

소파블록과 인공어초 주위의 유동 해석을 위한 PIV 적용

이경우* · 조대환** · 김호*** · 이승건****

*목포해양대학교 해양시스템공학부 , **목포해양대학교 기관시스템공학부 ,
목포해양대학교 대학원, *부산대학교 조선해양공학과

PIV Applications for Flow Analysis of Tetrapod and Artificial Reef

Gyoung-Woo lee* · Dae-Hwan Jo** · Ho Kim*** · Seung-Keon Lee****

*Division of Ocean System Engineering, MMU, Chukkyo-dong 571-2, Korea

**Division of Marine System Engineering, MMU, Chukkyo-dong 571-2, Korea

***Graduate School of Mokpo Maritime University, Chukkyo-dong 571-2, Korea

****Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

요 약 : 본 연구에서는 최근 유체역학 유동장 해석분야에서 각광을 받고 있는 PIV 해석기술을 이용하여 소파블록과 인공어초 주위의 유동을 실험적으로 분석하였다. 실험에 사용된 소파블록은 현재 현장에서 널리 채택, 운용되는 삼각뿔 tetrapod를 이용하였고 인공어초로는 원통형인 흙관어초 모형을 이용하였다. 유동장 촬영은 소형 회류수조와 아르곤 레이저, 고속 카메라 등을 이용하였다. 최종적으로 영상정보를 이용하여 PIV 해석을 실시, 실험 대상 물체 주위의 경계층(Boundary layer)영역, 박리 현상 등의 유동 특성을 조사하였다.

핵심용어 : 소파블록, 인공어초, 박리현상, PIV 측정기법

ABSTRACT : This paper an application example of PIV system for analyzing the flow of submerged structure. In this paper, we introduce an analysis method to predict the characteristics of flow around the neighboring fields of tetrapod and fishing reef in order to develop a high performance model. Flowing phenomenon according to velocity distribution and flow separation around the submersed body were obtained by PIV system. Flow visualization has conducted in a circulating water channel by a high speed camera and etc.

KEY WORLD : tetrapod , fishing reef, separation, PIV system

1. 서 론

우리나라 연안은 지리적 특수성에 수반된 태풍, 집중호우, 해일 및 고조 등에 의한 자연 재해가 매년 반복되고 있으며, 실제 약 40여 회에 이르는 각종 연안 재해로 인하여 많은 재산과 인명피해가 발생하고 있다. 그리고 천혜의 자연 경관과 해안선, 인간이 함께 어우러진 해양 문화, 관광, 레포츠, 해양목장의 개발을 위해 경제적이면서 수해피해를 줄일 수 있는 파랑의 제어 효과가 탁월한 연안 구조물에 대한 기술개발과 해양목장의 중요성이 대두되고 있다. 해

양목장의 발전 기술로는 물고기의 산란이나 물고기의 생활을 돕기 위한 인공어초를 수심 10~50m 해역에 설치하는 것이다. 물고기는 바다 속에서 다른 물체에 몸을 접촉하면서 의지하거나 가깝게 있으면서 몸을 보호하려는 본능을 갖고 있다. 따라서 인공어초는 물고기에 이러한 본능에 맞춘 것이다. 인공어초는 물의 흐름을 완만하게 해주며 물의 속도를 느려지게 하기 때문에 고기들이 모여들게 할 뿐만 아니라 산란장의 역할도 한다. 인공어초를 설치한 곳에서는 물고기 밀도가 자연어장보다 3~4배나 높다. 인공어초는 바다 생태계에 해가 되지 않도록 해야 하기 때문에 주의하여 만들어야 한다. 대개는 콘크리트나 석재 등으로 만들어지며 모양은 사각형, 육각형, 원통형, 반구형 등이 있다. 어초의 형태에 따라 서식하게 될 어종이 다르며 현재 개발연

*중심회원, kwlee@mmu.ac.kr 061)240-7083

**정회원, pivmp@mmu.ac.kr 061)240-7104

***학생회원, sopungnara@mmu.ac.kr 011-9081-9778

****정회원, leesck@pusan.ac.kr 051)510-2441

구 중인 다양한 어초들도 물고기가 안정하게 서식할 수 있는 환경을 고려하여 제작되어야한다. 본 논문에서는 원통형인 흠판어초와 테트라포드의 주변에서 형성되는 유동장에 대해 고찰하고자 한다. 유속의 변화에 따라 흠판어초와 테트라포드 주변에 형성되는 유동장을 PIV 기법을 이용해 정량적인 유속을 해석함으로써 잠수체 주위의 경계층(boundary layer)영역, 박리 현상 와류의 상세구조 등 여러 가지의 유동 특성을 조사한다[1].

