
230KV 2回線乘 111M 높이 鐵塔設計(I)

(江幅 12km의 Bangladesh Jamana江 橫斷用)

코오롱綜合電氣

專務理事 李 在 淑*

Abstract

The design of 111m high steel towers with 220kv double circuits crossing 12 km wide Bangladesh River.

Abstract:

East parts of Bangladesh have been benefited by low cost energy generated by domestic natural gas but West parts where energy generated by imported fuel.

Bangladesh Government authority has very much concerned to transmit the low cost electricity to the West from the East for past several years.

To solve such concerns, cross-country 230kv double circuits power transmission line was proposed, however there was a big obstacle for the realization of this line to cross the Jamuna river which has 12 km long width with a deep muddy river bed.

A consultant engineering firm named Merz-McLellan anyway finalized this plan and a world-wide bid was announced on June 31, 1979.

Due to the expected difficulty to construct the towers on sea like area, only three construction groups have participated. including a Korean joint venture organization of Samsung-Korean Development corporation-Kolon Electric Machinery company.

After 3 months bid evaluation, contract was awarded to Korean Consosium and KEM Co was in charge of designing steel towers with anchor bolts and base plates beside to electrical engineering field. Then KEM Co have faced and overcome many unenpected technical difficulties such as forced eccentricity joint on base plate, distorsion issue of 60mm thick plates welding, threading anchor bolts, bad heat treatment of some anchor bolts, disagreement from Consultant Engineer on multiplying factor of leg stresses for 45° wind and on reducing O.L.F for

* 電氣技術士(發送配電)

wind loads on cables for such 1220km long spans.

After spending two years long period for designing and engineering towers, base plates, and anchor bolts, first shipment of tower was finally realized on Nov. 8, 1981 and on the other hand KDD has proceeded concrete caisson work on schedule at Jamuna river site and expected to complete tower erection and stringing of cables within this year of 1982 which was original completion target.

Whenever this project is accomplished. It would be a great help to develop modern industry and welfare of the inhabitants at the West of Bangladesh and also this project site would be one of famous place where power line engineers could enjoy Korean tower design and construction skill to build eleven 111m high special shape of steel towers with 100m deep caisson concrete foundations which are floating into the mud and supported by friction forces between mud and caisson outside wall.

■ 차 례 ■

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 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 碍子 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 |
| 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길이 등에 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 淸州綜合電氣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뿐이

였으며 工事が 難工事여서 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여서 仕様書의 要求條件에 맞지않아 自動적으로 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, 鑛塔納品 등에 關해서는 淸州綜合電氣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.

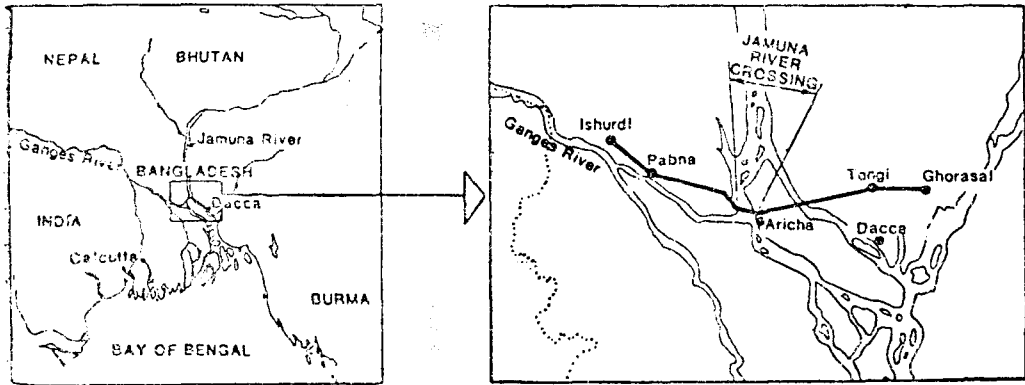


그림 1.

그러나, 基礎實績에 있어서는 高麗開發의 過去國內工事의 實績을 提示하였으나, 通過되지 않아 Caisson 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 밟은 後 正式契約에 들어간 것은 1979. 11. 30 이었으며, 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 있는 지 疑心을 가졌고, 韓國業體의 大擔性에 놀랐다는 것이 그後 外國業體와의 接觸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시켜 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 230 KV 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 불

리우는 颶風이 불어 送電線의 建設은 매우 어려운 條件을 가지고 있었다.

