데이

터를 얻기는 불가능하므로, 시뮬레이션 해석 기법을 도입하였다. 위치에 따른 실내공간 온도 시뮬레이션을 위해 상용 CFD 코드인 Fluent 6.2.16을 사용하였으며 실험 실내공간을 3D Full 모델링하였다. Fig. 2에 실내공간의 3D 시뮬레이션 모델을 나타내었다.

실내공간 시뮬레이션 모델의 노드 수는 123,552개, 요소 수는 115,275개이다. 또한, 점도는 표준 k-e 난류모델을 사용하였다. 해석 시 연속방정식, 운동량 방정식, 에너지방정식을 지배방정식으로 사용하였고 난류 모델을 해석하기 위해 식(1)과 같은 표준 모델을 사용하였다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu}{\sigma_l} + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} + S_T \quad (1)$$

우선 유한 체적법을 기본으로 하여 각 방정식들을 2차 정확도를 가지는 Upwind Scheme으로 차분화하였고, 비정상 상태의 온도장을 얻기 위해 SIMPLE⁽⁹⁾ 알고리즘을 적용하였다. 시간적분은 1차 정확도를 가지는 Implicit Scheme을 사용하였다. Table 1은 해석 시 초기값으로 사용된 공기의 일반적인 물성치이며, Table 2는 경계조건을 나타낸 것이다. 사용된 물성치는 표준상태일 때의 값으로 해석 시 일정하다고 가정하였으며 창문, 문, 바닥의 대류 열전달계수는 일반적인 값을 사용하였다.

4.2 실험분석

실내공간의 3가지 위치에서 실내공기질을 평가하기 위하여 시스템 에어컨 2대와 환기시스템이 설치된 실내공간에 온도, 습도, 이산화탄소를 측정할 수 있는 센서를 설치하고 각 실내공기질 영향 인자의 변화량을 측정하는 실험을 수행하였다. 제어시스템에 활용될 무선센서는 설정값에 따라 깊게는 1초에 한번, 길게는 10분에 한번 데이터들을 취득한다. 이를 지연시간은 배터리 수명과 밀접한 관계가 있으므로 설치 시 민감한 문제가 될 수 있다. 또한 지정된 시간에 따라 길게는 10분마다 데이터들을 취득하므로 각 시점마다 데이터를 취득하여 제어에 반영할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 환경인자들이 실험수행 중 정상상태에 도달하지 않더라도 초기 환경인자들의 차이를 확인하고

변동 추이를 살펴보기 위해 온도 및 습도 측정실험의 경우 1000초, 이산화탄소 측정실험의 경우 600초 동안 각 환경인자의 변화량 추이를 살펴보았다.

4.2.1 온도 측정실험

온도실험은 전술한 3가지 위치에서 수치해석과 같은 경계조건 하에서 수행하였다. 초기온도는 28 °C이며 시스템 에어컨은 희망온도를 18 °C로 지정한 후 총 1000초 동안 온도변화 데이터를 획득하였다. 또한 시스템 에어컨 내부센서에 의해 변하는 온도 데이터도 동시에 측정하였다. 온도 실험의 목적은 CFD 해석모델을 검증하는 것과 상부에 위치해 있는 시스템 에어컨 내부센서와 본 연구에서 고려한 3가지 위치에서의 온도 차이를 규명하기 위한 것이다. 시스템 에어컨은 희망온도인 18 °C에 도달하기까지 지속적으로 가동되나 판단기준인 내부센서가 내부공간의 각 위치에서 온도변화를 감지할 수 없어 제어시스템이 사용자가 원하는 적절한 온도를 유지시켜 주지 못하는 경우가 발생한다.

온도는 인간의 체적성에 영향을 미치는 가장 중요한 영향 인자이다. 따라서, 시스템 에어컨 내부센서와 실내공간 유선센서에서 측정한 온도 측정값의 차이는 체적성을 평가하는데 있어서 보정되어야 하며, 온도 실험은 이러한 차이를 정량적으로 규명하기 위해 수행되었다.

4.2.2 습도 측정실험

습도는 온도와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 온도가 초기 온도 28 °C에서 1000초 후의 평균온도 25.7 °C로 변화할 때 3가지 위치에서 습도의 변화량을 측정하였다. 습도센서를 온도센서와 동일한 위치에 부착하여 습도의 변화량을 측정하였다.

