

2×25kV 급전 방식에서의 공동 접지망 적용에 따른 귀선 전류의 영향

論 文

51B-9-3

Effects of the Common Earth Network on the Traction Return Current in 2×25 kV Power Supply System

金 容 圭* · 柳 昶 根**

(KIM Yong-Kyu · RYU Chang-Keun)

Abstract - The aim of this research is to find out how the common earth network affects the level of the traction return current in the 2×25 kV Power Supply System. The traction return current plays a significant role in the operation of the facilities near the rails. It is shown that the common earth network in the 2×25 kV power supply system not only minimizes the level of the traction return current, but also increases the safety of the working crew on the railways. In order to determine the relationship between common earth network and the traction return current, we investigated the earth system of the Gyongbu High Speed Line that is constructed following the SNCF regulations. We carried out the field test in the Osong station. The results of the test show that the common earth network minimizes the effect of the traction return current. We also find that the simulated results are very similar to the test results. We concluded that the results of the test can be applied for the rest of the Gyongbu High Speed Line under construction.

Key Words : 시물레이션, 계측, 전기철도, 귀선 전류, 접지망 구성

1. 서 론

고속철도는 대규모, 고효율 운송 수단일 뿐만 아니라, 대기 오염, 소음 등이 낮아 타 교통 수단에 비해 환경 친화적인 최적의 교통 수단으로 평가되고 있다. 고속철도의 구동 방식은 전력 공급원에 따라 직류 방식과 교류 방식으로 분류하며, 전철화 선로의 접지망 구성 방식은 단독 접지 방식과 공동 접지 방식으로 주어진다. 우리나라는 일본 철도의 영향을 받아 기존선 전철화 선로의 접지망이 모두 단독 접지 방식으로 구성되어 있다. 단독 접지 방식은 지락 사고에 의한 유지보수 요원의 안전과 선로변 기기, 신호 기계실 및 통신실의 전기 설비에 대한 보호 방안이 주요 문제점으로 대두되었다. 그러나, 유럽에서 주로 사용하는 공동 접지 방식은 모든 금속 설비들 등전위가 되도록 구성함으로써 선로변 안전 및 전기 설비 보호의 주요 방해 원인이 되는 귀선 전류를 감소시킬 수 있는 접지 방식으로 평가되고 있다[1]. 여기서 귀선 전류는 전철화 선로의 궤도회로 구성 요소인 임피던스 본드의 용량에 주로 연관되며, 변전소(SS), 급전 구분소(SP), 및 전력 관련 개소(AT)의 위치와 밀접한 관계가 있다. 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 크기가 작

게 주어진다[2]. 전철화에 의한 전기 기관차의 구동은 직류 방식과 교류 방식으로 주어지며, 고속 전철의 도입에 따라 우리나라에서 채택한 2×25kV, 60Hz 교류 구동 방식에 대한 공동 접지망 구성은 선로변에서 발생 가능한 지락 사고로부터 유지보수 요원 보호 및 EMI에 대해 최상의 효과를 가져오는 시스템으로, 이에 대한 검증은 이미 SNCF(프랑스 철도청)에 의해 이루어졌다[3].

본 논문에서는 2×25kV, 60Hz 교류 구동 방식에 공동 접지 방식을 적용함에 따른 전차선 전류, 귀선 전류, 접지 전류의 관계를 분석하였다. 이를 위해 공동 접지 방식이 적용된 경부고속전철에서 예상되는 귀선 전류의 크기를 시물레이션에 의해 예측하였다. 또한 경부고속전철의 시험선 구간인 오송-천안에서 귀선 전류를 실측한 후, 이를 예측된 값과 비교, 분석하였다.

2. 공동 접지망과 귀선 전류

2.1 공동 접지망

경부고속전철 시스템의 급전 계통은 단상 교류 2×25kV AT(단권 변압기)이며, 접지 시스템은 공동 접지 방식이다. 단상 교류 2×25kV는 전철 관련 변전소의 전압 강하가 최소화되며, 단권 변압기를 사용함에 따라 급전 구간이 증가할 수 있는 특성이 있다([4],[5]). 공동 접지망의 구성은 주어진 전력 공급 시스템에 기본을 두고 전철화에 사용된 궤도 회로의 특성에 따라 모든 접지 관련 설계 변수가 변하는 특성이 있다.

