대한기계학회 2000년도 춘계학술대회논문집 B pp. 655~660 KSME 00S263

PIV데이터의 post-processing에 의한 애니메이션 제작 및 적용예

김미영*, 최장운**, 이현***, 이영호****

Animation construction and application example by the post-processing of PIV data

M.Y.KIM*, J.W.Choi**, H.Lee***, Y.H.Lee****

Key Words : Animation, PIV, Visualization, PC, Real-time, AVI Files, Compressed Images

Abstract

Animation technique from the PIV database is particularly emphasized to give macroscopic and quantitative description of complex flow fields. This paper shows animation construction and application example for the post-processing of PIV data. As examples, first case is a pitching airfoil immersed in free surface water circulating tunnel. Second case is a wake of a model-ship. Third case of PIV data is a large scale surface flow field. Obtained images are processed in time sequence by PIV exclusive routines where an efficient and reliable cross correlation algorithm is included for vector identification. All animation jobs are implemented completely on single personal computer environment. Compressed digital images are obtained initially by Motion-JPEG board and various AVI files are finally obtained through graphic processes.

1. 서론

지금까지 유동의 가시화는 유체공학 분야에서 많은 연구가들로부터 큰 주목을 받아왔다. 이 기법은 유동구조를 정성적이긴 하나 직관적으로 이해하기 쉬운 영상을 제공할 수 있음으로서, 충분한 조명과 입력장치만 확보되면 어떤 복잡한 유동장도 쉽게 이해가 될 수 있는 장점이 있다.

한편 정량적인 속도계측의 관점에서 PIV는 많은 문제를 해결할 수 있는 강력한 계측 기법으로 판명되고 있다. 최신의 PIV는 정밀한 레이저와 광학장치의 덕분으로 3차원 전체 유동장의 순간 속도분포를 완벽하게 재현하고 있다. 그리고 PIV는 입력장치를 통한 연속적인 영상획득이 본질적으로 가능하여, 적절한 PIV 동일입자 추적 알고리즘에 의한 시계열적인 해석이 언제라도 가능함에도 불구하고 PIV데이터의 시간 의존적인 해석결과는 아직까지 국한된 경우에 대하여 보고되고 있다. 이러한 한계는 유동장의 재현성을 보장하기 위한 충분한 시스템상의 영상기억용량의 부족과 입력장치의 낮은 공간 해상도 때문이다. 따라서, 시간적으로 연속된 영상에 대한 신뢰할 수 있는 정량적인 해석은 아직까지 하드웨어의 성능에 크게 의존하고 있는 실정이다. 또 다른 PIV적용 사례를 보면, 시간적으로 연속된 데이터의 후처리에 의한 유동장의 애니메이션에 의하여 2차원 원주후류의 bluff body 유동현상을 잘 표현하고 있다(Kobayashi 등, 1993)[1].

이 연구에서는 2차원 연속된 PIV데이터로부터 완전한 애니메이션 영상을 구현하는 것을 목표로 하였다. PIV처리와 애니메이션 작업은 윈도우98 환경에서 Motion-JPEG 보드를 사용하여 1대의 개인용 컴퓨터에서 실행되었다. 가시화 영상은 3가지의 다양한 영상을 사용하였는데, 첫 번째 사용된 영상으로서 터보 기계의 설계에서 중요한 익 주위의 유동현상을 가시화 하였고, 두 번째 영상으로서는 선박 후류의 유동 현상을 가시화 하였으며, 세 번째 영상은 넓은 해류 표면의 속도를 계측하기 위한 SF-PIV(Surface Flow PIV)를 적용한 모델 영상으로 계측 영역이 넓은 방조제 주위의 유동현상을 가시화 하였다. 각각의 유동장에 대해서 순간속도벡터, 운동에너지, 와도, 유적선, 유맥선 등을 연속으로 보여주는 칼라 동영상을 구현하였다.

