

분산전원 연계 계통을 위한 과전류 계전기 적응 제어형 보호 알고리즘 연구

성병철\*, 박정욱\*  
연세대학교\*

A Study on Adaptive Protection Algorithm of Overcurrent Relay for DG-Connected Power System

Byung Chul Sung\*, Jung-Wook Park\*  
Yonsei University\*

**Abstract** - 중앙 집중적이고 단방향 특성을 갖는 현재의 전력망에 대하여 신재생 에너지와 에너지 저장장치를 중심으로 하는 다양한 분산 전원의 도입에 따른 독립적 운영을 특징으로 하는 스마트 그리드로의 변화는 기존 전력망의 보호 동작에도 변화를 필요로 하게 된다. 이러한 분산전원의 연계와 스마트 그리드의 도입은 사고전류의 크기와 방향의 변화는 물론 양방향 계통에 의한 동작 변화가 발생하게 된다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 보호 알고리즘을 제시하였다. 배전계통에서 일반적으로 이용되는 과전류 계전기 (Overcurrent Relay, OCR)에 대하여 제안된 알고리즘의 적용을 통해 분산전원 도입을 비롯한 전력계통 상태 변화에 능동적으로 대응하여 보호협조가 유지될 수 있도록 하였다. 또한, 제시된 알고리즘의 성능 검증을 위하여 PSCAD/EMTDC를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다.

1. 서 론

국내외적으로 전력수요의 증가와 함께 스마트 그리드 및 마이크로 그리드의 도입으로 인해 전력계통의 복잡성의 증가는 물론 그 형태 역시 변화하고 있다. 스마트 그리드로의 변화는 다양한 신재생 에너지와 전력 저장장치와 같은 분산전원의 도입을 기반으로 하고 있으며, 이러한 형태의 전력계통에서 역시 다양한 형태의 사고가 발생할 수 있다. 이러한 사고로 인해 전력 공급이 중단되거나 계통에 연계되어 있는 여러 전력기에 손상을 발생시킬 수 있다.

따라서 이러한 사고로 인한 피해를 방지하고 계통 전체를 안정적으로 운영하기 위한 효과적이고 경제적인 수단으로 전력계통, 특히 배전계통 내에서는 과전류 계전기가 주로 이용되고 있다. 이러한 과전류 계전기 (Overcurrent Relay, OCR)를 통해 배전계통의 신뢰도와 안정성을 효과적으로 보장하기 위해서는 각 과전류 계전기 간에 보호협조 구축이 정상적으로 이루어져 있어야 하며 이를 위해 올바른 동작 설정이 되어 있어야 한다.

하지만 분산전원의 연계는 사고전류의 크기 및 방향의 변화를 발생시키며, 이로 인해 기존의 과전류 계전기의 효과적인 구간보호 동작을 기반으로 보호협조 구축을 위해 설정된 과전류 계전기의 정정치 (Pickup Current)와 정정 레버 (Time Dial Setting, TDS)의 최적값으로는 효과적인 보호협조와 올바른 구간 보호 동작이 불가능하게 된다 [1].

따라서 본 논문에서는 이런 문제에 대한 해결은 물론 보호협조 구축을 위해 과전류 계전기의 민감도 향상을 기반으로 일정시간 동안의 부하전류를 기반으로 정정치를 설정하는 방법과 계통 변화에 대하여 변화하는 전류값을 기반으로 빠르게 정정 레버 값을 결정하는 방법을 결합하여, 정정 레버 값의 결정에만 최적화 과정을 이용해 시간 및 계산량의 감소가 가능하도록 하였던 이전 알고리즘에 대해 더욱 빠르고 간단하게 모든 설정을 최적화할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 이러한 과정을 반복함으로써 분산전원 및 부하의 증감으로 인한 배전계통에 대해 분산전원의 도입이나 부하의 변화와 같은 상태 변화 및 사고전류의 변화에 대해서도 비교적 빠른 시간 내에 능동적 설정 변화를 통해 대응할 수 있도록 하였다. 이렇게 제시된 알고리즘의 성능은 PSCAD/EMTDC를 이용한 시뮬레이션을 통해 평가하였다.

