

● 技術報告

Bangladesh Jamuna 江 橫斷用 230KV 2回線乘 111m 높이 鐵 設計(II)

李 在 淑*

6. 基礎設計	6.6 Base plate와 4角柱와의 交叉線
6.1 基礎荷重	7. 鐵塔試驗
6.2 Anchor 볼트設計	8. JD塔
6.3 Base 鋼板設計	9. 對空表示燈
6.4 Wing plate 設計	10. 結 論
6.5 熔 接	

<會誌 第31卷 第4號 p. 28에서 계속>

6. 基礎設計

6.1 基礎荷重

JS塔의 主柱材는 x 및 y軸에 對해서 14.6477° 複材는 x軸에 對해서 12.2° y軸에 對해서 14.6477° 라는 直角度를 갖고 있어서, 基礎에 對한 設計荷重의 計算은 相當히 複雜한 것이었다. (그림 7 參照)

各荷重條件에 對하여 computer에 依한 計算結果에서 壓縮力, 引張力 및 水平力의 最大値를 찾아보면 剝風時에 나타나고 그 값은 다음과 같다. (그림 8 參照)

壓縮力	3,177(t)
引張力	1,925(t)
水平力	457(t)

6.2 Anchor 볼트設計

Anchor볼트의 寸數는 外徑 60mm이고 그 材質은 S55C이고 concrete附着力은 18.5kg/cm²를 擇하였다.

anchor Bolt 數量

$$\text{自體強度 } \frac{\pi}{4} (5.48397)^2 \times 5,550 / 1.75 = 74,909(t)$$

$$\text{所要數 } 1,925 / 74,909 = 25.7 \rightarrow 31\text{本으로 定함}$$

anchor bolt 길이(L)

$$\pi \times 6.0L \times 18.5 / 1.75 \times 31 = 1,925 \times 10^3$$

$$L=305\text{cm}$$

實地使用되는 Anchor볼트는 最終적으로 나사를 내어 附着力을 18.5에서 22,944kg/cm²로 올렸으므로 L는 252cm로도 可하다. 實使用 Anchor bolt길이는 305cm로 定해졌다.

6.3 Base 鋼板設計

base鋼板의 平面最大寸數는 172.6cm이고, 두께는 60mm이고, 그 材質은 熔接에 對備하여 SM50B를 擇하였다.

荷重條件 2의 鋼板下面壓縮應力度(σ_1)

$$\text{鋼板有效面積 } 172.6^2 - 5 \times 17^2 / 2 - 66^2 / 2 = 27,547(\text{cm}^2)$$

$$\sigma_1 = 2,177 / 27,547 = 79.03\text{kg/cm}^2$$

荷重條件 13의 鋼板下面壓縮應力度(σ_2)

$$\text{鋼板有效面積 } 108.8 \times 172.4 - 27_2 / 2 - 18^2 / 2 = 18,2524(\text{cm}^2)$$

$$\sigma_2 = 1,636 / 18,2524 = 89,632\text{kg/cm}^2$$

concrete壓縮應力度 $183 / 1.75 = 104.6\text{kg/cm}^2 > \sigma_1$ 및

σ_2 鋼板두께

鋼板強度에 對해서는 壓縮應力에 對하여 充分하고 또 볼트가 빠져 나오지 않도록 하는 觀點에서도 그 強度가 維持되도록 設計하였다.

