

400km/h급 전차선로용 장력조정장치 개발

Development of a Tensioning Device for the 400km/h High-speed Overhead Contact Line

조 용 현* · 이 기 원* · 권 삼 영* · 조 호 령**

(Yong Hyeon Cho · Kiwon Lee · Sam Young Kwon · Ho Rung Cho)

Abstract - The pulley-type tensioning device subjected to a maximum tension of 34 kN has been developed for 400 km/h high-speed railway. The tensioning device is to maintain the tension variation within 3% of the normal value, irregardless of temperature changes. Field tests shows that the tensioning device had a variation of tension which was as small as 0.6% as temperatures changed from -5~7°C. Along with the tensions, we measured its X and Y movements due to the temperature changes. Based on a combination of its X and Y movements, we proposed a new performance index with which we can see if the tensioning device has troubles in operation without tension measurements.

Key Words : Tensioning device, Overhead contact line, Tension, Contact wire

1. 서 론

기존 고속철도 전차선로에서 운영속도를 400 km/h까지 증가 시키면 전차선의 장력 부족으로 인하여 팬터그래프와 전차선 사이에 큰 이션이 발생하여 안정적인 전력 공급이 어려워진다.

유럽 규격 EN 50119:2009[1]에 따르면 전차선에서의 파동전파속도가 최고 운영속도의 70% 이상이 되도록 장력을 전선에 부여해야 한다. 파동전파속도는 식 (1)과 같이 장력에 비례하므로 전차선의 장력이 높을수록 전차선로의 최고 허용속도는 증가한다.

$$c = \sqrt{T/\rho} \quad (1)$$

여기서 c 는 전선에서의 파동전파속도 [m/s], T 는 전선의 장력 [N], ρ 는 전선의 선밀도 [kg/m]이다.

고속 전차선로의 선종 및 장력은 최고 허용속도, 전류 용량 확보, 수작업의 편의성 등을 고려하여 결정한다. 새로 개발하는 400 km/h급 전차선로의 전차선에는 표 1에서 보는 바와 같이 전세계에서 가장 높은 34 kN의 고 장력을 부여해야 하며, 항상 고장력을 일정하게 유지할 수 있어야 한다.

우리나라의 경우 기존선에서는 전차선과 조가선의 장력을 일괄식으로 조절하는 활차식 장력조정장치와 스프링식 장력조정장

치를 주로 사용하고 있는데, 장력의 허용 변동 범위는 활차식의 경우 5% 이내이고, 스프링식의 15% 이내이다.

경부고속철도 전차선 장력인 20kN의 장력을 부여할 수 있고 장력의 허용 변동 범위를 3% 이내로 만족할 수 있는 도르래식 장력조정장치를 개발한 사례가 있다[2].

표 1 고속 전차선로의 허용 최고속도 및 장력 비교

Table 1 Comparison of maximum allowable speeds and wire tensions for overhead contact lines of the high-speed railway.

Nations	Korea	France	China	Spain
Maximum speed	400 km/h	350km/h	350km/h	350km/h
Contact wire(area)	34 kN (150 mm ²)	26 kN (150 mm ²)	31.5 kN (150 mm ²)	31.5 kN (150 mm ²)
Messenger wire(area)	23 kN (116 mm ²)	20 kN (116 mm ²)	15.5 kN (95 mm ²)	15.5 kN (95 mm ²)

선형 연구에서는 공장 성능시험을 통하여 장력조정장치의 장력 변동이 표준 장력을 기준으로 3% 이내가 됨을 확인하였으나, 본선에서 장력 변동을 측정하지 않았다. 대신에 바닥으로부터의 장력 추 수직 높이 등 장력조정장치의 거동이 온도 변화와 잘 일치하는가를 확인하였다.

400km/h급 전차선로를 구성하기 위해서는 전차선에 34kN의 고장력을 부여할 수 있고, 온도 변화에 상관없이 장력의 변동 범위를 표준장력의 3% 이내로 유지할 수 있는 고정밀도 장력조정 장치의 개발이 필요하다.

400 km/h급 전차선로 개발을 통하여 기존 경부고속철도에 비

* Corresponding Author : High-Speed Railroad Research Center, Korea Railroad Research Institute, Korea

E-mail : yhcho@krii.re.kr

* High-Speed Railroad Research Center, Korea Railroad Research Institute, Korea

** Pyungil Co., Ltd.

Received : August 19, 2015; Accepted : November 18, 2015

하여 70% 증가된 고 장력을 부여할 수 있고, 더 작은 터널 단면에서도 차량 한계를 침범하지 않고 사용할 수 있는 400 km/h급 전차선로용 장력조정장치를 개발하였다[3].

