Derrick式 荷役設備의 Vector 三角形을 利用한 應力解析

閔 丙 彦*·具 洪**

Stress Analysis of a Derrick System Cargo Gear

Min Byeong Eon · Koo Hong

〈目 次〉

Abstract

As far as ship's cargo handling devicesareconcerned, the derrick system has been used comprehensively in the marine. Even though there are several new devices for ship's cargo gear, such as gantry crane, jib crane and self unloader, the derrick system, with its improved rigging method, still retains its utmost reputations among ship's owners.

Therefore the method of calculating the system's militating stresses in the course of cargo operation needs to be more convenient and analytical.

Here the author attempts to introduce the calculating method of stresses by means of vector analysis.

The calculating method is able to analyze the stresses acting in every part of the cargo gear systems, such as union purchase, slewing or its modified system.

Ⅰ. 緒 言

貨物船의 存在理由는 貨物을 海上輸送하여 利潤을 올리는데 있다. 近來 많은 船舶들은 大型化하므로써 그 輸送費를 節減하는 專用船化가 되었다.

이러한 變化는 海上運送의 絕對的인 장애점이었던 荷役에 所要되는 時間, 人力 및 費用을 節減하기 위하여, 荷役을 機械化하여 迅速 經濟的으로 荷役할 수 있는 方法의 模索에서 부터 始作되었다

* 正會員, 韓國海洋大學 教授
** 正會員, 韓國海洋大學 專講

하여도 과언이 아니다. 荷役施設은 貨物의 種類에 따라 多樣한 荷役設備가 있다. 이 중에는 特定航路, 特定貨物의 荷役을 爲하여 設備되는 가장 經濟性이 높은 Tanker, Container, Bulk carrier 등의 專用船設備에서부터 여러 種類의 貨物을 多樣한 條件의 港灣에서 荷役하여야 할 一般貨物船에 이르는 多樣한 形態가 있다.

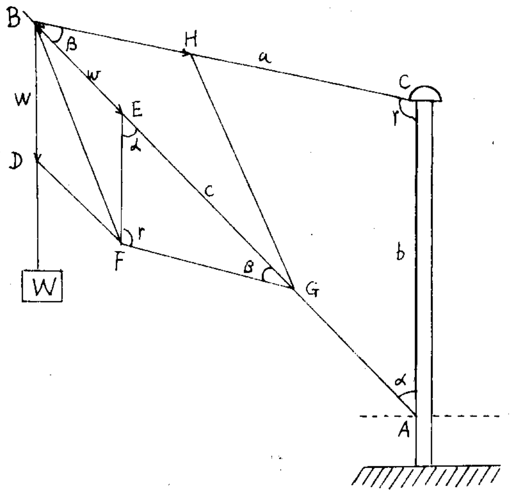
本稿에서는 아직도 世界全船腹에서 가장 높은 比率을 차지하고 있는 一般貨物船의 荷役設備改善의 前提가 되는 Derrick boom식 荷役設備의 各部의 應力計算方法을 지금까지의 力學에서 다뤘던 平行四邊形法[1] 및 圖解法等의 方法보다 훨씬 簡便하고, 그 解析力이 한 段階 높은 Vector 三角形法에 依하여 計算하는 方法을 紹介하려 한다.

이 方法을 應用하면 지금까지 Union purchase system에 있어서 Slewing guy에 對한 解析을 한 단계 높일 수 있고, 同時에 이 System에서 Topping lift 및 Boom의 應力計算에 도움을 주어서 Derrick boom식의 Rigging 方法改善, 設計條件의 改善에 利用될 수 있을 것이다.

Ⅱ. 平行四邊形式의 例

1. Single boom式

Single whip式 Cargo runner로서 Runner를 Boom과 平行하게 당길 때



〔그림 2・1〕

Topping lift에 걸리는 Stress $\overline{BH}$

$$\frac{W}{\sin\beta}=\frac{\overline{BH}}{\sin\alpha} \text{ 에서}$$

$$\overline{BH}=\frac{a}{b}W$$

1) D'arcangelo : Ship Design and Construction (1975, SNAME)에서도 平行四邊形法에 依하여 複雜한 在來式 解析을 하고 있음.

