

타의 종류에 따른 컨테이너선의 조종성능 특성 연구

김연규^{†*}, 김선영^{*}, 김성표^{**}, 이석원^{**}

한국해양연구원 해양시스템안전연구소^{*}, 대우조선해양 주식회사^{**}

Experimental Study on the Variation of Maneuvering Characteristics of Container Ship with Rudder Type

Yeon-Gyu Kim^{†*}, Sun-Young Kim^{*}, Sung-Pyo Kim^{**} and Suk-Won Lee^{**}

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering / KORDI^{*}
Daewoo Ship Building and Marine Engineering Co. Ltd.^{**}

Abstract

Generally Horn-type rudders have been used for single propeller and single rudder system. The reason is that the rudder torques of Horn-type rudder are smaller than those of Spade rudder with same lift force. But it is found that the rudder cavitation occurs on a Horn-type rudder of fast container ship. In this paper the comparison results of Horn-type and Spade rudders are described. HPMM tests are carried out to compare the effects of two rudder types on the maneuverability of a ship. It is shown that the maneuvering performance of a ship equipped with Horn-type rudder is better than that equipped with Spade rudder by comparing the test results and maneuvering coefficients at scantling condition. The reason is that the movable part area of Horn-type rudder is about 14% larger than that of Spade rudder with same total area. And the rudder torque of Spade rudder is greater than that of Horn rudder. At ballast condition, however, the effect of rudder type is negligible.

※Keywords: Horn-type rudder(Horn 타), Spade rudder(Spade 타), HPMM test(HPMM 시험), Rudder torque(타 토크), Maneuvering coefficients(조종성 계수), Simulation(시뮬레이션)

1. 서 언

근래 선박에 장착하는 타 시스템은 1축1타일 경우 Horn 타를 장착하는 경우가 많으며 이것은 Horn 타가 Spade 타에 비하여 동일한 양력을 낼 경우 토크 크가 작게 걸려 조타기의 용량을 줄일 수 있다고

알려져 있기 때문이다. 하지만 최근 고속 컨테이너선의 Horn 타의 하부 핀들에서 캐비테이션이 발생하여 타에 손상을 입히는 현상들이 많이 발견되고, 또한 조종성능을 저하시키므로(문일성등, 2004), 설계시에 캐비테이션이 발생하지 않도록 많은 노력을 들이고 있는 실정이며, 이러한 방법의 하나로 Horn 타 대신에 Spade 타를 장착하는 것에 대한 연구가 수행중이다.

본 논문에서는 타의 종류에 따른 조종성능 특성에 대해서 연구하였으며, 이를 위하여 8,400TEU

접수일: 2004년 4월 27일, 승인일: 2004년 8월 16일

†주저자, E-mail: ygkim@kriso.re.kr

Tel: 042-868-7262

컨테이너 선형에 대하여 Horn 타와 Spade 타를 부착한 후에 HPMM 시험을 수행하여 Horn 타에 의한 시험 결과와 Spade 타에 의한 시험 결과를 비교 분석하였다. 또한 시험 결과를 이용하여 조종성능을 추정하였으며, 이에 대한 비교도 수행하였다. 본 논문의 결과는 추후에 캐비테이션의 발생을 줄일 수 있는 Spade 타 설계에 대한 기초 연구 자료로 이용될 것이다.

2. 시험 내용 및 결과

모형시험 대상 선형인 8,400 TEU 컨테이너선의 주요 제원은 Table 1에 자세히 나타나 있고, 시험에 사용된 모형선의 축척비 λ 는 48.771이었다. Table 2에는 시험에 사용된 Horn 타와 Spade 타의 제원이 비교되어 실려 있으며, Fig. 1에는 Horn 타와 Spade 타가 모형선에 설치된 사진이 실려 있다. Spade 타의 f_α 는 타의 가동부 면적에 대한 값을 전체 면적에 대한 것으로 환산한 것이다. Horn 타와 Spade 타의 고정부와 가동부를 포함한 전체 면적은 서로 비슷한 반면 가동부의 면적은 Horn 타가 약 14% 큰 것을 볼 수 있다. 물론 Spade 타의 경우 고정부를 선체의 일부로 취급할 수 있지만 본 연구에서는 Horn 타와의 비교를 위하여 타의 일부로 보았으며, Spade 타의 고정부를 선체로 취급할 경우 선체의 형상이 달라지기 때문에 직접적인 비교가 어렵기 때문이다.

