

마이크로그리드의 운전조건을 고려한 과전류계전기

강용철*, 강해권*, 차선희*, 장성일*, 이병은*, 김용균**, 박군철***
전북대학교*, (주)한국 IED**, 서울대학교***

The Over-current relay considering operating conditions of the micro-grid

Yong-Cheol Kang*, Hae-Gweon Kang*, Sun-Hee Cha*, Sung-Il Jang**, Byung-Eun Lee*, Yong-Gyun Kim**, Goon-Cherl Park***
Chonbuk National University*, HanKook IED Eng**, Seoul National University***

Abstract - A micro-grid (MG) is a new concept to aggregate distributed generations (DGs) and loads in a small area. The difference between MG and DG is that MG can supply power to loads even in islanding conditions. The magnitude of the fault current depending on interconnection between the MG and utility and the number of DGs in the MG. Therefore, the setting value of the OCR must be changed depending on operating conditions of the MG. This paper proposes the over-current relay considering operating conditions of the MG. In the proposed algorithm, the supervisory control and data acquisition decides the operating conditions of the MG and sends the proper setting values to each OCR. The performance of the algorithm was investigated in the case of the various operating conditions.

1. 서 론

세계적인 전력산업의 구조개편과 기후변화협약 및 고유가시대 등에너지 환경변화에 따른 소비구조가 혁신되고 있는 시점에서 현재 전력 시스템에서는 과거 대규모 발전설비, 대용량의 송전시스템, 중앙 집중형 전력공급과 같은 공급 구조를 넘어서는 새로운 패러다임이 요구되고 있다. 이러한 상황에서 다양한 수용가에서 요구하는 전력 품질을 만족시킬 수 있는 대안은 전원공급을 분산화시키는 것이다. 즉, 일정 대규모 수용가 단위의 독립적인 전원공급체계의 구성, 자체 지역 부하 감시, 운영, 관리 체계의 구성을 통해 중앙 집중화 되어 있는 전력공급시스템의 부담을 최소화 하는 것이다.

마이크로그리드는 최근 새롭게 제안된 개념으로 전력시장에서 요구하는 전원공급의 분산화에 알맞은 형태이다. 분산전원과 자체 부하로 구성된 마이크로그리드는 계통과 연계 운전함으로써 계통으로부터 전력을 공급받거나 계통으로 전력을 공급할 수 있고, 계통 고장 등으로 인해 계통 전원이 상실된 경우에도 계통과 분리하여 단독 운전이 가능한 특징을 갖는다[1-3]. 또한 여러 대의 발전기를 사용하는 형태이므로 발전기 고장 등의 문제에서도 연속적으로 중요부하에 전력을 공급할 수 있다.

그러나 다양한 마이크로그리드의 운전 상태 즉, 계통과의 연계 여부와 발전기(DG) 대수는 마이크로그리드에서의 사고 발생 시 고장전류 크기에 영향을 미친다. 특히, 계통과의 연계 여부 따라 고장전류의 크기는 큰 차이를 보인다. 이는 과전류계전기 설정 값을 계통연계 시 운전조건으로 설정 할 경우, 단독운전 상태에서의 고장전류가 설정 값보다 작아 오부동작 할 수 있음을 의미한다. 따라서 효과적인 보호를 위해서는 마이크로그리드 보호계전기의 설정 값을 운전조건에 따라 변경해야 한다.

본 논문에서는 마이크로그리드의 운전조건을 고려한 과전류계전기를 제안한다. 제안한 과전류계전기는 마이크로그리드의 자체 제어와 보호 협조를 담당하는 원격감시 제어시스템인 SCADA에서 운전조건에 맞는 설정 값을 입력신호로 받아 운전조건에 맞는 보호를 할 수 있다. 제안된 방식을 검증하기위해 PSCAD/EMTDC를 이용하여 계통과 마이크로그리드를 모델링하였으며, 마이크로그리드의 여러 가지 운전조건을 고려하여 과전류계전기의 성능을 시험하였다.

