

연장급전 전압강하 계산을 위한 전기철도 급전 시뮬레이터의 검증에 관한 연구

A Study on Verification of PowerRail based on Voltage Drop under Extended Feeding Condition

김 주 락*
(Joorak Kim)

Abstract - The power flow analysis of electrified railway is required complicated calculation, because of variable load. Train runs trough rail supplied by electric power therefore, the load value in electrified railway system fluctuates along time. The power flow algorithm in electrified railway system is different from general power system, and the power flow simulation is performed by the particular simulation software.

Powerail is simulation software for analysis of traction power supply system developed by KRRI, in 2008. This consists of load forecasting module, including TPS and time scheduling, and power flow module. This software was verified by measured current under normal feeding condition, however, has not been verified by voltage on the condition of extended feeding. This paper presents the verification of PowerRail based on voltage drop under extended feeding condition. This is performed by comparing simulation result with field test. Field test and simulation is done in commercial railway line.

Key Words : Electrified railway system, Power flow, Simulation, Field test

1. 서 론

전기철도 급전시스템은 철도차량에 견인 전력을 공급하는 일련의 시스템을 말한다. 철도 전용 발전이 어렵기에 한국전력으로 부터 3상 전력을 수전하고, 단상으로 변환하여 철도차량에 전달하고 있다. 수전부 이후의 전력공급 흐름은 주변압기, 단권변압기, 전차선로 등으로 구성된다. 이러한 급전시스템을 해석을 위해서는 전력공급에 관련된 모든 설비들의 회로 모델이 필요하다. 즉, 전원, 선로 임피던스 및 부하로 각 설비들을 모델링하여 조류 계산을 통해 해석이 이루어져야 한다. 이중 부하는 철도차량이 해당된다. 하지만 철도차량은 전원 및 전차선로와 달리 고정설비가 아닌 이동하는 부하로서 조류 계산시 매 time step 마다 부하 크기 및 위치에 대한 정보를 가지고 있어야 한다. 조류 계산 이전에 부하산정을 위한 열차주행시뮬레이션(TPS; train performance simulation)과 열차운행다이아그램 두 개의 계산 절차가 필요하다. 이와 같이 조류 계산 뿐 아니라 열차의 주행성능 예측까지 필요한 급전시스템의 해석은 수계산으로는 결과의 정확성을 담보할 수 없어, 정교한 컴퓨터 시뮬레이션이 필요하다.

일반 전력계통에서는 PSS/E, EMTP 등 이미 정확도가 검증

되어 상용화된 프로그램들이 많지만 철도 분야에서는 세계적으로 검증받아 상용화된 프로그램은 찾아보기 힘든 실정이다. 각 나라 별로 시스템의 구성에 차이가 있어 일반화된 상용화가 어려운 것이 이유 중 하나이다. 따라서 철도 운영사 또는 설계사에서 자체적으로 개발한 프로그램을 사용하는 경우가 많다[1-4]. 우리나라도 1990년 후반부터 시뮬레이션에 의한 급전시스템의 설계가 보편화되었으며, 최근에는 전기철도 급전시뮬레이터(PowerRail)을 이용하여 왔다[5].

한편, 급전시스템에서 전력공급 능력의 평가는 주로 전압강하로 한다. IEC60850에서는 급전시스템의 종류별 전압강하 한계를 규정하고 있고, 우리나라도 이를 준수하여 전력공급 특성을 평가하고 있다[6]. 또한 급전시스템은 방사상 구조가 아닌 단일 전원의 수직 구조이기 때문에 변전소 고장에 대비하여 연장급전을 시행하고 있다. 연장급전은 정상급전에 비하여 급전거리 및 부하가 약 2배로 확대되어 최대 부하 조건이 된다. 따라서 급전시스템의 전력공급 능력을 평가하기 위해서는 연장급전 조건의 전압강하 계산 결과가 필수적이다.

이상과 같이 급전시스템의 전압강하 해석은 철도의 건설 및 운영에 매우 중요한 요소이기 때문에 그 예측 계산 결과가 매우 정확해야 적절한 용량의 전철변전소를 건설할 수 있고, 전력공급 한계를 고려한 열차 시격을 산정할 수 있다. 현재까지 전기철도 급전시뮬레이터의 정확성 검증은 정상급전 조건에서의 전차선 전류를 실측하여 계산값과 비교하는 방법으로 평가되어 왔다[7]. 그러나 본 논문에서는 급전시스템 해석에서 가장 중요한 요소인

* Corresponding Author : Metropolitan Transit System Research Division, Korea Railroad Research Institute, Korea.

