

# 고속철도에 적합한 판스프링식 자동장력조정장치



안영훈 |  
세종기술(주)  
기술연구소  
연구소장, 전기철도기술사



박현웅 |  
세종기술(주)  
기술연구소  
선임연구원

## 1. 서론

전기철도시대에 있어서 열차의 팬터그래프와 직접 접촉하여 전기를 공급하는 전차선로는 매우 중요한 설비이다. 이 전차선로 설비에 등고, 등요, 등장력이 유지 되어야만 열차에 안정적인 전력이 공급되어 열차가 안전하게 운행될 수 있다. 전차선로 설비에서 등장력의 유지가 원활하지 못하면 등고, 등요가 이루어지기 어려운 특성이 있으므로 전차선로 설비에 있어서 등장력은 매우 중요한 요소이다.

전차선로에 최대한의 등장력이 이루어지도록 해 주는 기기장치가 자동장력조정장치이다. 즉, 자동장력조정장치는 전기철도에 전력을 공급하는 전차선과 조가선이 날씨, 온도와 상관없이 자동으로 일정한 장력을 유지할 수 있도록 돕는 기기로 열차의 집전상태를 양호하게 유지하고 열차의 속도를 향상시키는 역할을 담당한다.

이러한 중요성 때문에 자동장력조정장치는 전기철도시대의 발전과 더불어 계속하여 그 성능과 특성이 발달되어왔다. 특히, 고속철도 시대를 맞이하여 열차의 고속주행과 전기공급의 안정성이라는 관점에서 자동장력조정장치에 대한 기술향상이 절실히 요구된다. 이러한 측면에서 자동장력조정장치에 대한 기술발전 동향을 살펴보고 오늘날의 고속철도 시대에 있어서 가장 적합한 자동장력조정장치에 대하여 검토하여 본다.

## 2. 자동장력조정장치의 기술발전 동향

### 2.1 활차식 자동장력조정장치

활차의 원리를 응용한 것으로 온도변화에 따라 전차선의 장력 및 이도가 변하면 활차가 회전하고 중추가 상하로 움직임을 통해 전차선의 이도를 조정하여 전차선의 장력을 항상 일정한 장력으로 유지하는 장치이다. 장력변화율은 5% 이하이다<sup>2)</sup>.

설치 및 유지보수 등에 불리하나 그 동작이 확실하고 정확하기 때문에 현재까지 가장 많이 쓰이고 있다. 그러나 일괄식 설치의 경우 전차선의 단선시 조가선의 장력 부담이



그림 1. 활차식 자동장력조정장치

너무 커지게 되는 단점이 있다. 또한, 허용인장 강도가 부족하게 되며 온도의 급변시 전차선과 조가선의 이도가 불균형하게 발생할 가능성이 많아 저속주행 등에 많이 적용되어 왔다. 개별식 설치의 경우에는 온도의 급변 등에도 전차선과 조가선 이도의 일정한 유지가 가능해 고속주행에도 사용되고 있다. 정기적으로 윤활구리스 주입 및 점검 등의 보수가 필요하며 중량이 많이 나감으로 유지보수비가 많이 든다<sup>3,5)</sup>.

### 2.2 도르래식 자동장력조정장치

도르래의 원리를 이용하여 장력 배분의 정밀성을 유지하고 또한 중추를 이용하여 조가선과 전차선을 개별적으로 자동장력조정하는 방식이다. 우리나라의 경우 프랑스로부터 고속철도가 도입됨에 따라 경부고속철도에 처음으로 도입되기 시작한 자동장력조정장치이다. 이 장치의 장력변화율은  $\pm 3\%$ 이하로 매우 양호하다<sup>1,7)</sup>.

전차선 단선시 조가선에 파급이 없으나 중량이 많이 나가고 시설이 매우 복잡하여 시공 및 유지보수가 어렵다는 단점이 있다. 특히, 고속으로 주행하는 고속철도구간에서 인력에 의한 유지보수는 많은 문제점을 가지고 있다.

