

## PIV 유동 계측을 통한 천장형 실내기의 최적 제어 설계

성재용\* · 안광협\*\* · 이기섭\*\* · 최호선\*\* · 이인섭†

(2002년 9월 26일 접수, 2003년 5월 27일 심사완료)

### Optimal Flow Control of Ceiling Type Indoor Unit by PIV Measurements

Jaeyong Sung, Kwang Hyup An, Gi Seop Lee, Ho Seon Choi and In-Seop Lee

**Key Words :** Ceiling Type Indoor Unit(천장형 실내기), PIV(입자영상속도계), Thermal Comfort(온열 쾌적감), Vane Control(배인 제어)

#### Abstract

A heating flow discharged from a 4-way ceiling type indoor unit has been investigated to determine the design parameters for the optimal flow control. The flow was measured by a PIV(particle image velocimetry) system and an experimental model of 1/10 scale with a transparent room was devised by satisfying the Archimedes number. This similarity is generally used in cases where the forced convection has similar magnitude of the natural convection. To optimize the heating flow, several vane angles and vane control algorithms of cross and right angle controls were considered. Regarding the vane angle, experimental results show that 30° is an optimal angle to avoid re-suction flows without significant increase in flow noise. Temperature distribution measured in the environmental chamber ensures the increased thermal comfort when compared to the case, 60° angle. At the optimal angle, applying open/close control gives rise to more uniform distribution of the heating flow than without control. Especially, the cross-control seems to be satisfactory for thermal comfort.

#### 기호설명

- $A$  : 면적 ( $m^2$ )
- $Ar$  : Archimedes 수
- $Gr$  : Grasshof 수
- $L$  : 특성 길이 (m)
- $Q$  : 유량 ( $m^3/s$ )
- $Re$  : Reynolds 수
- $t$  : 배인의 Open/Close 주기 (s)
- $V$  : 토출 속도 (m/s)
- $\Delta T$  : 토출 유동과 실내 공간의 온도 차 ( $^{\circ}C$ )
- $\theta$  : 배인 각도 ( $^{\circ}$ )

#### 1. 서론

산업이 발전하고 생활수준이 향상되면서 실내 공조 환경에 대한 소비자의 요구수준은 계속해서 증가하고 있다. 이러한 요구에 부응하여 인간의 쾌적감을 증대시키기 위해서는 단순한 온도 조절이 아니라 온도, 습도, 기류, 방사열 등이 종합적으로 조절된 환경을 만들 필요가 있다. 또한 최근 들어서 냉, 난방 시스템이 대량으로 보급되고 그로 인한 에너지 소비가 늘면서 새로운 환경 문제가 대두되고 있다. 이러한 산업환경에서 고효율, 쾌적설계된 공조기기의 개발은 매우 시급한 과제이다.

쾌적 영역의 증대를 통한 에너지 절약형 공조 기법의 개발은 토출 기류의 방향과 속도를 제어하여 보다 효과적으로 실내의 공기를 냉, 난방하는 기법을 개발하는 것이다. 이와 관련하여 지금까지

\* 회원, 순천대학교 기계자동차공학부

\*\* 회원, LG 전자 디지털플라이언스(연)

† 책임저자, 회원, ㈜ 나노옵틱

Email : islee@nanoptic.net

TEL : (031)496-0334, FAX : (031)496-0336

많은 연구들이 진행되어 왔으며, Memarzadeh 와 Manning<sup>(1)</sup>은 CFD 해석을 통하여 병원 입원실의 온열 쾌적감에 대해 고찰하였다. Kameel 과 Khalil<sup>(2)</sup>은 회의실과 수술실의 흡배기 조건의 변경에 따른 실내 열유동장 분포를 수치해석 기법을 이용하여 분석하고, 최적 조건을 제시하였다. 또한 실험적인 방법에 의해 공조기로부터 토출되는 기류를 측정, 분석한 연구들도 있었다. Takahashi 와 Hikru<sup>(3)</sup>는 Ar 수에 따른 난방 기류 특성을 스모크 가시화와 PIV 기법을 적용하여 연구하였고, 안광협과 이인섭<sup>(4,5)</sup>은 Ar 수와 Re 수에 따른 토출 기류의 특성과 온도분포를 LIF 기법으로 측정하였다. Koshima<sup>(6)</sup>는 기류제어에 의해 와류의 생성을 레이저 쉬트법을 이용하여 가시화하였고, 안광협 등<sup>(7)</sup>은 최근에 정량적 유동 가시화 기법으로 널리 사용되고 있는 PIV 계측 기법을 에어컨 토출 유동 가시화에 적용하였다. 한편, 박성관 등<sup>(8)</sup>은 본 연구의 대상인 사방 토출식 천장형 실내기의 냉기 토출 각도에 따른 유동장을 LDV 를 이용하여 계측하였다.

