

PIV를 이용한 범포 주위의 유동장 해석

배봉성 · 안희춘 · 배재현 · 박창두 · 김인옥
국립수산과학원

서론

본 실험에서 사용한 모형주위의 유동장 해석방법은 유체의 유동을 실제 계측하는 PIV(Particle Image velocimetry)를 사용하였다. PIV는 유동장에 비중이 유체와 거의 동일하고 빛을 잘 반사하는 가시화용 소립자(Particle)들을 유동장에 투입하고 이들의 운동을 관찰하기 위하여 시간차를 두고 찍은 2장의 사진을 디지털 화상처리 기술을 이용하여 계측하는 유동장 속도 계측법의 하나이다(이, 1996). 이 방법은 속도를 동시에 전 영역에 걸쳐 연속적으로 계측할 수 있으며 이 값들을 Navier-Stokes 방정식에 대입하여 압력구배향을 공간적분하면 벽면의 정압 및 유동장의 압력을 구할 수 있다.

본 실험에서 사용한 가시화 방법인 PIV 테스트는 2차원 해석이라는 단점을 가지고 있지만, 국부적인 와동이나 수표면 부근의 속도결손을 가시화할 수 있다는 장점이 있다(현 등, 2000). 본 실험과 가장 유사한 연구로 양항비가 크면서 안정성이 우수한 트롤 전개판 설계를 위해 PIV를 이용하여 만곡형 전개판의 유동장을 계측한 사례가 있다(박 등, 2002).

상기 실험방법을 통하여 여러 가지 범포 모형 주위의 다양한 유체흐름을 가시화함으로써 어떤 형태의 물체를 만난 유체가 어떻게 운동하는지를 알아보았다.

재료 및 방법

실험 수조는 국립수산과학원에 설비된 수직순환형 회류수조로서 관측영역은 구간은 $8(L) \times 2.8(W) \times 1.4(D)$ m 이다.

모형 주위의 흐름을 가시화하기 위해 PIV(Particle Image Velocimetry) 실험을 시행하였다. PIV 실험에 사용한 모형은 양항력 측정 실험 결과, 사각형, 삼각형 및 역삼각형 범포 모형 중 영각에 따른 양력의 변화와 양항비를 고려할 때 영각의 변화에 따른 양력의 변화가 적고, 작은 영각에서 큰 양력을 갖는 종횡비 2:1인 것을 사용하였으며, 입사각은 10° , 20° , 30° , 40° 에서 측정하였다.

PIV 실험에 사용한 광원은 Neodym-YAG 이중 레이저를 사용하였다. 카메라의 촬영

시기는 동조기를 통해 제어된다. 두 레이저는 카메라의 조리개가 열려있을 때 발사되어야 하는데, 조리개가 닫혔다가 다시 열리는데 걸리는 최소 시간은 $10 \mu s$ 이다. 카메라가 연속적으로 두 장의 이미지를 캡처하기 위해서는 카메라의 조리개가 첫 번째 열린 시간 $200 \mu s$ 내에 1번 레이저가 발사되어야 하고 $10 \mu s$ 이후에 2번 레이저가 발사되도록 설정하여야 한다. 따라서, 본 실험에서는 기동펄스폭을 $100 \mu s$ 로 두었으며, 레이저의 기계적 지연이 $175 \mu s$ 이므로 1번 레이저는 $60 \mu s$, 2번 레이저는 $2,060 \mu s$ 의 지연을 두어 두 레이저의 시간차가 $2,000 \mu s$ 가 되도록 설정하였다. 또 이러한 사이클이 1초에 8회 반복되도록 하였다. 발사된 레이저광은 수조 관측창 후미 쪽 물 속에 위치한 반사경에 의해 90° 로 반사되어 광막(光幕)을 형성하며 모형의 중심을 통과하도록 하였다.

CCD 카메라(Kodak ES-4.0, $2 \times 2k \text{ pixel}$)는 수평방향으로 만들어진 광막을 잘 촬영할 수 있도록 회류수조의 아래쪽에서 위를 향하도록 설치하였으며, 촬영 영역은 $300 \times 300 \text{ mm}$ 가 되도록 설정하였다. 카메라에 촬영된 2차원 영상을 640×640 픽셀의 bmp 파일로 저장하였다.

컴퓨터에 저장된 쌍을 이루는 두 장의 화상을 이중화상 계조치 상호상관법에 의하여 입자패턴의 추적을 행함으로써 유동장을 해석하였다. 해석 데이터는 Tecplot ver. 9.0을 이용하여 2차원적으로 해석하였다.

