



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

연구조사선 제라호의 조종성능
평가에 관한 연구

제주대학교 산업대학원

어업학과

이승철

2018년 7월

연구조사선 제라호의 조종성능 평가에 관한 연구

지도교수 최 찬 문

이 승 철

이 논문을 수산학 석사학위 논문으로 제출함

2018 년 7 월

이승철의 수산학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 -----인

위 원 -----인

위 원 -----인

제주대학교 산업대학원

2018 년 7 월

목 차

List of Figures	ii
List of Tables	iii
Summary	
I. 서론	1
II. 재료 및 방법	4
III. 결과 및 고찰	14
IV. 결 론	24
참고문헌	25

List of Figures

Fig. 1. Block diagram of the course control system.	4
Fig. 2. Schematic time history of Zig-zag test.	9
Fig. 3. General arrangement of experimental research vessel Jera.	11
Fig. 4. Body plan of research vessel Jera.	11
Fig. 5. Conditions of acquisition data by GPS	12
Fig. 6. Trajectories of turning circle of port and starboard 10°, 20°	14
Fig. 7. Effect of current on path of turning circle (720°) of port and starboard 10°, 20°.	15
Fig. 8. Time histories of heading and rudder angles for 10 Zig-zag test. ·	16
Fig. 9. Time histories of heading and rudder angles for ±20° Zig-zag test. ·	22
Fig. 10. Maneuvering performance index 10° and 20°.	18
Fig. 11. 1st, 2nd overshoot angles of port and starboard 10° Zig-zig tests. ·	19
Fig. 12. 1st overshoot angle of port and starboard ± 20° Zig-zag test.	20
Fig. 13. Plotted in $r-\delta$ diagram by the spiral maneuver of the research vessel Jera.	21

List of Tables

Table 1. Interim Standards of ship manoeuvrability in IMO	10
Table 2. Particular of experimental R.V JERA	12
Table 3. Sea trial conditions of the R.S. Jera.	13
Table 4. Calculated Maneuvering indices μ' and T' of the R.V. Jera	22
Table 5. Comparison of maneuverability index between experimental vessel and other vessels	22

조사선 제라호의 조종성능 평가에 관한 연구

Study on maneuverability evaluation by research vessel JERA

이승철

제주대학교 산업대학원 어업학과

Summary

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 sea trials based full scale for turning test, zig-zag test, spiral test at actual sea-going condition and which were performed on starboard and port sides with 10° - 20° rudder angle at service speed 10knots.

The turn circle was much difference both of the turning of port and starboard which was more longer starboard than port. In the Zig-zag test results, When the port and starboard was 10° the 1st and 2nd overshoot angles were 6.0° , 5.8° and 6.3° , 7.1° respectively and the 1st overshoot angle were 16.4° , 17.6° when using 20° . Her maneuverability index and K can be easily determined by using an analogue computer with the data obtained from 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 authors obtained the value which K is 0.149, 0.123 sec⁻¹ and T is 11.853, 6.193sec and angular velocity is $0.937^{\circ}/\text{sec}$, $1.636^{\circ}/\text{sec}$. In the spiral test, the loop width was unstable at $+0.51^{\circ}$ and -1.19° around the midship of rudder, but the tangent line at 0° was close to vertical.

From the sea trial results, we are found that did comply with the present criterion in the standards of maneuverability of IMO.

I. 서론

선박의 조종성능은 예전부터 선회시험의 결과에 의해서만 평가되어졌지만, 1960년 경부터 Kempf의 Z-조종시험 결과에 의해서 조종성지수라고 정의하여, 그 성능을 명확하게 나타낼 수 있게 되었다. 또 방향안정성의 판별위해 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 (T : Course changing ability)으로 나누어 평가 한다 (Journee and Pinkster, 2002).

최근 선박의 대형화와 함께 조종성에 관한 이론도 명백하여 지고 선박의 조종성능 시험방법도 개선되어, 점진적으로 제도화하기 위해 1990년대 초반부터 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization)에서는 조종성기준(Maneuvering Standards)을 제정하여 100m 이상의 모든 선박과 위험화물을 수송하는 케미컬 탱커 및 LNG 선박은 길이에 관계없이 적용을 받고 있는 것이 현재의 실증이다.

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

따라서 선박의 선형계획을 세울 때는 추진성능을 우선시하고 다음으로 조종성능이 다루어 지게 되었다. 그 분야의 연구역사는 매우 깊지만, 어느 정도의 조종성능을 주었을 때 좋은가에 대한 구체적인 문제에 대해서는 정량적으로 기준을 정하는 것이 어렵고, 종래의 경험에 의해서 추정되어지는 것이 현재의 상황이다. 또 주어진 선형에 대해서도 조종성능을 개선하기 위해, 최근에 자동 조타에 조종성능의 향상을 위해서 연구가 진전되고 있지만, 일반적으로 타 면적을 크게 하는 방법이 옛날부터 사용되었으나, 일반적으로 타 면적은 사행(斜行)에 의한 마력증가가 문제가 되지 않을 정도의 방향안정성을 유지하기 위해, 필요한 최소한의 크기인 것이 이상적이다. 이와 관련하여 Nomoto et al. (1956) 및 Nomoto and Taguchi (1957) 등에 의해 선체 운동을 역학적으로 해석하여 조종성의 문제에 대해서 명확히 하려는 연구들이 진행되었다.

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

실험에 의한 방법 중 하나는 자유 항주시험을 수행하여 직접 조종성능을 판단하는 방법이고, 다른 하나는 수조에서 여러 가지 실험을 통하여 유체력 계수를 구한 후 시뮬레이션에 의해 추정하는 방법이다. 실험에 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 조선(操船)을 하는 사람은 운항에 앞서 그 선박의 조종성능과 내항성을 알아 두는 것이 매우 중요한 일이다. 자선의 이러한 성능을 확실하게 파악하여 있지 않으면 기상상태가 악화될 때 혹은 긴급을 요하는 경우에 선박의 안전에 대한 적절한 대응조치를 취하기 어렵게 된다. 선박이 항행 중 타선박과 충돌회피동작, 굴곡부 변침 및 접·이안 등 좁은 수역에서 선회를 해야만 하는 상황에서 조선자는 그 선박의 선회성, 추종성 및 정지타력 등에 대한 정량적인 파악과 조종성능 특성을 이해함으로써 안전하게 조선할 수 있다 (Yun, 1977).

통상적으로 항해는 원래 어로작업, 해양관측 등에 있어서 보다 우수한 선박의 조종성이 요구되고, 현실적으로 본래의 선박이 가지고 있는 조종능력의 범위에서 각종의 실험이 행하여지고 있다. 따라서 선박의 조종능력을 확실하게 파악하고 또 조종능력의 개선을 노력 하는 것은 조선(操船)상 참고할 뿐 만 아니라, 선박을 사용하는 각종 실험의 범위, 내용을 결정하는 중요한 요소라고 생각되어 진다.

