전기철도시스템의 접지 유형에 따른 귀선 전류 비교

Comparison of Return current by the Earth type in the Electrical railway system

이 길 노*, 김 용 규**, 백 종 현***, 유 창 근****
(LEE Gil-lo, KIM Yong-Kyu, BAEK Jong-Hyun, RYU Chang-Keun)

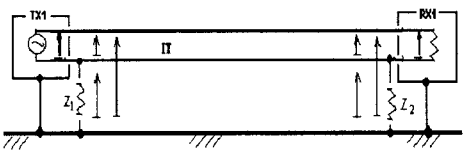
Abstract - In electrical railway system, power supplied to electrical locomotive by catenary is returned to sub-station on track. The current returned to sub-station on track is return current, which is an essential factor for the safety of the wayside electrical equipment and maintenance staff. Therefore, earth system acts an important role to protect wayside electrical equipment and maintenance staff against return current. In general, individual earth system protects partially the electrical railway system, but common earth system does the whole electrical railway system and minimizes the flow of return current. In this paper, we are compared the effect of return current according to earth type by actual measurement in existing electrical railway system. The measurement was conducted at Shinchungju sub-station in high speed trains, and Guro sub-station, which is electrified section in classical line.

Key Words : Electrical Railway, Train control, Return current, Common earth, Individual earth

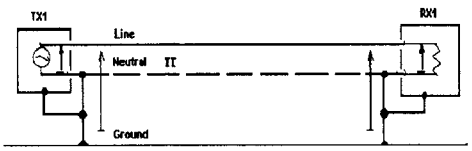
1. 서 론

전기철도는 타 교통 수단에 비해 환경 친화적인 최적의 교통수단으로, 공급 전력원에 따라 직류 방식과 교류 방식으로 분류하며, 이의 접지방 구성은 단독 접지방식과 공동 접지방식으로 주어진다. 우리나라는 일본 철도의 영향에 의해 기존의 전철화 선로 접지망이 모두 단독 접지방식으로 구성되어 있다. 단독 접지방식은 유지보수 요원의 안전과 선로변 기기, 신호 기계실 및 통신실의 전기 설비에 대한 보호 방안이 주요 문제점으로 제시되지만 유럽에서 주로 사용하는 공동 접지방식은 모든 금속 설비를 등전위가 되도록 구성함으로써 선로변 안전 및 전기 설비 보호의 방해 원인이 되는 귀선 전류를 감소시킬 수 있는 접지방식으로 주어진다[1]. 여기서 귀선 전류는 전철화 선로의 궤도회로 구성 요소인 임피던스 본드의 용량과 밀접한 관계를 가지며, 변전소, 급전 구분소, 및 전력 관련 개소의 위치에 영향을 받는다. 이는 열차가 견인력을 공급하는 변전소에 위치하는 경우와 역 구내에 위치하는 경우에 발생하는 귀선 전류를 비교할 경우, 역 구내에 열차가 위치하는 경우에 발생하는 귀선 전류가 변전소에 열차가 위치하는 경우에 발생하는 귀선 전류에 비해 작게 주어진다[2]. 우리나라 고속선에서 채택한 2×25kV, 60Hz의 공동 접지망 구성은 선로변에서 발생 가능한 지락 사고로부터 유지보수 요원 보호 및 EMI에 대해 최상의 효과를 제공하는 시스템으로, 이의 검증은 이미 SNCF(프랑스 철도청)에 의해 이루어졌다[3]. 본 논문에서는 접지방식에 따라 선로변에 흐르는 전류의 크기를 검측함으로서 선로변 기기와 유지보수 요원의 안전 및 선로변 전기 설비 장애의 주요 원인으로 작용하는 귀선 전류에 대해 검토하였다. 이를 위한 측정은 단독접지를 사용하는 구로 변전소와 공동접지를 사용하는 고속선으로 구분하여 실행하였다.

