

## 제 3 궤조 전차선 감전사고 위험요인 저감방안 연구

## A Study on the Reduction of the Risk of Electric Shock Accidents in the Third Rail System

정일봉<sup>\*†</sup>, 나갑준<sup>\*\*</sup>Il-Bong Chung<sup>\*†</sup>, Gab-Jun Na<sup>\*\*</sup>

**초 록** 제3궤조 전차선 급전방식은 지면과 인접한 제3의 레일을 통해 철도차량에 전기를 공급한다. 이 시스템은 가공전차선 방식에 비해 터널크기가 축소되고 구조물이 비교적 단순하므로 건설비와 유지비용이 절감되며 지상구간의 시야를 방해하지 않으므로 경전철에서 널리 채택되고 있다. 한편으로는 전차선과 접촉에 의한 감전사고 위험성이 존재하므로 전차선을 승강장과 먼쪽에 설치하고 하면접촉방식에 보호덮개를 설치하고 있으며 승강장스크린도어를 설치하는 등 위험요인 저감방안을 시행하고 있다. 그렇지만 전차선과 집전장치를 물리적으로 분리시킬 수 없기 때문에 승객이 선로로 하차하거나 UTO방식 운행노선에서 안전요원이 터널로 출동하는 경우에는 감전사고 예방을 위해 전차선 급전을 차단해야 한다. 전차선 단전조치를 할 경우 집전장치를 통해 전차선과 연결된 전동차는 견인인버터 평활캐패시터의 방전저항에 의해 약 400초 동안 완속 방전하게 되므로 완전방전시 까지는 감전사고 위험이 존재한다. 본 논문은 전차선 단전 조치시 방전시간 단축을 통한 감전사고 위험 저감방안을 제시하고자 한다.

**주요어** : 제3궤조, 가공전차선, 급전방식, 감전사고, 방전시간

## 1. 서 론

제3궤조 전차선 급전방식은 궤도를 따라서 지면과 인접하게 제3의 레일(Third rail)을 부설하여 철도차량에 전기를 공급한다. 이 시스템은 가공전차선 방식에 비해 터널크기가 축소되고 지지구조 등 구조물이 단순화되어 건설비와 유지비용이 절감되는 장점이 있다.

그렇지만 전차선과 접촉에 의한 감전사고 위험성이 존재하고 전차선 급전을 차단하는 경우에도 해당구간 전동차가 완속 방전하므로 완전방전시 까지 장시간(약 400초) 소요되는 문제가 있다. 본 논문에서는 승객이 선로내에 하차하거나 안전요원이 터널(선로)로 출동하는 상황에 대비하여 방전시간 단축을 통한 감전사고 위험 저감방안을 제시하고자 한다.

## 2. 본 론

## 2.1 제3궤조 집전방식

## 2.1.1 제3궤조의 특징

제3궤조 방식 전차선로는 가선(도전레일)부와 전원공급반, 급전케이블 등으로 구성되고, 곡선부 등 제약이 있는 경우 이외에는 주행궤도 바깥쪽에 설치되며 차량에 설치된 집전장치와 접촉한다.

승객이 선로에 추락할 경우에는 감전위험이 있으므로 승강장 반대쪽으로 전차선로를 설치하고 승강장안전문을 설치하고 있다.

## 2.1.2 집전방식의 분류

제3궤조 전차선 집전방식 유형은 급전선과 집전슈의 접촉위치에 의한 분류가 가장 일반적이다. 접촉방식은 차량의 집전장치가 도체의 면을 습동하는 방향에 따라 Fig. 1과 같이 측면접촉식(side contact), 상면접촉식(top contact), 하면접촉식(bottom contact)으로 구분된다.[1]

† 교신저자: 한라대학교 스마트모빌리티융합대학 철도운전시스템학과(chung4977@naver.com)

\*\* 인천교통공사 철도안전팀

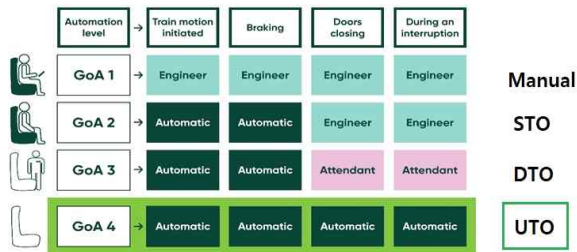


(a)Side contact (b)Top contact (c)Bottom contact

**Fig. 1** The contact classification method[2]

### 2.2.1 열차운영시스템 자동화 등급

무인열차시스템의 자동화 등급은 Fig. 2와 같이 UITP(International Association of Public Transport) 및 국제표준 IEC 62290-1에서 4단계로 구분하고 있으며 GoA(Grade of Automation)라고 정의한다.



