

Dynamic PIV 기법을 이용한 커튼에어백 Vent Hole 고속유동 해석

장영길*·최용석*·이상준†

Dynamic PIV analysis of High-Speed Flow from Vent Holes of Fill-Hose in Curtain type Airbag

Young Gil Jang*, Yong Seok Choi* and Sang Joon Lee†

Abstract

Passenger safety is fundamental factor in automobile. Among much equipment for passenger safety, the air bag system is the most fundamental and effective device. Beside of the front air bag system which installed on most of all automobiles, a curtain-type air bag is increasingly adapted in deluxe cars for protecting passengers from the danger of side clash. Curtain type airbag system consists of inflator housing, fill hose, curtain airbag. Inflator housing is a main part of the curtain-type air bag system for supplying high-pressure gases to deploy the air bag-curtain. Fill hose is a passageway to carry the gases from inflator housing to each part of curtain airbag. Therefore, it is very important to design the vent holes of fill hose for good performance of airbag deployment. But, the flow information from vent holes of fill hose is very limited. In this study, we measured instantaneous velocity fields of a high-speed flow ejecting from the vent holes of fill hose using a dynamic PIV system. From the velocity field data measured at a high frame-rate, we evaluated the variation of the mass flow rate with time. From the instantaneous velocity fields of flow ejecting from the vent holes in the initial stage, we can see a flow pattern of wavy motion and fluctuation. The flow ejecting from the vent holes was found to have very high velocity fluctuations and the maximum velocity was about 480m/s at 4-vent hole region. From the mass flow rate with time, the accumulated flow of 4-vent hole has occupied about 70% of total flow rate.

Key Words : Flow visualization(유동가시화), Fill hose(주입관), Dynamic PIV(다이나믹 PIV)

1. 서 론

자동차 구입시 승객의 안전은 가장 중요한 고려요소 중 하나이다. 승객을 보호하는 많은 안전장치 중에서 에어백은 가장 기본적이고 효과적인 장치이다. 따라서 자동차에 에어백을 장착하는 것은 지극히 자연스러운 현상이며 일부 선진국가에서는 이미 에어백 설치를 의무화하고 있다.

2003 년 조사⁽¹⁾에 따르면 미국의 경우 약 2 억

5700 만개에 이르는 에어백이 도로상에 있다고 발표하였다. (그 중 1 억 3900 만개는 운전자용이고 1 억 1800 만개는 조수석용 에어백이다.)

1000 개당 약 6.6 개의 에어백이 전개(inflation)되었으며 전체적으로 약 170 만 건의 에어백 전개가 집계되었다. 이 숫자는 에어백을 장착하는 차량 숫자가 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 추세에 있으며 에어백의 중요성을 더욱 강조하고 있다. 심각한 부상과 손상을 줄일 수 있는 에어백 시스템의 효율성에 대해서 참고문헌에 잘 기술되어 있다.^(2,3)

대부분의 자동차에는 운전자를 보호하기 위한 전방 에어백 시스템이 설치되어 있지만 뒷좌석 승객들을 보호하고 측면의 충격으로부터 보호할 수 있는 커튼형 에어백 시스템의 경우 주로

† 책임저자, 회원, 포항공과대학교 기계공학과

E-mail : sjlee@postech.ac.kr

Tel : (054)279-2169 Fax : (054)279-3199

* 포항공과대학교 대학원 기계공학과

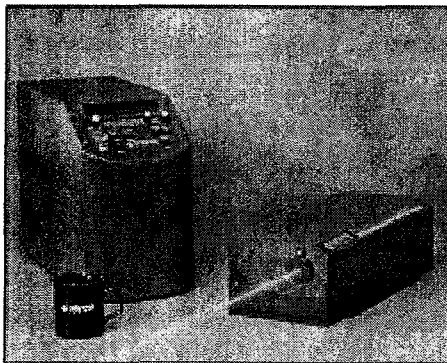
고급형 자동차에 설치되어 있다. 이러한 커튼형 에어백 시스템은 인플레이터 하우징, fill hose와 에어백으로 이루어져 있다. 이 중에서 인플레이터 하우징은 에어백을 전개시키는데 가장 핵심적인 부품으로써 에어백을 전개시키기 위한 개스를 압축했다가 에어백에 공급한다. 인플레이터 하우징으로부터 분출되는 유동에 관한 정보는 본 실험실에서 이전에 수행된 연구에서 밝혀진바 있다.⁽⁹⁾ Fill hose는 인플레이터 하우징에서 공급하는 개스를 에어백의 각 부분에 효율적으로 전달하기 위한 장치로서 fill hose의 설계에 따라 에어백의 전개능력이 크게 달라지기 때문에 매우 중요한 요소이다. 그러나 현재 fill hose의 vent hole에서 배출되는 유동에 대한 정보가 매우 적은 상황이다.

