

經濟的인 送電用鐵塔設計

連載講座

Economical design for power transmission steel towers.

16-5-1

李 在 淑*

(Chae Sook Lee)

The economical design of steel towers for transmission line.

This study has been made on the design criteria of steel towers for power transmission line adopted in the United States of America, France, Japan and Korea in order to find out any access to design the economical steel towers in Korea following to our own climate conditions.

As the result of this study, involved in this description. Writer believe that the weight of steel towers can be saved by 10% to 20% approximately on the steel towers which will be constructed in the near future in Korea, by the possibility of reducing the design wind pressures on towers and cables in those areas of inland of Korea, the increase of number of standard towers from four types to five, the adoption of comparative narrower base towers than those in past practice and improvement on the assumption of maximum deflection angle of suspension type insulator strings'.

目 次

序 文

- | | |
|---------------------|---------|
| 1. 設計概論 | 2. 設計荷重 |
| 3. 應力計算 | 4. 部材強度 |
| 5. 電線配置 | 6. 基礎計算 |
| 7. 風壓에 關한 近者의 研究 | |
| 8. 우리나라 送電線路의 設計改善點 | |

結 言

序 文

AID借款資金으로 購入되는 154KV 寧越—德沼送電線外 5個送電線 鐵塔設計關係로 美國 TEXAS州 Anehor Metals Division 鐵塔製作會社의 招請을 받아 지난해 7月 14日부터 8月 23日까지 約 40餘日間 美國의 鐵塔設計 및 製作現況을 보고 들을 機會를 갖었다. 滯美中 그곳 技術陣과 鐵塔設計에 對하여 廣範圍한 意見交換을 할 수 있었고 關係文獻, 規程 및 機械化된 設計方式을 檢討하고 研究할 수 있어서 鐵塔設計의 새로운 知識을 얻는데 많은 도움이 된 것을 慶 多幸으로 생각 하면서 이를 契機삼어 붓을 들기로 했다.

筆者가 電力會社에 入社하여 最初로 設計한 것은 水豊—靑水間 66KV 送電線鐵塔이었다. 그 다음에 長津江 第2發電所와 元山變電所間의 154KV 送電線用으로 支柱材下段部에 많은 傾斜를 둔 特徵있는 鐵塔을 設計한일이 있다. 220KV 送電線用設計로도 水豊—平壤間의 第2號送電線用 B 및 D型이었다. 當時는 二次大戰中이라 所謂戰時規格에 依해 架涉線의 斷線을 考慮치 않고 使用鋼材強度도 從前보다 높이 策定하여 重量을 輕減시키는 特色이 있었다.

그後 우리 나라에서는 20餘年間 別로 큰 送電線建設

計劃이 없어 送電線에 對한 技術은 停頓狀態에 있었으나 多幸히 1955年以後 美國과 佛國에 送電線을 包含한 電氣分野의 技術習得次 技術者가 派遣케되어 筆者도 送電分野技術向上에도 活氣를 더게 되었다. 本計劃에 參加하게 되어 美國의 電力會社와 佛國電力公司(EDF)의 送電線關係技術者와 만나 鐵塔設計에 對한 새로운 것을 보고 들을 機會를 갖었다. 佛國에서는 380KV 送電用鐵塔까지 亞鉛鍍金代身에 Paint 塗裝으로 方式을 採擇하고 있었다는 特記할만한 일이라고 생각 되었다.

近來 超高壓送電線의 急激한 新增設에서 隨伴하여 先進國가 使用하고 있는 送電用鐵塔은 勿論, 우리나라가 伊太利 또는 日本에서 輸入한 154KV 大田—裡里 또는 釜山—蔚山間 送電線用 鐵塔도 그 外觀上으로 보아서는 在來式 鐵塔과 別差異가 없는것같이 보이나 各各氣象條件에 알맞는 範圍內에서 鐵塔重量을 最小限度로 輕減키 爲하여 電線用風壓荷重值를 從前보다 60%나 輕減한 다든가 鐵材의 降伏點應力를 基準으로 하여 使用材料의 크기를 定한다든가 高强度鐵鋼材를 使用한다는等 많은 研究와 改善을 試圖하고 있다.

우리나라 電力事業도 第二次 5個年電源開發計劃이 完成되던 現在의 總發電設備容量 85萬 KW 가 3百萬KW로 成長되며 發電所單位容量도 30萬KW 가 넘을것이 豫想된다.

따라서 電源開發의 進捗에 따라 送電網도 大幅 擴張되어야 하며, 送電電壓도 現在의 最高 154KV 級外에 系統安定度의 確保, 送電容量의 大幅增加, 送電損失의 減少를 위하여 400KV 級 送電線의 出現이 切實히 要請되고 있다.

複導體使用等 技術面에 相當한 難題를 內包하고 있는 超高壓送電用鐵塔設計를 時急히 準備해야할 現實에 當面하여 于先 從來에 踏襲해오고 있는 鐵塔設計基準의

* 正會員: 韓電送變電技術役技術士

整備作業을 서두러야 할 것이다. 美國, 佛蘭西, 日本等各國의 電氣工作物規程, 鐵塔設計標準, 技術雜誌 및 實地鐵塔設計圖를 土臺로하여 우리나라에서 常用되고 있는 154KV 級, 2回線乘, 形鋼材使用, 4角鐵塔의 設計荷重, 應力計算, 部材決定, 電線配置 및 基礎計算에 關한 諸問題를 檢討키로 한다.

1. 設計概論

送電線路의 經過地가 5萬分之 1地圖上에 選定되어, 鐵塔建設, 線路保守等에 適合如否를 現地踏査를 通하여 判明되면 最終經過地를 決定하고 線路測量이 實施된다. 線路縱斷圖는 橫 1/2000 縱 1/400~500 縮尺이며, 圖面위에 電線弛度定規를 使用하여 鐵塔位置, 鐵塔높이, 鐵塔型別이 記入된다.

縱斷圖의 各鐵塔이 負擔해야 할 實荷重의 크기는 各鐵塔마다 全部 相異하므로, 鐵塔重量을 輕減키 爲한 第一經濟的인 方法은 各支持點別로 數百種에 達하는 鐵塔을 設計하여야 한다.

그러나 이러한 方法은 煩雜하고, 長時間이 걸릴 뿐 아니라 많은 設計技術者가 所要됨으로 經濟的인 標準徑間을 定하여 4~5 個種類의 標準鐵塔을 設計하여 河川橫斷等 特殊個所를 除外하고는 全線路에 適用하는 方法을 採擇하고 있다.

前記 標準鐵塔의 名稱과 設計條件은 아래와 같다.

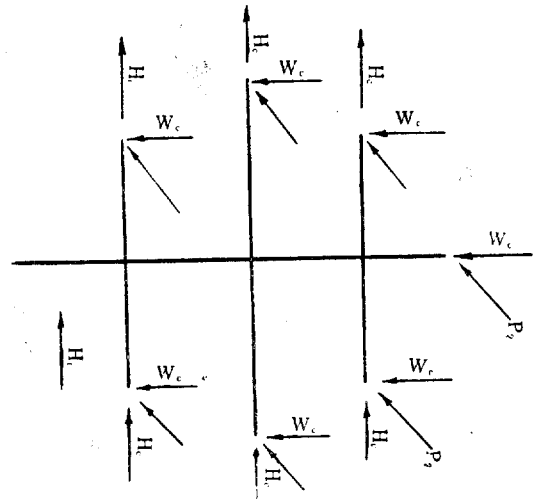
- 直線鐵塔(A型) 標準徑間, 水平角度 3°
- 輕角度鐵塔(B型) 標準徑間, 水平角度 20° 以下
- 重角度鐵塔(C型) 標準徑間, 水平角度 30° 以下
- 引留鐵塔(D型) 標準徑間, 全架涉線引留
- 耐張鐵塔(E型) 標準徑間, 線路補強用

이러한 鐵塔各部材에 生기는 應力의 計算에 있어서 우리나라 規定으로는 다음과 같이 季節的으로 區分한 想定荷重이 鐵塔에 作用하는 것으로 보고 있다.

- 高溫季荷重 { 常時想定荷重
 異常時想定荷重
- 低溫季荷重 { 常時想定荷重
 異常時想定荷重

여기서 高溫季荷重이라 함은 4月부터 11月間에 生기는 荷重이며, 低溫季荷重이라 함은 12月부터 3月間에 生기는 荷重을 말하는 것이다. 常時想定荷重이라 함은 架涉線의 切斷을 考慮치 않은 境遇의 荷重을 말하고 異常時想定荷重이라 함은 架涉線의 切斷을 考慮한 境遇의 荷重을 말하는 것이다.

따라서 架空地線 1條와 2回線中 假令 A型鐵塔設計에 있어 任意的 架涉線 1條의 斷線을 考慮하기로 하면, 第 1圖에서 斷線位置의 移動, 2回線中 1回線단 架線하는 境遇等 部材應力計算條件cases 은 高溫季에 6個境遇, 低



第 1圖 荷重條件(第 1表參照)

溫季에 6個境遇, 都合 12個境遇를 想定할 수 있다.

