

경전철 시험선로의 직류 보호시스템 및 보호계전기 설계

전용주 김지흥 백병산 김남해 이병송 \* 안재훈 \*\*  
 현대중공업(주) 기계전기연구소, 한국철도기술연구원, 배산엔지니어링(주) \*\*

The Design of the DC traction Protection system and Device for the test line of Light Rail Transit

Y.J.JEON J.H.KIM B.S.BAEK N.H.KIM B.S.LEE \* J.H.AHN \*\*  
 HEMRI KRRI \* Bae-San Eng \*\*

**Abstract** - This paper presents the design of DC protection system of Light Rail Transit system. Especially, the composition and interface for DC Switchgear, Digital protection unit and sort of protection algorithm are focused. DC Switchgear (DCSWGR) for LRT testline consist of 5 different panels with peculiar characteristics are examined. Also Basic actuation principle for DC fault select relay (50F), Line Test Device (LTD), DC Overcurrent(OCR) relay are introduced.

전기철도 시스템은 전력공급시스템(변전설비), 부하인 차량 및 이를 연결하는 전차선과 귀환 레일로 구성되어 있다. 이 중 전철용 변전설비는 약간의 차이는 있으나 일반적으로 그림 1과 같이 AC 특고압 배전반, 정류기용 변압기, 정류기, 직류배전반, 제어전원설비(충전기, 축전지), SCADA 시스템으로 구성되며 사용되는 전력은 차량 전력공급용 급전전력과 차량기지 및 역사 설비용 부하 전력으로 나뉜다.

1. 서 론

국가 정책의 일환으로 전기철도는 그 수요가 증가세에 있다. 이 중 주변환경, 예산, 승객 등의 면을 고려할 때 경량전철은 중전철에 비해 그 경쟁력이 우수하여 많은 지자체를 중심으로 건설계획이 활발하다. 그러나 아직 시스템 구축 경험이 없고 표준화가 이루어지지 않아 많은 부분을 외국 선진사에 의존하고 있는 실정이다. 이에 본 논문에서는 건교부 지원 철도연 주관으로 진행중인 "경량전철 전력공급 시스템 기술개발" 과제를 바탕으로 시험선에 설치 운영될 각종전력설비의 구성과 배치 그리고 각종 사고로부터 시스템을 안정적으로 운영하기 위한 보호계전장치와 보호계전 요소를 소개하였다. 향후 시험선의 시운전을 통하여 전력설비와 보호장치의 타당성 및 적정성을 검토할 것이며 각 지자체에 건설계획중인 경량전철 시스템에 적용할 수 있도록 구축할 계획이다.

2. 본 론

2.1 급전 시스템의 구성

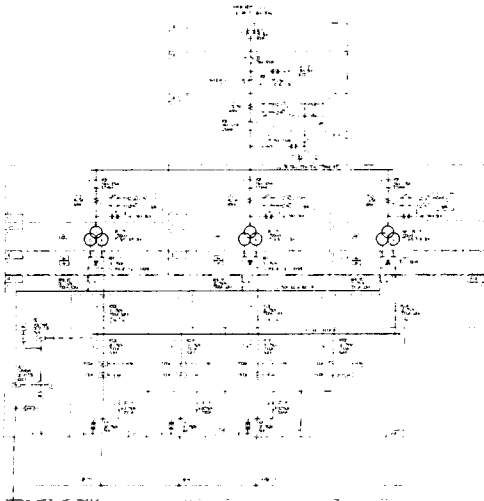


그림 1 전력공급시스템 단선도

2.2 직류배전반의 설계

대다수의 전력설비는 이미 국내 기술력으로 제작, 설치 운영되고 있으나 직류배전반설비의 경우는 그렇지 않다. 시험선 구축을 위한 직류배전반 설비는 Negative, Incoming, LineFeeder, BypassFeeder, Regenerative Inverter Feeder panel로 구성되며 각배전반별 구성요소 및 그 배치는 그림 2와 같다.

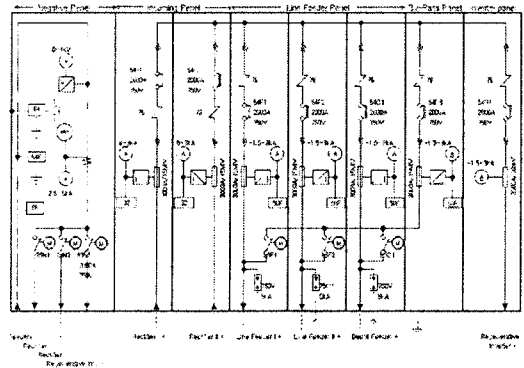


그림 2 DCSWGR의 열반 배치도

고장선택 계전기능(50F)을 포함하는 디지털 보호제어 장치 외에 필요에 따라 접지 계전기(64), 연락차단 계전기(85) 역전류계전기(32), 중고장 계전기(86)등을 설치하여 시스템의 안정화를 도모하였다. 시험선 적용 기준으로 한 배전반의 사양 및 보호기능을 표 1에 나타내었다.

