

High Impedance Fault Detection using Wavelet Transform

金 賢* · 金 喆 煥**
(Hyun Kim · Chul-Hwan Kim)

Abstract - High impedance fault(HIF) is defined as fault the general overcurrent relay can not detect or interrupt. Especially when HIF occur in residential areas, energized high voltage conductor results in fire hazard, equipment damage or personal threat. This paper proposes the model of the high impedance fault in transmission line using the ZnO arrester and resistance to be implemented within EMTP. The performance of the proposed model is tested on a typical 154[kV] korean transmission line system under various fault conditions. Wavelet transform is efficient and useful for the detection of high impedance fault in power system, because it uses variable windows according to frequency. In this paper, HIF detection method using wavelet transform can distinguish HIF from similar fault like arcfurance load, capacitor bank switching and line switching.

Key Words : High impedance fault detection, Wavelet transform, EMTP, Arc model

1. 서 론

최근 국내에서는 송전선로 근처에서 공사용 크레인이나 수목 및 산불 등의 접촉과 근접으로 인한 고저항 미소 전류의 지락고장이 발생하였다. 이들 고장은 전력계통 전체에 직접적인 위협을 제기하지는 않지만 주로 도의적 관점, 사람에 대한 안전성을 증가시키기 위해서 도래되었다. 아직까지는 고저항 지락고장시 발생하는 아크현상을 실제통에서 모의하는데 여러 가지 어려운 점이 있고 전력계통 모의 프로그램인 EMTP에도 이와 연관된 정확한 모델이 없는 상태이다. 그러므로, 실제통에서 발생된 고저항 지락고장과 근사한 아크 모델을 개발하고, EMTP내에서 모의 가능하도록 하는 것은 고저항 지락고장의 알고리즘 개발을 위해 절실히 필요하다. 웨이브렛 변환(Wavelet Transform)은 전력계통의 고장과 스위칭에 연관된 과도현상을 분석하기 위한 방법으로 가변적인 분해능을 사용함으로써 아크를 동반하는 고저항 지락고장시 발생하는 과도 아크현상을 정확하게 검출할 수 있다. 고저항 지락고장과 유사한 특징을 가지는 커패시터 뱅크 스위칭, 라인 스위칭 및 아크로 부하 등의 비고장 현상들도 모델링하여 고저항 지락고장과 비교하였다. 비교 분석한 결과를 토대로 각 특징들을 이용하여 비고장 현상들과 고저항 지락고장을 구별할 수 있도록 알고리즘을 구현하였다. 또한, 실제통 모의

데이터를 이용하여 제안된 방법을 비교 검증한 결과를 제시하였다.

2. 고저항 지락고장

고저항 지락고장은 아크를 동반하는 특징을 가지고 있다. 아크 현상은 에너지 전위가 매우 높은 도체와 그렇지 않은 다른 물체가 불완전한 접촉 상태에서 서로 접근하였을 때 발생하는 현상이다.

그림 1과 그림 2는 아크가 발생할 때의 전압과 전류의 파형 및 전압-전류 특성을 나타낸다. 고저항 지락고장시 발생하는 아크는 주로 저항성 회로에서 발생되며 아크 길이가 짧고 전류의 크기가 작은 특성이 있고 무작위적인 아크 성질 때문에 오랜 시간동안 지속될 수 있다. 이러한 아크의 비선형적인 특성은 고저항 지락고장을 검출하기 위한 중요한 특징이다.