도르래의 원활한 회전을 위한 베어링 부분이 개방형으로 되어 있어 외부로부터 수분이 침투 될 경우 베어링을 부식시키므로 베어링에 정기적인 윤활구리스 주입이 필요함으로 유지보수비가 증가한다.

### 2.3 코일 스프링식 자동장력조정장치

코일스프링의 탄성을 이용하여 장력을 자동조정하는 장

치이다. 강철제의 코일 모양 스프링 재료에 의한 신축 피스톤 운동과 연동시켜 전차선의 장력을 조정하는 구조를 갖는다. 활차식이나 도르래식에 사용되는 베어링의 교환 등이 불필요한 구조를 가지며 외관이 간단하지만 장력변동율이  $\pm 15\%$ 에 이르러 코일스프링의 탄성만으로 장력을

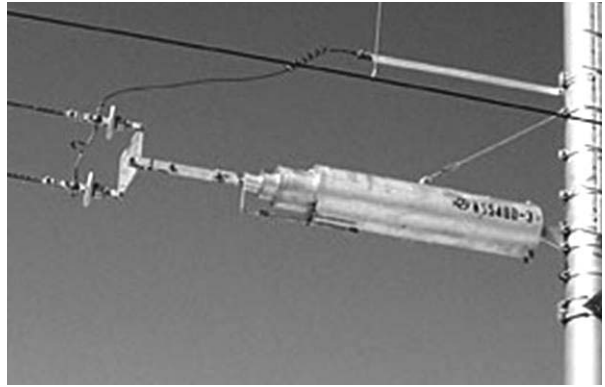


그림 3. 코일스프링식 자동장력조정장치(일본제품)

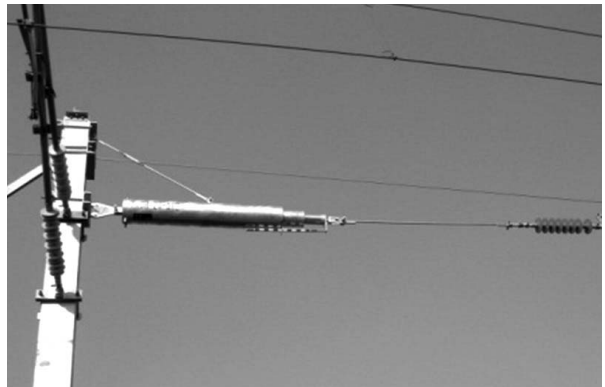


그림 4. 코일스프링식 자동장력조정장치(한국제품)



그림 2. 도르래식 자동장력조정장치



그림 5. 코일스프링식 자동장력조정장치(중국제품)

일정하게 유지하는데 어려움이 따른다<sup>6)</sup>. 장력이 증가함에 따라 장치의 중량과 길이가 증가할 뿐 아니라 온도 급변 시 전차선과 조가선 이도에 불균형이 발생할 가능성이 많아 300km/h 이상의 고속철도용으로 사용하기에는 불리하다.

최대신장거리는 750mm로 짧은 편이며 역구내의 상·하 건널선 및 측선에 주로 사용되고 있다. 활차식 자동장력조정장치에 있던 스톱버 기능이 없으므로 전차선 단선 사고 발생 시 연차적인 사고 발생율이 높은 반면 정기적인 구리스 주입이 필요하여 유지보수비가 증가한다.

2.4 가스식 자동장력조정장치

외부 온도에 따라 원통 용기에 밀봉된 기체의 체적 변화에 의한 자동장력조정장치이다. 전차선의 온도와는 상관 없이 장력조정장치 외부의 온도에 의해서만 작동한다. 또한, 원통 용기의 기밀성에 문제점이 발생하면 쉽게 기체가 방출되어 자동장력조정장치의 기능을 상실한다는 치명적인 단점을 가진다. 따라서 온도 변화가 적은 터널 및 전차선로의 길이 신축변화가 적은 인류개소에서만 한정적으로 사용한다.

