

S-Transform 기반의 전력품질 이벤트의 측정 지수 개발

김세진, 이순정, 서훈철, 김철환
성균관대학교

Development of measurement indices of power quality event based on S-Transform

Se-jin Kim, Soon-Jeong Lee, Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - S-Transform은 어떠한 신호의 변환 후 원 신호의 주파수 및 크기를 모두 알 수 있는 효과적인 방법이다. 따라서, 본 논문에서는 IEEE에서 제시한 전력품질 이벤트의 분류를 기반으로 S-Transform 기반의 전력품질 이벤트의 측정지수를 제안하였다. 제안한 측정지수의 효율성을 검증하기 위하여, ATPDraw를 이용하여 고장 및 비선형 부하를 모의하였다. 그 결과를 이용하여 S-Transform을 수행하여 제안된 측정지수의 효율성을 검증하였다.

NF(Normalized Frequency)는 S-transform의 단위이며, 다음 식 (3)과 같이 정의된다.

$$NF = \frac{Frequency}{Sampling\ Frequency} \quad (3)$$

식 (3)의 SF(Sampling Frequency)는 식 (4)와 같이 정의한다.

$$SF = 1 / (Time\ Step \times Fixed\ Output\ Rate) \quad (4)$$

따라서, NF는 다음 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$NF = \frac{Frequency}{1 / (Time\ Step \times Fixed\ Output\ Rate)} \quad (5)$$

만약, SF가 매우 큰 값이라면 NF는 보다 정확한 값을 얻을 수 있다. 반면에 연산량이 많아져 변환 시간이 길어지는 단점이 있다.

3. S-transform을 이용한 전력품질 측정 지수

3.1 전력품질 분류

IEEE 1159의 "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality"에서는 전력 품질을 다음 표 1과 같이 분류하고 있다 [2].

〈표 1〉 IEEE 1159에서 제시한 전력품질 분류

분류	전형적인 주파수 범위	전형적인 지속시간	전형적인 전압크기
1. Oscillatory			
1.1 Low frequency	< 5kHz	0.3-50ms	0-4pu
1.2 Medium frequency	5-500 kHz	20μs	0-8pu
1.3 High frequency	0.5-5 MHz	5μs	0-4pu
2. 단시간 변화			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.2-30 cycles	0.1-0.9pu
2.1.2 Swell		0.2-30 cycles	1.1-1.8pu
3. 파형 왜곡			
3.1 고조파	0-9kHz	steady state	0-20%

3.2 S-Transform을 이용한 전력품질 측정 지수

S-Transform을 이용하여 본 논문에서 제안하는 전력품질 측정 지수는 표 2와 같다. S-Transform 시 식 (3)에 나타난 것과 같이 SF가 중요하다. 따라서, 가장 일반적으로 사용되는 12, 36, 64 sampling에 대하여 전력품질 측정 지수를 제안하였다. 이 값을 이용하면 SF값은 720, 2160, 3840Hz이다. 표 2에 단시간 변화에 관련된 것은 나타나지 않았다. 그 이유는 결과가 표 1과 동일하기 때문이다.

1. 서론

현재 정보통신 장비들은 고성능화, 고밀도화 되어 있어 이상 전압에 의해 민감하고 그 피해도 크다. 이상 전압에 의해 피해를 줄이고 이러한 장비를 효과적으로 이용하기 위해서 고품질의 전기가 필요하다. 고품질의 전기를 배전 계통을 통해 고객에게 보내는 과정에서 그 품질을 유지하기 위해 전송 중 발생하는 전력품질의 관별이 요구된다.

전력품질 관별을 위하여 STFT(Short Time Fourier Transform)을 이용한 방법, 웨이블릿 변환을 이용한 방법 등 다양한 방법들이 제안되었다. 대표적인 전력품질 관별 기법으로 STFT (Short Time Fourier Transform)을 이용하여 전력 신호를 변환하고 이 신호에서 외란을 감지하는 방법이 있다. STFT를 이용하는 방법은 기존에 많이 쓰이는 방법이지만, 과도현상 발생 시, 감지 능력이 감소하기 때문에 과도현상에 의한 전력품질 왜곡 현상에서는 효과가 없는 단점이 있다. 또 다른 방법으로 웨이블릿 변환(Wavelet Transform)을 이용한 전력품질 관별 기법이 있다. 이 방법은 전력계통 신호를 시간과 주파수 영역으로 연속적으로 관찰하면서 전력 품질을 관별하므로, FFT (Fast Fourier Transform)보다 좋은 성능을 보이지만 복잡한 연산 시간 때문에 시간이 오래 걸리며, 잡음이 많은 계통 신호에서는 그 정확성이 떨어지는 등의 단점이 있다. 하지만, S-Transform은 웨이블릿 변환의 개념을 확장하면서, 변화 가능한 윈도우 특성을 지닌 STFT (Short Time Fourier Transform)의 특성을 결합한 신호처리 기법으로, 이 변환을 이용하여 전력품질 신호를 관별한 결과는 앞서 본 다양한 방법에 의한 결과보다 정확하고 빠르다. 또한 시간의 흐름에 따라 시간-주파수 (Time-Frequency)에 대한 표현으로 나타낼 수 있기 때문에 변환결과를 통해 직관적인 전력품질 관별이 가능하다[1].

