

# 船体損傷時の 復原性 計算에 關한 研究

梁 時 權

## A Study on Damage Stability Calculation

Yang Sikwon

目 次	
1. 序 論	5. 本計算方式에 依한 計算의 効果
2. 在來의 計算方式	6. 貨物船의 復原性
3. 反復式計算方式에 依한 計算의 原理	7. 結 言
4. 數値計算 例	8. 附 錄

### Abstract

This paper introduces a method of calculating stability in case of damage of both passenger and cargo ships by means of the Repeated Calculation based on computer programing, and it also treats with safety of cargo ships primarily, which IMCO has recently exhibited a tendency to legislate. The above-mentioned calculation would be needed if the sub-division rule was made and applied to cargo ships. In addition, some suggestions on future development in this field have been given in this paper.

### § 1 序 論

1912年 Titanic號의 海難으로 因하여 1430名의 人命을 잃은 것을 絶頂으로 해서 旅客船에 區劃規程의 必要性이 提唱된 후, 1929年 海上에서 人命安全에 關한 國際會議가 開催되어 旅客船의 區劃에 關한 國際協約이 制定 發効하였다. 이후 이 國際協約은 많은 發展을 하여 왔으며, 近來에 乃至 英國을 頂지한 많은 나라에서 貨物船에도 區劃規程을 制定하여 船舶의 安全度를 向上시키자는 提議가 있음에도 아직은 빛을 보지 못하고 있다. (1)

Lloyd의 海難統計에 依하면 海難事故에 起因하여 全損되는 船舶의 80% 以上이 貨物船이며, 且 貨物船의 大型化 및 專用化로 因하여 船舶의 規模가 커지고 多樣化됨에 따라 年々 1艘 船舶의 海難 일지라도 財産上의 損失은 實로 莫大한 것이다.

筆者는 이러한 現實의 必要性和 國際的인 움직임에 대하여 船舶의 區劃과 復原性에 새로운 計算方式으로, 精度가 높고 簡單하면서도 集約的으로 損傷時의 安全性에 關한 研究를 하여, 當局이 將次 貨物船의 安全性에 關하여 發展的인 規程을 制定하는데 參考가 되게 하고, 船舶의 實地 運航에 도움이 되고자 한다.

## § 2 在來의 計算方式

附加重量法에 의한 吃水 및 Trim의 決定法

Trim線 및 그로 因한 浸水量을 決定하는 方法은 損傷前 Waterline 以下의 損傷區劃에만 浸水한 것으로 假想하여 그 때의 平均吃水에 대한 排水量等曲線圖의 값으로 Waterline을 決定한다. 그리고 浸水量과 그의 lcg (Longitudinal center of gravity)는 따로 만든 浸水區劃의 曲線을 利用한다.

따라서 浸수로 因한 Trim量에 대한 첫 近似値는 다음과 같다.

$$\text{Trim}(m) = \frac{w(\overline{XG} - \overline{XF})}{100 Mcm}$$

但,  $w$ ; 浸水量 (ton)

$\overline{XG}$ ; 船體中央에서 浸水한 海水의 重心까지의 水平距離(m)

$\overline{XF}$ ; 船體中央에서 浮面心까지의 水平距離(m)

$Mcm$ ; 每센티 트림 모멘트 (m-ton)

그런데 船舶이 損傷되어 Trim이 생기게 되면, 損傷된 곳의 吃水を 增加시키고, 區劃의 浸水量도 增加하게 되므로, Trim量은 첫 近似値보다 더 커지는데, 그 量은 一般的으로 平均損傷狀態에서 첫 近似値보다 10% 더 크진다는 것을 參酌하여 損傷區劃의 重心의 浮面心으로부터의 距離等에 依하여 Trim된 水線을 假定한다. (2)

이렇게 假定한 Trim line은 大端히 誤差를 많이 發生할 우려가 있을 뿐만 아니라 그 根據가 經驗的이며 非科學的이다.

相當히 큰 Trim에 대하여서는, 따로 L/40만큼 船首 및 船尾 Trim狀態에 대하여  $\overline{KM}$ ,  $\overline{KB}$ , Tcm (Tons per centimeter immersion) 및 Mcm(Moment to change trim 1 centimeter) 등의 값들은 따로 計算해서 그 曲線을 使用한다. 即 浸수로 因하여 Trim이 相當히 크고, L/40보다 작은 中間値에 대하여는 插問法이나 交叉法을 써서 計算한다. 排水量은 Bonjean 曲線으로써 精算한다.

損傷區劃의 浸水量은 平均橫斷面圖를 準備하여 假定한 損傷範圍와 水面下의 平均橫斷面に 나타난 여러 空間들의 配置를 참작하여, 浸水率 및 浸水된 길이에 따라 適當한 常數를 곱하여 浸水量 및 그 重心의 位置를 求한다.

橫傾斜에 對하여서는 各區劃의 容積曲線을 利用하여 吃水에 대응하는 값을 求하고 그 區劃의 tgc (Transverse center of gravity)와의 積으로서 傾斜 Moment를 얻어 傾斜角을 求한다.

이렇게 하여 求한 Waterline은 大略 1 foot 未滿의 Trim 差의 精度를 가진다. (3)

勿論 1 foot 程度의 Trim line의 差가 問題가 되지 않을 는지 모른다. 왜냐 하면 中間 過程에서의 假定이 많았기 때문에, 그러나 좀더 精度가 높고 計算過程이 簡略化된 方法이 아쉽다.

또 지금까지의 計算은 特定한 事項을 定하여 두고, 그 條件下에서 船舶이 損傷을 입으면, Trim

- (1) John P. Comstock and James B. Robertson, Jr., "Survival of Collision Damage Versus the 1960 Convention on Safety of Life at Sea," SNAME transaction, Vol. 69, 1961, p. 446.
- (2) James B. Robertson, Jr., "Principles of Naval Architecture," SNAME, 1967, p. 158.
- (3) James B. Robertson Jr., *ibid.*, pp. 157-160.

line이 어떻게 될 것인지에 대한 研究였으며, 그러한 條件下에서 *GM*의 減少量이 얼마가 될 것인지 하는 등의 特定 Case의 研究이었다. 따라서 船舶을 直接 運航하는 船長에게는 얼마든지 그 特定的 研究 現象과는 아주 다른 與件에서 運航하는 경우는 오히려 特定條件下에 運航하는 回數보다 더욱 많은 것이다. 따라서 現實에 가장 가까우면서도 一般的이며, 各 Draft에 대하여 總 網羅한 安全性 및 正確한 浸水 前後의 Draft를 알 수 있게 하는 研究 結果는 一線 船舶의 責任者에게 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

本 研究는 위의 現實的인 必要에 부합할 수 있는 모든 運航狀態에 適用될 수 있는 一般的인 計算 方法을 提示한다.

本 方法은 次節에서 說明하는 바와 같이 Digital 計算機를 利用하여 反復的으로 精度 높은 計算을 하는 것으로 이를 反復式 計算方式이라 이름짓는다.

### § 3 反復式 計算方式에 依한 計算의 原理

#### A. 0°橫傾斜時 吃水의 決定法

Trim line의 決定方法은 그 浸水量을 段階的으로 分割하여 反復的으로 計算한다. 即 損傷前의 水線 以下에만 損傷區劃에 浸水한 것으로 생각하여 重量附加法으로의 第一次 損傷水線을 定하고 다음에 第一次 浸水量에 依하여 第二次 水線을 決定한다. 이렇게 反復하여 計算하면 次數의 增加에 따라 附加浸水量은 漸次 減少되어 結局에는 零에 수렴할 것이다. 이때의 水線이 損傷으로 因한 最終 水線이 될 것이다.

