

웨이블릿을 이용한 다중 부분방전 유무 판단기법

이양진*, 김재철*, 김용성*, 조성민*, 김광화**
 송실대학교 전기공학과* 진기연구원**

Recognizing multiple partial discharge sources by wavelet analysis

Yang-Jin Lee*, Jae-Chui Kim*, Young Sung Kim*, Sung-Min Cho*, Kwang-Hwa Kim**
 *Dept. of Electrical Engineering, Soongsil University, Korea **KERI

Abstract - 변압기 및 GIS 설비 내의 부분방전(Partial Discharge: PD) 발생 시 과도 UHF 신호들이 발생하고 그 신호들은 탱크 안에서 공진한다. 한 개 이상의 PD소스가 존재하고 간섭을 포함 할 때, PD에서 발생하는 본 신호들을 정확히 분류 할 수 있는 능력은 진단의 수준을 높일 것이다. 고속 푸리에 변환(FFT)은 주파수변화가 많을 시에, 주요 주파수의 특징 구별이 어렵다. 즉 푸리에 변환 적용 시 noise의 불규칙적인 파형으로 원 신호와의 구분이 어렵다. 그래서 시간과 주파수영역 모두에서 좋은 해상도를 나타내는 웨이블릿을 사용하였다. 변압기 및 GIS 설비 탱크에서 다른 위치의 PD소스로부터 UHF신호들을 인지하는 것에 대하여 웨이블릿에 기초된 방법은, 단지 한 개의 UHF 센서로 신호를 받았을 경우에도 묘사되어진다. UHF PD신호들의 시간-주파수 특성은 웨이블릿 변환으로부터 설립되고, 신호의 에너지 분포 mapping의 의미로 제공되어진다. 유사함수(similarity function)는 다양한 웨이블릿 계수분포 사이에서 유사성의 측정을 제공하기 위하여 정의된다. 실험으로 측정된 데이터를 통하여 다중부분방전의 유무를 판단하고자 한다.

진다. 웨이블릿 변환의 다른 흥미 있는 특징은 신호들의 뚜렷한 시각적인 표현을 제공 할 수 있는 능력이다. 그에 반해서 푸리에 변환은 사인곡선으로 신호를 분석한다. 그것은 같은 주기에서 무한히 진동하고, 지역 특성이 없다. 웨이블릿은 제로 평균값의 일반적인 진동들(small waves)로 고려될 수 있다. 웨이블릿의 다른 범주는 마더 웨이블릿(mother wavelet)으로 부터 얻고, 그것은 신호 해석동안 이동되고 넓혀진다. 주어진 마더 웨이블릿 $\psi(t)$ 에 관하여 함수 $f(t)$ 의 웨이블릿 변환은 다음 식으로 정의되어진다.[1]

$$W_{\psi f}(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt \quad (1)$$

a 는 스케일(scale) 매개변수 이고, b 는 천이(translation) 매개변수 이다. 마더 웨이블릿 $\psi(t)$ 는 인수 a 에 의해 시간영역에서 스케일 되고 시간 b 에 의해 이동된다. 웨이블릿 변환을 통해, 어떤 제한된-에너지 신호는 시간영역으로부터 웨이블릿 영역으로 맵(map) 되어 질 수 있다. 이 경우는 시간과 주파수 이상의 2차원의 분포이다. 웨이블릿 계수들 $W_{\psi f}(a,b)$ 은 a 와 b 의 범위로 계산되어지고, 과정은 웨이블릿 영역에서 구성하는 부분으로 내려간 신호 $f(t)$ 를 breaking하는 웨이블릿 변형으로 여겨질 수 있다.

