

## 접지방식에 따른 철도차량의 접지고장 특성 비교

### Characteristics of a ground fault of rolling stock according to the ground system

임형순\*, 김연준\*<sup>†</sup>, 최진\*, 이병석\*\*

Hyeong-Sun Lim\*, Yeon-Jun Kim\*<sup>†</sup>, Jin Choi\*, Byung Suk Lee\*

**Abstract** The high voltage circuit and the circuit configuration of a railway vehicle is a rule that can short-circuit and ground fault protection, lightning, catenary earth fault. If ground fault occurs the electrical shock is generated by the high voltage and fault current. This is the cause of a person's risks and mechanical breakdown. Typically constitutes a ground circuit to protect human life and equipment. This paper is compared with IEC ground system and ground system that have been applied for rolling stock. In addition, this was reviewed earth resistance, fault current in accordance with the contemporary electric shock. Based on this, a simulation was carried out with an equivalent circuit. It was confirmed the validity of the ground circuit applied to a railway vehicle.

**Keywords :** Ground system, Ground fault, short of circuit, railway vehicle, Current electric shock

철도차량에서 발생될 수 있는 접지 고장은 전차선의 지락에 의한 고장, 낙뢰, 고압 회로의 단락, 접지 등이 있다. 접지고장이 발생되면 고전압 및 고장전류에 의해 전기적인 충격으로부터 사람의 사상 및 기기의 고장이 발생될 수 있다. 이들로부터 인명 및 기기를 보호하기 위해서 접지 회로를 구성한다. 본 논문에서는 국제전기표준회의(International Electro-technical Commission : IEC)에서 정의된 접지방식과 고속차량에 적용된 접지방식에 대해서 검토하였다. 또한 접지저항과 고장형태에 따른 고장루프 및 감전 경로를 바탕으로 전기적인 등가회로를 구성하였다. 제안한 등가회로를 기준으로 모델링을 수행하여 접지방식에 의한 접지 전류, 접촉전압과 감전전류를 비교하여 고속차량에 적용된 접지회로의 타당성을 확인하였다.

**주요어 :** 접지시스템, 접지고장, 회로단락, 철도차량, 감전전류

## 1. 서론

일반적으로 접지란 전기설비와 대지 사이에 전기적인 연결을 통하여 접지저항을 최소화하는 방법을 말한다. 이상적으로 접지저항이 “0” 이면 지락 전류가 발생해도 전위 상승이 없지 만, 접지저항이 존재하면 전위가 상승하여 기기의 장애 및 인명에 피해를 줄 수 있다.

접지는 전력 및 전기, 전자, 통신분야에 중요한 역할을 하고 있으며, 접지의 구분은 계통접지, 보호접지, 기능용 접지 등으로 분류된다.

계통 및 보호 접지는 기기의 손상 방지와 인체의 안전을 확보하기 위함이고, 기능용 접지는 전자, 통신설비 등의 안정된 기능을 확보하기 위한 것이다. 또한 낙뢰와 같은 뇌전류나 뇌서지로부터 안전을 확보하기 위해 피뢰기, SG(스파크 갭)등을 설치하여 보호한다.

† 교신저자: 현대로템(주) 기술연구소 책임연구원(kimyj0105@hyundai-rottem.co.kr)

\* 현대로템(주). 기술연구소, 선임연구원, 수석연구원

\*\* 현대로템(주), 기술연구소, 이사

일반적으로 철도차량에서 고압을 저압으로 변환하기 위해서는 강압용 변압기인 주 변압기가 사용되고 있으며, 이때 변압기의 2차 권선과 3차 권선이 차체에 접지를 하느냐, 하지 않느냐에 따라 접지 또는 비 접지 방식으로 구분된다. 차량마다 접지 방식에 차이가 있으며, 현재 국내기술로 개발된 고속열차의 경우는 비 접지 방식을 사용하고 있다.

