

동일입자추적기법을 이용한 트랜섬선미 후류 난류유동특성에 관한 연구

이경우* · 김옥석**†

* 목포해양대학교 해양시스템공학부, ** 목포해양대학교 해양시스템공학부 연구원

A Study on the Turbulent Flow Characteristics in the Wake of Transom Sterns using PIV Method

Gyoung-Woo Lee* · Ok-Sok Gim**†

* Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, Mokpo National Maritime Uni. Mokpo, 530-729, Korea

** Researcher, Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, Mokpo National Maritime Uni., Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 본 연구에서는 트랜섬 선미 후류 난류유동 특성을 알아보기 위하여 $Re = 3.5 \times 10^3$ 및 $Re = 7.0 \times 10^3$ 에서 2-프레임 그레이레벨 상호상관 PIV기법을 적용하여 실험을 수행하였다. 트랜섬 선미의 형상은 선저와 트랜섬이 이루는 각을 기준으로 45°(모델 A), 90°(모델 B) 및 135°(모델 C)로 구분하여 적용하였다. 모델의 침수깊이는 40 mm로 자유수면과 접하도록 설치하였다. 난류유동을 평균하여 난류강도, 레이놀즈 응력, 난류운동에너지에 대한 통계적 유동정보를 제공하였다. 난류강도는 자유수면과 모델의 하부 박리유동과의 상호작용으로 강하게 작용하며, 레이놀즈 응력과 난류운동에너지는 모델 C형(Raked transom)에서 낮은 분포가 나타났다.

핵심용어 : 트랜섬 선미, 입자영상유속계, 난류강도, 레이놀즈 응력, 평균유동장

Abstract : An experiment was carried out to figure out the turbulence flow characteristics in the wake of the transom stern's 2-dimensional section by 2-frame grey level cross correlation PIV method at $Re = 3.5 \times 10^3$, $Re = 7.0 \times 10^3$. The angles of transom stern are 45°(Model "A"), 90°(Model "B") and 135°(Model "C") respectively. The depth of wetted surface is 40mm from free surface. Strong turbulence intensity appears at the interaction between the flow separation of the bottom of a model and the free surface. This study provides statistic flow information such as turbulence intensity, Reynolds stress and turbulence kinetic energy. Model C type (Raked transom) has low Reynolds stress and turbulence kinetic energy.

Key Words : Transom stern, PIV(Particle Image Velocimetry), Turbulence intensity, Reynolds stress, Mean flow field

1. 서 론

트랜섬 선미는 저항을 감소시키기 위한 역학적인 측면이나 화물의 적재를 고려하는 공간적인 측면 그리고 선체 건조 측면에서 매우 우수한 형상을 가지고 있다. 선종과 목적에 따라 트랜섬 선미의 형상은 달라지며, 이로 인해 유동박리로 인한 후류 유동형태나 선미파의 프로파일이 달라진다. 이와 김(2001)은 정사각 실린더의 근접후류 영역에서 평균 난류특성치는 레이놀즈수의 변화에 따라 난류강도 및 레이

놀즈 응력분포에 상당한 차이를 보이며, 박리 전단층의 천이의 유무에 따라 피크치의 발생위치가 달라진다고 발표하였다. 또한 난류운동에너지는 수직방향의 섭동성분이 지배적으로 작용하고 이는 주기적인 와유출에 따른 유사난류의 영향으로 보고하였다.

배와 한(1999)은 난류운동에너지의 분배(Budgets) 특성에 대한 연구에서 난류운동에너지, 레이놀즈 응력, 평균속도 변화율이 난류운동에너지의 분배를 지배하고 있으며, 특히 핵반경 안쪽에서 레이놀즈 응력과 평균 속도변화율이 난류생성의 주도적인 역할을 하면서 생성항이 소산항과 균형을 이루면서 난류운동에너지 분배를 구성한다고 보고하였다. PIV기법을 이용한 해양구조물에 대한 연구로 오 등(2011)은

* 대표저자 : 종신회원, kwlee@mmu.ac.kr, 061-240-7307

† 교신저자 : 정회원, domingo@mmu.ac.kr, 010-2614-3001

선체의 표면거칠기에 대한 실험적인 방법을 적용하여 오손에 의한 저항발생의 메커니즘을 제시하였으며 조(2008)는 수중 장애물의 하부틈새 크기에 따른 하류 유동장에 대한 연구를 통해 재순환 영역의 중심이동에 대해 보고하였다. 이와 김(2011)은 선행연구로 트랜섬선미 후류 점성유동장의 PIV계측에서 순간유동장에 대한 고찰과 와류형태 및 이동에 대한 기초연구를 수행하였다.

김과 장(2004)은 유선형 물체의 후류에서 경계층 유동조건에 따른 레이놀즈 응력분포를 비롯한 난류성분을 측정하고 상사성에 대해 조사하였다. 대칭구조의 근접후류에서 난류성분은 물체 끝 형상과 불연속성에 의한 층류 전단응력의 손실과 점성저층영역의 영향을 받으며 비대칭구조의 근접후류에서는 레이놀즈 전단응력은 상사성이 성립되지 않는 특성에 대해 보고하였다.

