

## RTDS를 활용한 전기철도 급전용 변전소 시뮬레이션 모델 개발 및 활용방안 연구

### Development of Simulation Model on Railway Feeding System Using RTDS

김기석\*, 장길수\*<sup>†</sup>, 이장무\*\*, 김주락\*\*

Kisuk Kim\*, Gilsoo Jang\*<sup>†</sup>, Jangmu Lee\*\*, Jurak Kim\*\*

**Abstract** Devices used to railway feeding system is not configured system to verified for operating condition before applying it. It is may difficult to installation and operation. The functionality of real-time simulator has been grown gradually by the development of computer technology. Owing to the improvement on the simulation size and interpretation precision, the application rage of it has been gradually expanding. In particular, real-time simulator is capable of installing and testing the equipment of high power system. And it is possible to test the real hardware system such as the electrical power devices. Therefore, in this paper, study on the way to using and development to real-time simulation model for preventing of fault and improving to power quality of electrical railway.

**Keywords** : RTDS, Railway Feeding System, Hardware In-the loop Simulation, Dommel Algorithm

**초 록** 전기철도 급전시스템에서 사용되는 전력설비들을 철도급전망에 적용하기 이전에 실제 운영조건에서 검증할 수 있는 시스템이 구축되어 있지 않아, 설치 및 운용에 어려움을 발생시키고 있다. 특히 회전기와 주기적인 운전 및 정차를 반복하는 특수한 부하특성으로 인한 고조파 등의 영향으로 통신유도장해, 보호계전기 및 배전용 차단기의 오동작, 공진현상 초래 등 시설물 장애로 인한 열차운행 중단 사례가 빈번히 발생하고 있어 실시간 시뮬레이션 환경 구축을 통하여 이러한 문제를 사전에 검토하여 신뢰성을 향상시킬 필요가 있다. 컴퓨터 기술의 발전으로 실시간 시뮬레이터도 점차 고기능화 되고 있으며, 모의 대상이 되는 계통의 규모나 해석 정밀도가 지속적으로 향상되고 있어, 그 사용범위가 점차 확대되고 있다. 특히 실시간 시뮬레이터는 대전력 정격의 장비를 설치하고 시운전하는 작업이 가능하며, 현실적인 전력 수준의 환경에서 전기기기와 같은 실제의 전력 하드웨어를 시험하는 것이 가능하다. 따라서, 본 논문에서는 전기철도의 사고장애 예방 및 전력품질 향상을 모의하기 위한 실시간 시뮬레이션 모델을 개발하고, 활용하는 방안에 대하여 연구하였다.

**주요어** : 리얼타임 디지털 시뮬레이터, 전기철도, HILS, Dommel Algorithm

† 교신저자: 고려대학교 공과대학 전기전자공학과(gjang@korea.ac.kr)

\* 고려대학교 공과대학 전기전자공학과

\*\* 한국철도기술연구원

# 1. 서론

최근 철도 변전소 보호계전기 및 제어설비 등 전자화에 따라 급전 계통의 복합적인 해석이 요구되고 있다. 또한, 전기철도 급전시스템에서 사용되는 전력설비들을 철도급전망에 적용하기 이전에 실제 운영조건에서 검증할 수 있는 시스템이 구축되어 있지 않아, 신제품 현장 적용시 자체 시험성적서만 의존하여 설치 및 운용에 어려움을 발생시키고 있다. 특히 회전기와 주기적인 운전 및 정차를 반복하는 특수한 부하특성으로 인한 고조파 등의 영향으로 통신유도장해, 보호계전기 및 배전용 차단기의 오동작, 공진현상 초래 등 시설물 장애로 인한 열차운행 중단 사례가 빈번히 발생하고 있어 실시간 시뮬레이션 환경 구축을 통하여 이러한 문제를 사전에 검토하여 신뢰성을 향상시킬 필요가 있다. RTDS는 실계통과 유사한 시뮬레이션 환경에서 기기 및 제어기와 같은 하드웨어의 성능 검증이 가능하여 개발 비용과 기간을 단축할 수 있고, 전력 설비의 신뢰도를 향상시킬 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 전기철도의 사고장애 예방 및 전력품질 향상을 모의하기 위한 실시간 시뮬레이션 모델을 개발하고, 활용하는 방안에 대하여 연구하였다.

