

고장점 표정반 자동절체 시스템에 대한 연구

박용범¹, 노영환^{1*}

¹우송대학교 철도전기시스템학과

A Study on Automatic Switching System for Fault Locator

Yong-Bum Park¹, Young-Hwan Lho^{1*}

¹Department of Railroad Electrical System, Woosong University

요약 전기철도에 전력을 공급하기 위하여 철도변전소에서는 급전특성상 방면별 급전을 시행하고 있으며, 급전계통에 고장이 발생하는 경우를 대비한 공통반 차단기와 같은 예비설비와 전차선로 고장 발생 시 고장위치를 찾기 위해 고장점 표정장치를 설치하여 사용 중에 있다. 그러나, 고장 발생 시 공통반 차단기를 사용하여 급전계통을 운용하는 경우에는 고장점 표정반과의 인터페이스가 되지 않아 고장위치를 찾는 데 어려움이 있다. 본 논문은 이러한 문제점을 해결하기 위한 고장점 표정반 자동절체 시스템을 설계하고 동작 상태를 검증한다. 또한 자동절체 시스템을 공통반 차단기에 설치한 후 검증방법으로 설정된 24회의 지락시험을 통하여 성능시험을 수행하였으며 고장점 표정장치를 이용하여 기존의 고장위치를 효율적으로 검지하는 방법을 제시하는 데 있다.

Abstract A directional feeding method at the railway transformer is applied for supplying the power to the electric railway substations, and the pre-installed facilities with common feeder are utilized in preparation for the failure of feeding system and in finding a fault location in case that the catenary failure occurs. However, it is some difficulty in finding the fault location since there is an interface problem with the facilities when the supplying power system operates. In this paper, Auto Fault Locator Transfer Drive System (ALTDS) is designed to search for the fault location efficiently, and the measuring data are obtained and compared with the KORAIL standards. Further, the ground connection test is accomplished 24 times as the verification method, and it is shown that the methodology provides better performance than the existing traditional one.

Keywords : ALTDS, Automatic Switching System, Common Feeder, Fault Locator, Ground Connection Test

1. 서론

국내 교류 전기철도 계통에서 전철변전소는 한전으로 부터 송전전압 삼상 154 kV를 수전하여 두 개의 단상 교류 전압 55kV로 변압을 한다. 변압된 55 kV를 단권변압기(AT, auto transformer)를 사용하여 27.5 kV로 강압하고 철도차량에 전원을 공급한다. 또한 상·하선 및 방면

별 급전 방식을 채용하고 있으며 계통도는 Fig. 1과 같다. 전철변전소에서는 F1, F2, F3, F4, FZ(공통반)의 5개 급전반과 4개의 고장점 표정장치를 기본 구성으로 설치하여 운용하고 있다[1].

*Corresponding Author : Young-Hwan Lho(Woosong Univ.)

Tel: +82-42-629-6731 email: yhlho@wsu.ac.kr

Received September 25, 2015

Revised (1st November 6, 2015, 2nd November 20, 2015, 3rd November 26, 2015,

Accepted December 4, 2015

4th December 1, 2015, 5th December 3, 2015)

