

고속철도 전차선로 드로퍼 개선방안 연구

Study on the Improvement of Railway Catenary dropper

권성일[†], 이시빈^{*}, 이병곤^{*}, 이태훈^{*}

Seongil Kwon^{†,*}, Seebin Lee^{*}, Byeonggon Lee, Taehoon Lee^{*}

Abstract Catenary dropper wire of equipment and vibration tunnel, bridges, flat against the measurement and analysis facilities were also categorized by equipment failure data was written. In particular, the analysis of the fracture surface of the sample to the dropper through the analysis and hardness testing, fatigue testing, and various mechanical fatigue testing and analysis by the external environment or a break occurs in the study was that, KTX pantograph catenary voltage of imagination by was investigated, and the effect, measure the elasticity of the dropper or electrical cycle by applying the current analysis and accident cases dropper wiring installation location for the study and comment on the characteristics of the plan for this by improving the catenary dropper to determine the speed KTX catenary dropper installation direction by suggesting future directions for the development of Korean high-speed electrified railway are discussed

Keywords : KTX, Catenary, dropper, pantograph

초 록 전차선로 설비인 드로퍼에 대한 단선현황 및 진동을 터널, 교량, 평지 시설에 대하여 측정 분석하였고, 또한 설비 별로 분류하여 장애자료를 작성하였다. 특히 드로퍼에 파단면을 분석하여 시료를 통한 분석 및 경도시험, 피로시험, 각종 시험분석으로 기계적 피로도인지 아니면 외부적인 환경에 의하여 단선현상이 발생되는지에 대한 연구하였으며, KTX 팬타그래프 압상력에 의한 전차선의 영향을 고찰하였고, 드로퍼의 탄성도 측정 또는 전기적인 순환전류 분석 및 사고사례를 적용하여 드로퍼 설치위치에 대한 연구 및 개선특성에 대하여 언급하여 이에 대한 방안으로 전차선로 드로퍼 개선을 통하여 KTX 속도를 결정하는 전차선로 드로퍼 설치방향을 제안하여 앞으로 우리나라 고속 전기철도 발전방향에 대하여 논하였다

주요어 : KTX, 전차선로, 드로퍼, 팬타그래프

[†] 교신저자: 한국철도공사 연구원(kwon1911@korail.com)

^{*} 한국철도공사 연구원

1. 서론

고속철도 시대를 맞이하여 서울~부산간 고속선구간이 완료되었고 또한 호남선 고속철도는 350[km/h] 운행예정이다. 이러한 시점에서 속도에 가장 큰 영향을 미치는 KTX 집전장치와 전차선로간 전기공급의 중요성이 대두 된다. 속도향상을 위하여 가선허성에 대한 연구가 필수적으로 요구되며 가선허성 중 개통 이후 드로퍼 단선 및 전기적 아크로 인한 KTX 집전장치가 미치는 파동에 의한 기계적 피로도 증가여부를 도출하여 앞으로 개선방향을 제시하므로 전차선로 드로퍼의 단선원인 분석을 통한 안정성 향상을 측정하여 유지보수관리 체계를 효율화하는데 목적으로 하고 있으며 드로퍼 단선으로 인한 전차선과 조가선의 균압상태 불량 및 드로퍼 단선으로 인한 KTX 차량과 접촉시 아크 예방을 위하여 드로퍼에 대한 특성 및 개선방향을 제안하였다.

2. 본론

2.1 드로퍼 장애분석

2004년부터 2010년까지 7년간 경부고속철도 전차선로 드로퍼 단선현황을 분석한 결과, 지형별 단선현황은 교량구간 47.6[%], 터널구간 26.6[%], 토공구간 25.8[%] 순으로 Table 1 같이 나타났다.

Table 1 2004년~2010년 드로퍼 단선현황

구분	계	지형별			설치위치별				
		교량	터널	평지	일반 개소	에어 조인트	에어 섹션	건넘선	상승 개소
2004년	9	5	4		4	2	1	1	1
2005년	15	6	4	5	11	3	1		
2006년	16	12	2	2	10	3	2		1
2007년	15	8	3	4	11	4			
2008년	22	7	8	7	12	5	1	1	3
2009년	31	10	9	12	20	8		1	2
2010년	20	13	4	3	15	5			
합계	128	61	34	33	83	30	5	3	7

설치위치별 단선현황 중 가장 높은 개소는 일반 개소 64.9[%]이며, 전기적으로 접속되어 있는 에어조인트 개소 23.4[%], 전기적으로 분리되어 있는 에어섹션 개소 3.9[%], 건넘선개소 2.3[%] 상승 개소 5.5[%] 나타났다. 이중 건넘선개소는 차량운행상태 빈도수가 작아 비율이 적은 것으로 판단된다.

