

반능동형 머플러 내부의 유동장특성에 관한 연구

박경석*(경희대 테크노공학대학), 허형석(자동차 부품연구원), 박세종(경희대 기계공학과),
김동현(경희대 기계공학과), 한창평(경희대 기계공학과), 손성만(경희대 기계공학과)

A study on the inner flow fields characteristics of the semi-active muffler

K. S. Park(College of Advanced Technology, KHU), H. S. Heo(Korea Automotive Technology Institute),
S. J. Park(Dept. Mech. Eng., KHU), D. H. Kim(Dept. Mech. Eng., KHU),
C. P. Han(Dept. Mech. Eng., KHU), S. M. Son(Dept. Mech. Eng., KHU)

ABSTRACT

Recently, the performance development of the exhaust system of a car is very important. The most important part of parts that constructing the exhaust system of a car is a muffler. The muffler reducing the exhaust noise from the engine influence on the engine performance directly. The inner parts of the muffler construct with the baffle and perforated pipes and so on. In the recent study, the study to design the semi-active muffler sensing the exhaust gas pressure controlling the back pressure variably with a EVV progress activity. So that the inner parts of the muffler show the complicated turbulent flow phenomena because of pulsatile flow from the engine and the structural properties and so on. The qualitative and quantitative analysis about the turbulent flow phenomena of the inner parts of the muffler is required gradually.

In this study, to analysis the flow field of the inner parts of the muffler, analysis results with the PIV measurement to be able to analysis the variable change of the time and the space. Therefore, try to show the design variables to need to design the inner parts of a muffler of a car.

Key Words : Semi-active muffler(반능동형 머플러), PIV(입자영상 속도계), Flow Field analysis(유동장 해석)
EVV(배기가변밸브)

1. 서론

최근 환경오염에 대한 인식이 부각됨에 따라 자동차 배기시스템의 성능향상이 중요 시 되고 있다. 자동차 배기시스템을 구성하고 있는 부품 중 가장 중요한 부품은 메인머플러이다. 메인머플러는 엔진에서 나오는 배기소음을 감쇄시키는 장치로 자동차 엔진성능에 직접적으로 영향을 끼치며 음향스크린(Baffle) 및 파이프(Pipe) 등으로 구성되어 있다.

머플러는 엔진에서 나오는 배기소음을 감쇄시키기 위해 음향학적으로 전달손실이 크게 설계되어야 하는데 이를 위해 내부유로가 복잡해지게 된다. 그러나 복잡한 내부유로에 의해 머플러 내부의 유동저항이 증가하여 엔진의 출력이 저하되는 현상이 발생

하기 때문에 머플러 내부에서 전달손실을 증가시키면서 유동저항을 최소화해야 한다.

최근에는 엔진에서 발생하는 맥동파와 내부의 구조적인 특성에 의해 나타나는 복잡한 난류유동저항을 조절할 수 있는 배기가변밸브(Exhaust variable valve)가 장착된 반능동형 머플러(Semi-active muffler)에 대한 연구¹⁻¹⁰⁾가 활발히 진행되고 있다.

이러한 반능동형 머플러 내부의 유동장을 해석하기 위해서 본 논문에서는 기존의 다점풍속계와 같은 점측정방식이 아닌 유동입자들의 변위정보가 담겨져 있는 입자영상을 취득하여 시간과 공간상의 전체적인 유동장에 대한 유동특성을 해석할 수 있는 PIV 측정기법을 이용하여 실험을 하였다.

2. 실험장치

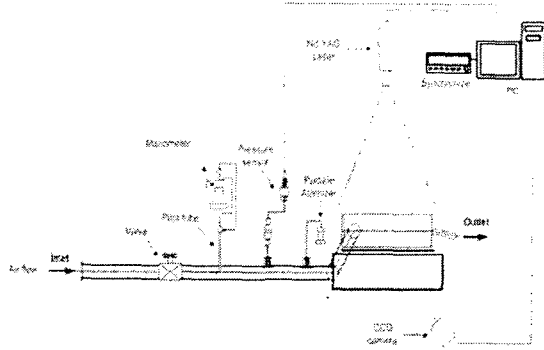


Fig. 1 Schematic diagram for PIV measurement

Fig. 1은 본 실험에 사용된 PIV 실험장치의 개요도를 나타낸 것이다.