Published December 8, 2015

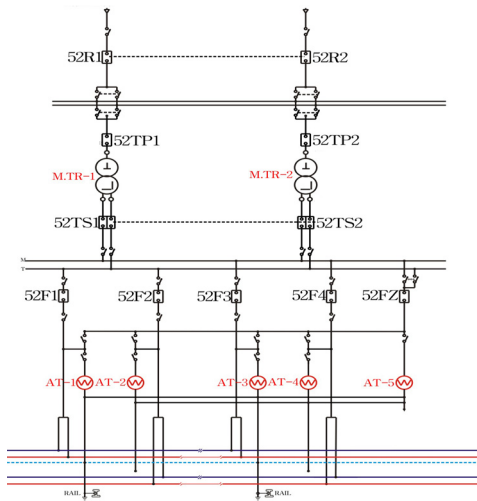


Fig. 1. Diagram of AC Feeding System in Substation

전차선로에서 지락 혹은 단락 고장이 발생할 경우 거리계전기, 고장선택계전기, 과전류계전기 등의 보호계전기(Protection relay)가 고장을 검출하고 급전용 차단기를 동작시켜 고장구간을 차단한다. 이 때 고장점 표정장치는 고장전류와 전압 등의 전력데이터를 계측하고 연산 알고리즘의 과정을 거쳐 고장지점을 화면에 표시하는 기능을 한다.

전철변전소의 급전반에 고장이 발생할 경우, 고장이 발생한 급전반을 급전선과 분리하고 해당 급전선을 공통반으로 절체(transfer)하여 전력을 공급한다. 하지만 공통반으로 절체 시 고장점 표정장치가 절체 되지 않은 채 전차선로에 사고가 발생할 경우 보호계전기가 동작하지 않아 고장지점을 찾지 못하는 문제가 발생하고 있다.

본 논문에서는 상기 제시한 문제를 해결하기 위해 먼저 기존 운용 중인 고장점 표정방식에 대해 간략히 기술한다. 이어서 공통반 사용 시(이례상황 시) 고장점 표정장치와의 인터페이스를 가능하게 하는 자동절체 시스템을 제시한다. 또한 고장시험을 통해 취득한 결과 값을 비교 분석하여 본 기술의 유용성을 검증한다.

고장점 표정반 자동절체 시스템을 설계하고 동작 상태를 검증한다. 또한 자동절체 시스템을 공통반 차단기에 설치한 후 검증방법으로 설정된 24회의 지락시험을 통하여 성능시험을 수행하였으며 고장점 표정장치를 이용하여 기존의 고장위치를 효율적으로 검지하는 방법을 제시하는 데 있다.

2. 본론

2.1 교류전기철도의 급전시스템

2.1.1 BT(Booster-Transformer) 급전방식

BT(Booster-Transformer) 급전방식은 Fig. 2와 같이 권수비가 1:1인 흡상변압기를 약 4km마다 설치하여 전차선에 부스터섹션(Booster Section)을 설치하고 BT의 1차는 전차선에, 2차는 부급전선에 각각 직렬로 접속한 후 BT와 BT사이에는 중간점에서 레일과 부급전선을 흡상선으로 접속하고 전기차의 귀선전류를 BT작용에 의해 강제로 부급전선에 흡상시켜 통신선의 유도장애를 경감하는 방식이다.

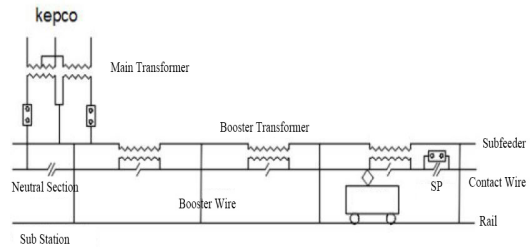


Fig. 2. Configuration of BT feeding system

BT의 2차측을 부급전선에 연결하여 통신유도 경감효과가 크지만, 부하전류가 크면 부스터섹션부분에서 부하전류를 전기차의 팬터그래프에서 개폐가 이루어지므로 아크발생으로 부하전류가 크고, 속도가 고속화되면 운전 및 보수가 어려워진다[2]. 또한, 전압강하가 크기 때문에 변전소 간격이 가깝다. Fig. 2는 BT 급전방식을 나타낸 것으로 우리나라에서는 산업선(청량리~계천)에 설치하여 사용하였으나, 현재는 AT급전방식으로 개량 중에 있다.

