

# 전차선로 드롭바 길이 계산프로그램 개발

## Development of Calculation Software for Dropper Length

이기원,\*            권삼영,\*\*            김주락,\*            장동욱\*  
Kiwon Lee,        Samyoung Kwon,        Joorak Kim,        Donguk Jang

---

### ABSTRACT

Dropper which can get to suspend contact wire should be installed with a uniform distribution, so that electric locomotive can have good characteristics of current collection. Because dropper distribution is changed according to a circumstances in the construction field, it is hard to calculate and construct a overhead line. Therefore, in this study, a program was developed to calculate the dropper length in the normal and elevation section. Through the program, it is possible to perform a accurate construction of overhead line and contribute to a improvement of current collection as well.

---

### 1. 서론

경부고속철도는 고속철도 선진국인 프랑스 TGV시스템을 도입하여 건설되며 그 중에서 전차선로분야는 차량 및 신호분야 등과 함께 코어시스템으로 분류되어 프랑스에서 기본적인 설계 내용을 제공하여 건설되고 있다. 우리나라에 처음 도입되는 고속철도 전차선로는 그 중요성과 함께 이미 핵심적인 설계기술을 분석하여 독자적인 설계기술을 확립하기 위한 연구를 수행하고 있다.

전차선로는 전기철도차량에 전기를 공급해주는 설비로서 전차선, 조가선, 급전선 등으로 구성되는 전선류 외에 직접 전선들을 현수하는 브라켓트, 앵커링 장치 등의 설비를 현수하는 전주 등으로 구성되어 있다. 드롭바는 일정한 간격을 두어 조가선에 전차선을 현수하여 일정한 높이를 유지하게 하여 팬터그래프가 원활한 집전성능을 유지할 수 있게 한다. 그러나, 전차선로 시공 및 유지 보수 시에 실제선로조건 및 주변 선의 조건 등에 따라 드롭바 간격의 변화로 야기되는 드롭바 길이 계산의 어려움 때문에 시공상에 어려움이 존재하고 있다. 따라서, 일반구간 및 상승구간에서 간단한 입력을 통하여 드롭바 길이를 자동으로 계산할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

### 2. 드롭바 길이계산 알고리즘

드롭바 길이를 계산하는 방법에는 여러 가지가 있을 수 있다. 우선 전차선로에 작용하는 하중을 모두 분해하여 각각 개별하중이 작용할 때의 처짐량을 계산하여 각각의 처짐량을 모두 더하는 방

---

\* 한국철도기술연구원 주임연구원

\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원

법, 즉 개별하중에 의한 변위량 중첩기법으로 계산하는 방법이 있다. 이 기법은 전차선로의 정적인 상태가 Linear System이므로 가능하나 계산과정이 복잡하고 계산량이 많은 단점이 있다.

다음으로, 모멘트법으로 계산하는 방법이 있다. 모멘트법은 시스템이 평형상태에 있을 때 어느 지점의 모멘트합이 0이므로 이로부터 수식을 유도하여 드롭바 길이를 계산하는 기법이다. 주로 지지점에서 반력을 포함한 모멘트 평형방정식을 세우게 되며 실제의 계산에서 개별 하중에 의한 변위량 중첩 기법보다 중간 계산과정을 줄일 수 있으며 전차선로 형태에 상관없이 광범위하게 적용할 수 있는 장점이 있으므로 이 기법을 사용하여 프로그램을 개발하였다. 따라서, 아래와 같이 드롭바 길이계산 알고리즘을 간략히 설명하고자 한다.

### 2.1 지지점에서의 반력을 포함한 모멘트 평형

전선이 브라켓트에 의해 받쳐지거나 드롭바에 의해 현수되어 있는 경우는 지지점에서의 반력을 포함한 모멘트를 고려해야 하며 이 경우 시스템은 평형상태를 유지하고 있게 된다.

