

전차 선로 자동 장력 조정 장치의 개선 방안

A Suggestion for Improvement of Tension Balancer in Trolley Wire System

임금광*
Yim. Geum-Kwang*

윤용한**
Yoon. Yong-Han**

ABSTRACT

This paper presents a suggestion for improvement of tension balancer in trolley wire system. In the overhead trolley wire systems, one of the most things is tension balancer. Because it can be automatically adjusted tension for expansion and contraction of overhead catenary system. In this paper, we introduce and suggest spring tension balancer(STB).

1. 서론

전차선로는 급전선로, 가공 전차선로, 귀선로, 기기설비 및 보호설비 등으로 구성되며, 가공 전차선로는 가공 전차선과 그 지지물로 구성된다. 일반적으로 가공 전차선은 합성 전차선, 장력조정장치, 구분장치, 인류장치, 흐름방지장치, 폭선당김장치, 급전분기장치, 굽압장치, 견널선장치 등으로 이루어지는 특별한 전선이다.

가공 전차선에서 가장 중요한 장치는 장력조정장치이다. 이 장치로 인하여 가공 전차선은 살아 움직이는 전선이라고 할 수 있다. 조가선 및 전차선은 대기온도 변화에 의한 신축, 부하전류의 변동에 따른 Joule열 발생에 의한 신축, 경년 변화 및 전차선의 마모에 의한 탄성 신장으로 전차선의 이도 장력에 영향을 끼치게 된다. 그 결과 이선에 의한 전차선의 집전성능 약화, 장력증대에 따른 전차선 단선 등의 위험이 생겨 전기 열차의 운전에 지장을 초래하게 된다. 이 때문에 전차선의 장력을 일정한 수준으로 유지하기 위해서 설치하는 장치를 "장력조정장치"라고 한다.

장력조정장치는 전기적, 기계적으로 충분한 강도를 갖는 것이 필요하고, 다음과 같이 구비조건이 요구된다.

- 합성 전차선의 장력에 충분히 대응할 수 있는 기계적 강도를 가질 것.
- 굽구, 예자 등의 집속 결합 장소에서는 기온저하에 의한 장력의 증대 외에 열차, 풍압

* 정희원, (주)대동기술단 기술연구소 소장, 경북대학 철도전기학 겸임교수, (T)02-330-5070, yimgk@hanmail.net

** 정희원, (주)대동기술단 기술연구소 책임연구원, (T)02-330-5071, nofatc@hanmail.net

등에 의한 기계적 동요, 진동에 견딜 수 있을 것

- 전기적 절연 내력을 유지할 것

이동 부하인 전기 열차의 pantograph에 접촉하여 전력을 공급하는 합성 전차선은 외기온도 변화 등에 상관없이 항상 레도면상 일정한 높이를 유지하기 위해 설치하는 장력조정장치에는 “자동식”과 “수동식”이 있고, 자동식에는 “활차식”과 “도르레식”이 널리 보급되어 있고, 일부 “스프링식”이 보급되고 있다. 국내에서는 활차식이 주종을 이루며, 도르레식은 경부고속철도 신선에 도입되었다. 스프링식은 급전 조가방식을 채택하고 있는 부산지하철과 일부 차량기지에 채용되고 있다.

21세기 국가철도망기본계획(1996. 06.)에 의하면 국철 총영업거리 3,123.0[km]에 전철화율 21.4[%]를, 2010년에는 총영업거리 3,844.5[km] 전철화율 69.9[%]로, 2020년에는 총영업거리 5,170.9[km]에 전철화율 79.7[%]인 4,123.7[km]로 철도 현대화를 구현하게 된다. 따라서 2005년 1월 철도청 공사화를 앞두고 전기철도설비의 유지보수에 있어서 무보수화(full maintenance free)가 시급한 실정이다. 80[%]대의 전철화에 대응하여 가공 전차선에서 가장 중요한 장치의 하나인 자동장력 조정장치로 널리 쓰이고 있는 “활차식” 장력조정장치의 문제점을 도출하여 그 개선 방안을 제시코자 한다.

2. 본론

2.1 자동장력 조정장치의 종별과 사용 구분

철도청 훈령 제7965호(2003. 05. 24.) 전철전력 시설규정 제130조(장력조정장치)에 의하면

① 전차선, 조가선 및 빔하스팬선의 온도 변화에 따른 장력 변화는 자동장력 조정장치에 의하여 조정함을 원칙으로 한다. 다만, 속도 45[km/h]이하 선로의 전차선 및 조가선은 수동장력 조정

장치를 사용할 수 있다.

② 자동장력 조정장치는 온도 변화, 조정 거리, 설치 장소 등을 고려하여 적합한 것을 사용해야 한다.

