

실선시험에 의한 새바다호의 조종 성능에 관한 고찰

안영수 · 강일권^{1*} · 김형석¹ · 김정창² · 김민석³ · 조효제⁴ · 이춘기⁴

경상대학교 해양산업연구소 · ¹부경대학교 해양생산시스템공학과 · ²부경대학교 해양학과
³부경대학교 실습선 · ⁴한국해양대학교 해양시스템공학부

A study on the manoeuvrability of T/S SAEBADA by real sea trials

Young -Su AN, Il-Kwon KANG^{1*}, Hyung-seok KIM¹, Jung-Chang Kim², Min-Seok Kim³,
Hyo-Jae Jo⁴ and Chun-ki LEE⁴

Institute of Marine industry, Gyeong Sang National University, Tong yong 650-160, Korea

¹*Department of Marine Production System Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

²*Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

³*Training ship, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

⁴*Division of Ocean System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, 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 manoeuvrability of own ship. The actual manoeuvring characteristics of ship can be adequately judged from the results of typical ship trials manoeuvres. Author carried out sea trials based full scale for turning test, zig-zag test, spiral tests and crash-stop test at actual sea going condition. The turning circle manoeuvres were performed on starboard and port sides with 35° rudder angle at the service speed, and Zig-zag procedures were performed on both sides with 10° and 20° rudder angle respectively. Spiral tests were carried out on the both sides and crash stop test was also carried out. The results from tests could be compared directly with the standards of manoeuverability of IMO and consequently the manoeuvring qualities of the ship is fully satisfied with its.

Key word : Advance, Transfer, Tactical Diameter, Turning test, Zig-zag test, Spiral tests, Crash stop test, Manoeuvrability

서 론

근래 항해 장비의 급진적인 발달에 힘입어 조선자는 예전과는 달리 조선상으로 많은 편리함을 향유하고 있다. 그에 따라 해양사고는 그 만큼 줄어들어야 하겠지만 실제로는 크게 줄어들지 않고 있다

(Safe way, 2004). 이는 해양사고의 발생 원인이 선체고유의 조종특성과 human factor 그리고 환경조건이 복합적으로 이루어지기 때문이다.

따라서 선박의 조종성을 평가할 때 이들의 요소를 충분히 고려하여 최종적으로 평가할 필요가 있

*Corresponding author : ikkang@pknu.ac.kr Tel:82-51-620-6111 Fax:82-51-628-8145

다(Kijima, 1995).

선박의 설계자의 입장으로 보면 이들 요소 중에서 선체고유의 조종성능이 결여되어, 그것이 해양 사고를 일으킨 원인의 하나로 작용했다는 말은 듣지 않아야 하기 때문에, 이 성능의 평가를 설계의 단계에서부터 미리 추정하고, 설계한 선박이 IMO 조종성기준을 만족시키도록 세심한 검토를 하게 될 것이다. 또한 조선자의 입장에서는 자선의 조종성능을 정확히 추정하여 human factor에 의한 사고 요인을 제거하는 노력을 충분히 기울여야 할 것이다.

해난사고에는 human factor에 의한 사고가 대부분을 차지하고 있는데, 이것은 조선자가 자선의 조종성능을 충분히 파악하지 못하고 무리한 조선을 했거나, 그 당시의 해상과 기상 상황에 알맞은 적절한 대책을 마련치 못한 것이 사고의 원인으로 되는 경우가 많다.

따라서 조선자는 운항에 앞서 그 선박의 조종성과 내항성을 숙지해 두는 것이 매우 중요한 일이다. 자선의 이러한 성능을 확실하게 파악하고 있지 않으면 기상상태가 악화될 때 혹은 긴급을 요하는 경우에 선박의 안전에 대한 적절한 대응 조치를 취하기 어렵기 때문이다.

선박의 조종성능은 이렇게 조선자에게 매우 중요하기 때문에 신조선을 건조하게 되면 조선소측에서 sea trial을 수행하게 되고, 그 결과를 선주에게 제공한다. 그러나 이 sea trial 상태는 light condition이기 때문에 실제로 운항하는 상태와는 차이가 있게 마련이다.

