

시간-주파수 분석을 이용한 트래킹진전과정 분석

이춘하*, 지승욱, 이광식

호서대학교 환경안전공학부*, 영남대학교 전기공학과

Analysis of tracking process using time-frequency analysis

C.H. Lee*, S.W. Jee, K.S. Lee

Hoseo University*, Yeungnam University

1. 서론

우리나라 전체 화재 중 전기화재는 30%를 넘고 있으며, 이들 전기화재 중에서 80% 이상이 전기배선 등에서 발생하는 단락(합선), 누전, 접촉불량, 스파크 등이 원인인 것으로 알려져 있다.^{1),2)}

특히, 전기 화재의 78%를 차지하는 단락에 의한 출화의 경우는, 통상적으로 탄화(혹연화)가 발생할 수 있는 피복류에서 일어날 위험이 큰 것으로 알려져 있다.³⁾

탄화, 즉 트래킹을 검출하기 위한 가장 일반적인 방법은 시각적인 구분과 전류를 이용하는 것이다. 그러나, 이 방법은 회로 내부에 저항을 삽입해야 하는 등의 번거로움이 있다. 이 밖에도 트래킹 발생 시 동반되는 방전현상을 이용하여 트래킹의 진전상태를 파악할 수 있다. 즉, 방전 발생 시 수반되는 광, 음파, 초음파 및 전자파를 측정함으로써 트래킹의 진전 상태를 알 수 있는데, 이상의 방법들은 외부의 영향을 많이 받고, 고가의 측정장비를 필요로 하며 일부의 방법들은 지속적인 모니터링이 어려운 단점을 가지고 있다.⁴⁾⁻⁷⁾

트래킹은 절연물의 표면에서 장시간에 걸쳐 서서히 진행되는 현상이다.⁸⁾ 따라서, 지속적인 혹은 주기적인 모니터링 만으로도 트래킹에 도달하기 전에 충분히 막을 수 있고, 화재나 감전 등의 사고로 진전되기 전에 방지가 가능하다고 판단된다.

따라서, 낮은 가격으로 지속적이며, 측정이 용이한 트래킹 감지방법을 개발한다면 전기배선에서 발화되는 전기화재의 상당부분을 방지할 수 있을 것이다.

본 논문은 이러한 취지에 맞게, 측정이 용이한 전압만을 이용하였고, 이를 개인용 컴퓨터에서 시간-주파수 분석을 이용하여 트래킹 진전 상황을 분석하였다.

2. 개량된 시간-주파수 분석 알고리즘

개량된 시간-주파수 분석 알고리즘은 크게 3단계로 구분해 볼 수 있다.

첫째, 오실로스코프로부터 데이터를 입력받는다.

측정 데이터를 그림 1과 같이 일정한 크기로 잘라 각각의 Period에 저장한다. 또한 Period의 개수 n 과 Period와 Period 사이의 간격인 Interval은 식 (1)을 만족하는 범위 내에서 결정한다.

$$\text{Garbage} = \text{전체 데이터수} - \{ \text{Period의 크기} + (n-1) \times \text{Interval} \} \geq 0 \quad (1)$$

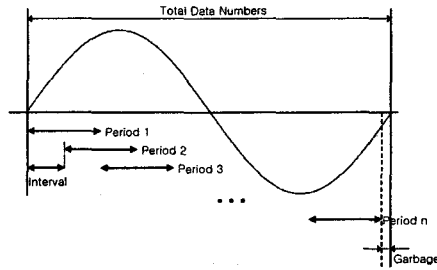
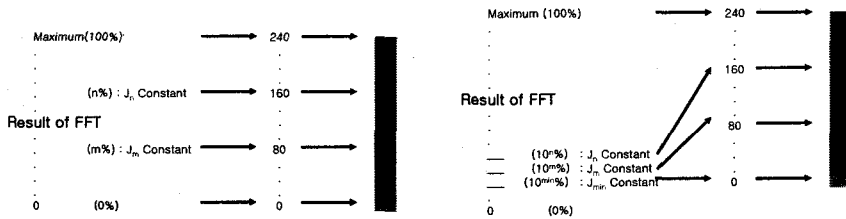


그림 1. 분할-FFT의 기본 개념

둘째, 각 period에 대하여 FFT를 수행한다.