본 논문에서 국제전기표준회의 (International Electro-technical Commission : IEC)에서 정의된 저압 직류배전계통의 접지 방식(TT계통, TN 계통, IT계통)에 따른 접지저항과 고장 형태에 따른 고장전류, 감전전류, 인체 접촉전압 등을 검토하고, 등가회로를 통해 수식적으로 표현하였다. 또한 등가회로를 이용하여 시뮬레이션을 수행하고, 철도차량에 구현된 접지 방식에 대한 타당성을 검토하였다.

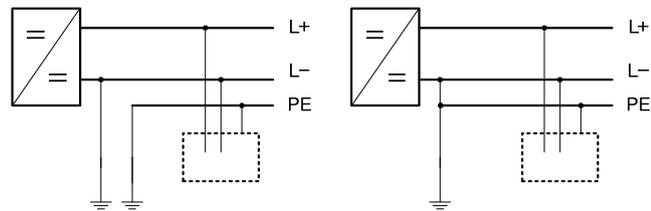
## 2. 본 론

### 2.1 IEC (국제전기표준회의) 60364 접지 방식 분류 - 저압 직류배전계통의 접지 방식

국제 규격인 IEC60364에 규정된 접지방식은 전원 측 접지방식과 설비의 외함 접지방식에 따라 구분한다. 접지방식의 구분은 TT계통, IT계통, TN-S계통, TN-C계통, TN-C-S계통으로 구분된다.

#### 2.1.1 TT계통

전원 측 계통의 한 점을 직접 접지하고 설비의 노출 도전부를 전원 측 계통의 접지극과는 전기적으로 독립된 접지극에 접속시킨 접지 방식이다.



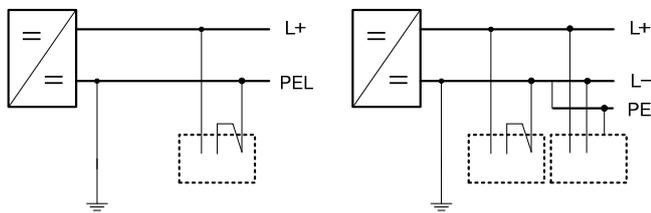
(a) TT 계통

(b) TN-S 계통

#### 2.1.2 TN계통

전원 측 계통의 한 점을 직접 접지하고 설비의 노출도전부를 보호선을 이용하여 전원 측 접지극에 접속시킨 접지방식이다.

TN계통은 중간선 및 보호선의 배열에 따라 TN-S계통, TN-C계통, TN-C-S계통으로 분류되며 그림1 (b) ~ (d)와 같이 구성된다.

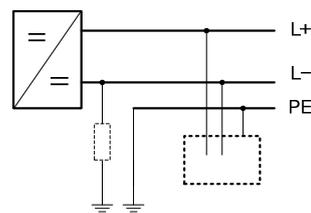


(c) TN-C 계통

(d) TN-C 계통

#### 2.1.3 IT계통

그림1. (e)는 IT계통의 접지를 나타낸다. 이 계통은 전원 측 계통 전체를 접지로부터 절연시키거나 한 점에 높은 임피던스를 삽입해 접지에 접속시키고 설비의 노출도전부를 단독 혹은 일괄 접지시킨 접지방식이다.



(e) IT 계통

그림1. IEC 60364 접지계통

## 2.2 전원 측 접지방식 분류

철도차량의 추진장치 및 보조전원장치의 전원 공급은 AC-DC, DC-DC, DC-AC 컨버터를 이용하여 전력을 공급하는 방식을 사용하고 있다. 직류시스템에서는 전원부의 접속지점에 따라 양극접지, 음극접지, 중간접지로 분류되며, 접지 시 저항삽입여부에 따라 직접 접지, 임피던스접지, 비접지, 전압제한 접지 등으로 세부 분류한다.

### 2.2.1 양극, 음극접지

양극 및 음극선에 직접 접지하는 방식이며, 접지된 선로는 기준 0전위가 되며 나머지 선로는  $\pm V$ 전위가 인가된다. 접지 고장 발생시에 고장전류가 반대방향으로 발생한다.

