

플랩이 부착된 특수타의 동유체력 제어효과에 관한 연구

김옥석[†] · 이경우* · 안영규**

[†] 국토해양부 목포지방해양항만청, *목포해양대학교 해양시스템공학부, **삼성중공업

Control Effect of Hydro-kinetic Force of a Special Rudder attached Flap

Ok-Sok Gim[†] · Gyoung-Woo Lee* · Young-Kyu Ahn**

[†] Mokpo Regional Maritime Affairs and Port Office, Ministry of Land Transport and Maritime Affairs, 530-831, Korea

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

** Samsung Heavy Industries, geojae shipbuilding, Sinhyon-eup, Geoje-si, South Gyeong-nam province, Korea

요 약 : 선박에서 제어판의 역할은 운동을 제어하는데 목적이 있으며 이는 곧 조종성능을 결정하는 중요한 요소이다. 본 연구에서는 플랩타의 성능평가를 위하여 $Re=3.0 \times 10^4$ 에서 영각에 대응하는 플랩각에 따른 속도 및 에너지 분포를 2-프레임 그레이 레벨 상호상관 PIV기법을 이용하여 비교·분석하였다. 또한 영각 10도와 20도에서 전통적인 단동타의 유동특성과 비교하여 플랩타의 성능특성을 평가하였다. 영각 10도에서는 양력, 영각 20도에서는 항력에 의한 축압력을 향상시킬 수 있었다. 영각 10도에서 플랩조각만으로 박리점과 경계층영역의 변화가 가능하였다.

핵심용어 : 플랩러더, 특수타, 유동장, 운동에너지, 입자영상속속계

Abstract : The main purpose in having a control surface on a ship is to control the motion of it. It is the important element to determine the maneuvering characteristics of the ship. In this paper, the measured results has been compared with each other to predict the performance characteristics of flapped rudder's 2-dimensional section at $Re=3.0 \times 10^4$ using 2-frame grey level cross correlation PIV method. The side force of the rudder could be mainly improved by the lift force at 10 degrees angle of attack and the drag force at 20 degrees angle of attack. The separation point and boundary layer could be controlled by the change of the only flap's angle at 10 degrees angle of attack.

Key words : Flapped Rudder, Special rudder, Flow field, Kinetic energy, Particle Image Velocimetry

1. 서 론

선박의 대형화 고속화에 따라 향상된 변침 및 보침성능에 대한 요구로 전통적인 단동타에서 다양한 형태의 조타기(Rudder) 적용에 대한 필요성이 늘어나고 있다. 따라서 특수타 적용 문제는 설계 초기단계에서부터 적극적으로 검토 대상이 되고 있다. 이러한 특수타의 범주는 다양하며 이의 적용문제는 선행과 용도에 따라 선택적인 문제가 수반되고, 각각의 특수타 적용을 위한 성능평가 또한 중요한 요소이다(안 등, 1999; Kerwin et al, 1972). 이러한 특수타는 발달된 양·항력을 이용하여 축압력을 증가시켜 침로안정성과 변침성을 확보하는데 주요목적이 있다. 특히 저속비대선의 침로 안정성 개선과 고속선의 능동적인 조타성능에 탁월한 효과를 보이는 것으로 알려져 있어 지속적인 연구의 대상이 되고 있다.

김(2003)과 이 등(2005)은 PIV기법을 적용하여 플랩타 주변 유동가시화와 영각에 따른 플랩각을 변하시켜 경계층 영역, 박리 및 압력구배 등의 유동특성을 검토하였다. 손 등(1997)은 여

러 특수형태의 조타기를 동일 선체에 설치하여 특수타의 채택으로 인한 침로안정성 개선 효과에 관한 타 단독시험을 실시하고 특수타가 타수직력과 관련된 실험 정수들에 미치는 영향을 조사해 실험 결과로부터 특수타의 채택에 따른 조종성 미계수의 변화를 구하고 침로안정성을 정량적으로 분석하였다. 현 등(2000)에 의하면 수면하에서 정속으로 움직이는 NACA0012 수중익에 의하여 생성되는 정상파 및 쇄파에 대한 실험적 연구를 회류수조에서 수행하였다. 실린더의 몰수깊이에 따른 자유표면 파형을 관측하였고, PIV를 이용하여 수중익과 자유표면 사이 유동장의 순간속도와 평균속도를 계측한 후 와도분포를 구하였다. 쇄파의 발생, 전개 그리고 소멸 과정을 조사하였고, 특히 자유표면 부근의 와류 구조와 같은 복잡한 순간 유동장의 가시화를 통하여 수중익과 쇄파간의 상호 작용을 해석하였다.

