

DC 급전계통 고저항 지락보호에 대한 연구

A Study on High Impedance Grounding Protection for DC Power Supply System

이 국 명* 김 병 현** 소 선 영*** 김 학 련****
Lee, Kuk-Myoung Kim, Byung-Hyun So, Sun-Young Kim, Hak-Lyun

ABSTRACT

Grounding fault and short of the DC power supply systems are detected and protected by high-speed circuit breaker, linked breaking device, ground relay and fault selective device, all of which are installed and operated in substations. however, there have been many cases in which the protective devices did not detect grounding of the over head catenary systems on concrete support for an extended period of time. Such cases often cause severe damages to the supports with high grounding resistances.

If grounding accidents occur repetitively, the earth current and the rise of earth potential can damage not only passenger and staff but also electric facilities and equipment, necessitating high cost and endeavor to restore.

The following study points out various problems that can be occurred occur as a result of high impedance grounding accident, and proposes a new system which can protect and intercept them.

1. 서론

직류급전회로의 단락, 지락고장은 변전소에 설치된 고속도차단기, 고장선택장치(ΔI), 연락차단장치, 접지계전기에 의해 보호된다. 그러나 현재의 우리나라의 보호방식에서는 레일을 비접지(간접접지)로 하고 각 설비별로 단독접지를 채택하고 있기 때문에 지락사고시에 검출가능한 고장점저항은 $0.5[\Omega]$ 정도로 애자파손과 이물질접촉, 전차선(급전선 포함)이 지지물에 지락한 경우 구조물의 접지저항이 포함된 고장은 지락전류가 수 $100[A]$ 이하로 제한되기 때문에 변전소·급전구분소의 보호장치(54F, 50F)에 의한 보호는 기대하기 곤란하다.

지락사고가 계속되는 경우, 지락점 부근의 대지전위의 상승과 지락전류로 인해 근접된 승객과 직원의 인명피해는 물론 전기설비(기기, 케이블, 전주 등) 및 신호통신설비에도 영향을 주어 2차 피해를 유발할 수 있어 복구에 많은 노력과 비용이 소요된다.

따라서 본 논문에서는 이와 같은 고저항 지락사고에 따른 문제점을 제시하고 전차선로의 지락 또는 애자섬락에 의한 고저항 지락사고시 구조물의 전위상승 검출과 구조물-레일의 금속단락 회로로 구성시켜 변전소에서 보호·차단을 구현하는 시스템을 제안하였다.

* 서울산업대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 석사과정

E-mail : mac290@hanmail.net

TEL : (02)520-5851 FAX : (02)520-5868

** 서울메트로 기술본부 전철팀, 정회원

*** 서울메트로 기술본부 전철팀장, 정회원

**** 서울산업대학교 교수, 공학박사

2. 본론

2.1. 급전계통의 구성

지하철변전소의 급전계통은 한국전력의 변전소로부터 전용 수전선로를 통하여 교류 3상 22,900V를 수전하여 정류기용변압기로 전압을 교류 1200V(3, 4호선 1188V)로 강압하고 실리콘 정류기에서 전동차에 알맞은 직류 1500V의 전압으로 변환하여 전동차에 전원을 공급하는 [그림1]과 같은 계통으로 구성되어 있다.

