대칭좌표법을 이용한 보호협조기기의 오동작 개선방안 연구

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

A Study on the Optimal Method for Mal-Function of Protection Devices using Symmetrical Method

Hyeonseok Park*, Rho Daeseok*
*Korea University of Technology and Education

요 약

분산전원이 연계된 배전계통의 경우에는 분산전원의 출력 용량의 여부에 따라 양방향의 전력조류가 발생할 가능성이 있어, 계통운용상 여러 가지의 문제점이 야기될 수 있다. 특히, 태양광발전이 배전선로에 연계되어 운전되는 경우, 동일 뱅크의 타 배전선로에서 사고가 발생하면 태양광발전이 연계된 건전한 배전선로의 보호협조기기(리클로져)가 오동작하는 사고가 발생하는 경우가 실 계통에서 빈번하게 발생하고 있다. 이에 의하여 건전한 선로의 부하가 정전을 경험하는 심각한 문제점이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 대칭좌표법을 이용하여 모델링과 수계산을 통해 상기의 보호기기의 오동작 메카니즘과 문제점을 분석하고, 이에 대한 개선 방안을 제시하였다.

1. 서론

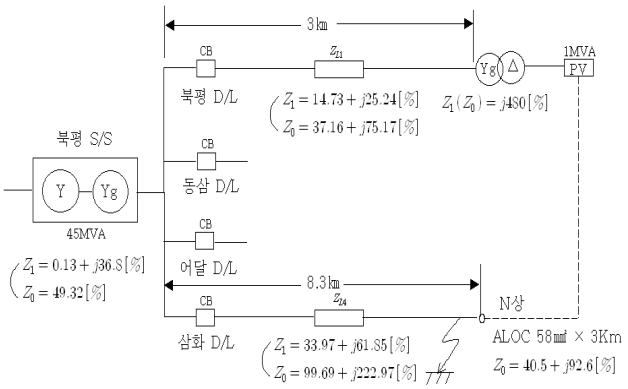
배전계통에 있어서, 낙뢰 및 수목접촉 등의 원인으로 지락사고 및 단락사고가 발생하였을 경우, 사고파급 확대를 방지하기 위하여 사고전류를 공급하고 있는 전원을 신속하게 차단하도록 하고 있다. 이와 같은 목적으로 배전선로에는 보호 장치가 설치되어 사고를 정확히 검출하여, 사고구간 또는 사고선로를 계통으로부터 분리하게 된다. 그러나 분산전원이 기존의 어떤 보호협조 체제하의 배전선로에 도입될 경우는 분산전원의 계통에 대한 역 조류에 의해 사고시 고장 구간의 분리 및 선로재구성에 따른 차단기 및 개폐기 제어알고리즘, 그리고 순시정전 시 분산전원의 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 있는 데, 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(리클로져 또는 CB)와 퓨즈의 보호협조체제 하에서 순시사고 시, 퓨즈의 불필요한 용단으로 인한 장시간정전사태가 발생하거나, CB 또는 리클로져의 재폐로 방식에 대한 분산전원의 확실한 분리보장문제 등이 열거될 수 있다.[1]-[9]

따라서 본 논문에서는 상기에서 지적된 문제점들에 대하여 배전계통의 보호체제와 분산전원의 보호 장치가 서로 협조하여 대처할 수 있는 최적 방안에 대한 검토를 수행한다. 특히 태양광발전이 어느 한 배전선로에 연계되는 경우, 동일 뱅크의 타 선로에서

사고(지락사고)가 발생하면 태양광발전이 연계된 비사고선로의 보호협조기기(리클로져)가 오동작하는 사고가 발생하는 사례가 실 계통에서 빈번하게 일어나고 있는데, 이에 대한 보호기기의 오동작 메카니즘과 문제점을 분석하고, 이에 대한 개선사항을 제시하기 위하여 이론적으로 대칭좌표법을 이용하여 모델링과 수계산 통해 최적의 개선 방안을 제시하였다

