

船舶의 新針路距離의 算定方法에 관한 研究*

金 基 允

釜山水産大學校 水産海洋大學

(1992년 2월 20일 접수)

A Study on the Method to calculate the New Course Distance of a Ship*

Ki-Yun KIM

National Fisheries University of Pusan

(Received February 20, 1992)

The new course distances of a ship are considered to be the indices to indicate directly her abilities of course alteration. Generally, they have long been calculated by using the maneuvering indices obtained from her Z test.

However, at sea actually the maneuvering indices can not sometimes be obtained according to ship's condition or circumstances and the new course distances can not be calculated.

To find out other method to calculate the new course distances, in this paper the author analyzed them from a viewpoint of ship motion, and worked out a numerical formula to calculate them easily, using the data of ship's heading test.

In order to check whether the presented method is applicable to actual ships or not, the experiment by them were also performed.

The results obtained are summerized as follow :

1. The mean difference of the distance between two new course distances by the heading test and the maneuvering indices of the experimental ship was about 0.98% values of the ones by the maneuvering indices, when her headings were 10°, 20° and 30°, using the rudder angle of 15°.

These new course distances were therefore found to be almost same in values of the distance.

2. The mean difference of the distance between two new course distances by the heading test and the observation of experimental ship was about 1.16% values of the ones by the observation, when her headings were 10°, 20° and 30°, using the rudder angle of 15°.

These new course distances were therefore found to be almost same in values of the

* 이 논문은 1990년도 문교부지원 한국학술진흥재단의 지방대육성 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

distance.

3. It is confirmed that the new course distances can be calculated easily by using the method of ship's simple heading test, without the observation or using the maneuvering indices.

4. It is considered to be helpful for the safety of shiphanding to draw curves of new course distances by ship's heading test and utilize them at sea.

緒 論

最近 世界的인 船隻의 增加와 船舶의 大型化에 의하여 大型海難事故도 激增함에 따라 衝突海難防止를 위한 研究가 船舶의 操縱性과 運動特性을 研究하는 분야에서 활발히 研究되고 있다^{1),2),3),4)}.

大小雜多한 船舶의 交通이 복잡한 오늘날의 臨海都市附近의 沿岸, 狹水道, 港界附近 등의 海域에서의 避航操船時에 操船者는 그 船舶의 操縱性能을 정확히 파악하고 있지 않으면 안된다. 이 중에서도 특히 他船舶 또는 障礙物과의 衝突을 防止하고 船舶을 安全하게 操船하기 위해서는 自船이 避航動作을 취할 때 어느 정도의 新針路距離 만큼 여유를 두고 轉舵發令을 하여야 할 지 新針路距離를 미리 파악한다는 것은 操船上 매우 중요한 일로서, 한 船舶의 新針路距離의 大小는 그 船舶의 變針性能을 端的으로 나타내는 指標가 되고 있다.

지금까지 新針路距離는 操縱性指數를 Z操縱性試驗으로 구하여, 이것을 이용하여 산정하고 있으나^{5),9),12)}, 實際 船舶에 있어서는 操縱性指數를 구하기가 매우 곤란한 상태에 있는 경우도 많아, 달리 新針路距離를 산정하는 방법을 연구하여야 할 필요성이 절실히 요구되고 있다. 그러나 지금까지 이에 대한 연구는 거의 없다.

따라서 本 論文에서는 新針路距離를 船體運動學的인 觀點에서 解析研究하여, 實船試驗과 그 分析이 대단히 용이한 回頭試驗에 의하여 新針路距離를 산정하는 방법을 제시하였으며, 또한 이

방법을 實際海上에서 활용하는 데 타당성을 검토하기 위하여, 實船試驗을 통하여 本 算定方法에 의한 新針路距離와 實測 및 操縱性指數에 의한 新針路距離와를 比較 考察하였다. 그리고 操船時에 이용할 수 있는 任意變針角에 대한 回頭角과 新針路距離를 구하는 新針路距離曲線圖도 함께 구하였다.

理 論

1. 船體의 操縱運動方程式

舵를 操作하여 針路를 유지시키거나 回頭運動을 시킬 때의 船體의 操縱運動은 Fig.1과 같이 船體重心을 지나는 直角座標軸을 잡아 x, y 軸方向의 竝進運動과 Z 軸周圍의 回頭運動의 連成運動

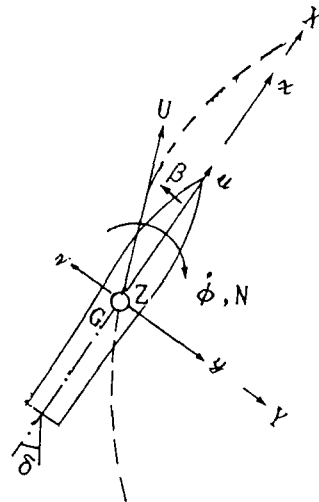


Fig. 1. Coordinate system centered on G point of a ship.

