

다수의 열원을 가지는 공간에서의 환기 조건에 따른 열환경 해석

김재중*, 손영갑*, 장석원*, 유동수*

Thermal Enviroment Analysis of a Room in Accordance with Ventilation Condition with Multi-Heat Sources

Jae-Jung Kim*, Young-Gap Son, Seog-Weon Chang and Dong-Su Ryu

Key Words: Heat source(열원), Constant temperature chamber(항온조), Room(공간)
Ventilating condition(환기조건), Ventilating fan(창문배풍기), Electric fan(선풍기)

Abstract

This paper reports a thermal enviromental analysis of a room in accommodated with multi-heat sources according to ventilation condition. Two case modification have been investigated to obtain the lower temperature distribution in the room. The temperature distribution of the original room were found about 25~35℃. As a result, the use of, three ventilating fans and two electric fans are useful for room ventilation respectively, and using two electric fan is more recommendable in side of economical efficiency.

1. 서 론

일반적으로 각 기업의 연구소나 공장에서 전자 기기의 부품이나 제품의 신뢰성을 평가하기 위해서 여러 가지 시험을 행하고 있으며 그 중에서 온도 상승 시험은 주로 항온조에서 사용 환경 조건에 따라서 온도·습도조건을 조절하면서 시행되고 있다. 각 산업현장에서 이들 항온조가 여러대가 설치된 공간(이하 환경시험실)에서는 항온조들의 발열에 의해 내부 공기온도가 많이 상승한다. 따라서 이 환경시험실에서는 항온조의 안정적인 운전을 위해 주위온도 30℃이하로 유지하여야 하며 이를 위해 여러 가지 공조방식을 사용하고 있다. 참고적으로 당 연구소에서는 환경시험실 환

기를 위해서 외기온도 25℃ 정도일 때부터 대형 에어컨 2대를 가동하고 있으며 에어컨의 사용으로 인해 전기에너지를 많이 소요하고 있다.

환경시험실의 환기를 위해 봄, 가을 및 겨울은 기상청의 기후표에 따르면 외기 온도가 평균 20℃이하로 낮기 때문에 창문을 개방한 상태에서도 환경시험실 내부 온도를 30℃이하로 유지할 수 있어 다른 추가적인 환기장치는 필요하지 않다⁽¹⁾. 반면에 여름(7, 8월)의 경우에는 낮동안에 외기의 평균온도가 25℃이상 많이 올라가기 때문에 환기를 위해서 주로 에어컨을 가동하고 있으나 오전·오후에는 대기온도가 대략 20℃~25℃정도이므로 자연공냉방식으로는 환기가 불충분하며 에어컨을 가동하면 필요 이상의 환기에 따른 전기에너지 낭비가 초래된다. 그래서 본 연구에서는 에너지 절약 차원에서 외기 온도가 25℃일 때 에어컨을 대치할 수 있는 방안을 검토하고자 하였다.

* 대우전자(주) 품질경영연구소

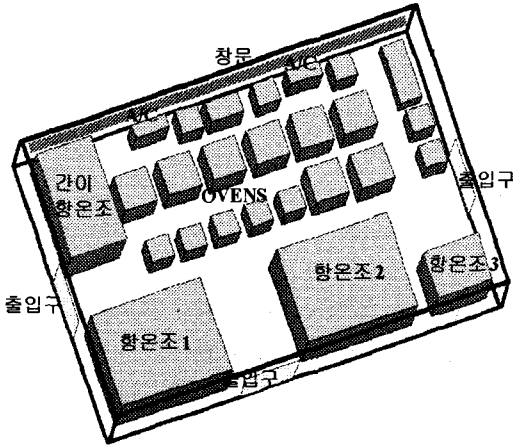


Fig. 1 Computational domain

지금까지의 산업현장 공간에서의 열환경에 관련된 연구들을 살펴보면 주로 대형 아케이드 또는 밀폐공간에 대한 수치해석적 연구가 대부분이며 실제 산업현장의 시험실에 적용한 연구는 미진한 실정이다^{(2)~(5)}. 그래서 본 연구에서는 다수의 열원이 존재하는 환경시험실에 여러 가지 환기 방식을 적용하여 그에 따른 열환경특성의 변화를 수치해석을 통하여 파악하고 이를 토대로 환경시험실의 적절한 환기 방식을 제시하고자 한다.

