

조사선 제라호의 조종성능 평가에 관한 연구

이창헌 · 안장영 · 김석종 · 김민선¹ · 최찬문*

제주대학교 해양산업경찰학과, ¹군산대학교 해양산업 · 운송과학기술학부 해양생산시스템전공

A study on maneuverability evaluation by the research vessel JERA

Chang-Heon LEE, Jang-Young AHN, Suk-Jong KIM, Min-Son KIM¹ and Chan-Moon CHOI*

Department of Marine Industrial and Maritime Police, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

¹Division of Marine Industry Transportation Science and Technology Marine Production System Major, Kunsan National University, Kunsan 54150, Korea

This study is intended to provide navigator with specific information necessary to assist in the avoidance of collision and in operation of ships to evaluate the maneuverability of research vessel Jera. Authors carried out full-scale sea trials for turning test, zig-zag test, and spiral test at actual sea-going condition, which were performed on starboard and port sides with 10-20 rudder angle at service speed of 10 knots. The turning circle was much different at both of the turning of port and starboard which was longer at the starboard than at the port. In the zig-zag test results, the port and starboard was 10° the first and second overshoot angles were 6.0°, 5.8° and 6.3°, 7.1° respectively and the first overshoot angles were 16.4°, 17.6° when using 20°. Her maneuverability index T and K can be easily determined by using an analogue computer with the data obtained from the zig-zag tests where K is a constant representing the turning ability and T is a constant representing her quick response. In the zig-zag tests under 10° or 20° at rudder angle, the value K is 0.149. 0.123 sec and T is 11.853 and 6.193 sec and angular velocity is 0.937°/sec and 1.636°/sec. In the spiral test, the loop width was unstable at +0.51° and -1.19° around the midship of rudder, but the tangent line at 0° was close to vertical. From the sea trial results, we found that she did comply with the present criterion in the standards of maneuverability of IMO.

Keyword : Maneuverability, Zig-zag and spiral test, Overshoot angle, Turning ability

서론

선박의 조종성능은 예전부터 선회시험의 결과에 의해서만 평가되어졌지만, 1960년경부터 Kempf의 Z-조종시험 결과에 의해서 조종성지수라고 정의하여 그 성능을 명확하게 나타낼 수 있게 되었다 (Journee and Pinkster,

2002). 또 방향안정성의 판별을 위해 spiral test가 제의되고 최근에는 역 spiral test, 변형 Z-조종시험 등이 실시되고 있다. 조종성능과 더불어 조타에 대한 추종성에 관해서도 중요하게 인식되어 선회력을 나타내는 선회성(turning ability)과 타각의 응답인 추종성(course

*Corresponding author: cmchoi@jeju.ac.kr, Tel: 82-64-754-3415, Fax: 82-64-756-3483

changing ability)으로 나누어 평가한다 (Journey and Pinkster, 2002).

최근 선박의 대형화와 함께 조종성에 관한 이론이 명백하여지고 선박의 조종성능시험방법도 개선되었다. 조종성능시험을 제도화 하기 위해 1990년대 초반부터 국제해사기구 (International Maritime Organization: IMO)에서는 조종성기준 (maneuvering standards)을 제정하여 100 m 이상의 모든 선박과 위험화물을 수송하는 케미컬 탱커 및 LNG 선박은 길이에 관계없이 적용을 받도록 하고 있다.

선박운항에 관한 안전성을 확보하기 위해서는 환경조건이나 조선 등의 인적요소의 영향도 중요하지만, 선박 고유의 조종성능을 확보하는 것도 대단히 중요하기 때문에 설계단계에서부터 잘못된 조종성능을 보완조치를 할 필요가 있을 것으로 인식하고, 초기설계 시 조종성능을 추정하여 보다 우수한 성능을 가진 선박을 건조하려는 노력을 꾸준히 진행하여 왔다 (Kopp, 1993; Lee and Kim, 1995).

선박의 조종성능의 추정방법은 실선 시험에 의한 방법과 이론적으로 계산하는 방법으로 크게 두 가지로 나누고 있다 (Kopp, 1993; Kobayashi, 1995; Matsumoto and Suemitsu 1980; Yasukawa, 1992; Yasukawa and Yoshimura, 2015).

실선 시험에 의한 방법 중 하나는 자유 항주시험을 수행하여 직접 조종성능을 판단하는 방법이고 다른 하나는 수조에서 여러 가지 시험을 통하여 유체력 계수를 구한 후 시뮬레이션에 의해 추정하는 방법이다. 실선 시험에 의하지 않고 조종성능을 추정하는 방법은 유체력 계수를 이론적인 계산을 수행하여 구하거나 선박의 기본 제원을 이용하여 기존의 경험식을 사용하여 구하지만 (Kijima et al., 1990) 실제 운항자가 그 선박에 대해 해상에서 조종성능을 평가하는 것이 무엇보다 더 중요할 것으로 생각된다. 따라서 조선을 하는 사람은 운항에 앞서 그 선박의 조종성능과 내항성을 알아 두는 것이 매우 중요한 일이다.

한편, 선박의 조종성능은 타각을 주었을 때 선체가 그리는 회두 궤적으로, 주로 전속으로 항행 중에 타각을 주었을 때 발생하는 궤적을 종거, 횡거 및 선회경 등으로 나누어 조종성능을 표현한다. 이처럼 선회권을 더욱 세분하여 나타낸 조종성능은 현재까지 중요하게 사용되고

있다. 하지만 다양한 선형 및 크기를 가진 선박들의 운항이 폭주하고 있는 최근의 해상에서는 선회권만으로 조종성능을 표현하기에는 부족하다.

