

## PSCAD를 이용한 상시 루프배전시스템의 보호계전기 모델

김진수, 박진현, 조보현, 문원식, 조성민, 김재철  
 송실대학교

### A PSCAD Modeling of Protection Relay of On-Line Distribution System

Jin-Su Kim, Jin-Hyeon Park, Bo-Hyeon Cho, Won-Sik Moon, Sung-Min Cho, Jae-Chul Kim  
 Soongsil University

**Abstract** - The closed-loop distribution system is more flexible and more reliable than radial system. If any type fault occurs, the reliability of system can be better by providing electrical energy through another distribution line. However, it needs protection device coordination of different type. Typically, it is available by using directional overcurrent relay (67). This paper gives a solution about loop protection relay modeling which can be used by the simulation tools.

#### 1. 서 론

현재의 배전시스템은 방사상 운전을 하고 있지만, 배전 효율과 신뢰도를 향상시키기 위해 루프형태의 계통에 대한 연구가 진행되고 있다. 특히 스마트그리드와 같은 그리드의 변화는 시스템의 효율이 증가함과 동시에 전력계통에서의 새로운 보호제어 방식을 요구하게 되었다. [1]

전력 계통을 루프형태로 운전하는 것은 단락 또는 지락사고 시 정전 구간을 최소화하여 신뢰도를 높이고, 배전 손실을 줄이는데 매우 효과적이다. 그러나 루프운전 중 사고가 발생하였을 때, 고장전류는 고장점을 기준으로 양방향으로부터 유입되기 때문에 고장전류를 차단하기 위해서는 임의의 고장점으로부터 좌우 양단에 위치하고 있는 차단기의 동작이 요구된다. 이 때, 기존 방사상 전력계통의 방식으로는 보호협조가 제대로 이루어지지 않아 필요 이상으로 많은 지역이 정전을 경험하게 될 우려가 있다.

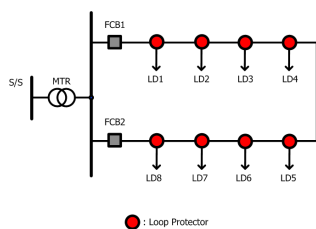
참고문헌[1]에서는 방사상과 루프 계통에서 고장 구간에 따른 정전지역 및 신뢰도를 분석하였고, 배전자동화를 기반으로 루프운전을 하였을 때 신뢰도가 향상되었음을 기술하였다. [2]는 루프계통에서의 방향성 보호계전기의 동작순서에 관한 알고리즘과 보호계전기 상호간의 보호협조 방안을 제시하였으며, [3]에서는 전압, 전류의 위상으로부터 방향성 계전기를 구성하는 방법에 대해 논하고 있다.

본 논문에서는 루프 계통에서의 보호협조 문제를 해결하기 위한 방향성 보호계전기(67)와 이로 구성된 루프형 전력시스템을 PSCAD로 모델링하여 고장이 발생한 위치를 파악하고, 통신을 이용하여 보호기기를 상호간의 보호협조를 고려함으로써 최소구간만을 신속하게 차단하고, 계통의 신뢰도를 높일 수 있는 방안을 제시하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 루프배전 시스템

루프계통은 방사상 계통에서의 각 Feeder양단을 잇는 것이라고 볼 수 있다. 이 경우 고장점의 위치가 달라짐에 따라 조류(power flow)의 방향도 달라지게 되므로 고장전류의 방향을 예측하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 루프계통에서의 보호제어는 상황에 따라 유연성 있게 대처할 수 있는 구조를 필요로 한다. 기본적인 루프형태의 배전모델에 대해서는 <그림1>에 보이는 것과 같다.



<그림 1> 루프 배전 시스템에 대한 예시

##### 2.2 루프형 계통보호 조건

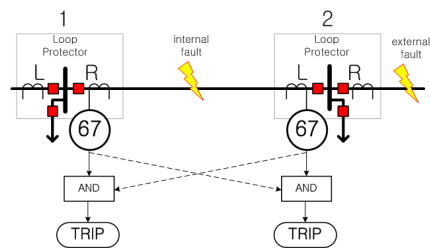
루프형 계통의 보호제어 시 고려되어야 할 점은 신속하고 정확하게, 그리고 선택적 차단이 가능해야 한다는 것이다. 특히, 양방향의 조류를 차단하기 위해서는 보호기들이 지능적으로 고장점을 판별하여 상호간에 보호협조를 이루어야 하는데, 이것은 디지털계통기에 통신기능과 논리회로를 추가시킴으로써 구현할 수 있다.

선로에서의 사고는 보호범위 안쪽인 internal fault와 바깥쪽인 external fault로 구분되며, 각각의 보호기들은 방향을 감지할 수 있다. 시스템에 과전류가 감지되었을 때, L은 보호기기로부터 왼쪽방향의 고장전류를 감지하고, R은 오른쪽 방향의 고장전류만 감지한다.

