

분산전원이 연계된 배전계통의 보호기기 부동작 평가 알고리즘

김소희¹, 허상운¹, 노대석¹, 서인용²
 한국기술교육대학교¹, 한국전력연구원²

Evaluation Algorithm for Under-Reach of Protection Devices in Distribution System with Distributed Generation

So-Hee Kim¹, Sang-Wn Heo¹, Dae-Seok Rho¹, In-Yong Seo²
 Korea University of Technology and Education¹, Korea Electric Power Research Institute²

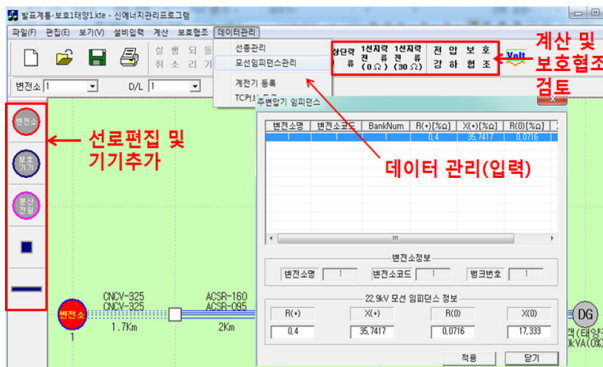
Abstract - 정부의 녹색성장 정책에 의해 배전계통에 태양광, 풍력발전 등 분산전원의 설치가 급증함에 따라 기존의 배전계통의 조류의 방향 및 고장전류, 부하전류가 변화되어 배전계통의 보호협조 운용상에 여러 가지 문제점들이 발생할 가능성이 커지고 있다. 특히 분산전원연계 시 임피던스 병렬화로 보호기기에 흐르는 사고전류가 감소하는 분류효과가 발생할 가능성이 있다. 따라서 본 논문에서는 분산전원이 연계된 경우 보호협조를 검토하기 위한 양방향 보호협조 평가프로그램을 이용하여 분산전원이 연계된 경우 계통에서 발생할 수 있는 문제점 중 분류효과로 인한 보호기기의 부동작 사례를 시뮬레이션하고, 그 결과를 분석하여 본 프로그램의 유용성을 확인하였다.

1. 서 론

최근 기후변화 및 환경문제에 대한 관심이 세계적인 이슈로 대두됨에 따라 기존의 배전계통에 국가차원에서 추진되고 있는 풍력, 태양광발전과 같은 분산전원의 연계가 급증하고 있다. 하지만 분산전원 연계 시에도 배전계통의 보호방식은 분산전원을 고려하지 않는 기존의 방식을 고수하고 있는 실정이다. 따라서 분산전원 연계에 의한 조류흐름의 변화 및 고장전류의 증·감 등의 문제로 배전계통에 설치된 보호기기의 오·부동작 발생 가능성이 커지고 있다. 특히, 분산전원 연계지점의 위치와 사고발생 위치에 따라 %임피던스의 병렬화로 사고전류가 감소하는 분류효과가 발생하여 (보호기기의 최소 정정치 이하로 사고전류가 감소) 보호기기가 부동작하는 문제점이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 분산전원 연계에 따른 보호협조의 문제점을 해결하기 위한 평가알고리즘을 제안하여 양방향 보호협조 평가프로그램을 제작하였다. 평가프로그램에 현행 분산전원 연계기준 및 선로운영기준을 토대로 최악의 선로조건을 제시하여 분류효과의 사례를 모의하고 그 결과를 분석하여 보호협조 평가알고리즘의 유용성을 입증하였다.

2. 보호협조 평가시스템 제작

분산전원 연계로 인한 역 조류의 흐름 및 고장전류의 변화로 인하여 계통에 연계되는 분산전원의 용량이 증가할수록 보호협조에 문제점이 발생할 가능성이 점차 커지고 있다. 따라서 분산전원을 고려한 보호협조 평가알고리즘을 바탕으로 그림 1과 같은 양방향 보호협조 평가시스템을 제작하였다. 변전소 및 보호기기(Recloser), DG(분산전원 및 수용가 계전기) 등 각종 기기추가 및 선로를 편집하는 ICON을 이용해 사용자가 원하는 배전계통을 쉽게 모의할 수 있도록 C++를 이용하여 HMI(Human Machine Interface)프로그램으로 제작하였다. 고장전류 및 전압강하, 보호협조 아이콘을 이용하여 계통의 사고해석 및 보호협조를 쉽게 모의할 수 있다.