4.2.3 이산화탄소 농도 측정실험

실내공간의 이산화탄소 농도 실험은 재실자의 수를 고려하였으며, 이산화탄소 발생기를 이용하여 5명, 10명, 20명에 상응하는 이산화탄소를 단계적으로 발생시켜 환기시스템 가동 시 농도변화를 측정하였다. 1인당 이산화탄소 발생량은 휴식 시 0.0056 l/s이며 밀폐된 공간이나 재실자의 활동량에 따라 평균 1.5배의 증가량을 보인다.⁽¹⁰⁾ 본 실험에서는 보수적 관점에서 1인당 0.0084 l/s를 발생한다고 가정하였다. 따라서 이산화탄소 발생량을 0.042, 0.084,

0.168 l/s로 변화시키며 600초 동안 실험을 수행하였다. 초기 실내공간의 이산화탄소 농도는 별도로 측정하였다. 이산화탄소 발생과 동시에 환기시스템을 가동시켰으며 600초 뒤에 가동을 중지하였다. 또한, 실험공간 내부와 외부 이산화탄소 농도가 평형을 이루었을 때를 실험초기 조건으로 설정하였다. 센서에 의해 측정되는 실내와 실외의 이산화탄소 농도는 시간에 따라 조금씩 변화하므로 본 연구에서는 이들의 차이가 5% 이내로 측정된다면 평형상태에 도달했다고 가정하고 실험을 수행하였다.

Table 3 Temperature difference between wire sensor and system air-conditioner sensor

Time (Sec)	Location 1 (°C)	Location 2 (°C)	Location 3 (°C)	A/C (°C)
0	28.00	28.00	28.00	26
96	27.81	28.11	27.64	26
214	27.98	28.04	26.82	26
309	27.92	28.21	26.30	24
428	27.75	28.36	25.72	24
524	27.57	27.59	25.65	23
619	27.48	27.26	25.40	24
738	27.21	27.14	25.37	23
833	27.03	27.03	25.18	22
928	26.94	27.06	25.14	22
1000	26.85	26.86	25.00	21

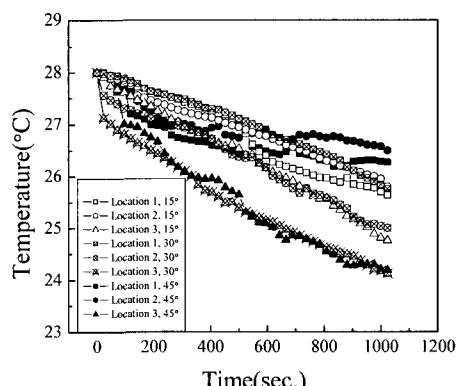


Fig. 3 Temperature variations according to the discharge angle at each location (discharge velocity = 2.67 m/s).

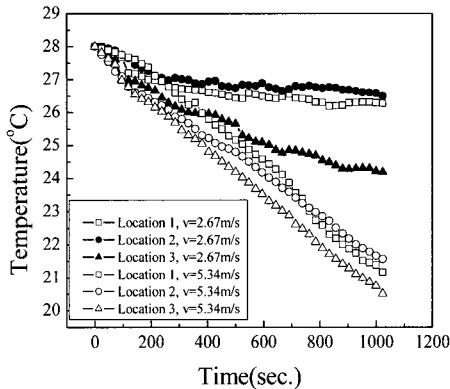


Fig. 4 Temperature variations according to the discharge velocity at each location(discharge angle = 45°).

5. 결과 및 고찰

5.1 실험 및 CFD해석 결과

5.1.1 온도

본 연구에서는 시스템 에어컨의 온도 제어시스템 측정온도와 실험에 의한 데이터를 비교하고 이를 바탕으로 CFD해석을 수행하여 그 타당성을 검증하였다. Table 3은 3가지 유선센서 위치에 따라 1000초 동안 실험공간 내에서 측정한 데이터와 2개의 시스템에어컨 제어시스템에서 측정한 데이터를 나타낸 것이다.

실험결과, 시스템 에어컨 내부센서 온도는 초기 온도인 28 °C를 26 °C로 낮게 예측하며 실제온도와 차이를 보였다. 유선센서가 설치된 위치별로 살펴보면, 상단과 중앙 부분인 1, 2번 유선센서에서 측정된 온도는 1000초 이후 일정온도로 수렴하였으나 최하단의 3번 유선센서의 온도는 위치에 의한 영향으로 낮은 온도분포를 보였다. 이 결과는 시스템 에어컨의 내부센서의 온도변화와 차이를 보이는 것으로, 내부센서가 실험 시간동안 실험공간의 온도를 정확히 예측하지 못하여 실내온도를 대표할 수 없음을 의미한다.

