

AT급전계통에서 실제 운행 중인 전기기관차 부하를 이용한 고장점 표정 알고리즘 보정계수 산출 방법

Calculation Method of Modification Factors for Fault Location Algorithm Using Boosting Current of Operating Electric Train in AT Feeding System

김철환* · 김성렬** · 권성일** · 조규정*** · 김철환*** · 송인근†
(Cheol-Hwan Kim · Sung-Ryul Kim · Sung-Il Kwon · Gyu-Jung Cho
· Chul-Hwan Kim · In-Keun Song)

Abstract - In general, a fault locator is installed in Sub-Station of AT(Auto-transformer) feeding system to estimate the fault location and to protect the Korean AT feeding system. Since the line impedance characteristic is different to normal 3-phase transmission line, we need particular modification factors, which can be calculated using fault location recording data, to estimate the accurate fault location. Up to recently, forcible ground test has been used to calculate the modification factors of the fault locator. However, large amount of current is occurred when the forcible ground test is performed, and this current affects to adjacent equipments. Therefore, we proposed a novel calculation method of modification factors, arbitrary trip test, using boosting current of the operating electric train. Through several field test, we confirmed that modification factors for fault locator can be easily calculated by using proposed method. Moreover, we verified the accuracy and stability of the proposed calculation method.

Key Words : AT Feeding system, Fault locator, Field test, Modification factors

1. 서 론

고장점표정장치란 전기철도의 방대한 외선설비에 발생한 장애·고장의 위치를 신속하게 확인할 수 있는 설비이다. 특히 고장의 원인제거 및 복구완료 시까지는 전차선로에 전력공급이 중단되기 때문에 전기기관차 운행에 막대한 지장을 초래한다. 따라서 실제 고장지점과 표정지점간의 표정오차를 최소화하는 것은 유지보수 및 복구시간 단축과 전기기관차의 정시운행에 매우 중요한 요인이 된다[1-3].

전기철도의 AT(Auto-transformer) 흡상전류비에 의한 고장점 표정방식은 고장점 data의 거리비(m)와 흡상전류비(c)를 이용하여 전기철도 급전구간의 보정계수(k)를 산정하며, 보정계수는 표정오차를 결정하는 핵심요소가 된다[4, 5].

종전에는 고장점 data를 산출하기 위해 강제지락시험을 이용

하고 있으나 지락시험 시 발생하는 대전류에 의한 설비손상, 통신유도, 시험지점 주변 저압 설비에 장애지장, 감전사고의 위험과 시험을 위한 급·단전 조치를 위한 야간 차단작업, 시험인력 안전조치 등 다수의 문제로 인해 극히 제한적으로 시행됨에 따라 최적의 보정계수를 산정하는데 한계가 있었으며, 허용오차(2%)를 초과하고 있어 설비의 신뢰도가 크게 저하되고 있다.

본 논문에서는 전기기관차의 운전실에서 폐색구간을 지날 때마다 변전소에 설치된 임의트립시험기를 작동시켜 트립을 시킴으로써 고장점 표정장치의 보정계수를 산출하는 새로운 방법을 제안하였다. 또한, 개통당시 설정한 고장점 표정장치의 보정계수와 의 비교를 통하여 제안된 방법이 강제지락시험에 비해 더욱 안전하게 정밀한 보정계수의 산출을 수행한다는 것을 입증하였다.

2. AT 급전계통의 구성 및 고장점 표정 방식

2.1 AT 급전계통의 구성 형태

다음 그림 1은 AT 방식으로서 권수비가 1:1인 단권변압기를 사용하여 그 중성점을 레일에 접속하고, 선로 변을 따라 약 10km마다 AT를 설치하여 양단을 전차선과 급전선에 각각 접속한 급전회로이다. 급전전압 보상과 통신유도장애 경감 등이 우수하여 우리나라에서는 고속철도와 수도권 및 기존선 경부 호남선

† Corresponding Author : Department of Railroad Electrical System Engineering, Woosong University, Korea

E-mail : iksong@wsu.ac.kr

* Department of Railroad Electricity, Woosong University, Korea

** KOREA RAILROAD, Korea

*** College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Korea

Received : January 27, 2016; Accepted : February 23, 2016

등의 일반전철 구간에 이 방식이 널리 채용되고 있다[1-3].