선박의 조종성능은 타각을 주었을 때 선체가 그리는 회두 궤적으로, 주로 전속으로 항행 중에 최대 타각을 주었을 때 생기는 궤적을 종거, 횡거, 선회경 등으로 나누어 조종성능을 표현한다. 이처럼 선회권을 더욱 세분하여 나타낸 조종성능은 지금도 중요하게 사용되고 있으나 해상에서는 다양한 선형과 다양한 크기 가진 선박들의 운항이 폭주한 지금은 선회권만으로 조종성능을 표현하기에는 부족하다. 특히 어선들이 밀집해서 조업하고 있는 어장이나 협수로, 항로, 항계부근, 항내에서 조선자는 자선의 선체운동을 정량적으로 파악해야 할 필요가 있으며 자선의 조종성능을 파악함에 있어서 경험과 감각에만 의존하는 것은 조선 당시의 주변 여건에 따라 큰 편차를 불러오기 때문에 경험해보지 못한 상황이 발생하면 조선자의 판단에 착오를 가져올 수 있다.

따라서 본 연구에서는 조종성능 해석에 대한 이론적 배경과 실선 연구조사선 제라호를 해상에서 360° 및 720° 선회시켜 종거, 횡거, 선회경 그리고 외력에 의한 움직임과 Zig-zag시험에서는 Overshoot angle 및 조종지수, Spiral시험에서는 침로안정성 분석하여 국제해사 기구에서 채택된 IMO A. 751(18)기준과 비교·검토하여 그 결과를 제시하므로써, 시험선을 운항하는 사람에게 미리 특성을 파악하고, 사고 예

방과 해상 관측시 외력에 의한 움직임을 아는 데 도움을 줄 뿐만 아니라, 타 선박과 조종성능을 비교하여 향후 선박 건조 시 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

이론 배경

조선(操船)이라는 것은 자선의 위치, 자세, 속력을 제어하고, 소정의 방향에 이동 또는 정지시키는 행위라고 할 수 있다. 이 때 조선을 할 수 있는 방법은 기본적으로 타(Rudder)와 주기(Main engine)가 있는데, 이 중 타는 선체를 직진 또는 회두시켜 Fig. 1처럼 침로를 제어하는 중요한 장비이다.

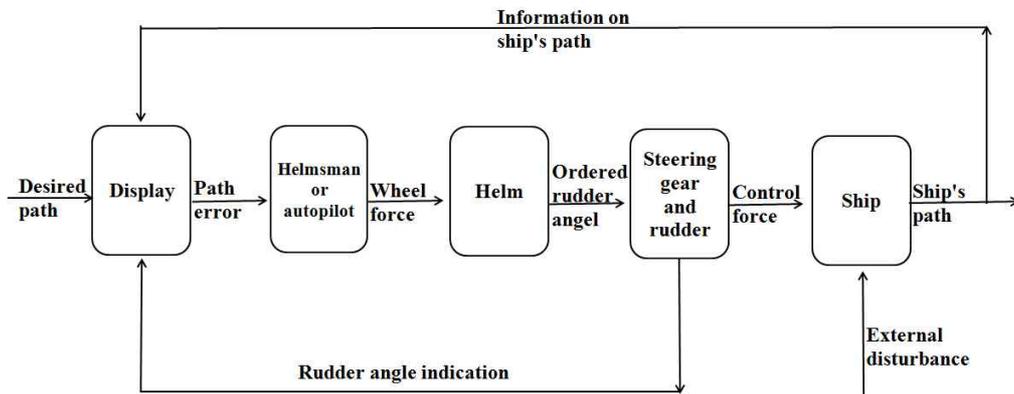


Fig. 1. Block diagram of the course control system.

타에 작용하는 힘의 발생 메카니즘은 비행기의 양력 등의 현상을 설명하는 데 이용되어 지고 있는 Bernoulli's정리에 의해서 설명하는 것이 매우 쉽다. 이 정리는 점성이 없는 완전유체의 흐름에 있어서 그것이 시간과 함께 변화하지 않은 정상류일 때, 흐름 중에 놓여진 물체의 어떤 점의 압력을 p , 유속 v 라고 하면 물의 밀도를 ρ , 중력가속도 및 수심을 g, z 이라고 했을 때, 식(1)처럼 나타낼 수가 있다.

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

Bernoulli's정리에서 수심 z 이 같은 경우, 물체의 어떤 점에 있어서 유속 v 이 크게 되면 그 점에 작용하는 압력 p 는 적게 되고, 또 유속 v 가 적게 되면 그 점에 작용하는 압력 p 는 크게 된다는 원리를 설명하고 있다.

타면에 작용하는 마찰력은 직 압력 (N : normal force)에 비해 매우 적기 때문에 무시하면 타각 δ 를 취하였을 때 직 압력과 양력, 항력사이에는 (2)식 관계가 있다.

$$Lift\ force) = N \times \cos\delta$$

$$D(Drag\ force) = N \times \sin\delta \dots\dots\dots(2)$$

그래서 Beaufoy의 직압력 추정실험식은 타면에 작용하는 직압력의 크기를 타 면적, 선속, 타각의 관계를 식(3)처럼 나타낼 수 있다.

$$직압력 : N = 58.8 \cdot A \cdot V^2 \cdot \sin\delta\dots\dots\dots(3)$$

- N : 압력 (kgf)
- A : 타의 면적 (m^2)
- V_p : 타면에 이르는 유속 (m/s)
- δ : 타각(deg)

식(3)에서처럼 조타에 따른 직 압력은 타 면적이 클수록 유속의 2승에 비례해서 크게 된다.

조타에 대한 운동응답에 관해서는 옛날부터 조종운동이론의 분야로서 연구가 발전되어 왔으며, 그 응답은 조선자의 감각의 측면에서 파악되고 있다. 조종운동이론에서는 추종성, 선회성, 침로 안정성 등 3가지의 특성 값으로 표현된다. 또 조종성의 양부 지수를 조종성지수(Maneuverability indices)이라 하며, 이 중에 추종성에 관한 수치지표를 추종성지수(Index of responsiveness to the helm), 선회성에 관한 수치지표를 선회성 지수(Index of turning ability)라고 각각 말하고 있다.

조선자가 선박의 조종성능을 평가하는 데에 그것을 선회의 궤적의 측면에서 이해하는 이외에 운동의 시간 경과 면에서 이해하는 것이 가능했지만, 조종운동이론에 기초한 선박의 조종성능의 표현법이다. 이것에 비교적 간단한 식이 있으므로 개략적인 조종운동을 잘 표현하는 것이 1차 근사의 조종운동방정식(Linear equation of ship manoeuvring motion)이 잘 알려지고 있다.

선회 및 회두에 대한 정의는 전자는 지구고정좌표계에서 조타 후 중심 (重心)이동 궤적이라고 하고, 후자는 선체고정좌표계에서 조타 후 선수회전운동이라고 한다. 조타에 의해 일어나는 선박의 조종운동은 중심을 원점으로 하는 선체고정좌표계에서 전후방향 (surge), 횡 방향 (sway), 선수동요 (yaw)의 연성으로 운동하고 있다. 이들 운동에 대해서 Newton의 운동 제2법칙 ($F=ma$)을 적용하여 각운동 상호간의 연성을 고려하면 (4)식처럼 연립방정식으로 나타낼 수 있다.

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

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

$$r = N \dots \dots \dots (4)$$

여기에서

- m : 체의 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

으로 나타낸다.

