

AT 급전계통 고장 모의시험장치를 활용한 임피던스 계전방식의 성능검증

Performance verification on the Impedance Relay Method using Failure Simulator of AT Feeding System

김 완 일* · 이 계 승** · 정 노 건** · 김 재 문†

(Wan-il Kim · Kye-Seung Lee · No-Geon Jung · Jae-Moon Kim)

Abstract - In this paper, we investigated the impedance method for searching fault detection point in case of an accident in the AC electric railway AT feeding system. For this purpose, simulation circuit modeling and prototype hardware are made based on the known numerical analysis. As a result of simulation modeling of the feeding system based on the numerical analysis of the impedance method confirmed that the modeling was properly implemented with an average error rate of 0.07%. Also, as a result of fault event by hardware simulator, it was confirmed that the breaker operation time is shortened and the fault current is decreased while the voltage is close to the supply voltage in the transient state as the point of the fault accident moves away from the substation(SS).

Key Words : AT Feeding system, Impedance method, Fault locator, Simulator, Numeric analysis

1. 서 론

오늘날 철도시스템은 선박, 항공, 자동차 등 다양한 대중교통 수단 중에서 많은 관심을 받으며 부담 없이 편리하게 이용할 수 있는 교통수단의 중심으로 자리를 잡고 있다. 최근 신기술을 접목한 융복합 연구개발이 철도분야에 지속적으로 이루어지고 있으며, 보다 더 빠른 승객수송을 위한 고속화가 진행되고 있는 추세이다. 국내 철도인 경우 원강선을 비롯한 수도권 광역전철 등 고속전철 운영을 위한 전기철도가 건설되거나 개통되어 운영 중에 있다. 따라서 전기를 동력원으로 하는 급전계통에서는 계통전원에 대한 안정성이 확보되어야 한다. 이와 관련하여 교류전원을 공급하는 AT 급전 계통에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 전기철도에서 급전선(Feeder)이나 전차선(Trolley)이 레일(Rail)과의 지락 사고가 발생하였을 때 신속하고 정확하게 사고 지점을 예측하는 고장점 표정에 관한 연구가 주류를 이루고 있다 [1]. 그러나 실제 철도시스템은 대전력을 사용하므로 현장에서 지락사고에 따른 임피던스 고장점 표정을 구현하고 검증하는데 많은 어려움이 존재한다.

본 논문에서는 교류전기철도에 사용되는 고장점 표정기법중 임피던스(리액턴스) 방식을 사용하여 변전소(SS) - 보조급전구분소(SSP) - 급전구분소(SP) 구간에서 발생하는 지락사고 지점에 대해 기존의 수식적 접근방법과 모의 시뮬레이터를 통한 결과를 비교분석하였다. 시뮬레이터에서의 지락시험은 완전 지락상태이므로 동일지점에서의 접촉저항(R)은 일정하기 때문에 임피던스 또한 일정하다. 따라서 시뮬레이터에서 리액턴스를 배제한 저항 값만의 임피던스를 측정하였다. 이때 거리에 따른 임피던스의 변화추이는 리액턴스의 변화추이와 동일하므로 리액턴스 측정 시험을 대체하였다.

본 논문에서는 고장점 표정을 임피던스 방식에 따른 수치해석으로 임피던스값을 도출하였고 수치해석에 적용된 급전데이터를 프로그램(S/W)을 사용하여 서브시스템별로 모델링을 구현하여 비교분석하였다. 또한 대전력을 사용하는 철도시스템에서는 임피던스(리액턴스) 계전방식에 대해서 시험할 수 없으므로 실제 AT 급전계통을 모의하기 위하여 축소형 AT 급전계통 시뮬레이터(H/W)를 개발하여 수치해석 결과 및 프로그램 모델링에 따른 결과를 비교 검토하였다.