* 한국해양대교 대학원
** (주)IIT
*** 한국해양대교 대학원
**** 한국해양대교

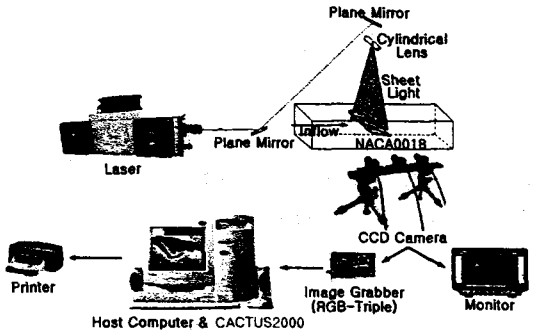

Fig.1 Arragement of PIV System

2. PIV계측

2.1 실험

실험은 3가지로 나누어서 하였으며 각각 방법이 조금씩 다르다. 첫 번째 실험은 익형 주의의 유동현상을 고찰하기 위한 실험으로서 영각을 18-48°의 범위로 피칭시켰다. 5W Argon-Ion 레이져를 시트라이트로 사용하였고, 유동장을 3부분으로 각각 나누어서 촬영하는 기법을 처음으로 도입하였으며(multi-vision PIV), 3대의 CCD카메라로 영상을 촬영하였고, DT3154(R-G-B입력)보드를 통하여 리얼타임으로 영상을 입력받았다. 그림1은 본 연구에서 채택한 첫 번째 실험의 PIV 시스템이다.

두 번째 실험은 회류수조내에서 선박축소모델을 사용하여 선박 후류의 유동현상을 고찰하기 위한 실험이며, 시트라이트는 300mW Argon-Ion 레이져를 사용하였고, 입력장치는 CCD 카메라 1대를 사용하였다.

세 번째 실험은 방조제의 축소모델인 8m(H) x 5m(V)의 넓은 유동장의 표면속도를 고찰하기위한 실험으로서 다량의 백색광원을 조명원으로 사용하고, 입력장치로서는 디지털 비디오 카메라를 이용하였다. 비스듬하게 촬영된 영상으로부터 표면 속도를 구하기 위해서는 카메라 캘리브레이션이 필요하며, 이를 위해서는 실제 유동장에서 최소4개의 기준점의 위치[2]를 표시해 두어야 하므로 유동장에 8m(H)x5m(V) 마다 직사각형으로 흰색 선을 그어 놓았다.

2.2 전처리 및 동일입자확인

PIV 시스템에서 디지털 픽셀 영상은 일반적으로 개인용 컴퓨터에 내장된 이미지그래버(예를 들어 DT3155, 640x480)를 통하여 만들어진다. 그리고 이 영상은 30Hz 샘플링 속도로 PC RAM에 임시로 저장되거나(최대용량까지), 일정한 프레임간격으로 하드디스크에 저장된다. 영상을 연속적으로 획득하면 RAM에 임시로 저장되어 입력되므로 RAM 용량에 제한을 받는다. 따라서 애니메이션에 사용되는 연속된 영상을 얻으려면 RAM 용량의 한계를 극복하는 대안이 있어야 한다. 그 방법으로, Motion-JPEG 포맷으로 압축된 AVI파일을 이용할 수가 있다. 이를 위하여 호스트 컴퓨터에 내장된 보드(Miro-Video DC30plus, 24비트, RGB:256 colors)를 통하여 하드디스크에 확보된 영역에 영상을 저장하도록 하였다. 공간해상도는 640x480 픽셀이고 계조치는 R, G, B 각각 8비트이며 화질은 압축률에 의존한다. 실시간 샘플링 속도 30Hz를 만족하는 4.8초간의 picthing cycle 영상을 획득하기 위하여 최소 압축률 2.5에서 144프레임 영상이 필요하다. 이때 AVI 파일용량은 44MB이다. 동일입자추적을 행하기 위해서 인터레이스(interlace)된 JPEG파일로부터 홀수와 짝수 필드의 분리작업은 AVI파일에서 BMP파일(24bit)을 추출하고, BMP파일을 Y/C로 분리하여 Y신호를 RAW파일로 변환한 다음 동일입자추적을 행한다.

