11) Fiacco et al.; Computational Algorithms for the Sequantial Unconstrained Minimization Techique for Nonlinear Programming, Management Science, Vol.10, No.4, 601-617,(1964).

12) 海難審判委員會裁決錄. (1976-1985)

13) 海運港灣廳統計年鑑. (1987)

14) 研究報告書; 海難事故頻發海域 航行船舶管制方案調査研究, (1983)

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

船舶의 損傷時의 復原性能 推定에 관한 硏究

A Study on the Prediction of the Ship's Damage Stability

李 龍

Yong Lee

〈目 次〉

Abstract
1. 서 론
2. 이론계산법
2.1 흘수 계산법
2.2 복원 성능 계산법
3. 실 험
3.1 실험방법
3.2 복원력 시험
4. 이론계산과 실험결과의 비교 검토
5. 결 론
참고문헌
부 록

dCollection

Abstract

The International Maritime Organization(IMO) has required that the vessel shall comply with the specified damage stability criteria for any operating draft.

In the present paper, the emphasis is laid upon the calculation method for damage stability, which is related to sinking phenomenon of ship and oil pollution of sea.

The author intends to develop theoretical calculation method for draft, trim, metacentric height, righting arm and heeling angle in equilibrium damaged condition. The theoretical calculation is based on Lost Buoyancy Hypothesis and Added Weight Hypothesis. The tank experiments for damage stability are also carried out with cargo ship model.

Through the comparision of calculation results with experimental data, it is confirmed that the damage stability can be predicted in terms of the present method to a certain extent

dCollection

Ⅰ. 서 론

선박에 관한 연구의 목적중 가장 으뜸이 되는 것은 선박의 안전 운항을 유지하는데 있다고 하겠다. 최근의 해난사고 발생현황에 따르면, 선박 침몰 사고는 충돌, 기관 손상, 좌초에 이어 4번째의 발생율을 보이고 있는 바, 다른 사고 원인이 대부분 운항자의 과실임에 비추어 볼 때 침몰(전복)사고는 화물 적재의 잘못등의 사유를 제외하고는 본선에 주어진 복원성에 관한 자료의 미비 또는 주어진 자료를 실제의 상황에 맞게 활용하지 못하는데 기인한다고 하겠다.

우리나라에서는 선박 안전법 제 16조 2항〔항행상의 위험 방지〕에 의거하여 선박 복원성 규칙(1980. 7. 5 교통부령 제 668호)이 제정되어 있고, 국제적으로는 1966년 국제 만재 흘수선 협약에서 선체 손상시의 복원력 계산에 대한 규정을 두고 있다. 또한, 1983년 10월 2일 국제적으로 발효된 1973/78년 해양오염방지협약의 규칙 제25조「구획 및 복원성」은 유조선의 손상시 복원성 기준에 관한 계산방법을 명시하고 있다.

선체 손상시의 복원력에 대한 연구는 그 동안 국내외에서 충분히 수행되어 왔으나 본 논문에서는 먼저 선체 손상시 최종평형상태에서의 흘수, 트림 및 $\overline{GM}$값을 계산하고, 비대칭 횡경사 침수시의 경사각을 계산하여 이에 따른 복원 아암을 구하는 이론적인 계산 방법을, 본선에 주어진 배수량 등곡선도 자료(TPC, LCF, KM 등) 및 Tank Capacity Plan만으로 계산이 가능하도록 이론식을 만들었다. 아울러 그 수식을 COMPUTER PROGRAM

화 하였으며, MODEL SHIP을 사용해 여러 조건하에서의 수조실험을 행하여 실험치와 이론 계산치가 근사함을 입증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같이 되어 있다.

제2장에서는 이론 계산법의 설명

제3장에서는 실험 방법 및 실험 결과 제시

제4장에서는 이론 계산과 실험 결과의 비교 검토

제5장에서는 비교 검토에 따른 결론을 내리고 앞으로의 연구방향을 제시하였다.

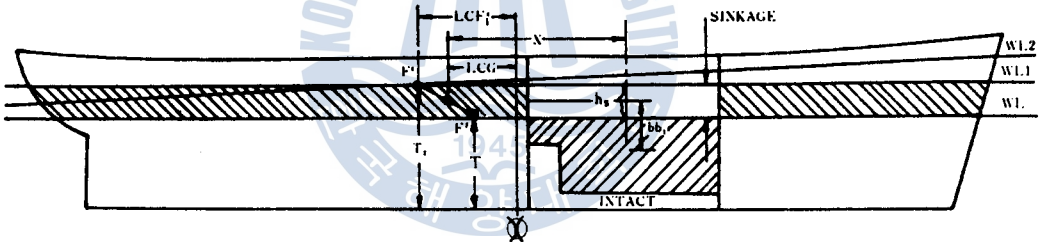
KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

dCollection

2. 理論計算法

船體가 임의의 구획에 損傷을 입으면 침수되어 흘수가 증가되고, 그에 따른 트림이 생기며, 復原力이 변화게 된다. 實船에 주어지는 배수량등곡선도 자료(TPC, LCF, KM 등)와 Tank Capacity Plan만을 이용하여 손상후의 船體에 대한 흘수 변화를 구하는 理論式을 구하고 복원성능을 나타내는 $\overline{GM}$과 경사각 ϕ를 구하는 이론식을 유도한 후 이에 따른 복원아암을 구한다.

2.1 흘수 계산법



Fig〔1〕 Sinkage and trim by lost buoyancy method

Fig[1]에서 손상전의 수선을 WL, 구획실의 침수로 인한 손상후의 수선을 WL_2라고 하면, 평균 흘수의 변화는 근사적으로 다음과 같이 計算된다.

$$\text{침하량} = \frac{v'}{A'} = \frac{(v - \text{비손상부의 부력}) \times \mu - P/\delta}{A - \mu_s \cdot a} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

식(1)에서

v =수선면 WL아래쪽에 있는 침수된 구획실의 형용적〔m^3〕

v′ =수선면 WL아래쪽에서의 참 손실부력〔m^3〕

dCollection

μ' = 구획실의 침수율

P = 깨어진 탱크속에 손상전에 액체가 있었다면 그 액체의 전체중량 〔ton〕

δ = 깨어진 탱크속의 액체의 비중량〔ton／m^3〕

μ_s = 구획실의 표면 침수율

A = 수선면 WL의 면적〔m^2〕

a = 침수된 구획실에 들어 있는 수선면 WL의 부분의 면적〔m^2〕

A′ = 침수후 손상되지 않고 남아 있는 수선면 부분의 참 면적〔m^2〕

$= A - \mu_s \cdot a$

수선면적을 매 센티미터당 배수톤수(TPC)로 나타내면

$$\left.\begin{aligned} A &= 100TPC/\rho \\ \mu_s \cdot a &= 100tpc/\rho \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (2)$$

식(2)에서

ρ = 비중량, 해수의 경우 1.025 ton／m^3

TPC = 수선면 전체에 대한 센티미터당 배수톤수

tpc = 손상된 수선면의 센티미터당 배수톤수

식(2)를 식(1)에 대입하면,

$$\text{침하량} = \frac{P}{RTPC} \quad \cdots\cdots (3)$$

식(3)에서 RTPC = 남아 있는 수선면의 센티미터당 배수톤수

$= TPC - tpc$

식(3)로부터 손상 구획실의 침수 후 증가된 흘수 T_1은

$T_1 = T +$ 침하량 식(3)의 값 $\cdots\cdots (4)$

으로 표시된다.

단, T는 손상전의 흘수

식(4)로부터 침하량을 추정하고 다음의 방법으로 제2의 더 가까운 근사값을 구한다.

$$\text{침하량} = \frac{2\rho\, v'}{RTPC + RTPC_1} \quad \cdots\cdots (5)$$

식(5)에서 첨자 1은 WL_1 흘수에서의 값을 의미한다. 즉,

$RTPC_1$ $= TPC_1 - tpc_1$ (TPC_1과 tpc_1은 식(4)에서 구한 흘수에서 각각 Hydrostatic curve 및 tank capacity plan에서 구한 값)

그러므로 최종흘수 T_2는

$$T_2 = T + \text{침하량(식(5)의 값)} \quad \cdots\cdots (6)$$

위의 흘수에서 Hydrostatic curve와 Tank capacity plan을 읽어 TPC_1, LCF_1, MTC_1 및 손상 구획실의 tpc_1, lcf_1, tcf_1 등을 구한다.

여기에서 남은 수선면의 센티미터당 배수톤수($RTPC_1$)의 중심을 구해보면 모우먼트의 평형 관계로부터

$$A_1 \times LCF_1 - a_1 \times lcf_1 = (A_1 - a_1) LCF_1' \quad \cdots\cdots (7)$$

이 되고, 식(7)을 LCF_1'에 대하여 나타내면

$$LCF_1' = \frac{TPC_1 \times LCF_1 - tpc_1 \times lcf_1}{TPC_1 - tpc_1}$$

$$= \frac{TPC_1 \times LCF_1 - tpc_1 \times lcf_1}{RTPC} \quad \cdots\cdots (8)$$

와 같이 표시할 수 있다.

한편 트림 모우먼트를 구하기 위한 lever(TLEV)는

TLEV = 손실된 부력 작용점의 주시 - 침보된 부력작용점의 주시

μ' = 구획실의 침수율

P = 깨어진 탱크속에 손상전에 액체가 있었다면 그 액체의 전체중량 〔ton〕

δ = 깨어진 탱크속의 액체의 비중량〔ton／m³〕

μ_s = 구획실의 표면 침수율

A = 수선면 WL의 면적〔m²〕

a = 침수된 구획실에 들어 있는 수선면 WL의 부분의 면적〔m²〕

A′ = 침수후 손상되지 않고 남아 있는 수선면 부분의 참 면적〔m²〕

$= A - \mu_s \cdot a$

수선면적을 매 센티미터당 배수톤수(TPC)로 나타내면

$$\left.\begin{aligned} A &= 100TPC/\rho \\ \mu_s \cdot a &= 100tpc/\rho \end{aligned}\right\} \cdots\cdots (2)$$

식(2)에서

ρ = 비중량, 해수의 경우 1,025 ton／m³

TPC = 수선면 전체에 대한 센티미터당 배수톤수

tpc = 손상된 수선면의 센티미터당 배수톤수

식(2)를 식(1)에 대입하면,

$$\text{침하량} = \frac{\rho V}{RTPC} \cdots\cdots (3)$$

식(2)에서 RTPC = 남아 있는 수선면의 센티미터당 배수톤수

= TPC − tpc

식(3)으로부터, 손상 구획실에 침수 후 변화된 흡수 T_1은

T_1 = T + 침하량(식(3)의 값) …… (4)

으로 표시된다.

단, T는 손상전의 흘수

식(4)로부터 침하량을 추정하고 다음의 방법으로 제2의 더 가까운 근사값을 구한다.

$$\text{침하량} = \frac{2\rho\, v'}{RTPC + RTPC_1} \quad \cdots\cdots (5)$$

식(5)에서 첨자 1은 WL_1 흘수에서의 값을 의미한다. 즉,

$RTPC_1$ $= TPC_1 - tpc_1$ (TPC_1과 tpc_1은 식(4)에서 구한 흘수에서 각각 Hydrostatic curve 및 tank capacity plan에서 구한 값)

그러므로 최종흘수 T_2는

$$T_2 = T + \text{침하량(식(5)의 값)} \quad \cdots\cdots (6)$$

위의 흘수에서 Hydrostatic curve와 Tank capacity plan을 읽어 TPC_1, LCF_1, MTC_1 및 손상 구획실의 tpc_1, lcf_1, tcf_1 등을 구한다.

