

# 플랩러더 주위의 유동특성에 관한 실험적 연구

김옥석\*·조대환\*\*·이경우\*\*\*·고재용\*\*\*

\*목포해양대학교 대학원, \*\*목포해양대학교 기관시스템공학부, \*\*\*목포해양대학교 해양시스템공학부

## An Experimental Study on Flow Characteristic around a Flap rudder

Ok-Sok Gim\*·Dae-Hwan Cho\*\*·Gyoung-Woo Lee\*\*\*·Jae-Yong Ko\*\*\*

\* Graduate School, Mokpo National Maritime Uni., Mokpo, 530-729, Korea

\*\* Faculty of Marine Engineering, Mokpo National Maritime Uni., Mokpo, 530-729, Korea

\*\*\* Division of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime Uni, Mokpo, 530-729, Korea

**요 약 :** 선박에서 제어판을 가지는 주요목적은 선박의 운동을 제어하는 것이다. 제어판은 단동타나 고정판에 이동할 수 있는 부분을 혼합하여 사용되는 것으로 구성되어있다. 제어판은 이런 목적에 맞게 수행될 수 있는 고유의 기능을 가지고, 이는 유체와 관련된 방향과 운동의 결과로 제어력을 증가시키는 것이다. 힘과 운동은 회전과 영각의 결과로서 발생하고, 선박의 조종특성을 결정한다.

본 연구에서는 플랩타의 2차원 단면에 대한 연구를 수행하였다. 플랩타의 유동특성을 파악하기 위하여 각각의 영각과 플랩각을 변화시켜가며 모형실험을 수행하였으며, 유동장내의 속도분포를 얻기 위하여 PIV계측기법 중 동일입자 추적법의 하나인 2프레임 입자추적법을 사용하였다. 모델실험은  $Re=2.8 \times 10^4$ 에서 수행하였으며, 계측된 결과들을 서로 비교하였다.

**핵심용어 :** 플랩러더, 입자영상유속계, 유동가사화

**ABSTRACT :** The purpose in having a control surface on a ship is to control the motion of the ship. The control surface may be composed entirely of a single movable surface or of a combination of fixed and movable portions. A control surface has one sole function to perform in meeting its purpose, and that is to develop a control force in consequence of its orientation and movement relative to the water. The forces and moments generated as a result of this rotation and angle of attack then determine the maneuvering characteristics of the ship.

In this paper the study of flapped rudder's 2-dimensional section was accomplished. Model tests had been carried out with different angles of attack of a main foil and flap's deflection angles to predict the performance of the flapped rudder and the 2 frame particle tracking method had been used to obtain the velocity distribution in the flow field.  $Re=2.8 \times 10^4$  had been used during the whole experiments and measured results had been compared with each other.

**KEY WORDS :** Flapped Rudder, Particle Image Velocimetry, Flow Visualization

### 1. 서론

해양에서의 사고는 환경적요소나 피해정도 등과 같은 특수한 해상조건으로 인해 육상에서의 사고와는 비교할 수 없을 정도로 크다. 파도, 바람과 해무와 같은 다양하고 급변하는 해상에서의 환경은 해상이용자에게 차별화된 조선성능을 요구하고 있으며, 더욱이 그 주기가 예전에 비해 빠르게 증가되고 있다. 최근에 선박의 대형화고속화자동화되어 더욱 높은 안정성이 요구되고 있으며, 안정성있는 조선을 위한 조종성향상의

문제는 자주 거론되는 중요한 문제로 제기되고 있는 추세이다. 오래 전부터 국제해사기구(IMO)에서는 해양사고의 방지에 주목적용을 두고 충분한 조종성능의 향상을 권고하고있다. 항만의 입구나 대각도 변침이 요구되는 지점에서 신뢰성있는 조타성능을 갖는 것은 선박의 안전과 물류의 원활한 유통을 위해 매우 중요한 요소이다. 또한, 부두 접안 및 이안의 경우에도, 신속한 조타성능조건은 다양한 측면에서 지속적인 연구의 대상이 되고 있다. 적절한 조종성능은 해상에서의 안전하고 원활한 교통흐름을 위한 필수적인 요소이며, 이러한 측면에서 학계와 현장에서는 조타성능이 우수한 특수타의 적용에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다. 단동타와 같은 전통적인 타와 구별되는 특수타는 End Flate타, Shilling타, Becker타, 오목타, 볼록타 및 쌍동타 등이 있으며 특수타의 2개 이상의 장점

\*대표저자 : 정희원, domingo@mmu.ac.kr 016) 614-3001

\*정희원, dhcho@mmu.ac.kr 061) 240-7104

\*\*정희원, kwlee@mmu.ac.kr 011) 9339-3589

\*\*정희원, kojy@mmu.ac.kr 016) 655-7129

을 접목하여 사용되는 경우도 있다.

