

## 쌍축 컨테이너선의 조종성능 특성 연구

김연규<sup>†\*</sup>, 김선영\*, 김형태\*\*, 유병석\*\*\*, 이석원\*\*\*\*

한국해양연구원 해양시스템안전연구소\*

충남대학교 선박해양공학과\*\*

주식회사 한진중공업\*\*\*

대우조선해양 주식회사\*\*\*\*

## Study on the Maneuvering Characteristics of a Container Ship with Twin Skegs

Yeon-Gyu Kim<sup>†\*</sup>, Sun-Young Kim\*, Hyoung-Tae Kim\*\*, Byeong-Seok Yu\*\*\*  
and Suk-Won Lee\*\*\*\*

Maritime and Ocean Engineering Research Institute / KORDI\*

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chungnam National University\*\*

Hanjin Heavy Industry Co. Ltd.\*\*\*

Daewoo Ship Building and Marine Engineering Co. Ltd.\*\*\*\*

### Abstract

Recently, the attention to large container ships whose size is greater than 10,000 TEU container ship has been increased due to their increasing demand. The large container ship has twin skegs because of the engine capacity and large beam-draft ratio. In this paper, the maneuvering characteristics of a container ship with twin skegs were investigated through 4DOF(four degree of freedom) HPMM(Horizontal Planar Motion Mechanism) test and computer simulation. A mathematical model for maneuvering motion with 4DOF of twin skegs system was established to include effects of roll motion on the maneuvering motion. And to obtain roll-coupling hydrodynamic coefficients of a container ship, 4DOF HPMM system of MOERI which has a roll moment measurement system was used. HPMM tests were carried out for a 12,000 TEU class container ship with twin skegs at scantling load condition. Using the hydrodynamic coefficients obtained, simulations were made to predict the maneuvering motion. Rudder forces of twin-rudders were measured at the angles of drift and rudder. The neutral rudder angles with drift angles of ship was quite different with

---

접수일: 2005년 4월 19일, 승인일: 2005년 12월 5일

† 주저자, E-mail: ygkim@moeri.re.kr

Tel: 042-868-7262

those of single skeg ship. So other treatment of flow straightening coefficient  $\gamma_R$  was used and the simulation results was compared with general simulation result. The treatment of experimental result at static drift and rudder test was very important to predict the maneuverability of a container ship with twin skegs.

※Keywords: Container ship with twin skegs(쌍축 컨테이너선), 4DOF HPMM test(4자유도 HPMM 시험), Flow straightening coefficient  $\gamma_R$  (정류계수  $\gamma_R$ ), Maneuvering coefficients(조종성 계수)

1. 서 언

해상 물류 이동 시스템의 컨테이너화가 가속화 되면서 유통 경비를 줄이기 위해서 컨테이너선은 대형화 및 고속화되어가고 있다. 특히 컨테이너선의 대형화는 10,000 TEU를 넘어서서 15,000 TEU 컨테이너선의 건조에 대한 많은 연구가 수행 될 정도로 가속화되고 있다(고창두 등 2002).

초대형 컨테이너선이 출현되면서 쌍축을 적용하는 선박에 대한 연구가 수행되고 있으며(이영연 등 2004), 이것은 초대형 컨테이너선이 광폭전흘 수선형이면서, 안정성을 요구하며, 가장 중요한 이유인 엔진크기의 제약 조건에 따른 것이다(이춘주 와 이영연 2002).

쌍축 선형에 대한 조종성능을 추정하는 기법에 대한 연구는 다수 수행되어 왔으며(김연규 등 1998, 이승건 1988, 이승건 등 1996), 본 연구에서는 기존의 쌍축 선형에 대한 조종운동 방정식을 정리하고, 컨테이너 선형에 대하여 횡동요를 고려한 4자유도 운동 방정식을 사용하였다. 조종성능 추정은 HPMM(Horizontal Planar Motion Mechanism) 시험에 의하여 구해진 조종유체력 계수를 이용해서 표준 조종운동을 시뮬레이션하여 수행하였다. 대상 선형은 12,000 TEU 컨테이너선 이었다.

