

S-transform을 이용한 배전계통의 이벤트와 변동 판별 알고리즘 개발

Development of the Discrimination Algorithm for Event and Variation in Distribution System Using S-transform

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

Abstract - Recently, by increasing of devices which are sensitive to power quality, the deterioration of power quality has been accelerated. For this reason, the social and economic losses are increased. So not only correct measurement and evaluation, but also countermeasure for improvement of power quality is surely necessary for both electric power supplier and consumer. In this paper, the discrimination algorithm for events and variation occurred in distribution systems using S-transform is proposed. Firstly, we review for events and variations that occur in distribution system. Next, we simulate events and variations on various conditions using ElectroMagnetic Transient Program(EMTP). For the simulation, the IEEE 13 Node Test Feeder and KEPCO's distribution system is modeled. Finally, for the analysis, a modified wavelet transform known as S-transform is adopted to find out the characteristics of each events and variations.

Key Words : Event, Variation, Discrimination, Disturbance, S-transform

1. 서 론

최근 전력품질에 민감한 장비가 보급되고, 분산전원의 증가로 인하여 인버터, 컨버터와 같은 비선형 부하들이 증가함에 따라 전력품질에 대한 문제는 대부분의 전력 소비자들에게 중요한 관심사로 대두되고 있다. 이러한 전력품질은 관점에 따라 매우 다양한 의미를 지니지만, IEEE 1159에서는 “전력계통에서 주어진 시간과 장소에 전압과 전류의 특징을 나타내는 대단히 폭 넓은 전자기적 현상”이라고 정의하고 있다. 여기에서, 전력품질 문제란 기기의 고장이나 오동작을 일으키는 전압, 전류, 주파수 변화와 같은 문제를 일컫는다. 하지만 전력계통은 수많은 기기들과 장비들로 구성되어 있기 때문에 전력품질에 영향을 미치는 요인도 매우 다양하므로 전력품질 문제의 원인에 대한 대책 마련이 어려운 문제점이 있다. 이에 따라, 전력품질 문제에 관한 연구로서 전력품질 외란 검출과 분류[1-2], 전력품질이 계통에 미치는 영향에 대한 분석[3-4]과 같은 주제로 다양하게 연구되고 있다. 종래 신호처리를 이용한 전력품질의 분석에 대한 연구로서 R. G. Stockwell이 S-transform과 STFT 등을 이용하여 스펙트럼을 국부화 하는 방법에 대한 연구를 하였고[5], P. K. Dash 외 몇몇 사람들은 S-transform을 이용하여 계통에서의 전력 품질을 분석하였다[6]. 또한 Gomez Juan은 전

력품질이 계통에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다[7]. 또한, IEEE PSRC Working Group에서 발간한 보고서인 “PROTECTIVE RELAYING AND POWER QUALITY”에서는 전력 품질을 정의하고, 시간 변동과 크기 편차의 두 가지 표준으로 전력 품질을 분류하였다. 이 보고서에서는 고조파 제어를 위한 가이드라인과 제한을 설정하였다[8].

전력품질 저하 문제는 전력계통뿐만 아니라 사회·경제적으로 막대한 손실과 큰 불편을 초래할 수 있다. 또한 가정용, 산업용을 비롯한 다양한 분야에서 사용되는 전기기기들의 수명을 단축하는 부정적인 효과를 발생시킬 수도 있다. 따라서 전력품질에 대한 정확한 측정과 평가, 대책 수립은 반드시 필요하다고 할 수 있다. 이러한 이유로 계통의 외란 종류 판별과 분석이 가능하다면 이에 사용되는 많은 비용과 인력을 줄일 수 있고 피해 범위를 최소화 할 수 있으므로 전력품질 검출 및 분석에 관한 연구는 현실적으로 그 필요성이 매우 높다. 따라서 본 논문에서는 계통에서 발생 가능한 여러 외란들을 이벤트와 변동으로 구분하였고 이를 EMTP를 통하여 모의하였다. 계통은 배전계통을 대상으로 하였으며, 이를 위하여 IEEE 13 Node Test Feeder와 한전실 배전계통을 EMTP로 모델링하였다. 다양한 조건의 시뮬레이션을 수행하여 얻은 결과를 여러 가지 방법으로 분석하였고, 결과를 바탕으로 S-transform을 이용하여 각 외란을 판별하는 알고리즘을 제안하였다.