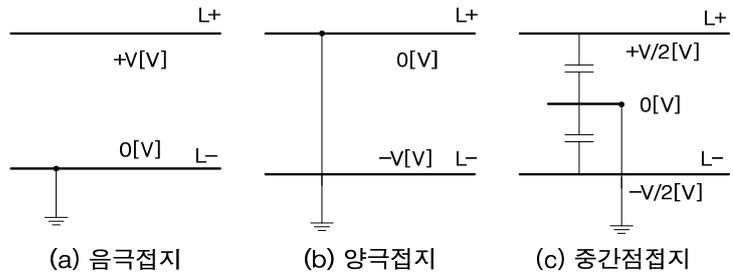


그림 2. 전원 측 접지 방식

### 2.2.2 중간점접지

대지전압을 낮추는 효과가 있으며, 이 접지 방식을 적용할 경우에 양극 및 음극선로에 각각  $\pm V/2$ 가 인가된다.

## 2.3 접지 방식에 의한 고장 형태

접지방식에 따른 고장 형태를 보면, 양극 또는 음극이 접지선과 접촉하는 접지 고장 (PTG : Pole to Ground)과 양극과 음극선이 접촉되는 접지 고장 (PTP : Pole to Pole)으로 구분된다. 그림3.의 고장형태를 바탕으로 전원 측 접지 방식에 따른 고장루프 형태를 보면 그림4.와 같다. 이 고장루프는 고장 형태를 바탕으로 음극 및 양극접지, 중간접지 고장, 양극과 음극선 고장 형태를 나타낸 것이다.

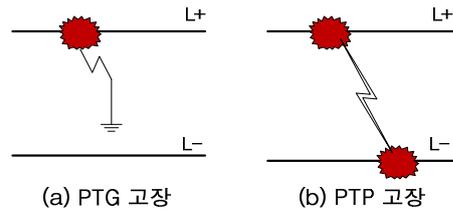


그림 3. 고장 형태

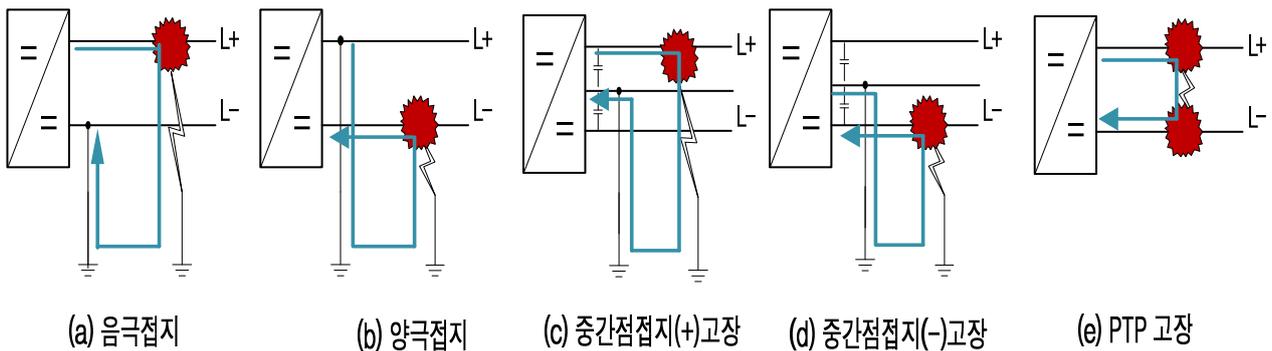


그림 4. 접지방식에 따른 고장루프

## 2.4 접지시스템의 접지방식에 따른 인체 감전 경로 분석

접지 시스템에 의한 접지 방식에 따른 인체의 감전 경로를 그림 5.에 표시하였으며, 철도차량에서는 일반적으로 (-)를 접지하는 방식을 사용하여 음극선 접지를 기준으로 검토하였다. 접지시스템의 접지방식 중에 IT시스템은 비 접지로 인해 고장루프가 형성되지 않기 때문에 접

축전압 및 감전 전류가 거의 발생되지 않아서, 본 논문에서는 TT계통과 TN-S 계통, TN-C 계통의 등가회로를 검토하였다.

