

센서에 따른 부분방전 펄스 분석 및 노이즈 제거 기법에 대한 연구

김정태, 이욱
 대전대학교 전기정보시스템공학과

A Study on the PD Pulse Analysis and Noise Discrimination Method according to various sensors

Jeong-Tae Kim, Wook Rhee
 Dept. of Electrical and Information System Engineering, Daejin University

Abstract - It is very important to discriminate noises such as air corona in measuring on-site partial discharges (PD). Therefore, in order to investigate the possibility of separating PD(partial discharge) and noises through the pulse analysis, pulse shapes measured by a resistive sensor and a HFCT were analyzed and PA(pulse analysis) were performed. For the purpose, the HFPD detection and PA system has been developed. Also void discharges and air corona were adopted as the artificial defect and noises, respectively.

1. 서 론

변전소와 같은 과도한 전자파 노이즈나 코로나가 많이 발생하는 경우에는 부분방전 신호보다 이러한 노이즈가 더 크게 측정되므로 측정의 신뢰성이 저하하여 현장 부분방전 진단의 가장 큰 문제로 다루어지고 있다. 따라서, 부분방전 신호보다 같거나 큰 노이즈를 효과적으로 제거하는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다.

이러한 방법들은 부분방전 펄스와 노이즈 펄스의 파형이 다르다는데 착안하여 측정되는 펄스의 특성을 추출하여 구분하는 방법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.[1-3] 하지만, 이러한 방법들은 적용하는 센서의 종류에 따라 분석의 효과가 달라지며 현장에 직접 적용할 수 있는 알고리즘인지에 대한 연구가 부족하며, 범용 계측기기인 오실로스코프만으로는 현장에 직접 적용하기 어려워 측정 및 분석 시스템이 개발되어야 하는 문제가 있다.

따라서, 본 연구에서는 현장에서 펄스분석(PA)이 가능하도록 부분방전 측정에 가장 기본적인 저항성 센서와 현장 적용성이 뛰어난 HFCT(High Frequency Current Transformer)를 이용하여 펄스 분석을 통해 부분방전과 노이즈의 구분이 가능한지를 연구하였다. 이 때, 모의 결함으로는 절연체 결함으로 가장 대표적인 보이드 결함을 이용하였고, 노이즈로는 기중 코로나 방전을 이용하였다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

2.1.1 측정 및 분석 시스템

PA를 수행하기 위해서는 각종 결함에서 발생하는 부분방전 펄스 파형의 특성 및 방전의 양상이 어떠한 차이가 있는지 파악하여야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 TDS 744A 500MHz 오실로스코프와 제작한 HFPD 진단장치 및 컴퓨터를 이용하여 50Ω 저항성 센서와 HFCT에서 입력되는 부분방전 펄스 파형을 측정하고 분석하였다.

그림 1은 본 연구의 부분방전 측정 시스템 개념도이다. 100kV PD free 변압기에서 발생된 60Hz 고전압 전원은 커플링 커패시터 Ck를 거쳐 각종 결함 모델을 장착 가능한 전극 시스템으로 연결되고 접지선에 저항성 센서 및 HFCT를 장착하여 본 연구에서 제작한 HFPD 진단장치 및 TDS 744A 500MHz 오실로스코프를 거쳐 측정 신호를 컴퓨터에 저장시킨다.

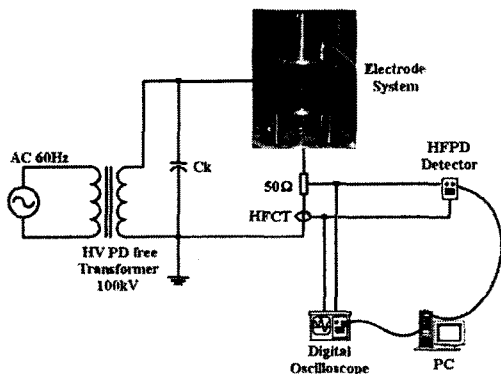


그림 1. 부분방전 측정 시스템 개략도

Fig. 1. Block Diagram of the Partial Discharge Measurement System

본 연구에서 부분방전을 측정하기 위한 센서로는 자체 제작한 50Ω 저항성 센서와 그림 2와 같이 100kHz~20MHz 범위에서 3dB 특성을 갖고 있는 상용 HFCT를 사용하였다. 보다 고주파까지의 측정 범위를 갖지는 않지만 고체 내의 부분방전 특성을 측정하기에는 사용가능한 CT로 판단된다.

