

반복계산법을 사용한 배전계통 1선지락사고 고장거리 계산 알고리즘에서 부하변동의 영향 고찰

論文

52A-7-1

A Study on the Effect of Load Variations in a Line to Ground Fault Location Algorithm Using Iterative Method for Distribution Power Systems

崔勉松*·李承宰*·玄升鎬*·陳保建**·李德洙***

(Myeon-Song Choi · Seung-Jae Lee · Seung-Ho Hyun · Bo-Gun Jin · Duck-Su Lee)

Abstract - The fault analysis problem of a distribution network has many difficulties comes from the unbalance of loads or networks and the lacks of load information. The unbalance of loads or networks make the fault location difficult when it use the classical sequence transformation. Moreover the amount of load in the distribution networks fluctuates with time. This paper introduces a recent fault location algorithm using iterative method which handle the unbalance of the problem. But, the fault location errors comes from the load fluctuations still left. For the real application of the new fault location algorithm in distribution networks, this paper studied the effect of the load fluctuations in the algorithm.

Key Words : Fault Location, Iterative Method, Load Fluctuations, Distribution Power Networks

1. 서론

전력 계통에서 송배전 선로는 전원단과 수용가를 연결하는 중요한 역할을 하며 대기중에 노출되어 있으므로 해사너우, 동물의 접촉, 보호기기의 오·부 동작, 그리고 그 외 다양한 사고 등의 원인으로 사고가 빈번하게 발생한다. 선로에서 사고가 발생할 경우 사고 발생지점을 빠르고 정확하게 찾아내고 신속한 고장복구를 하는 것이 정전 비용을 최소화하며 더 나아가 서비스 신뢰도와 전력의 질을 높이는 측면에서 매우 중요하다. 그리고 현재 우리나라에서 진행되는 전력 산업의 구조 개편으로 인하여 양질의 전력을 공급하는 것이 전력상품의 중요한 경쟁력이 될 것이다. 이러한 역할을 하는 고장점 검출장치가 없다면 계통 관리자는 고장점을 찾아내기 위하여 광범위한 송배전 선로 구간을 육안으로 확인하여야 한다. 이러한 작업은 많은 비용과 인력, 정전 비용이 요구된다. 송배전 선로상에서 고장발생시 고장점까지의 거리를 계산하는 고장점 검출 알고리즘은 최근 10여년 동안 활발히 연구되어 왔다[1-3].

송전계통은 3상 평형회로이므로 여기서 고장점 검출 방법으로는 진행파를 이용하는 방법, 전압과 전류의 고조파 성분을 이용하는 방법, 그리고 전압과 전류의 기본파 성분을 사용한 결보기 임피던스 법 등으로 구분할 수 있으며, 세부적으로 기본파 성분을 이용하는 방법의 적용에 있어서 한 단 정보를 이용하는 것과 양단 정보를 이용하는 방법으로 구분

된다. 그리고 양단 정보를 사용하는 경우 정확한 고장점 검출이 가능하지만 통신장비 등 다양한 장비들이 부가적으로 필요하게 됨으로 한 단 정보를 사용하면서 평형회로의 대칭좌표법을 사용한 전류분배계수, 보상등의 방법을 적용하여 보다 정확한 고장점 검출 방법들이 제안되어왔으며 현재 송전계통은 고장점 검출 장치가 널리 사용되고 있다.

그러나 배전계통은 크게 송전계통보다 세가지 측면에서 해석을 어렵게 하는 요인들이 있다. 먼저 배전 선로의 비동질성, 부하 전류, 다중의 부하 탭 등의 이유로 불평형 요인을 들 수 있다. 고장해석의 가장 기본이 되는 대칭좌표법 [4]은 3상 평형 계통에만 사용할 수 있으므로 배전계통 불평형이 해석을 가장 어렵게 만드는 요인이다. 둘째로 송전계통과 달리 배전계통은 많은 분기선을 포함하는 방사상계통이다. 송전계통은 선로 구간마다 보호기기가 설치되어 그 구간의 고장에 관련된 정보를 얻기가 쉽지만 배전계통은 변압기 인출단의 계전기 설치점에 관한 정보만으로 많은 분기선을 포함하는 방사상계통을 해석하여야 하므로 해석에 어려움을 더한다. 그리고 마지막으로 부하에 대한 정보의 부족이다. 송전계통은 구간 양단의 단락용량으로 계산으로 해석에 필요한 전원단 임피던스를 얻을 수 있어 해석이 용이하지만 배전계통은 부하에 대한 정보의 부족으로 부하단 임피던스를 얻기가 매우 어렵다. 그리고 시시각각으로 부하가 변하기 때문에 많은 가정을 통하여 얻은 부하단 임피던스로부터 얻은 해석결과가 정상적인 부하변동에 대하여 타당한 오차범위를 가지고 있어 실제로 사용가능한 지 알아보아야 한다.