鋼板두께의 計算은 Roark 및 Young著 formulas for stress & strain이라는 書冊의 394頁에 나타나는

* 正會員: 코오롱綜合電氣(株) 專務理事

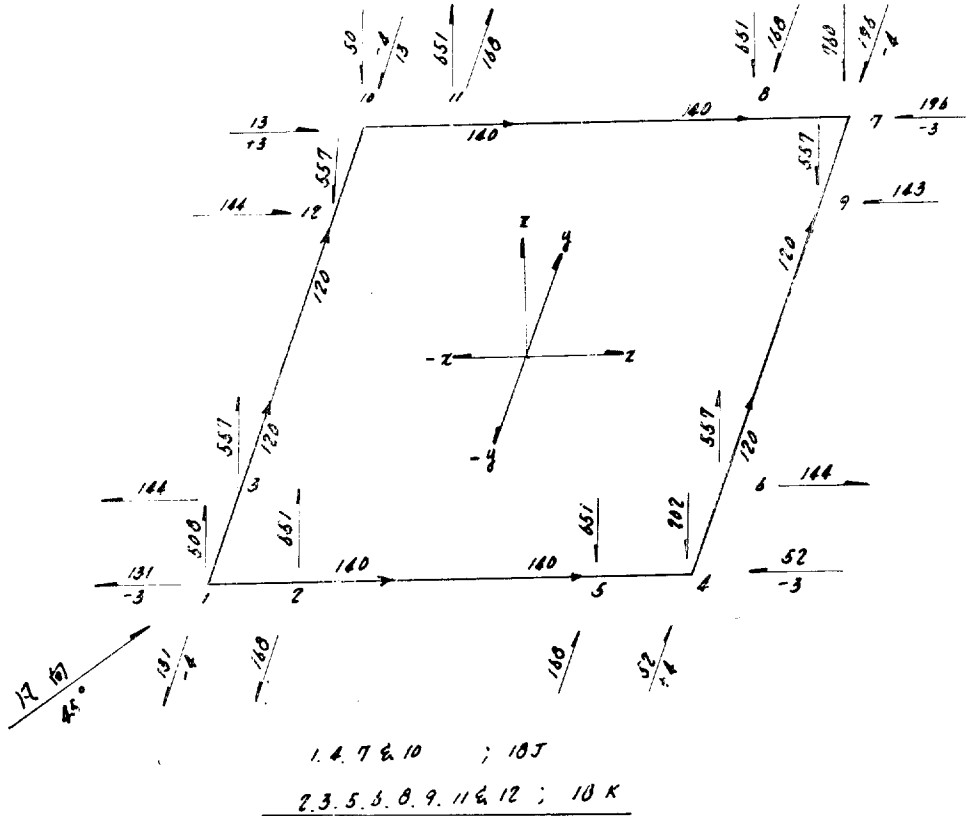


그림 8. JS tower 기초 설계하중(사동시)

26.10 a表의 rectangular plate, three edges fixed, one edge (a) free & uniform loads over entire plate 의 公式에 依據하였다.

$$\text{最大彎曲應力}(\sigma_s) = \frac{-\beta_1 q b^2}{t^2}$$

여기서 β_1 및 γ_1 는 $a/b=41.8/35.3=1,184$

따라서

$$\beta_1 = \frac{0.727 - 0.321}{1.5 - 1.0} (1,184 - 1.0) + 0.321 = 0.4704$$

$$\gamma_1 = \frac{0.673 - 0.457}{1.5 - 1.0} (1,184 - 1.0) + 0.457 = 0.5365$$

$q=95.3\text{kg/cm}^2$

$t=6.0\text{cm}$

$b=35.3\text{cm}$

$$\therefore \sigma_s = \frac{0.4704 \times 95.3 \times 35.3^2}{6.0^2} = 1,552\text{kg/cm}^2$$

한편 鋼板強度 ρt 는

$$S_s = 3,150/1.75 = 1,800\text{kg/cm}^2 < 1,552$$

Nut의 引拔에 對한 計算 Nut有効徑 9.0cm

anchor bolt 1個의 荷重 $1,925/71=62(t)$

Nut周邊의 Shear強度 SM50B shear強度 =

$2,203\text{kg/cm}^2$

$$2,273 \times \pi D t / 1.75 = 2,273 \times \pi \times 9.3 \times 6.0 / 1.75 = 220,000\text{kg} > 62,000$$

Nut密着付의 bear強度 SM50B bear強度 = $5,200\text{kg/cm}^2$

$$5,200 \times \frac{\pi}{4} (9.0^2 - 6.8^2) / 1.75 = 81,109\text{kg} >$$

$62,000$

水平力의 處理

水平力은 anchor bolt에 依存하지 않고 base plate 下面에 높이 20cm 外徑 19.5cm의 鋼管 17個를 附着시켜 處理키로 하였다.

6.4 Wing plate 設計

Base plate에서 突出되고 있는 wing plate는 總引張力에 견디어야 한다.

wing plate의 引張強度(18K 腹材)

$$\text{有効斷面積} (85 \times 2 + 105 + 94) \times 1.6 = 590.4\text{cm}^2$$

$$\text{強度} 3,150 \times 590.4 / 1.75 = 1,062,720\text{kg} >$$

$$1,059,665$$

wing plate의 引張強度(全體 18J+2×18K)

$$\text{有效斷面積 } (85 \times 8 + 105 \times 2 + 94 \times 2) \times 1.6 = 1,454 \text{cm}^2$$

$$\text{強度 } 3,150 \times 1,454 / 1.75 = 2,617,200 \text{kg} > 1,925,000$$

6.5 熔 接

JS塔은 워낙 大形이어서 部材連結에는 볼트만으로서는 到低히 解決할 수 없는 個所가 發生하였다. 即 18K 와의 18H連 結用的 的 gusset鋼板, 基礎部의 wing鋼板, Base鋼板等의 連結에는 不得已 熔接工法을 使用하게 되었다. (그림 8 參照)

本文에서는 wing plate 相互間의 熔接 그리고 wing plate와 base plate間의 熔接에 對해서 說明코져 한다.