본 연구에서 해석하고자 하는 환경시험실을 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 환경시험실에는 가로×세로×높이가 각각 5000×4000×3000mm³ 크기의 대형향온조 2대, 2500×2000×3000mm³ 크기의 대형향온조 1대, 2500×4500×3000mm³ 간이향온조 1대, 다수의 Oven 및 에어컨 2대등으로 구성되어 있다.

2. 환경시험실 해석을 위한 수치적 모델

2.1 지배방정식

본 연구에서 적용한 환경시험실에서의 열전달 현상을 기술하는 정상상태의 지배방정식은 연속방정식, 운동량방정식, 난류운동량방정식, 난류운동에너지 소산을 방정식 그리고 에너지방정식이다.

연속방정식

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

운동량방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_j u_i) = & -\frac{\partial p}{\partial x_i} \\ & + \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ (\mu + \mu_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right\} + \rho g_i \beta (T - T_m) \end{aligned} \quad (2)$$

난류운동량에너지 방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) = & \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} \\ & + G_k + G_b + \rho \epsilon \end{aligned} \quad (3)$$

난류운동량에너지 소산율 방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \epsilon) = & \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right\} \\ & + C_1 \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_3 G_b) - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (4)$$

에너지방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} \right\} + S_T \quad (5)$$

여기서,

$$\mu_t = \frac{c_\mu \rho k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

$$G_k = \frac{\mu_t}{\rho} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (7)$$

$$G_b = -\beta g_i \frac{\mu_t}{\rho \sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (8)$$

$$C_1 = 1.44, \quad C_2 = 1.92, \quad C_3 = 0.09 \quad (9)$$

$$\sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\epsilon = 0.9, \quad \sigma_t = 0.85 \quad (10)$$

식 (1) ~ 식 (10)에서의 기호 선정은 일반적인 교과서에서의 예를 따랐다. 식 (5)에서 S_T 는 공간의 활동영역에서 에너지의 생성항을 뜻한다. 또한 식 (8)에서 σ_t 는 온도에 대한 난류 Prandtl 수이다.

3.2 경계조건

본 연구에서 환경시험실의 환기 방식에 따른 열환경을 해석하기 위하여 사용된 가정 및 경계 조건으로는 다음과 같다.

- 1) 복사열전달의 영향은 무시하였다.
- 2) 외기 온도는 25℃이다.
- 3) Fan에서의 경계조건은 Fan성능곡선으로 입력하였다.
- 4) 출입문 및 창문에서는 대기압으로 압력경계 조건을 입력하였다.

본 연구에서는 환경시험실의 온도분포를 해석하기 위하여 열·유체유동 해석 프로그램인 FLUENT 5.0를 이용하였다.⁽⁶⁾ 이 프로그램은 완전 암시기법(fully implicit scheme)을 사용한 유한체적법코드로서 속도 등의 벡터량과 압력, 온도 등의 스칼라량의 존재 위치가 서로 다른 엇갈린 격자계를 사용한다. 운동량 방정식의 압력장을 처리하기 위해서 SIMPLE 알고리즘을 이용하였다.

반복계산시 종속변수들의 수렴정도를 점검하기 위하여 아래에 정의된 잉여치(Residual) R값이 조사되었으며, 각 종속변수에 대하여 잉여치값이 10^{-4} 이하에 도달하면 수렴된 것으로 간주하였다.

$$R = \sum_{all\ domain} |\sum a_{nb} + b - a_p \phi_p| \quad (11)$$

여기서 ϕ , a 및 b 는 각각 본 연구에서의 종속변수, 이산화방정식의 계수 및 생성항을 나타내고 하첨자 p 와 nb 는 각각 계산제어체적과 인접제어체적의 격자점⁽⁷⁾을 나타낸다.

본 계산에서는 수렴조건을 만족하기 위하여 RAM 320byte, Pentium III 455Hz PC에서 2000여 회의 반복계산을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기존(창문개방) 환경시험실의 열환경