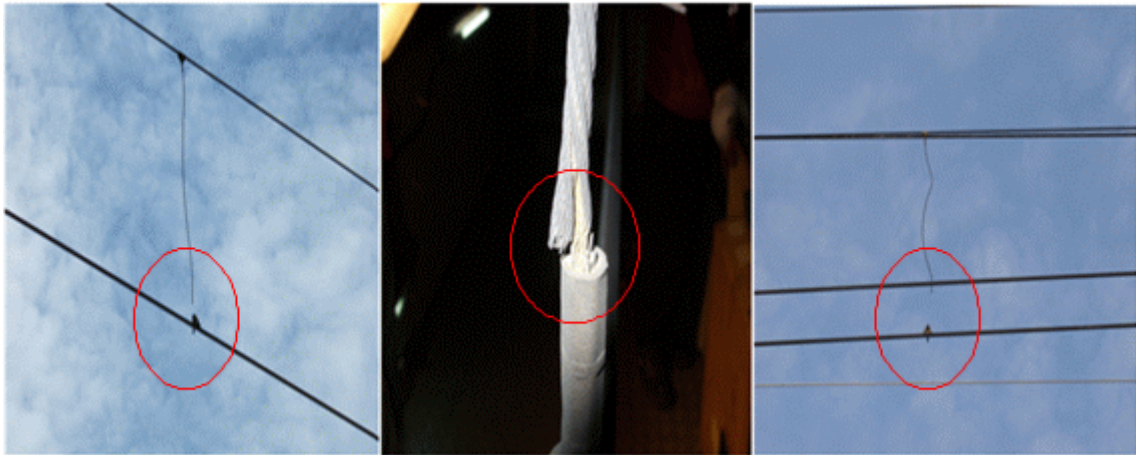


Fig. 2 경부고속선 드로퍼 단선 사진

2.2 드로퍼 파단면 분석

드로퍼의 파단면 결과분석에서는 소선의 파면 전반에 걸쳐 산화 정도가 심하고, 파단 후 발생한 마모와 압착에 의해 파면이 다수 손상되어 파단의 원인분석은 손상 정도가 심하지 않은 일부 소선을 선택하여 파면분석을 실시하였다. 파단면에서 크랙이 발생한 후 전파된 해안자국(Beach mark)이 관찰되었으며, 파단면의 전반에 걸쳐 이물질이나 결함의 흔적은 관찰되지 않았다. 피로 파괴면은 균열이 균열면을 따라 전파할 때 반복하중에 의한 균열면 여단힘에 따른 평활한 마찰면과 어느 정도 균열이 전파된 후 단면이 하중을 더 이상 지탱할 수 없을 때 단일 인장하중으로 파괴를 일으킨다. 따라서, 외부적인 영향이 아닌 피로파괴로 판단되었으며, 파단품의 소선부위에 미세조직이 관찰되었으며, 열에 의한 결정립 성장 및 드로퍼 하단인 케이블과 터미널 리그부위에 케이블 단선이 이루어 졌으며 실제적인 장애에서 95%이상이 하부 터미널 리그와 케이블 사이 부분에서 단선이 진행되었다.

2.3 드로퍼 진동분석

교량개소에서 진동에 따른 단선현상으로 진동 측정을 800Hz까지 계측하였으며 가속도와 속도에 대하여 Over all(Total)치와 Peak치에 대하여 분석하였고 교량 및 토공을 구분하여 측정하였다. 측정결과 최고 진동 가속도치는 경부고속선 고가개소 42-10번 전주에서 $3,310\text{mm}/\text{sec}^2$, 최고 속도치는 고가 41-23번 전주에서 $8.31\text{mm}/\text{sec}$ 로 측정되었고, 토공개소

53-23번 전주에서 진동 가속도치는 전주에서 $864\text{mm}/\text{sec}^2$, 최고 속도치는 $4.29\text{mm}/\text{sec}$ 로 나타났다. 결과적으로 진동 측정 결과 일반적으로 토공개소보다 고가에서 진동이 가속도는 3배, 속도는 2배이상으로 더 크게 발생되었으며, 고속철도 개통 이후 7년 동안 고가(교량)이 61번 단선, 토공(평지)이 34개소 발생되어 장애 수치와 실험결과가 일치하는 것을 볼 수 있다.