③ 자동장력 조정장치의 종류와 사용 구분은 다음 각 호에 의한다.

1. 스프링식

가. 빔하스팬션에는 스프링 밸런서를 설치한다. 다만, 차고, 차량기지 등에서 4선 이하인 경우는 턴버클을 사용할 수 있다.

나. 스프링 밸런서의 통기 구멍은 반드시 아래쪽으로 향하도록 설치한다.

2. 활차식

가. 본선 및 본선과 교차하는 합성 전차선 또는 전차선에 사용하고 인류구간의 길이가 800[m]이하인 경우에는 양쪽에 설치한다.

나. 중요한 측선 등으로 필요한 경우는 “가”에 준하여 설치한다.

④ 항에서 ⑥ 항은 생략

⑦ 터널을 통과하여 설치하는 것은 활차식으로 하고 터널 내에 설치하는 장력조정장치는 스프링식 또는 수동식으로 할 수 있다.

상기 규정에서 보는 바와 같이 본선 및 주요 측선의 합성 전차선 또는 전차선에는 “활차식 자동장력 조정장치”를 사용하게 되어 있고, “스프링식”은 빔하스팬션 또는 터널 내 등 장력의 변화 폭이 작은 구간에 사용하게 되어 있다. 이는 본선용 스프링 밸런서가 개발 보급되지 아니한데 기

인한 것이라 하겠다.

2.2 활차식 자동장력 조정장치의 원리와 특징

활차식 자동장력 조정장치(WTB)는 활차의 원리를 응용한 것으로 활차부(대활차, 소활차)에 각각 와이어 로프를 감아 소활차에 전차선을 인류하고, 대활차에 중추를 달아 내린 것이다. 온도 변화에 따라 전차선의 이도 및 장력이 변하면 활차가 중추에 의해 회전해서 전차선 신축에 따른 이도와 장력을 자동적으로 유지하는 구조로 되어 있다. 활차식 자동장력 조정장치의 주된 구성 요소가 활차부 및 중추부로 되어 있기 때문에 동작이 확실하고 정확하기 때문에 현재까지 가장 많이 사용되고 있으며, 활차비는 3:1, 4:1, 5:1 등이 있으며 환경과 기후 조건 및 가선 장치의 구성 조건에 따라 선택된다.

활차식 자동장력 조정장치는 전차선과 조가선을 일괄 조정하는 방식과 개별 조정하는 방식 등이 있고, 다음과 같은 조건이 요구된다.

- 경년 변화에 의한 와이어 로프의 단선 위험이 없을 것
- 원활한 동작 특성을 갖는 것
- 합성 전차선의 흐름 방지 기구를 갖는 것
- 급유부가 적고, 급유가 용이할 것
- 와이어 로프의 교환이 용이할 것
- 지지물에 설치가 용이할 것
- 전차선의 인류방향으로 용이하게 추종할 수 있을 것

2.3 도르레식 자동장력 조정장치의 원리와 특징

도르레식은 움직도르레와 고정도르레를 조합하여 사용하는 방식으로 동작 원리는 간단하지만 소활차와 대활차를 동일축으로 하는 활차식보다 복잡한 구조이다. 도르레식은 전차선과 조가선을 개별 조정하는 시스템에 사용되며 조가선의 허용 인장하중에 부합될 수 있도록 중추 중량을 조정할 수 있으며, 온도의 급변 등에도 전차선과 조가선의 이도를 일정하게 유지할 수 있어 전차선의 고속 집전 특성과 안정성을 향상시킬 수 있으므로 고속 운전 구간에 적합하여 KTX, TGV, ICE 등에 채택되고 있다.

2.4 스프링식 자동장력 조정장치의 원리와 특징

스프링식 자동장력 조정장치는 스프링의 탄성을 이용해서 장력을 조정하는 것으로 역구 내의 상하 건널선 및 측선 등에 사용되고 있는 “스프링식 자동장력 조정장치(STB)”와 일본의 신칸센 터널 내에 사용되고 있는 “터널용 자동장력 조정장치(TTB)”와 최근 본선용으로 개발된 STB(NSTB)가 주로 일본에서 사용되고 있으며, 국내에도 지하철 차량기지 및 부산지하철, 철도청 터널구간에 일부 사용되고 있다.

2.4.1 STB(spring tension balancer)

스프링식 자동장력 조정장치는 강철제 코일 스프링의 신축을 피스톤 운동과 연동시켜 전차선의 장력을 조정하는 것으로 구조, 외관이 간단하며 무보수의 장점이 있어 WTB의 대체용으로 각광을 받게 되었다. STB의 구조는 그림 1과 같다.

