궤도회로에서의 공동접지와 단독접지 인터페이스

Interface between Common earth and Individual earth on the Track circuit

이길노*, 김용규**, 김종기**, 김학련***

LEE Gil-Lo, KIM Yong-Kyu, KIM Jong-Ki, KIM Hak-Ryoun,

Abstract

This paper is studied on earth network configuration when common earth is applied to electrified railway system. And the permitted capacity of buried earth cable used for configuring common earth network and application plan of existing individual earth system when common earth network is applied to existing electrification line improvement are studied. For this, the configuration of common earth network is examined according to the SNCF regulation, and the interface between common earth and individual earth is analysed on the basis of the existing track circuit used in electrified line

1. 서 론

철도시스템에서 전반적으로 고려해야 할 가장 중요한 사항은 안전으로 선로변 시설물의 운영 측면에서의 안전은 선로변에서 작업하는 유지보수 요원의 안전과 열차 운행을 위한 선로변 기기의 보호 방안으로 주어진다. 일반적으로 전기철도시스템의 경우에 있어서 낙뢰와 같은 천재지변과 변전소로 귀환하는 귀선회로에 흐르는 귀선 전류가 선로변에서의 안전사고를 유발하는 주요 원인으로 작용한다. 또한 고속열차를 단지 고속선에서만 운행하는 경우에는 기존의 전철화 선로와의 상호 연관성이 매우 미소하지만, 모든 철도 노선을 고속선으로 건설하는 것은 경제적인 면에서 매우 불리하며, 가장 효율적인 방법은 주 노선은 고속선으로, 연계 노선은 기존선 구간을 통해 고속열차의의 운행을 실행하는 것으로, 이러한 경우 기술적인 측면에서는 고속선과 기존선의 인터페이스에 대한 사항이 안전측면에서 중점적으로 검토되어야 한다. 특히 고속선과 기존선의 인터페이스에 있어서 필수적으로 주어지는 궤도회로의 연결 방안은 우리나라의 경우에 기존선과 고속선의 접지방식이 상이하게 주어짐에 따라 귀선 전류의 흐름을 보장하거나 또는 귀선 전류로부터의 선로변 기기 보호를 위한 추가적인 안전 설비의 설치도 충분히 고려되어야 한다. 본 논문에서는 공동접지가 전기철도시스템에 적용되는 경우에 대해 연구하였다. 이는 고속선에 적용된 공동 접지와 기존선 구간에 적용된 단독 접지를 인터페이스 하기 위한 방안을 기본적으로 분석하였다. 인터페이스는 주로 선로에 포설된 궤도회로를 중심으로 주어지며, 이를 위해 현재 고속선에서 사용하는 UM71 AF 궤도회로와 기존선 구간에서 사용하는 TI21 AF 궤도회로와 고전압 임펄스 궤도회로를 중심으로 인터페이스 방안을 제시하였다.