특히 해양관측에 종사하는 선박의 운항자들은 어선들이 밀집해서 조업하고 있는 어장이나 협수로, 항로, 항계 부근 및 항내에서도 관측을 수행해야 하기 때문에 선체 운동을 정량적으로 파악해야 할 필요가 있다. 또한 장기적으로 선박 건조 시에 선형을 결정할 수 있는 선형에 따른 조종성을 파악할 수 있는 기초자료가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 해양관측에 사용되는 총톤수 161톤급 제주대학교 해양관측선 제라호에 대한 선회권, zig-zag 및 spiral 시험 등 조종특성들을 조사하였다. 그 결과를 국제해사기구에서 채택된 선박 조종성 기준 (IMO A. 137(76), 2002)에의 만족여부를 검토하고 고찰하였다.

재료 및 방법

이론 배경

조선이라는 것은 자선의 위치, 자세, 속력을 제어하고, 소정의 방향에 이동 또는 정지시키는 행위라고 할 수 있다. 이때 조선을 할 수 있는 방법은 기본적으로 타 (rudder)와 주기관 (main engine)이 있는데, 이 중 타는 선체를 직진 또는 회두시켜 Fig. 1과 같이 침로를 제어하는 중요한 장비이다.

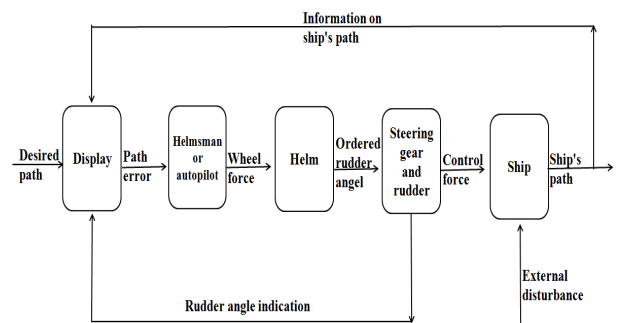


Fig. 1. Block diagram of the course control system.

타에 작용하는 힘은 Bernoulli's 정리에 의해서 식 (1)처럼 나타낼 수 있다.

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = const. \quad (1)$$

여기서 p 는 압력, v 는 유속, ρ 는 밀도, g 는 중력가속도를 나타낸다. 타면에 작용하는 마찰력은 직압력 (normal force: N)에 비해 매우 적기 때문에 무시하면 타각 δ 를 취하였을 때 직압력과 양력, 항력 사이에는 식 (2)와 같은 관계가 있다.

$$L(\text{Lift force}) = N \times \cos \delta$$

$$D(\text{Drag force}) = N \times \sin \delta \quad (2)$$

조타에 대한 운동응답에 관해서는 옛날부터 조종운동 이론의 분야로서 연구가 발전되어 왔으며, 그 응답은 조선자의 감각의 측면에서 파악되고 있다. 조종운동이론에서는 추종성, 선회성 및 침로 안정성 등 3가지의 특성 값으로 표현된다.

선회 및 회두에 대한 정의는 전자는 지구고정좌표계에서 조타 후 중심이동 궤적이라고 하고, 후자는 선체고정좌표계에서 조타 후 선수회전운동이라고 한다.

조타에 의해 일어나는 선박의 조종운동은 중심을 원점으로 하는 선체고정좌표계에서 전후방향 (surge), 횡방향 (sway), 선수동요 (yaw)의 연성으로 운동하고 있다. 이들 운동에 대해서 Newton의 운동 제2법칙 ($F=ma$)을 적용하여 각운동 상호간의 연성을 고려하면 식 (3)처럼 연립방정식으로 나타낼 수 있다.

$$m(\dot{u} - vr) = X$$

$$m(\dot{v} + ur) = Y$$

$$I_z \cdot \dot{r} = N \quad (3)$$

여기서

- m : 선체의 질량
- u : 선체의 선수미축 (x 축) 방향속도
- v : 선체의 정횡축 (y 축) 방향속도
- r : 중심축 (z 축) 주위의 회두각속도
- I_z : 중심축 (z 축) 주위의 선체관성모멘트
- X : 선체에 움직이는 선수미축 (x 축) 방향의 힘
- Y : 선체에 작용하는 정횡축 (y 축) 방향의 힘
- N : 선체에 작용하는 중심축 (z 축) 주위의 모멘트

를 나타낸다.

선체에 작용하는 유체력, 유체력 모멘트가 속도, 가속

도와 비례관계로 완만한 운동을 가정하면 연립방정식을 선형화하고 타각 δ 에 대해 회두각속도 r 의 응답을 식 (4)처럼 조종운동방정식을 쓸 수 있다.

$$T\dot{r} + r = K\delta \quad (4)$$

여기에서 각각 T 는 추종성 지수, K 는 선회성 지수라고 한다. 식 (4)의 미분방정식을 시간영역에서 풀면, 조타각 δ 에 대해서 회두운동 r 의 변화를 경과시간 t 에 대해서 생각할 수 있어 식 (4)를 r 에 풀면 식 (5)처럼 나타낼 수 있다.

$$T\frac{dr}{dt} + r = K\delta$$

$$\frac{dr}{dt} = \frac{1}{T}(K\delta - r) \quad (5)$$

직진 중 타 중앙 (midship)에서 조타를 시작하면, 초기 조건은 $t=0, r=0$ 일 때 식 (5)를 식 (6)처럼 나타낼 수 있다.

$$r = K\delta \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \quad (6)$$

식 (6)에서 $T > 0$ 이고, 조타를 했을 경우 우변의 제2항 $e^{-\frac{t}{T}}$ 는 시간과 함께 감소하고 일정한 시간이 지나게 되면 $e^{-\frac{t}{T}} = 0$ 이 되어 r 값은 일정 값 $K\delta$ 로 이르게 된다. 회두각속도 r 이 일정 값 $K\delta$ 에 다다른 것은 선체의 선회궤적이 정상적인 원을 그리기 시작한 시기이고 그 후 선체는 정상선회로 들어가게 된다.