鐵塔에 加해지는 上記 各境遇의 設計荷重을 다시 그 作用方向에 따라 分類하면 垂直荷重, 水平橫荷重 및 水平縱荷重의 3種類로 區分할 수 있으며 過去 風向은 電線路에 直角 또는 電線路方向으로만 考慮해 왔으나, 近來 220KV 以上 超高壓送電用鐵塔設計에는 常時想定荷重算出時 風向이 電線路와 60°의 角度를 가질境遇도 考慮하기로 되었다. 그러나 60°의 角度의 風壓荷重도 應力計算時는 이것을 水平橫荷重과 水平縱荷重으로 分析하여 計算해야 하므로 作用方向別 荷重種類는 前記 3種類로 歸着된다. 即

垂直荷重,

鐵塔重量 (W_c)

架涉線, 碍子等重量, 架涉線의 被氷重量 및 電線路에 垂直角이 甚할 境遇는 그 影響 (W_c)

水平橫荷重

鐵塔風壓力 (H_c)

架涉線 및 碍子等에 加해지는 風壓力 (H_c)

電線路에 水平角이 있을 境遇는 架涉線의 想定張力의 水平橫分力 (H_c)

架涉線의 切斷에서 生기는 捻力 (q)

水平縱荷重

鐵塔風壓力 (H_c')

引留鐵塔에 있어서 架涉線을 引留키 爲하여 生기는 不平均張力의 水平縱分力 (P_1)

耐張鐵塔에 있어서 架涉線의 不平均張力의 水平縱分力 (P_1)

架涉線의 切斷에 依하여 生기는 不平均張力의 水平縱分力 (P_2)

架涉線의 切斷에 依하여 生기는 捻力 (q')

第1表

想定荷重의 組合

鐵塔種類	條件	線路에 對한 風 向	想定荷重의 組合									
			垂直荷重		水平橫荷重				水平縱荷重			
			W_t	W_c	H_t	H_c	H_a	q	H'_t	P_1	P_2	q'
直線·角度鐵塔	常時	直 角	○	○	○	○	○					
		平 行	○	○			○		○			
	異常時	直 角	○	○	○	○	○	○			○	○
		平 行	○	○			○	○	○		○	○
引留鐵塔	常時	直 角	○	○	○	○				○		
		平 行	○	○					○	○		
	異常時	直 角	○	○	○	○		○		○		○
		平 行	○	○				○	○	○		○
耐張鐵塔	常時	直 角	○	○	○	○				○		
		平 行	○	○					○	○		
	異常時	直 角	○	○	○	○		○			○	○
		平 行	○	○				○	○		○	○

○印는 想定荷重으로서 同時에 考慮해야 할 것을 表示함.

以上荷重中 留意해야할 荷重은 捻力이다.

直4角鐵塔腕金에 架線된 導線1條가 斷線되었다고 하면 電線路方向으로 水平縱荷重이 發生하는 同時에 鐵塔을 回轉시키려는 捻力이 發生한다. 이 捻力은 4角鐵塔 主柱材에 있어서는 隣接面의 값과 相互相殺되여 그 影響이 없으나 腹材에 있어서는 그 效果를 나타내며, 主柱材 傾斜點까지 그 荷重크기에 變함없이 傳達된다고 假定하는 點이다.

鐵塔設計에 있어 常時 또는 異常時에 上記 3個方向諸荷重이 標準鐵塔別로 어떻게 組合(Combination)되는지 檢討하면 우리나라의 實例는 第1表와 같으면, 一例를 들어 A型鐵塔의 應力算出 및 部材設計에 對하여 說明하면 첫째 常時荷重의 境遇, 바람이 線路에 直角方向으로 加해질때 $W_t+W_c+H_t+H_c+H_a$ 와 바람이 線路平行方向으로 加해질때 $W_t+W_c+H_a+H'_t$ 와 比較하여 其中 큰것을 採擇하여 應力을 算出한다. 그리고 다음 異常時荷重의 境遇, 風向이 線路에 直角方向으로 加해질때 $W_t+W_c+H_t+H_c+H_a+q+P_2+q'$ 와 風向이 線路平行方向으로 加해질때 $W_t+W_c+H_a+q+H'_t+P_2+q'$ 와 比較하여 其中 큰것을 採擇하되 그 應力算出數値의 70%를 前記常時應力值와 또다시 比較하여 其中 큰 것을 選定하여 이 應力을 基準하여 鐵塔部材를 決定하게 된다.

2. 設計荷重

鐵塔設計에 必要한 荷重을 그 發生原因別로 分析해보

면 아래와 같다.

- 1) 氣象現象 即 降雪, 風速 및 外氣溫度
- 2) 電線路의 屈曲 및 經過地勢
- 3) 架涉線의 斷線

大略以上 3種類로 分類할 수 있으며, 其中 氣象現象에서 오는것이 가장 變化가 甚하고 그 影響力도 크다.

即 架涉線의 氷雪은 그 自體重量이 垂直荷重으로서 鐵塔에 作用하는 同時에 架涉線想定張力을 增加시켜 水平縱 또는 橫荷重에 影響을 미치게 한다.

바람이 鐵塔 또는 架涉線에 加해지며 風壓이 發生하고 이 風壓은 水平橫 또는 縱荷重으로서 鐵塔에 作用하는 同時에 架涉線想定張力을 增加시킨다.

外氣溫度的 變化는 直接 鐵塔荷重으로서 作用하지 않고, 架涉線기리를 伸縮시켜 架涉線想定張力에 큰 影響을 미치게 한다.

電線路에 屈曲이 있으면 角度點의 鐵塔은 架涉線張力에 依한 角效果로 水平橫荷重을 받게 된다.

電線路의 經過地가 險峻하면, 各鐵塔에 걸리는 架涉線의 垂直荷重은 水平徑間에 關係없이 差異를 나타내며 또 各徑間마다 架涉線張力에 差가 생겨 그 張力差는 水平縱荷重으로서 鐵塔에 影響을 미치게 한다.

架涉線의 斷線事故는 鐵塔에 水平縱荷重으로서 作用하는 同時에 捻力으로서도 作用한다.

2-1 架涉線의 氷雪

架涉線에 氷雪이 附着하는 現象에는 着雪과 着氷의 두 種類가 있으며 눈은 氣溫이 낮을 때 比較的電線에 附着하기 어려우나, 氣溫이 比較的높을때는 눈이 濕氣를 가지고 있어 電線에 附着하기 쉬운 事故原因이 된다.

눈이 電線에 附着할때는 氣溫이 比較的높고, 微風時 또는 無風時이며 密度는 0.2g/cm³ 以下, 두께는 數 10 mm 에서 數百 mm 까지 達할때가 있다.

着氷은 過冷却水滴(霧粒)이 電線表面에 얼어붙어 發達하는 것이며, 發達時의 氣溫은 0°C 以下 密度는 0.2 ~ 0.9g/cm³ 로서 그 두께는 數 mm 에서 數百 mm 까지 達하여 斷線事故原因이 될 수 있다. 着氷이 發生하는 地帶는 冬季 上向으로 부러올리는 바람을 直接받는 場所에 限한다. 以上 着氷과 着雪의 原因, 現象面에 있어 相違點을 比較하면 第2表와 같다.

第2表 着氷과 着雪과의 相違點比較

項 目	着 氷	着 雪
發生地域	冬季節風이 부러올리는 山地의 凝結高度以上의 地域에 限한다.	어떤 場所에서도 發生할 可能性이 있다.
附着物質	過冷却水滴(雲粒)雪片하고 雲粒이 接着된것 包含.	含水雪片
電線에의 附着 發達時의 氣 溫	0°C 以下	물의 毛管作用에 依하여 附着 0°C ~ +1.5°C
發達時의 風 速	強해도 可	5m/s 以下
最初의 附着方向	風土, 水平	斜風上, 上方
密 度	0.2~0.9g/cm ³	0.2g/cm ³ 以下
回 轉	電線과 함께 回轉함	난란 回轉함
바람에依한 脫落	強風下에서도 殘子	大部分 8m/s 以下에서 脫落
脫落樣式	一齣脫落은 稀少	一齣脫落의 機會가 많음

우리나라 積雪量最深值統計는 第3表와 같으며, 陸地에 있어 降雪이 많은 곳은 東海岸의 江陵地區이다.

過去 電線에 着氷이 發生하여 最大의 被害를 입은例는 1939年 2月 13日 開城東側長湍郡을 通過하는 154 KV 送電線鐵塔第327號와 第335號間에서 4個所의 斷線事故가 일어나고 3基의 鐵塔上部가 折損되고 數個所의 腕金吊材가 破損된 것이라 하겠다. 이때의 溪谷積雪量은 200cm 였으며 電線에 附着한 被氷의 두께는 20cm 以上이었다. 그後近 30年間 154KV 線路에서 電線接續의

第3表 最高最低氣溫 및 最深積雪量

地 名	氣 溫(°C)		橫 雪 量 (cm)	
	最 高	最 低	最 高	發生年月日
中 江 鎮	38	-43.6	77.0	3/17/1936
城 津	37.5	-24.6	65.4	12/22/1918
新 義 州	36.9	-27.7	25.1	12/31/1947
元 山	39.6	-21.9	76.3	2/21/1907
平 壤	37.2	-30.2	26.0	2/26/1915
江 陵	39.4	-20.2	130.2	1/27/1923
서 울	38.2	-23.1	31.0	3/24/1922
仁 川	38.9	-21.0	43.8	3/23/1922
蔚 陵 島	34.5	-12.1	293.6	1/31/1962
秋 風 嶺	39.8	-17.2	37.1	1/18/1953
浦 項	38.1	-15.0	30.0	3/ 7/1954
大 邱	40.0	-20.2	55.4	1/18/1953
全 州	38.2	-17.1	24.5	12/11/1924
蔚 山	38.0	-16.7	21.9	1/17/1933
光 州	37.6	-19.4	35.0	1/27/1940
釜 山	36.0	-14.0	22.5	2/25/1945
木 浦	37.0	-14.2	56.1	12/10/1946
麗 水	36.4	-11.9	20.6	2/25/1945
濟 州	37.5	-5.9	21.5	1/18/1959

不良, 電線接續器의 腐蝕, 航空機의 衝突等에 依한 斷線事故는 있었으나 氷雪로 인한 斷線事故는 全然없었다 66KV 線路에 있어서는 氷雪로 인한 斷線事故가 比較的 자주 發生하였으며, 韓電江原支店管下에서는 第4表와 같이 1962年度에는 5件이 發生하였다.

