

## 고해상 스테레오PTV

도덕희\*, 이원제\*, 조용범\*, 편용범\*\*, 장석원\*\*\*

### High-Resoultion Stereoscopic PTV

D. H. Doh\*, W. J. Lee\*, Y. B. Cho\*, Y. B. Pyeon \*\* and S. W. Jang \*\*\*

**Key Words :** Stereoscopic PTV(스테레오 입자영상유속계), 3D-PTV(3차원 입자영상유속계), Genetic Algorithm(유전알고리듬), Impinged Jet(충돌제트)

#### Abstract

A new stereoscopic PTV was developed using two CCD cameras, stereoscopic photogrammetry based on a 3D-PTV principle. The arrangement of the two cameras was based on angular position. The calibration of cameras and the pair-matching of the three-dimensional velocity vectors were based on Genetic Algorithm based 3D-PTV technique. The constructed Stereoscopic PTV technique was tested on the standard images of the impinged jet proposed by VSJ. The results on the turbulent properties of the jet obtained by the constructed system showed a good agreement with the original LES data.

#### 1. 서 론

유동의 3차원 상세구조를 실험을 통하여 정량적으로 파악할 수 있다면 항공 및 선박분야 뿐만 아니라 일반 유체기기분야에 있어서 성능개선 및 기술개발에 커다란 도움을 줄 수 있다. 스테레오 PTV(스테레오 입자영상유속계)는 이를 구현할 수 있는 비접촉식 실험계측법을 말한다.

유동장에 유체와 동일비중의 미소입자를 투입한 후 이들의 움직임을 1대 또는 2대 이상의 CCD카메라로 얻어낸 영상에 대한 해석을 통하여 유동장의 한 단면상 혹은 체적내부의 2차원 속도벡터 및 3차원 속도벡터의 분포를 시간연속으로 얻어낼 수 있는 계측법이 입자영상유속계(Particle Tracking Velocimetry; PTV)[1]법이다. 유동의 3차원 상세구조를 알기 위한 장(Field)개념에서의 계측법으로서는 PIV(Particle Image Velocimetry)와 PTV 계측법이 있다[2]. 그러나 실제 산업현장에서 나타나는 대부분의 유동장이 3차원적인 점을 고려하면 장(field)에 대한 속도 3성분( $u$ ,  $v$ ,  $w$ )의 단면 혹은 공간분포를 알아야 한다. 최근 이를 구현하기 위하여 개발된 계측법이 스테레오 PIV 계측법[3], 스테레오 PTV 계측법[4], 3차원 PTV 계측법[5]이다. 스테레오 PIV 및 PTV 계측법은 카메라 2대를 이용하여 유동장의 단면상에서의 속도 3성분에 대한 정량적 분포를 시간 연속적으로 얻어내는 방법이며 3차원 PTV 계측법은 유동장의 체적(volume)내부에서의 속도 3성분에 대한 정량적 공간분포를 시간 연속적으로 얻어내는 방법을 말한다.

최근에 이 두 계측법이 상용화되어 여러 분야에 적용이 되고 있으나 스테레오 계측법이 카메라에 대한 교정작업(calibration)이 용이하다는 이유로 보다 많이 이용되고 있다. 그러나, 3차원 PTV 계측법으로 원주후류의 난류통계량의 공간분포에 대한 데이터베이스를 제공하는 연구성과[6]에 의하여 3차원 PTV 계측법에 대한 유용성도 주목되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 고해상도 스테레오 PTV 계측법을 구축한 다음 이를 난류통계량에 대한 계측을 실시하고 얻어진 결과를 기존의 저해상도 스테레오 PIV 계측법에 의한 결과와 비교 검토함으로써 두 계측법 간의 정량적 비교를 실시함으로써 고해상도 스테레오 PTV법의 실용적 가치를 파악하고자 한다. 정량적 비교를 위한 데이터로서는 VSJ (Visualization Society of Japan)에서 제공하고 있는 충돌제트유동에 대한 LES 계산결과[7]를 이용하였다. 이 LES 데이터를 이용하여 Okamoto 등[8]이 제시한 가상영상을 생성법을 적용하여 가상영상을 생성 후 이를 본 연구에서 구축한 저해상도와 고해상도 스테레오 PTV 계측법을 적용함으로써 두 계측법의 결과에 대한 정량적 비교를 실시하였다.

