해양환경안전학회지 제16권 제4호 pp. 393-399, 2010. 12. 31. (ISSN 1229-3431)
Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety

고 양력 타가 선박의 조종성능에 미치는 영향에 관한 연구

김상현* · 김현준**† · 전희철** · 윤승배** · 박화평** · 김옥석***
* 인하대학교 기계공학부 조선해양공학과, ** 인하대학교 대학원 조선해양공학과 *** 목포해양대학교

A Study on the Effects of High-lift Rudder on Ship's Maneuverability

Kim Sang-Hyun* · Kim Hyun-Jun**† · Hee-Chul Jun** · Seung-Bae Yoon** · Hwa-Pyeong Park** · Ok-Sok Gim***
*, ** Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, School of Mechanical Engineering, INHA University, Incheon, 402-751, Korea
*** Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 최근 선박의 좌초 및 추돌 사고로 인한 해양오염이 심각해짐에 따라 선박의 조종성능에 대한 관심이 고조되고 있는 가운데 IMO에서는 Resolution MSC.137을 채택함으로써 조종성능에 대한 국제적인 기준이 강화되었다. 선박의 조종성능을 향상시키기 위해서는 여러 가지 방법이 있으나 본 연구에서는 타의 양력 증가가 조종성능 향상에 얼마나 기여하는지를 알아보고자 한다. 조종성능 평가 방법으로 수치 시뮬레이션을 이용하였고, 대상선형은 공시선형인 Mariner Class Vessel로 하였다. 조종성능 평가 방법은 선회 시험과 지그재그 시험을 수행하였고, 고 양력 타의 적용은 수학모델에서 타와 관련된 동유체력 미계수의 값을 양력 증가에 따라 변화 시켜 조종성능의 변화를 예측하였다. 시뮬레이션 결과, 타의 양력 증가로 인해 선회성능 개선이 예상되나, 변침성능을 저해할 가능성이 있는 것을 확인하였다.

핵심용어 : 선박 조종성능, 고 양력 타, 수치 시뮬레이션, 선회시험, 지그재그 시험

Abstract : *Recently, a vessel's maneuvering performance is considered to be an important subject as marine pollution from the ships that stranded on a rock becomes more severe. So, IMO(International maritime organization) has adopted Resolution MSC.137 to enhance international standards of ship's maneuverability. There's more than one way to improve ship's maneuverability. This research focused on improving ship's maneuverability by high-lift rudder. To predict the maneuverability, the numerical simulation model was used. The evaluation of maneuverability was carried out by turning test and zig-zag test. The results obtained with these simulation showed that the high-lift rudder would be effective in improving the turning ability of the ship. But it was clarified that there was a possibility that course changing ability might become bad through an increase of rudder lift.*

Key Words : *A vessel's maneuvering performance, The evaluation of maneuverability, The numerical simulation, Turning test, Zig-Zag test*

1. 서 론

최근 선박의 좌초 및 추돌 사고로 인한 해양오염이 심각해짐에 따라 대형선박의 조종성능 향상에 관한 국제적 관심과 중요성이 증대되고 있다. 설계 관점에서 저항 및 추진 성능에 초점을 맞춘 선박은 조종성능이 나쁜 경우가 많으며, 이를 개선하기 위해서 고 양력 타가 적용되고 있다. 고 양력 타에는 타의 단면 형상을 물고기 꼬리 모양으로 만들어 고 양력이 발생할 수 있도록 설계한 쉴링(Schilling)타와 가동부의 끝단에 플랩(Flap)을 두어 타각에 따라 각도를 증가시켜서 양력을 향상시킨 플랩(Flap) 타가 있다(강 등, 1997). 또한 물체 표면에 접선 방향으로 분출된 고속의 유동이 물체표면을 따라 잘 흘러가게 함으로써 양력을 증가시키는 콴다현상을 응용한 고양력 타가 있다(최와 김, 2004).

저자들은 저속 운항 상태에서의 양력 확보에 의한 조종성능 향상을 위해 콴다 효과를 응용한 타를 설계 및 제작하고 있으며, 이에 앞서 콴다 효과로 인한 양력 증가가 선박의 조종성능 향상에 기여하는 정도를 확인하기 위해 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 조종성능 평가 방법으로는 IMO 표준 조종시험인 선회 시험과 지그재그 시험을 수행하였으며, 양력 향상 정도(0~60%)에 따라 전진거리와 전술선회직경, 1st Overshoot 각과 2nd Overshoot 각의 변화 정도를 확인하였다(김 등, 2010).

2. 선체 조종운동 방정식

좌표계는 선체고정 좌표에서 선박의 선체 중앙부(Midship)에 원점을 가진 좌표계를 사용하였고, Fig. 1과 같이 표시된다. Surge-Sway-Yaw 3자유도 조종운동 방정식은 식(1)과 같다.