2. 쌍축 컨테이너선의 조종운동 방정식

선체고정 좌표에서 선박의 Midship에 원점을 가진 Surge-Sway-Roll-Yaw 4자유도 조종운동 방정식은 다음과 같다.

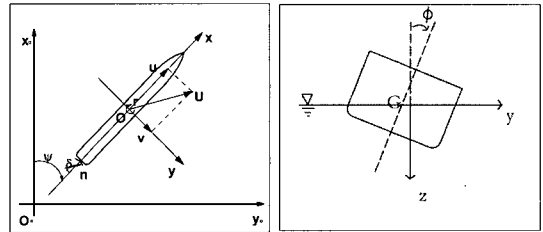


Fig. 1 Coordinates system

$$\begin{aligned}
 m(\dot{u} - rv - x_G \dot{\gamma}^2 + z_G \dot{p}r) &= X_H + X_P + X_R \\
 m(\dot{v} + ru - z_G \dot{p} + x_G \dot{r}) &= Y_H + Y_P + Y_R \quad (1) \\
 I_{XX} \dot{p} - m z_G (\dot{v} + ru) &= K_H + K_P + K_R \\
 I_{ZZ} \dot{r} + m x_G (\dot{v} + ru) &= N_H + N_P + N_R
 \end{aligned}$$

식 (1)에서 아래첨자 H, P, R은 각각, 선체, 프로펠러, 타에 의한 유체력을 나타내고, 위첨자 · 는 시간에 대한 미분을 나타내며, 아래첨자 G는 선박의 무게중심을 의미한다. Fig. 1은 운동 방정식의 좌표 계이다.

식 (1)에서 선체 및 프로펠러에 대한 운동 방정식은 일반 단축 선형과 같이 사용하고 있으며, 자세한 내용은 참고문헌(김선영 등 2002, 김선영 등 2003)을 참고하기 바란다.

쌍축 선형에 대한 타의 유체력은 다음과 같이 좌현타 및 우현타에 대해서 간략하게 나타낼 수 있다(김연규 등 1998). 단, 다음 식에서 위첨자 P 와 S는 각각 좌현타와 우현타를 의미한다.

$$\begin{aligned}
 X_R &= X_R^P + X_R^S \approx -(1 - t_R^{PS})(F_N^P + F_N^S) \sin \delta \\
 Y_R &= Y_R^P + Y_R^S \approx (1 + a_H^{PS})(F_N^P + F_N^S) \cos \delta \\
 K_R &= -z_R Y_R \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$N_R = N_R^P + N_R^S + N_{X_R}$$

$$\approx (x_R + a_H^{PS} x_H^{PS})(F_N^P + F_N^S) \cos \delta + N_{X_R}$$

$$N_{X_R} \approx -y_R(1 - t_R^{PS})(F_N^P - F_N^S) \sin \delta$$

$x_R, z_R$  : 타의 압력 중심의  $x$  좌표,  $z$  좌표

좌현타 및 우현타에 대한 타 직압력은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_N^{P,S} = \frac{\rho}{2} A_R (U_R^{P,S})^2 f_a \sin \alpha_R^{P,S} \quad (3)$$

