

## 철로변 원거리 금속체의 전위분포에 대한 연구

### A Study on the Potential Distribution of the Metal Structure in the Electric Railway

정상국\*, 박윤철\*, 유향복\*\*, 호명재†, 이성욱\*\*\*, 심건보\*\*\*\*

S.K. Chung\*, Y.C. Park\*, H.B. Ryu\*\*, M.J. Ho†, S.Y. Lee\*\*\*, K.B. Shim\*\*\*\*

**Abstract** The electric railway system is consist of many electric facilities such as overhead contact line, power supply system, a signaling tract circuits, train control system and train communication system etc. Electric grounding systems are adopted for the protections of the human being and the damage of equipment from the overcurrent and the overvoltage by electrical accidents.

In this paper, we proposed the adoption of common grounding system for electrical railway system. For the proposed paper, we tested the potential distribution of the metal structure in the electric railway system at the fields. And we analyzed the data from field tests for the effectiveness of the common grounding system in the electric railway system.

**Keywords :** Electric Railway, Potential Distribution, Metal Structure, Normal Operation State

**초 록** 전기철도시스템은 가공전차선로, 레일, 전기차량 및 접지도체로 구성되는 고전압의 급전회로로 구성되어 있다. 고전압의 급전회로에서는 정상적인 운전상태 혹은 고장 등에 의한 비정상 운전 상태에서 대지를 통하여 흐르는 누설전류 혹은 고장전류가 발생하여 주변의 금속체에 영향을 미치게 된다. 이와 같이 전기에너지를 사용하는 모든 설비에서 누설전류 혹은 고장전류가 주변에 설치된 금속체에 전압이 유기되어 인체와 기기 등에 영향을 미치게 된다.

본 논문에서는 전기철도 급전시스템의 정상 운전시에 발생하는 누설전류 등에 의한 전기철도시스템의 선로변에 설치되어 있는 금속체에 유기되는 전위분포를 현장에서 실측을 한 결과를 통하여 철도의 공용접지방식에 대한 적합 여부에 대하여 검토하였다.

**주요어 :** 전기철도, 전위분포, 금속구조체, 정상운전상태

## 1. 서 론

전기철도시스템은 가공전차선로, 레일, 전기차량 및 접지도체로 구성되는 고전압의 급전회로로 구성되어 있다. 전기철도시스템의 전기설비에서 고장은 필연적으로 일어나는 것이며, 특히 지락고장이 발생하면 고장전류가 대지로 흘러가게 되어 전기설비의 내부 및 주변에 전위차가 발생하여 인체의 안전이나 설비의 절연에 위험을 초래하게 된다. 더욱이 최근에 전기차량의 출력 증가로 전력사용의 수요가 급속하게 증가함에 따라 고장용량도 증가하여 상대적으로 고장전류에 의한 대지전위의 상승폭이 커지고 있다. 결국, 대지전위 상승폭의 증가는 인체의 안전이나 설비의 절연 등에 미치는 위험의 증폭으로 연결되고 있다.

† 교신저자: (주)디투엔지니어링([panda0123@hanmail.net](mailto:panda0123@hanmail.net)) \* 한국철도시설공단 기술연구소, \*\* 한국철도시설공단 기술본부, \*\*\* (주) EREC, \*\*\*\* 동국대학교 공과대학

이러한 위험에 대비하기 위한 것이 전기설비의 접지시스템으로서 전기철도에 대하여 적합한 접지시스템을 설계하여 대지전위의 상승을 억제하고, 고장전류의 크기를 제어하는 등의 대책이 시급한 실정이다.

특히 정상적인 운전상태 혹은 고장 등에 의한 비정상 운전 상태에서 대지를 통하여 흐르는 누설전류 혹은 고장전류가 발생하여 주변의 금속체에 영향을 미치게 된다. 이와 같이 전기에너지를 사용하는 모든 설비에서 누설전류 혹은 고장전류가 주변에 설치된 금속체에 전압이 유기되어 인체와 기기 등에 영향을 미치게 된다.

현재 국내의 전기철도시스템에 공용접지방식의 접지계통은 각 설비를 공통으로 연결하여 설치.운용함으로써 상호간섭이 발생할 가능성이 낮아 효율적인 접지효과를 기대할 수 있으나, 전차선로나 고압배전선로 지락사고 등이 발생하는 경우에 대지전위의 상승으로 신호, 통신, 원격제어설비 등 약전계통에 유입되어 relay 및 전자장치 등의 소손 사례가 발생할 수 있다. 따라서 전기철도에서 인명 및 설비를 보호하기 위해서는 현재 시설된 접지설비 운영실태 등을 조사.분석하고 전기철도시스템의 정상적인 운전상태 혹은 고장 등에 의한 비정상적인 운전상태에서 대지를 통하여 흐르는 누설전류 혹은 고장전류에 의하여 발생하는 전위분포에 대하여 종합적인 검토가 필요한 것이다.

