

송전선로의 고장점 표정 알고리즘

박철원                      김삼룡 신명철                      남시복                      이복구  
 원주대학 전기과    성균관대학교 정보통신공학부    용인송담대학 전기과    명지전문대학 전기과

An Algorithm of Fault Location Technique for Long Transmission Line

C.W. Park            S.R. Kim    M.C. Shin    S.B. Nam            B.K. Lee  
 W.J. National College    S.K.K. Univ.    S.D. College    M.J. College

**Abstract** - In this paper, the improved fault locating method using distributed parameter which calculating the reduced voltage and current according to the ground capacitance in long transmission line was proposed. For the purpose of the fault locating algorithm non-influenced source impedance, the loop method was used in the system modeling analysis. To enhance the fault locating, zero sequence of the fault current which is variable according to ground capacitance was not used but positive and negative sequence. System model was simulated using EMTP software. To verify the accuracy of proposed method, in different cases 64 sampled data per cycle was used and 160km and 300km long transmission line has fault resistance 0Ω and 100Ω respectively was compared.

성을 가지지 못하는 이유에서 고장 전류의 영상분은 사용하지 않았다. 더욱이 가공 접지선의 영향에 따라 영상 임피던스는 선로를 따라 일정하지 않기 때문에 고장단 선로를 따라 전압강하가 발생하는 곳에서는 영상임피던스를 고려하지 않는 알고리즘이 훨씬 이상적이다.

본 논문에서는 기존의 고장점 표정의 정확성을 보다 개선시키기 위하여, 집중정수 회로를 통해 구해진 고장점 추정 값을 분포정수의 입력 값으로 활용함으로써, 집중정수에서 미비하게 계산된 대지 충전전류의 영향을 최대한 고려한 표정 알고리즘을 제안하였다. 또한 고장점의 전압 강하를 표현하기 위해서 각각의 고장형태에 해당하는 경계조건들을 이용하여 대칭 계수(weighting coefficients)를 구하여 사용하였다. 보다 신속하고 정확한 추정을 위하여, 계전신호를 설계한 LPF로 통과시켜 주파수의 왜곡을 없애고, 직류옴셋 제거필터를 통하여 리액턴스 성분으로 인해 발생하는 직류 옴셋 성분을 제거하여 이득을 보정한 후, DFT필터를 이용하여 기본파를 추출하는 전처리 과정을 수행하였다. 이후, 분포정수 회로 해석을 통하여 송전선로의 대지 충전전류 보상을 이용한 개선된 고장점 표정 알고리즘을 도출하였다. 제안된 기법의 우수성을 입증하기 위해 사용되는 사례연구용 데이터들은 EMTP에 의하여 양전원 병행2회선 전력계통을 모의하였고 고장 발생과 고장 발생 지점, 그리고 고장저항을 변화해가면서 수집하여 실험하였다.

1. 서 론

송전 선로에서 고장이 발생했을 때 고장 발생 지점뿐만 아니라 인접구간으로 고장 효과가 파급되어 매우 위험하고 전력계통에 악영향을 준다. 고장점 표정장치(fault locator : 이하 고장점 표정기)는 송전선에 고장이 발생했을 때 고장 지점과 고장의 형태를 계속하여 고장 직후의 조사와 보수를 수월하게 해주는 역할을 함으로써 시스템을 신속하게 회복시켜준다[1,5].

과거 약 20여년 동안 마이크로 컴퓨터의 발달과 함께 고장점 표정의 정확성을 향상시키기 위한 다양한 알고리즘들이 연구·발표되었다. 고장점 표정시 송전선로 양단의 데이터를 이용하여 계속하면 정확성을 더욱 높일 수 있으나, 경제적인 측면을 고려하여 일반적으로 편단의 전압과 전류 데이터를 이용한 기법들이 사용되고 있다. 그런데 편단의 데이터만을 활용하면, 1차 보호 영역의 끝 부분에서 발생하는 등의 특정한 고장에 대해서 치명적인 오차를 일으킬 수가 있다. 그 중에서 큰 오차를 발생시키는 원인 중에서 한 요인이 바로 고장저항이었다. 예전에는 고장저항을 포함한 채 대칭성분의 비만을 이용하여 거리를 계산하는 기법이 사용되었으나[1,2], 최근에는 고장저항의 유부 대소에 영향을 거의 받지 않는 알고리즘이 개발되어 고장저항으로 인해 발생하는 오차의 최소화를 추구하였다[3~5]. 그러나 이 중 전류 분배 계수를 이용한 알고리즘은 자기단의 정보를 이용하여 상대단의 정상분 전류와 건전회선의 영상분 전류를 추정하는 알고리즘으로 높은 정확성을 나타내지만 양단의 전원임피던스를 입력 값으로 활용해야하기 때문에 여전히 오차가 발생하였다. Liao, Sheng, Zhang 등은 고장점 표정의 개선을 위해서 건전상의 모든 전류 조사하여 활용하는 새로운 접근법을 제안하였다[8~10]. 이들은 고장 전류의 영상분이 대지의 저항 성분에 따라 달라지기 때문이고 대지의 저항 성분은 난선에 따라 영향을 많이 받아 선로