E-mail: jrkim@krii.re.kr

Received : October 15, 2014; Accepted : December 16, 2014

연장급전 조건에서의 전압강하 예측 계산 결과를 바탕으로 현장 측정 결과와의 비교를 통해 시뮬레이션 프로그램의 신뢰성을 검토하고자 한다. 특히, 연장급전 조건에서의 측정은 사고의 위험에도 불구하고 영업운전 중인 노선에서 시행하여 다양한 열차 운행에 의한 부하 조건을 최대한 반영하고자 한다.

2. 급전시스템의 운용 및 해석

2.1 급전시스템의 운용

급전시스템은 철도차량에 안정적인 전력을 공급하는 것이 목적이기 때문에 급전시스템의 운영시 고장에 대비할 수 있도록 설계 및 운영되고 있다. 특히, 한전 변전소 또는 전철변전소의 고장에 대비하여 연장급전 방식을 채택하고 있다. 따라서 정상급전 또는 연장급전의 급전시스템의 운용 조건에 따라 그 해석이 모두 필요하다.

2.1.1 정상급전

급전시스템의 운용 방법 중 정상급전은 어떠한 고장도 발생하지 않았을 때 운영하는 방식으로 그림 1과 같다. 정상급전 조건에서 급전구간은 전철변전소로부터 양방향(M상 및 T상) 급전구분소(SP ; sectioning post)까지 이다. 전철변전소의 평균 급전거리는 편상 기준 약 25km이므로, 약 50km 거리에 전력을 공급한다. 급전 구간에는 다양한 열차가 진입하여 전력을 공급 받게 된다.

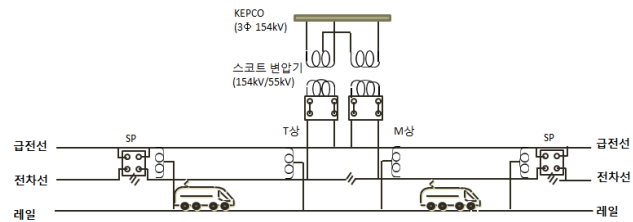


그림 1 급전시스템의 정상급전 조건시 전력공급구간
Fig. 1 Power supply section under normal condition

2.1.2 연장급전

전철변전소에 어떠한 고장이 발생하여 담당하는 급전구간에 전력을 공급할 수 없을 경우, 인근 전철변전소로부터 공급받아야 한다. 그림 2는 연장급전 조건의 급전시스템 운영을 보인 것이다. 그림과 같이 우측 전철변전소에 고장이 발생하면, 두 전철변전소 사이의 SP에서 차단기를 닫아 연장급전이 시행하게 된다. 이때 두 변전소를 공급S/S, 수급S/S로 부른다. 이때, 공급S/S의 전력공급은 정상급전과 비교하여 약 2배의 급전거리 및 부하에 전력을 공급해야 하기 때문에 전압도 2배 이상으로 낮아진다.

급전시스템의 운영 방법에 따라 계통 구성이 달라지고, 공급해야 할 부하도 달라지기 때문에, 해석도 서로 다르게 해야 한다. 물론 급전시스템을 구성하는 각 설비(변압기, 전차선로, 차량 등)들

의 수학적 모델은 동일하지만 해석 모델의 구성과 열차 부하는 달라 서로 다른 해석이 된다. 이때, 정상급전보다 가혹한 공급 조건인 연장급전은 급전시스템의 설계 혹은 운영시 전압강하 해석을 통한 급전시스템 안정성 판단에 가장 중요한 조건이 된다. 정상급전 조건의 급전시스템 해석보다 연장급전 조건의 해석 결과를 통해 전철변전소 용량의 적정성 판단이 이루어지기 때문이다.

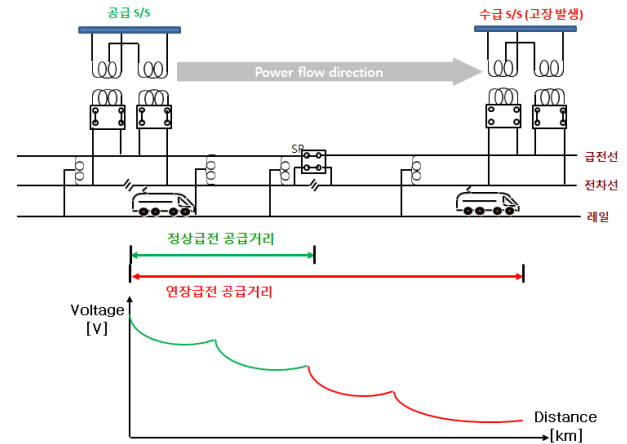


그림 2 급전시스템의 연장급전 조건시 전력공급구간
Fig. 2 Power supply section under extended feeding condition

