

고속선 터널내 전차선로 금구류 부식원인 연구

A Study Metallic causes corrosion into high-speed railway catenary inside of tunnel

이병곤*, 신영식**

Byeong-Gon Lee*, Young-Sik Shin**

Facilities of tunnel section has little effect from outside environment, heavy rain, intense cold compared to bridge and earthwork, however, it is vulnerable to indoor humidity and ventilation. Especially, tram facility with metallic material inside of tunnel is more vulnerable for corrosion caused by humidity. Metallic corrosion oxidizes metallic structure and parts depending on various figure and it destroys structures and devices then, it causes economic damage. Accordingly, study is very necessary about metallic corrosion for safety management of structure and safe railway operating. This study selects the place which has heavy corrosion of iron part of tramway inside of tunnel in Gyeongbu high speed railway 2 level sections and finds the cause of iron part corrosion through surface observation of metallic structure demolishing hinged cantilever installed inside of tunnel, analyzing of tunnel air quality, investigating neighbor environment of tunnel. Through this, it suggest improving method and reducing metallic part corrosion of railway.

Keywords : metallic material, inside of tunnel, metallic corrosion, metallic structure demolishing

터널구간 시설물은 토공, 교량 등에 비해 폭염, 혹한 등 외부환경의 영향을 덜 받을 수 있으나 내부 습기나 환기에는 취약하다. 특히 터널내부 금속재료인 전차선로 시설물은 습기 등에 의한 부식에 더 취약할 수밖에 없다. 금속 부식은 여러 형태에 따라 금속 구조물이나 부품을 산화시켜 장치나 구조물을 파괴하여 중대한 경제적 손실을 초래하고 있다. 이에 따라 안전한 철도 운행 및 구조물 안전관리를 위해 금구류 부식의 체계적인 연구는 매우 필요하다고 사료된다. 본 연구에서는 경부고속선 2단계 구간 터널내부 전차선로 금구류 부식이 심한 개소를 선정하여 터널 주변환경 조사, 터널 공기질 분석, 터널 내부에 설치된 가동브래킷을 철거하여 금속 구조물 표면관찰 등을 통해 금구류 부식원인을 고찰하였으며 이를 통해 전차선로 금구류 부식 저감 및 개선 방안을 제시하였다.

주요어 : 금속 부식, 가동브래킷, 습기, 공기질 분석, 터널

1. 서 론

우리나라 최초 고속선인 경부선 1단계 구간이 2004. 4월 개통되었으며 약 6년 7개월 후인 2010.11월 경부선 2단계 구간(동대구~부산)이 개통되었다. 경부선 2단계 구간 선로의 총 길이는 124.2km(단선 기준)이며 그 중 터널구간이 전체길이의 58.9%인 73.2km를 차지하고 있다. 터널의 수는 총 38개이며 특히 우리나라에서 가장 긴 금정터널(20.324km)이 울산~부산 방면에 위치하고 있다. 경부고속선 전차선로 시스템은 전철주에 가동브래킷을 설치하여 전차선로를 고정시켜 고속열차 등에 전기를 공급하고 있으며 터널내부에서는 상부에 하수관이 라는 비임을 통해 전차선을 고정시키고 있다. 그런데 경부고속선 2단계 구간 전차선로 금구류 제품 일부가 건설기간 동안 부식되었음을 발견하였다. 터널 외부에 설치된 금구류에서는

부식이 일어나지 않았으나 터널내부에 설치된 가동브래킷, 하수강 등에 부식의 흔적이 발견되었다. 경부고속선 2단계 구간 철도건설기관에서 2010.10.~11월 터널별 하수강, 브래킷 등에 대해 방청(도색)작업을 시행하였으나 부식은 일부 진행되었다. 전차선로 금구류 부식은 단기간 내 열차운행에 막대한 영향을 주지 않지만 장기적인 관점에서는 장치나 구조물을 파괴시키는 중대한 요소이므로 본 연구에서는 금속 부식의 원인분석을 통한 대책수립을 제시하고자 한다.