식 (6)에서 $t = T$ 라고 했을 때 회두각속도 r 를 식 (7)처럼 나타낼 수 있다.

$$r = K\delta \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)$$

$$= K\delta (1 - e^{-1})$$

$$= K\delta (1 - 0.368)$$

$$= 0.63K\delta \quad (7)$$

식 (7)에서처럼 추종지수 T 는 회두각속도가 정상 선회 때 회두각속도의 63% 값에 이를 때까지의 시간으로

정의할 수 있다. 여기에서 T 의 단위는 초이고 T 의 무차원 값 $T' = T(\frac{V}{L})$ 로 나타낸다. 여기에서 V 는 선속, L 는 선박의 길이 (수선간장)를 말한다. 추종성 지수 T 는 조타에 대하여 선수회두의 추종이 빠르고, 정상선회에 달할 때까지의 소요시간을 지배하는 요소이므로 T 값이 적을 경우, 식 (7)에서 $e^{-\frac{t}{T}}$ 이 빨리 감소하기 때문에 선체의 정상선회가 빠르게 되는 것을 알 수 있다. 즉 T 값이 적을수록 조타에 대응하는 선수회두의 응답이 빠르고, 단시간에 정상선회에 이르기 때문에 조선자로서는 타효가 좋다는 것을 느낄 것이다. 따라서 추종성 지수 T 값은 조타에 대한 응답에 대한 양부를 나타내는 척도로서 이용되고 있다. 따라서 추종성 지수 T , 선회성 지수 K 의 값은 선박에서는 선속에 대한 고유 값을 취하기 때문에 무차원 지수 T', K' 의 값을 비교하는 것이 좋다. 변침조선 및 피항 조선에서는 회두 후 선수를 일정한 침로로 정침했을 때 목표 침로 조금 전에 타를 조타하여 회두관성을 제어하므로 조선을 잘 할 수 있다. 이때 조타를 한 후에 선수회두가 끝날 때까지의 overshoot angle은 식 (8)처럼 나타낼 수 있고, 조타 후 $r(t) \Rightarrow 0$ 로 되는 사이에 시간경과로 인한 회두관성의 소장을 통해서 구할 수 있다. 그리고 식 (8)은 조타를 한 시각부터 회두가 멈추는 시간까지에 대해서 적분하면 overshoot angle을 얻을 수 있다.

$$r(t) = r_0 e^{-\frac{t}{T}} - K\delta_0 \left\{ 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right\} \quad (8)$$

- t : 조타후의 경과시간
- r_0 : 조타했을 때의 회두각속도
- δ_0 : 조타각
- T : 추종성지수
- K : 선회성지수

Fig. 2는 T 및 K 값을 얻기 위한 시험방법으로 타각 δ , 회두 각 ψ 의 시간변화를 나타낸 모식도이다.

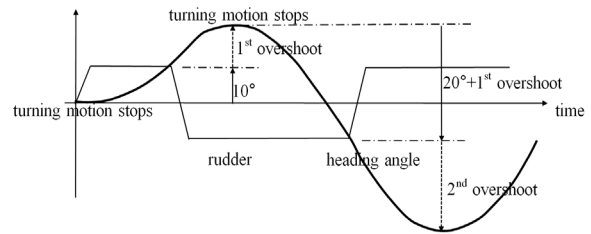


Fig. 2. Schematic time history of zig-zag test.

IMO가 1993년 11월에 설정한 선박이 최저로 준수해야 할 조종성능의 기준은 Table 1과 같다. 이들 기준은 1994년부터 건조된 100 m 이상의 선박 또는 길이에 관계없이 모든 케미컬 탱커 및 가스 운반선에 대하여 적용 되도록 하고 있는 기준이다. 이외 선박에 대해서는 IMO

Table 1. Standards of ship maneuverability in IMO

Ability	Type of test	Criteria
Turning	Turning test with max. rudder angle	Advance < 4.5L Tactical diameter < 5.0L
Initial turning	10°/10° zig-zag-test	Distance ship run before 2nd rudder execution < 2.5L
Stopping	Stopping test with full astern	Track reach < 15L
Course-keeping and Yaw-checking	10°/10° zig-zag-test	1st overshoot : < 10° : (L/U < 10s) < (5°+0.5L/U)° : (10s<L/U<30s) < 20° : (30s<L/U)
		2nd overshoot : < 25° : (L/U<10s) < (20°+0.5L/U)° : (10s<L/U<30s) < 35° : (30s<L/U)
	20°/20° zig-zag-test	1st overshoot : < 25°

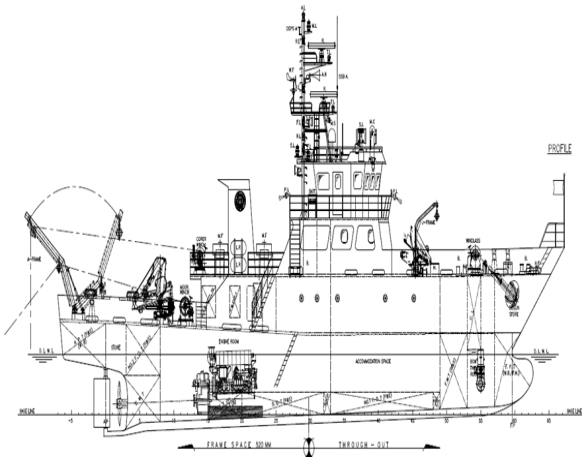


Fig. 3. General arrangement of experimental research vessel Jera.

