

# EMTP를 이용한 전압원으로의 배전계통 고저항 사고 모델링 기법

論 文

48A-11-4

## A Modelling Method of a High Impedance Fault in a Distribution System as a Voltage Source using EMTP

姜龍澈\*·南淳烈\*\*·朴鍾根\*\*\*·張成一<sup>§</sup>

(Yong-Choel Kang · Soon-Ryul Nam · Jong-Keun Park · Sung-II Jang)

**Abstract** - A more reliable algorithm for detecting a high impedance fault (HIF) requires fault currents at the relaying point containing information of load condition as well as HIF characteristics. This paper presents a modeling method of an HIF in a distribution system using EMTP. From the voltage and current waveforms of HIF experiment, the voltage-current characteristic is obtained and then piecewise linearized. The proposed method gets several points on the linearized voltage-current curve and then represents nonlinearity as piecewise linear resistances using Transient Analysis of Control Systems (TACS) in EMTP. Thus, an HIF is represented as a voltage source in the first and third quadrants of voltage-current plane. The method is implemented in EMTP and thus the voltage and current at the relaying point can be obtained when an HIF occurs. In this paper, an HIF was simulated on various load conditions and fault conditions in 22.9 [kV] distribution systems.

**Key Words** : High impedance fault, Voltage-current characteristics, Voltage source, Nonlinearity, Asymmetry

### 1. 서 론

배전선의 고저항 사고 (High Impedance Fault)는 배전선이 어떤 원인에 의해 자갈, 모래, 수목, 보도 블록, 자갈 등 저항이 큰 물질에 접촉하는 형태의 사고를 말한다. 고저항 사고시의 전류는 접촉 물질의 종류에 따라 크기가 달라지지만, 대부분의 경우는 접촉물질의 고저항으로 인하여 사고 전류의 크기가 작아지고, 아크가 발생하는 경우도 있다. 고저항 사고는 사람이 거주하는 장소에서 가까운 곳에서 발생하므로, 신뢰성 있는 고저항 사고의 검출이 요구된다. 하지만, 고저항 사고 시, 사고 전류가 부하 전류에 비해 현저하게 증가하지 않을 뿐만 아니라, 고저항 사고의 특성이 아크로 같은 부하의 특성과 유사하므로, 사고 판정에 어려움이 많다. 이와 같은 이유로 현재 사용되고 있는 고저항 사고 계전기의 검출율은 50 ~ 60% 수준에 머물러 있다. 그러므로, 보다 신뢰성 있는 고저항 사고 검출 방식이 요구된다.

현재까지 제안된 대부분의 고저항 사고 검출 알고리즘은 지락실험을 통하여 얻은 실제 전류의 주파수 특성을 검출하여, 이를 기반으로 개발되었다. 실제의 실험에서 얻은 데이터에는 고저항 사고의 복잡한 특성이 잘 나타나지는 하지만,

배전선의 인출단 측, 계전기가 설치되어 있는 계전점에서의 전압, 전류가 아니다. 계전점에서의 전류는 사고 전류와 그 순간의 부하전류와의 합으로 구성되어 있다. 따라서, 접촉물질이 동일한 고저항 사고라 하더라도, 사고 순간의 부하의 용량 및 종류가 다르거나, 사고 조건이 다른 경우에는 계전점에서의 전압, 전류도 달라지게 된다. 그러므로, 신뢰성 있는 고저항 사고 검출 알고리즘도 고저항 사고가 발생한 경우에, 계전점에서의 전압, 전류의 특성을 분석하여 이를 토대로 개발되어야 할 것이다. 따라서, 부하 특성 및 사고 조건을 고려한 고저항 사고의 모델링 방법이 필요하다.

