

직류급전시스템 시험적용 사례를 통한 디지털 직류 보호계전기에 관한 연구

A Study on the Digital DC Protection Relay through with Field Adoption Test in the DC Distribution System

민병훈* 차광석** 고인석*** 안태풍****
Min, Byung Hoon Cha, Kwang Seok Ko, In Suk An, Tae Pung

ABSTRACT

This study identifies the comparison of Technical specification and Characteristics of DC Protection Relay(ETCPU200) used in DC Distribution System in Korea. ETCPU200 has completed Field Test and approved its capability by finding out causes of recent operations through lately developed digital DC protection relay in parallel operation at Maebong-Substation, Nakseongdae-Substation, Euljirosaga-Substation, Jegi-Substation and Chongryangri T/P area.

It also examines additional features for efficient System Analysis and Operations.

1. 서론

최근 전기철도의 건설 및 운영구간의 확대와 함께 계통이 복잡화, 다양화 및 대용량화되고 서비스의 질적 향상의 요구가 점점 고조되면서 기존의 계통 운용설비로는 충족하기 어려운 요구사항들 즉, 사고 검출의 다양화, 신속화, 감시제어 항목의 증대, 보수점검의 합리화, 자동화 및 보호제어시스템의 고신뢰도 등이 발생되고 있다.

현재 직류급전시스템은 거의 외국 회사의 보호제어 시스템을 사용하고 있으며 그 사양이 모두 상이하고 보호기기의 표준이 정해지지 않아서 디지털방식과 아날로그 방식이 혼용 사용되고 있다. 따라서 상기와 같은 새로운 요구들을 충족시키기에는 어려운 상태이며 향후 추진 개선하여야 할 설비의 자동화 및 무인화 단계에 상당한 장애 요소 및 추가비용이 발생될 것으로 보인다. 그러므로 직류전기철도 보호제어시스템의 보호, 제어, 감시, 계측 및 자동화 등의 기능들을 집적화함은 물론, 고도의 신뢰성과 차세대 IT 기술과 접목될 수 있는 보호제어시스템의 연구 및 체계화가 필요하다.

본 논문에서는 현재 사용되고 있는 국내 직류보호계전기의 사양 및 특성을 파악하고 현장 시험적용 사례로서 매봉변전소, 낙성대변전소, 상봉변전소, 을지로4가변전소, 제기변전소와 청량리T/P 구간에 최근 국내에서 개발된 디지털 직류보호계전기(ETCPU200)의 병렬운전을 통하여 최근 빈번한 계전기 동작의 원인규명을 수행하였으며 제품성능을 검증하고자 하였으며 아울러 효율적인 시스템의 분석 및 운용을 위해 필요한 보호계전기의 부가적인 기능에 대해서도 연구하였다.

* 책임저자, 중신회원, (전)서울메트로 기술본부장, 철도전문대학원

E-mail : mbh108@krpost.net

TEL(FAX) : (02)545-8560 CP : (011)468-1795

** 정회원, 서울메트로 전기처장

*** 정회원, 인택전기전자(주) 대표이사

**** 인택전기전자(주) 기술연구소

2. 본문

2.1 국내 직류 보호계전기의 현황

지금까지 국내 지하철 변전소에서 사용되고 있는 직류보호계전기는 전량 외국 제품이었으며 그나마도 설치시기가 오래된 아날로그타입이 주류를 이루고 있다. 여기서 실제 문제시 되는 것은 장비의 노후화에 따른 유지보수도 있지만 기능의 단순함으로 인해 고장발생시 원인을 찾기가 매우 어려운 실정이다. 최근 건설하여 개통한 노선에서는 신형 디지털제품도 운용되고 있으나 선로고장 발생시 신속 복구를 요하는 현 상황에서 외국제품의 운용 및 유지보수는 여전히 많은 어려움이 존재하고 있다. 최근 블루오션의 영향인지 국내 일부 업체에서 이 분야의 기술에 관심을 가지기 시작한 것은 매우 바람직하다고 보며 운영 설비와 기술을 독점하고 있는 운영기관에서는 이에 대한 적극적인 도움이 필요하다고 판단된다. 아래 표 1은 현재 국내에서 사용되고 있는 기존제품들과 최근 개발된 국산 디지털 직류보호계전기의 주요사항을 비교하고 있다.

전반적인 기능을 비교하면 우선 주 보호요소라 할 수 있는 50F기능 외에 제품별로 추가적인 보호요소들로 구성되어 있다. TSUDA(FE13)은 아날로그 방식으로 50F기능만을 제공하며 3, 4호선에 설치되어 운용되고 있는 W.H(GEC)는 76기능만을 제공하고 있다. 디지털타입에서는 연산장치와 신호처리에 있어서 제품별 큰 차이를 나타내고 있으며, 또한 고장이력, 부하이력관리 및 고장분석 지원기능들도 제품별로 큰 차이를 나타내고 있다.

