

신에너지전원이 연계된 배전계통에서 분류효과에 의한 보호기기 부동작에 관한 연구

박현석, 이범태, 박오성, 노대석
한국기술교육대학교
e-mail : dsrho@kut.ac.kr

A Study on the Mal-Function of Protection Devices By Dividing Effect in Distribution System with New Energy Sources

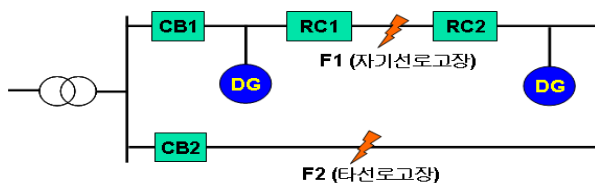
Hyeonseok Park, Beomtae Lee, Oseong Park, Daeseok Rho
Korea University of Technology and Education

요 약

일반적으로 신에너지전원(분산전원)이 설치되면, 연계지점 위치와 사고발생 위치에 따라 % 임피던스의 병렬화로 사고전류가 감소하는 분류효과가 발생할 수 있다. 이 때, 보호기기의 최소 정정치 이하로 사고전류가 감소하여 보호기기가 부 동작(동작해야 하는데 동작하지 않은 경우)하는 문제점이 발생한다. 본 연구에서는 현행 분산전원 연계기준 및 선로운영기준을 토대로 어떤 경우에 각 보호기기의 최소 정정치에 미달하는 지 사례 및 최악조건을 제시한다. 본 논문에서는 대칭좌표법을 이용하여 보호기기의 부 동작의 주요 원인이 되는 분류효과에 대한 문제점을 분석하고, 이에 대한 대책방안을 제시한다.

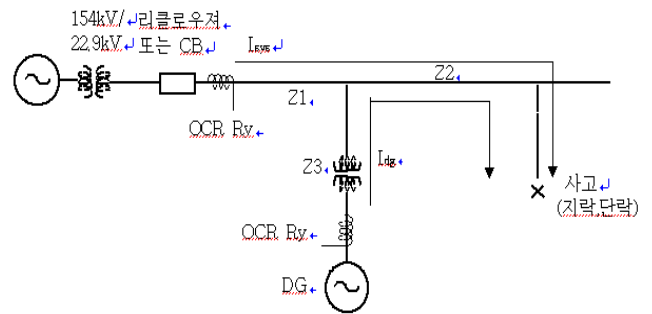
1. 서 론

본 논문에서는 실제로 신에너지전원이 배전계통에 연계되어 운전되는 경우 발생 가능한 보호협조의 문제점을 분석한다. 그림 1과 같이, 신에너지전원의 영향에 의한 보호협조에 대한 문제점은 크게 3가지로 요약할 수 있는데, F1 사고 시(자기선로 고장)의 분산전원의 사고전류공급에 의한 보호기기의 정격차단 용량(12.5KA)의 상회 가능성과 F1 사고 시에 발생할 수 있는 분류효과(신에너지전원의 연계로 임피던스 병렬화로 사고전류의 감소)로 인한 보호기기의 부 동작, F2 사고 시(타 선로 사고)나 F1 사고 시의 역방향 고장 전류에 의한 보호기기의 오동작을 들 수 있다. 여기서는 분류효과에 대한 문제점을 대칭좌표법을 이용하여 보호기기의 부동작에 대한 문제점과 그 대책방안을 제시한다.



[그림 1] 신에너지전원에 의한 보호협조 개요

2. 분류효과 개념



[그림 2] 분류효과의 개념도

그림 2와 같이 장거리 배전선로에 있어서 특히 경부하시 선로의 말단에서 사고가 날 경우, 배전용변전소의 OCR이 부동작할 가능성이 있다. 즉,

(1) 분산전원이 없을 경우 변전소 OCR 계전기가 감지하는 고장전류 I_{OCR} :

$$I_{OCR} = \frac{1}{Z_1 + Z_2}$$

(2) 분산전원이 도입되었을 경우 변전소 OCR 계 전기가 감지하는 고장전류 $I_{OCR,DG}$:

$$I_{OCR,DG} = \frac{1}{\frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_3} + Z_2} \frac{Z_3}{Z_1 + Z_3} = \frac{Z_3}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1}$$

$$= \frac{1}{\frac{Z_1 Z_2}{Z_3} + Z_1 + Z_2}$$

그러므로, 특히 Z_2 가 비교적 큰 경우 $I_{OCR} > I_{OCR,DG}$ 으로 되어 변전소 OCR이 동작하지 않게 된다.

