造船 및 海運에 關한 세미나

操縱性 試驗法에 對하여

沈 長 燮*

只今까지 操縱性 試驗이라면 旋回 試驗에 局限된 것으로 생각했다.

近來 船舶의 操縱에 對하여 많은 硏究가 行하여져 旋回性, 進路 安安性 및 追從性의 總合的인 것을 操縱性이라고 부르게 되었다. 旋回 試驗은 가장 널리 알려진 것이다. 이때 35° 旋回는 緊急할 때 船舶의 最大 回頭能力을 알 수 있는 것이 重要하다˙ 그러나 이 외에 10°, 15° 等과 같은 常用舵角에 걸친 廣範한 資料가 必要하다.

한편, 實際 操船의 狀況의 생각하면 旋回 試驗과 같이 一定 舵角을 長時間 維持시키고, 또 비교적 작은 角度로서 port & stb'd로 操舵한다. 따라서 操縱性 試驗에서도 이것에 類似한 操船을 行하고 이 結果를 解析하여 旋回 試驗 보다도 實情에 맞는 操縱性의 資料를 얻는 것을 생각한다. 特히 course-keeping을 爲하여 通常 5° 以內의 操舵 및 普通 操船에 使用하는 10°~15°에 對한 追從性과 進路 安定性을 알기 위하여서는 大舵角旋回 試驗은 有効하지 않다.

Z試驗은 이 目的을 達成시키기 爲하여 旋回 試驗과 倂行시켜 大舵角의 回頭 能力과 一般 操縱性의 兩者를 포함한 完全한 操縱性能의 調査를 行한다.

最近 船舶의 大型化에 따라서 操舵에 對한 保針性이 重要視되고 있다. 이 경우에 特히 Z試驗의 重要度가 높다.

spiral試驗은 進路 安定性을 調査할 目的으로서 特히 進路 不安定한 船舶에 對하여 그 不安定의 程度를 確認하고 必要한 對策을 세우는 가장 信賴性이 높은 試驗法이다.

前後進 試驗은 船舶의 加速, 減速 및 停止 等의 性能을 얻는 試驗으로 港內에서 危險防止의 見地에서 重要性이 있다.

一般的으로 試驗時의 注意事項은 다음과 같다.

1) 載貨 狀態는 滿載狀態가 要望되나 撒積 貨物船 或은 鑛石 運搬船 等과 같이 滿載 狀態가 困難한 것은 適當한 ballast 狀態로 하는 것이 要望된다.
2) 試驗時의 水深은 draft의 5倍 以上 이어야 한다.
3) 舵角의 計測은 操舵機의 눈금이 가장 正確한 Selsyn motor 等을 利用하는 wheel house의 舵角 指示器는 使用하여도 좋으나 操舵 stand에 있는 舵角 指針은 實際로 不正確하므로 使用해서는 안된다.

各 試驗方法은 下記와 같다.

A) 旋回 試驗(Turning Test)

a) 船體 重心에서 旣知의 距離에 測角盤을 設置하여 行하는 方法

* 正會員 : 大韓造船公社

b) compass에 依한 回頭角과 投木에 依한 船速計測에서 航跡을 求하는 方法이 있다.

a)의 경우는 現在 널리 使用되어 經驗한 事實이지만 buoy가 風, 潮流의 영향으로 若干 移動되며 旋回徑이 큰 船舶의 旋回 試驗을 行할 때 buoy가 뚜렷이 잘 나타나지 않는다. 이러한 難點을 解決하기 爲하여 $L=$ 100 m 以上의 船舶에서는 b)의 方法이 適合하다고 생각한다.

a)의 試驗法은 略하고 b)의 試驗法에 關하여 생각 하기로 한다. 機關出力은 4/4로서 船速을 整定하고 Fig. 1에서와 같이 X方向으로 直進하고 있는 船舶이 0點에서 操舵 命令을 받았다고 하자.

回頭角이 1°, 15°, 30°……될 때까지 stop watch로서 時間을 計測한다. 이와 같은 時間에 兩舷에서 投木으로 船速을 計測한다.

