

석사학위논문

선수 스러스터가 선회성능에 미치는 영향에 관한 연구



제주대학교 대학원

어업학과

양정훈

2004년 12월

선수 스러스터가 선회성능에 미치는 영향에 관한 연구

지도교수 안 영 화

양 정 훈

이 논문을 수산학 석사학위 논문으로 제출함

2004년 12월



양정훈의 수산학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 최 찬 문 ㉠

위 원 정 용 진 ㉠

위 원 안 영 화 ㉠

제주대학교 대학원

2004년 12월

A study of the influence of Bow thruster
on turning ability

Jeong-hun Yang
(Supervised by professor Young-hwa Ahn)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for
the degree of Master of science

2004. 12.

Department of Fisheries Science
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

LIST OF TABLES	ii
LIST OF FIGURES	iii
Summary	v
I. 서론	1
II. 장치 및 측정방법	3
1. 실험장치	3
1.1 시험선	3
1.2 타(Rudder) 및 선수 스러스터(Bow thruster)	4
1.2.1 타(Rudder)	4
1.2.2 선수 스러스터(Bow thruster)	5
2. 실험해역 및 해상조건	8
3. 측정 및 분석 방법	9
3.1 측정장치의 제원 및 배치	9
3.2 분석방법	11
4. 타와 선수 스러스터에 의한 선회권 작도	12
4.1 타, 선수 스러스터를 이용한 선회권 측정	13
4.2 타와 선수 스러스터를 동시에 사용했을 때의 선회권 측정	13
III. 결과 및 고찰	14
1. 타, 선수 스러스터를 이용한 선회권 측정	14
1.1 타를 이용한 선회성능	14
1.2 선수 스러스터에 의한 선회성능	18
1.3 타와 선수 스러스터를 동시에 사용했을 때의 선회성능	19
2. 타, 선수 스러스터를 이용했을 때의 선회 각속도 변화	32
2.1 타만을 이용했을 때의 선회 각속도 변화	32
2.2 선수 스러스터만을 이용했을 때의 선회 각속도 변화	36
2.3 타와 선수 스러스터의 추력을 50%로 했을 때의 선회 각속도 변화	37
2.4 타와 선수 스러스터의 추력을 90%로 했을 때의 선회 각속도 변화	41
IV. 요약	46
참고문헌	48

LIST OF TABLES

Table 1. Principal particulars of the experimental ship M.S A-RA	3
Table 2. Principal particulars of the rudder	4
Table 3. Principal particulars of the bow thruster	5
Table 4. Trial condition of the sea in the testing area	9
Table 5. Specification of the experimental devices	10
Table 6. Result of turn based on the positioning data while maneuvering the ship to port and starboard, 550rpm	16
Table 7. Result of turn based on the positioning data while maneuvering the ship to port and starboard, 720rpm	18
Table 8. Result of turn based on the positioning data while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 50% power of bow thruster, 550rpm	22
Table 9. Result of turn based on the positioning data while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 50% power of bow thruster, 720rpm	25
Table 10. Result of turn based on the positioning data while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 90% power of bow thruster, 550rpm	28
Table 11. Result of turn based on the positioning data while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 90% power of bow thruster, 720rpm	31
Table 12. Turning time according to rudder angle, 550rpm	34
Table 13. Turning time according to rudder angle, 720rpm	36
Table 14. Turning time according to Bow thruster 90%	37
Table 15. Turning time according to rudder angle with bow thruster 50%, 550rpm	39
Table 16. Turning time according to rudder angle with Bow thruster 50%, 720rpm	41
Table 17. Turning time according to rudder angle with bow thruster 90%, 550rpm	43
Table 18. Turning time according to rudder angle with bow thruster 90%, 720rpm	45

LIST OF FIGURES

Fig. 1. Side view and upper deck plan of the experimental ship M.S A-RA	4
Fig. 2. Principal of turn by bow thruster	6
Fig. 3. Side view of the bow thruster	7
Fig. 4. Location for measurement turning circle test of experimental ship of M.S A-RA	8
Fig. 5. Block diagram of measurement system	11
Fig. 6. Progress of analysis	11
Fig. 7. Turning circle	12
Fig. 8. Turning circle measurement scenery	13
Fig. 9. DGPS information-based turning circle while maneuvering the ship to port and starboard, 550rpm	14
Fig. 10. DGPS information-based turning circle while maneuvering the ship to port and starboard, 720rpm	17
Fig. 11. DGPS information-based turning circle while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 50% power of bow thruster, 550rpm	20
Fig. 12. DGPS information-based turning circle while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 50% power of bow thruster, 720rpm	23
Fig. 13. DGPS information-based turning circle while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 90% power of bow thruster, 550rpm	26
Fig. 14. DGPS information-based turning circle while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 90% power of bow thruster, 720rpm	29
Fig. 15. Regression-based correlation between rudder angle and transfer	32
Fig. 16. Turning angular velocity port and starboard, 550rpm	33
Fig. 17. Turning angular velocity port and starboard, 720rpm	35
Fig. 18. Turning angular velocity port and starboard, thruster 50%, 550rpm	38

Fig. 19. Turning angular velocity port and starboard, thruster 50%, 720rpm …	40
Fig. 20. Turning angular velocity port and starboard, thruster 90%, 550rpm …	42
Fig. 21. Turning angular velocity port and starboard, thruster 90%, 720rpm …	44



A STUDY OF THE INFLUENCE OF BOW THRUSTER ON TURNING ABILITY

Jeong-hun Yang

Department of marine production

Graduate school of Industry

Cheju National University

 *Supervised by Professor Young-Hwa Ahn*

Summary

There are several ways to test the manoeuvrability of a ship. However, turning ability or traceability is mostly tested based on rudder. In case of rudder, the turning moment could occur if a decent speed is kept. On the contrary, the ship could be turned even when the ship stands still in case of thruster. Therefore, the side thrusters which are grafted on the fore and aft of the ship are used along with rudder in order to minimize the turn of the ship in a small port, which could in turn enhance

the manoeuvrability of a ship. This paper has used bow thruster-grafted A-RA (G/T, 990t) which was launched on Aug. 31, 1993 to investigate the impact of thruster on turning ability of a ship. On May 20 and 21, 2004, the turning ability and turning angular velocity are tested in the offshore of South Sea, using rudder and bow thruster. Then, the influence of bow thruster on the turning ability of a ship was examined. When the test was conducted while the tide was calm and wind was weak to minimize the outer impact, its result has turned out as follows:

1. It seemed that the reason why the turning circle was larger at 10° and 20° than at 20° and 30° in terms of rudder angle was because the rudder became inefficient in case the angle was wider. Furthermore, it has turned out that the turning circle was larger when the ship turned to starboard than when it turned to port even though the rudder angle remained the same.



2. It has turned out while thruster was more effective when the ship speed was low and the rudder angle was narrow, the impact of thruster on the turning ability became weaker as the ship speed got higher and the rudder angle became wider.

3. In case the rudder and bow thruster were used at the same time, it has turned out that the turning effect on the reduction of turning circle and the growth of angular velocity was higher when the rudder angle was high than when the output of thruster was high.

In sum, it has turned out that as the test line got faster, rudder angle wider, and thruster stronger, the advance and the turning circle became

shorter. Besides, the advance and the transfer were short when the ship has turned to port rather than to starboard. Therefore, it can be concluded that the ship should be maneuvered to port rather than starboard as much as possible to minimize the loss and damage of collision.



I. 서론

최근, 조선기술의 발달과 함께 선박의 대형화, 고속화가 이루어지면서 해상교통량이 증가함에 따라, 각종 해양사고의 발생률도 높아지고 있다. 따라서 국제해사기구(International Maritime Organization : IMO)에서는 선체길이가 100m 이상인 대형 선박과 원유, 석유, LPG, LNG, 화학제품 등 위험물을 운반하는 특수 선박에 대한 조종성능의 잠정기준 A.751 안을 마련하게 되었으며, 또한 해양사고를 줄이려는 범국제적인 노력의 일환으로 1993년 11월 제18차 IMO 총회에서는 신조선의 조종성능에 대한 국제규정을 요구하고 있으며, 이를 채택하게 되었다.

1994년 7월 1일 이후에 건조되는 100m이상의 모든 선박은 이 기준에서 요구한 조종성능을 만족하지 못하면 운항이 금지되거나 운항에 상당한 제약을 받게 된다. 따라서 이러한 기준은 선박의 조종성능을 증진시키고, 이에 따르지 않은 선박의 건조를 방지함으로써 해양사고를 미연에 방지하는데 그 목적이 있다.

따라서 선박의 조종성능이 조선소, 선박 운항자(運航者) 및 정부 관계자의 관심 기술 분야로서 인식되게 되었으며, 선박의 초기 설계 단계에서부터 임의의 선박에 대한 조종성능을 보장 할 수 있는 기술 개발이 시급한 연구과제로 등장하게 되었다.

여기서, 선박의 타(舵)는 보침성능(保針性能)과 선회성능(旋回性能)을 주는 장치로서, 선미에 평판형태의 구조물을 설치하여 프로펠러에 의한 추진기류 등 수류의 횡압력을 이용하는 선미타의 형태가 대부분이다.

그러나, 선미타는 저속시에는 타력이 떨어지므로 이를 보완하여 선체를 회두시키기 위하여 선수에 스러스터를 장치하고 있으며, 선수 스러스터(Bow Thruster)는 회전하는 나선형 날개에 의해 측방(側方)으로 수류(水流)를 보내, 그 반작용으로 추력(推力)을 발생시키므로써 선회성능을 향상 시킬 수 있는 장치로 이용되고 있을 뿐만 아니라 긴박한 충돌위험이 발생하였을 때 그 손상정도를 감소시키는 방법으로도 이용되고 있다. 선망어선인 경우는 현측으로 그물을 감아올릴 때 그물의 저항으로 인해 선체가 그물 쪽으로 감겨 들어가는 것을 방지하기 위한 장

치로서도 사용되고 있다. 한편, 좁은 수로를 항행 할 때에는 일반적으로 저속 운항해야 할 뿐만 아니라 교통량의 밀도가 커서 타의 응답도 빠르게 요구되고 있다.

그래서 1970년도 이후에 건조되는 여객선과 화물선뿐만 아니라, 어선에서도 스러스터를 장착하고 있는 선박이 증가하고 있는 추세이며, 일반적으로 선수 스러스터는 프로펠러와 같이 가변과 고정피치방식이 있으나, 최근에는 기관, 타, 사이드 스러스터를 한 장소에서 쉽게 조작할 수 있는 성력화가 급속하게 이루어지고 있는 실정이며 대형 선박에서도 조선 보조장치로서 사이드 스러스터가 많이 사용되고 있다.

여기서, 선박의 조종성능을 시험하는 방법에는 여러 가지 방법이 있으나 일반적으로 타에 의한 선회성능이나 추종성을 시험하는 것이 보통인데, 타는 적절한 선속이 있어야만 선회 모멘트를 발휘할 수 있는 반면, 스러스터인 경우는 정지된 상태에서도 선체를 회두시킬 수 있으므로 좁은 항(港)내에서 선박의 선회를 최소화 하기 위하여 타와 함께 선수 및 선미에 장착된 사이드 스러스터를 입출항 조선이나 충돌예방시 피항조선의 방법으로 스러스터를 타와 병행해서 사용하는 것이 조종성능을 향상시킬 수 있는 것이다.

본 연구에서는 스러스터가 선회성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 1993년 8월 31일 진수한 제주대학교 실습선으로서 선수 스러스터를 장치한 아라호(G/T 990ton)를 이용하여 2004년 5월 20일과 21일 양일간에 걸쳐 우리나라 남해안 여서도 근해에서, 타와 선수 스러스터를 사용하여 선회성능과 회두시 선회각속도를 시험하므로써 선수 스러스터가 아라호의 선회성능에 미치는 영향을 조사하였다.

II. 장치 및 측정방법

1. 실험장치

1.1 시험선

본 시험에 사용한 아라호는 어로작업을 주 업무로 하는 일반적인 어선의 구조와는 다른 점이 많으며 효율적인 승선실습을 위하여 어로 및 항해실습과 연구조사도 겸용하는 선박으로서 양호한 복원성능과 능파성(凌波性), 내파성(耐波性)은 물론 쾌적한 감항성(堪航性)과 조파성(造波性)을 가진 어업실습선으로서 1993년도에 건조한 제주대학교 실습선 아라호(G/T 990ton)를 이용하였으며, 그 제원은 Table 1과 같으며, 일반배치도는 Fig. 1과 같다.

