

활차식 자동장력조정장치 성능진단 및 유지보수 개선에 관한 연구

A Study on Performance Diagnosis of the Pulley Type Automatic Tensioning Device and Improvement of Maintenance

박 현* · 노 영 환*
(Hyun Park · Young Hwan Lho)

Abstract - The automatic tensioning device of the catenary system constantly maintains the tension of the trolley wire by absorbing the variations due to the elasticity of the line caused by temperature variation. The tension plays an important role in affecting the electric motorcar operation directly. This paper suggests the methodology of the life cycle extension and the maintenance of the automatic tensioning device by means of performance diagnosis of the pulley type automatic tensioning device which has been commonly used for the electric railway system. Through conducting performance diagnosis and comparative test for the wornout pulley type automatic tensioning device by replacing the components such as the bearing and the bearing shaft without replacing all the assembly, the tensioning device is analyzed whether it is properly functioned. Provided that the maintenance regulation is reinforced so as to implement the bearing replacement through periodical precise inspection along with random check-up inspection which is now carried out by the operating organizations, it is ensured that the life cycle extension and the reduction of maintenance cost of the tensioning device could be achieved.

Key Words : Pulley type automatic tensioning device, Catenary system, Tensioning device maintenance, Electric railway system, Maintenance regulation, Catenary precise inspection

1. 서 론

가공 전차선로의 자동장력조정장치는 주위 온도변화에 따라 발생하는 전차선의 길이 변화량을 흡수하여 전차선의 장력을 일정하게 유지하도록 하는 기능을 한다. 전기철도 시스템에서 운행선로 상부에 설치된 전차선과 이동중인 전기차의 집전장치(팬터그래프)가 상호 안정적으로 접촉되어야 전기차에 양질의 전력을 지속적으로 공급할 수 있기 때문에, 장력조정장치는 전기차 운행 속도에 직접적인 영향을 미치는 중요한 역할을 하고 있다.

장력조정장치는 수동장력조정장치와 자동장력조정장치로 대별되며, 수동장력조정장치는 저속구간인 역구내 축선의 전차선 또는 빔하스펜션, 터널구간 등 특수개소에 제한적으로 사용되고, 대부분의 전차선로에는 자동장력조정장치를 사용하고 있다[1].

자동장력조정장치의 종류에는 활차식, 도르래식, 스프링식과 가스식, 유압식 등이 있다. 활차식 자동장력조정장치는 우리나라 교류 전기철도 초기에 도입되어 운용기간이 가장 오래되었고, 장력변화율이 $\pm 5\%$ 로 동작특성이 우수한 강점을 지니고 있다[2]. 그러나, 와이어로프 부식 및 베어링의 마모 등 취약점이 있어, 주기적인 점검과 구리스 도포 또는 주유 등을 지속적으로 시행하여

야 한다[3].

한국철도공사의 전철전력설비 유지보수 세칙에 의하면 전차선로 장력조정장치에 대하여 보통점검(1년 1회)을 시행하고 있으나, 일반철도 설비의 경우 시설물의 대체주기를 명시하고 있지 않다[4]. 이것은 현장설비의 점검결과에 따라 노후상태를 판단하여 장력조정장치를 교체하도록 한 것으로, 유지보수 방법에 따라 시설물의 수명주기 및 보수비용의 차이가 크게 발생할 수 있다. 따라서, 노후된 활차식 자동장력조정장치에 대한 효율적인 유지보수 방안을 모색하여야 할 필요가 있다.

본 논문에서는 활차식 자동장력조정장치에 대한 성능진단 및 분석을 통해 수명연장 방안과 효율적인 유지보수 방안을 제시하고자 한다.

2. 활차식 자동장력조정장치의 구성 및 성능진단 대상

활차식 자동장력조정장치는 그림 1과 같이 전철주에 설치되며, 크게 활차(대활차, 소활차)와 지지대(활차지지대, 상부지지대, 하부지지대)로 구성된다. 소활차에 전차선 및 조가선을 와이어로프로 연결하고, 대활차에 장력추를 매달은 구조로서, 장력추의 상하운동으로 전차선로의 장력을 일정하게 유지되도록 한다.

성능진단 대상은 그림 2와 같이 1984년 3월 일본의 삼화텍기(Sanwa Tekki Corporation)에서 제작된 제품으로, 지난 30년간 운행선로에서 사용되어 노후가 진행된 활차식 자동장력조정장치(2.0ton용)로 선정하였다[5, 6].

† Corresponding Author : Department of Railroad Electrical System Engineering, Woosong University, Korea.