回頭角이 1°될 때

$$X\text{方向 進行 距離}=\int_0^t v\cos 1^\circ\ dt$$

$$Y\text{方向 進行 距離}=\int_0^t v\sin 1^\circ\ dt$$

回頭角이 30° 될 때

$$X\text{方向 進行 距離}=\int_0^t v\cos 30^\circ\ dt$$

$$Y \quad\quad // \quad\quad =\int_0^t v\sin 30^\circ\ dt$$

…………………………

…………………………

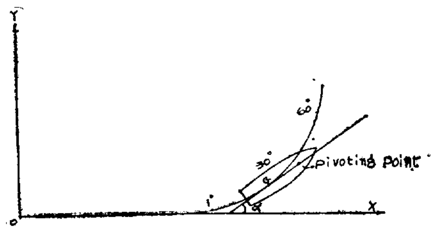

Fig. 1

v : 兩舷에서 計測한 平均 船速 (knot)

t : 回頭角이 所定의 角이 될 때 計測한 時間 (sec)

이와 같이 各點이 求하여지면 軌跡은 pivoting point의 軌跡이다.

船體 重心에서 $0.4L$ 前方에 pivoting point가 있는 것을 考慮하여 圖式으로 求한다.

B) Z試驗 (Kempf Test)

舵角을 5°～15° 範圍內에서 大略 行하며 操縱性 指數 K', T'를 求하여 安定性 및 追從性을 判斷한다.

船舶의 操縱性은 旋回力을 表示하는 K와 quick responsibility를 表示하는 T의 2개의 指數로서 말할 수 있다.

1) 큰 K와 작은 T를 갖는 船舶은 어느 경우에도 좋은 性能을 갖는다.

2) 작은 K와 작은 T를 갖는 船舶은 큰 K와 큰 T를 갖는 船舶에 比하여 旋回 運動의 初期에 있어서 좋다. 따라서 빈번한 操舵에 對하여 좋은 能力을 갖는다.

3) 航走中에 進路를 保持하는 能力은 K에는 關係가 없고 T에 依存하는 것이 많다.

4) 어떤 決定된 船型에 對하여 좋은 進路 安定性 (작은 T)과 强한 旋回力(큰 K)를 同時에 가질려면 큰 rudder를 가져야 한다.

5) fin skeg와 船首 船尾에 있어서 cut-up 等은 旋回性을 어느 程度 犧牲하여 進路 安定性을 개선 或은 逆으로 安定性을 犧牲하면서 旋回力을 强하게 하는 効果가 있다. 例로서 catcher의 設計時 船尾를 cut-up 하는것.

以上과 같은 概念을 認識하고 操縱性指數의 實例를 表示하면 下記와 같다.

船 種, condition	$L_{pp}\times B\times D$	K	T	$\frac{V}{L}$	K'	T'
tanker, full	201×28.2×14.6	0.0527	46.0	0.0437	1.20	2.01
〃 ballast		0.0380	10.6	0.0495	0.768	0.524
tanker, full	181×25.4×13.5	0.0553	41.9	0.0484	1.15	2.01
tanker, full	167×22.0×12.2	0.0521	33.6	0.0488	1.07	1.64
freighter, full	145×19.5×12.2	0.0516	24.7	0.0514	1.00	1.27
〃 light		0.043	7.0			
freighter, half	121×16.2×	0.0382	17.4	0.0424	0.900	0.738
freighter, ballast	132×18.2×11.7	0.0570	8.22	0.0666	0.860	0.555
freighter, ballast	114×16.4×9.3	0.0544	7.26	0.0735	0.74	0.53
bulk-carrier, ballast	152×20.6×12.7	0.043	9.99	0.0601	0.716	0.60
fish carrier, ballast	67×10.8×5.7	0.075	5.7	0.086	0.87	0.49
whaler, approval	57×9.5×5.1	0.27	9.9	0.140	1.9	1.39

K', T' 는 아래와 같이 求한다.

只今 ψ : deg

δ : deg

ψ : deg/sec

ψ : 回頭角

δ_m : 計測한 舵角

$\delta_m=0$ 인 船舶은 完全히 直進한다고 볼 수 없다. 이 補正項을 생각하여 δ_r 라고 한다.

$$\therefore \quad \delta=\delta_m+\delta_r$$

操縱 運動의 方程式은

$$T\frac{d\psi}{dt}+\psi=K(\delta_m+\delta_r)$$

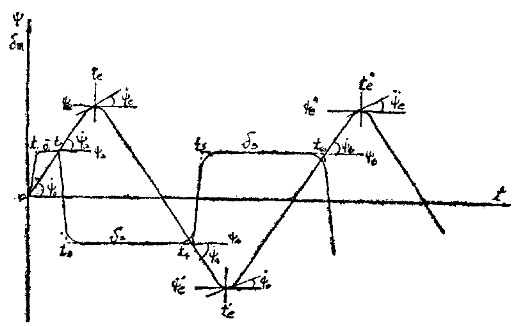

Fig. 2

① $t=0$ 에서 $t=t_e'$ 까지 積分한다.

$$\psi_e'=K\int_0^{te'}\delta_m\,dt+K\delta_r t_e'$$

$$t=0 \longrightarrow t_e''$$

$$\psi_e''=K\int_0^{te''}\delta_m\,dt+K\delta_r t_e''$$

이것을 連立하여 K 와 δ_r 를 얻는다. 이 K 를 K⑥⑧이라 한다.

