

액체질소중 교류방전 진전에 따른 방사전자파 주파수 특성

박광서[○], 이상훈[○], 주재현[✱], 최병주[○], 김기채[○], 박원주[○], 도대호[○],
 영남대학교[○], 거제대학[✱], 서라벌대학[○], 포항1대학[○]

**The Frequency Characteristics of Radiated Electromagnetic Waves
 in accordance with AC Discharge Progress in Liquid Nitrogen**

Kwang-Seo Park, Sang-Hun Lee, Jea-Hyun Ju, Byoung-Ju Choi, Ki-chai Kim, Won-Zoo Park, Dae-Ho Do,
 Yeungnam University, Koje College, Sorabol College, Pohang1 College

Abstract - In this study, a relationship between AC discharge progress and the radiated electromagnetic waves were investigated by measuring electromagnetic waves using a biconical antenna and a spectrum analyzer.

The characteristics of frequency spectrum of the radiated electromagnetic waves was measured at the atmospheric pressure in liquid nitrogen(LN₂) during partial discharges progress in nonuniform electric field depend on AC power supply.

From this results, it was confirmed that when partial discharge was produced in liquid nitrogen, the signal of partial discharge was detected by frequency spectrum of the radiated electromagnetic waves.

It is considered that these results obtained from this investigation may be used as fundamental data for diagnosis and prediction of insulation on superconducting and cryogenic power equipments.

1. 서 론

극저온 초전도 기술은 장래의 전력에너지의 발생 및 저장뿐만 아니라, 변전 및 수송기기 등 미래의 전력계통에 광범위하게 채택 운용될 전망이다.

현재 선진국을 중심으로 21세기의 핵심기술의 하나로 초전도·극저온 전력기기에 관하여 많은 연구를 하고 있고 실제 전력기기의 개발도 상당부분 이루어졌다. 국내에서도 국내에서는 1(MVA)급 초전도 발전기와 154(kV) 800(MVA) 극저온 케이블 개발, 154(kV) 3(GVA) Nb3Sn 초전도 케이블 요소기술 개발 등의 성과를 올리고 있으며 현재에도 많은 연구를 진행하고 있다.

그러나 실제 계통상에 투입하는 실용화에는 해결해야 할 과제가 많이 남아있다. 그 과제중 전기적 사고에 관한 신뢰성 확보가 가장 큰 문제점으로 대두되고 있다. 그 예로서 실험실적 규모의 기기 및 현장에 설치된 초전도·극저온 기기의 운전 결과, 전기적 요인에 의한 사고가 전체의 약 50[%] 이상을 차지하고 있다.

이러한 관점에서 본 논문은 극저온 환경에서 초전도·극저온 전력기기의 신뢰성을 확보하기 위해 극저온 냉매인 액체질소 중에서 불평등 전극계를 형성하여 초전도·극저온 전력기기의 전기적 이상상태를 모의하였다. 이때 발생하는 방사전자파를 안테나와 스펙트럼 분석기 등을 이용하여 극저온 냉매에서 방전진전과정에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 특성을 연구 하였다.

또한 초전도·극저온 전력기기의 절연진단 시스템 개발을 위해 안테나의 종류, 최적 측정주파수 범위, 방사전자파 측정 방법, 데이터의 처리 방법, 방전상태의 예측 및 판별방법 등을 제시하고자 하였다.

연구결과 액체질소중 교류 방전시 부분방전의 발생 초기단계에서 절연파괴 단계에 이르는 과정에 따른 방사전자파의 주파수 특성의 분석에 의해 방전의 진전과정과 상태의 예측이 가능하다고 사료된다.

이러한 연구 결과는 장래 초전도·극저온 전력기기의 절연진단 시스템 구성을 위한 중요한 자료로 활용될 수 있다고 사료된다.

