

웨이브렛 변환을 이용한 GIS의 부분방전 검출 알고리즘에 관한 연구

論 文

52C-1-5

A Study on the Algorithm for Detection of Partial Discharge in GIS Using Wavelet Transform

姜 晋 琇* · 金 喆 煥**
(Jin-Su Kang · Chul-Hwan Kim)

Abstract - Gas insulated switchgear(GIS) is an important equipment in a substation. It is highly desirable to measure a partial discharge(PD) in GIS which is a symptom before insulation breakdown occurs. The issue is that the PD signal is weak and sensitive to external noise. In this paper, the algorithm for detection of PD in GIS using wavelet transform is proposed. The wavelet transform provides a direct quantitative measure of spectral content, "dynamic spectrum", in the time-frequency domain. The recommended mother wavelet is 'Daubechies 4(db4)' wavelet. 'db4', the most commonly applied mother wavelet in the power quality analysis, can be used most properly in disturbance phenomena which occurs rapidly for a short time. Through the procedure of wavelet transform, noise extraction and reconstruction, the signal is analyzed to determine the magnitude of PD in GIS. In experimental results, we can know that partial discharge is exactly detected in combination of D1 and D2 using wavelet transform.

Key Words : Partial Discharge, Wavelet Transform, Gas Insulated Switchgear, Mother Wavelet

1. 서 론

우리 사회는 고도로 산업화되어 감에 따라, 전력 공급에서 높은 신뢰성을 요구하고 있다. 특히, 최근 변전소에 주로 설치되는 가스절연개폐장치(GIS)는 밀폐형이므로 육안점검이 불가능하고, 고장 발생시 복구에 장시간 및 고비용이 필요하기 때문에, GIS의 내부 상태를 진단할 수 있는 기술 개발을 필요로 하고 있다. 현재 내부 상태의 진단은 부분방전 측정 중심으로 다양한 기술이 개발되고 있으며, 상당한 기술 발전을 이룩하고 있다[1-3].

웨이브렛 변환은 1980년대 초에 소개된 이후 순수/응용 과학 및 공학 등에서 급속히 발달하였고, 현재 여러 분야에서 계속 응용되고 있다. 웨이브렛 변환은 영역의 크기가 가변되는 원도우를 사용하여 확립되지 않은 주파수 영역으로 신호를 분석하는 특징이 있어, 신호처리를 위한 여러 응용 분야에서 많은 관심의 대상이 되고 있다[4-6]. 특히, 가변 원도우의 적용으로 저주파에서부터 고주파대역으로 넓은 범위의 주파수 범위를 가지는 부분방전 신호의 분석 특성을 향상시킨다[7-11].

고전압의 필요성에 따라 GIS의 중요성이 증가 하고 있고, 고가인 GIS의 효과적인 상태감시방법이 연구되고 있지만 GIS가 많은 기기들로 이루어져 있기 때문에 부분방전 신호

를 측정하였을 때 많은 잡음을 포함하고 있으므로 현장에서 적용이 어렵다[12-18]. 또한, GIS 노이즈 제거를 위해 기존의 연구들에서 다양하게 웨이브렛 변환을 이용한 방법을 적용해 왔지만, 실험적인 부분방전 데이터를 이용하여 현장에서의 적용에는 어려움이 있었다. 따라서 본 논문에서는 실제 데이터로 이용한 GIS의 절연과파에 영향을 미치는 부분방전의 검출 방법을 제시하고자 한다. 웨이브렛 변환을 이용하여 초기에 추출된 신호에서 잡음을 제거하고, 정규화 과정을 거친 후 그 신호를 다시 한번 웨이브렛 변환을 이용하여 부분방전을 검출하는 방법을 제시하였다. 또한, 여러 가지의 마더웨이브렛 중에서 부분방전 검출에 가장 적합한 마더 웨이브렛을 선정하였고, 선정된 마더 웨이브렛을 이용하여 부분방전 검출 방법을 제시하였다.

2. 웨이브렛 변환

2.1 이산 웨이브렛 변환

일반적으로 연속 웨이브렛 변환을 수행하게 되면 많은 양의 데이터가 산출되고 분석시간도 길어지므로 문제가 된다. 따라서 2의 멱승 형태에 기초한 scale과 shift를 선택한다면 분석은 더욱 효율적으로 수행되며, 이러한 분석은 이산 웨이브렛 변환을 통해서 구현된다. 이산 웨이브렛 변환 DWT(m, k)는 다음 식 (2-1)로 나타낼 수 있다.

$$DWT(m, k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_n x(n) \cdot g\left(\frac{k - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) \quad (2-1)$$

* 準 會 員 : 成均館大 情報通信工學部 碩士課程

** 正 會 員 : 成均館大 情報通信工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2002年 4月 29日

最終完了 : 2002年 12月 19日

여기서, scale을 나타내는 변수는 a_0^m 이고 shift를 나타내는 변수는 $nb_0 a_0^m$ 이다. $\frac{1}{\sqrt{a_0^m}}$ 은 마더 웨이브렛과 같은 크기의 에너지를 유지시키기 위한 에너지 정규화 성분이다. 또한, $g(\cdot)$ 는 마더 웨이브렛이고 k 는 입력 신호에서 특정한 샘플치를 나타내는 정수이다.

웨이브렛 변환의 결과인 approximation(A)은 신호의 저주파 성분을 나타내고, detail(D)은 고주파 성분을 나타낸다. 따라서, 이산 웨이브렛 변환의 수행 과정은 고역필터와 저역필터를 사용하는 2가지 필터링의 개념으로 확장될 수 있다. 웨이브렛 변환의 다분해능은 신호를 여러 형태의 고역 필터 성분들로 나누기 위해 다음 그림 1과 같은 웨이브렛 필터뱅크를 사용한다[19].