배전계통에서의 고장점 검출 방법으로는 이와 같은 어려움 때문에 그다지 많은 연구가 수행되지 않았으며 실제 배전계통의 고장점 검출은 현재 사용되지 않는 실정이며 고장점 검출은 육안에 의존하고 있는 실정이다. 그러나 최근

* 正會員 : 明知大學 電氣工學科 教授 · 工博

** 正會員 : 明知大學 電氣工學科 博士課程

*** 正會員 : P&C Tech. 研究員

接受日字 : 2002年 4月 19日

最終完了 : 2003年 5月 10日

에 반복추정기법을 이용하여 배전계통의 불평형을 고려한 방법이 제안되었고(5) 분기선을 고려하기 위하여 분기점에서 전압, 전류를 수정하는 방법(6)이 소개되는 등 연구가 시작되고 있다.

본 논문에서는 최신의 반복추정기법과 전압전류 수정기법을 이용하여 정상상태에서 고장점까지의 거리를 계산하고 실제 현장에서 사용가능한지를 알아보기 위하여 부하변동에 대한 이 방법의 강인성을 알아보았다.

사례연구의 대상시스템은 실제와 유사한 배전계통을 택하였으며 EMTP로 사용하여 부하변동을 고려한 고장 모의를 수행하였다. 총 네 가지 종류의 사례연구를 하였으며 그 결과를 본 논문에 나타내었다.

2. 반복계산에 의한 고장점 추정 알고리즘

배전선로 고장점 추정을 위하여 필요한 정보로서 보호 계전기 설치점인 변전소 인출단에서 삼상 전압과 전류를 취득할 수 있으며 배전 계통의 분기선, 부하 등의 구성 정보를 사용할 수 있어야 한다.

2.1 기본 개념

고장점 추정 기본 알고리즘은 변전소 인출단에서 취득한 전압, 전류와 계통의 구성 정보를 사용한 그림 1과 같은 불평형 배전계통의 1선지락 고장 시 단선도의 해석에서 나온다.

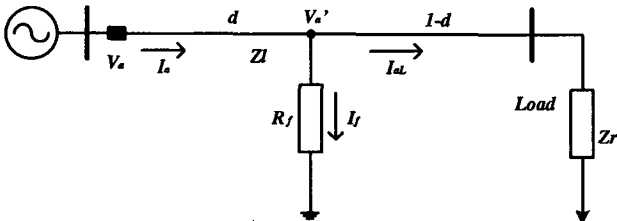


그림 1 1선 지락 고장
Fig. 1 Single-Phase to Ground Fault

표 1 기호의 정의(1)

Table 1 Nomenclature(1)

기호	내 용	단위
V_a	변전소 인출단 피더 a상 전압	[V]
I_a	변전소 인출단 피더 a상 전류	[A]
V_a'	고장점 a상 전압	[V]
I_{aL}	a상 부하전류	[A]
Z_r	부하 등가 임피던스 행렬	[Ω]
Z_l	선로 임피던스 행렬	[Ω]
I_f	고장전류	[A]
R_f	고장저항	[Ω]
d	고장점까지의 거리	p.u.
k	$(z_0 - z_1)/z_1$	

변전소 인출단에서 측정되는 전압 방정식은 식 (1)과 같다.

$$V_a = d \times (Z_{la}I_a + Z_{lb}I_b + Z_{lc}I_c) + I_f R_f \quad (1)$$

고저항 지락고장뿐만 아니라 배전계통에서의 1선지락 고장시 일반적으로 고장저항이 개입된다. 고장 저항에 걸리는 전압이 부하단에 병렬로 걸리게 됨으로, 고장시 고장점 뒷단으로 부하전류가 흐른다. 고장점 인입단의 추정 전류는 고장전류와 고장점 뒷단으로 흐르는 부하 전류의 합이기 때문에 고장점 뒷단으로 흐르는 부하전류를 고려하지 않으면 정확한 고장점 표정을 할 수 없다.

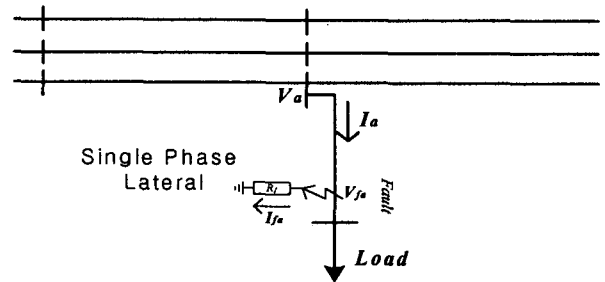


그림 2 단상 분기 선로에서 1선 지락 고장
Fig. 2 Single-Phase to Ground Fault at Lateral

그림 2와 같은 a상 단상 분기선로에서 고장이 발생한 경우 식(2)를 이용하여 고장점 표정을 한다.

$$V_a = d \times Z_{la}I_a + I_{fa}R_{fa} \quad (2)$$

전압 (1)와 (2)는 고장거리 (d), 고장전류 (I_f), 고장저항 (R_f) 세 개의 미지수를 포함하고 있다. 이 방정식을 풀기 위해서는 3개의 식이 필요하다. 식 (1)와(2)를 실수부과 허수부로 나누면 2개의 식이 얻어지고, 식 (3)과 같이 부하전류를 이용하여 하나의 식을 더 얻는다.