# 2. 본론

## 2.1 전기철도 급전망

전기철도는 전력공급자로부터 22.9[kV] 또는 154[kV]의 전기를 공급받아 철도 정거장 내에 변전소를 건설하고 변압기를 통해 6.6[kV] 또는 22.9[kV]로 강압하고 각 정거장 전기실에 전기를 공급하여 일반전기설비에 사용하는 계통과 교류를 직류 1,500[V]로 변환하여 전동차에 공급하는 계통으로 구성된다. 다음 Fig 1은 전기철도의 전력시스템을 나타낸 그림이다.

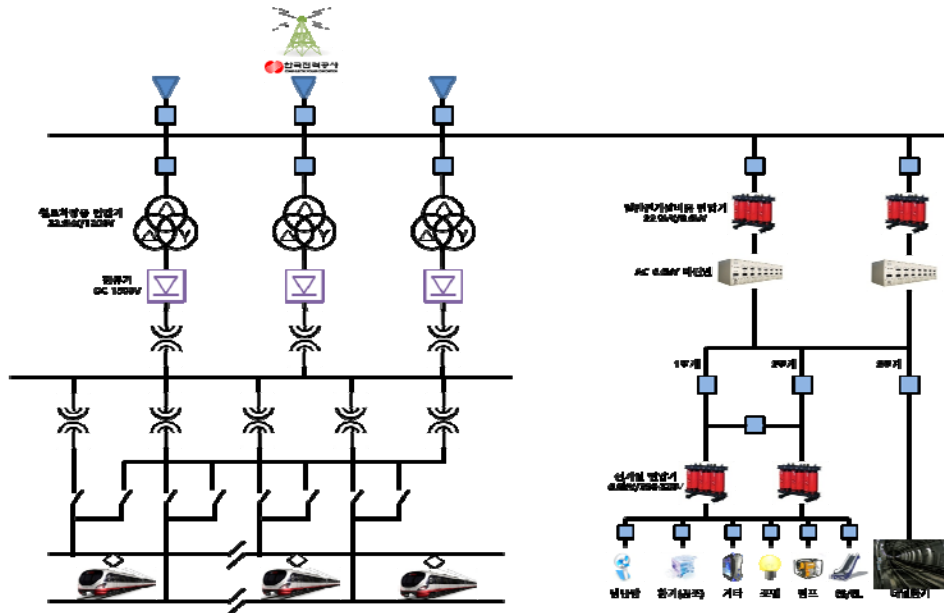


Fig. 1 Electrical Railway Power System

### 2.1.1 전차선 급전용 전력공급 계통

전차선 급전용 전력공급계통은 전력공급자로부터 교류 전력 22.9[kV]를 공급받아 변압기에서 1,200[V]로 변압하고, 정류기로 직류 1,500[V]로 변환하여 전차선에 전력을 공급한다. 전력공급자로부터 수전된 교류 전기를 직류로 바꾸어 전차선에 공급하는 직류 변성 설비는 다이오드방식과 사이리스터 방식이 있다.

### 2.1.2 고압 배전용 전력공급 계통

고압 배전용 전력은 교류 6.6[kV]를 공급하여 각 전기실에서 저압으로 강압하여 공급하며 부하 별로 1, 2, 3호계로 구분한다. 1, 2호계는 정거장과 터널 내 조명, 동력, 신호, 통신 등에 전력을 공급하고, 3호계는 냉동기 및 터널 환기 부하에 전력을 공급한다.

## 2.2 Real Time Digital Simulator

### 2.2.1 HILS(Hardware In-the Loop Simulation)

최근 고가의 실험 비용과 장소 등의 제약을 받는 다양한 공학분야에서는 실시간 디지털 시뮬레이터에 플랜트를 실제와 동일한 조건으로 모델링하고, 검증하고자 하는 제어기 또는 설비를 실제 하드웨어로 구성하여 테스트하는 HILS 기법이 점차 활용되고 있다. 이는 실제 하드웨어로 구성된 시스템을 실시간 디지털 시뮬레이터에 연결하여 실제 신호를 주고받으며 시뮬레이션하기 때문에 컴퓨터 시뮬레이션 결과보다 실제와 유사한 결과를 얻을 수 있어 신뢰도가 높은 실험결과를 얻을 수 있고, 다양한 시나리오를 쉽게 모의할 수 있어 비용과 시간을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.

