

# 웨이블릿 변환을 이용한 고장과 Variation의 유형 구분 알고리즘 개발

논 문
60-8-2

## Development of the Algorithm for Discriminating Faults from Variation using Wavelet Transform

서 훈 철\* · 이 순 정\*\* · 김 철 환†  
(Hun-Chul Seo · Soon-Jeong Lee · Chul-Hwan Kim)

**Abstract** - This paper proposes the algorithm for discriminating faults from the variation due to the operation of non-linear components to prevent the mal-operation of protection relay in the distribution system. An IEEE 13 node test feeder is modeled to analyze the characteristics of the fault and each variation using EMTP-RV. Simulations with various operating conditions of transformers, non-linear loads, and unbalanced loads are performed using the test feeder model. Based on simulation results, the wavelet transform is adopted to analyze the current waveforms from the faults and variations to find out the differences between them and the algorithm for discriminating faults from the variation is proposed. The proposed algorithm is verified by using the current waveforms simulated in the KEPCO's distribution system and IEEE 13 node test feeder.

**Key Words** : EMTP-RV, Fault, IEEE 13 node test feeder, Variation, Wavelet Transform

### 1. 서 론

전력계통에서는 뇌, 고장, 차단기 동작, 비선형 부하 동작 등의 다양한 외란들이 발생한다. 이러한 외란들은 event와 variation으로 나눌 수 있다. event란 차단기 동작, 자동화 장치의 동작, 고장, 뇌격 등으로 발생하는 외란을 지칭한다. variation이란 정상상태에서 발생하는 현상으로 변압기, 비선형 부하, 불평형 부하의 동작 등으로 발생하는 현상을 일컫는다. 이러한 외란들은 전류와 전압에 대한 기본파 및 고조파 크기의 변화 혹은 전류와 전압의 단시간 과도적인 파형을 유발하여 보호계전기의 오동작을 유발할 수 있다. 보호계전기의 오동작이 발생한다면, 전력계통 신뢰도는 저하되며 불안정해질 수 있다. 만약, 기록된 전압 및 전류 파형의 형태를 이용하여 외란의 종류를 구분할 수 있다면 보호계전기 오동작을 방지할 수 있을 것이다.

웨이블릿(wavelet) 변환은 푸리에 변환과는 달리 시간-주파수 정보를 모두 가질 수 있다는 장점으로 인하여 고저항 지락사고의 검출, 모선 보호, 송전선로의 거리계전, 동기발전기 보호 등의 다양한 보호계전 알고리즘에 적용되어 왔다 [1-4]. 또한, 웨이블릿 변환을 포함한 다양한 기법들이 전력 품질 이벤트의 특성을 분류하기 위한 방법들에 적용되어 왔다 [5-8]. 그러나, 고장과 전력계통 외란의 분류 및 외란들의 유형 구분을 위한 연구는 거의 존재하지 않는다.

현재, 인버터, 컨버터 등의 비선형 부하가 배전계통에 급격히 증가하고 있기 때문에, 이들로 인하여 variation 또한 자주 발생하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 variation에 의한 보호계전기 오동작을 방지하기 위하여 전력계통 외란 중 variation과 고장을 구분할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 알고리즘은 다양한 신호처리 방법 중 시간 및 주파수 정보를 모두 포함하고 있는 웨이블릿 변환을 이용한다. 우선, IEEE Distribution System Analysis Subcommittee에서 제안한 IEEE 13 Node Test Feeder를 이용하여 다양한 variation을 모의하였다. 모의 결과를 이용하여 웨이블릿 변환을 통한 새로운 지수를 정의한 후 각 variation과 고장의 특징을 분석하였다. 분석결과를 기반으로 variation과 고장을 구분할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 EMTP-RV를 이용하여 한전의 실제 배전계통 및 IEEE 13 Node Test Feeder에서 다양한 variation을 모의하였다. 모의 결과를 이용하여 Matlab을 이용하여 제안된 알고리즘의 성능을 검증하였다.

### 2. 웨이블릿 변환

#### 2.1 웨이블릿 변환의 이론

신호의 다중 scale 표현과 분석을 위하여 웨이블릿 변환이 사용된다. 웨이블릿 변환은 원신호에 대한 함수를 여러 형태로 변화된 어떤 핵심함수로 적분하여 변환시키는 것이며, 아날로그 영역 및 디지털 영역 모두에 적용될 수 있다. 이 중 디지털 영역에 적용된 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform (DWT))은 다음 식 (1)과 같이 정의된다.

$$DWT(n,k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_n x(n) g\left(\frac{k-nb_0a_0^m}{a_0^m}\right) \quad (1)$$

\* 정 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 박사과정  
\*\* 준 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정  
† 교신저자, 펠로우회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수

E-mail : hmwkim@hanmail.net

접수일자 : 2011년 5월 13일

최종완료 : 2011년 7월 13일

여기서,  $g(n)$ 은 모함수(mother wavelet),  $x(n)$ 은 입력 신호, scaling 및 이행(translation) 파라미터 a와 b는 파라미터 m의 함수이다[1].