② $t=0 \longrightarrow t_e$

$$\psi_e=K\int_0^{te}\delta_m\,dt+K\delta_r t_e$$

①에서 求한 δ_r 를 넣어서 K 를 얻는다. 이것을 K④라고 한다.

③ $t=t_2 \longrightarrow t_e$

$$-T(\dot{\psi}_2-\dot{\psi}_0)+(\psi_e-\psi_2)=K\int_{t2}^{te}\delta_m\,dt+K\delta_r(t_e-t_2)$$

①의 δ_r ②의 K④를 넣어서 T④를 求한다. $\dot{\psi}_2, \dot{\psi}_0$ 는 ψ 의 기록에서 定差積分하여 求한다.

④ $t=t_4 \longrightarrow t_e,'$ $t_6 \longrightarrow t_e''$

$$-T(\psi_4-\psi_0)+(\psi_e-\psi_4)=K\int_{t4}^{te'}\delta_m\,dt+K\delta_r(t_e'-t)$$

$$-T(\psi_6-\psi_0)+(\psi_e''-\psi_6)=K\int_{t6}^{te''}\delta_m\,dt+K\delta_r(t_e''-t_e)$$

δ_r, K⑥⑧을 넣어서 T를 얻고 이것을 T⑥⑧이라고 한다.

⑤ K④, T④는 最初 一山의 K, T_0

K⑥⑧, T⑥⑧은 다음 二山의 K, T_0

兩者 平均의 이 平均의 K, T_0

從來의 結果에서는 K⑥⑧ T⑥⑧이 가장 重要하고 船舶의 性質을 表示한다.

⑥ $K'=K\left(\frac{L}{V}\right)$, $T'=T\left(\frac{V}{L}\right)$로서 無次元化한다.

L : 船長(m)

V : 平均速力(m/sec)

⑦ $\int\delta_m\,dt$ 의 定積分은 $\delta_m(t)$를 折線으로 近似的으로 積分한다.

$$\int_0^{te}\delta_m\,dt=\delta_1\left(\frac{t_2+t_3}{2}-\frac{t_1}{2}\right)+\delta_1\left(t_e-\frac{t_2+t_3}{2}\right)$$

$$\int_{t2}^{te}\delta_m\,dt=\delta_2\left(t_2-\frac{t_2+t_3}{2}\right)+\delta_1\left(\frac{t_2+t_3}{2}-t_2\right)$$

⑧ 左右 最大 角速度 $\dot{\psi}_4$와 $\dot{\psi}_6$의 크기의 平均을 取하여 $0.7\times\frac{\pi}{180}\left(\frac{L}{V}\right)$을 곱하여 試驗中 角速度의 自乘平均值를 求한다.

實際 計算例

$L=80.00$ m $V=8.85$ m/sec $V/L=0.1106$ 이라고 한다.

$t_e=28.0$	$t_e'=74.0$	$t_e''=120$	$\psi_e=3.10$	$\delta_e'=31.5$	$\psi_e''=31.0$
$t_2=18$	$t_4=61.0$	$t_6=109$	$\psi_2=20$	$\psi_4=20.0$	$\psi_6=20.0$
$t_e-t_2=10$	$t_e'-t_4=13$	$t_e''-t_6=11$	$\psi_2-\psi_0=1.75$	$\psi_4-\psi_0=1.65$	$\psi_6-\psi_0=1.55$

$t_1=3.0$	$t_2=18.0$	$t_4=61$	$t_6=109$	$\delta_1=-20$
$t_1/2=1.5$	$t_3=24.0$	$t_5=67$	$t_7=115$	$\delta_2=+20$
	$t_2+t_3=42.0$	$t_4+t_5=128$	$t_6+t_7=224$	$\delta_3=-20$
	$(t_2+t_3)/2=21$	$(t_4+t_5)/2=64$	$(t_6+t_7)/2=112$	$\delta_4=+20$

