

사각 천장형 루버 디퓨저의 토출 각도에 따른 실내유동에 관한 연구[§]

장헌덕* · 이대희* · 이진호*[†]

* 연세대학교 기계공학부

Study on Indoor Flow According to Vane Angle of Square Ceiling Type Louver Diffuser

Heon Deock Jang*, Dae Hui Lee* and Jin Ho Lee*[†]

* Dept. of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.

(Received December 13, 2011 ; Revised March 27, 2012 ; Accepted April 5, 2012)

Key Words: Airflow Distribution(기류분포), Entrainment Ratio(유인비), Supply Air Temperature(토출온도), Vane Angle(토출각도)

초록: 본 연구는 CFD 해석을 이용하여 사각 천장형 루버 디퓨저의 토출각도와 토출 유량에 따른 실내 공기유동 특성에 관한 것이다. CFD 툴은 상용프로그램인 ANSYS 13.0의 CFX를 이용하였다. 연구에 사용된 디퓨저는 적은 유량에서도 충분한 도달거리를 확보할 수 있도록 모델링하였으며, 실내 크기는 6×6×2.7m로 디퓨저의 대각선 방향으로 원형 배기구를 모델링 하였다. 토출 공기의 체적유량은 5.1CMM, 7.4CMM이며, 디퓨저의 토출각도를 30°에서부터 60°까지 10°씩 변화하여 실내의 유동특성에 대하여 고찰하였다.

Abstract: The purpose of this paper is to numerically study the characteristics of the indoor air flow of a square ceiling type diffuser according to the vane angle and flow rate. The CFX of ANSYS 13.0 was used for the CFD tool. The size of the room is 6 m(X) × 6 m(Y) × 2.7 m(Z). The exhaust diffuser was positioned diagonally to the supply diffuser. This diffuser was designed to have many holes, so the air supply had long throw patterns with low velocity decay. The characteristics of the indoor air flow was studied at volume flow rates of 5.1 CMM and 7.4 CMM, and a vane angle from 30° to 60°, every 10°.

- 기호설명 -

- V_x : 거리 x 에서의 중심 속도 (m/s)
- CMM : 공기 유량 (m^3/min)
- ΔT : 토출 유동과 실내 공간의 온도 차($^{\circ}C$)
- V_0 : 토출 속도(m/s)
- A_0 : 유효면적(m^2)
- θ : 토출각도
- k : 비례상수
- d_0 : 토출구의 상당 직경
- B_0 : 부력계수
- β : 기체팽창계수

1. 서론

현대 사회가 발전하면서 건물은 대형화, 고층화 되었으며 실내의 요구 환경은 고급화 되었다. 이에 따라 실내 부하는 급증하였으며 특히 연간 냉방 부하는 연간 난방 부하에 2배에 이르고 있다.⁽¹⁾ 실내 부하의 증가에 따라 풍량과 덕트 공간이 증가하였으며 이에 층고간의 높이가 증가하여 공간적, 설비적 측면에서 문제를 야기하고 있다. 최근 이러한 문제의 해결책으로 저온공조 시스템이 주목받고 있다.

저온공조 시스템은 실내공기와 토출 공기의 온도차가 10~15 $^{\circ}C$ 이며, 낮은 온도로 인하여 풍량을 감소시킬 수 있다. 하지만 낮은 온도로 인하여 디퓨저에서 토출된 공기가 수직 방향으로 급격하게 하락하여 콜드드래프트(Cold draft)를 야기하며 실내의 불균일한 기류와 온도 분포를 만들게 된

§ 이 논문은 대한기계학회 2011년도 추계학술대회(2011. 11. 2.-4., EXCO) 발표논문임

† Corresponding Author, jinholee@yonsei.ac.kr

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

다. 따라서 이러한 현상을 해소하고 쾌적한 실내 환경을 만들기 위한 디퓨저에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.⁽²⁾

실내의 온도 및 기류 분포는 디퓨저의 형상에 따른 토출속도, 토출각도, 풍량 등의 영향을 받는다.

