2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.7.14-16

배전계통 고장위치 추정에 관한 기술개발

김미영, 오용택, 노대석
한국기술교육대학교

A Development of the Estimating Algorithm for Faults Locations on Distribution Power Systems

Mi-Young Kim, Dae-Seok Rho, Yong-Taek Oh
Korea University of Technology and Education

Abstract - 전력계통은 선로설비 규모면에서 급격하게 증가를 해 왔고, 특히 선로는 천재지변 등에 의해 절연이 파괴되고 조류나 기타 원인에 의해 병렬사고 및 단락사고 등이 유발되고 있다. 대다수 전기사고는 신속한 선로복구를 요구하는데 이를 위해 신속하고 정확하게 고장위치를 검출하는 방법이 요구되기 때문에 전력회사 기술자와 연구자들에 의해 고장위치 검출 방법이 주요 과제로 수행되어 왔다. 또한, 전력시장의 규제완화에 의해 전력품질의 경쟁력을 요구하고, 이에 대한 관심이 높아짐으로서 본 연구에서는 배전계통의 고장위치를 신속, 정확하게 추정하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

1. 서 론

최근 전력계통의 급격한 성장은 선로의 규모 및 전체 길이를 크게 증가 시켰으며, 각 선로의 노출에 따른 선로 고장은 자주 발생하고 있다. 선로의 고장복구는 고장위치가 현저하게 정확도를 갖도록 산정함으로서 신속하게 처리할 수 있다. 고로, 선로고장의 위치를 정확하게 산정하는 방법은 전기 공급 회사의 기술자나 연구 개발자에게 주요 관심사로 대두되었다. 지금까지 기존의 연구 개발자들은 전력계통에서 선로 사고에 의한 영향이 비교적 큰 송전선로의 고장위치 산정에 관심을 가져왔으나, 최근에는 더욱 경쟁력 있고 신뢰성 있는 전원 공급의 필요성을 인식하고, 수용가에게 많은 영향을 미치는 배전선로의 고장 위치 산정 방법에 대한 연구가 주요 관심사로 대두되어 지고 있다.

기존에 연구 개발된 송전선로의 고장위치 산정 방법은 3가지 형태로 분류할 수 있다. 첫째, 진행파의 속성을 이용하는 방법[1,2,3]이며, 고장 초기에 고장점으로 부터 전압과 전류 진행파가 시작하여 선로단으로 진행한다. 이 방법은 정확하지만 복잡하고 적용하기 어려우며 이들 방법의 정확도는 선로정수의 정도 및 선로구성에도 크게 영향 받는다. 둘째, 고장점과 선로단에서 전압과 전류의 진행파와 계통 전압에서 갑작스런 변화에 의해 발생하는 전압과 전류의 고주파 요소를 이용하는 방법이다.[4,5] 이 방법은 특별하게 선정된 필터를 요구하기 때문에 아주 복잡하고 비용이 많이 든다. 셋째, 선로단에서 기본주파수 전압과 전류 및 선로정수를 이용하는 방법이다.[6,7] 이 방법은 선로단에서 임피던스를 계산하고 전체 선로의 고장거리를 산정하는 방법으로서 마이크로 프로세서를 포함하는 디지털 하드웨어와 아날로그 하드웨어를 이용함으로서 실제화 할 수 있고 진행파 이론과 고주파 요소를 이용하는 방법과 비교하여 간단하고 경제적이므로 대부분 전력회사에서 이용하는 기술이다.

본 연구에서는 선로단에서 측정한 기본 주파수 전압과 전류를 사용하여 배전계통의 고장위치를 검출하는 방법을 제시하고 알고리즘의 정확도를 개선하기 위한 방법으로 중간부하 및 고장저항의 영향을 최소화하는 방법을 제안한다. 또한, 사례연구로 실 계통과 유사한 25KV 모의 배전계통에 병렬사고의 대부분을 차지하고 있는 단상 지락고장을 상정하여 시뮬레이션 함으로서 제안한 알고리즘의 효용성을 입증하였다.