Boom의 Thrust $\overline{GB}$

$$\overline{GB}=\overline{GE}+\overline{EB}$$

$$=\frac{c}{b}W+W=W\left(1+\frac{c}{b}\right)$$

Boom의 무게 w, 그 重心이 길이의 中央에 있을 때, 이를 算入하면,

A點에 對한 Moment에서 Topping lift의 Stress는

$$Wc\sin\alpha+w\frac{c}{2}\sin\alpha-\overline{BH}\sin\beta=0$$

$$\overline{BH}=\left(W+\frac{1}{2}w\right)\frac{a}{b}$$

C點에 對한 Moment에서 Boom의 Thrust는

$$Wc\sin\alpha+w\frac{c}{2}\sin\alpha+Wa\sin\beta-\overline{GB}\,a\sin\beta=0$$

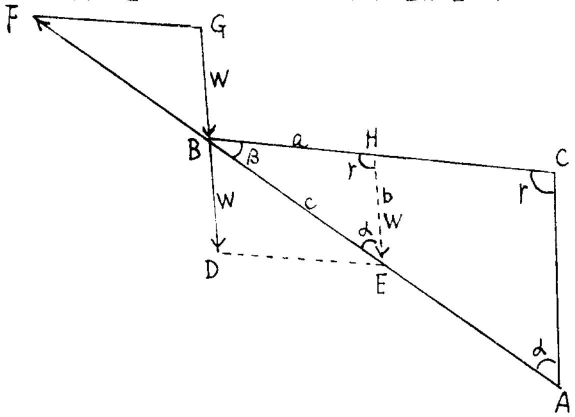
$$\overline{GB}=\frac{c}{b}\left(W+\frac{1}{2}w\right)+W$$

Ⅲ. Vector 三角形에 依한 Derriek boom式 荷役裝置의 應力計算

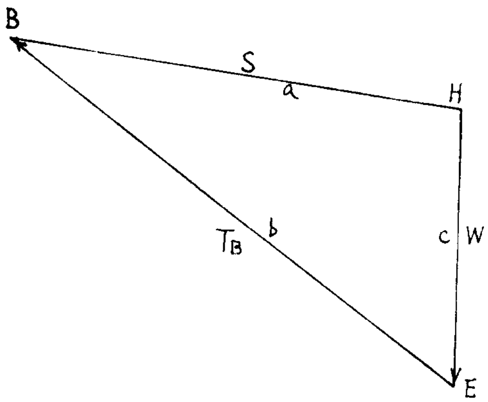
Derrick式 荷役裝置에 作用하는 힘을 分析할 때 3方向의 힘으로 分割하여 解析할 수 있다. 힘이 3方向으로 作用하여 平衡을 이룰 때에 이 3 힘은 힘의 Vector 三角形의 邊의 길이에 對應하여 比例的으로 作用한다는 原則을 利用하여 Derrick 裝置에 作用하는 힘을 解析하려고 한다. 即 Derrick 裝置의 힘을 水平方向 및 鉛直方向의 分力으로 分解하여 이들을 水平 및 鉛直平衡 Vector 三角形을 만들어서 解析하려 한다.

1. Single boom 式

(1) 荷重을 Boom 끝에 固定하여 달았을 때



〔그림 3・1〕



〔그림 3・2〕

Boom 끝에 달은 荷重, W (ton)

Boom 에 걸리는 Thrust, T (ton)

Topping lift 에 걸리는 應力, S (ton)

Boom 끝에 달린 荷重은 Boom 의 Thrust 와 Topping lift 의 應力에 依하여 支持되고 있다. 이것을 그림으로 그리면 W인 $\overline{BD}$를 Boom의 Thrust, $\overline{EB}$와 Topping lift, $\overline{BH}$의 合力으로 支持하고 있다.

卽 힘의 폐 3각형 BHE가 形成된다. 여기서 a, b, c 는 線分의 길이 이고 S, W, T 는 그에 對應하는 힘(Vector)이다. 지금 힘의 三角形의 邊을 形成하고 있는 線分의 길이를 알므로 이를 利用하여 그 線分方向의 Vector 의 크기를 求하면 그 方向의 힘의 크기가 된다.