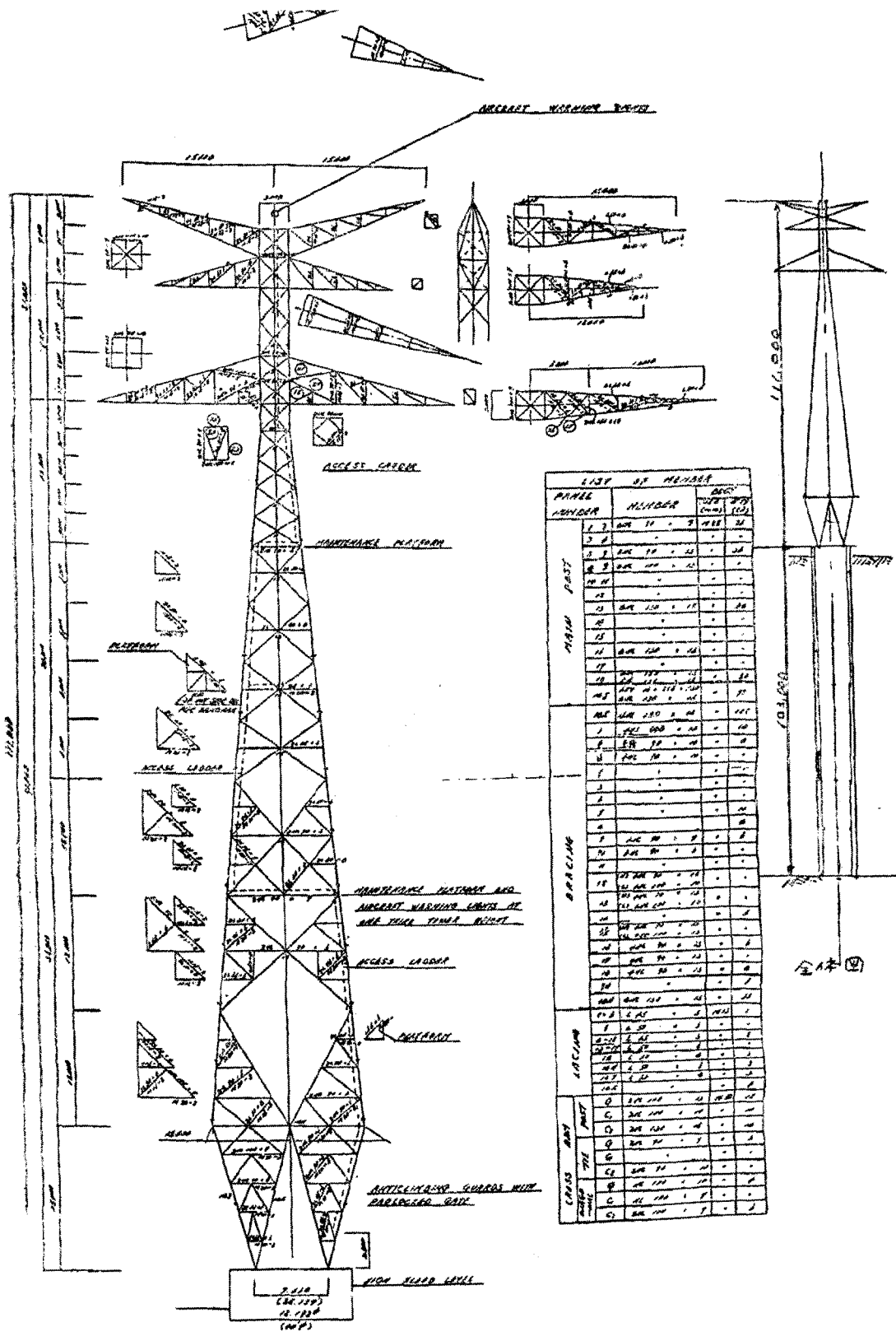
J江幅 12km에 達하는 J江을 橫斷하는데는 1,220m의 設計徑間과 111m 높이를 가진 11基의 JS 懸垂鐵塔과 높이 16m를 가진 2基의 JD 引留塔이 選擇되었다. 그리고 鐵塔重量에 있어서는 入札時 JS塔은 300 屯, 契約時 402 屯으로 設計變更한 것이 막상 製作이 끝난다음의 重量은 480 屯으로 昂騰하였다.