으로 구성되며, 그 運動方程式은 다음과 같다^(5),6),7),9).

$$\left. \begin{aligned} m(\dot{u} - v\dot{\phi}) &= X \\ m(\dot{v} + u\dot{\phi}) &= Y \\ I_z \ddot{\phi} &= N \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

- 단, m : 배의 質量
- u, \dot{u} : x 軸方向의 速度 및 加速度 (U : 接線速度)
- v, \dot{v} : y 軸方向의 速度 및 加速度
- $\dot{\phi}, \ddot{\phi}$: z 軸方向의 回頭角速度 및 回頭角加速度
- I_z : z 軸에 대한 慣性 moment
- X : 배全體에 作用하는 x 軸方向의 힘
- Y : 배全體에 作用하는 y 軸方向의 힘
- N : 배全體에 作用하는 z 軸周圍의 旋回 moment

船體의 操縱運動中 船尾方向의 速度變化는 他運動과 連成이 弱하므로 식(1)의 제1식은 버리고, 操縱運動은 橫方向의 運動과 回頭運動의 2개의 連成으로 취급되고 있다.

식(1)의 제2, 제3식의 우변 Y, N 에 대하여 이들을 지배하는 函數를 대입하고, 線型的 범위에서 처리하여, 이들 2개의 連立方程式을 풀면 操舵에 따른 操縱運動方程式은 다음과 같다^(5),6),10),11).

$$T_1 T_2 \frac{d^2 \dot{\phi}}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{d\dot{\phi}}{dt} + \dot{\phi} = K\delta + K T_3 \frac{d\delta}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

식(2)을 Laplace變換하여 傳達函數를 구하면

$$Y_s(P) = \frac{K(1 + T_3 P)}{(1 + T_1 P)(1 + T_2 P)} \dots\dots\dots (3)$$

과 같으며 이 식을 周波數가 낮은 부분 즉 $|P|$ 가 작은 범위내에 전개하여 近似化하면 다음과 같다.

$$Y_s(P) = \frac{K}{1 + T_p} \dots\dots\dots (4)$$

식(3)과 식(4)에서 $T = T_1 + T_2 - T_3$ 이라 하면 操縱運動方程式 식(2)의 一次系 近似式은

$$T\dot{\phi} + \phi = K\delta \dots\dots\dots (5)$$

으로 된다^(5),6),7),9).

여기서,

T : 追從性指數

K : 旋回性指數

이다.

2. 回頭試驗에 의한 新針路距離算定式

回頭試驗에 의하여 新針路距離를 구하기 위해서는 Fig. 2와 같이 최초의 轉舵點에서 一定 舵角 轉舵(第1舵)한 후 船首가 所定의 回頭角으로 回頭되었을 때 反對舵으로 最初의 轉舵舵角과 같은 舵角으로 反轉舵(第2舵)를 취한다. 反轉舵를 취한 후 回頭惰力이 감소되었을 때 舵를 中央(第3舵)으로 취하면 船首는 고정되어 新針路上에 있게 되고, 最約變針角은 ϕ_4 , 新針路距離는 X_c 가 된다.

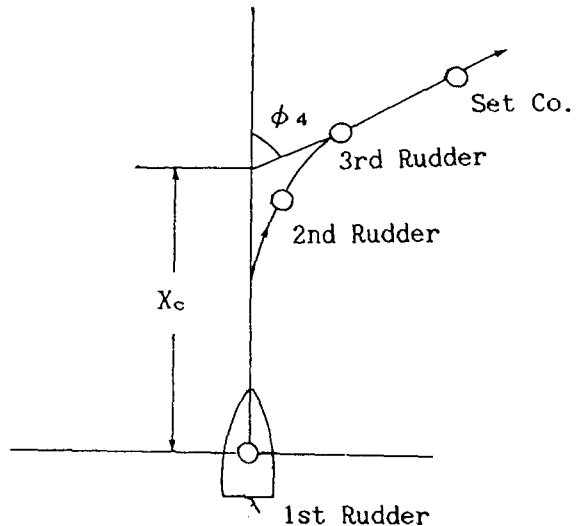


Fig. 2. Ship's heading test for measuring the new course distance.

回頭試驗에 있어서 回頭角 및 舵角과 主要 時點과의 關係를 그림으로 나타내면 Fig. 3과 같다. 그림에서 t_1 는 第1舵를 취하여 一定 舵角이 될 때까지의 時點, t_2 는 第2舵의 發令時點, t_3 는 第2舵를 取하여 一定 舵角이 될 때까지의 時點, t_4 는 第3舵의 發令時點이 되며, 新針路距離 X_c 는 식(6)으로 算定할 수 있다.

$$X_c = \frac{1}{2} V t_4 + \frac{1}{2} L \dots\dots\dots(6)$$

단, L : 배의 길이 $Lpp(m)$

V : t_4 에 接近하였을 때의 船速(m/sec)

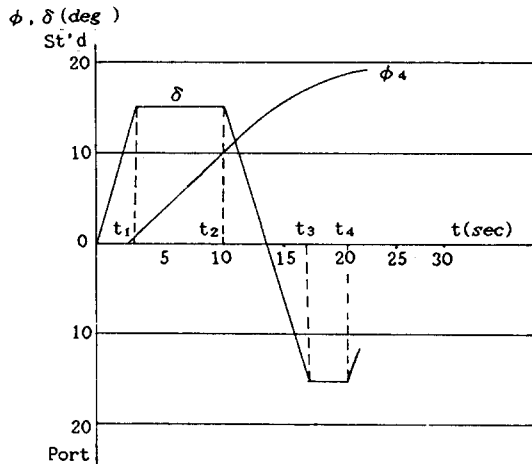


Fig. 3. Relation between rudder angle, ship's heading and time in the test measuring the course distance.

