

전기철도 정역방향 고장점표정 방법을 통한 정확도 향상을 위한 연구

Analysis on the Method of Forward-Reverse Fault localization of Electric Railways for the Improvement of Accuracy

김 명 수* · 김 성 철†
(Myeong Su-Kim · Seong Cheol-Kim)

Abstract - The number of electric railway failures will increase due to the external and internal effects of electric railroads. The grounding test with 25,000V is to artificially test the transmission voltage to ground, and it is possible to cause risks of electric shock and other equipment insulation damage in neighboring enclosure. In 2016, method of fault localization changed to low - voltage at 380V from artificially high- voltage in the grounding tests since opening of Seoul Metropolitan Express Railway; The method is more accurate and safer rather than the previous one because it gets more data from unlimited grounding tests. However, an electric current falls on the track section where the track branches and vehicle bases with many lines. To precisely detect a transitive phenomenon, it is necessary to continuously study and additionally install.

Key Words : Fault localization, Grounding test, Transitive phenomenon, Feeding, booster

1. 서 론

우리나라의 전기철도 개통은 1973년 6월 청량리~제천간 155.2km가 시초이다. 이때의 급전시스템은 흡상변압기(BT) 방식을 적용하였기 때문에 고장점표정장치는 운용되지 않았다. BT방식의 고장점표정방법은 구간별로 차단기 투·개방을 수번씩 시행함으로써 구간만 알 수 있어 여러 가지 문제가 많이 발생하였다. 전기철도는 여객 수송의 중추적 역할을 하고 중요도가 커지면서 고장지점 신속한 검출과 사고복구 시간의 단축이 필요하게 되어 1974년 수도권 전기철도 개통 시 부터는 고장점표정장치가 도입되었다[1]. 우리나라 교류전기철도의 급전방식은 AT급전방식은 방면별로 급전하는 시스템을 채택하였으며 변전설비는 전철변전소(S/S), 급전구분소(SP), 보조급전구분소(SSP), 병렬급전소(PP)로 계통을 구성되고 설비의 간격은 약 10km 내·외의 간격으로 운영되었다. 전기철도의 고장점표정장치 운영을 위해서는 전차선로의 거리별 임피던스 측정된 자료를 고장점표정장치에 입력 후 전차선로 2.5kV 전압을 대지로 지락하여 측정된 자료와 기 입력한 자료의 값이 일치하는지를 확인한다[2].

만약 시스템에 입력한 임피던스 값과 실제 측정 오차 발생시 오차 보정 후 일치될 때까지 계속하여 지락시험을 시행하여 정확한 고장지점을 표정한다. 특고압을 인위적으로 대지에 지락시키는 방법은 인접한 통신, 신호 등 타 설비 소손 우려가 크고 인접

한 인축에 사고전류가 흘러 감전의 위험이 있고 변전소에 가까울수록 사고전류가 커서 고가의 변전설비 소손이 우려되어 저전압 고장표정 방법을 택해 실험하였다. 이 시험은 전차선로에 전원이 차단된 상태에서 시험설비를 구축하여 최대 380V 전압으로 시험하기 때문에 감전의 우려가 적어 임펄스 충격에 의한 설비의 스트레스가 적다는 장점이 있다[3]. 기존방식의 고장점표정장치는 변전소에만 설치하여 변전소(S/S)에서 급전구분소(SP) 단방향으로만 고장검출이 가능했으며 실제 사고거리와 표정거리간 오차 발생시 계전기의 오동작 여부를 알 수 없었다. 이러한 문제점을 극복하고자 정·역비교방식의 고장점표정 방식으로 전차선로의 사고점을 기준하여 고장전류의 순방향 리액턴스와 역방향 리액턴스를 이용하여 정방향 고장점과 역방향 고장점을 비교분석 하여 최종 고장점을 표정하므로 고장점표정의 정확도를 획기적으로 향상시킬 수 있었으며 또 변전소와 급전구분소에 설치된 어느 한 측 고장점표정장치가 소손되어도 고장점표정에는 문제가 발생하지 않는 성과를 이룩하였고 특고압 지락시험방법은 임피던스 측정방식으로 거리별로 선로 임피던스를 측정하여 고장점표정장치에 입력 후 가압되어 있는 전차선로에 인위적으로 고장을 발생시켜 고장점 표정오차를 확인하는 방법을 사용하였다. 이를 위해서 2장에서는 고장점 표정방식에 대해 살펴보았으며 3장에서는 정역방향 고장점표정 실증시험에 대한 데이터를 분석하였고 결론을 맺었다. 고장점표정 시험을 실증적 방법을 통하여 알고리즘을 만들고 고장점표정 정확도 향상에 대한 방안을 연구하였다.