* 대표저자 : 정회원, kimsh@inha.ac.kr, 032-860-7344
† 교신저자 : 정회원, kimgn30@gmail.com, 032-860-7344

$$m(\dot{u}-vr-x_G r^2)=X \quad (1)$$
$$m(\dot{v}+ur+x_G\dot{r})=Y$$
$$I_z\dot{r}+mx_G(\dot{v}+ur)=N$$

식(1)에서 m은 선체의 질량, I_z는 z축 주위의 질량관성모멘트이다. u, v, r은 각각 무게중심 G에서의 x축 방향의 속도 성분, y축 방향의 속도 성분, z축 주위의 각속도 성분이다. $\dot{u},\dot{v},\dot{r}$는 각각 u, v, r의 1차 도함수이다. X, Y, N은 각각 선체중앙(Midship)에서의 x축 방향 동유체력, y축 방향의 동유체력, z축에 평행한 축에 관한 동유체력 모멘트이다. 선체중앙에서의 동유체력 X, Y, N은 Abkowitz형 수학모델에서 식(2)와 같이 표시된다(Abkowitz, 1964).

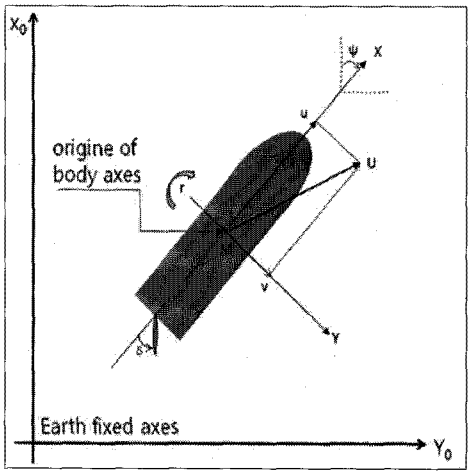

Fig. 1 Coordinate system.

$$X=X_u u+X_{uu}u^2+X_{uuu}u^3+X_{vv}v^2+X_{rr}r^2+X_{rv}rv+X_{\delta\delta}\delta^2+X_{u\delta\delta}u\delta^2+X_{u\delta}u\delta+X_{uv\delta}uv\delta+X_{\dot{u}}\dot{u}$$

$$Y=Y_v v+Y_r r+Y_{vvv}v^3+Y_{vvr}v^2r+Y_{vu}vu+Y_{rru}ru+Y_\delta\delta+Y_{\delta\delta\delta}\delta^3+Y_{v\delta}v\delta+Y_{uu\delta}u^2\delta+Y_{v\delta\delta}v\delta^2+Y_{vv\delta}v^2\delta+(Y0+Y0_u u+Y0_{uu}u^2)+Y_{\dot{v}}\dot{v}+Y_{\dot{r}}\dot{r} \quad (2)$$

$$N=N_v v+N_r r+N_{vvv}v^3+N_{vvr}v^2r+N_{vu}vu+N_{rru}ru+N_\delta\delta+N_{\delta\delta\delta}\delta^3+N_{v\delta}v\delta+N_{uu\delta}u^2\delta+N_{v\delta\delta}v\delta^2+N_{vv\delta}v^2\delta+(N0+N0_u u+N0_{uu}u^2)+N_{\dot{v}}\dot{v}+N_{\dot{r}}\dot{r}$$

무차원 표현 방식은 식(3)과 같다.

$$m'=\frac{m}{1/2\rho L^3}\quad I_z'=\frac{I_z}{1/2\rho L^5} \quad (3)$$
$$X',Y'=\frac{X,Y}{1/2\rho L^2U^2}\quad N'=\frac{N}{1/2\rho L^3U^2}$$

여기서, ρ는 물의 밀도이며, L은 선박의 길이, U는 선속이다. 또한 m'은 무차원화 된 선박의 질량이며, I'z는 무차원화 된 선박의 관성질량이다. X', Y', N'은 무차원화 된 값으로 선박에 작용하는 전후동요(Surge), 좌우동요(Sway), 선수동요(Yaw) 외력을 나타낸다.

3. 대상선 및 유체력 미계수

대상선형은 Mariner Class Vessel로 화물선(Cargo ship)이며 선체 길이 160 m, 선속 15 노트이다. 대상선의 주요제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Principal particulars of ship

Length overall (L_{oa})	171.80 (m)
Length between perpendiculars(L_{pp})	160.93 (m)
Maximum beam (B)	23.17 (m)
Design draft (T)	8.23 (m)
Design displacement (∇)	18541(m^3)
Design speed (u_0)	15 (knots)

식(1)의 조종운동방정식에 포함된 유체력 미계수 값은 PMM(Planar Motion Mechanism)시험, 회전팔(Rotaing Arm) 시험 및 CMT(Circular Motion Test) 등을 통하여 구할 수 있다. 본 연구에서는 Chislett과 Strom-Teisen에 의해 수행되어진 Mainer Class Vessel의 PMM시험 자료를 이용하기로 하였고, PMM 시험에 의해 구해진 동유체력 미계수의 값을 Table 2에 나타내었다(Fossen, 1994).

