

## PIV를 이용한 범포 주위의 유동장 특성

배봉성\* · 안희춘<sup>1</sup> · 배재현<sup>1</sup> · 박창두<sup>2</sup> · 김인옥<sup>1</sup>

국립수산과학원 동해수산연구소 자원관리조성팀

<sup>1</sup>국립수산과학원 수산공학팀 · <sup>2</sup>국립수산과학원 서해수산연구소 자원관리조성팀

### The characteristics of the flow field around canvas kite using the PIV

**Bong-Seong BAE\***, **Heui-Chun AN<sup>1</sup>**, **Jae-Hyun BAE<sup>1</sup>**, **Chang-Doo PARK<sup>2</sup>** and **In-Ok KIM<sup>1</sup>**

*Fisheries Resources Management and Enhancement Team, East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangneung 210-861, Korea*

*<sup>1</sup>Fisheries Engineering Team, NFRDI, Busan 619-902, Korea*

*<sup>2</sup>Fisheries Resources Management and Enhancement Team, West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea*

This research aims at establishing the fundamental characteristics of the kite through the analysis of the flow field around various types of kites. The approach of this study were adopted for the analysis; visualization by PIV (particle image velocimetry). Also, the lift and drag tests of kites had been performed in our previous finding (Bae et al., 2004a; Bae et al., 2004b). For this situation, models of canvas kite were deployed in the circulating water channel for the PIV test using the same conditions as in the lift and drag tests. The results obtained from the above approach are summarized as follows: Given the rectangular and triangular kites when attack angle is 20°, vortex by the boundary layer separation was seen in the leading edge and the flow towards the trailing edge was more turbulent. But, the inverted triangular type kite was seen to be stable without any boundary layer separation or turbulence. The increase of the attack angle resulted in the eddy in order of the rectangular, triangular and inverted triangular type. The magnitude of the eddy followed the same order. The effect of edge-eddy was biggest in the triangular type followed by the rectangular and then the inverted triangular type. The kite as the buoyancy device or the opening device will be very useful when the appropriate applications and the stability are met.

Key words : Canvas kite, PIV system, Visualization, Circulating water channel

서론  
캔버스 카이트(이하 '범포'라 한다)를 어구에

부착하여 사용하는 대부분의 경우는 어구를 예망(曳網)할 때 범포에 생기는 유체력을 이용하

\*Corresponding author: asako@nfrdi.re.kr Tel: 82-33-660-8523 Fax: 82-33-661-8513

여 어구를 전개시키고자 할 때이다. 즉, 안강망에서는 그물 입구의 좌우에 달아 전개장치로, 트롤에서는 그물 입구의 위쪽 또는 날개그물 앞쪽에 부착하여 전개장치로 사용된다. 그러므로 향상된 성능의 어구를 개발하기 위해서는 범포 자체에 대한 유체역학적 특성에 대한 연구도 필요할 것이다.

따라서 前記 논문(Bae et al., 2004a; Bae et al., 2004b)(이하 '前記 논문' 이라 한다)에서는 여러 가지 범포의 유체역학적 특성을 구명하고자 직사각형, 사다리꼴, 삼각형으로 모형 평판과 범포를 제작하여 역학적 실험을 실시하고 양력계수, 항력계수 및 양항비를 계산하여 각 모형별 특성을 알아보았으며, 본 논문에서는 前記 논문의 결과를 시각적으로 해석하고자 위 모형 중 일부를 선택하여 모형 주위의 유체흐름을 가시화해보고자 하였다.

본 실험에서 사용한 가시화 장치는 유체의 유동을 실제로 계측하여 얻어진 연속적인 두장의 사진영상을 컴퓨터에서 분석하는 PIV(Particle Image velocimetry) 시스템이다. PIV는 유동장에 비중이 유체와 거의 동일하고 빛을 잘 반사하는 가시화용 소립자(Particle)를 유동장에 투입하고 이들의 운동을 관찰하기 위하여 시간차를 두고 찍은 2장의 사진을 디지털 화상처리 기술을 이용하여 계측하는 유동장 속도 계측법의 하나이다(Lee, 1996). 이 방법은 속도를 동시에 전 영역에 걸쳐 연속적으로 계측할 수 있으며 이 값들을 Navier-Stokes 방정식에 대입하여 압력경사향을 공간적분하면 벽면의 정압 및 유동장의 압력을 구할 수 있다. 또한, PIV 테스트는 2차원 해석이라는 단점을 가지고 있지만, 국부적인 와동이나 수표면 부근의 속도결손을 가시화할 수 있다는 장점이 있다(Hyun et al., 2003). 이전의 가장 유사한 연구로 양항비가 크면서 안정성이 우수한 트롤 전개판 설계를 위해 PIV를 이용하여 만곡형 전개판의 유동장을 계측한 사례가 있다(Park et al., 2002).

본 논문에서는 모형 범포 주위의 다양한 유체 흐름을 가시화함으로써 어떤 형태의 물체를 만난 유체가 어떻게 운동하는지를 알아보고, 前記 논문의 양·항력 등 역학적 실험 결과와 비교해 유체의 흐름 방향과 여러 가지 모형 범포에 작용하는 힘과의 상관 관계를 알아보았다.

