creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000265097
조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

2015년 6월 碩士學位論文 전기철도 고장점 표정오차 저감에 관한 연구 金 成 烈

2015年 6月
碩士學位論文

전기철도 고장점 표정오차 저감에 관한 연구

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

金 成 烈

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

전기철도 고장점 표정오차 저감에 관한 연구

A study on Fault Locator to Decrease Estimation Error in Electric Railway

2015年 6月 30日

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

金 成 烈

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

전기철도 고장점 표정오차 저감에 관한 연구

指導敎授 崔 孝 祥

이 論文을 工學 碩士學位申請 論文으로 提出함.

2015年 6月 30日

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

金 成 烈

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

金成烈의 碩士學位 論文을 認准함

委員長　朝鮮大學校　敎授　曺 錦 培　인

員　長　朝鮮大學校　敎授　金 喆 準　인

員　長　朝鮮大學校　敎授　崔 孝 祥　인

2015年 6月 30日

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

ABSTRACT ····· iv

Ⅰ. 서 론 ····· 1

Ⅱ. 이론적 배정 ····· 3

A. 교류 전기철도의 급전시스템 ····· 3

1. BT급전방식 ····· 3

2. AT급전방식 ····· 4

B. 고장점 표정장치 ····· 4

1. Reactance 방식 ····· 6

2. 흡상전류비 방식 ····· 8

3. 흡상전류비 방식의 표정 알고리즘 ····· 11

4. 지락시험 ····· 15

5. 표정오차 ····· 17

Ⅲ. 실험의 결과 및 고찰 ····· 22

A. 전라선 고장점 보정 및 표정오차 ····· 22

B. 급전구간별 보정계수 산정 ····· 32

C. 결과 검토 ····· 34

Ⅳ. 결 론 ····· 39

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Table

Table 2-1 Statistics of feeder circuit-breaker open in KORAIL ····· 5
Table 2-2 Comparison reactance method with boosting current ratio method ····· 10
Table 2-3 Statistics of fault locator equipment in KORAIL ····· 10
Table 2-4 Impedance of AT feeding system ····· 12
Table 2-5 Equivalent impedance of normal earth section ····· 18
Table 2-6 Equivalent impedance of tunnel section ····· 19
Table 2-7 Equivalent impedance of bridge section ····· 19
Table 3-1 Result of forced-fault-test between Sunchun SS and Jukgok SP 24
Table 3-2 Estimation error between Sunchun SS and Jukgok SP ····· 26
Table 3-3 Result of forced-fault-test between Sunchun SS and Yulchon SP 26
Table 3-4 Result of forced-fault-test between Sunchun SS and Gangyang ATP ····· 26
Table 3-5 Estimation error between sunchun SS and yulchon SP ····· 29
Table 3-6 comparison forced-fault-test with trip source-test between Sunchun SS and Jukgok SP ····· 33
Table 3-7 comparison forced-fault-test with trip source-test between Sunchun SS and Yulchon SP ····· 33
Table 3-8 Modification factor in separated feeding section ····· 34
Table 3-9 Estimation error of fault locator in separated feeding section ····· 35

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Figure

Fig. 1-1 Picture of single catenary in AT feeding system ····· 1
Fig. 2-1 Configuration of BT feeding system ····· 3
Fig. 2-2 Configuration of AT feeding system ····· 4
Fig. 2-3 Configuration of fault locator system ····· 6
Fig. 2-4 Reactance of BT feeding system ····· 7
Fig. 2-5 Impedance of AT feeding system ····· 7
Fig. 2-6 Equivalent circuit of grounding in AT feeding system ····· 8
Fig. 2-7 Boosting current ratio of fault locator in AT feeding system ····· 9
Fig. 2-8 Current distribution Between AT2 and AT3 in grounding accident 11
Fig. 2-9 Comparison estimated distance with actual fault distance ····· 14
Fig. 2-10 Configuration of forced-fault-test ····· 16
Fig. 2-11 Configuration of trip source test ····· 17
Fig. 2-11 Impedance of up and down railway in Pung-teak sub station ····· 20
Fig. 3-1 Sunchun sub station fault data ····· 23
Fig. 3-2 Fault locator date of Sunchun SS(forward Jukgok SP) ····· 24
Fig. 3-3 Grounding accident between Sunchun SS and Jukgok SP ····· 25
Fig. 3-4 Fault locator date of Sunchun SS(forward Yulchon SP) ····· 27
Fig. 3-5 Grounding accident between Sunchun SS and Yulchon SP ····· 28
Fig. 3-6 Comparison “c” value with “m” value ····· 30
Fig. 3-7 Comparison estimation error with “c” value and “m” value ····· 31
Fig. 3-8 Max load current of Sunchun SS by one day ····· 32
Fig. 3-9 Comparison of Modification factor ····· 36
Fig. 3-10 Modification factor diagram of fault locator in separated feeding section ····· 37

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

A study on Fault Locator to decrease Estimation error in Electric Railway

Kim, Sung-ryel
Advisor : Prof. Choi Hyo-Sang, Ph.D.
Department of Electrical Convergence Engineering, Graduate School of Industry, Chosun University

The railroad industry recently plans to enhance the train operation speed by route and the railroad transport rate among transportation modes as a new growth engine of carbon and green growth. It has continued to open more high-speed trains and to electrify a greater number of the existing railroad lines, thereby offering an expectation that by 2015, the train electrification rate will be 70% in terms of railroad operation distance.

Electric railway substations are installed at the interval of 20~50km in the AD electrical railway system, massive external line facilities including combined electric car lines and feeders, and current collectors are installed to supply electric power to electric cars. Given this, diverse dangers of short-circuit faults, such as contacts with impurities and line cutting exist. Also, when external line facility accidents occur, the power supply from electric railway substations is cut in order to remove the causes of accidents until restoration is completed, disabling the operation of trains. Thus, it is important to the reliability of the electric railway system to speedily and accurately pinpoint the accident spots, and to shorten restoration time. Thus, in order to accurately pinpoint the troubles and accidents caused to the electric railway system's external line facilities, trouble point indication systems are installed and are

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

classified into the reactance method and the booster current ratio method according to the indication method.

This study sought to verify the accuracy of such monitoring by the trip source application method in the AD electric railway system, to use diverse correction coefficients calculation method in reducing the display error by feeder section in the trouble spot indication system based on the booster wire current ratio method so that when ground relay accidents occur, the indication error can be compared with the existing method of calculating limited correction coefficients to verify the enhanced accuracy of the trouble spot indication system. It is expected that through this reduction of trouble spot indication errors, the reliability of the trouble spot indication system can be boosted, and that when troubles occur in the electric railway system, restoration time can be cut along with speedy restoration resuming the operation of train to ensure the on-time and safe operation of train.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

I. 서 론

2014년 1월 정부는 '국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵'을 발표하고 국제사회에 약속한 온실가스 감축목표(IPCC 배출목표량대비 30% 감축)의 충실한 이행을 위한 정책의지를 대내·외에 표명하고 각 부문별 감축이행을 위한 제도적 기반 확충과 내실화를 기하고 있다. 이에 따라 철도분야는 저탄소 녹색교통 인프라 확충을 위해 철도 노선별 최고속도 등을 감안한 최적의 고속화 방안을 마련하고, 도시철도 및 광역철도 확충을 위해 2020년까지 간선철도망을 2012년 대비 39.4% 증가된 1,406㎞ 추가 건설할 계획이며, 철도의 대도시권 대중교통 수송 분담률을 60%, 물류수송 분담률은 18.5%까지 확대할 계획이다. 우리나라의 철도산업은 2005년 경부고속철도 개통이후 2014년 호남고속철도와 포항직결선 개통 등 고속화와 일반선에 대한 지속적인 전철화 사업으로 전기철도의 급전시스템은 점차 대용량화되고 열차속도 향상으로 열차운행시격이 단축되고 있다.

일반적으로 교류 전기철도 방식의 전철변전소(SS)에서 급전구분소(SP)까지 20~50㎞의 장거리를 단독 급전하고, 급전구분소에서 연장 급전할 경우 급전구간이 더욱 길어진다. Fig. 1-1과 같이 교류 전기철도의 광범위한 외선설비에 지락이나 단락 등의 사고가 발생하면 사고구간에는 고장개소의 복구작업 종료시까지 급전이나 배전이 불가능하게 되어 열차의 운행중단으로 사회적 물의를 야기하게 되므로 신속하게 사고 지점을 파악하여 사고를 해소하는 것은 사고발생

Fig. 1-1 Picture of single catenary in AT feeding system

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

의 검출과 함께 전기철도의 신뢰성을 확보하는데 중요한 요인 중의 하나이다. 고장점표정장치는 전기철도 급전시스템의 외선설비에 발생한 장애·사고지점을 확인할 수 있는 설비로 고장점표정 지점과 실제 발생지점간의 표정오차를 축소하는 것은 유지보수와 사고복구 시간 단축을 위해 매우 중요하다. 우리나라 전기철도 시스템에서는 리액턴스 방식, AT흡상전류비 방식과 위치추적 센서에 의한 방식 등이 적용되고 있으며, AT흡상전류비 방식이 가장 많이 사용되고 있다.

본 연구는 교류급전 전기철도 시스템의 외선설비에서 발생한 사고지점을 통보하는 AT흡상전류비 방식의 고장점표정장치의 표정오차를 저감하여 정확도와 설비의 신뢰도를 향상할 수 있는 표정 알고리즘 제시하고, 전철변전 급전계통에 적용하여 개선효과를 검증하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

II. 이론적 배경

A. 교류 전기철도의 급전시스템

교류급전 전기철도는 변전소에서 인출된 가공전선과 레일로 구성된 전송로를 통해 전기차 운전에 필요한 전력을 공급하는 형태로 우리나라의 급전방식은 BT급전과 AT급전방식으로 구분한다.

1. BT(Booster Transformer) 급전방식

BT(Booster-Transformer) 급전방식은 Fig. 2-1과 같이 권선비 1:1의 흡상변압기를 약 4㎞마다 설치하여 전차선에 부스터 색션(Booster Section)을 설치하고 BT의 1, 2차측을 전차선과 부급전선에 각각 직렬로 접속, BT와 BT사이는 중간점에서 레일과 부급전선을 흡상선으로 접속하여 레일에서 대지에 누설되는 전기차 귀선전류를 BT작용에 의해 강제적으로 부급전선에 흡상시켜 통신선로의 유도장애를 경감하는 방식이다. BT의 2차측을 부급전선에 연결하여 통신유도 경감효과가 크지만 부하전류가 크면 부스터 색션 부분에서 부하전류를 차량의 판타그래프에서 개폐하므로 아크 발생으로 부하전류가 크고 속도가 고속화되면 운전 및 보수가 어려워진다.

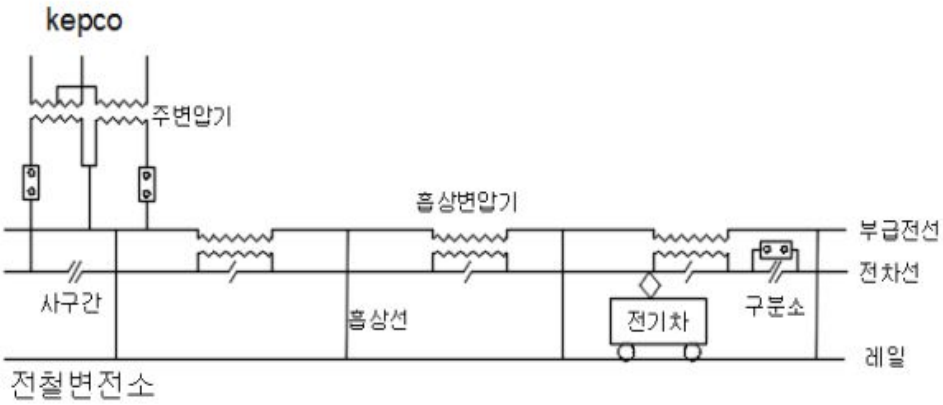


Fig. 2-1 Configuration of BT feeding system

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. AT(Auto Transformer) 급전방식

AT급전방식은 Fig. 2-2와 같이 권수비가 1:1 혹은 1:2인 단권변압기를 사용하여 급전선을 가선하고 급전선과 전차선과의 사이에 약 10㎞간격으로 AT를 병렬로 설치 접속하여 변압기 권선의 중성점을 레일에 접속하는 방식으로서 우리나라의 수도권 전철과 기존선 대부분의 급전방식으로 채택되고 있다.

