

● 技術報告

Bangladesh Jamuna 江 橫斷用 230KV 2回線乘 111m 높이 鐵塔設計(I)

李 在 淑*

目 次

目 次

1. 序 論	5. 部材選定
2. 事業內容	5.1 有効細長比
3. 技術仕様	5.2 Stitch bolt 應力計算式
3.1 架空地線 및 導體	5.3 Lacing 部材設計計算式
3.2 禰子 및 金具	5.4 主柱材의 壓縮強度計算
3.3 風壓荷重	5.5 主柱材의 引張力強度計算
3.4 JS塔設計荷重	5.6 主柱材連結部設計設計
4. JS塔應力計算	5.7 Stitch bolt 部材
4.1 應力圖	5.8 Lacing 設計
4.2 設計荷重條件의 種類 및 最大應力值	

1. 序 論

Jamuna(以下 J江)을 橫斷하는데 使用되는 鐵塔群은 鐵塔外觀, 部材構成, 基礎크기, 徑間길이에 있어 現在까지 筆者가 아는 限, 世界 어느나라에서도 찾아 볼 수 없는 큰 規模와 特異한 點을 가지고 있으며 現在 우리나라 技術陣에 依하여 設計, 製作이 完了되었고, 基礎工事도 着着進行中에 있다.

本事業의 入札公告는 1979. 7. 31에 公布되었고, 이에 應札한 業體는 三星綜合貿易, 高麗開發 및 코롱綜合電氣의 三社連合體, John Haward 및 Seimens의 西獨連合體 및 Vinnel 및 Fischbach & Moore의 美國連合體의 三個組織體뿐이었으며 工事が 難工事에서 술한 世界의 有名한 業體가 入札을 拋棄한 것으로 推定되었다.

上記 三個業體의 入札內容을 檢討하면 美國業體는 實費精算(Cost & Fee)의 價格表示였서 仕様書의 要求條件에 맞지않아 自動的으로 失格이 되었고, 西獨業體의 入札價는 1億2千萬弗, 韓國業體의 入札價는 7千萬弗로서 韓國의 入札價가 最低로 나타났다.

그러나 落札까지는 工事實績, 設計技術, 製作技能 등에 關한 審査를 거쳐야 하였으나 鐵塔設計, 線路

建設, 鐵塔納品 등에 關해서는 코롱綜合電氣의 韓電 및 外國에 對한 鐵塔設計 및 納品 그리고 Kuwait等地에서의 turn-key base 工事實績 등을 提示함으로써 Bangladesh國(以下 B國) 電力廳의 審査에 合格되었던 것이다.

그러나, 基礎實績에 있어서는 高麗開發의 過去國內 工事的 實績을 提示하였으나, 通過되지 않아 Caison基礎工事等 土木工事に 實績이 많은 美國의 Raymond Technical Facility社가 技術提携를 하는 條件下에서 問題點을 解消시킬 수 있었다.

上記와 같은 經路를 밝은 後 正式契約에 들어간 것은 1979. 11. 30이었으며, 이 契約의 發表는 이 事業에 多少라도 關心을 가졌던 業體는 果然 韓國이 이러한 工事を 勸當해 낼 수 있는지 疑心을 가졌고, 韓國業體의 大擔性에 놀랐다는 것이 그後 外國業體와의 接獨을 통해서 알게 되었다.

2. 事業內容

本事業의 目的은 B國東部の 國產天然瓦斯를 利用하여 發電할 수 있는 廉價의 電力을 B國西部의 輸入油類에 依存하여서만 發電할 수 있는 西部地域에 供給하는데 있었다. 即 究極의 目的은 油類의 輸入量을 減少

* 正會員: 코오롱綜合電氣 專務理事

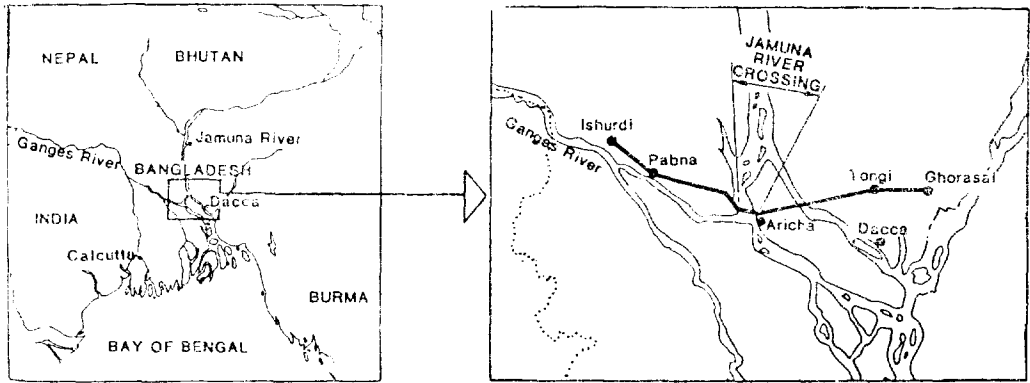


그림 1.

서커 國家의 財政을 健實케 하는데 있다(그림 1 參照).

이 目的을 達成키 爲한 方法으로서는 B國을 東西로 橫斷하는 230KV 送電網을 建設해야만 하였고, 이 送電線路는 J江을 橫斷해야 하고, '江의 江幅은 12km에 達하는 江이라기보다 大海에 가깝다. 河床은 粘土質이고 河床內의 島嶋은 每洪水期마다 그 位置를 變更하는 地帶이고 氣象은 亞熱帶性을 띠우고, Cyclone이라고 불리우는 颶風이 불어 送電線의 建設은 매우 어려운 條件을 가지고 있었다.