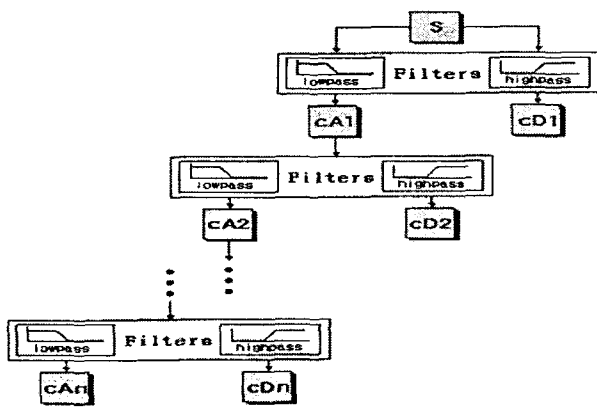


그림 1 고차와 저차필터로 구성된 필터뱅크
Fig. 1 Multi level decomposition

2.2 마더 웨이브렛 선정

마더 웨이브렛 $g_{m,k}(t)$ 는 대부분 짧고 진동적인 함수로서 적분값이 0이며, 양끝에서 급격히 감쇄하는 형태를 가진다. 이러한 마더 웨이브렛과 원 신호와의 유사성을 비교하여 웨이브렛 변환을 수행하게 된다. 웨이브렛에는 여러 가지의 마더 웨이브렛이 존재한다. 다음 표 1은 각각의 마더 웨이브렛이 갖는 특징을 나타내었다. 표 1에서 볼 수 있듯이 비대칭적인 신호에서 우수한 면을 가지고 있는 마더 웨이브렛은 Daubechies(dbN) 웨이브렛이다. 표 1에서 나타난 바와 같이 마더 웨이브렛의 특징이 모두 다르며, 적용되는 마더 웨이브렛에 따라 부분방전 검출의 능력에는 상당한 차이가 발생한다. 따라서 부분방전 검출에 적절한 마더 웨이브렛을 선정하는 게 무엇보다도 중요하다.

부분방전은 짧은 시간에 큰 전하량이 흐르고 비선형적인 모양을 하고 있으므로, 이러한 부분방전에 대하여 Morl, Meyr, Harr, SymN, CoifN과 같은 여러 마더 웨이브렛을 이용하여 웨이브렛 변환을 하였을 때, 부분방전 검출이 어려웠다. 하지만 'db4'를 이용하였을 때는 정확한 부분방전을 검출하였고 'db4' 마더 웨이브렛은 비선형적인 모습을 가지고 있

기 때문에 본 논문에서는 마더 웨이브렛을 'db4'로 결정하였다. db4 마더 웨이브렛은 Daubechies 마더 웨이브렛 중 4개의 tap을 가지고 있고, 웨이브렛 길이가 8샘플인 scaling 필터이며, 짧은 시간동안 발생하는 과도 현상의 검출[20]에 적합하여 부분방전 검출에 적합한 마더 웨이브렛이라 할 수 있다. 그림 2는 db4 마더 웨이브렛의 모양을 나타내었고 그림 3에서, 측정된 신호의 잡음을 제거한 부분방전 신호의 시물레이션을 통하여 db4 마더웨이브렛과 유사한 패턴을 가지고 있음을 알 수 있다.

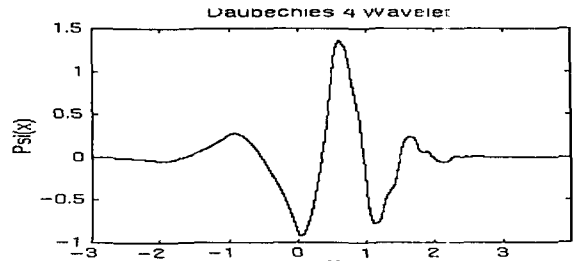


그림 2 Db4 마더 웨이브렛의 모양
Fig. 2 Shape of Db4 mother wavelet

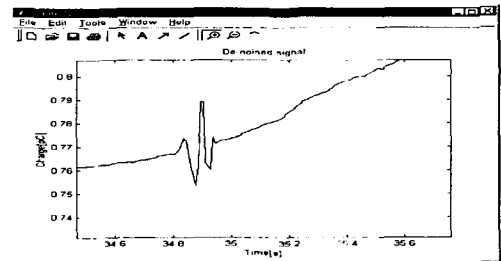


그림 3 잡음을 제거한 신호의 모양
Fig. 3 Shape of Denoise signal

표 1 마더 웨이브렛이 가지는 특징
Table 1 Feature of mother wavelet

Feature \ Kind	Morl	Meyr	Haar	DbN	SymN	CoifN
Infinitely regular	●	●				
Compactly supported			●	●	●	●
orthogonal			●	●	●	●
Symmetry	●	●	●			
Asymmetry				●		
Near symmetry					●	●
Arbitrary regularity				●	●	●
Existence of Φ		●	●	●	●	●
Orthogonal analysis		●	●	●	●	●
Biorthogonal analysis		●	●	●	●	●
Exact reconstruction		●	●	●	●	●
FIR filters			●	●	●	●
Continuous transform	●	●	●	●	●	●
Discrete transform		●	●	●	●	●
Fast algorithm			●	●	●	●

3. 부분방전

부분방전이란 전극과 전극 사이에서 일어나지 않고 한 전극에서 발생하는 방전으로, 다시 말하면 전극과 전극사이에서 교락하지 않는 국부적인 방전을 뜻한다. 이러한 부분방전은 GIS에서 절연파괴에 영향을 미치는 요소 중 가장 일반적인 현상이기 때문에, 양질의 전력을 공급하기 위해서는 부분방전 검출이 매우 중요하다. 부분방전은 측정시 신호가 작아 미약하고, GIS가 여러 기기들로 이루어져 있기 때문에 측정이 심하므로 검출이 어렵다.

부분방전의 특성으로는 먼저 부분방전 발생시 여러 가지 신호가 발생하는데, 부분방전의 데이터 추출시 부분방전은 Ψ - \sin 정보를 가지고 있으며, 결합의 형태에 따라 부분방전의 위상 특성이 다르다. 따라서 위상에 따른 부분방전의 측정을 통해 부분방전 열화에 대한 많은 정보를 얻을 수 있고, 이러한 과정들은 부분방전 패턴인식의 과정에 포함된다. 다음 그림 4는 일반적인 부분방전 전압과 전류의 패턴을 나타낸 것이다[21].

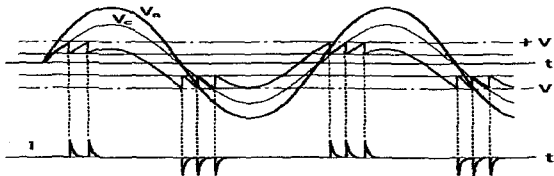


그림 4 일반적인 부분방전의 전압과 전류
Fig. 4 Voltage and current of typical Partial discharge

3.1 부분방전 데이터 추출

본 논문에서는 154kV 실계통 데이터를 LEMKE장비를 이용하여 취득하였다. 그림 5는 현장에서 각각의 직할 GIS 부분방전 예방진단 점검을 위해 GIS 모선, CB, 상부 DS, 하부 DS에서 LEMKE장비를 이용한 부분방전의 측정위치를 보여준다. 취득한 데이터는 시간, 위상, 전하량, 전압의 정보를 가지고 있고, 40[sec]동안 측정을 하였다. 또한 본 논문에서는 LEMKE 장비에 여러센서중 인덕티브 센서를 이용하여 데이터를 측정하였고 주파수 스펙은 12.5MHz이다. 부분방전 검출기(LDP-5)에서, 4V의 입력을 받고 출력 펄스의 간격은 100 μ s로 측정을 하고 노트북(LDS-5)에서는 입력 전압이 10mV~10V으로, 다중 채널 변환기를 이용한다..