2. 분포정수를 이용한 고장점 표정알고리즘

2.1 전처리

고장점 표정에 앞서 사고 발생 직후의 전압과 전류의 왜형이 심하기 때문에 빠르고 정확한 계산을 위해서는 전처리 과정이 필수적이다. 송전 선로에서 고장이 발생하면 커패시턴스 성분에 의해 고조파가 발생하게 되고, 선로의 리액턴스 성분에 의해 지수함수적으로 감소하는 직류성분 등의 과도 현상에 의하여 심하게 왜곡된다. 따라서, 전압과 전류를 이용하는 고장점 표정기법 사용할 경우, 정확한 결과를 얻기 위해서는 이들 고조파와 직류 성분을 제거해 주어야만 한다.

2.2 분포정수를 이용한 고장점 표정

종래의 고장점 표정 알고리즘에서는 대지 충전 전류에 의한 영향을 고려하지 않고 선로의 임피던스만을 이용하여 계산하였다. 그러나 장거리 송전선의 경우 대지 충전 전류는 고장점을 추정하는데 오차를 불러일으킬 수 있기 때문에 본 논문에서는 분포정수회로 해석을 통하여 송전선로의 대지 충전전류를 고려해 줌으로써 고장점 표정시의 오차를 감소시켰다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 분포정수를 이용한 고장점 표정의 블록도이다.

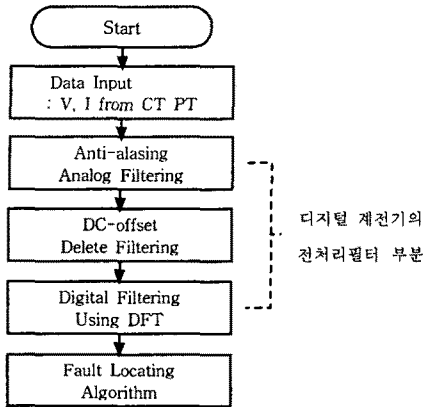


그림 1. 전처리 과정을 포함한 고장 표정의 흐름도

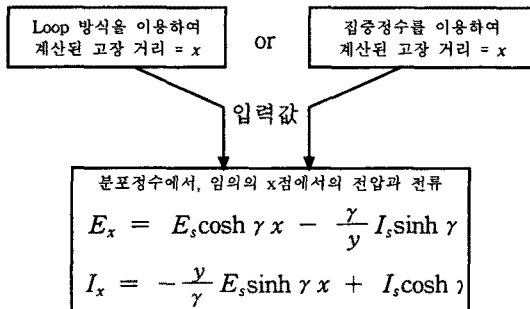


그림 2. 분포정수를 이용한 고장점 표정의 블록도

장거리 송전선에서 분포 정수를 이용할 경우 송전선 임의의 위치에 흐르는 전압과 전류를 계산할 수 있다. 그러나 정확한 고장 발생 위치를 알지 못하기 때문에 임의의 거리를 적용시킨다는 것은 무의미하다. 그러므로 집중 정수를 사용하여 대략적인 거리를 추정 한 후 분포 정수회로에 적용시킴으로써 보다 정확한 고장점 추정이 가능해 진다.

### 3. 사례연구

#### 3.1 모델전력계통

제안된 기법의 성능을 평가하기 위한 사례연구를 위하여 그림 3과 같은 양전원 병행2회선 계통을 EMTP로 모의 하였다. 160[km], 360[km]의 공장을 갖는 3상 154[kV] 송전선로를 모델로 하였고, 전원 데이터와 선로정수도 사용하였다[11]. 샘플링 주파수는 3840[Hz]로써 주기당 64 샘플링을 하였다.

#### 3.2 시뮬레이션

실제로 송전선에서 고장이 발생했을 경우 고장선로의 전압과 전류 값과 함께 건전상의 전압 전류 값도 크기가 변한다. 이러한 전처리 과정을 거친 다음, 고장 발생 거리와 고장저항의 크기를 변화시켜 가면서 제안된 기법의 표정 성능을 실험하였다. 그림 4는 여러 가지 고장저항을 가변하면서 전원에서부터 20km 지점에서 지락고장을 발생한 경우, 제안된 기법의 고장점 표정결과이다.

