

배전계통의 보호협조측면에서 본 분산전원 연계용량 검토

(Interconnection Capacity Evaluation of Distributed Resources at the Distribution Networks in View of Distribution Protection Coordination)

최준호* · 노경수 · 박성준 · 송경빈 · 윤상윤

(Joon-Ho Choi · Kyung-Soo Ro · Sung-Jun Park · Kyung-Bin Song · Sang-Yun Yun)

요 약

정부의 신·재생 에너지 관련 정책으로 인하여 앞으로 국내에서 신·재생에너지원은 보급은 증가할 것으로 예상된다. 신·재생에너지원은 전원의 특성상 전력계통에 연계되어 운전하는 것이 일반적이지만 이러한 연계 운전은 전력계통 계획 및 운영상에 상당한 영향을 미치게 된다. 기존 배전계통의 전력조류는 변전소에서 수용가를 향한 단방향이며 이를 기반으로 계통운영이 이루어지고 있으나, 신·재생에너지원의 연계로 배전계통에 양방향의 전력조류가 형성되므로 기존의 보호시스템의 신뢰성 및 전력품질이 저하될 수 있다. 따라서 신·재생에너지원의 연계평가에 대한 기술적 평가절차가 필요하다. 본 논문에서는 국내 배전계통의 전형적인 보호기기인 자동 재폐로 차단기와 구분개폐기의 특성을 살펴보고, 현재의 자동재폐로 차단기-구분개폐기 보호시스템에서 분산전원의 연계용량을 검토하는 방안을 제시하고자 한다.

Abstract

The introduction of new·renewable energy is going on increase with the second plan of the Korean Government "Technology Development, Utilization and Popularization of New·Renewable Energy". In general, it is connected to the power system due to the nature of its source characteristics but its interconnection operation impacts on the power system planning and operation. The operation schemes of the existing power distribution system are based on the unidirectional power flow, but unidirectional power flow changes to bidirectional power flow due to the interconnection operation of new·renewable energy. It degrade the existing protection coordination system and power quality of the power distribution system. Thus, the technical evaluation process of the interconnection of new·renewable energy are necessary. In this paper, the characteristics of the existing automatic recloser and sectionalizer are reviewed and interconnection capacity evaluation method of the DR(distributed resources) in the existing automatic recloser-sectionalizer protective coordination system are proposed.

Key Words : Distributed resources, Interconnection capacity, Distribution protection practice

* 주저자 : 전남대학교 전기공학과 조교수
Tel : 062-530-1742, Fax : 062-530-1749
E-mail : joono@chonnam.ac.kr

접수일자 : 2007년 2월 6일
1차심사 : 2007년 2월 7일
심사완료 : 2007년 2월 13일

1. 서론

지구 온난화 문제 및 화석연료의 고갈로 인해 향후 지속적으로 증가될 것으로 예상되는 소형 신·재생에너지원은 배전 계통에 분산전원의 형태로 연계되는 것이 일반적이다. 국내의 22.9[kV] 배전계통은 루프운전을 하고 있는 송전시스템과는 달리 단방향 전원에 의한 방사상으로 운전되고 있으며 보호시스템 또한 단방향 조류에 기초하여 구성되고 있다. 하지만 이러한 배전계통에 분산전원이 연계되면 단방향 전원에서 양방향 전원 시스템으로의 전환됨에 따라 안전도, 안정도뿐만 아니라 고장전류의 증가에 따른 보호기기 정격의 수정, 보호협조의 재구성 등과 같은 배전계통 보호시스템의 적합성에 대한 검토가 이루어져야 한다[1-2]. 보호협조에 관련된 지금까지의 연구사례를 살펴보면 기존 배전계통에 분산전원이 연계되었을 때 자동재폐로 차단기(recloser)-퓨즈(fuse) 보호협조시스템에 대한 영향 및 대책을 다룬 연구들이 대부분이었다[3-4].

그러나 국내 배전계통의 주 보호협조는 자동재폐로 차단기와 구분개폐기(sectionalizer)를 주 보호기기로 하는 보호협조시스템을 적용하고 있다. 따라서 본 논문에서는 국내 배전계통의 주 보호협조 기기인 자동재폐로 차단기-구분개폐기의 보호협조시스템을 살펴보고 분산전원이 연계된 배전계통에서의 자동재폐로 차단기-구분개폐기 보호협조 측면에서 영향을 미치지 않는 분산전원의 적정 용량을 검토하여 효과적으로 연계하는 방안을 제시하고자 한다.

2. 자동재폐로 차단기-구분개폐기 보호협조

국내 배전계통에서 주로 쓰이고 있는 자동재폐로 차단기와 구분개폐기에 대해서 알아보고, 자동재폐로 차단기와 구분개폐기를 이용한 보호협조에 대하여 조사하였다[5-6].