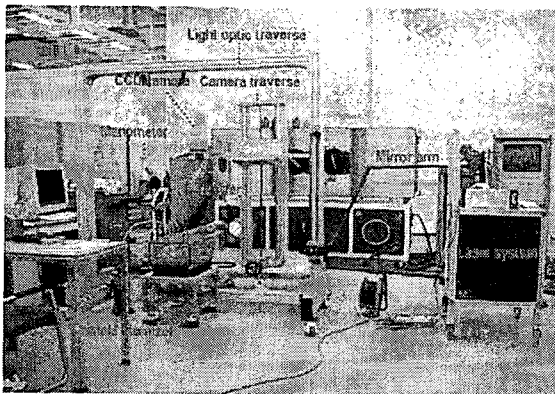


Photo 1 View of PIV experimental equipment

Photo 1은 실제의 PIV 실험장치의 모습을 나타낸 것이다. 앞서 Fig. 1에서 나타낸 것과 같이 광원인 레이저 시스템, 레이저와 카메라를 동기화시키는 동기화장치(Synchronizer), 영상취득장치인 CCD 카메라, 실험을 위해 제작한 가시화용 머플러, 가시화용 머플러 입구의 풍속을 제어하기 위한 송풍기, 실험조건으로 사용될 머플러 입구의 풍속을 측정하기 위한 마노미터, 유동장에 주입될 입자를 분무해주는 입자 분무기(Atomizer) 등으로 구성되어 있다. 가시화용 머플러 입구의 풍속을 제어하기 위해 설치된 송풍기는 컴퓨터에 설치된 소프트웨어에 의해 30단으로 조절된다. 레이저 광은 532nm에서 펄스 당 최대 에너지가 120mJ인 ND-YAG 레이저를 사용하였고, 첫 번째와 두 번째 펄스는 Q-switch delay를 이용하여 발생된다. 레이저에서 발생된 광은 렌즈 배열을 통해 1

차원 레이저 광이 되고 360°회전이 가능한 mirror arm의 Cylindrical lens를 통하여 두께 2mm의 2차원 평면광으로 유동장에 조명된다. 또, 레이저 광의 이동이 가능하도록 하기 위해 Mirror arm을 Light optic traverse에 장착하였다. 영상취득을 위한 카메라는 해상도가 1K×K인 CCD 카메라를 사용하였으며, 3축 카메라 이송장치에 장착되어 3축으로 이동하면서 2차원 입자영상을 취득할 수 있도록 하였다. 선명한 영상을 취득하기 위해 유동장에 주입될 입자는 작동 유체 및 계측속도의 범위에 따라 입자를 선별하여야 하며 주위와의 온도차에 의한 작동유체와 추적입자의 밀도 변화를 최대한 최소화시켜서 작동유체와 입자가 서로 간섭을 일으키지 않고 입자의 추종성(Traceability)을 확보해야 한다. 또, 산란강도가 크고 인체에 무해한 입자를 선택하여야 하는데 본 연구에서는 입경이 0.2 ~ 1.1인 DEHS(di-ethyl-hexyl-sebacate)를 선택하였고 레귤레이터가 장착되어 있는 입자 분무기를 사용하여 입자를 유동장에 조절이 가능한 일정한 양으로 주입될 수 있게 하였다.

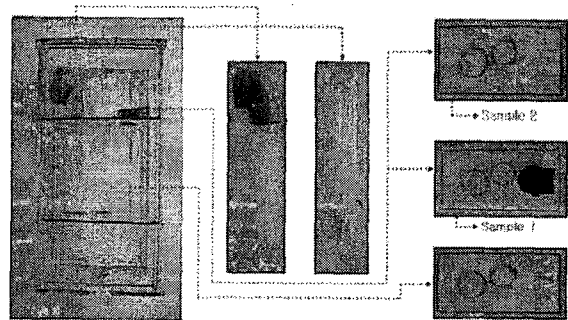


Photo 2 Experimental equipment of the visualization muffler

Photo 2는 PIV계측을 위해 실제의 머플러를 모사해 제작한 가시화용 머플러의 내부구조를 나타낸 것이다. 내부구조는 천공이 되어 있는 입구쪽과 출구쪽 파이프, EVV가 장착된 것과 장착되지 않은 baffle 등으로 구성되어 있다. 주로 아크릴 재질로 만들어졌으며 입구쪽 파이프에는 아크릴 파이프의 특성상 관로를 90도 방향으로 변경하기가 어렵기 때문에 PVC파이프를 장착하였으며, 각각의 baffle은 배압조절을 위해 움직임이 가능하도록 제작하였다.