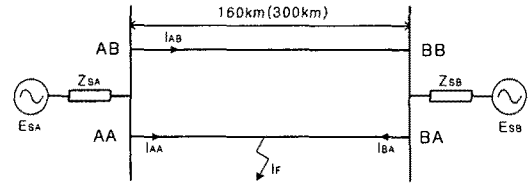


그림 3. 병행 2회선로 모의 계통도

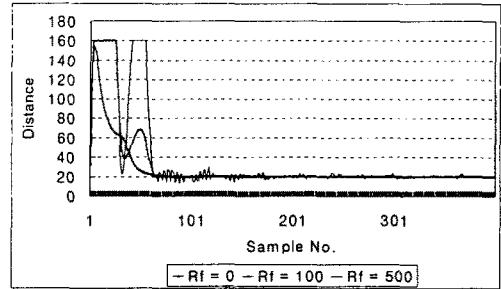


그림 4. 20km 지점 지락고장시 고장저항별 고장점 표정

그림 5는 여러 가지 고장저항을 가변하면서 전원에서부터 80km 지점에서 지락고장을 발생한 경우, 제안된 기법의 고장점 표정결과이다.

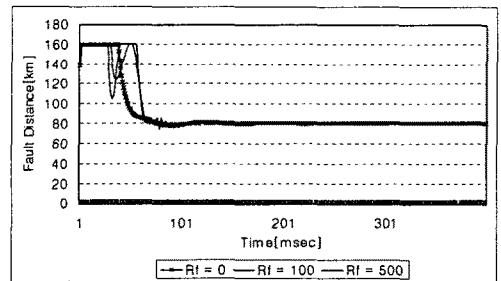


그림 5. 80km 지점 지락고장시 고장저항별 고장점 표정

#### 3.3 결과 및 고찰

이상과 같이 장거리 송전선로에서 집중 정수를 이용한 고장점 표정의 결과를 다음의 표에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 160km 송전선로 일 경우 0.5% 내외의 오차와, 300km 송전선로일 경우 1% 내외의 오차를 가진 값들로 수렴하였다. 그러나, 300km 송전선로에서 원거리에서 고장일 경우 약간의 차이를 나타내고 있을 뿐, 집중정수 회로를 이용하여 충전전류를 고려한 결과가 고려하기 전과 거의 변함이 없이 나타나고 있어 고장점 표정의 개선이 거의 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다.

그러나, 분포 정수를 활용하여 고장 발생 지점에 흐르는 실제에 가까운 전류를 고장점 표정에 사용하는 것은 그만큼 고장점 표정의 결과에 정확성을 높여 주기 때문에 본 논문에서는 Loop 방법이나 집중 정수를 이용하여 추정 한 고장발생 거리를 분포정수에서의 x값으로 활용 하였다.

임의의 거리 x에 흐르는 전류와 전압을 계산하는 데

있어서 고장 발생 후 안정적인 수렴 값(고장발생 2.5주기 후)에 수렴한 거리를  $x$ 에 대입함으로써 분포 정수에서 고려된 대지 정전 용량에 의한 충전전류를 충분히 고려하여 다시 계산할 수 있다. 이 결과들은 표 1과 표 2에 나타내었다. 다음에 loop 방식과 집중정수를 통해 계산된 결과의 일부를 표에 나타내었다.

표 1. 160Km 송전선로계통에서의 고장점 표정 결과  
(고장발생 2.5주기 후 계산치,  $R_F = 0$ )

구분	대지 충전전류 보상 후				
	30km	60km	90km	120km	150km
고장발생					
1	30.13303	60.33243	90.34504	120.4639	145.2749
2	30.1534	60.18945	90.37741	120.2746	145.1827
3	30.12464	60.26225	90.24862	120.3902	145.1739
4	30.12996	60.22181	90.35852	120.5333	145.1114
5	30.13928	60.27493	90.32277	120.4455	144.8776
6	30.14007	60.21255	90.25542	120.3337	145.2031
7	30.13185	60.21151	90.2815	120.526	145.3021
8	30.13045	60.28687	90.28045	120.5633	145.0711
9	30.14433	60.26892	90.32162	120.37	145.334
10	30.15505	60.34841	90.31593	120.357	145.1389
평균	30.13	60.26	90.31	120.42	145.16
오차(%)	0.4667	0.4333	0.3444	0.3583	-3.22

표 2. 160Km 송전선로계통에서의 고장점 표정 결과  
(고장발생 2.5주기 후 계산치,  $R_F = 100$ )