여러 개의 신호실 또는 통신실에 대해 단독 접지를 구성할

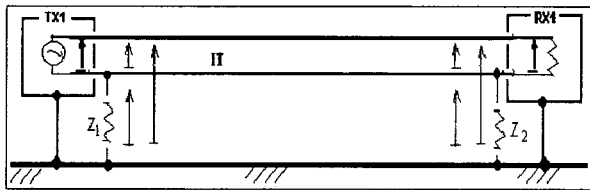
* 正 會 員 : 韓 國 鐵 道 技 術 研 究 員 責 任 研 究 員 · 工 博

** 正 會 員 : 南 京 大 學 電 子 情 報 通 信 工 學 部 副 教 授 · 工 博

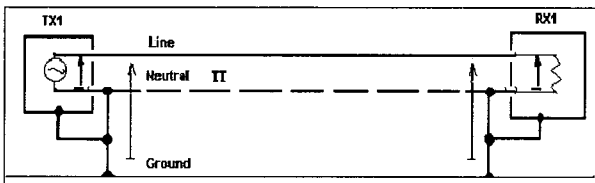
接 受 日 子 : 2002年 2月 26日

最 終 完 了 : 2002年 6月 12日

경우, 임의의 신호실에서서의 접지 단락은 관련 신호실의 접지 저항을 타 신호실보다 증가된다. 그 결과 전송 케이블을 통해 접지 저항이 높은 신호실에서 낮은 신호실로 단락 전압이 유입되며($T_{x1}-R_{x1} \neq 0$), 단락된 신호실의 전기 설비가 피해를 받게 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).



(a) 단독 접지를 사용할 경우



(b) 공동 접지를 사용할 경우

그림 1 송·수신단 전압차

Fig. 1 Voltage difference between transmission and reception terminal

상행선과 하행선 두 개의 궤도에 대한 공동 접지망은 각각의 궤도에서 사용하는 궤도 회로의 임피던스 분드 중성점, 전차선 보호를 위한 두 개의 공중 보호선(CPW), 궤도변 금속장벽, 건물, 교량, 터널의 모든 금속체 구조, 각각의 전력용 변압기, 단권 변압기의 중성점 및 매설 접지선 등으로 구성된다. 접지망의 연결은 연결 위치에 따른 귀선 전류의 평형과 각각의 궤도에 인가되는 선로 전류 및 접지 전류를 감소시키기 위해 공동 접지망 구성의 기본 요소인 반건넌선(LEAE) 및 건넌선(LTI)을 이용한다. 반건넌선은 선로의 접지 관련 설비를 상행선 또는 하행선으로 분류하여 접속을 실행하는 반면, 건넌선은 상, 하행선의 궤도와 관련된 모든 접지 설비를 통합 연결함에 따라 횡단 통합 접속이라고도 한다. 그러나 접지 시공상의 어려움이 존재하는 경우에는 1/2 건넌선(1/2 LTI)을 사용한다. 이는 건넌선의 연결 원리를 그대로 적용하지만, 상행선과 하행선을 각각 분리하여 접지망을 구성한다([2],[6]). 경부고속전철은 건넌선, 반건넌선, 1/2 건넌선을 모두 사용하며, 반 건넌선과 건넌선의 시공 거리는 참고 문헌 [6]에 제시되어 있다.

일반적으로 철도 전기 시스템이 요구하는 접지 저항값은 1Ω 이하이며, 이를 실현하기 위해 단독 접지의 경우 단일 접지봉 또는 다중 접지봉을 사용한다. 공동 접지의 경우 접지봉 대신 매설 접지선(Buried Earth Cable)을 사용한다. 한 예로 경부고속철도가 연계 운행되는 동대구-부산 구간은 단독 접지로 시공되어 있었으나 경부 고속철도의 연계를 위해 현재 공동 접지망 구성 작업이 진행 중이며, 이 구간에서 가장

큰 대지 고유 저항은 신거역에서 온도 32°C 의 경우 290.4Ω 으로 측정되었다[7]. 따라서, 단독 접지 방식과 공동 접지 방식에 따른 신거역의 접지 저항값은 식(1), (2), (3)으로 주어진다. 식(1)은 단지 하나의 접지봉(R_s)을, 식(2)는 16개의 접지봉으로 구성된 다중 접지 시스템(R_m)을 그리고 식(3)은 매설 접지선(R_c)을 사용함에 따른 접지 저항 계산식을 나타내며, 이 식들을 이용하여 접지 효과를 시뮬레이션한 결과는 그림 2로 주어진다. 여기서, "l"은 접지봉(또는 접지 케이블) 길이, "d"는 접지봉(또는 접지 케이블) 직경, "h"는 접지봉(또는 접지 케이블)의 매설 깊이, " ρ "는 대지 저항, "q"는 도체 계수로 원형 도체의 경우에는 1.3으로, 스트립 도체의 경우에는 1.0으로 주어진다[8].

