

# 컨테이너선용 여러 가지 전타의 성능에 대한 실험적 비교연구

천장호<sup>1</sup>·김문찬<sup>2,†</sup>·이원준<sup>2</sup>  
티엠에스(기본연구팀)<sup>1</sup>  
부산대학교 조선해양공학과<sup>2</sup>

## An Experimental Comparison Study on Various Full-Spade Rudder Performance for Container Carrier

Jang-Ho Chun<sup>1</sup>·Moon-Chan Kim<sup>2,†</sup>·Won-Joon Lee<sup>2</sup>  
TMS (Basic Research and Development Team)<sup>1</sup>  
Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Pusan National University<sup>2</sup>

### Abstract

Recently, according to the growth of demand about large container carrier, the studies for cavitation of semi-spade rudder were increased. In spite of many effort to solve, the fundamental solution can not be found. So, the studies for full-spade rudder are increasing to solve. In Pusan national university, the studies for full-spade twisted rudder and full-spade wavy twist rudder were carried out. However, most studies are carried out in numerical analysis and the many studies of experimental comparison between each rudder are not exist. This paper describe design history of full-spade rudder (twist rudder, wavy twist rudder) for KCS (KRISO Container Ship) and compare performance of each designed full-spade rudder about resistance and self-propulsion with conventional rudder (semi-spade rudder). The measurement about designed rudder's rudder force will be performed near future.

**Keywords** : Full-spade rudder (전타), Model test (모형시험), Twisit rudder (상하 비대칭타), Wavy twist rudder (파형 상하 비대칭타)

## 1. 서론

선박의 타는 프로펠러와 더불어 선박의 추진 시스템을 구성하는 대표적인 장치이다. 타는 프로펠러의 후류의 유동을 이용하여 양력을 발생시킴으로써 선박의 직진성, 조종성등의 운동성능을 제공하는 역할을 한다. 특히, 최근 대형 컨테이너선의 출현에 따라 타의 캐비테이션에 대한 문제가 심도 있게 논의되고 있다. 그동안 거의 모든 선종에 사용되고 있던 혼타(Semi-spade rudder)는 중·소형선에서 조차 간혹 깎 부분과 Port side에서의 캐비테이션의 문제가 심하게 발생하여 추진효율의 저하 및 운동성능의 감소의 문제를 야기하였었다. 특히 대형 컨테이너선에서는 더욱 문제가 발생되고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위한 많은 노력이 있었지만 근본적인 해결책이 되지 못하여 최근에는 타의 혼부분과 타 부분의 차이를 없애고 하나의 형태로 만든 전타(Full-spade rudder)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

특히, Full-spade rudder 중, 프로펠러 후류의 유입각이 타의 상부와 하부에서 다르다는 점을 이용하여 개발되어 일반적인 전

타에 비하여 높은 양력을 발생하며 효율이 우수한 상하 비대칭타(본 연구에서 Twist rudder로 명명함)에 대한 관심이 높아지고 있으며 유전알고리즘을 이용한 형상 최적화를 통하여, 기존의 상하 비대칭 타보다 공동현상 측면과 효율 측면에서 우수한 상하 비대칭 타에 대한 연구가 수행된 바 있다(Kim, et al., 2009). 또한, 혹등고래(Humpback whale)의 지느러미 형상을 모사한 생체 모방형 기술을 전타에 접목하여 파형 타(Wavy rudder)라는 새로운 형상의 전타에 대한 연구를 수행하여, 지느러미 형상이 유체를 제어하여 박리를 지연함으로써, 타의 실속을 지연시켜, 받음각(Angle of attack)이 15도 이상인 대각도에서 타의 양력을 확보함으로써, 타의 성능에 대한 개선 가능성을 수치해석 상으로 확인하였다(Yoon, et al., 2009).

