

# 비접지 DC 급전계통에서 전류형 지락보호계전기의 사용

## New Ground Fault Protective Relay in DC Traction Power System

정상기\*      백남욱\*      김연수\*\*      이성혁\*\*      이한민\*\*\*  
Chung, S.G.      Baek, N.W.      Kim, Y.S.      Lee, S.H.      Lee, H.M.

---

### ABSTRACT

In DC power distribution system for urban rail transits potential relay, 64P, is used to detect the ground faults. The problem with this 64P is that though it detects the ground fault it cannot identify the faulted region. Therefore the faulted region cannot be isolated properly. It could results in power loss of the trains on the healthy regions and the safety of the passengers in the trains could be affected adversely. A new ground fault protective relaying scheme that can identify the faulted region is presented in this paper. The new concept uses the current differential scheme and the permissive scheme to identify the faulted region correctly. A device with similar characteristic to the arrestor is adapted to use the current relay for the ground fault detection. The role of the device is to block the ground leakage current in normal operating condition and enable the ground fault current to flow in ground fault condition. The algorithm of the new relay and the effect of the newly adapted device in the new relaying scheme are discussed.

---

### 1. 서 론

그림1은 도시철도 DC 급전시스템의 전형적인 접지보호계전기, 64P,의 응용 예를 보여준다. 지락 사고가 발생하면 사고전류가 접지저항기 R을 통해 흐른다. 계전기는 저항 R의 전위차를 측정하여 접지전류의 양을 계측하며 기준치(셋팅 값)와 비교하여 지락사고 여부를 판단한다. 그러나 이런 지락보호계전방식은 한 중요한 단점을 갖고 있으며 그것은 이 계전기가 지락사고 여부는 판단할 수 있으나 지락구간은 판단할 수 없다는 것이다. 이것은 지락으로 인해 일단 대지 전위가 DC 네가티브 버스의 전위보다 높아지면 모든 변전소의 지락보호계전기 접지저항기로 지락전류가 흐르기 때문이다. 그리고 그 지락전류의 양도 사고지점으로 부터의 거리와 관계없이 계전기 접지저항기의 저항 값에 의해 좌우된다. 그러므로 일단 지락사고가 발생하면 사고구간뿐만 아니라 건전구간의 전원도 차단될 수 있다. 그림 2에서보면 1번 차량 근처에서 지락사고가 발생하였으나 그림에서 보이는 모든 16개의 피더 차단기가 트립된다. 그러므로 건전구간을 운행하는 2번 차량도 전원이 차단되어 운행할 수 없게된다. 만약 이러한 지락사고가 화재와 연관이 있을 경우 지하구간 혹은 터널 구간을 운행하는 열차의 승객은 매우 위험한 상황에 직면할 수 있다. 결론적으로 현재의 지락사고 보호계전 방법은 사고구간을 판별하지 못함으로 승객의 안전에 위협을 초래할 수 있

---

\* 한국철도기술연구원, 도시철도기술개발사업단, 책임연구원, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원, 도시철도기술개발사업단, 선임연구원, 정회원

\*\*\* 한국철도기술연구원, 도시철도기술개발사업단, 주임연구원, 정회원

다. 본문에서 새롭게 제시되는 계전 방식은 신속하고 정확한 사고의 판단뿐만 아니라 사고구간도 정확하게 판별할 수 있으므로 사고시 정전구간 및 정전시간을 줄일 수 있을뿐더러 승객에게 보다 나은 서비스 및 안전을 제공할 수 있게 하여준다.