본 논문에서 400 km/h급 전차선로용 장력조정장치의 성능 목표 설정 등 설계과정과 공장 및 본선에서의 성능입증 결과를 제시하였다. 본선에서 장력을 직접 측정하여 장력조정장치의 성능을 검증하였다. 또한, 장력을 측정할 수 없는 경우를 대비하여 온도 변화에 따른 장력조정장치의 수평 및 수직 방향 이동거리로부터 장력조정장치의 이상 유무를 쉽게 판단할 수 있는 새로운 성능 지표를 제안하였고, 그 적합성을 살펴보았다.

2장에서는 400 km/h급 장력조정장치의 설계, 3장에서는 공장 성능시험, 4장에서는 설치 및 본선성능평가에 대하여 논하고, 5장에서 최종적으로 결론을 맺었다.

2. 400 km/h급 장력조정장치의 설계

2.1 성능 목표

- ① 장력장치는 온도변화에 따라서 전차선과 조가선의 신축량을 자동으로 조절할 수 있어야 하며, 온도 변화에 따른 전차선로의 장력 변동은 표준 사용장력의 3% 이내이어야 한다.
- ② 하나의 장력조정장치가 담당해야 하는 최대 인류 거리는 경부고속철도와 같이 1,500 m로 한다.
- ③ 온도 변화에 따른 도르래식 장력조정장치의 수평 거동을 지상에서 현장순회인력이 쉽게 확인할 수 있어야 한다.
- ④ 터널 단면적이 경부고속철도보다 작은 경우에도 차량한계를 침범하지 않고 터널 구간내에서 도르래식 장력조정장치를 적용할 수 있어야 한다.
- ⑤ 장력조정장치는 최소 120 kN의 장력에서 파괴되지 않아야 한다.

2.2 형상 및 소재

도로래식 장력조정장치는 그림 1과 같이 5개의 도르래와 장력추의 무게를 전선의 장력으로 전달하는 와이어로프로 구성된다.

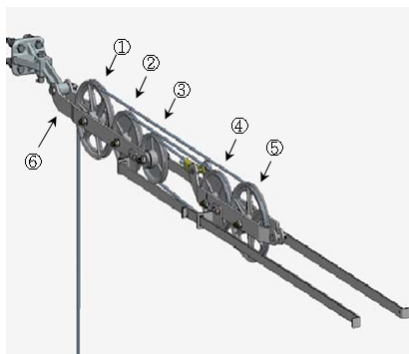


그림 1 400 km/h급 도르래식 장력조정장치
Fig. 1 Pulley type tensioning device for 400 km/h operation

고정부 도르래 ①, ②, ③과 가동부 도르래 ④, ⑤의 소재는 알루미늄(AC4CH-T61)이고, 고정지지대 ④ 등 구조체의 소재는 저탄소강 혹은 스테인레스강이며, 와이어로프는 스테인레스강으로 되어 있다.

400 km/h급 전차선로용 장력조정장치에는 그림 2와 같이 온도 변화에 따른 도르래의 수평 이동을 지상에서 쉽게 확인할 수 있도록 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같은 수평자(Horizontal ruler)를 설치하였다. 수평자의 한 끝이 고정부 도르래에 설치되고 가동부 도르래에는 지시자(Indicator)가 설치되어 있어 유지보수 인력은 온도 변화에 따른 도르래의 수평 이동을 지상에서 확인할 수 있다.



그림 2 수평자
Fig. 2 Horizontal ruler

경부고속철도 전차선의 장력은 20 kN이고 전차선 장력조정장치에 부착되는 장력추의 총 높이는 1,340 mm가 되나, 400 km/h급 전차선의 장력은 34 kN이므로 경부고속철도와 동일한 장력추를 사용하게 되면 장력추의 총 높이가 700 mm 이상 증가하여 온도 변화에 따른 장력추의 수직방향 허용 변동 범위가 줄어들게 된다. 이렇게 되면 최대 인류 거리의 성능 목표치인 1,500 m를 만족시킬 수 없다. 최대 인류 거리의 성능 목표치를 만족시키기 위하여 400 km/h급 전차선로의 장력추는 그림 3과 같이 400