† Corresponding Author : Dept. of Transportation System Engineering, Graduate School of Transportation, Korea National University of Transportation, Korea
E-mail: goldmoon@ut.ac.kr

* Dept. of Transportation System Engineering, Korea National University of Transportation

** Dept. of Railway Vehicle & Operation System Engineering, Korea National University of Transportation, Korea

Received : January 5, 2018; Accepted : January 25, 2018

2. 본 론

2.1 AT 급전방식의 구성

단권변압기(AT)방식은 권수비가 1:1인 단권변압기를 설치하여 급전하는 방식을 의미한다. 전체적인 회로는 그림 1과 같이 한국

전력(KEPCO)에서 교류 3상 154[kV]를 수전 받아 스코트 결선 변압기를 거쳐 M상과 T상의 2조 방면별 이상 급전방식을 갖는다. 변전소에서부터 급전선로를 따라 가선하며 단권변압기는 약 10[km]간격으로 급전선과 전차선 사이에 병렬로 설치하며 권선의 중성점을 레일에 접속하는 방식이다[2]. 그림 1에서 SS는 한 전으로부터 154[kV]를 수전받아 55[kV]로 변성하여 전차선로에 전력을 공급하는 전철변전소이다. SSP는 작업 시 또는 사고 시에 정전구간을 한정하거나 연장급전 할 목적으로 개폐장치를 설치하는 급전보조구분소를 의미한다. SP는 급전구간의 구분과 연장급전을 위하여 개폐장치를 시설한 곳으로 급전구분소라 한다.

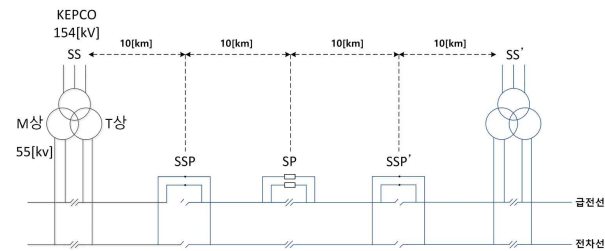


그림 1 AT 방식의 구성도
Fig. 1 Configuration Scheme in AT System

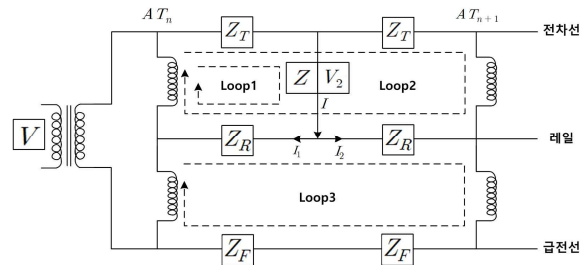


그림 2 AT 급전계통 임피던스 방식
Fig. 2 AT Feeding System Impedance Method

2.2 임피던스 방식의 특성

고장점 표정장치는 급전선이나 전차선에 지락 사고가 발생하였을 때 고장 지점의 거리를 계산하여 예측하는 장치를 의미한다. 이는 사고 복구 시간을 최소화하기 위한 중요한 장치이다[3]. 본 논문에서는 사고 발생 시 변전소에서 사고지점까지의 전압과 전류 및 위상을 측정하고 이를 토대로 임피던스(리액턴스)를 계산하여 거리를 측정하는 방식을 사용하여 고장점 표정을 한다.

임피던스 방식은 교류전기철도의 고장점 표정방식으로 변전소에서 단권변압기(AT)를 바라보았을 때 전압과 전류 및 위상의 값으로 등가선로 임피던스를 구하는 방식이다. 즉, 임피던스가 거리에 비례하는 원리로 고장 위치를 추정하는 방식이다. 그림 2는 AT급전계통에서의 임피던스 방식을 나타냈다. AT 급전회로를 간 이 등가 회로의 loop1~3에서 키르히호프 법칙(Kirchhoff's law)에 의하여 I_1 과 I_2 를 도출하고 단락임피던스를 구한다. 그림 2는 그림 1에 대한 등가회로를 보여준다.

그림 3은 AT_n 과 AT_{n+1} 의 사이에서 지락사고가 발생하였을 때 발생하는 임피던스의 값을 나타내는 특성곡선이다[4].

AT 급전방식은 전차선, 급전선, 레일 및 보호선으로 구분되어 전류분포가 복잡하므로 선로 임피던스를 구하는 것이 어렵다. 따라서 그림 2와 같이 보호선을 무시한 단선 등가회로를 이용하여 등가선로의 loop 1~3을 구하면 다음 식과 같이 정의된다[5].