$$I_f = I_a - I_{aL} \quad (3)$$

식 (3)에서 I_{aL} 은 고장시 부하전류로서 아직 미지수이지만 추정하여 반복계산에 의하여 정확한 값을 찾아간다. 고장 발생동안의 이 부하전류는 고장 시 전압이 낮아짐으로 인하여 고장 전 부하 전류와는 다른 값을 갖는다. 고장 발생 후 부하전류를 추정하기 위하여 고장점 전압을 추정하고 다시 이 값으로부터 부하전류를 추정하는 과정을 반복한다. 반복 기법에 의한 고장거리계산 알고리즘은 다음과 같다.

2.2 반복 기법 알고리즘

- 1) 고장 발생 후 부하전류 I_{aL} 는 고장 발생 전 인입전류 I_a 와 같다고 가정한다.

2) 고장발생 후 인입 전류 I_a 에서 부하전류를 뺀으로써 고장 전류 I_f 를 구한다. (식 3)

3) 계산된 고장전류 값을 식 (1)에 대입하고, 실수부와 허수부로 분리한 후 R_f 를 소거하여 고장거리 d 를 구한다.

4) 위에서 구해진 고장거리 d 와 식 (3)을 이용하여 고장점에서의 전압(V_f)을 구한다.

$$\begin{bmatrix} V_a' \\ V_b' \\ V_c' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} - d \begin{bmatrix} Z_{laa} & Z_{lab} & Z_{lac} \\ Z_{lba} & Z_{lbb} & Z_{lbc} \\ Z_{lca} & Z_{lcb} & Z_{lcc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (5)$$

5) 고장점의 고장전압으로부터 고장 시 부하전류를 구한다.

6) 반복과정마다 계산된 고장거리의 변화가 허용 오차 이내로 될 때까지 단계 2)로 돌아가 이 계산 과정을 반복한다.

2.3 부하전류 추정방법

부하에 대한 정보에 따라 고장점의 전압으로부터 부하전류를 구하는 방법은 여러 가지가 있다. 먼저 부하단에 대한 정보를 가장 많이 알고 있는 경우로 정 임피던스 부하이며 부하 등가 임피던스를 알고 있을 때 부하전류는 다음과 같다.

$$I_{aL} = [Y_{L11}, Y_{L12}, Y_{L13}] \times [V_a', V_b', V_c']' \quad (6)$$

여기서 Y_L 은 고장된단의 선로 임피던스와 부하 임피던스의 어드미턴스로서 다음과 같다.

$$Y_L = [Zl + Zr]^{-1}$$

그리고 부하단에 대한 정보를 오직 부하가 정 임피던스 부하라고 알고 있을 때 부하전류는 다음과 같이 추정한다. 먼저 식 (6)에서 Y_{L12}, Y_{L13} 는 선로간, 부하간 상호임피던스에 의한 성분이므로 그 값이 Y_{L11} 보다 상당히 작다고 가정하여 고장전 부하전류를 다음과 같이 근사한다.

$$I_{naL} = Y_{L11} \times V_{na}'$$

I_{naL}, V_{na}' 는 고장전 부하전류와 고장전 고장점 전압이므로 인입 전류와 고장점까지의 선로 전압강하로부터 계산할 수 있다.

$$I_a = I_{naL}$$

$$V_{na}' = V_{na} - d \times (Zl_{aa}I_{na} + Zl_{ab}I_{nb} + Zl_{ac}I_{nc})$$

그리고 고장후 부하전류는

$$I_{aL} = Y_{L11} \times V_a'$$

와 같으므로 여기서 임피던스를 Y_{L11} 소거하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_{aL} = (I_{naL} / V_{na}') \times V_a'$$

그런데 실제로는 식(6)의 상호 임피던스 부분이 존재하여 고장거리 계산결과에 이에 대한 오차가 나타난다.

그리고 부하에 대한 정보부족으로 임피던스 부하라는 사실조차도 사용할 수 없는 경우 식 (7)에 나타난 일반적인 부하 모델[7]을 사용하여 부하전류를 추정한다.

$$I_{aL} = I_r \left| \frac{V_a'}{V_n} \right|^{n_p} + jI_i \left| \frac{V_a'}{V_n} \right|^{n_q} \quad (7)$$

여기서, V_n : 고장전 부하단 전압

V_{fa} : 고장후 부하단 전압

I_{nr}, I_{ni} : 고장전 부하단 유효, 무효 전류

n_p, n_q : 부하 상수

복소 값을 갖는 부하 상수는 부하의 동특성에 따라서 결정된다. 예를 들면 정 전류 부하는 $n_p = n_q = 0$ 의 값을 갖고, 정 전력 부하는 $n_p = n_q = -1$, 정 임피던스 부하는 $n_p = n_q = 1$ 의 값을 갖는다. 일반적인 배전계통에서는 이러한 부하들이 혼합되어 있으므로 $n_p = 0.5 \sim 1.8$, $n_q = 1.5 \sim 6$ 의 값을 갖는다[8].

