

# 태양광전원이 연계된 배전계통에 있어서 방향성 지락과전류계전기의 오동작 방지 방안

박양권\* \*\*, 김병목\*, 권순환\*, 김순식\*, 노대석\*  
\*한국기술교육대학교, \*\*한국전기안전공사  
e-mail:deepon@hanmail.net

## Prevention Method of Malfunction for Directional Over Current Ground Relay in Distribution System with PV System

Yang-Kwon Park\* \*\*, Byung-Mok Kim\*, Soon-Hwan Kwon\*,  
Soon-Sik Kim\*, Dae-Seok Rho\*

\*Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

\*\*Korea Electrical Safety Corporation

### 요약

최근, 국내에서는 재생에너지 3020 및 신재생에너지 공급의무화제도 등의 정책이 적극적으로 추진되고 있으며, 이에 따라 태양광전원이 급속도로 보급되고 있다. 이와 같이 태양광전원이 계통에 연계되어 운용되는 경우, 계통전원 측에서 지락사고가 발생하더라도 태양광전원의 운용을 지속하기 위하여, 기존의 보호기기에 방향성을 가진 방향성 지락과전류계전기(directional over current ground relay, DOCGR)를 채용하고 있다. 그러나, 태양광전원의 연계절차에 따라, 설계자, 감리자, 시공자, 안전 관리자가 설계도면 및 보호계전요소 정정 등을 검토하지만, CT의 설치방향 및 DOCGR의 보호기기의 결선 또는 정정이 잘못되는 경우가 빈번하게 발생하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 태양광전원에 설치된 DOCGR의 오동작 사례와 발생 메커니즘을 분석하고, DOCGR의 오동작 방지 알고리즘을 제안한다. 또한, 배전계통 상용 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 계통전원부, 사고발생 및 보호장치부 그리고 태양광전원부로 구성된 DOCGR의 운용특성 모델링을 제시한다. 제안한 알고리즘 및 모델링을 바탕으로 DOCGR의 오동작 특성을 분석한 결과, 제안한 알고리즘에 따라 DOCGR의 기준위상각과 동작범위각을 적절히 변경하여 운용할 경우, 별도의 배선결선 및 CT 설치 위치 변경 없이도 오동작을 방지할 수 있어, 본 논문에서 제시한 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

### 1. 서론

최근, 전 세계적으로 지구온난화 및 에너지고갈 등의 지구 규모적인 문제점을 해결하기 위하여, 신재생에너지전원에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 따라, 국내에서도 재생에너지 3020 및 신재생에너지 공급의무화제도(RPS) 등의 정책이 적극적으로 추진되고 있으며, 이에 따라 태양광전원이 급속도로 보급되고 있다[1-2]. 이와 같이 태양광전원이 계통에 연계되어 운용되는 경우, 계통전원 측에서 지락사고가 발생하더라도 태양광전원의 운용을 지속하기 위하여, 기존의 보호기기에 방향성을 가진 방향성 지락과전류계전기(DOCGR)를 채용하고 있다. 그러나, 태양광전원(PV)의 연계절차에 따라, 설계자, 감리자, 시공자, 안전 관리자가 설계도면 및 보호계전요소 정정 등을 검토하지만, CT의 설치방향 및 DOCGR의 보호기기의 결선 또는 정정이 잘못되는 경우가 빈번하게 발생하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 태양광전원에 설치된 DOCGR의 오동작 사례와 발생 메커니즘을 분석하고, DOCGR의 오동작 방지 알고리즘을 제안한다. 또한, 배전계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 계통전원부, 사고발생 및 보호장치부 그리고 태양광전원부로 구성

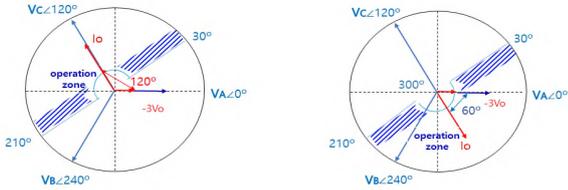
된 DOCGR의 운용특성 모델링을 제시하고, 태양광발전이 연계된 배전계통에서 DOCGR의 오동작 특성을 분석한 결과, CT의 결선방향을 역방향(L-K)으로 설치할 경우, 계통전원 측 및 태양광전원측 사고 시 DOCGR의 오부동작이 발생될 수 있음을 확인하였다. 또한, 보호기기 오동작 방지 알고리즘에 따라, DOCGR의 기준위상각(RCA)과 동작범위각(OPA)을 적절히 변경하여 운용할 경우, 별도의 배선결선 및 CT설치 위치 변경 없이도 오동작을 방지할 수 있어, 본 논문에서 제시한 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