시스템 에어컨의 토출 기류의 패턴은 토출각도에 따라 다르게 나타나고 실내에서의 유속이 재설자의 열쾌적성에 상당한 영향을 미치므로 ASHRAE에서는 실내 최대 공기유속을 0.25 m/s이하로 규정하고 있다.⁽¹¹⁾ 따라서, 본 연구에서는 공기유속에 영향을 미치는 시스템 에어컨의 토출 유속과 토출

각도를 변화시켜 실험을 수행하였다. Fig. 3은 토출속도가 2.67 m/s일 때, 각 위치에서 토출각도의 변화에 따른 온도 변화를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 토출각이 30°인 경우에는 상부(1), 중간부(2), 하단부(3)의 시간에 따른 온도변화가 일정한 단조감소의 패턴을 보이고 있으며, 온도감소비율에 있어서도 상부, 중간부, 하단부의 순서로 일정한 차이를 보이고 있다. 반면에, 토출각이 15°인 경우에는 작은 토출각으로 인하여 상부와 중간부의 온도변화 패턴이 유사하고 1000초가 경과할 때, 유사한 값으로 수렴함을 알 수 있다. 또한, 하단부의 온도는 토출각이 30°, 45°인 경우에 비하여 온도감소비율이 작음을 알 수 있다. 토출각이 45°인 경우는 600초가 경과한 이후에 상부와 중간부의 온도감소비율이 현저히 작아지며 특정한 온도값에 수렴하는 거동을 보이고 있다. 하단부의 경우에는 토출각이 30°인 경우와 거의 유사하였다.

Fig. 4는 토출각이 45°로 일정할 때 토출속도 변화에 따른 실내공간의 온도거동을 보여주고 있다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 토출속도가 2.67 m/s인 경우는 상단부와 중간부의 시간에 따른 온도변화 거동이 유사하며, 하단부는 낮은 온도분포를 보이고 있다. 반면에 토출속도가 5.34 m/s인 경우는 상부, 중간부, 하단부 모두 유사한 온도거동을 보이고 있으며, 온도감소 속도도 토출속도가 2.67 m/s인 경우에 비하여 현저히 빠름을 알 수 있다. 따

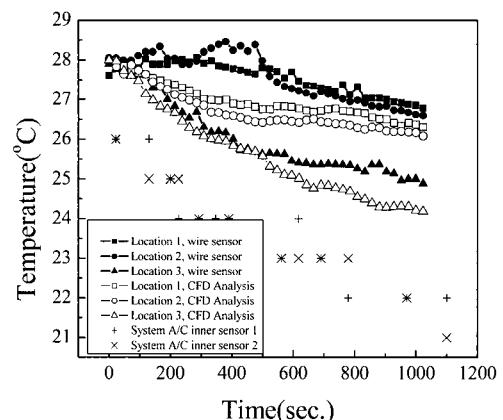


Fig. 5 Comparison of temperatures from experiments, CFD analysis and system A/C(discharge velocity = 2.67 m/s, discharge angle = 45°).

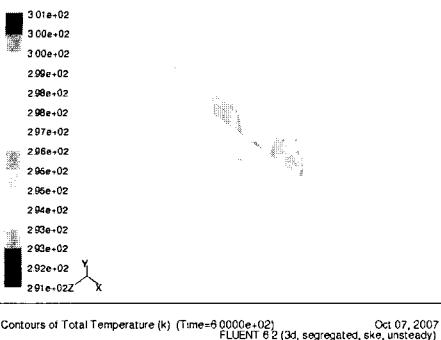


Fig. 6 Temperature distribution from CFD analysis after 600 second (discharge velocity = 2.67 m/s, discharge angle = 45°).

라서 1000초가 지났을 때, 토출속도가 5.34 m/s인 경우의 평균 최종온도가 토출속도가 2.67 m/s인 경우보다 약 5°C 정도 낮았다.