2.4.2 TTB(tunnel tension balancer)

터널용 자동장력 조정장치는 장력에 대하여 일정한 하중으로 constant hanger의 원리를 응용한 것으로 구조는 외통과 코일 스프링 사이에 램 구조를 조합시켜 전차선의 장력을 일정하게 유지하도록 한 것이다. 코일 스프링에 가해지는 하중이 거의 일정하고 가선의 장력변화가 거의 없게 되어 특징이다. 팔차식 자동장력 조정장치에 비해서 간단한 구조이기 때문에 설치 장소에 제약을 받는 신칸센 등의 터널용으로 개발, 사용되고 있으며 그 구조는 그림 2와 같다.

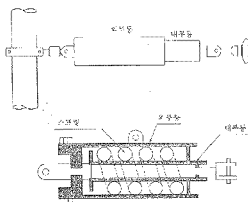


그림 1. STB | 구조

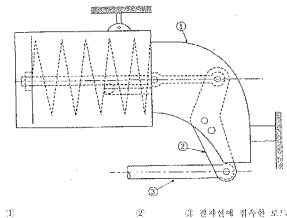


그림 2. TTB | 구조

2.4.3 NSTB(new STB)의 개발

일본 국철(JR)은 1958년 전차선로용품 제조전문업체 電業(Dengyo Incorporated)과 스프링 제조전문업체 日本發條(NHK Spring Co., Ltd.)와 공동으로 “스프링의 자동장력 조정장치” 개발에 착수하여 1962년 STB 개발에 성공하여 JRS(일본-국유철도규격)로 제정하였다. 그러나 STB는 300[m] 이하의 긴전선이나 특수용으로만 사용하여 오면서 신뢰성과 안전성을 검증하였으며, 1990년에는 STB를 개량한 NSTB를 개발하여 본선용으로 사용하기 시작하였으며, 1993년 ND205S 고강도 스프링제 사용으로 경량화를 이룩하여 1997년 일본 특허를 획득하였다. 1999년 신강종 SUP12V 사용 및 전차선 회전방지 기능을 첨가하여 고 신뢰성과 안전성을 제고한 NSTB 개량형이 완성되었다. NSTB의 성능과 구조는 표 1과 그림 3과 같다.

표 1. NSTB의 성능

| 종 별 | 성 능 | 비 고 |
|----------|--|---------------------------|
| 스프링 재질 | 고강도 강 재용(SUP12V) | |
| 사용 온도[℃] | 표준 : +10[℃] / 최고 : +40[℃] / 최저 : -25[℃] | |
| 스프링의 여유 | 규정치 ± 20[%] | |
| 장력의 변화 | 규정치 ± 15[%] 이내 | 스프링의 히스테리시스 포함 |
| 인장 내하중 | 최대 장력의 2.5배에 견딜 것 | |
| 회전 방지 기능 | 본체 동력시 중봉, 내통의 회전 방지 기능 가질 것 스프링은 회전 도량 | |
| 방청 처리 | 내, 외통은 용융아연도금/알루미늄 도금 선택 | 용융아연도금시 부착량 HDZ 55->70 강화 |
| 외통 치수 | φ318.5[mm]×1,2880[mm]×370[kg] 이하 | NS300-2 기준 |
| 장력 거리 | 최대 800[m] | |
| 기대 수명 | 30[년] 이상 | |

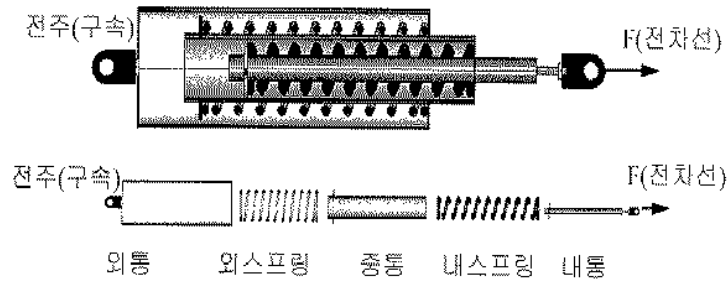


그림 3. NSTB의 구조

3. 자동장력 조정장치의 장·단점

3.1 활차식 및 도르레식의 장·단점

3.1.1 장점

외기 온도, 전선의 Joule 열, 전차선의 마모 신장 등 합성 전차선의 장력 변화에 응동하는 접과 주요한 요소가 활차부와 중추이기 때문에 그 동작이 확실하고 정확한 것이 장점으로 현재까지 많이 이용되고 있다.

