

반복계산법을 이용한 철도고압배전계통의 고장점표정 알고리즘

(Fault Location Estimation Algorithm in the Railway High Voltage Distribution Lines Using Flow Technique)

박계인* · 창상훈 · 최창규

(Kye-In Park · Sang-Hoon Chang · Chang-Kyu Choi)

요 약

철도 고압배전선로의 경우 궤도를 따라 양방향으로 선로연변에 통신 및 신호설비와 병행하여 가공 또는 지중선 로로 설치되어 있다. 가공선로의 경우에는 대기중에 노출되어 있어 뇌격, 폭풍우, 염해 등 자연현상으로 인한 고장 발생이 다수 발생하고 있으며, 이에 따른 보호장치의 오·부동작이 빈번하게 발생하고 있다. 철도 고압배전선로에서 발생하는 사고 중 가장 많은 것은 1선 지락이지만 이밖에 선간 단락, 심할 경우에는 3선 지락(단락)으로까지 진 전되는 사고가 있을 뿐만 아니라 단선 사고까지 발생하는 경우도 있다. 따라서 사고를 방지하기 위해서는 보다 상세한 점검보수가 필요하며, 고장발생시 조기발견과 신속한 고장처리는 철도안전수층에 중요하다.

본 논문에서는 철도 고압배전계통의 주류를 이루게 될 22.9[kV] 직접접지 계통을 대상으로 고장발생시 고장 위치를 신속하게 표정할 수 있는 고장점 표정 알고리즘 개발을 위해 22.9[kV] 고압배전계통을 모델링 하여 특성해석 과 고장해석을 수행하였고, 정확한 고장점 표정이 가능한 반복계산법을 이용한 알고리즘을 제시하였으며, 사례연구 를 통해 성능을 입증하였다.

Abstract

High voltage distribution lines in the electric railway system placed according track with communication lines and signal equipments. Case of the over head lines is occurrence the many fault because lightning, rainstorm, damage from the sea wind and so on. According this fault caused protection device to wrong operation.

One line ground fault that occurs most frequently in railway high voltage distribution lines and sort of faults is line short, three line ground, breaking of a wire, and so on. For this reason we need precise maintenance for prevent of the faults. The most important is early detection and fast restoration in time of fault for a safety transit.

In order to develop an advanced fault location device for 22.9[kV] distribution power network in electric railway system, this paper deals with new fault locating algorithm using flow technique which enable to determine the location of the fault accurately.

To demonstrate its superiorities, the case studies with the algorithm and the fault analysis using PSCAD/EMTDC (Power System Computer Aided Design/Electro Magnetic Transients DC Analysis Program) were carried out with the models of direct-grounded 22.9[kV] distribution network which is supposed to be the grounding method for electric railway system in Korea.

Key Words : Fault Location, Estimation. Ground Fault, Breaking Of A Wire, Flow Technique

* 주저자 : 인천광역시 상수도사업본부 소장

Tel : 032-330-2222, Fax : 032-330-8402, E-mail : pki1197@hanmail.net

접수일자 : 2007년 10월 2일, 1차심사 : 2007년 10월 8일, 심사완료 : 2007년 10월 25일

1. 서 론

철도에서의 고압배전선로는 열차의 안전운행을 위한 신호기 및 건널목 경보기 등의 신호보안설비와 역사의 조명과 역무설비 및 냉난방, 환기 등을 위한 동력설비 등에 전원을 공급해 주기 위한 설비로 철도에서는 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 특히 안정적이며, 신뢰성 있는 상시전원에 의해 가동되어야 하는 부하설비는 언제나 무정전 상태를 유지하여야 하기 때문에 제한된 보수시간과 고장에 대한 완벽한 보호가 요구된다.

그러나 대부분의 철도 고압배전선로의 경우 궤도를 따라 양방향으로 선로연변에 통신 및 신호설비와 병행하여 가공 또는 지중선로로 설치되어 있다. 또한 가공선로의 경우에는 대기중에 노출되어 있어 뇌격, 풍우, 염해 등 자연현상으로 인한 고장 발생이 다수 발생하고 있으며, 이에 따른 보호장치의 오·부동작이 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 보다 상세한 점검보수가 필요하며, 고장설비의 조기발견과 신속한 고장처리가 요구된다.