그림 6.(a) TT계통의 고장 시 등가회로를 보면 접지저항( $Z_G$ )이 고장전류를 제한할 수 있는 구조로 되어 있어, TN-S, TN-C계통에 비해 접지 저항의 크기를 조정하여 접촉전압 및 감전 전류를 제한하는데, 효과적임을 알 수 있다.

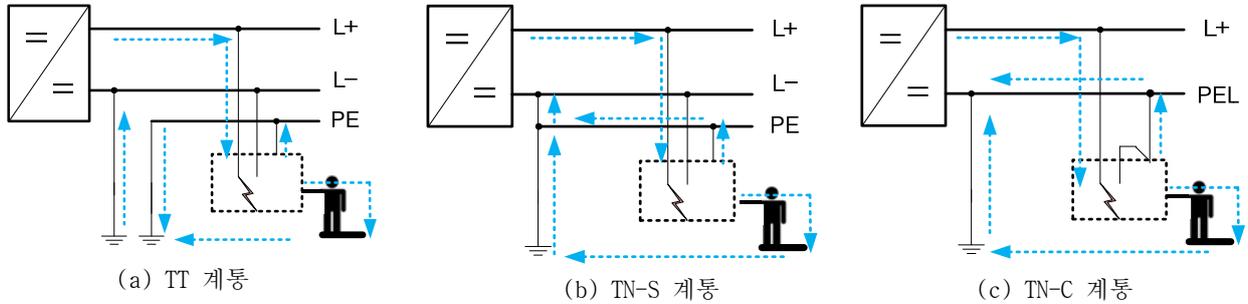
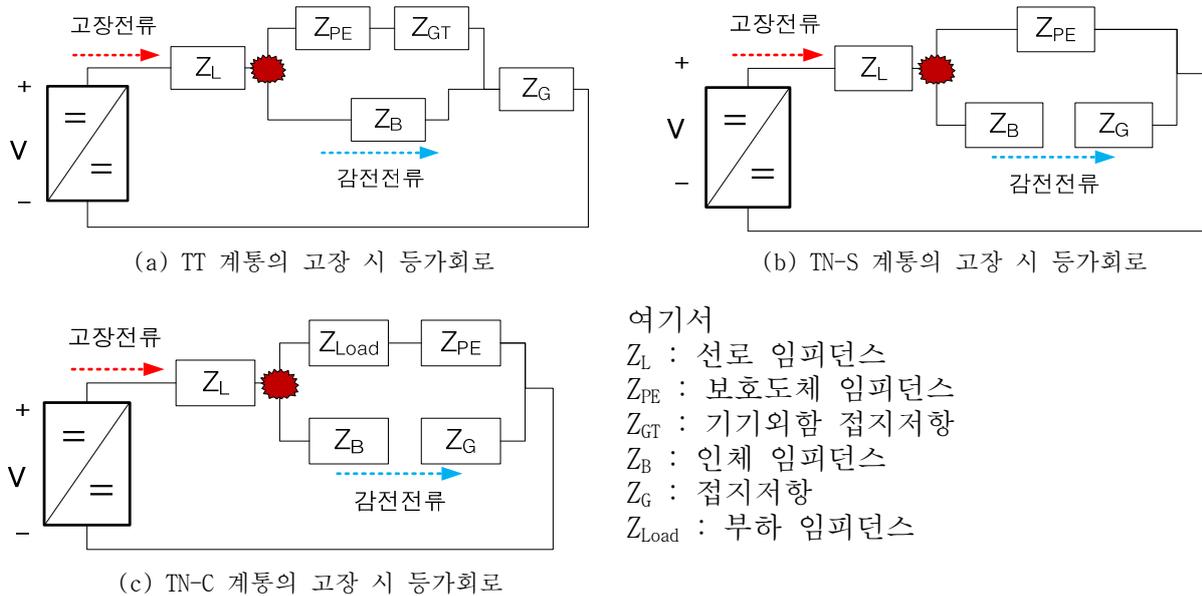


그림 5. 접지 방식에 따른 인체 감전 경로

TN-S 계통의 경우 접지저항은 인체 임피던스와 직렬로 연결되고, 보호도체와는 병렬로 합성된다. 이 구조에서 고장이 발생하였을 때, 접지저항이 증가함에 따라 전체 임피던스의 변화가 작게 증가하여 TT계통보다 감전전류의 크기를 효율적으로 제한하지 못한다.