2. 마이크로그리드의 운전조건을 고려한 과전류계전기

2.1 기존 과전류계전기의 설정 값

과전류계전기는 송배전선로의 보호계전 방식 중 가장 기본적인 방식으로 특히, 방사상 형태의 배전계통에서 주보호 및 후비보호를 담당한다. 기본원리는 계전기에 흐르는 전류가 설정 값 이상일 때 작동하는 것이며, 사고를 검출한 후 가능한 신속하게 반응하여 계통을 정상상태로 되돌리는 역할을 한다[4]. 과전류계전기의 사고판단 기준인 설정 값은 오동작을 피하기 위해 최대 부하전류보다는 크고 최소 고장전류보다는 작게 설정한다. 보통 최대부하전류의 125~150%로 정하며 최소 고장전

류는 계전기의 종류에 따라 2선 단락이나 1선 지락 사고를 상정하여 계산한다[5].

2.2 운전조건을 고려한 과전류계전기

2.2.1 마이크로그리드의 운전조건

마이크로그리드는 자체 제어시스템과 보호 협조를 가짐으로써 다양한 운전 상태로 운용된다[1]. 따라서 계통과 연계 시 발전 용량에 따른 계통과의 전력 교류, 단독운전 시 발전 용량을 고려한 부하절체 등을 통해 부하에 지속적인 전력을 공급할 수 있다. 이러한 마이크로그리드의 운전 조건은 계통연계 여부와 발전기(DG) 대수에 의해 구분되며, 단독운전 시에는 발전용량과 부하용량의 비교를 통해 부하절체를 고려해야 한다.

2.2.2 운전조건을 고려한 과전류계전기의 설정 값

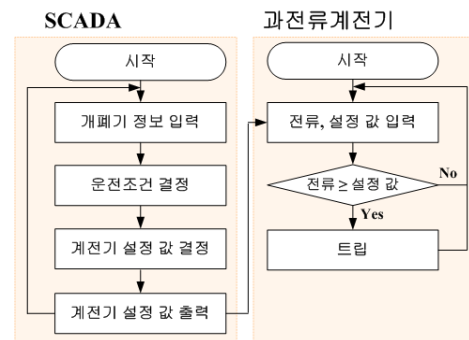
마이크로그리드의 자체 제어와 보호 협조를 담당하는 원격감시 제어 시스템인 SCADA는 마이크로그리드의 운전조건을 감시할 수 있으며, 각 계전기와 통신을 통해 운전조건에 따른 설정 값 정보를 제공할 수 있다. 이런 특징을 사용하여 SCADA는 운전조건을 고려한 각 계전기의 설정 값을 저장한 후, 계통 상태에 따라 운전조건에 맞는 설정 값을 각 계전기에 입력신호로 제공하도록 한다. 그에 따라 운전조건을 변경하지 않았을 때 생길 수 있는 과전류계전기의 오부동작을 해결 할 수 있다. 각 과전류계전기는 SCADA에서 입력신호로 받은 설정 값을 측정전류와 비교하여 측정전류 값이 설정 값 이상일 때 사고라 판단한다. 본 논문에서 운전조건을 고려하여 SCADA에 저장한 과전류계전기의 설정 값은 최소고장전류의 70%로 정하였으며, 과전류계전기의 시지연 특성에 대해서는 다루지 않았다. 제안한 방식의 흐름도는 그림 1에 나타내었다.

3. 사례연구

3.1 모델계통

모의한 전력시스템의 단선도를 그림 2에 나타냈다. 모의한 계통은 22.9kV 배전계통인 강원도 횡계 계통이다. 계통 내부에 포함된 마이크로그리드는 다양한 운전조건을 모의하기 위해 3개의 간선으로 이루어진 6.6kV 저압 배전계통으로 구성되어 전운선을 통해 계통과 연계하였다. 여기서 각 간선은 발전기의 설치위치 및 발전량과 부하량의 차이를 고려한 것이다. 1간선의 경우 발전기 2대(각 2MVA)를 간선의 중간과 말단에 설치함으로써 조류의 방향을 다양하게 하였고, 부하량은 3MVA로 잉여전력을 다른 간선에 공급하는 형태이다. 또한, 2간선은 기존 배전계통과 같은 방사형 계통으로 1MVA 부하를 설치하여 전력을 공급받는 형태이며, 3간선은 발전기 1대를 간선의 중간에 설치하여 2MVA 부하를 자체적으로 담당하는 형태로 구성하였다.

보호시스템은 정전구간을 최소화 하도록 설치 위치를 결정하였으며, 주보호는 과전류 계전요소인 과전류계전기(51)와 양방향 조류를 고려하여 방향과전류계전기(67)를 택하였다.