단권변압기의 특성에 의해 전차선이 레일보다 전위가 높고 가공 급전선은 레일과 대지보다 전위가 낮아 레일에서 대지로 누설되는 귀선 전류는 단권변압기의 중성점을 통하여 급전선으로 흡상되므로 통신 유도 장해를 효과적으로 저감할 수 있다. 이 방식은 대용량 열차부하에서도 전압변동, 전압 불평형이 적어 안정된 전력공급이 가능하여 고속전철에도 이 방식이 채택되고 있으며 레일에 흐르는 전류는 차량을 중심으로 각각 반대방향의 AT쪽으로 흐르기 때문에 근접 통신선에 대한 유도장애도 작아지는 장점이 있다.

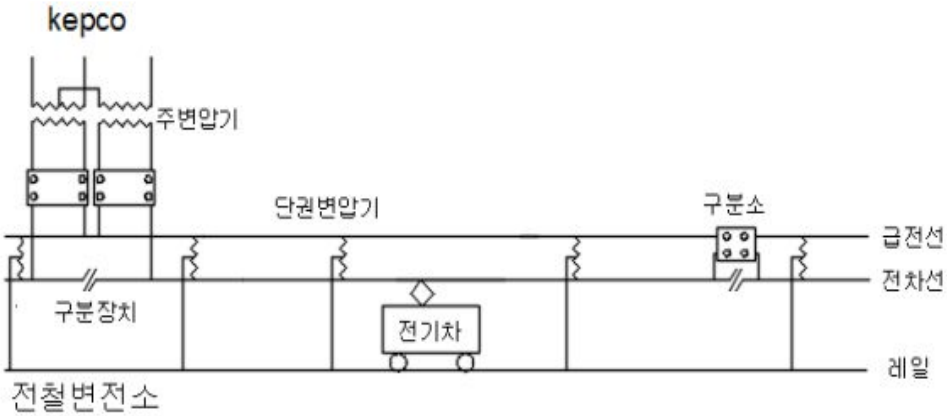


Fig. 2-2 Configuration of AT feeding system

B. 고장점 표정장치

2008년 이후 5년간 전기철도 급전시스템의 차단기가 외선장애로 인해 개방된 통계자료는 Table 2-1과 같으며, 순간적인 장애로 차단기 개방이후 즉시 재폐

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

Table 2-1 Statistics of feeder circuit-breaker open in KORAIL

구 분	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	계
재폐로동작	143	184	199	228	103	857
수동취급	125	138	142	138	68	611
계	268	322	341	366	171	1,468

로계전기가 동작하여 장애 복구된 경우가 전체 58.3%이며 관제나 로켈 취급소에서 수동취급으로 장애 조치한 경우가 41.6%에 달하고 있다. 전차선로 외선장애의 주요 발생요인은 조류둥지, 폐비닐, 동물 등 이물질의 접촉, 건설장비의 전도, 차량 진입, 감전사고 등 다양하다.

고장점 표정장치는 이런 외선설비에 지락, 단락 사고가 발생하였을 경우 거리계전기나 고장선택계전기 또는 과전류계전기 등의 보호 장치가 사고를 검출하고 급전용 차단기가 동작하여 사고구간을 차단하기 이전(30~50msec)의 고장전류, 전압 등의 계측 데이터를 연산하여 고장점을 표정하는 장치로 신속한 사고해소를 목적으로 설치된다.

고장점표정장치의 기본구성은 Fig. 2-3과 같이 전철변전소(SS)[1]에 주장치(MU : Master Unit)가 설치되고, 급전구분소 (SP)[2], 보조급전구분소 (SSP)[3], 단말보조급전구분소 (ATP)[4]에 보조장치 (SU:Slave Unit)가 각각 설치된다. SU는 부하전류, 사고전압, 전류를 계측하고 보호계전기의 트립 신호를 입력받아 고장데이터를 MU로 전송하고 MU는 MU 자체 고장데이터와 SU의 고장데이터를 연산하여 고장점을 표정한다.

1) 전철변전소(Sub Station) : 전기차량 및 전기철도 설비에 전력을 공급하기 위하여 구외로 부터 전송된 전기를 구내에 시설한 변압기 등 기타의 기계기구에 의하여 변성하는 장소로서 변성한 전기를 다시 구외로 전송하는 장소

2) 급전구분소(Sectioning Post) : 전철변전소간 전기를 구분 또는 연장급전을 하기 위하여 개폐장치 등을 설치한 장소

3) 보조급전구분소(Sub Sectioning Post) : 작업, 고장, 장애 또는 사고시에 정전(단전)구간을 한정하거나 연장급전을 하기 위하여 개폐장치와 단권변압기 등을 설치한 장소

4) 단말보조급전구분소(Auto Transfromer Post) : 전차선로의 말단에 가공전차선의 전압강하 보상과 유도장해의 경감을 위하여 단권변압기를 설치한 장소

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1. Reactance 방식

급전회로의 Reactance가 거리에 비례하는 표정원리를 이용한 것으로 급전회로의 전압 및 전류를 취하여 44F 또는 50F에서 보낸 기동 신호에 의하여 사고시 미리 입력한 보호구간의 임피던스값과 비교하여 고장점을 표정하는 방식이다.

이 방식은 주로 BT급전선로에 적용되며 전차선로의 임피던스가 거리에 비례하지 않는 AT급전선로에 적용할 때는 표정오차가 커 정확한 고장지점을 표정하는데 어려움이 있으며 부하의 변동에 크게 영향을 받는다. 우리나라에서는 초기의 전기철도 설치 시에는 철도가 단선화 되어 있어 Fig. 2-4와 같이 BT급전회로는 변전소에서 본 임피던스가 어느 정도 직선성을 확보하고 있으나 AT급전회로는 Fig. 2-5과 같이 선로 임피던스가 비직선형 특성을 나타내므로 다수의 개소에서 동일 임피던스 값을 갖게 되며, 시설의 확충 및 복선화로 사고의 종류가 복잡 다양하게 되어 고장지점을 예측하는데 오차가 발생하고 있다.

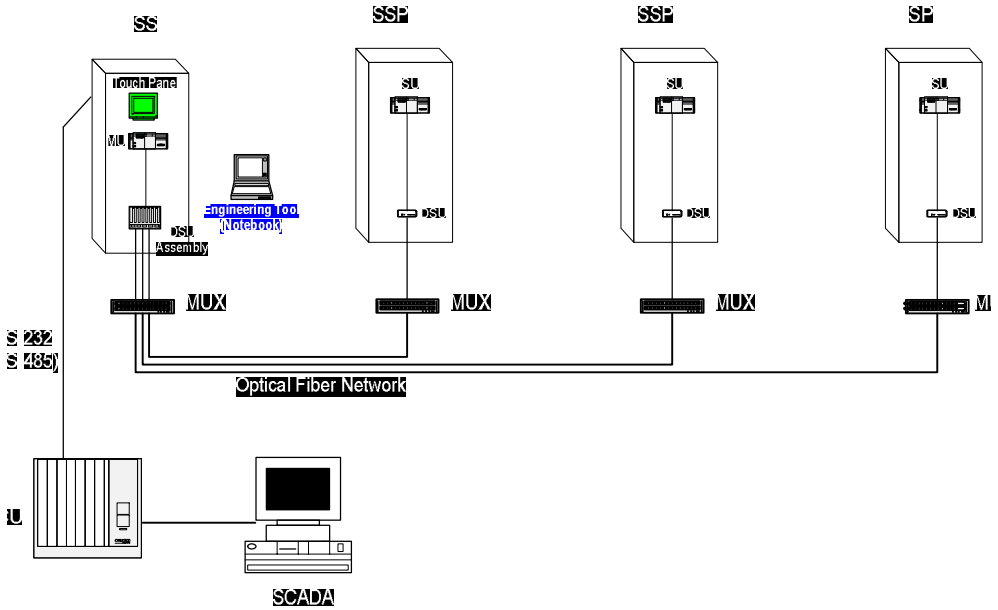


Fig. 2-3 Configuration of fault locator system

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

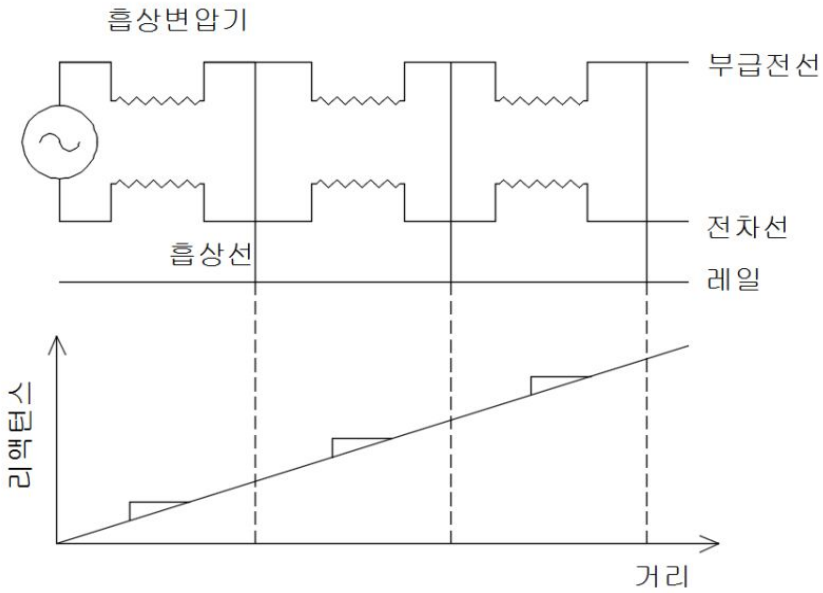


Fig. 2-4 Reactance of BT feeding system

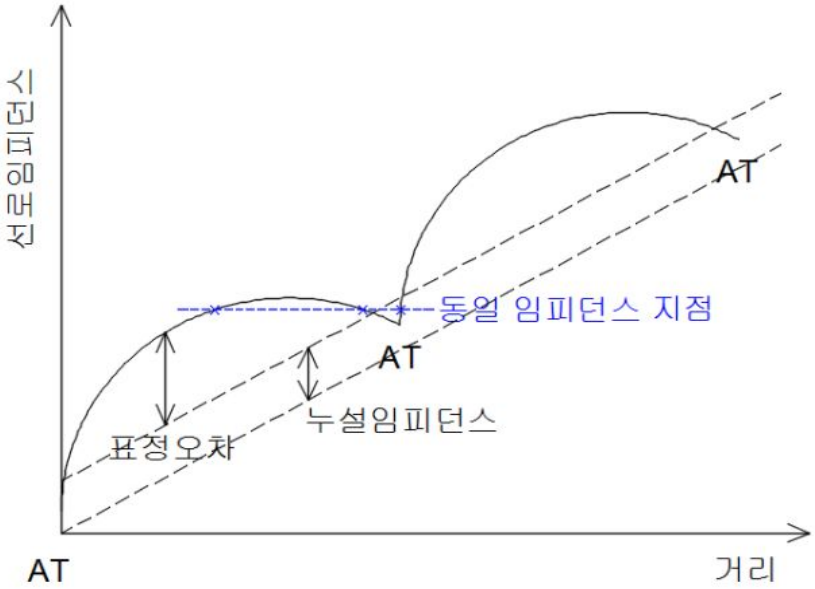


Fig. 2-5 Impedance of AT feeding system

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 흡상전류비 방식

흡상전류비 방식은 AT급전회로에서 AT와 AT간, 즉 전철변전소(SS)와 보조급전구분소(SSP) 또는 보조급전구분소(SSP)와 보조급전구분소(SSP), 보조급전구분소(SSP)와 급전구분소(SP) 등의 급전구간에서의 사고발생시 사고지점의 전력을 공급하는 양쪽의 AT에 흘러 들어가는 흡상전류를 비율로 환산하여 표정하는 방식이다.

AT급전선로의 고장발생시 전류분포는 변전소에서 고장점을 양측의 AT에 급전전압기준의 고장전류가 공급되어 AT에 의하여 전기차 전압기준의 전압으로 변환된 고장 전류가 고장점에 흐르도록 하여 Fig. 2-6과 같이 등가회로로 표현할 수 있다.