2. 배전계통 고장위치 검출 알고리즘

본 연구에서는 방사상 배전계통에서 발생하는 병렬고장의 위치를 산정하는 간단하고 정확하며, 실제적인 방법을 제안한다. 기존에 연구한 방법과 유사하게 선단에서 측정한 기본 주파수 전압과 전류를 사용하는 방법이며, 선로단에서 고장까지의 피상적인 위치를 고장시의 상전압과 상전류로부터 임피던스를 계산하고, 리액티브 요소로 변환하여 최종적으로 단위 길이인 선로 길이로 환산하는 과정으로 계산한다. 또한 중간 부하와 선로의 비동질성을 고려한다. 그림 1과 같은 단선도로 구성된 배전계통에서 고장이 발생한 경우를 가정하고 배전계통은 등가 전원 G와 노드 M과 N사이에 선로로 구성되며, 각 노드에 부하들이 중간에 분기되고 각 노드 사이는 비동질의 선로정수 형태로 이루어진다. 그림 2의 블록도는 제안한 방법의 개요로서 아래와 같은 과정으로 수행한다.

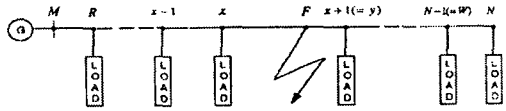

그림 1 고장점 F의 배전선로 단선도

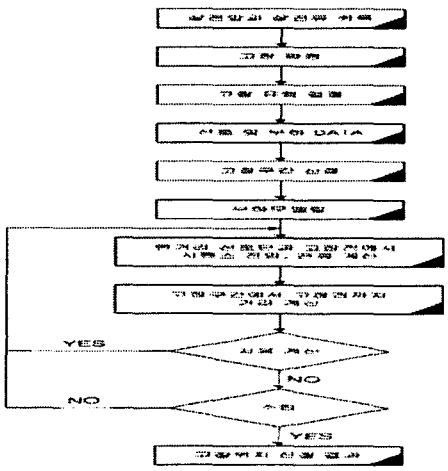

그림 2 고장위치 산정 알고리즘의 블록도

2.1 Data 취득 및 고장판정

고장이 감지될 경우 M 노드에서 고장전 전압과 전류의 기본주파수 측정값을 저장하고 고장시에 M 노드에서 전압과 전류의 기본 주파수 전압과 전류를 계산한다. 지

정된 시간 경과 후에 고장을 결정하기 위해서 실시간으로 측정한 기본주파수 전류가 지정된 문턱치 이상의 값이면 고장으로 판정한다. 고장전 자료와 고장시의 자료 및 선로와 부하정수들은 고장위치를 계산하기 위해 미리 취득한다.

2.2 피상 고장구간 계산

고장전과 고장시 노드 M에서 시퀀스 전압, 전류와 선로정수, 고장유형을 이용하여 노드 x와 y(x+1)노드 사이에 고장 구간이 있음을 판정한다.

$$Z_{ml} = \frac{V_{am}}{I_{amr}} \tag{1}$$

$$X_{ml} = Im(Z_{ml}) \tag{2}$$

단, Z_{ml}: 노드 M에서 고장점까지 임피던스
X_{ml}: 노드 M에서 고장점까지 리액턴스

노드 M에서 노드 R까지 첫 구간에서 수정한 리액턴스를 계산하는 식은 아래와 같다.

$$X_{mr}^{m} = X_{1mr} + \frac{X_{0mr} - X_{1mr}}{3} \tag{3}$$

단, X_{0mr} : 노드 M과 R사이 구간의 영상 리액턴스
X_{1mr} : 노드 M과 R사이 구간의 정상 리액턴스

만일 수정한 리액턴스가 피상리액턴스 보다 적다면 노드 R이외에 고장이 발생한 경우이며, 두번째 구간의 수정한 리액턴스는 식 (3)으로 계산하고 첫번째 구간에서 계산한 값과 더하여 수정한다.

2.3 부하 모델링

노드 x까지 모든 부하는 독립적으로 고려하고, 고장노드 F 이외의 부하는 원거리 선로단 N에 부하로 통합하여 간주한다. 부하들은 전압 의존형으로 모델링하고, 전압 어드미턴스 관계를 나타내는 부하정수는 고장전 전압과 전류로부터 계산한다. 단상 부하는 고장 임피던스를 갖는 단상 지락사고와 유사하게 부하 임피던스를 모델링하고 3상 부하는 평형 부하로 가정하고, 평형 3상 고장처럼 모델링한다.
노드 x와 x+1 사이에 고장 위치가 생길 수 있는 피상 위치가 선정되면 노드 x까지 각 노드에 고장전 부하들을 아래 식으로 계산한다.

