

직류 급전계통 보호계전기 오동작 사례를 통한 개선방안 연구

The improvement plan Study on the Wrong Operating of the Protective Relay for DC Feeding System

이국명* 김병현** 차광석***
Lee, Guk Myoung Kim, Byung Hyun Cha, Kwang Seok

ABSTRACT

As economical and social environments change and infrastructures of metropolitan railroads in densely populated cities increase rapidly these days, systems need to become more complicated, diversified and capable of processing larger amounts of data and the quality of service should be upgraded. Conventional operating equipments cannot meet the requirements nowadays. Accident detecting should be done by more diversified methods and more quickly. Supervisory control needs to be intensified by checking more variables. Repair and check should be reasonably carried out. Automation and high-reliability of protective systems are also required.

At the moment, technical research and developments of the protective relay for direct current feeding system are not being done actively because of special properties of its load and limited demand. Analogue protection & measurement relays which were introduced in initial stages cannot satisfy new requirements and need to be upgraded in the near future. The purpose of this research is to increase the stability and reliability of the protective relay for direct current feeding system by analyzing the causes and signs of malfunctions of dilapidated conventional analogue-based protection & measurement relay through conducting empirical field tests.

1. 서론

최근 경제적·사회적 환경의 변화와 수도권 인구집중에 따른 도시철도의 급속한 시설증가와 사용증대가 이루어지면서 시스템의 복잡화, 다양화 및 대용량화, 서비스의 질적 향상의 요구가 점점 고조되면서 기존 계통 운용설비들로는 충족하기 어려운 요구사항들 즉, 사고검출의 다양화, 신속화, 감시 제어 항목의 증대, 보수 점검의 합리화, 자동화 및 보호시스템의 고신뢰도 등이 요구되고 있다. 현재 도시철도의 직류 급전 계통 보호계전기는 부하의 특수성 및 한정된 수요로 인하여 기술개발 및 연구가 활발히 진행되지 않고 있는 실정이며, 초창기 설치된 아날로그 방식의 보호계전기는 상기와 같은 새로운 요구들을 충족시키기에는 어려우며 향후 개선되어야 할 것으로 보인다.

* 서울메트로 전기처, 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정

** 서울메트로 전기처, 변전과장, 정회원

*** 서울메트로 전기처장, 종신회원

본 내용은 현장실증시험을 통하여 노후 된 기존 아날로그 방식의 보호계전기의 오동작원인 및 형태를 분석, 발견된 문제점을 연구·보완하여 직류 급전 계통 시스템의 안정화 및 신뢰도를 향상 시키고자 하는데 있다.

2. 본 문

2.1 직류급전계통 구성

직류급전계통은 병렬급전방식으로 방면별, 상·하선별로 변전소에서 직류전원(DC1500V)을 전차선에 공급하고 말단 타이포스트(T/P: Tie Post)는 상선과 하선을 연결하여 전차선의 전압강하를 보상하는 그림 1과 같은 계통으로 구성되어 있다.