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, 이들 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 깊이 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)

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



LIST OF MEMBERS

PIECE NUMBER	MEMBER NUMBER	SIZE (mm)	QTY (PCS)
MAIN PART	1	BAR 11	2
	2	BAR 12	2
	3	BAR 13	2
	4	BAR 14	2
	5	BAR 15	2
	6	BAR 16	2
	7	BAR 17	2
	8	BAR 18	2
	9	BAR 19	2
	10	BAR 20	2
	11	BAR 21	2
	12	BAR 22	2
BRACING	13	BAR 23	2
	14	BAR 24	2
	15	BAR 25	2
	16	BAR 26	2
	17	BAR 27	2
	18	BAR 28	2
	19	BAR 29	2
	20	BAR 30	2
	21	BAR 31	2
	22	BAR 32	2
	23	BAR 33	2
	24	BAR 34	2
LACING	25	BAR 35	2
	26	BAR 36	2
	27	BAR 37	2
	28	BAR 38	2
	29	BAR 39	2
	30	BAR 40	2
	31	BAR 41	2
	32	BAR 42	2
CRASS BAR	33	BAR 43	2
	34	BAR 44	2
	35	BAR 45	2
	36	BAR 46	2
	37	BAR 47	2
	38	BAR 48	2
	39	BAR 49	2

그리고 JS 타의 主脚材는 十字形의 組立材의 使用을 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지웠고, 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 Body 의 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 碍子 및 金具

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

懸垂 clamp 는 當初엔 suspension saddle 를 使用할 豫定이 있으나, 其後 一般 clamp 로 變更되었다.

〈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

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 風壓荷重値는 표 3.3 과 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 3.3 의 風壓値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=4 를 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)

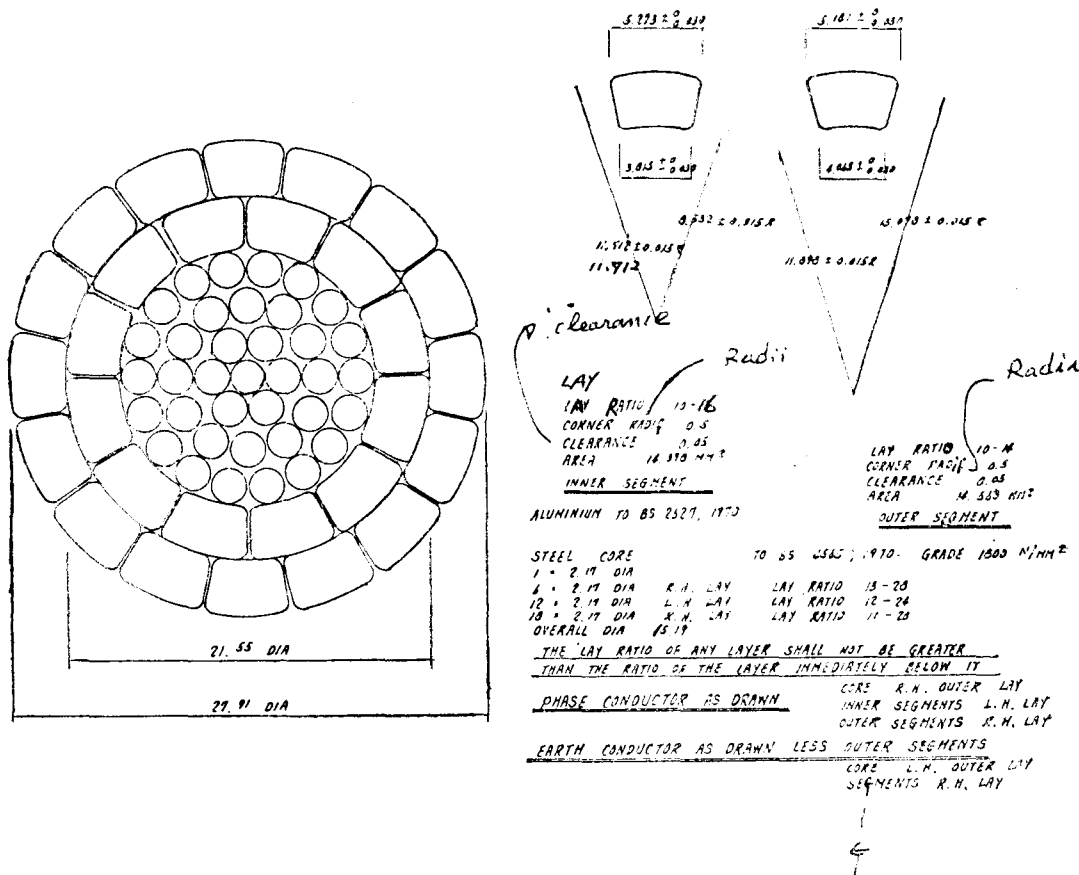


그림 3. ACSR smooth body

d_0 : 15m 地上高의 風壓(kg/m²)
 h : 任意의 地上高(m)
 h^0 : 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 規準計算値에 比較해서 相當히 餘裕가 있다는 것을 알 수 있다.