2. 접지와 귀선 전류



(a) 단독 접지를 사용할 경우



(b) 공동 접지를 사용할 경우

그림 1. 송.수신단 전압차

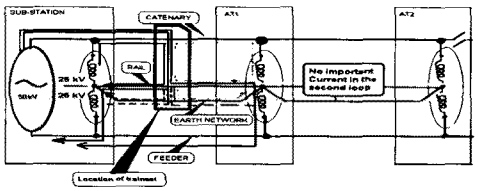
Fig 1. Voltage difference between transmission and reception terminal

여러 개의 신호실 또는 통신실에 대해 단독 접지를 구성할 경우, 임의의 신호실에서의 접지 단락은 관련 신호실의 접지 저항을 타 신호실보다 증가시킨다. 그 결과 전송 케이블을

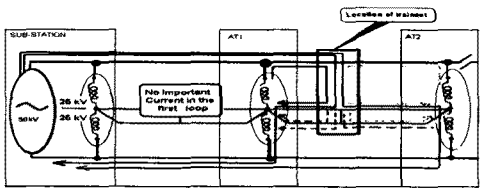
저자 소개
* 서울産業大學校 鐵道電氣信號工學科 碩士課程
**韓國鐵道技術研究員 電氣信號研究本部 責任研究員 · 工博
***韓國鐵道技術研究員 電氣信號研究本部 先任研究員
****남서울大學 電氣電子通信學部 副敎授 · 工博

통해 접지 저항이 높은 신호실에서 낮은 신호실로 단락 전압이 유입되며(T_{x1}-R_{x1}≠0), 단락된 신호실의 전기 설비가 피해를 입게 된다(그림 1a). 그러나 공동 접지는 접지 단락이 발생한 신호실의 접지 저항이 단락 회로와 관계없이 항상 동일한 접지 저항을 유지함으로써(T_{x1}-R_{x1}≒0) 신호실 설비의 피해를 방지할 수 있다(그림 1b).

하나 또는 여러 대의 열차가 동일 궤도 상에서 운행될 경우, 전차선 및 급전선에 의해 전송되는 견인 전류는 전차선, 공중보호선, 차량, 접지선, 궤도회로로 구성된 그림 2와 같은 궤환 회로를 통해 변전소로 귀환되며, 주로 선로변의 자갈 도상 임피던스, 공중보호선, 및 전력 공급 장소에 대한 열차의 상대적인 위치에 의존한다[4].



(a) 열차가 변전소 부근에 위치할 경우



(b) 열차가 AT 사이에 위치할 경우

그림 2. 귀선 전류 귀환 회로도

Fig 2. The circuit diagram of the traction return current

3. 귀선전류 검측

접지 유형에 따른 귀선 전류의 영향을 검증하기 위해 단독접지로 시공된 수도권 전철화 구간 구로 변전소와 공동접지가 설치된 고속선 신청주 변전소에서 검측을 실행하였다.

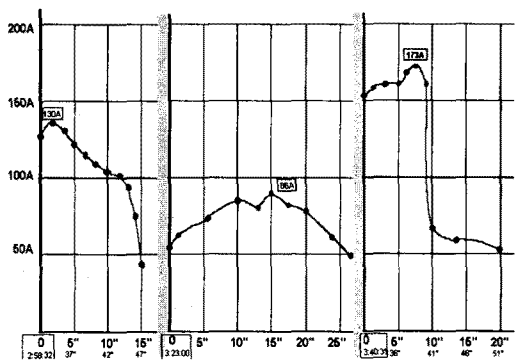


그림 3 단독 접지에서의 귀선 전류 측정값

Fig 3 Measurement value of return current on individual earth

구로 변전소의 공급 전원은 25kV 60Hz로 서울-수원 구간을 정상적으로 운행하는 전동차가 통과하는 순간에 관련 귀선 전류를 측정하였다. 접지망은 타 전기기기와 공동으로 연결되어 있지 않았으며, 전동차는 최대 속도 80km/h까지 가능한 구간이었다. 3번의 측정 결과, 귀선 전류는 그림 3과 같이 최고 173A까지 측정되었지만 이와 같은 귀선 전류 최대값은 오래 지속되지 않았다.