* 서울산업대학교 철도전기신호공학과 석사 과정, 정회원

** 한국철도기술연구원 전기신호연구본부 책임연구원, 정회원

*** 서울 산업대학교 철도전기신호공학과 교수, 정회원

2. 전기철도시스템의 안전

전기철도 시스템은 철도 차량, 선로, 역 설비, 전력 공급원, 신호 통신 설비 등이 종합적으로 시스템화 되어 운영되는 기본 구조를 가지며, 신호 보안 설비는 초기의 수 신호 및 기계식 신호 체계에서 현재는 전자 및 컴퓨터에 의한 운행 정보 취급, 제어 명령 및 열차 운행 감시 체계를 통한 철도시스템 전반에 대해 제어, 감시, 통제의 역할을 실행하기 시작하였으며, 철도 시스템에 인가되는 이상 전압원 및 낙뢰로부터의 철도 시설물 관련 유지보수 요원의 보호는 전기철도의 도입과 함께 필수적인 안전 항목으로 제시되었다. 특히 낙뢰는 대부분 폭풍우가 동반되며, 폭풍우는 거대한 특수 열을 방출함으로서 거대한 전자 방사, 대지 과전압 및 대전류 밀도 등을 유발하는 원인을 제공한다. 이러한 경우 대지 과전압은 절연부에 대해 매우 큰 값을 가지며, 구름과 대지사이의 큰 전류 밀도는 임의의 전도체에 대해 1μs의 시간 동안 최대 200kA까지 도달하며, 그림 1로 주어지는 고주파수와 관련된 매우 중요한 에너지를 보유한다. 그림 1의 곡선은 1Hz~10MHz 사이에 위치하는 방출 주파수 기능에 따른 낙뢰 에너지 분포를 나타낸다. 그림 2는 유럽표준규정(Cenelec)에서 사용하는 유지보수 요원의 안전과 연관된 항목(EN50122.1)으로 접지 설계에 있어서 유지보수 요원 보호를 위해 반드시 만족하도록 명시되어 있다. 이는 시간에 따른 전차선 전류 감전 전압으로, 만약 1000V의 전압이 유지보수 요원에게 감전된 경우, 감전 경과 시간은 0.05초 이하이어야 유지보수 요원의 안전을 보장할 수 있다는 것을 그림 2에서 알 수 있다. 또한 감전 시간이 길면 길수록 감전 전압은 더욱 더 작어야만 인명 피해를 감소할 수 있기 때문에, 이를 위한 접지망 구성, EMI로부터의 신호 시스템 보호, 신호기계실 접지망 설계, 낙뢰 보호 장비 및 낙뢰 보호 원리 등이 주어진 규정을 충족하기 위해 연구되었다.

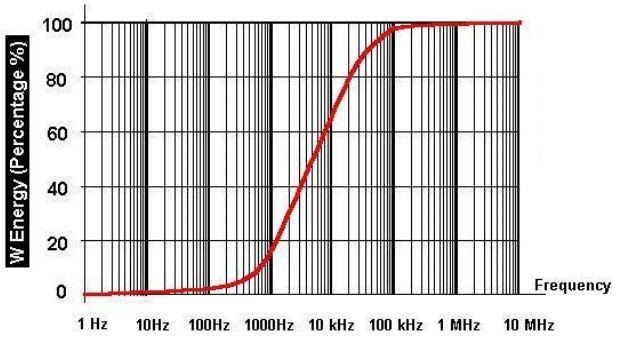


그림 1. 주파수에 따른 낙뢰 에너지 분포율

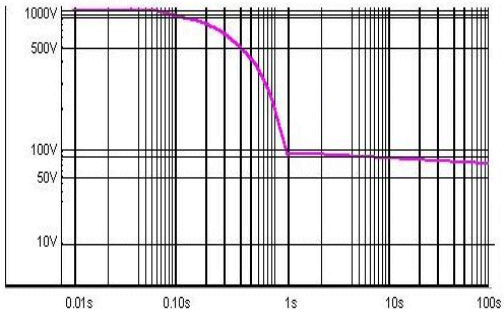
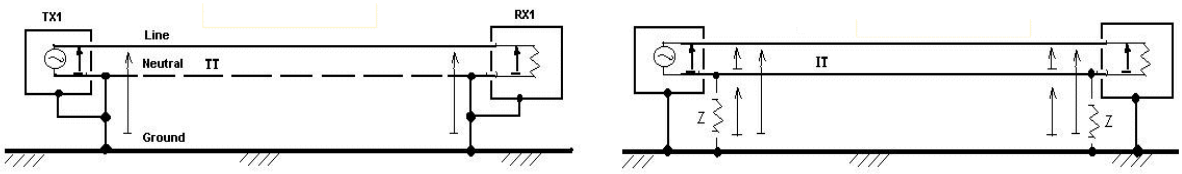