일반적으로 신호에 대한 저주파 성분은 신호의 고유한 특성을 나타내고 고주파 성분은 미세한 특성을 나타낸다. 웨이블릿 변환에서는 이와 같은 특성을 approximation(A)과 detail(D)로 정의한다. DWT의 수행과정은 고역필터(D)와 저역필터(A)를 사용하는 2가지 필터링의 개념으로 확장될 수 있다. 이러한 웨이블릿의 다분해 기능은 신호를 여러 형태의 고역 필터 성분들로 나누기 위하여 웨이블릿 필터 뱅크를 사용하는데, approximation 필터를 통해서 얻어진 신호는 또 다른 두 개의 저역필터와 고역필터로 분해되고 이 과정이 반복 수행되어 웨이블릿 필터 뱅크가 구성된다. 이 과정에서 원신호 S는 다음 식 (2)와 같이 구성될 수 있다.

$$S = D_1 + D_2 + \dots + D_n + A_n \quad (2)$$

또한, 필터에서 얻어지는 데이터의 양을 줄여서 계산을 신속하게 수행하기 위하여 down-sampling 기법이 사용된다. 이러한 필터 뱅크를 통한 웨이블릿 변환의 구현은 매우 효율적이다[9].

### 2.2 모함수의 선정

웨이블릿 변환 수행 시 우선, daubechies (db), symlets, coiflets, biorthogonal 등의 모함수를 선정하여야 한다[10]. 보호 알고리즘을 구현하기 위하여, 웨이블릿은 이산 변환의 가능성, 빠른 알고리즘의 처리 등의 성질을 가져야 한다[11]. 이러한 사항들을 기반으로, 본 논문에서는 Daubechies family wavelet을 모함수로 선정하였다.

## 3. 웨이블릿 변환을 이용한 고장과 Variation의 유형 구분 알고리즘

### 3.1 웨이블릿 변환을 이용한 고장 및 Variation의 특성분석

#### 3.1.1 계통모델

본 논문에서는 고장 및 variation의 특성을 분석하기 위하여 IEEE Distribution System Analysis Subcommittee에 의하여 제시된 다음 그림 1과 같은 IEEE 13 Node Test Feeder를 이용하였다. 이 계통모델은 다음과 같은 특징을 가지며, 배전계통 분석 시 공통된 특성을 제공하기 위하여 IEEE의 working group에 의하여 제시된 계통모델이다[12].

- 단거리 선로
- 4.16kV 피드에 상대적으로 부하가 밀집되어 있음
- 가공선로와 지중선로가 다양하게 배치
- shunt capacitor bank가 설치됨
- 불평형 부하가 다수 존재

EMTP-RV를 이용하여 그림 1의 계통 모델을 모델링하였다. 선로의 경우는 장주 데이터 및 도체 데이터를 기반으로 Line Constants를 통하여 선로정수를 계산한 후 분포정수 모델을 이용하였으며, 부하의 경우는 그림 1에 표시된 부하량을 기반으로 부하 임피던스를 계산하여 입력하였다. 모

델링의 정확성을 검증하기 위하여 정상상태에서 시뮬레이션을 수행하였다. IEEE에서 제시한 각 노드의 voltage profile 과 모델링 결과를 비교한 결과 모든 노드에서 오차가 3% 미만이므로 정확한 모델링이 수행되었다고 할 수 있다.

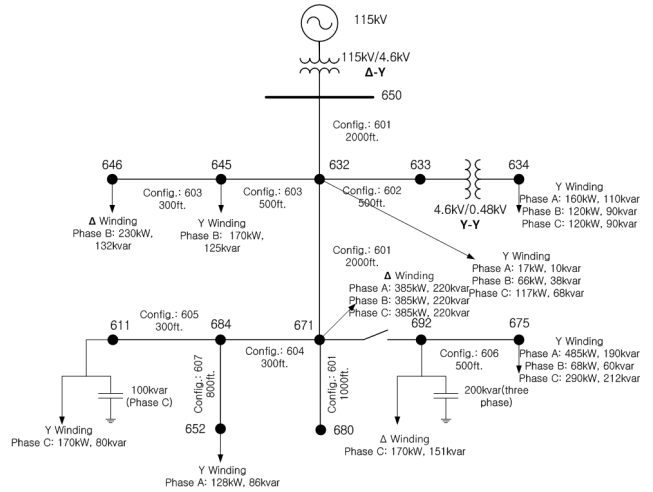


그림 1 IEEE 13 Node Test Feeder  
Fig. 1 IEEE 13 Node Test Feeder

### 3.1.2 모의 조건

본 논문에서 고려한 variation의 종류는 변압기 동작, 비선형 부하 동작, 불평형 부하 동작이며, 모의 조건은 다음 표 1과 같다.

