

# PIV기법을 이용한 차량용 공조 시스템 내부유동에 대한 실험적 연구

지호성\* 김보람\*\* 이상준†

## An experimental analysis of the fluid flow in an automobile HVAC system using a PIV technique

Ho Seong Ji, Bo Ram Kim and Sang Joon Lee

### Abstract

Internal flow characteristics for an automobile HVAC have been investigated using a high-resolution PIV technique. The PIV system consists of a 2-head Nd:YAG laser(125 mJ), a high-resolution CCD camera(2K x 2K), optics and a synchronizer. An automobile HVAC module was used directly. Only the casing was remodeled transparently for capturing flow image and laser sheet beam illumination. Time-averaged velocity field were measured in three temperature control mode. For three temperature control modes, the internal flow characteristics for an automobile HVAC system were evaluated from PIV results..

**Key Words :** HVAC(공기조화), PIV(입자영상유속계), Temperature baffle(온도변환격판), Flow visualization(유동가시화)

### 기호설명(선택사항)

$u$  : Streamwise velocity [m/s]

$v$  : Normal velocity [m/s]

$Q$  : Flow rate [m<sup>3</sup>/s]

$\omega$  : Vorticity [1/s]

### 1. 서 론

최근 생활수준의 향상으로 자동차의 쾌적성에 대한 소비자들의 관심이 크게 증가하고 있다. 이에 따라 차량 내부의 온도, 습도 및 통풍을 제어하는 HVAC(Heating Ventilating Air Conditioning) 공조시스템과 자동차 내부 환기유동에 대한 연구의 필요성

이 고조되고 있다.<sup>(1)</sup> 차량의 쾌적성을 증대시키기 위해서는 HVAC 공조시스템의 성능향상이 필수적이며, 이를 위해 공조 장치 내부의 유동특성을 파악하는 연구가 선행 되어야 한다.

HVAC 공조시스템의 내부에서는 팬의 고속회전과 복잡한 내부 구조로 인하여 3차원 유동이 발생한다. Air duct, 각종 door 및 열교환기들은 복잡한 구조를 형성하며, 케이스의 형상 또한 3차원 곡면 형상을 띄고 있다. 이와 같은 특징들이 실험장치 구현을 어렵게 만들어 실험적 연구 수행이 용이하지 않은 실정이다.

이로 인해 많은 선행연구들은 수치해석적 방법이나, 열선유속계, 5공 프로브와 같은 점측정으로 이루어 졌다. 공조 장치 내부 유동 및 소음발생에 관련된 대부분의 연구가 수치해석적 방법으로 이루어 졌으며, 실험적 연구는 수치해석 결과를 정성적으로 검증하는 수준에 머무르고 있다.<sup>(2-7)</sup> 대부분의