선박의 조종성능의 추정 방법은 실험에 의한 방법과 실험에 의하지 않고 이론적으로 계산하는 방법이 있다(Yasukawa, H.,1992, Kobayashi, H., 1995).

실험에 의한 방법에는 다시 두 가지로 나눌 수 있는데, 그 하나는 자유항주시험을 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 구한다.

따라서 이 연구에서는 자유항주시험을 수행하

는 방법으로 실제로 운항중의 condition에 있어서 선회 시험, zig-zag 시험, spiral 시험 등을 수행하여 새바다호의 조종성능을 합리적으로 추정하고, 그 추정치가 IMO의 조종성 규정을 만족하고 있는지 비교하도록 한다.

장치 및 방법

조종성에 대한 실선시험은 2002년 8월 24일 옥지도 서쪽 3마일 해상(위도 34도 46분, 경도 128도 39분)에서 실시되었으며, 시험 항목은 turning 시험, zig-zag 시험, spiral 시험 및 crash stop 시험이다.

실선시험은 조류의 영향이 거의 없으며, 풍속이 미약하고, 수심이 충분한 해면에서 실시되었다.

Turning시험은 진입 코스를 바람 방향으로 잡고, 통상적인 항해 속력(전진 전속)으로 우선회와 좌선회를 최대 타각(35°)으로 하여 각각 1회씩, zig-zag 시험은 좌우현에 대하여 10°와 20°에 대해서 실시하였으며, spiral 시험 역시 좌우현에 대하여 소정의 타각에 대한 선회 각속도가 일정해질 때까지 충분한 시간을 주어 수행하였고, 또한 crash stop 시험도 실시하였다.

시험선인 새바다호의 제원과 당시의 해상상태는 table 1에 나타낸 바와같고, 새바다호의 body plan 등은 Fig. 1과 같다.

Fig. 2는 새바다호에 장착된 선박성능계측시스

Table 1. Experimental conditions of T/V SAEBADA

Items		Specification
Length	Loa	70.6m
	Lpp	60.6m
Breadth		12.3m
Gross tonnage	(National)	999 ton
	(International)	1,358 ton
Draft	Fore	3.4m
	After	5.0m
Displacement		1,681 ton
Metacentric height	GM	0.7m
	Cb	0.61
Main engine		3,300HP
Service speed		14.0kts
Wind	speed	1.5m/sec
	direction	060°
Wave	height	0.5m

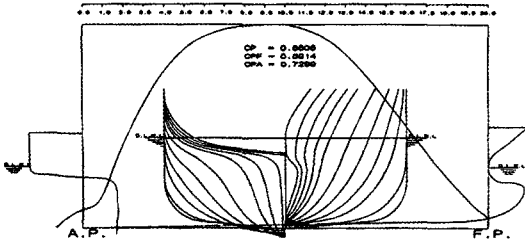


Fig. 1. Body plan, bow and stern contours of hull form.

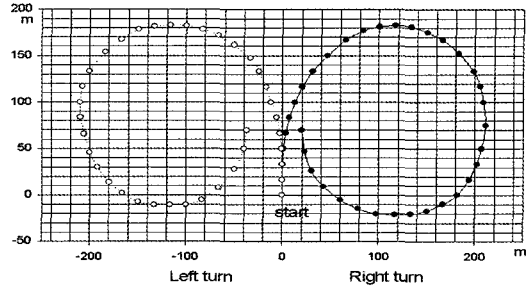


Fig. 3. Turning trajectory for 35° rudder turn by the real sea trial.