江幅 12km에 達하는 J江을 橫斷하는데는 1,220m의 設計徑間과 111m 높이를 가진 11基의 JS 懸垂鐵塔과 높이 16m를 가진 2基의 JD 引留塔이 選擇되었다. 그리고 鐵塔重量에 있어서는 入札時 JS塔은 300屯, 契約時 402屯으로 設計變更한 것이 막상 製作이 끝난다음의 重量은 480屯으로 昂騰하였다.

河川 또는 海峽을 橫斷하는 長徑間送電塔의 過去實績을 살펴보면 日本本土와 四國섬을 連結하는 220KV 2回線 最大單一徑間 2,357m, 鐵塔높이 227m 基當重量 770屯을 들 수 있고, 또 最近의 것은 西獨의 ELBE江을 橫斷하는 380KV 2回線 最大單一徑間 1,200m, 鐵塔높이 227m 基當重量 980屯에 達하는 것을 들 수 있으나, 이를 鐵塔의 外觀은 在來式鐵塔의 規模를 擴大한 것과 大差가 없다.

그러나 本計劃의 JS塔의 下部는 Diamond形으로서 基礎部의 塔幅이 줄어들어가는 特徵을 가졌다.

이렇게 設計해야하는 理由는 길이 100m에 達하는 Caisson基礎의 設計에 있어 그 直徑이 커지면 河川流水에 依한 基礎周邊의 土砂掘鑿量이 늘어나(Scour 現象) 基礎의 安定度가 低下하는 것을 防止키 爲하여 Caisson 直徑을 可能な 限 縮少한데 起因한다(그림 2. 參照).

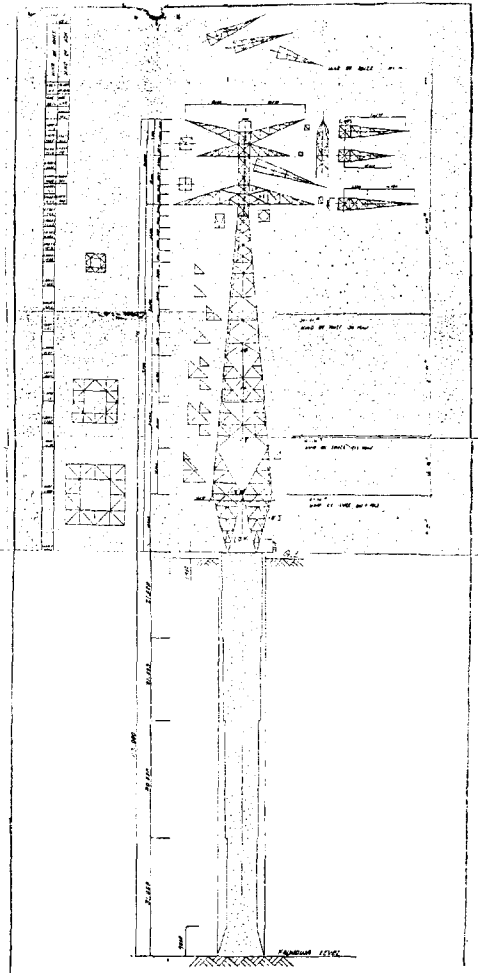


그림 2.

即 Caisson의 上部幅은 12m인데 比하여 塔의 最大幅은 15.4m에 達한다.

그리고 JS塔의 主脚材는 十字形의 組立材의 使用를 構想해 보기도 하였으나, 最終的으로는 口字形의 18個의 角網材를 使用한 組立材로 決定되었고, 腹材와 補助材도 風壓荷重을 줄이기 爲하여 2個以上の 角網材를 使用하는 組立材를 採擇한 點이 特異하다고 指摘할 수 있으며 또 使用電線도 特異하다.

3. 技術仕様

3.1 架空地線 및 導體의 仕様

Smooth Body의 特殊 ACSR電線 即 外層의 Al素線은 圓形이 아니고 扇形이어서 電線表面이 아주 圓滑하여 電線의 風壓摩擦係數를 3%程度 줄일 수 있는 特性을 가졌다. (그림 3. 參照)

표 3.1. 電線 特性

內 容	導 體	地 線
鋼心(mm)	37/2.17	37/2.17

Al(mm ²) 內層	12/14,563	12/14,563
外層	16/14,563	—
斷面積 鋼心(mm ²)	136.8	136.8
Al(mm ²)	405.8	172.8
外徑(mm)	27.91	21.55
自重(kg/m)	2,217	1,587
Grease(kg/m)	0.0285	0.0285
引張荷重(kg)	25,687	21,914
線膨張係數(°C)	17.0×10 ⁻⁶	14×10 ⁻⁶
直流電氣抵抗 at 20°C(Ω/km)	0.07106	0.16716
電流容量(Amp)	710	—
電線弛度計算條件		
15°C 最大風速	26,003	22,128
25°C 無風(kg)	6,506	5,527

3.2 碼子 및 金具

碼子は 280×170mm 寸수의 것이며, JS塔에는 1連(19個), 耐張塔에는 2連(15個)를 構想하고 있으며 그 詳細는 아래 표 3.2와 같다.

