

전철 고상홈 전기동전 위험요인 분석 및 대책 연구
A study on the Hazard analysis and Improving methods for
an Electrical shock on the Platform

왕종배*
Wang, Jong-Bae

조인옥*
Choi, Yeun-Oak

ABSTRACT

In this paper, the hazard factors on voltage rising effect between the rail and the earth were reviewed in subway system of AC traction line according to moving condition and location of the train. Site measuring of voltage rising between conductor part of train and station floor was performed to ascertain the risk level on the passenger. Plans for preventing hazard of rail-voltage rising and electrical shock on the passengers at platform were proposed.

1. 서 론

전기철도에서는 전기차량의 전류가 레일을 귀선 회로로 흐르게 되어 레일의 특성임피던스와 부하전류에 의한 전위가 발생하며, 그 크기는 급전방식, 회로구성, 대지 어드미턴스, 전기차량 최대 부하(기동전류)의 크기, 위치 및 지속시간 등에 따라 달라진다. 전동차 기동시에는 운전 최대부하 조건이 되어 귀선전류에 의한 레일전압 상승치가 레일-차량-차체의 전도 경로를 통해 인체에 전격을 줄 수 있는 가능성에 유의해야 하며, 전위상승이 큰 경우 승객이 전동차 승하차시 전격(Electric shock)을 받는 일과 선로 보선원이 유지보수 작업시 전격을 받는 일이 발생 할 수 있다. 이때 전격의 위험성은 인체에 가해지는 접촉전압의 크기와 그 지속시간의 함에 비례한다.

일본에서 20kV급 BT 급전 방식의 역 플랫폼에서 승객이 전차 승강시 전격을 받은 사례(BT 극성 오결선으로 160V 정도 발생), 1500V 직류 급전구간에서 보선원이 맨손으로 작업 중 레일전위에 의한 전격을 받은 사례(160V 정도, 보호장갑과 안전화 착용 필수) 그리고 25kV BT 급전방식에서 터널내 보수용 통로에서 보선원이 통로 콘크리트 측벽에서 전격을 받은 일(시간선 180-350V 발생 추정) 등의 사례가 보고되어 있다.

* 한국철도기술연구원, 철도안전연구소 협센터

2. 전기철도의 레일전압 상승의 위험성 분석

2.1 레일 전위상승 제한과 허용 접촉전압 기준

전철의 레일전위 상승은 일반승객과 보행원의 안전을 위해 제한을 두어야 하지만, 국내 철도의 경우 아직 그 제한치가 설정되어 있지 않은 실정이다. 현재 독일, 일본, 영국, 스위스 등에서 이 접촉전압의 허용치를 규정하고 있다. 독일의 경우 전기규격 VDE 014L/264에서 규정한 제한전압은 상용주파 교류에 대한 단시간 지속전압의 허용치로 허용보폭전압과 허용접촉전압을 아래 표 1과 같이 규정하고 있다. 일본의 경우에는 “전압전로 보호지침”에서 접촉상태에 따라 표 2와 같이 제시하고 있으며, 영국에서는 40V, 스위스는 50V로 엄격히 제한하고 있다.

표 1. 독일 VDE의 허용전압 제한치

동전시간(초)	1.0	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
허용보폭전압[V]	90	100	-	105	-	140	170
허용접촉전압[V]	60	75	80	95	110	135	185

표 2. 일본 전압전로 보호지침의 허용접촉전압

종별	접촉상태	허용접촉전압
제1종	- 인체의 대부분이 수중에 있는 상태 - 인체가 현저히 젖어있는 상태	2.5V 이하
제2종	- 금속제 전기기계장치나 구조물에 인체의 일부가 상시 접촉되어 있는 상태	25V 이하
제3종	- 제1종, 제2종 이외의 경우로 통상의 인체상태에서 접촉전압이 가해지는 위험이 높은 상태	50V 이하
제4종	- 제1종, 제2종 이외의 경우로 통상의 인체상태에서 접촉전압이 가해지더라도 위험이 낮은 상태 - 접촉전압이 가해질 우려가 없는 경우	제한 없음

2.2 레일전압의 위험수준 평가를 위한 급전계통 특성분석 및 현장실측

(1) 급전계통의 특성 분석 (경인선 부개 SP~주안 SS구간, AT 급전방식)

