



## 양방향보호협조의 개념 및 실 계통 사례 분석

■ 하복남, 신창훈, 정원욱 / 한전 전력연구원

최근 국가적인 에너지 개발사업으로 대용량 분산전원이 다수의 배전계통에 연계되고 있는 실정이다. 기존의 단 방향 조류를 가진 배전계통에 분산전원이 연계되어 운전되는 경우, 사고전류를 역방향으로 공급하거나, 분산전원의 연계변압기의 결선방식으로 보호협조에 많은 문제점이 발생되고 있는 실정이다. 따라서 한전의 전력연구원을 중심으로 학계와 다수의 업체가 참여하여, 산학연 공동연구로 양방향 보호협조에 대한 연구가 진행 중이다. 학계에서는 EMTDC/PACAD와 Hyper-Sim에 의한 시뮬레이션을 수행하여 양방향 알고리즘을 제시하고, 업체에서는 양방향 보호기기를 개발하여 개별 기능시험을 수행하고 있다. 한편, 전력연구원에서는 개발된 알고리즘과 기기를 이용하여, 고장의 실증시험장에서 실증시험을 수행할 예정에 있다. 이들 공동연구를 통하여, 분산전원이 연계된 배전계통의 양방향 보호협조 문제점들을 해결할 수 있을 것으로 기대한다. 본 논문에서는 양방향 보호협조에 대한 개념과 실계통의 문제점을 분석한 사례를 소개하고자 한다.

### 1. 서론

최근, 국가적인 차원에서 추진되고 있는 풍력발전, 태양광발전 등과 같은 분산전원은 기존의 전원에 비해

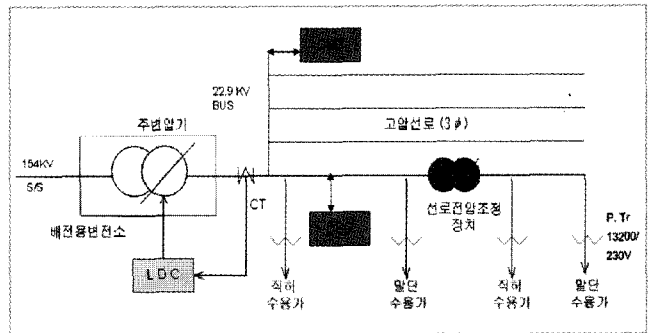


그림 1 분산전원(DSG)이 도입된 배전계통

여 소규모 전원인 관계로 주로 수용가에 가까운 배전계통에 도입되어지고 있으며, 그 특성상 배전계통과 연계하여 운전함으로써 보다 안정된 전력의 확보 및 전력설비의 효율적인 활용, 자원의 효율적인 이용 등의 이점을 얻을 수 있다. 한편, 태양광과 풍력 등의 자연에너지를 이용한 분산전원은 일정한 출력을 내는 기존의 전원보다 기후나 온도, 지형적인 영향을 많이 받는 간헐적인 전원이므로, 이들이 도입된 배전계통은 기존의 단 방향 공급형태의 배전계통과는 달리 부하와 전원이 혼재되어 운용되는 형태로 된다. 그림 1과 같이 분산전원이 연계된 배전계통의 경우에는 분산전원의 출력 용량의 여부에 따라 양방향의 전력조류가 발생할 가능성이 있어, 계통운용상 여러 가지의 문제점이 야기될 수 있다. 따라서 분산전원에 대규모전원의 보완적 역할과 배전선로 상의 국부적 부하 감당 역할을 부

과하여 그의 적극적 활용을 피하기 위해서는, 분산전원으로부터 배전계통에 전력을 공급하는 역 조류의 기능을 허용할 수 있는 양방향 보호협조 방식의 체제를 확립할 필요가 있다.

