

선로고장 발생원인 모델링 및 파형 분석

송경민*, 김태근*, 박철원**, 윤성국*
 송실대학교*, 강릉원주대학교**

Transmission Line Fault Cause Modeling and Waveform Analysis

Kyung-Min Song*, Tae-Geun Kim*, Chul-Won Park**, Sung-Guk Yoon*
 Soongsil University*, Gangneung-Wonju National University**

Abstract - 전력계통에서 선로고장 발생 시 계통운영에 지대한 악영향을 미친다. 선로고장 발생원인 및 유형 분석은 고장원인을 파악함으로써 위험요소를 사전에 제거할 수 있어 선로고장 사고 발생률을 낮출 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 국내 전력계통의 파라미터를 사용하여 전력계통을 간략히 모델링 한 후 수목 접촉, 크레인 접촉, 낙뢰 선로고장의 특성을 반영한 1선 지락 고장을 모의하고 파형을 분석하였다.

1. 서 론

전력계통은 발전, 송전, 배전의 단계로 구성되어 있고 각 단계에서 다양한 원인으로 고장이 발생한다. 송전 단계에서 발생하는 선로고장은 전체 계통에서 발생하는 고장 중 80%로 높은 비율을 차지하고 있다[1]. 선로고장이 발생한다면, 예기치 못한 전력공급 중단, 전력설비 손상이 발생할 수 있으며, 이는 계통운영에 심각한 악영향을 미친다. 선로고장 발생원인 및 유형분석은 잠재적인 고장원인을 파악함으로써 고장 위험요소를 사전에 제거할 수 있어 선로고장 사고 발생률을 낮출 수 있다.

선로고장의 원인으로는 수목 접촉, 크레인 접촉, 낙뢰로 인한 고장 등이 있다. 이중 수목 접촉과 크레인 접촉은 HIF(High Impedance Fault)로 분류되어, 고장 감지가 어려운 특성이 있다. 선로고장 유형으로는 1선 지락(Single line to ground fault), 2선 지락(Line to Line ground), 선간 단락(Line to Line fault), 3선 단지락(Three Phase ground fault), 3선 단락(Three Phase fault)이 있다. 이런 종류의 고장 중에서 가장 빈번하게 나타나는 고장은 1선 지락 고장으로 나타난다.

전력계통의 선로고장에 관하여 진행된 선행연구로, 고장 위치, 고장 유형, 고장 발생 위상각을 고려하여 고장 특성을 분석한 연구[2], 선로고장을 발생시키는 원인별로 고장특성을 분석한 연구[3] 등 다양한 연구가 진행되었다. 그러나 관련 연구의 대부분은 국내 전력계통 특성을 반영하지 않았다.

이에 본 연구에서는 국내 전력계통의 파라미터를 사용하여 전력계통을 모델링한 후, 수목 접촉, 크레인 접촉, 낙뢰 선로고장의 특성을 반영하여 1선 지락 고장을 모의하고 그 파형을 분석하였다.

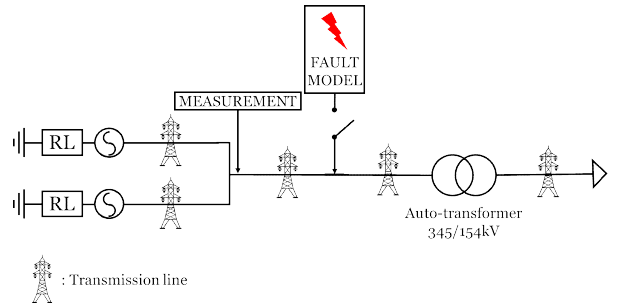
2. 본 론

2.1 계통 모델링

선로고장을 모의하기 위해, 간략화하여 나타낸 345kV-154kV 송전계통은 그림 1과 같다. 본 연구에서는 100[MVA] 용량의 발전소 2대, 600[MVA] 변압기, 50[MW]의 부하로 송전계통을 간단하게 구성하였고 모델링은 전력계통 시뮬레이션 프로그램인 PSCAD로 하였다.