- 급전구간 : 9.150km(부개SP 절연구간-12k829~주안SS 절연구간-21k979)
- 주안 SS 급전 선로 : 총 6개 전차선로 전원공급
 - 부개역-도화역 구간 4개, 제물포역 구간 2개 전차선로 전원공급

표 3. 역사 배치 및 선로 특성(경인선 부개 SP~주안 SS구간)

역사명	부개역	부평역	백운역	동암역	간석역	주안역	도화역
선로수	상하 2선 직통 2선	상하 2선 직통 2선 유치선 6	상하 2선 직통 2선	상하 2선 직통 2선	상하 2선 직통 2선	상하 2선 직통 2선 유치선 3	상하 2선 직통 2선

(2) 레일전압상승 현장 측정 조건 및 측정회로 구성

- 측정조건 : 주안 SS~부개 SP사이 3개역(도화, 동암, 부개) 레일전압 측정

시험내용	시험조건
전압측정(레일-안전펜스)	차량정차시, 기동시
전압측정(레일-접지)	차량정차시, 기동시
전압측정(안전펜스-접지)	차량정차시, 기동시

- 측정회로 구성

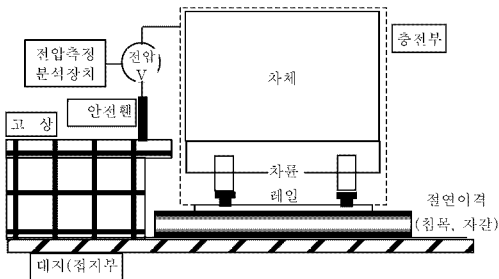


그림 1. 레일전압 측정회로 구성

(3) 레일전압 상승 현장 신속 결과 검토

SS 인출개소인 주안역에서 직통선 레일전압 발생조건 및 발생 지속시간(60V이상)을 측정하여 분석한 결과를 그림 2에 나타내었다.

- 1) 상1선 직통열차 기동 : 레일전압 61.65V-지속시간 1초
- 2) 상1선 직통열차 출발, 하1선 직통열차 기동 중첩 : 레일전압 74.71V-6초
- 3) 상1선, 하1선 직통열차 진입 중첩 : 레일전압 88.87-4초
- 4) 상1선 직통열차 기동, 하1선 직통열차 진입 중첩 : 레일전압 92.4V-47초
- 5) 상1선 직통열차 기동, 상2선 열차 기동 중첩 : 레일전압 143.69V-15초
- 6) 상선 직통열차 출발 직후, 열차진입 및 기동 중첩 : 레일전압 148.81V-20초

이상에서 급전공급 변전소가 위치한 역사는 부하점에 의한 레일전압 상승과 변전소로 되돌아오는 반대 극성의 레일전압이 합쳐져 레일전압 상승이 대단히 크게 발생할 우려가 있다. 또한 민변 하계 상, 하 망간의 연속된 열차 기동과 인접선로의 진입 중첩에 의해 140V를 초과하는 매우 큰 레일전압이 발생하였고, 지속시간(60V 이상)도 15초 이상 매우 길게 나타나 고상용 승객의 전격위험이 실제로 발생할 우려가 있음을 알 수 있다.

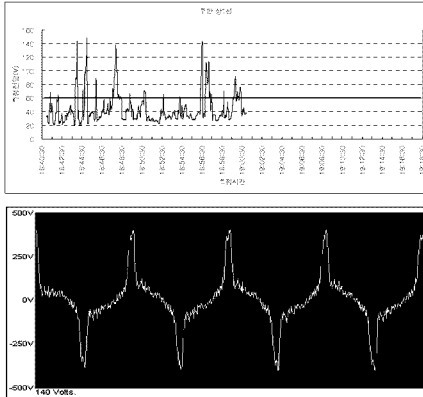


그림 2. SS구간(우안역) 상1선 레일전압-시간 곡선 및 전압 피크치 분석
(직통열차 기동, 진입 중첩)

