DC 급전계통의 디지털 보호계전기의 합리적 운용방안 검토

A study on the efficient operation program of digital protection relay in DC feeder system

이경구* 현용섭** 홍성래** 백재우** 민용호**

Lee, Kyung-Goo Hyun, yong-Sub Hong, Sung-Lae Baek, Jae-Woo Min, Yong-Ho

ABSTRACT

Lately, Seoul metro is changing transformation facilities which have been operated in subway line 1 and 2 for a long duration of time.

Although the exiting protection relays in DC feeder system have such several functions as 76I, 50, 85, and 64P, the new protective relay have a great variety of functions such as 76I, 76D, DDL-I, DDL-T(Imin), 85, and 64P, as well as record and save various events and accident wave in order to review and analyze the working causes of the protective system.

However, because the new digital relays are not used properly for protective propose, there are the cases that the electric accident is deteriorated more.

Therefore, in this paper, we will describe that making the use studying installation intention, direction, and setting up value of the protection relay in DC breaker operation not only prevents from making the electric accident worse but also shows the efficient operation method of direct current protection system.

국문요약

최근 서울메트로 1,2호선 변전설비는 장기 사용한 부분부터 년차적으로 설비를 교체하고 있다.

DC 급전계통 보호계전기도 76I, 50, 85, 64P 4개정도에 불과했으나 76I, 76D, DDL-I, DDL-T(Imin), 85, 64P등 다양한 종류의 디지털 보호계전기로 세분화되었으며, 각종 이벤트 및 사고파형 등을 기록·저장하여 모든 동작사항을 검토·분석할 수 있도록 기능이 다양화 되어있다.

그러나 보호설비를 본래 보호목적에 맞게 사용하지 못하여 장애가 확대된 사례가 있어 본 논문에서는 보호계전기 종류별 보호목적, 방향, 설정치 등을 검토하여 향후 DC차단기 보호계전기 운영에 활용함으로서 사고확대를 방지하고, 직류 보호계전시스템 운영에 있어 합리적인 방법을 제시하고자 한다.

* 서울메트로 제2 기술사업소 과장 이경구

E-mail : kg1817@hanmail.net

Tel : (02) 6110-1490 Fax : (02) 6110-1499

1. 서 론

2004.04.25(12:10) 서울메드로 2호선 지상부 전차선구간(강변－구의)에서 급전선 지지애자 파손으로 급전선(DC1500V)이 철주에 닿는 접지사고가 발생하였다. 이때 1차적으로 Sepcos DDL(50F),76I가 동작하여 차단기는 트립되었으나 차단기 재차투입으로 철주에 연결된 접지선이 소손되고, 급전선이 철주에 닿은 상태에서 급전이 이루어져 철주와 교각 이음부분에서 지락전류에 의한 화재가 발생하여 열차운행이 중지되었다. 접지선 단선으로 고장전류가 접지계통으로 흐르지 않고 급전선－철주－교각으로 이어지는 고저항 접지사고로서 64P를 포함 어느 계전기도 동작하지 않았다.

본 논문은 DC 철도분야에서 이와 같은 고저항 지락사고 발생가능성 많을 뿐만아니라, 사고 발생시 파급효과가 막대하므로 당시 상황을 토대로 현재 운용중인 신·구 보호시스템의 운용사항과 앞으로 고저항 접지사고에 대비하여 후비보호 및 보호협조를 위한 Digital 보호계전기(Sepcos or ETCPU)의 효율적 운용에 대하여 언급하고자 한다.

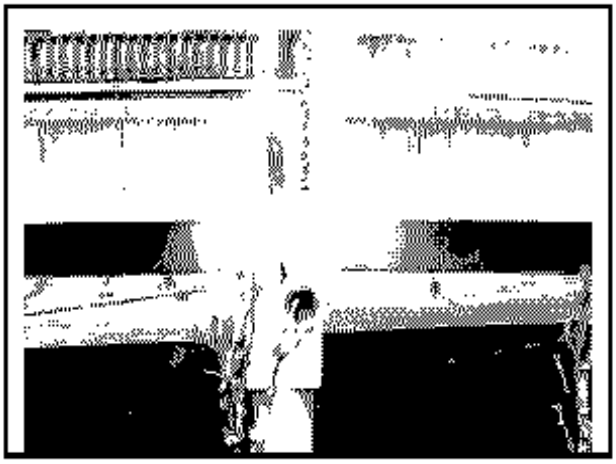


사진.1 : 급전선 지락으로 인한 화재전경

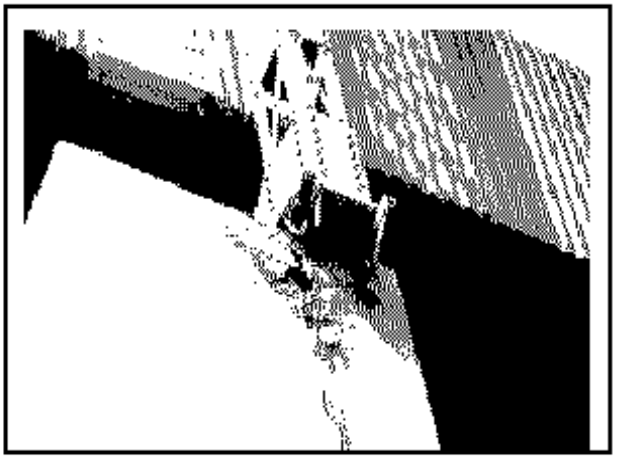


사진.2 : 철주 및 교각 용융상태

2. 본 론

2.1. DC 보호계전기의 개요

2.1.1 직류 고압지락계전기(64P)

2.1.1.1 보호용도

-변전소내·외 직류 고압 지락사고 검출

2.1.1.2 동작원리

① 64P계전기는 변전소내에서 직류 주회로가 지락되는 경우 대지전위 상승으로부터 고장을 검출하는 것으로, 계전기 플러스(+)측을 변전소 접지간선에, 마이너스(－)측을 부하모선(귀선레일)에 접속하여 접지간선의 부극모선에 대한 전위상승이 일정치(정정치)를 초과하는 경우에 직류지락을 판정하는방식이다.