한편, 이를 변전소측 OCR을 거리계전기로 하여 볼 경우, 거리계전기가 고장점에 대해서 보는 Z_R 은에 대해서 적용하여 보면(변전소 거리계전기위치의 전압 V_{sub}),

$$Z_R = \frac{V_A}{I_A} = \frac{I_A Z_1 + (I_{sys} + I_{dg}) Z_2}{I_A} = (Z_1 + Z_2) + \frac{I_{dg}}{I_{sys}} Z_2$$

로 된다. 따라서, 실제계전기의 정정 Z_R 은 $Z_1 + Z_2$ 로 되어 있기 때문에 분산전원이 도입되게 된 경우는 $Z_2 \times I_{dg}/I_{sys}$ 만큼의 분류효과가 나타나게 되어 계전기는 under-reach하게 된다. 검토의 대상은 분산전원의 연계용변압기의 결선방식에 따라 다르나, 지락 및 단락 모두에 대하여 분석하여야 한다. 그러나, 이러한 분산전원에 의한 분류효과를 고려하여 계전기를 정정 운전하는 도중에 어떠한 이유로 분산전원이 연계되지 않는 경우는 분류효과가 일어나지 않으므로 over-reach하게 된다. 이 점은 변전소인출구의 CB 및 선로도중에 위치하여 있는 Recloser의 정정에 세심한 주의를 기울여야 한다.

3. 분류효과에 의한 문제점 분석

여기서는 보호기기의 부동작의 원인이 되는 분류효과에 지대한 영향을 끼치는 선로 공장과 분산전원 용량을 파라메타로 분류효과의 크기를 구한다. 단, 분류효과가 가장 크게 나타나는 경우에 대하여 분석하기 위하여, 분산전원의 연계지점은 변전소 직하로 가정하고, 사고지점은 변전소의 말단지점을 대상으로 한다. 그림 3은 40KM 공장을 가진 최악의 배전선로의 임피던스도를 나타낸 것이다. 이 선로에 분산전원이 직하에 연계되고, 사고는 말단지점에서 발생한 것으로 가정한다.

(1) 분산전원이 없는 경우 사고전류

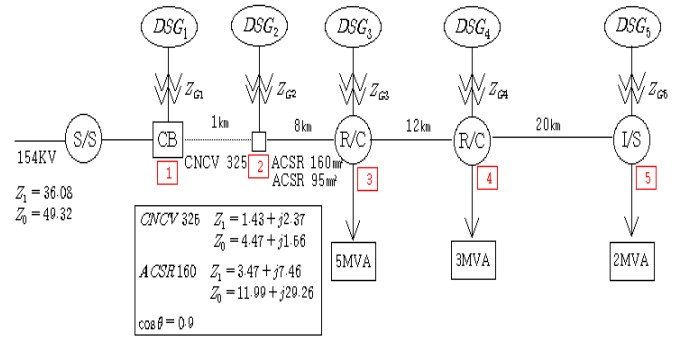
그림 3에서 분산전원이 연계되기 전에 사고는 말단지점에서 발생한 것으로 가정하면, 선로말단 지점인 ⑤번 지점을 기준으로 정상분과 영상분 임피던스를 구하고, 3상 단락전류와 1선 지락전류(지락저항 30옴 가정)를 구하면 다음과 같다.

$$Z_1 = 36.08 + 2.77 + (8.23 \times 40) = 368.05[\%]$$

$$Z_0 = 49.32 + 4.73 + (31.62 \times 40) = 1318.85[\%]$$

$$I_{g(3\phi)} = \frac{300}{1318.85 + (368.05 \times 2) + (3 \times 573)} \times \frac{100,000}{\sqrt{3 \times 22.9}} = 200.41[A]$$

