

# 送電線 架線時 張力 및 弛度設計 電算化

金 正 夫\*

— 차례 —

1. 緒 言
2. 基礎理論
3. 計算方法

4. span과 張力과의 關係
6. 結 論

## 1. 緒 言

送電線の 굵기에 따라, 支持物の 높이를 決定하기 위하여 縱斷圖를 그릴때마다 弛度設計를 하여야 한다. 같은 電線이라도 溫度에 따라, ruling span에 따라, 風壓 및 被氷의 부차여하에 따라 張力이 다르게 된다. 鐵塔設計時에 高溫季, 低溫季의 最大張力을 計算하여야 한다. 架線時에는 溫度別 span別로 弛度表를 만들어야 한다. 持히 複導體架線時에는 弛度表를 만들어 架線하여야 된다. 이러한 計算은 computer에 依하면 많은 時間을 節約할 수 있으며 正確한 計算을 할 수 있다. 本稿는 이러한 目的에 맞는 computer program에 대하여 說明하고자 한다.

## 2. 基礎理論

### 2.1 第二狀態의 張力計算式

지금 第一狀態의 電線實長을  $L$ , 負荷係數를  $m$ , 電線의 最低點의 張力을  $T$  그 當時. 氣溫을  $\theta$ 라 하면 다음과 같은 式이 成立한다.

$$L = a + (m'p)^2 a^3 / (24t^2 S^2) \quad (1)$$

$a$ : span[m]

$p$ : 電線單位長 무게[kg/m]

$S$ : 電線의 斷面積[mm<sup>2</sup>]

$t$ : 電線의 單位面積當張力[kg/mm<sup>2</sup>]

다음에 同一 span에서 電線의 負荷係數  $m'$ 로서 架線되고 있을시 電線의 實長을  $L'$ 라 하면

$$L' = a + \frac{(m'p)^2 a^3}{24t'^2 S^2} \quad (2)$$

단  $t'$ 는 負荷係數  $m'$ 의 電線 單位面積當 張力이다. 第一狀態에서 길이  $L$ 인 電線이 第二의 狀態에서 길이가  $L'$ 로 變하였다. 그 길이의 變化的 原因은 彈性에 依한 伸縮과 溫度變化에 依한 線膨脹收縮에 依하여서다. 지금 電線의 彈性係數를  $E$ [kg/mm<sup>2</sup>], 線膨脹係數

를  $\alpha$ [1/c]라 하면

$$L' - L = \left\{ \frac{t' - t}{E} + \alpha(\theta' - \theta) \right\} L \quad (3)$$

但  $\theta'$ 는 第二狀態時의 氣溫이다. (1), (2)의 關係式을 쓰면 (3)式은 다음과 같다.

$$\frac{(m'p)^2 a^3}{24t'^2 S^2} - \frac{(mp)^2 a^3}{24t^2 S^2} = \left\{ \alpha(\theta' - \theta) - \frac{t - t'}{E} \right\} a + \left\{ \alpha(\theta' - \theta) - \frac{t - t'}{E} \right\} \frac{(mp)^2 a^3}{24t^2 S^2} \quad (4)$$

$\alpha(\theta' - \theta) - (t - t')/E$ 의 값은 實長의 變化이므로 아주 적다. 그리고  $(mp)^2 a^3 / (24t^2 S^2)$ 은 電線實長과 徑間長과의 差이므로  $a$ 에 比하여 相當히 적다. (4)式 右邊의 第二項을 無視하면 (4)式은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{(m'p)^2 a^2 E}{24S^2} - t'^3 = t^2 \left\{ \frac{(mp)^2 a^2 E}{24t^2 S^2} - t + \alpha E(\theta' - \theta) \right\} \quad (5)$$

지금  $K = EP^2 / (24S^2)$ ,  $K' = \alpha E$ 라 하면 (5)式은 다음과 같이 된다.