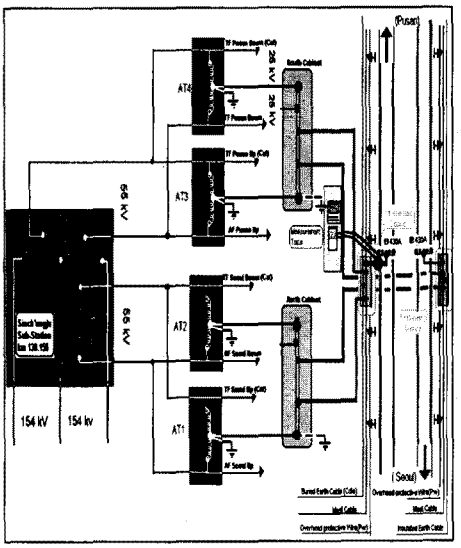
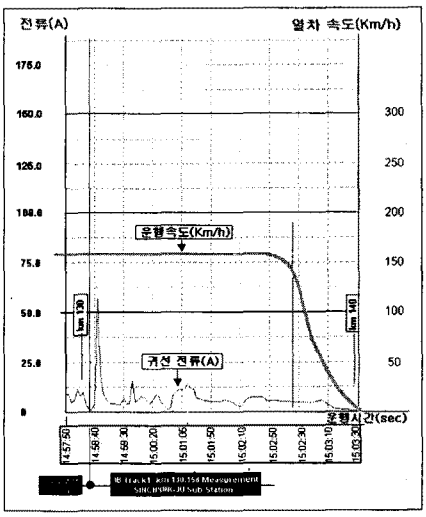
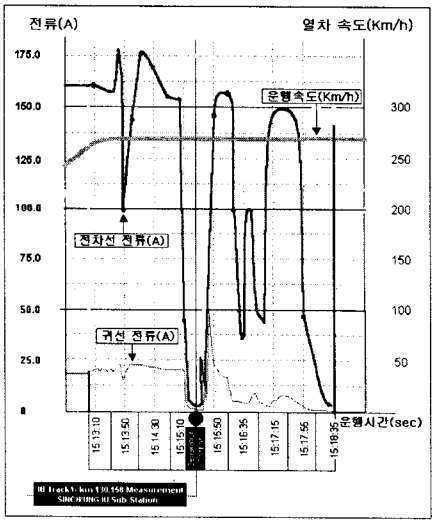


그림 4. 귀선 전류 측정 위치

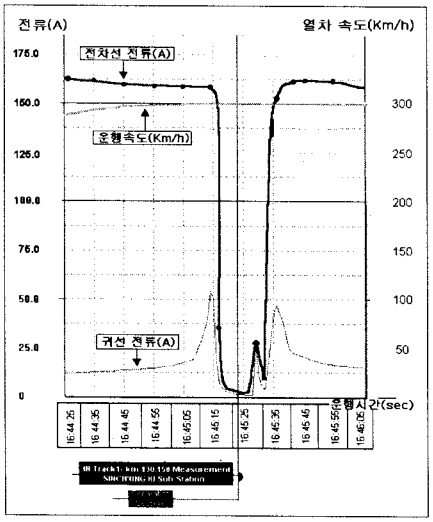
Fig 4. Measured location of traction return current



a) 170km/h인 경우



b) 270km/h인 경우



c) 300km/h인 경우

그림 5 공동 접지에서의 귀선 전류 측정값

Fig 5 Measurement value of return current on common earth

공동 접지의 경우에는 경부고속선 시험선 구간에 전력을 공급하는 서청주 변전소에서 열차의 가감속 시험중에 실시하였다. 측정은 전력과 관련된 모든 장소에서 실행한 것이 아니라 단지 고속선 시험 운행 선로에 견인력을 공급하는 신청주 변전소에서만 귀선 전류와 전차선 전류를 측정하였다. 이는 방대한 시험에 비해 장비와 인원 등의 한계로 인해 전 구간에서 동시에 원하는 값을 측정하지 못하였다. 귀선 전류 측정에 연관된 측정 위치는 그림 4와 같다. 차량에서는 KTX의 운행 속도와 시간에 따른 열차 위치를 기록하였다[5].