* 준 회 원 : 성균관대학교 정보통신대학 석사과정

** 정 회 원 : 성균관대학교 정보통신대학 박사과정

† 교신저자, 펠로우회원 : 성균관대학교 정보통신대학 교수

E-mail : hmwkim@hanmail.net

접수일자 : 2011년 12월 30일

최종완료 : 2012년 3월 28일

2. 이벤트와 변동

2.1 이벤트(Event)

이벤트는 계통의 전압 또는 전류가 근사적이거나 이상적인 파형으로부터 급격히 변하는 현상을 의미하며 스위칭 동

작, 자동 장치들의 작동 또는 외부적인 영향에 기인한다. 이벤트는 발생 빈도가 비교적 적으나 전압의 크기가 0에 가까운 정도의 극심한 전압 크기의 변동을 보인다[9]. 이러한 이벤트들은 보호계전기의 트립을 유발할 수 있고, 발전기의 중단과 같은 결과를 발생 시킬 수 있기 때문에 잠재적으로 전력계통 운영의 위험을 야기할 수 있는 현상이라 할 수 있다. 또한 이벤트는 크게 순시정전(Interruption), 부족전압(Under voltage), 과전압(Over voltage), 짧은 전압 이벤트(Fast voltage event)의 네 가지로 나눌 수 있으며, 이러한 이벤트들의 발생 원인으로는 보호기기 동작, 지락·단락 고장, 모터의 구동, 낙뢰, 스위칭 동작, 철공진 등이 있다.

2.2 변동(Variation)

변동은 기본 값으로부터 나타나는 상대적인 작은 편차를 의미하며 전압의 크기, 주파수 변동과 전류 크기, 위상 변동, 전압과 전류의 불평형, 주기적인 전압 노칭, 고조파로 인한 전압과 전류의 왜곡, 차수 외 고조파 등으로 나눌 수 있다. 이러한 변동은 정상상태에서 일어나는 현상을 의미하며 시스템의 비선형적인 요소들에 기인한 외란 또는 외부적인 영향에 의한 외란들에 기인한다. 변동의 발생 원인으로는 변압기, 비선형 부하, 불평형 부하, HVDC 선로, FACTS 설비, 지자기 유도전류 등이 있다. 다음 표 1에 이벤트와 변동의 발생 원인을 나타내었다.

표 1 이벤트와 변동의 원인

Table 1 The causes of event and variation

이벤트	변동
보호기기 동작	변압기
지락, 단락 고장	비선형 부하
모터의 구동	불평형 부하
낙뢰 타격	HVDC 선로
스위칭 동작	FACTS 설비
철공진	지자기 유도전류

3. S-transform의 개요

3.1 S-transform의 이론

다음은 전력품질 판별을 위해 사용한 신호처리 기법 중의 하나인 S-transform에 대한 설명이다. S-transform의 파라미터에 대한 정의는 다음과 같다.

우선, 함수 $h(t)$ 의 연속 웨이블릿 변환(CWT) $W(\tau, d)$ 는 다음 식 (1)과 같이 정의된다.

$$W(\tau, d) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)w(t-\tau, d)dt \tag{1}$$

여기에서, 함수 $h(t)$ 의 S-transform은 Phasor factor를 갖는 특정한 mother 웨이블릿을 통해 다음 식 (2)와 같은 CWT로 정의 가능하다.

$$S(\tau, f) = e^{i2\pi f\tau}W(\tau, d) \tag{2}$$

여기에서, mother 웨이블릿은 다음과 식 (3)과 같이 정의 된다.

$$w(t, f) = \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}}e^{-(t^2f^2/2)}e^{-j2\pi ft} \tag{3}$$

위의 식 (2)에서 dilation factor d 는 주파수 f 의 역수이다. 또한, 식 (2)는 복소수 형태이므로, 정규화된 S-transform의 식은 다음 식 (4)와 같이 쓸 수 있다.

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \frac{|f|}{\alpha\sqrt{2\pi}} e^{-(\tau-t)^2f^2/2\alpha^2} e^{-i2\pi ft} dt \tag{4}$$

3.2 S-transform의 장점

전력품질 판별을 위하여 STFT(Short Time Fourier Transform)를 이용한 방법, 웨이블릿 변환(Wavelet Transform)을 이용한 방법 등 다양한 방법들이 제안되었다. 대표적인 전력품질 판별 기법으로 STFT를 이용하여 전력 신호를 변환하고 이 신호에서 외란을 감지하는 방법이 있다. STFT를 이용하는 방법은 기준에 많이 쓰이는 방법이지만 과도현상 발생 시, 감지 능력이 감소하기 때문에 과도현상에 의한 전력품질 왜곡 현상에서는 효과가 없는 단점이 있다. 또 다른 방법으로 웨이블릿 변환을 이용한 전력품질 판별 기법이 있다. 이 방법은 전력계통 신호를 시간과 주파수 영역으로 연속적으로 관찰하면서 전력 품질을 판별하므로, FFT(Fast Fourier Transform)보다 좋은 성능을 보이지만 복잡한 연산 시간 때문에 시간이 오래 걸리며, 잡음이 많은 계통에서는 정확성이 떨어지는 등의 단점이 있다[10]. 웨이블릿 변환과 STFT를 변형한 형태인 S-transform은 시간 영역에서 2-D 주파수 영역으로 완벽하게 변환 할 수 있다. 또한, Fourier Transform보다 직관적이며 분석하기 쉬운 결과를 나타내고, 변환된 주파수-시간 스펙트럼과 위상-주파수-시간 스펙트럼은 국부적인 특징을 정의하는데 매우 유용하다.