$$t'^2 \left[ t + \frac{Ka^2 m^2}{t^2} + K'(\theta' - \theta) - t \right] = Ka^2 m'^2 \quad (6)$$

(6)에서  $t'$ 를 求하면 第二狀態에서 張力을 알 수 있다. 그 때의 弛度는 다음과 같다.

$$\alpha' = m' p a^2 / (8t' S) \quad (7)$$

### 2.2. Ruling span

實際로 送電線路를 架線하는 데는 緊線區間이 1徑間인 경우는 적고 大部分 耐張鐵塔間에 여러基의 懸垂鐵塔이 서게 되는데 1緊線區間內에 徑間長이 다른 數徑間이 存在하는 것이 普通이다. 이러한 경우 弛度를 決定할時의 架線張力은 各徑間에 같아야 하므로 實際의 徑間長에서 弛度張力計算 結果와는 多少 差異가 있다. 이때 어떤 크기의 張力으로 架線하는 것이 가장 合理的이나 하는 問題가 提起된다. 그 張力에 相當하는 張力을 等價張力 그에 相當하는 徑間長을 等價徑間長(ruling span)이라 한다. 等價徑間長을 計算하는 데는 여러가지 方法이 있으나 다음 式에 依하여서

\* 正會員 : 韓電超高压建設事務所 送電擔當係長

求하였다.

$$\text{ruling span} = \sqrt{\frac{\sum(\text{各長徑間})^3}{\sum(\text{各徑間長})}} \quad (8)$$

(8)式을 Still式이라 한다. ruling span의 定義와 第一狀態에서 第三狀態로 되었을때 電線實長의 變化의 合이 各各 같다는 關係를 쓰면 求할 수 있다.

2.3 第一狀態(初期條件)의 選定

普通 第一狀態를 最惡條件時로 잡아서 그때 張力과 破壞張力과의 比를 完全率이라 하며 이 安全率이 電氣設備 技術基準의 規定值(ACSR의 境遇: 2.5)以上으로 設計한다. 그러나 外國에서는 最高溫度, 無風時를 初期條件으로 算定하고 있다. 年平均溫度(15°C)의 張力과 破壞張力の 百分比를 E.D.S.(every day stress)라 하며 ACSR의 경우 一般的으로 20%로 하고 있다. 이는 微風時 電線의 振動을 적게하기 위하여 實驗에서 얻은 값이라 한다. 最高溫度時(40°C), 無風時의 電線張力을 電線單位長의 무게로 나눈 값을 parameter라 하며 初期條件의 張力을 parameter로 表示한다. 年平均溫度時(15°C) 어느 徑間에서도 EDS를 超過하지 않도록 設計하고 있다.

2.4. 弛度 測定法

弛度測定은 水平弛度法으로 하도록 計算하였다. 그림 1과 같이 徑間長 S, 高低差 DH되는 두개의 支持點 A, B(A가 低支持點, B가 高支持點)間에 電線을 架設

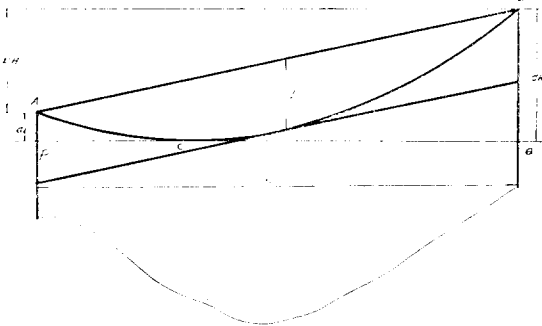


그림 1. 水平弛度法

할 境遇를 考慮하여 본다.

