2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2009. 7. 14 - 17

고저항 지락사고에 대한 태양광 발전의 영향분석

김상협*, 서훈철**, 김철환*
성균관대학교*, 기초전력연구원**

Impact Analysis of a Grid-connected Photovoltaic system on High Impedance Fault

Sang-Hyub Kim*, Hun-Chul Seo**, Chul-Hwan Kim*
Sungkyunkwan University*, KESRI**

Abstract - This paper compares the several cases with High Impedance Fault(HIF) conditions and analyzes the impact of the grid-connected photovoltaic system at the HIF conditions. Simulations are conducted by using Electro-Magnetic Transient Program (EMTP) and using the results, the analysis is presented.

1. 서 론

배전선로와 공사용 크레인이나 수목등과의 접촉과 근접으로 인하여 미소전류의 아크를 동반하는 고저항 지락사고가 자주 발생한다. 고저항 지락사고시 고장전류는 과전류 계전기에 의해서 보호될 수 없는 크기의 전류가 흐르게 된다. 따라서, 고장전류의 크기에 기반을 둔 기존의 과전류방식으로는 검출이 불가능하다. 고저항 지락사고를 검출하기 위한 방법들로는 고저항 지락계전 방식, 고장전류 변분방식, 비율지락 보호계전 방식 등이 있으며, 이밖에도 우수파 검출방식, 신경망을 통해 학습시키는 방법, 웨이블렛 변환을 이용하는 방법, 고저항시 나타나는 전류신호에서 카오스 현상을 분석하여 고저항 지락사고를 검출하는 방법 등도 있다[1].

전력계통에서 비선형 부하로 인해 고조파 전류가 흐르고, 선로의 개폐시 선로정수에 의해 고조파 전류가 발생하기도 한다. 뿐만 아니라 계통연계형 태양광 시스템에서도 인버터로 인하여 고조파가 발생한다. 태양광 발전이 연계된 배전계통에서 지락사고가 발생하는 경우에, 태양광 발전에 의하여 많은 양의 고조파를 포함한 전류가 흐를 수 있다. 또한, 고저항 지락사고가 발생하는 경우에도 태양광 발전에 의하여 고조파를 포함한 전류가 흐를 수 있기 때문에 주로 고조파를 이용하여 고장여부를 판단하는 고저항 지락사고의 검출이 불가능 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 고저항 지락사고에 대한 태양광 발전의 영향을 분석하였다. 우선 EMTP를 이용하여 고저항 지락사고의 특성을 반영한 고저항 지락사고를 모델링 하였다. 그 다음으로, 배전계통을 모델링하여 고장저항 및 태양광발전 연계 유무를 변화시켜 모의하였다. 모의 결과에 대하여 고장전류의 고조파를 분석하였다.

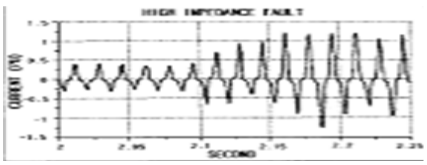
2. 고저항 지락사고

2.1 고저항 지락사고의 발생원인

고저항 지락사고는 전선의 지나친 착설하중, 크레인 등의 장치와의 접촉, 수목과의 접촉, 그리고 대지와의 접촉 등에 의해서 발생하며, 일반적인 지락사고시 발생하는 과전류의 개념으로 제거되거나 보호될 수 없다.

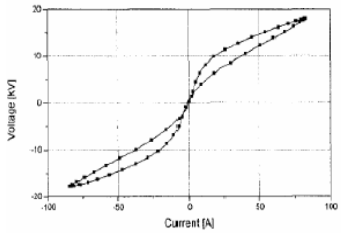
2.2 고저항 지락사고 특성

고저항 지락사고는 아크를 동반하는 특징을 가지고 있다. 이러한 아크 현상은 에너지 전위가 매우 높은 도체와 그렇지 않은 다른 물체가 불완전한 접촉 상태에서 서로 접근했을 때 절연이 파괴되면서 발생하는 현상이다. 일반적으로 교류시스템에서 아크는 짧은 시간동안 몇 번의 점호와 소호가 진행되면서 스파크를 발생한 후 아크가 된다[2]. 고장시 발생하는 아크는 비선형적인 전압-전류가 한 주기에서 그 다음 주기까지 크게 가변된다[2]. 전형적인 고저항 사고시 발생하는 고장전류는 다음 그림 1과 같다. 고조파가 함유된 비선형적인 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다.



<그림 1> 전형적인 고저항 지락사고 발생 시 고장 전류 파형

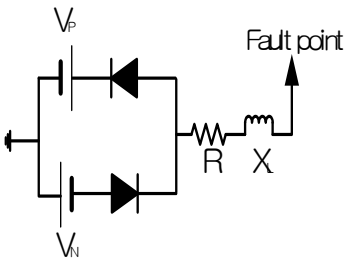
또한 고저항 지락사고시 발생하는 아크의 전압-전류 특성은 그림 2와 같다. 전압과 전류 특성은 1사분면과 3사분면에 위치함을 알 수 있다.