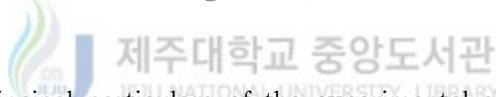


Table 1. Principal particulars of the experimental ship M.S A-RA

Kind of ship	Fishing vessel
Name of ship	M.S A-RA
L.O.A	68.50m
Lpp	60.00m
M.L.D	12.40m
Depth	7.30m
Full load draft	4.76m
Gross tonnage	990ton
Main engine	2,600ps
RPM/pitch	730/36
Ship's draft	fore 3.2m after 4.6m

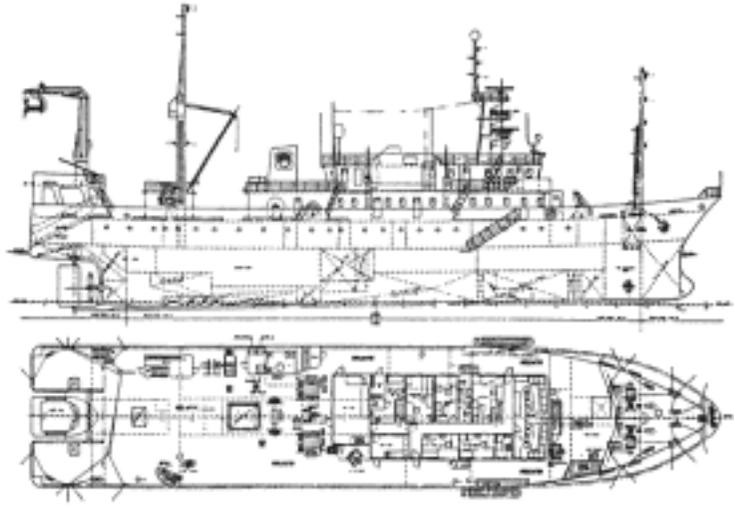


Fig. 1. Side view and upper deck plan of the experimental ship M.S A-RA

1.2 타(Rudder) 및 선수 스러스터(Bow thruster)

1.2.1 타(Rudder)

시험에 사용한 실습선 아라호의 선미타는 평형타(Balanced Rudder)로서, 그 계획은 Table 2와 같다.

Table 2. Principal particulars of the rudder

Rudder area(A)	7.92M ²
Area ratio(A/L · d)	1/34.1
Balance ratio(Af/A)	0.236
Thickness ratio(t/c)	0.18
Aspect ratio(h/c)	1.55
Steering gear capacity	8.5T-M

1.2.2 선수 스러스터(Bow thruster)

선체의 후방에 장착된 나선형 프로펠러(Screw Propeller)는 주기관의 동력에 의해 회전하게 되며, 프로펠러는 추력(推力 : Thrust)을 발생시켜 선박을 전·후진 하도록 되어 있다.

본 시험에 사용한 사이드 스러스터는 프로펠러에 의해 선체를 횡방향으로 회두시키는 선수 스러스터를 이용하였으며, 그 제원은 Table 3과 같으며, 선체의 회두 원리는 Fig. 2와 같다.

Table 3. Principal particulars of the bow thruster

No. of set	1 set
Model	Ulstein 45 TV
TYPE	Electric motor driven, control pitch propeller complete with hydraulic power unit.
Propeller diameter	1,000mm
No. of propeller blades	4 blades
Propeller speed	566rpm
Reduction ratio	3.15 : 1
Driven motor	200kw electronic motor gravity tank 100Ltrs
Thruster power	3 Tons
Maker	ULSTEIN PROPELLER A/S

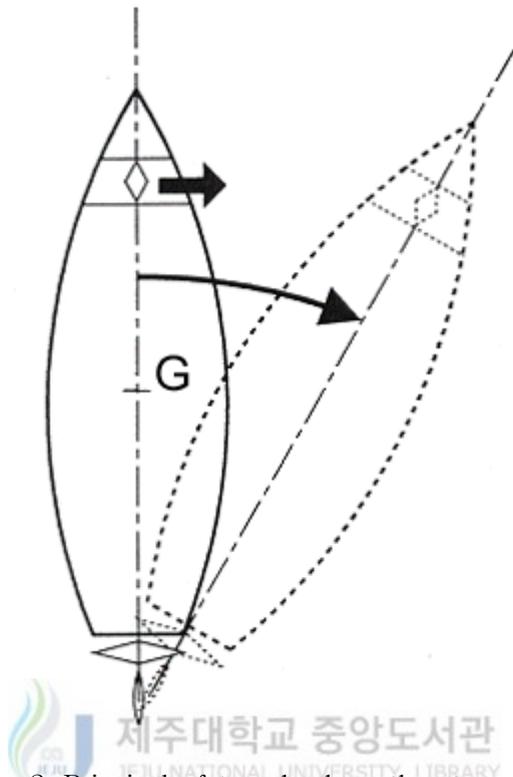


Fig. 2. Principal of turn by bow thruster

Fig. 2에서 스러스터를 선수측방향에 설치하면 스러스터에 의한 추력은 선체중심(船體重心)에 선회모멘트를 발생시킨다.

본 시험에 사용한 아라호의 선수 스러스터는 전기모터 가변피치방식인 노르웨이 ULSTEIN 사의 제품으로서 Fig. 3과 같다.

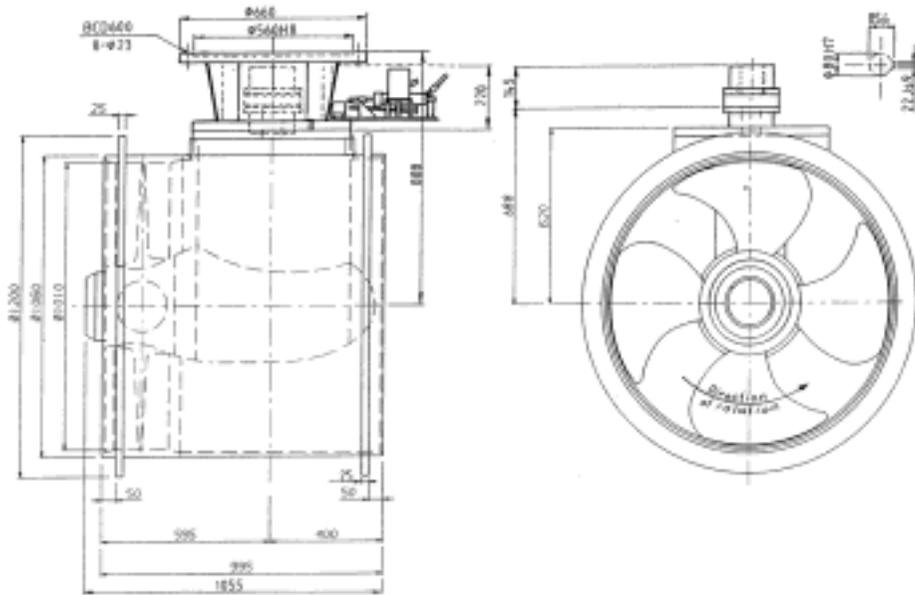


Fig. 3. Side view of the bow thruster

2. 실험해역 및 해상조건

본 연구에서는 제주대학교 실습선인 아라호(G/T 990ton)를 이용하여 2004년 5월 20일과 21일 남해안 여서도 근해에서 실선시험을 실시하였다.

Fig. 4는 선회시험을 실시한 해역으로 A지역($33^{\circ}54' N$, $127^{\circ}00' E$) 과 B지역($34^{\circ}09' N$, $127^{\circ}46' E$)에서 기관을 각각 720rpm에서의 선회시험과 550rpm에서의 선회시험을 실시하였으며, 시험시의 해상조건은 Table 4에 나타낸 바와 같이 조류가 약하고 파고 및 풍속이 낮은 정조시를 택하여 실시하였다.

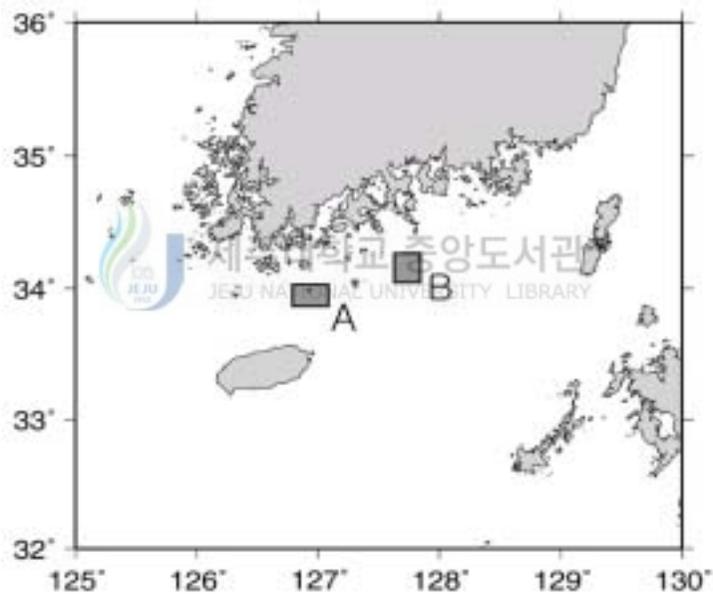


Fig. 4. Location for measurement turning circle test of experimental ship of M.S A-RA

Table 4. Trial condition of the sea in the testing area

Date Item	20th May	21th May
Trial area	33°54' N 127°00' E	34°09' N 127°46' E
Wind direction	WSW	ENE
Wind speed	2.8~3.1m/s	2.2m/s
Tide Direction	ESE	NNW
Tide Speed	0.3knot	0.2knot
Visibility	Fair	Fair

3. 측정 및 분석 방법

3.1 측정 장치의 제원 및 배치

선회권 측정방법에는 전파계기와 부표방위관을 이용한 방법 등 여러 가지 측정 방법이 있으나, 본 연구에서는 시험선의 선회위치를 측정하기 위하여 사용한 측정 장치는 항법용 위성으로부터 수신된 선박의 위치를 보정 수신할 수 있는 한국제(Samyung, Navis-3700D) DGPS (Differential Global Positioning System) 및 선수방위를 읽을 수 있는 Gyro compass (C. PLATH)와 보조 장치로서는 풍향풍속계, 경사계, 유속계 등에 의해 수신된 자료를 실시간으로 입력처리 할 수 있는 퍼스널 컴퓨터를 이용하였으며, 실험장치 제원은 Table 5와 같으며, Fig. 5는 측정방법의 계통도를 나타낸 것이다.

Table 5. Specification of the experimental devices

Species	Item	Specification
DGPS	Antenna	L1, Flat type
	Antenna size	170×170×163mm (+159mm mounting bar)1.2Kg
	Receiving frequency	1575.42±1MHz
	Receiving type	12channel Multiple tracking type
	Receiving channel	12channel
	Receiving code	C/A code(1.023 MHz chip rate)
	Maximum No. of tracked satellites	12 simultaneous satellite vehicles
	Sensitivity	more than -130dBm
	tracing speed	Velocity ; 1000Knots(514m/s) Acceleration ; 4g
	Updating signal and Tracking	Full automatic(Tracked by micro computer)
	Accuracy of Position	3m RMS, HDOP<2.0
	Accuracy of speed	0.1 Knots RMS, HDOP<2.0(without SA)
	Fix update rate	Every 1 second
Gyro compass	Freedom of roll and pitch	±35°
	Accuracy	Static error ≤ 0.1° sec lat (1 sigma) Dynamic error ≤ 0.7° sec lat (1 sigma) Linear mean settle point error ≤ 0.2° sec lat (3 sigma) Lag error at turning rate 6°/s ≤ 0.1° (3 sigma) Threshold of follow-up system ≤ 0.1° (3 sigma)
PC	SONY PCG-GRX52G/B	Pentium4 1.8GHz

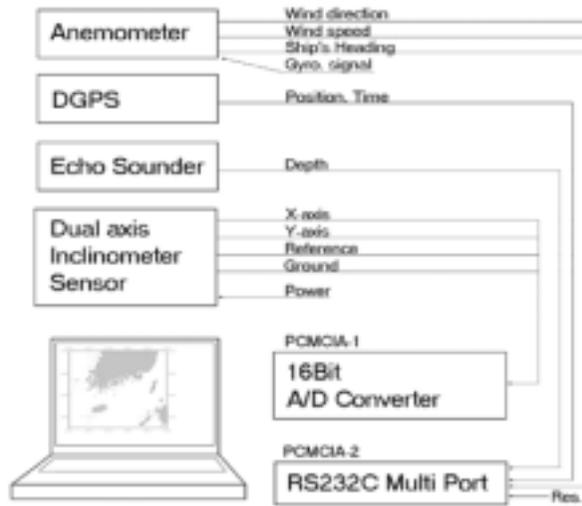


Fig. 5. Block diagram of measurement system

3.2 분석 방법

Fig. 6은 DGPS에 의해 수신된 위치정보를 분석한 선회권의 크기를 나타낸 것으로서 위도, 경도 및 선수방위각, 선속 등을 미터단위로 환산하여 X, Y 좌표로 출력된 선회권의 크기를 묘사한 예이다.



Fig. 6. Progress of analysis

4. 타와 선수 스러스터에 의한 선회권 작도

시험선의 타 및 선수 스러스터가 선회성능에 미치는 영향을 파악하기 위하여 선회권을 측정된 결과를 Fig. 5와 같이 X, Y좌표에 선회권을 작도하였으며, 조타시의 선체 중심위치(重心位置)에서 90° 회두하였을 때의 선체중심(船體重心)이 원침로상에서 종이동(縱移動)한 거리를 선회중거 (Advance : A_r), 원침로상에서 횡이동(橫移動)한 거리를 선회횡거 (Transfer : T_r), 그리고 선박이 회두를 시작한 지점으로부터 180° 회두하였을 때 원침로로부터 선박까지의 수직거리인 선회경 (Tactical diameter : T_d)을 각각 측정하여 분석하였다.