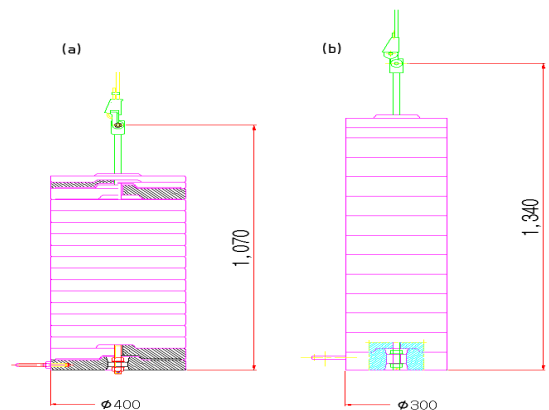


그림 3 전차선 장력추의 높이(a: 400 km/h 전차선로, b: 경부고속철도)

Fig. 3 Height of tensioning weights for a contact wire(a: 400 km/h overhead contact line, b: Kyeongbu highspeed railway)

mm의 지름을 갖도록 설계함으로써 장력추의 총 높이를 1,070 mm로 하여 최대 인류 거리 성능 목표를 만족시킬 수 있다.

400 km/h급 전차선로가 설치된 호남고속철도의 터널 단면적은 97 m²로 경부고속철도의 터널 단면적 107 m²에 비하여 약 9 % 정도 작다. 호남고속철도의 단면적 축소에 따라서 400 km/h급 전차선로의 조가선용 장력조정장치에 달리는 장력추는 차량 한계를 침범하게 된다. 장력조정장치를 터널 단면적의 부분적 확공 없이 효과적으로 설치하는 방안을 모색할 필요가 있다. 따라서 그림 4에서 볼 수 있듯이 장력조정장치를 비스듬히 설치하고 보조도르래를 사용하여 장력추를 터널 벽 방향으로 인류하여 축소된 터널 단면에 대응하도록 하였다.

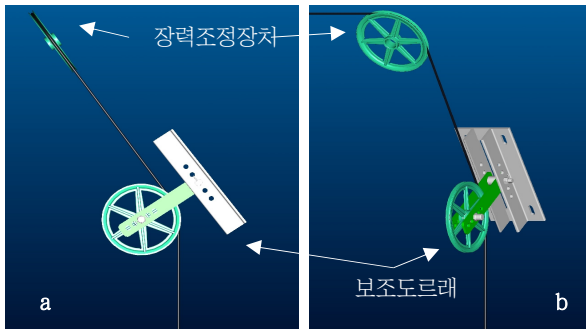


그림 4 장력조정장치 와이어를 터널 안내하기 위한 보조도르래 (a: 정면, b: 측면)

Fig. 4 Auxiliary pulley to guide the tensioning device to the tunnel wall(a: front view, b: side view)

2.3 작용하중 분석

전차선 장력이 34 kN이고, 장력비가 5 : 1이므로 장력조정장치의 와이어에 작용하는 장력은 34/5 인 6.8 kN이 되며, 베어링에 작용하는 하중은 그림 5와 같이 와이어에 작용하는 장력의 두 배인 13.6 kN이 작용하게 된다.

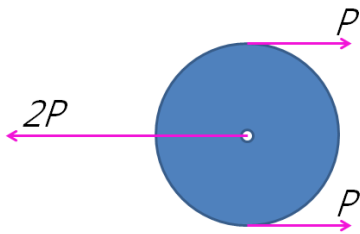


그림 5 장력조정장치의 도르래에 작용하는 하중
Fig. 5 Forces on the pulley of the tensioning device

장력조정장치의 과하중 시험은 정상 하중의 두 배의 하중으로 하게 되어 있다. 그러므로 장력조정장치에 사용되는 베어링은 표 2와 같이 최악의 경우 27.2 kN의 하중을 견딜 수 있도록 선정되어야 한다.

400 km/h급 전차선로 기본사양에 따르면 안전율을 최소 2.0

이상 확보해야한다. 장력조정장치가 파손되면 전차선로는 매우 치명적인 피해를 입게 되므로 안전율을 3.5 이상으로 하여 최소 파단하중을 120 kN으로 설정하였다.

표 2 도르래식 장력조정장치 베어링에 작용하는 반력

Table 2 Reaction forces at the bearing of the pulley type tensioning device.

Tension of contact wire	Wire rope tension	Force on bearing	Remark
20 kN	4 kN	8 kN	300 km/h highspeed rail
34 kN	6.8 kN	13.6 kN	400 km/h highspeed rail
68 kN	13.6 kN	27.2 kN	Overload test
120 kN	24.0 kN	48.0 kN	Rupture test

3. 공장성능 시험

3.1 성능평가 항목 및 기준

표 3에는 장력조정장치의 성능평가 시험항목인 작동하중시험 (Operating test), 과하중시험(Overload test) 및 파괴하중시험 (Rupture test)의 허용 기준을 제시하였다.