환경시험실의 열환경을 파악하기 위하여 환경시험실 전영역에서의 온도분포 및 속도분포를

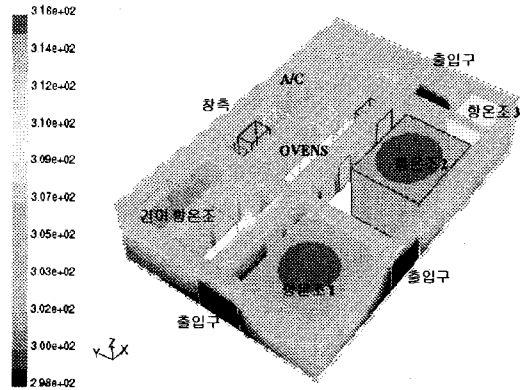


Fig. 2 Temperature distribution of original room

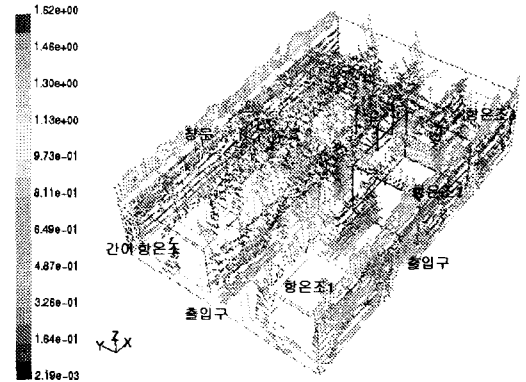


Fig. 3 Velocity distribution of original room

Fig. 2 및 Fig. 3에 각각 나타내었다. 그림 2에서 환경시험실 내부 온도분포는 약 25~35.0℃로 유지되며 향온조의 발열로 인해 가열된 공기가 환경시험실 천정쪽으로 이동함으로 바닥에서 천정쪽으로 올라갈수록 온도가 상승함을 알 수 있다. 또한 창측으로 갈수록 즉, 향온조에서 멀어질수록 공기온도가 낮은 온도를 나타내고 있다.

그림 3에서 환경시험실에서의 속도분포를 살펴보면 바닥부근에는 외부의 공기가 0.2m/s 정도의 속도로 출입문을 통해 유입되고 상부에서는 출입구를 통해 0.4m/s 정도의 속도로 유출되며 환경시험실 상부에서의 유동속도가 향온조 발열 및 창문의 영향으로 바닥의 속도에 비해 약 0.2m/s 정도 빨라짐을 알 수 있다. 또한 향온조 주위의 유동을 살펴보면 향온조 1과 2 사이에 작은 재순환(recirculation)영역이 발생하지만 자연대류에 의한 수직상승만 있고 좌우로의 유동은 거의 없

음을 알수 있다. 그러므로 원활한 환기를 위해서는 송풍기등의 강제송풍장치가 필요할 것으로 사료된다.

3.2 Fan(창문배풍기)가 설치된 환경시험실의 열환경

기존 환경시험실의 열환경 해석결과 내부공기가 정체되어 있으므로 이를 해소시키기 위한 방안으로 창문에 Fan(창문배풍기)를 설치하고자 하였으며 이를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 수정 환경시험실 I은 모든 조건은 모두 기존 환경시험실과 동일하나 창문에 45mm 직경의 창문배풍기 3대를 창문의 상부에 설치하였다.

수정 환경시험실 I의 열환경을 파악하기 위하여 환경시험실 전영역에서의 온도분포 및 속도분포를 Fig. 5 및 Fig. 6에 각각 나타내었다. 그림 5에서 환경시험실 I 내부 온도분포는 기존 환경시험실보다 3℃정도 낮은 약 25~32.0℃로 유지되는 것을 알수 있으며 이는 3대의 창문배풍기를 통해 내부의 공기가 원활하게 외부로 배출되기 때문이다.

그림 6에서 환경시험실에서의 속도분포를 살펴보면 바닥 부근에는 외부의 공기가 0.2~0.3m/s 정도의 속도로 출입문을 통해 유입되어 창측으로 흘러 나가고 있으며 창측으로 갈수록 유동속도는 점점 빨라지며 창문배풍기를 통해 약 2.2m/s 정도의 속도로 외부로 유출되고 있다. 창문배풍기의 영향으로 내부의 유동은 정체되어 있지 않고 창측으로 유동하고 있으며 재순환영역도 사라졌음을 알수 있다.

3.3 대형선풍기가 설치된 환경시험실의 열환경

기존 환경시험실에서는 내부공기가 정체되어 있어서 이를 해소시키기 위한 다른 방안으로 Fan(대형선풍기)를 설치하고자 하였으며 이를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 수정환경시험실 II는 모든 조건은 모두 기존 환경시험실과 동일하나 향온조 앞에 1500mm 직경의 대형선풍기 2대를 지상에서 1500mm 지점에 설치하였다.