PIV에서는 유동현상으로부터 속도벡터를 검출하는 많은 알고리듬이 제안되었다. 본 연구에서는 최적화된 상호상관PIV[3]를 채택하여 높은 계측정도를 제공하였다. PC(Pentium-III, 500MHz)상에서 프레임당 동일입자 추적을 위한 처리시간은 평균 20초 전후가 소요되었다.

3. 애니메이션

3.1 애니메이션 순서

그림2는 PIV 데이터로부터 애니메이션을 제작하기 위한 순서를 보여주고 있다. 먼저 전처리를 위한 개별적인 144개의 RAW파일을 얻기 위한 과정이 필요하다. 여기에서는 Hi-8mm 캠코더로부터 아날로그 영상을 앞에서 언급한 Motion-JPEG 보오드에 입력함으로서 하드디스크에 1개의 AVI파일을 저장한다. 실 소요시간은 4.8초이다. 이것은 144프레임의 영상을 의미한다(4.8x30프레임/초). 공간해상도는 24비트 RGB ture color로 640x480픽셀이다. 압축비는 2.5이고 만들어진 AVI파일의 크기는 44MB이다. 다음으로 전용소프트웨어인 CACTUS2000을 사용하여 AVI 파일을 연속된

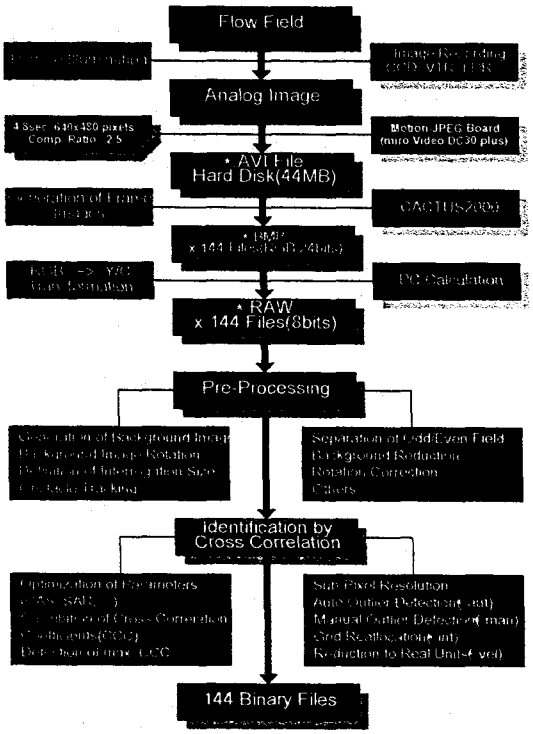

Fig.2 Graphic Procedure of Animation(A)

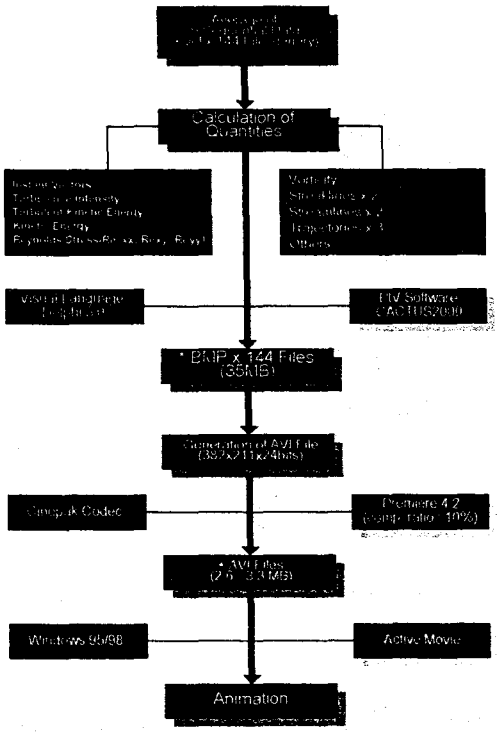

Fig.3 Graphic Procedure of Animation(B)