$$U_R^{P,S} = \sqrt{(u_R^{P,S})^2 + (v_R^{P,S})^2}$$

$$u_R^{P,S} = \epsilon^{P,S} u_P^{P,S} \sqrt{\eta (cK_T^{P,S})^2 + (1 - \eta)}$$

$$cK_T^{P,S} = 1 + \chi^{P,S} \sqrt{1 + \frac{8K_T^{P,S}}{\pi(J^{P,S})^2}} - 1$$

$$u_P^{P,S} = (1 - w_P^{P,S}) u$$

$$w_P^{P,S} = w_{P_0} \exp(-C_{P(+,-)}^{P,S} v_P^2)$$

$$v_R^{P,S} = -\gamma_R^{P,S} (v + l_R r)$$

$$\alpha_R^{P,S} = \delta - \delta_0^{P,S} + \frac{v_R^{P,S}}{u_R^{P,S}}$$

쌍축에서 생기는 기하학적 특성을 이용하여 좌현타와 우현타의 선체와 타간의 간섭계수에 다음과 같은 관계를 정의할 수 있으며, 실험에 의하여 우현타에 대해서 구해진 간섭계수를 이용해서 좌현타에 대한 간섭계수를 정의할 수 있다(김연규 등 1998).

$$\gamma_R^P \text{ at } \beta_R = \gamma_R^S \text{ at } -\beta_R$$

$$\delta_0^P = -\delta_0^S, \quad \epsilon^P = \epsilon^S, \quad \kappa^P = \kappa^S \quad (4)$$

$$C_{P+}^P = C_{P-}^S, \quad C_{P-}^P = C_{P+}^S$$

### 3. HPMM 시험 및 결과

모형시험 대상 선형인 12,000 TEU 컨테이너선의 선체, 프로펠러 및 타에 대한 제원은 Table 1에 나타내었다. 시험에 있어서의 모형선의 축척비는 51.00이었으며, 흘수는 Scantling 상태에서 수행하였다. 표에 있는 프로펠러와 타의 제원은 하나의 프로펠러와 타에 대한 제원이다.

HPMM 시험은 MOERI가 보유하고 있는 예인수조(김은찬과 양승일 1987)에서 모형선을 HPMM

장비에 연결한 상태에서 프로펠러와 타를 구동시키며 수행되었다(김선영 1988). 횡동요를 포함한 4자유도에 대한 조종성을 추정하기 위한 HPMM 시험은 MOERI에서 제작한 HPMM 장치를 이용하여 수행하였으며, 횡동요 모멘트는 2개의 Z 게이지들을 이용해서 계측하였다(Kim et al. 2003). Fig. 2는 게이지 시스템에 대한 그림이다.

모형시험은 Scantling 상태에서 실선 속도 24.0 Knots( $V_m = 1.73$  m/sec)에서 실선자항점에 해당하는 프로펠러 회전수(11.22 rps)에서 프로펠러와 타를 구동시켜서 모형선에 작용하는 힘과 모멘트, 타에 작용하는 힘을 계측하였다. Fig. 3은 시험에 사용된 모형선 사진이다.

12,000 TEU 컨테이너선에 대해서 정적 시험과 동적 시험을 포함한 HPMM 시험을 수행하였으며, 선체 및 타에 작용하는 힘과 모멘트는 다음과 같이 무차원화하였다.

$$Force' = \frac{Force}{0.5\rho U^2 L^2}, \quad Moment' = \frac{Moment}{0.5\rho U^2 L^3} \quad (5)$$

Table 1 Principal dimensions of a 12,000 TEU container ship

$L_{PP}(m)$	363.0	$D_P(m)$	7.7
$B(m)$	51.2	$y_P(m)$	8.0
$T(m)$	15.0	$A_R(m^2)$	81.9
$Trim(m)$	0.0	$A_M(m^2)$	67.2
$LCG/L(\%)$	-2.26	$y_R(m)$	7.5
$GM_T(m)$	3.0	$C_B$	0.67
$KG(m)$	21.69		