<그림 1> 제안한 과전류계전기의 동작 흐름도

모의한 전력시스템은 PSCAD/EMTDC 시뮬레이터를 이용하여 모델링 하였으며, 샘플비는 주기 당 64샘플, 버터워스 2차 anti-aliasing 필터를 사용하였다. 필터의 저지대역 차단 주파수는 1,920Hz이다.

3.2 과전류계전기의 설정값 결정

표 1은 모의한 전력계통에서 얻은 15가지 운전조건과 운전조건에 따른 과전류계전기의 설정 값을 나타냈다. 운전조건은 계통과 발전기 3대의 연계 정보를 통해 16가지의 경우의 수를 얻을 수 있으나 4개의 차단기가 모두 개방되어 무전원인 상태는 제외시켰다. 또한, 마이크로그리드의 단독운전 시 발전기의 용량이 부하량 보다 작은 경우 부하절체가 필요하다. 이에 부하절체에 우선순위를 주어 운전조건에 따른 부하절체를 고려하였다. 표 1의 운전정보에서 0은 차단기 단락, 1은 차단기 개방을 나타낸다.

운전조건에 따른 과전류계전기의 설정 값은 그림 2와 같이 여러 개의 과전류계전기와 방향과전류 계전기들이 포함되거나 사례연구에서 나타난 1간선 말단의 과전류계전기인 51 만을 표 1에 나타내었다.

3.3 제안한 과전류계전기의 성능평가

제안한 과전류계전기의 성능을 검증하기 위해 다양한 운전조건에서 사고를 모의하였다. 사고는 1간선의 2km 지점에서 A상 지락사고를 모의하였으며, 사고 발생 시간은 1초, 총 시뮬레이션 시간은 2초이다.

3.3.1 사례1 : 운전조건 9, MG 배전계통 2km, A상 지락사고

그림 3은 사례1의 결과를 나타냈다. 사례1은 운전조건 9에서 사고를 모의한 경우로, 운전조건 9는 마이크로그리드의 단독운전 상태에서, DG 3대가 연계되어 정격용량으로 발전하는 경우이며, 발전량과 부하량이 같아서 부하절체는 고려하지 않았다. 1간선 말단의 과전류계전기 설정 값은 표 1의 운전조건 9와 같이 운전조건을 고려하지 않은 경우 2.357이고, 운전조건을 고려한 설정 값은 1.015이다.

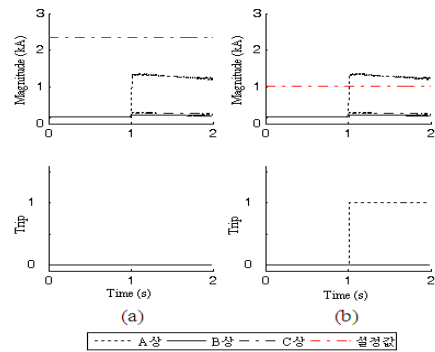
그림 3(a)에서 운전조건에 따라 과전류계전기의 설정 값을 변경하지 않은 경우, 사고 발생 시 고장전류가 설정 값보다 작아 오부동작 하였으나 그림 3(b)에서 운전조건을 고려하여 설정 값을 변경함으로써 고장전류가 설정 값 이상이 되어 정동작 하였다.

3.3.2 사례2 : 운전조건 13, MG 배전계통 2km, A상 지락사고

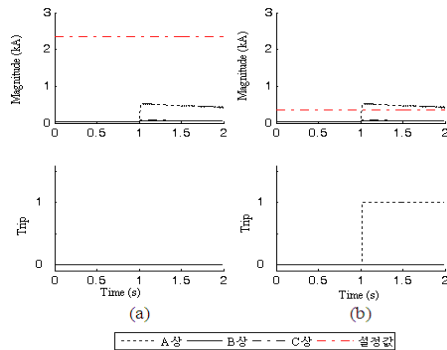
그림 4는 사례2의 결과를 나타냈다. 사례2는 운전조건 13에서 사고를 모의한 경우로, 운전조건 13은 마이크로그리드의 단독운전 상태에서, DG_1 만이 연계되어 정격용량으로 발전하는 경우이며, 발전량이 부하량

보다 적어서 부하절체 우선순위에 따라 부하를 절체 하였다. 1간선 말단의 과전류계전기 설정 값은 표 1의 운전조건 13과 같이 운전조건을 고려하지 않은 경우 2.357이고, 운전조건을 고려한 설정 값은 0.348이다.