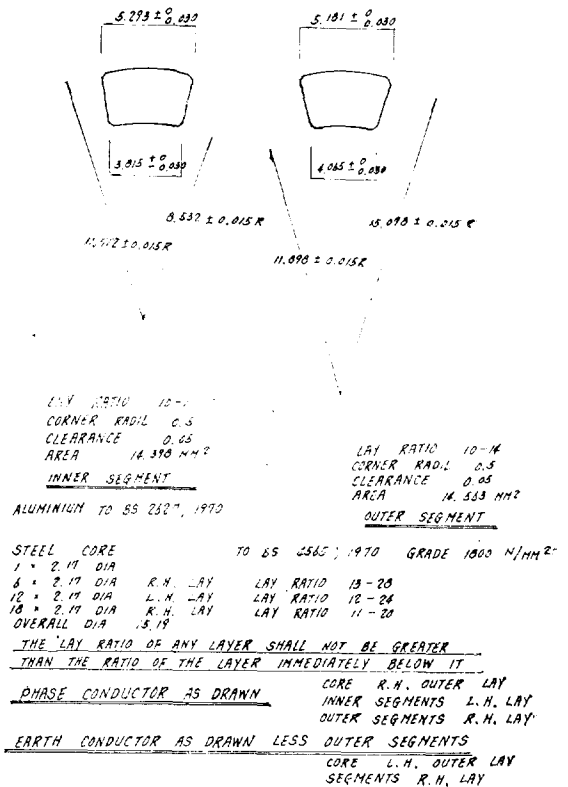
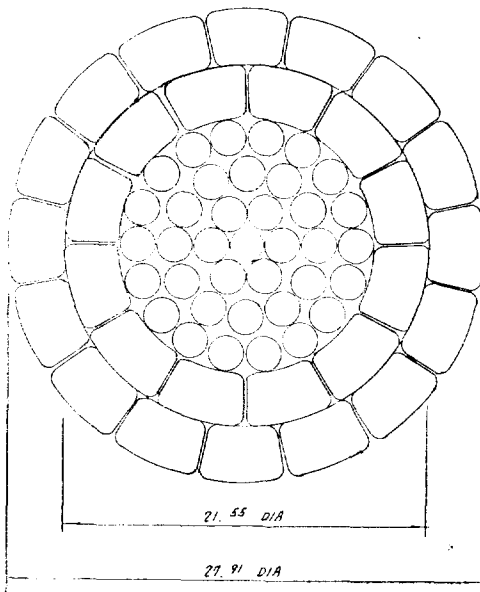


그림 3. ACSR smooth body

표 3.2 碍子 特性

	懸 垂	耐 張
構成	1連(19個)	2連(15個)
길이(mm)	3,802	3,610
重量(kg)	203	366
破壞荷重(kg)	21,414	42,828
50Hz閃絡電壓(KV)		
乾燥時	710	710
注水時	600	600
50% 衝擊閃絡電壓(KV)		
1.2/50(-)	1,360	1,360
1.2/50(+)	1,350	1,350

懸垂 clamp는 當初엔 suspension saddle를 使用할 豫定이 었으나, 後一般 clamp로 變更되었다.

3.3 風壓荷重

鐵塔設計에 있어 큰 比重을 차지하는 風壓荷重을 어떻게 策定하였는지 以下 檢討키로 한다.

地上高에 따르는 電線 및 鐵塔에 對한 風壓荷重值는 표 3.3과 같이 주어져 있다.

표 3.3 風壓基本值

地上高 (m)	電線 및 碍子 (kg/m ²)	鐵塔 1面 (kg/m ²)
0~15	120	202
15~30	159	267
30~61	187.6	316
61~122	235.6	396.7
122以上	271.2	454.8

표 3.3의 風壓值는 어떤 風速을 土臺로 하여 算出하였는지 檢討키로 한다.

使用公式

$$p = \frac{1}{2} \rho v^2 \text{ kg/m}^2 \quad (3.1)$$

여기서 P : 風壓(kg/m²)

ρ : 空氣密度(kg sec²/m⁴)=0.125

v : 風速 m/sec

한편 JEC-127(1979)에 依하여 上空風壓遞增係數를 n=4를 擇하면

使用公式

$$p = p_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{1/4} \quad (3.2)$$

여기서 p : 上空風壓(kg/m²)

p₀ : 15m 地上高의 風壓(kg/m²)

h : 任意의 地上高(m)

h₀ : 15(m)

上記의 (1) 및 (2)式을 使用하여 風速 및 風壓值의 比較를 해보면 아래 표 3.4와 같고, 仕様書의 風壓值는 JEC 規準計算值에 比較해서 相當히 餘裕가 있다는 것 을 알 수 있다.

표 3.4 風速 및 風壓值의 比較

地上高(m)	15	30	61	122	122以上
仕様書(m/s)	43.8	50.4	57.79	61.32	65.87
(kg/m ²)	120	157	187.6	235.6	271.2
JEC-127(m/s)	43.8	47.67	52.15	56.85	—
(kg/m ²)	120	142	142	170	202.0

한편 電線에 對해서 鐵塔의 風力係數를 어느 程度策定하고 있는지 檢討하면 2×202/120=3.4로 나타나는 데, JEC規準에 따르면 C=4.0-6.6φ+5.0φ² 即 JS塔의 充實率=0.161임으로 C=4.0-6.6×0.161+5.5×0.161²=3.08로서 높이 策定하고 있다.

上記以外에 OVER Load Factor 및 Dynamic Factor 로서 아래와 같이 荷重에 餘裕를 보고있다.