노드 R에 부하 = (노드 R에 연결 부하/
전체 연결 부하) × 전체 고장전 부하 (4)

각 노드에 고장전 전류와 전압을 산정하기 위해 배전선로 구간이 짧으므로 4단자 분포정수를 계산하면 아래식과 같이 간략화하여 유도할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} V_r \\ I_{rm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & B_{mr} \\ C_{mr} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m \\ I_{mr} \end{bmatrix} \tag{5}$$

단, $B_{mr} = -Z^0 \gamma L$ $\quad C_{mr} = \gamma L / Z^0$
γ_{mr} : 단위 길이당 전파정수 $\quad L_{mr}$: 구간 길이
Z_{mr}^0 : 구간 써지 임피던스

노드 R에 부하 전류는 단상 부하의 경우 고장 임피던스를 갖는 단상 지락사고와 유사하게 부하 임피던스를 모델링하고 3상 부하의 경우 평형 부하로 가정하고, 평형 3상 고장처럼 모델링하여 아래 식으로 계산한다.

$$I_{rf} = -I_{rm} - I_r \tag{6}$$

단, I_{rf} : 노드 R에서 고장으로 향하는 전류
I_r : 노드 R에서 부하전류

각 시퀀스 요소와 노드 x까지 모든 구간에 대하여 식 (5)과 식(6)을 이용하여 고장전 전압과 전류을 계산한다.
원거리 선로단 노드 N에 고장전 시퀀스 전압과 전류는 노드 x 밖에 모든 부하들을 통합하여 산정하고 이들 전압, 전류는 노드 x에 대한 전압, 전류식으로 표시한다.

$$\begin{bmatrix} V_n \\ -I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & B_{xy} \\ C_{xy} & -1 \end{bmatrix} \cdots\cdots \begin{bmatrix} 1 & B_{wn} \\ C_{wn} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ I_{xf} \end{bmatrix} \tag{7}$$

단, V_n, I_n : 노드 N에서 전압과 전류
V_x I_{xf} : 노드 x에서 전압과 전류
B_{xy}, C_{xy} : 노드 x와 x+1(=y)사이 구간 선로정수
B_{wn}, C_{wn} : 노드 N-1(=W)과 N사이 구간 선로정수

노드 N에서 전압과 전류는 각 시퀀스 요소에 대하여 계산하고 시퀀스 어드미턴스는 아래와 같이 계산한다.

$$Y_n = I_n / V_n \tag{8}$$

2.4 원거리 선로단과 고장점에서 시퀀스 전압과 전류 계산

고장동안 노드 x에서 시퀀스 전압과 전류는 각 노드에서 부하 전류에 대한 보상을 취함으로서 계산하고 원거리 선로단에 시퀀스 전압은 노드 x에서 고장의 거리 함수로서 계산한다. 고장노드 F에서 시퀀스 전압과 전류는 원거리 선로단에 통합부하의 어드미턴스와 노드 x에서 고장거리의 함수로서 계산할 수 있다. 고장동안 노드 F에 시퀀스 전압과 전류는 노드 x밖에 모든 부하를 노드 N에 통합하여 산정한다.
노드 F와 x에서 전압과 전류는 아래 식과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_f \\ I_{fx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -sB_{xy} \\ sC_{xy} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ I_{xf} \end{bmatrix} \tag{9}$$

단, s : 노드 x에서 F까지 거리로서 x와 x+1(y) 구간 사이 길이의 함수

고장동안 노드 N과 F에서 시퀀스 전압과 전류는 아래 식으로 계산한다.

$$\begin{bmatrix} V_n \\ -I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_e & -B_e \\ C_e & -A_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -(1-s)B_{xy} \\ -(1-s)C_{xy} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_f \\ I_{fx} \end{bmatrix} \tag{10}$$

단, A_e, B_e, C_e, D_e : 노드 x+1(=y)와 N사이 연속된 구간 등가 선로정수

상기식을 정리하면 아래식과 같이 계산한다.

$$\begin{bmatrix} V_n \\ -I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_a + sK_b & K_c + sK_d \\ K_e + sK_f & K_g + sK_h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_f \\ I_{fx} \end{bmatrix} \tag{11}$$

단, K 정수들은 복소 정수로서 아래와 같다.