표 3 도르래식 장력조정장치의 조립상태 공장성능시험

Table 3 Factory testings for the pulley type tensioning device in an assembled condition.

Test items	Criteria
Operating test	Efficiency \geq 0.97
Overload test	Efficiency \geq 0.97
Rupture test	\geq 120 kN

3.2 작동 및 과부하시험(Operating and overload test)

장력조정장치의 효율은 식 (2)를 이용하여 계산한다.

$$E = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{T}{5P} \quad (2)$$

여기서 E는 효율 [%], T는 전선 장력 [N], P는 장력추에 의한 와이어로프의 장력 [N]을 말한다. 그림 6에서 보듯이 장력조정장치를 실제 사용조건(전선 장력 34 kN, 장력추 무게 6.8 kN)에서 장력추의 높이를 0에서 최고 높이까지 20 cm씩 증가시켰다가, 다시 최대 높이에서 0으로 20 cm씩 감소시키면서 장력조정장치의 효율을 측정한다. 작동시험에서의 합격 기준은 장력추의 모

든 위치에서 효율의 절대값은 97 ~ 103% 안에 있어야 하며, 추의 연속적인 두 위치에서 전선 장력의 차이는 두 값 중 작은 것의 1% 이내이어야 한다.



그림 6 장력조정장치의 작동 및 과부하시험장치
Fig. 6 Testing facility for operating and overload tests for the pulley type tensioning device

앞서 기술하였던 시험절차에 따라서 장력추의 무게(P)를 6.8 kN으로 하고 장력추의 최저 높이인 0 m에서 최고 높이인 4 m 까지 장력추를 위 아래로 이동시키면서 장력을 측정한 결과가 표

표 4 도르래식 장력조정장치 작동시험 측정결과
Table 4 Tension measurement results from the operating test for the pulley type tensioning device.

L [cm]	Up					Down				
	T [kfg]	T _{min} [kfg]	Δ T [kfg]	Δ T/T _{min} [%]	E	T [kfg]	T _{min} [kfg]	Δ T [kfg]	Δ T/T _{min} [%]	E
0	3 480	-	-	-	0.979	3 404	3 394	-10	-0.295	1.000
20	3 470	3 470	0	0.288	0.981	3 394	3 394	8	0.236	1.003
40	3 474	3 470	-4	-0.115	0.980	3 402	3 392	-10	-0.295	1.001
60	3 464	3 464	10	0.289	0.983	3 392	3 392	6	0.177	1.004
80	3 474	3 464	-10	-0.289	0.980	3 398	3 396	-2	-0.059	1.002
100	3 472	3 472	2	0.058	0.981	3 396	3 396	0	0.000	1.003
120	3 474	3 472	-2	-0.058	0.980	3 396	3 394	-2	-0.059	1.003
140	3 470	3 470	4	0.115	0.981	3 394	3 386	-8	-0.236	1.003
160	3 468	3 468	2	0.058	0.982	3 386	3 374	-12	-0.356	1.006
180	3 462	3 462	6	0.173	0.984	3 374	3 374	6	0.178	1.009
200	3 474	3 462	-12	-0.347	0.980	3 380	3 380	28	0.828	1.008
220	3 495	3 474	-22	-0.633	0.974	3 408	3 384	-24	-0.709	0.999
240	3 488	3 488	8	0.229	0.976	3 384	3 384	20	0.591	1.006
260	3 490	3 488	-10	-0.287	0.974	3 404	3 384	-20	-0.591	1.000
280	3 474	3 474	24	0.691	0.980	3 384	3 384	8	0.236	1.006
300	3 470	3 470	4	0.115	0.981	3 392	3 386	-6	-0.177	1.004
320	3 478	3 470	-8	-0.231	0.979	3 396	3 386	10	0.295	1.006
340	3 488	3 478	-10	-0.288	0.976	3 396	3 396	2	0.059	1.003
360	3 480	3 480	8	0.230	0.979	3 398	3 394	-4	-0.118	1.002
380	3 474	3 474	6	0.173	0.980	3 394	3 394	4	0.118	1.003
400	3 468	3 468	6	0.173	0.982	3 398	-	-	-	1.002

4에 나와 있다. 식 (2)에 의하여 계산된 효율은 모두 허용 기준인 97 ~ 103% 안에 있음을 알 수 있고, 추의 연속적인 두 위치에서 전선 장력의 차이는 두 값 중 작은 것의 1% 이내에 있음을 확인할 수 있다.

