

解 說

Union Purchase System(喧嘩卷荷役方式)의 力學的 解法

李 成 振*

1. 序 論

港灣에 있어서 실제의 荷役作業은 2-boom type의 경우 swing boom system을 채용하는 경우가 거의 없으며 대부분의 경우 union purchase system이나 counter weight system을 채용하고 있는 실정이다. 또한 1967년에 Canada에서 tackle regulation의 一部가 개정되어 union purchase system을 행하는 선박으로서 union purchase system으로서 安全荷重에 관한 證書를 소지하고 있지 않을 경우에는 荷役條件이 대폭 제한을 받고 있으므로 더욱 重要視되는 實情이다.

union purchase system의 解析 방법으로는 British standard의 memorandum on ships' derrick rigs (B.S. 1700, 1960)에 作圖에 의한 방법이 있다. 이 作圖에 의한 방법은 視覺的이므로 作用力의 關係는 알기 쉬운 점이 있다. 그러나 多數의 case를 문제로 하여야 할 경우는 作圖방법에 의하면 시간과 노력이 많이 소비된다.

따라서 解析 力學的 方法으로 computer를 이용함으로써 多數의 case를 단시간에 처리하는 방법을 정리하고자 한다. 참고로서 British standard의 作圖에 의한 방법을 소개하고자 한다.

2. Union Purchase System의 概說

union purchase system은 오래전 부터 비교적 輕量의 雜貨荷役に 가장 많이 採用되어 온 방법으로서 Fig. 1은 그의 代表的인 方法을 표시한 것이다.

즉 2本 1組의 boom 중 1本은 hatch boom (inboard boom)으로서 hatch上에, 他 1本은 deck boom (outboard boom)을 적당한 위치로 하여 preventer guy와 topping rope로서 각각 고정한다.

兩 boom의 cargo fall은 1개의 delta plate (or ring)에 연결하여 delta plate에 取付된 hook로서 荷重을 달아 올린다.

各 cargo fall의 끝단은 各 boom top의 leading block를 경유 cargo winch에 유도하여 2台的 cargo winch의 조작으로 各 cargo fall의 길이를 변화함으로써 荷重을 移動하게 한다. 따라서 swing boom system과 비교하여 winch가 감아올리는 速度가 거의 2倍로 使用되기 때문에 특히 荷重의 橫移動이 빠르게 되어 能率的이나 反面 다음과 같은 결점이 있으므로 注意하여야 한다.

(1) swing boom system의 경우 荷重의 橫振을 무시하면 topping rope, boom 및 cargo fall은 항상 同一面內에 있으나, union purchase system에 있어서의 cargo fall은 boom에 대하여 경사의 方向으로 당기게 된다. 그 결과 preventer guy에 상당한 張力을 생기게 함과 동시에 boom의 軸力도 증가한다.

(2) cargo fall의 張力은 各 cargo fall간의 각도에 따라 變化하고 그의 각도가 180°에 가까워지면 cargo fall의 張力은 無限大에 가까워진다.

(3) 하중의 이동이 2本の boom의 先端을 포함한 鉛直面內에 한정되기 때문에 前後移動이 곤란하다.

*正會員, 韓國船級協會

- (4) 荷役操作의 balance 가 깨뜨리지면 상당한 충격이 따른다.
- (5) guy 의 繫着位置가 나뉘는 경우는 topping rope 의 張力을 消失하여 balance 를 잃고 boom 이 上方으로 뛰어 오르게 된다(Jack-knifing 現象)
- (6) union purchase system 을 하기 위한 rope 類裝置의 준비에 시간과 노력이 소요된다.

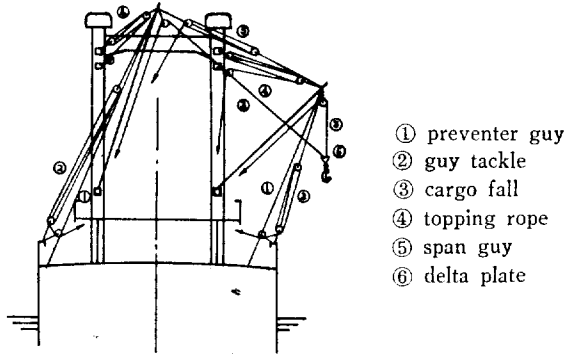


Fig. 1. Union Purchase System

3. 基礎知識의 整理

union purchase system 의 力學的 解法을 기술하기 전에 vector 의 解析的 表示 等에 관한 기초지식을 정리하여 두기로 한다.