Table 2 Particular of experimental research vessel Jera

Items	Specification
Gross tonnage	161.00 tons
Loa	38.64 m
Lbp	31.00 m
Breath (MLD)	7.50 m
Depth (MLD)	3.30 m
Draft (MLD)	2.50 m
Cb	0.563
Cw	0.875
Cp	0.669
Cm	0.843
Displacement	357.86
Lcb	-1.96
GM	0.851 m

Table 3. Sea trial conditions of the research vessel Jera.

Date	Position		Sea condition			
	Lat./ Long.	Draft	Wind		Sea	
			speed	direction	height	direction
2016	33°-33.6'N	Fore : 2.60 m	3 m/s	North-NE	0.7 m	NE
10.14	126°-28.7'E	After : 3.80 m				

해사안전위원회가 2002년 12월 4일에 권고사항으로 결의안 (Resolution MSC. 137 (76))을 채택하였다 (IMO A. 6, 2002). 그 기준은 Table 1에 나타난 바와 같이 선회 성능, 초기선회성능, 정지성능, 보침성능 (침로안정성) 및 변침성능들이다. 이 중에 가장 문제가 되는 것은 정지 성능, 보침 및 변침성능이며, 이들의 기준을 만족하기 위해서는 설계단계에서 충분히 검토를 할 필요가 있다 (Yoshimura 1994; Yoshimura et al., 2000).

시험선의 제원 및 시험 방법

시험선박의 선형은 Fig. 3과 같고, 주요제원은 Table 2와 같다. 시험선의 전장 및 수선간장은 38.64 및 31.00 m이며, 총톤수는 161 tons, 선폭은 7.50 m, 항해속력은 13.30 kts, L/B 는 4.133, 방형비척계수 (block coefficient: C_b)는 0.563, $C_b/(L/B)$ 는 0.136, 승선인원은 연구원 17명, 선원 12명 총 29명이 승선하여 해양연구의 기초적인 자료를 얻을 수 있도록 되어 있다. 특히 시험선의 타는 북판타로서 면적 및 면적 비 ($area/Lbp \times T$)는 각각 2.52 m^2 , 2.96%이다.

조종성능의 평가를 위한 선회권 시험 (starboard &

port 10° , 20°), zig-zag (starboard & port 10° , 20°), spiral 시험을 제주항 북방 5마일 해역에서 heading 000° , 풍향을 선수에서 받도록 하고 선속을 일정하게 10 kts로 해상시험을 하였다. 이때 운항에 관한 사항을 저장할 수 있는 기록 장치를 통해서 선속, 위도/경도, heading, rudder angle, 풍향 및 풍속, 기관회전수 등의 필요한 자료를 저장하여 분석하였다. 시험해역 및 해상의 상태를 Table 3에 나타내었다.

결과 및 고찰

선회권 시험

좌·우현 10° 및 20° 로 360° 를 선회했을 때 선회권의 결과를 Fig. 4에 나타내었으며, 각각의 값은 종거 (advance: Ad), 횡거 (transfer: Tf) 및 선회경 (tactical diameter: Td)는 좌현 10° 일 경우에는 186 m, 142 m 및 305 m, 우현 10° 일 경우에는 185 m, 158 m 및 338 m임을 알 수 있다. 그리고 좌현이 20° 일 경우에는 115 m, 70 m, 147 m, 우현이 20° 일 경우에는 142 m, 93 m, 173 m임을 알 수 있었고, 이때의 타 직압력은 각각 403.2 kgf 및 810.3 kgf이었다.

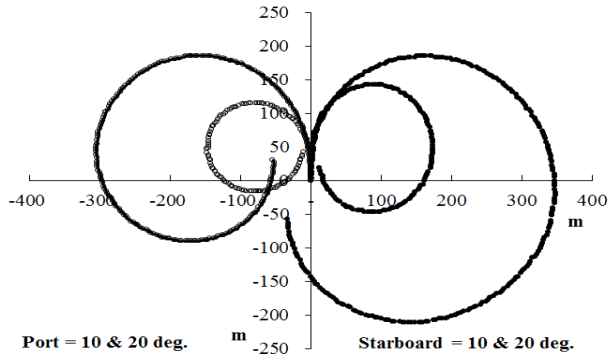


Fig. 4. Trajectories of turning circle of port and starboard 10°, 20°.

좌·우현 10° 및 20°에서 720°를 선회했을 경우의 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5를 살펴보면, 오른쪽은 좌·우현 10°로 선회했을 경우의 결과인데 우현 선회는 그 궤적이 남서방향으로, 좌현 선회는 서쪽방향으로 치우치는 경향이 있음을 알 수 있다. 좌·우현 20°로 선회했을 경우에도 10°로 선회했을 경우와 동일한 방향으로 치우치는 경향이 있음을 알 수 있다.