### 2. 태양광전원용 DOCGR의 오동작 메커니즘 및 방지 알고리즘

#### 2.1 DOCGR의 오동작 메커니즘 분석

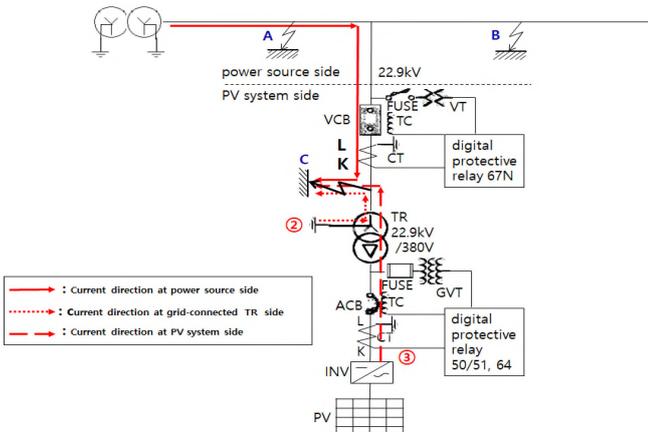
그림 1은 CT의 설치 방향에 따른 DOCGR의 동작범위를 나타낸 것이며, 그림 1(a)는 CT 방향을 태양광전원 측에서 계통전원 측으로 설정한 경우(정방향)이며, 영상전압(-3Vo)의 각도(0°)를 기준으로 영상전류(Io)의 기준 각은 120[°]로 설정된다. 또한, 그림 1(b)는 CT방향을 계통전원측에서 태양광전원측으로 설정한 경우(역방향)이며, 영상전압(-3Vo)의 각

도(0°)를 기준으로  $I_0$ 의 기준 각은 120°의 반대인 300°로 설정된다. 그러나, 현장에서 CT 결선방향을 혼동하거나 보호계전기의 설정 시 기준위상각과 동작범위각의 오류에 의하여, DOCGR이 오동작하는 원인으로 보고되고 있다.



(a) Forward direction (b) Reverse direction  
[그림 1] DOCGR의 동작범위

그림 2는 태양광전원측 사고 시 지락전류의 흐름을 나타낸 것이다. 그림 2에서 태양광전원측 C지점(내부사고)에 지락사고(SLG)가 발생한 경우, ①은 계통전원에서 공급되는 지락전류이고, ②는 태양광전원의 연계용변압기의 중성선을 통하여 계통으로부터 공급되는 지락전류이며, ③은 태양광전원이 공급하는 지락전류의 흐름을 나타낸 것이다. 여기서, 계통전원에서 공급되는 ①번 지락전류만 CT를 통과하여 태양광전원을 기준으로 정방향이다.



[그림 2] 태양광전원측 사고 시 전류의 흐름

### 2.2 DOCGR의 오동작 방지 알고리즘

상기의 사고전류 메커니즘에 따라 외부사고에는 동작하지 않고 내부사고에만 DOCGR이 동작하도록 적절하게 운용하는 알고리즘을 나타내면 다음과 같다.

[STEP 1] 태양광전원이 연계된 배전계통의 단선결선도를 검토한다. 특히, VT와 CT의 설치위치를 확인한다.

[STEP 2] CT의 결선방향을 확인하며, 결선방향(K-L)은 태양광전원측에서 계통전원측으로 향하는 것을 정방향으로 상정하고,  $V_0$ 와  $I_0$ 의 기준 위상각을 120°로 설정한다.

[STEP 3] 기준 위상각 120°인 경우, DOCGR의 동작범위각은  $I_0 \pm 90^\circ$ 에 의하여 30~210°로 설정한다.

