韓國海岸·海洋工學發表論文集 (2001)
第12券, pp. 119-124

SF-PIV 기법을 이용한 새만금 방조제 모델의 해류흐름 해석
Analisys on a Sea Current Flow of Saemangeum Seawall Model Using SF-PIV

김범석[1] · 김정환[1] · 김미영[2] · 황보연[3] · 이영호[4]
Beom Seok Kim[1], Jeong Hwan Kim[1], Mi Young Kim[2], Bo Yeon Hwang[3], and Young Ho Lee[4]

1. 서 론

최근 들어 넓은 강가나 바다표면의 속도를 계측 하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있고 이러한 넓은 표면의 속도를 계측하는 방법으로 PIV(particle image velocimetry)의 응용인 SF -PIV(surface flow PIV) 기법을 사용하고 있다. PIV[(1)]는 계측하고자 하는 유동장을 가시화가 가능하도록 투명한 자재로써 실험체를 구성하고 추종성(traceability)이 우수한 입자를 고루 분포하여 그 거동을 미소시간동안 촬영한 사진 또는 화상을 분석하는 기법으로, 컴퓨터의 고속 대용량의 데이터 처리능력을 화상처리에 적극적으로 이용한 계측 방법이다. 이와 마찬가지로 SF-PIV도 해류나 넓은 표면을 적용한다는 관점이 다를 뿐 화상을 분석하는 기법은 마찬가지이다. SF-PIV는 넓은 표면을 처리해야 하므로 일반 PIV처럼 단면사진 촬영이 가능한 영상을 사용 할 수 없다. 예를들어 해류의 표면을 계측하고자 할 경우 해류표면이 한 영상에 다 나오도록 촬영하려면 실제크기에 비해 사진에 촬영된 영상은 크기의 비가 다르다. 사진을 찍은 위치에서 가까이에 있는 사물의 크기는 영상에서 크게 나타나고 먼 위치에 있는 사물의 크기는 실제크기보다 작게 나타난다. SF-PIV는 이러한 일그러진 영상을 실제크기의 비에 맞게 보정해줌으로써 넓은 해류표면의 속도를 정확하게 계측할 수 있게 한다

2. SF-PIV에 의한 속도계측 방법

2.1 영상변환

영상을 실제크기의 비와 같게 변환하기 위해서 일반적으로 잘 알려진 화상처리 기법인 투시 변환식[(2)(3)] 식(1)을 사용한다. Fig.1은 실제 해류표면과 해류표면이 화면상에 촬영될 수 있는 투시변환 된 영상이다. Fig. 1에서 대문자 X, Y는 해류표면의 공간을 나타내고, 소문자 x, y는 촬영된 영상의 공간을 나타낸다.

$$X = \frac{b_1 x + b_2 y + b_3}{b_4 x + b_5 y + 1}, \quad Y = \frac{b_6 x + b_7 y + b_8}{b_4 x + b_5 y + 1} \qquad (1)$$

식(1) 투시 변환 식의 변환계수 b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8을 구하기 위해서는 실제해류표면에 4 개의 점 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), (X_4, Y_4)$ 을 찍어서 표시해두어야 한다. 위의 4 개의 점이 투시 변환된 사진의 영상에 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$로 나타낸다. (x_1, y_1), (X_1, Y_1), (x_4, y_4), (X_4, Y_4) 는 식 (2) 와 같은 행렬식을 얻을 수 있다.

$$TB = Z \qquad (2)$$

여기에서,

[1] 한국해양대학교 대학원 (Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Korea Maritime University #1, Dongsam-dong, Youngdo-Ku, Busan 606-791, Korea), E-Mail: bum_suck @pivlab.net, Tel: (051) 405-8844
[2] (주) IIT 연구원 (IIT Co. Ltd, #1 Dongsam-dong, Youngdo-Ku, Busan 606-791, Korea)
[3] 농어촌연구소 주임연구원 (Rural Research Institute, 1031-7, Sa-dong, Ansan-shi, Kyonggi-do, Korea)
[4] 한국해양대학교 기계 정보공학부 (Division of Mechanical and Information Engineering, Korea Maritime University #1, Dongsam-dong, Youngdo-Ku, Busan 606-791, Korea)

$$T=\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & -x_1X_1 & -y_1X_1 & 0 & 0 & 0 \\ x_2 & y_2 & 1 & -x_2X_2 & -y_2X_2 & 0 & 0 & 0 \\ x_3 & y_3 & 1 & -x_3X_3 & -y_3X_3 & 0 & 0 & 0 \\ x_4 & y_4 & 1 & -x_4X_4 & -y_4X_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -x_1Y_1 & -y_1Y_1 & x_1 & y_1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -x_2Y_2 & -y_2Y_2 & x_2 & y_2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -x_3Y_3 & -y_3Y_3 & x_3 & y_3 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -x_4Y_4 & -y_4Y_4 & x_4 & y_4 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