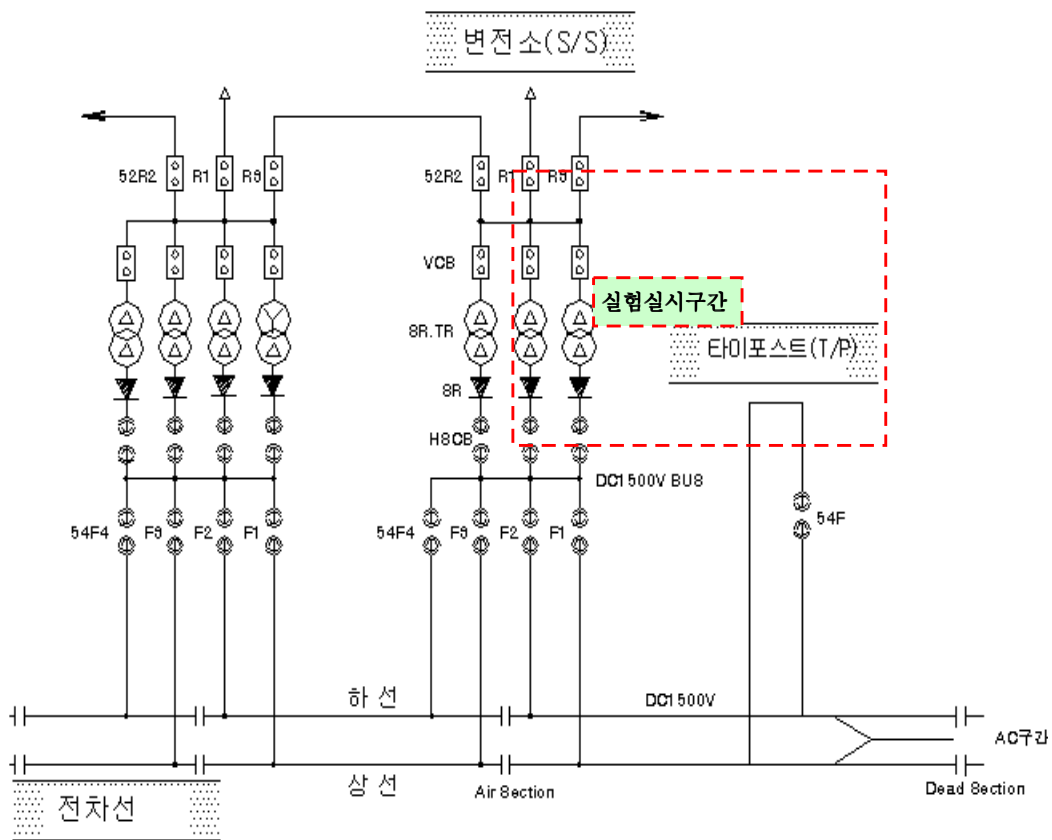


그림 1. 직류급전계통

2.2 계통보호

계통보호는 직류고속차단기(HSCB)에 설치되어 있는 직류 과전류 차단요소(54W)와 부하의 전류 변화량(ΔI)을 검출하여 동작하는 고장선택장치(50F)로 보호하며, 연락차단장치(85F)를 설치하여 급전 구간 내 사고 발생시 상호 연락차단하여 사고구간의 확대를 방지한다

2.2.1 과전류 차단요소(Auto Trip :54W)

급전회로의 과부하 및 근거리 단락전류를 감지하여 동작하는 요소로서, 급전구간을 운행하는 전동차 및 변전소에서의 고장 발생시 차단기에 흐르는 전류 값에 의하여 스스로 접점을 석방하여 과전류 차단이 수행한다. 전류의 상승 기울기($\Delta i/\Delta t$)가 정상 부하전류보다 급한 사고전류가 검지되면 목적치의 최대전류(I_{max}) 설정치에 도달하기 전에도 차단행위를 수행한다.

2.2.2 연락차단장치(Linked Breaking Device : 85F)

병렬급전방식을 사용하므로 전차선에 지락, 단락사고시 양단의 54F 차단기로 보호할 필요가 있지만 사고점이 한쪽 변전소에서 가까운 경우에는 다른 쪽 변전소의 54F에서 흐르는 전류는 적어 사고전류를 검출할 수 없는 경우가 있다.

이와 같은 경우에는 한쪽 변전소에서 사고를 검출한 경우 다른 쪽 변전소의 54F 차단기에 차단 지령을 보내어 완전하게 사고전류를 차단하는 방식이 사용되고 있는데 연락차단장치는 이 차단지령을 전송하는 설비이다.

2.2.3 고장선택장치(Fault Selective Device : 50F)

그림 2에서 보는바와 같이 고장선택장치는 전류의 증가분을 검출하는 고장검출 변성기(FD)와 그 전류값이 일정값 이상이 될 때 동작하는 고장선택계전기(FSR)와의 2개 부분으로 구성되어 있다.