특히 근래에는 대 승객서비스의 중요도가 인식되면서 역사내 전기에너지 사용이 증가되고, 기존선 및 고속철도 연계망 전철화 건설의 가속화, 고빈도 열차운행을 위한 신호설비 확충 등 철도 고압배전계통 운용여건이 크게 변화하고 있다. 기존 철도에서의 고압배전계통은 66[kV] 비접지계통 방식으로 구성되어 운영되고 있으나, 전력에 대한 수요 증가와 원활한 전력수급을 위해서 신설되는 철도 고압배전계통은 22.9 [kV] 접지계통 방식으로 건설되고 있다[1, 8].

본 논문에서는 철도 고압배전계통의 주류를 이루게 될 22.9[kV] 직접접지 계통을 대상으로 고장발생시 고장 위치를 신속하게 표정할 수 있는 고장점 표정 알고리즘 연구를 위해 22.9[kV] 고압배전계통을 모델링 하여 특성해석과 고장해석을 수행하였고, 정확한 고장점 표정이 가능한 반복계산법을 이용한 알고리즘을 제시하였으며, 사례연구를 통해 성능을 입증하였다.

2. 철도 고압배전계통 고장해석

가공선로이건 지중선로이건 간에 사고를 전혀 일으키지 않고 운전한다는 것은 불가능한 일이다. 특히 가공선로는 직접 자연에 노출되어 모든 기상 조건의 영향을 받게 되므로 뇌해, 풍수해, 설해, 염진해, 기타 등등으로 사고를 일으킬 기회가 많다. 철도 고압배전선로에서 발생하는 사고 중 가장 많은 것은 1선 지락이지만 이밖에 선간 단락, 심할 경우에는 3선 지락(단락)으로까지 진전되는 사고가 있을뿐만 아니라 때에 따라서는 단선 사고까지 발생하는 경우도 있다[2-3].

일반적으로 철도 고압배전선로에서 3상 단락과 같은 평형 고장이 일어나는 경우는 극히 드물고 거의 대부분이 1선 지락, 선간 단락과 같은 불평형 고장이 발생한다[4-5].

2.1 해석모델

본 논문에서는 전력계통 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 22.9[kV] 접지계통을 모델링하였다. 그림 1~3은 전원계통 및 변전소와, 역사 및 부하, 그리고 가공배전선로를 모델링 결과를 나타낸 것이다.

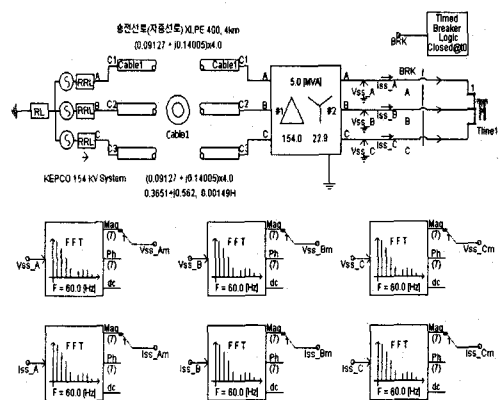


그림 1. 전원계통 및 변전소 모델
Fig. 1. Model of substation & source

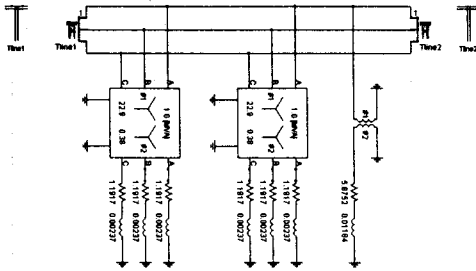


그림 2. 역사 및 부하 모델
Fig. 2. Model of station & load

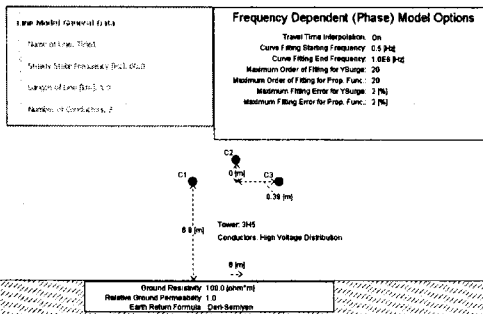


그림 3. 가공배전선로 모델
Fig. 3. Model of contribution line

2.2 고압배전계통 모델

3상4선식 22.9[kV] 직접접지방식의 고압배전계통 특성을 분석하기 위해 수도권내의 지상, 지하구간을 대상으로 철도운영기관의 고압배전계통의 현황 및 역당 부하전력을 근거하여 2가지 배전계통에 대해 모델링을 수행하였다.