Yamano et al.(2003)은 트랜섬 선미형상과 선미파 저항에 대한 연구에서 선미 침수면적은 선미조파저항을 최소화하기 위해 횡타센터 높이, 정수중 선미 침수면적 및 선저와 트랜섬선미와 경사각도를 고려하여 설계해야 한다고 보고하였다. Kyoung and Bai(2004)은 트랜섬 선미를 가지는 고속선에 대한 수치해석에서 수직벽 형태의 단순화한 선형모델을 이용하여 고속 항주 중 트랜섬 선미의 자유수면 문제에 대한 노출된 트랜섬 선미 조건에 대한 수치적 해를 구하는 방법을 제시하였다. 김과 박(2008)은 트랜섬 후방의 파도는 선미파의 형성에 중요한 역할을 하기 때문에 조파저항에 영향을 끼치며 또한 수면의 높이에 따라 배의 전진방향으로 작용하는 트랜섬 끝 단면에서의 압력 기여분이 크게 달라지므로 선박의 저항성분에 선미파의 형상과 높이가 매우 중요한 인자이다.

트랜섬선미에 대한 선행연구로 침수면적과 노출된 면적에 의한 조파저항에 계측하여 최적 선미조건을 제안하는 등의 연구가 주로 이루어지고 있다. 이에 부가하여 침수된 선미에서 발생하는 난류는 속도, 압력 및 온도 등의 물리량들이 시·공간적으로 진동하는 불규칙적인 유체적인 에너지교환 과정에서 선미 침수면적에 대한 거시적인 유동구조를 파악하여 평균유동장과 섭동성분에 대해 시·공간적 해석을 필요로 한다.

본 연구에서는 트랜섬선미 후류의 난류유동특성을 알아보고자 Fig. 1과 같이 대표적인 트랜섬선미 형상을 일반화하여 난류강도, 수직응력, 레이놀즈 전단응력, 난류운동에너지 및 평균유동장 등의 통계적 특성을 계측하였다. 이를 통해 트랜섬선미 형상별 후류 난류유동에 대하여 PIV기법을 이용하여 평가하고, 향후 선미부가물의 적용에 있어서 선행연구로 활용하고자 한다.

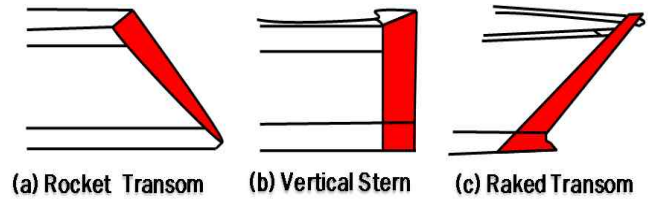


Fig. 1. Illustrations of the realistic Transom stern model. (a) Rocket Transom, (b) Vertical Stern Transom, (c) Raked Transom.

2. 실험장치 및 조건

Fig. 2는 트랜섬 선미 후류 유동정보 계측을 위한 적용한 PIV시스템의 개략적인 구성도이다. 광원은 직진성과 반사성이 우수한 500 mW의 광다이오드를 집적화한 2차원 광원을 계측영역에 조사하여 1.0L×0.3B×0.3D m³의 회류수조영역에서 실험을 수행하였다. Table 1과 같이 회류수조 내 유체의 온도는 19 °C 전후의 청수를 사용하였다. PVC입자는 비중이 1.02로 일정한 크기를 선별하여 실험에 적용하였다. 트랜섬 선미가 선저와 이루는 각은 45°, 90° 및 135°를 각각 모델 A, B, C로 Fig. 3과 같이 일반화하였다. 모델 후류 계측영역으로는 트랜섬 선미 침수깊이(D = 40 mm)의 7배 후반까지 유동정보를 계측하였다. 모델의 침수깊이(D = 40 mm)에 기초한 레이놀즈수는 $Re = 3.5 \times 10^3$ $Re = 7.0 \times 10^3$ 로 회류수조와 모델형상에 따라 성능평가에 적합한 균일한 유입유동을 적용하였다.

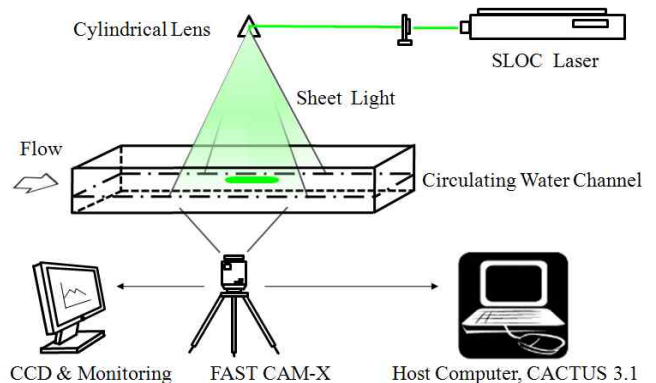


Fig. 2. Schematic arrangement of PIV system.

Table 1. Experimental condition

Item	Specification
Light source	SLOC Lasers(GL 532 H - 500 mW)
Sheet light	Cylindrical lens(Width ≃ 2 mm)
Working fluid	Fresh water(19 ± 1 °C)
Time resolution	125 FPS
Particle	PVC(ρ : 1.02, φ : 150 μm)

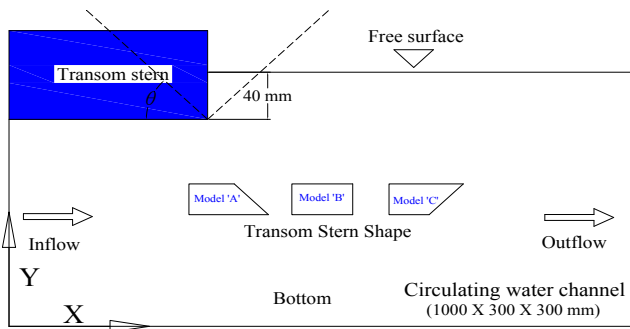


Fig. 3. Coordinate system and model setup.