2. 실계통의 보호기기 오동작 사례

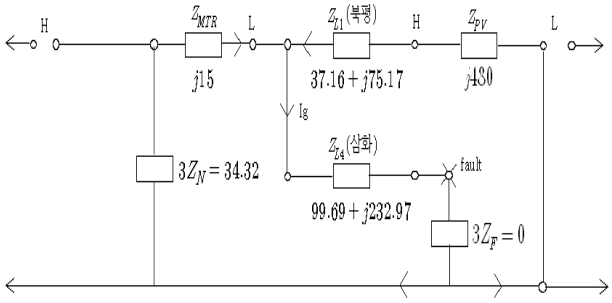
그림 1와 같이 강릉지사 동해지점 관내의 태양광 발전설비 공급 배전선로의 보호기기(Recloser)가 동일변전소 동일 뱅크내 타 배전선로 고장 시 오동작하였다. 북평 변전소 #3M.Tr 뱅크에서 인출된 북평 D/L의 북평간 38(49H1) Recloser가 동일변전소 동일뱅크 인출선로인 삼화, 동삼, 어달 D/L에서 외물 접촉, LA 파손, 변압기 소손 등의 이유로 발생한 10건의 고장에 대하여 오동작하여 재폐로 하였다.

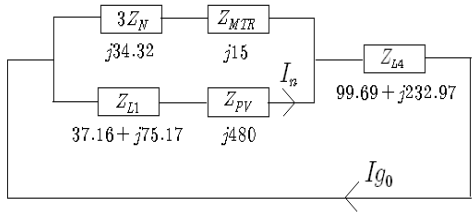


[그림1] 실 계통의 임피던스 구성도

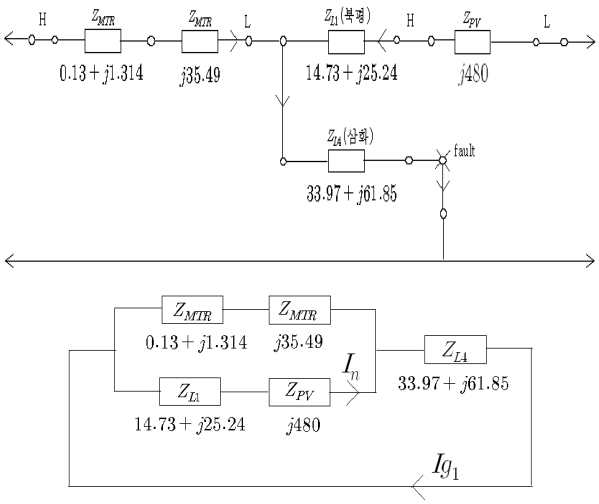
2.2 대칭좌표법에 의한 모델링

먼저 대칭좌표법에 의하여 전체 계통의 구성도를 나타내면 그림 1과 같고, 영상분 임피던스와 정상분/역상분 임피던스의 등가회로를 나타내면 그림 2, 그림 3와 같다.





[그림 2] 영상분 등가회로



[그림 3] 정상분/역상분 등가회로

3. 대칭좌표법에 의한 시뮬레이션 분석

대칭좌표법을 이용한 상기의 등가회로와 표 1의 데이터를 바탕으로 사고 선로인 삼화 D/L의 지락전류를 구하면, 다음과 같다.

[표 1] 북평변전소의 % 임피던스 데이터

뱅크	변압기 %임피던스				NGR (2차)	결선
	Z12 (45MVA)	Z23 (15MVA)	Z31 (15MVA)	Base		
#3	15.970	2.230	8.460	자기용량	0.6Ω	YYD
	35.499	14.867	56.400	100MVA	11.44	
	15.970	6.690	25.380	45MVA		

먼저, 삼화 D/L의 말단지점에 사고가 발생한다고 가정하여, 영상분 임피던스를 구하면,

$$Z_0 = 49.32 // (37.16 + j555.17) + (99.69 + j232.97)$$

$$= 295.68 \angle 1.23[\Omega]$$

이고, 정상분 임피던스는 다음과 같다.

