

공동 접지망 구성요소 LEAE와 LTI 분석

김용규, 양도철, 유창근\*  
한국철도기술연구원, \*남서울대학교

Analysis of Common earth network components LEAE and LTI

Yong-Kyu KIM, Doh-Chul YANG, Chang-Keun RYU\*  
KRRI, \*Namsseoul University,

**Abstract** - 전철화 선로에 있어서 공동 접지 방식은 Staff 안전과 선로변 전기 설비에 가장 큰 영향을 인가하는 귀선 전류에 따른 문제점을 해결할 수 있는 최상의 방식으로 평가되고 있으며, 이들 접지 시스템의 구성은 기존의 전력 공급 시스템에 기본을 두고, 전철화에 따라 선택된 궤도 회로의 특성에 의해 모든 설계 변수가 변화되는 원리가 적용된다. 본 논문에서는 이러한 전지에 입각하여 궤도 회로에 의한 공동 접지망 구성 요소를 프랑스 철도청(SNCF)의 규정에 의해 분석한 후, 이를 경부선 전철화 구간에 적용하여 관련 설계 변수를 결정하였다.

1. 서 론

고속철도는 대규모, 고효율 운송 수단일 뿐 아니라 환경 보존을 위한 최적의 교통 수단으로 평가된다. 철도 시스템에서 전철화 작업은 고속철도는 물론 고속/저속 열차, 도로, 항공, 해운까지 연계 운행할 수 있도록 개발되어야 한다. 전철화에 의한 전기 기관차의 구동 방식은 크게 직류 방식과 교류 방식으로 구분되며, 특히 고속전철의 도입에 따라 한국에서 사용할 방식인 2×25kV, 60Hz 교류 구동방식에 대한 접지망 구성은 안전 측면에서 매우 중요한 역할을 한다.

전철화 선로에서 접지 시스템은 단독 접지 방식과 공동 접지 방식으로 구분된다. 현재까지 한국에서 사용된 접지 방식은 일본 철도의 영향을 받아 단독 접지 방식을 적용함으로써 안전 및 지락 사고 발생에 따른 철도 관련 전기 시스템 및 Staff의 보호 방안에 대한 문제점이 대두되었다. 이러한 문제점을 개선할 목적으로 공동 접지 방식이 한국의 경부고속전철에 채택되었다[1]. 공동 접지 방식은 Staff 안전과 선로변 전기 설비에 가장 큰 영향을 주는 귀선 전류에 따른 문제점을 해결할 수 있는 최상의 방식으로 평가되고 있으며[2], 이들 접지 시스템의 구성은 기존의 전력 공급 시스템에 기본을 두고, 전철화에 사용된 궤도 회로의 특성에 따라서 모든 설계 변수가 변화한다.

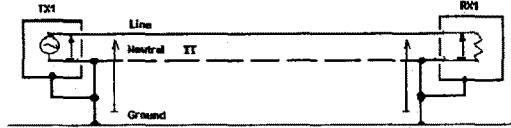
본 논문에서는 궤도 회로에 의한 공동 접지망 구성 요소인 반전념선(LEAE)과 전념선(LTI)을 프랑스 철도청(SNCF)의 규정에 의해 분석한 후, 이를 경부선 전철화에 적용하기 위한 설계 변수 값을 결정하려 한다.

2. 단독 접지와 공동 접지

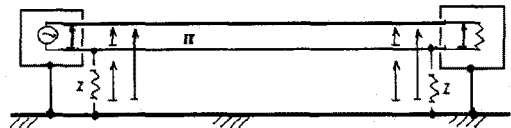
전철화 시스템의 교류 급전 계통은 단상 2×25kV AT(단권 변압기)의 형태로 구성된다. 이는 전철 관련 변전소의 전압 강하가 최소화되며, 단권 변압기 사용에 따라 급전 구간의 증가가 가능하다[3]. 또한 2×25kV 급전 시스템과 병행하여 사용되는 공동 접지 시스템은 전기 누설 및 낙뢰로부터의 선로변 장비 및 Staff 보호, EMI의 영향 방지 또는 EMI의 영향을 최소화할 수 있

는 최상의 시스템으로 SNCF의 경험에 의해 검증되었다((4),(5)).