$$R_s = \frac{\rho}{2\pi l} [\ln(8l/d) - 1] \quad (1)$$

$$R_m = [AN(M+1) + 1] \frac{\rho}{2\pi l} [\ln(8l/d) - 1] \quad (2)$$

$$R_c = \frac{\rho}{2\pi l} [\ln(4 \times l^2/dh) - Q] \quad (3)$$

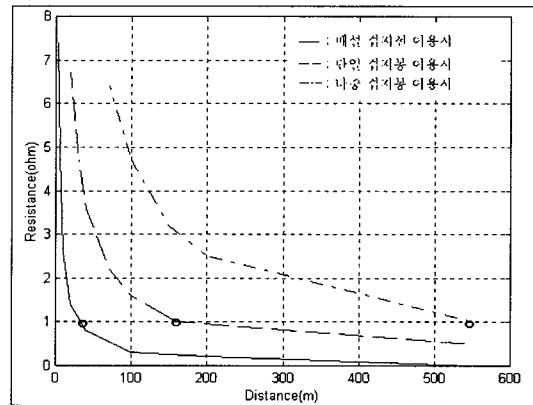


그림 2 접지 방식에 따른 접지 효과

Fig. 2 Earth effects based on the earth connection method

그림 2에서 대지 저항을 1Ω 이하로 만들기 위해서는 단일 접지봉 사용시 최소한 550m의 길이로, 다중 접지봉 사용시 160m의 길이로 접지봉을 매설해야 한다. 매설 접지선을 이용할 경우에는 단지 깊이 0.6m, 길이 30m만으로도 전기 철도에서 요구하는 접지 저항 값을 충족한다. 이는 공동 접지 방식이 기존의 단독 접지 방식에 비해 양호한 접지 방식임을 나타낸다. 그러나, 공동 접지 방식은 선로변에 위치한 모든 전기 관련 설비를 하나로 상호 연결해야 하는 시공상의 어려움과 공사비용이 증가하는 단점이 예상된다.

2.2 귀선 전류

대형 인명 사고를 유발할 수 있는 열차 사고를 미연에 방지하기 위해서는 절손 레일 및 진행 열차의 위치 파악이 무엇보다도 중요하다. 선로에서 열차의 존재 유,무를 감지하는 방법은 불연속 열차 검지와 연속 열차 검지로 분류된다. 불연속 열차 검지는 특수 설비를 레일에 고정하거나 침목에 센서를 설치하여 실현한다. 이러한 경우, 관련 정보는 어떠한 환경에 대해서도 절대적으로 필요한 정보로 취급되어야 하며,

더욱 정확한 신호 정보를 얻거나 센서 결함에 따른 오동작을 고려해 적어도 하나 이상의 센서를 사용한 여분(Redundant) 시스템으로 설계한다. 이러한 목적의 불연속 열차 검지 장치는 비콘(Beacon), 전기기계 센서, 전자 센서 또는 페달(Pedal) 등이 있다[9].

연속 열차 검지는 주로 궤도 회로에 연결된 계전기의 동작에 의해 실행된다. 궤도회로는 열차가 운행되는 선로에 전기 회로를 구성함으로써 열차 점유와 절손 레일 유무를 검지하는 이중의 역할을 하며, 송신기, 수신기, 임피던스 본드, 궤도 계전기로 구성된다. 경부고속선은 무절연 가칭 주파수(AF) 궤도 회로 UM71을 사용함에 따라 임피던스 본드 위치에 공심 유도자(SVA)가 사용된다. 이는 주로 전차선에 의해 주어지는 귀선 전류의 통로 역할과 인접 궤도 회로로의 신호 전류 유입 방지 그리고 송·수신 임펄스 전압의 조정 역할을 한다([2],[9]).

경부고속선에서는 열차 점유와 절손 레일 유무 검지를 위해 궤도회로가 사용됨에 따라 귀선 전류의 크기는 주로 주어진 영역에 존재하는 궤도 회로의 병렬 선로 수에 따라 변화하며, 임의의 선로에서 선로 전반에 흐르는 전체 귀선 전류 값은 동일 장소에서 동시에 운행되는 열차의 수와 이들 열차에 의해 소모되는 소비 전력을 충분히 고려해야 한다. 프랑스 철도청에 의하면 교류 전철화 선로에 있어서의 귀선 전류(Irail)는 변전소에서 가장 크고 변전소에서 멀어질수록 거리에 따라 감소하지만 접지 전류(Iearth)는 변전소에서 가장 작고 변전소로부터 멀어질수록 증가하는 것으로 나타났다[3].