### 장치 및 방법

PIV 실험의 주요 구성을 Fig. 1에 나타내었다. 본 연구에서 사용한 실험 수조, 취부 장치, 실험 조건 등은 前記 논문에서 사용한 것과 동일하며, 간단히 기술하면 다음과 같다. 실험 수조는 수직 순환형 회류수조로서 본체의 크기는 25.1×4.5×8.3m이고 관측창의 크기는 8.0×2.8×1.4m이다. 취부 장치는 직경 10mm인 사각형 프레임(1,000×500mm)을 만들고 프레임 내부에 모형을 부착할 수 있는 직경 4mm 스테인리스 봉 2개를 수직으로 나란히 부착하였다. 유속의 측정에는 프로펠러 유속계(VOT-400-20, Kenek Co.)를 사용하였다. 단, PIV 실험에서는 Fig. 1과 같이

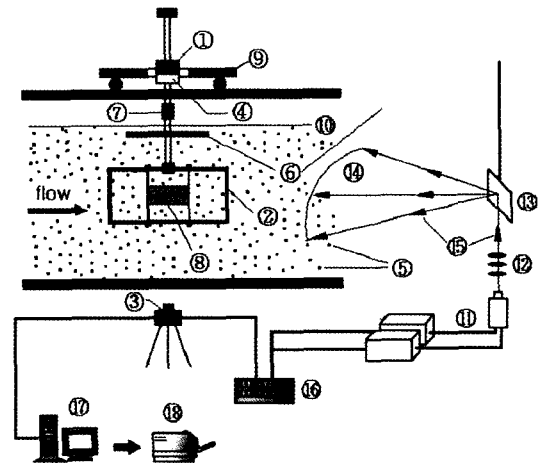


Fig. 1. Experimental set-up of the PIV system.

- |                              |                      |
|------------------------------|----------------------|
| ① six component load cell    | ② installation frame |
| ③ CCD camera                 | ④ angle controller   |
| ⑤ particle                   | ⑥ PIV screen         |
| ⑦ connector                  | ⑧ model              |
| ⑨ moving plate               | ⑩ Nd:YAG laser       |
| ⑪ water line                 | ⑫ cylindrical lens   |
| ⑬ reflector                  | ⑭ light sheet        |
| ⑮ laser beam                 | ⑯ synchronizer       |
| ⑰ host computer and software | ⑱ color printer      |

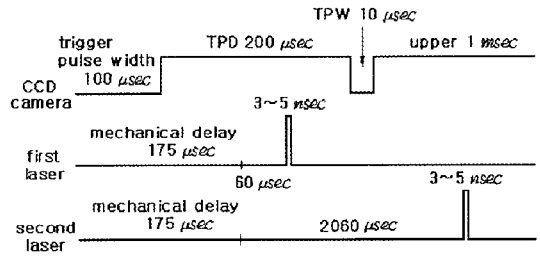
**Table 1. Experimental conditions of the PIV system**

Articles	Item	Specification
Visualization equipment	Image board	Epix PIXCI D/D2X (2 × 2kpixel)
	Light source	200mJ, Nd:YAG Laser
	Light sheet	Cylindrical Lens (width : 3mm)
Measuring Condition	Working fluid	Water
	Particle	silver coated glass sphere (13 $\mu$ m)
	Inlet velocity	0.6m/s
	Input device	Kodak ES - 4.0 (2 × 2kpixel)
Image processing	Host computer	CPU speed : 2.0GHz
	Number of time mean data	100 Frames
	Identification	Two - frame gray - level cross correction algorithm

취부 장치 위쪽에 원판을 만들어 스테인리스 봉에 끼우고 수면에서 30mm 정도 잠기도록 설치하였다. 원판(PIV screen)의 지름은 600mm이고 두께는 15mm이며, 촬영된 사진이 선명하도록 표면에는 무광 페인트를 칠하였다. 주요 가시화 장치로는 화상발생 장치, 화상저장 장치 및 화상처리 장치로 나눌 수 있으며, 실험 조건은 Table 1과 같다.

**화상발생 장치**

광원은 Neodym - YAG 이중 레이저를 사용하였다. 카메라의 촬영 시간은 동조기를 통해 제어되며 그 시간적 상관관계를 Fig. 2에 나타내었다. 두 레이저는 카메라의 조리개가 열려있을 때 발사되어야 하는데, 조리개가 닫혔다가 다시 열리는데 걸리는 최소 시간은 10 $\mu$ s(TPW, Transfer pulse width)이다. 카메라가 연속적으로 두 장의 이미지를 갈무리하기 위해서는 카메라의 조리개가 첫 번째 열린 시간 200 $\mu$ s(TPD, Transfer pulse delay) 내에 1번 레이저가 발사되어야 하고 TPW 이후에 2번 레이저가 발사되도록 설정하여야 한다. 따라서, 본 실험에서는 기동 펄스폭을 100 $\mu$ s로 두었으며, 레이저의 기계적 지연이 175 $\mu$ s이므로 1번 레이저는 60 $\mu$ s, 2번 레이저는 2,060 $\mu$ s의 지연을 두어 두 레이저의 시간차가 2,000 $\mu$ s가 되도록 설정하였다. 또 이러한 사이클이 1초에 8회 반복되도록 하였다. 발사된 레이저



**Fig. 2. Timing diagram for external triggering.**

광은 수조 관측창 후미 쪽 물 속에 위치한 반사경에 의해 90°로 반사되어 광막(光幕)을 형성하며 모형의 중심을 통과하도록 하였다.

**화상저장 장치**

CCD 카메라(ES - 4.0, Kodak, 2 × 2kpixel)는 수평방향으로 만들어진 광막을 잘 촬영할 수 있도록 회류수조의 아래쪽에서 위를 향하도록 설치하였으며, 촬영 영역은 400 × 400mm가 되도록 하였다. 카메라에서 촬영된 2차원 영상을 2048 × 2048pixel의 bmp 파일로 저장하였다.