현<sup>11)</sup>에 의하면 수면 하에서 정속으로 움직이는 NACA0012 주중익에 의하여 생성되는 정상파 및 쇄파에 대한 실험적 연구를 회류 수조에서 수행하였다. 실린더의 몰수깊이에 따른 자유 표면 파형을 관측하였고, PIV를 이용하여 수중익과 자유 표면 사이 유동장의 순간 속도와 평균 속도를 계측한 후 와도 분포를 구하였다. 쇄파의 발생, 전개 그리고 소멸 과정을 조사하였고, 특히 자유 표면 부근의 와류 구조와 같은 복잡한 순간 유동장의 가시화를 통하여 수중익과 쇄파간의 상호 작용을 해석하였다.

손<sup>2)</sup>은 특수타의 채택으로 인한 침로 안정성 개선 효과에 관한 연구로 여러 특수 형태의 타 즉 볼록타 오목타 플랩타 엔드플레이트타를 동일 선체에 설치하였을 때의 침로 안정성 개선 효과를 알아보기 위해 타 단독 시험을 실시하여 특수타가 타수직력과 관련된 실험 정수들에 미치는 영향을 조사해 실험 결과로부터 특수타의 채택에 따른 조종성 미계수의 변화를 구하고 침로 안정성을 정량적으로 분석 비교 및 검토하였다.

진<sup>13)</sup>은 PIV를 적용하여 단일익(NACA0018) 주위 유동에 대하여 가시화 실험을 행하고, 영각 변화에 따른 러더 주변의 경계층 영역, 가속 영역, 박리 발생, 역압력구배 등의 유동 특성을 검토하였다.

본 연구에서는 러더의 성능을 향상시키고자 전통적인 단동타에 플랩을 부착하여 주요부분에 대한 양력의 증감을 정량화적인 계측을 하고자 하였다. 영각의 변화를 0도에서 40도까지 변화시키면서 각각의 영각에 대응하는 플랩각의 성능을 평가하였다. 이러한 성능평가를 통해 특수타의 조선성능향상에 기여코자 한다.

## 2. 실험장치 및 조건

Fig. 1은 플랩타의 유동가시화 및 동일입자추적을 통해 유동 특성해석을 위한 시스템이다. 직진성과 반사성이 우수한 레이저의 강한 2차원 광원을 계측영역에 얇게 투사하여 유동장을 해석하는 장치로 1000mm×300mm×300mm의 회류수조영역에서 실험 및 해석이 이루어졌다.

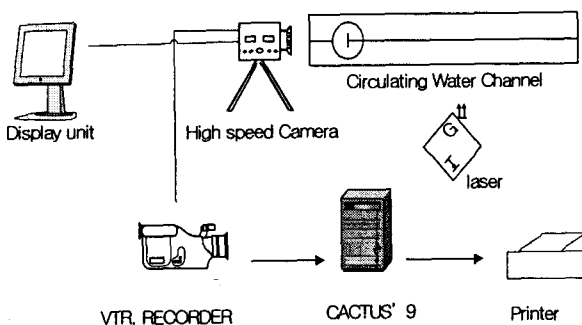


Fig. 1. Schematic arrangement of PIV system.

연구에 채택된 실험조건으로는 유동가시화를 위한 유동장 조명으로 수냉식 5와트 출력의 Argon-Ion 레이저와 원통형 렌즈가 연결된 광파이버를 이용하여 플랩타의 계측영역에 2차원 시트광(Sheet beam)을 조사하였다. 유동장은 고속카메라로 촬영하였으며 플랩타 주변 및 후류 유동특성을 파악하였다. 작동 유체는 17°C 전후의 수도수이며 영상 처리를 위한 이미지보드는 내장형 DT3155(640×480 pixel, B&W)를 사용하였다. 입자영상유속계를 이용한 가시화 실험은 유동장에 분포된 입자의 미소 시간간격의 영상을 컴퓨터로 분석하여 속도 벡터에 대한 데이터를 얻는 방법으로 기계공학뿐만 아니라 조선해양공학 분야에서도 광범위하게 적용되고 있다. 동시다점계측기법 특성상 입자의 추종성이 결과의 신뢰성에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 가시화와 PIV 영상 획득을 위하여 추종성이 우수한 직경 100 $\mu$ m 전후의 PVC(비중1.02) 입자를 사용하여 상용프로그램인 "CACTUS"로 해석하였다.

