

경량전철 시험선로의 디지털 직류보호제어장치 개발 및 적용

전용주 김수남 김지홍 백병산 이현두
현대중공업(주)

Development and Application of Digital D.C Protection Relay for the test line of Light Rail Transit

Y.J.JEON S.N.KIM J.H.KIM B.S.BAEK H.D.LEE
HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.

Abstract - This paper presents the design of DC protection Relay for Light Rail Transit system, which is very beginning product in domestic.

Protection Function characteristic, principle and I/O interface including interlock signal has been introduced.

The protection algorithm and EMC characteristics have been certified by official organization and Type test report has been introduced. Up to date in domestic, the test procedure for DC Protection relay hasn't been established so the new method and test equipment based on IEC regulations are proposed. Finally the product will be proved based on field test.

준)으로 아래 표와 같다.

표 1 입출력 신호별 특징

구 분	내 용	비고	
입력 (DI)	인터록	HSCB, DS 상태(해당반), 중고장(86) 신호	
	상태 접점	HSCB, DS ON/OFF 상태, 선로시험 Fuse 상태, HSCB트럭 위치, DS 수동조작, 화재(29)	
	스위치 정보	Remote/Local 정보, HSCB 및 DS ON/OFF, HSCB Direct On,	
출력 (DO)	기기	HSCB, DS, ON/OFF 제어, 선로시험 접촉자 구동	
	램프	고장종류별 Lamp, 선로시험 고장 Lamp, Direct trip Lamp	

1. 서 론

국내의 경우 경량전철은 주변환경, 예산, 승객등의 면에서 경쟁력이 우수하여 많은 지자체를 중심으로 건설계획이 활발하다. 그러나 아직 시스템 구축 경험이 없고 표준화가 이루어지지 않았으며 특히 핵심기인 직류보호제어장치는 일부 철도 선진사만이 보유하고 있다. 이에 본 논문에서는 건교부 지원 철도연 주관으로 진행중인 "경량전철 전력공급 시스템 기술개발" 과제를 바탕으로 개발 되어 시험선에 설치 운영중인 직류보호제어장치에 대하여 소개하였다 향후 시스템 운전, 평가, 신뢰성검증을 위하여 시험선로(경북경산 소재) 에서 2005년 7월까지 시운전이 이루어 질 것이다.

2. 본 론

2.1 직류보호제어장치의 특성 및 기능

시험선로에 적용된 직류보호제어장치는 복잡 다양해진 시스템의 특성을 모두 고려하여 동작이 가능하도록 40여개의 입출력 제어/감시 신호를 사용하였다. 각반별 인터록신호를 포함하여 중고장신호, 화재감지신호, 차단기, 단로기의 상태신호등 다양한 정보들이 모두 입력되며 단속환 스위치 ON/OFF 동작 시에도 해당 인터록 신호의 확인을 거친 후 동작이 수행되고 보호로직 동작중이라도 우선순위가 높은 트립 인터록 신호가 입력되면 시스템 보호루틴이 구동되도록 설계되어 안전에 만전을 기하였다. 또한 하단의 PLC와 상단의 중계장치로 통신을 이용하여 데이터를 교환하여 원격제어 및 감시가 가능하게 설계되었고 보호로직으로는 선로시험기능, 고장선택계전기능, 과전류계전기능이 탑재되어 있고 디지털 보호제어장치의 장점을 살려 향후 필요시 쉽게 확장이 가능하도록 설계 되었다.

그림 1은 개발 제작된 직류보호제어장치의 전면, 후면 사진이다.

2.1.1 입출력 신호의 특징

직류보호제어장치로 입력되는 신호는 입력 32점(내부 신호 4점 포함) 출력 12점등 총 44점(Line Feeder반 기

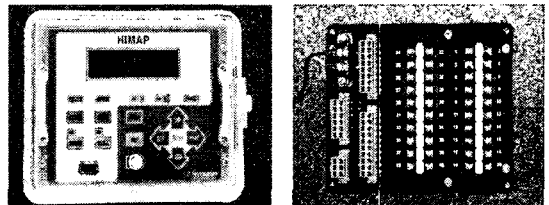


그림 1 제작된 직류보호제어장치의 전,후면

2.1.2 보호로직

2.1.2.1 선로시험기능(LTF:Line Test Function)

전철용 직류급전시스템의 경우 그 특성상 시스템 보호 및 인명보호측면에서 차단기를 투입하기 이전에 부하전력회로의 이상유무를 확인하는 기능으로 선로의 가상 저항값, 전차선 최소전압, 반복시험횟수, 선로시험시간, 시험사이의 지연시간 등의 항목을 선로의 조건에 따라 Setting하여 입력할 수 있도록 하였다.