본 논문에서는 전기철도시스템의 정상적인 운전시에 발생하는 누설전류 등에 의하여 철도 선로주변에 설치되어 있는 금속체에 유기되는 전위분포에 대한 현장의 실측결과에 대한 검토를 통하여 KSC IEC 62128-1의 보호조치와 철도의 공용접지방식에 대한 적합 여부를 검토하였다.

## 2. 선로변 금속체의 대지전위분포

### 2.1 대지전위분포의 측정

#### 2.1.1 측정의 개요

현재 우리나라 고속 및 일반 전기철도시스템은 유럽이나 북미 등의 선진국 전기철도시스템에서 채택하고 있는 공용접지시스템을 도입하여 적용하고 있다. 따라서 국내 전기철도 시스템의 운행구간에서 전기기관차의 정상적인 운행상태에서 철로 주변에 설치된 금속체(울타리, 제어함 및 안전 장치 등)를 대상으로 전기기관차의 운전에 의하여 발생하는 전위분포를 측정하는 것이 목적으로서, 그림 1과 같은 측정회로를 구성하였다.

그림 1의 측정회로에서 울타리 및 제어함 등의 대지전위를 측정하기 위하여 측정 대상점으로부터 50[m] 이상의 거리가 떨어진 지점에 접지동봉을 시공하여 기준전위(상대 영전위점)를 잡았으며, 영전위점을 기준으로 울타리 및 제어함의 외함에 대한 정상상태 운전시의 대지전위를 측정하였다.

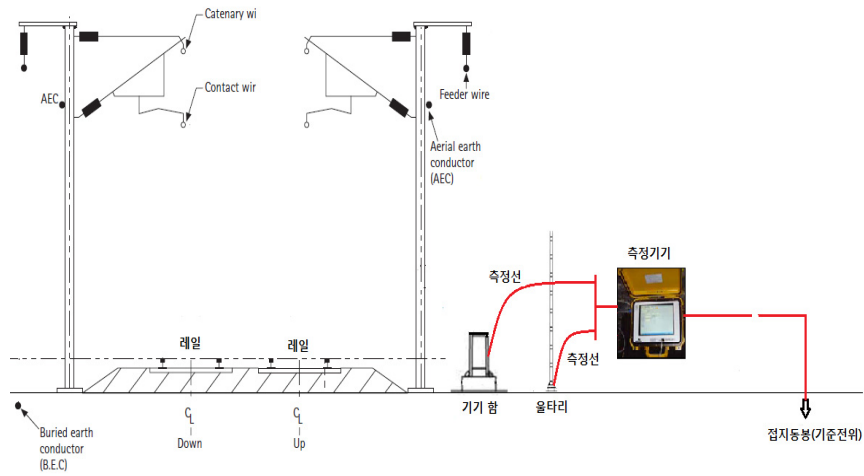


Fig. 1. Measurement circuits for potential distribution

### 2.1.2 토공구간의 측정 결과

토공구간을 지나는 전기철도 구간에서 정상상태로 전기차량이 지나가는 경우에 그림 1의 측정회로를 이용하여 선로 주변에 설치되어 공용접지시스템에 연결된 울타리와 측정을 위하여 공용접지시스템에 연결되지 않은 접지동봉에 대하여 대지전위 분포를 측정한 결과는 다음과 같다.

먼저 철도차량이 운행되지 않는 상태(무부하 상태)에서의 대지전위 분포를 측정한 것이 그림 2로서, 그림 2에서 보는 바와 같이 공용접지된 울타리(적색)에서는 최대 0.87[V], 비접지(동봉) 부분(청색)에서는 최대 0.67[V]의 전위가 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