선박의 운동은 타에 의해 통상적으로 회두운동에 있어서는 전진운동은 크게 변하지 않고 또 횡동요도 적기 때문에 전진운동을 연성에 넣지 않는다. 그러나 (4)식의 둘째, 셋째 식 우변에 대해서는 선체에 작용하는 유체력, 유체력 모멘트가 속도, 가속도와 비례관계로 완만한 운동을 가정하면 연립방정식을 선형화하고 타각 δ 에 대해 회두각속도 r 의 응답을 (5)식처럼 조종운동방정식을 쓸 수 있다.

$$T\dot{r} + r = K\delta \dots \dots \dots (5)$$

여기에서 각각 T 는 추종성 지수, K 는 선회성 지수라고 한다. T, K 의 물리적 의미를 살펴보면 선수의 회두운동을 회전관성 모멘트 I 를 어떤 물체가 중심주위에 회전하고 있는 것처럼 보이고 그 회전은 타각 δ 에 비례하는 크기의 모멘트에 의해서 유발하고 그리고 회전 중 회전각속도 r 에 비례하는 저항 모멘트가 작용한다고 생각할 수 있다. 타각과 저항에 관한 gain의 계수를 각각 a, b 라고 하면 그 때의 물체의 회전운동방정식은 식(6)처럼 나타낼 수 있다.

$$I\dot{r} + br = a\delta \dots \dots \dots (6)$$

- I : 회전관성 모멘트
- r : 회전각속도
- a : 타력의 gain 계수
- b : 저항의 gain 계수

식(6)의 양변을 b 로 나누면 식(7)처럼 쓸 수 있다.

$$\left(\frac{I}{b}\right)\dot{r} + r = \frac{a}{b}\delta \dots \dots \dots (7)$$

식 (7)에 나타낸 조종운동이론에서 도입한 1차 근사 조종운동방정식과 식(7)과 대비하면 식(8)처럼 나타낼 수 있다.

$$\left(\frac{a}{b}\right) = T$$

$$\left(\frac{a}{b}\right) = K \dots \dots \dots (8)$$

추종성지수의 T 값은 회전관성 모멘트 I 의 크기와 회전저항 모멘트의 gain계수 b 의 비, 선회성지수 K 의 값은 타력모멘트의 gain계수 와 회전저항 모멘트의 gain 계수 b 의 비에 각각 대응하고 있다.

(8)식에서 회전모멘트가 동일하다고 하면 추종성지수 T 의 값이 클 경우는 물체회전에 대해서 관성이 크다고 할 수 있고, 물체는 회전하기 어렵고 정지하기도 어려운 성질을 갖는다. 한편 T 의 값이 적을 경우는 회전관성도 적고, 물체는 회전하기 쉽고, 정지하기도 쉽다. 추종성지수 T 의 값은 이러한 물리적 성질에 대응하고 있다.

식(8)식에서 회전저항 모멘트가 동일하다고 하면 K 의 값이 클 경우는 물체에 회전하려는 힘이 크고, K 값이 적을 경우는 회전능력이 작은 경우이고, 선회성지수 K 의 값은 이러한 물리적 성질을 가지고 있다.

(5)식의 미분방정식을 시간영역에서 풀면, 조타각 δ 에 대해서 회두운동 r 의 변화를 경과시간 t 에 대해서 생각할 수 있어 (4)식을 r 에 풀면 (9)식처럼 나타낼 수 있다.

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

$$\frac{dr}{dt} = \frac{1}{T}(K\delta - r) \dots \dots (9)$$

직진 중 타 중앙(midship)에서 조타를 시작하면, 초기조건은 $t=0, r=0$ 일 때 (9)식을 (10)식처럼 나타낼 수 있다.

$$r = K\delta \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \dots \dots \dots (10)$$

(10)식에서 $T > 0$ 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. 회두 각속도 r 이 일정 값 $K\delta$ 에 다다른 것은 선체의 선회궤적이 정상적원을 그리기 시작한 시기이고 그 후 선체는 정상선회로 들어가게 된다.

(10)식에서 $t = T$ 라고 했을 때 회두 각속도 r 를 (11)식처럼 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
&= \delta (1 - e^{-t}) \\
&= K\delta(1 - e^{-1}) \\
&= K\delta(1 - 0.368) \\
&= 0.63K\delta \dots\dots\dots(11)
\end{aligned}$$

(11)식에서처럼 추종지수 T 는 회두각속도가 정상 선회 때 회두 각속도의 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 (11)식에서 $e^{-\frac{t}{T}}$ 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 타효(舵效)가 좋다는 것을 느낄 것이다. 따라서 추종성 지수 T 값은 조타에 대한 응답에 대한 양부(良否)을 나타내는 척도로서 이용되고 있다.

식(10)에서 시간 t 가 충분히 경과하면 $e^{-\frac{t}{T}}=0$ 이 되고 r 는 일정 값이 되고 정상 선회하게 된다. 그 때의 정상선회 중 선수 회두각속도를 r^* 를 (12)식처럼 나타낼 수 있다

$$r^* = K\delta \dots\dots\dots(12)$$

그러므로, (12)식에서 선회성지수 K 의 값은 (13)식처럼 정의 할 수 있다.

$$K = \frac{r^*}{\delta} \dots\dots\dots(13)$$

식(13)에서 선회성지수 K 는 단위 타각에서의 정상선회 시 회두각속도의 크기 및 정도로서 정의되어지며, K 의 단위는 sec^{-1} , K 값의 무차원식은 $K' = K(\frac{L}{V})$ V 는 선속 L 는 길이이고, 선회성 지수 K 는 조타 후, 선체가 정상선회로 되었을 때의 회두 각속도의 크기를 지배하는 요소이다. 즉, 선회성지수 K 값이 클수록 선회력이 크게 선회하고, 결과적으로 선체는 적게 선회하기 때문에 조선자로서는 타효가 좋다고 생각되어진다. 이것으로부터 선회성지수 K 는 조타 후에 일어나는 선회력의 크기를 척도로서 이용되어지고 있다,

따라서 추종성 지수 , 선회성 지수 K 의 값은 선박에서는 선속에 대한 고유 값을 취하기 때문에 무 차원 지수 T' K' 의 값을 비교하는 것이 좋다. 일반적으로 변침조선 및 피항 조선에서는 회두 후 선수를 일정한 침로로 정침했을 때 목표 침로 조금 전에 타를 조타하여 회두관성을 제어하므로 조선을 잘 할 수 있다. 이 때 조타를 한 후에 선수회두가 끝날 때까지의 overshoot angle는 식(14)처럼 나타낼 수 있고, 조타 후 $r(t) \Rightarrow 0$ 로 되는 사이에 시간경과로 인한 회두관성의 소장(消長)을 통해서 구할 수 있다. 그리고 식(14)은 조타를 한 시각부터 회두가 멈추는 시간까지에 대해서 적분하면 overshoot angle 얻을 수 있다.

$$r(t) = r_0 \left\{ e^{-\frac{t}{T}} - K\delta_0 \left[1 - e^{-\frac{t}{T}} \right] \right\} \dots\dots\dots(14)$$

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

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

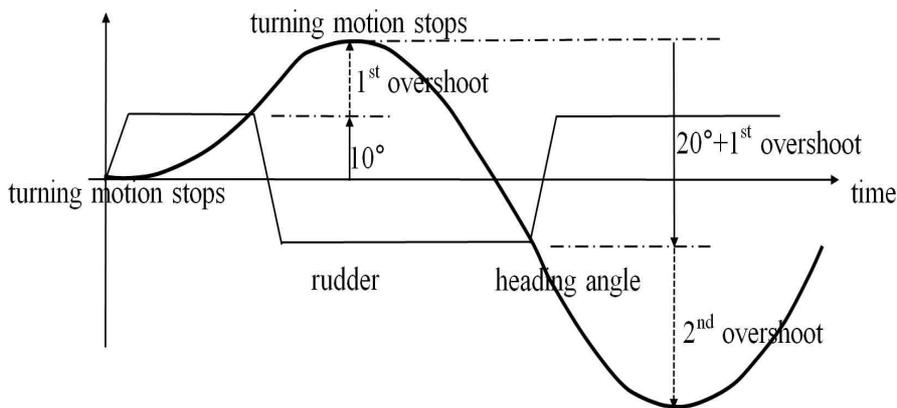


Fig. 2. Schematic time history of Zig-zag test.