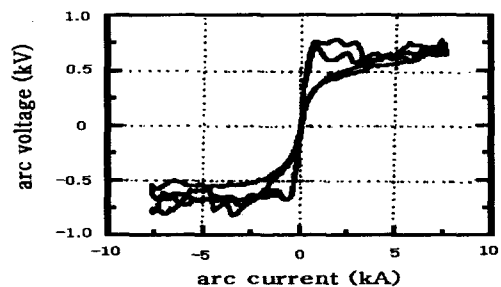


그림 1 실아크의 전압-전류 특성
Fig. 1 Voltage-current characteristic

* 準 會 員 : 成均館大 大學院 電氣電子 및 컴퓨터工學部
碩士課程

** 正 會 員 : 成均館大 電氣電子 및 컴퓨터工學部 教授 · 工博
接受日字 : 1999年 4月 27日
最終完了 : 1999年 10月 27日

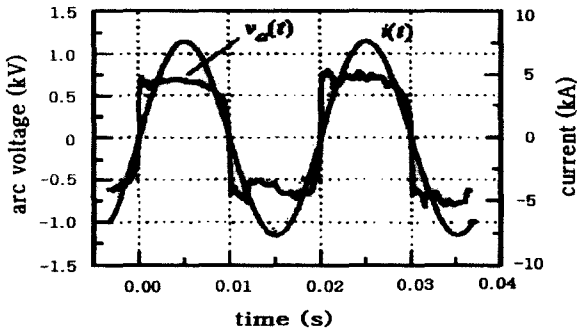


그림 2 실아크의 전압-전류 파형
Fig. 2 Voltage-current waveform

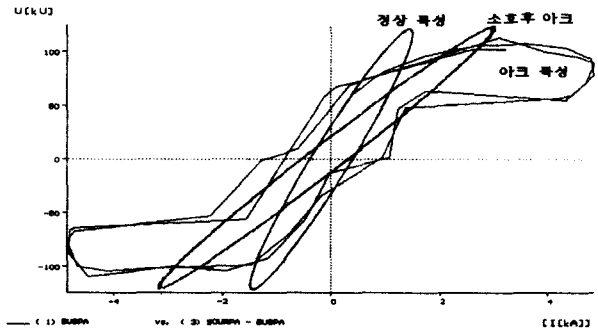


그림 4 개선된 전압-전류 특성
Fig. 4 Improved V-I characteristic

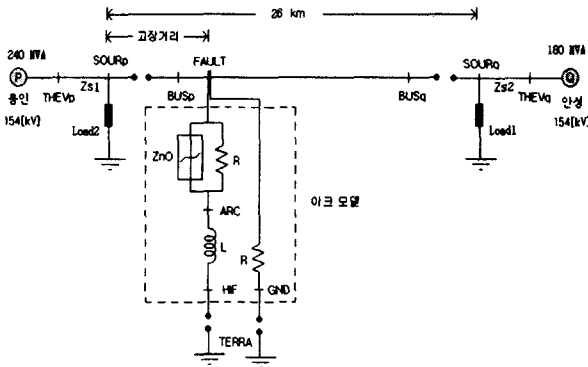


그림 3 실제계에 개선된 아크 모델을 추가한 계통도
Fig. 3 Improved power system model

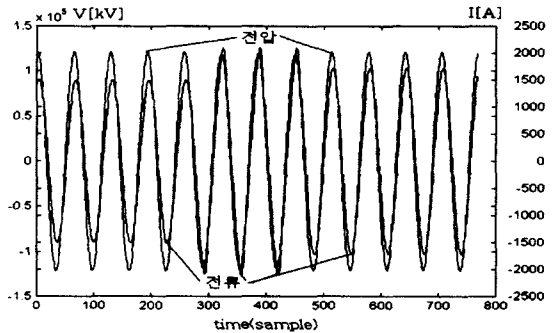


그림 5 개선된 전압-전류 파형
Fig. 5 Improved V-I waveform

고저항 지락고장을 모델링하기 위해서는 고장이 발생할 때 항상 수반되는 아크 특성을 모의해야만 한다. 본 논문에서는 EMTP내에서 구현되는 산화아연(ZnO) 피뢰기 모델을 사용하여 아크 현상을 모델링하였다. 모의된 154[kV] 모델 계통은 그림 3과 같이 선로의 양단에 각각 240[MVA]와 180[MVA]의 두 전원을 포함하는 26[km] 공장의 선로이다. 고장 발생 각을 0도와 90도로 가변시키고 모선으로부터 0.5[km] 지점에서 25.5[km] 지점까지 고장점을 가변시켜 시뮬레이션 하였다. 모의시 샘플링 주파수는 3840[Hz]를 가지며 선로의 용량은 끝단에 집중부하를 달아서 설정하였다. 또한, 초기 고저항 값은 300 Ω이며, 본 연구에서 제시한 검출기법으로 300 Ω까지는 검출이 가능하였다. 또한 그림 3에서 보는바와 같이 고저항 고장의 특성을 보다 개선하기 위해서 R을 병렬로 달아 그 특성을 개선하였다[5].

다음 그림 4와 그림 5는 고장거리 13[km], 고장각 90°에서 고장이 발생한 고저항 지락고장 모델에서 얻어진 결과파형이다.