본 실험에서 나타날 수 있는 불확실한 요소로는 크게 전기잡음, 계측오차, 광원오차, 유입유동의 대류속도 등이 있다. 여기서 전기잡음과 계측오차에 의한 불확실성은 미소하여 무시할 수 있는 성분이다. 광원의 레이저는 파장이 매우 짧아서 계측에서 나타날 수 있는 불확실성은 매우 미소하다. 모델을 설치하지 않고 회류수조의 균일한 유입유동을 PIV시스템을 이용하여 획득한 속도정보를 계측하였다. 유입유동의 불확실성 계측을 위해 유입유속의 평가는 3단계로 조절하여 0.1 m/s, 0.25 m/s 및 0.4 m/s와 같다. 유입유동의 불확실성은 동일입자추적에 의해 Table 2와 같이 0.005이하의 편차를 나타냈다. 총 1,000프레임을 평균한 결과 전체 동일입자추적 과정에서 발생한 에러율은 평균 4%이하로 나타났다.

Table 2. Measurement uncertainties of u-component measured by PIV system(Units : m/s)

Source	Average	R.M.S.	Min.	Max.
	0.11042	0.00540	0.10338	0.11851
Δu	0.25393	0.00274	0.25027	0.26133
	0.40153	0.00288	0.39878	0.40907

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 4는 $Re = 3.5 \times 10^3$ 에서 트랜섬 선미 모델별로 시간평균 난류강도의 등분포도를 나타낸 것이다. 난류강도는 속도 성분과 함께 유동장을 지배하는 유동특성으로 총 1,000 프레임의 순간 유동정보를 평균하여 각 격자점에서 식(1)로 구해진다.

$$\text{시간평균 난류강도} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\sqrt{(u'^2 + v'^2)/2}}{\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}} dt \quad (1)$$

(여기서, u', v' : 속도섭동성분, \bar{u}, \bar{v} : 시간평균 속도성분)

분포형태를 살펴보면 모델 A형에서 난류강도는 모델 B형과 모델 C형보다 근접한 $x = 250 \text{ mm}$ 지점 이내에서 발생하고 있다. 모델 끝단 하부에서 유동박리가 발생한 곳에서 강하게 시작하여 후방으로 갈수록 자유수면에 근접한 부분으로 이동하면서 소멸되는 특징을 보인다. 모델 B형에서 가장 큰 값의 난류강도가 나타났으며, 하류로 길게 분포하며 강도면에서도 큰 구조를 보였다. 또한 난류강도는 자유수면에 접하는 부분에서 강한 분포를 나타냈다.

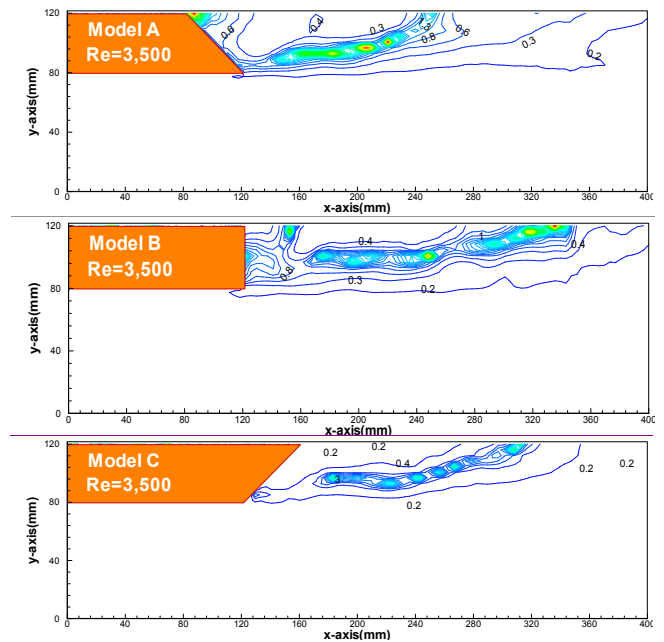


Fig. 4. Contours of the Time-mean turbulence intensity at $Re = 3.5 \times 10^3$.

Fig. 5는 $Re = 7.0 \times 10^3$ 에서 트랜섬 선미의 모델별로 시간평균 난류강도의 등분포도를 도시한 결과이다. 트랜섬 선미 모델 후류에서 난류강도의 크기는 유속에 비례하여 증가하

였다. 모델 A형에서는 $Re = 3.5 \times 10^3$ 에 비해 난류강도가 3배 증가하여 자유수면에 접하는 $x = 250$ mm 지점에서 나타났다. 트랜섬 선미 끝단에서 유동박리되어 자유수면과 상호작용으로 인해 난류강도가 크게 나타난 형태를 보이고 있다. 모델 B형에서는 트랜섬 하부에서 박리된 성분이 하류로 길게 이어지는 특징을 보이고 있다.