Table 1는 국제해사기구에서 선박에 최저로 지켜야 할 조종성능의 지표에 대해서 구체적으로 하기 위해서 많은 논의 한 결과 1993년 11월에 기준을 설정하여 1994년부터는 건조된 길이 100m이상의 선박 또는 길이에 관계없이 모든 케미칼 탱커 및 가스 운반선에 대하여 적용된다. 이외 선박에 대해서는 권고사항으로 해사안전위원

회의 결의안 (Resolution MSC. 137(76))을 2002년 12월4일 채택되었다 (IMO Annex 6, 2002). 그 기준은 Table 1처럼 선회성능, 최기선회, 정지성능, 보침성능(침로안정성) 및 변침성능이 규정되어 각 성능의 지표와 기준 값이 Table 1과 같으며, 이 중에 가장 문제가 되는 것은 정지성능, 보침 및 변침성능이고, 이들의 기준을 만족하기위해 설계단계에서 충분히 검토를 할 필요가 있다 (Yoshimura 1994; Yoshimura et al., 2000).

Table 1 Interim Standards of ship manoeuvrability in IMO

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

시험선의 제원 및 실험 방법

Fig. 3. 4는 시험선박의 일반배치도 및 선도를 나타낸 것이다. 선박의 특징 및 목적은 21세기 신 해양 개발 전문 인력 양성을 위한 교육용 실습선으로써 제주도 주변 해역을 비롯한 동중국해와 국내 연, 근해의 물리, 화학, 생물, 지질 등 제반 해양 연구와 수산생물 및 어업자원 채집과 조사, 해양환경모니터링 등의 역할을 하는 목적으로 2013년 8월 14일에 본 대학교에서는 선명 “제라”호로 명명하여 인도하였다.

특징으로는 구상선수 형으로 주기관의 추진효과를 최대한으로 반영한 선형으로 선저는 기관실구역을 제외하고 이중저 구조, 조타실 전 방향으로 좋은 시야가 확보될 수 있도록 하고, 거주실 및 선체 각 구획은 선체와 추진기로부터 전달되는 소음을 최소화하여 조타실 및 거주실은 65dB, 기관실은 정박 시 70dB 유지 하도록 하였다. 그리고 해양조사장비로는 수질 종합 측정장치, 초음파 전자해류계, 수중입자 크기

분석기, 무인 작업정 해저 지층탐사기 등을 갖추어 종합적인 해양연구를 위한 연구 조사선이다.

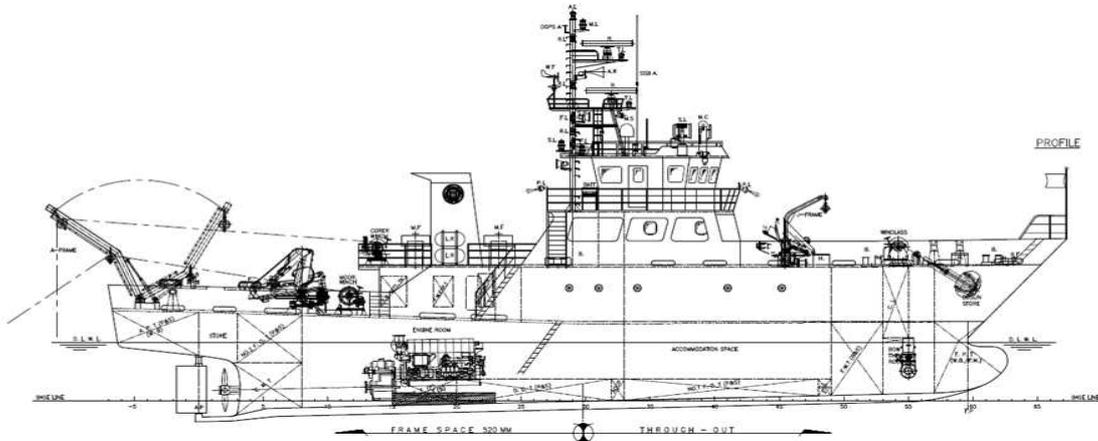


Fig. 3. General arrangement of experimental research vessel Jera.

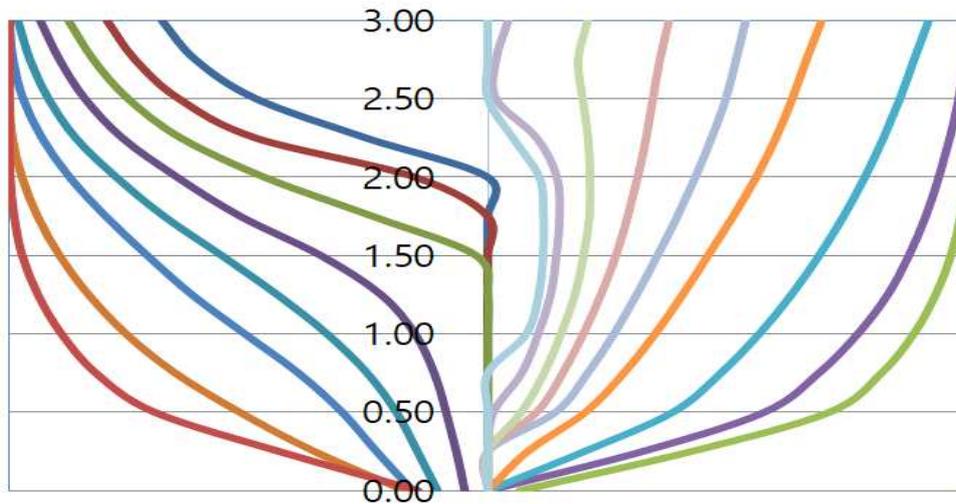


Fig. 4. Body plan of research vessel Jera.

주요제원은 Table 2와 같으며 전장 및 수선간장은 38.64, 31.00m이며 총톤수는 161ton, 선폭은 7.50m, 항해속력은 13.30kn'ts, B 는 4.133, 방형비척계수 (C_b : block coefficient)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 복판타로서 면적 및 면적 비 ($Area/Lbp \times T$)은 각각 $2.52m^2$, 2.96%이다.

Table 3 Sea trial conditions of the R.S. Jera.

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

Table 3은 실험해역 및 해황을 나타낸 것이다.