3.1.2 단점

① 유지보수 인력 파다 소요

철도청 훈령 제7964호(2003. 05. 24.), 전철전력설비 보수규정 제4조(검수기준) 및 제5조(검사의 종류)에 의하면 순회·정밀·중점 검사에 많은 시간과 인력이 소요된다. 특히, 주1회 이상의 도보검사는 현재의 철도청 전철 분야 인력으로는 시행이 불가능한 실정이다.

② 유지보수의 어려움

활차식과 도르레식은 중추, 와이어 로프, 활차 및 도르레, 추 유도봉 및 지지금구, 전주밴드류 등 많은 부속설비로 구성되어 있고, 선로변 좁은 공간 및 고소에 설치되어 있어 중추 높이 조정, 와이어 로프 구리스 도포 등 유지보수에 어려움이 많다.

③ 장애발생 요인이 많음

대기에 노출되어 있고, 와이어 로프는 마모되어 소선 단선이 일어나고, 축 베어링은 분해/점검이 불가능하고, 기타 금구류는 부식 발생이 심하며 중추는 4 계절 및 밤낮 기온차로 이동이 심하고, 태풍 등 자연 환경에 따라 장애 발생 요인이 많다. 또한, 외형이 크고 전차선의 단선시에는 중추가 수하해서 충격이 커지고, 전차선이 양측에 이용되는(양인) 경우에는 전차선이 선로 경사 등에 의해서 유도하기 쉬운 결점이 있다.

④ 수명이 짧다.

최근 일본에서 활차식 자동장력 조정장치를 정밀 점검 및 분해 검사 결과, 와이어 로프 및 축과 축 베어링은 15년 주기로 교체하여야 안전을 확보할 수 있고, 30년 수명을 유지할 수 있음이 확인되었다. 따라서 국내 수도권 전철이 개통된 지 30년이 지났으므로 활차식 자동장력 조정장치에 대한 대책이 시급하다고 하겠다.

⑤ 보수 유지비 파다

위에서 살펴 본 바와 같이 도보 순회에 따른 인건비, 와이어 로프에 구리스 도포, 중추 높이

조정, 축 베어링 및 와이어 로프 교체 등에 따른 인건비 및 자재비 등 유지 보수비가 과다하게 소요된다.

⑥ 직원의 안전 사고 등 직무 사상 요인이 크다.

고속·고빈도 열차가 운행되고 있는 선로 변을 주 1회 이상 순회 점검과 좁은 공간 및 고소에서 와이어 로프 구리스 도포, 장력추 높이 조정 등 직원의 안전 사고 발생 요인이 높고, 실제 순회 사고와 공상자가 발생되고 있다.

3.2 스프링식 자동장력 조정장치의 장단점

3.2.1 장점

① 무보수화(full maintenance free) 가능

스프링 밸런서는 외통과 설치 금구 이외 주요 부품이 대기에 노출되지 않고 부속 설비가 없어 무보수화가 가능하다.

② 유지보수비 절감

활차식(WTB)의 축 베어링 교체 및 와이어 로프의 15년 주기 교체나 와이어 로프의 매년 구리스 도포, 특히 주 1회 이상 순회 점검이 필요 없어 유지보수비가 획기적으로 절감된다.

③ 수명이 길다.

스프링 밸런서는 무보수 수명이 30년 이상으로 WTB 보수 수명 30년보다 유리하다.

④ 고객 서비스 향상 및 직무 사상 사고 우려 감소

순회 점검 및 주상 작업 등 안전 사고 요인이 없어지므로 직원의 사상 사고 우려가 없어지고, 고 신뢰성으로 시설물 장애 사고가 없어 대 고객 서비스 향상으로 철도 공신력 제고로 인한 여객 유도에 기여하게 된다.

3.2.2 단점

스프링 밸런서는 고 신뢰성 코일 스프링이 주 부품이고, 조립·시험의 노하우(know-how)가 요구되는 제품으로 초기 투자비(재료비+공비)가 WTB에 비하여 약 270[%]이다. 그러나 3.1.1의 장점으로 볼 때 장기적으로 WTB보다 유리하다.

4. 결론

조가선, 전차선은 온도 변화에 의한 신축, 부하 전류에 따른 신축, 장기 사용에 의한 전차선 마모에 따른 탄성 신장으로 합성 전차선 이도 장력의 영향을 주는 요소의 악 영향을 최소화해야 한다. 즉, pantograph의 이선, 집전 성능 악화, 장력 증대로 전차선의 단선 등 위험을 제거하기 위하여 합성 전차선의 장력을 일정하게 유지시켜주는 자동장력 조정장치를, 유지보수비가 저렴하고 직무 종사자들의 안전을 도모하기 위하여 종래의 활차식을, 최근 개발 실용화되고 안전성과 신뢰성이 입증된 스프링식 자동장력 조정장치로 대체하는 것이 바람직하다고 사료된다.