

## 배전계통 개폐기 IED를 위한 효율적 고장경로 추정 알고리즘 연구

고윤석

남서울대학교

### A Study on the Efficient Fault Path Estimation Algorithm for Distribution System Switch IED

Yun-Seok Ko

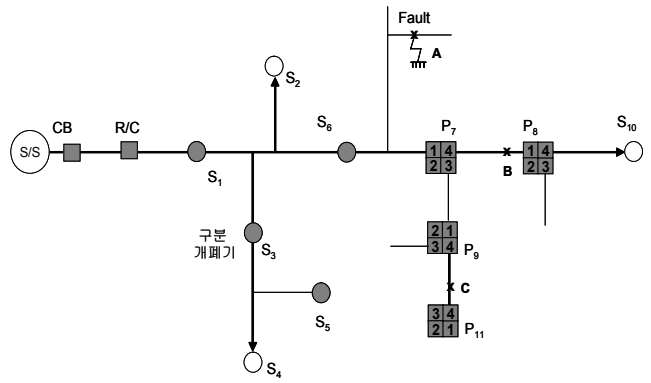
Namseoul University

**Abstract** - 변전소 모선에서 측정되는 전압, 전류를 기반으로 하는 CB기반 고장거리 추정기법은 배전선의 다중 분기선 때문에 다중개의 고장위치를 추론하는 것은 물론 분기 부하모델의 불확실성으로 인해 거리 계산에 오차를 포함하게 된다. 따라서 본 연구에서는 유비쿼터스 기반의 배전계통 하에서 구간 측정 전압, 전류 및 IED간 정보교환을 통해 얻어지는 전압, 전류 정보를 이용하여 고장경로를 추정하는 IED 기반 고장경로 추정기법을 제안한다.

뿐만 아니라 DAS에 고장정보를 제공하지 않기 때문에 고장구간 확인이 어렵다. 순간고장은 비록 순간고장이 전력설비에는 영향을 미치지 않지만 컴퓨터 기반 장비나 전자 스위칭 장비의 오동작을 야기할 수 있기 때문에 전력품질 측면에서 그 중요성이 인식되고 있다. 즉, 순간고장에 대한 대응전략을 수립함으로써 전력품질을 제고할 필요성이 제기되고 있다. 따라서 신속한 공급 복구와 순간고장 횟수를 줄여 전력품질을 제고하기 위해서는 반드시 고장위치의 정확한 추정이 필요하다.

## 1. 서 론

고장점 표정은 최소의 노력과 시간으로 고장위치를 확인하게 함으로써 전력공급 신뢰도를 크게 제고하는데 기여할 수 있다. 따라서 지금까지 다양한 고장 점 표정을 위한 방법들이 연구되었는데 크게 진행과 기반 기법[2-3]은 고장위치로부터 발생하는 신호를 얻기 위한 방법에 따라 주입식과 과도신호 해석법으로 구분할 수 있는데, 주입식이 과도신호 해석 법 보다 불확실성을 줄일 수 있으나 신호주입장치를 설치해야 하는 어려움이 있다. 이에 비해 임피던스 기반 기법[4-5]은 측정 점의 전압, 전류로부터 임피던스를 계산해서 고장위치를 추정하기 때문에 보다 경제적이고 실용적이다. 그러나 이들은 송전선에 대한 거리추정 기법들이기 때문에, 다상 분기선, 탭 부하들을 포함하는 배전선로들에 직접 적용될 수 없다. 따라서 참고문헌[6]은 고장 시 측정되는 전압, 전류로부터 얻어지는 기본 주파수 성분을 기반으로 하는 배전선 고장거리를 추정 기법을 제안하였다. 참고문헌[7]은 고장위치를 추정하는 과정에서 발생하는 불확실성을 처리하기 위한 퍼지논리를 제안하였다. 또한 참고문헌[8,9]은 모선에서 측정되는 전압, 전류의 기본과 요소를 기반으로 하여 배전계통의 다상 분기선과 부하모델의 동적 특성을 고려하는 고장거리 추정 법을 제안하였다. 그러나 이들 방법들은 변전소 모선에서 측정되는 전압, 전류를 기반으로 하기 때문에 다중개의 고장위치 추론은 물론 부하모델의 불확실성으로 인한 오차를 포함하게 된다. 따라서 본 연구에서는 유비쿼터스 기반의 배전계통 하에서 IED가 통신을 통해 주변 IED들로부터 얻어지는 측정 전압, 전류 정보를 기반으로 고장경로를 추정하는 지능화된 IED기반 고장경로 추정기법을 제안한다.