2.1 자동재폐로 차단기

자동재폐로 차단기는 배전선로에서 고장이 발생

했을 때 고장을 검출하여 차단하며, 이 고장의 형태가 순간고장인 경우에는 일정시간 동안 개방 후 재투입되어 정상적으로 전력을 공급할 수가 있으며, 영구고장인 경우에는 고장구간을 계통에서 분리하여 선로에 파급되는 정전의 범위를 최소한으로 억제할 수 있는 보호기기이다.

2.1.1 동작특성

가. 최소 고장전류

자기보호구간의 최소 고장전류를 최소 고장전류로 취한다.

나. 최대 고장전류

설치점에서의 3상 단락 고장전류와 설치점의 지락 저항을 0[Ω]으로 상정한 1선 지락고장전류 중 큰 값을 최대 고장전류로 취한다.

다. 최소동작전류

기기의 최소동작전류는 보호구간의 최소고장전류보다 적어야 한다. 상간최소동작전류의 정격은 부하 종류에 따라 설치점 최대부하전류의 2.8배에서 4.0배로 설정한다. 이때 설치점 최대부하전류는 다음의 식 (1)과 같이 구한다.

$$I_{\max} = \frac{I_s}{s} \times \frac{(\Sigma P_{\text{sum}} - (\Sigma P_{tr} + \Sigma P_{io}))}{\Sigma P_{\text{sum}}} \quad (1)$$

I_{\max} : 각 보호기기 설치점의 최대부하전류

I_s/s : 변전소 인출점에서의 최대부하전류

ΣP_{sum} : 선로 전체에 걸린 총부하의 합계

ΣP_{tr} : 보호기기 설치점이후의 전동부하의 합계

ΣP_{io} : 보호기기 설치점이후의 동력부하의 합계

지락 최소동작전류는 보호구간의 최소고장전류의 0.5배 이하이어야 하며, 부하 측 단상선로 중 가장 큰 최대부하전류 이상이어야 한다.

2.1.2 과전류 크기에 따른 동작시간 설정

자동재폐로 차단기는 순시동작과 지연동작이 있다. 지연동작은 순시동작에서 제거되지 않는 순간고

장을 제거하며, 자동재폐로 차단기의 정격과 고장전류의 크기에 따라 동작을 달리한다. 표 1의 예를 통해 이를 살펴보도록 한다.

표 1. 자동재폐로 차단기의 정점 및 동작시간의 예
Table 1. The example of recloser setting value and operation time

설치점 최대고장 전류	최소 동작 전류 (A)	[%]P U	순시 동작 (Cycles)	지연 동작 (Cycles)	동작 특성	기기 종류
2,501	560	447	3	22.2	2F2D	IJB-VE

고장전류의 [%]PU값에 따라 재폐로 시간이 결정되며, [%]PU를 구하는 식은 다음의 식 (2)와 같다.

$$\%PU = \frac{\text{고장전류}}{\text{최소동작전류}} \times 100 \quad (2)$$

가. 동작시간(Cycle)

F(Fast) : [%]PU를 X축으로 하여 해당 특성곡선(A)과 만나는 점의 Y축 값으로 자동재폐로 차단기의 순시동작 시간을 의미한다.

D(Delayed) : [%]PU를 X축으로 하여 해당 특성곡선(B)과 만나는 점의 Y축 값으로 자동재폐로 차단기의 지연동작 시간을 의미한다.

나. 재폐로 시간

재폐로 시간은 회로가 개방된 후 자동적으로 폐로될 때까지의 시간으로 순시고장이 제거될 수 있는 여유를 준다. 재폐로 시간은 보호장치의 정정범위내의 값이 보호기간 협조가능 동작시간내의 동작특성인지 여부를 검증, 즉 진행상태를 파악할 때 적용하는 중요한 요소로서 40사이클~60초까지 임의로 조정할 수 있다.

2.1.3 재폐로 시퀀스

동작은 자동이며, 로크아웃(lockout)은 고장의 형태가 영구고장으로 판별되어 선로를 차단하는 동작으로, 로크아웃이 되면 고장이 제거된 후 수동으로 자동재폐로 차단기를 작동시켜야 한다.

가. 시퀀스 선정

자동재폐로 차단기의 동작특성 선정은 최대, 최소 고장전류와 최대부하전류에 의거 배전선로에 설치하는 보호계전기와 자동재폐로 차단기간에 협조가 이루어지도록 해야 한다. 특히 공급하고 있는 선로의 부하특성 등을 우선으로 고려하는 등 다양한 조건들을 참고로 하여 기준모형을 선정해야 한다. 특별한 고려사항이 없는 경우에 참고할 수 있는 동작특성의 모형은 아래와 같다. 일반적으로 총 작동 횟수는 3~4회이다.

① 2F1D

주로 많이 적용하는 동작특성 모형으로 타 보호장치와 보호협조가 잘 이루어지는 모형으로 변전소에 가까운 지역의 부하 밀집지역 선로에 적합하다.

② 2F2D

타 보호장치와 협조가 양호하여 많이 쓰이나 자동재폐로 차단기-자동재폐로 차단기 보호협조시 동시 동작할 우려가 있어 구간 협조 장치가 필요하다.