이처럼 많은 연구들이 대부분 수치해석을 통하여 연구를 수행하였기 때문에 모형시험을 통한 성능의 연구가 이루어진 적은 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 3600TEU급 컨테이너선인 KCS (KRISO Container Ship)을 대상 선박으로 하여 전타, 상하 비대칭 타, 파형 상하 비대칭 타(Wavy twist rudder)를 설계하여 모형으로 제작, 부산대학교 예인수조에서 저항시험 및 자항시험을 수

† 교신저자 : kmcprop@pusan.ac.kr

행하여 각 전타의 형상에 따라 저항성능에서 어떠한 차이가 있는지를 연구하였다.

## 2. 타의 설계

### 2.1 전타(Full-spade rudder)의 설계

일반적으로 전타(Full-spade rudder)는 혼타(Semi-spade rudder)에 비하여 더 작은 면적과 Aspect Ratio를 가지는 특징이 있다. 본 연구에서 설계된 전타는 3600TEU 컨테이너선의 실적선의 Side profile을 참고하여 설계하였으며 타의 단면은 NACA0020 단면을 사용하였다. 설계한 전타의 재원은 Table 1과 같으며 형상은 Fig. 1과 같다.

Table 1 Principal dimensions of full-spade rudder

Section	NACA0020
Mean Chord	5.80 m
Span	8.00 m
Surface	106.10 $m^2$
Aspect Ratio	1.38

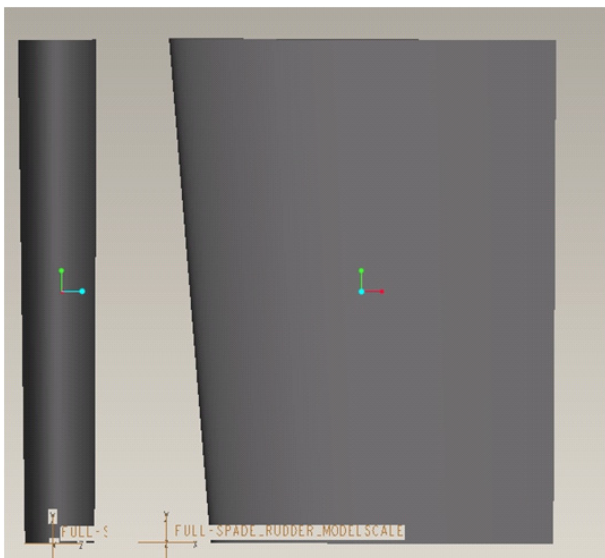


Fig. 1 Designed full-spade rudder

### 2.2 상하 비대칭 타(Twist rudder)의 설계

Fig. 2는 상하 비대칭 타의 설계 개념을 나타내고 있다. 일반적인 Right handed propeller의 경우 프로펠러의 후류는 타의 하부에서는 우현(Starboard side)에 큰 영향을 미치고, 프로펠러의

상부에서는 타의 좌현(Port side)에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 선체의 직진성을 유지하기 위하여 단방향 타를 사용할 경우, 통상 타를 좌현 방향으로 2~3° 정도 틀어서 앞으로 나아간다. 이 때, 타에 유입되는 프로펠러의 후류의 입사각이 크게 틀어져 타의 표면에 박리가 발생하고 이러한 현상이 타의 좌현에 지속적으로 유체력을 가하여 캐비테이션이 심각하게 발생된다. 상하 비대칭 타는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 고안된 것이다. 타의 하부는 프로펠러 후류가 나오는 각도와 방향을 고려하여 우현 방향으로 틀어진 형태로 만들고, 타의 상부는 좌현방향으로 틀어진 형태로 만든다. 하지만 틀어지는 부분에서 발생하는 유동의 박리 등에 의한 영향으로 침식이 발생할 수 있다는 단점이 존재한다.

