

모의 GIS의 전기적 이상에 따른 방사전자파의 특성과 절연진단용 UHF 센서 설계

(Characteristics of Radiated Electromagnetic Waves in Model GIS with Electrical Trouble and Design of Insulted Diagnosis UHF Sensor)

박광서*

(Kwang-Seo Park)

요 약

본 논문에서는 모의 GIS 내부에 도전성 파티클, 미소돌기, 연면방전을 모의함으로 전하의 축적과 전계의 집중이 용이하도록 하여 부분방전을 모의하였다. 이때 부분방전 발생과 진전에 따른 방사전자파를 스펙트럼 분석기와 EM I·EMC 측정용 안테나(30~2,000[MHz])를 사용하여 측정·분석하였다. 이러한 결과를 바탕으로 0.3[GHz]에서 1.7[GHz]대역에서 UHF법을 활용한 절연진단이 가능한 UHF 구형 센서를 설계하였다. 이러한 연구결과는 SF₆를 사용하는 실제 GIS 및 전력설비의 UHF 절연진단 시스템에 적용 가능한 UHF 진단센서로 활용할 수 있을 것이다.

Abstract

In this paper partial discharge were simulated by conducted particle, a fine protrusion, surface discharge, which could be easy accumulated charge and concentrated electric field in the model GIS. In this times this paper measured and analyzed the radiated electromagnetic waves by using spectrum analyzer and antenna (30~2,000[MHz]) for measurement of EMI·EMC in accordance with occurrence and propagation of partial discharge. In the basis of this results, a novel UHF(Ultra High Frequency) spherical sensor is presented. The measured impedance bandwidth of the proposed antenna is from 0.3[GHz] to 1.7[GHz].

Form results of this study, this antenna will be playing an important role for the sensor for insulation diagnosis system by UHF method of real site GIS and power equipment using SF₆ gas.

Key Words : UHF, GIS, Insulation diagnosis

1. 서 론

가스절연개폐장치(GIS)는 40년 전부터 상업화가 시작되어 현재 22[kV]급에서 765[kV]급까지 광범위하게 사용되고 있다. 따라서 GIS를 포함한 전력설비의 안정성 확보를 위한 절연진단 기술 등이 최근 많

* 주저자 : 경일대학교 컴퓨터제어전기공학부
Tel : 053-850-7157, Fax : 053-850-7602
E-mail : kspark@kiu.ac.kr
접수일자 : 2007년 12월 28일
1차심사 : 2008년 1월 3일
심사완료 : 2008년 1월 11일

모의 GIS의 전기적 이상에 따른 방사전자파의 특성과 절연진단용 UHF 센서 설계

이 연구되어지고 있다. 전기적 사고의 전구현상인 부분방전 검출을 위한 하나의 방법으로서 방사전자파를 측정·분석하는 방법이 있다[1-2]. 이것은 고전계가 집중된 곳에서 발생하는 부분방전펄스에 의한 전자파를 안테나 센서와 스펙트럼 분석기를 이용하여 방사잡음을 측정·분석함으로써 전기적 이상 유무를 판정하는 방법이다. 이와 같은 방법은 현재까지 전력설비의 실제 현장에 적용한 사례가 있으며 꾸준히 연구되고 있다[3-4].

UHF 기술은 전자파 검출법의 한 방법으로서 UHF 대역의 안테나 센서를 GIS에 내장 혹은 외장시켜 내부의 부분방전 현상을 검출하는 방식이다. GIS 내에서 부분방전에 의해 초고주파에 이르기까지 광대역에 걸쳐서 발생하는 전자파는 GIS 내부에서 다양한 종류의 공진현상을 일으켜 3[μs] 동안 전자파가 지속되는 현상을 보이게 된다. 이때 적절한 UHF 센서를 이용하여 방사전자파를 측정분석하면 부분방전 검출이 가능하게 된다.

일반적으로 UHF 센서를 활용한 절연진단 기술에서는 측정대상 주파수 대역 선정에 있어 노이즈 처리 면에서 상당히 유리하다고 알려져 있는 500[MHz]~1.5[GHz]를 주로 선정한다.

그러나 노이즈 문제에 비교적 용이한 내장형 UHF 센서의 경우 500[MHz] 이하의 대역도 주목을 받고 있다. 이는 500[MHz] 이하의 대역에서 전기적 이상의 초기단계에 신호가 많이 발생하기 때문이다.