Case 1 : 수도권 지하전철 구간

- 역수 : 3개역
- 총 배전길이 : 5.7[km](역당 거리 : 1.9[km])
- 역사 및 부하설비 : 335.8[kW](3상부하), 39.3[kW](단상부하), 역률 : 0.8

2.3 고압배전계통 고장현상 분석

고장발생시 철도 고압배전계통에서의 전압, 전류의 변화를 분석하고자 위에서 제시한 Case 1(수도권

전철 지하구간)을 대상으로 1선 지락고장, 2선 단락고장, 3선 단락(지락)고장에 대해 시뮬레이션 하였다. 그리고 고장 발생 지점에 따라 변전소에서 계측되는 전압과 전류 크기의 변화를 비교하기 위해 전체 선로의 10[%], 30[%], 50[%], 70[%] 그리고 90[%] 지점에서 발생한 고장을 시뮬레이션 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

2.3.1 1선 지락고장(A상 고장)

1선 지락고장이 발생한 경우에는 고장상의 전압은 최대 2.82[kV]까지 크게 강하하며, 고장전류는 최대 5240.2[A]까지 크게 발생한다. 특히 변전소 근방에서 고장이 발생한 경우에는 이러한 현상이 더욱더 크게 나타난다. 하지만 고장이 발생하지 않은 건전상의 경우 전압은 일부 상승하며, 전류는 고장전류와 비교하면 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

표 1. 1선 지락고장시 전압 변화
Table 1. Voltage variation of 1 line ground fault

상	거리 [km]	상전압 [kV]	고 장 거 리				
			10[%]	30[%]	50[%]	70[%]	90[%]
A	13.23	2.82	6.26	7.94	8.91	9.61	
B	13.23	14.27	14.04	13.87	13.77	13.69	
C	13.23	15.06	14.41	14.08	13.90	13.78	

표 2. 1선 지락고장시 전류변화
Table 2. Current variation of 1 line ground fault

상	거리 [km]	부하 전류[A]	고 장 거 리				
			10[%]	30[%]	50[%]	70[%]	90[%]
A	18.06	5240.2	3543.3	2720.3	2206.5	1855.7	
B	14.42	17.13	18.36	18.50	18.43	18.01	
C	14.42	17.68	17.73	17.50	17.21	16.54	

2.3.2 2선 단락고장(AB상 고장)

2선 단락고장이 발생한 경우에는 고장상의 전압은 최대 5.54[kV]까지 크게 강하하며, 고장전류는 위상차가 180[°]가 차이가 나고 최대 7131.3[A]까지 매우 크게 발생한다. 반면 고장이 발생하지 않은 상은 전압, 전류의 크기는 고장전과 비교하여 거의 변하지 않는다.

반복계산법을 이용한 철도고압배전계통의 고장점표정 알고리즘

표 3. 2선 단락고장시 전압변화

Table 3. Voltage variation of 2 lines short fault

상	거리	상전압 [kV]	고장거리				
			10[%]	30[%]	50[%]	70[%]	90[%]
A		13.23	7.73	9.23	10.20	10.62	10.90
B		13.23	5.54	6.24	7.20	8.14	8.85
C		13.23	13.21	13.21	13.21	13.21	13.21

표 4. 2선 단락고장시 전압변화

Table 4. Voltage variation of 2 lines short fault

상	거리	부하 전류[A]	고장거리				
			10[%]	30[%]	50[%]	70[%]	90[%]
A		18.06	7121.3	5336.3	4369.1	3672.8	3156.9
B		14.42	6870.2	5322.0	4361.9	3666.1	3150.0
C		14.42	14.42	14.42	14.42	14.42	14.42

2.3.3 3선 단락(지락)고장

3선 단락고장이 발생한 경우에는 모든 상의 전압은 크게 강하하며, 고장전류는 크게 증가한다. 고장 전압은 최대 2.15[kV]까지 강하하며, 고장전류는 최대 8244.2[A]까지 증가한다.