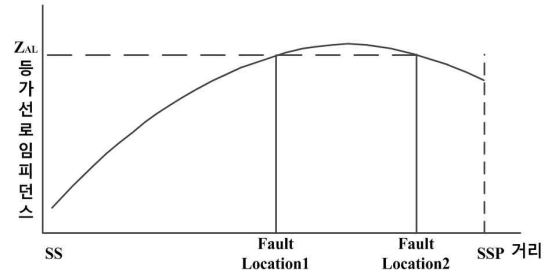


그림 3 임피던스 특성곡선
Fig. 3 Impedance Characteristic Curve

loop1

$$\frac{V}{2} = Z(I_1 + I_2) + Z_{TX}\left(\frac{2I_1 + I_2}{2}\right) + Z_{RX}I_1 \quad (1)$$

loop2

$$\begin{aligned} \frac{V}{2} - \frac{V_2}{2} &= Z_T X \left(\frac{2I_1 + I_2}{2}\right) \\ &- Z_T(D-X)\frac{I_2}{2} + Z_R I_1 - Z_R(D-X)I_2 \end{aligned} \quad (2)$$

loop3

$$\frac{V}{2} - \frac{V_2}{2} = \frac{Z_F D I_2}{2} - Z_R I_1 + Z_R(D-X)I_2 \quad (3)$$

식 (1)~식 (3)에서 I_1 과 I_2 를 구하여 전차선(T)-레일(R)사이 지락되는 경우 선로임피던스 Z_{AL} 는 식 (4)와 같이 정의된다.

$$Z_{AL} = 4Z + 4X(Z_T + Z_R) - \frac{4X^2(Z_T + 2Z_R)^2}{(Z_F + Z_T + 4Z_R)D} \quad (4)$$

여기서, Z 는 사고발생 지점의 단락 임피던스, Z_T 는 전차선 임피던스, Z_F 는 급전선 임피던스, Z_R 는 레일 임피던스, X 는 AT 로부터 고장지점까지의 거리, D 는 AT_n 부터 AT_{n+1} 까지의 거리, $Z_T X$ 는 고장지점까지의 전차선 임피던스, $Z_R X$ 는 고장지점까지의 레일임피던스, V 는 사용전압, V_2 는 사고지점 전압을 나타낸다.

2.3 수치해석에 의한 임피던스 특성

AT 급전계통 현장의 특성 분석을 위한 실험이 필요하지만, 대

전력을 요구하는 철도시스템은 운영 중에 특성 분석을 하는 것은 매우 어려운 현실이다. 따라서 AT 급전계통에서 지락사고가 발생할 경우 임피던스 특성을 확인하기 위해서는 급전계통 데이터가 필요하다.

표 1 급전계통 데이터

Table 1 Feeding system data

Contents		Data
Secondary Voltage of Scctot Transformer		55[kV]
Secondary Voltage of Auto Transformer		27.5[kV]
Impedance [Ω /km]	Trolley	0.61
	Rail	0.539
	Feeder	0.682

표 1은 임피던스값이 0인 이상적인 단권변압기를 사용하였다. 수치해석, 시뮬레이션(PSIM), 하드웨어 실험에 적용된 AT 급전계통의 파라미터로 임피던스인 경우 경부선 고속전철 구간의 증가 임피던스를 나타낸다.

키르히호프 법칙으로 도출한 등가 선로임피던스 수식을 바탕으로 변전소와 보조급전구분소의 간격 10[km] 구간에서 임의로 지락사고를 발생했다고 가정하고 식 (4)에 대입하여 임피던스 값을 도출하였다.

표 2 수치해석에 따른 계산 값

Table 2 Value of numeric analysis

Length [km]	Voltage [V]	Current [A]	Current ($I_{out} + I_{feed}$) [A]	Impedance [Ω]
1	27,500	12,774	25,548	1.08
2	27,500	6,953	13,906	1.98
3	27,500	5,067	10,134	2.71
4	27,500	4,187	8,374	3.28
5	27,500	3,727	7,454	3.69
6	27,500	3,499	6,998	3.93
7	27,500	3,434	6,868	4.00
8	27,500	3,513	7,026	3.91
9	27,500	3,759	7,518	3.66
10	27,500	4,248	8,496	3.24