셋째, 이상의 FFT 결과들은 그림 2와 같은 방법으로 그래픽 처리하여 재조합 한다. FFT 결과, 최대 Amplitude 값을 100%로 하고, 관측자가 정한 임의의 값 $J_m(\%)$ 과 $J_n(\%)$ 를 기준으로 0%~ J_m , J_m ~ J_n , J_n ~100% 사이의 값들에 대해 각각 등간격으로 나눈 다음 RGB 값으로 변환한다.



(a) 표준 모드

(b) 로그 모드

그림 2. 그래픽 처리 방법

이상의 처리 과정을 거친 데이터들을 그림 3과 같이 배치한다. 그림 3에서 FFT 1은 Period 1을 FFT한 것이고, FFT 2는 Period 2를 FFT한 것이며, FFT n은 Period n을 FFT한 것이다.

따라서, 개량된 시간-주파수 분석을 수행한 데이터도 측정 파형과 동일하게 가로축을 시간으로 해석할 수 있다.

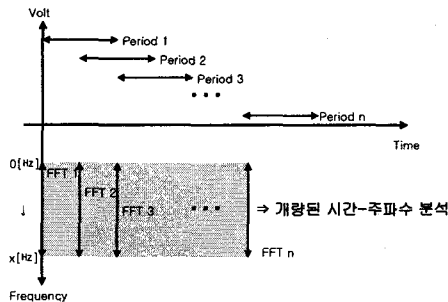


그림 3. FFT 결과의 배치

3. 실험장치 및 방법

트래킹 시험은 IEC 60112 “Method for determining the comparative and the proof tracking indices of solid insulating materials under moist conditions”에서 규정한 시험장치를 사용하였다.¹²⁾ 인가 전압은 교류 380[V], 60[Hz]로 하였으며, 전해액은 증류수에 Sodium chloride, NaCl을 0.3 중량% 용해(식염수, 8% 염화나트륨 수용액)시켜 사용하였고 링거(ringer) 주사를 통하여 30초 간격으로 전해액이 약 20[mm]가 적하되도록 하였다.

시료는 절연 재료로 널리 쓰이고 있는 PVC(PolyVinyl Chloride)를 사용하였다. 크기는 6×6[cm], 두께는 3[mm]이다. 실험 전에 에틸알콜로 시료 표면을 세척한 후, 실리카겔(silicagel)을 넣은 건조함에서 48시간 이상 건조시킨 후 실험에 사용하였다.

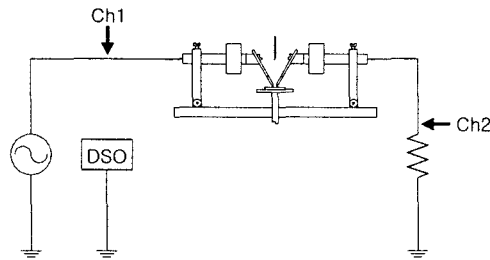


그림 4. 실험 장치도

전체적인 실험회로는 그림 4와 같이 구성하였으며, 전압, 전류 파형 취득을 위해서 LeCroy DSO Waverunner LT372 (4GS/s)를 이용하였다. 그림 4의 전극 양단에 100:1(LeCroy, PPE 2[kV]) 프로브를 이용하여 전압을 측정하고, 이를 텍스트 파일(.txt)로 디스켓에 저장한 후, 컴퓨터 상에서 시간-주파수 분석을 행하였다.

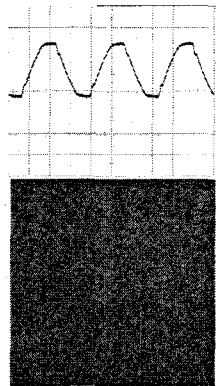
4. 실험 결과

전극에 전압이 인가되고 전해액이 적하되기 시작하면서부터 트래킹 파괴가 일어나는 동안, 총 6번의 DSO(Digital Storage Oscilloscope)의 파형을 캡처하여, 그림 5에 나타내었다. 각 그림의 DSO 파형에서 ‘1’ 파형이 전압 파형, ‘2’ 파형이 전류 파형이다. DSO 파형의 바로 아래에 있는 그림은 위쪽의 DSO 파형 중에서 전압 파형을 DSO로부터 50002개의 데이터 값으로 전달받아 시간-주파수 분석을 수행한 결과 이다. 그림 바로 아래의 숫자는 시간-주파수 분석을 수행했을 때 Amplitude의 최대값이다.