본 연구에서는 dynamic PIV 시스템을 이용하여 커튼형 에어백 fill hose의 vent hole에서 분출되는 고속 유동의 순간 속도장 변화를 측정하였다.

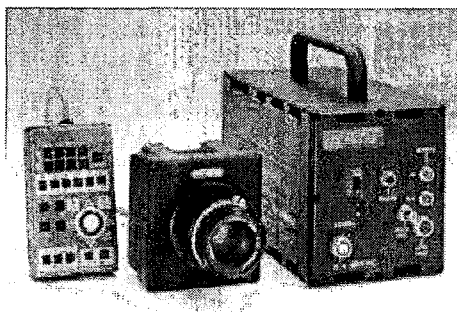
2. 실험장치와 기법

2.1 Dynamic PIV 시스템

본 연구에서는 높은 반복률을 갖는 이중헤드 방식의 Nd:Yag 레이저(Pegasus)를 사용하였다. 이 레이저는 527nm의 파장을 갖는 펄스광을 최대 20KHz 까지 발생시킬 수 있으며 2KHz에서 펄스광은 10mJ의 세기를 갖는다. 펄스 지속시간은



(a) High-repetition pulse laser



(b) High-speed CMOS camera

Fig.1 Components of dynamic PIV system

180ns보다 짧아 일반 레이저보다 다소 긴듯하지만 180ns도 매우 짧은 시간에 속하므로 초음속 유동이 아닌 고속 유동의 계측에는 문제가 없다. 또한 Q-switch로 동기시키기 때문에 dynamic PIV 실험에서 원하는 순간에 작동시킬 수 있다는 장점이 있다. Fig. 1 (a)는 본 실험에 사용되어진 Pegasus 레이저의 사진이다.

영상취득장치로는 디지털 고속 카메라를 사용하였다. 본 실험에 사용된 고속카메라(FASTCAM-ultra APX)를 Fig. 1 (b)에 나타내었으며, 최대 영상 취득 속도는 100Kfps이며, 1K 1K pixels 해상도로 2Kfps까지 영상을 취득할 수 있다.

또한 일반적인 PIV 계측에 비해 dynamic PIV 경우는 레이저와 카메라를 보다 정확히 동기시켜야 하므로 동기신호가 빠르고 정확해야 한다. 본 dynamic PIV 시스템을 구성하고 있는 동기장치에서 나오는 동기신호의 정확도는 약 500ps이다.

2.2 실험조건

Vent hole 실험에서는 inflator housing 끝에 fill hose를 모사한 pipe model을 부착한 후에 각 vent hole에서 나오는 유동을 계측하였다. Fig.2는 inflator housing 끝에 부착된 fill hose를 나타낸 그림이다. Inflator housing 출구로부터 fill hose 끝단까지의 길이는 900mm이며 vent hole이 설치된 위치는 크게 3구간으로 나누어진다. Inflator로부터 가장 가까운 위치에 뒷좌석에 해당하는 2-vent hole이 위치하고 B-pillar 위치에 1-vent hole이 있으며, 다시 앞좌석에 해당하는 4-vent hole이 위치하고 있다. 본 연구에서는 dynamic PIV 속도장 측정을 그림에 표시한 세 영역으로 나누어 각 vent hole에서 유출되는 고속유동을 측정하였다.

실험시 카메라의 공간해상도 1024×1024 pixels에서 2,000fps로 유동 영상을 취득하였으며 측정단면의 크기는 146×146mm²이었다.

실험은 에어백이 완전히 펼쳐진 체적보다 조금 더 큰 강화 아크릴로 제작된 chamber 안에서 수행되었으며 실험 전에 chamber 안에 채워진 olive oil particle과 인플레이터 하우징이 격발하면서 함께 배출되는 화약 입자를 추적입자로 사용하였다.