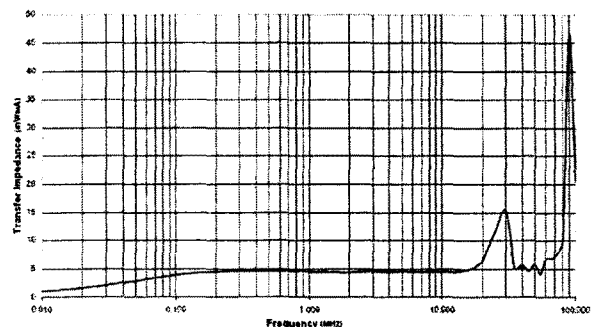


그림 2. HFCT의 전압임피던스 특성
 Fig. 2. Transfer impedance of HFCT

2.1.2 모의결함 제작

전력기기의 절연 시스템의 대표적인 결함인 절연체 내 보이드를 모델링하기 위해 그림 3과 같이 고려하였다. 에폭시로 둘러싼 전극 사이에 두께 1mm의 절연체(에폭시) 시트를 넣고 절연체 시트에 1mmφ 구멍을 뚫어 보이드 결함을 제작하였다. 결함 이외에서 발생하는 방전을 방지하기 위해 실리콘 그리스를 이용하여 계면에 넓게 도포한다. 한편, 보이드 방전과 구별하기 위한 코로나 노이즈는 곡률반경 0.5mm인 침을 모의결함 상부 전극에 같이 설치하였다. 그림 3 우측에 보이드 모의결함 시료와 코로나 발생을 위해 설치한 침전극의 사진을 나타내었

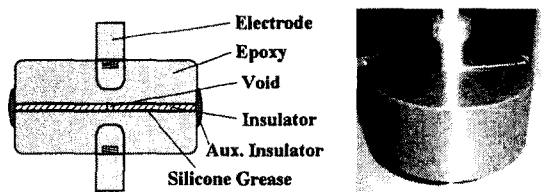


그림 3. 모의 보이드 결함과 코로나 발생 전극

Fig. 3. Artificial void defect and corona electrode

2.2 실험 결과 및 분석

2.2.1 펄스파형 분석

(1) 저항성 센서

본 연구는 각 결함에 따른 부분방전 펄스 및 노이즈 펄스의 파형 차이를 이용하여 노이즈를 제거하는 목적으로 시작되었으므로, 먼저 원래의 부분방전 펄스 파형을 가장 가깝게 측정할 수 있는 저항성 센서를 이용하여 보이드 방전 펄스와 코로나 펄스의 파형을 비교하였다.

그림 4는 인가전압 3kV로서 보이드 방전만 발생될 때 측정한 오실로 그램으로 16개 펄스 파형에 대한 평균값을 취한 것이다. CH2에 전형적인 RC 등가회로의 임펄스 유사한 방전 파형을 보이고 있다. 이에 대해 FFT를 취한 것이 R2로 나타난 스펙트럼이며, 고른 값을 보이며 감소되고 있는 형태로서 특정한 주파수 성분을 보이지 않고 있다. 11.5MHz와 17.5MHz 부근에서 약간의 성분이 나타나 보이지만 크기는 매우 작게 나타났다. 정극성 보이드 방전과 부극성 보이드 방전의 파형 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

