

# 공동주택에서 환기효율 특성에 관한 수치적 연구

박 명 식, 차 광 석, 이 대 우, 염 동 석\*

현대건설(주), \*ACT2000

## A Study on Ventilation Effectiveness Characteristics in a Apartment Housing

Myoung-Sig Park, Kwang-Suk Cha, Dae-Woo Lee, Dong-Suk Yeom\*

**ABSTRACT:** Recently according to the fashion of well-being, it is increasing that heat recovery ventilator is applied to the apartment housing. But the uniform locations of inlet and outlet in each room may provide better indoor air quality than ununiform locations of inlet and outlet. Proper design of air supply system requires information concerning the gas concentration difference between the ventilation effectiveness at the breathing line. This paper presents models to predict the gas concentration difference and the ventilation effectiveness, based on the two cases with proper number of outlets. As one of the results it is desirable to set the outlet location near the furniture which produce the contamination gas so much.

**Key words:** Age of air(공기연령), Ventilation effectiveness(환기효율), Dilution ventilation(희석환기), Concentration control(농도제어)

### 1. 서 론

사회적으로 실내공기질이 문제가 되고 있는 가운데 결과가 확실한 대책중 하나는 실내에 적절한 강제환기를 실시하는 방법으로 알려져 있다. 자연환기보다도 강제환기가 각광을 받는 이유는 소비자가 원하는 시간에 원하는 만큼으로 환기량을 확보하기가 쉽기 때문이다. 현재 국내에서 공동주택 시공시 실내에 덕트를 설치할 경우에 덕트의 높이가 층고에 영향을 미칠 것을 우려하고 있다. 공동주택의 경우에 층고는 공사비와 직결되므로 반드시 고려해야 할 아주 중요한 항목중의 하나가 된다. 특히 같은 평면상에 급기덕트와 배기덕트가 동시에 설치되면 덕트가 중첩이 일어나게 되며 그것은 덕트두께의 두배의 높이를 층고에 고려하게 된다. 층고를 절약하기 위하여 같은 평면에 급배기구를 설치하게 되면 당연히 각

실 급배기가 아닌 불균형 공기분배의 덕트시스템 설치평면이 구성될 수 밖에 없다. 실내에서 임의의 장소에 급배기구를 설치한다고 해서 가장 적절한 환기를 실시한다고 할 수는 없는 일이다. 만일 실내에 급배기구를 설치한다면 어느 곳에 설치하는 것이 가장 최적인가는 공기연령을 고려한 환기효율로서 나타낼 수 있다고 판단된다. Chen등은 변위환기가 실시되는 사무실에서 환기효율을 수치적으로 구한바 있다. Wang등은 보이기 단면에 마네킹을 설치하고 CO2가스를 이용한 공기연령을 구하여 환기효율을 도출하였다. Memarzadeh등은 병실에서 온열감과 환기효율등을 구하는 연구를 수행한 바 있다. 본고에서는 30평형대 공동주택에서 각실 급배기를 실시하는 경우와 시공을 쉽게 하기 위해 각실급기 및 부분 배기를 실시한 경우의 환기효율특성을 고찰하고자 한다.

### 2. 이론 및 수치해석 방법

#### 2.1 해석모델의 선정

본 연구에서 선정한 해석공간을 Fig.1에 나타내

† Corresponding author  
Tel.: +82-31-289-7352; fax: +82-31-289-7079  
E-mail address: mspark@hdec.co.kr

었다. 그림에서 기준좌표계는 전방 3개의 모서리가 만나는 지점을 기준으로 x축, y축 그리고 z축으로 정하였다. 각 방문은 열린 것으로 간주하였고 외피만 완전 밀폐된 것으로 간주하였다. 각실에는 코너부위에 모서리로부터 0.2m 떨어진 위치에 원형 급기구가 존재하며 상대적으로 각실의 출구방향에도 동일한 크기의 배기구가 존재하는 것으로 가정하였다. 논의의 편의를 위하여 각실 급배기가 실시되는 공간을 기준공간(reference space)라고 지칭하고 시공의 편의를 위하여 room B와 Room C의 배기구를 없앤 경우를 수정공간(modified space)라고 지칭하기로 한다. 각실의 환기량은 0.7회로 정하였다.