지금 低支持點A와 電線의 最低點(Vertex)과의 垂直距離를  $d_L$ 라 하고 高支持點B와 C點과의 垂直距離를  $d_H$ 라 하면

$$d_L = d(1 - DH/4d)^2 \quad (9)$$

$$d_H = d(1 + DH/4d)^2 \quad (10)$$

로 된다. 그림 1에서 P 또는 Q점에서 level 또는 Transit를 놓고 水平으로 겨냥하는 것이다. 이 水平弛度法은 電線의 最低點이 반드시 徑間안에 있어야 할 수 있는 缺點이 있다. 이 最低點이 徑間안에 있는지 다음

式에 依하여 check하도록 하여 徑間안에 없으면 弛度 값 위에 \*표로 表示하여 識別이 可能하도록 하였다.

$$S/2 + H/P \cdot DH/S > S \quad (11)$$

但 H: Vertex點의 水平張力[kg]

水平弛度法으로 測定이 不可한 處에서는 角度測定法으로 하면 便利하다. 角度測定法은 그림 2와 같이 x, y平面을 失覺하고 電線의 式을 보물선이라 가정하면

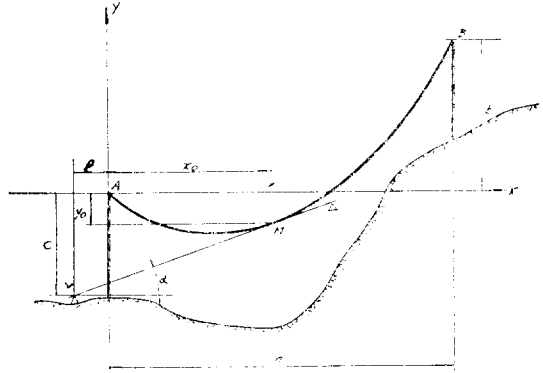


그림 2. 角度測定法

$$y = -\frac{c^2}{2h} - \left(\frac{a}{2h} - \frac{h}{a}\right)x \quad (12)$$

단  $h = ts/p$ (곡선의 parameter)

a: span

b: 두 支持點의 高低差

이 曲線의 接線의 方程式은

$$\tan\alpha = dy/dx = x/h - (a/2h - b/a) \quad (13)$$

그림 [2]에서

$$x_0 = -l + \sqrt{l^2 + 2ch + l\left(a - \frac{2bh}{a}\right)} \quad (14)$$

$$\tan\alpha = \frac{x_0}{h} + \frac{b}{a} - \frac{a}{2h} \quad (15)$$

L點에서 transit를 놓고 仰角  $\alpha$ 로 쳐다 보았을때 電線이 接하도록 弛度を 調整하면 된다.

2.5. 電線의 Creep

電線 架線時 荷重에 依한 電線의 初期 變形 發生後 時間의 경과에 따라 일어나는 材料의 伸張이나 可塑性 變形을 Creep라고 한다. 지금 架線當時의 彈性係數를  $E_i$ , 最終彈性係數를  $E_t$ 라고 하면 전선은 다음式에 의해서 伸張된다.

$$(t_{max} - t_f) \left( \frac{1}{E_i} - \frac{1}{E_t} \right) L = \alpha L T \quad (16)''$$

但  $t_f, t_{max}$ 는 각각 최종장력(가선시 表에 나타난 장력) 및 負荷를 가진 最大張力이다. 式(16)에서 T를 구하면

$$T = \frac{t_{max} - t_f}{\alpha} \cdot \frac{1 - K}{K \cdot E_t} \quad (17)$$

但  $K$ 는  $E_1/E_2$ 로서 ACSR인 경우 0.75~0.92이다. 電線架線時 溫度를  $\theta$ 라하면  $(\theta-T)$ 度때의 張力으로 架線하면 電線의 伸張을 考慮하여 架線하는 것이 된다. 그러나 超高壓送電線 ACSR "RAIL"인 경우는 架線後 경과日數에 따른 張力과 最終張力의 比를 利用하여 架線弛度를 計算한다. (그림 3 참고<sup>4)</sup>)