3. 回頭試驗에 의한 操縱性指數 算定式

一般的으로 操縱性指數 K, T 는 Z 試驗에 의하여 구하나, 回頭試驗 結果를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

식(5)는 $t=0$ 에서 $t=t_4$ 일 때

$$T[\dot{\phi}]_0^{t_4} + [\phi]_0^{t_4} = K \int_0^{t_4} \delta dt \dots\dots\dots(7)$$

이 된다.

식(7)을 變形하여 操縱性指數 K 를 구하면,

$$K = \frac{\phi_4}{\delta(t_2 - t_1/2 - t_4 + t_3)} \dots\dots\dots(8)$$

이 된다.

식(5)는 $t=0$ 에서 $t=t_2$ 일 때

$$T[\dot{\phi}]_0^{t_2} + [\phi]_0^{t_2} = K \int_0^{t_2} \delta dt \dots\dots\dots(9)$$

이 된다.

식(9)를 變形하여 操縱性指數를 T 를 구하면,

$$T = \frac{K\delta(t_2 - t_1/2) - \phi_2}{\dot{\phi}_2} \dots\dots\dots(10)$$

이 된다.

단, ϕ_2 : t_2 에 있어서 回頭角

$\dot{\phi}$: 回頭角 ϕ_2 時點에 있어서 角速度

4. 操縱性指數에 의한 新針路距離 算定式

操縱性指數 K, T 를 利用하여 新針路距離 X'_c 는 식(11)^{(9),(11)}로 산정할 수 있다.

$$X'_c = V \left(T + \frac{t_1}{2} + \frac{1}{K\delta} \tan \frac{\phi_4}{2} \right) \dots\dots\dots(11)$$

단, δ : 舵角(rad)

實 船 試 驗

1. 試驗船의 要目 및 試驗條件

試驗船의 要目과 試驗施의 諸船條件은 Table 1 및 Table 2와 같다.

Table 1. Principal particulars of experimental ship

Name of ship	M.S. Pusan 403
Kind of ship	Training ship
Lpp	43.15m
B. Md	7.00m
D. Md	3.25m
Draft	F. 1.90m, A. 3.40m
Gross tonnage	243.73ton
Main engine	1000 PS/665rpm
Max. speed	11.8kts

Table 2. Trial condition of expermental ship and the sea

Trial sea	Sea near the island of Puckhyongje
Depth	56m
Wind force	1 (Beaufort wind scale)
Wind direction	SE/S
Speed of Curretn	2, 3kts
Direction of Current	SSW
VSBY	Fair
Ship's draft	F. 1, 96m, A. 3, 80m
Ship's displacement	480 tons
Ship's speed	10, 2kts
Position of observation	Bridge

2. 試驗方法

2-1 回頭試驗

回頭試驗에 의하여 新針路距離를 산정하는 수식에 적용할 最終變針角 및 主要時點들을 측정하기 위하여, 다음과 같은 방법으로 回頭試驗을 실시하였다.

- ① 船首를 一定針路에 定針한다.
- ② 右舷舵角 15°를 취하고 轉舵發令으로 부터 舵角 15°가 될 때까지의 時點 t_1 을 측정한다.
- ③ 船首가 右舷으로 10° 回頭(ϕ_2)되었을 때 反對舷으로 舵角 15°를 취하고, 이 때의 轉舵發令時點 t_2 와 反對舷으로 舵角 15°가 될 때까지의 時點 t_3 를 측정한다.
- ④ 船首의 回頭運動이 停止하는 순간 舵를 中央으로 하고 Steady하면 船首는 거의 固定된다. 이 때의 轉舵發令時點 t_4 를 측정하고 最約變針角 ϕ_4 를 측정한다.
- ⑤ 위와 같은 방법으로 20°, 30°의 左右舷 回頭試驗을 행한다.

이와 같이 回頭試驗을 실시할 때 船首回頭角이 2°변할 때 마다 경과시간과 船速을 동시에 측정하여 두면 다음에 분석하는 데 편리하다.

2-2 新針路距離의 實測

- ① 變針點에서 船橋까지 新針路距離 만큼 前方

의 位置에서 物標의 方位를 設定한다.

- ② Radar를 보면서 航行中 物標의 方位가 設定된 方位와 같게 되었을 때 舵角 15°를 취한다.

- ③ 舵角 15°를 취한 후 船首가 소정의 回頭角 ϕ_2 (10°, 20°, 30°)가 되었을 때 反對舷으로 15°의 反轉舵를 취하고, 回頭運動이 停止할 때 舵를 中央으로 하여 船首를 定針시켜 回頭試驗과 같은 방법으로 행한다.