여기에서 남은 수선면의 센티미터당 배수톤수($RTPC_1$)의 중심을 구해보면 모우먼트의 평형 관계로부터

$$A_1 \times LCF_1 - a_1 \times lcf_1 = (A_1 - a_1) LCF_1' \quad \cdots\cdots (7)$$

이 되고, 식(7)을 LCF_1'에 대하여 나타내면

$$LCF_1' = \frac{TPC_1 \times LCF_1 - tpc_1 \times lcf_1}{TPC_1 - tpc_1}$$

$$= \frac{TPC_1 \times LCF_1 - tpc_1 \times lcf_1}{RTPC} \quad \cdots\cdots (8)$$

와 같이 표시할 수 있다.

한편 트림 모우먼트를 구하기 위한 lever(TLEV)는

TLEV $=$ 손실된 부력 공간의 중심 $-$ 회복된 부력공간의 중심

dCollection

$$= lcg - \frac{LCF' + LCF_1'}{2} \quad \cdots\cdots (9)$$

로 표시된다.

식(9)에서 "−"부호는 ⊗ 에서부터 lcg와 $\frac{LCF' + LCF_1'}{2}$가 동일 방향일 때이며, 반대 방향일 때에는 "+"부호가 된다. 따라서 침수된 용적이 v′일 때에는 식(9)를 이용하면 트림 모우먼트 MT는

$$MT = \rho\, v' \times TLEV \quad \cdots\cdots (10)$$

로 나타낸다.

다음에는 손상된 배에 1cm의 트림변화를 주는 모우먼트 MTC_1'의 값을 유도해 보기로 한다.

먼저, 배의 횡경사 모우먼트 $= W \cdot \overline{GZ}$ ……(11)

으로 나타난다.

배를 1도 횡경사 시키는 데는 $\overline{GZ}$대신에 $\overline{GM}\sin\phi$를 대입하면 1도 횡경사 모우먼트 $= W \cdot \overline{GM}\sin 1^\circ$ ……(12)

위의 식은 종경사에 대해서도 적용되므로 1° 트림 모우먼트 MT_1은

$$MT_1 = W \cdot \overline{GM}_L \sin 1^\circ \quad \cdots\cdots (13)$$

식(13)에서 sin 1° 대신에 1cm를 배의 길이 L로 나눈 값을 대입해서 나타내면 매 센티미터 트림모우먼트 MTC는

$$MTC = \frac{W \cdot \overline{GM}_L}{100 L_{BP}} \quad \cdots\cdots (14)$$

실제의 선박에서 $\overline{GM}_L$은 $\overline{GB}$에 비해 대단히 크므로 $\overline{GM}_L$대신에 $\overline{BM}_L$을 적도 오차는 무시할 수 있다. 그러므로 $\overline{BM}_L$ 대신에 I_L/V, W대신에 ρV를 쓸 수 있으므로 매 센티미터 트림모우먼트 MTC는 근사적으로 식(15)가

dCollection

된다.

$$MTC=\rho\ V\cdot\frac{I_L}{V}\cdot\frac{1}{100L}=\frac{\rho\cdot I_L}{100L} \quad \cdots\cdots(15)$$

식(15)로부터 구하고자 하는 값,

$$MTC_i'=\rho\ V\cdot\frac{I_{Li}'}{V}\cdot\frac{1}{100L}=\frac{\rho\cdot I_{Li}'}{100L} \quad \cdots\cdots(16)$$

단, I_{Li}'=수선면 WL_i의 비손상부의 면적도심 F_i'을 지나는 가로축에 관한 세로방향의 2차 모우먼트

한편, 2차 모우먼트의 평형축의 원리를 적용하면

$$I_{Li}'=I_{Li}+A_i\cdot LCF_i^2-(A_i-\mu_s a_i)\cdot LCF_i'^2-\mu_s(a_i\cdot lcf_i^2+i_{Li}) \quad \cdots(17)$$

으로 나타난다.

여기에서

I_L =부면심 F_i에 관한 손상되지 않은 수선면 WL_i의 세로방향 2차 모우먼트

lcf_i =선체 중앙점으로부터 a_i의 도심까지의 거리

i_{Li} =면적 a_i의 그 도심에 관한 세로방향 2차 모우먼트

근사적으로

I_L =100L×MTC

A =100×TPC

$\mu_s a$=100×tpc

$\mu_s i_L=\frac{1}{12}\times 100tpc\times S^2$(단, S는 손실면적의 평균길이)

로 나타내므로 식(16)·(17)을 정리하면 다음과 같은 결과를 얻는다.

dCollection

$$MTC_1' = MTC_1 - \frac{TPC_1 \times tpc_1 \times (LCF_1 - lcf_1)}{LBP \times (TPC_1 - tpc_1)} - \frac{tpc_1 \times S^2}{12LBP} \quad \cdots\cdots (18)$$

그러므로 식(10)와 (18)로부터, Trim변화는 식(19)로 나타낼 수 있다.

$$Trim = \frac{MT}{MTC_1'} \quad [cm] \quad \cdots\cdots (19)$$

따라서 최종흘수인 선수흘수 TF_1과 선미흘수 TA_1은 각각 다음과 같이 나타난다.

$$\left.\begin{aligned} TF_1 &= TF + 침하량 - Trim \times (0.5 + \frac{LCF_1'}{LBP}) \\ TA_1 &= TA + 침하량 + Trim \times (0.5 - \frac{LCF_1'}{LBP}) \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (20)$$

단, 트림의 부호는 선미 트림일때를 +로 한다.

2.2 復原性能 計算法

2.2.1 손실부력법에 의한 복원성능계산

가상된 運航狀態에서 하나 또는 그 이상의 구획실의 損傷으로 인한 부력 손실을 計算하고, 손실된 浮力 및 그 모우먼트를 배의 損傷되지 않은 나머지 부분의 침하, 트림, 횡경사에 따라 얻어지는 浮力 및 그 모우먼트와 같은 값으로 보고 計算하는 方法을 손실 부력법(lost buayancy method)이라고 한다.

침수[illegible] 배수량을 W라 놓고 W에서의 값을 각각 $\overline{BM_T}$, $\overline{KB}$, $\overline{GM}$, $\overline{KG}$라 한다. 침수후의 손실부력 공간용적을 $V'[m^3]$, 손실부의 수선면적을 a, 비 손상시 수선면적을 A'라 하면, 침하량 $= \frac{V'}{A'}$로 나타내지고 여기에서 새로운 평균흘수값을 구한다.

dCollection

따라서 $\overline{BM_1}=\frac{I_1'}{V}$ ……(21)

로 나타낼 수 있다.

단, I_1'=비손상면적의 새로운 부면심에 관한 관성 모우먼트

$$\overline{KB_1}=\overline{KB}+\frac{v'\times bb_1}{V} \quad \cdots\cdots(22)$$

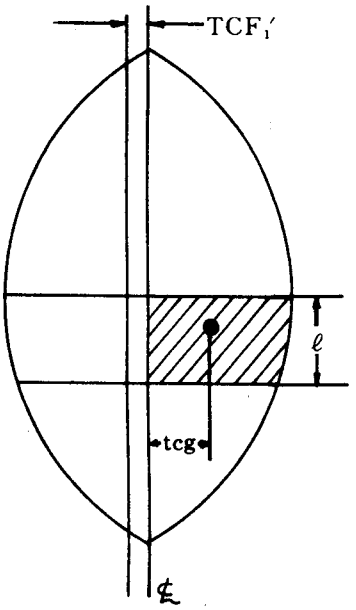
단 bb_1=v'의 중심에서 평행 침하층 중심까지의 연직거리

그러므로 식(21)과 (22)에서

$$\overline{KM_1}=\overline{BM_1}+\overline{KB_1}$$

……(23)으로 표시되고, 새로운

$\overline{GM_1}=\overline{KM_1}-\overline{KG}$ ……(24)로 나타내진다.



Fig〔2〕 Water plan area

한편 전체면적 A에 있어서의 새로운 부면심에 관한 관성 모우먼트

$I_1=\overline{BM_{T1}}\times V_1+A\times TCF_1'^2$……(25)로 표시되고, 손상면적 a에 있어서의 모우먼트는 $-tcg\times a$이고, 새로운 부면심에 관한 관성 모우먼트 i_1은 다음식으로 나타낸다.

$$i_1=-\{\frac{1}{12}\times\ell\times b^3+\ell\times b\times(tcg+TCF_1^{12})\} \quad \cdots\cdots(26)$$

그러므로 식(25), (26)에서

$$I_1'=I_1-\mu_s i_1 \quad \cdots\cdots(27)$$

로 나타난다.

또한, 길이 방향의 중심선으로부터 비 손상면적 A'의 중심까지의 거리

$$TCF_1' = \frac{-tcg \times a}{A'} \quad \cdots\cdots (28)$$

로써 새로운 부면심의 위치를 구할 수 있다.

한편 경사각 ϕ_1은 다음과 같은 식으로 나타난다.

$$\tan\phi_1 = \frac{v' \times (tcg + TCF_1')}{\Delta \cdot \overline{GM_1}} \quad \cdots\cdots (29)$$

따라서 선측에서 잡긴 부분의 침하량 $= \tan\phi_1 \times (\frac{B}{2} + TCF_1')$ …(30)

선측에서 노출 부분의 상승량 $= \tan\phi_1 \times (\frac{B}{2} - TCF_1')$

으로 표시된다. 단 B는 선폭을 뜻한다.

2.2.2 부가 중량법(Added weight method)에 의한 복원 성능 계산

손상 구획으로 침입한 물의 부가 중량을 W라 하고, 손상 후의 새로운 흘수를 T_2, 그때의 배수량을 $\Delta_2 (= \Delta + w)$, Δ_2에서의 값을 각각 $\overline{KM_2}$, $\overline{KG_2}$, $\overline{GM_2}$라 하자. w의 중심을 $\overline{Kg}$, ℄ 에서의 횡거리를 tcg라 한다.

$$\overline{KG_2} = \frac{\overline{KG} \times \Delta \times W \times \overline{Kg}}{\Delta_2} \quad \cdots\cdots (31)$$

로 표시되고

$$\overline{GM_2} = \overline{KM_2} - \overline{KG_2} - FSC \quad \cdots\cdots (32)$$

로 표시된다.

단, FSC(Free Surface Correction)의 값은 (33)식으로 나타난다.

$$FSC = \frac{\mu_s \cdot i_1}{\Delta_2} = \frac{100^3 \times tpc_2^3}{12 \times \Delta_2 \times \rho^2 \times S^2} \quad \cdots\cdots (33)$$

상기 손실 부력법에 의한 $\overline{GM_1}$과의 관계는

$$\overline{GM_1} = \overline{GM_2} \times \frac{\Delta_2}{\Delta}$$

dCollection

로 표시된다.