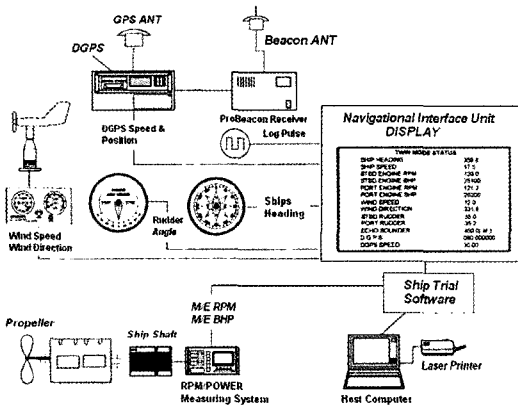


Fig. 2. Configuration of measurement system.

템으로서, DGPS를 이용하여 항해에 필요한 각종 자료, 즉 선속, 위도/경도, 경과시간, heading & rudder 각도, RPM, 평균속도 등의 data를 자동 저장한다. 본 시험의 경우에도 이 장치에 저장된 선회권, zig-zag, spiral 시험 등의 자료를 이용하였다.

결과 및 고찰

선회권 시험

선회권의 크기는 선체요소, 즉 방형계수, 흘수, 트림, 중량분포, 수면하의 선체형상, screw propeller의 회전방향 등과 선속에 따라 다르게 나타나게 되나, Froude Number 0.3 이하에서는 선속이 선회경에 영향을 주지 않기 때문에 본 시험에서는 table 1의 조건을 기본으로 하고 통상적인 항해속력과 최대 타각을 이용하여 선회권을 측정하였다.

바람의 영향을 고려하여 정선수에서 바람을 받고 선회권에 진입하도록 하였고, 바람의 세기는 시작과 완료시에 모두 1.5m/sec 정도로 차이가 없었다.

선회성 지수 값은 트림에 영향을 받으므로 가능한 even keel 상태로 하는 게 좋으나, 본 연구의 목적이 통상적인 항해상태에서의 조종성능을 추정하는 것이기 때문에 그 조건을 맞추지는 않았다.

Fig. 3은 turning 시험에 따른 선회권을 작도한 것으로서, 좌우선회권을 쉽게 비교할 수 있도록 함께 나타내었다.

본 시험의 결과, reach, advance, transfer, tactical diameter, final diameter가 우선회에서는 각각 83m(1.37L), 182m(3.00L), 88m(1.45L), 212m(3.50L), 191m(3.15L)였으며, 좌선회에서는 각각 86m(1.42L), 180m(2.97L), 86m(1.42L), 213(3.52L), 174m(2.87L)였다.

우선회와 좌선회에서 각 항목에 대한 수치는 거의 같은 값을 나타내었으나, final diameter의 크기는 우선회 쪽이 좌선회 쪽 보다 약간 크게 나타났다. 이것은 우선회 추진기를 장착한 선박의 경우 우선회경이 좌선회경 보다 약간 크게 나타나는 일반적인 경향과 일치한다.

Reach는 조타에 대한 추종성을 나타내는 것으로서, 일반적으로 1.5L 정도이나 새바다호의 reach는 이 보다 짧아 전타에 대한 선체의 응답이 빠르다는 것을 알 수 있다.

Advance는 선박의 앞에 나타난 장애물을 선회에 의하여 회피할 때 필요한 최소거리라는 점에서 선회능력을 판단하는 중요한 값이다.

IMO 조종성 기준을 본 선박에 적용할 경우, 최대 타각에서 수행한 선회시험 결과의 수치가 advance는 4.5L 이하, tactical diameter는 5L 이하가 되어야 한다. 새바다의 경우에는 이들의 값이 각각

3.0L, 3.5L 정도여서 이 규정을 충분히 만족하고 있다고 볼 수 있다.

충돌예방의 측면에서 중요한 tactical diameter는 전속 전진상태에서 보통 선체길이의 3-4배 정도이며, final diameter는 tactical diameter의 80~85%인데, 본 시험에서 새바다의 경우에도 각각 이 범위에 들고 있다.

선회중에는 선회시간의 경과에 따라 필히 선속의 저하가 수반되는 데, Fig. 4는 새바다의 선회권 시험중 선속의 저하를 나타낸 것이다.