- ④ 最初의 舵角을 취한 후 物標의 方位가 2° 변화할 때 마다 그 距離를 측정하여 기록한다.

- ⑤ 기록된 Data에 의하여 船體 軌跡을 그려 新針路距離를 구한다.

結 果

1. 回頭試驗에 主要時點에 時間 및 最終變針角

船首回頭角 ϕ_2 의 10°, 20°, 30° 回頭試驗을 左舷과 行하여 측정한 主要時點 t_1, t_2, t_3, t_4 및 最終變針角 ϕ_4 의 값은 Table 3과 같고 이것을 그림으로 나타내면 Fig. 4, 5, 6, 7, 8, 9와 같다.

Table 3. Times at principal time points and the last angles of ship's heading measured by the heading test of expermental ship

ϕ_2		$t_1(sec)$	$t_2(sec)$	$t_3(sec)$	$t_4(sec)$	$\phi_4(deg)$
10°	Port	3	9	13	16.5	17
	St'd	3.5	9.5	13.5	17	18
20°	Port	4	13.5	18	23	28
	St'd	4	14	19	24	29
30°	Port	4.5	16.5	23	28	40
	St'd	5	17	24	28.5	41

2. 回頭試驗에 의한 新針路距離

船首回頭角 ϕ_2 의 10°, 20°, 30° 回頭試驗에 측정된 자료를 이용하여 (6)식으로 算定한 新針路距離 X_c 는 Table 4와 같다.

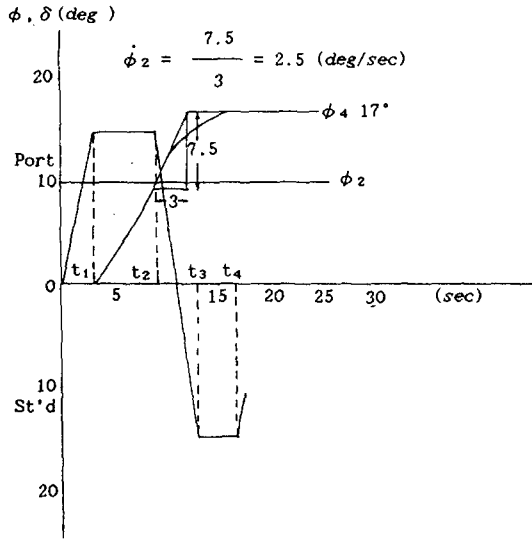


Fig. 4. $\phi_2 10^\circ$ test(Port).

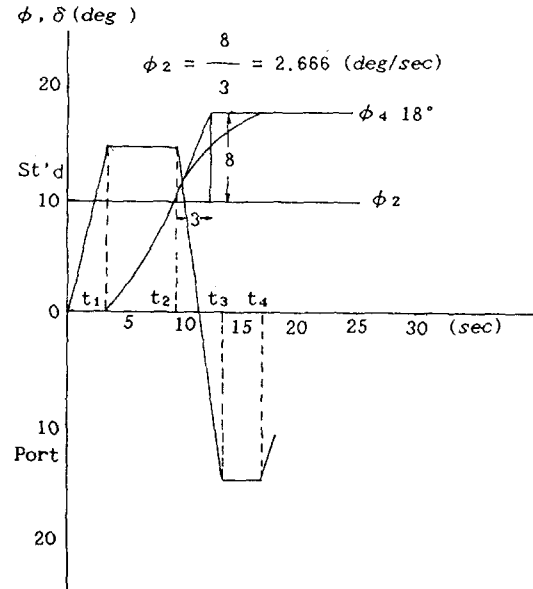


Fig. 5. $\phi_2 10^\circ$ test(St'd).

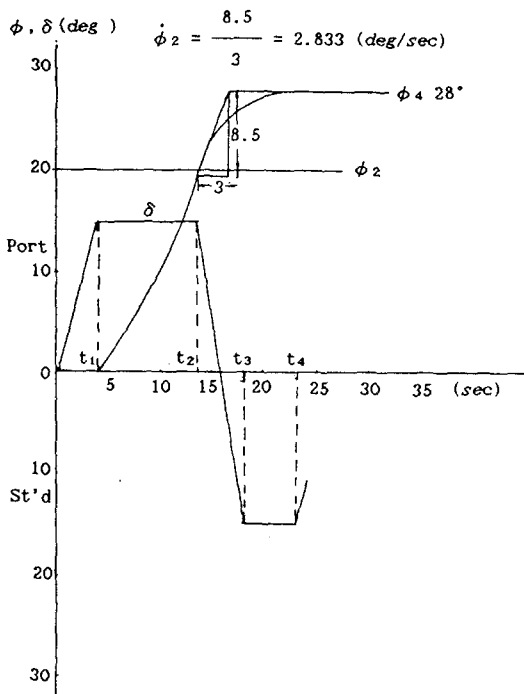


Fig. 6. $\phi_2 20^\circ$ test(Port).

