

<論 文>

索道線路의 最適設計에 대한 研究

崔 善 浩* · 朴 龍 洙**

(1986年 8月 11日 授受)

A Study on the Optimal Design of Rope Way

Sun Ho Choi and Yong Soo Park

Key Words: Optimum Design(최적설계), Pareto Optimum(파레토의 최적해), Multi-Objective Optimization(다목적 최적해), Dimension of Rope(로우프 규격)

Abstract

As an attempt to make the multi-objection for the line design of the rope way, the resulted formulas from the catenary curve as exact ones were summarized, and it was found out that the Kuhn-Tucker's optimality conditions and regions of the objective functions can analytically be expressed with dimensionless parameters.

The Pareto's optimum solution set was analytically obtained through the objective function-the minimum relation of W^* , and W^* is a trade-off relation.

From this, The dimension of a rope and the value of an initial tension that are the standard in design of the rope way were determined.

It was concluded that V^* should become minimum, and that the ratio of the dimension of rope to the value of an initial tension become larger than superposition factor corresponding to curve AB.

記 號 說 明

D : 중추이동량 (m)
 G : 긴장중추 (kg)
 h : 지주간의 높이 (m)
 l : 지주간의 거리 (m)
 S : 로우프의 길이 (m)
 T : 로우프의 장력 (kg)
 T_0 : 초기장력

W : 搬器의 무게 (kg)
 x : 수평방향의 변수 (m)
 x_w : 반기의 x 좌표 (m)
 y : 곡선의 수직좌표 (m)
 y_w : 반기의 y 좌표 (m)
 W_T : 로우프의 총무게 (kg)
 θ : 중첩계수
 w : 로우프의 규격 (kg/m)
 D^* : 무차원 변수 ($=D/l$)
 W^* : 무차원 변수 ($=W/T_0$)
 W_T^* : 무차원 변수 ($=W_T/T_0$)

* 正會員, 嶺南大學校 工科學科 機械工學科
 ** 正會員, 東明專門大學 機械工學科

- V^* : 무차원 변수(= h/l)
- U^* : 무차원 변수(= $wl/2T_0$)
- x_w^* : 무차원 변수(= x_w/l)
- y^* : 무차원 변수(= y/l)
- s^* : 무차원 변수(= s/l)
- y_w^* : 무차원 변수(= y_w/l)

참 자

- * : 무차원 표시
- I : I구간의 값을 표현
- II : II구간의 값을 표현

1. 緒 論

索道の 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. 특히 여기에 使用되고 있는 로우프는 可撓性을 가지고 있기 때문에 일반운송기구의 軌道와는 달리 현수곡선을 이루고 있다. 따라서 索道の 線路는 索道曲線과 地形과의 관계, 線路의 효율적인 傾斜度, 中間支柱의 경제적인 臺數 및 진동 등과 더불어 매우 다양한 主要 설계 因子를 가지는 線路設計는 索道の 安全性, 經濟性 및 승차감 등을 좌우하며, 이 系에 內包되는 제한조건 및 設計要素는 剛性構造體系에 比하여 많아지기 때문에 索道の 最適化의 要因인 많은 특성과 評價値는 서로 복잡한 영향을 미치고 있으므로 多目的 最適化技法을 使用하여야 할 것이다. 近來까지 索道線路設計⁽¹⁾는

(가) 엄밀해를 가진 현수곡선대신 比較的 數式上 간편한 근사해를 가진 포물곡선 성질을 使用하여 왔다.

(나) 最適設計는 經驗을 바탕으로 한 시행착오법으로 행하여 왔다.

이 두 곡선의 오차해석⁽²⁾에서 $O(U^*2)$ 의 오차가 있으므로 大形索道 및 特殊索道の 경우 포물곡선 이론을 적용할 때 많은 오차를 유발하게 되고 실제결과와의 비경제성과 線路의 不正確性을 피할 수가 없었다. 또 지금까지 索道線路에 對한 最適化技法에 關한 研究는 아직 發見되지 않았으며, 특히 산악이 많은 우리나라에서는 觀光용 索道の 開發이 날로 증가추세에 있으며, 이 추세는 더욱 가속화되리라 보인다. 이를 감안하여 本 研究에서는

(1) 索道設計에 더욱 精確한 값을 얻기 위하여 엄밀해를 가진 현수곡선이론을 바탕으로 하여 設計變數들과의 관계를 유도 및 체계화 시켰다.

(2) 多目的 函數를 벡터最小化함에 따라, 얻어지는

Pareto 最適解를 구할 수 있었다. Pareto 最適解를 구하는 方法에는 重첩법, 제한법, 추정법⁽³⁾이 있다. 여기서는 索道の 最適化에 對한 특성과 평가값은 서로 복잡한 trade off 관계를 가지고 있으므로 多目的인 두개의 目的函數에 重첩시켜 單一目的 函數로 變換하는 가운데 Kunn-Tucker 最適性의 필요조건⁽⁴⁾을 적용하면 目的函數의 값 범위를 해석적으로 定하고 Pareto 最適解 集合을 해석적으로 구하였다.

(3) 이들의 해석에 關한 수치예를 들어 設計에 基準이 되는 로우프의 規格과 초기장력을 결정하였다.

2. 最適設計의 모델화

2.1 問題의 設定

最適化 過程은 다음과 같이 行하여진다.

모델설정 → 목적함수 및 보조함수 결정 → y_w^* 값결정 → Kuhn-Tucker 최적성의 필요조건 판정 → 제한조건에서 목적함수 및 중첩계수 계산 → 함수변환 → Pareto 최적해 집합 결정 → 목적함수 최적값 결정 → 초기장력 결정 → 로우프구경 결정

일반적으로 행하여지는 最適設計値는 다음의 가정하에서 결정한다⁽⁵⁾.

- (가) 정역학적으로 취급한다.
- (나) 使用되는 로우프의 절단하중을 기준으로 한다.
- (다) 하중이 양 지점 중앙에 있을 때 상부지점에서 최대장력이 발생한다.
- (라) 지점은 이동하지 않고 로우프의 늘어남과 온도의 영향을 고려하지 않는다.