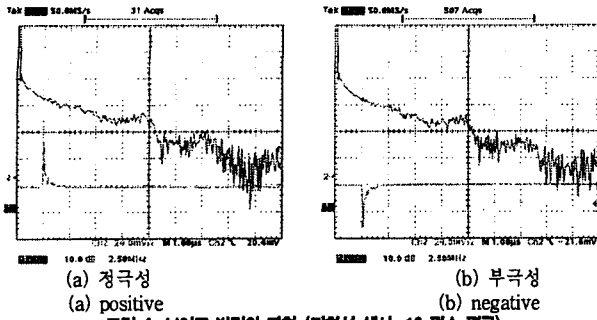


Fig. 4. Waveshape of void discharge (resistive sensor, 16 pulses average)

그림 5는 승압하여 7kV일 때 코로나 방전을 같이 발생시켜 코로나 방전만을 측정하여 나타낸 오실로그래프이다. CH2에 나타낸 코로나 파형은 보이드 방전일 때와 유사하게 보이지만 매우 큰 값으로 파형의 감쇠가 빠른 특징이 있다. 주파수 스펙트럼에서도 감쇠는 되고 있으나 11.5MHz와 17.5MHz 부근에서 성분을 나타내고 있어 파형의 빠른 감쇠를 설명해 주고 있다. 정 부극성 코로나 파형 차이는 크기의 차이를 제외하고는 다르지 않은 것으로 보인다.

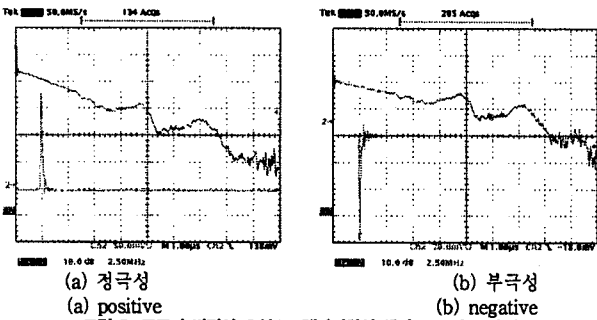


Fig. 5. Oscillograms of air corona (resistive sensor, average of 16 pulses)

(2) HFCT 센서 이용

현장에서 전력기기의 접지 쪽에 저항성 센서를 설치하고 부분방전을 측정한다는 것은 휴전을 시켜야 할 뿐 아니라 전력기기의 시스템을 변경시켜야 한다는 측면에서 거의 불가능하다. 이에 반해, 활성 상태에서 접지 쪽에 장착이 가능하고 전력기기 시스템에 지장을 주지 않는 CT의 적용은 매우 바람직하다. 따라서, 본 연구에서는 현장 적용성을 감안하여 100kHz~20MHz의 측정 주파수 대역을 갖는 HFCT 센서를 사용하여, 보이드 방전 및 코로나 방전을 측정하고 저항성 센서의 결과와 비교하였다. 이 때, 펄스의 측정(트리거링)의 용이성을 높이기 위해 PA 분석 시스템의 입력임피던스를 300Ω으로 설정하였다.

그림 6은 보이드 방전에 대해 HFCT를 이용하여 측정한 오실로그래프이다. CH2에 나타낸 보이드 방전 펄스는 저항성 센서의 결과와 전체적인 형태는 유사하지만 상당한 공진이 발생되고 있다. R2에 나타낸 주파수 스펙트럼에서 이 공진의 주파수는 5.8MHz로 나타났으며, 4.6MHz에서도 피크가 보이고 있다. 부극성 보이드 방전의 공진은 정극성 보다는 좀 더 크긴 하지만 기본적으로 정 부극성 간에 파형의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

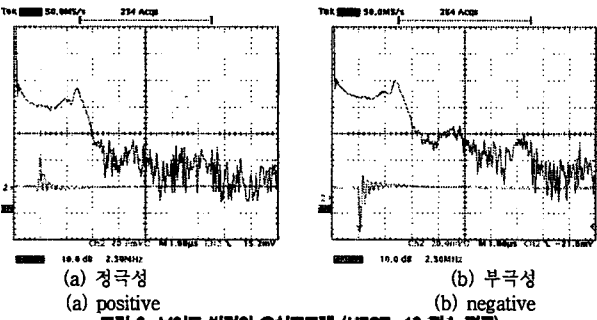


Fig. 6. Oscillograms of void discharges (HFCT, average of 16 pulses)