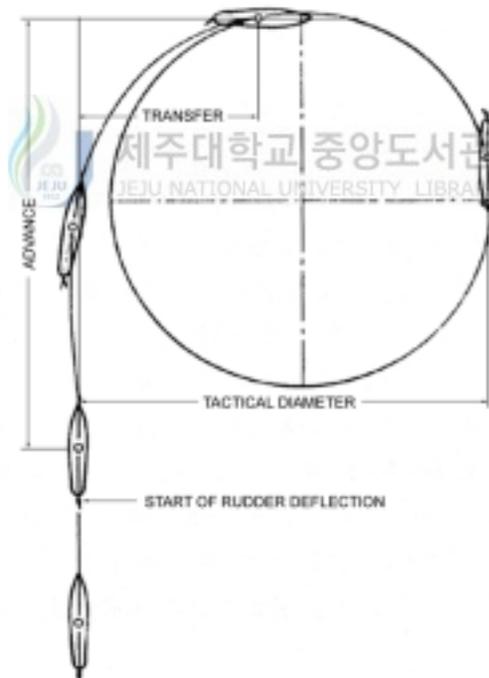


Fig. 7. Turning circle

4.1 타, 선수 스러스터를 이용한 선회권 측정

타 및 선수 스러스터를 이용한 선회권 측정은 기관회전수 550rpm과 720rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌 · 우현으로 각각 10°, 20°, 30° 조타했을 때와 선수 스러스터의 평균 추력이 50%인 84kW, 90%인 146kW에서 좌 · 우현으로 각각 선회권을 측정하였다.

4.2 타와 선수 스러스터를 동시에 사용했을 때의 선회권 측정

타와 선수 스러스터를 동시에 사용하였을 때의 선회성능을 파악하기 위하여 기관회전수 550rpm과 720rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌 · 우현으로 각각 10°, 20°, 30° 로 하였을 때와, 선수 스러스터의 평균 추력이 50%인 84kW, 90%인 146kW에서 좌 · 우현으로 각각의 타 및 선수 스러스터를 동시에 선회시켰을 때의 선회권을 측정하였으며, Fig. 8은 선회권측정시의 항적을 나타낸 것이다.



Fig. 8. Turning circle measurement scenery

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 타, 선수 스러스터를 이용한 선회권 측정

1.1 타를 이용한 선회성능

Fig. 9는 시험선의 선속이 10.0 ~ 10.5knot, 기관회전수 550rpm에서 향진 중 타각의 변화를 좌 · 우현으로 10°, 20°, 30°로 했을 때 DGPS의 위치 정보를 이용한 선회권의 크기를 나타낸 것으로서, 같은 선속에서는 타각이 클수록 선회경이 작아짐을 알 수 있었으며, 또한 좌 · 우현 선회시를 비교하여 보았을 때 시험선인 경우는 좌현선회경이 우현선회경보다 짧았다.

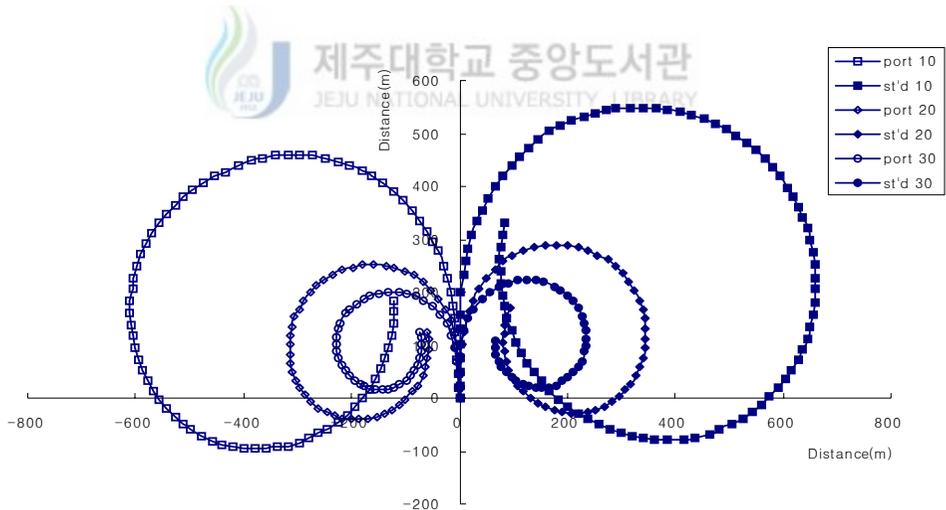


Fig. 9 DGPS information-based turning circle while maneuvering the ship to port and starboard, 550rpm

Table 6는 시험선의 선속이 10.0 ~ 10.5knot, 기관회전수 550rpm에서 향진 중

타각의 변화를 좌 · 우현으로 10°, 20°, 30°로 했을 때 선회종거, 선회횡거, 선회경 및 최종선회경을 비교한 것이다. 여기서, 타각 10°일 때 선회종거의 크기는 좌현선회시가 451.9m로서 수선간장의 7.5배, 우현선회시는 544.5m로서 수선간장의 9.1배, 선회횡거는 좌현선회시 368.9m로서 수선간장의 6.2배, 우현선회시 391.1m로서 수선간장의 6.5배, 선회경은 좌현선회시 603.0m로서 수선간장의 10.1배, 우현선회시 656.4m로서 수선간장의 10.9배, 최종선회경은 좌현선회시 483.0m로서 수선간장의 8.1배, 우현선회시 577.8m로서 수선간장의 9.6배로 나타났고, 타각 20°일 때의 선회종거의 크기는 좌현선회시가 244.5m로서 수선간장의 4.1배, 우현선회시는 281.5m로서 수선간장의 4.7배, 선회횡거는 좌현선회시 213.4m로서 수선간장의 3.6배, 우현선회시 226.7m로서 수선간장의 3.8배, 선회경은 좌현선회시 309.7m로서 수선간장의 5.2배, 우현선회시 340.7m로서 수선간장의 5.7배, 최종선회경은 좌현선회시 368.9m로서 수선간장의 6.2배, 우현선회시 253.4m로서 수선간장의 4.2배, 그리고 타각 30°일 때 선회종거의 크기는 좌현선회시가 170.4m로서 수선간장의 2.8배, 우현선회시는 211.1m로서 수선간장의 3.5배, 선회횡거는 좌현선회시 190.8m로서 수선간장의 3.2배, 우현선회시 174.8m로서 수선간장의 2.9배, 선회경은 좌현선회시 219.3m로서 수선간장의 3.7배, 우현선회시 229.7m로서 수선간장의 3.8배, 최종선회경은 좌현선회시 296.3m로서 수선간장의 4.9배, 우현선회시 164.5m로 수선간장의 2.7배로 측정되었다.

또한, 같은 선속에서 타각을 10°, 20°, 30°일 때 시험선의 선회종거 및 선회경을 비교하여보면, 선회종거의 경우 좌현회시가 92.6m, 37.0m, 40.7m로 우현선회시보다 짧았다. 그리고 선회경도 선회종거와 같이 같은 경향을 보였으며, 각각 53.4m, 31.1m, 10.4m로 짧아서 시험선은 좌현선회시가 우현선회시보다 선회성능이 양호하였다.

Table 6. Result of turn based on the positioning data while maneuvering the ship to port and starboard, 550rpm

ITEM	Rudder 10°		Rudder 20°		Rudder 30°	
	Port	Starboard	Port	Starboard	Port	Starboard
Ad(m)	451.9	544.5	244.5	281.5	170.4	211.1
Tr(m)	368.9	391.1	213.4	226.7	190.8	174.8
Td(m)	603.0	656.4	309.7	340.8	219.3	229.7
Fd(m)	483.0	577.8	368.9	253.4	296.3	164.5
Ad/Lpp	7.5	9.1	4.1	4.7	2.8	3.5
Td/Lpp	10.1	10.9	5.2	5.7	3.7	3.8

Ad : Advance, Tr : Transfer, Td : Tactical diameter, Fd : Final diameter

Fig. 10은 시험선의 선속이 13.0 ~ 13.5knot, 기관회전수 720rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌 · 우현으로 10°, 20°, 30°로 했을 때 DGPS의 위치 정보를 이용한 선회권의 크기를 나타낸 것으로서, 같은 선속에서는 타각이 클수록 선회경이 작아짐을 알 수 있었으며, 또한 좌 · 우현 선회시를 비교하여 보았을 때 시험선인 경우는 좌현선회경이 우현선회경보다 짧았다.

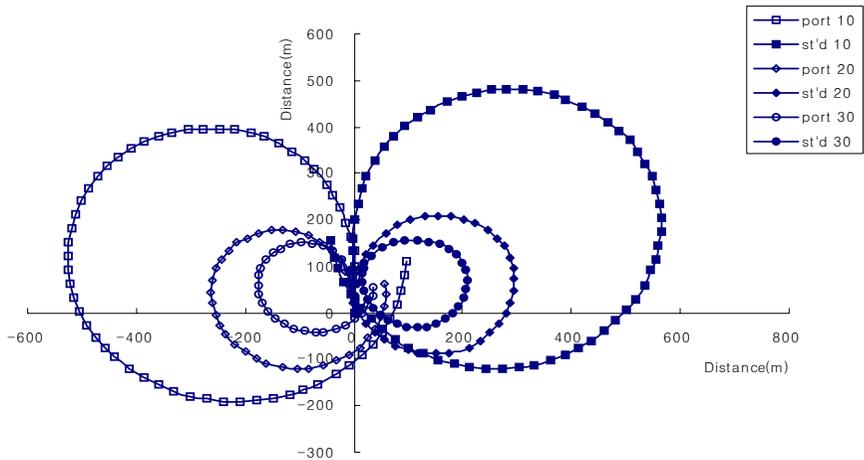


Fig. 10. DGPS information-based turning circle while maneuvering the ship to port and starboard, 720rpm

Table 7은 시험선의 선속을 13.0 ~ 13.5knot, 기관회전수 720rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌 · 우현으로 10°, 20°, 30°로 했을 때 선회중거, 선회횡거, 선회경 및 최종선회경을 비교한 것으로 그 결과를 살펴보면, 타각 10°일 때 선회중거의 크기는 좌현선회시가 387.1m로서 수선간장의 6.5배, 우현선회시는 472.3m로서 수선간장의 7.9배, 선회횡거는 좌현선회시 333.4m로서 수선간장의 5.6배, 우현선회시 355.6m로서 수선간장의 5.9배, 선회경은 좌현선회시 517.1m로서 수선간장의 8.6배, 우현선회시 555.6m로서 수선간장의 9.3배, 최종선회경은 좌현선회시 428.2m로서 수선간장의 7.1배, 우현선회시 511.2m로 수선간장의 8.5배로 나타났으며, 타각 20°일 때의 선회중거의 크기는 좌현선회시가 164.8m로서 수선간장의 2.8배, 우현선회시는 194.5m로서 수선간장의 3.2배, 선회횡거는 좌현선회시 192.6m로서 수선간장의 3.2배, 우현선회시 216.3m로서 수선간장의 3.6배, 선회경은 좌현선회시 250.4m로서 수선간장의 4.2배, 우현선회시 283.0m로서 수선간장의 4.7배, 최종선회경은 좌현선회시 207.4m로서 수선간장의 3.5배, 우현선회시 287.4m로 수선간장의 4.8배이며, 그리고 타각 30°일 때 선회중거의 크기는 좌현선회시가 133.3m로서 수선간장의 2.2배, 우현선회시는 142.9m로서 수선간장의

2.4배, 선회횡거는 좌현선회시 140.8m로서 수선간장의 2.4배, 우현선회시 164.5m로서 수선간장의 2.7배, 선회경은 좌현선회시 164.5m로서 수선간장의 2.7배, 우현선회시 195.6m로서 수선간장의 3.3배, 최종선회경은 좌현선회시가 137.8m로서 수선간장의 2.3배, 우현선회시는 186.7m로 수선간장의 3.1배로 나타났다.

또한, 시험선의 선속을 13.0 ~ 13.5knot에서 선회특성은 타각 10°, 20°, 30°일 때 선회종거 및 선회경을 비교하여 보았을 때 선속이 10.0 ~ 10.5knot에서처럼 비슷한 경향을 나타내었으며, 선회종거의 경우 좌선회시가 각각 38.5m, 32.6m, 31.1m이며, 선회경은 좌선회시가 38.5m, 32.6m, 31.1m로서, 동일한 타각에서는 선속이 빠를 수록 선회성능이 양호함을 알 수 있었다.