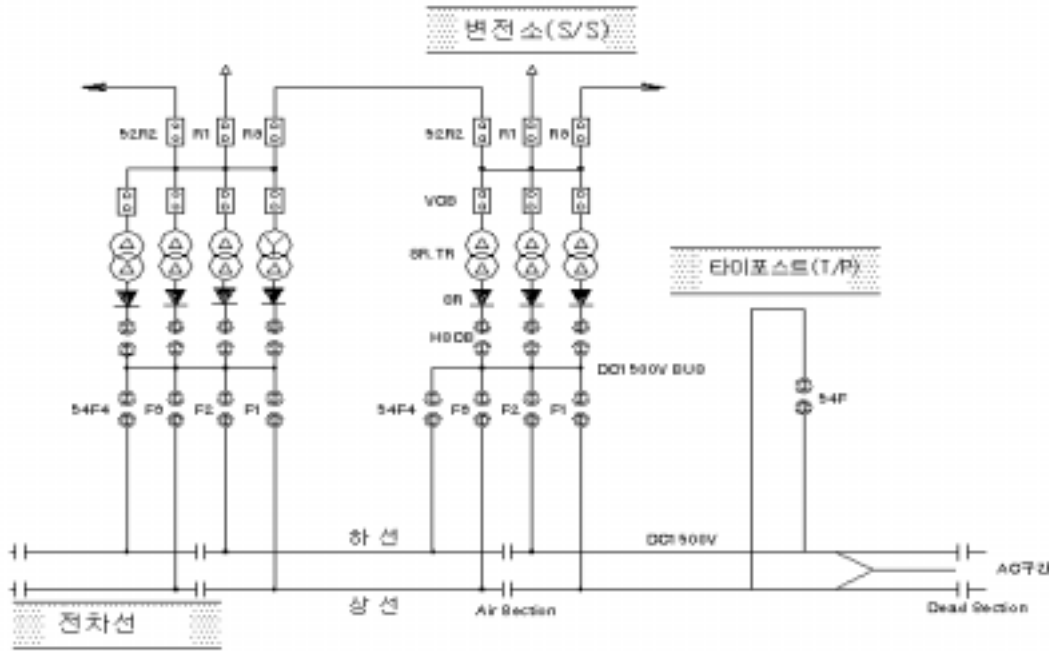


그림1. 직류 급전계통도

2.2. 직류 급전계통의 보호

직류 급전계통의 보호는 직류고속도차단기(HSCB)에 설치되어 있는 직류 과전류 차단요소(54W)와 부하의 전류변화량(ΔI)을 검출하여 동작하는 고장선택장치(50F)로 보호하며, 연락차단장치(85F)를 설치하여 급전구간 내 사고 발생시 상호 연락차단하여 사고구간의 확대를 방지한다



그림2. 직류 급전계통의 보호

2.3 고저항 지락 개요

고저항 지락은 직류 전기철도 특유의 문제로 급전전압이 낮을수록 전동차의 부하전류가 클수록 지락 고장 전류가 작아져 검출이 곤란하게 되며, 그림과 같이 애자의 섬락이나 콘크리트 기둥에 지지 되어진 전차선 구조물의 금속부분에 급전선이 단선 또는 접촉한 경우 콘크리트 기둥의 대지에 대한 저항이 수백 오옴 전후이기 때문에 통상의 전차 부하전류 이하인 변전소에서는 고장 검출이 곤란한 지락고장을 고저항 지락이라한다.

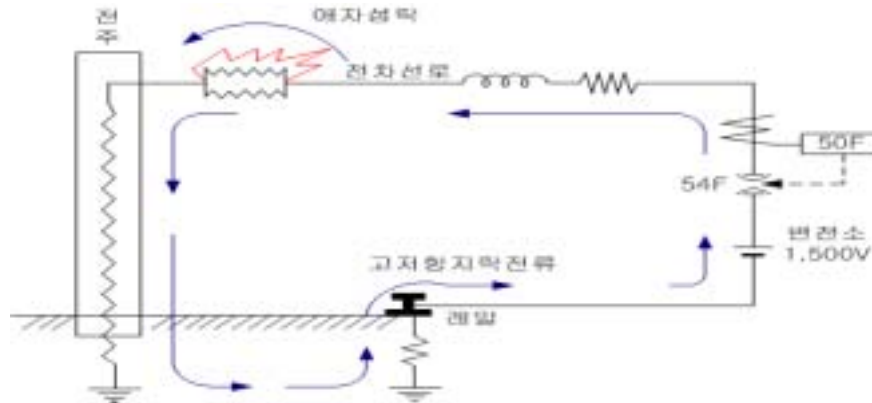


그림3. 고저항 지락고장 개념도

2.4 고저항 지락사고 문제점

일반적으로 급전선이 철주에 닿은 시점에서 지락사고가 발생하므로 변전소의 보호계전기(50F)가 동작하지만 지락지점이 콘크리트 교각으로 콘크리트 교각자체가 고저항이므로 지락전압이 64P의 동작전압까지 상승하지 못한 관계로 검출하지 못하여 지락사고를 판별하지 못하였기 때문에 급전을 반복하다 사고가 확대된 것이다. 또한 현행 보호방식에서 지락 고장시 검출할 수 있는 고장점 저항의 상한치는 0.5Ω정도로 급전선 또는 전차선이 이를 지지하는 구조물에 대해 접촉한 것 같은 구조물의 접지저항이 포함된 고장은 검출되지 못하는 상황이다.

