

## 온도조절 모드에 따른 차량용 공조장치 내부 유동특성

지호성\*·이상준\*\*

### Internal flow characteristics inside an automobile HVAC according to temperature operation mode

Ho Seong Ji\*, Sang Joon Lee\*\*

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

#### Abstract

Air flow of inside automobile HVAC module has been visualized using a high-resolution PIV technique with varying the temperature operation mode. 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. A real automobile HVAC module was used directly with slight modification for clear optical windows. Some parts of the HVAC module casing were replaced with transparent windows for capturing flow images with laser light sheet beam illumination. Time-averaged velocity field were measured in three temperature control modes. Flow characteristics of the air-conditioned air flow in the automobile HVAC system were evaluated.

#### 1. 서론

차량내부의 온도, 습도 및 통풍과 같은 환기유동을 조절하는 HVAC(Heating Ventilating and Air Conditioning) 공조시스템의 성능은 차량내부의 운전자 및 동승자들의 쾌적성과 밀접한 연관이 있다. 차량내부에서 느끼는 쾌적성의 향상을 위하여 HVAC 공조시스템의 성능향상이 필수적이며, 이를 위해 공조장치 내부의 유동특성을 파악하는 연구가 선행되어야 한다.

HVAC 공조시스템 내부유동 구조는 복잡한 3차원 구조를 지니고 있으며, Air duct, 유동 및 온도 제어를 위한 각종 격판 및 열교환기들은 복잡한 유동경로를 형성하고 있으므로 실질적인 유동조건을 적용하여 HVAC내부의 유동 구조를 상세하게 관찰하는 것은 용이하지 않은 실정이다. 많은 선행연구자들은 수치해석적 방법을 주로 이용하여 차량용 HVAC시스템 내부의 유동 구조를 관찰하고자 노력하였다. 일부 선행연구자들은 실험적인 방법을 적용하여 연구를 수행하였으나, 대부분의 실험적 연구들은 열선유속계나, 5공 프로브와 같은 점측정으로 이루어졌다.<sup>[1,2]</sup>

최근 들어, 컴퓨터와 전자산업 및 화상처리 기술의 급속한 발달로 인하여 PIV(Particle image velocimetry)등과 같은 새로운 속도장 측정기술이 개발되어 복잡한 유동의 속도장 측정에 활용되고 있다. 일부 선행연구의 경우, PIV기법을 공조장치의 유동측정에 적용한 경우가 있으나, 빠른 유속에 대한 실험적 어려움을 극복하지 못하고 공기유동이 아닌 물속에서 모사실험을 수행함으로써 신뢰성의 문제를 야기하였다.

본 연구에서는 고해상도 CCD카메라를 적용한 첨단 PIV 속도장 측정기법을 실제 차량용 HVAC 공조시스템에 적용하여 내

부유동의 특성을 관찰하고자 한다.

#### 2. 실험장치 및 실험방법

Fig.1은 본 연구에 적용한 실험장치 구성의 개략도를 보여주는 것이다. 실험 장치는 실제 자동차의 HVAC 공조시스템을 일부 개조하여 평면레이저 광이 HVAC 공조시스템의 내부에 조사되고, 산란된 입자영상을 선명하게 획득하기 위하여 투명아크릴로 개조하였다. 본 연구에 적용한 PIV 시스템은 2-head Nd:YAG 펄스 레이저, 고해상도 CCD 카메라, 제어 및 계산용 컴퓨터, 그리고 동기장치로 구성된다. CCD 카메라의 해상도는 2048x2048 pixels이며, 한번에 2프레임씩 쌍으로 유동영상을 취득하였다. CCD 카메라는 조사된 평면광과 수직하도록 배치하였으며, 산란된 입자영상을 취득하기 위하여 60mm 렌즈를 CCD 카메라에 부착하였다. 관측창(FOV; field of view)의 크기를 약 15cmx15cm로 정하고, HVAC 모듈의 측면을 5개의 소구간으로 나누어 속도장을 측정하였다. 그리고 온도격판의 변화에 따른 HVAC내부 유동을 상세하게 관찰하기 위하여 유동이 증발기만을 지나 가장 차가운 유동을 제공하는 cool-vent mode와 모든 유동이 증발기와 히터를 지나 따뜻한 공기를 차량내부로 공급하는 warm mode에서 수행하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

Figs. 3~4는 각각의 실험조건에서 차량용 HVAC 공조시스템 내부의 속도분포를 측정하여 나타낸 것이다. 각 실험조건마다 400장의 입자영상을 획득하여 200개의 순간속도장을 계산하였으며, 통계적 방법을 이용하여 평균속도장을 계산하였다. Fig. 3은 blower unit과 증발기 사이의 x-z평면에서의 평균속도장을 나타낸

\* 포항공과대학교 기계공학과, [jshsmj@postech.ac.kr](mailto:jshsmj@postech.ac.kr)

\*\* 포항공과대학교 기계공학과, [silee@postech.ac.kr](mailto:silee@postech.ac.kr)

것이다. 온도 조절 운전모드에 상관없이 Blower unit의 출구 형상에 의해 토출되는 유동이 영향을 받는 것을 관찰할 수 있다. Fig. 3(a)는 냉방 운전모드에 대한 x-z 평면의 평균유동장을 보여주는 것이다. 냉방운전의 경우 blower unit에서 토출된 공기유동이 바로 증발기만을 거쳐 차량의 실내로 빠져나가기 때문에 난방 운전에 비하여 속도가 빠른 것을 관찰할 수 있다. 냉방 운전 시 관찰되는 최대 속도는 약 9m/s의 값을 보여주고 있다. Fig. 3(b)는 난방 운전 시 x-z 평면에서의 평균 유동장을 보여주는 것이다. 난방운전의 경우 토출된 유동이 증발기와 히터를 모두 지나므로 각각의 열교환기들이 배압으로 작용하게 되며 냉방운전에 비하여 공기유동이 운동량을 잃게 되는 것으로 보여진다. 이때 최고 속도는 냉방운전에 비하여 약 30% 정도 감소한 값을 보여주며 약 6m/s의 속도를 지니고 있다.