조종성능 모형시험은 KRISO가 보유하고 있는 예인수조에서 수행되었으며(김은찬 등 1987), 시험은 모형선이 HPMM 장비에 취부된 상태에서 프로펠러와 타를 구동시켜 가면서 수행되었다(김선영 1988).

모형시험은 Scantling 상태와 Ballast 상태에서 수행되었으며, Scantling 상태에서는 실선 속도 24.8 Knots($V_m=1.8267$ m/sec)에서 실선자항점에 해당하는 프로펠러 회전수(10.33 rps)에서 프로펠러와 타를 구동시켜서 모형선에 작용하는 힘과 모멘트, 타에 작용하는 힘과 토오크를 계측하였다. 또한 Ballast 상태에서는 실선 속도 26.1 Knots($V_m=1.9225$ m/sec, rps=9.87)에서 수행되었다.

Horn 타에 대해서는 조종성능 추정을 위한 정적 시험과 동적 시험을 포함한 HPMM 시험을 수행하였으며, Spade 타에 대해서는 타의 특성

Table 1 Principal dimensions of 8,400 TEU container ship

Hull	Scantling	Ballast
$L_{PP}(m)$	318.0	318.0
$B(m)$	43.2	43.2
$T(m)$	14.5	6.95
$Trim(m)$	0.0	4.7
$LCG/L(\%)$	-2.02	-5.02

Table 2 Dimensions of rudders

	Horn		Spade	
	Scantl.	Ballast	Scantl.	Ballast
$\bar{b}(m)$	13.0	9.1	9.8	9.15
$c_r(m)$	9.0	8.28	8.7	8.51
$c_t(m)$	6.6	6.6	5.9	5.9
$A_T(m^2)$	99.50	65.80	102.65	65.93
$A_F(m^2)$	17.91	6.05	31.11	0.0
$A_M(m^2)$	81.59	59.75	71.54	65.93
Bal. Ratio	26.58	-	30.14	-
f_α	1.914	-	1.596	-

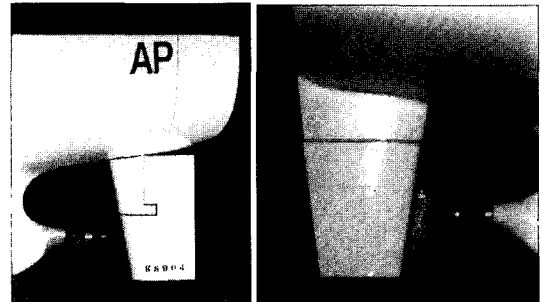


Fig. 1 Photographs of rudder equipments

만을 비교하기 위한 Static Rudder 시험만 수행하였다. 그리고 Spade 타를 취부한 상태에서 Static Drift 시험을 수행해서 Horn 타에 대한 시험 결과를 Spade 타에 대해서 사용할 수 있는지 검토하여 보았다.

모형시험에서의 좌표계는 계측시스템의 원점이 선박의 Midship에 고정되고, 선박과 같이 움직이는 우수 좌표계(right handed coordinate system)를 사용한다. 선체 및 타에 작용하는 힘과 모멘트는 다음

과 같이 무차원화하였다.

$$Force' = \frac{Force}{0.5\rho U^2 L^2} \quad Moment' = \frac{Moment}{0.5\rho U^2 L^3} \quad (1)$$

Fig. 2에는 Scantling 상태에서 수행한 Static Rudder 시험 결과를 Horn 타와 Spade 타에 대해서 선형구간에 대해서 비교한 그림이 나타나 있다. 결과를 보면 Spade 타에 의한 횡방향 힘과 선수요 모멘트가 Horn 타에 비하여 작은 것을 볼 수 있으며, 이러한 현상은 타의 가동부 및 고정부를 포함한 전체 면적은 비슷하지만, 가동부의 면적이 Spade 타가 상대적으로 작은 것에 기인하는 것으로 생각된다.