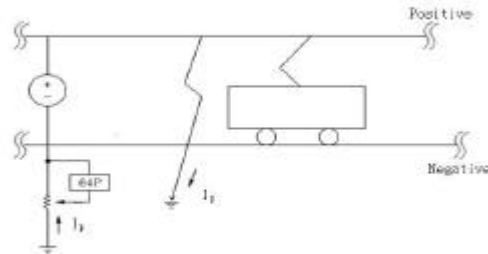


그림 1 도시철도 DC 급전시스템 지락보호 계전기

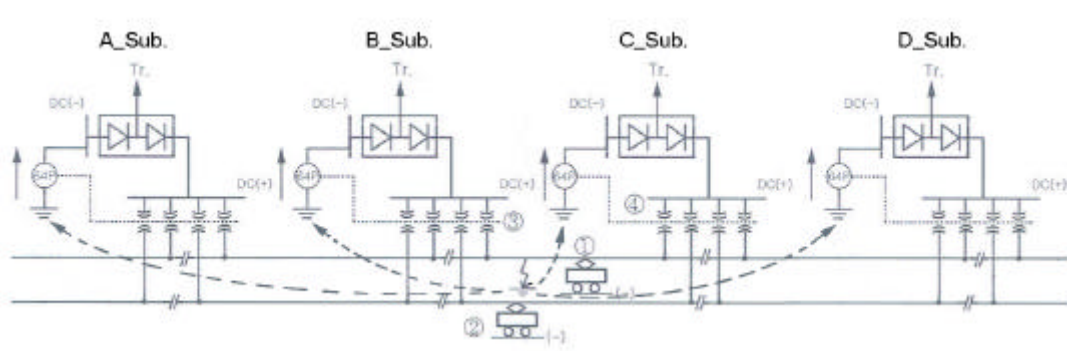


그림 2 도시철도 DC 급전시스템에서 지락사고 시 지락전류의 흐름

## 2. 동작원리

새롭게 제시되는 계전 방식은 방향성 차동식 계전 방법이다. 또한 계전기는 인접변전소로부터 트립허가 신호를 받아야 함으로 Pilot Permissive System이기도하다. 지락사고는 변전소로부터의 모든 급전 및 귀환전류에 키르호프의 전류법칙을 적용함으로써 판별된다. 그림 3에서 B 변전소와 B변전소의 왼쪽 모든 전력계통을 포함하는 구를 그리면 그 구에서 나오는 모든 전류의 합은 대지로부터의 누설전류이다. 이것은 식(1)과 같이 표현된다. 즉 구와 외부사이의 회로는 2개의 급전선, 2개의 귀환선 및 대지로부터의 누설전류회로의 5개이고 이 5개 전류의 합은 키르호프의 전류법칙에 의해 0 이 되어야 한다. 같은 방법으로 B변전소와 B변전소 오른쪽 모든 전력계통을 포함하는 구를 그리고 이 구에 키르호프의 전류법칙을 적용하면 식 (2)와 같이 된다.

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = I_{g-R} \quad 1$$

$$I_5 + I_6 + I_7 + I_8 = I_{g-L} \quad 2$$

$I_1, I_2, I_5, I_6$ 는 변전소의 4개 급전선로의 출력 전류의 측정값이고  $I_3, I_4, I_7, I_8$ 은 변전소 4개 귀환회로 전류값의 측정값이다.  $I_{g-R}, I_{g-L}$ 은 각각 변전소 좌 우 방향으로부터의 대지 전류이며 따로따로 측정되는 값이 아니며 계전기 접지저항기에 흐르는 전류  $I_g$  가 측정되