144프레임으로 분리한다. 이렇게 얻어진 144개의 영상은 모두 8비트의 계조치 정보를 갖는다. 144개의 RAW 영상을 우수/기수로 분리하고, 동일입자 추적을 행하여 속도벡터를 도시한 144개의 *.Vel 파일을 얻는다. 속도벡터가 구해지면 애니메이션 처리를 위해 그림3처럼 단계적인 처리가 필요하다. 얻어진 *.Vel 파일을 5개의 연속적인 파일로 시간평균하여 속도벡터의 흐름을 부드럽게 한다. 다음으로 운동에너지, 난류운동에너지, 와도, 난류강도 계산과, 유맥선, 유적선 및 유선의 도시를 위한 가상입자의 좌표계산[4] 이 필요하게 된다. 약 35MB의 *.Bmp영상파일이 이 과정을 통하여 만들어진다. 그러나 이 파일의 크기는 압축이 안된 상태이므로 Adobe premire로 압축을 행한다. 압축된 AVI파일의 용량은 약 2.6MB에서 3.3MB범위로 파일용량이 줄어든다. 윈도우98 운영시스템에서는 자체내장 소프트웨어인 Active Movie를 통하여 마우스 클릭만으로 PC모니터 상에 이러한 애니메이션 화면을 자동으로 나타낸다.

3.2 적용예

앞에서 언급한 애니메이션 기법을 등속도로 pitching하는 익 주위의 유동을 해석하여 애니메이션을 구현하였다. 가시화 영상을 얻기 위하여 개방형 회류수조(계측단면부의 크기 :1.5m(L) x 0.3m(W) x 0.4m(H))가 사용되었다. 익형 모델로 구성된 아크릴수조에 물을 채우고 먼저 익형을 고정하였으며, 다시 물 표면에 담겨진 익형을 정확한 회전 펄스 신호를 주어 익형이 등속도로 움직이도록 구성하였다. Pitching 각도의 범위는 18-48° 이고 속도는 모터 조절장치에 의해서 정확하게 조절된다. 이 연구에서의경우 회전속도는 30°/sec 이다. 추적입자는 평균이 110㎛인 폴리염화비닐을 사용하였다. 유동장의 실제 해석영역은 365mm(H) x 120mm(V)이다. 유동장의 바닥에서 물표면 까지의 길이는 152mm이고, 평균 유입속도는 0.05m/sec다. 이러한 실험을 통해 원시영상을 획득하고 원시영상을 가지고 상호상관 PIV를 적용해서 유동장의 속도벡터를 구한다. 얻어진 속도벡터를 가지고 CACTUS2000을 사용해서 속도벡터, 와도, 운동에너지, 난류강도, 다양한 후처리그림 파일들을 획득한 다음 이것들을 사용해서 애니메이션을 구현한다. 그림4-그림11은 첫 번째 실험모델인 익형주위의 흐름을 가시화한 결과를 나타낸다.