† 이상준 포항공과대학교 기계공학과

E-mail: sjlee@postech.ac.kr

\* 지호성 포항공과대학교 기계공학과

\*\* 김보람 포항공과대학교 환경공학과

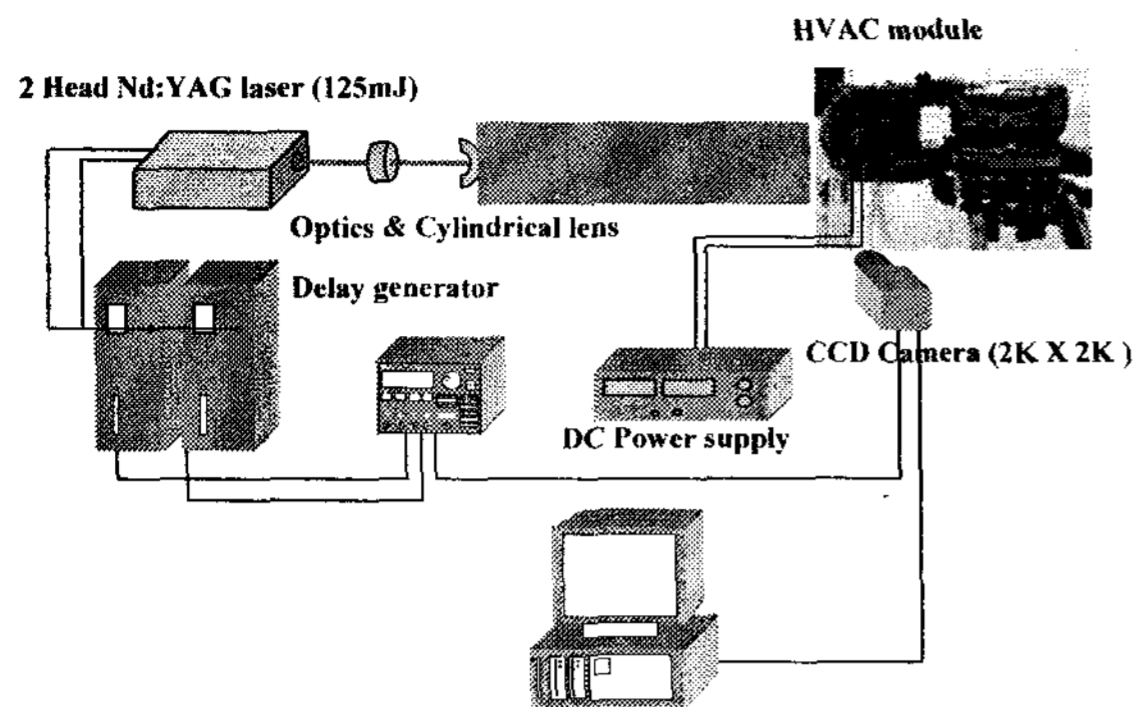


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

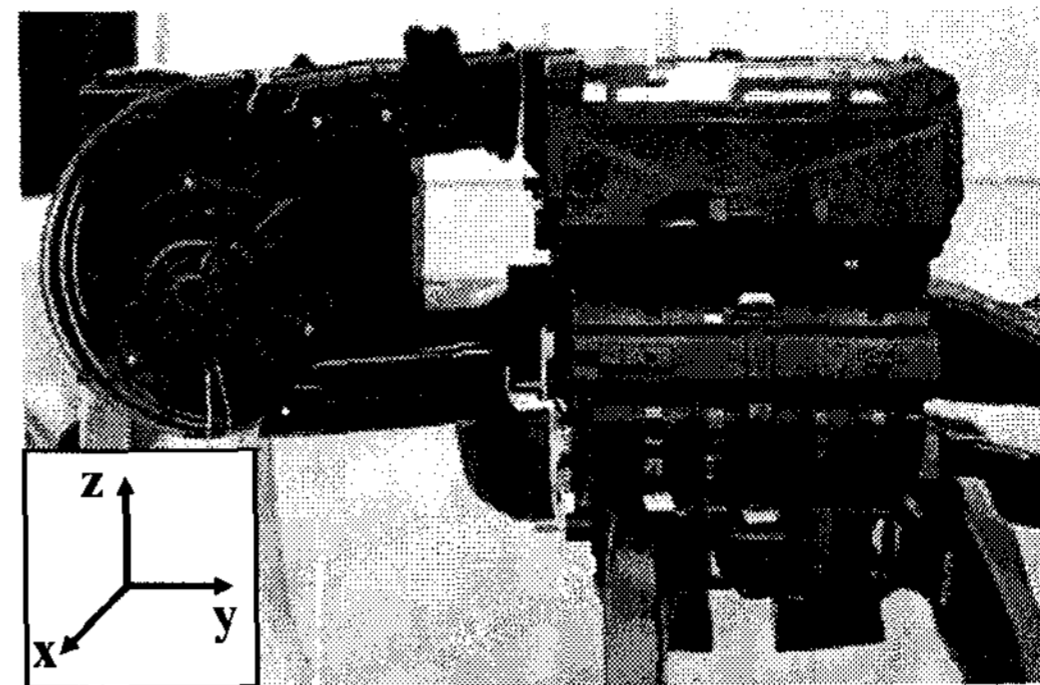


Fig. 2 Photographs of experimental set-up

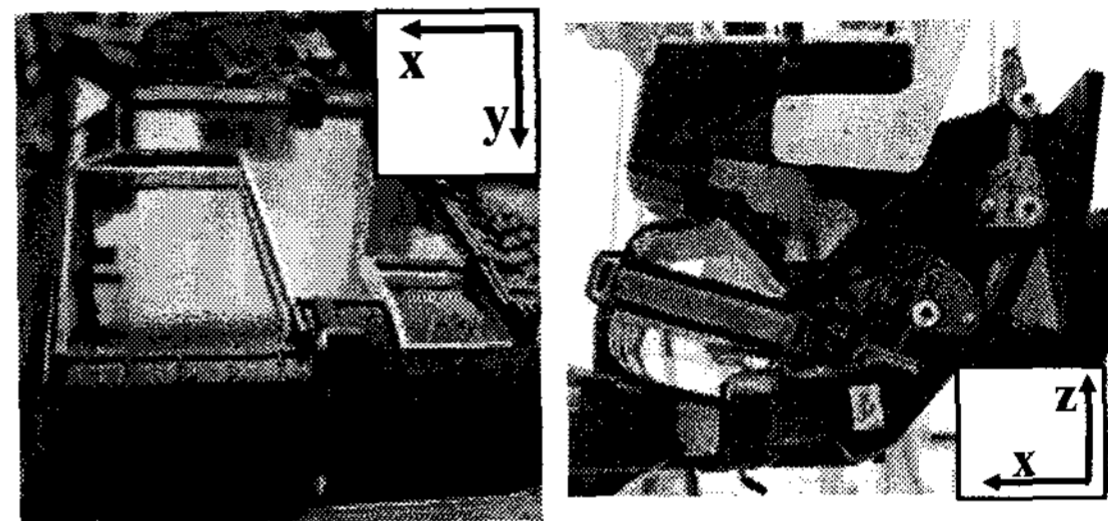
실험결과들 또한 고전적인 계측기법을 이용하여 수행되었기 때문에, 시간 평균에 의한 결과만 측정되었을 뿐, 시간에 따른 유동의 변화나 난류와 관련된 주요 정보들은 획득되지 못하였다.

최근 들어, 컴퓨터와 전자산업 및 화상처리 기술의 급속한 발달로 인하여 PIV(Particle Image Velocimetry)등과 같은 새로운 속도장 측정기술이 개발되어 복잡한 유동의 속도장 계측에 활용되고 있다. PIV 기법은 속도장을 직접 측정함으로써, 보간을 이용한 기법들에 비해 높은 신뢰성을 가지며, 시간 평균된 결과뿐 아니라 시간에 따른 유동변화 및 난류성분과 관련된 정보를 얻을 수 있어 보다 정밀한 유동해석을 가능하게 하였다. 일부 선행연구의 경우, PIV기법을 공조장치의 유동측정에 적용한 사례가 있지만, 빠른 유속에 의한 실험적 어려움을 극복하지 못하고 공기 유동이 아닌 물속에서 모사실험을 수행함으로써 신뢰성의 문제를 야기하였다.