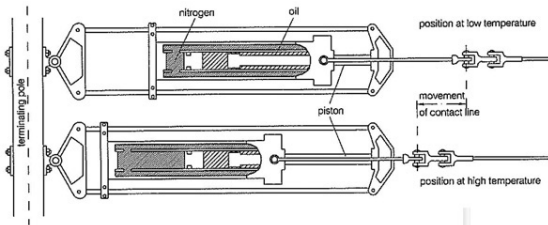


그림 6. 가스식 자동장력조정장치



그림 7. 유압식 자동장력조정장치

2.5 유압식 자동장력조정장치

원통 용기에 밀봉된 기름의 외부 온도에 따른 수축팽창을 장력조정에 이용한 자동장력조정장치이다.

가스식 자동장력조정장치와 유사한 동작구조를 가지는 장치이다. 따라서 원통 용기에 문제점이 발생하면 쉽게 기름액체가 누유되어 자동장력조정장치의 기능을 상실한다. 그러므로 이 장치 또한 특수개소에서만 한정적으로 사용된다.

2.6 판스프링식 자동장력조정장치

판스프링식 자동장력조정장치는 활차의 원리나 코일 스프링의 탄성 등을 이용한 기존 제품과는 달리 복원력이 월등히 뛰어난 판스프링을 사용한다.



그림 8. 판스프링식 자동장력조정장치

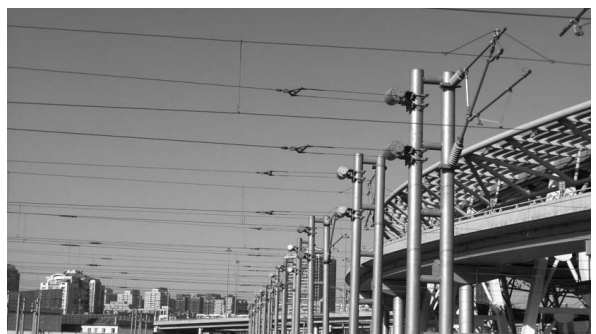


그림 9. 중국 베이징남역의 설치전경

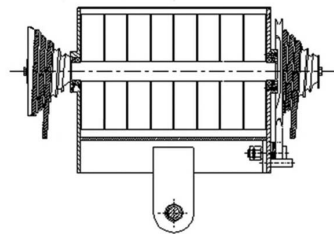


그림 10. 판스프링식 자동장력조정장치 내부 구조

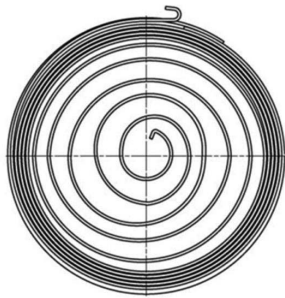


그림 11. 판스프링식 자동장력조정장치 내부 스파이어럴 스프링 형상

작동원리는 사전 감김 접촉식 플랫 스파이어럴 스프링 (pre-winded contact flat spiral spring, 이하 ‘스파이어럴 스프링’)에 저장된 탄성 변형 에너지를 사용한다.

환경 온도 변화 시 가공 전차선의 길이는 열팽창과 냉수 축 작용에 의해 변하며, 이때 그루브 풀리(조정 케이블을 수축, 신장하는 역할을 하는 측면의 원뿔형 모양의 장치)는 주축상의 스파이어럴 스프링을 구동한다.

스파이어럴 스프링의 주축에 수직으로 설치된 평면에 회전 모멘트(pivoting moment)가 발생되고, 스파이어럴 스프링은 탄성 변형 에너지를 저장하며, 스파이어럴 스프링의 조임과 풀림으로 인해 발생하는 토크는 조정 케이블의 수축과 신장을 촉진하여 전차선 및 조가선의 길이가 변하는 동안 장력을 일정하게 유지할 수 있다.

