

<技術論文>

架空索道の線路理論에 대한 研究

崔 善 浩* · 朴 龍 洙**

(1986 年 1 月 10 日 接受)

A Study on the Theory of Aerial Rope Way

Sun Ho Choi and Yong Soo Park

Key Words: Rope Way(索道), Parabolic Curve Theory(포물곡선이론), Catenary Curve Theory(현수곡선이론), Dimension of Rope(로우프규격), Initial Tension(초기장력)

Abstract

In an attempt to develop a method for the design of the aerial rope way, the traditional theories of rope way were examined and compared. The resulting formulas of the traditional and approximate parabolic curve theory were summarized and those of the catenary curve theory as an exact ones were summarized and newly developed when necessary.

In particular, it was found that the resulting formulas from both of these theories can fully be expressed with only three dimensionless parameters U^* , V^* , and W^* , improving compactness and generality of these formulas.

Comparison of the theories were done through error analysis, and it was shown that the error of the approximate parabolic curve is of order U^{*2} and V^* . From this, it was concluded that the traditional parabolic curve theory has its limitation when the rope way becomes larger or steeper, leading to the necessity of the use of catenary curve theory.

記 號 說 明

D : 중추 이동량

G : 긴장 중추

l : 支柱間 수평거리

\bar{l} : 支柱間 경사거리

S : 로우프의 길이

T : 로우프의 장력

T_0 : 로우프의 수평장력

u^* : 무차원 변수 ($=wl/2 T_0$)

v^* : 무차원 변수 ($=h/l$)

W : 搬器의 무게

x : 수평방향의 독립변수

x_w : 반기의 x 좌표

y : 곡선의 수직좌표

y_w : 반기의 y 좌표

\bar{y} : 경사면에 수직처짐량

α : $x=0$ 에서 접선각

β : $x=l$ 에서 접선각

ϵ : 오차를 나타냄

φ : 경사각

w : 로우프의 단위 길이당 무게

첨 자

C : 현수곡선 이론에 의한 값

P : 포물곡선 이론에 의한 값

* 正會員, 嶺南大學校 工科大學 機械工學科

** 正會員, 東明專門大學 機械工學科

- I : I구간에 대한 값을 표현
- II : II구간에 대한 값을 표현
- * : 무차원 변수를 표현

1. 緒 論

架空索道란 두 地點間에 張力を 주어 걸쳐진 와이어 로우프를 軌道로 하여 승객 및 荷物を 運搬하는 운송 기관이다.

1908年 이태리에서 최초의 여객索道 Kohlenbahn이 개설 되었으나, 증기기관에 밀려 그 發達이 지연된 바 있다⁽¹⁾. 그러나, 1945年 이후 5年間 구미 각국에서 3,820個의 索道가 설치되는 등 주로 山間交通의 수단으로서 스위스, 오스트리아 등지에서 많이 이용되어 왔다. 우리나라에서도 관광용 索道의 開發이 날로 증가추세에 있으며, 이 추세는 산악이 많은 우리나라에서 더욱 가속화 되리라 보인다.

索道의 設計는 地形, 容量, 기후조건등의 차이에 의하여 규격화가 불가능하기 때문에 매년 독립적인 설계를 하여야 하나, 근본 設計의 절차나, 設計要素등은 비교적 잘 정립되어 있는 實情이다. 架空索道의 設計는 線路設計, 機械要素設計, 構造物設計 및 電氣·制御裝置設計 등으로 區分지어 볼 수 있다. 이 가운데서 특히 일반적으로 현수곡선을 이루고 있는 索道의 線路和 地形과의 關係 線路的 경사도, 中間支柱의 臺數, 位置 및 높이 등을 주요설계 因子로 가지는 線路設計는 索道의 안정성, 경제성 및 승차감등을 좌우하며, 他設計의 기초로서 중요한 위치를 차지하고 있다.

線路設計는 현재까지 계반 設計變數의 결정을 위하여 經驗과 시행착오법에 의존하여 왔다. 특히 線路設計의 핵심인 선로의 처짐곡선으로는 주로 포물곡선에 의존하여 왔고⁽²⁾, 이 곡선이론은 근사적이지만 數式이 간단하여 간단한 電算化나, 手作業으로도 設計가 가능하다는 장점이 있어 전체 설계과정의 電算化 되지 않은 전통적인 設計方法에서는 그 사용이 필연적이었다고 보여진다. 이와 같은 근사이론의 사용과 시행착오법에 의한 설계과정은 그 정확성과 효율성에서 볼 때 불리 할 것임은 자명하다. 특히 設計된 系가 모든 제한조건을 만족시키는 차원에서 끝나 버리므로 經濟성이나 승차감을 향상시키기 위한 설계기법의 도입이 결여 되기 쉽다.