앞으로의 방향도 고가(교량)에서의 드로퍼 단선대책으로 강선(steel)으로 사용하면 좋으나, 강선일 경우 전기적 흐름이 차단 될 뿐 아니라 단선된 드로퍼가 운행중인 팬터그래프와 접촉될 경우 강선으로 인한 2차적인 피해가 우려된다. 동선 보다는 강화된 청동연선(Bz)을 사용하되, 교량구간에 유지보수시 일반 토공개소보다 더욱 더 신중하게 유지보수점검이 이루어져야 한다.

2.4 드로퍼 하중분석

전주와의 이격거리에 대한 피로도 측정결과는 정적하중시 63m 경간 1 번째 $14.40[\text{kgf}]$ 으로 측정되었으며, 63m 경간 6 번째 드로퍼의 정적 하중은 $10.43[\text{kgf}]$ 으로 측정되었다. 드로퍼의 동적하중 특성에서 최대 변동 범위는 63m 경간 1 번째 드로퍼의 경우 $16.26[\text{kgf}]$, 63m 경간 6 번째 드로퍼의 경우 $13.29[\text{kgf}]$ 로 팬터그래프가 드로퍼 위치를 지날 때 측정된 동적하중이 정적하중보다 1 번째 드로퍼는 약 $1.86[\text{kgf}]$ 6 번째 드로퍼는 $2.86[\text{kgf}]$ 크다. 이는 팬터그래프가 전차선을 압상할 때 드로퍼가 느슨해짐과 동시에 굽힘변형이 생기기 때문으로 판단된다. 또한 1 번째 드로퍼는 6 번째 드로퍼 보다 정적에서는 $3.97[\text{kgf}]$ 동적상태에서는 $2.97[\text{kgf}]$ 크며, 1 번째 드로퍼의 하중이 다른 드로퍼 하중보다 더 큰 것으로 나타났다. 열차 통과 후 전차선로의 진동으로 인하여 드로퍼 동적하중 변동이 약 50 초 이상 지속되었다. 지지점에서의 압상량은 열차속도 등 주행 조건에 따라서 차이를 보이나 드로퍼 동적하중 변동 폭은 주행조건의 변화에 민감하게 변화하지 않았다.

결과적으로 전주와 가까이 있는 드로퍼가 전차선 지지에 대한 하중이 제일 크다. 측정결과도 1 번 드로퍼가 하중이 크며 특히 정적인 상태보다 동적인 상태 크다. 실제적으로 서울~대구간 고속선 드로퍼 단선 통계를 볼 때 2009 년 첫 번째 드로퍼 단선사례가 21 건 기타개소 단선이 10 건, 2010 년 첫 번째 드로퍼 단선사례가 9 건 기타개소 단선이 11 건으로 단선 가능성이 많은 것으로 판단되고 있다.

우리나라 고속철도 모델인 TGV-Nord(54m) 경간을 비교 한때는 탄성도 최대가 $0.436(\text{mm}/\text{N})$ 으로 더욱 더 정밀하게 시공이 되어야 한다. 드로퍼의 배치간격은 경간 내에서 첫 번째와 마지막 번째 드로퍼는 무조건 $4.50[\text{m}]$ 로 하고 나머지는 $6.75[\text{m}]$ 를 원칙으로 하되 표준 경간 길이를 고려하여 $4.50[\text{m}]$ 를 경간 중앙에 배치할 수도 있도록 되어있다.

첫 번째로, 표준경간 길이는 4.50[m]와 6.75[m]의 조합 값 중에서 선정되며, 최대 63[m]부터 최소 31.5[m]까지 다양한 표준 경간 길이를 규정하고 있다

이 결과는 차량의 진동, 선로 조건, 전차선로 시공 오차 및 유지보수 조건 등이 감안된 결과이며, 아울러 앞에서 검토한 바와 같이 드로퍼 간격이 늘어남에 따라 전차선이 비균일적으로 마모되어 전차선의 수명을 단축시키고, 집전 성능에도 나쁜 영향을 미칠 수 있으므로, 실제 적용에 있어서는 보수적인 관점에서 고려하여야 할 것으로 판단되며, 드로퍼 간격은 4.50[m]와 6.75[m]의 조합 값으로 유지하여야 한다.

