

선박의 종경사와 횡경사 변화에 따른 조종특성

김영훈 · 신형호* · 장덕종* · 김대진†
전남대학교(학생) · *·†전남대학교(교수)

Ship's Maneuverability According to Trim and Heeling Conditions

Young-Hun KIM · Hyeong-Ho SHIN* · Duck-Jong JANG* · Dae-Jin KIM†
Chonnam National University(student) · *·†Chonnam National University(professor)

Abstract

This study was conducted to analyse the changes in trim and heeling using Zig-zag test, at T/S SAE DONG BACK was used to examine the manoeuvrability according to the trim and heeling changes of the vessels. Regarding the Zig-zag test to observe the trim changes at the port and with starboard rudder angles of 10° and 20° at 0.30m, and 0.52m, the overshoot angle of starboard was 18% bigger than that of the port at the rudder angle of 10°, and the course changing ability was better than the turning ability at the rudder angle of 10°. The size of the turning circle, final diameter was 4-5% and the required time was 2-7% larger than the port at the trim of 0.52m and 0.30m. External forces and superstructures that are larger than those of general ships showed characteristics that affect turning performance. When the Zig-zag test was used to compare the heeling changes, the overshoot angle of the starboard was 12°-14° larger than that of the port at 0° with no heeling compared to the 3° heeling. As a result, the Turning ability of the vessel was satisfactory. Furthermore, the second overshoot angle at 3° heeling was 6° larger; thus, the port veering showed a better rudder effect than the starboard veering. Hence, the turning ability decreased and the course-changing ability increased as the trim change in the vessel increased. Regarding the values of the turning ability index, K' , and the course changing ability, T' , according to the Trim increased when the rudder angle was used on The larger the trim, the lower the turning ability and the higher the course change ability, and when the burp is low, the turning ability is good, but the course change ability is somewhat decreased.

Key words : Maneuverability, Trim, Heeling, Turning ability, Course changing ability

I. 서론

선박 종경사와 횡경사는 선박의 조종성능 뿐만 아니라 선속에도 영향을 끼치는 요소로, 연료비 절감 등 선박운항의 경제적 관점에서도 중요한 인자이다(Kim, et al., 2012). 선박의 안전운항을 실현하기 위해서 운항자는 선박의 조종특성을 파악하는 것이 무엇보다 중요하며, 수심이 얕은 협수로나 교통량이 밀집된 항만을 통항하기 위한

종경사 조절은 선박의 안전운항을 위한 주요 과정 중의 하나이다. 또한 운항자는 항행 중 다른 선박이나 위험물에 근접했을 때 안전한 회피동작을 구현하기 위해서 자선에 대한 선회성과 추종성 등 조타에 대한 조종특성을 파악하고 있어야 한다. 일반적으로 선박의 조종성 지수는 타각을 주었을 때 선박이 조타에 대한 응답 속도인 추종성 지수 T , 선박의 선회 각 속도의 크기인 선회성 지수 K 로 나타낸다. 즉, 선박의 조종성 지수

† Corresponding author : 061-659-7116, djkim@jnu.ac.kr

는 선박에 타각을 주었을 때 일어나는 회두 과정을 정량적으로 나타내는 평가 방안이라 할 수 있으며, 회두 과정의 정량화는 자선과 타 선박과의 충돌 및 회피 동작의 과정에서 자선의 선회권에 대한 예측을 가능하게 함으로써 사고 예방 및 안전운항을 위한 중요한 요소라고 할 수 있다. 즉, 선박의 조종성능은 선회권 뿐만 아니라 조타 동작에 추종하는 속도와 그에 따른 선회 속도가 어떻게 변하는지를 파악하여야 한다. 따라서 선박의 조종성능은 선회성 시험과 동시에 Zig-zag test를 통해 측정된 Overshoot angle의 크기 값을 추가하여 판정하는게 합리적이다. 국제해사기구(IMO, 2002) Yaw-checking ability 기준은 Zig-zag test의 Overshoot angle로 규정하고 있으며, Zig-zag test 10° 및 20° 조타에 의한 Overshoot angle로 평가하게 된다. 이때 선회성 지수 K, 추종성 지수 T의 값은 선박의 크기, 선형, 배수량, 타각, 선속, 수심, 해상 상태 등에 의해 다르게 되어 무차원화하여 사용할 수 있다(Ahn, et al., 2020).

일반적으로 선박의 조종성능은 선회권에 의한 선회중거(Advance), 선회횡거(Transfer) 및 선회권(Turning circle)의 크기로 결정되는 선회성과 타각의 응답인 추종성으로 구분하여 평가할 수 있다. 또한 선박의 조종성능 평가는 실선시험에서 조타에 의한 선회성 시험과 추종성 시험이 있으며, 그 결과의 값을 이용하여 선회권의 크기를 결정하는 등 항행 중 충돌을 피하거나 입·출항 조선 등에 필요한 정보를 얻을 수 있다.