Ying 등은 CFD를 이용하여 천장형 사각 콘 디퓨저의 토출각도와 풍량, 루버에 대한 수치적 연구를 진행하였다.⁽³⁾

김호진 등은 디퓨저 유형에 따라 CFD 시뮬레이션 수행 시 난류모델과 scheme이 CFD에 미치는 영향에 대한 연구를 진행하였다.⁽⁴⁾

Manning 등은 CFD를 이용하여 실내 공기 출구와 입구의 위치에 따른 실내 오염물질의 변화에 대하여 연구를 수행하였다.⁽⁵⁾

본 연구에서는 저온 송풍을 위한 디퓨저를 선정하여 디퓨저의 토출 각도와 풍량에 따른 실내 기류 및 온도 분포에 대해서 상용 프로그램인 ANSYS 13.0 CFX을 통해 해석해 보았다.

2. 연구방법

2.1 디퓨저 선정

공조시스템의 말단부위에 있는 디퓨저는 덕트와 연결되어 덕트를 통해 온 공기를 실내로 확산시켜주는 장비이며 실내 기류에 지배적인 역할을 한다. 이 때문에 디퓨저의 형상은 용도에 따라 변화되어 왔다.

디퓨저는 크게 연직토출(복류형) 디퓨저와 수평토출 디퓨저로 나누어지며, 연직토출 디퓨저에서 저온의 공기가 실내로 토출되면 밀도차이에 의해 도달거리가 짧아지게 되며 콜드드래프트를 발생시키기 때문에 도달거리가 긴 수평토출 디퓨저를 선택하였다. 아래는 수평토출 디퓨저와 관련된 식들이다.

$$A_0 = \frac{Q_0}{V_0} \tag{1}$$

$$\frac{V_x}{V_0} = k \frac{d_0}{x} = k' \frac{\sqrt{A_0}}{x}, d_0 = \sqrt{A_0(4/\pi)}, k' = 1.13k \tag{2}$$

$$\frac{z}{d_0} = 0.42B_0 \left(\frac{x}{d_0} \right)^3, B_0 = \frac{\beta g d_0 \Delta T}{k V_0^2} \tag{3}$$

식 (1)은 유효면적과 토출 속도와의 관계를 나타내며 식 (2)는 디퓨저의 수평방향으로의 거리와 속도에 관한 식이다. 식 (2)에서 k'값은 복류형(확산형)디퓨저의 k값보다 크기 때문에 수평방향으로의 도달거리가 길어진다.

식 (3)은 토출공기의 수평 방향 거리에 대한 수직방향의 토출 거리를 나타낸다.⁽⁶⁾

2.2 해석 모델

2.2.1 연구대상 디퓨저

본 연구에서는 천장 중앙에서 수평으로 토출 가능한 디퓨저를 선정하였다. Fig. 1과 같이 3차원으로 모델링하였으며 사방 토출식으로 각 방향으로 10개의 홀이 존재하여 토출 속도를 높여 준다.

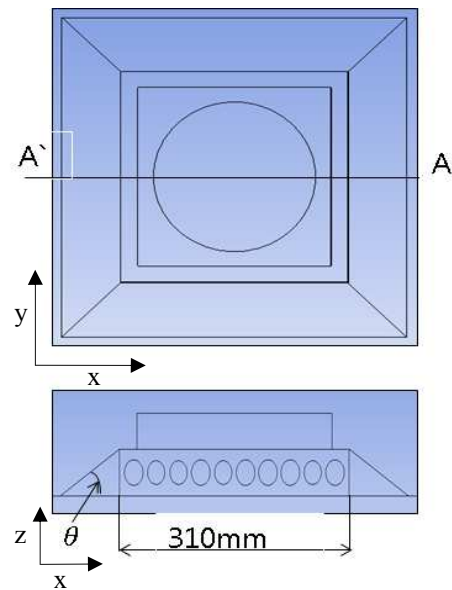


Fig. 1 Diffuser in the present study

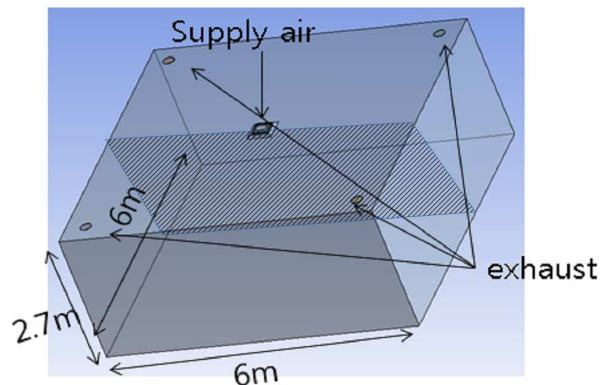


Fig. 2 Standard test room install a diffuser

Table 1 Governing equation

Continuity equation	$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$
Momentum equation	$\frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{\partial(\tau_{ij})_{eff}}{\partial x_j} + \rho_0(1 - \beta \Delta T)g_i$
Energy equation	$\frac{\partial}{\partial x_{ij}} \left[k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} + u_i(\tau_{ij})_{eff} \right] = 0$
Turbulent kinetic energy equation	$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\mu_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + G_k + G_b - \rho \epsilon$