이들은 점호와 소호후의 아크의 특성을 보여주고 있으며, 좀 더 실제에 가까운 아크의 특성을 나타내고 있다. 본 논문에서는 고저항 지락고장 검출 성능을 비교하기 위하여 1선지락고장과 커패시터 스위칭, 라인 스위칭 및 아크로 부하등의 비교장 현상들을 모델링하였다.

3. 웨이블릿 분석

3.1 기존 신호분석 방법과 비교

신호 분석법에서 가장 널리 알려진 것이 푸리에 분석법이다. 이는 신호를 각각의 주파수 성분으로 분해하지만 그 주파수 성분의 발생시점에 관한 정보는 제공해 주지 않는다. 하지만, 분석되어진 신호가 정적이지 않을 때, 관련된 분석은 시변 스펙트럼 특성을 나타내기 위해서 시간 정보를 요구하게 되므로 푸리에 분석은 아크 현상의 분석에 적절하지 못하다. 이러한 시간 정보 문제의 가장 직접적인 해결책은 신호를 정적(stationary)이라는 가정이 적용될 수 있는 범위 내로 신호를 부분적으로 나누는 것이며, 이러한 분해를 수행하기 위해서 주로 사용되는 방법은 STFT(Short Time Fourier Transform)이다. 이는 시간-지역화(time-local) 윈도우 함수 $g(t-b)$ 를 사용한 것이며, 여기서 중요한 문제는 어떤 선택된 윈도우가 모든 비정적(nonstationary)인 특성을 검출할 수 없을 정도로 넓거나(wide band), 저주파수 정보를 검출할 수 없을 정도로 좁을 수도(narrow band) 있다는 결과를 낳을 수도 있기 때문에 적절한 윈도우의 선택에 많은 어려움과 적응적인 선택이 거의 불가능하다는 특징을 가진다. 이러한 비정적인 신호 분석의 대안으로 제시된 것이 웨이블릿 변환이다. 분해는 마더 웨이블릿이라 불리는 특정 분해 함수 ψ

에 의해서 수행되어진다. 이는 분석되어질 신호의 한 부분을 선택하기 위해서 시간에 따라 이동(shift)하고, 주어진 진동 영역내로 집중시키기 위해서 사용되어진 스케일(scale) 파라미터에 의해서 확장되고 축소되어진다.

결과적으로, 웨이브렛 변환은 신호를 연속적으로 지역화할 수 있고, 확장과 축소의 능력을 가지는 푸리에 변환이라는 점에서 Gabor 변환과 다른 것이다[1-3,7].

3.2 웨이브렛 변환

웨이브렛 변환은 마더 웨이브렛을 scale하고 shift시켜 만들어진 가변 윈도우로 분석을 수행하게 되며 이들 가변 윈도우를 웨이브렛이라 부른다. 마더 웨이브렛 $\Psi_{a,b}(t)$ 은 대부분 짧고 진동적인 함수로서 평균값이 0이고 양쪽 끝에서 급격히 감쇄하는 형태를 갖는다. $\Psi_{a,b}(t)$ 는 다음 식 (3-1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \tag{3-1}$$

여기서, a 는 scale 성분을 나타내고 b 는 shift 성분을 나타낸다.

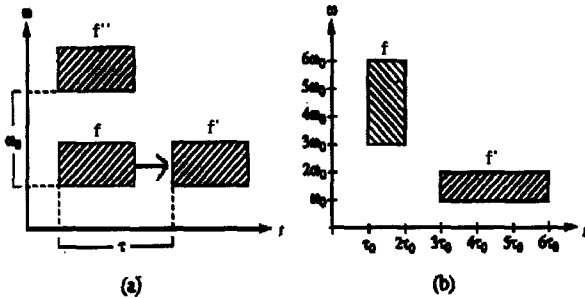


그림 6 (a) 변조 및 shift (b)scale
Fig. 6 (a) modulation and shift (b) scale

그림 6은 웨이브렛의 scale과 shift를 보여준다.

그림 6(a)에서 f 에서 f' 로의 이동은 shift를 의미하며, 이는 시간축을 따라 이동하는 것을 말한다. f 에서 f'' 로의 이동을 변조(modulation)라 하며, 일정한 크기의 타일(tile)을 유지한 상태로 주파수축을 따라서 움직이는 것이다. 그림 6(b)는 scale의 의미를 나타낸 것이다. $f'(t)=f(at)$, $a=1/3$ 인 경우를 나타낸 것인데 f 에서 f' 로의 scale($=1/3$)은 시간축으로 3배가 팽창되고, 주파수축으로는 1/3배로 수축됨을 나타내는 것이다. 따라서, 고주파 분석시 a 는 1보다는 크고 저주파 분석시 1보다 작은 값을 가지게 되는 것이다[1].