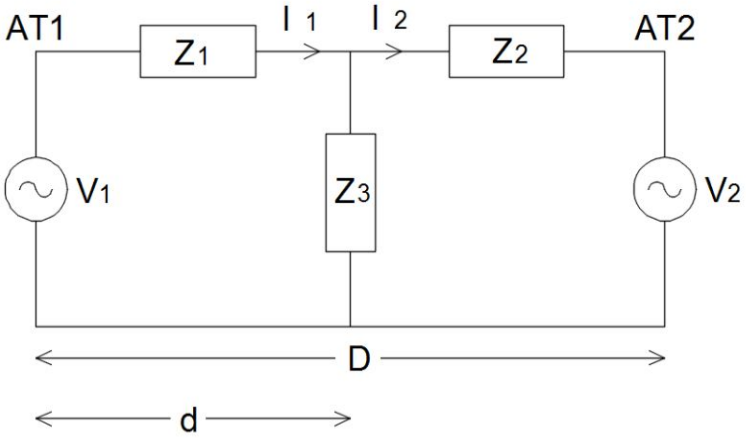


Fig. 2-6 Equivalent circuit of grounding in AT feeding system

동일 전압, 위상의 전원으로 식(2.1)과 같이 간략화하면 AT2의 중성점 전류의 비(H)가 고장점 거리에 비례하는 것을 알 수 있다.

$$H = \frac{I_{n+1}}{I_n + I_{n+1}} \times 100 = Q_1 + (100 - Q_1 - Q_2) \times \frac{d}{D}$$
$$d = \frac{D}{(100 - Q_1 - Q_2)} \times \left(\frac{100 I_{n+1}}{I_n + I_{n+1}} - Q_1\right) + L_n [km] \qquad (2.1)$$

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

* Q1 : ATn측의 보정계수, Q2 : ATn+1측의 보정계수
* In : n 지점의 AT중성점 전류의 합
* In+1 : n+1 지점의 AT 중성점 전류의 합
* d : 기점에서 고장점의 거리
* Ln : 기점에서 ATn 까지의 거리(Km)
* D : ATn과 ATn+1간의 거리

식(2.1)에 의해 흡상전류비와 거리의 관계는 Fig. 2-7과 같으며, 연장급전 시 변전소의 방향이 변하여도 표정식을 변경하지 않아도 되며 표정오차는 ±1Km 이내이다.

한국철도공사의 전철변전소 고장점 표정장치 모장치를 기준으로한 표정방식별 설치현황은 Table 2-3과 같다

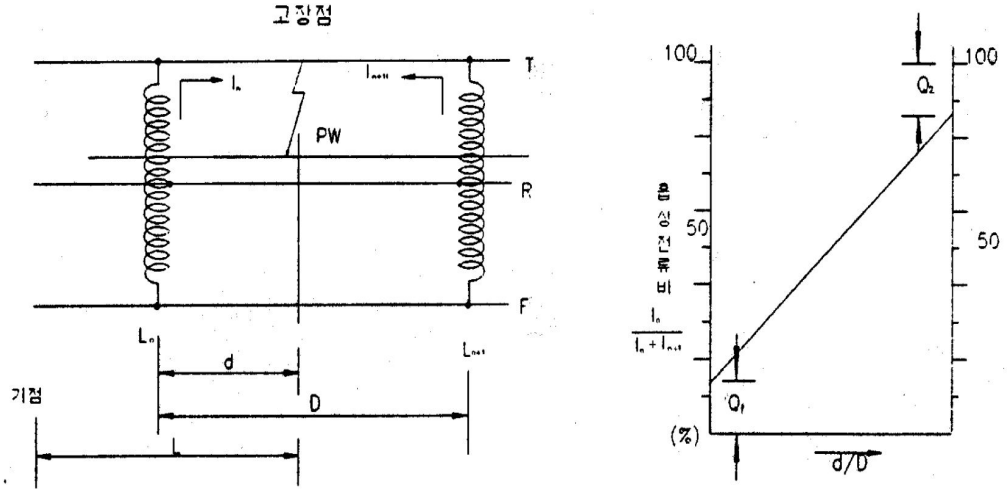


Fig. 2-7 Boosting current ratio of fault locator in AT feeding system

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 2-2 Comparison reactance method with Boosting current ratio method

구 분	리액턴스 방식	흡상전류방식
표정요소	임피던스(전압,전류,위상)비교	중성점 흡상전류 비교
표정원리	SS,SP,SSP,측선 및 선로 분기개소 등에 설치된 거리계전기로 고장개소 선로의 전압 및 전류를 측정하여 임피던스 계산 값에 의해 고장위치 표정	SS,SP,SSP 등에 설치된 AT간의 중성점에 흐르는 사고전류를 측정하여 고장위치 표정
장·단점	▪ 표정오차발생을 줄이기 위해 측선, 분기선 등 필요한 개소마다 거리계전기를 설치 ▪ 시설비가 중성점 흡상전류방식에 비해 저가 ▪ AT급전방식의 특성상 임피던스가 거리에 비례하지 않기 때문에 표정값이 부정확할 수 있음	▪ 고장점 위치가 정확히 파악됨 ▪ 선로임피던스와 무관 ▪ 시설비가 임피던스방식에 비하여 고가 ▪ AT가 없는 개소는 측정불가
정 밀 도	± 3 counts	± 2 %(측정전류)

Table 2-3 Statistics of fault locator equipment in KORAIL

구분	TSUDA (흡상전류비방식)	ICE (리액턴스방식)	P&C (흡상전류비방식)	테크원 (고장점위치추적)
수도권(13)	고양기지(경부), 원주, 모란, 구로, 평택, 주안, 군포		고양기지(경부), 구리, 마석, 매곡, 남춘천	의정부
강원권(2)	동해, 동백산			
충청권(8)	단양, 석항	봉양	계룡, 증평, 조치원, 옥천, 충주	
경상권(9)	경산, 밀양(경부),가야, 춘양		직지사, 사곡, 진례, 군복, 밀양(경전)	
전라권(8)			익산, 전주, 남원 순천, 덕양, 백양사, 노안, 일로	
고속선(18)	대구, 부산진	소하, 향남, 용정, 회덕, 상촌, 신동, 안산, 평택, 신청주, 옥천, 김천, 대구, 울산, 부산, 당리, 보은		
계	17	17	23	1

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 흡상전류비 방식의 표정 알고리즘

AT급전 계통에서 Fig. 2-8과 같이 AT2과 AT3사이에 지락고장이 발생하면 고장점 표정 알고리즘은 고장으로 형성된 폐루프로 부터 키르히호프의 전압법칙을 이용하여 루프방정식을 세우고, 이상적인 1:1 단권변압기는 변압기 1차측과 2차측 전압이 같으므로 고장거리 m에 대한 정리하면 식(2.2)와 같다.

$$m = \frac{(\frac{1}{2}Z_C + 2Z_R + \frac{1}{2}Z_F - 2Z_{CR} + Z_{CF} - 2Z_{RF})(I_b) - Z_{AT}(2I_2 - 2I_3)}{(Z_C + 2Z_R - 3Z_{CR} + Z_{CF} - Z_{RF})(I_a + I_b)} \tag{2.2}$$

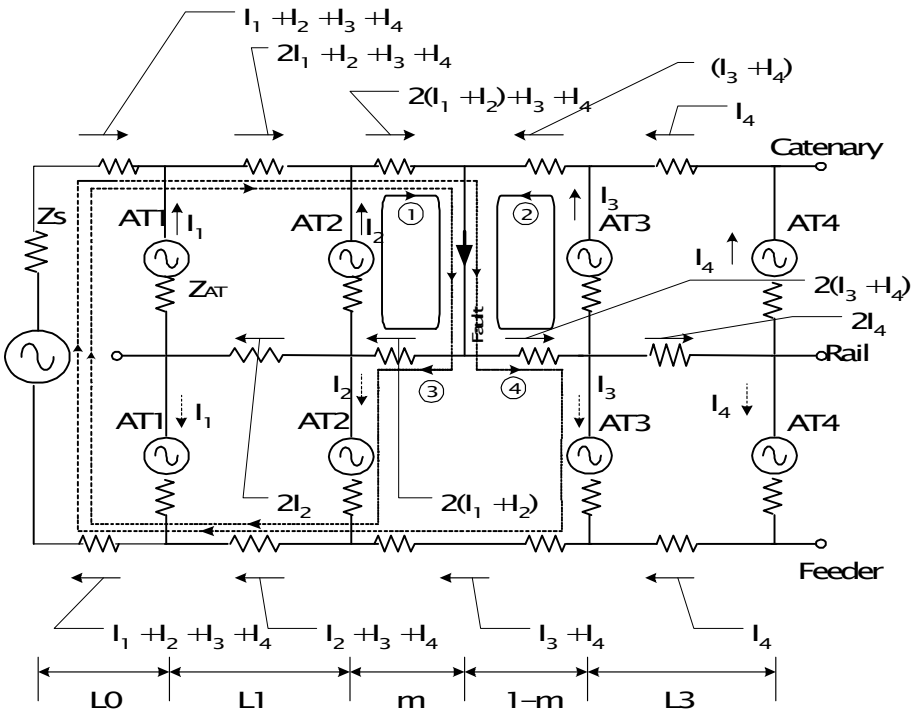


Fig. 2-8 Current distribution Between AT2 and AT3 in grounding accident

* m : AT2에서 고장점까지의 거리(d) / AT2와 AT3사이의 거리(D)
* Z_C : Catenary 자기 임피던스
* Z_R : Rail 자기 임피던스

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

* Z_F : Feeder 자기 임피던스
* Z_{CR} : Catenary - Rail간 상호 임피던스
* Z_{CF} : Catenary - Feeder간 상호 임피던스
* Z_{RF} : Rail - Feeder간 상호 임피던스
* I_a : AT2 유입전류 (= $2I_1+2I_2$)
* I_b : AT3 유입전류 (= $2I_3+2I_4$)

AT1~AT2, AT3~AT4 구간에서 발생한 고장점도 동일한 방법으로 고장지점을 찾을 수 있으며, 표정 알고리즘 적용 시 고려할 점은 다음과 같다

※ 선로임피던스는 전철변전소에서 급전구분소까지의 모든 구간에 거의 일정한 값으로 표현되어야 한다. (구간별 선로임피던스가 차이가 있거나 상수로 표현되지 않으면 오차 발생)
※ 상호임피던스 값을 정확히 알아야 한다.
※ 전류값은 모두 벡터값으로, 정확한 샘플링 동기를 맞추어 계측되어야 한다.
※ 전류값은 고장으로 인해 유입전류만으로 표현된다(누설, 자화전류 등은 표정오차 유발)

경부선의 계측된 선로임피던스(Table 2-4)를 식(2.3)에 대입하면 선로임피던스로 표현되는 첫 번째항의 계수는 약 0.871정도의 상수가 된다.