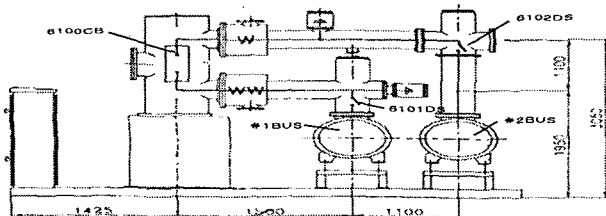


그림 5 GIS에서의 부분방전 측정위치
Fig. 5 Measurement position of Partial discharge in GIS

4. 부분방전 검출 알고리즘

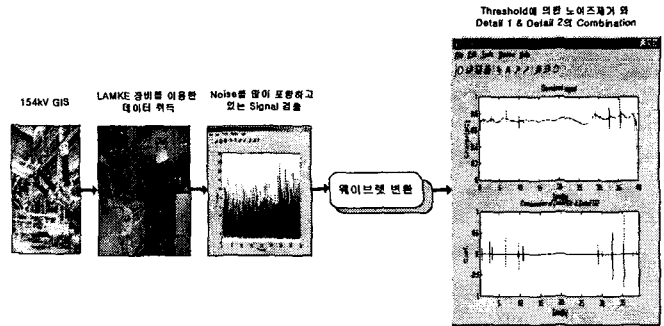


그림 6 부분방전 검출 방법
Fig. 6 Method for detection of Partial discharge

그림 6은 본 논문에서 실행한 부분방전 검출 방법이다. 154kV GIS에서 부분방전 데이터를 LEMKE 장비를 이용하여 취득하였고, 그 신호는 GIS의 여러 기기들의 잡음으로 인해 부분방전 검출이 곤란하다. 따라서 취득한 데이터를 웨이블릿 변환을 이용하여 잡음을 제거하고, D1과 D2의 조합을 이용한 부분방전 검출알고리즘을 구성하였다.

4.1 Threshold를 이용한 잡음제거 방법

Threshold의 종류에는 SURE(Stein's Unbiased Risk Estimate), 주로 통계에 이용되는 Minimax, 가장 보편적으로 사용되는 sqtwolog가 있다. 본 논문에서는 임계값이 부분방전신호를 잘 검출하기에 좋은 특성을 가지는 sqtwolog threshold를 이용하였고, 그 임계값은 다음 식(4-1)로 나타낼수 있다. 일반적으로 임계값이하의 값들에 대해서는 어느 정도의 정보의 손실이 있을수 있지만, 일반적으로 부분방전 신호들은 임계값보다 큰값으로 나타나므로, 부분방전 신호의 발생을 알 수 있다.

$$\lambda = \sqrt{2 * \log(\text{length}(X))} \quad (4-1)$$

여기서, X는 잡음을 포함하고 있는 신호이다. Threshold를 이용할 때는 Hard Threshold와 Soft Threshold 두 가지 방법 중에 하나를 적용하는데, 일반적으로 잡음을 제거할 경우에는 Soft Threshold를 이용하고, 신호를 압축하기 위한 영상처리인 경우에는 Hard Threshold를 이용한다. 본 논문에서는 가장 보편적이고, 잡음제거에 우수한 sqtwolog threshold를 이용하였고, soft thresholding방법을 적용하였다.

4.2 부분방전 검출 알고리즘

다음 그림 7은 본 논문에서 제시하는 부분방전 검출 방법이다. GIS에서 측정된 신호는 주위의 잡음의 영향을 많이 받는다. 이러한 잡음의 영향에 의해 부분방전의 유무를 확인하기가 어려워지므로 웨이블릿 변환을 이용해서 잡음을 제거한다. 잡음을 제거한 신호에서 부분방전 신호의 발생이

있음을 알 수 있으나, 그 크기가 다르기 때문에 여러 데이터를 서로 비교해 볼 수가 없고, 부분방전이 심한 정도를 판별하기가 어렵다. 정규화를 통해 부분방전 신호의 크기를 비교할 수 있고, 그 신호를 다시 한번 웨이브렛 변환한다. 고역필터인 D1과 D2에서 부분방전 신호의 발생을 확인이 가능하며, 본 논문에서는 좀더 정확한 검출을 위하여 D1, D2의 조합으로 부분방전을 검출하였다.

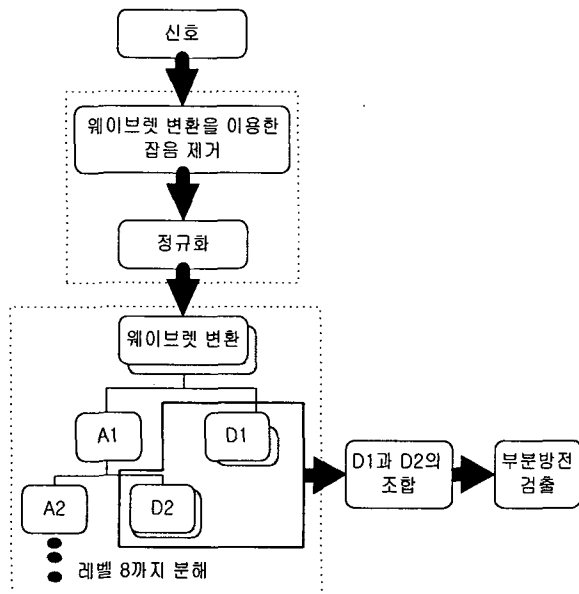


그림 7 부분방전 검출 알고리즘
Fig. 7 Algorithm for detection of Partial discharge

다음 그림 8은 부분방전 신호를 측정된 것이다. 이처럼 현장에서 부분방전의 측정은 잡음을 많이 포함하게 되므로, 측정된 신호 중에서 부분방전 신호의 검출은 어렵게 된다.