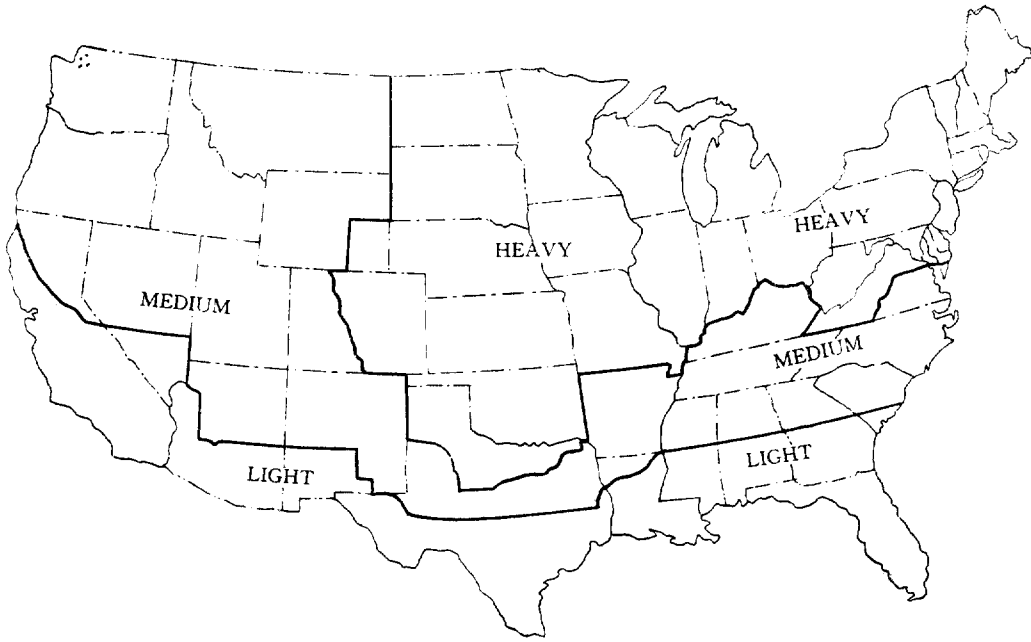
第4表 斷線事故統計表(原因·着氷)

	1961	1962	1963	1964	1965	1966
寧 松 線	1	0	2	2	3	2
松 北 線	1	3	0	0	0	0
北 三 線	0	2	1	0	0	0
合 計	2	5	3	2	3	2

韓國과 日本의 그 作物規程은 積雪이 많은 地方에서 比重 0.9의 被氷이 두께 6mm 로서 電線과 同心圓上에 附着한 위에 冬季標準風壓이 作用하는 狀態를 考慮하여 設計條件으로 할것을 規定하고 있다.

架涉線에 着氷이 있는 狀態에서 最低溫度는 -20°C를 取하고 있으며 此外 平均溫度는 10°C 最高溫度는 40°C 를 採擇하고 있는것이 南韓의 實例이다.

美國의 1961年版 NESC 規程 第250條 및 第251條는 그 國土가 廣大함으로 3個地域으로 나누어 南部地方은 -2°C 에서 無氷雪, 中西部地方은 -12.2°C 에서 6.35 mm(1/4吋), 東北部地方은 -17.7°C 에서 12.7mm(1/2



第2圖 地域別荷重種類
(Heavy; 重荷重 · Medium; 中間荷重 · Light; 輕荷重)

吋)의 比重 0.9의 氷雪이 電線에 附着하는 것으로 보고 있으며 · 地域別限界는 第2圖와 같다.

그리고 被氷에서 오는 架涉線垂直荷重으로 인한 斷線事故를 防止키 爲하여 NESC 規程 第261條는 上記 氷量 以外에 安全定數를 第5表와 같이 加算하도록 規定하고 있다. 即 架涉線에 被氷이 있을때의 風壓荷重은 19.5kg

/M²(4lbs/6t²)를 採擇하여 垂直荷重과의 米當 合成値에 對하여 重荷重地域에서는 0.46kg/M를 加算하고, 中間荷重地域에서는 그 米合成値에 0.328kg/M를 加算해야 하며, 輕荷重地域에서는 無氷雪時의 風壓荷重을 44kg/M²(9lbs/6t²)로 採擇하여 電線自重과의 米當合成値에 對하여 0.075를 加算하여 弛度를 定하고 있다.

佛蘭西의 1958年版 L'Arrete' technique 規程 6章 電線에 關한것은 아래와 같다.

第5表 地域別荷重條件

		地域別荷重條件		
		重荷重	中間荷重	輕荷重
被氷의 層개	(吋)	0.50	0.25	0
	(mm)	12.7	6.35	0
風 壓	(lbs/ft ²)	4	4	9
	(kg/m ²)	19.5	19.5	44.0
溫 度	(°F)	0	+15.0	+30.0
	(°C)	-17.7	-12.2	-2.0
安全定數				
裸銅線, 鋼線等	(lbs/ft)	0.29	0.19	0.05
	(kg/m)	0.432	0.282	0.075
Al, ACSR	(lbs/ft)	0.31	0.22	0.05
	(kg/m)	0.46	0.328	0.075

設計基準 A

平均溫度+15°C에서 架涉線投影面積에 對한 風壓은 72CPZ(1CPZ=1.02kg/M²)를 取할 것.

設計基準 B

最低溫度 -20°C에서 架涉線投影面積에 對한 風壓은 18CPZ를 取할 것.

上記 基準荷重時 架涉線의 最大張力은 그 抗張荷重의 1/3 以下라야 한다.

그러나 L'Arrôté Ministériel 의 附則에서는 必要한 地域에 對해서 着氷의 影響을 考慮할것을 規定하고 있다. 따라서 佛蘭西電力公司는 着氷에 對하여 規程에 詳細한 數字의 明示가 없으므로 아래와같은 自體設計基準을 採擇하고 있다.

設計基準 C

溫度 -5°C 에서 架涉線自體投影面積에 對한 風壓은 72CPZ를 取하고, 着氷의 垂直荷重은 米當 아래와 같이 想定한다.

第 6 表 着氷의 想定荷重值

着 氷	輕 kg/m	重 kg/m	例 外 kg/m
250mm ² 未滿의 導體	1.2	3	5
250~1,000mm ² 의 導體	2.0	5	12
1,000mm ² 超過의 導體	3.0	6	12
150KV 以上用架空地線	2.0	5	12
150KV 未滿架空地線	1.2	3	5

架涉線에 着氷이 있을때 架涉線의 最大使用張力은 降伏點應力度內라야 한다.

佛蘭西에 있어서 着氷을 勸案한 設計基準 C는 어디까지나 特殊地域에 限定된 것이며 鐵塔設計는 大部分設計基準A에 準據하고 있다. 그리고 特記할것은 弛度 및 張力計算時의 電線風壓은 72CPZ를 取하나 鐵塔設計에 있어 電線의 風壓荷重值는 後記하는바와 같이 基準 A의 72CPZ 보다 작은 48CPZ를 採擇하고 있는 點이라 하겠다.

以上으로서 韓國, 日本, 美國에서는 架涉線의 着氷狀態를 電線周圍에 圓筒形인 것으로 想定하고 그 比重은 0.9로 定하고 있으며 佛蘭西는 着氷狀態의 不規則함을 考慮하여 架涉線單位長當重量으로 表示하고 있다는 것을 알 수 있다.

