

자기단 전원임피던스 추정을 이용한 송전선 고장점표정 알고리즘

논 문

58-5-3

Transmission Line Fault Location Algorithm Using Estimated Local Source Impedance

권 영 진[†] · 김 수 환* · 강 상 희**

(Young-Jin Kwon · Su-Hwan Kim · Sang-Hee Kang)

Abstract - A fault location algorithm using estimated local source impedance after a fault is proposed in this paper. The method uses after fault data only at the local end. It uses the negative sequence current distribution factor for more accurate estimation. The proposed algorithm can keep up with the variation of the local source impedance. Therefore, the proposed algorithm especially is valid for a transmission line interconnected to a wind farm that the equivalent source impedance changes continuously. The performance of the proposed algorithm was verified under various fault conditions using the Simpowersystem of MATLAB Simulink. The proposed algorithm is largely insensitive to the variation in fault distance and fault resistance. The test results show a very high accurate performance.

Key Words : Fault Location, Current Distribution Factor, Source Impedance Estimation

1. 서 론

송전선로 고장 발생시 고장점을 정확하게 찾아 신속하게 복구하는 것은 계통의 안정적인 운영과 신뢰도 향상 면에서 매우 중요하다. 송전선로의 고장점을 찾기 위한 방법들은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 진행파를 이용한 방법[1-2]이고 두 번째는 고장점까지 임피던스 측정에 기반한 방법[3-10]이다. 대상 계통에 따라서는 단일회선을 대상으로 한 방법[3-4], 병행 2회선을 대상으로 한 방법[5-9], 그 이상 다단자 계통을 대상으로 한 방법[10]으로 나뉜다. 데이터 취득위치에 따라 분류하면 편단 정보를 이용한 방법[1-5, 8-10]과 양단 정보를 이용한 방법[6,7]으로 나눌 수 있다.

진행파를 이용한 방법은 고속 샘플링이 가능한 고성능 장치가 필요하고, 고장 발생 전압 위상각이 0도 부근일 때 진행파가 거의 발생하지 않으며 노이즈에 취약하다는 단점으로 인해 임피던스 측정 기반 방법들이 보다 많이 사용되었다. 양단 정보를 사용하는 방법은 편단 정보를 사용하는 방법보다 오차가 작으나 동기된 양단 데이터 측정설비와 통신설비가 필요하므로 설비비용이 증대된다. 편단정보만 사용하는 경우 상대단으로부터 유입되는 고장전류를 추정하기 위하여 대부분의 방법들은 전류분배계수를 사용했다. 간이화된 양단계통의 전류분배계수는 자기단, 상대단 전원임피던스와 선로정수가 기지수이고 고장거리가 미지수인 함수이

다. 따라서 추정된 상대단 고장전류와 고장점표정 오차는 전류분배계수에 사용된 전원임피던스의 정확도에 따라 달라진다.

전력계통의 등가전원은 계통의 운전상황에 따라 끊임없이 변하고 이것은 등가전압이 일정하다고 가정할 때 등가 전원임피던스의 변화로 볼 수 있다. 이렇게 전원임피던스가 변할 때 고정값의 전원임피던스를 이용한 전류분배계수를 사용한다면 고장점표정 결과에 오차를 유발하게 된다.[9-10] 이런 문제점을 해결하기 위하여 [3-4]에서는 고장점을 기준으로 좌우 계통의 위상각이 비슷하다고 가정된 전류분배계수를 사용 했지만 양단의 위상각은 고장발생 거리에 따라 달라지고 전원임피던스를 정확하게 모르는 경우 전류분배계수를 정확하게 구할 수 없다. [5,8]에서는 전원임피던스를 포함하지 않은 전류분배계수를 사용하였으나 이 방법은 병행 2회선 계통에서만 유효하다.

전원임피던스가 변하는 조건에서 고정값의 전원임피던스를 사용하는 고장점표정 방법은 오차가 증가하므로 본 논문에서는 고장 이후 추정된 자기단 전원임피던스를 전류분배계수에 사용하여 자기단 전원임피던스 변화에 대응할 수 있는 고장점표정 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘을 검증하기 위해 MATLAB Simulink의 전력계통 모델링 툴인 Simpowersystem을 사용하여 154[kV] 송전선로 고장을 모의하여 알고리즘을 검증한 결과 자기단 임피던스 변화에 대응하여 정확하게 고장점을 추정할 수 있음을 보였다.