디퓨저의 크기는 310mm(x)×310mm(y)×50mm(z)이다. 덕트와 연결 부위는 지름 220mm이다. 토출구의 토출각(θ)은 30°에서 60°까지 10°씩 변화시켰다.

2.2.2 공조환경

Fig. 2와같이 실내의 크기는 6(x)×6(y)×2.7m(z)이며 디퓨저는 천장 중앙에 위치한다. 출구는 원활한 공기 순환을 위해 디퓨저의 대각선 방향으로 외경 0.21m 배기구 4개를 벽에서 0.4m 떨어진 곳에 모델링하였다.

2.2.3 경계조건

본 연구에 사용한 격자는 ANSYS CFX의 tetrahedrons와 automesh를 사용하였으며, 벽면은 inflation처리를 하였다. element는 디퓨저와 실내 공간까지 합하여 총 25~26만개이다.

토출구는 유입온도 10℃에서 유량은 5.1CMM과 7.4CMM으로 고정하였고 배기 조건은 상대압력 0 Pa이다.

실내 벽면온도를 25℃ 등온조건으로 설정하였으며, 벽에서는 점착조건(no-slip condition)을 사용하였다.

난류 모델은 환기분야에서 실용적으로 많이 이용되는 standard k-ε모델을 사용하였고, 계산에는 First-order upwind을 이용하였으며, 수렴조건은 연속방정식의 최대 오차가 10⁻⁵ 이하이다.

본 연구에서는 난류 정상상태 비압축성 유동으로 가정하였다. 상용프로그램인 CFX는 연속방정식, 운동량 방정식, 난류운동 에너지방정식, 에너지방정식을 사용하고 있으며 지배 방정식은 Table 1에 나타내었다.

외부유동에서 벽면의 Re수는 $Re \geq 500,000$, 장애물 주위에서는 $Re \geq 20,000$, 내부 유동에서

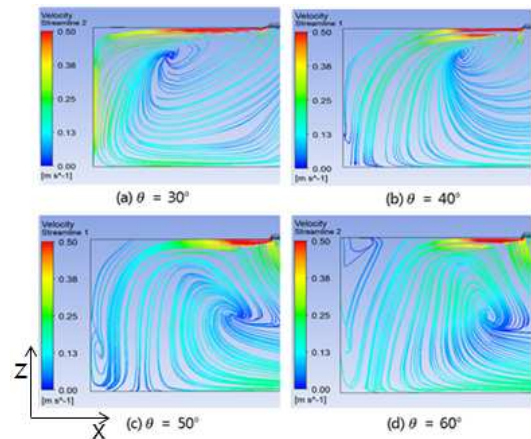


Fig. 3 Velocity fields in the vortex area according to the vane angle

의 $Re \geq 2,300$ 이다. 자연대류에서는 $\frac{Ra}{Pr} \geq 10^9$ 이다.

3. 결과 및 고찰

결과는 Fig. 2에서의 빗금 부위인 실내 중앙 단면에서의 공기 흐름과 온도를 살펴보았다.

3.1 와류 지역

Fig. 3은 유량 5.1CMM에서 토출각에 따른 와류지역 형성에 대해 나타낸 것이다. 성재용등의 연구(7)에서는 30°에서는 와류가 발생하지 않았지만 본 시뮬레이션에서는 30°에서도 와류영역이 발견되었다. 하지만 토출각이 커짐에 따라 와류영역이 실내 상부 지역에서 하부 지역으로 이동하는 경향성은 같았다.

와류 영역이 디퓨저 방향으로 이동함에 따라 와류영역에 의한 에너지 손실로 기류의 속도가 줄어드는 것을 볼 수 있으며 이에 따라 기류의 도달거리가 줄어든다.