고, 계전기에 의해 오른쪽 방향 지락사고로 판단되면  $I_g$ 는  $I_{g-R}$  로. 왼쪽방향의 지락사고로 판단되면  $I_g$ 는  $I_{g-L}$ 로 인식되는 것이다.  $I_{g-R}$ ,  $I_{g-L}$ 은 정상상태에서는 매우 작은 값이고 왼쪽방향의 지락사고 발생 시에는  $I_{g-L}$ 이 오른쪽방향의 지락사고의 경우에는  $I_{g-R}$ 이 매우 큰 값이 된다. 지락사고 및 사고구간의 판단은 다음의 절차에 의한다. 즉 (1) 사고유무 판단, (2) 사고방향 판단 (3) 사고구간판단 (4) 사고선로판단의 순서로 수행된다. 지락사고의 판단은  $I_g$ 를 기준값(계전기 셋팅값)과 비교함으로써 수행된다. 지락사고가 발생한 것으로 판단되면 지락사고 방향의 판단은 식(1)과 식(2)의 값을 비교함으로써 판단된다. 즉  $I_{g-R}$ 이  $I_{g-L}$ 보다 크면 오른쪽방향에서의 지락사고이고  $I_{g-L}$ 이  $I_{g-R}$  보다 크면 왼쪽방향에서의 지락사고를 의미한다. 어느 방향에서 사고가 났던지 간에 그 방향의 인접변전소에 지락사고 감지 신호를 보낸다. 그리하여 왼쪽방향의 지락사고가 감지되고 왼쪽방향의 인접 변전소로부터 지락사고 감지신호를 받으면 사고는 자기변전소와 왼쪽 인접변전소 구간에서 발생한 것으로 판단되어 변전소 왼쪽방향의 모든 Feeder 차단기를 트립시킨다. 오른쪽방향의 지락사고 시에도 유사하게 동작한다. 그림 4에서 보면  $F_1$ 의 사고에는 B 변전소의 오른쪽 C 변전소의 왼쪽 Feeder 차단기가 모두 트립되어 B 변전소와 C 변전소 사이의 사고구간이 계통에서 격리된다. 그러나 아직 상행선 혹은 하행선 어느 선로에서 사고가 발생되었는지는 판단되지 않는다. 사고 선로의 판단은 사고 구간 격리 후 재폐로 수행 시 판단될 수 있다. 상행선 재폐로가 성공하면 상행선에 지락이 존재하지 않음을 의미하며 하행선 지락사고로 판단된다. 상행선 재폐로가 실패하면 상행선에 지락사고가 발생되었음을 의미한다. 또한 일단 재폐로가 실패한 선로에 대해서는 재폐로가 다시 시도되지 않도록 재폐로로직이 설계되어야 한다. 이상의 절차에 의해서 사고구간뿐만 아니라 사고선로를 정확히 계통으로부터 분리할 수 있다. 그림 5는 위 절차의 흐름도를 나타낸다.