본 연구에서는 고해상도 CCD카메라를 적용한 첨단 PIV 속도장 측정기법을 차량용 HVAC 공조시



(a) Frontal view



(b) Top View

(c) Side View

Fig. 3 Photographs of HVAC module and definition of experimental coordinate system

스템의 내부 유동에 실제와 같은 조건으로 적용하여, 다양한 운전조건에서의 유동특성을 실험적으로 관찰하고자 한다

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

Fig.1과 Fig.2는 본 연구에 적용한 실험장치구성의 개략도와 실험배치를 보여주고 있다. 실험 장치는 실제 자동차의 HVAC 공조시스템을 일부 개조하여 직접 사용하였다. 케이싱 부분 및 각종 door를 레이저 투과 및 이미지 촬영을 위해 투명 아크릴로 개조하였고, 팬의 회전에 의한 진동이 본체에 전달되지 않도록 고정하기 위한 금속 연결부를 부착하여 지지대에 고정시켰다. 그리고 토출부 후류의 유동 부하를 실제 차량과 동일한 조건으로 인가하기 위해 차량 실내로 연결되는 덕트들을 부착하였다.

HVAC 모듈 내부로 유동을 공급하기 위한 12V, 21A의 직류 모터를 실제와 동일한 조건으로 구동하기 위하여 직류 전압공급기를 사용하였다.