2. 본 론

2.1 전류분배계수를 이용한 고장점표정 알고리즘

그림 1과 같은 계통에서 1선지락 고장시 계전점에서 고장점까지 전압방정식은 식 1과 같다. 1선지락시 고장점에서는 $I_{f0} = I_{f1} = I_{f2}$ 이고 고장전류는 양단에서 유입되는 전류의 합

[†] 교신저자, 정회원 : 명지대 공대 전기공학과 박사과정
E-mail : yjkwon@mju.ac.kr

* 준 회원 : 명지대 공대 전기공학과 석사과정

** 시니어회원 : 명지대 공대 전기공학과 교수 · 공박

접수일자 : 2009년 1월 6일

최종완료 : 2009년 3월 3일

이므로 식 2와 같이 나타낼 수 있다.

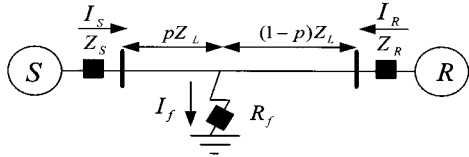


그림 1 송전선로 고장 다이어그램
Fig. 1 System diagram of a faulted transmission line

표 1 용어
Table 1 nomenclature

기호	설명
Z_{L012}	대칭분 선로 임피던스
Z_{S012}, Z_{R012}	전원 S, R 대칭분 임피던스
R_f, I_f	고장저항, 고장전류
I_{f012}	대칭분 고장전류
E_{S012}, E_{R012}	전원 S, R 대칭분 등가전압
V_{Sabc}, I_{Sabc}	S 모선 상전압, 전류
I_{S012}, I_{R012}	S, R 모선 대칭분 전류
p	고장거리(pu)
CDF_{012}	대칭분 전류분배계수
α	$e^{-2/3\pi}$

$$V_{S_a} = p[Z_{L1}I_{S_a} + (Z_{L0} - Z_{L1})I_{S_0}] + R_f I_f \quad (1)$$

$$V_{S_a} = p[Z_{L1}I_{S_a} + (Z_{L0} - Z_{L1})I_{S_0}] + 3R_f(I_{S_2} + I_{R_2}) \quad (2)$$

상대단 역상전류 I_{R2} 추정하기 위하여 전류분배계수를 사용하는데 역상분 전류분배계수는 역상 고장전류와 자기단 역상전류의 비로써 식 3과 같다.

$$CDF_2 = \frac{I_{S_2}}{I_{f_2}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{I_{R_2}}{I_{S_2}}\right)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{pZ_{L2} + Z_{S_2}}{(1-p)Z_{L2} + Z_{R_2}}\right)} \quad (3)$$

영상분 임피던스는 대지 임피던스의 영향을 크게 받고 측정값 자체에 오차가 크며, 정상분 임피던스는 부하전류의 영향을 받는다. 따라서 본 논문에서는 모든 경우에 역상분 임피던스를 이용한 역상분 전류분배계수를 사용하였다.

2.2 자기단 임피던스 추정 방법

그림 1의 고장 발생 후 정상분 회로는 그림 2와 같다. 자기단 정상분 임피던스는 계전점에서 배후 등가전원과 등가 임피던스를 포함한 고장전 전압방정식 식 4와 고장후 전압 방정식 식 5로부터 식 6과 같이 추정할 수 있다.