Table 7. Result of turn based on the positioning data while maneuvering the ship to port and starboard, 720rpm

ITEM	Rudder 10°		Rudder 20°		Rudder 30°	
	Port	Starboard	Port	Starboard	Port	Starboard
Ad(m)	387.1	472.3	164.8	194.5	133.3	142.9
Tr(m)	333.4	355.6	192.6	216.3	140.8	164.5
Td(m)	517.1	555.6	250.4	283.0	164.5	195.6
Fd(m)	428.2	511.2	207.4	287.4	137.8	186.7
Ad/Lpp	6.5	7.89	2.8	3.2	2.2	2.4
Td/Lpp	8.6	9.3	4.2	4.7	2.7	3.3

Ad : Advance, Tr : Transfer, Td : Tactical diameter, Fd : Final diameter

1.2 선수 스러스터에 의한 선회성능

시험선을 기관정지 상태에서 선수 스러스터의 추력을 50%(84kW), 90%(146kW)로 하고, 좌 · 우현으로 각각 회두시켰을 때 선회성능을 파악한 결과, 추력 50%(84kW)에서는 추력 90%(146kW)보다 회두성능이 좌 · 우현 모두 저조하였다.

이상의 결과에서 보는 바와 같이 선수 스러스터만을 이용하여 선수를 회두시키고자 할 때에는 먼저 추력을 90%로 변화 시킨 후, 추력을 점차 적절하게 조종할 필요가 있음을 알 수 있었다.

1.3 타와 선수 스러스터를 동시에 사용했을 때의 선회성능

항내 조선 및 협수로 항행시는 타와 선수 스러스터를 동시에 사용해야 되는 경우가 많다. 그래서 동일한 타각 및 선속에서 선수 스러스터의 추력을 50%(84kW), 90%(146kW)로 하고, 타와 선수 스러스터를 동시에 사용했을 때의 선회성능을 조사하였다.

1.3.1 타와 선수 스러스터의 추력을 50%로 동시에 사용했을 때의 선회성능

Fig. 11은 시험선의 선속을 10.0 ~ 10.5knot, 기관회전수 550rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌·우현으로 10°, 20°, 30°로 하여 조타시 선수 스러스터의 추력 50%(84kW)로 했을 때, DGPS의 위치정보를 이용한 선회권의 크기를 나타낸 것으로서, 같은 선속에서는 타각이 클수록 선회경이 작아짐을 알 수 있었으며, 또한, 좌·우현 선회시를 비교하여 보면 시험선인 경우는 좌현선회경이 우현선회경보다 짧았다.

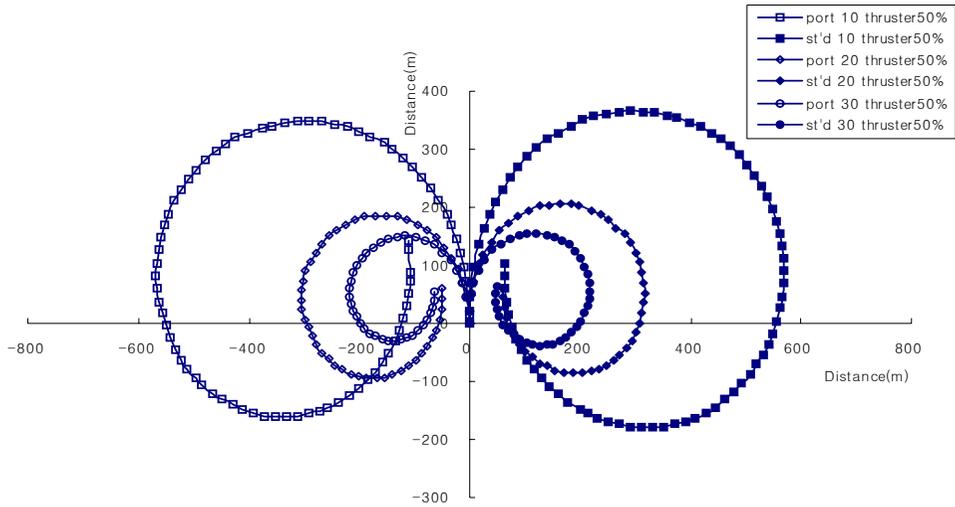


Fig. 11. DGPS information-based turning circle while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 50% power of bow thruster, 550rpm

Table 8은 시험선의 선속을 10.0 ~ 10.5knot, 기관회전수 550rpm에서 타각을 10°, 20°, 30°로 조타와 동시에 선수 스텐더의 추력을 50%(84kW)로 사용하여 선회할 때 선회중거, 선회횡거, 선회경 및 최종선회경을 비교한 것으로 그 결과를 살펴보면 타각 10°일 때 선회중거의 크기는 좌현선회시가 340.8m로서 수선간장의 5.7배, 우현선회시는 357.4m로서 수선간장의 6.0배, 선회횡거는 좌현선회시 354.1m로서 수선간장의 5.9배, 우현선회시 357.1m로서 수선간장의 6.0배, 선회경은 좌현선회시 558.6m로서 수선간장의 9.3배, 우현선회시 563.0m로서 수선간장의 9.4배, 최종선회경은 좌현선회시 450.4m로서 수선간장의 7.5배, 우현선회시 505.2m로서 수선간장의 8.4배로 측정되었으며, 타각 20°일 때의 선회중거의 크기는 좌현선회시가 177.8m로서 수선간장의 3.0배, 우현선회시는 196.3m로서 수선간장의 3.3배, 선회횡거는 좌현선회시 207.4m로서 수선간장의 3.5배, 우현선회시 216.3m로서 수선간장의 3.6배, 선회경은 좌현선회시 293.4m로서 수선간장의 4.9배, 우현선회시 311.1m로서 수선간장의 5.2배, 최종선회경은 좌현선회시 254.8m로서 수선간장의 4.3배 우현선회시 254.8m로 수선간장의 4.3배로 측정되었고, 타

각 30°일 때의 선회종거의 크기는 좌현선회시가 140.8m로서 수선간장의 2.4배, 우현선회시는 148.2m로서 수선간장의 2.5배, 선회횡거는 좌현선회시 158.5m로서 수선간장의 2.6배, 우현선회시 155.6m로서 수선간장의 2.6배, 선회경은 좌현선회시 210.4m로서 수선간장의 3.5배, 우현선회시 210.4m로서 수선간장의 3.5배, 최종 선회경은 좌현선회시 154.1m로서 수선간장의 2.6배, 우현선회시 167.4m로 수선간장의 2.8배로 측정되었다.

이상의 결과에서 시험선의 선속 550rpm에서 선수 스텔러스터의 추력을 50%(84kW)로 하였을 때 선회 특성은 타각 10°, 20°, 30°일 때의 선회종거는 좌현선회시가 16.6m, 18.5m, 7.4m 짧았으며, 선회경의 경우 좌현선회시가 각각 4.4m, 17.8m, 짧고, 30°인 경우 동일한 경향을 보였으며, 시험선은 좌현선회시가 우현선회시보다 선회성능이 양호하다고 판단된다.

또한, 타(Rudder)만을 이용한 선회시와 비교하였을 때 시험선의 선회종거 및 선회경을 살펴보면, 타각 10°, 20°, 30°일 때 선회종거인 경우는 좌현선회시가 111.1m, 66.7m, 29.6m로 우현선회시 187.1m, 85.2m, 62.9m보다 짧았다. 또한, 선회경은 이와 같이, 좌현선회시는 44.4m, 16.3m, 8.9m로 우현선회시 93.4m, 29.7m, 19.2m보다 짧게 나타났다.

선수 스텔러스터와 타를 동시에 사용했을 때가 타만을 사용했을 때보다 선회종거 및 선회경의 크기가 감소함을 알 수 있었다.

Table 8. Result of turn based on the positioning data while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 50% power of bow thruster, 550rpm

ITEM	Rudder 10°		Rudder 20°		Rudder 30°	
	Port	Starboard	Port	Starboard	Port	Starboard
Ad(m)	340.8	357.4	177.8	196.3	140.8	148.2
Tr(m)	354.1	357.1	207.4	216.3	158.5	155.6
Td(m)	558.6	563.0	293.4	311.1	210.4	210.4
Fd(m)	450.4	505.2	254.8	254.8	154.1	167.4
Ad/Lpp	5.7	6.0	3.0	3.3	2.4	2.5
Td/Lpp	9.3	9.4	4.9	5.2	3.5	3.5

Ad : Advance, Tr : Transfer, Td : Tactical diameter, Fd : Final diameter

Fig. 12는 시험선의 선속을 13.0 ~ 13.5knot, 기관회전수 720rpm에서 항진 중 타각의 변화를 각각 좌·우현으로 10°, 20°, 30°로 놓고 선수 스티어링의 추력 50%(84kW)를 했을 때, DGPS의 위치정보를 이용한 선회경의 크기를 나타낸 것으로서, 같은 선속에서는 타각이 클수록 선회경이 작아짐을 알 수 있었으며, 또한, 좌·우현 선회시를 비교하여 보았을 때, 시험선 아라호는 좌현선회경이 우현선회경 보다 짧게 나타남을 알 수 있다.

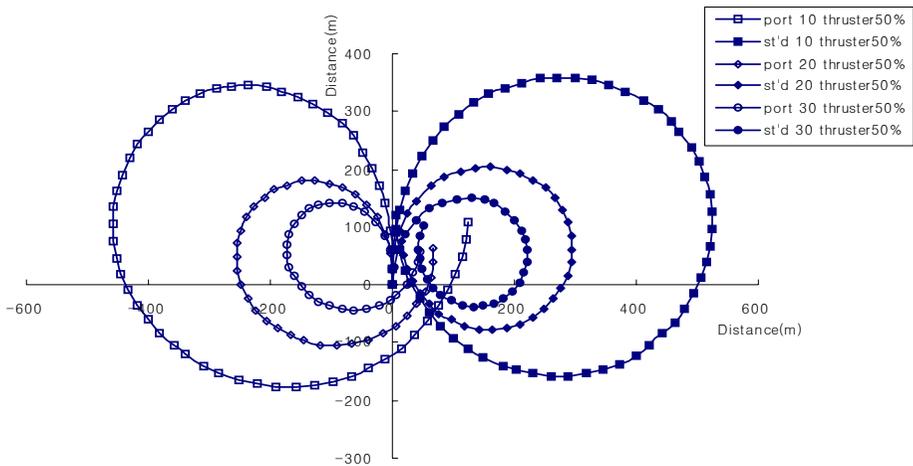


Fig. 12. DGPS information-based turning circle while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 50% power of bow thruster, 720rpm

Table 9는 시험선의 선속을 13.0 ~ 13.5knot, 기관회전수 720rpm에서 타각을 10°, 20°, 30°로 조타와 동시에 선수 스러스터의 추력을 50%(84kW)로 사용하여 선회했을 때의 선회중거, 선회횡거, 선회경 및 최종선회경을 비교한 것으로서 타각 10°일 때 선회중거의 크기는 좌현선회시가 333.4m로서 수선간장의 5.6배, 우현선회시는 348.2m로서 수선간장의 5.8배, 선회횡거는 좌현선회시가 303.7m로서 수선간장의 5.1배, 우현선회시는 343.7m로서 수선간장의 5.7배, 또한 선회경은 좌현선회시가 447.4m로서 수선간장의 7.5배, 우현선회시는 514.1m로서 수선간장의 8.6배로 측정되었다. 최종선회경은 좌현선회시 571.9m로서 수선간장의 9.5배, 우현선회시 506.7m로서 수선간장의 8.5배로 측정되었으며, 타각 20°일 때의 선회중거의 크기는 좌현선회시가 166.7m로서 수선간장의 2.8배, 우현선회시는 188.9m로서 수선간장의 3.2배, 선회횡거는 좌현선회시 188.2m로서 수선간장의 3.1배, 우현선회시 219.3m로서 수선간장의 3.7배, 선회경은 좌현선회시 243.0m로서 수선간장의 4.1배, 우현선회시 283.0m로서 수선간장의 4.7배, 최종선회경은 좌현선회시 186.7m로서, 수선간장의 3.1배 우현선회시 275.1m로 수선간장의 4.6배로 측정되

었고, 타각 30°일 때의 선회중거의 크기는 좌현선회시가 129.6m로서 수선간장의 2.2배, 우현선회시는 133.3m로서 수선간장의 2.2배, 선회횡거는 좌현선회시 139.3m로서 수선간장의 2.3배, 우현선회시 177.8m로서 수선간장의 3.0배, 선회경은 좌현선회시 161.5m로서 수선간장의 2.7배, 우현선회시 211.9m로서 수선간장의 3.5배, 최종선회경은 좌현선회시 171.9m로서 수선간장의 2.9배, 우현선회시 168.9m로 수선간장의 2.8배로 측정되었다.

또한, 시험선의 선속을 720rpm에서 선수 스퀴스터의 추력을 50%(84kW)로 하였을 때 시험선의 선회 특성은, 타각 10°, 20°, 30°일 때의 선회중거는 좌현선회시가 14.8m, 22.2m, 3.7m로 짧게 나타났으며, 선회경의 크기는 좌현선회시가 각각 8.6m, 4.7m, 3.5m로 짧게 나타나서 시험선 아라호는 좌현선회시가 우현선회시보다 선회성능이 양호하다고 판단된다.

또한, 타만을 이용한 선회시와 비교하였을 때, 시험선의 선회중거 및 선회경의 크기를 비교하여 보면, 타각 10°, 20°, 30°일 때 선회중거의 경우 좌현선회시 타각이 10°일 때 53.7m 짧았으며, 20°일 때 1.9m로 길게 나타났으며, 30°일 경우는 3.7m로 짧게 나타났다. 우현선회시는 124.1m, 5.6m, 9.6m로 짧았다. 선회경을 비교했을 때, 좌현선회시는 69.7m, 7.4m, 3.0m로 짧게 나타났으며, 우현선회시는 10°일 때가 41.5m로 짧았으며, 20°일 때는 그 크기가 거의 비슷하였으며, 30°일 경우는 16.3m로 길게 나타났다.