표 1 국내 직류보호계전기 사양비교

구분	ENTEC(ETCPU200)	Secheron(PCU6000)	Secheron(SEPCOS)	Balfour Beatty(DCP106)	TSUDA(FE13)	W.H(GEC)
주요설치노선	4호선(창동기지)	5~8호선	2호선 일부	부산지하철	1, 2호선	3, 4호선
연산처리방식	Digital연산방식 (32bit DSP/32bit cpu)	Digital연산방식 (16bit cpu)	Digital연산방식 (16bit cpu)	Digital연산방식 (16bit cpu)	Analog방식	Analog방식
Data Sampling	16bit ADC, 10000 Sample/1sec	10bit ADC, 1000 Sample/1sec	12bit ADC, 1000 Sample/1sec	12bit ADC, 1000 Sample/1sec	-	-
보호 기능	과전류	76(순시,한시)*3개, 76Alarm*3개	76(순시,한시)*1개	76(순시,한시)*1개	76(순시,한시)*2개	-
	차전류	50F(정방향,역방향), 50F Alarm	50F(정방향,역방향)	50F(정방향,역방향)	50F(정방향)	-
	연락차단	85F	85F	85F	85F	-
	부족전압	(80F, 80F Alarm)*2개	-	80F	-	-
	과전압	(45F, 45F Alarm)*2개	-	-	-	-
	차전압	Difference Voltage	Difference Voltage	Difference Voltage	-	-
	열적보호	(26, 26 Alarm)*2개	-	26, 26 Alarm	26	-
제어 기능	직류재폐로	82	-	-	-	-
	Line Test	선로시험	선로시험	선로시험	선로시험	-
	PLC	PLC Max.242로직 (사용자로직구성가능)	PLC (제작자 로직구성)	PLC (제작자 로직구성)	-	-
계측기능	전류,전압(현재/평균/최대), Power, Energy	전류,전압(현재/평균)	전류,전압(현재/평균)	전류, 전압(현재/평균/최대), Power, Energy	-	-
기록 기능	시스템이력	1000Event, System동작이력	-	100 Event	xxx Event	-
	고장이력	100 Event	-	-	-	-
	고장파형 및 상태	전압/전류/상태 fault저장16개 (4000Samples, 0.1ms~100ms) Prefault 가변(0~99%)	-	전압 fault저장1개 (200Samples,1ms~100ms) Prefault 고정	전압/전류/상태 fault저장3 개(1000Samples,최소 1ms) Prefault 가변(0~99%)	-
	자기진단 이력	100 Event	-	-	-	-
	시간별이력	최대전류전압, 평균부하(40일)	-	-	-	-
일별이력	최대전류전압, 평균부하(3년)	-	-	-	-	
고장분석기능	윈도우GUI기반, RS232 port사용 PC로 Download 고장전후 전압/전 류/상태표시, 파형의 확대/축소, 고 장분석화면 출력,comtrade file변환	-	윈도우Text기반, RS232 port사용 PC로 Download 고장전후 전류표시	윈도우GUI기반, RS232 port사용 PC로 Download, 고장전후 전류, 파형의 확대 /축소, 고장분석화면 출력	-	-

2.2 국산 디지털형 보호계전기의 시험적용 사례

현장적용시험은 서울메트로 3호선 매봉변전소를 비롯해서 아래 표 2와 같이 시행되었다.

시험결과는 계전기 동작횟수가 비교적 많은 제기변전소 및 청량리T/P를 중점적으로 기술하고 그 외는 간략히 기술한다.

제기변전소 및 청량리T/P는 급전선로의 보호를 위해 1970년대 개발된 일본 TSUDA사의 FSR(FE-13) 및 FSR(FM-1)이 사용되고 있으나, 이 계전기는 동작이 빈번하게 이루어지고 있으나 반면 동작원인을 규명할 수 있게 되어있지 않기 때문에 이를 분석하고자 영업운전중인 구간임을 감안하여 신형 디지털 직류보호계전기 ETCPU200(이하 ‘시험계전기’라 한다)를 기존 계전기와 병렬 연결하여 급전구간의 감시 및 동작원인을 분석하였다. 그 외 설치개소에 동일하게 성능검증을 위한 현장시험을 수행하였다.

현재 시험계전기를 개량한 제품이 기존설비를 대체하여 서울메트로 4호선 창동 차량기지 변전소에서 기지 구내와 4호선 본선 복단구간, 그리고 1호선 서울역 T/P와 청량리 T/P에서 영업운전 중에 있다.

표 2 현장시험적용 사례

설치개소	현장적용 시험기간
매봉변전소(3호선)	2004. 11. 23 ~ 2006. 6. 19
제기변전소, 청량리 T/P(1호선)	2005. 4. 8 ~ 2005. 6. 7
낙성대변전소(2호선)	2005. 6. 28 ~ 2006. 5. 25
상봉변전소(7호선), 을지로4가변전소(5호선)	2005. 6. 14 ~ 2006. 6. 30

2.2.1 제기변전소 설치내역

계전기는 청량리방향 하선(F1)과 청량리방향 상선(F2)에 각각 1대씩 설치하였다. 급전선은 청량리역까지 DC1500V이며 청량리역 이후부터는 AC 22.9kV로 구분 되어있다.