索道の 構造解析을 위한 모델을 Fig. 1에 나타낸다. Fig. 1에서 스펠間的 로우프의 張力은 중추 G에 의하여 일정하게 유지시켜 주고 있다. 즉 하중 W가 B點에서 출발하여 스펠 중앙에 도달하면 중추 D는 이동량 D만큼 이동하여 스펠間的 로우프의 길이는 D만큼

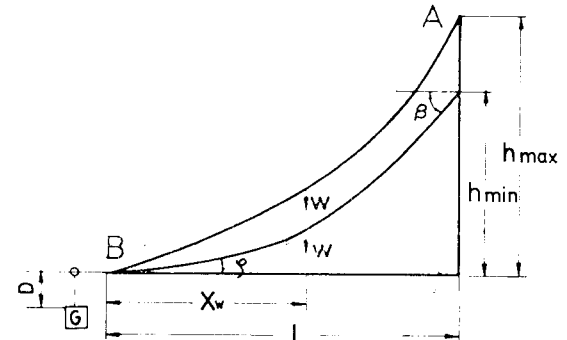


Fig. 1 Model of rope way

증가하게 되고 하중 W 가 중앙에서 상부지점 A 에 도달하면 로우프의 길이는 점점 감소하여 본래의 로우프 길이로 된다. 이 관계를 고려하여 초기장력 $T_0(=G)$ 를 적절한 상태에서 운전하면 로우프의 가소성(Flexibility) 때문에 搬器의 주행車輪에 의한 굽힘이 커져서 로우프의 수명을 단축하게 되며, 중추이동량 D 가 커짐에 따라 軌道의 경사가 커서 搬器를 안내하는데 소비동력을 상승하게 되며, 승차감, 진동 등의 여러가지 불안정상태를 유발하게 되므로 이러한 것들을 최소화하기 위해서는 주어진 설계조건에서 초기장력을 최대로 유지하는 것이 바람직하고, 스펠간의 로우프의 총량도 일반적으로 재료비, 설치의 용이함, 보수, 관리 면에서 적은 것이 바람직하다. 따라서 초기장력을 최대화하는 목적과 총중량을 최소화하는 목적은 서로 Trade-off 관계가 있고 이들간의 최대, 최소값은 동시에 얻을 수는 없다. 이와같은 경우에 設計의 最適化를 위하여 두개의 目的函數間에 Trade-off 관계를 나타내는 Pareto 最適解 集合을 구할 필요가 있다.

(1) 荷重과 索道曲線과의 關係

Fig. 2에서 區間 I, II에 對하여 索道曲線은⁽²⁾

$$y_i^* = \sin h(U_i^* x_i^* + B_i) \cdot \sin h(U_i^* x_i^*) / U_i^* \quad (1)$$

$$B_i = \sin h^{-1}(V_i^* U_i^* / \sin h U_i^*) - U_i^* \quad (2)$$

($i = I, II$)

여기서 $y^* = y/l$, $x^* = x/l$, $U^* = wl/2T_0$, $V^* = h/l$ 의 무차원군이다. 또

$$U_I^* = w \cdot x_w / 2 T_0, \quad U_{II}^* = w \cdot (l - x_w) / 2 T_0 \quad (3)$$

로 주어지고 搬器가 $x = x_w$ 에 있을 때 $x = x_w$ 에서 張力이 불연속을 이루면서 다음조건을 만족하기만 하면 된다. 즉

$$T_0 \left. \frac{dy_{II}}{dx_{II}} \right|_{x_{II}=0} = T_0 \left. \frac{dy_I}{dx_I} \right|_{x_I=x_w} + W \quad (4)$$

식 (4)를 無次元化하여 정리하면

$$\sinh(B_{II}) = \sinh(2 U_I^* + B_I) + W^* \quad (5)$$

여기서 $W^* = W/T_0$ 이다.

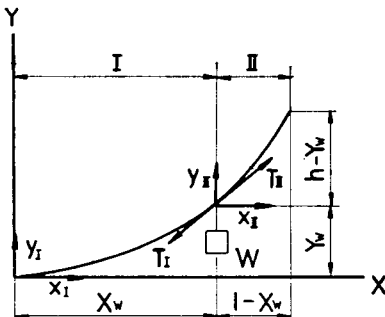


Fig. 2 Sub-intervals divided

식 (5)에 식 (2)를 代入하여 정리하면

$$U_{II}^* (V_{II}^* \coth U_{II}^* - S_{II}^*) = U_I^* (V_I^* \coth U_I^* + S_I^*) + W^* \quad (6)$$

$$S_i^* = (V_i^{*2} + (\sin h U_i^* / U_i^*)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

식 (6)를 U^* , V^* 로 變換하여 정리하면 다음과 같은 目的函數 W^* 를 얻을 수가 있다. 즉 T_0 를 최대값을 얻기 위해서는 W^* 의 값을 最小化 시키면 된다.

$$W^* = U^* \{ [(V^* - y_w^*) \cdot \coth(U^* \cdot (1 - x_w^*)) - ((V^* - y_w^*)^2 + \sin h(U^* (1 - x_w^*)) / U^*)^2)^{\frac{1}{2}}] - [y_w^* \coth(U^* \cdot x_w^*) + (y_w^{*2} + (\sin h(U^* \cdot x_w^*) / U^*)^2)^{\frac{1}{2}}] \} \quad (8)$$

여기서 $x_w^* = x_w/l$, $y_w^* = y_w/l$ 이다.

스펠간의 로우프의 길이 $S^* = S/l$ 는

$$S^* = x_w^* S_I^* + (1 - x_w^*) S_{II}^* \quad (9)$$

이므로 식 (9)에 식 (7)를 代入하여 U^* , V^* 의 함수로 나타내면

$$S^* = [y_w^{*2} + (\sin h(U^* \cdot x_w^*) / U^*)^2]^{\frac{1}{2}} + [(V^* - y_w^*)^2 + (\sin h(U^* \cdot (1 - x_w^*)) / U^*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

이 된다. 目的函數인 스펠간의 로우프의 총중량은 $W_T = w \cdot S$ 이므로 이것을 無次元化 하면 다음 식을 얻을 수가 있다.

$$W_T^* = 2U^* S^* = 2U^* \{ [y_w^{*2} + (\sin h(U^* \cdot x_w^*) / U^*)^2]^{\frac{1}{2}} + [(V^* - y_w^*)^2 + (\sin h(U^* \cdot (1 - x_w^*)) / U^*)^2]^{\frac{1}{2}} \} \quad (11)$$

여기서 $W_T^* = W_T/T_0$ 이다.

가 된다.

