

태양광발전이 연계된 배전선로의 리클로저의 오동작에 대한 메카니즘에 관한 연구

김찬혁, 지성호, 김병목, 노대석
한국기술교육대학교
e-mail: dsrho@kut.ac.kr

A Study on the Mal-Function Mechanism for Re-closer in Distribution Feeders with PV Systems

Changhyeok Kim, Seongho Ji, Byeongmok Kim, Daeseok Rho
Korea University of Technology and Education

요 약

태양광발전과 같은 분산형전원이 기존의 어떤 보호협조체제하의 배전선로에 도입될 경우는 계통에 대한 역 조류에 의해 사고 시 고장 구간의 분리 및 선로재구성에 따른 차단기 및 개폐기 제어알고리즘, 그리고 순시정전 시 분산형전원의 기동정지, 개폐기의 기능, 차단용량 등에 악영향을 끼칠 우려가 다분히 있다. 또한, 사고 시 일시적으로 분리된 건전구간 내에 분산형전원이 존재하여 그 구간내의 부하와 평형을 이루며 운전되고 있는 경우가 있을 수 있는데, 이 경우는 인체 및 전기설비에 위험을 초래하게 될 뿐만 아니라 사고의 신속한 복구에도 저해의 요인이 된다. 특히, 태양광발전이 배전선로에 연계되어 운전되는 경우, 동일 बैं크의 타 배전선로에서 사고가 발생하면 태양광발전이 연계된 건전한 배전선로의 보호협조기기(리클로저)가 오동작하는 사고가 발생하는 경우가 실 계통에서 빈번하게 발생하고 있다. 이에 의하여 건전한 선로의 부하가 정전을 경험하는 심각한 문제점이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 이론적인 계산식인 대칭좌표법을 이용하여 모델링과 시뮬레이션을 수행하여, 상기의 보호기기의 오동작 메카니즘과 문제점을 분석하고, 이에 대한 개선 방안을 제시하였다.

1. 서 론

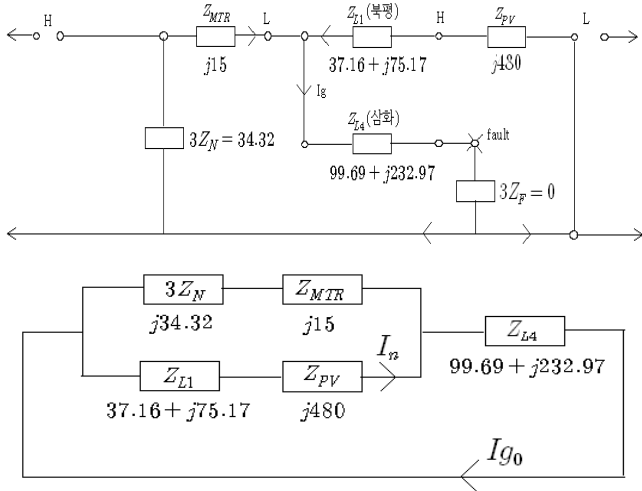
종래의 배전계통에 있어서의 전력조류는 변전소에서 선로말단을 향한 단 방향이었지만, 분산형전원이 연계된 배전계통의 경우에는 그 출력용량의 여부에 따라 양방향의 전력조류가 발생할 가능성이 있어, 계통운용상 여러 가지의 문제점이 야기될 수 있다. 분산형전원에 대규모전원의 보완적 역할과 배전선로상의 국부적 부하 감당 역할을 부과하여 그의 적극적인 활용을 피하기 위해서는, 분산형전원으로부터 배전계통에 전력을 공급하는 역조류의 기능을 허용할 수 있는 양방향 보호협조방식의 체제를 확립할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 태양광발전이 배전선로에 연계되어 운전되는 경우, 동일 बैं크의 타 배전선로에서 사고가 발생하면 태양광발전이 연계된 건전한 배전선로의 보호협조기기(리클로저)가 오동

작하는 사고가 발생하는 경우에 대하여, 이론적인 계산식인 대칭좌표법을 이용하여, 보호기기의 오동 메카니즘에 대한 문제점을 분석하고, 이에 대한 대책을 제시하였다.