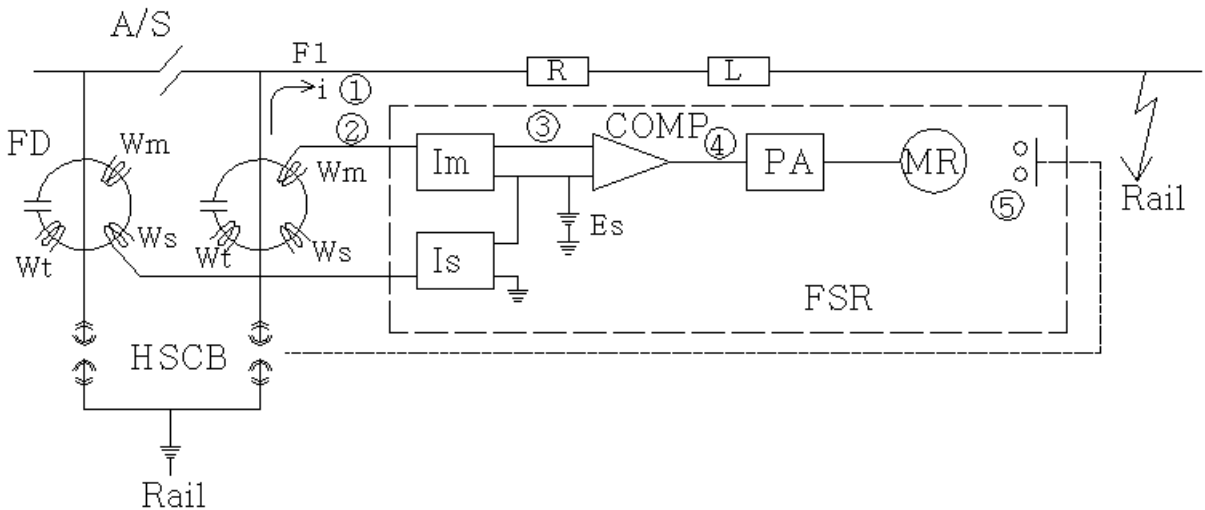


그림 2. 고장선택장치 구성도

동작원리는 ① 전차선에 증가하는 전류(ΔI)가 흐르면, ② Wm의 코일에 의하여 전압으로 바뀐다. ($-M di/dt$) ③ 이 전압을 FSR이 받아 적분회로(I_m)를 거쳐 증가전류(ΔI)와 유사한 과형을 얻는다. ④ I_m 의 출력전압을 비교기(COMP)가 받아 지정된 값을 초과하면 이 비교기가 가동한다. 계속하여 가동된 비교기의 출력전압은 증폭기(PA)에 의하여 증폭되어 HSCB를 트립시키기에 충분한 시간을 얻는다. ⑤ MR계전기가 동작하여 HSCB를 트립시키고 연락차단장치에 보낸다.

표 1. 고장선택장치(50F)의 발달 현황(日本)

형식	사용년도	처리방식	ΔI 분리기능	회생실효시 불요동작방지기능	사고파형 기록
PR형	1961	Analogue	무	무	무
MR형	1963	"	"	"	"
FE형	1976	"	"	"	"
FM형	1985	Digital	유	유	"
MFE형	1993	"	"	"	"
EFD형	1991	"	"	"	유
MEFK형	1999	"	"	"	"

2.3 현장 실측장비 설치

직류급전계통 그림 1에서 변전소(S/S)와 타이포스트(T/P)간을 급전하던 직류고속도차단기(HSCB)가 고장선택장치(50F), 직류 과전류(54W) 동작 및 연락차단(85F)에 의해 빈번히 트립이 발생되어 아래와 같이 최신 디지털보호계전기를 현장 설치하여 동작원인을 분석한다.

2.3.1 변전소(S/S) 설치

변전소 상·하선의 직류고속도차단기(54F1, 54F2)에 각각 동일한 조건으로 전류를 측정하기 위하여 고장선택장치(50F), 연락차단(85F), 수동 개방신호에 의해 차단기(54F1, 54F2)가 개방되면 사고파형을 저장하도록 그림 3과 같이 회로를 구성하였다.

