

## S-Transform을 이용한 고장 검출 알고리즘 개발

이순정\*, 서훈철\*, 최해솔\*\*, 김철환\*  
성균관대학교\*, 젤파워\*\*

### Development of Fault Detection Algorithm Using S-Transform

Soon-Jeong Lee\*, Hun-Chul Seo\*, Hae-Sul Choi\*\*, Chul-Hwan Kim\*  
Sungkyunkwan University\*, Xel Power\*\*

**Abstract** - Recently, by increasing of devices which are sensitive to power quality, microprocessor and power electronics, the deterioration of power quality is accelerated. Accordingly, various methods for analysis, detection, compensation and countermeasure on power quality are proposed. For this, the study of distinction of various disturbances and fault which is occurred in power system is necessary to prior. Therefore, in this paper, the classification algorithm among steady state and single line to ground fault which is commonly occurred fault is proposed using S-Transform.

#### 1. 서 론

전력품질의 개념은 전력 공급 측면에서 전압, 전류 등 전력 공급의 신뢰도를 뜻하고, 수용가 측면에서는 전기설비에 공급되는 전력의 상태(특성)로 정의 할 수 있다. 전력품질 문제를 발생시키는 주요 원인은 크게 전력 사용의 증가와 전력품질 변동에 민감한 부하 장비 사용의 증가, 역률 개선 병렬 커패시터 장비 이용에 따른 고조파 발생과 같은 내부적 원인과 낙뢰, 전력계통의 고장 발생, 그리고 스위칭과 같은 외부적 원인으로 발생하는 전력품질 문제로 나눌 수 있다. 이에 따라 전력품질로 발생하는 사회·경제적 손실도 커지고 있으며 전력품질을 향상시키기 위해서는 전력 계통에서 발생하는 여러 가지 외란과 사고의 분석이 선행 되어야 한다.

이러한 이유로 계통에 고장이 발생하는 경우에 있어 고장의 종류를 판별할 수 있다면 많은 비용과 고장 제거에 필요한 인력을 줄일 수 있기 때문에 고장 종류 판정에 대한 연구는 현실적으로 그 필요성이 매우 높다[1].

본 논문에서는 전력계통에서 가장 빈번하게 발생하는 사고인 1선 지락 사고를 EMTP-RV로 모의하여 그 특성을 분석하고 S-Transform을 이용하여 고장을 검출하는 알고리즘을 제안하였다.

#### 2. S-Transform

##### 2.1 S-Transform의 정의[2]

다음은 전력품질 판별을 위해 사용한 신호처리 기법 중 하나인 S-Transform에 대해 설명이다. S-Transform의 의미와 관련된 파라미터에 대한 정의는 다음과 같다.

우선, 시간 급수  $h(t)$ 의 S-Transform은 다음 식 (1)과 같이 정의된다.

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)g(\tau-t, f)e^{-i2\pi ft} dt \quad (1)$$

여기서 Gaussian 변조 함수  $g(\tau, f)$ 는 다음 식 (2)와 같이 주어진다.

$$g(\tau, f) = \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-(t^2/2\sigma^2)} \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{1}{|f|} \quad (3)$$

식 (1)에 식 (2), (3)을 넣어 정리하면,

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

여기에서  $f$ 는 주파수,  $t$ 와  $\tau$ 는 시간을 나타낸다.

결과적으로  $S(\tau, f)$ 는 복소수 형태이므로 다음 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$S(\tau, f) = A(\tau, f)e^{j\theta(\tau, f)} \quad (5)$$

$A$ 는 S-Transform의 크기를 나타내며,  $\theta(\tau, f)$ 는 S-Transform의 phase를 나타낸다.

##### 2.2 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 기존에 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 전력품질을 판별하므로, 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[3].

웨이블릿 변환과 STFT를 변형한 형태인 S-Transform은 외란이 발생한 계통의 전력품질 문제를 감시, 검출, 분류하기 위한 신호처리 기법이다. S-Transform은 시간 영역에서 2-D 주파수 영역으로 완벽하게 변환 할 수 있다. 변환된 주파수-시간 스펙트럼과 위상-주파수-시간 스펙트럼은 국부적인 특징을 정의하는데 매우 유용하다.