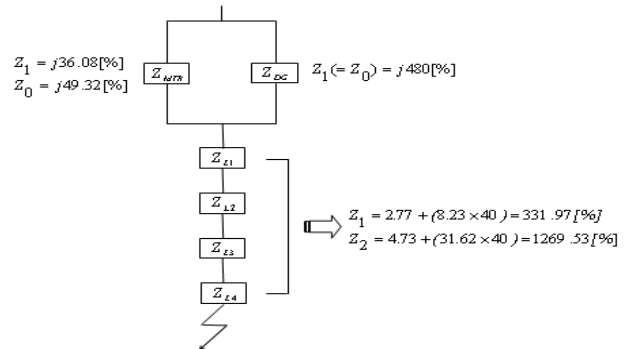
$$I_{3s} = \frac{100}{36.08 + 2.77 + (8.23 \times 40)} \times \frac{100,000}{\sqrt{3 \times 22.9}} = 685.01[A]$$



[그림 3] 선로공장 40[km]에 대한 임피던스도

(2) 1MVA 분산전원이 연계된 경우의 분류효과

그림 3과 같이 40km의 공장을 가진 배전선로에서 1MVA 용량(1,250KVA 변압기용량 기준)의 분산전원이 직하에 연계되고, 사고는 말단지점에서 발생한 것으로 가정하면, 선로말단 지점인 ⑤번 지점을 기준으로 정상분과 영상분 임피던스를 구하고, 3상 단락전류와 1선 지락전류(지락저항 30옴 가정)를 구하면 다음과 같다.



$$Z_1 = 36.08 // 480 + 331.97 = 365.53[\%]$$

$$Z_2 = 49.32 // 480 + 1269.53 = 1314.25[\%]$$

$$I_{3s} = \frac{100}{365.53} \times \frac{100,000}{\sqrt{3 \times 22.9}} = 689.73[A]$$

$$I_{2s} = 0.866 \times 689.73 = 597.31[A]$$

$$I_g = \frac{300}{1314.25 + (365.53 \times 2)} \times \frac{100,000}{\sqrt{3 \times 22.9}} = 369.8[A]$$

$$I_{g(3\phi)} = \frac{300}{1314.25 + (365.53 \times 2) + (3 \times 573)} \times \frac{100,000}{\sqrt{3 \times 22.9}} = 200.93[A]$$

($R_f = 30 \times 19.1 = 573$)

따라서 변전소의 CB(또는 보호기기)로 흐르는 3상 단락전류는 전류분배법칙에 의하여 다음과 같이 구해진다.

$$I_{CB} = I_{3S} \times \frac{480}{36.08 + 480} = 641.51[A]$$

분산전원 연계 전에 보호기기로 흐르는 사고전류와 분산전원이 연계된 후에 흐르는 전류를 비교하여 단락 분류효과(Ds)를 계산하면 다음과 같다.

$$Ds = (685.01 - 641.51) / 685.01 = 6.35[\%]$$

한편, 변전소의 CB로 흐르는 1선 지락전류와 지락분류효과(Dg)를 구하면 다음과 같다.

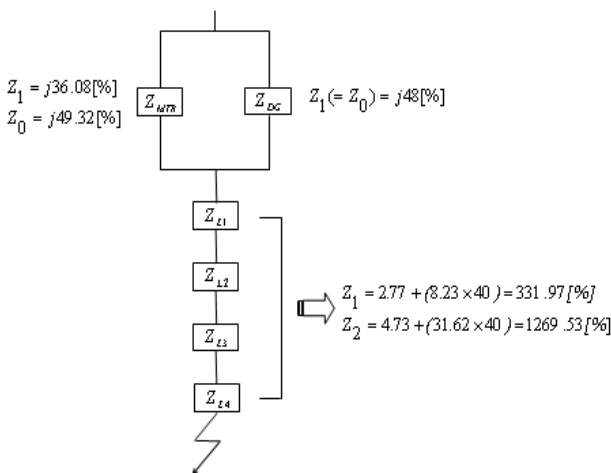
$$I_{g(CB)} = I_{g(30)} \times \frac{480}{49.32 + 480} = 182.21[A]$$

$$Dg = (200.41 - 182.21) / 200.41 = 9.08[\%]$$

따라서 40km의 공장을 가진 배전선로에서 1MVA의 분산전원이 직하에 연계되고 말단지점에 3상 단락과 1선 지락사고가 발생한 경우, 각각 6.4%, 9.1%의 사고전류가 감소하는 분류효과가 발생함을 알 수 있으나, 보호기기를 부동작(OCR : 300A, 지락 : 70A)할만한 크기의 전류는 감소하지 않음을 알 수 있다.