관련 열차의 운행 속도는 고속선에서의 최대 운행 예정 속도인 300km/h를 기준으로, 270km/h, 170km/h의 경우로 분류하여 측정하였다[5]. 이 속도는 귀선 전류를 측정하기 위해 주어진 속도가 아닌 KTX의 감속 및 가속 운행을 시험하기 위한 속도로 기존선 전철화 구간의 최대 운행 속도인 150km/h에 대한 측정은 실현할 수 없었다.

KTX 속도가 170km/h일 때의 귀선 전류값은 그림 5a)로 주어진다. 열차의 위치 변화에 따른 변전소 전방의 임피던스 본드에서의 귀선 전류(I_{Rail}) 최대치는 56.7A로 측정되었다. KTX 속도가 270km/h일 때의 귀선 전류 측정값을 그림 5b)로, 여기서 측정시의 KTX 속도는 일정하게 주어진 것이 아니라 0km/h에서 270km/h까지의 증속 시험 및 제동 시험에 의해 속도를 변화시켰다. 변전소 전방에서의 임피던스 본드의 귀선 전류(I_{Rail})는 최대 49A로 측정되었고, 전차선 전류(I_{Cat})에 대한 귀선 전류(I_{Rail})의 비율은 31.6%이다. 그림 5c)는 KTX 속도가 300km/h인 경우의 귀선 전류 측정 결과로, 속도가 300km/h 이하일 때의 측정치와 비교할 경우 속도가 증가해도 귀선 전류값은 큰 변화가 없음을 쉽게 확인할 수 있다. 변전소 전방의 임피던스 본드의 귀선 전류(I_{Rail}) 최대치는 53.8A이며, 전차선 전류(I_{Cat})에 대한 귀선 전류(I_{Rail})의 비율은 33%이다.

5. 결 론

위의 그림에서 주어진 접지 유형에 따라 측정된 귀선 전류값은 공동접지의 경우에 속도에 큰 영향을 받지 않으며, 이는 전차선 공급 전류의 약 34%가 귀선 전류로 통과됨을 쉽게 확인할 수 있다. 이는 전차선 전류가 기존의 단독 접지 시스템처럼 모두 귀선 전류로 흐르는 것이 아니라, 일부는 귀선 전류와 접지 전류로 분기되어 흐르고, 나머지는 대부분 (-) 급전선을 통해 변전소로 귀환하는 것으로 추정된다. 따라서 단독 접지의 경우에 전차선 공급 전류의 대부분이 귀선 전류로 통과하는데 비해 공동 접지는 귀선 전류의 양이 상대적으로 감소함으로서 선로변 유지보수 요원의 안전이 기존의 단독접지에 비해 우수한 효과를 갖는다는 결과를 유추할 수 있다. 또한 검측 결과는 공동 접지망 사용시 귀선 전류의 통로로 사용되는 궤도회로의 임피던스 본드 용량을 단독접지에서 사용하는 임피던스 본드의 용량보다 작은 것을 사용할 수 있음을 쉽게 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] 김용규 외 2인 "경부선 전철화 구간에서의 귀선 전류 및 임피던스 예측", 2001년 대한전자공학회 하계학술대회 논문집 (V), pp. 123-126, 2001. 7.

[2] 김용규, "신호시스템 인터페이스", 한국철도기술, pp. 61-66, 2001. 8.

[3] SNCF Division VZC, 25kV Electrification overhead line equipment, SNCF, 1990.

[4] T.CHARLTON, "Earthing Practice", Publication of Copper Development Association, St Albans, U.K, 1997, 69pp.

[5] Y.K.KIM and al, "Estimation and Measurement of traction return current on Gyeoungbu electrification line", 2001 ICCAS, pp. 1458-1461, 2001. 10.