Fig.3은 개조된 HVAC모듈의 정면, 윗면 및 측면의 사진들이다. 정면부는 레이저가 조사되는 단

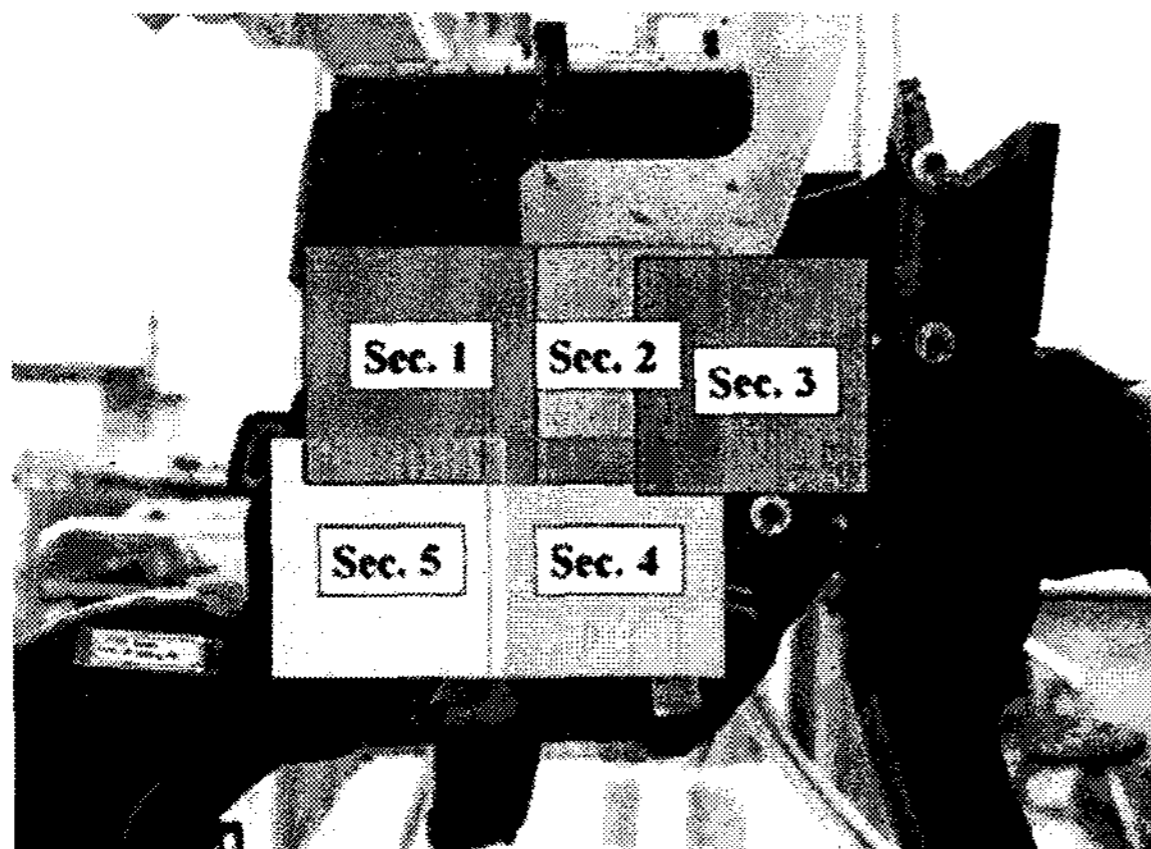


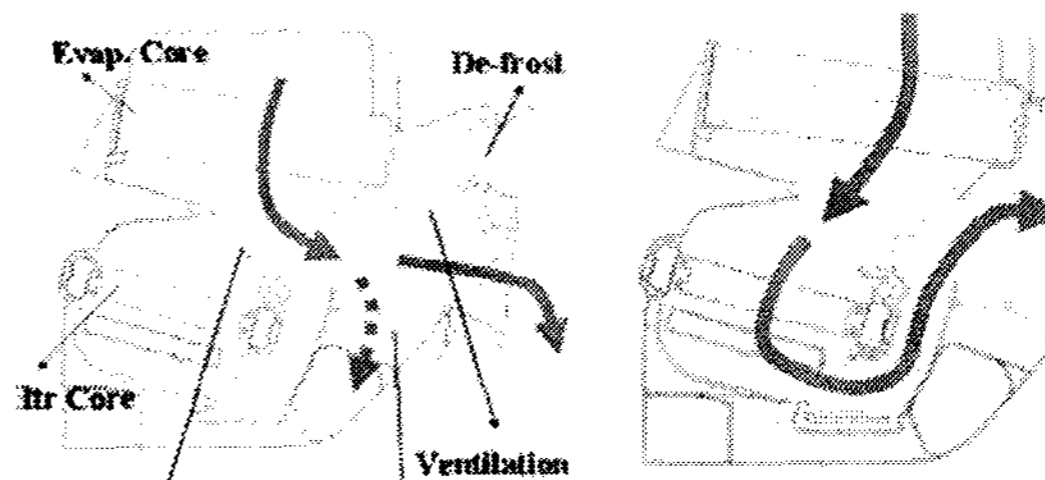
Fig.4 Experimental section for PIV velocity field measurement

면을 투명 아크릴로 개조하였고, 윗면 및 측면부는 CCD 카메라를 이용하여 입자영상을 취득하기 위해 투명하게 개조하였다.

## 2.2 실험방법

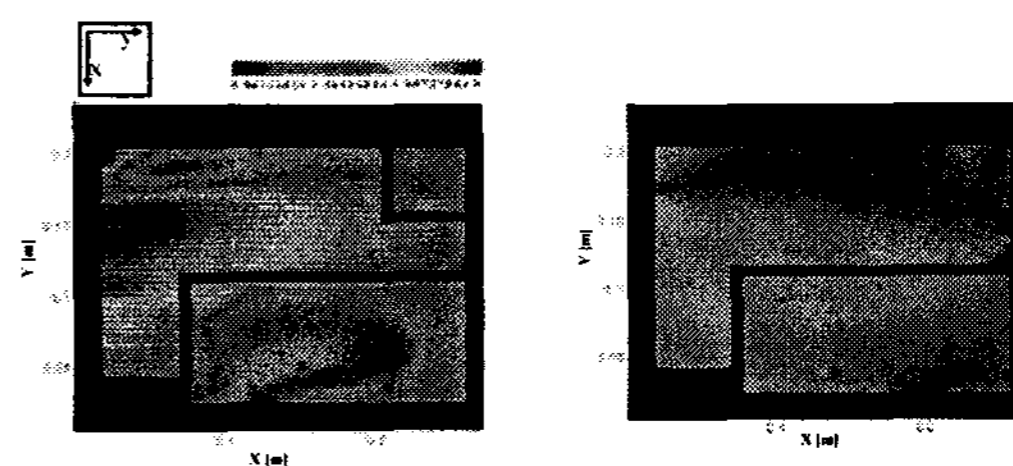
본 연구에 적용한 PIV 시스템은 2-head Nd:Yag 펄스 레이저, 고해상도 CCD카메라, 제어 및 계산용 컴퓨터, 그리고 동기장치로 구성된다. CCD카메라의 해상도는  $2048 \times 2048$  pixels이며, 한번에 2 프레임씩 쌍으로 유동영상을 취득하였다. Nd:Yag 레이저의 노출시간은 약 7ns이며, 에너지 레벨은 펄스당 125mJ이다. 측정하고자 하는 유동단면을 광학거울과 렌즈들 (cylindrical lens)을 적절히 조합하여 얇은 레이저 평면광(laser sheet)으로 조사하고 추적입자(tracer particles)에 의해 산란된 빛의 영상을 CCD카메라로 획득하였다.