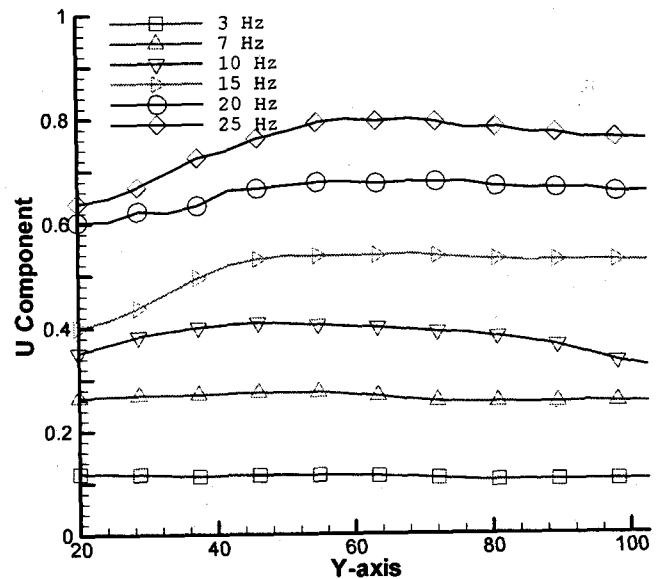


Fig. 2. Characteristics of circulating water channel.

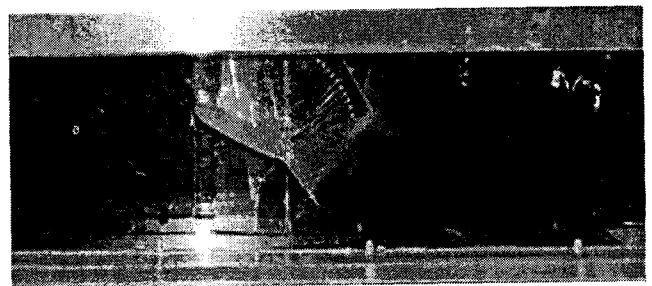


Fig. 3. View of an experimental Flapped Rudder.

Fig. 2는 회류수조의 고유한 특성을 파악하기 위해 주파수별로 u성분의 속도성분을 도시한 그래프로 모델실험에 임하기 전 회류수조가 갖는 고유의 오차를 이해하여 해석영역에서의

정도를 높이고자 하였다. 회류수조의 고유주파수별 평균속도 분포는 3Hz에서 0.11m/s, 7Hz에서 0.263m/s, 10Hz에서 0.38m/s, 15Hz에서 0.507m/s, 20Hz에서 0.655m/s의 값을 갖고 있다. 주파수의 선정은 단계별로 전체주파수의 해석이 필요하지만 속도분포가 일정한 점을 감안하여 회류수조의 특성을 파악하기에 적절한 주파수대를 선정하여 평균속도분포를 파악하였다. 물론 중간의 주파수대는 직선보간법에 의하여 u성분의 속도를 계산할 경우 거의 일치함을 확인하였다.

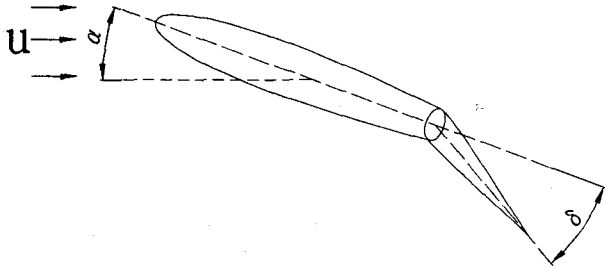


Fig. 4. Schematic diagram of test setup and a Flapped Rudder.