표 1 각 배전반의 사양 및 기능

종류	사양, 주요부품	보호기능	비고
Rectifier Output or Incoming	· 750V, 2000A, 50kA · 500, 1600, 2200 · HSCB · 제어스위치(원격/현장) · 미터류(A) *(V)	76.32	

종류	사양, 주요부품	보호기능	비고
Inverter Input	<ul style="list-style-type: none"> <li>750V, 2000A, 50kA</li> <li>500, 1600, 2200</li> <li>HSCB</li> <li>제어스위치(원격/현장)</li> <li>메터류(A, V, W)</li> </ul>	76	
Line Feeder	<ul style="list-style-type: none"> <li>750V, 2000A, 50kA</li> <li>800, 1600, 2200</li> <li>HSCB, DS, LA</li> <li>제어스위치(원격/현장)</li> <li>메터류(A) *(V)</li> </ul>	50F.LTD 76, 85	
Bypass Feeder	<ul style="list-style-type: none"> <li>750V, 2000A, 50kA</li> <li>800, 1600, 2200</li> <li>HSCB</li> <li>제어스위치(원격/현장)</li> <li>메터류(A) *(V)</li> </ul>	50F.LTD 76, 85	
Negative Feeder	<ul style="list-style-type: none"> <li>750V, 2000A, 50kA</li> <li>800, 1600, 2200</li> <li>DS</li> <li>제어스위치(원격/현장)</li> <li>메터류(A, V, W)</li> <li>* 통신제어장치</li> </ul>	86, 64	

### 2.3 디지털 보호제어장치

디지털 보호제어장치는 시스템의 보호는 물론 배전반 내에 설치된 차단기, 단로기 및 각종 스위치 등의 장치를 제어할 수 있어야 하며 배전반 또는 해당구역 내에서 발생하는 신호들을 모두 분석할 수 있어야 한다. 뿐만 아니라 각 배전반 상호, 상단 시스템(SCADA)으로 통신 신호를 전송할 수 있는 기능을 구비하여야 한다. 따라서 보호기능 외 각종장치와 신호를 주고받는 인터페이스의 설계는 상당히 복잡하며 보호알고리즘의 설계와 더불어 매우 중요한 요소라 할 수 있다.

#### 2.3.1 디지털 보호제어장치의 사양

시험선에 적용하고자 개발, 제작한 보호제어장치의 전면도 외형은 그림 3과 같으며 후면은 AI, AO, DI, DO 및 통신포트와 DI, DO 확장팩 연결 단자로 구성되어 있다.

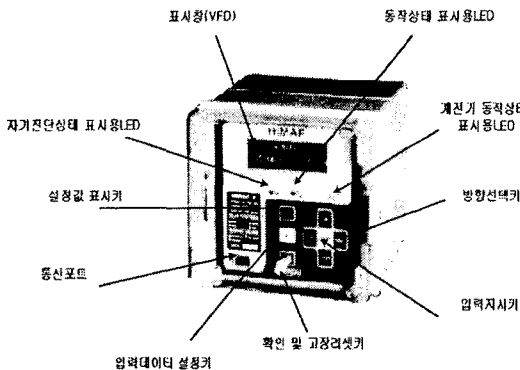


그림 3 보호제어장치 외형 및 기능

시험선용 디지털 보호제어장치는 3개의 AI 포트를 이용하여 직류 급전전력의 상태를 감시하며 20개 이상의 DI 및 10개 이상의 DO(각 배전반별 상이)를 이용하여 HSCB, DS, 각종 릴레이, 스위치 등을 제어한다. 또한 RS-232, 485 통신 단자를 이용하여 상단 SCADA 시스템과 각 배전반 상호 통신을 수행하며 대표적인 기능은 아래와 같다.

- 계측기능: AI용 전압, 전류를 계측하여 자체 VFD창을 통하여 확인가능
- 통신기능: 디지털 보호제어장치가 감지하는 모든 정보

(차단기, 계측기, 계전기 스위치 동작상태)를 RS-232, 485 통신을 이용하여 송수신 가능

- 원격제어 및 감시 기능: 통신포트를 이용 SCADA로부터의 명령수행(차단기, 단로기, 스위치 등 원격제어) 및 시스템(기기) 감시
- 이벤트 기록기능: 최근 16개의 사고기록을 보관 및 표시가능
- 자기진단기능: 장치의 정상적인 기능 유지를 위하여 자체 CPU, 전원출력, 메모리, 정정부 감시가능

#### 2.3.2 보호제어기능별 특성 및 원리

디지털 릴레이는 그 특성상 인터페이스 및 I/O의 설계가 완료되면 제작자의 구성에 따라 보호알고리즘의 포팅만으로 많은 보호기능을 수행 할 수 있다. 본 계전장치는 아래와 같은 기능의 수행이 가능하며 향후 필요시 기능을 추가가 가능하도록 설계하였다.