* 한국철도공사 연구원 기술연구처 차장(yeun0714@korail.com)

** 한국철도공사 연구원 기술연구처 부장(sys3430@korail.com)

2. 현황조사 및 동향분석

2.1 해외철도 전차선로 금구류 부식

일본의 구라오카 다쿠야[2010]는 염해구간용 가동브래킷의 개발 연구를 수행하면서 파이프 내부까지 분체 가능한 구조의 가동브래킷을 검토하여, 강관 파이프 안팎까지도 충분한 칠 두께의 막이 형성된다는 것을 확인하였으며 금구부에 분체 도장을 한 장간애자를 시작하여, 통상품과 동등한 성능이 나온다는 것을 확인하였다. 일본의 시마다 타케푸미[1994]는 아연도금강 연선 부식열화판정장치의 개발연구를 수행하면서 전차선로의 조가선에 사용되는 아연도금강 연선의 부식열화상태를 진단할 장치를 개발함을 목표로 각 종의 기초시험을 실시하며 열화검출방법의 검토를 실시하였다.

2.2 국내철도 전차선로 금구류 부식

2.2.1 경부고속선 1단계 구간 전차선로 금구류 부식

경부고속선 1단계 구간은 2004.4월에 개통되었다. 서울~대구 구간은 새로운 고속선 전용 선로가 건설되었으며 기존선 구간인 대구~부산 전철화를 시행하여 총 408.km 구간을 고속열차가 운행할 수 있게 건설하였다. 지형적인 특징으로 서울~대구 구간 총 260km 중 1/4이 넘는 약 72km(47개 터널)가 터널구간으로 시설되었는데 터널내부 전차선로 시설물을 건설하는 중에 금구류 일부가 부식되는 현상이 발생되었다. 터널 외부에 설치된 전차선로 금구류 부식은 비교적 심하지 않으나 터널 내부에 설치된 구리 알루미늄 합금과 알루미늄 부품 표면에 부식의 흔적인 반점이 많이 발견되었다. 청동알루미늄 합금인 전차선 클램프의 경우 가동고리 평면에 다수의 작은 부식된 반점이 발생되었으며 용융아연도금인 슬리브의 경우도 부식현상이 나타났음을 볼 수 있다. 또한 터널 바닥에 가깝거나 낮은 부분의 금속 제품은 터널의 천장에 가깝거나 높은 부분의 것들보다 상대적으로 부식이 덜 나타났다. 금구류 부식 원인 파악을 위해 터널 등에 대한 현장점검, 전차선로 부품의 화학적 분석, SEM(주사전자현미경) 등을 통한 금구류 부식원인을 조사하였다. 전차선로 금구류의 부식원인은 전차선로 건설기간 동안 환기가 되지 않은 터널내부에서 디젤 차량의 이동에 의한 이산화황이 습기 등과 결합하여 금속 부식을 일으켰으며 금속재료의 기능적인 면에서 문제가 없음을 결론

지었다.(2004, 유코레일, 기계연구원)

2.2.2 경부고속선 2단계 구간 전차선로 금구류 부식

경부고속선 2단계 구간(동대구~부산)도 2004년 개통된 1단계 구간과 유사하게 터널 내부 전차선로 금구류에서 부식현상이 발생되었다. 알루미늄 청동금구류는 전체 터널에서 전반적인 부식현상이 발생되었으나 하수강, 브래킷 등 지지물 부식은 일부 터널에서만 부식이 발생되었다. 이에 따라 철도건설기관에서 경부고속선 2단계 구간 터널에 대해 2010.10.~11월 전차선로 가동브래킷에 대해 방청(도색) 작업을 시행하였다. 방청작업 결과 금구류 부식은 줄어든 것 같으나 청동합금류 일부 부식은 계속 진행되었다. 이에 대한 원인파악을 위해 경부고속선 2단계구간의 전 터널에 대해 금구류 부식 현황조사를 시행한 결과, 터널길이가 긴 금정터널(20.324km)의 금구류 부식이 가장 심했으며 터널길이는 길지 않으나 평산터널의 금구류 부식이 다른 개소에 비해 심한 것으로 나타났으며 이는 주변의 환경적인 요인이 작용했을 거라 추측이 된다. 또한 청동금구류는 몇 개소를 제외하고는 대부분의 터널에서 부식현상이 발견되었으며 터널 길이도 짧은 터널보다는 3km이상의 중장거리 터널에서 부식현상이 더 많이 발견된 것을 알 수 있다.