선박 조종성능을 파악하기 위한 해상 실선시험은 시험측정 방법이 간편하면서 선박의 선회 동작을 손쉽게 예측할 수 있다는 장점 때문에 그동안 국내·외에서 다수의 연구가 수행되어왔다. 선박의 타각과 선속에 따른 선회권의 변화(Kim et al., 2005), 선박 종경사 변화에 따른 조종성능의 분석(Kim et al., 2019), 선박의 충돌 회피동작과 조종성능에 관한 연구(Jeong et al., 2018; Kim et al., 2012; Kim et al., 2009; Kim et al., 2006; Lee et al., 2018; Kim, 2009) 등 선박 조종성능을 파악

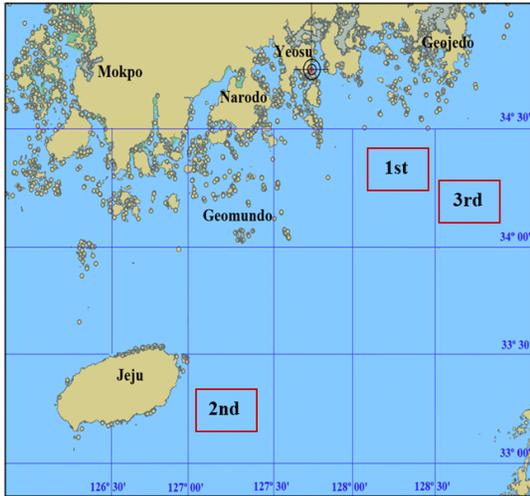
하기 위한 다양한 연구들이 보고되고 있다. 그러나 선박의 조종성능은 선박의 구조나 특성별로 다를 수밖에 없기에 새로운 형태의 선박이 건조되어 운항할 경우 선박 조종특성에 관한 연구가 반드시 요구된다. 또한, 기존 연구들의 경우 선박 횡경사가 없는 상태를 기준하여 수행된 경우가 대부분으로 선박 횡경사에 따른 선회권의 변화를 비교한 연구는 많지 않다.

본 연구는 선박의 종경사와 선체 횡경사 변화가 선박의 조종성능에 미치는 영향을 파악하기 위한 것으로, 최근 새롭게 건조된 전남대학교 실습선 새동백호(G/T 2,996)를 이용, 해상에서 선회권 시험과 Zig-zag test를 통해 선박의 종경사 및 횡경사 변화에 따른 선회성과 추종성 등의 조종특성을 비교·분석하였다.

II. 재료 및 방법

선박의 조종특성을 파악하기 위한 해상 실선시험은 [Fig. 1]의 위치에서 3차례 실시하였으며, 시험을 위해 선박의 종경사와 횡경사는 Tank Level System(Pressure Level Transmitter, PL40-I)의 측정값으로 경사 변화를 주었다. 1차 시험과 2차 시험에서는 선미 종경사를 0.52m와 0.30m로 부여하여 선회권 시험과 Zig-zag test를 실시하였고, 2차와 3차 시험에서는 선체 횡경사를 0°와 우현 3°로 부여하여 선회권 시험과 Zig-zag test를 실시하였다(<Table 1>). 시험당시 해상 상태는 <Table 2>와 같고, 3차례 Zig-zag test를 통해 시간 변화에 따른 각속도별 방위를 측정하여 선회성 지수 K와 추종성 지수 T를 산출하였다. 또한, 시험에 이용한 새동백호의 주요 제원은 <Table 3>과 같으며, 각각의 데이터는 선박에 탑재된 항해용 장비인 X 및 S-BAND 레이더(FAR-3220W-BB, 9410±30Hz, FAR-3230S-SSD-BB, 3063.75±2Hz, FURUNO), 전자해도표시시스템(ECDIS, FMD 3300), 타각 지시기(TX-453, RAI), 선속 지시기(DS-60, FURUNO), 선박항해기록장치(VR-7000,

FURUNO) 등을 이용하여 선박의 위치 및 침로, 선속, 회두 각도 및 레이더 자료 등을 실시간으로 자동 저장 및 측정하여 분석하였다.



[Fig. 1] Location for measurement turning circle and Zig-zag test of experimental ship.

<Table 1> Trial condition of shp's trim and heeling for sea test

Seal trial	Draft(m)			Trim(m)	Heeling(°)
	FP	MD	AP		
1st Test	4.66	4.92	5.18	0.52m	0.04
2nd Test	4.92	5.07	5.22	0.30m	0.00
3rd Test	4.90	5.09	5.28	0.38m	3.06

한편, 선박 건조가 완료되면 해상 시운전시 선회 시험, 선회권 및 Zig-zag test 등을 실시하여 선박의 조종 및 운동 성능을 파악하는데 국제해사기구(IMO)는 조종성 기준을 제정하여 선박에서 갖추어야 할 최소한의 조종성능을 규정하고 충족하도록 법제화하고 있다. 여기에서 선회권은 항해 중 전타 선회 시 선체의 무게 중심(G)이 그리는 궤적으로, 선회 모멘트와 저항 모멘트가 같게 되면 선체가 일정한 원을 그리며 정상 선회를 하

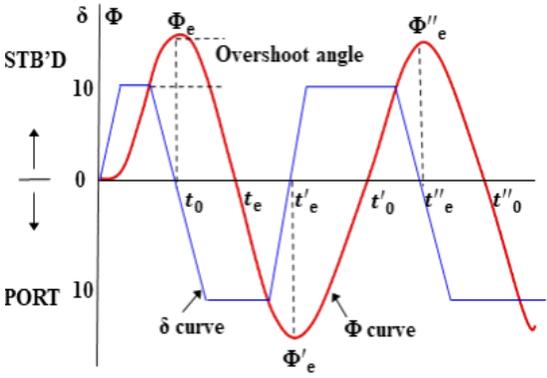
게 된다. 선회권 시험은 선박의 선회성능을 알 수 있는 것으로 타각이나 선형, 흘수, 수심, 외력 등에 영향을 받아 선회권은 변하며 타효를 알 수 있는 지표가 된다. 또한, Zig-zag test는 타각을 부여해서 선수 각이 설정 타각에 도달한 시간을 측정하여 초기 선회시간을 파악하는데, 이는 초기 선회능력을 나타내는 척도로 사용된다. 이를 통해 타각 부여 후 얼마나 빠른 시간에 원하는 선수각을 얻을 수 있는지를 알 수 있다.

