

Azimuth thruster 시스템을 장착한 나라호의 조종성

김정창 · 강일권* · 이준호¹ · 함상준¹ · 박치완¹ · 김수형¹
부경대학교 해양생산시스템관리학부, ¹부경대학교 대학원

The maneuvering characteristics of the research vessel NARA equipped with the azimuth thruster system

Jung-Chang KIM, Il-Kwon KANG*, Jun-Ho LEE¹, Sang-Jun HAM¹, Chi-Wan PARK¹ and Su-Hyeng KIM¹

Division of Marine Production System management, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

¹Department of Fisheries Physics, Graduate school, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

The research vessel NARA equipped with an azimuth thruster system was built in 2015. There are few vessels with this propulsion system in Korea. This vessel has two modes such as the normal for maneuvering and the power for investigation, and the other two modes as one axis and two axes on the operating. This type of vessels does not seem to have a clear grasp of the maneuvering character in comparison with the vessel with a conventional propulsion system. So the authors carried out the sea test for the turning, the zigzag and the inclination, and the results are as follows. In turning test, the case of using the two axes mode is much better than the case of using the one axis mode for the elements of turning, such as advance, transfer, tactical diameter and final diameter, but turning hard over the rudder in full speed is very vulnerable to capsize in both modes. In zigzag test, the yaw quickening responsibility index, T is very large excessively, which means a bad counter maneuvering ability, so an operator has to keep in mind that in turning operation. If necessary to avoid collision at head on situation, it may be a more effective method to use the crash astern stop than the turning according to the conditions and circumstances for the shortest stopping distance is very short.

Keywords : Azimuth thruster, Maneuvering character, Turning test, Zigzag test, Inclination test

서 론

나라호는 2015년에 취항한 해양조사선으로서 우리나라 해양 관련 대학의 승선 실습, 해양 자원 조사와 심해저 탐사 활동을 수행하는 최신의 선박이다.

이 선박은 Twin azimuth thruster CRP (Contra-Rotating-Propeller) 방식과 Bow thruster를 결합한 동역학적 위치

제어 (Dynamic positioning) 시스템을 갖추고 있어, 탐사 작업 시 선박의 위치의 미세 조정으로 관측 정점에서 보다 정밀한 해양 탐사 작업이 용이하며, 약천후 속에서도 작업이 가능하도록 설계되어 있다.

전방위 추진기 (Azimuth thruster) 시스템은 기관과 추

*Corresponding author: ikkang@pknu.ac.kr, Tel: +82-51-629-5895, Fax : +82-51-629-5885

진기가 동일 축 상에 놓여 있지 않고, 동력원은 상갑판에 있으면서 기계적인 방법으로 수면 아래의 추진기에 동력을 전달하는 방법이다. 따라서 동력이 추력으로 변환되는 과정이 기존의 주기관-축계-추진기가 아니라, 발전기-전동기-추진기로 이루어진다.

이러한 시스템은 축계의 배제로 기존의 선미 선형이 대폭 개선될 수 있어 선박 설계 측면에서 유연성을 높일 수 있음은 물론, 축계 및 추진기에 의한 공동의 발생, 진동 및 소음도 기존 추진기보다 탁월한 성능을 보이고 있어 사용빈도가 계속 증대되고 있다 (SNAK, 2009). 이 시스템은 덕트 내에 추진기가 장착되는 구조와 덕트가 없는 형, 그리고 CRP형이 사용되고 있으며, 나라호의 추진기는 덕트가 없는 CRP형으로 2축이며, 타는 장착되어 있지 않다.

국내에는 이러한 시스템을 구축한 선박은 거의 없기 때문에 이 시스템에 익숙하기 위해서 조선자는 많은 노력과 훈련을 거쳐야 할 것으로 생각된다. 또한 기존의 선박 조종 운동 방정식이 전통적인 선박에 대해 타에 미치는 타압과 선체에 미치는 수류, 그리고 타각의 정도에 의해 정착되어 있는데, 이 선박은 타가 없기 때문에 새로운 선박 조종 모델식을 정립시켜야 하는 과제도 안고 있다.

지금까지 Azimuth thruster의 연구로는 추진기의 Cavitation에 대한 것 (Tobias and Simon, 2016), 사파 흐름에서 추진기의 축에 걸리는 부하에 대한 것 (Amini et al., 2012) 등이 있으나, 이러한 추진기를 장착한 선박의 조종에 대한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구의 목적은 이 선박을 이용하여 종래로부터 수행해 온 선박 조종 시험을 실선 시험으로 수행하고, 안전 운항에 참고가 될 수 있는 기초적인 자료를 제공하는데 있다. 따라서 선회 시험과 경사 시험 그리고 zigzag 시험 등을 수행하여 이 선박의 선회성과 선회 시 횡경사의 정도 그리고 조종성을 고찰하고자 한다.

재료 및 방법

선박의 제원

Fig. 1은 나라호의 일반배치도이다.

나라호 (이하 시험선이라 한다)는 타가 없고, 상호반전 추진기 2축이 장착되어 있으며, 이 추진기를 이용하여 추진과 선회를 하게 된다. 그리고 거주 공간은 전부

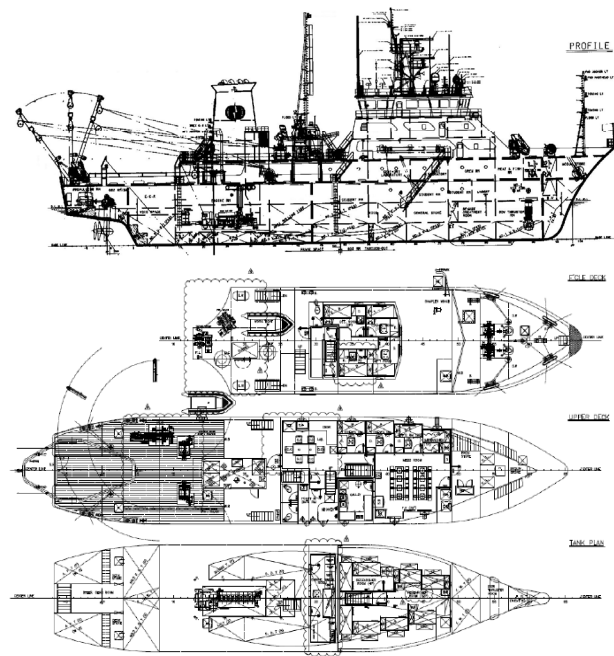


Fig. 1. General Arrangement of the research vessel NARA.