표 2은 임피던스 방식의 수치해석에 따른 계산 값을 나타낸 것으로 변전소 측에서 부하로 바라볼 때의 사고지점 [km], 전압 [V], 고장전류 [A]를 이용하여 임피던스 값 [Z]을 도출하였다. 여기서 전류 ($I_{out} + I_{feed}$)는 AT 1차측의 AF전류와 TF전류의 합으로 부하전류를 의미한다. 이 때 바람, 온도, 지락의 상태 등 외부 저항 조건을 무시한 이상적인 계산 값을 나타낸다. 전압은 27,500[V]를 갖고 전류는 최대 25,548[A] 최소 6,868[A]를 갖으며 임피던스는 최대 4.00[Ω] 최소 1.08[Ω]이 나타난다.

그림 4는 표 2를 토대로 수치해석에 따른 임피던스 특성곡선을 나타내었다. 본 논문에서 전차선, 레일, 급전선은 저항 값만으로 사용되었으며, 임피던스 특성곡선은 옴의 법칙(Ohm's law)에 의하여 저항값에 영향을 받는다. 그림 4에서 보듯이 그림 3과 같이 비선형 특성곡선이며, 증가하다가 AT가 설치된 지점으로 갈수록 감소하고 이후 다시 지나면서 증가하는 반복현상을 보인다.

2.4 시뮬레이션

시뮬레이션을 구현하기 위해 전력프로그램인(PSIM)을 사용하여 AT 급전계통을 모델링하였으며, 지락사고 및 지락사고에 따른 전차선과 급전선 및 레일에 인가되는 전압, 전류, 임피던스 값을 구하기 위해 표 1의 급전계통 데이터를 적용하였다. 급전계통 방식은 한국전력(KEPCO)에서 3상 154[kV]를 수전 받아 변전소에서 단로기와 차단기를 거쳐 스코트변압기와 단권변압기를 통하여 방면별로 2조의 단상 27.5[kV]를 공급한다. 단권변압기 사이의

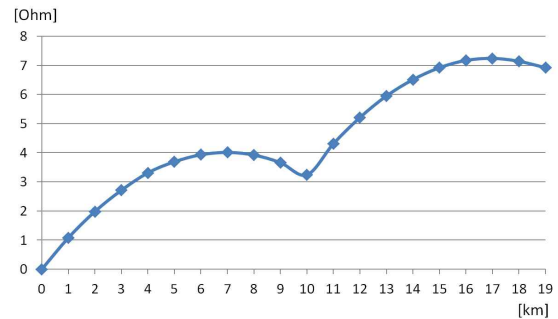


그림 4 임피던스 특성곡선(수치해석)

Fig. 4 Impedance Characteristic Curve(Numeric analysis)