2.1.2 AT(Auto-Transformer) 급전방식

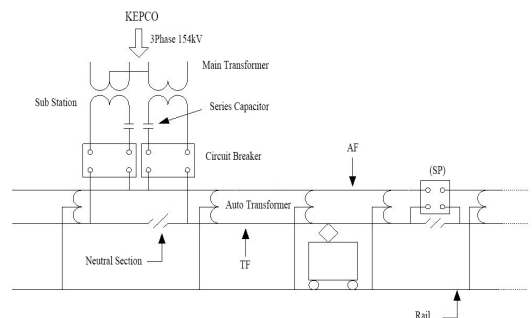


Fig. 3. Configuration of AT feeding system

AT(Auto-Transformer) 급전방식은 Fig. 3과 같이 권수비가 1:1 또는 1:2의 단권변압기를 사용하여 급전선을 설치하고 이 급전선과 전차선사이에 약 10km 간격으로 AT를 병렬로 설치한 후 변압기 권선 중앙을 레일에 접속하는 방식이다.

우리나라의 수도권전철과 중앙선(제천~영주), 영동선(영주~철암) 그리고 경부선, 호남선 등 주요간선에 설치되었다.

단권변압기 특성상 전차선이 레일보다 전위가 높고, 급전선은 레일 또는 대지보다 전위가 낮아 레일에서 대지로 누설되는 귀선전류는 단권변압기의 중성점을 통하여 급전선으로 흡상되므로 통신유도장애를 효과적으로 저감할 수 있으며, 대용량의 열차부하에서도 전압변동이나 전압 불평형이 적어 안정된 전력공급이 가능하여 고속전철에서도 이 방식을 사용하고 있으며 레일에 흐르는 전류는 차량을 중심으로 각각 반대방향의 AT쪽으로 흐르기 때문에 근접 통신선에 대한 유도장에도 작아지는 장점이 있다[2].

2.2 교류전기철도의 고장점 표정방식

현재 국내 교류 전기철도에서 사용 중인 고장점 표정 방식에는 리액턴스 방식과 흡상전류비 방식이 있다. 두 방식은 고장점 표정을 위한 취득 데이터 및 연산 알고리즘이 각각 다르다[3].

2.2.1 리액턴스(Reactance) 방식

리액턴스 방식은 급전회로의 리액턴스가 거리에 비례하는 원리를 이용한 것으로서, 변전소 급전선의 전압 전류 데이터를 이용하여 리액턴스를 연산한다. 지락 및 단락 사고 시, 고장점 표정장치는 보호계전기로부터 고장 신호를 수신하고 즉시 리액턴스 값을 연산한다. 또한 연산된 리액턴스 값과 기 입력된 보호구간의 리액턴스 값과 비교하여 고장지점을 화면에 표시한다.

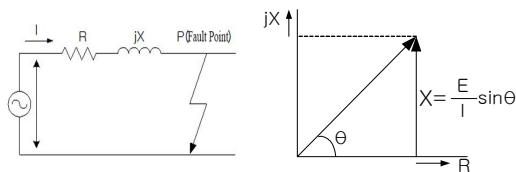


Fig. 4. Fault Locator Equivalent Circuit of Reactance Method

Fig. 4는 급전선로를 간략화한 등가회로와 리액턴스 연산 방법을 나타낸 것이다.

2.2.2 흡상전류비 방식

AT(Auto transformer) 급전회로에서 사고발생 시, 사고지점 좌우측의 AT가 전력을 공급하며, 사고전류는 양단 AT의 중성점으로 유입된다.

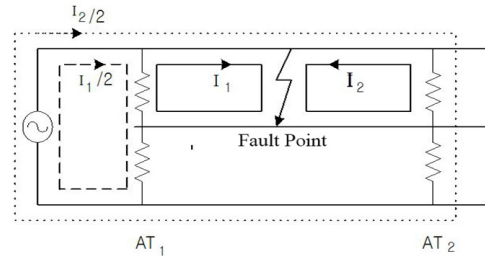


Fig. 5. Fault Current Distribution of AT feeding system

AT 급전선로의 고장발생 시 전류분포는 Fig. 5와 같고 유입되는 전류를 기준으로 Fig. 6과 같이 등가회로로 표현할 수 있다.