본 연구에서 관심을 가지는 난방용 천장형 실내기에 있어서 온열 쾌적감은 매우 중요한 문제이며, 더운 기류가 채실자의 머리 부위에 집중되거나 발 부위가 차가운 현상은 반드시 해결해야 할 과제이다. 따라서 본 연구에서는 학교 교실과 같은 큰 실내 공간에서 난방용으로 사용되는 천장형 실내기로부터 토출된 기류를 PIV 로 가시화하여 그 특성을 파악하고자 한다. 또한 토출 각도와 제어 알고리즘에 따른 최적 조건을 찾고자 한다. PIV 계측을 위하여 실제 크기의 1/10 인 축소 모델을 제작하였으며, 차원 해석을 통하여 강제 대류와 자연 대류가 동시에 고려되도록 Ar 수를 일치시켰다. 이러한 연구는 공조 특성 개선에 의한

천장형 실내기의 고효율 설계 및 최적 제어 알고리즘 개발에 있어 매우 중요한 역할을 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 가시화 모델

실내기의 토출 기류를 가시화하기 위해 실제의 실내기가 장착되는 학교 교실을 Fig. 1 과 같이 1/10 로 축소 제작(700× 900× 270 mm<sup>3</sup>, 투명아크릴)하여 가시화하였다. 마찬가지로 실내기 모델도 실제 실내기를 1/10 으로 축소하여 제작하였고, 흡입과 토출이 동시에 작동되도록 중앙에 흡입구와 이를 둘러싼 네 개의 토출 베인으로 이루어져 있다. 네 개의 베인은 스테핑 모터를 이용하여 구동하였다. 실내기 토출 부분에는 하나콤(honey comb)과 메쉬(mesh)를 설치하여 유동이 안정될 수 있도록 하였고, 방내부로 들어간 유동이 실내기 흡입부를 통하여 나오도록 하였다.

축소 모델은 기하학적 상사성을 만족시키고 실제 실내기의 기류를 정확하게 묘사하기 위해서 Re, Ar, Gr 무차원수의 상사가 필요하다. Re 수는 강제대류가 지배적인 영역에서, Gr 수는 자연대류가 지배적인 영역에서 그리고 Ar 수는 자연대류와 강제 대류의 크기가 비슷한 영역에서 만족시켜야 하는 무차원수로 이 세 개의 무차원수를 동시에 만족 시키는 것은 불가능하다. 본 실험의 경우, 자연 대류와 강제 대류가 공존하며 그 크기가 비슷하기 때문에 Gr 수와 Re<sup>2</sup> 의 비인 Ar 수(1) 상사를 이용하였다. 모델과 실제 실내기의 Ar 수는 상사 법칙으로부터 식 (2)와 같이 나타내어진다.

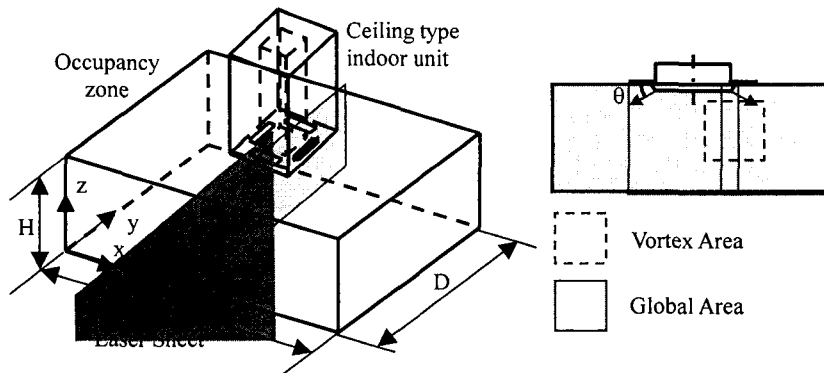


Fig. 1 Schematic model for the flow visualization in a ceiling type indoor unit and the fields of view

$$Ar = \frac{\beta \Delta T g L}{V^2} = \frac{Gr}{Re^2} \quad (1)$$

$$Ar_a \left( \equiv \frac{\beta \Delta T g L}{V^2} \right) = Ar_m \left( \equiv \frac{\beta \Delta T g L}{V^2} \right) \quad (2)$$

여기서 하첨자 *a* 는 실물(actual)을 의미하며, 하첨자 *m* 은 모델(model)을 의미한다. 또한 β는 열팽창계수, Δ*T*는 실내 공간과 실내기 토출 기류의 온도차, *g* 는 중력가속도, *L* 은 특성 길이 그리고 *V* 는 토출 속도를 나타낸다. 본 가시화 실험에서 사용된 작동 유체는 공기이고 실내기에서 토출되는 기류와 실내와의 온도차는 실제 실내기의 온도차인 20°C로 하였다. 즉,

$$\Delta T_m = \Delta T_a, \quad L_a = 10L_m \quad (3)$$

로 나타낼 수 있고, 식 (2)를 이용하면 모델의 토출 유량을 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$Q_m = \frac{V_a}{\sqrt{10}} A_m = \frac{V_a}{\sqrt{10}} \frac{A_a}{100} = \frac{Q_a}{100\sqrt{10}} \quad (4)$$

모델의 토출 유량을 근거로 한 모델의 토출 속도 및 Re 수는 실제 실내기 기류에 대하여 다음과 같은 관계를 가진다.

$$V_m = \frac{V_a}{\sqrt{10}}, \quad Re_m = \frac{Re_a}{10\sqrt{10}} \quad (5)$$

또한, 실내기 토출부에 장착된 베인의 스윙운동을 상사시키기 위해 베인의 Close/Open 제어 주기 *t* 를 다음과 같이 계산하였다.

$$\frac{t_m}{t_a} = \frac{L_m/V_m}{L_a/V_a}, \quad t_m = \frac{t_a}{\sqrt{10}} \quad (6)$$

이상의 식으로부터 얻은 실제와 모델에서의 열유동 조건을 Table 1 에 표시하였다.