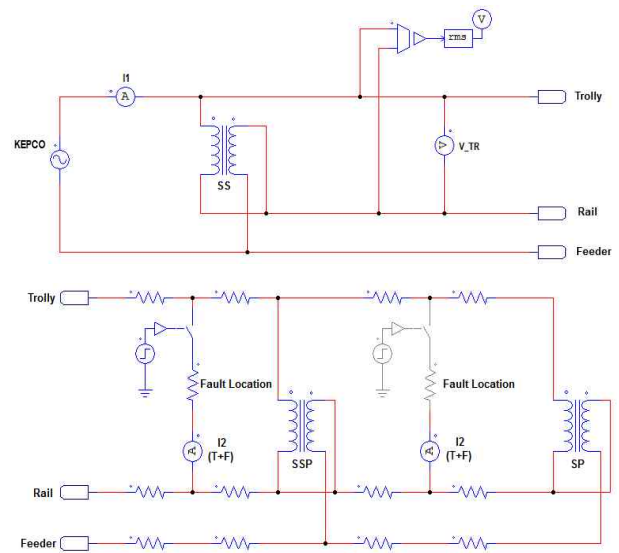


그림 5 급전계통 모델링에 따른 시뮬레이션 회로도

Fig. 5 Simulation circuit according to feeding system modeling

거리는 AT_n 부터 AT_{n+1} 까지 10[km]로 설정하여 변전소(SS)와 보조급전구분소(SSP) 및 급전구분소(SP)에 AT를 설치하였다. 지락사고 방식은 AT_n 과 AT_{n+1} 사이에 매우 작은 저항을 삽입하여 1[km]마다 지락시켰다. 사고 구간의 거리는 지락사고 지점을 기준으로 선로의 저항에 거리를 곱하여 변경할 수 있도록 설계하였다. 그림 5는 그림 2를 시뮬레이션을 하기 위해 모델링을 구현하였으며, 고장사고 지점의 거리를 변경하여 전차선과 레일에 지락사고를 위한 시뮬레이션 회로도를 보여준다. AT는 이상적인 변압기(임피던스=0)라 가정하고 권수비만을 적용하였다.

표 3 시뮬레이션에 따른 계산 값

Table 3 Simulation Calculation Value

Length [km]	Voltage V_TR[V]	Current i1 [A]	Current i2(T+F)[A]	Impedance [Ω]
1	27,500	12,768	25,536	1.08
2	27,500	6,940	13,880	1.98
3	27,500	5,066	10,132	2.71
4	27,500	4,151	8,302	3.31
5	27,500	3,726	7,452	3.69
6	27,500	3,499	6,998	3.93
7	27,500	3,433	6,866	4.01
8	27,500	3,510	7,020	3.92
9	27,500	3,759	7,518	3.66
10	27,500	4,247	8,494	3.24

표 3은 전력프로그램을 이용하여 급전계통에 대한 모델링을 구현한 후 1[km] 거리마다 지락 고장을 발생하여 얻은 전압, 전류, 임피던스 값을 보여준다. 시뮬레이션 구현 시 수치해석과 동일하게 바람, 온도, 지락의 상태 등 외부 저항 조건을 무시한 이상적인 조건으로 가정하였다. 전압은 전차선(T)과 레일(R) 사이에 27,500[V]를 인가한 상태에서 전차선과 레일간 지락시 지락지점의 전류(T+F)는 최대 25,536[A] 최소 6,866[A]가 흐르며 임피던스는 최대 4.01[Ω] 최소 1.08[Ω]이 나타난다. AT변압기를 포함한 급전계통의 데이터가 이상적이라 가정한 후 모델링을 하였으므로 수치해석 결과와 비슷한 값을 얻었다.

수치해석을 통해 얻은 임피던스와 동일하게 SS-SSP 구간에서는 7[km]까지 증가하다가 AT변압기가 설치된 SSP까지 감소하는 특성을 보인다. 여기서, SS는 한전에서 교류 3상 154[kV]를 수전반아 스코트결선 변압기를 통하여 2차의 M상과 T상의 55[kV] 2조의 전압을 만드는 전철변전소를 의미하며 SSP는 교류급전구분소는 변전소 간의 간격이 길어 고장 시 정전구간이 길게 되는데 이를 방지하기 위해 전차선로에 급전장치를 설치하는 것을 의미한다.

2.5 하드웨어 실험

그림 6은 AT 급전계통의 고장사고를 구현하기 위한 고장점 표정장치로 4개의 판넬로 구성되며 변전소(SS), 임피던스

(SS-SSP), 임피던스(SSP-SP), 급전반(SSP, SP)로 설계하였다. 스위치를 투입하여 전기철도 AT 급전계통을 구성되도록 한 후 임의의 지점에서 전차선과 레일을 강제로 지락사고를 발생하도록 모의한다. 이 때 계전기에서 사고발생 시 사고지점까지의 전압, 전류, 임피던스를 자동으로 계측하게 된다.

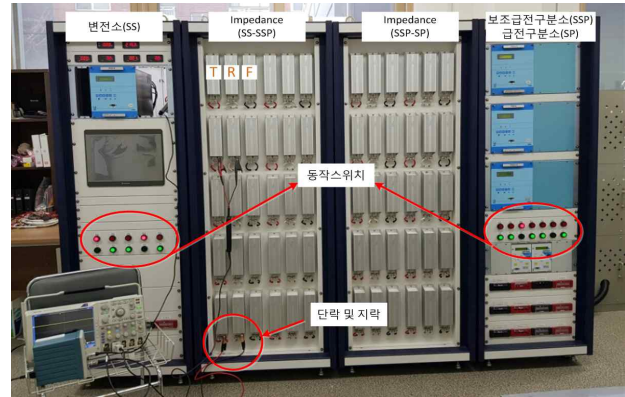


그림 6 AT급전계통의 고장점 표정장치(하드웨어)