다만 어느 線分方向의 힘에 變化가 있으면 곧 同一線分 比를 가진 힘의 三角形이므로, 다른 2個要素의 힘에 比例的인 變化를 일으킨다는 點에 留意할 必要가 있다.

卽 그림 3・2에서

$$\frac{a}{b}=\frac{S}{W}\text{이므로}$$

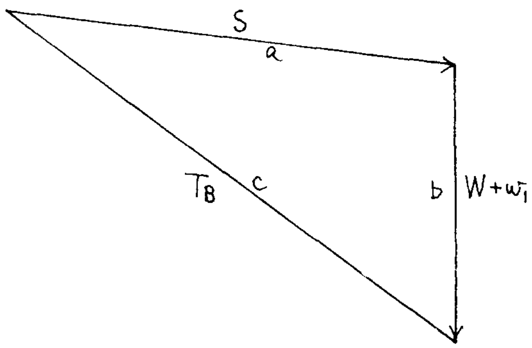
Topping lift에 作用하는 힘은

$$S=\frac{a}{b}W\,(\text{ton})$$

Boom 의 Thrust, T_B 는

$$T_B=\frac{c}{b}W\,(\text{ton})$$

Boom 의 무께 w, 그 重心이 Boom heel 에서 d 되는 곳에 있다면, Boom head 에 作用하는 Boom 무게 w_1 은 $w_1=\frac{d}{c}w$ 가 된다. 이를 Vector 三角形에서 表示하면 그림 2・3과 같다.



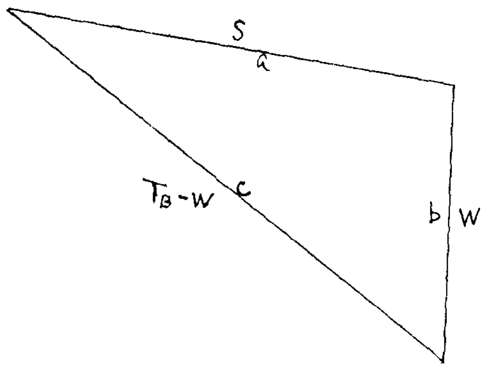
〔그림 3・3〕

$$\therefore\ T_B=\frac{c}{b}(W+w_1)=\frac{c}{b}\left(W+\frac{d}{c}w\right)\ (\text{ton})$$

$$S=\frac{a}{b}(W+w_1)=\frac{a}{b}\left(W+\frac{d}{c}w\right)(\text{ton})$$

여기서 $d=\frac{c}{2}$ 이면 $w_1=\frac{1}{2}w$ 가 된다.

(2) Cargo runner를 Boom과 平行하게 당길 때



〔그림 3・4〕

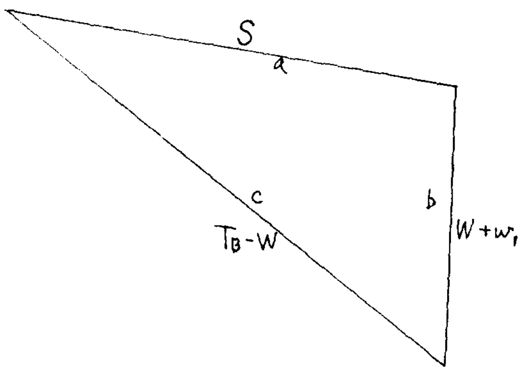
Cargo runner를 Boom과 平行하게 당긴다는 뜻은 Boom 方向의 힘이 $T-W$가 된다. 이 $T-W$를 c에 對應하는 Vector로 하여 計算하면