이와 같은 종래의 設計方法을 개선하기 위하여 本 研究에서는 架空索道의 線路設計에 最適化技法을 도입하여 시행착오법보다 신속·정확하면서도 經濟성이나

승차감등이 향상된 設計를 위한 절차를 개발하고자 한다. 이를 위하여 먼저 本 論文에서는 設計에 적용될 線路의 基本理論들을 整理, 혹은 유도 하였다. 특히 기존의 포물곡선이론의 정확성을 규명하기 위하여 엄밀해진 현수곡선이론을 여러경우에 대하여 유도하고 그 오차를 계산하였다. 계산된 오차는 오차해석을 통하여도 추측 될 수 있었으며 本 研究에서는 정의된 無次元群들과의 연관성도 검토되었다.

2. 線路의 理論

2.1 一般的인 線路方程式

일반적으로 여러개의 區間을 가진 索道의 線路圖가 Fig. 1(a)에 주어졌 있고 임의의 區間에 대한 數學的 解析모형이 Fig. 1(b)에 주어져 있다. 線路의 한쪽 끝은 지지벽에 고정되어 있으며, 반대쪽은 긴장중추 G가 달려 있어, 선로에 필요한 張力을 유지시켜 준다. 선로의 미소구간 dx에 대하여 自由物體圖를 나타내면 Fig. 2와 같다.

이 그림에서 T는 로우프의 張力, T₀는 張力의 수평성분을 나타 내는데, T₀는 주어진 區間에서 x에 관계없이 일정할 것임을 쉽게 알 수 있다. 이러한 이유에서 線路의 理論이란 일반적으로 높이가 다른 두 地點間에 수평장력 T₀를 주어 설치된 로우프의 처짐곡선 즉 索條曲線을 규명하는 것으로 생각 할 수 있다.

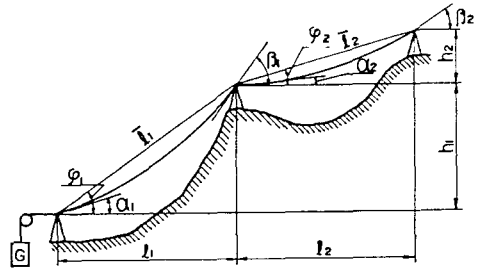


Fig. 1(a) Elements of rope way

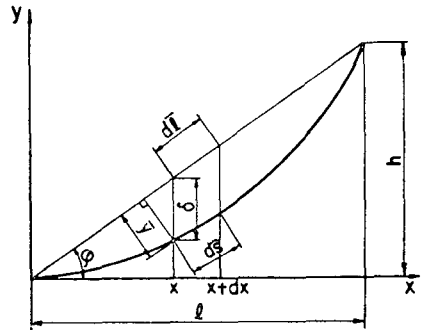


Fig. 1(b) Mathematic model for rope way

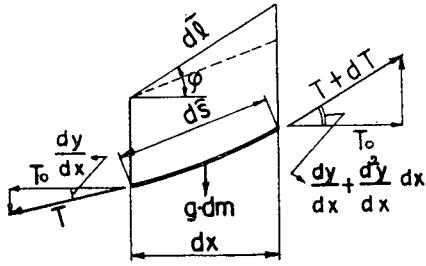


Fig. 2 Free body within the interval dx

Fig. 2의 自由物體圖에 對하여 y 방향 平衡조건에서 다음과 같은 선로의 지배방정식이 구해진다.

$$T_0 \cdot d^2y/dx^2 = dm/dx \cdot g \quad (1)$$

$$y(0) = 0, \quad y(l) = h \quad (2)$$

식(1)에서 dm 은 dx 區間內의 로우프의 미소질량을 나타낸다.

索條曲線은 地形의 제한과 線路와의 적합성을 판단하는 자료를 제공한다. 또한, 索條曲線을 토대로 구해지는 線路의 傾斜度, 線路의 길이, 張力의 크기등이 각각 支柱上的 결절자, 중추의 이동량, 로우프에 發生하는 응력등을 결정하게 되므로 索條曲線의 精確성은 線路設計의 精確성을 좌우한다.

이러한 線路設計에 보편적으로 사용되어온 索條曲線은 식(1)에 나타나는 미소무게 $g \cdot dm$ 를 $w \cdot dl = w \cdot \sec\phi \cdot dx$ 로 가정했을 때 얻어지는 포물곡선이다⁽³⁾. 포물곡선이론은 결과식이 간단하여 手作業에 의한 設計에의 적용이 용이하다.

지금까지 그 오차에 대한 해석을 수행한 研究는 아직 발견되지 않았으나, 포물곡선이론에 사용된 가정때문에 처짐량이 커지는 대형索道일수록 오차가 커질것임을 알 수 있다.