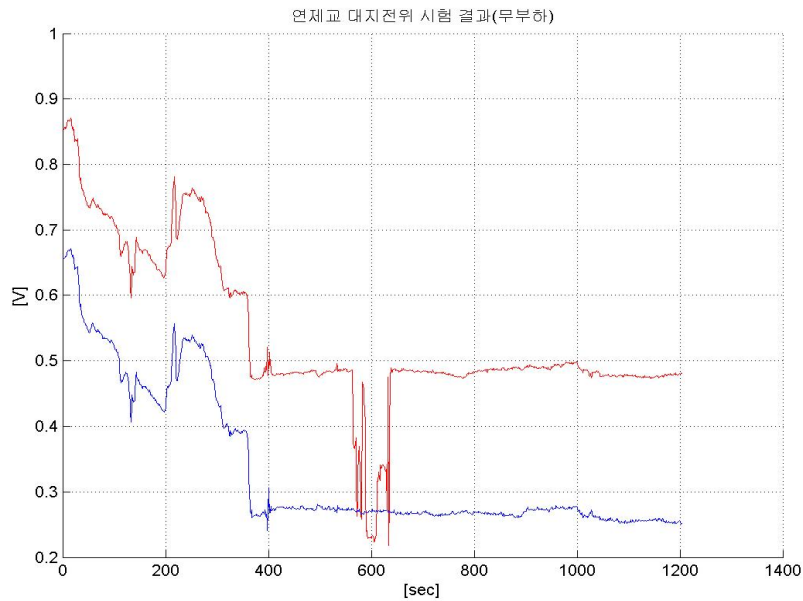


Fig. 2. Measurement results(no-load state)

그림 3과 4는 정상적으로 운행되는 전기차량이 통과하는 경우에서 측정지점(하행측 선로면)에서 하행측의 선로에 전기차량이 운행할 때의 전위분포와 상행측의 선로에 전기차량이 운행할 때의 전위분포를 각각 보인 것이다.

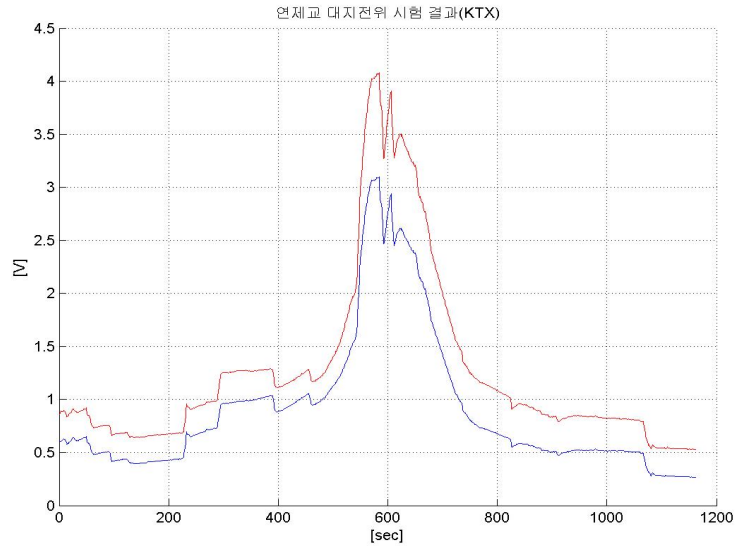


Fig. 3. Measurement results(load state-down line)

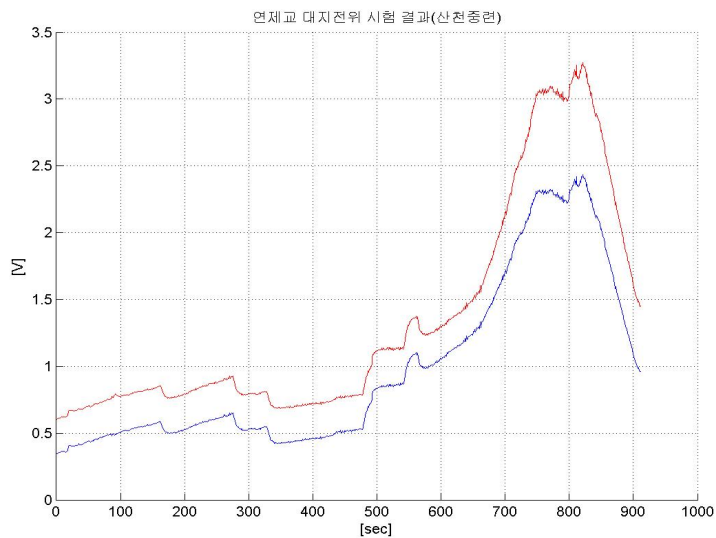


Fig. 4. Measurement results(load state-up line)

그림 3에서 보는 바와 같이 정상적으로 전기차량이 운행되는 경우(하행)에 공용접지된 울타리에서는 최대 4.1[V], 비접지된 점의 전위는 최대 3.1[V] 정도 유기되는 것을 확인할 수 있으며, 그림 4와 같이 전기차량이 측정점의 반대선로에서 운행되는 경우에는 접지된 울타리에서 최대 3.25[V], 비접지된 점에서 최대 2.4[V]의 전위를 나타내는 것으로 측정되고 있음을 확인할 수 있다.