Fig. 3에는 Scantling 상태에서 수행한 타 토오크 시험 결과가 나타나 있으며, 계측 결과를 보면 Horn 타의 토오크가 Spade 타의 토오크보다 작은 것을 볼 수 있다. 그림에서 보면 타 토오크가 0°를 기준으로 비대칭 현상을 보이는데 이것은 모형선에서 프로펠러 후류의 비대칭 현상에 기인하는 것으로 실선에서는 프로펠러 후류의 비대칭 현상이 모형선보다 상대적으로 작기 때문에 타 토오크의 비대칭 현상은 줄어들 것이다.

Fig. 4에는 Ballast 상태에서 수행된 Static Rudder 시험 결과가 나타나 있다. 결과를 보면 타의 종류에 따른 힘과 모멘트의 차이는 거의 없는 것으로 생각되며, 이것은 Ballast 상태에서 Spade 타와 Horn 타의 가동부의 면적의 차이가 크지 않고 Horn 타의 경우 고정부가 양력에 어느 정도 영향을 주기 때문인 것으로 사료된다.

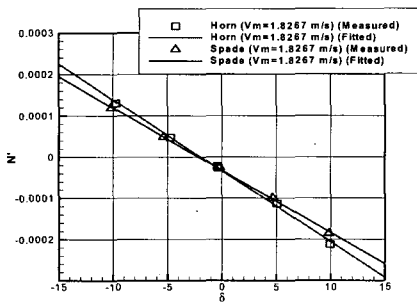


Fig. 2 Static rudder test (Scantling)

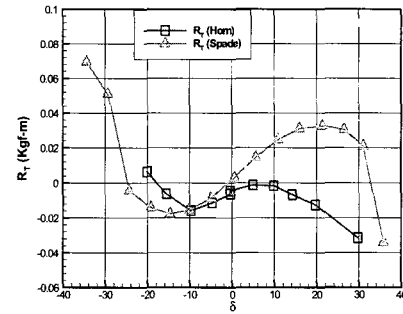
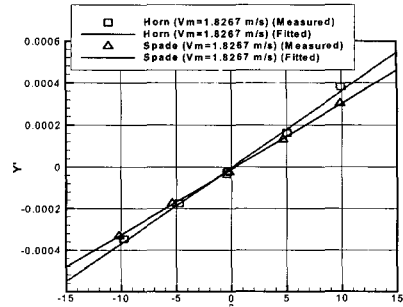


Fig. 3 Rudder torque test (Scantling)

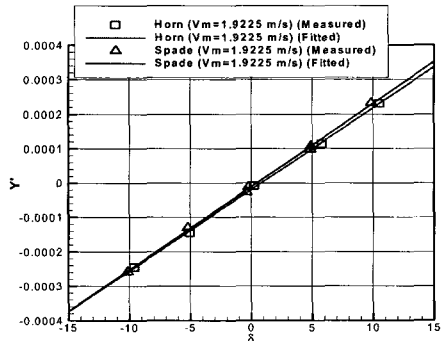
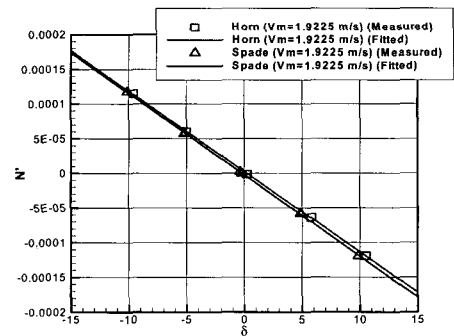


Fig. 4 Static rudder test (Ballast)

3. 시뮬레이션에 의한 비교

Horn 타와 Spade 타에 의하여 선체에 작용하는 힘을 비교하기 위하여 타각에 의하여 선체에 작용하는 횡방향 힘과 선수요 방향 모멘트를 계속하였으며, 계속된 힘을 해석해서 표준 조종 시운전을 시뮬레이션하고, 결과를 비교하였다. 이를 위하여 선체 종방향(X), 선체 횡방향(Y), 선수요 방향(N)으로 표현되는 3자유도 운동 방정식을 다음과 같이 표현하였다 (김선영 1988).