가시화 머플러의 첫 번째 baffle은 실험을 위해서 Sample1과 같이 EVV가 장착된 것과 Sample2와 같이 EVV대신 천공이 되어 있는 것으로 각각 제작하여 실험조건에 따라서 탈부착하면서 실험을 수행하였다.

Fig. 2는 가시화 머플러 내부의 유동의 진행방향을 나타낸 것이다.

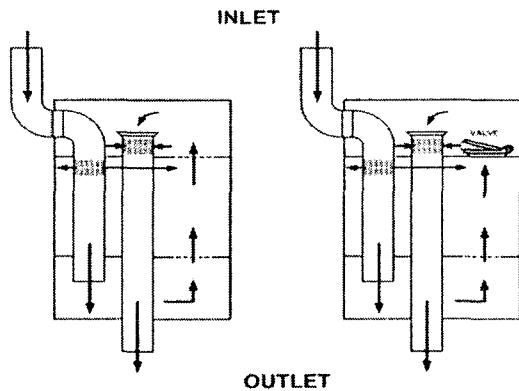


Fig. 2 Schematic diagram of the inner flow field of the visualization muffler

3. 실험방법

가시화 머플러 앞단에 pc에서 속도제어가 가능한 송풍기를 설치하여 가시화 머플러 내부의 유동장을 형성하였다. 그리고 일정한 양을 공급해줄 수 있는 입자 분무기를 통해 추적입자를 주입시켰다. 추적입자를 주입한 후 각 계측영역에 따라 레이저광을 적절히 이동하여 조사하였다. 레이저의 첫 번째와 두 번째 펄스 간격(Δt)는 $50\mu s$, 펄스 폭은 $25\mu s$ 로 하였다. 또한 레이저 펄스 에너지는 $180\mu s \sim 230\mu s$ 범위에서 조절하였으며, 레이저와 카메라의 펄스 신호 간격(Trigger delay)은 4 Hz로 하였다. 레이저광이 조사된 후 CCD 카메라를 입자영상을 취득하고자하는 위치로 이동하여 초점조절을 통해 선명한 영상을 얻을 수 있도록 하였다. CCD 카메라에 의해 획득

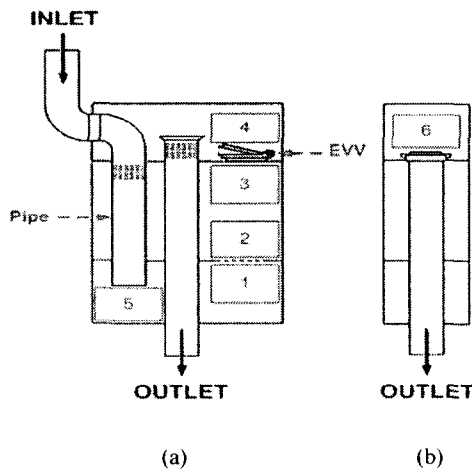


Fig. 3 Region of visualization in the visualization muffler

한 입자영상들에 대한 속도벡터는 각각의 입자들에 대한 번위를 첫 번째 입자영상과 두 번째 입자 영상의 취득시간의 차이(Δt)로 나누어 구하였다.

Fig. 3은 EVV가 장착된 가시화 머플러 내의 PIV 계측영역을 나타낸 것이다. 가시화머플러를 위에서 내려다 보았을 경우 Fig. 3(a)와 같이 5개의 구간으로 나누어 EVV의 중심을 기준으로 실험을 하였고 가시화머플러를 측면에서 보았을 경우 Fig. 3(b)와 같이 한 개의 구간으로 나누어 EVV의 중심을 기준으로 실험을 수행하였다.

4. 실험결과

PIV 계측에 의한 속도장의 결과는 각 계측영역속도장의 500개의 데이터를 평균하여 구하였으며, Fig. 4 ~ Fig. 15에 나타내었다.