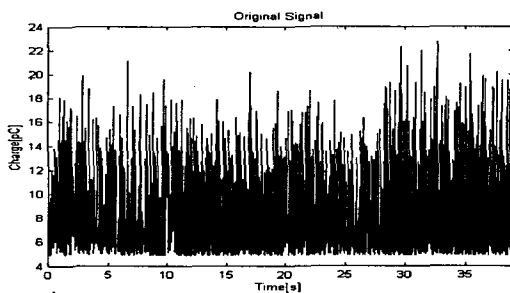


그림 8 측정된 신호
Fig. 8 Measured signal

다음 그림 9는 많은 잡음을 포함하고 있는 그림 8의 신호를 웨이브렛 변환을 이용해서 잡음을 제거한 결과를 보여주고 있다. 마더 웨이브렛은 비선형적인 해석에 좋은 특징을 보이는 'db4'를 이용하였고, 레벨은 8단계까지 하였다. Matlab에서 제공하는 wavelet toolbox 기능 중 잡음제거는 여러 가지 함수를 사용하여 노이즈를 제거한다. 그 중에 threshold 방법 중 sqtwolog threshold를 이용하여, 부분방전 신호의 발생을

알 수 있다. 이 신호를 여러 데이터와 크기를 구분하고 비교하기 위해 정규화를 하였다.

이 정규화한 신호를 'db4' 마더 웨이브렛으로 선정하여 웨이브렛 필터뱅크로 분해하였다. 다시 말해 이 부분방전 신호를 이산 웨이브렛을 수행하여 저역통과 필터를 통과한 신호(A1)과 고역통과필터를 통과한 신호(D1)으로 나누고, A1을 다시 두 개의 저역필터(A2)와 고역필터(D2)로 분해하고, 이 저역필터를 통과한 신호를 또 다시 두 개의 저역필터(A3)와 고역필터(D3)로 분해하였다. 이러한 과정을 8단계까지 거쳤으며, 그 이유는 부분방전의 정확한 검출을 위함이다.

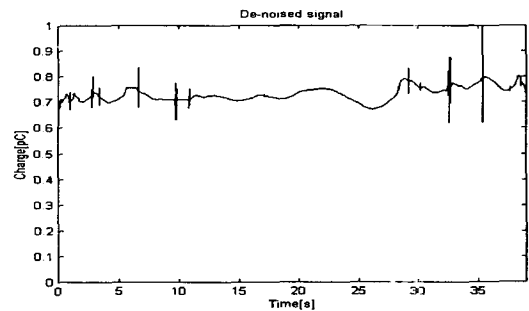


그림 9 잡음을 제거한 후 정규화한 신호
Fig. 9 Noise extraction and Normalization

그림 10은 1단계에서 8단계까지의 Detail 성분을 나타낸 것이다. 그림 10(a)에서는 10회의 부분방전이 검출되고, 부분방전 최대값은 32초에서 계수 값이 -0.7 ~ 0.6이다. 그림 10(b)에서는 5회의 부분방전이 검출되었고, D1에서는 검출하지 못했던 10초, 12초, 32초, 36초에서 부분방전을 검출하였지만, D1에서 검출했던 1초, 3초, 4초, 17초, 27초, 33초, 37초, 38초대의 부분방전을 검출하지 못했다. 36초에 부분방전이 최대치인 계수 값이 -0.9 ~ 1로 검출되었다. 그림 10(a)와 그림 10(b)를 그림 11과 그림 12에 확대해서 나타냈다. 그림 10(c)에서는 부분방전 검출이 되고 있지 않다. 그림 10(d)에서도 부분방전 검출이 되고 있지 않다. 그림 10(e)에서는 33초에 부분방전을 검출하고 있다. 부분방전의 계수 값은 -0.4 ~ 0.2이다. 그림 10(f)에서는 부분방전 신호는 검출되고 있지 않다. 그림 10(g)에서도 부분방전 검출이 되고 있지 않다. 그림 10(h)에서는 처음 몇 초 동안과 40초 부근에서 왜곡된 신호가 발생하지만, 짧은 시간 동안 순간에 흐르는 전하량이 아니기 때문에 부분방전이라 할 수 없다.

다음 그림 13은 Approximation 성분을 보이고 있으며, Detail 성분과 마찬가지로 8단계까지 분석하였다. 그림 13(a)에서는 저역통과 필터 A1을 통과한 신호를 재구성하여 나타낸 것이다. 비교적 저역필터중 높은 주파수 영역이기 때문에 10초, 12초, 30초, 35초에서 부분방전을 검출하고 있다. 최대 부분방전의 계수 값은 0.6 ~ 1의 값이다. 그림 13(b)에서는 왜곡된 신호가 33초에 보이지만 짧은 시간 동안 흐르는 신호가 아니기 때문에 부분방전은 아니다. 그림 13(c)에서는 33초에 왜곡된 신호가 검출되지만 부분방전은 아니다. 그림 13(d)에서는 특별한 변화 없이 왜곡된 신호만 계속 검출되고 있고, 부분방전은 검출되지 않는다. 그림 13(e)에서

는 측정된 신호의 고유한 특성만을 잘 나타내고 있다.

그림 13(f)에서는 신호의 고유한 특성을 잘 나타내지만, 부분방전의 검출은 나타나지 않는다. 그림 13(g)에서는 신호의 고유한 특성을 잘 나타내는 왜곡 없는 신호를 검출할 뿐, 부분방전은 검출하지 않는다. 그림 13(h)에서는 부분방전이 전혀 검출되지 않는다.