동작파형 저장시간은 0.4ms/Sample로 1.6초동안 Capture 하고 차단기(54F1, 54F2)의 개방동작 Trigger 시점으로 전 30%, 후 70%를 저장 기록하도록 설정하였다

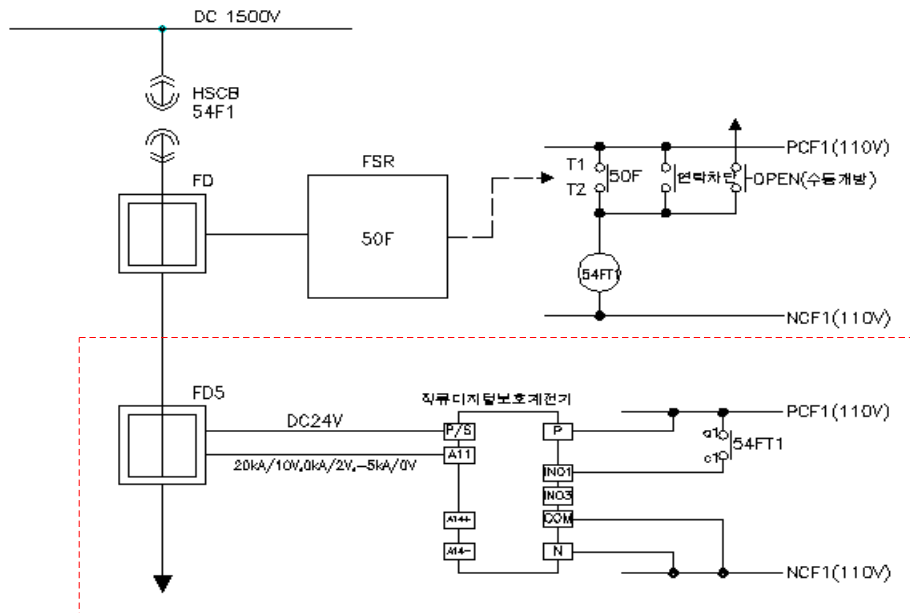


그림 3. 변전소(S/S) 디지털계전기 설치도

2.3.2 타이포스트(T/P) 설치

타이포스트(T/P)의 고장선택장치(50F)는 ΔI 와 $-\Delta E$ 로 판단하여 ΔVA 의 용량으로 동작하는 계전기 급전선로의 전류와 전압을 계측하기 위해 그림 4와 같이 회로를 구성하였다.

직류변류기(DC CT)의 방향은 하선에서 상선방향으로 전류가 흐르면 양(Positive)의 전류가 계측되며, 상선에서 하선방향으로 전류가 흐르면 부(Negative)의 전류가 계측되도록 하였으며, 급전선로의 전류 및 전압파형을 분석하기 위하여 기존 설치된 TUSDA 계전기(50F)의 동작 신호(T1, T2)를 디지털 계전기 입력 포인트로 회로를 구성하였다.