TN-C 계통의 등가회로에 보호도체와 전원 선을 같은 도체를 사용하기 때문에 부하 임피던스가 고장루프에 포함된다.



여기서

- $Z_L$  : 선로 임피던스
- $Z_{PE}$  : 보호도체 임피던스
- $Z_{GT}$  : 기기외함 접지저항
- $Z_B$  : 인체 임피던스
- $Z_G$  : 접지저항
- $Z_{Load}$  : 부하 임피던스

그림 6. 접지방식에 따른 고장 시 등가회로

## 2.5 고장 시 등가회로에 대한 시뮬레이션 결과

위에 제시한 접지방식에 따른 고장 시 등가회로를 기준으로 시뮬레이션 모델을 그림7.과 같이 작성하였다. 이 모델에 표1에 제시된 각 변수 값을 입력하여 TT 계통 접지, TN-S 계통 접지, TN-C 계통 접지 방식을 적용한 상태에서 접지 고장이 발생했을 때, 고장 전류에 대해서 비교하였다.

그림8.의 시뮬레이션 결과를 보면, 접지 단에 걸리는 전압의 큰 차이는 없지만, 고장 전류는 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 고장 전류의 크기는 TT 계통모델이 고장전류가 가장 작고, TN-S 계통의 고장전류가 가장 큼을 알 수 있다.

표1. 임의의 모델링 변수

변수 명	값
접지저항	10 Ω
기기 접지저항	10 Ω
인체저항	1,400 Ω
선로 임피던스	0.185 Ω/km
부하의 소모전력	3kW (저항성 부하)