이와 같은 관점에서, 本 研究에서는 索條曲線의 엄밀해를 여러가지 조건에서 구하고 포물곡선이론의 오차를 규명함과 동시에 앞으로의 研究에 사용될 曲線理論에 정립하고자 한다. 이를 위하여 기존포물곡선이론을 本 研究目的에 알맞은 형태로 정리하였으며, 특히 索道曲線理論이 3個의 無次元群에 의해 지배됨을 利用, 모든 數式的 무차원화를 이룩하였다.

2.2 포물곡선이론

(1) 曲線의 方程式

포물곡선이론에서 搬器가 없는 경우의 索條曲線은 Fig. 1(b)와 같이 수평거리 x 와 경사면에 대한 수직

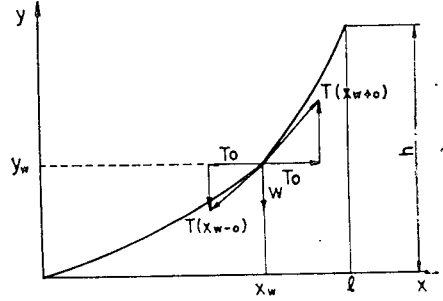


Fig. 3 The interval with concentrated load

처짐량 y 사이의 관계가 일반적으로 使用되지만⁽⁴⁾ 索條曲線의 일차적인 의미는 地形과 線路와의 수직거리 계산에 있으며 이러한 의미로는 Fig. 1(b)의 y 값을 주는 것이 더 편리할 것이므로 本 研究에서는 索條曲線 $y=f(x)$ 을 형태로 정의 하였고 이는 다음식과 같이 주어진다.

$$y = h/l \cdot x - (l^2 + h^2)^{1/2} / l \cdot [w/2 T_0 \cdot x \cdot (l-x)] \quad (3)$$

식(3)에서 索條曲線에 영향을 미치는 變數가 l, h, w, T_0 등 4個가 있음을 볼 수 있다. 그러나, 식(3)을 無次元化 시킴으로서 이들 變數를 2個로 응축 시킬수가 있어서 편리함을 알 수 있다. 즉 두쌍의 무차원군은

$$u^* = w \cdot l / 2 T_0 \quad (4)$$

$$v^* = h/l = \tan\phi \quad (5)$$

이 식들에서 u^* 는 대체적으로 로우프의 전체중량과 수평장력의 比와 연관되어 일반적으로 $u^* < 0.65$ 이지만 특수索道일 경우에는 이 값보다 클 경우도 있다. v^* 는 두 支柱間의 경사도를 나타내며 보통 $v^* \leq 0.58$ 범위를 가진다. 이제 u^*, v^* 를 利用하여 식(3)을 無次元化 하면

$$y^* = v^* \cdot x^* - (1 + v^{*2})^{1/2} \cdot u^* \cdot x^* \cdot (1 - x^*) \quad (6)$$

으로 되며, 이 식에서 $y^* = y/l, x^* = x/l$ 로 정의 되었다. 搬器가 있는 경우에는 搬器를 集中荷重으로 하여 해석하고 있으며 Fig. 3에서와 같이 $x = x_w$ 의 위치에 무게 W 의 搬器가 달려 있을 때의 해석결과는

$$y^* = \begin{cases} u^* \cdot x^* (1 - x^*) + W^* \cdot (1 - x_w^*) \cdot x^* & x^* < x_w^* \\ u^* \cdot x^* (1 - x^*) + W^* \cdot (1 - x^*) \cdot x_w^* & x^* \geq x_w^* \end{cases} \quad (7)$$

로 주어지는데⁽⁵⁾, 이는 경사각 0° 인 경우에만 적용된다. 식(7)에서 搬器가 있을때는 또 하나의 無次元群

$$W^* = W/T_0 \quad (8)$$

가 필요함을 알 수 있다. 따라서 어느 경우이든 索道曲線의 特性은 식(4), (5), (8)로 주어지는 3個의 無次元 變數 u^*, v^* 및 W^* 에 의하여 지배됨을 알 수 있

다. 搬器가 있을때는 搬器가 있는 위치에서의 함수값이 중요하며 경사가 있는 일반적인 경우에 대해 그 값은

$$y_w^* = y_w/l = v^* \cdot x_w^* - (1+v^*)^{3/2} / (W^* \cdot v^* \cdot x_w^* + (1+v^*)^{3/2}) \cdot (u^* + W^*) \cdot x_w^* \cdot (1-x_w^*) \quad (9)$$

의 식으로 주어진다⁽⁶⁾.