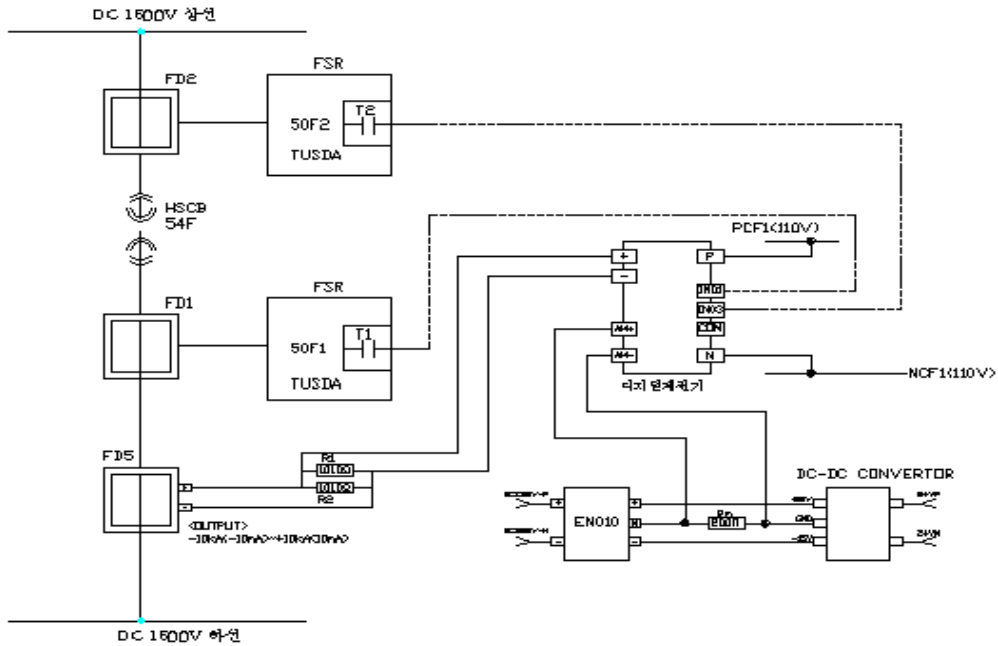


그림 4. 타이포스트(T/P) 디지털계전기 설치도

2.3.3 디지털 보호계전기 설정

디지털계전기 보호요소 설정치를 기존 아날로그계전기 보다 하향 조정하여 낮은 사고전류 기록도 가능하도록 하였으며 급전선의 과전류 유지시간 측정 및 과전류 시 부하파형을 저장할 수 있도록 하였다.

표 2. 디지털계전기 50F 설정치

50F 계전기 정정요소	변전소		T/P	비고
	54F1	54F2	54F	
Delta I	1500 A	1500 A	1000 A	
Delta time delay	3 ms	3 ms	5 ms	
Delta reset time	1 ms	1 ms	1 ms	
Start slope	50 kA/s	50 kA/s	30 kA/s	
End slope	15 kA/s	15 kA/s	15 kA/s	
DIDT Time delay	55 ms	55 ms	55 ms	
Minimum level	250 A	250 A	250 A	

표 3. 디지털계전기 76D 정정치

76계전기 정정치요소	54F1			54F2			비고
	76D1	76D2	76D3	76D1	76D2	76D3	
동작전류	2100A	5000A	10000A	2100A	5000A	10000A	
동작시간	40초	10초	0.05초	40초	10초	0.05초	

3. 분석 및 고찰

현장 실측 결과 수회의 과부하(54W) 동작과 연락차단(85F) 동작이 있었으나 디지털 계전기에 저장된 전류, 전류파형, 전압, 전압파형, 54F동작이력 그리고 50F동작이력과 동작 당시 급전구간의 전동차 위치를 고려하여 분석한 결과 사고에 의한 것보다는 오동작에 의한 것임을 발견하였다.

3.1 54W 동작에 의한 오동작 사례

직류 급전 계통[그림1]에서 변전소 급전구간에는 차량이 운행 중이 었으며, 상선에는 54F1과 하선에는 54F2에서 급전 전류를 분할 공급받고 있었다. 이때 하선 급전용차단기(54F2)의 54W2(현 정정치 7000A)가 6409A의 과부하에 의해 트립 동작되고 이로 인하여 54F2에서 공급하고 있던 급전전류를 상선 급전용차단기(54F1)가 모두 공급하게 되어 전류가 2928A(155kA/s)로 급상승하여 선택차단장치(50F)가 동작되어 차단기가 트립되었다. 또한 이때 F1의 최대 급전 전류는 7509A가 되어 54W1(현 정정치 7000A)이 오동작 되었다.