##### 2.3 S-Transform의 단위

NF(Normalized Frequency)는 S-Transform의 단위이며, 아래 식 (6)과 같이 정의한다.

$$NF = \frac{Frequency}{Sampling Frequency} \quad (6)$$

이 식의 SF(Sampling Frequency)는 아래 식 (7)과 같이 정의한다.

$$SF = 1 / (Time Step \times Fixed Output Rate) \quad (7)$$

따라서 NF는 아래 식 (8)과 같이 쓸 수 있다.

$$NF = \frac{Frequency}{1 / (Time Step \times Fixed Output Rate)} \quad (8)$$

또한, x축은 Time Step 간격으로 나타낸 sample의 개수로써, 이는 곧 시간을 의미한다.

#### 3. 시뮬레이션

##### 3.1 계통 모델 및 시뮬레이션 조건

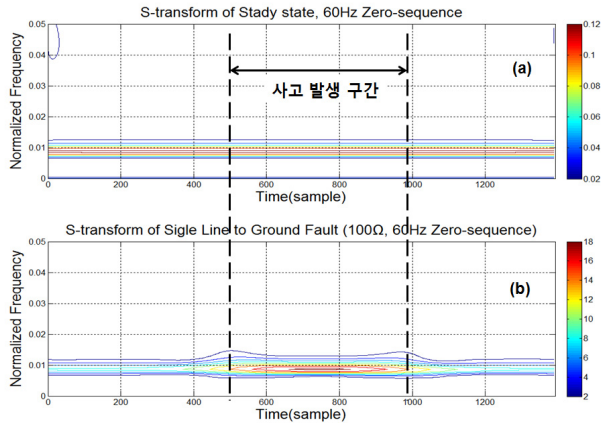
본 논문에서는 S-Transform을 이용한 고장 발생 시 특성 분석을 위하여 IEEE에서 제시하고 있는 배전계통인 IEEE 13 Node Test Feeder를 EMTP-RV를 이용하여 모델링 하였다. IEEE 13 Node Test Feeder는 연구의 대상이 배전계통일 때, 일반적인 특성을 분석하기 위하여 IEEE Distribution System Analysis Subcommittee에서 제안한 모델이다. 각 선로 파라미터와 부하용량은 [4]에 나타나 있다. 고장 발생 시 S-Transform을 이용한 특성 분석을 위하여 계통에서 가장 빈번하게 발생하는 사고인 1선 지락사고를 모의하였으며, 시뮬레이션 조건은 다음 표 1에 나타내었다.

〈표 1〉 시물레이션 조건

고장발생각	1선 지락사고								
	0°			45°			90°		
고장저항 (Ω)	1	10	100	1	10	100	1	10	100

3.2 시물레이션 결과 및 분석

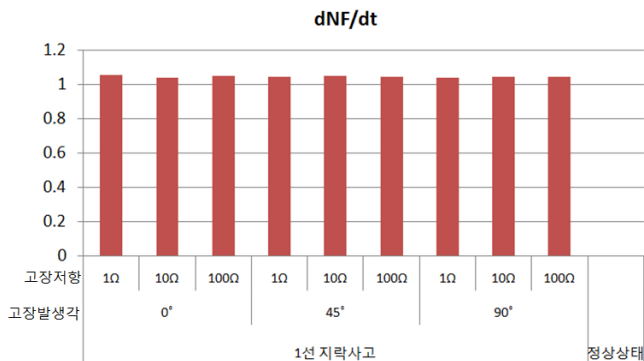
고장 모의는 EMTP-RV를 이용하였으며, 시물레이션 된 결과를 MATLAB을 이용하여 S-Transform을 수행하였다. 그림 1은 계통 모델의 정상상태와 1선 지락사고의 모의결과를 토대로 S-Transform을 실행한 결과이다. S-Transform 파형의 우측에 나타난 color bar는 순시치 전류의 최대값을 나타낸 것으로써, S-Transform 결과가 붉은색을 나타낼수록 순시치 전류의 최대값에 가까움을 의미한다.