III. 결과 및 고찰

선회권 시험

Fig. 6는 좌·우현 10° 및 20°로 했을 때 선회권실험 결과를 나타낸 것으로 종거 (Ad : Advance), 횡거(Tf : Transfer), 선회경(Td : Tactical diameter)의 결과는 좌현 일 때는 186m, 142m, 305m, 우현 일 때는 185m, 158m, 338m 각각 보였다. 그리고 좌현일 때는 115m, 70m, 147m, 우현일 때는 142m, 93m, 173m 각각 나타났고 이때의 타 직 압력은 각각 403.2kgf, 810.3kgf이었다.

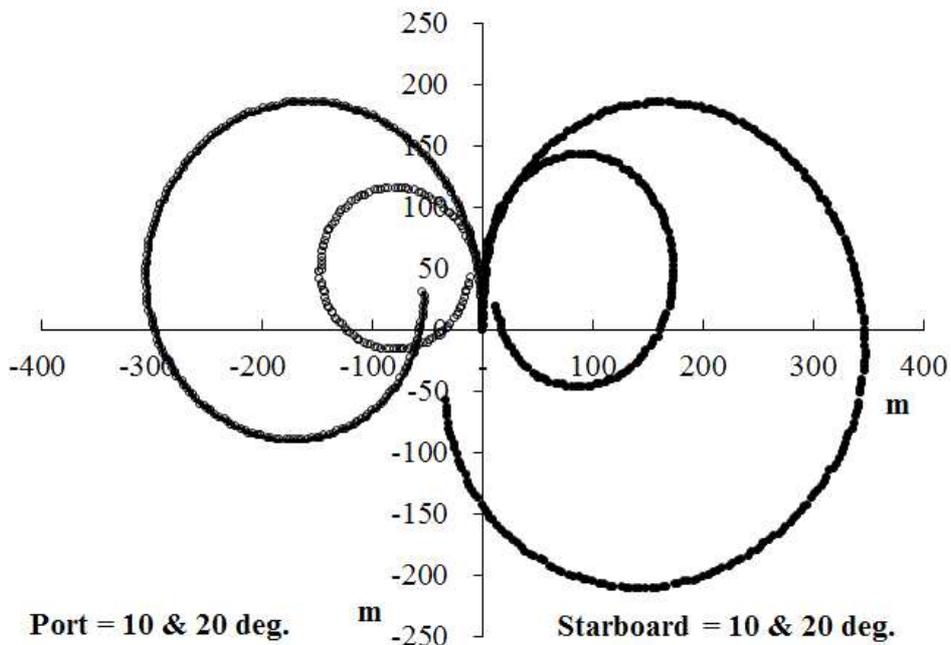


Fig. 6. Trajectories of turning circle of port and starboard 10°, 20°

좌·우현 10° 및 20°에서 720°를 선회했을 경우의 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7을 살펴보면 오른 쪽은 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.

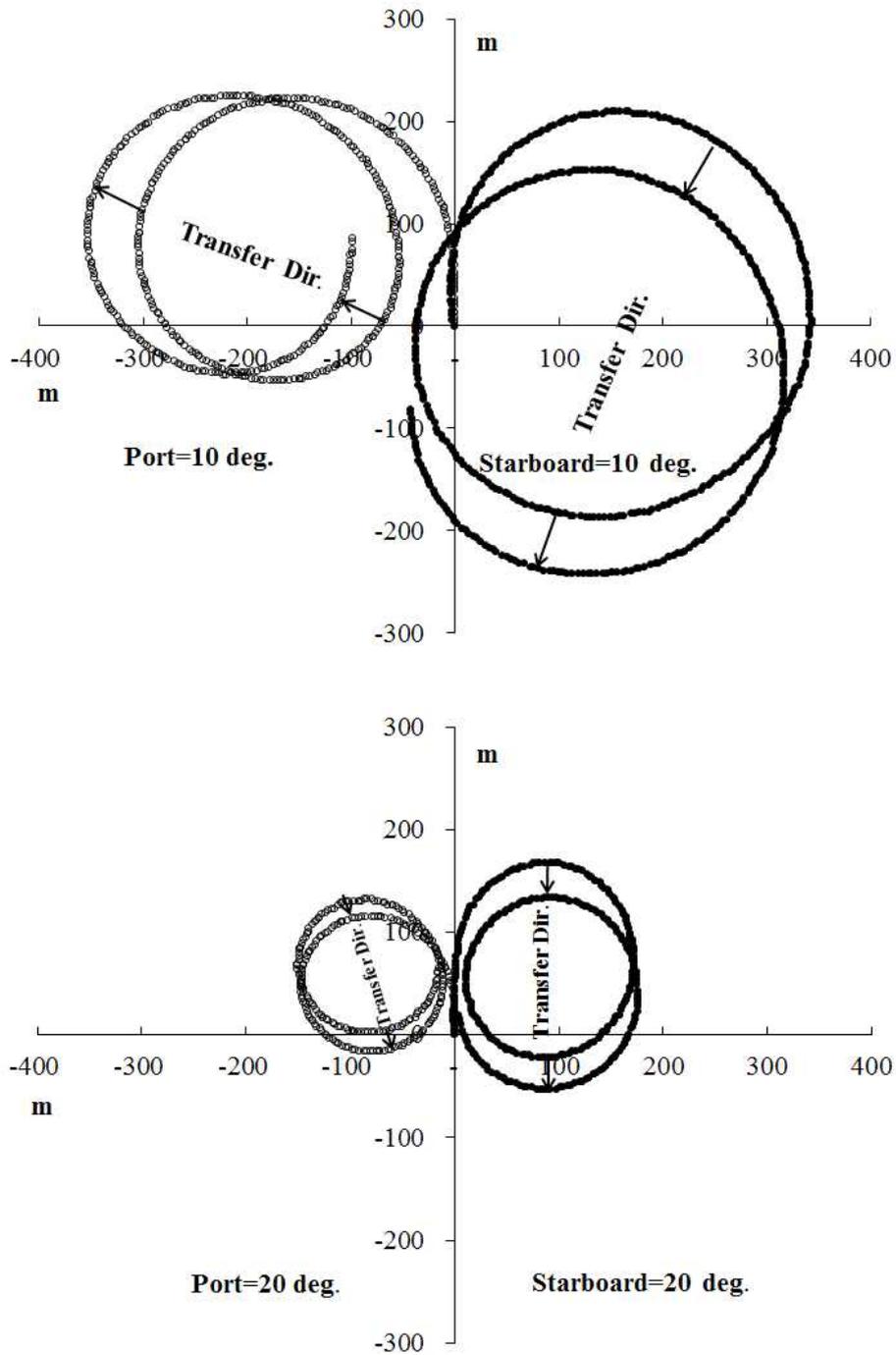


Fig. 7. Effect of current on path of turning circle (720°) of port and starboard 10°, 20°.

Zig-zag 시험

Fig. 8은 타각을 좌·우현 10°로 했을 때 Zig-zag실험 결과를 나타낸 것으로 1st, 2nd Overshoot angle는 6.0°, 5.8° 및 6.3°, 7.1° 으로 각각 나타났다.