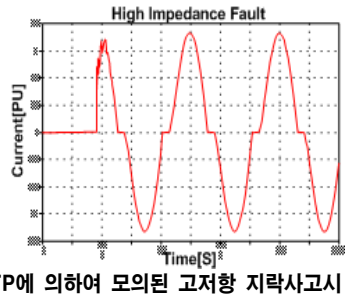
<그림 2> 아크 전압-전류 특성

2.3 고저항 지락사고 모델링

그림 3은 고저항 지락사고의 회로를 보여준다. 두 개의 직류전원에 다이오드를 직렬로 연결 후 양의 반주기 동안에는 V_P가 전원을 공급하고 음의 반주기 동안에는 V_N이 동작해 전원을 공급하는 방식으로 모델링 하였다[3]. 고저항 지락사고시 발생하는 아크의 특성은 $V_N - V_P$와 X_L/R값에 의존한다. 본 논문에서는 $V_N = -5000$, $V_P = 5000$, $X_L = 1$, $R = 300$으로 모델링 하였다. 다음 그림 4는 그림 3의 회로도를 기반으로 EMTP로 고저항 지락사고를 모델링한 결과에 대한 고장전류 파형을 나타낸다. 그림 1에 나타난 전형적인 고저항 지락사고의 전류파형과 일치함을 알 수 있다.



<그림 3> 고저항 지락사고 모델링을 위한 회로도



<그림 4> EMTP에 의하여 모의된 고저항 지락사고시 고장 전류파형

3. 모의 및 분석

3.1 모의 계통

본 논문에서 제시한 배전계통은 그림 5와 같다. 모의 계통은 한전 실 배전계통을 토대로 모델링 하였다. 선종은 EW58X3, EW58X1, EC58X3, EC58X1, EW95X3, EC95X3, EC160X3을 사용하였으며 선로 파라미터는 다음 표 1과 같다.

〈표 1〉 선종 임피던스

선종 / 임피던스	EC 160	EC 95, EW 95	EC 58, EW 58
$R_1[\Omega/km]$	0.18225	0.3022	0.48415
$R_0[\Omega/km]$	0.37411	0.57473	0.84748
$L_1[\Omega/km]$	0.001065	0.0011186	0.001163
$L_0[\Omega/km]$	0.003077	0.0032642	0.0035298

〈그림 5〉 한전 실배전 계통도

3.2 모의조건

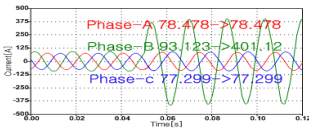
모의조건은 다음 표 2와 같다. 고장발생시간은 모든 경우에 0.05초이며 고장종류는 1선지락 고장이다. 고장저항 및 태양광 연계 여부를 표 2에 나타나 것과 같이 변화시켰다. 고장위치는 상기 그림 5에 표시된 바와 같다.

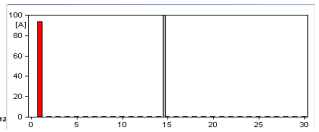
〈표 2〉 모의 조건

CASE	고장저항	PV투입 유무	고장발생시간 (초)	고장 종류
CASE 1	1[Ω]	X	0.05	1선지락
CASE 2	HIF	X	0.05	1선지락
CASE 3	1[Ω]	O	0.05	1선지락
CASE 4	HIF	O	0.05	1선지락
CASE 5	정상상태	O	0.05	1선지락

3.3 시뮬레이션 결과

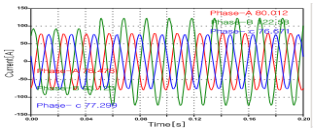
다음 그림 6은 CASE 1의 전류파형이다. 고장전류는 정상전류에 비하여 4.3배가 된다. 고장전류의 고조파 스펙트럼은 다음 그림 7과 같다. 주로 기본파임을 알 수 있다. Total harmonic distortion(THD)는 0.015%이다.

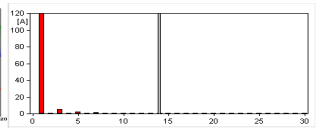




〈그림 6〉 CASE 1의 전류파형 〈그림 7〉 고장전류의 고조파 스펙트럼

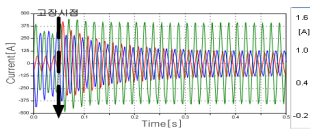
다음 그림 8은 CASE 2의 전류파형이다. 고저항 지락사고로 인하여 CASE 1과는 달리 고장전류는 정상전류의 1.3배 밖에 되지 않음을 알 수 있다. 이 경우에 대한 고조파 스펙트럼은 그림 9와 같다. 3고조파, 5고조파등 홀수 고조파가 나타남을 알 수 있다. THD는 4.482%이다.