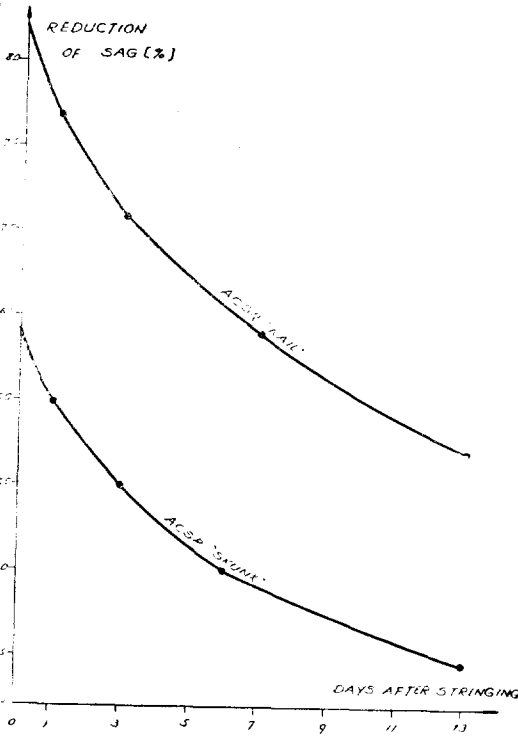


그림 3. Coefficients for the creep of conductors

2.6 滑車위에서 緊線時 考慮事項<sup>5)</sup>

圖上에서 設計할 境遇에는 같은 section에 있는 모든 徑間에서 水平張力이 같아서 懸垂碼子は 垂直으로 되어 있는 것으로 하고 있다. 그러나 그림 4에서와 같이 滑車위에서 電線을 緊線時는 懸垂碼子가 垂直으로 되지 않고 山頂上으로 向하고 있다. 아랫쪽에 있는 徑間에서는 弛度が 設計值보다 크고 張力은 더 적다. 높은쪽에 있는 徑間에서는 弛도가 設計值보다 작고 張力은 더 크다. 萬一 낮은 徑間에서 電線을 당겨서 設計弛도가 되도록 하면 그 區間內에 있는 全電線의 長이 너무 짧아진다. 마침내 懸垂碼子가 垂直으로 되었을때 모든 徑間에서 水平張力이 같게되나 이張力이 너무 커서 振動할 危險이 있다. 萬若 反對로 높은 徑間에서 設計弛도가 되도록 調節하면 全電線의 長이 너무 길고 張力이 너무 작고 最終弛도는 너무커서 地上

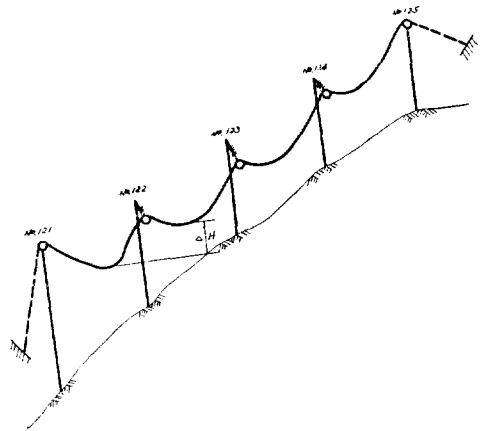


그림 4. 滑車위에서 緊線된 狀態

高가 나오지 않을 경우도 있다. 設計時 弛도는 式(8)에서 計算한 ruling span에 依한 張力으로 計算하나 그림 4에서와 같이 滑車위에서 電線이 있을지는 ruling span이 意味가 없다. 各徑間에서 다른 水平張力을 가지기 때문이다. 그림 3에서 No. 121~122의 張力을  $T$ 라 하고 隣接徑間的 Vertex間 水直距離를  $\Delta H$ 라 하고 張力을  $T'$ 라 하면

$$T'^{1/2} = T + \Delta H \cdot P \tag{18}$$

지금 이 區間內의 設計水平張力을  $H$ 라 하고 滑車위에서 各徑間的 張力을  $H_i$ 라 하고 徑間을  $S_i$ 라 하고 滑車위에서 電線의 長이와 clamp를 채운 狀態에서 電線의 長이 같다면 다음 式이 成立한다.