**화상처리 장치**

화상처리 장치는 화상캡쳐보드(Epix PIXCI D/D2X)와 화상캡쳐 소프트웨어(XCAP ver. 2.1) 및 화상해석 소프트웨어(Visual PIV, Inteck Systems)로 구성하였다. 화상캡쳐보드는 CCD 카메라를 통해 입력되는 아날로그 영상신호를

256계조의 밝기 정보를 갖는 2차원 디지털 영상 정보로 바꾸어 컴퓨터가 처리할 수 있는 신호로 바꾸어 컴퓨터에 저장하는 역할을 한다. 컴퓨터에 저장된 쌍을 이루는 두 장의 화상을 이중화상 계조치 상호상관법에 의하여 입자영상의 추적을 행함으로써 유동장을 해석하였다. 해석 데이터는 Tecplot ver. 9.0을 이용하여 도식화하였다.

가시화 방법

PIV를 이용한 가시화의 기본 개념을 Fig. 3에 나타내었다. 유동장의 가시화는 유체에 투입된 수많은 소립자의 미소시간( $\Delta t$ )동안 이동한 거리와 방향을 화상으로 계측하고 이를 디지털 화상 처리기법으로 처리하면 된다. 소립자가  $x$ 방향으로 이동한 속도를  $u$ ,  $y$ 방향으로 이동한 속도를  $v$ 라 하면 소립자의 변위 ( $u, v$ )는 식 (1)과 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$u = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \tag{1}$$

$$v = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta y}{\Delta t} \tag{2}$$

PIV의 계측 및 처리는 전체 촬영 구간을 일정한 영역으로 구분한 뒤, 영역내 소립자가 만들어내는 산란 이미지의 강도분포에 대한 푸리에 변환이나 직접적인 상관계수 계산으로부터 조사구간의 평균속도를 구하는 방법이며, 본 실험에

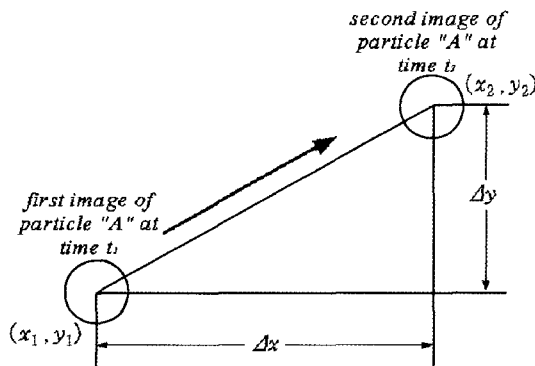


Fig. 3. Schematic diagram of PIV.

서는 후자의 방법 중 이중화상 상호상관법을 이용하였다. 즉, 미소 시간 간격을 두고 촬영한 두 개의 화상에서 첫 번째 화상(2048×2048pixel)의 바탕에 두 번째 화상 중 일정 영역의 이미지(32×32pixel)를 바둑판처럼 이동하며 겹치면서 겹치는 부분의 두 이미지의 상호상관함수를 계산하고, 그 값이 가장 큰 점을 평균 변위로 결정함으로써 이미지의 이동 속도를 구하였다. 속도벡터를 계산하는 알고리즘은 계조치 상호상관법을 사용하였다.

계조치 상호상관법의 원리를 Fig. 4에 나타내었으며 연속된 두 프레임간의 상관함수는 식 (3)과 같다.

$$c(s, t) = \sum_x \sum_y f(x, y) w(x-s, y-t) \tag{3}$$

여기서 미소영역  $w(x, y)$ 의 크기는  $J \times K$ 이며 전체영역  $f(x, y)$ 의 크기는  $M \times N$ 이다. 또  $s = 0, 1,$

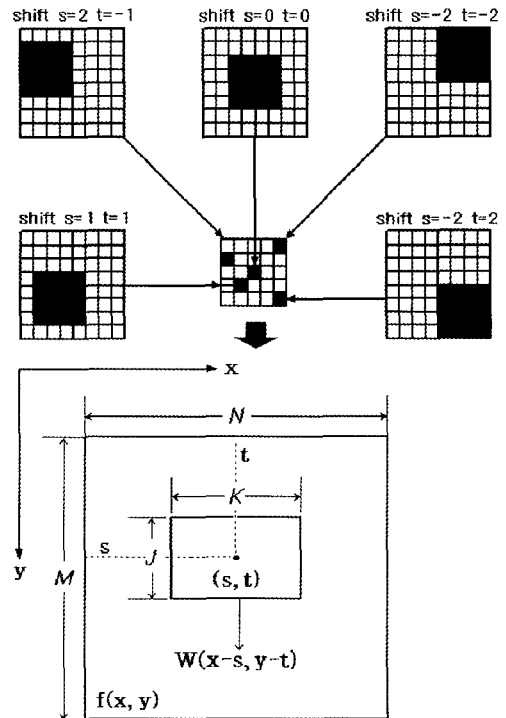


Fig. 4. The principle of the grey level cross - correlation.

2, ..., M-1이고 t=0, 1, 2, ..., N-1이다. 그러나 식 (3)으로 주어지는 함수식은 w(x, y) 및 f(x, y)의 진폭 변화에 매우 민감하여 다음의 식 (4)로 정의되는 상호상관계수를 구하여 최대상관의 위치를 계산하였다.

$$\gamma(s, t) = \frac{\sum_x \sum_y [f(x, y) - \bar{f}(x, y)][w(x-s, y-t) - \bar{w}]}{\{\sum_x \sum_y [f(x, y) - \bar{f}(x, y)]^2 \sum_x \sum_y [w(x-s, y-t) - \bar{w}]^2\}^{1/2}} \quad (4)$$

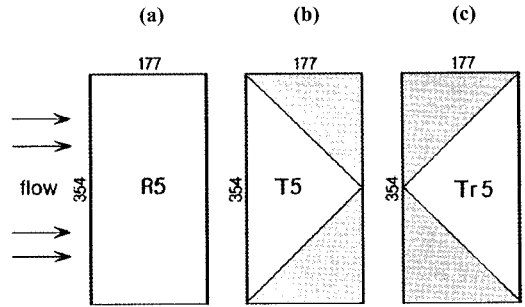
여기에서  $\bar{w}$ 는 w(x, y) 영역내의 평균치(1회계산)이며 f(x, y)는 w가 현재 위치하는 곳의 평균값을 의미한다. 이 때 상관계수  $\gamma(s, t)$ 는 -1과 1사이의 값을 갖게 된다.