$$Z_1 = Z_2 = (0.13 + j36.8) // (14.73 + j505.24) + (33.97 + j61.85)$$

$$= 34.15 + j96.16 = 102.04 \angle 1.23[\Omega]$$

따라서 1선 지락전류는

$$I_g = \frac{3 \times 100}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_F} \times \frac{100,000}{\sqrt{3} \times 22.9}$$

$$= \frac{3 \times 100}{2(102.04 \angle 1.23) + 295.68 \angle 1.23} \times \frac{100,000}{\sqrt{3} \times 22.9}$$

$$= 1,513.43 \angle -1.23[A]$$

이고, 중성선 전류는 다음과 같이 구해진다.

$$I_n = \frac{j49.32}{(37.16 + j75.17) + j480 + j49.32} \times 1513.43 \angle -1.23$$

$$= 123.25 \angle -1.17[A]$$

즉, 분산전원이 연계된 북평 D/L의 중성선의 전류는 삼화 D/L의 1선 지락사고의 위치에 따라 약 123 - 493A 정도가 계산된다. 따라서 리클로저의 N상 OCGR이 70A로 셋팅되어 있어서 오동작할 가능성이 있음을 확인 할 수 있었다. 이것은 태양광전원에서 공급하는 사고전류(최대 정격전류의 1.5배 정도로 약 30A 정도임)의 영향이 아니라 분산전원의 연계용변압기의 결선방식에 의한 것임을 확인했다. 즉 분산전원의 연계변압기의 Yground-delta 결선이 영상전류의 통로를 제공하여 N상의 지락전류가 증가하여 건전상의 보호기기(OCGR)를 오동작 시킬 수 있음을 알 수 있었다.

4. 보호기기의 오동작 현상 개선 대책

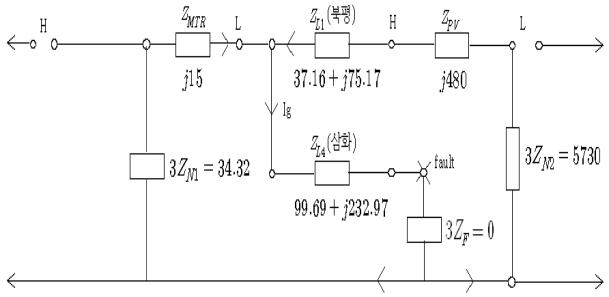
보호기기의 오동작에 대한 문제점이 연계변압기의 결선에 의하여 영상전류의 통로를 없애는 방법이 가장 좋은 방안이므로 본 논문에서는 연계변압기의 Y_g-△결선에 적절한 접지저항을 삽입하여 중성선의 사고전류(130A)를 70A 이하로 줄이는 방법을 제시한다. 즉, 분산전원 연계변압기의 결선을 Y_g-△에서 $\underline{Y_{\text{고저항접지}}}$-△결선으로 변경하여, 중성선에 접지저항(NGR)으로 100Ω(300×19.1%)을 삽입한 것으로 가정하였다. 이것을 고려하여, 영상분 임피던스와 정상분/역상분 임피던스의 등가회로를 나타내면, 그림 4과 그림 와 같다.

따라서, 이 등가회로를 기준으로 1선 지락전류를 구하면 $1502.04 \angle -1.23[A]$ 이고, 중성선 전류는 다음과 같이 구해진다.

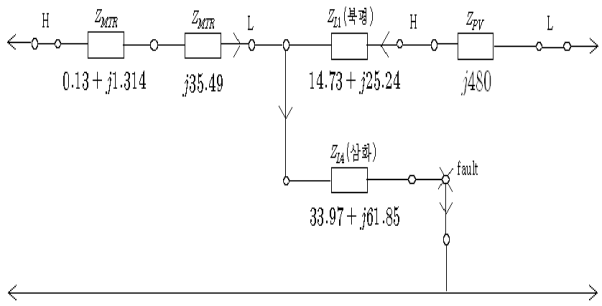
$$I_n = \frac{j49.32}{(5767.16 + j555.17) + 49.32} \times 1502.04 \angle -1.23$$

$$= 12.68 \angle 0.25[A]$$

즉, Y고저항접지-△결선방식을 사용하면, 타 선로의 1선 지락사고에 대하여 분산전원 연계선로의 중성선(N선)에는 약 13A정도만 흘러, 중성선의 지락사고 전류를 획기적으로 줄여, 보호기기(리클로져)의 오동작을 방지할 수 있음을 알 수 있었다.