② 기존방식은 변전소 구내 지락 또는 원거리 접지 보호으로 사용되고 있다.

2.1.1.3 구내지락 보호의 변화

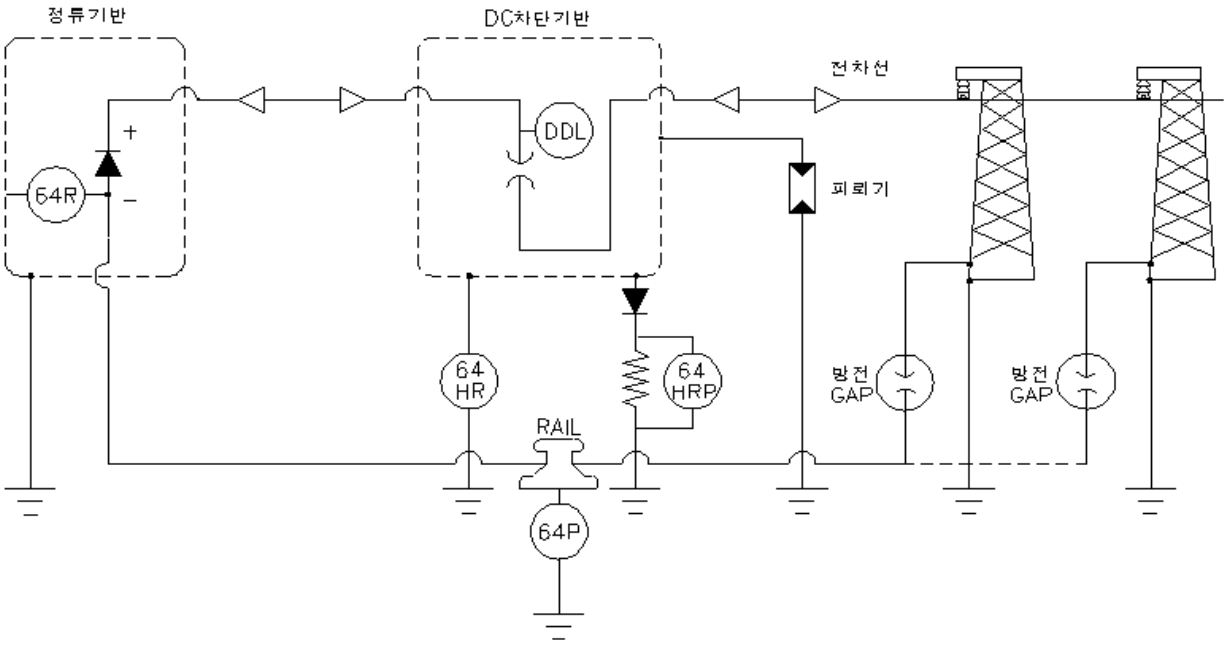
① 최근 구내지락 보호용으로 64계전기의 종류가 다양해 지고 있다. 서울메드로에서는 변전소 노후설비를 교체하면서 구내 DC 접지사고를 기기별로 국한하고 파급효과를 최소화하기 위하여 정류기 및 DC 차단기반 하부에 에폭시로 절연하는 방식의 새로운 시스템을 구성였다. 이러한 보호방식 도입으로 [그림.1]과 같이 새로운 구내접지 보호계전기(64HR, 64HRP, 64R)가 설치되었다. 따라서 64P 계전기의 본연의 설치목적 즉 구내지락 보호역할은 사실상 상실

하였고, 이러한 시스템은 구내지락시 기기별로 선별하여 차단하여 단전범위 및 과급효과를 최소화하는 장점이 있으며, 철도분야에 일반적 추세로 자리매김하고 있다.

② 구내지락 보호계전기

·공랭식정류기 DC1500충전부 외함 접지 : 64R(64C)

·DC차단기반 DC1500충전부 외함 접지 : 64HR(전류형), 64HRP(전압형)



[그림.1. DC 급전계통 보호계전기 설치도]

2.1.2 직류 고장선택 계전기(DDL-I, DDL-T)

2.1.2.1 보호용도

원거리 단락·지락사고 및 열차고장등 고장전류가 비교적 적은 고장전류 감지

2.1.2.2 일반특성

① DDL(50F)은 급전회로에 단락사고등이 발생한 경우에는 사고전류를 신속하게 검출·차단하여 사고확대를 방지하고 전동차나 급전설비를 보호할 필요가 있다. 한편, 전철부하는 급격한 변동부하이고 상시 전동차의 운전부하로 인해 보호장치가 불필요하게 동작하지 않도록 확실한 고장선택능력이 요구된다.

② 보호영역에 있어서 64P는 해당변전소 구내지락사고를 검출하고 변전소이외의 원거리,저저항 접지사고는 DDL이 분담함으로서, Feeder별로 고장을 검출하여 사고범위를 선택차단함으로서 정전범위를 최소화할 수 있도록 하였다.

③ 그러나 사고점이 변전소로부터 원방에 있는 경우나 고저항접지사고 등에서는 사고전류가 적게 되는 점, 게다가 고가교등 고저항 지락사고시 DDL, 64P가 동작하지 않아 대형사고로 이어질 수 있으므로 현재 설치.운용되는 Dgital 보호계전기를 고저항 접지사고 보호협조에 활용함으로서 접지사고에 효과적으로 대응할 필요가 있다.

2.1.2.3 보호특성 및 범위의 다변화

① 앞에 설명한 바와 같이 직류 고장선택계전기(DDL)는 원거리 단락 또는 지락사고전류를 검출하는 계전기로서 64P계전기(구내지락) 76I(근거리 단락 또는 지락)와 역할을 구분하였다. 일반적으로 DC급전계통에서 근거리 단락을 포함한 원거리 단락전류는 운전전류보다 크므로 직류고속도차단기에 내장된 직접구동 석방장치(Direct-acting release device,76I)에 의해 보호가 가능하다. 그러나 최근 전동차 구동방식에 따라 운전전류의 변화양상이 다양화되고 있어

사고판별이 용이하지 않다. 따라서 이를 보완하기 위하여 차전류(Differential current,DDL) 즉 운전중에 나타나는 전류의 변화량을 설정하여 사고전류의 변화량과 상호 비교하여 사고식별이 가능하다.