한편 電線에 對해서 鐵塔의 風力係數를 어느 程度策定하고 있는지 檢討하면 $2 \times 202 / 120 = 3.4$ 로 나타나는데, JEC 規準에 따르면 $C = 4.0 - 6.6\phi + 5.0\phi^2$ 即 JS 塔의 充實率 = 0.161 임으로 $C = 4.0 - 6.6 \times 0.161 + 5.5 \times 0.161^2 = 3.08$ 로서 높이 策定하고 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

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

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 諸荷量值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 3.5의 設計荷重值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-127-1799

使用公式

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

여기서 β : 低減係數 但 $0.55 \leq \beta \leq 0.9$

〈丑 3.5〉 JS 塔 設計荷重值

電線重量	
$W_G(1,628 \times 1,220 \times 1.05 + 162 + 20) \times 1.75 = 3,967\text{kg}$	
$W_C(2,286 \times 1,220 \times 1.05 + 179 + 20) \times 1.75 = 5,472\text{kg}$	
電線風壓	
$H_G(210 \times 21.6 \times 10^{-3} \times 1,220 \times 1.05 + 810 + 125) \times 1.46 \times 1.75 = 17,616\text{kg}$	
$H_C(187.6 \times 27.9 \times 10^{-3} \times 1,220 \times 1.05 + 135 + 135) \times 1.49 \times 1.75 = 18,187\text{kg}$	
引張力	
$p_G \quad 16,825 \times 1.75 = 29,444\text{kg}$	
$p_C \quad 18,355 \times 1.75 = 32,121\text{kg}$	
捻 力	
	正 面 側 面
$q_G \quad 3.4 \times 15.4 \times 29,444 / 3,612^2 + 3.4^2 = 62,645\text{kg}$	$3,612 \times 15.4 \times 29,444 / 3,612^2 + 3.4^2 = 66,551\text{kg}$
$q_{C1} \quad 3.4 \times 12 \times 32,121 / 3,612^2 + 3.4^2 = 53,260\text{kg}$	$3,612 \times 12 \times 32,121 / 3,612^2 + 3.4^2 = 56,581\text{kg}$
$q_{C2} \quad 3.4 \times 6.2 \times 32,121 / 3,612^2 + 3.4^2 = 27,517\text{kg}$	$3,612 \times 6.2 \times 32,121 / 3,612^2 + 3.4^2 = 29,234\text{kg}$
$q_{C3} \quad 3.4 \times 18.2 \times 32,121 / 3,612^2 + 3.4^2 = 80,778\text{kg}$	$3,612 \times 18.2 \times 32,121 / 3,612^2 + 3.4^2 = 85,815\text{kg}$
鐵塔風壓	
$H_T \quad H_T \times 2 \times 2.52 \times 1.75 = 8.82H_T$	

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 Engineer 가 받아주지 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

$$R_2 = \frac{d \cdot v}{\mu} \quad (3.5)$$

여기서 R_e : Reynold 數

d : 電線外徑(m)

v : 電線風速(m/s)

μ : 空氣의 動粘性係數 1.46×10^{-5} (m²/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.

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

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

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 對한 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 Engineer 와 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 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 數値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기로 한다.