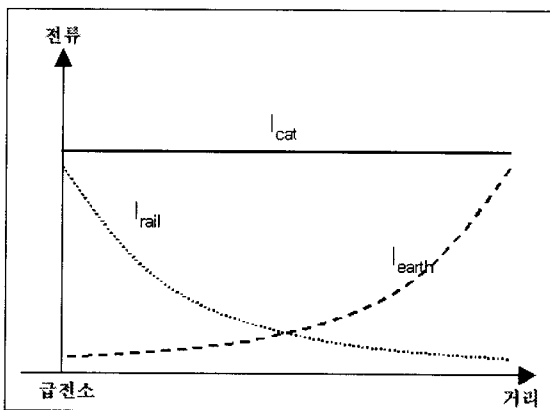
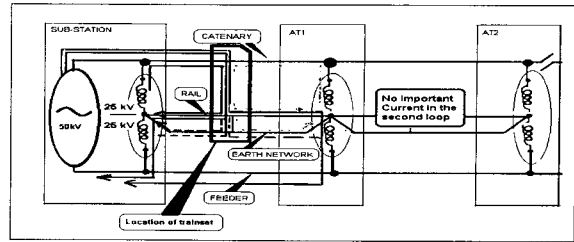


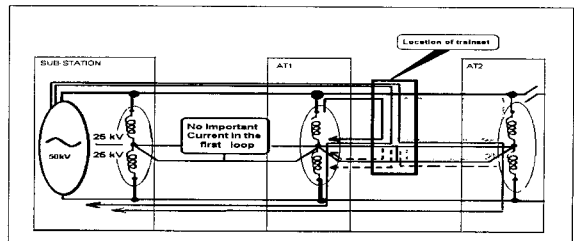
그림 3 급전소(변전소) 관련 주요 전류
Fig. 3 Main current related to the substation

3. 경부고속선에서의 귀선 전류 예측

하나 또는 여러 대의 열차가 동일 궤도 상에서 운행될 경우, 전차선 및 급전선에 의해 전송되는 견인 전류는 전차선, 공중보호선(CPW), 차량, 접지선, 궤도회로로 구성된 그림 4와 같은 궤환 회로를 통해 변전소로 귀환되며, 주로 선로변의 자갈 도상 임피던스, 공중보호선(CPW), 및 전력 공급 장소에 대한 열차의 상대적인 위치에 의존한다[10].



(a) 열차가 변전소 부근에 위치할 경우



(b) 열차가 AT 사이에 위치할 경우

그림 4 귀선 전류 귀환 회로도

Fig. 4 The circuit diagram of the traction return current

귀선 전류 예측에 필요한 기본 자료는 예측하려는 구간에 인가되는 견인 전력에 의존한다. 본 논문에서는 동대구-부산간 전력 설비 설계 보고서[11]에서 제시된 내용과 그림 5에서 주어진 TGV(프랑스 고속열차)에서 측정된 속도별 전차선 전류에 기본을 두고 최대 귀선 전류값을 예측한다. 예측은 청주-옥천간 상행선 56.4km에서 133.5 km/h 속도로 운행하는 KTX(경부고속전철)의 운행 시간 25.46 분에 대한 에너지 소비(1499 kw/h) 및 시간당 소비 전력(3600kw/h)을 적용하였다.

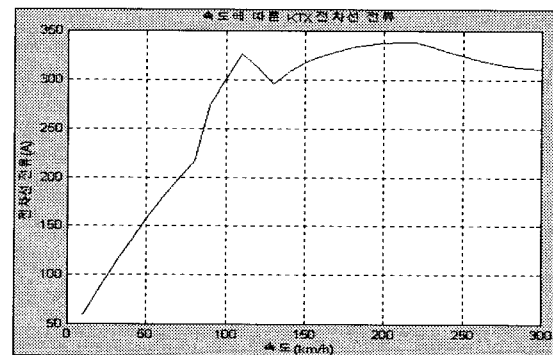
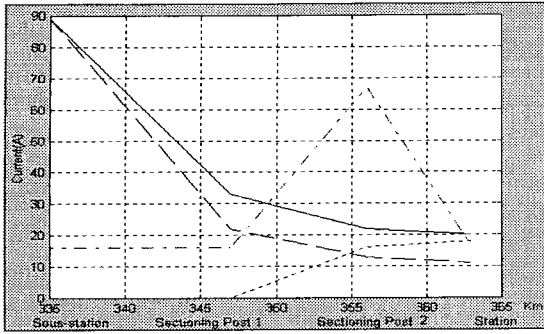