2.2 제한조건의 境界값 결정

(1) T^* , U^* 및 y_A^* 의 關係

스펠간의 임의의 길이에 대하여 로우프의 張力은

Fig. 3에서

$$T_x = \cosh(2U^* x_0^* + B) \quad (12)$$

$x_0^* = 0$ 일 때 B 點의 張力이므로 強力 T_B^* 는

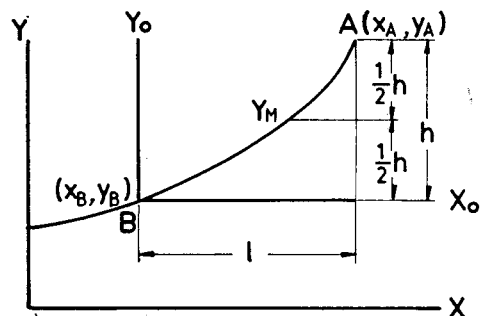


Fig. 3 Property of catenary

$$T_B^* = U^*(S^* \coth U^* - V^*) = 2U^* y_B^* \quad (13)$$

$$\text{여기서 } y_B^* = \frac{1}{2}(S^* \coth U^* - V^*) \quad (14)$$

이고 $x_0^* = 1$ 일 때 A點의 張力이므로 장력 T_A^* 는

$$T_A^* = U^*(S^* \coth U^* + V^*) = 2U^* y_A^* \quad (15)$$

$$\text{여기서 } y_A^* = \frac{1}{2}(S^* \coth U^* + V^*) \quad (16)$$

이다. 스펠 AB 區間에 B點에서 x_0^* 만큼 변화하였을 때 張力의 變化量은

$$\Delta T^* = T_x^* - T_B^* = 2U^* y_0^* \quad (17)$$

$$\text{또는 } T_x^* = T_B^* + 2U^* y_0^* \quad (18)$$

로 나타낼 수가 있다. 식 (18)는 스펠間의 로우프의 張力, 인장응력, 굽힘응력, 안전계수 및 動力等을 계산하는데 중요한 식이다. 로우프의 길이를 본래의 길이로 (무하중상태) 일정하게 지유시키면 중추이동량 D 가 제일 큰 상태에서 최대의 초기장력 T_0 가 발생하므로, 이 경우는 하중 W 가 스펠 중앙에 있을 때이다. 그러므로 식 (18)에서 A點의 張力은 B點의 張力보다 $2U^*V^*$ 만큼 상승하므로 최대초기 장력이 발생한 상태에서 상부지점 A에서 최대장력이 발생한다.

最大張力 T_A^* 는 사용한 로우프의 절단하중에 안전율 N 을 갖도록 하면 알 수 있다. 이 값을 알면 y_A^* 의 값도 구해진다. 즉 식 (15)에서

$$y_A^* = T_A^*/2U^* = K^*/N \quad (19)$$

여기서 $K^* = K/l$

K : 로우프의 파단높이 $K = F/w$ (m)

F : 로우프의 절단하중(kg)

K 의 값은 로우프 종류에 따라 Table 1 과 같다⁽⁶⁾.

Table 1 Value of K
Rope-Type-Loaed-Coil (m)

div \ type	B	C	D	E	F
Normal type	16,000	15,000	15,000	14,000	13,500
Strength type	17,000	17,000	15,500	15,000	14,500

(2) V^* , U^* 및 y_M^* 와의 關係

식 (19)에서 y_A^* 가 구해지면 U^* 의 값을 구할 수가 있다. Fig. 3에서 $y_M^* = y_A^* - \frac{1}{2}V^*$ 이므로 이 식에 식 (16)를 代入시키면

$$y_M^* = \frac{1}{2}S^* \coth U^* \quad (20)$$

이 되고 식 (20)를 양변을 제곱하여 식 (7)을 代入시켜 정리하면 $y_M^* = f(U^*, V^*)$ 의 함수로 나타낼 수 있다.

$$y_M^{*2} = \left(\frac{1}{2}V^* \coth U^*\right)^2 + (\cosh U^*/2U^*)^2 \quad (21)$$

식 (21)에서 V^* , y_M^* 는 기지의 값이므로 본 研究에서는 Newton-Raphon의 方法을 利用하여 U^* 값을 얻을 수 있었다.

경계값의 결정은

U^* 의 최대값은 $V^* = V^*_{max}$ 일 때 존재하며

U^* 의 최소값은 $V^* = V^*_{min}$ 일 때 존재한다.

V^* 의 최소값은 일반적으로 搬器가 地上에서 3.5m 통과할 수 있는 높이이고⁽⁷⁾ V^* 의 최대값은 支柱上的 굴절각 $5^\circ \sim 7^\circ$ 이상 되지 않은 범위까지의 높이로 정한다.

(3) y_w^* 의 決定

중추이동량과 y_w^* 의 關係는 線路設計에 아주 중요한 關係를 가진다. 중추이동량은 정류장의 규모를 결정하는 것으로써 역으로 이 정류장의 규모에 따라 이 중추이동량이 결정된다. 스펠 중앙에 하중 W 가 지나갈 때 로우프의 전체길이는

$$S^* = (V^{*2} + (\sin h U^*/U^*)^2)^{\frac{1}{2}} + D^* \quad (22)$$

여기서 $D^* = D/l$ 는 중추이동량이다.

식 (22)와 식 (10)의 關係에서 $x_w^* = \frac{1}{2}$ 일 때 같아야하므로

$$\begin{aligned} [V^{*2} + (\sin h U^*/U^*)^2]^{\frac{1}{2}} + D^* &= [y_w^{*2} + (\sin h \\ (0.5U^*)/U^*)^2]^{\frac{1}{2}} + ((V^* - y_w^*)^2 + (\sin h \\ (0.5U^*)/U^*)^2)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (23)$$

의 關係이므로 이 식에서 V^* , U^* , D^* 가 기지의 값에서 Newton-Rehpson 法에 의하여 y_w^* 값을 결정할 수 있었다.

2.3 定式化

식 (8)의 W^* 와 식 (11)의 W_T^* 의 두 개의 평가값의 最小化를 目的으로 하는 두 目的最適設計 問題는 目的函數 ϕ_0 , 2-2절에서 높이의 무차원값 $V^*_{min} \leq V \leq V^*_{max}$, 로우프규격과 초기장력間의 무차원값 U^* 는 $U^*_{min} \leq U^* \leq U^*_{max}$ 에 關한 制限조건 $\phi_i (i=1, 2, 3, 4)$ 를 使用하여 다음과 같이 定式化 하였다. $x_w^* = 0.5$ 일 때 모든 조건을 만족하므로 目的函數

$$\text{Min } \phi_0 = [\phi_{01}, \phi_{02}] \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \phi_{01} &= U^* \{ V^* - 2y_w^* \} \coth(0.5U^*) - \\ & [((V^* - y_w^*)^2 + (\sin h(0.5U^*)/ \\ & U^*)^2)^{\frac{1}{2}} + (y_w^{*2} + \sin h(0.5U^*)/U^*)^2)^{\frac{1}{2}}] \end{aligned} \quad (25)$$

$$\phi_{02} = 2U^* [y_w^{*2} + (\sin h(0.5U^*)/U^*)^2]^{\frac{1}{2}} +$$

$$[(V^* - y_w^*)^2 + (\sin h(0.5U^*)/U^*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

제한조건

$$\phi_1 = U^* - U^*_{\max} \leq 0 \quad (27)$$

$$\phi_2 = U^*_{\min} - U^* \leq 0 \quad (28)$$

$$\phi_3 = V^* - V^*_{\max} \leq 0 \quad (29)$$

$$\phi_4 = V^*_{\min} - V^* \leq 0 \quad (30)$$

로 정하였다.