## 2.2 지배방정식

Fig.1에 보이는 3차원 모델에서 유동장을 기술하는 지배방정식은 연속방정식, 운동량방정식, 그리고 난류량과 관련된 방정식들이다. 본 연구에서 사용된 난류모델은 Low Reynolds수 k-ε 난류모델중 LS모델이다. 본 연구에서 사용된 연속방정식, 운동량방정식, 농도방정식, 공기연령방정식, 난류운동에너지방정식, 난류운동에너지 소산율방정식은 다음과 같다.

연속방정식

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

운동량방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (u_i u_j) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \nu_{eff} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

농도방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i C) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \left( \frac{\mu}{\sigma} + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial C}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

공기연령방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \tau) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma \frac{\partial \tau}{\partial x_j} \right) + S_C \quad (4)$$

난류운동에너지 방정식

$$u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} + \mu \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \frac{\mu_t}{\rho} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - 2\nu \left( \frac{\partial k^{1/2}}{\partial x_j} \right) - \varepsilon \quad (5)$$

난류운동에너지 소산율 방정식

$$u_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} + \mu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \frac{\mu_t}{\rho} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{C_2 \varepsilon^2}{k} - 2.0 \frac{\nu \mu_t}{\rho} \left( \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_i} \right) \quad (6)$$

여기서,

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

$$C_1 = 1.44 \quad (8)$$

$$\sigma_k = 1.0 \quad (9)$$

$$\sigma_\varepsilon = 1.3 \quad (10)$$

$$C_\mu = 0.09 \exp[-2.5/(1 + Re_t/50)] \quad (11)$$

$$C_2 = 1.92 [1.0 - 0.3 \exp(-Re_t^2)] \quad (12)$$

$$Re_t ; Reynolds Number \quad (13)$$

## 2.3 경계조건 및 수치해석방법

본 연구에서 사용된 공간내의 환기량은 0.7회이다. 따라서 각 유입구에 사용된 경계조건중 속도는 환기량 0.7회를 근거로 하였으며 유출구의 경계조건은 Nuemann조건을 선정하였다. 벽지, 마루, 가구등 각 마감자재에서 방출되는 방출량은 기존데이터를 활용하였다. 방출가스로서는 HCHO, 톨루엔과 자일렌을 선정하였다. 이 방출

량에 관해서는 각 현장에 따라 현저히 달라지는 특성이 있으므로 수치해석에 사용된 입력데이터의 정확성을 논하기 보다는 실내의 정성적인 경향을 파악하고자 하였다. 본고에서 사용한 소프트웨어는 상용코드인 PHOENICS-VR이며 134×102×30개의 격자와 SIMPLEST 알고리즘을 사용하였다. 약 30000번의 계산후에 수렴하였다.

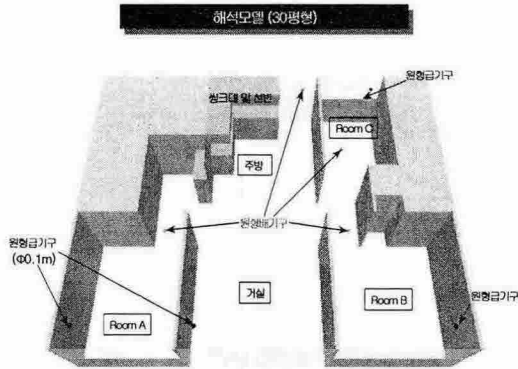


Fig.1 Schematic diagram of calculation domain

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 속도벡터분포

기준공간을 나타내는 Fig.2에서 보면 각실 급배기가 실시되고 있으며 거실공간의 배기시스템을 통하여 비교적 높은 유량이 배출되고 있음을 알 수 있다. 이에 반하여 수정공간을 나타내는 Fig.3에서 보면 room A와 거실배기를 통해서만 공기가 배출되고 있음을 알 수 있다. 여기서 사용한 그림은 모두 1.5m높이에서의 분포도를 나타낸 것이다.