$$S=\frac{a}{b}W\ (\mathrm{ton})$$

$$T_B-W=\frac{c}{b}W$$

$$T_B=\frac{c}{b}W+W=W\left(\frac{c}{b}+1\right)\ (\mathrm{ton})$$

Boom 무게 w를 算入하면



〔그림 3・5〕

$$S=\frac{a}{b}(W+w_1)$$

$$T_B=\frac{c}{b}(W+w_1)+W$$

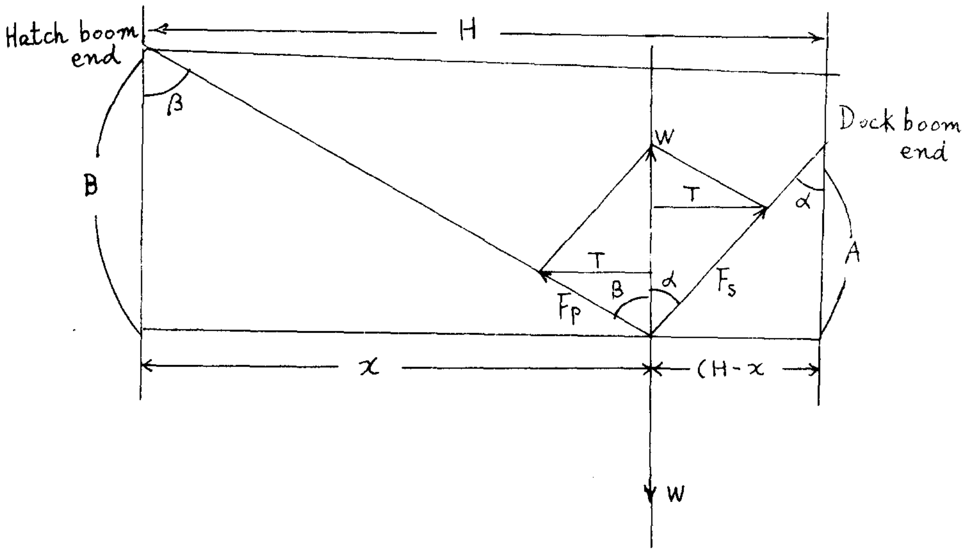
2. Union purchase 式

(1) Guy에 加해지는 應力

Union purchase 式 Derrick 艤裝에서 Guy에 作用하는 應力의 크기는 Fall angle과 그림 3・6에서

x 의 函數가 된다.

一般的으로 이 形式의 艤裝에서는 Fall angle 은 貨物의 부피에 따라서 Hook 의 높이는 거의 近似的으로 定하여지므로 一定한 Hook의 높이에 있어서, x 의 變化에 따르는 Cargo fall 의 水平分力의 最大値를 求하여 그 最大値가 Guy 에 作用하는 應力을 解析하면 된다.



[그림 3・6]

Cargo fall 은 Fall angle 의 函數이므로

$$\frac{W}{\sin(\alpha+\beta)}=\frac{F_S}{\sin\beta}=\frac{F_P}{\sin\alpha}$$

$$F_S=\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}\cdot W$$

$$F_P=\frac{\sin\alpha}{\sin(\alpha+\beta)}\cdot W$$

水平分力 T 는

$$T=F_S\ \sin\alpha=F_P\ \sin\beta=\frac{\sin\alpha\ \sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}\cdot W$$

$$=\frac{W}{\cot\alpha+\cot\beta}$$

여기서

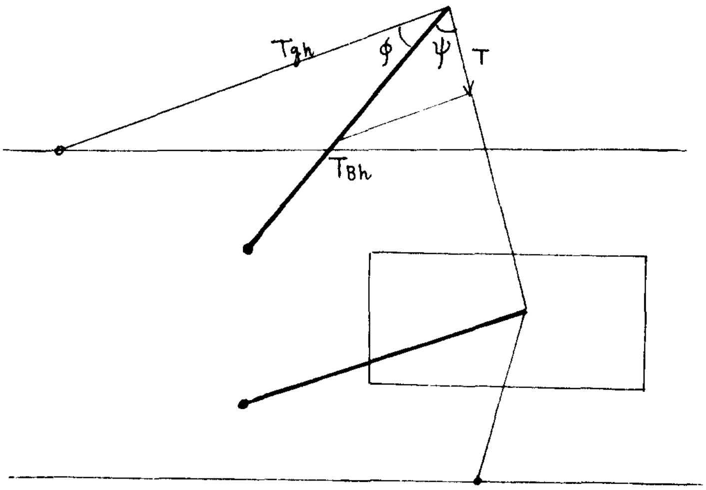
$$\cot\alpha=\frac{A}{H-x},\ \cot\beta=\frac{B}{x}$$

$$\therefore\ =\frac{W}{\dfrac{A}{H-x}+\dfrac{B}{x}}=\frac{W(H-x)\,x}{B(H-x)+Ax}$$