2.4 분기선을 고려한 전압, 전류 수정방법

변전소 인출단의 전압과 전류를 측정 할 수 있다하더라도 배전계통은 부하에 전력을 공급하기 위하여 많은 단상, 3상 분기선 및 간선 그리고 부하 탭을 포함하고 있기 때문에 반복계산 알고리즘을 사용하려면 그림. 3의 고장구간 인입단에서의 전압과 전류를 추정하는 것이 필요하다. 그림 2와 같은 계통을 고려하면 $k+1$ 번째 노드에서의 전압은 식 8을 이용하여 구하고, 부하로 유출되는 전류는 식 9를 이용하여 구한다.

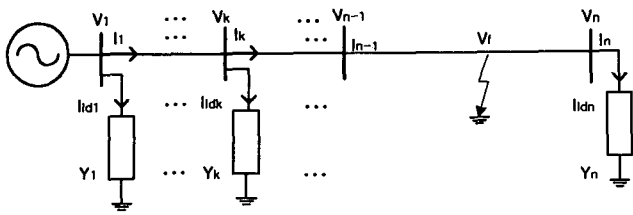


그림 3 배전 계통을 축약한 단선도
 Fig. 3 Single Line that Simplify Supply of Electric Power System

표 2 기호의 정의(2)

Table 2 Nomenclature(2)

기 호	내 용	단 위
V_k	k 번째 노드 전압벡터	[V]
I_k	k 번째 선로에 흐르는 전류벡터	[A]
Y_k	k 번째 노드에서의 부하 어드미턴스 행렬	[Ω^{-1}]
I_{ldk}	k 번째 노드에서의 부하 전류벡터	[A]
Z_k	k 번째 구간 선로의 임피던스 행렬	[Ω]

그림 2와 같은 계통을 고려하면, $k+1$ 번째 부하 인출 단에서의 전압은 식 (8)과 같이 추정된다.

