

고속철도 전차선로 드롭퍼 와이어 파단원인 연구

이태훈*, 전용주*, 이시빈*, 최경일*, 한상길*, 박영식**, 박기범**
 한국철도공사 연구원*, 한국철도공사 전기기술단**

A Study on the Fracture Cause of Dropper Wire in Catenary System for Korea High Speed Railway

Tae-Hoon Lee*, Yong-Joo Jeon*, See-Bin Lee*, Kyoung-Il Choi*, Sang-Gil Han*, Young-Sik Park**, Ki-Bum Park**
 Korail Research Institute*, Korail Electrical Engineering Department**

Abstract - 고속철도 전차선로에 설치된 드롭퍼의 와이어가 파단되어 원인을 분석하기 위해 드롭퍼의 구간별/설치위치별/지역별 단선현황 분석, 파단면 SEM(Scanning Electron Microscope) 분석, 미세조직 분석 및 드롭퍼에 작용하는 정적하중을 계산하였다. 또한 고속철도 전차선로에서 드롭퍼의 정적 및 동적하중 측정과 분석을 통하여 드롭퍼의 피로하중 특성을 확인하였고, 지지점의 압상량을 측정 및 분석하였다.

드롭퍼는 전차선을 수평으로 유지하기 위해 전차선을 조가선에 현수하는 장치로서 드롭퍼는 12[mm]의 청동연선 양단에 클립형 금구로 조가선 이도에 맞춰 전차선을 조가선에 현수되게 지지하며 그 구조는 전차선이 팬더그래프의 압상력 작용 등으로 상승시 드롭퍼의 청동연선은 유연하게 휘어지며, 전차선 상호작용에 유연하게 대처하여 진동피로, 마모 등을 줄일 수 있다.

1. 서 론

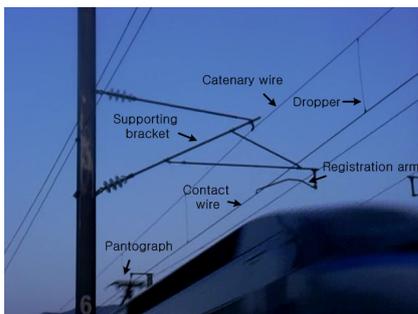
2004년 4월 경부고속철도 개통이후 전차선로 드롭퍼 와이어 단선이 약 4년간 55여개소가 발생되어, 이에 대한 원인분석 및 대책 강구가 필요하였다. 고속철도 전차선로는 코아계약으로 설치되었으며, 국내 지역적 환경과 KTX 집전장치가 미치는 파동에 의한 피로도 증가여부를 도출하고자 한다. 또한 고속철도 전차선로 드롭퍼의 단선원인 분석을 통한 안정성 향상과 고속철도 전차선로 드롭퍼 수명향상 측정으로 유지보수 관리 체계를 효율화하는데 그 목적을 둔다.

1993년부터 상업속도 300[km/h]로 영업운행을 하고 있는 TGV-N(북부선)노선의 경우는 영업운행을 시작할지 만 5년이 경과 된 시점부터 드롭퍼 및 균압선 등에서 가닥소손이 발생하기 시작하여 절손장애가 발생한 기록이 있다. 이것은 열차안전운행에 저해 요인으로 작용하기 때문에 파단원인 분석 및 현상측정 등을 통하여 검토하고자 한다.

2. 전차선로 시스템

2.1 심플 커티너리 방식

심플 커티너리(Simple catenary)는 전차선이 드롭퍼에 의하여 조가선에 지지되는 간단한 구조이므로 건설 및 유지보수 비용이 적게 드는 장점을 가지고 있으나, 구조상 컴플라이언스(Compliance)가 고르지 못한 단점을 가지고 있다. 그래서 경부고속철도의 경우, 조가선과 전차선 사이를 드롭퍼로 연결하여 전차선을 일정한 높이로 유지시키는 구조로 특히 경간전체에 걸쳐 균일한 컴플라이언스를 유지하도록 사전 이도(Pre-sag)를 준다.

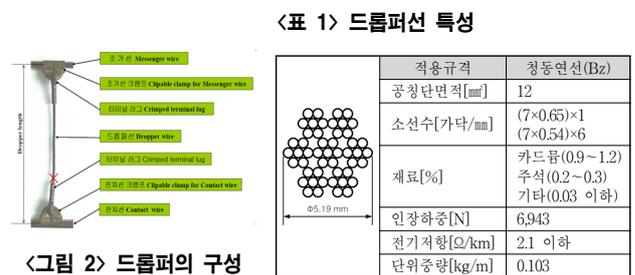


〈그림 1〉 심플 커티너리 방식

〈그림 1〉은 심플 커티너리 방식의 경부고속선 전차선로를 보여주고 있다. 심플 커티너리 방식의 전차선로 구조를 살펴보면 전차선(Contact wire), 조가선(Catenary wire), 드롭퍼(Dropper), 지지브라켓(Supporting bracket) 및 곡선당김금구(Registration arm)로 구성되어 있다. 전차선은 주기적으로 설치된 드롭퍼에 의해 조가선에 지지된다.