상시루프운전을 위해서 각 모선을 보호할 수 있도록 항상 조류의 방향을 파악할 수 있어야 하고, 모선과 선로의 앞, 뒤에서 고장에 대한 감시를 수행하여 보호범위를 모선까지 확대시켜야 한다.

##### 2.2.1 Permissive Overreaching Transfer Trip (POTT)

POTT방식은 직접적으로 internal fault를 감지하여 차단하는 방식이다. <그림2>에서와 같이 선로에서 사고 발생 시 선로 양단의 차단기를 동작시킴으로써 최소구간만을 가장 신속하게 찾아내어 차단하는 것이 가능하다.



<그림 2> 보호제어 동작 특성에 대한 단선도

이 때 1번 Loop Protector에서는 우측방향으로의 고장전류를 탐지하여 2번 Loop Protector에 신호(67R1)를 보낸다. 마찬가지로 2번에서도 왼쪽으로의 고장전류를 탐지하면 왼쪽으로 신호(67L2)를 보낸다. 서로 신호를 수신한 두 개의 보호계전기는 설정된 시간(TimeDelay) 이후 차단기 RI, L2에 각각 TRIP신호를 보내어 스위치를 개방한다. 이를 디지털 논리회로에 대한 부울 식으로 나타내면 다음과 같다. (\*:AND, +:OR, !:NOT)

$$TRIP = (67R1 * TimeDelay) * (67L2) \quad (1)$$

##### 2.2.2 Directional Comparison Blocking (DCB)

DCB방식은 1번과 2번 Loop Protector의 전류의 방향을 비교하여 전류의 방향이 같게 측정되면 external fault로 판단하여 TRIP하지 않고, TimeDelay동안 신호를 수신하지 못할 경우 TRIP을 시키는 구조이다. 만약 R1에서 고장전류를 감지했으나, R2가 반응하지 않을 때는 internal fault에 고장점이 있거나 external fault의 감지를 실패한 것이므로, R2가 동작하기를 기다렸다가 설정된 시간동안 고장이 해소되지 않고 남아 있을 경우 R1를 동작시킨다. 이는 통신의 장애가 있거나 전위보호기가 차단에 실패하였을 경우에도 설정된 TimeDelay안에 따라 동작하게 되며, 단독으로 동작이 가능하다는 것이 POTT와 다른 점이다. DCB에 대한 부울 식은 다음과 같다.

$$TRIP = (67R1 * TimeDelay) * !(67R2) \quad (2)$$

##### 2.2.3 Combinaton of POTT and DCB

POTT는 internal fault에 대한 차단을 우선적으로 고려하고 있고,

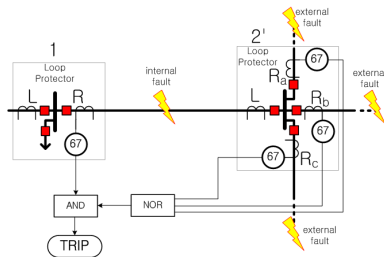
DCB는 external fault에 대한 후비보호를 가능하도록 고려한 것이다. 따라서, POTT와 DCB 알고리즘의 결합은 제시된 사고의 위치를 모두 고려하여 좀 더 빠르고 안정적인 동작이 가능토록 하고 고장에 대한 신뢰도를 높일 수 있다. 이는 부울식으로 나타내면 다음과 같다.

$$TRIP = (67R1 * TimeDelay) * (67L2) + (67R1 * TimeDelay) * (67R2) \quad (3)$$

### 2.2.4 Modified DCB

단일루프가 아닌 계통에서는 분기회로에서의 보호 또한 불가피해진다. 따라서, 먼저 제시된 DCB의 알고리즘의 변형된 형태로서 분기점에서 각 분기방향의 방향성 보호계전기와 통신하는 방식으로 구성이 가능하다. 동작 특성으로는 <그림 3>에서 Loop Protector 1의 R방향을 기준으로 볼 때, 2'의 R<sub>a</sub>, R<sub>b</sub>, R<sub>c</sub> 중 하나라도 동작하게 되면 차단된 external fault이므로 동작해서는 안되고 그렇지 않은 경우에는 internal fault이거나 external 고장에 대한 차단 실패로 판단하여 R1에서 동작하도록 한다.