Table 1. Particulars of the research vessel NARA

Description	Principal particulars
Gross tonnage (ton)	1,494.0
Int'l gross tonnage (ton)	1,893.0
Full load displacement (ton)	2,274.0
Light weight (ton)	1,666.0
Length (O.A) (m)	70.7
Length (B.P) (m)	59.7
Breadth (MLD) (m)	13.5
Depth (MLD) upper deck (m)	7.4
Draft FP (m)	4.7
AP (m)	4.8
Maximum/Designed speed (kts)	14.3/13.8
Azimuth thruster (CRP)	1,100 kW×4 set
Main Diesel Generator	750 kW×2 set
Cb	0.6
M.T.C (ton.m)	32.3
T.P.C (ton)	7.3
L.C.F (m)	-6.1
L.C.B (m)	-3.3
L.C.G (m)	-3.3
KB (m)	2.6
$G_{ro}M$ (m)	0.6
KMT (m)	6.8
KG (m)	6.2
Complement (p)	66.0

수면 상으로 배치되어 수면 상부의 공간이 매우 큰 편인데, 이것은 풍압 면적을 늘리고, 무게 중심을 높이는 요인이 되고 있다. 또한 수중 탐사 장비의 모든 송수파기가 선수 하부의 Blister에 부착되어 있으며, Blister는 Keel 하면으로 0.6 m 돌출되어 있다.

Table 1은 시험선의 제원을 나타낸 것이며, 선박 조종 및 복원성 관련 수치는 적하 상태 50%에서의 것이다. 시험선은 같은 크기의 전통적인 선박과 비교하면, 선체 길이에 비해 폭이 넓은 편이며, 방형계수가 적고, 선체 무게 중심 위치가 높으며, 따라서 GM이 작은 것이 특징적이다.

이론

시험선의 조종성지수 K 와 T 는 다음의 조종운동방정식으로 구한다.

$$T \cdot \frac{d\dot{\phi}}{dt} + \dot{\phi} = K(\delta_r + \delta) \quad (1)$$

여기서, δ 는 타각, δ_r 은 타각오차이다.

식 (1)을 $t = 0$ 으로 부터 $t = \tau$ 까지 적분하면 다음과 같다.

$$T[\dot{\phi}(\tau) - \dot{\phi}(0)] + \phi(\tau) - \phi(0) = K[\delta_r\tau + \int_0^\tau \delta dt] \quad (2)$$

$t = 0$ 에서 $\phi = 0$, 또 원침로를 ϕ 의 원점으로 하면, 결국 식 (3)이 된다.

$$T\dot{\phi}(\tau) + \phi(\tau) = K\delta_r\tau + K\int_0^\tau \delta dt \quad (3)$$

Zigzag 시험에서 δ 곡선과 t 축에 의하여 둘러싸인 면적은 $\int_0^\tau \delta dt$ 의 수치적분이다.

실선 시험

시험선의 운항 모드에는 Normal과 Power의 두개가 있으며, 통상적인 항해에는 Normal mode를, 해양 관측 작업 중 악천후 상황에서는 Power mode를 사용한다. 또한 추진기가 2축으로 되어 있어 항해 시에는 1축 혹은 2축 mode를 선택하여 사용하며, 선회할 때 1축 mode에서는 선회현 측의 추진기만 사용하게 되고, 2축 mode에서는 양현기를 모두 사용하기도 하고, 때로는 하나만 사용하기도 한다. 시험선은 타가 없는 대신 Joy stick (Aqua pilot control lever)이 두 개 있으며, 이것으로 추진기를 조종하지만 타각 지시판과 지시계가 부착되어 있기 때문에 본 연구에서는 타각이란 용어를 그대로 사용한다. 본 연구의 선회 시험은 2016년 3월 17일에, zigzag 시험은 2017년 4월 28일에 부산 근해에서 수행하였으며, 시험 조건은 Table 2에 나타낸 바와 같다.

기상 상태는 모두 풍력계급 3 이하로써 선박 조종성 시험의 조건인 소형선 풍력계급 3, 대형선 풍력계급 4의 범위에 포함되었다 (Yoon, 2013). 선회와 경사 시험은 Normal mode에서의 조타를 1축과 2축 mode의 두 가지 방법으로 하여, 선속과 타각에 따른 선회와 선체 횡경사를 측정하였다. 한편, zigzag 시험은 Normal mode의 1축과 2축으로 수행하였으나, 모두 소정의 타각까지 전타 후 반대 타각까지 전타하여도 1차 Over shoot angle이 너무 크고, 때로는 되돌아오지 않는 현상이 발생하며, 주위 선박과의 위험성을 고려하여 이 Mode에서의 시험을 포기하고, Power mode로 전환하여 2축에 한정하여 $\pm 10^\circ$ 와 $\pm 20^\circ$ zigzag 시험을 수행하였다. 선회 시험과 zigzag 시험의 기록에 사용된 Data logger는 TCM1 electronic compass sensor module (Kang at al., 2012)이며, 설치 위치는 선교의 중앙 중중심선이다.

Table 2. Conditions of NARA on the turning and zigzag test in sea experiment.

Items	Turning test	Zigzag test
Date	2016. 3. 17	2017. 4. 27
Mode	Normal(1 axis and 2 axes)	Power
Experiment area	34° 59' N, 129° 10' E	34° 58' N, 129° 11' E
Wind	SW, 2.3 m/sec	SW, 2.4 m/sec
Wave height	0.5 m under	0.5 m under
Draft	f 4.6 m, a 4.5 m	f 4.7 m, a 4.8 m
Speed	dead slow, slow, full ahead	13.8 k't
Turning	right and left	zig-zag
Steering angle	15° and 35°	$\pm 10^\circ$ 와 $\pm 20^\circ$

결과 및 고찰

선속에 따른 선회권 변화

Fig. 2는 1축 mode에서, 타각 15°로 하고, 선속을 미속, 반속 그리고 전속으로 했을 때의 우현 선회권의 변화이다. (이하 1축 mode와 2축 mode는 각각 1축과 2축으로 표현한다.)