3.2 기류분포

Fig. 4와 Fig. 5는 5.1CMM과 7.4CMM에서의 실내의 공기 유동을 보여준다. 토출각 30°에서는 5.1CMM, 7.4CMM에서 코안다 효과로 인하여 난류가 일어나기 전에 벽면에 닿아 벽면을 따라 흐른 후 디퓨저 중앙 부근에서 상승하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 유동은 유인비를 상승시키며 실내에 큰 흐름을 일으킨다. 하지만 디퓨저와 벽면 사이 중앙에 공기 정체 구간이 존재하게 된다.

40°이상의 토출각을 가진 경우 토출공기는 벽면에 닿기 전에 중심속도가 0.25m/s 이하로 떨어지게 되며 도달거리가 감소하여 실내기류를 유인하지 못한다.

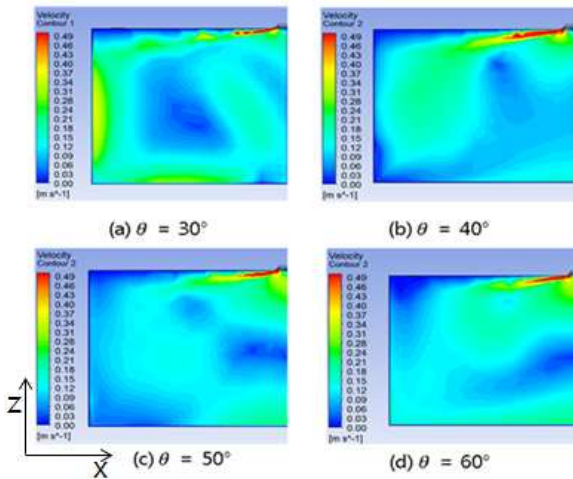


Fig. 4 Contours of absolute velocity according to the vane angle at 5.1CMM

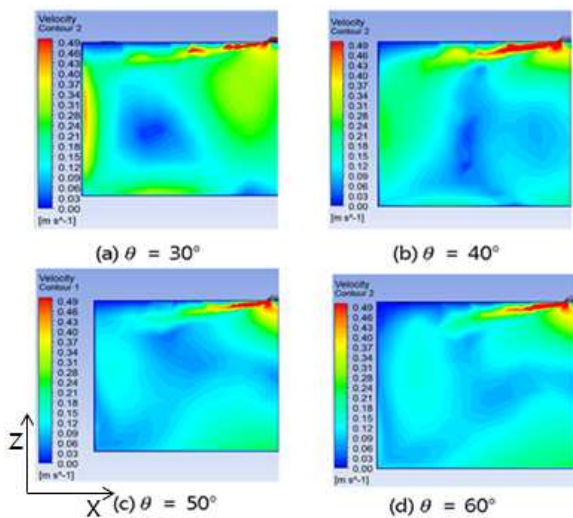


Fig. 5 Contours of absolute velocity according to the vane angle at 7.4CMM

3.3 온도분포

온도분포의 가장 큰 특징은 토출각 30°에서는 실내 온도분포가 약 21.7℃로 디퓨저의 수평면뿐만 아니라 수직면에서도 균일하다는 것이 가장 큰 특징이다. 하지만 토출각 40°이상에서는 속력이 난류구간으로 변화는 곳에서 유동이 수직방향으로 향하여 수평방향의 실내 온도구배가 불균일하며 수직방향으로의 유동은 콜드드래프트를 유발하여 재실자가 불쾌감을 느낄 수 있다.

두 번째 특징은 7.4CMM에서 토출각 30°와 토출각 40°이상의 각도들 사이의 평균 실내 온도이다.