② 그리고 이러한 복합기능을 수행하기 위하여 기존 아나로그방식(Analogue type)으로는 곤란하여 Micro-processor를 응용한 디지털형으로 Shunt의 전압강하를 계측하여 설정된 전류변화율과 지속시간을 초과하면 사고로 인지하여 접점을 출력하는 방식의 디지털방식(Digita type)을 채용함으로서 수치연산에 의한 다양한 소프트웨어를 구현하여 소기의 목적을 달성할 수 있게 되었다.

최근 Sechron(스위스), 인텍(국내)에서 개발, 우리나라에서 널리 사용하고 있는 Sepcos, ETCPU는 DDL을 3가지 이상의 기능으로 세분화하여 다양하게 적용하도록 하였으며, 서울메트로에서는 DDL운용을 [그림.2]와같이 설정·운용하고 있다

③ DDL(50F)설정 및 특성곡선

·DDL-I: 원거리 단락·지락사고(ΔI) 보호

돌진률: Initial Slope(E Slope): 72A/ms

Final Slope(F Slope): 18A/ms

설정값: Current : 3000A

·DDL-T: DDL-I보다 큰 고저항 단락 및 지락 보호

돌진률: Initial Slope(E Slope): 72A/ms

Final Slope(F Slope): 18A/ms

설정값: Duration T: 35ms

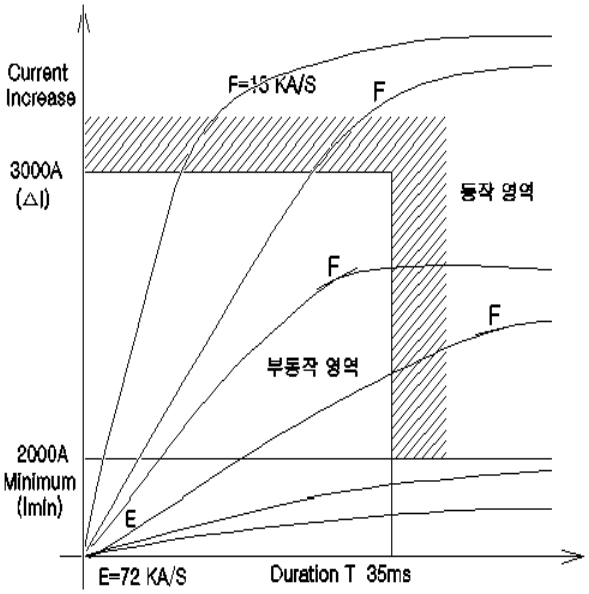
·DDL-Imin: 미세전류 동작무시(하한설정)

돌진률: Initial Slope(E Slope): 72A/ms

Final Slope(F Slope): 18A/ms

설정값: Current: 2000A

Duration T: 35ms

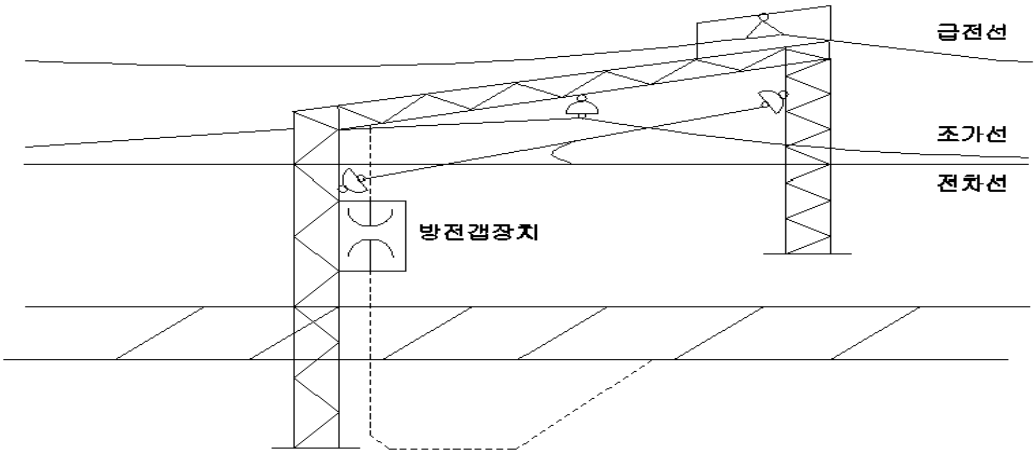


[그림.2. Sepcos Relay 특성곡선]

④ 급전선로 지락보호 시스템(방전갭)

·당시 급전선 충전부가 탈락으로 DDL,76I는 정상적으로 동작하였으나 64P는 동작하지 않아 지락사고가 아닌 단순 열차고장으로 오인, 차단기를 반복적으로 투입하여 접지선이 단선등의 문제점이 발생되었는바, 서울메트로에서는 이러한 사고 재발장지를 위하여 [그림.3]과 같이 이미 일본에서 실용화된 방전갭을 지상부 일부 구간에 설치하였다.

이와 같이 방전갭을 설치함으로서 급전선 탈락시 DDL과 방전갭 동작표시가 동시에 사령판제 표시되게 하여 급전선,전차선등 충전부가 접지되었다는 사실을 인식하도록 하여, 이번사고와 같은 오류 및 사고확대를 방지하게 되었다.