### 3. 판스프링식 자동장력조정장치의 특성

자동장력조정장치의 기술발전 동향에서 설명한 장치 중에서 그 특성이 고속철도 전차선로설비에 적합한 판스프링식 자동장력조정장치의 특성을 열거하면 다음과 같다.

1. 장력 변동률이 4% 이내로 매우 안정적이다.
2. 1,300mm의 스프링 신장거리를 가지므로 전차선 인 류길이가 크다.
3. 타제품에 비해 콤팩트한 사이즈로 제작되어 공간이 협소한 터널 등 어는 장소에나 적용에 유리하다.
4. 간단한 구조와 빠른 설치로 시공기간이 단축되고 건설비용이 절감된다.
5. 밀폐형으로 극한의 상황에서도 20년간 무보수가 유지된다.

표 1. 자동장력조정장치 비교표

구분	판스프링식 장력조정장치	코일 스프링식 장력조정장치	활자식 장력조정장치
개요	판스프링 내장	코일스프링 내장	장력추 이용
장력변화	±4% 미만	±15% 미만	±5% 미만
온도범위	80℃	60℃ (-20℃~+40℃)	60℃ (-20℃~+40℃)
최대 신장거리	1,300mm	750mm	1,200mm
인류거리 계산 (85℃ 기준)	899m	519m	830m
최대장력	34(kN) [17(kN)×2]	30(kN)	30(kN)
안전성 (스톱버 기능)	0.1초 이내 정지 (있음)	없음	없음
유지보수	20년 무보수	년 2회 눈금자 조정	년 2회 정밀 검사
단위무게 (2톤 기준)	253kg	330kg	598kg
강풍 및 진동	유리	불리	불리
초기 설치시 과장력 설정	간단	불리	용이
경제성	64.90%	100%	68.50%

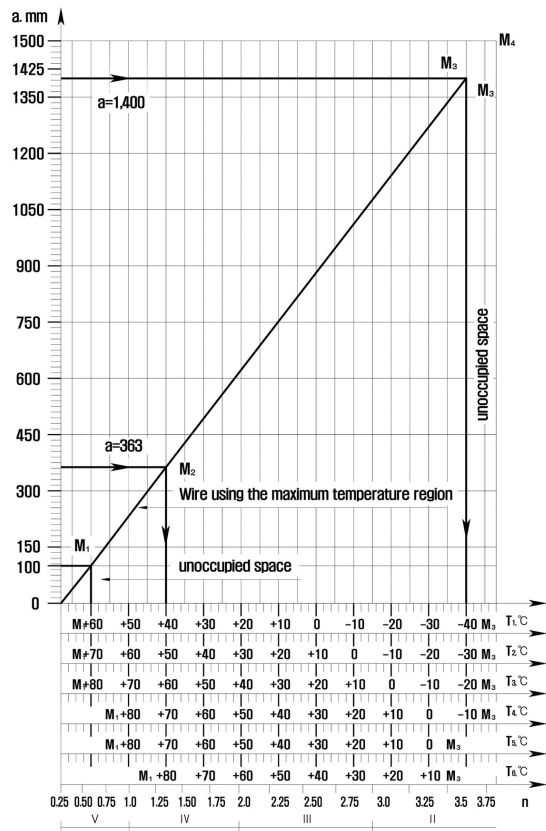


그림 12. 판스프링식 자동장력조정장치의 신축 허용량 데이터

6. 유지보수가 불필요함에 따라 운영관리 및 보수작업 비용이 발생하지 않는다.
7. 본 제품 적용 시 터널 단면적 축소가 가능하여 신선 건설시 사업비 절감이 가능하다.
8. 개별식 및 일괄식 가능 등의 특징을 가지고 있어 300km/h 이상의 고속철도 및 일반철도를 위한 전차선로에 적합하다.
9. 스톱버 기능이 있어 단선시에 발생 가능한 2차적인 사고를 0.1초(70mm) 이내에 방지할 수 있다.
10. 설치 부위가 지주에 긴밀하게 고정되어 바람을 맞는 면적이 적으므로 강풍 및 진동에 대한 내구성이 우수하다.