Table 2. Non-dimensional hydrodynamic coefficients for the mariner class vessel (multiplied by 10^5)

X-equation	Y-equation	N-equation
$X_{\dot{u}}'$ = -840	$Y_{\dot{v}}'$ = -1546 $Y_{\dot{r}}'$ = 9	$N_{\dot{v}}'$ = 23 $N_{\dot{r}}'$ = -83
X_u' = -184	Y_v' = -1160	N_v' = -264
X_{uu}' = -110	Y_r' = -499	N_r' = -166
X_{uuu}' = -215	Y_{vvv}' = -8078	N_{vvv}' = 1636
X_{vv}' = -899	Y_{vvr}' = 15356	N_{vvr}' = -5483
X_{rr}' = 18	Y_{vu}' = -1160	N_{vu}' = -264
$X_{\delta\delta}'$ = -95	Y_{ru}' = -499	N_{ru}' = -166
$X_{u\delta\delta}'$ = -190	Y_δ' = 278	N_δ' = -139
X_{rv}' = 798	$Y_{\delta\delta\delta}'$ = -90	$N_{\delta\delta\delta}'$ = 45
$X_{v\delta}'$ = 93	$Y_{u\delta}'$ = 556	$N_{u\delta}'$ = -278
$X_{uv\delta}'$ = 93	$Y_{uu\delta}'$ = 278	$N_{uu\delta}'$ = -139
	$Y_{v\delta\delta}'$ = -4	$N_{v\delta\delta}$ = 13
	$Y_{vv\delta}'$ = 1190	$N_{vv\delta}$ = -489
	$Y0'$ = -4	$N0'$ = 3
	$Y0_u'$ = -8	$N0_u'$ = 6
	$Y0_{uu}'$ = -4	$N0_{uu}'$ = 3

4. 조종성 시뮬레이션 모델 개발

대상선의 조종성능을 수치 시뮬레이션을 통하여 평가하기 위해 Fig. 2와 같이 MATLAB & SIMULINK를 이용하여 조종성 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

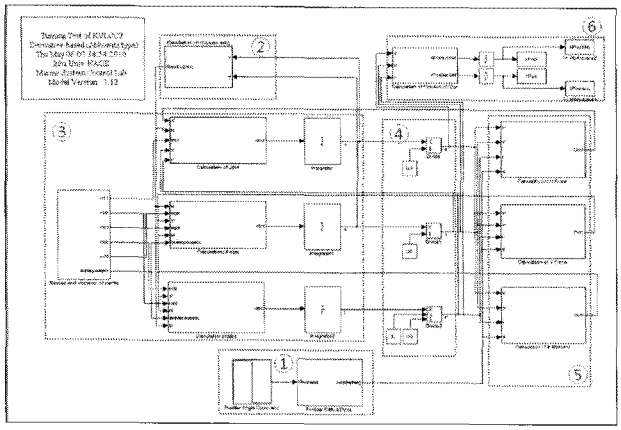

Fig. 2. Numerical simulation model.

Fig. 2의 시뮬레이션 모델에서 ①은 조타기 및 타 각 δ의 출력을 모델링한 부분으로 원리는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 (a)에 유압조절장치(Telemotor)와 Floating lever가 위치하고, 유압조절장치가 위치(b)로 이동함에 따라 Port valve가 열리게 된다. 이에 따라, Steering cylinder valve가 열리게 되고 결과적으로 Floating lever의 위치가 (c)로 이동하게 된다(Van Amerongen 1984).

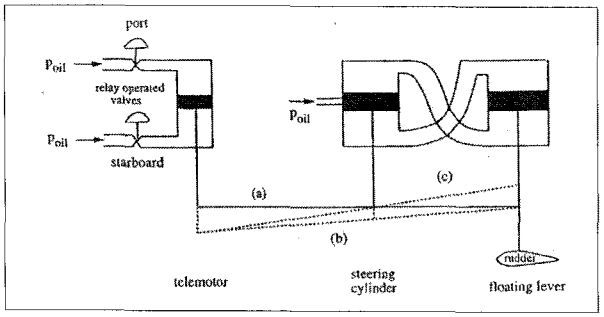

Fig. 3. Simplified diagram of a two-stage hydraulic steering machine.

이와 같은 조타기의 원리를 간단한 블록선도로 나타내면 Fig. 4와 같다(Van Amerongen, 1984).