<Table 2> Trial condition of the experimental ship and sea area

	1st Test	2nd Test	3rd Test
Position	34° 15.9' N 128° 10.6' E	33° 15.5' N 126° 55.2' E	34° 06.7' N 128° 08.3' E
Depth	75m	90m	80m
Wind speed	4.0m/s	6.5m/s	2.9m/s
Wind direction	NE	NE	NW
Speed of tide	0.3kt	0.3kt	0.3kt
Direction of tide	NE	NE	WNW
Visibility	fair	fair	fair

본 연구에서 10°/10° 및 20°/20° Zig-zag test는 [Fig. 2]와 같이, 소정의 침로에서 우현 타각 10° 또는 20°를 부여한 후 선회를 하여 회두각이 우현 10° 또는 20°가 되었을 때 다시 좌현 타각 10° 또는 20°를 부여하는 시험으로, 선박이 얼마나 빠른 시간에 목표 침로에 도달하는지를 알 수 있다. 여기에서 타 작동 후에도 계속 회두하는 각도를 Overshoot angle이라하는데, 1차 Overshoot angle과 2차 Overshoot angle은 조종성능의 정도를 판단하는 지표가 된다. 즉, Overshoot angle이 클수록 변침 성능이 좋지 않으며 첫 번째 Overshoot angle은 선박의 직진 안정성과도 관계가 있어 불안정한 선박의 경우는 첫 번째

Overshoot angle이 크게 나타난다. 또한, 선박에 타각을 주었을 때, 타각에 대한 응답이 빠르면 추종성이 좋은 것으로 조타에 대한 응답의 빠르기를 추종성 지수 T , 타각을 주었을 때 선박의 선회 각속도의 크기를 선회성 지수 K 로 나타낸다. 선박의 조종성은 입력으로서 타각 δ_0 를 주면 T 초 후에 출력으로서 K 배 된 각속도의 정상 선회운동이 일어나는데, 여기에서 추종성 지수는 타를 중앙으로 돌렸을 때 직진의 추종 능력으로 침로 안정성을 표시하고, 선회성 지수가 크면 선박이 빠르게 선회하는 것을 의미한다.



[Fig. 2] Schematic diagram of zig-zag test.

한편, 타각 ϕ_e , 선회성 지수 K , 추종성 지수 T 와의 관계식은 식(1)과 (2)로 조종성지수를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Phi_e &= K\delta_r t_e + KA_e \\ \Phi'_e &= K\delta_r t_e + KA'_e \dots\dots\dots (1) \\ \Phi''_e &= K\delta_r t_e + KA''_e \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T\Phi(t_0) &= T \tan \alpha_0 = K\delta_r t_0 + KA_0 \\ T\Phi(t'_0) &= T \tan \alpha'_0 = K\delta_r t'_0 + KA'_0 \dots\dots\dots (2) \\ T\Phi(t''_0) &= T \tan \alpha''_0 = K\delta_r t''_0 + KA''_0 \end{aligned}$$

여기에서 ϕ 는 축 방향의 회두 각속도, δ 는 타각, δ_r 은 타각 오차, t 는 초 단위 경과 시간이라고 할 때, ϕ 가 최대일 때의 시각은 t_e, t'_e, t''_e 가 되고, ϕ 가 0 일때의 시각은 t_0, t'_0, t''_0 가 되며, ϕ 의 최대치는 $\Phi_e, \Phi'_e, \Phi''_e$ 로 나타낼 수 있다. 또한 $A_e(A_0), A'_e(A'_0), A''_e(A''_0) : t=0$ 부터 $t_e(t_0), t'_e(t'_0), t''_e(t''_0)$ 의 각 점까지 δ 곡선이 만드는 면적 ϕ 가 최대일 때의 시각을 나타내며, 선회성 지수 K 및 추종성 지수 T 는 선박의 크기, 선형, 배수 상태, 타각, 속도 및 수심 등의 조건에 따라서 다르게 나타나므로 K 와 T 를 무차원화 한다. 따라서 위의 관계식에서 구한 선회성 지수 K 와 δ_r 값을 대입하여 T 를 계산하여 구한 다음, 같은 방식으로 각각 T_1, T_2, T_3 를 구하여 선박의 추종성 지수 T 의 평균값을 계산하면, 식 (3)으로 주어진다.

<Table 3> Principal particulars and machinery of experimental ship

Item	Specification
Gross tonnage	2,996tons
LOA	96.45m
LBP	85.00m
LBP	85.00m
MCR	3500kw, 750rpm
CPP	D3,300mm×4blades
Depth	7.60m
Breath	15.00m
GM	0.701m
Cb	0.5937
Cw	0.8613
Cp	0.6391
Cm	0.929
Displacement	3,950

$$T = \frac{T_1 + 1/2(T_2 + T_3)}{2} \dots\dots\dots (3)$$

또한, 선회성 지수 K 는 선박의 전장(m)을 L , 선속(m/s)을 V 라고 할 때, 식 (4)로 나타낼수 있다.