一般的으로 *i*번 次의 船首尾吃水를 各各 *df<sub>i</sub>*, *dai*라 하면 (*i*+1)번 次의 船首尾吃水는 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$da_{i+1} = da_i + \frac{1.025\mu_i(v_i - v_{i-1})}{Tm} + \frac{L/2 + \textcircled{F}}{L} \cdot \frac{\mu_i(v_i - v_{i-1}) \cdot l}{Mm}$$

$$df_{i+1} = df_i + \frac{1.025\mu_i(v_i - v_{i-1})}{Tm} - \frac{L/2 - \textcircled{F}}{L} \cdot \frac{\mu_i(v_i - v_{i-1}) \cdot l}{Mm}$$

但,

*df<sub>i</sub>*: 船首吃水(*m*)

*dai*: 船尾吃水(*m*)

*v<sub>i</sub>*: 浸水容積(*m*<sup>3</sup>), *v<sub>0</sub>*=0

*l*: 浮面心에서 浸水區劃 重心까지의 距離(*m*)

*F*: 浮面心

$\textcircled{F}$ : 船體中央에서 浮面心까지의 距離(*m*)

*Tm*: 1m 平均 Draft 變化에 所要되는 排水噸數(ton)

*Mm*: 1m Trim 變化에 所要되는 moment (*m*-ton)

*μ*: 浸水率 (浸水高 및 積貨에 依하여 變한다)

#### B. 橫傾斜가 있을 때의 吃水線 決定法

船舶이 水密 縱隔壁을 가지고 그 Wing tank에 浸水되었을 때는 船體에 橫傾斜를 일으키게 된다. 이런 때에도 浸水區劃의 橫容積重心曲線 (Transverse center of gravity curve)과 浸水高에 따르는

區劃의 容積曲線을 利用하면

첫 단계

0° 傾斜에 의한 浸水量과 吃水線은 앞서 計算에 의하여 얻어지고

둘째 단계

$$ds_{j+1} = ds_j + \frac{1.025\mu_j(v_j - v_{j-1})}{Tm} + \frac{1.025\mu_j(v_j - v_{j-1})tcg}{Mhm}$$

$$dp_{j+1} = dp_j + \frac{1.025\mu_j(v_j - v_{j-1})}{Tm} - \frac{1.025\mu_j(v_j - v_{j-1})tcg}{Mhm} \quad ds_1 = dp_1 = dc$$

但,  $ds_j$ ; 浸水區劃重心에 있어서의 右舷吃水( $m$ )

$dp_j$ ; 浸水區劃重心에 있어서의 左舷吃水( $m$ )

$dc$ ; 0° 傾斜에 浸水區劃의 中心線上 重心의 縱位置에 있어서의 最終吃水( $m$ )

$v_j$ ; 浸水區劃의 容積( $m^3$ )  $v_0$ 는 0°橫傾斜時의 最終浸水容積( $m^3$ )

$tcg$ ; 中心線에서 浸水區劃容積 重心까지의 橫距離( $m$ )

$Mhm$ ; 1m 橫傾斜를 생기게 하는 moment( $m-ton$ )

여기서  $Mhm$ 는 다음과 같이 計算된다.

左右舷 draft의 差를  $Hm$ 라하면

$$Hm = \frac{1.025 \cdot \mu \cdot v \cdot B \cdot tcg}{\Delta \cdot GM}$$

$$1.025 \cdot \mu \cdot v \cdot tcg = \frac{\Delta \cdot GM}{B} \cdot Hm$$

위에서  $Hm$ 를 1m되게 하는 moment를  $Mhm$ 라 하면

$$Mhm = \frac{\Delta \cdot GM}{B} \quad (m-ton)$$

但,  $B$ ; 船舶의 幅( $m$ )

$\Delta$ ; 船舶의 排水量( $ton$ )

여기서  $GM$ 는 浸水時에 0°橫傾斜에 있어서는 最小量이 1960年 SOLAS에서 2 inches(0.05m)임으로 一般式에서는 이 값을 넣어 計算하면

$$Mhm = \frac{0.05}{B} \cdot \Delta \quad (m-ton)$$

이것을 代換하면

### C. 最小要求 $GM$ 量의 計算

船舶이 損傷을 입어서 浸水될 때에 水線이 甲板의 限界線 以上으로 오르거나, 船舶의 復原性이 모자라면 沈沒하게 된다. 따라서 浸水後의 吃水가 決定되면 다음 過程으로 그 浸水로 인한  $GM$ 의 變化量을 計算함으로써 船舶의 損傷時의 安全性을 判斷할 수 있다.

이렇게 浸水 때문에 생기는  $GM$ 의 變化量을 計算할 수 있으면, 逆으로 損傷前에 損傷을 豫想하여 必要로 하는 最小限의  $GM$  크기를 알 수 있다.

即 損傷時를 豫想한 最小 $GM$ 量은 다음과 같이 計算할 수 있다.

a. 浸水區劃의 自由表面의 영향 만큼  $GM$ 가 減少한다.

$$GG_1 = \frac{\mu s \cdot i}{V} = \frac{\mu s \cdot 1/12K \cdot lb^3}{\Delta} = \frac{1.025 \cdot \mu s \cdot K \cdot lb^3}{12\Delta} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

Trim의 甚하면  $l = l \cdot \cot\theta$ 가 되나 無視하여도 誤差가 크지 않다.

但,  $v$ ; 最終 浸水容積( $m^3$ )

$\mu$ ; 浸水表面의 浸水率

$l$ ; 浸水區劃의 길이( $m$ )

$b$ ; 浸水區劃의 幅( $m$ )

$K$ ; 水線面의 모양에 의하여 定해지는 常數

$\Delta$ ; 浸水後의 最終 排水量( $ton$ )

$V$ ; 水面下의 容積( $m^3$ )

b. 浸水量과 그의 重心의 높이에 의해서 船舶의 重心의 높이에 變化를 준다. 그 變化量을  $GG_1$ 라 하면

$$GG_1 = \frac{w \cdot Gg}{\Delta} = \frac{1.025 \cdot \mu \cdot v \cdot (KG - Kg)}{\Delta} \dots\dots\dots(2)$$

2) 의  $KG$ 의 값은 船舶의 積貨狀態에 따라서 달라진다. 그런데 이를 Draft에 따라 그 船舶의 가장 普遍的인 값을 定하여 利用하면 一般的이고, 모든 狀態에 같이 適用할 수 있는 方法을 推出할 수 있다. 本 論文에서는 右列 滿載時의  $GM$ 의 크기를 船幅의 5%로 看做하고, 空船 및 中間吃水에 대한  $GM$ 의 값을 別添 附錄 I에서 여러 船舶의 輕荷吃水時  $GM$ 量을 平均한 후,  $KM$ 의 變化에 比例하여  $GM$ 의 값이 變하는 것으로 假定하면, 各 Draft에 대한  $KG$ 값을 얻을 수 있다.

이러한 假想은 SOLAS에서 要求하는 旅客船의 安定等에 比하여 無理없는 假定임으로 實船의 運航에는 支障없고, 特정한 狀態에서는  $KG$ 의 값이 定하여 짐으로 그 값을 넣어 計算하면 簡單하고 正確한 답을 얻을 수도 있다.

c. Metacenter의 位置變化

Draft의 變化에 따라 Metacenter의 位置도 變한다. 損傷前의 吃水에 대한 Metacenter의 높이를  $KM_1$ 이라 하고 浸水後 最終吃水에 대하여서는  $KM_2$ 라고 하면 Metacenter의 位置의 垂直 變化量은

$$M_1M_2 = KM_2 - KM_1 \dots\dots\dots(3)$$

위의 1), 2)와 3)에서 損傷 前後의  $GM$ 의 變化量은

$$GG_1 + GG_2 + M_1M_2 \dots\dots\dots(4) \text{ 이다.}$$

따라서 損傷 浸水後 0°橫傾斜에 있어서 所要되는  $GM$ 값이 0.05m 임으로 損傷前에 船舶이 가졌던 最小  $GM$ 값은 4)의 增減에 따르는 符號를 넣으면

$$0.05 + GG_1 - GG_2 - M_1M_2 (m) \text{ 가 된다.}$$

#### § 4. 數值計算 例

本 計算의 例로서 우리나라 大韓船舶株式會社의 경주호의 資料를 利用하였다. 경주호의 船舶要目은 다음과 같다.