† Corresponding Author : Dept. of Railroad Electrical System Engineering, Woosong University, Korea.
E-mail:kmin@wsu.ac.kr

* Dept. of Korea Rail Network Authority , Korea.

Received : August 23, 2017; Accepted : September 31, 2017

2. 고장점표정방식

고장점표정장치는 전차선로 급전계통에 지락 또는 단락사고 발생

시 고장점 위치를 신속하고 정확하게 검출하여 사고복구시간을 최대한 단축하여 열차 안전 운영을 확보하기 위하여 설치하며 전차선로의 거리별 임피던스를 측정하여 고장점표정장치에 입력 후 전차선로에 인위적으로 고장을 발생시켜 놓고 전차선로에 25,000KV를 가압하여 고장점 표정을 시행하며 고장점표정 값이 입력된 거리별 값과 실제 지락 발생시 표정된 값과의 오차 발생시에는 오차 보정 후 전원을 재투입하여 오차를 줄이는 방식으로 시험을 하고 있다.

2.1 흡상전류비 방식

2.1.1 흡상전류비 방식 원리

AT급전구간에서 급전선, 전차선 및 조가선이 지락 및 단락되었을 경우 고장 개소를 신속하고 정확하게 검출하여 대처할 수 있는 설비를 선정하기 위하여 각 변전소 AT와 AT사이에 지락 또는 단락지점이 발생하면 흐르는 고장전류와 고장거리와의 관계를 비율로 환산하여 표정하는 방식을 “흡상전류비 방식”라 말한다. 변전소에 모장치를 두고 급전구분소(SP) 및 병렬급전소(PP)에는 자장치를 설치하여 고장지점이 발생하면 가까운 AT와 AT사이의 중성점에 흐르는 고장전류와 고장거리와의 관계를 비율로 환산하여 표정하는 방식을 말한다.

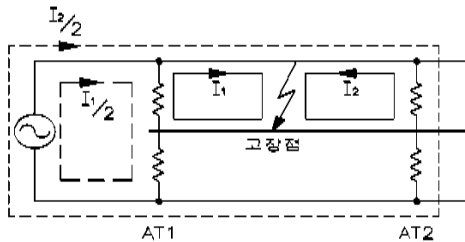


그림 1 AT 급전회로 고장전류 분포
Fig. 1 Fault current distribution of AT feeder circuit

고장전류에 대한 AT2의 중성점 전류의 비가 고장점 거리에 비례하는 것을 알 수 있다.

2.1.2 고장점 표정 알고리즘

AT 흡상 전류비 방식은 고장 직후에 구간 양단의 각 AT에 동일 위상의 전압이 인가된다는 가정 하에 식을 전개하여 고장점 표정식을 구하였으며 실제 상황에서는 급전 색션구간의 양쪽 AT에 인가되는 전압은 동일위상 전압이 아니며, 또한 고장전류도 다른 색션의 AT에서도 흡상되어 계속되었다. 그러므로 고장전류의 분포를 고려한 다음과 같은 폐회로 방정식이 성립한다. 그림2는 AT1~AT2 구간 사이에 T-R 단락사고가 발생한 경우의 전류 흐름을 나타낸다.

각 AT는 독립된 전압 전원으로 표현하였으며, 이상적인 1:1 단권변압기(AT)를 사용하므로 변압기 1차 측과 2차측 전압이 같고, 고장거리 m에 대한 식으로 정리하면 다음과 같다.

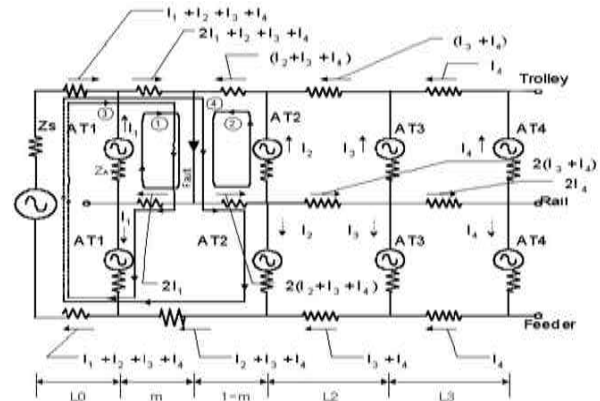


그림 2 AT1-AT2 사이에 T-R 단락사고시 전류 분포
Fig. 2 Current distribution between AT1 and AT2 when T-R is short

$$\frac{m}{D} = \frac{(\frac{1}{2}Z_T + 2Z_R + \frac{1}{2}Z_F - 2Z_{TR} + Z_{TCF} - 2Z_{RF})(I_b) - Z_{AT}(2I_1 - 2I_2)}{(Z_T + 2Z_R - 3Z_{TR} + Z_{TF} - Z_{RF})(I_a + I_b)} \quad (1)$$

- 여기서 m : AT1에서 고장점까지의 거리
- D : AT1과 AT2 사이의 거리,
- ZT : Trolley 자기 임피던스
- ZR : Rail 자기 임피던스,
- ZF : Feeder 자기 임피던스
- ZTR : Trolley-Rail 상호 임피던스,
- ZTF : Trolley-Feeder 상호 임피던스
- ZRF : Rail-Feeder 상호 임피던스, Ia: AT1 유입전류
- Ib : AT2 유입전류 (=2I2+2I3+2I4),

이와 같은 방식에 의하여 T-R단락의 거리를 구할 수 있다. F-R 단락의 경우도 이와 같은 방식에 의해 구할 수 있다[4].