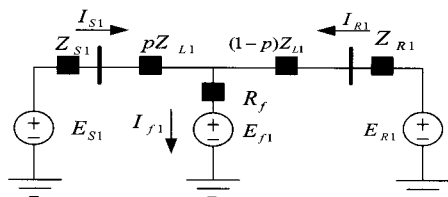


그림 2 고장 정상분 회로
Fig. 2 Faulted positive sequence network

$$E_{S1} - Z_{S1}I_{S1(pre-fault)} = V_{S1(pre-fault)} \quad (4)$$

$$E_{S1} - Z_{S1}I_{S1(post-fault)} = V_{S1(post-fault)} \quad (5)$$

$$Z_{S1} = -\frac{\Delta V_{S1}}{\Delta I_{S1}} \quad (6)$$

정상분 회로를 이용하는 방법은 고장전후 데이터가 필요하며 등가전압과 등가 전원임피던스가 고장전과 후에 변하지 않는다는 가정이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 이러한 가정이 필요없는 고장후 역상분 전원임피던스를 추정하여 역상분 전류분배계수의 입력으로 사용하였다. 그림 3은 고장 후 역상분 회로이다. 역상분 회로에서는 고장전후 S, R단 등가전압이 없으므로 자기단 역상분 전원임피던스는 계전점에서 고장후 데이터를 이용하여 식 7과 같이 추정할 수 있다.

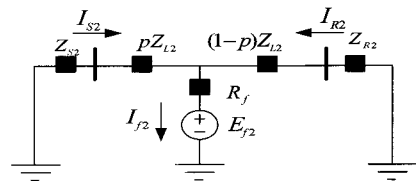


그림 3 고장시 역상분 회로
Fig. 3 Faulted negative sequence network

$$Z_{S2} = -\frac{V_{S2(post-fault)}}{I_{S2(post-fault)}} \quad (7)$$

2.3 제안하는 고장점표정 알고리즘

2.3.1 1선지락 전압방정식

A상 1선 지락시 전류분배계수를 이용한 전압방정식은 식 8과 같으며 고장점 전압은 추정된 자기단 역상분 전원임피던스를 이용한 전류분배계수와 자기단 역상분 전류로 나타낼 수 있다.

$$V_{S_a} = p[Z_{L1}I_{S_a} + (Z_{L0} - Z_{L1})I_{S_0}] + \frac{3R_f I_{S_2}}{CDF_2} \quad (8)$$

2.3.2 2선지락 전압방정식

BC상 2선 지락시 전압방정식은 9와 같으며 이 때 정상분 분배계수와 역상분 분배계수는 같기 때문에 식 10과 같이 역상분 분배계수와 정상분, 역상분 전류를 이용하여 나타낼 수 있다.

$$V_{S_b} - V_{S_c} = pZ_{L1}(I_{S_b} - I_{S_c}) + R_f(I_{f_b} - I_{f_c}) \quad (9)$$

$$V_{S_{bc}} = pZ_{L1}I_{S_{bc}} + R_f \frac{1}{CDF_2}((\alpha^2 - \alpha)I_{S1} + (\alpha - \alpha^2)I_{S2}) \quad (10)$$

2.3.3 선간단락 전압방정식

BC상 선간단락시 전압방정식은 11과 같다. 선간단락시 고장점에서 대칭분 전류는 식 12와 같이 표현되고 식 12로부터 유도한 식 13을 이용하여 식 11은 식 14와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{S_{bc}} = pZ_{L1}I_{S_{bc}} + R_f I_f \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} I_{f0} \\ I_{f1} \\ I_{f2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_f \\ -I_f \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$I_{f2} = \frac{1}{3}(\alpha^2 - \alpha)I_f = -j\frac{I_f}{\sqrt{3}} \quad (13)$$

$$V_{Ssc} = pZ_{L1}I_{Ssc} + j\sqrt{3}\frac{R_f I_{S2}}{CDF_2} \quad (14)$$

2.3.4 3상단락 전압방정식

3상 단락시 전압방정식은 식 15와 같고, 3상 단락은 평형 고장이기 때문에 정상분 전류와 역상분 분배계수를 사용하여 식 16과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{Ss} = pZ_{L1}I_{Ss} + R_f I_{fa} \quad (15)$$

$$V_{Ss} = pZ_{L1}I_{Ss} + R_f \frac{I_{s1}}{CDF_2} \quad (16)$$

2.3.5 고장거리 추정

전류분배계수를 이용하여 나타낸 고장종류에 따른 전압방정식 식 8, 10, 14, 16을 미지수인 고장거리와 고장저항에 대해 정리하면 식 17과 같은 형태로 정리할 수 있다. 식 17은 계수가 복소수인 방정식이므로 실수부와 허수부 방정식으로 분리 후 연립하여 2차방정식의 근의 공식을 적용하여 풀면 고장거리 p 와 고장저항 R_f 를 구할 수 있다.

$$a_1 p^2 + a_2 p + a_3 + a_4 R_f = 0 \quad (17)$$

2.4 모델계통

제한한 알고리즘을 검증하기 위해 표 2의 계통 데이터틀 이용하여 그림 4와 같이 풍력발전단지 연계 계통과 유사 계통으로 모의 하였다.