〈그림 1〉 대표적인 배전계통

그림 1의 A 지점에서 임의의 고장이 발생한 경우를 가정하자. 이때 기존의 CB기반 고장거리 추정 기법은 CB단에서 고장점류, 전압정보를 측정하여 고장거리를 계산하기 때문에 A 지점은 물론 동일한 거리 내에 속하는 B와 C지점을 고장후보로 추정하게 된다. 이때 정확한 고장 후보를 결정해야 하는 어려움이 따른다. 또한 수개의 분기선, 구간 부하 모델링의 불확실성으로 인해 구간이 증가할 수록 고장거리 추정의 정확성은 낮아진다.

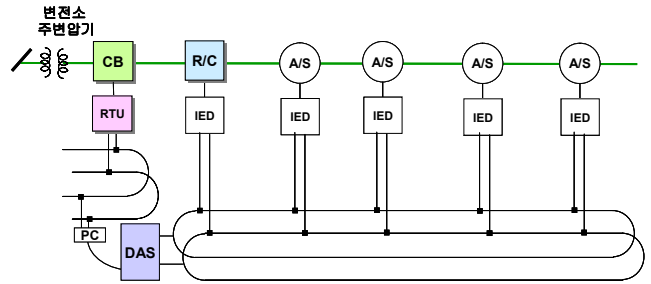
## 2. 문제정의

### 2.1 CB기반 고장거리 추정기법

배전계통은 변전소 CB로부터 시작하여 수직상 구조로 운전된다. 선로상에는 임의의 고장 시 고장을 차단하기 위한 리클로우저가 설치되며, 선로구분을 위한 개폐기들, 부하용동을 위한 타이 개폐기들이 설치된다. 그림 1은 대표적인 배전계통을 보인다. CB는 선로보호용 차단기, R/C는 리클로우저를 표시한다.  $S_i$ 는  $i$ 번째 가공 개폐기를 표시하는데, ●는 구분 개폐기, ○는 연계 개폐기를 표시한다. 반면에,  $P_i$ 는  $i$ 번째 다회로 개폐기의  $j$ 번째 회로번호를 표시한다. 특히 각 개폐기들에는 IED(Intelligent Electronic Device)들이 설치된다. 선로고장은 순간고장 및 영구고장으로 구분되는데 순간고장은 영구고장에 비해 자주 발생한다. 영구고장은 R/C가 영구 개폐되는 경우로써 개폐기 IED가 고장정보를 기록하고 고장정보를 DAS에 제공하기 때문에 고장 구간이 쉽게 확인될 수 있다. 하지만 고장위치를 확인할 수 없기 때문에 공급복구가 지연된다. 순간고장은 R/C의 재폐로 동작 중에 의해 고장이 제거되는 경우로써 IED가 고장을 기록하지 않을

### 2.2 구간 기반 고장 거리추정 기법

최근 배전계통은 IED간 자유로운 정보교환이 가능한 유비쿼터스 기반의 시스템으로 진화되고 있다. 그림 2는 유비쿼터스 기반의 배전계통의 구성을 보인다.