본 연구에서는 플랩타의 성능평가를 위하여 제한된 영각에 대응하는 플랩각의 변화에 따른 성능을 PIV기법을 적용하여 상호 비교·분석하였다. 또한 전통적인 단동타의 유동특성과 비교하여 향상된 성능을 정량적으로 평가함으로써 특수타의 적용

[†] 교신저자 : 김옥석(정회원), domingo@mmu.ac.kr 016-614-3001

* 정회원 : kwlee@mmu.ac.kr 011-9339-3589

** 정회원 : youngkyu-ahn@samsung.com 055) 630-5244

에 따른 조선성능향상에 기여코자 하였다.

2. 실험장치 및 조건

Fig. 1은 플랩타 주변 유동정보 제측을 위한 PIV시스템의 개략적인 구성도이다. 직진성과 반사성이 우수한 레이저의 2차원 광원을 제측영역에 조사하여 $1.0^L \times 0.3^B \times 0.3^D$ m³의 회류수조영역에서 실험 및 해석을 수행하였다. 세부적인 실험조건은 table 1과 같이 설정하였다.

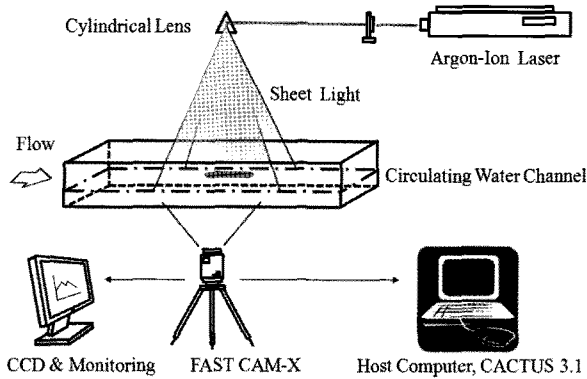


Fig. 1 Schematic arrangement of PIV system

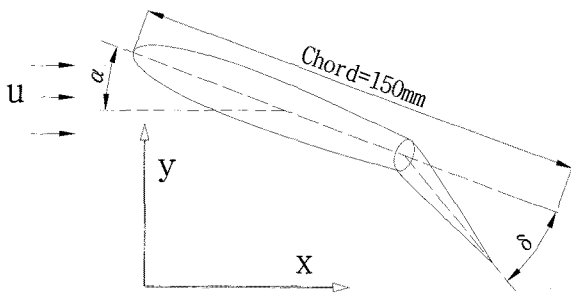


Fig. 2 Coordinate system and model setup

실험에 사용되는 모델은 Fig. 2와 같으며 유입방향(u), 영각(a) 및 플랩각(delta)을 그림과 같이 정의하였다. NACA0012 단면의 길이는 코드(c)가 150mm, 스패니 100mm로 코드방향으로 2/3지점에 힌지를 부착하여 플랩타와 주타를 연결하여 각도의 크기를 각각 제어가 가능하도록 설계·제작하였다. 회류수조 시험부 높이에 대한 플랩타 높이의 비를 나타내는 폐쇄비는 (Blockage ratio=d/H)는 6.6%으로 나타났다. West and Apelt(1982)에 의하면 폐쇄비 6% 이하일 때, 자유흐름에 대한 실린더 주위의 압력분포는 벽면영향이 무시되는 것으로 보고하고 있다. 따라서 본 연구에서는 시험부와 모델사이의 폐쇄비에서는 벽면의 영향이 미소하게 발생한다고 판단되었다. 플랩타 성능평가를 위한 해석영역은 코드길이의 2배 후반부까지 유동정보를 제측하였다. 플랩타 코드길이에 기초한 레이놀즈수는 $Re=3.0 \times 10^4$ 회류수조와 모델형상에 따라 성능평가에 적합한 자유유동을 적용하였다. 실험조건 중 영각 10도와 20도는 NACA 0012의 특성상 유동박리가 발생하는 한계영역으로

플랩각 조작에 따른 성능을 비교 분석하기에 적합하다고 판단하여 실험조건으로 선정하였다.