접지 방식은 단독 접지와 공동 접지의 두 종류로 분류된다. 단독 접지는 여러 개의 신호실 또는 통신실이 위치해 있는 경우, 어느 하나의 신호실에 접지 단락이 발생할 경우, 접지 단락이 발생한 신호실의 접지 저항은 타 신호실에 비해 증가하게 된다. 그 결과 전송 케이블을 통해 접지 저항이 높은 신호실에서 낮은 신호실로 단락 전압이 유입하게 되며, 단락 회로가 유발된 신호실 설비에 피해를 인가한다. 반면 공동 접지는 접지 단락이 발생한 신호실의 접지 저항이 단락 회로와 관계없이 항상 동일한 접지 저항을 유지함으로써 신호실 설비의 피해를 예방할 수 있다(그림 1).



(a) 공동 접지를 사용할 경우



(b) 단독 접지를 사용할 경우

그림 1. 접지 방식에 따른 송·수신단 전압차

그림 1에서 전송부와 수신부를 공동 접지로 구성할 경우 접지와 전송 선로간의 전압차는 0V(Tx1-Rx1=0)이므로 전송부 또는 수신부를 보호하기 위한 가장 최단의 경로를 통해 비정상 유입 전류를 접지로 유도한다. 그러나 전송부와 수신부가 단독 접지 방식을 적용할 경우에는 전송 선로 사이의 전압차는 0V가 아닌 두 개의 선로 전압차(Tx1-Rx1≠0)를 갖는다. 그 결과 단독 접지를 사용할 경우에는 이를 보완할 수 있는 특수한 보호 설비가 충분히 고려되어야 한다.

동대구-부산간 기존선 전철화구간에서 측정된 가장 큰 대지 저항은 신거역에서 온도 32℃의 경우 290.4Ω으로 주어진다[6]. 그러나 철도 시스템에서 요구하는 저항값은 1Ω 이하이며, 이를 만족하기 위해 단일 접지봉 또는 다중 접지봉을 사용하는 단독 접지와 매설 접지 케이블을 사용하는 공동 접지를 적용한다. 이들 접지 방식에 따른 매설 저항값의 계산식은 단일 접지봉 사용의 경우, 다중 접지봉 사용의 경우, 그리고 매설 접지선 사용의 경우에 대해 식(1), (2), (3)으로 각각 주어진다[4].

$$R_s = \frac{\rho}{2} \pi P [\ln(8P/E_s) - 1] \text{----- (1)}$$

$$R = [ANM + 1] \frac{\rho}{2} \pi P [\ln(8P/E_d) - 1] \quad (2)$$

$$R = \frac{\rho}{2} \pi L [\ln(4 \times L^2 / C_d \times h) - Q] \quad (3)$$

대지 저항을 1Ω 이하로 적용하기 위해 직경이 12mm 인 단일 접지봉을 사용할 경우에는 적어도 550m의 깊이로, 동일 직경의 16개 접지봉을 이용하는 다중 접지봉 사용하는 경우에는 160m의 깊이로 접지봉을 매설하여야 한다. 그러나 매설 접지 케이블을 이용할 경우에는 단지 30m의 길이, 0.6m의 깊이로 다중 접지봉 사용과 동일한 효과를 가져올 수 있음을 알 수 있다(그림 2). 이는 접지 케이블에 의한 공동 접지 방식이 접지봉을 사용하는 단독 접지 방식에 비해 매우 양호한 접지 효과가 있음을 의미한다. 또한 공동 접지 실행시 사용되는 매설 접지선의 매설 저항과 매설 접지선 단락에 따른 매설 저항 값 변화가 작음을 알 수 있다. 따라서 공동 접지망의 구성은 비록 매설 접지선의 단락이 발생할 경우에도 우수한 접지 효과가 있음을 알 수 있다(그림 3).