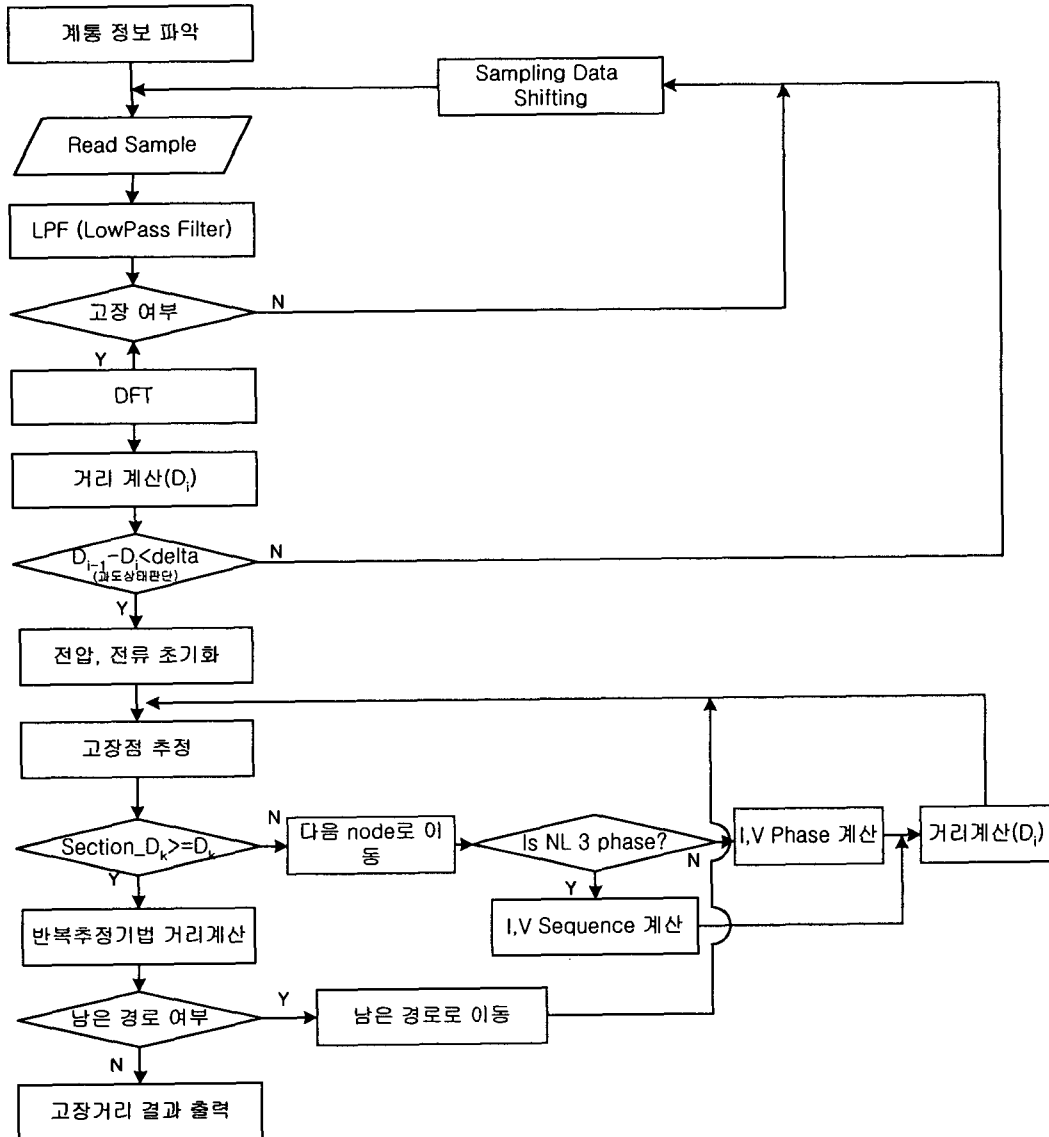


그림 4 고장거리계산 알고리즘 흐름도
 Fig. 4 The Fault Location Algorithm Flowchart

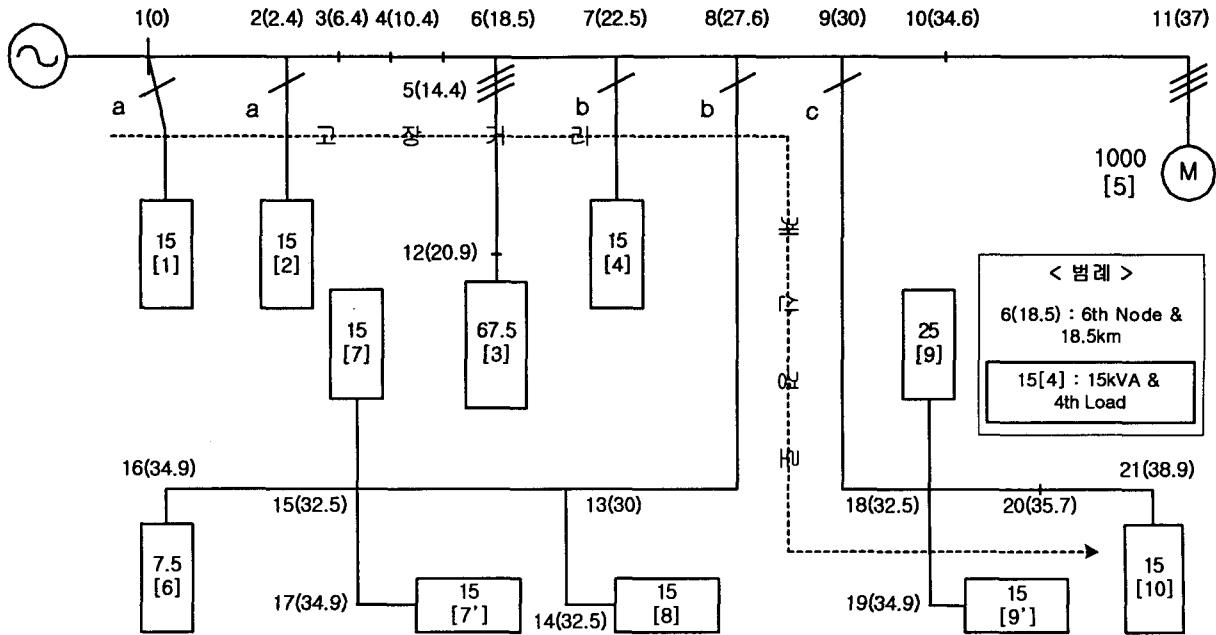


그림 5 모의 계통도
Fig. 5 Model System

$$V_{k+1} = V_k - Z_k I_k \quad (8)$$

정 어드미턴스 부하 모델을 이용하여 k 번째 부하 인출 단에서의 부하 전류는 식 (9)과 같이 추정한다.

$$I_{ldk} = V_k Y_{ldk} \quad (9)$$

k 구간을 흐르는 전류는 식 (10)과 같이 계산된다.

$$I_k = I_{k-1} - I_{ldk} \quad (10)$$

3. 고장거리계산 흐름도

그림 4는 고장거리계산 흐름도이다.

4. 사례 연구

본 논문에서는 반복계산방법과 분기점 전압전류 수정방법 통한 배전계통 고장거리 계산 알고리즘의 실적용 타당성을 살펴보기 위하여 사례연구를 그림 5에 나타낸 것과 같은 실제와 유사한 22.9(kV) 배전선로를 대상으로 하였다. 고장 모의는 EMTP (Electromagnetic Transients Program)를 이용하여 모의하였다.

그림의 숫자는 고장지점을 표시한 것이면 괄호안의 숫자는 고장거리를 나타낸다. 부하는 등가 임피던스 부하로 모의하였으며 부하별 어드미턴스는 다음과 같다.