水平分力 T 가 最大가 되는 x 의 값은 $\left(\frac{dT(x)}{dx}=0\right)$

$$x=\frac{H\sqrt{B}}{\sqrt{A}+\sqrt{B}}\cdot W=\frac{H}{1+\sqrt{\dfrac{A}{B}}}\cdot W$$

$$T_{max} = \frac{W^2 H(\sqrt{A} + \sqrt{B} - \sqrt{B}W)}{(\sqrt{a} + \sqrt{b})\{W(A-B) + \sqrt{B}(\sqrt{A} - \sqrt{B})\}}$$



〔그림 3・7〕

T_{Bh} ; Boom thrust의 水平分力

T_{gh} ; Guy stress의 水平分力

그림 (3・7)에서 荷重에 依하여 T가 發生하므로서 Boom 끝에는 T, T_{gh}, T_{Bh} 3힘이 水平方向으로 作用하고 그 3힘은 서로 平衡을 이루고 있으므로

$$\frac{T_{Bh}}{\sin(\phi+\Psi)} = \frac{T_{gh}}{\sin\Psi} = \frac{T}{\sin\phi}$$

$$T_{gh} = \frac{\sin\Psi}{\sin\phi} \cdot T$$

Guy가 水平面과 이루는 角이 θ_1라고 하면 Guy stress T_g는

$$T_g = T_{gh} \cdot \sec\theta_1 = \frac{\sin\Psi}{\sin\phi \ \cos\theta_1} \cdot T \ (\text{ton})$$

T를 T_{max}로 取하면

一定한 Hook의 높이에 對한 荷役作業에서 Guy에 發生하는 最大應力을 求할 수 있다.

(2) Dock boom에 作用하는 應力

위의 식에서

$$T_{Bh} = \frac{\sin(\phi+\Psi)}{\sin\phi} \cdot T$$

이때 Boom과 水平面이 이루는 角을 θ_2라고 하면, Boom에 걸리는 Thrust T_B는

$$T_B = T_{Bh} \cdot \sec\theta_2$$

$$= \frac{\sin(\phi+\Psi)}{\sin\phi \ \cos\theta_2} \cdot T$$

여기서 $T = F_s \sin\alpha$로 놓으면 〔그림 3・6〕

$$T_B=\frac{\sin(\phi+\Psi)}{\sin\phi\ \cos\theta_2}\cdot F_S\cdot\sin\alpha\ \ (\text{ton})$$

(3) Topping lift에 걸리는 Stress

그림 [3・6]에서 Dock boom의 Topping lift에 作用하는 Stress를 求하려면 Dock boom end에 作用하는 F_S, T_g, T_B, T_t 및 w_1 (T_t ; Topping lift에 作用하는 應力)을 Boom end를 通하는 鉛直힘으로 分解하여 힘의 Vector 三角形을 만들어 求하여야 한다.

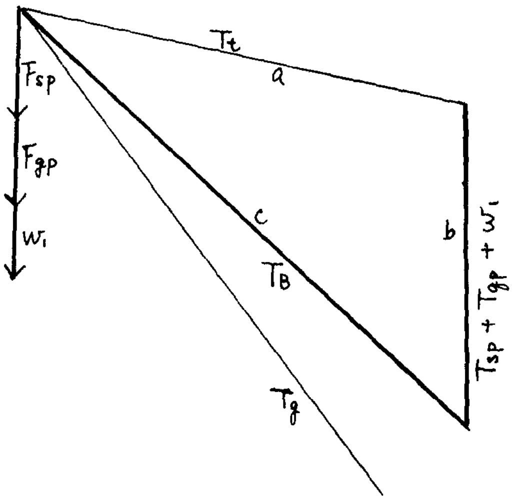
F_{Sp} ; F_S의 鉛直分力

T_{gp} ; T_g의 鉛直分力

w_1 ; Boom end에 있어서의 Boom 무게

$F_{S_p}=F_s\cdot\cos\alpha$

$T_{g_p}=T_g\ \sin\theta_1$



[그림 3・8]