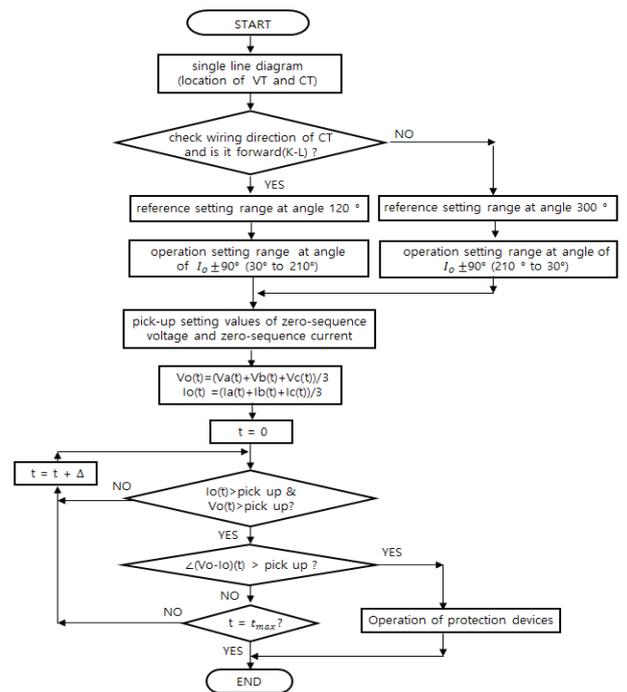
[STEP 4] CT의 결선방향이 역방향(L-K)인 경우,  $V_0$ 와  $I_0$ 의 기준 위상각을 300°로 설정한다.

[STEP 5] 기준 위상각 300°인 경우, DOCGR의 동작범위각은  $I_0 \pm 90^\circ$ 에 의하여 210~30°로 설정한다.

[STEP 6] DOCGR의 정정치인 영상전압과 영상전류의 pick up 값을 산정한다.

[STEP 7] 기준 위상각에 대하여, pick up 값을 동작범위각, 보호기와 연동하여 동작여부를 확인하고, CT 결선방향에 따른 기준·동작 범위각 오류를 피하기 위하여, 정방향·역방향에 대한 설정기준을 명확히 해야 한다.

상기의 절차를 플로우차트로 나타내면 그림 3과 같다.

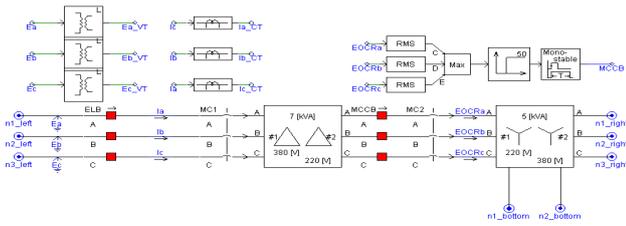


[그림 3] 오동작 방지를 위한 개선된 알고리즘

### 3. PSCAD/EMTDC에 의한 DOCGR의 특성분석 모델링

#### 3.1 계통전원부

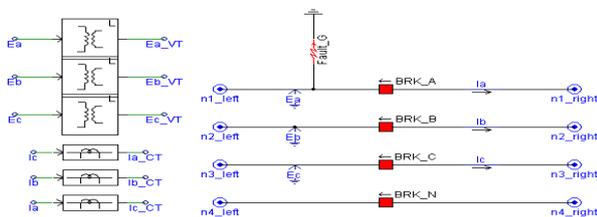
PSCAD/EMTDC를 이용한 계통전원부의 모델링은 그림 4와 같고, 계통전원부는 과전류 및 지락을 차단하기 위한 보호장치, 전압가변을 위한 슬라이더스 변압기 그리고 실제통과 동일한 특성 구현하기 위한 3상 4선식, Yg-Yg 결선의 변압기로 구성된다.



[그림 4] 계통전원부 모델링

### 3.2 사고발생 및 보호장치부

그림 5는 태양광전원이 연계된 배전계통에서 계통전원측(외부 사고)에 지락사고가 발생하는 경우, 보호기기의 운용특성을 분석하기 위하여 실제 계통을 축약한 태양광전원의 보호기기 모델링을 나타낸 것이다. 계통전원측(외부사고)에 지락사고가 발생한 경우에 대한 보호장치(진공차단기)를 모델링한 것이다.



[그림 5] 계통전원 및 DOCGR부 모델링

### 3.3 태양광전원부

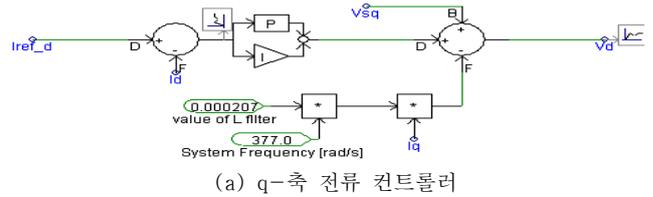
태양광전원의 목표 유효전력(P) 및 무효전력(Q)은 평형 3상 시스템에서 정지좌표계와 동기좌표계를 통해 변환된 d-q 축의 변수들에 의하여 결정된다. 즉, 동기속도로 회전하는 d-q축에서의 출력전압  $V_q$ 는 출력단의 순시전압의 크기와 동일하고, 출력전압  $V_d$ 는 0이기 때문에 목표로 하는 유효전력과 무효전력은 식 (1)과 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{3}{2} \times |V_0| \times I_{q-ref} \quad (1)$$