Table 1 Experimental condition

Item	Specification
Light source	5-W Argon-Ion laser
Sheet light	Cylindrical lens(Width=2mm)
Working fluid	Fresh water (19±1℃)
Time resolution	125 FPS
Grid(X*Y)	100*40
Particle	PVC(ρ : 1.02, ϕ : 150 μ m)
Dimension (NACA0012)	Chord length : 150mm Span length : 100mm
Algorithm	2-frame grey-level cross correlation CACTUS v.3.1

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 플랩을 부착하지 않은 NACA 0012의 각도별 후류 속도분포에 대해 상호 비교한 결과로 전통적인 단동타의 형태를 하는 NACA 0012의 성능평가를 통한 플랩타의 결과와 비교 평가를 위한 것이다. Fig. 3(a)는 NACA 0012 후방에서 자유유동 방향에 수평한 u성분에 대한 유동특성을 나타낸 결과이다. 0도와 10도에서는 $y/c=0.4-0.5$ 사이에서 미소하게 감소하다가 자유유동으로 회복하는 경향을 보이고 있다. 그러나 20도 이상에서는 $y/c=0.4$ 부근에서 0이하로 감소 후 완만하게 회복하는 경향을 보이고 있다. 회복율도 0도와 10도와는 달리 낮고 느린 속도구배를 보이고 있다. 이는 NACA 0012의 실속각을 15도 전후로 예측이 가능한 결과임을 알 수 있다. Fig. 3(b)는 NACA 0012 후방에서 자유유동 방향에 수직인 v성분에 대한 유동특성을 나타낸 결과이다. Fig. 3(a)의 자유유동 방향 성분에서 수직방향으로 발달하는 성분을 추출한 결과이다. 전체적인 경향은 자유수면으로 접근함에 따라 감소하는 경향을 보이고 유동 패턴은 일정한 감소율을 보이고 있다

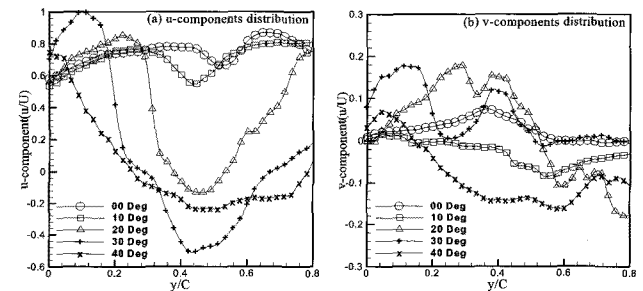


Fig. 3 Velocity distribution behind single rudder

Fig. 4는 NACA 0012 주변의 운동에너지 분포($(u^2+v^2)/2$)를 영각의 변화에 따라 도시한 결과이다. Fig. 4(a)의 경우 영각이 0도에서 상하 대칭적인 구조를 보이고 있다. 또한 Fig. 4(b) 10

도의 경우에도 상하 대칭구조에서 크게 벗어나지 않는 운동에너지 특성을 보이고 있다. 이와는 달리 Fig. 4(c) 20도인 경우

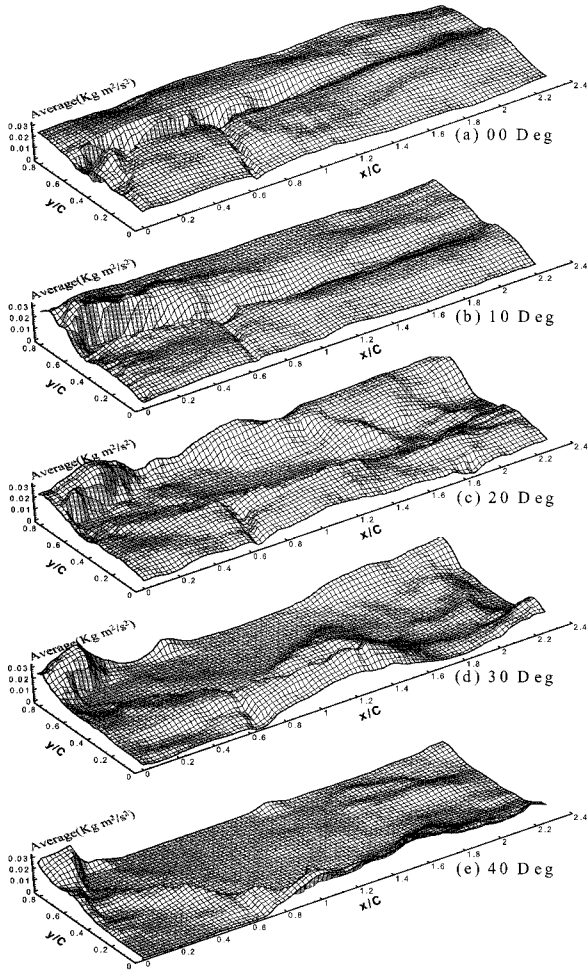


Fig. 4 Total kinetic energy around single rudder

는 상하 대칭적인 에너지 분포가 깨지면서 상부에서 하부보다 강한 성분이 나타나고 있다. 또한 Fig. 4(d) 30도에서는 $x/c=1.2$ 지점에서 상부보다 하부에서 강한 운동에너지가 발생하고 있다. 그러나 Fig. 4(e) 40도에서는 전체적으로 운동에너지 분포가 크게 감소한 결과를 보이고 있다. 즉 Fig. 3의 u, v -분포에서도 예측이 가능하듯이 낮은 유속분포가 NACA 0012 전체에 걸쳐 넓게 분포되는 경향과 일치하는 결과를 보이고 있다.