4. 이벤트와 변동의 판별 알고리즘

4.1 계통 모델

본 논문에서는 배전계통에서 발생하는 외란을 모의하기 위하여 IEEE에서 제시하고 있는 배전계통인 IEEE 13 Node Test Feeder를 EMTP를 이용하여 모델링 하였다. IEEE 13 Node Test Feeder는 연구의 대상이 배전계통일 때 일반적인 특징을 분석하기 위하여 IEEE Distribution System Analysis Subcommittee에서 제안한 모델이며 모델링하기 위한 변압기, 커패시터, 부하 데이터, 그리고 가공선로와 지중선로에 대한 임피던스 값은 IEEE Distribution System Analysis Subcommittee의 데이터를 바탕으로 구성하였다 [11]. 다음 그림 1은 IEEE 13 Node Test Feeder이며, 변압기 가압 이외의 모든 외란은 633번 노드에서 모의하였다.

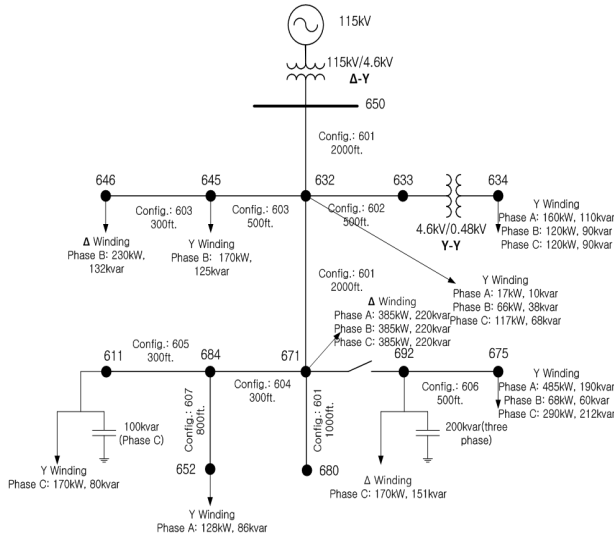


그림 1 IEEE 13 Node Test Feeder
Fig. 1 IEEE 13 Node Test Feeder

모델링의 정확성을 검증하기 위하여 정상상태에서 시뮬레이션을 수행한 결과, 모든 노드의 전압 오차가 3[%] 미만으로 나타났다. 따라서 본 계통의 모델링 결과는 비교적 정확하다고 할 수 있다.

4.2 S-transform을 이용한 이벤트와 변동의 분석

S-transform을 이용하여 이벤트와 변동을 분석하기 위하여 우선, EMTP로 각 외란을 모의하였고, 이때의 상전류와 상전압을 취득하였다. 그림 2는 이 경우의 영상분 전류 파형이며, 이 결과를 바탕으로 S-transform을 실행한 결과를 그림 3에 나타내었다.

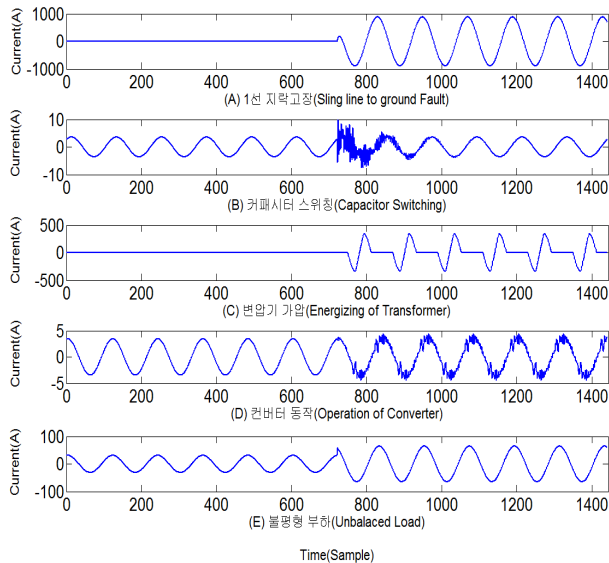


그림 2 각 외란의 영상분 전류 파형
Fig. 2 Waveform of zero sequence current of each disturbance

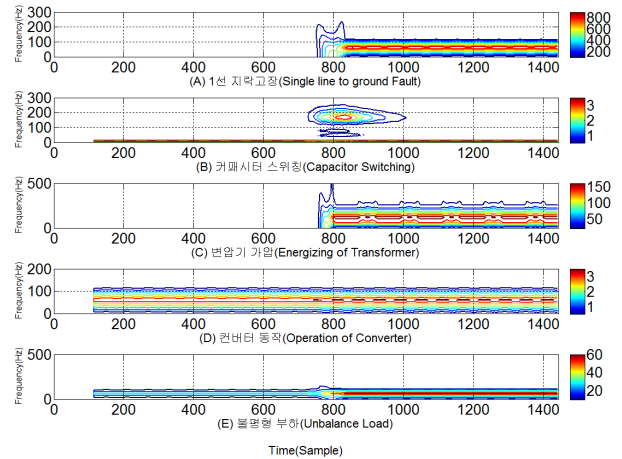


그림 3 각 외란의 영상분 전류에 대한 S-transform 파형
Fig. 3 S-transform of zero sequence current of each disturbance