$$\frac{T_t}{a}=\frac{F_{S_p}+T_{g_p}+w_1}{b}$$

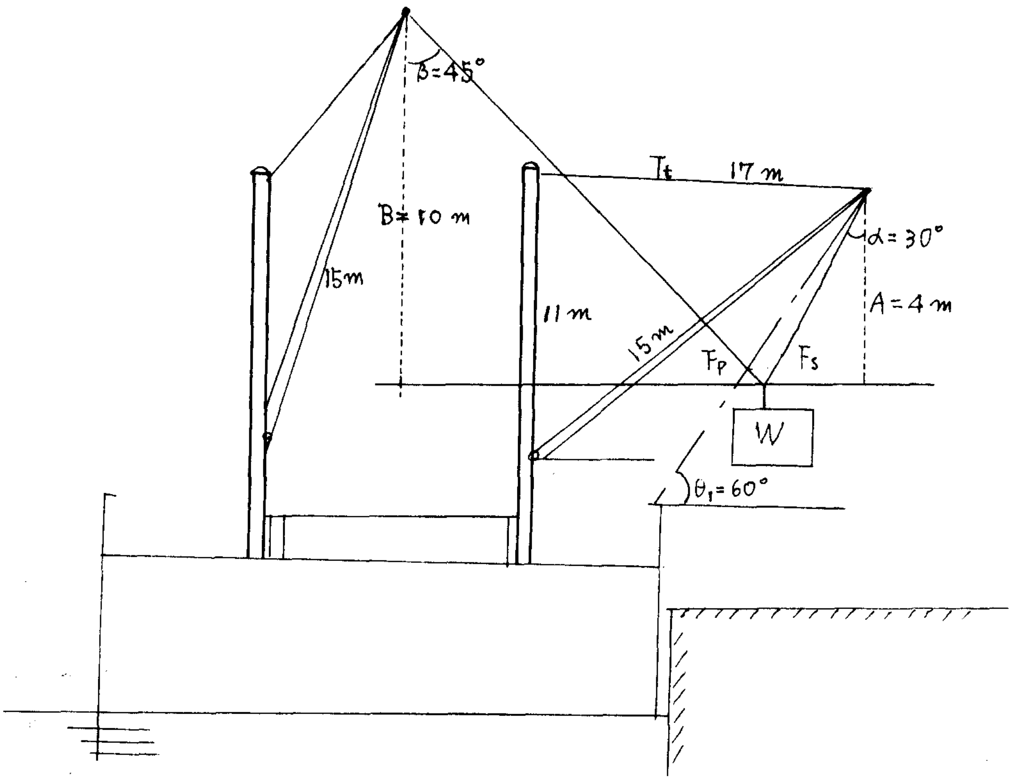
$$T_t=(F_{S_p}+T_{g_p}+w_1)\frac{a}{b}=(F_S\cos\alpha+T_g\sin\theta_1+\frac{d}{c}w)\frac{a}{b}$$

$d=\dfrac{c}{2}$이면

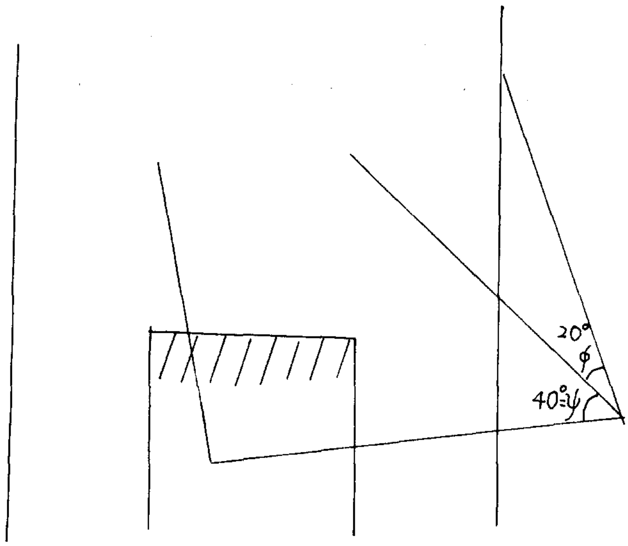
$$T_t=\frac{a}{b}\left(F_S\cos\alpha+T_g\cos\theta_1+\frac{1}{2}w\right)$$