과부하시험에서는 전선의 장력이 정상 조건의 2 배가 되도록, 즉 장력추의 무게(P)를 13.6 kN으로 한 상태에서 장력조정장치의 부품들이 변형되지 않는지를 확인한 후 전선의 장력이 사용 조건이 되도록, 즉 장력추의 무게(P)를 6.8 kN으로 한 상태에서 앞서 설명하였던 효율 측정방법에 따라서 표 5와 같이 효율을 측정한다. 과부하시험에서의 합격 기준은 작동시험에서의 합격 기준과 동일하다. 즉, 장력추의 모든 위치에서 효율의 절대값은 97 ~ 103% 안에 있어야 하며, 추의 연속적인 두 위치에서 전선 장력의 차이는 두 값 중 작은 것의 1% 이내이어야 한다.

표 5 도르래식 장력조정장치 과부하시험 측정결과
Table 5 Tension measurement results from the overload test for the pulley type tensioning device.

L [cm]	Up					Down				
	T [kfg]	T _{min} [kfg]	Δ T [kfg]	Δ T/T _{min} [%]	E	T [kfg]	T _{min} [kfg]	Δ T [kfg]	Δ T/T _{min} [%]	E
0	3 478	-	-	-	0.979	3 406	3 396	-8	-0.235	1.000
20	3 468	3 468	10	0.288	0.982	3 398	3 398	6	0.177	1.002
40	3 474	3 468	-6	-0.173	0.980	3 404	3 392	-12	-0.354	1.000
60	3 464	3 464	10	0.289	0.983	3 392	3 392	10	0.295	1.004
80	3 472	3 464	-8	-0.231	0.981	3 402	3 398	-4	-0.118	1.001
100	3 472	3 472	0	0.000	0.981	3 398	3 392	-6	-0.177	1.002
120	3 470	3 470	2	0.058	0.981	3 392	3 392	2	0.059	1.001
140	3 470	3 470	0	0.000	0.981	3 394	3 376	-18	-0.533	1.003
160	3 468	3 468	2	0.058	0.982	3 376	3 368	-8	-0.238	1.003
180	3 464	3 464	4	0.115	0.983	3 368	3 368	14	0.416	1.011
200	3 470	3 464	-6	-0.173	0.981	3 382	3 382	14	0.414	1.007
220	3 490	3 470	-20	-0.576	0.976	3 396	3 386	-10	-0.295	1.003
240	3 482	3 482	8	0.230	0.976	3 386	3 386	6	0.177	1.006
260	3 488	3 402	6	-0.172	0.976	3 392	3 376	-16	-0.474	1.004
280	3 454	3 454	34	0.984	0.985	3 376	3 376	8	0.237	1.009
300	3 468	3 454	-14	-0.405	0.982	3 384	3 382	-2	-0.059	1.006
320	3 472	3 468	-4	-0.115	0.981	3 382	3 382	10	0.296	1.007
340	3 478	3 472	-6	-0.173	0.979	3 392	3 392	0	0.000	1.004
360	3 472	3 472	6	0.173	0.981	3 392	3 386	-6	-0.177	1.004
380	3 466	3 466	6	0.173	0.983	3 386	3 386	0	0.236	1.006
400	3 466	3 466	0	0.00	0.983	3 394	-	-	-	1.003

3.3 파단시험(Rupture test)

400 km/h급 전차선로에 적용되는 장력조정장치는 최소 120 kN 이상의 장력에 견디도록 설계되어 있다. 파단시험에서는 와이 어로프를 고정시킨 상태에서 장력조정장치의 부품 중 하나가 파괴될 때까지 전선의 장력을 증가시킨다. 그림 7의 시험 장치를 이용한 공인기관 파단시험결과에 따르면 장력조정장치는 168 kN 에서 파단이 되었다. 이는 최소 파단하중인 120 kN을 초과하므로 설계 목표를 만족하는 것으로 판단된다.



그림 7 장력조정장치의 파단 시험장치
Fig. 7 Testing facility for rupture tests for the pulley type tensioning device

4. 설치 및 본선성능평가

4.1 구내 설치 시험

400 km/h급 전차선로의 본선 설치에 앞서 400 km/h급 전차선로의 시공성 및 내구성 확인을 위하여 그림 8에서 보는 바와 같이 장력조정장치를 포함한 400 km/h급 전차선로를 한국철도기술연구원 구내 테스트베드에 예비 설치하였다.