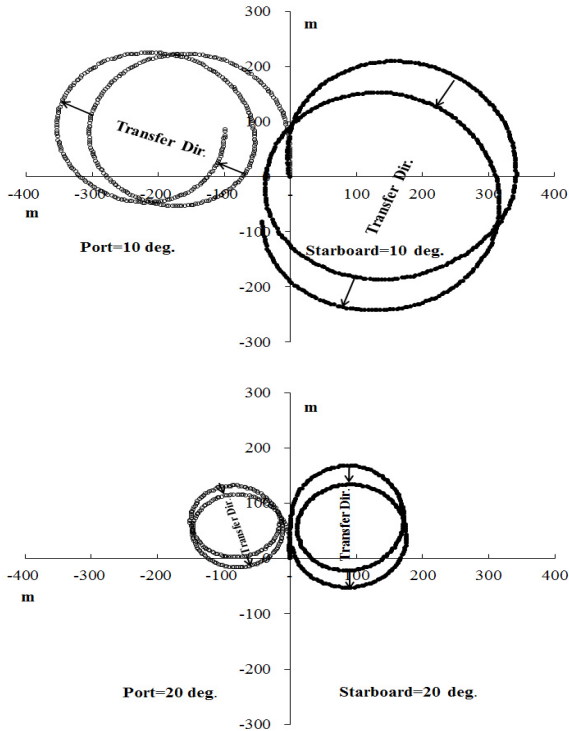


Fig. 5. Effect of current on path of turning circle (720°) of port and starboard 10°, 20°.

Zig-zag 시험

타각을 좌·우현 10°로 했을 경우의 zig-zag시험 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6을 살펴보면, 1st, 2nd overshoot angle는 6.0°, 5.8°, 6.3° 및 7.1°임을 알 수 있다.

타각 좌·우현 20°로 했을 경우의 zig-zag시험 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7을 살펴보면, 1st overshoot angle은 16.4° 및 17.6°임을 알 수 있다.

타각 10° 및 20°일 때의 조종지수인 선회성 및 추종성의 지수 K , T 를 Fig. 8에 나타내었으며, 각각의 값은 0.149 sec⁻¹, 11.853 sec 및 0.1230 sec⁻¹, 6.193 sec이었다. Fig. 8에 나타낸 바와 같이 정상 선회의 경우에는 회두각 속도의 63% 값에 이를 때까지의 시간이 추종지수 T 값에 대응하고 있는 것을 알 수 있었고, 이때의 회두각 속도는 0.9374°/sec 및 1.6355°/sec임을 알 수 있다.

타각 좌·우현 10°에서 zig-zag시험 결과에 의한 1st, 2nd overshoot angle을 IMO의 기준과 비교, 검토한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9에서 x축은 선박길이에 대한 선속 비이며 (L/U , L : length, U : ship speed), 이때의 값은 7.833, y축은 이에 대응하는 좌·우현 1st, 2nd

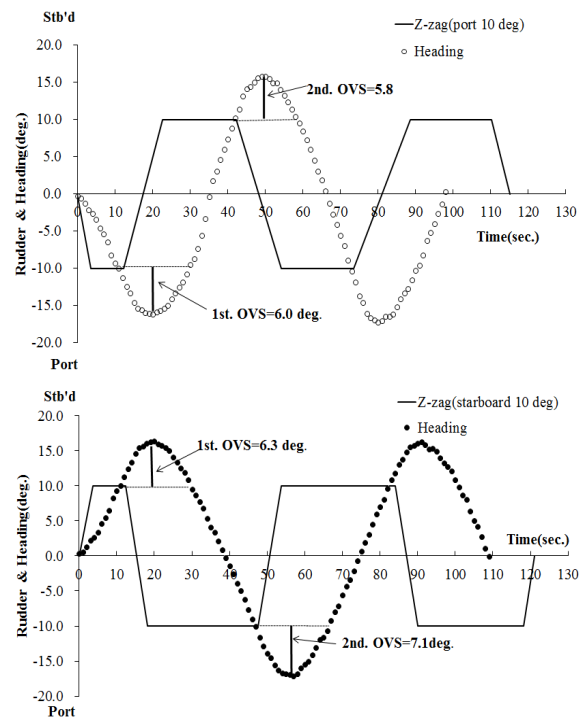


Fig. 6. Time histories of heading and rudder angles for ±10° zig-zag test.

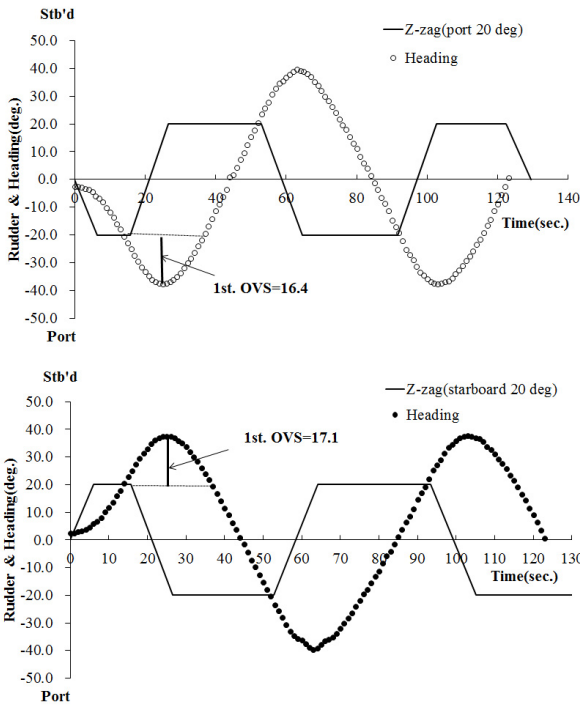


Fig. 7. Time histories of heading and rudder angles for $\pm 20^\circ$ zig-zag test.