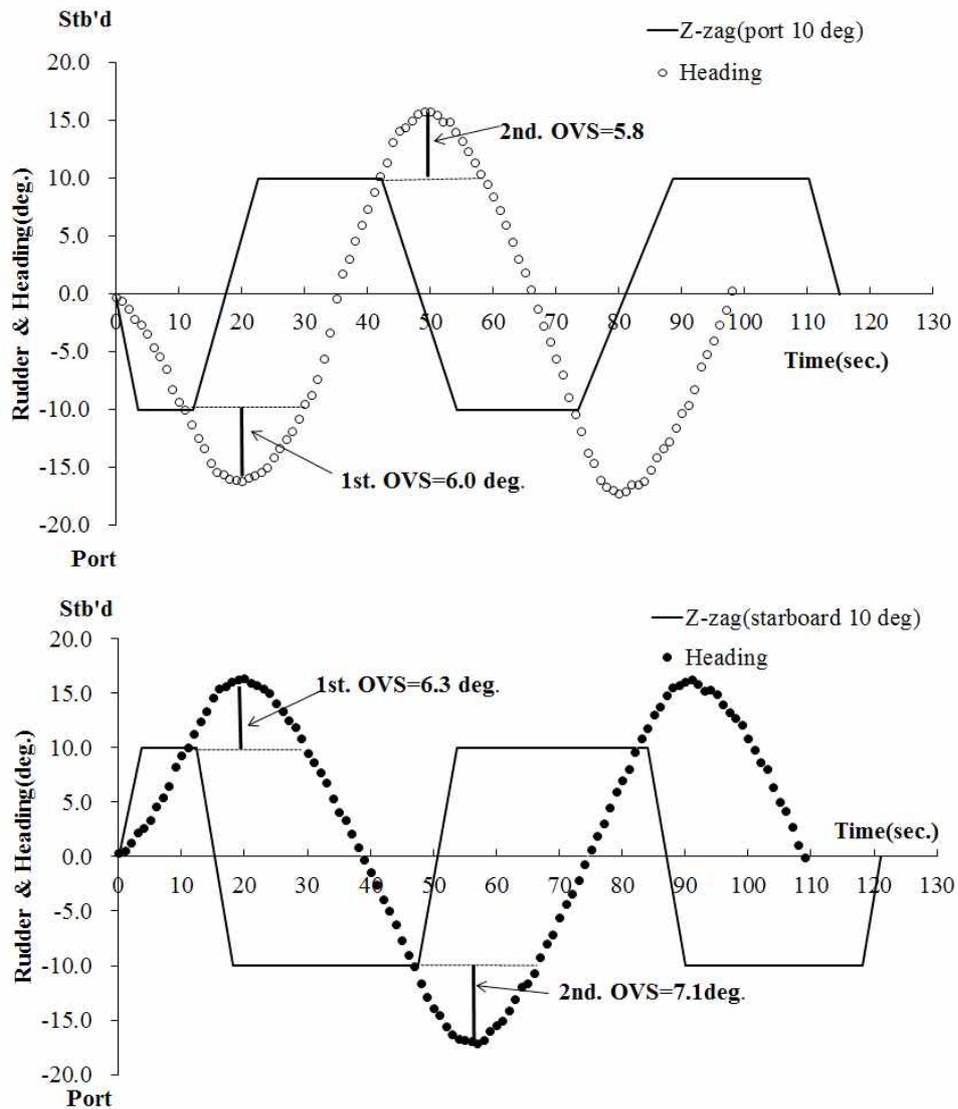


Fig. 8. Time histories of heading and rudder angles for 10 Zig-zag test.

Fig. 9은 타각 좌·우현 20°로 했을 때 Zig-zag실험 결과를 나타낸 것으로 1st Overshoot angle는 16.4°, 17.6°로 각각 보였다.

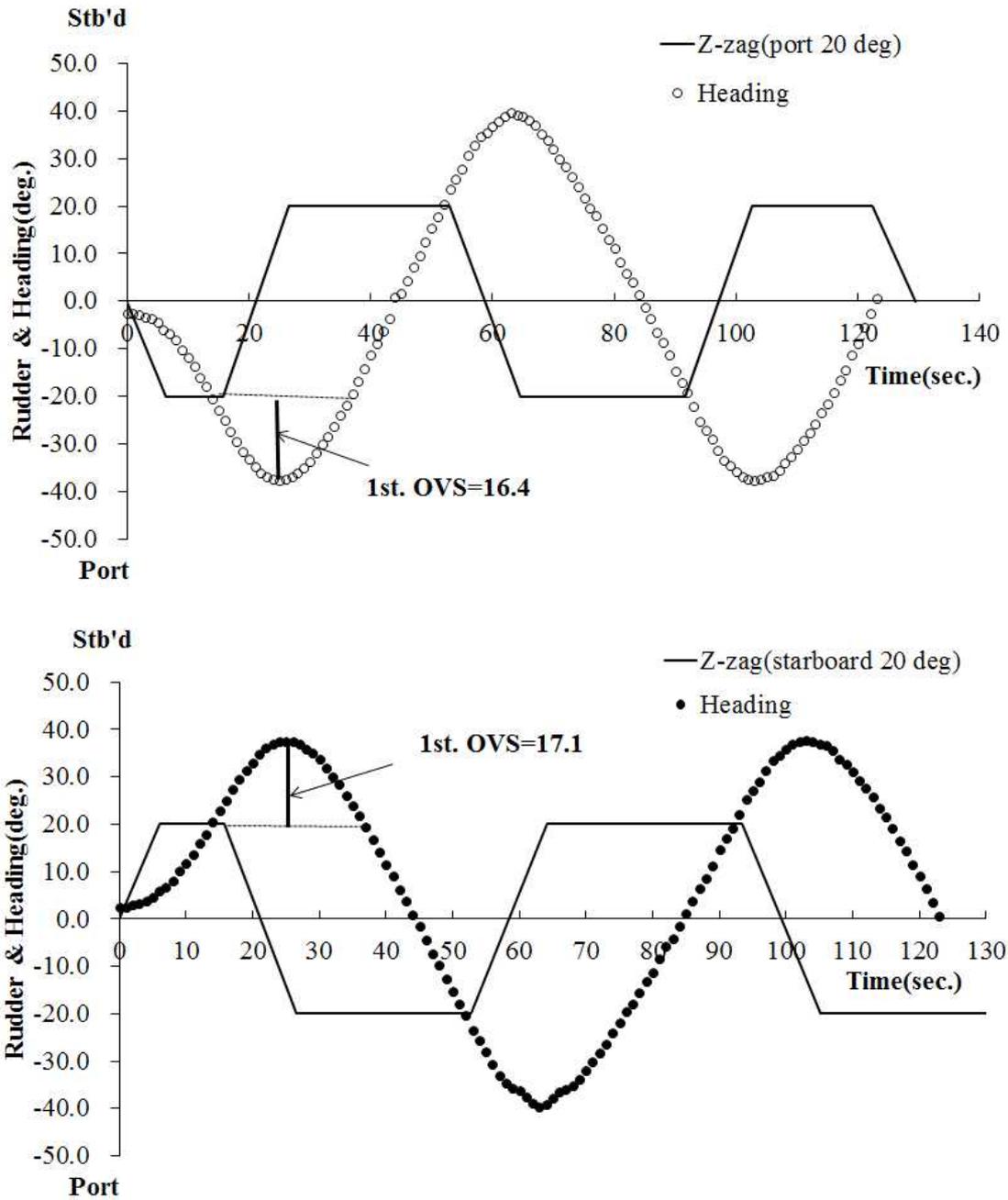


Fig. 9. Time histories of heading and rudder angles for 20 Zig-zag test.