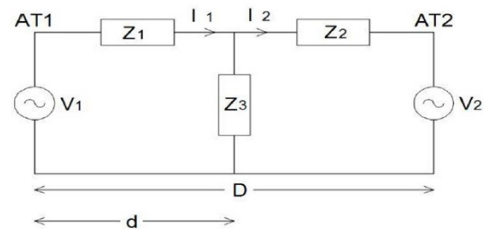


Fig. 6. Equivalent circuit of grounding in AT Feeding system

임피던스 값에 따른 전류분배식을 적용하여 계산하면 AT1의 전류 I_1 은 (식 1), AT2의 전류 I_2 는 (식 2)와 같다.

$$I_1 = V_T Z_2 / (Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1) \dots\dots\dots (식 1)$$

$$I_2 = V_T Z_1 / (Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1) \dots\dots\dots (식 2)$$

V_T : 급전전압

Z_1 : AT1과 고장점 간 임피던스

Z_2 : AT2와 고장점 간 임피던스

Z_3 : 고장점 임피던스

고장전류에 대한 AT2 전류비(H)는 (식 3)과 같다.

$$H = \frac{I_1}{I_2 + I_1} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{d}{D} \dots\dots\dots(\text{식 } 3)$$

D : D는 AT1과 AT2의 설치간격

d : AT1에서 고장점까지의 거리

고장전류에 대한 AT2의 중성점 전류비는 고장점의 거리에 비례한 선형적 특성을 가지고 있다[1, 3]. 고장점 표정장치는 사고 시, 보호계전기로부터 고장 신호를 수신하고 그 시점의 전류비를 연산하여 고장 지점을 화면에 표시한다.

2.2.3 이례사항 급전 시 고장점 표정의 문제점

급전반의 고장 시, 공통반(FZ)으로 절체하여 비상급전 상태로 운용하며 이를 이례사항 급전이라고 표현한다.

이례사항 급전 시 공통반을 사용하여 정상적으로 급전은 할 수 있지만 고장점 표정장치는 따로 분리가 되어 사용할 수가 없다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 고장점 표정장치 자동절체시스템을 제안한다.

2.3 고장점표정장치 자동절체시스템

2.3.1 자동절체시스템의 개요

고장점 표정장치 자동절체시스템(ALTDS; Auto Fault Locator Transfer Drive System)은 급전모선이나 급전반에 고장이 발생하면 공통반(FZ)으로 자동 절체하는 동시에 해당 고장점 표정장치도 공통 급전모선으로 자동 절체하는 시스템이다[4]. ALTDS는 크게 자동절체스위치(LTS)와 중앙처리장치(CONTROLLER)로 구성되어 있으며, Fig. 7은 고장점 표정장치 자동절체시스템의 개념도를 나타낸다.

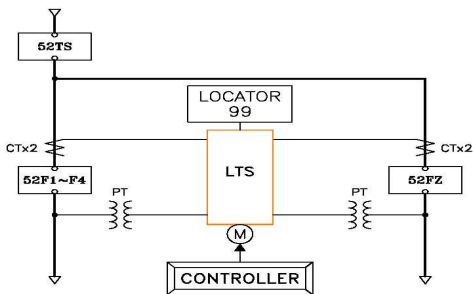


Fig. 7. Concept of ALTDS

2.3.2 자동절체시스템의 동작원리

먼저 ALTDS는 급전반 차단기의 개방 상태와 공통급전 차단기 투입상태를 확인하여 급전반 중 고장이 발생한 급전반(F1~F4 중 하나)을 확인한다. Fig. 8은 ALTDS와 급전반의 결선을 나타낸다.