그림 2. 시간에 따른 감전 허용 전압

3. 접지에 의한 전기 설비 보호

접지방식은 단독 접지와 공동 접지로 구분된다. 단독 접지는 접지를 필요로 하는 선로변 설비 각각에 대해 독립적으로 접지 설비를 인가함으로서 과전압으로부터 관련 설비의 보호를 실행하는 반면, 공동 접지는 등전위를 사용하여 접지설비 주변을 모두 동일한 전위로 구성한 후 관련 전기설비를 전체적으로 보호한다. 단독 접지는 주로 관련 접지 공사에 따라 제1종, 제2종, 제3종, 특별 제3종으로 분류하며, 신호설비에 대한 접지 저항 기준은 5Ω 이하로, 이는 NEC 규정의 권고값에 기준을 둔다. 만약 전기 기관차를 운영하는 선로변에 설치된 여러 개의 신호기계실 또는 통신실중 어느 하나에 접지 단락이 발생할 경우, 단독 접지에서는 접지 단락이 발생한 신호실의 접지 저항이 단락이 발생하지 않은 다른 신호기계실에 비해 증가하게 된다. 따라서 단락이 발생하지 않은 다른 신호기계실의 케이블을 통해 전압은 높은 신호계실에서 낮은 신호기계실로 유입하게 되며, 단락 회로가 발생된 신호기계실 설비에 피해를 인가한다. 그러나 공동접지는 접지 단락이 발

생한 신호실의 접지 저항이 단락 회로와 관계없이 동일한 접지 저항을 항상 유지함으로서 신호기계실 설비의 피해를 예방할 수 있다. 그림 3a의 공동 접지의 경우에는 전송단과 송신단의 전압은 양단의 접지 저항이 동일함에 따라 Tx = Rx ≒ 0이므로 정상적인 경우 접지와 전송 선로사이에 0V의 전압차를 갖는다. 따라서 전송단 또는 송신단을 보호하기 위해 공동 접지는 가장 최단의 경로를 통해 대지로 비정상 유입 전류를 유도하도록 함으로서 관련 기기의 손실을 방지할 수 있게 된다. 이는 공동 접지망 이용에 따른 가장 큰 장점 중의 하나로 주어진다. 그러나 그림 3b와 같이 전송단과 수신단이 전송선에 의해 연결된 후 양단부에 각각 독립적인 접지 설비를 인가하는 단독 접지의 경우에는 접지 저항차가 발생함으로서 Tx ≠ Rx가 되며 Tx - Rx의 전위차를 갖게 된다. 따라서 단독 접지를 사용할 경우에는 이러한 현상을 보완할 수 있는 특수한 보호 설비가 충분히 고려되어야 한다.



a). 공동 접지의 경우 b). 단독 접지의 경우

그림 3. 접지방식에 따른 송.수신단 전압차

4. 공동 접지망 구성 규정

일반적으로 공동 접지망 구성은 신호시스템에서 사용하는 궤도 회로에 의존하며 EMI, 선로변 유지보수 요원의 보호, 귀선 전류 및 단락 회로 요구 조건을 고려하여 공동 접지망을 최초로 개발한 프랑스 철도청에서 사용하는 설계 기준에 따라 접지망을 실현한다. 접지 관련 프랑스 규정은 현재까지 전세계의 공동 접지망에 대한 기본 규정으로 적용되고 있으며, 우리나라의 경우에도 경부고속선의 도입에 의해 처음으로 공동 접지망을 채택하였다. 공동 접지망의 가장 기본적인 구성 원리는 전차선 지지대, 금속 구조의 대피소, 플랫홈의 금속 구조, 선로변 기기, 공중 보호선(CPW : Catenary Protective Wire) 및 접지 케이블에 대해 “Faraday cage"를 실행하는 것으로 전철화 선로의 경우, 이러한 구성 원리를 고려한 공동 접지망 설계는 최소한 두개의 CPW, 1개의 매설 접지 케이블(BEC : Buried Earth Cable), 접지/선로 전압을 감소하기 위한 선로 케이블과 금속 구조 사이의 규칙적인 연결 등이 기본적으로 고려되어야 한다. 두 번째로는 공동 접지망 구성에 따른 건넘선과 반건넘선의 개념 및 구성을 검토해야 한다. 건넘선(LTI : Overall Traverse Link)과 반건넘선(LEAE : Partial Traverse Link)의 사용 용도는 두 개의 선로에 주어지는 각각의 궤도에 대한 귀선 전류 평형, 전차선/선로 단락 회로 발생시의 접지/선로 전압의 감소 역할을 실행한다. 이러한 공동 접지 관련 규정은 다음과 같다.