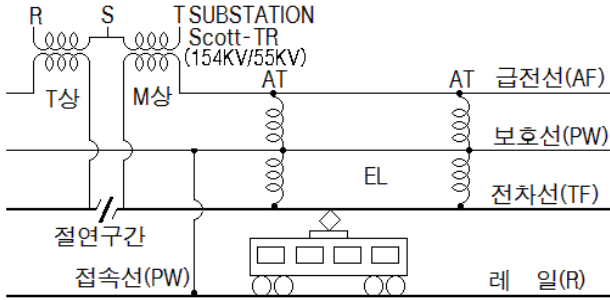


그림 1 AT 급전방식 계통도
Fig. 1 Schematic diagram of the AT feeding system

2.2 흡상전류비 방식의 고장점 표정 알고리즘

국내 AT 급전계통에서 널리 사용되는 고장점 표정 알고리즘 중 하나인 흡상전류비 방식의 고장점 표정장치는 AT급전회로에서 AT와 AT간, 즉 전철변전소(Sub-Station, S/S)와 보조급전구분소(Sub Sectioning Post, SSP) 또는 보조급전구분소(SSP)와 보조급전구분소(SSP), 보조급전구분소(SSP)와 급전구분소(Sectioning Post, SP) 등의 급전구간에서의 사고발생 시, 사고지점 d에 전력을 공급하는 양쪽의 AT의 중성점으로 흘러 들어가는 흡상전류의 비율로 고장점을 표정하는 방식이다. 표정을 위한 전류 값은 복소값으로 측정되며 시간 동기화된 정확한 위상각을 갖는 값일수록 고장점 표정 정확도가 증가한다.

AT급전선로 내에서 고장발생 시, 전류분포는 변전소에서 고장점 양측의 AT로 급전전압기준의 전압이 공급된 후 AT에 의하여 전기기관차 전압기준의 전압으로 강압된 고장 전류가 최종적으로 고장점에 흐르게 된다. 이는 다음 그림 2와 같이 등가회로로 표현할 수 있다[4-6].

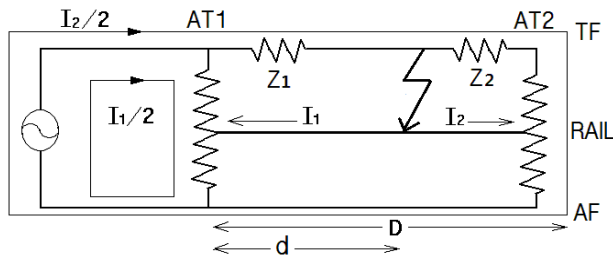


그림 2 고장 발생 시 흡상전류 분포도
Fig. 2 Circuit diagram of the distributed boosting current according to the fault occurrence

상기 그림 2를 통하여 다음 식 (1)과 같이 간략화하면, 고장점을 기준으로 전원에서 멀리 떨어진, AT2의 중성점으로 흐르는 전류의 크기가 고장점까지의 거리에 비례하는 것을 확인할 수 있다.

$$H = \frac{I_{n+1}}{I_n + I_{n+1}} \times 100 = Q_1 + (100 - Q_1 - Q_2) \times \frac{d}{D}$$

$$d = \frac{D}{(100 - Q_1 - Q_2)} \times \left(\frac{I_{n+1}}{I_n + I_{n+1}} - Q_1 \right) + L_n [km] \quad (1)$$

- 여기서, Q_1 : ATn 측의 보정계수
- Q_2 : ATn+1 측의 보정계수
- I_n : n 지점의 AT 중성점 전류의 합
- I_{n+1} : n+1 지점의 AT 중성점 전류의 합
- d : 기점에서 고장점 까지의 거리
- L_n : 기점에서 ATn까지의 거리[km]
- D : ATn과 ATn+1 사이의 거리

상기 식 (1)은 다음 식 (2)와 같이 비례식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{d}{D} \propto \frac{I_1}{I_1 + I_2} \propto \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (2)$$

S/S, SSP1, SSP2, SP의 각 구분소에서 전차선에 전력을 공급하는 AT를 각각 AT1, AT2, AT3, AT4라고 가정하고, AT2와 AT3 사이의 전차선-레일 단락 고장을 가정하면 다음 그림 3과 같은 회로도도를 구성할 수 있다.

