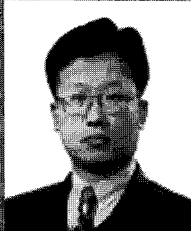


스프링식 장력조정장치의 운영을 통해 파악된 가선저항의 사례



이윤용 한 |
(주)디투엔지니어링
기술연구소 책임연구원
공학박사

1. 서론

1973년 6월 20일 산업선 청량리~제천간 전철화 준공을 시작으로 1974년 8월 15일 수도권 전철, 2004년 4월 1일 경부고속철도 1단계, 2006년 12월 8일 경부선 구간 전철화 및 2010년 11월 1일 경부고속철도 2단계 준공 등으로 현재 전철화율은 약 60.4%로 선진국 대열에 들어섰다. 한편, 지하철은 서울특별시 9개 노선을 비롯하여 부산, 대구, 인천, 광주, 대전 등 5개 광역시에 건설 운용되고 있다. 오늘날 전기철도는 친환경, 에너지비용 절감, 물류비용의 절감 및 안전, 신속, 정확, 안락한 교통수단으로 그 중요성과 국민들의 욕구는 증가되고 있다.

전기열차 가공전차선로의 합성전차선이 기온(온도)변화에 따라 신축할 때 장력조정장치인 활차

식, 도르래식 또는 스프링식은 합성전차선의 신축을 자동적으로 흡수하게 된다. 이때 가선상태에 따라 각종 가선저항이 발생하여 장력조정장치의 원활한 동작을 방해한다. 자동장력 조정장치의 정의 및 대표적인 종류는 다음 그림 1과 같다.

2004년 중소기업청과 한국철도공사의 구매조건부 신제품 개발사업으로 개발된 스프링식 장력조정장치는 스프링의 탄성으로 합성전차선의 장력을 일정하게 유지시켜주는 제품으로 경제성 및 철도 안전사고 예방에 최적이다. 또한, 다음 그림 2와 같이 합성전차선의 신축량을 스프링식 장력조정장치의 눈금자를 통해 직접적으로 확인이 가능하여 장력조정장치의 동작 여부 및 가선상태를 파악할 수 있다.

본 원고는 날로 증가하고 있는 전기철도에 있어서 가공전차선로의 핵심 설비인 장력조정장치가 온도변화에 따라 신축 동작하는데 영향을 미치는 가선 저항의 사례를 스프링식 장력조정장치를 통

전차선은 온도 변화에 따라 신축하기 때문에 전기철차의 펜타그래프(pantograph)에 전력을 공급하는 합성전차선은 언제나 일정한 장력을 필요로 한다. 따라서 합성전차선의 장력을 일정한 크기로 유지하기 위해서 장력조정장치를 설치하는데 이를 일반적으로 '장력조정장치'라고 한다.

종 별	기 능	현 황	형 태
활차식	대 소 활차와 장력추 이용	일반적으로 지금 까지 널리 사용	
도르래식	개별 도르래와 장력추 이용	유럽 여러나라 및 KTX, TGV	
스프링식	스프링의 탄성을 이용한 원리	일본 JR 등 1962년 JRS 제정. 실용화	

그림 1. 장력조정장치의 정의 및 종류

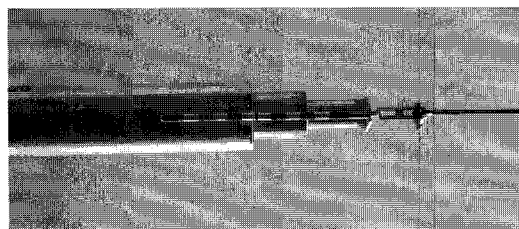


그림 2. 스프링식 장력조정장치

해 연구·분석하여 설계·시공 단계에 반영토록 하고 가선특성을 개선하여 전기열차의 팬터그래프(pantograph) 집전성능 향상 및 전기열차의 안전운행 확보와 이선현상을 감소시켜 전차선 수명을 연장하는데 일조하고자 한다.

2. 가선저항의 이론적 고찰

2.1 선로 구배 구간의 저항(외력)

선로에 구배가 있는 경우, 합성전차선 자체의 중량에 의한 외력이 항상 가해져 있는 상태가 된다. 구배 구간의 외력은 인류구간에서 양쪽 장력조정장치 설치 위치의 높이 차에 의해서 결정된다.