단, $\overline{GM_2}$는 Free Surface Effect를 고려한 값

한편, 경사각 ϕ_1은 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$\tan\phi_1 = \frac{w \times tcg}{\Delta_2 \cdot \overline{GM_2}} \quad \cdots\cdots (34)$$

그러므로 손상상태에서의 복원 아암은

$$\overline{G_2Z_2} = \overline{G_2Z}(\phi) - \frac{w \times tcg}{\Delta_2} \times \cos\phi \quad \cdots\cdots (35)$$

으로 나타난다.

단, $\overline{G_2Z}(\phi)$ = free surface를 고려한 $\overline{KG_2}$에서의 복원 아암을 뜻한다.

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

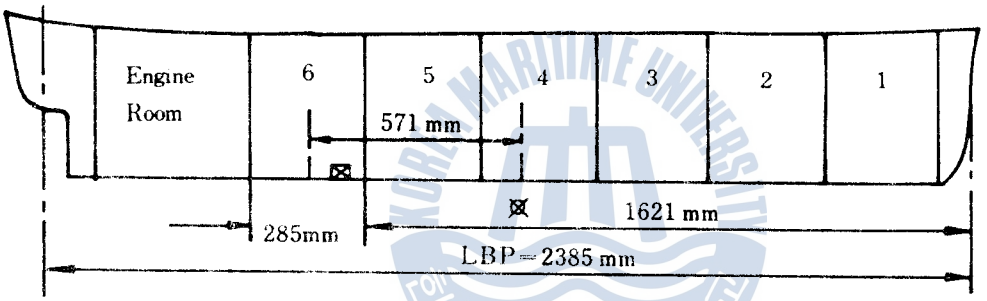
dCollection

3. 實　　驗

3.1 實驗方法

3.1.1 사용모델

사용모델은 Bulk cargo motor vessel로써 167m LBP이며 축적은 1/70 이다.

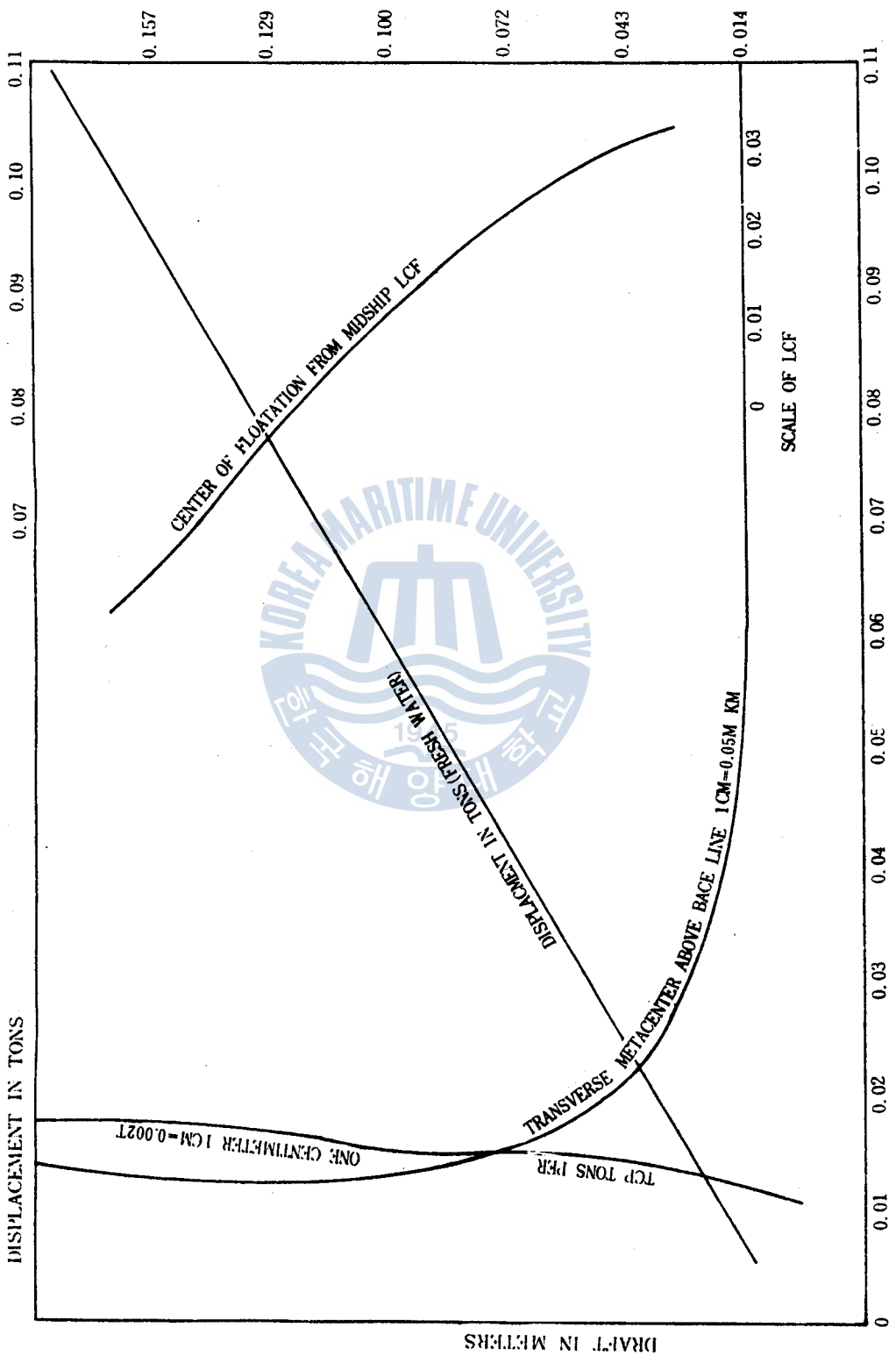


Fig〔3〕Model Configuration and pricipal particulars

3.1.2 實驗方法

길이 2,650㎜×폭 740㎜×깊이 450㎜의 시험수조에 깊이 380㎜까지 비중 1.000의 淸水를 채우고, 上記의 모형선을 이용하여 다음과 같은 方法으로 船體의 損傷時의 復原性을 實驗하였다.

實驗狀態는 輕荷흘수(Light loaded draft), 定常흘수(Normal draft) 및 滿載흘수(Full loaded draft)의 3가지로 하여 No. 6Hold의 침수(대칭침수)와 침수 후에 경사시험을 행하며 각각의 경사각을 측정하였으며, 침수된 후



Fig〔4〕 HYDROSTATIC CURVES

dCollection

의 상태에서 각각 흘수 및 트림량을 측정하였다. 또한 No. 6Hold의 右舷에만 침수를 시켜 비대칭 침수시에 생기는 횡경사각을 측정하였다.

3.2 復原力 試驗

3.2.1 輕荷흘수시험

경하흘수는 45㎜ even keel로 하였다.

이때의 배수량은 21.610kg으로서 침수전 초기의 배수량이며 중량분포는 다음 table(1)와 같다.

Table (1) 경하흘수 시험시의 중량분포

Compartment	Weight(kg)
Light Ship + Clinometer	14.150
Solid ballast No.1 Hold	2.040
Solid ballast No.2 Hold	2.510
Ballast on deck at Engine Room	2.510
Two inclining Weights	0.400
Total Displacement	21.610

(1) 침수전 경사시험

침수정의 배수량 상태에서 중량물(0.2kg)을 1개는 船體中央部 갑판상의 좌현단에 다른 하나의 중량물(0.2kg)은 갑판상의 우현단에 배치한 상태에서 경사시험을 실시하였다.

dCollection

갑판상 우현단의 중량물을 좌현단의 중량물 위치까지 移動(이동거리 285㎜)한 후에 경사각을 측정한다. 다음에 좌현단에 위치한 중량물 2개를 모두 우현단으로 이동시킨 후의 경사각을 측정한다.

경사각은 각각 좌현 1° 00′. 우현 1° 03′으로 총변화량은 2° 03′이였다.

(2) 침수후의 트림, 흘수측정 및 경사시험

No. 6Hold Bottom에 있는 plug를 뽑아 침수시킨 후 흘수와 트림변화를 측정한 결과 선수 흘수는 38㎜, 선미 흘수는 67㎜로서 평균 흘수 52.5㎜ 트림은 29㎜ by the stern였고 배수량은 27.70kg으로 변화하였다. No. 6Hold 중앙 격벽의 sea-inlet plug를 막은 후 이 상태에서 경사시험을 실시한 결과, 좌현 경사 시험시에는 좌현 경사 1° 09′ 우현경사시험시에는 우현경사 1° 05′으로 총 변화량은 2° 14′이 된다.

(3) 비대칭 침수의 實驗

No. 6Hold의 우현창에만 침수시켜서 침수구획이 비대칭이 되도록 하였다.

침수 후에 측정된 흘수는 다음 table(2)와 같다.

Table (2) 비대칭 침수시의 측정흘수

위 치	좌현흘수(mm)	우현흘수(mm)	평균흘수(mm)
선 수 흘 수	41	42	41.5
선 미 흘 수	55	57	56
Total mean			48.75

이때의 배수량은 25.50kg이다.

dCollection

침수후의 경사각은 비대칭 침수로 인하여 우현으로 3° 25′ 경사되었다. 이러한 상태에서 시한 경사시험 결과 좌현 경사시 경사각은 우현 2° 19′ 우현 경사시 경사각은 우현 4° 37′으로 총변화량은 2° 18′이었다.

3.2.2 정상 흘수 시험

정상흘수는 平均吃水가 73㎜이며, 이때 船首吃水는 70㎜, 船尾吃水는 76㎜이었다.

침수전 배수량은 39.015kg으로서 重量分布는 다음 table(3)와 같다.

Table (3) 정상 흘수 시험시의 중량분포

Compartment	Weight (kg)
Light Ship + Clinometer	11.150
Solid ballast No. 1 Hold	1.860
Solid ballast No. 3 Hold	2.510
Solid ballast No. 3 Hold	1.860
Solid ballast No. Hold	1.860
Ballasst on deck at Engine Room	7.375
Two inclining weights	0.400
Total Displacement	39.015

(1) 침수전 경사시험

경사흘수시와 같은 方法으로 측정한 결과 좌현경사시 좌현으로 1° 08′, 우현경사시 우현으로 1° 08′경사하여 경사각의 총변화량은 2° 16′이 된다.

(2) 침수 후의 트림, 흘수측정 및 경사시험

No. 6Hold를 침수 시킨 후 吃水와 트림변화를 측정한 결과 船首吃水 60㎜, 船尾吃水 112㎜로 平均吃水 86㎜, 트림은 52㎜ by the stern이었고 배수량은 47.90kg으로 변화하였다.

이 狀態에서 같은 方法으로 경사시험을 실시하여 측정된 경사각은 좌현경사 시험시 좌현 1° 17′, 우현경사시험시 우현 1° 06′으로 총변화량은 2° 23′으로 나타났다.

(3) 비대칭 침수의 실험

輕荷吃水時와 같은 方法으로 측정한 결과 다음 table(4)와 같은 吃水를 얻었다.

Table (4) 비대칭 침수시의 측정흘수

위 치	좌 현	우 현	평균흘수(㎜)
선 수 흘 수	65	66	65.5
선 미 흘 수	92	95	93.5
Total mean			79.5

이때의 배수량은 43.70kg이며 침수후의 비대칭 횡경사각은 右舷 5° 25′으로 측정되었다.