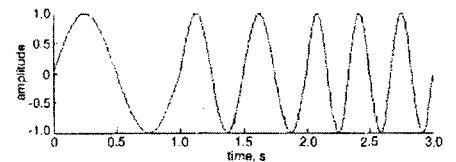
1. 서 론

기존에는 시간 영역에서 UHF 신호를 사용하여 부분방전을 확인 하였다. 그러나 부분방전 소스들은 활동적이고 잡음을 포함하고 있으므로 검출에 신뢰도가 줄어든다. 설비의 외함 혹은 내부에 2개의 UHF 센서를 부착하고 부분방전 소스의 수는 $PD_1 \sim PD_n$ 개가 한정된 부피 V 에서 활동한다고 가정하자. 한 개 혹은 그 이상의 센서로 부분방전 발생 신호를 검출하게 되는데 이 때 일부 신호의 소스는 과도 방해 신호일 것이고, 부상을 통해 설비 탱크 안으로 결합 될 것이다. 이러한 현상 때문에 본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용하게 된다. 웨이블릿은 부분방전 활동을 해석하는 데에 쓰이며 코로나 방전으로부터 노이즈가 섞인 신호에서 유용한 정보를 끌어낸다. 또한 다중 소스 부분방전의 패턴을 시간-주파수 분배에 의해 분석한다. UHF 부분방전 신호들의 웨이블릿 해석은 phase-resolved 형태로 해석이 되며 이는 신뢰도 있는 진단에 커다란 도움을 준다.

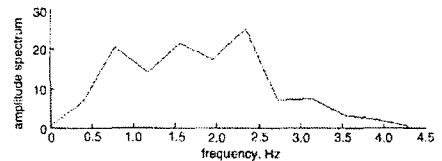
2. 본 론

2.1 웨이블릿 기본이론

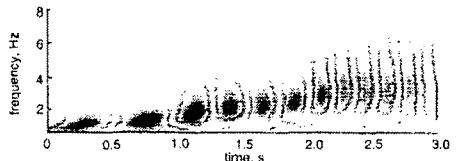
웨이블릿 변환은 주파수 해석의 고전적 방법(푸리에나 창 푸리에 변환)들 보다 더 큰 이점을 가지고 있다. 특히 시간에서 신호 에너지의 위치측정에 관한 정보를 유지할 수 있는 능력을 가지고 있다. 웨이블릿 변환은 한 신호의 시간과 주파수 변화 둘을 동시에 나타낼 수 있으므로 특히 과도 해석에 대해 적절하고, UHF신호의 발발은 고전압 전기적 설비에서 PD에 의해 발생 되어



(a) Time-domain signal



(b) Amplitude spectrum



(c) Continuous wavelet transform

그림 1. 웨이블릿 변환과 푸리에 변환의 비교

예로서, 그림 1.(a)에서 보여준 합성의 싸인 함수 $f(t)$ 를 고려하자. 신호는 매 초마다 주파수로 변화하고, 1Hz에서 3Hz로의 단계로 증가한다. 그림 1.(b)는 이 신호의 스펙트럼의 크기를 보여준다.(푸리에 변환의 계수) 시간에서는 다른 주파수들이 신호 스펙트럼을 추론할 수 없다는 것을 표현한다. 그림 1.(c)는 $f(t)$ 의 웨이블릿 변환의 결과를 보여준다. 그것의 어두운 그림자 부분은 $W_{\psi}(a,b)$ 의 큰 값들과 일치한다. $W_{\psi}(a,b)$ 의 최대값은 $f(t)$ 에 기여하는 주요 주파수들을 지시한다.

2.2 실증실험

본 논문에서는 전력설비 중 부분방전에 의해 발생하는 전자파특성을 연구하기 위하여, 실험실 내에서 모의 전극을 사용하여 부분방전을 측정하였다. 실험 장치는 그림 2.