2. 실험 장치 및 방법

그림 1은 액체질소중 침대 평판 전극계를 사용한 실험장치의 회로도이다. 침판 각도는 30(°)이고 평판의 직경은 40(mm)이다. Gap은 5 (mm)로 일정하게 하였다. 인가전원은 교류 고전압(Input : AC 200V 60Hz, Output: AC 50kV 60mA)을 사용하였다. 또한 출력되는 고전압을 측정하기 위해 High voltage divider (R₂ :R₃=5000:1)를 사용하였다.

회로도에서 R₁(50Ω)은 전류파형을 측정하기 위한 무유도 저항이며 방전시 전류 파형의 측정은 Digital oscilloscope(Lecroy 9350AL, 500(MHz))와 Active probe(bandwith :DC~1(GHz), Leroy AP020)를 사용하였다. 그리고 방전시 방사되는 전자파를 측정하기 위하여 biconical antenna (EMCO model 3110) 및 Spectrum analyzer (Advantest R4131D)를 이용하여 방사 전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 관측하였다

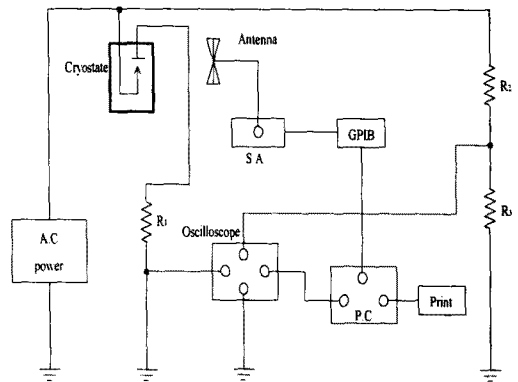


그림 1. 실험장치 회로도

실험방법은 먼저 전압 인가속도를 1(kV/sec)의 속도로 일정하게 상승하면서 절연파괴전압은 5회 측정하여 평균한 전압을 채택하였다. 액체질소중 부분방전을 모의하면서 부분방전의 발생에서 절연파괴 되는 단계별로 방사전자파의 주파수 스펙트럼을 관찰하기 위해 절연파괴전압 보다 낮은 전압을 1(kV)씩 상승인가 후, 안테나와 Spectrum analyzer를 이용하여 여러 기초실험을 통해 방사전자파의 측정에 유리한 안

테나의 종류, 최적 측정주파수, 방사전자파 측정방법 등을 설정 후 실험을 행하였다. 주파수 스펙트럼을 측정된 데이터를 Spectrum analyzer에서 GPIB로 컴퓨터에 전송하여 분석하였다.

이 때 전구 중심부와 안테나 사이의 거리는 1[m]로 고정하여 두고 실험을 하였다. 안테나의 각도는 전류의 흐름 방향과 동일하게 대지에 대하여 수직으로 배치하였다.

부분방전시 방사되는 전자파의 주파수 분포는 GHz대역까지 광범위 하나 본 연구에서는 기초실험을 통하여 액체질소중 부분방전이 비교적 잘 관찰된다고 사료되는 30~80 [MHz] 범위로 한정시켜 부분방전을 검출하고 분석하여 부분방전의 발생과 진전에 따른 방사전자파를 측정하였다.

실제 절연진전에 응용하기 위해서 노이즈가 존재하는 일상의 공간에서 부분방전시 방사전자파를 측정 분석하여 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 연구함이 필요할 것이다. 그러므로 측정시의 Background noise(그림2)를 측정하여 방사전자파의 분석에 유용하게 적용하고자 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 2는 측정주파수 대역에서 주변 노이즈의 주파수 스펙트럼을 측정한 그림이다. 전 대역에서 측정된 데이터는 한번 측정시간 10초 동안에 주변환경의 기기에서 Switching 동작(on, off)이 발생하지 않으면 방사전자파의 전계강도가 30(dB μ V/m)를 넘지 않음이 관측되었다. 스위칭 동작에 의해 주변에 불요 노이즈가 침입하더라도 부분방전 신호와 쉽게 구별되고 불요 노이즈는 특히 주기성을 갖지 않음이 관측되었다. 이러한 점에 착안하여 전압을 서서히 상승시켜(0.3(kV/sec)정도) 방전진전과정을 모의 할 때 주파수 스펙트럼 분포 특성과 전계강도가 30dB이상이 되는 데이터(이하 E_{30dB})의 수와 평균전계강도(이하 E_{mean})등을 분석하였다.