#### 3.2 공기연령분포와 국소환기효율분포

본연구에서는 급기기와 배기기의 적절한 배치를 위하여 아래와 같이 두가지 식을 정의하였다. 즉, 국소환기효율은 다음과 같은 식(14)로 정의하였다.

$$\varepsilon_p = \frac{\tau_N}{\tau_p} = \frac{C_e - C_s}{C_p - C_s} \quad (14)$$

아울러 평균환기효율은 다음과 같이 식(15)로 정의하였다.

$$\varepsilon_{Ave} = \frac{\tau_N}{\tau_{Ave}} = \frac{C_e - C_s}{C_{Ave} - C_s} \quad (15)$$

여기서,

$\tau_p$  : Local Age, 실내로 유입된 공기가 임의의 지점에 도달하는 데 걸리는 시간

$\tau_N$  : Nominal Time Constant. (실내체적/유입체적풍량)

$C_s$  : 추적가스를 이용한 실험 수행시 유입구에서 가스의 농도

$C_e$  : 추적가스를 이용한 실험 수행시 배기구에서 가스의 농도

$C_p$  : 추적가스를 이용한 실험 수행시 임의의 점에서 가스의 농도

하첨자 Ave : 평균치

급기구로부터 임의의 지점을 지나는데 필요한 평균시간을 나타내는 공기연령(local mean age of air)의 분포를 Fig.4와 Fig.5에 나타내었다. 시공을 간편하게 하기 위한 수정공간의 경우가 기준공간에 비하여 공기연령의 분포가 전반적으로 증가되었음을 알 수 있다. 특히 Fig.4에서 room A의 경우에는 배출구의 늘어난 유량으로 인하여 공기연령분포가 국소적으로 감소되었으나 Fig.5에서는 room B의 공기연령이 증가하였음을 알 수 있다. 아울러 국소환기효율을 나타내는 Fig. 6과 Fig. 7에서도 기준공간의 경우는 국소환기효율이 비교적 고르게 분포되고 있으나 수정공간에서는 room B에서 낮은 국소환기효율분포가 나타났다.

