

태양광전원이 연계된 배전계통 보호협조기기의 부동작 특성에 관한 연구

권순환

한국폴리텍대학

e-mail:sniperno@hanmail.net

Characteristics for Malfunction of Protection Devices in Distribution Systems With PV System

Soon-Hwan Kwon

Korea College of Polytechnic

요 약

최근, 태양광발전단지의 경우 정부 2030 정책에 따라 수집에서 수백 메가와트 규모로 도입되고 있다. 하지만, 대용량 태양광전원이 배전계통에 연계되는 경우, 태양광전원의 연계위치와 연계용량, 연계방식 및 고장지점에 따라 사고전류의 크기와 방향이 변하게 되고, 지락사고가 발생하여도 분류효과에 의하여 보호협조기기가 동작하지 않는 부동작 현상이 발생할 가능성이 있다. 따라서, 본 논문에서는 다수의 태양광전원이 배전계통에 연계되어 운용되는 경우, R/C의 설치개소와 사고구간, 태양광전원의 연계구간, 연계용량, 연계방식에 따라, 1선 지락사고 발생시 보호협조기기가 부동작하는 패턴을 추정하는 알고리즘을 제안한다. 또한, 보호협조 해석 프로그램인 Off-DAS를 이용하여, 배전계통 모델링을 수행하고, 이를 바탕으로 보호협조기기의 부동작 특성을 분석한다. 제안한 모델링과 알고리즘을 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과, R/C의 설치개소 및 태양광전원의 연계 패턴에 따라 부동작 현상이 발생함을 알 수 있어, 본 논문의 유용성을 확인하였다.

1. 서 론

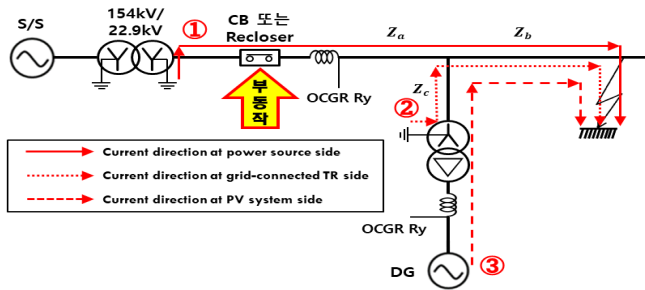
최근, 태양광발전단지의 경우 정부 2030 정책에 따라 수집에서 수백 메가와트 규모로 도입되고 있다. 하지만, 대용량 태양광전원이 연계된 배전계통은 기존의 단방향과 달리 양방향의 조류가 발생하고, 태양광전원의 연계위치와 용량, 연계방식 및 고장지점에 따라 사고전류의 크기와 방향이 변하게 되어, 지락사고가 발생하여도 분류효과에 의해 보호기기가 동작하지 않는 부동작 현상이 발생할 가능성이 있다[1].

따라서, 본 논문에서는 다수의 태양광전원이 배전계통에 연계되어 운용되는 경우, 리클로저의 설치개소와 사고구간, 태양광전원의 연계구간, 연계용량, 연계방식에 따라, 1선 지락사고 발생시 보호협조기기가 부동작하는 패턴을 추정하는 부동작 패턴탐색 알고리즘을 제안한다. 또한, 보호협조 해석 프로그램인 Off-DAS를 이용하여 배전계통의 모델링을 수행하고, 이를 바탕으로 보호협조기기의 부동작 특성을 분석한다. 제안한 배전계통 모델링을 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 분산연계형방식이 집중연계형방식에 비하여 보호기기 부동작에 민감함을 알 수 있어, 본 논문의 유용성을 확

인하였다.