먼저, 고저항 사고시의 특성을 살펴보면 다음과 같다. 고저항 사고의 전압-전류의 특성은 비선형이며, 전류가 흐르지 않다가 갑작스럽게 큰 전류가 흐르는 아크를 수반하는 경우가 종종 있다. 이러한 아크 전류는 양의 반주기와 음의 반주기 동안 서로 다른 비대칭 특성 (asymmetric)을 갖기도 하며, 주기마다 다른 특성이 나타나는 불규칙한 특성 (randomness)을 갖기도 한다. [1,2]

고저항 사고를 모델링하기 위한 여러 가지 방식이 제안되었다. 실제의 고저항 사고 실험 데이터를 통한 아크 특성에 필요한 파라미터를 추정한 모델링 기법, [3] 산화 아연 피뢰기와 가변 저항을 이용한 모델링 기법, [4] 다이오드를 이용한 모델링 기법 [5] 등 많은 연구가 진행되었다. 또한, 고저항 사고를 사각파 전압원으로 모델링하기도 하였다. [6,7] 기존의 방법들은 고저항 사고의 비선형 전압-전류 특성을 표현하기는 하였으나, 복잡한 아크 특성과 비대칭성 등을 정확히 표현하지 못했을 뿐만 아니라 매우 복잡하였다. 또한, 배전계통에서의 부하 상태와 여러 가지 사고 조건을 동시에 고려할 수 없었다.

\* 正 會 員 : 全 北 大 電 子 情 報 工 學 部 專 任 講 師 · 工 博

\*\* 正 會 員 : 東 南 大 電 氣 工 學 部 博 士 課 程

\*\*\* 正 會 員 : 東 南 大 電 氣 工 學 部 教 授 · 工 博

<sup>§</sup> 正 會 員 : 江 原 大 電 氣 工 學 部 博 士 課 程

接 受 日 字 : 1999 年 2 月 3 日

最 終 完 了 : 1999 年 9 月 28 日

사고 저항이 적은 경우에는 부하의 임피던스가 사고 저항에 비해 매우 크므로 부하의 영향이 거의 없지만, 고저항 사고의 경우에는 사고 저항이 크므로 부하의 영향을 무시할 수 없다. 따라서, 고저항 사고를 검출할 목적으로 데이터를 생성하는 경우에는 부하의 영향을 고려해야 한다.

본 논문에서는 배전계통에서의 고저항 사고를 전압원으로 모델링 하는 방법을 제시한다. 고저항 사고 실험에서 얻은 전압, 전류 파형으로부터 EMTP를 이용하여 고저항 사고를 전압원으로 모델링 하였고, 모델링한 사고 가지를 부하 조건을 다르게 하고, 사고 위치를 다르게 계통에 연결하여 즉, 사고 위치를 변화시켜가면서 고저항 사고를 발생시켜, 계전점에서의 데이터를 얻었다. 본 논문에서는 인공지락 실험 데이터 중에서, 강자갈에서의 고저항 사고 시의 사고 지점의 전압과 전류로부터 전압-전류 특성 곡선을 만들어 선형화 한 후, 이를 TACS를 이용하여 전압원으로 모델링 하였다.

세 가지 종류의 부하가 연결되어 있는 배전계통에서 제시한 방법으로 모델링한 고저항 사고를 모의하여, 사고 지점에서의 전류와 전압, 계전점에서의 전류를 얻었고 이를 비교하였다. 또한, 사고 거리, 사고 위상각 등, 사고 조건을 다르게 하여 고저항 사고를 모의하였다.

2. EMTP를 이용한 고저항 사고 모델링

2.1 고저항 사고 모델링

본 논문에서는 고저항 사고 실험에서 얻은 전압, 전류로부터 전압-전류의 특성을 구하고, TACS를 이용하여 전압원으로 구현하였다. 그림 1은 22.9 [kV] 배전계통에서 건조한 상황의 강자갈 위에 배전선을 인공적으로 지락 시켰을 때, 전압과 전류의 한 주기 동안의 파형이다.