또한, Fig. 4에서 원점은 제1프레임 상에서 속도벡터를 구하기 위한 가상격자의 중심, 즉 벡터의 시점을 나타낸다. 이 점을 중심으로 제2프레임 상에서 M(또는 N, 일반적으로 M=N)의 표시값으로 정의되는 탐색영역 반경 내의 모든 픽셀의 위치 (s, t)에서 (J×K)의 값으로 표시되는 상관영역에 대한  $\gamma(s, t)$ 의 값을 구한다. 다음으로 이 값들 중에서 최대치의 위치를 찾으면 이곳이 제2프레임에서의 벡터의 종점이 된다(Liu, 1991).

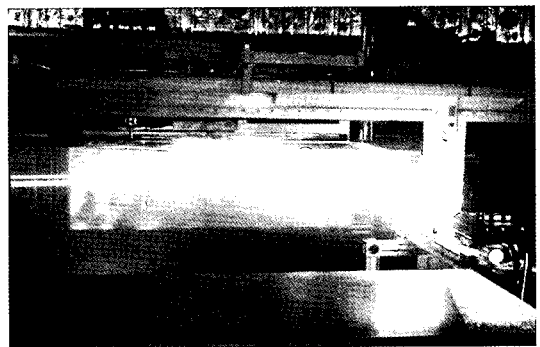
**모형 및 실험 방법**

PIV 실험에 사용한 모형은 역학적 실험 결과, 사각형, 삼각형 및 역삼각형 모형 범포 중 영각에 따른 양력의 변화와 양항비를 고려할 때 영각의 변화에 따른 양력의 변화가 적고 작은 영각에서 큰 양력을 갖는 종횡비 2:1인 것을 사용하였다(Fig. 5). 또, 이 세 가지 모형이 영각 20°를 기준으로 할 때 양호한 양력과 양항비를 가지므로 본 실험에서는 실험 영각을 10°, 20°, 30°, 40°로 결정하였다.

실험 방법은 우선 수조 속에 레이저광을 받아 빛을 산란하도록 직경 13μm인 분말 소립자 (silver coated glass sphere) 900g을 물 속에 투입하였다. 각 모형을 수조 내에 설치한 후, 회류수



**Fig. 5. The design drawing of canvas kite models (unit:mm).**  
 (a) rectangular type (b) triangular type  
 (c) inverted triangular type



**Photo 1. The view of the PIV test.**

조실 전체를 암실로 만들고 펄스 레이저광을 계속 주사하도록 한 후, 각 영각별로 100회 계측하였다.

실험 유속은 前記 논문의 역학적 실험에서와 마찬가지로 종횡비 2:1인 사각형 평판에 대하여 0.1m/s 간격으로 0.1-1.0m/s 구간에서, 영각 2° 간격으로 0-90° 까지 양·항력을 측정하였는데, 그 결과 안정적인 값을 갖는 0.6m/s(레이놀즈수 8.85×10<sup>4</sup>)를 본 연구의 실험 유속으로 정하였다. 레이놀즈수의 계산은 식 (5)와 같으며, 동점성계수는 수온 13°C일 때의 값이다.

$$R = \frac{\rho l v}{\mu} = \frac{l v}{\nu} = \frac{0.177 \times 0.6}{1.2 \times 10^{-6}} \quad (5)$$

$\rho$  : 밀도(kg/m<sup>3</sup>),  $l$  : 길이(m),  $v$  : 유속(m/s),  $\mu$  : 점성계수(N · s/m<sup>2</sup>),  $\nu$  : 동점성계수(m<sup>2</sup>/s)

### 결 과

모형 주위의 유동장을 해석하기 위하여 종횡비가 2:1인 사각형, 삼각형, 역삼각형 범포를 영각 10°, 20°, 30°, 40°에서 PIV 해석을 수행하였으며, 그 결과는 Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8과 같다.

#### 범포 형태별 유동장 해석

Fig. 6은 영각 변화에 따른 사각형 범포 익장(翼長)의 중앙 횡단면 주변 유동을 2차원적 속도

장으로 나타낸 것이다. 영각 10°에서 PIV에 의한 속도장을 보면, 날개의 후연에 속도성분의 감소가 약간 나타났으나 유동 박리와 같은 현상은 관찰되지 않았으며 모형 범포의 면을 따라 흐르는 흐름이 원활한 유동을 보이면서 거의 층류에 가까운 정상상태임을 알 수 있었다.

영각 20°에서는 전연부에서부터 현장(弦長)의 2/3 영역에서 경계층 박리에 의한 역압력경사와 와동이 상당히 발전된 형상을 보인다.

영각 30°와 40°에서는 전연부에서부터 심한 와동과 고압력 영역과 저압력 영역이 순차적으로 나타나는 칼만 볼텍스의 모습이 관찰되었다.