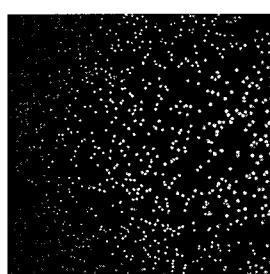


Fig. 1 Low resolution image. (512×512, Particle number=500)

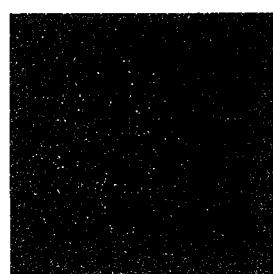


Fig. 2 High resolution image. (1000×1000, Particle number=2000)

\* 한국해양대, 기계정보공학부, doh@hanara.kmaritime.ac.kr

\*\* (주)티엔텍, bdt048@hanmail.net

\*\*\* 대우전자(주) 품질경영연구소, swjang@web.dwe.co.kr

## 2. 스테레오 PTV 계측시스템

### 2.1 가상영상생성

VSJ에서 제공하는 충돌제트의 속도벡터 데이터를 가상공간에 배치하고 이를 향하여  $20^\circ$ 의 각으로 배치된 가상카메라를 통하여 가상영상을 얻어낸다. 상세한 가상영상 발생법은 Okamoto 등[8]의 연구성과에 잘 기술되어 있다. 식 (1)과 (2)는 가상영상을 발생시키는데 쓰여진 식을 나타낸다.

$$I(X, Y) = I_0 \exp\left(\frac{(X - X_p)^2 + (Y - Y_p)^2}{-(d_p/2)^2}\right) \quad (1)$$

$$I_0 = 240 \exp\left(-\frac{z_p^2 + x_p^2}{\sigma_i^2}\right) \quad (2)$$

$I(X, Y)$ 는 입자의 위치( $X, Y$ )에서의 농도치를 말하며  $(X_p, Y_p)$ 는 공간상의 입자위치인  $(x_p, y_p, z_p)$ 가 영상으로 투영되었을 때의 좌표를 말한다.  $d_p$ 는 입자의 지름이고  $I_0$ 는 입자의 최대밝기 농도치를 말하며 식(2)로 표시된다.  $\sigma_i$ 는 원주형 가상 빛의 반경으로 해상도를 높이기 위하여 400으로 하였다. 한편, 스테레오 계측법을 위해서는 단면상의 조명 스릿(slit)이 필요한데 본 연구에서는 3mm 두께의 슬릿을 가상하였다. Fig. 1은 위와 같이 하여 생성된 입자수가 500일 때의 충돌제트의 저해상 가상영상을 나타낸다. Fig. 2는 입자수를 2000일 때의 고해상 영상을 나타낸다. 두 영상은 비교를 위하여 동일한 축정크기를 가정하였다. 생성된 이미지에 대하여 잡음제거 및 입자도심을 구하여 카메라의 교정작업 및 3차원 계측을 실시한다.

### 2.2 스테레오 PTV 계측알고리듬

입자들의 3차원 위치계산에는 LES 3차원 벡터의 시점과 종점을 2차원 좌표로 변환시킨 입자중심과 이를 입자중심 데이터를 이용하여 생성한 가상입자에 대한 영상처리(2치화)를 실시하여 얻어낸 입자중심값을 이용하여 3차원 속도벡터를 복원하였다. 3차원 속도벡터를 구하기 위한 알고리듬으로서는 도 등이 사용한 유전알고리듬 기반의 스테레오 PTV 계측법[5]을 적용하였다.

### 2.3 계측결과

Fig. 3(a), (b)는 각각 저해상 스테레오 PTV와 고해상 스테레오 PTV에 의하여 얻어낸 3차원 순간속도벡터분포를 나타낸다. 고해상의 경우는 동일한 크기의 축정영역에 대하여 월등히 많은 순간속도벡터를 얻을 수 있음이 보인다. Fig. 4는 Fig. 3과 같은 시간 연속적 순간속도벡터분포에 대한 데이터를 다량으로 통계처리 함으로써 얻어 낸 레이놀즈응력의 분포를 나타낸다. (a)는 LES에 의한 결과를, (b)와 (c)는 각각 1K와 0.5K 해상도 이미지를 이용하여 얻어진 결과를 나타낸다. Fig. 5는 Fig. 4의 수평중앙선상에서의 레이놀즈응력의 프로파일을 나타낸다. 고해상 스테레오 PTV에 의한 프로파일이 저해상 스테레오 PTV에

