

船速이 旋回圈에 미치는 影響에 관한 研究

金 基 允

釜慶大學校

(1999년 5월 24일 접수)

The Effect of the Speed of a Ship on Her Turning Circle

Ki-Yun KIM

Pukyung National University

(Received May 24, 1999)

Abstract

The turning circle of a ship is the path followed by her center of gravity in making a turn of 360° degrees or more with helm at constant angle. But generally it means her path traced at full angle of the rudder. For the ordinary ship the bow will be inside and the stern outside this circle.

It has been usually understood that the turning circle is not essentially affected by ship's speed at Froude numbers less than about 0.30. However, it is recently reported that the speed provide considerable effects upon the turning circle in piloting many ships actually at sea.

In this paper, the author analyzed what effects the speed could provide on the turnig circle theoretically from the viewpoint of ship motions and examined how the alteration of the speed at Froude no. under 0.30 affect the turning circle actually, through experiments of actual ships of a small and large size.

The main results were as follows.

1. Even though ship's speed at Froude no. under 0.30, the alteration of the speed affects the turning circle considerably.

2. When the full ahead speeds at Froude no. under 0.30 of small and large ships were increased about 3 times slow ahead speeds, the mean rates of increase of the advances, tactical diameters and final diameters of thease ships were about 16%, 21% and 19% respectively.

3. When the full ahead speeds at Froued no. under 0.30 of small and large ships were increased about 3 times slow ahead speed, the mean rate of increase of the turning circle elements of large ships was greater 10% than that of small ships.

4. When the full ahead speeds at Froued no. under 0.30 ofsmall and large ships were increased about 3 times slow ahead speeds, the mean rates of increase of the tactical diameter and final diameter of thease ships were greater than that of the advances of thease ships.

※ 이 논문은 1998년도 대학자체 연구과제 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

5. When only alteration of speed or ship's head turning is the effective action to avoid navigational fixed hagdars, reducing the speed is always more advantageous than increasing the speed in orde to shorten fore or transverse distance.

緒 論

선회권이란 선체가 타를 중앙으로 하여 직진하는 상태에서 상당한 타각을 주고 그 타각을 계속하여 취한 그대로 두었을 때, 선체의 회두가 360° 이루어질 때까지 선체의 무게 중심점이 그리는 원에 가까운 곡선상의 선회궤적을 말하며, 일반적으로는 최대타각을 취하였을 때의 것을 말한다.

선회권의 크기에 영향을 주는 요소는 여러 가지가 있으나, 이 중 선속이 선회권에 미치는 영향에 관한 지금까지의 연구보고에 의하면, 선속은 선회권에 영향을 미치는는 하지만 Froude 수가 0.3 이하의 선속에서는 선속은 선회권에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 되어있다¹⁻⁴⁾. 그러므로 실제 조선자들도 선속이 선회권에 미치는 영향에 대해서는 크게 유의하지 아니하여 왔다⁴⁾.

그러나, 우리가 실제 여러 선박들을 조선하여 경험적으로 판단하여 보면 Froude 수가 0.3 이하의 선속에서도 선속의 변화에 의한 선회권의 크기는 선속 변화전과는 상당한 차이가 있으며, 선속은 선회권에 주목할 만한 영향을 미치고 있다.

그러므로 조선자는 실제 선박을 조선할 때에는 당연히 이것을 고려하여야 할 것으로 판단된다. 왜냐하면 조선자는 조선시에 위급한 경우를 당하여서는 이를 염두에 두고, 안전확률이 가장 높은 최선의 조치로써 해난의 발생을 방지하여야 하기 때문이다.

본 논문에서는 선박의 속력과 선회권의 관계를 선체운동학적인 관점에서 이론적으로 해석·연구하고, 소형 및 대형 선박들의 실선시험을 통하여 얻은 자료에 의하여 Froude 수가 0.3 이하의 선속에서도 속력변화는 선회권에 어떠한 영향을 미치고 있는가를 검토·고찰하였다.