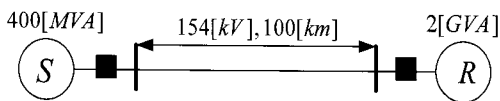


그림 4 모델 계통
Fig. 4 System modeling

표 2 모델계통 데이터
Table 2 Model system data

임피던스	정상분	영상분
전원 S 임피던스[Ω]	6.236 +j47.010	12.473 +j94.022
전원 R 임피던스[Ω]	1.560 +j11.762	3.119 +j23.524
선로 직렬 임피던스[Ω]	0.036 +j 0.508	0.363 + j1.326
선로 Capacitance[μF]	0.006161	0.008677

풍력발전단지는 수 MVA급의 작은 풍력발전기들이 군집하여 발전원을 이루며 일반적으로 상용 계통으로부터 멀리 떨어진 곳에 위치하고 상용계통에 비해 상대적으로 용량이 작아 등가 전원임피던스가 크다. 또한 풍력발전단지는 풍속과 운전하는 풍력발전기 개수에 따라 발전단지 용량이 수시로 변동하므로 전원임피던스가 지속적으로 변동하는 것으로 볼 수 있다. 반면 상용계통은 풍력발전단지에 비해 용량이

크고 전원임피던스가 작으며 변동 폭이 작다. 이런 계통 조건에서는 풍력발전단 측에서 고정값 전원임피던스를 사용하는 고장점표정 알고리즘은 큰 오차를 유발하게 된다. 따라서 본 논문에서는 추정된 자기단 전원임피던스를 전류분배 계수에 사용하는 고장점표정 알고리즘을 제안하였다.

MATLAB Simulink의 Simpowersystem를 이용하여 그림 4의 계통에서 송전선로 고장을 모의한 결과를 주기당 384 샘플링하여 Cut-off 주파수 960(Hz), 이득 0.1인 버터워스(Butterworth) 2차 저역통과 필터를 사용하여 필터링 하였다. 필터링 된 데이터를 다시 주기당 32개로 다운 샘플링하여 DFT(Discrete Fourier Transform)를 이용하여 페이지를 추출 하였다. 알고리즘의 성능지표로 고장거리, 고장저항, 전원 임피던스 변화에 대하여 알고리즘 오차를 식 18과 같이 나타냈다.

$$\text{오차}[\%] = \left| \frac{\text{추정된거리} - \text{실제거리}}{\text{선로전체거리}} \right| \times 100 \quad (18)$$

2.5 알고리즘 검증결과

2.5.1 고장거리와 고장저항 변화시 알고리즘 오차

그림 5~8은 1선지락, 2선지락, 선간단락, 3상단락 고장시 고장거리와 고장저항의 변화에 대한 알고리즘 오차이다.