3. 해 석

3.1 最適解가 존재하기 위한 필요조건

W^* 와 W_T^* 의 最小化의 目的으로 중첩계수를 도입하여 單一目的에 變換한 目的函數 ϕ_0 는 W_T^* 의 최대값 $W_T^*_{\max}$, W^* 의 최대값 W^*_{\max} 및 中첩계수 θ ($0 < \theta < 1$)를 써서 다음 식으로 나타내었다.

$$\phi_0 = \theta \cdot W^*/W^*_{\max} + (1-\theta) W_T^*/W_T^*_{\max} \quad (31)$$

식 (31)의 目的函數 ϕ_0 , 식 (27)~(30)의 限制조건 ϕ_i ($i=1, 2, 3, 4$)에서 Lagrange의 乘수 V_i ($i=1, 2, 3, 4$)를 도입하여 Larange의 函數 ϕ 는

$$\begin{aligned} \phi &= \phi_0 + V_1\phi_1 + V_2\phi_2 + V_3\phi_3 + V_4\phi_4 \\ &= \theta \cdot \frac{U^*}{W^*_{\max}} \{ (V^* - 2y_w^*) \cdot \coth(0.5U^*) \\ &\quad [(y_w^{*2} + (\sin h(0.5U^*)/U^*)^2)^{\frac{1}{2}} + ((V^* - y_w^*)^2 \\ &\quad + \sin h(0.5U^*)/U^*)^2]^{\frac{1}{2}}] \} + (1-\theta) \frac{2U^*}{W_T^*_{\max}} \\ &\quad \{ (y_w^{*2} + (\sin h(0.5U^*)/U^*)^2)^{\frac{1}{2}} + ((V^* \\ &\quad - y_w^*)^2 + (\sin h(0.5U^*)/U^*)^2)^{\frac{1}{2}} + V_1(U^* \\ &\quad - U^*_{\max}) + V_2(U^*_{\min} - U^*) + V_3(V^* \\ &\quad - V^*_{\max}) + V_4(V^*_{\min} - V^*) \} \quad (32) \end{aligned}$$

最適解가 존재하기 위해서는 다음의 Kuhn-Tucker 최적성의 필요조건을 만족하여야 한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi}{\partial U^*} &= \frac{\theta}{W^*_{\max}} [(V^* - 2y_w^*) [\coth(0.5U^*) \\ &\quad - \frac{U^*}{2} \operatorname{cosech}^2(0.5U^*)] - P] + (1-\theta) \\ &\quad - \frac{2}{W_T^*_{\max}} P + V_1 - V_2 = 0 \quad (33) \end{aligned}$$

여기서 $P = [(y_w^{*2} + (\sin h(0.5U^*)/U^*)^2)^{\frac{1}{2}} + ((V^* - y_w^*)^2 + (\sin h(0.5U^*)/U^*)^2)^{\frac{1}{2}}] \cdot [1 + (\sin h(0.5U^*)/U^*) \cdot \cosh(0.5U^*) - \sin h(0.5U^*)] / [U^{*2} \cdot (y_w^{*2} + (\sin h(0.5U^*)/U^*)^2)^{\frac{1}{2}} + ((V^* - y_w^*)^2 + (\sin h(0.5U^*)/U^*)^2)^{\frac{1}{2}}]$ 이다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial V^*} = \theta \cdot \frac{U^*}{W^*_{\max}} (\coth(0.5U^*) - Q) + (1-\theta) \cdot$$

$$\frac{2U^*}{W_T^*_{\max}} Q + V_3 - V_4 = 0 \quad (34)$$

여기서 $Q = (V^* - y_w^*) / ((V^* - y_w^*)^2 + (\sin h(0.5U^*)/U^*)^2)^{\frac{1}{2}}$ 이다.

$$V_1(U^* - U^*_{\max}) = 0 \quad (35)$$

$$V_2(U^*_{\min} - U^*) = 0 \quad (36)$$

$$V_3(V^* - V^*_{\max}) = 0 \quad (37)$$

$$V_4(V^*_{\min} - V^*) = 0 \quad (38)$$

$$V_i \geq 0, V_2 \geq 0, V_3 \geq 0, V_4 \geq 0 \quad (39)$$

식 (27)~(30)과 식 (35)~(38)의 조건에서 Langrange의 乘수 V_i ($i=1, 2, 3, 4$)가 正과 0의 값을 가지도록 하는 경우는 다음과 같이 16가지로 나눌 수 있다.

$$\text{Case 1 } V_1 > 0, V_2 > 0, V_3 > 0, V_4 > 0$$

$$\text{Case 2 } V_1 > 0, V_2 > 0, V_3 > 0, V_4 = 0$$

$$\text{Case 3 } V_1 > 0, V_2 > 0, V_3 = 0, V_4 > 0$$

$$\text{Case 4 } V_1 > 0, V_2 = 0, V_3 > 0, V_4 > 0$$

$$\text{Case 5 } V_1 = 0, V_2 > 0, V_3 > 0, V_4 > 0$$

$$\text{Case 6 } V_1 = 0, V_2 = 0, V_3 > 0, V_4 > 0$$

$$\text{Case 7 } V_1 > 0, V_2 > 0, V_3 = 0, V_4 = 0$$

$$\text{Case 8 } V_1 = 0, V_2 > 0, V_3 = 0, V_4 > 0$$

$$\text{Case 9 } V_1 = 0, V_2 > 0, V_3 > 0, V_4 = 0$$

$$\text{Case 10 } V_1 > 0, V_2 = 0, V_3 = 0, V_4 > 0$$

$$\text{Case 11 } V_1 > 0, V_2 = 0, V_3 > 0, V_4 = 0$$

$$\text{Case 12 } V_1 = 0, V_2 = 0, V_3 = 0, V_4 > 0$$

$$\text{Case 13 } V_1 = 0, V_2 = 0, V_3 > 0, V_4 = 0$$

$$\text{Case 14 } V_1 = 0, V_2 > 0, V_3 = 0, V_4 = 0$$

$$\text{Case 15 } V_1 > 0, V_2 = 0, V_3 = 0, V_4 = 0$$

$$\text{Case 16 } V_1 = 0, V_2 = 0, V_3 = 0, V_4 = 0$$

Case 1~7에서는 U^*_{\max} , U^*_{\min} 이나 V^*_{\max} , V^*_{\min} 의 설계변수 값이 확정되므로 불합리하다. case 8 $V_2 > 0, V_4 > 0$ 에서 $U^* = U^*_{\min}$, $V^* = V^*_{\min}$ 이 되고 식 (33)에서 중첩계수 θ 는

$$\theta = (2P/W_T^*_{\max} + V_1 - V_2) / (P \cdot (1/W^*_{\max} + 2/W_T^*_{\max}) + R/W^*_{\max}) \quad (40)$$

여기서 $R = (V^* - 2y_w^*) \cdot (0.5U^* \cdot \operatorname{cosech}^2(0.5U^*) - \coth(0.5U^*))$ 이다. 식 (34)에서 중첩계수 θ 는

$$\theta = (2Q/W_T^*_{\max} + V_3 - V_4) / (Q(1/W^*_{\max} + 2/W_T^*_{\max}) - \coth(0.5U^*)/W^*_{\max}) \quad (41)$$