[그림.3.. 급전선 지락보호용 방전갭 설치도]

2.1.3 직류 순시 과전류계전기(76I)

2.1.3.1 보호용도

·과부하 보호(순시)

·근거거리 단락·지락사고 및 열차고장등 고장전류가 비교적 큰 고장전류 감지

·설정값 : 8000A

2.1.3.2 일반특성

·HSCB 본체에 취부된 전자 직동형(Electro_magnetic direct acting type)으로 과전류(단락 또는 과부하)가 발생한 경우 Sepcos를 거치지 않고 고정전기자에 자기장이 유도되어 자력에 의해 차단기를 트립시키는 방식으로 대전류 근거리 단락 및 지락사고시 다른 보호계전기 보다 가장 신속하게 동작하는 계전기이다

2.1.3.3 동작특성의 변화

·자속의 힘을 이용하는 면에서 Fuji차단기와 비슷하나 기존 방식은 전기적 홀딩방식인데 비해 Secheron 제품은 기계적으로 홀딩방식으로 과전류 발생시 자속의 힘으로 홀딩된 것을 해제하는 원리를 이용하여 차단기를 트립시키는 방식으로, 차단성능등 제반성능에는 큰차이가 없으나 사고전류차단시 차단기 접점이 개극되면서 소전류에 의해 접점 용융되는 일이 발생하여 제작사에 보완 요청하였으며, 보완책으로 Blow Coil(자력에 의한 아크소호)장치를 부착함으로서 차단성능이 개선되었다.

2.1.4 직류 한시 과전류계전기(76D)

2.1.4.1 보호용도

·76I보다 적은 열차 과부하 보호(급전설비 보호)

·설정값 : 3000A, 60sec

2.1.4.2 일반특성

·기존 설비에서는 이러한 기능이 없었으나 Digital화 되면서 전차선 및 이와 연결된 전차선 설비의 과부하 보호용으로 76D기능이 추가되었다. 이는 과부하로 전차선등 부속설비의 허용전류 및 연속정격 이상으로 상회하는 것을 방지하여 급전설비의 용융,단선,열화 방지에 그목적이 있다.

2.1.4.3 보호성능 및 목적의 다양화

·Secheron 제품은 시간설정의 범위(0~60sec)가 적어 운용에 한계가 있으나 최근 제작납품되는 국내 생산업체인 인텍제품(ETCPU200)은 76D의 종류가 3개종류로 다양화되고 시간설정도 조정범위 넓어 합리적으로 운영할 수 있게 되었다.

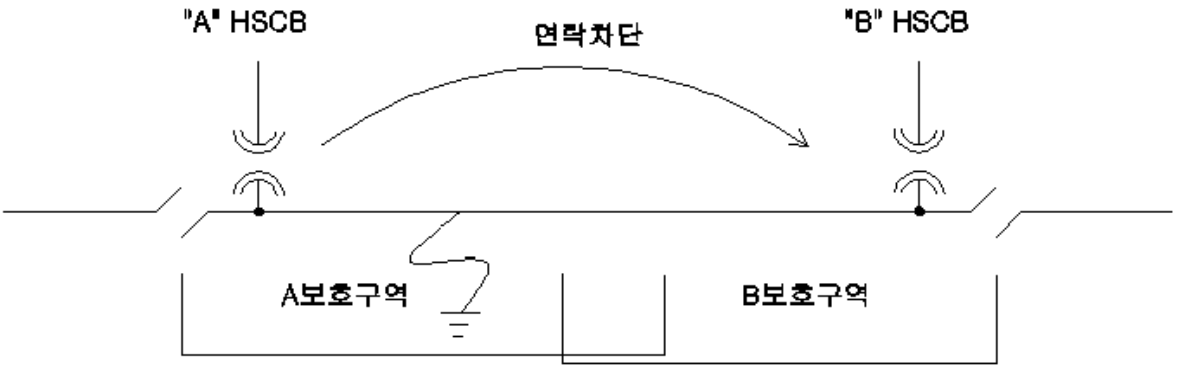
2.1.5 연락차단 계전기(Intertripping Relay, 85F)

2.1.5.1 보호용도

·사고를 먼저 감지한 변전소의 보호계전기(76I,76D,DDL)동작으로 자기차단기를 트립후 상대 변전소 차단기를 트립하여 병렬급전구간내 사고전류 및 부하전류 차단

2.1.5.2 일반특성

·운전전류가 대전류화 하면서 DDL등 보호계전기의 세팅치를 상향 조정하게 되고, 따라서 원거리 사고전류의 경우 운전전류보다 작아지는 경우가 발생하여 이를 검출하기 곤란한 경우가 생기게 된다. 이를 보완하기 위한 것이 연락차단장치이다. 즉 [그림.4]와 같이 에어섹션으로 구분된 전차선 동일섹션에 병렬로 전력공급하고 있는 인근변전소 차단기간에 보호범위를 약간 겹치게 하면서 자기 구간에서 발생한 사고는 자기차단기가 감지하여 트립시키고 상대방 차단기를 통신선을 통해 연락차단시킴으로서 병렬급전 구간내 급전을 차단, 사고확산을 방지하고자 하는데 그목적이 있다.



[그림.4 병렬 공급구간 보호범위 및 연락차단]

2.1.5.3 운용방식의 변화

·기존 연락차단장치(Intertripping Device)는 2선으로 변전소간 폐회로를 구성하다가 회로의 단락 또는 단선(접점분리)되면 상대변전소로 연락차단하는 방식으로 되어있으며, 신설 연락차단계전기(Intertripping Relay)는 폐회로를 구성하는 방식은 같으나 송신(2선),수신(2선) 총4가닥으로 회로가 많은 점과 단락시는 연락차단이 되지 않는 것이 기존 방식에 조금은 차이가 있다.
보호계전기 동작없이 연락차단 발생시 단선으로 인식하고 사용자가 조치를 할 수 있으나 단락발생시에는 원인을 알 수 없어 사고발생시 연락차단기능 불능으로 사고파급 확대될 수 있다는 점에서 앞으로 개선되어야 할 부분이다.

