

# 소형 어선용 이중강판 방향타의 유체역학적 특성 조사

## Investigation on the Hydrodynamic Characteristics of Double Plate Steel Rudder for Small Fishing Boat

안남현\* · 박희승\*\*†  
N. H. An and H. S. Park

(접수일 : 2012년 06월 11일, 수정일 : 2012년 08월 24일, 채택확정 : 2012년 08월 27일)

**Key Words** : Appendage(부가물), Angle of Attack(받음각), Double Plate Steel Rudder(이중강판방향타), Drag(항력), Lift(양력)

**Abstract** : In this study, the numerical simulation has been performed to investigate the hydrodynamic evaluation between double plate steel rudder and newly designed foil type rudder for small fishing boat. The simulations are carried out in 2 speed ranges with 7 variations of flow's angle of attack which is at intervals of about 5 degree respectively. As the well-known commercial code, FLUENT and CATIA are used as the solver. The simulation results show that new designed foil type rudder is better than conventional double plate rudder in terms of Lift and Drag of running boat in the water.

### 1. 서 론

최근, 유가상승으로 고효율(high efficiency)의 개념은 선박 설계는 물론 운용 그리고 선체 부가물 설계(appendage)의 최대 변수로 부상되고 있다. 일반적으로 선박의 방향타(rudder)는 추진효율과 조종성능 관점에서 매우 중요하며<sup>1,2)</sup>, 현재 고효율 방향타를 상선에 적용함으로써 약 2%의 연료소모량을 감소시키고 있을 만큼 중요하다<sup>3)</sup>. 또한, 최근 해양레저용 고속정에서의 방향타의 유체역학적 특성 연구<sup>4)</sup> 등 상선과 해양레저용 보트에 대한 관련 연구는 꾸준히 되고 있다. 그러나 소형 어선의 경우, 상선에 비하여 운행 환경, 작업환경 그리고 안정성평가<sup>5,6)</sup> 기준이 다르므로 상선의 조타기 설계관점을 그대로 적용하기 힘들다. 뿐만 아니라 소형어선은 선체에 최적화된 방향타를 사용하기 보다는 모듈화 된 제품을 사용하는 경우가 많다. 이런 이유로 아직까지 소형어선의 방향타에 관한 체계적인 연구가 수행되지 못하고 있다.

일반적으로 소형 선박의 크기와 마력에 따라 단일

강판방향타(단판타, Single plate steel rudder)와 이중강판방향타(복판타, Double plate steel rudder)를 장착하게 되고 주로 단강판과 탄소주강을 사용하고 있다. 복판타의 경우 커플링볼트(Coupling bolts)에 의하여 두 개의 판이 결합되어 있는 형태로, 수직판(main piece)과 보강용 수평 판(plate)을 이용하여 단면의 강도를 보강하고 있다. 그러나 이러한 복판타는 타(rudder) 주위의 유동이 매우 복잡해지고 다수의 커플링볼트로 인하여 유동박리(Flow separation) 현상이 발생하고 있다. 또한 선회시 보강용 플랜지로 인한 항력(Drag)이 증가하고 소형선박의 주요한 기진원이 된다.

따라서 본 연구에서는 현재 흔히 보급되어 있는 소형 어선용 이중강판방향타(Type # 1)와 최근 이를 대체할 목적으로 시험운항중인 동일 평균 두께, 동일 높이를 가진 포일형 방향타(Type # 2)와의 유체동역학적 성능을 비교 평가하였다. 본 연구에서는 방향타의 3차원 모델링 및 해석을 위하여 범용 프로그램인 CATIA와 Fluent를 사용하였으며 해석조건으로는 2

\*\*† 박희승(교신저자) : 중소조선연구원 성능연구팀  
E-mail : hspark@rims.re.kr, Tel : 051-974-5584

\*안남현 : 거제대학교 조선해양공학과

\*\*† H. S. Park(corresponding author) : Performance Research Team, Research Institute of Medium & Small Shipbuilding  
E-mail : hspark@rims.re.kr, Tel : 051-974-5584