Fig. 5는 영각 10도에서 플랩각을 시계방향(양)과 반시계방향(음)으로 변화시켜 러더 후반부 순간속도분포를 추출한 결과이다. Fig. 5(a)의 경우에는 박리가 일어나지 않고 있다. 전연부 상부에서 빠른 속도분포를 보이고 있어 양력의 의한 측압력이 예상된다. 또한 Fig. 5(b)의 경우에 있어서도 전연부와 후연부를 제외하고 이와 비슷한 속도분포를 보이고 있다. Fig 5(c)에서 영각이 10도일 때 플랩각이 20도로 전연부에서 나타나는 유속분포는 Fig. 5(a)(b)와 비슷한 분포를 보이고 있으나 플랩각의 증가에 따라 후연부에서 박리가 발생하여 플랩 후방에서 낮은 속도분포와 미소한 와가 생성되면서 후류로 이동하고 있다. Fig. 5(d)(e)에서는 플랩각을 30도와 40도까지 증가시키기에 따라 유동박리가 전연부로 이동하는 특이한 경향을 보이고 있다. 이 경우에는 플랩타 상부의 낮은 속도분포로 인하여 양력이 감소하고 유동방향으로 작용하는 항력이 증가함을 예측할 수 있다. Fig. 5(e)에서의 플랩각 40도에서 넓은 경계층영역에서 와를 동반한 낮은 유속분포가 러더 상하 속도구배를 증가시키는 원인으로 작용하고 있다. 이와는 반대로, 플랩각을 반시계방향으로 변화시켰을 때의 유속분포를 살펴보면 Fig. 5(f)는 플랩각을 -10도로 변화시켜도 전체 경계층영역과 박리점에는 큰 변화를 보이지 않았다. 그러나 Fig 5(g)(h)(i)에서는 플랩각 증가에 따라 주타의 경계층영역 변화는 거의 나타나지 않으나, 플랩 후방에서 생성되는 유동특성은 플랩각 증가분에 비례하여 박리영역이 크게 생성됨을 확인할 수 있었다. 시계방향에서 나타났던 전체 박리와 경계층영역의 변화는 반시계방향의 플랩각 조작에서는 나타나지 않았다.

