船體 縱强度에 關한 硏究(Ⅰ)

高 允 燮*

A Study on the Longitudinal Strength of the Ship Hull(Ⅰ)

Yoon-Sup Ko

〈차 례〉

1. 序 言
2. 처짐을 考慮하였을 때의 縱强度에 關한 基礎方程式
3. 從來計算法에 의한 縱强度基礎方程式
4. 처짐을 考慮한 縱强度 基礎方程式의 解
5. 從來計算法에 의한 縱强度基礎方程式의 解
6. 箱子形船에 있어서 斷面力에 의한 最大彎曲모우먼트(처짐을 考慮하지 않았을 때의 처짐을 考慮하였을 때) 및 그 差인 減少量, 減少比率 計算
7. 結 言

Abstract

When the static load is applied to the ship's hull the deflection due to the bending moment from longitudinal direction has not been considered in the usual calculation of maximum bending moment.

In fact, however, the deflection of ship's hull must be affected by the above-stated bending moment, and in this case the value of the maximum bending moment would be lessened in comparision with the result of usual calculation. In this paper, the author at first calculated the dfference between the two values in case of rectangular barge, and suggested a practical criterion of longitudinal strength.

1. 序 言

荷重狀態에 놓여있는 船體는 그 길이 任意點에 있어서의 單位重量과 浮力은 같지 않으며, 이것이 原因으로 船體에는 剪斷力과 彎曲모우먼트를 받게 되며 처지게 된다. 船體가 처지게 되면 浮力分布가 變하게 되고 船體에 作用하게 되는 荷重은 얼마간 減少시키게 될 것이다. 荷重의 減少는 船體에 加해지는 剪斷力과 彎曲모우먼트를 減少시키게 될 것이며, 船體를 剛體로 보았을 때의 剪斷力과 彎曲모우먼트에 比하면 多少 減少될 것이다. 船體의 처짐이 작을 때는 이로 인해 船體에 미치는 影響은 크지 않겠지만 船體의 처짐이 클 때에는 이로 인한 影響은 커질 것이다.

本 論文에서는 靜荷重狀態에 놓여 있는 船體의 처짐이 縱强度에 미치는 影響을 斷面構造가 一定한 箱子船에 關해서 調査하고 縱强度 評價의 새로운 指標를 提示하고자 한다.

* 正會員, 韓國海洋大學

2. 처짐을 考慮하였을 때의 縱強度에 關한 基礎方程式

船體가 그림 1과 같이 彈性基礎上에 놓여지고 兩端이 自由인 한개의 거어더로 생각한다면, 이 거어더의 微小部分의 平衡條件과 斷面力 및 斷面力의 모우먼트와 變形과의 關係등에서 다음과 같은 基礎方程式을 誘導할 수 있다.

$$\left.\begin{aligned} &\frac{dS}{dx} = -q = -(-2\rho b + B - W) \\ &\frac{dM}{dx} = S \\ &S = k'GA_s\left(\frac{dv}{dx} - \varphi\right) \\ &M = -EI\frac{d\varphi}{dx} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (1)$$

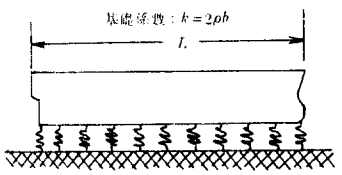

Fig 1. 彈性基礎上의 船體거어더

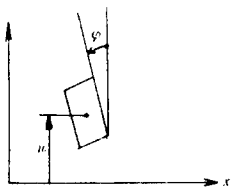

Fig 2. v, φ의 + 方向

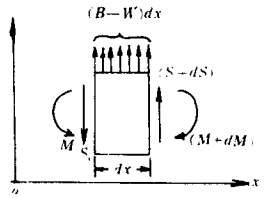

Fig 3. 荷 重, 斷面力 및 斷面모우먼트의 + 方向

여기서

S : 座標 x의 斷面에 作用하는 剪斷力
M : 座標 x의 斷面에 作用하는 彎曲 모우먼트
v : 座標 x의 斷面의 中性軸의 變位
φ : 座標 x의 斷面의 回轉角
B : 座標 x位置에 作用하는 單位길이 當 浮力
W : 座標 x位置에 作用하는 單位길이 當 重量
b : 座標 x斷面에 있어서의 水線面의 半幅
ρ : 單位부피 當 海水의 重量
A_s : 座標 x位置에 있어서의 船體거어더의 剪斷斷面積
I : 座標 x位置에 있어서의 船體거어더의 斷面二次모우먼트
k' : 剪斷有效係數
L : 배의 全長
x : 배의 길이方向으로 잡은 座標로서 原點을 배의 後端으로 [illegible]
k : 基礎係數($=2\rho b$)
E : 縱彈性係數
G : 橫彈性係數

이다.