### 2.2.2 Dommel Algorithm

RTDS의 RSCAD는 일반적으로 복잡한 전력계통의 연구를 위해 개발된 전자기 과도 상태 해석용 소프트웨어의 계산 알고리즘인 Dommel 알고리즘을 사용한다. Dommel 알고리즘은 전력시스템의 구성요소들(전압원, 변압기, 전송라인, 발전기 등)은 전류원과 저항으로 등가화시켜 나타낼 수 있으며, 인덕터와 커패시터와 같은 수도 소자는 컨덕턴스와 병렬 연결된 전류 소스로 모델링 될 수 있다.

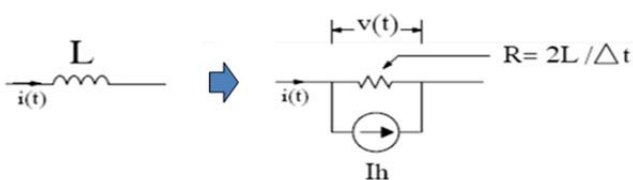


Fig. 2 인덕터의 등가회로

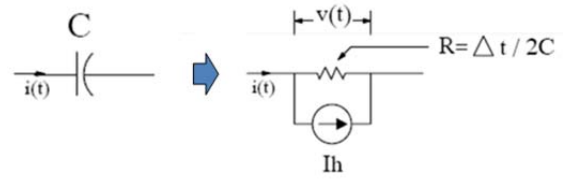


Fig. 3 커패시터의 등가회로

$$v_L(t) = L \times \frac{di(t)}{dt} \quad (1)$$

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int v(t) dt \quad (2)$$

$$v_C(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt \quad (3)$$

$$i_C(t) = C \times \frac{dv(t)}{dt} \quad (4)$$

또한, 변압기, 전송선 그리고 발전기와 같은 복잡한 모델 또한 일반적으로 전류 소스와 병렬 연결된 컨덕턴스로 모델링 할 수 있다. 모든 회로의 모든 요소는 컨덕턴스와 병렬 연결된 전류 소스로 변환 할 수 있고, KCL은 회로 내의 각 노드와 아래 식 (5)와 같은 형태로 변환할 수 있다.

$$[V] = [G]^{-1}[I] \quad (5)$$

## 2.3 전기철도 급전망 RTDS 시뮬레이션 모델

### 2.3.1 RTDS 시뮬레이션 모델

Fig 4는 시뮬레이션 모델을 구성하기 위한 철도 DC 급전시스템 간략도를 나타낸다.