또 식 (33)과 식 (34)가 동시에 만족하는 중첩계수 θ 는

$$\begin{aligned} \theta &= (2(P+Q)/W_T^*_{\max} + (V_1 + V_3) - (V_2 + V_4) / \\ &\quad ((P+Q) \cdot (2/W_T^*_{\max} + 1/W^*_{\max}) + (R - \coth \\ &\quad ((0.5U^*)/W^*_{\max})) \quad (42) \end{aligned}$$

가 된다. $V_1 = 0, V_2 > 0$ 일 때 식 (40)에서

$\theta < (2P/W_T^* \max) / (P \cdot (1/W^* \max + 2/W_T^* \max) + R/W^* \max)$ 인 관계가 있고 $V_3=0, V_4>0$ 일 때 식 (41)에서

$\theta < (2Q/W_T^* \max) / (Q(1/W^* \max + 2/W_T^* \max) - \coth(0.5 U^*) / W^* \max)$ 인 관계가 있으므로 이 두 관계가 동시에 만족하는 중첩계수의 관계식은 식 (42)에서

$$\theta < (2(P+Q)/W_T^* \max) / ((P+Q) \cdot (2/W_T^* \max + 1/W^* \max) + (R - \coth(0.5 U^*)) / W^* \max) \quad (43)$$

이 된다. 이 관계식에 경계값 $U^*=U^* \min, V^*=V^* \min$ 代入시켜 성립하면 필요조건은 만족한다.

Case 9, Case 8과 같은 방법으로 하여 경계값은 $V_2 > 0, V_3 > 0$ 에서 $U^*=U^* \min, V^*=V^* \max$ 이 되고 $V_1=0, V_2 > 0$ 일 때 $\theta < \text{식 (40)}, V_3 > 0, V_4=0$ 일 때 $\theta < \text{식 (41)}$ 인 관계이므로 이 경우의 중첩계수 θ 는

$$(2Q/W_T^* \max) / (Q(1/W^* \max + 2/W_T^* \max) - \coth(0.5 U^*) / W^* \max) < \theta < (2P/W_T^* \max) / (P(1/W_T^* \max + 2/W_T^* \max) + R/W^* \max) \quad (44)$$

가 된다. 이 관계식에 경계값을 代入시켜 성립하면 필요조건은 만족한다.

Case 10, $V_1 > 0, V_4 > 0$ 에서 경계값 $U^*=U^* \max, V^*=V^* \min$ 이고 $V_1 > 0, V_2=0$ 일 때 $\theta > \text{식 (40)}, V_3=0, V_4 > 0$ 일 때 $\theta < \text{식 (41)}$ 인 관계이므로 이 경우의 중첩계수 θ 는

$$(2P/W_T^* \max) / (P \cdot (1/W^* \max + 2/W_T^* \max) + R/W^* \max) < \theta < (2Q/W_T^* \max) / (Q(2/W_T^* \max + 1/W^* \max) - \coth(0.5 U^*) / W^* \max) \quad (45)$$

가 되고 이 관계식에 경계값을 代入시켜 성립하면 필요조건은 만족한다.

Case 11. $V_1 > 0, V_3 > 0$ 에서 경계값 $U^*=U^* \max, V^*=V^* \max$ 이고, $V_1 > 0, V_2=0$ 일 때 $\theta > \text{식 (40)}, V_3 > 0, V_4=0$ 일 때 $\theta > \text{식 (41)}$ 이므로 이 경우에, 동시에 만족하는 중첩계수 θ 는

$$\theta > (2(P+Q)/W_T^* \max) / ((P+Q) (2/W_T^* \max + 1/W^* \max) + (R - \coth(0.5 U^*)) / W^* \max) \quad (46)$$

가 되고 이 관계식에 경계값을 代入하여 성립하면 필요조건은 만족한다.

Case 12. 경계값은 $V_1=0, V_2=0$ 에서 $U^* \min \leq U^* \leq U^* \max, V_4 > 0$ 에서 $V^*=V^* \min$ 이 되어 이 경우는 Case 8, Case 10의 경우와 중복이 되므로 모순이다.

Case 13. 경계값은 $V_1=0, V_2=0$ 에서 $U^* \min \leq U^* \leq U^* \max, V_3 > 0$ 에서 $V^*=V^* \max$ 이 되어 이 경우는 Case

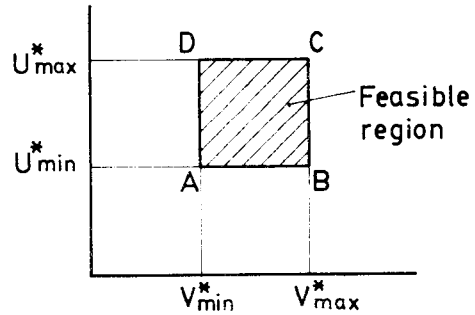


Fig. 4 Feasible region of U^*, V^*

Table 2 Kuhn-Tucker's optimality condition

Case	Boundary condition	K-T. Ness. Condition	θ	W^*	W_T^*	Location of U^*-V^* region
1	$U^* \max, U^* \max, V^* \max, V^* \min$	—	—	—	—	A, B, C, D
2	$U^* \max, U^* \min, V^* \max$	—	—	—	—	B, C
3	$U^* \max, U^* \min, V^* \min$	—	—	—	—	A, D
4	$U^* \max, V^* \max, V^* \min$	—	—	—	—	C, D
5	$U^* \min, V^* \max, V^* \min$	—	—	—	—	A, B
6	$U^* \min \leq U^* \leq U^* \max, V^* \max, V^* \min$	—	—	—	—	A, B, \overline{AC}
7	$U^* \max, U^* \min, V^* \min \leq V^* \leq V^* \max$	—	—	—	—	A, D, \overline{AC}
8	$U^* \min, V^* \min$	○	ep. (43)	eq. (59)	eq. (60)	A
9	$U^* \min, V^* \max$	○	eq. (44)	eq. (57)	eq. (58)	B
10	$U^* \max, V^* \min$	○	eq. (45)	eq. (55)	eq. (56)	D
11	$U^* \max, V^* \max$	○	eq. (46)	eq. (53)	eq. (54)	C
12	$U^* \min \leq U^* \leq U^* \max, V^* \min$	—	—	—	—	A
13	$U^* \min \leq U^* \leq U^* \max, V^* \max$	—	—	—	—	C
14	$U^* \min, V^* \min \leq V^* \leq V^* \max$	—	—	—	—	A
15	$U^* \max, V^* \min \leq V^* \leq V^* \max$	—	—	—	—	C
16	$U^* \min \leq U^* \leq U^* \max, V^* \min \leq V^* \leq V^* \max$	—	—	—	—	A, B, C, D, \overline{AC}

9, Case 11의 경우와 중복이 되므로 모순이다.