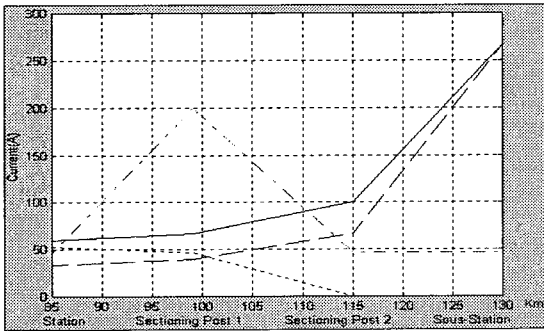
그림 5 속도에 따른 TGV 전차선 전류

Fig. 5 Catenary current according to the TGV speed

고속선 구간과 동일한 방식의 2×25kV, 공동 접지를 사용하는 대구-부산간 기존선 전철화 구간의 경우, 최대 예상 운행 속도를 150km/h라 한다면 시간당 소비 전력은 최대 4500kW, 역률은 0.9로 예상되며, 이에 따른 전차선 전류는 약 200A로 계산된다. 서울-대구 고속선의 최대 예상 운행 속도를 300km/h로 제한할 경우, 시간당 사용 전력은 최대 14700kW, 역률은 0.98로 예상되며, 전차선 전류는 약 600A로 계산된다[1]. 그 결과, 시뮬레이션에 의한 귀선 전류값 변화는 그림 6과 그림 7로 주어진다.



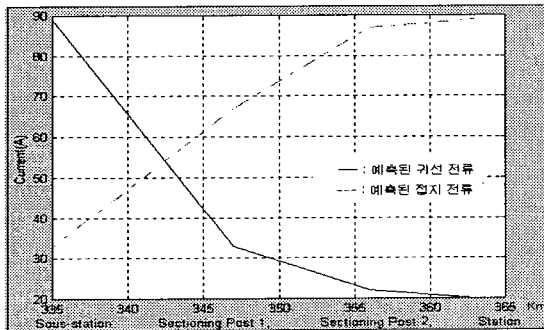
(a) 기존선 전철화 구간의 경우



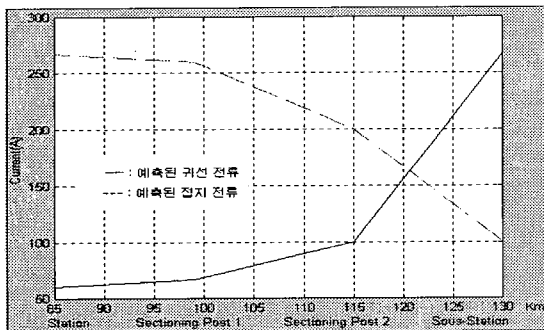
(b) 고속선 구간의 경우

그림 6 귀선 전류 예측 값

Fig. 6 Estimated values of traction return current



(a) 기존선 전철화 구간의 경우



(b) 고속선 구간의 경우

그림 7 귀선 전류와 접지 전류 사이의 관계

Fig. 7 Relationships between a traction return current and a earth current

그림 6에서 (—)는 열차가 변전소의 위치에 있을 때, (---)는 열차가 급전소 1의 위치에 있을 때, (-.-)는 열차가 급전소 2의 위치에 있을 때, (...)는 열차가 역의 위치에 있을 때, 각각의 장소에서 예측된 귀선 전류를 나타낸다. 그림 7은 기존선 구간의 전차선 전류는 200A로, 고속선 구간의 전차선 전류는 600A로 고정한 다음, 귀선 전류와 접지 전류의 변화치를 예측한 결과이다. 또한 그림 6은 앞에서 언급한 귀선 전류의 분포 특성과 일치하며, 그림 7은 SNCF의 경험에 의해 주어진 그림 3의 귀선 전류와 접지 전류의 관계와 일치함을 알 수 있다.