여러 단계의 웨이브렛 변환을 수행하게 되면 많은 양의 데이터가 산출되고 분석시간도 길어지므로 문제가 된다. 따라서, 2의 멱승 형태에 기초한 scale과 shift를 선택한다면 분석은 더욱 효율적으로 수행될 것이다. 이러한 분석은 이산 웨이브렛 변환을 통해서 구현된다. 이산 웨이브렛 변환 $D_{a,b}$ 는

다음 식 (3-2)로 나타낼 수 있다.

$$D_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_k S[n] \cdot \Psi\left[\frac{k - na_0^m}{a_0^m}\right] \tag{3-2}$$

여기서, scale을 나타내는 변수는 a_0^m 이고 shift를 나타내는 변수는 na_0^m 이다. $\frac{1}{\sqrt{a_0^m}}$ 은 마더 웨이브렛과 같은 크기의 에너지를 유지시키기 위한 에너지 정규화 성분이다.

웨이브렛의 Approximation(A)은 신호의 저주파 성분을 나타내고 Detail(D)은 고주파 성분을 나타낸다. 따라서, 이산 웨이브렛 수행과정은 고역필터와 저역필터를 사용하는 2가지 필터링의 개념으로 확장될 수 있다.

3.3 마더 웨이브렛의 선정

마더 웨이브렛의 종류에는 Haar, Daubechies, Coiflets, Biorthogonal, Symlets, Morlet, Mexican, Hat, Meyer 웨이브렛 등 여러 종류가 있으며 각 웨이브렛은 길이와 특성에 따라 여러 종류로 분류 될 수 있다. 일반적으로 전력계통 고장 해석에 사용되어지는 마더 웨이브렛은 db4, bior3.1, coif4, sym5 이다. 그러므로, 이들 중 고저항 지락고장 검출에 적합한 마더 웨이브렛 선정이 필요하다. 따라서, 고저항 지락고장 검출에 적합한 마더 웨이브렛을 다음 조건으로 선정하고자 한다[10-13].

- ① 고장 검출이 가능한 d1 계수의 값이 존재 할 것.
- ② 고장상과 정상상의 구분이 가능할 것.
- ③ 원신호의 추출이 가능할 것.

3.3.1 마더 웨이브렛의 고장 검출 능력 비교

다음 그림 7~그림 10은 각각 고장 신호의 각 마더 웨이브렛의 고장 신호 분석 결과이다. 그림 3의 제통을 이용하여 각 거리별로 모의를 하였으며, 이들 값들은 웨이브렛 분석 결과인 d1 계수들의 합의 최대치를 이용한 것으로 사고는 A상 고장 0°, 90° 사고로 구분하여 모의한 결과이다.

그림 7은 db4 마더 웨이브렛을 이용한 각 고장에 대한 d1 계수들의 합의 최대치들을 고장상 및 정상상에 대해서 나타낸 것이며, 그림 8은 sym5 마더 웨이브렛을 이용한 결과이다. 또한 그림 9와 그림 10은 각각 bior3.1 마더 웨이브렛과 coif4 마더 웨이브렛을 이용하여 분석한 결과이다. 이 그림들에서도 알 수 있듯이, 그림 10에서 coif4 마더 웨이브렛을 이용한 계수값들의 분포에서 보면 0도 고장시 고장상의 값들이 정상상의 값 아래에 존재하는 구간이 발생한다. 따라서, coif4 마더 웨이브렛은 고저항 검출시 부적절함을 알 수 있다. 또한 발생하는 계수값이 정상상과의 구분을 명확히 하기 위해선 무엇보다도, 고장상과 정상상과의 계수값 차이가 커야하며 값의 변화가 적을수록 뛰어난 분석 능력을 가지는 것이다. 왜냐하면, 만약 고장상과 정상상의 차가 너무 작으면 외부 잡음에 대해서 강인성이 떨어지게 되어 고장 검출이 곤란하고, 고장상의 변화량이 너무 크면 유사 고장에 대한 판별이 어렵기 때문이다. 따라서, 이러한 값의 변화량을 나타내면 다음 표 1과 같다.