·연락차단조건 : 64P, 64HR, 64HRP, 76I, 76D, DDL(50F) 동작시

2.2 사고분석 및 Digital Relay 운용 방향

2.2.1 사고개요

급전선 지지애자 파손으로 급전선~철주~교각~대지로 구성되는 고저항 접지사고로서, ① 사고시 수차례 차단기를 투입하였으나 DDL,76I동작으로 차단기가 트립되었으며, 반복적인 차단기 투입으로 접지선(38㎟)에 8000A이상의 전류가 흘러 단선된 것으로 분석되었다. ② 투입시 마다 DDL,76I은 동작하였으나 64P가 동작하지 않아 차단기를 재차 투입하게 되었으며 이때 고저항 접지로 보호계전기가 부동작하여 고저항 접지상태로 전차선에 급전되어 철추기초 부분에서 지락전류에 의해 철근이 용융되고 화재로 발전하였다. 또한 전력사령실 기록에 의하면 화재당시 지락전류값이 533~1066A로 확인되었다. ③ 당시 보호계전기 설정은 다음과 같이 하였다. - 64P : 450V, 0.5S - DDL-I : 3500A - 76I : 8000A - DDL-T : 35㎳

- 76D : 6000A, 10S - DDL-Imin : 2200A 35ms

2.2.2 사고분석

2.2.2.1 64P relay 동작분석

① Relay cordination

최초 급전선 지락 및 재투입시 지락전류가 접지선을 타고 흘러 DDL,76I가 정상적으로 순시 동작하였으며, 64P계전기는 0.5초의 지연설정으로 차단기가 트립된 후여서 동작할 시간이 없었던 것이 첫째 64P부동작 원인이었고

그리고 당시 64P시험결과 이상이 없었으며, 64P계전기가 동작하기 위해서는 기본적으로 대지와 레일간에는 일정치 이상의 저항이 필요하며, 이로 인해 전위차가 발생하여 정정치 전압을 초과하면 동작하도록 되어 있다. 그러나 접지선이 끊어져 64P동작을 위한 레일과 대지간 전위차가 설정값(450V)에 이르지 못한 것이 두번째 부동작 원인이었다

결국 접지선 단선후 고저항접지 상태로 진행되면서 DDL-Imin 설정값 이하의 전류가 교각을 타고 대지로 흐른것이 화재의 근본원인이라 할수 있다.

또한 64P 한시설정은 풍선등 순간접지 발생시 우선 DDL이 감지하고 후비보호로 64P가 동작하도록하여 경미한 접지시 여러변전소가 동시에 트립되는 것을 방지하기 위한 한시설정으로 설정시간이국내외 논문에서 권장하는 0.1~0.2sec와는 조금 차이가 있으나 전체적으로 정상적인 System relay cordination으로 분석된다.

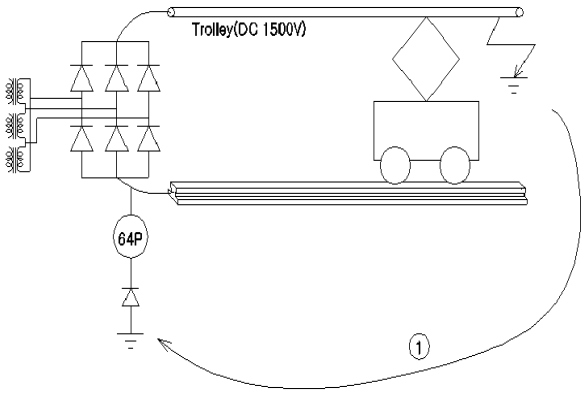
② 64HR,64HRP,64R와 cordination

앞에서 언급한 것과 같이 64P 계전기의 본연의 설치목적 즉 구내지락 보호역할은 사실상 상실하였고, 이러한 시스템은 구내지락시 기기별로 선별하여 차단하여 단전범위 및 파급효과를 최소화하는 장점이 있으며, 급전선로 지락시에도 우선 76I,DDL이 선택차단하고 64P는 0.1~0.2sec 시간지연을 주어 후비보호 목적으로 재설정 되어야 한다.

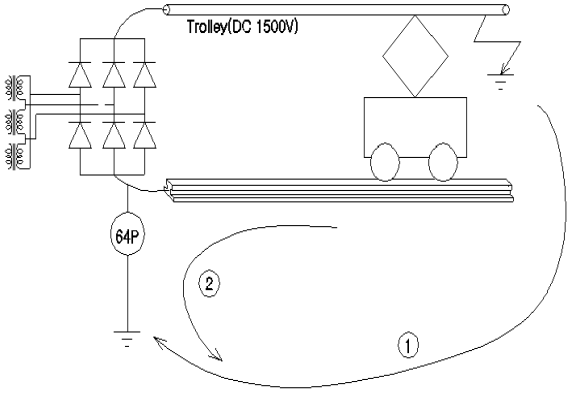
③ Secheron 64P Relay 개선

기존 64P는 대지전위 상승시에 만 동작하도록 되어있는 단방향인데 비해 Secheron 제품은 [그림.5]와 같이 열차 과부하에 의한 레일전위 상승시에도 동작하도록 되어 있는 양방향성 보호계전기이다. 열차 운전전류에도 레일전위가 300V를 상회하고 있기 때문에 운전전류에 의해 64P계전기가 동작하여 변전소 모든 차단기가 트립되는 것을 방지하기 위하여 레일전위보다 높게 설정하였으며, 당시와 같은 고저항 지락사고는 설정값(450V)이 너무 높아 64P가 부동작하여 화재가 발생한 것으로 정리할 수 있다.

단방향성 Relay



양방향성 Relay



흐름 ① : 대지전위 상승(지락전류) 흐름 ② : 레일전위 상승(운전전류)

[그림.5 64P 지락전류 흐름도]

④ 64P 정정시 고려할 사항

첫째, 64P 정정시 가장 중요시 고려되어야할 사항은 대지~레일간의 전위차가 인체에 얼마나 영향을 미치느냐가 가장 중요하고,

둘째, 64P오동작 및 열차운행에 지장을 줄이기 위해서는 Arc보호 및 설비보호도 고려해야 한다. 그러기 위해서는 64P 설정에 필요한 레일의 누설저항, 접지저항,내부저항값을 알아야만 하는데, 이해를 돕기 위해 전력설비 정밀안전진단 용역 분석자료를 토대로 64P 동작전압 산출과 64P동작에 필요한 저항값을 언급하고자 한다.(전력설비 정밀안전진단 용역,변전-63)

⑤ 64P 동작 등가회로

직류 1500V 충전부 지락시 64P 동작구성과 전압 산출식를 아래와 같이 표현할 수 있다.