가로축은 DSO와 동일한 시간이며, 세로축은 주파수이다. 가장 위에 줄이 DC이며 아래로 내려가면서 주파수가 증가한다. 각 그림들에서 기본주파수는 1,953[Hz], 주파수 대역은 DC~500[kHz], 시간은 0.049664[sec/dot], 총 dot수는 256개이다.

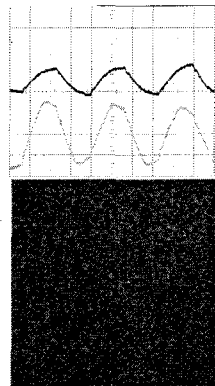
이번 실험에서는 표준 모드($J_m=0.33$, $J_n=0.67$)로 그래픽처리 하였다.

그림 5에서 (a)는 정상상태 때의 모습이고, (b)는 전해액이 시료 표면에서 양 전극을 연결하여 전류가 흐름으로써 순간적으로 단락 상태를 이룰 때의 모습이다. 이 두 가지의 경우 시간-주파수 분석에서 구분이 어려워 보이지만, Amplitude 값을 비교해 보면 쉽게 구분할 수 있다. 또한, 고주파 부분의 색깔이 점점 짙어지고 있는 것으로도 구분이 가능하다.



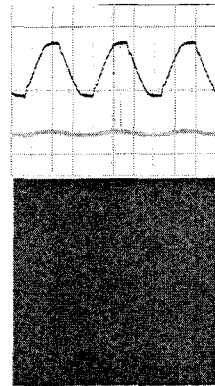
539.750685
Ch1 : 400 [V/div]
Ch2 : 1 [A/div]

(a) 정상 상태



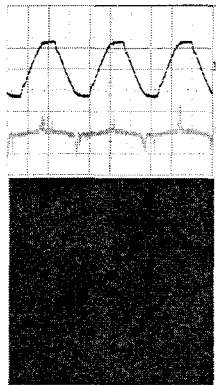
327.781085
Ch1 : 400 [V/div]
Ch2 : 4 [A/div]

(b) 단락 상태



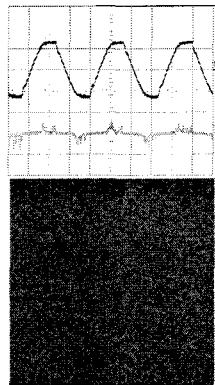
541.916217
Ch1 : 400 [V/div]
Ch2 : 1 [A/div]

(c) 방전 개시



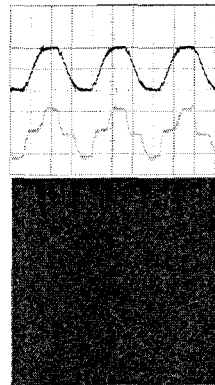
556.251464
Ch1 : 400 [V/div]
Ch2 : 1 [A/div]

(d) 방전 진전



556.614802
Ch1 : 400 [V/div]
Ch2 : 2 [A/div]

(e) 탄화 개시



436.885840
Ch1 : 400 [V/div]
Ch2 : 2 [A/div]

(f) 트래킹 개시

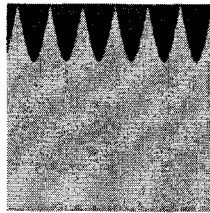
그림 5. 트래킹 진전 과정

(c)은 건조대가 생기고 이 곳에서 방전이 개시될 때의 모습이며, (d)는 방전이 제법 진전된 모습을 나타내고 있다. 전압 측정만으로는 정상상태와 구분이 어렵지만, 시간-주파수 분석을 수행하게 되면 충분히 구분되는 것을 볼 수 있다. 그러므로, 시간-주파수 분석을 사용할 경우, 노후 된 설비의 콘센트 양단의 전압 측정만으로도 설비 중에 존재할 트래킹 가능성 여부 등을 측정할 수 있다고 판단된다.

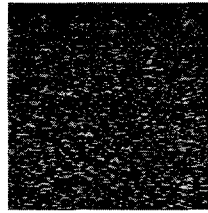
(e)는 시료 표면에 탄화 흔적이 나타날 때, 즉 탄화가 시작될 때이며, (f)는 탄화 도 전로가 완성되어 트래킹으로 진전되었을 때의 모습이다.