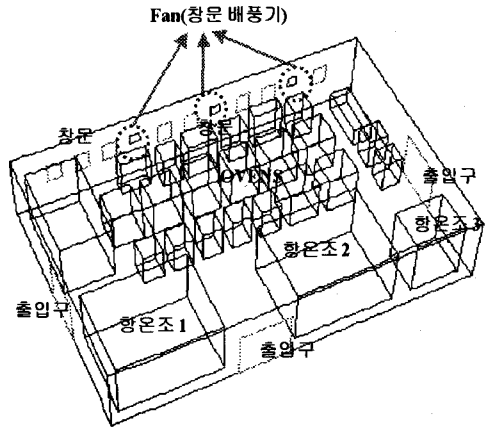


Fig. 4 Modified room I

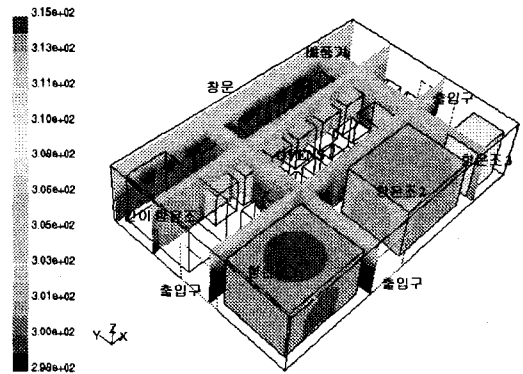


Fig. 5 Temperature distribution of modified room I

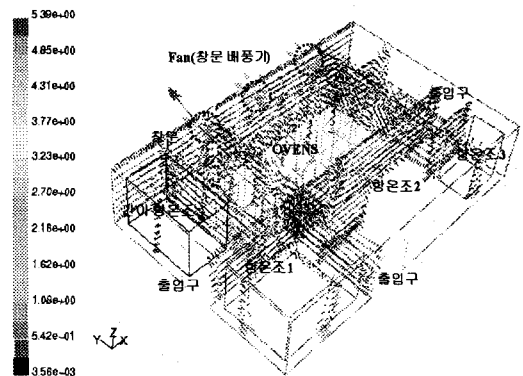


Fig. 6 Velocity distribution of modified room I

수정 환경시험실 II의 열환경을 파악하기 위하여 환경시험실 전영역에서의 온도분포 및 속도분포를 Fig. 8 및 Fig. 9에 각각 나타내었다. 그림

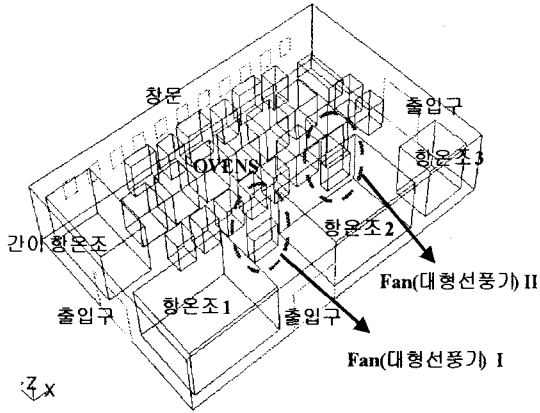


Fig. 7 Modified room II

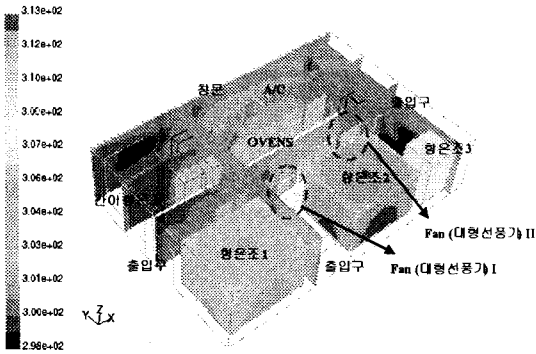


Fig. 8 Temperature distribution of modified room II

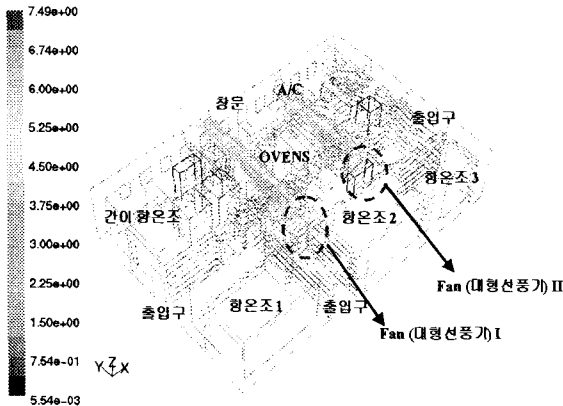


Fig. 9 Velocity distribution of modified room II

8에서 환경시험실 II 내부 온도분포는 대형선풍기 2대를 통해 내부의 공기가 원활하게 외부로 배출되어 공기온도가 약 25~29.0℃로 낮게 유지되는 것을 알 수 있다.