##### 2.3.2.1 선로시험장치(LTD: Line Test Device)

전철용 직류급전시스템의 경우 그 특성상 시스템 보호 및 인명보호측면에서 차단기를 투입하기 이전에 부하전력회로의 이상유무의 확인이 필요하다. 따라서 그림 4와 같이 병렬로 시험회로를 구성하였으며 설정된 시간동안 선로시험 저항을 설치하여 적절한 시험전류를 흘리고 보호제어장치로 입력되는 전류 및 전차선에 인가되는 전압값을 분석하여 고속도 차단기의 투입여부를 결정하였다. 이러한 일련의 과정을 통하여 단락상태에 차단기가 투입되는 사고를 방지하였다.

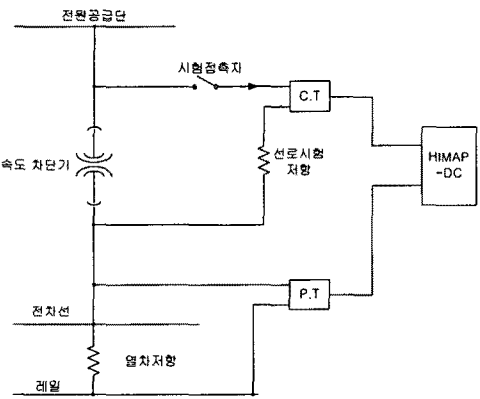


그림 4 선로시험장치 회로의 구성

##### 2.3.2.2 고장 선택계전기(50F)

전기철도는 부하인 차량이 매 시간 변화하는 동적특성을 가지고 있기 때문에 운전전류와 사고전류를 일정한 값으로 정의할 수 없으며 구분이 쉽지 않다.

직류급전회로에서 부하전류와 사고전류와의 특징을 비교하면 다음과 같다.

- 사고전류는 거리에 따라 일정한 값으로 유지되나, 부하전류는 보통 지속적으로 증감하며 대전류가 장시간 계속되는 일은 없다.
  - 사고전류의  $\Delta I$ 는 부하전류의  $\Delta I$ 보다 일반적으로 크다.
  - 사고시  $di/dt$ 는, 급전회로의 인덕턴스에만 지배를 받으며, 부하시  $di/dt$ 는 급전회로와 모터 인덕턴스의 합에 지배를 받아, 사고시보다 변화율이 작게된다.
- 위 특징들을 고려하여 운전전류와 사고전류를 구분하는 방법으로는  $di/dt$  [A/ms]와  $\Delta I$  [A] 값중 택일하거나 또는 2가지 요소를 모두 이용하여 구분하는 방법이 사용되고 있다. 본 계전기에서는 두가지 요소를 모두 이용하여 값을 분석하여 고속도 차단기에 투입신호를 출력하는 방식을 적용하였다.

근거리 사고의 경우 사고전류는 운전전류와 크기나 기

올기 면에서 확실한 차이를 보여 쉽게 구분이 가능하나 원거리 사고나 고저항 사고의 경우는 운전전류와 고장전류의 판별이 곤란한 경우가 발생할 수 있으며 보호 시스템 구축시 반드시 고려되어야 할 부분이다. 그림 5에 열차의 운전전류와 근거리사고, 원거리사고시의 단락전류를 비교하여 나타내었다. 원거리사고시의 고장전류의 크기가 운전전류의 범주에 포함될 수 있는 경우를 묘사하였다. 극단적인 경우의 예가 될 수도 있으나 운전 중 충분히 발생할 수 있는 부분이며 이 경우도 보호되어야 한다.