理論的考察

1. 船體의 旋回運動과 船速

직진중인 선박이 Fig.1과 같이 전타 선회하였을 때 선체의 전진운동, 횡이동 운동 및 무게 중심 G를 통하는 수직축 주위의 회전운동의 운동방정식은 각각 다음과 같다^{3),8)}.

$$m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \cos a = T - P_n \cdot \sin \theta - F_C \cdot \sin \alpha - R' \cdot \cos \beta \quad (1)$$

$$m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \sin a = P_n \cdot \cos \theta + F_C \cdot \cos \alpha - R' \sin \beta \quad (2)$$

$$I_G \cdot \frac{d^2 \phi}{dt} \cdot P_n \cdot \cos \theta + \overline{GC} - R' \cdot \sin \beta \cdot \overline{GB} \quad (3)$$

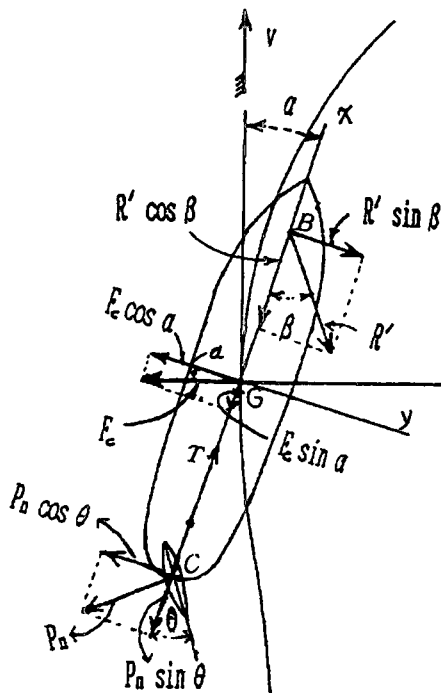


Fig. 1. Working forces on the ship turning.

- 단, m : 선체질량
- α : G점에서의 편각
- T : Propeller 추력
- Φ : 선회각 변위량
- R' : 합성저항
- B : 착력점
- C : 타압중심
- F_C : 원심력
- θ : 타각
- I_G : G점을 통하는 Z축에 대한 관성능률
- P_n : 타각 θ 에 대한 직압력
- v : 선속

여기서 $F_C = m \cdot v^2/r$ 이고 선박이 정상선회에 들어가면 모든 가속도가 0이 되므로 운동방정식은 다음과 같이 된다.

$$T = m \cdot v^2/r \cdot \sin \alpha + R' \cdot \cos \beta + P_n \cdot \sin \theta \quad (4)$$

$$m \cdot v^2/r \cdot \cos \alpha + P_n \cdot \cos \theta = R' \cdot \sin \beta \quad (5)$$

$$P_n \cdot \cos \theta \cdot \overline{GC} = R' \cdot \sin \beta \cdot \overline{GB} \quad (6)$$

단, r : 선회권의 반경

그런데 $P_n = C_1 \cdot A \cdot v^2 \sin \theta$

단, θ : 정상선회시 타판에 들어가는 수류의 입사각으로

$\theta \approx \theta - \alpha$ 정도가 된다. A : 타면적

(5)식과 (6)식으로부터 $R' \cdot \sin \beta$ 를 소거하여 선회권의 반경 r 에 대하여 풀면

$$r = C_2 \cdot \frac{m \cdot \cos \alpha}{\sin \theta \cos \theta \left(\frac{GC}{GB} - 1 \right)} \quad (7)$$

이 된다.

위의 (7)식은 선속함 v 가 포함되어 있지 않다. 따라서 위의 이론식은 선회권 r 가 선속의 영향을 받지 않는다는 것을 나타내고 있다.

그러나, 선속이 선회권에 영향을 주지 않는다는 것은 Froude 수가 0.3 이하의 선속의 경우이다. 예를 들어, 길이 100 m의 선박으로 Froude 수가 0.3이면 선속은 약 18.3 knot 로서 보통 어선이나 상선의 속력은 대개 이 범위 내에 들기 때문에 일반 어선이나 상선의 속력 정도로서는 속력 변화에 의한 선회권의 크기의 영향은 무시될 수가 있다.

선속이 이 이상의 고속이 되면 선회권은 점점 크게 된다. 이러한 원인은 속력이 고속이 되면 선체 주위의 수류 및 파형의 상태가 변하여 물의 저항의 작용점이 선미쪽으로 더욱 이동하기 때문이다. 그러나 이러한 이론에도 불구하고, 실제 조선에서 경험적으로 판단하여 보면 Froude 수가 0.3 이하의 선속에서도 속력 변화에 의한 선회권 크기는 주목할 만한 차이를 보이고 있다.