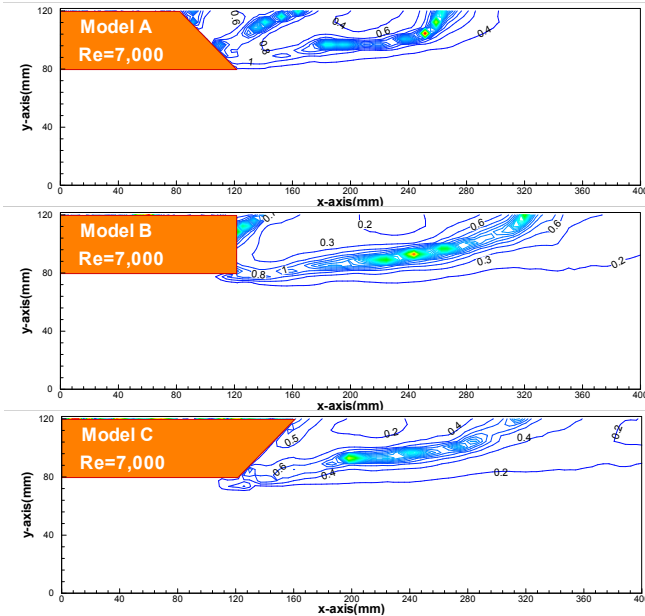


Fig. 5. Contours of the Time-mean turbulence intensity at $Re = 7.0 \times 10^3$.

Fig. 6은 $Re = 3.5 \times 10^3$ 에서 트랜섬 선미 모델별로 레이놀즈 수직응력의 등분포도를 도시한 결과이다. 유입유동에 수직인 방향으로 작용하는 응력으로 순간 유동정보를 평균하여 각 격자점에서 식(2)로 구해진다.

$$\overline{\tau_{yy}} = -\frac{\rho}{T} \int_0^T v'v' dt \quad (v': \text{속도섭동성분}) \quad (2)$$

트랜섬 선미 후류유동은 주로 유동박리된 유체와 자유수면에서 유입된 유체간 상호작용을 통하여 모델 후방에서 매우 복잡하고 불안정한 형태의 난류가 나타난다. Fig. 4와 Fig. 5에서 살펴본 난류강도와 Fig 6과 Fig. 7의 레이놀즈 수직응력 분포특성을 살펴보면, 난류강도는 유동박리가 발생하는 모델 하부 끝단에서부터 자유수면으로 이어지는 나선형의 분포를 보이는 반면에 레이놀즈 수직응력은 모델 후방의 일정지점에서 강한 분포를 보인다. 모델 A형의 경우에 레이놀즈 수직응력 분포의 폭은 모델의 근접한 부분을 제외하고 하류 끝까지 일정한 형태를 유지하고 있다. $x = 245$

mm 지점에서 가장 큰 값이 나타났다. 레이놀즈 수직응력은 증가하다가 이 지점을 지나면서 소산되어 감소율이 증가하고 있다. 모델 B형의 경우에는 $x = 350$ mm 지점에서 최대 레이놀즈 수직응력 값이 나타났다. 마찬가지로 모델 끝단에서 낮은 수직응력분포를 보이다가 이 지점에 이르기까지 꾸준히 증가하는 분포를 보이고 있다. 모델 C형의 경우 $x = 277$ mm 지점에서 가장 높은 값이 나타났다. 세 종류 모델 모두 동일한 $x = 120$ mm 지점에서 유동박리되어 불규칙한 후류유동이 하류로 이동하는 과정에서 트랜섬 선미 형태변형에 따라 레이놀즈 수직응력 값이 가장 크게 나타난 지점이 확연한 차이를 보였다.

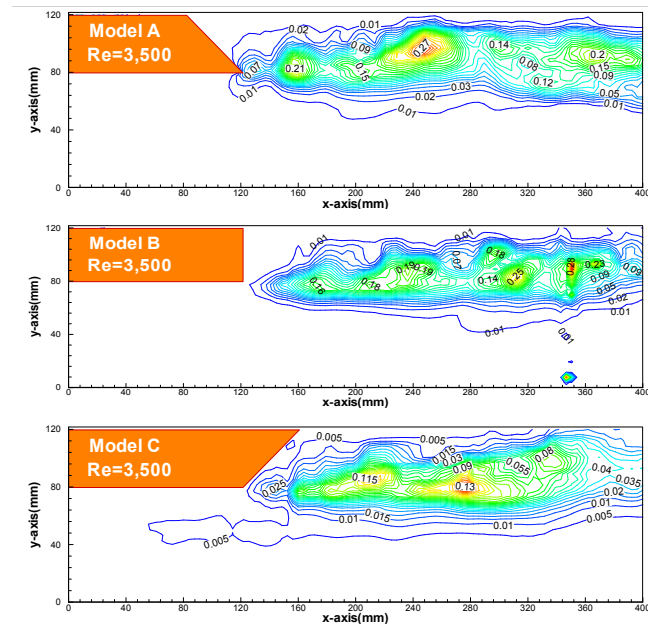


Fig. 6. Contours of the Vertical Reynolds normal stress at $Re = 3.5 \times 10^3$.

Fig. 7은 $Re = 7.0 \times 10^3$ 에서 트랜섬 선미 모델별로 레이놀즈 수직응력의 등분포를 도시한 것이다. 모델의 형태에 관계없이 유입유동을 증가시키기에 따라 레이놀즈 수직응력의 값은 2배 이상 증가했다. 또한 상하로 분포하는 형상도 근접한 하류에서 비대하게 나타났다. 최대 레이놀즈 수직응력 값이 생성된 지점을 추적해 보면, 모델 A형은 $x = 220$ mm 모델 B형과 C형에서는 $x = 270$ mm 지점 부근으로 나타났다. 물론 Fig. 6의 경우에 최대값을 나타내는 지점이 전체적으로 하류로 이동하였다. 모델 C형의 경우에는 최대 레이놀즈 수직응력 값이 자유수면에 근접한 부근에서 나타났다. 레이놀즈 수직응력 분포에 대해서 Fig 6과 Fig. 7을 비교해 보면, 유입유속이 증가할수록 레이놀즈 수직응력 분포는 폭과 크기가 증가한다. 동일한 유속에서 응력값이 보다 하류에서

생성될수록 값이 크게 나타났다. 즉 트랜섬 선미에 근접한 지점에서 발생하는 레이놀즈 수직응력보다 하류에서 생성되는 레이놀즈 수직응력의 영향이 보다 크게 나타났다. 레이놀즈 수직응력의 최대값의 크기와 발생지점에 대해서는 Table 3과 같다.