이와 같이 선수 스퀴스터를 동시에 사용하였을 때가 타만을 사용하였을 때 보다 선회중거 및 선회경의 크기는 감소하는 경향을 알 수 있었다.

Table 9. Result of turn based on the positioning data while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 50% power of bow thruster, 720rpm

ITEM	Rudder 10°		Rudder 20°		Rudder 30°	
	Port	Starboard	Port	Starboard	Port	Starboard
Ad(m)	333.4	348.2	166.7	188.9	129.6	133.3
Tr(m)	303.7	343.7	188.2	219.3	139.3	177.8
Td(m)	447.4	514.1	243.0	283.0	161.5	211.9
Fd(m)	571.9	506.7	186.7	275.1	171.9	168.9
Ad/Lpp	5.6	5.8	2.8	3.2	2.2	2.2
Td/Lpp	7.5	8.6	4.1	4.7	2.7	3.5

Ad : Advance, Tr : Transfer, Td : Tactical diameter, Fd : Final diameter

1.3.2 타와 선수 스러스터의 추력을 90%로 동시에 사용했을 때의 선회성능

Fig. 13은 시험선의 선속을 10.0 ~ 10.5knot, 기관회전수 550rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌 · 우현각각 10°, 20°, 30°로 조타하였을 때 선수 스러스터의 추력 90%(146kW)시 DGPS의 위치정보를 이용한 선회권의 크기를 나타낸 것으로서, 같은 선속에서는 타각이 클수록 선회경이 작아짐을 알 수 있었으며, 또한, 좌 · 우현 선회시를 비교하여 보면 시험선인 경우는 좌현선회시가 우현선회시보다 짧게 나타나 양호하였음을 알 수 있다.

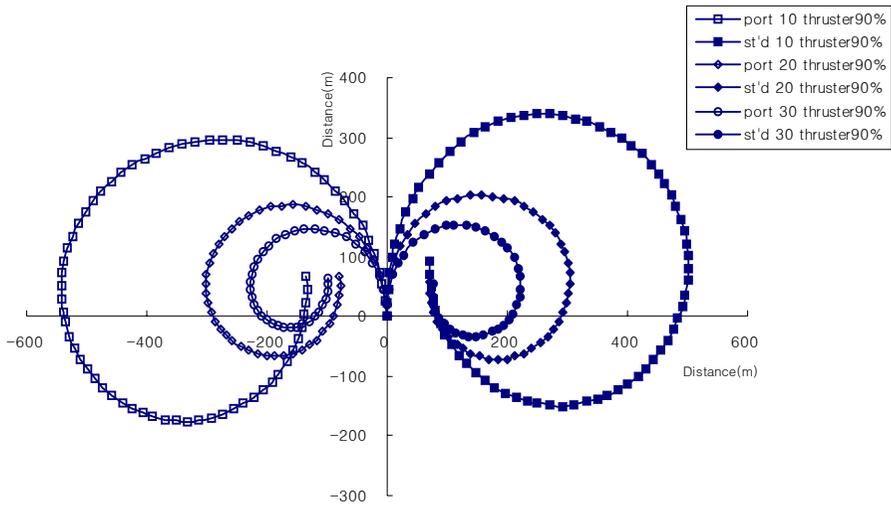


Fig. 13. DGPS information-based turning circle while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 90% power of bow thruster, 550rpm

Table 10은 시험선의 선속을 10.0 ~ 10.5knot, 기관회전수 550rpm에서 타각을 10°, 20°, 30°로 조타와 동시에 선수 스러스터의 추력을 90%(146kW)로 사용하여 선회할 때 선회종거, 선회횡거, 선회경 및 최종선회경을 비교한 것으로 그 결과를 살펴보면 타각 10°일 때 선회종거의 크기는 좌현선회시가 288.9m로서 수선간장의 4.8배, 우현선회시는 329.7m로서 수선간장의 5.5배, 선회횡거는 좌현선회시 337.8m로서 수선간장의 5.6배, 우현선회시 320.0m로서 수선간장의 5.3배, 선회경은 좌현선회시 536.3m로서 수선간장의 8.9배, 우현선회시 496.3m로서 수선간장의 8.3배, 최종선회경은 좌현선회시 407.4m로서 수선간장의 6.8배, 우현선회시 431.2m로서 수선간장의 7.2배로 측정되었으며, 타각 20°일 때의 선회종거의 크기는 좌현선회시가 177.8m로서 수선간장의 3.0배, 우현선회시는 196.3m로서 수선간장의 3.3배, 선회횡거는 좌현선회시 208.9m로서 수선간장의 3.5배, 우현선회시 204.5m로서 수선간장의 3.4배, 선회경은 좌현선회시 291.9m로서 수선간장의 4.9배, 우현선회시 296.3m로서 수선간장의 4.9배, 최종선회경은 좌현선회시 222.2m로서, 수선간장의 3.7배 우현선회시 232.6m로 수선간장의 3.9배로 측정되었고, 타

각 30°일 때의 선회중거의 크기는 좌현선회시가 137.0m로서 수선간장의 2.3배, 우현선회시는 142.6m로서 수선간장의 2.4배, 선회횡거는 좌현선회시 170.4m로서 수선간장의 2.8배, 우현선회시 164.5m로서 수선간장의 2.7배, 선회경은 좌현선회시 219.3m로서 수선간장의 3.6배, 우현선회시 216.3m로서 수선간장의 3.6배, 최종 선회경은 좌현선회시 128.9m로서 수선간장의 2.2배, 우현선회시 146.7m로 수선간장의 2.4배로 측정되었다.

시험선의 선속 550rpm에서 선수 스퀴스터의 추력을 90%(146kW)로 하였을 때 시험선의 선회특성은 타각 10°, 20°, 30°일 때의 선회중거는 좌선회시가 40.8m, 18.5m, 5.5m 짧았고, 선회경이 좌선회시가 각각 8.9m, 4.9m, 3.7m 짧아서 시험선은 좌현선회시가 우현선회시보다 선회성능이 양호하다고 판단된다.

여기서, 타만을 이용한 선회시와 비교하였을 때 시험선의 선회중거 및 선회경의 크기를 비교하여 보면, 타각 10°, 20°, 30°일 때 선회중거의 경우 좌현선회시가 163.0m, 66.7m, 33.4m이며, 우현선회시는 214.8m, 85.2m, 68.5m로 짧았다. 또한 선회경 크기를 비교 했을 때, 좌현선회시가 10°일 때 66.7m 짧았으며, 20°일 때는 17.8m 짧았다. 또한 30°일 경우는 그 크기가 거의 같았다. 그리고 우현선회시는 160.1m, 44.5m, 13.3m로 짧게 나타났다.

이와 같은 결과에서 선속과 타각을 동일하게 하고 선수 스퀴스터의 추력을 변화시켰을 때 선회중거 · 선회횡거 · 선회경은 추력이 높을 수록 짧게 나타났음을 알 수 있다.

Table 10. Result of turn based on the positioning data while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 90% power of bow thruster, 550rpm

ITEM	Rudder 10°		Rudder 20°		Rudder 30°	
	Port	Starboard	Port	Starboard	Port	Starboard
Ad(m)	288.9	329.7	177.8	196.3	137.1	142.6
Tr(m)	337.8	320.0	208.9	204.5	170.4	164.5
Td(m)	536.3	496.3	291.9	296.3	219.3	216.3
Fd(m)	407.4	431.2	222.2	232.6	128.9	146.7
Ad/Lpp	4.8	5.5	3.0	3.3	2.3	2.4
Td/Lpp	8.9	8.3	4.9	4.9	3.7	3.6

Ad : Advance, Tr : Transfer, Td : Tactical diameter, Fd : Final diameter

Fig. 14는 시험선의 선속을 13.0 ~ 13.5knot, 기관회전수 720rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌 · 우현으로 10°, 20°, 30°로 조타시 선수 스러스터의 추력 90%(146kW)를 했을 때 DGPS의 위치정보를 이용한 선회권의 크기를 나타낸 것으로서, 같은 선속에서는 타각이 클수록 선회경이 작아짐을 알 수 있었으며, 또한, 좌 · 우현 선회시를 비교하여 보면, 시험선인 경우는 좌현선회경이 우현보다 짧게 나타났다.

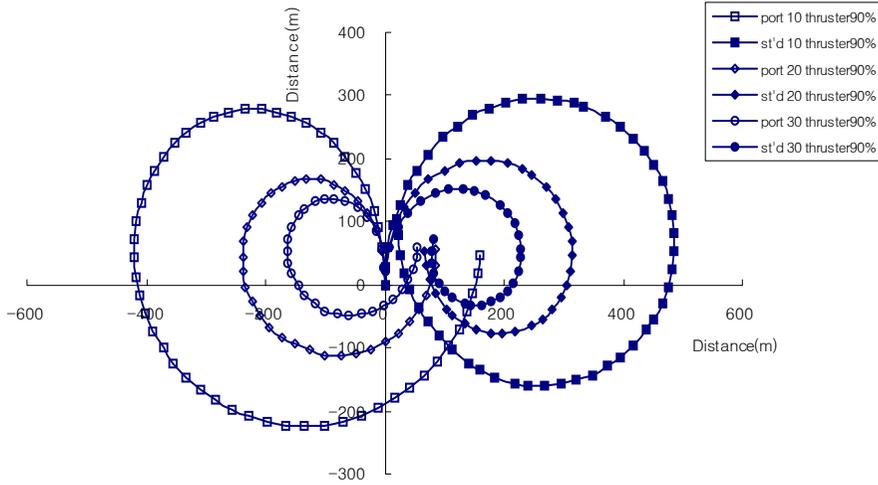


Fig. 14. DGPS information-based turning circle while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 90% power of bow thruster, 720rpm

Table 11은 시험선의 선속 13.0 ~ 13.5knot, 기관회전수 720rpm에서 항진 중 타각을 10°, 20°, 30°로 조타와 동시에 선수 스러스터의 추력을 90%(146kW)로 사용하여 선회할 때 선회종거, 선회횡거, 선회경 및 최종선회경을 비교한 것으로 그 결과를 살펴보면 타각 10°일 때 선회종거의 크기는 좌현선회시가 268.5m로서 수선간장의 4.5배, 우현선회시는 283.4m로서 수선간장의 4.7배, 선회횡거는 좌현선회시 280.0m로서 수선간장의 4.7배, 우현선회시 328.9m로서 수선간장의 5.5배, 선회경은 좌현선회시 408.9m로서 수선간장의 6.8배, 우현선회시 475.6m로서 수선간장의 7.9배, 최종선회경은 좌현선회시 568.9m로서 수선간장의 9.5배, 우현선회시 463.7m로서 수선간장의 7.7배로 측정되었으며, 타각 20°일 때의 선회종거의 크기는 좌현선회시가 151.9m로서 수선간장의 2.5배, 우현선회시는 183.4m로서 수선간장의 3.1배, 선회횡거는 좌현선회시 179.3m로서 수선간장의 3.0배, 우현선회시 229.7m로서 수선간장의 3.8배, 선회경은 좌현선회시 226.7m로서 수선간장의 3.8배, 우현선회시 302.3m로서 수선간장의 5.0배, 최종선회경은 좌현선회시 152.6m로서 수선간장의 2.5배 우현선회시 248.9m로 수선간장의 4.2배로 측정되었

고, 타각 30°일 때의 선회중거의 크기는 좌현선회시가 120.4m로서 수선간장의 2.0배, 우현선회시는 133.3m로서 수선간장의 2.2배, 선회횡거는 좌현선회시 134.8m로서 수선간장의 2.3배, 우현선회시 185.2m로서 수선간장의 3.1배, 선회경은 좌현선회시 151.1m로서 수선간장의 2.5배, 우현선회시 216.3m로서 수선간장의 3.6배, 최종선회경은 좌현선회시 109.6m로서 수선간장의 1.8배, 우현선회시 145.2m로 수선간장의 2.4배로 측정되었다.

시험선의 선속을 720rpm에서 선수 스톱스터의 추력을 90%(146kW)로 하였을 때 시험선의 선회특성은 타각 10°, 20°, 30°일 때의 선회중거는 좌선회시가 14.9m, 31.5m, 12.9m 짧았고, 선회경이 좌선회시가 각각 8.9m, 4.9m, 3.7m 짧아서 시험선은 좌현선회시가 우현선회시보다 선회성능이 양호하다고 판단된다.

또한, 타만을 이용한 선회시와 비교하였을 때 시험선의 선회중거 및 선회경을 비교하여 보면, 타각 10°, 20°, 30°일 때 선회중거의 경우 좌현선회시 118.6m, 12.9m, 12.9m 짧았으며, 우현선회시 188.9m, 11.2m, 9.6m 짧았다. 선회경을 비교했을 때, 좌현선회시 108.2m, 23.7m, 13.4m 짧았고, 우현선회시 10°일 때 80.0m 짧고 20°일 때 19.2m 길었으며, 30°일 경우 20.7m 길었다.

