

온도 변화에 따른 전차선 및 조가선의 신축에 관한 연구

A Study on The Expansion and Contraction in Accordance with Temperature Change of Contact Wire and Messenger Wire

윤용한* 임금광**
Yoon, Yong Han Yim, Geum Kwang

ABSTRACT

This paper presents expansion and contraction in accordance with temperature change of contact wire and messenger wire. The tensioning device is designed and installed to pull the contact wire and messenger wire straight at all times. Pulling a contract wire straight ensures that smooth contract is maintained between the contact wire and pantograph of an electric train, and this makes it possible to ensure a stable supply of electricity to the train. Normally, tensioning devices are installed at two positions over a distance of 1.0[km] to 1.6[km] per line. In installing the tensioning device, therefore, it is necessary to study the stroke(the range of the extension/contraction rate of the tensioning device compatible with that of the contact wire and messenger wire due to change in temperature). This paper introduces and discusses this topic.

1. 서론

세계적인 흐름인 화석 연료의 고갈과 환경 친화적인 설비에 대한 욕구 증대, 물류비 절감의 필요성 증대, 안전하고 신속하고 편리한 교통 수단에 대한 요구 증대 등의 시대적 추세를 배경으로 전기 철도의 중요성은 날로 증가하고 있다.

본 논문은 온도 변화에 따른 전차선 및 조가선의 신축에 관하여 연구하였다. 장력 조정 장치는 항상 전차선과 조가선을 수평으로 유지하게 설계되고 설치된다. 전차선을 수평으로 유지하게 당기는 것은 전차선과 전기 열차 팬터그래프의 부드러운 접촉을 담당하며, 이것은 전기 열차의 안정한 집전을 가능하게 한다. 일반적으로 장력 조정 장치는 합성 전차 선로의 1.0[km]에서 1.6[km] 거리의 양단에 설치된다. 따라서 장력 조정 장치의 설치에 있어서 스트로크(온도 변화에 따른 전차선 및 조가선의 신축의 변화에 적합한 장력 조정 장치의 신축의 범위)에 관한 연구는 필수적이다.

본 논문은 온도 변화에 따른 전차선 및 조가선의 신축에 관한 내용을 수학적으로 전개하고, 소개하며 그 내용을 토의한다.

* 윤용한, 정희원, (주)대동기술단, 기술연구소, 책임연구원

E-mail : nofate@hanmail.net

TEL : (02)330-5071 FAX : (02)325-4432

** 임금광, 정희원, (주)대동기술단, 기술연구소, 연구소장

E-mail : yimgk@hanmail.net

TEL : (02)330-5070 FAX : (02)325-4432

2. 장력 조정 장치

일반적으로 전차선 및 조가선, 장력 조정 장치간의 개념적인 관계도는 다음 그림 1과 같다. 장력 조정 장치는 활차식으로 표현하였다.

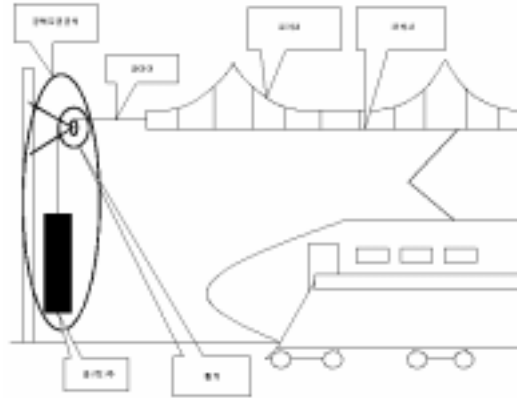
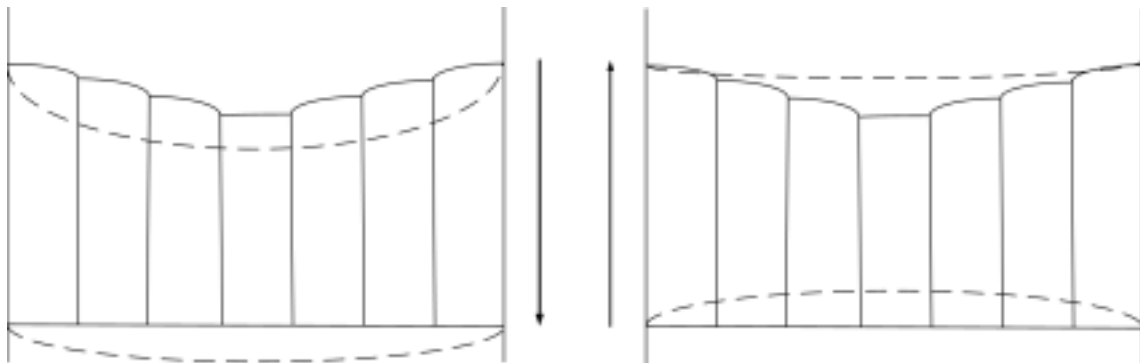


그림 1. 장력 조정 장치(활차식)의 개념도

대기 온도 및 부하 전류의 상승은 합성 전차선에도 영향을 미치게 된다.