2.2 측정장치

토출 기류의 실험 장치는 Fig. 2 에서 볼 수 있듯이 PIV 계측을 위한 장비와 온도 조절 장치, 유량 조절 장치로 구분된다. PIV 계측 장치는 크게 광원인 레이저, 화상을 취득하는 카메라 그리고 레이저와 카메라를 동기시키는 동기화 장치(synchronizer)로 구성된다. 레이저는 두 대의 300mJ/pulse Nd-YAG 를 사용하였고, 첫번째와 두번째 펄스는 Q-switch delay 를 이용하여 발생된다. 유동 계측은 Fig. 1 에 나타낸 바와 같이 와류영역

Table 1 Thermal and flow conditions in the actual and model cases

	Actual case	Model case
<i>Q</i> (CMM)	28	0.089
<i>V</i> (m/s)	4.7	1.47
Δ <i>T</i> (°C)	20	20
<i>t</i> (s)	60	19

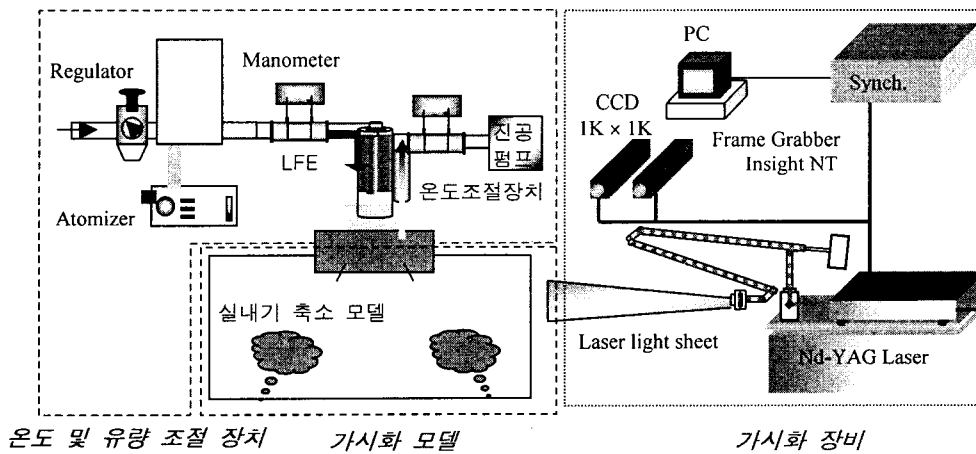


Fig. 2 Experimental set-up for PIV measurements

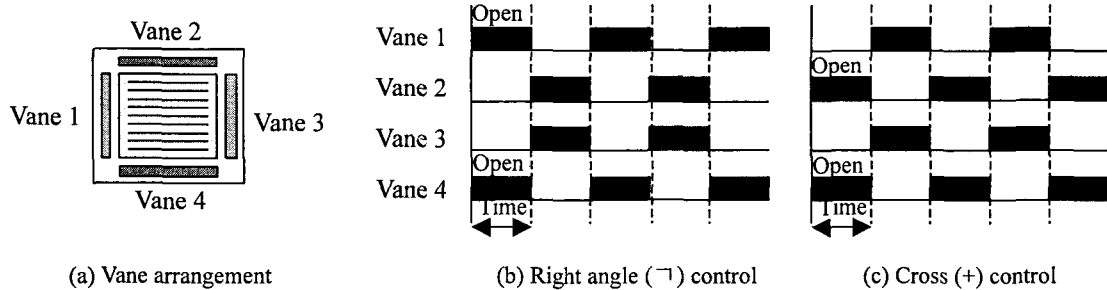


Fig. 3 Signal diagram of vane control according to the control algorithm

(vortex area)과 전체영역(global area)에서 이루어졌으며, 펄스 간격은 각각 1200, 2000  $\mu$ s 로 하였다. 와류영역은 토출기류에 의한 와류 발생 및 토출기류와 흡입기류의 상호 작용을 살펴보기 위하여 토출구 바로 부분에서 확대하여 본 유동영역이며, 전체영역은 실내 공간 전체에서 토출기류의 흐름을 가시화하기 위하여 설정한 영역으로 바닥에서 천장에 이르는 모든 영역을 포함한다. 전체영역의 계측에 있어서는 계측영역이 매우 크기 때문에 1K $\times$  1K 카메라 2 대를 좌우로 설치하여 동시에 계측하였으며, 이 때 두 영상은 10 mm 만큼 겹치도록 하였다. 따라서 최종적인 속도장은 좌우 두 영상의 속도장을 합성하여 얻어진다. 유동장에 주입된 입자로는 압축기 윤활유가 사용되었고, 이를 1  $\mu$ m 크기의 미세한 입자 형태로 만들어 주기 위하여 분무기(atomizer)가 사용되었다. 분무기에는 입자의 공급량을 조절하기 위한 레귤레이터(regulator)가 부착되어 있다.