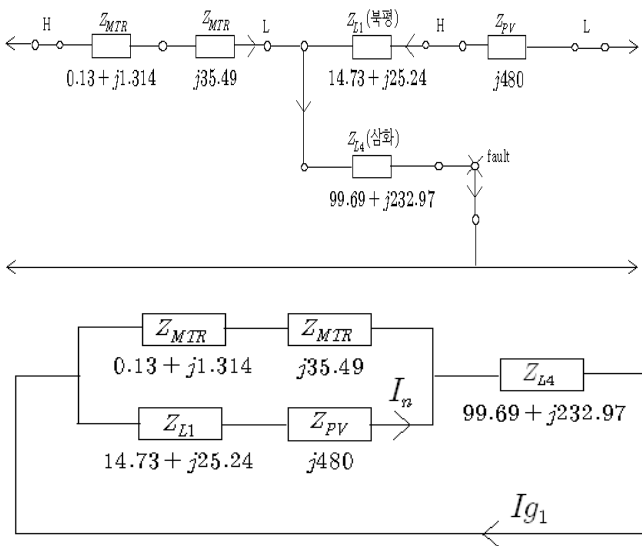
2. 타 선로 지락사고에 의한 보호기기 오동작 문제점

한국전력공사의 동해지점의 북평변전소 #3 M.tr의 북평 D/L에 1MVA 용량의 태양광발전이 연계된 경우에 대하여, 동일 बैं크의 타 선로인 삼화 D/L의 말단지점에서 1선 지락사고가 발생한 경우 북평 D/L의 보호기기가 오동작하는 사례가 다수 발생하였다. 이에 대한 문제점을 분석하기 위하여, 본 연구에서는 대칭좌표법을 이용하여 사고해석을 위한 배전계통과 태양광발전에 대한 모델링을 수행하였다. 먼저

대상선로의 영상분 임피던스도와 정상분 임피던스도는 그림 1, 그림 2와 같다.



[그림 1] 영상분 임피던스도



[그림 2] 정상분 임피던스도

상기의 임피던스도로부터 영상분과 정상분의 임피던스를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Z_0 &= 49.32 // (37 + j555) + (99.69 + j232.97) \\ &= 99.94 + j278.28 \\ &= 295.68 \angle 1.23 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 &= (0.13 + j36.804) // (14.73 + j505.24) \\ &\quad + (33.97 + j61.85) = 34.15 + j96.16 \\ &= 102.04 \angle 1.23 \end{aligned}$$

따라서 사고가 발생한 선로인 삼화 D/L의 1선 지락전류(I_g)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{3 \times 100}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_F} \times \frac{100,000}{\sqrt{3 \times 22.9}} \\ &= \frac{3 \times 100}{2(102.04 \angle 1.23) + 295.68 \angle 1.23} \\ &= 1,513.43 \angle -1.23 \end{aligned}$$

또한, 태양광발전이 연계된 선로인 복평 D/L의 1선 지락전류(I_n)는 전류분배법칙으로부터 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} I_n &= \frac{j49.32}{(37.16 + j75.17) + j480 + j49.32} \times 1513.43 \angle -1.23 \\ &= 123.25 \angle -1.17 \end{aligned}$$