③ 1F3D

전위 퓨즈와 여유 있는 협조를 제공하며 후비 퓨즈나 자동재폐로 차단기와 협조가 어렵다. 또한 큰 고장전류로 선로를 소손시킬 우려가 있다.

④ 1F2D

후비 자동재폐로 차단기와 협조 시 전위 자동재폐로 차단기에 적용하는 모형이다.

⑤ 3F 또는 4F

어떠한 지연도 없어야 하는 배전선로에 적용하며 변전소로부터 매우 짧은 공장의 선로에 적용한다.

⑥ 3D 또는 4D

잘 쓰이지는 않으나 정전이 없어야 하는 동력부하를 담당하는 선로에 적용되며 자동재폐로 차단기가 불필요하게 동작하는 것을 방지하기 위한 것으로 자동재폐로 차단기의 보호 영역내의 순간고장이 제거되지 못하는 단점이 있으며, 분기선로에 설치하여 이후에 고장발생시 확실히 고장구간을 분리해 주어야할 경우에 적합하다.

2.1.4 복귀시간

복귀시간은 자동재폐로 차단기가 투입된 후 선로에 고장전류가 흐르지 않는 상태에서 진행한 시간으로 부하측에 순간고장이 발생하면 자동재폐로 차단기의 재폐로 동작으로 고장이 제거되므로 자동재폐로 차단기는 로크아웃 되지 않고 재투입되어 정정된 복귀시간 후 자동재폐로 차단기가 정상으로 회복되어야 한다. 복귀시간은 해당 자동재폐로 차단기가 협조하여야 하는 전원 측 후비보호장치의 최대 재투입시간보다 길게 하되 가능한 짧게 한다.

2.1.5 자동재폐로 차단기-자동재폐로 차단기 보호협조

후비 자동재폐로 차단기가 전위 자동재폐로 차단기가 먼저 동작하거나 동시 동작하지 않도록 두 자동재폐로 차단기의 동작시간차를 아래의 기준 시간차보다 크게 하여야 하며, 두 자동재폐로 차단기간의 동작특성의 모형을 고려하여야 한다. 자동재폐로 차단기와 자동재폐로 차단기 기준시간차는 3.5 사이클, 2.7사이클 및 8사이클 등이 있다. 자동재폐로 차단기와 자동재폐로 차단기간 시퀀스 검토방법은 자동재폐로 차단시간 동작특성과 최소동작 전류치를 모두 다르게 설정하는 방법을 사용한다.

2.2 구분개폐기

구분개폐기는 자체적으로 고장을 차단하는 능력이 없으며, 일반적으로 후비 보호장치인 자동재폐로 차단기와 함께 쓰인다. 자동재폐로 차단기의 최소 차단정격의 80[%]의 과전류가 흐르면 구분개폐기는 계수를 행할 준비를 하고 자동재폐로 차단기의 동작에 의해 선로가 무전압 상태가 되면 이를 감지하여 계수한다. 무전압 상태의 횟수를 일정 시간동안 기억하고 있으며, 미리 정해놓은 횟수에 도달하면 선로의 무전압 상태에서 선로를 개방하여 고장구간을 분리시킨다. 주요 설정방법은 다음과 같다.

- ① 구분개폐기의 최소동작전류 = 후비 자동재폐로 차단기의 최소동작전류 × 0.8
- ② 구분개폐기의 계수횟수 = 후비 자동재폐로 차단기의 총 동작횟수 - 1회

- ③ 구분개폐기의 기억(복귀) 시간 > 후비 자동재폐로 차단기의 총소요시간
- ④ 구분개폐기의 phase resistor 정격전류 > 부하전류
- ⑤ 구분개폐기의 ground resistor 정격전류 < 설치점의 최소고장전류
- ⑥ 구분개폐기의 phase resistor 정격전류 < 설치점의 최대고장전류
- ⑦ 구분개폐기 보호구간의 최소고장전류 > 후비 자동재폐로 차단기의 최소동작전류

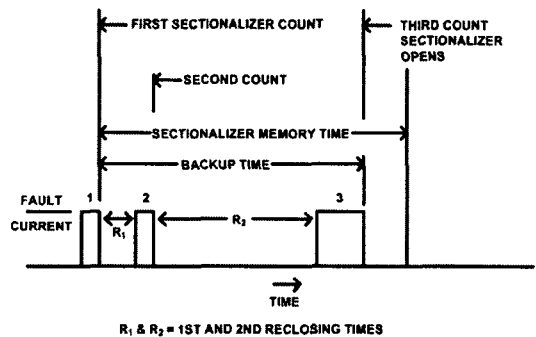


그림 1. 구분개폐기의 동작과정
Fig. 1. Operation sequence of sectionalizer

2.2.1 구분개폐기-구분개폐기 보호협조

전위 구분개폐기와 후비 구분개폐기의 협조검토시 전위 구분개폐기의 최소 동작전류는 자동재폐로 차단기와 구분개폐기의 협조 검토방법 때와 동일하며 동작횟수는 후비 구분개폐기의 동작횟수보다 1회 적게 정정한다.

