분산전원을 고려한 수용가 보호기기 평가시스템 개발

김 소희[1], 노 대석[1], 김 찬혁[2], 왕 용필[2]
한국기술교육대학교[1], 한국전기산업연구원[2]
e-mail: sh-kim2579@kut.ac.kr, dsrho@kut.ac.kr

Development of Operation System for Customer Protection Devices with Distributed Generation

Sohee Kim[1], Daeseok Rho[1], Chanhyeok Kim[2], Yongpeel Wang[2]
Korea University of Technology and Education[1], ERIK[2]

요 약

분산전원의 연계가 활발해지면서 발생하게 되는 여러 가지 문제점을 해결하고 배전계통의 최적운용을 위해 다양한 기술계산이 필수적이다. 본 논문에서는 기술계산의 방법인 수 계산법의 복잡함과 한계를 극복하기 위하여, 빠르고 정확한 기술계산 및 검토기능을 수행할 수 있는 보호협조 평가시스템의 알고리즘을 제시하였다. 보호협조 및 선로의 안정화에 크게 기여할 수 있는 양방향 보호협조 평가시스템을 이용하여, 모델계통에 대한 다양한 시뮬레이션을 수행하여 제안한 알고리즘의 정확성을 분석하여 그 유용성을 확인하였다.

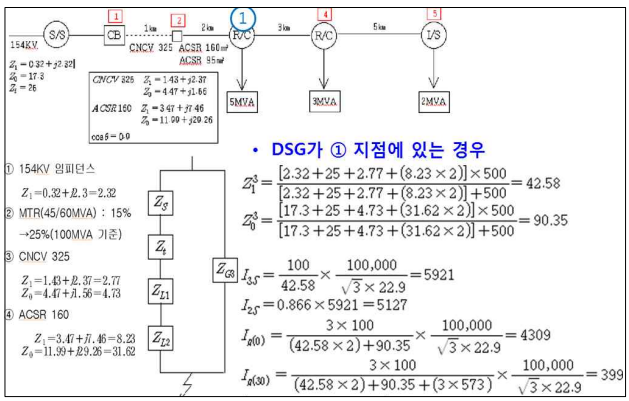
1. 서 론

최근 국가차원의 녹색성장 활성화방안에 따라 태양광, 풍력, 연료전지 등과 같은 신에너지전원(분산전원)의 배전선로 연계가 활발해지고 있다. 이러한 분선전원이 배전계통에 투입 시 전력품질의 문제점(사고전류의 증가, 보호협조의 문제, 전압제어의 문제, 고조파 발생 등)이 발생하고 있어 선로의 안정화가 가장 큰 목표로 대두되고 있다. 분산전원의 배전선로 연계 시 안정적인 선로운영을 위해 전압강하 및 고장전류 등의 계산과 해석과정이 반드시 선행되어야 하는데, 수 계산의 과정은 방대한 입력데이터를 이용해 계산할 때 마다 여러 단계를 반복해야 하는 복잡함과 번거로움이 있어 이를 해결할 수 있는 시스템의 개발이 요구되고 있다.

따라서 본 논문에서는 분산전원의 연계에 따른 여러 가지 문제점을 해결하기 위해 다양한 기술계산 및 검토기능을 가지는 양방향 보호협조 평가시스템(시뮬레이터)을 소개하고 이를 이용해 수용가 중심의 기술계산을 빠르고 정확하게 수행할 수 있음을 확인함으로써 계통의 보호협조에 크게 기여하고자 한다.

2. 보호협조 평가시스템의 필요성

배전선에 지락, 단락사고 발생 시 얼마만한 크기의 지락, 단락전류가 흐를 것인가를 미리 아는 것은 계통을 운용하는 입장에서 아주 중요하다. 이러한 기술계산은 차단기 용량결정과 보호계전기의 정정 등 사고 상황(고장)에 대비할 수 있다. 따라서 분산전원이 연계된 경우 구하고자 하는 기술계산치를 위한 수 계산은, 그림 1과 같이 전압강하와 고장전류는 복잡한 계산을 반복하여 구해야하므로 다양한 상정조건을 반영한 임의 계통에 대한 기술계산과 검토가 어려운 실정이다.

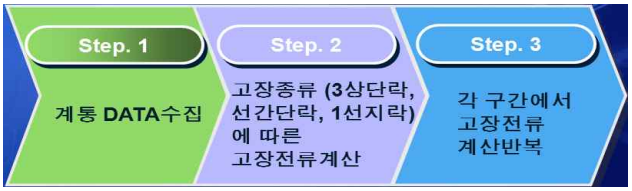


[그림 1] 분산전원이 연계된 계통의 고장전류 수계산

3. 보호협조 평가시스템의 구현

3.1 고장전류 계산 알고리즘

계통운용에 필요한 기술계산의 수 계산법은 발전기의 기본식을 이용하며 고장전류 계산 시, 분산전원이 연계되었을 때 분산전원의 위치와 종류, 용량에 따라 그 계산 값이 달라진다.