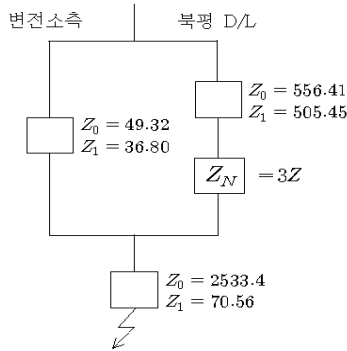
상기의 해석결과와 같이, 분산전원이 연계된 복평 D/L의 중성선의 전류는 삼화 D/L의 1선 지락사고의 위치에 따라 약 124 - 493A 정도가 구해진다. 따라서 리클로저의 N상 OCGR이 70A로 설정되어 있어서 오동작할 가능성이 있음을 확인 할 수 있었다. 이것은 태양광전원에서 공급하는 사고전류(최대 정격전류의 1.5배 정도로 약 30A 정도임)의 영향이 아니라 분산전원의 연계용변압기의 결선방식에 의한 것임을 확인했다. 즉, 분산전원의 연계변압기의 Yground-delta 결선이 영상전류의 통로를 제공하여 N상의 지락전류가 증가하여 건전상의 보호기기(OCGR)를 오동작 시킬 수 있음을 알 수 있었다.

3. 타 선로(역방향) 지락사고에 의한 보호기기 오동작 대책

전 항의 보호기기의 오동작에 대한 가장 효과적인 대책으로는 현재의 연계용변압기의 결선방식(Yg-Delta방식)을 변경하여 지락(영상)전류의 통로를 제거(Y비접지-Delta, 또는 Delta-Yg, 등)하는 것이지만, 다른 결선 방식은 지락전류의 통로는 제거하지만, 문제점은 지락사고 시에 건전상의 전압이 상승하는 피해가 발생할 수 있어서 함부로 결선방식을 변경하기도 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 결선방식은 변경하지 않고 지락전류의 크기를 감소시킬 수 있는 연계용변압기의 1차 측 접지선에 적절한 NGR(접지저항)을 삽입하여 타선로 지락사고시의 보호기기의 오동작에 대한 문제점을 해결하기로 한다.

가. Y리액터접지-Delta방식의 채용

타 선로의 사고지점이 말단지점인 경우에, 1MVA의 태양광발전이 연계된 북평 D/L의 중성선의 사고전류를 70A 이하로 유지하기 위한 NGR 값을 구하기 위한 등가 임피던스도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.



먼저 상기의 임피던스도로부터 NGR이 없는 경우의 영상분과 정상분의 임피던스를 계산하면 다음과 같다.

$$Z_0 = 49.32 // 556.41 + 253.4 = 298.7$$

$$Z_1 = Z_2 = 36.8 // 505.45 + 70.56 = 104.86$$

따라서 사고가 발생한 선로인 삼화 D/L의 1선 지락전류(Ig)는 다음과 같다.

$$I_g = \frac{3 \times 100}{(104.86 \times 2) + 298.7} \times \frac{100,000}{\sqrt{3 \times 22.9}} = 1487.66$$

따라서 태양광발전이 연계된 선로인 북평 D/L의 1선 지락전류(In)는 전류분배법칙으로부터 다음과 같이 구해진다.

$$I_n = \frac{j49.32}{(37.16 + j75.17) + j480 + j49.32} \times 1513.43 \angle -1.23 = 123.25 \angle -1.17$$

한편, 중성선의 사고전류를 70A 이하로 유지하기 위한 조건은 다음과 같다.

$$I_n = \frac{49.32}{49.32 + 556.41} \times 1487.66 = 121.13 \Rightarrow 70A \text{ 이내로 유지}$$

상기의 조건에 따라 NGR(3Z)이 삽입된 경우를 고려하면 다음식과 같이 되고, Z를 구하면 중성선의 전류를 70A로 유지하기 위한 적정한 NGR 값이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{48.32}{605.73 + 3Z} \times 1487.66 &= 70 \\ 3Z &= \frac{49.32 \times 1487.66}{70} - 605.73 \\ 3Z &= 442.43 \\ Z &= 147.48[\% \Omega] \\ &= 7.72[\Omega] \end{aligned}$$