그림 8 구내 테스트베드 내 장력조정장치의 예비 시공
Fig. 8 Preliminary construction for the pulley type tensioning device in the in-house test-bed

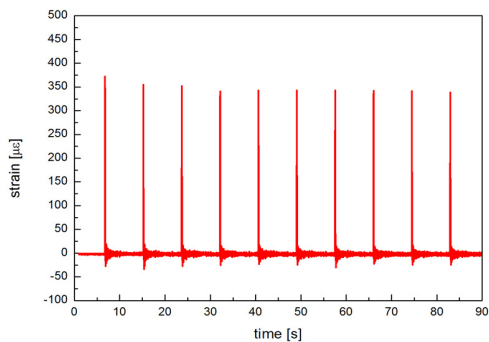


그림 9 구내 테스트베드에서 가한 충격하중에 의한 전차선 변형률 [6]
Fig. 9 Strains due to impulse imposed to a contact wire in the in-house test-bed [6]

구내 설치 후에는 고속열차의 30년 운행을 모사하기 위하여 총 100만회의 충격하중을 그림 9와 같이 전차선에 주었다. 충격 시험 완료된 이후 장력조정장치의 점검에서 기계적 이상을 발견할 수 없었다.

4.2 본선설치 및 성능평가

본 연구에서 개발된 장력조정장치는 그림 10과 같이 호남고속철도 오송 기점 100k와 128k 상행구간에 설치되었다.

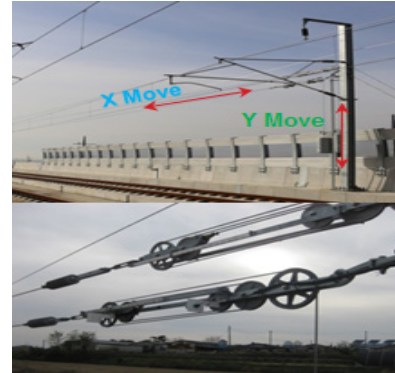


그림 10 호남고속철도에 설치된 장력조정장치
Fig. 10 Pulley type tensioning device installed in the Honam high-speed railway

본선에서의 성능평가를 위하여 장력조정장치의 고정 도르래와 이동 도르래 사이의 거리(X 거리), 장력 추와 바닥 사이의 거리(Y 거리), 전차선 장력(Tension) 그리고 주변 온도(T)를 측정하였다[4].

도르래식 장력조정장치를 호남고속철도에 설치한지 약 1년이 경과한 시점에 장력, X 거리, Y 거리 및 온도 측정결과를 그림 11에서 보여주고 있다.

약 2일간의 측정결과를 보면 온도는 $-5 \sim 7^{\circ}\text{C}$ 의 변화를 보이고 있다. 온도가 증가하면 전차선이 팽창하게 되므로 장력조정장치의 고정 도르래와 이동 도르래 사이의 거리(X 거리)와 장력 추와 바닥 사이의 거리(Y 거리)는 감소하게 된다. 최고 온도와 최저 온도 근방에서는 X 거리와 Y 거리는 대체로 일정하다가 온도 변화가 일어나는 동안에는 X 거리와 Y 거리가 빠르게 변한다.

X 거리와 Y 거리가 변해도 장력은 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 약 2일간 측정한 장력값은 3.41 ~ 3.38 톤의 범위를 보이고 있으므로 최대 장력변동율은 표준 장력 3.4톤을 기준으로 약 0.6%가 된다. 호남고속철도에 설치된지 1년이 경과한 시점에서 측정한 결과로부터 400 km/h급 전차선로의 전차선은 장력조정장치의 최대 허용 변동율인 3% 보다도 작은 장력 변동율을 가진다는 것을 확인할 수 있다.

장력조정장치가 유효성능 저하 등으로 도르래의 회전 이상이 발생하게 되면 전차선의 신축을 제대로 받아 주지 못하여 장력 변동이 생기게 될 것이다. 이러한 도르래의 회전이상은 X 거리와 Y 거리를 측정하여 확인할 수 있다.