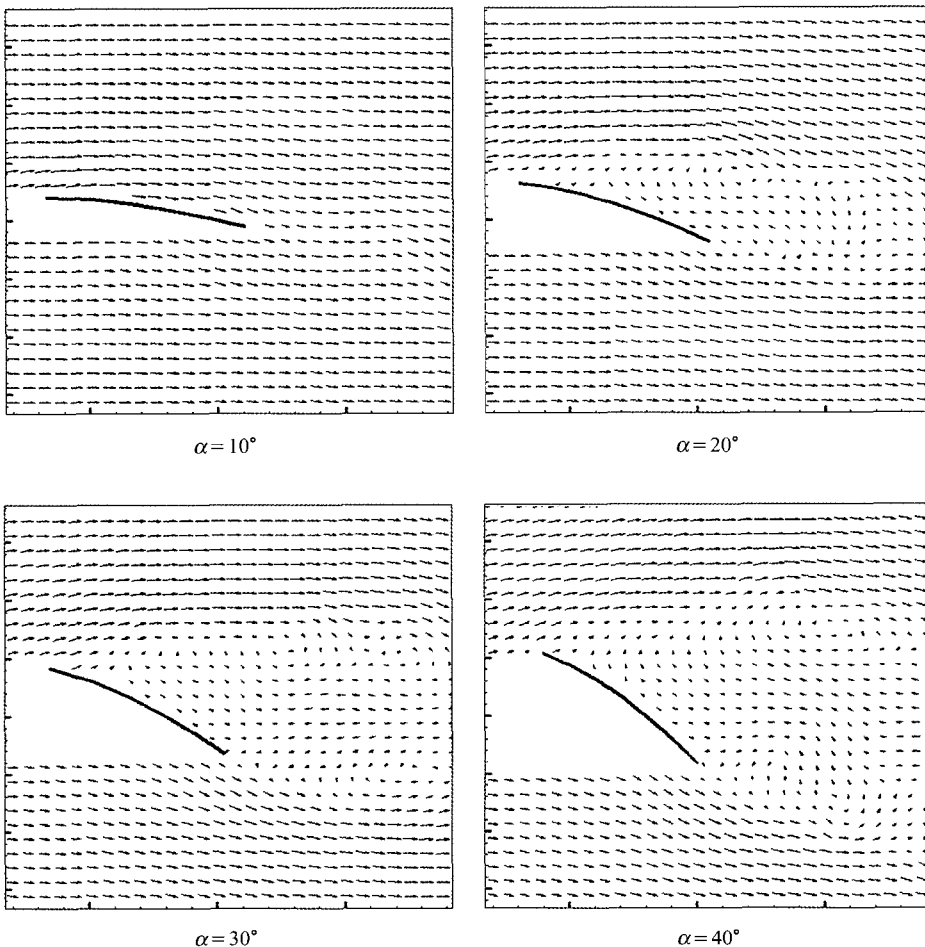


Fig. 6. The velocity distribution of the rectangular canvas as a function of the angle of attack( $\alpha$ ).

이미 최대 전개력 계수가 나타난 영각보다 큰 영각이므로 심한 양·항력 값의 진동과 압력변화가 관찰되었다.

Fig. 7은 영각 변화에 따른 삼각형 범포 익장(翼長)의 중앙 횡단면 주변 유동을 2차원적 속도장으로 나타낸 것이다. 영각 10°에서 PIV에 의한 속도장을 보면, 모형 범포의 면을 따라 흐르는 흐름이 원활한 유동을 보이면서 거의 층류에 가까운 정상상태임을 알 수 있었다.

영각 20°에서는 전연부에서부터 현장의 3/4 영역에서 경계층 박리에 의한 와동이 나타나면서 후연으로 갈수록 난류가 심하게 나타났다.

영각 30°와 40°에서는 사각형 범포에서와 같이 전연부에서부터 경계층 박리가 관찰되어 와동과 복잡한 유동 현상이 관찰되었다.

삼각형 범포에서는 흐름의 분포가 대체적으로 전연을 중심으로 점층적으로 변화하는 현상을 관찰할 수 있었다. 이것은 삼각형 범포의 형상이 전연에서 후연으로 갈수록 익단와(tip vortex)에 의한 3차원 성분의 혼입(混入)으로 3차원 유동이 나타나 압력 분포에 교란이 나타난 것으로 판단된다. 이렇게 후연부에서 압력차가 유지되지 않으므로 인해 최대 전개력 계수가 작게 나타난 반면, 와동의 발생과 소멸로 인한 진