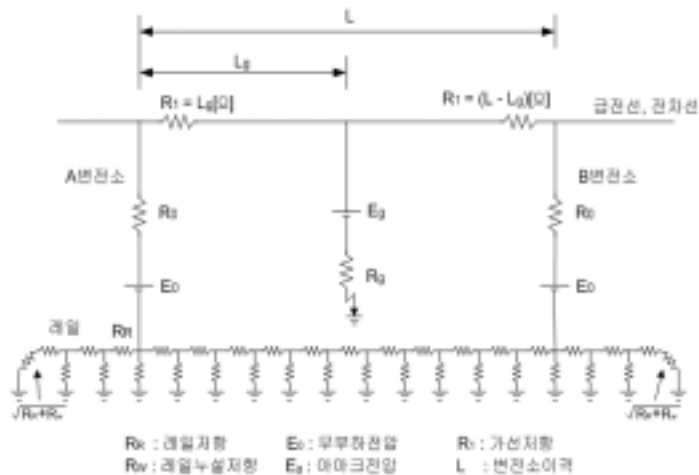


그림4. 지락시의 등가회로

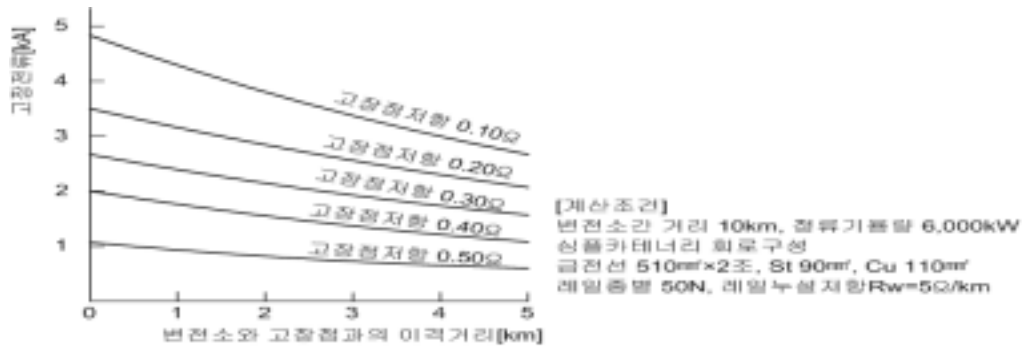


그림5. 고장점 저항과 고장전류

2.5 고저항 지락 사고사례를 통한 분석 및 고찰

- 일시 : 2004년 04월 25일 12:10분경
- 장소 : 2호선 구의~강변간(내선 11k55 #1108철주)
- 사고개요 : 지상부 철주에서 급전선 지지대(180mm×2런) 탈락으로 급전선이 철주에 접촉 지락사고 발생으로 철주하부 지지대, 접지선 용융 및 교각에서 화재가 발생되어 열차운행이 56분간 중단됨.
- 피해사항 : 조합철주 1본, 지지대 2개, 접지선 20m, 교각 구조물 1개소.