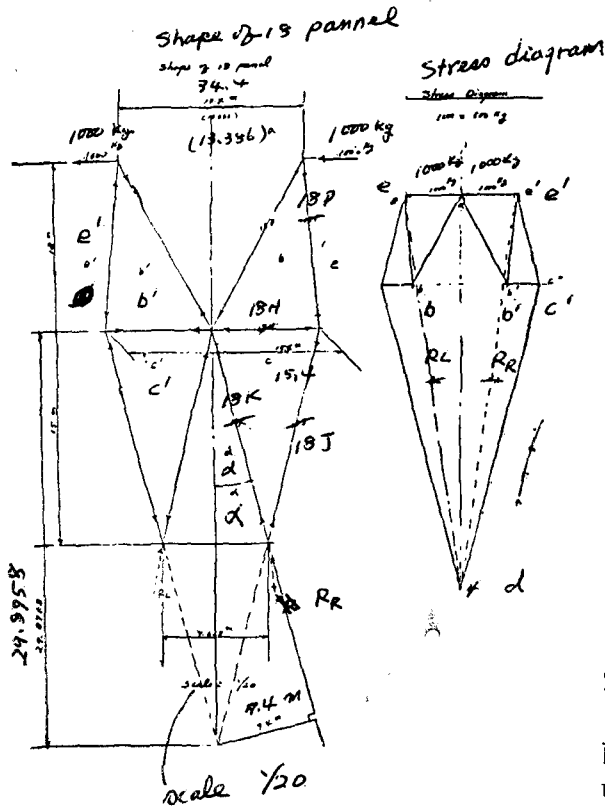


그림 4. 18, 18H, 18J & 18K Shess Diagram

(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 Arm 길이(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

$$x : 15.4 = (x - 15) : 7,668$$

$$\therefore x = 29,876(m)$$

0'點에 對한 水平荷重 2,000kg의 Moment (M_0)

$$M_0 = 2,000(12 + 29,876)$$

$$= 83,753(kg \cdot m)$$

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됨으로 [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)이는 現寸을 擘 後의 寸數는 6,456(m)여서 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°角度的 風壓下에서 아래와 같이 組合되었다.

(1) 架空地線 2條斷線

(2) C₁ 腕金の 2條의 導體斷線

- (3) C₂ 腕金の 2 内部條의 導體斷線
- (4) C₂ 腕金の 外側 2 條의 導體斷線
- (5) 架空地線 1 條와 C₁ 腕金の 導體 1 條斷線
- (6) 架空地線 1 條와 C₂ 腕金の 外側導體 1 條斷線
- (7) C₁ 의 1 導體의 C₂ 의 內側 1 導體의 斷線
- (8) C₂ 의 同方向 2 導體의 斷線
- (9) 無風下에서 電線 및 碍子重量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)

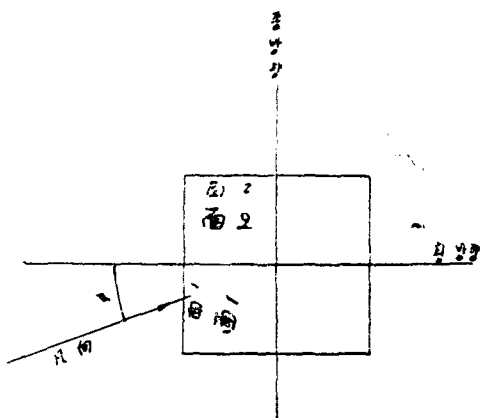
上記와 같은 荷重條件下에서의 應力計算은 常時荷重 45°風壓時를 除外하고는 別問題가 없었다.

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 가까와, 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 表 4.1 와 같다. (표 4.1 은 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 1.85 가 된다. (그림 5 參照)

風壓荷重



C₁C₂ : 는 다음 式에 依하여 주어진다
C=4.0-6.6φ+5.5φ² φ : 充實率

그림 5. 斜風角度

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

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

여기서 K : 風壓壓力係數

θ : 斜風角

S₁S₂ : 面 1 및 2 의 受風面積

5. 部材選定

本鐵塔에 採擇된 角鋼材의 材質은 JIS G3101 의 SS41 과 SS55 이며, 鋼枚는 SM 50B, 그리고 Bolt 는 S55C(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 한箇의 角鋼材에서 한箇의 Bolt 孔를 控除할 수 있도록 하였다.

主柱材結合에 있어 隔離距離를 16mm 로 擇한 것은 M22 bolt 에 剪斷力은 複剪이여서 2×12, 258=24, 516kg인데 支壓力은 6, 750×1.6×2.2=23, 760kg 로 되어 相互間에 協助가 이루어지도록 留意한데 있다.

또 細長比算出에 있어서는 部材의 有効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 3m 의 倍數길이가 되도록 하였다.

또 組立主柱材의 斷面幅이 40cm 로 된것은 角鋼材의 素材寸數가 HL130×130×15 일지라도 素材間의 間隙이 40-26=14cm 로 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 Stitch 볼트와 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,

Stitch 볼트 및 Lacing 材를 決定하는데 使用公式은 아래와 같다.