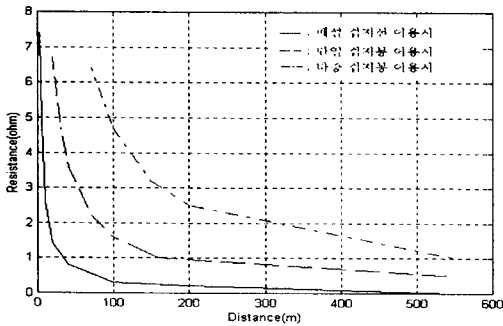


그림 2. 접지 방식에 따른 접지 효과

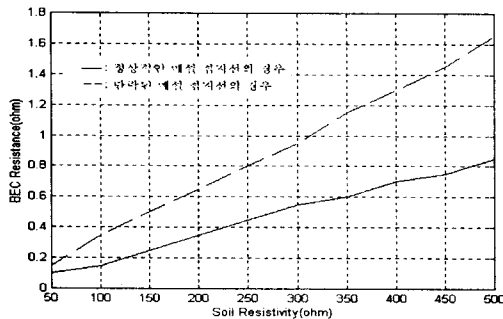


그림 3. 매설 접지선의 대지 저항

### 3. 공동 접지망 구성 방법

공동 접지망의 구성은 두 개의 궤도가 주어진 경우, 각각의 궤도에 적용되는 궤도 회로 임피던스 본드의 중성점, 전차선 보호를 위한 두 개의 공중 보호선(CPW), 궤도변 금속 장벽, 건물, 교량, 터널의 모든 금속재 구조, 각각의 전력용 변압기 및 단권 변압기의 중성점 접속, 매설 접지 케이블(BEC) 등으로 구성된다. 이에 따른 연결은 연결되는 위치에 따라, 반건넘선(LEAE) 및 건넘선(LTI)의 개념을 사용한다. 이는 귀선 전류의 평형 및 각각의 궤도에 인가되는 선로 및 접지 전압의 감소 실행하기 위해 주로 사용된다. LEAE는 동일 궤도에 존재하는 각각의 접지 장비만을 연결함에 따라 "1/2 횡단 접속"으로, LTI는 상행 궤도 장비 모두를 연결함에 따라 "횡단 통합 접속"의 의

미로 주어진다. 그러나 접지 시공상의 어려움이 존재하는 기존 터널의 경우에는 1/2 LTI를 사용한다(4). 이는 LTI의 연결 원리를 그대로 적용하지만, 상선 궤도와 하선 궤도를 상호 연결하지 않는다는 의미에서 1/2 LTI라고 한다.

이러한 접지 방식은 한국에서 처음으로 실행됨에 따라, SNCF의 경험에 의한 설치 규정 및 규격을 다음과 같이 적용한다 :

<규정 1> : 두 개의 연속된 LTI 사이의 거리(X)는  $X \geq 1000m$  이어야 한다. LEAE와 LTI 사이의 거리(X1)는 대략  $X1 = 2/X$ 로 주어진다. LTI에는 궤도 1의 CPW, 궤도 1과 2의 임피던스 본드 중성점, 궤도 2의 CPW, BEC를 연결한다. LEAE에는 궤도 1과 2의 CPW, BEC를 연결한다.

<규정 2> : 궤도 회로의 축이 LTI로부터 50m 이상일 경우, 관련 궤도에 금속 구조 보호용 궤도 코일을 설치한다. 동일 궤도 회로에는 두 개의 금속 구조 보호용 궤도 코일 설치가 금지된다. 이는 궤도 회로의 고유 역할인 궤도 절손의 검지를 방해하기 때문이다.

<규정 3> : 변전소 또는 AT(단권 변압기) 전방의 경우, 귀선 전류는 430A 임피던스 본드를 통해 유입된다. 따라서 궤도 회로 축은 귀선 전류 관련 설비로부터 50m 이상 이격하여 설치해야 한다. 임피던스 본드의 중성점은 서지 아래스터에 의해 지역 제어실(LCR)의 접지망에 연결되어야 한다.

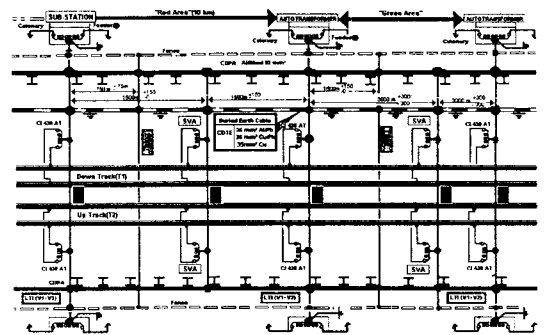
<규정 4> : 임펄스 궤도회로와 무절연 궤도 회로의 절연 블록 이음매는 귀선 전류 관련 설비에 연결된다.