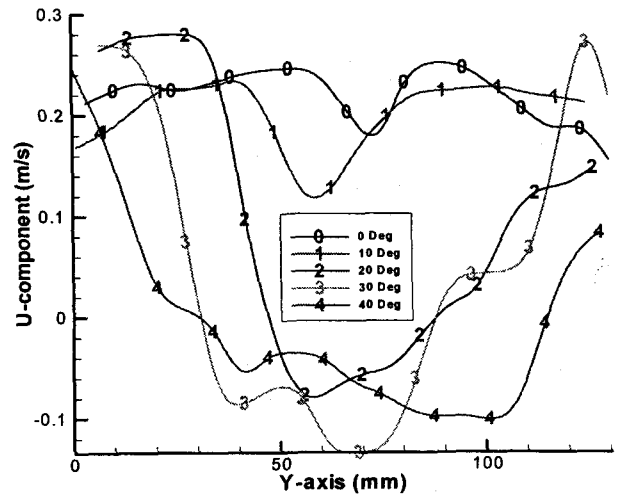
실험에 사용되는 플랩타의 모델은 Fig.3과 같이 코드 길이 6미터인 NACA0012의 단면을 코드의 길이를 150mm, 스패의 길이를 100mm로 상사성을 갖는 아크릴계의 3차원 단면으로 설계 제작하여 사용하였다. 코드방향으로 2/3지점에 힌지를 부착하여 플랩타와 주타를 연결하여 주타와 플랩의 각도의 크기를 각각 제어가 가능하도록 설계 제작하였다. 유동가시화 영역은 플랩타의 조종성능의 효과를 분석하고자 코드 길이의 2배의 후반부까지 유동특성을 가시화하였다. 영각은 0도, 10도, 20도 30도 40도에 대해서 유동가시화 하였다. 주요 해석영역으로는 영각을 10도로 하고 코드의 끝단 상부지점에서 와류의 이동을 추적함으로써 와류의 발생과 소멸위치와 방향을 추적함으로써 양력과 항력의 상관관계를 집중적으로 고찰하였고, 플랩에 의한 와류의 발생이 전체 유동특성에 어떤 영향을 미치는지를 집중 고찰하였다. 회류수조 고유주파수의 특성을 파악하여 플랩타 모델의 유동특성을 명확히 가시화가 가능한 영역으로 레이놀드(Reynolds Number)수는  $Re=2.8 \times 10^4$ 으로 난류의 발생이 미소한 영각 10도에서 유동현상 관측을 가장 이상적이라는 판단에서 실험조건을 선정하였다.

Fig. 4는 실험에 사용되는 플랩타의 모델 좌표계를 나타내며, 유동의 유입방향(u), 영각( $\alpha$ ) 및 플랩각( $\delta$ )을 그림과 같이 정의하였다.

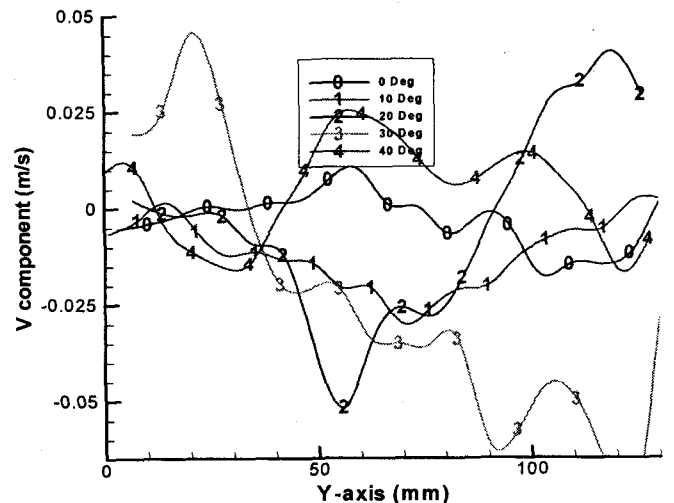
### 3. 결과 및 고찰

Fig. 5(a),(b)는 플랩타의 코드 끝단에서 10mm 떨어진 지점에서의 2차원 속도벡터의 u,v성분의 분포도이다. 2차원 플랩타의 종방향(코드 방향과 수직)의 성분을 각도변화에 따른 양력, 항력 및 속도구배를 알아보려고 하였다. 해석 결과에서 볼 수 있듯이 0°와 10°에서는 유입하는 유체속도가 거의 일정하