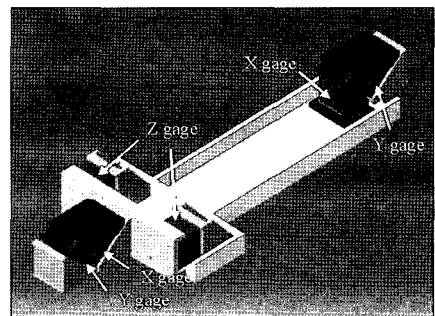


Fig. 2 4DOF HPMM gage system

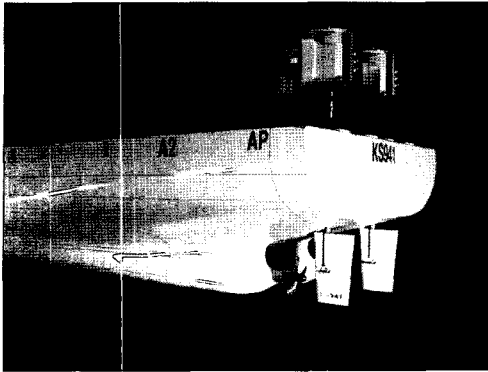


Fig. 3 Photograph of model ship

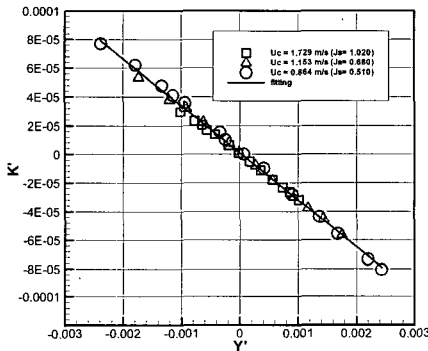


Fig. 4 Measured roll moments and side forces for static ruder test

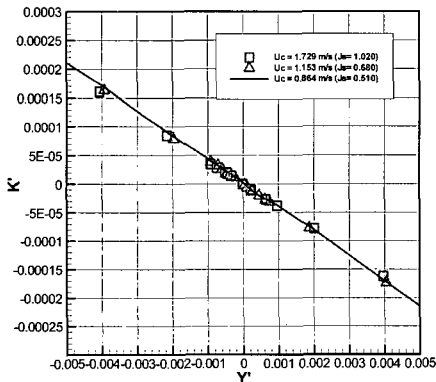


Fig. 5 Measured roll moments and side forces for static drift test

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 Static Rudder 시험에서 계측된 횡동요 모멘트와 횡방향 힘을, 그리고 Static Drift 시험에서 각 편류각에 대해서 계측된 횡동요 모멘트와 횡방향 힘을 그린 그림이다. Table 2는 HPMM 시험에 의해서 구해진 중요 계수들과 안정성 지수값을 보여준다. 단 안정성 지수는 타를 포함한 선형 계수를 이용해서 구해진 값이다.

Fig. 6은 정류 계수  $\gamma_R$ 을 구하기 위해서 수행된 Static Drift and Rudder 시험에서 계측한 편류각에 따른 중립타각을 좌현타와 우현타에 대해서 각각 도시한 것이다. 우현타에 대한 결과를 보면  $-\beta$ 에 대해서는 일정한 기울기를 갖고 변화하는 것을 볼 수 있는 반면에  $+\beta$ 에 대해서는  $15^\circ$ 보다 큰 영역에서 중립타각이 줄어들기 시작하는 현상을 볼 수 있다. 조금 더 큰 편류각에 대해서 시험을 수행하여 이러한 경향을 확인하기에는 설계 속도에서의 선수요 모멘트가 너무 크게 작용하였다. 그래서 우선 일반 단축선과 같은 방법으로 Table 3과 같이  $\gamma_R$ 을 구하였다.

앞에서 언급한 현상을 검토하기 위해서 작은 속도 ( $V_m = 1.15$  m/sec)에서 편류각을 증가시키면서 시험을 수행하였다. Fig. 7은 우현타에 대해서  $+40^\circ$ 의 편류각까지 실험한 결과이다. 시험 속도가 Fig. 6의 중립타각이 줄어드는 기울기보다는 작지만 큰 편류각에 대한 중립타각의 변화 경향을 얻을 수 있었으며, 이러한 경향을 이용하여 각 구간에 대해서 정류계수  $\gamma_R$ 을 Table 4와 같이 구하였다.