$$K' = K \times (L/V), T' = T \times (V/L) \dots\dots\dots (4)$$

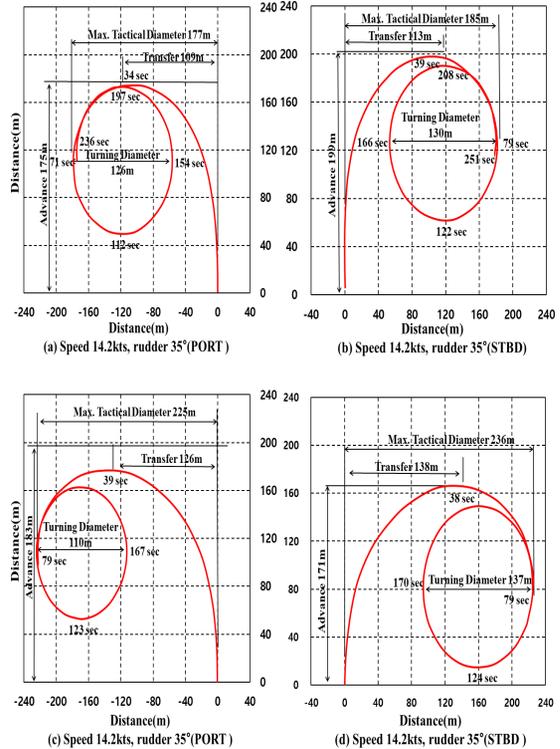
Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 종경사 변화에 따른 조종특성

[Fig. 3]은 종경사 변화에 따른 선박의 조종특성을 파악하고자 해상에서 선박의 종경사 변화에 따른 선회권 크기를 나타낸 것으로, 1차 시험은 선미 종경사가 0.52m일 때 Heading 000°, 풍향 NE(4.0m/s), 유향 NE(0.3knot)의 범위에서 측정하였고, 2차 시험은 종경사가 0.30m일 때 Heading 000°, 풍향 NE(6.5m/s), 유향 NE(0.3knot)의 범위에서 타각을 좌·우현으로 35° 부여하여 선회중거, 선회횡거, 선회경 및 회두 시 선수가 90°, 180°, 270°, 0° 일 때의 선회권 시험 결과를 비교하였다.

좌현 35° 타각의 경우, 종경사에 따른 선회권의 크기는 종경사 0.30m보다 0.52m에서 선회경의 지름이 약 16m 크게 나타난 것을 볼 수 있다. 또한, 선수가 90°, 180°인 초기 선회권에 소요되는 시간은 종경사에 따라 5-8초 차이를 보였으나 회두가 계속 진행되어 선수가 270°, 0°인 말기 선회권에서는 소요시간이 11-13초로 증가하였다. 이것은 선박의 회두가 정상적으로 진행되면서 회두 각속도가 증가하고 그에 따라 선체 저항이 커지면서 선속의 감소가 이루어지기 때문이다. 또한 선회중거와 선회횡거는 종경사 0.30m보다 0.52m에서 8m와 17m 짧게 나타났다.

다음, 우현 35° 타각의 경우는 선회권의 크기가 좌현 35° 타각의 결과와는 반대로 나타나는데, 종경사 0.52m보다 0.30m에서 선회경의 지름이 약 7m 크게 나타남을 볼 수 있다. 또한, 종경사 차



[Fig. 3] Turning circle of experimental ship by Port and starboard 35° test(a, b; trim 0.52m, c, d; trim 0.30m).

이와는 관계없이 회두에 따른 초기 및 말기 선회권의 소요시간은 크게 차이가 없고, 선회중거는 종경사 0.30m보다 0.52m에서 약 28m 증가하였으나 선회횡거는 그와 반대로 종경사 0.52m에서 약 25m 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 종경사 0.52m와 0.30m에서 좌현보다 우현 회두 시 최종 선회경은 4-5%, 소요시간은 2-7%로 크게 나타난 것을 확인할 수 있다.

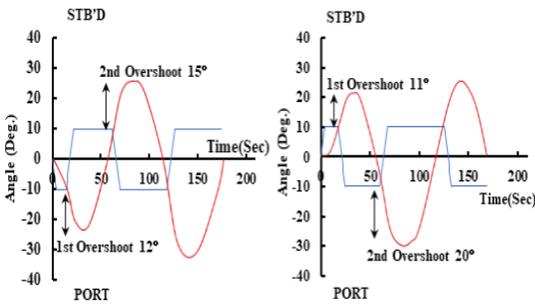
한편, 선회권의 크기는 선박의 속력, 방형비척계수, 흘수, 경사 변화, Screw Propeller 회전방향, 수심, 조류나 바람 등의 외력에 영향을 받게 되는데, 본 시험에서는 풍향·풍속, 유향·유속 등의 외력 조건이 상이하고 특히, 새동백호는 수선면 상부 구조물의 면적이 크기 때문에 좌현 회두 시 우현 선수 방향에서의 바람의 세기가 선회운동에

영향을 끼치는 것으로 판단된다.

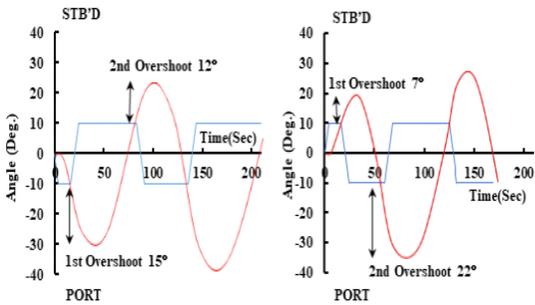
[Fig. 4]와 [Fig. 5]는 좌·우현으로 타각을 10° 및 20° 부여하는 Zig-zag test의 결과를 종경사에 따라 나타낸 것이다. [Fig. 4]는 좌·우현으로 타각을 10° 부여한 것으로, 종경사 0.52m인 (a), (b)에서 1st Overshoot angle과 2nd Overshoot angle은 좌현 타각이 12°와 15°이고, 우현 타각은 11°와 20°로 나타났다. 또한, 종경사 0.30m인 (c), (d)에서의 1st Overshoot angle과 2nd Overshoot angle은 좌현 타각이, 15°와 12°이고, 우현 타각은 7°와 22°로 나타났다. 따라서 양 종경사 간에 1st Overshoot angle과 2nd Overshoot angle의 차이는 좌현 타각은 3° 차이를 보이는 것에 반해, 우현 타각은 9°-15° 범위로 좌현보다 우현의 Overshoot angle이 6°-12° 크게 차이를 보이는 것을 알 수 있다. [Fig. 5]는 좌·우현으로 타각을 20° 부여한