E-mail : yhlho@wsu.ac.kr

* Department of Railroad Electrical System Engineering, Woosong University, Korea.

Received : April 7, 2016; Accepted : April 18, 2016

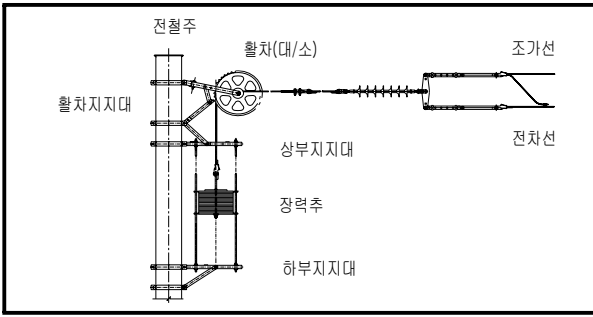
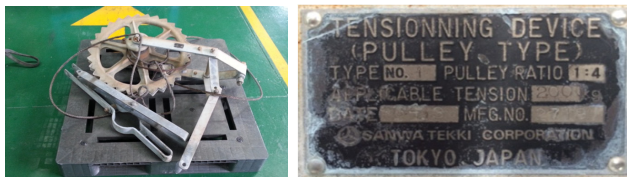


그림 1 활차식 자동장력조정장치 설치도
 Fig. 1 Installation drawings of pulley type automatic tensioning device



〈진단 대상 장력조정장치〉 〈장력조정장치 명판〉
 그림 2 성능진단 대상 자동장력조정장치(삼화테크)
 Fig. 2 Pulley type automatic tensioning device for performance diagnosis(Sanwa Tekki)

3. 활차식 자동장력조정장치 성능진단 및 결과 분석

활차식 자동장력조정장치의 성능진단을 위하여 한국철도표준 규격 KRS PW 0010-15(R)[7]이 정한 성능진단 항목 및 기준에 따라 검사 및 분해시험을 실시하여 설비의 노후 및 열화상태를 진단하였다.

성능진단 항목으로는 겉모양검사, 치수검사, 구조검사를 시행하며, 재질시험, 작동시험, 인장 내하중시험, 와이어나이프 내구성시험, 용융 아연도금시험을 실시하여 한국철도표준규격에 명시된 성능기준에 만족하는지 비교분석하였다.

3.1 활차식 자동장력조정장치의 겉모양, 치수 및 구조검사

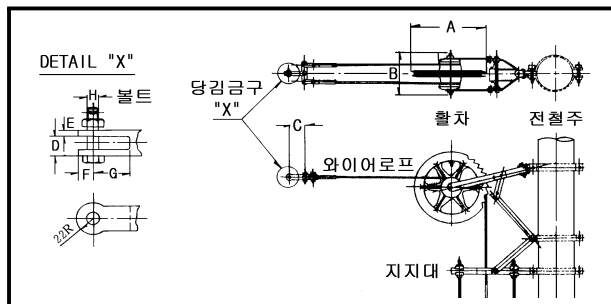


그림 3 활차식 자동장력조정장치 구조
 Fig. 3 Structure of pulley type automatic tensioning device

표 1 검사기준 및 측정결과

Table 1 Inspection standards and measurement results

구 분	A[mm]	B[mm]	C[mm]	D[mm]
검사기준	∅660±33.0	∅336±16.8	120±6.0	19±1.0
측정결과	665	337	117.1	19.5
구 분	E[mm]	F[mm]	G[mm]	H[mm]
검사기준	9±0.5	22±1.1	55±2.8	M16
측정결과	8.86	21.9	52.4	M16

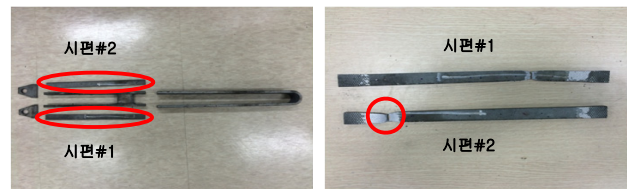
활차식 자동장력조정장치의 겉모양, 치수 및 구조검사는 전차선로 설계시공표준도[8] 및 한국철도표준규격 KRS PW 0010-15(R)[7]의 제작도면에 따라 형상 및 치수검사를 시행한다. 그림 3에 표시한 각 부분의 치수를 정밀하게 측정하고, 활차의 원활한 동작여부와 사용상 결함 유무를 확인하여야 한다.