1) 규정 1
   - 두 개의 연속된 LTI 사이의 거리(X)는 X≥1000m 이어야 한다.
   - LEAE와 LTI 사이의 거리(X1)는 대략 X1 = 2/X로 주어진다.
   - LTI에는 궤도 1의 CPW, 궤도 1의 임피던스 본드 중성점, 궤도 2의 임피던스 본드 중성점, 궤도 2의 CPW 및 BEC를 모두 연결한다.
   - LEAE에는 단지 궤도 1의 CPW, 궤도 2의 CPW, BEC만을 연결한다.
2) 규정 2
   - 궤도 회로의 축이 LTI로부터 50m 이상일 경우, 관련 궤도에 임피던스 본드를 설치한다.
   - 동일 궤도 회로에는 두 개의 임피던스 본드 설치가 금지된다. 이는 궤도 절손 검지 기능을

방해하기 때문이다.

3) 규정 3
- 변전소 또는 단권 변압기(AT : Auto Transformer) 전방의 경우, 귀선 전류는 궤도회로의 임피던스 본드를 통해 유입됨에 따라 궤도 회로 축은 귀선 전류 관련 설비로 부터 50m 이상 이격하여 설치해야 한다.
- 공심 유도자의 중성점은 낙뢰로부터의 보호를 위한 서지 아래스터에 의해 신호기계실 접지망에 연결되어야 한다.

4) 규정 4
- 절연 블럭 이음매(임펄스 궤도회로/무절연 궤도 회로)의 경계 부근에 있어서, 귀선 전류는 두 개의 연결선에 의해 연결한다.

5) 규정 5
- 변전소와 AT 전방 이외의 장소에서 LTI는 궤도회로 임피던스 본드의 중성점, 궤도 축이 LTI의 전방에 주어지지 않는 임피던스 본드의 중성점, 70㎟ 케이블에 의해 연결되는 CPW 및 BEC에 연결해야 한다.
- LTI는 동일 주파수를 갖는 두 개의 AF 궤도 회로를 포함하여 두 개 이상의 궤도 영역에 위치하지만 이들을 직접 연결하는 것은 금지된다.

5. 기존선과 고속선 궤도회로간의 인터페이스

전철화에 따라 기존선 구간은 두 개의 궤도회로를 사용한다 : 역간에 사용하는 TI21 AF 궤도회로와 역 구내에서 사용하는 임펄스 궤도회로. 역 간에 설치된 TI21 AF 궤도회로는 두 개의 절연 폐색 이음매(IBJ : Insulated Block Joint), IBJ로부터 1m 거리에 위치한 TI21 AF 궤도회로용 단성 단자 유니트(ETU : End of Termination Unit) 및 IBJ에서 2m 거리에 위치해야 하는 TI21 AF 궤도회로용 임피던스 본드(IN500)의 설치를 위한 TI21 AF 궤도회로의 기본적인 연결 규정을 준수해야 한다. 기존선 구간에서 사용하는 두 개의 궤도회로는 두 개의 115㎟ 절연 케이블로 연결된 TI21 AF 궤도회로용 임피던스 본드와 기존선 역 구내에 설치된 임펄스형 궤도회로의 임피던스 본드(200AT)는 중성점에 상호 연결된다. 역으로의 진입 및 진출 구간에 있어서 안전성과 공동 접지망의 구성을 위해 각각의 궤도회로에 관련된 인터페이스 설비의 종단은 가능한 공동 접지망의 건넘선(LTI) 연결을 실행한다.