全長	178.458m
垂線間長	168.000m
幅	22.900m
길이	13.800m
滿載吃水	10.123m

(6)

總噸數 15052.53 ton  
純噸數 11387.43 ton  
船艙數 7個

船體側面圖

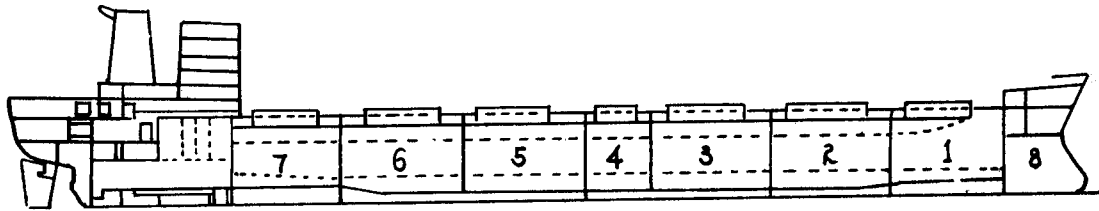


fig.4-1



1. 滬甯鐵路主要排水量等曲線圖

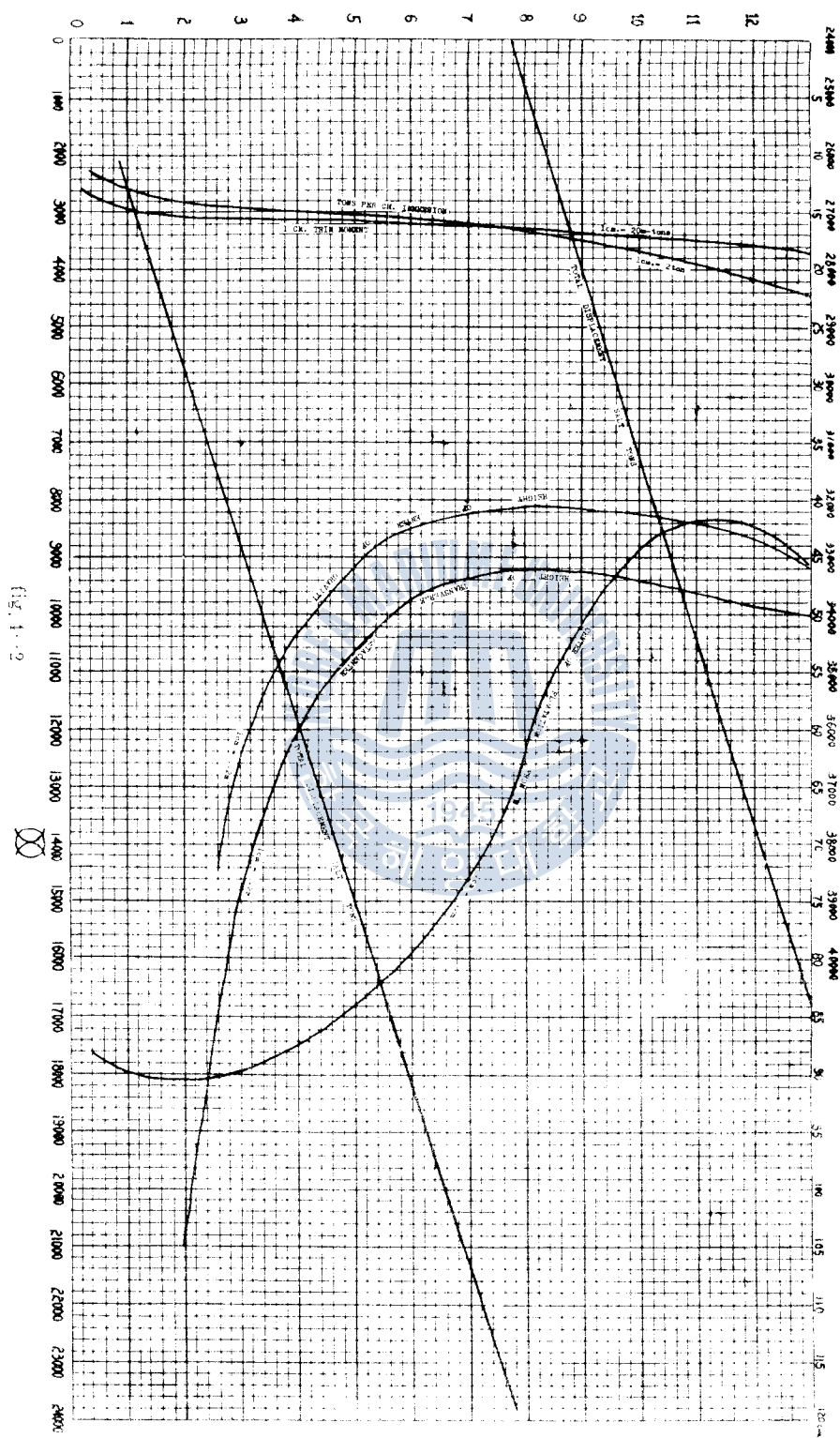


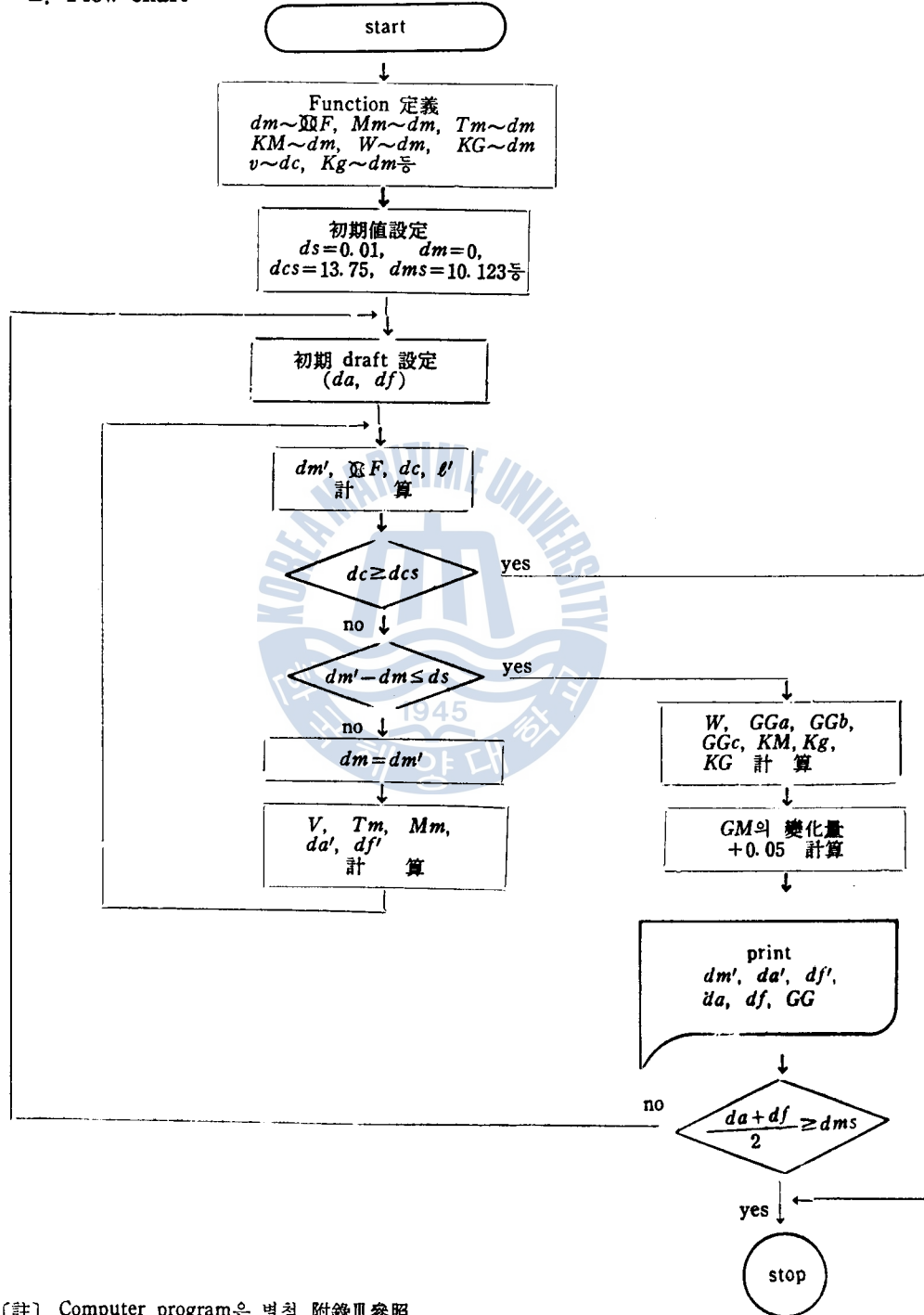
圖 1-2



(8)

[註1] 本計算에서 fig 4-2의 曲線들은 最小自乘法에 依해서 一次式 또는 二次式으로 近似化해서 使用했다.  
[註2] 各 船艙의 容積 및 그 重心의 높이는 附錄Ⅱ에 있음.

B. Flow chart



[註] Computer program은 별첨 附錄Ⅲ參照



最小要求GM值 曲線

對全船GM值

- ① 1番艙 浸水時, 浸水率 0.6, 1 m trim by the stern
- ② 2番艙 浸水時, 浸水率 0.6, 2 m trim by the stern
- ③ 3番艙 浸水時, 浸水率 0.6, 2 m trim by the head