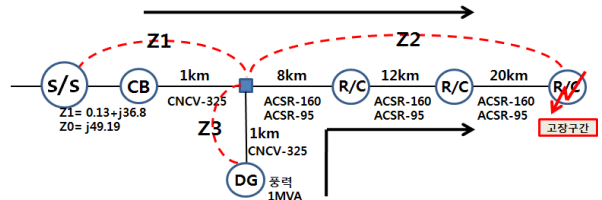


〈그림 1〉 양방향 보호협조 평가시스템의 제작 및 기능

3. 분산전원 연계 시 분류효과의 시뮬레이션

3.1 분류효과의 개념

보호기기의 부동작의 원인이 되는 분류효과는 보호기기의 연계위치 및 사고발생 위치에 따라 %임피던스의 병렬화로 사고전류가 감소하는 것을 의미한다. 이 경우 보호기기의 최소동작전류 이하로 사고전류가 감소하여 보호기기가 부동작(동작해야 하지만 동작하지 않는 경우)하는 문제점이 발생할 수 있다. 그림 2는 장거리(40km) 배전선로에 선로의 말단에 사고가 발생한 경우를 모의한 것으로 고장전류가 분류되어 흐르는 것을 나타내는 분류효과의 개념도를 나타낸 것이다.



〈그림 2〉 분류효과의 개념도(모의 계통)

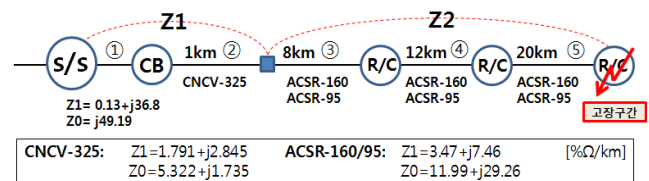
분산전원이 없는 경우의 변전소 OCR 계전기가 감지하는 고장전류 I_{OCR} 은 식 (1)과 같으며 분산전원이 연계된 경우 변전소 OCR 계전기가 감지하는 고장전류 $I_{OCR,DG}$ 는 식 (2)와 같다. 따라서 Z2가 비교적 큰 경우 $I_{OCR} > I_{OCR,DG}$ 으로 변전소의 최소동작전류보다 고장전류가 작게 감소한 경우 변전소 OCR이 동작하지 않는 부동작 현상이 발생한다.

$$I_{OCR} = \frac{1}{Z1+Z2} \tag{1}$$

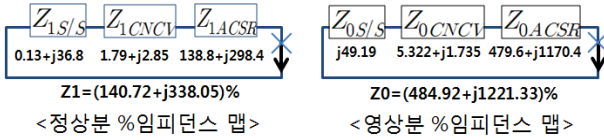
$$I_{OCR,DG} = \frac{1}{\frac{Z1 \times Z3}{Z1+Z3} + Z2} \times \frac{Z3}{Z1+Z3} = \frac{1}{\frac{Z1 \times Z2}{Z3} + Z1 + Z2} \tag{2}$$

3.2 분류효과의 시뮬레이션 및 분석

보호기기의 부동작의 원인이 되는 분류효과에 지대한 영향을 미치는 파라미터로 분산전원의 연계용량, 선로의 공장이 있다. 따라서 모델계통은 40km 공장을 가진 최악의 배전선로를 나타내었으며, 분산전원을 연계하는 경우 연계지점은 변전소 직하로 가정하고 사고는 말단지점에서 발생한 것으로 모의하였다. 그림 3은 분산전원 연계 전의 계통으로 계통의 공장 및 선종의 임피던스정보를 나타낸다. 선로말단에 3상 단락 및 1선 지락고장이 발생한 경우의 계통의 임피던스 맵인 그림 4를 이용하여 식 (3)과 (4)를 통해 고장전류를 산출하였다. 분산전원이 없는 경우 3상 단락 및 1선지락(30옴)의 고장전류 값이 그림 5의 시뮬레이션 값과 일치하며 변전소와 R/C(Recloser)에 흐르는 고장전류는 고장점의 고장전류와 일치함을 확인할 수 있다.