2. 보호협조기기의 부동작 문제점 분석

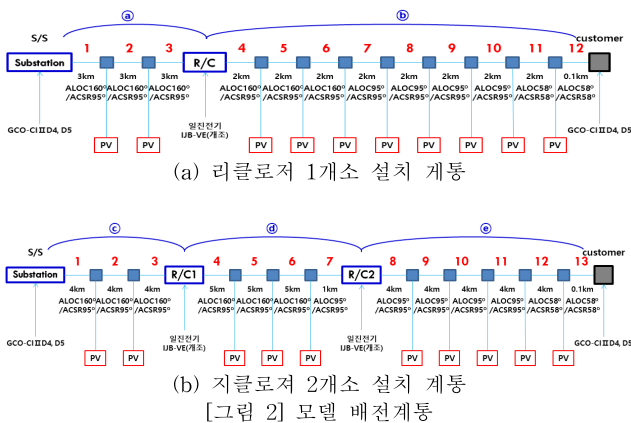
최근 대용량 태양광전원이 배전계통에 활발히 연계되고 있는데, 연계용 변압기의 Yg-Δ 결선방식으로 인해, 변전소와 태양광전원에서 공급하는 사고전류는 그림 1과 같이 %임피던스의 크기에 의하여 분류되어진다. 즉, 태양광전원이 연계되지 않은 경우에는 그림 1의 ①번과 같이 모든 사고전류가 배전용변전소에서 고장점으로 단방향으로 공급되지만, 태양광전원이 연계된 경우에는 그림 1의 ②번, ③번과 같이 태양광전원용 연계용변압기의 Yg의 중성선으로 공급되는 사고전류와 태양광전원에서 공급하는 사고전류로 분류되어, 보호협조기기를 통과하는 사고전류가 감소하게 된다. 이러한 사고전류의 분류효과는 태양광전원의 연계위치와 연계용변압기의 용량, 고장지점 등에 따라 다양하게 나타날 수 있어, 보호협조기기를 통과하는 사고전류가 최소동작전류 보다 낮아질 가능성이 있다.



[그림 1] 태양광전원 연계 전, 후 사고전류 개념도

3. Off-DAS를 이용한 배전계통 모델링

대용량의 태양광전원이 배전계통에 연계되어 운용되는 경우 보호협조기기의 부동작 특성을 분석하기 위하여, 보호협조기기 해석 소프트웨어인 Off-DAS를 이용하여, 그림 2와 같이 R/C의 설치 수량에 따른 배전계통 모델링을 수행한다. 즉, 그림 2(a)는 25[km] 정도의 중거리 배전선로에서 1개의 R/C가 설치된 경우이며, 변전소 계전기와 수용가계전기, 태양광전원으로 구성되며, 그림 2(b)는 30[km] 이상의 장거리 배전선로에서 2개의 R/C가 설치된 경우이며, 변전소계전기와 수용가계전기, 태양광전원으로 구성된다.



[그림 2] 모델 배전계통

4. 보호협조기기의 부동작패턴 탐색알고리즘

다수의 태양광전원이 배전계통에 연계되어 운용되는 경우, 보호협조기기의 부동작패턴 탐색알고리즘을 나타내면 다음과 같다.

[STEP 1] 선로의 종류 및 공장, 보호협조기기의 정정치 등의 배전계통 데이터와 태양광전원의 용량 및 연계용변압기의 임피던스를 입력한다.

[STEP 2] 리클로저의 설치 개소(RCn)를 확인하여, 1개의 리클로저가 설치된 경우 [STEP 3]으로 이동하고, 2개의 리클로저가 설치된 경우 [STEP 4]로 진행한다.

[STEP 3] 태양광전원이 집중연계된 계통에서 그림 2(a)의 ㉔구간에 사고가 발생한 경우, 식 (1)과 같이 임피던스 병렬화에 따른 부동작 발생 기준치(α_1)를 산정한다. 또한, 태양광전원이 분산연계된 계통에서 ㉔구간에 사고가 발생한 경우, 식 (2)와 같이 임피던스 병렬화에 따른 부동작 발생 기준치(β_1)를 산정하고, PV연계로 인한 임피던스 변화율($\epsilon_{c,1}$, $\epsilon_{d,1}$)이 기준치(α_1 , β_1) 이하이면, 부동작 검토를 수행한다.