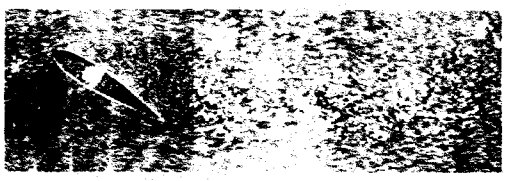

Fig.4 Original Image (case1)

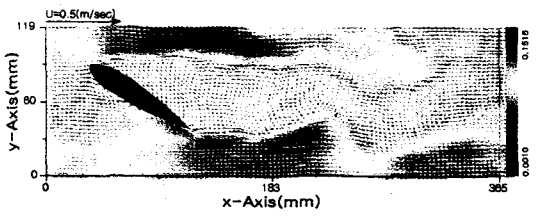

Fig.5 Velocity Vectors (case1)

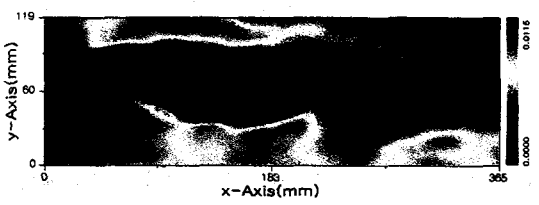

Fig.6 Kinetic Energy (case1)

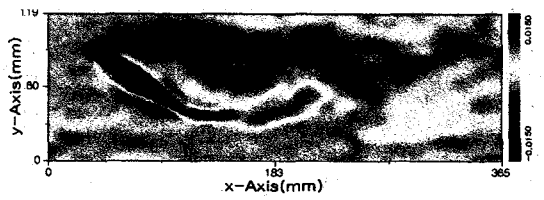

Fig.7 Vorticity (case1)

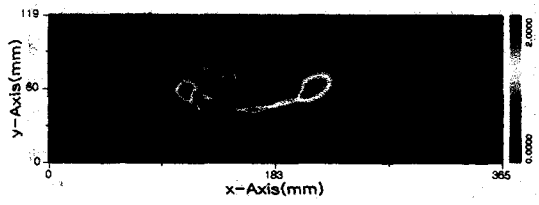

Fig.8 Turbulent Intensity (case1)

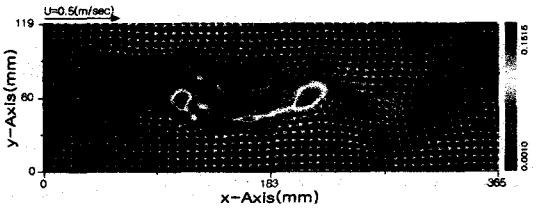

Fig.9 Turbulent Intensity+Vectors (case1)

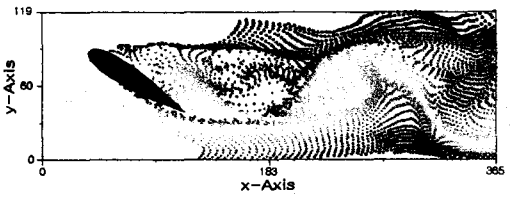

Fig.10 Trajectories (case1)

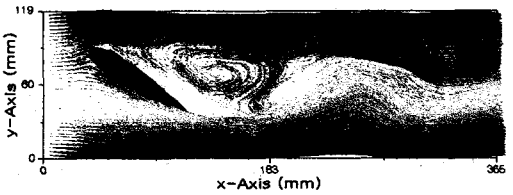

Fig.11 Streaklines (case1)

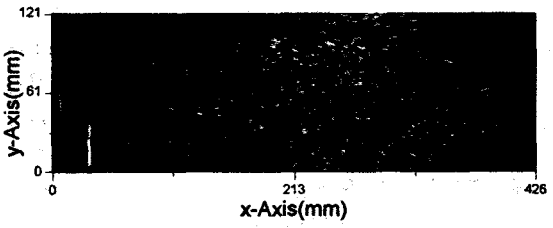

Fig.12 Original Image (case2)

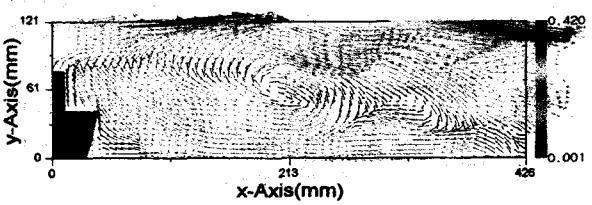

Fig.13 Instataneous Velocity Vectors (case2)