표 1 모의조건

Table 1 Simulation conditions

variation의 원인	시뮬레이션 조건
변압기 동작	유/무
컨버터 동작	용량변화: 50kW, 100kW, 200kW, 300kW, 400kW, 500kW
불평형 부하	불평형율 변화: 10%, 20%, 30%
고장	고장발생각 변화: 0도, 45도, 90도 고장저항 변화: 1Ω, 10Ω, 25Ω, 50Ω

변압기 동작의 유/무에 대하여 모의하였으며, 비선형 부하 중 컨버터를 선정하여 용량을 변화시키면서 모의하였다. 불평형 부하의 경우는 불평형율을 변화시켰으며, 비교를 위하여 고장을 모의하였다. 컨버터, 불평형 부하의 동작 및 고장발생 지점은 671번 노드이다.

### 3.1.3 웨이블릿 변환을 이용한 고장 및 Variation의 특성분석

배전계통에서 가장 흔히 사용되는 보호계전기는 과전류계전기이므로, 본 논문에서는 고장 및 variation의 특성을 분석하기 위하여 상전류의 웨이블릿 변환을 수행하였다. 모함수는 db2이며, level은 3이다. 본 논문에서는 각 경우의 특성을 좀더 용이하게 분석하기 위하여 웨이블릿 변환 후 detail 3(d3) 값을 이용하여 다음과 같은 새로운 지수(SumAD)를 정의하였다. 본 논문에서 윈도우 길이 (LW)는 12로 설정하였다.

$$SumAD = \sum_{i=1}^{LW} |d_3[i]| \quad (3)$$

다음 그림 2는 본 논문에서 고려된 3가지 종류의 variation 및 고장 시 SumAD를 구한 결과를 나타낸다.

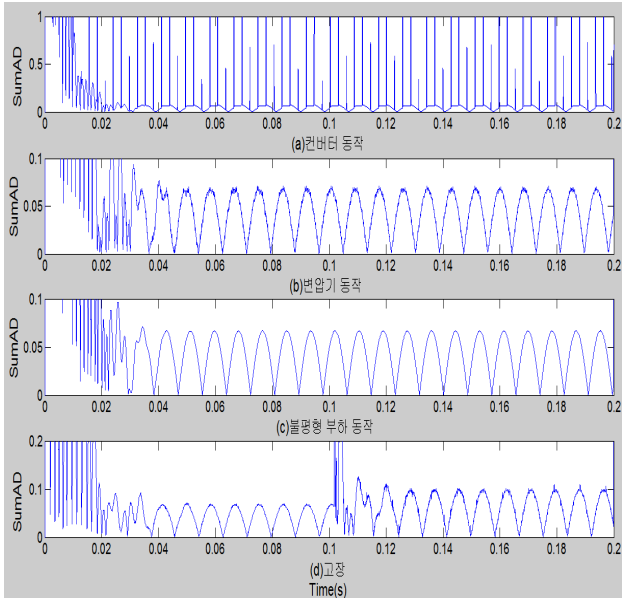


그림 2 각 variation 및 고장에 대한 SumAD의 시뮬레이션 결과  
 Fig. 2 Simulation results of SumAD for each variation and fault

컨버터 동작의 경우 용량이 300kW인 경우의 모의결과로서 고주파수 및 주기적인 임펄스 형태의 파형을 포함하는 결과를 나타낸다. 변압기 동작의 경우, 정현파의 양의 반주기가 반복되는 형태이지만 고조파를 포함하고 있음을 알 수 있다. 불평형 부하 동작의 경우, 불평형율이 30%인 경우의 모의 결과로서 변압기 동작과 파형의 형태 및 크기가 유사하나 고조파를 포함하지 않는다. 고장의 경우, 고장 발생각이 0도, 고장저항이 10Ω인 경우로서 불평형 부하의 동작의 경우와 파형의 형태는 유사하나, 크기가 크며 순간적인 임펄스 파형 또한 관찰됨을 알 수 있다. 따라서, 이러한 결과를 기반으로 고장과 variation의 유형 구분 알고리즘을 개발하였다.

### 3.2 웨이블릿 변환을 이용한 고장과 Variation의 유형 구분 알고리즘

SumAD를 이용한 상기 분석 결과를 기반으로 본 논문에서는 고장과 variation의 유형을 구분하는 알고리즘을 제안하였으며, 알고리즘의 흐름도는 다음 그림 3과 같다. 상전류를 취득한 후, 상전류의 웨이블릿 변환을 수행한다. 이때 모함수는 db2이며, level은 3이다. 그 후 detail 3 값을 이용하여 (2)에서 정의한 SumAD를 계산한다. SumAD의 최대값, 미분, THD를 이용하여 고장, 컨버터동작, 변압기 동작, 불평형 부하 동작을 구분한다. 그림 3에서 α, β, γ, ε은 각 경우를 구분하기 위한 threshold value이다.