표 5. 2선 단락고장시 전압변화

Table 5. Voltage variation of 2 lines short fault

상	거리	상전압 [kV]	고장거리				
			10[%]	30[%]	50[%]	70[%]	90[%]
A		13.23	2.22	5.03	6.67	7.69	8.55
B		13.23	2.18	5.02	6.67	7.69	8.56
C		13.23	2.15	5.01	6.66	7.69	8.53

표 6. 2선 단락고장시 전압변화

Table 6. Voltage variation of 2 lines short fault

상	거리	부하 전류[A]	고장거리				
			10[%]	30[%]	50[%]	70[%]	90[%]
A		18.06	8244.2	6159.5	5041.5	4237.3	3641.4
B		14.42	7992.4	6150.6	5040.6	4237.0	3641.0
C		14.42	7859.5	6138.3	5038.3	4236.3	3640.8

고장유형에 따라 전압과 전류 성분의 크기 변화를 종합하면 표 7과 같이 나타낼 수 있다.

표 7. 사고유형에 따른 전류/전압 변화

Table 7. Voltage/Current variation according to fault type

	1선 지락(A상)	2선 단락 (A상, B상)	3선 단락
V_a	크게 감소	크게 감소	3상 모두 크게 감소 $V_a = V_b = V_c$
V_b	약간 증가	크게 감소	
V_c	약간 증가	변화 없음	
I_a	크게 증가	크게 증가 ($I_a = I_b$)	3상 모두 크게 증가 $I_a = I_b = I_c$
I_b	약간 증가	크게 증가 ($I_b = I_a$)	
I_c	약간 증가	변화 없음	

고장발생시 전압은 대체로 크게 감소하는데 반해 전류성분은 크게 증가하고 있다. 이러한 특성을 분석하여 볼 때 고장발생시 각 상에서의 전압, 전류성분의 변화를 이용하여 고장검출과 고장유형의 판별이 가능하다.

3. 고압배전계통 고장점표정 알고리즘

철도 고압배전계통의 고장점 표정을 위해서는 지금까지 대칭좌표변환을 이용한 고장거리 계산 알고리즘과 3상회로 직접해석에 의한 고장거리 계산 알고리즘 그리고 임피던스 계산에 의한 고장거리 계산 알고리즘이 널리 적용되어 왔다. 그러나 배전계통의 경우에 배전선로의 비동질성, 단상부하로 인한 부하 불평형, 부하의 급격한 변동 등으로 인해 기존 방법은 고장점 표정시 오차가 발생한다. 배전계통의 경우에는 표준화된 계통 모델이 없으므로 적용할 계통에 따라 분기수 및 부하모델의 선정이 달라져야 한다. 따라서 본 논문에서는 배전계통의 보호기기, 분기선, 부하 등의 구성정보를 이용할 수 있는 경우에 보다 정확한 고장점 표정이 가능한 알고리즘을 제시하고자 한다[6-7].

3.1 기존 알고리즘의 특징

- (i) 대칭좌표변환을 이용한 고장거리 계산 기법
 - 3상 평형계통에서 적용 가능
 - 단상부하로 인해 계통이 불평형이 되는 경우에는 독립적인 영상회로, 정상회로, 역상회로 방정식을 이용한 대칭좌표법의 적용 곤란
- (ii) 3상회로 직접해석에 의한 고장거리 계산기법
 - 3상 불평형 계통에서도 적용 가능
 - 다양한 분기점이 존재하기 때문에 고장이 발생한 고장구간을 찾아내야 적용 가능
- (iii) 임피던스 계산에 의한 고장거리 계산기법
 - 단순하게 임피던스 계산만으로 고장점 표정 가능
 - 고장저항 등의 영향으로 인해 고장점표정시 상당한 표정 오차 발생

3.2 반복계산법을 이용한 고장점 표정 알고리즘

철도 고압배전계통에서 반복계산법을 이용하여 고장점을 표정하기 위해서는 계전기 설치점인 변전소 인출단에서 3상전압과 전류를 취득할 수 있으며, 배전계통의 분기선, 부하 등의 구성정보를 이용할 수 있어야 한다.

3.2.1 반복기법 알고리즘

고장 발생동안의 부하전류는 고장시 전압이 낮아짐으로 인하여 고장전 부하 전류와는 다른 값을 갖는다. 고장 발생 후 부하전류를 추정하기 위하여 고장점 전압을 추정하고, 다시 이 값으로부터 부하전류를 추정하는 과정을 반복한다. 반복기법에 의한 고장거리계산 알고리즘은 다음과 같다.