Case 14. 경계값은 $V_2 > 0$ 에서 $U^* = U^*_{\min}$, $V_3 = 0$, $V_4 = 0$ 에서 $V^*_{\min} \leq V^* \leq V^*_{\max}$ 되어 이 경우는 Case 8, Case 9의 경우와 중복이 되므로 모순이다.

Case 15. 경계값은 $V_1 > 0$ 에서 $U^* = U^*_{\max}$, $V_3 = 0$, $V_4 = 0$ 에서 $V^*_{\min} \leq V^* \leq V^*_{\max}$ 이 되어 이 경우는 Case 10, Case 11의 경우와 중복이 되므로 모순이다.

Case 16. 경계값은 $V_1 = 0$, $V_2 = 0$ 에서 $U^*_{\min} \leq U^* \leq U^*_{\max}$, $V_3 = 0$, $V_4 = 0$ 에서 $V^*_{\min} \leq V^* \leq V^*_{\max}$ 으로 주어지므로 이 경우는 아무 의미가 없다.

이상에서 Kuhn-Tucker 최적성의 필요조건은 Case 8 ~ Case 11에서 만족된다. 이들의 Case는 각각 Fig. 4의 설계변수공간에 대한 점 A, B, C, D 선분 AB, BC, AC에 대응하고 있다. 이것을 종합하면 Table 2와 같다.

3.2 Pareto 최적해

Fig. 4의 設計變數空間을 W_T^* 와 W^* 의 두개의 函數空間으로 變換한다. 식 (25), (26)의 두개의 目的函數를 U^* , V^* 에 대하여 풀기 위하여 급수전개에서 $O(U^{*3}, V^{*3})$ 이상의 차수항을 무시하고 정리하면 다음과 같다.

$$U^* = 3/8 \{ (16(1+y_w^{*2}) + (2W^* + W_T^* + 4y_w^*)^2) \pm [(16(1+y_w^{*2}) + (2W^* + W_T^* + 4y_w^*)^2)^2 - 43W_T^{*2}]^{1/2} / W_T^* \} \quad (47)$$

$$V^* = y_w^* + \{ 4/3 [W_T^{*2} / ((16(1+y_w^{*2}) + (2W^* + W_T^* + 4y_w^*)^2) \pm ((16(1+y_w^{*2}) + (2W^* + W_T^* + 4y_w^*)^2)^2 - 43W_T^{*2})^{1/2}] - (1+y_w^{*2}) \}^{1/2} \quad (48)$$

이 U^* , V^* 의 값을 식 (27) ~ (30)의 제한조건식의 등식 경우에 代入하여 정리하면 다음의 4개의 W^* 와 W_T^* 의 관계식을 얻을 수 있었다.

$$W^* = (12 + U_{\max}^{*2}) / 6 \cdot [(W_T^* / 2U^*_{\max} - (1+y_w^{*2}))^{1/2} - y_w^*] - \frac{W_T^*}{2} \quad (49)$$

$$W^* = (12 + U_{\min}^{*2}) / 6 \cdot [(W_T^* / 2U^*_{\min} - (1+y_w^{*2}))^{1/2} - y_w^*] - \frac{W_T^*}{2} \quad (50)$$

$$W^* = (V^*_{\max} - 2y_w^*) \cdot [2 + (W_T^* / 2(1+y_w^{*2} + (V^*_{\max} - y_w^*)^2))^2 / 6] - \frac{W_T^*}{2} \quad (51)$$

$$W^* = (V^*_{\min} - 2y_w^*) \cdot [2 + (W_T^* / 2(1+y_w^{*2} + (V^*_{\min} - y_w^*)^2))^2 / 6] - \frac{W_T^*}{2} \quad (52)$$

식 (49) ~ (52)가 나타내는 그래프는 Fig. 5에서 (I), (II), (III), (IV)가 된다.

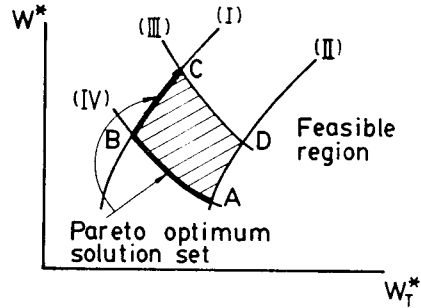


Fig. 5 Objective function region

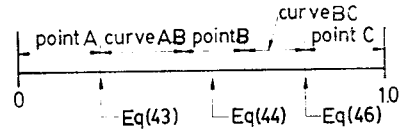


Fig. 6 Distribution of superposition factor

이들의 위치관계를 고찰하여 보면 곡선 (I)와 (III)의 교점 W^* , W_T^* 의 값은 식 (49)와 식 (51)에서 $U^* = U^*_{\max}$, $V^* = V^*_{\max}$ 에 해당하는 값이므로 식 (25)에서

$$W^* = U^*_{\max} \{ (V^*_{\max} - 2y_w^*) \cdot \coth(0.5U^*_{\max}) - [((V^*_{\max} - y_w^*)^2 + (\sinh(0.5U^*_{\max}) / U^*_{\max})^2)^{1/2} + (y_w^{*2} + (\sinh(0.5U^*_{\max}) / U^*_{\max})^2)^{1/2}] \} \quad (53)$$

이코 W_T^* 의 값은 식 (26)에서

$$W_T^* = 2U^*_{\max} \{ ((V^*_{\max} - y_w^*)^2 + (\sinh(0.5U^*_{\max}) / U^*_{\max})^2)^{1/2} + (y_w^{*2} + (\sinh(0.5U^*_{\max}) / U^*_{\max})^2)^{1/2} \} \quad (54)$$

이며 設計變數空間 C點에 해당한다. 곡선 (I)와 (IV)의 교점 W^* , W_T^* 의 값은 식 (49)와 식 (52)에서 $U^* = U^*_{\max}$, $V^* = V^*_{\min}$ 에 해당하는 값이므로 식 (25), (26)에서

$$W^* = U^*_{\max} \{ (V^*_{\min} - 2y_w^*) \cdot \coth(0.5U^*_{\max}) - [((V^*_{\min} - y_w^*)^2 + (\sinh(0.5U^*_{\max}) / U^*_{\max})^2)^{1/2} + (y_w^{*2} + (\sinh(0.5U^*_{\max}) / U^*_{\max})^2)^{1/2}] \} \quad (55)$$

$$W_T^* = 2U^*_{\max} \{ ((V^*_{\min} - y_w^*)^2 + (\sinh(0.5U^*_{\max}) / U^*_{\max})^2)^{1/2} + (y_w^{*2} + (\sinh(0.5U^*_{\max}) / U^*_{\max})^2)^{1/2} \} \quad (56)$$