나 20°, 30°, 40°에서는 그래프 y축의 50~80mm영역에서 급속히 감소하고 있다. 익의 후반부 주위의 속도분포는 익의 상하의 역압력 구배 현상으로 인한 양력의 감소현상을 보여주고 있으며 또한 Fig. 5(a)에서 10도와 20도 중간지점에서 NACA0012의 항력의 발생이 증가되는 지점임을 알 수 있다. Fig. 5(b)에서도 0도와 10도 영역에서는 y축 방향으로의 속도 분포는 층류의 영역을 명확히 보여주고 있으며 10도와 20도에서 난류가 진행됨을 알 수 있다. 플랩각을 변화시키지 않았기 때문에 NACA0012의 특성의 이해가 가능하며 플랩각의 변화시켰을 때와 상호비교 해석하여 플랩효과 정의가 가능하다.



(a) U-velocity



(b) V-velocity

Fig. 5. Velocity distribution at trailing edge.

Fig. 6(a)에서는  $Re=2.8 \times 10^4$ 에서 플랩타를 고정시킨 상태에서 영각만을 변화시켜 일반 단동타의 유동특성을 PIV계측한 결과이다. 단동타 주위의 유동특성을 플랩타와 상호 비교해 플랩 장착에 따른 효과를 상호비교 관찰해 보고자 플랩을 변화시키지 않고 해석하여 일반적인 선박에 주로 장착되는 단동타의 유

동특성을 알아보려고 하였다.

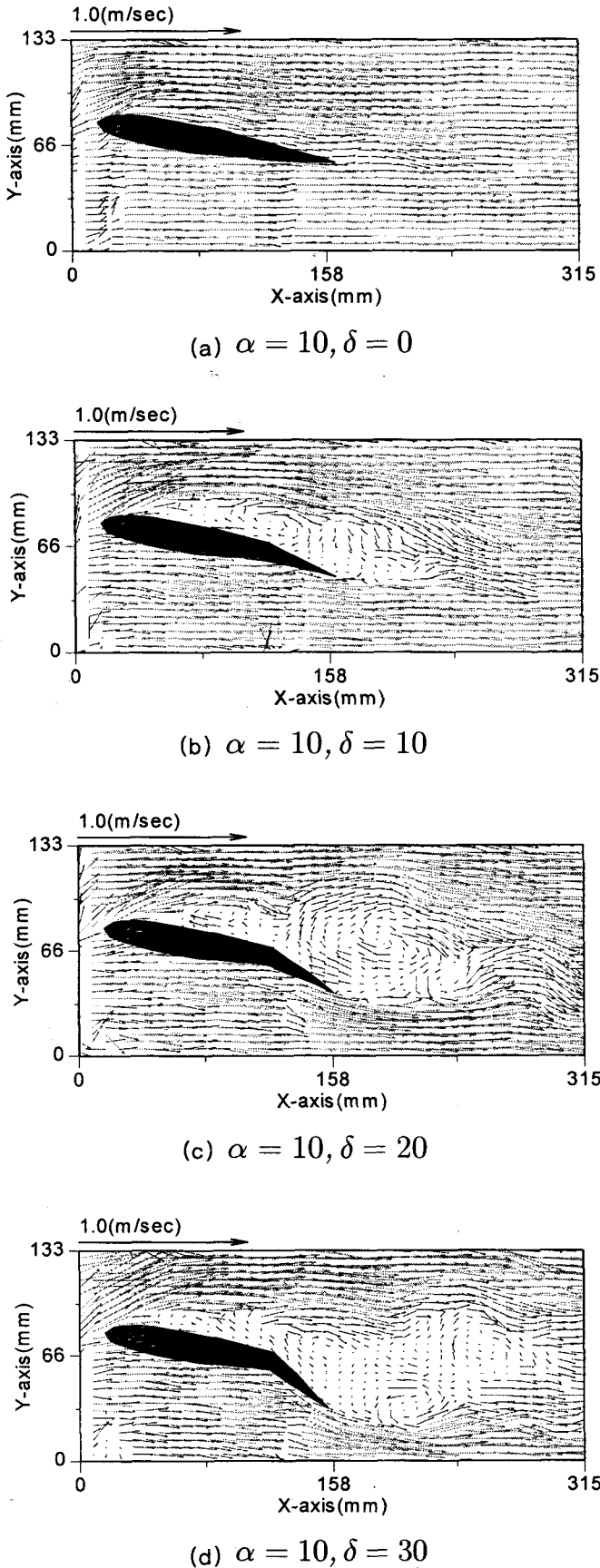


Fig. 6. Instantaneous velocity vector of flow field.