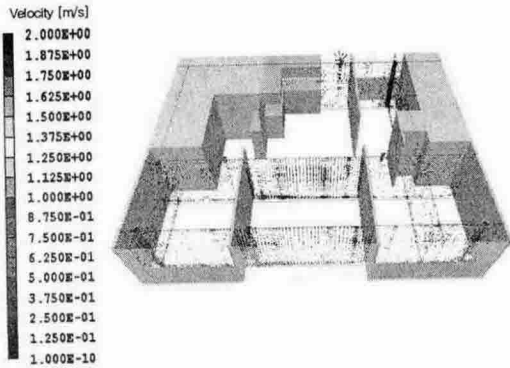


Fig. 2 Distributions of velocity vectors in reference space

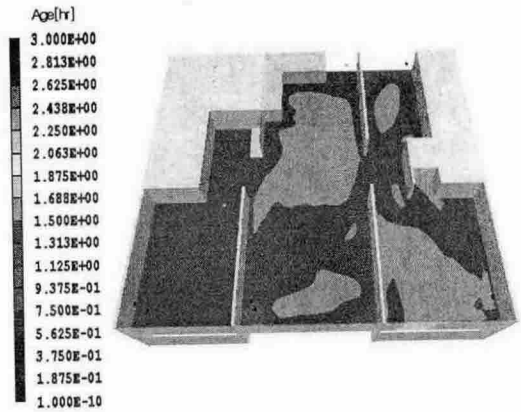


Fig. 5 Distributions of age of air in modified space

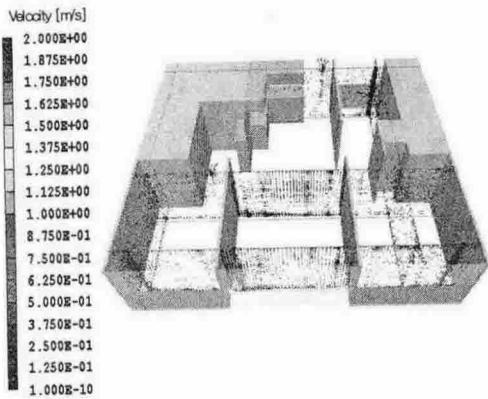


Fig. 3 Distributions of velocity vectors in modified space

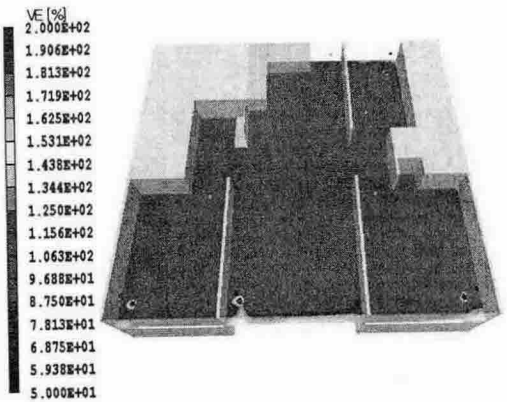


Fig. 6 Distributions of ventilation effectiveness in reference space

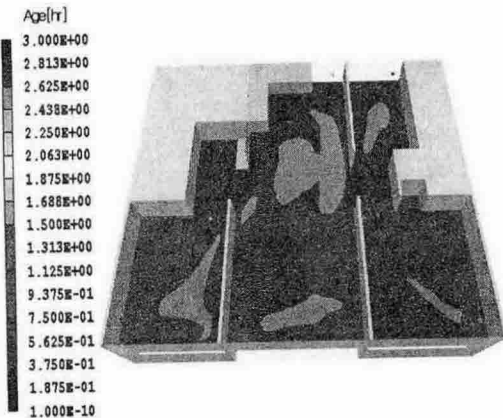


Fig. 4 Distributions of age of air in reference space

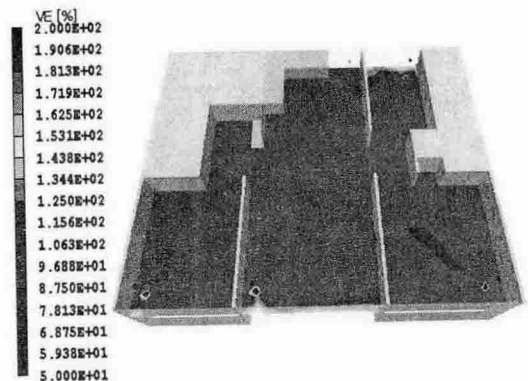


Fig. 7 Distributions of ventilation effectiveness in modified space

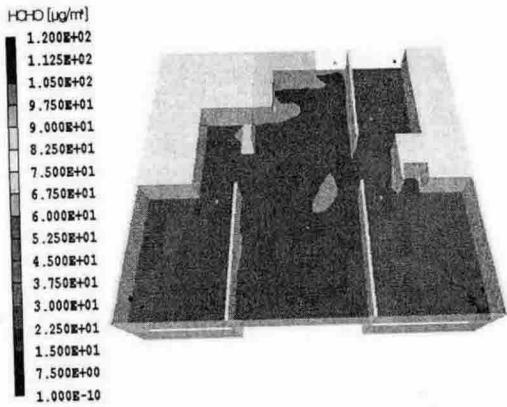


Fig. 8 Distributions of HCHO in reference space

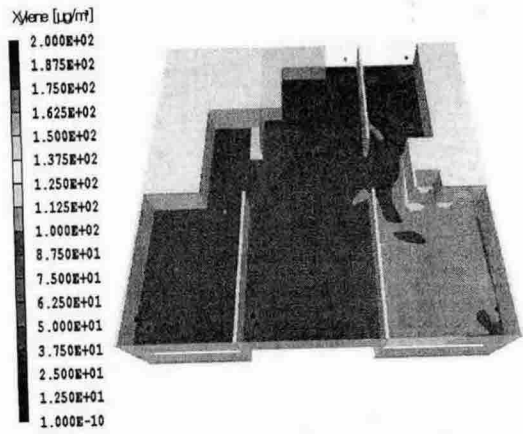


Fig. 11 Distributions of xylene in modified space

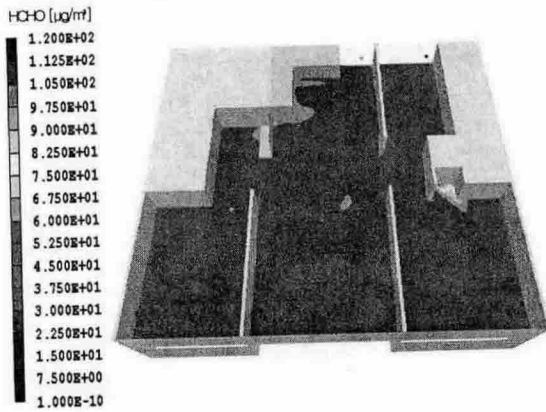


Fig. 9 Distributions of HCHO in modified space

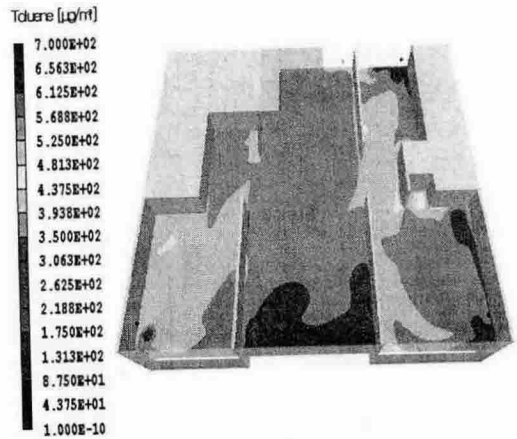


Fig. 12 Distributions of toluene in reference space

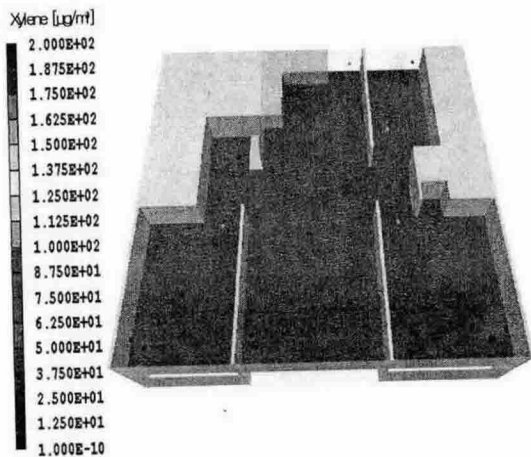


Fig. 10 Distributions of xylene in reference space