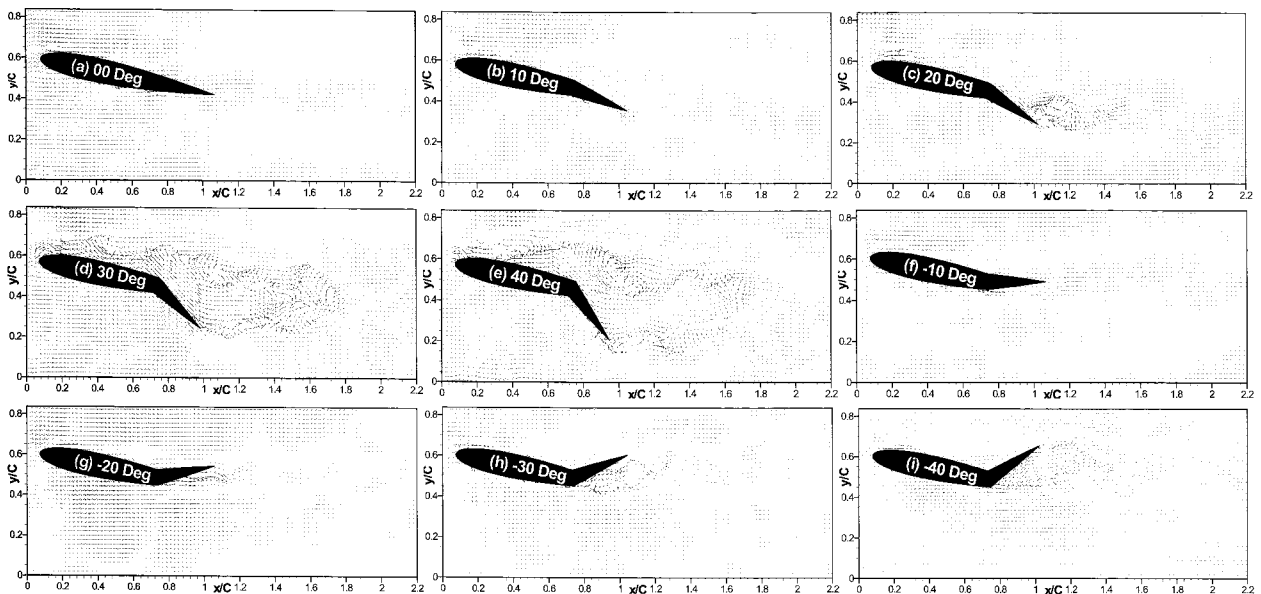


Fig. 5 Instantaneous velocity field around a flapped rudder at $\alpha=10^\circ$

Fig. 6은 영각을 10도로 고정하고 플랩각만을 시계방향과 반시계방향으로 증가시키면서 플랩타 후방의 속도분포를 Fig. 3과 동일한 지점에서 자유유동 방향과 수직방향에 대해 추출한 결과이다. Fig. 6(a)는 시계방향(양)으로 플랩각을 증가함에 따라 자유유동 방향으로 평행한 u성분을 추출한 결과이다. 플랩각의 증가분에 비례하여 u성분이 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나, Fig. 6(c)에서는 반시계방향(음)으로 플랩각을 증가시켰을 경우, 플랩각 30도를 경계로 u성분의 분포가 달라지고 있다. 전체적인 경향을 보면 플랩각을 반시계방향으로 변화시켰을 때는 그 효과가 미소함을 알 수 있다. v성분 분포를 보면 Fig. 6(b)는 Fig. 3(b)와 크게 차이가 없으나 Fig. 6(b)의 경우는 $y/c=0.4$ 에서 플랩각이 증가할 수록 v성분이 증가하다가 다시 회복하는 유동패턴을 보였다.

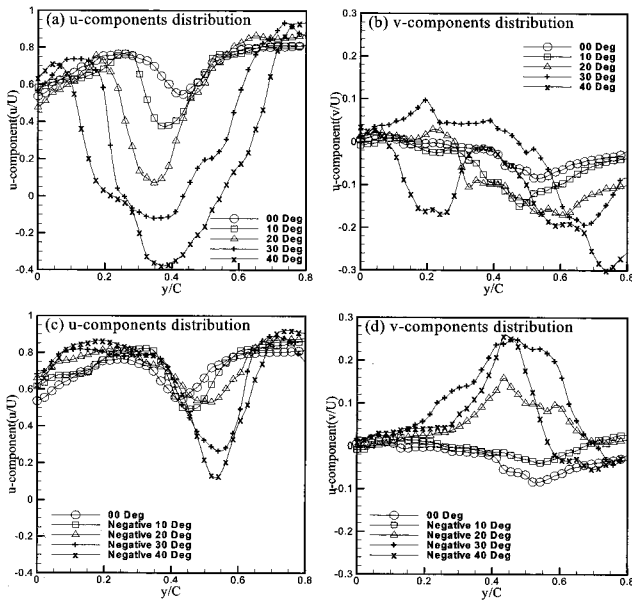


Fig. 6 Velocity distribution behind flapped rudder ($\alpha=10^\circ$)

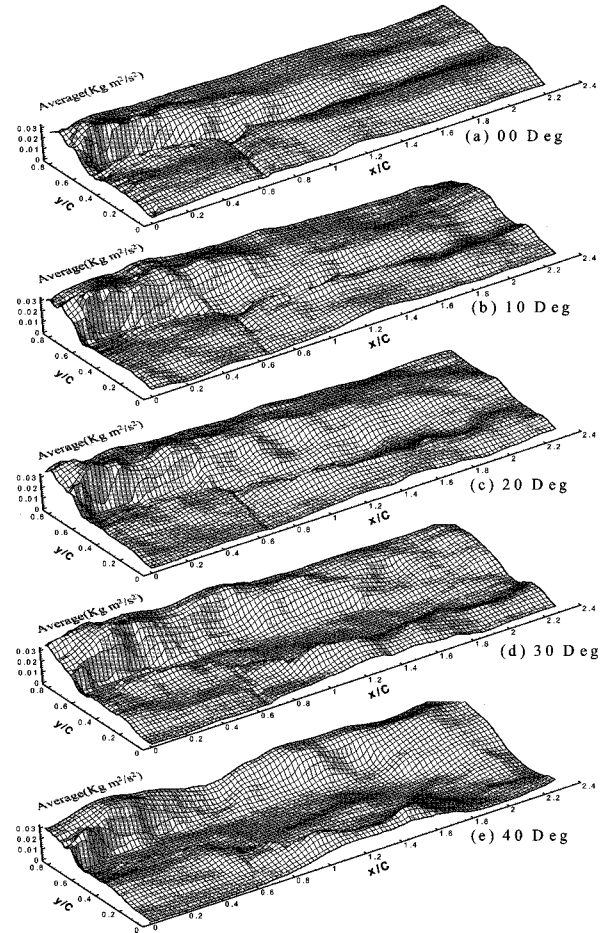


Fig. 7 Kinetic energy around flapped rudder ($\alpha=10^\circ$)