- i) 고장발생 후 부하전류 I_{al} 는 고장 발생 전 인입전류 I_a 와 같다고 가정한다.
- ii) 고장발생 후 인입전류 I_a 에서 부하전류를 뺀으로써 고장 전류 I_f 를 구한다.
- iii) 계산된 고장전류 값을 이용하여 고장거리 d 를 구한다.

- iv) 위에서 구해진 고장거리 d 와 식 $I_f = I_a - I_{al}$ 을 이용하여 고장점에서의 전압(V_f)을 구한다.

$$\begin{bmatrix} V_a' \\ V_b' \\ V_c' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} - d \begin{bmatrix} Zl_{aa} & Zl_{ab} & Zl_{ac} \\ Zl_{ba} & Zl_{bb} & Zl_{bc} \\ Zl_{ca} & Zl_{cb} & Zl_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

- v) 고장점의 고장전압으로부터 고장시 부하전류를 구한다.
- vi) 반복과정마다 계산된 고장거리의 변화가 허용 오차 이내로 될 때까지 단계 ii)로 돌아가 이 계산 과정을 반복한다.

3.2.2 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.

$$I_{al} = [Y_{L11}, Y_{L12}, Y_{L13}] \times [V_a', V_b', V_c']' \quad (2)$$

여기서 Y_L 은 고장뒷단의 선로 임피던스와 부하 임피던스 합인 어드미턴스로 다음과 같다.

$$Y_L = [Zl + Zr]^{-1} \quad (3)$$

또한 부하단에 대한 정보를 오직 부하가 정 임피던스 부하라고 알고 있을 때 부하전류는 다음과 같이 추정한다.

먼저 식 (2)에서 Y_{L12}, Y_{L13} 는 선로간, 부하간 상호임피던스에 의한 성분이므로 그 값이 Y_{L11} 보다 상당히 작다고 가정하여 고장전 부하전류를 다음과 같이 근사한다.

$$I_{nal} = Y_{L11} \times V_{na}' \quad (4)$$

I_{nal}, V_{na}' 는 고장전 부하전류와 고장전 고장점 전압이므로 인입전류와 고장점까지의 선로 전압강하로부터 계산할 수 있다.

반복계산법을 이용한 절도고압배전계통의 고장점표정 알고리즘

$$I_a = I_{naL} \quad (5)$$

$$V_{na'} = V_{na} - d \times (Zl_{aa}I_{na} + Zl_{ab}I_{nb} + Zl_{ac}I_{nc}) \quad (6)$$

고장 후 부하전류는

$$I_{aL} = Y_{L11} \times V_a' \quad (7)$$

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

$$I_{aL} = (I_{anL} / V_{na'}) \times V_a' \quad (8)$$

그러나 실제로는 식 (2)의 상호 임피던스 부분이 존재하여 고장거리 계산결과에 이에 대한 오차가 나타난다.

그리고 부하에 대한 정보부족으로 임피던스 부하라는 사실조차도 사용할 수 없는 경우 식 (9)에 나타낸 일반적인 부하 모델을 사용하여 부하전류를 추정한다.

$$I_{aL} = I_r \left| \frac{V_a'}{V_n} \right|^{n_r} + jI_i \left| \frac{V_a'}{V_n} \right|^{n_i} \quad (9)$$

여기서 V_n : 고장전 부하단 전압

V_{ja} : 고장후 부하단 전압

I_{nr}, I_{ni} : 고장전 부하단 유효, 무효 전류

n_p, n_q : 부하 상수

복소값을 갖는 부하 상수는 부하의 동특성에 따라서 결정된다. 예를 들면 정전류 부하는 $n_p = n_q = 0$ 의 값을 갖고, 정전력 부하는 $n_p = n_q = -1$, 정임피던스 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.

3.2.3 분기선을 고려한 전압, 전류 수정방법

변전소 인출 모선의 전압과 전류를 측정할 수 있다 하더라도 배전계통은 부하에 전력을 공급하기 위하여 많은 단상, 3상 분기선 및 간선 그리고 부하 탭

을 포함하고 있기 때문에 반복계산 알고리즘을 사용하려면 그림 4의 고장구간 인입단에서의 전압과 전류를 추정하는 것이 필요하다. 그림 4와 같은 계통을 고려하면 $k+1$ 번째 노드에서의 전압은 식 (10)을 이용하여 구하고, 부하로 유출되는 전류는 식 (11)을 이용하여 구한다.