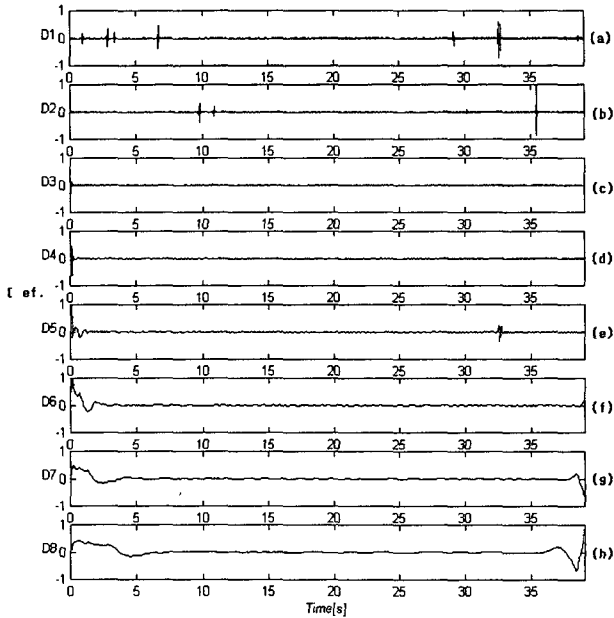


그림 10 Detail 영역의 웨이블릿 변환 결과
Fig. 10 Detail results of the wavelet transform

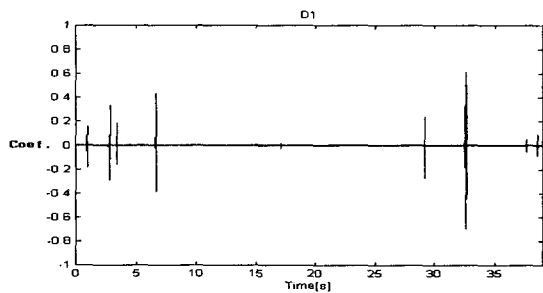


그림 11 D1을 확대한 그림
Fig. 11 Enlarged figure of D1

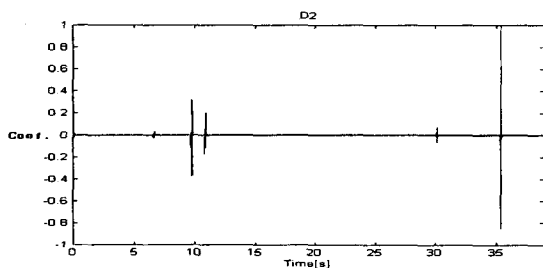


그림 12 D2를 확대한 그림
Fig. 12 Enlarged figure of D2

이상과 같이 부분방전 신호를 웨이블릿 변환하면 D1과 D2에서 부분방전이 잘 검출됨을 알 수 있다. Approximation은 저주파 영역이기 때문에 신호의 고유한 특성은 잘 검출하지만, 짧은 시간동안 발생하는 부분방전의 검출은 어렵다. 그림 9에서 보인 잡음을 제거하고 정규화한 신호를 보면, 부분방전의 총 개수는 14개이다. 또한 그림 10에서 웨이블릿 변환을 한 신호는 D1에서는 10개, D2에서는 5개의 부분방전을 검출하고 있고, 7초에서는 D1과 D2에서 모두 검출하고 있다. 따라서 D1과 D2의 조합으로 부분방전을 검출할 수 있음을 알 수 있다.

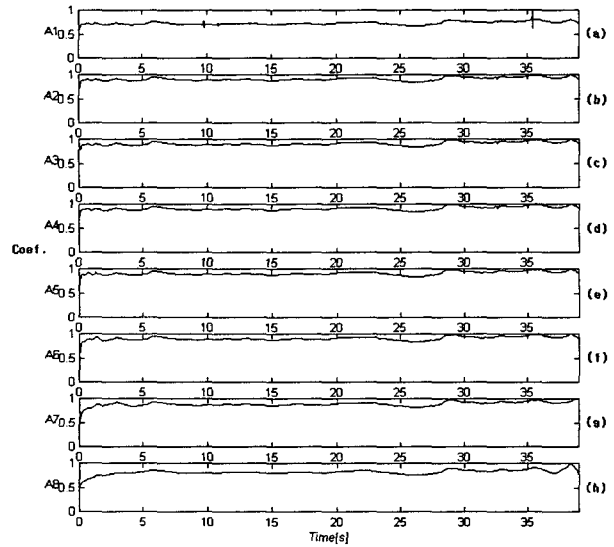


그림 13 Approximation 영역의 웨이블릿 변환 결과
Fig. 13 Approximation results of wavelet transform

4.3 부분방전 검출 결과 및 고찰

그림 14는 그림 8에서 보인 부분방전 신호에 대하여 부분방전 검출 알고리즘을 적용한 결과이다. 부분방전의 최대 계수값은 -0.8 ~ 0.9이고, 36초에 검출되었다. 그림 9에서 부분방전이 14번 검출된 것과 비교하여 볼 때, 부분방전의 발생 수는 일치하고 있음을 알 수 있다.

제한한 알고리즘의 신뢰성을 평가하기 위해서 다양한 실계통 데이터를 적용해 보았다. 많은 실계통 데이터를 이용하였지만, 본 논문에서는 고장난 세 장소와 정상적인 두 장소만 모의한 것을 그림 15에서 그림 29까지 나타내었고, 그 이외의 많은 GIS에서의 실계통 데이터의 모의 결과는 표 2에 나타내었다.

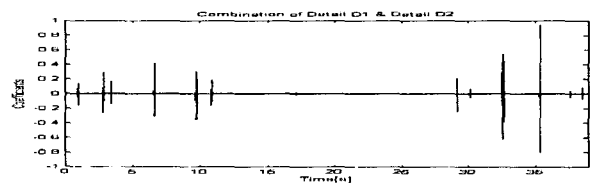


그림 14 D1과 D2의 조합
Fig. 14 Combination of D1 and D2

그림 15는 사천 GIS에서 측정된 신호로 잡음을 많이 포함하고 있다. 높은 고주파대역에서 전하량의 순간적인 흐름이 있으므로 부분방전이 발생할 가능성이 많이 있지만, 좀더 정확하게 부분방전을 검출하고자 그림 16에서 잡음을 제거한 신호를 나타내었고 문턱치 값은 44.0015이다. 부분방전이 발생함을 알 수 있지만, 그림 17에서 이 신호를 다시 한번 웨이브렛변환을 하였을 경우 각 시간대의 부분방전량을 정규화된 신호로 검출이 용이하다.

그림 18은 삼천포 GIS에서 측정된 신호이다. 이 신호도 잡음을 많이 포함하고 있으므로, 잡음제거의 과정이 필요하다. 그림 19는 잡음을 제거한 신호를 나타내고 문턱치 값은 186.8487이다. 부분방전이 생기고 있음을 알 수 있지만, 신호의 왜곡이 있으므로 정확한 부분방전 검출을 위하여 그림 20에서 다시 한번 웨이브렛 변환을 하여 D1과 D2의 조합으로 부분방전의 검출이 용이함을 알 수 있다.

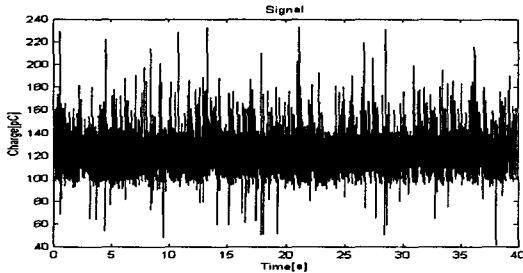


그림 15 사천 GIS에서 측정된 신호
Fig. 15 Measured signal at Sachun GIS

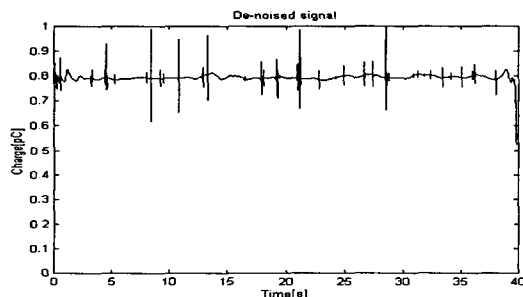


그림 16 사천 GIS에서 잡음을 제거한 신호
Fig. 16 De-noise signal of Sachun GIS

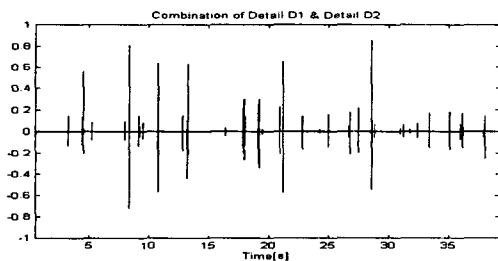


그림 17 사천 GIS 부분방전 검출 결과
Fig. 17 Detection result of Partial discharge for Sachun GIS