2.3 분산전원 연계시 보호협조 문제

그림 2는 자동재폐로 차단기와 구분개폐기를 이용하여 보호협조를 구성한 배전계통 모델이다. 분산전원은 예제 배전계통 모델의 F, I, J, K 지점에 연계되었다고 가정하였다.

분산전원에 의한 보호협조 문제점은 크게 두 가지의 유형으로 구분할 수 있다. 첫째는 분산전원에 의한 역방향 고장전류로 인해 보호기기들의 불필요한 작동을 초래하는 경우이다. 예를 들면 예제계통모델

의 E, D점에서 사고시 분산전원의 역방향 고장전류로 인해 R_2 와 SE_1 , SE_2 , SE_3 가 불필요하게 동작될 가능성이 있다. 들때는 인접선로에서 고장이 발생했을 경우 유입되는 고장전류의 증가로 보호기기의 최대 고장전류를 초과하는 경우이다. 예를 들면, 예제 계통모델의 G점에서 사고시 인접선로 분산전원의 고장전류로 인해 R_0 가 불필요하게 동작될 가능성이 있다.

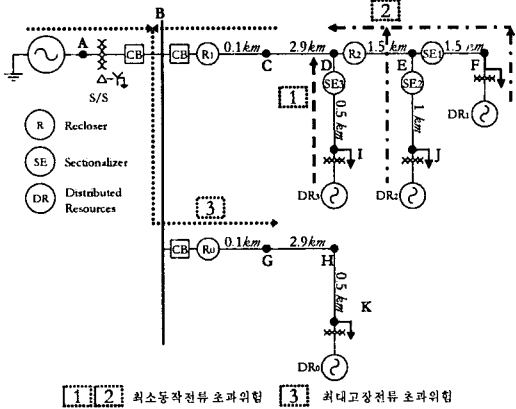


그림 2. 보호측면에서 문제 사례
Fig. 2. A case example of protection problem issue

이러한 보호협조 문제점을 해결하기 위한 대표적인 대책으로 보호기기의 추가나 전용선로를 이용한 계통연계 등이 있다. 그러나 추가적인 계통설비의 보강은 추가적인 비용을 수반한다. 본 논문에서는 보호기기의 추가를 최대한으로 줄이며 현재의 보호협조시스템을 유지하는 방안을 모색해 보았다. 그 방안이 바로 분산전원의 용량을 기존 보호협조시스템의 동작범위 내에서 적절히 제한하는 것이다.

3. 연계용량 평가방안

국내 배전계통의 주 보호기기인 자동재폐로 차단기와 구분개폐기의 오동작을 일으키지 않는 분산전원의 연계용량을 평가방안을 살펴본다. 적정 연계용량의 선정만으로는 완벽한 보호협조가 이루어지지 않으나, 보호기기 추가 및 보호계획의 변경을 최소화시키는 효과가 있으며, 분산전원 측에 보호기기

들을 설치하므로 충분한 보호협조가 이루어진다 할 수 있겠다. 분산전원의 연계용량을 평가하기 위한 예제 배전계통모델의 단선도를 그림 3에 나타내었고, 표 2에 예제 배전계통모델의 파라미터를 나타내었다. 이때 부하는 모두 전등부하로 가정하였다.

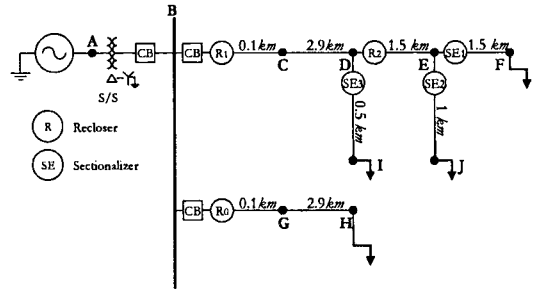


그림 3. 배전계통 모델
Fig. 3. A distribution system model

표 2. 배전계통 모델 입력 파라미터
Table 2. Parameters of the distribution system model

전원측	정격용량[MVA]	100
	영상분 임피던스[%]	$0.257+j1.336$
	정상, 역상분 임피던스	$0.072+j0.757$
	정격전압[kV]	154
배전용변전소 주변압기	정격용량[MVA]	45/60
	임피던스[%]	$j11$
배전선로 (ACSR 160[mm ²])	영상분 임피던스 [%/km]	$11.99+j29.26$
	정상,역상분 임피던스 [%/km]	$3.47+j7.46$
부 하	F [MW]	5
	I [MW]	2
	J [MW]	2
	H [MW]	5

3.1 보호기기 설정

자동재폐로 차단기와 구분개폐기의 최대고장전류, 최소고장전류 및 최소동작전류의 설정은 조류계산과 고장해석을 통해서 그 설정값을 정할 수 있다. 자동재폐로 차단기의 최대고장전류와 최소고장전류를

배전계통의 보호협조측면에서 본 분산전원 연계용량 검토

설정하기 위해 B~H점에서 고장저항을 0[Ω]으로 상정한 3상 단락고장과 1선 지락고장계산을 실시하였다. 그리고 자동재폐로 차단기와 구분개폐기의 최소 동작전류를 설정하기 위해서 조류계산을 실시하였다. 고장계산과 조류계산의 결과는 다음 표 3, 4에 나타내었다. 고장계산 및 조류계산을 토대로 한 모델 배전계통의 각 보호기기들의 설정값은 표 5에 나타내었다.