## 2. 양방향보호협조에 대한 문제점 분석

배전계통에 있어서, 낙뢰 및 수목접촉 등의 원인으로 지락사고 및 단락사고가 발생하였을 경우, 사고파급 확대를 방지하기 위하여 사고전류를 공급하고 있는 전원을 신속하게 차단하도록 하고 있다. 이와 같은 목적으로 배전선로에는 보호 장치가 설치되어 사고를 정확히 검출하여, 사고구간 또는 사고선로를 계통으로부터 분리하게 된다. 그러나 분산전원이 기존의 어떤 보호협조 체제하의 배전선로에 도입될 경우는 분산전원의 계통에 대한 역 조류에 의해 사고 시 고장 구간의 분리 및 선로재구성에 따른 차단기 및 개폐기 제어알고리즘, 그리고 순시정전 시 분산전원의 기동정지, 개폐기의 기능, 차단용량 등에 악영향을 끼칠 우려가 다분히 있다. 또한, 사고 시, 일시적으로 분리된 건전구간 내에 분산전원이 존재하여 그 구간 내의 부하와 평형을 이루며 운전되고 있는 경우(단독운전)가 있을 수 있는데, 이 경우에는 인체 및 전기설비에 위험을 초래하게 될 뿐만 아니라 사고의 신속한 복구에도 저해의 요인이 된다.

한편, 지락사고 시 선로가 계통과 차단된 상태에서 분산전원의 차단기가 늦게 동작하게 되면 선로의 커패시터와 부하가 분산전원과 작용하여 공진으로 인한 과전압이 발생할 수 있다. 또한, 차단기(리클로저 또는 CB)와 퓨즈의 보호협조체제 하에서 순시사고 시, 퓨즈의 불필요한 용단으로 인한 장시간정전사태가 발생하거나, CB 또는 리클로저의 재폐로 방식에 대한 분산전원의 확실한 분리보장문제 등이 열거될 수 있다. 따라서 상기에서 지적된 문제점들에 대해서 배전계통의 보호체제와 분산전원의 보호 장치가 서로 협조하여 대처할 수 있도록 전반적인 검토가 이루어져야 한다. 한편, 연료전지 및 태양광 발전의 경우, 전원의 특성이 종래

의 발전시스템과 달리 직류전원에 인버터를 개입시켜 계통에 연계되기 때문에 그 특성을 충분히 파악하여 새로운 보호협조 방식의 적용여부를 검토할 필요가 있다.

다음에는 기존의 배전계통에 분산전원의 연계에 의하여 발생할 수 있는 양방향 보호협조의 문제점을 정리하였다.

### (1) 보호기기 영역

- 분산전원의 고장전류 공급에 의한 단락전류 증가로 리클로저의 차단용량 초과 가능성
- 3상 단락사고 시 분산전원 역 조류에 의한 고장전류 감소로 리클로저가 부 동작할 가능성
- 사고 위치와 분산전원 설치 위치에 따라 단락사고 시 분류효과(상위계통의 단락전류 감소)가 발생하여, 보호기기(리클로저)의 검출 곤란화로 부 동작 발생
- 분산전원이 연계된 피더의 동일뱅크의 타 피더의 직하에서 단락사고 발생시 분산전원의 사고전류 공급으로 보호기기(리클로저)의 오 동작
- 단상 지락에 의한 분산전원 사고전류 증대로 인한 건전 상 보호기기의 오동작
- 다기의 분산전원 연계 시 상호 간섭(단독운전방지용)에 의하여 검출감도 저하로 보호기기 오동작
- 분산전원 연계변압기의 일반적인 결선방식(Grounded Y- $\Delta$ )에서는 지락사고 시 Ground Source의 역할에 의하여 보호협조 붕괴
- 1선 지락사고 시 분산전원 축의 접지임피던스의 크기에 따라 리클로저의 감도저하 가능성
- 1선 지락사고 시 분산전원 차단기가 개방된 상태에서 분산전원이 계통과 분리되어 1선 지락인 상태로 남게 되는 현상

### (2) 보호협조 영역

- 분산전원의 고장전류에 의하여 후미의 리클로저에 사고전류가 더 크게 되어 보호협조 실패 (TC곡선의 보정문제)
- 순시사고 시 리클로저와 Fuse의 보호협조 문제로

Fuse 용단 가능성으로 영구 사고화 가능성

- 분산전원(동기발전기) 구내의 단락사고 시 리클로저(OCR) 정정치와 분산전원측(DSR)의 보호협조 문제(설정감도가 작으면 검출불가, 크면 부하전류에 오동작 가능성)
- 리클로저의 전원 측에 분산전원이 연계된 경우, 리클로저 이후의 사고 시 분산전원의 보호기기들은 동작되지 않도록 정정치 설정
- 변전소 CB(0,5초)와 리클로저(2초)의 재폐로 동작시간에 대하여 유도기의 출력전압이 25% 이하로 되는 시간과의 협조문제
- 계통사고 시 분산전원 구간개폐기(또는 자동화기기)의 무전압 카운팅 착오
- IEEE 1547에서 Voltage Sag(50-80%) 시에 분산전원이 2초간 운전되도록 정해져 있는데, 재폐로 시간(2초)과 중복되어 비동기 사고 가능성