鐵塔荷重 2.52

電 線 1.05×1.49

部材強度 1.75(降伏點強度에 對한 것임)

3.4 JS塔 設計荷重值

仕様書에 나타난 諸荷重值에다, 安全度를 勘案하고, 2線斷線이라는 苛酷한 設計條件을 考慮한 JS塔에 對한 設計荷重值를 計算하면 표 3.5와 같다.

표 3.5 JS塔設計荷重值

電線重量

$$W_c(1,628 \times 1,220 \times 1.05 + 162 + 20) \times 1.75 = 3,967 \text{ kg}$$

$$W_c(2,286 \times 1,220 \times 1.05 + 179 + 20) \times 1.75 = 5,472 \text{ kg}$$

電線風壓

$$H_c(210 \times 21.6 \times 10^{-3} \times 1,220 \times 1.05 + 810 + 125) \times$$

$$1.46 \times 1.75 = 17,616 \text{ kg}$$

$$H_c(187.6 \times 27.9 \times 10^{-3} \times 1,220 \times 1.05 + 135 + 135) \times$$

$$1.49 \times 1.75 = 18,187 \text{ kg}$$

引張力

$$p_o \quad 16,825 \times 1.75 = 29,444 \text{ kg}$$

$$p_c \quad 18,355 \times 1.75 = 32,121 \text{ kg}$$

捻 力

	正面	側面
q_G	$3.4 \times 15.4 \times 29,444 /$ $3,612^2 + 3.4^2 = 62,645 \text{kg}$	$3,612 \times 15.4 \times 29,444 /$ $3,612^2 + 3.4^2 = 66,551 \text{kg}$
q_{C1}	$3.4 \times 12 \times 32,121 /$ $3,612^2 + 3.4^2 = 53,260 \text{kg}$	$3,612 \times 12 \times 32,121 /$ $3,612^2 + 3.4^2 = 56,581 \text{kg}$
q_{C2}	$3.4 \times 6.2 \times 32,121 /$ $3,612^2 + 3.4^2 = 27,517 \text{kg}$	$3,612 \times 6.2 \times 32,121 /$ $3,612^2 + 3.4^2 = 29,234 \text{kg}$
q_{C3}	$3.4 \times 18.2 \times 32,121 /$ $3,612^2 + 3.4^2 = 80,778 \text{kg}$	$3,612 \times 18.2 \times 32,121 /$ $3,612^2 + 3.4^2 = 85,815 \text{kg}$

鐵塔風壓

$$H_T \quad H_T \times 2 \times 2.52 \times 1.75 = 8.82 H_T$$

표 3.5의 設計荷重値를 檢討해보면 電線風壓荷重을 過多하게 策定하고 있다는 것이 나타난다.

即 (1) 構造規模에 依한 低減係數 JEC-127-1979 使用公式

$$\beta = 0.5 + \frac{40}{s} \quad (3.3)$$

여기서 β : 低減係數 但 $0.55 \leq \beta \leq 0.9$
 s : 構造物의 受風長(m)

(3.3)式에 $s=1,220$ (m)를 代入하면 $\beta=0.533$ 但書條項에 依하여 $\beta=0.55$ 即 表 3.5의 H_G 및 H_C '荷重은 45% 節減할 수 있다는 結論이 나온다.

(2) 電線風壓의 低減係數 VDE 0210 使用公式

$$W = cqd(80 + 0.6L) \quad (3.4)$$

徑間 200m 以上에 對해서 本式을 適用할 수 있다. 따라서 低減의 크기는 $80 + 0.6 \times 1,220 / 1,220 = 0.666$ 即 表 3.5의 H_G 및 H_C 數値는 33.4%로 低減할 수 있다.

그러나 이러한 低減現象은 Consultant Engineer가 받아들이지 않았다.

또 한편 電線의 風力係數는 Reynold's數에 依하여 左右된다.

電線의 荷重計算에 있어 風力係數를 1.0으로 定했으나, 이 假定이 正確한지 亦是檢討기로 한다.

使用公式

$$R_s = \frac{d \cdot v}{\mu} \quad (3.5)$$

여기서

R_s : Reynold數

d : 電線外徑(m)

v : 電線風速(m/s)

μ : 空氣의 動粘性係數 $1.46 \times 10^{-5} (\text{m}^2/\text{s})$
 at 10°C

架空地線 및 導體에 對한 Reynold數를 計算하면 그 結果는 다음과 같다.

$$\text{地線 } R_s = \frac{21.6 \times 10^{-3} \times 57.97}{1.46 \times 10^{-5}} = 0.857 \times 10^5$$

$$\text{導體 } R_s = \frac{27.91 \times 10^{-3} \times 57.97}{1.46 \times 10^{-5}} = 1,108 \times 10^5$$

로서 風力係數는 1.0에 가까와 別問題가 없다.

또 腕全風力係數를 檢討기로 한다.

合掌腕全에 對해서 風力係數의 算式은 塔本體에 適用되는 $C_a = 4.0 - 6.6\phi + 5.5\phi^2$ 를 그대로 使用할 수 있으며 JS塔에 대한 腕全充實率은 地線腕全이 0.3361, C_1 腕全이 0.36, C_2 腕全이 0.295 即 平均值 0.33을 擇하면 $C_a = 2.42$ 가 되나, 鐵塔設計에서는 表 3.5의 數値가 그대로 採擇되었다.