우선회의 경우에는 전타 후 112sec에 최저 속력이 나타났으며, 속력 저하율은 45%였다. 그 이후에는 일정한 속력으로 선회가 이루어졌다.

좌선회의 경우에는 전타 후 86sec에 최저 속력으로 떨어졌고, 속력 저하율은 48%였다. 선속이 절반으로 떨어지는 시간은 모두 전타 후 42sec 정도이다.

선회 중 선속의 저하는 일반적으로 중형 및 소형선의 경우에는 약 90° 정도 선회하면 각속도와 속력이 일정해지고, 속력저하는 최대 40~50%에 달하며, 대형선의 경우에는 360°를 선회할 때까지 계속 속력저하가 나타나는데 최대 약 75%에 달한다 (Yoon, 1978). 또한 속력이 저하되더라도 선회권이 원형을 유지하는 것은 각속도의 저하 때문이다. 새바다호의 선회 중 속력 저하율은 다른 중소형선의 선속 저하율과 비슷한 경향을 보였다.

Zig-zag 시험

선박의 침로안정성 및 추종성능을 파악하기 위

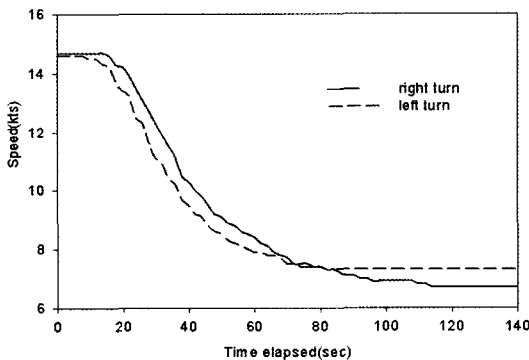


Fig. 4. Reduction of ship speed according to the time elapsed in the real sea trial.

해서는 zig-zag 시험이 필요하다.

Fig. 5는 시험선의 $\pm 10^\circ$ zig-zag 시험 결과를 나타낸 것이다.

이 그림에서 나타난 것처럼 $+10^\circ$ zig-zag 시험에서는 1차 overshoot yaw angle이 4.1° , 2차 overshoot yaw angle은 -4.8° 이고, -10° zig-zag 시험에서는 1차 overshoot yaw angle이 -3.8° , 2차 overshoot yaw angle은 4.9° 이다.

Overshoot yaw angle은 선수를 반대 현으로 돌릴 수 있는 능력을 나타내는 수치적인 척도이다.

선박의 침로를 신속하게 바꿀 수 있는 능력의 척도로 인식되는 initial turning time은 $+10^\circ$ zig-zag 시험에서는 15.5sec이고, -10° zig-zag 시험에서는 15.2sec였다.

Fig. 6은 새바다호의 $\pm 20^\circ$ zig-zag 시험 결과를 나타낸 것이다.

이 그림에서 나타난 것처럼 $+20^\circ$ zig-zag 시험에

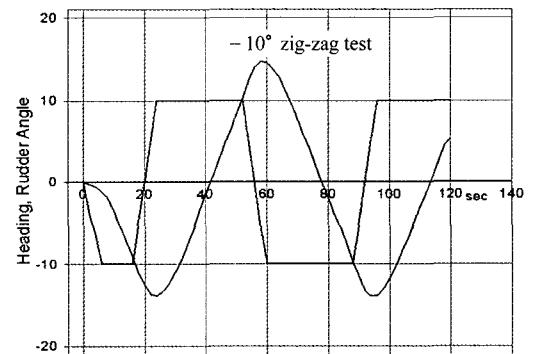
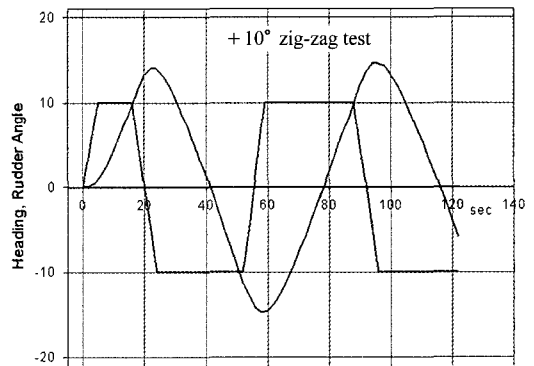


Fig. 5. Trace of heading and rudder angle for $\pm 10^\circ$ zig-zag test.