본 논문에서 모의한 모든 외란은 0.1초(722번 sample)에서 발생하도록 설정하였고 이 시점을 전후로 계통 상태의 변화가 두드러짐을 명확히 확인 할 수 있다. 이때, 그림 3의 우측에 표시된 color bar는 입력 신호에 대한 최대값을 의미한다.

그림 2에서 1선 지락고장의 경우, 고장 발생각은 0°이고 고장 저항은 1[Ω]으로 설정하였다. 그 결과, 고장 발생 이후 전류의 크기가 급격하게 상승하는 결과를 나타내었다. 이는 전형적인 고장전류의 파형으로써 S-transform을 수행한 결과로도 그 변화를 쉽게 알 수 있다. 커패시터 스위칭은 용량이 9.2[μF]인 경우의 모의결과으로써 외란 발생시점으로부터 일정 시간동안 전류의 왜곡이 심하게 나타남을 알 수 있다. 이는 커패시터 스위칭 시 고조파가 심하게 발생하고 있음을 의미하고, S-transform을 수행한 결과 기본파 이외에 약 254.48[Hz] 정도의 높은 주파수 범위를 보이는 파형이 기본파와 함께 발생한다. 변압기 가압의 경우, 투입 위상각은 0°로 설정하였고 전류의 파형이 주기적으로 변화하는 특징을 보인다. 이는 여자돌입 전류의 전형적인 특징과 일치한다. 또한, 컨버터 동작의 경우, 용량이 300[kW]인 6-pulse/cycle 방식의 컨버터를 모델링하여 그 동작을 모의하였다. 모의 결과, 고주파수와 주기적인 임펄스 형태의 왜곡된 파형이 나타남을 알 수 있다. 불평형 부하의 경우, 불평형률이 30[%]인 경우의 모의결과이며, 정상상태인 경우와 비교하여 불평형 부하 투입 후의 전류 값이 커짐을 확인할 수 있고, S-transform의 파형에서도 그 변화를 쉽게 알 수 있다.

다음으로, 상기에서 얻은 결과를 기반으로 각 이벤트와 변동을 판별하는 알고리즘을 제시하였다.

4.3 S-transform을 이용한 이벤트와 변동 판별 알고리즘

본 논문에서는 각 외란이 발생한 후에 측정된 전압, 전류와 S-transform을 이용하여 각 외란들을 판별하는 알고리즘을 제안하였다. 알고리즘의 흐름은 그림 4와 같다. 우선, 상전류(I_a, I_b, I_c)와 상전압(V_a, V_b, V_c)를 취득한다. 다음으로 영상분 전류에 대한 S-transform을 수행하여 기본파와 고조

과 차수에 따른 전류를 취득하고 식 (5)로 정의되는 AHV(Average of Harmonics Value)를 계산하게 된다.

$$AHV = \left(\sum_{k=1}^N h_k \right) / N \quad (5)$$

여기에서, AHV는 기본파와 N차 고조파까지의 평균값을 의미한다. 본 논문에서는 7차까지의 AHV(AHV_7)를 사용하였으며, 이때 계산된 AHV_7의 최대값과 영상분 전류에 포함된 2고조파의 실효치, 영상분 전류의 최대값, 상전압의 THD 등을 이용하여 변압기 가압, 1선 지락고장, 불평형 부하, 컨버터 동작, 커패시터 스위칭을 구분하였다. 정상상태인 경우, 계통의 전압과 전류의 영상분에 변화가 크게 나타나지 않으므로 i번째 샘플과 i-1번째 샘플을 비교하여 그 차이가 0에 가까운 극소값이면 이전 단계의 계산을 반복하여 수행하게 된다. 그림 4에서 α , β , γ , δ , ϵ 은 각각의 외단을 판별하기 위한 threshold value이다.