그림 3과 같은 경우 외력은 다음과 같다. 이 경우 A측의 장력이 $T+\alpha_g$, B측의 장력이 $T-\alpha_g$ 가 되고, A측의 중추는 B측의 중추에 대해서 h만큼 위치가 높고, 합성전차선은 B측으로 흐르게 된다.

$$\alpha_g = W(g_1X_1 - g_2X_2 + g_4X_4) \quad (1)$$

W : 합성전차선의 단위 중량[kg/m]

g : 선로 구배[%] X : 선로 구배 연장[m]

또한, 합성전차선의 단위 중량(W)은 조가선, 전차선, 행어 및 그 외의 중량을 총합한 것이다.

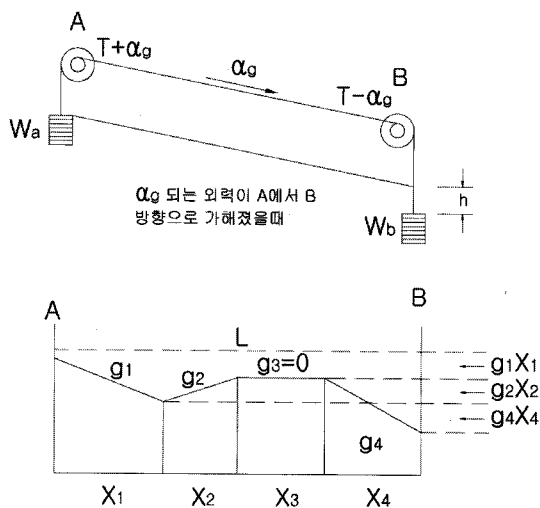


그림 3. 선로 구배 구간의 외력



그림 4. 고정법 구간

2.2 선로 곡선부의 저항(외력)

2.2.1 고정법 구간

그림 4와 같은 곡선로의 경우, 기온 변화 등에 합성전차선이 이동하면 이동을 억제하는 방향으로 힘이 생기고 합성전차선의 신축에 의한 이동을 방해하게 된다. 합성전차선의 이동에 의해서 생기는 전차선 방향의 분력은 다음과 같다.

$$\gamma = P \tan^{-1} \frac{X}{G - \delta} \quad (2)$$

따라서 곡선 부분은 조정구간의 한쪽으로 쏠리고, 다른 쪽이 직선인 경우에 직선측 장력조정장치의 중추가 밑으로 내려가거나 위로 올라가는 상태가 된다. 위와 같은 경우에는 조정구간을 표준보다 짧게 해서 전차선의 이동량을 작게 할 필요가 있다.

2.2.2 가동 브래킷구간

선로의 상황에 의한 O형과 I형의 가동 브래킷이 혼재하는 경우에는 문제가 없고, O형 또는 I형이 연속 혹은 집중할 때에 문제가 된다. O형의 경우 합성전차선의 횡장력에 의해 지지점에 생기는 전차선 방향의 분력은 다음과 같다. 따라서 전차선의 이동량을 늘리는 방향의 분력이 발생된다.

$$\gamma = P \tan \theta = T \times \frac{S}{R} \times \frac{X}{G + \delta} \quad (3)$$

- O형: 가선을 전철주 외측으로 빼는 타입으로 Output type의 약칭
- I형: 가선을 전철주 쪽으로 당기는 타입으로 Input type의 약칭