[그림 2] 고장전류 계산 알고리즘

$$3\text{상단락전류} : I_{s3} = \frac{100}{Z_1} \times \frac{100,000}{\sqrt{3} \times 22.9}(\text{기준전류})[\text{A}]$$

$$\text{선간단락전류} : I_{s2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{100}{Z_1} \times \text{기준전류}[\text{A}]$$

$$= \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{s3} = 0.866 \times I_{s3}[\text{A}]$$

$$1\text{선지락전류} : I_g = \frac{3 \times 100}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R_F} \times \text{기준전류}[\text{A}]$$

그림 2는 고장전류계산의 알고리즘이며 위의 식은 발전기의 기본식으로부터 유도된 것으로 임피던스 값을 대입하여 고장구간에 따른 고장전류를 계산할 수 있음을 보여준다. 양방향 보호협조 평가시스템은 F-B (Forward-Backward) 법을 이용하여 프로그램을 구현하였으며 수용가중심의 기술계산으로 수용가측 신뢰도 향상에도 큰 도움이 될 것으로 예상된다.

3.2 평가시스템의 주요기능

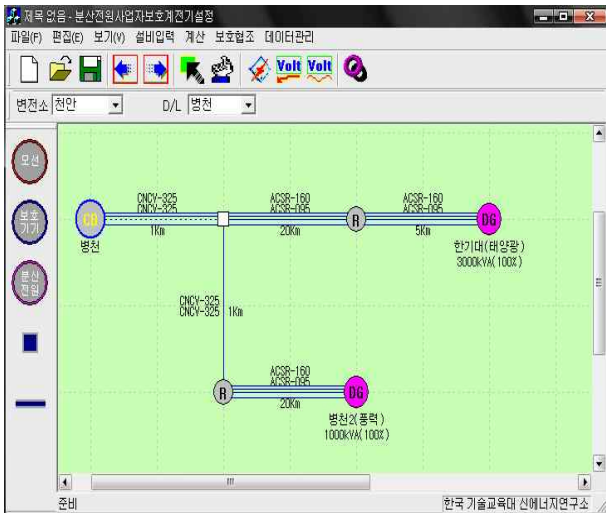
본 연구에서 제작한 수용가 보호기기 평가시스템의 기능을 요약하면 표 1과 같다.

[표 1] 보호협조 평가시스템의 주요기능

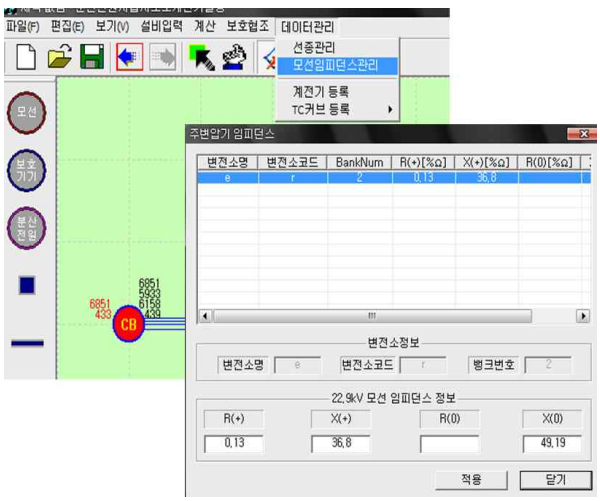
구 분	내 용
전압강하 및 고장전류계산	● 말단 전압강하 계산 ● 고장전류 계산
보호협조	● 단선도 생성 및 편집 ● 보호협조 검토 및 정정
분산전원	● 연계선로 상시 전압변동률 검토 ● 연계선로 보호협조 검토

3.3 평가시스템의 구현

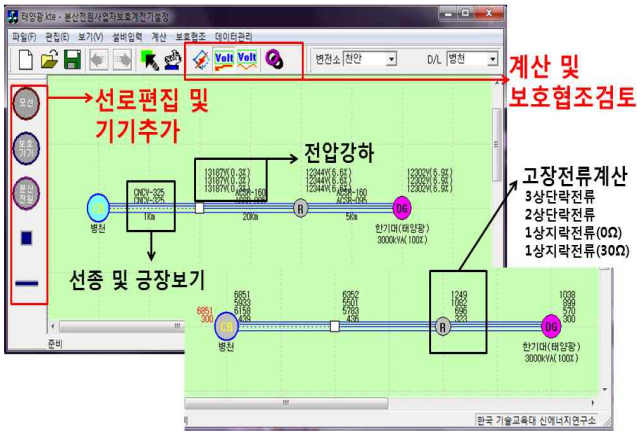
수용가 보호기기 평가시스템은 그림 3과 같이 단선도를 열고, CB, Recloser, DG 등 각종 기기추가 및 선로를 편집하는 ICON을 이용해 사용자가 원하는 배전계통을 쉽게 모의할 수 있도록 C++를 이용하여 HMI프로그램으로 제작하였다. 각종 기기에 대한 정보와 모의선로 및 부하, 임피던스 등의 DATA를 Database에서 찾아 그림 4와 같이 입력하고 계산 및 보호협조 검토 ICON을 한번만 클릭하면 그림 5에서 볼 수 있듯이 고장전류와 전압강하 계산치가 빠르고 정확하게 산출된다. 이 기능을 통해 사용자가 현재 계통의 정보를 파악하여 보호협조 검토 시에 이를 고려할 수 있다.