표 3. 각 노드에서 고장전류 값[kA]
Table 3. Fault current value of each node[kA]

구 분	B	D	E	F	H	I	J
3상단락	13.16	5.873	4.571	3.73	5.87	5.36	3.98
1선지락	13.33	3.817	2.799	2.20	3.81	3.40	2.37

표 4. 각 구간에서 부하전류 값(A)
Table 4. load current value between nodes(A)

구 분	A-B	B-D	B-H	D-E	D-I	E-F	E-J
전류	342	221	122	172	49	123	49

표 5. 각 보호기기들의 설정값
Table 5. Setting value of the each protection devices

R_0	최대 고장전류	13.3370[kA]
	최소 고장전류	3.8170[kA]
	최소 동작전류	341.6[A]
R_1	최대 고장전류	13.3370[kA]
	최소 고장전류	2.2093[kA]
	최소 동작전류	618.8[A]
R_2	최대 고장전류	5.8731[kA]
	최소 고장전류	5.2093[kA]
	최소 동작전류	481.6[A]
SE_1, SE_2	최소 동작전류	385[A]
SE_3	최소 동작전류	495[A]

3.2 분산전원의 연계용량 선정

자동재폐로 차단기-구분개폐기의 보호협조에서 오동작을 일으키지 않는 분산전원의 적정연계용량은 정방향(주전원에서 부하쪽)으로는 최대고장전류

를 초과하지 않고, 역방향(부하에서 주전원쪽)으로는 최소동작전류를 초과하지 않는 용량을 의미한다.

3.2.1 단일 분산전원 연계의 제약조건

분산전원에 의한 고장전류값(I_{DRf})은 역(주전원측) 방향 쪽으로 가장 가까운 보호기기의 최소동작전류(I_{Rmin})의 크기보다 더 적어야 한다.

$$I_{DRf} < I_{Rmin} \tag{3}$$

분산전원에 의한 고장 전류로 인해 정(분산 전원 설치점 이후의 부하말단 방향)방향 쪽으로 가장 가까운 보호기기의 최대고장전류(I_{Rmax})를 초과해서는 안 된다.

$$I_{sf} + I_{DRf} < I_{Rmax} \tag{4}$$

I_{sf} : 주전원에 의한 고장 전류값

3.2.2 단일 분산전원 연계의 사례연구

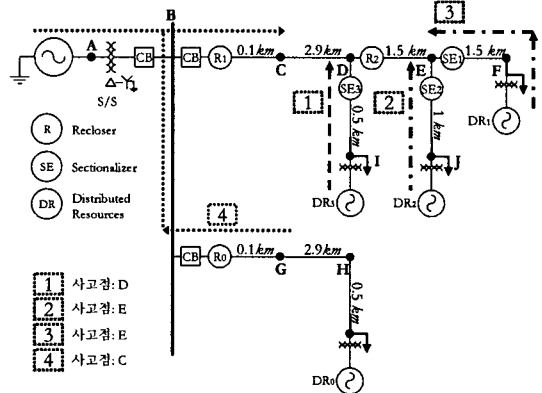


그림 4. 단일 분산전원을 연계한 사례
Fig. 4. The cases of interconnection of single-unit DR

연계 위치는 보호기기들과의 위치관계, 거리를 다양화하여 4곳으로 설정하고 각각의 경우에 보호기기에 악영향을 미치지 않는 적정 용량을 선정하여 보았다. 분산전원 입력 파라미터는 표 6에 나타내었다. 그림 4에서 고장지점은 분산전원에 의한 고장 전류

가 보호기기에 영향을 미치는 범위에서 최대값이 나오는 지점을 선택하였다. 분산전원에 의한 고장 전류값이 보호기기의 최소동작전류 범위를 넘지 않는다면 역방향의 고장전류가 흘러도 보호기기가 작동하지 않으므로, 최소동작전류 범위를 넘지 않는 최대 용량을 선정해 보았다(0.1[MVA] 단위로 산출). 선정 후에는 정방향 쪽의 보호기기의 최대고장전류를 초과하는지를 검토한 후, 전 지점에서 고장 해석을 실시하여 표 5의 보호기기 설정값과 비교하여 검증하였다.