그리고 45° 風壓荷重에 對해 主脚材에 對한 應力增加數値는 始初 1.5라는 數値를 擇하였던바, JS塔의 構造가 矩形鐵塔에 가깝다는 理由로 Consultant Engineer와 많은 論難 끝에 1.85로 修正될 豫定이다.

4. JS 塔應力計算

4.1 應力圖

JS塔의 應力圖作成에 있어 在來式鐵塔과 같은 部分은 큰 問題點이 없었으나, diamond形의 塔下部部分은

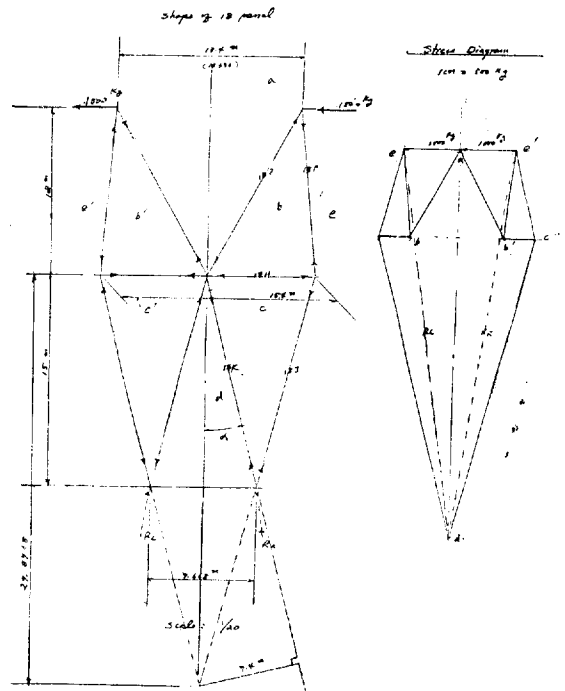


그림 4. 18, 18H, 18J & 18K Shear Diagram

應力圖를 作成해 놓고도 釋然치 않은 感이 있었다. 그리고 이 部分은 部材가 急傾斜를 하고 있어서 應力圖의 數值에 對해서 그 影響을 勘案해야 한다.

Diamond部의 部材의 壓縮, 引張力을 究明키 爲하여 水平荷重 2,000kg에 對한 局部應力圖를 作成하면 그림 4와 같다.

그리고 이것을 또 手計算에 依하여 檢討키로 한다.

(1) 部材길이

$$18P \sqrt{\{(15.4-13.4)/2\}^2+12^2}=12.04m$$

$$18B \sqrt{13.4/2+12^2}=13.744m$$

$$18J \sqrt{(15.4-7,668/2)^2+15^2}=15.49m$$

$$18K \sqrt{(7,668/2)^2+15^2}=15.482m$$

(2) 應力計算

$$18P \text{ stress} : 2,000 \times 12/15.4 \times 12.04/12 = 1,564kg$$

$$18B \text{ stress} : 1,000 \times 13,744/7.7 = 1,785kg$$

18B stress(Ritter 圖式法)

18P의 交叉點(0)의 18H로부터의 距離(x)

$$x : 15.4 = (x-72) : 3 \quad \therefore x = 89,419(m)$$

18B의 垂直 Arm길이(L)

$$\alpha = \tan^{-1} 6.66/12 = 29,055$$

$$\therefore L = 89,419 \sin 29,055 = 43,426(m)$$

$$18B \text{ stress} = 2,000 \times (89,419 - 12)/2 \times 43,426 = 1,733kg$$

18J stress

$$2,000 \times 12/15.49/15 = 1,609kg$$

18K stress

18J의 延長線의 交叉點(0')을 求함

$$x : 15.4 = (x-15) : 7,668 \quad \therefore x = 29,876(m)$$

0'點에 對한 水平荷重 2,000kg의 Moment(M₀)

$$M_0 = 2,000(12 + 29,876) = 83,753(kg \cdot m)$$

따라서 18K stress는

$$\text{stress} = (83,753/29,876) \times 15,482/7,668 = 5,660kg$$

Ritter圖式法

$$\alpha = \tan^{-1} 7,668/2 \times 15 = 14.34$$

$$\therefore L = 29,876 \times \sin 14.34 = 7.4(m)$$

$$18K \text{ stress} = 2,000 \times (29,876 + 12)/2 \times 7.4 = 5,660kg$$

以上の 計算結果를 JS塔本體設計에도 適用하였다.

그리고 18H의 應力은 應力圖에 나타나는 正面의 것은 560kg이고 側面의 것은 應力圖에 나타나지 않고 그 數値는 本例에서는 (18P+18J stress) × 主柱材僚斜角의 正切=19kg이나, 實地의 JS塔에 있어서는 上部水平荷重, 鐵塔 및 電線의 重量이 加算된으로 相當히 큰 數値가 되었다.

또 留意해야 했던 事項은 在來式鐵塔에 있어서는 部材結合에서 오는 偏心이 크게 問題點으로 擡頭되지 않았으나, JS塔에 있어서는 組立材의 寸數가 커서 큰 難題로 나타났다.

例를 들면 18K 部材의 基礎上面의 離隔距離는 設計圖上에서는 7,668(m)이든 現寸을 쓴 後의 寸數는 6,456(m)에서 이로 因한 81K部材의 應力增加는 18%에 達하였다.

4.2 設計荷重條件의 種類 및 最大應力

바람이 부는 方向에 따르는 荷重條件은 0°, 45° 및 90°의 角度를 考慮하였고, 電線의 斷線條件은 90°角度의 風壓下에서 아래와 같이 組合되었다.