이때 CCD 카메라는 조사된 평면광과 수직하도록 배치하였으며, 산란된 입자영상을 취득하기 위하여 85mm 매크로 렌즈를 CCD 카메라에 부착하였다. 관측창(field of view)의 크기를 약  $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ 로 정하고, HVAC 모듈의 측면을 Fig. 4와 같이 5개의 소구간으로 나누어 속도장을 측정하였다. 추적입자로는 직경이  $1 \sim 2\mu\text{m}$ 인 올리브 오일 액적을 사용하였으며, 실험조건은 Fig.5 에 나타난 바와 같이 모든 유동이 증발기만 지나 가장 차가운 유동을 발생시키는 Cool vent mode와 모든 유동이 히터를 지나 가장 따뜻한 유동을 발생시키는 Warm mode에서 수행 하였다. 위 두 가지 모드는 차량 내부에서 운전자가 온도 조절 스위치를 양 끝으로 돌림으로써 설정할 수



(a) Cool vent mode (b) Warm mode

Fig.5 Schematic diagram of temperature control mode



(a) Cool vent mode (b) Warm mode

Fig.6 Time averaged mean velocity distribution before evaporator core

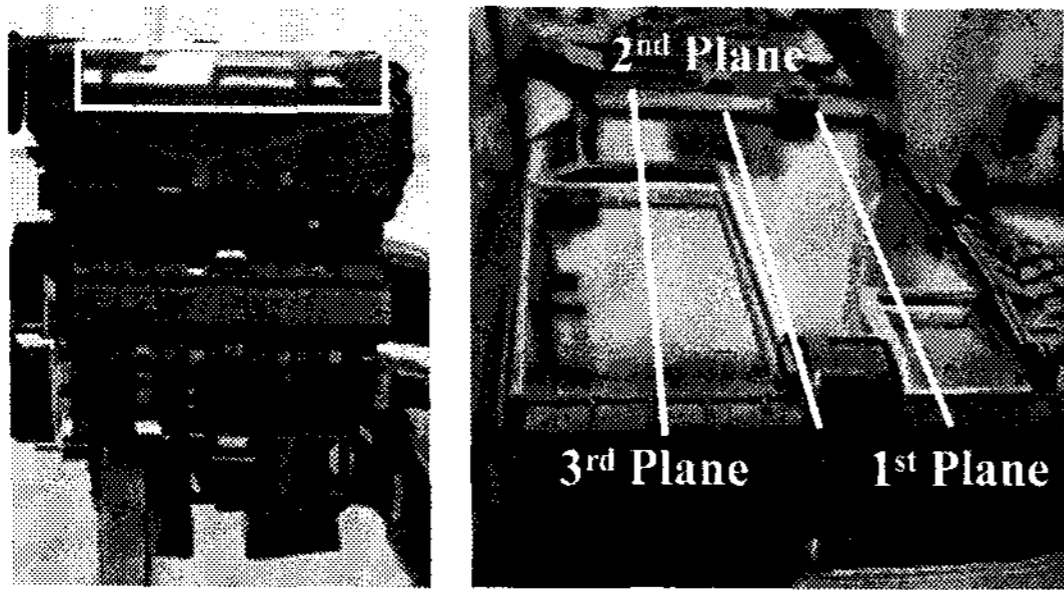
있다.

## 3. 결과 및 고찰

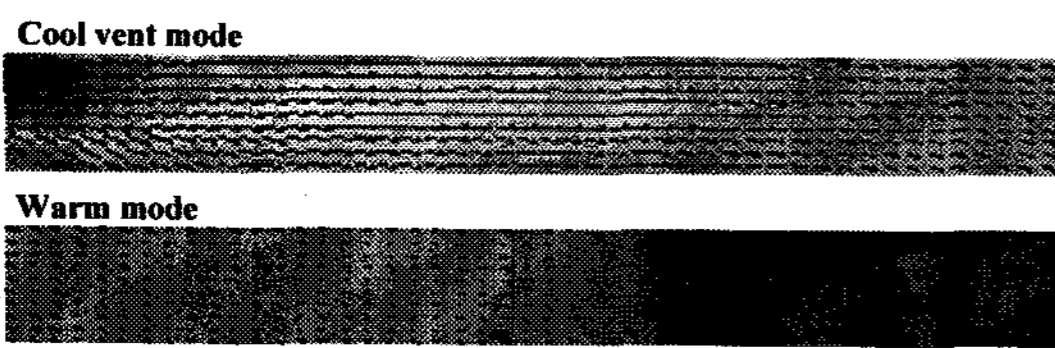
CCD 카메라를 통해 얻은 입자영상에 2화상 상호 상관(2-frame cross correlation)기법의 PIV 속도장 추출 알고리즘을 적용하여 순간 속도장을 구하였다. 이때 미소조사구간(interrogation window)의 크기는  $64 \times 64$  pixels이며, 각 구간 정보의 50%를 중첩 하였다<sup>(8)</sup>.