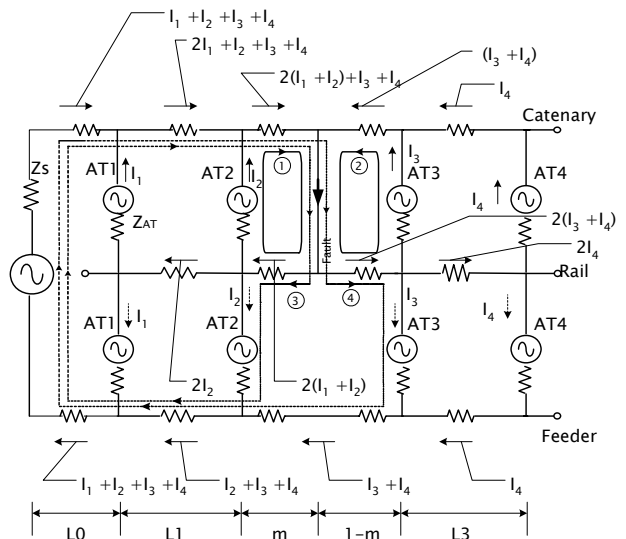


그림 3 AT2와 AT3 사이의 고장 발생에 따른 전류 분포도
Fig. 3 Current distribution diagram according to fault occurrence between AT2 and AT3

상기 회로도에서 고장으로 형성된 폐루프를 기반으로 하여 Kirchhoff의 전압법칙을 이용하면 루프 방정식을 세울 수 있으며, 이를 고장점까지의 거리비율 m으로 정리하면 다음 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$m = \frac{(\frac{1}{2}Z_C + 2Z_R + \frac{1}{2}Z_F - 2Z_{CR} + Z_{CF} - 2Z_{RF})(I_b) - Z_{AT}(2I_2 - 2I_3)}{(Z_C + 2Z_R - 3Z_{CR} + Z_{CF} - Z_{RF})(I_a + I_b)} \quad (3)$$

여기서, m : d/D

- d : AT2에서 고장점까지의 거리
- D : AT2와 AT3 사이의 거리
- Z_C : 전차선의 자기 임피던스
- Z_R : 레일의 자기 임피던스
- Z_F : 급전선의 자기 임피던스
- Z_{CR} : 전차선-레일 간 상호 임피던스
- Z_{CF} : 전차선-급전선 간 상호 임피던스
- Z_{RF} : 레일-급전선 간 상호 임피던스
- I_a : AT2로 유입되는 전류 ($2I_1 + 2I_2$)
- I_b : AT3으로 유입되는 전류 ($2I_3 + 2I_4$)

이때, 식 (3)을 전류비 c 로 간략하게 나타내면 다음 식 (4)와 같다.

$$c = \frac{|I_3| + |I_4|}{|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4|} \quad (4)$$

식 (3)과 같이 정확하게 고장점까지의 거리비율 m 으로 나타내려면, 식 (4)에 보정계수 k_1 과 k_2 를 추가하여 표현하여야 하며, 이는 식 (5)와 같다.

$$m = k_1 \left(\frac{|I_3| + |I_4|}{|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4|} \right) + k_2 \quad (5)$$

이때, 보정계수 k_1 은 선로 임피던스로만 표현되는 관계식으로 다음 식 (6)과 같이 나타낼 수 있으며, 보정계수 k_2 는 식 (3) 우변의 두 번째 항을 보상하는 계수로 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$k_1 = \frac{\frac{1}{2}Z_C + 2Z_R + \frac{1}{2}Z_F - 2Z_{CR} + Z_{CF} - 2Z_{RF}}{Z_C + 2Z_R - 3Z_{CR} + Z_{CF} - Z_{RF}} \quad (6)$$

$$k_2 \approx \frac{-Z_{AT}(2I_2 - 2I_3)}{(Z_C + 2Z_R - 3Z_{CR} + Z_{CF} - Z_{RF})(I_a + I_b)} \quad (7)$$

식 (5)를 기반으로 하여 각 구분소 간 발생한 고장에 대한 고장점 표정을 수행하며, 이는 다음 식 (8)과 같이 정리할 수 있다.

$$m = k_1 c + k_2, \quad c = \frac{|I_2|}{|I_1| + |I_2|} \quad (8)$$

식 (8)을 통한 고장점 표정 알고리즘을 실제 계통에서 적용하기 위해서는 최소 2개 이상의 고장점 data 취득을 통한 보정계

수 산출이 필요하다.

현재까지, 흡상전류비 방식을 이용한 고장점 표정 장치의 표정을 위한 고장점 data를 얻기 위하여 강제지락시험을 이용하고 있으나 다수의 문제로 인해 극히 제한적으로 시행됨에 따라 최적의 보정계수를 산정하는데 한계가 있었다. 또한, 허용오차(2%, 10[km] 기준으로 200[m])를 초과하고 있어 설비의 신뢰도가 크게 저하되는 문제점이 존재한다. 특히, 국내의 특정 지역의 전철화 개통 시 보정계수 산정을 위한 강제지락시험 횟수가 부족하였으며 보정계수를 재산정한 이후에도 표정오차가 허용범위를 초과하는 등 여러 가지 불이익이 발생하였다. 또한, 강제적인 시험 수행 시 큰 단락전류가 흐를 수 있어 설비에 피해를 미칠 수 있는 단점 또한 존재한다[7]. 따라서 본 논문에서는 강제지락시험을 통한 고장점 표정 알고리즘 보정계수 산정의 단점을 극복할 수 있는 새로운 시험방법을 제안한다.