<규정 5> : 변전소와 AT 이외의 장소에서는 LTI를 임피던스 본드의 중성점, 궤도 회로 축이 LTI의 전방에 주어지지 않는 금속 구조 보호용 궤도 코일의 중성점, CPW와 BEC에 연결한다.

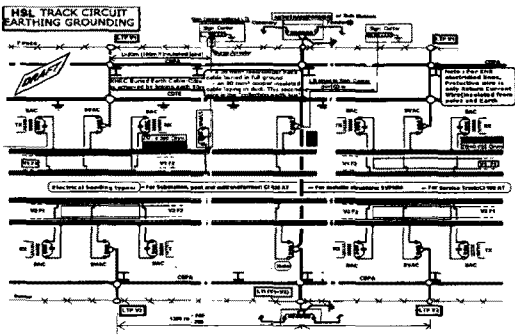
SNCF는 접지에 따라 전철화 선로 구간을 적색 구역과 녹색 구역으로 분류한다. 이는 선로의 예상 귀선 전류값의 크기에 의해 지역을 분류하며, 주로 안전을 나타내는 지표로 사용한다.

적색 구역은 귀선 전류의 값이 가장 크게 나타나는 반경 10km로 주어지는 변전소 부근을 나타내며, 이 구간에서의 LEAE와 LEAE 또는 LEAE와 LTI 사이의 거리는 750m 이하로, LTI와 LTI 간격은 1,500m 이하로 설정한다.

녹색 구역은 적색 구역 이외의 모든 구간을 나타내며, LEAE와 LTI 사이의 거리를 1,500m 이하로, LTI와 LTI 간격은 3,000m 이하로 설정한다. 그러나 고속선의 경우에는 모든 선로를 적색 구역으로 표시한다



(a) SNCF의 접지망 구성



(b) KHRC의 접지망 구성  
그림 4. 공동 접지망 구성 예

#### 4. 동대구-부산간 기존선 전철화 구간의 LEAE와 LTI 분석

공동 접지망은 사용된 궤도 회로의 특성과 EMI, Staff 보호, 귀선 전류 및 단락 회로 요구 조건을 모두 고려하여 구성해야 한다. 특히 공동 접지망 구성요소인 LEAE와 LTI는 두 개의 선로에 주어지는 각각의 궤도에 대한 귀선 전류 평형 역할을 하며 특히 전차선/선로 단락 회로 발생시 접지/선로 전압의 감소 역할을 한다.

경부선 전철화 구간에서 사용되는 소비 전력 측면에서 LTI와 LEAE를 분석할 경우, 고속선에서 90MW, 기존선 전철화 구간에서 45MW로 주어진다. SNCF에서 사용하는 전력은 기존선 구간에서 16MW 또는 30MW, 고속선 구간에서 40MW 또는 60MW임으로, 경부선에서의 기존선 전철화 구간은 SNCF의 고속선과 동일하게 취급된다. 따라서 경부선은 고속선 및 기존선 전철화 구간 모두 적색 구역으로 분류되며, LTI와 LTI 사이의 거리는 1500m 이하로 설계되어야 하고, LEAE는 안전을 위해 적용할 수 없게 된다.

EMI의 관점에서 LTI와 LEAE를 분석할 경우, 만약 KNR의 LTI 연결이 2,000m라고 가정하면, 선로와 접지 사이의 전위차는 Staff 보호를 위한 안전 기준 전압 650V를 초과하게 된다(그림 5). 즉 두 개의 LTI 사이의 거리가 10km인 경우, LTI 사이의 전압은 안전을 위한 규정 전압 650V를 초과하게 된다. 따라서 두 개의 LTI 사이에 설치된 선로변 기기는 위험 전압에 직면하게 된다. 이를 해결하기 위한 유일한 방법은 LTI 사이의 거리를 감소시킴으로서 안전을 위한 규정 전압 한계치인 650V보다 작은 값을 갖도록 조정해야 한다. 이러한 경우, 기존선 전철화 구간에서의 LTI 간격은 대략 1,500m로 주어지며, LEAE는 설치할 수 없게 된다.