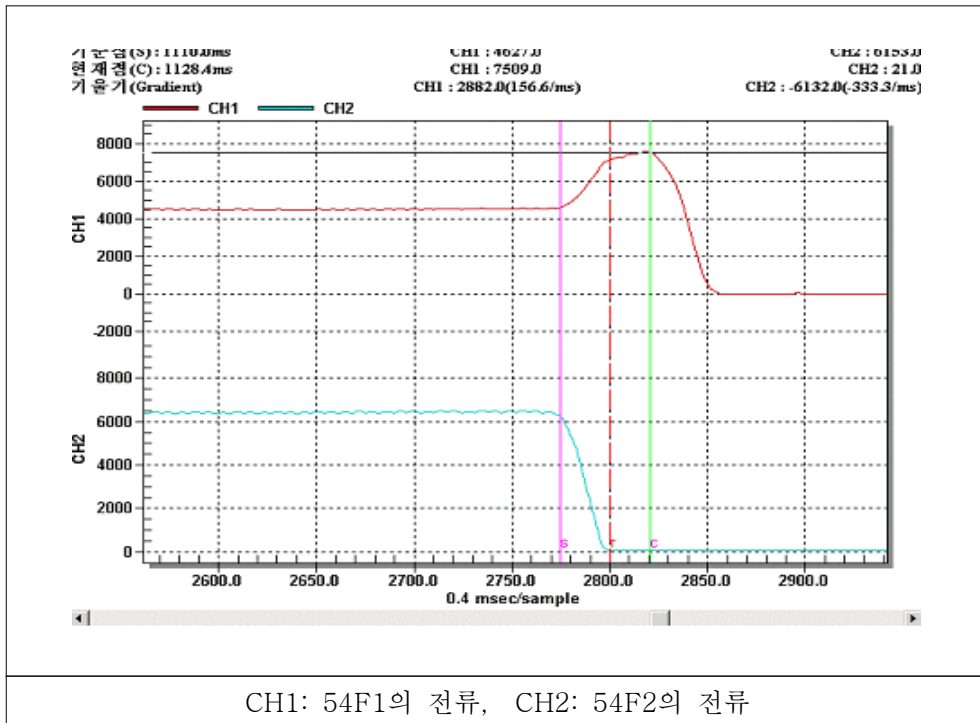


그림 5. 54W에 의한 오동작 파형

3.2 차량 회생전류에 의한 오동작 사례

3.2.1 타이포스트(T/P) 54F의 전류, 전압파형

타이포스트의 급전선로 보호용 계전기 50F(FM-1)은 $\Delta VA(\Delta I, -\Delta E)$ 로 동작하며 동작치는 300KVA로 설정되어 있다. 저장된 전류파형(CH1)을 보면 급전전류가 -1056A가 흐르고 있는 상태에서 +825로 ΔI 가 1897A(41.8kA/s) 증가 하였다. 이때 전압파형(CH2)을 보면 1470V에서 1705V로 235V상승하였고 트립 될 당시에 1522V로 183V하강 하였다. 차량이 역 구내에 진입하면서 회생한 것으로 추정된다. 회생전류 의해 실질적으로는 151KVA(825A×183V)의 ΔVA 가 발생되었으나 50F(FM-1)은 347KVA(1897A×183V)의 ΔVA 로 인식하여 동작된 것으로, 이는 50F의 전류 감지장치 FD의 특성에 의해 ΔI 를 높게 판단한 것 같다.

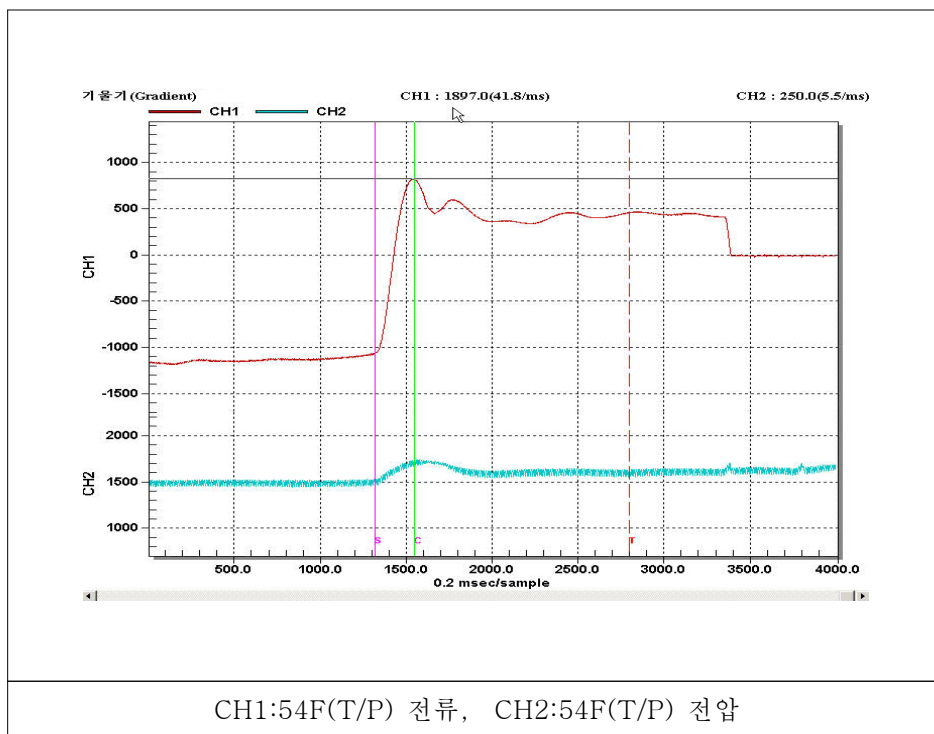


그림 6. 회생전류에 의한 오동작 파형(1)

