

Wavelet 변환 기반 진행파를 이용한 지중송전선로 고장종류 판별 및 고장점 추정에 관한 연구

박재홍* 이종범
원광대

A Study on the Algorithm for Fault Discrimination and Location in Underground Transmission Lines Using Travelling Wave and Wavelet Transform

Jae-Hong Park* Jong-Beom Lee
Wonkwang University

Abstract - Recently, electrical demands increase rapidly in metropolitan areas according to the extension of urban areas. Therefore underground transmission lines are getting expanded. This paper presents the rapid and accurate algorithm for fault discrimination and fault location in underground transmission lines. This paper uses fuzzy logic method using voltage and zero sequence for fault discrimination. And this paper uses travelling wave and wavelet transform for fault location. To prove the performance of the algorithm, it test algorithm with signal obtained from ATPDraw simulation.

이 또한 일정한 크기 윈도우를 사용함으로써 시간에 따라 변화하는 과도신호분석에 적합하지 않다.

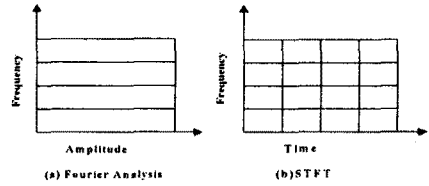


그림 1. 푸리에 변환과 STFT의 신호분석

1. 서 론

최근 산업경제 및 국민생활의 급격한 성장으로 전력수요가 급격한 증가와 인구밀도가 높은 대도시화로 인해 가공송전선로의 한계성이 드러나 지중송전선로가 증가하고 있는 추세이다. 그러나 지중송전선로의 경우 가공송전선로와 달리 고장 종류 판별 및 고장점 추정이 어려워 신속한 대처가 이루어지지 못하는 실정이다[1-3].

따라서 본 논문에서는 지중송전선로에서의 고장 검출과 고장 종류 판별을 위한 방법으로 신지능형 기법인 퍼지 시스템을 디지털 거리 계전 알고리즘에 적용하였고 wavelet 변환 기법을 이용하여 고장점 추정을 하였다. 고장 유무 판별 및 고장 종류 판별 방법으로 사고별 모의로부터 얻어진 전압과 영상전류 데이터를 목적값으로 하는 퍼지 시스템을 이용하여 알고리즘을 구성하였고, 고장점 추정 방법은 과도 신호를 시간에 따른 크기 성분으로 변환하고 DFT변환이 갖는 시간 영역의 정보 손실을 개선한 wavelet 변환과 진행파 이론을 이용하여 알고리즘을 구성하였다. 고장종류판별 알고리즘은 EMTP/ATPDraw를 이용한 154 kV 지중송전선로를 모델링하여 거리별 1선지락, 2선지락, 3선지락을 모의 하였다. 또한 고장점 추정 알고리즘은 고장종류 판별 알고리즘과 마찬가지로 154kV 지중송전선로로 모델링하였고 샘플링 주파수는 1 MHz로 하였다. 사고 모의는 거리별 1선지락만을 적용하여 알고리즘을 모의하였다.

한편 그림 2와 같은 웨이블릿 변환은 웨이블릿 함수를 시간에 따른 크기 변형(Scaling)과 이동(Translation)을 통하여 분석영역이 가변되는 윈도우를 사용함으로써 푸리에 변환과 STFT의 단점을 극복하였다. 이와 같은 웨이블릿 변환은 비정적인 전력계통의 과도특성을 분석하는데 적절하며, 현재 선로 및 기기의 보호계전분야에서 응용되고 있다.

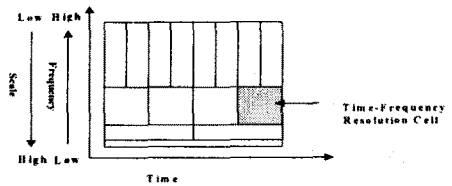


그림 2. 웨이블릿 변환의 시간-스케일의 관계

3. 퍼지추론

퍼지이론의 적용은 전문가의 지식과 기존의 수학적 계산에 의한 방법을 결합할 수 있다. 또한 기존의 정의들을 퍼지 집합들로 정의를 확장하여 인간이 보는 관점에서의 의사결정을 할 수 있으며 기존 시스템에 비하여 쉽고 정확하게 결론에 도달할 수 있다[4]. 퍼지기법을 고장종류 판별에 적용하는 방법으로는 각 전압, 고장후 영상전류 절대치의 평균값을 퍼지 집합으로 하여 고장종류를 판별하는 것이다.