타각 15°의 미속에서 선회권 요소인 종거, 횡거, 선회경 및 정상선회경 (이하에서는 순서대로 종거, 횡거, 선회경 그리고 정상선회경을 선회권 요소라 표현한다)은 차례로 각각 187 m, 42 m, 87 m 및 80 m였고, 반속에서는 각각 215 m, 50 m, 106 m 및 98 m였으며, 전속에서는 238 m, 55 m, 113 m 및 105 m였다. 따라서 1축, 타각 15°에서 선속이 빨라지면 그에 따라 선회권 요소는 전부 7~18% 정도 증가함을 알 수 있다.

Fig. 3은 1축에서, 타각 35°로 하고, 선속을 미속, 반속 그리고 전속으로 했을 때의 선회권의 변화이다. 타각 35°의 미속에서는 선회권 요소가 112 m, 37 m, 71 m 및 57 m였고, 반속에서는 160 m, 47 m, 87 m 및 72 m였으며, 전속에서는 226 m, 56 m, 104 m 및 92 m였다. 따라서 1축, 타각 35°에서 선속이 빨라지면 그에 따라 선회권 요소는 전부 16~30% 정도 증가함을 알 수 있고, 그 증가폭은 타각 15°에서의 경우보다 2배 정도 더 컸다.

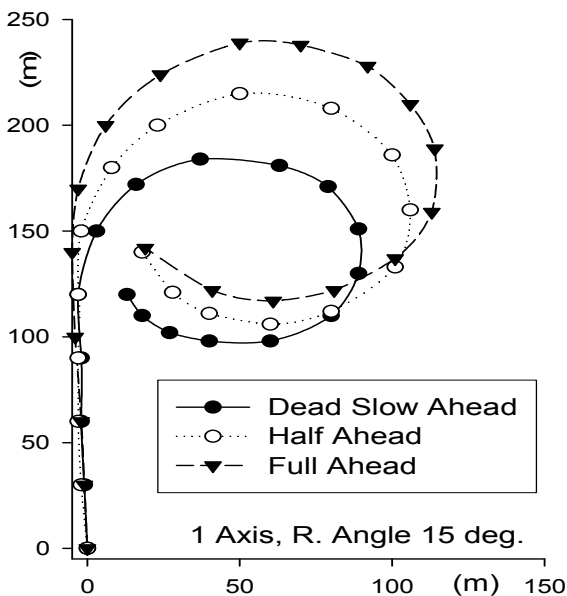


Fig. 2. Turning circle of NARA according to the speed on the rudder angle 15° in 1 axis mode.

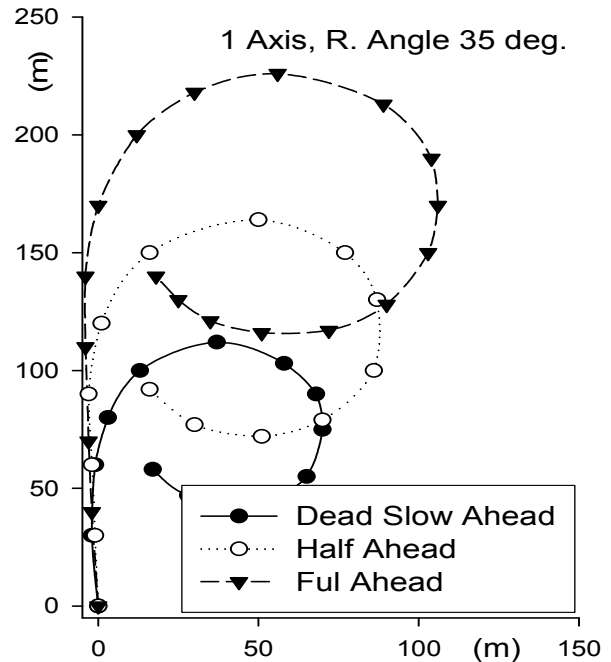


Fig. 3. Turning circle of NARA according to the speed on the rudder angle 35° in 1 axis mode.

Fig. 4는 2축에서, 타각 15°로 하고, 선속을 미속, 반속 그리고 전속으로 했을 때의 선회권의 변화이다. 타각 15°의 미속에서는 선회권 요소가 128 m, 38 m, 77 m 및 74 m였고, 반속에서는 147 m, 46 m, 99 m 및 92 m였으며, 전속에서는 186 m, 57 m, 108 m 및 101 m였다. 따라서 2축, 타각 15°에서 선속이 빨라지면 그에 따라 선회권 요소는 9~22% 정도 증가함을 알 수 있다.

Fig. 5는 2축에서, 타각 35°로 하고, 선속을 미속, 반속 그리고 전속으로 했을 때의 선회권의 변화이다. 타각 35°의 미속에서는 선회권 요소가 92 m, 31 m, 59 m 및 54 m였고, 반속에서는 118 m, 38 m, 68 m 및 61 m였으며, 전속에서는 145 m, 42 m, 84 m 및 71 m였다. 따라서 2축, 타각 35°에서 선속이 빨라지면 그에 따라 선회권 요소는 10~22% 정도 증가함을 알 수 있다.