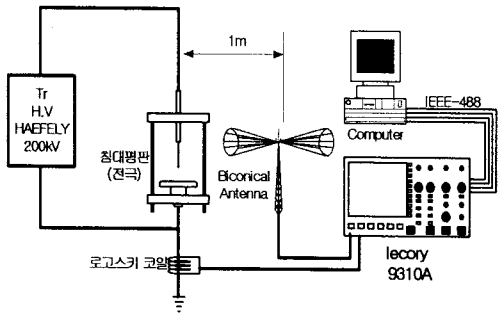


그림 2. 부분방전 실험장치 구성도

에 나타난 것처럼 부분방전을 발생시켜 안테나로 측정할 수 있도록 구성하였다.[2] 안테나는 Biconical Antenna를 사용하였고, 오실로스코프는 Lecroy LT342를 사용하여 측정된 파형은 IEEE-488(GPIB-488) 인터페이스를 통하여 그림 파일과 데이터 파일로 저장하였다. 오실로스코프의 내부측정저항은 50[Ω]으로 설정하였고, 측정시간은 0.5 μs로 동일하게 측정하였다. ETS사의 Biconical 안테나는 1[M]거리에서 20-200[MHz]의 주파수대역을 ±1.2dB의 오차이내로 측정 가능하다.

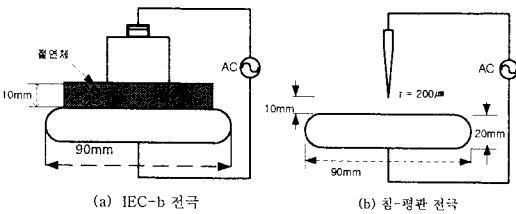


그림 3. 실험 전극의 구조

그림 2와 그림 3의 실험 장치는 IEC-270과 IEC-466을 참고로 하여 구성하였다.[3] 그림 3의 전극들을 이용하여 전력설비 내의 (a) 연면 방전과 (b) 코로나 방전을 모의하여 부분방전을 발생시켰으며, 절연체의 두께와 침과 전극의 간격을 조정하여 전압의 크기가 5.9[kV]에서 6.1[kV]일 때 부분방전이 발생되도록 하였다. 각각의 실험은 30초의 간격을 두어 측정하였다.

2.3 사례연구

웨이블릿을 사용할 때, 선택된 마더함수는 변형된 신호의 type에 대하여 적당하여야 한다. 이 경우 UHF신호 해석에서 감쇄, 진동, 짧은 지속시간 등을 고려해야 하고 이러한 신호와 함께 사용하기에 Daubechi의 웨이블릿이 적당하다. Daubechi의 family wavelet들은 dbN에 의해

표시되며 여기서 N은 웨이블릿의 계수이다. 마더 웨이블릿은 N이 증가함으로써 부드러워진다. 그러나 계산 시간은 길어지게 된다. 이 결과들은 그림 4.에서 보여준다.[5]

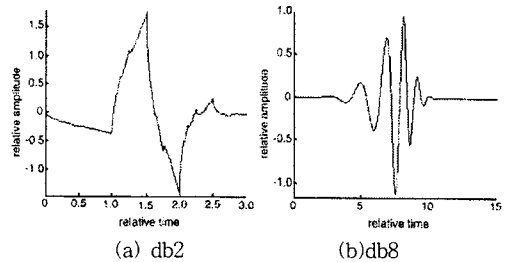


그림 4. Daubechie's wavelet function

본 논문에서의 웨이블릿 해석은 기저함수 웨이블릿과 신호 자신 사이의 유사성의 측정이다. 그 결과 시간영역에서의 유사한 모양과 주파수 분별에서의 유사성에 관한 두 가지 내용이 요구된다. 이에 따라 다양한 계수들의 Daubechie의 wavelet이 연구되었고 최적화된 웨이블릿의 선택이 필요했으며 시간 영역에서 다른 웨이블릿과 PD 펄스 사이의 비교를 하였다. 기존의 논문에서는 마더 웨이블릿 db4를 사용하여 유사도 판정을 하였다.