서는 1차 overshoot yaw angle이 13.1° , 2차 overshoot yaw angle은 -12.6° 이고, -20° zig-zag 시험에서는 1차 overshoot yaw angle이 -12.7° , 2차 overshoot yaw angle은 $+14.5^\circ$ 이다.

Initial turning time은 $+20^\circ$ zig-zag 시험에서는 18.2sec 이고, -20° zig-zag 시험에서는 17.5sec 였다.

Zig-zag 시험에서 overshoot yaw angle은 변침 성능의 정도를 판단하는 중요한 자료이다.

IMO 조종성 기준에 있어서 변침성능 및 침로유지 성능의 판정 기준이 되는 overshoot yaw angle은 새바다의 경우 $\pm 10^\circ$ zig-zag에서는 첫 번째 overshoot yaw angle이 10° , 두 번째 overshoot yaw angle이 25° 이고, $\pm 20^\circ$ zig-zag에서는 첫 번째 overshoot yaw angle이 25° 이다. 그런데 본 선박의 overshoot yaw angle은 $\pm 10^\circ$ zig-zag에서 첫 번째 overshoot yaw angle이 약 4.0° 정도이고, 두 번째 overshoot yaw angle이 약 4.9° 이며, $\pm 20^\circ$ zig-zag에서 첫 번째 overshoot yaw angle이 12.9° 이므로 IMO 조종성 기준을 충분히 만족시키고 있다고 볼

수 있다.

선박의 조종성 지수는 선속, 트림, 타각, 적하상태 등에 따라 달라지나, table 1의 조건을 기초로 한 zig-zag 시험으로 새바다호의 조종성지수를 구한 결과 선회성지수 K 는 $0.11(\text{sec}^{-1})$ 이고, 추종성지수 T 는 4.7(sec)이었다.

또한, 신침로거리의 대소는 자선의 변침 성능을 나타내는 지표가 되며, 피항조선시에 타선 혹은 장애물과의 상대적인 거리를 파악하기 위해서 조선자가 알아야 할 필수적인 항목이다.

Zig-zag 시험으로 구한 K 와 T 를 이용하여 계산한 새바다호의 신침로거리(변침각이 45° 일 때)는 약 130m이다.

Spiral 시험

선박의 침로안정의 정도를 나타내는 지표로서 spiral 시험을 행하고 있으며, Fig. 7은 새바다호의 spiral 시험 결과를 나타낸 것이다.

실선은 우현으로 먼저 타를 사용하여 시험한 것이고, 점선은 좌현쪽으로 먼저 전타하여 시험한 것이다. 이 그림에 나타난 바와같이 좌우현 어느 쪽을 먼저 하든 그 차이는 없으며, 모두 원점을 중심으로 불안정 폭과 불안정 높이가 나타나지 않았다. 따라서 본 선박은 침로안정성이 매우 양호한 선박으로 볼 수 있다.

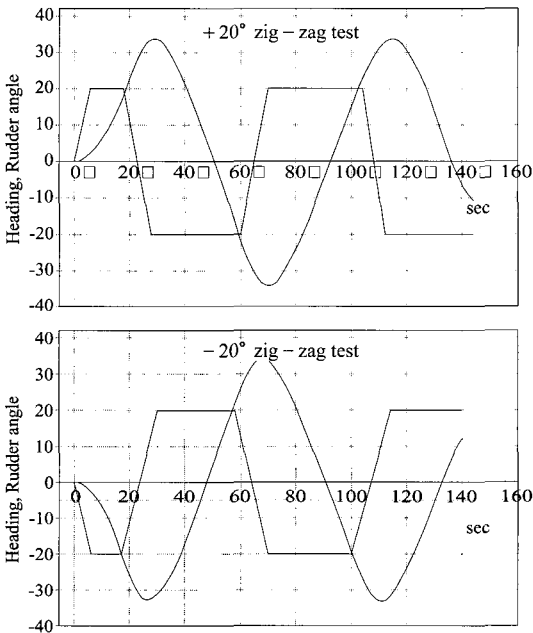


Fig. 6. Trace of heading and rudder angle for $\pm 20^\circ$ zig-zag test.