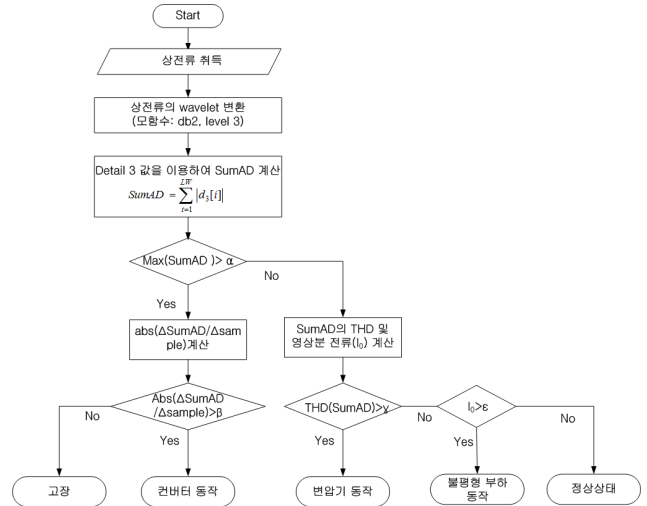


그림 3 고장과 variation의 유형을 구분하기 위한 알고리즘  
 Fig. 3 Algorithm for discriminating faults from the variation

우선, 그림 3의 알고리즘은 SumAD의 최대값을 이용한다. 컨버터 동작 및 고장의 경우 SumAD 값의 최대값이 변압기 동작 및 불평형 부하의 동작의 경우보다 크게 된다. 이러한 차이가 발생하는 이유는 컨버터 동작의 경우는 많은 양의 고조파를 함유하기 때문에 detail 3 성분의 값이 크기 때문이며, 고장의 경우는 고조파를 포함하는 큰 고장전류 때문에 detail 3 값이 크기 때문이다. 따라서, 그림 3의 알고리즘은 이러한 특성을 이용하여 고장 및 컨버터 동작과 변압기 동작 및 불평형 부하 동작을 구분한다.

다음으로, 고장과 컨버터 동작을 구분하기 위하여 SumAD의 미분 즉, ΔSumAD/Δsample을 이용한다. 컨버터 동작의 경우가 고장의 경우보다 값이 더 클 것이다. 그 이유는 그림 2(a)에 나타난 것과 같이 컨버터 동작의 SumAD 값은 임펄스 형태의 파형을 포함하기 때문이다. 따라서, 그림 3의 알고리즘은 이러한 특성을 이용하여 고장과 컨버터 동작을 구분한다.

그림 2의 (b), (c)의 파형을 통하여 변압기 동작의 경우가 불평형 부하의 동작의 경우보다 SumAD가 더욱 많은 고조파를 포함하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 변압기 동작의 경우 불평형 부하의 동작보다 THD가 클 것이다. 따라서, 제안된 알고리즘은 이러한 특성을 이용하여 변압기 동작 및 불평형 부하의 동작을 구분한다.

## 4. 시뮬레이션 및 결과검토

### 4.1 계통모델

본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위하여 그림 1의 계통 모델 및 그림 4에 나타난 한전 실배전계통 'X S/S Y D/L' 구간과 'X S/S Z D/L' 을 이용하였다[13]. 상단의 17개소는 약 17MVA의 용량을 가지며, 하단의 11개소는 약 14MVA의 용량을 가진다. 전체 선로길이는 상단이 약 6km, 하단이 약 6.8km이다.

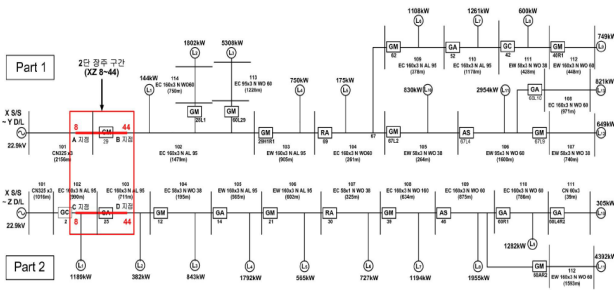


그림 4 제안된 알고리즘의 검증을 위한 계통모델  
Fig. 4 System model to verify the proposed algorithm