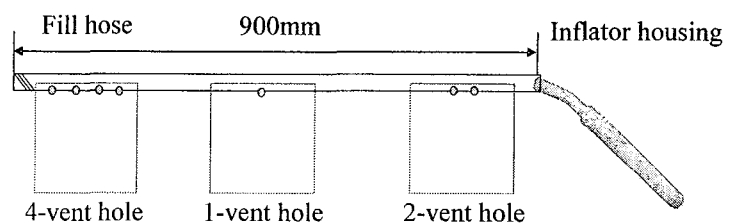


Fig. 2 Schematic diagram of fill hose attached on inflator housing

2.3 동기화

Fig. 3는 본 연구에서 사용한 고속카메라와 레이저 및 relay switch의 동기신호 다이어그램을 나타낸 것이다. 고속카메라에 frame straddling 기능이 없으므로 주기적으로 열리는 카메라의 frame에 레이저의 동기를 맞춰줘야 한다. 그러나 카메라의 영상취득율(acquisition rate)은 2000fps이고 laser의 한쪽 head의 동기신호는 1000Hz이므로 서로 다른 주기를 가지게 된다. 따라서 duty-cycle mode를 사용하여 고속카메라에서 들어오는 두 개의 V-sync. 신호 중 하나만 사용하고 나머지 하나는 무시하게 하여 2,000fps로 동작하는 고속카메라와 1,000Hz로 동작하는 2개의 laser head를 동기시켰다.

Relay switch를 독립적으로 동기시키기 위해 추가로 delay generator를 사용하여 고속카메라의 영상취득 신호와 동기시켰다. 이렇게 함으로써 카메라의 V-sync.에 따라 laser가 동기되어 동작되는 상황에서 relay switch를 독립적으로 동작시킴으로써 완벽히 동기시킬 수 있었다.

3. 순간속도장 결과 및 고찰

3.1 4-vent hole 결과

Fig. 4는 4-vent hole에서 분출되는 유동의 순간속도장 결과를 시간경과에 따라 나타낸 것이다. 경과 시간 $t=5\text{ms}$ 에서는 2-vent hole의 경우와 마찬가지로 hole 주위의 속도값이 크지 않다. 그러나 360m/s 이상의 속도값을 갖는 영역이 넓으며 국부적으로 약 480m/s 이상의 고속유동 특성을 보여주었다. 그리고 4개의 hole 중에서 끝에 위치한 마지막 홀의 경우, 다른 인접한 세 개의 홀에 비해 vent hole 분출속도가 상대적으로 낮음을 속도장 결과로부터 확인할 수 있었다.

시간이 $t=10\text{ms}$ 경과한 순간에는 높은 속도를

가지는 영역이 이전에 비해 줄어들었으나 200m/s 이상의 속도값을 가지는 영역이 넓게 분포하여 vent hole에서 분출되는 유동이 매우 넓은 영역으로 퍼지고 있어 에어백 팽창에 크게 도움이 됨을 알 수 있다. 시간경과에 따라 $t=20\text{ms}$ 일 경우에는 300m/s 이상의 속도값을 갖는 고속유동 영역이 크게 감소하고 사선방향으로 분출되던 유동의 방향이 수직에 가깝게 분출되고 있다. 또 이 $t=20\text{ms}$ 순간에는 이전 시간대의 유동형태와는 달리 마지막 vent hole에서 유동이 빠르게 분출되었다. 시간 $t=30\text{ms}$ 의 경우, vent hole에서 분출되는 유동의 방향이 fill hose부근