(3) 10MVA 분산전원이 연계된 경우의 분류효과

그림 3과 같이 40km의 공장을 가진 배전선로에서 10MVA 용량(1,250KVA x 10기, 변압기용량 기준)의 분산전원이 직하에 연계되고, 사고는 말단지점에서 발생한 것으로 가정하면, 선로말단 지점인 ⑤번 지점을 기준으로 정상분과 영상분 임피던스를 구하고, 3상 단락전류와 1선 지락전류(지락저항 30옴 가정)를 구하면 다음과 같다.



$$Z_1 = 36.08 // 48 + 331.97 = 352.57[\%]$$

$$Z_2 = 49.32 // 48 + 1269.53 = 1293.86[\%]$$

$$I_{3S} = \frac{100}{352.57} \times \frac{100,000}{\sqrt{3 \times 22.9}} = 715.09[A]$$

$$I_{2S} = 0.866 \times 715.09 = 619.27[A]$$

$$I_g = \frac{300}{1293.86 + (352.57 \times 2)} \times \frac{100,000}{\sqrt{3 \times 22.9}} = 378.37[A]$$

$$I_{g(30)} = \frac{300}{1293.86 + (352.57 \times 2) + (3 \times 573)} \times \frac{100,000}{\sqrt{3 \times 22.9}} = 203.43[A]$$

$(R_f = 30 \times 19.1 = 573)$

따라서 변전소의 CB(또는 보호기기)로 흐르는 3상 단락전류는 전류분배법칙에 의하여 다음과 같이 구해진다.

$$I_{CB} = I_{3S} \times \frac{48}{36.08 + 48} = 408.23[A]$$

분산전원 연계 전에 보호기기로 흐르는 사고전류와 분산전원이 연계된 후에 흐르는 전류를 비교하여 분류효과를 계산하면 다음과 같다.

$$Ds = (685.01 - 408.23) / 685.01 = 40.41[\%]$$

한편, 변전소의 CB로 흐르는 1선 지락전류와 분류효과를 구하면 다음과 같다.

$$I_{g(CB)} = I_{g(30)} \times \frac{48}{49.32 + 48} = 100.34[A]$$

$$Dg = (200.41 - 100.34) / 200.41 = 49.93[\%]$$

따라서 40Km의 장공장 배전선로에서 10MVA의 분산전원이 직하에 연계되고 말단지점에 3상 단락과 1선 지락사고가 발생한 경우, 각각 40.4%, 49.9%의 사고전류가 감소하는 상당한 크기의 분류효과가 발생함을 알 수 있다. 또한 보호기기를 부동작(OCR : 300A, 지락 : 70A)할만한 크기의 전류는 아니지만, 단락전류가 400A, 지락전류가 100A정도까지 감소하여 분류효과에 의한 부동작 발생 가능성이 존재함을 알 수 있다.

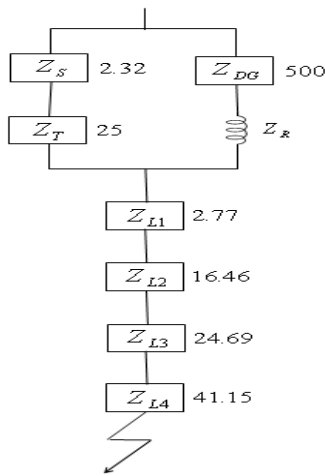
(4) 분류효과에 의한 보호기기 부동작의 분석

40Km의 장 공장 배전선로에서 10MVA의 분산전원이 직하에 연계되고 말단지점에 3상 단락과 1선 지락사고가 발생한 경우, 각각 40.4%, 49.9%의 사고전류가 감소하는 상당한 크기의 분류효과가 발생함을 알 수 있다. 또한 보호기기를 부동작(OCR : 300A, 지락 : 70A)할만한 크기의 전류는 아니지만, 단락전류가 400A, 지락전류가 100A정도까지 감소하여 분류효과에 의한 보호기기의 부동작 발생 가능성이 존재함을 알 수 있다. 또한, 보호기기의 계측 오차나 지락저항의 값에 따라 발생 가능성이 증가함을 알 수 있다.