2. 실험장치 및 실험

입자영상유속계는 해석하고자 하는 유동장에 입자를 고르게 분포시키고 직진성과 반사성이 우수한 레이저 등의 강한 2차원 광원을 계측 영역에 얇게 투사하여 가시화한 촬영된 영상에 대해 디지털 영상 정보 처리 기법 등을 이용하여 전 유동장에 걸친 속도벡터를 얻는 기법이다. 본 연구에서는 흠판어초와 테트라포드 주위의 유동 해석을 위해 길이, 폭, 높이가 1000mm×300mm×300mm인 소형 이동회류 수조를 이용하였다. Photo. 1은 본 실험에서 사용한 소형 이동 회류 수조의 측면을 촬영한 사진이다.

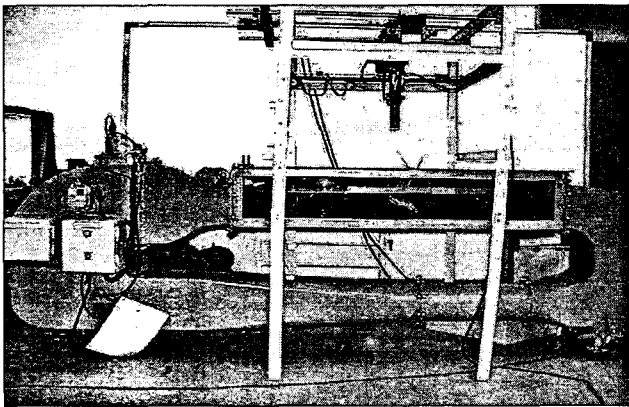


Photo. 1 View of experimental equipment

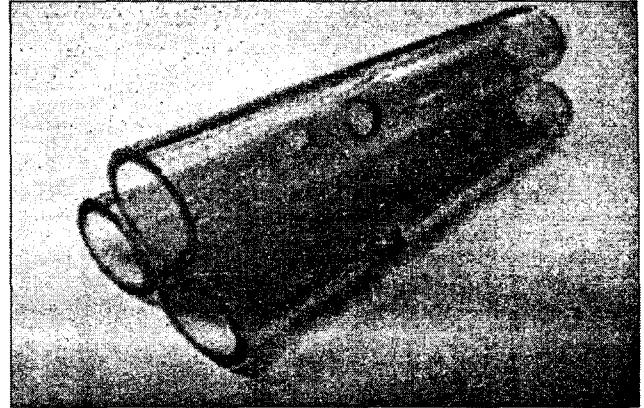


Photo. 2 Experimental model of Fishing reef

Photo. 2는 길이가 100mm, 지름이18mm, 끝단에서 중앙부로 50mm 지점에 홀의 지름이 7mm 인 홀이 뚫려 있다. 흠판어초의 축소형으로 재질은 레이저가 잘 투과할 수 있는 투명아크릴로 제작하였다.

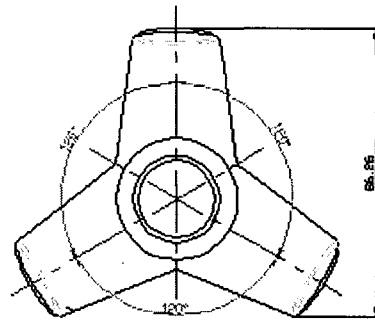


Fig. 1 Schematic Diagram of Test Setup and Tetrapod

Fig. 1 은 본 연구에서 사용한 모형 테트라포드의 형상이다. 파랑의 소파(消波)를 위해서 피복석 대신 사용하는 콘크리트 이형(異型) 블록으로, 4개의 뿔 모양으로 생겼으며 다리가 같은 크기로 동일한 각도 120도로 배치되어 있다.