Fig. 4는 x-y 평면에서의 HVAC 공조시스템 내부의 평균속도장을 보여주는 것이다. Fig. 4(a)와 같은 냉방운전의 경우 공기는 증발기만을 지나 바로 덕트를 향하여 나가게 된다. 차량내부로 연결되는 덕트와 증발기 사이에 형성되는 복잡한 기하학적인 형상으로 인하여 A 영역에 유동의 정체현상이 관찰된다. 이 같은 유동의 정체 현상은 증발기의 열교환 성능을 떨어뜨릴 수 있을 것으로 판단된다. 증발기를 빠져나온 공기의 유속은 증가하며 이때 최대속도는 5.7m/s를 지니고 있다. 즉, 증발기를 지나는 유동은 열교환기의 성능과 유동 저항과 밀접한 연관이 있다. 증발기를 지난 유동은 주유동 방향으로 x=0.1~0.24의 영역에서 관찰되며 x=0.24~0.32 영역에서는 증발기를 통과한 공기흐름이 거의 관찰되지 않고 있다.

난방운전에 대한 x-y 평면의 평균 유동장을 Fig. 4(b)에 나타내었다. 증발기를 지난 공기흐름은 경사지게 놓여있는 히터를 지나 차량내부와 연결되는 덕트 시스템으로 진행되는 것을 관찰할 수 있다. 그러므로 증발기를 빠져나온 유동은 열교환기를 향하여 경사지게 접근한다. 최대속도는 좁은 유로로 인하여 x=0.24, y=-0.11인 영역에서 관찰되며, 그 값은 약 6.4m/s를 지니고 있다. 유동의 정체현상은 열교환기 근처에서 급격하게 유동 경로가 변화하는 B와 B'영역에서 관찰된다. 이상에서 관찰한 결과를 바탕으로 유동구조와 밀접한 연관이 있는 열교환기의 효율은 급격하게 변하는 유로에 의해 영향을 받게 되며 이때 생성되는 유동의 정체 구역은 열교환기 효율을 감소시킬 수 있는 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

HVAC모듈 내부의 정량적 유동가시화 연구를 통하여 얻어진 결론을 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 온도변환모드에 따른 차량용 HVAC모듈 내부의 정량적 유동 정보를 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.

#### 후기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 자동차 핵심 기반기술 개

발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] Aroussi A., Abdul Ghani S.A.A., and Rice E., PIV measurement and numerical simulation of airflow field in a road vehicle HVAC cowl box, *SAE technical paper*, 2001, 2001-01-0294
- [2] Hirota M., Asano H., Nakayama H., Asano T., and Hirayama S., Three-dimensional structures of turbulent flow in mixing T-junction, *JSME International Journal Series B*, 2006, Vol. 49, No. 4, 1070-1077

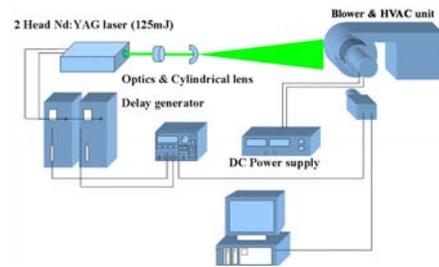


Figure 1 Schematic diagram for experimental setup

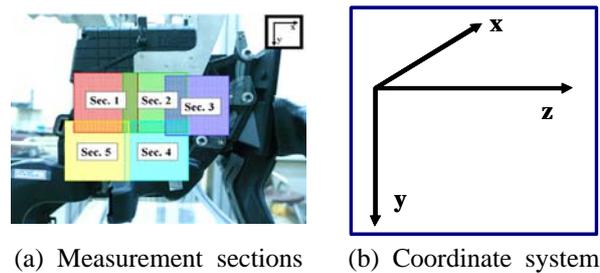


Figure 2 Measurement sections and coordinate system

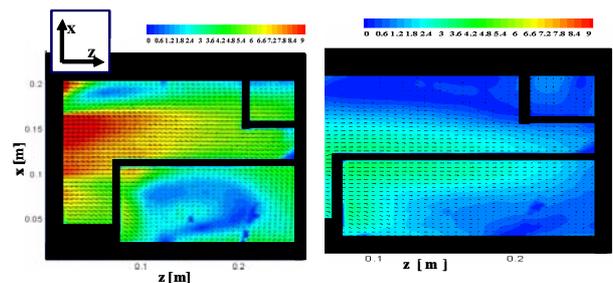


Figure 3 Mean velocity fields in x-z plane

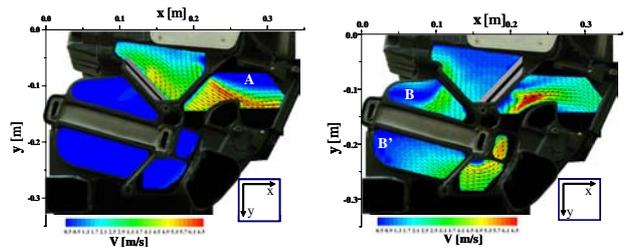


Figure 4 Mean velocity fields in x-y plane