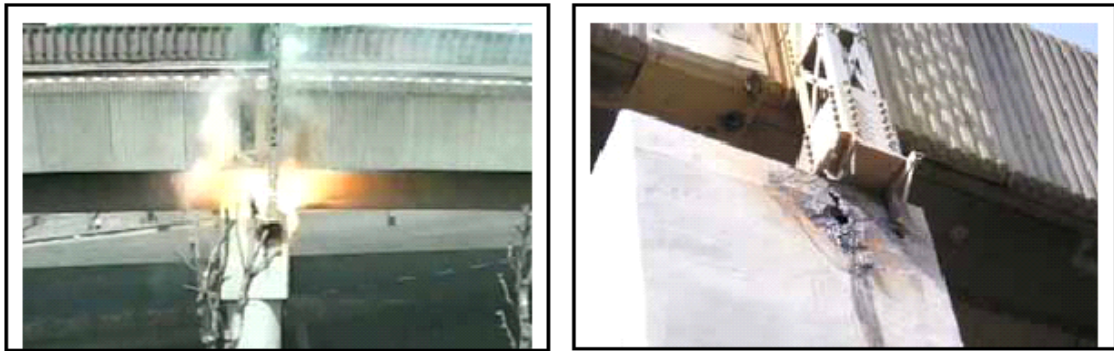


사진1.2. 지락사고로 인한 화재 및 시설물 손상 상태

2.5.1 접지선 굵기

일반적으로 접지선의 굵기 선정시는 지락전류를 기준으로 선정을 하고 있다. 그러나 전차선로의 경우 일반 전력설비 계통과 달리 가공에 시설된 정급전선과 대지, 레일에 병행하는 부급전선으로 구성되어 있으며, 레일과 대지간에는 전식방지 등을 위하여 배류기 등이 시설되어 있어 각각의 개소에 대해서는 대지저항(R_g)이 커서 레일과 대지가 절연되어 있다고 볼 수 있다.

사고당시 접지선은 초기 건설당시 GV 38mm²로 시공되었다.

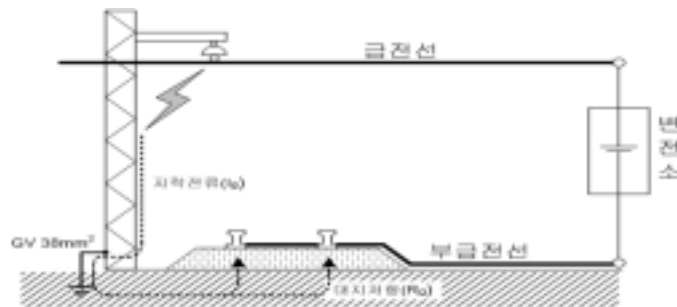


그림6. 지상부 전차선로 구성도

그러나 그림4에서 처럼 이러한 선로가 연속적 또는 무한하다고 볼 때에는 대지저항은 거의 0에 가깝게 된다. 따라서 전차선로의 경우 최악의 조건을 지락상태의 지락전류가 아닌 단락사고 때의 단락전류를 기준으로 선정하여야 한다. 급전선 탈락사고 장소인 강변~성수 구간에 대한 근거리 단락전류를 시뮬레이션한 결과 단락전류는 77.48[kA]¹⁾로 이 결과치를 ANSI/IEEE std 80에 의하여 계산한 접지선의 굵기는 다음과 같다.

고장지속시간	10[kA]	20[kA]	30[kA]	40[kA]	50[kA]
0.1초	18.1	36.1	54.2	72.3	90.4
0.5초	40.4	80.8	121.2	161.7	202.1
1.0초	57.2	114.3	171.5	228.6	285.8
2.0초	80.8	161.7	242.5	323.2	404.1

<표-4> 접지선의 굵기

따라서 계산식에 의하면 강변역 구간의 접지선은 최소 60mm² 이상이 되었어야 한다.