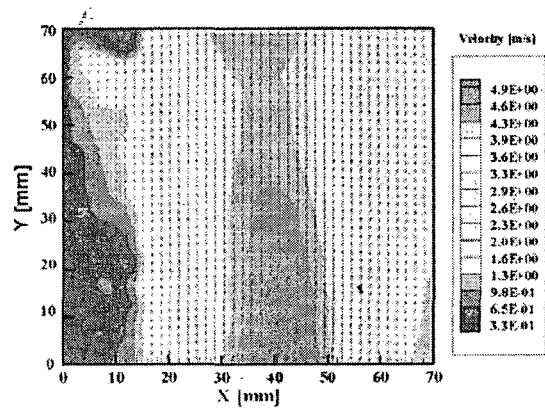


Fig. 4 Mean velocity fields in the 3rd region at the fluid speed 7 m/s in the visualization muffler inlet with Sample 1 (z surface : ③)

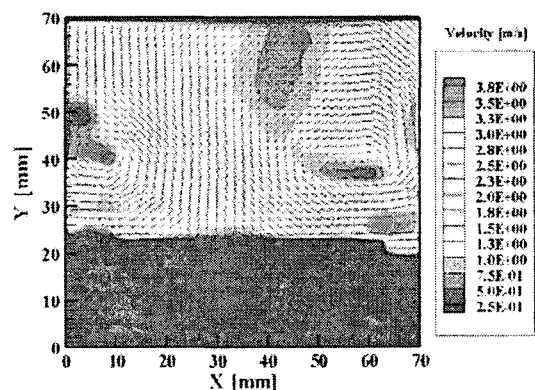


Fig. 5 Mean velocity fields in the 4th region at the fluid speed 7 m/s in the visualization muffler inlet with Sample 1 (z surface : ④)

Fig. 4에서 보면 유동의 진행방향이 천공된 부분 쪽으로 진행하는 것을 볼 수 있으며 속도성분의 크기는 중심쪽으로 갈수록 커지는 것을 알 수 있다.

Fig. 5에서보면 EVV의 측면쪽으로 유동이 진행하면서 EVV의 측면과 머플러의 내벽면사이에 순환이 발생하는 것을 보여주고 있으며 속도성분의 크기는 EVV주위와 머플러 내벽면사이에에서 증가한다.

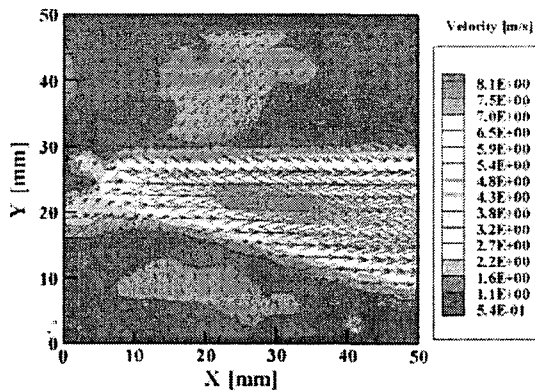


Fig. 6 Mean velocity fields in the 6th region at the fluid speed 3.5 m/s in the visualization muffler inlet with Sample 1 (z surface : ⑥)

Fig. 6은 가시화 머플러의 측면에서 EVV가 장착된 baffle의 출구부분을 PIV 계측한 것으로 EVV주위의 유동이 순환하여 EVV의 중심으로 이동하며 속도성분의 크기는 중심쪽으로 갈수록 커지는 것을 알 수 있다.

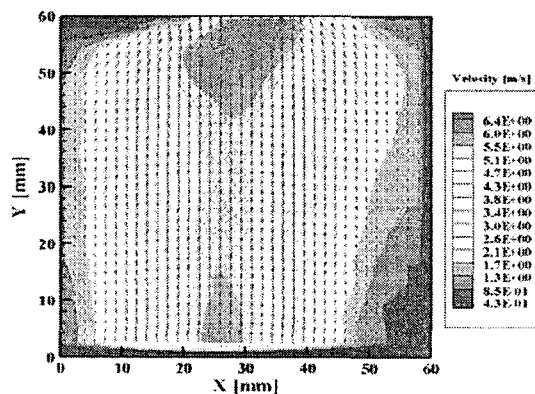


Fig. 7 Mean velocity fields in the 3rd region at the fluid speed 7 m/s in the visualization muffler inlet with Sample 2 (z surface : ③)

Fig. 7은 EVV를 장착하지 않고 천공되어있는 baffle의 입구부분을 측정한 것으로 천공되어 있는

부분으로 유동이 진행하는 것을 볼 수 있다.