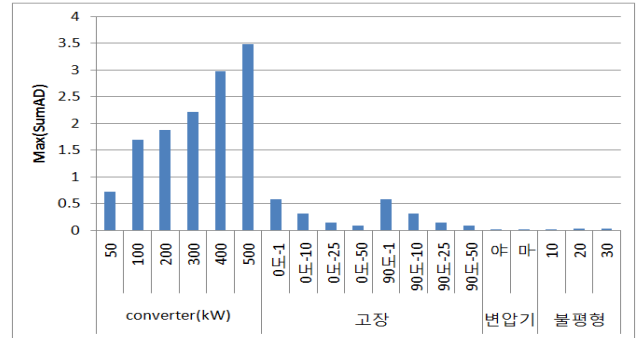


그림 5 SumAD의 최대값 비교  
Fig. 5 Comparison of maximum value of SumAD

4.2 시뮬레이션 조건

제안된 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 다양한 유형의 variation을 모의하였다. 모의조건은 표 1에 나타난 조건과 동일하다. variation은 EMTP-RV를 이용하여 시뮬레이션 하였으며, 그 결과를 기반으로 Matlab을 이용하여 제안된 알고리즘의 성능을 검증하였다. Matlab을 이용한 시뮬레이션 시, 각 variation의 유형을 올바르게 판정하는지 검증하기 위하여 표 2와 같이 각 variation의 원인별 indicator로서 숫자를 부여하였다. 검증을 위한 계통 모델은 각각 전압의 크기, 부하량 등이 다른 계통 모델이다. 두 계통모델 모두 그림 3의 알고리즘에서  $\alpha, \beta, \gamma, \epsilon$ 은 각각 0.073, 0.03, 15, 10으로 설정하였다. 설정한 근거는 4.3절에서 설명될 것이다.

표 2 각 variation의 원인별 Indicator  
Table 2 Indicator for the causes of each variation

variation의 원인	Indicator
비선형 부하 동작 (컨버터)	1
고장	2
변압기 동작	3
불평형 부하	4
정상상태	0

4.3 시뮬레이션 결과

4.3.1 한전 실배전계통을 대상으로 한 결과

다음 그림 5는 표 1에 제시된 모의 조건에 대하여 SumAD의 최대값을 비교한 것이다. 변압기 동작, 불평형 부하 동작, 정상상태에서 SumAD의 최대값은 0.03 정도이다. 반면, 고장 및 비선형 부하 동작 시 SumAD의 최대값은 0.08 이상으로 나타났다. 따라서,  $\alpha$ 의 경우 그 사이 값인 0.073 정도로 설정하였다. 다음 그림 6은 고장과 컨버터 동작의 경우에 SumAD의 미분값을 비교한 것이다. 고장의 경우는 그 값이 0.0008 이하로 나타났으나, 비선형 부하의 경우 0.05 이상으로 나타났다. 따라서,  $\beta$ 를 그 사이 값인 0.03으로 설정하였다.

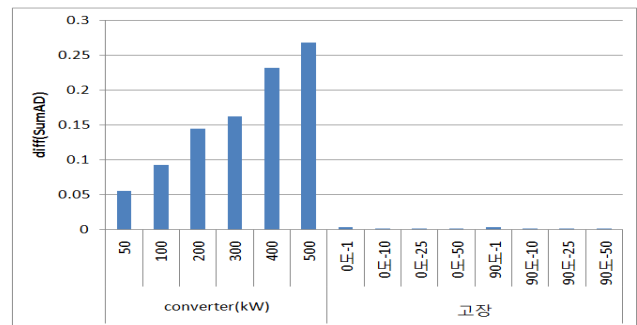


그림 6 SumAD의 미분값 비교  
Fig. 6 Comparison of differentiation value of SumAD

다음 그림 7은 변압기 동작과 불평형 부하 동작 시 SumAD의 THD를 비교한 것이다. 변압기 동작의 경우는 THD가 20% 이상이였으나, 비선형 부하의 경우는 1% 미만으로 나타났다. 이러한 값을 근거로  $\gamma$ 를 15로 설정하였다. 마지막으로,  $\epsilon$ 의 경우 불평형 시 중성선에 흐르는 전류 값을 고려하여 10으로 설정하였다.

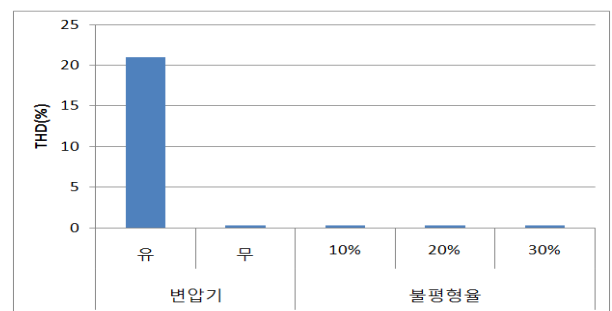


그림 7 SumAD의 THD 비교  
Fig. 7 Comparison of THD of SumAD

다음 그림 8~10은 각각 컨버터(용량 100kW) 동작, 변압기 동작, 불평형 부하 동작(불평형율 30%) 시 시뮬레이션 결과이다. 제안된 알고리즘에 따라 그림 8의 경우 컨버터 동작을 판단하여 indicator가 1을, 그림 9의 경우 변압기 동작을 판단하여 indicator가 3을, 그림 10의 경우 불평형 부하 동작을 판단하여 indicator가 4를 가리키고 있음을 알 수 있다.