물론 힌지로 연결한 부분에 의한 유동 특성의 변화를 무시할 수는 없지만 본 연구에서는 미소한 영향을 다음의 연구과제로 하고 연구의 궁극적인 목적에 충실하고자 하였다. 영각이 증가할수록 경계층 두께가 증가하고, 박리점의 이동이 전연부로 이동함을 알 수 있다. 또 영각의 증가에 따라 경계층으로부터 박리가 발생되고, 플랩타의 후류에서는 와류가 발생으로 역압력 구배에 의한 유동 영역이 크게 생성됨을 알 수 있었다.

Fig. 6(b)는 영각  $\alpha = 10^\circ$ 와 플랩각이  $\delta = 10$ 일 때의 동일입자 추적한 결과이다 Fig. 6(c)는 영각  $\alpha = 10^\circ$  플랩각을 20도 그리고, Fig. 6(d)에서는 영각  $\alpha = 10^\circ$  플랩각을 30도 변화시켜 영각이 일정할 때 플랩의 변화에 따른 영향을 알아보려고 했다. Fig. 6(c)는  $\alpha = 10^\circ, \delta = 20^\circ$ 의 경우 플랩각( $\delta$ )이 10도일 경우에 비해 플랩 자체의 영향에 의한 속도 분포를 보여주고 있다. Fig. 6(a)와 비교해 보면 10도의 미소한 변화에 비해 플랩 후류에서 발생하는 큰 와류의 영향으로 러더의 회두 성능은 증가하고 있다. 이 경우, 플랩타는 단동타에 비해 영각에 따른 양력 성분과 플랩에 의한 성분이 상호 더해져 보다 큰 회두성능을 나타낸다는 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 6(d)는  $\alpha = 10^\circ, \delta = 30^\circ$ 의 경우로써 Fig. 6(b),(c)에서 보다 큰 플랩각을 주었을 경우 플랩타 후방에서 생성되는 3개 이상의 강한 와류가 생성되어 큰 힘을 생성하고 있다. 이는 영각의 미소 변화 즉 층류의 영향에 의한 양력성분의 크기를 그대로 유지하면서 플랩에 의해 발생하는 강한 와류성분에 의한 측압력을 발생시켜 두 성분의 합력에 의해 강한 측압력을 형성하고 있다.

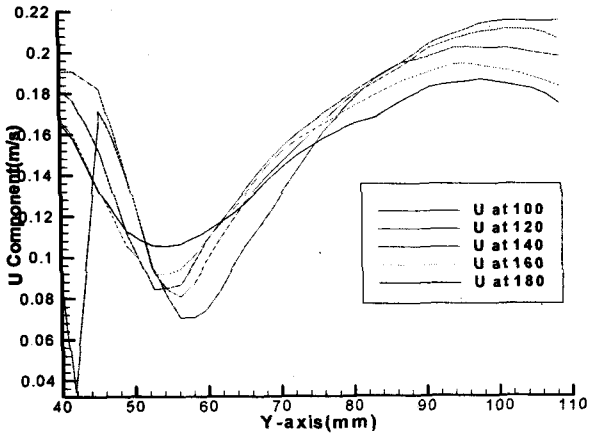
Fig. 7은 Fig. 6의 XY좌표 (100,40), (120,40), (140,40), (160,40), (180,40)mm지점에서 종방향(코드방향과 수직)의 양(+)의 측으로 영각 10도에서 플랩각의 변화에 따라 u성분을 도시하여 와의 생성과 소멸을 추적하여 양력, 항력 및 속도구배를 알아보려고 하였다. Fig. 7의 (a), (b), (c), (d)의 X좌표 100, 120, 140, 160, 180mm지점은 와류의 생성시점과 중심점 및 종류지점을 기준으로 선정하여 와류의 발생이 유동장에 미치는 영향을 알아보려고 하였다.