Table 2-4 Impedance of AT feeding system

임피던스 종류	크 기
전차선(Z_C)	0.194 + j0.731[Ω/km]
레일(Z_R)	0.009 + j0.467[Ω/km]
급전선(Z_F)	0.122 + j0.587[Ω/km]
전차선-레일(Z_{CR})	0.053 + j0.373[Ω/km]
레일-급전선(Z_{RF})	0.058 + j0.369[Ω/km]
급전선-전차선(Z_{CF})	0.051 + j0.361[Ω/km]
전원(Z_S)	2.3600 + j19.50 [Ω]
AT내부(Z_{AT})	0.0287 + j0.449 [Ω]

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$k=\frac{\frac{1}{2}Z_C+2Z_R+\frac{1}{2}Z_F-2Z_{CR}+Z_{CF}-2Z_{RF}}{Z_C+2Z_R-3Z_{CR}+Z_{CF}-Z_{RF}}=0.868+j0.064 \tag{2.3}$$

식(2.3)을 전류비 c로 정리하면 식(2.4)과 같다.

$$c=\frac{|I_3|+|I_4|}{|I_1|+|I_2|+|I_3|+|I_4|} \tag{2.4}$$

식(2.4)에 의한 결과를 개선하기 위해서는 식(2.3)으로 표현되는 선로임피던스에 대한 관계식과 식(2.2)에서 두 번째 항의 표현을 보상할 보정계수가 필요하며, 이는 식(2.5)와 같이 표현할 수 있습니다.

$$m=k_1\left(\frac{|I_3|+|I_4|}{|I_1|+|I_2|+|I_3|+|I_4|}\right)+k_2 \tag{2.5}$$

식(2.5)에서 k_1은 식(2.3)으로 표현되는 선로임피던스 관계식을 보정하는 계수이며, k_2는 식(2.5)에서 두 번째 항을 보정하는 계수로 식(2.6)과 같이 표현할 수 있다.

$$k_2\approx\frac{-Z_{AT}(2I_2-2I_3)}{(Z_C+2Z_R-3Z_{CR}+Z_{CF}-Z_{RF})(I_a+I_b)} \tag{2.6}$$

산출된 고장점 표정값은 Fig. 2-9와 같이 실제 고장지점과 표정오차가 발생함으로 식(2.5)와 같은 보정이 필요하며, 흡상전류비에 의한 표정방식에 적용하는 직선근사 보정법과 폐루프 임피던스 추정에 의한 보정방식에 적용하는 가감보정법이 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

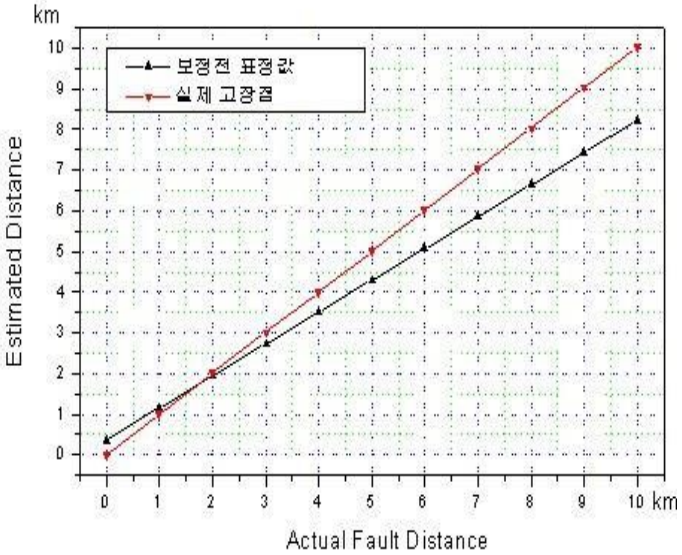


Fig. 2-9 Comparison estimated distance with actual fault distance

보정방법의 선택은 보정계수 K_4의 값을 설정함에 따라 구분되며 K_4의 값을 1.0미만으로 하면 직선근사 보정법이 적용되며, K_4가 1.0이상이면 가감보정법이 적용된다.

SS와 SSP사이의 고장점 표정식

$$m = k_1\left(\frac{|I_2|}{|I_1|+|I_2|}\right) + k_2 \tag{2.7}$$

SS와 SSP사이 이외의 고장점 표정식

$$m = k_3\left(\frac{|I_3|}{|I_2|+|I_3|}\right) + k_4 \quad \text{또는} \quad m = k_3\left(\frac{|I_4|}{|I_3|+|I_4|}\right) + k_4 \tag{2.8}$$

식(2.7)과 식(2.7)을 정리하면 식(2.9)와 같다

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

$$m = k_1 c + k_2,\ \ c = \frac{|I_2|}{|I_1| + |I_2|} \tag{2.9}$$

식(2.9)에 의해 보정계수 k_1과 k_2를 구하기 위해서는 최소 2개 이상의 고장데이터가 필요하며 식(2.10)과 같은 2개의 고장데이터 (m_1, c_1)과 (m_2, c_2)를 가진 경우에

$$m_1 = k_1 c_1 + k_2,\ m_2 = k_1 c_2 + k_2 \tag{2.10}$$

1차 연립방정식을 풀면 k_1과 k_2의 값을 식(2.11)과 같이 구할 수 있다.

$$k_1 = \frac{m_1 - m_2}{c_1 - c_2},\quad k_2 = m_1 - k_1 c_1 = m_1 - \frac{m_1 - m_2}{c_1 - c_2} c_1 \tag{2.11}$$

k_3와 k_4도 동일한 방법으로 구할 수 있다. k_1과 k_3는 직선의 기울기에 대한 보정으로 보통은 0.0과 1.5사이의 값을 가지며, k_2와 k_4는 직선의 수직이동에 대한 보정으로 보통은 -0.5와 +0.5사이의 값을 가진다.

4. 지락시험

지락시험은 전기철도 급전계통에서 발생하는 이상전압의 종류, 특징 등 특성시험과 영향분석을 위해 뇌 임펄스시험과 강제지락시험을 시행하며, 일반적으로 전철화 개량사업 구간의 고장점표정장치의 사고특성 파악과 보정계수 산정을 위해 강제지락시험을 주로 한다. 강제지락시험은 Fig. 2-10과 같이 급전구간의 전차선 가동 브라키트와 접지단자함간에 지락전선을 설치하고 전철변전소에서 급전하여 지락조건을 만들어 변전소로 귀환되는 흡상전류를 CT(1200/5)로 검출하여 고장점표정장치의 보정계수 산정을 위한 고장데이터를 얻을 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

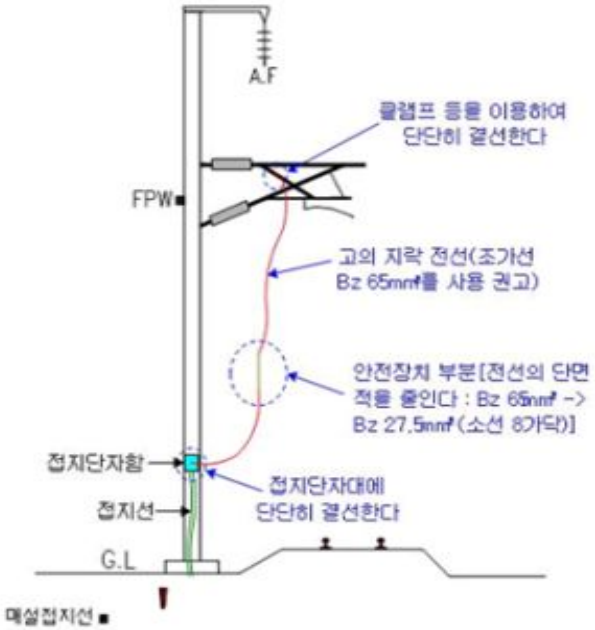


Fig. 2-10 Configuration of forced-fault-test

이와 같은 강제지락시험 시 발생하는 대전류(1~3kA)로 인해 전철설비와 변전계통의 CT 손상이 발생할 수 있으며, 공용 매설접지의 대지전위 상승으로 시험장소 주변의 저압 신호제어 설비의 손상을 줄 수 있고 통신유도로 인한 정보통신설비의 전송품질 저하로 통신서비스에 지장을 초래할 수 있다. 따라서 최근에는 강제지락시험의 문제점을 해소할 수 있는 트립소스 인가방법이 제시되고 있다. 트립소스 인가방법은 Fig. 2-11과 같이 보호계전기의 고장점표정장치의 트립 접점을 폐회로로 구성하여 강제적으로 트립 조건을 만들어, MU에서 트립소스를 발생하고, SU로 트립소스 신호를 인가하여 지락 사고 시와 동일한 프로세스 및, 표정 알고리즘을 이용하여 고장데이터를 산출할 수 있다. 트립소스 인가방식의 시험방법은 다음과 같다.

① 열차 운행위치 확인 및 통보

② 보호계전기의 고장점표정장치 트립용 점검을 폐회로 구성

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

③ MU의 트립소스 발생

④ 트립소스 전송(MU→SU)

⑤ SU 흡상전류 데이터를 MU로 전송

⑥ MU에서 표정알고리즘에 의한 고장데이터 분석

⑦ MU 고장점 표정

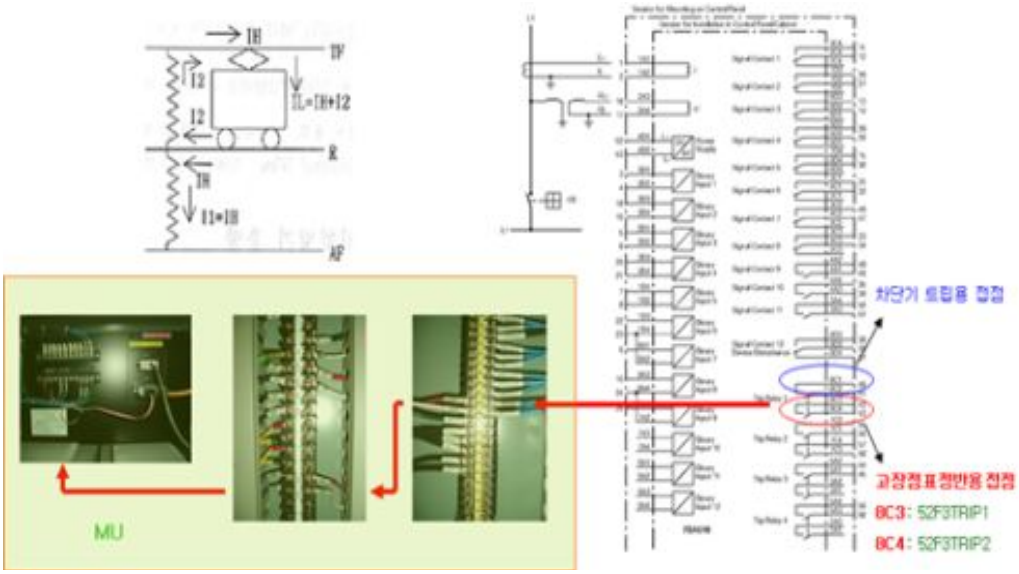


Fig. 2-11 Configuration of trip source test

5. 표정오차

고장점표정장치의 표정오차를 유발하는 요인으로는 표정장치의 입력회로의 변환과정에서 발생하는 오차, 연산오차, 동기샘플링 오차, 거리설정 오차 등 내부적 요인과 선로측에 설치된각 변성기의 특성오차인 외부적 요인으로 나누어 생각할 수 있다.

외부요인에 의한 오차는 표정장치에서 보정하기 어려운 부분으로 고장발생시 각 단권변압기에서 계측되는 고장전류의 크기는 매우 다양한 크기를 가지고 선

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

로측 CT의 통전크기에 따라 정밀도가 달라지며, 흡성전류비 방식의 표정장치에서는 단권변압기로 흡상되는 전류중 가장 큰 전류에 대한 정밀도가 중요한 오차발생 요인이 되며, 거리계전방식에서는 급전선에 설치된 CT와 PT의 계측오차가 주된 외부요인의 오차가 된다.

내부요인은 표정오차의 입력신호에서 신호변환 중에 발생하는 오차가 가장 큰 영향을 주며 아날로그-디지털 변환과정에서의 양자화(quantization) 연산과정에서의 오차 등이 표정오차에 영향을 준다. 또한 흡상전류비 방식에서 동기화 오차가 있으며, 트립 신호를 받은 시점에서 모든 단권변압기의 중성점에서의 흡상 전류값이 동기화 되어야 계측되며 동기화 오차가 큰 경우에는 표정오차에 영향을 주게 된다. 거리설정 오차는 전철변전소, 급전구분소, 보조급전구분소의 정확한 위치와 절연구분장치의 위치, 역구내 전차선로 구성, 차량기지, 급전분기 등으로 인해 AT간 거리가 실제거리와 차이가 발생하게 된다.

내부요인에 의한 표정오차를 감소하기 위해 변전소간 2회 이상의 지락시험을 통해 얻은 고장데이터를 이용하여 보정계수를 산정하고 실제 고장점과 표정 고장점간의 허용오차는 10km의 0.2%로 약 200m이내이다.