$$\begin{aligned}
 m(\dot{u} - vr - x_G r^2) &= X_H + X_P + X_R \\
 m(\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) &= Y_H + Y_P + Y_R \\
 I_z \dot{r} + m x_G (\dot{v} + ur) &= N_H + N_P + N_R \\
 2\pi I_P \dot{n} &= Q_E + Q_P
 \end{aligned} \quad (2)$$

H, P, R은 각각 선체, 프로펠러 및 타를 의미하고, Q_E 와 Q_P 는 엔진 및 프로펠러에 의한 토오크를 나타낸다. 수학모형에 대한 자세한 내용은 참고문헌 (김선영 1988)에 실려 있다. 타에 작용하는 힘과 모멘트는 다음과 같이 정의하였다.

$$\begin{aligned}
 X_R &= (X_{\delta\delta} + X_{\delta\delta\eta}(\eta-1))\delta\delta \\
 Y_R &= (Y_{\delta} + Y_{\delta\eta}(\eta-1))\delta + (Y_{\delta|\delta|} + Y_{\delta|\delta|\eta}(\eta-1))\delta|\delta| \\
 N_R &= (N_{\delta} + N_{\delta\eta}(\eta-1))\delta + (N_{\delta|\delta|} + N_{\delta|\delta|\eta}(\eta-1))\delta|\delta|
 \end{aligned} \quad (3)$$

일반적으로 실선에서는 타에 의한 조종유체력이 타각이 증가하면서 갑자기 줄어드는 현상이 적다고 알려져 있으며(SNAME 1989), 따라서 시뮬레이션에서는 선형계수만을 이용하여 타에 의한 힘과 모멘트를 구하였다.

Fig. 5에는 Horn 타를 장착한 모형선에 대한 실험 결과를 일부 이용하여, Spade 타를 장착한 선박에 대한 선박 조종운동 시뮬레이션을 수행하는 것이 타당한지를 검토하기 위하여 Spade 타를 부착한 상태에서 Static Drift 시험을 수행하고 Horn 타를 부착하고 시험한 결과와 비교한 그림이 나타나 있다. 그림을 보면 비선형 해석 결과 및 선형 해석 결과가 타의 종류에 상관없이 잘 일치하는 것을 볼 수 있으며, 고정부를 포함한 타의 전체면적이 비슷하기 때문인 것으로 생각된다. 비선형 해석 결과 그림에서 편류각이 큰 부분에서의

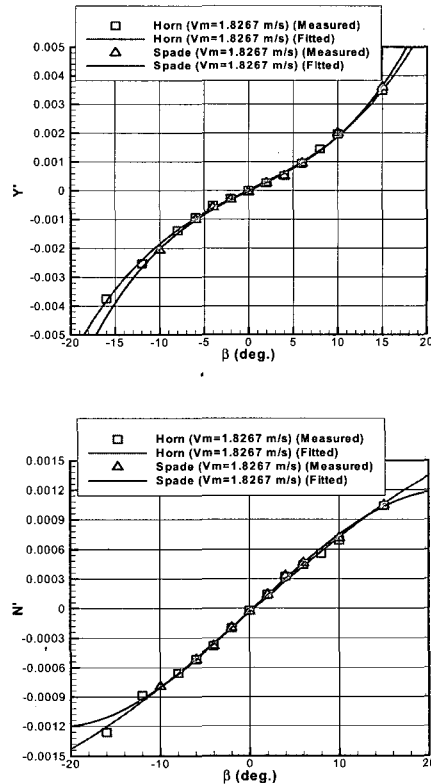


Fig. 5 Static drift test (Scantling)

불일치는 시험 결과의 불일치가 아니라 해석 구간의 차이에 따른 현상으로 판단된다.