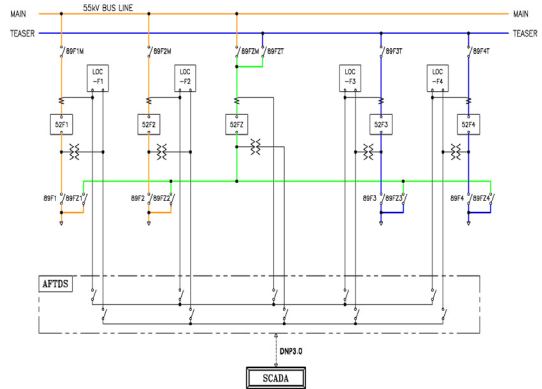


Fig. 8. Composition of ALTDS 1

CONTROLLER는 고장점 절체스위치(LTS: Locator Transfer Switch)를 구동하여 고장이 발생한 급전반의 고장점표정장치를 공통반으로 절체한다. 이러한 방식으로 급전반이 4개를 초과하는 n개(F1, F2, ..., Fn)의 급전반의 경우에도 자동절체가 가능하다. Fig. 9는 CONTROLLER가 LTS를 구동하여 자동으로 절체하는 것을 나타낸다.

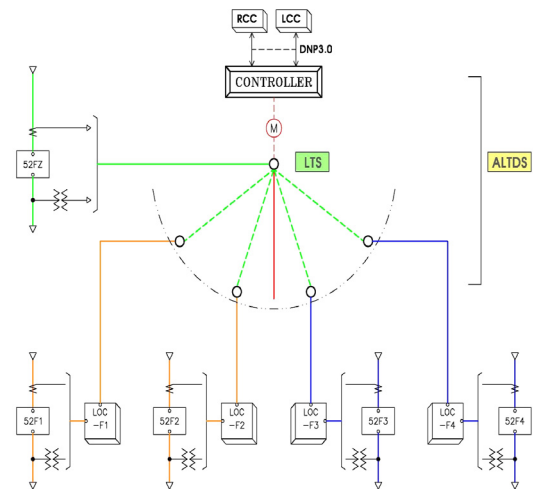


Fig. 9. Composition of ALTDS 2

자동절체가 완료되면 고장점 표정장치가 정상적으로 동작상황을 제어반에 현시하고, 고장점 표정장치의 정보를 원격제어(소규모, 통합관제센터)장치로 송신한다.

2.3.3 자동절체시스템의 유용성 검증

ALTDS의 유용성을 검증하기 위해 본 시스템을 설치하고 2014. 11월 1일 부터 11월 9일 까지 기간 중 계전기 시험기를 이용하여 총 24회 지락시험을 시행한 결과, Table 1에서와 같이 고장점 표정장치의 보호계전기에서 전류의 차이는 0.1[A], 전압의 차이는 0~0.1[V]로 확인되어 공통반으로 절체 시에도 보호계전기가 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다[5].

또한, Fig. 10에서와 같이 고장점 표정장치가 24회 모두(100%) 동작하는 것을 확인하였다[5].

Table 1. Results of Ground Fault Test

Unit : [V] / [A]

Section		F1 Switch		F2 Switch		F3 Switch		F4 Switch	
		F1	FZ	F2	FZ	F3	FZ	F4	FZ
Before	Volt	57.5	0	57.4	0	57.5	0	57.6	0
	Cur.	6.8	0	6.7	0	6.7	0	6.8	0
After	Volt	57.4	57.3	57.4	57.4	57.5	57.4	57.5	57.6
	Cur.	6.7	6.8	6.6	6.7	6.6	6.7	6.8	6.7
Difference (Fn-FZ)	Volt	0.1		0		0.1		0.1	
	Cur.	0.1		0.1		0.1		0.1	