2.2 급전시스템의 해석

급전시스템의 해석은 기술하였듯이 시시각각 변화하는 철도차량의 위치 및 소비전력에 따라 해석이 이루어져야 하기 때문에 일반적인 조류계산과는 차별성이 있다. 특히, 시간별 부하의 위치와 크기를 조류계산 이전에 산정하여야 한다. 따라서 급전시스템의 해석은 다음과 같이 여러 단계가 필요하다.

2.2.1 해석 구조 및 알고리즘

교류 전기철도 급전시스템은 한국전력의 3상 전력을 수전받아 스코트 변압기를 통하여 2개의 단상 55kV 전력으로 변환한 후 단권변압기를 통하여 27.5kV의 전력을 열차에 공급한다. 따라서 교류 급전시스템의 해석을 위해서는 전력공급에 기여하는 고정설비(상전원설비, 스코트 변압기, 전차선로 및 단권변압기 등)들의 회로 모델과 공급된 전력을 소비하는 열차의 회로 모델이 필요하다. 열차의 회로 모델은 시간에 따라 그 값이 달라지기 때문에 열차 위치 및 소비전력 해석을 위한 열차주행시뮬레이션과 열차 운행다이어그램을 통해 모델링 된다. 이 후, 조류계산을 통해 급전시스템의 해석 결과를 도출할 수 있다. 그림 3은 급전시스템 해석의 전 과정을 보인 것이다[5].

2.2.2 급전시스템 시뮬레이터

복잡한 과정의 급전시스템의 해석은 수계산에 의한 해석은 매

우 어렵고 정확도도 떨어진다. 따라서 전산모형에 의한 시뮬레이터가 필요하지만, 국내에는 상용화된 시뮬레이터는 그림 4의 '전기철도 급전 시뮬레이터(PowerRail)'가 유일하다.

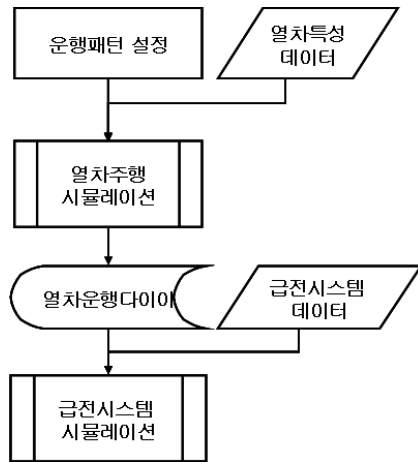


그림 3 통합형 시뮬레이터의 계산 절차
Fig. 3 Flow of Integrated simulator

이 시뮬레이터는 그림 3과 같은 구조로 2009년에 개발되었다 [5]. 시뮬레이터의 정확도는 정상급전에서 전철변전소의 부하 전류를 통해 검증하였으나, 급전시스템 용량의 적정성은 연장급전 조건에서의 전압강하로 판단하기 때문에 정확도 재검증이 필요하다. 본 논문에서는 기존 검증과 차별하여, 연장급전 조건에서의 시뮬레이터 정확도를 판단한다.

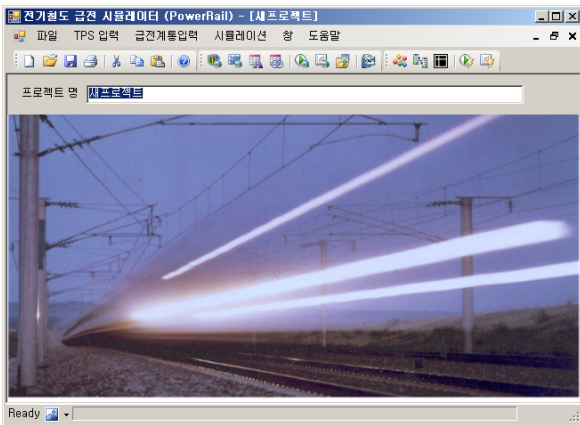


그림 4 Powerrail 시뮬레이터
Fig. 4 Powerrail simulator

3. 전기철도 급전 시뮬레이터의 정확도 검증

본 논문에서는 기존 개발된 전기철도 급전 시뮬레이터의 정확성을 연장급전 조건의 전압강하를 중심으로 검증하고자 한다. 정확도 검증은 전철변전소의 고장을 상정하여 연장급전 조건으로,

동일한 급전구간을 대상으로 한다. 이러한 조건에서 앞서 설명한 PowerRail 시뮬레이터의 결과와 연장급전 실측 결과를 상호 비교하여 시뮬레이터의 정확성을 검증하고자 한다.