계전기가 설치된 급전선은 제기 변전소에서 청량리방향 상선(F1)과 하선(F2)에 급전전원을 공급하고 청량리역 말단(T/P)에 54F(Tie-용)가 있어 상선과 하선이 연결되어 있는 상태이며 Tie-용 54F에는 전류 전압에 의하여 동작하는 전류 전압형 50F가 장착되어 Tie 구간을 보호하며 제기변전소와 연락차단 시스템으로 급전 구간을 보호한다. 급전구간의 거리는 제기변전소에서 청량리역 D/S까지 약 1.7km이다.

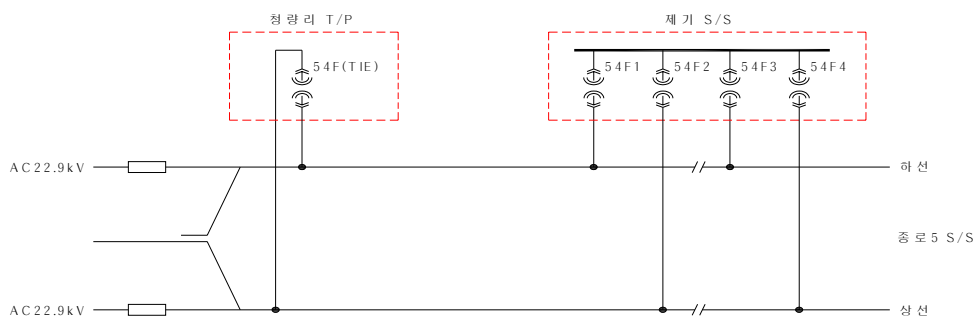


그림 1 계전기 설치위치

현재 사용 중인 50F(FE-13)의 트립신호를 ‘시험계전기’에서 입력 받아 50F(FE-13)가 동작할 경우 사고파형을 저장 할 수 있게 했다.

‘시험계전기’는 급전선의 사고를 감시하여 사고 시 사고파형을 저장 하고 급전선의 시간별 부하이력 및 일별 부하이력을 저장 할 수 있게 하였다.

초기설치 후 연락차단에 의한 감시가 안되는 문제점을 발견하고 연락차단에 의한 감시의 필요성에 따라 50F(FE-13)동작 시에 입력 받던 신호라인을 54F의 Holding Coil을 제어하는 보조 릴레이 50FT의 동작신호를 입력받게 변경하였다. 50FT 릴레이는 50F, 85F, 수동개방신호에 의해 동작되므로 ‘시험계전기’는 54F가 개방되면 선로전류를 기록하게 된다.

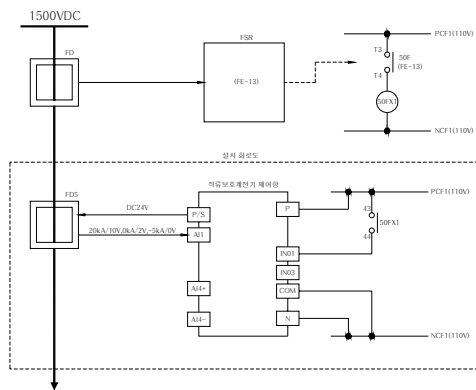


그림 2 제기변전소 초기설치 계통도

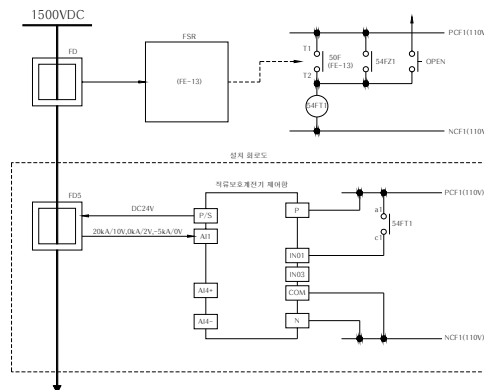


그림 3 제기변전소 설치 변경후 계통도

2.2.2 청량리 T/P 설치내역

시험기간 중 청량리 T/P의 F31H(54W)가 차단되고 연락차단으로 제기변전소의 54W(F11,F12)가 차단되는 원인을 규명하기 위하여 제기변전소 F12에 설치되었던 ‘시험계전기’를 청량리 T/P F31H로 이설 작업을 하였다.