Table 2 Hydrodynamic coefficients and stability indices

$Y'_v$	-0.00844	$z_H$	0.54 T
$N'_v$	-0.00360	$z_R$	0.35 T
$Y'_r$	0.00273	$a_H$	0.127
$N'_r$	-0.00169	$x_H$	-0.426
$l'_v$	0.296	$\epsilon$	1.149
$l'_r$	0.423	$\chi$	0.513
$l'_d$	0.127		

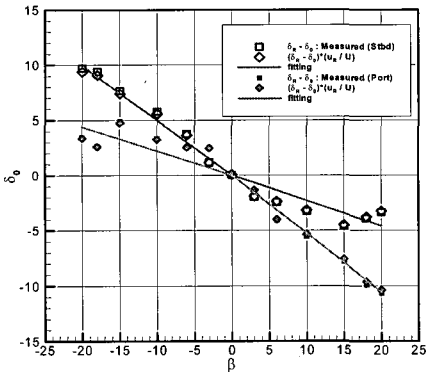


Fig. 6 Variation of neutral rudder angle with drift angles at static drift and rudder tests

Table 3 Flow straightening coefficient  $\gamma_R$  for starboard rudder (Type 1)

$\gamma_R(\beta_R < 0)$	0.496	$\gamma_R(\beta_R > 0)$	0.231
-------------------------	-------	-------------------------	-------

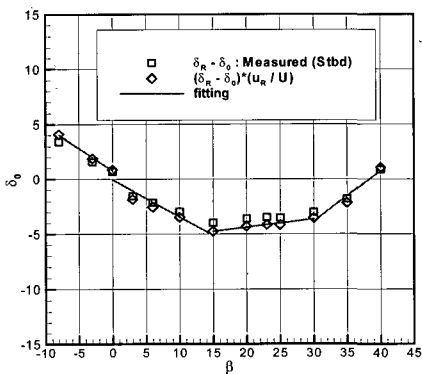


Fig. 7 Variation of neutral rudder angle with large drift angles

#### 4. 시뮬레이션 결과 및 검토

앞 절에서 구해진 조종 유체력 계수를 이용해서 횡동요를 포함한 표준 조종 시운전을 시뮬레이션 하였다.

Fig. 8은 타를 35° 좌현으로 구동시킨 경우의 시뮬레이션 결과이며, Fig. 9와 Fig. 10은 각각 10°/10° 및 20°/20° ZigZag 시험을 시뮬레이션한

Table 4 Flow straightening coefficient  $\gamma_R$  for starboard rudder (Type 2)

$\beta_R$	$\gamma_R$	$\beta_R$	$\gamma_R$
$\beta_R < 0$	0.410	$15 < \beta_R < 30$	-0.075
$0 < \beta_R < 15$	0.338	$30 < \beta_R$	-0.461

결과이다. Table 5에는 표준 조종 시운전을 시뮬레이션한 결과를 정리하였다. 시뮬레이션 결과를 보면 쌍축 선형의 특성을 고려한 Type 2의 결과가 일반 단축선과 같이 해석한 Type 1보다 선회 성능은 좋게 추정하고 있고, ZigZag 성능은 거의 비슷하게 추정하는 것을 볼 수 있다. 좌현선회를 할 경우 우현타는 외부에서 들어오는 유체의 흐름에 그대로 노출되어 있는 반면에 좌현타는 Skegs와 프로펠러를 지나서 들어오는 흐름 속에 있게 된다. 그러므로 우현타의 경우 편류각 및 선회효과에 의해 좌현선회의 경우 타의 구동에 따른 양각이 많이 줄어들게 되어 타에 의한 힘이 줄어들게 되고, 좌현타의 경우 선체 및 프로펠러에 의한 정류효과가 크게 작용하기 때문에 타를 구동시키면 상대적으로 큰 타력을 얻게 된다. 이러한 현상을 고려하면 선회시 타력이 증가하여 선회성능이 좋아지게 된다. 하지만 편류각이나 선회각속도가 작은 경우의 ZigZag 시험에서는 이러한 현상이 그다지 크게 작용하지 않기 때문에 시뮬레이션 결과가 매우 비슷하게 나온다고 생각된다.