이상 살펴본 것과 같이 시험선의 전속, 우타각 15°에서 1축의 경우에는 선회권 요소가 각각 3.8 L, 0.9 L, 1.9 L 및 1.8 L (L: L.B.P)이었고, 2축일 경우에는 각각 3.8 L, 0.9 L, 1.7 L 및 1.5 L이었다. 또한 전속, 우타각 35°에서 1축의 경우에는 선회권 요소가 각각 3.8 L, 0.9

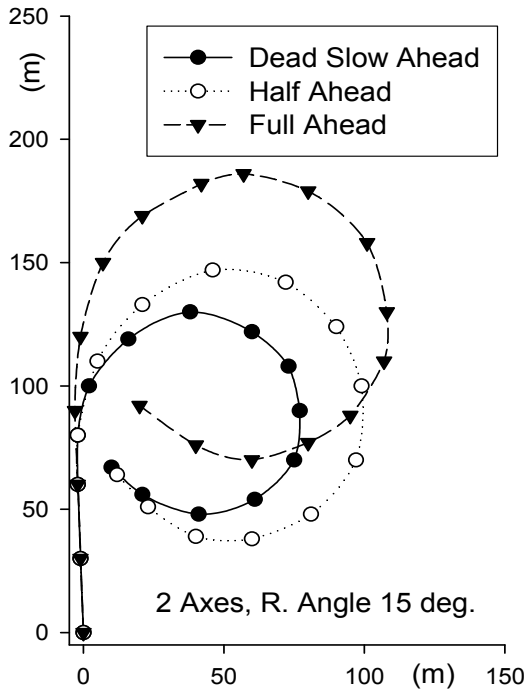


Fig. 4. Turning circle of NARA according to the speed on the rudder angle 15° in 2 axes mode.

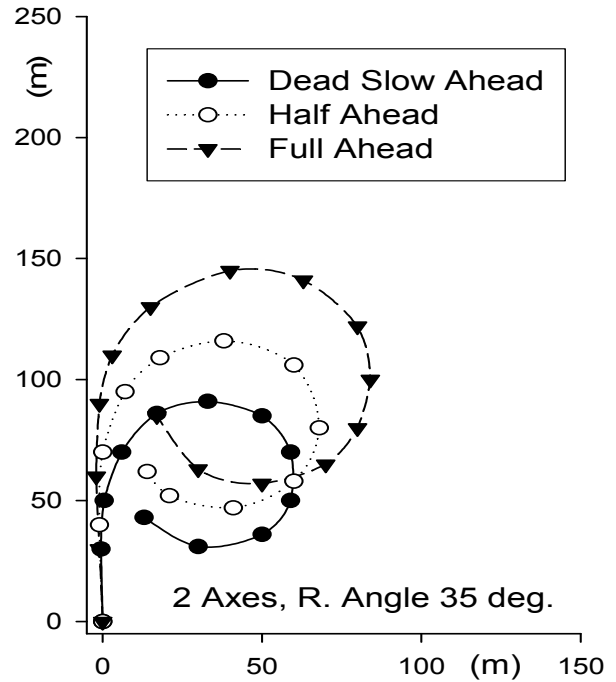


Fig. 5. Turning circle of NARA according to the speed on the rudder angle 35° in 2 axes mode.

L, 1.7 L 및 1.5 L이었고, 2축일 경우에는 각각 2.4 L, 0.7 L, 1.4 L 및 1.1 L이었다.

따라서 2축에서의 선회권 요소가 1축보다 최소 17.6%, 최대 39.3% 작으므로, 2축 을 사용했을 때의 조종성이 더 나은 것으로 판단한다.

시험선의 2축에서의 결과를 전통적인 선박인 새바다호 (L.B.P: 60.6 m)와 새유달호 (L.B.P: 93 m)의 조종성 연구 결과 (An et al., 2005; Lim, 2001)와 비교해 보았다.

전속, 우타각 35°에서 새바다의 선회권 요소는 3.0 L, 1.5 L, 3.5 L 및 3.2 L이고, 새유달호는 2.7 L, 1.4 L, 2.8 L 및 2.3 L이며, 시험선은 2.4 L, 0.7 L, 1.4 L 및 1.1 L이다. 따라서 시험선은 양 선박에 비해 선회권 요소가 전부 작다.

특히 시험선의 횡거, 선회경 및 정상선회경의 값은 양 선박에 비해 1/2 이하이다. 따라서 시험선이 2축에서 전타 시 전방으로 이동하는 거리는 타를 장착한 일반 선박에 비해 약간 작지만, 일단 선회가 시작되면 각속도가 매우 커서 선회권은 매우 작아진다는 것을 알 수 있다. 따라서 시험선의 조선자는 충돌 회피의

상황에서 이 점을 주지하고 적절한 대응을 해야 할 것으로 판단한다.

추진기 축에 따른 선회권 변화

Fig. 6은 타각을 15°로 하고, 전속을 변화했을 때 1축과 2축의 선회권의 변화를 나타낸 것이다. 시험선은 전속이 빨라짐에 따라 1축과 2축 모두 선회권이 약간씩 증가하는 경향을 보이나, 같은 전속에서는 1축과 2축 모두 선회권의 크기는 거의 변화가 없다.

그러나 2축이 1축에 비해 선회 반응 속도가 빠르고, 전진 거리가 짧으므로 충돌회피의 측면에서 매우 유리할 것으로 보인다.

그리고 이론상 F.N. (Froude number)이 0.3 이상에서는 속력이 선회권에 큰 영향을 미치지 못하지만, 0.3 이하에서는 속력이 빨라지면 선회권이 커진다는 것이 정설이다 (Yoon, 2013). 시험선의 F.N.은 모든 속력에서 0.3 이하이기 때문에 선회권의 크기는 속력에 영향을 받는다고 볼 수 있으며, 시험 결과도 이론과 일치하는 것으로 나타났다.

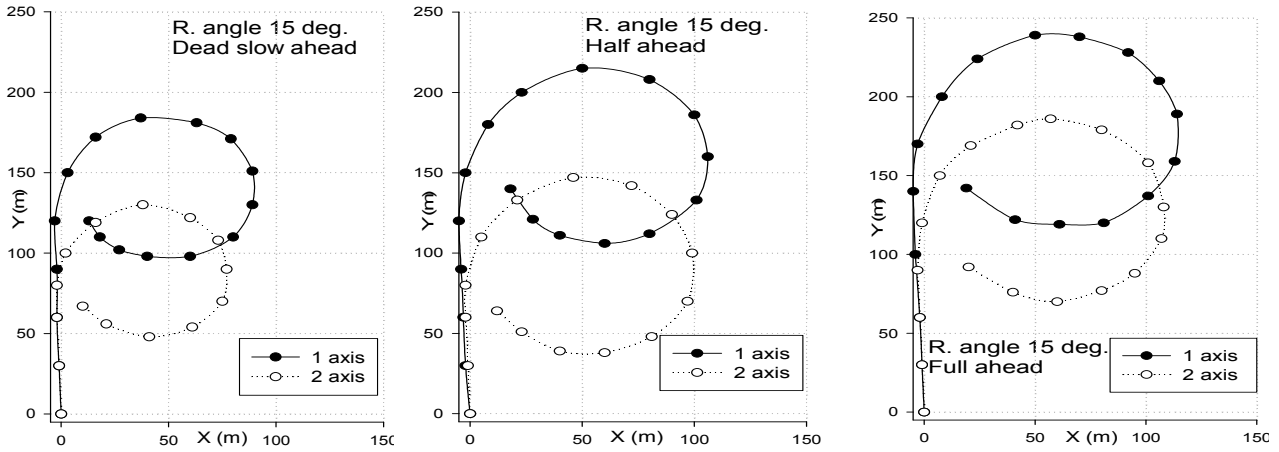


Fig. 6. Turning circle of NARA according to the axes and it's speed on the rudder angle 15°.