3.1 대상시스템

연장급전 계통 조건에서 전압강하를 중심으로 한 전기철도 급전 시뮬레이터의 정확성 검증하기 위해 그림 5와 같은 대상시스템을 선정한다. 그림 5의 계통에서 전기철도 급전 시뮬레이터의 계산 결과와 실측의 상호 비교를 하여 계산 결과의 정확성을 확인하고자 한다.

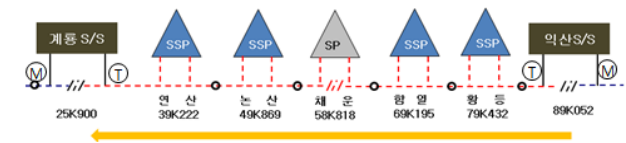


그림 5 시뮬레이션 및 실측 대상 급전시스템
Fig. 5 System for simulation and field test

이 구간은 호남선 계룡S/S~익산S/S으로, KTX, 새마을, 무궁화, 화물 등 다양한 철도 차량이 운행한다. 여러 종류의 열차가 운행할 때에는 다양한 TPS가 필요하고, 열차간 속도차이로 인한 운행다이아그램의 복잡성 등 시뮬레이션을 위한 부하산정이 가장 복잡한 경우이다. 이때, 열차 운행계획은 코레일 시간표(2011년 기준)로 그림 6과 같이 운행다이아그램을 구성하였다.

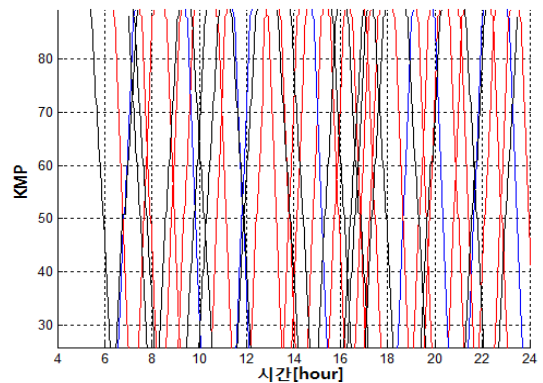


그림 6 대상 급전시스템 구간 운행다이아그램
Fig. 6 Diagram of train schedule for case system

연장급전 조건의 시뮬레이션 및 측정은 표 1과 같은 두 가지 계통 구성으로 한다. 급전시스템의 설계시 연장급전 조건의 전압강하를 검토하여 용량을 산정하지만, 수송수요의 변화에 따라 설계시 부하와 운영시 부하와 차이가 발생할 수 있다. 이러한 경우에는 예비용 주변압기를 병렬 운전하여 계통 인피던스를 낮추고 전압강하를 방지하게 된다. 따라서 본 논문에서도 연장급전시의 급전시스템 구성을 실제 운영과 동일하게 상정하여 시뮬레이션 및 실측을 한다.

3.2 연장급전 조건의 급전시스템 시뮬레이션

위와 같은 시스템을 대상으로 연장급전 조건의 급전시스템 시뮬레이션을 한 결과는 그림 7~ 그림 10과 같다. 익산S/S에서 계통S/S로의 연장급전은 익산S/S T상에서 이루어지기 때문에 M상의 결과는 생략한다. 그림 7과 8은 주변압기 단독 운전의 경우 전철변전소의 공급전압과 열차의 전압의 최소값을 나타낸 것이다. 그림 9와 10은 그림 7 및 8과 동일한 환경에서 주변압기만 2대로 병렬 운전한 경우의 시뮬레이션 결과이다.

표 1 연장급전 전압강하 측정을 위한 계통 운영

Table 1 System operation for field test

구분	주변압기 운전 조건	급전 구간
익산 S/S	단독운전(1대) 병렬운전(2대)	T상 : 익산SS~계룡SS M상 : 익산SS~신태인SP

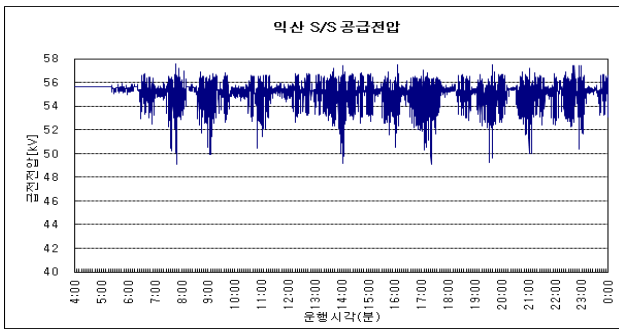


그림 7 주변압기 1Bank 연장급전 시뮬레이션 결과(공급전압)
Fig. 7 Simulation results as system voltage for single M.Tr.