이상의 결과에서, 선회중거와 선회경은 선속, 타각, 스톱스터의 추력이 커질 수록 작아진다는 것을 알 수 있었으며, 또한 선속의 변화에 따라 좌현선회와 우현선회의 선회중거와 선회경이 감소하는 비율도 달라지고 대체적으로 우현선회시보다 좌현선회시가 선회중거와 선회경이 작게 나타났다.

Table 11. Result of turn based on the positioning data while maneuvering the ship to port and starboard with rudder and 90% power of bow thruster, 720rpm

ITEM	Rudder 10°		Rudder 20°		Rudder 30°	
	Port	Starboard	Port	Starboard	Port	Starboard
Ad(m)	268.5	283.4	151.9	183.4	120.4	133.3
Tr(m)	280.0	328.9	179.3	229.7	134.8	185.2
Td(m)	408.9	475.6	226.7	302.3	151.1	216.3
Fd(m)	568.9	463.7	152.6	248.9	109.6	145.2
Ad/Lpp	4.5	4.7	2.5	3.1	2.0	2.2
Td/Lpp	6.8	7.9	3.8	5.0	2.5	3.6

Ad : Advance, Tr : Transfer, Td : Tactical diameter, Fd : Final diameter

또한, 타만을 사용했을 때와 타와 선수 스러스터를 동시에 사용했을 때의 선회중거 및 선회경을 살펴보면, 좌현선회시가 우현선회보다는 짧게 나타났으며, 기관회전수 550rpm에서 선속을 10.0 ~ 10.5knot의 좌현으로 선회시 타와 선수 스러스터의 추력을 각각 50%, 90%로 했을 때의 선회중거에 대한 회귀식을 구한 결과는 Fig. 15와 같고, 그 식은 타만을 이용한 경우, 선회중거의 크기 $y = -14.075x + 570.43$ ($R^2 = 0.93$)로 나타났다. 여기서 y 는 선회중거의 크기이며 R 은 상관계수이다. 또한, 타와 선수 스러스터의 추력을 50%로 했을 때의 선회중거의 크기, $y = -7.59x + 353.07$ ($R^2 = 0.93$)이다.

타와 선수 스러스터의 추력을 90%로 했을 때의 선회중거의 크기, $y = -10x + 419.8$ ($R^2 = 0.88$)이다.

이상, 위 식을 이용한 시뮬레이션을 한 결과, 선회중거의 크기를 280m로 가정한다면, 타각의 크기는 13° ~ 14° 정도의 타각을 주어야 하지만, 타 및 선수 스러스터 추력 50%, 90%에서는 타각이 9° ~ 10° 만 주어도 충분한 결과를 얻을 수 있다고 판단된다. 그리고 선수 스러스터는 대각도의 타각이 될수록 그 효능은 점차적으로 타에 의해서 상쇄되는 것을 알 수 있었다.

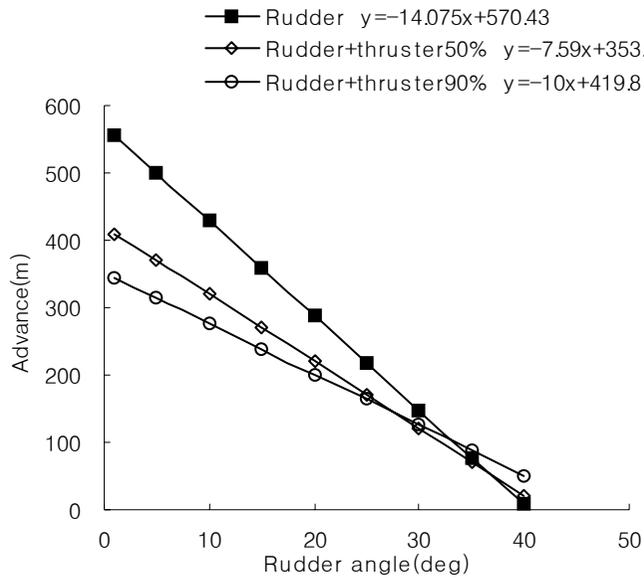


Fig. 15. Regression-based correlation between rudder angle and transfer

2. 타와 선수 스러스터를 이용했을 때의 선회 각속도 변화

선박의 선회성능을 측정하는 방법에서, 선회권의 크기뿐 만 아니라, 선회시 선체를 초기에 회두시키려는 각속도의 크기도 매우 중요한 것으로서, 여기서는 DGPS에 의한 위치정보로부터 선수각의 변화를 매 10초마다 측정한 결과로부터 시험선 아라호의 선수각 변화를 비교·분석하였다.

2.1 타만을 이용했을 때의 선회 각속도 변화

Fig. 16은 시험선의 선속을 10.0 ~ 10.5knot, 기관회전수 550rpm에서 항진 중 타각의 변화를 각각 좌·우현으로 10°, 20°, 30°로 했을 때의 선회 각속도를 단

위시간 10초마다 측정된 것으로서, 10°에서부터 20°까지의 타각차에 따른 각속도의 차이보다 20°부터 30°까지 타각차에 의한 선회 각속도의 차이가 더 작은 것을 알 수 있는데, 이와 같은 결과는 20°이상 대각도 조타시가 타효능이 떨어짐을 알 수 있다.

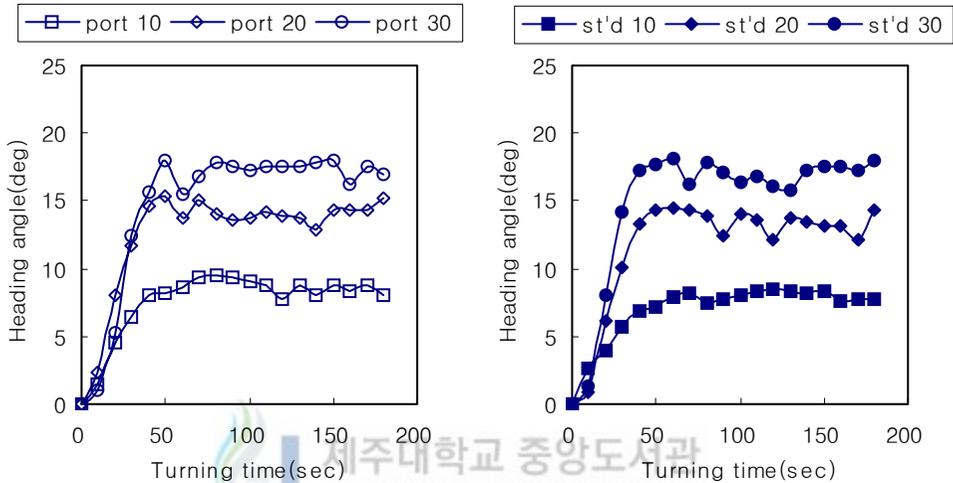


Fig. 16. Turning angular velocity port and starboard, 550rpm

Table 12는 시험선의 선속을 10.0 ~ 10.5knot, 기관회전수 550rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌 · 우현으로 10°, 20°, 30°로 했을 때 선회종거, 선회횡거, 선회경의 기준이 되는 선체의 회두각인 90°, 180°, 360°로 도달하기까지의 소요시간을 측정된 결과이다.

여기서, 타각이 10°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 141초 우현선회가 156초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 243초, 우현선회시 269초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 422초, 우현선회시 479초이며, 타각이 20°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 89초 우현선회가 92초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 155초, 우현선회시 160초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 274초, 우현선회시 288초이

고, 타각이 30°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 77초 우현선회가 78초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 129초, 우현선회시 132초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 233초, 우현선회시 227초로 나타났다.

또한, 360°까지 선회한 경우 평균 각속도를 살펴보면 타각 10°로 좌현선회시의 각속도는 0.9°/sec, 우현선회시 0.8°/sec이며, 타각 20°인 경우 좌현선회시 1.3°/sec, 우현선회시 1.3°/sec이고, 타각 30°인 경우 좌현선회시 1.5°/sec, 우현선회시 1.6°/sec로 측정되었다 평균적으로 좌현선회시보다 우현선회시의 각속도가 약간 낮았다.

이와 같은 결과는 선체가 360°선회하기까지의 소요된 시간이 좌현선회시보다 우현선회시가 소요시간이 더 걸리고 선회경의 크기도 더 커짐을 알 수 있었다.

Table 12. Turning time according to rudder angle, 550rpm

ITEM Heading angle	rudder 10°		rudder 20°		rudder 30°	
	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)
0°	0	0	0	0	0	0
90°	141	156	89	92	77	78
180°	243	269	155	160	129	132
360°	422	479	274	288	233	227
Average of Angular velocity	0.9°/sec	0.8°/sec	1.3°/sec	1.3°/sec	1.5°/sec	1.6°/sec

Fig. 17은 시험선의 선속을 13.0 ~ 13.5knot, 기관회전수 720rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌 · 우현으로 10°, 20°, 30°로 했을 때의 각속도를 단위시간 10초마다 측정된 것이며, 선체가 조타 후 회두를 시작하여 약 50초 후 각속도는 일정해 지기 시작하지만 좌선회의 경우 20°, 30° 조타시 각속도가 계속 감소하였고, 선속 720rpm으로 전진시 타각 30°로 조타를 하는 경우 회두시작 50초 후에 각속도가 최대치에 이르러 가장 빠르며, 우현선회는 일정한 각속도를 갖지만 좌현선회

회는 그 속도가 점차 감소함을 알 수 있다.

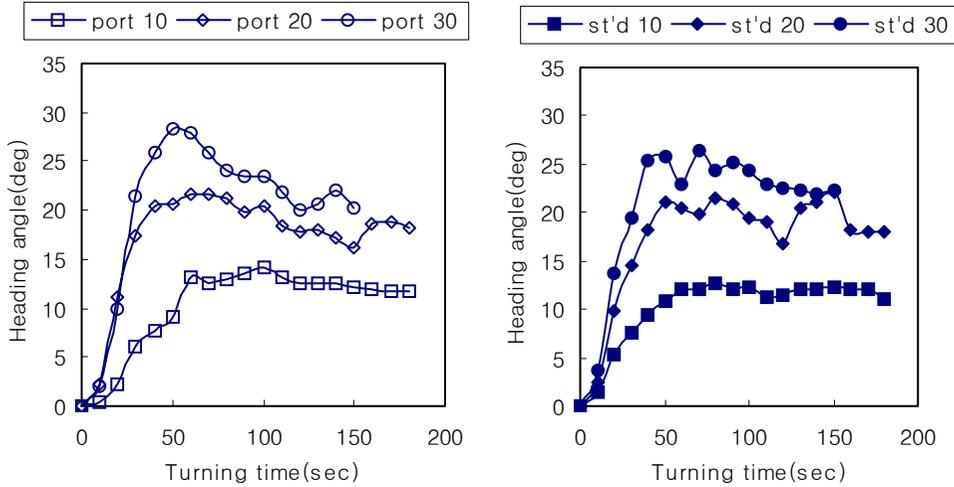


Fig. 17. Turning angular velocity port and starboard, 720rpm

Table 13은 시험선의 선속을 13.0 ~ 13.5knot, 기관회전수 720rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌 · 우현으로 10°, 20°, 30°로 했을 때 선회중거, 선회횡거, 선회경의 기준이 되는 선체의 회두각인 90°, 180°, 360°로 도달하기까지의 소요시간을 측정된 결과이다.

여기서, 타각이 10°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 100초 우현선회가 113초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 173초, 우현선회시 189초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 317초, 우현선회시 333초이며, 타각이 20°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 59초 우현선회가 63초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 103초, 우현선회시 108초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 195초, 우현선회시 194초이고, 타각이 30°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 52초 우현선회가 52초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 87초, 우현선회시 89초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 156초, 우현선회시 166초로 나타났

다.

360°까지 선회한 경우 평균 각속도를 살펴보면 타각 10°로 좌현선회시의 각속도는 1.1°/sec, 우현선회시 1.1°/sec이며, 타각 20°인 경우 좌현선회시 1.8°/sec, 우현선회시 1.9°/sec이고, 타각 30°인 경우 좌현선회시 2.3°/sec, 우현선회시 2.2°/sec로 측정되었다. 평균적으로 좌현선회시 보다 우현선회시 각속도가 약간 낮은 것을 알 수 있다.

선속 550rpm에서의 소요시간과 비교하였을 때, 같은 타각으로 조타를 하더라도 임의각도까지 도달하기까지의 시간이 단축된 것은, 선속이 증가함으로 인하여 유속이 빨라지고 타압이 증가하여 선체의 회두속도를 증가시켰기 때문이다. 이로 인해 선체가 회두하기 직전 선속이 10knot에서 13knot로 3knot 증가하였을 때 선회중거와 선회횡거의 기준인 90°까지 회두하는 데 소요시간은 많게는 41초에서 적게는 25초까지 단축된 것을 알 수 있었다.