2. 웨이블릿 변환

2.1 웨이블릿 변환 이론

그림 1(a)의 푸리에 분석은 신호를 다양한 주파수의 정현파로 분해하여 시간영역의 관점에서 주파수 영역으로 변환시키는 방법이다. 하지만 주파수 영역으로 변환 할 때 시간영역에 대한 정보가 손실된다는 단점을 가지고 있다. 그림 1(b)의 STFT(Short-Time Fourier Transform)방법은 신호가 발생되는 주파수 뿐만 아니라 시간에 대한 정보를 제공한다. 하지만

$$\text{Rule If } x_1 \text{ is } A_{11}, \dots, \text{ and } x_k \text{ is } A_{1k},$$

$$\text{Then } y_i = f_i(x_1, \dots, x_k) \quad (1)$$

[단계 1] 규칙 I의 전부분 적합도 계산

$$w_i = \mu_{A_{11}}(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_{A_{1k}} \quad (2)$$

[단계 2] 각 규칙의 추론 결과

$$y_i = w_i \times f_i(x_1, \dots, x_k) \quad (3)$$

[단계 3] 최종 추론결과(비퍼지화)

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i f_i(x_1, \dots, x_k)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (4)$$

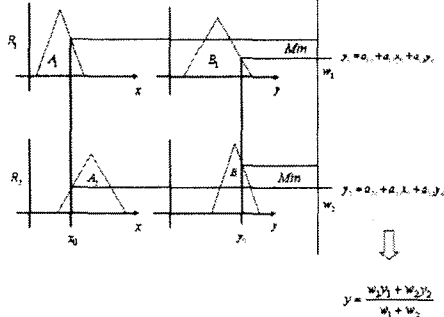


그림 3. 2 입력, 2 규칙 선형추론법

4. 모델계통 및 과도신호 검출

4.1 모델계통

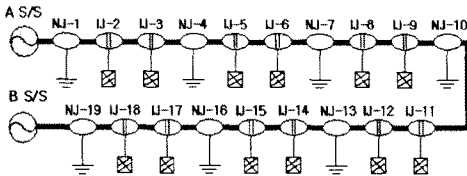


그림 4. 지중송전계통 모델

본 논문에서 검토한 지중송전계통은 154kV, XLPE 1200mm² 케이블이 전력구 방식으로 포설된 방식이며, 총 선로 길이는 7km이다. 고장 종류 판별에서의 고장 위상은 0°, 90°를 각각 적용하였고 1km, 2km, 3km 지점에서 1선지락, 2선지락, 3선지락 사고를 모의하였다. 고장점 추정에서는 고장 위상 0°, 45°, 90°를 각각 적용하였고, 1km, 2km, 3km, 4km, 5km 지점에서 1선지락을 모의하였다. 샘플링 주파수는 1MHz로 하였고, 진행 파 속도는 1.67486×10⁵ km/ms 이다.

4.2 과도신호 검출

그림 5와 그림 6은 고장종류 판별을 위한 퍼지추론의 목적값으로 취할 영상 전류와 전압 파형을 정상 상태와 1선지락, 2선지락, 3선지락이 발생하였을 경우를 각각 나타낸 것이다.

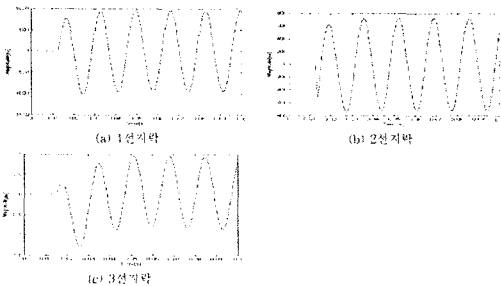


그림 5. 각 사고별 영상전류 파형

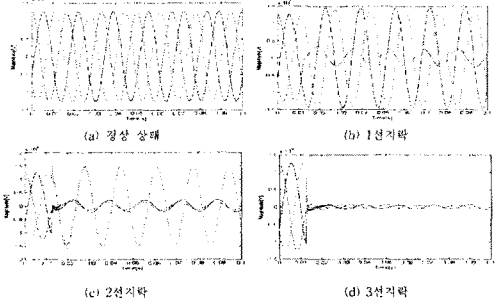


그림 6. 각 사고별 영상전류 파형

고장종류 판별용 퍼지 추론의 목적값은 고장전후 전압값과 고장후 영상전류 한주기 절대치의 평균값으로 하였다. 표 1은 각 사고별 고장후 영상전류 한주기 절대치의 평균값을 나타낸 것이다.