다음의 유사함수(similarity function)는 어떤 두 개의 정규화(normalized)된 웨이블릿 계수들 사이의 유사성의 단계를 측정하는 것에 정의되어진다.[6]

$$S_{i,j}^{m,n} = \sum_{a=1}^K \sum_{b=1}^L |(W\psi_i^m)(a,b)| \cdot |(W\psi_j^n)(a,b)| \quad (2)$$

여기서 S의 아래첨자 i와 j는 실험 데이터의 9개 셋을 의미하며 윗 첨자 m과 n은 PD 소스의 위치를 지시한다. 이 m과 n은 그림 5의 위치 1 ~ position 3을 나타낸다. 그리고 a와 b는 이산 정수로 각각 1에서 K까지

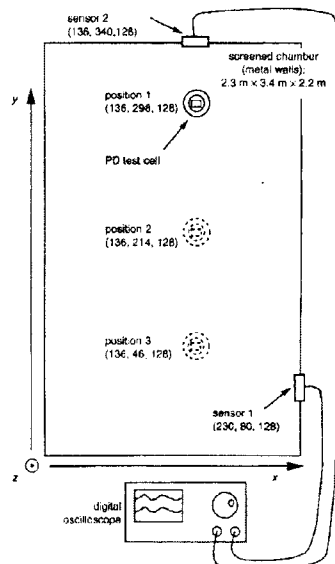


그림 5. UHF 센서들의 위치와 실험실 실험에 사용된 테스트 셀을 보여주는 스크린 챔버

1에서 L까지를 의미한다. 그것은 스케일의 범위와 샘플된 데이터의 길이에 의해 제어된다. 웨이블릿 계수들의 정규화는 만약 웨이블릿 계수들이 동일하다면 S=1의 값으로 산출되어 지는 것으로 정의된다. 실험 데이터 셋들의 모든 조합에 대한 S의 값들은 식(2)에 의해 계산되어 지고 평균, 최대, 최소값들은 표 1.에 나타내었다.

표 1. Similarity values for the experimental data in the form: mean (max, min)

	$S_{i,j}^{m,n}(i \neq j)$	n=1	n=2	n=3
Sensor1	m=1	0.84(0.97,0.70)		
	m=2	0.08(0.11,0.05)	0.80(0.97,0.65)	
	m=3	0.00(0.00,0.00)	0.05(0.08,0.02)	0.76(0.98,0.45)
Sensor2	m=1	0.84(0.96,0.69)		
	m=2	0.00(0.00,0.00)	0.81(0.98,0.67)	
	m=3	0.02(0.07,0.00)	0.00(0.03,0.00)	0.74(0.97,0.42)

결과는 3개의 범주로 그룹 되어 질 수 있다.

1. $S_{i,i}^{1,1}, S_{i,i}^{2,2}, S_{i,i}^{3,3}$ 은 자신으로 각 데이터 셋의 유사를 측정한다. S=1값, 표 1.에는 표시 안됨.
2. $S_{i,j}^{1,1}, S_{i,j}^{2,2}, S_{i,j}^{3,3}$ 은 3개의 다른 PD소스 위치에 대해 획득된 다른 데이터 셋 사이에서 계산된 유사함수들임. 9셋과 일치하는 각 위치에 대해 36번 계산, 유사에 관한 좋은 측정값이 산출된다.
3. $S_{i,j}^{1,2}, S_{i,j}^{2,3}, S_{i,j}^{1,3}$ 은 다른 PD소스 위치들과 상응하는 신호들의 웨이블릿 계수 비교 결과이다. 81번 계산 수행, S의 낮은 값, 지시하는 신호는 비슷하지 않다.

표 1.은 각 센서에 대해 신호들의 그룹들 사이에 명확한 구별을 해 준다. 그것은 유사(S>0.41에 대해)와 비유사(S<0.12)를 말한다. 두 개의 UHF센서들에 의해 기록된 신호들은 표 1.에 데이터의 생성에 전체의 독립적으로 해석되어 짐을 유념해야한다. 그림 6.은 구별의 단계를 그래픽적으로 묘사한다. 그리고 그 구별은 양 센서들로부터 유사의 계산들의 조합에 의해서 얻어 질 수 있다. 그림 6.의 $S_{i,j}^{1,2}, S_{i,j}^{2,3}, S_{i,j}^{1,3}$ 이 유사함수의 맵에 표시된다는 것은 다중 부분방전이 있음을 의미한다.