(2) 접선의 방정식

接線의 方程式는 支柱上的 剛體와 計算, 마찰력과 동력의 계산, 로우프의 길이계산 등에 적용되며, 이는 식(6)를 미분하여 쉽게 얻을 수 있다. 즉

$$dy^*/dx^* = v^* - (1+v^*)^{1/2} \cdot u^* \cdot (1-2x^*) \quad (10)$$

로 주어진다.

(3) 로우프의 길이 및 중추이동량

로우프의 길이는 긴장중추 이동량의 계산에 利用되며, 일반적인 길이 S는

$$S^* = S/l = \int_0^1 [1 + (dy^*/dx^*)^2]^{1/2} \cdot dx^* \quad (11)$$

으로 된다. 포물곡선이론에서 $|dy/dx - 1| \ll 1$ 의 가정 하에서 계산된 곡선의 길이는 근사적으로 다음과 같이 주어진다⁽⁷⁾.

$$S^* = (1+v^*)^{1/2} + (1+v^*)^{1/2} \cdot u^*/6 \quad (12)$$

또, 긴장중추의 이동량은 搬器가 있을때의 로우프의 길이와 搬器가 없을때의 로우프의 차이로 주어지며, 긴장중추의 최대 이동량은 搬器의 위치가 $x_w = l/2$ 일 때가 되며, 이 식은

$$D_{max}^* = D_{max}/l = W^* \cdot (W^* + 2 \cdot u^* \cdot (1+v^*)^{1/2}) / 8 \quad (13)$$

로 주어진다⁽⁸⁾.

(4) 로우프의 張力

로우프의 張力은 응력계산을 통하여 로우프의 규격을 결정하는데 利用되며, 소요동력의 추정에도 利用된다. 일반적으로 높이 h_1 만큼 떨어진 두 支柱간의 張力間의 관계식은

$$T|_{y=y_1+h_1} = T|_{y=y_1} + wh_1 \quad (14)$$

로 주어진다⁽⁹⁾. 식(14)에 의해 $x=x$ 에서의 張力은

$$T^* = T/T_0 = [1 + (v^* - (1+v^*)^{1/2} \cdot u^*)^2]^{1/2} + 2 \cdot u^* \cdot y^* \quad (15)$$

로 된다.

2.3 현수곡선이론

(1) 曲線의 方程式

앞의 2.2절에서 포물곡선이론은 근사적이다. 索條曲線에 대한 엄밀해는 현수곡선으로 주어지며, 이는 식(1)에 $g \cdot dm = w \cdot dS = w \cdot [1 + (dy/dx)^2]^{1/2} \cdot dx$ 를 代入

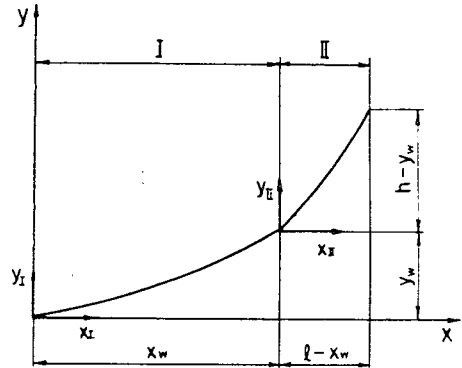


Fig. 4 Interval division for analysis with concentrated load.

하여 구할 수가 있다. 이때 搬器가 없는 경우의 지배방정식에 식(2)의 경계조건을 대입하면 다음과 같은 엄밀해가 얻어진다.

$$y = T_0/w \cdot \sinh(w \cdot x/2 T_0 + B) \cdot \sinh(wx/2 T_0) \quad (16)$$

$$B = \sinh^{-1} [wh / (2 T_0 \sinh(w \cdot l/2 T_0))] - w \cdot l/2 T_0 \quad (17)$$

또, 식(16), (17)를 무차원화 시키면,

$$y^* = \sinh(u^* \cdot x^* + B) \cdot \sinh(u^* \cdot x^*) / u^* \quad (18)$$

搬器가 있는 경우의 索條曲線은 搬器가 없는 경우를 利用하여 구할 수 있다. Fig. 4에서와 같이 搬器가 $x=x_w$ 에 있을때 2개의 구간 I, II를 생각하자. 이때 區間 I은 $l_I = x_w$, $h_I = y_w$ 이고, 區間 II는 $l_{II} = l - x_w$, $h_{II} = h - y_w$ 인 두개의 독립적인 區間이고 各 區間에서의 지배방정식과 해는 식(18), (19)로 주어진다고 볼 수 있다. 다만 y_w 의 값이 미지수이고 Fig. 4와 같이 $x=x_w$ 에서의 張力이 불연속을 이루면서 다음 조건을 만족하기만 하면 된다. 즉

$$T_0 \cdot dy_{II}/dx_{II} |_{x_{II}=0} = T_0 \cdot dy_I/dx_I |_{x_I=x_w} + W \quad (20)$$