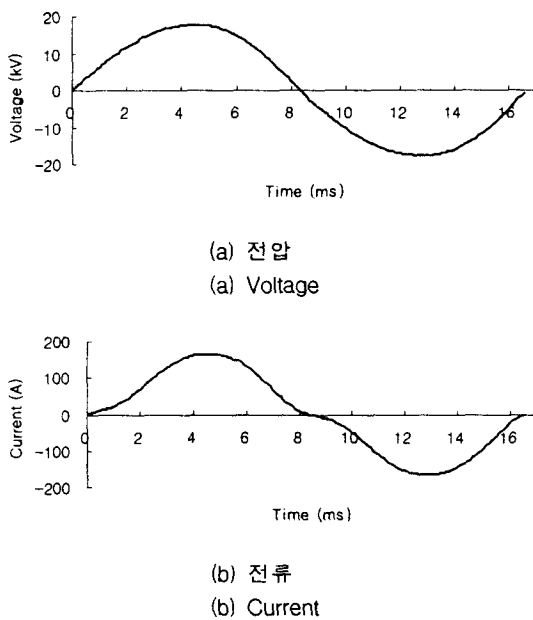


그림 1 강자갈 고저항 사고 경우의 전압, 전류 파형  
Fig. 1 Voltage and current of an HIF

이 파형을 전압-전류 평면에 그려보면 그림 2와 같고 비선형 특성 및 아크 특성이 나타남을 알 수 있다. 그림 2를 살펴보면, 전류의 한 값에 대하여 전압값이 두개인 함수가 되며, 이 함수 또한 매우 복잡하여 구하기가 어려우므로 이를 그대로 모델링하기 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 그림 2를 그림 3과 같이 구간별로 선형화 하였다. 그림 2에서 1상한과 3상한에서 각각 7개의 점을 선정하여 선형화 하였다.

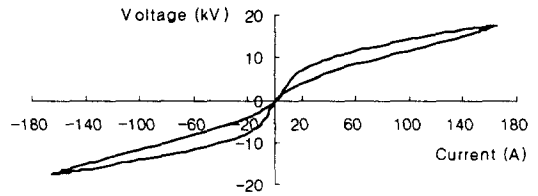


그림 2 고저항 사고의 전압-전류 특성  
Fig. 2 Voltage-current characteristics of an HIF

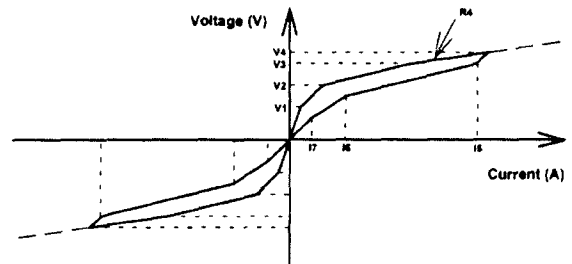


그림 3 그림 2의 선형화 된 전압-전류 곡선  
Fig. 3 Linearized voltage-current characteristic of Fig. 2

본 논문에서는 그림 3의 고저항 사고의 특성을 TACS를 이용하여 전압원으로 모델링 하였다. 먼저 TACS에서, 계통으로부터 사고 가지로 흐르는 전류를 읽어 와서, 그림 3으로부터 그 전류에 해당하는 전압값을 구하여 사고 가지의 전압값으로 출력하는 방식을 사용하였다. 이 때 필요한 각 구간에서의 저항은 식 (1)을 이용하여 구하였다.

$$R_i = \frac{V_i - V_{i-1}}{I_i - I_{i-1}} \tag{1}$$

그런데, 그림 2는 배전선 말단에서 인공 지락 실험을 통해서 얻은 고저항 사고 데이터이므로, 이것을 배전계통에서 모의하는 경우에는 사고 위치의 전압이 배전선 말단보다 약간 커 사고 가지에 흐르는 전류가 그림 2의 최대값을 초과할 수도 있다. 본 논문에서는, 이런 경우에 이전 구간의 저항값  $R_4$ 을 갖는다고 가정하였다.

그런데, 그림 3은 전류의 한 값에 대해 전압은 두 값을 갖게 되어, 그 중에 한 값을 선택해야 한다. 본 논문에서는 사고 전류가 증가할 때와 감소할 때 경과하는 경로가 다르다는 것에 착안하여, TACS의 미분 관계식을 이용하여 전류의 증분이 양이면 증가하는 경로를 따르게 하였고, 음이면 감소하는 경로를 따르게 하였다.

전압-전류가 양의 반주기와 음의 반주기가 대칭인 특성을 갖는 경우에는 그림 3의 1, 3사분면의 특성이 원점 대칭이 된다. 그렇지 않은 경우에는 1, 3사분면에서 비대칭성을 가지는데, 제시한 방식은 비대칭성을 표현할 수 있다. 토양의 종류에 따라서는 그림 3의 특성 곡선에서 저항 값  $R_4$ 가 양 또는 음의 값을 가질 수도 있는데, 제시한 방식을 이용하면 이러한 특성도 표현할 수 있게 된다. 그러므로, 제시한 방식은 고저항 사고의 다양한 특성을 표현할 수 있다.