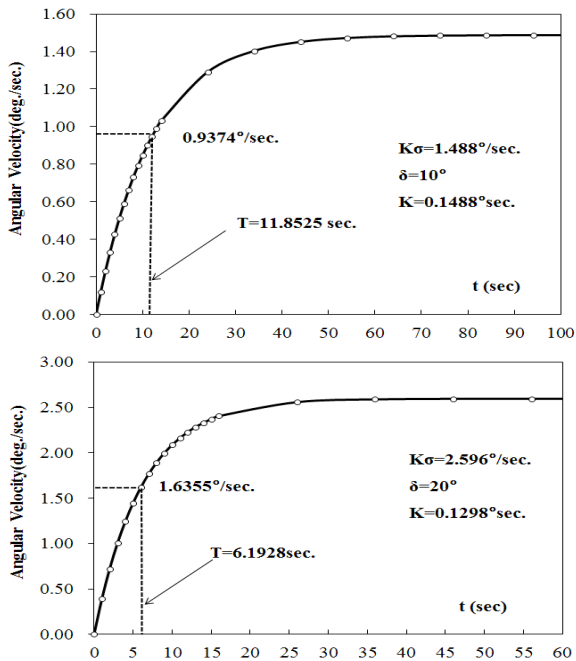


Fig. 8. Maneuvering performance index 10° and 20°

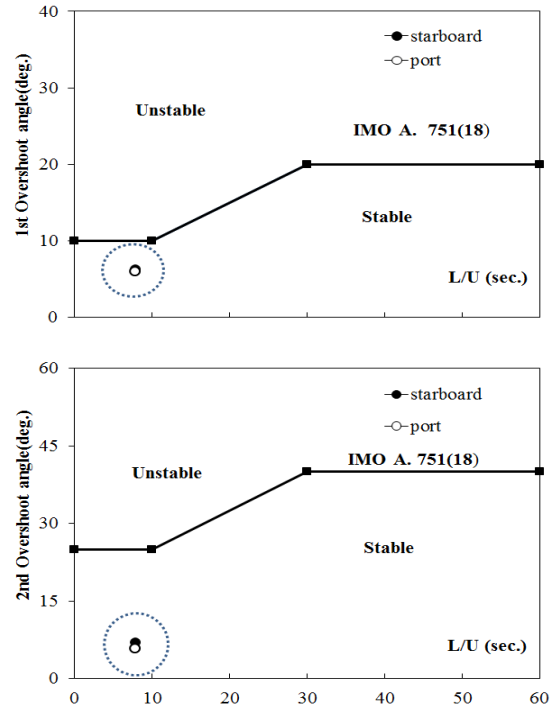


Fig. 9. 1st, 2nd overshoot angles of port and starboard 10° zig-zag tests.

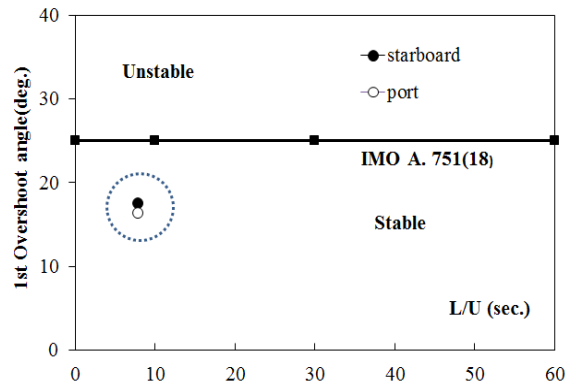


Fig. 10. 1st overshoot angle of port and starboard $\pm 20^\circ$ zig-zag test.

overshoot angle의 값이 6.0° , 5.8° , 6.3° 및 7.1° 로 각각 나타났다. 따라서 시험선의 타각 좌·우현 10° 에서의 overshoot angle은 기준인 10° , 25° 미만임을 알 수 있다.

타각 좌·우현 20° 에서 zig-zag시험 결과에 의한 1st overshoot angle를 IMO의 기준과 비교 검토한 결과를

Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10에서 x축은 선박길이에 대한 선속 비이며 (L/U , L : length (31 m), U : ship speed (12 kts)) 이때의 값은 7.833, y축은 이에 대응하는 좌·우현 1st overshoot angle 값이 16.4° 및 17.6° 로 나타났다. 따라서 시험선의 타각 좌·우현 20° 에서의 overshoot angle은 기준 값인 25° 미만임을 알 수 있다.

Spiral 시험

선회성능시험은 전반적으로 선박의 조종성능을 알기 위한 것이지만 현실적으로 보침 조타의 상황은 오히려 5° 이하의 소각도의 조타로 침로를 유지하고 있다. 이처럼 소각도를 이용하여 통상침로의 운동성능 즉 비교적 타각이 적은 범위 내에서 타각에 대하여 선박의 응답의 정도와 그 성질을 알아내기 위한 것이 spiral시험이다.

좌현 20° 에서 시작하여 우현 20° 까지 $\delta=5^\circ$ 간격으로 5분간의 각각의 회두각속도 (r)를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11의 그래프는 침로안정에 대한 양부를 결정하는 것으로 시험선은 타각이 클수록 점차적으로 그 각속도가 증가되고 있음을 알 수 있다.

해상시험에서 선회권 시험 (360° , 720°)의 결과는 조타 각 좌·우현 10° 로 했을 경우에는 선회권 시험 결과에서 종거 및 횡거의 길이는 좌·우현 큰 차이 없었으나, 선회경은 우현 쪽이 33 m 더 길게 나타나서 An et al. (2005)의 결과와 같은 경향을 보였고, 좌·우현 20° 에서는 좌·우현 10° 보다 대부분 그 길이가 짧았으며, 종거, 횡거 및 선회경은 우현 쪽이 25 m, 23 m, 26 m 더 길었다. 시험선인 경우, 좌현 선회경이 작았고, IMO기준과 비교하여

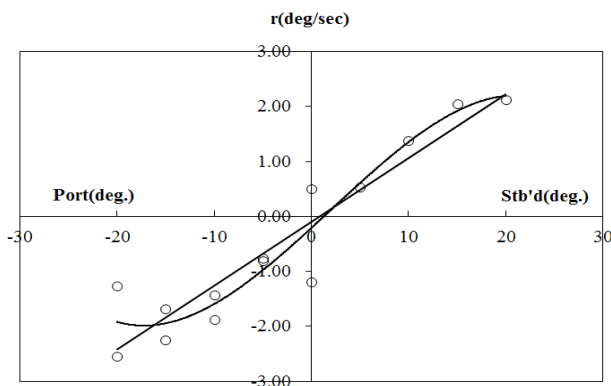


Fig. 11. Plotted in $r-\delta$ diagram by the spiral maneuver of the research vessel Jera.