〈그림 2〉 유비쿼터스 기반 배전계통

개폐기 IED들은 이더넷 2중 링 구조로 연계되기 때문에 IED 간 3상 고장전류, 전압, 전류방향 그리고 개폐기 정보 등 다양한 정보를 고속으로 교환할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 IED의

전압, 전류 정보 및 IED간 통신에 의해 보다 정밀한 고장거리 추정이 가능한 IED기반 고장거리 추정 기법을 제안한다. IED기반 고장거리 추정 기법은 주어진 구간의 입력 전압, 전류를 가지고 주어진 개폐기 위치로부터 고장점까지의 거리를 계산하기 때문에 기존의CB기반 고장거리 추정기법에서 각 분기선이나 부하 모델링의 불확실성에 의해서 발생할 수 있는 오차를 최소화함으로써 정확도를 개선하게 된다. 특히 지능화된 IED는 순간고장 시위치만을 정확하게 DAS에 제공함으로써 순간고장에 대한 관리를 가능하게 한다.

### 3. IED 기반 고장경로 추정 기법

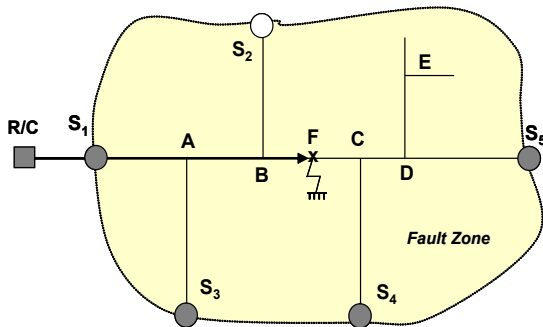
유비쿼터스 기반의 배전계통하에서 IED기반의 고장거리 추정 기법은 IED간1:1 통신을 기반으로 정확한 고장구간 판단에서 시작하여, 고장경로를 판단하게 된다.

#### 3.1 고장구간 판단

먼저, 순간고장 및 영구고장이 발생하는 경우, 고장전류를 경험하는 각 IED는 부하지역 IED들과 통신을 통해 전압, 전류 정보를 얻어서 RULE 1]을 기반으로 고장구간을 판단한다.

RULE 1] IED는 고장전류를 경험하고 부하 측 IED들 중 하나 이상의 요소가 무 전압을 경험하는 경우 자기 부하지역을 고장 ZONE으로 판단한다.

그림 3은 F지점에서 1선 지락고장이 발생한 경우를 보인다. 이때, 전원 측 S<sub>1</sub>은 고장전류를 경험하나 S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>는 정상 부하전압과 정상 부하전류를 보인다. 반면에 F점에서 1선이 지락상태이기 때문에 S<sub>4</sub>와 S<sub>5</sub>는 사고를 경험하는 상이 무 전압을 보인다. 즉 고장 ZONE의 전원 측 IED S<sub>1</sub>은 고장전류를 경험하고 그의 부하 측 요소들 {S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>}중 두 요소 S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>가 무 전압을 경험한다. 따라서 이 규칙을 이용하여 고장전류를 경험한 IED가 부하 측 IED들과 통신을 통해 자기 부하 ZONE의 고장여부를 확인할 수 있다.



〈그림 3〉 고장 ZONE 예

#### 3.2 고장경로 판단

고장 ZONE이 확인된 후 고장경로가 확인되어야 한다. 각 IED는 부하 ZONE의 개폐기 정보 세트를 주 선로를 기반으로 전원 측에서 부하 측으로 정렬하여 보관한다. 그림 3의 경우에서 S<sub>1</sub>의 IED는 부하 ZONE의 개폐기 집합을 {S<sub>3</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>}으로 저장한다. 이때 고장위치는 개폐기 S<sub>1</sub>과 {S<sub>3</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>}에 의해서 구성되는 경로들의 조합 {S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>}, {S<sub>1</sub>, S<sub>3</sub>}, {S<sub>1</sub>, S<sub>4</sub>}, {S<sub>1</sub>, S<sub>5</sub>}, {S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>}..., 중 하나일 수 있다. 이 문제는 1:1 통신에 의해서 부하 지역의 IED들로부터 수집되는 전압 정보를 가지고 RULE 2-4]에 의해 결정될 수 있다.

RULE 2] IED는 전원 측을 기준으로 전압 조건을 만족하는 마지막 개폐기와 무 전압 조건을 만족하는 첫 번째 개폐기에 의한 경로를 고장경로로 결정한다.