그림 7은 HFCT를 이용하여 코로나 방전을 측정한 오실로그래프이다. 그림 5의 보이드 방전의 경우에 비해 훨씬 5.8MHz의 공진이 크게 나타났으며 11.5MHz와 17.5MHz 부근에서 성분도 크게 부각되고 있다. 정 부극성 코로나 파형 차이는 크기의 차이를 제외하고는 다르지 않은 것으로 보인다. 이와 같은 보이드 방전과 코로나에 대한 HFCT에서의 측정 결과는 HFCT를 사용하는 경우에도 펄스 파형의 구분이 충분히 가능함을 보여주고 있다.

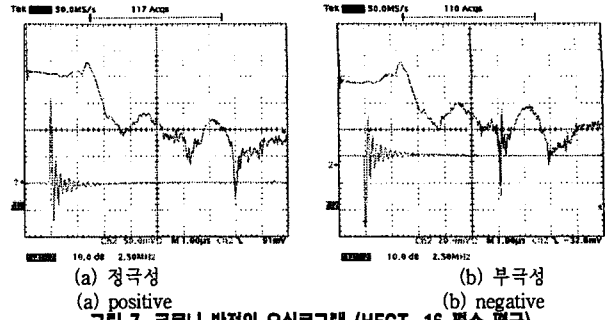


Fig. 7. Oscillograms of air corona (HFCT, average of 16 pulses)

2.2.2 PA 분석

(1) 저항성 센서

3kV 인가시 저항성 센서를 이용하여 보이드 방전에 대해 측정하고 분석한 오실로그래프 및 PRPD 파형을 그림 8에 나타내었다. 예폭시 내부에 원통형 보이드를 설치하였지만 본 실험에서는 정극성 보이드 방전이 부극성에 비해 작게 나타났다. 그림 8.(b)는 본 연구에서 제작한 PA 분석 시스템으로 측정한 PRPD 패턴으로 그림.(a)의 오실로그래프와 잘 일치하고 있다. 이 때, 정 부극성 각각 2~3개의 클러스터가 형성되고 있는 것 역시 오실로스코프 측정에서 나타난 바와 같이 각 극성당 2개 또는 3개의 보이드 방전 펄스가 발생되었기 때문이다.

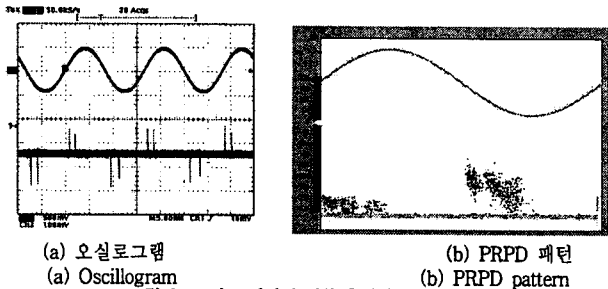


Fig. 8. Measurements for the void discharge (Resistive sensor)

이러한 보이드 방전에 대해 그림 9는 저항성 센서로 측정하고 PA 분석을 수행하였을 경우의 결과로서, 그림 9.(a)는 TF-KK 분석(시간과 주파수 영역의 채해도 분석) 그리고 그림 (b)는 MMR-S 분석(측정 펄스의 Max/Min 비율 및 데이터 합을 이용한 분석)이다. TF-KK에 비해 MMR-S는 상당히 산포된 결과를 보이고 있으나, 대체로 클러스터가 형성되고 있는 것을 볼 수 있다. MMR-S의 경우에는 크게 2개의 클러스터가 형성되고 있는데, 이것은 측정 펄스의 정 부극성 차이 때문으로 그림의 위 쪽 클러스터가 부극성, 아랫 쪽이 정극성이다. 아울러, TF-KK 분석에서도 거의 클러스터가 붙어 있지만 정극성 보이드 방전은 주로 클러스터의 위 쪽에 부극성 보이드 방전은 아랫 쪽에 누적되었다. 이러한 결과는 정 부극성 보이드 방전의 펄스가 거의 같지만 그래도 약간씩 차이이기 때문으로 보인다.