Table 2-5 Equivalent impedance of normal earth section

Open Track area	Contact wire Group		Feeder Group		Rail Group		Contact wire Group		Feeder Group	
	R_e	I_m	R_e	I_m	R_e	I_m	R_e	I_m	R_e	I_m
Contact wire Group	0.18	0.73	0.06	0.44	0.06	0.37	0.06	0.4	0.06	0.37
Feeder Group	0.06	0.44	0.18	0.91	0.06	0.36	0.06	0.37	0.06	0.36
Rail Group	0.06	0.37	0.06	0.36	0.11	0.47	0.06	0.37	0.06	0.36
Contact wire Group	0.06	0.40	0.06	0.37	0.06	0.37	0.18	0.73	0.06	0.44
Feeder Group	0.06	0.37	0.06	0.36	0.06	0.36	0.06	0.44	0.18	0.91

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 2-6 Equivalent impedance of tunnel section

Open Track area	Contact wire Group		Feeder Group		Rail Group		Contact wire Group		Feeder Group	
	R_e	I_m	R_e	I_m	R_e	I_m	R_e	I_m	R_e	I_m
Contact wire Group	0.08	0.82	0.06	0.49	0.06	0.40	0.06	0.40	0.06	0.42
Feeder Group	0.06	0.49	0.15	0.88	0.06	0.39	0.06	0.42	0.06	0.46
Rail Group	0.06	0.40	0.06	0.39	0.09	0.48	0.06	0.40	0.06	0.39
Contact wire Group	0.06	0.40	0.06	0.42	0.06	0.40	0.08	0.82	0.06	0.49
Feeder Group	0.06	0.42	0.06	0.46	0.06	0.39	0.06	0.49	0.15	0.88

Table 2-7 Equivalent impedance of bridge section

Open Track area	Contact wire Group		Feeder Group		Rail Group		Contact wire Group		Feeder Group	
	R_e	I_m	R_e	I_m	R_e	I_m	R_e	I_m	R_e	I_m
Contact wire Group	0.18	0.75	0.05	0.52	0.06	0.38	0.06	0.4	0.06	0.39
Feeder Group	0.05	0.52	0.15	0.89	0.06	0.37	0.06	0.39	0.06	0.39
Rail Group	0.06	0.38	0.06	0.37	0.1	0.48	0.06	0.38	0.06	0.37
Contact wire Group	0.06	0.4	0.06	0.39	0.06	0.38	0.18	0.75	0.05	0.52
Feeder Group	0.06	0.39	0.06	0.39	0.06	0.37	0.05	0.52	0.15	0.89

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

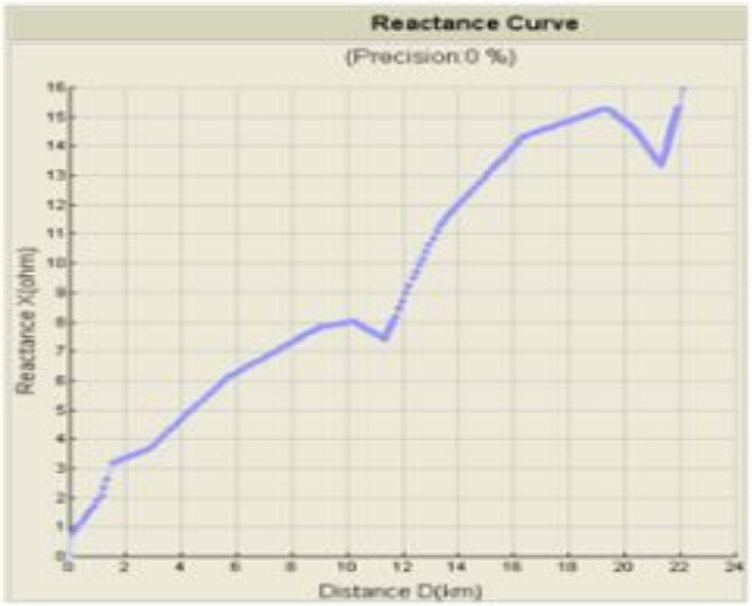


Fig. 2-11 Impedance of up and down railway in Pung-teak sub station

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그러나 실제 흡상선 전류비 방식의 선로임피던스는 전철변전소에서 급전 구분소까지의 모든 구간에 거의 일정한 값으로 나타나지 않으며 구간별 선로임피던스가 차이가 있거나 상수로 표현되지 않는다. 전기철도 급전계통은 전차선로의 시공구간에 따라 토공구간(Table 2-5), 터널구간(Table 2-6), 교량구간(Table 2-7)과 같이 급전회로의 임피던스가 상이하며 터널구간의 급전선은 절연 확보를 위해 케이블로 시공하고, 역구내에 시설되는 조가선은 절연보호를 위해 절연 조가선을 설치하며, 급전구분을 위해 전철변전소(SS)와 급전 구분소(SP) 전방에 절연구간(절연체 또는 이중에어섹션)이 설치되어 있다. 역구내는 본선과 측선, 화물선 등 다수의 선로가 병렬로 구성되며 차량기지에는 이동식 전차선로를 설치하고 선별 급전분기를 위해 급전분기개소를 설치한다.

이밖에도 전차선로의 노후정도, 디젤기관차의 매연에 의한 이물질의 부착 등 다양한 요인으로 인해 Fig. 2-11와 같이 리액턴스 특성곡선이 완만한 곡선형태가 아닌 특정구간에 급속한 변곡점이 발생하며, 시공방법이 유사한 상행과 하행 전차선로의 리액턴스 특성도 상이하다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

III. 실험의 결과 및 고찰

흡상전류비 방식의 고장점표정장치는 내·외부적 요인에 의한 표정오차가 발생하게 되며, 오차범위를 최소화하여 정확도를 향상시키기 위해 보정계수를 4개로 제한하지 않고, 급전구간별 선로임피던스와 시공방법 등의 특성 차이를 고려하여 다수의 보정계수를 구간별로 산정할 필요가 있으며, 실제 지락사고와 트립 소스 인가방법에 의한 고장점 데이터를 이용하여 보정계수를 재산정하여 기존의 제한된 보정계수 산정 방식과 급전구간별 다수의 보정계수 산정 방식간의 표정오차 차이를 검증하고자 한다.

A. 전라선의 고장점 보정 및 표정오차

전라선 전철사업 개통당시 순천SS에서 전력을 공급하는 상하선 급전구간인 죽곡SP～순천SS와 순천SS～율촌SP, 경전선 덕암 SSP 분기개소～광양ATP의 보정계수 산정을 위해 해당 구간에서 강제지락시험을 시행하고 Fig. 3-1과 같은 고장점 데이터를 산출하였다.

순천SS～죽곡SP구간의 고장점 보정계수 산정을 위해 순천SS～황전SSP구간의 F1지점(123.32)에서 지락시험을 7회 시행하여 Table 3-1과 같은 고장데이터를 산출하였고, 보정계수 K_1, K_2를 변경하여 표정결과와 실제 사고지점간의 표정오차가 최소가 되는 보정계수(K_1=1.428, K_2=0.606)를 산정했다.

시험결과 보정계수(K_1, K_2, K_3, K_4)를 순천SS～죽곡SP간의 보정계수 산정하여 고장점표정장치에 Fig. 3-2와 같이 사용하고 있다.

그러나, 전차선 전철화 개통시 강제지락시험을 통해 초기 보정계수 선정이후 Fig. 3-3과 같이 실제 지락 장애가 발생하여 Table 3-2와 같이 지점별 표정오차를 분석한 결과, 개통당시 강제지락시험을 시행한 순천SS～황전SSP구간보다 황전SSP～죽곡SP구간의 표정오차가 더 큰 것으로 조사되었고, 대부분의 사고개소에서 표정오차의 기준치 0.2%(10km)를 초과하였으며, 다수의 개소에서 표정오차가 1km이상이 되었다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

순천~죽곡간 fault data(2015.04.28) - 메모장

파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)

```
18      11/09/02/04:17:45.34     Down: TR ,123.2 km
        FV_U:  0.57kV, 15.9      FV_D: 16.96kV, 15.8
        FI_U: 0.000kA,  0.0      FI_D: 1.697kA,124.7
        AT_U: 0.038kA, 25.8      AT_D: 1.001kA,125.4
        S1_U: 0.050kA,190.8      S1_D: 2.177kA,138.6
        S2_U: 0.023kA,325.8      S2_D: 0.224kA,140.2
        S3_U: 0.000kA,  0.0      S3_D: 0.000kA,  0.0
        S4_U: 0.000kA,  0.0      S4_D: 0.000kA,  0.0
        S5_U: 0.000kA,  0.0      S5_D: 0.000kA,  0.0
        S6_U: 0.000kA,  0.0      S6_D: 0.000kA,  0.0
        S7_U: 0.000kA,  0.0      S7_D: 0.000kA,  0.0
19      11/09/02/03:53:45.24      Up : TR ,123.3 km
        FV_U: 16.55kV, 84.9      FV_D:  0.41kV, 85.0
        FI_U: 1.717kA,193.2      FI_D: 0.000kA,  0.0
        AT_U: 1.025kA,194.2      AT_D: 0.083kA, 35.1
        S1_U: 2.183kA,191.3      S1_D: 0.103kA,209.5
        S2_U: 0.231kA,179.6      S2_D: 0.018kA, 13.6
        S3_U: 0.000kA,  0.0      S3_D: 0.000kA,  0.0
        S4_U: 0.000kA,  0.0      S4_D: 0.000kA,  0.0
        S5_U: 0.000kA,  0.0      S5_D: 0.000kA,  0.0
        S6_U: 0.000kA,  0.0      S6_D: 0.000kA,  0.0
        S7_U: 0.000kA,  0.0      S7_D: 0.000kA,  0.0
```

순천~율촌간 fault Data(2015.04.28) - 메모장

파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)

```
20      11/09/02/04:56:36.38     Down: TR ,149.9 km
        FV_U:  0.85kV,349.4      FV_D: 22.15kV,328.3
        FI_U: 0.000kA,  0.0      FI_D: 1.440kA, 77.0
        AT_U: 0.042kA,279.7      AT_D: 0.388kA, 88.4
        S1_U: 0.016kA,262.4      S1_D: 0.203kA, 85.0
        S2_U: 0.103kA,262.6      S2_D: 1.448kA,256.2
        S3_U: 0.045kA,269.5      S3_D: 0.853kA,273.3
        S4_U: 0.000kA,  0.0      S4_D: 0.000kA,  0.0
        S5_U: 0.000kA,  0.0      S5_D: 0.000kA,  0.0
        S6_U: 0.000kA,  0.0      S6_D: 0.000kA,  0.0
        S7_U: 0.000kA,  0.0      S7_D: 0.000kA,  0.0
21      11/09/02/04:46:48.52      Up : TR ,150.0 km
        FV_U: 20.99kV,159.8      FV_D:  0.76kV,179.4
        FI_U: 1.483kA,268.1      FI_D: 0.000kA,  0.0
        AT_U: 0.394kA,279.3      AT_D: 0.055kA,110.2
        S1_U: 0.242kA,290.6      S1_D: 0.006kA, 22.9
        S2_U: 1.364kA, 89.5      S2_D: 0.090kA, 95.1
        S3_U: 0.833kA,307.8      S3_D: 0.037kA,307.5
        S4_U: 0.000kA,  0.0      S4_D: 0.000kA,  0.0
        S5_U: 0.000kA,  0.0      S5_D: 0.000kA,  0.0
        S6_U: 0.000kA,  0.0      S6_D: 0.000kA,  0.0
        S7_U: 0.000kA,  0.0      S7_D: 0.000kA,  0.0
```

Fig. 3-1 Sunchun sub station fault data

Table 3-1 Result of forced-fault-test between Sunchun SS and Jukgok SP

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

F1	흡상전류(A)			K_1	K_2	전류비	KPR	오차
	죽곡SP	황전SSP	순천SS					
1차	232	2,182	1,025	1.339	0.606	0.3196	124.056	-0.736
2차	231	2,183	1,025	1.445	0.606	0.3195	123.175	0.145
3차	224	2,177	1,001	1.445	0.606	0.3150	123.154	0.166
4차	224	2,145	1,025	1.428	0.606	0.3233	123.479	-0.159
5차	217	2,075	1,056	1.428	0.606	0.3373	123.674	-0.354
6차	224	2,149	1,027	1.428	0.606	0.3234	123.335	-0.139

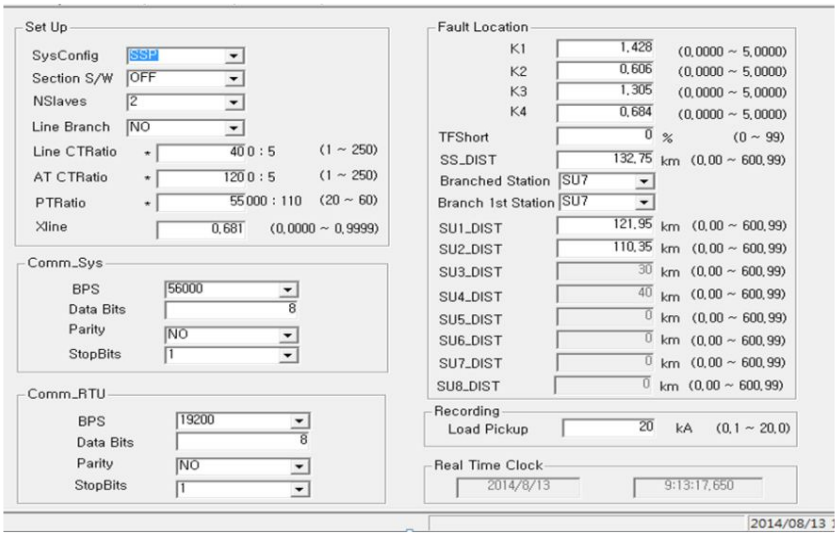


Fig. 3-2 Fault locator date of Sunchun SS(forward Jukgok SP)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