- ④ 4番艙 浸水時, 浸水率 0.6, 1 m trim by the head
- ⑤ 5番艙 浸水時, 浸水率 0.6, 1 m trim by the stern
- ⑥ 7番艙 浸水時, 浸水率 0.36, 1 m trim by the stern
- ⑦ 7番艙 浸水時, 浸水率 0.98, 1 m trim by the stern

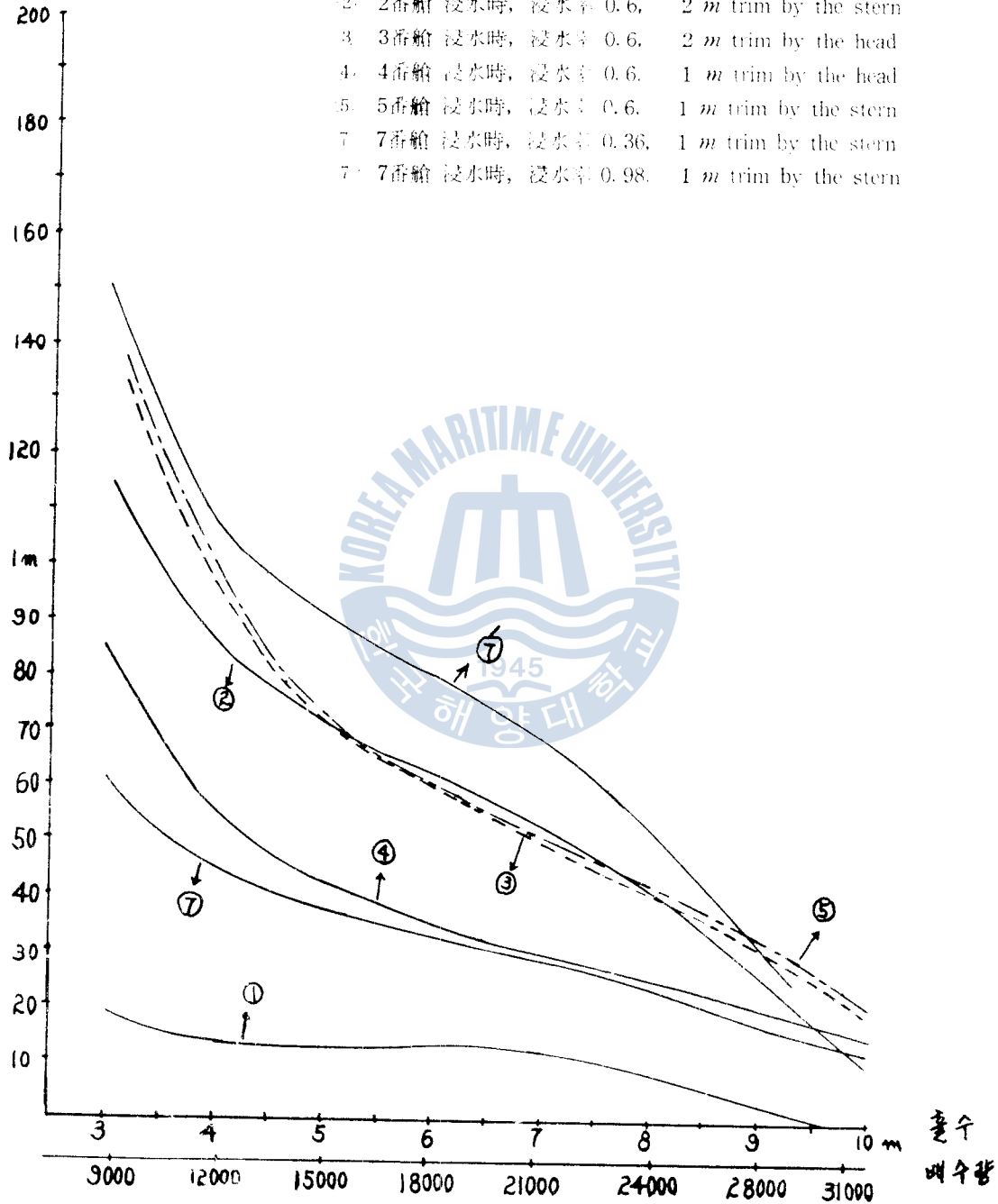


fig.4-3

## C. 最小要求GM 值曲線

주어진 狀態에서 各 船艙에 浸水 하였을 때를 豫想하여 損傷前에 必要로하는 GM의 값은 fig. 4-3 과 같다. 따라서 一定한 狀態에서 任意的 1個 船艙에 浸水하였을 때에도 船舶이 轉覆하지 않게 위하여 要求되는 GM값은 그 때의 排水量에 있어서 fig. 4-3의 各 曲線中 最大值 보다 커야 된다.

그러나 實務에서는 船舶이 長距離 航海를 하면 二重底에 있는 燃料과 清水를 使用하게 됨으로 航海 終了時에는 出發時에 比하여 排水量도 減少하고 船舶의 重心의 位置도 上昇하여 GM값이 줄게 된다. fig. 4-3에서 보는 바와같이 一般的으로 排水量이 減少하면 安全을 위한 GM의 要求値는 커지게 됨으로 出航時의 GM값은 위에서 指摘한 最小要求GM值 보다 커야 한다.