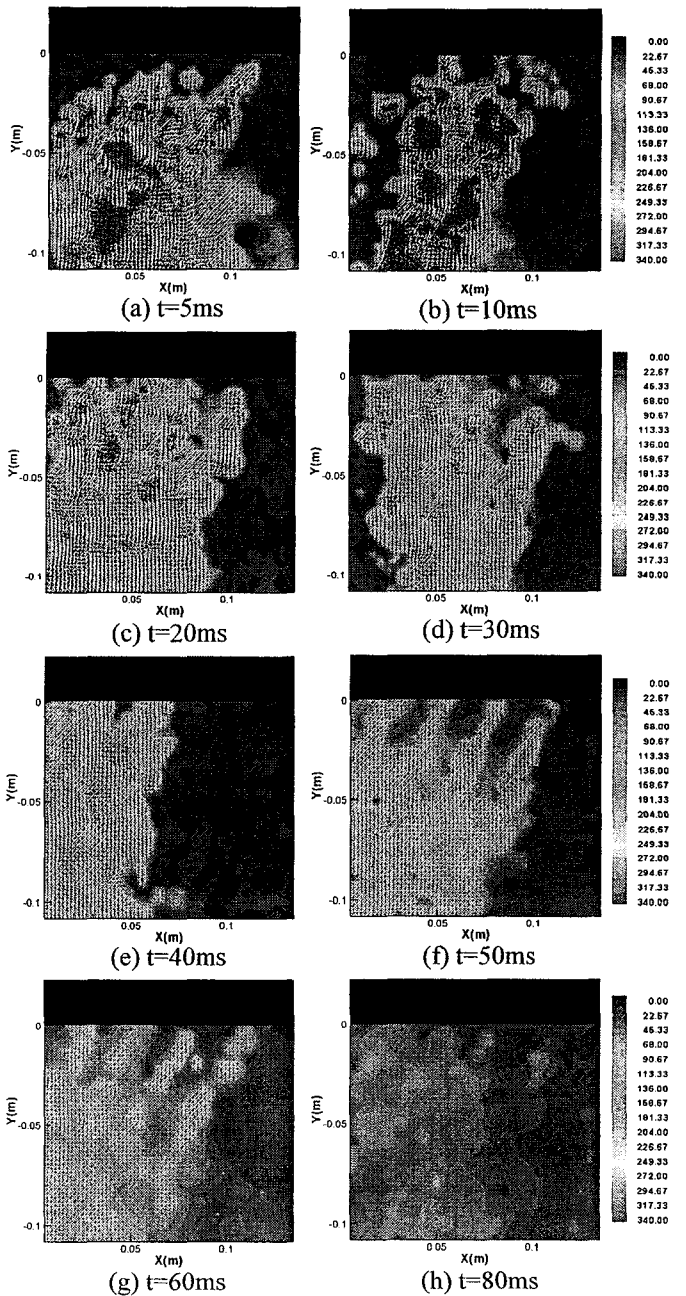


Fig. 4 Velocity vectors and vertical velocity contours at 4-vent hole region

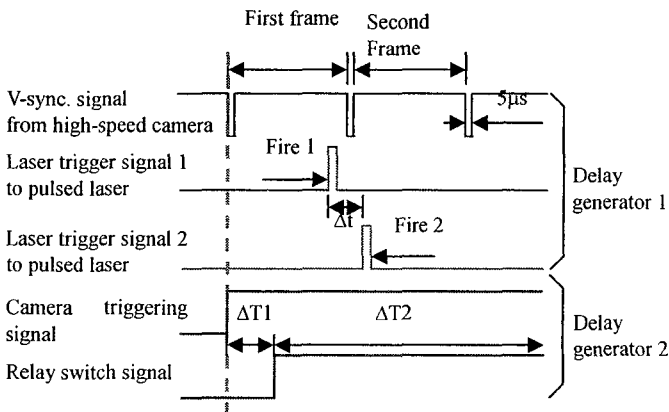


Fig. 3 Signal diagram of dynamic PIV for vent hole flow measurements

영역에서 사선방향이나 하류로 나아감에 따라 거의 수직 방향으로 바뀌었으며 4개의 hole에서 비슷한 속도의 제트 유동이 배출되고 있다. $t=40\text{ms}$ 이후의 속도장 결과에서는 대부분 200m/s 이하의 속도를 갖는 유동이 넓게 분포하고 있으며, 사선방향으로 유동이 분출되고 있다. 시간 $t=80\text{ms}$ 이후에는 vent hole로부터 배출되는 유동이 거의 사라졌다.

3.2 유량 계산 결과

PIV 속도장 결과로부터 fill hose의 각 vent hole 영역에서 분출되는 유량을 계산하여 Fig. 5에 나타내었다. 2-vent hole의 경우 inflator에 격발 신호를 준 후 약 1.5ms 후부터 유동이 분출되기 시작하였으며 4-vent hole의 경우 약 3ms 후부터 유동이 분출되기 시작하였다. 1-vent hole의 경우 가장 늦은 약 4ms 후부터 유동이 분출되었다.

전체적으로 2-vent hole 위치에서의 유량이 1-vent hole 영역에 비해 크다. 그리고 격발로부터 약 $t=20\text{ms}$ 까지 각 vent hole 영역에서 분출되는 유량이 크며 큰 변동특성을 보여주고 있다. 이후 점차 유량이 감소하여 $t=30\text{ms}$ 이후 순간에는 2-vent hole과 1-vent hole 사이에 유량차이는 거의 없다. 격발로부터 $t=40\text{ms}$ 부터 유량이 다시 나타나는데 1-vent hole과 2-vent hole이 약 3ms 의 시간차를 가지고 유량이 분출되고 있다. 그러나 약 $t=80\text{ms}$ 이후에는 유량이 거의 발생하지 않았다.