이며 Fig. 5의 設計變數空間 B點에 해당한다. 곡선 (II)와 (III)의 교점, W^* , W_T^* 의 값은 식 (50)와 식 (51)에서 $U^* = U^*_{\min}$, $V^* = V^*_{\max}$ 에 해당하는 값이므로 식 (25), (26)에서

$$W^* = U^*_{\min} \{ (V^*_{\max} - 2y_w^*) \cdot \coth(0.5U^*_{\min}) -$$

$$\left[\left((V_{\max}^* - y_w^*)^2 + (\sinh(0.5U_{\min}^*) / U_{\min}^*)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + (y_w^{*2} + (\sinh(0.5U_{\min}^*) / U_{\min}^*)^2)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (57)$$

$$W_T^* = 2U_{\min}^* \left\{ \left((V_{\max}^* - y_w^*)^2 + (\sinh(0.5U_{\max}^* / U_{\min}^*)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + (y_w^{*2} + (\sinh(0.5U_{\min}^*) / U_{\min}^*)^2)^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (58)$$

이며 Fig. 5의 설계변수공간 D點에 해당한다. 곡선(II)와(N)의 교점, W^* , W_T^* 의 값은 식(50)와 식(52)에서 $U^* = U_{\min}^*$, $V^* = V_{\min}^*$ 에 해당하는 값이므로 식(25), (26)에서

$$W^* = U_{\min}^* \left\{ (V_{\min}^* - 2y_w^*) \cdot \coth(0.5U_{\min}^*) - \left[\left((V_{\min}^* - y_w^*)^2 + (\sinh(0.5U_{\min}^*) / U_{\min}^*)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + (y_w^{*2} + (\sinh(0.5U_{\min}^*) / U_{\min}^*)^2)^{\frac{1}{2}} \right] \right\} \quad (59)$$

$$W_T^* = 2U_{\min}^* \left\{ \left((V_{\min}^* - y_w^*)^2 + (\sinh(0.5U_{\min}^* / U_{\min}^*)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + (y_w^{*2} + (\sinh(0.5U_{\min}^* / U_{\min}^*)^2)^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (60)$$

이며 Fig. 5의 설계변수공간 A點에 해당한다. 위에서 열거한 點 A, B, C, D의 W^* 좌표값의 대소관계는

$$\text{식(59)} < \text{식(55)} < \text{식(57)} < \text{식(55)} \quad (61)$$

이고 W_T^* 좌표값의 대소관계는

$$\text{식(56)} < \text{식(54)} < \text{식(60)} < \text{식(58)} \quad (62)$$

이다.

다음 곡선 4개중 대표적으로 (II), (N)의 곡선形을 조사하여 보면 식(50)에서

$$dW^*/dW_T^* = (12 + U_{\min}^*) / (24U_{\min}^* (W_T^* / 2 U_{\min}^* - (1 + y_w^{*2})^{\frac{1}{2}}) - \frac{1}{2}) > 0 \quad (63)$$

$$d^2W^*/dW_T^{*2} = - (12 + U_{\min}^*) / (96U_{\min}^* (W_T^* / 2 U_{\min}^* - (1 + y_w^{*2})^{\frac{1}{2}}) < 0 \quad (64)$$

이므로 곡선(II)는 증가곡선을 이루고 있다. 곡선(IV)의 관계식(52)에서

$$dW^*/dW_T^* = W_T^* / (12(1 + y_w^{*2} + (V_{\min}^* - y_w^*)^2) - \frac{1}{2}) < 0 \quad (65)$$

$$dW^{*2}/dW_T^{*2} = 1 / [12(1 + y_w^{*2} + (V_{\min}^* - y_w^*)^2)] > 0 \quad (66)$$

이므로 곡선(IV)는 감소곡선을 이루고 있다.

이상의 고찰에서 곡선(I), (II), (III), (IV)를 Fig. 5에서 W^* , W_T^* 의 두 目的 函數空間上에 나타낼 수 있고 Fig. 4에서 設計變數空間의 斜線部는 식(49)~식(52)에 부등식을 고려하여 Fig. 5에서 4개의 곡선으로 둘러싸인 영역에 대응하고 있다.

Kuhn-Tucker 최적성의 필요조건을 만족하는 곡선 가

운데 식(63)~식(66)에서 오목한(convex) 성질에 의하여 곡선(II), (IV)가 Pareto 최적해 집합을 형성하고 있으며 이 경우에는 點 A에서 최적해가 존재한다. 같은 방법으로 곡선(I), (IV)에서도 오목한(convex) 성질에 의하여 Pareto 최적해 집합을 형성하고 있으며, 이 경우에는 點 B에 최적해가 존재한다. 그러므로 곡선(IV)가 Pareto 최적해 집합을 형성하고 있음을 알 수 있다.

3.3 Pareto 최적해 집합에 대한 중첩계수

Fig. 5에 나타내는 곡선(IV) 위에서 총중량과 초기장력比 W_T^* 와 운반하중과 초기장력比 W^* 의 두 目的 函數間의 중첩계수 θ 는 3.1절의 Kuhn-Tucker 최적성의 필요조건에서 구할 수 있었다. 식(43), (44), (45), (46)에서 얻어진 중첩계수의 관계를 나타내면 Fig. 6과 같다. 중첩계수의 증가는 곡선(IV)상에서 A點에서 B點으로 이동하고 있음을 알 수 있었다.

3.4 최적값과 로우프規格 決定

3.1~3.3절에서 종합하여 W^* , W_T^* 의 최적값은 식(61), (62)의 대소관계에서

$$W_{*op}^* = \text{식(59)} + \theta(\text{식(55)} \sim \text{식(59)}) \quad (67)$$

$$W_{*top}^* = \text{식(56)} + \theta(\text{식(60)} \sim \text{식(56)}) \quad (68)$$

여기서 θ 는 곡선 AB의 θ 값이다. 초기장력 T_0 의 값은 식(67)에서 $W_{*op}^* = W^*/T_0$ 의 관계식에서

$$T_0 = W / W_{*op}^* \quad (69)$$

에 의해서 구해지고 스펠間의 총로우프의 중량은 식(68)에서 $W_{*top}^* = W_T^*/T_0$ 의 관계에서

$$W_T^* = T_0 \cdot W_{*top}^* \quad (70)$$

에 의해서 얻어지며 로우프의 規格은 $U^* = wl/2T_0$ 의 관계식에서

$$w = 2T_0 \cdot U_{\min}^* / l \quad (71)$$

에서 얻을 수 있다.

