

# 타각과 선속에 따른 선회권의 변화 - 실습선 가야호 -

김민석<sup>†</sup> · 신현옥 · 강경미 · 김민선

부경대학교

## Variation of the Turning Circle by the Rudder Angle and the Ship's Speed

- Mainly on the Training Ship KAYA -

Min-Seok KIM<sup>†</sup>, Hyeon-Ok SHIN, Kyoung-Mi KANG and Min-Seon KIM

Pukyong National University

The size of the ship's turning circle is influenced by various factors, such as block coefficient, underwater side shape, rudder area ratio, draft, trim and Froude's number. Most of them are already fixed on departure from a port. However, the ship's speed and the rudder angle are controllable factors which operators are able to change optionally during sailing. The DGPS measured the turning circles according to the ship's speed and the rudder angle. The maximum advances by slow and full ahead were 302m and 311m, and the maximum transfers were 460m and 452m, respectively. There occurs almost no difference in size of the turning circle by variation of the ship's speeds. When the rudder angles were changed to 10°, 20° and 30°, the maximum advances were 447m, 271m and 202m, and then also the maximum transfers 657m, 426m and 285m, respectively. The diameter of the tuning circle was decreased exponentially when the rudder angle was increased. The maneuverability was better when the direction of turning and propulsion of propeller are in the opposite direction rather than in the same one together. The distance of the maximum transfer was always bigger than that of the maximum advance.

Key words : block coefficient(방형비척계수), underwater side shape(수중 선체측면형상), rudder area ratio(타면적비), Froude's number(Froude 수), maneuverability(조종성능), maximum transfer(최대선회횡거), maximum advance(최대선회종거)

### 서론

선박에서 선회운동은 가장 빈번하게 행해지고 있는 선체운동 중의 하나이다. 선박은 모항을 출항하여 다시 모항에 접안 완료할 때까지 지정된 항로를 따라서 진행하지만 선박간의 충돌회피동작을 취하

<sup>†</sup>Corresponding author : minskim@pknu.ac.kr

거나, 선박의 통항이 폭주한 해역에서의 항행, 한정된 좁은 묘박지에서 선박들 사이 또는 항내의 좁은 수역에서 입출항이나 접·이안 등을 위한 조종 등 상황에 따라서 빈번하게 선박을 회두시켜야 할 경우가 많다.

그런데 선박의 회두운동에 따른 선회권의 크기는 당시의 기상이나 해황 등 자연적인 조건과 선박의 길이와 폭, 깊이, 배수량에 의한 선형 및 선속, 타각 등과 같은 선체운동에 직접 영향을 미치는 요인들에 의해 그 크기가 달라진다.

실습선 가야호의 경우, 조선소에서 시운전 당시 선회권의 크기가 측정되었으나, 당시의 측정은 경하 배수의 상태에서 측정된 것으로 실제 항해 시에는 유류, 청수, 주·부식 등 보급품과 함께 학생 및 실습관련 인원들의 승선으로 인하여 공시운전 당시와 실제운항시의 여건과는 많은 변화가 있는 것이 사실이다.

이러한 변화는 선회권의 크기에도 당연히 영향을 미치기 때문에 배수량의 증가에 따른 선회권의 크기를 정량적으로 파악해 둘 필요가 있다. 이처럼 선회권의 크기에 영향을 미치는 요인들이 많이 있으나, 대부분의 경우 선박이 출항과 동시에 이미 결정된 요인들이나 선속과 타각은 조선자의 필요에 따라 수시로 변화를 줄 수 있는 요인들이다.

프로펠러 회전방향과 선회권의 크기에 대해서 프로펠러 회전방향과 선회방향이 서로 다를 때 선회성이 좋다는 주장<sup>1-5)</sup>과 반대의 주장<sup>6,7)</sup>을 하는 경우가 있으나, 확실한 이론적 근거를 세운 것은 아니었다.

선체운동 중에 선회운동은 항행 중 타선과의 충돌회피동작이나 접·이안 등 좁은 수역에서 회두를 해야만 하는 상황에서 조선자는 선회권의 크기를 정량적으로 파악하고, 선회특성을 이해함으로써 안전하게 소기의 목적을 이룰 수가 있다.