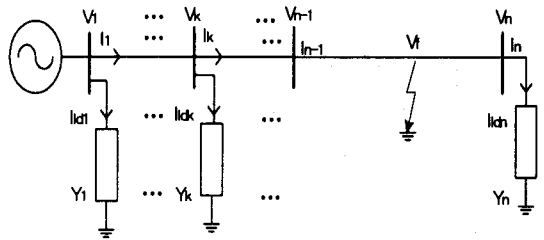


그림 4. 배전 계통을 축약한 단선도
Fig. 4. Single diagram of distribution system

표 8. 기호 정의
Table 8. Definition of symbol

기호	내 용	단위
V_k	k 번째 노드 전압벡터	[V]
I_k	k 번째 선로에 흐르는 전류벡터	[A]
Y_k	k 번째 노드에서의 부하 어드미턴스 행렬	[S]
I_{ldk}	k 번째 노드에서의 부하 전류벡터	[A]
Z_k	k 번째 구간 선로의 임피던스 행렬	[Ω]

그림 4와 같은 계통을 고려하면, $k+1$ 번째 부하 인출단에서의 전압은 식 (10)과 같이 추정된다.

$$V_{k+1} = V_k - Z_k I_k \quad (10)$$

정 어드미턴스 부하 모델을 이용하여 k 번째 부하 인출단에서의 부하 전류는 식 (11)과 같이 추정한다.

$$I_{ldk} = V_k Y_{ldk} \quad (11)$$

따라서 k 구간을 흐르는 전류는 식 (12)와 같이 계산된다.

$$I_k = I_{k-1} - I_{ldk} \quad (12)$$

3.2.4 고장거리 계산 흐름도

변전소 인출단에서 측정된 전압, 전류를 이용하여 고장점을 표정하면 변전소에서 실제 고장점까지의 임피던스와 같은 지점이 각 경로에 따라 나타나게 된다. 먼저 부하전류의 영향을 최소화하기 위하여 각각의 경로를 따라 고장점 인입단에서의 전압, 전류를 3.2.3절에서 기술한 방법을 이용하여 구한다. 그리고 계산된 고장점 인입단에서의 전압, 전류를 가지고 반복추정 기법을 적용하여 보다 정확한 고장 거리를 추정한다.

- i) 계통 정보 파악 : 입력된 계통 정보를 이용하여 계통을 구성하고, 분기된 선로를 따라 전원단에서 부하단으로 이르는 직선 경로를 찾는 과정이다. 계통의 조건에 따라 다수의 고장점이 발생할 수 있으므로 노드데이터와 섹션데이터로부터 계통을 구성하고, 분기선로에 따라 예상되는 각각의 직선 경로를 찾는다.
- ii) 고장여부 판단 및 고장거리계산 : 고장발생시 고장점 표정을 위한 전압, 전류 데이터를 추출하는 과정이다. 먼저 고장여부를 판단하고, 고장이 인지되면 이산시간 푸리에 변환(DFT)을 이용하여 전압, 전류의 페이지를 구하고, 이를 고장점 표정에 사용한다.
- iii) 고장구간 시작 노드에서의 전압, 전류 추정 : 고장점 표정 식을 사용하여 계산된 거리와 각 구간별 거리를 비교해가며 고장 구간을 판단하는 과정이다. 처음으로 변전소 인출단에서 측정된 전압, 전류 데이터를 이용하여 고장 거리를 계산하고, 계산된 고장거리와 첫 번째 구간의 거리를 비교한다. 계산된 고장거리가 클 경우 다음 노드로 이동하여 전압, 전류를 업데이트하고, 이 데이터를 이용하여 고장거리를 다시 구한 후 다음 구간의 거리와 비교하는 과정을 반복한다.
- iv) 고장 후보지 경로 출력 : 배전계통의 고장점 표정 결과 다양한 고장점 예상 구간이 발생함으로써 실제 고장위치 진단을 위해 필요한 정보를 출력하는 과정이다.

그림 5는 반복계산법을 이용하여 철도 고압배전선로에서의 고장점을 표정하기 위한 전체 흐름도이다.

4. 사례연구

4.1 고장 데이터 추출

반복계산법을 이용한 고장점 표정장치의 성능을 검증하기 위해서 철도 고압배전계통의 수도권 지하전철구간을 대상으로 표 9와 같이 고장상, 고장거리, 그리고 고장저항의 크기를 변화시키면서 60가지의 고장데이터를 추출하였다.