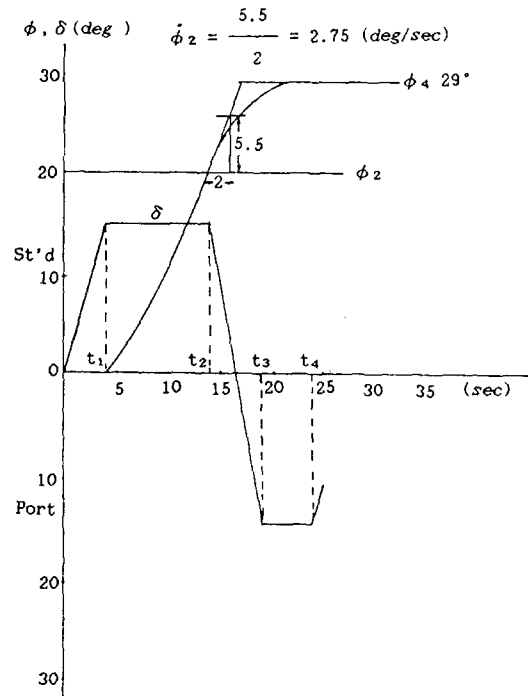


Fig. 7. $\phi_2 20^\circ$ test(St'd).

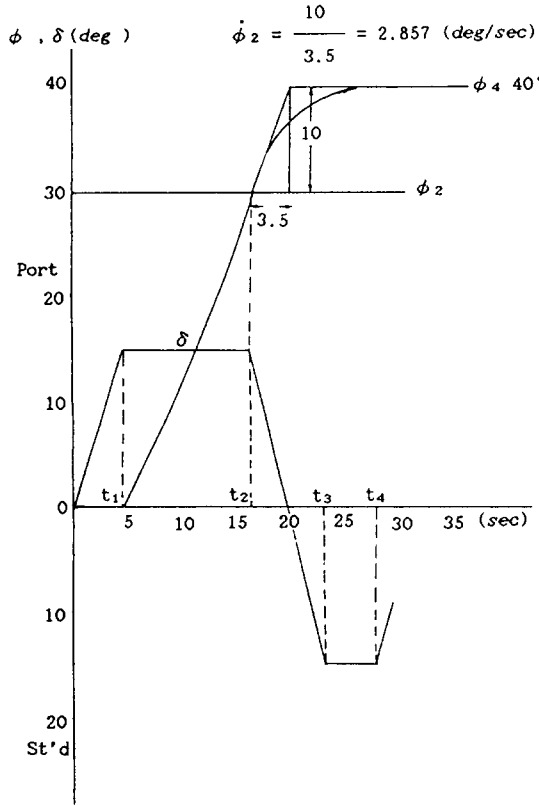


Fig. 8. $\phi_2 30^\circ$ test(Port).

Table 4. New course the distance calculated by the heading test of experimental ship

ϕ_2		V (m/s)	t_4 (sec)	X_c (m)
10°	Port	5.25	16.5	64.89
	St'd	5.20	17	65.78
20°	Port	5.20	23	81.38
	St'd	5.14	24	83.26
30°	Port	5.09	28	92.84
	St'd	5.04	28.5	93.40

Table 5. New course distances calculated by the maneuvering indices of experimental ship

ϕ_2		$\dot{\phi}_2$ (deg/sec)	T (sec)	K (1/sec)	X'_c (m)
10°	Port	2.500	8.735	0.283	64.33
	St'd	2.666	8.546	0.282	64.70
20°	Port	2.833	10.416	0.287	81.83
	St'd	2.750	10.793	0.276	84.16
30°	Port	2.857	11.046	0.288	92.26
	St'd	2.777	10.579	0.273	92.30

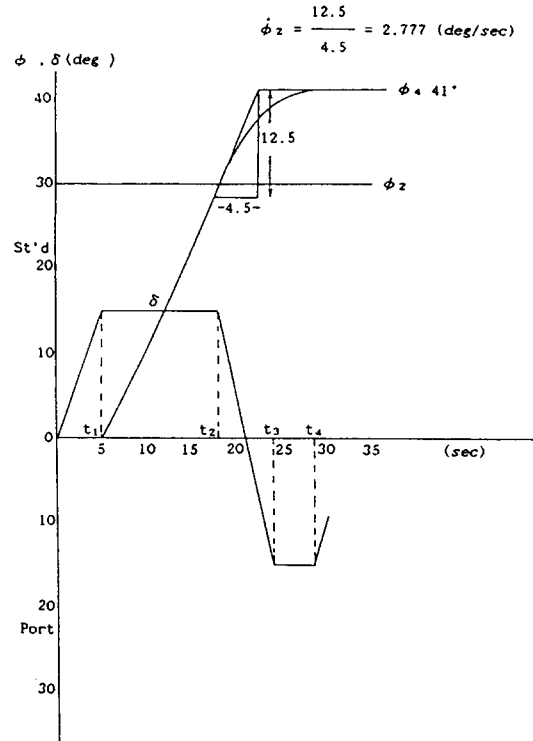


Fig. 9. $\phi_2 30^\circ$ test(St'd).

3. 操縱性指數에 의한 新針路距離

船首回頭角 ϕ_2 의 10°, 20°, 30° 試驗資料에 의해 식(8), (10)으로 구한 操縱性指數를 이용하여, 식(11)로 算定한 新針路距離 X'_c 는 Table 5와 같다.