시험 종류로는 표 3에 명시한 바와 같이 각 노드 점에서 고장저항을 0 [Ω] 과 30 [Ω] 으로 변화시키며 모의하였으며, 배전계통 부하의 특이성을 고려하기 전체부하를 변화시키며 평균변화율을 정상상태의 30% 감부하, 정상부하, 30% 과부하 상태에서 고장을 모의하였다. 이 평균 부하 변화율에 대한 각 부하별 세부 변화 사항을 표 4에 나타내었다. 그리고 계전기 설치점에서 전체 부하전류를 측정할 수 있기 때문에 부하 증가 시 등가임피던스를 사용하여 부하전류를 추정할 경우 모든 부하의 임피던스가 부하 증가만큼 감소하였다고 추정할 수 있어 이를 사용하였다. 그리고 EMTP를 이용한 고장 모의에서 부하는 등가 임피던스를 사용하였지만 실제현장에서는 이런 부하정보가 불충분하므로 고장거리추정에서는 부하에 대한 정보를 정확하게 부하 증가 임피던스를 아는 경우와, 정 임피던스라는 사실만 알았을 경우, 부하에 대한 정보가 없을 경우에 고장거리 추정을 하여 이 알고리즘의 현장 적용 가능성을 알아보았다.

데이터 취득을 위한 샘플링 주파수로는 1920Hz, aliasing 에러를 방지하기 위해 960Hz 차단 주파수 특성을 갖는 2차 Butter-worth 저역 통과 필터를 사용하였다. 그리고 전압, 전류 순시 데이터로부터 페이지를 추출하기 위하여 한 주기 데이터 윈도우를 사용하는 DFT를 사용하였다.

고장 거리 추정 에러는 다음 식을 사용하여 산정 하였다.

$$\%Error = \frac{\text{계산된거리} - \text{실제고장거리}}{\text{전체선로길이}} \times 100 \quad (11)$$

표 3 모의 계통 데이터 및 시험 종류

Table 3 Model System Data and test cases

구분	정상분(역상분) 임피던스	영상분 임피던스	커패시터
전원 단[Ω]	0.094+j1.392	0.682+j2.981	-
선로[Ω/km]	0.56+j0.831	0.845+j2.742	0.008[μF]
시험종류	1선 지락 고장		
고장거리[km]	0, 2.4, 6.4, 10.4, 14.4, 18.5, 22.5, 27.6, 30, 32.5, 34.9, 35.7, 38.9		
고장저항[Ω]	0, 30		
평균 부하변화율[%]	-30, 0, 30,		
부하	등가임피던스 사용, 정 임피던스 가정, 부하모델 사용		

표 4 각 부하의 임피던스 변화

Table 4 Impedance Variation of each load

부하 증감	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	합계	평균
case 1 [%] [kVA]	5 0.75	15 2.25	55 37.125	20 3	30 300	0 0	5 1.5	45 6.75	10 4	15 2.25	300 35.463	30 [%]
case 2 [%] [kVA]	-20 -3	-55 -8.25	-15 -10.125	-10 -1.5	-15 -150	-5 -0.375	-45 -13.5	0 0	-30 12	-5 0.75	300 -19.95	-30 [%]

그림 5.에 나타난 모의계통에서 고장거리 추정 결과를 그림 6.-11.에 나타내었다. 그림 6, 7은 부하 등가 임피던스를 사용한 경우 모의 결과이며 고장저항이 증가할 경우 고장거리 계산 오차가 증가함을 볼 수 있으며, 삼상 계통에서의 계산 오차는 최대 0.34[%], 단상계통에서는 1.5[%] 이내임을 알 수 있다. 그리고 부하 임피던스 변화 시 약 0.1[%]이내의 오차 변동이 발생하는 것을 알 수 있다.

그림 8, 9은 부하를 정 임피던스라고 가정하고 부하 모델식을 적용한 경우 모의 결과이며, 삼상 계통에서의 계산 오차는 최대 1[%], 단상계통에서는 1.7[%] 이내임을 알 수 있다. 그리고 부하 임피던스 변화 시 약 0.2[%]이내의 오차 변동이 발생하는 것을 알 수 있다.

그림 10, 11은 부하를 정 임피던스, 정 전력, 정 전류 등의 부하가 혼합된 부하라고 가정하고 부하 모델식을 적용한 경우 ($n_p=0.8, n_q=1.5$) 모의 결과이며, 고장저항이 증가할수록 거리계산 오차가 상당히 증가하는 것을 볼 수 있다.

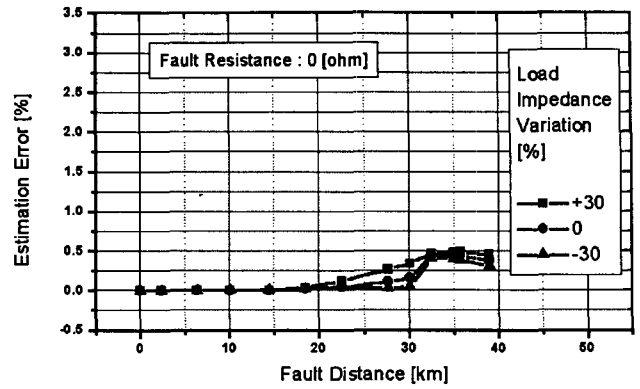


그림 6 고장저항 0, 등가임피던스 사용, 부하 변화율, -30.0.30
Fig. 6 Rf=0, Using Equivalent Impedance, Impedance Variation -30.0.30