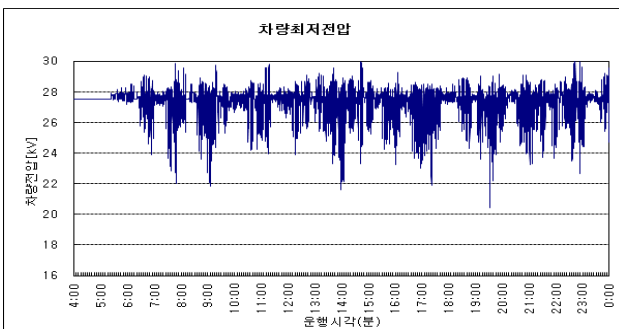


그림 8 주변압기 1Bank 연장급전 시뮬레이션 결과(차량전압)
Fig. 8 Simulation results as train voltage for single M.Tr.

표 2는 익산S/S의 T상 연장급전에 따른 전압강하 계산을 위한 시뮬레이션 결과를 요약하여 보인 것이다. 그림 7 및 8에 보인 단독운전 시뮬레이션의 경우 공급전압은 최대 57.60[kV], 최소 49.18[kV]로 계산되었다. 열차 집전전압의 경우 최대 30.02[kV],

최소 22.17[kV]로 계산되어 정격전압 25[kV] 기준으로 11.32%의 전압강하율을 보였다.

이와 같은 전압강하의 원인은 그림 11의 열차 운행 다이어그램을 통해 분석할 수 있다. 최저 집전전압 시점이 그림의 붉은 점선 부분은 약 5초로 3개의 열차들이 계룡 전철변전소 인근에서 운행하고 있으며, 2개의 열차가 익산 전철변전소와 함열SSP 사이에서 운행 중이다. 연장급전 구간에 총 5대의 열차가 진입하였고, 특히 연장급전 계통의 최대 임피던스 지점인 계룡S/S와 익산SSP 사이에 3대의 열차가 견인함으로써 최대 전압강하가 발생한 것으로 판단된다

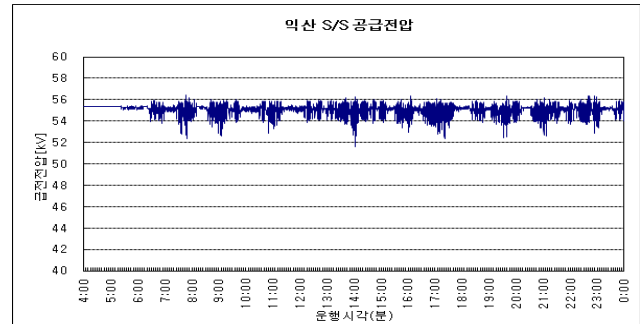


그림 9 주변압기 2Bank 연장급전 시뮬레이션 결과(공급전압)
Fig. 9 Simulation results as system voltage for double M.Tr.

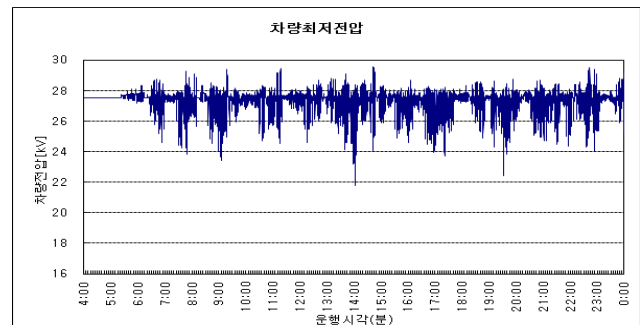


그림 10 주변압기 2Bank 연장급전 시뮬레이션 결과(차량전압)
Fig. 10 Simulation results as train voltage for double M.Tr.