Fig. 10는 타각 10° 및 20°일 때의 조종지수인 선회성 및 추종성의 지수 T 를 나타낸 것으로 각각 0.149sec^{-1} , 11.853 sec 및 0.1230sec^{-1} , 6.193sec 으로 나타났다. Fig. 9에서처럼 정상 선회 때의 회두각속도의 63% 값에 이를 때까지의 시간이 추종지수 T 값에 대응하는 것을 알 수 있었고 이때의 회두각속도는 각각 $0.937^\circ/\text{sec}$, $1.6355^\circ/\text{sec}$ 이었다.

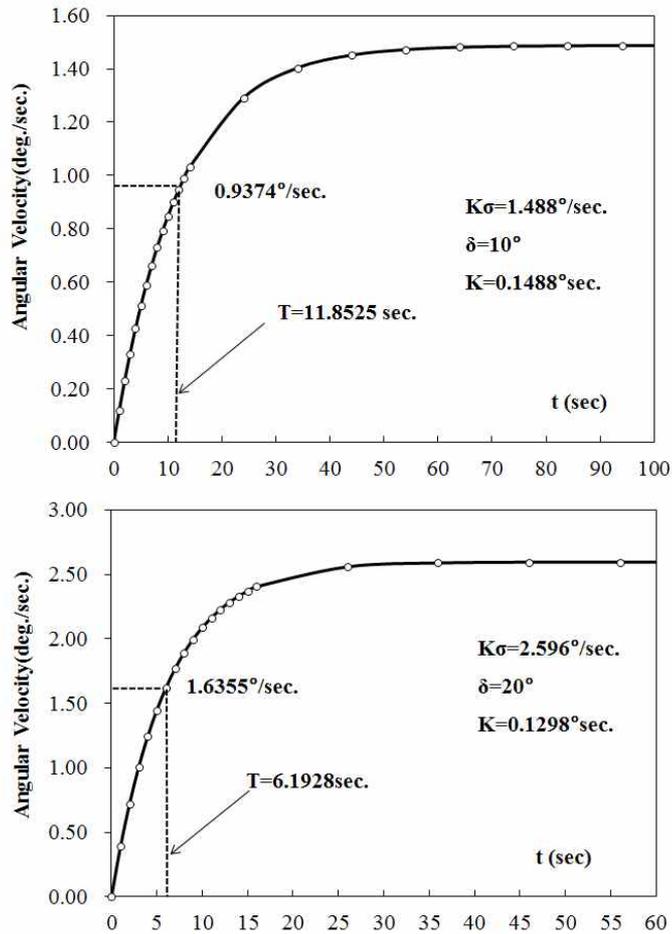


Fig. 10. Maneuvering performance index 10° and 20° .

타각 좌·우현 10° 에서 Zig-zag시험 결과에 의한 1st, 2nd overshoot angle를 IMO의 기준과 비교 검토한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11에서 x축은 선박길이에 대한 선속 비이며 (L/U , L : length, U : ship speed) 이때의 값은 7.833, y축은 이에 대응하는 좌·우현 1st, 2nd 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.

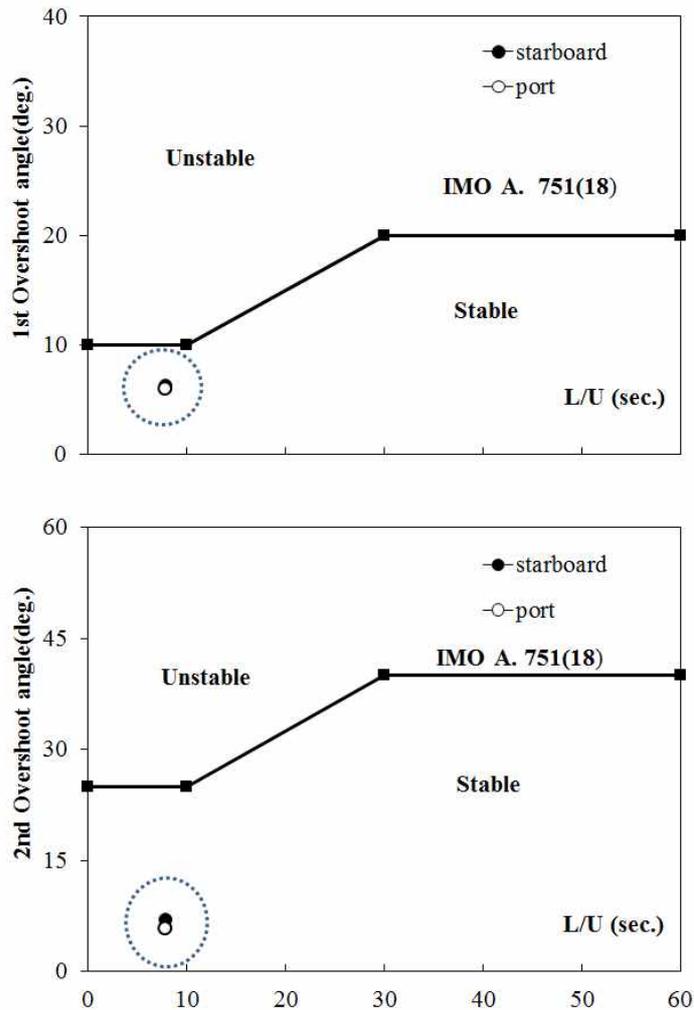


Fig. 11. 1st, 2nd overshoot angles of port and starboard 10° Zig- zig tests.

타각 좌·우현 20°에서 Zig-zag시험 결과에 의한 1st overshoot angle를 IMO의 기준과 비교 검토한 결과를 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 12에서 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.

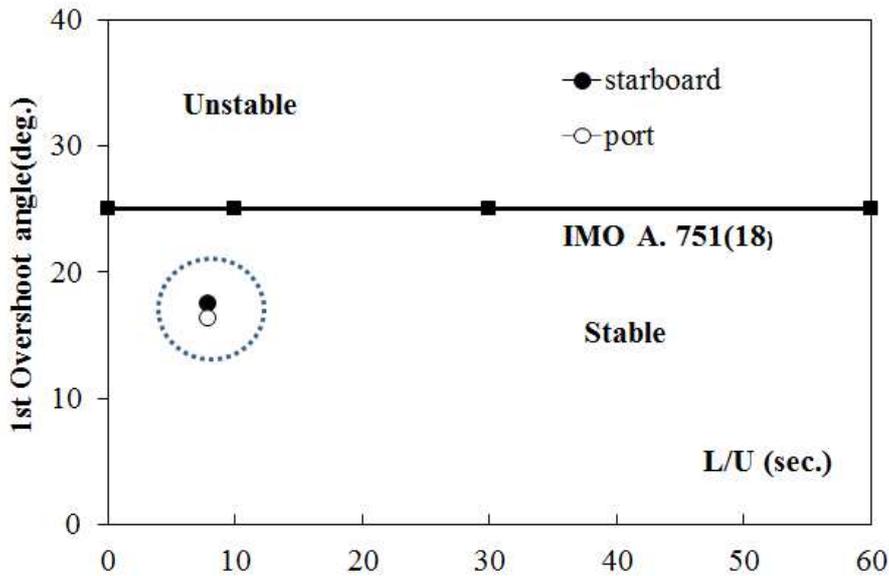


Fig. 12. 1st overshoot angle of port and starboard $\pm 20^\circ$ Zig-zag test.