$$\sum S_i + \sum \frac{h_i^2}{2S_i} + \sum \frac{S_i^3}{24} \frac{P^2}{H^2} = \sum S_i + \sum \frac{h_i^2}{2S_i} + \sum \frac{S_i^3}{24} \frac{P^2}{H_i^2} \tag{19}$$

但  $h_i$ 는 同一徑間內의 二 支持點과의 高低差이다. 式(18), (19)를 이용하면 各徑間的 滑車위에서 水平張力을 計算할 수 있다. 여기서 구한 張力으로 弛度を 測定하고 電線 實長의 差를 구하면 懸垂碼子 clamp위 位置를 알 수 있다. 만일 이러한 것을 考慮하지 않으면 各徑間的 張力이 다르게 되어 懸垂碼子가 垂直으로 되지 않는다. 그러나 高低差가 없는 區間에서는 考慮할 必要가 없다. 이 計算도 computer에 依해서 할 수 있다.

3. 計算機에 依한 計算方法

式(6)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$y = t'^2 \left[ t' + \frac{Ka^2 m^2}{t^2} + K'(\theta' - \theta) - t \right] - Ka^2 m'^2 \tag{6'}$$

이를 graph에 그려보면  $t'=0$ 일때  $y = -Ka^2 m'^2$ 로

되고 (+)의 根이 반드시 1개 存在한다는 것을 알 수 있다.  $t'$ 를 求하는 方法은<sup>7)</sup> Newton-Raphson's method,<sup>8)</sup> n次方程式의 根을 求하는 方法을 利用하는法, Cut and try method 등이 있다. 이 progrm에서는 3次方程式의 根을 求해서 (+)의 實根을 取하도록하고 根을 求하지 못하면 初期值의 값을 豫想해서 이를 微細하게 增加시켜서 y의 값이 零에 가까운값  $\delta$ 보다 작으면 根으로 取하는 cut and try method를 利用하였다. 그림 5는 이 計算法의 概要를 보인 flow chart이다.

