

4D-PTV

도덕희[†] · 황태규* · 조용범* · 편용범** · Okamoto, K.***

4-Dimensional Particle Tracking Velocimetry

Deog Hee Doh, Tae Gyu Hwnag, Yong Beom Cho, Yong Beom Pyeon, Koji Okamoto

Abstract

A 4D-PTV system was constructed. The measurement system consists of three high-speed high-definition cameras, Nd-Yag laser and a host computer. The GA-3D-PTV algorithm was used for completing the measurement system. A horizontal impinged jet flow was measured. The Reynolds number is about 40,000. Spatial temporal evolution of the jet flow was examined and physical properties such as spatial distributions of vorticity and turbulent kinetic energy were obtained with the constructed system.

Key Words : GA-3D-PTV(유전알고리즘기반 3D-PTV), High-speed high-definition camera(고속고해상 카메라), Impinged jet flow(충돌제트유동)

1. 서론

3D-PTV 측정법은 HPIV(Holographic PIV)보다는 공간해상도가 떨어지나 유동장 공간에 걸친 순간의 많은 속도벡터를 얻어내므로 난류통계량의 공간분포 및 공학적 응용에 쉽게 적용될 수 있는 순간의 거시적 물리량(속도프로파일 등)들에 대하여 공학적으로 타당한 결과를 제공할 수 있게 되었다¹⁾⁽²⁾⁽³⁾. 학술적으로는 HPIV 측정법이 유동장의 해석에 가장 이상적인 방법으로 추론할 수 있으나 현 상황에서는 Hologram 필름에 쓰이게 되는 소재와 사용되는 레이저의 성능 한계 및 측정 원리상 데이터처리의 난점과 같은 문제점을 극복하기 위하여 최근에는 고해상 디지털카메라를 이용한 HPIV 측정법이 등장되고 있다⁽⁴⁾. 즉, 오늘날의 HPIV 측정법에서는 현실적으로 미해결의 기술이 많은 관계로 고해상 디지털카메라를 도입함으로써 그 성능을 향상시켜 가고 있다. 한편, 3D-PTV 측정법에서는 측정알고리즘이 이상적이라 할 때, 카메라의 해상도가 향상된다면 얻어지는 순간속도 벡터수는 해상도의 역승으로 증가하는 관계에 있

으므로⁽⁵⁾, 고해상 카메라를 사용하여 HPIV 측정법의 성능을 향상함은 3D-PTV 측정법의 성능향상과 동일한 맥락에 있다고 볼 수 있다. 그러므로, HPIV 측정법의 현실적 문제를 극복하고자 하는 일환으로 시간 및 공간해상도를 향상시킨 3D-PTV 측정법의 구축은 공학적 의의가 매우 크다고 하겠다. 본 연구에서는 이와 같은 관점에서 4D-PTV 측정법을 구축하였으며 이를 공학적 응용가치가 높은 충돌분류의 측정에 적용하고자 한다.

3D-PTV 측정법이 4D-PTV 측정시스템으로 확장되기 위해서는 유동장의 라그랑주주파수(Lagrange Frequency)보다 빠른 속도로 고해상의 3 차원 측정이 이루어져야 한다. 측정대상이 되는 충돌분류의 최대 라그랑주주파수⁽⁶⁾가 실험조건(레이놀즈수 약 40,000)에서 약 20Hz ~ 100Hz 사이이므로 이 주파수의 10 배 이상인 2000Hz 의 고해상 카메라(1k x 1k)로 구성된 4D-PTV 시스템으로 구축하였으며 이로부터 충돌분류의 시간연속적 유동구조변화 및 물리량 변화를 얻고자 하였다.

2. 실험

Fig. 1 은 4D-PTV 측정시스템을 충돌분류 유동장 측정에 적용하기 위한 실험개요도를 나타낸다. 노즐의 직경(d)은 20mm 이며 직경대비 레이놀즈수는 40,000 이다. 측정시스템은 고해상카메라

[†] 한국해양대 기계정보공학부

E-mail : doh@hanara.kmaritime.ac.kr

* 한국해양대 대학원

** ㈜티엔텍

*** Tokyo Univ., 원자력연구소

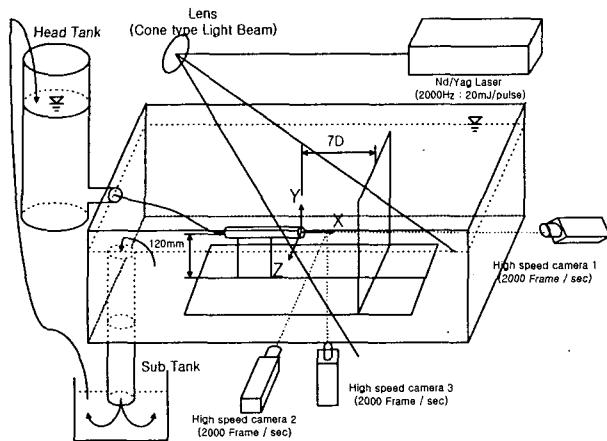


Fig. 1 4D-PTV system for the impinged jet flow.