Fig. 1 터널내부 부식된 금구류

3. 금구류 부식 원인조사

3.1 터널내부 공기질 분석

3.1.1 측정방법

1차 공기질 측정은 터널 내 공기질의 현황을 파악하기 위해 먼지, 아황산가스(SO₂), 암모니아(NH₃), 이산화질소(NO₂), 포름알데하이드(HCHO), 휘발성유기화합물(VOCs), 알데하이드류를 대상으로 실시하였다. 2차 공기질 측정은 1차 측정결과를 바탕으로 공기 중의 먼지와 SO₂를 대상으로 터널 내부 3개 지점 외부 1개 지점, 총 4개 지점에서 1주일 동안 시료를 채취하여 분석함. NH₃도 터널 내부 3개 지점 외부 1개 지점, 총 4개 지점에서 1일 동안 시료를 채취 분석함. 그리고 먼지에 포함된 입자성분의 금속성분을 유도결합플라즈마(ICP, Inductively Coupled Plasma Mass)를 이용하여 분석하였다.

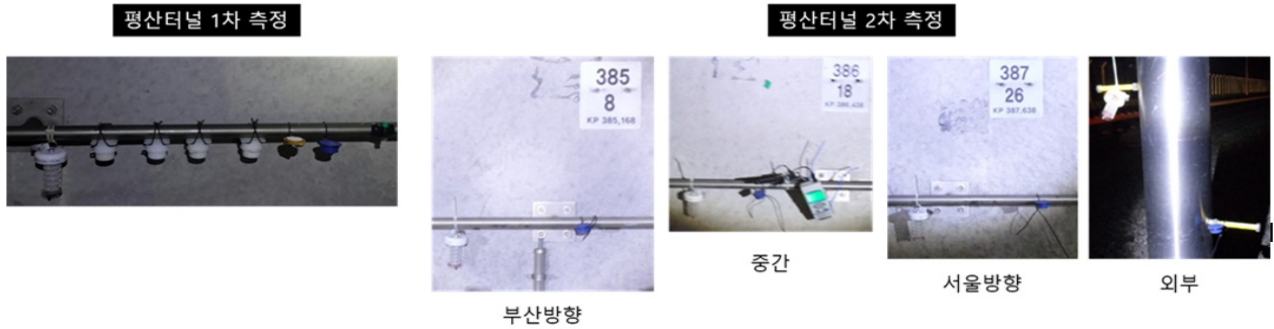


Fig. 2 터널내부 설치된 공기포집장치

3.1.2 공기질 측정결과

서울방향 금정터널의 이산화질소, 먼지 등의 농도가 높게 나타나고 있으며, 암모니아의 경우, 금정터널 내부 배출기인도 있는 것으로 추정된다. 또한 평산터널의 경우 터널 길이가 짧아 외부 농도와 터널 내부 농도가 거의 유사한 수준을 나타냈다 외부의 오염물질이 열차의 터널 진입과 함께 일정구간 터널 내부로 유입되어 금구류에 침적되어 영향을 주는 것으로 나타났다.

항목 단위	VOCs (ppb)									
	Benzene	Toluene	Chlorobenzene	Ethylbenzene	m,p-Xylene	o-Xylene	Styrene	1,3-Dichlorobenzene	1,4-Dichlorobenzene	1,2-Dichlorobenzene
평산-부산	1.43	2.34	ND	0.42	0.59	ND	0.61	ND	ND	ND
평산-중간	1.06	2.66	ND	0.13	0.64	ND	1.5	ND	ND	ND
평산-서울	1.03	2.29	ND	0.13	0.43	ND	0.11	ND	ND	ND
금정-부산	0.67	3.18	ND	1.31	1.13	ND	0.66	ND	ND	ND
금정-중간	1.26	2.43	ND	0.75	0.57	ND	0.56	ND	ND	ND
금정-서울	1.38	2.25	ND	1.11	1.13	ND	1.44	ND	ND	ND

Fig. 3 휘발성유기화합물 농도

3.2 터널내 금구류 분석

3.2.1 측정방법

터널 내 공기질 상태에 따른 금구류 등 금속구조물의 부식상태를 확인하기 위해 채취한 시료의 표면에서 먼지/입자성분을 분리하여 ICP로 분석함. 금속구조물의 표면의 상태 및 부식생성물을 확인하기 위해 주사전자현미경-에너지분산스펙트로스코피(SEM-EDX, Scanning Election Microscopy Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), X-선 회절분석(XRD, X-Ray Diffraction) 등을 이용하여 분석했다.