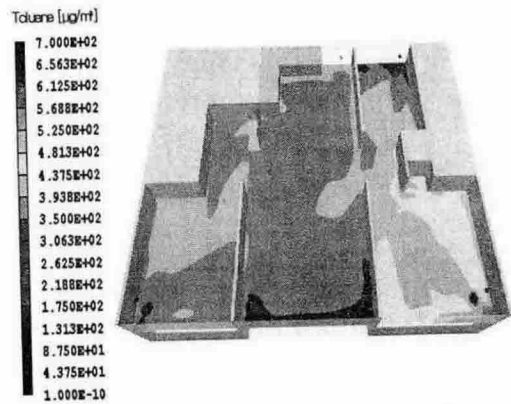


Fig. 13 Distributions of toluene in modified space

### 3.3 오염농도분포

최근 신축공동주택 전자재료로부터 방출되는 가스들은 규제의 대상이 되고 있으며 각 건설사들은 이들 가스를 줄이기 위하여 각고의 노력을 하고 있다. Fig.8과 Fig.9에는 HCHO의 분포를 나타내었고 Fig.10과 Fig.11에는 xylene의 분포 그리고 Fig.12와 Fig.13에는 toluene의 분포를 나타내었다. 기준조건과 수정조건을 비교하여보면 상기 세가지 가스에 대하여 공통적으로 room A에서는 농도가 비교적 감소하는 추세를 나타내지만 room B에서는 농도가 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 일반적으로 room B가 안방으로 활용하는 것과 관련하면 수정공간인 경우에 상당히 불리한 환기설치 조건이 될 것이다. 따라서 배기구는 가급적 오염원이 집중적으로 존재하는 곳에 설치하는 것이 바람직하다.

### 3.4 체적평균환기효율 정량적 비교

공동주택 실내에 거주할 경우에 거주자의 코높이까지의 공간은 주로 호흡을 하는 공간으로 간주된다. 본 연구에서는 바닥으로 코높이까지의 1.5m공간에서의 체적평균농도를 구하여 평균환기효율을 구하였다. 전체체적을 기준으로 환기효율을 구하면 기준공간인 경우에는 100.7% 그리고 99.62%로 나타나서 정량적으로 큰 차이가 나지 않으나 room B만을 기준으로 살펴보면 기준공간인 경우가 101.3% 그리고 수정공간인 경우가 96.53%로 나타나서 4.77%의 차이가 나고 있다. 즉, 배기구는 가급적 오염원이 집중적으로 존재하는 곳에 설치하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

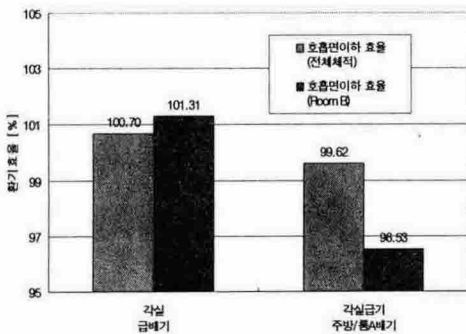


Fig. 14 Comparison of ventilation effectiveness between reference case and modified case