(1) 座標系

Fig. 2 에 表示하는 것과 같이 空間에 直角軸 Ox, Oy, Oz 를 생각하여 右나사를 x 의 正軸으로부터 y 의 正軸方向에 反時計方向으로 廻轉하였을 경우 나사의 進行하는 方向을 x 의 正方向으로 한다. 이와 같은 座標系는 一般적으로 右手系라고 불리워진다.

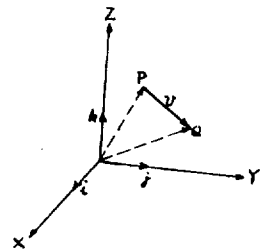


Fig-2 直角座標

(2) Vector 의 解析的 表示

Fig. 2 에 있어서 各座標軸 方向의 單位 vector 를 i, j, k 로서 表示하고, 空間에 vector v 를 假定하여 x, y, z 軸에 관한 成分을 각각 v_x, v_y, v_z 라고 하면, vector v 는 다음 式으로서 表示된다.

$$v = v_x i + v_y j + v_z k$$

또한 vector v 의 兩끝 P 및 Q 의 座標를 각각 $P(x_p, y_p, z_p), Q(x_q, y_q, z_q)$ 라고 하면

$$v = (x_q - x_p)i + (y_q - y_p)j + (z_q - z_p)k$$

$$\therefore v_x = x_q - x_p \quad v_y = y_q - y_p \quad v_z = z_q - z_p$$

(3) 方向餘弦

vector v 의 方向이 x, y, z 軸과 이루는 角을 각각 α, β, γ 라고 하면

$$v_x = v \cos \alpha \quad v_y = v \cos \beta \quad v_z = v \cos \gamma$$

但
$$v = |v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

여기서 $\cos \alpha, \cos \beta, \cos \gamma$ 는 vector v 의 方向餘弦(direction cosine)이라고 불리워지는 것으로서, 이들을 각각

l, m, n 으로 놓으면

$$l = \frac{v_x}{v}, \quad m = \frac{v_y}{v}, \quad n = \frac{v_z}{v}.$$

따라서 임의의 vector v 의 方向 餘弦 l, m, n 은 P 및 Q 의 座標를 알면 각각 다음 式으로 表示된다.

$$l_v = \frac{x_q - x_p}{\sqrt{(x_q - x_p)^2 + (y_q - y_p)^2 + (z_q - z_p)^2}}$$

$$m_v = \frac{y_q - y_p}{\sqrt{(x_q - x_p)^2 + (y_q - y_p)^2 + (z_q - z_p)^2}}$$

$$n_v = \frac{z_q - z_p}{\sqrt{(x_q - x_p)^2 + (y_q - y_p)^2 + (z_q - z_p)^2}}$$

(4) 힘의 平衡

剛體의 임의의 一點에 작용하는 n 개의 힘 $v_1, v_2, v_3 \dots v_n$ 의 作用線이 모두 한點에서 만나는 경우 이들의 合力 γ 는 다음 式으로 表示된다.

$$\gamma = \sum_{i=1}^n (v_{ix}i + v_{iy}j + v_{iz}k)$$

따라서 剛體가 平衡狀態에 있을 때는 다음 式이 成立한다.

$$\sum_{i=1}^n v_{ix} = 0, \quad \sum_{i=1}^n v_{iy} = 0, \quad \sum_{i=1}^n v_{iz} = 0$$

4. Union Purchase System 의 解析的 解法

4.1 記號의 說明

本章에서 使用하는 記號中 主要한 것은 다음과 같다. 또한 兩舷 同種類의 것은 同一文字로서 表示하며 inbord boom 側의 것은 prime(')를 붙쳐 區別한다.