2.1.2.2 고장선택기능(Fault Select Function/50F)

전기철도의 동적부하 특성을 효과적으로 분석하여 고장전류와 운전전류를 구분하기 위해 di/dt [A/ms]와 ΔI[A]를 이용하였다. 순시변화율, 순시Δ, 순시 시간지연, 한시변화율, 한시Δ, 한시 시간지연 등의 항목을 선로의 조건에 맞게 Setting하여 입력할 수 있도록 하여 단거리사고와 원거리사고(고저항사고)에 효율적으로 대응할 수 있도록 설계하였다.

2.1.2.3 과전류계전기능(Over Current Function/76)

과부하전류영역(정격전류이하), 과부하시간지연, 단락과전류영역(정격전류이하), 단락시간지연의 요소를 이용하여 과부하 보호용과 이보다 신속히 동작해야 할 단락 보호용으로 나누어 설정하도록 설계하였다.

2.2 직류보호제어장치의 공인시험

직류보호제어장치의 경우 아직 국내에서 시도된 바 없는 시험으로 관련규정 및 방법에 대한 특별한 기준이 없었다. 선진사의 경우도 특성시험항목의 경우 자체적인 장비와 기준으로 인증을 하고 있었다. 따라서 적용 가능

한 규정은 우선순위가 가장 높은 Product Standard IEC 60255(Electrical Relay)series와 일반규정인 Basic Standard IEC 61000-4 series를 적용하였으며 적용이 곤란한 경우 AC계전기의 특성시험에 준하는 시험방식으로 시험 장비를 선정하여 공인시험을 수행하였다. 그림 2는 특성시험과 EMC 시험의 공인시험 성적서이다.

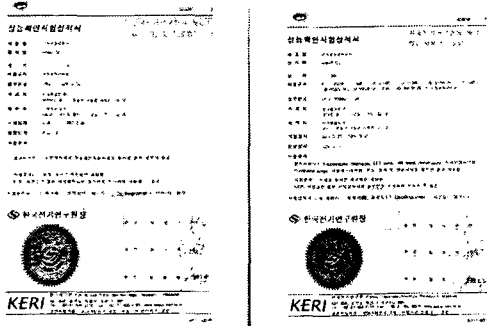


그림 2 직류보호제어장치 공인시험 성적서

2.2.1 특성시험

시험항목별 시험조건, 시험방법, 시험기준이 제시되었으며 아래 표는 각각 선로시험, 고장선택기능, 과전류 기능의 시험조건, 시험방법, 정정치 특성이다.

표 2 선로시험기능의 조건 및 방법

구분	시험조건	시험방법	동작정정치	오차(%)
단락저항	선로전압 최소치의 영향을 고려하여 시험전류와 선로 전압의 크기를 결정한다. 이때 고정되는 한가지 요소는 최대한 일정값을 유지	시험전류 및 시험전압중 한가지 요소를 변경하며 고정을 나머지 가변요소를 서서히 변화시켜 동작 최소치에서 저항값을 계산	최대	2
			중간	3.34
			최소	5
최소전압	시험전류에 의한 동작치에 영향을 받지 않도록 시험전류의 크기를 적절히 결정한다. 이때 시험전류는 최대한 일정값을 유지	시험전류를 일정크기에 고정 시킨 후 선로전압의 크기를 변경시켜 동작최소치에서 최소 전압값을 확인	최대영역	0.9
			중간영역	0.51
			최소영역	0.42
반복횟수	단락저항 또는 최소전압치를 고대로 동작조건(90%이하)로 설정	상기 동작 조건하에서 동작 횟수를 확인	최대	-
			중간	-
			최소	-

구분	시험조건	시험방법	시간정정치(s)	오차(%)
시험시간	선로전압 및 시험전류 동작 조건치 만족수치(120%)로 입력	입력조건 만족시 DO 출력단자의 동작시간을 측정	최대	0.13
			중간	0.3
			최소	0.4
재시험사이 지연시간	선로전압 및 시험전류 동작 조건치 불만족수치(90%)로 번갈아 입력	입력조건 불만족시 DO 출력단자의 동작시간을 측정	최대	1
			중간	0.5
			최소	0.5