韓國과 日本에 있어서는 着氷狀態의 氣溫과 그 地域의 規定 最低溫度를 同一한 것으로 假定하고 있으나 其他國에서와 같이 着氷狀態의 溫度를 -5°C 等 別個로 假定하는 境遇는 電線最大張力值의 究明이 複雜하여 진다

第 7 表 1947—1951年 實驗結果(電線風壓試驗)

公稱切斷面度 (mm ²)	撚線構成	外徑 (mm)	索線徑徑 外	遷 移		風 速 (40m/s)	
				Reynold 數	風 速 m/s	C	風壓(kg/m ²)
160 ACSR	30+7/2.6	18.2	1/7	3.0×10^4	24.0	0.952	95.2
200 ACSR	30+7/2.9	20.3			21.8	0.997	99.7
240 ACSR	30+7/3.2	22.4			19.5	0.965	96.5
480 ACSR	30/4.5+19/2.7	31.5	0.158	2.7×10^4	13.9	0.946	94.6
500 AI	37/4.18	29.26			14.9	0.947	94.7
410 ACSR	26/4.5+7/3.5	28.5			14.3	0.977	97.7
430 ACSR	26/4.6+7/3.6	29.2	1/9	3.2×10^4	13.5	0.988	98.8
410 ACSR	54+7/3.1	27.9			16.7	0.942	94.2
520 ACSR	54+7/3.5	31.5			14.8	0.903	90.3
200 HBCu	中空銅線8 Segment	26.0	—	—	—	1.00	100
55 Cu	7/3.2	9.6	1/3	1.2×10^4	13.9	1.133	113.3
100 Cu	7/4.2	12.6			18.2	1.101	110.1

2.2 風速 및 風壓

바람이 一般構造物에 부닥치면 風壓力이 發生하며 그 風壓은 아래와 같은 理論式에 依하여 表示된다.

$$P = \frac{1}{2} C \rho V^2 \dots \dots \dots (1)$$

여기서 P는 風壓(kg/m²), V는 風速(m/s) ρ는 空氣密度(kg·s²/m⁴), C는 抵抗係數라고 한다.

ρ의 값은 氣壓, 氣溫에 따라 다르나 標準狀態에서는 0.125이다. C는 受風體의 크기 및 傾斜에 依하여 變化하며 受風體周圍의 空氣의 通過狀態에 依하여서도 달라진다.

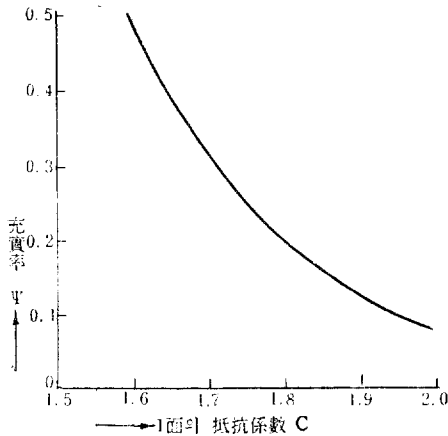
電線의 境遇를 檢討하면 그 周圍의 空氣通過狀態가 層流일 때는 1.1程度로 一定值에 가까우나 空氣의 通過狀態가 亂流로 變化하면 그 값은 電線外徑이 크면 떨어져 0.9~1.0 程度로 減少한다. 電線에 對한 日本에 있어 이러한 抵抗係數의 風洞試驗結果는 第 7表와 같다.

電線周圍의 空氣의 通過狀態가 層流에서 亂流로 移行하는 點을 遷移點이라고 하며 이것은 Reynold 係數(R)와 關係된다.

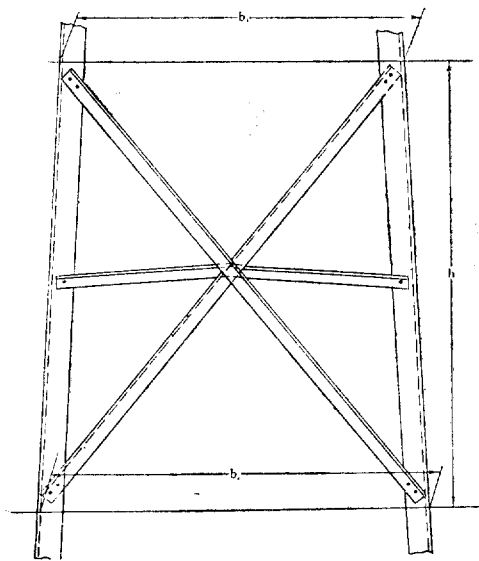
$R = VD/V$ 여기서 V는 風速(m/sec), D는 電線直徑(m) v는 空氣의 動粘性係數(標準狀態에서 $1,456 \times 10^{-5}$ m²/sec)이며, Reynold 係數(R)가 어떤 값에 到達하면 空氣의 흐름이 層流에서 亂流로 變化하며 이때의 값을 遷移 Reynold 係數라고 한다.

다음 鐵塔에 對한 抵抗係數 C는 鐵塔受風面의 充實率과 密接한 關係가 있다.

充實率(第 3圖參照 節間을 占布하는 部材의 面積과 節間面積과의 比)의 相違에서 오는 C의 變化는 第 4圖와 같으며, 充實率이 같으면 風速이 變化하여도 C의 값은 別變化가 없다는 것이다.



第3圖



第4圖

本文對象國家間的 容易한 比較를 爲하여 第1式은 또 아래와 같이 表示할 수 있다.

$$P=KV^2.....(2)$$

여기서 K는 亦是 抵抗係數이며 後記하는 바와 같이 關係各國에 따라 그 採擇值에 若干의 差가 있다.

鐵塔은 立體的인 骨組構造物 이므로 風壓은 鐵塔正面과 後面에 同時에 作用하게 된다. 그리고 後面의 風壓은 正面의 遮蔽效果를 받아 正面風壓效果보다 弱화된다

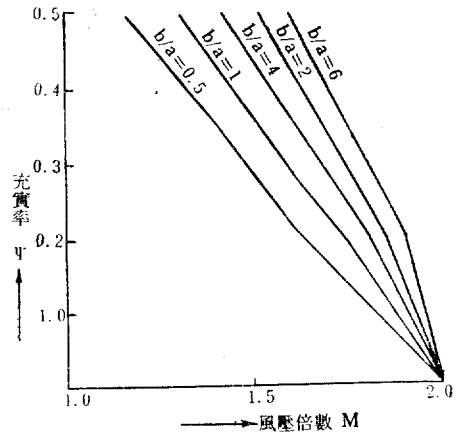
鐵塔風壓荷重算出에 있어 그 一面을 基準으로 할 때 綜合風壓荷重은 後面을 考慮하여 風壓增加率을 乘해야

한다. 이 數值를 風壓倍數M라고 稱한다. 따라서 鐵塔兩面에 對한 風壓은 다시 아래와 같이 表現할 수 있다.

$$P=KMV^2.....(3)$$

風壓倍數M는 鐵塔의 正面幅과 側面幅과의 比率, 充實率에 依하여 變化하며 그 相互關係는 第5圖와 같으며 M는 後記하는 바와 같이 關係各國에 따라 1.5~2.0로 採擇值에 差가 있다.

以下 本文對象各國의 風速記錄值, 設計風速值, 標準風壓值에 關하여 檢討해 보기로 한다.



第5圖

韓國은 季節風의 影響을 받아 冬季에는 北風이 強하고 夏季에는 南風이 甚하게 불며 가끔 颱風이 半島南部를 스쳐간다. 그리고 우리나라 地勢가 山嶽으로 構成되어 있는 關係로 風速은 海岸地帶에서는 大端히 強하나. 內陸地方에서는 弱하다.

過去, 暴風으로 因한 鐵塔倒壞事故는 거이 發生하지 않았다고 보아야 하겠다.

1961年 4月 4日 Sara 號颱風이 釜山地區를 襲擊하였을 때 66KV 進龜送電線 第7號鐵塔下部 2段位置에서 鐵塔이 부러진 事故가 發生하였으나 事故의 直接的原因은 一部腹材의 盜難으로 因한 消失, 長期間의 電線微風振動으로 因하여 2條의 電線이 疲勞切斷된데 있었다고 보겠다.

即 下記事故記錄에서 斷線個所가 clamp 點附近이며 斷線된 電線位置가 下段腕金位置이며 7~8號間은 沿東江 橫斷의 810m의 長徑間이라는點을 留意해야 하며, 萬一 暴風이 直接的原因이라면 外國의 例에 비추워 隣接된 다른 鐵塔도 倒壞되었을 것이다.

進龜送電線第7號鐵塔事故內容

事故日時 1961. 4. 4 11:05

風 速 30 m/s

倒壞事況 下部 2段位置破損

斷線事況 No 1, No 2 線 下端 2 條, Clamp 附近에서 斷線.

使用電線 Copperweld 7/3.5mm

鐵塔番號 6 7 8 9

鐵塔型別 D D LA₂ LA₃

鐵塔높이 11.9M 48M 77.2M 77.2M 36.5M

徑 間 88M 810M 510M

中央觀象臺에서 發表한 1933 年以來의 10 分間 平均最大 風速統計值에 依하면 (附表 1 參照) 蔚陵島 45m/s, 海岸地帶의 浦項 39.8m/s, 木浦 39.5m/s 그리고 內陸 地方의 光州 26.3m/s, 大邱 25.3m/s, 서울 25m/s 로 나타나 있다.

이러한 風速統計值을 參照하여 定한 設計風速은 高溫季에 34.6m/s, 低溫季에 25m/s 를 採擇하여 왔다.

標準風壓值算出에 있어 電線에 對한 것은 第 2 式의 K 의 값을 0.068 로 認定하여 高溫季風壓은 84kg/m², 低溫季風壓은 42kg/m² 이다. 鐵塔에 對한 것은 第 3 式의 K 의 값은 0.106, M 의 값은 1.7 로 認定하여 高溫季風壓은 220kg/m², 低溫季風壓은 110kg/m² 로 定하고 있다.

이 結果는 電氣工作物規程 第 45 條에 大略 아래와 같이 改正되어 있다.