A) 1선지락 고장시 알고리즘 오차

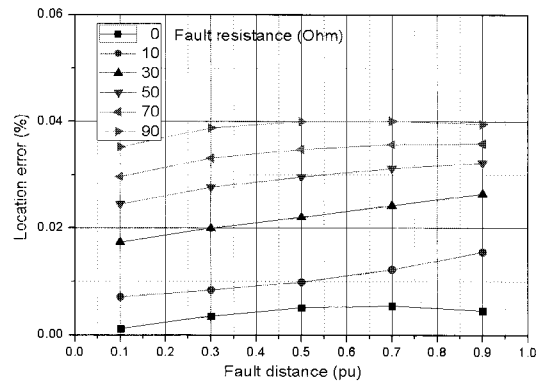


그림 5 1선지락 고장시 알고리즘 오차
Fig. 5 Algorithm errors in case of line to ground fault

B) 선간단락 고장시 알고리즘 오차

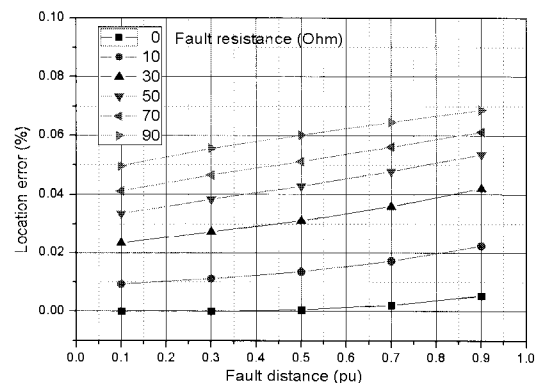


그림 6 선간단락 고장시 알고리즘 오차
Fig. 6 Algorithm errors in case of line to line fault

C) 2선지락 고장시 알고리즘 오차

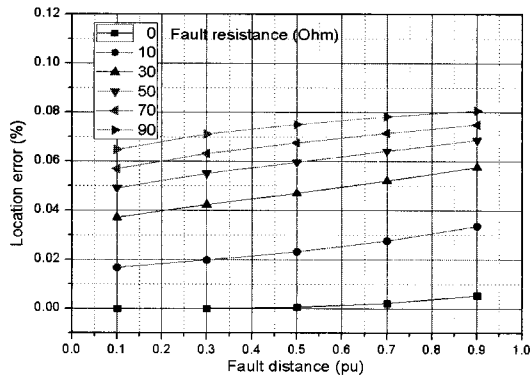


그림 7 2선지락 고장시 알고리즘 오차
Fig. 7 Algorithm errors in case of double line to ground fault

D) 3상단락 고장시 알고리즘 오차

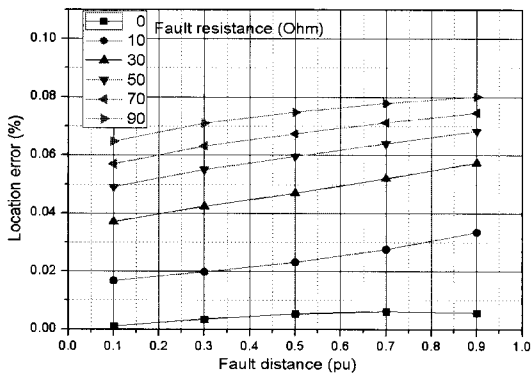


그림 8 3상단락 고장시 알고리즘 오차
Fig. 8 Algorithm errors in case of three phase ground fault

그림 5~8의 결과로부터 양단 전원임피던스의 변화가 없을 때는 고장종류에 상관없이 고장거리와 고장저항이 변하더라도 영향을 크게 받지 않으며, 0.9(pu)의 원거리 고장시 고장저항이 90[ohm]까지 삽입되더라도 고장거리 추정 오차는 최대 0.08(%) 이내의 정확한 결과를 보였다.

2.5.2 자기단 용량 크기에 따른 오차

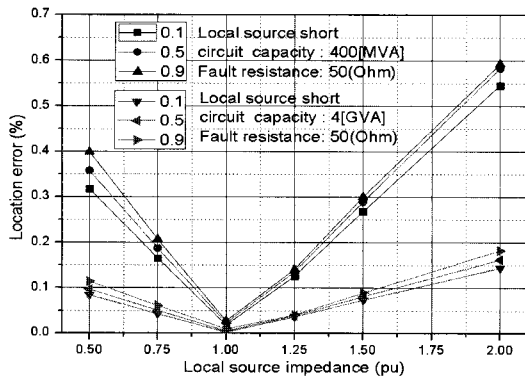


그림 9 자기단 용량 변화에 따른 알고리즘 오차(고장저항 50ohm)
Fig. 9 Algorithm errors with varying local source capacity (Fault resistance 50(ohm))

그림 9는 자기단 단락용량이 400(MVA)와 4(GVA)로 10배 차이일 때 자기단 전원임피던스 변화시 고정값의 전원임피던스 데이터를 사용한 고장점표정 결과이다. 전원용량이 커 전원임피던스가 작으면 고장점표정 오차에 미치는 영향이 적고 용량이 작아 임피던스가 클수록 고장점표정 오차에 미치는 영향이 크다. 따라서 제한한 알고리즘은 풍력발전단과 같이 단락용량이 작아 전원임피던스가 큰 분산전원단과 같은 계통의 고장점표정에 유용하게 사용될 수 있다.