이 狀態에서 경사시험결과 우현경사시 우현 6° 35′. 좌현 경사시 우현 4° 07′이며 총변화량은 2° 28′이었다.

3.2.3 滿載吃水試驗

滿載吃水는 平均吃水가 97㎜이며 船首吃水는 92㎜, 선미흘수 102㎜ 상태에서 實驗을 실시하였다. 침수전의 배수량은 53.580kg으로서 중량분포는 다음 table(5)와 같다.

dCollection

Table (5) 만재흘수 시험시의 중량분포

Compartment	Weight(kg)
Light ship + Clinomenter	14.150
Solid ballast No. 1 Hold	4.860
Solid ballast No. 3 Hold	2.510
Solid ballast No. 4 Hold	9.710
Solid ballast No. 4 Hold	9.730
Solid ballast No. 5 Hold	4.845
Ballast on deck at Engine Room	7.375
Two inclining weights	0.400
Total Displacement	53.580

(1) 침수전 경사시험

앞과 같은 方法으로 측정한 결과 좌현 경사시 左舷 0° 50′ 우현 경사시 右舷 0° 57′으로 총 변화량은 1° 47′이 된다.

(2) 침수 후의 트림, 흘수측정 및 경사시험

No. 6Hold를 침수시킨 후 吃水와 트림변화를 측정한 결과 船首吃水 82㎜, 船尾吃水 139㎜로 平均吃水는 110.5㎜ 트림은 57㎜ by the stern이었고 배수량은 64.00kg으로 변화하였다.

이 狀態에서 앞과 같은 方法으로 경사시험을 한 결과 좌현경사시험시 左舷 0° 55′, 우현 경사시험시 右舷 0° 52′으로 총 변화량은 1° 47′이었다.

dCollection

(3) 비대칭 침수의 實態

No. 6Hold의 우현창에만 침수시킨 후의 吃水는 다음 table(6)와 같다.

Table (6) 비대칭 침수시의 측정흘수

위 치	좌 현	우 현	평균흘수(mm)
선 수 흘 수	87	88	87.5
선 미 흘 수	120	122	121
Total mean			104.25

이때의 배수량은 60.00kg이며 비대칭 침수로 일어나는 횡경사각은 5° 38′ 이었다.

이러한 狀態에서 실시한 경사시험 결과 좌현 경사시 右舷 4° 45′. 우현 경사시 右舷 6° 30′으로 총 변화량은 1° 45′이었다.

dCollection

4. 理論計算과 實驗結果의 比較檢討

2장에서 유도한 理論計算法을 Computer Programming한 후 주어진 각 조건에서의 data를 넣어 計算한 값과 제3장에서 실험으로 얻은 값을 평균흘수변화, 트림량, 침수후의 $\overline{GM}$값, 비대칭 침수시의 횡경사각등 각 項目別로 比較檢討해 보기로 한다(Program은 FORTRAN言語를 사용하였으며 Tri-Gem 16 bit기종을 이용하여 計算하였다.)

4.1 平均吃水 變化

No. 6Hold가 침수된 후의 平均吃水를 각각의 조건하에서 계산치와 실험치를 比較하여 graph에 그려넣으면 Fig[4]와 같다.

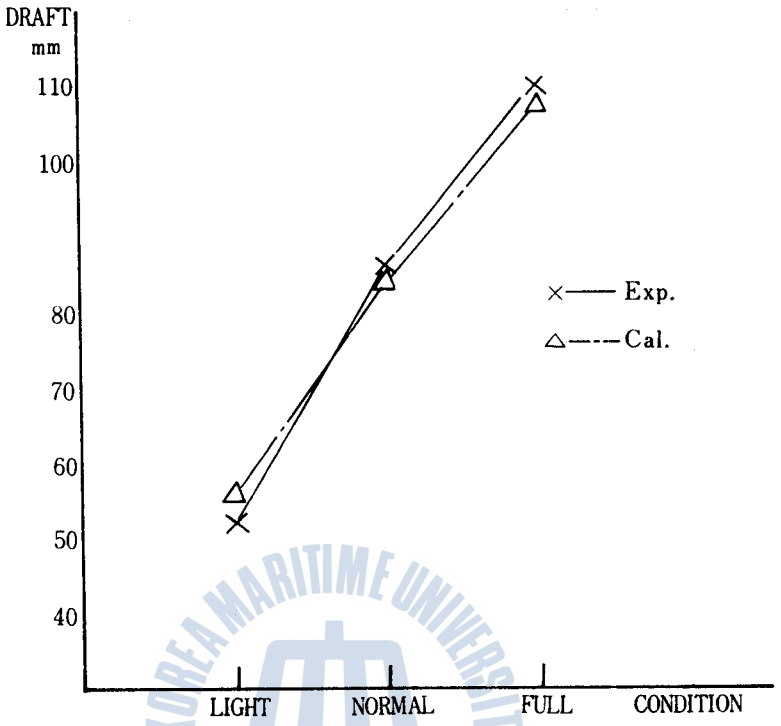
여기에서 LIGHT는 경하흘수, NORMAL은 정상흘수 FULL은 만재흘수를 나타내며 "X"표와 실선은 실험치를 "Δ"표와 일점쇄선은 계산치를 나타낸다(이하 같음).

(1) 실험치는 輕荷狀態에서 52.5㎜, 정상상태에서 86㎜ 만재상태에서 110.5㎜이다.

(2) 계산치는 각각 55.8㎜, 83.8㎜, 107.5㎜이다. (부록 6. Computer Program 참조. 이하 같음)

(3) 침수 후의 평균흘수의 값은 계산치와 실험치가 일치함을 알 수 있다.

dCollection



Fig〔4〕The variation of mean draft

4.2 트림량

No. 6Hold가 침수된 후의 트림량을 각각의 조건하에서 계산치와 실험치를 比較하여 graph에 그려 넣으며 Fig[5]와 같다.

(1) 실험치는 輕荷狀態에서 29㎜. 정상상태에서 52㎜ 만재상태에서 57㎜이다.

(2) 계산치는 각각 35.3㎜, 39.4㎜, 42.0㎜이다.

(3) 트림량은 약간의 차이가 있으나 이는 계산치에서 tank capacity plan에 관한 model ship의 자료부족으로 인해 No. 6Hold의 정확한 tpc, lcf,

dCollection

tpc_1의 값 등을 읽을 수 없었으므로 實船에서는 계산치가 좀 더 정확해 지리라 믿는다.

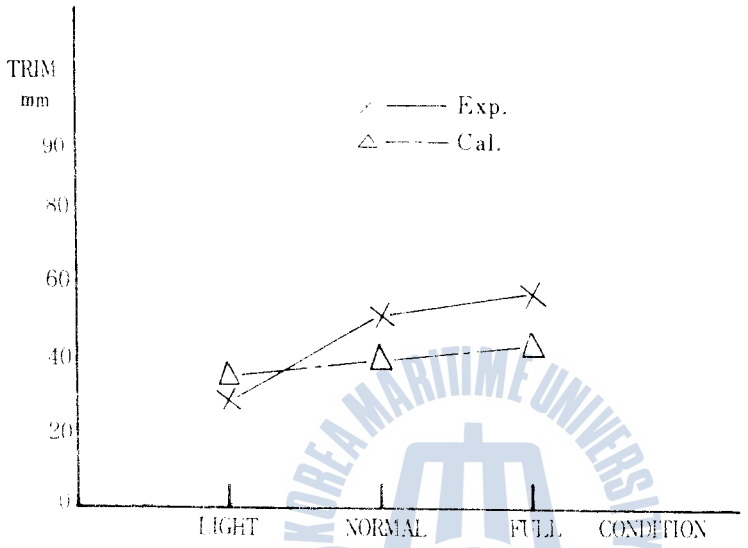


Fig [5] Trim change (trim by the stern)

4.3 $\overline{GM}$ 변화량

No 6Hold 침수후의 $\overline{GM}$을 각각의 조건하에서 계산치와 실험치를 비교하여 graph에 그려 넣으면 아래 Fig[6]와 같다.

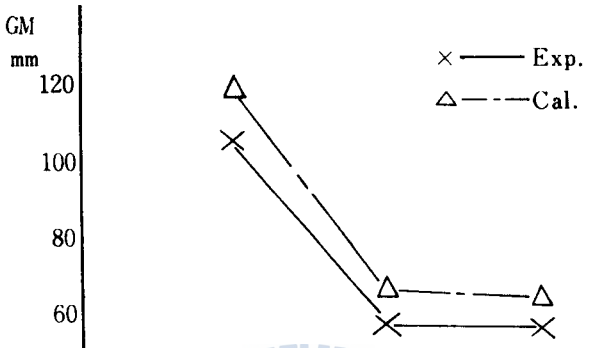
(1) 실험치는 경하상태에서 $\overline{GM} = \frac{0.400 \times 285}{27.70 \times \tan 2^\circ 14'} = 105.53$mm

정상상태에서 $\overline{GM} = \frac{0.400 \times 285}{47.900 \times \tan 2^\circ 23'} = 57.18$mm

만재상태에서 $\overline{GM} = \frac{0.400 \times 285}{64.000 \times \tan 1^\circ 47'} = 57.22$mm이다.

(2) 계산치는 각각 119.69mm, 65.75mm, 66.22mm이다.

(3) 침수 후의 $\overline{GM}$는 계산치와 실험치가 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.



KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

dCollection

tpc_1의 값 등을 읽을 수 없었으므로 實船에서는 계산치가 좀 더 정확해지리라 믿는다.

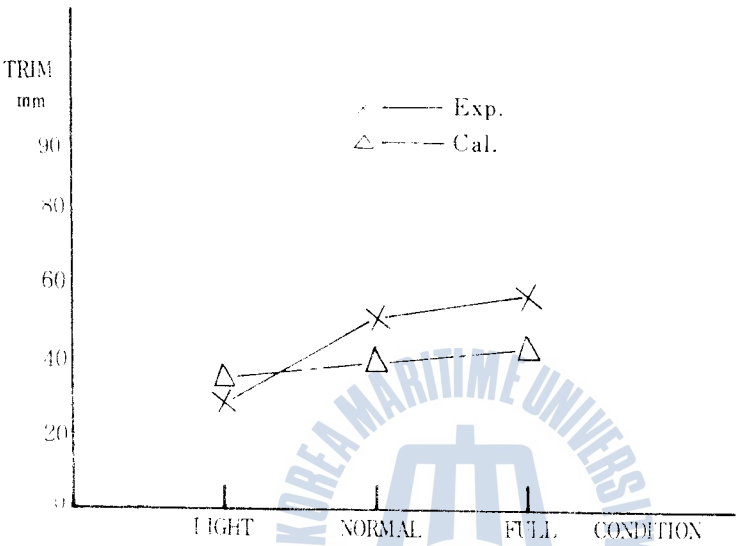


Fig [5] Trim change (trim by the stern)

4.3 $\overline{GM}$ 변화량

No 6Hold 침수후의 $\overline{GM}$을 각각의 조건하에서 계산치와 실험치를 비교하여 graph에 그려 넣으면 아래 Fig[6]와 같다.