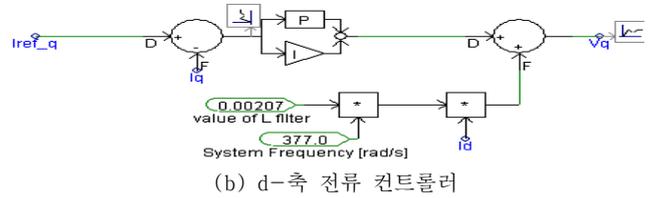
$$Q = -\frac{3}{2} \times |V_0| \times I_{d-ref} \quad (2)$$

여기서,  $V_0$  : 순시전압,  $I_{q-ref}$  : 태양광전원 출력을 위한 q축 기준전류,  $I_{d-ref}$  : 태양광전원 출력을 위한 d축 기준전류

태양광전원의 계통연계용 인버터에 대하여 목표로 하는 유효전력과 무효전력을 제어하기 위하여, PI제어기를 이용하여 전류제어알고리즘을 모델링하면 그림 6과 같다. 여기서, 인버터의 전류 제어기는 유효전력과 무효전력을 서로 독립적으로 제어할 수 있다.



(a) q-축 전류 컨트롤러

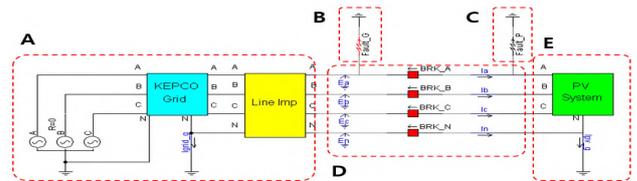


(b) d-축 전류 컨트롤러

[그림 6] 태양광전원의 전류제어기 모델링

### 3.4 전체 계통부

상기의 내용을 바탕으로 전체계통을 모델링하면 그림 7과 같다. 이 그림에서와 같이, 계통과 동일한 조건으로 A는 계통전원부, B는 계통전원측의 지락 모의장치, C는 태양광전원측의 지락 모의장치, D는 태양광전원의 보호장치부, E는 태양광전원부를 나타낸다.



[그림 7] 전체 계통 모델링

## 4. 시뮬레이션 결과 및 분석

### 4.1 시뮬레이션 및 특성시험 조건

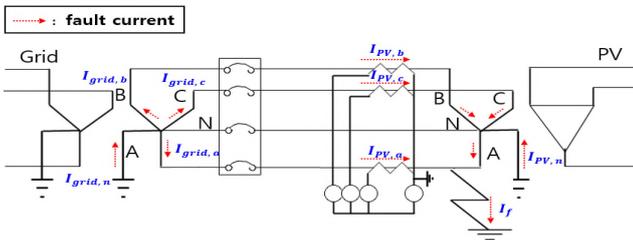
본 논문에서는 DOCGR의 오동작 특성을 분석하기 위하여, 표 1과 같이 시뮬레이션 및 특성시험 조건을 상정하였고, CT의 결선방향은 태양광전원측을 기준하여 역방향(L-K)으로 상정, DOCGR의 기준위상각 및 동작범위각을 120[°] (±90[°])로 설정한다. 또한, 사고조건은 계통전원 측에서 A상 지락이 발생한 경우와 태양광전원측에서 발생한 경우로 구분하여 상정한다.

[표 1] 시뮬레이션 및 특성시험 조건

항 목	기준	설정치	비 고
전압[V]	69	61	영상전압 8[V]이상
전류[A]	5	1.5	영상전류: 30%
위상	기준 위상각[°]	120	정방향
	동작 범위각[°]	30~210	
특성곡선 / 타임레버[s]	VI / 0.2		강제한시

한편, 그림 8은 특성시험에 대한 사고발생 조건으로 태양광전원측 A상 지락사고 시의 사고조건을 나타내며, 태양광전원부의 연계용 변압기와 DOCGR용 CT 사이의 A상 지점에서 지락사고가 발생하는 것으로 모의한다. 여기서  $I_f$ 는 사고지점

전류,  $I_{grid}$  a, b, c, n는 계통전원측 지락사고 시 영상전류의 흐름을 나타내며,  $I_{pv}$  a, b, c, n는 태양광전원측 지락사고시 영상전류의 흐름을 나타낸 것이다.