Fig. 8은 영각을 20도로 증가시킨 상태에서 플랩각을 시계방향(양)과 반시계방향(음)으로 변화시켜 나타낸 결과이다. Fig. 8(a)와는 달리 유동박리가 전연부에서 일어나고 경계층도 플랩을 조작하지 않은 Fig. 8(a)에서 부터 넓은 영역에 걸쳐 발생하고

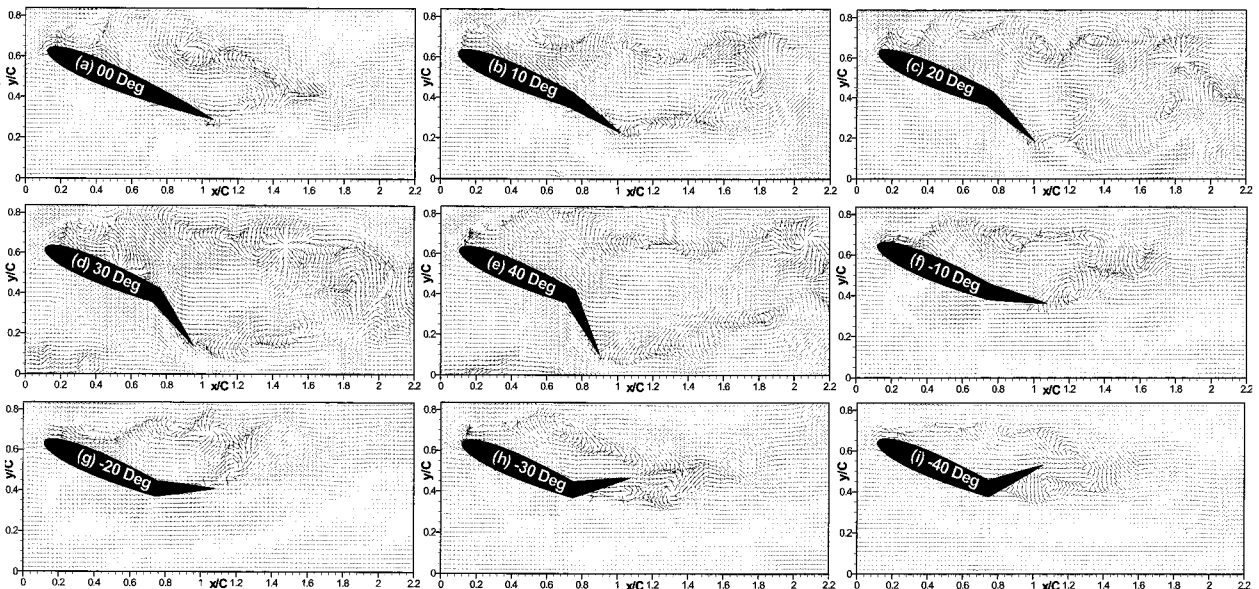


Fig. 8 Instantaneous velocity field around a flapped rudder at $\alpha=20^\circ$

있다. 박리되는 위치는 전연부에서부터 시작하여 플랩각의 변화와는 관계가 없음을 알 수 있다. 그러나 경계층의 변화는 플랩각의 증감에 따라 경계층 영역도 비례적인 형상을 보이고 있다. Fig. 8(f)-(i)를 Fig. 8(a)와 비교하면 플랩을 반시계방향으로 증가시 경계층 영역이 미소하게 감소하는 경향을 보이고 있으나 전체 경계층과 박리점 이동에 크게 영향을 주지는 못하고 있다.

운동에너지가 상대적으로 강하게 발생하고 있다. Fig. 10(c)(d)(e)에서는 플랩각을 20도에서 40도까지 증가함에 따라 상부에서 강하게 발생하던 운동에너지가 감소하는 결과를 보여 주고 있다. 전체적으로 Fig. 10에서는 박리가 발생하는 전연부에서는 일정한 운동에너지가 발생하고 있다.