$$K_a = D_e + B_e C_{xy} \qquad K_b = -B_e C_{xy}$$
$$K_c = -B_e - D_e B_{xy} \qquad K_d = D_e B_{xy}$$
$$K_e = C_e + A_e C_{xy} \qquad K_f = -A_e C_{xy}$$
$$K_g = -A_e - C_e B_{xy} \qquad K_h = C_e B_{xy} \tag{12}$$

고장점 F에서 전류의 관계식을 대입하고 s의 2차식 이상을 무시하고 정리하면 아래식과 같다.

$$\begin{bmatrix} 1 & K_c + sK_d \\ -Y_n & K_g + sK_h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \\ I_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_a + sK_i & K_c + sK_j \\ K_e + sK_k & K_g + sK_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ I_{xf} \end{bmatrix} \tag{13}$$

단, K는 복소 정수로서 아래와 같다.

$$K_i = K_b - K_c C_{xy} \qquad K_j = K_d + K_c B_{xy}$$
$$K_k = K_f - K_g C_{xy} \qquad K_l = K_h + K_g B_{xy} \tag{14}$$

상기식을 N 노드 전압과 고장점 전류 형태로 정리하고 s의 2차식 이상을 무시하면 아래식과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_n \\ I_f \end{bmatrix} = \frac{1}{K_v + sK_w} \begin{bmatrix} K_m + sK_n & sK_p \\ K_q + sK_r & K_v + sK_u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ I_{xf} \end{bmatrix} \tag{15}$$

단, K는 복소정수로서 아래와 같다.

$$K_m = K_g K_a - K_c K_e$$
$$K_n = K_h K_a + K_g K_i - K_d K_e - K_c K_k$$
$$K_p = K_h K_c + K_g K_j - K_d K_g - K_c K_l$$
$$K_q = Y_n K_a + K_e \qquad K_r = Y_n K_i + K_k$$
$$K_u = Y_n K_j + K_l \qquad K_v = Y_n K_c + K_g$$
$$K_w = Y_n K_d + K_h \tag{16}$$

2.5 노드 x에서 고장의 거리를 산정

고장노드에서 시퀀스 전압과 전류는 노드 x에서 고장의 거리를 산정하기 위해 사용하고 반복적인 방법으로 계산한다. 거리를 산정하기 위해 우선 노드 N에서 통합

된 부하어드미턴스의 고장 전 어드미턴스를 사용하여 계산하고 이들 어드미턴스는 노드 N에 시퀀스 전압과 전압 의존형 부하 모델링 결정 과정을 수행하여 새로운 값으로 수정한다. 이 과정은 수렴되는 해가 계산될 때까지 반복한다.

노드 x에서 고장점 F까지 고장거리 s을 산정하기 위해서 노드 x에서 x+1(=y)사이 구간 길이의 함수로써 나타낸다. 고장점에서 여러 형태의 고장에 대하여 전압 및 전류의 관계를 이용하여 고장 임피던스를 계산하고 고장 임피던스의 저항 속성을 이용하여 거리 s을 산정한다.

고장점에서 단상 지락사고에 대한 전압, 전류 관계식은 아래와 같다.

$$V_{0f} + V_{1f} + V_{2f} = (I_{0f} + I_{1f} + I_{2f}) R_f \qquad (17)$$

단, R_f : 고장 저항

식 (17)을 정리하고 양편에 허수부를 정리하면 아래식과 같다.

$$I_m\left(\frac{V_{0f} + V_{1f} + V_{2f}}{I_{0f} + I_{1f} + I_{2f}}\right) = 0 \qquad (18)$$

식 (18)에 시퀀스 전압과 전류를 대입하면 아래 방정식을 계산할 수 있다.

$$I_m\left(\frac{K_A + sK_B}{K_C + sK_D}\right) = 0 \qquad (19)$$

단, $K_A \sim K_D$: 복소정수로서 아래와 같이 계산한다.