2.2 임피던스 검출방식

2.2.1 AT 전차선로 임피던스

AT급전선의 급전회로는 그림 3와 같이 되어 T,R,F의 자기임피던스는 다음과 같다.

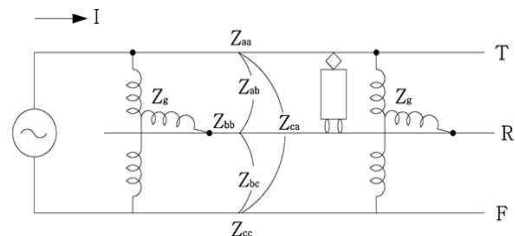


그림 3 AT급전선의 급전회로
Fig. 3 Circuit of AT feeder

- Zaa : (T)의 Km당 자기임피던스,
- Zbb : (R)의 Km당 자기임피던스
- Zcc : (F)의 Km당 자기임피던스,
- Zab,Zbc,Zca : (T-R),(R-F),(F-T)의 km당 상호임피던스,
- Zg : AT의 누설 임피던스

그림 4 회로를 등가회로 유도 방정식에 따라 등가회로를 변환하면 그림 5 등가회로 와 같이 된다. T,R,F의 자기임피던스 및 상호 임피던스는

$$Z_A = Z_{aa}, Z_B = Z_{bb}, Z_C = (Z_{cc} + 2Z_{ca} + Z_{aa})/4$$

$$Z_{AB} = Z_{aa}, Z_{BC} = (Z_{bc} + Z_{ab})/2, Z_{CA} = (Z_{ca} + Z_{aa})/2,$$

$i = 2I$ 의 관계가 성립된다.

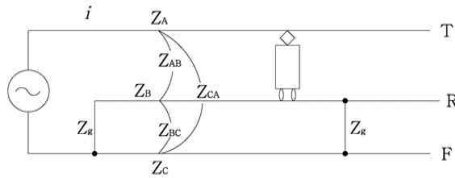


그림 4 AT 급전계통의 등가회로
Fig. 4 Equivalent circuit of AT feeder

또 T-F 단락 임피던스는 그림5 에서 보는 바와 같이 전차선 임피던스 Z1, 급전선 임피던스 Z3, 전차선과 급전선의 상호임피던스를 Z13이라 하고 두 지점 a1과 a2사이, b1과 b2사이의 간격 dx에서의 전압 강하를 dv1 및 dv2라 하면

$$-dv_1 = (Z_1 i_1 + Z_{13} i_3) dx$$

$$-dv_2 = (Z_3 i_3 + Z_{13} i_1) dx$$

교류전차 선로에 있어서는 $i_1 = -i_3$ 이므로 길이 dx 사이의 전압강하 dv는

$$dv = -dv_1 + dv_2 = (Z_1 + Z_3 + Z_{13}) \cdot i dx$$

따라서T-F의 단위 길이 당 단락 임피던스는 $Z_{T-F} = Z_1 + Z_3 - 2Z_{13}$ 가 된다[5].

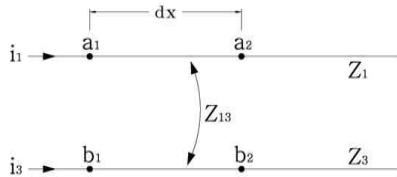


그림 5 도체 회로의 임피던스
Fig. 5 Impedance of conduct circuit

이 값은 단락 전류계산 또는 거리계전기의 임피던스 정정 값으로 활용될 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 AT선로의 임피