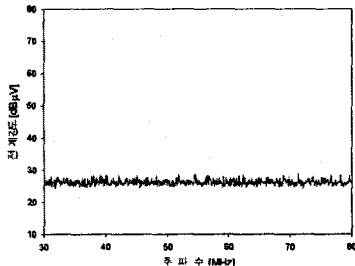


그림 2. 측정환경의 Background Noise

그림 3은 액체질소중 방전진전에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포이다. 액체질소중 gap간에 완전히 절연과파가 발생하는 전압의 평균절연과파전압은 약 30(kV) 정도임을 확인하였다.

그림3의 (a)는 13(kV)전압을 인가 후 최초의 PD(부분방전) 신호라고 생각되는 펄스성 신호가 35~45(MHz) 부근에 나타나기 시작했으며 이때 E_{30dB}의 수는 8개이다. E_{mean}은 26.4dB로서 Background Noise와 1.4dB 정도 높았다.

그림3의 (b)에서는 14(kV) 전압을 인가한 경우로서 E_{30dB}의 수의 증가 경향이 뚜렷하였고 19(kV) 전압까지 그 경향이 유사하였다.

방전이 많이 진전되었다고 사료되는 그림3의 (d)의 20(kV)를 인가한 경우에는 70~80(MHz) 부근에 펄스성 PD신호가 관측되기 시작하였다. 이러한 PD 신호는 인가전압이 상승할수록 70~80(MHz) 부근의 PD 신호가 증가하였다.

그림3의 (f)의 경우 22(kV) 전압을 인가하면 방전이 많이 진전된 PD 신호라고 생각되는 40dB 이상의 데이터 수가 5개 정도로 확인되었다.

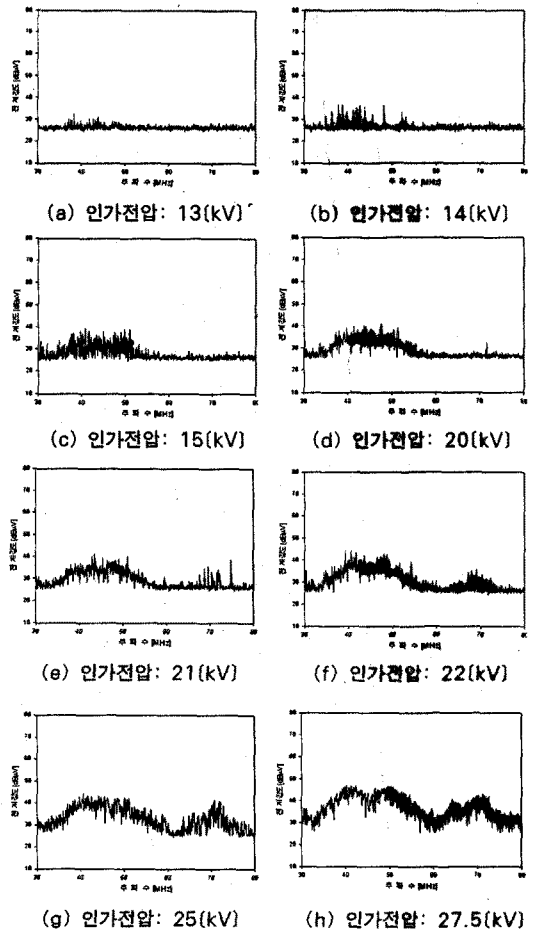


그림 3. 방사전자파 주파수 스펙트럼 분포

인가전압이 높여 방전을 더욱 진전시킬수록 40dB 이상의 데이터 수는 증가하였다. 24(kV) 전압까지는 유사하였다.