$$\begin{aligned}
K_A &= (V_{0x} + V_{1x} + V_{2x})(K_{0v} + K_{1v} + K_{2v}) \\
K_B &= [(V_{0x} + V_{1x} + V_{2x})\{K_{1v}(K_{2v}K_{0w} + K_{2w}K_{0v}) + (K_{1w}K_{0v}K_{2v})\}] - \\
&\quad [(B_{0xy}I_{0zf} + B_{1xy}I_{1zf} + B_{2xy}I_{2zf})(K_{0v}K_{1v}K_{2v})] \\
K_C &= \{(K_{1v}K_{2v})(K_{0q}V_{0x} + K_{0v}I_{0zf})\} + \{(K_{2v}K_{0v})(K_{1q}V_{1x} + K_{1v}I_{1zf})\} + \{(K_{0v}K_{1v})(K_{2q}V_{2x} + K_{2v}I_{2zf})\} \\
K_D &= \{(K_{1v}K_{2v})(K_{0r}V_{0x} + K_{0u}I_{0zf}) + (K_{1r}K_{2w} + K_{1w}K_{2r})(K_{0q}V_{0x} + K_{0v}I_{0zf})\} \\
&\quad + \{(K_{2v}K_{0r})(K_{1r}V_{1x} + K_{1u}I_{1zf}) + (K_{2r}K_{0w} + K_{2w}K_{0v})(K_{1q}V_{1x} + K_{1v}I_{1zf})\} \\
&\quad + (K_{0v}K_{1v})(K_{2r}V_{2x} + K_{2u}I_{2zf}) + (K_{0v}K_{1w} + K_{0w}K_{1v})(K_{2q}V_{2x} + K_{2v}I_{2zf})\}
\end{aligned} \qquad (20)$$

단, $K_A \sim K_D$ 복소정수는 실수부와 허수부로 정리하면 아래식과 같다.

$$K_A = K_{AR} + jK_{AI} \quad K_B = K_{BR} + jK_{BI}$$
$$K_C = K_{CR} + jK_{CI} \quad K_D = K_{DR} + jK_{DI} \qquad (21)$$식

(20)을 정리하고 2차 이상의 거리 s요소를 무시하면 아래 식으로 정리한다.

$$(K_{AI} + sK_{BI})(K_{CR} + sK_{DR}) - (K_{AR} + sK_{BR})(K_{CI} + sK_{DI}) \approx 0 \qquad (22)$$

식 (22)을 정리하면 아래 식으로 거리 s를 구할 수 있다.

$$s = \frac{K_{AI}K_{CI} - K_{AI}K_{CR}}{(K_{CR}K_{BI} - K_{CI}K_{BR}) + (K_{DR}K_{AI} - K_{DI}K_{AR})} \qquad (23)$$

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

방사상 배전계통에서 병렬고장 위치를 산정하는 방법을 앞절에서 제시하였다. 이 방법에 대한 적용 가능성을 검증하기 위한 사례연구를 수행하기 위해 데이터는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 시뮬레이션 함으로서 생성하였다.

제안한 연구 기술을 검증하기 위해 생성한 자료를 이용하여 고장의 유무를 검출하고 고장유형을 검출하는 프로그램 및 선로 데이터와 고장전 전류, 전압과 고장 전류, 전압을 바탕으로 고장위치를 결정하는 프로그램을 C언어로 개발하였다.

시뮬레이션은 퍼스널 컴퓨터로 진행하였고 시뮬레이션 방법은 선로저항에 비하여 큰 사고저항으로 시뮬레이션(0.1, 0.5Ω) 하고자 하였으며, 사고 시간은 0.5s에서 0.1s동안 지속하여 모델링하였다. 우선 배전선로의 부하를 사고전(0.48s)에 측정된 기본 주파수 전압, 전류를 가지고 부하 모델링하고 각 노드의 전압, 선로에 흐르는 전류와 부하로 흐르는 전류를 산정하여, 각 부하의 어드미턴스를 계산하였다. 그리고 사고시(0.55s)에 측정된 기본 주파수 전압, 전류를 가지고 사고위치 거리(s)를 산정하였다.

3.1 배전계통 모델

배전선로 사고 위치를 파악하기 위하여 한쪽 선단에서 전원이 공급되고, 2개의 단상 분기부하와 1개의 삼상부하, 그리고 우리나라 실제 배전 계통과 유사하게 각 구간마다 서로 다른 선종으로 구성된 배전 선로 모의계통을 그림 3과 같이 구성하였다.

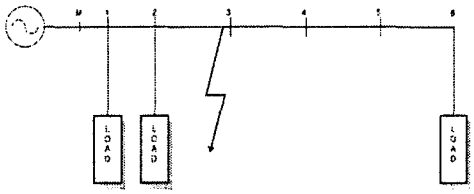

그림 3 배전계통 모델 단선도

배전계통 데이터는 표 1과 같은 등가전원 데이터 및 표 2와 같은 부하 데이터로 구성하며, 각 구간 선로의 거리 및 선로 구성 데이터는 표 3, 표 4와 같다.