보면 타각을 20° 로 했을 경우에는 만족하지만 10° 일 경우에는 미흡하였다. 이렇게 차이가 나는 것은 기준에서는 최대 타각일 때의 값이기 때문이라고 생각된다. 그리고 Jung et al. (2008)의 연구 결과처럼 타 선박과의 충돌 상황이 아닌 전방의 장애물을 피하는 상황에서는 좌현 쪽의 선회경이 작으므로, 속력을 낮추고 좌현으로 전타 하는 것이 보다 유리할 것으로 판단된다. 그리고 720° 선회권 시험에서는 선회 시간이 경과함에 따라 반경은 감소하였고, 조류의 방향과 속도에 따른 외력의 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

zig-zag시험 결과에서는 좌·우현 10° 일 경우에는 1st, 2nd overshoot angle이 동일하게 좌현쪽이 적어지는 경향이 있었다. 한편, IMO 기준에서 제시한 기준에 따라 비교해 보면, $L/U < 10$ sec일 경우에는 1st, 2nd overshoot angle은 10° , 25° 미만을 요구하고 있으므로 시험선은 이 기준을 만족하고 있는 것으로 판단된다. 좌·우현 20° 일 경우의 1st. overshoot angle은 25° 이하이므로 IMO 기준을 만족하고 있다.

비교적 소각도의 타각일수록 overshoot angle의 변화가 적다는 것을 통하여 Lee and Lee (1998)의 보침성을 평가하는 데 좌·우현 10° 쪽의 시험결과가 보다 합리적인 것으로 생각된다.

시험선의 조종성 지수를 Table 4에 나타내었다. Table 4에서 타각 10° 일 경우에는 선회성 ($K' = K(L/U)$) 및 추종성 ($T' = T(U/L)$) 지수가 1.167 및 1.514임을 알 수 있다. 타각 20° 일 경우에는 0.963 및 0.791, $T' = 1.297K'$ 및 $T' = 1.217K'$ 으로 나타났다. 이와 같은 결과를 통하여 타각이 클수록 선회성은 좋으나 추종성은 좋지 않음을 알 수 있었다.

조사선 탐양호, 실습선 가야호 및 한바다호의 조종성능을 지수를 조사한 Kim (1995), Kim et al. (2009), Jung et al. (2008) 등의 선행 연구의 결과를 Table 5에 나타내었다. Table 5에서 이들 선박과 시험선의 조종성 지수를 비교한 결과를 살펴보면, 10° 및 20° 의 타각에서 선회성은 좋은 것으로 나타났으나 추종성이 저하되었음을 알 수 있다.

Table 4. Calculated Maneuvering indices K' and T' of the research vessel Jera

	$10^\circ Z$	$20^\circ Z$
K'	1.167	0.963
T'	1.514	0.791

Table 5. Comparison of maneuverability index between experimental vessel and other vessels

Maneuvering Performance Index	*Jera		Tamyang		Kaya		Hanbada	
	10°	20°	10°	20°	10°	20°	10°	20°
K'	1.167	0.963	0.946	0.865	1.346	1.075	1.560	1.280
T'	1.514	0.791	0.690	0.422	1.129	0.874	0.930	1.090

* denote experimental vessel

대표적으로 Tamyang과 시험선을 비교해 보면, 시험선의 선회성 지수는 시험선이 Tamyang보다 0.221 및 0.098로 더 크게 나타났는데, 이것으로 Tamyang보다 각속도가 더 크고 선회성이 더 양호하다는 것을 알 수 있다. 한편, 추종성 지수의 경우는 시험선이 Tamyang보다 0.824 및 0.369로 더 크게 나타났는데, 이것으로 시험선은 타각의 응답속도가 비교 선박보다 더 늦다는 것과 추종성이 미흡하다는 것을 알 수 있다.

선박의 보침성능을 평가하기 위해서는 $r - \delta$ 관계곡선에서 $\delta = 0$ 부근의 기울기나, loop가 있는 경우 loop의 폭, 높이 등이 그 기준이 된다 (Lee and Lee, 1998).

시험선의 경우는 타각 0° 부근에서 +0.51°, -1.19° 정도 불안정한 loop폭을 나타냈지만, 타각 0°의 접선이 수직에 가깝고 타각과 정상 각속도에 비례하는 경향을 보였으며 일반적으로 타각이 0°에서 직진하지 않는 것이 보통이다. 시험 결과, 타각 0°에서는 침로 불안정한 loop가 보였지만 전반적으로 선형변화를 보여 안정된 선박이라고 판단 할 수 있었다.

결론

연구조사선인 제라호의 조종성능 추정하기 위해 실선 시험을 통해 얻은 결과는 다음과 같다. 해상에서 선회권 시험결과는 조타 각 좌·우현 10°로 했을 경우에 종거 및 횡거의 길이는 좌·우현 큰 차이 없었으나, 선회경은 우현 쪽이 33 m 더 길게 나타났다. 좌·우현 20°에서는 좌·우현 10°보다 대부분 그 길이가 짧았고, 종거, 횡거 및 선회경은 우현 쪽이 25 m, 23 m 및 26 m로 더 길게 나타났으며, 좌 선회에서는 각각 3.70 L, 2.20 L 및 4.74 L배, 우 선회에서는 4.50 L, 3.00 L 및 5.58 L배로 좌 선회 변침이 유리한 선박으로 판단된다.

zig-zag시험 결과에서는 좌·우현 10°일 경우에는 1st 및 2nd overshoot angle은 6.0°, 5.8°, 6.3° 및 7.1° 이었다.