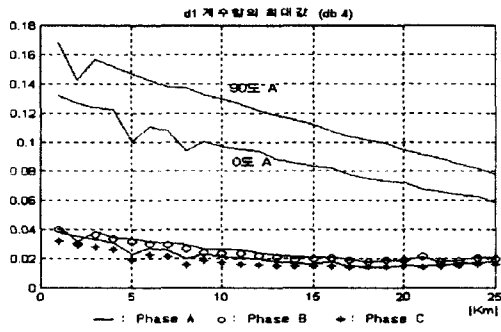


그림 7 db4 웨이브렛의 d1계수 합의 최대치의 변화
Fig. 7 The summation of coefficient at scale1(d1) using db4 mother wavelet

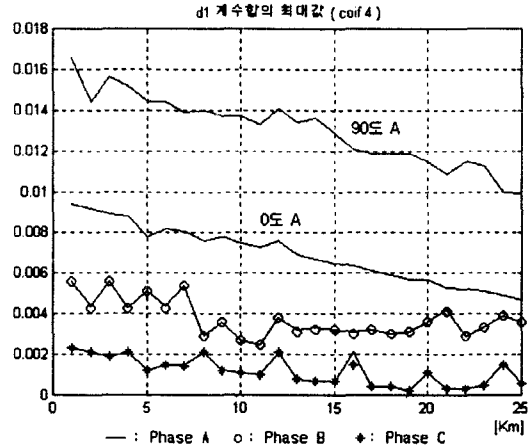


그림 10 coif4 웨이브렛의 d1 계수 합의 최대치의 변화
Fig. 10 The summation of coefficient at scale1(d1) using coif4 mother wavelet

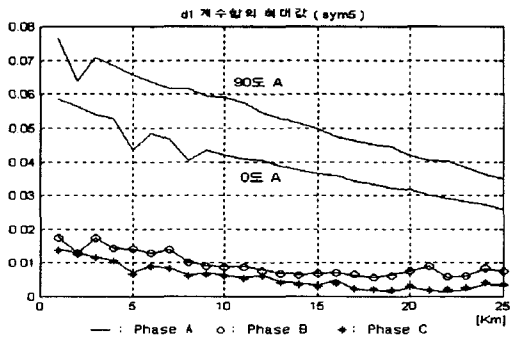


그림 8 sym5 웨이브렛의 d1 계수 합의 최대치의 변화
Fig. 8 The summation of coefficient at scale1(d1) using sym5 mother wavelet

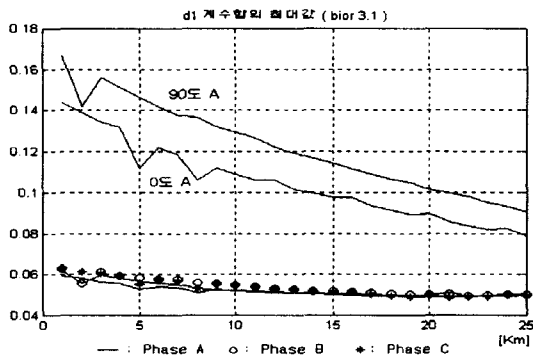


그림 9 bior3.1 웨이브렛의 d1 계수 합의 최대치의 변화
Fig. 9 The summation of coefficient at scale1(d1) using bior 3.1 mother wavelet

표 1에서 알 수 있듯이 고장상의 값의 변화량이 가장 적은 것은 sym5 이고, 고장상과 정상상의 값의 차가 가장 큰 것은 db4이다. 따라서, db4와 sym5가 가장 적절한 마더 웨이브렛임을 알 수가 있다.

표 2는 sym5 마더 웨이브렛을 이용하여 분석하였을 때 Approximation 성분의 1고조파에 대한 3, 5 고조파의 비율을 나타내고, 표 3은 db4 마더 웨이브렛을 이용하여 분석하였을 때 Approximation 성분의 1고조파에 대한 3, 5 고조파의 비율을

표 1 고장검출을 위한 계수값의 분포

Table 1 Coefficient value for fault detection

	고장상 최대값	고장상 최소값	정상상 최대값	고장상 변화량	고장상과 정상상의 차
db4	0.1679	0.0588	0.0422	0.1091	0.0166
sym5	0.0746	0.0259	0.175	0.0565	0.0084
bior3.1	0.1669	0.0789	0.0628	0.0883	0.0158
coif4	0.0166	0.0047	0.0056	0.0119	이용 불가능