이상의 논의에 의해, 이제 각 區間에 대한 索條曲線은

$$y_i^* = \sinh(u_i^* \cdot x_i^* + B_i) \cdot \sinh(u_i^* \cdot x_i^*) / u_i^* \\ B_i = \sinh^{-1} [v_i^* \cdot u_i^* / \sinh u_i^*] - u_i^* \quad (i = I, II) \quad (21)$$

이고 이때

$$u_I^* = w \cdot x_w / 2 T_0, \quad u_{II}^* = w \cdot (l - x_w) / 2 T_0 \quad (22)$$

$$v_I^* = y_w / x_w, \quad v_{II}^* = (h - y_w) / (l - x_w) \quad (23)$$

로 주어진다. 식(20)을 無次元化하여 정리하면 다음과 같다.

$$\sinh(B_{II}) = \sinh(2 \cdot u_I^* + B_I) + W^* \quad (24)$$

식(24)는 미지수 y_w 에 대한 비선형대수방정식으로서, 일반적인 해석해를 얻기는 힘들다. 따라서 搬器가 있

는 경우의 索條曲線의 엄밀해는 수치해에 의존 할 수 밖에 없다. 本 研究에서는 이를 Newton-Rophson의 방법을 利用하여 해결하였다.

(2) 接線의 方程式

接線의 方程式은 식(18)을 미분하여 얻어지며 다음과 같다.

$$dy^*/dx^* = \sinh(2u^* \cdot x^* + B) \quad (25)$$

搬器가 있는 경우도 식(21)를 미분하여 동일하게 얻을 수 있다.

(3) 곡선의 길이 및 증추이동량.

곡선의 길이는 식(11)에 식(25)를 代入하여 얻을 수 있으며 그 결과는 다음과 같다. 즉

$$S^* = (v^{*2} + (\sinh u^*/u^*)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

搬器가 있을때의 선곡의 길이는 각각의 區間의 길이를 더하면 된다. 이때 $S_i^* = S_i/l_i$ ($i = I, II$)이므로 $S^* = S/l$ 에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$S^* = x_w^* S_I^* + (1-x_w^*) \cdot S_{II}^* \quad (27)$$

단 $S_i^* = (v_i^{*2} + (\sinh u_i^*/u_i^*)^2)^{\frac{1}{2}}$ ($i = I, II$)

또, 증추의 이동량은

$$D^*_{max} = x_w^* S_I^* + (1-x_w^*) \cdot S_{II}^* - [v^{*2} + (\sinh u^*/u^*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (29)$$

가 된다.

(4) 로우프의 張力

張力의 式은 식(25)를 利用하면 다음과 같이 구해진다. 즉, $T = T_0 \cdot (1 + (dy/dx)^2)^{\frac{1}{2}}$ 으로 주어지므로

$$T^* = \cosh(2 \cdot u^* \cdot x^* + B) \quad (30)$$

가 되고 搬器가 있을 때도 유사하게 구할 수 있다.

3. 두 곡선이론의 比較

3.1 曲線方程式의 比較

앞의 2장에서 기술된 線路理論들은 搬器의 有無에 따라 각각 2個, 3個의 無次元群에 의해 무차원화 되었다.

본 장에서는 이 무차원 變數의 값에 따라 두 線路理論의 차이가 어떻게 變할 것인가를 오차해석과 수치계산을 통하여 밝혀보려고 한다.

搬器가 없을때 두 曲線의 式은 각각 식(6), 식(18)로 주어진다. 본 장에서는 두 곡선을 區別하기 위하여 포물곡선이론에 의한 식과 현수곡선이론에 의한 식에 각각 점 P, C 를 붙여 사용하기로 한다. Fig. 5에는 $u^*=0.5, v^*=\tan 45^\circ$ 의 경우에 대한 두 곡선이 주어 있다. 또 Fig. 6에는 여러경우의 u^*, v^* 값에 대한

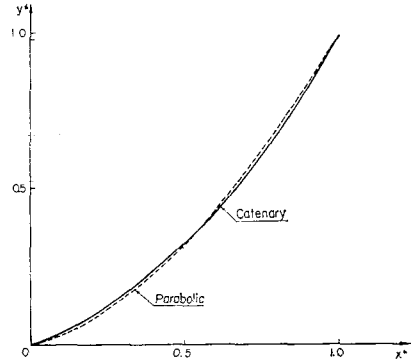


Fig. 5 Comparison of rope way ($u^*=0.5, v^* = \tan 45^\circ, w^*=0$)