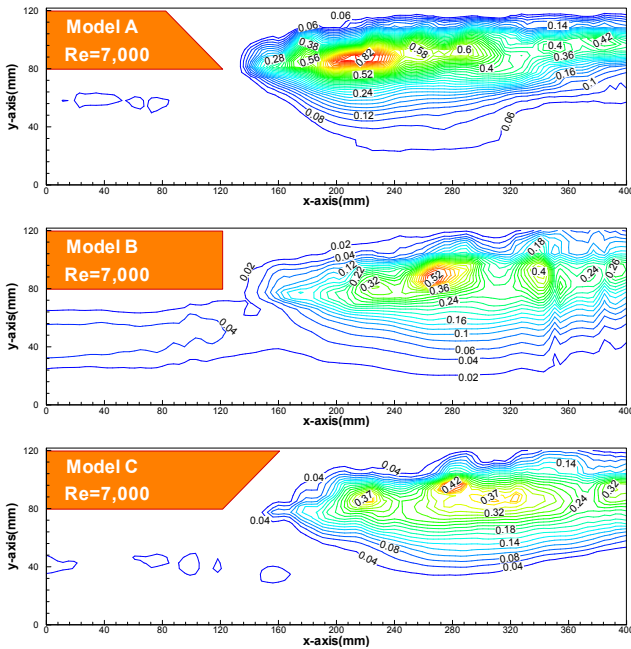


Fig. 7. Contours of the Vertical Reynolds normal stress at Re = 7.0×10³.

Table 3. Maximum values for major feature

Item	Model A (X,Y)	Model B (X,Y)	Model C (X,Y)	Remarks
Max. T.I. (Re=3,500)	6.844 (205,97)	9.246 (335,120)	6.475 (310,120)	Fig. 4
Max. T.I. (Re=7,000)	18.372 (250,105)	9.123 (245,93)	7.163 (200,93)	Fig. 5
Max. τ_{xx} (Re=3,500)	0.477 (195,85)	0.368 (120,75)	0.544 (140,75)	NIL
Max. τ_{xx} (Re=7,000)	3.475 (120,75)	4.107 (140,75)	4.066 (125,75)	NIL
Max. τ_{xy} (Re=3,500)	0.233 (250,95)	0.151 (315,80)	0.180 (275,80)	Fig. 8
Max. τ_{xy} (Re=7,000)	0.582 (225,90)	0.707 (260,90)	0.491 (215,80)	Fig. 9
Max. τ_{yy} (Re=3,500)	0.276 (246,97)	0.315 (350,90)	0.134 (277,80)	Fig. 6
Max. τ_{yy} (Re=7,000)	0.831 (220,87)	0.537 (270,88)	0.443 (278,96)	Fig. 7
Max. T.K.E (Re=3,500)	0.00032 (230,90)	0.00022 (220,80)	0.00029 (140,77)	Fig. 10
Max. T.K.E (Re=7,000)	0.00175 (118,77)	0.00207 (140,73)	0.00204 (129,73)	Fig. 11

Fig. 8은 Re = 3.5×10³에서 트랜섬 선미 모델별로 레이놀즈 전단응력의 등분포를 도시한 것이다. 각 지점에서 x, y방향의 난류성분의 상관관계에 의해 발생하는 응력으로 순간 유동정보를 평균하여 각 격자점에서 식(3)로 구해진다.

$$\overline{\tau_{xy}} = -\frac{\rho}{T} \int_0^T u'v' dt \quad (u', v': \text{속도섭동성분}) \quad (3)$$

레이놀즈 전단응력은 모델 하류에서 자유수면 영향, 유동 박리 및 점성 등의 원인으로 난류 운동량의 이동에 의해 유입유동에 저항하는 힘의 크기를 의미한다. 모델 A형에서 강한 성분의 레이놀즈 전단응력이 x = 250 mm 지점에서 밀집하여 나타났다. 가장 강한 응력값은 0.233으로 나타났다. 모델 B형에서도 x = 250 mm 지점 전후에서 강한 레이놀즈 전단응력이 나타났다. 다시 x = 320 mm 지점에서 강한 성분이 반복적으로 나타났다. 모델 C형에서는 x = 275 mm 지점에서 가장 큰 값의 전단응력 분포를 나타내며, 유입유동과 수직인 방향보다는 수평방향으로 길게 분포하는 특성을 보이고 있다.