그런데 지금까지의 선회권의 측정은 주로 부표방위방법에 의해서 선회권을 측정했는데, 이 방법은 측정이 용이하다는 장점이 있는 반면 측정하는 동안 바람이나 조류의 영향이 심할 경우나, 선회하는 동안 부표가 선수나 선미에 있는 관측자의 사각지대를 통과할 경우에는 측정이 곤란하거나 측정치에 오차가 포함될 수 있는 단점이 있다.

또 부표방위방법 이외의 다른 방법에 의한 선회권 측정으로는 増島宏明 등<sup>8)</sup>은 Loran C, Decca, GPS 등에 의해 실험해 본 결과 GPS에 의한 실험

의 결과에 신뢰성을 두고 있으며, 宮崎博行 등<sup>9)</sup>은 GPS의 측위정도가 높은 점을 이용하여 선박의 조종특성을 발표하였다.

여기에서 필자들은 항해시 가장 많이 사용하는 전속전진과 항내 항행이나 접·이안시 가장 많이 사용하는 미속전진일 때 타각에 따른 선회권의 크기를 정량적으로 파악하기 위하여 선박의 통항, 바람, 조류의 영향이 거의 없는 제주도 동남해역과 육지도 부근해역에서 2004년 6월 29일과 2004년 7월 29일 부경대학교 실습선 가야호와, 기준국으로부터 100마일 이내에 위치할 경우 위치측정 오차가 1m 내외로 알려진 측량용 DGPS<sup>10)</sup> 수신기를 이용하여 선회권을 측정하고 선박이 선회할 때 가장 많이 이용하는 최대종거와 최대횡거에 대하여 분석·검토하였다.

## 재료 및 방법

### 실험장치의 구성

선속에 따른 선회권의 크기를 측정하기 위하여 본 실험에 사용한 DGPS 위치 데이터 수신시스템은 Fig. 1과 같고, GPS 수신기의 사양은 Table 1와 같으며, 비콘수신기의 사양은 Table 2와 같다.

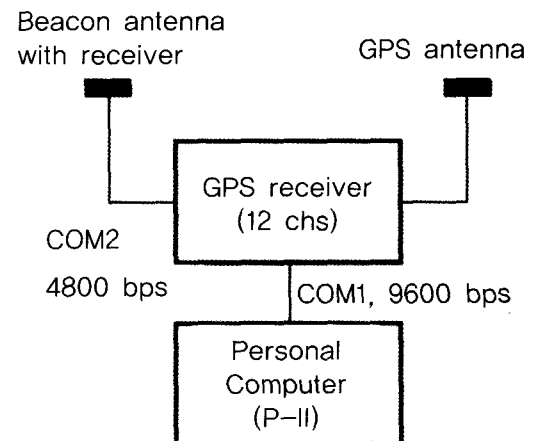


Fig. 1. Configuration of the DGPS data acquisition system.

DGPS 위치 데이터 수신시스템은 실시간 정밀 측량용으로 자주 사용되는 1주파용 12채널 GPS 수신기(Novatel Co, RT-20), 비콘수신기(CSI Wireless

Co SBA-1) 및 IBM 호환기종인 퍼스널컴퓨터 (P-II, 233MHz)로 구성하였다. 데이터 수신에 사용하는 소프트웨어는 DGPS 수신기의 각종 기능을 설정할 때 사용하는 GPSolution (Novatel Co, Ver.2.2)이었다.

GPSolution 소프트웨어상의 통신기능을 이용하여 비콘수신기에서 출력되는 위치보정 신호가 GPS수신기에서 인식될 수 있도록 적절한 명령을 입력하면, GPSolution 소프트웨어의 위치정보를 나타내는 창에서 GPS수신기의 모드가 Single에서 Differential 바뀌고 이 때부터 DGPS모드로 위치를 구하기 때문에 위치측정 정도가 약 1m인 상태에서 위치를 구할 수 있다.

Table 1. Specifications of the GPS receiver and antenna

Item	Specifications
GPS receiver	Model RT-20
Frequency	L1, 1575.42 MHz (C/A Code)
Channels	12 independent tracking channel
Computed data updata rate	up to 10 solutions per second
Measured data updata rate	up to 20 data records per second
Position accuracy	
Standalone	15m CEP (SA off) GDOP < 2
RTK mode	20cm CEP nomial
Static mode	10cm RMS, 3 minutes, no multipath
GPS antenna for rover	Model 521
Gain and size	26±3dB and 5.6cm diameter