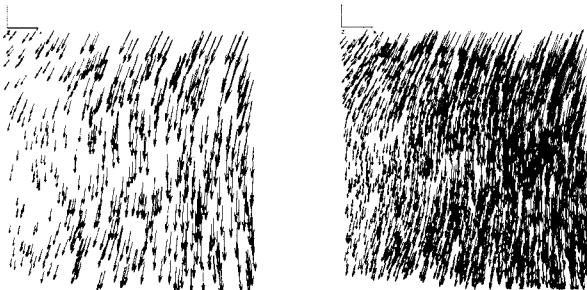


Fig. 3 Instantaneous 3D vectors obtained by Low and High Resolution Stereoscopic PTV.

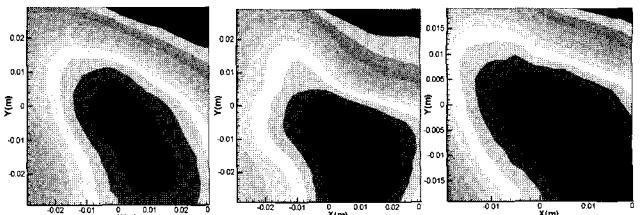


Fig. 4 Reynolds stress distribution obtained by Stereoscopic PTV ( $u'v'$  component).

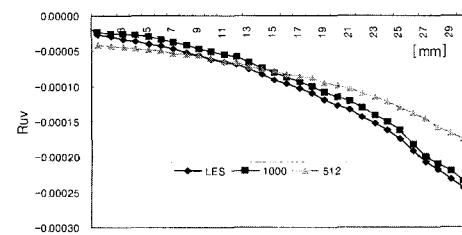


Fig. 5 Profiles of Reynolds stress ( $u'v'$  component).

의한 프로파일보다 원 데이터인 LES데이터에 가까운 결과를 보이고 있다. 이는 고해상의 스테레오 PTV가 난류에 해당되는 미소스케일의 와동에 대하여 보다 민감하게 계측을 하고 있음을 의미한다.

## 3. 결 론

저해상 스테레오 PTV보다는 고해상 스테레오 PTV 계측법이 보다 더 LES값에 근접함이 확인되었다. 이는 일정한 축정영역의 크기에 대하여 유동장의 미소스케일까지 계측을 하기 위해 할 때에는 고해상 스테레오 PTV계측법이 필요하게 됨을 의미한다. 본 연구에서 구축한 고해상 스테레오 계측법은 실제 미세난류유동장 계측의 적용에도 가능할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] 도덕희, PTV기술의 현황과 발전, 대한기계학회지, Vol.42, No.5, (2002), pp.36-40.
- [2] Adrian R. J., Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics, Ann. Rev. J. Fluid Mech., Vol.23, (1991), pp.261-304.
- [3] Prasad A. K., Adrian R. J., Stereoscopic particle image velocimetry applied to liquid flows, Exp. Fluids Vol.15, (1993), pp.49-60.
- [4] 도덕희, 이원재, 조용범, 편용범, 백태실, 하승운, 스테레오 PIV와 스테레오 PTV에 의한 실시간 난류통계량 계측, 대한설비공학회 2002하계학술발표대회 논문집(I), 용평리조트, (2002), pp.120-125.
- [5] Doh D. H., Kim D. H., Choi S. H., Hong S. D., Saga T., Kobayashi T., Single-Frame (Two-Field Image) 3D-PTV for high speed flows, Exp. in Fluid, Suppl. Vol.7, (2001), pp.84-95.
- [6] Doh D. H., Kim D. H., Cho K. R., Cho Y. B., Saga T., Kobayashi T., Development of genetic algorithm based 3D-PTV technique, J. of Visualization, Vol.5, No.3, (2002), (in press).
- [7] VSJ (Visualization Society of Japan, <http://www.vsj.or.jp/piv>).
- [8] Okamoto, K., Nishio, S., Kobayashi, T., Saga, T., Standard Images for Particle Imaging Velocimetry, Proc. PIV'97-Fukui, (1997), pp.229-236.