〈그림 1〉 (a) 정상상태의 S-Transform 결과, (b) 1선 지락사고 시 S-Transform 결과 (고장발생각 0°, 고장저항 100Ω)

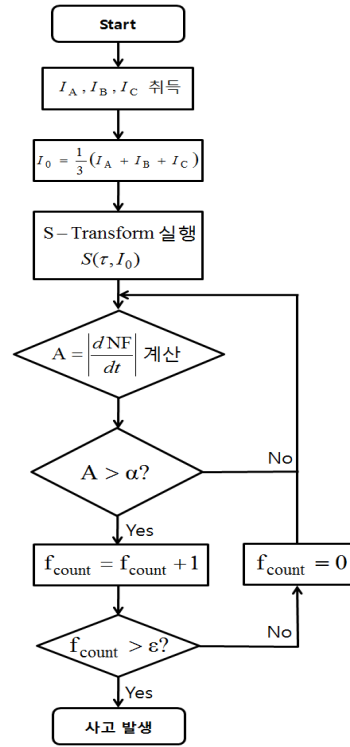
그림 1의 (a)는 정상상태인 경우의 시물레이션 결과이다. 취득한 3상 전류를 영상분 전류로 계산하였고, 이때 영상분 전류의 최대값은 color bar에 나타난 최대값인 0.12로써 0에 가까운 작은 값을 보였다. 그림 1의 (b)는 IEEE 13 Node Test Feeder의 633번 노드에서 A상 지락 사고를 모의한 결과이다. 고장상의 전류 상승으로 인하여 영상분도 크게 상승함을 알 수 있고, 이때 나타나는 영상분 전류의 최대값은 18A이다. 이러한 시물레이션 결과들은 정상상태와 1선 지락사고에서 나타나는 영상분 전류의 전형적인 특징과 일치함을 알 수 있다. 또한, 고장 발생 시 각 case에 대한 NF의 최대값은 0.014399~0.018719로 나타났다.

시물레이션 결과를 기반으로 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 다음과 같다. 우선, 상전류를 취득하여 전류의 영상분을 계산하고 그 다음으로 S-Transform을 실행한다. 이때, NF의 변화  $\left\{ \frac{d(NF)}{dt} \right\}$ 가 최소 3 sample 이상 지속되면 사고발생으로 판단할 수 있다. 만일 변화량이 0이면 정상상태이므로 NF 변화량의 계산을 반복하여 수행하게 된다. 다음 그림 2는 9가지 case와 정상상태에 대하여 NF의 peak값에서  $\frac{d(NF)}{dt}$ 을 계산한 결과에 대한 그래프이다. 각 case별 NF의 변화량은 1.04000~1.05263까지 다양하게 나타나지만, 정상상태에서는 0에 가까운 값을 나타낸다.



〈그림 2〉 1선 지락사고와 정상상태의 시간에 대한 NF의 변화량

다음 그림 3은 사고 발생 판별에 대한 순서도이다.



〈그림 3〉 사고 발생 판별 알고리즘

여기에서 α는 사고 발생을 판단하기 위한 NF변화량의 threshold로써 본 논문에서 설정한 값은 0.5이다. f<sub>count</sub>는 계통의 순간적인 변동으로 나타나는 오류를 고려하기 위해  $\frac{d(NF)}{dt}$ 를 3회 이상 반복 수행하기 위한 것이다. 따라서 ε는 3으로 설정하였다.

4. 결 론

지구 물리학에서 지구 내부의 여러 상태를 파악하기 위해 사용된 S-Transform을 전력계통에 접목하여 전력품질을 판별하는데 매우 효과적으로 이용할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 S-Transform을 적용하여 고장 발생 시 그 특성을 분석하고, 이를 기반으로 S-Transform을 이용한 고장 검출 알고리즘을 개발하였다. 지락사고가 발생한 경우에만 나타나는 전류의 영상분을 S-Transform을 통하여 분석한 결과 매우 빠르고 명확한 사고 검출이 가능함을 보였다.

향후 과제로 전력계통 내에서 스위칭 event로 발생하는 여러 외란들과 발생 가능한 여러 가지 사고들을 분석하고 S-Transform을 이용하여 각 case들의 판별 알고리즘에 대하여 연구할 것이다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

- [1] 최민승, 이승재, 이덕수, 진보건, 민병운, “3상회로 직접해석에 의한 배전계통 1선지락사고 고장거리 계산 알고리즘”, 대한전기학회, 전기학회논문지 A, 제51A권 제8호 2002.8, pp.409~416.
- [2] Robert G. Stockwell, “S-transform Analysis of Gravity Wave Activity from a Small Scale Network of Airglow Imagers”, pp. 80-85, Sept. 1999.
- [3] 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.
- [4] IEEE Distribution Planning Working Group Report, “Radial distribution test feeders”, IEEE Transaction on Power Systems, August 1991, Volume 6, Number 3, pp 975-985.