式 (1)의 第1式의 右邊 括弧안의 第1項은 船體를 剛體로 보았을 때의 剛體變位와 船體가 彈性體일 때의 追加 變位되는 彈性처짐의 合計로서 船體變位에 基因되는 浮力變化 分量이다. 그리고 여기서는 생각하고 있는 水線面 近傍에서의 船側은 垂直이라고 假定하였다.

式 (1)의 境界條件은 배의 前後端에서 剪斷力 및 彎曲모우먼트가 零이라는 事實에서 (2)式으로 주어진다.

$$\left.\begin{array}{l} x=0: \begin{cases} S=0 \\ M=0 \end{cases} \\ x=L: \begin{cases} S=0 \\ M=0 \end{cases} \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots(2)$$

基礎微分方程式 (1)을 境界條件 (2)를 滿足하도록 풀면 배의 길이 任意點 x에 있어서의 v, φ, S, M을 求할 수 있다.

3. 從來計算法에 의한 縱强度 基礎方程式

縱强度의 過去 計算法은 몇가지 있으나 要約한다면 式 (3)으로 주어지는 基礎方程式을 境界條件 (5)를 滿足하도록 풀면 된다.

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{dS}{dx} = -\{2\rho b \Delta d + B - W\} \\ \dfrac{dM}{dx} = S \\ \dfrac{dy}{dx} - \varphi = S/k'GA_s \\ \dfrac{d\varphi}{dx} = -M/EI \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots(3)$$

여기서의 y는 船體의 처짐이고 Hogging 狀態로 되는 처짐을 正으로 한다. 또한 Δd는 船體의 剛體變位에 따르는 吃水增加分으로서 (4)式으로 표시된다.

$$\Delta d = \Delta d_A\left(1 - \frac{x}{L}\right) + \Delta d_F \frac{x}{L} \quad \cdots\cdots(4)$$

여기서

Δd_A : 船體의 剛體變位에 따르는 船尾吃水의 增分

Δd_F : 船體의 剛體變位에 따르는 船首吃水의 增分

이다.

式 (3)의 第1式의 右邊 括弧內의 第1項은 船體의 剛體變位에 따른 吃水增分에 基因하는 浮力增分으로 所謂 "基線修正"에 相當한다. 基礎微分方程式 (3)에 賦課되는 境界條件은 式 (5)로 주어진다.

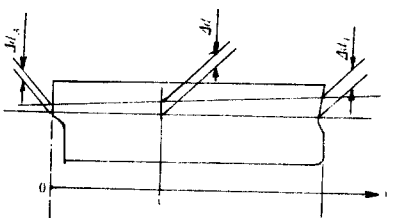

Fig 4. 剛體變位에 따른 吃水增分

$$x=0:\begin{Bmatrix}S=0\\M=0\\y=0\end{Bmatrix}$$
$$x=L:\begin{Bmatrix}S=0\\M=0\\y=0\end{Bmatrix}\quad\cdots\cdots(5)$$

基礎微分方程式 (3)을 境界條件 (5)를 滿足하도록 풀면 Δd_A와 Δd_F 및 任意의 x에 關해서의 v, ϕ, S, M,을 求할 수 있다.

4. 처짐을 考慮하였을 때의 縱強度 基礎方程式의 解

箱子形船에 그림 5에 表示된 것과 같은 餘弦分布荷重 $\bar{q}\cos\frac{2\pi x}{L}$ 이 加해진다고 假定한다면 式 (1)은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}&\frac{dS}{dx}=2\rho bv-\bar{q}\cos\frac{2\pi x}{L}\\&\frac{dM}{dx}=S\\&S=k'GA_s\left(\frac{dv}{dx}-\phi\right)\\&M=-EI\frac{d\phi}{dx}\end{aligned}\quad\cdots\cdots(6)$$

여기서 $\bar{q}$는 單位最大分布荷重이다.