### 2.1.3 교량구간의 측정 결과

교량구간을 지나는 전기철도 구간에서 정상상태로 전기차량이 지나가는 경우에 교각 주변에 설치되어 공용접지시스템에 연결된 울타리와 측정을 위하여 공용접지시스템에 연결되지 않은 접지동봉에 대하여 대지전위 분포를 측정한 결과는 다음과 같다.

그림 5와 6은 정상적으로 운행되는 전기차량이 통과하는 경우에서 측정지점(하행측 선로변)에서 하행측의 선로에 전기차량이 운행할 때의 전위분포와 상행측의 선로에 전기차량이 운행할 때의 전위분포를 각각 보인 것이고, 그림 7은 양방향에서 차량이 운행하는 경우의 전위분포를 보인 것이다.

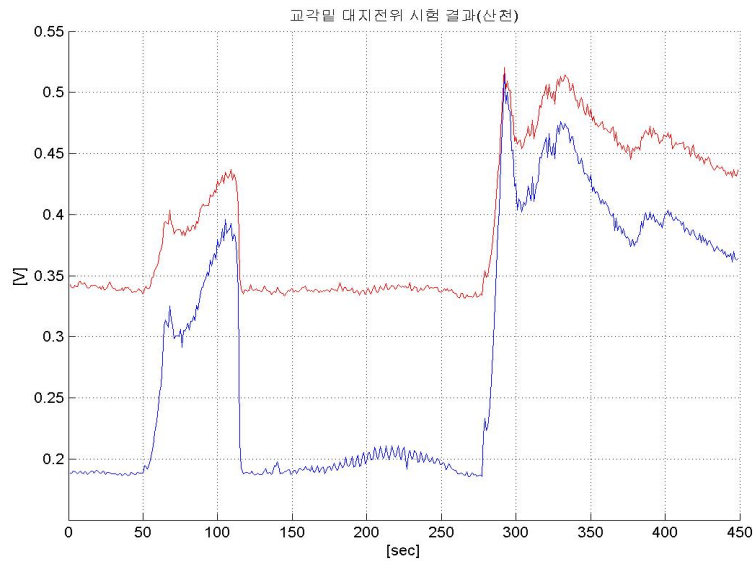


Fig. 5. Measurement results(load state-down line)

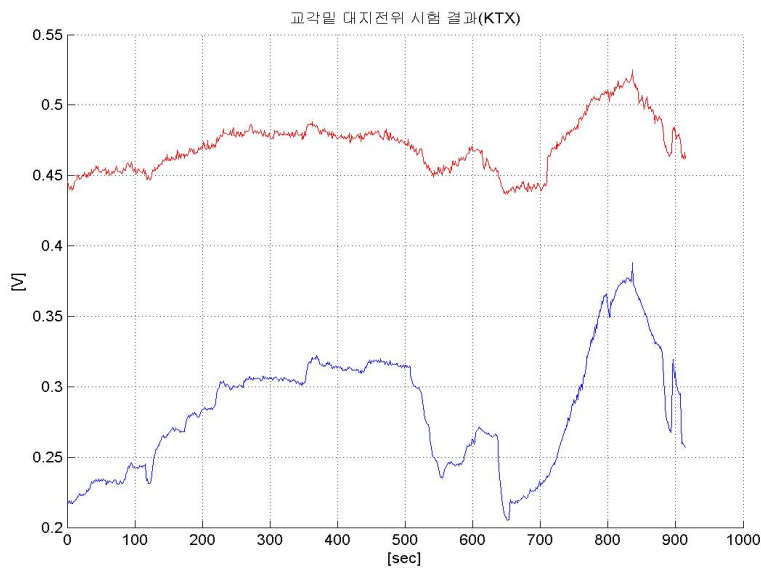


Fig. 6. Measurement results(load state-up line)