Table 13. Turning time according to rudder angle, 720rpm

ITEM Heading angle	rudder 10°		rudder 20°		rudder 30°	
	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)
0°	0	0	0	0	0	0
90°	100	113	59	63	52	52
180°	173	189	103	108	87	89
360°	317	333	195	194	156	166
Average of Angular velocity	1.1°/sec	1.1°/sec	1.8°/sec	1.9°/sec	2.3°/sec	2.2°/sec

2.2 선수 스러스터만을 이용했을 때의 선회 각속도 변화

선수 스러스터의 추력만으로 선회시험을 하기 위하여 선체가 정지시 선수 스러

스터의 추력을 90%(146kW)에서 좌 · 우현으로 각각 4회에 걸쳐 회두시험을 실시하였을 때의 선회 각속도를 구한 결과, 선회 각속도는 좌 · 우현선회시 그 크기가 같지 않았으며, 우현으로 선회시가 좌현으로 선회했을 때보다 각속도가 빠르게 나타남을 알 수 있었다.

Table 14는 추력 90%(146kW)에서 좌 · 우현으로 회두시켰을 때 선체를 1회전 하는데 걸리는 시간을 4회에 걸쳐 행한 결과를 나타낸 것이다. 그 결과를 살펴보면, 소요시간은 좌 · 우현이 같지 않았고 최소 12분 31초에서 최장 20분 21초 정도로 그 차이가 컸음을 알 수 있었으며, 이는 선체가 바람의 영향을 받아 선수 스러스터만으로는 선회하기에 필요한 선회모멘트를 발생시키지 못하기 때문인 것으로 생각되며, 소요시간은 대부분 우현으로 선회시켰을 때가 좌현선회보다 짧게 나타났다.

Table 14. Turning time according to Bow thruster 90%

ITEM Heading angle	1st		2nd		3rd		4th	
	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)
0°	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"
90°	13'23"	3'16"	7'30"	2'13"	10'15"	2'26"	1'59"	4'35"
180°	15'32"	5'41"	11'09"	4'25"	12'30"	4'08"	3'54"	6'32"
270°	18'05"	15'26"	13'11"	12'20"	14'52"	12'46"	10'23"	8'23"
360°	20'21"	18'11"	15'11"	14'20"	17'20"	15'19"	12'31"	10'47"
Average of Angular velocity	0.3°/sec	0.3°/sec	0.4°/sec	0.4°/sec	0.3°/sec	0.4°/sec	0.5°/sec	0.6°/sec

2.3 타와 선수 스러스터의 추력을 50%로 했을 때의 선회 각속도 변화

Fig. 18은 시험선의 선속이 10.0 ~ 10.5knot, 기관회전수 550rpm에서 항진 중

타각의 변화를 좌 · 우현으로 10°, 20°, 30°로 조타와 동시에 선수 스러스터의 추력을 50%(84kW)로 사용했을 때의 각속도를 단위시간 10초마다 측정된 것이며, 선체가 조타와 동시에 선수 스러스터를 사용하여 선회시작 약 50초 후 각속도는 일정해 지기 시작하는 것을 알 수 있다.

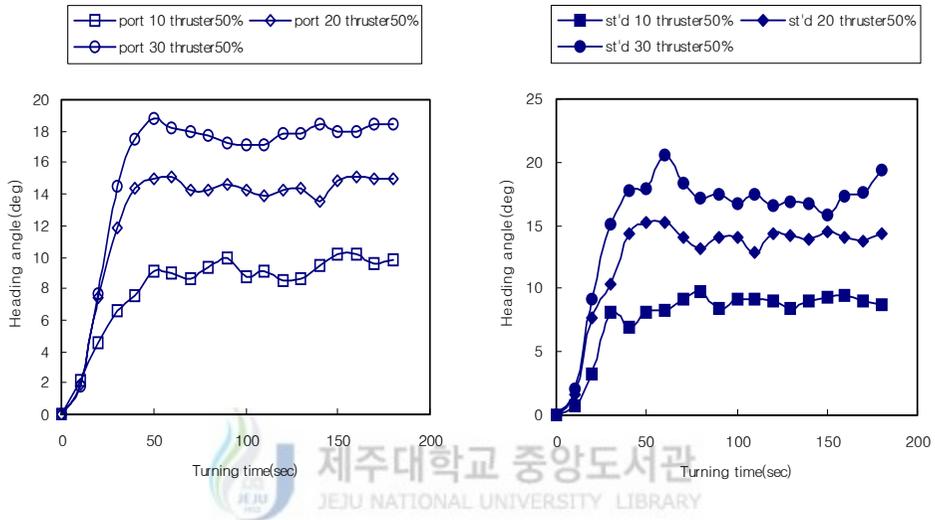


Fig. 18. Turning angular velocity port and starboard, thruster 50%, 550rpm

Table 15는 시험선의 선속을 10.0 ~ 10.5knot, 기관회전수 550rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌 · 우현으로 10°, 20°, 30°로 조타와 동시에 선수 스러스터의 추력을 50%(84kW)로 사용했을 때 선회종거, 선회횡거, 선회경의 기준이 되는 선체의 회두각인 90°, 180°, 360°로 도달하기까지의 소요시간을 측정된 결과이다.

여기서, 타각이 10°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 113초 우현선회가 120초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 207초, 우현선회시 218초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 375초, 우현선회시 405초이며, 타각이 20°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 75초, 우현선회가 79초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 139초, 우현선회시 143초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 259초, 우현선회시 264초이고, 타각이 30°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 64초, 우현선회가

65초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 116초, 우현선회시 118초 이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 209초, 우현선회시 215초로 나타났다.

또한, 360°까지 선회한 경우 평균 각속도를 살펴보면 타각 10°로 좌현선회시의 각속도는 1.0°/sec, 우현선회시 0.9°/sec이며, 타각 20°인 경우 좌현선회시 1.4°/sec, 우현선회시 1.4°/sec이고, 타각 30°인 경우 좌현선회시 1.7°/sec, 우현선회시 1.7°/sec로 측정되었다. 평균적으로 좌현선회시보다 우현선회시의 각속도가 약간 낮았다.

선속이 10knot일 때 선수 스러스터의 추력을 약 50%(84kW)로 하여 선회한 경우, 타만을 이용한 경우와 비교하여 90°까지 선체가 회두하기까지 소요된 시간은 타각을 10°, 20°, 30°로 하였을 때 좌선회시 28초, 14초, 13초 단축되었고, 우선회시 36초, 13초, 13초 단축되었음을 알 수 있다.

Table 15. Turning time according to rudder angle with bow thruster 50%, 550rpm

ITEM Heading angle	rudder 10°		rudder 20°		rudder 30°	
	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)
0°	0	0	0	0	0	0
90°	113	120	75	79	64	65
180°	207	218	139	143	116	118
360°	375	405	259	264	209	215
Average of Angular velocity	1.0°/sec	0.9°/sec	1.4°/sec	1.4°/sec	1.7°/sec	1.7°/sec

Fig. 19는 시험선의 선속을 13.0 ~ 13.5knot, 기관회전수 720rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌 · 우현으로 10°, 20°, 30°로 조타와 동시에 선수 스러스터의 추력을 50%(84kW)로 사용했을 때의 각속도를 단위시간 10초마다 측정 한 것이다.

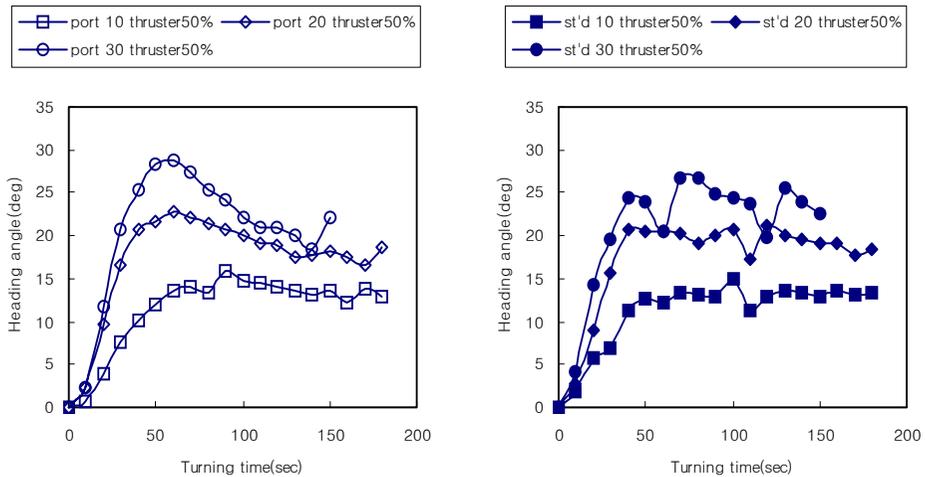


Fig. 19. Turning angular velocity port and starboard, thruster 50%, 720rpm

Table 16은 시험선의 선속을 13.0 ~ 13.5knots, 기관회전수 720rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌·우현으로 10°, 20°, 30°로 조타와 동시에 선수 스러스터의 추력을 50%(84kW)로 사용했을 때 선회중거, 선회횡거, 선회경의 기준이 되는 선체의 회두각인 90°, 180°, 360°로 도달하기까지의 소요시간을 측정 한 결과이다.

여기서, 타각이 10°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 91초, 우현선회가 91초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 156초, 우현선회시 159초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 290초, 우현선회시 291초이며, 타각이 20°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 59초, 우현선회가 62초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 102초, 우현선회시 108초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 191초, 우현선회시 194초이고, 타각이 30°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 51초, 우현선회가 52초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 85초, 우현선회시 88초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 159초, 우현선회시 167초로 나타났다.

또한, 360°까지 선회한 경우 평균 각속도를 살펴보면 타각 10°로 좌현선회시의 각속도는 1.2°/sec, 우현선회시 1.2°/sec이며, 타각 20°인 경우 좌현선회시

1.9°/sec, 우현선회시 1.9°/sec이고, 타각 30°인 경우 좌현선회시 2.3°/sec, 우현선회시 2.2°/sec로 측정되었다.

선속 13.3knot로 항해시 조타와 동시에 선수 스러스터의 추력을 50%(84kW)로 하였을 때 타만을 이용한 경우와 비교하여, 90°, 180°까지 회두 소요시간을 비교해 보면, 타각 10°인 경우 10초정도 단축되었으나, 대각도 조타인 20°, 30°인 경우 선수 스러스터의 효과는 미미하여 소요시간이 거의 비슷함을 알 수 있다.

Table. 16. Turning time according to rudder angle with Bow thruster 50%, 720rpm

ITEM Heading angle	rudder 10°		rudder 20°		rudder 30°	
	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)
0°	0	0	0	0	0	0
90°	91	91	59	62	51	52
180°	156	159	102	108	85	88
360°	290	291	191	194	159	167
Average of Angular velocity	1.2°/sec	1.2°/sec	1.9°/sec	1.9°/sec	2.3°/sec	2.2°/sec

2.4 타와 선수 스러스터의 추력을 90%로 했을 때의 선회 각속도 변화

Fig. 20은 시험선의 선속이 10.0 ~ 10.5knot, 기관회전수 550rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌 · 우현으로 10°, 20°, 30°로 조타와 동시에 선수 스러스터의 추력을 90%(146kW)로 사용했을 때의 각속도를 단위시간 10초마다 측정 한 것이다.

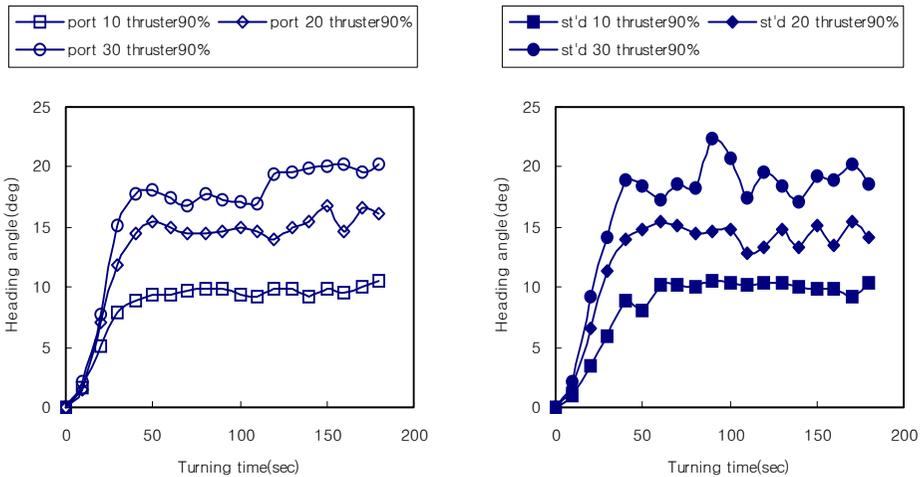


Fig. 20. Turning angular velocity port and starboard, thruster 90%, 550rpm

Table 17은 시험선의 선속을 10.0 ~ 10.5knot, 기관회전수 550rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌·우현으로 10°, 20°, 30°로 조타와 동시에 선수 스러스터의 추력을 90%(146kW)로 사용했을 때 선회중거, 선회횡거, 선회경의 기준이 되는 선체의 회두각인 90°, 180°, 360°로 도달하기까지의 소요시간을 측정된 결과이다.