資料 및 方法

1. 試驗船의 要目 및 試驗條件

실선 시험에 이용한 소형 및 대형의 4척 시험선들

Table 1. Principle particulars of experimental ships

Experimental ship	L (m)	B (m)	D (m)	GT (ton)	ME	Max. speed(kt)	RPM
M.S PUSAN 404 (A)	30.3	6.00	2.85	160.0	750PS	10.6	680
M.S PUSAN 403 (B)	43.15	7.00	3.25	244.0	1,000PS	11.8	665
M.S UNION STAR (C)	319.00	51.85	20.52	130450.0	36,000SHP	17.0	90
M.S GOLDEN CARDO (D)	306.70	53.20	25.40	138764.0	36,000SHP	18.2	85

Table 2. Trial conditions of experimental ships

Experimental ship	F.d (m)	A.d (m)	Disp. (ton)	VSBY	Wind direction(°)	Wind force
A	1.00	2.00	320.0	Fair	315	2
B	1.00	2.70	480.0	Fair	225	1
C	20.77	19.64	297235.0	Fair	045	2
D	19.64	20.40	268019.0	Fair	023	2

의 요목 및 시험조건은 Table 1 및 Table 2와 같다.

2. 試驗方法

부표방위반법으로 선회권을 측정하기 위하여, 부표를 만들어 그 밑에는 중량물을 달고 위에는 붉은 깃발을 달아서 물에 띄웠으며, 또 시험선의 선수미선상의 선수와 선미에는 2개의 반위반을 설치하였다. 부표 주위를 미속과 전속으로 나누어 선회하면서 2개의 반위반에 의하여 선수미선에 대한 부표의 상대방위를 측정하였고, 시험을 행한 장소는 부산 태종대 부근 남서쪽 해역이었다.

부표의 방위를 선수 선미에서 동시에 측정하기 위하여 선교에서는 좌현 또는 우현으로 최대타각

을 명령함과 동시에 미리 정한 신호에 의하여, 선회각이 15° 간격으로 변할 때 마다 선수 방위, 선수미선과 부표와의 수평협각, 선회속도, 경과시간을 360° 선회할 때까지 측정하였다. 이때 선체 구조물에 가리워져 부표의 방위를 정확하게 측정하지 못한 것을 보완하기 위하여, 시험해역 부근에 미리 정박 대기한 타선에서 시험선의 방위와 거리를 경과시간에 따라 Radar로 측정하였다.

이렇게 하여 측정한 자료를 이용하여 Plotting sheet에 부표를 중심으로 시험선의 상대위치를 작도하여 연결한 선을 선회권으로 하여 선회권도를 완성하였다.

結果 및 考察

1. 速力變化에 의한 旋回圈 測定結果

소형 및 대형의 4척 시험선들의 속력을 전진 미

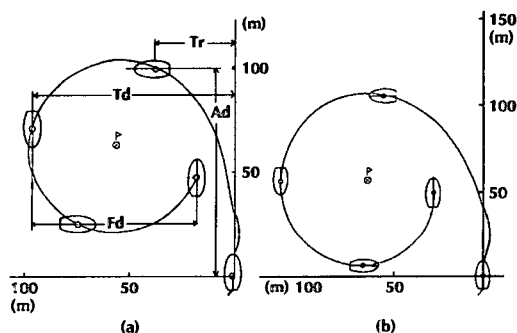


Fig. 2. Measured turning circles of experimental ship M.S. "A" at slow ahead speed (a) and full ahead speed (b).

Ad : Advanced Tr : Transfer
Td : Tactical diameter Fd : Final diameter

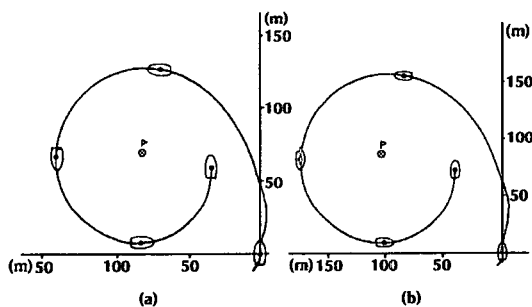


Fig. 3. Measured turning circles of experimental ship M.S. "B" at slow ahead (a) and full ahead speed (b).

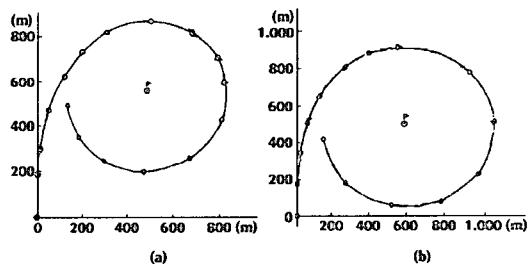


Fig. 4. Measured turning circles of experimental ships M.S. "C" at slow ahead (a) and full ahead speed (b).