한국철도표준규격의 검사기준에 따라 활차식 자동장력조정장치의 겉모양, 치수 및 구조검사를 시행한 결과, 그림 3에 표시된 활차(A, B)와 당김금구(C, D, E, F, G) 및 볼트(H) 등 구성품이 표 1과 같이 검사기준에 만족하였다.

3.2 재질 시험

재질시험을 수행하기 위하여 자동장력조정장치 하부지지대에서 그림 4와 같이 SS400 재질을 채취하여 시편을 제작하였으며, 시험결과와 신뢰도 향상을 위해 시편 2개를 제작하여 각각 시험하였다.

시험기준으로는 한국철도표준규격 KRS PW 0010-15(R) [7]에 따라 KS D 3503 (일반구조용 압연강재) KS규격[9]을 적용하였으며, 기계적 성질(항복강도, 인장강도, 연신율)을 측정하였다. 시험결과로는 표 2와 같이 KS규격 기준에 만족함을 보여 주었다. 다만, 시편 #2의 경우 인장시험 과정에서 시편 말단부가 절손되어 연신율 측정이 불가하였으나, 시편 #1의 연신율 측정결과가 기준치의 2배 이상으로 나타나, 성능에는 큰 영향이 없는 것으로 판단되었다.



〈하부지지대에서 시편 채취〉 〈인장시험 후 시편〉

그림 4 재질시험 시편
 Fig. 4 Test pieces for material test

표 2 재질시험 기준 및 측정결과

Table 2 Measurement results and material testing standards

구 분	항복강도 [N/mm ²]	인장강도 [N/mm ²]	연신율 [%]
KS규격 기준	245 이상	400 이상	17 이상
시편 #1	298	412	43
시편 #2	295	400	-

3.3 작동 시험

한국철도표준규격 KRS PW 0010-15(R) [7]의 시험기준에 따라 사용장력의 ±5[%] 이내에서 원활하게 작동하는지 여부를 확인하였다. 작동시험은 성능계수(Pf) 측정을 통해 실시하였는데, 측정결과 신뢰성을 향상시키기 위하여 Up/Down 방식으로 총 2회를 시행하였다. 성능계수(Pf) 계산방법은 등식(1), (2)와 같다.

$$x = T/(r \times P) \quad \begin{cases} x \leq 1.0 \Rightarrow Pf = x & (1) \\ x > 1.0 \Rightarrow Pf = 2-x & (2) \end{cases}$$

여기서, x는 장력변화율, Pf는 성능계수, T는 측정장력, r은 활차비(1:4), 그리고 P는 장력추 중량(500kgf)이다.

작동시험을 위하여 그림 5와 같이 실제 사용상태로 시험제품을 설치한 후, 장력조정장치 추의 높이를 50cm 간격으로 조정하면서 전선에 가해지는 장력을 측정하였다. 먼저 장력추를 상향으로 조정하면서 측정한 후, 다시 하향으로 조정하면서 활차에 가해지는 장력을 측정하였다. 또한 노후된 활차식 장력조정장치의 수명연장이 가능한지 여부를 검토하기 위해, 활차 동작부의 베어링을 신제품으로 교체한 후, 추가시험을 시행하고 성능변화를 비교 분석하였다.

표 3 및 표 4의 베어링 교체 전, 베어링 교체 후 작동시험 결과에서 보는 바와 같이, 성능계수(Pf) 평균값은 모두 만족한 것으로 나타났으나, 일부 개별측정 값에서 성능계수가 0.95 미만으로



그림 5 작동시험 설비 및 활차용 베어링

Fig. 5 Operation test equipment and bearing for pulley

표 3 베어링 교체 전 작동시험 결과

Table 3 Results of operation test prior to replacement of bearing

구 분	1 차		성능계수		2 차		성능계수		
	up	down	up	down	up	down	up	down	
	P = 500kg		Pf ≥ 0.95		P = 500kg		Pf ≥ 0.95		
step	L(cm)	T(kg)	T(kg)	Pf	Pf	T(kg)	T(kg)	Pf	Pf
1	0	2,008	1,955	0.996	0.978	1,997	1,954	0.999	0.977
2	50	2,052	1,980	0.974	0.990	2,050	1,979	0.975	0.990
3	100	2,070	1,996	0.965	0.998	2,070	1,995	0.965	0.998
4	150	2,102	2,028	0.949	0.986	2,110	2,031	0.945	0.985
5	200	2,102	2,036	0.949	0.982	2,112	2,035	0.944	0.983
6	250	2,156	2,079	0.922	0.961	2,159	2,081	0.921	0.960
7	300	2,186	2,146	0.907	0.927	2,190	2,146	0.905	0.927
평균		2,097	2,031	0.952	0.974	2,098	2,032	0.950	0.974

측정되었다.