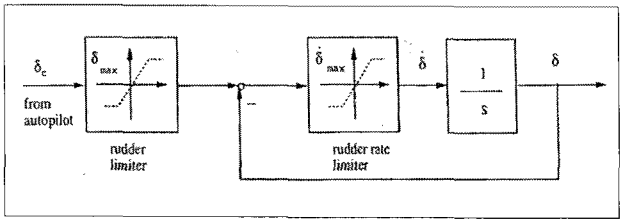

Fig. 4. Simplified diagram of the rudder control loop.

여기서 δ_c는 명령타각, δ_{max}는 최대타각을 $\dot{\delta}_{max}$ 는 최대타각속도, δ는 실제타각을 나타낸다. 위의 방법을 이용하면 최대타각과 최대 타 각속도를 제한 할 수 있으며, 시간에 따른 타각 변화를 표현하는데 용이하다.

Fig. 2의 ②는 Midship에 원점을 둔 선체 고정 좌표계의 순간 선속도 U를 모델링 한 것이며, 식(4)와 같이 표현 할 수 있다.

$$U = \sqrt{(U_0+u)^2+v^2} \tag{4}$$

여기서 U 는 선속 , U_0는 설계 속도이다.

Fig. 2의 ③은 앞 절에서 주어진 조종운동방정식을 보다 편리한 형태로 정리하여 모델링한 것으로 선수동요 속도 u, 좌우동요 속도 v, 선수동요 각속도 r을 식(5)에서 표현하고 있다.

$$\begin{aligned}
\dot{u} &= \frac{X'}{m'-X_{\dot{u}}'}\left(\frac{U^2}{L}\right),\\
\dot{v} &= \frac{(I_{zz}'-N_{\dot{r}}')Y'-(m'x_G'-Y_{\dot{r}}')N'}{\det(M)}\left(\frac{U^2}{L}\right)\\
\dot{r} &= \frac{-\{(m'x_G'-N_{\dot{v}}')Y'+(m'-Y_{\dot{v}}')N'\}}{\det(M)}\left(\frac{U^2}{L^2}\right)
\end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
&\det(M)\\
&=(m'-Y_{\dot{v}}')(I_{zz}'-N_{\dot{r}}')-(m'x_G'-Y_{\dot{r}}')(m'x_G'-N_{\dot{v}}')
\end{aligned}$$

Fig. 2의 ④는 무차원화 된 선수동요 속도 u, 무차원화 된 좌우동요 속도 v, 무차원화 된 선수동요 각속도 r을 모델링 한 것이며, ⑤에서는 선박에 작용하는 각 방향 외력 X, Y, N을 모델링 한 것이다. ⑥에서는 지구고정 좌표계에 대한 변위 X_0, Y_0를 모델링 한 것으로 식(6)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
\dot{X}_0 &= (U_0+u)\cos\psi - v\sin\psi\\
\dot{Y}_0 &= (U_0+u)\sin\psi + v\cos\psi
\end{aligned} \tag{6}$$

여기서, ψ는 선수각을 의미한다.

5. 시뮬레이션 결과 및 고찰

5.1 조종성능 수치 시뮬레이션 조건

조종성능 수치 시뮬레이션에서는 Runge-Kutta-Gill법에 의한 수치적분법을 이용하였으며 시뮬레이션 조건은 Table 3과 같다.

Table 3. Condition of numerical simulation

Simulation total time	700 sec
Rudder turn rate	2.34 deg/s
Action time of rudder angle command (case of turning test)	100 sec

5.2 선회시험(Turning Test) 시뮬레이션 결과

Fig. 5와 Fig. 6은 Mariner Class Vessel의 좌현과 우현 35° 선회시험 결과이고, Table 4는 Mariner Class Vessel의 전진거리(Advance)와 전술선회직경(Tactical diameter)이다. Table 4에서 알 수 있듯이 일반타의 경우 우현 선회 시험에서 전진거리는 3.03 L, 전술선회직경은 7.93 L이며, 좌현 선회 시험의 경우 전진거리는 4.33 L, 전술선회직경은 7.80 L의 결과를 얻었다.

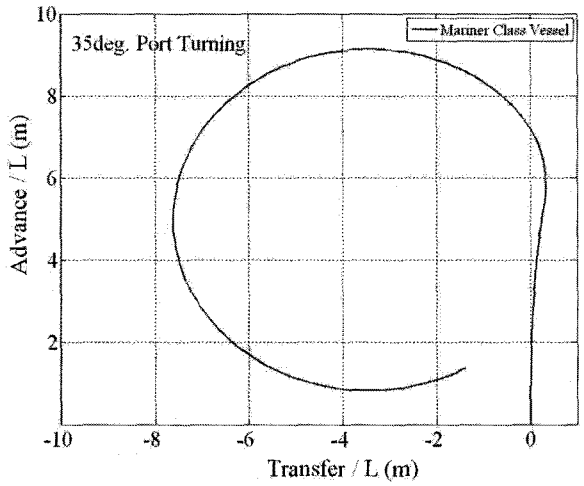

Fig. 5. Trajectories of 35° port turn.