\*N. H. An : Shipbuilding & Marine Engineering, KoJe College

가지 항해속도(10, 20kts)와 받음각 변화(0°~30°, 5°간격)를 바탕으로 수치해석을 수행하였다. 각각의 해석 경우를 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Flow Condition

Rudder Type	Velocity (knots)	Angle of attack (degree)
Type # 1	10, 20	0~30 (5° increment)
Type # 2	10, 20	0~30 (5° increment)

## 2. 모델링

Fig. 1에서는 2가지 형태의 방향타의 3차원 형상을 볼 수 있으며, 기존 복판타에는 2개의 보강용 플랜지와 6개의 커플링 볼트(Coupling bolts)가 결합되어 있다. 각각의 세부제원을 정리하면 Table 2와 같다

Table 2 Particulars of 2 types rudder

Designation	unit	Rudder Type	
		# 1	# 2
Scale ratio	$\lambda$	1.000	1.000
Area	A(m <sup>2</sup> )	3.631	2.610
Height	H(m)	1.590	1.540
Mean chord length	CM(m)	0.970	0.775
Mean thickness	T <sub>M</sub> (m <sup>2</sup> )	0.110	0.110
Wetted Surface Area	A <sub>T</sub> (m <sup>2</sup> )	3.631	2.610



Fig. 1 Rudder type (a) Type #1 (b) Type #2

방향타의 유체동역학적 수치해석<sup>7)</sup>을 수행하기 위하여 상용 프로그램인 Fluent를 사용하였으며, 3차원 비정상, 비압축성 점성유동을 고려하였다. 이에 대응하는 지배 방정식으로는 아래의 연속방정식(1)과

RANS(Reynolds averaged Navier-Stokes) 방정식 (2)으로 나타낼 수 있다. 속도 압력 연성은 SIMPLEC 방법을 사용하였으며, 대류항과 확산항은 2차 상류차분법과 2차 중심차분법을 각각 적용하였다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i}(-\overline{\rho u_i u_j}) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

여기서,  $x_i$ ,  $u_i$ ,  $p$ ,  $\rho$ 와  $\nu$ 는 직교좌표계, 속도성분, 압력, 밀도와 동 점성계수를 나타내고, 레이놀즈 응력항( $\overline{\rho u_i u_j}$ )은 Realizable  $k$ - $\epsilon$  난류모델을 적용하였다.