3.2.2 변전소(S/S) 54F1, 54F2의 전류파형

변전소 54F1,54F2에 저장된 전류파형을 보면 급전전류가 54F1(1600A)과 54F2(1800A)가 정상전류이다. 연락차단 신호 지연이 약 200ms로 볼 때 Triger 지점으로 부터 200ms 되는 지점에서 연락신호가 발생 된 것으로 보면 타이포스트(T/P)의 50F가 차량의 회생전류 또는 부하의 급속한 감소로 인하여 ΔI 가 발생시 동작된 것으로 보이며 급전전류는 정상부하인 것으로 보아 급전 선로에 이상이 없었던 것으로 추정된다.

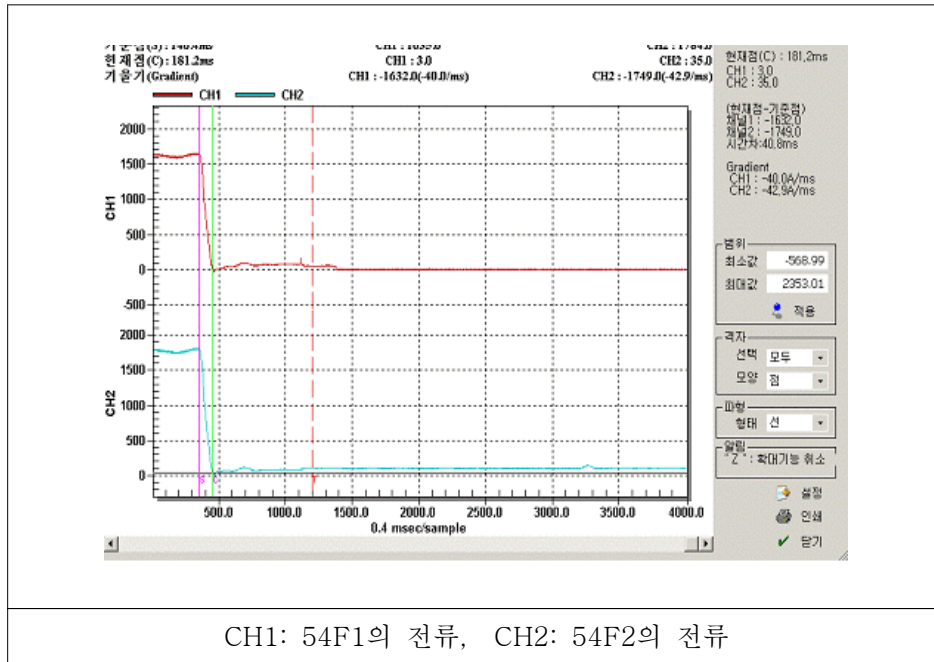


그림 7. 회생전류에 의한 오동작 파형(2)

4. 결론

변전소(S/S)와 타이포스트(T/P)에서 직류급전계통의 부하상태를 현장 실측을 통하여 기존 저항제어방식의 전동차에서 인버터제어(VVVF) 방식의 차량운행에 따른 부하변동에 따라 보호계전기의 오동작 요소를 차단하고 시간 별 최대 부하이력에 따라 적절히 대응하기 위해 직류고속차단기 목적치를 현재 7000A에서 7500A로 상향 조정하여 오동작 현상을 개선하였고, 설치된 지 수 십년이 지나 전동차의 회생전류에 의한 ΔI 를 구분할 수 없는 근본적인 원인을 가지고 있는 아날로그 방식의 고장선택장치(50F)는 회생 실효시 불필요한 동작을 방지할수 있으며, ΔI 분리기능 및 사고파형 기록이 가능한 신형 디지털 계전기로 교체하여야 안정된 직류급전계통을 구축 할 수 있을 것으로 사료된다.

【참고문헌】

- 1) 김양수, 유해출 【전기철도공학】 동일출판사, 1999. 3.
- 2) 이종득 【철도공학】 노해출판사, 1998년
- 3) 서울메트로 【전기 신규자과정 II 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