표 2 sym5 마더 웨이브렛의 분석 결과중 a1~a6 에 대한 각 단계별 3, 5고조파 함유 비율 [%]

Table 2 The ratio containing the third and fifth harmonic components using sym5 mother wavelet(a1~a6)

		a1	a2	a3	a4	a5	a6
5 km	0도	7.904	7.867	7.629	9.858	8.002	42.542
	90도	9.0756	9.0324	8.7999	9.123	9.392	51.9
13 km	0도	6.902	6.869	6.669	9.701	8.124	42.46
	90도	6.8717	6.839	6.637	9.109	9.31	51.9
21 km	0도	5.2259	5.201	5.024	9.595	8.34	42.66
	90도	5.1972	5.1726	5.074	9.097	9.25	52.04

표 3 db4 마더 웨이브렛의 분석 결과중 a1~a6에 대한 각 단계별 3, 5고조파 함유 비율 [%]

Table 3 The ratio containing the third and fifth harmonic components using db4 mother wavelet (a1~a6)

		a1	a2	a3	a4	a5	a6
5 km	0도	7.9	7.84	7.74	13.83	13.63	56.27
	90도	9.0751	9.0018	8.8993	13.72	13.33	58.54
13 km	0도	6.9	6.85	6.82	13.8	13.62	56.54
	90도	6.8714	6.8163	6.8479	13.71	13.42	58.55
21 km	0도	5.2257	5.1836	5.1841	13.76	13.62	56.64
	90도	5.2970	5.1550	5.2080	13.7	13.49	57.83

나타낸 것이다. 표 2와 표 3으로부터 고장 검출시 가장 적절한 마더 웨이브렛은 sym5이며, 그 분해 단계는 3단계임을 알 수 있다.

4. 고장검출 알고리즘 및 결과 검토

고장검출을 위한 입력으로는 3상 전압과 전류를 16bit A/D 변환기를 거쳐서 2차 butterworth 필터를 통과한다. 이 필터링된 신호는 다시 웨이브렛 분석에 의해서 각기 고장검출 및 고장거리 알고리즘을 수행하게 된다. 이 때 입력신호는 3840[Hz]로 샘플링 되었으며, 한 주기 즉, 64 샘플 신호를 한 데이터 윈도우의 길이로서 사용하게 된다.

4.1 웨이브렛 분석 흐름도

그림 11은 웨이브렛 분석시 사용되어지는 흐름도이다. 마더 웨이브렛은 sym5 웨이브렛이 사용되어지고, 분석 단계는 3단계까지 수행되어지게 된다. 고장검출 알고리즘은 이때 각 전류의 d1 성분을 이용하게 되고, 고장거리추정 알고리즘은 전압·전류의 a3 성분을 입력으로 사용하였다.

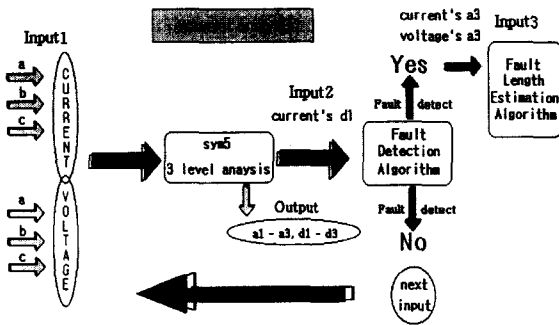


그림 11 웨이브렛 분석 흐름도
Fig. 11 Flow chart of Wavelet analysis

4.2 고장검출 알고리즘

그림 12는 고장검출을 위한 알고리즘이다. 고장검출 알고리즘의 입력으로는 각 상 전류의 웨이브렛 분석 결과인 d1 성분을 사용한다. 이는 그림 12에서 알 수 있듯이 한 데이터 윈도우의 웨이브렛 분석 결과인 d1 성분의 합을 이용하게 된다. 이때 알고리즘은 고저항 사고만을 검출하기 위해서 상한값과 하한값을 가지는 고장검출영역(fault detection area)을 사용하게 된다. 또한 유사현상인 라인 스위칭, 커패시터 뱅크 스위칭, 아크로 부하등과 구분하기 위한 고장 내구력 상수(fault durability constant)를 설정하여 유사현상을 고장으로 판별하는 것을 방지하였다.