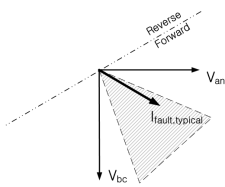
$$TRIP = (67R1 * TimeDelay) * (67R_a2' + 67R_b2' + 67R_c2') \quad (4)$$



<그림 3> 분기점에서의 Modified DCB 적용

### 2.3 방향성 보호 계전기(67)의 모델링

고장전류의 방향은 전압과 전류의 위상으로부터 구분이 가능하다. 지락 또는 단락사고가 발생하게 되면, 임피던스가 매우 낮은 고장점으로 대부분의 전류가 흘러가게 되는데, 이 때 고장전류는 선로임피던스에 영향을 받아 지상역률을 갖는 전류가 된다. 예를 들어, a상의 고장 사고 고장전류는 b-c선간전압을 기준으로 +30°~+60° 범위 안에 들어가지만 사고 전의 상태와 사고 임피던스에 따라 달라질 수 있으므로 V<sub>bc</sub>로부터 -60°~+120°를 경계로 방향을 판단하도록 하였다. 최종적으로 <그림 4>에 나타난 벡터도에 따라 고장전류의 방향을 정의할 수 있다.



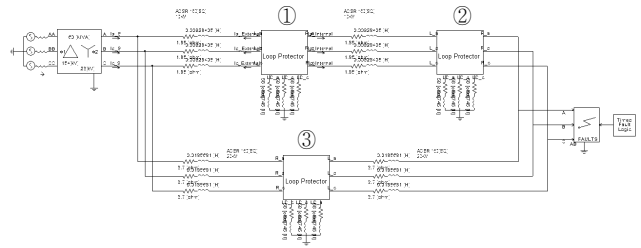
<그림 4> 단락사고시 고장전류의 위상 범위

### 2.4 Simulation

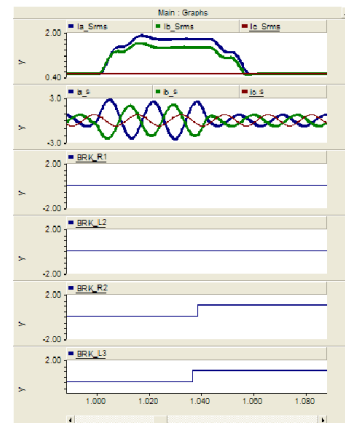
시뮬레이션을 위한 모의 계통은 단일루프형태이며 22.9[kV] 3상, 4선식 직접접지방식을 채택하였고, 각 선로임피던스는 ACSR 160[mm<sup>2</sup>] 기준으로 10[km]에 해당하는 값을 입력하였다. 주 변압기 용량은 60[MVA]이고, 각 부하는 10[MVA]와 0.9지상역률을 갖고, 3상 평형인 것으로 설정하였다. 모의 계통에 대한 계통도는 <그림 5>에 보이는 것과 같다. 차단기의 동작(trip)시간과 통신시간은 무시될 정도로 짧은 것이라고 가정하였고, 위상을 판단하기 위한 시간지연은 약 2 cycle이다. POTT와 DCB간의 TimeDelay 차이는 0.03초(약 2 cycle)로 설정하였다.

시스템의 고장유무를 판별하기 위해 전원 측의 3상 전류의 실효치와 순시치를 <그림 6>에 표시하였고, 보호구간에 인접한 3상 차단기 4개의 상태(0:closed, 1:open)를 나타내었다.

②번과 ③번 사이에 선간 단락사고(a, b상)가 발생했을 때, 차단기는 ①을 제외한 ②번의 R과 ③번의 L방향이 각각 trip신호를 정상적으로 발생시켰고, 고장이 발생한 시점으로부터 약 2.5 cycle 안에 차단이 된 것으로 확인 되었다. 고장 제거 후에도 ①, ②, ③번 부하 모두 정전을 경험하지 않은 것으로 판단할 수 있다.



<그림 5> 모의 계통도



<그림 6> 모의 사고 실험 결과

## 3. 결론

루프계통은 곧 계통에서 조류의 방향이 바뀌는 것을 허용하는 것과 같으며, 이는 스마트그리드에서 분산전원을 연계시키는 것과 관계가 깊다. 이러한 시스템에서는 한 개의 차단기가 단독으로 고장전류를 차단할 수 없기 때문에 기존의 보호방식으로는 계통의 신뢰도를 유지하기가 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 고장전류의 방향을 감지할 수 있는 디지털 방향성 계전기(67)를 모델링함으로써 기존과는 다른 형태의 계통에서 고장에 대한 보호협조 문제를 다양한 조건에서 모의할 수 있도록 하였다. 이는 최소구간만을 차단함으로써 기존의 보호제어시스템보다 더 지능적이고 효율적인 운영이 가능해졌으며, 보다 복잡한 구조의 계통에서도 여러 가지 조건 하에서 고장에 대한 모의를 할 수 있게 되었다.

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.  
(No. 2009T100200067)

### [참고 문헌]

- [1] 이희태, 문종필, 김재철, “배전자동화 계통의 루프 운전시 보호협조에 관한 연구”, 전기학회논문지, 58권 7호, 1281-1286, 2009년 7월
- [2] Kun-Yuan Shen, “Protection Coordination Analysis of Closed-Loop Distribution system”, IEEE, 702-706, 2009년 2월
- [3] John Horak, “Directional Overcurrent Relaying (67) Concepts”, IEEE, 165-176, 2006년 6월