표 1. 고장후 영상전류 한주기 절대치의 평균값

	0°	90°
1선지락	508.3421	493.7952
2선지락	387.8172	373.8400
3선지락	0.0018	0.0017

5. 고장종류 판별 모의 결과

그림 7은 퍼지추론을 이용한 1km, 0° 고장종류 판별 출력값을 나타낸 것이다.

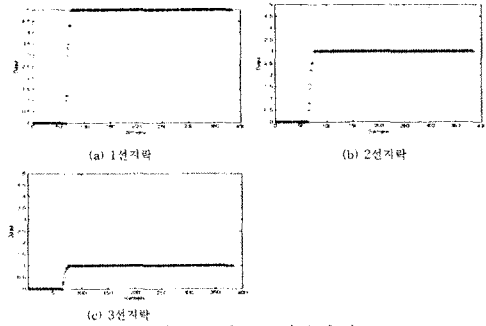


그림 7. 고장종류 판별 출력

표 2는 1km, 2km, 3km 지점에서의 0°, 90° 고장에 대한 고장종류 판별 시간을 나타낸 것이다.

표 2. 고장 종류 판별 시간

고장거리	위상각	1선지락		2선지락		3선지락	
		sample	시간[s]	sample	시간[s]	sample	시간[s]
1km	0°	10	0.0026	12.5	0.00325	7	0.00182
	90°	9	0.00234	12	0.00312	6	0.00156
2km	0°	12	0.00312	15	0.0039	10	0.0026
	90°	11	0.00286	14	0.00364	8	0.00208
3km	0°	15	0.0039	18	0.00468	11	0.00286
	90°	13	0.00338	15	0.0039	10	0.0026

6. 고장점 추정

6.1 웨이브렛 변환

본 논문에서는 고장점 추정을 위해 전류신호를 이용하여 wavelet 변환을 하였다. 웨이브렛 변환을 위한 마더 웨이브렛은 많은 논문에서 가장 우수한 것으로 증명된 db4를 사용하였다. 그림 8은 1km, 90° 1선지락의 전류신호를 웨이브렛 변환한

한 detail 성분을 나타낸 것이다.

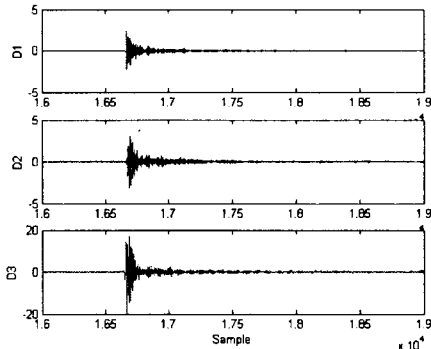


그림 8. 웨이브렛 변환 detail 성분

6.2 고장점 추정

진행파를 이용하는 고장점 추정 방법으로는 편단 방법과 양단 방법으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 양단에서 신호를 측정하는 양단 방법을 이용하였다. 양단 방법은 1선지락 발생시 발생하는 진행파가 양단 모선에 도착시간을 측정하여 이용하는 방법으로 진행파를 이용한 고장점 추정 방법으로 많이 이용되고 있다. 그림 9는 2km, 90° 1선지락 발생시 A 모선과 B 모선에서 측정된 전류신호를 웨이브렛 변환한 detail 성분을 비교한 것이고, 그림 10은 양단 모선에 진행파 도착시간 측정을 위하여 D1를 확대한 것이다.