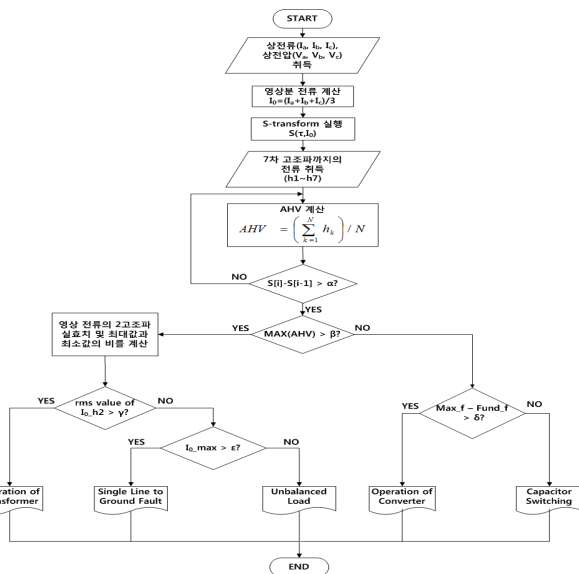


그림 4 이벤트와 변동 판별 알고리즘 흐름도
Fig. 4 Flow chart of discrimination algorithm for event and variation

그림 4의 알고리즘에서, 변압기 가압으로 발생하는 여자 돌입 전류, 1선 지락고장 및 불평형 부하에 대한 AHV_7의 최대값은 컨버터 동작, 커패시터 스위칭의 경우보다 크다. 그 이유는, 커패시터 스위칭의 경우와 컨버터 동작 시 정상 상태에 비하여 전류의 크기는 큰 폭으로 변하지 않으나 다량의 고조파 및 임펄스 형태의 파형을 포함하는 특징을 가지기 때문이다. 또한, 변압기 가압 시 발생하는 여자돌입 전류는 기본파 다음으로 2차 고조파의 크기가 가장 크기 때문에 [12] S-transform으로부터 얻은 2고조파 전류의 실효치를 비교하여 변압기 가압을 판별할 수 있다. 그리고 영상전류의 최대값을 비교하여 1선 지락고장과 불평형 부하가 투입되었을 경우를 판별한다. 한편, 컨버터 동작과 커패시터 스위칭의 판별에는 S-transform의 최대 주파수와 기본 주파수의 차이를 비교하여 분석하였다.

5. 시뮬레이션 및 알고리즘 검증

5.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서 고려한 이벤트의 종류는 배전계통에서 가장 빈번하게 발생하는 현상들을 고려하여 1선 지락고장과 커패시터 스위칭, 변압기 가압을 모의하였으며, 변동은 비선형 부하인 컨버터 동작과 부하의 불평형을 모의하였다. 다음 표 2와 3에 본 논문에서 수행한 이벤트와 변동의 시뮬레이션 조건을 제시하였다.

표 2 이벤트의 모의 조건

Table 2 Simulation Conditions of Event

이벤트의 원인	시뮬레이션 조건
1선 지락고장	고장저항 변화: 1Ω, 10Ω, 100Ω
커패시터 스위칭	커패시터 용량: 9.2μF, 46μF, 92μF
변압기 가압	투입 위상각 변화: 0°, 45°, 90°

표 3 변동의 모의 조건

Table 3 Simulation Conditions of Variation

변동의 원인	시뮬레이션 조건
컨버터 동작	용량 변화: 100kW, 200kW, 300kW
불평형 부하	불평형률 변화: 10%, 20%, 30%

비선형 부하와 불평형 부하의 각각 컨버터 용량과 불평형률을 변화시켰으며, 1선 지락고장과 커패시터 스위칭은 고장저항과 커패시터의 용량을 변화시켜 모의하였다. 또한 모든 시뮬레이션에 대한 총 모의시간은 0.2 초이고 샘플링 주파수는 720[Hz]이며, 윈도우 크기는 116 샘플이다.

두 계통에서 3가지의 이벤트와 2가지의 변동을 모의하였다. 얻어진 전류와 전압을 바탕으로 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 threshold value를 설정하였다.

5.2 IEEE 13 Node Test Feeder에서의 모의 결과

다음 표 4에 IEEE 13 Node Test Feeder에서 측정된 AHV_7, 영상분 전류의 실효값과 최대값, 최대 주파수와 기본 주파수의 차이를 나타내었다. 비교 결과, 1선 지락고장은 고장저항이 100[Ω]일 때 5.585[A], 변압기 가압의 경우 투입 위상각이 0°일 때 67.38[A], 불평형 부하의 경우 불평형률이 10[%]일 때 10.05[A]로 나타났다. 하지만, 커패시터 스위칭과 컨버터 동작의 경우는 각각 0.7986[A], 0.9241[A]로, 이는 상대적으로 매우 작은 값을 알 수 있다. 따라서 1선 지락고장, 변압기 가압, 그리고 불평형 부하의 경우 AHV_7의 최대값이 컨버터 동작과 커패시터 스위칭의 최대값보다 충분히 큰 값을 나타내므로 β는 2로 설정하였다. 다음으로 영상분 전류에 대한 2차 고조파의 실효값을 분석하였으며, 변압기 가압은 다른 두 가지 경우와 비교하여 매우 큰 결과를 나타내었다. 따라서 γ는 본 논문에서 50으로 설정하였다. 다음으로 δ는 컨버터 동작과 커패시터 스위칭을 구분하기 위한 값으로써, S-transform으로 나타나는 영상분 전류의 최대 주파수와 기본주파수의 차이이다. 본 논문에서는 적정값인 100으로 선정하였다. 마지막으로 ε의 경우, 영상분 전

류의 최대값은 1선 지락고장의 경우 고장 저항에 따라 약 53.1~883.7[A]까지 변화하였으며, 불평형 부하는 불평형률이 10~30[%]로 변화에 따라 약 5.1~7.4[A]까지 나타났다. 따라서 시뮬레이션의 결과를 근거로 하여 30으로 설정하였다.