3. 임의트립시험을 통한 고장점 표정 알고리즘 보정계수 산출 방법

3.1 임의트립시험의 개요 및 시험 절차

2절에서 서술한 것처럼 기존에 고장점 data를 얻기 위한 강제지락시험은 많은 문제점이 존재한다. 따라서 이러한 문제점을 사전에 제거하기 위한 임의트립시험을 통한 고장점 표정 알고리즘 내 보정계수 산정 방법을 제시한다. 이를 통하여 안정적인 고장점 data를 산출하며, 최적의 보정계수 산정을 통한 고장점 표정 오차 축소로 유지보수 시간 단축 및 설비 신뢰도 향상에 기여할 수 있다. 다음 그림 4와 표 1은 임의트립시험 절차를 나타낸다.

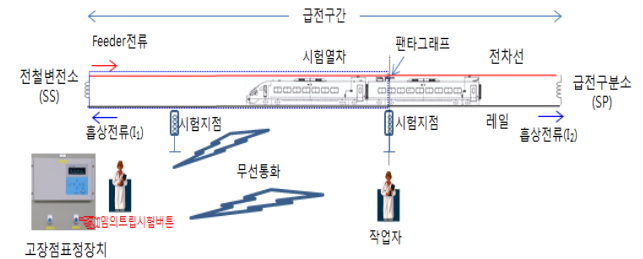


그림 4 임의트립시험 절차

Fig. 4 Procedure of the arbitrary trip test

그림 4는 전기기관차의 팬타그래프가 전방 궤도회로의 신호기 내방(시험지점)에 진입한 순간, 임의트립을 시행하는 것을 나타낸 것이다. 흡상전류비 방식의 고장점 표정장치에 임의적인 차단기 트립 소스를 인가하여 운행 중인 전기기관차 부하 전류를 고장 전류로 판단, 변전소 흡상전류를 통한 다수의 고장점 data를 산출하는 것이 기본 원리이다.

본 논문에서는 국내에서 실제 운행되는 전차선을 대상으로 하여 시험 노선을 선정하였다. 또한, 시험전기기관차는 상행선과 하행선으로 각각 구분하였으며 급전 구간 내에 부득이하게 2개 이

표 1 임의트립시험 절차

Table 1 Procedure of the arbitrary trip test

시험지점 선정	시험 대상지점을 사전에 선정(신호기, 키로정표, 시설물)
↓	
시험전기기관차 선정	급전구간 내 단일전기기관차가 운행하는 시험전기기관차 선정
↓	
임의트립시험	전기기관차 운행지점에서 고장점표정장치에 임의적으로 트립 조건을 부여
↓	
고장점data 판정	산출된 고장점 data 중 good data 조건을 만족하는 샘플 data 판정
↓	
보정계수 산정	고장점 샘플data를 통한 보정계수 산정

상의 전기기관차가 운행될 시, 해당 구간의 고장점 data는 제외하였다. 또한, 전기기관차의 종류에 따라서 급전전류와 흡상전류의 크기가 상이하기 때문에 방면별로 다양한 전기기관차를 선정하여 시험하였다. 이는 다음 표 2에서 확인할 수 있다.

표 2 전기기관차 종류별 급전전류 및 흡상전류 비교

Table 2 Feeding current and boosting current of each train type

구 분	급전전류 [A]			흡상전류 합 [A]		
	최소	평균	최대	최소	평균	최대
신형전기기관차	2	20	78	3	39	165
ITX 새마을	4	22	61	3	42	137
KTX 산천	2	44	141	9	81	271
지락사고	911	1339	2095	427	2898	4179
강제지락시험	1440	1788	2309	2833	3403	3963

임의트립시험의 정확한 방법은 고장점 표정장치의 결선을 변경하여 Master Unit에서 임의적인 트립 소스를 발생시키는 것이다. 전기기관차 운행에 따라서 저장된 고장점 data를 모두 보정계수 산정에 산출할 수 없기 때문에 good data와 bad data로 구분하여 good data만을 보정계수 산출에 이용한다. 다음 그림 5는 저장된 data 중에서 bad data를 구분하는 예시를 나타낸다. 그 중에서 bad data는 feeder전류 대비 표정범위의 한계를 벗어날 우려가 있는 데이터 들이다.