표 6. 분산전원 파라미터
Table 6. Parameters of the distributed resources

분산전원	정격용량[MVA]	0~10
	정격전압[V]	480
	X''d[P.U.]	0.2
변압기		480[V]
		480[V]/22.9[kV]
		2[MVA]
		j3[%]

① D지점에서 고장 발생 : SE₃, E지점 고장 발생 : R₂에 관한 DR₃의 적정용량 선정

SE₃의 최소동작전류는 495[A], R₂의 최대고장전류는 5.8731[kA]이며, 고장은 각각 고장 저항이 0[Ω]인 3상고장을 모의하였다. 먼저 SE₃의 최소동작전류를 넘지 않는 최대 용량을 구한 뒤, 주전원 측에서 흐르는 고장전류와 합하여 R₂의 최대고장전류를 안 넘는지를 확인한 다음 전 지점에서 고장계산을 실시하여서 나머지 보호기기들에 악영향을 끼치는가를 확인하였다. 그 결과 SE₃의 최소동작전류를 넘지 않는 최대 용량인 4.0[MVA]에서 모두 만족하였다. DR₃의 연계용량에 따른 사고전류 표 7에 나타내었다.

② E지점에서 고장 발생 : SE₂에 관한 DR₂의 적정용량 선정

SE₂의 최소동작전류는 385[A]이며, 고장은 고장 저항이 0[Ω]인 3상고장을 모의하였다. SE₂의 최소동작전류를 넘지 않는 최대 용량을 구한 뒤, 전 지점에

서 고장계산을 실시하여서 나머지 보호기기들에 악영향을 끼치는가를 확인하였다. 그 결과 SE₂의 최소동작전류를 넘지 않는 최대 용량인 3.1[MVA]에서 모두 만족하였다.

표 7. DR₃의 용량에 따른 3상 고장전류(A)
Table 7. 3-phase fault current with changes in DR₃ rated capacity(A)

DR ₃ 용량	고장 전류	DR ₃ 용량	고장 전류	DR ₃ 용량	고장 전류	DR ₃ 용량	고장 전류
0.1	12.6	1.2	149.0	2.3	282.9	3.4	414
0.2	25.1	1.3	161.3	2.4	294.9	3.5	425.5
0.3	37.7	1.4	173.6	2.5	306.7	3.6	437.3
0.4	50.0	1.5	185.9	2.6	318.8	3.7	449.1
0.5	62.5	1.6	197.9	2.7	330.8	3.8	461.0
0.6	74.9	1.7	210.3	2.8	342.6	3.9	472.5
0.7	87.4	1.8	222.3	2.9	354.7	4.0	484.3
0.8	99.7	1.9	234.4	3.0	366.5	4.1	495.9
0.9	112.0	2.0	246.7	3.1	378.3		
1.0	124.3	2.1	258.7	3.2	390.1		
1.1	136.7	2.2	270.8	3.3	402.2		

표 8. 단일 분산전원 연계용량 검토 종합
Table 8. Summary of case study of interconnection capacity evaluation of single-unit DR

구 분	사례1	사례2	사례3	사례4
분산전원 용량[MVA]	DR ₃	DR ₂	DR ₁	DR ₀
	4.0	3.1	3.1	2.9
고장지점	D	E	E	C
검토한 보호기기	SE ₃	SE ₂	SE ₁	R ₀
최소동작전류[A]	495.0	385.0	385.0	341.6
분산전원에 의한 고장전류[A]	484.3	376.3	374.0	332.1
검증결과	○	○	○	○

배전계통의 보호협조측면에서 본 분산전원 연계용량 검토

③ E지점에서 고장 발생 : SE₁에 관한 DR₁의 적정 용량 선정

SE₁의 최소동작전류는 385[A]이며, 고장은 고장 저항이 0[Ω]인 3상고장을 모의하였다. SE₁의 최소동작전류를 넘지 않는 최대 용량을 구한 뒤, 전 지점에서 고장계산을 실시하여서 나머지 보호기기들에 악영향을 끼치는가를 확인하였다. 그 결과 SE₁의 최소동작전류를 넘지 않는 최대 용량인 3.1[MVA]에서 모두 만족하였다.

DR₀의 최대 적정 용량 산정도 위와 같은 방법으로 하여 단위 분산전원에 대한 적정연계용량을 종합하여 표 8에 나타내었다.

3.2.3 다수 분산전원 연계의 제약조건

다수의 분산전원이 연계되는 경우에는 단일 분산전원의 연계와 달리 각각의 최대 연계용량 범위 안에서 무수히 많은 조합이 나올 수 있다. 그러나 단일 분산전원의 연계의 제약조건과 마찬가지로 최대동작전류, 최소동작전류의 제약조건은 동일하다. 다만 배전계통의 다양한 지점에 연계되어 있는 분산전원의 사고전류들을 고려하여야 한다. 다수의 분산전원의 연계에서 보호협조 측면에서 본 제약조건은 다음과 같다.