모든 선로구간은 π 회로로, 부하는 전압 의존형으로 모델링 하였으며 부하정수는 부하의 형태에 따라 결정토록 한다.

표 1 등가전원 데이터

기준 전압 (KV)	기준 용량 (MVA)	정상, 역상 임피던스			영상 임피던스		
		Real (p.u)	Real (Ohm)	Image (p.u)	Image (H)	Real (p.u)	Image (p.u)
25	100	0.68283	4.2676875	2.98139	0.049	0.09496	1.39289

표 2 부하 데이터

부하 노드	상	부하량 (KVA)	구성		역률	전력	
			전열	동력		유효 (KW)	무효 (KVAR)
1	A	15	100%	0%	1.0	15	0
2	A	15	100%	0%	1.0	15	0
6	A,B,C	1000	0%	100%	0.8	800	600

표 3 구간별 선로 거리 데이터

노드 번호	선종	선로거리 (km)
0~1		2.414
1~2	ACSR-OC160/ACSR 95/나경동선22㎟	4.0234
2~3	ACSR-OC160/ACSR 95/나경동선22㎟	4.0234
3~4	ACSR-OC160/ACSR 95/나경동선22㎟	4.0234
4~5	ACSR-OC95/ACSR 95/나경동선22㎟	4.0234
5~6	ACSR-OC95/ACSR 95/나경동선22㎟	4.0234

표 4 선로 데이터

Node	거리	임피던스				어드미턴스	
		정상, 역상		영상		정상, 역상	영상
		Real	Image	Real	Image	Image	Image
	m	(Ohms /m)	(Ohms /m)	(Ohms /m)	(Ohms /m)	(Mohms *m)	(Mohms* m)
1~2	2,414.0	0.000186	0.0004068	0.0003636	0.0018694	2.67E+02	4.01E+02
2~3	4,023.4	0.000186	0.0004068	0.0003636	0.0018694	2.67E+02	4.01E+02
3~4	4,023.4	0.000186	0.0004068	0.0003636	0.0018694	2.78E+02	4.18E+02
4~5	4,023.4	0.000313	0.0004256	0.0004906	0.0018882	2.78E+02	4.18E+02
5~6	4,023.4	0.000313	0.0004256	0.0004906	0.0018882	2.78E+02	4.18E+02

3.2 기본 주파수 전압 및 전류 데이터 취득

PSCAD/EMTDC 시뮬레이터를 이용하여 1선 지락 고장이 발생한 경우 고장전 및 고장시 상전압, 상전류 자료를 취득하였다. 상기의 시뮬레이터로 1선 지락사고를 모델링하여 각 선로 구간별 노드에서 고장이 발생한 경우를 시뮬레이션 하면 기본 주파수 전압과 전류의 위상 및 크기의 데이터를 취득할 수 있다.

3.3 제시한 알고리즘의 위치 산정

1선 단상 지락사고에 관하여 취득한 데이터를 제시한 알고리즘에 적용하여 제시한 모델 배전계통에 여러 가지의 고장저항을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 제안한 알고리즘을 각 구간에서 사고 유형별로 고장 위치를 산정하기 위해 사례연구를 수행하였다. 1선 지락사고의 경우 고장저항을 0, 0.1, 0.5[Ω]로 변경하여 사례연구를 표 5와 같이 수행하였으며 각 사례별 고장거리 산정에 따른 오차를 그림 4와 같이 분석함으로서 제안한 알고리즘의 정확도를 검증하였다.
여기서 제안한 방법의 정확도를 검증하기 위한 고장거리 계산 오차는 다음 식을 사용하여 계산하였다.

$$\%\text{오차} = \{(\text{계산한 거리} - \text{실제 고장거리})/\text{전체 선로 길이}\}\times 100 \quad (24)$$

표 5 단상(A상) 지락고장 거리 산정

고장 저항	노드 번호	실제 고장 거리(km)	S	고장 산정 거리(km)
0(Ω)	1	2.414		2.414
	2	6.4374	0.99567	6.4200
	3	10.4608	0.98003	10.3805
	4	14.4842	0.98480	14.4230
	5	18.5076	0.97653	18.4132
	6	22.531	0.96709	22.3986
0.1 (Ω)	1	2.414		2.414
	2	6.4374	1.02849	6.5520
	3	10.4608	0.88023	9.9789
	4	14.4842	0.97144	14.3693
	5	18.5076	0.95305	18.3187
	6	22.531	0.93605	22.2737
0.5 (Ω)	1	2.414		2.414
	2	6.4374	1.00202	6.4455
	3	10.4608	0.95947	10.2977
	4	14.4842	0.98160	14.4102
	5	18.5076	0.97094	18.3907
	6	22.531	0.96056	22.3723