Fig. 6 Fault locator of AT feeding system (hardware)

표 4 하드웨어 구현에 따른 계측값

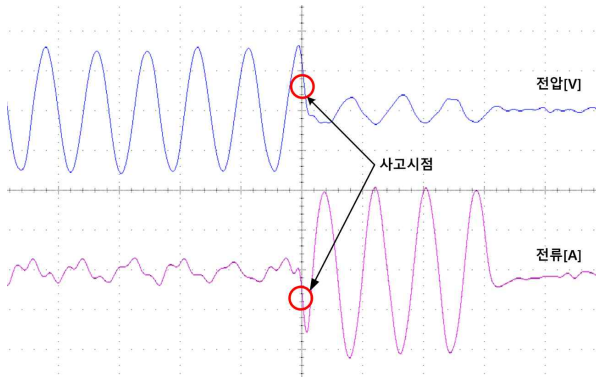
Table 4 Measured value according to hardware operation

Length [km]	Voltage [V]	Current [A]	Current (T+F)[A]	Impedance [Ω]
1	27,500	12,025	24,049	1.14
2	27,500	6,790	13,580	2.03
3	27,500	5,043	10,085	2.73
4	27,500	4,183	8,366	3.29
5	27,500	3,753	7,505	3.68
6	27,500	3,496	6,991	3.93
7	27,500	3,431	6,862	4.02
8	27,500	3,515	7,029	3.93
9	27,500	3,701	7,402	3.71
10	27,500	4,137	8,273	3.31

표 4는 그림 6을 통해 구현한 전압, 전류 및 임피던스 계측값으로 실험실 수준에서 전압 110[V]를 기준으로 102.0~108.6[V] 변동에 따른 전류(15.2~89.2[A])변화를 전차선 전압 27.5[kV]로 환산하였을 때 전류값을 보여준다. 27.5[kV] 전류값은 $[V]:[A_{110}]=[kV]:[A_{27.5}]$ 의 비율로 계산하였다. 축소형 AT변압기를 설치하고 급전선, 전차선, 레일의 데이터는 표 1을 기준으로 저항을 설치하였다. 하드웨어를 구현한 결과 전차선 전압 27.5[kV]에 대해 전류는 최대 24,049[A], 최소 6,862[A]가 흐른다. 이때 임피던스는 최대 4.02[Ω] 최소 1.14[Ω]이 나타난다.

그림 7은 5[km]지점에서 전차선과 레일간 지락사고가 발생하였을 경우 실험 파형을 보여준다. 실험실 수준에서 인가된 전압은 110[V]로 정상적인 전류가 부하로 흐르다가 지락사고가 발생

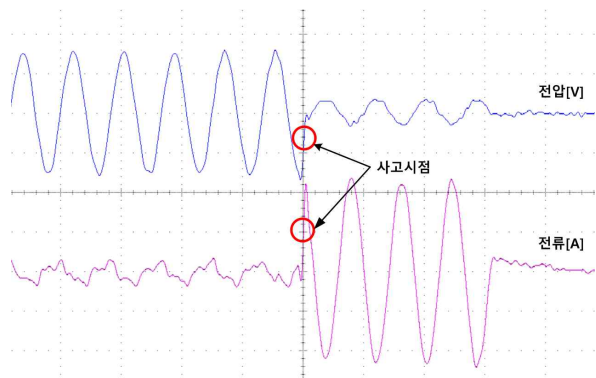
하게 되면 70[ms]동안 과도상태를 보이다가 차단기가 동작한다. 전류의 경우는 지락사고 발생 시 29.2[A]가 흐르다가 약 70[ms] 동안 점진적으로 감소하고 있음을 확인할 수 있다.



(X축: 20[ms]/div., Y축: 100[V]/div., 20[A]/div.)

그림 7 5[km]지점 지락사고 시 전압 및 전류 파형

Fig. 7 Voltage and current waveform in case of fault event at 5[km]



(X축 : 20[ms]/div., Y축 : 100[V]/div., 20[A]/div.)