(1) 架空地線 2條斷線

(2) C₁腕金의 2條의 導體斷線

(3) C₂腕金의 內部 2條의 導體斷線

(4) C₂腕金의 外側 2條의 導體斷線

(5) 架空地線 1條와 C₁腕金의 導體 1條斷線

(6) 架空地線 1條와 C₂腕金의 外側導體 1條斷線

(7) C₁의 1導體와 C₂의 內側 1導體의 斷線

(8) C₂의 同方向 2導體의 斷線

(9) 無風下에서 電線및 碼子重量의 5倍

(10) 한徑間의 電線全部斷線(無風 P_c=5,608kg P_c=5,914kg)

(11) 1回線만 架線時(90°의 風壓)

上記의 같은 荷重條件下에서의 應力計算은 常時荷重 45°風壓時를 除外하고는 別問題가 없었다.

即 斜風時一次設計는 鐵塔本體에 對하여 正面을 基準하여 主脚材應力增加率은 1.5(正面 0.6625 側面 0.875), 腕金은 0.5(正面 0.16 側面 0.34) 電線은 0.75(正面 0.75 側面 0)로 하였으나, JS塔의 結構가 短形에 가깝고, 上記數値는 各各 1.85(正面 0.925 側面 0.925), 0.711(正面 0.495 側面 0.216), 0.5(正面 0.5 側面 0)로 變更될 것이다.

以上の 條件下에서 主脚材 및 腹材의 最大應力을 求하면 표 4.1와 같다. (표 4.1은 생략)

45°斜風에 對한 計算式을 紹介하면 다음과 같고 JS塔의 45°斜風時의 倍數는 1.85가 된다. (그림 5 參照)

風壓荷重

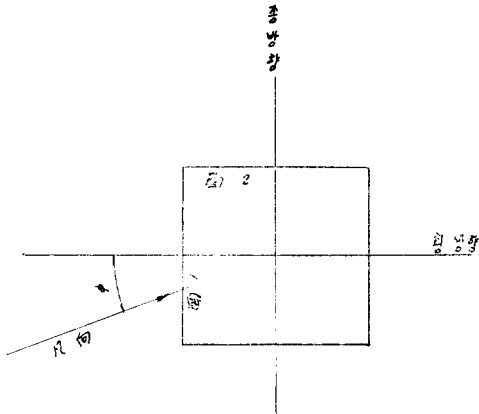
$$\text{橫荷重分} = K(1+0.2 \sin^2 2\theta)(S_1 C_1 \cos^2 \theta / S_2 C_2 \sin^2 \theta) \cos \theta$$

$$\text{縱荷重分} = K(1+0.2 \sin^2 2\theta)(S_2 C_2 \cos^2 \theta / S_1 C_1 \sin^2 \theta) \sin \theta$$

여기서 K : 風壓壓力係數

θ : 斜風角

S₁S₂ : 面 1 및 2의 受風面積



C_1C_2 : 는 다음 식에 의하여 주어진다
 $C = 4.0 - 6.6\phi + 5.5\phi^2$ ϕ : 充實率

그림 5. 斜風角度

5. 部材選定

本鐵塔에 採擇된 角鋼材의 材質은 JIS G3101의 SS 41과 SS55이며, 鋼枚는 SM 50B, 그리고 Bolt는 S55 C(降伏點引張強度 5,550kg/cm²)이다.

角鋼材의 引張強度를 올리기 爲해서는 Bolt配列에 留意하여 一個의 角鋼材에서 一個의 Bolt 孔을 控除할 수 있도록 하였다.

主柱材結合에 있어 距離距離를 16mm로 擇한 것은 M22 bolt에 剪斷力은 剪斷力이어서 2×12,258=24,516kg 인데 支壓力은 6,750×1.6×2.2=23,760kg로 되어 相互間에 協助가 이루어지도록 留意한데 있다.

또 細長比算出에 있어서는 部材의 有效길이를 主柱材는 100%, 腹材는 80%를 擇하였다.

그리고 主柱材의 連結方式은 突合(Butt)方式을 擇하였고, 主柱材의 部材길이는 切斷損失을 막기 爲하여 3m의 倍數길이로 되도록 하였다.

또 組立主柱材의 斷面幅이 40cm로 된것은 角鋼材의 素材寸數가 HL130×130×15일지라도 素材間의 間隙이 40-26=14cm로 되어 볼트를 채우는데 손이 自由롭게 出入할 수 있도록 定해진 것이다.

組立材에 있어서 單一材와 같은 強度面의 機能을 發揮시키려면 素材를 Stitch볼트와 Lacing材로서 結合시켜 그 鋼性을 增加해야 한다.

다음 組立材에 있어서 細長比의 算出方式, Stitch볼트 및 Lacing材를 決定하는데 使用公式은 아래와 같다.