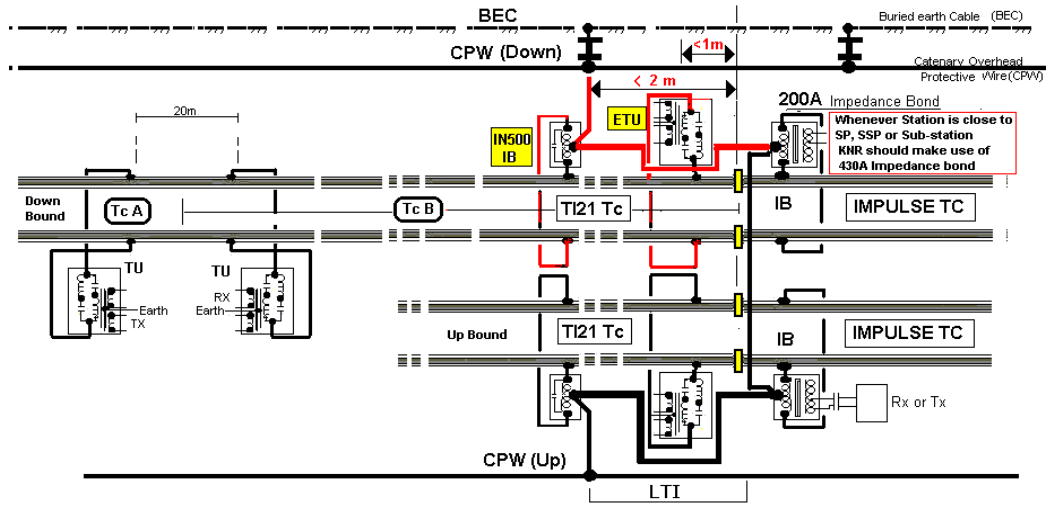


그림 4. 임펄스 궤도회로와 TI21 AF 궤도회로 인터페이스

그림 4는 TI21 AF 궤도회로의 제작사인 Bombardier Transport사의 도면을 기본으로 구성하였다. 이는 귀선 전류의 연속성을 위한 TI21 AF 궤도회로와 임펄스 궤도회로의 연결 방안으로 접지방식과 밀접한 관계를 갖는 귀선 전류의 연속성 및 안전성을 위해 TI21 AF 궤도회로와 임펄스 궤도회로의 임피던스 본드간에는 두 개의 115㎟ 케이블을, 그리고 임피던스 본드와 CPW간에는 한 개의 115㎟ 케이블을 사용하였다. 또한 임펄스형 궤도회로가 전력 공급 장소(변전소, SP, SSP..)등에 인접할 경우에는 안전을 위해 200AT 대신 430AT를 사용한다.