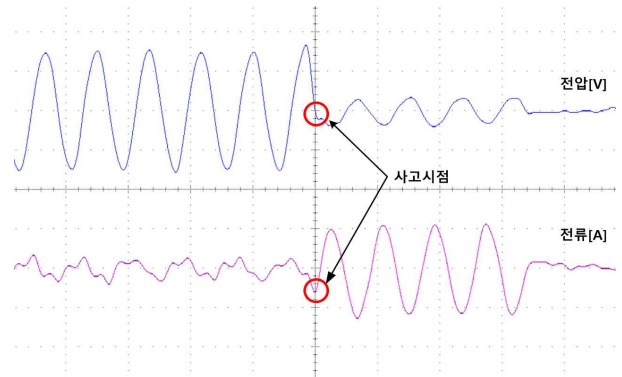
그림 8 10[km]지점 지락사고 시 전압 및 전류 파형

Fig. 8 Voltage and current waveform in case of fault event at 10[km]

그림 8은 10[km] 지점에서 지락사고 시 실험 파형을 나타낸다. 그림 7과 같이 동일한 전압을 인가한 상태에서 지락사고 발생 시 약 60[ms]동안 과도상태를 보이다가 차단기가 동작함을 확인할 수 있다. 그림 7과 비교했을 때 5[km]에 비해 과도상태가 짧아지고, 전류는 32.4[A]가 흐르다가 약 60[ms]동안 점진적으로 감소하고 있음을 확인할 수 있다.

그림 9는 15[km]지점에서 지락사고 시 실험 파형을 보여준다. 인가된 전압은 동일한 교류전압 110[V]으로 지락사고 발생 시 약 70[ms]동안 과도상태를 보이다가 차단기가 동작하고 있음을 확인할 수 있다. 그림 7과 8을 비교해 보면 지락사고 발생 시 전철변전소를 기준으로 사고 지점이 멀어질수록 과도상태가 짧아지고 사고전류는 작아지는 반면 공급전압은 상대적으로 커짐을

확인할 수 있다. 이는 사고에 따른 과도전류가 적게 흐르면 전압 강하가 작아짐을 의미한다.



(X축 : 20[ms]/div., Y축 : 100[V]/div., 20[A]/div.)

그림 9 15[km]지점 지락사고 시 전압 및 전류 파형

Fig. 9 Voltage and current waveform in case of fault event at 15[km]

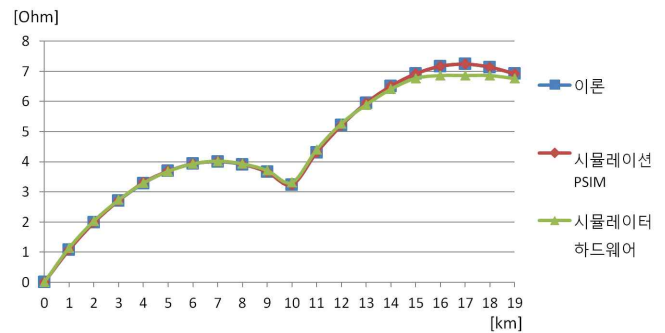


그림 10 임피던스 특성곡선(수치해석, 시뮬레이션, 시뮬레이터)

Fig. 10 Impedance characteristic curve (numeric, simulation, hardware)

2.6 임피던스 특성 비교분석

동일 데이터를 통해 수치해석 및 프로그램을 통한 시뮬레이션, 하드웨어 구현을 통한 시뮬레이터 실험을 통해 AT 급전계통에서 임피던스 특성을 비교분석하였다.