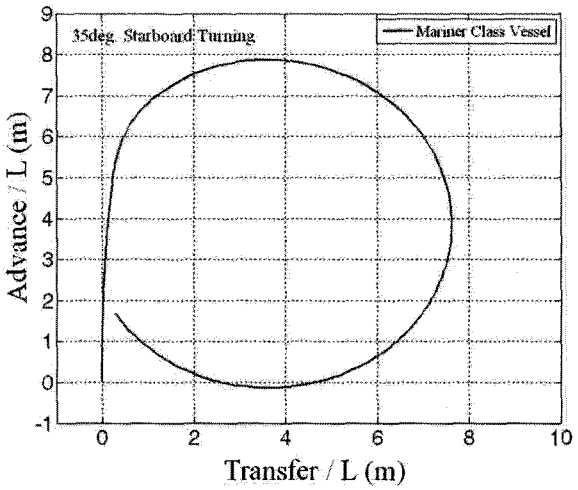

Fig. 6. Trajectories of 35° starboard turn.

Table 4. Turning parameters

Indices	35° Starboard turn	35° Port turn
Advance	3.03 L	4.33 L
Tactical diameter	7.39 L	7.80 L

Fig. 7~Fig. 9는 타각 35° 좌현 선회 시험에서의 선속, 선수동요 각속도, 선수각의 시간에 따른 변화를 보여 주고 있다. Fig. 7~Fig. 9에서 정상상태일 때의 선속은 5.73 m/s이며, 선수동요 각속도는 -0.5 deg/s이며, 타각 동작시간인 100 초부터 선수각도가 일정하게 감소하는 경향을 확인할 수 있다.

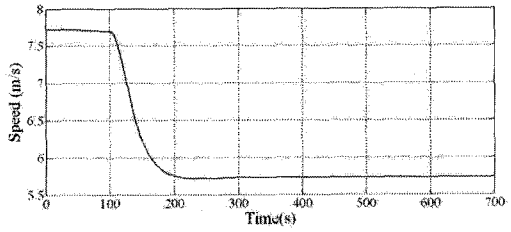

Fig. 7. Time history of speed for 35° port turning.

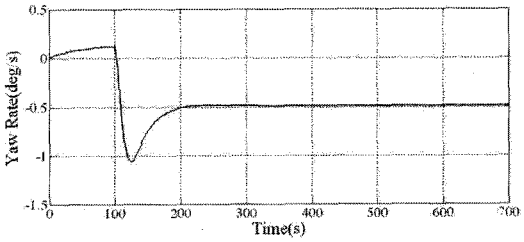

Fig. 8. Time history of yaw rate for 35° port turning.

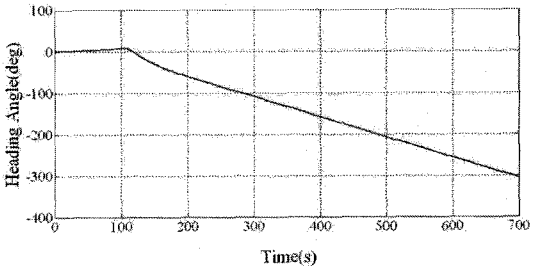

Fig. 9. Time history of heading angle for 35° port turning.

Fig. 10~Fig. 12는 타각 35°우현 선회 시험의 선속, 선수동요 각속도, 선수각의 시간에 따른 변화를 나타낸다. Fig. 10~Fig. 12에서 정상상태일 때의 선속은 5.71 m/s이며, 선수동요 각속도는 0.56 deg/s이며, 타각 동작시간인 100 초부터 선수각도가 일정하게 증가하는 것을 확인할 수 있다.

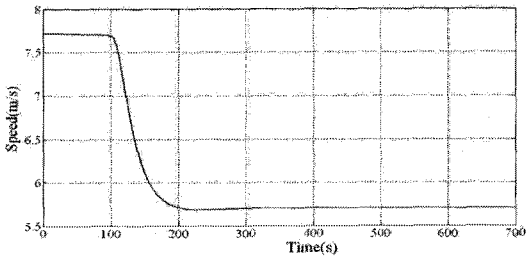

Fig. 10. Time history of speed for 35° starboard turning.

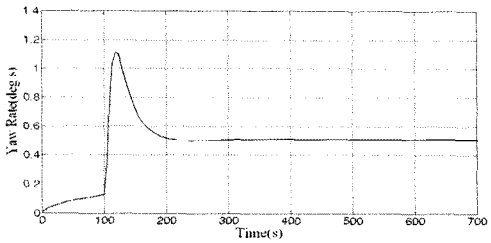

Fig. 11. Time history of yaw rate for 35° starboard turning.