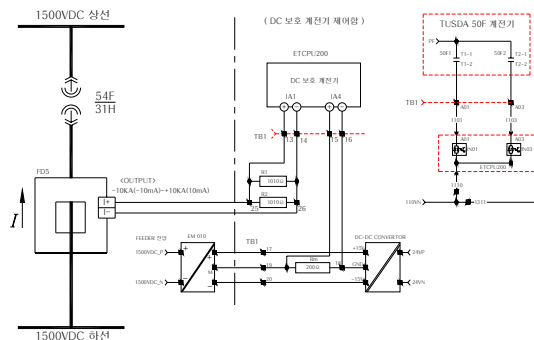


그림 4 청량리역 설치 계통도

2.2.3 제기변전소 및 청량리 T/P 동작이력

제기변전소에서 2개월간(2005/4/08 ~ 2005/6/7) 시험한 결과와 청량리 T/P에서 3주간(2005/5/20 ~ 2005/6/7) 시험한 결과 54W(F12), 50F(F11)T/P, 그리고 F31H 연락차단(85)에 의한 빈번한 동작을 하였다. 아래 표는 적용시험 2개월 동안 동작한 이력이다.

표 3 제기변전소 동작이력

No	Time	50F 동작	54W 동작
1	2005/04/23 19:32	F11	F12
2	2005/05/09 08:25	F11	F12
3	2005/05/19 20:55	F11	F12
4	2005/05/21 17:58	F11	F12
5	2005/05/23 19:33	F11	F12
6	2005/05/30 15:49	F11	F12

표 4 청량리 T/P 동작이력

No	Time	연락차단(85)
1	2005/04/13 22:05	F11(청량리하선)
2	2005/04/22 20:00	F11(청량리하선)
3	2005/05/04 19:44	F11(청량리하선)
4	2005/05/06 19:01	F11(청량리하선)
5	2005/05/12 08:34	F12(청량리상선)
6	2005/05/14 15:56	F11(청량리하선)
7	2005/06/03 07:56	F11(청량리하선)

2.2.4 제기변전소 및 청량리 T/P 사고분석

1) 54W 및 50F에 의한 동작 - 사례1

제기변전소 F11에 2005년 4월 23일 Delta I(PDIT)로 발생한 사고로서 당시 그림5와 같이 F1과 F2의 급전구간에는 차량 3대가 운행 중에 있었고 차량 3대는 54F1과 54F2에서 급전전류를 분할 공급받고 있었다. 분할된 급전전류는 54F1이 4485A를 공급중이고 54F2는 6833A를 공급하고 있었다. 이때 54F2의 54W2(현 정정치 7000A)가 6833A의 과전류에 의해 트립 동작되고 이로 인하여 54F2에서 공급하고 있던 급전전류를 54F1이 모두 공급하게 되었다. 이로 인하여 54F1의 50F1은 Delta I 전류가 2873A(320kA/s)로 급상승하여 트립 동작하게 되었다. 또한 이때 F1의 최대 급전전류는 7358A가 되어 54W1(현정정치 7000A)이 동작되었다.

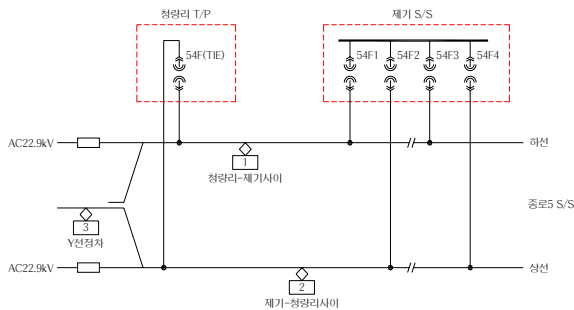


그림 5 사례1 당시 급전 단선도

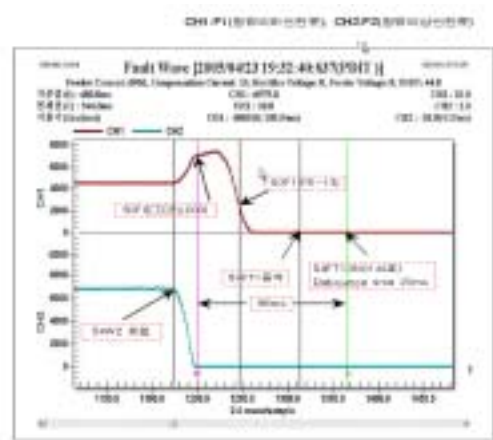


그림 6 사례1 당시 기록된 사고전류파형

표 5 사례1 동작이력

No	Time	시간차	내용
1	2005/4/23 19:32:40:707	20ms후	Debounce time 동작시간(20ms정정), IN01 Event 발생
2	2005/4/23 19:32:40:687	28ms후	54FT1(개방Holding Relay) 동작
3	2005/4/23 19:32:40:659	18ms후	50F1(FE-13) 동작
4	2005/4/23 19:32:40:641	0ms	PDIT Event 발생, 50F(ETCPU200)

사고당시 기록된 사고파형과 이벤트 그리고 54FT1의 동작 시간을 기준으로 분석하면 아래와 같다. (54FT1의 a 점점 동작시간은 28ms임.)

step1: F2의 54W2가 6833A의 과전류에 의해 트립.

step2: 54F2가 트립 되면서 F1의 급전전류가 최대 7358A까지 급상승.

step3: 급상승된 Delta I 전류는 2873A(320kA/s)가 되어 ETCPU200이 PDIT로 동작되고 또한 TSUDA 50F1(FE-13)과 HSCB 54W1이 동시 동작.