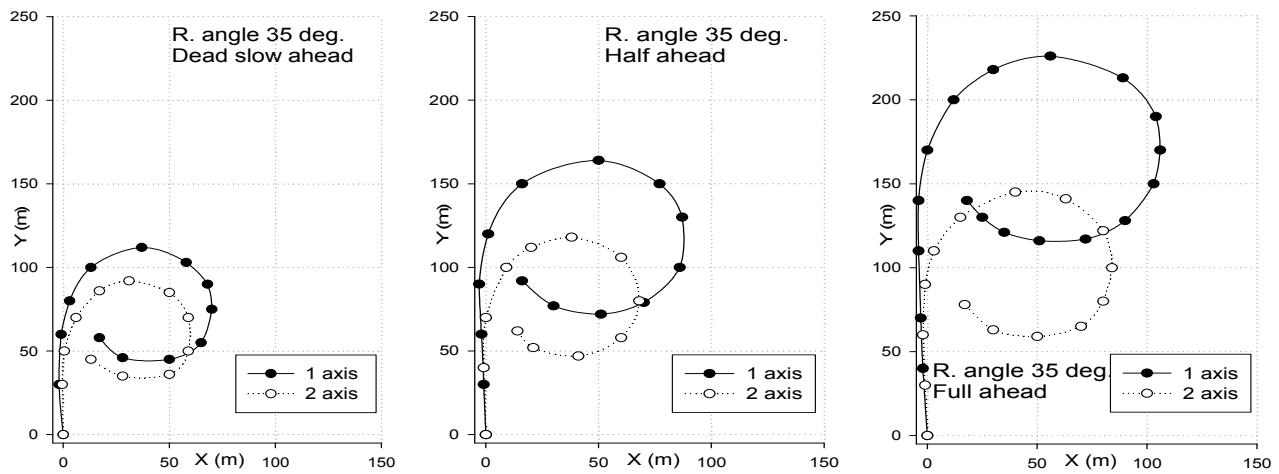


Fig. 7. Turning circle of NARA according to the axes and it's speed on the rudder angle 35°.

Fig. 7은 타각 35°에서, 선속을 변화했을 때 1축과 2축의 선회권의 변화를 나타낸 것이다. 시험선은 선속이 빨라짐에 따라 1축과 2축 모두 선회권이 약간씩 증가하는 경향을 보이며, 이것은 타각 15°의 경우와 비슷하나, 선회 반응 속도는 큰 차이를 나타내었다. 즉 선회반응 속도가 미속에서는 1축과 2축의 차이가 크지 않으나, 선속이 빨라짐에 따라 2축의 응답 속도가 1축보다 매우 빠름을 알 수 있다. 따라서 전방의 장애물을 피하려고 할 때는 1축보다 2축을 사용하는 것이 훨씬 효율적인 것으로 판단되고, 특히 선속이 빠를 때는 더욱 그러하므로 조선자는 이 점을 고려하여 선회 조선을 하여야 할 것으로 판단된다.

선회 방향에 따른 선회권의 차이

Fig. 8은 1축에서, 선속을 반속으로 하고, 타각을 15°와 35°로 하였을 때의 우선회와 좌선회 시의 선회권을 나타낸 것이다. 타각 15°와 35° 모두 좌우 선회권의 차이는 크지 않으나, 좌선회 시의 선회경이 모두 약간 크게 나타났다. 따라서 1축을 사용하여 선회할 때는 우선회를 하는 것이 보다 효율적으로 선회할 수 있을 것으로 보인다. 좌우의 선회권에 대한 것은 1축에서의 전속에 대한 자료와 2축에 대한 자료가 보충되면 보다 확실한 경향을 알 수 있을 것이므로 추가적인 연구가 더 필요하다.

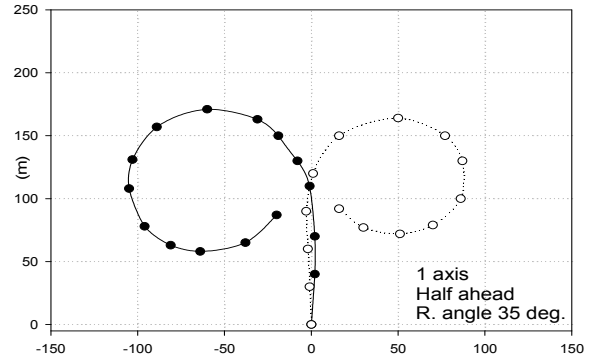
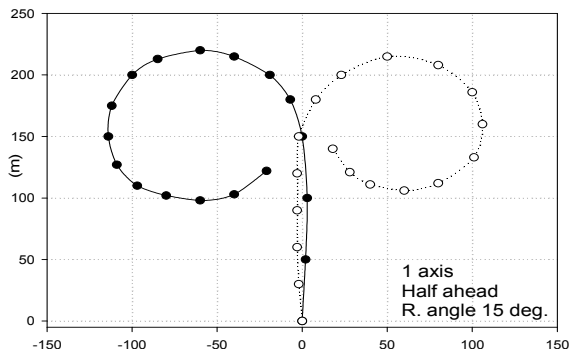


Fig. 8. The turning circle of NARA on the right turn and the left turn in 1 axis.