그림 5에서 bad data영역은 동그라미로 표시하였으며, 이를 제외한 good data에 대한 판정 기준은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 전철변전소 Feeder반 급전전류가 10(A)를 초과할 것
- 상·하행 시험방향과 고장점표정장치의 UP/DOWN 구분이

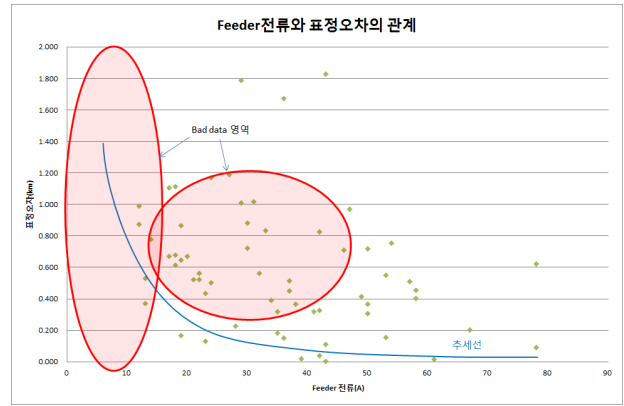


그림 5 고장점 data의 판정 예시

Fig. 5 Discrimination of the fault location data

일치 할 것

- 전기기관차 감속구간의 회생제동 전류에 의한 고장점 data 제외
- 양단 변전소간 거리의 50% 이상으로 표정오차가 발생하는 경우는 제외

추출된 good data를 이용하여 다음 그림 6과 같이 보정계수를 산정할 수 있다. 임의트립시험을 통하여 샘플링 된 data는 물론, 기존의 지락고장발생 및 강제지락시험에 의한 고장점 data 전부를 누적하여 각 방면별 고장점 표정장치의 보정계수를 산정한다. 그림 7에서 가로축은 지락 해당구간의 전류비(c값%)이며, 세로축은 거리비(m값%)이다.

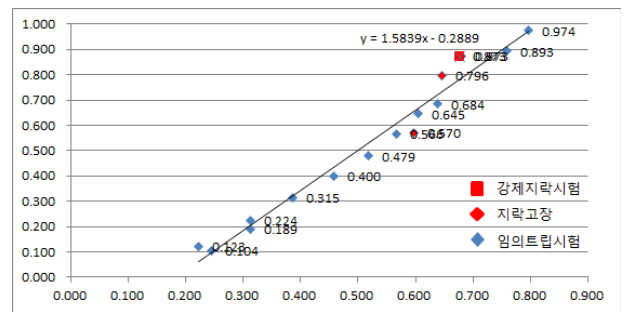


그림 6 고장점 data를 통한 보정계수 산정 예시

Fig. 6 Calculation of the modification factor using fault location data

이때 각 샘플 data가 상기 식 (8)을 통하여 형성하는 추세선을 활용하게 되며, 추세선을 기준으로 각 샘플의 표정오차가 최소가 되는 보정계수를 산정하여 고장점 표정장치에 반영할 수 있다.

기존에 사용되고 있던 강제지락시험과 제안하는 방식인 임의 트립시험의 특징을 비교하면 다음 표 3과 같이 정리할 수 있다.

표 3 강제지락시험 및 임의트립시험 특징 비교

Table 3 Comparison between forcible ground test and arbitrary trip test

구분	강제지락시험	임의트립시험
기본 원리	· 전차선과 레일 사이를 지락전선으로 직접 연결하여 급전전류를 귀선으로 흡상, 흡상전류를 이용	· 임의지점에서 고장점 표정 장치에 트립 조건을 인가하여 고장 상황을 상정, 이때 발생하는 전기기관차 부하흡상전류를 이용
소요 시간	· 야간 차단시간 내 2~3시간	· 전기기관차운행시간 내 3초
장점	· 지락사고와 유사한 시험전류 발생	· 전기기관차운행 중에도 시험 가능 · 다수의 고장점 data 도출
단점	· 대전류, 통신유도로 인한 설비손상 · 시험장소 주변 작업자 감전우려 · 시험횟수 제한	· 시험지점/전기기관차선정, 판정기준,추정 등 시험절차가 다소 복잡

3.2 임의트립시험 시험 결과

다음 표 4와 표 5는 임의트립시험 절차에 따른 실증 시험의

표 4 임의트립시험 결과 (1차)