2.2 제시한 모델의 확인

제시한 모델링 방법을 검증하기 위한 모델 계통은 그림 4에 나타나 있다. 인공 지락 실험은 배전선의 말단에서 실시하였으므로, 배전선에 인공 실험을 한 순간의 배전선에서 공급하고 있던 부하 상태는 정확하게 알 수 없어, 본 논문에서는 적절히 정하였다. 그림 4의 배전계통은 단락 용량이 100 [MVA]인 22.9 [kV] 배전계통에서 배전선의 길이를 10 (km)로 하였고 전원에서 1 km마다 0.5 MVA 씩 10 km까지 총 5 MVA의 선형 부하를 연결하고 선형 부하의 역률은 99%가 되도록 하였다. 그림 4의 배전계통에서 배전선의 말단에 모델링한 그림 3의 전압원을 연결하여 사고 지점의 전압과 사고 가지에 흐르는 전류를 얻어, 이들을 실험 데이터와 비교하였다.

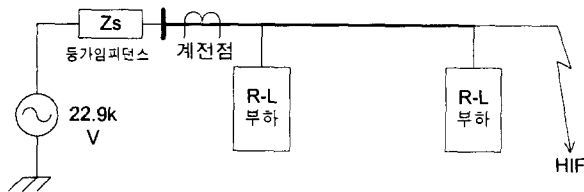


그림 4 제안한 모델의 검증을 위한 계통  
Fig. 4 The network for the verification of the proposed modeling method

그림 4의 계통의 배전선 말단에 전압원으로 모의하여 얻은 전류와 인공 실험에서 얻은 사고 전류를 그림 5에 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이 모의한 전류와 실제의 전류는 거의 유사함을 알 수 있다. 또한, 모의한 전압, 전류의 파형으로부터 구한 전압-전류 특성은 그림 6에 나타나 있으며, 이것도 그림 3과 비교해 보면 거의 일치함을 알 수 있다. 따라서, 제시한 모델링 방식이 유효함을 알 수 있다.

3. 모델 계통

같은 고저항 사고라 할지라도, 사고가 발생한 배전선이 담당하고 있는 부하의 종류와 용량이 다르거나 사고 조건이 다르면, 사고 지점의 전압 및 사고 가지에 흐르는 전류가 다를 뿐만 아니라, 계전점에서의 전압과 전류가 다르게 된다. 다양한 부하 조건 및 사고 조건에서의 고저항 사고를 모의하기 위하여 단락 용량이 100 [MVA]인 22.9 [kV] 배전계통을 선택하였으며, 이는 그림 7에 나타나 있다.

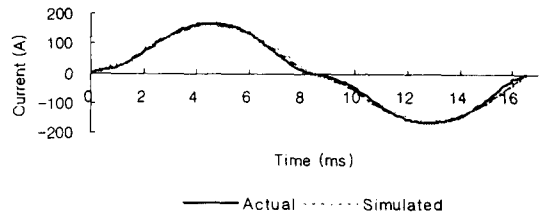


그림 5 실제의 전류와 모의된 전류  
Fig. 5 Actual and simulated currents

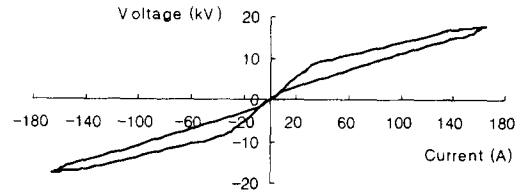


그림 6 모의된 고저항 사고의 전압-전류 특성 곡선  
Fig. 6 Voltage-current characteristic curve of the HIF

모의한 부하의 종류는 1) 선형 부하, 2) 선형 + 아크로 부하, 3) 선형 + 컨버터 부하 등 3가지 종류의 부하를 모델 계통에 연결하였으며, 이에 대한 자세한 사항은 다음과 같다.

1) 선형 부하: 배전선 길이를 10 (km)로 하였고, 인출단 (계전점)으로부터 매 1 (km)마다 0.5 (MVA)씩 10 (km)까지 총 5 (MVA)의 부하를 연결하였으며, 역률은 99%가 되도록 하였다.