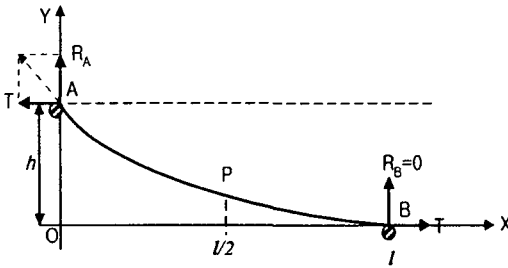


그림 1. 최저점을 원점으로 하는 전차선

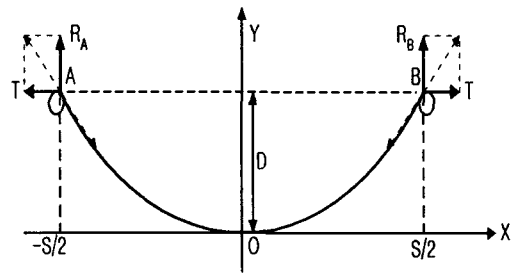


그림 2. 최저점을 원점으로 하는 전차선

그림 1의 B점에서 전선이 수평을 유지하여 지지점에 작용하는 반력이 없다고 보고( $R_B=0$ ) B점까지를 강체로 본다면 A지지점에서 좌우 모멘트 평형식은 (1)식과 같이 표현된다.

$$R_A l = Th + w l \frac{l}{2} \quad (1)$$

여기서,  $w$  : 선의 단위길이당 무게

또한, 그림 2와 같은 전선 형상도 모멘트법을 적용하면 시스템 평형식은 아래 식과 같이 표현할 수 있다.

$$R_A = R_B = \frac{wS}{2} \quad (2)$$

$$R_A \frac{S}{2} = TD + \frac{wS}{2} \frac{S}{4} \quad (3)$$

그리고, 위 두 식을 풀면 아래 식과 같이 유도된다.

$$D = \frac{wS^2}{8T} \quad (4)$$

### 2.2 드롭바 사이의 최저점 및 지지하중

그림 3과 같은 전선에서 A 지점에서 모멘트 평형식은

$$R_B = \frac{w_c a}{2} - \frac{Th}{a} \quad (5)$$

과 같이 표현되고,  $R_B = w_c \times x$  이므로,  $x$  및  $y$ 는 아래 식과 같게 된다.

$$x = \frac{a}{2} - \frac{Th}{a w_c} \quad y = \frac{a}{2} + \frac{Th}{a w_c} \quad (6)$$

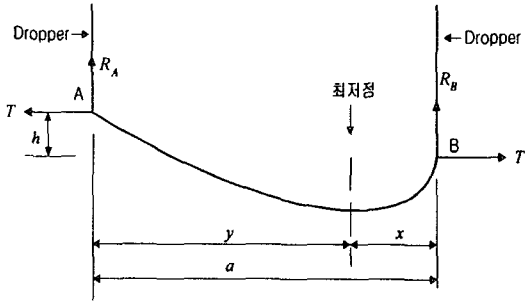


그림 3. 양단 드롭바 높이가 다른 경우

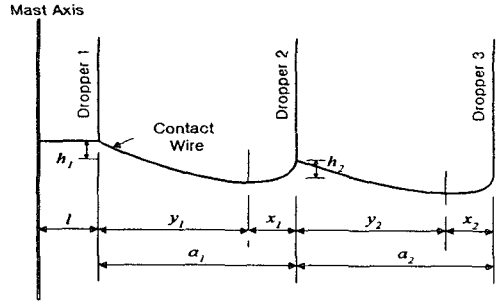


그림 4. 드롭바가 지지하는 하중

그림 4에서 드롭바 1이 지지하는 하중식은

$$(l + y_1) \times w_c = \left( l + \frac{a_1}{2} + \frac{Th_1}{a_1 w_c} \right) \times w_c \quad (7)$$

와 같이 표현되고, 드롭바 2가 지지하는 하중식은 아래와 같다.

$$(x_1 + y_2) \times w_c = \left( \frac{a_1}{2} - \frac{Th_1}{a_1 w_c} + \frac{a_2}{2} + \frac{Th_2}{a_2 w_c} \right) \times w_c \quad (8)$$

### 2.3 정상 경간 전차선로에 대한 드롭바 길이 계산 일반식

위 계산을 종합하여, 일반적인 전차선로에 대하여 즉, n개의 드롭바를 가진 양단 현수점 높이가 다른 전차선로를 대상으로 드롭바 길이를 계산하는 일반식을 유도하고자 한다.