이러한 관점에서 본 논문에서는 현재 SF₆ 가스를 이용한 고압가스 절연개폐장치(GIS)에서 발생할 수 있는 다양한 전기적 이상을 모의하였다. 실제 현장 GIS 내부의 전기적 이상을 모의하기 위해 실험용 모의 GIS 장치를 설계 제작하였고 모의 GIS 내부에 도전성 파티클 존재시, 미소돌기 존재시, 내부의 연면 방전 발생 등을 모의 하였다. 각각 모의한 전기적 이상의 진전에 따른 방사전자파를 안테나와 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정 분석하였다.

이러한 연구 결과를 토대로 측정 주파수 대역을 0.3~1[GHz] 대역을 만족하고, 또한 1.5[GHz]까지 측정대역을 만족하는 새로운 UHF 내장형 센서를 설계하고자 하였다.

이를 위하여 본 논문은 GIS 내부에 장착 가능한

UHF센서 모델을 설정하고 맥스웰 방정식의 3가지 인자인 시간, 공간의 차분화, 해석 공간의 전자계를 상호계산 함으로서 이들 인자를 고려하여 시간의 흐름에 따라 출력점의 시간응답을 얻는 방법인 FDTD (Finite Difference Time Domain)법을 이용하여 설계하였으며, 시뮬레이션을 통해 실제 적용가능성을 판단해보고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

그림 1은 본 실험을 위해 설계 제작한 실험용 모의 GIS의 개략도와 사진이다. 모의 GIS의 최대 인가전압은 200[kV]이고 최대 압력은 10기압까지 압력 상승 및 압력유지가 가능하도록 제작하였다. 실제 실험에서는 모의 GIS의 내부 압력은 4기압을 유지하였다. 실제 GIS의 버스 바 모양을 모의하기 위해 원통형 바닥 위에 원통형 전극을 사용하였으며 원통형 전극의 끝부분은 전계집중을 없애기 위해 반구형으로 처리하였다. 원통형 전극과 바닥과의 거리는 3~50[mm]까지의 조정이 가능하다.

모의 GIS의 한쪽부분은 내부 방전의 현상 관측을 용이하게 하기 위해 투명 아크릴을 이용하여 제작하였고 다른 한쪽 부분은 방사전자파의 투과가 다른 절연물에 비하여 감쇄가 적은 테프론을 이용하여 제작하였다.

SF₆ 가스를 주입하기 전에는 가스 챔버의 내부를 청소하고 로타리 펌프(Rotary Pump)를 사용하여 약 10⁻⁴[Torr]까지 진공을 시킨 후 모의 GIS 내부에 불순물이 없도록 조치 후 SF₆ 가스를 주입하였다.

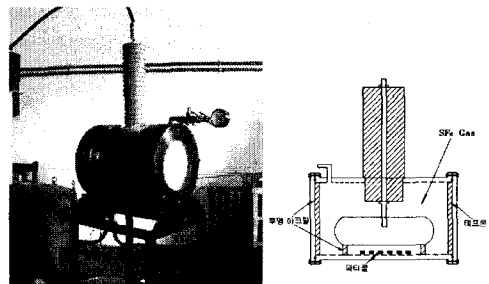


그림 1. 모의 GIS 실험용 챔버 사진과 개략도
Fig. 1. Picture of experimental chamber of model GIS and schematic diagram

그림 2는 SF₆ 가스중 실제 GIS의 전기적 사고 발생의 원인 GIS 내부에 도전성 파티클, 미소돌기, 연면 방전 존재 시 각각 부분방전의 발생과 방전진전에 따른 방사전자파를 측정하기 위해 설계 제작한 실험용 모의 GIS의 내부 결함 모의 개략도이다.