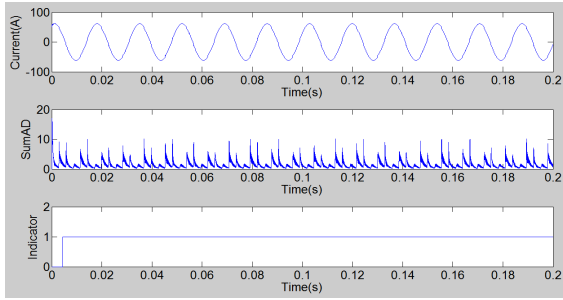


그림 8 컨버터 동작에 대한 시뮬레이션 결과  
 Fig. 8 Simulation results for the operation of converter

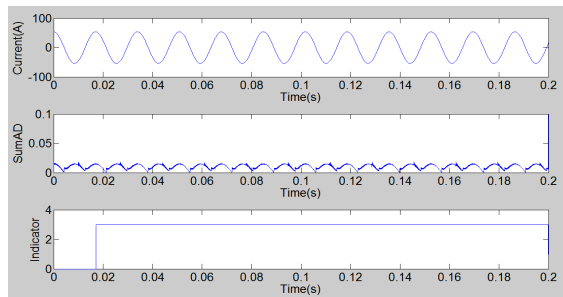


그림 9 변압기 동작에 대한 시뮬레이션 결과  
 Fig. 9 Simulation results for the operation of transformer

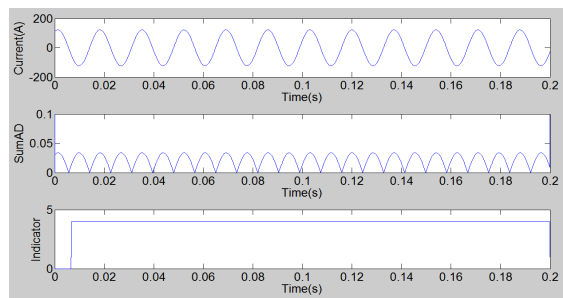


그림 10 불평형 부하 동작에 대한 시뮬레이션 결과  
 Fig. 10 Simulation results for the operation of unbalanced load

다음 그림 11은 고장발생각은 90도, 고장저항은 1Ω인 경우의 시뮬레이션 결과이다. 고장발생 전에는 indicator가 정상상태인 0을 나타내며, 고장이 발생한 후 반주기 이내에 제안된 알고리즘에 따라 고장을 판단하여 indicator가 2를 가리키고 있음을 알 수 있다.

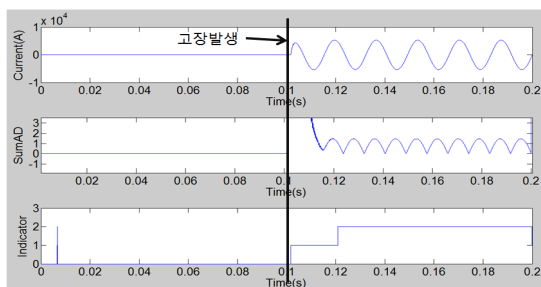


그림 11 고장에 대한 시뮬레이션 결과  
 Fig. 11 Simulation results for the fault

### 4.3.2 IEEE 13 Node Test Feeder를 대상으로 한 시뮬레이션 결과

다음 표 3은 표 1에 제시된 모의 조건에 대하여 IEEE 13 Node Test Feeder를 대상으로 시뮬레이션 한 SumAD의 최대값, 미분값, THD를 비교한 것이다. 변압기 동작, 불평형 부하 동작, 정상상태에서 SumAD의 최대값은 0.07 미만이지만 고장 및 비선형 부하 동작 시 SumAD의 최대값은 0.076 이상으로 나타났다. 따라서, α의 경우 그 사이 값인 0.073 정도로 설정하였다. 고장과 컨버터 동작의 경우에 SumAD의 미분값을 비교하면, 고장의 경우는 그 값이 0.025 이하로 나타났으나, 컨버터 동작의 경우 1.1 이상으로 나타났다. 따라서, β를 한전 실배전계통의 경우와 동일한 값인 0.03으로 설정하였다. SumAD의 THD를 비교하면 변압기 동작의 경우는 THD가 50% 정도이나, 비선형 부하의 경우는 9% 미만으로 나타났으므로 γ를 한전 실배전계통의 경우와 동일한 값인 15%로 설정하였다.