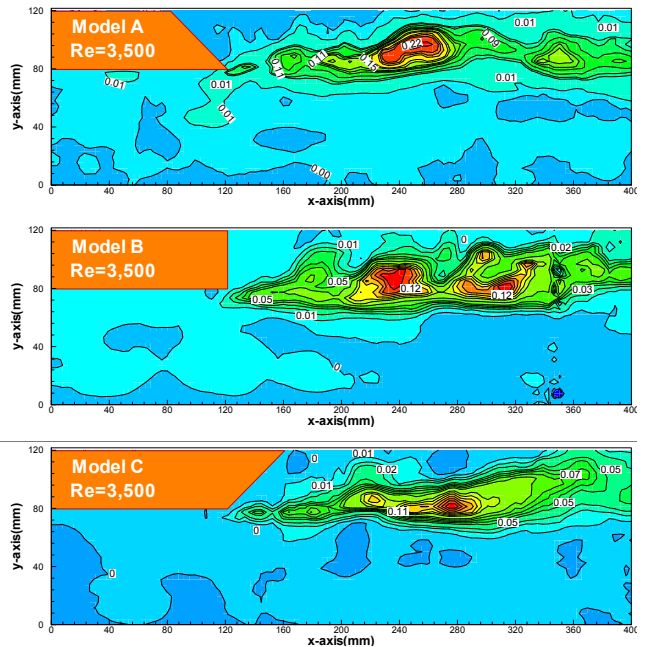


Fig. 8. Contours of the Reynolds shear stress at Re = 3.5×10³.

Fig. 9는 Re = 7.0×10³에서 트랜섬 선미 모델별로 레이놀즈 전단응력에 대한 등분포를 도시한 것이다. 모델 형태에 따라 크기는 달라지지만 유입유속을 증가시키에 따라 레이놀즈 전단응력의 값은 크게 증가했다. 분포 형태적인 특성으로는 모델 하부 박리점에서 시작하여 하류로 길게 나타

났다. 최대 레이놀즈 전단응력 값이 나타나는 지점을 추적해 보면 Table 3과 같이 모델 A형에서는 $x = 225$ mm, 모델 B형은 $x = 260$ mm 및 모델 C형에서는 $x = 215$ 로 각각 나타났다. 즉, Fig. 8과 비교하면, 최대 레이놀즈 전단응력 값은 레이놀즈수에 비례하며 생성지점도 근접한 지점으로 이동하였다. 모델 B형에서 0.707로 가장 강하게 나타났으며 모델 C형에서 가장 낮은 응력분포를 보였다.

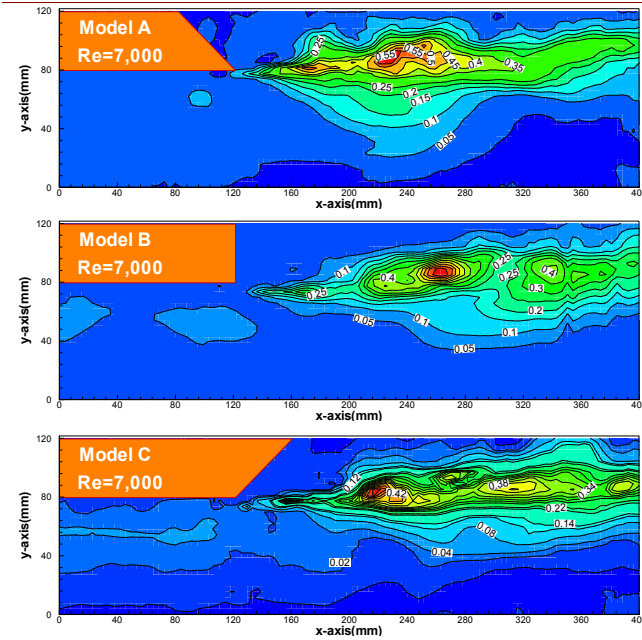


Fig. 9. Contours of the Reynolds shear stress at $Re = 7.0 \times 10^3$.

Fig. 10은 $Re = 3.5 \times 10^3$ 에서 트랜섬 선미 모델별로 난류 운동에너지의 등분포를 도시한 것이다. 각 지점에서 난류 운동에너지는 평균하여 각 격자점에서 식(4)로 구해진다.

$$T.K.E. = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{u'^2 + v'^2}{2} dt \quad (4)$$

모델 후류의 재순환영역을 포함한 근접후류영역에서 자유난류(Free turbulence)의 특징은 난류에너지 수송 및 분포에 관한 메커니즘에서 찾을 수 있다. 난류운동에너지는 교란된 섭동속도의 운동에너지를 의미하며 물리적으로 섭동속도의 RMS로 나타낼 수 있다. 모델 A형과 B형에서는 $x = 230$ mm 지점 부근에서 강한 난류운동에너지 분포가 나타났다. 이에 반하여 모델 C에서는 $x = 140$ mm 지점에서 난류운동에너지 분포가 크게 나타났다.

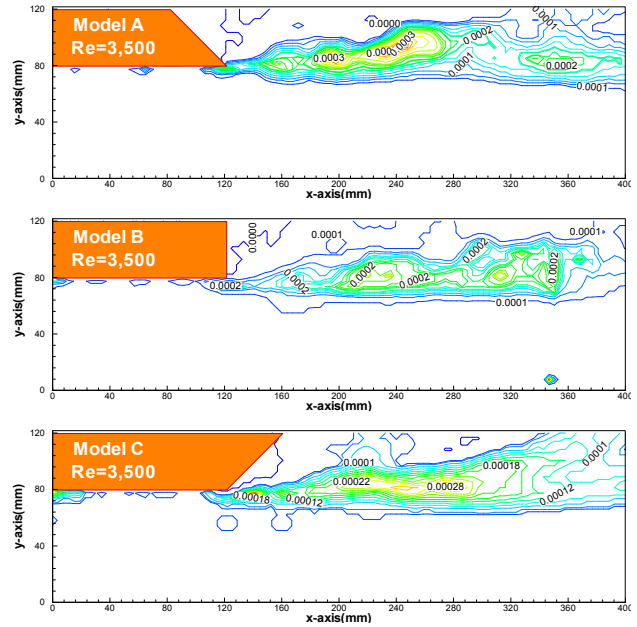


Fig. 10. Contours of the Turbulence kinetic energy at $Re = 3.5 \times 10^3$.