2.2 고장 원인별 모델링

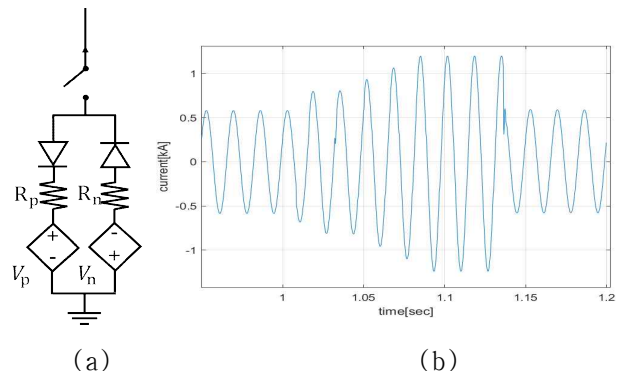
선로고장 발생 시 고장이 발생한 원인에 따라 전압 및 전류의 특성이 다르게 나타난다. 본 연구에서는 참고문헌에서 분석한 고장 원인별 특성을 바탕으로 선로고장 모델링을 진행하였다[4,5]. 선로고장 모델은 측정지점의 우측 10km 지점에 연결하였다.



<그림 1> 345kV-154kV 전력계통도

2.2.1 수목 접촉

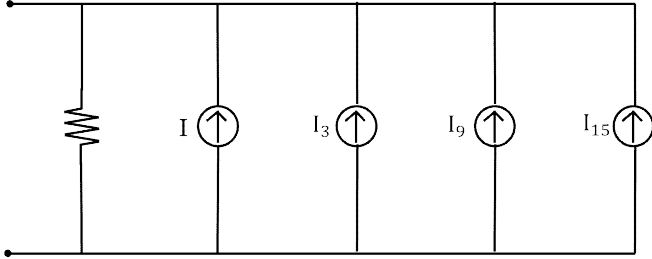
수목 접촉에 의한 선로고장은 그림2-(a)와 같이 임마누엘 아크모델을 활용한 연구가 다수 진행되었다[4]. 수목 접촉에 의한 고장파형은 한 주기 동안 전류의 파형이 비대칭적 특징을 가진다. 이에 따라, 임마누엘 아크 모델의 R_n, R_p 의 값은 10% 차이가 나도록 설정하였고, V_p 는 30kV, V_n 은 20kV로 설정하였다[4]. 고장 발생 시간은 1.008[sec]에 고장이 발생하여 8주기 동안 고장이 지속된 후 고장이 복구되도록 하였다. 그림2-(b)는 설계한 수목 접촉에 의한 1선 지락 사고 전류파형을 나타낸다. 임마누엘 아크 모델을 활용한 모의실험에서는 정상상태에서 0.56[kA]의 전류가 고장 발생 시 8주기 동안 1.05[kA]까지 점진적으로 상승하는 것을 확인하였다. 이는 수목 접촉에 의한 고장전류의 특성을 잘 반영한 것으로 분석한다.



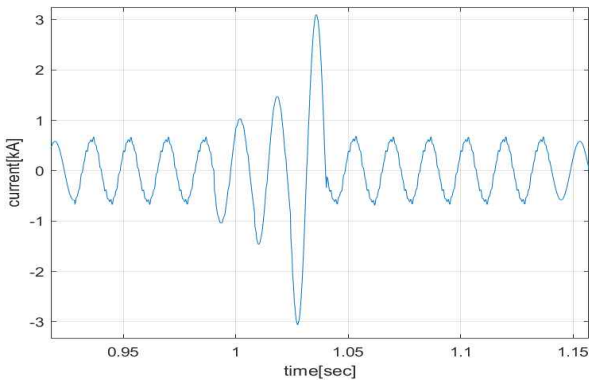
<그림 2> (a) 임마누엘 아크모델, (b)수목접촉에 의한 1선지락 고장전류

2.2.2 크레인 접촉

크레인 접촉에 의한 선로고장 또한 수목 접촉과 같이 HIF(High Impedance Fault)로 분류된다. 수목 접촉과 가장 큰 차이점은 고장발생 전후로 고조파가 포함되고, 수목 접촉보다 고장발생 시간이 빠르다는 특징이 있는 것으로 조사되었다[5]. 이에 크레인 접촉 사고를 임마누엘 아크 모델과 그림3의 고조파 전류 주입 회로를 사용하여 모델링하였다[4]. 그림3은 3, 9, 15차 고조파 전류를 공급하는 고조파 전류 주입 회로를 보여준다. 그림 4는 크레인 접촉에 의한 1선 지락 사고 전류 파형을 나타낸다. 모의실험에서 정상상태에서 0.56[kA]의 전류가 3주기에 걸쳐서 3.40[kA]까지 점진적으로 상승하는 것을 확인하였고 고장발생 전후로 고조파가 포함되도록 구성하여 크레인 접촉에 의한 선로고장의 특성을 잘 반영하였다고 평가한다.