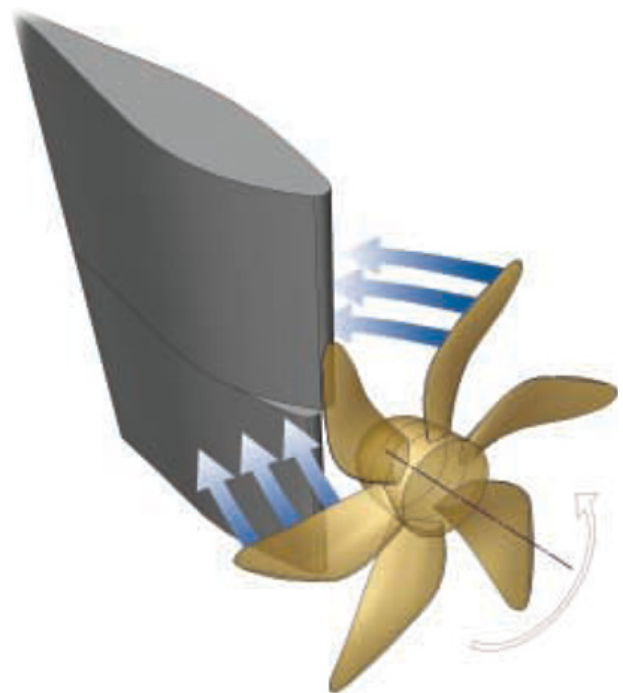


Fig. 2 Concept of twist rudder

본 연구에서는 이전연구(Kim, et al., 2009)에서 유전알고리즘을 이용한 최적 단면(본 연구에서 Twist section으로 명명함)을 적용하였고 앞서 설계한 전타의 Side profile과 유사하게 설계하였다. 타의 상부와 하부에서 비대칭을 이루는 위치는 프로펠러의 후류를 고려하여 프로펠러의 축 중심에 맞추어 설계하였다. 설계한 상하 비대칭 타의 재원 및 형상은 각각 Table 2와 Fig. 3에 나타내었다.

Table 2 Principal dimensions of twist rudder

Section	Twist section
Mean Chord	5.79 m
Span	8.00 m
Surface	103.6 $m^2$
Aspect Ratio	1.38