전압산출은 접지저항값등 서울메트로 변전소 보편적 조사자료를 가지고 계산하였다.

⑥ 64P 동작전압 산출

$$Vp = (1500\ Varc) \times \frac{Re + Rr}{Re + Rr + Ro}$$

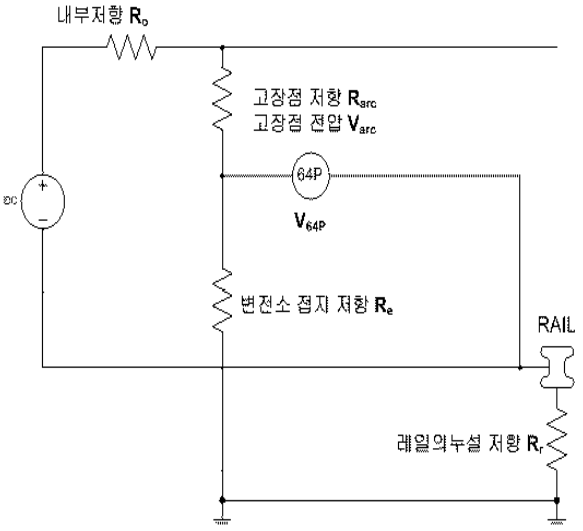
$$= (1500\ 300)\left(\frac{1 + 0.18}{1 + 0.18 + 0.1}\right) = 1104V$$

여기서 Varc : 아크(arc) 전압(300V)

Re : 변전소 접지저항(1Ω 이하)

Rr : 레일 대지간 누설저항(0.18Ω)

Ro : 변전소 내부저항(0.1Ω)



[그림.6 직류64P 동작 등가회로]

지락고장시 일반적으로 1104V가 64P에 걸리는 것을 알 수 있으며 동작 정정치는 30%로 정정하였다. 따라서 정정치는 330V가 되며, 일반적으로 열차밀집도 높을시 레일 전위가 300V를 상회하므로 330V로 설정하는 것이 적정한 것으로 검토되었다.

또한 만약의 레일전위 상승으로 인한 열차운행중 동작을 방지하기 위하여 단방향성으로 회로를 보완할 필요가 있으며. 76I,DDL 후비보호로 지연시간을 250ms로 정정해야 한다.

⑦ 사고당시 64P 동작전압 검토

레일과 대지간 전위차가 발생하기 위해서는 일정치 이상의 저항이 꼭 필요한데. 제작사 사고원인 분석자료에 의하면 64P 동작범위는 설정치가 450V일 때 전체저항이(레일 누설저항,변전소 접지저항,전원저항)이 950Ω이상 되어야 전압이 검출되며, 이보다 적어지면 검출하지 못하는 것으로 확인되었다. 이자료를 토대로 대전류가 흐를 수 있었던 것은 950Ω보다 낮았다고 판단된다.

결국 대전류가 흐를 때는 64P 검출이 되지 않으며, 전체저항이 "950Ω~∞" 까지는 64P가 동작되는 것으로 검토되었다. 이내용을 토대로 접지선 단선후 64P에 걸린전압이 450V(950Ω 이하)이하로 되어 부동작한 것으로 접지계통에는 이상은 없고 계전기 설정치가 높은 것으로 검토되었다.

⑧ 레일전위 상승에 따른 검토

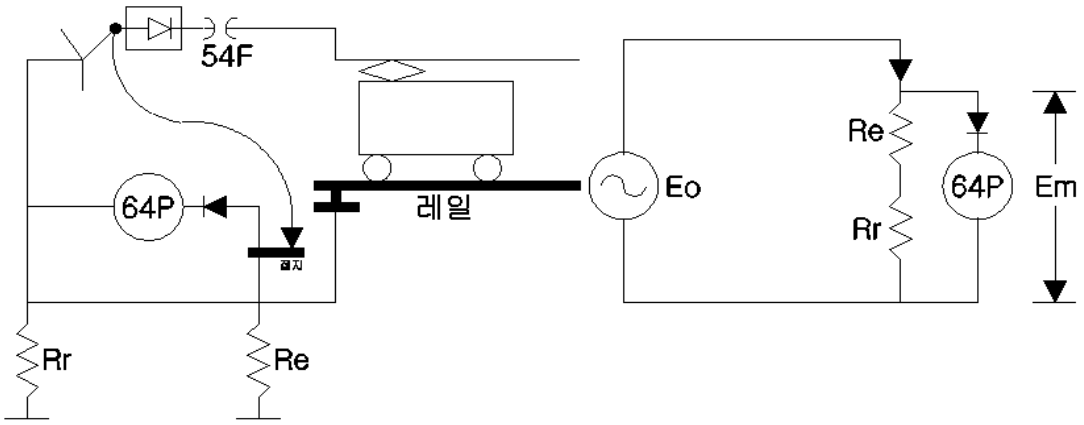
전력분석용역 결과에 의하면 서울메트로 2호선 운전전류에 의한 레일전위 상승은 300V를 상회하는 것으로 분석되었다. 운전전류에 동작하지 않도록 하면서 구내지락 후비보호 및 구외지락 후비보호에 동작할 수 있도록 하기 위해서는 64P Relay를 단방향성으로 보완하고 전압

설정치를 하향조정(330V,0.25sec)하여야 한다.

⑨ AC 주회로 지락에 따른 64P 동작검토

변압기 1차측 22.9Kv 지락시에 동작할 수 있으므로 50/51GR을 선동작 하도록 64P Time설정치를 한시로 설정하여 보호협조할 필요가 있다.