Table 3에는 Scantling 상태 및 Ballast 상태에 대하여 3자유도 운동 방정식에 대해서 해석한 타와 관련된 조종유체력 계수들이 실려 있으며, Horn 타와 Spade 타의 계수가 비교되어 나타나 있다. Table 4에는 3자유도 운동 방정식을 이용하여 Spade 타와 Horn 타에 대해서 시뮬레이션한 결과가 실려있고, Figs. 6~7에는 3자유도 운동 방정식을 이용하여 Spade 타와 Horn 타에 대해서 시뮬레이션한 결과가 같이 그려져 있다. 시뮬레이션 결과를 보면 Spade 타를 부착한 경우가 Horn 타를 부착한 경우보다 선회성능 및 Yaw Checking 성능이 모두 나쁜 것을 볼 수 있으며, 이것은 타에 의한 힘과 모멘트가 작게 계속된 것으로부터 이미 예측된 것이다. 선회시험에서는 타

Table 3 Maneuvering coefficients

	Horn		Spade	
	Scantl.	Ballast	Scantl.	Ballast
$X_{\delta\delta}'$	-0.00104	-0.00071	-0.00101	-0.00067
$X_{\delta\delta\eta}'$	-0.00184	-	-0.00145	-
Y_{δ}'	.00210	.00136	.00180	.00138
$Y_{\delta\eta}'$.00281	-	.00263	-
N_{δ}'	-0.00099	-0.00066	-0.00087	-0.00067
$N_{\delta\eta}'$	-0.00129	-	-0.00116	-

Table 4 Simulation results (Scantling)

Hull	Horn	Spade
Tact. Daim.	3.46 L	3.70 L
Advance	3.13 L	3.30 L
10°/10° 1st	13.7°	14.8°
10°/10° 2nd	24.6°	27.8°
20°/20° 1st	18.7°	19.1°
20°/20° 2nd	18.5°	19.2°

의 종류에 따른 영향이 충분히 보이고, Zig-Zag 시험에서는 1st Overshoot 각은 큰 차이가 없는 반면에 2nd Overshoot 각은 그 차이가 약간 큰 것을 볼 수 있다. 결국 전체적으로 시간이 지날수록 타에 의한 힘과 모멘트의 차이가 쌓여서 운동의 차이가 점점 증가하는 현상을 볼 수 있다.

컨테이너선의 경우 Scantling 상태에서 조종운동 중에 횡동요 운동이 크게 발생하며, 이러한 횡동요 현상에 의하여 선회성능은 3자유도 운동방정식을 이용하여 시뮬레이션한 결과보다 좋아지고, Yaw Checking 성능은 나빠진다고 알려져 있다(김선영등, 2002, 2003). 이러한 것을 고려하면 횡동요를 포함할 경우 Scantling 상태에서 Spade 타를 부착한 선박은 3자유도 운동 방정식에 의한 시뮬레이션 결과보다 선회성능은 약간 좋아지고, Yaw Checking 성능은 약간 나빠질 것이라고 추정할 수 있다. 이러한 추정은 Horn 타와 Spade 타에 의한 힘의 수직 작용점의 위치가 비슷하다는 가정하에서 가능하다.

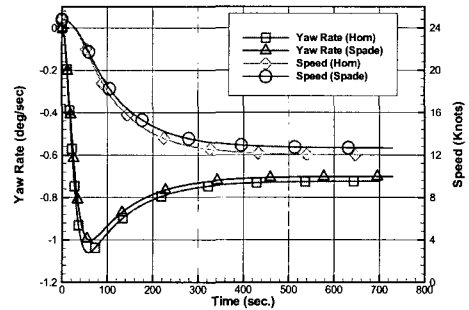
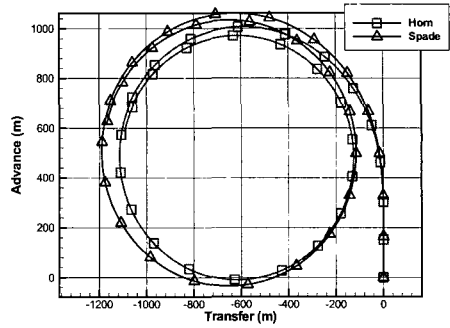


Fig. 6 35° Port Rudder Turn (Scantling)