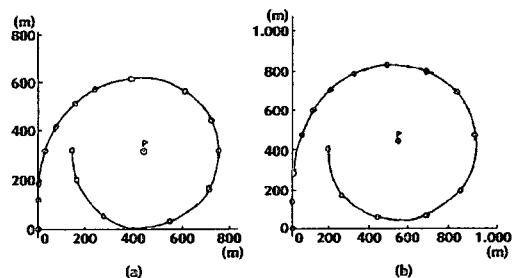


Fig. 5. Measured turning circles of experimental ships M.S. "D" at slow ahead (a) and full ahead speed (b).

Table 3. Elements of measured turning circles of experimental ships at slow ahead speed

Experimental ship	L (m)	B (m)	Disp. (ton)	V ₁ (kt)	Ad (m)	Td (m)	Tr (m)	Fd (m)	δ (°)	Fr
A	30.3	6.00	320.0	3.50	100	99	40	83	35	0.10
B	43.15	7.00	480.0	3.80	132	141	70	113	35	0.09
C	319.0	51.85	297235.0	6.20	861	818	498	690	35	0.05
D	306.7	53.20	268019.0	5.37	617	761	420	616	35	0.05

V1 : slow ahead speed. Fr : Froude no.

Table 4. Elements of measured turning circles of experimental ships at full ahead speed

Experimental ship	L (m)	B (m)	Disp. (ton)	V ₂ (kt)	Ad (m)	Td (m)	Tr (m)	Fd (m)	δ (°)	Fr
A	30.3	6.00	320.0	10.0	109	114	55	90	35	0.29
B	43.15	7.00	480.0	10.8	152	168	83	130	35	0.27
C	319.0	51.85	297235.0	16.8	916	1044	566	895	35	0.15
D	306.7	53.20	268019.0	17.9	821	934	557	750	35	0.16

V2 : Full ahead speed

Table 5. Increments of elements in measured turning circles of experimental ships at slow and full speed

Exper. ship	V ₂ /V ₁	Ad.D (m)	Ad.D/S.Ad × 100 (%)	Td.D (m)	Td.D/S.Td × 100 (%)	Fd.D (m)	F.d.D/S.Fd × 100 (%)
A	2.86	9	9	15	15	7	8
B	2.84	20	15	27	19	17	15
C	2.70	55	6	226	28	205	30
D	3.33	204	33	173	23	134	22
Mean Value	2.93		16%		21%		19%

Ad.D : Diff. of Ad S.Ad : Ad of slow speed
 Td.D : Diff. of Td S.Td : Td of slow speed
 Fd.D : Diff of Fd S.Fd : Fd of slow speed

속에서 전진 전속으로 변화시켜 측정된 선회권은 Fig. 2, 3, 4, 5와 같으며, 선회권에서 구한 제요소는 Table 3, 4와 같다.

2. 速力變化에 의한 旋回圈의 크기 變化

소형 및 대형의 4척 시험선들의 속력을 전진 미속에서 전진 전속으로 변화시켰을 때 선회권의 크기는 커졌으며, 선회권의 제 요소의 증가율은 Table 5.와 같다.

Table 5의 속력 변화에 의한 측정 결과를 보면, Froude 수가 0.3 이하의 시험선들의 전속에서도 전속의 변화는 선회권의 크기에 상당한 영향을 주고 있다는 것을 알 수 있다. 즉 전진 전속시의 속력을 전진 미속시보다 약 3배 증가시켰을 때 소형 및 대형의 4척 시험선들의 전진 전속시의 종거는 전

진 미속시의 그것보다 평균 약 16% 증가되고, 또 이들 선박들의 전진 전속시의 선회경은 전진 미속시의 그것보다 평균 약 21%, 최종 선회경은 평균 약 19% 증가된 것을 알 수 있다. 그러나 소형선과 대형선의 선박 크기에 따라, 선회권의 크기의 증가율은 상당히 달리 나타났다. 즉 속력이 전진 미속에서 전진 전속으로 약 3배 증가됨에 따라 이들 시험선들의 선회권의 제 요소의 평균 증가율은 소형선에서는 약 14%, 대형선에서는 약 24%로, 대형선이 소형선보다 약 10% 크게 나타났다.

또 이들 선박들의 선회경 및 최종선회경의 평균 증가율은 종거의 평균 증가율보다 크게 나타났다. 따라서 시간적인 요소를 고려할 필요가 없는 고정 장애물을 피할 때의 피항 조선이 속력의 변경과 회두만으로 이루어질 경우에, 전방 이동거리 또는

횡방향 이동거리를 단축하기 위하여서는 항상 감속하는 것이 증속하는 것보다 유리하다. 이 때 전방 단축거리는 횡방향 단축거리보다 작게 나타나는 것에 유의하면 피항조선에 도움이 되리라고 사료된다.