정류기용 변압기 2차측 지락에도 동작하므로 이에대한 검토가 필요하며, 64P설정에 참고할 필요가 있다. 변압기 2차측 지락시의 등가회로[그림.7]와 평균전압 계산식은 아래와 같다



[그림.7 변압기 2차지락 및 등가회로]

64P에 교류전압이 인가되면 다이오드에서 극성을 유지하므로 실질적인 반파정류된 전압의 평균치가 인가된다. 이 평균전압(Em)을 계산하면 아래와 같이 510V가 된다.

$$\therefore \text{ 평균전압(Em)} = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{2}\text{Eo} \times \int_{\phi}^{\pi} \sin\phi \; d \quad (\text{Eo : 변압기 2차측 전압실효치})$$

$$\text{Em} = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{2} \times 1200 \times 2 \fallingdotseq 510\text{V}$$

이상의 계산치는 내부 임피던스 및 지락점 저항치를 무시한 것으로 상황에 따라서 인가전압은 계산치보다 적은 상태가 된다. 이러한 검토결과를 기초로 변압기 2차측 지락상황으로 볼 때 64P 정정값은 400V 정도가 된다. 그러나 지락시 64P동작으로 전력공급에 지장을 줄 우려는 있으나 거의 발생확률이 없을 뿐만아니라, 64P 구내지락 및 구외지락 후비보호를 위한 설정값 하향조정을 위해서는 무시하는 것이 바람직하며, 단 본논문에서는 AC접지사고 발생되는 전압과 문제점만 제시하고 자한다.

⑩ 64P 종합검토

결국 강변~구의간 지락사고에서 나타난 64P부동작 원인은 레일전위 상승, AC 접지등을 고려한 전압설정값이 너무 높아 부동작한 것으로 검토되었으며, 신설비로 교체한 이후 구내지락보호는 64HR,64HRP,64R이 그 역할을 하게 되므로 64P Relay는 한시타임을 설정해서 구내지락 후비보호와 고저항지락 후비보호 목적으로 사용되는 것이 바람직하다.

결국 변전소 구내지락 후비보호 및 고저항 접지보호를 위해서는 설정전압을 하향조정이 선행되어야 하는데, 이에 따른 고려될 요소들은 다음과 같다

- 첫째 접지회로의 저항을 산출하여 64P 인가전압의 정도를 산출해 보아야 하고,
- 둘째 Simulation을 통해 운전전류에 의한 레일전위 정도를 확인이 필요하며,
- 셋째 구내지락보호용 계전기(64HR,64HRP)와 보호협조를 위한 한시설정 검토와
- 넷째 AC 주회로 지락시 50/51GR 동작이 선행되도록 64P(한시동작)와 보호협조가 필요하며,
- 다섯째 특히 설정전압을 하향조정하기 위해서는 현재 문제점인 양방향성 계전기를 단방향성으로 보완하는 것이 우선적으로 필요하다.

변압기 2차 지락사고는 발생시 64P동작으로 전력공급에 차질이 발생되나 발생한 사례가 거의 없으므로 주로 사고비중이 높은 DC 지락보호 목적으로 보호협조를 하는 것이 바람직하다.

2.2.2.2 DDL 설정 검토

① DDL-I 설정

서울메트로 변전소는 급전구간 중간의 최소 단락치의 80%로 설정하여 설정값이 3000A로 통일되어 있으며, 최근 강변~성수간 급전구간이 길고 열차 밀집도가 커서 차단기가 자주 트립되는 현상이 발생하여 3500A로 상향 조정하였으며 당시 사고검출 및 정상동작 상황과 현 운영중 DDL 동작현상을 종합해 볼때 설정에 문제가 없는 것으로 판단된다.

최소단락치(상대변전소 단락사고시의 단락전류,강변~성수간) : 5,619A의 80%이하로 정정

② DDL-T(Imin) 설정

직류에서는 Noise가 발생하는데 이러한 Noise에 의해 DDL-T가 동작하는 것을 방지하고 사고전류에만 동작하도록 하한설정을 한 것으로, 최초 제작사 권고치 200A에 설정하여 사용하였으나, Sepcos,정류기,전동차로 추정되는 Noise발생으로 빈번한 차단기 트립으로 2000A까지 상향조정하여 운영하였다.

최근 Sepcos 신품교체, 전동차 교체등 주변환경이 개선되었을 뿐만아니라, 고저항지락사고에 대한 관심이 높아지면서 DDL-T(Imin)가 어느정도 운전전류에서 트립되는 가를 확인하였다. 비교적 부하가 많은 선릉S/S~서초S/S 급전구간(선릉S/S)을 공급하는 급전용차단기(54F1,54F2)의 DDL-T(Imin)설정을 1000A까지 단계별로 하향조정을 시험하였으나 운전에 문제가 없었으며, 이러한 결과로 볼때 현재 설정된 35㎳를 단계적으로 45㎳까지 조정하면 200~500A까지 조정이 가능하며, 이렇게 조정할 때 64P가 보호할 수 없는 고저항 지락검출도 가능하다.

당시 사령실에 기록된 사고전류가 533~1066A로 기록된 정황으로 봐서 DDL-T(Imin,2200A) 설정이 너무높게 설정되어 차단기가 트립되지 않았고, 이로 인해 사고가 확대된 것으로 해석할 수 있다.

결국 본 논문에 언급하고자 하는 것은 64P계전기가 검지하지 못하는 영역의 고저항 지락사고를 DDL-T가 감지할 수 있도록 Imin 설정을 하향조정할 필요가 있으며, 고저항 지락사고에 대비한 64P와 DDL-T(Imin)의 보호협조체계를 구현하자는 것이다.

2.2.2.3 과전류계전기(76D) 설정검토

① 76D 설정

76D는 당시 급전설비 과부하 보호목적인 제작사 권고치로 6000A 10sec로 설정하였으나, 이는 단순한 열차 기동시간(표정속도 35㎞/h,10sec)을 고려한 설정으로 설정근거가 모호할 뿐만아니라, 강변~구의간 급전선탈락 및 대림역 FRP소손등의 사고를 계기로 76D relay를 급전구간내 열차 과밀현상 및 고저항 지락사고에 대한 보호용도로 사용을 검토하고 있으며, 최근에는 급전설비(전차선,급전선,부속설비등)의 허용전류를 감안하여 단순 저과부하 지속전류만 검출하도록 설정(3000A,60sec)하였다. ·현재 서울메트로는 개통시 설계량보다 부하가 많이 증가하였으며, 연속부하에 의한 균압선, 접속점등의 열화에도 관심이 높아 졌다. 이러한 견지에서 볼 때 현재 사용중인 76D 보호영역 및 설정은 과부하 보호에 부합된다고 판단된다.