또한 베어링을 신제품으로 교체 후 시행한 작동시험 결과, 표 4와 같이 기존의 장력조정장치에 비해 성능계수 평균값이 상승하여 성능이 향상되었음을 알 수 있었으나, 성능기준에는 미달되는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 베어링 뿐만 아니라, 이를 수용하고 있는 베어링 축의 동작 메카니즘의 상호작용에 의한 결과로 보이며, 장력조정장치 활차가 고장력 상태에서 반복적인 회전운동을 함으로서, 베어링과 베어링 축의 마모와 변형이 동시에 진행된 것으로 판단된다.

그림 6은 표 3 및 표 4의 작동시험 결과를 그래프로 표시한 것이다. 장력추의 높이가 증가하는 Up상태에서 성능계수(Pf)가 Down상태보다 기준범위를 많이 벗어나는 것으로 나타났다. 또한, 장력조정장치의 정상성능 기준범위(1,900~2,100kg)내에서 측정장력의 변화추이를 살펴보면, 베어링 교체 후 Up/Down 변위폭이 작아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 신규 베어링으로 교체 후, 활차의 회전저항이 감소됨에 따라 활차가 원활하게 동작함으로써, 장력조정장치의 성능이 향상된 결과라고 할 수 있다.

표 4 베어링 교체 후 작동시험 결과

Table 4 Results of operation test after replacement of bearing

구 분	1 차		성능계수		2 차		성능계수		
	up	down	up	down	up	down	up	down	
	P = 500kg		Pf ≥ 0.95		P = 500kg		Pf ≥ 0.95		
step	L(cm)	T(kg)	T(kg)	Pf	Pf	T(kg)	T(kg)	Pf	Pf
1	0	1,998	1,964	0.999	0.982	1,999	1,962	1.000	0.981
2	50	2,037	1,991	0.982	0.996	2,037	1,993	0.982	0.997
3	100	2,055	1,997	0.973	0.999	2,055	1,996	0.973	0.998
4	150	2,108	2,048	0.946	0.976	2,108	2,047	0.946	0.977
5	200	2,106	2,054	0.947	0.973	2,108	2,054	0.946	0.973
6	250	2,140	2,081	0.930	0.960	2,136	2,080	0.932	0.960
7	300	2,161	2,120	0.920	0.940	2,167	2,123	0.917	0.939
평균		2,086	2,036	0.957	0.975	2,087	2,036	0.956	0.975

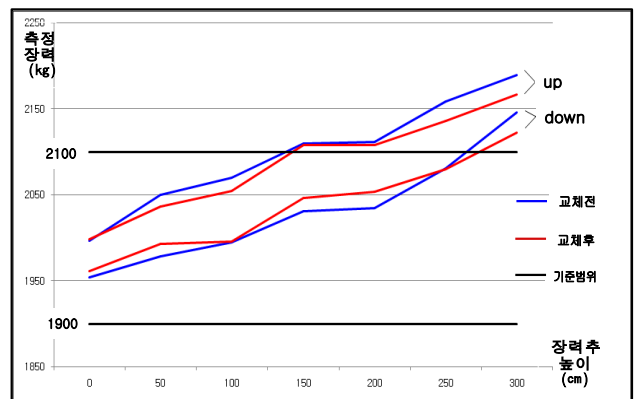


그림 6 작동시험 비교 그래프

Fig. 6 Comparison graphs of operation test

3.4 인장 내하중 시험

인장 내하중 시험은 그림 7의 시험설비로 시험을 진행하였으며, 한국철도표준규격 KRS PW 0010-15(R)[4]의 시험기준에 따라 인장하중 49,033[N]에서 3분간을 유지한 후 확인한 결과 각 부에 이상이 없었다.

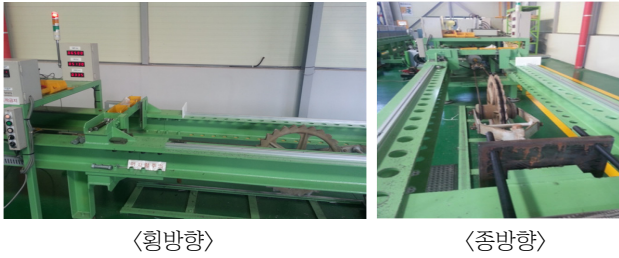


그림 7 인장 내하중시험 설비
Fig. 7 Tensile load test equipment

3.5 와이어로프 내구성 시험

와이어로프 내구성 시험은 인장하중시험을 적용하였으며, 그림 8과 같이 단말슬리브가 접속된 와이어로프 한쪽에 췌기형크램프를 접속한 후, 표준장력의 2.5배의 인장하중으로 3분간 유지하여 이상유무를 확인한 결과 만족하였다.