Table 2. Specifications of the beacon receiver with antenna

Item	Specifications
Beacon receiver with antenna	Model SBA-1
Receiver channels	2 independent channels
Frequency range	283.5 to 325.0 kHz
Channel spacing	500 Hz
Cold/Warm start time	<1 min/2 sec
Sensitivity	1.0 μV/m for 6 dB SNR at 200 bps
Dynamic range	100 dB
Correction output protocol	RTCM SC-104
Communications	RS-232C, 4800 bps
Dimensions	128 mm square × 84 mm high

**측정방법**

선회권 측정은 부경대학교 실습선 “가야호”를 이용하여 2004년 6월 29일 제주도 동남단 부근과

2004년 7월 28일 목지도 근해에서 실시하였으며, 실시한 장소는 Fig. 2와 같고, 실습선의 주요 요목은 Table 3과 같으며, 선회권 측정중의 해상의 상태는 Table 4와 같다.

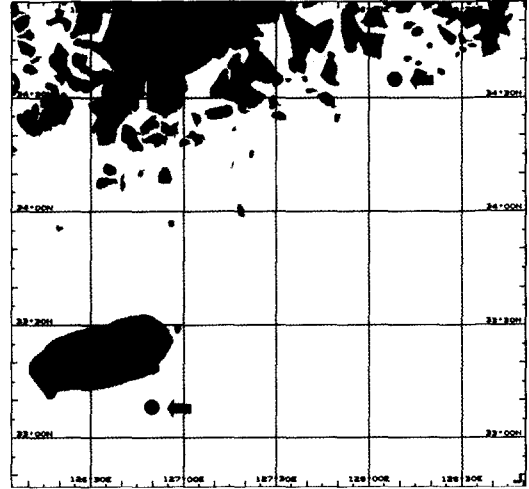


Fig. 2. The trial sea area.

Table 3. Principal particulars of M.S KAYA

Item	Specifications
L.O.A	81.7m
L.B.P	72.5m
B.Md	13.2m
Draft	F. 3.6m A. 5.6m
Gross tonnage	1,737tons
Displacement tonnage	2,821.7tons
Rudder area	2.50×3.80m <sup>2</sup>
Main Engine	2,960ps × 250rpm
Turning direction of propeller	C.C.W
No. of blades	4
Max. Speed	14.8kts

Table 4. Trial condition of the sea

Items	Conditions
Depth	100m
Wind direction	190~205°
Wind force	4 m/s
Current direction	20°~30°
Current speed	0.3~0.4kts
Weather	Cloudy

풍향풍속은 실습선에 부착된 풍향풍속계로 선회권을 측정하기 전에 측정하였으며, 유향유속은 선회권 시험 후 정선상태에서 본선의 우현측 수면으로부터 5m 깊이에 전자유속계(ALEC, ACM210-D)를 내려 5분간의 순간 유향, 유속을 평균하였다.

선회권 측정시 실습선의 속력은 엔진 RPM (revolution per minute)을 240으로 고정시킨 상태에서 피치를 조정하여 전진미속(Pitch: 40%, 선속: 6.0kts) 전속(Pitch: 90%, 13kts)으로 하였고, 타각은 10°, 20°, 30°로 하여 각각 좌선회, 우선회를 실시하였다.

DGPS 위치 데이터 수신시스템의 GPS 안테나와 비콘 안테나는 선박의 컴퍼스 데크의 우현측 가장자리에 있는 핸드레일에 설치하였고, GPS수신기와 퍼스널 컴퓨터는 항해실습실에 설치하였다.

선회권 측정은 선박들의 통항과 바람과 조류의 영향이 거의 없고, DGPS기준국인 마라도와 거문도로부터 모두 50마일 이내의 해역을 선정하여 실시하였으며, GPS수신기의 위치 데이터는 1sec 간격으로 퍼스널 컴퓨터에 저장하였다.

## 결과 및 고찰

### 타각 10°일 때의 선회권

#### 미속전진

미속전진하면서 타각을 좌·우현으로 각각 10°씩 취했을 때의 선회권의 크기는 Fig. 3과 같다.

항행중 선회시에 가장 많이 고려해야 할 선박의 성능 중의 하나는 최대종거와 최대횡거이다.