표 3 고장선택기능의 동작치 특성

구분	시험조건	시험방법	동작정정치	오차(%)
d/d1 (근거리/원거리구분)	근거리 소 :최소 근거리시간지연 : 최소	Function generator를 이용하여 일정크기의 삼각파 신호를 생성하고 주파수를 변환하여 설정치와 비교한다.	최대	1
			중간	1
			최소	2
d/d2 (원거리/안전구분)	원거리 소 :최소 원거리시간지연 : 최소	Function generator를 이용하여 진폭의 크기를 변환하며 설정치와 비교한다. 이때 주파수는 설정 기율기보다 반드시 큰 값을 유지해야한다.	최대	0.27
			중간	0.15
			최소	0.17
근거리 소	d/d1 : 최소 근거리시간지연 : 최소	Function generator를 이용하여 진폭의 크기를 변환하며 설정치와 비교한다. 이때 주파수는 설정 기율기보다 반드시 큰 값을 유지해야한다.	최대	1
			중간	1
			최소	2.5
원거리 소	d/d2 : 최소 원거리시간지연 : 최소	Function generator를 이용하여 진폭의 크기를 변환하며 설정치와 비교한다. 이때 주파수는 설정 기율기보다 반드시 큰 값을 유지해야한다.	최대	0.9
			중간	0.7
			최소	1.5

구분	시험조건	시험방법	시간정정치(ms)	오차(%)
근거리 시간지연	d/d1 : 최소 근거리 소 :최소	Source simulator를 이용하여 동작조건(120% 이하)을 만족시킨 후 출력단자의 반응시간을 측정한다.	최대	3
			중간	2
			최소	16.6
원거리 시간지연	d/d2 : 최소 원거리 소 :최소	Function generator를 이용하여 진폭의 크기를 변환하며 설정치와 비교한다. 이때 주파수는 설정 기율기보다 반드시 큰 값을 유지해야한다.	최대	1
			중간	2
			최소	2

표 4 과전류계전기능의 동작치 특성

구분	시험조건	시험방법	동작정정치(A)	오차(%)
정방향 근거리 과전류	정방향 원거리 설정치가 반응하지 않도록 120%이상 이력설정 동작시간을 최소치에 설정	시험전류용 동작정정치 까지 서서히 변화시키고 동작치를 기록한다.	최대	0
			중간	0.2
			최소	0.9
정방향 원거리 과전류	정방향 근거리 설정치가 반응하지 않도록 120%이상 이력설정 동작시간을 최소치에 설정	시험전류용 동작정정치 까지 서서히 변화시키고 동작치를 기록한다.	최대	0
			중간	0.15
			최소	0.5
역방향 근거리 과전류	역방향 원거리 설정치가 반응하지 않도록 120%이상 이력설정 동작시간을 최소치에 설정	시험전류용 동작정정치 까지 서서히 변화시키고 동작치를 기록한다.	최대	0.8
			중간	0.18
			최소	0.65
역방향 원거리 과전류	역방향 근거리 설정치가 반응하지 않도록 120%이상 이력설정 동작시간을 최소치에 설정	시험전류용 동작정정치 까지 서서히 변화시키고 동작치를 기록한다.	최대	0.7
			중간	0.02
			최소	0.03

구분	시험조건	시험방법	시간정정치	오차(%)
근거리 시간지연	시험전류의 설정치 120% 조건을 만족시킨 후 출력단자의 반응시간을 측정한다.	시험전류의 설정치 120% 조건을 만족시킨 후 출력단자의 반응시간을 측정한다.	최대	1
			중간	2
			최소	0.7
원거리 시간지연	시험전류의 설정치 120% 조건을 만족시킨 후 출력단자의 반응시간을 측정한다.	시험전류의 설정치 120% 조건을 만족시킨 후 출력단자의 반응시간을 측정한다.	최대	0.05
			중간	0.08
			최소	0.5

선로시험기능, 고장선택기능, 과전류계전기능의 3가지 특성을 시험하였으며 시험중 사용한 장비는 Function Generator, Source Simulator, Puls Universal Test System, Oscillograph, 2552 DC Voltage Standard 등을 사용하였으며 결선회로도 는 아래와 같다.