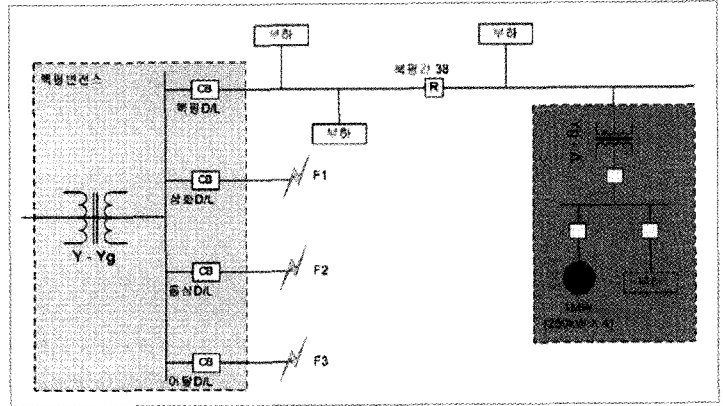
### (3) 기타(비정상상태)

- 분산전원 기동 시 돌입전류에 의한 전류 증가현상
- 커패시터 스위칭으로 인한 공진현상(전압확대현상)
- 유도기의 자기여자현상(역률보상용 콘덴서 용량)
- Grounded Y- $\Delta$ 결선방식에 의한 철공진현상

## 3. 양방향보호협조에 대한 실 계통 사례분석

### 가. 사례 개요

그림 2와 같이, 강릉지사 동해지점의 북평 변전소의 1MW 용량의 태양광 발전이 설치된 고압배전선로의 보호기기(리클로저)가 동일변전소의 동일 배전선로의 고장 발생시에 오동작하는 경우가 발생하였다. 북평변전소 #3 M.Tr 배전선에서 인출된 북평 D/L에 설치된 리클로저가 동일배전선 인출 선로인 삼하, 동삼, 어달 D/L에서 외물접촉, LA 파손, 변압기 소손



북평변전소의 배전계통 구성도

등의 이유로 발생한 10건의 고장에 대하여 오동작하여 재폐로하였다. 여기서는 사고가 발생하지 않은 태양광 연계선로인 북평 D/L에 설치된 리클로저의 오동작 원인을 규명하고, 양방향 보호협조에 대한 사례를 분석하였다.

### 나. MATLAB/SIMULINK에 의한 사례 분석

태양광 연계선로인 북평 D/L에 설치된 리클로저의 설정 값은 상전류가 400A이고 지락전류가 70A이다. 표 1과 같이, 동일배전 내 타 선로에서 발생한 고장에 반응하여 리클로저에는 약 130-480A의 N상 전류(정상 전류)가 흘러서 OCGR이 오동작을 하였다. 이에 대한 구체적인 원인을 분석하기 위하여, 여기서는 MATLAB/SIMULINK를 이용하여 해석하였다.

#### (1) 배전계통 및 태양광발전 모델링

그림 3은 북평변전소 #3 M.Tr의 인출 배전선로와 태양광발전설비 연계에 대한 모의시험 대상선로를 Matlab/Simulink를 이용하여 모델링한 것이고, 그림 4는 인버터를 이용하여 연계되어진 태양광 발전설비를 모델링한 것이다.