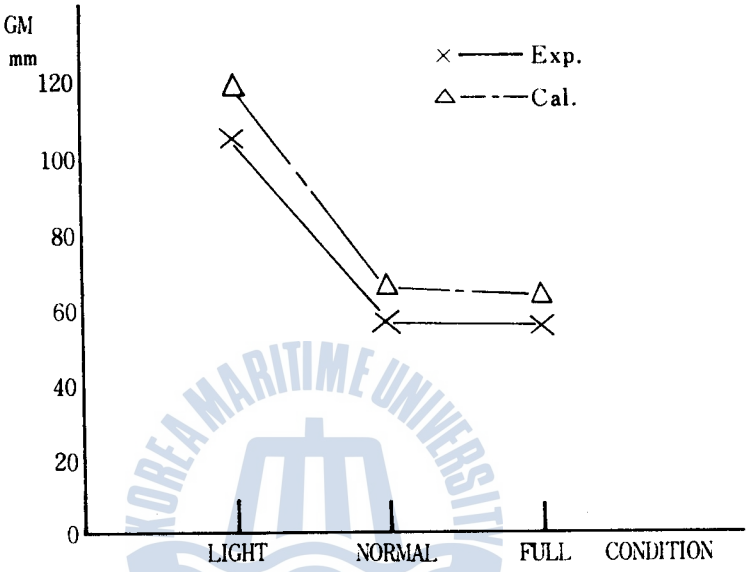
(1) 실험치는 경희상태에서 $\overline{GM}=\frac{0.400\times285}{27.70\times\tan2^\circ\ 14'}=105.53$mm

정상상태에서 $\overline{GM}=\frac{0.400\times285}{47.900\times\tan2^\circ\ 23'}=57.18$mm

만재상태에서 $\overline{GM}=\frac{0.400\times285}{64.000\times\tan1^\circ\ 47'}=57.22$mm이다.

(2) 계산치는 각각 119.69mm, 65.75mm, 66.22mm이다.

(3) 침수 후의 $\overline{GM}$는 계산치와 실험치가 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.



Fig〔6〕The variation of GM

4.4 횡경사각

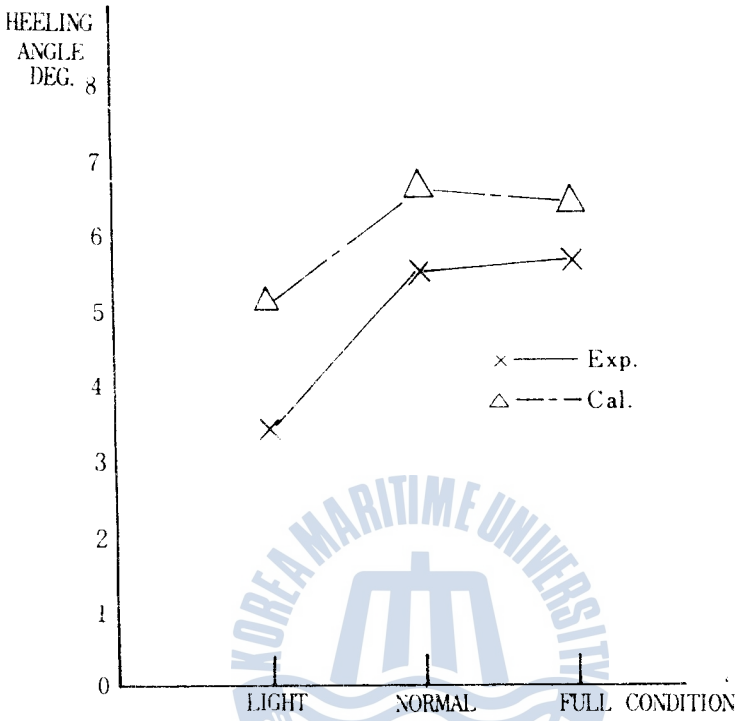
No. 6Hold의 右舷에만 침수시킨 후의 비대칭 침수시의 횡경사각 ϕ를 각각의 조건하에서 계산치와 실험치를 比較하여 graph에 그려 넣으면 아래 Fig[7]와 같다.

(1) 실험치는 경하상태에서 右舷 3° 25′(3°.4167), 정상상태에서 右舷 5° 25′(5°.4167), 만재 상태에서 右舷 5° 38′(5°.6333)이다.

(2) 계산치는 각각 5°.09315, 6°.56846, 6°.38438 이다.

(3) 비대칭 횡경사각 ϕ는 어느 정도 일치함을 알 수 있다.

dCollection

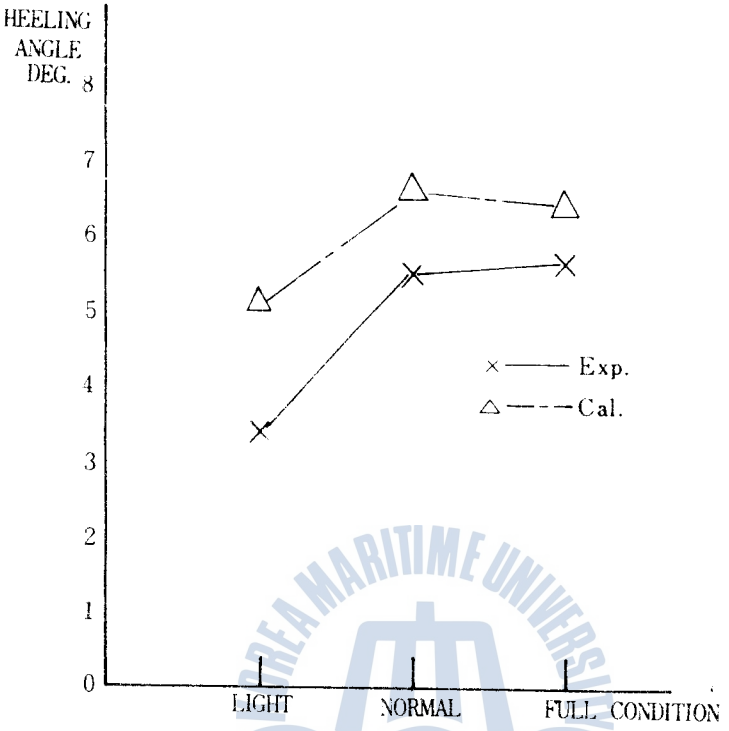


Fig〔7〕Heeling Angle (Starboard Side)

4.5 $\overline{GZ}$ CURVE

輕荷狀態, 정상상태, 滿載狀態에서 횡축을 경사각, 종축을 復原아암으로 하고 그림으로 나타내면 각각 아래 그림 Fig[8], [9], [10]으로 표시된다.

dCollection

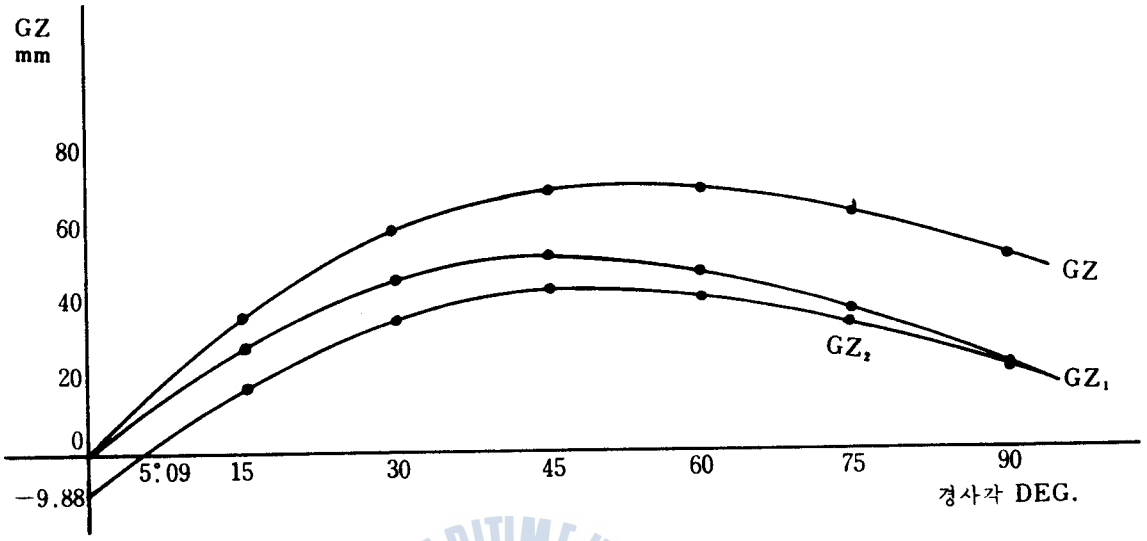


Fig〔7〕Heeling Angle (Starboard Side)

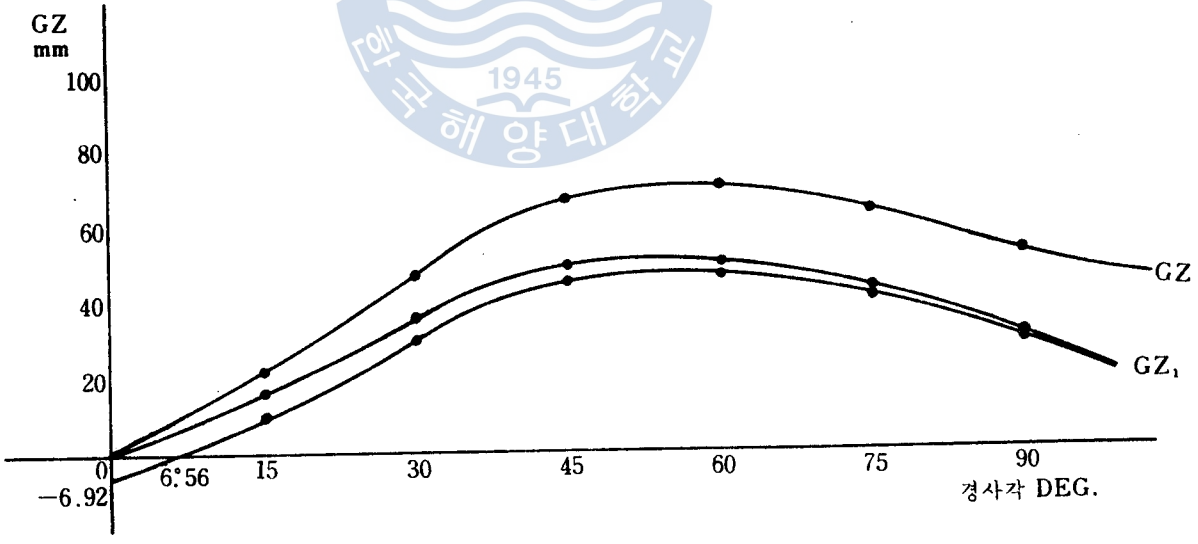
4.5 $\overline{GZ}$ CURVE

輕荷狀態, 정상상태, 滿載狀態에서 횡축을 경사각, 종축을 復原아암으로 하고 그림으로 나타내면 각각 아래 그림 Fig[8], [9], [10]으로 표시된다.