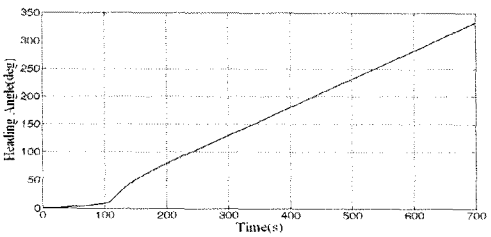

Fig. 12. Time history of heading angle for 35° star- board turning.

5.3 지그재그 시험(Zig-Zag Test) 시뮬레이션 결과

Fig. 13은 Mariner Class Vessel의 -10°/-10° 지그재그 시험의 결과이고, Fig. 14와 Fig. 15는 각각 시간에 따른 속도와 선수각의 변화량을 보여준다.

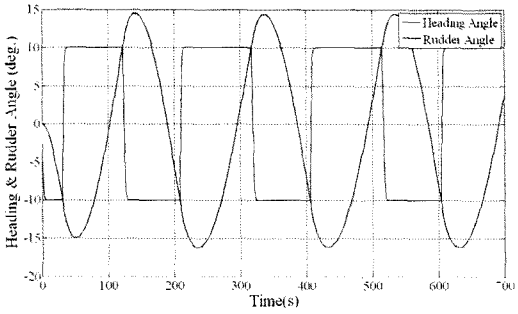

Fig. 13. Time history of heading & rudder angle for -10°/-10° zig-zag test.

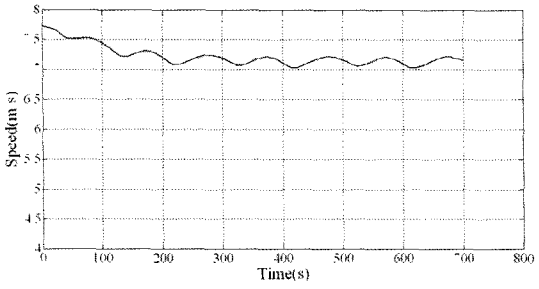

Fig. 14. Time history of speed for -10°/-10° zig-zag test.

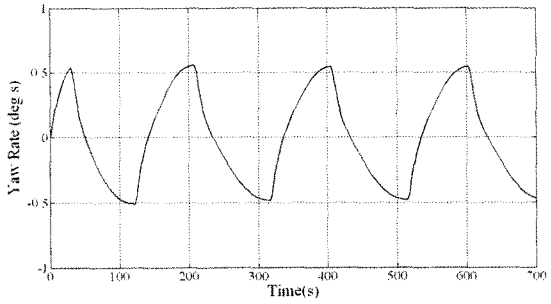

Fig. 15. Time history of yaw rate for -10°/-10° zig-zag test.

Fig. 16은 Mariner Class Vessel의 -20°/-20° 지그재그 시험의 결과이고, Fig. 17와 Fig. 18은 -20°/-20° 지그재그 시험 수행 시 시간에 따른 속도와 선수각의 변화량을 보여준다.

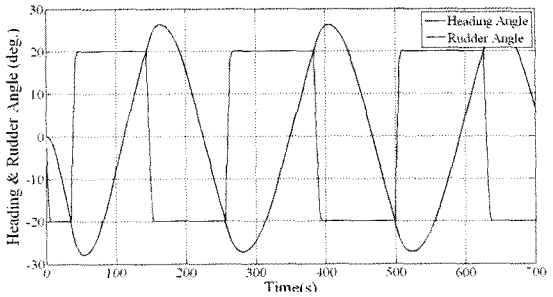

Fig. 16. Time history of heading & rudder angle for -20°/-20° zig-zag test.

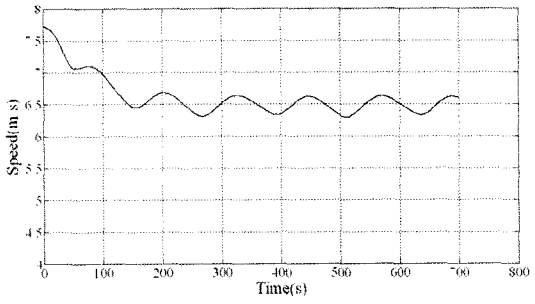

Fig. 17. Time history of speed for -20°/-20° zig-zag test.

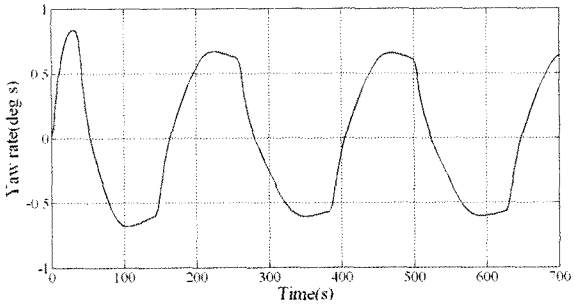

Fig. 18. Time history of yaw rate for -20°/-20° zig-zag test.