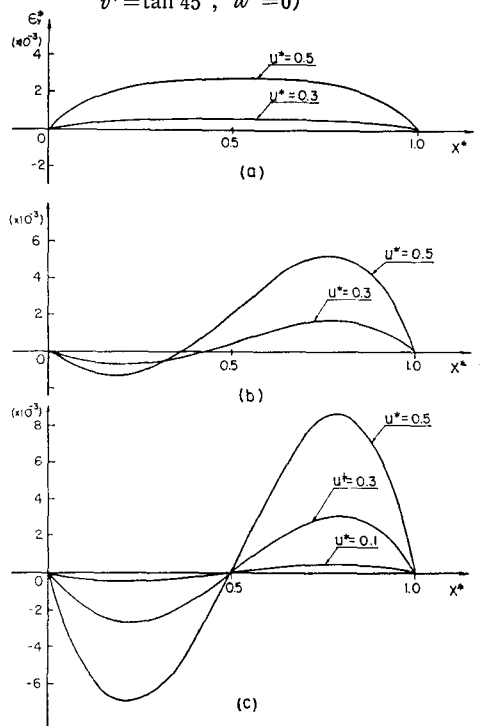


Fig. 6 Errors curve of rope way ($\epsilon_y^* = Y_p^* - Y_c^*$, (a) $v^*=0$ (b) $v^* = \tan 22.5^\circ$ (c) $v^* = \tan 45^\circ$)

두 曲線의 오차가 주어져 있는데 오차는

$$\epsilon_y^* = y_p^* - y_c^* \quad (31)$$

에 의해 정의된 량이다. Fig. 6에 의하면 오차의 크기는 u^*, v^* 및 x_w^* 에 의존함을 알 수 있다. 이와 같은 사실은 식(18)을 u^* 에 대하여 급수전개 함으로서 확인 할 수 있다. 실제적인 경우에 u^* 의 값이 1보다 작기 때문에 u^* 의 고차항은 무시하여도 좋을 것이다. 먼저 식(19)로 주어지는 B 를 Taylor 급수로 전개하면,

$$B = \sinh^{-1} v^* - u^* - v^* u^{*2} \cdot (1 + v^{*2})^{\frac{1}{2}} / 6 + O(u^{*4})$$

Table 1 Comparison of height at the concentrated load ($w^*=0.1, x^*=0.5$)

u^*	v^*	0.01		0.05		0.1		0.3	
		$y_{w,p}^*$	$y_{w,c}^*$	$y_{w,p}^*$	$y_{w,c}^*$	$y_{w,p}^*$	$y_{w,c}^*$	$y_{w,p}^*$	$y_{w,c}^*$
0		-27.5	-27.5	-37.5	-37.5	-50.0	-50.1	-100.0	-10.10
$\tan(22.5^\circ)$		180.0	179.4	170.2	168.5	157.9	155.0	108.7	100.1
$\tan(45.0^\circ)$		473.0	471.5	463.2	457.3	450.9	440.0	401.7	368.8

($\times 10^{-3}$)

(32)

로 된다. 또 이것을 利用하여 y_c^* 를 전개 하면

$$y_c^* = v^* \cdot x^* - (1+v^2)^{\frac{1}{2}} \cdot u^* \cdot x^* \cdot (1-x^*) + [x^{*2} + 3(x^*-1)^2 - 1] \cdot x^* \cdot u^2 v^* / 6 + 0(u^{*3}) \quad (33)$$

로 주어짐을 알 수 있다. 식(6)과 식(33)에 의해 포물 곡선의 오차는

$$\epsilon_p^* = -[x^{*2} + 3(x^*-1)^2 - 1] \cdot x^* \cdot u^2 \cdot v^* / 6 \quad (34)$$

로 주어진다. 오차의 크기는 u^* , v^* 의 크기에 따라 증가하며 $0(u^{*2} \cdot v^*)$ 에 의존함을 알 수 있다. u^* 의 값은 索道가 대형화 할수록 커지며 특히 特殊索道의 경우에 그 값이 큰데 이것은 단위길이 당 로우프의 무게 w 가 등가적으로 커지기 때문이다⁽¹⁰⁾. 따라서 特殊索道나 一般大形索道에서는 포물곡선식의 사용이 무시할 수 없는 오차를 유발 할 수 있다는 것을 알 수 있다.