그림 8 와이어로프 인장하중 시험
Fig. 8 Tensile load test of wire rope

3.6 용융 아연도금 시험

활차식 자동장력조정장치 금구류의 주요 구성품 5개소(활차, 활차지지대, 상부지지대, 당김금구, 볼트)에 대한 아연도금 도막두께를 KS D 0201 용융아연도금 시험방법[10]에 따라 측정하였으며, 표 5와 같이 부착량 500[g/m²] 이상(도막두께 환산 70[μ m] 이상) 기준에 모두 만족하였다.

표 5 용융아연도금 시험결과
Table 5 Results of hot-dipped zinc coating test

구분	활차	활차 지지대	상부 지지대	당김 금구	볼트	평균
측정값[μ m]	180	84	80	104	83	106

4. 결 론

사용기간이 30년 경과한 활차식 자동장력조정장치를 한국철도 표준규격에 의한 각종 검사 및 시험기준에 따라 해체시험 및 성능진단을 실시하였다. 그 결과, 작동시험을 제외한 모든 항목에서 기준에 만족한 것으로 분석되었으나, 작동시험에서는 장력조정장치의 장기간 사용에 따른 반복적인 회전동작으로, 베어링의 마모와 함께 베어링 축의 마모가 동시에 수반된 것으로 분석되었다.

본 성능진단 결과를 바탕으로, 장기간 사용으로 노후된 활차식 자동장력조정장치일지라도, 설비 전체에 대한 교체를 하지 않고, 베어링을 교체하거나 또는 베어링과 베어링 축을 교체함으로써 시설물의 정상적인 기능을 확보할 수 있음을 확인하였다.

한국철도공사의 경우 전철전력설비 유지보수 세칙에 보통점검(1년 1회)만을 시행하도록 규정하고 있으나, 일본철도의 사례를 감안하여, 약 15년 주기의 정밀점검을 통한 베어링 교체 등을 시행할 수 있도록 유지보수 기준을 강화한다면, 안전사고 예방은 물론 전기철도 설비의 수명연장과 유지보수비 절감에 기여할 것으로 판단된다.

References

- [1] Yang-Su Kim, Hae-Chul Yu, "Electric Railway Engineering", Dong-il Publisher, pp. 432-435, 2010
- [2] Korea Rail Network Authority, "Design Manual for Railway(Electric Power : Catenary system)", pp. 13-18 3~13-185, 2004
- [3] Korea Railway Electrification Technical Association, "Electric Railway Engineering(Theory & Practical skill)", pp. 421-427, 2012
- [4] Korea Railroad Corporation, "Detailed rules for Maintenance of Electric Power System", pp. 45-57, 2015
- [5] Korea Railway Electrification Technical Association, "A Diagnosis of Automatic Tensioning Device in Busan Transportation Corporation", pp. 3-11, 2014
- [6] Korea Railway Electrification Technical Association, "7th Electric Railway Technical Seminar Presentation Materials", pp. 127-146, 2015
- [7] Railroad Research Institute, Korean Railway Standards, "KRS PW 0010-15(R)", Automatic Tensioning Device(2 Ton), pp. 1-4, 2015
- [8] Korean National Railroad, "Standard Drawings of Catenary System for Design/Construction(Appendix)", pp. 223-229, 1983.
- [9] Korean Agency for Technology and Standards, Korean Industrial Standards, "KS D 3503, Rolled Steels for General Structure", 2014
- [10] Korean Agency for Technology and Standards, Korean Industrial Standards, "KS D 0201, Testing Methods for Hot-dipped Zinc Coating", 2011

저 자 소 개



박 현 (Hyun Park)

2006년 고려대학교 공학대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 2014년 우송대학교 대학원 철도시스템학과 박사과정, 현재 (주)디투엔지니어링 대전지사장



노 영 환 (Young Hwan Lho)

1982년 경북대학교 전자공학과 졸업, 1988년 University of New Mexico 전기공학 석사, 1993년 Texas A&M University 전기공학 박사, 현재 우송대학교 철도시스템학과 교수. <주관심분야 : 회로설계, 적응제어, 신호처리 등>