분산전원들에 의한 고장 전류의 합(ΣI_{DRf}) 역(주 전원측) 방향 쪽으로 증첩 될 때마다, 역방향 쪽으로 가장 가까운 보호기기의 최소동작전류(I_{Rmin})의 크기보다 더 적어야 한다.

$$\Sigma I_{DRf} < I_{Rmin} \quad (5)$$

분산전원에 의한 고장 전류로 인해 정(분산전원 설치점 이후의 부하말단 방향)방향 쪽으로 증첩될 때마다, 정방향 쪽으로 가장 가까운 보호기기의 최대고장전류(I_{Rmax})를 초과해서는 안 된다.

$$I_{sf} + \Sigma I_{DRf} < I_{Rmax} \quad (6)$$

다수의 분산전원 연계해석에서는 모든 분산전원을 연계한 후에 고장해석을 실시하고 제약조건을 위반하지 않는 분산전원의 용량의 조합을 조사하여 보았다.

① D지점에서 고장 발생 : R₂에 관한 DR₁, DR₂의 적정용량 선정

예를 들면 DR₁의 용량이 0[MVA]라면, DR₂의 최대 적정용량은 사례 연구 1에서 얻은 3.1[MVA]가 된다. 반대로 DR₂의 용량이 0[MVA]라면 DR₁의 최대 적정용량은 사례 연구 1에서 얻은 3.1[MVA]가 된다. 이와 같은 결과에서 무수히 많은 DR₁과 DR₂의 적정용량 조합을 예상 할 수 있다. R₂의 최소동작전류는 481.6[A]이며, 고장은 고장 저항이 0[Ω]인 3상고장을 모의하였다. DR₁의 용량은 고정이며, 그에 따른 DR₂의 연계 가능한 적정용량은 해당 값 이하 전부이며 이를 표 9에 나타내었다.

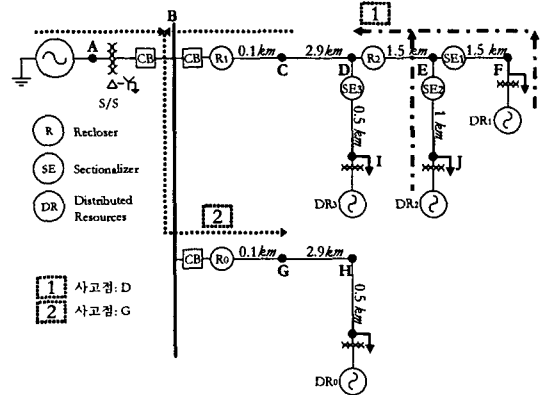


그림 5. 다수의 분산전원을 연계한 사례
Fig. 5. A case example of interconnection of multi-unit DR

표 9. DR₁과 DR₂의 적정 연계용량 조합
Table 9. A combination of propriety interconnection capacity of DR₁ and DR₂

DR ₁ 용량	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
DR ₂ 용량	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	2.9
DR ₁ 용량	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
DR ₂ 용량	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
DR ₁ 용량	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
DR ₂ 용량	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0
DR ₁ 용량	3.1									
DR ₂ 용량	0.9									

② G지점에서 고장 발생 : R_1, R_0 에 관한 DR_1, DR_2, DR_3 의 적정용량 선정

R_1 의 최소동작전류는 618.8[A]이며, 고장은 고장 저항이 0[Ω]인 3상고장을 모의하였다. 결과의 조합이 너무 많아 다음과 같은 DR_1, DR_2, DR_3 의 적정용량 조합의 예를 들어보았다.

DR_1 과 DR_2 의 조합 중 최대값의 경우는 DR_1 이 0.9[MVA], DR_2 가 3.1[MVA]일 때이다. DR_1 과 DR_2 의 값이 각각 0.9[MVA], 3.1[MVA]일 때 DR_3 의 최대 적정 연계용량을 구하였고 이를 표 10에 나타내었다. DR_3 의 최대값은 4.0[MVA]이므로 DR_3 이 4.0[MVA]일 때의 DR_1, DR_2 조합의 한 예를 구하여 표 11에 나타내었다.

표 10. DR_1 과 DR_2 의 최대 연계용량 조합 시 DR_3 의 최대 연계용량

Table 10. The maximum interconnection capacity of DR_3 with maximum interconnection capacity combination of DR_1 and DR_2

DR_1 용량	DR_2 용량	DR_3 용량	고장전류 (A)
0.9	3.1	1.6	611.7

표 11. DR_3 이 최대 용량일 때 DR_1, DR_2 의 연계용량 조합 예

Table 11. A sample combination of interconnection capacity of DR_1 and DR_2 with maximum interconnection capacity of DR_3

DR_1 용량	DR_2 용량	DR_3 용량	고장전류 (A)
0.8	0.8	4.0	611.7

3.3 분산전원의 연계용량 평가 알고리즘

위에서 얻은 결과를 토대로 보호협조 측면에서 분산전원의 연계용량평가가 알고리즘 흐름도를 그림 6에 나타내었다. 그림 6의 연계용량 검토 알고리즘은 분산전원의 연계 위치가 정해지면 연계가능한 분산전원의 적정 연계용량을 제시하는 방안이다. 만약 분산전원의 연계용량이 적정용량 이상이면 보호기기 변경 및 타 선로의 연계 등의 방안을 제시하여야 한다.