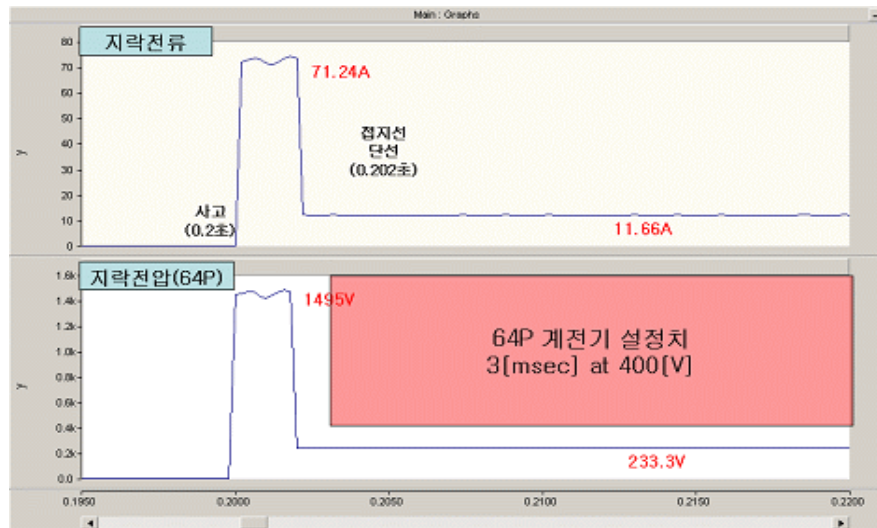


그림7. 지락후 접지선 단선시 지락전류/전압 파형

사고분석 시뮬레이션 결과 그림7 에서 보는 것처럼 급전선 탈락으로 급전선과 철주가 완전지락이 되어 흐른 지락전류에 견디지 못하고 64P 계전기의 최소 동작시간 3ms까지 견디지 못하고 2.02ms에 소손, 끊어지는 바람에 화재 및 열차 정지사고까지 확대 되었던 것이다.

2.5.2 접지 시공 방법

현재 우리나라 지상부 고가교의 지지물 접지의 경우 그림8 에서처럼 양쪽 급전 변전소측에 접지가 되어 있고 이 접지선을 연동연선(H.D.C.C : Hard Drawnd Copper Cable)으로 전차선로를 따라 각각의 철주접지선과 접속하는 방식으로 시공되어 있다. 최근에는 고가교 시공시 철구조물을 이용한 구도체접지를 많이 시공하고 있지만 서울메트로의 경우 초기시공시 이러한 접지방식을 채택하지 않았기 때문에 현 시스템을 채택하고 있다.

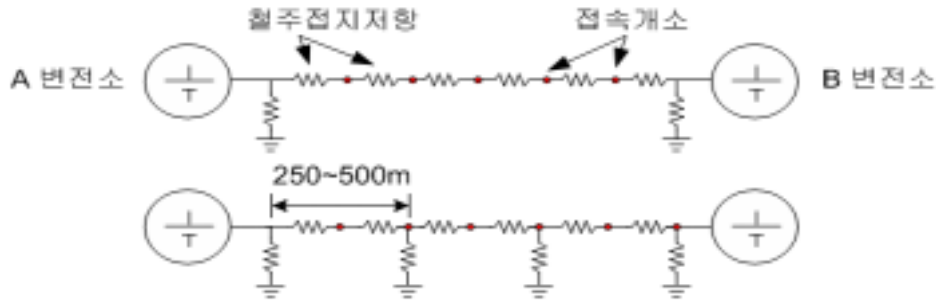


그림8. 현재의 접지계통도(상), 제안 접지계통도(하)

그러나 이러한 시스템은 지난 구의역 급전선 탈락사고에서 보았듯이 접속개소의 노후화로 순간적인 단락전류에 의해서 탈락, 용단 되었을 때 신속한 고장전류 검출 및 이상전류의 대지 방전이 어렵다는 단점을 가지고 있어 접지시스템을 다중접지 방식을 채택하는 것이 바람직하다.

다중접지를 실시함으로써 접지저항값을 감소시키는 효과 및 접속개소 불량에 따른 사고를 미연에 방지하는 효과도 얻을 수 있다.