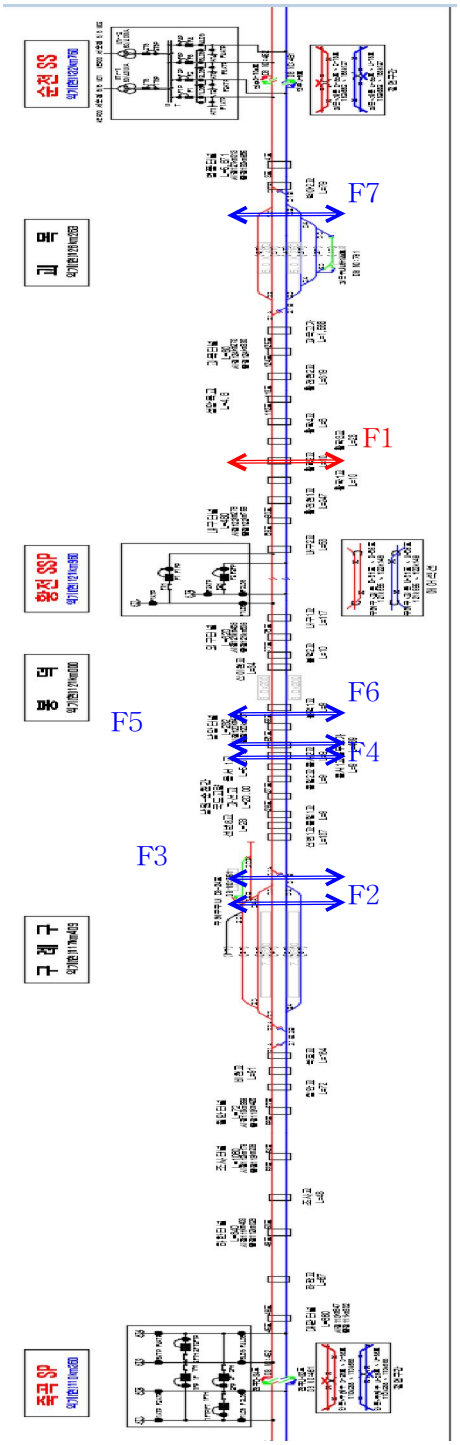


Fig. 3-3 Grounding accident between Sunchun SS and Jukgok SP

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

Table 3-2 Estimation error between Sunchun SS and Jukgok SP

구분	흡상전류(A)			K_1	K_2	K_3	K_4	사고지점	KPR	오차
	죽곡SP	황전SSP	순천SS							
F2	1,019	1,333	255	1.428	0.606	1.305	0.684	117.140	117.526	-0.386
F3	563	1,322	276	1.428	0.606	1.305	0.684	117.250	118.563	-1.313
F4	571	1,322	252	1.428	0.606	1.305	0.684	117.326	118.918	-0.592
F5	367	1,848	255	1.428	0.606	1.305	0.684	119.475	120.576	-1.101
F6	137	2,838	125	1.428	0.606	1.305	0.684	121.230	121.770	0.540
F7	70	1,390	938	1.428	0.606	1.305	0.684	126.590	125.986	0.794

Table 3-3 Result of forced-fault-test between Sunchun SS and Yulchon SP

F_2	흡상전류(A)				K_3	K_4	전류비	KPR	오차
	순천SS	서면SSP	덕임SSP	율촌SP					
1차	394	242	1,364	833	1.411	0.607	0.6208	150.753	-0.763
2차	388	203	1,448	853	1.411	0.607	0.6293	150.675	-0.685
3차	390	265	1,410	867	1.326	0.674	0.6192	150.117	-0.127

Table 3-4 Result of forced-fault-test between Sunchun SS and Gangyang ATP

F_3	흡상전류(A)				K_3	K_4	전류비	KPR	오차
	순천SS	서면SSP	덕임SSP	광양ATP					
1차	389	234	1,104	237	1.326	0.674	0.8233	149.100	-0.980
2차	390	214	1,080	225	1.411	0.607	0.8276	150.000	-0.080
3차	384	163	1,140	230	1.420	0.551	0.8321	149.900	-0.180
4차	397	110	1,046	212	1.411	0.607	0.8315	150.000	-0.080

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

또한, 순천SS에서 율촌SP구간 F2지점(149.99)에서 지락시험을 3회 시행하여 Table 3-3과 같은 결과를 도출하여 최소 표정오차를 갖도록 보정계수(K_3=1.326, K_4=0.674)를 산정하였으나, 이후 덕암SSP에서 전라선과 경전선을 급전 분기하여 순천SS에서 광양ATP 구간 F3지점(150.08)에서 지락시험을 4회 시행한 결과는 Table 3-4와 같으며 순천SS～율촌SP간 최종적인 보정계수(K_3=1.411, K_4=0.607)을 산정하였다.

경전선 전철화 개통이후 Fig. 3-5와 같은 지락장애에서 순천SS～율촌SP간과 광양ATP간 고장데이터는 Table 3-5와 같으며 대부분의 개소에서 표정오차의 기준치를 초과하였으며, 보정계수 산정을 위한 지락시험을 시행한 구간(덕암SSP～율촌SP)과 이외구간의 표정오차를 비교하면 이외구간의 오차가 2배 이상 더 큰 것으로 나타났다.

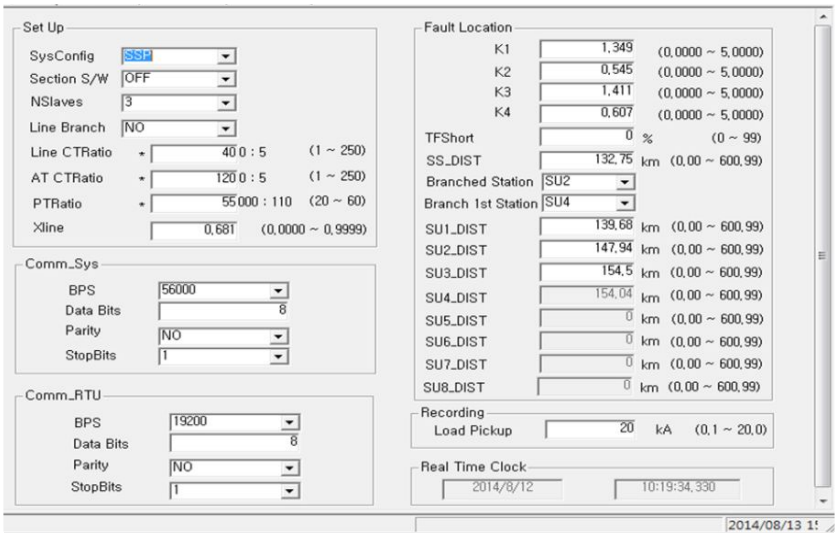


Fig. 3-4 Fault locator date of Sunchun SS(forward Yulchon SP)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

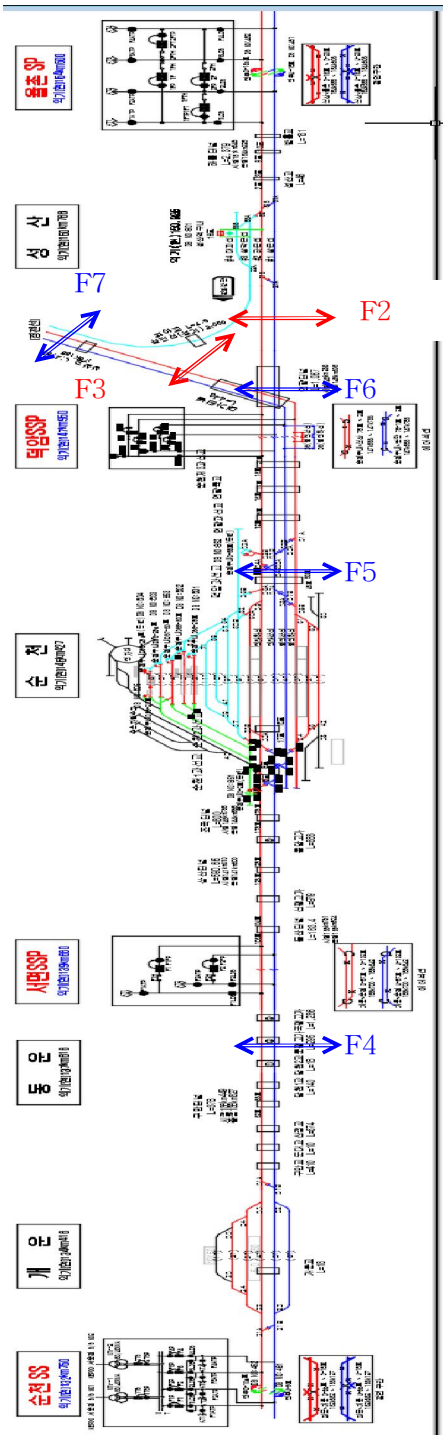


Fig. 3-5 Grounding accident between Sunchun SS and Yulchon SP

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3-5 Estimation error between Sunchun SS and Yulchon SP

구분	흡상전류(A)				K_1	K_2	K_3	K_4	사고지점	KPR	오차
	순천SS	서면SSP	덕암SSP	율촌SP							
F4	615	2,095	249	19	1.349	0.545	1.411	0.607	138.540	139.665	-1.125
F5	251	840	1,622	127	1.349	0.545	1.411	0.607	147.050	146.483	0.567
F6	400	270	1,831	337	1.349	0.545	1.411	0.607	148.780	148.686	0.094
F7	순천SS	서면SSP	덕암SSP	광양ATP	1.349	0.545	1.411	0.607	154.130	153.920	-0.210
	185	30	248	1,239							

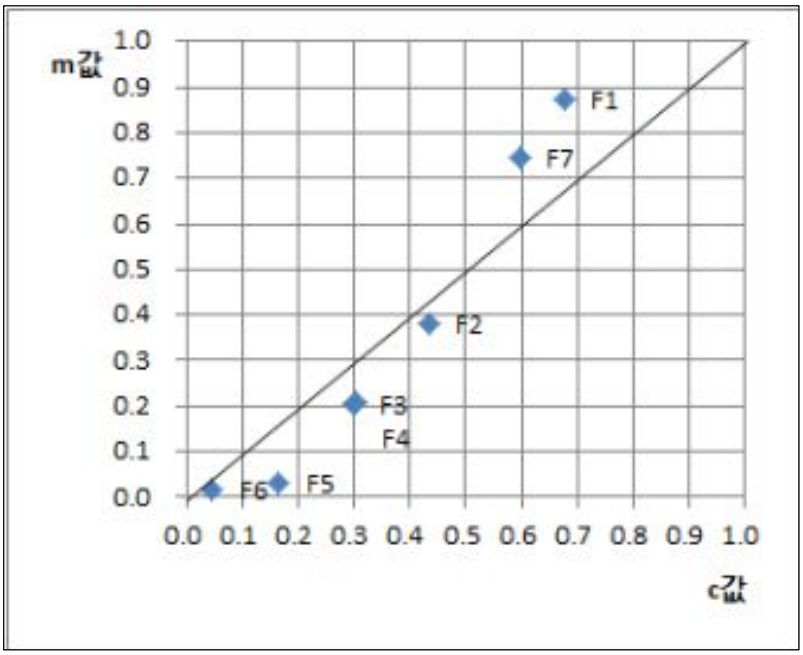
해당구간의 전류비(C)와 거리비(m)의 관계는 Fig. 3-6과 같이 일반적인 경우와 유사하게 전류비와 거리가 비례하는 양상을 보이고 있으나, 표정오차와 전류비, 거리비와는 특이한 연관관계는 보이지 않았으며[Fig. 3-7] 고장점표정장치의 표정오차는 보정계수에 의해 결정된다. 따라서, 표정오차는 고장점표정장치에 초기 데이터로 입력하는 변전소간의 간격, 변전소 시작지점과 급전구간별 고장데이터를 조합하여 산정된 보정계수에 의해 표정오차의 크기가 결정되며, 고장점표정장치 시스템의 정확도 영향을 미친다.