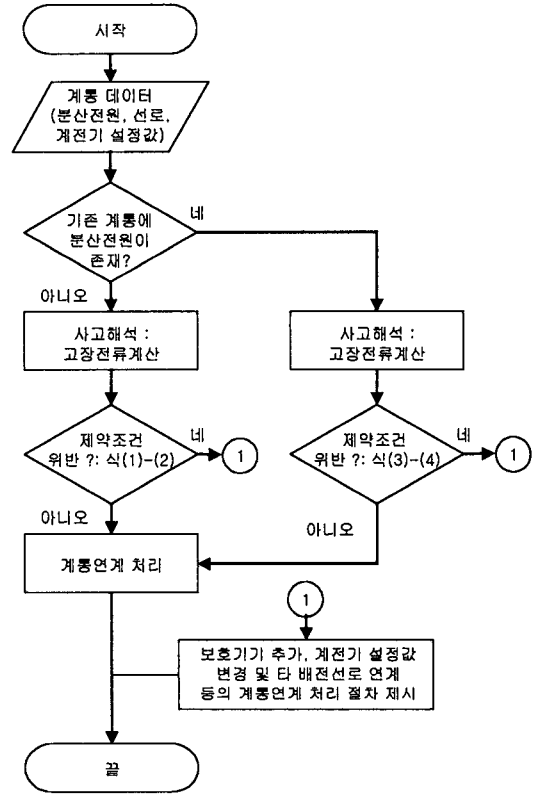


그림 6. 분산전원 적정 연계용량 검토 알고리즘

Fig. 6. Evaluation algorithms of the proprietary DR interconnection capacity

4. 결 론

본 논문에서는 국내 배전계통의 자동재폐로 차단기-구분개폐기의 보호협조에 대하여 살펴보고 분산전원의 연계에 따른 영향을 검토하였다. 또한 효과적인 분산전원의 계통 연계절차 및 평가를 위해 분산전원의 적정 연계용량을 검토하는 방안을 제시하였다. 연계용량의 평가는 분산전원의 용량을 적절히 검토하여 역방향의 고장전류가 흘러도 보호기기의 최소동작전류와 최대고장전류를 초과하지 않도록 하여 기존 보호협조시스템에 운영에 부합하도록 하는 것이다. 즉 분산전원에서 공급되는 고장전류를 보호기기의 동작전류보다 낮게 하도록 연계 용량을 제한하여 보호기기의 오동작을 원천적으로 방지하고 기존의 보호협조를 최대한 유지하는 것으로 경제적으로 추가 비용 감소의 효과를 얻는 것이다.

본 논문에서 제안한 적정 연계용량 평가방법은 국내 분산전원의 계통연계 절차 및 평가방법 수립에 아주 유용한 자료가 되리라 사료된다.

References

- [1] 최준호, 정성교, 조동우, 김낙경, 손학식, 김재철, “배전 계통에 연계된 열병합발전 시스템의 개선된 보호협조 방안”에 관한 연구”, 전기학회지논문, 49A, pp. 280-288, 2000.
- [2] Hadsaid, N.; Canard, J.-F.; Dumas, F. , “Dispersed generation impact on distribution network”, Computer Applications in Power, IEEE, Volume 12, Issue 2, 22-28, April 1999.
- [3] Sukumar M. Brahma; Adly A. Girgis, “Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System”, Power Engineering, LESCOPE '01, pp. 115-119, 2001.
- [4] Sukumar M. Brahma; Adly A. Girgis, “Development of Adaptive Protection Scheme for Distribution Systems With High Penetration of Distributed Generation”, IEEE Trans. on PWRD, Vol. 19, No. 1, pp. 56-63, Jan. 2004.
- [5] 한국전력공사 배전처, 배전보호기술서, 1995.
- [6] Cooper Power System, Electrical Distribution System Protection-Third Edition, 1990.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원사업에 의해 작성되었습니다.

◇ 저자소개 ◇

최준호 (崔駿豪)

1970년 7월 30일생. 1996년 숭실대학교 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2002년 서울대학교 전기공학과 BK21 박사후 연구원. 현재 전남대학교 전기공학과 조교수.

노경수 (盧景洙)

1963년 3월 27일생. 1985년 서울대학교 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1997년 미국 Virginia Tech 전기공학과 졸업(박사). 2005년 미국 Arizona State University 방문교수. 현재 동국대학교 전기공학과 부교수.

박성준 (朴晟濬)

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대학교 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2002년 동 대학원 지능기계공학과 졸업(박사). 1996년 거제대 전기과 조교수. 2000년 동명대 전기과 조교수. 현재 전남대학교 전기공학과 조교수.

송경빈 (宋敬彬)

1963년 9월 15일생. 1986년 연세대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 텍사스 A&M 전기공학과 졸업(박사). 1996년 한전전력연구원 선임연구원. 1998년 대구효성가톨릭대학교 전임강사. 현재 숭실대학교 전기제어시스템공학부 조교수.

윤상윤 (尹常潤)

1970년 8월 28일생. 1996년 숭실대학교 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 LG산전 전력연구소 선임연구원.