그리고,

$$B=[\ b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8\ ]^T \quad (4)$$

$$Z=[X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7\ X_8]^T \quad (5)$$

$$x=\frac{(b_5b_8-b_7)X+(b_2-b_3b_5)Y+(b_3b_7-b_2b_8)}{(b_4b_7-b_5b_6)X+(b_1b_5-b_2b_4)Y+(b_2b_6-b_1b_7)} \quad (6)$$

$$y=\frac{(b_6-b_4b_8)X+(b_3b_4-b_1)Y+(b_1b_8-b_3b_6)}{(b_4b_7-b_5b_6)X+(b_1b_5-b_2b_4)Y+(b_2b_6-b_1b_7)} \quad (7)$$

행렬식을 풀어서 $b_1 \ldots b_8$ 을 구한다. 실제 해류 표면을 ΔX 와 ΔY 를 이용하여 등 간격 격자로 나눈다. 사진 속에 투영된 영상을 실제의 영상처럼 복원시키기 위해서는 ΔX 와 ΔY 의 값을 정확하게 결정하는 것이 중요하다. 식(1)의 역수 관계를 이용해서 식(6), (7)과 같이 실제의 위치(X, Y) 를 대입해서 화면상의 (x, y) 를 구한다. x, y 의 위치가 구해지면 선형보간법[4]을 사용해서 화면상에 나타난 실제위치의 화상 값을 구한다. 이러한 관계를 이용해서 화면상의 영상을 실제 영상처럼 변환시킨다.

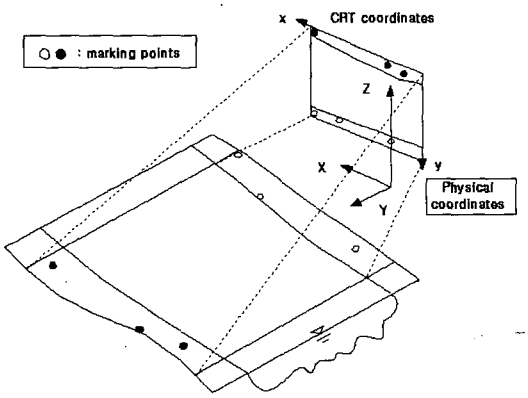

Fig. 1 CRT and Physical Coordinates

2.2 SF-PIV의 속도검증을 위한 처리 과정

실제 해류표면의 해석을 하기 전에 SF-PIV의 동일입자 추적 알고리즘 정확 도를 검증하기 위하여 실험장치로 45 RPM으로 등속 회전하는 레코드 플레이어 상에 평면입자를 부착하여 CCD 카메라로 Fig. 2처럼 영상을 비스듬하게 촬영하였다. SF-PIV 알고리즘의 적용을 위해서 실제 찍어둔 4개 이상의 포인터를 이용해서 화면상의 픽셀좌표를 정확하게 얻어낸 다음, 앞에서 언급한 변환 식을 사용해서 영상을 Fig. 3처럼 정확하게 변환하였다. Fig. 4에서 선택된 영역이 해석영역이며 가로 및 세로의 길이는 모두 180mm로써 동일하다. Fig. 5는 영상을 변환하는 프로그램을 나타낸다. 이렇게 얻어진 영상을 가지고 속도 벡터를 추적하여 이론속도와 비교 검증하였다.