4-vent hole은 초기에 매우 큰 유량이 발생하며 $t=40\text{ms}$ 까지 큰 변동을 보여주며 빠르게 감소한다. 시간 $t=40\text{ms}$ 이후에서는 비교적 완만하게 유량이 감소하고 있으며 1-vent hole과 2-vent hole의 경우와 비슷한 시간대에 유량이 순간적으로 증가하였다가 감소하였다.

4. 결 론

커튼형 에어백을 작동시키는데 중요한 역할을

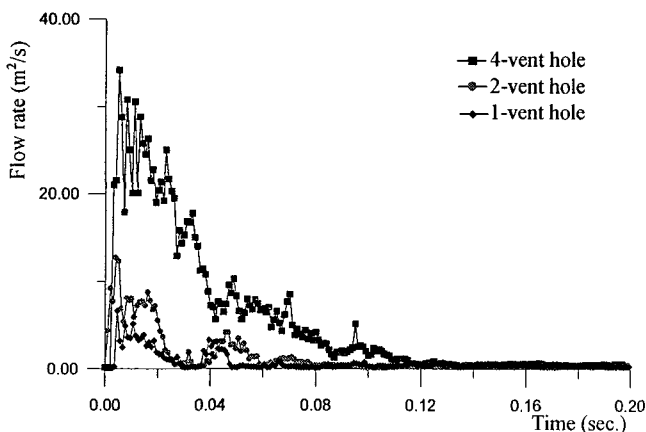


Fig. 5 Variation of flow rate with time

하는 fill hose의 각 vent hole 주변의 고속유동을 정량적으로 측정하기 위해 dynamic PIV기법을 적용하였다.

Fill hose 내부를 흐르는 gas의 유동거동에 따라 vent hole에서 사선방향과 수직방향으로 분출되는 유동이 시간경과에 따라 교대로 나타났으며 $t=40\text{ms}$ 전후로 유속이 크게 감소하였다. Fill hose 끝에 위치한 4-vent hole 영역에서는 초기에 약 480m/s 이상의 고속유동이 분출되며 시간에 따라 각 hole에서 분출되는 유량이 다르게 나타났다. 그리고 4-vent hole이 에어백에 필요한 전체 유량의 약 70%정도를 분출하였다. 따라서 이 위치(운전석)에 해당하는 에어백은 다른 부분에 비해 빠르게 전개될 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 현대모비스의 과제지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Nishino, K. and Takahashi, T., 2005, "Measurement of Axisymmetric Impinging Jet by Using Dynamic PIV," *可視化情報(Japanese)*, Vol. 25, pp.25~30.
- 2) Tanahashi, M., Choi, G.M., Itakura, M. and Miyauchi, T., 2005, "Turbulence Measurements by Time-Resolved Stereoscopic PIV," *可視化情報(Japanese)*, Vol. 25, pp.8~13.
- 3) Hayami, H. and Aramaki, S., 2005, "Dynamic PIV for Fluid Flow Measurement," *可視化情報(Japanese)*, Vol. 25, pp.20~24.
- 4) Lee, S.J. and Lee, S.H., 2000, "Flow Field Analysis of Turbulent Boundary Layer over a Ribletted Surface," *Exp. Fluids*, Vol. 27, in press.
- 5) Lee, S.J. and Kim, H.B., 1998, "Velocity Field Measurements of Flow around a Triangular Prism behind a Porous Fence," *J. Wind Eng. & Ind. Aero.*, Vol.77, pp.521~530.
- 6) Lee, S.J. and Kim, H.B., 1999, "Laboratory Measurements of Velocity and Turbulence Field behind Porous Fences," *J. Wind Eng. & Ind. Aero.*, Vol.80, pp.311~326.
- 7) Lee, S.J., Kim, H.B., Huh, J.G., Lee, S.J., and Ahn, B.H., 2003, "Quantitative Analysis of Flow inside the Accumulator of a Rotary Compressor", *Int. J. of Refrigeration*, Vol.26(3), pp.321-327.
- 8) Lee, S.J., 2005, "PIV Velocity Field Measurement Techniques - Theory and Practice", Dept. of Mech. Eng., POSTECH, pp.253~274
- 9) Jang, Y.G., Kim, S., Kim C.S. and Lee, S.J., 2006, "Dynamic PIV를 이용한 커튼형 에어백 인플레이터 노즐의 고속유동 측정", Proceedings of the KSME conference, 06S Fr11B002