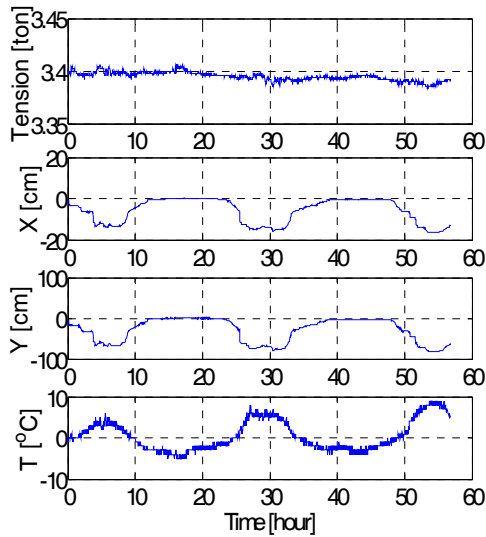


그림 11 호남고속철도에 설치된 장력조정장치의 성능평가 결과
 Fig. 11 Performance test results for the pulley type tensioning device installed in the Honam high-speed railway

온도 변화에 따라서 발생하는 전차선의 열팽창으로 인한 이론적인 X 거리의 변화, 즉 X, th 는 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.

$$X, th = \alpha \Delta TL \tag{3}$$

여기서 α 는 동의 열팽창계수(0.00017 m/°C), ΔT 는 기준온도와의 온도차, L 은 전차선의 고정위치(Mid point)에서 장력조정장치까지의 수평거리로 현장 측정값은 560.03 m이다.

X (X 거리의 실측치)는 전차선로 부품에 의하여 전차선의 열팽창이 구속되거나 장력조정장치의 마찰로 인하여 도르래의 회전이 원활하지 않으면 X, th (X 거리의 이론치)와 차이를 보이게 될 것이다. 그러므로 $X - X, th$ 만을 보고 장력조정장치의 이상 유무를 판단하기는 어렵다.

400 km/h급 도르래식 장력조정장치의 경우 도르래가 5개가 있으므로 온도 변화에 따른 이론적인 Y 거리의 변화, Y, th 는 그림 12와 식 (4)와 같이 이론적인 X 거리의 변화, X, th 의 5배가 된다.

현재 철도운영자의 유지보수 매뉴얼[5]에 따르면 X, Y 측정치와 식 (4)와 (5)에 의하여 주어진 이론치와의 차가 어느 기준값을 넘으면 장력조정장치의 성능저하를 확인하기 위하여 점검하도록 요구하고 있다. 그러나, 측정치는 전차선로 부품에 의하여 전차선의 열팽창이 구속되거나, 전차선의 온도가 불균일하거나, 장력조정장치의 마찰로 인하여 도르래의 회전이 원활하지 않으면 이론치와 차이를 보이게 될 것이므로 $X - X, th$ 혹은 $Y - Y, th$ 만을 가지고 장력조정장치의 이상 유무를 판단하는 것은 불확실한 측면이 있다. 다시 말해, $X - X, th$ 혹은 $Y - Y, th$ 가 기준값을 초과한다는 것은 장력조정장치의 이상 발생을 알리는 필요조건이지 충분조건은 아니다. 이를 보완하기 위하여 본 논문에서는 식

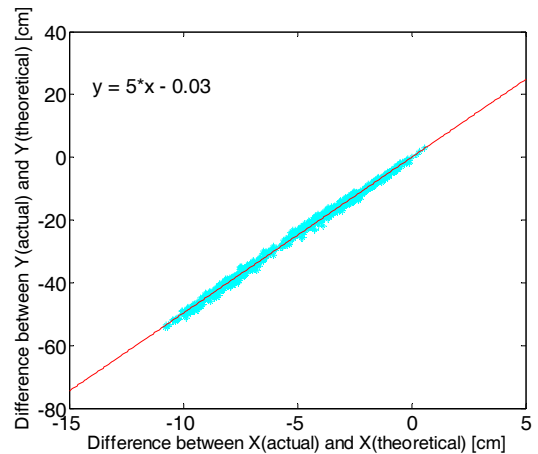


그림 12 호남고속철도에 설치된 장력조정장치의 X-X,th와 Y-Y,th의 관계

Fig. 12 Correlation between X-X,th and Y-Y,th for the pulley type tensioning device installed in the Honam high-speed railway

(5)와 같이 수직-수평 거리비, r을 장력조정장치의 새로운 성능지표로 제시한다.

$$Y, th = 5\alpha \Delta TL \tag{4}$$

$$r = \frac{Y - Y, th}{X - X, th} \tag{5}$$

장력조정장치의 도르래 회전이 원활할 경우에 $Y - Y, th$ (Y 거리의 실측치와 이론치의 차)는 $X - X, th$ (X 거리의 실측치와 이론치의 차)의 5배가 될 것이다. 하지만, 도르래의 회전이 원활하지 않으면 앞서수록 식 (5)로 표시된 새로운 성능지표, 즉 수직-수평 거리비, r은 5에서 점점 크게 벗어나게 될 것이다.