또한 (7)式과 같은 變數變換을 行한다.

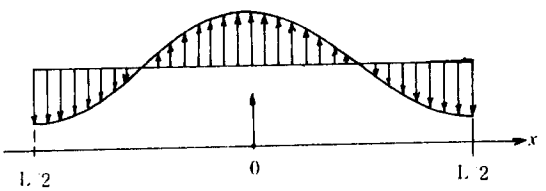

Fig 5. 箱子形船體거더와 餘弦分布荷重

$$\begin{aligned}&v=DY_1\\&S=k'GA_s\left(\frac{D}{L}\right)Y_2\\&\phi=\left(\frac{D}{L}\right)Y_3\\&M=-EI\left(\frac{D}{L^2}\right)Y_4\\&x=LX\end{aligned}\quad\cdots\cdots(7)$$

(7)式의 變數變換을 (6)式에 代入하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}&\frac{dY_1}{dx}=Y_2+Y_3\\&\frac{dY_2}{dx}=kY_1-q\cos 2\pi X\\&\frac{dY_3}{dx}=Y_4\\&\frac{dY_4}{dx}=-\beta Y_2\end{aligned}\quad\cdots\cdots(8)$$

但,

$$\left.\begin{aligned} k &= \frac{2\rho bL^2}{k'GA_s} \\ q &= \frac{\bar{q}L^2}{k'GA_sD} \\ \beta &= \frac{k'GA_sL^2}{EI} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(9)$$

여기서 D는 배의 깊이이다.

式 (8)의 一般解에서 $X=0$에 關해 對稱이고 또한 兩端에서 自由인 境界條件을 滿足시키는 答은 다음과 같다.

$$\left.\begin{aligned} Y_1 &= A\cos h\lambda X\cdot\cos\mu X + B\sin h\lambda X\cdot\sin\mu X + q\phi\cos 2\pi X \\ Y_2 &= \frac{k}{(\lambda^2+\mu^2)}\left[(\mu A+\lambda B)\cos h\lambda X\cdot\sin\mu X+(\lambda A-\mu B)\sin h\lambda X\cdot\cos\mu X\right] \\ &\quad -q\cdot\frac{\psi}{2\pi}\sin 2\pi X \\ Y_3 &= -\frac{1}{(\lambda^2+\mu^2)}\left[\{\mu(3\lambda^2-\mu^2)A+\lambda(\lambda^2-3\mu^2)B\}\cos h\lambda X\cdot\sin\mu X+\right. \\ &\quad \left.\{\lambda(\lambda^2-3\mu^2)A-\mu(3\lambda^2-\mu^2)B\}\sin h\lambda X\cdot\cos\mu X\right]-q\cdot\frac{\beta\phi}{(2\pi)^3}\cdot\sin 2\pi X \\ Y_4 &= -\left[\{(\lambda^2-\mu^2)A-2\lambda\mu B\}\cos h\lambda X\cdot\cos\mu X+\{2\lambda\mu A+(\lambda^2-\mu^2)B\}\sin\lambda X\cdot\sin\mu X\right. \\ &\quad \left.-q\frac{\beta\phi}{(2\pi)^2}\cdot\cos 2\pi X\right. \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(10)$$

여기서

$$\left.\begin{aligned} A &= \frac{\beta}{\lambda^2+\mu^2}\cdot\frac{\lambda\cos h\frac{\lambda}{2}\sin\frac{\mu}{2}-\mu\sin h\frac{\lambda}{2}\cos\frac{\mu}{2}}{\mu\cos h\frac{\lambda}{2}\sin\frac{\lambda}{2}+\lambda\cos\frac{\mu}{2}\sin\frac{\mu}{2}}\cdot\frac{\psi}{(2\pi)^2}\cdot q \\ B &= -\frac{\beta}{x^2+\mu^2}\cdot\frac{\mu\cos h\frac{\lambda}{2}\sin\frac{\mu}{2}+\lambda\sin h\frac{\lambda}{2}\cos\frac{\mu}{2}}{\mu\cos h\frac{\lambda}{2}\sin\frac{\lambda}{2}+\lambda\cos\frac{\mu}{2}\sin\frac{\mu}{2}}\cdot\frac{\psi}{(2\pi)^2}\cdot q \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(11)$$