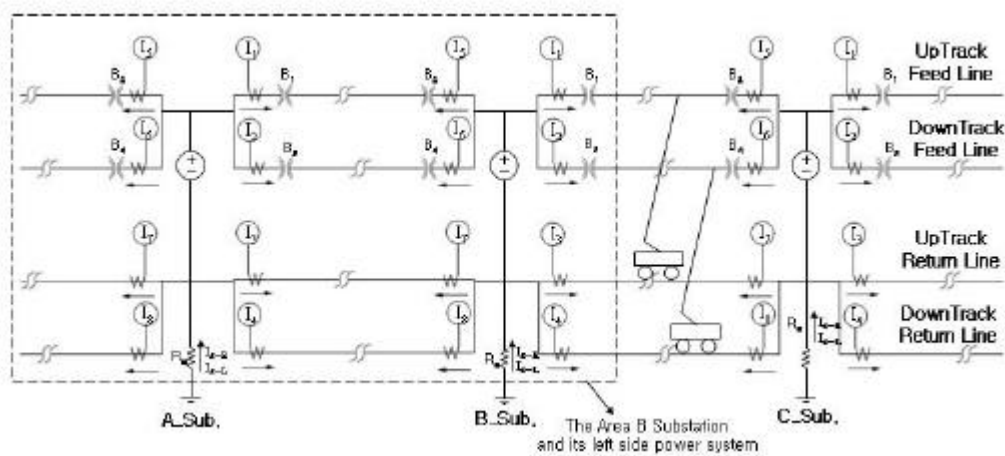


그림 3 방향차동계전방식에서의 전류센서 위치

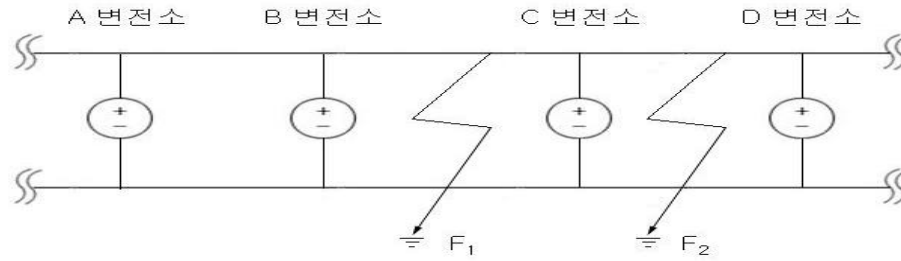


그림 4 사고 위치

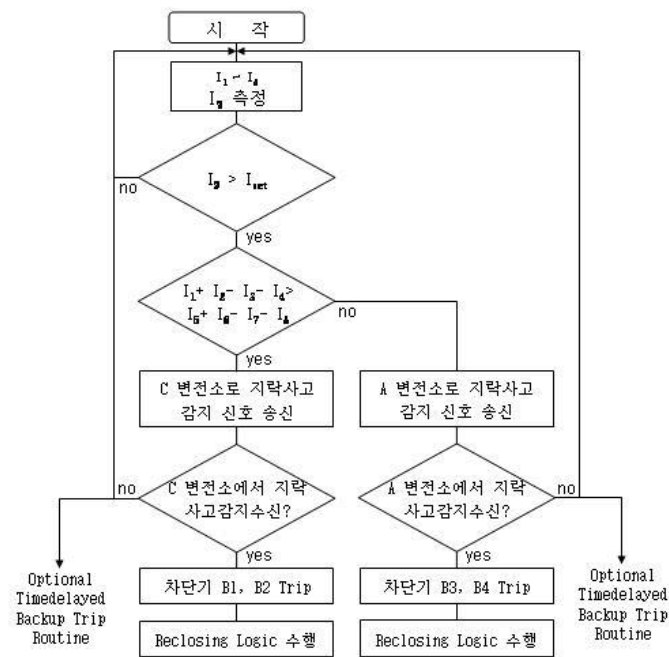


그림 5 방향차동지락보호계전기 로직 플로우 다이어그램

### 3. 계전기 접지저항기의 문제점

본문에서 제시된 보호계전 방식에서 사고지점 방향을 판단하기 위하여 왼쪽방향 전류의 합(식 2)과 오른쪽 방향 전류의 합(식 1)을 서로 비교하였다. 사실 이 두 값의 차이는 지락전류값이 된다. 다시 말해 계전기가 이 2 값의 차를 정확히 판단하기 위해서는 상당량의 지락전류가 흘러야 한다. 왜냐하면 식(1)과 식(2)에서  $I_1 \sim I_8$ 는 측정 값이며 따라서 측정오차를 포함하고 있다 이 측정 오차는 전류센서의 정확도, 계전기 입력부 및 연산부의 정확도 등에 따라 달라진다. 즉 이 오차범위보다 큰 지락전류가 흘러야 한다. 이 최소 지락전류의 값은 계전기의 접지저항기 저항 값에 의해 달라진다. 최소지락전류 값은 Feeder 최대 부하전류의 1% 내외가 적절하다고 판단된다. Feeder 최대부하전류가 4000A인 지하철 급전시스템의 경우를 예를 들면 최소지락전류는 40A가 되어야 한다. 계전기 접지저항기 저항 R은 식(3)과 같다.

$$R = \frac{1500V}{40A} = 37.5\Omega \quad 3$$

또한 계전기 접지저항기의 단시간 정격부하는 P는 식(4)와 같다.

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{1500^2}{37.5} = 60[kW] \quad 4$$

여기서는 2가지의 문제가 발생할 수 있다. 하나는 접지 저항이 작으므로 발생하는 전식의 문제요 다른 하나는 단시간정격 부하 60kW의 저항기는 작지 않다는 것이다. 이 문제는 다음에 설명되는 전류제한수단 'X'를 저항기에 직렬로 연결함으로써 해결될 수 있다.