고속선은 프랑스 CSEE Transport의 UM71 AF 궤도회로가 지상에서 차상으로의 정보 전송을 위해 사용된다. 따라서 기존선과 고속선의 연결은 공동접지와 단독접지의 연결과 함께 UM71 AF 궤도회로와 TI21 AF 궤도회로 및 임펄스 궤도회로의 연결을 필요로 한다. UM71 AF 궤도회로와 임펄스 궤도회로 연결은 두 개의 절연 폐색 이음매(IBJ)와 두 개의 430AT 임피던스 본드는 귀선 전류로 인해 두 개의 85㎟ 또는 115㎟ 절연 케이블에 의해 각각의 중성점에 연결하며, 관련 LTI는 기존선과 고속선 인터페이스 근처에 설치한다. 그림 5는 임펄스 궤도회로와 UM71 AF 궤도회로가 연결되는 광명역 구간을 나타낸다. 그림에서 궤도회로 연결의 안전성을 보장하기 위해서는 기존선 구간의 CPW에 설치된 절연 애자의 제거, 고속선 BEC와 기존선 BEC의 상호 연결, 변전소의 경우에는 임펄스 궤도회로의 임피던스 본드 200AT가 430AT로 변경되고 상호 대칭으로 설치되어야 한다. 여기서 대칭 설치의 필요성은 광명역 구간의 경우에 궤도회로의 연결선이 터널로 주어짐에 따라 고속선의 LTI가 터널에 존재하며, 기존선/고속선 인터페이스 구간에 LTI를 설치시, 관련 구간의 궤도 회로가 매우 짧아질 수 있기 때문에 이를 보완하기 위한 방안이며, 이는 기존선 구간이 한 방향에만 BEC가 설치된 반면, 고속선은 양 방향으로 BEC가 설치됨에 따라 고속선의 BEC T1은 그림 5의 상단부와 같이 정상적인 접속을 실행하지만 BEC T2는 그림 5의 하단부와 같이 단순 접속을 실행해야 한다. 이러한 방법은 고속선의 양쪽 BEC과 기존선의 한쪽 BEC를 연결하는 가장 경제적인 방법으로 예상된다.

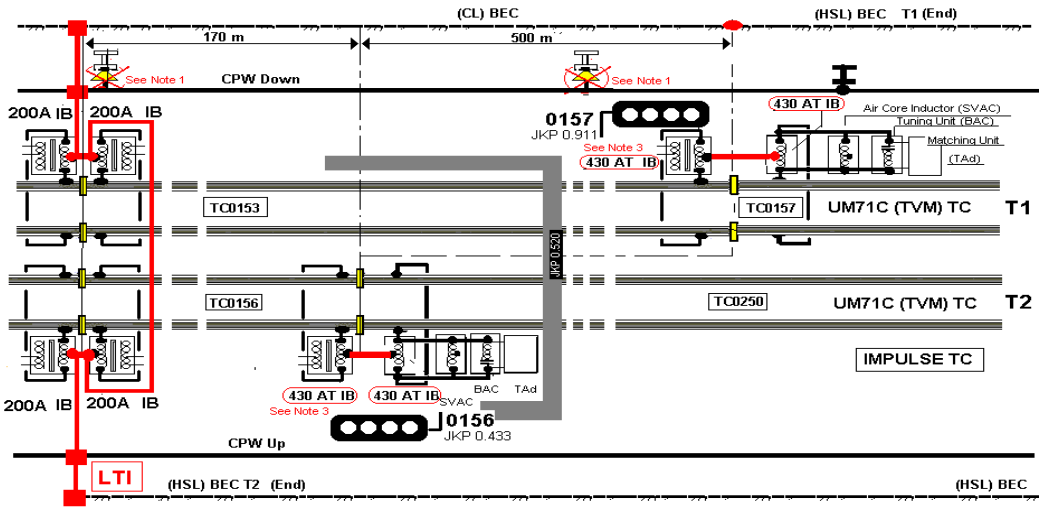


그림 5. 임펄스 궤도회로와 UM71 AF 궤도회로 인터페이스

대구 북 구간과 같이 만약 기존선과 고속선의 인터페이스가 역 구내가 아닌 기존선 역간으로 설계되는 경우 궤도회로의 연결은 TI21 AF 궤도회로와 UM71 AF 궤도회로로 주어진다. 이러한 경우에는 서로 다른 두 개의 AF 궤도회로의 연결에 연관된 사항들이 검토되어야 한다. 따라서 고속선의 자동열차제어장치(ATC : Automatic Train Control)를 위해 두 개의 절연 폐색 이음매 전방에 위치한 UM71 AF 궤도회로 관련 설비는 모두 병렬로 연결할 수 있도록 특수하게 설치되어야 하며, 기존선의 자동폐색장치(ABS : Automatic Block System)를 위한 TI21 AF 궤도회로는

기존선/고속선 경계 부분 인접 장소에 ETU 설비 및 고속선 임피던스 본드와 CPW에 연결되는 IN500 임피던스 본드를 그림 6과 같이 연결해야 한다.