이때 선회성 지수 K , 추종성 지수 T 는 0.149 sec 및 11.853 sec이었다. 좌·우현 20°로 했을 경우에는 1st overshoot angle은 16.4° 및 17.6°, K 및 T 는 0.1230 sec 및 6.193 sec이므로 타각 20°일 때가 선회성은 좋으나 추종성능이 좋지 않는 것을 나타냈다. 그리고 타각 10° 및 20°, 선속 10.0 kts로 시험했을 경우에 각속도는 0.937°/sec 및 1.636°/sec로 각각 나타났다.

spiral시험에서는 타 중양을 중심으로 +0.51° 및 -1.19°로 불안정한 loop폭을 나타냈지만, 타각 0°의 접선이 수직에 가까우므로 침로안정성 측면에서는 양호한 선박으로 판단된다.

본 시험선의 조종성능을 IMO 조종성능 기준에 따른 비교 분석한 결과는 시험선의 조종성능이 이 기준을 전반적으로 만족하고 있다. 따라서 소형어선들이 밀집하여 조업하는 해역에서 빈번한 항해, 선회 및 변침 등 관측을 위한 조선에는 크게 무리가 없을 것으로 판단된다. 그리고 spiral시험에서 $r - \delta$ 관계 곡선이 선형적인 변화를 보이고 있으므로 안정된 선박이라고 판단할 수 있었다.

사사

이 논문은 2016년도 제주대학교 학술연구지원 사업에 의하여 연구되었으며, 아울러 세심하게 검토하여 주신 심사위원님들과 편집위원님들에도 깊은 감사를 드립니다.

References

An YS, Kang IK, Kim HS, Kim JC, Kim MS, Jo HJ and Lee CK. 2005. A study on the manoeuvrability of T/S SAEBADA by real sea trials. J Korean Soc Fish Technol 41(4), 289-295. (DOI:10.3796/KSFT.2005.41.4.289)

IMO. 2002. Standards for ship manoeuvrability. Resolution

- MSC. 137(76) Annex 6, 1-6.
- Journee JMJ and Pinkster J. 2002. Introduction in ship hydromechanics. Lecture MIT 519, Delft University of Technology, 51-101.
- Jung CH, Lee HK and Kong GY. 2008. A study on the ship's performance of T.S HANBADA(III). *Journal of Navigation and Port Research* 32(6), 439-445. (DOI: 10.5394/ KINPR. 2008.32.6.439)
- Kijima K, Katsuno T, Nakiri Y and Furukawa Y. 1990. On the manoeuvring performance of a ship with the parameter of loading condition. *J Soc Naval Archit Japan* 168, 141-148.
- Kim JC. 1995. Maneuverability of M.S TAMYANG. *Bull. Korean Soc Fish Technol* 31(2), 172-177.
- Kim MS, Shin HI, Kim JH and Kang IK. 2009. A Study on the Maneuverabilities of the T.S Kaya. *Jour Fish Mar Sci Edu* 21(1), 59-67.
- Kobayashi H, Kagemoto H and Furukawa Y. 1995. Mathematical models of ship manoeuvring motion. 2nd symposium, The Japan Society of Naval Architects, 23-84.
- Kopp PJ. 1993. Mathematical model for a real time ship maneuvering, station-keeping, and sea-keeping training simulator. *Carderock division naval surface warfare center (CRDKNSWC-HD-1427-01)*, 24.
- Lee SK and Kim SJ. 1995. Prediction of Maneuverability of a ship in the initial design stage. *Transactions of the society of Naval Architects of Korea*, 32(4), 19-26.
- Lee SK and Lee SJ. 1998. Evaluation of course-keeping quality of a ship by Zig-zag test. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea* 35(1), 54-60.
- Matsumoto N and Suemitsu K. 1980. The prediction of manoeuvring performances by captive model tests. *J Kansai Soc Naval Archit Japan* 176, 11-22.
- Nomoto K, Taguchi K, Honda K and Hirano S. 1956. On the Steering Qualities of Ships(1). *The Society of Naval Architect of Japan*, 75-82.
- Nomoto K and Kenshi Taguchi K. 1957. On the Steering Qualities of Ships(2). *The Society of Naval Architect of Japan*, 57-66.
- Yasukawa H. 1992. Numerical calculation of steady turning performance of a thin ship. *Proc. MCMC '92*, 19-23.
- Yasukawa H and Yoshimura Y. 2015. Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions. *J. Mar Sci Technol* 20, 37-52. (DOI:10.1007/s00773-014-0293-y)
- Yoshimura Y. 1994. Studies on the stopping ability of manoeuvring standard. *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, 176, 259-265.
- Yoshimura Y, Kose K and Haraguchi T. 2000. Criteria for yaw-checking and course-keeping abilities in IMO's interim standards for ship manoeuvrability. *MARSIM 2000 conference proceeding (Orlando, USA)*, 389-400.
- Yun JD. 1977. A Study on the quantitative analysis of a ship's collision avoiding action by using the maneuvering Indices. *The Korean Institute of Navigation* 1(1), 27-44.
-
2017. 03. 17 Received
2017. 05. 10 Revised
2017. 05. 10 Accepted