2.2 드롭퍼

2.2.1 드롭퍼의 구성



〈그림 2〉 드롭퍼의 구성

2.2.2 드롭퍼의 배치간격

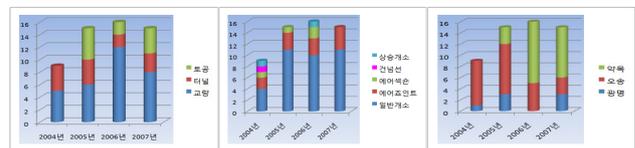
드롭퍼의 배치간격은 경간 내에서 첫 번째와 마지막 번째 드롭퍼는 무조건 4.50[m]로 하고 나머지는 6.75[m]를 원칙으로 하되, 표준경간 길이를 고려하여 4.50[m]를 경간 중앙에 배치할 수 있도록 되어있다. 표준경간 길이는 4.50[m]와 6.75[m]의 조합 값 중에서 선정되며, 최대 63[m]부터 최소 31.5[m]까지 다양한 표준경간 길이를 규정하고 있다.

3. 드롭퍼 단선현황 및 파단면 분석

3.1 드롭퍼 단선현황

2004년부터 2007년까지 경부고속철도 전차선로 드롭퍼 단선현황을 분석한 결과, 지역별 단선현황은 교량구간 56.4[%], 터널구간 23.6[%], 토공구간 20.0[%] 순으로 나타났다.

또한 설치위치별 단선현황 중 가장 높은 개소는 일반개소 65.5[%]이며, 전기적으로 접속되어 있는 에어조인트개소 21.8[%], 전기적으로 분리되어 있는 에어섹션개소 7.3[%], 상승개소 3.6[%] 및 교차하는 전차선의 레일면상 높이를 같은 높이로 유지하여 팬더그래프가 전차선에 끼여 드는 사고를 방지하는 건넘선개소 1.8[%]순으로 나타났다.

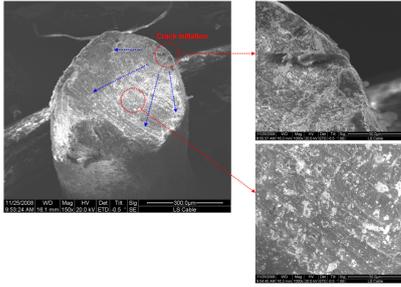


〈그림 3〉 구간/설치위치/지역별 드롭퍼 단선현황

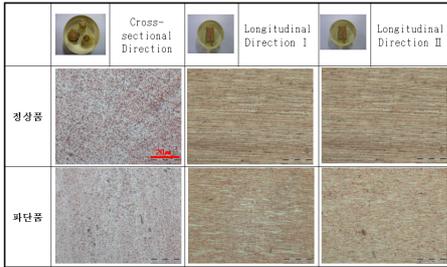
3.2 파단면 분석

파단부의 파단면 전반에 걸쳐 산화정도가 심하고, 파단 후 발생한 마모와 압착에 의해 파단면이 다수 손상되어 파단의 원인분석은 손상 정도가 심하지 않은 일부 소선을 선택하여 파단면 분석을 실시하였다.

파단면에서 크랙이 발생한 후 전파된 해안자국(Beach mark)이 관찰되었으며, 파단면의 전반에 걸쳐 이물질이나 결함의 흔적은 관찰되지 않았다. 따라서, 전형적인 피로파괴로 판단되었다. 또한, 파단부의 소선 길이 방향으로 연신된 미세조직이 관찰되었으며, 열에 의한 결정립 성장으로 판단된다.



〈그림 4〉 드롭퍼 파단면의 해안자국

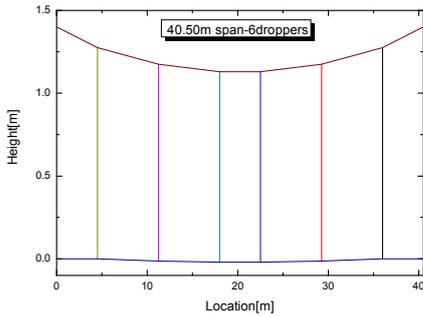


〈그림 5〉 각 시료의 SEM 미세조직

4. 전차선로 정적변형 및 드롭퍼의 정적하중(표준경간 40.50[m])

4.1 전차선로 정적변형

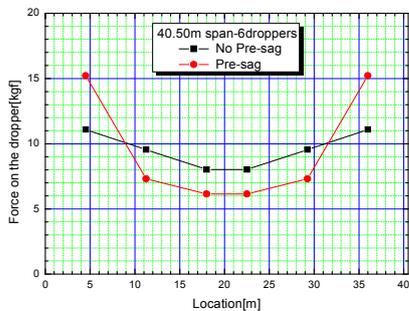
표준경간이 40.50[m]일 때 전차선 사전이도에 의한 전차선 이도, 조가 선 이도, 드롭퍼 길이의 계산된 값을 〈그림 6〉에 나타내었다.