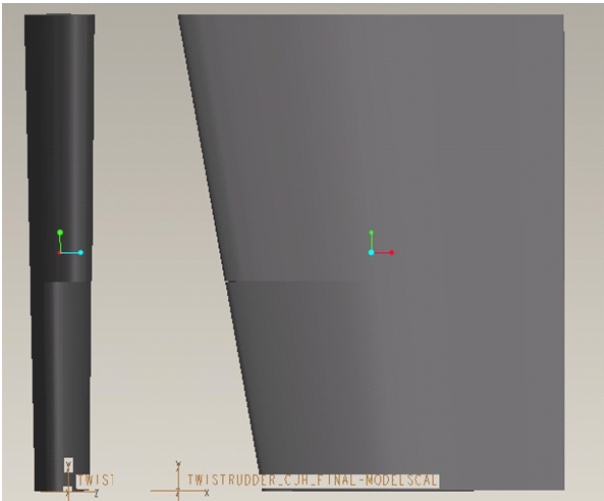


Fig. 3 Designed twist rudder

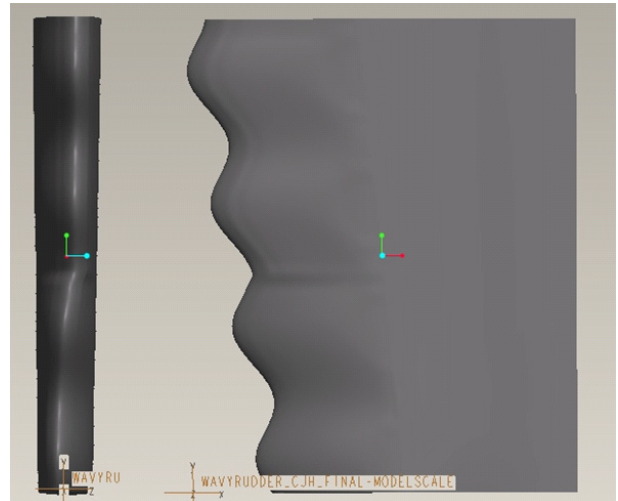


Fig. 4 Designed wavy twist rudder

### 2.3 파형 상하 비대칭 타(Wavy twist rudder)의 설계

앞서 설명한 바와 같이, 흑등고래의 지느러미 형상을 모사한 생체 모방형 기술을 전타에 접목하여 파형 타라는 새로운 형상의 전타에 대한 연구를 수행하여, 지느러미 형상이 유체를 제어하여 박리를 지연함으로써, 받음각이 15° 이상인 대 각도에서 타의 양력을 확보하여 타의 성능에 대한 개선 가능성을 수치해석 상으로 확인하였다.

하지만 일반 타를 운용하는 각도 범위에서는 일반 타에 비하여 낮은 성능을 가지는 단점이 있다. 따라서 고성능의 상하 비대칭 타와 대각도에서 성능이 우수한 파형 타를 융합하여, 파형의 형상을 상하 비대칭 타의 앞날(Leading edge)에 적용하여 파형 상하 비대칭타라는 새로운 타의 형상을 개발하여 일반 타를 운용하는 각도에서도 일반 타에 비하여 동일하거나 높은 성능을 발휘하면서 대 각도에서 양력의 확보가 기대되는 타를 설계한 바 있다 (Lee, et al., 2010).

앞서 언급한 내용을 바탕으로 대상선박(KCS)에 적합한 파형 상하 비대칭 타를 설계하였으며 앞날(Leading edge)부분에 식 (1)을 적용하여 설계하였다.

$$C(z) = C + a \cos(2\pi z/\lambda) \quad (1)$$

총 파수는 이전 연구(Lee et al., 2010)를 참고하여 4개로 설계하였으며 타의 단면 및 타의 Side profile은 앞서 설명한 상하 비대칭 타의 형상정보와 동일하게 하였고 상하 비대칭 타의 문제가 발생할 수 있는 부분인 비대칭 부분을 보간법을 이용하여 매끄럽게 설계하여 그러한 문제를 해결하고자 하였다. 설계한 파형 상하 비대칭 타의 형상은 Fig. 4와 같다. 파형 상하 비대칭 타의 재원은 상하 비대칭 타와 동일하여 본 연구에서는 기술하지 않는다.

## 3. 모형시험

### 3.1 모형 시험 준비

앞 장에서 설계한 여러 가지 형상의 전타와 대상선박인 KCS를 모형으로 제작하였다. 축척비는 37.5로 제작하였으며 타는 향후 연구를 고려하여 알루미늄으로 제작하였다. 모형시험은 부산대학교 에인수조에서 수행하였으며, 모형 KCS 및 타의 형상을 Fig. 5 와 Fig. 6에 나타내었다.



Fig. 5 Model KCS

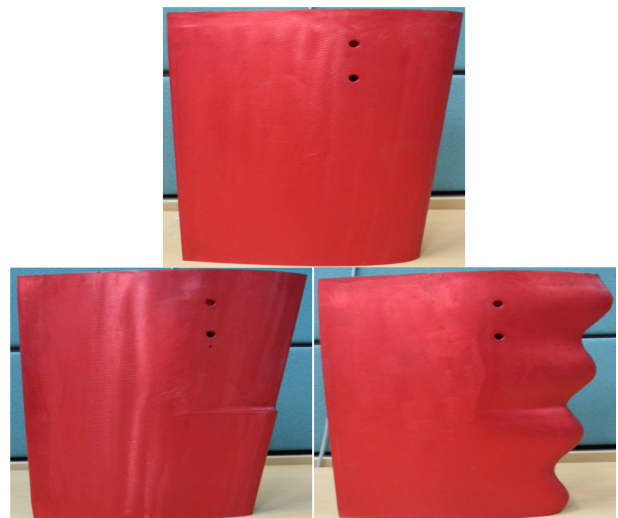


Fig. 6 Model rudder (full-spade rudder, twist rudder, wavy twist rudder)