토출 유량은 압축공기를 2 개의 레귤레이터와 댐퍼를 이용하여 조절하였고, 분무기에 의해 분사된 입자와 댐퍼에서 혼합된 후 온도 조절 장치를 거쳐 실내기 토출부로 전달된다. 유량 측정 장치는 LFE(laminar flow element)를 이용하였다. 이 장치는 내부에 하니콕이 장착되어 층류 압력저감을 이용하여 유량을 측정하는 장치로 LFE 양단의 차압을 마노미터(manometer)를 이용하여 측정하고 Hagen-Poiseuille 식으로부터 유량을 계산한다. 온도 조절은 배관 속에 1 kW 용량의 니크롬선을 설치하여 공급되는 공기의 온도를 상승시킨다. 니크롬선에 공급되는 전압을 조절하여 온도가 일정하게 유지되도록 하였으며, 토출 부위에 열전대를 장착하여 토출 온도를 측정하였다. 이상의 기법으로 실내기를 통하여 챔버(실내)에 공급되는 기류의 온도 및 유량을 제어하였으며, 챔버로 공급된 공기는 진공펌프를 이용하여 외부로 배출시켰다. 배

출되는 공기의 유량은 공급되는 공기 유량과 동일하게 유지하였다.

실내기 토출 유동은 Fig. 3(a)에서 볼 수 있듯이 4 개의 베인을 통해 분사되며, 실내를 순환한 후 중앙에 있는 흡입 포트를 통해 밖으로 배출된다. 실험 변수는 베인의 각도와 제어 방법으로 설정하였다. 베인 각도는  $\theta = 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 60^\circ$ 로서 총 4 개의 위치로 구분하였고, 제어 방법은 제어가 없는 경우와 십자(+) 및 ⊥자 제어, 3 가지 경우에 대하여 측정하였다. 제어가 없는 경우는 베인이 지정된 각도로 항상 열려있는 경우를 말하고, 제어는 베인을 주기적으로 Open/Close 를 반복하는 것으로 Fig. 3(b)-(c)에 각 베인의 제어 신호도를 나타내었다. 여기서 십자 제어는 4 개의 베인 중 평행한 두 베인만 개방하고 나머지 두 베인을 닫는 방법이고, ⊥자 제어는 ⊥자로 걸쳐있는 두 베인을 열고 나머지를 닫는 방법이다.

온도장을 가시화하기 위하여 실제 실내기를 환경 챔버에 설치하였으며, 환경 챔버 내에는 바닥면에 7  $\times$  12 개, 수직 단면에 5  $\times$  12 개의 열전대를 설치하여 온도 분포를 측정하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1 베인 각도에 따른 유동 특성

본 실험은 실내와 토출 기류의 온도차가 20 $^\circ$ C 이고 토출 유량이 28 CMM 인 천장형 실내기를 모델로 하였으며, 최적의 베인 각도를 찾기 위하여 각도의 변화에 따른 유동장을 고찰하였다. 이 실험에서는 베인이 일정한 각도로 고정된 상태에서 정상 유동 계측을 수행하였다.

Fig. 4 는 와류 영역(vortex area)에서의 평균 속도장 및 유선의 형태를 나타낸 것으로 베인 각도가 30 $^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 60^\circ$  일 경우에 대한 결과이다. 이 그림은 총 50 장의 순간 속도장을 평균한 결과로서

토출구 근처에서의 메인 기류 패턴을 통하여 와류의 생성 여부를 파악하였다. 배인 각도가 30° 인 경우 와류에 의한 재흡입(re-suction)이 발생하지 않으나 35° 이상에서는 토출 기류의 일부가 챔버 내부를 순환하지 않고 곧바로 재흡입이 되는 현상을 관찰할 수 있다. 재흡입이 발생하는 이유는 중앙에 위치한 흡입구 쪽의 낮은 압력으로 인해 토출 기류의 가장자리 부분에서 운동량을 상실되어 흡입구를 향해 올라가게 된다. 이 중 일부는 다시 토출 기류에 혼입(entrainment)어 토출 유동은 복잡한 3 차원 유동의 특성을 보인다. 이와 같이 재흡입 유동이 발생하면 실내기에서 가열된 온열이 실내 온도 상승에 기여하지 못하므로 실내기 성능에 매우 부정적인 영향을 초래한다. 따라서 본 연구

의 모델에서는 각도를 30° 이하로 유지하는 것이 바람직한 것으로 판명되었다. 배인 각도에 따른 유동 소음 특성을 파악하기 위하여 실제 실내기에 적용하여 실험한 결과 배인 각도가 작을수록 소음이 증가하는 경향을 보였으며, 각도가 30° 이하에서는 그 증가량이 매우 큰 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합하면 유동 소음을 억제하면서 재흡입을 줄이기 위해서는 30°가 최적 각도로 판단된다. 이는 박성관 등<sup>(8)</sup>의 결과에서 제시한 최적각도 30°~40°와 유사한 결과이다.