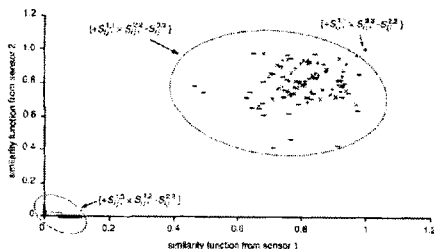


그림 6. 2개의 센서에 대한 유사 함수 결과 조합

2.4 실험분석

본 논문에서는 기존 2.3 사례연구의 유사도 판별 이론에 따라 2.2 실증실험에서 얻어진 실험 데이터를 적용하였다. PD 신호는 2개의 센서 대신에 안테나와 로고스키코일로 측정하였다. 실험 측정 조건은 5.6KV에서 방전을 발생시켰으며 2일에 걸쳐 각각 같은 위치에서 10셋의 실험을 하였다. 측정된 신호들은 웨이블릿을 적용하였으

Daubechi의 db3를 사용하였다. 유사함수 $S_{i,j}^{m,n}$ 를 구하기 위하여 두 개의 웨이블릿 계수를 정규화 시켰다. 정규화된 계수는 각각 신호의 최대치이고 표 2.에 표시하였다.

표 2. Similarity values for the experimental data in the form: mean (max, min)

	$S_{i,j}^{m,n}(i \neq j)$	n=1	n=2
Sensor1	m=1	0.9025(0.9025,0.9025)	
	m=2	0.9025(0.9025,0.9025)	0.9025(0.9025,0.9025)
Sensor2	m=1	0.3469(0.4342,0.2438)	
	m=2	0.3703(0.8056,0.1334)	0.6360(0.8056,0.4645)

표 2.에서 m과 n은 측정 날짜의 차이이며 multi PD 소스가 아닌 동일 PD 위치에 대하여 분석 하였으므로 위 결과는 모두 유사성이 뛰어나게 나왔다. 특히 안테나의 경우가 로고스키코일보다 유사성이 더 좋은 값이 나왔다.

3. 결 론

다른 위치에서의 PD소스 사이의 구별에 대한 UHF 웨이블릿이 기초된 방법이 묘사되었다. 이 기술은 시간-주파수 영역에서 변환되어진 신호들의 쌍들 사이의 유사성을 계산한 것에 기초하고 있다. 실험실 실험들과 큰 전력용 변압기 및 GIS의 PD로부터의 UHF.신호들은 실증에 접근하고 있다. 그 기술들은 여러 UHF센서로부터 PD신호들을 얻을 수 있지만, 신호가 단지 하나의 센서에서 측정되어 질 때 효과적이다.

감사의 글

본 논문은 한국전기연구원의 연구비 지원으로 진행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] 김영노, "웨이블릿 변환을 이용한 부분방전시의 전차파 진단 기법에 관한 연구", 숭실대학교 석사학위 논문, 2001.12
- [2] 이도훈, 김재철, 전영재, 김영노, 김광화, "VHF안테나를 이용한 기중 부분방전 신호의 전차파 특성연구", 2002년도 대한전기학회 하계학술대회, A권, pp 560-562, 2002. 7
- [3] 김영노 외, "폐쇄형 배전반내의 안테나를 이용한 부분방전 측정에 관한 연구", 2000년도 대한전기학회 하계학술대회, pp 534-536, 2000.7
- [4] 강현배, 김대경, 서진근, "웨이블릿 이론과 응용", 아카넷, 2001
- [5] ALBERT BOGGESS, FRANCIS J. NARCOWICH, "A First Course in Wavelets with Fourier Analysis", Prentice Hall, Inc, 2001
- [6] L. Yang, M.D. Judd, "Recognizing multiple partial discharge sources in power transformers by wavelet analysis of UHF signals", IEE Proc. Sci. Meas Technol., Vol 150, No. 3, pp 119-126, May 2003
- [7] 허영주, "웨이블릿: 기본 개념 및 데이터 압축에의 응용", 한국과학기술정보연구원(KISTI)