5.1 組立材의 有效細長比($\lambda_{y,e}$)

$$\lambda_{y,e} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2}\lambda_1^2} \tag{5.1}$$

但 $\lambda_1 \leq 20$ 일 때는 $\lambda_{y,e} = \lambda_y$

여기서

λ_y : 各素材가 한部材로서 動作할時的 細長比

m : 組立結構에 따르는 定數

λ_1 : 素材의 細長比 $\lambda_1 \leq 50$

5.2 stitch bolt의 應力(Q_R)

$$Q_R = \frac{e_1}{me} \times 0.02p \tag{5.2}$$

여기서

e_1 : stitch bolt pitch(cm)

m : 結構에 따르는 定數

e : 素材間의 重心距離(cm)

p : 組立材의 壓縮應力(kg)

또 Q_R 는 다음式에 의해서도 구할 수 있다.

$$Q_R = \frac{\pi}{\lambda_{y,e}} (\sigma_{a0} - \sigma_{ka}) A \tag{5.3}$$

여기서

$\lambda_{y,e}$: 有效細長比

σ_{a0} : $\lambda_{y,e} = 0$ 일 時的 壓縮應力度(kg/cm²)

σ_{ka} : $\lambda_{y,e}$ 일 時的 壓縮應力度(kg/cm²)

A : 總斷面積(cm²)

5.3 Lacing部材의 應力(Q_b)

$$2Q_b = 0.02p/n \cos \theta$$

여기서

p : 組立材의 壓縮應力(kg)

n : 結構에 따르는 定數

θ : Lacing材의 主柱材에 對한 角度

5.4 主柱材의 壓縮力 計算例

18 pan의 主柱材(그림 6 參照)

組立材의 構成 : 8HL130×130×15 + 4HT 276 ×130×16

結合間隙 素材相互間背面 16mm

組立材外廓寸數 400mm

座屈길이 319cm

Stitch bolt : 6M16 space=38cm

Lacing system : L60×60×8 with 3M16

spacing=38cm

HL130×130×15의 特性

$A = 36.75\text{cm}^2$ $C_x = C_y = 3.76\text{cm}$ $I_x = I_y = 568\text{cm}^4$

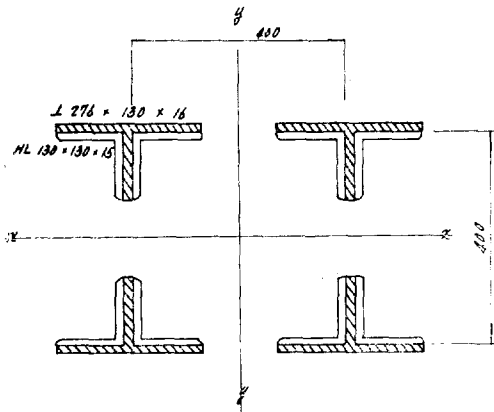
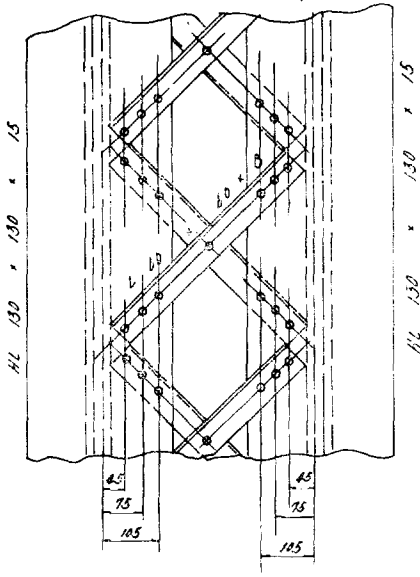
$i_x = i_y = 3.93$ $i_v = 2.53\text{cm}$

$x-x$ 軸에 對한 回轉半徑(r_x)

$$r_x = \sqrt{\frac{8\{568 + (20 - 3.93)^2 \cdot 36.75\} + 4\{1,530 + \frac{(20 - 3.34 + 1.6)^2 \cdot 61.96}{4 \cdot 64.96}\}}{8 \cdot 36.75 + 4}}$$

979,189kg

이 部材의 壓縮應力=782,700kg < 979,189



$$g : g_1 + g_2 - t$$

$$1.3d = 1.3 \times 1.6 - 2.08$$

$$g_1 = \frac{F}{2} = \frac{130}{2} = 6.5$$

$$g_2 \geq d + t + r_1 = 1.6 + 1.5 + 1.2 > 4.3$$

그림 6. 主柱材 設計

細長比 = $L/r_x = 319 \times 1.0 / 17.4 = 19$

$\lambda_1 < 20 \therefore \lambda_{xx} = 19$

$\lambda_{xx} = 19$ 따라서 部材單位強度 $f = 309/\text{kg}/\text{cm}^2$

組立材의 全體의 壓縮力強度(S_c)는

$$S_c = (8 \times 36.75 + 4 \times 64.96) \times 3,094 / 1.75 =$$

5.5 主部材의 引張力強度

部材의 引張力強度(S_t)는

$$S_t = \{836.75 - 1.5(2.2 + 0.25)\} + 4\{64.96 - 1.5(2.2 + 0.25)\} \times 4,100 / 1.75 = 1,204,556\text{kg}$$

한편 部材의 引張應力 = 887,544kg < 1,204,556

5.6 主部材의 連結 18 panel

素材全體가 同一個所에서 切斷되지 않음. 即角鋼材가 切斷되는 個所는 T bar가 切斷되지 않음.