2.3 전철 고상용에서의 전기동전(진격)에 대한 위험요인 분석

- 1) 부개 SP-우안 SS 급전구간 역사에서 측정된 레일전압은 열차 1대의 단독 운행이더라도 출발기동 순간 부하점에서의 레일전압 상승이 60V(지속시간 1~4초)이상으로 발생하여, 전기동전(진격)을 초래 할 수 있는 레일전압상승의 위험성이 전체 급전구간 선로에서 우려할 만한 수준으로 나타났다.
- 2) 해당 선로에 열차 대기중인 상태에서 후속 열차의 진입이나 인접역 열차 출발에 따른 영향이 중첩되어 레일전압의 크기는 70V~100V 정도로 상승하고 지속시간(60V 이상)도 10초 이상으로 상당히 길게 발생하고 있다.
- 3) 특히, 두 대의 열차가 동시에 출발하는 경우 기동전류가 그대로 중첩되어 140V-지속시간 20초 이상의 최고 레일전압상승 조건을 형성하고 있다.
- 4) 급전공급소(SS)에 인접한 역사는 부하점에서의 레일전압 상승과 변전소로 되돌아오는 반대극성의 레일전압이 합쳐져 레일전압 상승이 다른 위치의 역사보다 크게 발생하는 특성을 가지고 있다.

5. 결론 및 개선 방안

(1) 고상홈 승객 전기동전(전격)의 직접적 위험요인 분석 결과

- 1) 고상홈 승객이 받은 전격의 원인은 열차운행에 따른 부하전류의 귀선경로로 사용되는 레일에서의 전압상승에서 기인되는 것으로 판단된다.
- 2) 전기동전 경로 확인 결과 전기 충전부(레일과 열차의 도출금속부-운전실속 외부 금속 손잡이, 객실 출입문 안쪽 금속 손잡이, 창문 금속틀)와 접지불(대지와 연결된 안전펜스와 고상홈 바닥)을 사람이 동시에 접촉하는 경우 전격을 받게된다.

(2) 레일전위상승 억제와 인체에 대한 전격방지 대책 권고

- 1) 레일전위는 부하전류와 레일의 특성임피던스의 곱에 의해 그 크기가 결정됨을 고려하여
 - 상, 하행 레일의 크로스 본드: 복선구간에서 급전점과 중간지점에서 상, 하행선 레일을 접속하여 귀회로 임피던스를 낮추는 방법(최고 1/2 절감효과)
 - 임피던스 본드 분산 접지: 레일을 임피던스 본드의 중성점에서 분산 접지하여 상대적으로 레일의 대지 이드버턴스를 증가시켜 레일전위를 낮추는 방법
 - 1점 접지법: 역사구간과 같이 특정 구간에서 레일의 임피던스 본드 중성점을 낮은 접지저항으로 접지하는 방식.
- 2) 국내 철도도 급전회로 조건이나 레일유지보수 제세 등을 고려하여 실현 가능한 수준의 레일전위 제한값을 설정해야 하며, 이때 역사 플랫폼(고상홈) 구역과 보호상갑과 안전화들 착용한 작업위를 대상으로 한 일반구역으로 구분하여 설정하는 것이 바람직 하다.
- 3) 대기정차 중인 열차와 사람(승객, 보선원)이 접촉할 가능성이 있는 위험개소의 조사가 필요하며, 차량 외부 도전부와 안전펜스의 도전부의 절연처리를 통한 전격방지 대책이 필요하다.
- 4) 부하점에서의 레일전압 상승과 변전소로 되돌아오는 반대 구성의 레일전압이 합쳐져 전격을 초래하는 레일전압 상승이 크게 발생할 우려가 있는 급전공급소(SS)에 인접한 역사의 레일전위상승 실태를 정확히 파악하여 이에 대응한 레일전위 억제 대책의 적용이 요구된다.

【참고문헌】

1. “레일전위와 그 대책”, No.1090(전기권 제202호) 철도기술연구보고, 1989. 9
2. “감전개해와 방지대책”, 사단법인 대한전기학회, 1983
3. 독일 전기규격 VDE 0141/264
4. 炭田順次, “전기화개” 新電氣, 1989.12
5. 지하철전기기술교본간행위원회, “地下鐵 電氣設備 話-變電 電車線 電路 機械 編”, 일본철도전기기술협회, 1993
6. “고속철도시스템의 레일 전위 상승해석” 대한전기학회 2000년 하계학술대회 논문집(B), pp 1365-1367, 2000.07
7. 연구용역보고서 “과천선 건설 전기방식 검토-제3장 전차선로”, 한국전기연구소, p.83, 1990
8. 철도청 자문보고서 “전철교상홈 안전펜스 전기동전 사고원인 및 대책연구”, 한국철도기술연구원, 2002