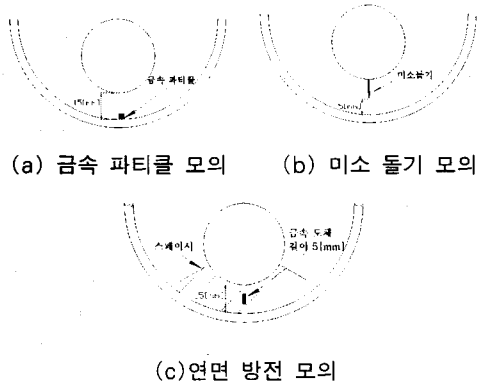


그림 2. 모의 GIS 내부 결함 모의
Fig. 2. Imitated defects in imitated GIS

그림 3은 실험 장치의 개략도이다. 점선 부분은 전원부분으로 교류 고전압(입력 : AC 220[V], 60[Hz], 출력 : AC 50[kV], 60[mA]) 을 사용하였다. 또한 입력 고전압을 측정하기 위해 분압기를 사용하였다. 방전진전에 따라 방사되는 전자파의 측정과 분석을 위하여 EMI·EMC 측정용인 BiConiLog 안테나(EMCO3142) 및 스펙트럼 분석기 (Advantest R3131A)를 이용하였다.

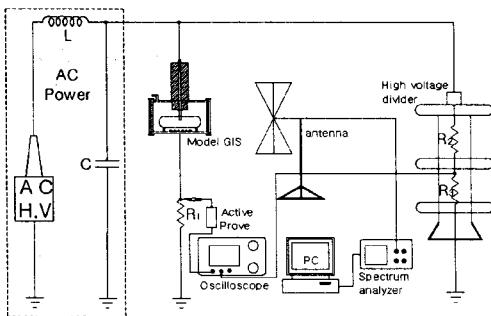


그림 3. 실험장치의 개략도
Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus

본 연구의 실험방법은 먼저 전압 인가속도를 약 1[kV/sec]의 속도로 일정하게 상승하여 전극간의 절연파괴전압은 5회 측정하여 평균한 전압 값을 구하였다.

모의 GIS 내부의 결함에 따른 부분방전을 모의하면서 부분방전의 발생에서 절연파괴 되는 단계별로 방사전자파의 주파수 스펙트럼을 관찰하기 위해 절연파괴전압 보다 낮은 전압을 3[kV]씩 상승인가 후, 안테나와 스펙트럼 분석기를 이용한 다양한 기초실험을 통해 모의 GIS 내부에 부분방전 발생 및 진전에 따른 방사전자파의 측정에 유리한 안테나의 최적 측정주파수, 방사전자파 측정방법, 데이터 취득방법 등을 설정 후 실험을 행하였다. 방사전자파의 주파수 스펙트럼을 측정한 데이터를 스펙트럼 분석기에서 GPIB로 데이터를 컴퓨터에 전송하여 분석하였다.

이때 전극 중심부와 안테나 사이의 거리는 방사전자파의 감쇄특성 및 실험상 안전거리등을 고려하여 1[m]로 고정하여 두고 실험을 하였다. 안테나의 각도는 전계강도를 측정하기에 유리하도록 전류의 흐름 방향과 동일하게 대지에 대하여 수직으로 배치하였다.

3. 방사전자파 측정실험 및 고찰

그림 4는 안테나 인자를 고려한 측정주파수 대역에서 주변 노이즈의 전계강도를 측정한 그림이다. 그림에 표시한 부분에 통신주파수 대역의 신호가 잘 나타나고 있다. 본 실험에서는 860~900[MHz]의 대역에서 방전진전에 따른 방사전자파의 신호를 무시하도록 하였다. 1회 측정한 데이터는 500개이고 데이터 취득 방법은 신호의 정의 값을 sweep time 5초 동안 10회 측정한 평균값을 취득하였다. 데이터 취득시간 50초간 실험실 주변의 기기에서 Switching 동작(on, off)이 발생하지 않도록 하였다. 그 밖의 미약한 노이즈 신호는 본 실험의 데이터 취득방법으로 제거가 가능하였다. 만약 스위칭 동작에 의해 주변에 불요 노이즈가 침입하더라도 불요 노이즈는 특히 강도가 크며 분석기 화면상에 주기성을 갖지 않는 일회성의 신호임을 알 수 있어 부분방전 신호와 쉽게 구별되므로 다시 실험을 하여 데이터를 취득하였다.

모의 GIS의 전기적 이상에 따른 방사전자파의 특성과 절연진단용 UHF 센서 설계

본 논문에서는 배경 잡음과 구별되는 부분방전 신호의 판단은 방송 대역을 제외하고 1[dB μ V/m] 보다 큰 데이터의 검출 등으로 판단하려 한다.