- x, y, z : 直交座標軸
- $A(a_x, a_y, a_z)$: goose neck bracket 의 座標
- $B(b_x, b_y, b_z)$: boom top 의 座標
- $C(c_x, c_y, c_z)$: topping bracket 의 座標
- $G(g_x, g_y, g_z)$: guy 繫着位置의 座標
- E : guy 의 張力
- F : cargo fall 의 張力
- P : boom 의 軸力
- T : topping rope 張力
- S : boom 自重의 半分, 滑車, 索類等의 重量
- W : 荷重
- $l_p, m_p, n_p, \text{etc}$: 外力의 方向餘弦
- θ : fall angle
- α : 荷重點에서 cargo fall 과 이루는 角

- α_0 : 荷重點의 軌跡의 最低點에서 cargo fall 과 이루는 角
- K : 荷重點의 位置
- K_0 : 荷重點의 軌跡의 最低點
- \bar{c} : boom top 와 topping braket 間的 距離
- \bar{g} : boom top 와 guy 의 繫着位置間의 距離
- \bar{f} : 兩 boom top 間的 距離의 xy - 平面에 있어서의 投影 길이
- L : boom 의 有效長
- W_s : swing boom system 制限荷重

4.2 座標軸의 決定

座標軸을 Fig. 3 과 같이 정한다. 即, xy - 平面을 上甲板으로 하여 x 軸을 船體中心線方向, Y 軸을 船體橫方向, Z 軸을 x 와 y 軸의 交點에서 鉛直方向으로 取하고 화살표의 方向을 正으로 定한다.

4.3 作用力

Fig. 3에서 boom 의 先端 B 點에 作用하는 外力은 boom 의 軸力 P , topping rope 의 張力 T , guy 의 張力 E , cargo fall F , cargo relief 의 張力 αF 및 boom 自重의 半分, block, wire 의 自重 等的 重量 S 를 考慮한다.

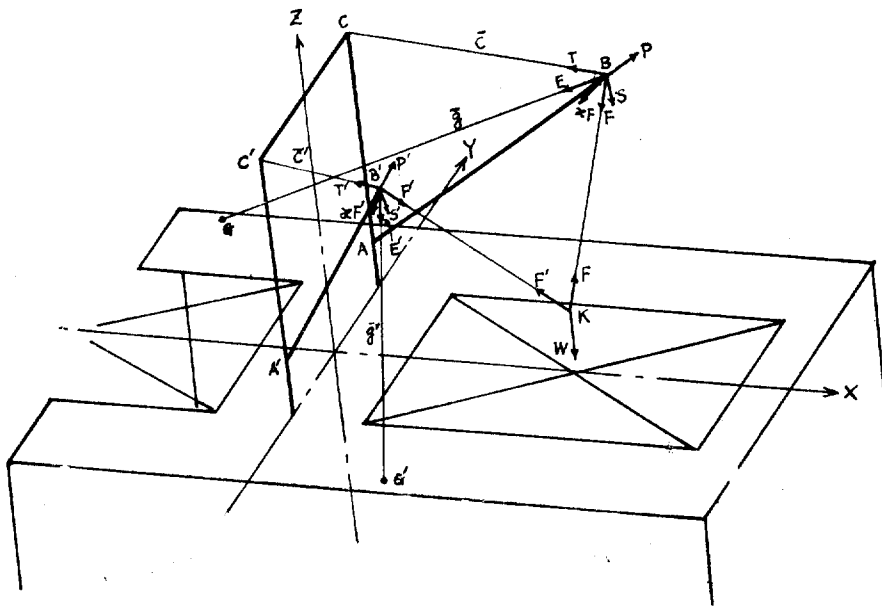


Fig. 3 作用力

여기서 α 는 block 의 마찰계수로서 sheave 數와 bearing 의 種類에 따라 다르며 bush bearing 일 때 1.05, roller bearing 일 때 1.02 정도의 값이 된다. 또한 S 는 現行揚貨裝置規則의 基準에 따라 다음의 값으로 한다.