2.5.3 자기단 전원임피던스 변화시 알고리즘 오차

전원임피던스 변화시 알고리즘 성능을 검증하기 위하여 자기단 임피던스를 표 1의 전원임피던스 데이터에서 0.5~2.0(pu)까지 변화시키면서 결과를 확인하였다. 0.5(pu)는 전원용량이 두 배가 되었음을 의미하고 2.0(pu)는 용량이 절반이 되었음을 의미한다. 제안한 방법의 타당성을 보이기 위하여 자기단 임피던스를 고정값으로 사용한 경우와 제한한 알고리즘의 결과를 비교하였다. 그림 10~13은 고장거리, 자기단 임피던스 변화에 대한 고장 종류별 알고리즘의 오차이며 고장저항은 50(ohm)으로 모의하였다.

A) 1선지락 고장시 알고리즘 오차

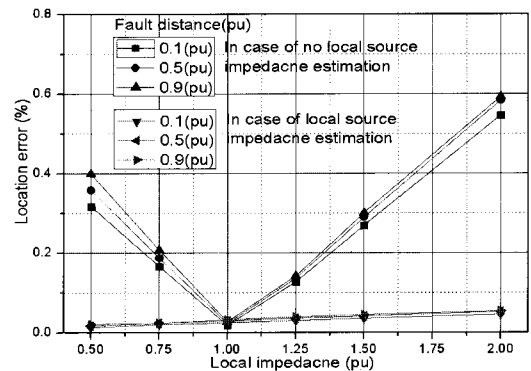


그림 10 1선지락 고장시 자기단 전원임피던스 변화별 알고리즘 오차(R_f : 50(ohm))
Fig. 10 Algorithm errors of line to ground fault with varying local source impedance(R_f : 50(ohm))

B) 선간단락 고장시 알고리즘 오차

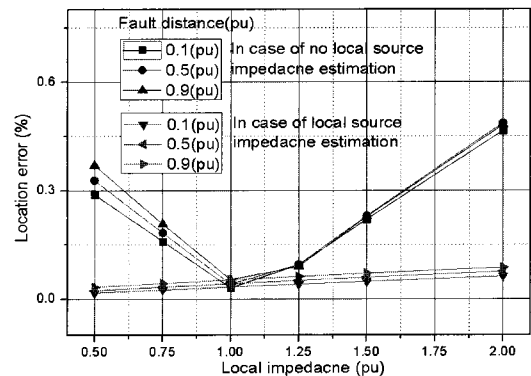


그림 11 선간단락 고장시 자기단 전원임피던스 변화별 알고리즘 오차(R_f : 50(ohm))
Fig. 11 Algorithm errors of line to line fault with varying local source impedance(R_f : 50(ohm))

C) 2선지락 고장시 알고리즘 오차

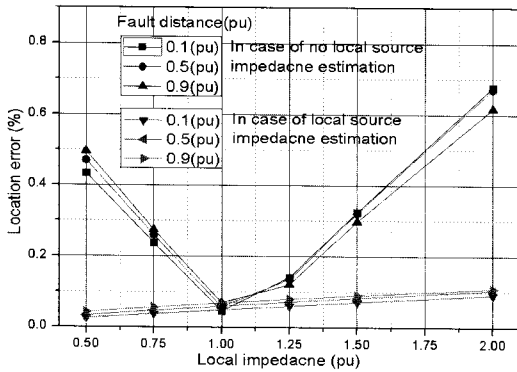


그림 12 2선지락 고장시 자기단 전원임피던스 변화별 알고리즘 오차(R_f : 50(ohm))

Fig. 12 Algorithm errors of double line to ground fault with varying local source impedance(R_f : 50(ohm))