구분	대지 충전전류 보상 후				
	30km	60km	90km	120km	150km
고장발생					
1	30.20559	60.34268	90.36718	120.0012	146.6941
2	30.22081	60.36401	90.43253	120.0381	147.4514
3	30.21757	60.35921	90.38914	120.17	148.8986
4	30.21148	60.34723	90.36729	119.9694	148.7362
5	30.21169	60.3534	90.37731	119.9717	147.3404
6	30.21843	60.36311	90.39832	120.0389	147.3411
7	30.2182	60.36753	90.40547	120.0929	148.2154
8	30.2162	60.3568	90.38785	120.0356	148.255
9	30.21534	60.36086	90.3837	120.0021	147.9081
10	30.21599	60.36395	90.39168	120.032	147.9121
평균	30.21	60.35	90.39	120.03	147.87
오차(%)	0.733	0.6	0.4333	0.0333	-1.413

#### 4. 결 론

본 논문에서는 장거리 송전선로계통의 분포정수회로 해석에 의한, 대지 정전 용량을 고려하여 보다 정확한 고장점 표정 알고리즘을 제시하였다. 제안된 기법의 우수성을 입증하기 위하여 EMTP를 이용하여 양전원 병행 2회선 모델 계통을 구성하였고, 고장 발생각과 고장 거리 그리고 고장점 저항을 가변시켜 수집한 여러 가지 데이터를 활용하였다. 제시된 송전선로 고장점 표정 기법의 결론을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 제안된 기법은 자기단의 전원 임피던스만을 활용하고, 자기단에서 측정하기 까다로운 원단의 전원 임피던스를 활용하지 않기 때문에 전원 임피던스의 변동에 무관하게 고장점을 추정할 수 있다.

둘째, 제안된 기법은 고장점의 저항에 따른 고장점 표

정의 오차 요인을 고장표정 알고리즘의 유도과정에서 해소하였는데, 시뮬레이션을 통하여 고장점 저항에 무관한 알고리즘임이 입증되었다.

셋째, 지락 고장시 발생하는 고장전류의 영상분은 날씨와 주위 환경에 따라 가변 되는 대지 저항의 영향을 받아 신뢰성을 주지 못함에 따라 이를 제거함으로써 고장 전류의 정상분과 영상분만을 사용하여 신뢰성에 향상 을 가져왔다.

넷째, 장거리 송전선로일 경우, 송전선로의 대지 충전 전류는 정확한 고장점 표정을 하는데 있어서 오차의 요인이 될 수 있었는데, 이를 보상해 줌으로써 보다 정확한 계산이 가능하였다.

다섯째, 대지 정전용량에 의한 충전 전류를 보상하기 위해서 사용되어온 종래의 송전 계통의 집중회로 해석 방법 대신에 분포 회로 해석 방법을 도입함으로써 고장 점 표정시의 정확도가 개선되었다.

#### (참 고 문 헌)

- [1].A. Wiszniewski et al., "Accurate fault impedance locating algorithm", IEEE Proceedings, Vol. 130, Pt. C, No. 6, November 1983.
- [2].이승재, 강상희, 최면승, 안용진, "전류 분배 계수를 사용하는 병행 2회선 송전선로 고장점 표정 알고리즘", 대한전기학회 논문지, 대한전기학회, Vol. No. , 146 152, 2001.
- [3].Eriksson L, Saha 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, 1985.
- [4].Sheng L B, Elangovan S, "A fault location method for parallel transmission lines", Electrical Power and Energy Systems, No. 21, pp. 253 259, 1999.
- [5].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 Transformation Method", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS 100, No. 3, March 1981.
- [6].Lief Eriksson, Murari Mohan Saha, G.D. Rockefeller, "An Accurate Fault Locator With Compensation For Apparent Reactance In The Fault Resistance Resulting From Remote End Infeed", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 2, February 1985.
- [7].Joe Air Jiang, Ying-Hong Liu, Chih-Wen Liu, Jun Zhe Yang, Tong Ming Too, "An Adaptive Fault Locator System For Transmission Lines", Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE, Volume: 2, Page(s): 930-936, 1999.
- [8].Gale PF, Crossley P A, Bingyin X, Yaozhong G, Cory B J, Baker J R G, "Fault Location Based on travelling waves", Proceedings of the Fifth International Conference on Developments in Power System Protection, Conference Publication No. 368, 54-59, 1993.
- [9].Zhang Q, Zhang Y, song W, Yu Y, Wang Z, "Fault location of two-parallel transmission line for non-earth fault using one-terminal data", Paper PE433-PWRD-0-10-1998, IEEE Winter Meeting, New York, 1999.
- [10].M. M. Saha, Kwikstrom, J Izykowski, Erosolowski. "New Accurate Fault location Algorithm For Parallel Lines", Developments in Power System Protection, Conference Publication No.479, IEE 2001.
- [11].신명철, 박철원, 김상표, "송전선로의 고장점 표정기법에 관한 연구", 대한전기학회 2001년도 하계학술대회 논문집, pp.255~257, 2001. 7.