쌍축 선형의 Skegs 주위에서 생기는 이러한 유동 특성은 일반적인 단축 선형과는 매우 다른 현상이며, 시뮬레이션에서도 선회성능에는 해석방법에 따라 영향이 나타나고 있다. 하지만 좀더 범용적인 목적으로 추정식을 만들거나, 시스템 검증법을 사용하여 자유항주시험이나 실선시운전 결과를 해석할 경우에는  $\beta_R$ 의 범위를 여러 구간으로 나누어서 해석하는 방법은 사용하기가 어려운 단점이 있다. 그리고 이러한 현상이 자유항주시험이나 실선에서도 나타나는 현상인지에 대한 규명이 수행된 후에 사용되어야 할 것으로 생각된다.

정류계수  $\gamma_R$ 과 달리 시뮬레이션에서 사용된 타 위치에서의 유효반류는  $\beta_R$ 에 대해서 여러 구간으

로 나누어서 해석하지 않았으며, 쌍축 선형의 조종성능 특성을 제대로 파악하기 위해서는 이에 대한 검토도 수행되어야 한다고 생각된다.

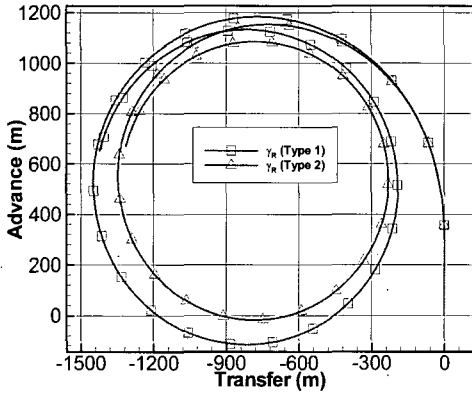


Fig. 8 35° Port rudder turn

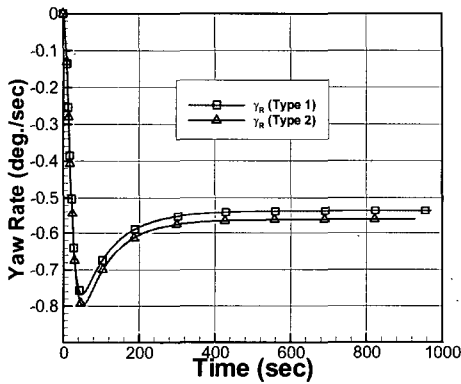


Fig. 9 10°/10° ZigZag test

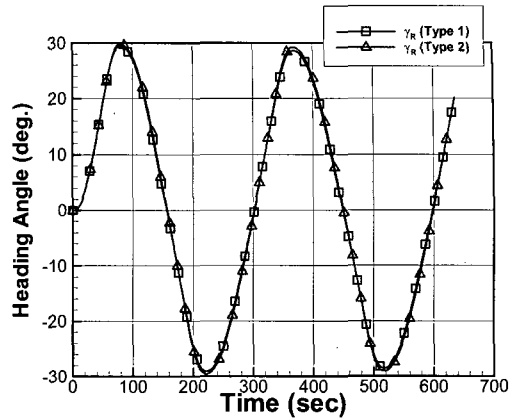
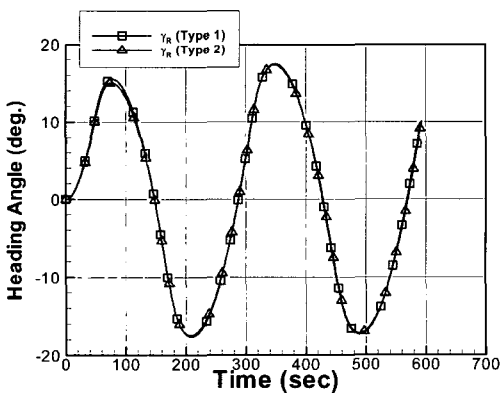