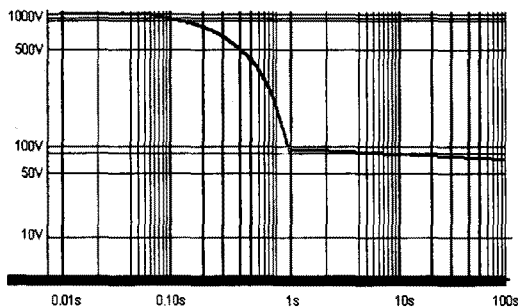


그림 5. 안전을 위한 규정 전압(EN50122.1)

궤도 회로의 측면에서 LTI와 LEAE를 분석할 경우, 기존선 전철화 구간의 궤도 회로는 600~800m로 주어진다. 고속선에서 사용하는 궤도 회로 UM71 AF 궤도 회로를 적용할 경우, 궤도 회로의 길이는 1,500m로 관련 임피던스 및 LEAE와 LTI의 문제점은 유발되지 않는다. TI21 궤도 회로의 경우에는 네 개의 궤도 회로당 하나의 임피던스 본드가 적용된다. 그러나 접지망 구성에 따른 안전성을 고려할 경우, 하나의 임피던스 본드가 두 개의 궤도 회로에 대해 주어지며, 이는 직접 LTI에 연결된다. 그 결과 LTI의 거리는 두 개의 궤도 회로에 따라 주어진 간격 1,200m~1,600m가 된다.

따라서 앞에서 언급한 1,500m의 LTI 간격 한계치로 인해 LTI의 거리가 1,600m인 경우에는 궤도 회로의 축을 이동하거나 관련 궤도 회로의 크기를 보완하는 방법이 적용되어야 한다. 또한 변전소 또는 AT 근방의 경우, 모든 귀선 전류가 집결함에 따라, 위에서 주어진 1,500m의 길이는 안전을 위한 EN 규정 전압 650V 이하가 되도록 조절되어야 한다. 이에 대한 값은 대략적으로 1,200m이다

#### 5. 결 론

본 논문에서는 경부선 전철화와 관련하여 서울-동대구 고속선과 동대구-부산간 기존선 전철화에 따른 공동 접지 시스템의 구성 원리 및 주요 구성요소인 LEAE와 LTI에 대해 분석하였다. 공동 접지 시스템의 구성요소인 LEAE와 LTI는 소비 전력, 궤도 회로 및 EMI 등에 의해 결정되는 설계 변수 값을 본 논문에서 제시하였다. 특히 SNCF의 구성 원리를 경부선에 적용할 경우, 고속선의 경우 LTI는 궤도회로 간격 1,500m와 동일하게 주어지는 반면, 기존선의 경우에는 EMI의 영향으로 인해 궤도회로의 길이가 600m~800m로 주어짐에도 불구하고, LTI는 1,500m가 된다.

또한 사용 전력의 크기로 인해, 고속선과 기존선 모두 LEAE는 설치할 수 없음을 확인하였다. 이에 대한 정확한 해석은 본 논문에서 제시된 방안에 따라 향후 선택될 궤도 회로에 의해 역간, 역 구내, 교량, 터널 등의 모든 경우에 대해 상세히 검토되어야 할 것이다.

#### [참 고 문 헌]

- (1) "경부선 동대구-부산간 전철화에 따른 전력 설비 실시 설계 보고서", Jun, 1999. 철도청.
- (2) 김용규 외, "경부선 전철화 구간에서의 귀선 전류 및 임피던스 예측", 2001년 전자공학회 하계학술대회 발표 예정, Jun, 2001.
- (3) 윤재영 외, 급전 회로망 해석 기법을 활용한 고속전철 조류해석 기법, Trans. KIEE, vol 49A, No12, pp602-607, Dec 2000.
- (4) 김용규 외, "동대구-부산간 기존선 전철화 구간 접지 시스템 분석 및 검토", Sept, 2000. 한국철도기술연구원.
- (5) Galdi, V and al, "AC railways systems simulation", WCRR'97, Vol C, Nov, 1997, Firenze, Italy
- (6) 동대구-부산간 기존선 전철화 관련 통상 설계 보고서, Sept, 1999. 철도청.