(1) Wing plate相互間

熔接線의 荷重 36.3(t)

熔接設計

fillet weld

wing plate相互角度 90° M.F=0.7

熔接길이 90cm

脚 長 8mm

單位強度 3,150/1.75=1,800kg/cm²

剪斷力도 加해짐으로 M.F=0.36

強度計算

$$(90 - 2 \times 0.8) \times 0.8 \times 0.7 \times 1.8 \times 2 \times 0.36 =$$

$$64.2t > 36.3$$

B.S規格을 參照한 結果 鋼板의 두께가 얇아 素材의 豫熱은 必要치 않고 熔接의 檢査는 magnetic particle flaw defection check 로서 足하다. 그리고 殘留 strain 를 除去키 爲한 後熱處理도 不必要한 것으로 判定되었다.

(2) Wing와 Base plate의 熔接

熔接部의 荷重 1.059.7t

熔接部設計

single bevel groove full penetration butt weld.

wing plate 두께 16mm

base plate 두께 60mm

熔接線의 길이 95.7×3+106.7×1+26×2+20×2cm

$$\text{有效斷面積 } (95.7 - 2 \times 1.6) \times 3 \times 1.6 + (106.7 - 2 \times 1.6) \times 1 \times 1.6 + (26 - 2 \times 1.6) \times 2 \times 1.6 + (20 - 2 \times 1.6) \times 2 \times 1.6 = 736.32 \text{cm}^2$$

熔接部의 強度 剪斷力은 base plate가 負擔

$$3,150 \times 736.32 / 1.75 = 1,325.4t > 1,059.7$$

素材의 豫熱은 100°C로 定했고 豫熱方法은 propan gas torch를 使用하였다. 그리고 熔接中의 變形을 防止키 爲해서는 健固한 틀(JIG)을 使用하였고, 熔接檢査는 非破壞試驗에 屬하는 超音波 및 magnetic particle flaw試驗에 依據하고, 不合格된 個所는 再次熔接키로 하였다. 그리고 殘留 strain를 除去키 爲한 後熱處理는 없기로 하였다.

그리고 熔接部의 強度의 信賴性은 熔接의 技能度에 크게 左右됨으로 熔接工의 技能度도 所定의 規準에 따라 實施하였다.

Wing plate와 base plate와의 交叉

角鋼材의 組立材 即 4角柱가 水平面에 對해서 x와 y軸에 對해서 同一한 角度를 가지고, 接觸할時의 交叉線은 손쉽게 求할 수 있으나, JS塔에 있어 18K 4角柱는 14.6477°와 12.2°의 角度를 가지고 있어서 그 交叉線을 찾는때 무척 힘ì 들었다.

6.6 Base plate와 4角柱와의 交叉線

18J柱 柱中 390mm

傾斜角度計算(圖 10參照)

$$(15.478 - 7,6683) / (2(15 - 0.06)) = 0.261369$$

$$\theta = \tan^{-1} 0.261369 = 14.6477^\circ$$

1邊의 中 390/cos 14.6477=403.1mm

A'C'對角距離 588.1mm

BD " 390√2=551.5mm

上記에 있어 AC對角距離를 算出하는 方法은 두가지가 있다.