甲種風壓荷重(構成材垂直投影面積에 對하여)

鐵塔에 對해서는 220kg/m², 架涉線에 對해서는 外徑 18mm 以上은 76kg/m², 外徑 18mm 未滿은 84kg/m² 를 適用한다.

乙種風壓荷重(構成材垂直投影面積에 對하여)

鐵塔에 對해서는 110kg/m² 를 取하나 架涉線에 對해서는 그 周圍에 6mm 뚝개, 比重 0.9 의 氷雪이 附着한 狀態에서 38kg/m² 를 適用한다.

上記에 있어 電線直徑이 큰것에 對한 電線風壓值의 減少는 抵抗係數 C 가 電線直徑이 클수록 遞減하는 風洞試驗結果를 反映한 것이다.

上記한 韓國의 風壓荷重을 日本과 同一하게 高低溫季로 區分하여 低溫季의 風壓荷重을 高溫季의 半으로 하고 있는것은 1945 年 以前부터 適用되어 오던 것이며 韓國의 氣象條件에 알맞는 風壓荷重의 選擇을 위하여 根本的인 檢討가 必要할 것이다. 即 韓國의 暴風은 附表 1-1 表에 表示된 바와같이 夏節에만 集中되는 것이 아니라 地域別로 다르나 冬季에도 일어난 事例도 적지 않으며 最大風速值를 보더라도 夏期와 冬期를 區分할 수 없으며 設計標準風速值인 高溫季의 34.6m/sec 는 內陸地方에서는 너무 不經濟的인 設計를 하게 되는 反面, 海岸地方에서는 不得已인 風速值基準의 風壓荷重에 安全率을 考慮하여야 함으로 標準으로서의 價値를 喪失한 結果가 되는 것이다. 따라서 最近 30 年間的 統計를 基準하여 內陸과 海岸地方 또는 島서를 區分하고 高低溫

季의 基準風速를 相關關係에서 求하지 말고 各已統計에 依한 各各 基準風速를 定하여 高低溫季의 風壓荷重을 新規로 制定하는 妥當하다고 본다.

日本에 있어서 過去 50 年間的 10 分間平均最大風速은 附表 2 에서 보는바와 같이 高溫季에는 60m/s, 低溫季에는 48.3m/s 라는 높은값을 나타내고 있다.

이러한 觀測值에 對하여 送電用鐵塔設計標準 JEC-127 는 設計風速으로서 高溫季에 40m/s, 低溫季에는 27m/s 를 採擇하고 있다.

따라서 觀象台觀測值에 依據하여, 颱風의 上陸回數가 많은 地域은 設計風速을 適宜 增加하여 하되, 颱風의 通過念慮가 없는 地域은 設計風速을 減少하여도 可한것으로 되어 있다.

架涉線에 對한 高溫季標準風壓은 第 1 式에 있어 $V=40$ m/s, $C=1$, 그리고 $\rho=0.115\text{kg/m}^3$ (氣壓 720mm Hg, 溫度 23°C; 上陸主要颱風의 記錄에 依한 平均大氣壓狀態)를 取하여 100kg/m² 를 採擇하고 있으며 架涉線에 對한 低溫季標準風壓은 $V=27$ m/s, $C=1$, 그리고 $\rho=0.125\text{gks}^2/\text{m}^4$ (氣壓 760mmHg, 15°C 의 標準大氣壓狀態)를 取하여 50kg/m² 를 採擇하고 있다.

他國과의 比較上 第 2 式에 依據한 K 의 값을 求하면 高溫季의 것은 $K=0.0625$ 가 되고, 低溫季의 것은 $K=0.0685$ (ρ 의 값 差異에서 오는 것임)가 된다.

그리고 鐵塔에 對한 高溫季標準風壓은 第 3 式에 있어 $V=40$ m/s, $K=0.106$, $M=1.7$ 를 取하여, 290kg/m², 低溫季標準風壓은 $V=27$ m/s, $K=0.117$, $M=1.7$ 를 取하여 145kg/m² 을 取하고 있다.

上記諸數值를 1954 年度 日本工作物規程第 46 條와 比較하여 달라진點을 檢討하면 高溫季電線風壓值에 있어 電線外徑에 關係없이 110kg/m² 에서 100kg/m² 로 改正한 點이다.

佛國의 風速은 過去 20 年間 Effel 塔頂上에서 實測한 結果에 依하면 43m/s 라는 最高值가 2 回, 다음 30m/s 가 10 回程度라는 것이다.

그리고 第 2 式에 있어, 電線에 對하여 $K=0.073$ (但 $\rho=0.125$), 鐵塔에 對하여 $K=0.125$ 를 妥當하다고 認定하고 있으므로, 後記 標準風壓值를 勘案하여 設計風速을 算出하면 高溫季에는 31m/s, 低溫季는 15.8m/s 라는 것을 알 수 있다.

佛國의 鐵塔設計에 關한 規程 L'arrêté technique 第 6 章에 依하면 前記한바와 같이 鐵塔設計荷重을 決定하는데 (A) 및 (B) 두 種類의 基準이 있다.

基準(A)는 平均溫度(15°C)에서 電線에 對하여 72CPZ (1 CPZ=1.02kg/m²), 基準(B)는 最低溫度(-20°C)에서 電線에 對하여 18CPZ 를 採擇하도록 되어 있다.

그리고 鐵塔風壓은 그 一面에 對하여, (A) 基準에서

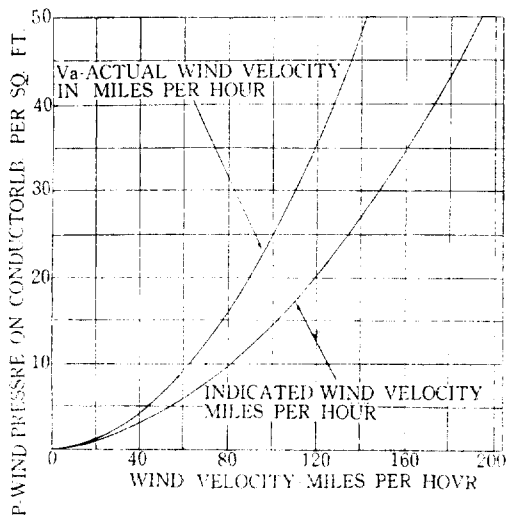
는 120 CPZ, (B) 基準에서는 30 CPZ를 使用하고, 風壓 倍數는 2.0을 取하도록 되어있다. 따라서 우리나라 風 壓值와 相應하는 高溫季風壓은 240 CPZ, 低溫季風壓은 60 CPZ가 된다.

近來 電線風壓值는 風洞試驗狀態와는 달라 實地에 있 어서, 電線上의 風壓分布가 一律의이 아니고, 電線이 可撓하고 바람의 숨 등이 있는 關係로 그 값이 相當히 低下됨이 判明되어, (A) 基準의 電線風壓值 72CPZ는 約 60%로 節減한 48CPZ로 變更하여 使用하는 것을 認定하고 있다.

美國의 5分間平均最大風速值는 附表 3에서 보는바와 같이 1916年 6月 Florida州에서 53m/s(120哩/時), 1904年 8月 Minnesota州에서 45ms(120哩/時)가 記錄되고 있 으나 大部分의 其他地域最大風速值는 이러한 數值보다 적다.

美國은 國土가 廣大함으로 鐵塔設計荷重의 基準을 定 하는데 있어 國土를 3個地域으로 區分하고 있다는 것 은 既述한 바이며, 따라서 設計風速도 地域에 따라 다 르다.

風速에 따르는 風壓算出式은 $P=K V_a^2$ 이 使用되고 있으며, 使用單位는 ft-lbs系이다. 本式의 風速 V_a 는 氣象台發表의 5分間平均風速值(Indicated wind velocity)를 그대로 使用하지 않고 이 數值를 實地風速值(Actual wind Velocity)로 換算하여 使用하며, 換算用曲線은 第6圖과 같다.



第6圖

電線에 對한 K 는 0.0025(米-kg-秒 單位로 換算하 면 0.0615)를 採擇하고 있으므로, 既知인 標準風壓數值를 使用하여 3個地域의 設計風速을 逆算해보면 輕荷重 地域은 標準風壓이 9lbs/ft²(44kg/m²)이므로, 實地風速 은 60哩/時이며, 이것을 다시 平均風速으로 換算하면

76哩/時(34m/s)가 된다. 그리고 中間 및 重荷重地域의 設計風速은 標準風壓이 4 lbs/ft²(19.5kg/m²)이므로, 實 地風速值는 40哩/時, 이것을 다시 換算하여 49哩/時(20 m/s)가 된다.

그리고 鐵塔에 對한 K 는 0.004(0.103)이며 風壓倍數 M 는 1.5를 採擇하고 있다.

따라서 輕荷重地域에 있어 鐵塔一面의 標準風壓은 14. 4lbs/ft²(70.5kg/m²)이고, 綜合標準風壓은 21.6 lbs/ft² (106kg/m²)가 된다. 또 中間 및 重荷重地域에 있어 鐵 塔一面의 標準風壓은 6.4lbs/ft²(31.3kg/m²)이고, 綜合 標基風壓은 9.6 lbs/ft²(47kg/m²)가 된다.