				$\delta_1(\ \ )$	-390	t_e' $\int_0^{te'}\delta_m dt$ ψ_e'
		$\delta_1(\ \ )$	-390	$\delta_2(\ \ )$	860	⑥ $74.0\times K\delta_r+270\times K=31.5$
$-\frac{t_1}{2}$	-1.5	$-(t_2+t_3)/2$	-21	$-(t_4+t_5)/2$	-64	⑧ $120.0\times K\delta_r-330\times K=-31.5$
$(t_2+t_3)/2$	21	$(t_4+t_5)/2$	64	$(t_6+t_7)/2$	112	
$(+)$	19.5	$(+)$	43	$(+)$	48	⑥$\times 120$ 32400 3780
$\delta_1(+)$	-390	$\delta_2(+)$	860	$\delta_3(+)$	-960	⑧$\times 74$ -24430 -2295
$-(t_2+t_3)/2$	-21	$-(t_4+t_5)/2$	-64	$-(t_6+t_7)/2$	-112	56830 $K=6075$
t_e	28	t'_e	74	t''_e	120	K⑥⑧$=0.1068$
$(+)$	7.0	$(+)$	10	$(+)$	8	
$\delta_2(+)$	14.0	$\delta_3(+)$	-200	$\delta_4(+)$	160	⑥$74\times K\delta_r+270\times 0.1068=31.5$
$\int_0^t\delta_m dt$	-250	$\int_0^{t'e}\delta_m dt$	270	$\int_0^{t'e}\delta_m dt$	-330	-28.8

$(t_2+t_3)/2$	21	$(t_4+t_5)/2$	64	$(t_6+t_7)/2$	112	$+0.365$ 2.7
$-t_2$	-18	$-t_4$	-61	$-t_6$	-109	⑧$120\times K\delta_r-30\times 0.1068=-31.0$
$(+)$	3	$(+)$	3	$(+)$	3	35.2
$\delta_1(+)$	-60	$\delta_2(+)$	60	$\delta_3(+)$	-60	0.035 4.2
$\int_{t2}^{te}\delta_m\,dt$	80	$\int_{t4}^{te'}\delta_m\,dt$	-140	$\int_{t6}^{te''}\delta_m\,dt$	-100	$K\delta_r=+0.035$
$\delta_r(t_e-t_2)$	3	$\delta_r(t_e'-t_4)$	4	$\delta_r(t_e''-t_6)$	4	$\delta_r=+0.34$
$(+)$	83	$(+)$	-136	$(+)$	104	
$K(\ \ )$	10.7	$K(\ \ )$	-14.6	$K(\ \ )$	11.1	δ_r 0.34 $\lvert\dot{\psi}_4\rvert$ 1.65
$(\psi_e-\psi_2)$	-11.0	$(\psi'_e-\psi_4)$	11.5	$(\psi''_e-\psi_6)$	-11.0	t_e 280 $\lvert\dot{\psi}_6\rvert$ 1.55
$(\ \ )-K(\ \ )$	-21.7		26.1		-22.1	$\delta_r t_e$ 9 $(+)$ 2.20
$\dot{\psi}_2-\dot{\psi}_4$	-1.75	$\dot{\psi}_4-\dot{\psi}_0$	1.65	$\dot{\psi}_6-\dot{\psi}_0$	-1.55	$\int_0^{te}\delta_m\,dt,-250[(+)/2]$ 1.6
						$(+)$ -241 $0.012\left(\frac{L}{V}\right)[\ \ ]0.173=\gamma'$
T④	12.4		15.8		14.3	ψ_e -31
					15.8	K④$=\psi_e(+)$ 0.129
					30.1	K⑥⑧ 0.107 K'⑥⑧ 0.97
					15.0	T⑥⑧ 15.0 T'⑥⑧ 1.66
					12.4	K_{mean} 0.117 K'_m 1.07
					27.4	T_{mean} 13.7 T'_m 1.51
					13.7	

이것은 回頭 運動의 平均的인 强弱를 表示하는 尺度이다.

C) Spiral Test Method

前述한 것 같이 進路가 不安定한 船舶에 對하여 其程度를 알기 爲하여 施行한다.

① 所定의 速力을 整定하고 面舵 10° 發令하면 빠르게 10° 操舵한다.

② 旋回 運動이 充分히 일어날 때까지 stop watch와 compass로서 回頭 角速度를 計測하고 回頭 運動의 整定을 기다린다.