표 2 익산~계룡구간 시뮬레이션 결과 (M.Tr. 단독운전)

Table 2 System operation for field test

변압기 운전	공급전압 [kV]		열차 집전 전압 [kV]	
	최대	최소	최대	최소
단독운전	57.60	49.18	30.02	22.50
병렬운전	56.41	51.56	29.56	22.17

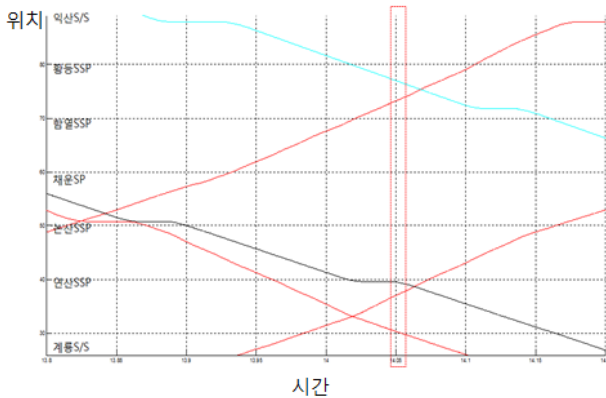


그림 11 최저 전압 시점의 열차 운행 다이어그램
Fig. 11 Train schedule on lowest train voltage

3.3 연장급전 조건의 급전시스템 실측

3.3.1 측정 방법

연장급전 조건의 전압강하 측정을 위해서는 연장급전 계통의 조치가 필요하다. 계통 구성이 완료되면 그림 12와 같이 전력분석기를 설치한다. 이 때 공급 및 수급 전철변전소에 각 1대, 급전구분소에 1대로 총 3개의 전력분석기를 이용하였다. 이때, 전력분석기들의 GPS를 이용하여 시간을 동기화 한다.

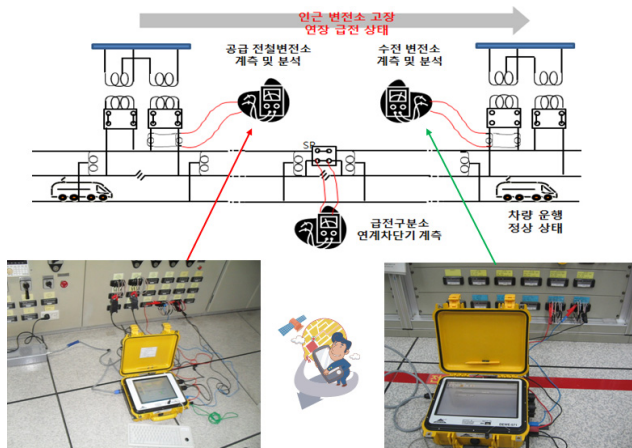


그림 12 연장급전 현장측정 방법
Fig. 12 Voltage test under extended feeding condition

3.3.2 측정 결과

표 3은 3개소에서 측정한 전압 중 전압강하가 많이 발생한 시점의 전압을 보인 것이다. 최대 전압의 경우 각 개소별로 큰 차이가 없이 동일하게 유지되고 있다. 그 이유는 공급 전철변전소로 회생 전력이 유입되는 시점에서 전차선로에 위치한 어떤 차도 견

인전력을 사용하고 있지 않기 때문이다.

최저 전압의 경우, 공급변전소 대비 수급변전소의 전압이 약 51.66-44.58=7.08[kV] 정도 떨어진 것을 볼 수 있다. 이것은 역시 해당 급전구간에 진입한 열차의 부하에 의한 것이다. 이 최저 전압을 전차선과 레일사이의 값으로 예상하면 약 22[kV]이다. 이 때, 공급 및 수급변전소의 전압은 주변압기 2차측에서 측정한 것으로, 주변압기의 임피던스에서 전압강하가 반영된 값이다.

표 3 연장급전 전압강하 측정 결과

Table 3 Test results of voltage drop under extended feeding condition

시간	전압 [kV]		
	공급변전소	구분소	수급변전소
07:57:50	49.83(24.915)	47.40(23.7)	46.88(23.44)
13:37:51	51.66(25.83)	48.63(24.315)	44.58(22.29)

본 구간의 연장급전 조건 전압강하 측정 결과를 주변압기 운전 형태에 따라 분류하여 그래프로 나타낸 것이 그림 13이다. 그림에 나타난 ①과 ②는 각각 주변압기 투입 대수를 의미한다. 즉, 오전 10:00 이전의 데이터는 주변압기 단독 운전 결과이고, 그 이후는 주변압기 2대에 의한 병렬 운전 결과이다.

그림에서 보듯이 계룡 전철변전소의 연장급전 시험에서 전압 강하는 표 3에서 보인 것과 같이 두 시간대에서 나타났다. 두 개의 중부하 시간대중 07:57의 결과는 주변압기 단독 운전 조건이며, 13:37의 전압강하는 주변압기 2대 병렬 운전 조건에서 나타났다. 즉, 주변압기 병렬운전에도 연장급전 구간에 진입한 열차 대수 및 그 부하 크기가 커 단독운전 조건보다 전압강하는 크게 발생하였다.