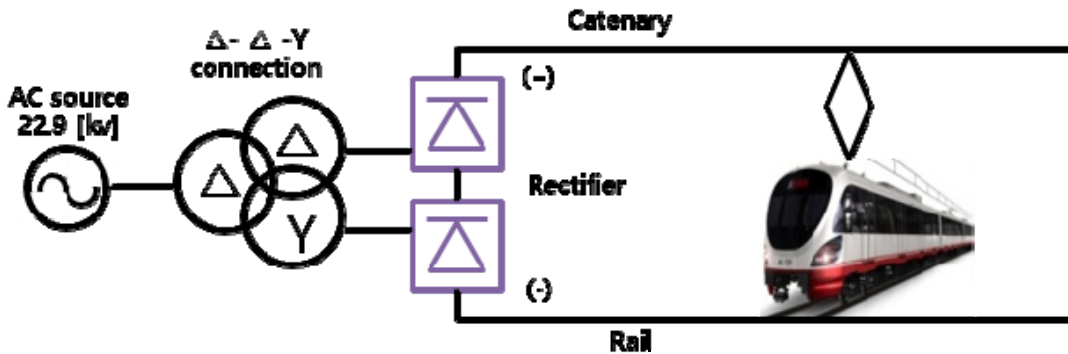


Fig. 4 철도 DC 급전시스템 간략도

또한, Fig 5와 Fig 6은 RTDS를 이용하여 철도 DC 급전설비 모델이다. Fig 5는 AC 소스와  $\Delta$ - $\Delta$ -Y 결선 변압기와 12펄스 정류기를 나타낸 그림이고, Fig 6은 레일의 저항, 레일의 대지 컨덕턴스, 특성저항 등을 모델링한 그림이다. RTDS는 다수의 프로세서 카드를 연결하여 실시간으로 시뮬레이션을 하는 장비로 노드 수가 증가함에 따라 프로세서 카드의 사용량이 증가하게 된다. 또한, RTDS는 다이오드나 GTO, IGBT 등의 스위칭 소자를 사용할 경우 Large Time Step 영역과 Small Time Step 영역으로 구분하여 시뮬레이션 모델을 구성하여야 한다. 따라서, RTDS를 이용하여 모델을 구성할 경우, 프로세서 할당이 중요한 요소 중에 하나이다. 본 논문에서는 Bridge Box내에 Small Time Step의 시뮬레이션 모델을 구성함에 있어 소자

사용의 개수 및 노드 수의 제약으로 인하여 프로세서 카드 2장을 이용하여 구성하였으며, 프로세서 간의 연결은 T-Line을 이용하여 구성하였다.

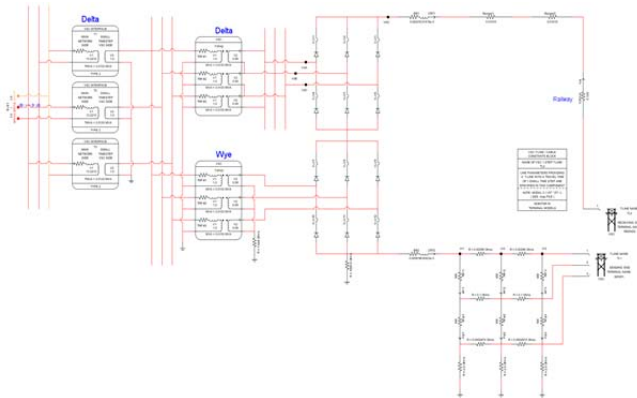


Fig. 5 RTDS 구성 (1)

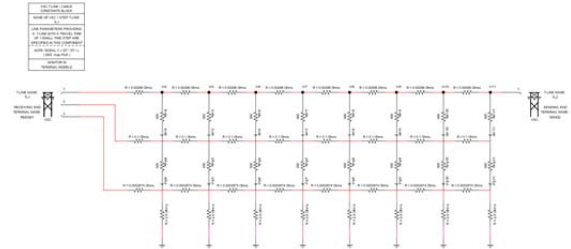


Fig. 6 RTDS 구성 (2)

### 2.3.2 시뮬레이션 모델 결과

앞선 시뮬레이션 모델을 이용하여 RTDS를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. Fig 7은 DC 라인의 전압과 전류, 열차 부하의 전압과 전류를 나타낸 파형이다. 또한, Fig 8은 레일 전위를 확인한 파형이다. 확인 결과 설계된 값에 맞게 정상 동작하는 것을 확인하였다.

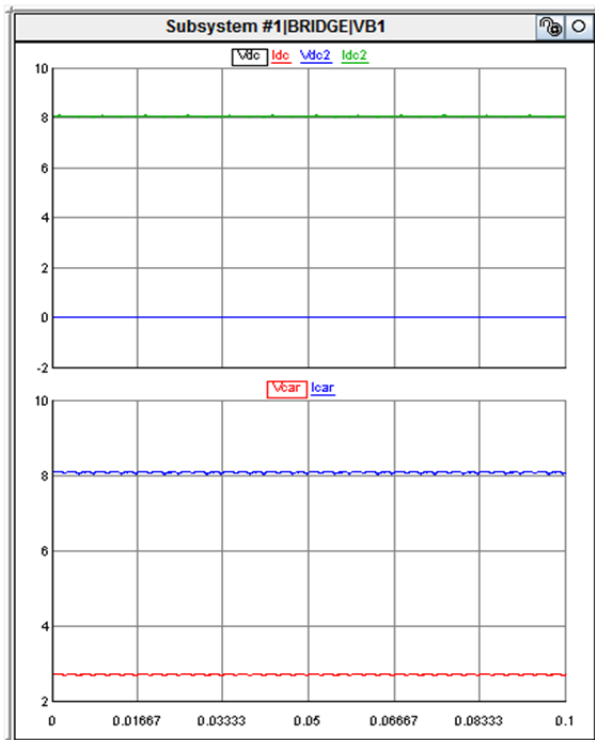


Fig. 7 RTDS 시뮬레이션 결과(DC)