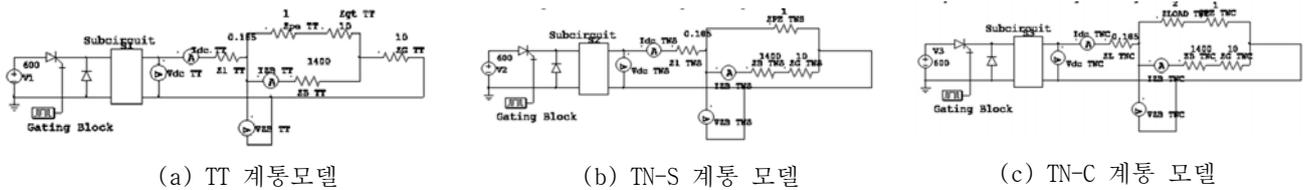


그림 7. 고장 시 등가회로에 대한 시뮬레이션 모델

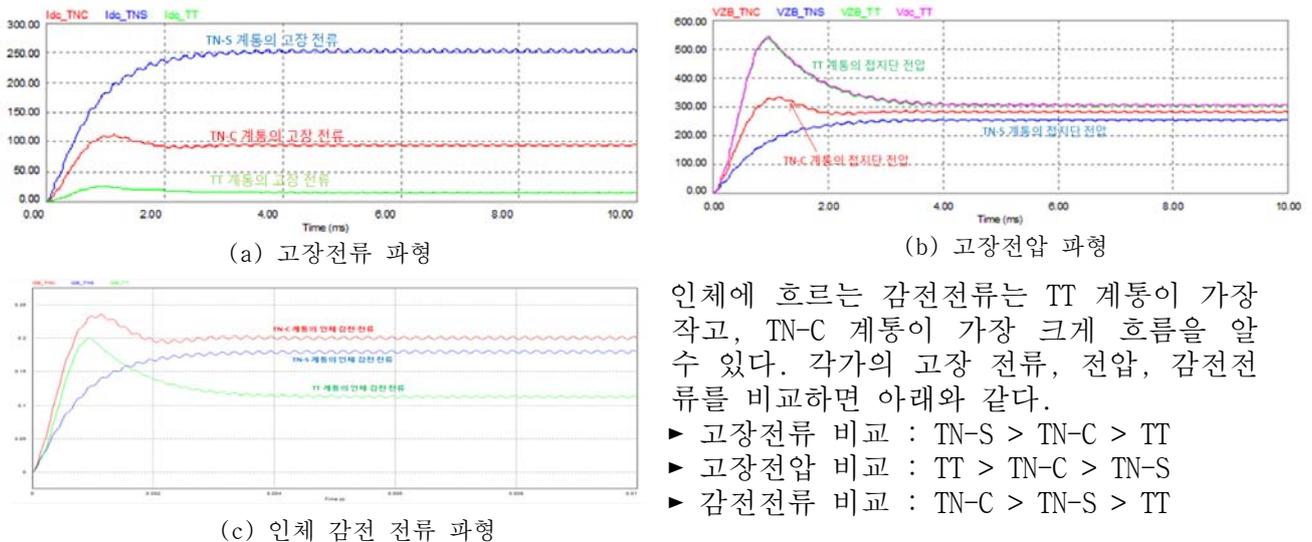


그림 8. 고장 시 등가회로에 대한 시뮬레이션 파형

## 3. 결론

본 논문에서는 접지 방식에 따른 고장 특성 및 고장 전류, 인체에 흐르는 감전 전류에 대해서 임의의 임피던스 변수 값을 대입하여 검증하였다. IEC 접지방식에 따라 외함 접지 고장 발생 시에 감전전류의 특성을 보면, TT 계통접지는 접지저항을 통하여 접촉전압과 감전 전류의 크기를 줄이는데 용이하다. 반면에 TN 계통접지는 보호도체 임피던스( $Z_{PE}$ )와 병렬로 접지저항( $Z_G$ )이 연결되어 접지저항 변화에 크게 영향을 받지 않으며 고장 및 감전 전류가 크게 발생됨을 알 수 있다. 비 접지 방식인 IT 계통은 접지고장이 발생하여도 매우 작은 크기의 접촉전압과 감전전류가 흐르게 된다. 이와 같이 전원 측 접지 방식 및 접지저항에 따라 고장 및 감전 전류의 크기가 변경되므로 철도차량에 적용할 접지방식을 선택할 때에

- ▶ 고장전류 비교 : TN-S > TN-C > TT
- ▶ 고장전압 비교 : TT > TN-C > TN-S
- ▶ 감전전류 비교 : TN-C > TN-S > TT

는 각 접지 방식의 특성을 분석하여 적절한 방식을 선택해야 할 것이다. 특히 철도차량의 경우는 인명을 운송하고, 주기적인 점검 등을 수행하게 되어 사람이 접근하기 쉬운 점을 고려하여 인체안전을 고려한 적절한 접지 방식을 적용하여야 한다. 현재 고속전철 시스템은 접지 고장이 발생하여도 매우 작은 접촉전압과 감전 및 고장전류가 흐르는 비 접지 방식인 IT 방식을 적용하고 있으며, 접지 검지는 별도의 검지회로에 의해 접지 고장을 검지하고 있다.

### 참고문헌

- [1] Dong-Woo Kim (2016). Protection Techniques Against Electric Shock in Low Voltage DC Grounding Systems Depending on the Analysis of Earth Fault Current Paths. The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol, 65, No.1, pp. 232~238.
- [2] In-Ho Baek (2015). Analysis of Fault Characteristics by the Type of Grounding Scheme in Low Voltage DC Distribution System. Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers. 29(1): 103~112
- [3] Navigant Research Report, Direct Current Distribution Networks 2013
- [4] E. Amiri, S.H.H. Sadeghi, R. Moini, "A Probabilistic Approach for Human Safety Evaluation of Grounding Grids in the Transient Regime", IEEE Transactions on Power Deliver, Vol 27, No. pp. 945~952, 2012
- [5] Hirose. K, Tanaka. T, Babasaki. T, Person. S, Foucault. O, (2011). "Grounding concept considerations and recommendations for 400VDC distribution system", Telecommunications Energy Conference, pp 1~8