RULE 3] IED는 전압 조건을 만족하는 개폐기가 1개 이상인 경우 무전압을 만족하지 않는 마지막 개폐기로부터의 주 선로를 고장경로 시작점으로 결정한다.

RULE 4] IED는 무 전압 조건을 만족하는 개폐기가 2개 이상인 경우 무전압을 만족하는 첫번째 개폐기까지의 주 선로를 고장경로 말단 점으로 결정한다.

RULE 5] IED는 무전압 조건을 만족하는 개폐기의 부하 측에

전압 조건을 만족하는 개폐기가 1개 이상 존재하는 경우 전기적 연결성에 비추어 고장경로를 분기점부터 개폐기까지로 결정한다.

RULE 6] IED는 무 전압 조건을 만족하는 개폐기가 존재하지 않는 경우 고장 상에 연결된 분기선을 고장경로로 결정한다

### 3. 결 론

본 연구에서는 유비쿼터스 기반의 배전계통 하에서 개폐기 IED의 측정 전압, 전류 및 IED간 정보교환을 통해 고장경로를 추정하는 구간 고장경로 추정기법을 제안하였다. 제안되는 방법은 먼저, IED로부터 수집되는 전압, 전류정보로부터 고장구간을 판단한다. 다음, 고장구간 IED들과 정보교환을 통해 전압, 전류 정보를 수집한 후, 고장경로를 판단한다. 그러나 본 연구에서는 고장구간 및 고장경로만을 추정하기 때문에, 제안된 전략의 효율성을 제고하기 위해서는 수집된 부하전류를 기반으로 고장전류를 추정하여 고장경로상의 보다 정확한 고장거리를 계산할 필요가 있다. 따라서 차후, 구간 고장거리 추정에 적합한 고장거리 계산법을 결정, 최적한 구간 고장거리 표정 방법을 확립하고 대표적인 배전계통에 대한 다양한 고장을 EMTP를 기반으로 모의하여 그 유효성을 검증할 필요가 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의해서 한전KDN(주) 주관으로 수행된 전력IT사업의 연구결과임

#### [참 고 문 헌]

- [1]Castro, C. H., Bunch, J. B. and Topka T. M., "GeneralizedAlgorithmsforDistribution Feeder Deployment andSectionalizing,"IEEETrans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99,No.pp. 549-557, March/April 1980.
- [2]Desikachar, K. V. and Singh, L. P., "Digital Travelling-Wave Protection of Transmission Lines", Electric Power Systems Research, Vol. 7, No. 1, pp. 19-28, January 1984.
- [3]Ibe, A. O. and Cory, B. J., "A Travelling Wave-Based Fault Locator for Two- and Three Terminal Networks", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. PWRD-1, No. 2 pp. 283-288, April, 1986.
- [4]Takagi, T. Yamakoshi, Y., Yamaura, M.Kondow, Matsushima R. and Matsushima T., "Development of a New Type Fault Locator Using the One-Terminal Voltage and Current Data", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 8, pp. 2892-2898, August 1982.
- [5]Eriksson, L.Rockefeller M.M. and Rockefeller G.D., "An Accurate Fault Locator With Compensation For Apparent Reactance In The Fault Resistance Resulting From Remote-End Infeed", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 2, pp. 424-436, August 1985.
- [6]Srinivasan, K. andSt.-Jacques, A." A New Fault Location Algorithm for Radial Transmission Lines With Loads", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 3, pp. 1676-1682, July 1989.
- [7]Jarventausta, P.Verho, P.Partanen, J."Using Fuzzy Sets to Model the Uncertainty in the Fault Location Process of Distribution Networks", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 9,No. 2, pp. 954-960, Apr. 1994.
- [8]Girgis, A.A.,Fallon, C.M.and Lubkeman, D.L."Fault Location Technique for Rural Distribution Feeders", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 29, No. 6, pp. 1170-1175, November 1993.
- [9] Das, R., Sachdev, M.S. and Sidhu, T.S, "A Fault Locator for Radial Subtransmission and Distribution lines", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 1, pp. 443448, 2000.