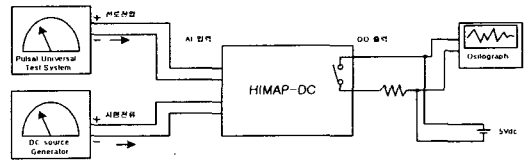


그림 3 선로시험기능 시험 결선회로

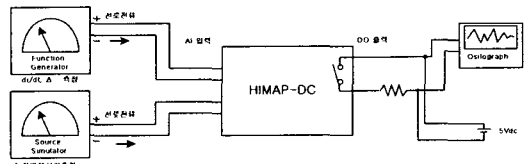


그림 4 고장선택기능 시험 결선회로

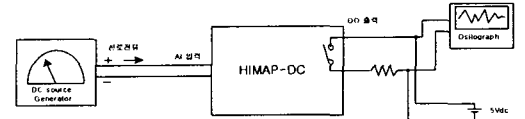


그림 5 과전류기능 시험 결선회로

2.2.2 환경시험

IEC60255 series에 언급되어있는 시험기준과 노이즈의

크기 등이 일반적으로 사용되는 AC계전기를 기준으로 설정 되어 있다. 따라서 DI, DO의 경우는 AC와 DC계전기가 큰 차이가 없으나 AI 회로는 그 차이가 매우 크다. AC의 경우는 내부적인 PT와 CT를 이용하여 110V, 5A를 입력받기 때문에 상대적으로 외부 노이즈에 비해 강한 내성을 갖게 되나 DC의 경우는 수십mA급 신호가 입력되기 때문에 동일한 기준의 노이즈 크기로는 평가가 곤란하므로 입력회로의 보호에 주의가 필요하다.

표 4,5,6은 공인시험에 적용된 대표적인 EMC시험의 방법 및 기준이다. 직류계전기 공인시험으로 Electrostatic discharge시험, 1MHz burst disturbance시험, EFT burst 시험, 전자파방사내성시험, Combined surge 시험, 너임 펄스 내전압시험, 진동시험, 충격시험, 항온조 시험등이 수행되었다.

표 4 EFT burst 시험방법, 기준 및 결과

시험방법 및 기준	인가개소	인가방법	시험결과
<ul style="list-style-type: none"> 적용규격 : IEC 60255-22-4(2002.04.) 시험사양 <ul style="list-style-type: none"> 전압 상승시간 : 5ns 50% 피크 전압 유지시간 : 50ns 반복 주파수 : 2.5kHz, 버스트 유지시간 : 15ms 버스트 주기 : 300ms, 인가 방법 : 비동기 극성 : 정극성, 무극성 인가시간 : 극성별 1min, 유지시간 : 1min 제한기장정 (OCR) <ul style="list-style-type: none"> 동작치정정 : 10mA, 전류 인가치 : 7.5mA 동작시간정정 : 최소(3ms), 동작시간특성 : 순시 판정기준 <ul style="list-style-type: none"> 시험 중 부품의 파괴가 없고, 오동작하지 않을 것 	제어전원 회로	Common Mode	양호함
	전류, 전압 회로	Common Mode	양호함
	입력 및 출력 점접 회로	Common Mode	양호함
	접지 회로	Common Mode	양호함
	통신회로	Common Mode	양호함

표 5 1MHz burst 시험방법, 기준 및 결과

시험방법 및 기준	인가개소	인가방법	시험결과
<ul style="list-style-type: none"> 적용규격 : IEC 60255-22-1(1998.) 시험사양 <ul style="list-style-type: none"> 전동 주파수 : 1MHz, 전압 상승시간 : 75ns 반복 주파수 : 400Hz, 출력 임피던스 : 200Ω 인가 방법 : 비동기, 극성 : 정극성, 무극성 인가시간 : 2s 이상 제한기장정 (OCR) <ul style="list-style-type: none"> 동작치정정 : 10mA, 전류 인가치 : 7.5mA 동작시간정정 : 최소(3ms) 동작시간특성 : 순시 판정기준 <ul style="list-style-type: none"> 시험 중 부품의 파괴가 없고, 오동작하지 않을 것 	제어전원 회로	Common Mode	양호함
	Differential Mode	양호함	
	전류, 전압 회로	Common Mode	양호함
	Differential Mode	양호함	
	입력 및 출력 점접 회로	Common Mode	양호함
	Differential Mode	양호함	
통신회로	Common Mode	양호함	
Differential Mode	양호함		