표 4 IEEE 13 Node Test Feeder의 시뮬레이션 결과 비교
Table 4 Comparison of simulation results in IEEE 13 Node Test Feeder

시뮬레이션 조건		AHV_7 최대값 [A]	I _{0_h2} 실효값 [A]	I ₀ 최대값 [A]	max_f - fund f [Hz]
1선 지락고장	1 Ω	179.8	5.742	883.75	
	10 Ω	23.95	1.464	212.99	
	100 Ω	5.585	1.298	53.074	
불평형 부하	10%	10.05	6.299	5.1288	
	20%	13.49	7.158	8.3352	
	30%	16.46	7.912	7.4212	
변압기 가압	0°	67.38	77.71		
	45°	68.68	92.85		
	90°	69.43	72.45		
컨버터 동작	100 kW	0.793			53.8
	200 kW	0.879			54.15
	300 kW	0.9241			54.57
커패시터 스위칭	9.2 μF	0.7986			194.11
	46 μF	0.679			241.2
	92 μF	0.6021			300.07

5.3 한전 실 배전계통을 통한 알고리즘 검증

5.3.1 한전 실 배전 계통 모델

본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위하여 그림 5에 나타난 한전 실 배전계통을 EMTP로 모델링하였으며, 각 외란 발생 지점을 나타내었다. 그림 5의 계통에서 전체 부하는 약 3725[kW]이며, 계통의 역률은 0.9로 설정하였다 [13].

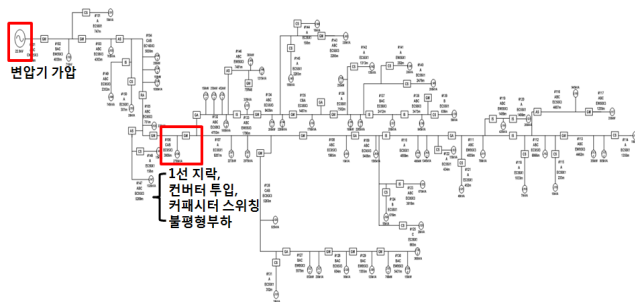


그림 5 제안하는 알고리즘 검증을 위한 한전 실 배전계통 모델
Fig. 5 KEPCO's distribution system model to verify the proposed algorithm

5.3.2 한전 실 배전계통에서의 모의 결과

다음 그림 6은 한전 실 배전계통을 대상으로 하여 식 (5)에서 정의한 AHV₇의 파형을 나타낸 그림이다. 모든 경우

에서 i번째 샘플과 i-1번째 샘플 크기의 차이, 즉 S[i]-S[i-1]은 정상상태와의 구별을 위해 선정하는 threshold value 이며, 계통에 아무런 외란이 발생하지 않는 정상상태의 경우 계통은 안정적으로 운전되고 있기 때문에 고조파의 변화는 매우 작은 값을 나타낸다. 따라서 그림 4의 알고리즘에서 α는 극소값인 1×10⁻⁶으로 설정하였다.

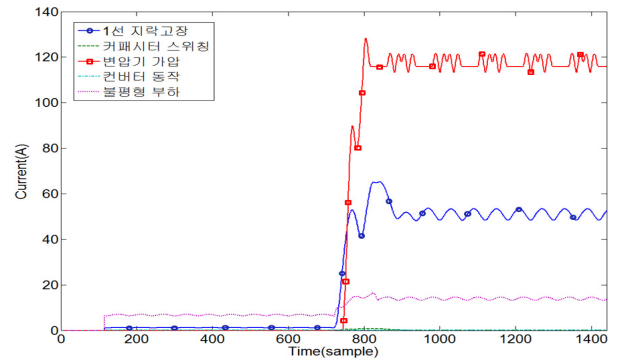


그림 6 영상분 전류의 AHV₇ 파형
Fig. 6 Waveform of AHV₇ of zero sequence current

다음 그림 7은 각 시뮬레이션 조건에 따른 AHV₇의 최대값을 나타낸다.