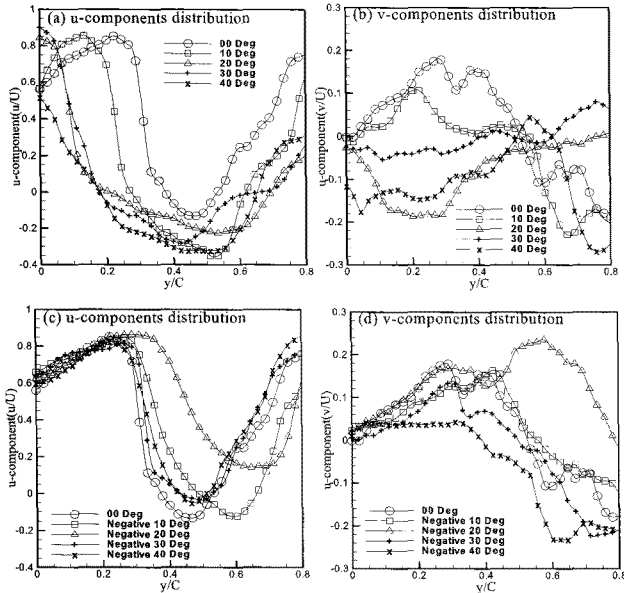


Fig. 9 Velocity distribution behind flapped rudder ($\alpha=20^\circ$)

Fig. 9는 영각 20도에서 Fig. 6과 동일한 지점에서 플랩타 후류의 유속분포를 알아보기 위하여 수평 및 수직 속도성분을 추출하여 비교 분석한 결과이다. Fig. 9(a)는 플랩각을 시계방향으로 증가시켰을 때 전체적으로 $y/c=0.3$ 에서 $y/c=0.6$ 구간에서 낮은 속도분포를 보이고 있다. 즉 플랩타의 변화에 크게 변화를 보이지 않고 전체적으로 동일한 유동패턴이 나타났다. Fig. 9(c)는 플랩각을 반시계방향으로 변화시킨 경우를 비교한 결과로 플랩각 -20 도에서 속도감소 구간이 자유수면 쪽으로 이동한 점을 제외하고는 모두 비슷한 결과를 보이고 있다. 그러나 수직 속도성분의 분포를 나타내는 Fig. 9(b)(d)에서는 Fig. 6의 영각 10도에서와 다른 속도분포를 보이고 있다. Fig. 9(b)에서 $y/c=0.5$ 지점에서 자유유동에 수직인 성분은 플랩타의 변화에 관계없이 모두 0의 값에 수렴하고 있다. 또한 Fig. 9(d)의 경우를 보면 $y/c=0.3$ 지점까지는 증가하다가 감소하는 속도구배가 역으로 바뀌는 지점으로 플랩타 하부보다 상부에서 낮은 속도 분포를 보이는 결과를 보이고 있다. 즉 영각 20도의 경우, 플랩에 의한 자유유동에 수직인 속도성분의 분포는 전체적으로 플랩러더 하부에서 높고 상부에서 낮은 속도분포를 보이고 있어 항력에 의한 측압력을 예상할 수 있는 결과이다.

Fig. 10은 영각 20도에서 플랩각을 시계방향(양)으로 증가시 나타나는 플랩타 주위의 운동에너지 분포를 나타낸 것이다. Fig. 10(a)(b)의 경우, 플랩각 10도 이내에서는 플랩러더 상부에서

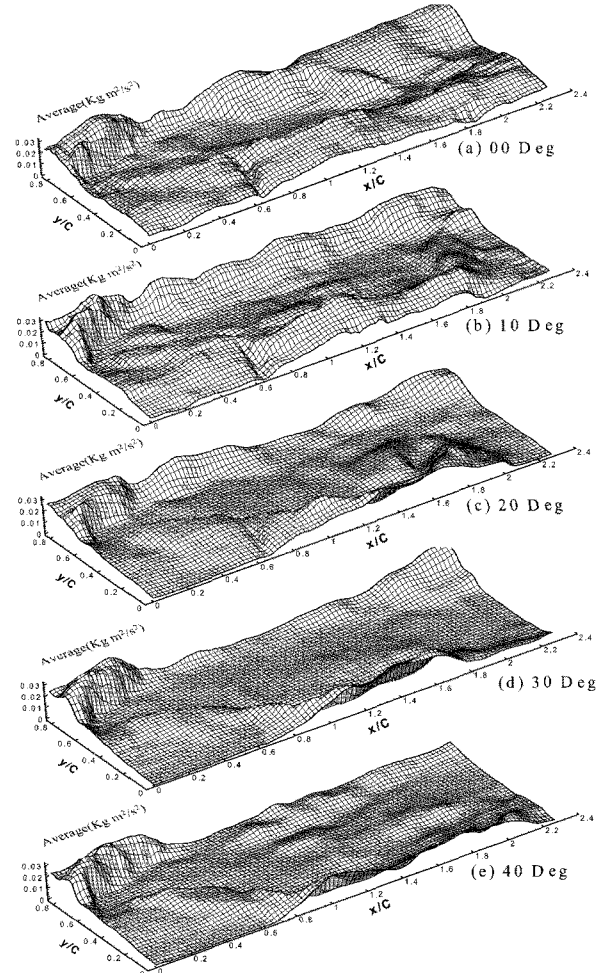


Fig. 10 Kinetic energy around flapped rudder ($\alpha=20^\circ$)