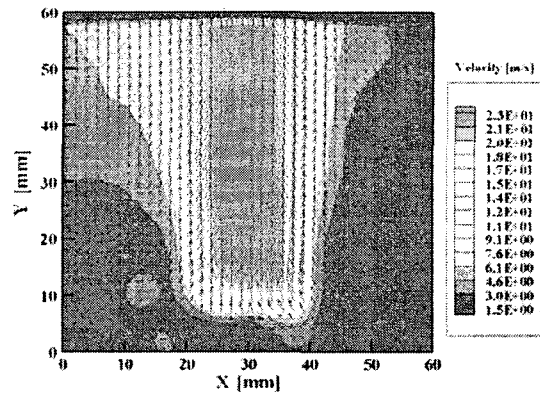


Fig. 8 Mean velocity fields in the 4th region at the fluid speed 7 m/s in the visualization muffler inlet with Sample 2 (z surface : ④)

Fig. 8은 EVV를 장착하지 않고 천공되어 있는 baffle의 출구부분의 속도장을 나타낸 것으로 전체적으로 중심방향으로 갈수록 속도성분의 크기가 증가함을 알 수 있다.

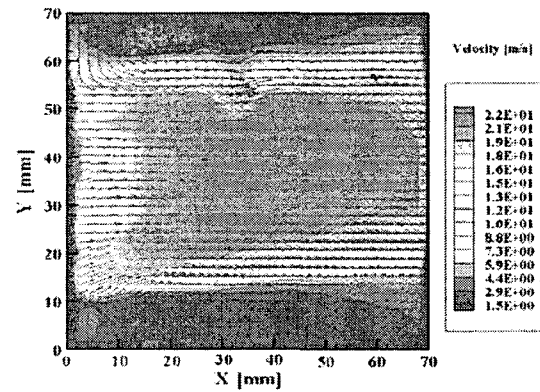


Fig. 9 Mean velocity fields in the 6th region at the fluid speed 7 m/s in the visualization muffler inlet with Sample 2 (z surface : ⑥)

Fig. 9는 EVV를 장착하지 않고 천공되어 있는 baffle의 측면에서의 속도장을 나타낸 것으로 전체적으로 균일한 유동흐름을 나타내며 속도의 크기가 중심방향으로 비교적 고르게 분포하는 것을 알 수 있다.

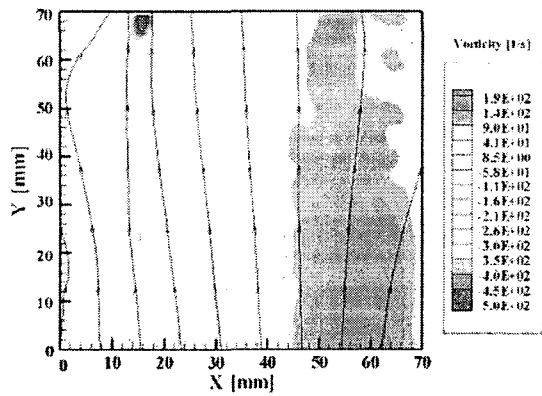


Fig. 10 Mean vorticity fields in the 3rd region at the fluid speed 7 m/s in the visualization muffler inlet with Sample 1 (z surface : ③)

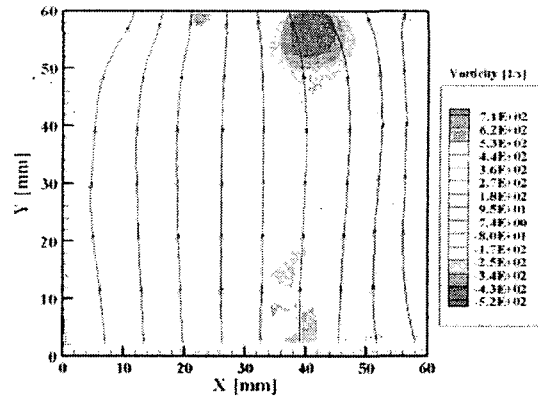


Fig. 13 Mean vorticity fields in the 3rd region at the fluid speed 7 m/s in the visualization muffler inlet with Sample 2 (z surface : ③)