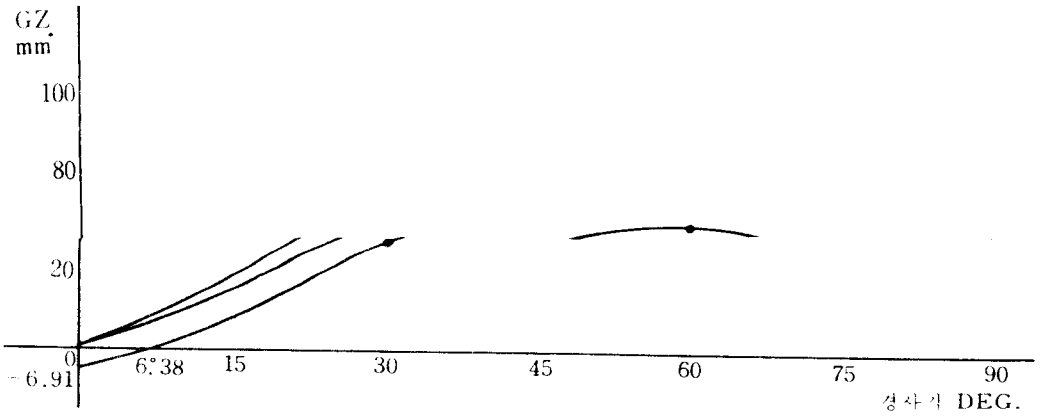
dCollection



Fig〔8〕$\overline{GZ}$ Curve in light loaded condition



Fig〔9〕$\overline{GZ}$ Curve in normal condition



Fig〔10〕 $\overline{GZ}$ Curve in full loaded condition

위의 그림에서 共히 $\overline{GZ}$는 Assumed $\overline{KG}$가 60.96㎜에 위치하고 있을 때의 크기를 나타내고, $\overline{GZ_1}$은 $-\overline{GG'}\sin\theta$ 의 값을 고려해서 그 상태의 $\overline{KG}$에서의 값을 뜻하며 $\overline{GZ_2}$는 2.2.2의 식(5)로 표시한 값이다.

본 實驗에서는 모형선의 特性上 船底에 납덩어리로 된 Ballast를 사용한 관계로 $\overline{GM}$값이 너무 커져서 結果的으로 $\overline{GZ_2}$값이 커서 $\overline{GZ_2}$max, stability range 등이 너무 많은 값을 보여주고 있음을 알 수 있다.

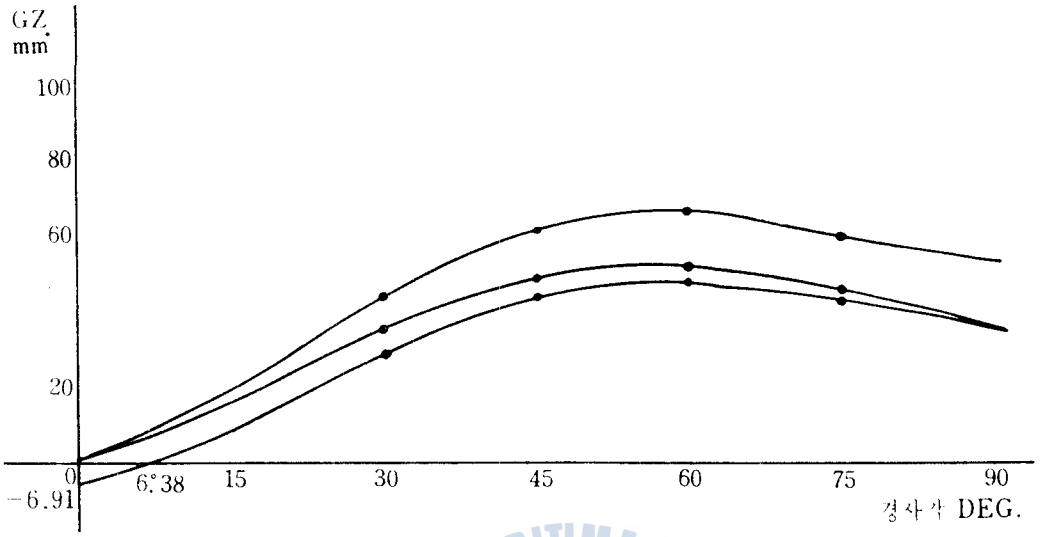
dCollection

5. 結 論

이상과 같이 손상시의 복원 성능 추적을 위한 이론식의 정립 및 컴퓨터 계산 프로그램을 개발하였다. 그리고 이론식에 의한 계산 결과를 실험치와 서 손상시의 복원성능을 판정하는 컴퓨터 프로그램 개발에 관한 고찰이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

dCollection



Fig〔10〕 $\overline{GZ}$ Curve in full loaded condition

위의 그림에서 共히 $\overline{GZ}$는 Assumed $\overline{KG}$가 60.96㎜에 위치하고 있을 때의 크기를 나타내고, $\overline{GZ_1}$은 $-\overline{GG'}\sin\theta$ 의 값을 고려해서 그 상태의 $\overline{KG}$에서의 값을 뜻하며 $\overline{GZ_2}$는 2.2.2의 식(5)로 표시한 값이다.

본 實驗에서는 모형선의 特性上 船底에 납덩어리로 된 Ballast를 사용한 관계로 $\overline{GM}$값이 너무 커져서 結果的으로 $\overline{GZ_2}$값이 커서 $\overline{GZ_2}$max, stability range 등이 너무 많은 값을 보여주고 있음을 알 수 있다.

dCollection

5. 結 論

이상과 같이 손상시의 복원 성능 추적을 위한 이론식의 정립 및 컴퓨터 계산 프로그램을 개발하였다. 그리고 이론식에 의한 계산 결과를 실험치와 비교하여 이론식의 타당성을 입증하였다.

앞으로 본 이론식을 기초로 하여 선박 손상시에 있어서 모든 적하상태에서 손상시의 복원성능을 판정하는 컴퓨터 프로그램 개발에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

dCollection

부록 1. HYDROSTATIC INFORMATION

DRAFT mm	SHIP MASS IN FRESH WATER kg.	KB mm	BM_T mm	WATERPLANE AREA mm^2	BM_L m
14.3	6.611	7.8	571.8	0.5352	21.056
28.6	14.516	15.3	286.6	0.5703	11.219
42.9	22.845	22.7	191.9	0.5905	7.776
57.2	31.375	30.2	144.8	0.6045	6.010
71.5	40.113	37.6	116.2	0.6152	4.923
85.8	48.957	45.0	97.2	0.6242	4.191
100.1	57.957	52.4	83.6	0.6327	3.676
114.4	67.054	59.9	73.5	0.6428	3.329
128.7	76.344	67.4	65.7	0.6551	3.100
143.0	85.783	75.0	59.6	0.6682	2.927
157.2	95.458	82.5	54.7	0.6820	2.793
171.5	105.274	90.2	50.2	0.6942	2.661
185.8	115.289	97.9	47.4	0.7051	2.535

dCollection

參 考 文 獻

1. 梁時權 : 船體損傷時의 復原性 計算에 關한 硏究, 韓國海洋大學 大學院.

2. 中央海難審判院 : 海難審判事例集(1985年).
交通部中央海難審判院, 1986, 서울.

3. 韓國船級 : 1973／78年 海洋汚染防止協約, 安國出版社, 1984, 서울.

4. James B. Robertson : Subdivision and Stability in Damaged Condition, Principles of Naval Architecture, SNAME, 1967.

5. Torben Munk and Peter Fleron : Onboard Calculation of Damage Stability for Actural Loading Condition, 2ND International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, 1982, Tokyo.

6. H.J. Pursey : Merchant Ship Stability, Brown, Son & Ferguson LTD, 1982, Glasgow.

7. 森田知治 : 船舶復院論, 海文堂出版社, 1985, 東京.

8. 關西造船學會 : 造船設計便覽 第4版, 1983. 大板.

9. 日本造船學會 : 船舶と海洋構造物の安全性と復原性, 1986, 東京.

dCollection

Collection

부록 2. CROSS CURVES OF STABILITY

Assumed KG is 60.96 mm. GZ in mm. Δ in kg in Fresh Water.

GZ AT 5° =	66.82	18.49	9.85	7.34	6.47	6.34	6.80	6.91
Δ =	3.258	16.660	31.796	47.541	63.667	80.349	97.619	115.118
GZ at 10° =	77.23	36.11	19.84	14.64	12.96	12.80	13.67	12.69
Δ =	4.672	16.738	31.893	47.776	64.108	80.980	98.507	114.651
GZ at 15° =	79.06	49.70	29.95	22.15	19.63	19.54	19.96	18.02
Δ =	6.190	17.173	32.080	48.189	64.844	82.105	99.514	114.336
GZ at 30° =	74.96	62.97	53.62	46.13	41.25	37.61	34.51	31.39
Δ =	10.970	21.272	34.744	51.080	69.104	86.299	101.570	114.069
GZ at 45° =	69.68	67.92	66.10	61.85	56.15	49.84	44.42	40.65
Δ =	16.709	28.185	42.305	57.575	73.423	88.979	102.894	114.238
GZ at 60° =	70.65	70.48	67.58	63.97	59.82	55.33	50.73	46.79
Δ =	24.994	37.241	50.537	64.366	78.121	91.391	103.921	115.084
GZ at 75° =	63.93	63.08	61.00	58.88	56.77	54.62	52.43	50.25
Δ =	33.212	45.055	57.809	70.670	83.167	95.112	106.381	116.755
GZ at 90° =	50.92	50.89	50.52	50.12	50.51	50.66	50.50	50.33
Δ =	40.226	51.965	64.319	76.755	88.990	100.288	110.590	120.068

부록 3. TABLE OF OFFSETS

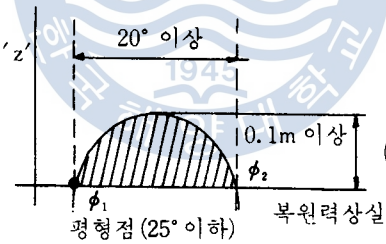
Waterline Half Breadths 1/70th Scale Model Dimensions in mm

Station Number ↓	Waterline → 0	½	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
A.P.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	34	50	63	74	82	89	94	
0.25	0	6	3	2	1	1	2	2	6	20	40	58	74	89	99	107	114	119	
0.50	0	10	13	18	22	26	30	35	43	53	65	80	95	107	118	126	131	136	
0.75	0	16	23	34	42	49	56	63	71	80	90	101	113	123	132	139	143	147	
1.00	0	25	36	52	63	72	80	88	96	104	112	120	128	135	142	147	151	154	
1.50	0	50	68	88	101	111	120	126	131	136	141	145	148	152	155	157	159	160	
2.00	0	86	104	123	134	141	146	150	153	155	156	158	159	160	160	161	161	161	
2.50	0	119	133	146	153	157	159	160	161	161	161	161	161	161	161				
3.00	0	143	152	159	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161				
3.50	0	155	160	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161				
4.00	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161				
4.50	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161				
5.00	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161				
5.50	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161				
6.00	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161				
6.50	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161				
7.00	0	152	158	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161				
7.50	0	143	151	158	160	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161				
8.00	0	122	133	144	150	153	155	156	156	157	157	157	157	157	158				
8.50	0	84	99	116	125	131	135	138	140	142	144	145	146	147	148				
9.00	0	41	55	72	83	92	98	103	107	111	114	117	120	123	126				
9.25	0	24	35	49	59	67	73	78	82	86	91	95	99	104	109	114	120	126	
9.50	0	10	17	27	35	41	46	50	54	58	63	68	73	79	86	93	101	108	
9.75	0	0	1	7	11	15	18	22	25	28	32	37	42	49	57	65	73	83	
F.P.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	11	17	25	34	45	
Stern Section Number																			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	21	35	47	57	66	73	78	83
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	26	36	43	49	54	59