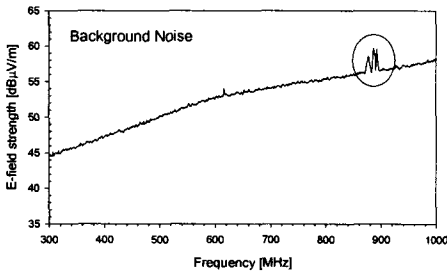


그림 4. 주변 배경 잡음
Fig. 4. Back ground noise

그림 5는 모의 GIS 내부에 금속 파티클 존재시 방전진전에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포이다. 각 인가전압 별로 측정된 방사전자파 데이터에서 그림 4의 주변 배경잡음을 뺀 데이터를 나타낸 것이다.

본 논문에서는 배경 잡음과 구별되는 부분방전 신호의 판단은 300~1000[MHz] 대역에서 방송 대역을 제외하고 1[dB μ V/m] 보다 큰 데이터의 검출 등으로 판단하려 한다. 모의 GIS내부에 원통형 전극과 바닥 면과의 Gap은 15[mm]로서 1[kV/sec]의 속도로 전압을 인가시 완전절연효과가 발생하는 평균절연과 피전압(이하 VB)은 약 48.5[kV] 정도이다.

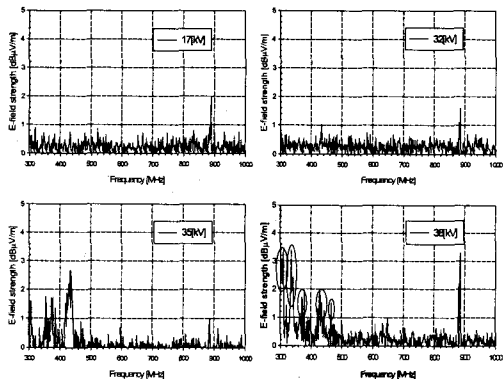


그림 5. 도전성 파티클 존재시 방사전자파 스펙트럼
Fig. 5. Spectrum of radiated electromagnetic waves at being of conducted particle

그림 5에서 32[kV]인가까지 방전신호가 측정대역에서 검출되지 않는다. 그러나 35[kV] 인가의 경우부터 방전신호가 검출되기 시작하였다.

즉 30~300[MHz] 대역에서 2[dB] 이상, 45[MHz] 부근에 10~15[dB] 증가한 데이터와 특히 300, 360, 380[MHz] 부근에 1~2[dB], 430[MHz] 부근에 2~3[dB] 증가한 데이터가 검출된다. 이때 모의 GIS 내부의 금속 파티클은 상하 진동이 심하고 또한 서로 연결되어 사다리 형태를 이루려고 하고 원통형 전극에 부착되기도 한다.

그림 6은 모의 GIS 내부에 미소돌기 존재시 방전진전에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포이다. 모의 GIS내부에 원통형 전극에 미소돌기를 부착하였고 미소돌기와 바닥 면과의 Gap은 5[mm]로서 1[kV/sec]의 속도로 전압을 인가시 완전절연효과가 발생하는 VB는 약 41[kV] 정도이다

17~23[kV]인가까지 측정대역에서는 방전신호가 검출되지 않았으나 26[kV] 인가부터 방전신호가 검출되기 시작하였다. 그림과 같이 380[MHz] 부근에 1~2[dB] 증가한 데이터가 검출되기 시작하였다. 전압을 증가할 때 300, 380, 430[MHz] 대역에서는 1~2[dB] 증가한 방전진전 데이터 신호가 검출되었다. 이때 모의 GIS 내부를 관측결과 부러시와 스트리마 형태의 코로나가 침 선단에 발생하였다.

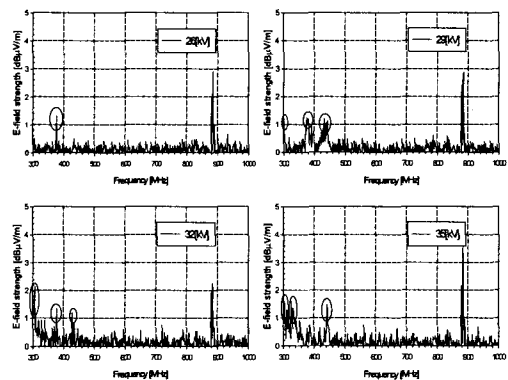


그림 6. 미소돌기 존재시 방사전자파 스펙트럼
Fig. 6. Spectrum of radiated electromagnetic waves at being of a fine protrusion