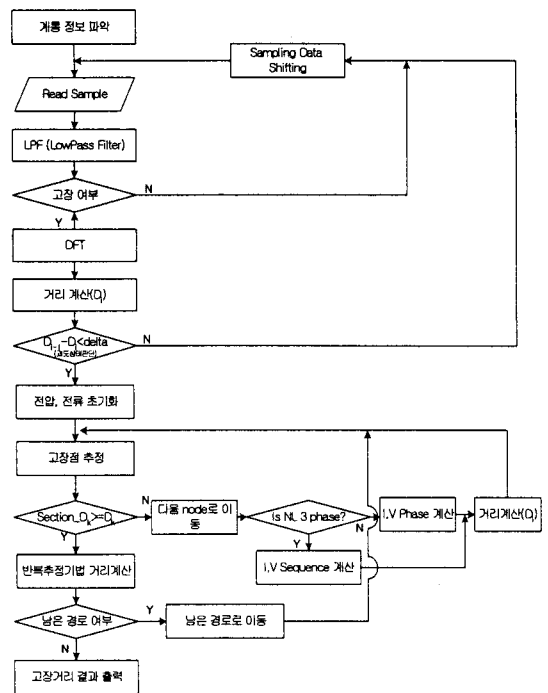


그림 5. 고장거리계산 알고리즘 흐름도
Fig. 5. Flow chart of fault location algorithm

표 9. 모의시험 종류
Table 9. Kinds of simulated test

고 장 조 건		비 고
고장 상(相)	A, B, C	1선 지락고장
고장 거리[%]	10, 30, 50, 70, 90	전체 배전선로 거리대비
고장 저항[Ω]	0, 10, 30, 50	
샘플링주파수[Hz]	720	

반복계산법을 이용한 철도고압배전계통의 고장점표정 알고리즘

추출한 고장데이터의 고조파 성분의 영향을 제거하기 위해서 270[Hz]의 차단특성을 가진 2차 Butterworth 필터를 이용하였으며 DFT(Discrete Fourier Transform)필터를 이용하여 순시값으로부터 전압과 전류신호의 페이저 값을 추출하였다.

고장점 표정 알고리즘의 정확도를 평가하기 위해서 다음 식과 같이 표정오차를 계산하였다.

$$error[\%] = \frac{\text{실제 고장거리} - \text{계산된 고장거리}}{\text{전체 선로길이}} \times 100$$

4.2 고장점 표정결과

그림 6과 같이 수도권 지하철 구간을 모델링한 것으로 한 변전소로부터 3개역에 전력을 공급하고 있으며, 총 배전선로 길이는 5.8[km](역당 거리 : 1.9[km])이며, 역사 및 부하설비는 335.8[kW](3상부하), 39.3[kW](단상부하), 역률 : 0.8로 구성되어 있다.

그림 7은 각 상별로 고장점 표정시 오차를 그림으로 나타낸 것이다.

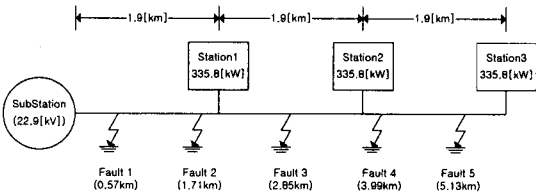


그림 6. 해석 모델
Fig. 6. Model for analysis

전반적으로 고장저항의 크기가 커질수록 표정오차가 커지는 경향이 있다. 특히 단상부하로 인한 불평형을 야기하는 A상 고저항 지락고장의 경우에는 최대 2.05[%]의 표정오차가 발생한다. B상과 C상의 경우에는 대체로 비슷한 표정오차의 추세를 보이고 있으며, B상의 경우에는 최대 1.71[%], C상의 경우에는 최대 1.50[%]의 표정오차를 나타낸다.

위의 결과에서 알 수 있듯이 A상의 경우에는 단상부하가 연결되어 있어 전반적으로 B, C상에 비해 고장점 표정시 오차가 크게 발생하고 있다. 또한 변전소로부터 고장거리가 멀어질수록, 그리고 고장저항

의 크기가 커질수록 오차가 증가함을 알 수 있다. 하지만 대체적으로 반복계산법을 이용한 고장점 추정시에 단상부하로 인한 계통의 불평형이나 고장저항의 크기에 크게 영향 받지 않고 정확하게 고장점을 표정할 수 있음을 알 수 있다.