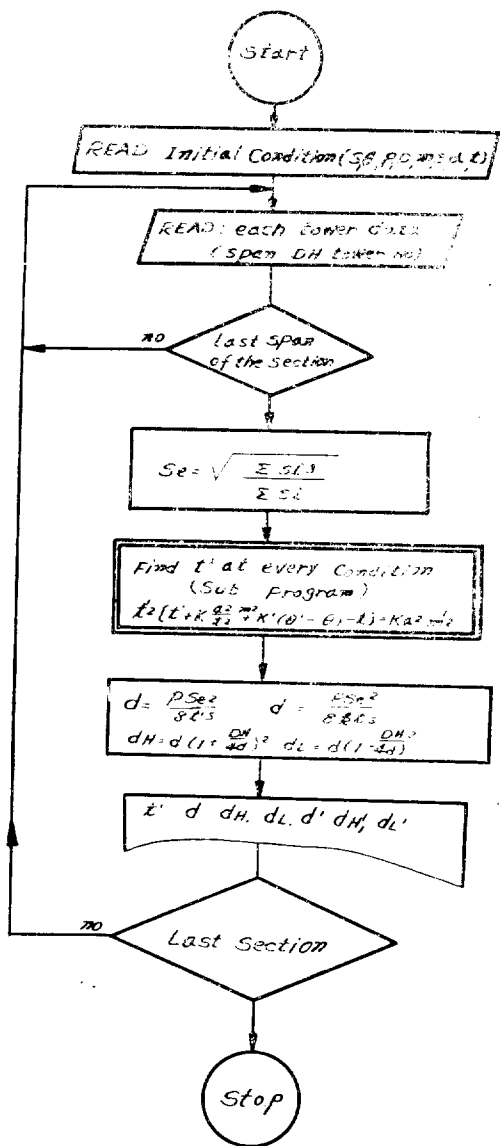


그림 5. Flow chart of calculation sag

#### 4. Span과 張力과의 關係

現 韓電의 345KV 超高壓 送電線路의 導體는 ACSR "RAIL"로서 特性은 다음과 같다. Aluminium 단면적은 483.42mm<sup>2</sup>이며 Steel의 단면적은 33.42mm<sup>2</sup>이다. 素線構成은 Aluminium이 45/3.7, Steel이 7/2.47이다. 電線直徑은 29.61mm, 破壞張力은 12200kg, 電線重量은 1.606kg/m, 彈性係數는 7900[kg/mm<sup>2</sup>], 線膨脹係數는 21.10×10<sup>-6</sup>이다. 初期條件을 -5°C, 풍압 38kg/m<sup>2</sup>, 被氷의 두께 6m/m時 張力을 8kg/mm<sup>2</sup>로 하였을시 徑間과 張力의 關係를 溫度別로 graph로 그리면 그림 6과 같다. 風壓荷重은 1.58kg/m, 被氷荷重

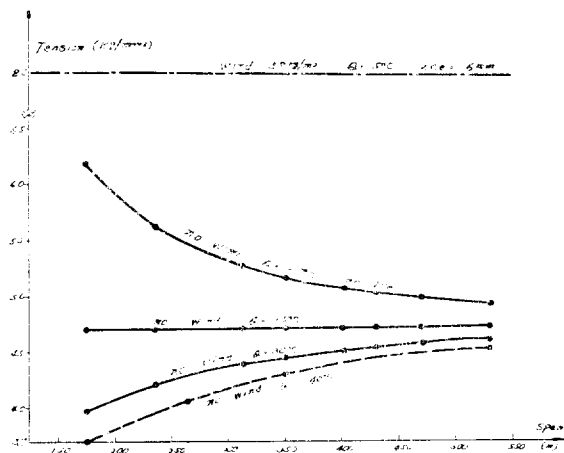


그림 6. ACSR RAIL의 張力과 徑間과의 關係

은 0.604kg/m, 負荷係數는 1.692이다. [그림 6]을 보면 40°C 無風時의 張力은 ruling span이 커짐에 따라 커지는 것을 알 수 있다. 그러므로 sag자를 만들때는 span에 따라 열매를 만들어 使用하는 것이 合理的이다. 만일 한개의 標準 span때의 sag자를 使用한다면 ruling span이 標準 span보다 작을때에는 張力도 작아지므로 Di D가 더 커져서 圖面上에는 地上 clearance가 나와도 實際에는 地上高가 不足할 境遇가 있기 때문이다. 그림 7은 40°C, 無風時 parameter를 1300으로 하였을시 各狀態別로 張力과 span과의 關係를 graph로 그린 것이다. 15°C, 無風時 張力을 破壞張力의 20%以下로 하면 4.72kg/mm<sup>2</sup>로 되고 이 條件에서 最少 ruling span은 258m이다. 258m以下의 span에서는 parameter를 1300以下로 設計하여야 한다.