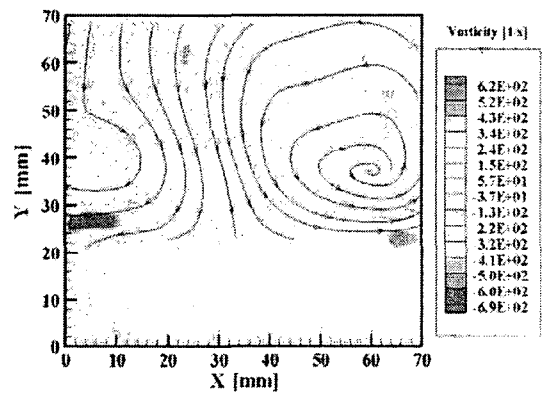


Fig. 11 Mean vorticity fields in the 4th region at the fluid speed 7 m/s in the visualization muffler with Sample 1 (z surface : ④)

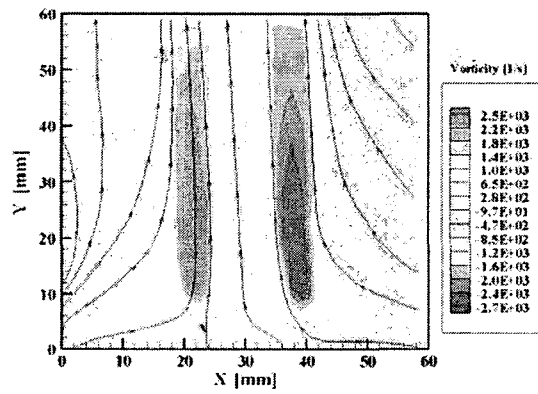


Fig. 14 Mean velocity fields in the 4th region at the fluid speed 7 m/s in the visualization muffler inlet with Sample 2 (z surface : ④)

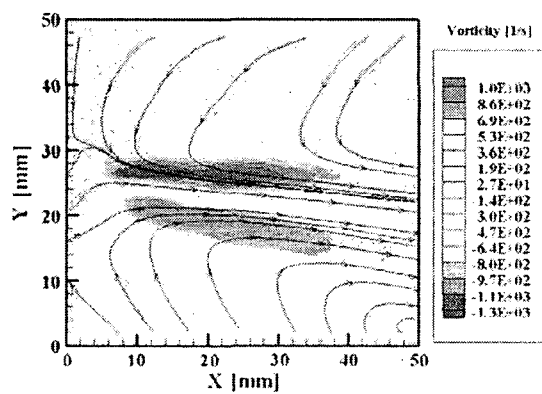


Fig. 12 Mean vorticity fields in the 6th region at the fluid speed 3.5 m/s in the visualization muffler inlet with Sample 1 (z surface : ⑥)

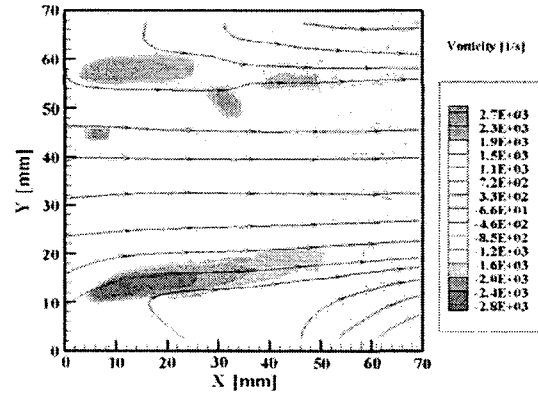


Fig. 15 Mean velocity fields in the 6th region at the fluid speed 7 m/s in the visualization muffler inlet with Sample 2 (z surface : ⑥)