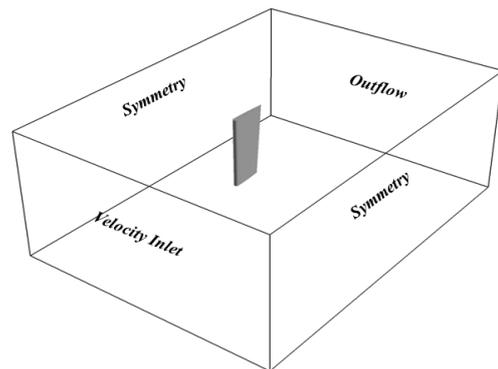


Fig. 2 Boundary condition

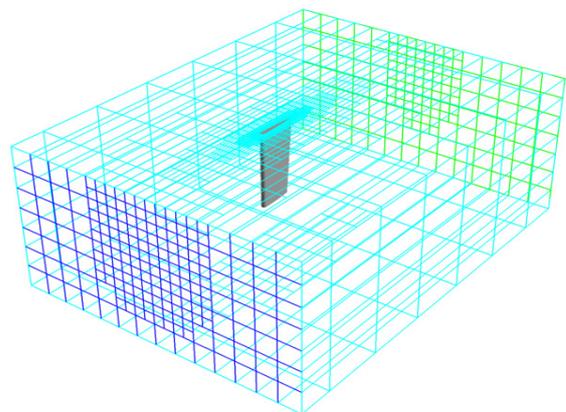


Fig. 3 Grid generation

수치해석에 사용된 격자수는 약 50만개를 사용하였는데 벽면에서 수직한 최소격자  $3.0 \times 10^{-3}$ 이고, 이는

무차원 벽단위로  $y^+=120$ 에 해당한다. 수치해석에 적용된 경계조건은 Fig. 4에 도시하였다. 입구영역은 속도에 대하여 Velocity inlet 조건을 사용하였으며, 출구영역 Outflow 조건을 적용하였다. 외부경계영역에서는 유체가 자연스럽게 나갈 수 있는 대칭(symmetry) 조건을 적용하였다. 수치해석에 사용된 계산영역은 방향타의 회전축을 중심으로 하여 유체가 들어오는 입구영역에서 유체가 빠져나가는 출구영역까지의 거리는  $-3.0 \leq X/C \leq 5.0$ 이며, 방향타의 상단 회전축부분을 중심으로 외부경계영역까지는  $-3.0 \leq X/C \leq 3.0$ ,  $-3.0 \leq X/C \leq 0.0$ 이다. 좌표계에 따라 생성된 전체 격자 형상은 Fig. 3과 같으며, 방향타 주위의 공간격자는 Fig. 4에 나타내었다. 또한, 받음각 변화에 따른 타에 작용하는 유체력을 기준으로 구조해석을 수행하였다.

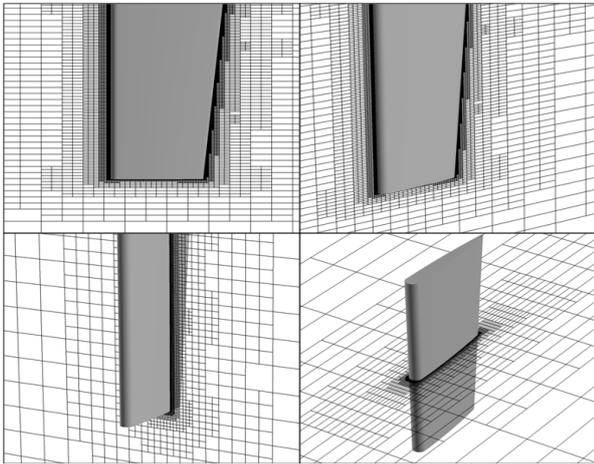


Fig. 4 Generated grid

### 3. 결과 및 고찰

Fig.5~8에는 2가지 형태의 방향타(이후 복판타: Type #1, 포일형 방향타: Type #2)에 작용하는 항력계수( $C_D$ ), 양력계수( $C_L$ ) 및 양항비( $C_L/C_D$ )를 기술하였다. Fig.5의 양력계수를 살펴보면, 받음각이 5°인 경우, 저속구간(10kts)에서는 Type #2 (0.136)가 Type #1 (0.120)에 비하여 우세함(12%)을 볼 수 있고, 받음각이 점차 커져 20°에 이르면 이 차이는 32%이상 발생된다. 더욱이 받음각이 20°~25° 사이 구간에서는 기존 Type #1은 오히려 양력이 감소함을 보였다. 이러한 현상은 Type #1의 복잡한 구조로 인하여 유동의 박리가 일찍 진행됨을 의미한다.

전반적인 양력의 추이는 고속(20kts)에서도 같은 경향을 띄게 된다. 다음으로 항력을 살펴보면, 저속

구간에서 받음각이 약 17° 이하에서는 Type #2의 항력이 작음을 알 수 있고, 받음각 20° 이상 구간에서는 Type #1의 값이 30% 가량 항력계수가 적음을 볼 수 있다. 이는 평판(plate)에 비하여 Type #2의 형상계수가 크음을 의미한다. 그러나 전반적으로 양항력 비에서 나타난 바와 같이, 25° 이하에서는 Type #2의 성능이 다소 앞선다.