던스는 일반 송배전선로가 거리와 임피던스의 관계가 직선으로 표시되는데 이와는 달리 AT의 위치에 골짜기가 생기는 파도모양이 됨을 알 수 있다.이와 같이 직선이 아닌 파상 임피던스는 결과적으로 거리 계전기로는 고장점표정이 되지 않는 원인이 된다. 여기서는 주로 계산에 의하여 임피던스 궤적을 구하였다. 이와 같이 같이 곡선이 되는 것은 주로 AT의 흡상효과에 기인한다. T-F단락 임피던스는 2개의 전선의 왕복선로 임피던스임으로 직선이 되나, 그림 5의 지점 AT-1에서의 T-R 단락임피던스는 T-F 단락 임피던스에 AT의 누설임피던스 약 0.45Ω을 더한 값이 된다. 여기서 AT1 근방에서는 단권변압기 AT1이 대부분의 전류를 흡상하고 AT2의 흡상효과가 매우 적기 때문에 거리에 대한 임피던스 상승률 m'는 커져서 T-F단락 임피던스의 상승률 m의 4배 정도가 된다(그림의 a, b점). 단락점이 AT1에서 점점 멀어져 AT2에 가까워지면 단권변압기 AT1의 흡상 효과는 감소하고 AT2의 흡상효과가 커져서 임피던스의 상승률은 적어지며 그 중앙 점을 지난 c점에서 상승률은 0이 되고 그 후에는 상승률이 마이너스로 되어 AT2 지점에서는 T-F단락 임피던스에 AT2의 누설 임피던스를 더한 값이 됨으로 AT급전 계통의 임피던스는 그림 6과 같이 산(山) 모양이 된다[6].

표 1 선로임피던스
Table 1 Railroad impedance

거리 (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R	0.3092	0.5741	0.78981	0.9565	1.0758	1.1471	1.1705	1.1459	1.0734	0.933
X	1.2521	2.2431	3.0336	3.7525	4.2320	4.5231	4.6407	4.5099	4.3157	3.878
Z	1.2521	2.3154	3.1837	3.8725	4.3666	4.6711	4.7361	4.7114	4.4472	3.9934



그림 6 AT 급전선로의 T-R단락 임피던스
Fig. 6 T-R short impedance of AT feeder

2.3 정·역방향 고장점표정 원리

고장점표정장치는 전차선로 급전계통에 지락 또는 단락사고 발생 시 고장점 위치를 신속하고 정확하게 검출하여 사고복구시간을 최대한 단축하여 열차 안전운행을 확보하기 위하여 설치하며 기존 고장점표정방식은 고장점표정장치를 변전소에만 설치하여 변전소(S/S)방향에서 급전구분소(SP) 단방향으로만 고장검출 방식을 사용함으로써 실제 사고거리와 표정 거리간 오차 발생하

였고 표정오차가 클 경우 계전기 오동작인지 여부를 알 수 없었다. 정역방향 검출방식은 전차선로의 사고점을 기준하여 고장전류의 순방향 리액턴스와 역방향 리액턴스를 이용하여 정방향 고장점과 역방향 고장점을 비교분석 하여 최종 고장점을 표정하므로 고장점표정의 정확도를 획기적으로 향상시킬 수 있다[7]. 또 변전소와 급전구분소에 설치된 어느 한측 고장점표정장치가 소손되어도 고장점표정에는 문제가 발생하지 않는다[8,9]. 역방향 측 급전구분소(SP)에서 변전소측으로 측정된 임피던스 값도 고려하여 상호비교 분석하는 방법으로 개선되었다.



그림 7 단방향 고장검출 방식

Fig. 7 Fault detection method for uni-direction

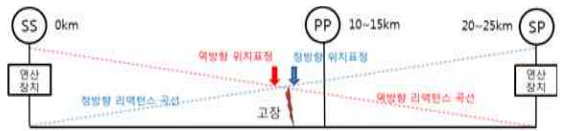


그림 8 양방향 고장검출 방식

Fig. 8 Fault detection method for bi-direction

실제 현장에서의 사고 예시도를 그림 9에 나타내었다.

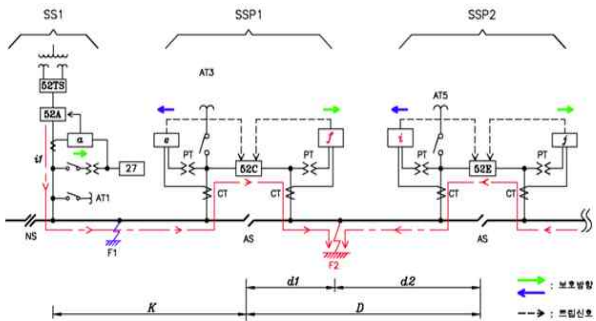


그림 9 사고 예시도

Fig. 9 Fault exam

사고지점을 F2라 가정할 때, 사고점에 가장 인접한 한 쌍의 보호계전기(f,i)가 고장거리를 찾아낸다.

이때 보호계전기 : f는 순방향 리액턴스 함수를 이용하여 제1거리(d1)를 표정하여 통신장치를 통하여 변전소(S/S)로 전송하고, 보호계전기 : i는 역방향 리액턴스 함수를 이용하여 제2거리(d2)를 표정하여 통신장치를 통하여 변전소로 전송한다. 변전소(S/S)의 중앙연산장치(CONTROLLER)는 제1지점(SSP1)과 제2지점(SSP2)에서 전송된 고장거리 d1, d2를 근거로 특정된 계산식으로 최종 전원기점 고장거리를 산출하여 원제(구로통합 관제센터)로

전송한다.