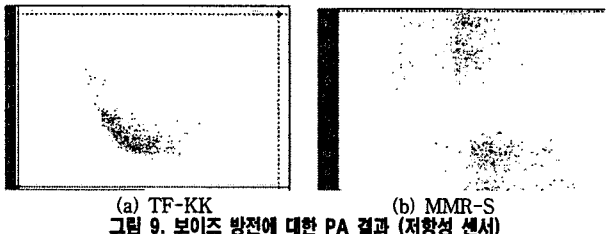


Fig. 9. Results of PA for the void discharges (Resistive sensor)

그림 10은 6.4kV로 전압을 상승시켜 보이드 방전에 코로나 방전까지 발생시킨 경우의 오실로그래프 및 PRPD 파형이다. 전압 상승으로 인해 극성당 펄스의 수는 많아졌지만 그림 8.(a)의 파형에 전형적인 정 부극성 코로나 펄스들이 중첩되어 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. 그림 10.(b)의 PRPD 패턴에도 이러한 결과가 잘 나타나 있다. 다만 정극성 보이드 방전의 경우에는 값이 너무 큰 까닭에 그림에서 상한 값으로 많이 나타나 있다. 코로나 방전의 방전량은 보이드 방전 보다는 매우 크게 나타나 코로나가 부분방전 보다는 더 큰 상황을 잘 연출하고 있다.

그림 10의 (보이드+코로나)의 다중 방전에 대해 수행한 PA 결과를 그림 11에 나타내었다. 그림 11.(a)의 TF-KK 분석에서는 그림 9.(a)의 보이드 방전 클러스터 위에 코로나의 클러스터가 구분되어 형성되고 있는 것을 알 수 있으며 특히 정극성 코로나 방전은 클러스터의 좌상 끝에 몰려 누적되었다. 그림 13.(b)의 MMR-S 분석에서도 그림 11.(b)의 보이드 방전의 좌상 부분에 부극성 방전의 클러스터가 좌하 부분에는 정극성 코로나의 클러스터

터가 강하게 군집하고 있는 것을 볼 수 있다.

이상과 같이 저항성 센서로 측정된 데이터에 대한 PA에서 TF-KK 및 MMR-S 분석 알고리즘은 모두 보이드 방전과 코로나를 잘 구분할 수 있는 것으로 판단된다.

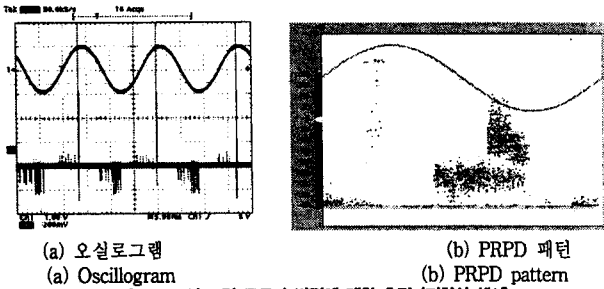


그림 10. 보이드 및 코로나 방전에 대한 측정 (저항성 센서)
Fig. 10. Measurements for void and corona discharge (Resistive sensor)

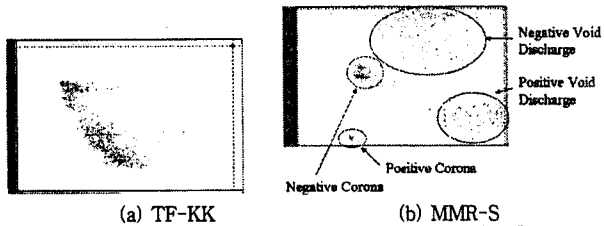


그림 11. 보이드 및 코로나 방전에 대한 PA 결과 (저항성 센서)
Fig. 11. Results of PA for void and corona discharges (Resistive sensor)