온도가 높을 때 온도가 낮을 때
그림 2. 온도 변화에 따른 전차선 및 조가선의 변화

그림 2와 같이 온도가 상승하면 합성 전차선이 늘어나 장력이 감소하여 지지점 사이(경간)에서 이도가 증가하고 반대로 온도가 저하하면 장력의 증가로 이도가 감소하여 합성 전차선이 들어 올라가게 된다. 따라서 집전시 요구되는 적절한 높이를 유지할 수 없고 차량 진입시 팬터그래프 과 도약에 의한 가선 진동과 이선율의 증가로 이어져 이선 현상 및 아크의 원인이 되므로 습판의 마모를 촉진하고 부하인 차량으로의 전력 공급이 불안정해진다. 이러한 변화는 집전 효율을 저하시키고, 전차선 단선 사고 등의 위험 요인의 증가로 운전에도 영향을 미치게 된다.

인류 장치에 걸리는 장력은 예상되는 전선의 최대 장력으로 하며 합성 전차선의 장력을 일정하게 유지하기 위하여 조정식 인류 장치를 설계/설치하게 되는데 이를 “장력 조정 장치(tensioning device)”라고 한다. 그러므로 장력 조정 장치의 역할과 필요성은 전기 열차 안전 운행에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 따라서 합성 전차선이 온도에 따라 어느 정도 신축이 이루어지는지에 관한 연구가 선행되어야 한다.

참고적으로 합성 전차선은 온도만이 아닌 다양한 요인들에 의하여 신축을 하게 된다. 즉, 합성 전차선의 선펡장계수만을 고려한 장력 조정 장치의 조정은 부정확한 방법이다. 다음 장에서 관련된 내용을 수식으로 전개한다.

3. 코일 스프링을 이용한 합성 전차선의 신축량 계산

코일 스프링을 일정한 힘으로 당기면(풀어 주면) 스프링의 특성에 따른 늘어남(줄어듦)이 생긴다. 가하는 힘이 변화하면 신축량도 그것에 따라 변화한다. 따라서 온도 변화에 의한 전선의 신축이나 외력에 의해 전선의 장력에 변화가 생긴 경우에는 스프링에 가하는 힘이 변화하여 스프링은 그것에 따라 신축하고 전선의 신축량 대부분을 흡수한다.

스프링에 가하는 힘을 T [kgf], 신축량을 δ [mm]로 하면,

$$K = \frac{T}{\delta} \text{ [kgf/mm]}$$

로 주어지는 K 를 스프링 정수라고 하며 하나의 스프링에서는 일정하다. 따라서 스프링 정수를 적당하게 선정하면 온도 변화에 대해서 그 장력을 일정 범위로 억제하여 조정할 수가 있다.

경간 S [m]의 전선에 온도 θ_0 [°C], 장력 T_0 (이도 d_0 [m])이며, 가설되었을 때의 전선 길이를 L_0 [m]라고 한다. 온도 θ_1, θ_2 , 장력 T_1, T_2 (이도 d_1, d_2)가 되었을 때의 전선의 길이를 L_1, L_2 라 한다.

이 경우 스프링 정수 K [kgf/mm]의 스프링을 직렬로 접속하고, 전선의 길이가 변화량을 흡수한다고 하면,

$$L_0 + \frac{T_0 \times 10^3}{K} = L_1 + \frac{T_1 \times 10^3}{K} = L_2 + \frac{T_2 \times 10^3}{K} \quad (1)$$

온도 및 장력이 0인 때의 전선 길이를 L 로 하면 전선의 길이는 다음의 식이 성립한다.

$$\begin{aligned} L_0 &= L \left(1 + \frac{T_0}{AE}\right) (1 + \alpha \theta_0) + S \left\{1 + \frac{8}{3} \left(\frac{d_0}{S}\right)^2\right\} - \frac{T_0 \times 10^3}{K} \\ L_1 &= L \left(1 + \frac{T_1}{AE}\right) (1 + \alpha \theta_1) + S \left\{1 + \frac{8}{3} \left(\frac{d_1}{S}\right)^2\right\} - \frac{T_1 \times 10^3}{K} \\ L_2 &= L \left(1 + \frac{T_2}{AE}\right) (1 + \alpha \theta_2) + S \left\{1 + \frac{8}{3} \left(\frac{d_2}{S}\right)^2\right\} - \frac{T_2 \times 10^3}{K} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, A : 전선의 단면적 [mm^2]

α : 전선의 선팽창 계수

E : 전선의 종탄성 계수 [kgf/mm^2]