Spiral 시험

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

Fig. 13는 침로안정에 대한 양부를 결정하는 것으로, 좌현 20° 에서 시작하여 우현 20° 까지 $=5^\circ$ 간격으로 5분간의 각각의 회두 가속도 (r)를 나타낸 것으로 조타 각이 클수록 점차적으로 그 각속도가 컸다.

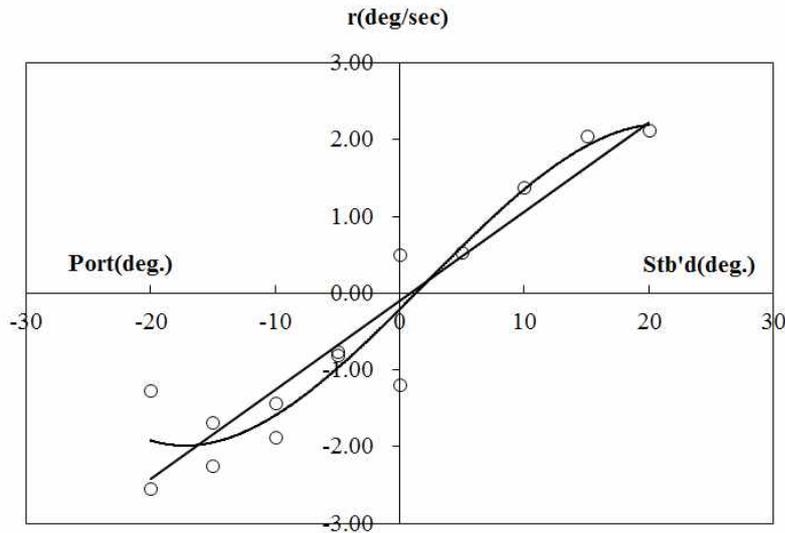


Fig. 13. Plotted in $-\delta$ diagram by the spiral maneuver of the research vessel Jera.

해상실험에서 선회권 (360°, 720°) 결과는 조타 각 좌·우현 10°로 했을 때 선회권 실험 결과에서 종거 및 횡거의 길이는 좌·우현 큰 차이 없었으나, 선회경은 우현 쪽이 33m 더 길게 나타나서 An et al., (2005)의 결과와 같은 경향을 보였고 좌·우현 20°에서는 좌·우현 10°보다 대부분 그 길이가 짧았고 종거, 횡거, 선회경은 우현 쪽이 25m, 23m, 26m 더 길었다.

시험선인 경우 좌현 선회경이 작았고, IMO기준과 비교하여보면 타각을 20°로 했을 때는 만족하지만 10°일 때는 미흡하다. 이렇게 차이가 나는 것은 기준에서는 최대 타각일 때의 값이기 때문이라고 생각된다. 그리고 Jung et al., (2008)의 연구 결과처럼 타 선박과의 충돌상황이 아닌 전방의 장애물을 피하는 상황에서는 좌현 쪽의 선회경이 작으므로, 속력을 낮추고 좌현으로 전타하는 것이 보다 유리 할 것으로 판단된다. 그리고 720°선회권실험에서는 선회시간의 경과하므로 반경은 감소하지만 반면에 외력이 미치는 경향을 알 수 있었다.

Zig-zag실험 결과에서는 좌·우현 10°일 때의 1st, 2nd overshoot angle이 같은 경향으로 좌현 쪽이 적었고 IMO 기준에서는 $L/U < 10$ sec.일 때 1st, 2nd overshoot angle는 10°, 25°미만을 요구하고 있기 때문에 만족한 것으로 판단되었고, 좌·우현 20°일 때의 1st. overshoot angle은 25°이하이므로 만족한다고 판단되며 비교적 소각도의 명령 타각 일수록 Overshoot angle의 변화가 적다는 것 알 수 있어서, Lee and Lee (1998)의 보침성을 평가하는 데 좌·우현 10° 쪽이 합리적인 것과 같은 생각을 할 수 있었다.

Table 4 조종성능의 지수를 나타낸 것으로, 타각 10°일 때 선회성($K'(L/U)$) 및 추종성($T' = T(U/L)$) 지수는 1.167, 1.514, 타각 20°일 때는 각각 0.963, 0.791, $T' = 1.297K'$, $T' = 1.217K'$ 으로 나타났다. 이와 같은 결과를 통하여 타각이 클수록 선회성은 좋으나 추종성은 좋지 않음을 알 수 있었다.

Table 4 Calculated Maneuvering indices K' and T' of the R.V. Jera

	10° Z	20° Z
K'	1.167	0.963
T'	1.514	0.791

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. 대표적으로 Tamyang과 시험선을 비교해 보면 시험선의 선회성 지수는 시험선이 Tamyang보다 0.221 및 0.098로 더 크게 나타났는데 이것으로 Tamyang 보다 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 늦고 추종성이 미흡하다는 것을 알 수 있다.

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

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

본 연구조선인 경우는 타각 0° 부근에서 +0.51°, -1.19° 정도 불안정한 loop폭을 나타냈지만, 타각 0°의 접선이 수직에 가깝고 타각과 정상 각속도에 비례하는 경향이 보였으며 일반적으로 타각이 0°에서 직진하지 않는 것이 보통이다. 실험 결과 타각

0°에서는 침로 불안정한 loop가 보였지만 전반적으로 선형변화를 보여 안정된 선박이라고 판단 할 수 있었다.

IV. 결 론

연구조사선인 제라호의 조종성능 추정하기 위해 실선시험을 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-zag 시험 결과에서는 좌·우현 10°일 경우에는 1st 및 2nd overshoot angle은 6.0°, 5.8°, 6.3° 및 7.1° 이 때 선회성 지수 K , 추종성 지수 T 는 0.149 sec 및 11.853 sec.이었다. 좌·우현 20°로 했을 경우에는 1st overshoot angle은 16.4° 및 17.6°, K 및 T 는 0.1230 sec^{-1} 및 6.193 sec이므로 타각 20°일 때가 선회성은 좋으나 추종성능이 좋지 않는 것을 나타냈다. 그리고 타각 10° 및 20°, 선속 10.0 kts으로 시험했을 경우에 각속도는 0.937°/sec 및 1.636°/sec으로 각각 나타났다.

spiral 시험에서는 타 중앙을 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 조션에는 크게 무리가 없을 것으로 판단된다. 그리고 spiral 시험에서 $-\delta$ 관계 곡선이 선형적인 변화를 보이고 있음으로 안정된 선박이라고 판단 할 수 있었다.

참고 문헌

- 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. Kor. Soc. Fish. Tech. 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 Tech. 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.

Song GH, Lee MW and Shin HH. 2015. Maneuverabilities of the T.S Dong Baek by Z-test, Bull. Inst. Fish. Tech, Channam Nat'l Univ. 8(1), 1-15.

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.