그림 5와 같이 O형 가동 브래킷이 연속 혹은 집중해 있는 경우, 풍력 등의 외력을 받아 가동 브래킷이 모두 동일방향

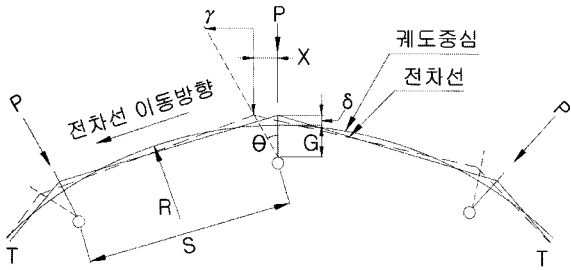


그림 5. 가동 브래킷 O형 구간

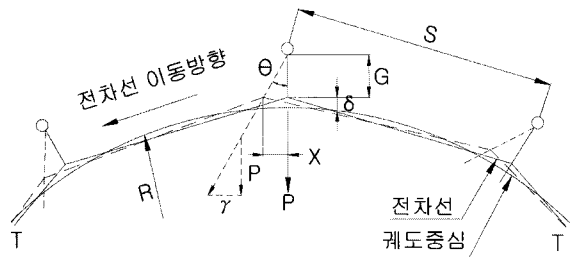


그림 6. 가동 브래킷 I형 구간

으로 회전을 시작하면 합성전차선은 흐르게 된다. 인류점 부근에 O형 가동 브래킷이 집중해서 다른 한편이 직선인

듯한 구간에서는 기온 상승 시에 중추가 너무 내려가고, 반대로 기온 하강 시에는 너무 올라가게 된다.

그림 6과 같이 I형의 경우는 전차선의 이동에 반대되는 방향의 힘이 된다. 따라서 조정구간의 인류점 부근에 집중되어 다른 쪽이 직선 혹은 O형이 연속인 경우에는 그 쪽 중추의 올라감·내려감이 I형에 근접하는 중추의 상하 이동량보다 많아짐으로 전차선 전체가 흐름의 상태가 된다.

다음 그림 7과 같은 경우를 생각해 보자. 장력조정장치가 설치된 전주 427-11U(상선)과 427-11D(하선)부터 흐름 방지장치까지 가동브래킷이 O형과 I형이 연속됨을 볼 수 있다. 이때 장력거리가 671[m]로 서로 같음에도 장력조정장치의 움직임은 가동브래킷 O형이 11본 연속 설치된 상선(427-11U)이 가동브래킷 I형이 연속 11본 설치된 하선(427-11D)보다 더욱 많음이 측정되었다.

2.3 곡선로에서의 억제 저항

장력조정장치의 조정거리(유효동작거리)는 합성전차선의 억제저항, 전차선 편위의 변화량, 중추의 동작범위 및 장력조정장치의 효율 등으로 제약된다.