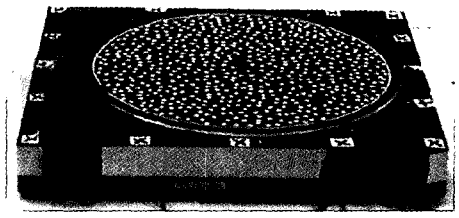

Fig. 2 Original Image

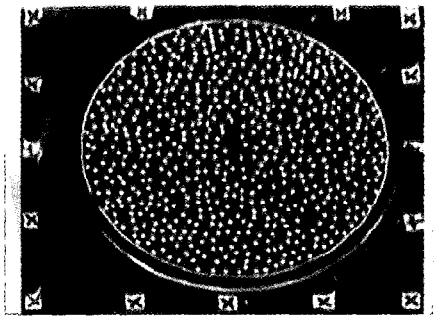

Fig. 3 Transformed Image

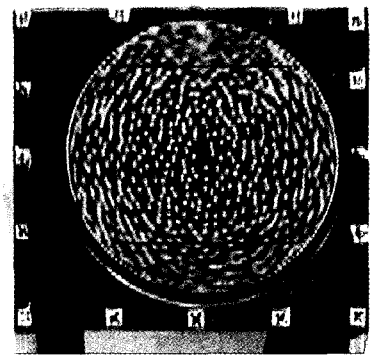

Fig. 4 Analysis Range

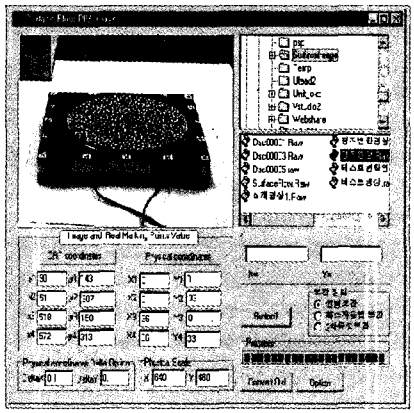

Fig. 5 Image Transform Program

아래의 Table에 계산조건을 요약한다.

Table. 1 Measurement Conditions

Image Input	CCD Camera
PPS(Picture Per Sec)	60
Image Board	DT 3155
Analysis Range	180X180(mm)
Grid Number	40 X 40
SAR	6 (pixel)
CAS	41 (pixel)

2.3 이론속도와 측정속도의 비교

Fig. 6은 평균 속도벡터 분포이며, Fig. 7는 중앙단면에서의 속도분포 이다. 중앙단면에서의 평균 속도벡터는 21.95(cm/sec)이며, 이론속도를 구해보면 21.20(cm/sec)이다. 이는 평균속도와 이론속도 간의 오차가 3.5 %임을 알 수 있으며, 정확한 속도를 검출하고 있음을 알았다.

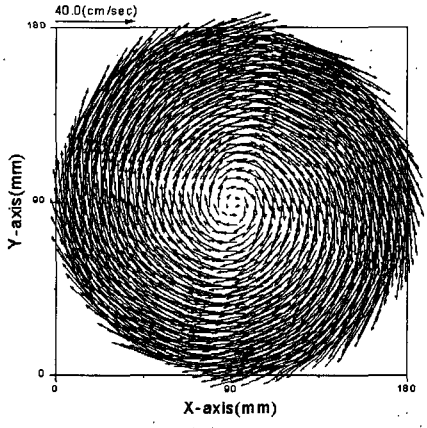

Fig. 6 Averaged Velocity

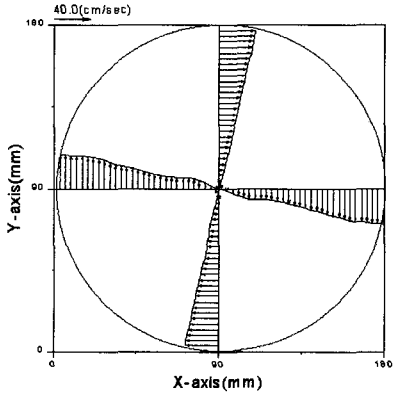

Fig. 7 Averaged Velocity Profile

3. SF-PIV 기법의 적용 예

3.1 실험장치

새만금 해역은 그 대상 면적이 약 50km× 50km 로서 적정 수리현상과 모형 시간을 재현 할 수 있는 모형범위 및 펌프 시설 용량을 고려한 결과 수평축척을 1/500 으로 하고, 모형에서 난류상태를 유지하고 표면장력 등으로 인한 바람직하지 않은 오차의 영향을 배제하기 위하여 수직 축척을 1/80 으로 결정하였다. 그 결과 새만금 수리시험장 건물 규모는 100m(H)× 100m(V)로 건립되었으며, 방조제 모형의 수평축척과 수직축척의 비는 6.25 정도이다. 모형 방조제에는 직각방향으로 길이 14cm～1m 의 수제공(Jetty)을 설치하였다. Fig. 8 은 실제의 수제공이 설치된 모형 방조제의 배치를 보여주고 있다. 방조제 100m(H)× 100m(V) 모형의 전체 유동장을 8m(H)× 5m(V)의 직사각형 구획으로 분할 한 후 방조제의 개구부 영역(8m(H)× 5m(V))에 대하여 SF-PIV 기법을 적용하여 실험을 행하였다.