그림 6은 특정 파형에 대하여 시간-주파수 분석한 결과를 로그 모드($J_n=-1$, $J_m=-3$, $J_{min}=-4$)로 그래픽 처리한 결과이다. (a)는 이상적인 사인파($50 \cdot \sin\omega t$)에 대하여 수행한 결과이며, (b)는 평선제너레이터로부터 얻은 사인파형($5 \cdot 10 \cdot \sin\omega t$)에 대하여 시간-주파수 분석을 수행한 결과이다. (c)는 그림 5 (a)의 정상 상태, (d)는 그림 5 (b)의 단락 상태의 전압 파형에 대해 샘플링 수를 10002로 하고 전압은 10:1로 감하여 측정된 전압 파형을 시간-주파수 분석한 것이다.

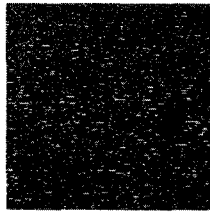
이상적인 사인파의 경우 저주파 성분에 비하여 고주파 성분의 크기가 극히 미약하지만, 파형의 찌그러짐이 커질수록 저주파 성분의 크기에 대한 고주파 성분의 영향이 점점 커짐을 알 수 있다. 가시적으로 저주파 부분에 생기는 ‘도깨비 뿔’ 문양이 점점 사라지고 있다. 즉, 시간-주파수 분석을 수행함으로써 파형의 찌그러짐 정도도 분석이 가능하다고 판단된다.



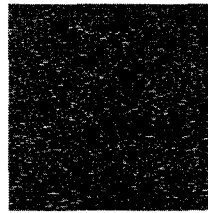
(a) 이상적인 파형



(b) Funtion generator 파형



(c) 정상 상태



(d) 단락 상태

그림 6 분할-FFT의 결과

5. 결론

1. 전압 파형만으로는 방전 개시 때와 정상 상태 때를 구별할 수 없었지만, 시간-주파수 분석을 이용할 경우 그 구분이 명확했고, 방전이 일어나는 시점까지 정확히 알 수 있었다.
2. 일반적으로 전기 측정에서 전압 값 측정은 전류 값 측정에 비해 상당히 간단하고 정확하지만 전기 기기의 이상, 특히 방전현상의 경우 전류 값으로 판별한다. 따라서, 이번에 연구된 시간-주파수 분석을 이용한다면 측정이 용이한 전압 값만으로도 방전 유무를 충분히 알 수 있다. 특히, DSO를 이용한 전압 측정과 컴퓨터 소프트웨어에만 의존함으로써 기존의 설비에 적용하더라도 추가 비용이나 측정장치의 설치 문제를 고민하지 않아도 되는 장점이 있다. 또한, 컴퓨터를 이용하여 판별하므로, 무선 랜 등을 이용한 네트워크화도 용이하여 원격 감시 설비 구축도 가능할 것으로 사료된다.
3. 사인파의 경우 저주파 영역에서 생기는 ‘도깨비 뿔’ 문양을 통해, 현재 전압 파형의 왜형 정도를 파악할 수 있다.
4. 시간-주파수 분석의 경우 이상발생을 색띠를 이용하여 시각적으로 표현해 주는 시스템이므로 비전문가들도 쉽게 판별할 수 있다.
5. 비가 오는 날, 콘센트의 전압 측정만으로도 노후 된 건물의 전기설비에 대한 트래킹 진단 정도를 판별할 수 있는 측정장치 개발에 적용 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 행정자치부, “2002년도 화재통계연보”, 11-1310000-000002-10, 2003.
2. 한국전기안전공사, “전기재해 통계분석”, 2002.
3. 이춘하 외, “전기화재공학”, pp. 172-211, 2000.
4. 윤진열 외, “GIS 부분방전 검출기술 연구”, 한국전력공사, TR.98PJ04.J2002.407, 2002.
5. Changchang Wang, Xianhe Jin, et al, “Analysis and Suppression of Continuous Periodic Interference for On-line PD Monitoring of Power Transformers”, 1999. Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering, Vol. 5, pp.212-215, 1999.
6. 이덕출 외, “고분자 절연체의 열화진단기법 및 수명예측에 관한 연구”, 기초전력공학공동연구소 97-중-06, 2000.
7. 이병호 외. “레이저를 이용한 전력기기 비파괴 열화진단 기술의 개발에 관한 연구”, 기초전력공학공동연구소 97-중-04, 2000.
8. 전춘생, “방전·고전압 공학”, pp.313-314, 동명사, 1980.
9. IEC 60112, “Method for determining the comparative and the proof tracking indices of solid insulating materials under moist conditions”, 2004.