Fig. 2는 실험 장치 구성도로서 유동장을 회류 수조에 배치하고 고속카메라로 촬영해 다시 캠코더에 저장해서 컴퓨터에서 PIV해석 프로그램으로 해석하는 과정이다. 조명은 수냉식 5W 출력의 Argon-Ion 레이저와 원통형 렌즈가 연결된 광파이버를 이용하여 흠판어초와 테트라포드의 계측 영역에 시이트 광(Sheet beam)을 조사하였다.

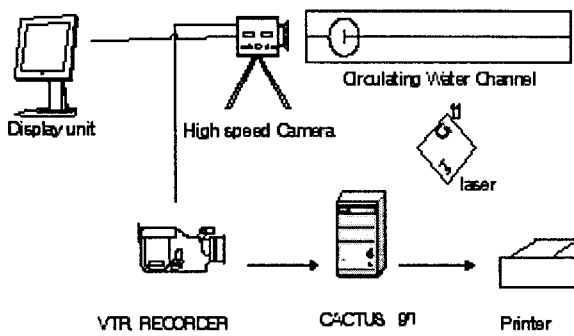


Fig. 2 Schematic arrangement of PIV system

유동장은 고속카메라로 촬영하였으며 홈관어초 주변 및 후류 유동의 영상을 기록하였다. 작동 유체는 17°C 전후의 수도수이며 영상 처리를 위한 이미지보오드는 내장형 DT3155(640×480 pixel, B&W)이며 펜티엄 급의 주 처리 컴퓨터에 내장하여 이용하였다. 본 연구에서는 추종성이 우수한 입자로서 직경이 100~150 μ m인 polyvinyl chloride 입자를 사용하였다. 속도벡터를 구하기 위한 격자의 크기는 40×30이며, 유동장의 이미지는 고성능 디지털카메라를 사용하여 획득하였으며, Pentium급의 컴퓨터를 사용하여 유동해석을 수행하고, 유동장의 정보인 평균 속도벡터, 평균운동에너지 분포 등을 구하였다[3][4][5][6].

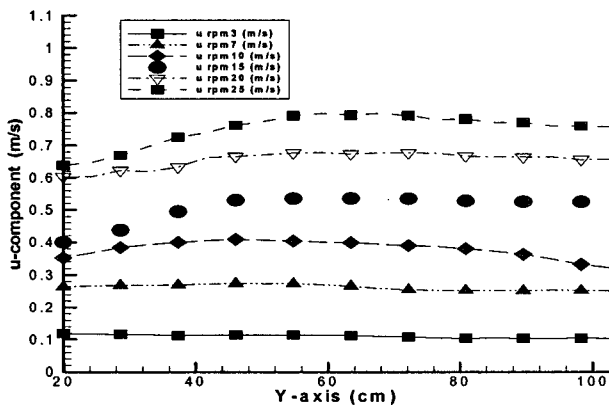


Fig. 3 Velocity distribution of None obstacle

Fig. 3은 회류수조의 기계적 RPM변동에 따른 유속을 알아보고자 유동장에 장애물이 없는 상태에서 측정된 2차원 속도분포를 수직방향으로 측정해 각각의 RPM에 대해 그래프로 도시화 한 것이다.

4. 결과 및 고찰

4.1 유동가시화 결과

본 논문에서는 유속변화에 따른 홈관어초와 테트라포드 주위의 유동현상을 고찰하기 위하여, 실험계측 기법으로 동시 다점으로 속도 계측이 가능한 PIV 를 이용하여 홈관어초와 테트라포드 주위의 유동현상에 대하여 고속카메라와 고해상도 비디오카메라를 사용해 가시화 실험을 하였다. Photo 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9는 유속변화에 따른 홈관어초와 테트라포드 주위의 유동을 레이저 광원을 조사, 유체가 유입되는 전방부에서부터 잠수체 주변의 유동장에서 추적 입자를 촬영하였다. Photo 3, 4, 5는 세가지 설정 유입속도에 따른 어초 주위의 유동장을 보여주고 있다. 유입유속이 증가면서 홈관어초 뒤쪽에서 와류 운동이 활발하게 나타나고 이 와류는 어초 후방에 있어 혼합되어 복잡한 난류 경계층을 형성하고 있다.