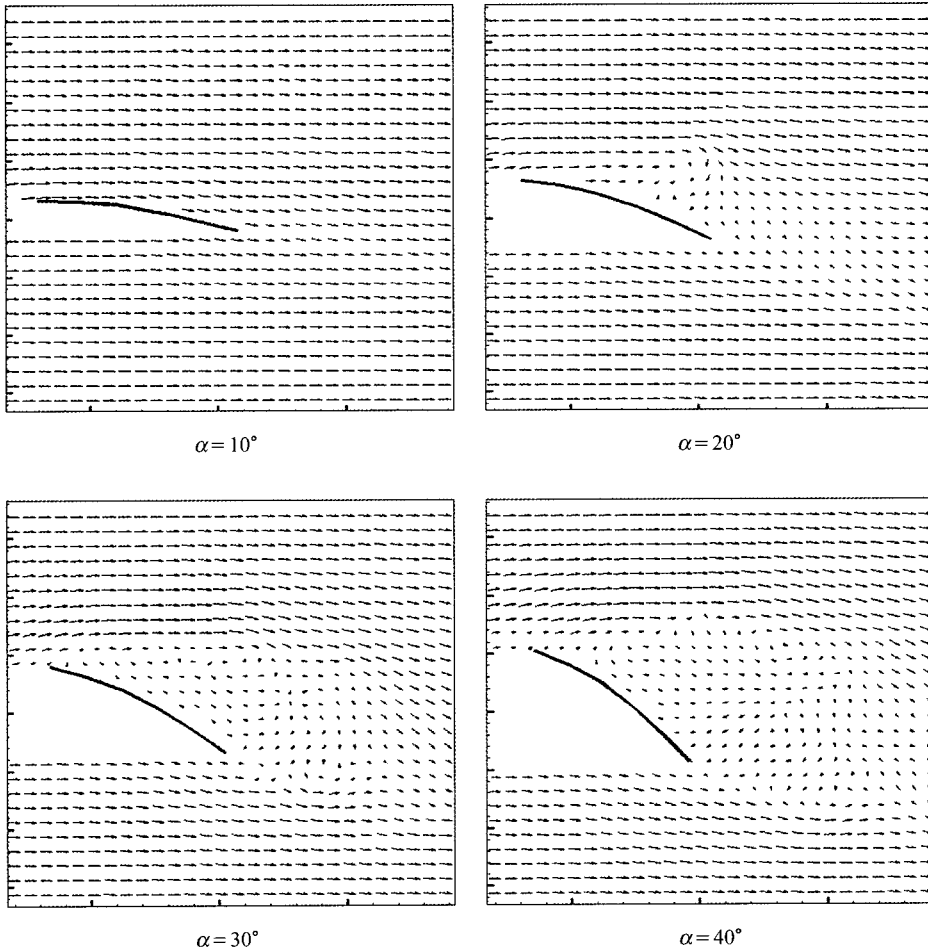


Fig. 7. The velocity distribution of the triangular canvas as a function of the angle of attack( $\alpha$ ).

동은 감소되었고, 최대 전개력 계수일 때의 영각 이후에도 다른 모델에 비하여 상대적으로 안정된 모습을 보였다.

Fig. 8은 영각 변화에 따른 역삼각형 범포 익장(翼長)의 중앙 횡단면 주변 유동을 2차원적 속도장으로 나타낸 것이다. 영각 10°에서 PIV에 의한 속도장을 보면, 모형 범포의 면을 따라 흐르는 흐름이 원활한 유동을 보이며, 전연에서 1/2을 지나면서 곡면의 변화가 커짐에 따라 아래쪽으로 향하는 속도성분이 강하게 나타났다.

영각 20°에서는 범포의 후연부에서 속도 감소가 관찰되었으나 이상적인 정상 상태의 유선을

보여주었다.

영각 30°와 40°에서는 전연에서부터 속도성분의 감소와 후연에서 와동이 나타나는 것이 관찰되었다. 이러한 유동은 압력차가 회복되는 과정에서 나타나는 유동의 순환에 의한 현상으로 추정되며 삼각형 범포에서와 같이 3차원 성분이 심하게 나타나는 와동과는 다른 모습을 보여 주었다.

#### 범포 형태간 유동장 비교

영각이 증가됨에 따라 와(渦)의 발생은 사각형, 삼각형, 역삼각형 순으로 크게 나타났으며,

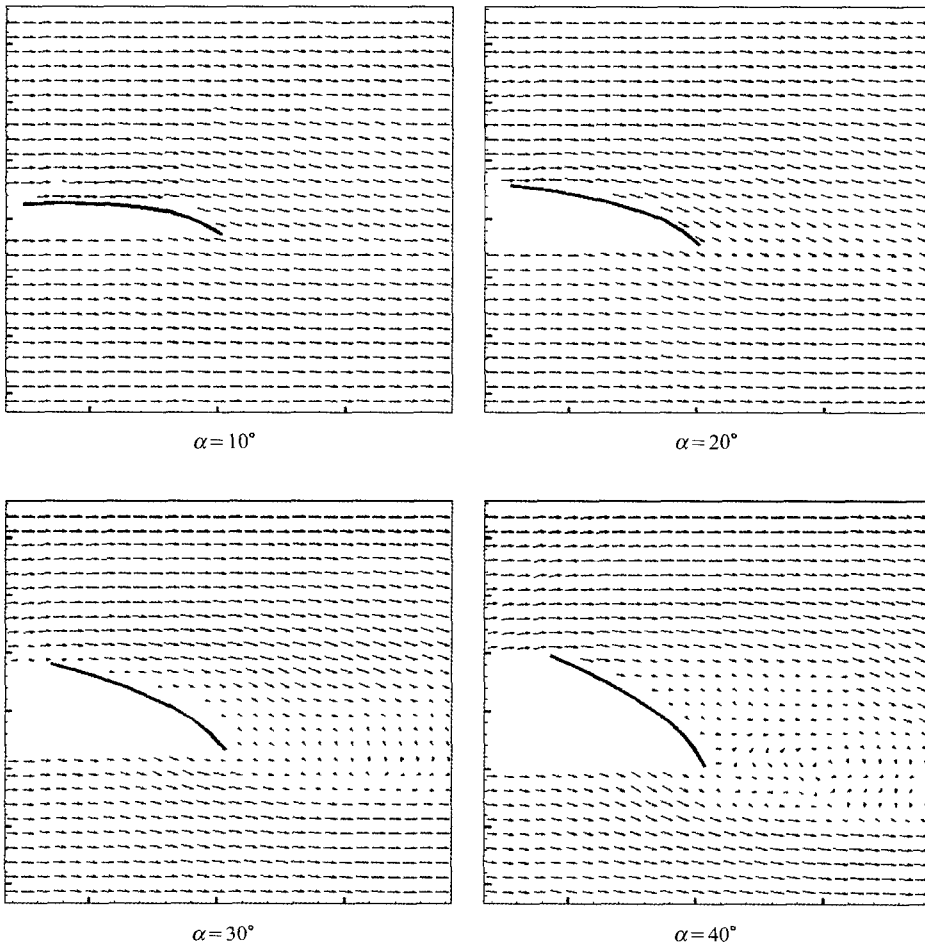


Fig. 8. The velocity distribution of the inverted triangular canvas as a function of the angle of attack( $\alpha$ ).