그림 7은 모의 GIS 내부에 연면방전 존재시 방전 진전에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포이다. 모의 GIS내부에 원통형 전극에 투명 아크릴을 이용하여 연면 스페이서를 만들고 길이 5[mm]의 금속을 부착시켰다. 금속 도체와 원통형 전극사이는 5[mm], 금속도체와 바닥면 사이는 5[mm]이다. 1[kV/sec]의 속도로 전압을 인가시 완전절연과과가 발생하는 VB는 약 48[kV] 정도이다.

그림 7에서 35[kV]인가의 경우 300, 340, 380, 430[MHz] 부근에 1~2[dB] 증가한 데이터가 검출되기 시작하였다. 38[kV] 인가의 경우 300, 340[MHz] 부근에 3~4[dB] 증가한 데이터와 380, 430, 470 [MHz] 부근에 1~2[dB] 증가한 데이터들이 검출되기 시작하였다. 41[kV] 인가의 경우 300, 340[MHz] 부근에 5[dB] 이상 증가한 데이터와 380 [MHz] 부근에 3~4[dB] 증가한 데이터와 430[MHz] 부근에 2~3[dB] 증가한 데이터 그리고 620~640[MHz] 부근에 1~2[dB] 증가한 데이터가 검출되기 시작하였다.

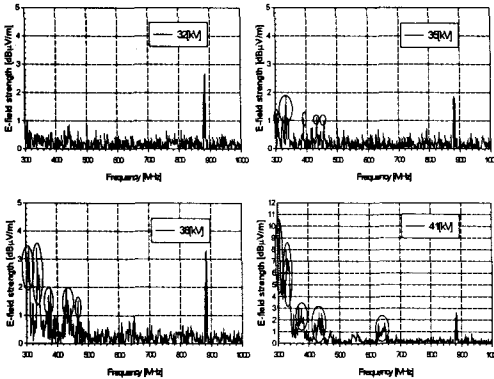


그림 7. 연면방전 존재시 방사전자파 스펙트럼
Fig. 7. Spectrum of radiated electromagnetic waves at being of surface discharge

4. 안테나 구조설계 및 해석

본 논문에서는 안테나를 실험용 모의 GIS의 Teflon-resin에 설치하여 방전진전에 따른 방사전자파를 측정할 수 있는 UWB 안테나를 설계하였다.

그림 8은 제안된 안테나 구조이다. Micro-strip 구조는 물리적인 직관성이 있어 해석이 용이한 전송선

로 모델로 하였으며, 해석과 제작의 용이성, 우수한 방사특성, 낮은 교차편파 방사와 보다 광대역을 측정하기 위하여 원형 패치로 설계하였다. sub1은 유전율 2.2인 기판을 사용하였고, sub2와 sub3(GND)는 재질을 전기도체(PEC)로 설정하였다. 세부 설계 파라미터는 표 1과 같다.

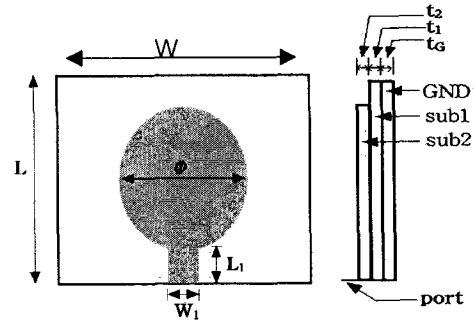


그림 8. 절연진단용 센서 설계
Fig. 8. Design of Insulated Diagnosis Sensor

표 1. 안테나 세부 설계 파라미터
Table 1. Detail Design Parameter of Antenna

항목	L	W	ϕ	L_1	W_1	t_1	t_2	t_g
단위 [cm]	10	12	7	1.5	1	0.1588		

일반적으로 안테나에 있어 가장 중요한 S1,1 파라미터를 그림 9에서 보여주고 있다. 설계된 안테나의 공진 주파수 출력이 0.7[GHz]정도임을 알 수 있다. 안테나의 S1,1 파라미터는 -20[dB] 이하의 값에서 안테나의 측정주파수 대역을 결정함으로써 신뢰성을 가진다. 그러나 일반적으로 -10[dB]이하의 값을 갖는 주파수 대역을 그 안테나의 측정주파수대로 사용한다.