[그림 8] 특성시험 전류에 대한 사고발생 조건

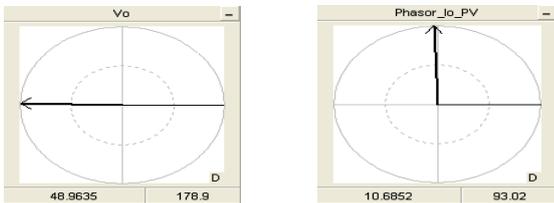
4.2 PSCAD/EMTDC에 의한 특성분석

(1) 계통전원측 지락사고 시 DOCGR의 동작특성

지락사고가 발생한 경우, 동작특성은 표 2와 그림 9와 같다. 여기서, 사고지점의 25.6[A]의 지락전류 중에서, 12.8[A]는 연계용변압기의 중성선으로 흐르고, 각 상으로 분류되어 10.7[A]의 영상전류가 DOCGR의 CT를 통과하게 된다. 한편, 발생한 영상전류의 위상각은 약 93.0°이므로, CT를 역방향(L-K)으로 설치할 경우, 동작범위각이 DOCGR의 동작영역인 30~210° 범위에 해당, 외부사고 시에는 DOCGR이 오동작이 발생함을 알 수 있다.

[표 2] 계통전원측 A상 지락 시 DOCGR 동작특성

항목	A	B	C	N
상전압[V]	0.3	67.5	68.5	-
위상[°]	0	248.6	110.8	-
선간전압[V]	67.2	126.8	68.7	-
영상전압[V]	49.0			
각 상의 전류[A]	3.6	3.5	3.6	2.1
위상[°]	272.9	273.3	272.8	0
영상전류[A]	10.7			
중성점전류[A]	12.8			
사고지점의 전류[A]	25.6			
동작범위각[°]	93.0			



[그림 9] 영상전압 기준 영상전류의 위상

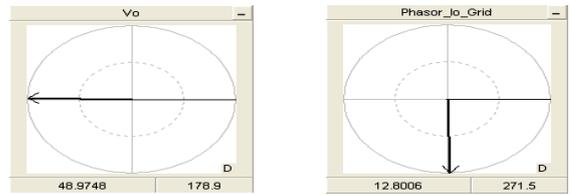
(2) 태양광전원측 지락사고 시 DOCGR의 동작특성

지락사고가 발생한 경우, 동작특성은 표 3과 그림 10과 같다. 여기서, 사고지점의 22.0[A]의 지락전류 중에서 14.9[A]는 중성선으로 흐르고, 각 상으로 분류되어 12.8[A]의 영상전류가 DOCGR의 CT를 통과하게 된다. 한편, 발생한 영상전류의 위상각은 약 271.5°이므로, CT를 역방향(L-K)으로 설치하는 경우, 동작범위각이 DOCGR의 동작영역 30~210° 범위

를 벗어나게 되어, 태양광전원의 내부사고시 DOCGR이 오동작됨을 알 수 있다.

[표 3] 태양광전원측 A상 지락 시 DOCGR 동작특성

항목	A	B	C	N
상전압[V]	0.3	67.5	68.5	-
위상[°]	0	248.6	110.8	-
선간전압[V]	67.2	126.8	68.7	-
영상전압[V]	48.97			
각 상의 전류[A]	22.0	3.5	3.9	2.1
위상[°]	273.0	273.3	272.8	0
영상전류[A]	12.8			
중성점전류[A]	14.9			
사고지점의 전류[A]	25.6			
동작범위각[°]	271.5			



[그림 10] 영상전압 기준 영상전류의 위상

5. 결 론

본 논문에서는 태양광전원에 설치된 DOCGR의 오동작 사례와 발생 메커니즘을 분석하고, DOCGR의 오동작 방지 알고리즘을 제안하였으며, PSCAD/EMTDC를 이용하여 DOCGR의 운용특성 모델링을 제시하였다. 이를 바탕으로 태양광발전이 연계된 배전계통에서 DOCGR의 오동작 특성을 분석한 결과, CT의 결선방향을 역방향(L-K)으로 설치할 경우, 계통전원측 및 태양광전원측 사고 시 DOCGR의 오동작이 발생될 수 있음을 알 수 있었으며, 보호기기 오동작 방지 알고리즘에 따라, DOCGR의 기준위상각(RCA)과 동작범위각(OPA)을 적절히 변경하여 운용할 경우, 별도의 배선결선 및 CT설치 위치 변경 없이도 오동작을 방지할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

[1] New distribution engineering, KIEE, Bookshill, pp. 457 ~523, 2014.  
 [2] Korea Electrical Safety Corporation Electric Safety Education Coauthor, "Electric equipment trouble example and interpretation", November, 2017.