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 쪽에 있을 것으로 생각된다. 압력차와 경계층 박리에 의한 재순환 영역에서 심한 와동이 영각 20° 정도의 작은 영역에서도 발생하여 영각이 증가될수록 심한 와동이 나타났다. 이러한 영향으로 역학적 실험에서 사각형 모형은 작은 영각에서 양력계수가 크게 나타났지만, 영각이 증가될수록 양력계수의 감소도 크게 나타났으며, 영각 20° 이상에서는 심한 진동과 함께 불안정한 특성이 나타났던 것이다.

삼각형 범포에서 와동의 발생과 크기는 사각형 범포에 비하여 작았으나 흡입면의 고압력 영역 중심이 면적이 넓은 전연 쪽으로 상당히 치우쳐 있고, 후연으로 갈수록 익단와의 영향이 커지는 형상적 특징으로 인하여 압력차를 유지하기 어려울 것으로 생각되기 때문에 역학적 실험에서 전반적으로 양력계수가 작게 나타났으며 다만, 영각의 변화에 비하여 양 · 항력 변화가 작게 나타났던 것이다.

역삼각형의 경우 후연이 면적이 넓은 형상적 특성으로 작은 영각에서도 압력차를 잘 유지하고, 후연의 범포 곡면이 변화가 커 후류를 아래 방향으로 가속하여 상대적으로 영각 10° 와 같은 작은 영각에서 양력계수가 높게 나타난 것으로 생각된다. 다만, 최대양력계수는 사각형 범포에 비하여 작았으나 영각의 변화에도 양 · 항력과 유동은 안정적이었다.

익단와의 발생과 크기는 모형에 따라 유동에 있어서 확연한 차이를 보였다. 익단와의 영향이 가장 크게 나타나는 모형 범포는 삼각형 모형이 가장 크고 사각형, 역삼각형 순으로 작았다. 이러한 현상은 역학적 실험 결과를 참고하여 해석해 볼 때 역학적 힘의 중심이 삼각형과 사각형

모형은 전연 쪽으로 치우쳐 있고 역삼각형은 후연 쪽으로 치우쳐 있다는 것을 알 수 있다. 범포를 중심으로 한 압력면과 흡입면의 고압력 영역 중심과 저압력 영역 중심의 변화는 범포에 작용하는 힘의 방향에 직접적으로 영향을 주게 된다.

## 고 찰

비행기의 날개, 전개판 등 만곡형 물체의 양력 이론은 그 동안 베르누이 이론에 의해 지배되어 왔다. 즉, 유체의 흐름이 빠른 곳은 압력이 작아지고 압력이 작아진 공간 쪽으로 물체가 끌려간다는 것이다. 따라서 물체에 발생하는 양력을 물체 주위를 흐르는 유속분포에서 해석하려 하였다. 그러나 이러한 이론은 여러 가지 실패와 실험으로 의문점이 많은 이론이 되어버렸다. 최근 영국의 저명한 날개이론 학자 Gale Craig는 그의 저서 Wing theory(Lee, 2002)에서 이러한 고정 관념적 이론을 배제하면서 날개에 생기는 양력이 주위를 지나는 공기와의 상호작용 때문에 생기며 위로 향하는 양력이 공기들이 아래로 가속되면서 생기는 반작용력이라고 설명하고 양력을 뉴턴의 제3법칙인 작용 · 반작용의 개념으로 설명하였다. 따라서 본 논문의 고찰에서는 前記 논문의 역학적 실험 결과를 토대로 모형 범포 주위 흐름의 속도와 방향을 관찰하여 범포에 발생하는 양력의 원인을 베르누이 이론과 뉴턴의 작용 · 반작용 이론에 바탕을 두고 분석하였다.

본 가시화 실험의 결과, 특이한 사항을 살펴보면 일반적인 날개와 가장 유사한 형태인 사각형 범포에서 후면의 경계층 박리로 인하여 형성된 재순환 영역에서의 배압이 상대적으로 커지며, 모형에 두께가 있는 일반적인 날개이론으로 구한 분포와 매우 상이한 양상을 보인다. 즉, 보편적 날개에서는 흡입면 상의 압력이 날개 표면에서 가장 작고 외부로 가면서 회복되는 경향을 보이나, 사각형 범포에서는 두께가 얇고 전면이 곡면이 있기 때문에 이것이 양력 방향보다 항력 방향으로 작용할 개연성이 크고, 실속 또는 심한

불안정성의 원인으로 작용하게 된다. 일반적인 날개가 범포보다 안정성이 뛰어난 것은 후류에 경계층 박리나 와의 발생이 적기 때문이다. 다른 측면으로 해석해 보면 일반적인 날개의 양력은론은 베르누이 이론이 뉴턴의 이론보다 더 많은 비중을 차지하고 범포는 뉴턴의 이론이 베르누이의 이론보다 더 많은 비중을 차지하는 것으로 생각할 수 있다.

한편, 범포가 일반적인 날개와 달리 뉴턴 이론의 영향을 더 많이 받는다면 범포의 양력은 범포의 후연부를 지나간 후류가 만곡에 의하여 얼마나 양력의 반대 방향으로 치우쳐져 흐르는가에 달렸다고 볼 수 있다(단, 만곡이 크거나 영각이 커서 후류가 층류를 이루지 못하고 익단와 현상을 발생시키면 양력은 오히려 줄어든다). 실험 결과에서 그 증거를 찾아보면 최대 전개력을 나타내는 영각이 사각형 및 역삼각형 범포에서는 15-20°, 삼각형 범포에서는 40-45°로서 차이를 보이고 있는 것을 들 수 있다. 여러 과학자의 가시화 실험에서 밝혀졌듯이 일반적으로 낮은 영각에서 층류에 가까운 흐름이 형성되기 쉬운데, 전자의 두 범포에서는 범포 후단부 안쪽의 만곡면을 따라 아래로 경사지게 흐르는 흐름이 양력을 발생시킨다고 생각할 수 있는 반면 후자의 삼각형 범포에서는 후단부가 거의 없기 때문에 전단부에서 양력이 발생하려면 영각이 상대적으로 더 커야 하는 것이다. 즉 PIV 실험결과에서 영각 20°, 30°의 사각형과 역삼각형 범포 후단부의 흐름은 삼각형 범포 후단부의 흐름보다 더 아래쪽으로 경사지고 흐름이 빠르다는 것을 관찰할 수 있다.