나. Y리액터접지-Delta방식에 대한 전압 해석

태양광발전 연계 선로의 중성선 사고전류를 70A 이내로 유지하기 위하여, Y리액터접지-Delta 방식을 채용한 경우, 지락사고 시 건전상 선로전압을 구하기 위하여, NGR(7.72옴, 442.43%)이 삽입된 경우의 영상분과 정상분의 임피던스를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Z_0 &= 49.32 // (37.16 + j97.6) + (99.69 + j232.97) \\ &= 99.77 + j279.97 \\ &= 297.22 \angle 1.23 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 &= (0.13 + j36.804) // (14.73 + j505.24) \\ &+ (33.97 + j61.85) = 34.15 + j96.16 \\ &= 102.04 \angle 1.23 \end{aligned}$$

따라서 1선 지락사고가 발생한 경우, 건전상의 선로 전압은 다음 식과 같이 구해진다.

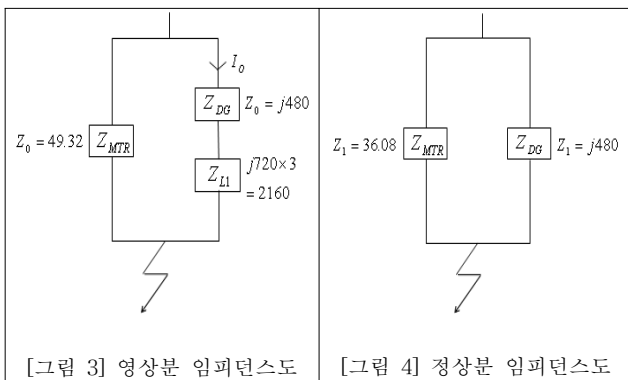
$$\therefore V_b = \frac{(99.77 + j279.97)(-1.5 - j0.87) + (34.15 + j96.16)(-j1.74)}{2(34.15 + j96.16) + (99.77 + j279.97)} = 1.24E_0 \angle -2.37$$

$$\therefore V_c = \frac{(99.77 + j279.97)(-1.5 + j0.87) + (34.15 + j96.16)(j1.74)}{2(34.15 + j96.16) + (99.77 + j279.97)} = 1.24E_0 \angle 2.37$$

상기의 결과로부터 발전기의 내부전압이 1.1인 경우, 약 1.364배 정도까지 건전상의 전압이 상승하여 문제점이 발생함을 알 수 있다. 따라서, 리액터 접지를 해도 유효접지를 기준으로 NGR을 선택해야 함을 알 수 있다.

다. 유효접지 방식에 의한 NGR 선정 방안

유효접지($X_n \leq X_1 + X_t - X_0/3$)를 고려하면, 분산전원 수용가의 연계용변압기의 NGR의 최대 설치 가능 용량은 연계변압기의 영상분 임피던스의 1.0 - 1.5배 정도로 추천되고 있다. 예를 들어, 1MVA의 분산전원(연계변압기의 영상임피던스 : $j480\%$, 100MVA기준)이 연계되는 경우, 유효접지에 따른 NGR의 최대 크기는 $j720\%$ ($3Z_n=j2,640\%$)이다. 이 NGR이 삽입된 경우, 변전소 직하지점에서 사고가 발생한 경우의 영상분 임피던스도와 정상분 임피던스도는 그림 3, 그림 4와 같다.



상기의 임피던스도로부터 영상분과 정상분의 임피던스를 계산하면 다음과 같다.

$$Z_0 = 49.32 // 2640 = 48.42$$

$$Z_1 = 36.08 // 480 = 33.56$$

따라서 사고지점인 삼화 D/L의 1선 지락사고 전류(I_g)와 태양광발전이 연계된 건전 선로인 북평 D/L의 1선 지락전류(I_0)는 다음과 같이 구해진다.