표 3 각 모의 조건에 대한 SumAD의 최대값, 미분값, THD

Table 3 Maximum, differentiation, and THD value of SumAD for simulation conditions

	조건	최대값	미분값	THD
converter	50kW	10.2	1.18	
	100kW	20.4	2.36	
	200kW	31.8	3.69	
	300kW	51	5.9	
	400kW	68	7.9	
	500kW	101.9	11.8	
고장 (고장발생각-고장저항)	0도-1Ω	0.84	0.025	
	0도-10Ω	0.092	0.021	
	0도-25Ω	0.086	0.019	
	0도-50Ω	0.076	0.016	
	90도-1Ω	0.84	0.025	
	90도-10Ω	0.092	0.021	
	90도-25Ω	0.086	0.019	
	90도-50Ω	0.076	0.016	
변압기	유	0.07		50
	무	0.066		9
불평형율 (%)	10	0.066		9
	20	0.066		9
	30	0.066		9

다음 그림 12-14는 50kW의 컨버터 동작의 경우, 변압기 동작의 경우, 불평형 부하(불평형율 10%)의 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다. 첫 부분의 과도현상을 제외하곤, 제안된 알고리즘에 따라 그림 12의 경우 컨버터 동작을 판단하여 indicator가 1을, 그림 13의 경우 변압기 동작을 판단하여 indicator가 3을, 그림 14의 경우 불평형 부하 동작을 판단하여 indicator가 4를 가리키고 있음을 알 수 있다. 그림 15는 고장(고장저항 50Ω, 고장발생각 0도)에 대한 시뮬레이션 결과이다. 고장 발생 이전에는 변압기가 연결된 계통이므로 Indicator가 3을 가리키고 있으나 고장 발생 후 고장을 판단하여 Indicator가 반주기 내에 2를 가리키고 있음을 알 수 있다.

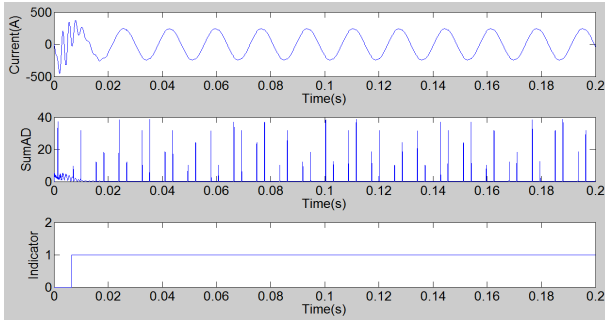


그림 12 컨버터 동작에 대한 시뮬레이션 결과  
 Fig. 12 Simulation results for the operation of converter

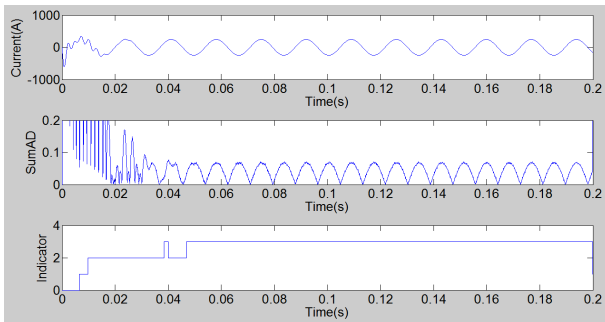


그림 13 변압기 동작에 대한 시뮬레이션 결과  
 Fig. 13 Simulation results for the operation of transformer

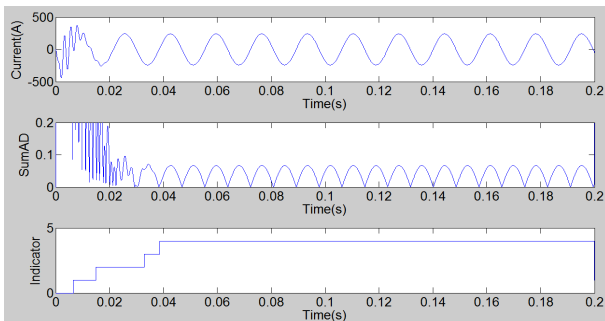


그림 14 불평형 부하 동작에 대한 시뮬레이션 결과  
 Fig. 14 Simulation results for the operation of unbalanced load