4. 실험 및 검토

시뮬레이션에 의한 예측된 공동 접지망에 따른 귀선 전류의 영향을 검증하기 위해 2×25kV 급전 시스템과 공동 접지망으로 구성되어 있는 경부고속선 오송 시험선 구간에서 귀선 전류를 측정하였다. 경부고속전철(KTX)의 속도는 고속선에서의 최대 운행예정 속도인 300km/h를 기준으로, 270km/h, 170km/h의 경우로 분류하여 측정하였다. 이 속도는 귀선 전류를 측정하기 위해 주어진 속도가 아닌 KTX의 감속 및 가속 운동을 시험하기 위한 속도로 기존선 전철화 구간의 최대 운행 속도인 150km/h에 대한 측정은 할 수 없었다. 측정은 지상과 차상으로 분류하여 실행되었다. 지상에서는 전력과 관련된 모든 장소에서 측정할 것이 아니고 고속선 시험 운행선로에 견인력을 공급하는 신청주 변전소에서만 귀선 전류와 전차선 전류를 측정하였다. 방대한 실험에 비해 장비와 인력 등의 한계로 인해 시뮬레이션에 언급된 전 구간에서 동시에 원하는 값을 측정하지 못하였다. 귀선 전류 측정에 연관된 측정 위치는 그림 8과 같다. 차상에서는 KTX의 운행 속도와 시간에 따른 열차 위치를 기록하였다[12].

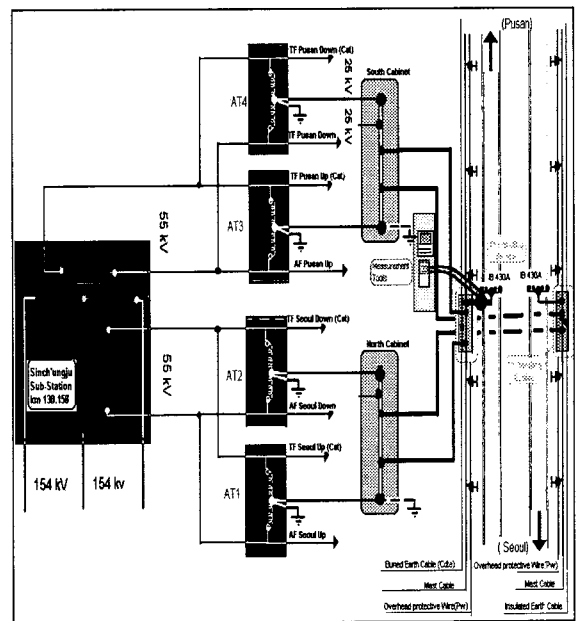


그림 8 귀선 전류 측정 위치

Fig. 8 Measured location of traction return current

KTX 속도가 170km/h일 때의 귀선 전류값을 그림 9로 나타내었다. 열차의 위치 변화에 따른 변전소 전방의 임피던스 본드에서의 귀선 전류(I_{Rail}) 최대치는 56.7 A로 측정되었다. 이는 그림 7에서 예측된 값인 89A에 비해 그림 9의 실제 측정값은 더욱 감소하였음을 알 수 있다.

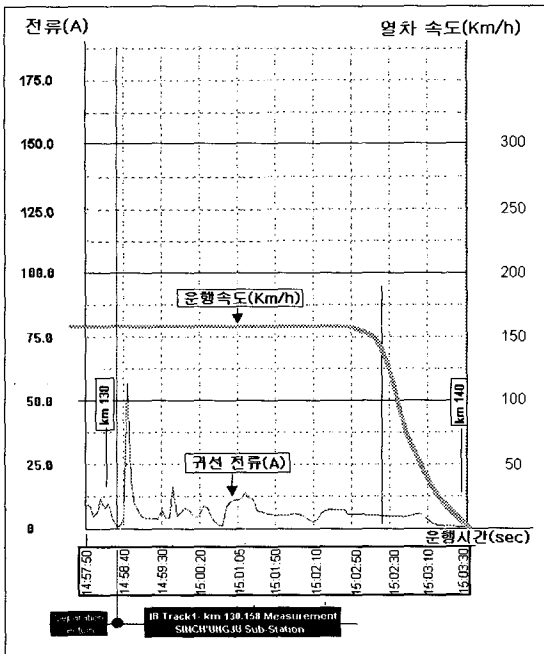


그림 9 열차 속도가 170km/h인 경우의 귀선 전류 측정값
Fig. 9 Measured values of traction return current in a train speed of 170km/h

KTX 속도가 270km/h일 때의 귀선 전류 측정값을 그림 10으로 나타내었다. 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 11은 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.