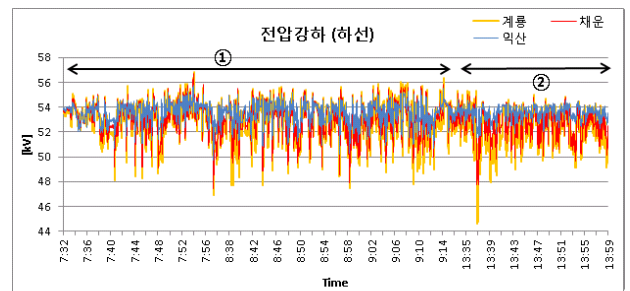


그림 13 연장급전 조건의 전압강하 측정 결과
Fig. 13 Test results under extended feeding condition

3.4 시뮬레이션 및 측정 결과 비교

본 논문에서는 급전시스템의 설계가 연장급전 조건에서 이루어지기 때문에 ‘PowerRail’ 프로그램의 신뢰성을 연장급전 조건에서 전압강하를 중심으로 하여 그 신뢰성을 검토하고자 한다. 시뮬레이션의 신뢰성이란 계산 정확도를 판단하기 위한 오차율로서 나타내는 것이 일반적이다. 물론, 오차란 현장 실측에 의한 결

과를 기준으로 한다. 다음 식은 오차율의 계산식을 나타낸다. 여기서, 기준값이란 현장 측정에서 얻은 것을 말한다.

$$\text{오차율} = \frac{|\text{기준값} - \text{계산값}|}{\text{기준값}} \times 100\% \quad (1)$$

위 식을 통해 'PowerRail'의 오차율을 분석하기 위해서는 가장 먼저 측정값과 시뮬레이션 값을 각각 확보해야한다. 이를 위해 본 연구에서는 연장급전 측정 대상구간으로 선정된 익산S/S~계룡S/S 구간의 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 이용하였다. 시뮬레이션의 오차율 분석은 전압을 기준으로 하며, 특히, 계통의 최대 전압강하 시점에서의 값을 서로 비교하였다. 더불어, 연장급전 전압강하 대책의 일환으로 시행한 주변압기 2Bank 병렬 운전 조건도 함께 비교 분석하고자 한다.

표 4는 호남선 익산~계룡 연장급전 구간에서 측정 및 예측 계산한 결과를 나타낸 것이다. 두 값의 오차를 위에서 제시한 오차율 식에 대입해보면 주변압기 1Bank 운전 조건에서는 오차율이 4.01%로 나타났고, 2Bank 운전 조건에서는 0.53%로 계산되었다. 공학 시뮬레이션에서는 5%를 최대 오차 범위로 하는 것이 일반적이기 때문에 'PowerRail'의 신뢰성은 허용 수준에 있는 것으로 판단된다. 또한, 최대 부하를 공급한 시점인 2Bank 운전 조건에서의 예측은 매우 신뢰도 높은 것으로 나타났다.

표 4 시뮬레이션 결과의 오차율

Table 4 Error between simulation and test results

주변압기 운전 조건	예측 전압 [kV]	측정 전압 [kV]	오차율 [%]
1Bank	22.50	23.44	4.01
2Bank	22.17	22.29	0.53

그림 14와 그림 15는 측정 및 시뮬레이션 대상 시간 동안의 전체 전압 특성을 보인 것이다. 그림의 원내의 전압을 서로 비교하여 오차율을 계산한 것이다.