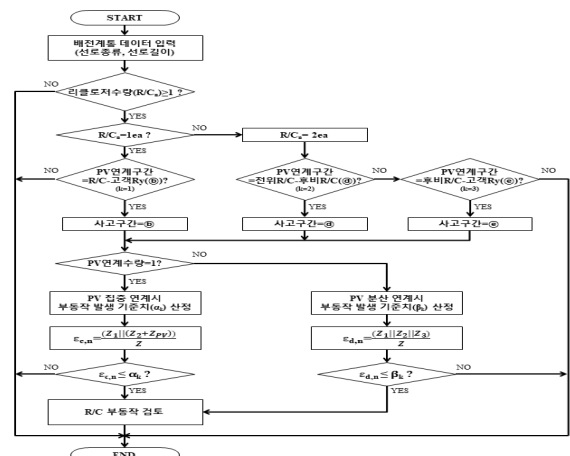
$$\epsilon_{c,n} = \frac{(Z_1 \|(Z_2 + Z_{PV}))}{Z} \leq \alpha_k \quad (1)$$

$$\epsilon_{d,n} = \frac{(Z_1 \| Z_2 \| Z_3)}{Z} \leq \beta_k \quad (2)$$

[STEP 4] 그림 2(b)의 ㉔구간에 태양광전원이 집중연계된 계통에서 ㉔구간에 사고가 발생한 경우, 식 (1)과 같이 임피던스 병렬화에 따른 부동작 발생 기준치(α_2)를 산정한다. 또한, ㉔구간 그리고 ㉔구간과 ㉔구간에 태양광전원이 분산연계된 계통에서 ㉔구간에 사고가 발생한 경우, 식 (2)와 같이 임피던스 병렬화에 따른 부동작 발생 기준치(β_2)를 산정하고, PV연계로 인한 임피던스 변화율($\epsilon_{c,2}$, $\epsilon_{d,2}$)이 기준치(α_2 , β_2) 이하이면, 부동작 검토를 수행한다. 한편, ㉔구간에만 태양광전원이 연계된 경우, [STEP 5]로 진행한다.

[STEP 5] 그림 2(b)에서 ㉔구간에 태양광전원이 집중연계된 계통에서 ㉔구간에 사고가 발생한 경우, 식 (1)과 같이 임피던스 병렬화에 따른 부동작 발생 기준치(α_3)를 산정한다. 또한, 태양광전원이 분산연계된 계통에서 ㉔구간에 사고가 발생한 경우, 식 (2)와 같이 임피던스 병렬화에 따른 부동작 발생 기준치(β_3)를 산정하고, PV연계로 인한 임피던스 변화율($\epsilon_{c,2}$, $\epsilon_{d,2}$)이 기준치(α_3 , β_3) 이하이면, 부동작 검토를 수행한다.

상기의 절차를 플로우차트로 나타내면 그림 3과 같다.



[그림 3] 보호협조기기의 부동작 패턴탐색 알고리즘

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

5.1 R/C 1개소 설치 계통의 보호협조기기 부동작 특성

상기의 Off-DAS 모델링을 바탕으로 R/C 1개소 계통에서 부동작 패턴을 분석한다. ㉞구간에 태양광전원 9,200[kW]가 연계될 경우, 중성선의 전류가 69[A]까지 감소하여 R/C의 정정치 이하가 되어 부동작할 가능성이 있다. 또한, ㉞구간에 태양광전원의 합계용량 6,900[kW]가 연계될 경우, 중성선의 전류는 69[A]로 감소하여 R/C의 정정치 이하가 되어 부동작할 가능성이 있다. 상기의 결과를 종합적으로 나타내면 표 5와 같다. 따라서, R/C 1개소 계통에서는 태양광전원의 집중연계형 방식보다 분산연계형 방식이 더 작은 연계용량에서 부동작이 발생함을 알 수 있다.

[표 1] R/C 1개소 계통의 변전소계전기 사고전류 특성

PV 연계방식	PV 연계용량 [kW]	S/S계전기 사고전류 [A]
집중	2,000	214
	4,000	134
	6,000	98
	8,000	78
	9,200	69
분산	2,000	202
	4,000	117
	6,000	80
	6,900	69

5.2 R/C 2개소 설치 계통의 보호협조기기 부동작 특성

상기에서 제안한 모델링을 바탕으로 R/C 2개소 계통에서 부동작 패턴을 분석한다. 여기서 분류효과에 의해 부동작이 발생할 가능성이 있는 그림 3(b)의 ㉞, ㉟구간에 대해서만 고려한다. 먼저, ㉞구간에 태양광전원 8,900[kW]가 연계될 경우, 중성선의 전류는 69[A]로 감소하여 R/C의 정정치 이하가 되어 부동작할 가능성이 있다. 또한, ㉟구간에 태양광전원의 합계용량 3,500[kW]가 연계될 경우, 중성선의 전류는 49[A]로 감소하여 R/C의 정정치 이하가 되어 부동작할 가능성이 있다. 한편, ㉞구간에 태양광전원의 합계용량이 5,800[kW]가 연계될 경우, 중성선의 전류는 69[A]로 감소하여 R/C의 정정치 이하가 되어 부동작할 가능성이 있다.