Fig. 5는 토출속도가 2.67 m/s이며 토출각이 45° 일 때 유선센서에서 취득한 온도 데이터와 수치해석을 통한 각 위치에서의 온도변화, 시스템 에어컨 내부센서 온도변화를 통합적으로 나타낸 것이다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 실험공간 내 대부분의 영역에서 유선센서의 온도변화는 수치해석 결과와 일치하는 경향을 보이고 있다. Fig. 5에서 센서에서 측정한 데이터와 CFD 해석값의 차이는 최대 1°C정도이므로 본 연구에서 사용한 온도센서의 정확도($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)를 고려할 때 오차범위에 있으며 CFD 해석 또한 물성치 및 경계조건의 가정, 수치해석 수렴의 오차 등을 고려한다면 전체적인 온도변화 추이는 타당하다고 판단된다. 그러나, 200초에서 400초 사이의 구간에서 위치 1, 2의 유선센서 온도와 CFD 해석 결과는 차이를 보였다. 이것은 내부 기류의 영향으로 국부적으로 온도 상승을 가져올 수 있는 드래프트 현상이 나타낸 것으로 판단된다. 또한 실험결과 1000초 이후 시스템 에어컨 내부센서에 의한 온도는 4.5°C가 감소하였으나 각 위치별 유선센서 측정결과 평균 3°C가 감소하여 내부센서에 의한 온도값은 실내공간의 거리 및 높이에 따른 온도차이가 있으므로 여러 위치의 온도를 대표할 수 없음을 확인하였다. Fig. 6은 토출속도가 2.67 m/s이며 토출각이 45° 이 경우, 600초 후 실내공간의 온도분포에 대한 CFD 해석결과를 보여주고 있다. 이러한 온도분포 해석 결과를 통해 실내공간 임의 위치에서의 온도값을 예측할 수 있다.

5.1.2 습도

습도실험에서는 실내공간의 초기 온도가 28°C이고, 1000초 후의 평균온도 25.7°C로 변화할 때 유선센서가 부착된 3가지 위치에서 습도의 변화량을 측정하였다. Fig. 7은 시스템 에어컨 가동 시간에 따른 상대습도 거동을 나타낸 그래프로 온도가 하강하는 동안 습도의 변화는 미미함을 알 수 있다. 이는 에어컨 증발기에서 대기 중의 수분이 응축되어 제습이 이루어지기 때문이라고 판단된다. 그러나, 각 센서의 위치에 따른 상대습도는 차이가 존재하였으며, 상부의 습도가 하단부보다 높은 습도값을 가지고 있다.

5.1.3 이산화탄소

이산화탄소 농도측정 실험은 실내공간의 이산화

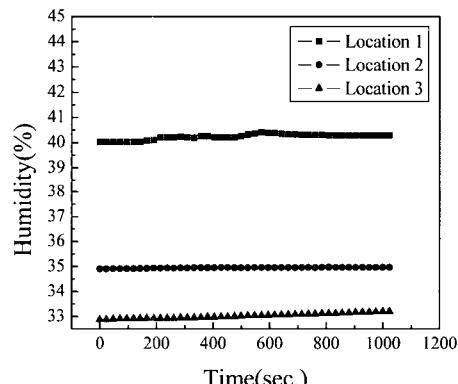


Fig. 7 Relative humidity variations during the A/C operation.

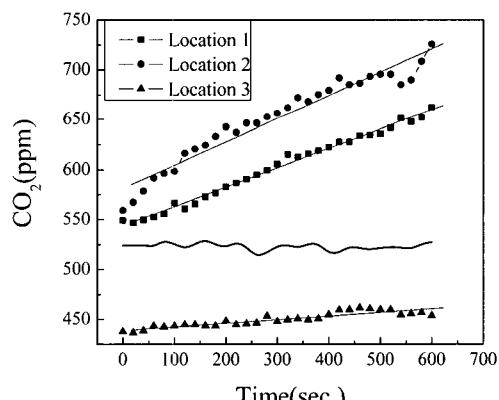


Fig. 8 Variations of CO₂ concentration in the case of 5 people.

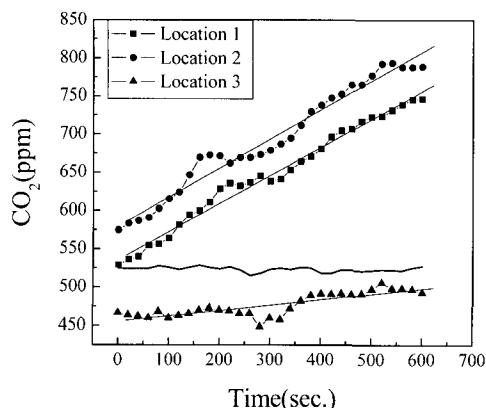


Fig. 9 Variations of CO_2 concentration in the case of 10 people.