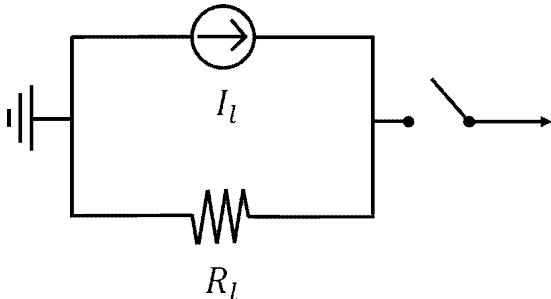
<그림 3> 고조파 전류 주입 회로



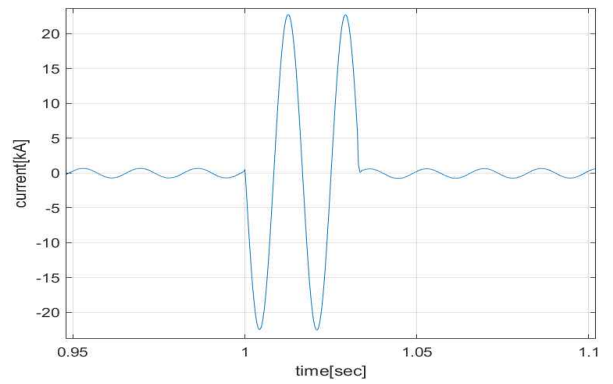
<그림 4> 크레인 접촉에 의한 1선 지락 고장전류 파형

2.2.3 낙뢰

낙뢰에 의한 고장은 그림 5과같이 낙뢰 전류를 모델링하여 실험하였다. I_l 는 40[kA], R_l 400[ohm]로 사용하였다[4]. 고장 발생시간은 1.00[sec]로 하여 2주기 동안 고장이 지속되도록 하였다. 그림 6은 낙뢰에 의한 1선 지락 사고 파형을 나타낸다. 정상 상태에서 0.56[kA]으로 흐르는 전류가 고장발생 직후 2주기 동안 20[kA]까지 상승하게 구성하여 낙뢰 고장의 특성이 잘 반영된 것으로 분석하였다.



<그림 5> 낙뢰 전류 모델



<그림 6> 낙뢰에 의한 1선 지락 고장전류 파형

3. 결 론

본 연구에서는 국내 전력계통 파라미터를 사용하여 전력계통 고장원인을 모델링하여 시뮬레이션을 진행하였다. 수목 접촉과 크레인 접촉으로 인한 고장은 HIF(High Impedance Fault)로서, 고장전류가 점진적으로 증가하는 특징을 보인다. 크레인 접촉에 의한 고장에서는 고장 발생 전후로 고조파가 포함된다. 낙뢰에 의한 고장에서는 짧은 시간 동안 전류가 급격히 증가하는 특징을 보인다. 시뮬레이션 결과, 각 고장 원인별 특성을 반영하는 고장의 모델링을 성공적으로 구현하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 한국전력공사의 2022년 착수 기초연구개발 과제 연구비에 의해 지원되었음(과제번호: R22XO02-19).

[참고문헌]

- [1] S. R. Fahim, S. K. Sarker, S.M. Muyeen, S. K. Das, and I. Kamwa, "A deep learning based intelligent approach in detection and classification of transmission line faults," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 133, Dec. 2021
- [2] Y. Xi, W. Zhang, F. Zhou, X. Tang, Z. Li, X. Zeng, and P. Zhang, "Transmission line fault detection and classification based on SA-MobileNetV3," Energy Report, Vol. 9, pp. 955-968, Dec. 2023
- [3] Z. Cong, Y. Liu, J. Fang, P. Wang, L. Guo, and X. Jiang, "Root-Cause Identification of Single Line-to-Ground Fault in Urban Small Current Grounding Systems Based on Correlation Dimension and Average Resistance," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 35, no. 4, pp. 1834-1843, Aug. 2020
- [4] S.H. Asman, N.F. Ab Aziz, U.A. Ungku Amirulddin, and M.Z.A. Ab Kadir, "Decision Tree Method for Fault Causes Classification Based on RMS-DWT Analysis in 275 kV Transmission Lines Network," Applied Sciences, Vol. 11, no. 9:4031, Apr. 2021
- [5] S. H. Asman, N. F. Ab Aziz, M. Z. A. Abd Kadir, and U. A. U. Amirulddin, "Fault Signature Analysis Based on Digital Fault Recorder in Malaysia Overhead Line System," in Proc. IEEE International Conference on Power and Energy, Penang, Malaysia, pp. 188-193, Dec. 2020