Fig. 3에서 최대종거를 DA, 최대횡거를 DT로 나타내었으며, 최대종거는 좌선회할 때와 우선회할 때 각각 485.5m, 466.5m로서 좌선회할 때가 우선회할 때보다도 19m 더 컸으며, 최대횡거는 좌선회할 때와 우선회할 때 각각 678.5m, 619.5m로서, 좌선회할 때가 우선회할 때보다도 59m 더 크게 나타났다. 또 좌선회할 때 최대종거와 최대횡거는 각각 485.5m, 678.5m로서, 그 비는 1:1.39로 최대종거보다도 최대횡거가 크게 나타났고, 우선회할 때 최대종거와 최대횡거는 각각 466.5m, 619.5m로, 그 비는 1:1.32로 최대종거보다도 최대횡거가 큰 것으로 나타났으나, 좌선회의 경우처럼 그 비가 비슷하였다. 따라서 우선회할 때와 좌선회할 때 선회권의 모양이 서로 비슷함을 알 수 있다.

#### 전속전진

전속전진하면서 타각을 좌·우현으로 각각 10°씩 취했을 때의 선회권의 크기는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에서 최대종거는 좌선회할 때와 우선회할 때 각각 467m, 371.5m로서, 좌선회할 때가 우선회할 때보다도 95.5m 더 컸으며, 최대횡거는 좌선회할 때와 우선회할 때 각각 752.5m, 578m로서, 좌선회할 때가 우선회할 때보다도 174.5m 더 크게 나타났다. 또 좌선회할 때 최대종거와 최대횡거는 각각 467m, 752.5m로서, 그 비는 1:1.61로 최대종거보다도 최대횡거가 훨씬 크게 나타났고, 우선회할 때 최대종거와 최대횡거는 각각 371.5m, 578m로서, 그 비는 1:1.55이었고, 최대종거보다도 최대횡거가 크게 나타났으나, 좌우선회 모두 그 비는 큰 차이가 없었다.

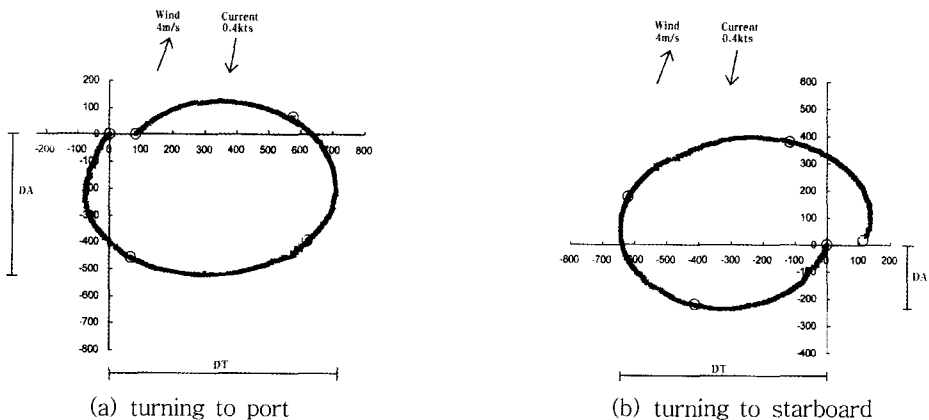


Fig. 3. The size of the turning circle by the rudder angle 10° with slow ahead.

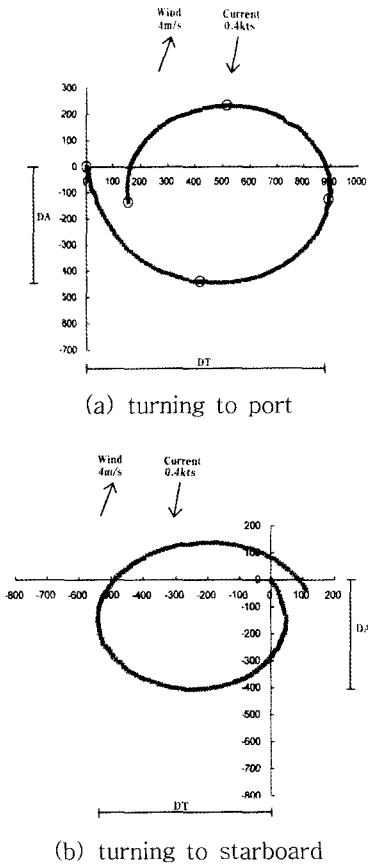


Fig. 4. The size of the turning circle by the rudder angle 10° with full ahead.