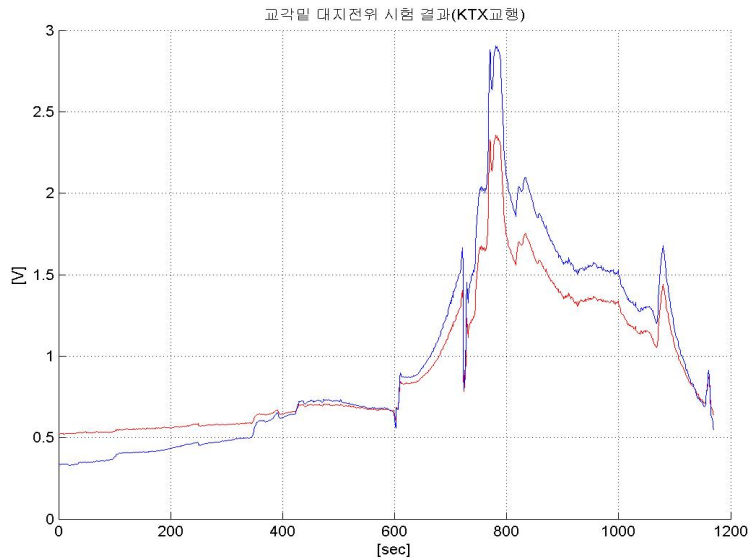


Fig. 7. Measurement results(load state-bi-direction line)

그림 5에서 보는 바와 같이 정상적으로 전기차량이 운행되는 경우(하행)에 공용접지된 울타리에서는 최대 0.53[V], 비접지된 점의 전위는 최대 0.51[V] 정도, 그림 6과 같이 전기차량이 측정점의 반대선로에서 운행되는 경우에는 접지된 울타리에서 최대 0.52[V], 비접지된 점에서 최대 0.38[V]의 전위를 나타내는 것으로 측정되고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 차량이 양쪽 방향에서 운행하는 경우에는 각각 최대 2.3[V]와 2.8[V]를 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

#### 2.1.4 측정 결과에 대한 검토

토공구간 및 교량구간을 지나는 전기철도 구간에서 정상상태로 전기차량이 지나가는 경우에 교각 주변에 설치되어 공용접지시스템에 연결된 울타리와 측정을 위하여 공용접지시스템에 연결되지 않은 접지동봉에 대하여 대지전위 분포를 측정한 결과는 모두 정상적인 운전 상태에서의 안전전압인 6.5[V]이하의 값으로 나타나고 있어서 전기철도의 선로로부터 일정한 거리가 떨어진 금속체의 접지는 공용접지와 분리하여도 정상상태에서는 문제가 없는 것으로 파악되었다.

### 3. KS C IEC 62128-1에 의한 접지설계 기준

#### 3.1 적용범위

KSC IEC621281-의 규격은 교류 및 직류 견인 장치와 관련된 고정설비의 전기안전 관련 보호조치 및 경인 전원 공급장치로 인해 위험에 처할 수 있는 설비에 관련된 보호조치에 대한 요구 사항을 규정한다.

### 3.2 접지설계 기준

#### 3.2.1 계통의 구성도

KSC IEC621281-의 규격에서 제안하는 전기철도시스템에 적용하는 공용접지 방식의 설계 개념을 도입한 전기철도의 접지계통의 구성도를 보인 것이 그림 8이다.

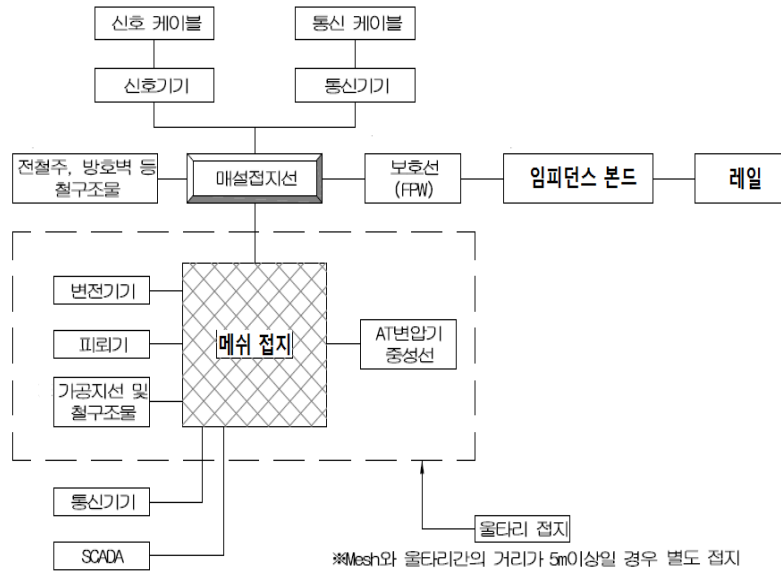


Fig. 8. Concept of common grounding system

#### 3.2.2 철도의 공용접지방식

전기철도시스템에 대한 KS C IEC 62128-1에서 제안하는 접지방식인 공용접지방식을 보인 것이 그림 9이며, 도입한 설계기준의 내용을 요약하면 다음과 같다.