### 3.2 저항 시험

저항시험은 대상선박의 설계흘수 상태에서 수행하였으며 실선으로의 확장을 위한 형상계수(Form factor)를 구하기 위하여 저속인 6노트부터 26노트까지 총 11개의 예인 속도에 대한 저항 시험을 수행하였으며 타를 제외한 나머지 부분은 모두 동일하게 하여 저항 시험을 수행하였다.

Froude 수에 따른 각각의 타를 부착한 모형선의 전저항계수를 Fig. 7에 그래프로 나타내었으며 점선의 결과는 한국해양연구원의 KCS 저항 시험 결과이다. 전체적인 경향은 한국해양연구원과 비슷한 경향을 띄고 있지만 나머지 시험결과가 상대적으로 작은 이유는 축척비의 차이에 의한 Reynold수의 차이로 예상된다.

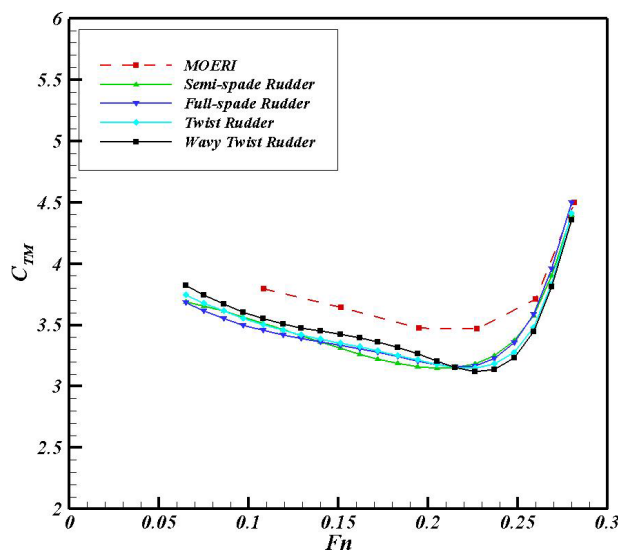


Fig. 7 Resistance test results about each rudder

Table 3에 설계속도(24knots)에서 각각의 타를 부착하여 수행한 저항시험 결과를 ITTC1978 방법을 이용하여 실선으로 확장하였을 때의 유효마력(PE)을 나타내었으며 기존의 혼타를 부착한 KCS에서의 결과와 다른 타 들을 비교하여 나타내었다. 또한 저속(6knots)에서 고속(26knots)까지의 실선의 속도-유효마력을 추정된 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 19knots 이전에는 대부분의 타가 거의 유사한 값을 보이지만 속도가 20knots보다 증가할수록 유효마력값의 차이를 나타내고 있다.

저항 결과를 비교해본 결과, 기존의 혼타에 비하여 전타는 거의 유사한 결과를 보였으며 상하 비대칭 타는 약 5%의 감소를 보였고 파형 상하 비대칭타는 약 8%의 유효마력 감소를 가져왔

Table 3 Resistance prediction of full scale ship

Condition	PE	Comparison
KCS with semi-spade rudder	22600 kW	-
KCS with full-spade rudder	22664 kW	0.28 %
KCS with twist rudder	21447 kW	-5.10 %
KCS with wavy twist rudder	20803 kW	-7.95 %