식 (2)로부터 L 을 소거하면,

$$\frac{\left(1 + \frac{T_1}{AE}\right) (1 + \alpha \theta_1)}{\left(1 + \frac{T_2}{AE}\right) (1 + \alpha \theta_2)} = \frac{S \left\{1 + \frac{8}{3} \left(\frac{d_1}{S}\right)^2\right\} - \frac{T_1 \times 10^3}{K}}{S \left\{1 + \frac{8}{3} \left(\frac{d_2}{S}\right)^2\right\} - \frac{T_2 \times 10^3}{K}} \quad d = \frac{WS^2}{8T}$$

여기서, W : 전선의 단위 길이 당 질량 [kgf/m]

을 대입하고 식을 정리하면,

$$\frac{(T_1 - T_2) \times 10^3}{KS} = -\alpha(\theta_1 - \theta_2) - \frac{T_1 - T_2}{AE} + \frac{W^2 S^2}{24} \left(\frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T_2^2} \right)$$

$\theta_1 < \theta_0 < \theta_2$, $T_1 > T_0 > T_2$ 로서, ()안이 정(正)이 되도록 정리하면,

$$\frac{(T_1 - T_2) \times 10^3}{KS} = \alpha(\theta_2 - \theta_1) - \frac{T_1 - T_2}{AE} - \frac{W^2 S^2}{24} \left(\frac{1}{T_2^2} - \frac{1}{T_1^2} \right) \quad (3)$$

또는,

$$\frac{1 \times 10^3}{K} = \frac{S\alpha(\theta_2 - \theta_1)}{T_1 - T_2} - \frac{S}{AE} - \frac{W^2 S^3 (T_1 + T_2)}{24 T_1^2 T_2^2} \quad (4)$$

식 (3)의 우변은 경간 S의 전선 신축 비율, 따라서 좌변은 S에 대한 소요 스트로크의 비율을 나타낸다.

식 (4)는 장력 범위를 T_1 , T_2 라고 하는데 필요한 S에 대한 스프링 정수를 나타내고 있다.

전차선의 경우에는 $W=0$ 으로 하고, 우변 제 3항을 0으로 한다.

즉, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

$$\frac{D}{L} = \frac{(T_1 - T_2) \times 10^3}{KS} = \alpha(\theta_2 - \theta_1) - \frac{T_1 - T_2}{AE} - \frac{W^2 S^2}{24} \left(\frac{1}{T_2^2} - \frac{1}{T_1^2} \right)$$

$$\frac{D}{L} = \alpha(\theta_2 - \theta_1) - \frac{T_1 - T_2}{AE} - \frac{W^2 S^2}{24} \left(\frac{1}{T_2^2} - \frac{1}{T_1^2} \right)$$

전차선의 경우에는

$$\Delta t = \frac{D}{L} = \alpha(\theta_2 - \theta_1) - \frac{T_1 - T_2}{AE} \quad (5)$$

또한, 조가선의 경우에는

$$\Delta m = \frac{D}{L} = \alpha(\theta_2 - \theta_1) - \frac{T_1 - T_2}{AE} - \frac{W^2 S^2}{24} \left(\frac{1}{T_2^2} - \frac{1}{T_1^2} \right) \quad (6)$$

따라서, 전차선과 조가선을 일괄 장력으로 사용하면 다음과 같은 신축량 식을 도출할 수 있다.

$$\Delta mt = \frac{L(\Delta t - \Delta m) \times T_t + \Delta m \times (T_m + T_t)}{T_m + T_t} \quad (7)$$

만일, 전차선과 조가선이 개별 장력이라면 식 (7)은 사용할 필요가 없고, 식 (5)와 식 (6)의 적용으로 전선의 신축량을 계산한다.

4. 적용 예 및 결론

스프링식 자동 장력 조정 장치는 구조가 단순하기 때문에 장력 조정 장치 자체의 기계적인 저항이 매우 작다. 따라서 지금까지의 사용(적용) 예에서도 알 수 있는 것처럼 이론상의 계산 값과 실제로 사용한 실측값과의 오차는 매우 작고, 거의 일치하고 있다.

다음 그림 3과 그림 4는 안산선 상행선에 설치된 71-1호주와 41-1호주의 결과를 도식화한 것이다.