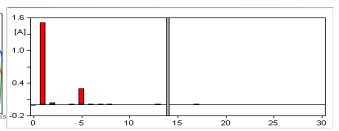




〈그림 8〉 CASE 2 전류파형 〈그림 9〉 고장전류의 고조파 스펙스럼

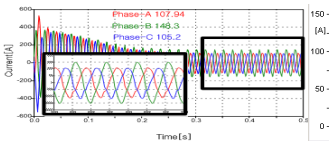
다음 그림 10은 CASE 3의 전류파형이다. 고장전류는 정상전류에 비하여 6배의 크기를 갖는다. CASE 1과 비교하여 PV에 의하여 고장전류가 증가했음을 알 수 있다. 고장전류의 고조파 스펙트럼은 그림 11과 같다. 인버터에 의하여 생성된 5고조파의 크기가 큰 것을 알 수 있다. THD는 19.749%이다.

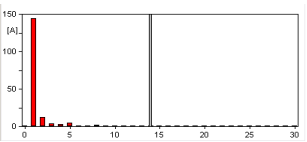




〈그림 10〉 CASE 3 전류파형 〈그림 11〉 고장전류의 고조파 스펙트럼

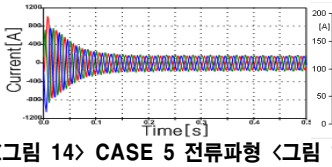
다음 그림 12는 CASE 4의 전류파형이다. CASE 3에 비하여 고장전류의 크기가 줄어든 것을 알 수 있다. 고조파 스펙트럼은 그림 13과 같다. 그림 10과 비교하여 2고조파가 많음을 알 수 있다. THD는 21.532%이다.

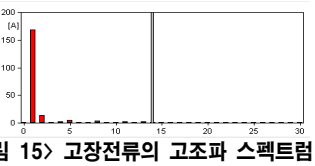




〈그림 12〉 CASE 4 전류파형 〈그림 13〉 고장전류의 고조파 스펙트럼

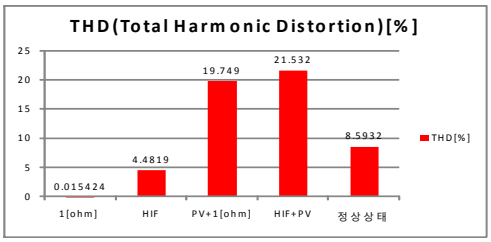
다음 그림 14는 CASE 5의 전류파형 및 고조파 스펙트럼이다. 고장이 발생하지 않았음에도 PV에 의하여 고조파가 발생한 것을 알 수 있으며, THD는 8.593%이다.





〈그림 14〉 CASE 5 전류파형 〈그림 15〉 고장전류의 고조파 스펙트럼

다음 그림 16은 각 CASE에 대하여 THD를 비교한 것이다. CASE 4, 즉 PV가 연계된 계통에서 고저항 지락사고가 발생한 경우에 고조파가 가장 높은 것을 알 수 있다. CASE 3, 4, 5와 CASE 2의 비교를 통하여 고장저항 및 고장유무 관계없이 태양광 발전에 의하여 생성된 고조파가 태양광 발전이 연계되지 않은 경우에 고저항 지락사고에 생성된 고조파보다 더 많음을 알 수 있다. 이것은 고조파를 이용하여 고저항 지락사고를 검출하는 경우 태양광 발전이 연계된다면 심지어 고장이 발생하지 않았음에도 불구하고 고저항 지락사고로 인식하여 보호계전기가 동작할 가능성이 있음을 의미한다.



〈그림 16〉 고장저항에 따른 고조파 추이

4. 결 론

본 논문에서는 고저항 지락사고 검출에 대하여 태양광 발전이 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 우선, EMTP를 이용한 고저항 지락사고 모델링의 정확성을 검증하였다. 그런 다음, 고장저항 및 태양광발전의 유무에 따라 모의 결과에 대하여 고장전류에 대한 고조파를 분석하였다. 분석결과 태양광 발전으로 인하여, 고저항 지락사고 검출이 효율적으로 되지 않을 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지 자원 인력양성사업의 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

[1] A. E. Emanuel, D. Cyganski, J. "High impedance fault arcing on sandy soil in 15 kV distribution feeders: contributions to the evaluation of the low frequency spectrum," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 5, pp. 676-86, 1990.

[2] M. B. Djuric and V. V. Terzija, "New approach to the arcing faults detection for fast autoreclosure in transmission systems," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 10, pp. 1793-1798, 1995.

[3] Arturo S. Bretas, Miguel Moreto, "A Novel High Impedance Fault Location for Distribution Systems Considering Distributed Generation" IEEE/Power Engineering Society General Meeting, pp.1-6 2006.