回頭角의 間隔은 一回의 計測 時間이 5~10 sec로 하는 것이 適當하다.

③ 回頭 角速度가 整定되면 이 값을 記錄하고 同時에 舵角과 推進器 回轉數를 記錄한다.

④ 面舵 5° 發令 : 同一하게 計測한다.

⑤ 面舵 1° 〃 : 〃 〃

⑥ 舵角 0° 〃 : 〃 〃

角速度를 記錄하는데 注意하라. 이 때 船體가 緩漫한 旋回를 行하는가?

⑦ 取舵 1° 發令 : 同一한 計測을 한다.

⑧ 取舵 1°에서 右旋回가 繼續되면 2°, 3°를 順次로 發令하고 同一한 計測을 行한다.

이 때 1°에서 試驗은 右旋回가 나타날 때까지 行한다.

⑨ 左旋回가 일어나는 運動의 整定을 기다려 其角速度와 舵角을 記錄한다.

⑩ 繼續해서 取舵 5° 取舵 10°를 順次로 發令하고 同樣의 計測을 行한다.

⑪ 取舵 5°, 1°, 0°를 發令하고 同一한 計測을 行한다.

⑫ 面舵 1° 發令 : 同一한 計測을 行한다.

⑬ 面舵 1°에서 左旋回가 繼續되면 面舵 2°發令하고 同一한 計測을 行한다(1°에서 右旋回가 나타날 때 까지).

⑭ 右旋回가 될 때까지 運動의 整定을 기다려 角速度, 舵角을 計測하고 試驗을 終了한다.

回頭 角速度 $\dot{\psi}°$/sec를 舵角 δ에 對하여 plot한다. 回頭 角速度 $\dot{\psi}\times L_{pp}(\mathrm{m})/V(\mathrm{m/sec})\times 57.3=\gamma'$라고 하여 γ'를 δ에 對하여 plot하면 Fig. 3과 같이 된다. δ는 $1°=2\,\mathrm{mm}$, γ'는 $0.1=10\,\mathrm{mm}$의 scale로 잡는 것이 適當하다. $\dot{\psi}$는 大型船에서는 $1°=50\,\mathrm{mm}$ 이렇게 하여 얻어진 曲線이 原點 부근에서 傾斜가 急增加하는 船舶은 進路 安定性이 나쁘다. (이것은 舵角의 값으로 表示된다.)

船舶의 進路不安定 程度는 loop의 幅이 20°에 이르면 操縱이 困難하다.

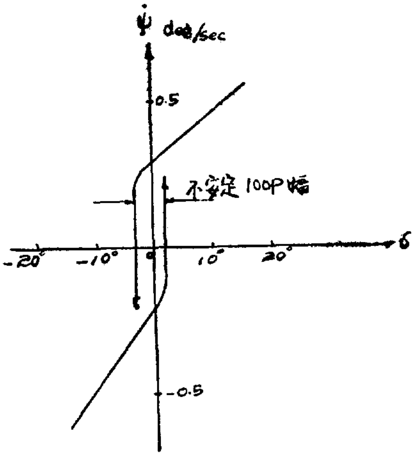

Fig. 3

D 前後進 試驗

① 所定의 速力(4/4)를 整定한 後에 後進 發令을 하고 發令時를 時間의 原點으로 하여 機關 停止, 機關 後進 始動, 機關 後進 整定, 船體 停止, 後進 速力 整定 等의 時間을 記錄하고 또 船首 方位와 速力을 計測한다.

後進 發令에서 試驗이 끝날 때까지 舵를 中央에 둔다.

② 後進 速力의 整定에서 前進을 發令하고 機關 停止, 機關 前進 始動, 機關 前進 整定, 船體 速力 整定 等의 時間과 船速과 船首 方位를 記錄한다.

③ 船體 前進速力이 整定되면 實驗을 終了한다.

④ 投木의 빈도를 많이 함으로서 船速을 正確히 測定하는 것이 要望되나 $3.5\sqrt{L}$(sec) 程度가 適當하다.

一般的으로 操縱性이라고 하면 旋回性 操舵에 對한 追從性, 進路 安定性을 말하며 三要素라고 부른다.

앞으로 國內 大型船建造에 對備하여 操縱性 試驗에 特別한 注意를 기울려야 할것은 물론 經濟的이고 合理的인 統一된 方案이 있어야 할 것이라고 생각한다.