[그림 3] 편집을 통한 배전계통 구성의 예



[그림 4] 데이터(모선임피던스) 편집

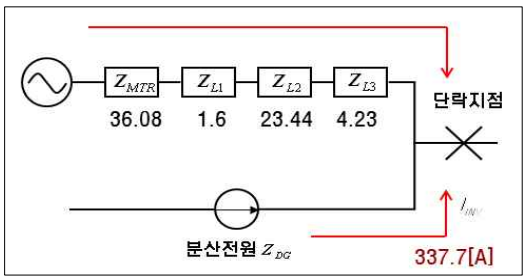


[그림 5] 양방향 보호협조 시스템의 기능

또한, 단선도에 기기추가 및 편집 아이콘으로 선로의 연장, 보호협조기기의 추가 등으로 계통의 재구성이 가능하다.

4. 보호협조 평가시스템의 분석 결과

분산전원의 연계가 보호협조에 미치는 영향을 검토하기 위하여 도구의 보기에서 기존 편집창인 선로모드가 아닌 뱅크모드로 들어가 분산전원을 고려한 계산 값을 얻어내야 한다. 이와 같은 방법으로 고장전류 계산식을 통해 얻어낸 수계산 값과 시스템의 시뮬레이션 값이 일치함을 확인함으로써 양방향 보호협조 평가시스템의 실용성에 대하여 검증하였다.



[그림 6] 분산전원 연계 시 임피던스맵 (예시)

그림 6은 분산전원(태양광) 연계 시 %임피던스맵을 나타낸 것이고, 3상 단락전류 값은 모선 및 선로 임피던스를 고려하여 구한 고장전류 값과 분산전원의 임피던스를 고려해 얻은 전류(인버터전류)의 합에 의하여 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_1 = 36.08 + 1.6 + 23.44 + 4.23 = 65.35[\%]$$

$$I_{3S} + I_{INV} = \frac{100}{65.35} \times \frac{100,000}{\sqrt{3} \times 22.9} + 37.7 = 3,8857.5[\mathrm{A}]$$

4.1 시뮬레이션 조건

아래와 같이 모의 배전계통을 구성하여 계산한 값을 시뮬레이션 값과 비교하였다.

조건) 계통의 DATA 모선임피던스:Z1=0.13+j36.8[%], Z0=j49.19[%] 선로임피던스:Z1=3.47+j7.46[%], Z0= 11.99+j29.26[%] (ACSR 1km X 2), 데이터입력

4.2 3상 단락전류 계산

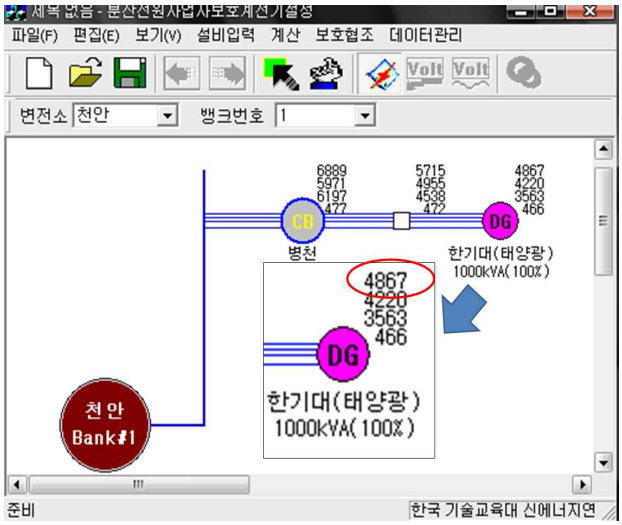
3상 단락전류의 계산식에 의하여 수 계산으로 나타내면 다음과 같다.

$$I_{s3} = \frac{100}{[(0.13 + j36.80) + 2 \times (3.47 + j7.46)]} \times \frac{100,000}{\sqrt{3} \times 22.9}$$

$$= \frac{100}{(7.07 + j51.72)} \times 2521 = 4829.41$$

$$I_{s3} + I_{INV} = 4829.41 + 37.7 = 4867.11$$

3상 단락고장전류의 수계산 값과 평가시스템의 시뮬레이션 값이 같음을 그림 7에서 확인할 수 있었다.