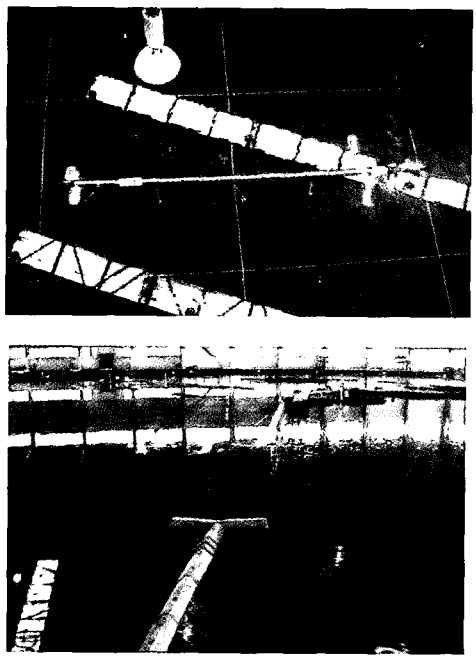

Fig.8 Image of Saemangeum Seawall Model

3.2 PIV 계측

본 가시화 실험에서 영상을 입력받기 위하여 6mm 디지털 캠코더(일본 소니社)를 사용하였으며, 수리시험장 내 모형바닥에서 12m 위치의 상부에 흔들림 없이 고정하여 촬영하였다. 촬영구간은 8m(H)× 5m(V)의 방조제 모형의 개구부 구간이다. 광원으로써 일반 형광등을 이용하였으며, 실험에 사용된 가시화 입자는 발포 스티로폴이다. 유동장내 입자를 분포시키기 위하여 Fig. 5 와 같이 방조제 모형 상부에서 3명의 작업자들이 발포 스티로폴 입자를 모형 방조제 개구부로 균일하게 주입하였다. 한편, 영상처리 장치를 위해 사용한 이미지 그래버는 DT3155(640× 480pixels, B&W)를 사용하였다. 이는 디지털 카메라로부터 획득한 원시영상으로부터 아날로그 신호를 2차원의 디지털 신호로 바꾸어주는 역할을 한다. 전처리 및 동일입자 확인 과정은 상용 PIV 소프트웨어(CACTUS'2000)를 사용하였다 . 본 연구에서는 동일입자 확인 알고리듬으로 영상의 계조치 분포의 상관성을 이용하는 계조치 상호 상관법을 적용하였다. SF-PIV 기법을 적용한 처리과정을 Fig. 9 에 나타낸다.

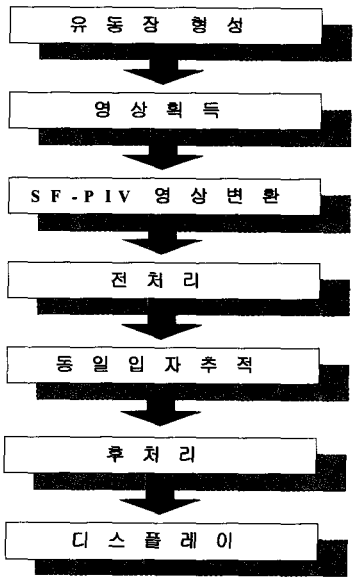

Fig. 9 SF-PIV Procedure

4. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 SF-PIV 를 이용하여 방조제에서의 흐름을 가시화하고 디지털 캠코더를 사용하여, 방조제의 개구부 8m(H)× 5m(V) 표면영역에 대한 유속을 측정하였다. 디지털 카메라에 의해 획득된 Fig. 10 의 왜