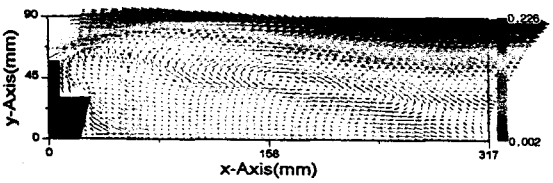

Fig.14 Averaged Velocity Vectors (case2)

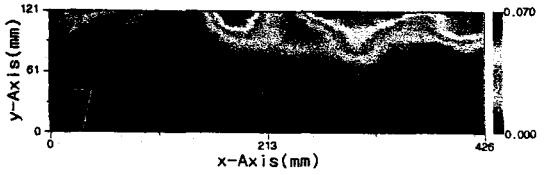

Fig.15 Instantaneous Kinetic Energy (case2)

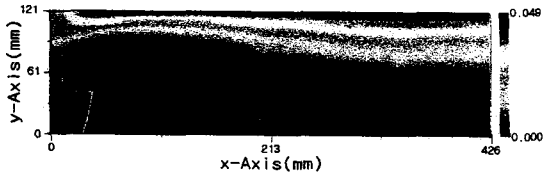

Fig.16 Averaged Kinetic Energy (case2)

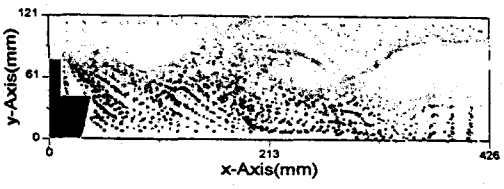

Fig.17 Streaklines (case2)

두 번째 적용예로는 선박 후류의 유동을 가시화 하였다. 높이가 80mm인 철로 만들어진 축소선박 모델을 사용하였다. 길이 약 30m의 직사각형 수조의 바닥에 선박을 고정시키고 유입속도는 약 0.2m/s로 유지하면서 선박후류의 흐름을 가시화 하였다. 사용입자로서는 폴리염화비닐(100㎛)을 사용하였다. 유동장의 실제 해석영역은 317mm(H) x 90mm(V) 이다. 그림12-그림17은 두 번째 실험 모델인 선박후류의 흐름을 가시화한 결 과를 나타낸다.

세 번째 적용예로는 크기가 8m(H) x 5m(V)인 넓은 유동장의 표면류에 적용하였다. 이와 같은 넓은 유동장은 일반적인 2차원 PIV를 적용하지 않고 SF-PIV[2]를 적용한다. SF-PIV를 적용 하기 위해서는 실제 실험 유동장에 최소 4개 이상의 마킹포인트를 표시해 두고 그 점에서의 실측값을 가지고 해석영상의 픽셀 좌표값과 대조해서 카메라 캘리브레이션을 행한다. 실제 실험에서 4개의 마킹포인트를 표시하기 위해서 그림18처럼 직사각형으로 흰색 선을 8m(H) x 5m(V)로 표시해 두었다. 그림19는 원시영상(그림18)을 카메라 캘리브레이션에 의하여 보정된 결과를 나타낸다. 실제 애니메이션은 그림19와 같이 카메라 왜곡을 보정한 영상을 사용한다. 그림20-그림21은 세 번째 실험 모델인 방조제 주위의 흐름을 가시화 한 것이다.