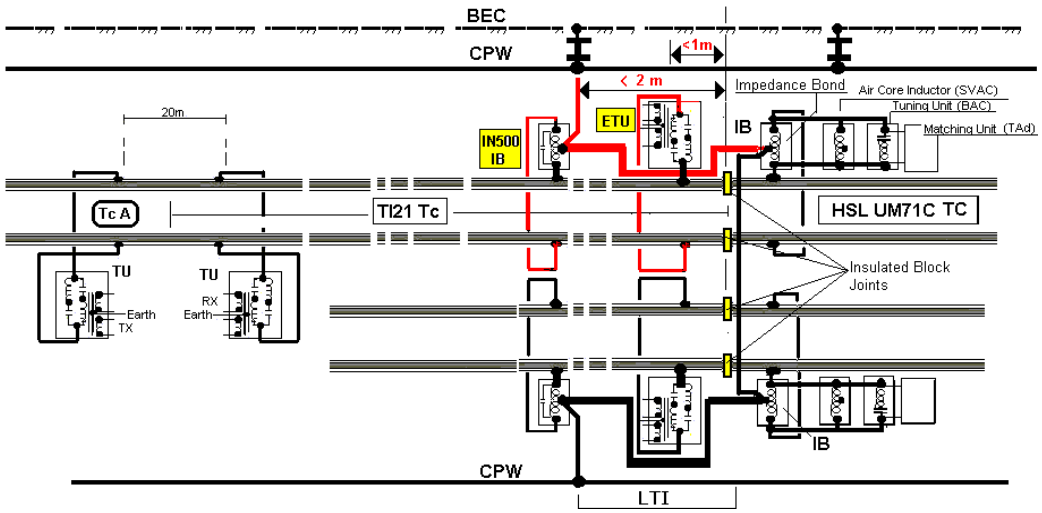


그림 6. TI21과 UM71 AF 궤도회로 인터페이스

6. 결론

본 논문에서는 공동 접지의 구성시에 준수해야 할 규정에 따라 단독 접지와 공동 접지가 공존하는 기존선과 고속선의 인터페이스 구간인 남서울(광명역), 북대전(대전 조차장), 남대전(옥천역), 북대구(신동역-지천역) 구간에서의 궤도회로에 대한 연결 방안을 제시하였다. 궤도회로의 연결은 유지보수 요원의 안전과 선로변 기기 장애의 주요 원인으로 작용하는 귀선 전류의 흐름과 사용된 접지 설비를 충분히 고려하여 검토되어야 함을 확인할 수 있으며, 만약 현재 사용 중인 디젤 기관차가 전기 기관차로 대체되거나 또는 새로운 신호 시스템이 기존선 구간에 적용될 경우에는 본 논문에서 제시된 방법과 유사한 형태로 안전 관련 항목이 재분석되어야 한다.

참고문헌

1. SNCF Division VZC, 25kV Electrification overhead line equipment, SNCF, 1990.
2. T.CHARLTON, “Earthing Practice", Publication of Copper Development Association, St Albans, U.K, p. 69, 1997.
3. Galdi. V and al, "AC railways systems simulation ", WCRR'97, vol. C, pp. 93-104, 1997. 11.
4. Y.K.KIM and al, "Estimation and Measurement of traction return current on Gyeoungbu electrification line", 2001 ICCAS, pp. 1458-1461, 2001. 10.
5. 공동 접지 관련 SNCF 규정
6. Estimation and Measurement of traction return current on the electrified Gyeongbu line, ICCAS2001, 2001.10, International Conference on Control, Automation and Systems.
7. 2×25kV 급전 방식에서의 공동 접지망 적용에 따른 귀선 전류의 영향, 2002년09월, 대한전기학회 논문집.