부록 4. ILLC의 침수계산

가상손상구획의 범위		• A형선박(액체화물만 운송) 225m≧L>150m : 건현은 "A"나 또는 "B"보다 적은 경우는 빈 구획에 있어서 1구획 침수계산 L>225m : 기관실 구획의 침수계산 ● B형 선박 225m≧L>100m : 건현이 "B-60"이나 "B"보다 적은 경우→기관실 제외 1구획 침수계산 건현이 "B-100"이나 "B60"보다 적은 경우→기관실 제외 2구획 침수계산 L>225m : 기관실 구획의 침수계산
손상범위		길이방향 : $1/3(L_f)^{2/3}$, 14.5m중 작은 값 횡방향 : B/5, 11.5m중 작은 값 수직방향 : 기선으로부터 상방향으로 무한대
복원성능기준	침수우리종흘수선	침수개구의 하면 이하에 올 것
	침수후의 G_0M	$G_0M>0$
	복원정곡선等	$G'Z'$ max≧0.1m Stability Range≧20度 Dynamic Stability≧0.0175m-rad.
	최대횡경사각	0<15度(단, 현수 갑판선이 잠기지 않는 경우는 17度까지)
	KG	CARGO HOLD에 균질화물을 만재하고, 소비용 액체 및 저장품 등은 계획용적의 50% 소비상태의 KG
계산방법	침수율	화물창 0.95, 기관실 0.85
	TANK내 자부	KG가 최대가 되도록 적부(자유표면 영향을 고려한 Tank는 제외
	자유표면영향	각종 액체에 대해서 최대가 되는 1쌍의 WING Tank 또는 1개의 Center Tank을 고려
	액체의 비중	해수 1.025 연료유 0.950 윤활유·디젤유 0.900 청수 1.000

부록 5. MARPOL 73/78 (Tanker)

가상손상구획의 범위		L>225m : 2구획 이상의 침수 150m<L≦225m { 기관실은 1구획 침수 그외는 2구획 이상 침수 L≦150m : 1구획 침수(기관실 제외)
손상의 범위	Side Damage (충 돌)	길이방향 : $1/3(L_f)^{2/3}$, 14.5m중 작은 값. 횡 방 향 : B/5, 11.5m중 작은 값(선측→중심선) 수직방향 : 기선으로부터 상방향으로 무한대.
	Bottom Damage (좌 초)	길이방향 { F.P.~$0.3L_f$: $1/3(L_f)^{2/3}$, 14.5m중 작은 값 기타 부분 : $1/10L_f$, 5m중 작은 값 횡 방 향 { F.P.~$0.3L_f$: B/6, 10m중 작은 값 기타 부분 : B/6, 5m중 작은 값 수직방향 : 기선으로부터 B/15, 6m중 작은 값.
복원성능기준 계산방법	침수후최종흘수선	침수가능성이 있는 개구의 하면 이하에 올것.
	최대횡경사각	25度 이하(단, 현측 갑판선이 잠기지 않는 경우는 30度까지)
	복원정곡선等	 { G′Z′max : 0.1m 이상 Stability range : 20° 이상 Dynamic Stability (빗금친 면적) : 0.0175m-rad. 이상
	Tank 적부상태	Tank가 비었는가 半載상태인가, 화물의 비중 및 손상구획으로부터 [illegible]의 유출을 고려한다.
	침 수 율	저장에 적용되는 구역(액체 이외) : 0.60 거주구역 : 0.95 기관실 : 0.85 Voids : 0.95 Consumable liguids : 0~0.95 Other liguids : 0~0.95
	자유표면영향	각각의 구획에 대해 5° 경사각 상태에서 계산 소비용 액체 : 그 영향이 최대가 되는 1쌍의 WINK Tank 또는 1개의 Center Tank를 고려
	액체의 비중	해수 1.025, 청수 1.0, 연료유 0.95, 디젤·윤활유 : 0.90

dCollection

부록 6. Computer Program

```
*************************************************************
*                                                           *
* THIS PROGRAM IS THE CALULATION OF DAMAGE STABILITY        *
*                                                           *
* DATE : 1987.11.11                                         *
*                                                           *
* PROGRAMMED BY LEE YONG                                    *
*                                                           *
*************************************************************
```

```
   SLCF     : Center of floatation of lost compartment
              from midships
   DV       : Lost volume
   SLCG     : Center of gravity of lost compartment
              from midships
   U        : Permeability
   A        : Lost waterplane area
   S        : Mean length of lost area
   TF       : Fore draft before damage
   TA       : Aft  draft before damage
   TRIM     : Final trim
   T        : Draft before damage
   DIS      : Displacement before damage
   TPC      : Tons per centimeter
   LCF      : Center of floatation from midships
   BM       : Transverse metacenter
   RTPC     : Remaining TPC
   STPC     : TPC of lost compartment
   SINK     : Sinkage
   TPC1     : TPC after flooding
   T1       : Final draft after flooding
   MTC      : Moment to change Trim one centimeter
   VCG      : Vertical center of gravity of lost compartment
   TCG      : Transverse center of gravity of lost compartment
   DIS1     : Displacement after flooding
   GM1      : GM after flooding
   DEG      : Heeling degree
```

dCollection

```
      REAL LCF,LCF1,MTC1,LBP,KM,KB,KB1,KM1,KG,KG1
      DIMENSION T(3),DIS(3),TPC(3),LCF(3),W(3),DGZ1(3),
     *          RTPC(3),DLCF(3),SINK(3),DT1(3),KM1(3),
     *          TPC1(3),RTPC1(3),SINK1(3),T1(3),TF(3),TA(3),
     *          LCF1(3),MTC1(3),DLCF1(3),TLEV(3),
     *          TRM(3),DMTC1(3),TRIM(3),TF1(3),TA1(3),
     *          FTRIM(3),KM(3),WVCG(3),DIS1(3),GM(3),
     *          KG(3),KG1(3),FSC(3),GM1(3),DKG1(3),M2(3),
     *          GM2(3),DIS2(3),P1(3),RAD(3),DEG(3),FDATA(22,3)
      RHO=1.000
      LBP=2.385
C
      DATA SLCF  / 0.571000 /,
     *     DV    / 0.005511 /,
     *     SLCG  / 0.571000 /,
     *     U     / 0.970000 /,
     *     A     / 0.092055 /,
     *     S     / 0.235000 /,
     *     WTCG  / 0.065000 /,
     *     GZ1   / 0.000000 /
C
C     - OPEN FILE & READ DATA -
C
      OPEN(1,FILE='C:CURVES.DAT')
      DO 11 I=1,3
      READ(1,100) T(I),DIS(I),TPC(I),LCF(I),KM(I),W(I),KB(I)
100   FORMAT(7F10.8)
C
C     == THE CAL. OF FINAL DRAFT & TRIM ==
C
      IF(I.EQ.1) WRITE(*,6)
      IF(I.EQ.2) WRITE(*,7)
      IF(I.EQ.3) WRITE(*,8)
      STPC=U*A*0.01*RHO
      RTPC(I)=TPC(I)-STPC
      DLCF(I)=(TPC(I)*LCF(I)-STPC)/RTPC(I)
      SINK(I)=RHO*DV/RTPC(I)*0.01
      DT1(I)=T(I)+SINK(I)
C
      WRITE(*,10) DT1(I)
C
      READ(1,110) TPC1(I)
C
      WRITE(*,20) TPC1(I)
```

dCollection

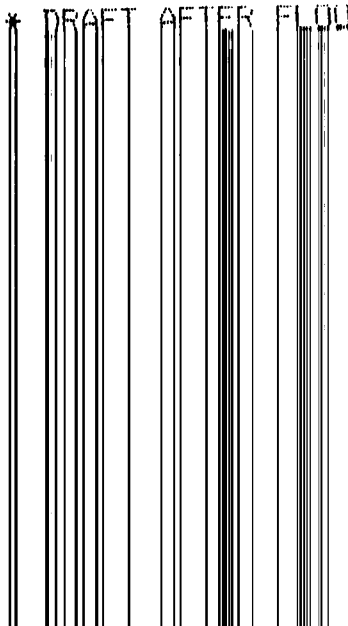
```
      RTPC1(I)=TPC1(I)-STPC
      SINK1(I)=2*RHO*DV/(RTPC(I)+RTPC1(I))*0.01
      T1(I)=T(I)+SINK1(I)
C
      WRITE(*,30) T1(I)
      WRITE(*,40)
C
      READ(1,120) LCF1(I),MTC1(I)
C
      WRITE(*,50) LCF1(I),MTC1(I)
11    CONTINUE
110   FORMAT(F10.8)
120   FORMAT(2F10.8)
C ***************************************************************
      DO 12 I=1,3
      SLCF1=SLCF
      RTPC1(I)=TPC1(I)-STPC
      STPC1=STPC
      DLCF1(I)=(TPC1(I)*LCF1(I)-STPC1*SLCF1)/RTPC1(I)
      TLEV(I)=SLCG-(DLCF(I)+DLCF1(I))/2.0
      TRM(I)=RHO*DV*TLEV(I)
      DMTC1(I)=MTC1(I)-(TPC1(I)*STPC1*(LCF1(I)-SLCF1))
     * /(LBP*(TPC1(I)-STPC1))-STPC1*S**2/(12.0*LBP)
      TRIM(I)=(TRM(I)/DMTC1(I))/100.0
      TF1(I)=TF(I)+SINK1(I)-TRIM(I)*(0.5+DLCF1(I)/LBP)
      TA1(I)=TA(I)+SINK1(I)+TRIM(I)*(0.5-DLCF1(I)/LBP)
      FTRIM(I)=TA1(I)-TF1(I)
C
      WRITE(*,99) TF1(I),TA1(I),FTRIM(I)
99    FORMAT(2X,'TF1=',F10.5,' TA1=',F10.5,' FTRIM=',F10.5)
      READ(1,700) KM1(I),DIS1(I),GM(I)
700   FORMAT(5F10.8)
      WVCG(I)=0.55*(H(I)+FTRIM(I)/2.24*1.[illegible]*SINK1(I))
      W(I)=DIS1(I)-DIS(I)
      KG(I)=KM(I)-GM(I)
      KG1(I)=(DIS(I)*KG(I)+W(I)*WVCG(I))/DIS1(I)
      STPC2=STPC1/2.0
      FSC(I)=(100.0**3*STPC2**3)/(12.0*DIS1(I)*RHO**2*S*S)
      GM1(I)=KM1(I)-KG1(I)-FSC(I)
      DKG1(I)=KM1(I)-GM1(I)
C
C
C     == THE CAL. IN THE CASE OF AN ASYMMETRIC FLOODING ==
```

```
C
      READ(1,150) GM2(I),DIS2(I)
150   FORMAT(3F10.8)
C
      W2(I)=DIS2(I)-DIS(I)
      PI(I)=(W2(I)*WTCG)/(GM2(I)*DIS2(I))
      RAD(I)=ATAN(PI(I))
      DEG(I)=180.0/3.14*RAD(I)
      DGZ1(I)=GZ1-W2(I)*WTCG/DIS2(I)*COS(RAD(I))
12    CONTINUE
C
      DO 13 I=1,3
      FDATA( 1,I)=SLCF
      FDATA( 2,I)=DV
      FDATA( 3,I)=SLCG
      FDATA( 4,I)=U
      FDATA( 5,I)=A
      FDATA( 6,I)=S
      FDATA( 7,I)=WTCG
      FDATA( 8,I)=TF(I)
      FDATA( 9,I)=TA(I)
      FDATA(10,I)=T(I)
      FDATA(11,I)=DIS(I)
      FDATA(12,I)=TPC(I)
      FDATA(13,I)=LCF(I)
      FDATA(14,I)=KM(I)
      FDATA(15,I)=TPC1(I)
      FDATA(16,I)=LCF1(I)
      FDATA(17,I)=KM1(I)
      FDATA(18,I)=KM1(I)
      FDATA(19,I)=DIS1(I)
      FDATA(20,I)=GM(I)
      FDATA(21,I)=GM2(I)
      FDATA(22,I)=DIS2(I)
13    CONTINUE
      WRITE(*,5)
      WRITE(*,60) ((FDATA(I,J),J=1,3),I=1,22)
      WRITE(*,70)(T1    (I),I=1,3),
     *           (TF1   (I),I=1,3),
     *           (TA1   (I),I=1,3),
     *           (FTRIM(I),I=1,3),
     *           (GM1   (I),I=1,3),
     *           (DEG   (I),I=1,3),
     *           (DGZ1  (I),I=1,3)
C
```