step4: TSUDA 50F1(FE-13)과 HSCB 54W1이 동시 동작하나 파형에서 보듯이 전류가 거의 차단될 때 50F1(FE-13)이 동작하게 된다. 이는 HSCB 54W1의 빠른 동작으로 인해 전류가 차단된 후 이어서 TSUDA 50F1(FE-13)이 동작.

step5: TSUDA 50F1(FE-13)은 54FT1(응답시간 28ms)의 코일을 여자 시키며 ETCPU200의 입력 IN01에 전달.

step6: ETCPU200은 IN01에 입력신호가 있으면 설정된 20ms의 Debounce time후에 전류파형을 기록

2) 54W 및 50F에 의한 동작 - 사례2

제기변전소 F11에 2005년 5월 9일 Delta I(PDIT)로 발생한 사고로서 당시 그림7과 같이 F1과 F2의 급전구간에는 차량 4대가 운행 중에 있었고 차량 4대는 54F1과 54F2에서 급전전류를 분할 공급받고 있었다. 분할된 급전전류는 54F1이 4556A를 공급중이고 54F2는 6409A를 공급하고 있었다. 이때 54F2

의 54W2(현 정정치 7000A)가 6409A의 과전류에 의해 트립 동작되고 이로 인하여 54F2에서 공급하고 있던 급전전류를 54F1이 모두 공급하게 되었다. 이로 인하여 54F1의 50F1은 Delta I 전류가 2928A(155kA/s)로 급상승하여 트립 동작하게 되었다. 또한 이때 F1의 최대 급전전류는 7509A가 되어 54W1(현 정정치 7000A)이 동시 동작되었다. 사례2의 사고는 사례1과 동일한 사고로 보여 진다.

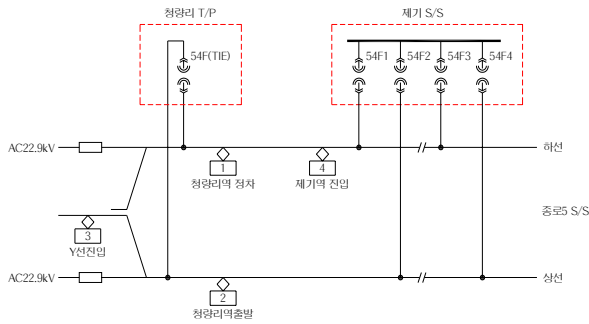


그림 7 사례2 당시 급전 단선도



그림 8 사례2 당시 기록된 사고전류파형

3) 연락차단(85)에 의한 동작-사례3

제기변전소 F11에서 2005년 4월 22일 "NONE"로 발생한 사고로서 청량리 T/P에 있는 54F가 트립 동작되고 연락신호에 의해 제기변전소의 54F1이 트립 동작하였다.

저장된 전류파형을 보면 급전전류가 F1(1600A)과 F2(1800A)가 정상전류이다. 연락차단 신호지연이 약 200ms로 볼 때 트리거지점으로 부터 200ms 되는 지점에서 연락신호가 Active 된 것으로 보면 청량리 Tie용 50F는 급전차량의 회생 또는 부하의 급속한 감소로 인하여 ΔI가 발생 시 동작된 것으로 보며 급전전류는 정상부하인 것으로 보아 급전 선로에 사고는 없었던 것으로 추정된다.

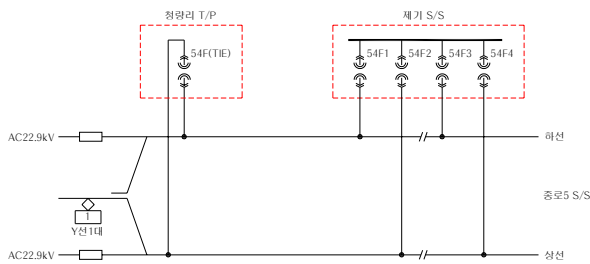


그림 9 사례3 당시 급전 단선도

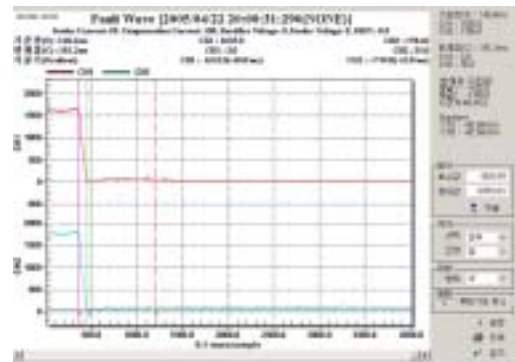


그림 10 사례3 당시 기록된 사고전류파형

4) 연락차단(85)에 의한 동작-사례4

제기변전소 F11에서 2005년 5월 4일 "NONE"으로 발생한 사고로서 청량리 T/P에 있는 54F가 트립 동작되고 연락신호에 의해 제기변전소의 54F1이 트립 동작하였다.