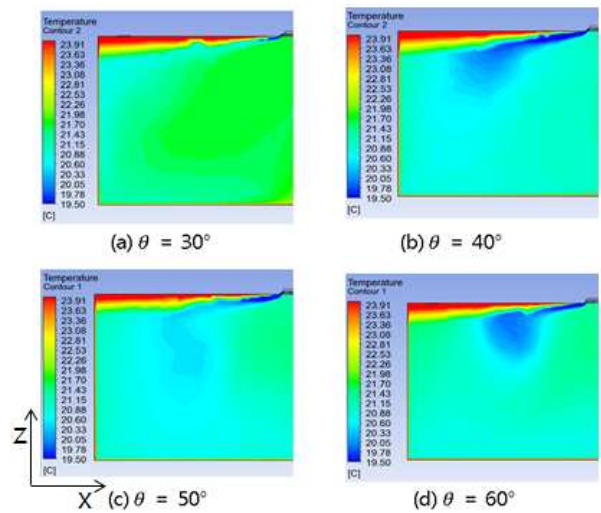


Fig. 6 Temperature distribution according to the vane angle at 5.1CMM

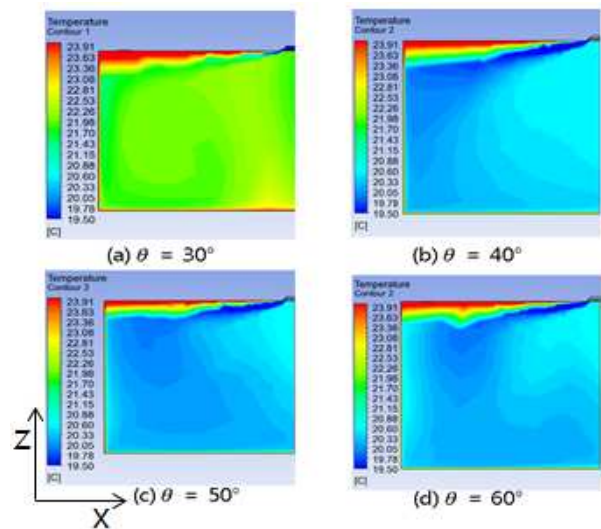


Fig. 7 Temperature distribution according to the vane angle at 7.4CMM

Fig. 7에서 볼 수 있듯이 (a)의 경우는 약 21.7℃이며, (b),(c),(d)에서는 약 20.3℃이다. (a)의 경우 1차 토출공기가 실내를 순환 후 재투입 되면서 온도가 (b),(c),(d)에 비하여 상승하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 저온급기에 적용이 용이한 디퓨저를 선정하여 디퓨저의 토출각에 따른 실내 기류 및 온도 분포에 미치는 영향을 알아보았다.

(1) 토출각이 커질수록 와류영역은 디퓨저 아래 방향으로 이동한다. 와류 영역이 디퓨저 방향으로 이동할수록 기류 속도는 느려지게 되어 도달 거리가 짧아지고 불균일한 온도 분포를 가지게 된다.

(2) 토출각 30°에서 유동은 코안다 효과로 인한 충분한 도달거리를 가지고 있으며 기류의 순환을 만들었지만 기류순환의 중앙 부위에 기류 정체 구간이 발견되었다. 토출각이 40° 이상일 경우 도달 거리가 짧아지고 실내에 큰 유동을 만들지 못하여 실내의 공기를 유인하지 못한다.

(3) 토출각 30°에서는 수평, 수직적으로 균일한 온도분포를 보였으나 40°이상의 토출각의 온도 분포에 비해 다소 높은 온도분포를 보였다.

(4) 40°이상의 토출각에서는 수평적으로 불균일한 온도분포를 가졌으며, 콜드 드래프트 현상이 일어났다.

참고문헌

- (1) Lee, H., 2009, "Cold Air Distribution System," *Energy Equipment Magazine*, No. 9, pp. 100~104.
- (2) Jung, D. S. and Jeong, C. S., 1998, "A Comparative Study on the Cold Air Distribution System and Conventional Air Distribution System," *SAREK*, pp. 1633~1638.
- (3) Ying Sun, Theodore F. Smith, 2005, "Air Flow Characteristics of a Room with Square Cone Diffusers," *Building and Environment*, Vol. 40, No. 5, pp. 589~600.
- (4) Kim, H., Seok, H., Choi, D. and Yang, J., 2009, "The Air Flow Characteristics According to Diffuser Modeling of the CFD Simulation," *KIAEBS*, No. 10, pp. 155~158.
- (5) Manning, A., Riskowski, G. L. and Memarzadeh, F., 2000, "Analysis of Air Supply Type and Exhaust Location in Laboratory Animal Research Facilities Using CFD," *ASHRAE*, Vol 106, pt. 1
- (6) Inoue, U., 2004, "HAVC Handbook," 4th ed, hanmi, pp. 448~449
- (7) Sung, J., An, K., Lee, G., Choi, H. and Lee, I., 2003, "Optimal Flow Control of Ceiling Type Indoor Unit by PIV Measurements," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 27, No. 8, pp. 1042~1050.