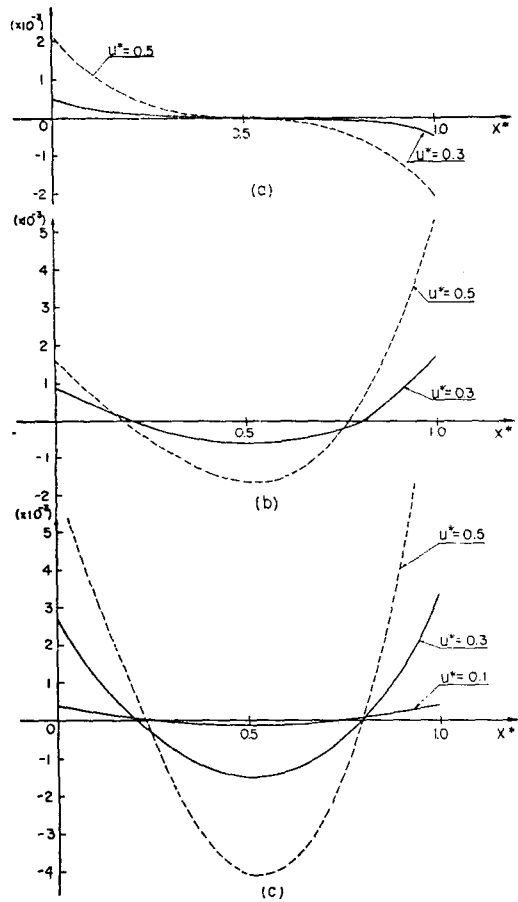
한 예로서 $u^*=0.5, v^*=\tan 22.5^\circ, l=500$ m 인 특수索道의 경우에 索條曲線의 最大誤差는 Fig. 6(b)에 의해 $\epsilon_{p,max}^* = 5.2 \times 10^{-3}$ 이므로 실제오차 $y_p - y_c = \epsilon_p^*$, $l=2.6$ m 로 주어진다. 特殊索道의 경우 地面과 搬器의 높이는 비교적 낮으며, 일본의 경우에는 제한높이를 3m 이내로 하고 있으므로⁽¹¹⁾, 2.6m의 오차는 큰 의미를 가지게 된다. 搬器가 있는 경우에는 搬器가 있는 위치에서의 곡선값 y_w 가 중요한 의미를 가진다.

Table 1 에서는 $x_w^*=0.5, W^*=0.1$ 인 경우에 두 곡선에 대한 y_w^* 값을 비교하였다.

이 Table 1 에 의하면 y_w 의 값도 v^* , u^* 의 값이 증가함에 따라 오차도 증가함을 볼 수 있다.

3.2 接線式의 比較

접선식에 대한 오차는 식(34)를 미분하여 얻어지고, 이 경우에 오차는 $0(u^{*2} \cdot v^*)$ 에 비례하므로 曲線式에서와 비슷한 결론을 얻을 수 있다. 접선방정식은 특히 支柱上的 綫절차와 연관하여 $x^*=0$, 및 $x^*=1$ 에서의 값이 중요한 의미를 갖는다. 支柱上的 綫절차는 Fig. 1(a)에 의해



(a) $v^*=0$, (b) $v^*=\tan 22.5^\circ$, (c) $v^*=\tan 45^\circ$
Fig. 7 Gradients error curve of rope way

$$\theta = \varphi_1 - \varphi_2 + \alpha_2 + \beta_1 \quad (35)$$

로 주어지며, 綫절차에 대한 오차는 대체적으로 $x^*=0$ 과 $x^*=1$ 에서의 오차의 합으로 나타난다. Fig. 7에서는 접선오차곡선이 주어져 있고, 이 曲線에서부터 $u^*=0.5, v^*=\tan 22.5^\circ$ 인 特殊索道에서의 綫절차의 오차를

Table 2 Length of errors of rope ($\epsilon_r^* = S_p^* - S_c^*$) ($\times 10^{-3}$)

v^* \ u^*	0.01	0.05	0.1	0.3	0.5
0	0.00	0.00	0.00	0.10	0.50
$\tan(22.5^\circ)$	0.00	0.07	0.26	22.9	6.00
$\tan(45.0^\circ)$	0.02	0.54	2.20	19.3	53.2

Table 3 Comparison of moving length of counter weight ($W=0.1$) ($\times 10^{-3}$)

v^* \ u^*	0.01		0.05		0.1		0.3	
	D_p^*	D_c^*	D_p^*	D_c^*	D_p^*	D_c^*	D_p^*	D_c^*
0	1.500	1.499	2.500	2.500	3.750	3.753	8.750	8.824
$\tan(22.5^\circ)$	1.404	1.199	2.405	2.054	3.654	3.127	8.655	7.498
$\tan(45.0^\circ)$	1.133	0.567	2.133	1.069	3.383	1.700	8.384	4.313

계산해 보면 $(14.4+53.5) \times 10^{-3} = 67.9 \times 10^{-3}$ (rad), 즉 약 4° 이며 이 값은 支柱上에서 7%의 反力증가를 나타낸다.