Fig.18 Original Image (case3)

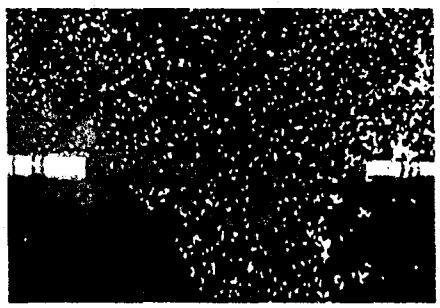

Fig.19 Transformed Image (case3)

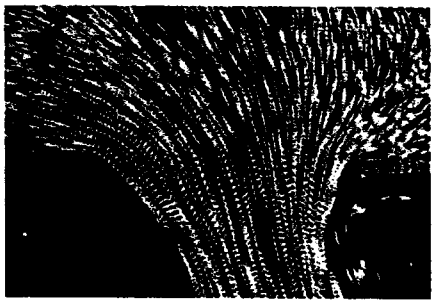

Fig.20 Pathlines (case3)

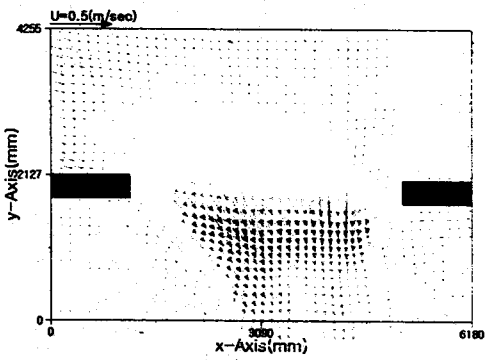

Fig.21 Velocity Vectors (case3)

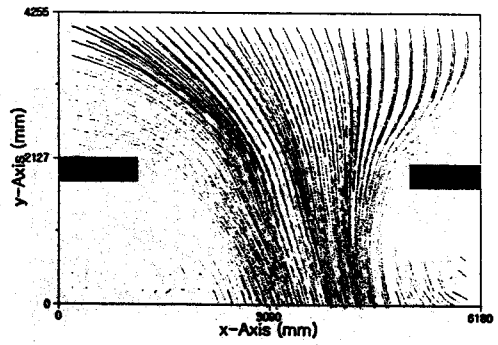

Fig.22 Streamlines(case3)

4. 결론

본 연구에서는 PIV데이터를 이용하여 애니메이션을 제작하는 기법을 소개하였으며, PIV기법으로는 상호상관 PIV가 채택되었다. 실제 유동장을 애니메이션기법을 동원하여 가시화한 결과 유동장의 형태와 흐름을 정량적으로 정확하게 재현할 수 있었다. 모든 처리와 애니메이션 작업은 PC상에서 처리되었다. 디지털 영상은 Motion-JPEG 보오드를 사용해서 획득하였다. 애니메이션 제작을 위하여 피칭하는 익형 주위의 흐름, 선박 후류의 흐름, 방조제 주위의 흐름등 세가지 유동장을 선택하여 순간속도벡터, 운동에너지, 와도, 유맥선, 유적선등을 제작하여 PC 모니터 상에서 재현하였다. 이러한 애니메이션 제작기법은 차후 PIV의 후처리기법으로 많이 사용될 것으로 기대된다.

동영상은 http://www.cactus2000.com에서 제공한다.

후기

실험과 논문에 쓰인 영상데이터를 사용할 수 있도록 허락해 주신 KRISO 양찬규 연구원과 농어촌연구원의 황보연 선임연구원에게 깊은 사의를 표하는 바이다.

참고문헌

[1]. Kobayashi T., Tsuda N., 1993, *"Karman vortex street behind a circular cylinder"* in Fantasy of Flow(VSJ ed.), Ohmsha & IOS Press, p.130.

[2]. 김미영, 서민식, 이영호, 1999, *"해류표면의 속도계측을 위한 SF-PIV의 개발"*, 한국해양환경공학회 춘계학술대회 논문집, pp.155-160.

[3]. Lee Y.H, Choi J.W., Seo M.S., Saga T., 1998, *"Analysis of uncertainties from PIV input devices"*. Proc. of VSJ-SPIE'98 Yokohama, pp.232-233.

[4]. 김미영, 1999, *"PIV에서의 보간기법의 평가에 관한 연구"*, 한국해양대학교 석사학위논문집.