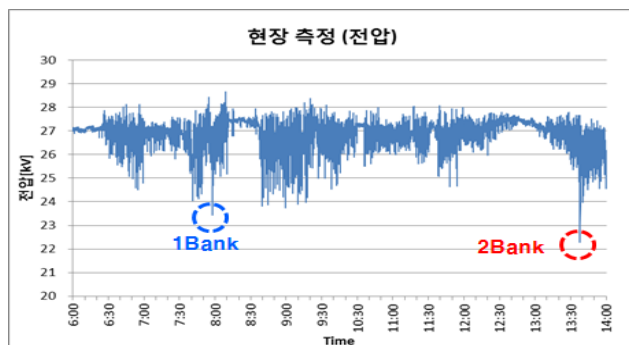


그림 14 전압강하 측정 결과

Fig. 14 Test results of voltage drop

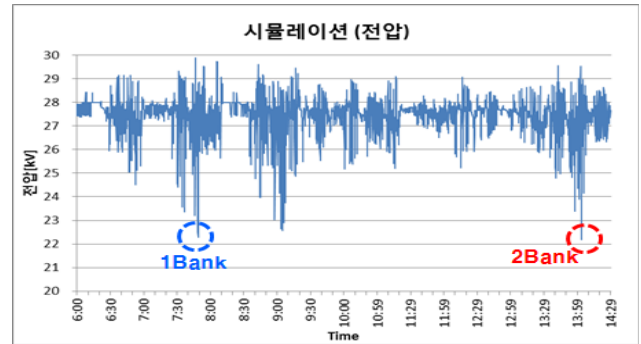


그림 15 전압강하 시뮬레이션 결과

Fig. 15 Simulation results of voltage drop

4. 결 론

본 논문에서는 급전시스템의 전기적 해석을 위한 시뮬레이션 프로그램의 정확성 검증 결과를 제시하였다. 제안한 방법은 급전시스템의 연장급전 조건에서의 전압강하를 예측 계산 및 현장 측정 결과와의 비교이다.

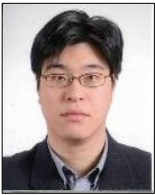
해석과 현장측정 결과의 현실성 있는 비교 검토를 위해 대상 시스템으로 상업 운전중인 선로의 두 전철변전소를 선정하여, 전철변전소, 전차선로 및 열차 운행 스케줄 등 현장 데이터를 적용하였다. 취득한 데이터를 이용하여 두 전철변전소간 연장급전 조건으로 전압강하를 계산하였으며, 현장 측정을 정밀하게 시행하여 두 결과를 비교 검증하였다. 또한 연장급전시 전압강하 대책으로 가장 먼저 고려되고 있는 예비용 주변압기 투입을 통한 병렬 운전 조건도 함께 고려하였다. 그 결과 매우 정밀한 결과를 얻었으며, 오차율은 최소 0.53%로 나타나 전기철도 급전시뮬레이터의 우수성을 입증하였다. 이러한 결과를 바탕으로 전기철도의 설계 및 운영에 조금 더 정확한 예측 결과를 제공할 수 있으며, 최적 설계 및 열차 스케줄 산정에 도움이 될 것이다.

References

- [1] T. K. Ho, B. H. Mao, Z. Z. Yuang, H. D. Liu, "Computer simulation and modeling in railway applications," Computer Physics Communications, vol. 143, pp. 1-10, 2002.
- [2] D. Yu, K. L. Lo, X. D. Wang, C. G. Yin, D. L. Huang, "Analysis of dynamic MRTS traction power supply system based on dependent train movement simulation", Proceedings of the 2004 ASME/IEEE joint Rail Conf., 2004.
- [3] W. Qingzhu, C. Jianye, H. Zhenhua, Z. Wang, "Real-Time Tracking of Substation's Feeder Current Based on Traction Calculation", Second IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, pp. 777-782, 2007.

- [4] A. Stephan, "OpenPowerNet-Simulation of Railway Power Supply System", IT 08 Rail, 2008.
- [5] J. kim, et. al., "Development of Integrated Simulator for AC Traction Power Supply System", Trans. KIEE. Vol 59., No. 1, pp.76~81, 2010
- [6] IEC60850, 'Railway applications - Supply voltages of traction systems', 2007.
- [7] S. H. Chang, Multi-Port Modeling, Steady State Analysis and Power Quality Assessment in the Electric Railway Power System, Thesis for Doc., Hongik University, 2001.
- [8] S. Chang, K. Oh, J. Kim, and J. H. Kim, "Harmonic Analysis for Traction Power Supply System Using Four-Port Network Model", Trans. KIEE. Vol 51., No. 6, pp.255~316, 2002
- [9] K. Oh, H. Lee, S. Chang, J. H. Kim, "8-Port Network Model for Harmonic Analysis on the Test Track in Seoul-Pusan High-Speed Railway", Trans. KIEE. Vol 51., No. 3, pp.99~106, 2002

저 자 소 개



김 주 락(Joorak Kim)

1974년 3월 22일생. 1997년 흥익대 전자전기공학부 졸업. 1999년 동대학원 전기제어공학과 졸업(공학석사). 2010년 동대학원 전기정보제어공학과 졸업(공학박사). 2000년~현재 한국철도기술연구원 선임연구원

Tel : 031-460-5411

Fax : 031-460-5028

E-mail : jrkim@krri.re.kr