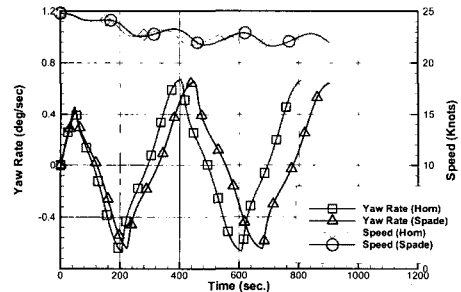
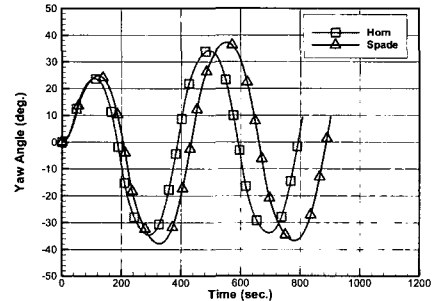


Fig. 7 10°/10° ZigZag Test (Scantling)

이러한 결과로부터 Scantling 상태에서 Spade 타의 가동부 면적이 Horn 타의 가동부 면적에 비해서 약 14% 작은 것이 타에 의한 힘을 작게 추정하는 원인이라고 생각되며, 이에 의하여 Spade 타에 대한 컨테이너선의 선회성능과 Yaw Checking 성능을 Horn 타에 비하여 나빠지게 하였다고 판단된다. 그러나 Ballast 상태에서는 타의 종류에 따른 조종유체력의 차이가 나타나지 않은 것으로 보아 조종성능에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 생각된다. 그리고 시험전에 예상되었듯이 Scantling 상태에서 Spade 타에 작용하는 타 토오크가 Horn 타에 작용하는 타 토오크에 비하여 상대적으로 큰 것을 알 수 있었으며, 이에 의하여 조타기 용량도 증가하여야 할 것으로 생각된다.

4. 결 언

본 논문에서는 고속 컨테이너선의 Horn 타에서 발생하는 하부 핀틀 캐비테이션을 줄이기 위한 한 가지 방법으로 Spade 타를 장착하는 것에 대한 연구를 조종성능 관점에서 HPMM 시험을 수행하여 비교하여 보았다. 연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- Scantling 상태에서, 타에 의해 선체에 작용하는 힘과 모멘트의 크기는, Spade 타보다 Horn 타에 의한 것이 더 크다. 이것은 Spade 타의 가동부 면적이 Horn 타보다 작은 것에 기인한다.
- Ballast 상태에서는 Spade 타와 Horn 타에 의해 선체에 작용하는 힘과 모멘트의 차이는 없다.
- Spade 타에 작용하는 타 토오크는 Horn 타보다 크다.

본 논문의 결과로부터 Horn 타의 하부 핀틀 캐비테이션을 없애기 위하여 Spade 타를 설치할 경우 Spade 타의 면적과 조타기 용량 선정에 유의하여야 하며, 설계된 Spade 타의 가동부 면적을 증가 시켜가면서 추가 연구를 수행할 필요가 있다고 판단된다. 또한 이로 인한 타 토오크의 증가를 개선하기 위한 연구도 고려되어야 할 것이다.

후 기

본 논문의 내용은 과학기술부에서 지원하고 KRISO와 대우조선해양 및 한진중공업이 공동으로 수행한 “차세대 선박의 조종성/안정성 평가기술 개발” 과제와 대우조선해양에서 KRISO에 위탁한 “대우 8,400 TEU 컨테이너 운반선의 타의 종류에 따른 조종성능 특성 연구” 과제의 연구결과의 일부이다.

참 고 문 헌

- 김선영, 1988, 조종성능 추정기법 개발, 한국기계연구소 보고서 No. UCE.337-1082.D.
- 김선영, 김연규, 이석원, 박광동, 2002, "대형 컨테이너선의 조종성능 추정을 위한 4자유도 HPMM 시험 기법," 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 233-236.
- 김선영, 김연규, 공인영, 손남선, 이경중, 이창민, 2003, 차세대 선박의 조종성/안정성 평가기술 개발 (I), 과학기술부 과제, 한국해양연구원 보고서 UCN00350-2437.
- 김은찬, 양승일, 1987, "저항, 저항시험 해석 프로그램 개발", 한국기계연구소 소보, Vol.17.
- 문일성, 김건도, 이창섭, 2004, "패널법에 의한 타 캐비티 추정", 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 686-691.
- SNAME, 1989, Principles of Naval Architecture, Vol III, pp. 295.



< 김 연 규 >



< 김 선 영 >



< 김 성 표 >



< 이 석 원 >