美國의 設計風速은 比較의 크나, 標準風壓이 上記하 는바와 같이 적게나와 奇異한 感이 드나, 그것은 觀象 台發表風速值를 實地風速值로 換算할때 적게 表示되었 기 때문이다.

그리고 美國의 National Electrical Safety Code(NESC) 261條는 水平橫荷重에 對하여 Overload Capacity Factor (一種의 安全率) 2.54 以上으로 規定하고 있으므로, 上 記標準風壓을 實地設計에 適用할때에는 2.54 배해야 한 다.

以上으로서 關係各國의 氷雪荷重, 電線 및 鐵塔에 對 한 風壓荷重에 關係되는 事項을 檢討하였으며 그 綜合 比較表를 作成하면 第8表와 같다.

第8表 電線 및 鐵塔에 對한 風速 및 風壓

			韓國	美國	佛國	日本
設計風速(1)	高 溫	m/s	35	34	31	40
	低 溫		25	20	15.8	27
標 準 風 壓	電 線	高 溫	(2) 84(76)	(3) 44	73.5(49)	100
		低 溫	38	19.5	18.2	50
	鐵 塔	高 溫	220	106	245	290
		低 溫	110	47	61	145
抵 抗 係 數	電線(a)		0.068	0.0615	0.073	0.0625
	鐵塔(b)		0.106	0.103	0.125	0.106
	a / b	%	64	60	59	59
風 壓 倍 數	鐵 塔		1.7	1.5	2.0	1.7
O. C. F				2.54		

(1) 韓國, 日本; 10分間平均風速, 美國; 5分間平均風速 佛國; 平均風速

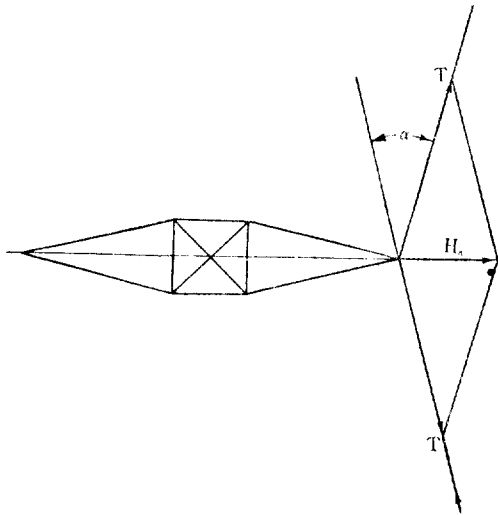
(2) 電線直徑 18mm 以上은 76kg/m²를 採擇함.

(3) 張力計算에는 73.5kg/m²을 鐵塔應力計算에는 49kg /m²를 採擇함.

2.3 電線路의 屈曲 및 垂直荷重

電線路에 屈曲即水平角度가 있을 境遇의 水平橫分力

(Ha)의 計算은 $H_a = 2 T \sin \frac{\alpha}{2}$ 에 依據하며 T 는 架涉線의 想定最大張力, α 는 電線路의 水平角度이다. (第7圖 參照)



第7圖

電線支持點에 加해지는 垂直荷重은 電線 및 碍子等重量의 總加이며 電線에 着氷雪이 있을 때는 그 氷雪의 重量도 包含해야한다는 것은 勿論이다.

高低差가 없는 徑間에서는 電線重量은 $\frac{1}{2}(S'_1 + S'_2)W_c$ 로 計算해도 可하나 高低差가 있을 때에는 電線支持點

에 加해지는 垂直荷重 V 는 次式에 依한다.

$$V = W_c(S'_1 + S'_2)/2 + T \left(\frac{h_1}{S'_1} + \frac{h_2}{S'_2} \right) + W_i \dots (4)$$

여기서 W_c 는 電線單位長當重量, T 는 電線의 想定最大張力, W_i 는 碍子連重量이다(第8圖參照). 그리고 本式은 水平距離와 電線實長이 近似的으로 같다는 假定에서 誘導되었으므로 T 가 어느程度 커서 斜弛度가 徑間長의 1/10 以內이며 高低差가 $h/s=0.2$ 以內에서만 使用될 수 있으며 이러한 條件以外에서는 $a_1 a_2$ 의 電線實長을 求하여 여기에다 電線重量을 乘해서 垂直荷重을 求해야 한다.

以上 電線路에 水平角度가 있을때 또는 電線路에 高低差가 있을때 그 荷重算出方法에 關해서 言及하였으므로 前者에 對해서는 關係各國間에 異이 없으나 後者에 對해서는 設計徑間과의 關聯性에 있어 各國設計者의 判斷에 依하여 設計徑間의 電線重量, 碍子連重量以外에 適切한 重量을 加算하여 鐵塔을 設計한다.

即 우리나라에서는 架線時 腕金위에 올라가서 作業하는 人體重量을 加算하며 美國에서는 NESC 第261條에 따라 設計徑間의 1.27 倍의 電線重量을 加算하고 있는 것이다.

그리고 電線路에 垂直角度가 特別히 甚한 支持點에 對해서는 別途로 檢討해야 한다는 것은 各國의 共通된 事項이다.

이외에 地勢가 險峻하면 自然히 電線路의 徑間差가 甚하여 溫度變化에 따라 各徑間마다 나타나는 電線張力에 差가 있어, 懸垂鐵涉에서는 碍子連이 傾斜하고 耐張型鐵塔에서는 兩徑間의 張力差로 因한 不平均張力이 鐵塔에 水平縱荷重으로서 作用한다. 引留鐵塔을 除外한 耐張型鐵涉에 對한 이러한 不平均張力은 普通直接荷重으로서 取扱하지 않는 代身 後記의 斷線條件으로서 代置하거나 또는 耐張鐵塔의 插入으로서 滿足시키고 있다

2.4 斷線 및 最大使用張力(即 想定最大張力)

近來에 建設되고 있는 超高壓送電用鐵塔設計에서는 使用電線의 寸수가 커지기에 따라 100mm²

斷線事故는 甚히 發生치 않는다는 結論을 얻어 考慮치 않는 傾向에 있으나 使用電線이 작거나, 氷雪이 電線에 많이 附着하는 地域은 이를 考慮해야 한다.

韓國의 電氣工作物規程 第101條(2)에는 斷線條件에 關하여 記載되어 있으며 그 大略 內容은

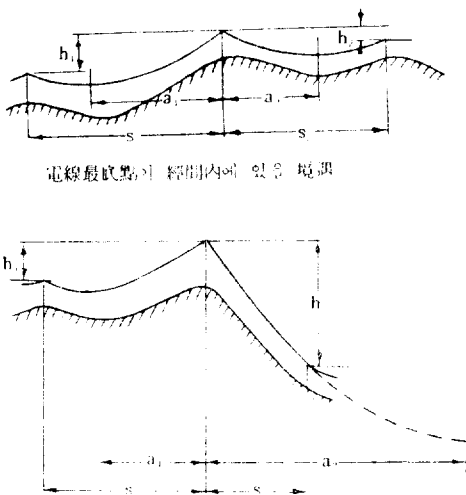
1. 直線, 角度 및 耐張鐵塔에 對하여

(가) 架涉線의 總條數가 9條以下인 境遇는 1架涉線

(나) 架涉線의 總條數가 9條를 넘고 18條以下인 境遇에는 2架涉線

(다) 架涉線의 總條數가 18條를 넘고 24條以下인 境遇에는 3架涉線

2. 引留鐵塔에 對하여



電線最底點이 徑間內에 있을 境遇

第8圖

引留鐵塔의 境遇에는 電線路方向에 對하여 右側 또는 左側中에서 어느한便의 全架涉線이 引留되어 他의 한側의 全架涉線이 切斷된다고 假定한다.

그리고 上記斷線條件은 鐵塔部材應力이 最大가 되도록 選定해야하며 直線鐵塔에 있어 架涉線 切斷時할 때 그 支持點이 摺動할 수 있는 경우는 그 不平均張力을 想定最大張力의 60% 까지 減少시킬 수 있다고 되어 있다.

日本의 工作物規程第96條에 나타나 있는 斷線條件도 以上과 같다. 그래서 送電用鐵塔設計標準에서는 直線 및 角度鐵塔에 對하여 4回線以下에서는 架涉線의 任意의 1條의 切斷을 想定하고 5回線以上에 있어서는 임의의 電線 2條가 切斷하는 것으로 想定하고 있다.

佛國의 規程은 斷線條件에 言及하지 않고 있으나 佛國電力公司의 直線, 角度鐵塔에 對한 實例은 架空地線 1條 또는 導線 1條의 斷線을 假定하고 있으며, 直線鐵塔에 있어 斷線時 電線이 摺動할 수 있는 境遇에 架空地線은 20%, 導線은 30%까지 想定最大張力을 減少시키고 있다.

美國의 NESC 規程第252條에는 引留鐵塔에 限해서 아래와 같이 規定하고 있다.

1. 電線의 破壞荷重이 3,000lbs 以下일 때 最小 2條 以上, 全體架涉線數의 3分之 2 斷線

2. 電線의 破壞荷重이 3,000lbs를 超過할 때, 全體架涉數가 8條以下에서는 1條, 8條를 超過할 때에는 2條斷線을 考慮한다.