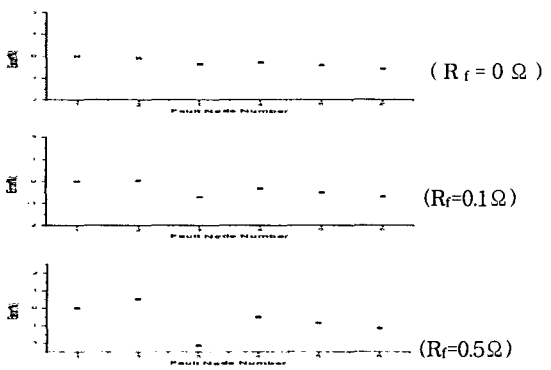

그림 4 단상(A상) 지락고장시 각 노드별 고장거리 산정 오차율

A상 1선 지락고장시 고장거리 검출에 있어 고장저항을 0으로 했을 경우 산정거리 최대오차는 6번 노드에서 0.587[%]이다. 오차는 정확하게 0이어야 하지만 이 정도의 오차는 고장거리 검출 알고리즘이 정확하다고 생각된다. 고장저항을 변경하였을 경우 고장거리 산정에 대한 오차율은 고장저항의 증가에 따라 증가됨을 알 수 있다. 그러나 제안한 알고리즘의 적용 결과 최대 오차는 고장저항이 0.5[Ω]일때 3번 노드에서 2.1[%] 정도로 양호한 고장위치 산정결과를 구할 수 있으므로 알고리즘의 효용성을 입증할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 선로단에서 고장전과 고장시의 기본 주파수 전압, 전류를 측정하여 배전계통 고장위치를 검출하는 방법을 제시하였다. 주요 연구결과는 아래와 같다.

1) 선로의 병렬 고장위치 검출에 영향을 미치는 중간 탭부하와 배전선로의 비동질성을 고려한 알고리즘을 제안하였다.

2) 제안한 알고리즘에 의해 시뮬레이션 한 결과는 전원 등가 임피던스에 의존하지 않고 정확하고 간단하게 계산하였다.

3) 제안한 알고리즘에 의해 산정한 고장위치 추정 결과는 오차율 범위가 2[%] 정도로 충분한 정확도를 유지할 수 있으므로 그 효용성을 입증할 수 있었다.

4) 고장저항을 변형하여 시뮬레이션 함으로서 고장저항이 선로 임피던스에 비하여 충분히 큰 경우에도 어느 정도의 정확도를 유지함으로서 적용 가능성을 검증할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] Desikachar, K.V. and Singh, L.P., "Digital Travelling-Wave Protection of Transmission Lines", *Electric Power Systems Research*, Vol. 7, No. 1, January 1984, pp. 19-28

[2] Ibe, A.O. and Cory, B.J. "A Travelling Wave-Based Fault Locator for Two-and Three-Terminal Networks", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. PWRD-1, No. 2, April 1986, pp. 283-288.

[3] Ranjbar, A.M., Shirani, A.R. and Fathi, A.F., "A New Approach of Fault Location Problem on Power Lines", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.7, No. 1, January 1992, pp.146-151

[4] Johns, A.T. and Agarwal, P., "A New Approach to Power Line Protection Based upon the Detection of Fault Induced High Frequency Signals", *IEE Proceedings*, Vol. 137 Pt. C, No. 4, July 1990, pp.307-313.

[5] Johns, A.T., Lai, L.L., El-Hami, M. and Daruvala, D.J., "New Approach to Directional Fault Location for Overhead Power Distribution Feeders", *IEE Proceedings*, Vol. 138, Pt. C, No. 4 July 1991, pp.351-357.

[6] Carr, J. and Jackson, R.V., "Frequency Domain Analysis Applied to Digital Transmission Line Protection by Digital Computer", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-95, No. 4, July/August 1975, pp.1157-1166

[7] Sachdev, M.S., and Agarwal, R., "A Technique for Estimating Transmission Line Fault Locations from Digital Impedance Relay Measurements", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 3, No. 1, January 1988, pp. 121-129.