Photo 4는 0.44 m/s에서 형성되는 유동장이다. 유속이 증가하면서 Photo 3에서 보다 와류층이 두꺼워 지고 난류층도 발달한다. Photo 5는 0.51 m/s에서 나타나는 유동장을 나타내는 데, Photo 3, 4의 경우와 달리 상층의 와류 경계층은 유지되나 하류 경계층의 두께와 형태가 줄어들고, 어초 하류 쪽에서 와류층이 위로 상승하는 것을 볼 수 있다. 또한 유입유속이 0.51 m/s인 경우, 홈관어초 바로 뒤에서 가장 뚜렷하게 와류가 생성되고 후방부로 갈수록 소용돌이의 전체 흐름은 하류 쪽으로 흘러가면서 점차 소멸된다. 이것은 어초 하방의 구조적 특징으로 설명될 수 있는데 하부 두 개의 원형관에 따라 흐르는 유체가 유속이 증가함에 따라 어초 후류 와류 유동장을 교란, 상류흐름(upstream)을 발생하게 되고 이 흐름이 유동장을 정류(整流, straightening) 시키는 효과를 나타낸다.



Photo. 3 Flow visualization(0.34 m/s)



Photo. 4 Flow visualization(0.44 m/s)

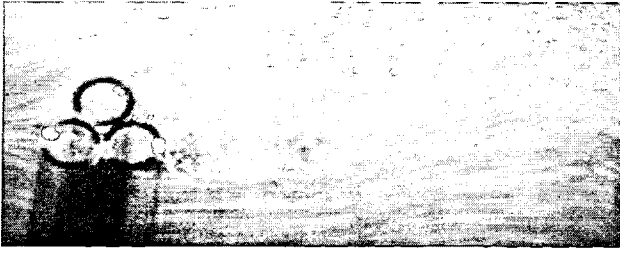


Photo. 5 Flow visualization(0.51 m/s)



Photo. 6 Flow visualization(0.26 m/s)

Photo 6은 0.26 m/s에서 흡판어초의 내부를 촬영한 모습이다. 흡판상부에 뚫려있는 hole로 유입된 유체는 흡판의 내벽을 타고 시계 반대방향으로 소용돌이 운동을 하는 것을 알 수 있다.

Photo 7, 8, 9는 유속의 변화에 따른 테트라포드 주위의 유동을 가시화한 사진이다. Photo 7은 유속이 0.11 m/s로 매우 느리게 유입되는 경우이다. Photo 8은 유속이 0.26 m/s로 증가함으로 테트라포드를 형성하는 4개의 기둥 중 상부 기둥에서 박리 현상을 발생하는 것을 알 수 있다. 이것에 의해 테트라포드의 뒤쪽에서 소용돌이가 층이 형성되어 난류의 영역이 나타나는 상태이다. Photo 9는 유속이 0.51 m/s로 활발한 난류 유동장을 보여주고 있다. 테트라포드 후방의 상방류(upstream)와 하방류(down stream)가 크게 일어나며 유입되는 성분과 수직인 성분으로 인해 테트라포드 후방에서도 소용돌이가 발생함을 볼 수 있다.



Photo. 7 Flow visualization(0.11 m/s)



Photo. 8 Flow visualization(0.26 m/s)

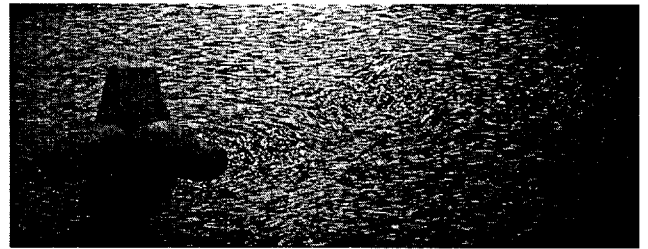


Photo. 9 Flow visualization(0.51 m/s)