$$\begin{aligned}
 W_s \leq 2 \text{ ton} & \quad \text{일 경우 } S = 0.283 W_s, \\
 2 \text{ ton} < W_s \leq 15 \text{ ton} & \quad \text{일 경우 } S = 0.4 \sqrt{W_s}, \\
 15 \text{ ton} < W_s & \quad \text{일 경우 } S = 0.1 W_s,
 \end{aligned}$$

4.4 荷重點의 軌跡과 cargo fall의 張力

Fig. 4에서 cargo fall 間의 角度 θ 가 一定하게 되도록 cargo fall의 길이 \overline{KB} 및 $\overline{KB'}$ 를 變化하면 荷重點 K 는 圓弧 $\widehat{B'KK_0B}$ 를 描한다. 荷重點이 圓弧上의 任意的 點 K 에 있을 때는 cargo fall의 張力 F 및 F' 는 각각 다음의 식으로 주어진다.

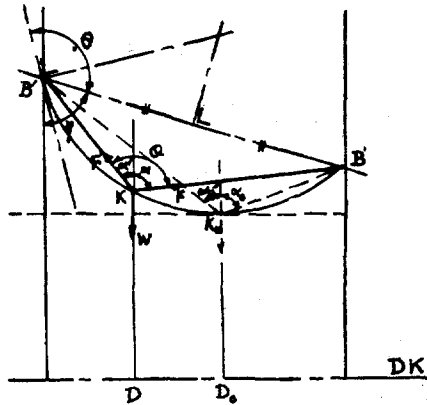


Fig. 4 荷重點의 軌跡

$$F = \frac{\sin \alpha'}{\sin \theta} W$$

$$F' = \frac{\sin \alpha}{\sin \theta} W$$

(但, $\alpha + \alpha' = \theta$)

4.5 荷重點의 甲板上 높이

Fig. 4에서 荷重點 K 의 甲板上 높이는 다음의 식으로 주어진다.

$$\overline{DK} = bz' - \frac{\cos(\theta - \alpha) \sin(n + \alpha) \sin \theta}{BB \sin \theta}, \overline{BB'}$$

$$\overline{BB'} = \sqrt{(bx' - bx)^2 + (by' - by)^2 + (bz' - bz)^2}$$

따라서 荷重點이 圓弧의 最低點 K_0 에 있을 때의 甲板上의 높이는 다음 식으로 주어진다.

$$\overline{DK_0} = bz' - \frac{\cos(\theta - \alpha_0) \sin(\eta + \alpha_0)}{\sin \theta}, \overline{BB}$$

$$n = \cos^{-1} \frac{bz' - bz}{\sqrt{(bx' - bx)^2 + (by' - by)^2 + (bz' - bz)^2}}$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{2}(\theta - \eta + 90)$$

4.6 方向餘弦의 決定

Fig. 3으로부터 다음 식이 얻어진다.

$$\bar{c} = \sqrt{(bx - cx)^2 + (by - cy)^2 + (bz - cz)^2}$$

$$\bar{g} = \sqrt{(bx - gx)^2 + (by - gy)^2 + (bz - gx)^2}$$

또한 \overline{BB} 의 $X-Y$ 平面에 있어서 投影長 \bar{f} 는 다음 식으로 된다.

$$f = \sqrt{(bx - bx')^2 + (by' - by)^2}$$

各 作用力의 方向餘弦은 다음 식과 같이 된다.

$$\begin{aligned} l_p &= \frac{bx - ax}{L} & m_p &= \frac{by - ay}{L} & n_p &= \frac{bz - az}{L} \\ l_E &= \frac{gx - bx}{\bar{g}} & m_E &= \frac{gy - by}{\bar{g}} & n_E &= \frac{gz - bz}{\bar{g}} \\ l_T &= \frac{cx - bx}{\bar{c}} & m_T &= \frac{cy - by}{\bar{c}} & n_T &= \frac{cz - bz}{\bar{c}} \\ l_F &= \frac{bx' - bx}{f} \sin \alpha, & m_F &= \frac{by' - by}{f} \sin \alpha & n_F &= -\cos \alpha \\ l_{\alpha F} &= -l_p & m_{\alpha F} &= -m_p & n_{\alpha F} &= -n_p \\ l_s &= 0 & m_s &= 0 & n_s &= -1 \end{aligned}$$