方法 1.

$$BC' = C'D = 403.1 \quad BD = 551.5 \text{의 2等邊三角形}$$

$$BP = PD \quad \therefore \alpha = \cos^{-1} \frac{551.5}{2 \times 403.1} = 46.8372^\circ$$

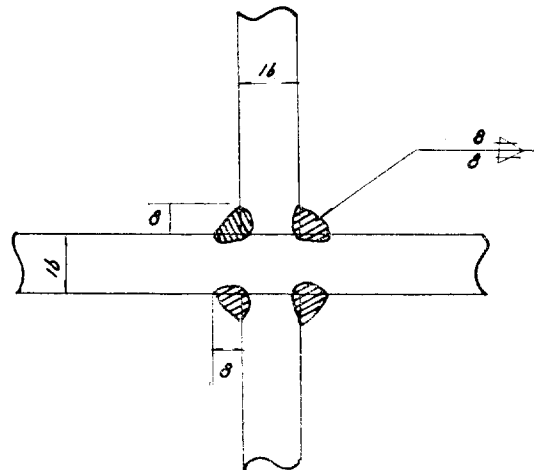


그림 9.1. Fillet weld

$$\begin{aligned} \therefore A'C' &= \\ &= \sqrt{403.1^2 + 403.1^2 - 2 \times 403.1^2 \cos 2 \times 46.8372} \\ &= 588.05\text{mm} \end{aligned}$$

方法 2.

AC의 垂直斷面을 生覺하면 하나의 直角三角形이 나타난다.

$$AC = 551.5\text{mm}$$

$$AA' = 2 \times 390 \tan 14.6477 = 203,868\text{mm}$$

$$\therefore A'C' = \sqrt{551.5^2 + 203,868^2} = 588.02$$

18K柱 柱幅 400mm

x軸傾斜 14.6477°

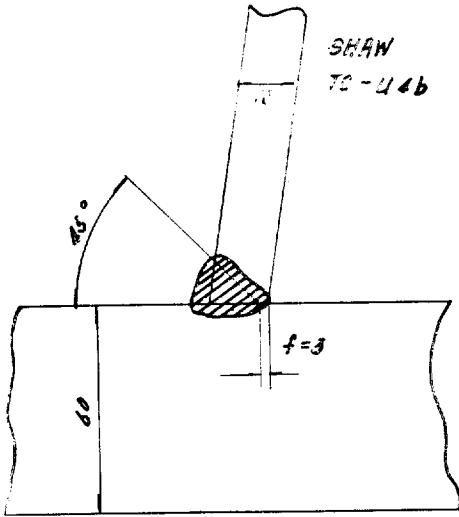


그림 9.2. Single bevel groove butt weld

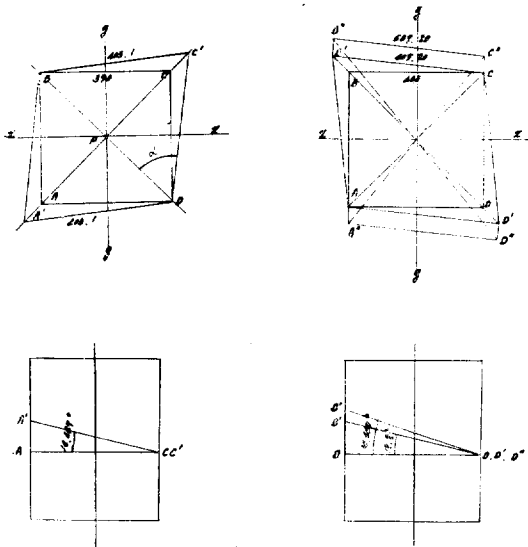


그림 10. Wing 및 base plate의 交叉線

$$\begin{aligned} g\text{軸傾斜 } &(7.6683 - 2 \times 604) / 2(15 - 0.06) = 0.261369 \\ \theta &= \tan^{-1} 0.261369 = 12.2^\circ \end{aligned}$$

xy軸에 對해서 一次的으로 12.2°의 同一한 角度로 傾斜할 時의 各邊 및 對角의 寸數

$$\begin{aligned} A'B' = B'C' = C'D' = A'D' &= 400 / \cos 12.2 = \\ &= 409,204\text{mm} \end{aligned}$$

$$AC = \sqrt{2} \times 400 = 565,685\text{mm}$$

$$B'D' = 591,432\text{mm}$$

다음 y軸方向으로 14.64-12.2=2.4477° 더 傾斜할 時의 各部의 變化를 求해본다.

$$A'D'' = B''C' = 409,204 \text{ 無變化}$$

$$A'B'' = C'D'' = 400 / \cos 14.6477 = 413.4$$

$$\begin{aligned} A'C' &= \\ &= \sqrt{(400\sqrt{2})^2 + \{400(\tan 14.6477 - \tan 12.2)\}^2} \\ &= 566.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B''D'' &= \\ &= \sqrt{(400\sqrt{2})^2 + \{400(\tan 14.6477 + \tan 12.2)\}^2} \\ &= 597.3 \end{aligned}$$

以上の 數値만 가지고는 作圖가 不可能함으로 A'' C'' 및 B'' D''點을 連結하는 軸의 移動方向을 求해야 한다.