② 전동차 전류 및 시간 지속(50F 설정치 검토 자체보고서)

0㎞/h에서 35㎞/h까지 0에서 4000A로 직선증가(약11.4초)

35㎞/h 에서 50㎞/h 까지 4000A와 3700A로 반복(약5.7초)

50㎞/h이후 80㎞/h 까지 2000A로 직선 감소 (약 23초)

따라서 기동시간은 40초, 3000A이상 부하는 20초내외로 후속열차 연속기동시에도 현설정에

트립되지 않으며 시간적 여유가 있다, 최근 과부하 구간(선릉S/S~서초S/S간 54F1,54F2)에서 2500A로 운전하였으며, 운전에 문제가 없는 것으로 확인되었다.

③ 급전설비 허용전류(1-4호선 전력설비 정밀안전진단 용역,전차선-208)

항 목	규 격	허용전류	부하분담 비율
급 전 선	AL 510㎟×2	1714	77.5%
조 가 선	ST 135㎟	150	1.5%
전 차 선	CU 170㎟	590	21%

따라서 전동차의 지상부 전차선로 허용전류 합계는 2454A가 된다.

④ 76D 종합검토

②,③항을 종합해보면 변전소간 거리, 열차 밀집도를 고려하여 허용전류(약2500A) 전후로 현장여건에 맞게 설정하는 것이 바람직하다.

⑤ 고저항 지락 보호용으로 설정할 수 없는 이유

첫째 : 고저항 지락사고를 감지하기 위해서는 1000A이하로 설정해야하는데 이렇게 낮게 설정할 경우 부하전류에도 트립되어 정상적인 운전이 어렵고,

둘째 : 설정하더라도 지락사고시 60sec동안은 화재 발생이 불가피하여 근본적 해결책이라 볼 수 없다

2.2.2.4 Intertripping Relay,(85F) 운용

① 연락차단의 목적은 고.금을 막론하고 변함이 없으나, 연락차단방식에는 조금 차이기 있다. 신설비 방식인 송신,수신라인 별도 구성방식은 단락시 선로 이상여부 발견여부가 어려운 점이 있으나, 경험으로 보아 단선은 간혹 발생한 경우가 있으나 단락으로 문제가 된 경우가 없어 큰 문제점이 없는것으로 판단된다.

3. 결 론

3.1. 논문 요약

3.1.1 DC 급전계통 보호계전기 정정 검토(안)

Relay	Relay 보호용도		정정값	
	현 재	변 경	현 재	변 경
64P	○변전소 구내 지락보호 ○순시동작 시간설정 ○양방향성 계전기	○구내·외 지락 후비보호 ○동작시간 지연 설정 ○단방향성 계전기	400V (0sec)	330V (0.25sec)
64HR	○1500V충전부-배전반간 단락보호	○좌 동(전류형)	80A (최소)	80A (최소)
64HRP	○1500V충전부-배전반간 단락보호	○좌 동(전압형)	300V (0sec)	300V (0sec)
64C	○정류기충전부-외함간 단락보호	○좌 동	-	-
76I	○근거리 지락 및 단락보호	○좌 동	8000A	8000A
76D	○급전설비 과부하 보호	○좌 동	3000A (60sec)	3000A (60sec)
DDL-I	○원거리 단락 및 지락보호 ○76I보다 작은 사고전류 보호	○좌 동	3000A	3000A
DDL-T	○DDL-I보다 기울기가 적는 저저항 단락 및 지락 보호	○좌 동	2000A (35㎳)	200~500A (35~45㎳)
DDL-T (Imin)	○Imin 설정값 이하 고장전류 무시 (설정값 높음)	○Imin 설정값 이하 고장전류 무시 ○고저항 지락·단락보호		
76I	○근거리 지락 및 단락보호	○좌 동	8000A	8000A

3.1.2 결론

본 논문에서는 주로 현 보호계전기 설정에 개선점은 어떤 것이 있으며, 고저항 지락보호에 대비하기 위한 방법, 계전기간의 보호협조등 효과적 운용방법 개선에 초점을 맞추었으며, 전력설비 안전진단 분석 용역보고서, 제작사 기술서적, 자체보고서, 사고보고서등을 참고로 하고, 변전소 전력설비 시스템설치 및 운영경험을 토대로 DC 급전계통 보호계전기의 바람직한 설정방향을 제시하고자 하였다.

DC 급전계통의 보호계전기 운용에 있어서 급전계통 지락 및 단락사고는 76I와 DDL-I가 급전구간을 선택차단하여 단전구간을 최소화 하고, 64P Relay는 64HR,64HRP,64R(구내접지) 또는 76I,DDL-I 부동작하거나 풍선등 순간지락에 의해 2~3개변전소가 All Trip되는 오류가 발생하지 않도록 해야 하며, DDL-T(Imin)의 설정은 본래의 목적에도 맞지 않을 뿐만아니라, 설정치가 너무 높으므로 설정값을 200~500A까지 하향 설정하여 고저항 지락보호용으로 사용하는 것이 바람직한 것으로 종합할 수 있다.

주로 전력설비 운용상 개선되어 할 부분을 언급하였으나 철도분야에서는 대부분 전력공급방식, 전력설비종류, 고장내용이 대동소이 하므로 운용에 있어 유연성있는 적용이 필요하며, 철도분야의 부하 및 설비특성의 차이가 있을 수 있으므로 완벽한 설정을 위해서는 현장여건에 맞는 Simulation과 연구가 추가로 이루어진 후 설정되야 할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

1. 지하철 1~4호선 전력설비 정밀안전진단 용역 보고서(2005년). "변전소 계통분석 및 보호계전기 정정"
2. 64P 부동작원인 분석보고서(2004년,LS산전). "고저항 지락 보호 및 64P 운용"
3. Sepcos 운용 매뉴얼(2005,LS산전). "직류고속도 차단기 운용지침서"
4. 직류 보호계통에 대한 검토보고서(2004,서울메트로).