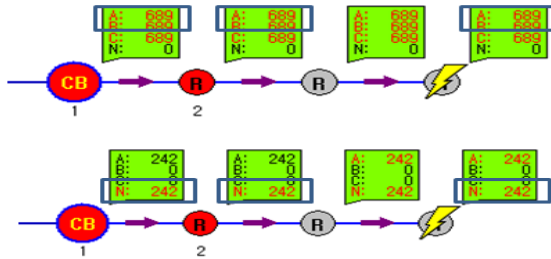
〈그림 3〉 분산전원 연계 전의 모의 배전계통의 정보(공장, 임피던스)



<그림 4> 분산전원 미연계 시 선로 말단에 고장발생 시 %임피던스 맵

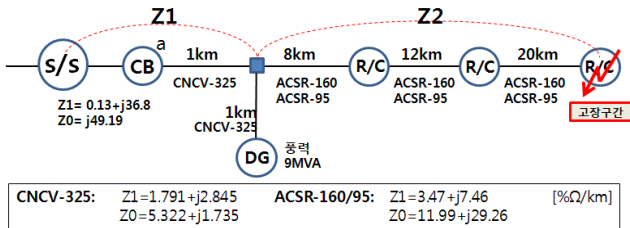
$$I_{3s} = \frac{100}{140.721 + j338.045} \times \frac{100,000}{22.9 \times \sqrt{3}} = 688.49[A] \quad (3)$$

$$I_{g(30)} = \frac{3 \times 100 \times 2521}{2 \times (140.72 + j338.05) + (484.92 + j1221.33) + (90 \times 19.1)} = 241.87[A] \quad (4)$$

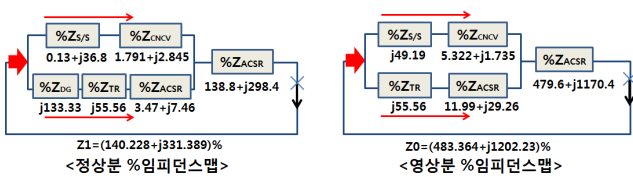


<그림 5> 선로 말단에 3상 단락(상) 및 1선 지락(하)고장발생 시 고장전류

모의한 계통의 보호기인 변전소 계전기와 R/C의 정정치는 한전의 정정치에 따라 변전소 OCR은 480A, OCGR은 90A의 최소동작전류를 갖고 R/C OCR은 400A, OCGR은 70A의 최소동작전류를 갖는다. 분산전원이 연계되지 않은 경우 3상 단락전류와 1선 지락(30옴)전류는 보호기의 최소동작전류보다 크므로 사고 시 동작에는 문제가 없다.



<그림 6> 분산전원(풍력발전 9MVA) 연계 시 모의 배전계통의 정보(공정, 임피던스)

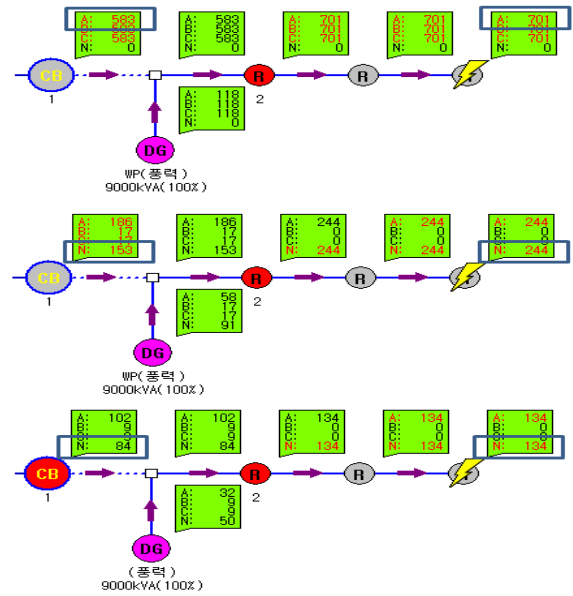


<그림 7> 분산전원 연계 시 선로 말단에 고장발생 시 %임피던스 맵

$$I_{3s} = \frac{100}{140.228 + j331.389} \times \frac{100,000}{22.9 \times \sqrt{3}} = 700.59[A] \quad (5)$$

$$I_{g(30)} = \frac{3 \times 100 \times 2521}{2 \times (140.23 + j331.39) + (483.36 + j1202.23) + (90 \times 19.1)} = 243.55[A] \quad (6)$$