결과 및 요약

모형 주위의 유동장을 해석하기 위하여 중형비가 2:1인 사각형, 삼각형, 역삼각형 범포를 영각 10° , 20° , 30° , 40° 에서 PIV 해석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

영각이 증가됨에 따라 와(渦)의 발생은 사각형, 삼각형, 역삼각형 순으로 크게 나타났으며, 와의 크기도 이와 같은 순으로 나타났고 사각형에서는 영각 20° 정도의 작은 영역에서도 심하게 나타났다.

사각형 범포에서는 익단에서 발생한 3차원 성분의 유동 혼입에 의한 와동이 상대적으로 적고, 압력면에서 고압력 영역의 중심이 전연 쪽으로 나타났다. 압력차와 경계층 박리에 의한 재순환 영역에서 심한 와동이 영각 20° 정도의 작은 영역에서도 발생하여 영각이 증가될수록 심한 와동이 나타났다. 이러한 영향으로 사각형 모형은 작은 영각에서 양력계수가 크게 나타나지만, 영각이 증가될수록 양력계수의 감소도 크게 나타나며, 영각 20° 이상에서는 심한 진동과 함께 불안정한 특성이 나타났다.

삼각형 범포에서 와동의 발생과 크기는 사각형 범포에 비하여 작았으나 흡입면의 고압력 영역 중심이 전연 쪽으로 상당히 치우쳐 있고, 후연으로 갈수록 익단와의 영향이 커지는 형상적 특징으로 인하여 압력차를 유지하기 어렵기 때문에 전반적으로 양력계수가 작게 나타났으며 다만, 영각의 변화에 비하여 양항력 변화가 작게 나타났다.

역삼각형의 경우 형상적 특성으로 작은 영각에서도 압력차를 잘 유지하고, 후연의 범

포 곡면이 변화가 커 후류를 아래 방향으로 가속하여 상대적으로 영각 10° 와 같은 작은 영각에서 양력계수가 높게 나타났다. 다만, 최대양력계수는 사각형 범포에 비하여 작았으나 영각의 변화에도 양향력과 유동은 안정적이었다.

익단와의 발생과 크기는 모형에 따라 유동에 확연한 차이를 보였다. 익단와의 영향이 가장 크게 나타나는 범포 모형은 삼각형 모형이 가장 크고 사각형, 역삼각형 순으로 작았다. 이러한 영향은 압력면의 고압력 영역 중심에도 변화를 주어 삼각형과 사각형 모형은 전연 쪽으로 치우쳐 있고 역삼각형은 후연 쪽으로 그 중심이 이동해 있었다. 범포를 중심으로 한 압력면과 흡입면의 고압력 영역 중심과 저압력 영역 중심의 변화는 범포에 작용하는 힘의 방향에 직접적으로 영향을 주게 된다.

범포의 유체역학적 특성은 흡입면과 압력면의 압력차와 유체의 운동량이 범포에 미치는 영향에 따라 얻어지게 되므로, 범포의 형상을 개발할 때에는 어떻게 압력차를 유지시키는가와 압력분포에 의한 힘의 방향을 고려하여 행하는 것이 매우 중요하다고 할 것이다.

참고문헌

- Hoerner, S. F. (1975) : Fluid dynamic lift. chapter 5, 18.
- Lee, S. J. (1999) : PIV Velocity Field Measurement. Lecture note of after short course. Pohang University of Science and Technology, 11~69, 107~141, 249~292 (in Korean).
- Liu, Z. C., C. C. Landreth, R. J. Adrian and T. J. Hanratty (1991) : High resolution measurement of turbulent structure in a channel with particle image velocimetry. Experiments in fluids, vol. 10, 301~312.
- 박경현, 이주희, 현범수, 노영학, 배재현 (2002) : PIV를 이용한 만곡형 전개판의 유동장 계측에 관한 연구. 한국어업기술학회지, 38(1), 43-57.
- 安熙璿 (2000) : 오징어 채낚기 漁船의 물뿔 開發 및 流體力學的 特性 研究. 부경대학교, 水産學博士 學位論文.
- 이승건 (2002) : 비행의 원리. 우용출판사.
- 이영호 (1996) : PIV의 분류 및 원리. 대한기계학회지, 36(12), 1146~1162.
- 현범수, 최경신, 도덕희 (2000) : PIV를 이용한 수중의 주위 복잡유동장의 정량적 계측. 대한조선학회논문집, 37(3).