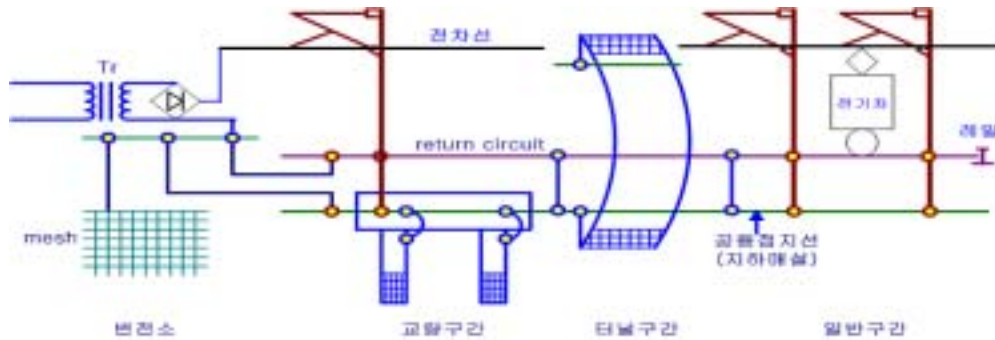


그림9. 공용접지방식 개념도

유럽 및 미국등 선진국에서는 80년대 이후부터 직류급전시스템에서 전차선로 지락사고 보호 등에 우수한 공용접지방식을 적용하고 있다. 이 방식은 레일과 병행하여 지중에 매설접지선을 포설하여 변전소로 돌아오는 귀선전류(Return Circuit Current)의 귀환(Feed back)을 용이하게 하는 방식으로, 모든 전기설비(전철, 전력, 통신, 신호 등) 및 지지물 등 금속체를 등전위(Equivalent Voltage) 접지망(Earth Network)으로 구성하여 레일과 연결시키고 있는 접지방식으로 지락사고 발생시 변전소에서 신속한 보호차단으로 사고의 과급효과를 최소화 시키고 있다.

2.6 고저항 지락사고 방지 대책

2.6.1 급전선 지지금구 코터볼트 교체

장시간 외부노출로 분할핀이 부식될 경우 금번 사고와 같이 열차 진동 및 풍압 등에 의해서 코터볼트가 탈락될 우려가 있어 기존의 현수애자 코터볼트에 분할핀만 취부하는 타입을 아래 그림2와 같이 코터볼트에 너트 취부형으로 교체함으로써 진동 등에 의한 지지금구 탈락사고를 미연에 방지.



사진3. 사고현장의 코터볼트



사진4. 너트 취부형 코터볼트

2.6.2 접지선 시스템 보완

기준에 설치된 접지선(GV 22mm², 38mm²)을 60mm²이상으로 증설하고 공용접지방식 채택

2.6.3 고저항 지락사고시의 검출장치 설치

교각, 철주, 콘크리트주에서 발생할 가능성이 있는 고저항 지락사고 보호장치(방전캡등) 설치

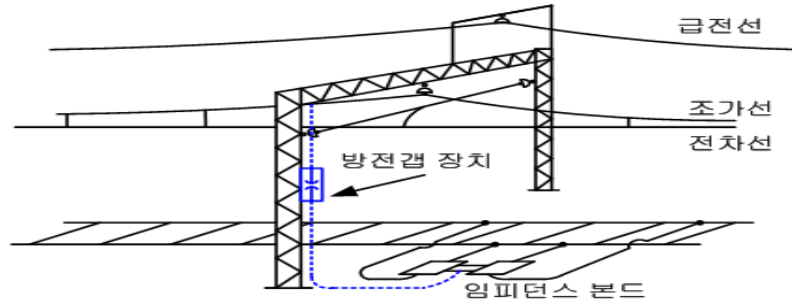


그림10. 고저항 지락 보호장치 설치도

3. 결론

우리나라의 직류 급전계통에서 레일을 비접지(간접접지)로 하고 각 설비별로 단독접지를 채택하고 있어 고저항 지락사고 발생시 고장검출이 불가능한 문제로 인명피해는 물론 전기설비등에도 영향을 주게 된다.

따라서 교가위에 설치된 지상부 전차선로의 지락 또는 애자섬락에 의한 고저항 지락사고시 구조물의 전위 상승 검출과 구조물-레일의 금속단락 회로로 구성시켜 변전소에서 보호, 차단될 수 있도록 하는 설비의 보완이 필요하다.

【참고문헌】

1. 김양수, 유해출 【전기철도공학】 동일출판사, 1999. 3.
2. 김백 【전철전력공학】 기다리출판사, 2005년
3. 서울메트로 【변전설비과정 교재】 2006년
4. 日本 (社)日本鐵道電氣技術協會 【制御と保護(1)】 1995.3
5. 金容淳 譯 【第2會 電力세미나(豫告集)】 1995.6