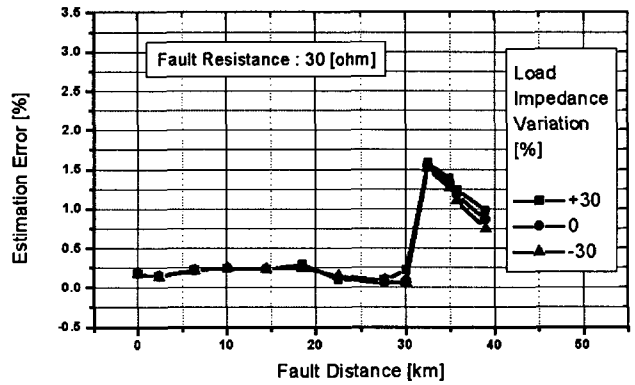


그림 7 고장저항 30, 등가임피던스 사용, 부하 변화율, -30.0.30
Fig. 7 Rf=30, Using Equivalent Impedance, Impedance Variation -30.0.30

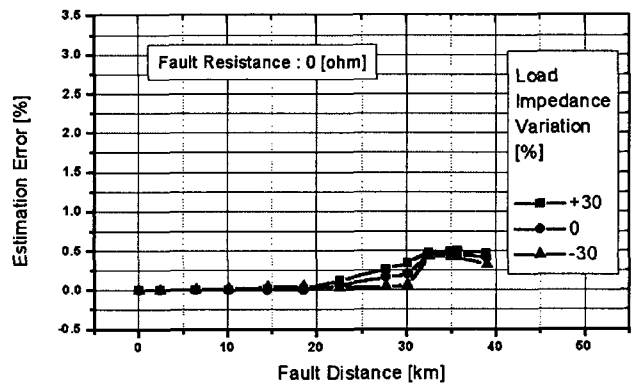


그림 8 고장저항 0, 정임피던스 가정, 부하 변화율, -30.0.30
Fig. 8 Rf=0, Using Constant Impedance, Impedance Variation -30.0.30

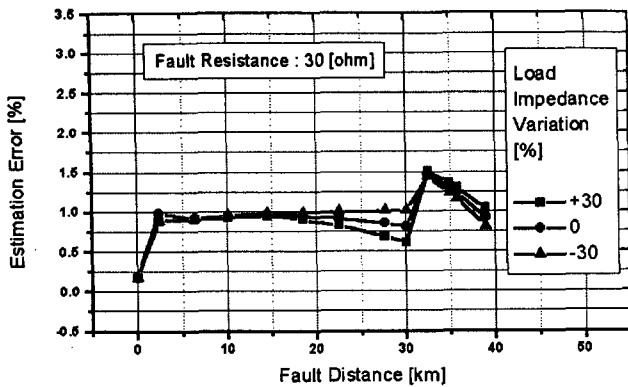


그림 9 고장저항 30, 정임피던스 가정, 부하 변화율, -30.0.30
 Fig. 9 $R_f=30$, Using Constant Impedance, Impedance Variation -30.0.30

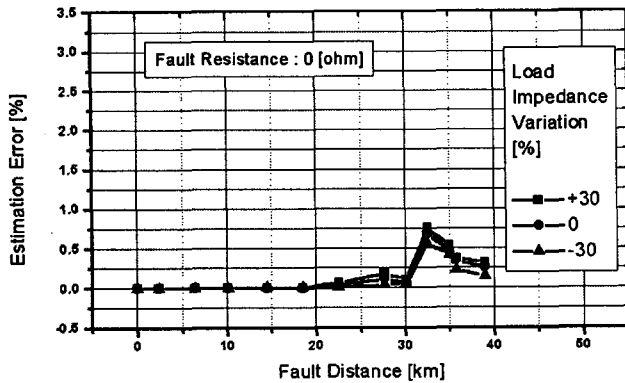


그림 10 고장저항 0, 부하모델 사용, 부하 변화율, -30.0.30
 Fig. 10 $R_f=0$, Using Universal Load Model, Impedance Variation -30.0.30

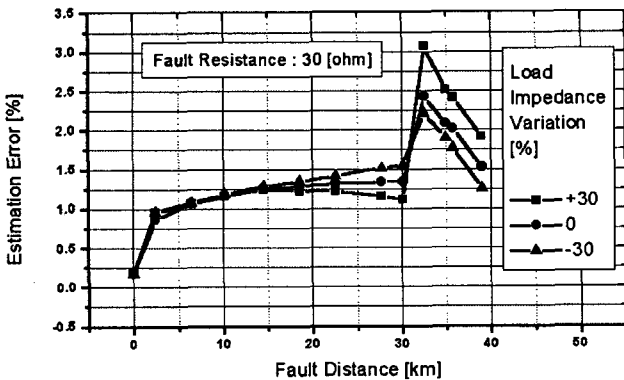


그림 11 고장저항 30, 부하모델 사용, 부하 변화율, -30.0.30
 Fig. 11 $R_f=30$, Using Universal Load Model, Impedance Variation -30.0.30

3상 계통에서의 계산 오차는 최대 1.6[%], 단상계통에서는 3.3[%] 이내임을 알 수 있다. 그리고 부하 임피던스 변화 시 약 0.5[%]이내의 오차 변동이 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 제안한 알고리즘이 부하변동에 상당히 견고한 특성을 갖는다.