선회에 따른 횡경사

Fig. 9는 1축의 경우, 반속에서 타각을 15°와 35°로 했을 때 선회 중 선체 횡경사를 나타낸 것이다. 타각 15°일 때 초기 내방경사각은 15 sec에서 최대 -2.3°였고, 외방경사각은 75 sec에서 최대 10.5°였으며, 정상선회 시의 외방경사각은 6.4° 정도였다. 타각 35°일 때 초기 내방경사각은 16 sec에서 최대 -7.6°였고, 외방경사각은 60 sec에서 최대 14.4°였으며, 정상선회 시의 외방경사각은 11.2° 정도였다.

Fig. 10은 1축의 경우, 전속에서 타각을 15°와 35°로 했을 때 선회 중 선체 횡경사를 나타낸 것이다. 타각 15°일 때 초기 내방경사각은 10 sec에서 최대 -9.0°였고, 외방경사각은 50 sec에서 최대 21.9°였으며, 정상선회 시의 외방경사각은 16.1° 정도였다. 타각 35°일 때 초기 내방경사각은 10 sec에서 최대 -12.0°였고, 외방경사각은 45 sec에서 최대 36.0°였으며, 정상선회 시의 외방경

사각은 28.5° 정도였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 1축, 반속에서는 전전타를 해도 횡경사의 위험성이 크지 않으나, 전속에서는 최대 외방경사각이 36.0°에 이르기 때문에 전속으로 전전타를 하는 것은 위험하고, 기상 상태에 따라서는 전복의 가능성도 배제할 수 없으므로 극히 주의를 요한다.

Fig. 11은 2축의 경우, 선속을 반속으로 하고, 타각을 15°와 35°로 했을 때 선회 중 선체 횡경사를 나타낸 것이다. 타각 15°일 때 초기 내방경사각은 20 sec에서 최대 -5.0°였고, 외방경사각은 80 sec에서 최대 9.4°였으며, 정상선회 시의 외방경사각은 7.8° 정도였다. 타각 35°일 때 초기 내방경사각은 20 sec에서 최대 -7.2°였고, 외방경사각은 70 sec에서 최대 16.2°였으며, 정상선회 시의 외방경사각은 13.7° 정도였다. Fig. 12는 2축의 경우, 선속을 전속으로 하고, 타각을 15°와 35°로 했을 때 선회 중 선체 횡경사를 나타낸 것이다. 타각 15°일 때 초기

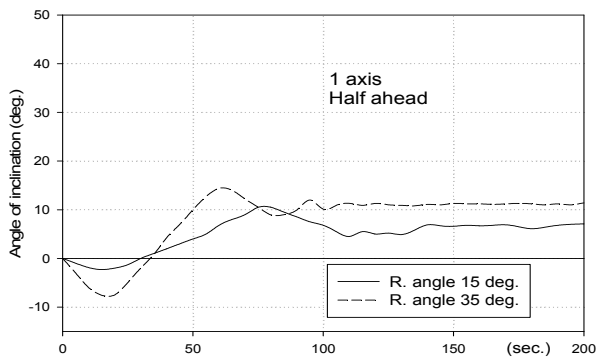


Fig. 9. The inclination on the half ahead according to the rudder angle in 1 axis.

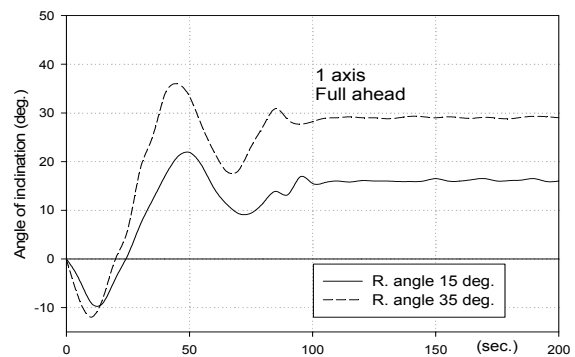


Fig. 10. The inclination on the full ahead according to the rudder angle in 1 axis.

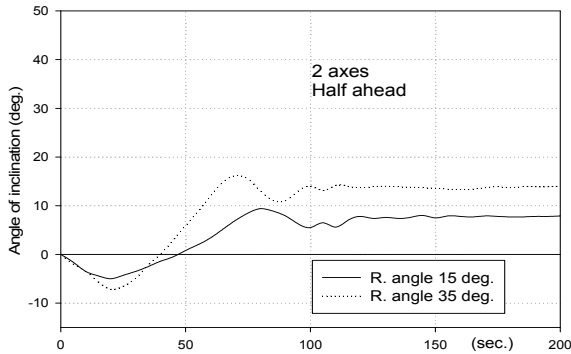


Fig. 11. The inclination on the half ahead according to the rudder angle in 2 axes.

내방경사각은 20 sec에서 최대 -10.0° 였고, 외방경사각은 60 sec에서 최대 28.0° 였으며, 정상선회 시의 외방경사각은 23.6° 정도였다. 타각 35° 일 때 초기 내방경사각은 15 sec에서 최대 -13.4° 였고, 외방경사각은 55 sec에서 최대 36.9° 였으며, 정상선회 시의 외방경사각은 33.7° 정도였다. 이상에서 살펴본 것과 같이 2축의 경우에도 1축의 경우와 비슷하게 반속에서는 전전타를 해도 횡경사의 위험성이 크지 않으나, 전속에서 전전타를 할 경우에는 최대 외방경사각이 36.9° 에 이르기 때문에 매우 위험하다. 따라서 1축과 2축 모두 전속으로 향해 중전전타하는 것은 극히 삼가해야 할 것으로 판단된다.