저장된 전류파형을 보면 급전전류가 F1(2989A)과 F2(3140A)가 정상전류이다. 연락차단 신호지연이 약 200ms로 볼 때 트리거지점으로 부터 200ms 되는 지점에서 연락신호가 Active 된 것으로 보면 청량리 Tie용 50F는 급전차량의 회생 또는 부하의 급속한 감소로 인하여 ΔI가 발생 시 동작된 것으로 보며 급전전류는 정상부하인 것으로 보아 급전 선로에 사고는 없었던 것으로 추정된다. 여기서 급전구 간 하선에 전차가 1대 운행 중이라고 기록되어 있는데 청량리 Tie용 차단기가 트립 되었다면 F2에 급

전전류 공급이 중단되어야 하지만 아래 그림을 보면 트리거 200ms 지점을 보면 약1000A가 공급되고 있다. 즉 Tie용 차단기가 트립되지 않았거나 상선에 전차가 있었을 것으로 추정된다.

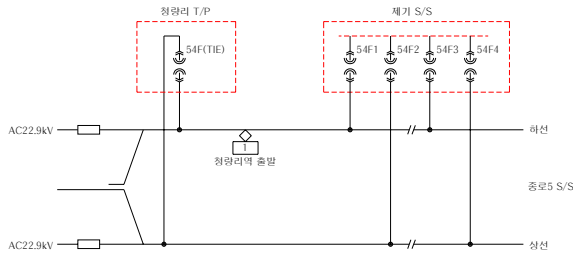


그림 11 사례4 당시 급전 단선도

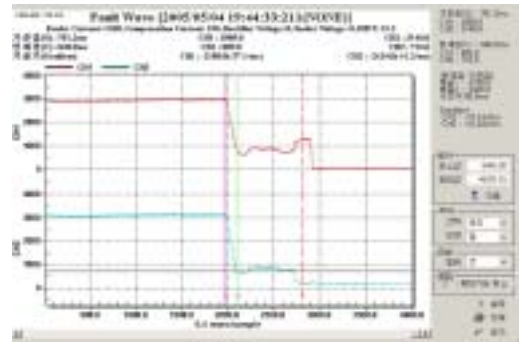


그림 12 사례4 당시 기록된 사고전류파형

5) 연락차단(85)에 의한 동작-사례5

제기변전소 F11에서 2005년 5월 6일 "NONE"으로 발생한 사고로서 청량리 T/P에 있는 54F가 트립 동작되고 연락신호에 의해 제기변전소의 54F1이 트립 동작하였다.

저장된 전류파형을 보면 급전전류가 F1(232A)과 F2(1602A)가 정상전류이다. 연락차단 신호지연이 약 200ms로 볼 때 트리거지점으로 부터 200ms 되는 지점에서 연락신호가 Active 된 것으로 보면 청량리 Tie용 50F는 급전차량의 회생 또는 부하의 급속한 감소로 인하여 ΔI 가 발생시 동작된 것으로 보이며 급전전류는 정상부하인 것으로 보아 급전 선로에 사고는 없었던 것으로 추정된다.

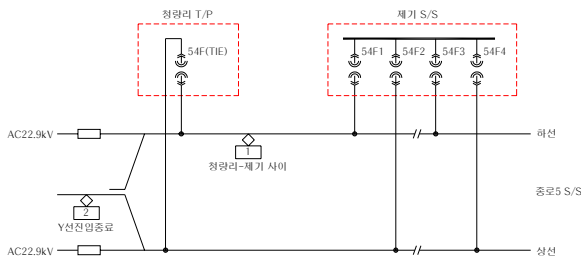


그림 13 사례5 당시 급전 단선도

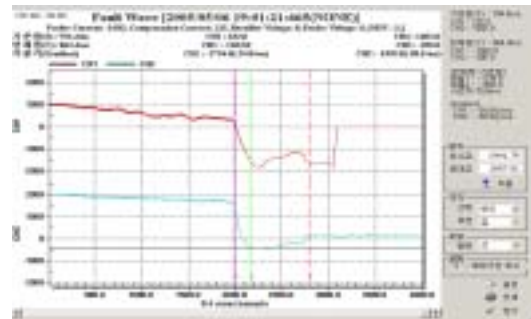


그림 14 사례5 당시 기록된 사고전류파형

6) 연락차단(85)에 의한 동작-사례6

청량리 T/P F31H에서 2005년 6월 3일 "NONE"으로 발생한 사고로서 청량리T/P에 있는 F31H(54F)가 트립 동작되고 연락신호에 의해 제기변전소의 54F1(F11)이 트립 동작하였다. 청량리 T/P의 급전선로 보호용 계전기 FSR(FM-1)은 $\Delta VA(\Delta I, -\Delta E)$ 로 동작하며 동작치는 300KVA로 설정되어 있었다.

사고 당시 저장된 전류파형을 보면 급전전류가 -1056A가 흐르고 있는 상태에서 +825로 ΔI 가 1897A(41.8kA/s) 증가 하였다. 이때 전압파형을 보면 1470V에서 1705V로 235V상승하였고 트립될 당시에 1522V로 183V하강 하였다.