이때 거리 산출 특정 식은 $KPR = K + d1 + \frac{D - (d1 + d2)}{2}$ 이다.

보호계전기의 리액턴스(X) 입력 데이터 값을 실제 고장 리액턴스(X) 값보다 큰 값을 입력하여 실제 고장거리보다 짧게 사고점을 표정한 경우는 그림 10와 같다.

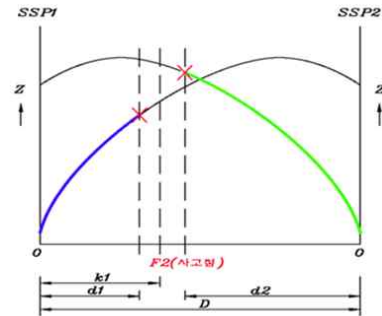


그림 10 고장점표정 그래프 D>d1+d2

Fig. 10 Fault localization graph at D>d1+d2

$$k1 = d1 + \frac{D - (d1 + d2)}{2} \quad (2)$$

보호계전기의 리액턴스(X) 입력 데이터 값을 실제 고장 리액턴스(X) 값보다 작은 값을 입력하여 실제 고장거리보다 멀게 사고점을 표정한 경우는 그림 11과 같다

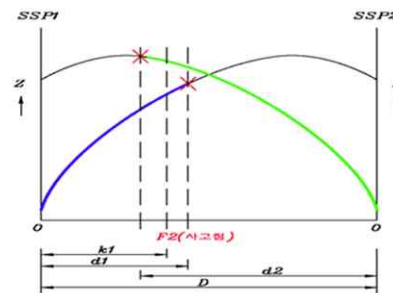


그림 11 고장점표정 그래프 D < d1+d2

Fig. 11 Fault localization graph at D < d1+d2

2.4 저전압 고장점표정

기존의 지락시험은 특고압을 땅에 단락시키므로 임펄스 전압에 의하여 인접한 전기, 통신, 신호설비에 절연을 파괴시키고 역섬락을 발생시켜 설비를 소손시킬 가능성이 있으며 장애로 인한 차량 운행을 제한시킬 수 있다. 또한 특고압 지락시험은 인접한 사람에게 감전우려가 있어 위험하기도 하다. 시험전원을 인가하여 임의 사고지점에 대한 사고전압·전류를 계측하여 임피던스(Z), 위상각(θ), 리액턴스(X), 레지던스(R)를 계산 후 계측 값에 대한 “변환-환산”의 단계를 거치므로 오차가 발생할 수 있고 실제 경

부고속철도 고장점표정장치에 적용결과 오차가 확인되었다. 이를 보완하기 위한 방법으로 저전압 고장점 표정방식을 적용하고 계산된 리액턴스(X)를 거리에 대한 함수(그래프)화일을 생성하여 고장점계전기에 입력한다. 변전소에 실제 급전계통과 동일한 시험용 급전계통을 구성하였다. 변전소, 구분소 및 보조구분소에 임피던스 측정기(CT, PT, 계측기)를 설치하였다. 전차선로의 임피던스를 측정하고자 하는 임의의 지점에 접지걸이를 설치하고 시험전원을 인가하여 계측기가 임피던스, 리액턴스, 레지스턴스를 분리하여 기록하고 기록된 임피던스 중 리액턴스를 거리에 대한 함수(그래프)화일을 생성하여 고장점계전기에 입력하였다.

3. 정·역방향 고장점표정 실증 시험

3.1 단방향 고장점 표정

단방향(정방향) 고장점표정의 경우는 경부고속철도 서울기점 상선 41.237[km] 실제 지락고장을 발생시켰으며 안산변전소 고장점표정장치에 표출된 거리는 41[km]로 237m의 표정오차가 발생하였으며 고장점표정장치에는 그대로 237m 오차가 있는 정보로 장치에 표시되었다.



그림 12 실제 고장지점 41.237km
Fig. 12 Fault location at 41.237 km

	LOC_F3	LOC_F4	
Voltage	835	837	V
Current	144	334	A
Z	5.88	2.46	Ohms
R	1.92	0.85	Ohms
X	5.34	2.30	Ohms
Theta	70.20	69.70	deg
PK1	47.30	41.00	km
PK2	0.00	0.00	km
PK3	0.00	0.00	km

그림 13 고장점표정장치 표출 데이터
Fig. 13 Fault localization device data

3.2 정·역방향 고장점 표정

동일한 지락지점인 경부고속철도 서울기점 상선 41.237[km] 실제 지락고장을 발생하여 고장점표정장치에 표출된 고장표정 거

리는 41.15[km]이며 실제 고장지점과의 표정오차는 87m로 오차를 줄일 수 있었다.