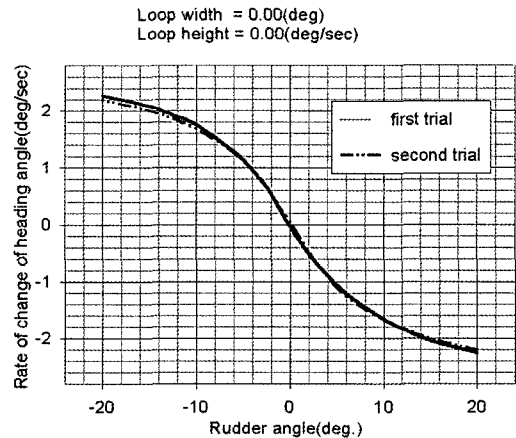


Fig. 7. Trace of the ship for spiral test.

Crash stop astern test

새바다호의 최단정지거리를 파악하기 위해 crash stop astern test를 실시하였다.

전진속력 14kts에서 전속 후진을 건 결과 본 선박이 정지한 경과 시간은 1min 45sec, 진출거리는 392m(6.5L)였다. 그리고 선체가 정지하기까지 선미가 우편향되었고, 따라서 선수는 약 45° 정도 좌편향하였다.

IMO 조종성 기준은 최단정지거리가 15L이므로, 본 선박의 최단정지거리는 이 범주에 든다.

조종성지수를 이용한 최소 충돌회피거리의 추정

서로 충돌의 위험을 안고 접근하는 양 선박이 취하여야 할 피항 동작에 대해서는 현행 국제해상충돌예방규칙 제14조부터 제17조 사이에 규정되어 있지만, 규칙상 조문의 정신은 각 선박이 충분한 시간과 거리를 두고 피항 동작에 들어가는 것을 원칙으로 하고, 이때 충분한 동작을 취할 것과 good seamanship을 발휘할 것을 열거하고 있으나, 보다 구체적으로 피항 동작을 취하지 않으면 안 되는 위치와 그 시간에 대해서는 명백한 언급이 없다.

따라서 여기서는 규칙 제14조의 정면으로 마주치는 상태에서 조문의 규칙이 요구하는 피항동작을 취해야 하는 거리를 계산한다.

직진중인 선박에 일정 타각 δ_0 을 주어서 선박이 선회할 때 원침로상에서의 이동거리를 x , 이에 직각인 방향에의 이동거리를 y 라고 하면, x 및 y 는 다음 식으로 표현된다(Yoon, 1982).

$$\begin{aligned} x &= (T + \frac{1}{2}t_1) v + R \sin K\delta_0 t_2 \\ y &= R - R \cos K\delta_0 t_2 \end{aligned} \quad (1)$$

- 여기서, T, K 는 조종성 지수,
- R 은 선회반경,
- t_1 은 전타에서부터 소정의 타각이 잡힐 때까지의 경과시간,
- t_2 는 전타에서부터 충돌이 회피될 때까지의 경과 시간이다.

이때의 한계접근거리 d_s 는 다음과 같다.

$$d_s = (T_A + \frac{1}{2}t_{1A}) V_A + R_A \sin K_A \delta_{0A} t_{2A}$$

$$+ (T_B + \frac{1}{2}t_{1B}) V_B + R_B \sin K_B \delta_{0B} t_{2B} \quad (2)$$

여기서, 첨자 A와 B는 각각의 선박을 의미한다.