토출 기류가 챔버 내부를 순환하는 유동 패턴을 살펴보기 위하여 Fig. 5에서는 전체 영역(global area)에서의 평균 속도장을 서로 다른 배인 각도에

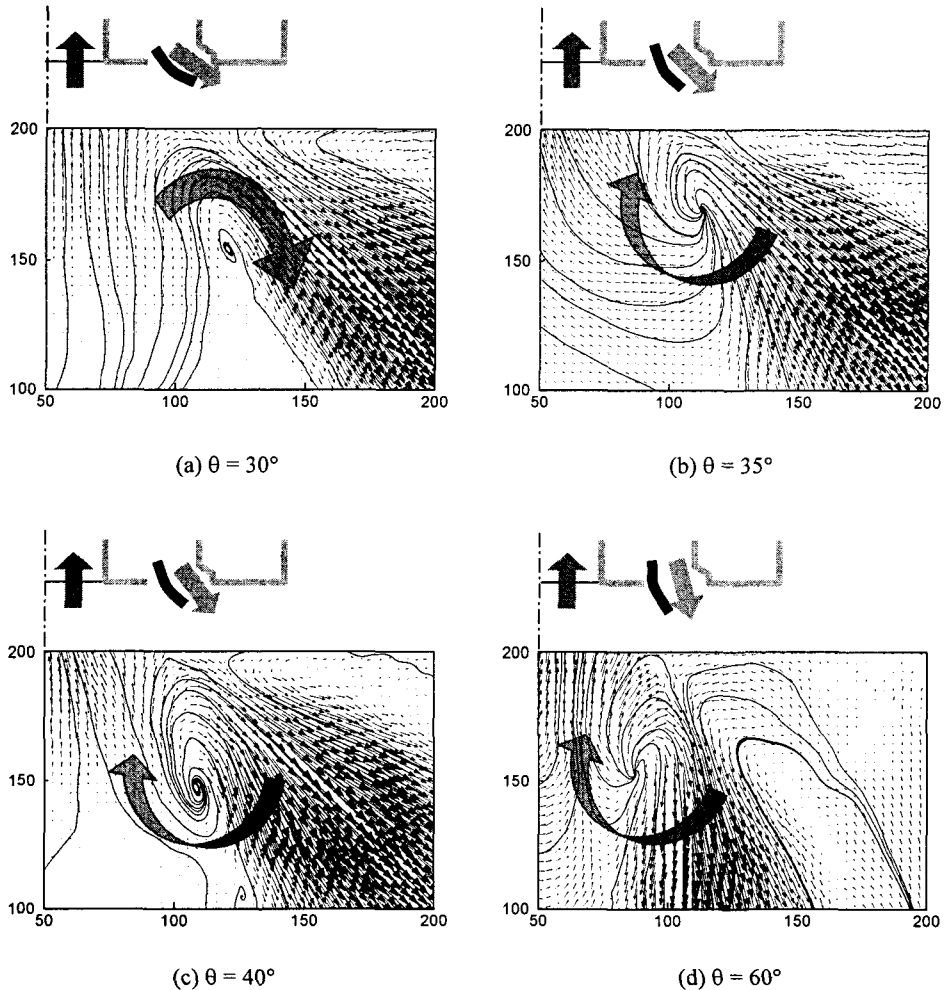


Fig. 4 Velocity fields in the vortex area, where re-suction of the discharged air may happen according to the vane angle

대하여 비교하였다. 유량을 일정하게 유지하기 때문에 배인 각도가 증가하면 토출 면적이 증가하여 토출 속도가 감소할 수 있으며, 본 연구에서는 30°에 대하여 60°의 경우 약 30% 정도 초기 토출 속도가 감소하였다. 그러나 실내기의 경우 제한된 공간에 토출된 기류가 기존의 공기와 혼합되어 실내의 온도를 높이는 것을 목적으로 하기 때문에 토출 속도보다는 일정한 유량으로 열에너지를 공급하는 것이 중요한 변수이다. 물론 초기 토출 속도 차이에 의해 토출 직후 유동은 약간의 차이가 발생할 수 있으나 이후 과정에서는 점차 자연대류의 영향을 받으며, 전체적인 유동은 강제대류와 자연대류의 상호작용에 의해 지배를 받는다. Fig. 5의 결과에 의하면 토출 각도가 증가함에 따라 메인 기류가 수직으로 형성됨을 확인할 수 있고, 각도가 40° 이상이 되면 메인 기류가 주거주영역 (main occupancy area) 내에 들어오게 되어 실내에 거주하는 사람의 머리부분에 더운 기류가 직접 닿게 된다. 이는 온열 쾌적감(thermal comfort)을 저하시키는 요인이 되기 때문에 온열 쾌적감 측면에서

도 30°의 배인 각도를 유지하는 것이 유리하다.