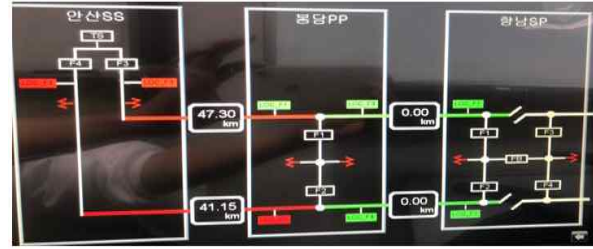


그림 14 정·역비교 방식 최종 고장점표정거리, 41.15km
Fig. 14 Final fault localization distance for bi-direction method

	LOC_F3	LOC_F4	
Voltage	835	837	V
Current	144	334	A
Z	5.88	2.46	Ohms
R	1.92	0.85	Ohms
X	5.34	2.30	Ohms
Theta	70.20	69.70	deg
PK1	47.30	41.00	km
PK2	0.00	0.00	km
PK3	0.00	0.00	km

그림 15 정방향 고장점표정장치
Fig. 15 Fault localization device for direct direction

	LOC_F1	LOC_F2	LOC_F3	LOC_F4	
Voltage	0	522	0	0	V
Current	0	144	0	0	A
Z	0.00	3.54	0.00	0.00	Ohms
R	0.00	1.35	0.00	0.00	Ohms
X	0.00	3.27	0.00	0.00	Ohms
Theta	0.00	67.80	0.00	0.00	deg
PK1	0.00	41.30	0.00	0.00	km
PK2	0.00	0.00	0.00	0.00	km
PK3	0.00	0.00	0.00	0.00	km

그림 16 역방향 고장점표정장치
Fig. 16 Fault localization device for reverse direction

안산변전소에서 고장점표정장치에 표출된 정방향 고장점 표정거리(41.000km)와 봉담병렬급전소의 고장점표정장치에 표출된 고장점거리(41.300(km))를 산술적으로 비교 후 평균값으로 고장점표정 거리를 41.15km 표출하였다.

3.3. 저전압 고장표정 실증시험

수도권고속철도는 수서~평택간 약 53km로 변전소(S/S)는 2개소, 급전구분소(SP) 2개소, 병렬급전소(PP) 5개로 구성되었다. 저전압 저압지락시험은 중원변전소에서 수서역간 절대거리 4.88km 시험거리 2k450지점에서 시행하였다. 저전압고장표정 시험은 전

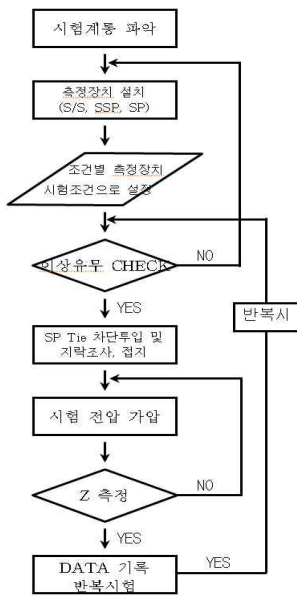
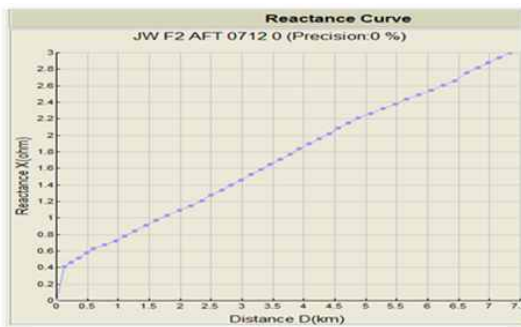


그림 17 시험절차 흐름도
Fig. 17 The flowchart of experimental procedure



(a) Impedance graph of parallel feeder F2



(b) Impedance graph of separated feeder F2

그림 18 임피던스 곡선
Fig. 18 Impedance graph

차선로에 전원이 차단된 상태에서 시험설비를 구축하여 최대 380V 전압으로 시험하기 때문에 감전의 우려가 적어 임펄스 충격에 의한 설비의 스트레스가 적다는 장점이 있다. 시험절차는

전차선로 일정 간격으로 임피던스를 측정하여 고장점표정장치에 입력한다. 시험개소는 거리를 작게 잡을수록 정확도는 높아 약 100M 간격 이내를 하였다. 측정된 자료를 고장점표정장치에 입력 후 인위적 지락고장점과 입력된 데이터 값을 비교한 후 오차 발생시 보정작업을 통하여 값이 확정된다. 시험절차에 대한 전체 흐름도는 그림 17과 같다

3.3.1 실증 시험

선로 상·하선 동시 급전방식을 병렬급전, 상·하선을 분리하여 별도로 급전하는 방식을 분리급전이라 하고 다음과 같이 선로 임피던스 $X(\Omega)$ 측정값을 측정하였다. 측정결과를 그래프로 표현하면 그림 18과 같다.