결과로, 종경사 0.52m인 (a), (b)에서 1st Overshoot angle과 2nd Overshoot angle은 좌현 타각이 28°와 22°이고, 우현 타각은 24°와 27°로 나타났다. 또한, 종경사 0.30m인 (c), (d)에서의 1st Overshoot angle과 2nd Overshoot angle은 좌현 타각이 31°와 23°이고, 우현 타각은 24°와 30°로 나타났다.

따라서 양 종경사 간에 1st Overshoot angle과 2nd Overshoot angle의 차이는 좌현 타각에서 6°-8°, 우현 타각에서 3°-6° 범위로 나타났다. 이로 인해 종경사 차이에 따른 조종성능은 우현 타각 시 우현의 Overshoot angle이 좌현보다 약 18% 크게 나타나 추종성능이 우수하고, 좌현 타각은 Overshoot angle이 작게 나타나 선박의 선회 성능이 좋다고 할 수 있기에 우현 보다 좌현 타각 시 선박의 조선이 쉬워지는 것으로 볼 수 있다.

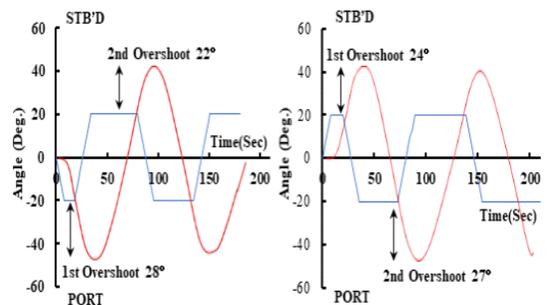


(a) Trim 0.52 m, rudder 10°(PORT) (b) Trim 0.52 m, rudder 10°(STBD)

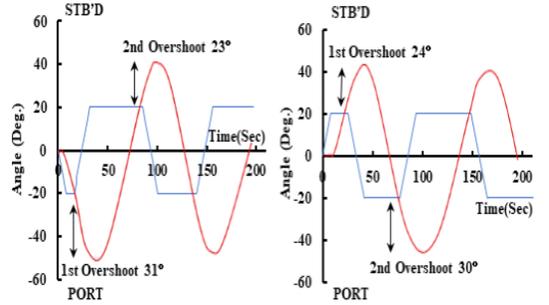


(c) Trim 0.30 m, rudder 10°(PORT) (d) Trim 0.30 m, rudder 10°(STBD)

[Fig. 4] Trace of heading and rudder angle for 10° Zig-zag test(a, b; trim 0.52m, c, d; trim 0.30m).



(a) Trim 0.52 m, rudder 20°(PORT) (b) Trim 0.52 m, rudder 20°(STBD)



(c) Trim 0.30 m, rudder 20°(PORT) (d) Trim 0.30 m, rudder 20°(STBD)

[Fig. 5] Trace of heading and rudder angle for 20° Zig-zag test(a, b; trim 0.52m, c, d; trim 0.30m).

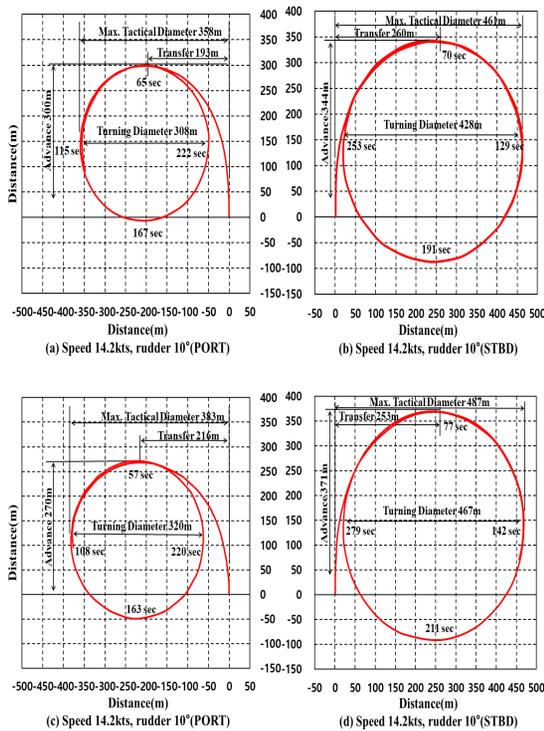
2. 선체 횡경사 변화에 따른 조종성능

[Fig. 6]과 [Fig. 7]은 선체 횡경사 변화에 따른 선회성능의 차이를 파악하고자 타각을 좌·우현으로 10° 및 20° 부여하고 선체 횡경사 유무에 따른 좌우 선회권을 나타낸 것으로, 선체 횡경사가 0° 인 상태는 (a)와 (b)에, 우현 횡경사를 3° 부여한 경우는 (c)와 (d)에 나타내었으며 각 타각에서 선회에 따른 선회중거, 선회횡거, 선회경 및 회두에 따른 소요시간 등을 분석하였다.