한편 미속과 전속으로 좌선회할 때 최대종거는 각각 485.5m, 467m로, 전속일 때 18.5m 정도 작았고, 우선회할 때는 최대종거가 미속과 전속시에 각각 466.5m, 371.5m로, 그 차이가 전속일 때 95m나 작게 나타났다. 또 미속과 전속으로 좌선회할 때 최대횡거는 각각 678.5m, 752.5m로, 전속일 때 74m나 크게 나타났고, 우선회할 때는 각각 619.5m, 578m로, 미속일 때 41.5m 더 크게 나타나서 전속에 의한 선회권의 크기를 구분하기 어려워서 Froude number가 0.3 이하일 경우 선회경은 전속의 영향을 크게 받지 않는다는 金<sup>11)</sup>의 결과와 일치함을 알 수 있다. 한편 일반적으로 single screw 선박의 경우, screw 회전방향과 같은 방향으로 선회할 때가 선회권이 크다고 하는 경우<sup>1-5)</sup>와 그 반대의 경우를 보고하여<sup>6,7)</sup> 서로 주장을 달리하고 있으나, 확실한 이론적 근거를 세운 것은 아니며 본

실험의 경우 志波久光<sup>1)</sup>, 岩井聰<sup>2)</sup>, 木田啓二輔<sup>3)</sup>, 倉田政次<sup>4,5)</sup> 등의 결과와 일치함을 알 수 있다.

따라서 타각을 10°로 하여 선회할 경우, 우선회할 때가 좌선회할 때보다도 선회성능이 좋은 것으로 나타났고, 전속에 의한 선회권 크기는 차이는 구별하기 어려웠다.

### 타각 20°일 때 선회권

#### 미속전진

미속전진하면서 타각을 좌·우현으로 각각 20°씩 취했을 때의 선회권의 크기는 Fig. 5와 같다.

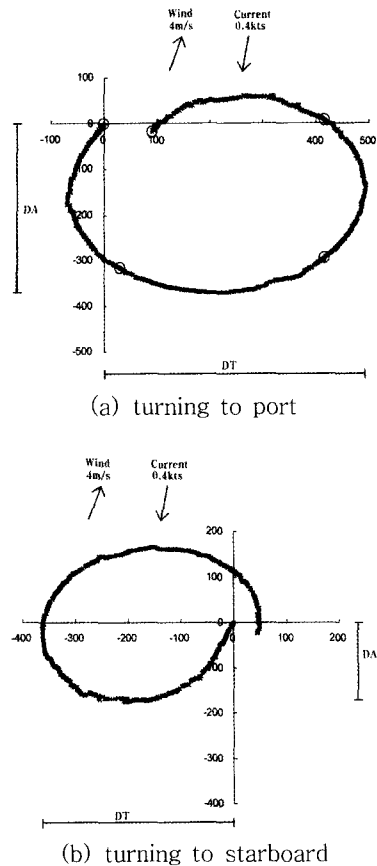


Fig. 5. The size of the turning circle by the rudder angle 20° with slow ahead.

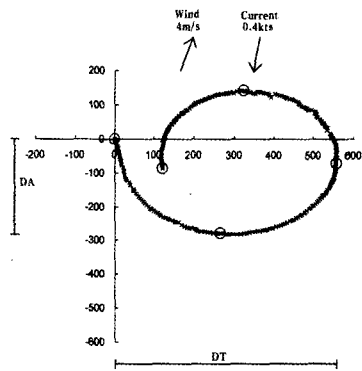
Fig. 5에서 최대종거는 좌선회할 때와 우선회할 때 각각 301.5m, 197.5m로서, 좌선회할 때가 우선회할 때보다도 104m 더 컸으며, 최대횡거는 좌

선회할 때와 우선회할 때 각각 484.5m, 400.5m로서, 좌선회할 때가 우선회할 때보다도 84m 더 크게 나타났다. 또 좌선회할 때 최대종거와 최대횡거는 각각 301.5m, 484.5m로서, 그 비는 1:1.60으로 최대종거보다도 최대횡거가 훨씬 크게 나타났다.

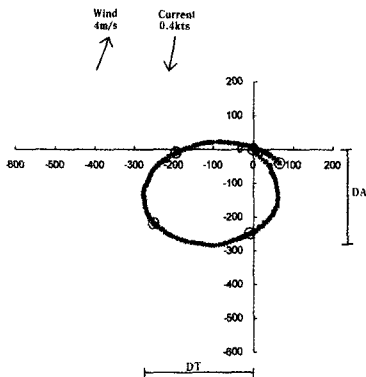
우선회할 때도 최대종거와 최대횡거는 각각 197.5m, 400.5m로서, 그 비가 1:2.02로 최대종거보다도 최대횡거가 크게 나타났고, 우선회할 때보다도 그 비가 매우 크게 나타나서 미속전진하면서 타각을 10°로 하여 측정한 선회권의 경우보다도 더 긴 타원형의 모양을 하고 있음을 알 수 있다.