A'' B'' C'' D''平面에 對해서 A'' 및 B''兩點이 存在하는 兩面의 移動量은

A''點

$$\begin{aligned} x\text{軸 } &+ \frac{1}{2} \times 400(\tan 14.6477 - \tan 12.2) \sin \\ &12.2 = 1.909\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y\text{軸 } &- \frac{1}{2} \times 400(\tan 14.6477 - \tan 12.2) \sin \\ &14.6477 = -2.284\text{mm} \end{aligned}$$

B''點

$$\begin{aligned} x\text{軸 } &+ \frac{1}{2} \times 400(\tan 14.6477 - \tan 12.2) = \\ &1.909\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y\text{軸 } &+ \frac{1}{2} \times 400(\tan 14.6477 - \tan 12.2) \sin \\ &14.6477 = 2.284\text{mm} \end{aligned}$$

같은 方法으로

C''點

$$x\text{軸 } -1.906 \quad y\text{軸 } 2.284$$

D''點

$$x\text{軸 } +1.909 \quad y\text{軸 } -2.284$$

다음 A'' B'' 및 C'' D''點을 通過하는 直線을 作圖하고, A'' B''點은 566/2를 半徑으로 하는 圓弧와의 交點을 찾으면 A'' C''點이 確定된다.

그리고 B'' 및 D''點은 599.1/2를 半徑으로 하는 圓

孤의 A''B'' 및 C''D''線과의 交點에서 亦是求할 수 있다.

7. 鐵塔試驗

仕様書の 要求條項에 따라 JS塔의 上部 50m는 強度試驗을 받기로 하였다. 50m높이로 定해진 것은 世界의 鐵塔 Maker의 塔試驗設備가 普通 50m前後인데 起因하였다.

鐵塔強度試驗은 周知하는 바와같이 이 試驗을 通해 maker에서 設計한 塔이 設計荷重에 견딜 수 있는지의 機械의 強度를 檢査하는데 主目的이 있다.

鐵塔強度試驗을 通해서, 部材, 볼트 및 鋼板等의 材質, 加工의 優秀性, 製作圖의 適否, 設計의 良否等 모든 것을 綜合的으로 檢討할 수 있다.

옛날에는 塔試驗時 垂直荷重으로서는 亞鉛塊等을 그 리고 測定計器로서는 dynamometer가 使用되었으나, 이러한 方法은 荷重의 增加에 따라 亞鉛塊가 地表面에 닿는 不便 그리고 滑車의 摩擦損失에 依한 計器의 不正確性이 있는等 매우 不便한 것이었다.

그러나 近來의 塔試驗은 鉛塊代身動力 Winch가 使用되고, dynamometer代身 load cell가 使用된다.

Load cell의 構造는 鋼棒表面에 strain guage가 添付되고, strain guage의 變化要素는 wheatstone bri-

dge에 傳達되어 그 正確度는 百萬分의 1kg에 達할 程度이다.

Strain guage의 原理는 丸棒에 引張力 또는 壓縮力이 加해지면 彈性係數 $2.3 \times 10^6 \text{kg/mm}^2$ 에 따라 丸棒이 軸方向으로 伸縮되는데 이 伸縮量은 細線의 電氣抵抗을 變化시켜주는 것을 利用한 것이다. 그리고 load cell은 滑車의 影響을 받지않은 位置에 自由로히 設置할 수 있어 精密性以外에 簡便性도 dynamometer보다 越等히 났다.

JS塔의 垂直荷重의 最大値는 27屯, 水平橫荷重의 最大値는 41屯 水平縱荷重의 最大値는 33屯이였어, Anchor塔의 強度가 全面的으로 再檢討되었고 Anchor塔의 支線基礎도 補完되었다.

그러나 縱荷重用 Anchor塔 2基는 強度不足으로 判明되어 이 塔은 縱荷重을 分擔하도록 牽引 wire rope를 配列하였다. (그림 11 參照)

그리고 wire rope의 size는 荷重에 따라 定해졌으나, 最大의 것은 外徑이 40mm에 達했고, 또 牽引 winch 容量의 不足함을 補完키 爲해서는 3段 sheeve의 滑車를 使用하였고. 이러한 滑車의 寸數는 40×55cm이고 그 重量은 166kg에 達했다.