5.1 組立材의 有効細長比(λ_{yc})

$$\lambda_{yc} = \sqrt{\gamma_s^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2} \quad (5.1)$$

<표 4-1>

主要部材應力 및 强度

	STRESSES			STRENGTH OF ANGLES										STRENGTH OF BOLTS		
	Comp (t)	Tens (t)	SIZE (mm)	L (cm)	KL (cm)	l (cm)	λ_1	λ_2	λ_e	Fc/1.75 (t/cm ²)	Comp (t)	Tens (t)	No & SIZE	Shear (t)	Bear (t)	
MAIN POST	12	435	370	8HL 100×13	330		26	19	14	19	2.30	447	396	M22 ³⁶	672	530
	13	461	388	8HL130×12	326		20	20	8	20	"	547	503	M22 ⁴⁸	897	652
	14	486	404	"	323		"	"	"	19	"	"	"	"	"	"
	15	509	420	"	320		"	19	"	"	"	548	"	"	"	"
	16U	570	471	8HL130×15	302		"	"	"	"	"	676	620	"	"	815
	16L	609	499	"	"		"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
	17U	646	529	"	"		"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
	17L	686	556	"	"		"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
	18	785	619	4HR 130×16 8HL 130×15 4HT276×130	"		"	"	"	"	"	868	778	M22 ⁶⁰	"	"
18J	850	598	×6 8HL130×15	319		"	"	"	"	1.77	979	888	M22 ⁷²	1,400	910	
BRACING MEMBERS	12U	51	51	4HL 90×10	370	296	92	110	43	119	0.837	57	144	M22 ⁶	84	63
	12L	"	"	4HL100×10	448	358	"	118	38	124	0.77	67	111	"	"	"
	13U	43	43	4HL90×13	430	344	108	129	51	139	0.613	53	188	"	"	"
	13L	"	"	4HL 100×10	480	384	96	127	40	134	0.659	50	111	"	"	"
	14U	39	39	4HL90×13	460	368	92	138	43	145	0.563	49	188	M22 ⁴	56	42
	14L	"	"	4HL100×10	520	416	104	"	44	"	"	43	111	"	"	"
	15U	36	36	4HL90×13	490	392	98	147	46	154	0.499	"	188	"	"	"
	15L	"	"	4HL100×10	553	443	92	146	38	151	0.519	39	111	"	"	"
	16U	48	48	4HL90×13	378	302	103	113	48	123	0.783	68	188	M22 ⁶	84	63
	16L	47	47	"	410	328	"	122	"	131	0.690	60	"	"	"	"
	17U	44	44	"	"	"	90	"	42	129	0.711	62	"	"	"	"
	17L	"	"	"	450	360	"	134	"	140	0.604	52	"	"	"	"
	18	61	61	"	345	276	86	103	40	110	0.979	85	123	"	"	"
	18H	249	143	8HL130×15	385	308	20	18	8	20	2.297	675	620	M22 ⁵⁶	785	586
	18K	1.060	1.060	16HL130×15	300	240	"	14	"	14	2.321	1.364	1.245	M22 ¹¹²	1.569	1.135

但 $\lambda_1 \leq 20$ 일 때는 $\lambda_{ye} = \lambda_y$
 여기서
 λ_y : 各素材가 한部材로서 動作할時의 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 bolt 의 應力(Q_R)

$$Q_R = \frac{e_1}{me} \times 0.02p \quad (5.2)$$

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.

$$Q_R = \frac{\pi}{\lambda_{ey}} (\sigma_{a0} - \sigma_{ka}) A \quad (5.3)$$

 여기서
 λ_{ey} : 有效細長比
 σ_{a0} : $\lambda_{ey} = 0$ 일 時의 壓縮應力度(kg/cm²)
 σ_{ka} : λ_{ey} 일 時의 壓縮應力度(kg/cm²)

角鋼材가 切斷되는 個所는 T bar 가 切斷되지 않음.