**전속전진**

전속전진하면서 타각을 좌우현으로 각각 20°씩 취했을 때의 선회권의 크기를 나타내면 Fig. 6과 같다.



(a) turning to port



(b) turning to starboard

Fig. 6. The size of the turning circle by the rudder angle 20° with full ahead.

Fig. 6에서 최대종거는 좌선회할 때와 우선회할 때 각각 312.5m, 272.5m로서, 좌선회할 때가 우선회할 때보다도 40m 더 컸으며, 최대횡거는 좌선회할 때와 우선회할 때 각각 483.5m, 337m로서, 좌선회할 때가 우선회할 때보다도 146.5m 더 크게 나타났다. 또 좌선회할 때 최대종거와 최대횡거는 각각 312.5m, 483.5m로서, 그 비는 1:1.54로 최대종거보다도 최대횡거가 훨씬 크게 나타났고, 우선회할 때도 최대종거와 최대횡거는 각각 272.5m, 337m로서, 그 비는 1:1.23으로 우선회할 때가 좌선회할 때보다도 선회권의 모양이 원형에 가까움을 알 수 있다.

한편 미속과 전속으로 좌선회할 때 최대종거는 각각 301.5m, 312.5m로, 미속과 전속일 때 차이는 11m로 차이가 작았으나, 우선회할 때는 최대종거가 각각 197m, 272.5m로, 그 차이가 전속일 때 75.5m나 크게 나타났다.

또 미속과 전속으로 좌선회할 때 최대횡거는 각각 484.5m, 483.5m로, 선속에 따른 차이는 없었으며, 우선회할 때는 각각 400.5m, 337m로, 미속일 때 최대횡거가 63.5m 크게 나타나서 선속에 의한 선회권의 크기를 구분하기 어려웠다. 타각을 20°로 하여 선회를 하였을 경우도 좌·우 회주시 선회권의 크기는 타각을 10°로 하였을 경우와 같은 현상을 나타내었다.

따라서 타각을 20°로 하여 선회할 경우도 우선회할 때가 좌선회할 때보다도 선회능력이 좋은 것으로 나타났고, 선속에 의한 선회권의 크기는 구분하기 어려웠다.

**타각 30°일 때 선회권**

**미속전진**

미속전진하면서 타각을 좌·우현으로 각각 30°씩 취했을 때의 선회권의 크기는 Fig. 7과 같다.

Fig. 7에서 최대종거는 좌선회할 때와 우선회할 때 각각 216.5m, 146m로서, 좌선회할 때가 우선회할 때보다도 70.5m 더 컸으며, 최대횡거는 좌선회할 때와 우선회할 때 각각 306.5m, 275m로서, 좌선회할 때가 우선회할 때보다도 31.5m 더 크게 나타났다. 또 좌선회할 때 최대종거와 최대횡거는 각각 216.5m, 306.5m로서, 그 비는 1:1.41로 최대종거보다도 최대횡거가 큰 것으로 나타났다.

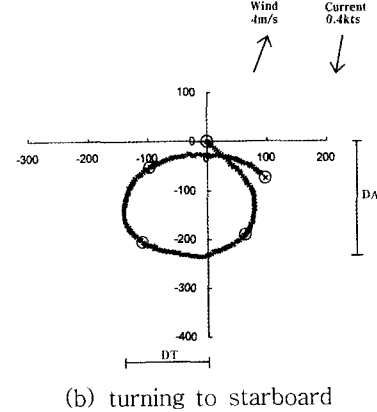
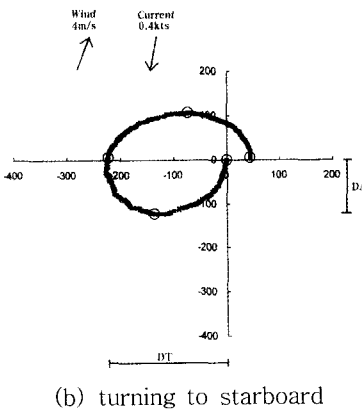
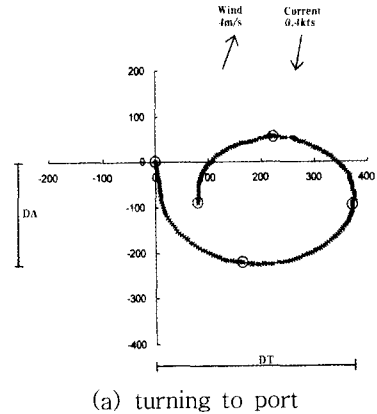
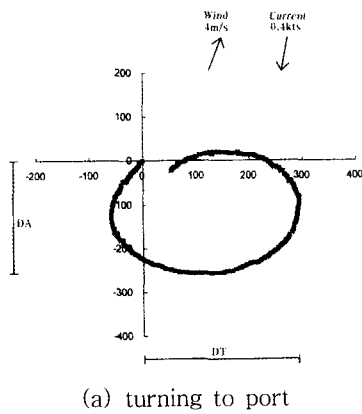