#### (2) 보호기기 오동작 현상 해석

여기서는 오동작 현상을 해석하기 위하여, 상기의 모의선로에 대하여 태양광발전이 연계되어 있지 않은

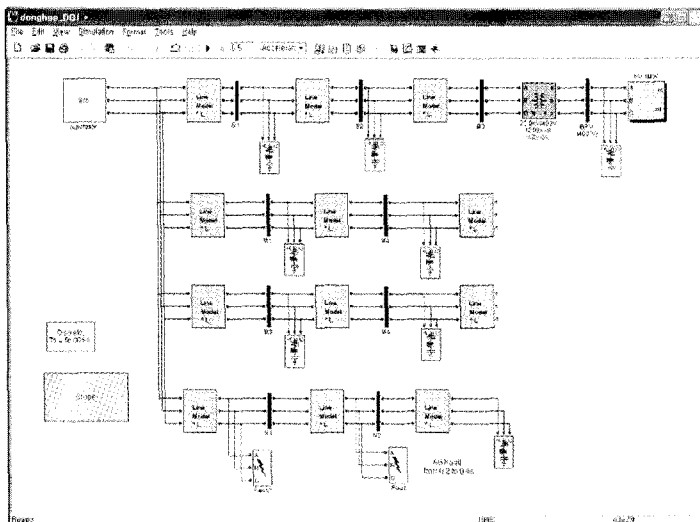
표 1 북평 D/L의 고장상황 및 고장전류 분석

번호	고장일시	고장선로	고장원인	고장선로 고장전류	북평간 38호 고장전류
1	2006.07.20 10:12	동삼DL 동삼간 51RA 2회재폐로	LA 파손	A: 2,795A N: 2,749A	A76, B105, C72 N237
2	2006.08.06 14:37	삼화D/L 삼화간 30RA 1회 재폐로	외물접촉	A: 1,077	N: 1,006A120, B71, C62 N193
3	2006.08.06 15:04	동삼D/L 동삼간 51RA 1회재폐로	외물접촉	B: 1,308, C: 2,093 N:1,096	A218, B297, C184, N477
4	2006.11.05 13:07	삼화D/L 단봉지 2RA 1회재폐로	변압기 소손	B: 3,580, N: 3,573	A115, B81, C102, N272
5	2007.03.09 11:51	어달D/L 어달간 208RA 1회재폐로	외물접촉	B: 231 N: 134	A145, B114, C80, N181
6	2007.03.15 19:15	어달D/L 어달간 116RA 트립	LP애자 파손	C: 1,209 N: 1,225	A48, B81, C40, N137
7	2007.04.01 09:50	삼화D/L 단봉지 2RA 2회재폐로	조류	B: 3,700 N: 3,695	A94, B51, C65, N180
8	2007.04.04 17:07	어달D/L 어달간 116RA 1회 재폐로	LA 파손	C: 1,207 N: 1,224	A145, B114, C80, N181
9	2007.04.25 17:07	삼화D/L 삼화간 41RA 1회재폐로	원인불명	A: 220 N: 190	A91, B86, C62, N215
10	2007.05.10 13:15	동삼D/L CB 트립	차량충돌	CB 51(N) 순시 : 2,797	A188, B118, C166, N473

3개의 선로 중 하단의 선로에 고장을 발생시켰다. A상 1선지락 고장을 0.2초에서 발생시켜 0.2초간 지속하도록 하였다. 모의한 고장에 대하여 북평D/L에서의 A, B, C상 및 N상 전류 값을 시뮬레이션하면 그림 4와 같다. 이 그림을 살펴보면, 북평 D/L의 A상 전류(AG Fault)가 다른 상에 비하여 현저하게 감소하고, 북평 D/L의 N상전류가 약 131A임을 확인할 수 있었다. 이 전류는 리클로저를 오동작시킬 만큼 충분히 큰 전류임을 알 수 있었다. (N상 : 70A로 설정)

(3) 보호기기의 오동작 현상 평가

북평 D/L에 1MW의 태양광발전설비가 연계되어 있고, 태양광발전설비의 연계를 위하여 1250kVA의 연계변압기가 설치되어 있다. 이 연계변압기는 Yg- $\Delta$ 결선으로 구성되어 있다. 북평 D/L에 연계되는 태양광 설비는 인버터를 통하여 연계가 되어 태양광발전에서 계통으로 공급되는 고장전류의 크기는 크지 않다. (정격전류의 1.5배 정도), 그러나 연계변압기의 결선이 Yg- $\Delta$ 로 구성되어 영상전류의 통로



Matlab/Simulink를 이용한 태양광설비가 연계된 배전계통 모델링

를 제공하여, 타 선로의 지락고장전류가 중성선을 통하여 주변압기 뿐만 아니라, 연계변압기의 접지 축으로 흐르게 된다. 따라서 연계변압기의 결선방식에 의하여 복평 D/L에 상당한 크기의 중성선 전류를 흐르게 하여, 이로 인하여 리클로저(P:400A, N: 70A)의 오동작을 야기 시켰다고 할 수 있다.