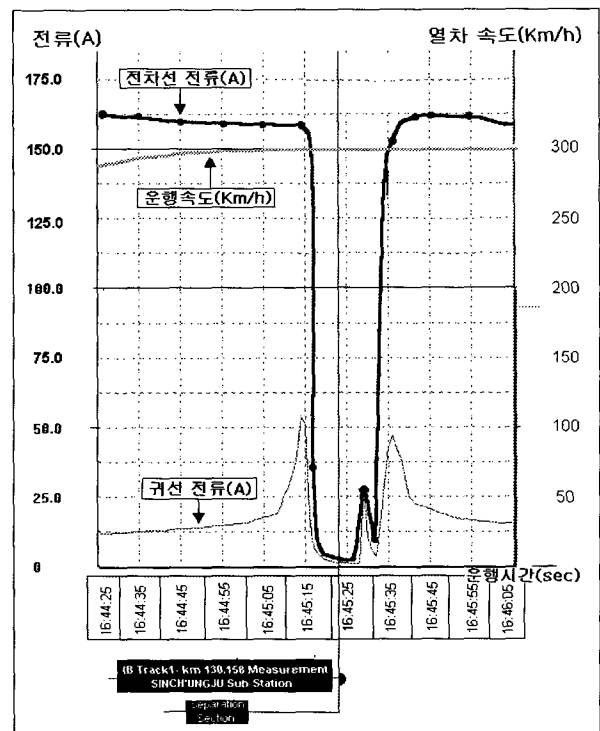


그림 11 열차 속도가 300km/h인 경우의 귀선 전류 측정값
Fig. 11 Measured values of traction return current in a train speed of 300km/h

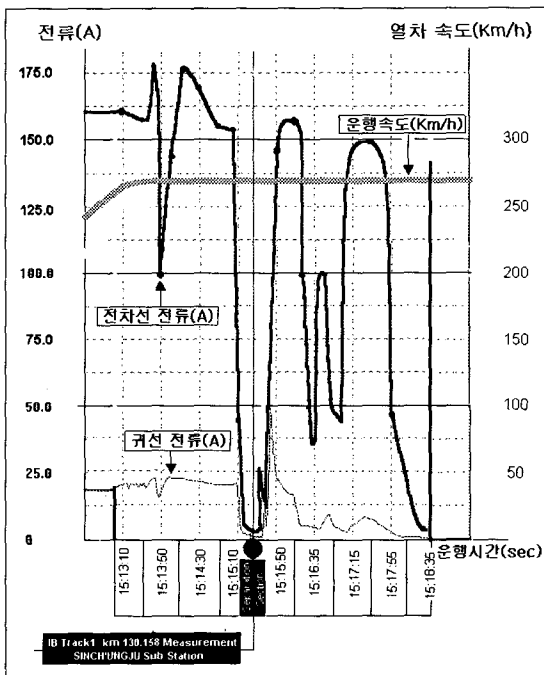


그림 10 열차 속도가 270km/h인 경우의 귀선 전류 측정값
Fig 10 Measured values of traction return current in a train speed of 270km/h

결과적으로 측정값은 예측 값에 비해 낮은 분포를 보였다. 열차의 속도가 170km/h인 경우, 예측 값은 89A인데 비해 측정 값은 56.7A이다. 이는 전차선 전류가 200A일 때, 기존 시스템처럼 모두 귀선 전류로 흐르는 것이 아니라, 일부는 귀선 전류와 접지 전류로 분기되어 흐르고, 나머지는 대부분 (-) 급전선을 통해 변전소로 귀환하는 것으로 추정된다. 또한 열차의 속도가 270km/h 이상인 경우에는 예측값이 265A인데 비해 측정값은 170km/h에서와 유사한 53.8A 이었다. 이는 2 × 25kV, 공동 접지망에 따라 귀선 전류는 항상 일정한 값으로 선로를 통해 변전소로 귀환하는 것으로 추정된다. 변전소의 경우 전차선 전류의 약 33%만이 귀선 전류로 흐르는 것이 측정되었고, 변전소 이외의 구간에서는 더욱 작은 귀선 전류가 흐르는 것이 시뮬레이션에 의해 확인되었다.