[그림 4] 영상분 등가회로



[그림 5] 정상분/역상분 등가회로

5. 결론

본 연구에서는 실 계통의 보호협조기기의 오동작에 대한 문제점을 분석하고 그 문제점에 대한 대책을 요약하면 다음과 같다.

(1) 분산전원이 연계된 배전선로에서는 동일 뱅크의 타 배전선로에서 지락사고가 발생하는 경우, 사고가 발생하지 않은 분산전원 연계선로의 중성선(N

선)에 상당히 큰 지락 사고전류가 흐르게 되어, 건전한 배전선로의 OCGR이 오동작을 일으킬 수 있음을 확인하였다.

(2) 중성선(N상)에 흐르는 사고전류는 분산전원에서 공급하는 사고전류의 영향이 아니라 분산전원의 연계용변압기의 결선방식에 의한 것임을 확인하였다.

(3) 일반적으로 분산전원의 연계용변압기의 결선방식은 Y직접접지-△결선을 사용한다. 이 경우, 타 선로의 사고지점에 따라 분산전원 연계선로의 중성선(N선)에 흐르는 지락사고전류의 크기도 달라진다. 예를 들어, 변전소 직하지점에 지락사고가 발생하면 분산전원 연계선로의 중성선에는 약 493A정도, 말단지점에 사고가 발생하면 약 123A가 흐른다. 따라서 사고지점에 상관없이 중성선에는 상당한 크기의 지락전류가 흐르데 되어, 분산전원이 연계된 건전한 배전선로의 OCGR(보통 70A로 설정)이 오동작을 일으키게 될 가능성이 있음을 확인하였다.

(4) 상기의 문제점을 해결하기 위하여 연계용변압기의 결선방식을 Y비접지-△결선으로 변경을 해 보았다. 여기서는 동일한 효과를 가지는 Y고저항접지-△결선방식을 변경 해 수행한 결과 타 선로의 지락사고에 대하여 분산전원 연계선로의 중성선(N선)에는 약 13A정도만 흘러, 중선선의 지락사고전류를 획기적으로 줄일 수 있음을 확인하였다.

6. 참고 문헌

[1] 분산전원 배전계통 연계기술기준, 한국전력공사 2005. 4.

[2] 일본 분산형전원 계통연계 기술지침 (사)일본전기협회 2001.

[3] 일본 전력계통 연계 기술요건 가이드라인 1998.

[4] 일본 북해도전력 분산형전원 연계업무 절차서 및 기술해설서 2002.

[5] 일본 북해도전력 분산형전원 배전계통연계 기술검토시스템 2004.

[6] 분산전원 도입에 따른 복합배전계통 운영에 관한 연구, 산업자원부 2004. 8.

[7] IEEE 1547 "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems" 2003. 7.

[8] IEEE 1547.1 "IEEE Standard conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems" 2005.1.

[9] Hadi Saadat, "Power System Analysis", McGraw-Hill, Printed in Singapore, 1999.

[10] "태양광발전의 배전계통 연계 알고리즘 개발에 관한 연구", 2005 한국산학기술학회, 춘계 학술발표논문집, 노 대석 외 3인, 2005. 5.

[11] "분산형전원의 배전계통 연계 시 사고해석 알고리즘 개발에 관한 연구", 한국산학기술학회, 춘계 학술발표논문집, 노 대석 외 3인, 2008. 5.

[12] "신재생에너지전원이 연계된 배전 계통에서 보호협조방안에 관한 연구", 한국산학기술학회, 춘계 학술발표논문집, 노 대석 외 3인, 2008. 5.**(우수논문 수상)**