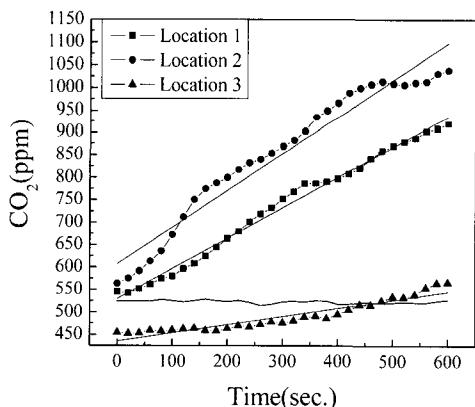


Fig. 10 Variations of CO_2 concentration in the case of 20 people.

탄소 농도가 평균 520 ppm일 때, 이산화탄소 발생 및 환기시스템을 동시에 가동함으로써 수행되었다. Table 4는 실내공간의 각 위치에서 600초가 경과한 후 재실자의 변화에 따른 이산화탄소 발생량과 환기시스템에 의한 배출량을 나타낸 것으로 이산화탄소 발생량이 증가할수록 배출량이 증가하였다. Table 4에 나타낸 바와 같이 환기시스템을 가동하더라도 600초 후의 이산화탄소 농도는 초기 값과 비교하여 증가한다. 이는 환기시스템의 환기량과 연관되어 있는 것으로, 환기량을 조절하여 특정시간 이후의 이산화탄소 농도를 조절할 수 있음을 의미한다.

Fig. 8, Fig. 9와 Fig. 10은 재실자 변화에 따른 이산화탄소 농도의 변화를 시간에 따라 나타낸 것으로 실내공간의 상부보다 지상에서 1.5 m 떨어진

유선센서 2번에서 더 높은 이산화탄소가 감지되었다. 이는 이산화탄소의 분자량이 44 g/mol이고 공기의 평균 분자량이 29 g/mol이기 때문에 중력의 법칙에 의해서 이산화탄소가 아래로 내려가야 하지만 이산화탄소 발생 위치가 지상으로부터 1.5 m 였고 실내공간의 열구배에 의하여 기체들이 순환하게 되어 기압차이가 발생함에 따라 자연스럽게 기체가 혼합되어 나타난 현상이라 생각된다. 또한 3번 위치에 환기시스템이 위치해 있으므로 위치에 의한 영향이 크게 작용하였을 것이다.

Fig. 8, Fig. 9와 Fig. 10에서 각 위치의 이산화탄소 증가량을 선형 적합한 결과 상부와 중간부의 초당 이산화탄소 증가량은 비슷한 기울기를 보였으나 하단에서는 기울기가 감소하였다. Fig. 8, Fig. 9와 Fig. 10에서 표시된 실선부분은 이산화탄소 발생기와 환기시스템을 가동하지 않은 상태에서 600초간 실내공간의 이산화탄소 농도 거동을 나타낸다.

또한, Fig. 10에서 알 수 있듯이 재실자가 20명 일 때 600초 후 실내허용기준인 1000 ppm을 넘는 것으로 측정되었다. 1000 ppm을 넘을 경우 인체에 좋지 않은 영향을 미치게 되므로 공조제어 알고리즘에서 이를 고려한 효율적인 환기시스템을 구축해야 할 것이다. Fig. 8, Fig. 9와 Fig. 10에서 얻어진 이산화탄소 발생량에 따른 실내공간의 각 위치에서의 이산화탄소 변화 거동 결과를 이용하면 환기시스템의 환기량을 시간에 따라 적응적으로 조정함으로써 인간이 느끼는 퐐적성 및 실내공기질을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Table 4 CO_2 generation and ventilation discharge rates at each location according to the number of people of the interior space

No.	Loc.	CO_2 initial [ppm]	CO_2 generated [ppm]	CO_2 after 600s [ppm]	Discharge rate [ppm]	Discharge rate [ppm/sec]
5	1	549	256	662	152	0.254
	2	559	256	726	99	0.165
	3	437	256	454	249	0.416
10	1	529	531	747	313	0.523
	2	574	531	788	316	0.528
	3	466	531	492	505	0.843
20	1	545	1062	919	688	1.147
	2	563	1062	1038	587	0.980
	3	454	1062	566	950	1.585

6. 결 론

본 연구에서는 시스템 에어컨이 설치된 실내공간의 실내공기질의 특성을 규명하고자, 주요 영향인자인 온도, 습도, 이산화탄소에 대해 위치 및 시간에 따른 변화들을 실험 및 수치해석으로 측정 및 예측하였다.