Fig. 10 ~ 15 까지는 EVV의 유무에 따른 가시화 머플러 내부의 첫 번째 baffle의 입구와 출구부분의 와도와 유선을 동시에 나타낸 것이다. 와도는 머플러에 있어서 유동의 진행방향에 저항을 일으켜 소음을 증가시키는데 영향을 주므로 머플러 유동장해석시에 속도벡터의 흐름인 유선과 더불어 중요한 인자이다. Fig. 10 ~ 12에 나타낸 EVV가 장착된 경우와 Fig. 13 ~ 15에 나타낸 EVV가 장착되지 않은 경우를 비교해보면 EVV가 장착된 경우에는 전체적으로 우측부분의 와도성분의 크기가 센 반면에 EVV가 장착되지 않은 경우에는 전반적으로 왼쪽부분의 와도성분이 강하게 나타나는 것을 알 수 있다. 그리고 측면에서 계측한 결과에서는 EVV가 장착된 경우 하단부 쪽이 EVV가 장착되지 않은 경우 상단부쪽의 와도가 강하게 나타나는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

PIV계측기법을 이용하여 가시화 머플러의 내부 유동장특성을 해석한 결과는 다음과 같다.

- (1) PIV계측기법을 사용하여 가시화 머플러 내부의 유동장에 대한 정성적이고 정량적인 특성을 파악할 수 있었다.
- (2) 일반 머플러타입에 비해 EVV가 장착된 머플러내의 유동에서 EVV 주위와 머플러 내 벽면 사이에서 속도 성분이 강하게 나타나는 것을 알 수 있었다.
- (3) 내부구조개선을 통해 EVV 주위에서 순환하는 유동저항을 감소시킬 수 있다는 것을 예측할 수 있었다.
- (4) 와도는 일반 머플러타입과 EVV가 장착된 머플러가 서로 다른 경향을 보이는데 전체적으로 일반 머플러 타입은 좌측 상단부 쪽으로 EVV가 장착된 머플러는 우측 하단부 쪽으로 와도의 강도가 증가하는 것을 알 수 있었다.
- (5) 향후 CFD 프로그램을 통한 수치해석결과를 본 실험의 결과와 서로 비교분석함으로써 이론적 검증도 수행해야 할 것으로 보인다.

후기

본 논문은 2004년도 산학협동재단 M.F과제의 일부로 수행되었으며, 연구비를 지원해주신 세종공업(주)와 실험에 도움을 주신 자동차부품연구원의 허형석박사님께 감사드립니다.

참고문헌

1. J. Zhang, B. Tao, J. Katz, "Turbulent Flow Measurement in Square Duct with Hybrid Holographic PIV", *Exp. in Fluids*, Vol. 23, 1997.
2. M. Raffel, J. Kompenhans, "Error Analysis for PIV Recording Utilizing Image Shifting", *Proc. 7th Intl. Symp. of Laser Techniques to Fluid Mechanics*, Lisbon, Portugal, 1994.
3. L. Tsuei, O. Savs, "Treatment of Interfaces in Particle Image Velocimetry", *Exp. in Fluids*, Vol. 29, pp. 203-214, 2000.
4. K. H. An, I. S. Lee, H. S. Choi, G. S. Lee, D. Huh, 2000, "Visualization of the Air Conditioner Discharge Flow", *Proceedings, SAREK Winter Annual Conference*, Vol. 2, pp. 613-617, 2000.
5. H. J. Neuber, J. Geiger, 1996, "Continuous Variable Tumble - A New Concept for Future Lean Burn Engine", *SAE Paper 960607*, 1996.
6. Sangyool Yoon, Kyungchun Kim, "Identification on the Three-Dimensional Vortical Structures of Impeller Flow by a Multi-Plane Stereoscopic PIV Method?" *KSME*, Vol. 27, No. 6, pp. 773~780, 2003.
7. Sungkyun Kim, "Particle Image Velocimetry Measurements in Nasal Airflow?" *KSME*, Vol. 26, No. 6, pp. 811~816, 2002.
8. Kyunghun Jung, Eunyong Lee, Wooyoung Kim, YouYub Lee, WonGul Hwang, Byunghyun Kim, "Study on Improvement of Efficiency of Suction Muffler for Compressor?" *KSPE*, Vol. 19, No. 2, pp. 220~227, 2002.
9. Yougon Kim, "Optical Analysis in Particle Image Processing of Rotating Flow?" *KSPE*, Vol. 12, No. 7, pp. 53~65, 1995.
10. Hyungseok Heo, Geesoo Lee, Sukjung Bae, Jongphil Won, Kyoungsuk Park, Inseop Lee, "PIV Measurements of the External Flow Field of Front End Cooling Pack System?" *KSME Spring Conference Proceeding*, pp. 513~520, 2004.