2) 선형 + 아크로 부하: A상에 용량 4 (MVA)인 아크로 부하를 2 (km) 배전선 말단에 연결하였고 B, C상에는 계통 평형을 위해서 역률 99%인 같은 용량의 4 (MVA)인 선형 부하를 연결하였고, 용량이 2 (MVA)인 3상 선형 부하를 1 (km) 지점에 연결하여, 총 부하가 14 (MVA)를 연결하였다. 아크로 부하가 연결된 곳에는 강압용 단상 변압기를 연결하였다. 아크로 부하는 참고문헌 [8]에서 제시한 방식으로 모델링 하였다.

3) 선형 + 컨버터 부하: 2 (km) 배전선 말단에 5 (MVA)의 삼상 12 펄스 컨버터 부하를 연결하고, 1 (km) 지점에 역률 99%인 2 (MVA)의 선형 부하를 연결하여, 총 7 (MVA)가 되도록 하였다. 컨버터 부하는 참고문헌 [9]를 참조하여 모델링 하였다.

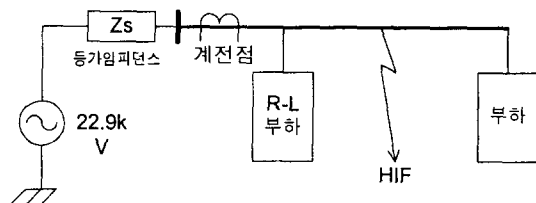


그림 7 고저항 사고를 모의하기 위한 모델 계통  
Fig. 7 A model system for the simulation of an HIF

4. 사례 연구

EMTP를 이용하여 그림 7의 모델 계통에서 3가지 종류의 부하에 대하여, 사고 위상각 및 사고 거리를 변화시키면서, 1선 지락 사고의 그림 3의 특성을 갖는 고저항 사고를 전압 원으로 모의하였다.

4.1 선형 부하

4.1.1 전압 위상각 0도 사고

10 (km) 배전선에서 1 (km) 지점에 전압 위상각 0도 사고를 발생시켰다. 계전점에서의 전류, 사고 가지에 흐르는 전류 및 사고 가지의 전압을 그림 8에 나타내었다. 사고 가지 전압은 고조파가 포함되어 있고, 아울러 계전점에서의 전류도 고조파가 포함되어 있음을 알 수 있다. 계전점에서의 전류를 보면, 비록 0도 사고라 하더라도 송전선의 경우와는 달리, 직류 összet 성분이 거의 없음을 알 수 있다.

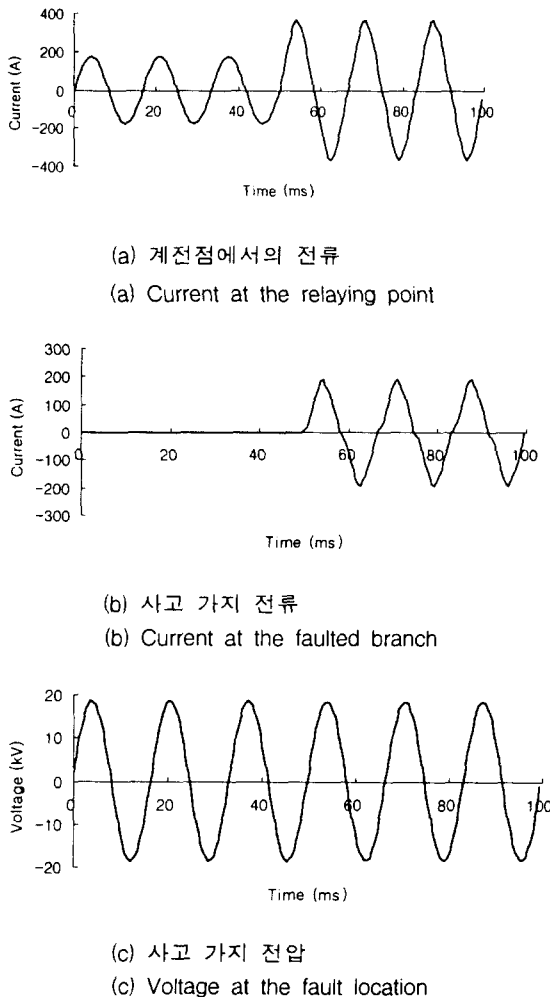


그림 8 선형 부하에서 전압 위상각 0도 사고의 경우  
Fig. 8 In case of a 0 (deg) fault with linear loads