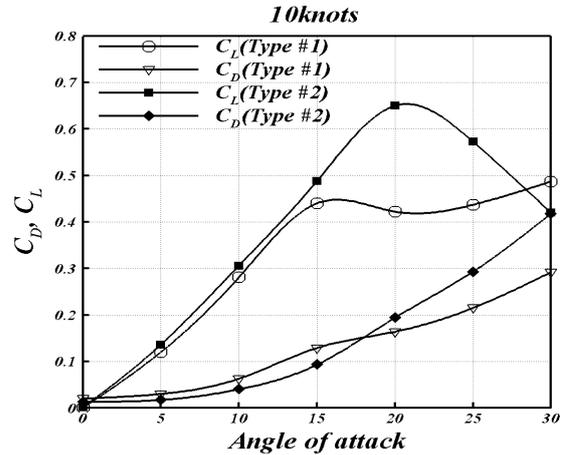


Fig. 5 Lift and Drag force Coefficient(10kts)

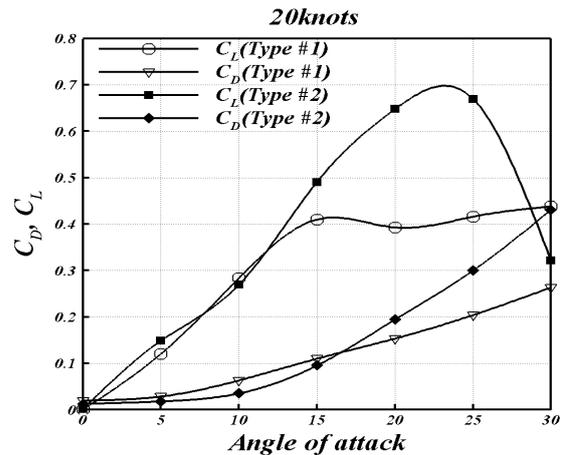


Fig. 6 Lift and Drag force Coefficient(20kts)

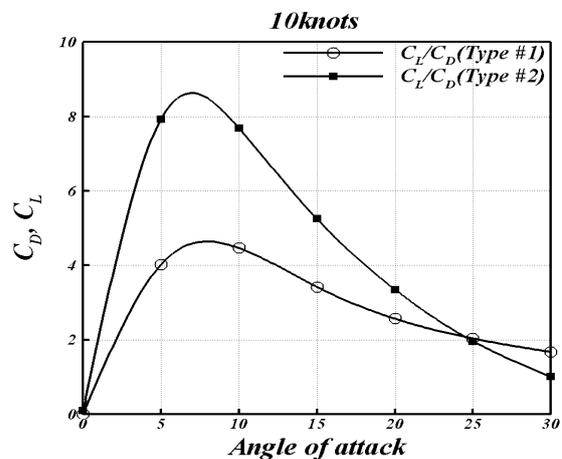


Fig. 7 Lift to Drag ratio(10kts)

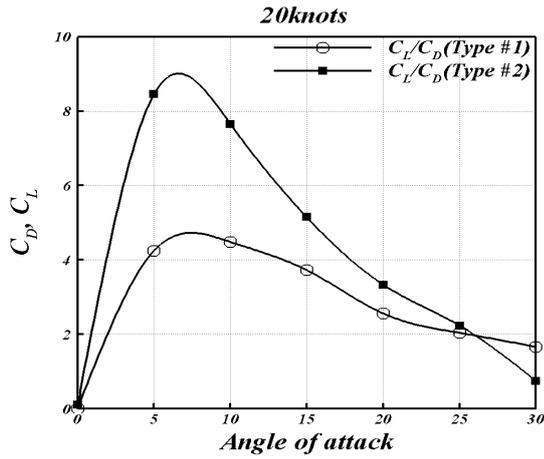


Fig. 8 Lift to Drag ratio(20kts)

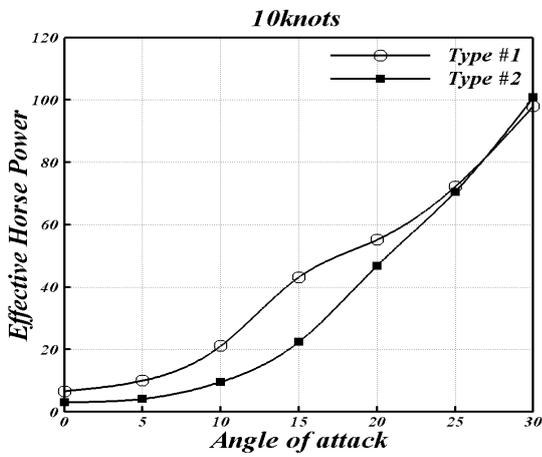


Fig. 9 Effective Power(10kts)