#### (4) 보호기기의 오동작에 대한 대책

분산전원이 연계될 경우 연계변압기의 결선방식에 따라 고장전류의 파급으로 다양한 형태의 보호기기의 오동작 발생가능성이 존재한다. 본 사례의 고장전류 발생원인은 연계변압기의 결선이 Yg- $\Delta$ 로 구성되어 동일뱅크 타 선로에서 지락고장이 발생하였을 경우 타 선로의 지락전류가 주변압기의 NGR을 통하여 뿐만 아니라 연계변압기 Yg결선을 통하여 회귀되어 고장이 발생하지 않은 선로의 중성선 전류로 보호기기를 동작시킬 만큼의 전류가 흐르게 되기 때문이다. 따라서 리클로저의 오동작을 방지하기 위한 단기적인 해결책으로는 리클로저의 N상 최소 동작전류를 최대한 높이거나 지락고장 검출을 억제함으로써 타 선로고장에 대한 고장파급으로 인한 오동작을 방지할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 장기적인 대책으로는 현재 개발 중에 있는 양방향 리클로저를 설치하여, 전류의 방향성을 고려한 고장위치 판정으로 보호기기의 오동작을 방지할 수 있을 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] 일본 전력중앙협회의, 분산전원대응자료집, 2007.5
- [2] 풍력발전 계통연계 기술지침 및 연계선로 운영기준 제정에 관한 연구, 산업자원부 2004. 9
- [3] 발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 기준서, 한국전력공사 2005.

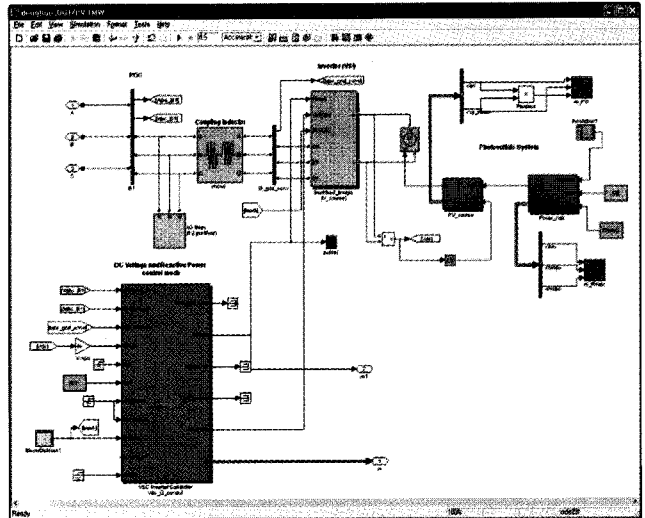


그림 4 Matlab/Simulink에서의 태양광발전원 모델링

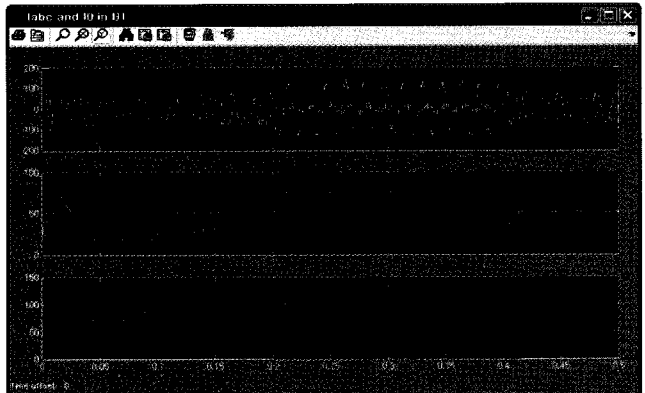


그림 4 복평D/L에서의 A, B, C상 및 N상 전류

- [4] 배전망 이용규정, 산업자원부 2005.
- [5] 배전용 전기설비 이용규정, 산업자원부 2004. 2.
- [6] 분산전원 배전계통 연계기술기준, 한국전력공사 2005. 4.
- [7] IEEE 1547 "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems" 2003. 7.