4.7 力の 平衡方程式 및 解

지금 boom top 에 작용하는 作用線이 모두 한點 B 에서 만나고 또한 船舶의 heel, trim 등을 무시하면 B 點에 관한 다음의 平衡方程式이 成立한다.

$$\begin{aligned} l_p P + l_E E + l_T T + l_F F - l_p \alpha F &= 0 \\ m_p P + m_E E + m_T T + m_F F - m_p \alpha F &= 0 \\ n_p P + n_E E + n_T T + n_F F - n_p \alpha - S &= 0 \end{aligned}$$

여기서 $l_p \alpha - l_F = \alpha_e$, $m_p \alpha - m_F = \alpha_m$, $n_p \alpha - n_F = \alpha_n$ 로 놓으면 다음 식과 같이 바꿀 수 있다.

$$\begin{aligned} l_p P + l_E E + l_T T &= \alpha_e F \\ m_p P + m_E E + m_T T &= \alpha_m F \\ n_p P + m_E E + n_T T &= \alpha_n F + S \end{aligned}$$

따라서 이 연립방정식을 P, E, T 에 대하여 풀면 作用하는 外力을 전부 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} D_P &= \begin{vmatrix} l_p & l_E & l_T \\ m_p & m_E & m_T \\ n_p & n_E & n_T \end{vmatrix} & D_P &= \begin{vmatrix} \alpha_e F & l_E & l_T \\ \alpha_m F & m_E & m_T \\ (\alpha_n F + S) & n_E & n_T \end{vmatrix} \\ D_E &= \begin{vmatrix} l_p & \alpha_e F & l_T \\ m_p & \alpha_m F & m_T \\ n_p & (\alpha_n F + S) & n_T \end{vmatrix} & D_T &= \begin{vmatrix} l_p & l_E & \alpha_e F \\ m_p & m_E & \alpha_m F \\ n_p & n_E & (\alpha_n F + S) \end{vmatrix} \\ P &= \frac{D_P}{D}, & E &= \frac{D_E}{D}, & T &= \frac{D_T}{D} \quad (\text{但, } D \neq 0 \text{가 아닐 경우}) \end{aligned}$$

이상은 outboard boom 側에 대하여 論하였으나 inboard boom 역시 같은 方法으로 구할 수 있다.

5. 檢定式

前述의 方法으로서 各 繫着點의 外力은 求할 수 있으며, 다음에 이들의 外力에 의하여 생기는 boom, post 또는 rope 의 應力이 規定의 安全率을 만족하는지의 判斷을 하기 위한 檢定式은 다음과 같다.

boom

揚貨裝置 規則에서 boom 의 中央部의 moment of inertia I는 다음 式으로 規定함.

$$\begin{aligned} I &\geq C_B P L^2 \\ (C_B : \text{係數로서 } 10' \text{ 以下일 때는 } 2.75) \end{aligned}$$

따라서 boom의 外徑 $d(\text{mm})$, 板厚 $t(\text{mm})$ 라고 하면

$$P \leq 1.427 \times 10^{-5} \frac{(d-t)^3 \cdot t}{L^2}$$

post

swing boom을 使用할 때는 양화장치 규칙에서 허용되는 post heel 부의 moment는

$$C, WSL \cos \xi$$

그러나 union purchase system을 使用할 때는 heel 部의 moment는

$$T_H(c_x - a_x) \text{임으로}$$

$$T_H \leq \frac{c_1 W_s L \cos \xi}{c_x - a_x}$$

c_1 : 揚貨裝置規則에 의한 係數

$$T_H : \text{topping 張力の 水平分力}(= \sqrt{L_c^2 + m_c^2} \cdot T)$$

rope

rope의 規定의 破斷強度에 대한 安全率은 5以上이어야 한다.

6. 結 言

以上과 같이 union purchase system의 解析法에 대하여 記述하였으나 今後 實際數值 計算을 토대로 하여 좀 더 效果的인 應用에 대하여 研究 檢討할 爲計임.