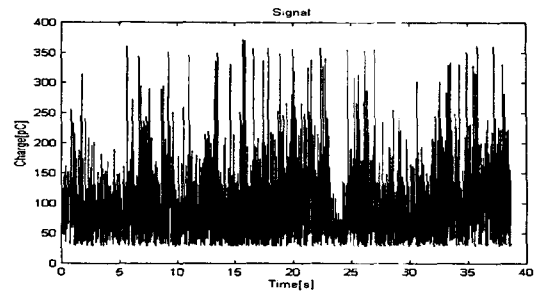


그림 18 삼천포 GIS에서 측정된 신호
Fig. 18 Measured signal at Samchunpo GIS

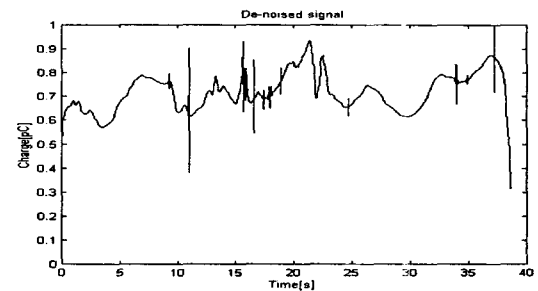


그림 19 삼천포 GIS에서 잡음을 제거한 신호
Fig. 19 De-noise signal of Samchunpo GIS

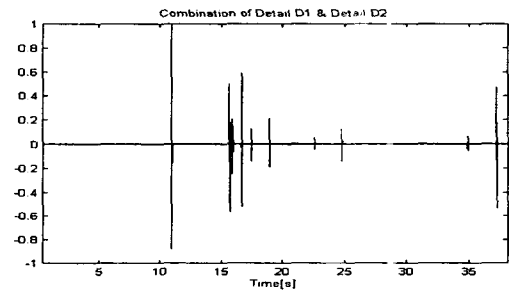


그림 20 삼천포 GIS에서 부분방전 검출 결과
Fig. 20 Detection result of Partial discharge for Samchunpo GIS

그림 21은 완암 GIS에서 측정된 신호이다. 이처럼 GIS는 여러 기기들로 이루어져 있기 때문에 잡음이 많이 검출된다. 원래의 신호만을 가지고 부분방전을 검출하기 위해서 잡음을 제거한 신호가 그림 22이고 문턱치 값은 46.7006이다. 이 신호만으로도 부분방전이 심하게 생김을 알 수 있지만 그림 23에서 다시 한번 웨이브렛 변환을 하여서 D1과 D2의 조합으로 각 시간대 부분방전의 검출을 용이하게 했다. 이러한 과정 결과 완암 GIS는 부분방전이 많이 검출되고 있으므로, 심한 고장이라고 말할 수 있다.

지금까지는 고장난 GIS에서의 신호에서 잡음을 제거하고 부분방전의 검출을 모의하였고, 다음의 2개는 정상적인 GIS에서의 신호를 모의 한 것이다.

그림 24는 신고성 GIS에서 측정된 신호를 나타낸다. 이

신호에서 얼마만큼의 잡음이 있는지, 부분방전이 발생하고 있는지는 알 수 없다. 그래서 이 신호에서 잡음을 제거한 신호가 그림 25이고 문턱치값은 418.8204이다. 전하량의 흐름은 있지만, 순간 전하량의 흐름이 없으므로 부분방전이 발생하고 있지 않다고 말할 수 있지만 정확한 부분방전 검출을 위해 다시 한번 웨이브렛 변환을 해서 D1과 D2의 조합으로 그림 26에서 나타내었다. 어떠한 계수값도 반환되고 있지 않으므로 부분방전이 검출되고 있지 않고, 신고성 GIS는 정상상태라고 말할 수 있다.

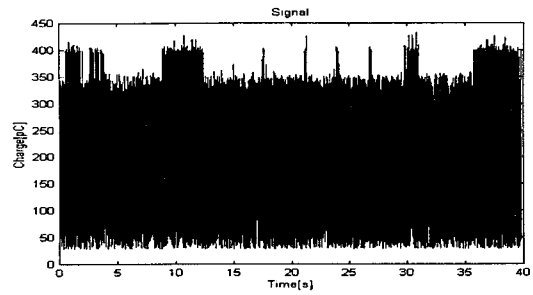


그림 24 신고성 GIS에서 측정된 신호
Fig. 24 Measured signal at Singosung GIS

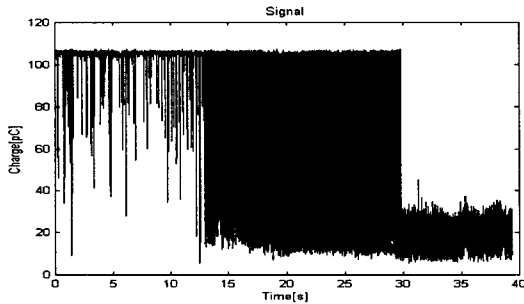


그림 21 완암 GIS에서 측정된 신호
Fig. 21 Measured signal at Wanwam GIS

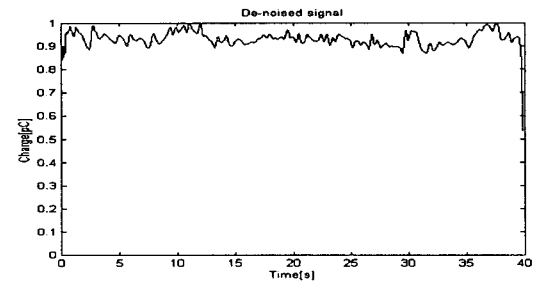


그림 25 신고성 GIS에서 잡음을 제거한 신호
Fig. 25 De-noise signal of Singosung GIS

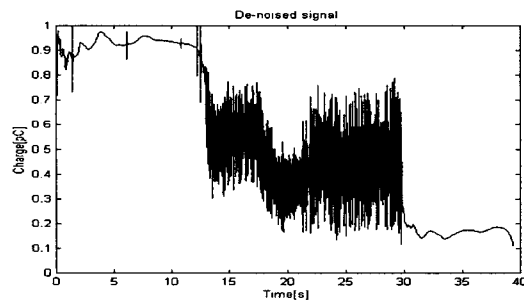


그림 22 완암 GIS에서 잡음을 제거한 신호
Fig. 22 De-noise signal of Wanwam GIS

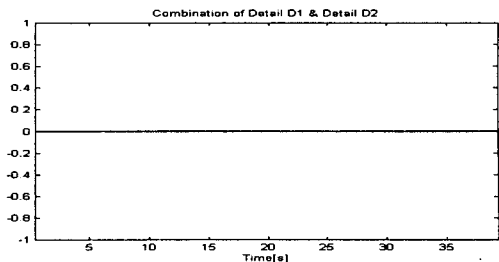


그림 26 신고성 GIS에서 부분방전 검출 결과
Fig. 26 Detection result of Partial discharge for Singosung GIS