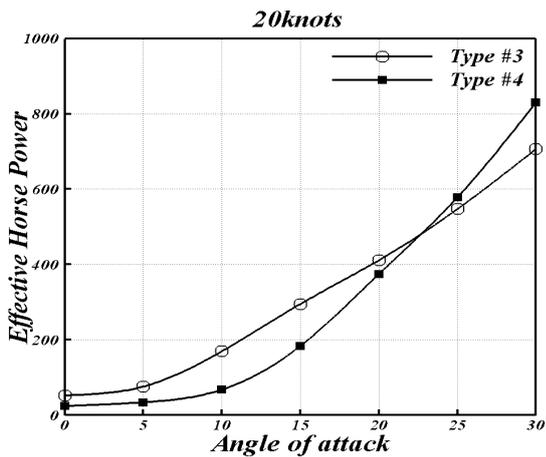


Fig. 10 Effective Power(20kts)

Fig 14, 16에서는 저속(10kts)과 고속(20kts) 운항 시에 받음각 변화에 따른 Type #1 주위의 유동을 가시화 한 결과를 도시하였다. 단면에 위치한 6개의 커플링 볼트(coupling bolt)를 중심으로 반류(wake)를 확인 할 수 있으며, 수평 보강 판 근방에서는 수평방

향의 강제 흐름을 관찰할 수 있다.

Fig 9, 10은 받음각 변화에 따른 타에 의한 추가 마력을 산정한 결과이며, Type #2의 경우, Type #1에 비하여 저속 구간(10kts)에서는 1.9배 정도 효율을 보이고 있다. 이는 Type #2의 단면적이 Type #1의 70%라는 점을 감안 하더라도 20% 가량 효율적임을 알 수 있다. 반면 25° 이상에서는 반대로 Type #1의 소요마력이 적어진다.

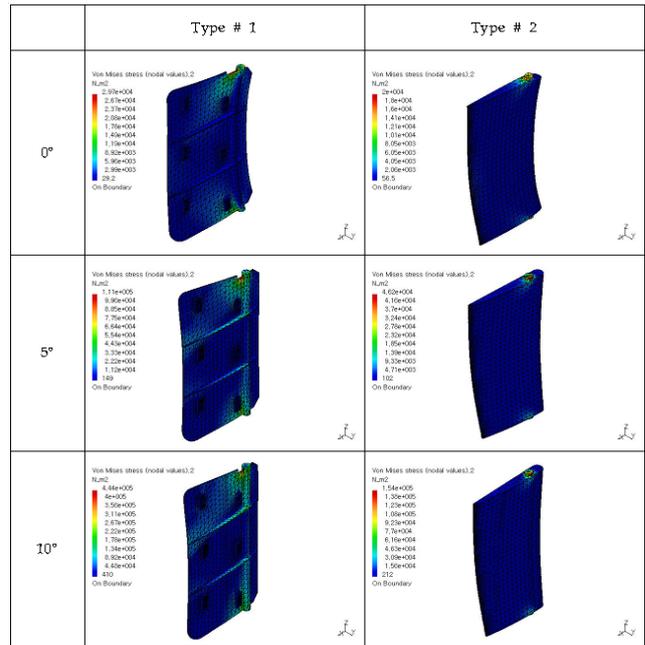


Fig. 11 Effective Stress Distribution(Type #1)