## 4. 결론

신축공동주택에 폐열회수 환기유닛을 설치할 때에 각실 급배기구를 설치한 경우와 시공을 간편하게 하기 위해서 각실급기 부분배기를 실시한 경우에 실내농도분포와 환기효율등을 비교 검토하였다. 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각실 급배기인 경우는 국소환기효율이 비교적 고르게 분포되고 있으나 각실 급기와 부분배기인 경우에는 안방에서 낮은 국소환기효율분포가 나타났다.
2. 배기구는 가급적 오염원이 집중적으로 존재하는 곳에 설치하는 것이 바람직하다.
3. room B에서 코높이까지의 평균환기효율을 비교하여 보면 기준공간인 경우가 수정공간인 경우에 비하여 4.77%정도 더 높은 것으로 나타났다.

## 후 기

본 연구는 2005년도 한국건설경영협회 주관으로 수행하는 특정과제로부터 아이디어를 얻어 수행한 것으로 한국건설경영협회 및 산하 건설사 제위에게 감사를 표합니다.

## 참고문헌

1. ASHRAE Standard 129-1979, Measuring Air Change Effectiveness, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
2. Cheong K. W., E, Djunaedy, T. K. Poh, K. W. Tham, S. C. Sekhar, N. H. Wong and M. B. Ullah, 2003, Measurements and computations of contaminant's distribution in an office environment, Building and Environment, 38(1):1-195
3. Li, X., and Y. Jiang, 1996, Calculation of age of air with velocity field. Post IAQ 96 seminar, Beijing.
4. Yuan, X., Q. Chen, and L. R. Glicksman, 1999b, Models for prediction of temperature difference and ventilation effectiveness with displacement ventilation. ASHRAE Transactions 105(1)