4. 實測에 의한 新針路距離

試驗船으로 實測한 자료에 의하여, 船體의 軌跡을 그려서 구한 新針路距離 X_0 는 Table 6과

Table 6. New course distance observed by experimental ship

ϕ_2	Observed numerical values of target						$X_0 (m)$
0° (Port)	B'g of target	339°	348°	347°	346°	345°	66.67
	Dist. of target	1.'09	1.'091	1.'092	1.'09	1.'085	(0.'036)
20° (Port)	B'g of target	0°	358°	356°	354°	353°	83.34
	Dist. of target	0.'945	0.'955	0.'960	0.'355	0.'95	(0.'045)
30° (St'd)	B'g of target	0°	2°	4°	6°	7°	92.60
	Dist. of target	1.'02	1.'015	1.'000	0.'98	0.'97	(0.'05)

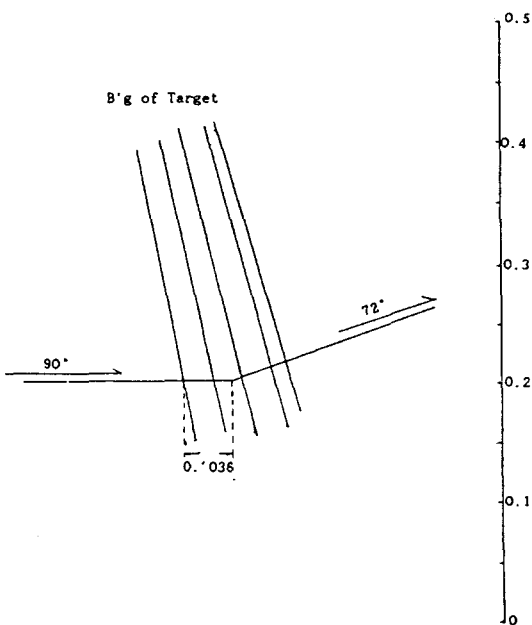


Fig. 10. New course distance observed by experimental ship ($\phi_2 10^\circ, \delta = 15^\circ$)

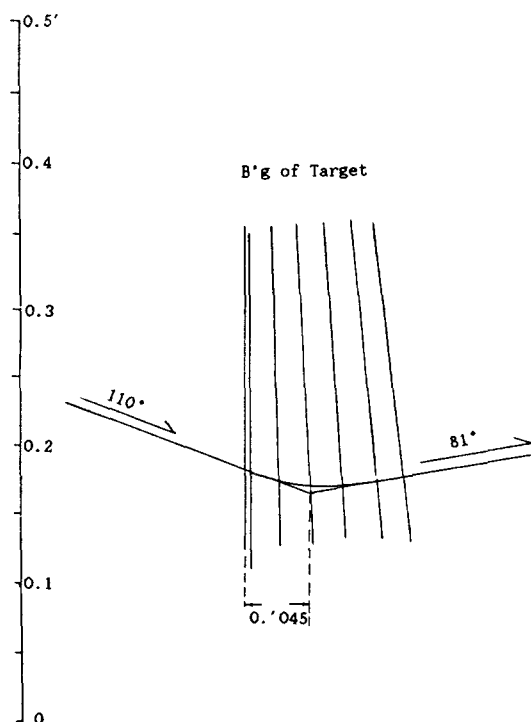


Fig. 11. New course distance observed by experimental ship. ($\phi_2, \delta = 15^\circ$)

같고 이것을 그림으로 나타내면 Fig. 10, 11, 12와 같다.

考 察

1. 回頭試驗에 의한 新針路距離와 操縱性指數에 의한 新針路距離와의 比較

試驗船의 回頭試驗에 의하여 算定한 新針路距離 (X_c)와 試驗船의 操縱性指數를 利用하여 算定한 新針路距離 (X'_c)와를 比較하면 Table 7과

같다.

回頭試驗에 의하여 算定한 新針路距離와 操縱性指數를 利用하여 算定한 新針路距離와의 差異를 보면, 回頭角 10°, 30° 에서는 回頭試驗에 의한 新針路距離가 左右舷 平均 65.34m, 93.12m 일 때 操縱性指數에 의한 新針路距離는 左右舷 平均 64.52m, 92.28m 로서 回頭試驗에 의한 新針路距離가 操縱性指數에 의한 新針路距離보다