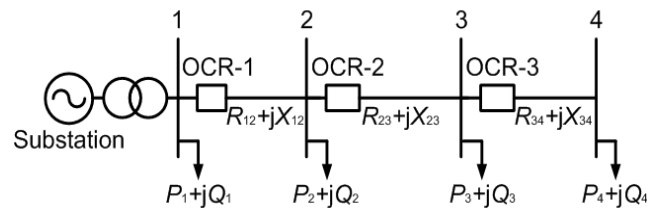
2. 본 론

2.1 과전류 계전기의 보호협조를 위한 알고리즘

2.1.1 과전류 계전기의 민감도 향상

일반적으로 과전류 계전기의 정정치는 부하전류의 최대값을 바탕으로 결정되며, 최대 부하전류 보다 크고 최소 사고전류 보다는 작은 값으로 설정된다. 다음의 그림 1과 같은 방사형 배전계통에서는 각 과전류 계전기를 통해 흐르는 부하전류의 값을 기반으로 정정치의 값을 설정할

수 있게 된다 [2]. 이러한 배전계통 내에서, 분산전원의 연계 또는 부하의 증감으로 인해 각 과전류 계전기를 흐르는 부하전류가 불규칙적으로 변할 수 있기 때문에 배전계통의 상태 변화 이전에 설정된 정정치를 통해서 이러한 변화에 대해 정상적으로 대응할 수 없게 되고, 이로 인해 사고가 발생하였을 경우 정상적인 보호협조 및 구간 보호가 이루어질 수 없게 될 가능성이 존재한다.



〈그림 1〉 방사형 배전계통

따라서 부하전류의 변화에 대한 영향을 고려하고 계통의 상태 변화에 따른 새로운 동작점에 대해 정정치를 결정하기 위해, 정정치를 N번째 시간 구간의 시작으로부터 0.1초 후의 부하전류에 일정한 마진을 더한 값으로 결정하는 방법을 제시하였다. 또한 마진은 각 과전류 계전기를 통과하는 최대 부하전류의 15%로 설정하였다 [3].

$$I_{pickup} = I_{Load}|_N + \Delta I \tag{1}$$

$$\Delta I = 0.15 \times I_{Max. Load} \tag{2}$$

이렇게 결정된 정정치는 임의의 시간 (0.1초)을 두고 새로운 정정치로서 과전류 계전기에 적용되도록 하였다 (총 0.2초). 이는 사고전류의 RMS 값이 정정치로 설정되어 사고에 대해 정상적으로 동작하지 못하는 경우가 발생할 가능성을 고려하였다. 또한 분산전원의 투입이나 하루 중 시간에 따른 소비전력의 변화로 인한 계통 변화에 의해 초래되는 부하전류의 미소 변화에 대해서는 고려하지 않았으며, 따라서 이러한 상태 변화로 인해 정정치의 변화는 발생하지 않도록 하였다. 결국 부하전류가 어느 정도 이상 (정정치의 10 % 이상)으로 크게 변화했을 때만을 고려하였다.

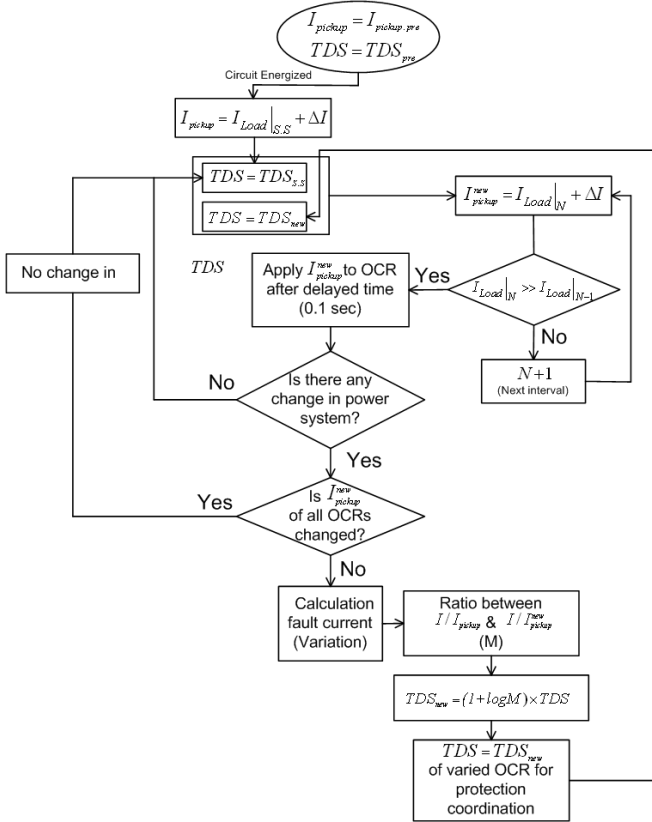
2.1.2 정정레버 값의 결정

부하전류의 변화를 고려해 결정된 정정치가 과전류 계전기에 설정되면 이 값을 통해, 정정레버 값을 일정한 알고리즘 또는 최적화 과정을 통해 보호협조가 되도록 결정할 수 있다. 정정치가 결정된 경우 하나의 변수에 대해서만 최적화를 하면 되기 때문에 선형 최적화 알고리즘을 이용하게 된다. 이 경우, 그림 1과 같이 과전류 계전기의 수가 적거나 간단한 계통 내에서는 선형 최적화 알고리즘이 적은 계산량과 빠른 속도로 정정 레버의 값을 결정해 줄 수 있게 된다.