Fig. 6~8은 각각의 실험조건에서 차량용 HVAC 공조시스템내부의 속도분포를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 각 실험조건마다 400장의 순간속도장을 얻어 평균속도장을 구하였다.

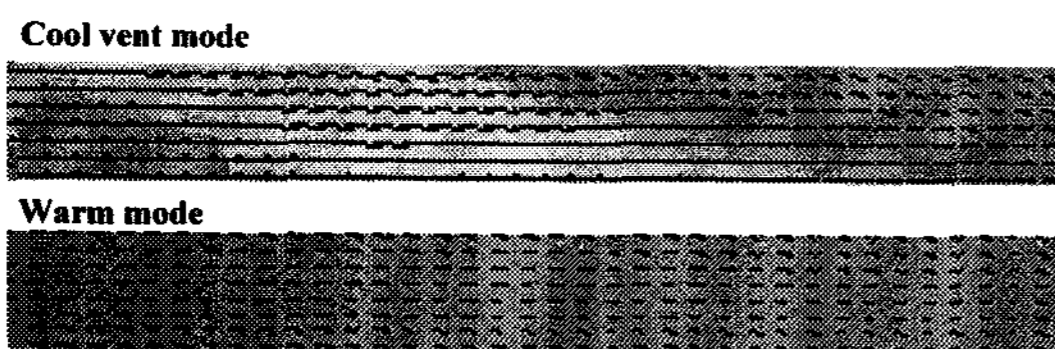
Fig.6은 Fig.3 (b) 에서 제시한 윗면의 속도장 분포를 측정된 결과이다. (a)는 유동이 증발기만을 지나는 Cool-vent mode에서 측정된 결과로 증발기와 히터를 모두 지나는 (b)의 Warm mode에 비해 빠른 속도 분포를 가짐을 볼 수 있다. 두 결과는 유속의 크기만 차이가 날 뿐 유사한 유동 구조를 가짐을 확인할 수 있다. 유동구조를 살펴보면 왼쪽에서 빠르게 유입된 유동은 X-Y 평면상의 속도 성분이 점차 감소해 감을 확인할 수 있다. 이는 주 유동의



(a) Definition of measurement plane before evaporator core



(b) Velocity distribution in first plane



(c) Velocity distribution in second plane



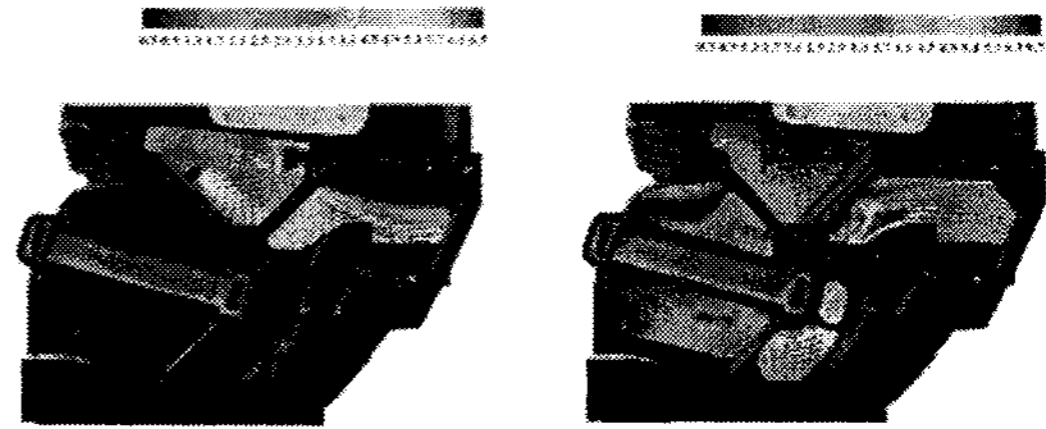
(d) Velocity distribution in third plane

Fig.7 Definition of measurement planes and time-averaged mean velocity distributions before evaporator core(Y-Z plane)

방향이 z축으로 바뀌면서 아래 쪽 증발기를 통과함을 의미하며 이는 이평면의 수직인 평면(Y-Z평면)을 측정된 결과인 Fig.7에서 확인할 수 있다.