본선에서 측정한 결과를 분석해 보면(그림 12 참조) $X - X, th$ (X거리의 실측치와 이론치의 차)는 0~-10 cm의 범위를 가지나, 새로운 성능지표인 수직-수평거리비, r은 평균적으로 5가 된다는 것을 알 수 있다. 이것은 장력조정장치의 동적 거동 측정치와 이론치의 차가 존재하지만, 장력조정장치는 이상이 없다는 것을 의미한다. 따라서, 장력을 측정하지 않는 경우에도 성능지표인 수직-수평거리비, r을 사용하면 장력조정장치의 장력 변동의 이상 유무를 간접적으로 판단할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

400 km/h급 전차선로 개발의 일환으로 전차선에 34kN의 고장력을 부여할 수 있고, 온도 변화에 상관없이 장력의 허용 변동 범위를 표준장력의 3% 이내로 유지할 수 있는 고정밀도 도르래식 장력조정장치를 개발하였다. 400 km/h급 전차선로가 설치된 호남고속철도의 터널 단면적은 97 m²으로 경부고속철도의 터널 단면적 107 m²에 비하여 약 9% 정도 작다. 400 km/h급 장력조

정장치는 보조 도르래를 도입함으로써 경부고속철도보다 터널 단면이 작아도 차량한계를 침범하지 않고 사용할 수 있다.

공장성능시험을 통해 성능이 검증된 장력조정장치를 호남고속철도 본선에 설치하고 약 1년이 경과한 시점에 전차선 장력을 직접 측정하였다. 온도가 -5~7℃ 변할 때 측정된 장력값은 3.41~3.38 톤의 범위를 가졌다. 표준 장력이 3.4 톤이므로 400 km/h급 전차선로의 전차선 장력 변동은 약 0.6%로 장력조정장치의 허용 변동 기준인 3% 보다도 작은 값을 가짐을 알 수 있다.

한편 본 논문에서는 장력조정장치의 장력 변동의 이상 유무를 확인할 수 있는 새로운 성능지표를 제안하였다. 식 (5)에 의해 주어진 수직-수평 거리비, r 을 사용하면 장력을 직접 측정하지 않는 경우에도 장력조정장치의 장력 변동의 이상 유무를 확인할 수 있을 것으로 판단된다. 새로운 성능지표인 수직-수평거리비를 가지고 장력조정장치의 이상 유무를 신뢰성 있게 판단하기 위하여 향후 본선 측정값에 기초를 둔 허용 기준값을 설정하는 연구를 수행할 필요가 있다.

Institute of Electrical Engineers, Vol.63, No. 12, pp. 1337-1341, 2014.

저 자 소 개



조 용 현 (Yong Hyeon Cho)

1992년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(공학석사), 2008년 서울대 기계공학과 졸업(공학박사). 현재 한국철도기술연구원 수석연구원

감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업 및 국토교통부 『증속에 따른 전차선로 시스템 기술개발』 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다.



이 기 원 (Kiwon Lee)

1997년 RIT(미) 기계공학과 졸업(공학석사), 2009년 성균관대 기계공학과 졸업(공학박사) 현재 한국철도기술연구원 책임연구원

References

- [1] EN 50119:2009 Railway applications-Fixed installations-Electric traction overhead contact lines, BSI, 2009.
- [2] Kiwon Lee, Yong Hyeon Cho, Young Park, "Development of a Pulley-Type Tensioning Device", Korea Society of Railway, Vol. 12, No. 5, pp. 663-669, 2009.
- [3] Yong Hyeon Cho, et al. Final Project Report on Development of Overhead Contact Line System for Speed Enhancement, Korea Railroad Research Institute, 2015.
- [4] Yong Hyeon Cho, Yong Park, Hyun Jin Jung, "Implementation Technique of Real-time Monitoring System for High-speed Rail Contact Wire with High Tension", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 64, No. 8, pp. 1256-1261, 2015.
- [5] Korea TGV consortium, Technical Checking Catenary Tension Regulators, 2000.
- [6] Kiwon Lee, Young Park, Sam-Young Kwon, Yong Hyeon Cho, Heonsoo Jeong, "Development of a steady arm for the maximum speed of 400 km/h", Korean



권 삼 영 (Sam-Young Kwon)

1997년 한양대학교 전기공학과 졸업(공학석사), 2007년 한양대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 한국철도기술연구원 수석연구원



조 호 령 (Ho Rung Cho)

1993년 서울과기대 기계설계과 졸업(학사), 2004년~현재 (주)평일 기술연구소 소장, 이사