5. 결 론

배전계통은 부하 불평형등의 이유로 고장해석의 가장 기본이 되는 대칭좌표법을 사용할 수가 없었지만 최근에 배전계통과 같은 불평형 계통의 1선지락 사고시 고장거리 계산을 위한 반복추정 기법을 이를 소개하였다. 그러나 불평형 조건이외에 배전계통은 시간에 따른 부하의 변동으로 인한 고장거리계산에 어려움이 있다. 본 논문은 반복추정기법을 배전계통의 1선 지락사고 검출에 실제로 응용하기 위하여 시간에 따른 부하변동의 영향을 간단한 실제 배전계통을 사례연구로 시뮬레이션하였다.

배전계통의 정확한 부하 임피던스 정보를 얻기가 어려운 데 사례연구 결과 정 임피던스 부하로 가정하거나 부하 모델을 사용하였을 때 두 가지 경우에 대하여 고장거리를 계산한 결과 오차가 가장 큰 고장 저항이 50[Ω]일 때 약 3.3[%] 이내의 정확한 결과를 얻었으므로, 부하임피던스 변화에 대단히 견고한 특성을 보였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] G. B. Ancell, N. C. Pahalawatththa, "Maximum Likelihood Estimation of Fault Location on Transmission Lines Using Travelling Waves", IEEE Transactions on PWRD, Vol. 9, No. 9, 1994, pp. 680-689
- [2] T. Takagi, Y. Yamakoshi, J. Baba, K. Uemura, T. Sakaguchi, " A New Algorithm of an Accurate Fault Location for EHV/UHV Transmission Lines : Part I - Fourier Transform Method", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-100, No. 3, 1988, pp. 1316-1323
- [3] Yong-Jin Ahn, Myeon-Song Choi, Sang-Hee Kang, Seung-Jae Lee, "An Accurate Fault Location Algorithm For Double-Circuit Transmission Systems", Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE , Volume: 3 , 2000 pp 1344 -1349
- [4] J. Lewis Blackburn, "Symmetrical Components for Power Systems Engineering", New York, Marcel Dekker, 1993.
- [5] Jun Zhu, Lubkeman, D.L., Girgis, A.A., "Automated fault location and diagnosis on electric power distribution feeders", Power Delivery, IEEE Transactions on Volume: 12 2 , April 1997, Page(s): 801 -809
- [6] R. Das, M.S. Sachdev, T,S, Sidhu, "A Fault Locator for Radial Sub-transmission and Distribution Lines", Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE Volume: 1 , 2000 , Page(s): 443-448

[7] Srinivasan, K., St.-Jacques, A. "A new fault location algorithm for radial transmission lines with loads", Power Delivery, IEEE Transactions on Volume: 4 3 , July 1989 , Page(s): 1676-1682

[8] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, 1994, Page(s): 271-275

저 자 소 개



최 면 송 (崔 勉 松)

1967년 4월생. 1989년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 전기공학과 졸업(공학박). 1995년 Pennsylvania State Univ. 방문 연구원. 1992년 기초 전력공학 공동연구소 전임연구원. 현재 명지대학교 공대 전기정보제어공학부 부교수.
Tel: 031-336-6367, Fax: 031-321-0271
E-mail : mschoi@mju.ac.kr



이 덕 수 (李 德 洙)

1977년 11월 19일생. 2000년 명지대 공대 전기공학과 졸업, 2002년 명지대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 P&C Tech. 연구원.
Tel : 031-455-5791,
Fax : 031-456-7923,
E-mail : suness@hanmail.net



이 승 재 (李 承 宰)

1955년 11월 30일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 Univ. of Washington 전기공학과 졸업(공학박). 1994년 Univ. of Washington 교환교수. 현재 명지대 공대 전기정보제어공학부 교수.
Tel: 031-336-6362, Fax: 031-330-6816
E-mail : sjlee@mju.ac.kr



진 보 건 (陳 保 建)

1976년 9월 28일 생. 2000년 명지대 공대 전기전자공학부 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.
Tel : 031-335-2068
Fax : 031-330-6816
E-Mail : sinato@mju.ac.kr



현 승 호 (玄 升 鎬)

1962년 서울생. 1991, 서울대학교 공과대학 전기공학과, 1993, 동 대학원 전기공학과(공학석), 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996 - 2002년 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단 시스템개발팀장, 2002 - 현재 명지대학교 전기공학과 차세대 전력기술연구센터 연구교수.
Tel:031-330-6814, Fax.: 031-330-6816,
E-mail : takeitez@mju.ac.kr