사고 거리를 5 (km), 10 (km)로 한 경우, 계전점에서의 전류를 그림 9에 나타내었다. 고저항 사고가 발생할 경우 고장 지점 이후의 선로 및 부하의 임피던스는 사고 저항과 병렬로 연결되므로, 사고 거리가 달라지더라도 사고 저항이 상당히 크기 때문에 전원에서 바라 본 등가 임피던스에 큰 영향을 주지 못한다. 그러므로, 사고 위치가 달라지더라도 사고 전류의 차이가 크게 나타나지 않는다.

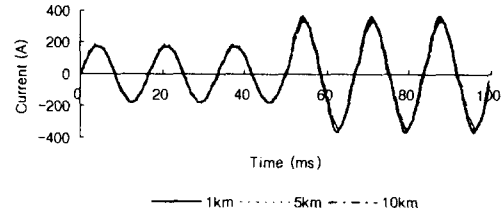


그림 9 사고 지점에 따른 계전점에서의 전류  
Fig. 9 Fault currents at the relaying with the fault distance

4.1.2 전압 위상각 90도 사고

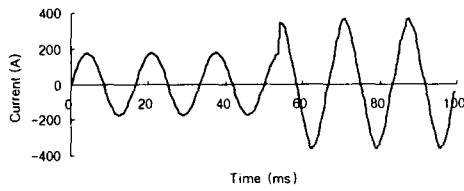
선형부하가 연결된 경우에 1 (km) 지점에서 90도사고가 발생했을 경우의 계전점 사고 전류, 사고 가지 전류를 그림 10에 나타냈다. 계전점에서의 전류는 사고가 90도에서 발생 하였으므로, 90도에서 급작스럽게 증가하는 점만 0도 사고와 다를 뿐, 사고 이후의 한 주기 후의 모양은 거의 같았다. 이는 그림 8의 0도 사고의 경우에 직류 összet 성분이 없기 때문이라고 판단된다. 사고 지점의 전압도 사고 순간에만 약간 다를 뿐, 한 주기만 지나면 0도 사고의 경우와 유사하게 된다.

4.2 선형 + 아크로 부하

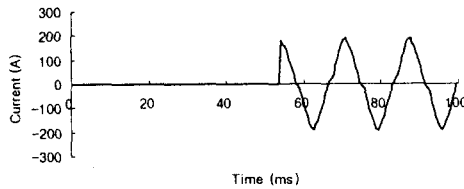
선형 부하와 아크로 부하가 연결되어 있는 경우에, 0.2 (km) 지점에서 고저항 사고를 모의하였다. 사고 위상각이 0도와 90도인 경우에 대하여 계전점에서의 사고 전류, 사고 가지 전류를 각각 그림 11과 그림 12에 나타냈다. 아크로 부하를 사용하고 있기 때문에 계전점에서의 전류에는 사고 발생 이전에도 고조파가 포함되어 있음을 알 수 있다. 그림 8과 그림 11을 비교해 보면, 같은 사고가 발생했다더라도, 계전점에서의 전류는 사고전류와 아크로 부하 전류의 합이 되므로, 배전선에 연결되어 있는 부하가 선형 부하인 경우와 아크 부하인 경우에, 사고 전 뿐만 아니라 사고 후에도 계전점에서의 전류는 매우 다름을 알 수 있다.

4.3 선형 + 컨버터 부하

선형 부하와 컨버터 부하가 연결되어 있는 경우에 0.2 (km) 지점에서 전압 위상각 0도 사고와 90도 사고를 모의하였고, 계전점에서의 전류, 사고 가지 전류를 각각 그림 13과 그림 14에 나타내었다. 6 펄스 컨버터 부하는 고조파를 발생하지만, 본 논문에서는 12 펄스 컨버터 부하를 사용하여 사고 전의 전류에도 고조파가 거의 없다. 따라서, 선형 부하만 있는 경우와 거의 유사한 특성을 가짐을 그림을 통해서 알 수 있다.