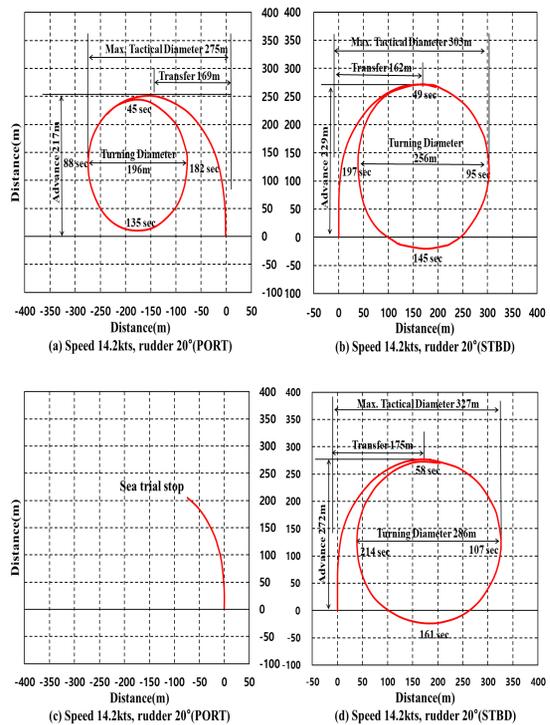
[Fig. 6]은 좌·우현으로 타각을 10° 부여한 것으로, 선체 횡경사 유무와 관계없이 타각 10° 부여 시 우현보다 좌현 회두 시에 선회경의 지름이 100m이상 작고, 좌·우현 모두 횡경사가 0° 일 때 보다 우현 횡경사 3° 부여 시에 선회경이 커지는 것을 볼 수 있다. 또한, 회두에 따른 선회중거와

선회횡거는 선체 횡경사 변화 유무에 따라 좌우 회두방향이 다르게 나타나는데, 좌 회두의 경우 횡경사가 있을 때 선회중거는 작고 선회횡거는 더 커지는 형태이며, 우 회두의 경우는 횡경사가 있을 때 선회중거는 더 커지고 선회횡거는 작아지는 형태를 보인다. 전체적으로 선회권의 소요 시간은 좌현 회두 시 선체 횡경사 유무와는 관계 없이 거의 차이가 없는 반면, 우현 회두의 경우, 우현 횡경사 3° 부여 시 약 26초 증가하는 것으로 나타났다.

[Fig. 7]은 좌·우현으로 타각을 20° 부여한 것으로, (c)는 선체 우현 횡경사 3°를 부여하여 좌현 타각 20°로 회두하다 전타 시작 25초 후 선회중거에서 선회횡거로 변화는 선수 40° 구간에서 선체가 12° 이상 급격하게 횡경사되어 선박의 안전상 시험을 중단한 상태를 나타내고 있다.



[Fig 6] Turning circle of experimental ship by Port and starboard 10° test(a, b; Heeling 0°, c, d; Heeling 3°).



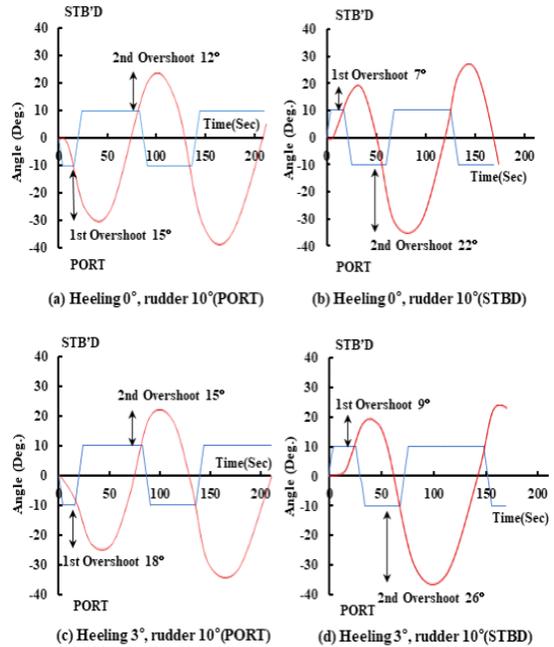
[Fig. 7] Turning circle of experimental ship by Port and starboard 20° test(a, b; Heeling 0°, c, d; Heeling 3°).

따라서 좌현 타각 20° 부여 시 선체 횡경사 유무에 따른 선회성능 차이는 비교할 수 없는 상태이며, 우현 타각 20°의 경우는 횡경사가 없을 때보다 선체 우현 횡경사 3°를 부여했을 때 선회중거, 선회횡거 및 선회경의 크기가 전체적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한, 선체 우현 횡경사 3°를 부여했을 때 우 회두에 따른 선회 소요시간은 선수가 90°일 때 9초, 180°일 때 12초, 270°일 때 16초, 0°가 되었을 때 17초 증가하는 것으로 나타났다.