**Fig. 2** IEC 62290-1 GoA Level System

### 2.2.2 인천2호선 운영사례

인천2호선은 2016년 7월 개통하여 DTO 체제로 운행하던 중 서구청~운연역 구간(19km)은 2023. 1. 1. 부터, 검단오류~서구청역 구간(10.1km)은 2024. 1. 1. 부터 UTO운행체제로 전환하였다. 역무인력을 철도차량운전면허 보유자로 충원하여 평시에는 역무서비스 업무를 수행하고 이상상황 발생시는 관제사와 협력하여 응급조치 및 열차비상운전 임무를 수행토록 하였다.

## 2.3 제3궤조 전차선 감전사고 위험 저감방안

### 2.3.1 정상운행시 감전사고 위험요인

승강장안전문에 의해 이용승객의 운행선로 추락이나 터널진입이 물리적으로 차단되는 구조이므로 제3궤조 전차선에 의한 감전사고 위험성이 근본적으로 예방되도록 되어 있다.

### 2.3.2 터널내 승객하차 또는 직원 출동상황

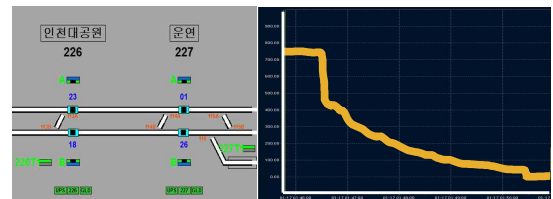
UTO 운행구간에서 열차가 고장발생 등으로 터널내에 비상정차하는 경우 종합관제소에서

객실방송을 통해 승객동요를 방지토록 하고 있으나 무단으로 터널에 하차하는 상황이 발생할 수 있다. 또한 관제사의 지시에 의해 인접역 안전요원이 고장열차로 출동하는 경우 터널구간으로 진입하는 상황이 발생하게 된다. 이때는 출동하는 직원이 터널 진입 전 BLS(Blue Light Switch)를 취급하여 불측의 급전상황을 예방하고 있다.

### 2.3.2 터널내 승객하차 및 터널구간 직원 출동시 감전사고 위험요인

터널내 승객이 하차하거나 직원이 터널구간으로 출동하는 경우에는 전차선 단전조치를 시행토록 하고 있다. 그러나 전차선과 집전장치를 물리적으로 분리시킬 수 없는 구조이므로 단전조치시 전차선과 연결된 전동차의 방전은 건인인버터 평활캐패시터의 방전저항을 통해 완속방전되므로 완전방전(750V→0V)시 까지 약 400초가 소요된다. 따라서 신속한 방전이 이루어지지 않을 경우 잔류전압에 의한 감전사고 우려가 있다.

이에 대한 실태를 확인하기 위해 2022년 1월 인천2호선 인천대공원~운연역 구간에서 시험을 실시한 결과 Fig.3과 같이 4개 열차가 운행하는 상황일 경우 완전방전에 4분 2초가 소요되는 것으로 나타났다.



**Fig. 3** Time required for complete discharge

### 2.3.3 단전 조치시 방전시간 단축방안

전동차의 제동은 상용제동, 비상제동, 정차제동, 주차제동이 있으며 제동형태별 제어 방식은 Table 1과 같다.

**Table 1** Control method by braking type

braking type	control method	additional control features			deceleration (km/h/s)
		skid	Jerk	load of load	
service		○	○	○	3.96
emergency		○	-	○	4.68
stop		-	-	○	service70%
parking		-	-	-	-

전차선 단전조치 시 집전장치를 통해 전차선과 연결된 전동차는 견인인버터 평활캐패시터<sup>1)</sup>의 방전저항을 통하여 완속 방전되는 구조이므로 전차선 전원과 견인인버터간 전원을 차단할 경우에는 방전 소요시간을 단축할 수 있다.