그림 8과 같이 가동 브래킷이 온도 등의 변화에 의해서 A에서 B로 회전되었다고 하고, 곡선로의 길이를 D라 하며,

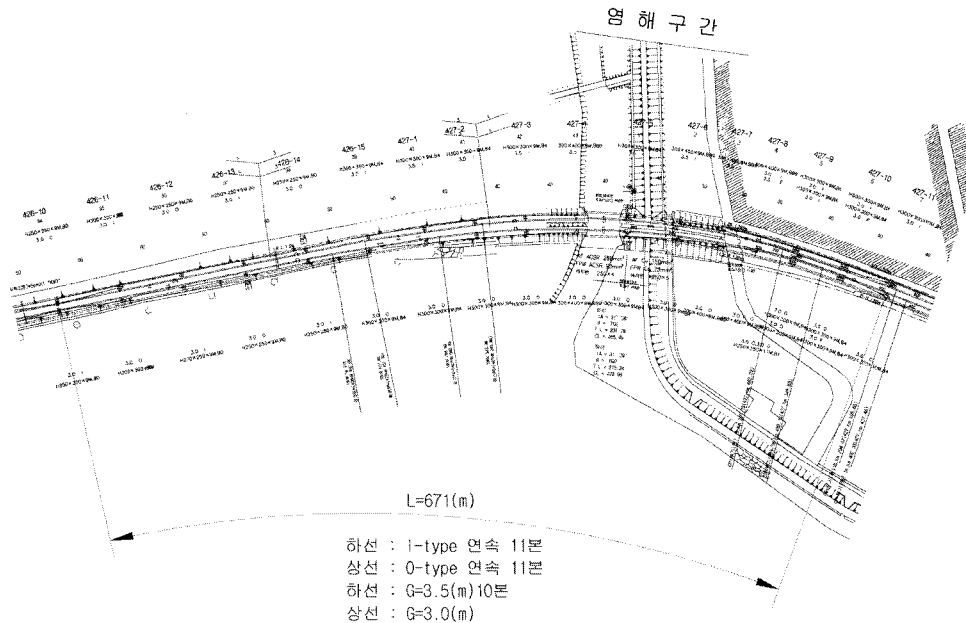


그림 7. 가동브래킷 O형과 I형이 연속 설치된 구간

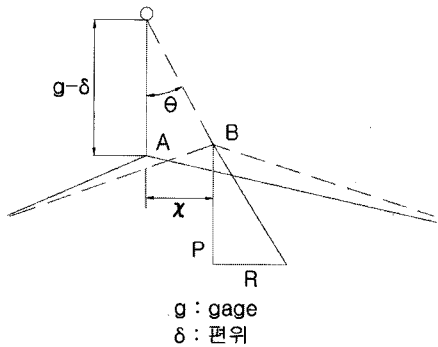


그림 8. 가동 브래킷의 형구간

경간 S에 n개의 지지점이 있고 고정단 또는 중심점으로부터 구하려는 곡선 중앙까지의 거리를 X라 하면 그 억제저항의 합 ΣR은

$$\Sigma R = T \times \frac{D}{G} \times \frac{C \cdot \Delta t \cdot X}{g} \quad (4)$$

로 된다. 또한, 장력조정장치의 조정거리 L은 표준경간 S, 가동 브래킷 1개당 억제저항 f, 가선저항 F, 장력변동 α, 장력조정장치 내부저항 γ, 억제저항 ΣR로 하고 표준온도에 대해 최고온도, 최저온도로의 온도차가 같다고 하면

$$\alpha F \geq \Sigma R_L + \frac{L}{S} \times f + r \pm R_0 \quad (5)$$

에서 산출된다.

2.4 합성전차선 흐름의 요인

합성전차선의 흐름을 조정하는 요인에는 다음과 같은 것이 있다.

- 활차식 장력조정장치 중추 중량의 불균형(중량차)
- 선로 조건(선로 구배, 선로 곡선부)
- 전차선의 선폽창신장 및 크립(creep)신장, 마모에 의한 신장
- 가동 브래킷의 종류(O형 혹은 I형이 정해져서 연속하는 경우)
- 기상 조건(온도변화, 풍향, 풍압)
- 전기차의 부하: 부하전류에 의한 줄열(Joule's heat)
- 열차진행 방향에 따른 영향

합성전차선의 흐름은 위에 열거한 복합 요인에 의하여

계산치와 차이가 있다.

2.5 기타 가선저항

가선저항에는 상기 선로 구배저항, 선로곡선부 저항 외에 다음과 같은 것들이 있다.

- 활차식/도르래식 장력조정장치의 내부저항: 축베어링 마찰
- 가동브래킷 가동저항: 가동고리 마찰(동와서 삽입 누락 등)
- 합성전차선 자중저항: 합성전차선의 자중이 브래킷의 한쪽 끝에서 휨하중으로 작용
- 풍압하중: 풍향에 따른 풍압하중(갑종 풍압하중)
- 기타 가선저항: 브래킷 위치 불량, 브래킷 회전각도 조정 불량, 교차금구 건넘선 걸림 저항 및 균압장치 불량, M-T균압선에 의한 저항.

3. 가선저항의 사례

3.1 평행개소(Air Section or Air Joint)의 브래킷 위치 불량에 의한 억제 저항

Air Section 또는 Air Joint 개소에서 장력조정장치 직전 가동브래킷의 지지점이 장력조정장치주와 같은 방향에 있지 아니하고 반대측에 있는 경우 합성전차선은 신축에 대응하지 못하여 장력조정장치가 기능을 제대로 발휘하지 못한다. 이러한 경우는 복선 또는 역구내 빗구간에서 설계 오류에 의하여 발생한다.

그림 9와 그림 10은 그 사례로 평행개소의 F형 브래킷의 동작이 원활하지 못하여 장력조정장치가 기능을 발휘하지 못한다.