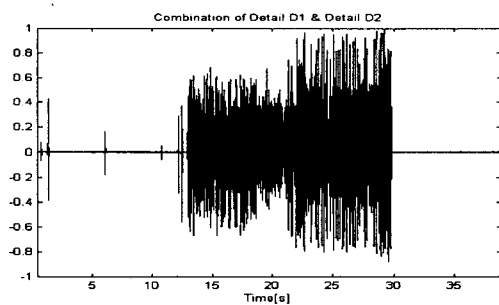


그림 23 완암 GIS에서 부분방전 검출 결과
Fig. 23 Detection result of Partial discharge for Wanwam GIS

그림 27은 마천 GIS에서 측정된 신호를 나타낸다. 다른 지역의 GIS와 마찬가지로, 부분방전의 검출이 어려우므로, 먼저 잡음을 제거 해보았다. 그림 28은 잡음을 제거한 신호이고 문턱치 값은 65.5812이다. 이 신호도 전하량의 흐름은 있지만, 짧은 순간의 전하량은 없으므로 부분방전이 발생하고 있다고 볼 수 없다. 하지만, 정확한 부분방전을 검출하기 위해서 그림 29에서 다시 한번 웨이브렛 변환을 통해 D1과 D2의 조합으로 모의하였다. 그 결과는 예상했던 대로 부분방전이 검출되지 않았다. 그러므로, 마천 GIS는 정상이라고 말할 수가 있다.

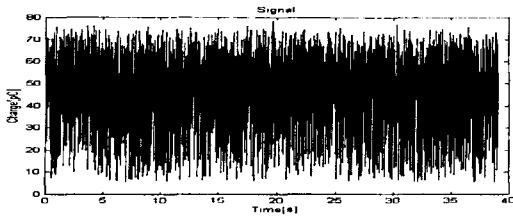


그림 27 마천 GIS에서 측정된 신호
Fig. 27 Measured signal at Macheon GIS

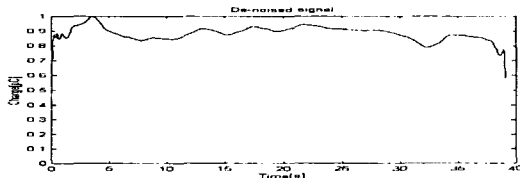


그림 28 마천 GIS에서 잡음을 제거한 신호
Fig. 28 De-noise signal of Macheon GIS

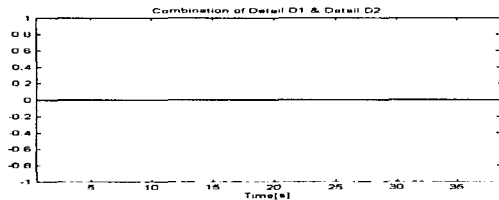


그림 29 마천 GIS 부분방전 검출 결과
Fig. 29 Detection result of Partial discharge for Macheon GIS

표 2에서는 지금까지의 모의 결과와 현장에서 측정된 여러가지 데이터를 모의한 결과를 정리하였다. 이중에서 초동 GIS의 계통도를 그림 30에 나타내었고, 647CB의 위치를 확인할 수 있다. 표2에서, 몇곳의 GIS는 매우 많은 부분방전이 검출되므로 그 수를 세지는 않았다. 이처럼 GIS에서의 부분방전 신호 검출은 웨이블릿을 이용한 잡음제거가 우수한 특성을 보이고, 다시 한번 웨이블릿 변환을 이용해서 D1과 D2의 조합으로 각 시간대 부분방전의 검출에 정확도를 더할 수 있다.

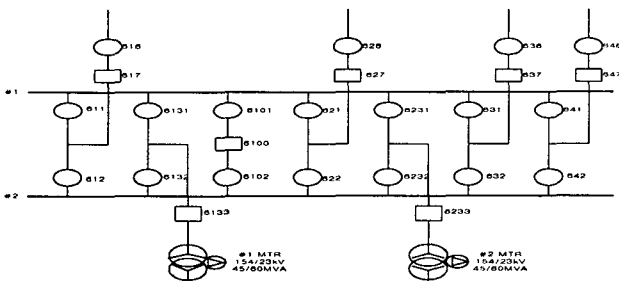


그림 30 초동 GIS의 계통도
Fig. 30 System diagram of Chodong GIS

표 2 실제통 데이터의 웨이블릿 변환 결과

Table 2 Wavelet transform results using raw data

지역	부분방전 횟수	D1	D2	D1과 D2의 조합
초동 647CB	16개	11개	5개	16개
고성 626DS	4개	2개	2개	4개
고성 622DS	3개	1개	2개	3개
고성 6100BUS	17개	11개	6개	17개
밀양 641DS	매우 많음			매우 많음
진동 616DSB	8개	6개	2개	8개
진동 617CB	3개	3개	0개	3개
진동 626DS	8개	8개	0개	8개
마천 6331DS	2개	1개	1개	2개
마천 6344CB	1개	1개	0개	1개
신월 6131DS	1개	0개	1개	1개
신월6301DS	6개	6개	0개	6개
완암 6232DS	1개	1개	0개	1개
완암 632DS	3개	3개	0개	3개
워림 612DS	5개	5개	0개	5개
의령 #1BUS	매우 많음			매우 많음
의령 6100CB	매우 많음			매우 많음
의령 637CB	매우 많음			매우 많음
진동 611SP	매우 많음			매우 많음
계양 #97CB	1개	1개	0개	1개
사천 6100CB	부분방전이 발생하지 않음			
사천 622DS	매우 많음			매우 많음
사천 6232DS	매우 많음			매우 많음
삼천포 6100CB	12개	9개	3개	12개
삼천포 6101DS	매우 많음			매우 많음
삼천포 6101CB	부분방전이 발생하지 않음			
삼천포 611DS	부분방전이 발생하지 않음			
삼천포 611CB	부분방전이 발생하지 않음			
삼천포 6233CB	10개	8개	2개	10개
신고성 6100CB	매우 많음			매우 많음
신고성 616DS	부분방전이 발생하지 않음			
신고성 641DS	매우 많음			매우 많음
마천 6231DS	부분방전이 발생하지 않음			
완암 611DS	3개	2개	1개	3개
완암 642DS	10개	6개	4개	10개
완암 682DS	매우 많음			매우 많음
월림 617CB	부분방전이 발생하지 않음			
계양 #2BUS	부분방전이 발생하지 않음			
계양 622DS	부분방전이 발생하지 않음			