Fig. 7. The size of the turning circle by the rudder angle  $30^\circ$  with slow ahead.

Fig. 8. The size of the turning circle by the rudder angle  $30^\circ$  with full ahead.

우선회할 경우 최대종거와 최대횡거는 각각 146m, 275m로서, 그 비도 1:1.88로 최대종거보다도 최대 횡거가 큰 것으로 나타났고, 그 비도 좌선회의 경우 보다 컸다.

**전속전진**

전속전진하면서 타각을 좌·우현으로 각각  $30^\circ$ 씩 취했을 때 선회권의 크기는 Fig. 8과 같다.

Fig. 8에서 최대종거는 좌선회할 때와 우선회할 때 각각 233m, 212.5m로서, 좌선회할 때가 우선회할 때보다도 20.5m 더 컸으며, 최대횡거는 좌선회할 때와 우선회할 때 각각 321m, 240m로서, 좌선회할 때가 우선회할 때보다도 81m 더 크게 나타났다. 또 좌선회할 때 최대종거와 최대횡거는 각각 233m, 321m 이었고, 그 비는 1:1.37로 최대종거보다도 최대횡거가 컸고, 우선회할 경우 최대종거와

최대횡거는 각각 212.5m, 240m로, 그 비는 1:1.12로 좌선회할 때 선회권의 모양은 원형에 가까웠다.

한편 미속과 전속으로 좌선회할 때 최대종거는 각각 216.5m, 233m로, 미속과 전속일 때 차이는 16.5m로, 전속일 때가 미속일 때보다도 최대종거가 컸고, 우선회할 때는 최대종거가 각각 146m, 212.5m로, 전속일 때 66.5m로 크게 나타났다. 또 미속과 전속으로 좌선회할 때 최대횡거는 각각 306.5m, 321m로, 전속일 때가 14.5m 큰 것으로 나타났고, 우선회할 때는 각각 275m, 240m로, 미속일 때 최대횡거가 35m 크게 나타나서 전속에 의한 선회권의 크기를 구분하기가 어려웠다.

따라서 타각이  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ 일 경우와 마찬가지로  $30^\circ$ 를 취하여 회두할 경우도, 우선회할 때가 좌선회할 때보다도 선회성능이 좋은 것으로 나타났고, 전속에 의한 선회권의 크기는 구분하기 어려웠다.

4. 타각에 따른 최대종거 및 최대횡거의 변화

본 실험에서 2회 측정된 자료를 이용하여 타각에 따른 최대종거와 최대횡거의 변화를 나타내면 Table 5와 같다.

Table 5에서 타각(x)이 10°, 20°, 30°일 때의 최대종거(y)와 최대횡거(y1)에 대하여 상관식을 구한 결과는 식 (1) 및 (2)와 같다.

$$y = 643.6e^{-0.0397x} \tag{1}$$

$$y1 = 991.4e^{-0.041x} \tag{2}$$

이들 식 (1), (2)의 상관계수도 각각 -0.988, -0.999로 상관도가 매우 높은 것으로 나타났으며, (1)과 (2)식에 의해 타각이 5°, 15°, 25°, 35°일 때의 최대종거와 최대횡거를 구하여 Fig. 9에 나타내

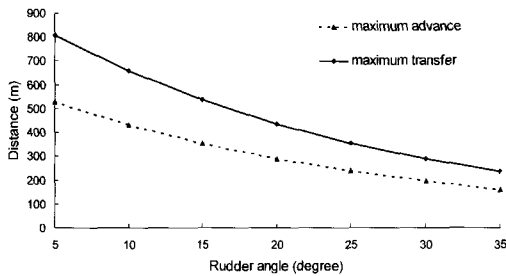


Fig. 9. Variation of the maximum advance and transfer according to each rudder angle.