#### 5. 結 論

超高壓 送電線路 複導體 架線을 爲하여 機械的인 設計가 매우 重要視되고 있다. 本稿에서는 送電線 架線時

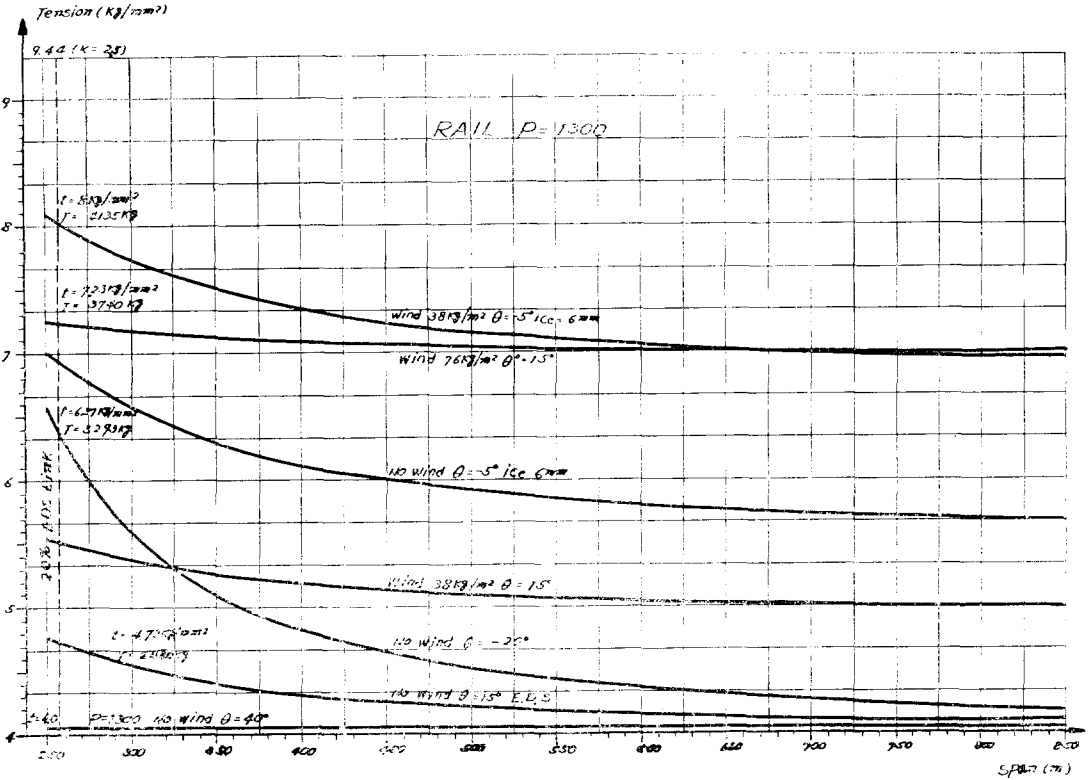


그림 7. ACSR RAIL의 張力과 徑間間한 關係

弛度 및 張力計算에 對한 基本的인 事項을 考察하고 電子計算機에 依한 計算方法을 概略的으로 說明하였다. 어떤 送電線路의 機械的 設計를 具體的으로 하기 爲하여는 아직도 計算機에 依해서 解結하여야 할 課題가 많겠지만 特히

- (1) 支持物에서 最惡時 荷重徑間(weight span)算出
- (2) 滑車위에서 緊線時 弛度 및 懸垂 clamp取付點 計算
- (3) 水平弛度測定이 不可한 區間에서 角度測定法으로 計算
- (4) 電線 Creep에 對한 定量的인 分析
- (5) Galloping現實을 줄이기 爲하여 ruling span과 E.D.S의 關係等이 解結되어야 할 것으로 生覺된다

參 考 文 獻

- (1) 竹下英世: “架空電線의 弛度” 電力社(1966) p.43
- (2) W. Philipps, W. Calshem & W. Bückner: The endurance Capability of single and Bundle Tra-

- nsmissi on line conductor and it's evaluation (CIGRE-Report 1972 No. 22-05) p.10
- (3) Société de vente de l'aluminium péchiney: Aluminium conductors for high and low voltage over head lines
- (4) Siemens final report Contract No. KEC 71-2003(1975) Siemens Aktiengesellschaft, fig. 34
- (5) Maria von Bentivegni: Computer programs, Data Base and modules for mechanical design of conductor (CIGRE report(1974) No. 22-03) p.5
- (6) Charles Arril: construction des Lignes aerinnes a Haute Tension(1974)
- (7) 朴永文: 電子計算機 原理와 應用(1966) p.292
- (8) Kno: Numerical analysis
- (9) V. Winants & M. Riez: Conductor galloping on over head lines(CIGRE Report 1970 No. 22-06) p.7