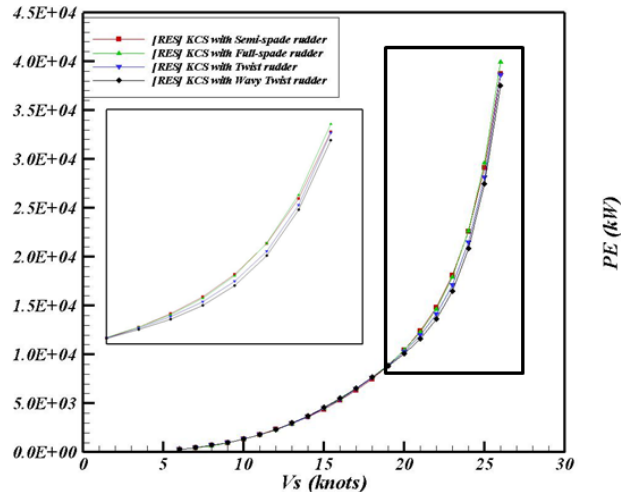


Fig. 8 Resistance performance about KCS with each rudder

다. 저항 성분을 분석해 본 결과, 미찰저항은 전체적으로 유사하지만 잉여저항( $C_R$ )의 감소가 나타났는데 이에 의한 저항의 감소로 생각되며 이는 타의 영향에 의한 잉여저항( $C_R$ )의 감소로 예상된다. 각 타를 부착했을 때의 잉여저항 값을 Table 4에 나타내었다.

Table 4 Comparison of residual resistance coefficient

Condition	$C_R (\times 10^3)$
KCS with semi-spade rudder	0.725
KCS with full-spade rudder	0.736
KCS with twist rudder	0.584
KCS with wavy twist rudder	0.483

### 3.3 저항 시험

저항시험 전에 선행되어야하는 프로펠러 단독성능 시험(Propeller open water test)은 프로펠러 성능해석 코드인 KPA4를 이용하여 구하였으며 이를 한국해양연구원의 POW 시험 결과와 비교한 결과, 큰 차이를 보이지 않아 KPA4의 결과를 사용하였다. 저항시험은 17knots에서 26knots까지 수행하였으며, 본 연구의 목적에 맞게 동일한 조건에서 타만 변경하여 수행하였다. 타가 부착된 사진은 Fig. 9와 같다.

모형시험결과를 바탕으로 하여 실선에서의 저항성능을 해상여유(Sea margin) 15%를 고려하여 ITTC1978 방법으로 추정하였으며 속도별 회전수 및 제동마력을 Fig. 10에 나타내었다.

먼저, SSR은 Semi-spade rudder, FSR은 Full spade rudder, TR은 Twist rudder, WTR은 Wavy twist rudder를 약자로 나타낸 것이다. 전체적으로 보았을 때, 각 속도별 회전수는 거의 유사하지만 제동마력은 각각 차이를 보이고 있다. 혼타와 전타의 제동마력은 거의 유사한 값을 보이고 있고 혼타에 비하여 제동마력이 적은 경향을 보이는 순서로 상하 비대칭형 타와 파형 상하 비대