또한, ㉟구간에 태양광전원의 합계용량 2,800[kW]가 연계될 경우, 중성선의 전류는 49[A]로 감소하여 R/C의 정정치 이하가 되어 부동작할 가능성이 있다. 그리고, ㉞구간과 ㉟구간에 태양광전원의 합계용량 9,200[kW]가 연계될 경우, 중성선의 전류는 69[A]로 감소하여 R/C의 정정치 이하가 되어 부동작할 가능성이 있다. 한편, 분산연계 시, ㉟구간에 태양광전원이 조금이라도 연계되거나, ㉟구간에 사고가 발생하고 ㉞구간에 연계될 경우, R/C 전단에 연계된 태양광전원

측으로도 사고전류가 흘러, 부동작현상이 발생하지 않는다. 또한, ㉞구간에 사고가 발생하고 ㉟구간에 연계될 경우 S/S와 사고지점 사이의 선로 %임피던스가 감소하여, 부동작현상이 발생하지 않는다. 상기의 결과를 종합적으로 나타내면 표 6과 같다. 따라서, R/C 2개소 계통에서도 R/C 1개소 계통에서와 같이 태양광전원의 집중연계형 방식보다 분산연계형 방식이 부동작현상에 더 민감함을 알 수 있다.

[표 2] R/C 2개소 계통의 변전소계전기 사고전류 특성

사고구간	PV 연계구간	PV 연계방식	PV 연계용량 [kW]	사고전류 [A]	사고구간	PV 연계구간	PV 연계방식	PV 연계용량 [kW]	사고전류 [A]
㉞	㉞	집중	2,000	209	㉞	㉞	집중	2,000	394
			4,000	130				4,000	383
			6,000	95				6,000	378
			8,000	76				8,000	376
			8,900	69				10,000	375
		분산	2,000	187			분산	2,000	380
			4,000	102				4,000	364
			5,800	69				6,000	358
			2,000	224				8,000	355
			4,000	136				10,000	353
	㉞, ㉟	분산	6,000	98		㉞, ㉟	분산	2,000	478
			8,000	77				4,000	540
			9,200	69				6,000	612
			1,000	121				8,000	685
			2,000	76				10,000	759
			3,000	55				2,000	457
㉟	㉞	집중	3,500	49	㉟	㉞	분산	4,000	521
			1,000	115				6,000	592
			2,000	67				8,000	666
			2,800	49				10,000	740
			1,000	121				2,000	156
	㉞, ㉟	분산	2,000	76		㉞, ㉟	분산	4,000	197
			3,000	55				6,000	259
			3,500	49				8,000	327
			1,000	115				10,000	399
			2,000	67				2,000	238
			2,800	49				4,000	350
			1,000	115				6,000	486
			2,000	67				8,000	329
			2,800	49				10,000	775

6. 결 론

본 논문에서는 다수의 태양광전원이 배전계통에 연계되어 운용되는 경우, 1선 지락사고 발생시 보호협조기기가 부동작 하는 패턴을 추정하는 부동작 패턴 탐색 알고리즘을 제안하였다. 또한, Off-DAS의 모델링을 바탕으로 보호협조기기의 부동작 특성을 분석한 결과, 태양광전원이 연계되는 위치와 용량에 따라 부동작현상이 나타남을 확인하였고, R/C 1개소 계통과 2개소 계통 모두 분산연계형방식이 집중연계형방식에 비하여 보호기기 부동작에 민감함을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] 남양현, 최성식, 강민관, 이후동, 박지현, 노대석, “전기저장장치를 이용한 태양광전원이 연계된 배전계통 수용성 향상 방안”에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지, , pp. 1031-1039, 8월, 2018년.