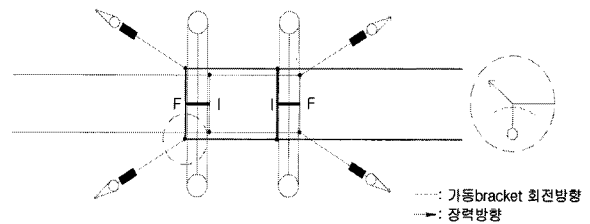


그림 9. 평행개소 F형 브래킷의 동작

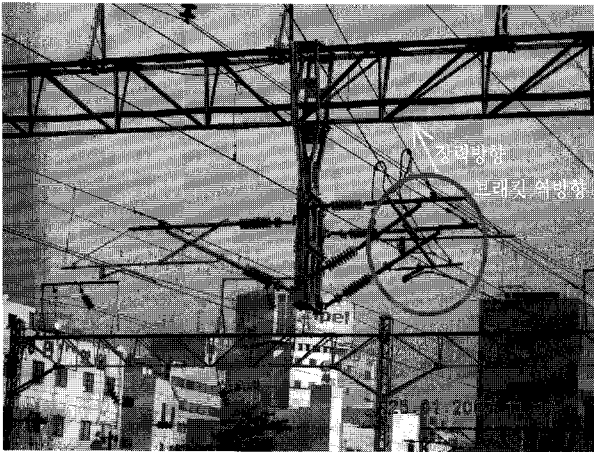


그림 10. 평행개소 F형 브래킷의 동작 사례

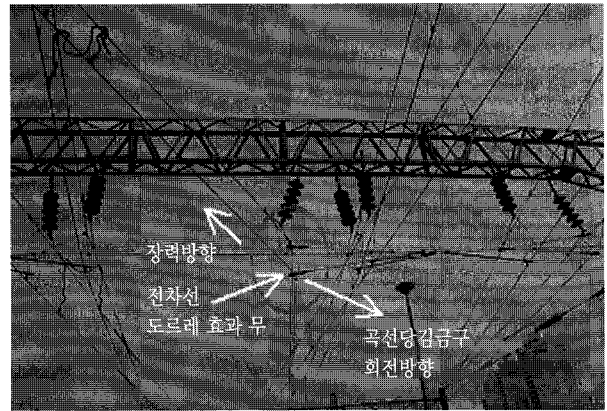


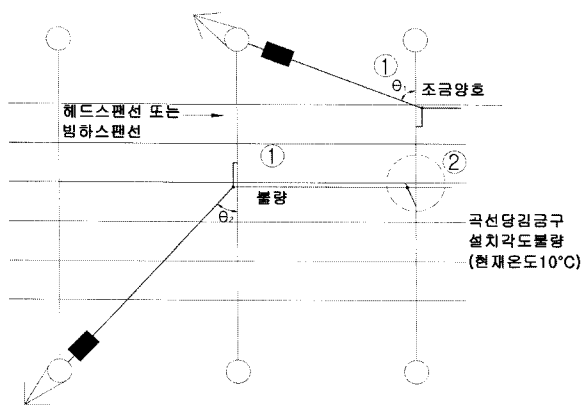
그림 12. 빔하 스패션 및 헤드 스패션 구간 사례 #1

3.2 빔하 스패션 또는 헤드 스패션 구간의 장력조정장치 가선 억제저항

그림 11의 ①에서 보는 바와 같이 빔하 스패션, 헤드 스패션 구간의 장력조정장치 무효부분 합성전차선 직전의 곡선당김금구는 전차선 또는 조가선을 당기는 방향으로 설치해야 하는 구조상의 문제점을 내포하고 있다. 따라서 조가선에 도르래를 설치하여 장력에 의하여 강제적으로 어느 정도 이동이 가능하나 전차선은 굽은 단선으로 가요성이 없어 도르래를 삽입하여도 별로 효력이 없다. 또한, 보



그림 13. 빔하 스패션 및 헤드 스패션 구간 사례 #2



- 주 ① 꺾임 부분 대책필요
 - 꺾임 각도(θ)를 기금적 크게 한다. ($\theta > \theta_0 > \theta$)
 - 도르래 설치시: 조가선 - 효과, 전차선 - 효과 거의 없음
 ② 곡선당김금구 설치각도 불량
 - 합성전차선 거리와 온도에 맞게 곡선당김금구 회전각도 조정

그림 11. 빔하 스패션 및 헤드 스패션 구간

조가선의 길이가 짧아 조가선의 신축에 따른 도르래의 이동이 원활하지 못하고 무효부분 전차선의 꺾임 각도가 심하면 장력조정장치의 동작에 지장을 준다. 그 사례는 그림 12와 그림 13에 있다.