dCollection

```
C
C       - CLOSE FILE -

C       CLOSE(1)
5       FORMAT(///,15X,'*** THE CALCULATION OF DAMAGE
                                  STABILITY  ',/)
6       FORMAT(1H1,5X,'[ 1 ] LIGHT  CONDITION',/)
7       FORMAT(/,5X,'[ 2 ] NORMAL CONDITION',/)
8       FORMAT(/,5X,'[ 3 ] FULL-LOAD CONDITION',/)
10      FORMAT(  /,5X,'* DRAFT AFTER FLOODING =',F8.5,//,
     *                5X,'  INPUT TPC1  .....',//)
20      FORMAT(5X,'* TPC1 =',F8.5,//)
30      FORMAT(5X,'* FINAL DRAFT AFTER FLOODING = ',F8.5,/)
40      FORMAT(5X,'* INPUT LCF1,MTC1 .....',//)
50      FORMAT(/,5X,'* LCF1 = ',F8.5,/,5X,'* MTC1 = ',F8.5,//)
60      FORMAT(//,30X,'*** DATA ***',//,
     *  5X,' * ITEMS *  ',5X,'LIGHT ',3X,'NORMAL',5X,
                                'FULL LOAD',//,
     *      5X,'(1) SLCF    =',3F10.5,/,
     *      5X,'(2) D9      =',3F10.5,/,
     *      5X,'(3) SLCG    =',3F10.5,/,
     *      5X,'(4) U       =',3F10.5,/,
     *      5X,'(5) A       =',3F10.5,/,
     *      5X,'(6) S       =',3F10.5,/,
     *      5X,'(7) WTCG    =',3F10.5,/,
     *      5X,'(8) TF      =',3F10.5,/,
     *      5X,'(9) TA      =',3F10.5,/,
     *      5X,'(10)T       =',3F10.5,/,
     *      5X,'(11)DIS     =',3F10.5,/,
     *      5X,'(12)TPC     =',3F10.5,/,
     *      5X,'(13)LCF     =',3F10.5,/,5X,'(14)KM    =',3F10.5,
     *    /,5X,'(15)TPC1    =',3F10.5,/,5X,'(16)LCF1  =',3F10.5,
     *    /,5X,'(17)MTC1    =',3F10.5,/,5X,'(18)KM1   =',3F10.5,
     *    /,5X,'(19)DIS1    =',3F10.5,/,5X,'(20)GM    =',3F10.5,
     *    /,5X,'(21)GM2     =',3F10.5,/,5X,'(21)DIS2  =',3F10.5)
     *    /,5X,'(22)DIS2    =',3F10.5,//)
70      FORMAT(//,30X,'<<* RESULTS *>>',//,
     *  5X,' * ITEMS *  ',5X,'LIGHT ',3X,'NORMAL',5X,
                                'FULL LOAD',//,
     *                5X,'(1) T1      =',3F10.5,/,
     *                5X,'(2) TF1     =',3F10.5,/,
```

```
*                5X,'(3) TA1      =',3F10.5,/,
*                5X,'(4) FTRIM    =',3F10.5,/,
*                5X,'(5) GM1      =',3F10.5,/,
*                5X,'(6) DEG      =',3F10.5,/,
*                5X,'(7) DGZ1     =',3F10.5,///)
      STOP
      END
C>L1
   [ 1 ] LIGHT  CONDITION

 * DRAFT AFTER FLOODING =   .05580

   INPUT TPC1  .....

 * TPC1 =   .00600

 * FINAL DRAFT AFTER FLOODING =   .05580

 * INPUT LCF1,MTC1 .....


 * LCF1 =   .02600
 * MTC1 =   .00082


 [ 2 ] NORMAL CONDITION

 * DRAFT AFTER FLOODING =   .08380
```



dCollection

```
C
C       - CLOSE FILE -

C       CLOSE(1)
5       FORMAT(///,15X,'*** THE CALCULATION OF DAMAGE
                                  STABILITY ',/)
6       FORMAT(1H1,5X,'[ 1 ] LIGHT CONDITION',/)
7       FORMAT(/,5X,'[ 2 ] NORMAL CONDITION',/)
8       FORMAT(/,5X,'[ 3 ] FULL-LOAD CONDITION',/)
10      FORMAT(  /,5X,'* DRAFT AFTER FLOODING =',F8.5,//,
     *              5X,'  INPUT TPC1  .....',//)
20      FORMAT(5X,'* TPC1 =',F8.5,//)
30      FORMAT(5X,'* FINAL DRAFT AFTER FLOODING =',F8.5,/)
40      FORMAT(5X,'* INPUT LCF1,MTC1 .....',//)
50      FORMAT(/,5X,'* LCF1 =',F8.5,/,5X,'* MTC1 =',F8.5,//)
60      FORMAT(//,30X,'*** DATA ***',//,
     *  5X,' * ITEMS *  ',5X,'LIGHT ',3X,'NORMAL',5X,
                                 'FULL LOAD',//,
     *      5X,'(1) SLCF    =',3F10.5,/,
     *      5X,'(2) D2      =',3F10.5,/,
     *      5X,'(3) SLCG    =',3F10.5,/,
     *      5X,'(4) U       =',3F10.5,/,
     *      5X,'(5) A       =',3F10.5,/,
     *      5X,'(6) S       =',3F10.5,/,
     *      5X,'(7) WTCG    =',3F10.5,/,
     *      5X,'(8) TF      =',3F10.5,/,
     *      5X,'(9) TA      =',3F10.5,/,
     *      5X,'(10)T       =',3F10.5,/,
     *      5X,'(11)DIS     =',3F10.5,/,
     *      5X,'(12)TPC     =',3F10.5,/,
     *      5X,'(13)LCF     =',3F10.5,/,5X,'(14)KM    =',3F10.5,
     *    /,5X,'(15)TPC1    =',3F10.5,/,5X,'(16)LCF1  =',3F10.5,
     *    /,5X,'(17)MTC1    =',3F10.5,/,5X,'(18)KM1   =',3F10.5,
     *    /,5X,'(19)DIS1    =',3F10.5,/,5X,'(20)GM    =',3F10.5,
     *    /,5X,'(21)GM2     =',3F10.5,/,5X,'(21)DIS2  =',3F10.5)
     *    /,5X,'(22)DIS2    =',3F10.5,//)
70      FORMAT(//,30X,'<<* RESULTS *>>',//,
     *  5X,' * ITEMS *  ',5X,'LIGHT ',3X,'NORMAL',5X,
                                 'FULL LOAD',//,
     *              5X,'(1) T1      =',3F10.5,/,
     *              5X,'(2) TF1     =',3F10.5,/,
```

```
*                5X,'(3) TA1     =',3F10.5,/,
*                5X,'(4) FTRIM   =',3F10.5,/,
*                5X,'(5) GM1     =',3F10.5,/,
*                5X,'(6) DEG     =',3F10.5,/,
*                5X,'(7) DGZ1    =',3F10.5,///)
      STOP
      END
C>L1
   [ 1 ] LIGHT  CONDITION

 * DRAFT AFTER FLOODING =   .05580

   INPUT TPC1  .....

 * TPC1 =   .00600

 * FINAL DRAFT AFTER FLOODING =   .05580

 * INPUT LCF1,MTC1 .....


 * LCF1 =   .02600
 * MTC1 =   .00082


 [ 2 ] NORMAL CONDITION

 * DRAFT AFTER FLOODING =   .08380

   INPUT TPC1  .....

 * TPC1 =   .00600

 * FINAL DRAFT AFTER FLOODING =   .08380

 * INPUT LCF1,MTC1 .....
```

dCollection

* LCF1 = .01800
* MTC1 = .00089

[3] FULL-LOAD CONDITION

* DRAFT AFTER FLOODING = .10759

INPUT TPC1 .....

* TPC1 = .00620

* FINAL DRAFT AFTER FLOODING = .10749

* INPUT LCF1,MTC1 .....

* LCF1 = .00210
* MTC1 = .00095

=== THE CALCULATION OF DAMAGE STABILITY ===

*** DATA ***

* ITEMS *		LIGHT	NORMAL	FULL LOAD
(1) SLCF	=	.57100	.57100	.57100
(2) DV	=	.00551	.00551	.00551
(3) SLCG	=	.57100	.57100	.57100
(4) U	=	.97000	.97000	.97000
(5) A	=	.09206	.09206	.09206
(6) S	=	.28500	.28500	.28500
(7) WTCG	=	.06400	.06400	.06400
(8) H	=	.04300	.07000	.07300
(9) TA	=	.04500	.07600	.10200
(10) T	=	.04500	.07300	.09700
(11) DIS	=	.02161	.03901	.05552

dCollection

(12)TPC	=	.00600	.00600	.00610
(13)LCF	=	.02850	.02100	.01150
(14)KM	=	.21200	.15400	.13800
(15)TPC1	=	.00600	.00600	.00620
(16)LCF1	=	.02600	.01800	.00910
(17)MTC1	=	.18240	.14500	.13800
(18)KM1	=	.18240	.14500	.13800
(19)DIS1	=	.02940	.04620	.06170
(20)GM	=	.14748	.07382	.06835
(21)GM2	=	.11131	.06055	.06219
(21)DIS2	=	.02550	.04370	.06000

<<* RESULTS *>>

* ITEMS *		LIGHT	NORMAL	FULL LOAD
(1) T1	=	.05580	.08380	.10749
(2) TF1	=	.03917	.06521	.08764
(3) TA1	=	.07448	.10458	.12963
(4) FTRIM	=	.03531	.03937	.04198
(5) GM1	=	.11969	.06575	.06622
(6) DEG	=	5.09315	6.56846	6.38438
(7) DGZ1	=	-.00988	-.00692	-.00691

Stop -- Program terminated.

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교
dCollection