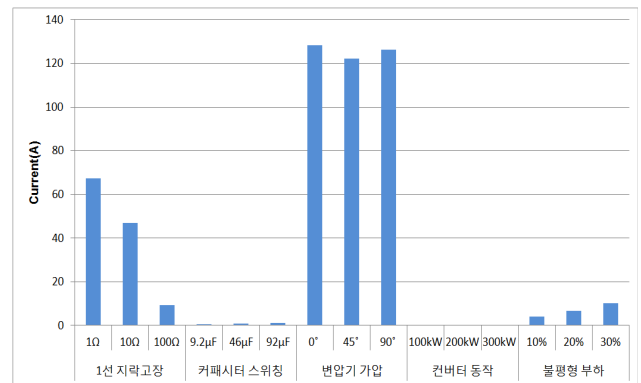


그림 7 한전 실 배전계통에서 AHV₇의 최대값 비교
Fig. 7 Comparison of Maximum value of AHV₇ in KEPCO's distribution system

고조파가 많이 포함된 외란일수록 AHV의 값은 커지게 되며, 따라서 본 논문에서 모의한 모든 외란의 AHV₇의 최대값을 분석한 결과 1선 지락고장, 변압기 가압, 그리고 불평형 부하에서 2.963에서 128.4까지 나타났다. 하지만 커패시터 스위칭과 컨버터 동작의 경우에는 0.0279에서 0.6073의 작은 값을 보였으므로 앞서 설정한 β값에 따라 적절히 구분할 수 있다.

다음으로 변압기 가압, 1선 지락고장, 불평형 부하에 대하여 영상분 전류에 대한 2고조파의 실효치를 분석하였으며, 그림 8에 그 결과를 나타내었다.

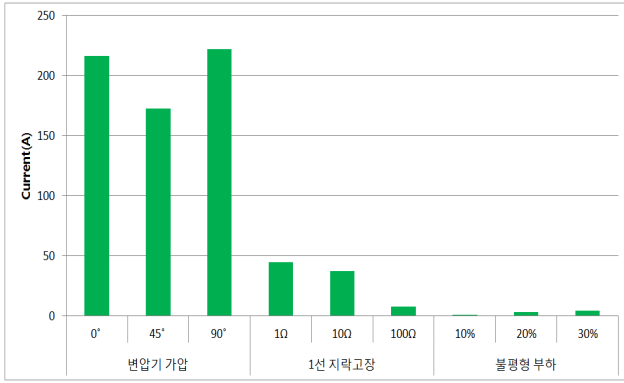


그림 8 영상분 전류에 대한 2고조파의 실효값 비교
 Fig. 8 Comparison of RMS value of second order harmonics for zero sequence current

변압기 가압 시 발생하는 여자돌입 전류는 변압기의 자화 특성에 의하여 발생되며 참고문헌 [12]에 따르면 주로 2차 고조파가 포함된다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 고조파 스펙트럼을 분석한 결과, 영상분 전류에 대한 2차 고조파의 실효치는 최대 222.2[A]까지 나타났으며 다른 경우에 비하여 매우 큰 값을 가진다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 50으로 설정한 ϵ 의 threshold value는 적절하다고 할 수 있다.

다음 그림 9는 1선 지락고장과 불평형 부하 투입의 경우에서 영상전류의 최대값을 비교한 결과이다. 불평형률은 10[%]에서 한전에서 제한하고 있는 30[%]까지 변화시켜 모의하였다.

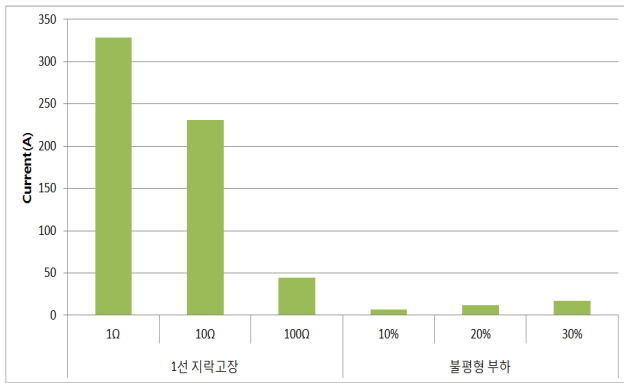


그림 9 영상분 전류의 최대값 비교
 Fig. 9 Comparison of maximum value of zero sequence current

1선 지락고장의 경우 영상분 전류의 최대값은 44.315~328.11[A]까지 나타났으나, 불평형 부하의 경우 불평형률이 변함에 따라 영상분 전류의 값은 6.6931~16.679[A]까지 상승하였으므로, ϵ 값인 30으로 판별이 가능하다.

다음 그림 10은 컨버터 동작과, 커패시터 스위칭 조건에 대하여 S-transform 수행 시 나타나는 전류의 최대 주파수와 기본 주파수(60[Hz])의 차이를 나타낸 것이다.

컨버터 동작의 경우, 주파수 분석을 위하여 영상분 전류를 S-transform으로 변환하였고, 두 계통에서의 영상분 전류의 최대 주파수와 기본 주파수의 차이는 100[Hz] 미만으

로 비교적 큰 변동이 나타나지 않지만, 커패시터 스위칭의 경우 약 200~300[Hz]의 높은 주파수가 나타남을 알 수 있다. 따라서 150으로 설정한 δ 은 적절하다고 할 수 있으며, 이는 커패시터 스위칭 시 더 많은 고조파가 발생한다는 것을 의미한다.