Table 4 Result of the arbitrary trip test (1st)

구 간	선 별	1차 시험						
		시험 횟수	판 정		보정 계수	표정오차 [km]		
			부	양		합계	평균	
A S/S 1MU	a1 SP	상	15	9	6	1.305	1.966	0.328
	~a1 SSP	하	14	7	7	0.684	1.855	0.265
	a1 SSP	상	13	10	3	1.428	2.062	0.687
	~A S/S	하	13	4	9	0.606	5.818	0.646
A S/S 2MU	A S/S	상	6	2	4	1.349	1.112	0.278
	~a2 SSP	하	4	4		0.545		
	a2 SSP	상	17	7	10	1.411	7.718	0.666
	~a2 SP	하	17	7	10	0.607	7.583	0.765
B S/S 1MU	b1 SP	상	13	13		1.371		
	~B S/S	하	14	7	7	0.607	4.207	0.601
B S/S 2MU	B S/S	상	6	3	3	1.331	0.601	0.200
	~b2 SSP	하	6	6		0.607		
	b2 SSP	상	6	3	3	1.339	3.960	1.320
	~b2 ATP	하	6	6		0.634		
결 과 총 합		상	23	9	14		8.830	0.631
		하	35	18	17		11.790	0.694
	계		58	27	31		20.620	0.665

상세 결과를 나타낸다. 실제 국내 전기철도 급전계통에 전력을 공급하는 변전소 A와 B에 설치되어 있는 고장점 표정장치의 Master Unit (MU) 4기(방면별로 각각 1기씩, 2개 변전소 대상)를 대상으로 하였다. 표정오차를 산출하지 못한 구간은 good data가 존재하지 않는 구간에 해당한다.

표 5 임의트립시험 결과 (2차)

Table 5 Result of the arbitrary trip test (2nd)

구 간	선 별	1차 시험						
		시험 횟수	판 정			보정 계수	표정오차 [km]	
			부	양			합계	평균
A S/S 1MU	a1 SP	상	15	15		1.049		
	~a1 SSP	하	14	14		0.421		
	a1 SSP	상	12	8	4	1.584		
	~A S/S	하	5	5		0.789		
A S/S 2MU	A S/S	상	7		7	1.415	1.933	0.276
	~a2 SSP	하	5	5		0.742		
	a2 SSP	상	18	2	16	1.087	5.468	0.304
	~a2 SP	하	7	4	3	0.508	0.568	0.189
B S/S 1MU	b1 SP	상	12	5	7	1.320	2.428	0.329
	~B S/S	하	13	10	3	0.554	0.565	0.188
B S/S 2MU	B S/S	상	6	6		0.640		
	~b2 SSP	하	5	5		0.240		
	b2 SSP	상	5	5		3.361		
	~b2 ATP	하	6	6		2.664		
결 과 총 합		상	25	2	23		7.401	0.322
		하	20	14	6		1.133	0.189
	계		45	16	29		8.534	0.237

표 4와 표 5에서 확인할 수 있듯이, 개통 당시의 보정계수가 적용된 1차 시험에 따른 표정 오차에 비하여 2차 시험에서는 재산정된 보정계수에 따라 표정오차가 크게 줄어든 것을 확인할 수 있다. 다음 표 6은 임의트립 시험결과와 기존에 발생한 지락고장에 대한 고장점 표정오차 결과를 요약한 표이다.

표 6 시험결과 종합

Table 6 Overall result of the test

표정오차 [km]	지락고장 (a)	1차 시험 (b)	2차 시험 (c)	증 감(a-c) [km]	
				거 리	비 율(%)
지점(건)	8	150	111	-	-
최 소	0.310	0.013	0.000	△0.310 ↓	△100 ↓
평 균	0.677	0.579	0.284	△0.393 ↓	△58.0 ↓
최 대	1.650	1.828	0.994	△0.656 ↓	△39.8 ↓

표 6에서 확인할 수 있듯이 임의트립시험 이전에 발생한 지

락 고장을 통하여 정정한 장치의 고장점 표정오차의 평균은 0.677 [km]이다. 제안한 임의트립시험에 따라서 재 산정된 고장점 표정 장치의 표정오차 평균은 0.284[km]로, 기존 표정오차의 평균값 대비 표정오차 평균값이 약 58[%] 감소한 것을 확인할 수 있다.