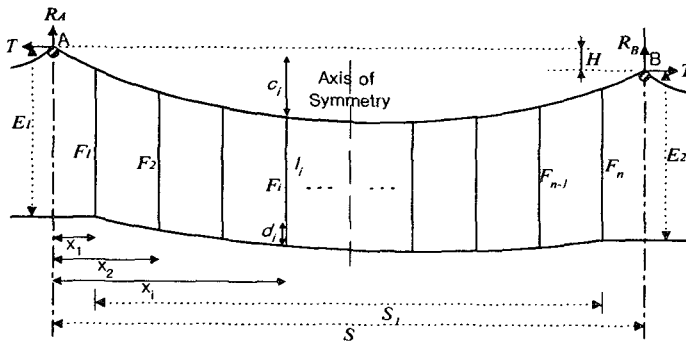


그림 5. 일반적인 전차선로

- 여기서,  $w_m$  : 조가선 단위길이당 무게  
 $w_c$  : 전차선 단위길이당 무게  
 $F_i$  :  $i$  드롭바의 지지 하중  
 $l_i$  :  $i$  드롭바 길이

먼저, 전차선 처짐(Sag)은 아래 식과 같이 표현된다.

$$d_i = \frac{w_c}{2T} (x_i - x_1)(S_1 - (x_i - x_1)) \quad (9)$$

또한, 경간중앙의 최대세그  $d_c$ 는 식(3)의 D에 해당하므로 식(4)와 식(9)을 결합하면 아래식과 같다.

$$d_i = \frac{4d_c}{S_1^2} (x_i - x_1)(S_1 - x_i + x_1) \quad (10)$$

다음으로, 드롭바 지지하중은 식(8)을 아래와 같이 일반식으로 표현할 수 있다.

1)  $i = 1$  일 때,

$$F_1 = \left( x_1 + \frac{x_2 - x_1}{2} + \frac{T_c(d_2 - d_1)}{(x_2 - x_1)w_c} \right) w_c + w_d \quad (11)$$

2)  $2 \leq i \leq n-1$  일 때,

$$F_i = \left( \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{2} - \frac{T_c(d_i - d_{i-1})}{(x_i - x_{i-1})w_c} + \frac{T_c(d_{i+1} - d_i)}{(x_{i+1} - x_i)w_c} \right) w_c + w_d \quad (12)$$

3)  $i = n$  일 때,

$$F_n = \left( \frac{x_n - x_{n-1}}{2} - \frac{T_c(d_n - d_{n-1})}{(x_n - x_{n-1})w_c} + (S - x_n) \right) w_c + w_d \quad (13)$$

그리고, A 및 B 두 지지점에서의 반력은 아래 식과 같이 표현된다.

$$R_A = \frac{w_m S}{2} + \sum_{k=1}^n F_k \frac{S - x_k}{S} + \frac{T_m H}{S} \quad (14)$$

$$R_B = w_m S + \sum_{k=1}^n F_k - R_A \quad (15)$$

마지막으로, 드롭바 지점에서의 조가선 이도(처짐량)를 구하기 위해 첫 번째 드롭바 하중에 의한 A지지점 및 각 지지점에서 모멘트 평형 평형방정식을 세워 일반식으로 표현하면 아래와 같다.

$$c_i = \frac{1}{T_m} \left( R_A x_i - \frac{w_m x_i^2}{2} - \sum_{k=1}^{i-1} F_k (x_i - x_k) \right) \quad (16)$$