(1k x 1k, 2000fps), Nd-YAG 레이저(20mJ, 2000Hz), 호스트컴퓨터로 구성되고 시스템은 동기화시켰다. 측정영역은 노즐출구와 충돌판 사이 약 (100mm x 100mm x 100mm)이다. 측정의 기준점은 Fig. 2 와 같이 노즐의 중심선상에 정의하였다. 측정알고리즘은 유전알고리즘기반의 3 차원 PTV 알고리즘⁽²⁾이다.

3. 실험 결과

Fig. 2 는 본 연구에서 구축한 4D-PTV 시스템으로 측정된 순간유동장의 속도벡터분포를 보이고 있으며 Fig. 3 은 $x/D=6$, $y/D=-2.0$, $z/D=0.0$ 에서의 속도벡터의 각 성분의 시간이력을 나타내고 있다. 각 성분 공히 진동유동을 나타내고 있음이 보인다. U 성분과 V 성분은 크기가 비슷한 수준이며 속도 프로파일도 유사한 경향을 보이고 있다. 하지만, W 성분은 다른 성분에 비하여 미약한 것으로 보아 이 점에서는 2 차원적인 진동이 발생하고 있음도 추론될 수 있다. Fig. 4 는 충돌평판에서 노즐쪽으로 향하여 보았을 때, 시간변화에 따른 공간의 와도분포의 변화를 보이고 있다. 1 차 외구조가 분류의 중심근처에 존재함이 보이며 이 주변으로 2 차와가 존재함이 보이는데 시간에 따라 시계방향으로 회전하고 있음이 보인다.

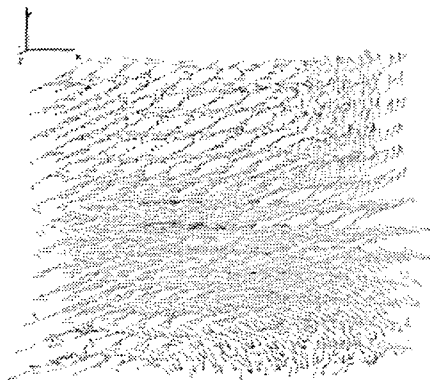


Fig. 2 Measurement regions.

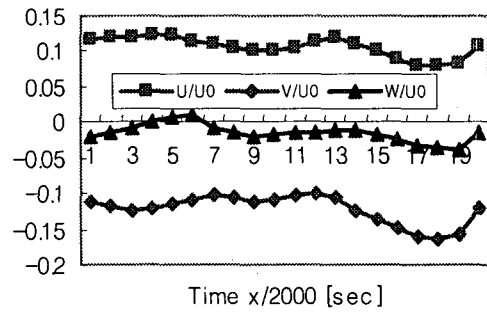


Fig. 3 Time history of velocity.
($x/D=5.6$, $y/D=-2.0$, $z/D=0.0$).



($t=t_0$) ($t=t_0 + 5 \text{ msec}$)
Fig. 4 Time history of vorticity distribution.

4. 결론

4 차원 입자영상유속계측 시스템(4D-PTV)구축 하였으며 이를 이용하여 충돌분류 유동현상의 시간 변화를 정량화 할 수 있었다. 4D-PTV 시스템으로 얻어진 방대한 데이터는 직접수치계산(DNS)에 필적하는 것으로, 추후 이를 이용하여 유동의 현상학적 규명에 발판을 마련하고자 한다.

참고 문헌

- 1) Doh D.H, Kim D.H, Choi S.H, Hong S.D, Saga T, Kobayashi T, 2001, "Single-Frame (Two-Field Image) 3D-PTV for high speed flows," Exp. in Fluid, Suppl. Vol.7, pp.84-95.
- 2) Doh, D. H., Kim, D. H., Cho, Y. B. and Lee, W. J., 2002, "Development of genetic algorithm based 3-D PTV technique," Journal of Visualization, Vol.5(3), pp.243-254.
- 3) Mass, H.G, Gruen, A, Papantoniou, D.A., 1993, "Particle tracking velocimetry in three-dimensional flows, Part 1 Photogrammetric determination of particle coordinates", Exp. in Fluids, Vol.15, pp.133-146.
- 4) Ikeda, K, Okamoto, K. and Murata, S., 2003, "Development of dynamic digital holographic particle velocimetry," Prof. of PIV03, Busan, Korea, Paper No. 3103.
- 5) Doh, D. H., Cho, Y.B, Lee, W.J., Kim, D. H., Saga, T, Segawa, S., and Kobayashi, T, 2002, "Measurements of a round jet with a High-resolution 3D-PTV, Proc. of 10th ISFV, Kyoto, Paper No.F0313.
- 6) Tenneks, H, Lumley, J.L., A first course in turbulence, The MIT Press, 13th Printing 1990.