인접선 고장에 대한 분산전원 연계선 보호계전기의 오동작 분석

이재열, 서훈철, 김상협, 조해인, 김철환
성균관대학교

Analysis of Nuisance Tripping of the Protective Relay at Fault Conditions on an Adjacent Feeder

Jae-Yeol Lee, Hun-Chul Seo, Sang-Hyub Kim, Hae-In Cho, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - 계통의 외란 발생 시 분산 전원은 계통에서 분리되어야 한다. 이는 주로 주파수와 전압의 변동을 이용해서 수행된다. 그렇지만 인접선 고장 발생 시 주 연계선의 고장과 매우 유사한 전압이 나타나기 때문에 보호계전기는 오동작 할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 인접선 고장 시 분산전원과 연계선 보호 계전기의 오동작에 대하여 분석하였다. 우선 전압 변동 시 분산 전원의 분리 시간에 대하여 검토하였다. 그 다음으로 EMTP를 이용하여, 계통 및 분산 전원으로 동기 발전기를 모델링하였다. 또한, 인접선 및 주 연계선에서 다양한 고장을 모의하여 보호계전기의 오동작 여부에 대하여 분석하였다.

1. 서 론

최근 전력구조의 개편, 친환경적 전력 생산 등으로 외부환경 변화에 따라 기존의 대형 집중식 발전에 대응하는 분산 전원에 대한 관심이 증가하고 있다. 분산 전원이 계통에 연결되면 전력품질 문제, 보호협조 문제, 신뢰도 문제와 같은 다양한 영향이 나타난다[1-3]. 특히, 계통의 고장 발생 시 보호에 문제가 발생하고 있으므로, IEEE Standard 1547 및 국내의 분산 전원 계통연계 기술 기준에서는 계통의 비정상 조건 발생 시 분산 전원을 계통에서 분리하도록 규정하고 있다. 그렇지만, 분산 전원 연계선이 아닌 인접선에서 고장 발생하는 경우에 주 연계선의 전압 역시 강하되어 분산 전원이 분리될 수 있다[3].

따라서, 본 논문에서는 이러한 경우에 대하여 보호 계전기의 오동작 여부를 분석하였다. 우선, 비정상 조건 시 분산 전원의 분리 시간에 대하여 검토하였다. EMTP를 이용하여 분산 전원 및 배전 계통을 모델링하였으며, 연계선 및 인접선에서의 고장을 모의하였다. 모의 결과를 바탕으로 보호 계전기의 동작 여부를 분석하였다.

2. 계통의 비정상 조건 발생 시 분산 전원의 분리 시간

2.1 비정상 전압 발생시 분산 전원의 분리 시간[1]

다음 표 1은 IEEE Std. 1547에 나타난 계통의 비정상전압 시 분산 전원의 분리 시간이다. 계통 전압이 50%이상 88% 미만인 경우 2초 내에 분리되어야 하고, 50% 미만인 경우에는 0.16초 내에 분리되어야 한다[4]. 국내의 분산 전원 배전계통 연계 기술기준의 경우 저전압의 분리 시간은 IEEE Std. 1547과 동일하다.

<표 1> IEEE Std. 1547에 나타난 비정상 전압 시 분산 전원의 분리 시간

전압범위(%)	Clearing time(s)
V<50	0.16
50≤V<88	2.00
110≤V<120	1.00
V≥120	0.16

2.2 비정상 주파수 발생 시 분산 전원의 보호[1]

IEEE Std. 1547은 다음 표 2와 같이 계통의 주파수 변동 시 분산형 전원의 분리 시간을 제시하고 있다. 표2와 같이 분산형 발전의 용량에 따라 분리시간을 차별화 하고 있다. 30kW 미만 용량에서, 주파수가 59.3Hz이하로 감소된 경우에는 0.16초 내에 분리되어야 하며, 60.5Hz 이상으로 증가된 경우 또한 0.16초 내에 분리되어야 한다고 제시하고 있다. 30kW 이상의 경우, 60.5Hz 이상으로 증가된 경우는 전과 동일하다. 그렇지만 57.0Hz~59.8Hz 사이의 경우 현장에 따라 조정가능 하다고 제시하고 있다. 또한 57.0Hz 이하로 떨어진 경우에는 0.16초 이내로 분리하여야 한다고 제시하고 있다.