전라선 순천SS～죽곡SP, 순천SS～율촌SP간 고장점 데이터를 분석한 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

※ 역구내 구간의 표정거리가 실제사고지점보다 짧게 표정되며 표정오차가 타 개소에 비해 상대적으로 다소 크다.

※ 보정계수 산정을 위한 강제지락시험을 시행한 구간에 비해 시행하지 않은 구간의 표정 오차가 비교적 더 크다

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



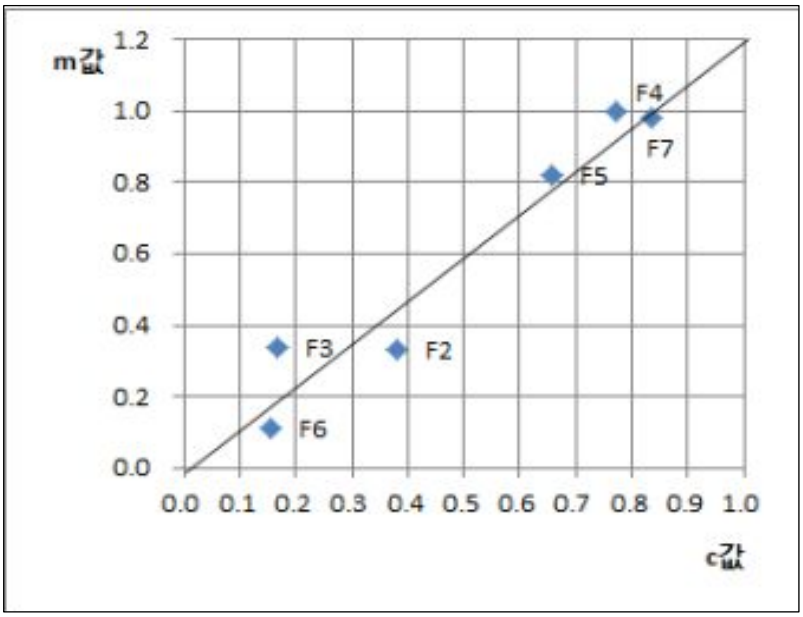
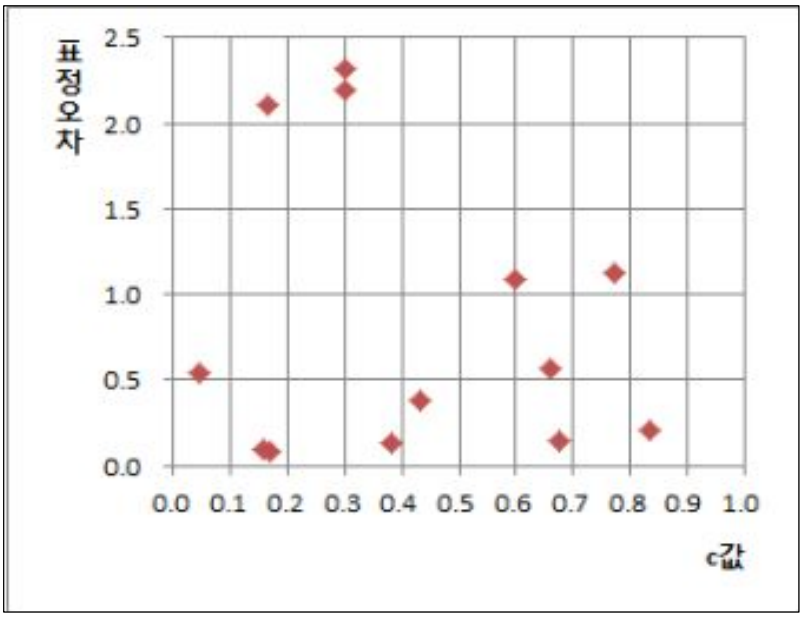


Fig. 3-6 Comparison “c” value with “m” value

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



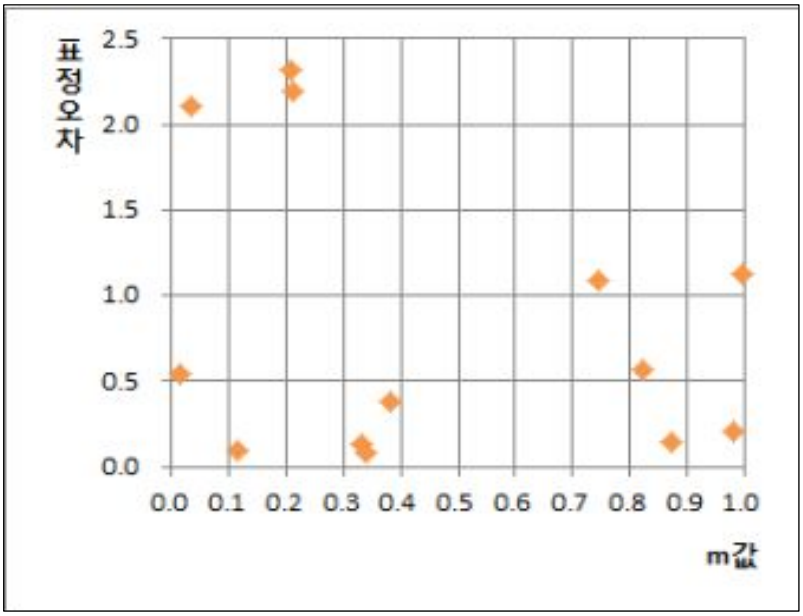


Fig. 3-7 Comparison estimation error with “c” value and “m” value

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 급전구간별 보정계수 산정

역구내와 같이 본선, 측선, 화물선, 유치선 등 다수의 전차선로가 병렬로 구성된 경우 상·하 선로로만 구성된 본선과는 임피던스의 차이가 발생하며 절연조가선과 이동식 전차선로 설치 유무에 따라 이러한 차이는 더욱 커지며, 전철변전소와 급전구분소 전방에 설치된 절연구간, 선별 급전구분개소 등 급전회로의 구성에 따라 임피던스는 급전구간별로 상이하다. 또한 인접한 변전소간의 거리가 달라 급전구간의 길이가 상이하고, 급전분기 개소 등으로 고장점표정의 거리 보정을 위해 급전구간별 보정계수 산정이 필요하다. 이러한 급전구간별 보정계수 산정을 위해서는 각각의 구간에 대해 최소 2개 이상의 고장점 데이터가 산출이 선행되어야 하며 본 연구에서는 트립소스 인가방법을 이용하여 필요개소에 대한 고장점 데이터를 도출하였다. Fig. 3-8과 같은 부하전류 특성을 나타내는 순천SS의 상하선 급전방면별로 시행한 트립소스 인가시험을 시행했다.

Table 3-6과 같이 순천SS～죽곡SP간 123.32지점에서 보정계수를(K_1=1.428, K_2=0.606) 동일하게 설정하고 강제지락시험 결과와 트립 소스 인가시험결과를 비교하면 평균 표정오차는 0.117이며, 두 시험방법의 표정오차의 차이는 22m이다.

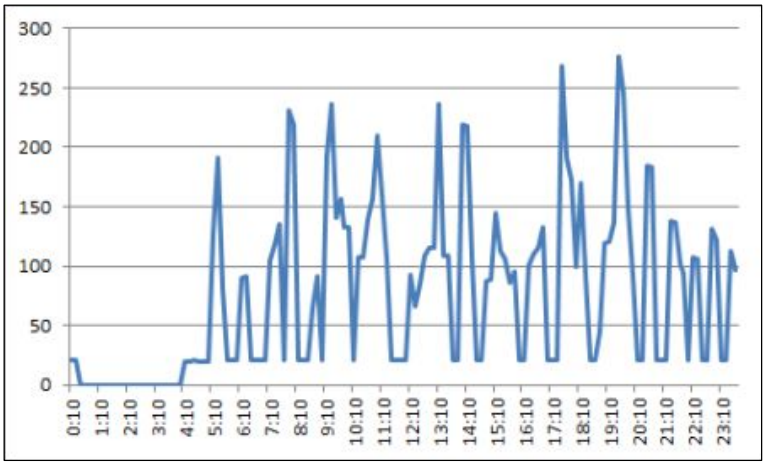


Fig. 3-8 Max load current of Sunchun SS by one day

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3-6 comparison forced-fault-test with trip source-test between Sunchun SS and Jukgok SP

강제지락시험					트립소스 인가시험						비교
순천 SS	황전 SSP	전류비	KPR	표정오차	구분	순천 SS	황전 SSP	전류비	KPR	표정 오차	
1,027	2,149	0.3234	123.335	-0.139	1차	85	177	0.3244	123.476	-0.156	0.017
					2차	90	193	0.3180	123.377	-0.057	0.082
					3차	72	154	0.3186	123.386	-0.066	0.073
					4차	81	167	0.3266	123.510	-0.190	0.051
					표정오차 평균					-0.117	0.022

Table 3-7 comparison forced-fault-test with trip source-test between Sunchun SS and Yulchon SP

강제지락시험					트립소스 인가시험						비교
덕암 SSP	율촌SP	전류비	KPR	표정오차	구분	덕암SSP	율촌SP	전류비	KPR	표정오차	
1,410	867	0.6192	150.768	-0.778	1차	184	97	0.6585	150.439	-0.449	0.329
					2차	166	85	0.6614	150.379	-0.389	0.389
					3차	190	98	0.6597	150.394	-0.404	0.374
					4차	203	122	0.6246	150.718	-0.728	0.050
					표정오차 평균					-0.493	0.286

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

Table 3-8 Modification factor in separated feeding section

구간	시작지점	구간 거리	사고지점	사고 거리	m	흡상전류		c	구간별 보정계수	
죽곡SP~황전SSP	121.950	11.600	117.326	4.624	0.399	1,322	571	0.302	K_3	K_4
			119.475	2.475	0.213	1,848	367	0.166	1.363	0.488
황전SSP~순천SS	132.750	10.800	123.320	9.430	0.873	1,027	2,149	0.677	K_1	K_2
			126.590	6.160	0.570	1,390	938	0.403	1.106	0.625
순천SS~서면SSP	132.750	6.930	138.540	5.790	0.835	615	2,095	0.773	K_1	K_2
			135.950	3.200	0.462	130	174	0.572	1.082	0.499
서면SSP~덕암SSP	139.680	8.270	147.050	7.370	0.891	840	1,622	0.659	K_3	K_4
			143.500	3.820	0.462	178	94	0.346	1.370	0.488
덕암SSP~율촌SP	147.950	6.550	148.780	0.830	0.127	1,831	337	0.155	K_5	K_6
			149.990	2.040	0.311	1,410	867	0.381	0.820	0.499

또한, Table 3-7과 같이 순천SS~율촌SP간 149.99지점에서 보정계수(K3=1.411, K4=0.607)인 경우 트립소스 인가시험을 시행한 결과 두 시험방법의 표정오차 차이가 286m로 다소 크게 나타났으나, 순천SS~율촌SP간의 강제지락시험결과의 표정오차가 0.778인 것과 비교하면 표정오차의 차이는 크지 않다.

Table 3-2, 3-5의 실제 지락장애와 트립 소스 인가방법에 의한 고장점 데이터를 이용하여 순천SS를 중심으로 급전방면, 급전구간별로 보정계수를 재 산정하였다.

C. 결과검토

급전구간별로 산정된 보정계수를 고장점표정장치의 표정알고리즘에 대입하여 5개구간 10개 지점의 표정오차를 비교하면 Table4-12와 같으며, 현재의 4개의 보정계수(K_1, K_2, K_3, K_4)에 의한 표정오차의 합은 9.248km 이며 평균 표정오차는 0.925km로 기준치를 크게 초과한다. 반면에 서면SSP~율촌SP간 보정계수

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

를 세분화하여 서면SSP~덕암SSP간 보정계수는 K3, K4를 산정하고 덕암SSP~율촌SP간은 K5, K6를 산정하여 순천SS~율촌SP간을 급전구간별로 6개의 보정계수(K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6)를 재선정하면 표정오차는 0.212km가 된다. 이와 같은 결과는 순천SS~죽곡SP, 순천SS~서면SSP간은 축적된 고장점 데이터를 이용하여 보정계수를 재선정하여 표정오차가 감소된 한 결과로 볼 수 있으며, 본 연구와 관련된 급전구간별 다수의 보상계수 사용을 통해 약 23.8%의 표정오차를 축소하였다.