Fig. 7(a)에서는 얇게 형성된 층류의 영역인 Y축 55mm지점에서 0.08m/s의 속도분포를 나타내고 있으며 가장 작은 속도분포 영역이 경계층과 비례하게 Y축 55-60mm구간으로 짧게 나타나 난류로 진행을 알 수 있는 그래프이다. 박리영역이 전반부로 이동함과 동시에 플랩각에 의한 경계층의 증가와 와류가 형성됨을 Fig. 6(c)에서 이미 보았듯이 Fig. 7(b)는 플랩각의 변화에 따라 경계층의 증가와 작은 와류가 발생하여 익 상부의 전체적인 속도분포가 미소하게 줄어들었으나 그 구간이 미소함을 알 수 있다. Y축의 180mm지점에서 와류의 영향으로 아주 빠른 속도성분을 나타냄을 알 수 있다. 플랩각의 증가로 인한 소형 와류의 발생과 양력성분이 상호작용이 일어나는 영역으로 속도 성분이 Fig. 7(a)와 비교시 크게 줄어들지 않아 양력효과를 상승시키는 것으로 해석된다.

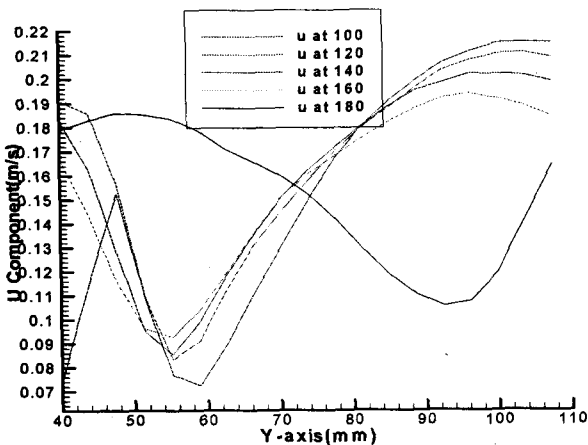
Fig. 7(c)는 전체적으로 절반가량이 음의 영역으로 내려와

있음을 알 수 있다. 와류의 생성이 활발하여 유동장의 특성상 항력과 양력의 성분이 거의 동일하게 분포한 상태로 넓게 분포한 경계층 영역은 강하게 음(-)의 방향으로 당기는 힘을 포함하고 있다. Fig. 5에서 언급했듯이 NACA0012의 양력의 감소하는 경계지점은 10도와 20도 사이임에도 불구하고 Fig. 7(c)에서는 영각 10도에서 플랩각의 변화만으로 급격한 양력과 항력의 상호작용의 영역을 형성하고 있다. Y축 180mm지점에서의 속도분포는 다소 감소하여 경계층 영역이 상당히 커진 형상을 보이고 있다. 이는 순방향의 속도분포보다는 와류에 의한 역방향의 속도성분이 상호작용에 의하여 넓은 경계층을 형성한 것으로 나타난다.

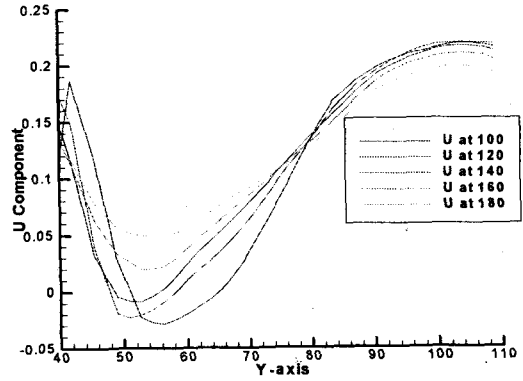
Fig. 7(c)에서는 익 상부와 근접한 부분은 이미 음(-)의 속도 성분을 갖고 있으며 전체 영역의 절반에 해당하는 부분이 음의 영역에 포함되어 순방향에 속도분포와 와류에 의한 역방향의 속도분포가 각각 50%를 형성하고 있어 양력의 영향을 추정하기보다는 항력에 의한 강한 저항이 선체의 조종력으로 작용하는 영역임을 알 수 있다. Fig. 6에서 와의 생성이 이미 3개를 넘어섰으며 역동적인 유동장을 형성하여 조종성능의 깊은 고찰이 필요한 영역으로 나타난다.