要 約

선속이 선회권에 미치는 영향에 관한 지금까지의 연구 보고에 의하면, 선박의 Froude 수가 0.3 이하의 선속에서 선속은 선회권에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 되어 있다. 그러나, 조선자의 실제 경험에 의하면 이 같은 선속에서도 선속은 선회권에 주목할 만한 영향을 미치고 있다. 본 논문에서는 선박의 속력이 선회권에 어떠한 영향을 미치고 있는가를 규명하기 위하여 선박의 속력과 선회권의 관계를 선체운동학적인 관점에서 이론적으로 해석 연구하고, 또한 소형 및 대형선박들의 실선 실험을 통하여 얻은 자료에 의하여 Froude 수가 0.3 이하의 선속에서도 속력 변화는 선회권에 어떠한 영향을 미치고 있는가를 검토·고찰하였다.

이 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 선박의 Froude 수가 0.3이하의 선속에서도 선속의 변화는 선회권의 크기에 상당한 영향을 준다.
2. 선박의 Froude 수가 0.3 이하의 선속에서 선속을 전진 미속에서 전진 전속으로 약 3배 증속 변화시켰을 때 소형 및 대형선박들의 전진 전속시의 종거는 전진 미속시의 그것보다 평균 약 16%, 또 이들 선박들의 전진 전속시의 선회경 및 최종 선회경은 전진 미속시의 그것들보다 평균약 21%, 19% 증가되었다.
3. 선박의 Froude 수가 0.3 이하의 선속에서 속력을 전진 미속에서 전진 전속으로 약 3배 증속변화시켰을 때 대형 선박들의 선회권 제 요소의 평균증가율은 소형선들의 그것보다 약 10% 크게 나타났다.
4. 선박의 Froude 수가 0.3 이하의 선속에서 속력을 전진 미속에서 전진 전속으로 약 3배 증속 변화시켰을 때 소형 및 대형 선박들의 선회경 및 최종 선회경의 평균 증가율이 종거리

평균 증가율보다 크게 나타났다.

5. 시간적인 요소를 고려할 필요가 없는 고정 장애물을 피할 때의 피항조선이 속력의 변경과 회두만으로 이루어질 경우에, 전방 이동거리 또는 횡방향 이동거리를 단축하기 위하여서는 항상 감속하는 것이 증속하는 것보다 유리하다. 이때 전방 단축거리는 횡방향 단축거리보다 작게 나타나는 것에 유의하면 피항조선에 도움이 되리라고 사료된다.

參考文獻

- 1) 岩井聰(1977) : 操船論, 海文堂, 東京, 24~33.
- 2) 志波久光(1972) : 舵の旋回, 成山堂, 東京, 28~29.
- 3) 杉原喜義(1967) : 理論運用學(船體運動編), 海文堂, 東京, 90~102.
- 4) 西版廣六助(1968) : 運用と操船, 成山堂, 東京, 226~228.
- 5) 元良誠三(1963) : 船體運動力學, 共立出版社, 72~74.
- 6) 赤崎繁(1975) : 船體旋回學, 海文堂, 東京, 46, 124~125.
- 7) 日本海難防止協會(1976) : 超大型船操船の手引き, 成山堂, 東京, 28~33.
- 8) 尹点東(1973) : 船舶運用의 理論과 實務, 亞成出版社, 釜山, 41~55.
- 9) 明渡範次(1983) : 基本航海力學, 海文堂, 東京, 234~237.
- 10) 横田利雄(1969) : 船舶運用學(操船編), 海文堂, 東京, 45~46.
- 11) 大串雅信(1975) : 理論船舶工學(下卷), 海文堂, 東京, 251~259.
- 12) 日本造船學會(1970) : 第2回操縱性シンポジウム, 啓文堂, 東京, 2~8.
- 13) 金鎮乾(1998) : 船舶運用學(操縱論), 有一文化社, 釜山, 24~28.
- 14) 金基允(1994) : 旋回圈試驗方法에 의한 新針路距離算定方法에 관한 研究, 韓國漁業技術學會誌 30(4), 299~311.
- 15) Philip Mandel (1976) : Principles of Naval Architecture, SNAME, New York, U.S.A, 494.
- 16) Austin M. Knight (1968) : Moden Seamanship, Van Nostrand Co., Inc, U.S.A, 193.