3.3 빔하 스패션, 헤드 스패션 구간의 곡선당김금구 설치각도 불량에 의한 가선 억제저항

그림 11의 ②와 같이 빔하 스패션, 헤드 스패션 구간의 곡선당김금구의 설치각도가 인류지점에서 거리와 설치시 온도에 맞게 설치각도를 정확히 조정하지 않아 합성전차선의 신축에 따른 장력조정장치의 동작을 억제하고 있다.

3.4 교차금구에 의한 가선 억제저항

건넘선이 본선의 합성전차선 이동에 지장을 주는 경우

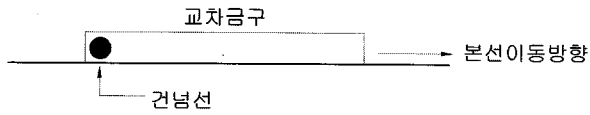


그림 14. 교차금구 구간의 사례

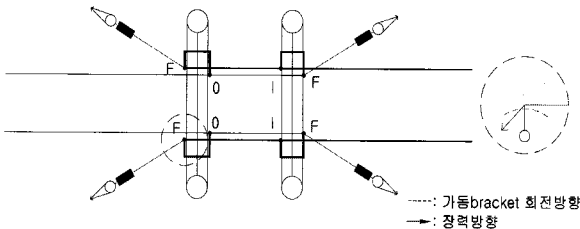


그림 15. 가동브래킷 역방향에 의한 억제저항 해소방안

건넘선이 본선의 교차금구 한쪽에 닿아서 본선의 이동에 지장을 주는 경우는 아래 그림 13과 같은 경우이다. 즉, 장력이 걸린 건넘선을 본선이 끌고 가는 형상이다.

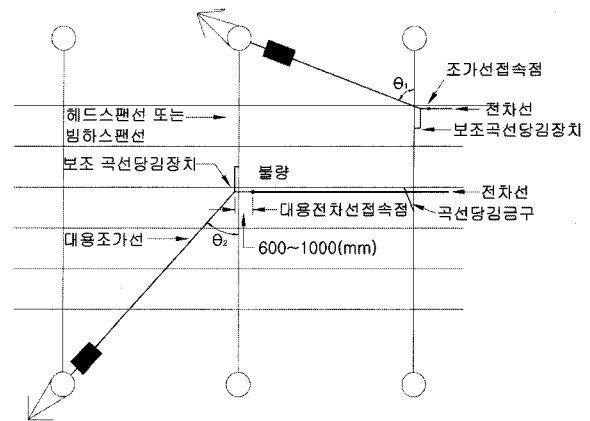
4. 가선 억제 저항의 해소 방안

4.1 평행개소(Air Section or Air Joint)의 억제저항 해소 방안

3.1의 평행개소에 있어서 가동브래킷 역방향에 의한 억제 저항 해소는 그림 15와 같이 브래킷 지지점이 장력조정장치 방향과 일치시킴으로서 해소할 수 있다.

4.2 빔하 스패션 또는 헤드 스패션 구간 장력조정장치 가선 억제 저항 해소방안

3.2 그림 11 ①의 빔하 스패션 또는 헤드 스패션 구간의 가선 억제저항 해소 방안은 장력조정장치 직전 곡선당김금구로부터 600~1000[mm] 지점에서 그림 16과 같이 전차선을 조가선으로 대체 접속하여 곡선당김금구에 조가선에서와 같이 도르래를 삽입하면 전차선의 억제저항을 감소시킬 수 있다. 또한, 무효부분 전차선의 꺾임 각도 θ 를 최대한 크게 한다. (직전 곡선당김장치 ⇒ 도르래부 보조 곡선당김장치로 변경)