따라서, 본 논문에서는 IEEE에서 제안한 전력품질 분류 방법을 이용하여 S-Transform 기반의 전력품질 관별 지수를 제안하였다. 제안된 전력품질 관별 지수의 적합성을 검증하기 위하여 ATPDraw를 이용하여 배전계통을 모델링하여 고장 및 비선형 부하의 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 S-Transform을 수행한 후 개발된 지수를 이용하여 전력 품질을 분석하였다.

2. S-Transform

다음은 S-transform에서 사용된 식과 파라미터에 대하여 나타내었다. 실시간 모니터링을 통해 얻어진 계통 신호를 S-transform으로 변환하기 위해 S-transform의 의미와 관련된 파라미터에 대해 다음 식 (1)과 같이 정의한다.

$$S(\tau, f) = A(\tau, f)e^{j\theta(\tau, f)} \quad (1)$$

A는 S-transform의 크기를 나타내며, $\theta(\tau, f)$ 는 S-transform의 phase를 나타낸다. 이에 따라 정규화(Generalized)된 S-transform은 다음 식 (2)와 같이 얻어진다.

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

〈표 2〉 S-Transform 기반의 전력품질 측정 지수

분 류	전형적인 주파수 범위		
	720Hz	2160Hz	3840Hz
1.2 Oscillatory Transient			
1.2.1 Low frequency	< 6.944	< 2.315	< 1.302
1.2.2 Medium frequency	6.944~	2.315~	1.302~
1.2.3 High frequency	644.4~	231.5~	130.2~
3.0 파형 왜곡			
3.1 고조파	0~12.5	0~4.167	0~2.344

4. 시뮬레이션

4.1 계통 모델 및 시뮬레이션 조건

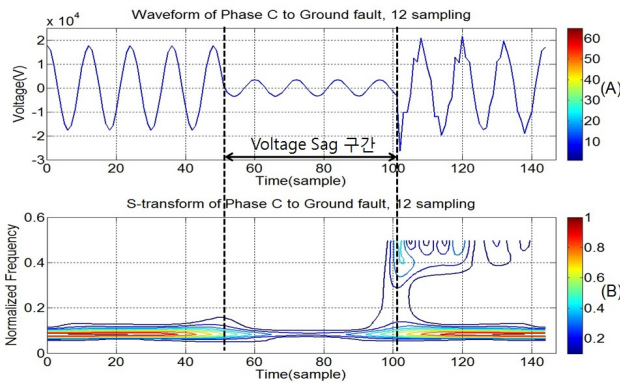
본 논문에서 다루는 계통은 한전의 실제 배전계통으로서 참고문헌 [3]에 나타나 있다. 계통 모델은 ATPDraw를 이용하여 모델링하였다.

표 2에 제안된 전력품질 측정 지수의 검증을 위하여 고장 및 비선형 부하를 시뮬레이션 하였다. 고장의 경우, 1선 지락고장으로 고장발생 각 0도, 고장저항은 1Ω이다. 비선형 부하의 경우 인버터를 연계하였다. 각 경우에 SF 값을 720, 2160, 3840Hz로 선정하여 시뮬레이션 하였다.