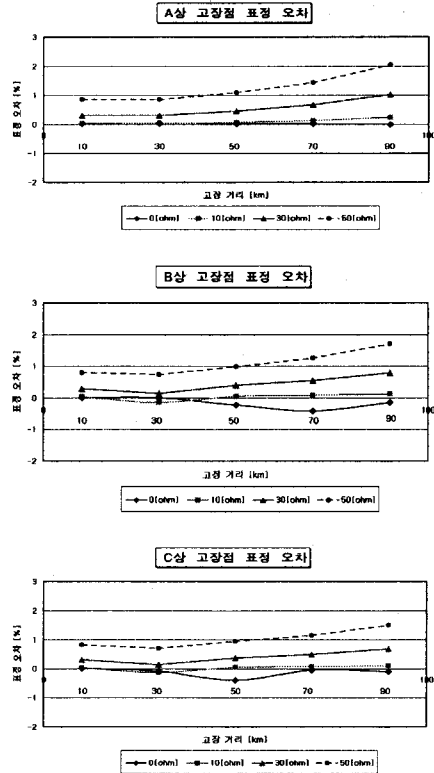


그림 7. 각 상별 고장점 표정 오차
Fig. 7. Error of fault location detect

5. 결론

본 연구에서 제시한 반복계산법을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- i) 고장저항의 크기가 커질수록 표정오차가 증가한다.
- ii) 변전소로부터 고장 위치가 멀어질수록 표정오차가 증가한다.
- iii) 부하 불평형인 상에서 발생한 고장일수록 표정오차가 증가한다.

iv) 대체적으로 고장거리가 긴 배전선로의 표정오차가 작지만 실제적인 표정시 거리는 크다.

그러나 전반적으로 표정오차가 최대 2.05[%]이내 이므로 제안한 반복계산법을 적용함으로써 22.9[kV] 직접접지방식의 고장점 표정은 우수하다고 판단되며, 본 연구에서 제시한 반복계산법 알고리즘을 적용하게 되면 철도 고압배전선로에서 고장발생시 정확한 고장지점의 표정으로 신속한 복구가 가능해 열차안전운행에 크게 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] S.H. Chang, H.M. Lee et al "Optimization of Protection System and Development of Diagnosis on the Electric Railway Equipment" KRRR Report pp.146~177, 2002. 3.
- [2] "Protection of industrial and commercial electric power distribution system", Wisconsin University, 2003. 4.
- [3] "き電 System 技術講座", 鐵道總合技術研究所, 1995. 9.
- [4] "電氣概論 電燈電力シリーズ4, 配電線路設備", (社)日本鐵道電氣技術協會, 1992.
- [5] "A review of impedance-based fault locating experience", Iowa-Nebraska system protection seminar, October 1990.
- [6] 최면승 외 4인, "3상회로 직접해석에 의한 배전계통 1선 지락사고 고장거리 계산 알고리즘", 전기학회논문지, Vol.51, No.8, pp.409-416, 2002.
- [7] 최면승 외 4인, "3상회로 직접해석에 의한 송배전계통 선간단락 사고 고장거리 계산 알고리즘", 전기학회논문지, Vol.51, No.9, pp.467-473, 2002.
- [8] 日本電氣學會, "交流電氣鐵道における保護技術", 電氣學會技術報告 610號, pp.36~37, 1996. 10.

◆ 저자소개 ◆

박계인 (朴桂仁)

1954년 8월 4일생. 1999년 2월 서울산업대학교 전기공학과 졸업(학사). 2001년 2월 인하대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 서울산업대학교 철도전문대학원 박사과정 수료. 2008년 2월 현재 인천광역시 상수도사업본부 부평정수사업소 소장.
E-mail : pki1197@hanmail.net

창상훈 (倉相勳)

1961년 3월 28일생. 1992~1994년 철도청 기술연구소 연구원. 1994년~현재 한국철도기술연구원 수석연구원 (철도시험인증연구센터장). 2002년 홍익대학교 대학원 전기정보제어공학과 졸업(박사). 2004년 고려대학교 차세대전력연구원센터 객원연구원.
E-mail : shchang@krrri.re.kr

최창규 (崔昌圭)

1953년 2월 25일생. 1987년 8월 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 서울산업대학교 전기공학과 교수.