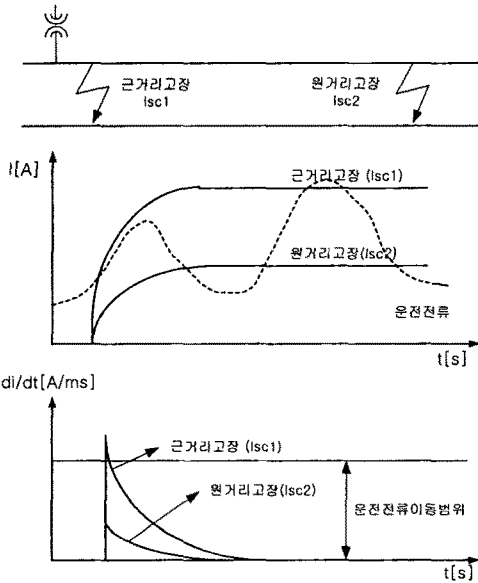


그림 5 고장전류와 운전전류 개념도

그림 6에는 50F의 동작특성을 나타내었으며, 이상의 설명과 같이 근거리 고장과 원거리 고장은 구분이 가능하며 두 경우를 분리하여 보호기능을 수행할 수 있도록 알고리즘이 작성되었다. 측정된 전류의 di/dt값에 따라 순시동작부(Instantaneous part) 또는 한시동작부(Delayed part)로 구분된다. 만일 di/dt가 설정된 기준값인  $di/dt_{set}$ 보다 크다면 그 전류치에 대한 평가는 순시동작부에서 이루어지고, 그렇지 않다면 한시동작부에서 평가를 하게 된다. 이 중 한시동작부는  $dt/di$ ,  $\Delta I$ 가 상대적으로 작은 원거리 단락사고의 경우에 이를 정상운전전류와 구별하는 역할을 수행하게 된다. 각 동작부는 전류변화량의 기준값인  $\Delta I_D$ ,  $\Delta I_{II}$ 를 가지며, 순시동작부에서는 이 기준값을 넘어 사고전류로 판별되면 즉각적으로 차단신호를 발생하고, 한시동작부에서는 일정 시간지연 후에 차단신호를 발생시킨다.

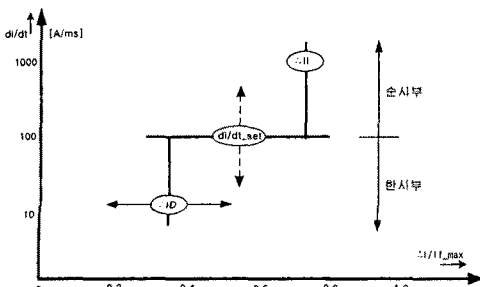


그림 6 고장선택계전기의 동작특성

### 2.3.2.3 과전류계전기(76)

직류 급전 시스템의 과전류 보호는 그림 7과 같은 보호곡선을 사용하였다.  $I/I_{max}$ 와 시간요소(t)의 범위를 조정하여 보호영역을 결정하게 되며 일반적으로 과부하 보호용과 이보다 신속히 동작해야할 단락보호용의 시간 차이를 반영하기 위해 동작시간이 다른 2개 시간영역으로 나누어 설정하도록 설계하였다.

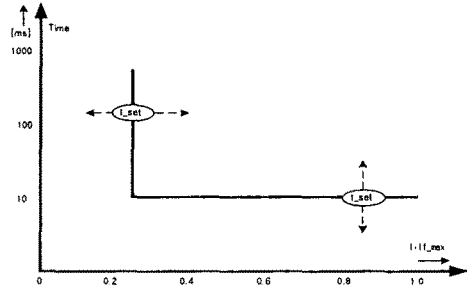


그림 7 과전류 계전기의 보호특성곡선

## 3. 결 론

본 논문에서는 시험선용 직류 경전철 급전계통 시스템과 각종 직류배전반 및 유니트를 설계하였으며 개발 보호계전장치와 보호원리에 대하여 기술하였다.

개발중인 디지털 보호제어장치는 선로시험기능, 고장선택기능, 과전류에 대한 보호기능을 가지고 있으며 배전반내 기기와, 각 보호장치간 또는 상위 SCADA시스템과의 통신제어기능을 수행하기 위한 인터페이스가 설계되어있다. 또한 필요시 보호기능을 추가 포팅할 수 있는 환경으로 구성되어있다.

급전 하반기부터 착공예정인 시험선에 현재 제작중인 각종 급전설비로 시스템을 구축할 예정이다. 특히 본 논문에서 소개한 DC 배전반 유니트는 급전 시스템에서 가장 중요한 보호제어 설비로 신뢰성 확보를 위하여 발생 가능한 시행착오를 최소화하고 시운전 기간을 통하여 관련 엔지니어링 기술을 확립할 예정이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Alberto Berizzi et al, "Short-Circuit Current Calculations for DC systems" IEEE 1994
- [2] 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号, 1991
- [3] Dr Jianguo Yu et al, "DC Power System Studies for Jubilee Line", Cegelec Project Ltd, IEE, savoy place, London W2R0BL 1997
- [4] 社団法人 鐵道電化協會, "電鐵ノートキ電回路保護システム" 1989
- [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] 철도청, "철도용품 표준규격(안) 배전반(디지털화)" 2000