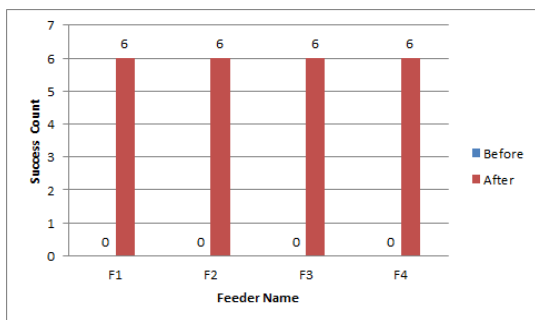


Fig. 10. Success Count of Transform

ALTDS 설치 전의 경우, 공통반을 통한 급전을 하면서 지락 및 단락 사고가 발생하면 보호계전기는 정상 동작하여 변전설비는 보호되었다. 하지만, 고장점 표정장치에 입력되는 전류와 전압 값이 모두 측정되지 않아 고장지점이 표정되지 않는 문제점이 있었다.

반면에 ALTDS를 설치한 후에는 고장점 표정장치에 전류와 전압이 입력되면서 고장 지점을 확인할 수 있도록 개선되었다. 이러한 보안을 통하여 ALTDS 설치 후 급전계통에 고장이 발생하면 공통반으로 절체해서 사용하더라도 고장점표정이 가능하여 급전계통을 안전하게 운용할 수 있다. 또한 리액턴스 및 흡상전류비 방식의 고장점 표정장치에 모두 동일하게 적용이 가능하다.

3. 결론

본 논문에서는 교류 전기철도에서 사용하고 있는 급전반과 고장점 표정장치의 운영 방식을 알아보고, 운영 중에 발생한 문제점에 대한 해결방안을 제시하였다.

기존 급전계통에서는 급전 모선이나 급전반의 고장으로 인해 공통반을 사용하는 경우, 고장점 표정장치를 활용 할 수 없었으나 이러한 문제점을 해결하기 위하여 고장점 표정장치 자동절체시스템(ALTDS)을 제시하였으며, ALTDS 설치 후 지락시험을 통하여 보호계전기에 유입되는 전류차이는 0.1[A], 전압차이는 0~0.1[V]로 공통반으로 절체 시 보호계전기가 정상적으로 동작하였고, 24회에 걸친 고장점 표정장치 동작시험 결과 24회 모두(100%) 동작하여 본 기술의 유용성을 검증하였다.

본 기술을 전기철도 급전시스템에 확대 적용함으로써 급전반 고장 시에도 안정적인 설비운용이 가능하게 될 것으로 판단된다.

References

- [1] SEJONG Electric Co., Ltd. "Maintenance Manual of Fault Locator", pp. 7-10, 2002.
- [2] Y. S. Kim, H. C. Yoo, "Electric Railway Engineering", Dong-Il Publisher, pp. 104-106, 2010.
- [3] P&C Tech, "Tech seminar of Fault Locator For AT Feeding System", pp. 10-12, 2005.
- [4] Hokmahtech, "A Protective Relay System for Electric Railway Power Supply and a Relay Switching Method Using the Same", pp. 2-5, 2011.
- [5] KORAIL, "Start-up Test Report for Automatic Switching System", Attach 4, 2014.

박 용 범(Yong-Bum Park)

[정회원]



- 2003년 2월 : 한밭대학교 전기공학과 졸업 (공학사)
- 2011년 2월 : 대전대학교 경영행정대학원 (경영학석사)
- 1985년 2월 ~ 2004년 12월 : 철도청
- 2005년 1월 ~ 현재 : 한국철도공사 전기사무소장

<관심분야>

전기철도, 전기전자

노 영 환(Young-Hwan Lho)

[정회원]



- 1982년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1988년 12월 : University of New Mexico 전기공학 석사
- 1993년 12월 : Texas A&M University 전기공학 박사
- 1995년 3월 ~ 현재 : 우송대학교 철도전기시스템학과 교수

<관심분야>

회로설계, 적응제어, 신호처리 등