운행일지를 보면 청량리 하선에 차량이 1대 있었다. 이 차량이 청량리 역 구내에 진입하면서 회생한 것으로 추정된다. 이 전차는 F1과 F2에서 급전전류를 나누어 공급받고 있었다. F2에서는 F31H(T/P)를 통해 전차에 1056A(-전류)를 공급하고 이때 전차가 회생하면서 825A(+전류)의 회생전류가 발생되었다.

전압은 전차부하에 의해 전압이 드롭 된 상태에서 전차가 회생하면서 전압이 순간 상승(+235V) 한 후

에 다시 하강(-183V) 하였다. 회생 전류에 의해 실질적으로는 151KVA(825A×183V)의 ΔVA 가 발생되었으나 FDR(FM-1)은 347KVA(1897A×183V)의 ΔVA 로 인식하여 동작된 것으로 판단된다. 이는 FDR의 전류감지장치 FD의 특성에 의해 ΔI 를 높게 판단한 것 같다.

FD는 ΔI (전류변화량)를 감지하여 FDR(FM-1)에 전달한다. FD는 회생전류와 부하전류를 구분하지 못한다. 이에 회생전류를 사고전류로 인식한 것으로 판단된다.

FD는 일본 TSUDA사의 제품이며 구형모델로써 회생전류를 구분해 내지 못하고 오동작하는 사례가 있어 현재 TUSDA사에서는 신형 FD5를 생산 하였고 일본 지하철은 이 FD5로 모두 교체 운행하고 있다.

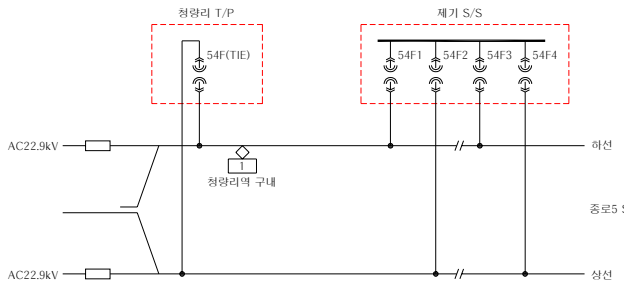


그림 15 사례6 당시 급전 단선도

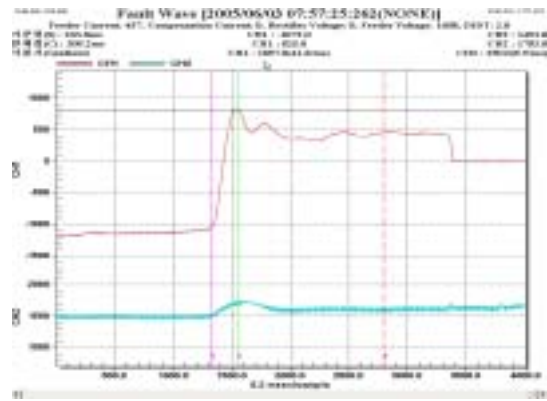


그림 16 사례6 당시 기록된 사고파형(상:전류, 하:전압)

2.2.5 매봉, 낙성대, 상봉, 을지로4가 시험적용

제기변전소 및 청량리 T/P와 동일한 방법으로 시험적용하였으며 주요 이력은 아래 그림과 같다. 현장 적용기간동안 을지로4가에서는 사고차단 사례가 없었으며 상봉변전소에는 연락차단(85)에 의한 차단이 1건 기록되었다.

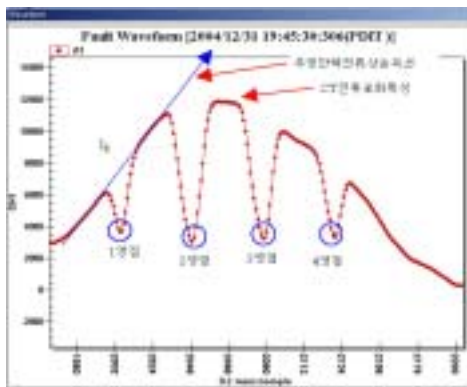


그림 17 매봉변전소 Chopper차량에 의한 50F 고장파형(2004/12/31 19:45)

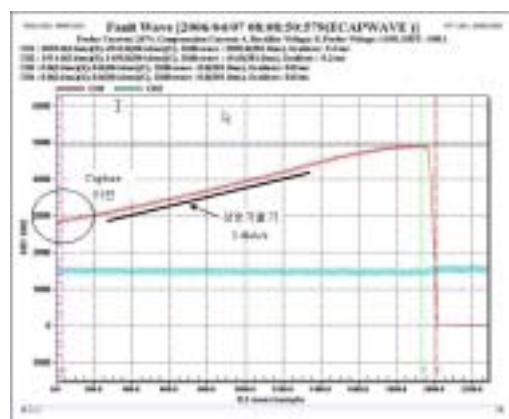


그림 18 낙성대 50F 오동작사례(2006/04 /07 08:08)