또한 외부노이즈 영향이 적은 내장형 UHF 센서의 경우 -3[dB]이하의 값을 갖는 대역도 측정주파수 대역으로 결정한다.

그림 9의 점선에서 보는 바와 같이 0.3~1.7[GHz] 대역에서 최소 -7.7[dB]이하의 값을 만족하므로 안테나 설계시 고려한 UHF 기술에서의 측정대상 주파수 대역을 만족하고 있다.

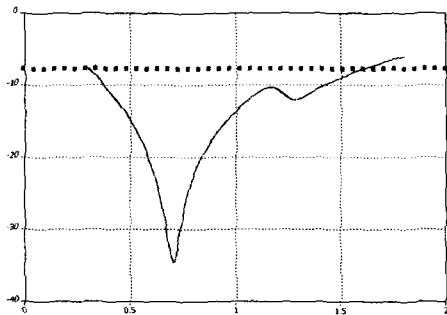


그림 9. 포트신호(S-parameters)
Fig. 9. Port Signal (S-Parameter)

5. 결 론

본 논문은 절연진단기술에 적용하기 위하여 UWB 대역의 측정이 가능한 마이크로스트립 안테나 설계를 통해 실제 적용가능성을 검토한 연구이다.

현재 SF₆ 가스를 이용한 고압가스 절연개폐장치(GIS)에서 발생할 수 있는 다양한 실제 현장 GIS 내부의 전기적 이상을 모의하기 위해 실험용 모의 GIS 장치틀을 설계 제작하였고 모의 GIS 내부에 도전성 파티클 존재시, 미소돌기 존재시, 내부의 연면방전 발생시 등을 모의 하였다. 각각 모의한 전기적 이상의 진전에 따른 방사전자파를 안테나와 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정 분석하였다. 따라서 결합에 따른 방사전자파의 패턴을 파악하였고 그에 적합한 절연진단용 센서를 설계하여 그 특성을 평가하였다.

설계된 마이크로스트립 안테나가 시뮬레이션을 통하여 측정주파수 대역이 0.3~1.7[GHz]임을 확인하여, UHF를 이용한 절연진단 기술에서 사용하는 주파수 대역에서 사용할 수 있음을 확인하였다. 또한 정확도를 증가시켜 시뮬레이션 시간 간격에 대한 근사오차와 메쉬 해상도 증가시켜 S-파라미터를 확인하여 정확도를 확인하였다.

앞으로 본 논문에서 설계된 마이크로스트립 안테나를 실제 제작하고, 모의 GIS의 부분 방전신호를 측정/분석하여 실제 전력기기의 이상 유무를 검출할 수 있는 상시 감시 시스템 구축에 사용이 기대된다.

References

- [1] Irwin, T, Lopez-Roldan, J, Charlson, C, "Partial discharge detection of free moving particles in GIS by the UHF method: recognition pattern depending on the particle movement and location", Power Engineering Society Winter Meeting, 2000. IEEE, Vol.3, pp2135~2140, 2000.
- [2] Hoshino, T, Kato, K, Hayakawa, N, Okubo, H, "A novel technique for detecting electromagnetic wave caused by partial discharge in GIS", Power Delivery, IEEE Transactions on, Vol.6, Issue 4, pp 545~551, Oct 2001.
- [3] 한국전력연구원 전력계통연구실, "GIS 부분방전 검출기술 연구(최종보고서)", 한국전력공사, 2002.10.
- [4] 이광식 외, "방사전자파 측정분석에 의한 절연진단 시스템 개발에 관한 기초연구", 한국과학재단, 2003.10.28.
- [5] Balanis, "Advanced Engineering Electromagnetics" WILEY, 1998.
- [6] Hiroyuki, T, Noriko, T, Makoto, M, Mitsuhiro, K, "GIS内部電磁波の第一波高値と累積波形指標を用いた部分放電識別", T.IEE Japan. Vol.120-B, No.3, pp333~339, 2000.

◆ 저자소개 ◆

박광서 (朴光緒)

1970년 3월 23일생. 1997년 영남대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(석사). 2003년 8월 동 대학원 졸업(박사). 현재 경일대학교 컴퓨터제어전기공학부 전임강사.