4. 2 PIV 계측결과

Fig. 4, 5는 흡판어초에서의 PIV를 이용한 속도계측의 결과이다. y 축은 관측부의 깊이, x축은 관측부의 폭을 나타낸다. Fig. 4는 0.44 m/s에서 평균속도 분포를 나타내고 있다. 흡판어초 주위의 와류유동의 형상을 잘 나타내고 있다. Fig. 5는 흡판어초 내부에서 소용돌이가 성분을 나타낸 것이다 흡판어초의 홀 안으로 유입되는 유체는 흡판어초의 내벽을 타고 반시계방향으로 회전운동을 하고 있으며 홀 내부로 유입되는 곳과 빠져나가는 곳에서 가장 높은 속도 성분이 나타남을 알 수 있다. Fig. 4 에서 흡판 하면에서 속도 성분이 일정하게 나타나지 않는 현상을 보였는데 이는 레이저가 흡판어초를 투과 할 때 나타나는 그림자에 의한 오차 성분이다.

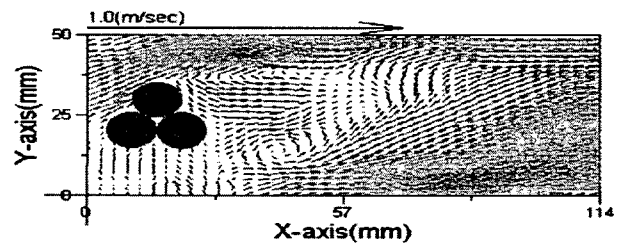


Fig. 4 Average Velocity(0.44 m/s)

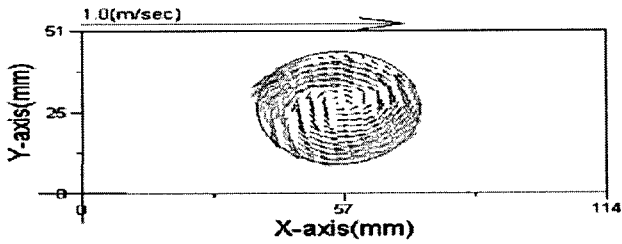


Fig. 5 Average Velocity(0.26 m/s)

Fig. 6, 7은 테트라포드 주위의 유동을 PIV 해석한 결과이다. Fig. 6 에서 볼 수 있듯이 테트라포드 상부의 뒤쪽에서 한 개의 소용돌이가 발생하여 유체의 흐름이 테트라포드의 뒤쪽 130mm 지점에서는 위쪽으로 통과한 유체와 아래쪽으로 통과한 유체의 경계층이 합쳐지는 것을 알 수 있다. 이를 살펴보면 합쳐지는 지점이 테트라포드의 상부에서 이루어지는데 유속이 느릴 때는 테트라포드의 아랫부분 상향흐름(Upstream)이 하향흐름(Downstream) 보다 약간 더 크기 때문이다.

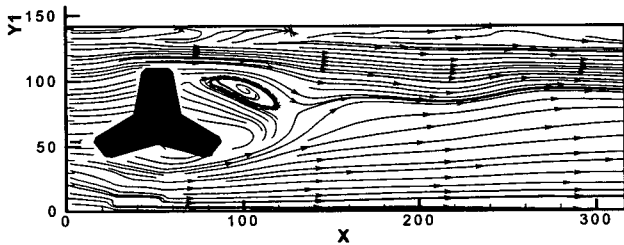


Fig. 6 Average Velocity(0.26 m/s)

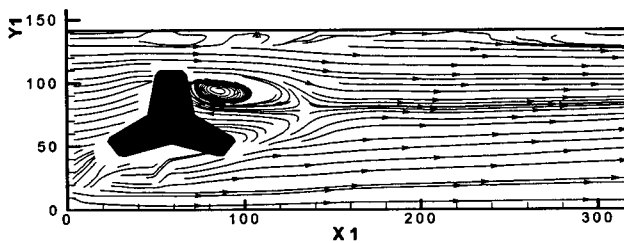


Fig. 7 Average Velocity(0.51 m/s)

Fig. 7은 유속이 0.51 m/s 일 때 계산된 결과이다. 테트라포드 바로 뒷부분에 소용돌이가 형성되고 간격도 더 좁다. 이는 유속이 빨라지면서 박리점이 앞으로 이동하고 상향흐름과 하향흐름이 더욱 강하게 발생하기 때문이다.