볼트寸數 및 數量	72M22
配列方法	Zigzag
Guage line數/Flange	2列
pitch	65mm
Lover plate	SM50B 16mm

強度計算 A點

$$4\text{個所의 剪斷強度 } 4 \times 12,258 / 1.75 = 28,018\text{kg}$$

$$3\text{個所의 支壓強度 } 3 \times 1.6 \times 2.2 \times 9,900 / 1.75 = 54,309\text{kg}$$

A, B, C 및 0點

$$\text{剪斷強度 } 4 \times 6 \times 28,018 = 672,432\text{kg} > 489,594$$

$$\text{支壓強度 } 4 \times 6 \times 54,309 = 1,303,416\text{kg} > 489,594$$

5.7 Stitch bolt設計

$$Q_R = \frac{e_1}{me} \times 0.02P = \frac{2.7 \times 0.02 \times 319,940}{4(1.6 + 2 \times 2.66)} = 6,242\text{kg}$$

볼트強度 (M16 材質 SS-50)

$$\text{剪斷強度 } 3 \times 4,072 / 1.75 = 6,980\text{kg} > 6,242$$

$$\text{支壓強度 } 3 \times 1.6 \times 0.9 \times 4,725 / 1.75 = 11,664 > 6,242$$

5.8 Lacing 部材設計 panel 7

$$Q_b = \frac{0.02p}{n \cos \theta} = \frac{0.02 \times 319,940}{4 \times \cos 45} = 2,262\text{kg}$$

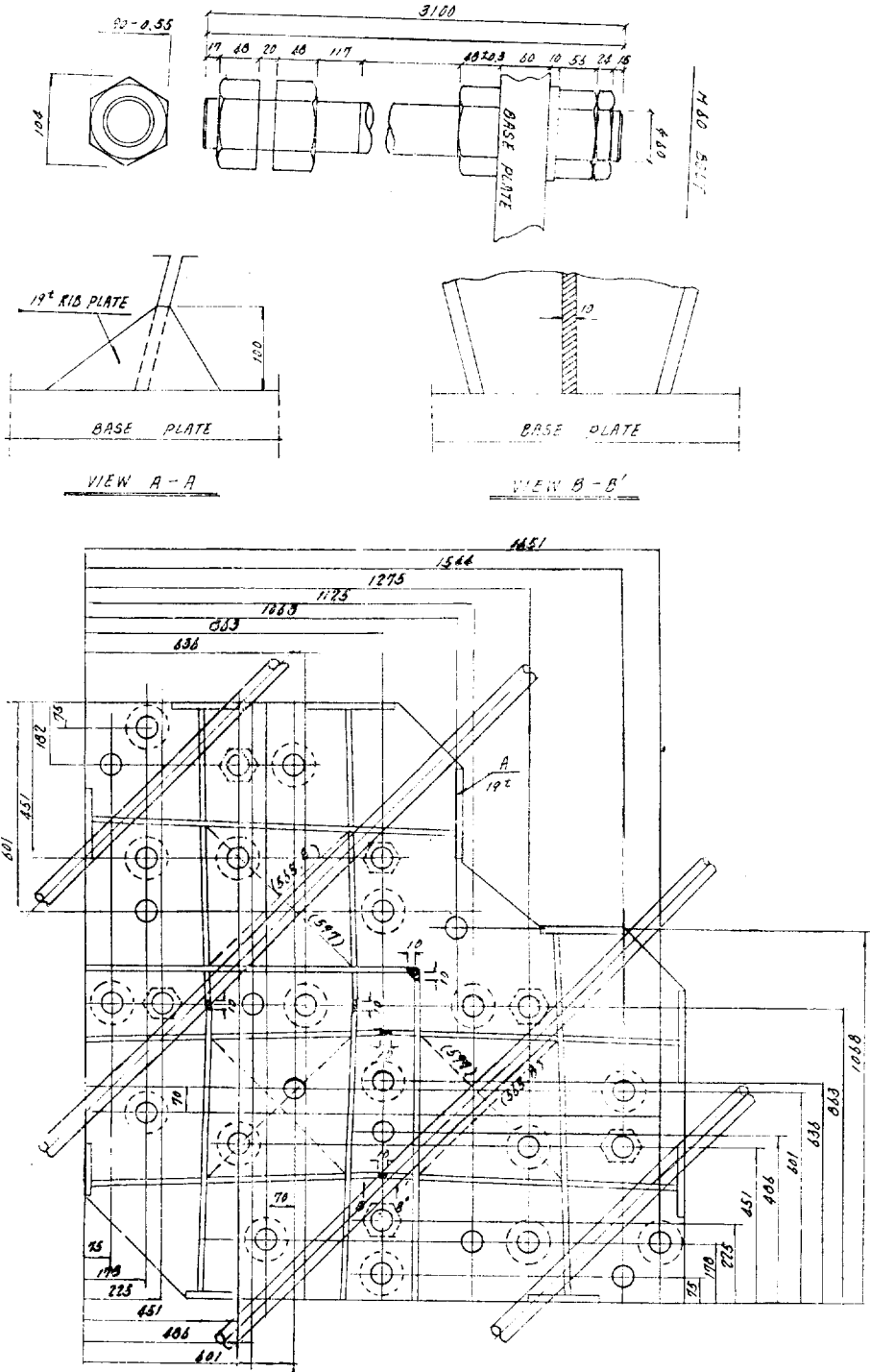
部材寸數 L50×50×6 $\lambda = 19 / 0.96 = 20$

部材強度(S_t) 5,644×2,470/1.75=7,966kg > 2,262

볼트強度 1-M16

$$\text{剪斷 } 4,072 / 1.75 = 2,330\text{kg} > 2,262$$

$$\text{支壓 } 3,960 / 1.75 = 2,263\text{kg} > 2,262$$



1. M60 BOLT HOLE DIMENSION; 68mm
2. F₀ FOUNDATION LOADS REFER TO FOUNDATION DESIGN CALCULATION SHEETS

그림 7. Base plate

〈會誌 第31卷 第5號 계속〉