이제 드롭바 길이에 필요한 요소를 모두 갖추었으므로 『드롭바 길이 = 가고 - 조가선 이도(처짐량) + 전차선 사전이도( $l_i = E I - c_i + d_i$ )』를 적용하면 아래와 같이 드롭바 길이를 구하는 일반식을 얻을 수 있다.

$$l_i = E I - \frac{1}{T_m} \left( R_A x_i - \frac{w_m x_i^2}{2} - \sum_{k=1}^{i-1} F_k (x_i - x_k) \right) + \frac{4d_c(x_i - x_1)(S_1 - x_i + x_1)}{S_1^2} \quad (17)$$

## 2.4 1단계 무효상승 경간

1단계 무효상승 경간이란 전주까지 자유상승(Free Elevation Up To Mast)하는 경간을 말하고, 또는, 포물선 상승(Parabolic Elevation)이라고도 한다. 드롭바 길이는 일반경간의 경우와 같은 방식으로 계산하나 아래사항을 더 고려해 주어야 한다.

그림 6에서처럼 자유상승 시작점까지는 전차선은 수평을 유지하며 이 이후로 전차선은 임의의 높이까지 상승되어 전주에 현수된다. 이 때  $f_c = \frac{w_c}{2T_c} x^2$ 로 근사화 할 수 있다.

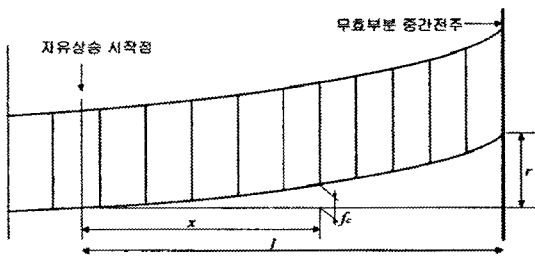


그림 6. 자유상승(1단계 상승) 경간

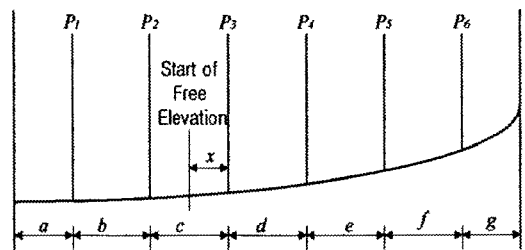


그림 7. 1단계 상승(포물선 상승)

여기서,  $x$  : 자유상승 시작점부터 해당 드롭바까지의 거리

$w_d$  : 드롭바 중량

따라서, 각 드롭바에서의 하중은 다음과 같다.

- 드롭바 1의 하중:  $P_1 = (a + \frac{b}{2})w_c + w_d$

- 드롭바 2의 하중:  $x < \frac{c}{2}$  이면 :  $P_2 = (\frac{b+c}{2})w_c + w_d$

$x > \frac{c}{2}$  이면 :  $P_2 = (\frac{b}{2} + c - x)w_c + w_d$

- 드롭바 3의 하중:  $x < \frac{c}{2}$  이면 :  $P_3 = (\frac{c}{2} - x)w_c + w_d$

$x > \frac{c}{2}$  이면 :  $P_3 = w_d$

- 드롭바 4, 5, 6의 하중:  $P_4 = P_5 = P_6 = w_d$

### 3. 드롭바 길이 계산 프로그램(ACPD)

앞 절에서 기술한 모멘트법을 이용한 드롭바 길이계산 알고리즘을 기초로 하여 Visual Basic을 이용하여 드롭바 길이계산 프로그램(ACPD)을 개발하였다. 그림 8의 “드로퍼 거리입력”에서 드로퍼 수 및 드로퍼간 거리를 입력하고, 전차선 및 조가선 선종, 각 선의 위치 및 가고 등 전차선로 조건을 “상수설정”에서 입력할 수 있게 구성하였다(그림 9참조).