그림 6은 분산전원(풍력발전 9MVA)을 연계한 경우로 연계지점은 변전소 직하에 위치하고 사고는 선로의 말단지점에서 발생한 것으로 모의하였다. 분류효과로 인한 보호기의 부동작을 모의하기 위하여 현행 분산전원 연계기준 및 선로운영 기준을 토대로 각 보호기의 최악의 계통조건을 제시한다. 그림 7은 분산전원 연계 시 선로 말단에 고장이 발생한 경우 계통의 임피던스 맵이다. 임피던스 맵을 통한 전류 분배법칙으로 각 보호기에 분배되는 고장전류를 산출할 수 있다. 우선 식 (5)와 (6)에 선로의 임피던스를 대입하여 3상 단락전류 및 1선 지락(30옴) 전류 값을 산출하고 그림 8의 시뮬레이션 값과 일치함을 확인하였다.



<그림 8> 선로 말단에 3상 단락(상), 1선 지락(30옴)(중), 1선지락 (80옴)(하) 고장발생 시 각 구간의 고장전류

$$I_{3s(S/S)} = \frac{(3.47 + j196.35)}{(1.921 + j39.645) + (3.47 + j196.35)} \times 701 = 583.18[A] \quad (7)$$

$$I_{g30(S/S)} = \frac{(11.99 + j84.82)}{(5.322 + j50.925) + (11.99 + j84.82)} \times 244 = 152.74[A] \quad (8)$$

고장점의 고장전류를 그림 7의 임피던스 맵을 통하여 분배하면 식 (7)과 (8)와 같이 변전소에 흐르는 고장전류가 산출된다. 그 결과가 그림 8의 변전소에 흐르는 고장전류와 같음을 알 수 있다. 변전소에 흐르는 고장전류는 변전소의 보호기(OCR: 480A, OCGR: 90A)가 부동작할 만큼의 작은 전류는 아니지만 분산전원이 연계되기 전보다 감소하여 분류효과에 의한 보호기의 부동작을 발생할 가능성이 존재함을 알 수 있다.

$$I_{g(80)} = \frac{3 \times 100 \times 2521}{2 \times (140.23 + j331.39) + (483.36 + j1202.23) + (240 \times 19.1)} = 133.53[A] \quad (9)$$

$$I_{g80(S/S)} = \frac{(11.99 + j84.82)}{(5.322 + j50.925) + (11.99 + j84.82)} \times 134 = 83.88[A] \quad (10)$$

식 (9)는 분류효과를 악화시키는 파라메터인 고장점 대지저항을 80옴으로 가정하여 1선 지락(80옴)고장전류를 산출하였다. 그 결과 값이 그림 8의 고장점 대지저항이 80옴인 경우의 시뮬레이션 값과 일치함을 확인하였으며 임피던스 맵을 통한 전류 분배법칙으로 변전소에 분배되는 고장전류는 식 (10)과 같이 시뮬레이션 결과와 일치함을 확인하였다. 1선 지락(80옴)고장 시에 변전소에 흐르는 고장전류는 변전소의 보호기(OCR: 480A, OCGR: 90A)가 부동작할 만한 크기의 전류인 약 84A까지 감소하여 분류효과에 의한 보호기의 부동작이 발생할 가능성이 존재함을 확인하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 분산전원을 고려한 보호협조를 판별하는 보호협조 평가알고리즘을 토대로 양방향 보호협조 평가프로그램을 제작하였다. 프로그램에 분산전원이 연계된 배전계통을 모의하여 분산전원 연계에 따른 분류효과에 대한 문제점을 분석하여 본 프로그램의 유용성을 검증하였다.

[참 고 문 헌]

[1] 노대석, “신 에너지전원이 연계된 스마트그리드의 양방향 보호협조에 대한 운용방안”, 전기의 세계, 제5권, 제9호, pp. 39-43, 2010.
 [2] 노대석, “분산전원이 연계된 배전계통의 보호협조기기의 문제점에 대한 해석 및 대책에 관한 연구”, 조명·전기설비학회지, 제23권, 제2호, pp. 52-60, 2009.
 [3] 한국 전력공사 배전계획처, “배전보호기술서”, pp. 70-91, 10월, 2008.