새바다호와 같은 두 선박이 마주보며 전속으로 항해 중 두 선박 모두 우현으로 최대 타각인 35°를 사용하여 충돌을 회피하려고 하고, 전타 후 두 선박이 충돌하지 않고 지나쳐서, 각변위량이 각각 45°로 되면 충돌의 위험이 완전히 사라진 것으로 본다면, 이때 충돌을 회피하기 위한 소요거리는 식 (2)와 같이 reach와 45° 각변위가 되는 추가거리를 합한 것이 될 것이다.

식(2)에 따라 계산하면 새바다호의 경우 피항에 필요한 최소한의 소요거리는 324m이며, 약 0.18n.mile이다. 이 거리에 다소 여유를 준다고 해도 0.2n.mile 내로 접근하면 두 선박이 동시에 최대 타각으로 피항동작에 들어가야 충돌을 회피할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 한 선박이 올바르게 피항동작을 취했는데, 다른 선박이 상황판단을 잘못하여 규칙과 다르게 피항동작을 한 경우에는 이 계산치는 성립하지 않는다.

결 론

새바다호의 조종성능을 추정하기 위해 실선시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

선회권 시험 결과 새바다호의 advance, transfer, tactical diameter는 우선회에서는 각각 3.00L, 1.67L, 3.50L, 좌선회에서는 각각 2.97L, 1.60L, 3.52L였으며, final diameter의 크기는 우선회 쪽이 좌선회 보다 약간 크다.

선회 중 전속의 저하는 우선회의 경우에는 속력 저하율이 45%였고, 좌선회의 경우에는 48%였다.

Zig-zag 시험 결과 새바다호의 overshoot 각은 $\pm 10^\circ$ zig-zag 시험에서 첫 번째 overshoot 각도가 약 4.0° 정도이고, 두 번째 overshoot 각도가 약 4.9° 이며, $\pm 20^\circ$ zig-zag 시험에서 첫 번째 overshoot 각도가 12.9° 이므로 IMO 기준을 충분히 만족하고 있다. 또한 zig-zag 시험 결과로 구한 새바다호의 선회성지수(K)는 $0.11(\text{sec}^{-1})$ 이고, 추종성 지수(T)는 $4.7(\text{sec})$ 이며, 신침로거리(변침각이 45° 일 때)는 약 130m이다.

Spiral 시험 결과 불안정 폭과 불안정 높이가 나타나지 않은 것으로 보아 새바다호는 침로안정성이 매우 양호한 선박으로 볼 수 있다.

Crash stop astern 시험 결과 본 선박의 최단정지 거리는 전진 속도 14.0kts에서 392m이며, 소요시간은 1min 45sec, heading의 변화는 선미가 우편향하면서 선수는 좌측으로 45° 정도 편향된다.

새바다호와 같은 두 선박이 마주보며 전속으로 항해할 때의 피항에 필요한 최소한의 소요거리는 약 0.18n.mile이다.

참고문헌

- Katsuro, KIJIMA, 1995. Outline of Research on Ship Manoeuvrability, 2nd Symposium, The Japan Society of Naval Architects, 1 - 5.
- Kobayashi, H, Kagemoto, H and Furukawa, Y., 1995. Mathematical models of ship manoeuvring motion, 2nd Symposium, The Japan Society of Naval Architects, 23 - 84.
- Safe way, 2004. Korean Maritime Safety Tribunal, 13(7), 5 - 6.
- Yasukawa, H., 1992. Numerical Calculation of steady turning performance of a thin ship, Proc. MCMC '92, 19 - 23.
- Yoon, J.D., 1977. A study about the effect of speed on turning circle and applying it to actual ship handling, The Research Journal of the Korean Maritime university, 13. 16 - 25.
- Yoon, J.D, 1982. A study on the approaching distance in taking action to avoid collision, The Journal of the Korean Institute of Navigation, 6(1). 45 - 46.

2005년 9월 8일 접수

2005년 10월 17일 수리