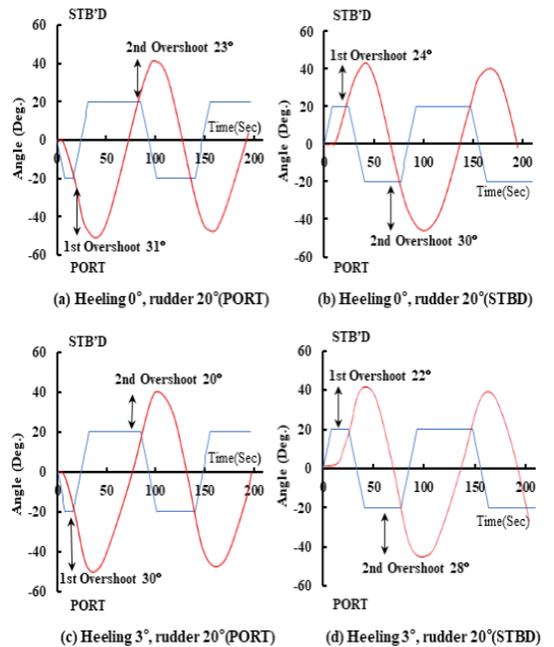
선체 횡경사에 따른 선회권 크기는 선체 수선면의 좌우 비대칭에 따른 유입류의 속도변화로 외력의 영향이 추가적으로 발생하기에 선체 횡경사가 존재할 경우 선박 조종성능은 저하될 수밖에 없다. 따라서 선체 횡경사 발생 시 좌·우현으로 대각도의 타각을 사용하는 것은 선박의 조종성 및 안정성 저하를 초래하여 사고로 이어질 수 있기에 조타 시 운항자는 주의를 기울여야 할 것이다.

[Fig. 8]과 [Fig. 9]는 선체 횡경사 변화에 따른 조타성능의 차이를 파악하고자 타각을 좌·우현으로 10° 및 20° 부여하고 선체 횡경사 유무에 따른 Zig-zag test의 결과를 나타낸 것으로, 선체 횡경사가 0° 인 상태는 (a)와 (b)에, 선체 우현 횡경사를 3° 부여한 경우는 (c)와 (d)에 나타내었다. [Fig. 8]은 좌·우현으로 타각을 10° 부여한 것으로, 선체 횡경사에 따라 1st Overshoot angle과 2nd Overshoot angle이 차이를 보이는데, 좌현 타각의 경우 3° 이지만 우현 타각에서는 15°-17° 범위로 좌현보다 우현의 Overshoot angle이 12°-14° 크게 나타남을 볼 수 있다.

또한, [Fig. 9]는 좌·우현으로 타각을 20° 부여한 것으로, 선체 횡경사에 따라 1st Overshoot angle과 2nd Overshoot angle의 차이는 좌현 타각의 경우 8°-10°, 우현 타각에서는 6° 로, 우현보다 좌현의 Overshoot angle이 2°-4° 크게 나타났다. 따라서 선체 횡경사가 0° 인 경우 우현 타각에서 Overshoot angle이 크게 나타나 선체 우현 횡경사



[Fig. 8] Trace of heading and rudder angle for 10° Zig-zag test(a, b; Heeling 0°, c, d; Heeling 3°).



[Fig. 9] Trace of heading and rudder angle for 20° Zig-zag test(a, b; Heeling 0°, c, d; Heeling 3°).

가 3° 발생한 경우보다 추종성능이 증가하며, 좌현 타각에서는 Overshoot angle이 작게 나타나 선박의 선회성이 좋아지는 것으로 평가 할 수 있다. 또한 선체 횡경사가 발생할 경우는 2nd Overshoot angle이 커지기에 결국은 타효가 감소하여 선박의 조종성능이 저하되기에 선체 횡경사 시 운항자의 주의가 요구된다.

3. 조종성 지수 비교

<Table 4>는 선박의 종경사 차이와 횡경사 변화에 따른 Zig-zag test를 3차례 실시한 결과를 통해 구한 조종성 지수로, 선박 회두시 시간 변화에 따른 각속도별 방위를 측정하여 선회성 지수 K' 및 추종성 지수 T' 를 산출하였다. 1차 시험에서 K' 값은 좌현 10°와 20°의 경우 1.9, 1.41이고, 우현 10°와 20°의 경우 2.07, 1.17로 나타났으며 T' 값은 좌현 10°와 20°의 경우 1.27, 1.38이고, 우현 10°와 20°의 경우 2.26, 1.73로 나타났다. 2차 시험에서 K' 값은 좌현 10°와 20°의 경우 2.77, 1.49이고, 우현 10°와 20°의 경우 2.15, 1.19로 나타났으며, T' 값은 좌현 10°와 20°의 경우 1.33, 1.19이고, 우현 10°와 20°의 경우 2.51, 1.81로 나타났다. 또한 3차 시험에서 K' 값은 좌현 10°와 20°의 경우 1.9, 1.24이고, 우현 10°와 20°의 경우 2.53, 1.45로 나타났으며, T' 값은 좌현 10°와 20°의 경우 1.55, 1.4이고, 우현 10°와 20°의 경우 2.72, 2.08로 나타났다.

<Table 4> Calculated maneuvering index K' , T' value of the T/S SAEDONGBAEK

Side	degree	1st test		2nd test		3rd test	
		K'	T'	K'	T'	K'	T'
PORT	10°	1.9	1.27	2.77	1.33	1.9	1.55
	20°	1.41	1.38	1.49	1.19	1.24	1.4
STBD	10°	2.07	2.26	2.15	2.51	2.53	2.72
	20°	1.17	1.73	1.19	1.81	1.45	2.08

따라서 <Table 4>의 선회성 지수 K' 값과 추종성 지수 T' 값을 통해 새동백호의 조종성능은 다음과 같이 분석할 수 있다. 즉 종경사가 클수록 선회성능은 감소하고 추종성능은 증가하며, 종경사가 낮을 경우는 선회성능은 좋으나 추종성이 다소 떨어지는 것으로 볼 수 있다. 또한 선박이 우현 3° 횡경사된 현으로 타각을 부여할 경우 선회성능은 좋아지나 횡경사에 의한 영향으로 추종성능이 미흡한 것으로 나타난다. 결국 K' 값이 증가할수록 선회성능은 좋아지고, T' 값이 감소하면 선체는 조타 운동에 빨리 응답하므로 선박에서 종경사 및 횡경사는 선회성능과 추종성능에 영향을 주는 것으로 해석 될 수 있다.