[그림 7] 3상 단락전류 수 계산과 시뮬레이션 값의 비교

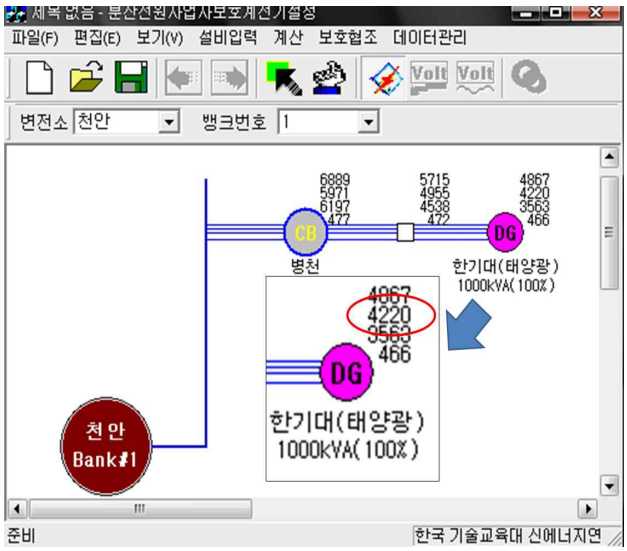
4.3 선간 단락전류 계산

선간 단락전류의 계산식에 의하여 수 계산으로 나타내면 다음과 같다.

$$I_{s2} = (I_{s3} \times 0.866) + I_{INV}$$

$$= 4298.41 \times 0.866 + 37.7 = 4219.97[\mathrm{A}]$$

선간 단락고장전류의 수계산 값과 평가시스템의 시뮬레이션 값이 같음을 그림 8에서 확인할 수 있었다.



[그림 8] 선간 단락전류 수 계산과 시뮬레이션 값의 비교

4.4 1선 지락전류 계산

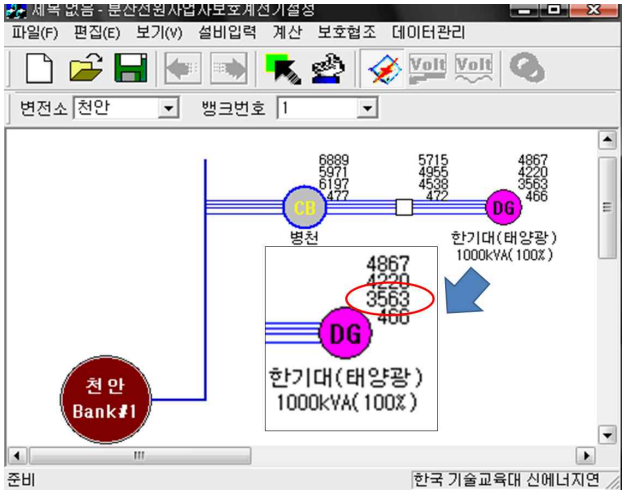
1선 지락전류의 계산식에 의하여 수 계산으로 나타내면 다음과 같다.

$$I_g = [\frac{3\times 100}{2\times(0.13+j36.80)+(j49.19)+\frac{}{4\times(3.47+j7.46)+2\times(11.99+j29.26)}}]\times\frac{100,000}{\sqrt{3}\times 22.9}$$

$$= \frac{300}{[38.12+j211.15]}\times 2521.1 = 3525.12[\mathrm{A}]$$

$$I_g + I_{INV} = 3525.12 + 37.7 = 3562.81[\mathrm{A}]$$

그림 9와 같이, 1선 지락전류의 수계산 값과 시뮬레이션 값이 일치함을 확인하여, 수용가 보호기기 평가시스템의 정확성과 실용성을 입증하였다.



[그림 9] 1선 지락전류 수 계산과 시뮬레이션 값의 비교

5. 결 론

본 논문에서는 분산전원 연계 시 필요한 기술계산의 새로운 방안을 제시하고 수계산 값과 시뮬레이션 결과 값의 비교를 통해 본 연구에서 제작한 수용가 보호기기 평가시스템의 시뮬레이션을 수행하여 신뢰성 있는 결과를 도출하였다. 따라서 분산전원이 연계되었을 때 계통에 문제발생의 여부를 손쉽고 신속하게 판단하여 보호기기의 운용 데이터와 종류를 결정하여, 배전계통 운용의 안정화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] 김주성 외 2명, “배전자동화기반 오프라인 기술계산 프로그램도입으로 계통운영 신뢰도 제고”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 7월, 2008.

[2] 한국전력공사, “Off-DAS 사용안내서[분산형전원 연계선로 기술검토]”,7월, 2008.