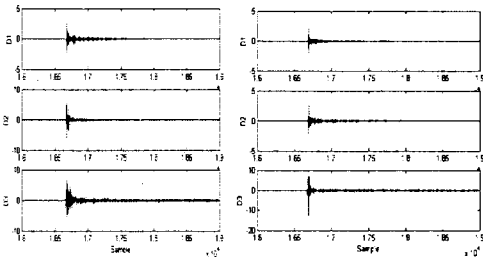


그림 9. 양단 모선에서 측정된 detail 성분 비교

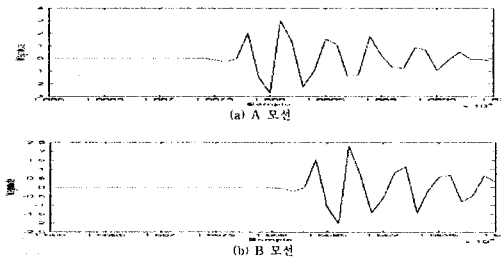


그림 10. D3 성분 확대

고장점 추정식은 가동송전선로와 같은 식을 이용하였다.

$$D_A = \frac{l + |(T1A - T1B)| * v}{2} \quad (5)$$

$$D_B = \frac{l - |(T1A - T1B)| * v}{2}$$

7. 고장점 추정 모의 결과

고장점 추정 모의는 고장거리 1km, 2km, 3km, 4km, 5km 지점에서 1선지락을 발생시켰고, 고장 위상각은 0°, 45°, 90°를 적용하였다. 표 3은 각 고장거리별, 고장 위상각별 모의 결과를

나타낸 것이다.

표 3. 고장점 추정 모의 결과

고장거리	위상각	(T1A-T1B)	추정거리(km)
1km	0°	0.000029	1.071
	45°	0.00003	0.987
	90°	0.000029	1.071
2km	0°	0.00002	1.825
	45°	0.000019	1.908
	90°	0.000017	2.076
3km	0°	0.000008	2.830
	45°	0.000008	2.830
	90°	0.000005	3.081
4km	0°	0.000005	3.918
	45°	0.000007	4.086
	90°	0.000008	4.17
5km	0°	0.000014	4.672
	45°	0.000014	4.672
	90°	0.00002	5.175

8. 결 론

전력 계통에서 지중송전선로 보호는 안정된 전력 공급을 위해서 매우 중요하다. 지중송전선로 사고 시 그 파급 효과가 광범위하게 늘어나는 것을 방지하기 위해서 신속한 고장종류 판별 및 고장점 추정을 하여 대처하여야 한다.

본 논문에서 고장종류 판별을 위해서 전압과 영상전류를 이용한 퍼지추론방법을 사용하였고, 고장점 추정을 위하여 웨이브렛 변환과 진행파 이론을 사용하였다. 모델링은 154kV XLPE 1200mm² 케이블을 전력구식으로 모의 하였다. 각 알고리즘의 사고 모의는 고장종류 판별의 경우 1선지락, 2선지락, 3선지락을 1km, 2km, 3km 지점에서 고장위상각 0°, 90°를 적용하였고, 고장점 추정은 1선지락을 1km, 2km, 3km, 4km, 5km 지점에서 고장위상각 0°, 45°, 90°를 적용하였다. 알고리즘 모의 결과 고장종류 판별은 고장후 반주기 이내에 정확히 고장 종류를 판별하였고 고장점 추정 또한 비교적 정확한 값을 얻을 수 있었다.

본 연구는 산업자원의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2003 B-274) 주관으로 수행된 과제임

[참 고 문 헌]

- [1] 이준성의 2명, "154kV 지중송전케이블에서 wavclet을 이용한 Fault Location에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp437-439, 2000
- [2] 정제균의 2명, "혼합송전계통에서 웨이브렛 변환을 이용한 고장점 탐색 알고리즘에 관한 연구", 전기학회논문지, pp247-254, 2002
- [3] "지능형 보호계전기 연구개발(I)", 한국전력공사 전력연구원 최종보고서, 1998
- [4] 오성권, "C 프로그래밍에 의한 퍼지모델 및 제어시스템", 내하출판사, 2002
- [5] 이현엽의 1명, " MATLAB을 이용한 퍼지-뉴로", 아진, 1999
- [6] 오성권, "프로그래밍에 의한 컴퓨터 지능", 내하출판사, 2002
- [7] 최병선, "Wavelet해석", 세경출판사, 2001