(2) HFCT

2.7kV 인가시 HFCT를 이용하여 보이드 방전에 대해 측정하고 분석한 오실로그래프 및 PRPD 파형을 그림 12에 나타내었다. 극성당 1~2 개정도의 부분방전 펄스가 발생하였다. 그림 12.(b)는 본 연구에서 제작한 PA 분석 시스템으로 측정된 PRPD 패턴으로 그림.(a)의 오실로그래프와 잘 일치하고 있다. 이러한 결과는 저항성 센서를 이용하여 측정된 결과와 동일한 것이다. 그러나, 저항성 센서에 비해 HFCT의 측정감도는 상당히 작게 측정되어 적절한 증폭이 필요하다.

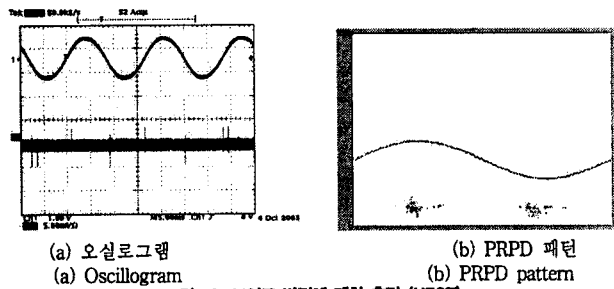


그림 12. 보이드 방전에 대한 측정 (HFCT)
Fig. 12. Measurements for the void discharge (HFCT)

한편 그림 13은 HFCT로 측정된 보이드 방전에 대해 분석한 TF-KK 및 MMR-S 분석 결과이다. 이 때, 전술한 그림 9와 같은 미지의 노이즈가 유입되었고 같이 측정되었다. 그림 13.(a)의 TF-KK 분석에서는 보이드 방전의 클러스터 아래쪽에 이 미지의 클러스터가 붙어서 형성되어 보이드 방전과 노이즈의 구분이 쉽지 않다. 하지만, 그림 13.(b)의 MMR-S 분석에서는 중앙의 부극성 보이드 방전, 그 아래의 정극성 보이드 방전과 구분되어 더 아래쪽에 노이즈의 클러스터가 구분되어 형성되고 있다.

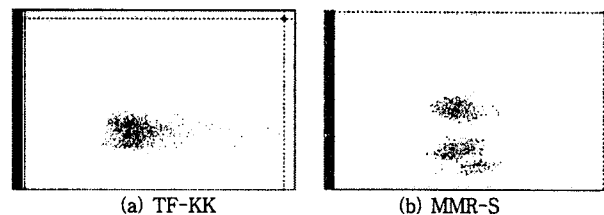


그림 13. 보이드 방전 및 노이즈 펄스에 대한 PA 결과 (HFCT)
Fig. 13. Results of PA for the void discharges and noise pulses (HFCT)

전압을 6.4kV까지 상승시켜 보이드 방전 뿐 아니라 코로나 방전을 발생 시킨 경우 HFCT를 이용하여 측정된 오실로그래프 및 PRPD 파형이 그림 14이다. 그림 14.(a)의 오실로그래프는 그림 10.(a)의 저항성 센서로 측정된 경우와 매우 유사하다. 전압 상승으로 인해 극성당 펄스의 수는 많아졌지만 그

림 12.(a)의 파형에 증첩되어 전형적인 정 부극성 코로나 펄스들이 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. 그림 14.(b)의 PRPD 패턴에도 이러한 결과가 잘 나타나 있다. 다만 정극성 보이드 방전의 경우에는 값이 너무 큰 값대에 그림에서 상한 값으로 나타나 있다.