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

強度計算 A 點

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

3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

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

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

5.7 Stitch bolt 設計

$$Q_R = \frac{e_1}{m e} \times 0.02P = \frac{2.7 \times 0.02 \times 319,940}{4(1.6 + 2 \times 2.66)}$$

$$= 6,242\text{kg}$$

볼트強度 (M16 材質 SS-50)

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

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 (St) $5,644 \times 2,470 / 1.75 = 7,966\text{kg} > 2,262$

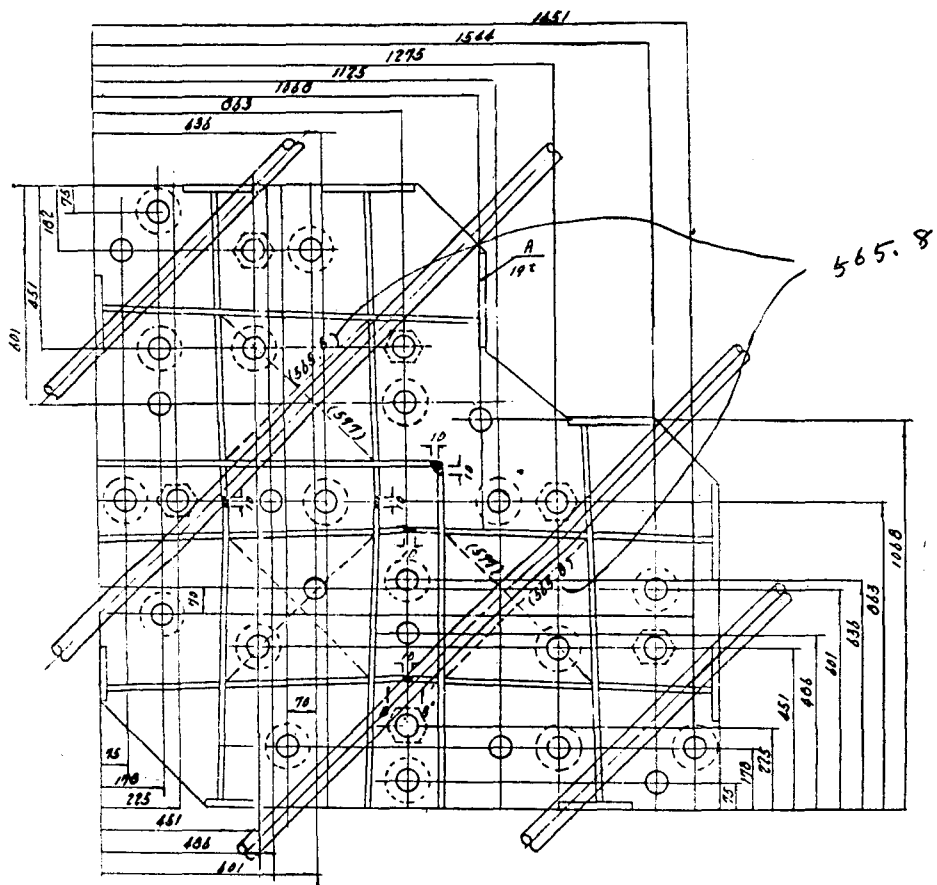
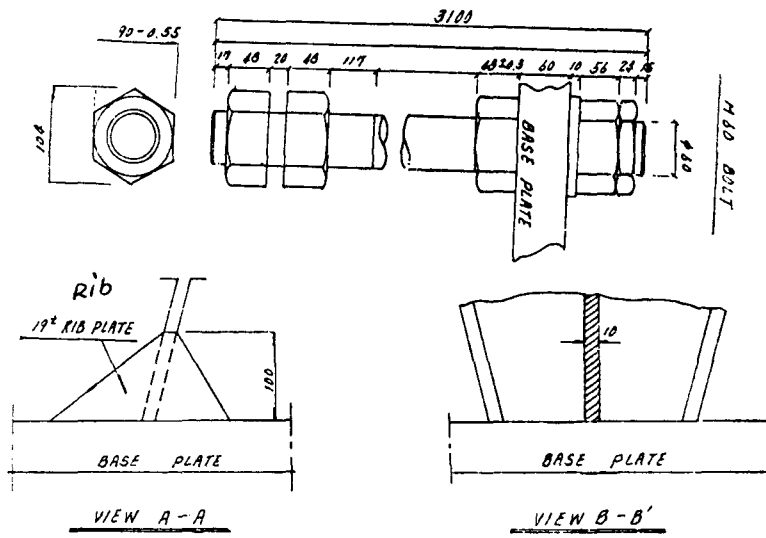
볼트強度 1-M16

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

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

5.9

主要主脚材 및 腹材의 最大應力 및 部材強度의 比較表를 作成하면 표 4-1과 같다.



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

그림 7. Base plate