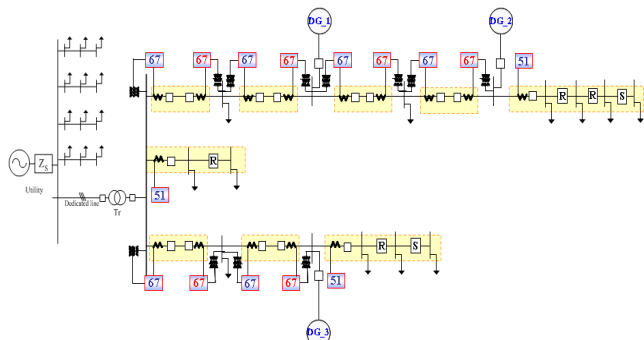
그림 4(a)에서 운전조건에 따라 과전류계전기의 설정 값을 변경하지 않은 경우, 사고 발생 시 고장전류가 설정 값보다 작아 오부동작 하였으나 그림 4(b)에서 운전조건을 고려하여 설정 값을 변경함으로써 고장전류가 설정 값 이상이 되어 정동작 하였다.



〈그림 3〉 운전조건 9, 기존 설정 값 / 운전조건을 고려한 설정 값



〈그림 4〉 운전조건 13, 기존 설정 값 / 운전조건을 고려한 설정 값



〈그림 2〉 모델계통도

〈표 1〉 마이크로그리드의 운전조건을 고려한 과전류계전기의 설정값

운전조건	운전정보			부하 절체	OCR 설정 값(kA)	
	계통연계	DG_1	DG_2		운전조건 고려안함	운전조건 고려함
운전조건 1	0	0	0	×	2.357	2.357
운전조건 2	0	0	0	×	2.357	2.349
운전조건 3	0	0	1	×	2.357	2.195
운전조건 4	0	1	0	×	2.357	2.303
운전조건 5	0	0	1	×	2.357	2.185
운전조건 6	0	1	0	×	2.357	2.291
운전조건 7	0	1	1	×	2.357	2.118
운전조건 8	0	1	1	×	2.357	2.100
운전조건 9	1	0	0	×	2.357	1.015
운전조건 10	1	0	0	○	2.357	0.692
운전조건 11	1	0	1	○	2.357	0.683
운전조건 12	1	1	0	○	2.357	0.691
운전조건 13	1	0	1	○	2.357	0.348
운전조건 14	1	1	0	○	2.357	0.351
운전조건 15	1	1	1	○	2.357	0.348

3. 결 론

본 논문에서는 마이크로그리드의 운전조건을 고려한 과전류계전기의 동작 알고리즘을 제안하였다. 제안된 과전류 계전 방식은 원격감시 제어 시스템인 SCADA로부터 계통 상태에 따라 변경된 설정 값 정보를 취득하여 측정된 전류 값과 비교한 후, 측정된 전류 값이 설정 값 이상일 때 사고라 판단하는 것이다.

제안된 과전류계전기의 성능을 검증하기 위해 PSCAD/EMTDC 시뮬레이터를 이용하여 계통을 모델링 하였고, 과전류계전기의 설정 값을 결정하기 위해 15가지 운전조건을 제시하였다. 사례연구를 통해 제안한 계통의 임의의 지점에 A상 지락사고에 대하여 운전조건을 고려한 과전류계전기가 정동작 함을 보였다.

제안된 방식은 기존의 방사상 형태의 배전계통에서 사용되던 과전류계전 방식으로 검출할 수 없었던 네트워크 형태의 배전계통에서 발생한 사고를 검출하여 과전류계전기의 오부동작을 방지 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2005-B-100) 주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

- [1] R.H. Lasseter, "Micro-grids", IEEE PES 2002 WM, vol. 1, pp. 305-308, 2002
- [2] F. Katiraei, M.R. Iravaniand, P.W. Lehn, "Micro-grid autonomous operation during and subsequent to islanding process", IEEE Trans. on PWRD, vol. 20, no. 1, pp. 248-257, 2005
- [3] N. Jayawarna, N. Jenkins, M. Lorentzou, S. Papathanassiou and N. Hatzigiayriou, "Safety analysis of a microgrid", IEEE FPS 2005 IC, pp. 1-7, 2005
- [4] 대한전기학회편, "최신배전시스템공학", 2007
- [5] 윤준석, 최면승, 이승재, 현승호, "계통변화를 고려한 자율 적응형 과전류 계전기", 대한전기학회논문지, vol. 52A, no. 8, pp. 444-449, 2003