Fig. 10 20°/20° ZigZag test

Table 5 Simulation results

$\gamma_R$	Type 1	Type 2
Tact. Daim.	3.94 L	3.66 L
Advance	3.22 L	3.13 L
10°/10° 1st	5.5°	5.0°
10°/10° 2nd	7.7°	7.5°
20°/20° 1st	9.5°	9.8°
20°/20° 2nd	9.1°	9.5°

5. 결 언

본 논문에서는 쌍축 컨테이너선의 조종성능 특성에 대한 연구를 수행하였으며, 대상 선형으로는 12,000 TEU 컨테이너선을 선택하였다. 조종성능 추정은 4자유도 HPMM 시험에 의해서 수행되었으며, 연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 쌍축 선형에 대한 4자유도 조종운동 방정식을 정리하여 우현타에 대한 실험 결과를 이용해서 좌현타에 대한 조종성 계수들을 구하였다.
- 정류계수  $\gamma_R$ 의 경우 단축 선형과 매우 다른 경향을 보여주고 있다.
- 정류계수  $\gamma_R$ 을 일반 단축 선형과 같은 방법으로 해석하는 경우와 쌍축 선형의 특성을 고려해서 해석하는 경우 선회성능에 있어서 약간 다른 추정값을 주고 있으며, 이에대한 검토가 필요하다.

본 논문의 결과로부터 쌍축 컨테이너선의 조종 성능을 추정하기 위한 조종운동 방정식을 정리하였으며, 정류계수  $\gamma_R$  및 타 위치에서의 유효반류에 대한 추가적인 연구가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 이를 위해서 추후에 자유항주시험, 유장 계측 시험 및 CFD 계산이 수행될 계획이다.

### 후 기

본 논문의 내용은 산업자원부에서 지원하고 MOERI와 대우조선해양 및 한진중공업이 공동으로 수행한 “차세대 선박의 조종성/안전성 평가기술 개발” 과제의 연구결과의 일부이다.

### 참 고 문 헌

- 고창두, 조용진, 신우행, 김하준, 권성철, 박봉근, 2002, "15,000 TEU급 초대형 컨테이너선의 최적화 초기설계," 대한조선학회 추계 학술대회 논문집, pp 98-101.
- 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 추계 학술대회 논문집, pp 233-236.
- 김선영 외, 2003, 차세대 선박의 조종성/안전성 평가기술 개발 (I), 과학기술부 과제, 한국해양연구원 보고서 UCN00350-2437.
- 김연규, 김선영, 공인영, 조용만, 1998, "2축 2타선의 조종성능 추정을 위한 조종수학 모형," 선박해양 기술 제27호, pp. 73-76
- 김은찬, 양승일, 1987, "저항, 자항시험 해석 프로그램 개발," 한국기계연구소 소보 Vol.17, pp. 133-144

- 이승건, 1988, 2축 2타선의 조종수학 모델에 관한 연구, 동경대학 박사학위 논문.
- 이승건, 김윤수, 이승재, 1996, "2축 2타선의 조종성능 추정에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제 33권, 제 4호, pp 60-65.
- 이영연, 반석호, 이춘주, 박재상, 김용수, 박노준, 2004, "Twin-Skeg 초대형 컨테이너선의 선미 스케그 변화에 따른 저항 및 추진성능 고찰," 대한조선학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 913-925.
- 이춘주, 이영연, 2002, "Twin-Skeg 선형변환 방법 개발," 대한조선학회 2002년도 추계 학술대회 논문집, pp. 107-110.
- Kim, S.Y., Kim, Y.G., Son, N.S., Lee, S.W., and Park, K.D., 2003, "Maneuvering Characteristics of a Large Container Ship," International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability (MARSIM) '03, pp RC-8-1~11.



< 김 연 규 >



< 김 선 영 >



< 김 형 태 >



< 유 병 석 >



< 이 석 원 >