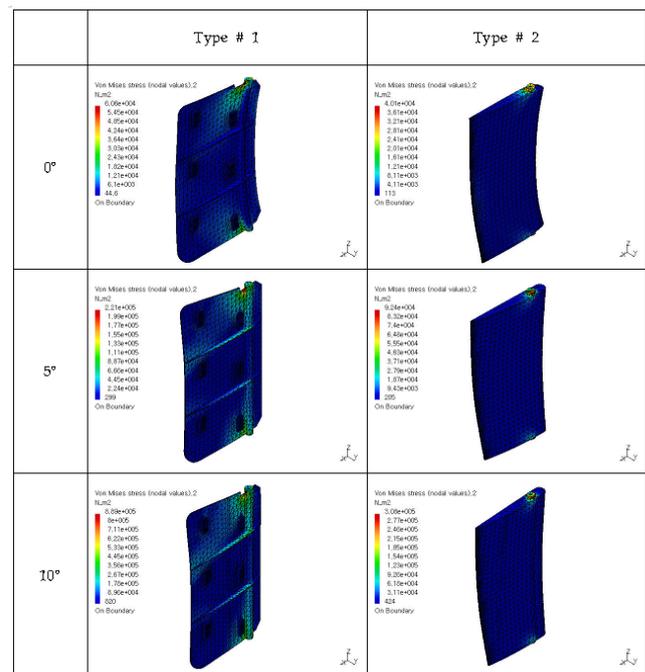


Fig. 12 Effective Stress Distribution(Type #2)

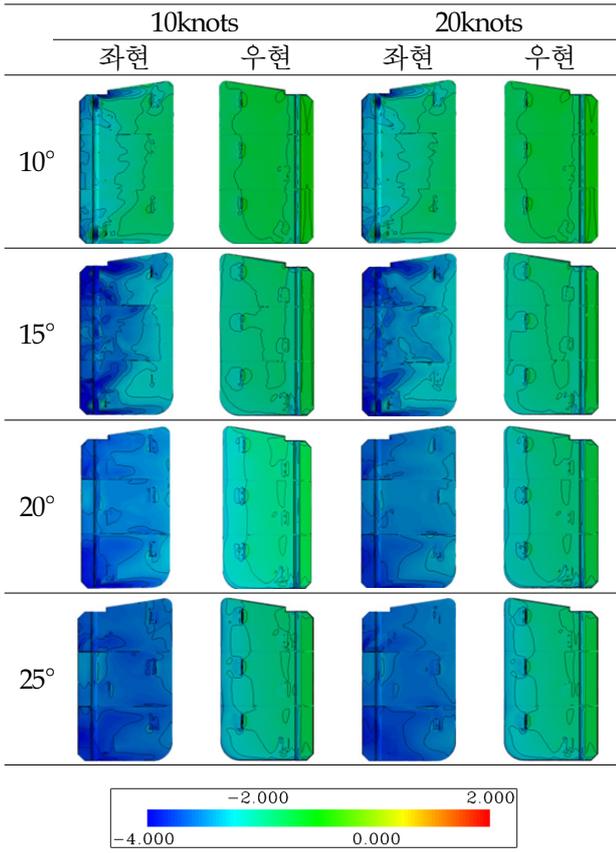


Fig. 13 Pressure Coefficients Distribution(Type #1)