$$I_g = \frac{3 \times 100}{48.32 + (33.56 \times 2)} \times \frac{100,000}{\sqrt{3 \times 22.9}} = 6551.92 [A]$$

$$I_0 = I_g \times \frac{49.32}{49.32 \times 2640} = 120.16 [A]$$

상기의 해석결과와 같이, 유효접지를 고려하여 NGR을 삽입하고, 가장 가혹한 직하사고를 고려하여 분산전원 측으로 흐르는 1선 지락전류를 구하면, 120A 정도로 보호기기(리클로저)의 OCGR 정정치(70A)를 초과하여 오동작하는 경우가 발생한다. 따라서 유효접지를 고려해도 완벽한 대책이 될 수 없으므로, 일

정 용량 이상의 분산전원이 연계되는 경우에는 양방향 보호기기를 채용해야 함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 태양광발전이 배전계통 연계된 경우, 보호기기의 오동작에 대한 문제점 분석을 분석하고 그 대책방안을 제시하였다.

(1) 동일뱅크에서 타 선로에 사고가 발생하면 분산전원이 연계된 선로의 중성선의 전류가 증가하여 보호기기가 오동작할 수 있다. 이것은 분산(태양광발전)에서 공급하는 사고전류(최대 정격전류의 1.5배 정도로 약 30A 정도임)의 영향이 아니라 분산전원의 연계용변압기의 결선방식에 의한 것임을 확인했다. 즉, 분산전원의 연계용변압기의 Yground-delta 결선이 영상전류의 통로를 제공하여 N상의 지락전류가 증가하여 건전상의 보호기기(OCGR)를 오동작시킬 수 있음을 알 수 있었다.

(2) 이에 대한 가장 효과적인 대책으로는 현재의 연계용변압기의 결선방식(Yg-Delta방식)을 변경하여 지락(영상)전류의 통로를 제거(Y비접지-Delta, 또는 Delta-Yg, 등)하는 것이지만, 다른 결선 방식은 지락전류의 통로는 제거하지만, 문제점은 지락사고시에 건전상의 전압이 상승하는 피해가 발생할 수 있어서 함부로 결선방식을 변경하기도 어려운 실정이다. 따라서 결선방식은 변경하지 않고 지락전류의 크기를 감소시킬 수 있는 연계용변압기의 1차 측 접지선에 적절한 NGR(접지저항)을 삽입하여 타선로 지락사고시의 보호기기의 오동작에 대한 문제점을 해결할 수 있다. 다만, 너무 큰 접지저항을 삽입하면 건전상의 전압이 상승하는 피해가 발생할 수 있으므로 유효접지 내에서 NGR을 선택해야 한다.

(3) 유효접지를 고려하면 분산전원 수용가의 연계용변압기의 NGR의 최대 설치 가능 용량은 연계변압기의 영상분 임피던스의 1.0 - 1.5배 정도($X_n \leq X_1 + X_t - X_0/3$)로 추천되고 있다. 예를 들어, 1MVA의 분산전원(연계변압기의 영상임피던스 : $j480\%$, 100MVA기준)이 연계되는 경우, 유효접지에 따른 NGR의 최대 크기는 $j720\%$ ($3Z_n=j2,640\%$)이다. 이것을 기준으로 1선지락전류가 가장 가혹한 직하사고를 고려하여 임피던스 맵을 작성하여 분산전원 측으로 흐르는 1선 지락전류(120A정도)를 구하면, 보

호기기(리클로저)의 OCGR 정정치(70A)를 초과하는 경우가 발생한다. 따라서 유효접지를 고려하면, 일정 용량 이상의 분산전원이 연계되는 경우에는 양방향 보호기기를 채용해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 노 대석외, “신재생에너지전원이 연계된 배전계통에서 보호협조방안에 관한 연구”, 한국산학기술학회, 춘계학술회 논문집, 2008. 5.
- [2] 노 대석, “배전계통에 있어서 전압변동이 일반 수용가에 미치는 영향에 대한 분석”, 한국산학기술학회, 추계학술회 논문집, 2008. 11.
- [3] 분산전원 배전계통 연계기술기준, 한국전력공사 2005. 4.