3.3 시험 결과 검증

본 논문에서는 임의트립시험으로 산출된 고장점 표정 알고리즘 보정계수의 정확성을 입증하기 위하여 강제지락시험을 수행하였다. 검증 대상은 상기 표 4와 표 5에서 음영으로 처리한 B 변전소 ~ b1 급전구분소 사이의 구간으로, 해당 구간을 보호하는 고장점 표정장치의 보정계수는 다음 표 7과 같이 최종적으로 산출되었다.

표 7 재 산정된 보정계수

Table 7 Recalculation of the modification factors

장 비	구 간	보정 계수	구 분		
			초기	1차시험	2차시험
B S/S	b1 SP	k_1	1.371	1.320	1.342
1MU	~B S/S	k_2	0.607	0.554	0.569

2차 임의트립시험을 통하여 최종적으로 산출된 보정계수는 k_1 : 1.342와 k_2 : 0.569이며 다음 그림 7은 산정된 보정계수와 고장점 data와의 관계를 나타낸다.

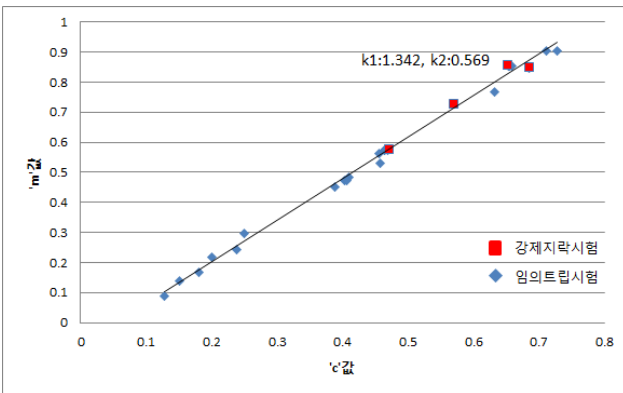


그림 7 보정계수 재 산정을 위한 추세선

Fig. 7 Trend line for recalculation of the modification factors

그림 7에서 가로축은 지락 해당구간의 전류비(c값)이며, 세로 축은 거리비(m값)이다. 검증을 위하여 상기 보정계수를 고장점 표정장치에 적용한 후, 해당 S/S~SP 구간의 고장점 2곳을 선정하였다. 선정된 고장점에 위치한 전주의 전차선과 접지 단자간 지락도선을 직결한 후 변전소에서의 순간적인 급전을 통한 강제 지락시험을 수행하였다. 동일한 고장점에 대하여 상·하행선에서 시험한 각각에 대한 결과는 다음 표 8과 같다.

표 8 검증을 위한 강제지락시험 결과

Table 8 Result of the forcible ground test for verification of the proposed method

구 분	고장점 A (159.610)				고장점 B (156.265)				
	상행선		하행선		상행선		하행선		
	1차 시험	최종	1차 시험	최종	1차 시험	최종	1차 시험	최종	
보정 계수	k_1	1.371	1.342	1.371	1.342	1.371	1.342	1.371	1.342
	k_2	0.607	0.569	0.607	0.569	0.607	0.569	0.607	0.569
표정거리 [km]	160.1	159.6	159.9	159.6	157.2	156.9	157.2	156.7	
표정오차 [km]	0.490	0.010	0.290	0.010	0.935	0.635	0.935	0.435	
증감 [km]	$\Delta 0.480 \downarrow$		$\Delta 0.280 \downarrow$		$\Delta 0.300 \downarrow$		$\Delta 0.500 \downarrow$		

상기 표 8에서 확인할 수 있듯이, 개통 당시의 보정계수와 비교하여 임의트립시험으로 최종적으로 산정된 보정계수를 적용하면 더욱 정확한 고장점 표정이 수행되는 것을 확인할 수 있다. 4 곳에 대한 고장점 표정 오차 증감 수치로 평균 390[m]까지 고장점 표정오차가 줄어드는 것을 알 수 있으며, 이는 선로길이를 10[km]로 가정하였을 때 3.9[%]에 해당하는 우수한 오차 정정 값에 해당한다.

4. 결 론

본 논문에서는 국내 교류 전기철도 급전계통에서 널리 사용되고 있는 고장점 표정 알고리즘 중 하나 인 흡상 전류비 방식을 이용한 고장점 표정 장치의 보정계수를 산출하는 새로운 방법을 제시하였다.