4. 수치예

4.1 설계조건

스펠間의 길이(L) : 500m

스펠間의 최소높이(h_2) : 200m

스펠間의 최대높이(h_1) : 250m

안전율(N) : 8

집중하중(W) : 300kg

사용되는 로우프 : Locked-coil C형 K-16,000m

중추이동량(D) : 2m

Table 3 Comparison of the catenary curve and the parabolic curve

Items	Parabolic curve	Catenary curve
Differential eq.	$d^2y/dx^2=w/T_0$	$d^2y/dx^2=-\frac{w}{T_0} \cdot \frac{ds}{dx}$
Curve eq. (No load)	$y^*=V^* \cdot x^* - \sqrt{1+V^{*2}} \cdot U^* \cdot x^* \cdot (1-x^*)$	$y^*=\sinh(U^* \cdot x+B) \cdot \sin h(U^* \cdot x^*)/U^*$ $B=\sin h^{-1}(U^* \cdot V^*/\sin hU^*) - U^*$
Curve eq. (load)	$y^*=\begin{cases} U^* \cdot x^*(1-x^*) + W^* \cdot (1-x_w^*) \cdot x^* & (x^* < x_w^*) \\ U^* \cdot x^*(1-x^*) + W^* \cdot x_w^* & (x^* \geq x_w^*) \end{cases}$	$\sin h(B_{II})=\sinh(2U_1^* + B_1) + W^*$
Tangential eq.	$dy^*/dx^*=V^* - \sqrt{1+V^{*2}} \cdot U^*(1-2x^*)$	$dy^*/dx^*=\sin h(2U^* \cdot x^* + B)$
Refraction angle	$\theta=V_1^* - V_2^* + (\sqrt{1+V_1^{*2}} \cdot U_1^* + \sqrt{1+V_2^{*2}} \cdot U_2^*)$	$\theta=U_1^*(V_1 \coth U_1^* + S_1^*) - U_2^*(V_2 \coth U_2^* - S_2^*)$
Length of rope	$S^*=\sqrt{1+V^{*2}} \cdot (1+U^{*2}/6)$	$S^*=\sqrt{U^{*2} + (\sin hU^*/U^*)^2}$
Moving of Counter Wt.	$D^*=W^*(W^*+2U^*\sqrt{1+V^{*2}})/8$	$D^*=x_w^* \cdot S_1^* + (1-x_w^*)S_{II}^* - S^*$
Tension eq.	$T^*=\sqrt{1+(V^* - \sqrt{1+V^{*2}} \cdot U^{*2})+1U^* \cdot y^*}$	$T=\cosh(2U^* \cdot x^* + B)$
Max sag	$\delta^*_{max}=U^*/4$	$\delta^*_{max}=x^*_{x^*} \cdot \sin \phi_1 - y^*_{x^*} \cdot \cos \phi_1$

Table 4 Value of results

Case	Boundary condition	y_w^*	θ	W^*	W_T^*
8	$U^*_{min}=0.1431$ $V^*_{min}=0.4$	0.1355	$\theta < 0.4135$	0.0949	0.3267
9	$U^*_{min}=0.1431$ $V^*_{max}=0.5$	0.1823	$0.02 < \theta < 0.394$	0.10147	0.33909
10	$U^*_{max}=0.1506$ $V^*_{min}=0.4$	0.1368	Contradiction	0.980	0.3103
11	$U^*_{max}=0.1506$ $V^*_{max}=0.5$	0.1836	$\theta < 0.414$	0.10475	0.3220

4.2 W^* , W_T^* 의 최소화

지금까지 사용하고 있는 근사해인 포물곡선 성질과, 저자가 연구한 엄밀해인 현수곡선 성질을 Table 3에서 체계적으로 設計에 적용할 수 있도록 기본이론식을 유도한 것을 비교하였다⁽²⁾.

두 目的 最適設計問題의 目的函數空間을 3 절의 方法에 의하여 구하면 Table 4과 Fig. 7와 같다. Fig. 7에서 곡선(I), (IV)상에 Pareto 최적해가 형성하고 있다. Fig. 8에 중첩계수 값과 Pareto 최적해와의 대응을 나타내고 있다. 이것에서 최적해는 곡선(IV)상의

곡선 AB에서 존재하고 있음을 알 수 있었다.

이 결과 스패간의 높이를 되도록 낮게 하고 로우프의 規格과 초기장력의 比가 적을수록 W^* 값이 최소가 되고 이 比가 클수록 W_T^* 값이 최소가 되는 것을 알 수 있었다. 최적값은 식 (67), (68)에서

$$W^*_{op}=0.096, W^*_{Top}=0.3169 \text{의 값을 얻었다.}$$

4.3 초기장력과 로우프의 規格 決定

W^* , W_T^* 의 최적값에서 식 (69)에서 초기장력 T_0 는 $T_0=W/W^*_{op}=300/0.996=3,125\text{kg}$ 이 되고 로우프

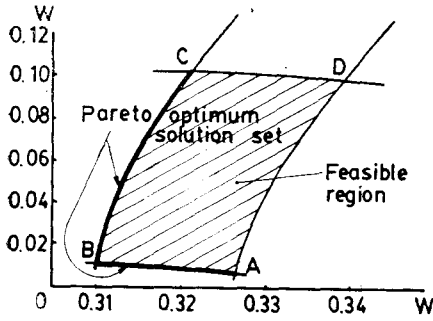


Fig. 7 Prato optimum solution set

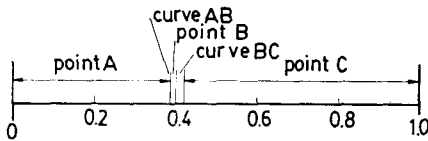


Fig. 8 Distribution of superposition factor

의 規格은 식 (71)에서 $w=2T_0U^*/l=2 \times 3.125 \times 0.1431/500=1.79\text{kg/m}$ 이므로 로우프규격 목록에 의하여 locked coil B형 직경 20m/m로 결정하였다.

5. 結 論

(1) 索道의 線路設計의 多目的 最適設計를 行하기 위하여 定式化를 체계화 시켰고, Kuhn-Tucker 최적성의 필요조건 및 目的函數영역을 해석적으로 규명하였다.

(2) W^* , W_T^* 의 최소화 관계는 Trade-off 관계이고 이 Trade-off 관계인 目的函數間의 關係에서 Pareto 최적해 집합을 해석적으로 구하여 索道最適設計에 基準이 되는 初期張力과 로우프規格을 決定하였다.

(3) 索道線路의 最適設計는 V^* 를 되도록 적게 하고 로우프의 規格과 초기장력의 比를 중첩계수에 대응할 때까지 크게 하여야 함을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

- (1) 眞島仰太郎, “架空索道”, pp. 115~129, 理工圖書, 東京, 1955
- (2) 崔善浩·朴龍洙, “架空索道の 線路理論에 對한 研究”, 대한기계학회논문집 제 10 권, 제 3 호 pp. 419~426, 1986
- (3) Cohon, J.L. “Multiobjective Programming and Planning”. pp. 35~91, Academic Press, 1978
- (4) Mokhtar, S. Bazarraa, C.M. Shetty, “Nonlinear Programming Theory and Algorithms”, pp. 124~150, John Wiley & Sons, New York, 1979
- (5) 二官嘉弘, “簡易索道の設計と計劃”, pp. 42~43, 鹿島出版會, 東京, 1971
- (6) 東京製綱 Co, “ワイヤロープ No. 14”, pp. 161~166, 三省社, 東京, 1983
- (7) 二官嘉弘, “簡易索道の設計と計劃”, p. 227, 鹿島出版會, 東京, 1971