Ⅳ. 數値計算例

다음 그림과 같은 Union purchase式 Derrick 艤裝에 있어서 荷物 2.0ton이 그림과 같은 위치에 놓였을 때, Dock boom의 Topping lift에 걸리는 應力을 求하라. 但 Boom의 무게는 1.2 ton이고, 그 重心은 길이의 中央에 있고, Guy와 Boom이 이루는 水平角 $\phi=20°$, Guy의 仰角 $\theta_1=60°$이다.



(a)



(b)

〔그림 4・1〕

(解)

$$\frac{F_P}{\sin\alpha}=\frac{F_S}{\sin\beta}=\frac{W}{\sin(\alpha+\beta)}$$

$$F_S=\frac{\sin 45^\circ}{\sin 75^\circ}\times 2.0=1.46\ \text{(ton)}$$

$$F_{S_p}=F_S\cos\alpha=F_S\cos 30^\circ=1.27\ \text{(ton)}$$

$$T=F_S\sin\alpha=F_S\ \sin 30^\circ=0.73\ \text{(ton)}$$

$$T_{gh}=\frac{\sin\Psi}{\sin\phi}\cdot T=\frac{\sin 40^\circ}{\sin 20^\circ}\times T=1.37\ \text{(ton)}$$

$$T_g=T_{gh}\ \sec\theta_1=T_{gh}\sec 60^\circ=2.74\ \text{(ton)}$$

$$T_{g_p}=T_g\sin\theta_1=T_g\ \ \sin 60^\circ=2.37\ \text{(ton)}$$

$$T_t\ (=F_{S_p}+T_{g_p}+\frac{w}{2})\cdot\frac{a}{b}=1.27+2.37+\frac{1.2}{2})\times\frac{17}{11.0}$$

$$=6.55\ \text{(ton)}$$

위 計算의 結果를 通하여 Union purchase式 Derrick 裝置에서 Topping lift에 作用하는 應力의 크기도 Single boom의 그것보다 클 때가 있음을 알 수 있다.

Union purchase에서 Topping lift에 걸리는 Stress를 求하는 方法은 荷重이 Dock boom과 Hatch boom 사이에 있을 때가 複雜하며 이를 平行四邊形法으로 計算할 때는 그 複雜性이 더욱 加重한다.

4. 結 論

지금까지 船舶荷役裝置의 主役을 맡아온 Derrick boom式 荷役裝置는 最近 Jib, Gantry crane 等의 出現으로 多少 後退하고 있는 것은 事實이다. Crane의 荷役能率은 大端히 좋으나 그 設置費가 Derrick boom에 비유가 되지 않을 程度로 莫大하다는 點에서 Derrick 裝置의 Rigging을 改善하여 設置費가 적게 들면서 荷役能率을 相對的으로 向上시키는 方向의 硏究와 그 結果가 船舶에 利用되고 있는 것이 오늘날의 實情의 一面이다.

本稿의 Derrick式 艤裝의 解析方法은 在來의 平行四邊形式 또는 圖式에 依한 解析보다 一層 쉽게 그리고 簡單하게 할 수 있으므로 Derrick式 荷役裝置의 設計나 一線에서의 荷役事故防止 등에 도움이 되었으면 한다.

參 考 文 獻

D' arcangelo : Ship design and construction, SNAME, 1975.

梁時權, 金順甲 : 船舶積貨, 海事圖書出版部, 1980.

D. H. Beattie : A Review of Cargo Handling System for Dry Cargo Vessels, NECI, Vol. 95-3, 1979.

William S. Dodge : The Evaluation of Rigging for Mechanical Cargo Hoisting Gear, SNAME, 1970.

Feiler and Andrews : Analytical Models for Optimizing Maritime Cargo Handling System, SNAME, 1963,