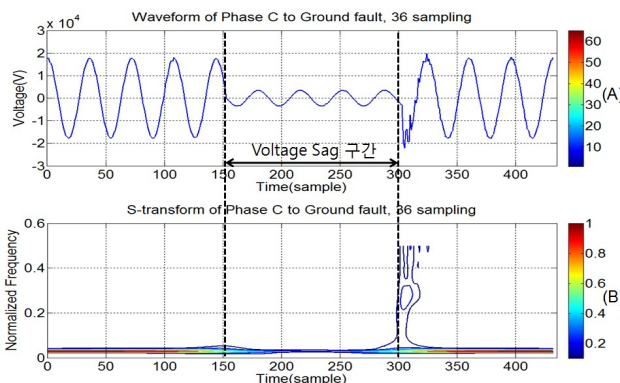
4.2 시뮬레이션 결과

4.2.1 고장

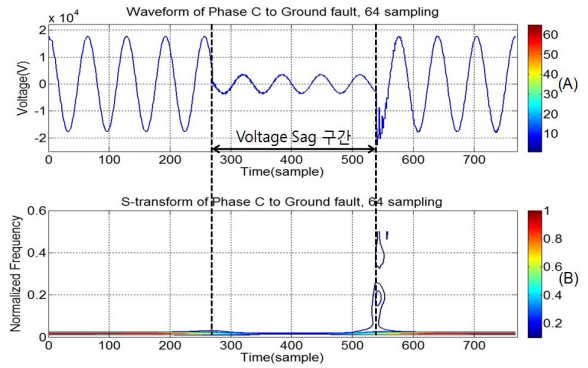
그림 1-3은 각각, SF가 720, 2160, 3840Hz인 경우의 시뮬레이션 결과이다. 그림 1-3의 (A)는 계통에서 C상 지락고장 시 전압의 순시치 파형이고, (B)는 이때의 S-Transform 결과이다. S-Transform 파형에 나타난 color bar는 전압의 p.u. 값을 나타낸 것으로써, S-Transform 결과가 붉은색을 나타낼수록 p.u. 값은 1에 가까움을 의미한다. 3가지 경우 모두, 고장발생 시 약 0.2 p.u.의 값을 나타내고 있으므로 voltage sag가 발생함을 알 수 있다. 고장 제거 시점에서 그림 1의 경우 NF 값이 0.048276~0.5, 그림 2의 경우 0.016166~0.5, 그림 3의 경우 0.0091~0.5의 값을 나타내고 있으므로, 이는 표 2에 따라 Low Frequency Oscillatory Transient로 판별 할 수 있다.



(A) 순시치 파형 (B) S-Transform 변환 결과
〈그림 1〉 SF가 720Hz인 경우의 시뮬레이션 결과



(A) 순시치 파형 (B) S-Transform 변환 결과
〈그림 2〉 SF가 2160Hz인 경우의 시뮬레이션 결과

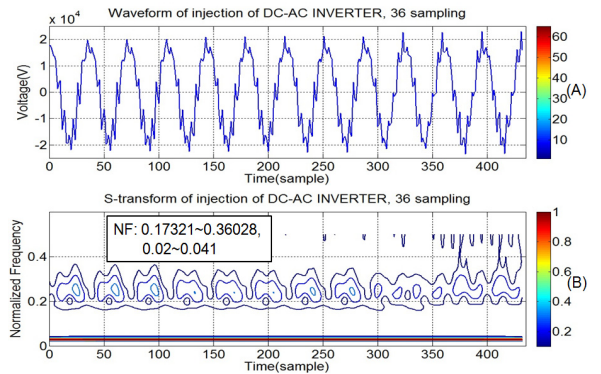


(A) 순시치 파형 (B) S-Transform 변환 결과
〈그림 3〉 SF가 3840Hz인 경우의 시뮬레이션 결과

그림 1-3을 보면 NF의 최대값은 0.5임을 알 수 있다. 이는 Nyquist 이론 때문이다. 신호의 sampling 시 sampling frequency는 원 신호의 하는 신호의 2배 이상 되어야 한다. 따라서 이러한 이론을 식 (3)에 대입하면 NF의 최대값은 0.5임을 알 수 있다.

4.2.2 비선형 부하

그림 4는 인버터가 연결된 경우의 시뮬레이션 결과로 SF가 2160Hz인 경우이다. 그림 4의 (A)는 계통의 순시치 전압 파형이고, (B)는 이때의 S-Transform 변환 결과이다. NF값은 두 그룹으로 나타내며, 0.02~0.041의 값은 기본 주파수를 의미한다. 또한, 0.17321~0.36028의 그룹은 역변환 시 374.1~778.2Hz의 값을 나타내며, 이는 파형이 7~13 고조파를 포함하고 있음을 의미한다. 따라서, 표 2를 통하여 고조파로 인한 파형 왜곡이 발생함을 알 수 있다.



(A) 순시치 전압 파형 (B) S-Transform 변환 결과
〈그림 4〉 비선형 부하 연계 시 시뮬레이션 결과

5. 결 론

본 논문에서는 S-Transform을 기반으로 전력품질 판별 지수를 제안하였다. 제안된 전력품질 판별 지수는 IEEE에서 제안한 전력품질 분류를 기반으로 하고 있다. 제안된 판별 지수의 검증을 위하여 ATPDraw를 이용하여 고장 및 비선형 부하 연계 시 SF 값을 다양하게 시뮬레이션 하였다. 그 결과, 제안된 S-Transform 기반의 전력품질 측정 지수를 통해 전력품질 판별이 가능함을 확인하였다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

[1] R.G.Stockwell et al, "Localization of Complex spectrum: The S Transform", IEEE Trans on Signal Processing, Vol. 44, No. 4, 1996
 [2] IEEE Std 1159 - IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 2009
 [3] 서훈철, 김철환, 윤영민, "태양광 연계 계통의 저전압 보호 기준 정립", 2009년도 대한전기학회 하계학술대회.