어 선박의 운항자들에게 타각에 따른 선회권의 크기를 파악하는데 도움이 되도록 하였다.

결 론

선회권의 크기에 영향을 미치는 요인들은 많이 있으나 항행 중 선박의 조종자가 임의대로 변경해 가면서 수시로 조정할 수 있는 요인으로는 선속과 타각이 있다. 기준국으로부터 100마일 이내의 범위에 이동국이 있을 경우 측위정도가 1m 내외 정도로 알려진 DGPS를 이용하여 선속과 타각에 의한 선회시 가장 많이 이용되는 최대종거와 최대횡거를 측정한 결과는 다음과 같다.

미속과 전속에 의한 선회시 최대종거는 각각 302m, 311m이고, 최대횡거는 각각 460m 452m로서, 선속에 의한 선회권의 크기는 거의 비슷하였다.

타각이 10°, 20°, 30°일 때 최대종거는 각각 447m, 271m, 202m이었고, 최대횡거는 각각 657m, 426m, 285m로서, 타각(x)이 커짐에 따라 최대종거(y)와 최대횡거(y1)는 지수함수적으로 작아졌고 다음과 같은 상관식을 구했다.

$$y = 643.6e^{-0.0397x}$$

$$y1 = 991.4e^{-0.041x}$$

Table 5. Variation of maximum advance and transfer according to rudder angle (unit: m)

Rudder Angle	Speed	TurningSide	Max.Advance			Max.Transfer		
			Trial 1	Trial 2	Average	Trial 1	Trial 2	Average
10°	Slow	Port Stb'd	517	454	485.5	780	577	678.5
			653	280	466.5	646	593	619.5
10°	Full	Port Stb'd	453	481	467.0	904	601	752.5
			407	336	371.5	593	563	578.0
20°	Slow	Port Stb'd	372	231	301.5	568	401	484.5
			181	214	197.5	364	437	400.5
20°	Full	Port Stb'd	281	344	312.5	561	406	483.5
			284	261	272.5	331	343	337.0
30°	Slow	Port Stb'd	259	174	216.5	366	247	306.5
			125	167	146.0	227	323	275.0
30°	Full	Port Stb'd	222	244	233.0	376	266	321.0
			231	194	212.5	224	256	240.0



좌·우선회시 선회권의 크기는 항상 screw의 회전과 같은 방향인 좌선회할 때 선회권의 크기가 커서 우선회할 때 선회성능이 좋음을 알 수 있었다.

최대중거에 대한 최대횡거의 평균치는 좌선회의 경우 1.48, 우선회의 경우 1.52로 최대 횡거가 항상 컸다.

### 참고문헌

- 1) 志波久光(1971) : 舵와旋回, 成山堂, 28-41.
- 2) 岩井聰(1982) : 操船論, 海文堂, 11-50.
- 3) 本田啓二輔(1982) : 基本運用術, 海文堂, 99-106.
- 4) 合田政次, 久野俊行, 重根重勝(1992) : GPSを用いての旋回圈の測定, 航海 114號, 日本航海學會, 32-37.
- 5) 合田政次, 久野俊行, 重根重勝(1992) : GPSを用いての旋回圈の測定-II. -小型船舶の旋回圈-, 航海 121號, 日本航海學會, 36-39.
- 6) 齊名景義(1953) : 船舶運用術, 成山堂, 149-157.
- 7) 大串雅信(1990) : 理論船舶工學, 海文堂, 251-257.
- 8) 増島宏明, 花房元顯, 河内尚, 佐藤志朗, 菊岡仁(1991) : GPS利用について -旋回實驗の結果報告-, 航海 109號, 8-16.
- 9) 花房元顯, 宮崎博(1995) : GPS單獨測位による小型船舶操縦性能試驗結果, 航海 126號, 12-20.
- 10) 신현옥, 김민선(2003) : 정적 후처리방식에 의한 GPS의 측위정도 개선, 한국어업기술학회지 39(4), 251-261.
- 11) 金鎮乾(1999) : 船舶運用學(操縱論), 有一文化社, 24-27.

---

2005년 3월 7일 접수

2005년 4월 18일 수리