하지만 계전기의 수가 증가하거나 계통이 복잡해질 경우 이 역시 많은 계산과 시간이 필요하게 되므로 이를 해결할 수 있는 방법을 도입하였다.

기존의 알고리즘과 마찬가지로 이 과정에서 분산전원의 연결 또는 부하의 증감으로 인해 방사형 배전계통의 모든 과전류 계전기의 정정치가 증가하거나 감소할 경우 기존 분산전원이 연결되어 있지 않은 일반적인 배전계통에서 보호협조가 만족되도록 설정된 정정레버의 값을 바꾸지 않아도 된다. 이는 부하전류의 증감에 의해서 정정치 역시 변하게 되어 모든 과전류 계전기의 특성곡선이 동시에 좌우로 수평이동하기 때문에 보호협조에 필요한 시간 간격을 유지할 수 있게 된다. 따라서 분산전원의 연결 및 부하의 변화 위치에 의해 모든 과전류 계전기가 아닌 배전계통 내의 일부 과전류 계전기에 흐르는 부하전류에서만 변화가 감지

될 경우에 대해서 적용할 수 있는 방법이 필요하게 된다. 이에 대해 사고전류와 정정치의 비율이 일정하게 증가할 경우 동일한 정정 레버에 대하여 동작시간이 감소하게 된다. 동작 시간을 기존 설정대로 유지하기 위해서는 정정 레버의 값이 증가해야만 한다. 이 경우 사고전류와 정정치의 비율의 증가에 대해 그 비율의 log 값의 비율만큼 정정레버가 증가할 때 유사한 동작시간을 보임을 확인하였다. 이러한 모든 과정을 종합하여 그림 2와 같은 알고리즘을 제시하였다.



〈그림 2〉과전류 계전기의 보호협조를 위한 알고리즘

## 2.2 제시된 알고리즘의 성능 검증

그림 2에서 제시된 알고리즘의 성능 검증은 그림 1의 방사형 배전계통에 분산전원이 연계되었을 경우를 상정하여 PSCAD/EMTDC를 이용하였다. 모든 과전류 계전기의 CT비는 300:5로 동일하게 설정하였으며 특성곡선의 계수는 같게 하였다 (KEPCO SD). 실제 과전류 계전기의 특성에 맞춰 정정치는 0.05A 단위로, 정정 레버는 0.01 단위로 조정 가능하도록 하였으며, 시간 구간의 길이는 임의로 결정할 수 있는데 본 논문에서는 1초로 설정하였다. 분산전원의 투입은 0 초, 사고는 5초에 BUS4에서 3초의 3상 지락사고가 발생하는 것으로 하였다. 이 경우 OCR-3이 가장 먼저 동작해야 하고, OCR-3이 정상적으로 사고 구간을 분리하지 못하였을 때 OCR-2와 OCR-1이 차례로 동작해야 하며 각 동작에 0.2초 이상의 시간 차이가 존재해야 정상적으로 보호협조가 이루어졌다고 할 수 있다. 또한 분산전원의 용량은 20 MW로 하였으며, 각 부하의 크기는 3상 30 MW, 15 Mvar로 설정하였다. 마지막으로 단방향으로 전력 흐름을 설정하였고, 계전기가 동작할 경우 분산전원 역시 분리되도록 통신이 된다고 설정하여, 마이크로 그리드 동작을 피하고 후비 보호 동작이 되었을 때 분산전원에 의한 사고전류가 분리된 부하로 지속적으로 공급되는 것을 막을 수 있게 하였다. 또한 동작시간은 계전기의 동작 출력신호가 1이 되는 시점으로 확인하였다.

### 2.2.1 Bus1에 분산전원이 연결될 경우

분산전원이 Bus1에 연결될 경우 Bus1에 연결된 분산전원은 Bus1의 부하에 전력을 공급하게 되고 부족한 양과 나머지 부하에 대한 전력이 계통으로부터 입력된다. 이로 인해 계통으로부터 모든 과전류 계전기에 흐르는 부하전류의 크기는 분산전원이 연결되지 않은 경우와 비교하였을 때 매우 작은 변화를 갖게 되어 이전에 설정된 정정치를 다음 시간 구간까지 유지하게 된다. 이로 인해 정정치 역시 분산전원의 연계 전후가 같게 되고 정정레버 역시 변하지 않고 그 값을 그대로 유지하게 된다.