〈그림 6〉 전차선로 정적변형

4.2 드롭퍼의 정적하중

사전이도가 없는 경우에는 드롭퍼의 정적하중은 드롭퍼 1 및 6에서 최대로 걸리고 그 값은 11.087[kgf]이다. 경간/2,000의 사전이도를 전차선에 주는 경우에도 드롭퍼의 정적하중은 드롭퍼 1 및 6에서 최대가 되나 그 값은 15.210[kgf]로 증가한다. 사전이도를 부여함으로써 드롭퍼의 정적하중은 약 4.123[kgf] 증가하게 된다.

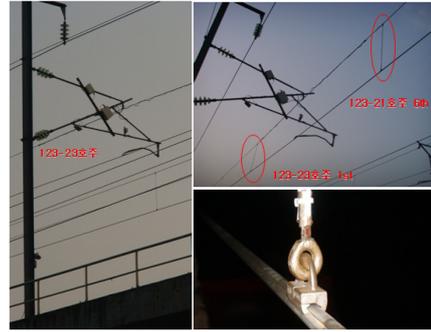


〈그림 7〉 드롭퍼에 작용하는 정적하중

5. 드롭퍼의 정적/동적하중 및 지지점 압상량

123-21호주 6번째 드롭퍼에 작용하는 정적하중은 10.43[kgf]을 나타내

었으며, 계산값보다 상대적으로 작은 힘이 걸렸다. 123-23호주 1번째 드롭퍼의 측정결과는 14.40[kgf]의 하중을 나타내었으며, 계산값과 유사하였다.



〈그림 8〉 드롭퍼 동적하중 측정

KTX 고속열차가 270[km/h] 및 300[km/h]일 때, 1차 측정에서 5차 측정까지 5회에 걸쳐 123-21호주 6번째 드롭퍼 및 123-23호주 1번째 드롭퍼의 동적하중을 측정하였다. 또한 123-23호주 가동브라켓의 진동파이프와 전차선 사이에 압상량 측정용 와이어센서를 설치하여, 곡선당김급구 위치에서 전차선의 압상량을 측정하였다. 드롭퍼의 정적/동적 하중 및 압상량의 측정결과는 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉 드롭퍼 정적/동적하중 및 압상량 측정결과

속도 [km/h]	123-21호주 6th 드롭퍼[kgf]	123-23호주 1st 드롭퍼[kgf]	지지점 전차선 압상량[mm]
0	10.43	14.4	-
300(1차)	18.08 (-13.71~4.37)	24.47 (-15.16~9.31)	82.75
300(2차)	17.60 (-12.86~4.74)	24.32 (-16.16~8.16)	84.19
300(3차)	17.66 (-12.56~5.10)	24.49 (-17.49~7.00)	74.04
300(4차)	17.02 (-13.29~3.73)	22.3 (-16.26~6.04)	81.32
270(5차)	16.97 (-12.19~4.78)	21.53 (-14.75~6.83)	60.90

6. 결 론

드롭퍼의 파단면 분석에서 파면에서 크랙이 발생한 후 전파된 해안자국(Beach mark)의 관찰로 전형적인 피로파괴로 판단되었으며, 파단품의 소선 길이 방향으로 연신된 미세조직의 관찰로 열에 의한 결정립 성장으로 판단된다.

드롭퍼의 정적하중 특성에서 정상 설치시 정적하중은 약 15[kgf]이 작용되는 것으로 계산되었다. 123-21호주 6번째 드롭퍼의 정적하중은 10.43[kgf]으로 측정되었으며 이 값은 계산치보다 작았으며, 123-23호주 1번째 드롭퍼의 정적 하중은 14.40[kgf]으로 측정되었으며 이 값은 계산치와 유사하였다. 드롭퍼의 동적하중 특성에서 최대 변동 범위는 123-23호주 1번째 드롭퍼의 경우 24.49[kgf], 123-21호주 6번째 드롭퍼의 경우 18.08[kgf]로 각각의 드롭퍼에 작용하는 정적하중의 2배 이내로 측정되었다.

마지막으로, 드롭퍼는 고속열차의 운행에 의한 지속적으로 반복되는 굽힘응력과 우리나라 기후의 특성상 사계절 온도변화가 드롭퍼 수명에 영향을 미친것으로 사료되며, 드롭퍼의 정적 하중은 전차선의 높이에 영향을 받게 되므로 전차선 높이 관리에 주의가 기울일 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 안영훈, “프랑스 고속철도 전차선로 시스템에서 균압선의 문제점”, 한국철도학회 추계학술대회논문집, 2000
- [2] 조용현, “드롭퍼 비선형과 전차선 초기 처짐을 고려한 철도 팬터그래프-전차선로 동역학의 수치 시뮬레이션”, 박사학위논문, 서울대학교, 2008
- [3] 김양수, 유해출, “전기철도공학”, 동일출판사, 2008
- [4] 정상기, “전력시스템 성능향상 기술개발”, 한국철도기술연구원, 2007
- [5] 정상기, “전력시스템 성능향상 기술개발”, 한국철도기술연구원, 2008