3.2 온열분포 가시화

천장형 실내기를 이용한 실내 난방에서 가장 큰 문제점은 머리 부분에 더운 기류가 집중되는 문제가 발생할 가능성이 높고 발부분은 오히려 시원하게 느껴질 수 있다는 것이다. 이러한 현상은 실내 거주자가 느끼는 온열 쾌적감을 저해하는 가장 큰 요인이 된다. 본 연구에서는 유동 계측을 통하여 최적화된 배인 각도에서 기류에 의한 불쾌감 정도를 파악하기 위하여 실내 공간의 온도 분포를 측정하였으며, Fig. 6에 그 결과를 나타내었다. 이 그림은 실내기를 환경 챔버에 설치하여 얻어진 데이터이며, 배인 각도 60°와 비교하였다. 측정 영역은 크게 두 가지로 바닥면 부근의 수평 단면과 실내기 아래의 수직 단면을 측정하였다.

실내기 바로 아래에서는 계측이 이루어지지 않아 수직 단면의 경우 배인 각도 60°에서 토출 기류를 완전하게 볼 수는 없었으나 최적 각도(30°)에서는 고온의 기류가 실내기에서 토출되는 모습을 확인할 수 있다. 또한 최적 각도에서는 유동 가시화 결과와 마찬가지로 머리 부분의 높이에서

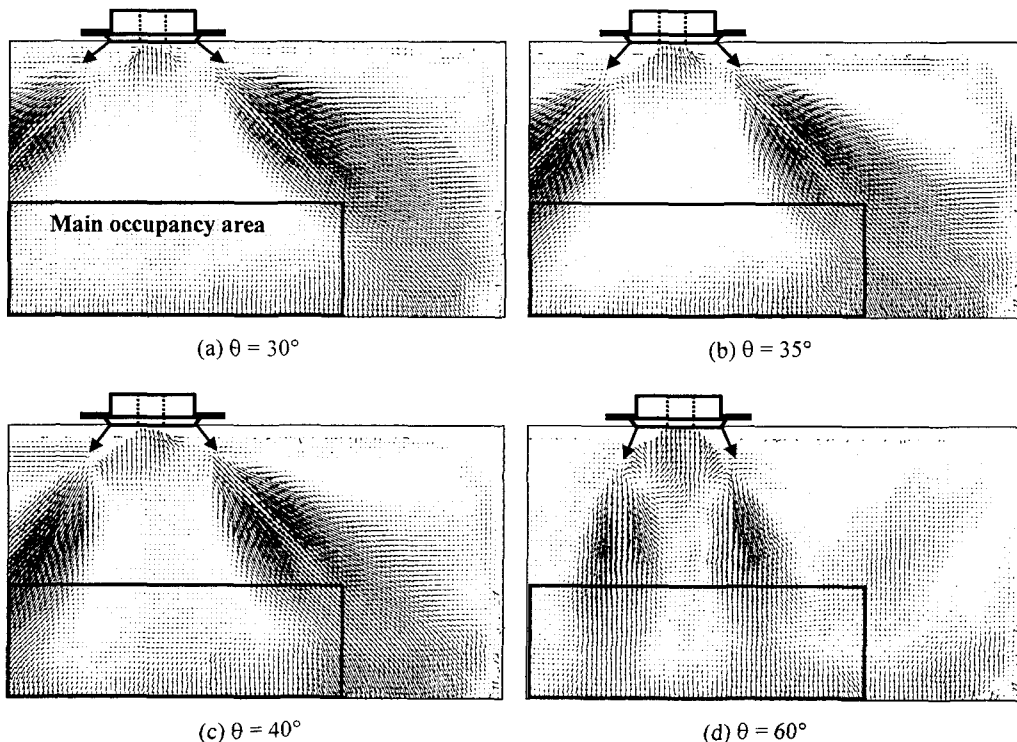


Fig. 5 Velocity fields in the global area. The region of re-sucked flow increases as the vane angle increases. The discharged flow should be controlled not to directly reach the main occupancy area

고온의 메인 기류가 분포하지 않았다. 발 부분에 해당되는 바닥면 근처의 수평단면에서는 60°인 경우에 비해 최적 배인 각도를 적용하였을 때 비교적 고온의 온도 분포를 보이고 있어 온열 쾌적감이 향상된 모습을 볼 수 있다. 이를 수치적으로 평가하기 위하여 온열 쾌적감의 기준으로 실내기 성능시험에서 사용되는 바닥면온도분포율을 사용하였다. 이는 바닥으로부터 0.1 m 지점에서 실내온도를 측정하였을 경우 따뜻함을 느낄 수 있는 온도(18°C) 이상이 되는 바닥면 면적 비율로 정의된다. 그 결과 배인 각도 60°에 비해 최적 각도에서는 23% 정도 온열 쾌적감이 개선된 것으로 나타났다.

3.3 제어 알고리즘에 따른 유동 특성

기류의 토출 방향을 고정시키면 비록 강제 순환 방식이라고 하더라도 국부적으로 기류가 미치지 못하는 영역이 발생한다. 따라서 기류 방향을 변화시키면서 전체적으로 고른 온도분포를 갖도록 하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 크게 두 가지의 제어 방법을 제안하고 그 성능을 비교 평가하고자 한다. 배인 제어 실험에서는 배인이 열렸을 때의 각도를 최적각도인 30°로 설정하였다.