5. 결 론

본 논문은 경부고속전철의 기존선 구간과 고속선 구간에 대해 귀선 전류를 예측한 후, 고속선 구간에서 실험을 통해 이를 검증하였다. 그 결과, 기존선 구간 속도에 대한 귀선 전류의 예측값은 변전소에서 가장 크고, 역에는 큰 영향이 없음을 알 수 있었다. 이와 연관된 귀선 전류 측정은 단지 변전소로 국한되었지만, 변전소로 귀환하는 최대 귀선 전류값이 항상 예측값보다 작게 측정되었다. 또한 고속선 구간 속도에 대한 귀선 전류의 예측값은 고속선 사용 전력의 증가에 의해 귀선 전류가 매우 증가하는 것으로 나타났지만, 실제 측정값은 기존선 구간 속도의 경우와 거의 동일함을 알 수 있었다. 이는 2×25kV, 공동 접지망에 따라 귀선 전류는 항상 일정한 값으로 선로를 통해 변전소로 귀환함으로써 선로변 유지보수 요원의 안전이 기존의 전철화 시스템에 비해 우수한 효과를 갖는다는 결과를 유추할 수 있다. 이에 대한 상세 분석 및 단독 접지 시스템의 귀선 전류와의 비교, 분석은 향후 지속적으로 연구되어야 할 것이다.

참고로 본 논문에서 주어진 예측, 측정 및 분석 결과는 궤도회로에 사용되는 임피던스 본드가 선로에 흐르는 귀선 전류의 크기에 의해 430A형과 200A형으로 분류됨에 따라, 이들 임피던스 본드의 유형 결정에 중요한 역할을 하였다. 즉 기존선 전철화 구간의 초기 설계도는 430A형 임피던스 본드를 사용하였지만, 본 논문의 분석 결과에 의해 200A형 임피던스 본드로 실제 변경되어 시공되었다. 또한 기존선 구간에서의 귀선 전류 측정은 고속선과 기존선의 인터페이스가 우선적으로 주어지는 서울-시흥 구간의 기존선 전철화 공사가 완료된 후, 2003년 예정된 KTX 차량의 기존선 구간 운행 시험 및 시운전시에 실행될 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 김용규 외 2인, "경부선 전철화 구간에서의 귀선 전류 및 임피던스 예측", 2001년 대한전자공학회 하계 학술대회 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] 한문섭 외 3인, "전기 철도의 급전 시스템 선정", 2000년 대한전기학회 하계학술대회 논문집 (B), pp. 1396-1398, 2000.07.
- [5] 윤재영, 최홍관, "급전 회로망 해석 기법을 활용한 고속전철 조류해석 기법", Trans. KIEE. vol. 49A, no. 12, pp. 602-607, 2000. 12.
- [6] 김용규 외 2인, "공동 접지망 구성 요소 LEAE와 LTI 분석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 (B), pp. 1242-1244, 2001. 7.
- [7] 경부선 동대구-부산 및 대전, 대구, 부산지구 송변전 설비 실시 설계 보고서 부록 1, 철도청, pp. 1-36. 1999. 6.
- [8] T.CHARLTON, "Earthing Practice", Publication of Copper Development Association, St Albans, U.K, 1997, 69pp.

- [9] 김용규, 강기석, "ATS 기존선 신호 방식과 TVM 430 ATC 신호 방식의 속도 Profile에 따른 Compatibility", 2000년 대한전기학회 하계학술대회 논문집 (B), pp. 1423-1425, 2000. 7.
- [10] Galdi. V and al, "AC railways systems simulation ", WCRR'97, vol. C, pp. 93-104, Nov. 1997.
- [11] 동대구-부산간 기존선 전철화 관련 통신 설비 설계 보고서 참조 자료(II), 철도청, pp. 4-128, 1999. 9.
- [12] Y.K.KIM and al, "Estimation and Measurement of traction return current on Gyeongbu electrification line", 2001 ICCAS, pp. 1458-1461, Oct. 2001.

저 자 소 개



김 용 규 (金 容 圭)

1984년 단국대학교 전자공학과 공학사, 1987년 단국대학교 전자공학과 공학석사, 1997년 Institut National Polytechnique de Lorraine(INPL), France, 제어공학과 공학박사, 1992년 9월~1997년 7월 Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN) 연구원, 1997년 12월~현재, 한국철도기술연구원 책임연구원. 주관심 분야 : 건설 제어, Grafset, 모델링, 고속전철 제어 및 신호 시스템.



유 창 근 (柳 昶 根)

1981년 단국대학교 전자공학과 공학사, 1983년 단국대학교 전자공학과 공학석사, 1993년 단국대학교 전자공학과 공학박사, 1994년 3월~현재, 남서울대학교 전자정보통신공학부 부교수, 주 관심 분야 : 모델링, 제어 및 계측, 마이크로프로세서 응용.