Zigzag 시험과 조종성 지수

Fig. 13은 시험선의 $\pm 10^\circ$ zigzag 시험 결과를 나타낸 것이다. $+10^\circ$ zigzag 시험에서는 1차 overshoot angle이

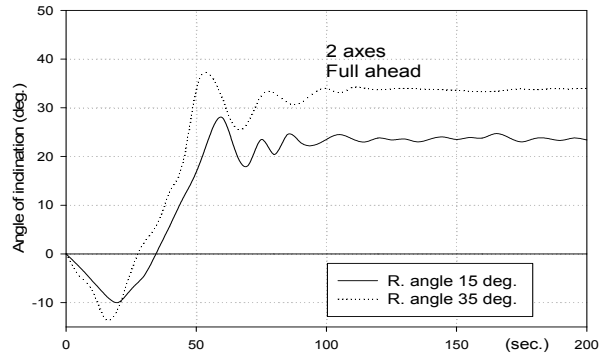
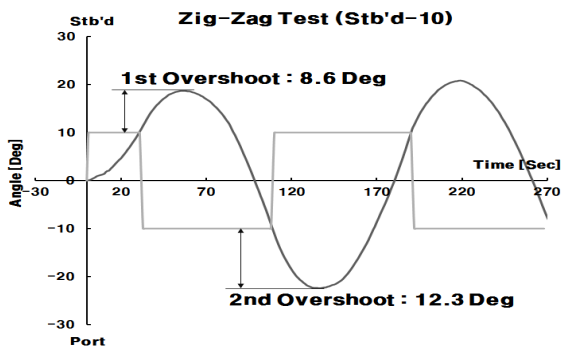


Fig. 12. The inclination on the full ahead according to the rudder angle in 2 axes.

8.6° , 2차 overshoot angle은 12.3° 이고, -10° zigzag 시험에서는 1차 overshoot angle이 8.0° , 2차 overshoot angle은 14.5° 이다.

IMO 조종성 기준의 $\pm 10^\circ$ zigzag에서는 첫 번째 overshoot angle이 10° 이내, 두 번째 overshoot angle이 25° 이내이므로 시험선은 이 기준을 만족하고 있다.

한편, $+10^\circ$ zigzag 시험으로 구한 선회성지수 K 는 0.17 sec^{-1} 이고, 추종성지수 T 는 55.7 sec 였다. 또한 -10° zigzag 시험으로 구한 K 는 0.24 sec^{-1} 이고, T 는 67.6 sec 였다.

Fig. 14는 시험선의 $\pm 20^\circ$ zigzag 시험 결과를 나타낸 것이다. $+20^\circ$ zigzag 시험에서는 1차 overshoot angle이 19.5° , 2차 overshoot angle은 30.3° 이고, -20° zigzag 시험에서는 1차 overshoot angle이 23.1° , 2차 overshoot angle은 22.1° 이다.

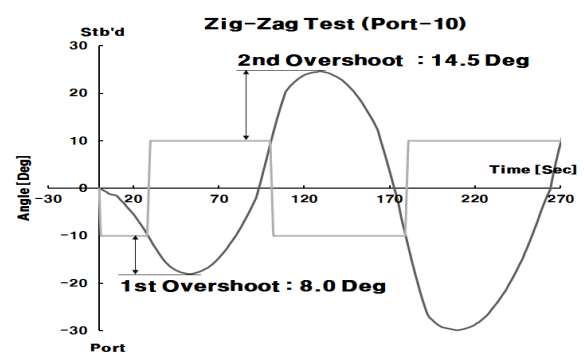


Fig. 13. Results for $\pm 10^\circ$ zigzag test.

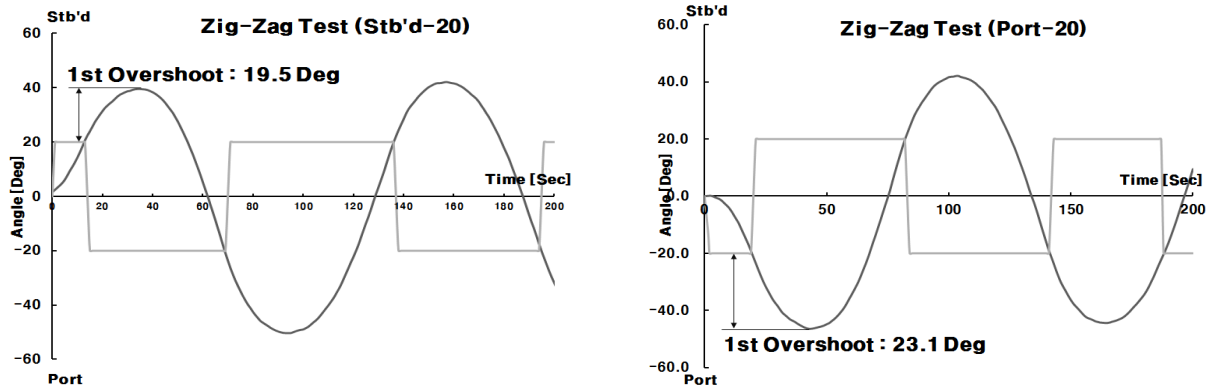


Fig. 14. Results for $\pm 20^\circ$ zigzag test.

IMO 조종성 기준에서 $\pm 20^\circ$ zigzag에서는 첫 번째 overshoot angle이 25° 이다. 따라서 시험선은 그 기준을 만족하고 있으나, 충분하다고 볼 수는 없다.

한편, $+20^\circ$ zigzag 시험으로 구한 선회성지수 K 는 -0.05 sec^{-1} 이고, 추종성지수 T 는 -9.07 sec 이었다. 또한 -20° zigzag 시험에서 K 는 0.59 sec^{-1} 이고, T 는 85.8 sec 이었다. K 와 T 가 음이 될 수 없기 때문에 $+20^\circ$ zigzag 시험은 추후 보완 시험이 이루어져 그 원인을 파악해야 할 것이다.

Zigzag 시험에서 얻은 시험선의 조종성 지수는 타를 장착한 선박과는 큰 차이를 보이고 있다. 즉, $+10^\circ$ zigzag 시험의 경우, 새바다 (An et al., 2005)의 선회성지수 0.11 sec^{-1} 와 추종성지수 4.7 sec , 또한 새유달호 (Lim, 2001)의 선회성지수 0.11 sec^{-1} , 추종성지수 21.8 sec 와 비교하면 매우 큰 차이이다. 특히 추종성지수는 타를 장착한 이들 선박에 비해 너무 크다. 따라서 피항 조선을 하는 경우에는 심각한 상황이 발생할 수 있다. 충돌 회피 상황에서 상대선의 조선자는 이 시험선의 거동을 통상적인 선박의 거동으로 판단하고 조선할 것이므로 시험선의 조선자는 시간적으로, 공간적으로 충분한 여유가 있을 때 충돌 회피 상황이 발생하지 않도록 미리 조치하는 것이 현명한 조선법이라 판단된다.