Fig. 7 에서는 제어가 없이 고정된 배인에 의한 결과와 두 가지 제어를 적용한 경우의 결과를 비교하였다. 이 그림에서 왼쪽은 전체 유동 영역에서의 시간 평균 유동장이며, 오른쪽은 절대 속도의 rms 분포를 나타낸다. 시간 평균 유동장에서 제어가 없는 경우 토출 기류 방향을 따라 큰 속도가 형성되나 나머지 공간에서는 속도가 매우 작음을 볼 수 있다. 이는 기류가 특정 부위에 집중됨

을 의미하고 실내 전체에 기류 분포가 고르지 못하므로 실내에서 사람이 느끼는 기류에 대한 쾌적감이 떨어진다. 반면, 제어를 적용하여 배인을 주기적으로 여닫는 경우, 보다 넓은 영역에 걸쳐 기류가 고르게 분포됨을 알 수 있다. 제어 방법에 따라서는 평균 유동장의 경우 큰 차이를 보이지 않는다. 그러나 오른쪽 그림의 rms 분포에서 볼 수 있듯이 십자 제어를 적용함으로써 사람이 거주하는 바닥면 부근에서 속도의 변화량이 큰 영역이 보다 넓게 분포하고 있다. 바닥을 따라 흐르는 기류는 사람의 발부분에 직접 영향을 주므로 온열 쾌적감을 증대시키게 된다. 이를 바닥면 온도분포율을 이용하여 정량적으로 표현하면 7자 제어와 십자 제어의 경우 제어를 하지 않았을 때와 비교하여 각각 9%, 19%의 개선이 이루어진 것으로 나타났다. 결론적으로 제어를 가하지 않은 고정된 배인에서는 기류가 특정 위치에 집중되어 난방 효과와 사람이 느끼는 쾌적감이 떨어지는 반면 제어를 가함으로써 실내 전체 걸쳐 기류의 고른 분포를 얻었다. 제어를 가하는 경우에 있어서도 7자 제어에 비해 십자 제어가 효과가 큰 것으로 나타났다.

4. 결론

학교 교실과 같은 큰 공간에서 사용되는 천장형 실내기에 대하여 기류의 흐름을 PIV 속도 측정 기법을 이용하여 가시화하였다. 가시화 실험을 위하여 1/10 크기의 모델을 제작하였으며, 실제 유동에 근사시키기 위하여 Ar 수를 일치시켰다. 와류 영역과 전체 영역에서 살펴본 기류 분포로부터 배인 각도를 30°이하로 유지해야 재흡입 현상을

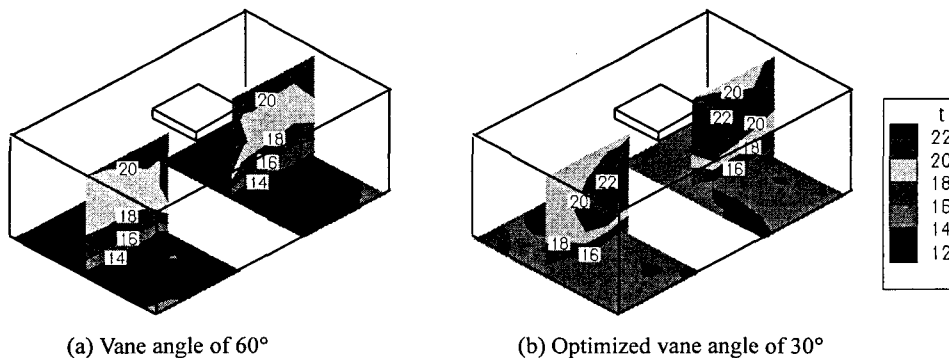


Fig. 6 Visualization of temperature distributions for the two vane angles, 30° and 60°. Warm flow area in the floor mostly contributes to the increase of the thermal comfort