4. 결론

조종성 향상을 위해 적용되는 플랩러더의 성능평가를 위해 $Re=3.0 \times 10^4$ 에서 영각 10도와 20도에서 속도 및 에너지 분포를 플랩각을 변수로 PIV기법을 이용하여 측정하고 전통적인 단동타와 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

영각 10도의 단동타에서는 박리발생이 없고 러더 상부의 빠른 속도분포로 인해 양력이 증가하는 원인으로 작용하였다. 플랩각을 증가함에 따라 전연부로 박리점이 이동하면서 경계층영역이 증가하여 플랩러더 상부 속도성분을 낮추고 와의 생성을 증가시키는 결과를 보였다. 즉 플랩의 조작만으로 박리점을 전연부로 이동시키는 결과를 가져왔으며 박리로 인한 플랩러더 상부의 낮은 속도 분포는 양력보다는 항력을 증가시키는 결과를 낳았다.

참고 문헌

영각 20도에서는 플랩각의 변화와 무관하게 전연부에서 박리가 발생하면서 경계층에서 와의 생성·소멸이 활발하게 나타났다. 플랩효과는 자유유동에 평행한 방향의 속도성분에는 영향이 미소하며 수직인 속도성분에 영향을 크게 나타냈다.

플랩러더 주위의 운동에너지 분포는 플랩각의 조작에 따라 달라지며 와의 운동이 활발한 플랩러더 상부에서 낮은 운동에너지분포를 나타냈다. 즉 운동에너지의 감소 영역에 대해 영각 10도와 20도를 상호비교하면, 플랩타의 증가에 따라 양력보다 항력을 증가시켜 전체 플랩러더의 축압력으로 작용하는 것으로 나타났다.

결론적으로, 플랩러더는 영각 10도에서는 양력에 의한 타압력의 형태로 작용하고, 영각 20도에서는 항력이 양력보다 큰 성분으로 작용하여 타직압력으로 작용한다는 결론을 얻을 수 있었다. 따라서 조종성향상을 위한 플랩러더 적용에 있어서 양·항력의 적절한 조합에 의한 축압력을 확보하는 방안이 요구되며, 플랩타를 반시계방향으로 조작시 전체 유동장에 미치는 영향이 미소하였다.

본 연구에서 다루지 못한 선체, 프로펠러 및 러더의 상호작용으로 인한 난류유동에서의 평가와 유입유속별 단계적 평가가 추가로 필요하다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

- [1] 김옥석(2003), “조종성향상을 위한 플랩러더의 모델실험에 관한 연구”, 목포해양대학교 석사학위 논문.
- [2] 손경호, 김진형, 김현수, 김윤수, 하문근(1997), “특수타의 채택이 침로 안정성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구”, 대한조선학회논문집, 제34권 제3호, pp. 27-38.
- [3] 안해성, 김효철(1999), “플랩이 부착된 타에 미치는 물 제트 분사효과에 관한 실험적인 연구”, 대한조선학회논문집, 제36권 제1호, pp. 22-29.
- [4] 이경우, 최희중, 이승건(2005), “플랩을 갖는 날개 주위의 유동특성과 PIV해석에 관한 연구”, 한국항해항만학회지 제29권 제6호, pp. 509-513.
- [5] 현범수, 최경신, 도덕희(2000), “PIV를 이용한 수중의 주위 복잡유동장의 정량적 계측”, 대한조선학회논문집 제37권 제3호, pp. 37-44.
- [6] Kerwin, J., Mandel, P., and Lewis, S.(1972), “An Experimental Study of a Series of Flapped Rudder”, Journal of Ship Research, Vol. 16, No. 4, pp. 225-234.
- [7] West, G. S. and Apelt, C. J.(1982), “The Effects of Tunnel Blockage and Aspect Ratio on the Mean flow Past a Circular Cylinder with Reynolds Numbers between 10^4 and 10^5 ”, J. Fluid Mech, Vol. 114, pp. 361~377.

원고접수일 : 2008년 10월 22일

심사완료일 : 2008년 12월 23일

원고채택일 : 2008년 12월 26일