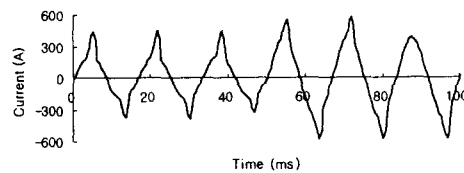


(a) 계전점에서의 사고 전류  
(a) Fault current at the relaying point

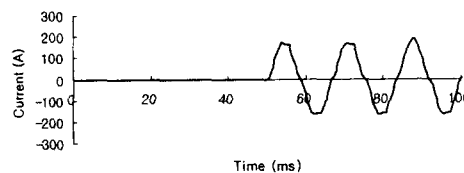


(b) 사고 가지 전류  
(b) Current at the faulted branch

그림 10 선형 부하인 경우의 전압 위상각 90도 사고  
Fig. 10 In case of a 90 (deg) fault with linear loads

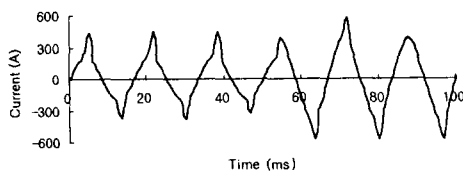


(a) 계전점에서의 전류  
(a) Current at the relaying point

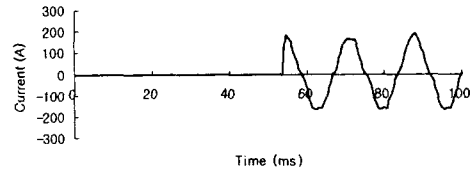


(b) 사고 가지 전류  
(b) Current at the faulted branch

그림 11 아크로 부하가 있는 경우의 0도 사고  
Fig. 11 For 0 (deg) fault with arc furnace & linear loads

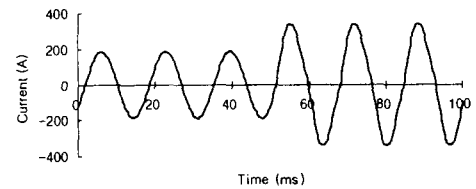


(a) 계전점에서의 전류  
(a) Current at the relaying point

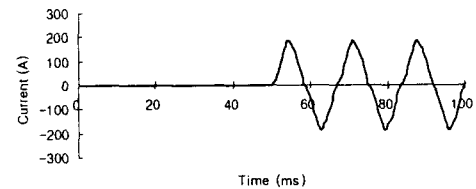


(b) 사고 가지 전류  
(b) Current at the faulted branch

그림 12 아크로 부하가 있는 경우의 90도 사고  
Fig. 12 For a 90 (deg) fault with arc furnace & linear loads

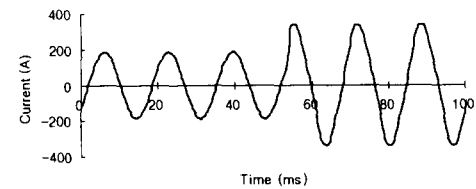


(a) 계전점에서의 전류  
(a) Current at the relaying point

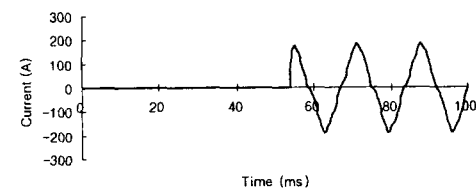


(b) 사고 가지 전류  
(b) Current at the faulted branch

그림 13 컨버터 부하가 있는 0도 사고의 경우  
Fig. 13 For 0 (deg) fault with converter & linear loads



(a) 계전점에서의 전류  
(a) Current at the relaying point



(b) 사고 가지 전류  
(b) Current at the faulted branch

그림 14 컨버터 부하가 있는 90도 사고의 경우  
Fig. 14 For a 90 (deg) fault with converter & linear loads

### 5. 결 론

본 논문에서는 고저항 사고를 전압원으로 모델링 하는 방법을 제시하였다. 22.9 [kV] 배전계통의 고저항 사고 실험에서 얻은 데이터로부터 전압-전류 특성 곡선을 얻고, 이를 선형화하고 EMTP의 TACS를 이용하여 고저항 사고를 전압원으로 모델링 하였다. 여러 가지 부하의 종류와 사고 조건에 따라 고저항 사고를 모의하였으며, 계전점에서 얻은 전류 데이터는 아크로 부하가 연결되어 있는 경우에는 선형 부하가 연결된 경우에 비해 매우 다름을 알 수 있었다. 또한, 선형 부하의 경우에는 사고 거리가 달라지더라도, 계전점에서의 전류는 크게 달라지지 않음을 알 수 있었다.