D) 3상단락 고장시 알고리즘 오차

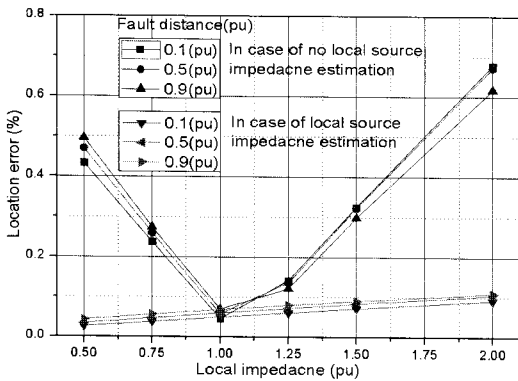


그림 13 3상단락 고장시 자기단 전원임피던스 변화별 알고리즘 오차(R_f : 50(ohm))

Fig. 13 Algorithm errors of three phase fault with varying local source impedance(R_f : 50(ohm))

추정되지 않은 고정값 전원임피던스를 사용할 경우 고장거리가 원거리이고 자기단 전원임피던스 변화가 클수록 고장점표정 오차가 커짐을 알 수 있다. 반면 제안한 알고리즘은 자기단 전원임피던스를 추정하여 사용함으로써 자기단 전원임피던스가 변하더라도 오차가 크게 증가하지 않고 정확한 고장점표정 결과를 보인다.

2.5.4 상대단 전원임피던스 변화시 결과

그림 14는 상대단 전원임피던스가 0.9(pu)일 때 그림 15는 상대단 전원임피던스가 1.1(pu)일 때 고장거리와 자기단 전원임피던스 변화에 대한 알고리즘 오차이다. 상대단 전원임피던스는 고정값으로 사용하였고 자기단 전원임피던스는 추정한 값을 사용하였다. 제안한 알고리즘은 상대단 전원임피던스 변화시에는 대응하지 못하므로 상대단과 자기단 전원임피던스가 함께 변할 경우 오차가 증가하였다. 그러나 고정값 자기단 전원임피던스를 사용한 알고리즘은 최대 5.5%로 오차가 크게 증가한 반면 제안한 알고리즘은 오차가 크게 증가하지 않았다.

A) 1선지락 고장시 알고리즘 오차

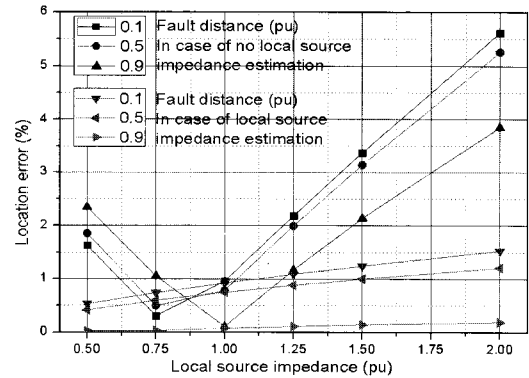


그림 14 자기단과 상대단 전원임피던스 변화시 알고리즘 오차(R_f : 50(ohm), Z_R : 0.9(pu))

Fig. 14 Algorithm errors with varying local and remote source impedance(R_f : 50(ohm), Z_R : 0.9(pu))

B) 선간단락 고장시 알고리즘 오차

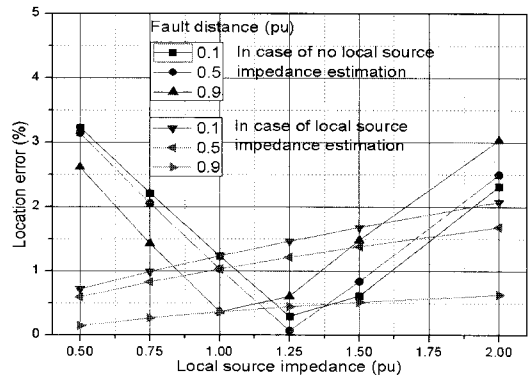


그림 15 자기단과 상대단 전원임피던스 변화시 알고리즘 오차(R_f : 50(ohm), Z_R : 1.1(pu))

Fig. 15 Algorithm errors with varying local and remote source impedance (R_f : 50(ohm), Z_R : 1.1(pu))

3. 결론

전류분배계수를 사용하는 고장점표정 알고리즘은 전류분배계수에 전원임피던스 값이 필요하다. 전원 용량의 변화로 전원임피던스가 변할 때 고정값 전원임피던스를 사용하는 전류분배계수에 기반한 고장점표정 알고리즘은 오차를 유발하게 된다. 따라서 본 논문에서는 고장이후 자기단 전원임피던스 추정방법을 이용하여 전원임피던스 변화에 대응할 수 있는 고장점표정 알고리즘을 제안하였다.