따라서, 범포의 유체역학적 특성은 흡입면과 압력면의 압력차와 유체의 운동량이 범포에 미치는 영향에 따라 얻어지게 되므로, 목적에 맞는 범포의 형상을 개발할 때에는 힘이 작용하는 부분에서 어떻게 압력차를 유지시키는가와 압력 분포에 의한 유체의 흐름 방향 및 안정성을 고려하여 행하는 것이 매우 중요하다고 할 것이다.

## 결 론

범포 주위의 형상별 유동 특성을 규명하고자 사각형, 삼각형, 역삼각형 모양의 범포에 대하여 PIV 시스템을 이용한 가시화 실험을 수행하였으며, 그 결과를 前記 논문의 역학적 실험 자료와 비교하여 해석한 결과는 다음과 같다. 영각 10°에서 흐름은 모형 범포의 면을 따라 원활한 유동을 보여주어 거의 층류에 가까운 정상상태로 볼 수 있었다. 특히, 역삼각형의 경우, 전연에서 1/2을 지나면서 곡면의 변화가 커짐에 따라 아래쪽으로 향하는 속도성분이 강하게 나타났다. 또한, 흐름의 분포도 점층적으로 안정된 양상을 보여주었다. 특히, 사각형과 삼각형은 압력면 영역의 중심이 전연 쪽으로 약간 치우치고 역삼각형은 면적이 넓은 후연으로 치우치는 것으로 생각된다. 영각 20°에서 사각형과 삼각형 범포는 전연에서부터 경계층 박리에 의한 와동이 나타나면서 후연으로 갈수록 난류가 심하게 나타났다. 그러나 역삼각형 범포는 경계층 박리나 와동의 발생 없이 안정된 모습을 보여주었다. 영각 30°와 40°에서 사각형, 삼각형 범포는 전연부에서부터 경계층 박리가 관찰되어 와동과 복잡한 유동 현상이 관찰되었으며, 역삼각형 범포는 전연에서부터 속도성분의 감소와 후연에서 와동이 나타나는 모습이 관찰되었다. 영각의 증가에 따른 와(渦)의 발생은 사각형, 삼각형, 역삼각형 순으로 빈번히 나타났으며, 와의 크기도 이와 같은 순이었다. 익단와의 영향이 가장 크게 나타난 모형은 삼각형 범포가 가장 크고 다음으로 사각형, 역삼각형 순으로 작았다.

## 사 사

이 연구는 국립수산과학원(범포를 이용한 트롤어구 개발 연구, RP-2006-FE-003)의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

An, H.C., 2000. Development and hydrodynamic

- characteristics of sea anchor for squid jigging vessel. Ph.D. thesis, Pukyong National university, Korea, 41 – 43.
- Bae, B.S., J.H. Bae, H.C. An, J.H. Lee and J.W. Shin, 2004a. The hydrodynamic characteristics of the canvas kite. 1. The characteristics of the rectangular, trapezoid canvas kite. Bull. Kor. Fish. Tech. Soc., 40(3), 196 – 205.
- Bae, B.S., J.H. Bae, H.C. An, J.H. Lee and J.W. Shin, 2004b. The hydrodynamic characteristics of the canvas kite. 2. The characteristics of the triangular canvas kite. Bull. Kor. Fish. Tech. Soc., 40(3), 206 – 213.
- Catasta, L., 1959. Studies to improve the efficiency of otter boards and trawl floats. Modern fishing gear of the world, 251 – 253.
- Edwards, M.L., 1987. Want more headline height and less drag? Go fly a kite. NATL. – FISHERMAN, 68(8), 38 – 41.
- Hoerner, S.F., 1975. Fluid dynamic lift, Chapter 5, 18.
- Hyun, B.S., R. Balachandar, K. Yu & V.C. Patel, 2003. Assessment of PIV to measure mean velocity and turbulence in open – channel flow. Experiments in fluids, 35(3), 262 – 267.
- Jang, J.W and D.O. Seo, 1982. Fishing gear engineering. Sinhan publication, 112 – 114.
- Kwon, B.G., 1993. A study on the hydrodynamic characteristics of otter board. Ph.D. thesis, National Fisheries university of Pusan, Korea, 31 – 48.
- Lange, K., 1989. Design and operation of flexible sail kites. ICES council meeting collected papers, 7p.
- 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.
- Lee, S.K., 2002. Wing theory. Wooyong publication, 32 – 113.
- Lee, Y.H. and J.W. Choi, 1996. Principle and classification of PIV. KSME(B), 36(12), 1146 – 1162.
- 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.
- Park, K.H., 2003. A study on the hydrodynamic characteristics of the two slot cambered otter board. Ph.D. thesis, Pukyong National university, Korea, 66 – 72.
- Park, K.H., J.H. Lee, B.S. Hyun, Y.H. Ro and J.H. Bae, 2002. Study on the measurement of flow field around cambered otter board using particle image velocimetry. Bull. Kor. Fish. Tech. Soc., 38(1), 43 – 57.
- Park, K.H., J.H. Lee, B.S. Hyun and J.H. Bae, 2001. The study on the hydrodynamic characteristics of the single slot cambered otter board. Bull. Kor. Fish. Tech. Soc., 37(1), 1 – 8.

---

2006년 4월 21일 접수

2006년 5월 12일 수리