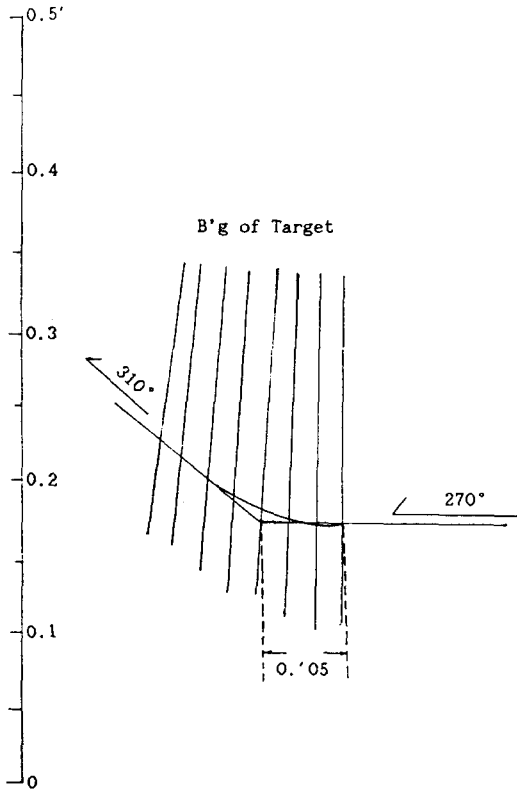


Fig. 12. New course distance observed by experimental ship. ($\phi_2 30, \delta = 15^\circ$)

0.82m, 0.84m 더 많고,回頭角 20°에서는回頭試驗에 의한新針路距離가左右舷平均 82.32m 일 때操縱性指數에 의한新針路距離는左右舷平均 83.00m로서回頭試驗에 의한新針路距

離가操縱性指數에 의한新針路距離보다 0.68m 더 작게 나타나고 있다. 따라서回頭試驗에 의한新針路距離와操縱性指數에 의한新針路距離와의差異는平均 0.78m이며,操縱性指數에 의한新針路距離의平均 0.98%로서,두新針路距離는 거의差異가 없는 것을 알 수 있다.

2. 回頭試驗에 의한新針路距離와實測에 의한新針路距離와의比較

回頭試驗에 의하여算定한新針路距離(X_c)와試驗船으로實測한新針路距離(X_o)를比較하면Table 8과 같다.

回頭試驗에 의하여算定한新針路距離와試驗船으로實測한新針路距離와의差異를 보면回頭角 10°, 20°에서는回頭試驗에 의한新針路距離가左右舷平均 65.34m, 82.32m일 때實測한新針路距離는 66.67m, 83.34m로서回頭試驗에 의한新針路距離가實測한新針路距離보다 1.33m, 0.96m 더 작고,回頭角 30°에서는新針路距離가左右舷平均 93.12m일 때實測한新針路距離는 92.60m로서回頭試驗에 의한新針路距離가實測한新針路距離보다 0.52m 크게 나타나고 있다.回頭角 10°, 20°의 경우距離差가回頭角 30°의 경우보다 약간 큰 것은實測時 과량이나 조류의 영향을 받은 것으로 사료된다. 그러나回頭試驗에 의한新針路距離의平均 1.16%로서두新針路距離는 거의差異가 없는 것을 알 수 있

Table 7. The comparison between two course distances calculated by the heading test and the maneuvering indices of experimental ship

ϕ_2	ϕ_1 (deg)	X_c (m)	MX_c (m)	X'_c (m)	MX'_c (m)	Dist.Diff. (m)	MD (m)	MMD (m)	MMD/MMX'_c × 100 (%)
10°	Port	17	64.89	64.33	64.52	+0.58		0.78	0.98
	St'd	18	65.78	64.70	64.52	+1.08	+0.82		
20°	Port	28	81.38	81.83	83.00	-0.45		0.78	0.98
	St'd	29	83.26	84.16	83.00	-0.90	-0.68		
30°	Port	40	92.84	92.26	92.28	+0.58		0.78	0.98
	St'd	41	93.40	92.30	92.28	+1.10	+0.84		

MX_c : mean values of X_c
 MX'_c : mean values of X'_c

MD : mean values of distance difference
 MMD : Mean values of MD
 MMX'_c : Mean values of MX'_c

Table 8. The comparison between two new course distances calculated by the heading test and the observation of experimental ship

ϕ_2	ϕ_4 (deg)	MX_c (m)	X_0 (m)	Dist.Diff. (m)	MD (m)	MD/ $MX_0 \times 100$ (%)
10°	18	65.34	66.67	-1.33	0.94	1.16
20°	29	82.32	83.34	-0.96		
30°	40	93.12	92.60	+0.52		

MD : Mean values of distance difference

MX_0 : Mean values of X_0

다.

따라서 回頭試驗으로 算定한 新針路距離는 操縱性指數나 實測에 의한 新針路距離와 거의 차이가 없으므로, Z시험이나 實測을 하지 않고도 實船試驗과 算定方法이 용이한 回頭試驗에 의한 新針路距離 算定方法으로 新針路距離를 算定할 수 있다.