Mariner Class Vessel의 -10°/-10°, -20°/-20° 지그재그 시험 수치 시뮬레이션 수행 시 예측된 1st Overshoot 각과 2nd Overshoot 각의 값은 Table 5와 같다.

Table 5. Overshoot angles from zig-zag tests

	First overshoot angle	Second overshoot angle
-10°/-10°	4.98	4.47
-20°/-20°	7.84	6.25

5.4 고 양력 타 선박의 선회 시험 및 지그재그 시험 시뮬레이션 결과

타의 양력 증가에 의한 조종성능 개선을 표현하기 위해 Abkowitz형 수학 모델에서 타와 관계된 동유체력 미계수의 값이 양력에 따라 증가 했다 가정하여 선회궤적의 변화를 예측하였다.

Fig. 19과 Fig. 20은 타의 양력 증가에 따른 Mariner Class Vessel의 선회궤적의 변화를 보여 주고 있다. Table 6에서 양력 증가에 따라 전진거리와 전술선회직경 값이 감소하는 것을 확인할 수 있어, 타의 양력 증가로 인하여 선회성능이 향상되는 것을 추정할 수 있다.

Fig. 21과 Fig. 22는 각각 -10°/-10°, -20°/-20° 지그재그 시험의 결과를 보여주고 있다. Table 7에서 양력 향상에 따라 1st Overshoot 각, 2nd Overshoot 각의 값이 증가하는 것을 확인할 수 있어, 타의 양력 증가로 인하여 선박의 변침 성능이 다소 감소하는 것을 추정할 수 있다.

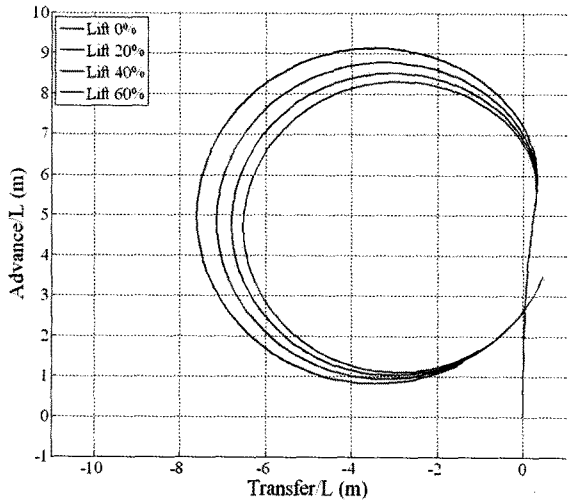

Fig. 19. Port turning test of mariner class vessel considering lift growth.

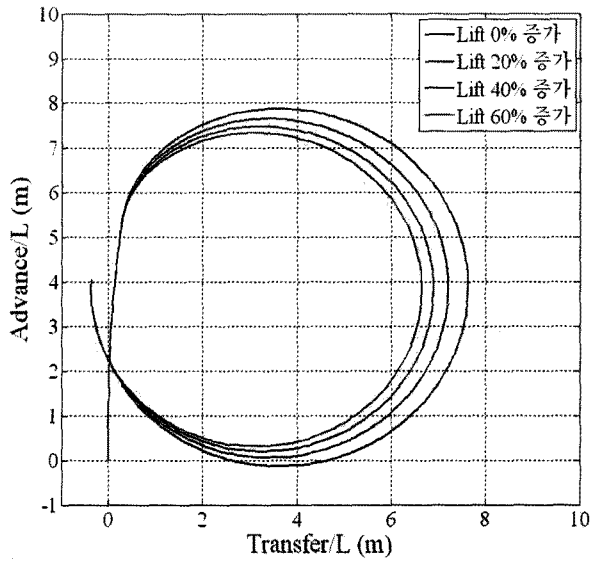

Fig. 20. Starboard turning test of mariner class vessel considering lift growth.

Table 6. Advance and tactical diameter by advanced lift

Lift	35° Port turning		35° Starboard turning	
	Advance	Tactical diameter	Advance	Tactical diameter
0 %	4.33 L	7.80 L	3.03 L	7.39 L
20 %	3.98 L	7.34 L	2.86 L	6.99 L
40 %	3.72 L	6.98 L	2.67 L	6.67 L
60 %	3.50 L	6.72 L	2.53 L	6.42 L

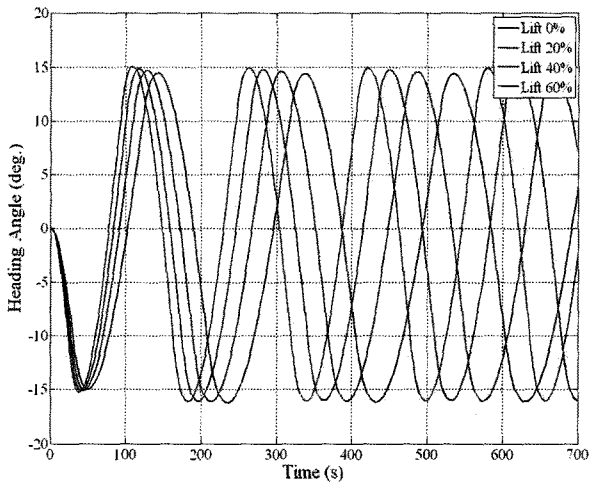

Fig. 21. -10°/-10° zig-zag test of mariner class vessel considering advanced lift.