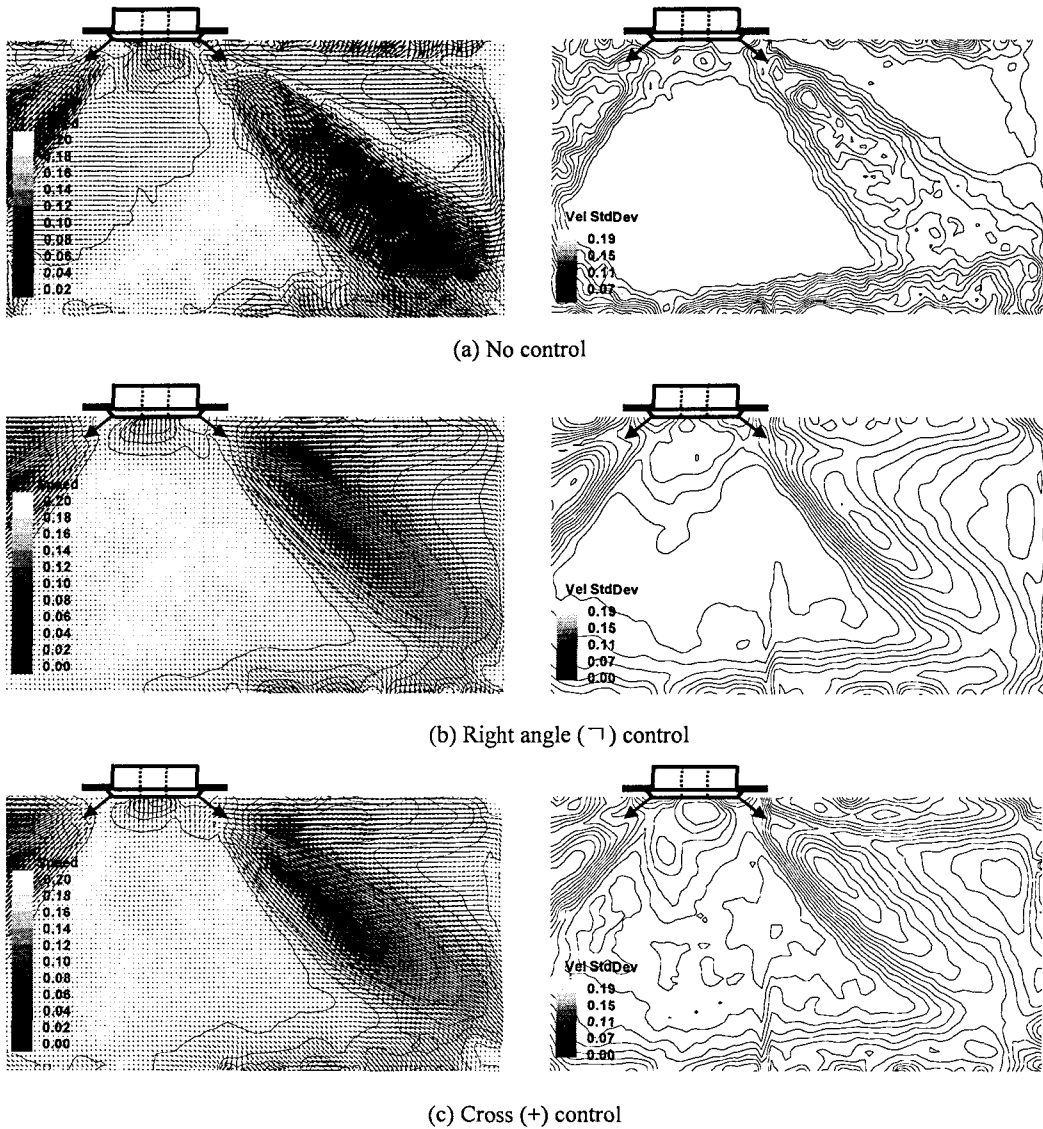


Fig. 7 Time-averaged flow characteristics under periodic control. The left figures represent global mean flow and the right figures represent rms distributions of the absolute velocity

방지할 수 있으며, 거주자의 머리 부분에 기류가 집중되는 현상을 방지할 수 있다. 그러나 이보다 작은 각도에서는 소음이 증가하여 30°를 최적 각도로 제시하였다. 최적 각도에 대하여 환경 챔버에서 온도장을 가시화한 결과, 바닥면에서의 온도 분포가 60°인 경우에 비하여 매우 균일함을 확인하였다. 또한 베인의 제어 알고리즘에 따른 유동 특성을 파악한 결과, 평행한 두 베인을 교대로 여닫는 십자 제어를 적용하였을 때 기류의 고른 분포로 인하여 실내에 거주하는 사람이 느끼는 온열 쾌적감이 증가할 수 있음을 보여주었다.

참고문헌

- (1) Memarzadeh, F. and Manning, A., 2000, "Thermal Comfort, Uniformity and Ventilation Effectiveness in Patient Rooms," *ASHRAE Annual Meeting*, MN-00-11-3.
- (2) Kameel, R. and Khalil, E. E., 2001, "Numerical Computation of the Fluid Flow and Heat Transfer in Air Conditioned Spaces," *Proc. ASME NHTC '01*, NHTC2001-20084.
- (3) Takeshi, T. and Hikru, K., 1998, "Flow in the Room Affected by the Supply Air from the Air-Conditioner," *VSJ*, Vol. 18, No. 2, pp. 87 ~ 88.
- (4) An, K. H. and Lee, I. S., 2000, "Temperature Field



- Measurement Around the Room Air Conditioner Using the LIF Technique," *4<sup>th</sup> JSME-KSME Thermal Eng. Conference*, Vol. 2, pp. 275 ~ 280.
- (5) An, K.-H. and Lee, I. S., 2000, "Measurement and Control of the Thermal Fluid Flow Around the Room Air Conditioner," *Proc. National Congress on Fluids Engineering*, pp. 407 ~ 410.
- (6) Koshima, M., 1996, "Development of Energy Saving Room Air Conditioners," *Report of Mitsubishi Heavy Industry*, Vol. 33, No. 2, pp. 78 ~ 81.
- (7) An, K.-H., Lee, I. S., Choi, H. S., Lee, G. S. and Huh, D., 2000, "Visualization of the Air Conditioner Discharge Flow," *Proc. SAREK Winter Annual Conference*, Vol. 2, pp. 613 ~ 617.
- (8) Park, S. K., Chee, S. K., Yang, G. and Oh, S. K., 2001, "Effect of Discharge Angle on Indoor Thermal Comfort for a Cooling Air by 4-Way Ceiling Type Indoor Unit," *Proc. KSME Thermal and Fluid Eng. Conference*, pp. 239 ~ 244.