2.5 드로퍼 하중분석

순환전류는 조가선의 드로퍼, 곡선당김금구의 말단부 및 전선 교차개소의 가선간의 접촉과 불완전 접속개소에서 발생하는 진동 및 기타 다른 원인에 의해 발생하며 순환전류의 사고는 전류분류회로의 불완전 접촉에 전류가 증대하여 발생한다. 순환전류 방지 대책으로는 전선 상호간을 완전 절연시켜 전류의 흐름을 차단하거나 전차선과 조가선 간에 아크가 발생하지 않도록 가선간 전위차를 2.5V 이하로 유지하도록 저 저항으로 접속을 하여야 한다

3. 결론

전차선로 순환전류 문제로서 드로퍼를 6.75[m]간격을 유지하면 순환 전류 문제가 발생하지 않겠으나 순환전류를 방지하기 위한 방법으로 일정 간격으로 200m 균압선을 설치하여야 한다.

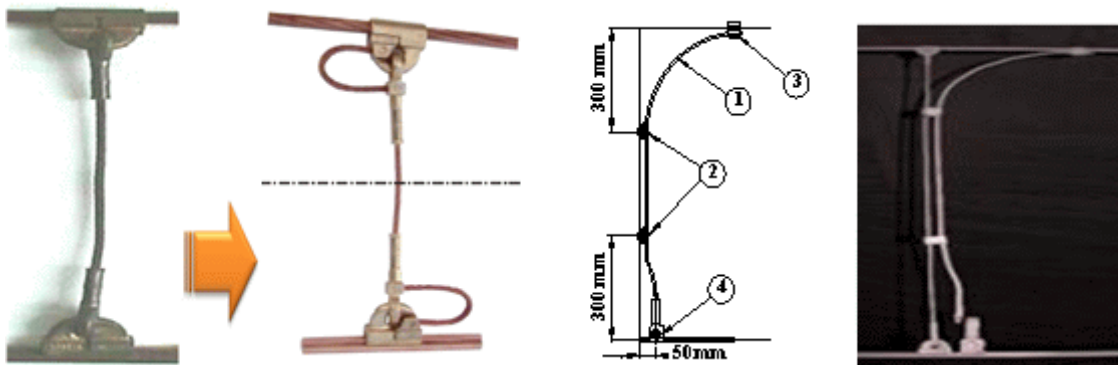


Fig. 2 일반드로퍼, 균압드로퍼 및 128 균압선

그러나 고속철도 운행속도가 점점 증가되고 있으며, 200m 마다 설치된 128 균압선도 드로퍼처럼 자주 단선되는 현상이 발생되고 있어, 펜터그래프에 경점 또는 운전전류에 의한 균압역활을

위하여 200m 마다의 균압선을 철거하고, 균일한 균압을 할 수 있도록 균압드로퍼를 채용 하는 것을 제안한다.

또한 고속열차의 운행에 의한 지속적으로 반복되는 굽힘응력과 전차선로 순환전류가 드로퍼 수명에 영향을 미친것으로 사료되며, 드로퍼의 단선은 정적하중의 전차선의 높이에 영향을 받게 되므로 전차선 높이 관리에 주의를 기울일 필요가 있다. 전차선로 시스템은 이론보다는 현장운행 경험과 시험을 통하여 발전되어 왔다.

프랑스에서는 574.8[km/h] 라는 경이적인 속도의 시험주행을 이루어 냈으면서도 상업운전속도는 320[km/h]이다. 이것이 고속철도의 속도향상에 상당한 신중한 자세를 견지한다는 것을 뜻한다. 우리나라에서는 호남고속철도를 350[km/h]운행속도로 시행할 예정이다. 우리나라 최고속도를 시험한 경험이 KTX 산천 전신인 G7 열차가 350[km/h] 및 KTX 330km/h]까지 운행한 경험이 있다.

운행경험에 의하면 전차선로 가선허성(전과속도 70%)이 운행속도를 300[km/h]에 시설되어 있어 아크가 생각보다도 많이 발생되었다. 물론 전차선의 설비를 운행속도 350[km/h] 시설을 하여 장력이나 굽기를 변경하여야 하지만 그 중 드로퍼의 개선이 많은 연구가 필요하며, 속도가 증가되면 될수록 조가선과 전차선과의 전위차를 줄이고 드로퍼 단선이 적어야 안정된 시설이라 말할 수 있다.

참고문헌

- (1) 김선구, “고속전차선로 보호계통시스템 분석에 관한 연구” 보고서 한국철도공사 2008.9.26
- (2) 이태훈, “고속철도 전차선로 드로퍼 기계적 피로원인 분석연구”보고서 한국철도공사 2008,12,31
- (3) 권성일 “고속철도 전차선로 속도향상을 위한 드로퍼 가선허성 분석 및 개선” 2012.02.08