試驗方法은 I.E.C Code 652에 準하기로 合議가 이루어져 荷重의 規定値에서의 負加時間은 1分間이고, 破壞가 1分以內에 일어나도 強度試驗은 合格하는 것으로 協議되었다.

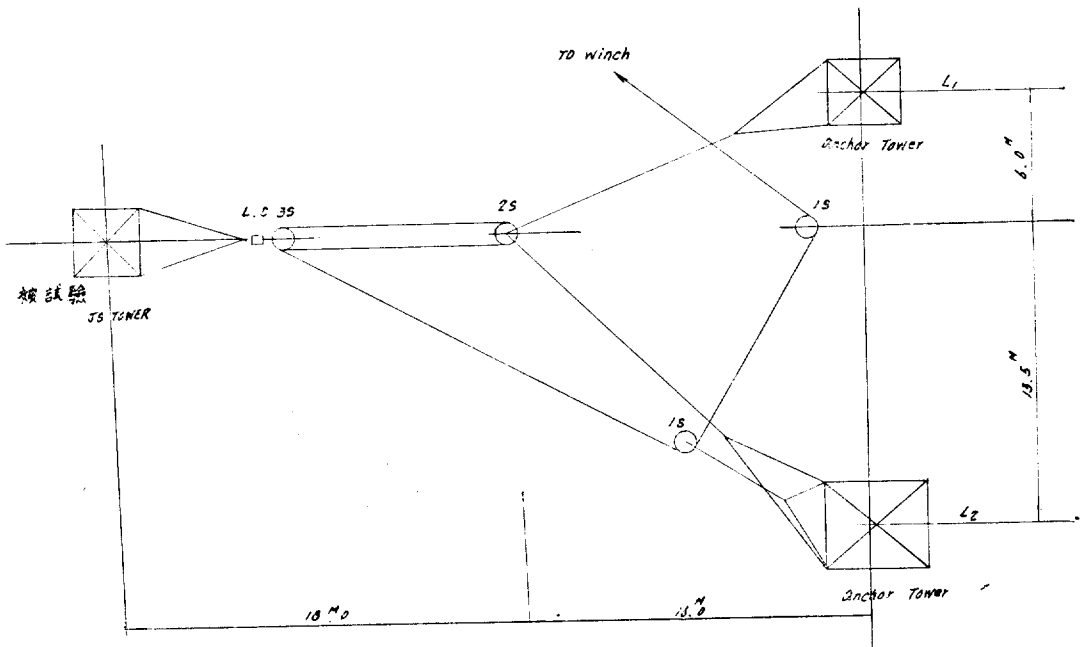


그림 11. L₁ 및 L₂ anchor塔의 並列使用時 wiring

萬般의 試驗態勢을 갖추고 81.5.30에 荷重條件 3 (heavy vertical load)의 試驗을 實施하였는데, C₂腕全 吊材의 3M22볼트가 引張力에 견디지 못하고 破損되 었다.

그 原因은 設計는 볼트의 나사산을 내지 않는 外徑을 擇하였는데 使用볼트는 나사산이 너무 깊어 나와있는 것을 使用한데 있었다.

上記볼트를 交替한 後 翌日 塔試驗을 再開하였던 바, 20-21部材가 變久變形되어 이 部材를 2L 75×75×9에 서 2HL130×130×9로 代置하였다.

補助材로 看做하여 應力이 걸리지 않는 것으로 判斷한 것이 過誤였다.

그리고 上記와 같은 하자點을 補完한 後 諸般試驗이 經續되었으나, 試驗表中 L₁ anchor塔의 主柱材 L90×90×7이 破損直前에 들어가 이것을 修理補完해야만 했고, 또 wire rope와 JS塔主柱材를 連結用으로 使用한 鋼帶 120×16의 壓縮力에 JS塔主柱材 HL90×90×13의 Flange가 휘는 등의 現象이 나타났다.

塔試驗은 81.6.6에 無事히 끝나쳤고, 塔의 橫荷重最大値下에서 傾斜度는 頂點에서 70cm였고, computer에 依한 豫測值보다 上廻하는 값이었다. 그 原因은 볼트孔의 餘裕에 因한것 같다.

8. JD 塔

JD塔의 外觀圖는 圖 12와 같은 것이었으나, 이러한 形態로서는 1~2柱에 moment가 發生하고 따라서 部材寸數가 커서 不經濟의이므로 1~2柱의 兩翼에는 對角材를 添加하고, 縱斷面으로 보아서는 16~l의 支持柱를 附着시켜 1~2 및 4~7柱에는 壓縮力이 主로 加해지도록 JD塔 構造를 變更하였다.