#### 4. 전류제한수단 'X'

3절의 전식문제를 해결과 계전기 접지저항기가 커지는 문제를 해결하기 위하여 한 전류제한수단을 제안한다. 이 전류제한 수단의 특성은 단자전압이 낮을 경우에는 고저항의 특성을 나타내고 단자전압이 커져 일정 수준 이상이 되면 저 저항의 특성을 나타내어 통전 전류 값을 제한하는 장치이다. 그림 6은 이 장치를 계전기 접지저항기에 연결하여 접지하는 방법을 보여주며 그림 7은 3절에서 예로 든 계통에 적용될수 있는 이 장치의 일반적인 V-I 특성을 보여준다. 그림 7에 의하면 전류제한수단에 의해 정상시의 대지 누설전류를 10mA 이하로 제한시켜 전식의 문제가 해결되며 이 경우 계전기 접지저항기의 단시간 정격부하는 식(5)와 같이 계산되어 식(4)에 비해 1/2로 줄어든다.

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{750^2}{18.75} = 30[kW] \quad 5$$

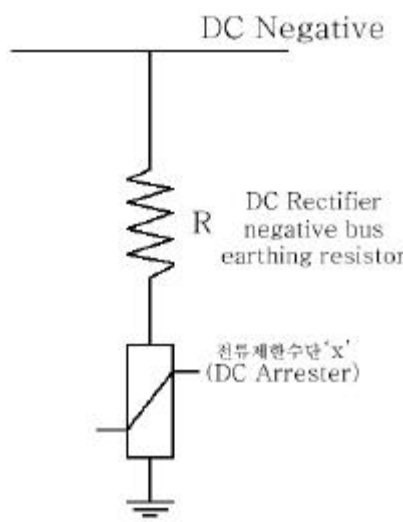


그림 6 전류제한요소의 설치

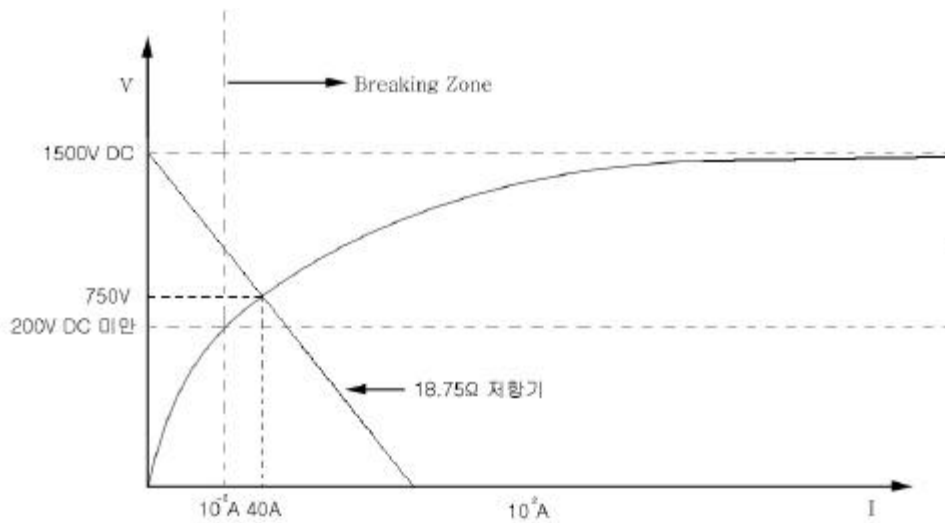


그림 7 전류제한요소 특성 예

## 5. 결론 및 향후 계획

본문에서는 도시철도 DC 급전시스템의 지락보호계전기의 문제점을 해결한 새로운 개념의 지락보호계전방식을 제시하였다. 기존의 보호계전방식은 전압형이므로 사고구간을 판별하기 어려웠으나 본문에서 제시되는 계전기는 전류형으로 차동방식을 이용하여 사고구간을 정확히 판별할 수 있었다. 지락보호를 위한 전류형 계전기는 비접지 계통에서는 근본적으로 사용할 수 없으나 전류제한수단 'X'를 도입하여 사용 가능하게 되었다. 간단한 모델로 EMTC 시뮬레이션이 수행되었으나 큰 의미를 보여주지 못하였다. 상세한 시스템 모델로 EMTC 시뮬레이션을 수행한 후 계전기 개발을 추진할 계획으로 있다.