이러한 斷線條件은 鐵塔部材應力이 最大가 되도록 選定해야 한다는것은 韓國의 規定과 같다. 그리고 引留鐵塔에 있어 斷線條件이 한 面全部의 架涉線狀態를 考慮하는 우리나라 實例에 比하여 輕한 感이 드나, 그것은 斷線되지않은 架涉線은 兩徑間의 張力差에서오는 不

衝張力을 鐵塔設計에 考慮해야 한다는 規定上의 差異를 보면 納得할 수 있다. 直線 및 角度鐵塔設計에 있어 斷線條件에 對한 美國의 實例은 亦是 架空地線 1條 또는 導線 1條斷線을 考慮하는 것이 普通이다.

그러나 直線鐵塔에 있어 斷線時 支持點의 摺動으로인한 想定最大荷重의 減少는 設計者에 따라 考慮치 않고 있다.

本斷線條件과 密接한 關係가 있는것은 架涉線의 想定最大張力이다.

韓國과 日本의 境遇에 想定最大張力은 低溫季(韓國, 溫度 -20°C , 日本, 溫度 -15°C) 標準風壓下에서 電線에 6mm의 着氷이 있을 때 나타나며 그 값은 銅線에 對하여 電線破壞荷重의 45%, A.C.S.R에서는 40%를 超過해서는 안된다(第9表參照).

佛國의 境遇는 溫度 -20°C , 風壓 18.4kg/m^2 를 基準하여 想定最大張力은 電線破壞荷重의 33%를 넘지않도록 規定하고 있다. 電線의 氷雪 附着은 佛國에서는 限定된 地域이며 着氷으로 인한 電線의 不平均張力의 크기는 第10表와 같다.

그리고 着氷現象이 發生하지 않는다고 到定한 地域의 電路線에 萬一 輕한 着氷이 發生하는 特殊條件에 對해서는 電線의 想定最大張力을 上記와 같이 他國보다 작

架涉線種類	地域別		
	輕	重	例外
288mm ² 未達의 導線	kg 500	kg 1,000	kg 1,000
288~1,000mm ² 間的 導線	800	1,500	2,000
1,000mm ² 超過의 導線	1,200	2,000	2,500
63~90KV의 架空地線	500	1,000	1,000
150KV 以上의 架空地線	1,000	1,500	2,000

第9表

電線에 對한 最惡荷重條件 및 安全率

	韓 國		美 國			佛 國			日 本	
	高溫季	低溫季	輕荷重	中荷重	重荷重	高溫季	低溫季	特 殊	高溫季	低溫季
被 氷 mm	0	6	0	6.35	12.7	0	0	(kg/m) 2.0	0	6
風 壓 kg/m ²	76	38	44	19.5	19.5	73.5	18.4	73.5	100	50
定 數 kg/m			0.075	0.328	0.46					
溫 度 °C	10	-20	-2	-9.5	-17.7	15	-20	-5	15	-15
安 全 率										
硬 銅 線	2.2	2.2	1.66	1.66	1.66	3	3	1.66	2.2	2.2
A. C. S. R	2.5	2.5	〃	〃	〃	〃	〃	〃	2.5	2.5

1. 韓國, 美國, 日本은 圓筒形着氷狀態의 電線에 對하여 風壓荷重을 考慮하나, 佛國은 着氷狀態에서는 電線에만 73.5kg/m^2 의 規定風壓이 걸린다고 假定함.
2. 美國은 電線, 自重, 被氷 및 風壓의 合成荷重에 對하여 一定한 定數를 加算할 것을 規定하고 있다.
3. 美國은 比表條件以外에 溫度 15.5°C 에서 無風, 無被氷일時 電線安全率이 3.0 以上이러야 한다는 追加規定이 있다.

經濟的인 送電用鐵塔設計

게 採擇하므로서 이러한 念慮를 際去하고 있다.

美國에 있어서 想定最大張力의 決定(即 弛度의 調整)은 NESC 規程第261條에 記載되어 있으며 그것은 規定荷重下에서 破壞荷重의 60%를 넘어서는 안되며, 또 溫度 15.5°C에서 無風, 無氷雪時 架線初期에는 破壞荷重의 35%, 最終架線狀態에서는 25%를 넘어서는 안된다고 規定하고 있다. 그러나 實地 弛度計算面에서는 大概 想定最大張力은 破壞荷重의 50%를 擇하고, 規定荷重時 下記溫度下에서 架線初期에는 33 1/3%, 最終架線狀態에서는 25%를 넘지않도록 兩點에서 制限하고 있다.

	溫 度		
	重 荷 重	中間荷重	輕荷重
初期無荷重張力 33 1/3%	-17.7°C	-9.5°C	-2°C
最終無荷重張力 25%	"	"	"

美國에 있어서 上記한 初期弛度 또는 初期張力이라함은 最大使用張力이 한번도 加해지지 않은 架線狀態의 새 電線에 對한 것이며 最終弛度 또는 張力이라함은 既히 架線된 電線으로서 最大使用張力이 加해진 바 있는 電線에 對한 것을 말한다.

即 電線의 伸長率은 荷重經歷에 따라 變化하며, 最大使用張力이 加해진 다음에 一定值에 達하는것을 重要視한데 起因한다.

第11表

鐵塔種類	條 件	線 路 到 對 向 風	想 定 荷 重 的 組 合									
			垂 直 荷 重		水 平 橫 荷 重				水 平 縮 重 直			
			W _t	W _c	H _t	H _c	H _a	q	H' _t	P ₁	P ₂	q'
線角·度鐵塔	常時	直 角	○	○	○	○	○					
		平 行	○	○			○		○			
	異常時	斷 線 直 角	○	○	○	○	○	○			○	○
		平 行	○	○			○	○	○		○	○
引留鐵塔	常時	直 角	○	○	○	○				○		
		平 行	○	○					○	○		
	異常時	斷 線 直 角	○	○	○	○		○		○		○
		平 行	○	○				○	○	○		○
異常時	着 氷 直 角	○	○	○	○				○			
	平 行	○	○				○	○	○		○	

○印은 想定荷重으로서 同時에 考慮해야 할 것을 表示함.

그리고 A.C.S.R의 綜合彈性係數(E)는 Aluminum 線部의 斷面積(S_a), 彈性係數(E_a), Steel 線部의 斷面積(E_s) 彈性係數數(S_s)라 하면

$$E = \frac{S_a E_a + S_s E_s}{S'_a + S'_s} \dots \dots \dots (5)$$

가 된다.

3.0 應力計算

送電用鐵塔設計에 對한 各種荷重의 組合(Combination)方式에 關한 우리나라 實例은 1.0 設計概要에서 說明한 바 있으며 이러한 荷重組合方式은 各國別로 差異가 있다.

佛國은 架涉線에 着氷雪이 있을時는 1線斷線時와 같이 取扱하여 異常時荷重側으로 分類한다. 即 着氷이 輕한 地域에서는 架涉線單位長當 1.2~3.0 kg/M를 考慮하는 同時에(第6表參照) 着氷의 不均衡에서오는 架涉線의 不平均張力은 第10表와 같이 各導線에 800kg, 各地線에 1,000kg(154KV 線路)를 取하고 있다.

그리고 1線斷線時, 架涉線의 張力은 溫度+15°C, 電線風壓 72CPZ를 取하고 있으며, 懸垂型鐵塔에 對해서는 導線 및 地線의 摺動에서 오는 張力減少率을 各各 30%와 20%로 考慮하고 있다.

따라서 佛國의 鐵塔設計에 必要한 想定荷重의 組合은 第11表와 같으며 鋼鐵材強度 40kg/mm²를 使用할때 常時荷重에 對해서는 그 許容強度를 13.3kg/mm², 異常時

荷重에 對해서는 26kg/mm²를 採擇하고 있다.

美國의 境遇, 設計荷重組合은 NESC 規程에 따라 他國의 傾向과 相當히 다른點이 많다.

同規程第252條E項에 依하면 荷重의 組合은(引留鐵塔 際外)은 (1) 水平橫方向에 對한 強度計算時에는 水平橫荷重과 垂直荷重이 同時에 加해지는 것으로 한다. (2) 水平縮方向에 對한 強度計算時에는 垂直과 水平橫荷重은 考慮치 않는다.”로 되어있다.

第12表 鐵塔의 最底安全率

	安全率(Overload Capacity Factor)	
	B 級	C 級
垂直強度	1.27	1.10
水平橫強度	2.54	2.20
水平縮強度		
橫斷個所		
普通	1.10	—
引留	1.65	1.10
其他個所		
普通	1.00	—
引留	1.65	1.10

1. 部材의 降伏應力度를 基準한 것임.
2. 一般送電用鐵塔에 對해서는 B級을 採擇해야함.

그리고 同規程第261條A項에서는 第12表와 같은 Overload Capacity Factor 即 安全率을 鐵塔強度(部材의 降伏點應力度에 考慮하도록 規定하고 있다. 即

- (a) 垂直荷重應力에 對해서는 1.27, 橫荷重에 對해서는 2.54
- (b) 縮荷重應力에 對해서 他施設物을 橫斷하는 個所에서는 1.1, 其他에서는 1.0, 引留鐵塔個所에서는 1.65
- (c) 架線하지 않는 狀態에서 標準風壓 6倍荷重이 加해질때 1.1
- (d) 水平角이 있을때 架涉線橫荷重應力에 對하여 2.65, 架涉線張力應力에 1.1~1.65 等과 같다.