Fig. 4 금구류 먼지 분리

3.2.2 금구류 표면 분석 결과

금구류의 표면은 대부분 두꺼운 먼지층이 존재하였으며, 먼지를 제거하였을 경우 깨끗한 금속표면이 노출되었으며 방청작업이 이루어지지 않은 클램프류(청동합금류)의 경우, 일부 표면에서 표면이 부풀어 오르는 부식이 관찰되었다. 금구류 표면에 존재하는 먼지의 주요 성분은 철(Fe)과 칼슘(Ca)이며, 이들 물질은 레일성분 및 시멘트 성분으로 터널 내외부에 존재하는 먼지의 영향으로 일부 산화물을 형성하는 부식현상도 나타나고 있으며 일부 금구류 표면에 부식성 물질(S, Cl)의 존재가 확인되어 부식 촉진에 영향을 주는 것으로 사료된다.

3. 결론

경부고속선 2단계 구간 터널 내 전차선로 금구류 부식의 원인분석을 위해 터널 내·외부 공기질 분석 및 금구류 정밀분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 터널 내 전차선로 금구류 부식원인은 터널 내·외부의 다양한 환경조건 하에서 생성된 가스와 먼지가 터널 내 차량 진입에 의한 강력한 기류 압력에 의해 부착된 것이 주원인이며, 이는 수분 등 습도에 가중되어 나타나는 현상이며 현재 운용중인 금구류 성능에는 이상이 없는 것으로 판단된다. 이에 대한 단기 개선대책으로 터널 내 먼지(성분)가 금구류 부식에 영향을 미칠 수 있기 때문에 부식이 심한 구역(예: 터널 입출구 가까운 부분)의 설치된 금구류 중점 관리가 필요하다. 또한 중기대안으로 터널내 전차선로 금구류에 대해 개통 전 방청을 시행하였지만, 금구류가 결합된 상태에서 도색작업이 이루어져 결합된 부분은 방청이 잘 이루어지지 않기 때문에 향후 금구류 교체 시에는 미리 방청이 완료된 금구류 또는 부식에 강한 재질로 시공해야 한다. 아울러 금구류 제조 및 시공 시 방청작업 및 도금방법 등을 검토하고, 방청작업 시 금구류 표면을 조정한 후 도장하여 도료가 쉽게 탈락되는 것을 방지하는 등 품질 중점관리 필요하다. 장기대안으로 5년이 경과한 터널 내 금구류 설비(샘플링 개소 선정)의 정밀분해 점검 시 부식도 중점점검하여 금구류 교체주기에 반영해야 한다. 금구류와 동일한 재질의 금속시편을 이용하여 터널 내외부 현장의 다양한 조건(방청 및 도금여부, 자갈 및 콘크리트 궤도 등)에서 부식시험 실시하여 장기적인 금속류의 부식 모니터링이 필요하다.

참고문헌

- [1] 김용기, 장세기, 조성일, 이재봉(2002) 전차선로 가선재의 수용액 부식 특성, 한국철도학회논문집, 4(2)
- [2] 김용기, 장세기, 조성일(2002) 가선재의 기계적특성에 미치는 부식환경의 영향, 한국철도학회논문집, 5(1)
- [3] 김진형, 이종권(2013), 아산지역의 산업재료의 대기부식속도 측정, 한국산학기술학회논문지, 14(10)
- [4] 장세기(1997), 대기부식시험에 의한 금속의 부식성 평가, 한국표면공학회지, 30(1)
- [5] 장세기, 김용기, 구병춘(2007), 철도차량의 부식실태 및 현황

[6] 전상혁, 정진환, 허정옥, 김인태(2008), 지하철 공사현장 환경하의 가시설 강재의 부식속도 측정, 2008 대한토목학회 정기학술대회

[7] 한탑기술사사무소(2003), 금속의 부식과 방지

[8] 유코레일(2004) 고속철도 전차선로 부식 최종보고서