기존에 사용되고 있었던 방식인 강제지락시험은 지락고장 전류와 유사한 대전류를 인접설비에 야기함으로써 통신 유도로 인한 설비 손상 및 작업자의 감전을 유발시킬 가능성이 높은 등, 문제점이 다소 존재한다. 특히, 이러한 문제점 때문에 시험횟수가 크게 제한된다는 것이 가장 큰 단점이라고 볼 수 있다. 하지만 본 논문에서 제안하는 새로운 시험 방법은 강제지락시험 수행에 따른 상기의 문제점들을 배제하고, 전기기관차가 운행 상태일 때 다수의 고장점 data를 안전하게 취득할 수 있다는 장점을 갖는다.

최종적으로, 본 논문에서 제안하는 새로운 시험 방법인 임의트립시험을 검증하기 위하여 실제 운영되고 있는 2개의 변전소에 설치되어 있는 고장점 표정 장치를 대상으로 실증 시험을 수행하였다. 수행 결과, 강제지락시험에 비해 안전한 조건에서 다량의 고장점 data를 취득할 수 있었으며 이를 통하여 고장점 표정 장치의 보정계수를 산출한 결과, 개통 당시와 비교하여 평균 390[m], 최대 500[m]까지 오차가 줄어드는 것을 확인하였다. 시험횟수가 극히 제한적인 강제지락시험에 비하여 비교적 안전한 방법으로 다수의 고장점 data를 취득할 수 있는 임의트립시험을

실 계통에 적용하여 누적적으로 고장점 data를 쌓아간다면, 향후 더욱 정확한 고장점 표정이 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원 (15RTRP-B082449-02)에 의해 수행되었습니다.

References

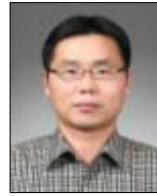
- [1] J. C. Kim, Analysis of power supply system and understanding of the Korean electric railway, Kidari, 2008.
- [2] B. Kim, "Electric railway power engineering", Kidari, 2005.
- [3] Y. S. Kim, H. C. Yoo, "Electric railway engineering", Dong-il, 2005.
- [4] S. K. Hong, "A Study on Fault Locator using Forward Impedance and Reverse Impedance", Master's thesis, Woosong University, 2014.
- [5] S. R. Kim, "A Study on Fault Locator to decrease Estimation Error in Electric Railway", Master's thesis, Chosun University, 2015.
- [6] H. S. Jung, Y. Park, H. C. Kim, M. H. Min, M. C. Shin, "A Study on Fault Location Estimation Technique Using the distribution Ratio of Catenary Current in AC Feeding System", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 14, No. 5, pp. 404-410, October 2011.
- [7] H. S. Jung, "A Study on Real Time Catenary Impedance Estimation Technique using the Synchronized Measuring Data between Substation and Train", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 62, No. 10, pp. 1458-1464, 2013.

저 자 소 개



김철환 (Cheol-Hwan Kim)

1963년 11월 15일생. 1996년 서울산업대 전기공학과 졸업(학사). 2002년 서울시립대 산업대학원 전자전기공학과 졸업(석사). 2016년 우송대학교 대학원 철도전기시스템학과 (박사과정), 1984년~현재 한국철도공사 부장
Tel : 061-749-2412
Fax : 061-749-2022
E-mail : kch9890@korail.com



김성렬 (Sung-Ryel Kim)

1972년 8월 9일생. 1997년 서남대학교 전자공학과 졸업, 2015년 조선대학교 산업대학원 전기기술융합공학과 졸업(석사)
1998년~현재 한국철도공사 부소장
Tel : 061-749-2413
Fax : 061-749-2022
E-mail : ksr1227@korail.com



권성일 (Sung-II Kwon)

1967년 12월 10일생. 1996년 충주대 전기공학과 졸업. 2012년 충북대 전기전산공학과 졸업(석사). 1992년~현재 한국철도공사 연구원 철도시스템개발연구단장
Tel : 042-615-5411
Fax : 02-361-8211
E-mail : kwon1911@korail.com



조규정 (Gyu-Jung Cho)

1986년 12월 20일생. 2012년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2014년 성균관대 정보통신대학 졸업(석사). 2014년~현재 동 대학원 정보통신대학 박사과정
Tel : 031-299-4630
Fax : 031-299-4137
E-mail : thug1220@naver.com



김철환 (Chul-Hwan Kim)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 성균관대 정보통신대학 교수, 전력IT인력양성센터 센터장
Tel : 031-290-7124
Fax : 031-299-4137
E-mail : hmwkim@hanmail.net



송인근 (In-Keun Song)

1954년 4월 4일생. 1978년 고려대학교 전자공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1999년 명지대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 2016년 현재 우송대 철도전기시스템학과 교수
Tel : 042-630-9701
Fax : 042-629-6739
E-mail : iksong@wsu.ac.kr