표 2 선로 임피던스 측정값

Table 2 Measured impedance of railroad

병렬급전 시 $X(\Omega)$			분리급전 시 $X(\Omega)$		
절대거리(km)	F1-하선	F2-상선	절대거리(km)	F1-하선	F2-상선
0.116	0.35	0.41	0.116	0.35	0.41
4.880 (2km 450)	1.51	1.62	4.880	2.13	2.21

선로 임피던스를 측정하여 시스템에 입력 후 실제 저전압 지락시험 결과 입력한 데이터보다 실제 고장점표정은 약간의 오차가 발생하였다.

표 3 고장점표정 시험 표정거리 및 오차율 현황

Table 3 Localization distance and error rate of Fault localization experiment

시험장소 (구간거리)	급전구분	하 선			상 선		
		표정거리	표정오차	오차율	표정거리	표정오차	오차율
2km450 (4.878km)	분리급전	2.000	450	4.50	2.600	-150	-1.50
	병렬급전	1.800	650	6.50	2.700	-250	-2.50

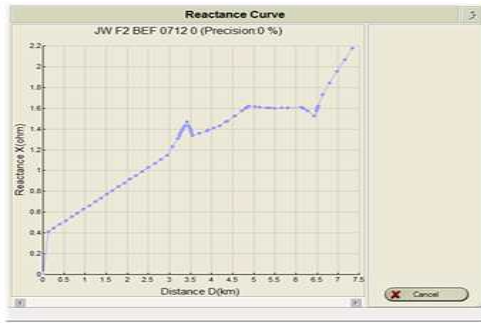
- 표정 허용오차 : 2%이내

표 4 표정시험과 보정 데이터

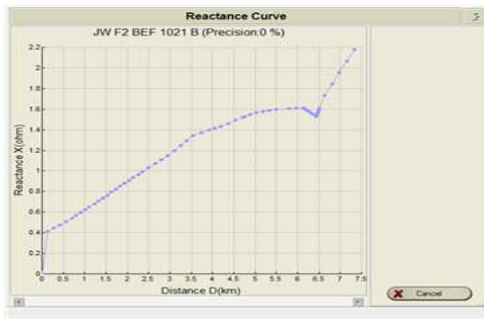
Table 4 Data for localization and correction

시험장소 (구간거리)	급전 구분	상 선			
		표정시험 시 데이터		보정 데이터	
		표정거리	X- Ω	표정거리	X- Ω
2km450 (4.878km)	분리	2.600	2.16	2.500	2.162
	병렬	2.700	1.55	2.400	1.530

따라서 분리 및 병렬 급전시 실제 표정시험시의 데이터 값과 보정데이터 값의 거리를 나타낸 후 고장점 표정시험 재시험하였다. 최초 데이터와 보정 후 병렬급전과 분리급전에 대한 리액턴스 결과를 각각 그림 19, 20에 나타내었다.



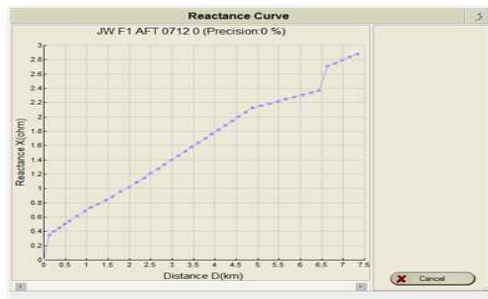
(a) Initial impedance of parallel feeder F2



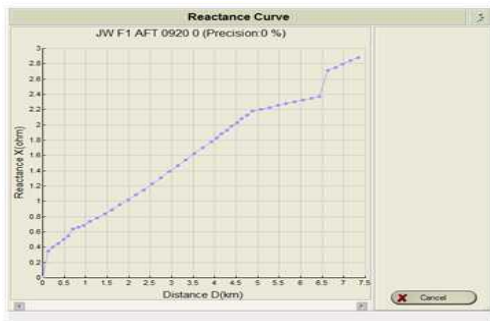
(b) Corrected impedance of parallel feeder F2

그림 19 병렬 급전시 임피던스 곡선

Fig. 19 Impedance graph of parallel feeder



(a) Initial impedance of separated feeder F2



(b) Corrected impedance of separated feeder

그림 20 분리급전시 임피던스 곡선

Fig. 20 Impedance graph of Separated feeder

2km450 지점에 1차 저압지락 시험 값에 오차가 발생하여 보정 후 제2차 지락시험 결과 오차율 범위 내 측정이 되었다. 결과는 표 5에 나타내었다.