JD塔에 電線張力에서 오는 縱荷重이 負課될 時는 三角形으로 된 各 構造物이 單獨으로 支持함으로 設計面에서 큰 隘路는 없었다. 即 stress diagram을 作圖함

으로 各部의 應力을 求했다.

그러나 構造物自體와 電線等的 風壓으로 因한 橫荷重은 各柱의 剛性 即 荷重이 負加된 狀態에서 各柱의 變位에 反比例해서 負擔한다는 假定이었고 또 構造物 中心部에 sway X bracing가 設置되어 있어 그 計算은 一層複雜한 것이었다.

單位荷重을 加했을 時의 各部의 變位

1. sway×bracing를 가진 鐵柱部

變位는

$$\delta = \sum \frac{U_i L_i F_i}{A_i} \times \frac{1}{E}$$

여기서 F_i: 應力

U_i: 單位應力

A_i: 斷面積

E_i: 鋼材彈性係數 2.1×10⁶kg/cm²

計算: AB應力 1,000×11.34/7.5=1,512kg

BC " 1,000×8.5/7.5=1,133kg

番號	部材寸數	F(kg)	A(cm ²)	L(cm)	U	U.F.L/A (kg/cm ²)
AB	4HL100×10	1,512	4	19.0	1.134	1.512
BD	4HL130×9	1,133	4	22.74	850	1.132

따라서

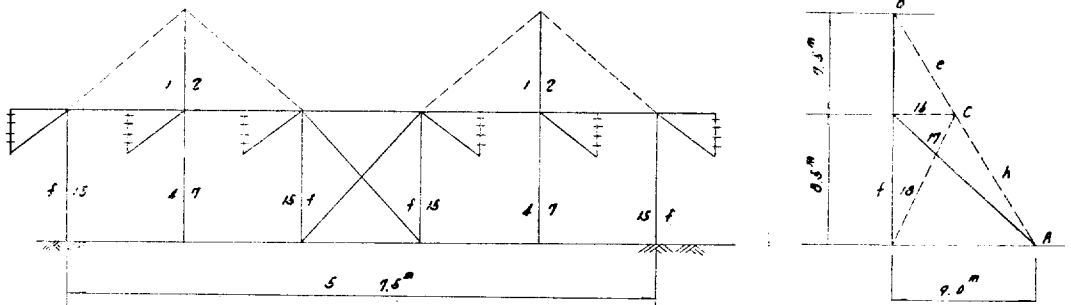
$$\delta/h = \frac{34,111 + 11,976}{2.1 \times 10^6} = 0.02195(\text{cm})$$

한편 4~7柱와 15~f柱의 變位는 別途計算에 依하여 各各 0.23486, 0.30309로 나타나, 水平荷重 77,266kg 일時 Sway×bracing柱는 55,021kg, 4~7柱는 5,144 kg 15~f柱와 3,985kg라는 힘을 各各 分擔하는 것으로 나타났다.

이 以外에 또하나 應力算出에 複雜한 것은 16~l 및 18~i에 橫荷重이 負課되었을 時였다.

即 C點에 角效果와 電線風壓의 集重荷重이 걸리거나 鐵柱에는 風壓의 均等荷重이 걸리는 現象이라 하겠다.