기존의 연구와 달리 시스템 에어컨 설치공간의 실내공기질 각각의 영향인자의 위치별 및 시간별 변화패턴에 대한 정량적인 연구를 수행하였다. 이를 통해 실내공간 특정한 위치에 있는 사람의쾌적성 및 실내공기질을 향상시키는 적응적 제어가 가능할 수 있다. 즉, 실내공간 전체에 대한 일괄적인 제어가 아니라 개인의쾌적성 및 실내공기질 향상을 위한 '개인화' 또는 '맞춤형' 제어가 가능하다. 현재 사용되고 있는 대형건물 및 빌딩의 공조제어 알고리즘은 온도만을 고려하고 있으며 일괄적인 제어 방법을 사용하고 있어 실내공간 특성을 반영하고 있지 못한다. 본 연구에서 고려한 대표적인 3가지 환경인자를 이용한 공조제어를 수행한다면 시스템에어컨이 가동되는 공간 영역별로 맞춤형 공조가 가능할 것으로 예상된다. 또한 향후 무선센서가 실내공간에 설치된다면 각 센서가 위치해 있는 제한된 공간의 환경인자 변화에 따라 시스템에어컨 가동, 중지, 토출각도, 속도의 변화, 환기시스템의 가동 여부 등을 결정하고 제어할 수 있으리라 판단된다. 대형건물의 경우 큰 공간에 여러 시스템에어컨과 환기시스템이 설치되는데 향후 무선센서를 설치하여 각 위치에서 개별적 제어를 수행한다면쾌적성 및 공기질 향상에 기여할 수 있을 것이다.

또한, 본 연구를 통해 실내공간의 거리 및 높이에 따른 공기질 특성을 확인하였으며 CFD 해석을 수행하여 온도구배를 예측하였다. 시스템 에어컨 설치 실내공간의 온도분포는 토출각 및 토출속도에 영향을 받으며, 토출각이 30°일 때, 각 센서위치에서의 시간에 따른 온도변화 패턴이 유사하였다. 또한, 토출각이 45°일 때 실내공간의 온도변화 패턴이 가장 불규칙하였다. 습도의 경우, 에어컨 증발기에서 대기 중의 수분이 증축되어 제습이 이루어져 변화가 미미하였으며, 이산화탄소의 경우, 위치별, 시간별 농도변화의 패턴이 이산화탄소 발생량에 따라 변화하였다.

따라서,쾌적공조를 위해서는 현재 시스템 에어

컨과 환기시스템의 단일 센서 이외에 벽면에 부착하는 유선센서나 무선센서 네트워크를 이용하여 각 환경인자를 감시하고 제어하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

후 기

본 연구에 참여한 연구자는 성균관대학교 미래가전연구센터와 2단계 BK21사업의 연구비 지원으로 이루어진 것으로서 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- Lee, J. H., Kim, Y. J., Choi, W. S., Park, S. K., Youn, B. and Kim, Y. J., 2006, Evaluation of indoor thermal comfort for ceiling type system air-conditioner with various discharge angles, SAREK conference, pp. 1180-1185.
- Kim, S. H., Noh, K. C. and Oh, M. D., 2003, Evaluation of thermal comfort in consideration of the solar radiation, Journal of SAREK, Vol. 16, No. 12, pp. 1140-1146.
- Ahn, C. R., Kim, J. J., Kum, J. S. and Park, H. S., 2004, A study on the using the ventilation system as the method of improvement of air quality in the schools, Journal of Korean Institute of Education Facilities, Vol. 11, No. 2, pp. 17-23.
- Noh, K. C., Jang, J. S. and Oh, M. D., 2006, Study on thermal comfort and indoor air quality in the classroom with system air-conditioner and ventilation system for cooling loads, Transactions of the KSME B, Vol. 30, No. 1, pp. 57-66.
- Lee, K. H., Han, Y. H., 1995, A study on the thermal comfort draft requirements of low temperature floor heating system, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 11, No. 12, pp. 171-177.
- Lee, J. Y., 2005, The recent trend in personal comfort control, Journal of SAREK, Vol. 34, No. 4, pp. 42-48.
- Kim, K. W., Lee, S. W., Lee, E. G. and Ryu,

- H. C., 2003, Architecture environment design, Taerim munhwa-sa.
8. Architecture Law, 2000, Regulations for equipment standard of architecture, Korea.
9. Patankar, S. V., 1980, Numerical heat transfer and fluid flow, McGraw-Hill Book Co.
10. Jun. S. J. et al., 2005, Care of the adult patient, Hyunmun-sa.
11. ASHRAE Handbook, 1997, Space air diffusion, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.