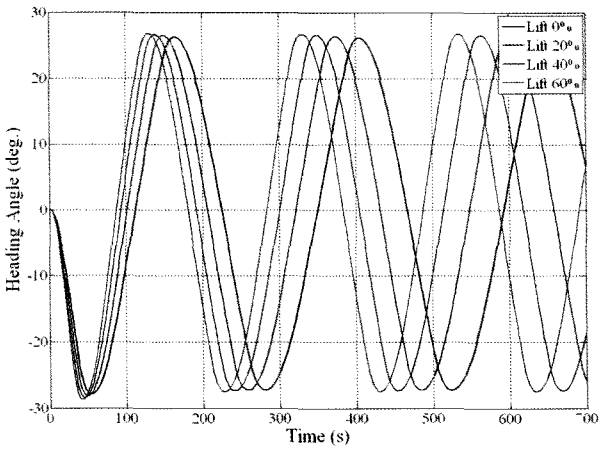

Fig. 22. -20°/-20° zig-zag test of mariner class vessel considering advanced lift.

Table 7. Overshoot angles by advanced lift

Lift	-10/-10		-20/-20	
	First overshoot angle	Second overshoot angle	First overshoot angle	Second overshoot angle
0 %	4.98	4.47	7.84	6.25
20 %	5.02	4.67	8.15	6.48
40 %	5.16	4.89	8.42	6.66
60 %	5.28	5.05	8.67	6.82

6. 결 론

본 연구에서는 고 양력 타에 의한 타의 양력 증가가 선박의 조종성에 미치는 영향을 알아보기 위해 조종성능 평가를 위한 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 또한 타의 양력 증가가 선박의 조종성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 선회 시험 및 지그재그 시험에 대한 수치 시뮬레이션을 수행하여 선회성능과 변침성능 변화를 고찰하였다. 본 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

1. 고 양력 타에 의한 타의 양력 증가가 선박의 선회 성능을 개선시키는 것을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.
2. 선회 시험 결과, 좌현 선회의 경우 타 양력이 60 %증가함에 따라 전진거리 19.2 %, 전술선회직경 13.8 %의 감소하였다.
3. 고 양력 타에 의한 타의 양력 증가가 선박의 변침성능을 감소시키는 것을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.
4. -10°/-10° 지그재그 시험의 경우 1st Overshoot 각이 6.0 %, 2nd Overshoot 각이 13.0 % 증가하였으며, -20°/-20° 지그재그 시험의 경우 1st Overshoot 각이 10.6 %, 2nd Overshoot 각이 9.1 % 증가하였다.

향후 선체, 프로펠러, 타 등의 각 요소를 구별하여 선박의 조종운동을 수학적으로 표현한 MMG 조종운동모델을 이용하여 고 양력 타에 의한 타의 양력 증가가 선박의 조종성에 미치는 영향에 대하여 수치 시뮬레이션을 통하여 검토할 예정이다. 또한 고 양력 타를 장착한 모형선의 자유항주시험을 통해서도 조종성능을 평가할 예정이다.

후 기

이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-331-D00564).

참 고 문 헌

[1] 강창구, 염덕준, 김호충, 하문근, 손봉룡, 안성필(1997), 저속비대선의 조종성능 고도화 기술 개발 , 대한조선학회논문집, 34권, pp. 38-49.

[2] 김상현, 전희철, 김현준, 윤승배(2010), 관다효과를 가지는 고 양력 타 장착 모형선의 선회시험에 의한 조종성능 평가, 한국해양과학기술협의회 공동학술대회, pp. 2015-2018

[3] 최봉준, 김효철(2004), 관다현상을 응용한 고양력 발생 타 장치가 조종성능에 미치는 영향에 대한 연구, 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 88-93.

[4] Abkowitz, M. A.(1964), LecturesonShip Hydrodynamics - Steering and Manoeuvrability -, Hydro-og Aerodynamisk Laboratorium, Report No. Hy-5, pp. 337-393.

[5] Fossen, Thor I.(1994), Guidance and Control of Ocean Vehicles, University of Trondheim, pp. 431-434.

[6] Van Amerongen, J.(1984), Adaptive Steering of Ships-A Model Reference Approach, Automatica, Vol. 20, No. 1, pp. 3-14.

원고접수일 : 2010년 11월 03일
원고수정일 : 2010년 12월 16일
게재확정일 : 2010년 12월 23일