비교표에서 볼 수 있는 바와 같이 기존의 자동장력조정장치와 비교시 4%의 장력변화율, 1,300mm 최대신장거리, 안정성(스톱버 기능)등에서 탁월한 성능을 나타낼 뿐 아니라 사이즈 및 단위무게 축소, 20년 무보수 등 여러 가지 분야에서 기능성 및 경제성이 크게 향상된 장치인 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

상기에서 살펴본 바와 같이 활차식과 도르래식 자동장력조정장치의 공통적인 단점은 체적이 크고 중량이 무거우며 보기에 아름답지 않고 풍압, 진동 등 외부 환경에 약하며 설치 및 보수시 비용이 높다는 단점이 있다.

반면, 유압식과 가스식은 밀폐기능에 문제 발생 시 누기·누유 현상이 일어나므로 제때에 오일과 에어를 보충하지 않는 경우 장력조정장치 고유의 기능을 확보할 수 없는 단점이 있어 끊임없는 감시와 유지보수가 필요하므로 유지보수 비용이 증가한다.

그리고 코일 스프링식 자동장력조정장치는 장력장치의 가장 중요한 특징인 장력변화율이 15% 이하로서 고속철도

에 적용하기에는 적합하지 않은 특성을 가진다<sup>4)</sup>.

고속철도가 되어 열차의 주행속도가 향상 될수록 전차선로 설비의 장력변화율은 5% 이하로 되는 것이 바람직하며 전차선로의 여러 가지 장력 변화율을 고려하여도 고속철도용 전차선로의 설계에 있어서는 장력 변화가 최대 8% 이하가 되도록 권고하고 있는 것이 국제적인 추세이다<sup>1)</sup>.

따라서 이러한 모든 사항을 종합적으로 고려할 때 판스프링식 자동장력조정장치가 현재까지 개발되어 전기철도 현장에 적용되어 온 것 중에서는 가장 기술 성능과 특성이 우수한 장치인 것으로 검토된다. 상기에 열거된 모든 자동장력조정장치의 결점을 보완한 판스프링식 자동장력조정장치가 개발되어 현재 중국 고속철도의 350km/h 운행구간에 사용되고 있다. 중국고속철도 노선은 우리나라보다 늦게 개통되었지만 전체 운행 노선은 현재 우리나라의 10 배 이상에 이르고 있다. 자동장력조정장치의 개발 및 적용 측면에서는 우리보다 기술이 앞서 있으므로 이를 타산지석으로 받아 들여 우리나라의 고속철도 및 일반철도에 적용한다면 건설비와 유지보수비를 절감하면서도 전차선로에 요구되는 장력특성을 확보하여 보다 열차에 안정적으로 전기를 공급하여 안전하게 운행되는 전기철도의 확산에 기여할 것이다. ☺

#### ♣ 참고 문헌

1. Seimens(2009), "Contact Lines for Electric Railways"
2. KRS PW 0011-08(R)(2006), "한국철도표준규격 활차식 자동장력 조정장치 (3톤)"
3. 김양수, 유해출(2010), "전기철도공학"
4. KRS PW 0012-08(R)(2006), "한국철도표준규격 스프링식 자동장력조정장치"
5. International Union of Railway(2002) "UIC 799, Characteristics of a.c. overhead contact systems for high-speed lines worked at speeds of over 200km/h"
6. 임금광, 윤용한(2004), "전차선로 자동 장력 조정 장치의 개선 방안," 한국철도학회 추계학술대회 논문집
7. Korea TGV Consortium(1999), "Technical Specification for the supply of pulley type tensioning devices."