Fig. 4와 같이 K1접촉기 개방을 통해 전차선과 전동차 견인인버터를 회로적으로 차단하려면 전동차 비상제동을 체결하거나 방향선택기(역전기)를 중립위치로 전환하면 된다.

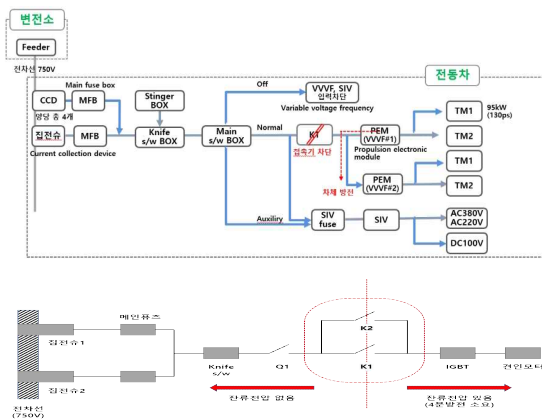


Fig. 4 Fast discharge circuit diagram

비상제동 체결을 통한 신속방전 효과를 9회에 걸쳐 실험한 결과 완전방전에 소요되는 시간이 열차 비상제동을 체결하지 않은 경우 약 4분(242초)이었으나 비상제동을 체결한 경우에는 약 10초가 소요(232초 단축)되는 것으로 나타났다.

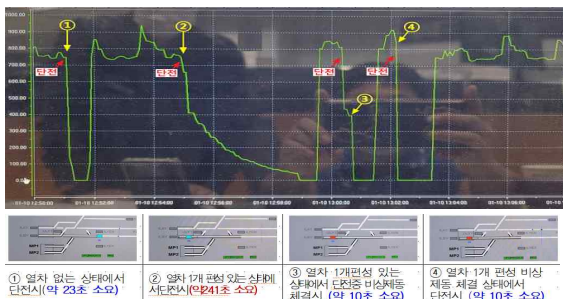


Fig. 5 Fast discharge verification test results

1) 평활캐패시터(DC-link)는 견인제어장치와 보조전원 장치에 부착되어 전력 변환 시 안정된 동작을 유지시켜 주는 장치로 비상제동체결 및 전·후진제어기 중립위치시 주접촉기(K1)가 차단됨.

### 3. 결론

제3계조 전차선 방식으로 설비된 노선은 전차선 접촉에 의한 감전사고 위험성이 존재하므로 선로 내에 승객이 하차하거나 UTO운행 체제 노선에서 안전요원이 터널로 출동하는 경우에는 전차선 급전을 차단하여야 한다. 전차선 단전 조치 이후에는 신속한 방전이 이루어져야 감전사고 위험을 낮출 수 있다.

따라서 본 논문에서 검증한 바와 같이 전차선 단전조치 시행 후 해당 구간의 전동차에 대해 비상제동을 체결함으로써 전차선 전원과 견인인버터간 전원을 차단(K1접촉기 개방)시켜 방전소요시간을 단축할 수 있다.

이와 같은 제3계조 전차선 급전구간의 위험요인 저감을 통해 터널 내에 하차하는 승객 및 관제사 지시에 의해 출동하는 안전요원의 감전사고를 예방할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- [1] R.K. Jung, Y.S. Kim, Y.K. Yoon, B.S. Lee, et al.(2000) The Development of Third Rail Current Collecting Shoe for Light Rail Transit, Journal of the Korean Society for Railway, pp.618-625
- [2] <http://www.railway-technical.com/etracp.shtml>
- [3] Jae-Hyun Ko, Kyung-Se Min, Seo-Tak Jeon, Soo-Choong Ko.(2015) An Analysis of the influence by Non-Contact Power Supply of Light Rail Transit System, Journal of the Korean Society for Railway, pp.189-194
- [4] Byong-Chan Min, Sang-Hoon Cho, Young-Tae Heo, Du-Young Hong, Chang-Hwan Kim, Nam-Cheol Jeong. (2011) The Organization of Interface for safety and reliability of Urban Maglev Third rail System, Journal of the Korean Society for Railway, pp.1189-1194