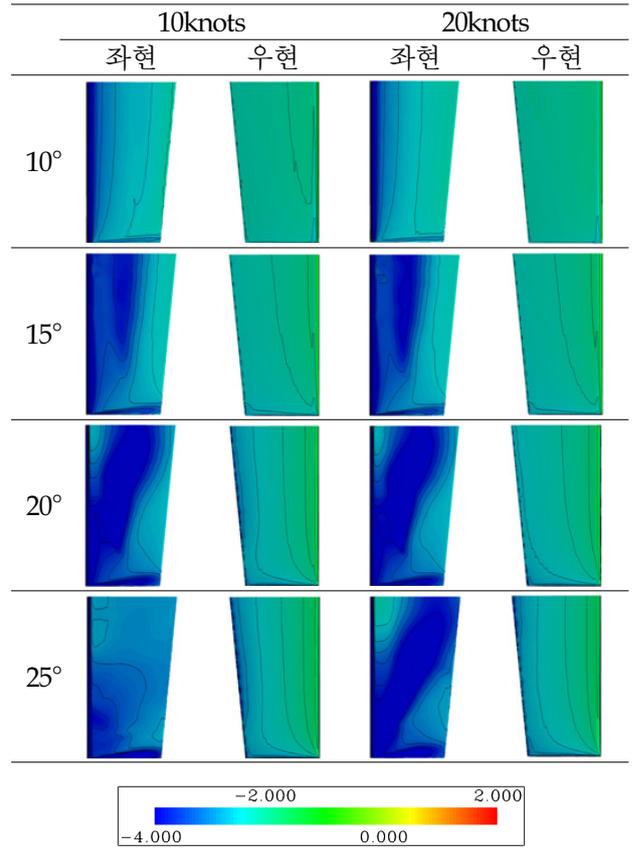


Fig. 15 Pressure Coefficients Distribution(Type #2)

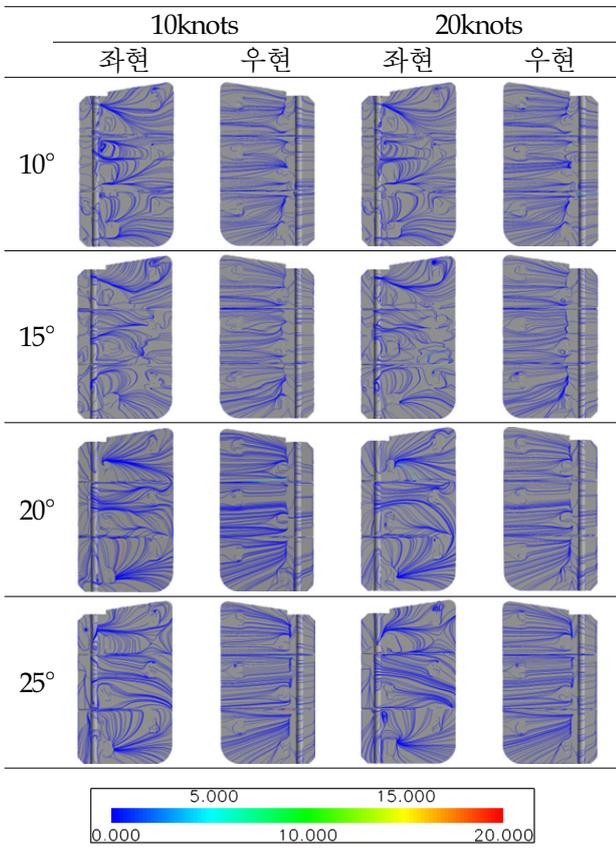


Fig. 14 Streamlines Pattern(Type #1)

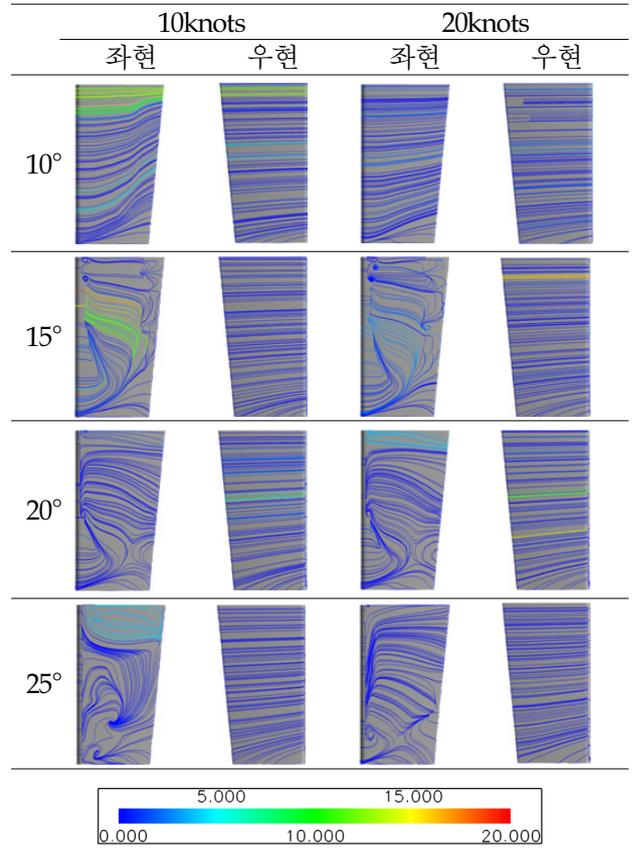


Fig. 16 Streamlines Pattern(Type #2)