3. 新針路距離 曲線圖

Fig. 13은 回頭試驗으로 算定한 新針路距離 X_c 와 最終變針角 ϕ_4 를 나타낸 曲線으로서, 이들을 縱軸

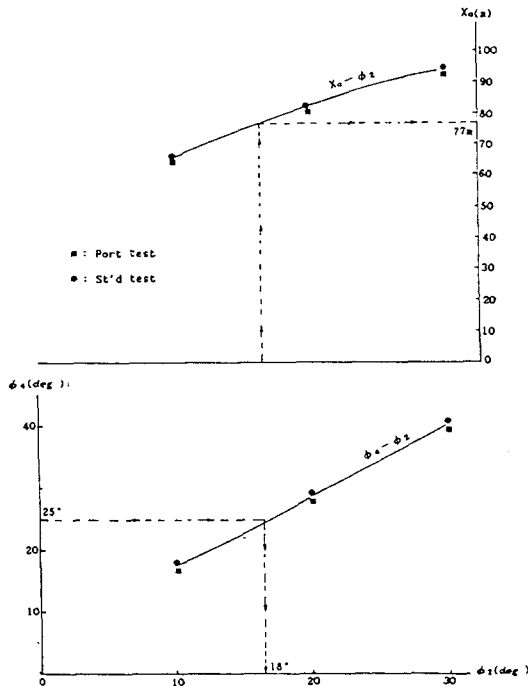


Fig. 13. The curves of new course distances by the heading test of experimental ship(at, $\delta = 15^\circ$).

에, 回頭角 ϕ_2 를 橫軸에 取하여, 最終變針角과 回頭角과의 關係를 $\phi_4 - \phi_2$ 曲線으로, 新針路距離와 回頭角과의 關係를 $X_c - \phi_2$ 曲線으로 나타낸 것이다. 이 曲線圖를 利用하면 任意의 變針角에 대한 回頭角과 新針路距離를 구할 수가 있다. Fig. 13에서 最終變針角 25°에 대한 回頭角은 18°, 新針路距離는 77m가 된다. 이것은 舵角 15°로 轉舵하여 船首回頭 18°에서 反轉舵角 15°를 취하고, 船首回頭 정지시 舵를 中央으로 취하면, 最終變針角은 25°, 新針路距離는 77m가 되는 것을 의미한다. 따라서 避航操船時에 新針路距離 曲線圖를 活用하면 任意變針角에 대한 回頭角과 新針路距離를 미리 구할 수 있으므로, 感覺에 의한 避航操船을 排際할 수 있어 安全運航에 도움이 되리라 기대된다.

要 約

實船試驗과 分析이 용이한 回頭試驗에 의한 新針路距離 算定法을 研究하여, 이를 實際 海上에서 活用하는 데 타당성을 검토하기 위하여 實船試驗을 통하여 實測 및 操縱性指數에 의한 新針路距離와 回頭試驗에 의한 新針路距離와를 比較考察하였다. 이 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 回頭試驗에 의하여 算定한 新針路距離는 舵角 15°를 사용하여 回頭角이 10°, 20°, 30° 일 때 操縱性指數를 이용하여 算定한 新針路距離와의 差異가 이 距離의 平均 0.98%로서, 操縱性指數에 의한 新針路距離와 거의 差異가 없었다.

2. 回頭試驗에 의하여 算定한 新針路距離는 舵角 15°를 사용하여 回頭角이 10°, 20°, 30°일 때,

實測에 의한 新針路距離와의 差異가 이 距離의 平均 1.16%로서, 實測에 의한 新針路距離와 거의 差異가 없었다.

3. 回頭試驗에 의하여 算定한 新針路距離는 實測 및 操縱性指數를 이용하여 算定한 新針路距離와 거의 差異가 없으므로, Z試驗이나 實測에 의하지 않고도 實船試驗과 分析이 용이한 回頭試驗에 의한 新針路距離 算定方法으로 新針路距離를 算定할 수 있다.

4. 避航操船時에 回頭試驗에 의하여 작성한 新針路距離 曲線圖를 이용하면, 任意의 變針角에 대한 回頭角과 新針路距離를 미리 구할 수 있으므로, 이를 이용하여 合理的인 避航操船을 할 수 있어 感覺에 의한 操船方法으로 야기되는 衝突事故도 止揚할 수 있으리라 사료된다.

文 獻

1. 小林引明·小瀬邦治(1973): 運動學的に見た 衝突現象-I. 日本航海學會論文集 50, 85-90.
2. 長畑司(1980): 避航の判斷と操船の特性-III. 日本航海學會論文集 63, 19-28.
3. 原潔·野本謙作·小須田敏(1981): 操船シミュレータによる避航操船の研究-I. 日本航海學會論文集 64, 79-86.
4. 今津準馬(1981): 他船の行動變化を考慮した 衝突危險度について. 日本航海學會論文集 64, 73-78.
5. 岩井聰(1970): 操船論, 海文堂, 東京, 12-23.
6. 藤井劑·野本謙作(1970): 操縱性試驗法. 日本造船學會操縱性シンポジウム, 2-3.
7. 野本謙作(1964): 船の操縱性. 日本造船學會操縱性シンポジウム, 8-22.
8. Philip Mandel(1976): Principles of Naval Architecture, SNAME, New York, 470.
9. 日本海難防止協會(1976): 超型船操船の手引き, 成山堂, 東京, 25-35.
10. 尹點東(1976): 操縱性指數에 의한 衝突回避動作의 量的 把握에 관한 研究. 韓國海洋大學論文集 12(1), 471-480.
11. 金基允(1978): 船體運動學的으로 본 衝突回避動作에 관한 研究. 漁業技術 14(2), 97-112.
12. 金基允(1983): 船舶衝突 回避를 위한 避航 開始距離에 관한 研究. 漁業技術19(2), 99-105.