그림 10은 19[km]구간까지 1[km]마다 지락사고 발생시 수치해석, 시뮬레이션 및 시뮬레이터를 통한 임피던스 결과를 보여준다. 수치해석을 기준으로 전용 프로그램을 이용하여 모델링 구현을 통한 시뮬레이션을 수행한 경우 이상적인 조건을 가정하였기 때문에 수치해석 결과와 오차가 거의 발생하지 않았다. 오차율이 가장 큰 경우는 전철변전소(SS) 기준 고장 지점 4[km]에서 0.91%이고 평균 오차율은 0.07%를 보였다. 반면 하드웨어를 통한 시뮬레이터를 이용하여 고장사고를 구현한 경우 전철변전소(SS), 보조급전구분소(SSP) 근처 및 급전구분소(SP) 부근에서 수치해석 기준 1.37~5.56% 오차율을 보였다. 그리고 6[km] 지점에서 사고가 발생할 경우 오차

율이 가장 작게 나타났으며 평균 오차율은 1.98%를 보였다. 특히 SSP와 SP구간 사이가 오차율이 SS~SSP 구간보다 높게 나타났으며, 이론 및 시뮬레이션을 할 때 SSP에 설치된 AT변압기의 내부 임피던스를 0으로 설정하여 기인한 것으로 보인다.

3. 결 론

본 논문은 교류 전기철도 AT 급전시스템에서 사고 발생 시 정확한 고장점을 표정하기 위한 임피던스 방식에 대해 고찰하였다. 이를 위해 기존에 알려진 수치해석을 바탕으로 시뮬레이션을 위한 회로 모델링 및 축소형 하드웨어를 제작하였다. 연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) AT 급전계통에서 상선 혹은 하선만을 기준으로 고장점 표정에 따른 임피던스 방식의 수치해석을 바탕으로 급전계통을 모델링하여 시뮬레이션(PSIM)을 수행한 결과 평균 오차율이 0.07%로 모델링이 적합하게 구현되었음을 확인하였다.
- (2) 급전계통에 대해 축소형 하드웨어로 사고 모의실험을 한 결과 평균 오차율이 1.98%를 보였으며 AT 변압기가 설치된 근처에서 오차가 많이 발생하였다. 이는 변압기에 대한 내부 임피던스를 고려하지 않은 것에 기인한다.
- (3) 모의실험 결과 전철변전소(SS)를 기준으로 사고지점이 멀어질수록 과도상태에서 차단기 동작시간이 짧아지고 사고전류는 작아지는 반면 전압은 공급전압에 근접함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2017년도 국토교통과학기술진흥원에서 지원하는 철도기술 연구 사업 중 '철도차량 부품 I/F 및 모듈화 가이드라인 방안 연구'과제의 지원을 받아 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] W. I. Kim, K. S. Lee, C. Y. Chang, K. W. Koo, J. M. Kim, "A Study on the Impedance Fault Location Method Using AT Feeding System Simulator", Korean Institute of Electrical Engineers Conference, 2017.
- [2] Dong-Sik Son, "A study on Auto Transformer protective method for AC electric railway system", Master's degree paper, 2014.
- [3] Min-Joo Jang, "A Study on Improvement Methodology of Fault Location Scheme in AC Electric Railway", Doctor's degree paper, 2016.
- [4] H. Lee, N.G. Jung, W. I. Kim, Y. S. Kim, J. M. Kim, "Comparative Analysis on the Characteristic according to Fault Location Estimation Technique in AT Feeding

System", Korean Institute of Electrical Engineers Conference, 2016.

- [5] No-Geon Jung, Ki-Sik Lee, "The New Approach of the Impedance Calculation Method of Fault Current Analysis in the AT Feeding Method of the Electric Railway", Journal of Electrical Engineering & Technology Vol. 11 No. 5, pp. 1519-1525, September, 2016.

저 자 소 개



김 완 일 (Wan-il Kim)

2016년 한경대학교 전기전자제어공학과 졸업. 2017년~현재 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과 재학



이 계 승 (Kye-Seung Lee)

2016년 한국철도대 철도차량전기와 졸업. 2017년~현재 한국교통대학교 일반대학원 철도차량운전시스템공학과 재학



정 노 건 (No-Geon Jung)

2012년 한국철도대 철도차량전기와 졸업. 2015년 한국교통대 교통대학원 교통시스템공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 교통시스템공학과 박사과정



김 재 문 (Jae-Moon Kim)

1994년 성균관대 전기공학과 졸업. 2000년 2월 동 대학원 졸업(공학박사). 2000년~2004년 현대모비스(주) 기술연구소 선임연구원. 2006년~현재 국토교통부 철도기술 전문위원, 2004년 3월~현재 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과/철도전기전자공학과 교수
E-mail : goldmoon@ut.ac.kr