곡된 영상을 SF-PIV 기법을 이용하여 Fig. 11 과 같은 영상으로 정확하게 보정 한 후 처리를 하였다. Fig. 12 는 획득한 영상의 속도벡터를 나타낸 것이다. 그리고, Fig. 13 은 유동장의 속도프로파일을 나타내고, Fig. 14 에서 유맥선을 나타내었다. 수제공이 설치된 방조제의 개구부 구간에서의 실험결과 넓은 영역을 가지는 방조제에서의 전체 흐름을 정량적으로 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 해류표면과 같은 표면류의 속도를 계측하기 위하여 영상의 화상처리 기법을 제안하였고 실제 변환된 영상의 속도를 이론속도와 비교 검토하여 에러율을 검증하였다.에러율의 검증결과 3.5 % 미만의 오차만을 가지고 있으므로영상을 변환하여 사용한 SF-PIV 기법을 실제 해류표면에 적용 할 수 있는 근거를 도출하였으며 이러한 근거를 바탕으로 실제 모형 방조제의 개방구간 유동장에 대하여 SF-PIV 기법을 적용하여 실험을 수행 하였다. 실제모형 유동장에 대하여 획득한 왜곡된 영상에 대하여 SF-PIV 기법을 이용하여 영상 변환을 한 후 방조제에서의 전체 조류 흐름을 정량적으로 규명하였다.

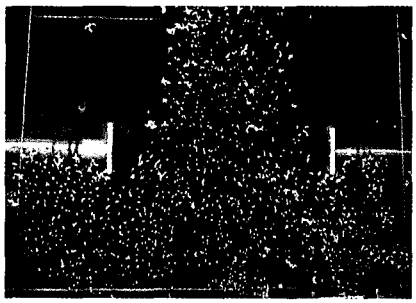

Fig. 10 Original Image

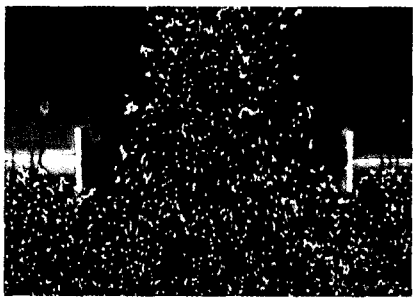

Fig. 11 Transformed Image

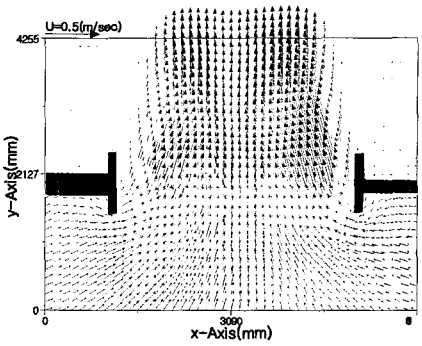

Fig. 12 Velocity Vector

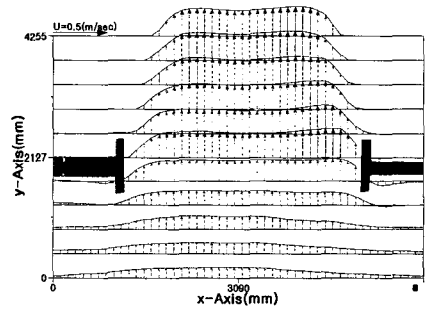

Fig.13 Velocity Profile

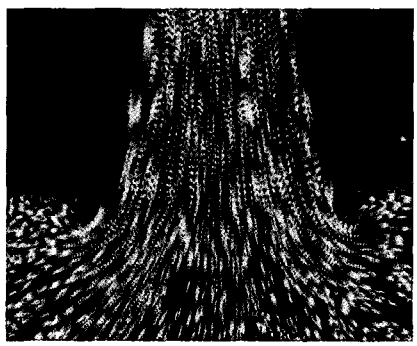

Fig. 14 Pathlines

참고문헌

이영호, 최장운, 1996. PIV의 분류 및 원리(해설), 대한기계학회지 제 36권 12호,(1)1146-1162.

김미영, PIV에서의 보간 기법의 평가에 관한 연구, 1999. 한국해양대학교 대학원 석사학위논문집, 5-9.

김미영, 서민식, 이영호, 해류표면의 속도계측을 위한 SF-PIV의 개발, 1999. 한국해양환경공학회 춘계학술대회 논문집, 155-160.

(주)아이아이티 CACTUS' 2000 매뉴얼,(4) http://www.iitpiv.com

Fujita, I. and Komura, S., 1990. Computation of two-dimensional velocity profiles during floods by the correlation method, *Proc. 7th Cong. APD-IAHR*, (2) 69-74.

Fujita, I and Komura, S., Application of video images analysis for measurements of river-surface flows", *Proc. of Hydraulic Engineering*, JSCE, Vol. 38,(3) pp. 733-738, 1994