Fig. 8은 유속이 0.44 m/s 일 때 홈관어초 뒤쪽에서의 평균운동에너지로 나타내고 있다.

Fig. 9는 테트라포드 주위의 순간 운동에너지 분포를 나타낸다. 최저 에너지와 최고 에너지의 격차를 보이는 이유는 후방영역에서의 속도 구배 차이에 기인한다.

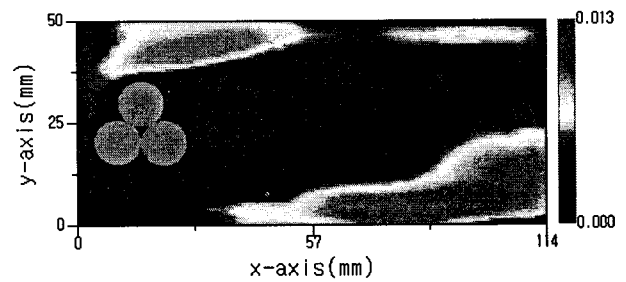


Fig. 8 Average Kinetic-Energy(0.44 m/s)

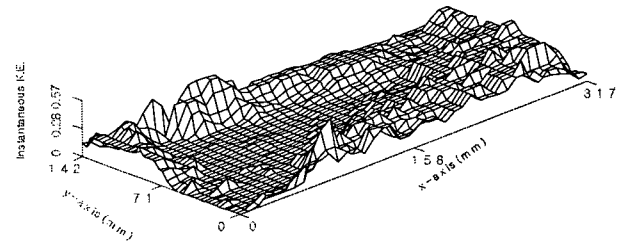


Fig. 9 Instantaneous Kinetic- Energy

5. 결 론

유동 가시화 기법을 이용해 홈관 어초와 테트라포드 주위의 유동 특성을 가시화 하여, 유속의 변화에 따른 2차원 잠수체 주위의 내부의 유동 패턴을 PIV 기법을 적용해 해석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 레이저를 이용한 유동가시화가 소파블록과 인공어초 주위의 유동현상을 해석하는데 유용한 방법임을 알 수 있었다.
- 유속의 증가에 따라 홈관어초 상부에 있는 홀과 하부홀에서 박리가 일어나 홈관어초 뒤쪽에서 난류 유동이 형성되고 홈관내부의 유동 현상은 hole로 유입되는 유체입자들의 압력 구배로 인해서 소용돌이가 발생해 반 시계 방향으로 회전운동을 하며 유체가 유입되는 곳과 빠져나가는 곳에서 가장 빠른 속도분포가 일어남을 알 수 있었다.
- 테트라포드의 소파성능이나 저항의 크기는 유속이 느릴 때 보다 빠를 때 크게 나타나는 것을 유체의 순간 운동에너지 좌표로 알 수 있었으며 유속이 빠른곳에서의 테트라포드의 성능이 최대한 발휘되는 것을 알 수 있었다. 차후 연구 과제로는 더욱 다양한 인공 어초의 주변에서 나타나는 유동 현상에 대해서 고찰해 보고, 한 개의 물체가 아닌 다수의 테트라포드에 대한 적용연구가 필요 할

것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 최민선, 조대환, 이영호 "PIV에 의한 NACA0012 익 주변의 유동특성" 한국동력기계공학회지 제3권 제1호 pp. 19~37 199년 2월.
- [2] 권순홍외, "PIV를 이용한 다수원주 주위의 유동장 해석" 대한조선학회 추계학술발표 논문집. 1995.
- [3] 이귀주 "실험유체역학" pp. 5~45, 1998년 2월
- [4] 조대환, 이영호 "PIV의 원리와 적용(I)" 한국동력기계 공학회지 제2권 제2호 pp. 5~12 1998년 9월
- [5] (주)아이아이티(1998), CATUS'97 사용자 설명서 pp. 20~23
- [6] 조대환, 이영호, "PIV(입자영상유속계)의 원리와 적용 (II)" 한국동력기계공학회지 제2권 제3호 pp. 5~14 1998년 12월.
- [7] 송무석, 이상대, "진동하는 원형주상체 주위의 유동에 관한 PIV를 이용한 실험적 연구" Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering Vol. 6. No.1.pp 60~67, Feb. 2003.