<표 2> IEEE Std. 1547 에 제시된 주파수 변동 시 분산 전원의 분리 시간

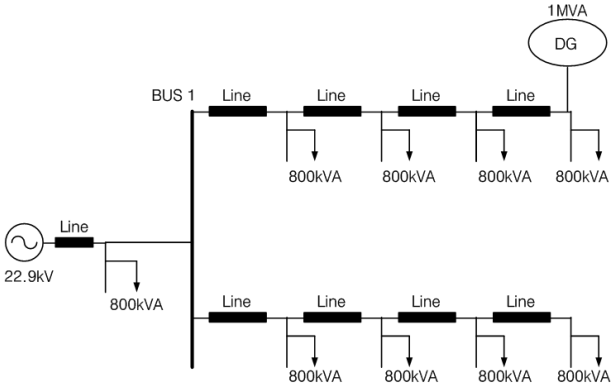
DG size	주파수 범위(Hz)	분리시간(s)
≤30kW	>60.5	0.16
	<59.3	0.16
>30kW	>60.5	0.16
	<{59.8-57.0}	adjustable
	<57.0	0.16

본 논문에서는 이러한 전압과 주파수의 두 가지 조건 중 계통 고장으로 인한 비정상 전압 시 분산 전원의 분리 여부에 대하여 분석하였다.

3. 사례 연구

3.1 계통 모델

다음 그림1은 분산 전원이 연계된 배전 계통 모델이다. 선로 파라미터는 정상분 0.3022+j0.4217, 영상분 0.57473+j1.2306이다. 선로길이는 각각 4,462m이다. 각 부하의 용량은 800kVA이며 역률은 0.9이다. 선로의 말단에 1MVA 용량의 분산 전원을 연결하였다.

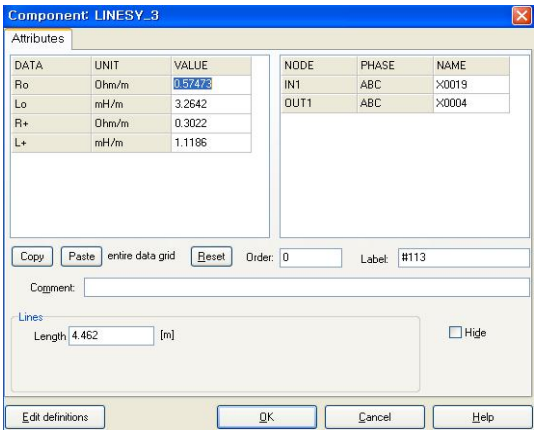


<그림 1> 분산 전원이 연계된 배전 계통 모델

3.2 EMTP를 이용한 계통 모델링

3.2.1 선로 모델링[4]

배전 계통 같은 단거리 선로에서는 R과 L로 구성된 집중 정수 선로 모델을 사용한다. 따라서, ATPDraw에서 집중정수 선로 중 대칭분 값으로 입력할 수 있는 컴포넌트를 사용하여 선로 임피던스를 입력하였다. 그림 2의 왼쪽 메뉴의 R0, L0에서 저항 및 인덕턴스의 영상분 임피던스를 입력하고 R+, L+에는 저항 및 인덕턴스의 정상분 임피던스를 입력하였다. 또한 그림 2의 오른쪽 메뉴의 Node, Phase, Name에 모델 계통의 좌측 입력 Node에는 입력단자라는 의미로서 "IN1"을, "BAC"에는 3상의 배열 순서를 그리고, "X0001"은 EMTP 실행 시 생성된 노드명을 각각 나타내고 있다. 그리고, 우측 출력 Node에는 출력단자라는 의미로서 "OUT1"을, "BAC"는 3상의 배열 순서를 나타내며, "X0318"은 EMTP 실행 시 생성된 노드명을 나타낸다.



〈그림 2〉 선로 정수 입력 화면

3.2.2 부하 모델링[4]

시뮬레이션에 사용한 부하는 3상 부하이다. 3상이 평형을 유지하기 위해서는 3상의 부하 용량이 같아야 한다. 따라서, 각 상에서의 부하 임피던스 값은 다음 식 (1)과 같이 계산된 값을 ATPDraw에서 부하 임피던스로 입력한다. 역률은 0.9로 가정하고 부하 임피던스를 계산하였다.

$$Z_{load} = \frac{(V_{LL})^2}{S^*} = \frac{(22.9kV)^2}{S^*} \quad (1)$$

3.2.3 분산 전원 모델링

분산 전원은 EMTP의 Type 59 SM Model을 이용하여 동기 발전기로 모델링 하였다. 분산전원의 용량은 1MVA이다.

3.3 시뮬레이션 조건

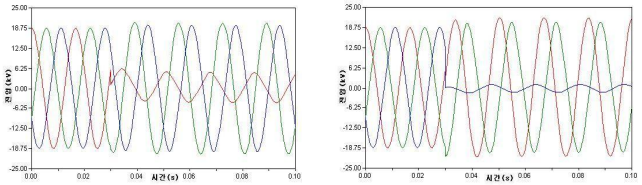
다음 표 3은 주 연계선 및 인접선의 고장 모의 조건을 나타낸다. 표 3에서 볼 수 있듯이, 고장 거리를 변경하여 모의하였다. 고장 종류는 1선 지락 고장이며, 고장 발생 시간은 0.03초이다. 고장 저항은 1Ω이다.