표 6 Combined Surge 시험방법, 기준 및 결과

시험방법 및 기준	인가개소	인가방법	시험결과
<ul style="list-style-type: none"> 적용규격 : IEC 60255-22-5(2002.04.) 시험사양 <ul style="list-style-type: none"> 전압 파형 : 1.2x50μs 전류 파형 : 8x20μs, 출력 임피던스 : 2Ω 인가 방법 : 비동기, 극성 : 정극성, 무극성 인가 횟수 : 각 3회, 인가 시간 간격 : 30s 제한기장정 (OCR) <ul style="list-style-type: none"> 동작치정정 : 10mA 전류 인가치 : 7.5mA 동작시간정정 : 최소(3ms) 동작시간특성 : 순시 판정기준 <ul style="list-style-type: none"> 시험 중 부품의 파괴가 없고, 오동작하지 않을 것 	제어전원 회로	Common Mode	양호함
	Differential Mode	양호함	
	입력 및 출력 점접 회로	Common Mode	양호함
	Differential Mode	양호함	

그림 6은 1MHz burst disturbance시험, EFT burst시험, Combined surge 시험과 전자파 방사내성시험이고 그림 7은 내환경시험 중 항온조시험과 진동 충격시험에 관한 사진이다. 내환경시험은 일반 AC계전기와 동일한 시험 방법과 기준을 적용한다.

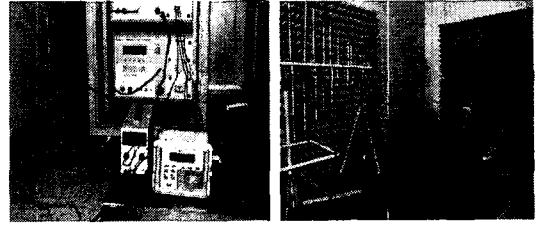


그림 6 EMC 시험

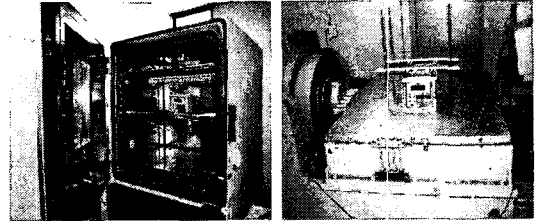


그림 7 진동, 충격, 항온조 시험

3. 결 론

본 논문에서는 직류경전철 시험선로에 적용된 직류보호제어장치의 기본요소들과 기능별 특성원리 그리고 시스템 로직기능에 대하여 기술하였다. 또한, 국내 최초로 제작되는 경전철 관련 직류보호제어장치의 시험방법과 시험기준을 제시하였다. 특히, 고장선택기능시험에 있어서 시험과형을 만들어 수행하였고 EMC 시험 중 AI 부분의 파형인가 방법을 기존의 방법과 달리하여 인가함으로써 직류계전기 시험을 가능하게 하였다. 이 같은 시험 방법과 기준은 국내 직류계전기 공인시험의 표준이 될 것으로 사료된다.

개발된 직류계전기는 국제공인기관에서 특성시험과 일반 환경시험에 대한 공인성적서를 취득함으로써 시험선 실증시험을 통해 신뢰성을 확보한다면 경량전철 및 중량전철 등 직류 전기철도계통에 적용이 가능할 것이다

[참 고 문 헌]

- [1] 2002년 중전기기와 전자기적합성(EMC), 기술교육교재, VOL.5, NO.2, 한국전기연구원, 2002
- [2] 철도청(2000), "철도용품 표준규격(안) 배전반(디지털화)"
- [3] Alberto Berizzi et al, "Short Circuit Current Calculations for DC Systems" IEEE 1994
- [4] Dr Jianguo Yu et al, "DC Power System Studies for Jubilee Line", Cegelec Project Ltd, IEE, savoy place, London W2ROBL 1997
- [5] J.C. Brown et al, "Calculation of remote short circuit fault currents for DC railways" IEE Proceedings B, Vol. 139, No4, July 1992
- [6] J.C. Brown et al, "Six pulse three-phase rectifier bridge models for calculating closeup and remote short circuit transients on DC supplied railways" IEE Proceedings B, Vol. 138, No6, November 1991
- [7] 日本電氣學會, "回生車輛に 對應した 直流變電所容量 設計法", 電氣學會技術報告 (II) 第360?, 1991
- [8] 社團法人 鐵道電化協會, "電鐵ノとき電回路保護システム" 1989
- [9] 보호계전기 시험기준수립에 관한 연구, 한국전력거래소, 2002
- [10] 경량전철시스템 기술개발사업 5차년도 연구결과보고서, 건설교통부, 2003
- [11] IEC 60255 series "Electrical Re.ays" International Electrotechnical Commission, 1996