## D. 初期吃水, 最終吃水 및 最小要求GM值表 (計算結果)

船 艙 番 號	浸水率	船 首 尾 吃 水	初 期 吃 水 (m)	最 終 吃 水 (m)	最 小 要 求 GM值
#4	0.6	da	2.51	3.44	
		df	3.51	3.50	85.2cm
	0.6	da	3.51	4.50	
		df	4.51	4.54	55.3cm
	0.6	da	4.51	5.56	
		df	5.51	5.58	42.3cm
	0.6	da	5.51	6.61	
		df	6.51	6.60	35.3cm
	0.6	da	6.51	7.67	
		df	7.51	7.60	30.3cm
	0.6	da	7.51	8.74	
		df	8.51	8.60	25.6cm
	0.6	da	8.51	9.81	
		df	9.51	9.60	20.5cm
	0.6	da	9.51	10.88	
		df	10.51	10.63	14.3cm
	0.6	da	10.51	12.10	
		df	11.51	2.77	1.2cm
#7	0.36	da	3.55	3.67	
		df	2.55	2.52	61.6cm
	0.36	da	4.55	4.84	
		df	3.55	3.46	44.6cm
	0.36	da	5.55	6.00	
		df	4.55	4.41	37.4cm

	0.36	da	6.55	7.14	
		df	5.55	5.35	33.0cm
	0.36	da	7.55	8.25	
		df	6.55	6.30	29.0cm
	0.36	da	8.55	9.32	
		df	7.55	7.26	23.9cm
	0.36	da	9.55	10.38	
		df	8.55	8.23	17.7cm
	0.36	da	10.55	11.44	
		df	9.55	9.20	10.3cm
#7	0.36	da	11.55	15.00	
		df	10.55	9.14	-57.8cm
	0.98	da	3.55	3.97	
		df	2.55	2.44	151.0cm
	0.98	da	4.55	5.55	
		df	3.55	3.26	107.0cm
	0.98	da	5.55	7.05	
		df	4.55	4.07	90.8cm
	0.98	da	6.55	8.48	
		df	5.55	4.90	80.2cm
	0.98	da	7.55	9.81	
		df	6.55	5.74	68.8cm
	0.98	da	8.55	11.00	
		df	7.55	6.64	52.2cm
	0.98	da	9.55	12.14	
		df	8.55	7.55	31.6cm
0.98	da	10.55	over flow		
	df	9.55	no answer		

## § 5. 本方式에 의한 計算의 效果

本 研究와 같이 船舶이 損傷으로 因하여 浸水되는 경우, 損傷前의 draft가 一次的으로 浸水量을 決定하는 要因이 되어 第二次 Trim line을 定하고, 이 第二次 Trim line이 第二次 浸水量을 定하게 되며, 다시 이 第二次 浸水量에 依하여 다음의 Trim line이 定하여 지는 過程은 Computer를 利用하는 것이 比較的 簡單하게 또 精度 높은 Trim line을 決定할 수 있다.

또 이러한 計算過程에 있어서 損傷區劃의 浸水量은 浸水高에 依하여, 또는 積貨가 半載狀態이거나 아니면 貨物의 混載等에 依하여서도 浸水率이 달라지므로 이러한 浸水率의 變化도 比較的 容易하게 算入함으로써 精度 높은 計算이 可能하다. (附錄 IV 參照)

本 方式에 依한 計算은 船舶의 各種 運航狀態中 가장 一般的이며, 現實에 가까운 數値를 引用하면 例를 들어, 積貨의 種類에 따르는 浸水率, 一般的인 運航狀態의 Draft 條件 即 Trim by stern 얼마라든가, 또 每 Draft에 대한 比較的 實際值에 가까운 船舶의 重心의 基線上的 높이等을 推出하여 計算에 利用하면, 다만 그 極限의 境遇만을 計算하여 船舶의 區劃에 利用하던 지금까지의 方式에서 解放되어, 實際 船舶의 建造를 擔當하는 設計者는 勿論, 船舶을 運航하는 一線 責任者에게 까지도 自信있는 資料를 줄 수 있을 것이다.

지금까지는 初期條件에 있어서 Trim을 水平 Trim인 것을 前提로 하여 區劃規程이 되어 있는데, 이와 같이 比較的 簡單한 方法에 依하여 計算할 수 있으면, 規程도 合理的인 Trim量을 前提로 하여 例를 들면 L/70 by the stern이라든가 하는 狀態를 損傷前의 條件으로 하여 船舶의 區劃規程을 研究할 수 있을 것이다.

本 Programming에 依하면 위의 利點外에 다음과 같은 點이 있다.

a. 計算例에서와 같이 全吃水에 거친 最小限度의 GM값을 一目瞭然하게 曲線으로 나타 낼 수 있다. 이러한 曲線은 一線 船長이 어떠한 狀態에서도 衝突을 하였거나, 坐礁를 하여 浸水하였을 때에도 自船의 復原性에 대하여 가볍게 判斷할 수 있는 資料가 되어 效果있는 對策을 내릴 수 있게 할 것이다.

b. 이 最小要求GM曲線과 排水量等曲線圖를 利用하여, 固定 Ballast의 必要性을 判斷할 수 있을이며, 또 그 量과 位置 등에도 比較的 科學的인 根據를 줄 수 있을 것이다.

c. 또 Trim line 및 浸水에 依한 復原性的 減少등에 대한 資料를 綜合적으로 判斷할 수 있으므로 船舶의 水密隔壁의 位置, 二重底의 높이, Ballast tank의 位置 및 그 크기와 Tank의 區劃等을 決定하는 段階에 쓰일 것이며, 既存 船舶의 安全性에 대하여서도 判斷하는 좋은 資料 일 뿐 아니라 船舶의 構造를 變更할 때도 利用될 수 있을 것이다.

## § 6. 貨物船의 復原性

### A. 油槽船 및 Bulk carrier

二次大戰 以後 世界의 油類 輸送量이 激增됨에 따라 油槽船의 大型化 및 船腹 增加는 實로 海運에 있어서 重大한 變化를 일으켰으며, 1971년에 있어서도 油槽船의 船腹의 增加는 他種의 船舶에 比較를 不許하는 驚異的인 것으로 1千萬總噸을 넘었으며, 이 數는 1971年度 全世界 船腹建造量의 50.7 Per-cent에 達한다. (4)

(4) Lloyd's Register of Shipping, Statistical table 1971, p. 1.

더욱이 油槽船은 昨年末로서 世界船腹의 40%인 約 1億總噸으로서 앞으로는 한층 더 增加할 것으로 展望되고 있다. 이러한 時機에 油槽船의 安全性問題를 더욱 積極的으로 다루어서 人命과 莫重한 財産을 保護해야 함은 勿論이고, 油槽船의 事故는 海水를 汚濁케하여 重大한 問題로 發展한다. 따라서 油槽船의 損傷時의 安全性을 보다 完全하게 研究하는 것은 海運界의 焦眉의 課題다 할 수 있다.

또 最近 Container 船과 함께 海上輸送革新의 重要한 一翼을 차지하고 있는 Bulk carrier도, 1956年 Suez 運河 危機 이래 눈부신 增大를 하여, 1971年 現在 世界船腹量의 21.8%에 達하며, 이러한 專用船도 將次 크게 增加 할 것이라는 것으로 確實하다.