即 美國의 NESC 規程에서 鐵塔의 線路方向強度는 橫荷重과 垂直荷重의 크기와는 關聯없이 遊離하여 生覺하고 있으나, 實地設計面에서는 架涉線 1條 또는 2條의 斷線을 考慮하여 全體荷重을 綜合하여 設計하고 있다.

따라서 NESC 規程을 反映하는 同時에 設計者의 經驗을 加味한 實地設計에 있어 荷重組合의 一例를 美國의 設計圖面에서 轉記하면 아래와 같다. 本例의 鐵塔은 地線條回線乘用이며 直線鐵塔設計에서는 應力이 最大가 되는 任意의 1架涉線의 斷線을 考慮하나 斷線에 隨伴하는 捻力은 考慮하지 않고 있다.

直線鐵塔의 境遇

$$\text{常時荷重組合} = 1.27(W_C + W_T) + 2.54(H_C + H_T)$$

$$\begin{aligned} \text{斷線時荷重組合} &= 1.27(W_C + W_T) \\ &+ 2.54(15/16H_C + H_T) + 11P_2 \end{aligned}$$

角度鐵塔設計에서는 任意의 應力이 最大가 되는 2架涉線의 斷線을 考慮하나 不平均張力은 際外하고 捻力만은 考慮하고 있다.

角度鐵塔의 境遇

$$\begin{aligned} \text{常時荷重組合} &= 1.27(W_C + W_T) \\ &+ 2.54(H_C + H_T) + 1.65H_a \end{aligned}$$

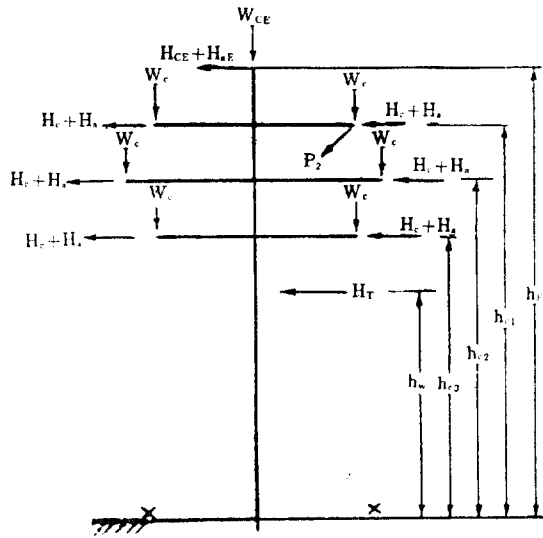
$$\begin{aligned} \text{斷線時荷重組合} &= W_C + W_T + 2.54\left(\frac{3}{4}H_C + H_T\right) \\ &+ 1.65 \times \frac{3}{4}H_a + q \end{aligned}$$

上記荷重組合中 P₂는 電線의 破壞荷重의 1/2를 取하고 있다.

以上 各國의 荷重組合에 對한 諸問題를 比較檢討하였으며 荷重에 對한 應力算出方法을 檢討키로 한다.

應力算出方法은 圖解法, 計算法 및 電子計算機에 依하는 方法이 있으며, 過去 鐵塔設計에 對해서는 圖解法이 主로 使用되었으나, 近來에 와서는 電子計算機에 依한 方法이 많이 使用되고 있다.

여기서는 電子計算機에 依한 結果를 檢算하는데 必要한 諸計算式에 關하여서만 說明하고자 한다.



第9圖

(a) 支柱材의 應力計算(第9圖參照)

任意의 水平斷面 X~X의 鐵塔支柱材의 應力은 次式에 依하여 求할 수 있다.

$$P_x = \frac{\Sigma M_x}{mB_x \cos \beta} \pm \frac{1}{n}(W_t x + \Sigma W_c) \text{ kg} \dots (6)$$

但上式에 있어 +는 壓縮應力, -는 引張應力을 表示한다.

여기서

ΣM_x ; 斷面 X~X에 對한 水平荷重의 Moment 總和 (kg·m)

常時荷重時;

$$\Sigma M_x = (H_{cE} + H)h_E + 2(H_c + H_a)(h_{c1} + h_{c2} + h_{c3}) + H_r h_w$$

異常荷重時一例; 上段腕金에서 1線斷線

$$\Sigma M_x = (H_{cE} + H_a^2) + 2(H_c + H_a)(h_{c1} + h_{c2} + h_{c3}) + H_r h_w + P_2 h_{c1}$$

B_x ; 斷面 X~X에 있어서 主柱材間 (m)

β ; 際垂直線에 對한 主柱材傾斜角度 (度)

W_{ix} ; X~X 斷面上部의 鐵塔自重 (kg)

ΣW_c ; 架涉線의 自重, 碍子吟金具의 重量의 總和(kg)

m ; 4角鐵塔의 境遇 2

n ; 4角鐵塔의 境遇 4

(b) 斜材의 應力計算(第 10圖參照)

(1) 主柱材 直部分의

斜材에 對하여

$$b_x = \frac{1}{m \cos \theta} \Sigma H \dots (7)$$

b_x ; 任意的 斜材應力(kg)

ΣH ; 對象斜材의 上部에 加해지는 水平荷重의 總和(kg)

θ ; 水平線에 對한 對象斜材의 傾斜角度

m ; 2. (single Warren)

4. (double Warren)

(2) 主柱材 傾斜部分

의 斜材에 對하여,

$$b_{x2} = \frac{1}{m} \frac{\Sigma M_{ox}}{L_x} \text{ kg} \dots (8)$$

但 ΣM_{ox} ; 0點에 對한 對象斜材의 上部에 加해지는 水平荷重의 Moment 總和 (kg·m)

即 本圖에서는 $\Sigma M_{ox} = H_1 h_1 + H_2 h_2$

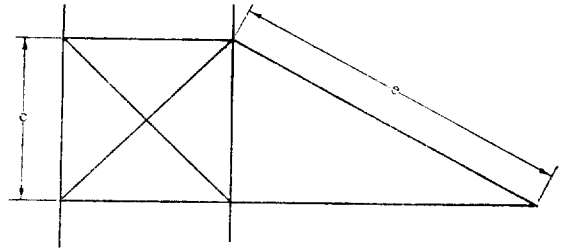
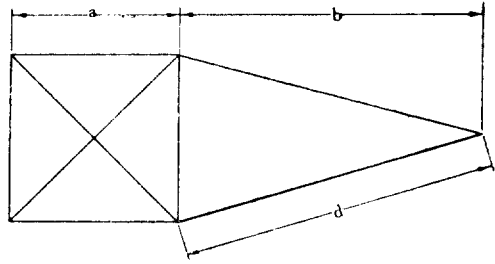
L_x ; 對象斜材의 延長線에 對한 0點부터의 垂直距離 (m),

0點의 位置는 兩主柱材延長線의 交叉點으로서 定할 수 있으나, 數式에 依한 0點의 位置는 主柱材下部間隙을 B (m), 上部間隙을 t (m)라고하면 $h_o - ht/(B-t)$ 로서 求할 수 있다. 그리고 L_x 는 $L_x = h_x \cos \theta$ (m)이다.

(c) 腕金材의 應力計算(第11圖 參照)

腕金의 諸部材의 應力計算式은 아래와 같다.

$$\text{腕金主材} \frac{d}{2} \left(\frac{W_c}{C} + \frac{H_c}{b} + \frac{2P_2}{a} \right) \text{ (kg)} \dots (9)$$



第11圖

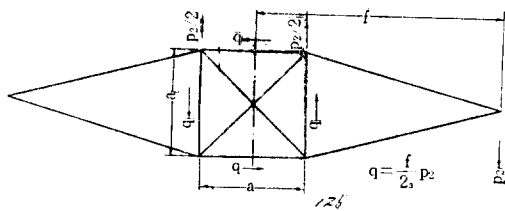
$$\text{腕金水平角材} \frac{\sqrt{2} P_2}{8a} (a+2b) \text{ (kg)} \dots (10)$$

$$\text{主材間水平部材} \frac{P_2}{4} \left(1\frac{1}{2} + \frac{b}{a} \right) \text{ (kg)} \dots (11)$$

$$\text{腕金吊材} \frac{e}{2C} W_c \text{ (kg)} \dots (12)$$

但, $d = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + b^2}$ 이며, $e = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + b^2 + C^2}$ 이라는 것을 留意해야 하겠다.

前記主柱材가 傾斜한 部分의 斜材應力計算에 있어 0點이 鐵塔骨組內部에 올境遇는 0點에 對한 Moment 中 0點下部에서 오는것은 +, 0點上部에서 오는것은 -, 로 하여 相互相殺한 殘餘 Moment 을 計算對象으로 하여야 한다.



第12圖

4角鐵塔에 있어서 1線斷線時의 荷重分布는 第12圖와 같이 考慮하며 中 檢力은 主柱材의 傾斜點까지 그 크기에 變함없이 傳達되는것으로 定하고 있다. 即 腕金거리가 第一 中段腕金에서 斷線이 發生하면 ρ 의 作用位置는 變하지 않으나 q 는 主柱材의 傾斜點이 있는 下段腕金位置에서도 그 크기가 變하지 않아 實地 q 의 크기에 關한限 腕金거리가 中段치와 같다고 假定한 下段腕金에서 斷線이 일어난것과 같이 取扱해야 한다.