4.3 고장검출을 위한 입력신호 및 검출 결과

그림 13과 그림 14는 각각 0° 및 90°, 13[km] 고장시 3상 전류 d1 계수의 합을 나타내는 것이다. 그림 13과 그림 14에서 고장상은 A상이다. 이처럼 고장상

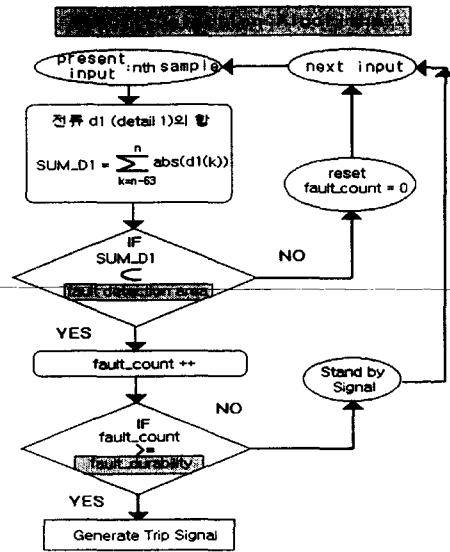


그림 12 고장검출 알고리즘
Fig. 12 Fault detection algorithm

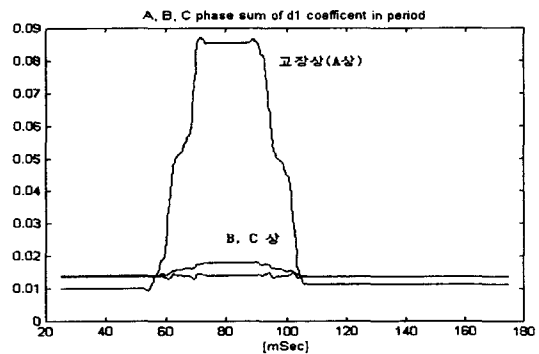


그림 13 0도 13km 고장시 3상의 d1 sum의 출력
Fig. 13 Three phase output for d1 coefficient (0°, 13Km)

에서는 d1 계수의 합이 커지는 것을 이용하여 고장 검출에 이용하고자 하는 것이다. 또한 이 출력 결과에서 알 수 있듯이 개선된 아크 모델이 일정 시간 후 안정화된 것을 볼 수 있다. 아크의 과도 현상에서는 d1 합의 계수값들이 정상 상태일 경우보다 커짐을 볼 수 있으며 일정 시간 후 아크가 안정된 후에는 다시 안정화된 값을 나타냄을 알 수 있다. 저항을 병렬로 단 개선된 고저항 아크 모델이 좀 더 실제 아크 사고에 가까운 특징을 보여주고 있는 것이다.

다음 표 4는 고장 판별을 위한 시뮬레이션의 형태와 추정 결과를 나타낸 것이다. 시뮬레이션은 0° 와 90° 로 나누어 모의 하였으며, 고장 거리는 총 선로 길이의 80~85[%] 자기 보호구간을 고려하여 22[km]까지 모의 후 고장시간을 추정하였다. 이 구간밖의 고장은 다른 단의 계전기에서 검출되도록 설계하였다. 표 4에서 오차는 약 0.6~0.9[msec]의 평균오차를 보이고 있으며, 이는 정상상에서도 상호결합에 의해서 고장상의 영향을 받아 d1 계수가 발생함으로 이와의 구분을 위한 과정에서 발생하는 오차들이다.

참 고 문 헌

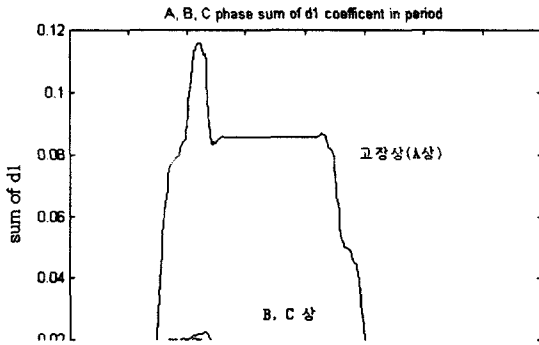


그림 14 90도 13km 고장시 3상의 d1 sum의 출력
 Fig. 14 Three phase output for d1 coefficient (90°, 13Km)