사태연구를 통하여 고장종류, 고장거리, 고장저항, 자기단, 상대단 전원임피던스 변화에 대하여 알고리즘을 검증한 결과 자기단 배후 전원임피던스 변화에 대응하여 오차 2% 미만으로 정확하게 고장점표정을 할 수 있음을 보였다. 특히, 제안한 알고리즘은 풍력발전단과 같이 전원임피던스가 크고 운전상황에 따라 그 값이 지속적으로 변하는 계통에 적용할 경우 보다 정확한 고장점표정 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 에너지자원인력양성사업과 2단계 BK21 사업의 지원을 통해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] M. Vitins, "A correlation method for transmission line protection", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, No. 5, pp. 1607-1616, Sept/Oct. 1978

[2] P. A. Crossley, P. G. McLaren, "Distance protection based on travelling waves", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 9, pp. 2971-2983, Sept. 1983

[3] Takagi, T., Yamakoshi, Y., Yamaura, M., Kondow, R. and Matsushima, T, "Development of a New Type Fault Locator Using the One-Terminal Voltage and Current Data", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems Vo. PAS-101, Issue 8, pp.2892 - 2898, Aug. 1982

[4] Novosel, D., Hart, D. G., Udren, E., Saha, M. M., "Fault location using digital relay data" Computer Applications in Power, IEEE, Vol. 8, Issue 3, pp.45 - 50, July. 1995

[5] Zhang, Q., Zhang, Y., Song, W. and Yu, Y.; Generation, "Transmission line fault location for phase-to-earth fault using one-terminal data", IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, Vol. 146, Issue 2, pp.121 - 124, March, 1999

[6] Liao, Y. and Elangovan, S., Generation, "Improved symmetrical component-based fault distance estimation for digital distance protection", IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, Vol. 145, Issue 6, pp.739 - 746, Nov. 1998

[7] Novosel, D., Hart, D. G., Udren, E. and Garitty, J., "Unsynchronized two-terminal fault location estimation", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, Issue 1, pp.130 - 138, Jan. 1996

[8] Novosel, D., Hart, D. G., Udren, E. and Garitty, J., "Unsynchronized two-terminal fault location estimation", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, Issue 1, pp.130 - 138, Jan. 1996

[9] Zhang Qingchao; Zhang Yao; Song Wennan; Yu Yixin; Wang Zhigang, "Fault location of two-parallel transmission line for non-earth fault using one-terminal data", 1999 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol. 2, pp.967

[10] Yong-Jin Ahn, Myeon-Song Choi, Sang-Hee Kang and Seung-Jae Lee, "An accurate fault location

algorithm for double-circuit transmission systems" 2000 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 3, pp.1344 - 1349

[11] Sang-Hee Kang, Seung-Jae Lee, Young-Jin Kwon and Yong-Cheol Kang, "A fault Location Algorithm for Transmission line with a teed circuit", 2001 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 2, pp.921 - 926

저 자 소 개



권영진 (權寧珍)

1974년 10월 16일생. 2000년 명지대 공대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 졸업 (석사). 2002년~현재 동 대학원 박사과정.
Tel : 031-336-3280
Fax : 031-330-6816
E-mail : yjkwon@mju.ac.kr



김수환 (金秀桓)

1981년 8월 14일생. 2008년 명지대 공대 전기공학과 졸업. 현재 명지대 대학원 전기공학과 석사과정.
Tel : 031-336-3280
Fax : 031-330-6816
E-mail : kshcw@naver.com



강상희 (朴文壽)

1962년 8월 15일생. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1993년~현재 명지대 공대 전기공학과 정교수. 차세대전력기술 연구센터연구원.
Tel : 031-336-6364
Fax : 031-330-6816
E-mail : shkang@mju.ac.kr