3.3 曲線길이 및 중추이동량비교

Table 2에서 搬器가 없을때의 여러가지 무차원 변수의 값에 대한 曲線의 길이의 오차를 나타내었다. 길이의 오차는

$$\epsilon_s^* = S_p^* - S_c^* \tag{36}$$

에 의해 정의된다. 오차의 크기는 u^*, v^* 의 값에 따라 증가함을 알 수 있다. 방정식(26)을 u^* 에 대하여 전개하면

$$S^* = (1+v^{*2})^{1/2} + u^{*2} \cdot (1+v^{*2})^{-1/2} / 6 + 0(u^{*4}) \tag{37}$$

로 주어지고 이 식과 식(12)을 식(36)에 代入시키면

$$\epsilon_s^* = u^{*2} \cdot v^{*2} (1+v^{*2})^{-1/2} / 6 \tag{38}$$

로 된다. 오차가 u^* 및 v^* 의 값에 의존함을 알 수 있다. 一般索道에서 길이의 오차가 중요성을 띄는 것은 중추 이동량의 계산과 연관되기 때문이다.

Table 3에는 최대 중추이동량에 대한 계산결과가 주어져 있다. 여기서도 오차의 양상은 다른경우는 비슷하게 나타남을 볼 수 있다. 예로서 $u^*=0.3, v^* = \tan 22.5^\circ, W^*=0.1$, 최대수평거리 $l=1,000$ m인 一般索道에서 이동량의 차이는 약 $8.655-7.498=1.157$ m이다. 중추이동량은 정유장의 규모를 결정짓는 주요한 요소들 중의 하나이므로 이 해석의 결과는 포물곡선의 사용이 정유장의 과도설계를 유발할 수 있음을 보여 준다.

Table 4 Max. error of tension $|T_p^* - T_c^*|_{\max}$ ($\times 10^{-3}$)

v^* \ u^*	0.1	0.3	0.5
0	0.02	1.31	9.59
$\tan(22.5^\circ)$	0.711	9.89	137.4
$\tan(45.0^\circ)$	2.59	27.1	84.3

3.4 張力の 比較

Table 4에서 張力の 오차를 나타내었다. 張력의 오차는

$$\epsilon_T^* = T_p^* - T_c^* \tag{39}$$

로 주어지고 이 오차는 u^*, v^* 의 증가에 따라 증가하며 다른 오차들과 비슷한 양상이다.

4. 結 論

架空索道の 線路設計에 基礎가 되는 線路理論을 研究하였다. 지금까지 보편적으로 사용되어오던 근사식으로서의 포물곡선이론과 엄밀해로서의 현수곡선이론을 無次元 형태로 정리, 비교하고, 포물곡선이론에서의 誤差들을 分析하는 과정에서 다음과 같은 結論을 얻었다.

- (1) 線路의 理論은 3個의 無次元群, $u^* = wl/2 T_0, v^* = h/l$, 및 $W^* = W/T_0$ 에 의해 지배된다.
- (2) 중래의 포물곡선이론에 의한 처짐량, 기울기,

곡선의 질이등이 모두 $O(u^{*2})$ 에 따르는 오차를 보이고 있으며, 따라서 索道가 大形化되는 경우에는 현수곡선 이론을 사용하는 것이 바람직하다.

(3) 전반적으로 포물곡선이론의 오차는 支柱間의 경사도 (v^*)가 커짐에 따라 증가 하는데 대략적으로 $O(v^*)$ 에 따른다.

參 考 文 獻

- (1) 若名孝太郎, “架空索道の理論と計算”, pp. 1~8, 東海書房, 東京, 1953
- (2) 眞島卯太郎, “架空索道”, pp. 115~129, 理工圖書, 東京, 1955
- (3) 眞島卯太郎, “架空索道”, p. 67, 理工圖書, 東京, 1955
- (4) 本田早苗と荒井實, “荷役運搬機械の設計”, p. 296, 産業圖書, 東京, 1978
- (5) 若名孝太郎, “架空索道の理論と計算”, p. 20, 東海書房, 東京, 1953
- (6) 眞島卯太郎, “架空索道”, p. 72, 理工圖書, 東京, 1955
- (7) 眞島卯太郎, “架空索道”, p. 66, 理工圖書, 東京, 1955
- (8) 眞島卯太郎, “架空索道”, pp. 87~89, 理工圖書, 東京, 1955
- (9) 二官嘉弘, “簡易索道の計劃と設計”, p. 23, 鹿島山版會, 東京, 1971
- (10) 崔善浩, “광주, 지산유원지 索道設計 및 索道資料集”, pp. 1~23, 1984
- (11) 二官嘉弘, “簡易索道の設計と計劃鹿”, p. 227, 島出版會, 東京, 1971