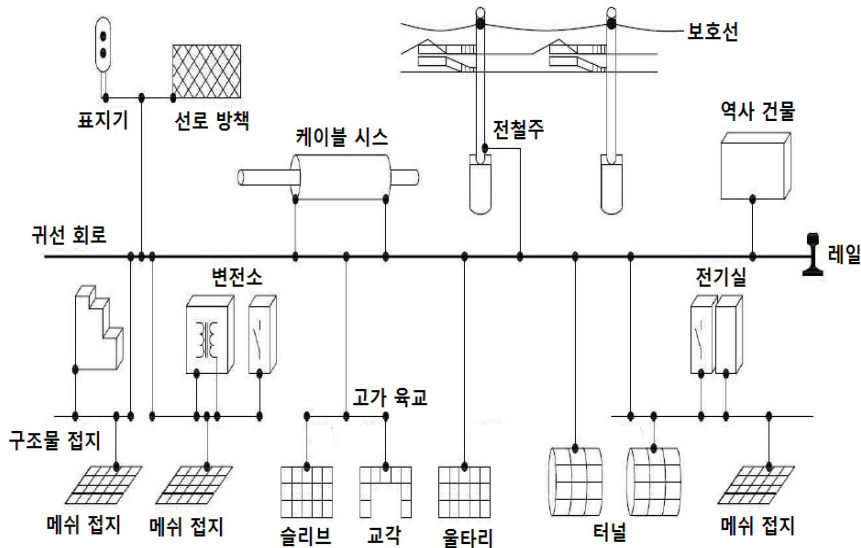


Fig. 9. Common grounding system by KSC IEC62128-1

- 철도 노선에 설치되어 있는 모든 금속성 구조물을 등전위화 하고, 선로의 대지 임피던스를 작게하여 도체의 전기적 연속성을 유지한다.
- 등전위를 위한 접지는 매설지선(연동 연선), 절연 접지선 및 접속선 등을 설치하고, 전차선로의 지지물과 구조물에 연속적으로 접속된 가공 보호선을 설치한다.
- 공용접지를 위하여 가공 보호선, 매설 접지선 및 절연 접지선은 모든 궤도간을 횡단 접속하며, 가공 보호선과 매설 접지선 간은 등전위 접속을 하고 임피던스 보드 중성점에 접속한다.

### 3.3 접지설계 기준과 대지전위 측정 결과의 검토

KSC IEC621281-의 규격에서 제안하는 전기철도시스템에 적용하는 공용접지 방식이 도입된 전기철도시스템의 철로 주변에 설치된 금속 구조물에 대하여 전기차량의 정상적인 운전상태에서 측정된 대지전위 분포에 대한 결과는 전기안전 기준을 만족하는 것으로 나타나고 있어서 KSC IEC62128-1의 설계 개념을 도입한 전기철도의 접지계통은 적합한 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 논문에서는 공용접지 방식이 도입된 전기철도시스템의 정상적인 운전시에 발생하는 누설전류 등에 의하여 철도선로주변에 설치되어 있는 금속체에 유기되는 전위분포에 대한 현장의 실측결과에 대한 검토를 통하여 KSC IEC 62128-1의 보호조치와 철도의 공용접지방식에 대한 적합 여부를 검토하였다.

공용접지방식이 도입된 전기철도시스템에서 전기차량이 정상적으로 운행되는 경우에 공용 접지에 연결된 울타리와 비접지된 도체에 대한 대지전위의 측정결과 모두 전기안전의 범위를 만족하는 것으로 판단되어 KSC IEC 62128-1의 보호조치와 철도의 공용접지방식에 의한 전기철도시스템의 접지방식은 적합한 것으로 판단된다.

추후 정상상태 운전이 아닌 비정상적인 상태(고장 상태 등)에 대한 추가적인 검토가 필요하며, 이 부분은 추가적인 연구가 진행될 예정이다

## 참고문헌

- [1] IEC-62128-1 7. Protection against the danger of rail potential
- [2] IEEE Std. 80, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, 2000