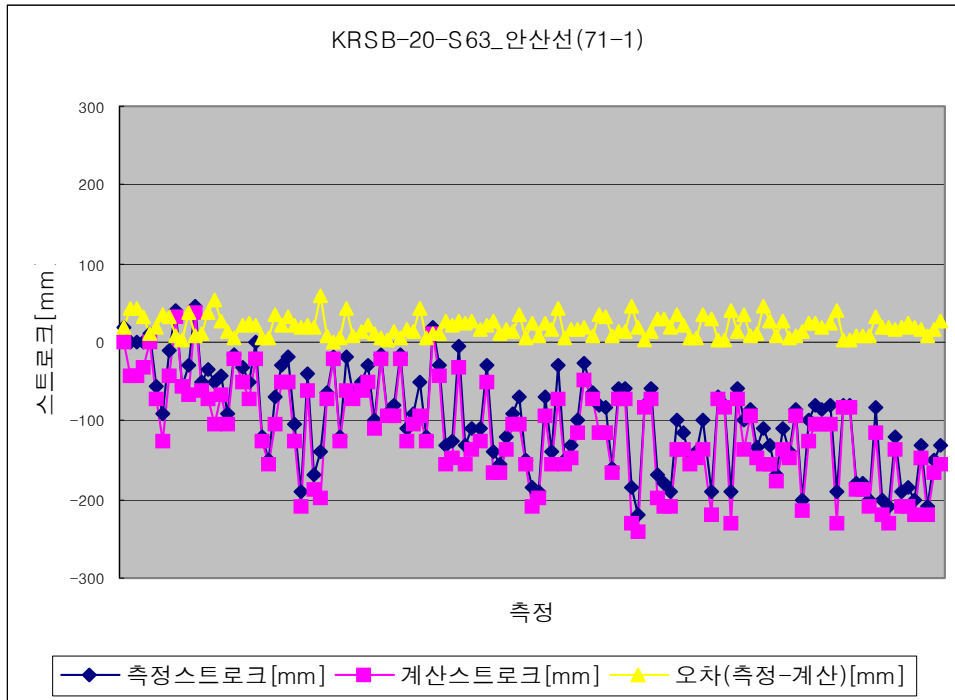


그림 3. 안산선 상행선(중앙-안산)의 71-1호주

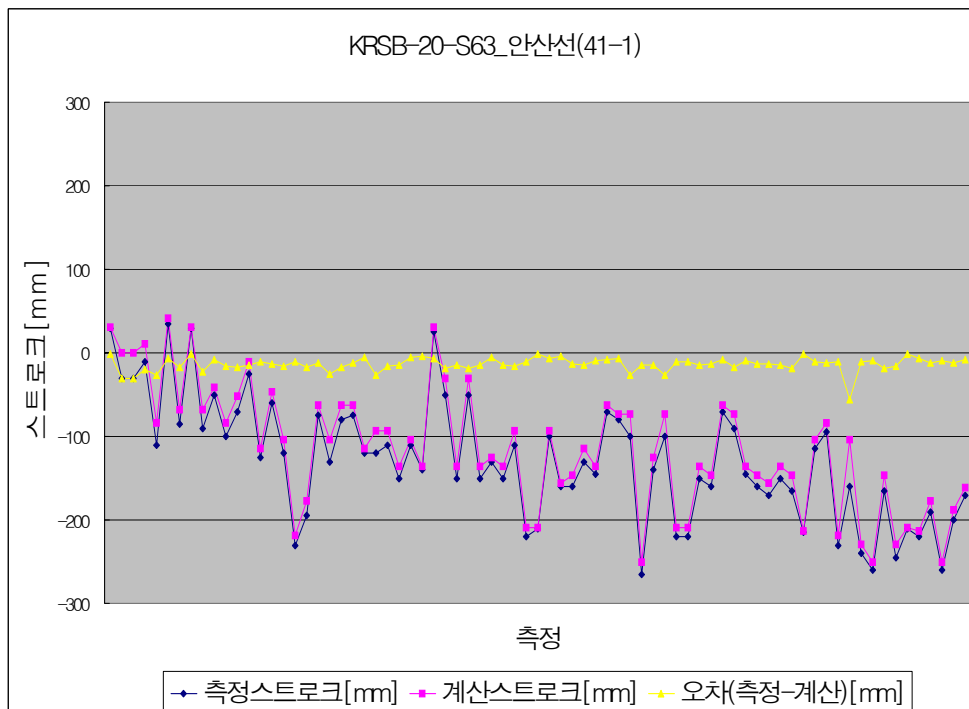


그림 4. 안산선 상행선(중앙-안산)의 41-1호주

전기 열차에서 최적의 집전을 하려면 전차 선로는 항상 일정한 높이와 일정한 장력을 유지하여 이선율을 최소화하여야 하며, 이러한 등고와 등장력을 위하여 고안된 자동 장력 조정 장치는 주변의 환경과 조건에 따라 자동으로 합성 전차 선로의 장력을 조절하게 된다.

따라서 기존의 장력 조정 장치의 조정에 있어 온도에 따른 선팽창계수만을 고려할 것이 아니라 본 논문에서 제안한 방식을 적용하면 좀 더 정확한 장력 조정을 할 수 있을 것으로 사료된다.