그리고 $+10^\circ$ zigzag 시험에서는 침로가 10° 에 도달하는 시간이 32 sec 이고, $+20^\circ$ zigzag 시험에서는 침로가 20° 에 도달하는 시간이 14 sec 로 20° 에 도달하는 시간이 10° 에 도달하는 시간보다 매우 짧게 나타났는데, 이것은 타각의 크기에 따른 선체의 회두 속도의 차이로

볼 수 있지만, 이 mode에서 어떤 순간 갑자기 추진기의 방향 전환 속도가 빨라지는 hunting (난조) 현상이 나타나는 것으로 볼 수도 있다. 따라서 타각과 hunting 현상에 대해 심층적으로 파악하기 위해서는 azimuth thruster 시스템의 성능에 대해 추가적인 연구가 필요할 것으로 본다.

신침로거리와 최단정지거리

시험선의 조종성지수를 바탕으로 신침로거리를 다음의 식으로 구한다.

$$S = V \left(T + \frac{t_1}{2} + \frac{1}{K \cdot \delta} \tan \frac{\theta}{2} \right) \quad (4)$$

여기서는 $+10^\circ$ Zigzag 시험에서 얻은 조종성지수를 적용하며, 선속 13.5 k't , 224 rpm 으로 하고, 타각 우현 10° , 신침로를 45° 로 가정한 것이다. 이때의 신침로거리는 483 m 이며, 시험선은 소타각에서 신침로거리가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 전방 장애물을 회피할 때 소각도 전타에 의한 방법은 좋지 않은 것으로 생각된다. 한편, 최단정지거리의 시험은 속력과 rpm이 신침로거리의 경우와 같은 조건에서 수행하였으며, 선체 정지까지는 72 sec 가 소요되었고, 진출거리는 166.0 m 이었다. 새바다호의 경우 최단정지거리가 392 m (An et al., 2005)인 것과 비교하면 시험선은 최단정지거리가 매우 짧으며, 따라서 전방의 장애물을 긴급히 피하고자 할 때 소각도 전타에 의한 회피 동작은 극히 피해야 하며, 긴급역전정지 (Crash stop astern)로 조치하는 것이 좋은 방법이 될 수 있을 것으로 판단한다.

결론

나라호의 조종성을 추정하기 위해 실선시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

선회 시험의 결과, 시험선은 일정 타각에서 선속이 증가하면 1축 또는 2축 모두 선회권 요소 (중거, 횡거, 선회경, 정상선회경)가 모두 증가하며, 타각과 선속이 모두 증가하면 모든 선회권 요소의 증가 폭도 그 만큼 더 커진다.

전속, 우타각 15°로 선회할 때는 1축 또는 2축의 선회권 요소에 큰 차이는 발생하지 않는다. 그러나 전속, 우타각 35°로 선회할 때는 2축이 1축보다 최소 17.6%, 최대 39.3% 정도 선회권 요소의 크기가 작다. 따라서 시험선은 1축보다 2축을 사용하여 선회하는 것이 보다 효율적이다.

경사시험의 결과, 반속에서 전전타를 하면 1축과 2축 모두 횡경사가 심하지는 않지만, 전속에서 전전타를 하면 1축과 2축 모두 외방경사가 매우 커서 위험하므로 극히 조심해야 한다.

Zigzag 시험의 결과, 시험선은 선회성지수의 값이 크고, 추종성지수의 값은 과대하여 선회응답이 매우 느리다. 선회응답의 시간이 지연되므로 전진거리가 크나 일단 선회를 시작하면 선회 각속도가 매우 커서 선회권은 매우 작아진다. 따라서 조선자는 이러한 선회 특성을 주지하고 조선에 임해야 한다.

반전타력 시험 결과, 시험선의 최단정지거리는 매우 짧다. 그러나 신침로거리는 매우 크다. 따라서 시험선이 전방의 장애물을 급히 피하고자 할 때는 소각도 회피동작을 취하는 것은 극히 피해야 하며, 상황에 따라서는 긴급역전정지 (Crach stop astern)로 조치하는 것이 보다 안전한 방법으로 판단한다.

본 연구에서 선회 시험은 주로 우선회에 한정하여 이루어졌고, zigzag 시험에서도 미진한 부분이 약간 있다. 따라서 이 시스템과 선박 조종의 일반적인 경향을 파악하기 위해서는 추가적인 더 많은 연구가 필요하다. 또한 선수 선저에 붙어 있는 Blister의 유체 역학적인 부분이

선박 조종성에 미치는 영향에 대해서도 추가 연구가 필요하다.

사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비 (2016년)에 의하여 연구되었음.

References

- An YS, Kang IK, Kim HS, Kim JC, Kim MS, Jo HJ and Lee CK. 2005. A study on the maneuverability 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)
- Hamid A, Lucia S and Sverre S. 2012. Numerical calculations of propeller shaft loads on azimuth propulsors in oblique inflow. *J Mar Sci Technol* 17(4), 403-421.(DOI:10.1007/s00773.012.0176.z)
- Kang IK, Kim MS, Park BS, Hong JK, Jeong SJ and Ham SJ. 2012. Longitudinal motion characteristics of a ship according to the location. *J Korean Soc Fish Technol* 48(2), 147-154. (DOI:10.3796/ksft.2012.48.2.147)
- Lim KS. 2001. A study on the method of drawing the turning circle of a vessel with maneuvering indices. Master thesis, Korea Maritime Univ, 8-14.
- SNAC(Soc of Nav Arc of Korea). 2009. Residence and propulsion of ship. 344-356.
- Tobias H and Simon T. 2016. Computational fluid dynamics simulation of cavitating open propeller and azimuth thruster with nozzle in open water. *Ocean Engineering* 120, 160-164. (DOI:10.1016/j.oceaneng.2015.11.001)
- Yoon JD. 2013. Theory and practice of ship maneuvering. SEJONG, Busan, Korea, 44, 48-50, 61, 63.

2017. 05. 26 Received

2017. 07. 15 Revised

2017. 07. 18 Accepted