IV. 결론

본 연구는 전남대학교 실습선 새동백호을 이용하여 해상시험을 통해 선박의 종경사와 횡경사 변화에 따른 조종특성을 파악하였다.

좌·우현으로 타각을 35° 부여하고 종경사를 0.30m와 0.52m로 차이를 주었을 때 새동백호의 선회권은 좌현보다 우현 회두 시 최종선회경은 4-5%, 소요시간은 2-7%로 크게 나타났으며 외력과 일반 선박에 비해 규모가 큰 상부구조물이 선회성능에 영향을 끼치는 특성을 보였다. 또한 타각을 좌·우현으로 10° 및 20° 부여하고 종경사 0.30m와 0.52m에 대한 Zig-zag test에서는 우현 타각의 경우, 우현의 Overshoot angle이 좌현보다 약 18% 크게 나타나 좌현 타각에서 선박 조종성능이 좋아지는 것으로 나타났다.

선체 횡경사를 우현으로 3° 부여했을 때와 횡경사가 0°인 경우의 선회성능 차이는 횡경사된 우현으로 타각 사용 시 선체 수선면의 좌우 비대칭에 따른 유입류의 속도변화로 외력영향이 추가적으로 발생하여 선체 횡경사가 없는 상태보다 선회권의 소요시간이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 선체 횡경사 변화에 따른 Zig-zag test에서는, 선체 횡경사 3°보다 0°에서 우현의 Overshoot

angle이 12°-14°로 크게 나타나 선회성능이 증가하였다. 선체 횡경사 우현 3°인 경우는 우현 타각에서 2nd Overshoot angle이 6°를 보여 우현 변침보다 좌현변침에서 타효가 좋은 것을 보였다. 선회성 지수 K' 값과 추종성 지수 T' 값을 통해 새동백호의 조종성능은 종경사가 클수록 선회성능은 감소하고 추종성능은 증가하며, 종경사가 낮을 경우는 선회성능은 좋으나 추종성이 다소 떨어지는 것으로 나타났다.

한편, 본 연구는 해상시험을 통해 선박의 종경사와 횡경사 변화에 따른 선회권과 Zig-zag test 시험을 IMO 조종성능 기준에 기초하여 정량적으로 비교·분석한 것으로, 운항자가 선박의 조종특성을 이해하는데 도움이 될 수 있을 것이다. 향후 해상교통량이 많은 입출항 항로나 수심이 얕은 협수로 등의 위험 해역을 기준으로 기관 조정과 외력 조건에 따른 선박의 조종특성을 파악하는 연구가 추가적으로 요구된다.

References

- Ahn JY, Kim KI, Kim MS and Lee CH(2020). Evaluation of the maneuverability of a real ship with flap rudder. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, 56(2), 172~182. <http://doi.org/10.3796/KSFOT.2020.56.2.172>.
- Ahn YW, Park MH, Choi CM and Jeong YJ(2001). A Study on the Maneuverabilities of the Training ship M.S. A-RA. *Journal of the Korean Society of Fisheries Technology*, 37(2), 275~284.
- IMO(2002). Resolution MSC. 137(76), Standards for ship Maneuverability. Report of the Maritime safety Committee on its Seventy Sixth Session, Annex 6.
- Jung HS, Gug SG, Lee YS, Yun GH and Moon BS(2018). A Study on the Maneuverabilities and Full-Scale Measurement for Training Ship HANBADA. *Korean Institute of Navigation and Port Research*. 12~13.
- Kim KW(2019). The Analysis of the Ship's Maneuverability in Accordance with the Ship's Trim. master's thesis, Gyeongsang National University, TONGYEONG.
- Kim MS, Shin HL, KIM JH and Kang LK(2009). A Study on the Maneuverabilities of the T.S. Kaya. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 21(1), 61~73.
- Kim MS, Shin HO, Kang KM and Kim MS(2005). Variation of the Turning Circle by the Rudder Angle and the Ship's Speed. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean*, 41(2), 156~164 <http://doi.org/10.3796/KSFT.2005.41.2.156>.
- Kim MS(2009). A Study on the Collision-avoidance Action of the T.S. Kaya. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 21(1), 52~58.
- Kim SK(2012). A study on the ship's speed for reducing the fuel oil consumption in actual ships, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 18(1), 41~47. <http://doi.org/10.7837/kosomes.2012.18.1.041>.
- Kim SW, Lee YS and Park YS(2012). A Study on the Size of Turning Basin for Vessels of Arrival & Departure in the Berths. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 24(6), 872~883. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2012.24.6.872>
- Kim YG, Kim SY, Ha BI, Kim HS and Lim CS(2006). Prediction of Maneuverability of a Ship with Flap Rudder. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 43(2), 171~176. <http://doi.org/10.3744/SNAK.2006.43.2.171>.
- Lee CK, Kim SH, Lee JG, Lee SM and Kim MS(2018). A study on the characteristics of manoeuvrability of fishing vessel. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, 54(3), 239~245. <http://dx.doi.org/10.3796/KSFOT.2018.54.3.239>
- Park BS, Kang DH, Kang IK and Kim HM(2015). The Analysis of the Ship's Maneuverability According to the ship's Trim and Draft. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 27(6) 1865~1871. <http://doi.org/10.13000/JFMSE.2015.27.6.1865>.

-
- Received : 27 December, 2022
 - Revised : 18 January, 2023
 - Accepted : 26 January, 2023