〈표 3〉 모의 조건

	각 case	Bus 1로부터의 고장거리
주연계선	case 1	4,462m
	case 2	8,924m
	case 3	13,386m
	case 4	17,848m
인접선	case 1	4,462m
	case 2	8,924m
	case 3	13,386m
	case 4	17,848m

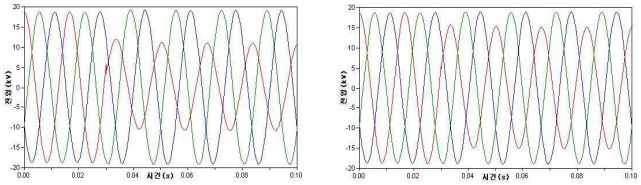
3.4 시뮬레이션 결과 분석

다음 그림 3은 주 연계선 고장 시 Bus1로부터 가장 가까운 경우인 case 1과 가장 먼 경우인 case 4의 경우에 분산 전원 연계점의 전압 파형이다. 분산 전원 연계 지점 case 4가 case 1보다 전압 강하가 심한 것을 알 수 있다. 다음 그림 4는 인접선 고장 시 Bus 1로부터 가장 가까운 경우인 case 1과 가장 먼 경우인 case 4의 전압 파형이다. 주 연계선과는 반대로 case 4가 case 1보다 전압 강하가 낮은 것을 알 수 있다.



〈주 연계선의 case 1〉 〈주 연계선의 case 4〉

〈그림 3〉 주연계선 고장시 분산 전원 연계점의 전압 파형



〈인접선의 case 1〉 〈인접선의 case 4〉

〈그림 4〉 인접선 고장 시 분산 전원 연계점의 전압 파형

다음 표 4는 모든 경우에 대하여 분산 전원 연계점의 전압 및 보호 계전기의 동작 여부를 나타낸 것이다. 연계점의 전압은 pu로 표시하였다. 모든 경우에 표 1에 제시된 저전압의 분리 기준인 88% 이하임을 알 수 있다. 따라서, 모든 경우에 보호 계전기는 동작할 것이다. 그렇지만, 주 연계선 고장의 경우 보호 계전기가 동작하여야 하는 상황이므로 정동작이라고 볼 수 있다. 그렇지만, 인접선의 경우 보호 계전기가 동작하여 분산 전원을 분리하면 안 되는 상황이므로 오동작이라고 볼 수 있다. 오동작이 발생한다면, 분산 전원이 담당하고 있는 수용가에 정전을 야기시킬 수 있으며, 전력 품질 감소 및 재연결시 과도 현상 등 악영향이 나타날 수 있다. 특히, 분산 전원이 용량이 크다면 악영향은 더욱 심각해질 것이다. 따라서, 인접선 고장 시 비록 분산 전원 연계점의 전압이 보호 계전기의 동작 범위에 들어가더라도 분산 전원을 분리해서는 안 된다.

〈표 4〉 고장 시 분산 전원 연계점의 전압 및 보호 계전기 동작 여부

각 고장 case	인접선		연계선	
	분산전원 연계점 전압[pu]	보호 계전기 동작	분산전원 연계점 전압[pu]	보호 계전기 동작
case 1	0.58	오동작	0.24	동작
case 2	0.70	오동작	0.18	동작
case 3	0.76	오동작	0.12	동작
case 4	0.81	오동작	0.07	동작

4. 결 론

본 논문에서는 EMTP를 이용하여 인접선과 주 연계선의 고장 시, 보호 계전기의 오동작 여부에 대하여 분석해 보았다. 연계선에서의 고장 시, 보호 계전기는 정상적으로 동작하였지만, 인접선에서의 고장이 발생했을 경우에도 동작하지 말아야 할 보호 계전기가 동작한 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 같은 분산 전원이 연계된 다른 수용가에 각종 문제를 일으킬 수 있다는 것을 의미한다.

본 논문의 결과를 토대로 주연계선 고장과 인접선 고장을 구분하여 보호계전기의 오동작 방지 대책에 대하여 연구 중이다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

[1] IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System, IEEE Std. 1547, July 2003.

[2] Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim, "An Adaptive Reclosing algorithm considering Distributed Generation", International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 6, no. 5, pp. 651-659, October 2008.

[3] R. A. Walling, Robert Saint, Roger C. Dugan, Jim Bruke, Ljubomir A. Kojovic, "Summary of Distributed Resources Impact on Power Delivery Systems.", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 23, no. 3, July 2008.

[4] 서훈철, 박건우, 김철환, 정창수, 유연표, 임용훈, 설일호, "한전 실배전계통 모델을 이용한 1단장주 중성선 전류 계산", 전기학회 논문지, Vol. 56, No. 1, pp. 35-40, January 2007.