일반적으로 어선은 대각도로 조타하는 빈도가 높으므로 타심재 주위에서 발생하는 변형은 아주 중요하다. 타심재를 구축할 때 선수로부터 발생하는 유체력을 기준으로 받음각 0°, 5°, 10°에 대하여 구조해석을 수행하였으며, Fig 11과 Fig 12는 유효응력(effective stress)에 대한 해석의 결과로서, Type #2가 Type #1에 비하여 고른 응력 분포를 보이고 있고, 타심재 주위의 응력 변형이 적게 나타나고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 현재 소형 어선을 중심으로 널리 사용되고 있는 이중강판방향타와 이를 대체할 목적으로 새롭게 제안된 포일형 방향타에 대하여 일련의 유체역학적 시뮬레이션을 수행하였다.

이중강판방향타는 현재 소형어선에 널리 보급되어 있는 제품으로 여러 가지 문제로 인하여, 최근 비교대상인 포일형 방향타로 교체되고 있는 추세이다. 본 연구에서는 방향타의 교체를 감안하여 동일 높이와 동일 평균 두께를 가진 2가지 방향타에 관한 유체역학적 성능을 비교하였다. 두 방향타의 제원을 동일하게 유지시킬 수 없었음에 따라, 보다 정확한 분석은 제한적이지만, 포일형 방향타는 기존 복판타에 비하여 타 주위의 흐름이 매끄러울 뿐만 아니라 전반적으로 양력이 향상되고 항력이 감소하는 결과를 얻었다. 양항비에서도 약 2배 이상 증가한 것을 확인 할 수 있었다. 이는 어선과 같이 조타하는 빈도가 높은 선박의 조종성능 면에서 유리하게 작용한다. 또한 강도 관점에서도 포일형 방향타가 이중강판방향타 보다 떨어지지 않음을 알 수 있다. 아울러 소형어선용 포일형 방향타로의 전환으로 대량생산이 가능해지는 이점이 있으며, 구조가 간단하여 수리, 교체에 발생하는 비용이 낮아지는 장점이 있다.

#### 참고 문헌

1. B. V. Betram and E. E. Moctar, 2011, "Loads acting on a semi-spade rudder", Hamburg, Germany.
2. Y. G. Kim, S. Y. Kim, S. P. Kim and S. W. Lee, 2004, "Experimental Study on the Variation of Maneuvering Characteristics of Container Ship with Rudder Type", The Journal of the

- Society of Naval Architects of Korea, Vol. 41, No. 5, pp. 28-33.
3. Korea Shipbuilding Industry Cooperative, 2011, "Smart Innovations in Tech & Management", Report of shipbuilding, pp. 11-12.
4. W. C. Chau et al., 2005, "Investigation of hydrodynamic performance of high-speed craft rudders via turbulent flow computations, Part 1: Non-cavitating characteristics", Journal of marine science and technology, Vol. 13, No. 1, pp. 61-72.
5. A. R. Lee, I. K. Kang and H. J. Jo, 2009, "A study on the stability of a crab trap fishing boat with water tank experiment", Journal of Korea society of fisheries technology, Vol. 45, Issue 4, pp. 267-275.
6. I. K. Kang and J. D. Yoon, 1995, "Experiment analysis on the motion response of small fishing boat toward wave direction", Journal of Korean navigation and Port research, 19(1), pp. 1-8.
7. Y. G. Lee et al., 2008, "A numerical study on flow around a rudder behind low speed full ship", Journal of Ship and Ocean technology, Vol. 12, Issue 2, pp. 41-52.