Fig. 11은 $Re = 7.0 \times 10^3$ 에서 트랜섬 선미 모델별로 난류 운동에너지의 등분포를 도시한 것이다. Fig. 10에 비하여 유입 유동이 증가함에 따라 전체적으로 난류운동에너지 분포는 트랜섬 선미에 근접한 부근에서 강하게 나타났다. 특히 모델 A형에서 난류운동에너지의 분포의 변화가 크게 나타나 근접한 후방으로 이동하는 특성을 보이고 있다. 모델 C형에서는 강한 난류운동에너지의 발생지점의 이동은 있으나 Fig. 10과 유사한 형태를 보이고 있다.

Fig. 12는 $Re = 3.5 \times 10^3$ 에서 트랜섬 선미 모델별로 유선을 도시한 것이다. 균일하게 유입되는 유동이 모델 끝단에서 유동박리와 모델 후방의 자유난류의 영향으로 급격한 속도 결손이 발생하고 있다. 모델 A형의 경우, 와의 생성은 모델의 근접한 지점에서 생성됐다. 하류로 길게 늘어진 형태로 대규모 와의 내부에 소규모 와의 형태가 확인되고 있다. 모델 B형에서는 와의 발생지점은 모델 A형과 비슷한 지점에서 생성되었으나 크기면에서 상당히 감소된 형태를 보이고 있다. 모델 C형에서는 모델 A,B형과 다르게 두 개의 와가 순차적으로 발생하는 형태를 취하고 있다.

Fig. 13은 $Re = 7.0 \times 10^3$ 에서 트랜섬 선미 모델별로 유선을 도시한 것이다. 유입유속을 증가함에 따라 와의 생성지점이 후방으로 이동하고 상대적으로 크기도 커지는 특성을 나타냈다. 전체적으로 와는 하류로 길게 늘어진 형태로 나타나며 모델 끝단 이후에서 속도결손이 와의 생성으로 크게 나타났다. 와의 생성지점은 모델 B형이 가장 하류에서 생성되었다.

Table 3은 본 연구결과를 통해 계측된 난류강도, 레이놀즈 전단응력, 레이놀즈 수직응력 및 난류운동에너지 분포에서 최대값의 크기와 발생지점을 추출하여 표로 정리한 결과이다.

레이놀즈 응력($\tau_{x,x}$)를 제외한 모든 물리량에서 모델 A타입과 B타입에서 강하게 나타났다.

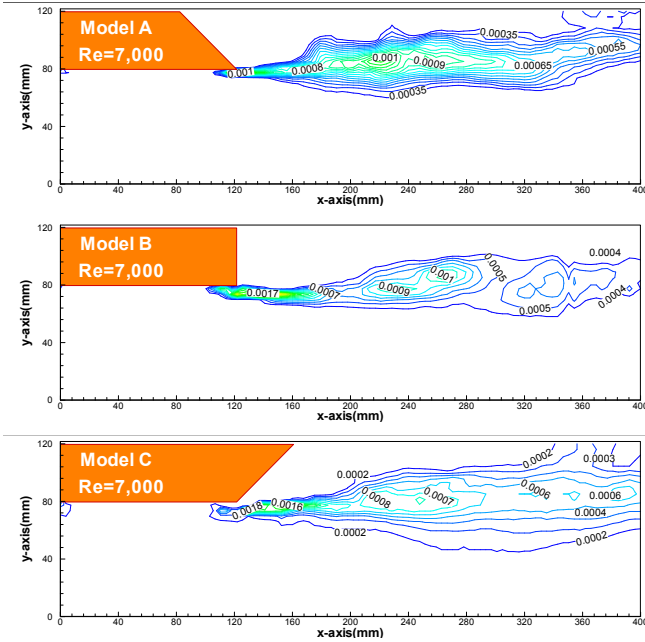


Fig. 11. Contours of the Turbulence kinetic energy at $Re = 7.0 \times 10^3$.

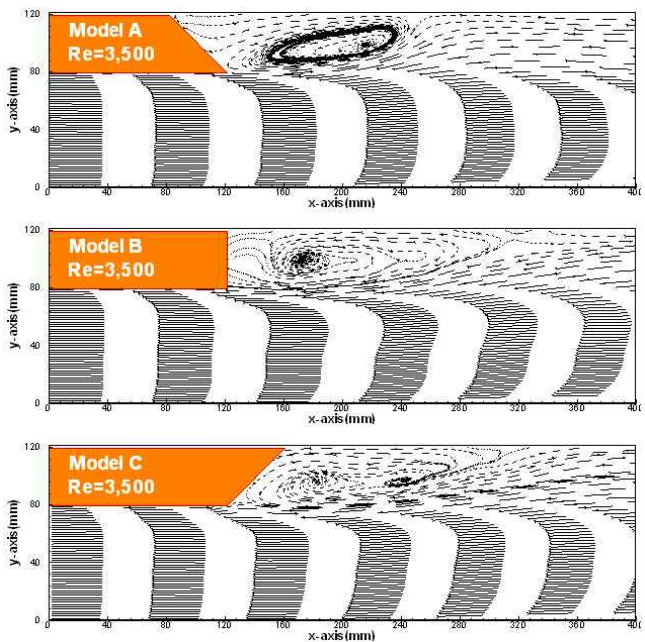


Fig. 12. Streamlines at $Re = 3.5 \times 10^3$.