또한, 전압 위상각 90도 사고뿐만 아니라 0도 사고의 경우에도 계전점에서의 전류에 직류 성분은 거의 없음을 알 수 있다. 따라서, 배전선의 고저항 사고의 경우에는 사고 위상각이 달라지더라도 사고 순간에만 다를 뿐 한 주기가 지나면, 계전점에서의 전류는 거의 같음을 알 수 있다.

제시한 모델링 방법의 특징은 어떤 고저항 사고의 전압, 전류의 데이터만 있으면, EMTP를 이용하여 다양한 부하 조건 및 사고 조건에 따라 쉽게 모의할 수 있다는 장점이 있다. 여러 가지 특성을 갖는 고저항 사고에 대해서도 전압, 전류의 데이터만 있으면 전압원으로 모델링이 가능하다. 제시한 방법은 보다 신뢰성 있는 고저항 사고 검출 알고리즘의 개발에 필요한 데이터를 생성하는 데 유용하게 사용될 수 있다.

### 참 고 문 헌

[1] D. I. Jeerings, J. R. Linders, "Ground Resistance - Revisited", IEEE Trans. on PWRD, vol. 4, No. 2, April 1989, pp.949-956

[2] A. F. Sultan, G. W. Swift, D. J. Fedirchuk, "Detecting Arcing Downed-Wires Using Fault Current Flicker and Half-Cycle Asymmetry", IEEE Trans. on PWRD, vol. 9, No. 1, January 1994, pp.461-467

[3] M. Kizilcay, K.H. Koch, "Numerical Fault Arc Simulation Based on Power Arc Tests", EMTP News letter

[4] W. Rogers, "Modeling of Free-Air Arcs", EMTP News letter

[5] A. E. Emanuel, E. M. Gulachenski, D. Cyganski, J. A. Ort, "High Impedance Fault Arcing on Sandy Soil in 15kV Distribution Feeders: Contributions to the Evaluation of the Low Frequency Spectrum", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 5, No. 2, April 1990, pp.676-686

[6] M. B. Djuric, V. V. Terzija, "A New Approach to the Arcing Faults Detection for Fast Autoreclosure in Transmission Systems", IEEE Trans. on PWRD, vol. 10, No. 4, October 1995, pp.1793-1798

[7] A. T. Johns, R. K. Aggarwal, Y. H. Song, "Improved techniques for modeling fault arcs on faulted EHV transmission systems", IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol.141, No. 2, March 1994, pp.148-154

[8] S. Varadan, E. B. Makram, A. A. Girgis, "A New Time Domain Voltage Source Model for An Arc Furnace Model Using EMTP", IEEE Trans. on PWRD, vol. 11, No. 3, July 1996, pp.1685-1691

[9] 노의철, 정규범, 최남섭, 전력전자공학, 문운당, pp. 138-181, 1997.

### 저 자 소 개

강 용 철(姜 龍 澈)

전기학회 논문지 제48권 제2호 참조

Tel : (0652) 270-2391

E-mail : yckang@moak.chonbuk.ac.kr

남 순 열(南 淳 烈)

전기학회 논문지 제48권 제5호 참조

Tel : 880-7257

E-mail : ptsouth@plaza1.snu.ac.kr

박 종 근(朴 鍾 根)

전기학회 논문지 제48권 제5호 참조

Tel : 880-7241, Fax : 878-1452

E-mail : jkpark@plaza1.snu.ac.kr



장 성 일(張 成 一)

1971년 8월 30일 생. 1996년 강원대

전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원

전기공학과 졸업(석사), 1998~현재 동

대학원 전기공학과 박사과정

Tel : (0361) 250-6290

E-mail : sijang@mirae.kangwon.ac.kr