$$\left.\begin{aligned} \lambda &= \frac{1}{2}\sqrt{2\sqrt{\beta k}+k} \\ \mu &= \frac{1}{2}\sqrt{2\sqrt{\beta k}-k} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(12)$$

$$\left.\begin{aligned} \phi &= [(2\pi)^2+\beta]/[(2\pi)^4+k\{(2\pi)^2+\beta\}] \\ \psi &= (2\pi)^4/[(2\pi)^4+k\{(2\pi)^2+\beta\}] \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(13)$$

但, $2\beta>k$ ……(14)

Y_1, Y_2, Y_3, Y_4를 배의 길이 任意點에서 計算하여 第 (7)式에 代入하면 그 點에서의 처짐, 剪斷力, 回轉角, 彎曲모우먼트 等이 求하여진다.

5. 從來計算法에 의한 縱強度 基礎方程式의 解

4에서와 같은 餘弦分布荷重을 받고 있는 一定斷面 거어더의 基礎方程式 (3)은 다음과 같다.

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{dS}{dx}=-2\rho b\left\{\Delta d_A\left(1-\frac{x}{L}\right)+\Delta d_F\frac{x}{L}\right\}-(B-W)\\
&\frac{dM}{dx}=S\\
&S=k'GA_s\left(\frac{dy}{dx}-\varphi\right)\\
&M=-EI\frac{d\phi}{dx}
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(15)$$

(15)式을 (7)式으로 表示된 變數變換을 行하면 式 (15)는 다음과 같이 된다.

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{dY_1}{dX}=Y_2+Y_3\\
&\frac{dY_2}{dX}=-k\{\delta_A(1-X)+\delta_F X\}-q\cos 2\pi X\\
&\frac{dY_3}{dX}=Y_4\\
&\frac{dY_4}{dX}=-\beta Y_2
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(16)$$

但,

$$\left.\begin{aligned}
&y=DY_1\\
&d_A=D\delta_A\\
&d_F=D\delta_F
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(17)$$

式 (16)의 一般解로서 境界條件 (5)를 滿足하는 解는 (18)式으로 주어지며, 餘弦分布荷重이므로 $\delta_A=0$, $\delta_F=0$이다.

$$\left.\begin{aligned}
&Y_1=q\frac{(2\pi)^2+\beta}{(2\pi)^4}\cdot(1+\cos 2\pi X)+q\frac{\beta}{(2\pi)^2}\cdot\frac{1}{8}(1-4X^2)\\
&Y_2=-q\frac{1}{2\pi}\sin 2\pi X\\
&Y_3=-q\frac{\beta}{(2\pi)^3}\sin 2\pi X-q\frac{\beta}{(2\pi)^2}X\\
&Y_4=-q\frac{\beta}{(2\pi)^2}(1+\cos 2\pi X)
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(18)$$

배의 길이 任意點에 있어서의 Y_1, Y_2, Y_3, Y_4를 計算하고 그 값을 第 (7)式에 代入하면 그 點에 있어서의 처짐, 剪斷力, 回轉角, 彎曲모우먼트 等이 求하여진다.

6. 箱子形船에 있어서 斷面力에 의한 最大彎曲모우먼트(처짐을 考慮하지 않았을 때와 처짐을 考慮하였을 때) 및 그 差인 減少量, 減少比率 計算

箱子形船의 크기는 L이 50m 乃至 400m 限度內에서 實船의 主要치수를 참작하여 決定하였으며,

箱子形船의 各各에 關한 斷面强度[2]는 韓國船級協會 鋼船規則에서 要求하는 縱强度 斷面係數算式에 의해 決定하였다. 但, 箱子形船의 크기를 決定함에 있어서 L이 150m 까지는 貨物船을 대상으로 定하였으며, 150m 以上에서는 油槽船, 撒物船等 現存하는 商船에서 선택하였다.