그림 9에서 환경시험실에서의 속도분포를 살펴 보면 출입구를 통해 0.7~1.2m/s의 속도로 유입된 공기가 창문쪽으로 최대 4.8m/s정도의 속도로 유동하고 있으며 대형선풍기 1에서는 약 6m/s 정도의 속도로 창문까지 원활하게 유동한 후 외부로 유출되고 대형선풍기 II에서는 최대 6.4m/s 정도의 속도로 유동하던 공기가 Oven의 저항에 의해 약 4.5m/s의 속도로 창문을 통해 외부로 유출되고 있다.

Table 1 Comparison of each ventilating condition

	창문배풍기	대형선풍기	에어컨
전압[V]	220	220	220/380
소비전력 [W/h]	185×3대 = 555	310×2대 = 620	10700×2대 = 21,400
최대온도 상승치	7.0℃	4.0℃	-

3.4 각 환기 조건에 대한 전력 소비량 비교

각 환기 조건에 대한 단위시간당 전력 소비량을 비교하여 표 1에 나타내었다.

표 1에서 알 수 있듯이 창문배풍기 및 대형선풍기의 소비전력은 에어컨에 비해 현저하게 적게 나오는 것으로 나타났다. 그러므로 외기 온도가 20~25℃정도일 경우에는 환경시험실의 환기를 위하여 에어컨을 대신하여 대형선풍기를 가동하면 시간당 20780W, 약 97%정도의 에너지 절감 효과가 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 다수의 열원이 있는 환경시험실에서의 환기 조건에 따른 열환경의 영향을 고찰하여 다음과 같이 결론을 얻어낼 수 있었다.

- (1) 기존 환경시험실 내부의 공기온도는 약 25~35.0℃로 유지되며 공기가 정체되어 있다.
- (2) Fan(창문배풍기) 3대가 장치된 수정 환경시험실 I에서의 내부공기는 약 25~32.0℃로서 기존

환경시험실 공기온도에 비해 3℃ 낮은 온도분포를 나타냈다. 이때 창문배풍기의 직경은 45mm이고 위치는 창문 상부에 위치함이 환기에 적절한 것으로 나타났다.

(3) Fan(대형선풍기) 2대를 설치한 수정 환경시험실 II에서의 내부공기는 약 25~29.0℃로서 기존 환경시험실 공기온도에 비해 6℃ 낮은 온도분포를 나타냈다. 이때 대형선풍기의 직경은 150mm이고 위치는 창문 바닥에서 150mm 상부에 위치함이 환기에 적절한 것으로 나타났다.

(4) 환경시험실에 에어컨을 대처할 수 있는 방안으로 대형선풍기 혹은 창문 배풍기를 이용하는 것이 온도상승을 억제하는 방법으로 유용하며 그 중 대형선풍기가 조금더 우수하고 약 97%의 에너지 절약 효과가 있으므로 대형선풍기의 채용이 보다 바람직하다.

참고문헌

- (1) 기상청, "2000년 주요 도시의 기후표"
<http://203.247.66.235/jucity/juki.html>.
- (2) 강석운, 김경환, 이재현, 오명도, 1999, "복사열을 받는 아트리움 공간에서의 열환경", 대한기계학회 열공학부문 추계학술대회논문집, pp. 318~325.
- (3) 배강열, 신재호, 정효민, 정한식, 1999, "열원을 가진 사각밀폐공간에 대한 열 및 유체유동의 수치해석", 대한기계학회 열공학부문 추계학술대회논문집, pp. 28~33.
- (4) 이철재, 정효민, 정한식, 1998, "가열벽과 냉각벽을 갖는 사각공간내의 난류자연대류 수치해석", 공기조화 냉동공학회 대한기계학회논문집, pp. 26~31.
- (5) 이철희, 배귀남, 이춘식, 1994, "여름철 사무실 내 온열환경 특성 및 온열감 반응", 공기조화 냉동공학회 동계학술대회 논문집, pp. 239~245.
- (6) Fluent Inc., 1998, "Fluent 5.1 User's Guide",
Fluent Inc.

- (7) Patankar, S. V., 1980, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere, Washington, DC.