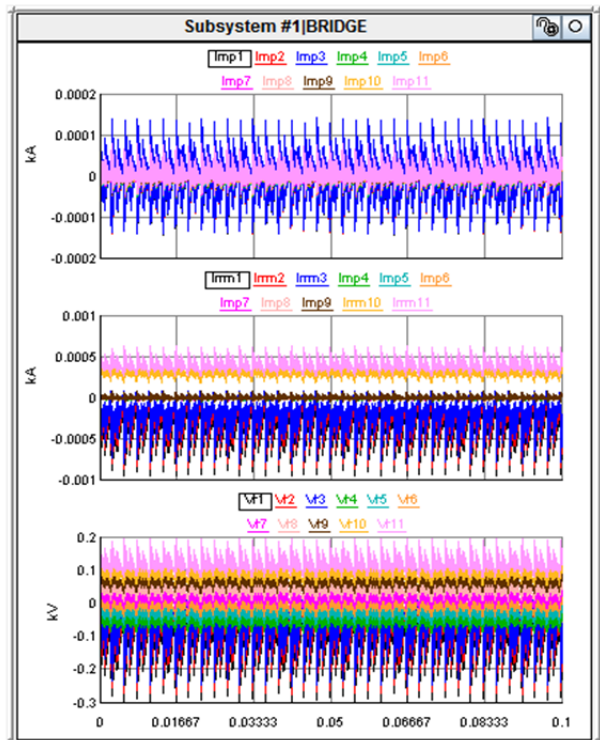


Fig. 8 RTDS 시뮬레이션 결과(레일전위)

### 3. 결 론

본 논문에서는 전기철도의 사고·장애 예방 및 전력 품질 향상을 모의하기 위해 RTDS를 이용한 실시간 시뮬레이션 모델을 개발하여 정상 동작을 확인하였다. 전력 분야의 특성상 전력기기들은 실제 계통에 연계하여 발생할 수 있는 다양한 형태·조건에 따른 테스트를 하는 것이 아닌 기기 자체의 성능에 관한 평가를 통해 계통에 연계하여 사용하게 된다. 이로 인해, 실제 계통에 연계하였을 때 예측할 수 없는 고장 및 사고시 정상회복까지의 시간 지연을 발생시키고 있으며, 이로 인해 운영 및 관리에 많은 어려움이 따른다. 특히 철도 분야의 경우 열차가 기동과 정차를 반복하는 특수 부하의 성격상 전력 기기에 대한 부담이 여타의 전력 기기에 비해 크며, 철도 전력계통분야에 대한 투자 및 연구개발은 소규모로 진행됨에 따라 전력분야 사고·장애시 명확한 원인 확인이 어려우며, 차량이나 시설물 등에 대한 현장 시험도 어려워 재발방지 대책이 미흡한 실정이다. 따라서, RTDS와 같은 실시간 시뮬레이션 환경을 구성하는 것이 필요하며, 이를 활용해 실제 계통 환경에서의 전력기기들의 다양한 사고 모의가 가능하여 전력 설비에 대한 신뢰성 확보가 가능할 것이다.

### 후 기

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2013R1A2A2A01067762)

### 참고문헌

- [1] 민명환, 정호성, 박영, 김형철, 신명철 (2011), 직류급전계통에서의 레일전위 상승 분석 및 억제 방안 연구, *전기학회논문지*, 60(3), pp. 680-685.
- [2] 민명환, 정호성, 박영, 창상훈, 신명철 (2012), 직류급전계통에서 레일전위상승제한장치의 동작제어기법, *전기학회논문지*, 61(3), pp.485-490.
- [3] RTDS Technologies (2012), *VSC Small Time-Step Modeling*, RTDS Technologies, Canada Manitoba, pp.1.1-10.40
- [4] RTDS Technologies (2009), *RTDS Hardware Manual*, RTDS Technologies, Canada Manitoba, pp.1.1-14.17