이러한 大型專用船에 대하여서도 油槽船과 같이, 1966年 國際滿載吃水線條約 第27規則은 區劃의 程度에 의하여, 保證되는 浸水에 대한 高度의 安全性을 前提로하여, 滿載吃水線의 位置를 1930年 條約보다 높이고 있다. 또 船舶의 길이가 225meter를 넘는 船舶은 機關室도 可設區劃室로서 取扱하것을 規程되어 있다.

如斯한 새로운 規程은 貨物船의 一部인 油槽船과 特殊構造를 한 Bulk carrier에 損傷時의 復原性을 다른 措置 이다. 將次 此種의 船舶의 新造에는 勿論 檢査의 있어서도 보다 正確하고 簡單하며 實用面에서 利用度가 높은 損傷時의 安全性 檢査의 方法은 切實하여 設다.

規程에서는 船舶이 非對稱浸水時에 最大橫傾角이 15° 일 것을 定하여 두었으나, 浸水量의 가장 많은 最大吃水에 있어서 乾舷이 작으므로 一般的으로 非對稱浸수로 인한 15°以上 橫傾斜의 임하는 危險과 달라져 적을 것으로 생각된다. 또 空艙이나 中間吃水에 있어서의 橫傾斜量은 Cross flooding 으로 制出할 수 있음으로 크게 問題되지 않는다. 鐵石運搬船에 있어서도 特殊構造를 했을 때는 油槽船에 準하는 乾舷을 指定받게 되어 있는데, 理論上으로는 鐵石運搬船이 損傷을 입었을 때는 浸水高의 增加에 따라 浸水率이 높아지므로 浸水量이 많아 질 것이며 同時에 GM의 喪失量도 커지게 된다. 故로 單純히 構造판에 의하여 乾舷을 指定하는 現 1966年 滿載吃水線條約은 이 點에서 問題가 있다.

“1960年 海上에 있어서 人命安全에 關한 國際協約”에서 Bulk grain carrier에 대하여는 1948年 條約에 比하여 大體 그 制限이 緩和되어 있고, 復原性에 대하여서는 IMCO의 區劃 및 復原性委員會 의 研究 結果를 하여 實으로 某種의 安全規程을 制定할라는 方針이다.

### B. 一般貨物船

現在로서는 一般貨物船은 損傷時에 關한 甚 大의 安全性에 關한 規程이 없다. 그러나 美國을 위시하여 相當한 國家들이 貨物船에 區劃規程을 適宜 適用할 것을 主張하고 있을 뿐 만 아니라, 이미 二次大戰을 수행하기 위하여 美國의 Maritime Commission에서 設計한 貨物船의 一部는 區劃船으로 建造한 바도 있다.

그러나 最近 IMCO에서는 貨物船의 區劃에 對한 問題가 提議되어 어떠한 國際的인 統一을 期케 하고 있다. 그러나 問題로서는 一般貨物船에서 區劃規程을 適用하면, 浸水 空艙보다도 浸水 艙이라 하더라도, 船舶의 길이는 짧게 한다거나, 二重底의 높이를 높여 줄 때는 등의 結果를 招키게 될 것이며, 尤도 此와 相當한 非經濟的인 結果를 不可避하다.

이와 같은 點의 是 課題로서 適當한 妥協點이 나출 때 까지는 時日의 消費 必한 것으로 察見된다. 그러나 船舶의 區劃을 適用하여 安全性을 높여진 莫重한 人命과 財産을 救하러야 한다는 一般의 常識에 따라 이 問題에도 本格的인 研究는 不可避하다.

이와 規定되는 段階에서는 一般貨物船은 積載한 貨物의 種類 및 그의 量에 對한 比較的 複雜한

(5) Lloyd's Register of Shipping, ibid., p. 1.

(6) IMCO Bulletin 11, November 1967, pp. 12~31

資料를 넣어 規定되어야 할 것이며, 또 一線 船長의 理解를 높이기 위하여 船內에 損傷時의 安全性을 쉽게 알 수 있는 Manual을 備置토록 規定할 必要가 있을 것이다.

附錄 IV 參照

### 7. 結 言

IMCO Recommendation 8에 依하면 “貨物船에 區劃規程 및 損傷時의 復原性의 要求를 適用하는 것은 合理性과 現實性이 있으니 계속 研究한다”로 되어 있다. 따라서 早晚 適當한 크기 以上의 貨物船에 대하여는 旅客船 보다는 緩和된 條件으로 貨物船에 適合한 區劃規程이 생길 것으로 展望된다.

本 論文의 結果로써 旅客船의 安全에는 勿論 앞으로 貨物船의 規程을 制定함에 있어 簡單하게 資料를 處理할 수 있기 때문에 若干의 도움을 주리라고 確信한다,

油槽船은 實務에서 이 損傷時의 復原性에 關한 資料를 直接 備置하고 있는 것이 大端히 有用할 때가 많다. 예를 들어서 油槽船이 衝突을 하여 船艙에 浸水 할 경우 船舶의 沈沒을 防止하기 위하여 艙內의 荷物油를 퍼내어야 할 지를 判斷해야 할 때가 있다. 이와 같은 境遇에 fig. 7-1과 같은 初期吃水와 各 船艙의 浸水後의 最終吃水を 船體 側面圖에 記入한 冊子와 最小要求 GM圖를 船內에 備置하고 있으면 一目瞭然하게 船舶에 대한 가장 適合한 對處方法을 생각할 수 있을 것이다.

本 論文에서 船舶의 水平吃水에 대한 水力學的 特性值를 使用하였다. 그로 因하여 甚한 Trim이 發生할 경우에는 相當한 誤差를 생기게 할 것이다. 그러나 計算機의 In-put 資料의 精度를 높이면 在來의 方法과 比較하여 誤差는 적을 것이다. 아직 이 誤差에 대하여서는 實驗的으로 比較를 하지 못하였으니 將次 補完하려 한다.

또 計算例는 縱隔壁이 없는 船舶의 例이므로 非對稱 浸水의 경우를 例 들지 못 하였음은 不完全한 點이 있으나, 計算의 過程에 있어서는 完全히 一致하고, 다만 같은 計算方法이 한번 더 反覆하는 Loop를 첨가 하면 된다.

이도 다음 機會에 다시 補完하여 發表하려고 한다.

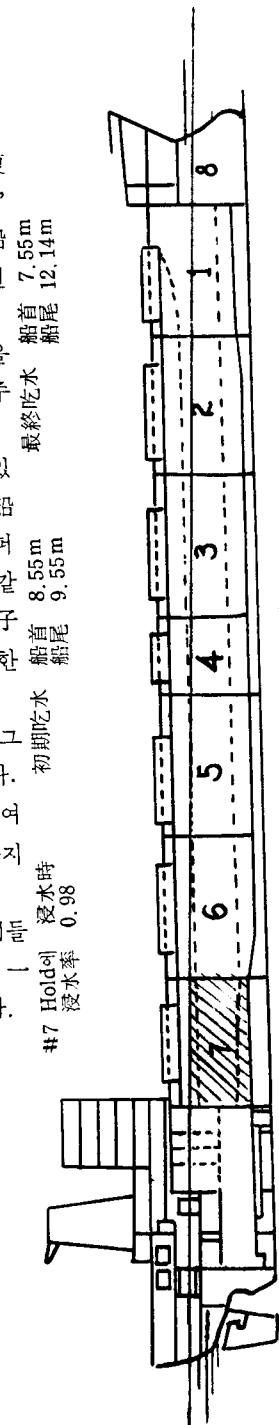
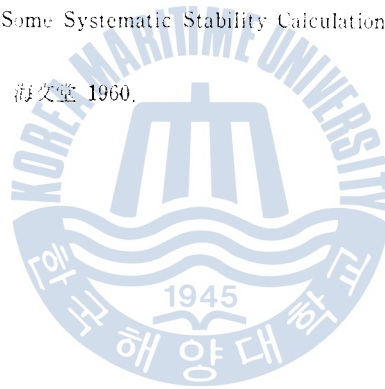