箱子形船에 加해지는 荷重은 그림 5와 같은 餘弦分布荷重이므로 最大彎曲모우먼트는 箱子形船 中央에서 發生하게 된다.

처짐을 考慮하였을 때와 考慮하지 않았을 때의 箱子形船의 最大彎曲모우먼트를 (10)式의 第4式, (18)式의 第4式의 Y_4의 값을 (7)式의 第4式에 代入하여 計算한 結果는 처짐을 考慮하였을 때의 最大彎曲모우먼트의 값이 ΔM만큼 작았다. 箱子形船의 各 길이와 몇개의 B/D의 값에 對한 ΔM과

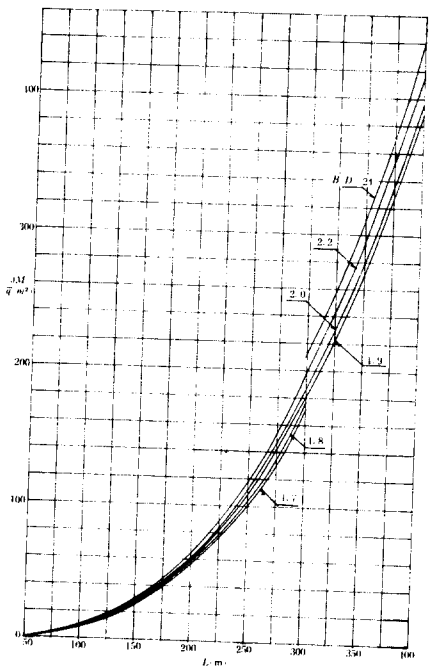

Fig 6. 처짐을 考慮하였을 때의 모우먼트 減少量

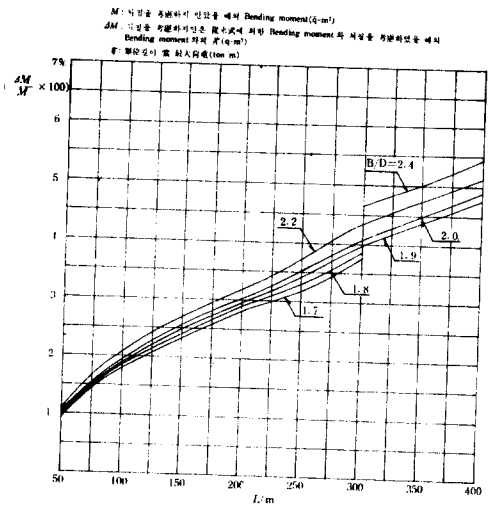

Fig 7. 처짐을 考慮하였을 때의 모우먼트 減少率

때의 길이가 增加함에 따른 ΔM의 增加比率 $\Delta M/M \times 100$이 그림 6과 7에 나타나 있다. 그림 6에서는 길이 增加와 더불어 ΔM은 급격한 增加추세를 나타내고 있으며, 減少比率은 L 100m에서 약 2%, 200m에서 약 3%, 300m에서 3.75%~4.65%, 400m에서 4.75%~5.45%나 된다. 即, 實際의 最大彎曲모우먼트는 剛體라고 보았을 때의 最大彎曲모우먼트 보다는 減少比率만큼 적은 量이고, 따라서 그 減少된 ΔM만큼의 船體輕量化가 可能해진다.

7. 結 言

本 論文에서 取扱된 船體는 箱子形船이므로 水線面의 形狀은 直4角形이고 또한 荷重分布는 餘弦分布라고 假定하여 그 結果를 求하였지만, 實船에 있어서는 水線面積은 앞뒤에서 뾰족한 所謂船型

을 이루고 있으며 또한 荷重도 餘弦分布荷重이 아닌 兩端에서 零에 가까운 分布로 되어 있어 箱子形船인 경우와는 다르다. 따라서 本 論文에서의 箱子形船에 관한 計算結果는 實船에서의 경우에 比하면 과장되었다고 볼 수 있다. 實船에 관한 ΔM의 計算結果는 追後 發表하기로 한다.

參 考 文 獻

1) 森 正浩 : 船體縱強度に 關する 一考察, 西部造船會會報, 第64號, 1983. 3.
2) 韓國船級協會, 강선구조 및 선급에 관한 규칙, 1883.