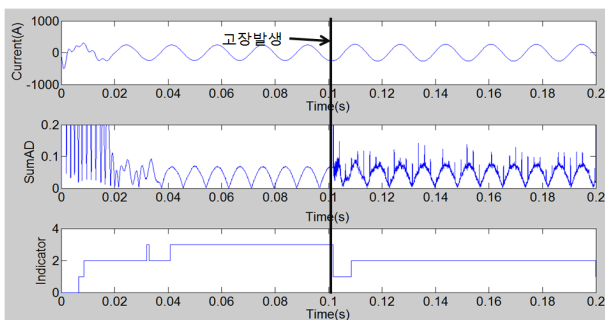


그림 15 고장에 대한 시뮬레이션 결과  
 Fig. 15 Simulation results for the fault

### 4.3.3 시뮬레이션 결과 검토

전압의 크기 및 계통 구성이 다른 2가지 계통 모델을 대상으로 각 threshold value를 구하는 과정을 나타내었으며, 제안된 알고리즘을 검증하였다. 그림 5-7 및 표 3에서 각 값을 비교하면, SumAD의 최대값, 미분값, THD 모두 각 계통모델에 따라 그 범위가 다른 것을 확인할 수 있다. 그렇지만, 특정 계통모델에서 각 variation의 종류에 따라 그 값의 범위를 명백히 구분할 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 각 variation에 대한 시뮬레이션 결과와 같이 본 논문에서 제시된 알고리즘에 따라 정확히 각 종류를 구분할 수 있음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 전력계통 외란 중 고장과 variation의 다양한 유형을 구분할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 웨이블릿 변환 후 계산된 detail 성분을 이용하여 새롭게 제시한 SumAD라는 값을 이용한다. 먼저, 배전계통 분석 시 공통된 특성을 제공하기 위하여 IEEE 13 Node Test Feeder를 대상으로 다양한 유형의 variation을 모의하여 각 variation의 특성을 파악하였다. 그 결과를 기반으로, 고장과 variation의 다양한 유형을 구분할 수 있는 알고리즘을 제안하였으며 한전의 실 배전계통 및 IEEE 13 Node Test Feeder를 대상으로 알고리즘의 효율성을 검증하였다. 그 결과, 고장과 다양한 variation의 유형을 정확히 구분할 수 있음을 알 수 있었다.

본 논문에서 개발된 알고리즘은 배전계통에서 발생가능한 다양한 variation으로 인한 보호계전기 오동작 방지에 적용될 수 있을 것이다.

### 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2010-0027789).

### 참 고 문 헌

- [1] Chul-Hwan Kim, Hyun Kim, Young-Hun Ko, Sung-Hyun Byun, Raj K. Aggarwal, Allan T. Johns, "A Novel Fault-Detection Technique of High-Impedance Arcing Faults in Transmission Lines Using the Wavelet Transform", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 17, No. 4, pp. 921-929, October 2002.
- [2] J. D. Duan, "A Novel Distributed Bus Protection Based on Traveling-wave Power Directions and Wavelet Transform", International Conference on Developments in Power System Protection, 2004.
- [3] A. H. Osaman, O. P. Malik, "Wavelet Transform Approach to Distance Protection of Transmission

Lines”, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2001.

[4] O. Ozgonenel, E. Arisoy, M.A.S.K Khan, and M.A. Rahman, “A Wavelet Power based Algorithm for Synchronous Generator Protection”, IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2006.

[5] Surya Santoso, W. Mack Grady, Edward J. Powers, Jeff Lamoree, and Siddharth C. Bhatt, “Characterization of Distribution Power Quality Events with Fourier and Wavelet Transforms”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 15, No. 1, pp. 247-254, Jan. 2000.

[6] Abdul Rahim Abdullah, Ahmad Zuri Shaameri, Abd Rahim Mat Sidek and Mohammad Razman Sharri, “Detection and Classification of Power Quality Disturbances Using Time-Frequency Analysis Technique”, IEEE Conference on Research and Development, 11-12 Dec, 2007.

[7] Huimin Quan, Yuxing Dai, “Power Quality Disturbance Classification using S-transform and Decision Tree”, IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application, 2008.

[8] H. Englert, J. Stenzel, “Automated Classification of Power Quality Events Using Speech Recognition Techniques”, PSCC, pp.24-28, 2002.

[9] 서훈철, 신동광, 김철환, Zoran Radojevic, 안상필, 박남옥, “광역계통 보호기술 개발을 위한 Mother Wavelet 선정에 관한 연구”, 2010년도 대한전기학회 전력기술부 문회 추계 학술대회

[10] The MathWorks, Inc., “Wavelet Toolbox User’s Guide”, 1996.

[11] Ming-yu Yang, Wan-ye Yao, Zeng-ping Wang, Ju Zhang, Yan-jun Jiao, “A New Ultra High-Speed Protection Scheme Based On Wavelet Analysis”, International Power Engineering Conference, 2005.

[12] IEEE Distribution Planning Working Group Report, “Radial distribution test feeders”, IEEE Trans. on Power Systems,, August 1991, Volume 6, Number 3, pp 975-985.

[13] Keon-Woo Park, Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim, Chang-Soo Jung, Yeon-Pyo Yoo, Yong-Hoon Lim, “Analysis of the Neutral Current for Two-Step-Type Poles in Distribution Lines”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 24, No. 3, pp. 1483-1489, July 2009.

저 자 소 개



**서 훈 철 (徐 熏 徹)**

1982년 1월 19일생. 2004년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2006년 동 대학원 정보통신공학부 졸업(석사). 2006년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정  
 Tel : 031-290-7166  
 Fax : 031-299-4137  
 E-mail : hunchul12@skku.edu



**이 순 정 (李 淳 正)**

1986년 2월 26일생. 2010년 강원대학교 전기전자공학부 졸업. 2010년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정  
 Tel : 031-290-7166  
 Fax : 031-299-4137  
 E-mail : kiraovv@skku.ac.kr



**김 철 환 (金 喆 煥)**

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 성균관대 정보통신공학부 교수, 전력IT인력양성센터 센터장  
 Tel : 031-290-7124  
 Fax : 031-299-4137  
 E-mail : hmwkim@hanmail.net