Fig.7은 Y-Z 평면의 3개 측정단면에서 획득한 평균 속도장 결과이다. 주 유동이 증발기를 향하여 이동하는 것을 보여주고 있으며, Fig.6의 결과에서와 같이 모든 단면에서 Cool-vent mode가 Warm mode에 비해 큰 유속 값을 가짐을 확인할 수 있다. 동일한 단면구조를 가지는 first plane과 second plane은 유동구조가 유사한 반면 third plane은 공간구조의 영향으로 더욱 급격하게 유동 방향이 변하고 있음을 확인할 수 있다.

Fig.8은 Fig.3 (c) 에서 제시한 측면의 속도장 분포를 측정된 결과이다. Cool-vent mode에서의 측정 결과인 (a)는 증발기를 지난 모든 유동이 온도변환격판에 막혀 히터를 지나지 않은 채 오른쪽 토출구로 빠져나가고 있



(a) Cool-vent mode (b) Warm mode

Fig.8 Time averaged mean velocity distribution of after evaporator core

음을 보여주고 있다. 증발기를 지나 유입된 유동은 아래쪽으로 치우친 채 토출구를 빠져 나감을 확인할 수 있다. Warm mode의 측정 결과인 (b)는 온도변환 격판에 의해 모든 유동이 히터를 통과 후 오른쪽 토출구로 빠져나감을 보여주고 있다. Warm mode 또한 급격한 주 유동 방향의 변화가 균일하지 못한 유동 분포를 발생시켜 유동 효율을 저하시킴을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 온도변환모드에 따른 차량용 HVAC 모듈 내부의 정량적 유동정보를 고해상도 PIV 측정기법을 이용하여 관찰하였다.
- 2) Cool-vent mode의 경우 모든 유동이 증발기만을 지나 급격한 유동손실을 관찰할 수 없으나, Warm mode의 경우 증발기와 히터를 모두 지나고 급격한 형상변화를 지닌 유로를 통과하게 되므로 유동효율이 상대적으로 감소하여 출구에서 낮은 유속을 지니게 됨을 알 수 있다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부에서 주최한 자동차 핵심 기반기술 개발사업의 지원으로 수행 되었으며, 이에 감사드립니다

#### 참 고 문 헌

- 1)G. H. Lee, J. Y.G Park and J. H. Baek, "A study on the vehicle passenger compartment interior flow simulation for the air-conditioning mode", Spring Conference of The Korea Society of Automotive Engineers, 475-480, 1998

- 2)W. H. Jeon and D. J. Lee, "A numerical study of the effects of design parameter upon fan performance and noise", J. of Korea Fluid Machinery Vol.2,No.3, 45-51, 1999
- 3)H. Kim, K. C. Park, and S. B. Lee, "Measurement and prediction of aerodynamic noise from siroco fans", J. of Korea Fluid Machinery Vol.2, No. 4, 57-64, 1999)W. H. Jeon, S. J. Baek and C. J. Kim, "A numerical study on the generation of aeroacoustic sound from siroco fans", J, of Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 12, 42-47, 2002
- 5)J. Park, S. H. Lee, and B. J. Son, "A study on low-noise and high efficiency siroco fan development", J. of Korea Fluid Machinery Vol.2, No. 2, 46-56, 1999
- 6)Y. Kwon and N. H. Cho, "Experimental study on the mean flow characteristics of forward curved centrifugal fans", KSME International Journal, Vol. 15, No. 12, 1728-1738, 2001
- 7) Shen, F.Z., Backer, G.P., and Swanson, D., "HVAC Plenum Design Analysis, SAE Paper 950113,1995",
- 8) S. J. Lee, "PIV/PTV velocity field measurement technique-theory and practice", PIV05 Lecture Note, 2005, POSTECH