표 4 고장시간 추정 결과

Table 4 Fault time estimation results for each case

고장점 [Km]	0도 사고			90도 사고		
	고장 발생 시간 [msec]	고장 검출 시간 [msec]	오차 [msec]	고장 발생 시간 [msec]	고장 검출 시간 [msec]	오차 [msec]
0.5	53.1667	52.0417	1.125	50	50.4271	0.4271
5	70.8333	70.5313	0.302	66.667	67.3542	0.6872
10	87.5	87.4583	0.0417	83.333	84.0208	0.6878
13	70.8333	71.0521	0.2191	66.667	67.875	1.118
16	53.1667	53.3438	0.1771	50	51.2083	1.2083
21	70.8333	72.6146	1.7813	66.667	68.3958	1.7288
평균 오차			0.6824			0.978

5. 결 론

본 논문에서는 EMTP를 이용하여 고저항 지락고장을 모델링하고 웨이브렛 변환을 사용하여 고장검출 및 고장시간을 추정하였다. 본 연구 결과에 따른 세부적인 결과는 다음과 같다.

(1) 기존에는 산화아연 피뢰기 모델만을 EMTP에 접목시킴으로서 고저항 지락고장시 발생하는 아크 특성을 모델링하였다. 이 모델은, 아크의 특성인 소호와 점호 후 어느정도의 시간 후 안정된 아크를 발생한다는 조건을 만족 시키지 않았다. 따라서, 이러한 조건을 만족 시키기 위해 저항을 병렬로 삽입하여 고저항 지락고장시의 아크 특성을 개선한 모델을 제시하였다.

(2) 고저항 지락고장 검출시 웨이브렛 분석에 사용할 마더 웨이브렛은 'sym5' 마더 웨이브렛이 가장 적합하며 3단계의 웨이브렛 필터로 분석하는 것이 가장 우수함을 제시하였다.

(3) 커패시터 뱅크 스위칭, 라인 스위칭 및 아크로 부하 등의 유사 비고장 현상들과 고저항 지락고장을 구분할 수 있는 고장검출 알고리즘을 제시하였다.

이상에서 기술한 웨이브렛 변환을 이용한 고저항 지락고장 검출 알고리즘을 사용한 고저항 지락고장 고장점 추정에 관한 연구가 계속 되어야 할 것이다.

- [1] Martin Vetteli, Jelena Kovacevic, "Wavelets and subband coding", Prentice Hall, 1995.
- [2] Michel Misiti, Yves Misiti, Georges Openheim, Jean-Michel, "Wavelet toolbox for use with MATLAB", The mathworks Inc., 1996.
- [3] Andrew Laine, "Wavelet theory and application", University of Florida, 1993.
- [4] W.A. Wilkinson, M.D.Cox, "Discrete Wavelet analysis of Power System Transient", IEEE. Trans. on Power Systems, vol.11, no.4, November 1996.
- [5] 변성현, "Wavelet 변환을 이용한 고저항 지락사고 검출 및 고장점 추정에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위 논문, 1997.
- [6] Will. Rogers, "Modeling of Free-Air Arcs", 1987.
- [7] C. Sidney Burrus, Ramesh A. Gopinath, HaitaoGuo, "Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms", Prentice Hall, 1998.
- [8] A.T.Johns, J.R.Platts, "Digital Protection for Power Systems", IEE POWER SERIES 15, 1995.
- [9] Arun G. Phadke, James S. Thorp, "Computer Relaying for Power Systems", Research Studies Press Ltd, 1998.
- [10] K K Li, "An adaptive window length algorithm for accurate high speed digital distance protection", Electrical Power & Energy Systems. vol.19, no.6, pp. 375-383, 1997.
- [11] L L Lai, "Wavelet Transform for High Impedance Fault Identification", Energy Systems Group, pp.188- 191, 1998.
- [12] J Liang, S Elangovan, J B X Devotta, "A Wavelet multiresolution analysis approach to fault detection and classification in transmission lines", Electrical Power & Energy Systems, vol.20, no.5, pp.327-332, 1998.
- [13] Xia Yibin, David Chan Tat Wai, W.W.L.Keerthipala, "A New Technique using Wavelet Analysis for Fault Location", IEE Conference Publication, no.434, pp.231-234, 1993.

저 자 소 개



김 현 (金 賢)
 1972년 10월 4일생. 1997년 성균관대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업(석사). 현재 우리기술(주)에 재직중.
 E-mail address : hkim@woorigs.co.kr

김 철 환 (金 喆 煥)
 전기학회논문지 제48C권 제 11호 참조