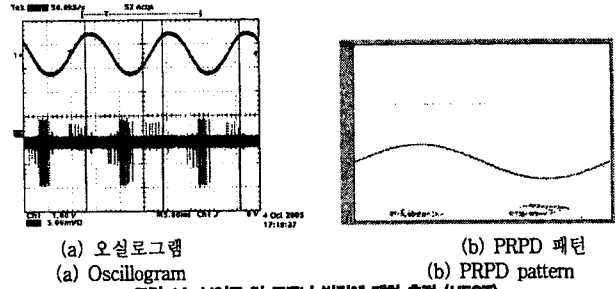


그림 14. 보이드 및 코로나 방전에 대한 측정 (HFCT)
Fig. 14. Measurements for the void and corona discharge (HFCT)

그림 15는 HFCT로 측정된 보이드 방전, 코로나 및 유입된 노이즈 펄스에 대해 분석한 TF-KK 및 MMR-S 분석 결과이다. 그림 15.(a)의 TF-KK 분석에서는 보이드 방전의 클러스터와 부극성 코로나의 클러스터가 하나로 나타나 구분되지 않는 것을 볼 수 있다. 정극성 코로나는 클러스터의 좌측에 붙어서 강하게 군집되고 있으며 노이즈의 클러스터는 보이드 방전 클러스터 아래에 붙어 있다. 이와 같은 TF-KK 분석 결과는 HFCT 사용시 결합과 노이즈의 구분이 용이하지 않다는 것을 의미하고 있다. 이에 반해, 그림 15.(b)의 MMR-S 분석에서는 모두 5개의 클러스터가 형성되는 것을 볼 수 있는데 각각 위에서부터 부극성 보이드 방전, 부극성 코로나, 정극성 보이드 방전, 정극성 코로나 및 미지의 노이즈 클러스터이다. TF-KK 분석 보다는 명확히 부분방전과 노이즈를 구분하고 있어 HFCT를 이용하여 측정할 경우에는 보다 효과적이라고 판단된다.

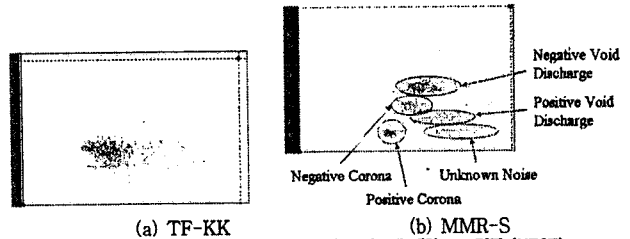


그림 15. 보이드 방전, 코로나 및 노이즈 펄스에 대한 PA 결과 (HFCT)
Fig. 15. Results of PA for the void discharges, corona and noise pulses (HFCT)

3. 결 론

HFCT를 이용하여 펄스 분석 기법을 통한 부분방전과 노이즈의 구분이 가능한지를 조사하기 위해, 저항성 센서와 HFCT를 이용하여 부분방전 펄스를 측정하였다. 이때, 인위적인 결합으로는 고체 내 보이드 방전과 코로나 방전을 채택하였다. 실험 및 분석 결과, 펄스 파형의 시간 및 주파수 합수에 대한 통계적 파라메타인 침쇄도를 이용하는 방법 보다는 펄스의 최대 및 최대값의 비교와 캡처된 파형의 인덱스 합(적분값)을 적용하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 이를 통해 100kHz~20MHz의 주파수 대역을 갖는 HFCT를 이용하여 부분방전과 노이즈의 구분이 가능함을 알 수 있어 현장 부분방전 측정의 정확도를 향상시킬 수 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2003-B-274) 주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

[1] A.Cavallini et al, "A New Approach to the Dianosis of Solid Insulation Systems Based on PD Signal Inference", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.19, No.2, pp.23~30, 2003
[2] H.J. van Breen, E. Gulski, J.J. Smit, H.F.A. Verhaart and W. de Leeuw, "Performance analysis of different on-line PD measurement techniques for usage on Turbo Generators", XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering (ISH 2003), Diagnostics and on-line monitoring for CBM Session, Delft, Netherlands, August 25-29, 2003
[3] W. Krause, H.-G. Kranz, "Pulse Preclassification for online PD Noise Suppression based on realtime Pulse Shape Identification", 14th International Symposium on High Voltage Engineering, G-002, Tsinghua University, Beijing, China, August 25-29, 2005