절연과파 직전의 단계라고 사료되는 그림3의 (g)와 (h)의 경우 전체적인 평균전계강도가 크게 증가하였다.

그림 4는 방전진전에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 데이터의 E_{mean}의 특성을 나타낸 것이다. 방전이 진전할수록 E_{mean}의 값이 증가함을 알 수 있다. 절연과파 직전의 단계에 갈수록 증가의 폭이 커짐을 알 수 있다.

그림 5는 전압 인가에 따른 E_{30dB}의 데이터 수를 나타낸 것이다. E_{30dB}데이터가 최초 발생하는 13(kV) 전압을 인가한 경우부터 부분방전의 발생이 검출되었다. 이러한 분석법으로 E_{30dB}의 데이터 수를 분석함으로써 부분방전의 발생을 예측 가능하리라 사료된다.

그림 6는 방전이 어느 정도 진전된 단계에서 40dB 이상의 전계강도를 나타내는 데이터 수를 나타낸 것이다. 40dB 이상의 PD 주파수 신호가 검출되기 시작하면 방전이 많이 진전된 단계라고 사료된다.

그림7은 액체질소중 부분방전시 방전전류를 측정하기 위해 오실로스코프와 Active Probe를 이용하여 방전의 발생과 진전에 따른 전류파형을 측정된 것이다. 전류파형을 측정된 결과 비접촉 센서인 무선인 안테나를 이용한 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분석하는 본 실험방법의 검출감도가 접지선 전류 검출법의 방법과 비교할 때 상

당히 좋음을 알 수 있다.

또한 일반적으로 기중 방전의 부분방전 전류 파형과 다르게 부극성 부근에는 전류 파형이 나타나지 않음을 알 수 있었다. 이것은 기중에서 안정된 부 코로나 방전을 일으키는 부극성 방전이 액체질소 중에서는 액체질소의 방전 소호능력 때문에 안정된 부 코로나 방전이 유지되지 못하기 때문이라 사료된다.

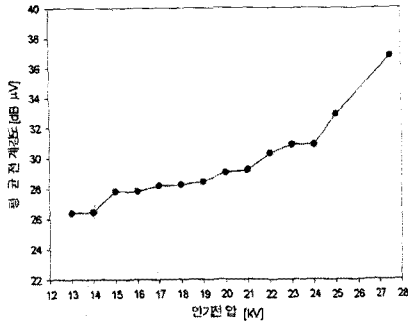


그림4. 인가전압에 따른 평균전계강도

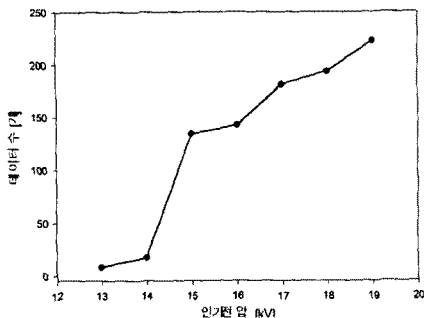


그림5. 인가전압에 따른 E_{30dB} 이상의 데이터 수

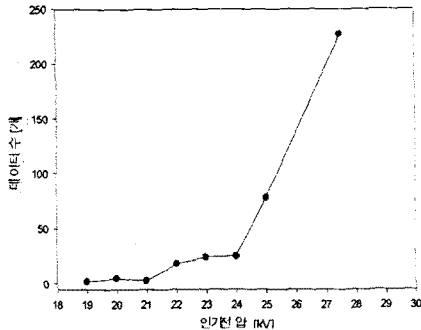
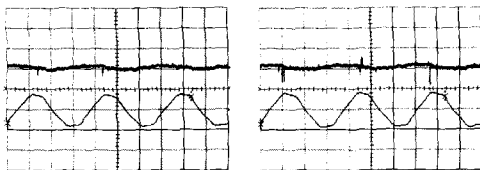
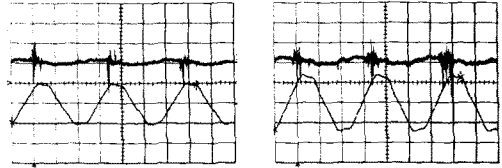