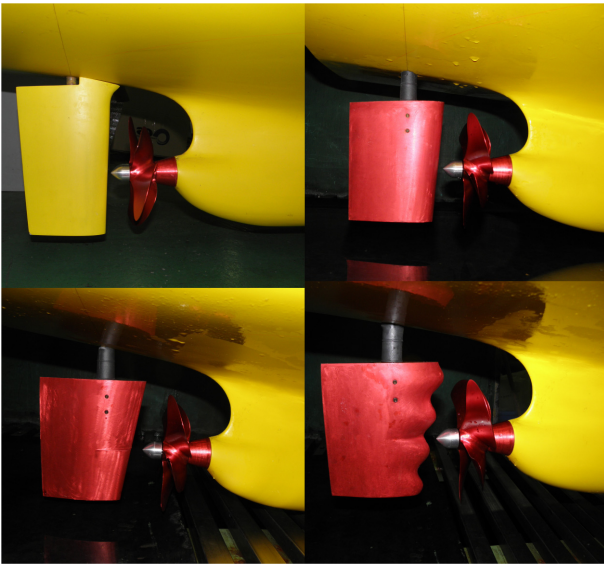


Fig. 9 View for attached each rudder

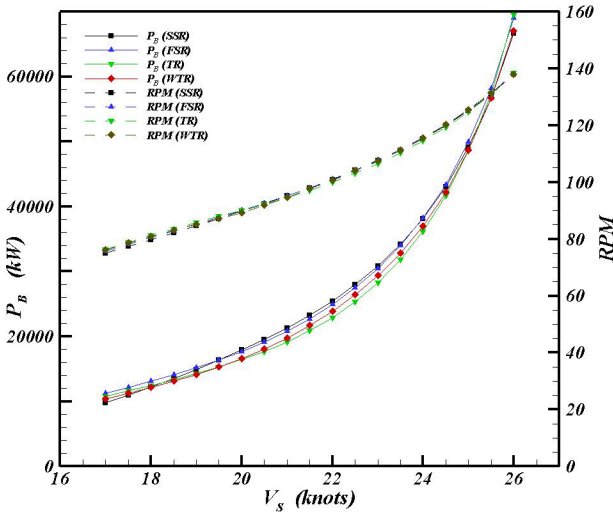


Fig. 10 Self-propulsion test results about each rudder

Table 5 Self-propulsion performance of full scale ship with each rudder (Sea margin=15%)

Condition	PB	Comparison
KCS with semi-spade rudder	38132 kW	-
KCS with full-spade rudder	38219 kW	0.2 %
KCS with twist rudder	36187 kW	-5.1 %
KCS with wavy twist rudder	36945 kW	-3.1 %
Condition	RPM	Comparison
KCS with semi-spade rudder	115.3	-
KCS with full-spade rudder	115.6	0.3 %
KCS with twist rudder	114.5	-0.7 %
KCS with wavy twist rudder	115.4	0.1 %

칭형 타로 상하 비대칭형 타가 가장 적은 제동마력을 나타낸다. 더 자세한 결과를 확인하기 위하여 설계 속도에서 각각의 제동마

력과 회전수를 나타내고 기존의 혼타를 부착한 KCS와 비교해 보았다(Table 5).

설계 속도에서 전체적으로 비슷한 회전수를 나타내지만 제동 마력에서 기존의 혼타에 비하여 전타는 0.2%의 증가, 상하 비대칭 타는 5.1%, 파형 상하 비대칭 타는 3.1%의 감소를 가져왔다.

### 4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출해 낼 수 있다.

1. 기존의 혼타(Semi-spade rudder)나 전타(Full-spade rudder)에 비하여 상하 비대칭 타(Twist rudder), 파형 상하 비대칭 타(Wavy twist rudder)가 저항 및 자항 성능에서 우수한 성능을 보였다.

2. 저항성능에 비하여 자항성능이 거의 유사하거나 조금 적은 감소율을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 향후 자항요소에 대한 분석 및 추가적인 설계가 필요할 것으로 생각된다.

### 후기

본 연구는 조선해양플랜트글로벌핵심연구센터의 지원으로 수행된 것으로, 위 기관의 후원에 감사드립니다.

### 참고 문헌

Kim, I.H. Kim, M.C. Lee, J.H. Chun, J.H. & Jung U.H., 2009. Study on Design of a Twisted Full-Spade Rudder for a Large Container Ship by the Genetic Algorithm Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 46(5), pp.479-487.

Lee, J.H. Kim, M.C. Yoon, H.S. Kwon, K.J. & Chun J.H., 2010. Development of High Lift Twisted Wavy Rudder for a Large Container Ship. The Korean Association of Ocean Science and Technology Societies, Jeju Republic of Korea, 1203-1212 June 2010.

Pham, A.H. & Yoon, H.S. 2009. Effect of waviness on the conventional rudder performance. Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers Spring Symposium, Busan Republic of Korea, 2131-2135.