參 考 文 獻

- [1] 各種形式 derrick 裝置의 諸力計算 及 derrick post의 應力解析을 爲한 統一 program에 대하여 (昭和 44年 5月 西部造船學會 第38回 例會에서의 講演) 梶原二郎, 福井正洋, 關戶紀明
- [2] 喧嘩卷 荷役方式 內規(日本 海事協會)
- [3] British standard의 Memorandum on Ships' Derrick Rings (B.S.1700:1960)

附 錄

1. British Standard 의 Memorandum on ships' Rigs(B.S. 1700:1960)에 의한 作圖法 解說

(fig. 5 참조)

1) BRITISH STANDARD 의 MEMORANDUM ON SHIPS' DERRICK RIGS 의 作圖法

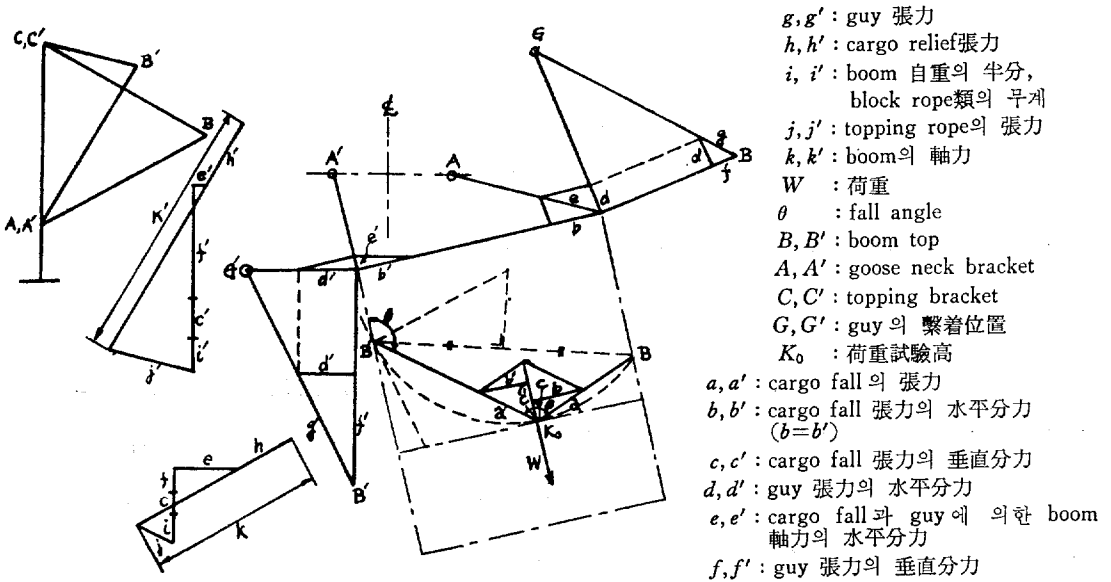


Fig. 5 作圖에 의한 方法

2. Jack-knifing 現狀

topping rope 의 張力이 negative 가 되면 boom 의 balance 가 깨뜨려져서 순간적으로 topping rope 에 무리한 tension 이 걸려 경우에 따라서는 topping rope 가 끊어지는 위험을 초래한다. 이런 현상을 Jack-knifing 현상이라 한다(Fig. 6 참조)

Jack-knifing 의 防止策은 total vertical load boom 軸力의 水平分力 $\times \tan \alpha$ 가 되도록 하여야 할 것이며 아래와 같이 장치하면 된다.

- ① inboard boom 과 guy 와의 角度를 90° 정도로 裝置할 것 (topping rope 의 張力이 커짐)
- ② boom 의 起伏角度를 작게 할 것.
- ③ fall angle 을 적게 할 것.

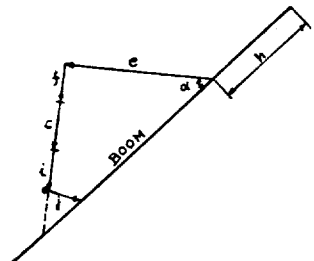


Fig. 6 Topping Rope 의 張力이 Negative 가 되는 例