fig. 7-1

## 參 考 文 獻

- (1) John P. Comstock, and James B. Robertson, Jr., "Survival of Collision Damage Versus the 1960 Convention on Safety of Life at Sea," SNAME transaction, Vol. 69, 1961.
- (2) James B. Robertson, Jr., "Principles of Naval Architecture," SNAME, 1967.
- (3) Lloyd's Register of Shipping, Statistical table 1971.
- (4) Lloyd's Register of Shipping, Casualty Return 1970.
- (5) J. C. Niedermair, "Stability of Ships After Damage," SNAME transaction 1932.
- (6) International Convention on Load Lines, 1966.
- (7) International Conference on Safety of Life at Sea, 1960.
- (8) Charles L. Sauerbier, "Marine Cargo Operations," John Wiley & Sons, 1956.
- (9) Joseph Leeming, "Modern Ship Stowage," U. S. Government Printing Office, 1942.
- (10) IMCO Bulletin 11, November 1967.
- (11) C. W. Prohaska, "Results of Some Systematic Stability Calculations," IESS Transactions, Vol. 104, 1960/1961.
- (12) 大串雅信, 理論船舶工学(上卷)海文堂, 1960.



## 附 錄 I

Charles L. Sauerbier. "Marine Cargo Operation" John Wiley and Sons. 1956, pp. 56—58.

Type of ship	$\Delta$ (ton)	KM (ft)	KG (ft)	GM (ft)	Breadth (ft)	GM의 B에 대한 백 분율
Liberty 型	3412	30.48	19.75	10.73	57.0	18.8%
Victory 型	4500	34.90	26.50	8.4	62.1	13.5%
Mariner 型	7675	38.50	31.50	7.0	76.1	9.2%
C <sub>1</sub> -B	4141	32.33	24.77	7.56	50.0	15.1%
C <sub>1</sub> -S-A <sub>1</sub>	4500	36.32	27.92	8.40	63.0	13.2%
C <sub>1</sub> -S-A <sub>2</sub>	4973	42.10	29.44	12.66	69.5	18.2%
					Mean	14.6%

위의 表는 輕荷吃水時의 諸 狀態이다. 船舶에 燃料, 清水 및 其他 運航에 必要한 船用品等을 실으면 GM 값은 急激하게 2~3ft. 줄어 들게 된다.

## 附 錄 II

	# 1Hold		# 2Hold		# 3Hold		# 4Hold		# 5Hold		# 6Hold		# 7Hold	
	v	Kg	v	Kg	v	Kg	v	Kg	v	Kg	v	Kg	v	Kg
1.525m			0	1.525	0	1.525	0	1.525	0	1.525	0	1.525		
2	0	2.0	151.51	1.74	113.36		70.31		113.36		113.36			
2.55													0	2.55
3	280.6	2.47	549.65	2.27	461.95	2.07	274.79	2.06	461.95	2.07	461.95	2.07	144.01	2.82
4	527.32	3.15	972.0	2.95	861.57	2.79	488.47	2.81	861.57	2.79	861.57	2.79	463.91	3.22
5	830.54	3.58	1422.3	3.39	1274.19	3.29	713.42	3.30	1274.19	3.29	1274.19	3.29	837.15	3.72
6	1133.76	4.07	1872.67	3.88	1686.81	3.83	938.35	3.81	1686.81	3.83	1686.81	3.83	1213.43	4.35
7	1428.78	4.57	2323.01	4.39	2099.43	4.35	1153.51	4.37	2099.43	4.35	2099.43	4.35	1619.98	4.82
8	1723.79	5.05	2802.72	4.83	2538.96	4.80	1402.90	4.78	2538.96	4.80	2538.96	4.80	2000.58	5.38
9	2018.82	5.53	3213.90	5.37	2915.70	5.35	1608.28	5.32	2915.70	5.35	2915.70	5.35	2385.50	5.92
10	2313.84	6.03	3864.24	5.82	3328.32	5.87	1833.22	5.84	3328.32	5.87	3328.32	5.87	2807.19	6.38
11	2608.86	6.57	4088.58	6.38	3707.94	6.36	2051.12	6.36	3707.94	6.36	3707.94	6.39	3159.96	6.89
12	2908.27	7.09	4435.13	6.80	4006.59	6.77	2252.16	6.83	4006.59	6.77	4006.59	6.77	3463.85	7.39
13	3167.68	7.55	4715.47	7.18	4247.21	7.12	2445.42	7.28	4247.21	7.12	4247.21	7.12	3703.76	7.97
13.8	3280.31	7.75	5057.70	7.58	4389.10	7.18	2498.74	7.35	4389.10	7.18	4389.10	7.18	3847.16	8.29



附 錄 Ⅲ

```

C      COMPUTATION OF SHIPS STABILITY WITH U. S. S. C. --80--2 TYPE.
C      PROGRAMMED BY S. K. YANG
C      JUNE 20, 1972
      DCS=#13.75
      NN=#9
      A1=#-0.2508
      B1=#-0.1463
      C1=#7.3
      A2=#0.385
      B2=#-8.67
      C2=#43.08
      S1=#168.6
      SB=#22.9
      DMS=#0.61
      LAA=#1
2000  READ 101,VA,VB,VC,VAA,VBB,GA,GB
101   FORMAT(3F10.3)
      READ 102,A1,AL1,A12,BB,DAO,DFO,AMY
102   FORMAT(2,6F10.3)
      AMYS=#AMY
      PRINT205, LAA,AMY
205   FORMAT(2,2F10.3,18HTANK,NO.14,5X,4HMYU=#F5.2/)
      DO 1000 I=#,NN
      DMO=#0.9
      I=#
      V=#0.6
      DA=DAO#FLOAT(1,1)-1
      DF=DFO#FLOAT(1,1)-1
90    DMM=#,DA+DF+180.5
      A11=#,DF-DA+1, S1
      B11=DMM
      A22=#1.0-A11
      B22=#-B11-A11
      DC=#A11+A11+B11
      IF=DC+DCS+21,000,000
21    FF=DMM+7.5+22,22.1
22    X1=#,A11+14+SQRT(1.5*B1-A11+1.5*2-4.0*A1*%C1-B11+1.5/2.0*A1)
      X2=#,A11+B1+SQRT(1.5*B1-A11+1.5*2-4.0*A1*%C1-B11+1.5/2.0*A1)
      IF=X2-X1+41.42,42
31    XF=X1
      GO TO 43
42    XF=X2
33    DM=#FF+XF)
      GO TO 2
44    D8=#,A22+B2+SQRT(1.5*B2-A22+1.5*2-4.0*A2*%C2-B22+1.5/2.0*A2)
      D9=#,A22+B2+SQRT(1.5*B2-A22+1.5*2-4.0*A2*%C2-B22+1.5/2.0*A2)
      IF=D9-D8+51.52,52
51    FF=DA+DF+71.72,72
71    DM=D9
    
```



```

GO TO 53
72 DM#D8
GO TO 53
52 IF%DA-DF : 81, 82, 82
81 DM#D8
GO TO 53
82 DM#D9
53 XF#FF2%DM :
2 PRINT 202, DA, DF, DM, DMM
202 FORMAT%/, 5X, 3HDA#F10.5, 2X, 3HDF#F10.5, 2X, 3HDM#F10.5, 2X, 4HDMM#
1 F10.5/ :
ALL#AL1+XF
IF%J-1 : 3, 23, 3
23 GMO#AGMF%DM :
3 DMD#DM-DMO
IF%DMD-DMS : 11, 11, 24
24 IF%DM-11.0 : 25.25, 4
25 V1#VF71%VAA, VBB, DC :
GO TO 5
4 V1#VF72%VA, VB, VC, DC :
5 VV#V1-V
IF%TM-7.0 : 31, 31, 32
31 TM#75.0*DM+2695.0
GO TO 33
32 TM#171.6*DM+2018.8
33 AMM#AMMF%DM :
D1#%1.025*VV*AMY : /TM
D2#%SL*0.5+XF :
D3#%SL*0.5-XF :
D4#1.025*ALL*VV*AMY/%SL*AMM : 5
DA#DA+D1+D2*D4
DF#DF+D1-D3*D4
DMO#DM
V#V1
J#J+1
GO TO 99
11 W#3294.0*%DM-3.0 : 8775.0
GMA#1.025*AMYS*AL2*BB*3/%12.0*W :
GM1#AGMF%DM :
GMG#AG7F%GA, GB, DM :
GKG#AGGF%DM :
GMB#1.025*AMY*%GKG-GMG : /W
GMC#GM1-GMO
GG#0.05+GMA-GMB-GMC
PRINT 203, DA, DF, GG
203 FORMAT%/, 9HFINAL DA#E15.7, 5X, 9HFINAL DF#E15.7, 5X 3HGG#E15.7/ :
1000 CONTINUE
LAA#LAA+1
GO TO 2000
999 PRINT 204
204 FORMAT%/, /, 19HOVER FLOW NO ANSWER/ :
LAA#LAA+1
GO TO 2000
STOP

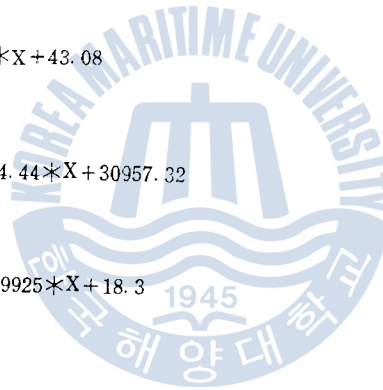
```