4. 분류효과에 대한 대책

전 항에서 서술한 바와 같이, 대용량(10MVA 정도)의 분산전원이 연계되고, 고 지락저항사고(100옴

정도)가 발생하는 아주 특수한 경우에는 분산전원의 임피던스 병렬화로 보호기기로 흐르는 사고전류가 감소하는 분류효과가 발생할 가능성이 있다. 따라서 이에 대한 대책으로 분산전원의 도입용량을 제한하여 임피던스의 크기를 줄일 수 있는 방법이 있지만, 이에 대하여 수용가가 반발하는 경우도 생길 수 있다. 따라서 현실적으로 가장 좋은 대책은 분류효과가 발생할 가능성이 있는 분산전원 설치 수용가에 인위적으로 임피던스를 증가시키는 한류리액터를 설치하도록 권장하는 것이다. 다음은 한류리액터의 적정한 용량산정 방법을 제시한다. 예를 들어, 분류효과를 3% 이내로 제한하기 위한 한류 리액터의 저항값(Z_R)을 계산하는 절차는 다음과 같다. 먼저 사고지점을 기준으로 등가 임피던스도를 나타내면 다음과 같다.



상기의 임피던스도를 기준으로 정상분 임피던스를 구하고, 3상 단락전류를 구하면 다음과 같다.

$$Z_1 = \frac{27.32 + (500 + Z_R)}{27.32 + (500 + Z_R)} + 85.07$$

$$= 13,660 + 27.32Z_R + 44,859 + 85.07Z_R$$

$$= 58,52 + 112.39Z_R$$

$$I_{3S} = \frac{100}{Z_1} \times \frac{100,000}{\sqrt{3} \times 22.9}$$

$$= \frac{252,100}{58.52 + 112.39Z_R}$$

여기서, 보호기기로 흐르는 사고전류의 분류효과를 3% 이내로 제한하기 위하여, 전류분배법칙에 의하여 다음식과 같이 나타낼 수 있다. 단, 분산전원 연계 전의 사고전류는 2,243A이다.

$$\frac{2,243 - I_{CB}}{2,243} \times 100 = 3.0[\%]$$

$$\therefore I_{CB} = 2175.71[A]$$

따라서 한류 리액터의 저항값(Z_R)을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_{CB} = I_{3S} \times \frac{500 + Z_R}{27.32 + (500 + Z_R)} = 2175.71$$

$$= \frac{252,100(500 + Z_R)}{(58,519 + 112.39Z_R)(527.32 + Z_R)} = 2175.71$$

$$126,050,000 + 252,100Z_R = 112.39Z_R^2 + 117,784.5Z_R + 30,858,239.08$$

$$Z_R^2 - 1195.08Z_R - 846,977.14 = 0$$

$$Z_R = \frac{-1195.08 \pm \sqrt{(-1195.08)^2 + (4 \times 846,977.14)}}{2}$$

$$Z_R = \frac{-1195.08 \pm \sqrt{4,816,124.77}}{2}$$

$$\therefore Z_R = 1694.82[\% \Omega]$$

$$= 88.73[\Omega]$$

5. 결론

본 논문에서는 신에너지전원의 배전계통 연계에 따른 분류효과에 대한 문제점 분석을 분석하고 그 대책방안을 제시하였다.

- (1) 장거리 선로와 대용량 분산전원의 연계에 따른 분류효과에 의하여 보호기기의 부동작 발생 가능성이 있음을 확인하였다.
- (2) 현실적으로 가장 좋은 대책은 분류효과가 발생할 가능성이 있는 분산전원 설치 수용가에 인위적으로 임피던스를 증가시키는 한류리액터를 설치하도록 권장하는 것이다.

참고 문헌

- [1] 분산전원 배전계통 연계기술기준, 한국전력공사 2005. 4.
- [2] IEEE 1547 "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems" 2003. 7.
- [3] IEEE 1547.1 "IEEE Standard conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems" 2005. 1.
- [4] 노대석외, "신재생에너지전원이 연계된 배전계통에서 보호협조방안에 관한 연구", 한국산학기술학회, 춘계학술회 논문집, 2008. 5.
- [5] 노대석, "배전계통에 있어서 전압변동이 일반 수용가에 미치는 영향에 대한 분석", 한국산학기술학회, 추계학술회 논문집, 2008. 11.