여기서, 타각이 10°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 104초, 우현선회가 112초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 195초, 우현선회시 201초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 350초, 우현선회시 366초이며, 타각이 20°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 74초, 우현선회가 78초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 136초, 우현선회시 142초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 244초, 우현선회시 253초이고, 타각이 30°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 65초, 우현선회가 65초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 116초, 우현선회시 111초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 203초, 우현선회시 201초로 나타났다.

360°까지 선회한 경우 평균 각속도를 살펴보면 타각 10°로 좌현선회시의 각속도

는 1.0°/sec, 우현선회시 1.0°/sec이며, 타각 20°인 경우 좌현선회시 1.5°/sec, 우현선회시 1.4°/sec이고, 타각 30°인 경우 좌현선회시 1.8°/sec, 우현선회시 1.8°/sec로 측정되었다.

선속이 10knot일 때 선수 스러스터의 추력을 90%(146kW)로 하여 선회한 경우 타만을 이용한 경우와 비교하여 90°까지 선체가 회두하기까지 소요된 시간은 타각 10°, 20°, 30°로 하였을 때, 좌선회시 37초, 15초, 12초 단축되었고, 우선회시 44초, 14초, 13초 단축되었음을 알 수 있다.

Table 17. Turning time according to rudder angle with bow thruster 90%, 550rpm

ITEM Heading angle	rudder 10°		rudder 20°		rudder 30°	
	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)
0°	0	0	0	0	0	0
90°	104	112	74	78	65	65
180°	195	201	136	142	116	111
360°	350	366	244	253	203	201
Average of Angular velocity	1.0°/sec	1.0°/sec	1.5°/sec	1.4°/sec	1.8°/sec	1.8°/sec

Fig. 21은 시험선의 선속이 13.0 ~ 13.5knot, 기관회전수 720rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌 · 우현으로 10°, 20°, 30°로 조타와 동시에 선수 스러스터의 추력을 90%(146kW)로 사용했을 때의 각속도를 단위시간 10초마다 측정된 것이다.

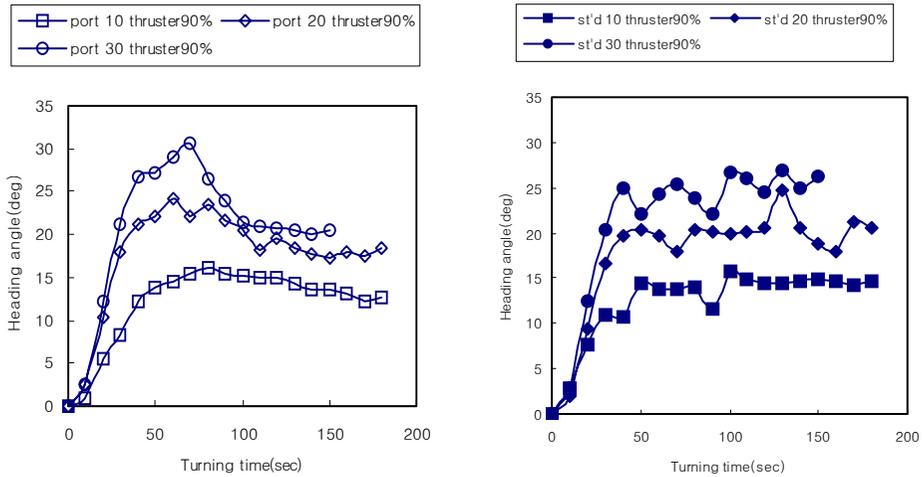


Fig. 21. Turning angular velocity port and starboard, thruster 90%, 720rpm

Table 18은 시험선의 선속을 13.0 ~ 13.5knot, 기관회전수 720rpm에서 항진 중 타각의 변화를 좌·우현으로 10°, 20°, 30°로 조타와 동시에 선수 스러스터의 추력을 90%(146kW)로 사용했을 때 선회중거, 선회횡거, 선회경의 기준이 되는 선체의 회두각인 90°, 180°, 360°로 도달하기까지의 소요시간을 측정 한 결과이다.

여기서, 타각이 10°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 83초, 우현선회가 82초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 145초, 우현선회시 145초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 278초, 우현선회시 267초이며, 타각이 20°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 57초, 우현선회가 60초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 98초, 우현선회시 106초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 185초, 우현선회시 184초이고, 타각이 30°일 때 90° 회두하기까지 소요시간은 좌현선회가 50초, 우현선회가 53초이며, 180° 회두하기까지의 소요시간은 좌현선회시 82초, 우현선회시 90초이고, 360° 선회하기까지 소요시간은 좌현선회시 158초, 우현선회시 156초로 나타났다.

360°까지 선회한 경우 평균 각속도를 살펴보면 타각 10°로 좌현선회시의 각속도는 1.3°/sec, 우현선회시 1.3°/sec이며, 타각 20°인 경우 좌현선회시 1.9°/sec, 우현

선회시 1.9°/sec이고, 타각 30°인 경우 좌현선회시 2.3°/sec, 우현선회시 2.3°/sec로 측정되었다.

조타와 선수 스러스터를 동시에 사용하여 선회를 시작할 때, 좌현선회의 경우 회두시작 70초 후 점차 감소하는 경향을 보이며, 우현선회의 경우 각속도가 일정하게 변하는 게 아니라 불규칙하게 변화하는 것을 알 수 있다.

선속 13.3knot로 항주시 조타와 동시에 선수 스러스터의 추력을 90%(146kW)로 하여 선회시험을 한 경우, 임의각도에 도달하기까지의 소요시간은 타각 10°인 경우 약 10초 정도 단축되었으나 20°, 30°인 경우 약간 단축되는 경향을 보였으며, 여기서 알 수 있는 것은 동일한 조타각에 대하여 선속이 빨라질 수록 타압이 증가하여 선회모멘트가 커짐으로 인해 각속도도 빨라진다. 그리고 선수 스러스터를 동시에 사용한 경우 선수 스러스터의 출력이 높아짐으로 인한 선회효과보다 조타각이 증가함으로 인하여 커지는 선회효과가 선회경의 감소와 각속도의 증가에 더 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

Table 18. Turning time according to rudder angle with bow thruster 90%, 720rpm

ITEM Heading angle	rudder 10°		rudder 20°		rudder 30°	
	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)	Port (sec)	Starboard (sec)
0°	0	0	0	0	0	0
90°	83	82	57	60	50	53
180°	145	145	98	106	82	90
360°	278	267	185	184	158	156
Average of Angular velocity	1.3°/sec	1.3°/sec	1.9°/sec	1.9°/sec	2.3°/sec	2.3°/sec

IV. 요약

본 연구에서는 사이드 스텔러가 조종성능에 미치는 영향을 파악하기 위하여 선수 스텔러를 장치한 제주대학교 실습선 아라호(G/T 990ton)를 이용하여 2004년 5월 20일과 21일 양일간에 걸쳐 우리나라 남해안 여서도 근해에서 타와 선수 스텔러를 사용하여 실습선 아라호의 선회성능을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 타각이 10°일 때와 20°일 때의 선회경의 차이가 타각이 20°일 때와 30°일 때의 차이보다 크게 나는 이유는 타각이 일정한 각도를 넘어서게 되면 타효능이 선형적으로 변하지 않았음을 알 수 있었으며, 또한 같은 타각으로 조타를 하였음에도 불구하고 좌현선회시가 우현선회시보다 선회경이 짧게 나타나고 있음을 알 수 있다.



2. 타와 선수 스텔러를 동시에 사용한 선회성능은 스텔러의 출력에 의한 선회효과 보다 조타각의 증가에 따른 선회효과가 선회경의 크기와 선회 각속도의 크기에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

3. 기관회전수 550rpm, 전속 10.0 ~ 10.5knot에서 선형 회귀식에 의한 분석결과 선수 스텔러가 선회성능에 미치는 영향은 타각의 3° ~ 5° 정도였고, 그 효능은 대각도의 타각이 될수록 점차적으로 타에 의해서 상쇄되는 것으로 알 수 있었다.

이상의 결과를 요약하면, 선수 스텔러가 선박의 선회시 선회성능에 미치는 영향은, 전속 대각도 선회시 보다, 저속 소각도 선회시가, 그리고 선회각 180° 이상 정상선회시 보다, 초기선회시, 선체의 회두에 미치는 영향이 더 크게 나타남을 알 수 있다. 또한, 조선힬역이 한정된 협수로나 항내에서의 피항조선 및 입출항 조선시는 타만을

이용한 선회시보다, 타와 사이드 스텔러를 동시에 사용한 선회시가 선회중거 및 선회경의 크기 등 선회성능에 미치는 영향이 크게 나타남을 알 수 있으며, 본 시험에 사용한 실습선 아라호의 선회성능은 좌현선회시가 우현선회시 보다 선회성능이 양호함을 알 수 있다.



참고문헌

- 美國造船學會 編, 任尙鍊 譯 : 『基本造船學』, 대한교과서주식회사, 1971, pp759-765,
- 朴明昊 : “實習船 아라호(A-RA)의 操縱性能에 관한 研究”, 제주대학교, 2001.
- 김용주·김재식 : “선회시험에 의한 선체의 조종성능에 관한 연구”, 여수수산대학교논문집 제10권, 1996.
- 安瑛化 外 : 『船舶運用學 -操縱編-』, 有一文化社, 1998, pp19-20.
- 尹点東 著 : 『船舶操縱의 理論과 實務(操船論)』, 세종출판사, 1997, pp31-32.
- 이덕수 : “중합항법 장치 및 GPS를 이용한 실선 시운전 선박 조종성능의 계측”, 한국항해학회지 제20권 제1호, pp11-13.
- 손경호·김용민 : “타의 크기가 조종운동시 선미 유동 특성에 미치는 영향”, 한국항해학회지 25(1), 2001.
- 鄭公忻·安長滌·安瑛化 : “舷側式트로울漁船 濟州 401號의 操縱性能에 關한 研究, 濟州大學論文集 第5輯, 1987, 45-50.
- 최순호 外 : “Azimuth Thruster 성능 시험”, SNAK, Ulsan 9-10, 2000, pp164-167.
- IMO, “Interim Standards for Ship Manoeuvrability”, Resolution A.751(18), 1993.
- 강창구 : “IMO 선박조종성기준”, 대한조선학회지, 제30권 제2호, 1993.
- 강용균·이문진 : “GPS수신기를 이용한 DGPS의 정밀측위”, 한국지형공간학회지 논문집 제3권 제2호, 1996, pp15-18,
- 本田啓之輔 : 『操船通論』, 成山堂書店, 1986
- Masataka Fujino : “On the Effectiveness of side thrusters”, Journal of SNAK, Vol. 14, No. 2, June, 1977
- Yoshiji FUJISHIGE, et al. : “若潮丸IVのサイドステスタ實船實驗について”, NAVIGATION 132号, 1997, pp51-58.

- ・ 森 正彦：“サイド・ステスタ-の性能について <1>~<5>”，船の科学, Vol 51, 1998
- ・ 山 崎・石原泰明：“スキュー分布の異なる可変ピッチ式 サイドステスタの性能”，日本造船學會論文集 第187号
- ・ 山 崎・石原泰明：“スキュー分布の異なる可変ピッチ式 サイドステスタの性能”，日本造船學會論文集 第188号



감사의 글

부족함이 많은 저를 늘 일깨워 주시고, 이 논문이 완성되기까지 정열과 성의로 아낌없는 지도와 편달을 해 주신 안영화 교수님께 이 자리를 빌어 깊은 감사를 드립니다.

아울러 바쁘신 와중에도 미흡한 논문을 세심하고 자상하게 다듬어 주신, 정용진 교수님과 최찬문 교수님께 진심으로 감사를 드리며, 항상 깊은 관심과 따뜻한 조언을 아끼지 않으셨던 서두옥 교수님, 안장영 교수님, 김석종 교수님, 강창남 교수님께도 감사를 드립니다.

그리고, 이 연구를 원활히 수행할 수 있도록 배려를 해주신 제주대학교 실습선 아라호의, 양석훈 1항해사님, 강승완 2항해사님, 이창현 3항해사님, 강성국 갑판장님, 임봉식 국장님, 오치덕 조리장님과 아라호 직원분들께도 고마움을 전하고자 합니다. 특히, 이 논문의 시작부터 끝까지 연구를 행함에 있어서 많은 조언을 해주신 김병엽, 김준택, 고준철 선배님, 그리고 힘이 들 때마다 응원과 도움을 아낌없이 주셨던 김홍수, 전철용 선배님께 다시 한번 감사를 드립니다.

그리고, 어려울 때 아낌없이 도움을 준 김병기 학우님, 자신들의 논문을 쓰면서라도 힘들 때 마다 도움을 준 구명성, 안젼마 학우님, 멀리 타지에 있으면서도 항상 격려와 응원을 해주었던 김승균 후배님, 힘든 일을 도맡아 도와준 양진성 후배님께 진심으로 감사를 드립니다.

끝으로, 자식의 밝은 미래를 위해 사랑과 정성으로 희생을 아끼지 않고 심혈을 다해 뒷바라지 해 주신 아버지와 어머니, 멀리 중국에서 힘들게 공부하면서도 형에 대한 걱정에 많은 격려를 해준 동생 지훈이, 그리고 항상 밤이 늦도록 일을 하면서도 응원과 격려를 보내준 내 친구들에게 이 결실을 드립니다.