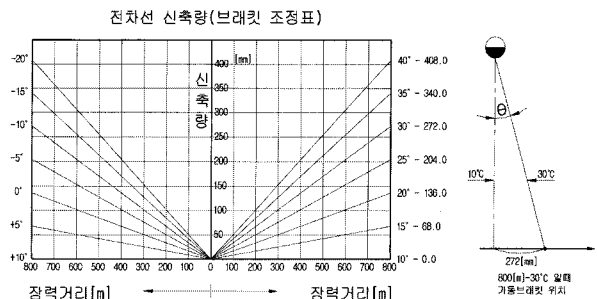


- 주. ① 곡선당김금구에서 600~1000[mm] 지점에서 전차선 대용 조가선(대용전차선) 접속
- ② 보조 곡선당김장치에 도르래(조가선 및 전차선) 삽입
- ③ 보조조가선을 도르래가 원활히 움직일 수 있게 길게 설치
- ④ 합성전차선의 꺾임 각도(θ)를 크게 한다. ($\theta > \theta_1, \theta_2$)

그림 16. 빔하 스패션 또는 헤드 스패션 구간의 가선 억제저항 해소방안

4.3 브래킷 또는 빔하 스패션, 헤드 스패션 구간의 곡선당김금구 설치각도 불량에 의한 가선 억제 저항 해소 방안

브래킷 또는 3.3의 빔하 스패션, 헤드 스패션 구간의 곡선당김금구 설치각도 불량에 의한 가선 억제 저항은 그림 17의 “온도변화에 따른 브래킷 조정표”를 참조하여 가동브래킷 또는 빔하 스패션, 헤드 스패션 구간의 곡선당김금구 설치각도를 정확히 함으로서 해소할 수 있다. 현장에서 회전 각도는 측정이 곤란하므로 회전 각도 θ 에서의 브래킷 위치에서 거리를 조정한다.



가동 브래킷 신축 및 조정은 온도변화에 따라 가동 브래킷이 회전하므로, 인류장치 또는 흐름방지를 중심으로 장력조정 장치까지의 전차선 길이를 알면 온도변화에 따른 가동 브래킷 위치를 곧 알 수 있으므로 이 조정표와 온도계를 휴대하면 조정작업을 편리하게 할 수 있다.

그림 17. 가동브래킷 역방향에 의한 억제저항 해소방안

4.4 기타

4.4.1 건넘선이본선의이동에 지장을 주는 경우

그림 14와 같이 건넘선이 본선의 이동에 지장을 주는 경우는 교차금구의 위치를 조정하여 장력조정장치의 동작에 지장을 주지 않도록 한다.

4.4.2 구배저항감소방안

선로 구배가 큰 선구에서는 구배의 위쪽에 합성전차선의 장력조정장치 대신 인류장치를 설치하고 구배의 아래 쪽에만 장력조정장치를 설치하는 것이 바람직하며, 활차식보다 스프링식 장력조정장치를 사용하는 것이 바람직하다.

4.4.3 곡선구간의곡선저항감소방안

곡선구간을 포함하거나 곡선로에서 I형 또는 O형 브래킷이 집중되는 구간은 가선저항을 계산하여 합성전차선의 장력거리를 감축 설계하는 것이 바람직하며, 양단 설치하거나 스프링식 장력조정장치를 설치하여 장력추에 의한 문제점을 제거하는 것이 바람직하다.

5. 결론

가공전차선로의 장력조정장치를 원활히 동작시켜 합성전차선의 장력을 항상 균일하게 유지하기 위해서는 합성전차선의 이동억제 요인을 설계·시공시부터 제거 또는 최소화하는 것이 합성전차선의 기능을 최대한 발휘할 수 있는 방법이며, 전차선의 수명을 연장하고 전기열차의 집전성능 향상으로 장애·사고 없는 전기열차의 운영 방안을 확보할 수 있고, 대 고객 서비스 향상에 기여할 수 있다고 생각된다.

본 원고는 날로 증가하고 있는 전기철도에 있어서 가공전차선로의 핵심 설비인 장력조정장치가 온도변화에 따라 신속 동작하는데 영향을 미치는 가선 저항의 사례를 스프링식 장력조정장치를 통해 연구·분석하여 설계·시공 단계에 반영토록 하고 가선특성을 개선하여 전기열차의 팬티그래프(pantograph) 집전성능 향상 및 전기열차의 안전운행 확보와 이선현상을 감소시켜 전차선 수명을 연장하는데 일조하고자 한다. S