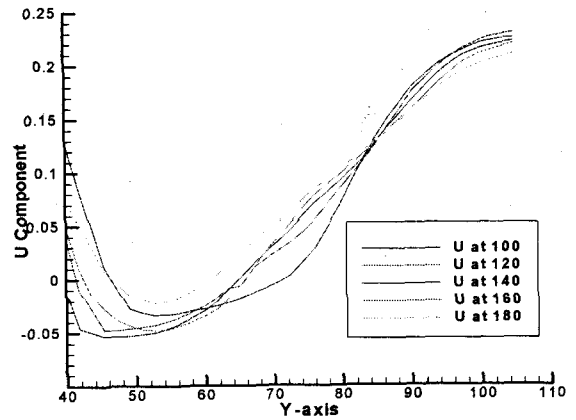
(a)  $\alpha = 10, \delta = 0$



(b)  $\alpha = 10, \delta = 10$



(c)  $\alpha = 10, \delta = 20$



(d)  $\alpha = 10, \delta = 30$

Fig. 7. Instantaneous velocity vector(u-component) of flow field above the end of chord length.

#### 4. 결론

결과에서 나타난 바와 같이  $R_e = 2.8 \times 10^4$ 에서 영각을  $0^\circ \sim 40^\circ$ 로 플래퍼각을 영각의 2배까지 증가시키면서 유동가시화기법을 이용해 플래퍼의 영각과 플래퍼 변화에 따른 유동특성을 알아보았고, 플래퍼의 유무 그리고 영각과 플래퍼의 변화에 따른 2차원 러더주위의 유동 패턴을 PIV기법을 적용해 해석하였다. 그리고 주 타각과 플래퍼의 변화에 따른 박리현상과 양력의 발생과정 및 증감성분을 고찰하였다. 그 결과 플래퍼 변화에 따른 유동장의 속도분포를 예측할 수 있었다. 예측된 결과를 통상적인 러더와 상호 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 영각과 플래퍼각의 증가에 따라 박리점이 전연부 쪽으로 이동하였고, 전체 경계층 영역이 증가함을 확인하였다. 그리고 영각을 고정시키고 플래퍼각만을 변화시켰을 경우 대각도 영각

의 변화에 상응하는 양력과 항력을 발생시켜 실제 선박에서는 선회력 및 조종성능을 향상시킴을 알 수 있었다. 그러나 이는 항력의 영향으로 선박이 전진하는 성분을 감소시키는 영역으로 발전할 수 있음을 확인했다.

2. 플랩각에 의한 실속영역의 추정을 영각 10도에서 고찰하면 플랩각이 30도에서는 음(-)의 속도분포가 상당하여 영각 10도에서는 30도 이상의 플랩각의 사용이 제한되어야 함을 확인하였다.

3. 와류의 생성·발전과정과 박리점의 이동을 각도변화에 따라 진행과정을 실험적인 방법에 의해 확인하였다. 즉 영각이 증가하면 실속 이전에는 양력이 영각과 비례하여 정비례하며 항력은 영각과 플랩각의 증가에 따라 지속적으로 증가하고 상호 증가분에 대한 상호작용이 있음을 확인하였다.

차후 연구과제로는 Aeration과 관련한 물수체의 깊이가 선박의 조종성에 미치는 영향 그리고 실속 현상에 따른 양력과 항력의 상관관계에 대해서 고찰해 보고자 한다. 그리고 유동장의 벽면의 영향, 스펠의 길이에 대한 고찰, 박리점 이동에 따른 양력 변화와 플랩의 최적 조타 범위에 대한 정량적인 속도장 해석 그리고 후진 시 속도 분포에 따른 영향 등에 대해서도 보다 광범위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 현범수의, "PIV를 이용한 수중의 주위 복잡 유동장의 정량적 계측", 대한조선학회논문집 제 37권 제3호, 2000
- [2] 손경호외, "특수타의 채택이 침로 안정성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구", 대한조선학회논문집, 제34권 제3호 1997,
- [3] 진완빈, "PIV에 의한 의 주변 유동 특성에 관한 연구", 목포해양대학교, 1999
- [4] Justin E. et al., "An Experimental Study of a Series of Flapped Rudder", Journal of Ship Research, 1972
- [5] Kato, H. et al., "Flapつき舵の研究 - 第1報 : 單獨試験の結果 -", 日本造船學會論文集 第124號., 1968
- [6] Yasuo, Yoshimura et al., "Prediction of Ship Manoeuvrability with a Flapped Rudder", 일본조선학회논문집 제181호, 1998
- [7] Ryoza Hiraku et al., "Development of PIV by processing Sequential image data with High-speed Camera", Osaka University, 2000