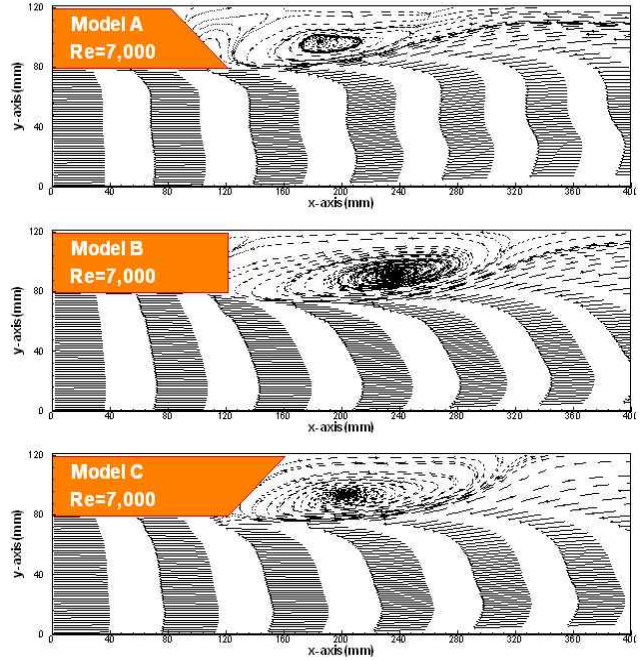


Fig. 13. Streamlines at $Re = 7.0 \times 10^3$.

4. 결론

트랜섬 선미 후류 유동 특성에 대한 기초연구로 레이놀즈 수 $Re = 3.5 \times 10^3$ 및 $Re = 7.0 \times 10^3$ 에서 난류강도, 응력분포, 및 난류운동에너지 특성 등을 알아보았다. 트랜섬 선미 형상을 선수 및 선미 방향으로 일반화하여 후류 유동특성을 분석한 결과 다음과 같은 난류의 분포특성을 이해할 수 있었다.

난류강도는 모델 하부의 유동 박리된 성분이 자유수면과 상호작용을 통해 강하게 나타났다. 유입유속의 증가에도 불구하고 모델 C형에서 낮고 안정적인 분포를 보였다. 또한 레이놀즈 전단응력과 난류운동에너지 특성에서도 모델 C형에서 낮은 응력과 운동에너지 분포가 나타났다.

레이놀즈 수직응력은 유입유속이 증가함에 따라 상류보다 하류에서 강한 성분이 밀집되어 나타나고, 그 값도 증가하였다. 즉, 트랜섬 선미에 근접한 지점에서 발생하는 레이놀즈 수직응력보다 하류에서 생성되는 레이놀즈 수직응력의 영향이 보다 크게 나타났다.

본 연구에서는 프로펠러 후류에서 발생하는 난류유동을 유입유동으로 적용하지 못하였다. 또한 선미 부가물(Flap, Wedge, Ducktail 등)이 트랜섬 선미 후류 유동에 미치는 영향과 선미파에 의한 영향 등에 대한 단계적인 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참 고 문 헌

- [1] 김동하, 장조원(2004), 평판 근접 후류에서 경계층의 유동조건에 따른 레이놀즈 응력분포, 한국액체미립화학회지, 제9권, 제4호, pp. 53-66.
- [2] 김우전, 박일룡(2008), 트랜섬 선미 후방의 점성 유동장 Topology 관찰, 대한조선학회논문집, 제42권, 제4호, pp. 322-329.
- [3] 배황, 한용운(1999), 고정익 끈와류의 난류 운동에너지 분배 특성, 대한기계학회논문집, 제23권, 제11호, pp. 1444-1452.
- [4] 이경우, 김옥석(2011), PIV기법을 이용한 트랜섬 선미 후류 점성유동장 계측, 한국해양학회지, 제35권, 제10호, pp. 805-810.
- [5] 이만복, 김경천(2001), PIV기법을 이용한 정사각 실린더의 근접후류에 관한 연구(Ⅱ : 난류유동 특성), 대한기계학회논문집, 제25권, 제10호, pp. 1417-1426.
- [6] 오대균, 오우준, 김도정, 이경우(2011), 직사각형 형상의 표면조도 변화에 의한 난류변동분 해석, 해양환경안전학회, 제17권, 제2호, pp. 167-172.
- [7] 조대환(2008), 수중 장애물의 하부틈새 크기가 하류 유동장에 미치는 영향, 해양환경안전학회, 제14권, 제4호, pp. 333-338.
- [8] Kyoung, J. H. and K. J. Bai(2004). A numerical method for a high-speed ship with a transom stern, J. Ship & Ocean Technology, Vol. 8, No. 3, pp. 8-17.
- [9] Yamano, T., Y. Kusunoki, F. Kurarani,, T. Ogawa, T. Ikebuchi and I. Funeno(2003). Effect of transom stern bottom profile from on stern wave resistance - an experimental study-, J. Kansai Soc. N. A., Japan, No. 239, pp. 1-10.

원고접수일 : 2012년 03월 06일

원고수정일 : 2012년 04월 30일

게재확정일 : 2012년 08월 24일