그림6. 인가전압에 따른 40dB 이상의 데이터 수



2 (mA/div), 25(kV/div), 5(ms/div)

(a) 인가전압: 13(kV) (b) 인가전압: 15(kV)



2 (mA/div), 25(kV/div), 5(ms/div)

(c) 인가전압: 18(kV) (d) 인가전압: 25(kV)

그림 7. 액체질소중 부분방전시 방전전류 파형

4. 결 론

액체질소중 침대 평판전극을 배치한 후 절연파괴전압보다 낮은 교류고전압을 인가해서 부분방전의 발생과 방전진전 과정을 모의한 경우 본 실험의 방법으로 방전진전에 따른 방사전자파를 안테나와 Spectrum Analyzer를 이용하여 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포 특성과 데이터 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

본 실험 방법에 의해 방사전자파의 스펙트럼 분포특성과 전계강도 30dB 이상의 데이터 수와 평균전계강도, 40dB 이상의 데이터 수 등을 고려하면 부분방전 검출 감도가 상당히 좋으며 부분방전의 발생 유무와 방전진전 상태의 예측이 가능함을 확인하였다.

부분방전의 발생 초기에는 35~45(MHz) 부근에서 E_{30dB} 이상의 데이터 검출로서 PD의 발생을 알 수 있고 방전이 진전된 단계에서는 70~80(MHz) 부근에서 E_{30dB} 이상의 데이터를 검출로서 PD의 진전을 알 수 있다. 절연파괴 직전에 단계에 가면 E_{mean}의 값이 증가 폭이 커짐을 알 수 있다.

이러한 결과는 비 접촉형인 안테나를 사용하여 방사전자파를 측정·분석에 의한 초전도·극저온 전력설비의 절연진단 시스템 개발에 중요한 기초 자료가 되리라 생각된다.

(참 고 문 헌)

- [1] Y.Takahashi, "Diagnostic Measurements at UHF in Gas Insulated Substation", IEE proceeding Vol. 135, PT.C, No2 March 1988, pp 137~145
- [2] R. Bartnikas, "Detection of Partial Discharge (corona) in Electrical Apparatus", IEEE EI-25 No-1, p111~124, February 1990
- [3] Matumura et al., "Method of diagonal detection by radiated magnetic fields", Tech. Report of IEE Japan, HV83-52, 1983
- [4] H. Okubo, "Electromagnetic Spectrum Radiated from Gas Discharge Characteristics", ETEP vol 7, No.1, 1/2 1997.
- [5] 山田達司外3人, "各種ガスとSF6による混合ガス中における部分放電の発生メカニズム", 전학론B, 118권7/8호, 837~842, 1998.
- [6] 김기재 외 2인, "1안테나 법에 의한 미소 간극의 방전 전류 파형 추정", 韓國電磁波學會論文集 第9卷 第4號, pp.499-504, 1998.
- [7] 이광식, 김기재 외 4인, "액체질소에 대한 방전 형상과 전자파의 상호관계" 한국과학기술 연구 보고서, 1998.4.
- [8] 박광서의 6인, "기중방전에 대한 방사전자파 측정과 분석" 대한전기학회 하계학술대회 논문집, p2028-2030, 1999.
- [9] 박광서의 6인 "액체질소중 정극성 직류방전시 방사전자파의 주파수 스펙트럼 특성" 대한전기학회 제48권 제9호 p648~655, SEP. 1999.