표 1에서 확인해보면 제시된 알고리즘에 의해 정정치는 물론 정정레

버의 변화가 없게 되며 거의 유사한 동작시간을 보이고 있다. 또한 각 과전류 계전기의 동작시간에 보호협조를 위해 필요한 0.2초 이상의 동작 시간 차가 존재함을 확인할 수 있다.

〈표 1〉 분산전원이 Bus1에 연결되었을 때 각 과전류 계전기의 정정치 및 알고리즘에 의한 정정 레버 변화에 따른 동작시간

각 과전류 계전기의 정정치					
분산전원 투입 없을 때			분산전원 투입 있을 때		
OCR-1:	53.16 A	OCR-2:	35.44 A	OCR-3:	17.72 A
	TDS	동작시간		TDS	동작시간
OCR-3	0.1	0.2110	OCR-3	0.1	0.2110
OCR-2	0.17	0.4410	OCR-2	0.17	0.4410
OCR-1	0.22	0.6665	OCR-1	0.22	0.6665

### 2.2.2 Bus3에 분산전원이 연결될 경우

분산전원이 Bus3에 연결되어 Bus3의 부하에 20MW의 전력을 공급하게 되고 필요한 10 MW와 다른 부하의 전력의 계통으로부터 들어오게 된다. 이 경우 각 계전기의 정정치는 표 2와 같이 변화하게 되는데, OCR-3의 경우 그 변화가 매우 작기 때문에 그래도 17.72 A의 정정치를 유지하게 된다.

〈표 2〉 분산전원이 Bus3에 연결되었을 때 각 과전류 계전기의 정정치 및 알고리즘에 의한 정정 레버 변화에 따른 동작시간

각 과전류 계전기의 정정치					
분산전원 투입 전			분산전원 투입 후		
OCR-1:	53.16 A	OCR-1:	36.93 A		
OCR-2:	34.16 A	OCR-2:	20.53 A		
OCR-3:	17.72 A	OCR-3:	17.08 A		
	TDS	동작시간		TDS	동작시간
OCR-3	0.1	0.2110	OCR-3	0.1	0.2110
OCR-2	0.17	0.4410	OCR-2	0.208	0.4550
OCR-1	0.22	0.6665	OCR-1	0.255	0.6692

그림 1의 계통에 대해서 OCR-3는 모든 설정을 그대로 유지하게 되며, 나머지 두 과전류 계전기의 정정치가 변했으므로 모든 과전류 계전기에 대하여 새로운 정정 레버의 값을 결정하게 된다. 다른 두 계전기는 각 계전기를 흐르는 사고전류의 계산을 통해 사고전류의 변화가 매우 적음을 확인하였다. 따라서 변화 비율은 정정치의 변화 비율과 동일하게 되며, 이를 통해 그림 2의 알고리즘에 주어진 것과 같은 다음의 식에 따라 새로운 정정 레버 값을 정하여 적용하였다.

$$TDS_{new} = (1 + \log M) \times TDS \quad (3)$$

이렇게 얻은 새로운 정정레버 값을 적용하였을 때, 모든 계전기 사이에 0.2초 이상의 동작시간에 차이가 있음을 확인할 수 있으며, 따라서 보호협조가 올바르게 구축되었다고 할 수 있다. 또한 계통의 변화에 의해 변화된 설정에 의한 동작시간이 기존의 동작시간과 유사함 역시 확인하였다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 부하전류를 기반으로 과전류 계전기의 정정치를 설정과 정정 레버 값의 결정을 반복함으로써 분산전원 및 부하의 증감에 대해서 능동적으로 대응할 수 있는 알고리즘을 제시하여 이에 대한 성능을 검증하였다. 부하의 변화나 이에 따른 분산전원 출력 변화에도 능동적으로 대응 가능하며, 추후 역조류에 대한 개선 방안을 추가할 필요가 있을 것으로 보인다.

### [감사의 글]

이 논문은 2010년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (NRF-2010-0023172)

### [참고 문헌]

- [1] Mohamed M. Mansour, Said F. Mekhamer, and Nehad El-Sherif El-Kharbawe, "A Modified Particle Swarm Optimization for the Coordination of Directional Overcurrent Relays", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 22, No. 3, July 2007
- [2] Arturo Conde and Ernesto Vázquez, "Operation Logic Proposed for Time Overcurrent Relays", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 22, No. 4, October 2007