5. 결 론

변전설비 용량의 급격한 증가에 따라 GIS의 예방진단에 대한 필요성이 강조되고 있다. 본 논문에서는 GIS의 절연 파괴에 영향을 미치는 부분방전을 웨이브렛 변환을 이용하여 검출하는 알고리즘을 제시하였다.

마더 웨이브렛은 부분방전에 우수한 특성을 보이는 'db4' 마더 웨이브렛을 선정하였고, 실계통 데이터를 이용하여 실험 성능을 높였다. GIS에서 부분방전 측정시 외부의 잡음이 영향을 미치므로 웨이브렛 변환을 이용해서 잡음을 제거하였으므로, 부분방전의 크기를 비교하고자 정규화를 하였다. 잡음을 제거해도 부분방전이 발생하는 것을 알 수 있지만, 어느 시점에 부분방전이 발생하는지 분명히 검출하기 위해 웨이브렛 변환을 다시 적용하였다. 그 결과 D1과 D2에서 부분방전을 검출이 용이하였고, D1과 D2의 조합으로 부분방전을 정확하게 검출할 수 있다. 또한 제안한 알고리즘을 다양한 실계통 데이터에 적용하여 알고리즘의 성능을 시험하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학기술연구원(과제번호: 2000-6-302-03-2)지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] 최재구, 김익균의 5명 "GIS 이물진단을 위한 초음파 측정 적용기술연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1646-1648, 2001. 7.

[2] David C. Robertson, Octavia I. Camps, Jeffrey S. Mayer, William B. Gish, "Wavelet and Electromagnetic Power System Transients", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 2, pp. 1050-1058. 1996.

[3] S. Santoso, "Power Quality Disturbance Data Compression using Wavelet Transform Method", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, No. 3, pp. 1250-1257. 1997.

[4] 한국전력공사, 창원전력관리처, "GIS FLOATING 방전 예방진단 점검", 최종보고서, 2000. 8.

[5] 이우영, 선종호, 최영길, 박순규, 이봉희, "안테나 방식에 의한 부분방전 신호의 응답특성", 대한전기학회 하계학술대회 연구기관 특별 Session 논문집, pp. 132-134. 2001. 7.

[6] 구선근, 박기준, 윤진열, "가스절연개폐장치용 UHF 부분방전검출장치의 새로운 감도 측정방법", KIEE Trans. Vol. 50C, No 9, 2001.

[7] 김영노, 김재철, 전영재, 서인철, 배주천, 강창원, "안테나로 측정된 부분방전신호의 노이즈제거 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 404-406, 2001. 7.

[8] 이현동, 주재현, 김기채, 박원주, 이광식, 이동인, "웨이브렛 변환을 이용한 부분방전신호의 잡음제거 특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1679-1681. 2001. 7.

[9] 최재구, 김익균, 김민규, 김익수, 김광화, 윤진열, "GIS 이물진단을 위한 초음파 측정 적용기술연구(II)", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1646-1648, 2001. 7.

[10] 송원표, "800kV 50kA 8000A GIS 개발", 전기저널, pp. 27-35, 2000. 6.

[11] 이현동, 이광식, 이동인, "이산 웨이브렛변환에 의한 부분방전패턴 인식", Journal of KIEE, Vol. 15, No. 1, pp. 84-89, 2001. 1.

[12] 이재걸, 광희로, 조국희, 박중신, "Sf6가스챔버내 금속 이물에 의한 부분방전 및 절연파괴 현상", Journal of KIEE, Vol. 14, No. 1, pp. 75-81, 2000. 1.

[13] R. E. James and B. T. Phung, "Development of computer-based measurements and their application to PD pattern analysis", IEEE Trans. Die. and Elect. Insul. Vol. 2, pp. 838-856. 1995.

[14] H. Okubo, H. Yamashita, N. Hayakawa, T. Ueda, M. Hikita, "Electromagnetic Spectrum Radiated from Gas Discharges and its Relation to Partial Discharge Characteristics", ETEP Vol. 7, No. 1, pp. 57-63. 1997.

[15] F. H. Kreuger, E. Gulski, A. Krivda, "Classification of Partial Discharge", IEEE Trans. El. Insul, Vol. 27, No. 5, pp. 909-923. 1992.

[16] David A. Natrass, "Partial Discharge Measurement and Interpretation", IEEE Elect. Insul. Mag., Vol. 4, No. 1, pp. 34-41. 1995.

[17] F. H. Kreuger, E. Gulski and A. Krivda, "Classification of Partial Discharges", IEEE Trans. on Elect Insul., Vol. 28, No. 6, pp. 917-931. 1993.

[18] J. S. Pearson, O. Farish, B. F. Hamton, M. D. Judd, D. Templeton, B. M. Pryor, and I. M. Welch, "Partial Discharge Diagnostic for Gas Insulated Substations", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 5, pp. 893-905. 1995.

[19] Boggs, S. A. Fujimoto, N. Collod, M. Thuries, "The modeling of statistical operating parameters and the computation of operation-induced waveforms for GIS disconnectors", CIGRE, pp. 13-15. 1984.

[20] M. Misiti, Y. Misiti, G. Oppenheim, J. M. Poggi, "Wavelet TOOLBOX", MathWorks, 1996.

[21] 김정태, "Theory and Application of High Voltage Engineering", 교우사, 1994.

저 자 소 개



강진수 (姜晋琇)

1975년 11월 19일생. 2001년 충주대 제어
계측공학과 졸업. 2001~현재 성균관대학
교 대학원 정보통신공학부 석사과정

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-290-7919

E-mail : kangjinsu75@hanmail.net



김철환 (金喆煥)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대학
교 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원
전기공학과 졸업(공박). 1996~2001년 성
균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부
부교수. 2001~현재 성균관대학교 정보
통신공학부 교수

Tel : 031-290-7124, Fax : 031-290-7919

E-mail : chkim@yurim.skku.ac.kr