Table 3-9 Estimation error of fault locator in separated feeding section

구간	사고지점	흡상전류	현재 보정계수 산정			구간별 보정계수 산정			비교
			보정계수		표정오차	보정계수		표정오차	
죽곡SP~황전SSP	117.326	1,322 571	K_3:1.305	K_4:0.684	-2.192	K_3:1.363	K_4:0.488	0.284	-1.908
	119.475	1,848 367			-2.101			0.284	-1.817
황전SSP~순천SS	123.320	1,027 2,149	K_1:1.428	K_2:0.606	-0.139	K_1:1.106	K_2:0.625	0.731	0.592
	126.590	1,390 938			1.094			-0.378	-0.716
순천SS~서면SSP	138.540	615 2,095	K_1:1.349	K_2:0.545	-1.125	K_1:1.082	K_2:0.499	-0.014	-1.111
	135.950	130 174			-0.486			-0.013	-0.473
서면SSP~덕암SSP	147.050	840 1,622	K_3:1.411	K_4:0.607	0.567	K_3:1.370	K_4:0.488	-0.194	-0.373
	143.500	178 94			0.672			-0.195	-0.477
덕암SSP~율촌SP	148.780	1,831 337	K_3:1.411	K_4:0.607	0.094	K_5:0.820	K_6:0.499	-0.011	-0.083
	149.990	1,410 867			-0.778			-0.012	-0.766
합계					9.248			2,116	-7.132

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

현재의 고장점표정장치의 보정계수가 4개로 제한될 경우 서면SSP~덕암SSP, 덕암SSP~율촌SP, 덕암SSP~광양ATP간은 동일한 K_3, K_4의 보정계수를 사용하나, 서면SSP~덕암SSP구간내의 순천역 구내의 다수의 전차선로의 구성, 차량기지의 이동식 전차선로, 절연조가선 등의 임피던스 차이와 덕암SSP~율촌SP구간의 성산역 구내 전차선로, 터널 및 교량구간의 임피던스, 덕암SSP~광양ATP간의 분기선, 전경삼각선 평화~성선간 전차선로 등 각 급전구간의 임피던스 차이를 고려하여 Fig. 3-9와 같이 서면SSP~덕암SSP구간에 K_3, K_4의 보정계수를 사용하고 덕암SSP~율촌SP구간에 별도의 K_5, K_6의 보정계수를 선정하여 표정오차를 축소할 수 있다.

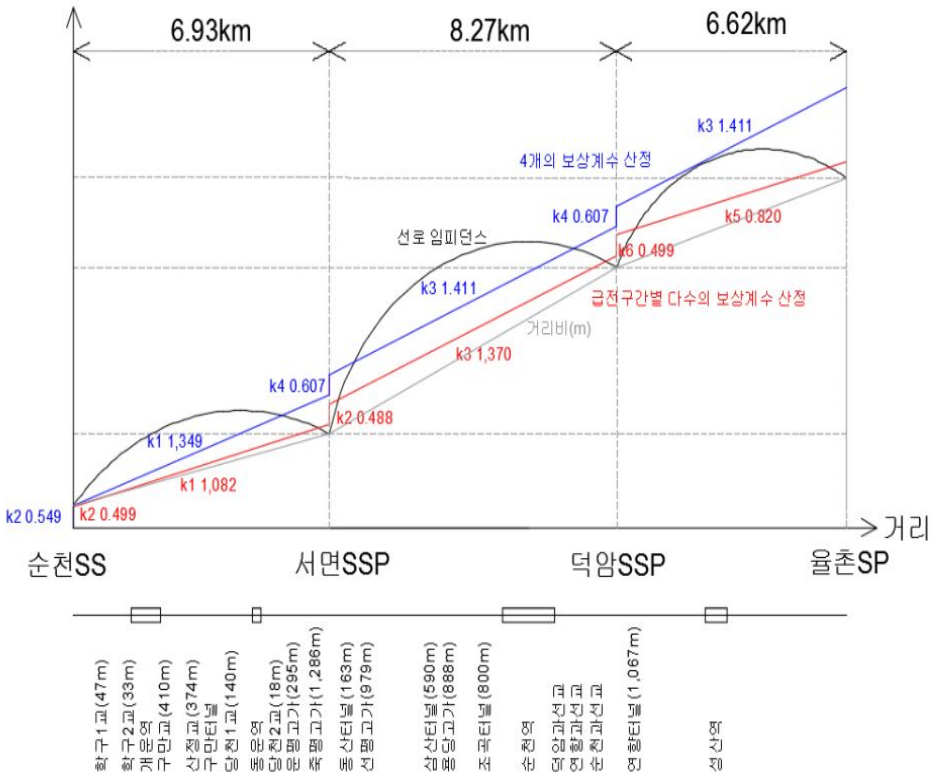


Fig. 3-9 Comparison of Modification factor

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

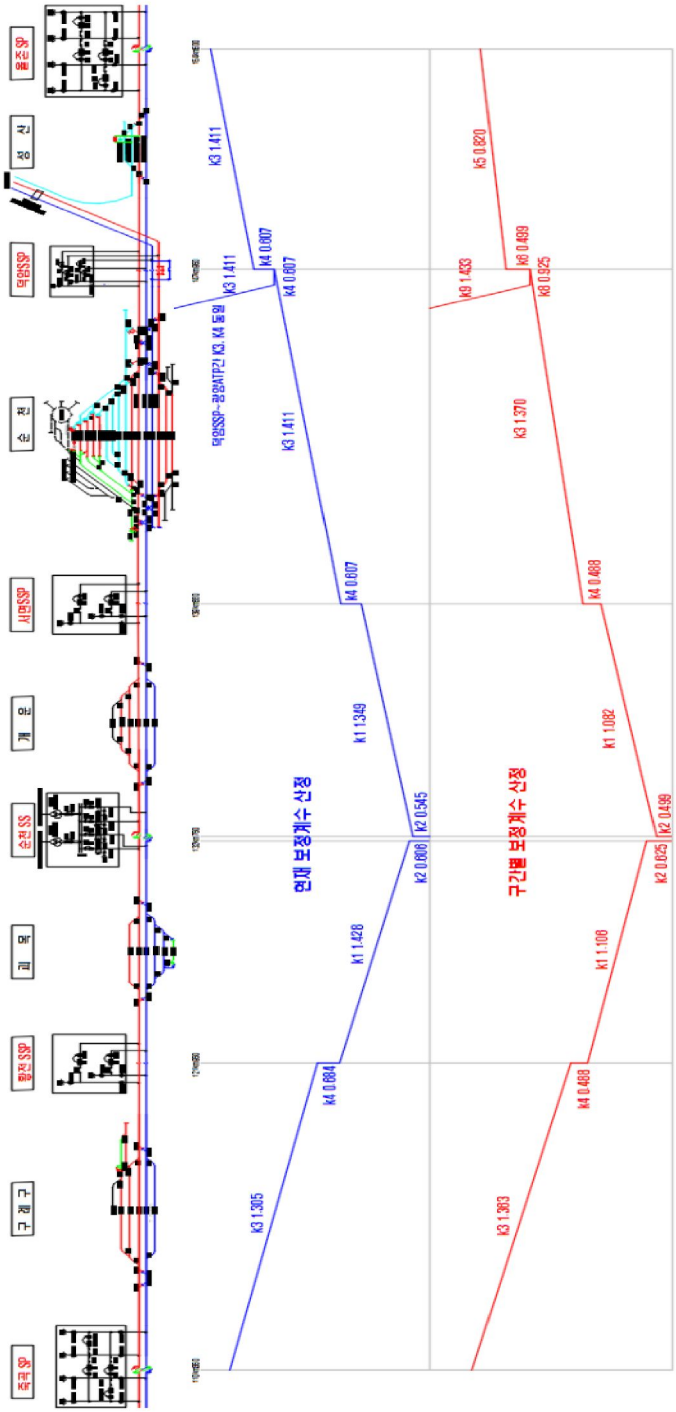


Fig. 3-10 Modification factor diagram of fault locator in separated feeding section

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

일반적으로 전철변전소의 구성은 전철변전소(SS)~보조급전구분소(SSP1)~보조급전구분소(SSP2)~급전구분소(SP)의 형태로 급전구간을 구분할 수 있으므로, 급전구간별 별도의 보정계수 산정으로 전기철도 시스템 중 흡상선 전류비 방식의 고장점 표정오차를 큰 폭으로 축소할 수 있다. 전라선 순천SS를 중심으로 순천SS~죽곡SP, 순천SS~율촌SP, 광양ATP간의 급전구간별 보정계수 산정 다이어그램은 Fig. 3-10과 같이 나타낼 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

IV. 결 론

철도산업은 저탄소 녹색성장을 위한 교통수단으로 타 교통수단에 비해 친환경, 대량 수송이 가능한 미래지향적이다. 또한 교통수단으로 국가 신성장 동력으로 주목받고 있으며 여객과 물류수송 분담율을 높이고 철도산업의 경쟁력 향상을 위한 정책을 수립·지원하고 있다.

우리나라의 전기철도는 2005년 경부고속철도 1단계 개통이후 경부2단계, ITX새마을, 2012년 호남선 고속철도를 개통 등 열차의 고속화를 지속적으로 추진하고 있다. 이러한 열차속도 향상은 전기철도의 점착계수와 견인력 증가로 기인한 것으로 산악지대의 선로구배와 곡선반경을 극복하고 열차 정시운행을 위해 우리나라의 전철화율은 더욱 증가할 전망이다.

따라서 도심전철과 고속철도는 물론 일반 전철화 구간의 전기철도 시스템의 장애와 사고를 줄이고, 사고복구 시간을 단축하는 것은 열차의 운행중단과 병목현상을 사전에 차단하고 열차지연과, 여객과 물류 수송의 차질을 최소화하는데 매우 중요한 요인이 되고 있다.

본 연구에서는 고장점표정장치의 표정오차 축소를 위해 급전구간별 보정계수 산정 방법을 제시하였다. 기본의 고장점표정장치는 급전변전소에서 인접한 변전소 구간과 이외 구간으로 구분하여 4개의 보정계수 만으로 고장점을 표정하여, 급전구간별 특성을 반영할 수 없어 표정오차가 표정구간별로 상당한 차이를 보이기 있으나, 급전구간별 선로와 임피던스 특성을 반영하여 구간별 세분화된 다수의 보정계수를 산정함으로써 고장점 표정장치의 정확도를 향상할 수 있다.

이와 같이 고장점표정장치의 표정오차를 축소하여 전기철도 시스템의 외선설비에서 발생한 각종 사고지점을 정확하게 파악하여 유지보수와 복구시간을 단축하여 신속하게 열차운행을 재개함으로써 열차안전운행 확보에 기여할 것으로 전망한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고문헌

[1] 김양수, 유해출 공저 “전기철도공학”(2005)
[2] 김정철 “전기철도 급전시스템과 보호”(2004)
[3] 세종전기공업(주) “고장점표정반 유지보수 매뉴얼”(2002)
[4] 홍욱희 “AT 급전계통 고장점 표정장치”(2008), P&C tech
[5] 윤여현 “전철 고장점표정반 설비기술 제안”(2012), 철도교통관제센터
[6] 고려대학교 전력시스템기술연구센터 “디지털 배전반과 고장점표정장치의 통합화및 연계방안 연구”(2004)
[7] 홍상기 “A Study on fault locator susing forward impedance and reverse impedance”(2014)
[8] 고희동 “A Study for forced-fault-test method to improve on detecting electricity failure in an electic railway”(2012)
[9] 테크원시스템 “고장점 위치추적센서 최종보고서”(2006)
[10] KINKEI System “Surge Type Fault Locator for Railway Power line”(2009)
[11] 이희용 “A Study on the Algorithm for Fault Location Considering Voltage and Leakage Impedance of AT in Electric Railroad System”(2011)
[12] 이장무 “Study on voltage drop compensation and fault location scheme in AC electric railway with tap-changing autotransformers”(2013)
[13] 정호성 외 4명 “A Study on Fault Location Estimation Technique Using the distribution Ratio of Catenary Current in AC Feeding System”(2011) 한국철도학회
[14] 철도기술연구원 “전차선로 회로정수 측정 및 보호회로 최적화 방안 연구”(1998)
[15] 국무조정실 “국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵”(2014)