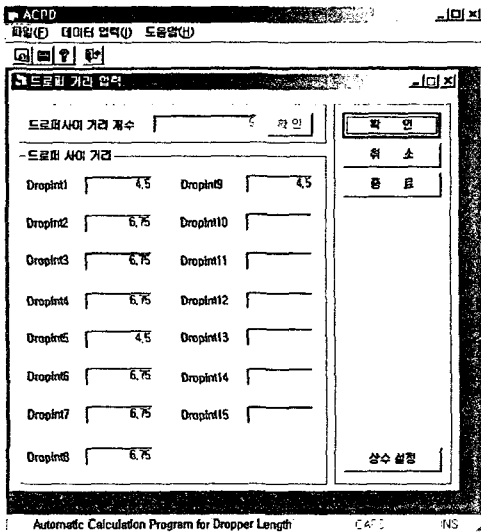


그림 8. 드로퍼 거리입력

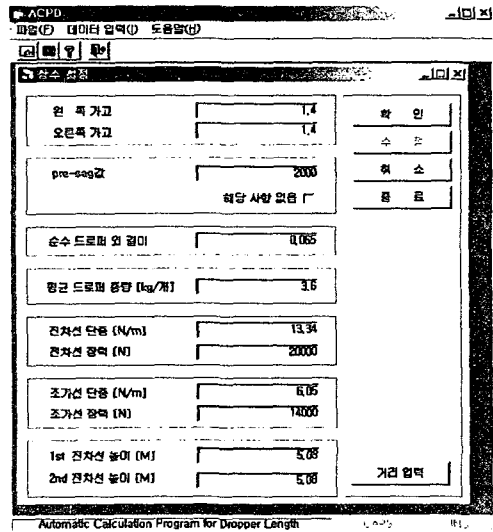


그림 9. 전차선로 조건 설정

모든입력이 끝나고 “확인”버튼을 클릭하면 그림 10과 같이 각 드로퍼의 길이를 자동 계산하여 출력한다.

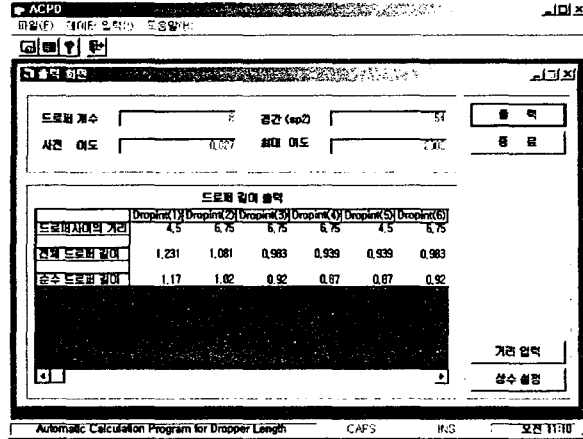


그림 10. 결과출력

아울러, 본 프로그램의 정확성을 확인하기 위하여 경부고속철도 전차선로 설비도 중 “Catenary without Y TGV Dropper Table for Normal and Special Span” 도면과 비교하여 보았다. 그 결과 프랑스가 제시한 드롭바 길이 표 결과와 1mm 정도의 오차가 나지만 이는 반올림 및 단위환산에서의 오차로 보인다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 사전이도가 적용되고 일반구간 및 평행구간의 상승구간 전차선로의 드롭바 길이를 계산할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 프로그램은 전차선로 실시설계에 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 시공시 빠른 상황변화에 대처할 수 있게 되었다. 그리고, 전차선로 설계의 편리성과 정확성을 확보하였을 뿐 아니라, 일정한 집전높이를 확보할 수 있어 집전성능 향상에 기여할 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

1. 한국고속철도건설공단, “고속철도 전차선로 설계 요소기술 분석 및 성능시험기술 연구”, 1998. 12
2. 한국고속철도건설공단, “경부고속철도 전차선로 1공구 실시설계(총체분)”, 1999. 12
3. 한국철도기술연구원, ‘고속전차선로 상세설계 S/W 개발(II)’, 한국고속철도건설공단, 2001.
4. 정보문화사, ‘한글 VisualBasic6 DataBase How-to’, Eric Winermiller 외 3인, 황태연 역, 1999.