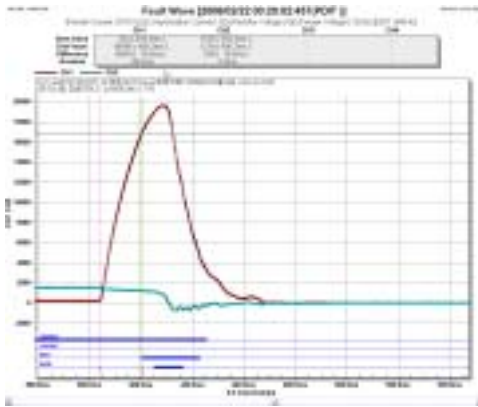


그림 20 ET CPU200의 파형 보기창

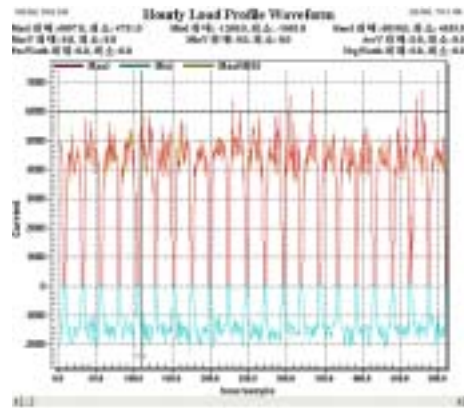


그림 21 제기변전소 F11(청량리하선) 시간별 부하이력(2005/04/08 ~ 2005/06/09)

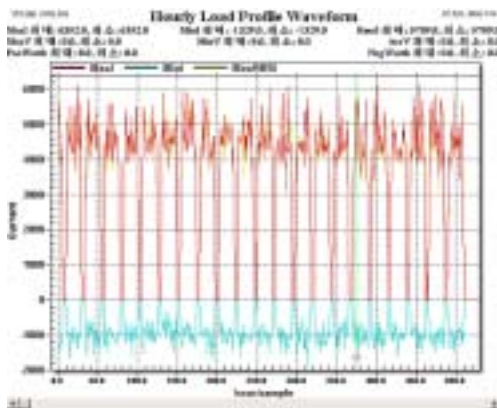


그림 22 제기변전소 F12(청량리상선) 시간별 부하이력(2005/4/8 ~ 2005/5/19)

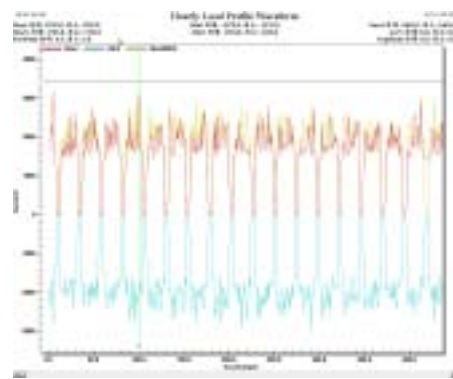


그림 23 청량리 T/P(F31H) 시간별 부하이력(2005/5/20 ~ 2005/6/7)

3. 결 론

본 논문에서 디지털 직류보호계전기 시험적용사례를 통하여 설치개소에서 발생하는 계전기 동작에 대한 구체적인 원인 규명을 수행 하였다.

현재 운용중인 보호계전기 중에는 수십 년이 지난 것들이 많으며 이중에서는 근본적으로 오동작이 발생할 수 있는 계전기도 있다. 현재 고객들의 서비스 요구수준은 날로 높아 가고 있는 실정이며 이것을 만족시키기 위해서는 지금까지 직류계통의 특성상 교류계통에 비해 사고전류의 판별이 매우 곤란하다는 아날로그 방식의 한계와 제한된 수요로 인한 경제성의 약점은 디지털기술의 발전과 도시철도 관련기관의 적극적인 협조를 통해 해소할 수 있을 것으로 전망되며 노력이 필요하다고 본다.

완벽한 시스템은 존재할 수 없으나 고장발생시 신속한 원인분석을 통하여 보다 신뢰성 높은 시스템 구축과 안정된 서비스 제공이 이루어질 수 있을 것이다. 따라서 계통 보호의 고유 임무는 물론이며 다양한 고장분석 및 시스템관리를 지원해 줄 수 있는 디지털 보호 계전기의 도입과 다양하고 체계적인 연구가 필요한 시점으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 지하철 직류 보호계전기시스템 비교 연구, 민병훈 석사학위논문, 2002. 2.
- [2] 디지털형 직류보호계전기 현장적용시험 최종 보고서 1호선, 3호선, 인텍전기전자(주), 2005. 1.
- [3] 디지털형 직류보호계전기 현장적용시험 최종 보고서 2호선, 인텍전기전자(주), 2006. 7.
- [4] 디지털형 직류보호계전기 현장적용시험 최종 보고서 7호선, 5호선, 인텍전기전자(주), 2006. 6.