END

```

FUNCTION VF71% VAA, VBB, X :
VF71# VAA*X+VBB
RETURN
END
FUNCTION VF72% VA, VB, VC, X :
VF72# VA*X**2+VB*X+VC
RETURN
END
FUNCTION AG7F% GA, GB, X :
AG7F# GA*X+GB
RETURN
END
FUNCTION FF1% X :
FF1# -0.2508*X**2-0.1463*X+7.3
RETURN
END
FUNCTION FF2% X :
FF2# 0.385*X**2-8.67*X+43.08
RETURN
END
FUNCTION AMMF% X :
AMMF# 38.444*X**2-74.44*X+30957.32
RETURN
END
FUNCTION AGMF% X :
AGMF# 0.1075*X**2-1.9925*X+18.3
RETURN
END
FUNCTION AGGF% X :
AGGF# 0.114*X**2-2.1374*X+17.9822
RETURN
END

```



## 附 錄 IV

## Stowage Factors and Permeabilities(from C&amp;R No.8)

Commodity	Type of packing	Stow- Perme- age ability factor, of cu. ft. cargo		Commodity	Type of packing	Stow- Perme- age ability factor, of cu. ft. cargo	
		per ton	in full hold			per ton	in full hold
Autos(knock down).....	Case(4 ton)	110	80	Machinery.....	Cases	50	85
Autos.....	Case(2 ton)	220	84	Machinery.....	Boxes	46	55
Tractors.....	Case	200	75	Magazines.....	Bundles	75	70
Auto parts.....	Case	90	70	Meat.....	Cold storage	90-100	66
Autos.....	Open	...	95	Motors, gasoline.....	Cases	110	80
Apples.....	Barrels	104	61	Newspapers.....	Bales	120	63
Apples.....	Boxes	72	40	Nitrate.....	Bags	24	55
Acid.....	Drums	45	40	Nuts.....	Bags	70	55
Acid.....	Barrels	50	35	Oats.....	Bags	77	48
Bard wire.....	Rolls	55	85	Oil.....	Barrels	50	35
Beans.....	Bags	60	50	Oil.....	Cases	50	34
Biscuits.....	Cases	142	79	Oil.....	Drums	45	40
Blankets.....	Bales	153	78	Onions.....	Barrels	104	60
Butter.....	Boxesn	56	20	Onions.....	Bags	78	48
Canned goods.....	Cans in cases	50	30	Overcoats.....	Bales	160	40
Cable.....	Reels	31	50	Oranges.....	Boxes	78	46
Cardboard.....	Bundles	210	88	Paper.....	Rolls	80	70
Cartridges.....	Boxes	30	30	Paper.....	Bales	80	70
Castings.....	Boxes	22	50	Paper.....	Boxes	60	52
Castings.....	Barrels	31	70	Paint.....	Drums	24	40
Cement.....	Bags	35	63	Paint.....	Barels	28	30
Cement.....	Barrels	36	72	Paint.....	Cans	36	30
Chain.....	Barrels	12	60	Peas.....	Bags	55	55
Cheese.....	Boxes	45	30	Poultry.....	Boxes	95	60
Coffee.....	Bags	58	42	Potatoes.....	Bags	60	49
Conduits.....	Boxes	31	78	Potatoes.....	Barrells	75	61
Copper.....	Slabs	7	13	Piumbing Fixtures.....	Crates	100	60
Copper.....	Bars	10	26	Rags.....	Bales	149	76
Cork.....	Bales	187	24	Rails.....	Nond	15	50
Corn.....	Barrels	65	54	Raisins.....	Boxes	54	50
Corn.....	Bags	55	42	Rice.....	Bags	58	55
Dates.....	Boxes	45	30	Roof paper.....	Rolls	80	30
Dry fruit.....	Boxes	45	30	Rope.....	Coil	72	55
Dry goods.....	Boxes	100	60	Rubber.....	Bundles	140	25
Earth.....	Bags	56	30	Rugs.....	Bales	146	70
Eggs.....	Cases	100	45	Silk.....	Bolts	80	40
Electric motors.....	Boxes	50	40	Soap.....	Boxes	45	20
Fish.....	Boxes	65	70	Soap powder.....	Boxes	90	70
Fish.....	Barrels	53	42	Sugar.....	Bags	47	48
Flour.....	Bags	48	29	Sugar.....	Barrels	58	60
Flour.....	Barrels	73	44	Starch.....	Boxes	59	55
Furniture.....	Boxes	156	89	Steel rods.....	Nond	12	28
Gasoline.....	Drums	61	49	Tallow.....	Barrels	66	35
General cargo.....		70	60	Tasajo(dried beef).....	Bales	90	40
Grape fruit.....	Boxes	70	45	Tea.....	Boxes	91	80
Grape juice.....	Cases(bottles)	70	46	Thread.....	Cases	60	45
Hardware.....	Boxes	59	50	Tile.....	Boxes	50	20
Hay.....	Bales	120	60	Tin.....	Sheets	7	15
Hides.....	Bales	102	30	Tires.....	Bundles	168	85
Iron.....	Pigs	10	17	Tobacco.....	Boxes	134	60
Lanterns.....	Cases	375	80	Transformers.....	Cases	30	30
Lard.....	Boxes	45	20	Typewriters.....	Cases	110	80
Laths.....	Bundles	167	37	Waste(cotton).....	Bales	175	81
Leather.....	Bales	80	35	Wax.....	Bags	50	25
Lime.....	Bags	52	45	Wax.....	Parrels	70	35
Linoleum.....	Rolls	70	30	Wheat.....	Bulk	47	45
Linseed.....	Bags	60	50	Wool.....	Bales	160	30
				Zinc.....	Slabs	7	15