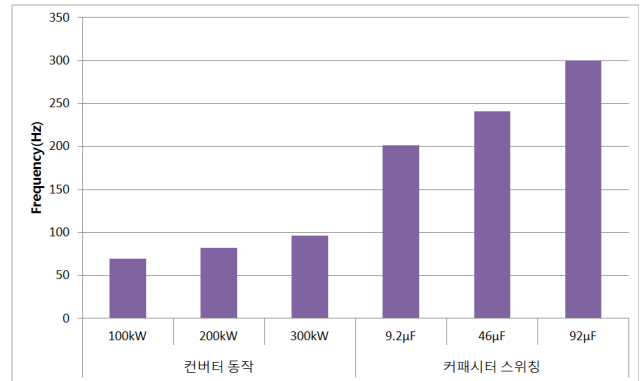


그림 10 영상분 전류의 최대 주파수와 기본 주파수의 차이
 Fig. 10 Differences between maximum frequency and fundamental frequency of zero sequence current

5.4 시뮬레이션 결과 분석

본 논문에서는 우선, IEEE 13 Node Test Feeder에서 threshold value를 설정한 후, 한전 실 배전계통에 적용하여 그 타당성을 검증하였다. 시뮬레이션으로 얻은 결과를 분석하기 위하여 두 계통 모두 전압과 전류를 이용하였으며 모의한 이벤트와 변동은 제시한 알고리즘의 판별 방식과 threshold value의 값에 따라 적절히 구분할 수 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 배전계통에서 발생하는 외란인 이벤트와 변동을 EMTP로 모의하여 각 외란을 판별하는 알고리즘을 제안하였다. 이를 위하여 한전의 실 배전계통과 IEEE 13 Node Test Feeder를 모델링 하였으며, 다양한 조건으로 두 계통에서의 시뮬레이션을 수행하였다. 각 외란들의 판별 알고리즘은, 우선 시뮬레이션을 통하여 얻은 상전류를 S-transform을 이용하여 변환하고 다음으로 새롭게 정의된 함수인 AHV와, 영상분 전류의 최대값, 실효값, 주파수의 변동 추이 등을 이용하여 threshold value를 선정하였다. 본 알고리즘을 통하여 배전계통에서 발생하는 외란의 종류를 판별할 수 있음을 보였다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 배전계통의 전력품질 판단, 보호기기의 동작 및 보호계전 알고리즘 등에 적용 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2011-0027556)

참 고 문 헌

- [1] 손영락, 이화석, 문경준, 박준호, 윤재영, 김종율, 김슬기, “웨이브렛 변환을 이용한 배전계통의 전력품질 외란 검출에 관한 연구”, 전기학회논문지 A, 제54A권 제7호, pp.328~336, 2005. 7
- [2] 서훈철, 이순정, 김철환, “웨이브렛 변환을 이용한 고장 과 Variation 유형 구분 알고리즘 개발”, 전기학회논문지, 제60권 제8호, pp1460~1466, 2011. 8
- [3] 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 Transactions on Power Delivery, Vol. 24, pp1483~1489, 2009
- [4] Gomez Juan, Campetelli Gabriel, Felici Marcos, “Effect of the overcurrent protection settings on distributions systems on the resultant power quality”, Electricity Distribution CIREN, pp 1~4, 2005
- [5] R. G. Stockwell, L. Mansinha, R. P. Lowe, “Localization of the Complex Spectrum: The S transform”, IEEE Transactions On Signal Processing, Vol. 44, No. 4, April, 1996
- [6] P. K. Dash, B. K. Panigrahi, G. Panda, “Power Quality Analysis Using S-transform”, IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 18, No.2, April, 2003
- [7] Gomez Juan, Campetelli Gabriel, Felici Marcos, “Effect of the overcurrent protection settings on distributions systems on the resultant power quality”, Electricity Distribution CIREN, pp 1~4, 2005
- [8] “Protective Relaying and Power Quality”, IEEE PSRC Working Group Report
- [9] Math H. J. Bollen, “Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions”, John Wiley & Sons, 1999
- [10] Gaouda A. M. et al, “Power Quality Detection and Classification using wavelet-multiresolution signal decomposition”, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 14, No. 4, pp.1469-1476, 1999
- [11] IEEE Distribution Planning Working Group Report, “Radial distribution test feeders”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 6, No. 3, pp975~985, August 1991
- [12] Turner, R. A, Smith, K. S, “Transformer Inrush Current”, IEEE Industry Applications Magazine, Vol. 16, Issue: 5, pp. 14~19, Sept, 2010

저 자 소 개

**이 순 정 (李 淳 正)**

1986년 2월 26일생. 2010년 강원대학교 전기전자정보통신공학부 졸업. 2010년~현재 성균관대학교 정보통신대학 석사과정
Tel : 031-299-4630
Fax : 031-299-4137
E-mail : kiraoov@gmail.com

**서 훈 철 (徐 熏 徹)**

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

**김 철 환 (金 喆 換)**

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