표 5 데이터 보정 입력 후 표정거리 및 오차율 현황

Table 5 Localization distance and error rate of corrected data

시험장소 (구간거리)	급전구분	상 선		
		표정거리 (km)	표정오차 (m)	오차율 (%)
2km450 (4.878km)	분리급전	2.500	-50	0.50
	병렬급전	2.400	50	0.50

지락시험 방식을 특고압(25,000V) 시험방식에서 저전압시험 (110~380V)시험 방식으로 개선하여 지락시 임펄스 전압에 의한 타 설비에 스트레스가 없고 저전압을 사용하므로 감전의 위험이 현저하게 낮으며 시험횟수 제한이 없어 허용 범위내 표정오차를 실현할 수 있었다. 임피던스 저전압 지락시험은 전차선로 고장점 표정시험을 위한 임피던스 측정과 데이터 입력 및 114개소의 강제지락시험 시행 결과 42개소가 기준 범위(2%)를 초과하여 데이터 보정 후 저전압 고장점표정시험을 재시험하여 표정거리와 오차율은 모두 기준범위(2%)에 만족하여 정확도 및 안전도 향상이 입증되었다.

4. 결 론

단방향의 고장점 표정만으로 오차를 줄이는데 한계가 있었으나 정·역비교방식의 고장점표정 방식으로는 전차선로의 사고점을 기준하여 고장전류의 순방향 리액턴스와 역방향 리액턴스를 이용하여 정방향 고장점과 역방향 고장점을 비교분석 하여 최종 고장점을 표정하므로 고장점표정의 정확도를 획기적으로 향상시킬 수 있었으며 또 변전소와 급전구분소에 설치된 어느 한측 고장점표정장치가 소손되어도 고장점표정에는 문제가 발생하지 않는 성과를 이룩하였고 특고압 지락시험방법은 임피던스 측정방식으로 거리별로 선로 임피던스를 측정하여 고장점표정장치에 입력 후 가압되어 있는 전차선로에 인위적으로 고장을 발생시켜 고장점 표정오차를 확인하는 방법을 사용하였다. 이 시험방법은 인접한 전기, 통신, 신호설비에 임펄스 전압에 의한 스트레스로 기기 수명 단축과 감전의 위험요인이 잠재되어 개선의 필요성이 제기되었다. 저전압 고장점표정 방법으로 변경함으로써 지락 임펄스 전압에 의한 충격 스트레스 제로로 기기에 대한 열화와 인축에 의한 감전의 위험이 없고 제한 없이 고장점표정시험을 할 수 있어 고장점표정에 대한 정확도를 획기적으로 높일 수 있었다. 일반철도와 고속철도는 급전계통이 상이함으로 인하여 고장점표정방법을 달리하고 있었으나 고속철도와 일반철도의 동일노선 또는 동일구내에 있는 경우가 있어 통합적으로 적용될 수 있는 알고리즘이 필요할 것이며 전차선로가 복잡하게 엉켜있는 삼각선, 복복선, 선로분기점, 차량기지 같은 경우는 흡상할 수 있는 단권변압기가 없거나 타선 흡상현상이 있어 정확한 고장점표정이 곤란한 경우

도 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 분기점에
옥외형 CT, PT등을 설치하여 정확한 고장점 표정할 수 있는 연
구가 지속적으로 필요할 것으로 여겨진다.

References

- [1] KRNA Report “Estimated Report for railway electricization In 2017”.
- [2] KRSA-3010-R2 Fault Localization device
- [3] KRNA Report “Metropolitan Express train (Suseo) electric railway power supply equipment project report,” 2012 pp. 22~25)
- [4] Jung-Chul Kim “Feeder system for Electric railway and protection,” Gidari publisher, pp.202~214, 2004.
- [5] Yang-Su Kim, Hae-Chul Yu, “Electric Railway Engineering,” *dongil publisher*, pp.105~105,2009.
- [6] Sam-Hong parkl, Hae-Chul Yu, “Electric Railway Professional Engineer”, *dongil publisher*, pp. 17~23, 2010.
- [7] KRNA Report “Technology on the electric railway feeder protection system using forward and revers impedance,” pp. 17~23, 2011
- [8] KRNA Report “Railway design guide and handbook”, KR E-02090, pp. 79~92, 2014.
- [9] KRNA Electric operation data book pp. 38~39. 2017.

저 자 소 개



김 성 철 (Seong-Cheol Kim)

1989년 고려대학교 전자공학과 석사
1997년 고려대학교 전자공학과 박사
1997년~현재 우송대학교 철도전기시스템학
과 교수



김 명 수 (Myeong-Su Kim)

2018 우송대학교 대학원 철도시스템학과
석사
2004년~현재 한국철도시설공단 차장