集重荷重은 兩支持點까지의 距離에 反比例하여 配分



실선; 사양서, 점선; 설계변경
그림 12. JD tower 의형도

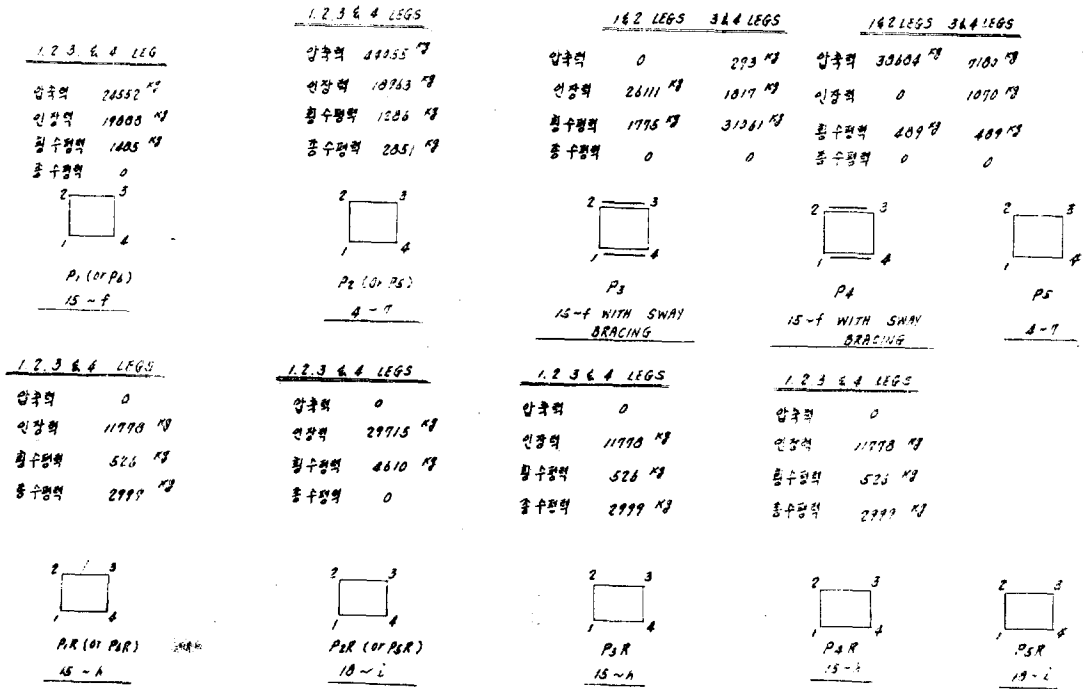


그림 13. JD tower 기초하중

되고, 均等荷重은 $M=wl^2/12$ 의 公式를 使用하여 各部의 應力을 求하였다.

鐵塔基礎部の 各脚의 應力은 그림 13과 같고 柱間의 1面連結, 連結部의 偏心等의 影響을 받다. 그 應力分佈는 相當히 多樣하게 나타났다.

9. 對空表示燈

JS塔에는 始初 240V 100Watt의 白熱電燈 5個를 設置하고, 그 電源은 engine-generator를 每塔마다 裝置할 計劃이었으나, 이 方法은 燃料의 定期的供給, 機器의 故障發生率의 높은 可能性等 그 維持保守가 困難함으로 太陽 energy system로 變更되었다.

이 太陽 energy system는 英國 Luccus製品이고 16個의 集光板(Module Type L1219)과 24個의 蓄電池가 並列로 連結되는 floating connection이고 그 電壓은 48Volt晝夜에 따르는 電源의 開閉는 photocell에 依하도록 設計되어 있다.

蓄電池와 並列運轉되는 關係로 數日間の 兩天 또는 曇天에도 그 機能이 低下되지 않고 維持保守費도 engine-generator system에 比較하면 아주 廉價이다.

그리고 表示燈의 可視效率을 높이기 爲하여 DC電流는 converter에 依하여 一種의 A.C로 變流시켜 表示燈에 供給된다.

10. 結 論

Jamuna江橫斷의 JS塔設計는 工期를 短縮기 爲하여 基礎의 施工과 並行하여 推進되어 餘他鐵塔設計때와는 달리 鐵塔을 基礎에 맞춰서 設計해야하는 難點이 있었고 또 鐵塔이 大型이어서 豫期치 않았던 偏心에서 오는 應力增加에 對한 對策, 斜風에 對한 用役會社의 技術陣과의 意見差違等 많은 苦楚를 겪어야 했으나, 純粹한 우리나라 技術陣에 依하여 有終의 美를 거둔 段階에 들어가 81.11.8 JS塔 4基 約 2千屯을 船積하게 되었다.

外國의 有數鐵塔 Maker들이 그 設計와 製作을 敬遠 했던 Jamuna江의 鐵塔의 納品實績은 우리나라의 鐵塔設計와 製作技術이 優秀함을 全世界에 誇示할 수 있는 實績이 되었다고 본다.

그리고 앞으로 河川橫斷의 높은 鐵塔 또는 antenna가 많이 付設되는 通信用鐵塔의 製作에도 自信을 갖일 수 있는 契機가 된 것 같다.

끝으로 이들 鐵塔의 設計面에 있어 많은 諮問에 應 해주신 陸士의 趙孝男博士에게 感謝를 드리고, 또 設計, 製作, 試驗에 盡力한 金鳳洙部長을 爲始한 職員여 러분께도 그 勞苦에 對하여 深深한 謝意를 表明하고자 한다.