DBpia

Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2015) 29(10) : 97~103 논문 29-10-14
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2015.29.10.097 ISSN 1229-4691(Print) ISSN 2287-5034(Online)

친환경 가스 중 전극과 고체절연체의 불량접촉에 관한 절연진단연구

(Study on Insulation Diagnosis of Poor Contact between Electrode and Solid Insulator in Eco-Gas)

임동영* · 최은혁 · 배성우 · 최상태 · 이광식 · 최병주**
(Dong-Young Lim · Eun-Hyeok Choi · Sungwoo Bae · Sang-Tae Choi · Kwang-Sik Lee · Byoung-Ju Choi)

Abstract

This paper presents the characteristics of partial discharge and radiated electromagnetic waves in the existence of a poor contact for the insulation diagnosis of eco-friendly power equipment. AC surface discharge experiment was conducted to simulate the poor contact between a hive voltage electrode (anode) and a solid insulator in N_2/O_2 mixture gas under a non-uniform field. The partial discharge voltage to be measured at 0.3MPa increased with the increase of the poor contact gap and was saturated with the gap. In addition to the partial discharge characteristics, it was verified that the defect of the poor contact can be diagnosed using the radiated electromagnetic waves due to the partial discharge, which measured by a biconical EMC antenna and a spectrum analyzer.

Key Words : Insulation Diagnosis, Partial Discharge, Poor Contact, Radiated Electromagnetic Waves

1. 서 론

대전력 전송의 요구와 전기에너지에 기반한 지속적인 산업발전은 전력계통의 고전압화를 이끌고 있다. 전기적인 절연은 고전압화를 가능하게 하는 중요한 요소 중 하나이다. 절연기법 및 절연파괴에 관한 지식은 전력용 변압기가 수백 kV인 송전전압에 상응하는 고전압을 발생시키는 것과 전력설비가 높은 고전계를 수용하여 원활히 동작하는 것에서 본질적인 것이다. 현재까지 SF_6 가스가 전력계통의 고전압화, 전력설비의 절연 및 그 소형화에 기여하고 있다[1-2].

SF_6 가스가 높은 지구온난화 지수로 인해 온실가스로 지목되면서, SF_6 대체 절연매질 및 친환경 전력설비에 관한 연구가 최근에 활발하게 수행되었다[3-5]. 현재 시점에서 전력설비를 위해 가장 선호하는 절연가스의 특성은 높은 절연내력, 낮은 지구온난화 지수, 우수한 아크소호력, 낮은 액화점이다. 그 특성들은 기체분자가 보유하는 본질적 특성에 의존하며, 단일가스로는 SF_6 가스를 능가하거나 동급의 절연내력을 보유한 가스를 발견하지 못한 실정이다. 그래서 언급한 선

* Main author : Director of Research Institute at Hyeong Jin Corp.
** Corresponding author : Professor of Electrical Engineering at Yeungnam University
Tel : 053-526-2356, Fax : 053-556-7338
E-mail : without38@naver.com
Received : 2015. 8. 22
Accepted : 2015. 9. 14

Copyright ⓒ 2015 KIIEE All right's reserved
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

www.dbpia.co.kr

호특성에서 우수한 가스들을 혼합한 혼합가스에 관한 연구가 현재까지 보고되고 있다[6-8]. CF_3I 가스는 절연성능과 아크소호력, 낮은 액화점은 CF_3I/CO_2의 혼합[6], 온난화 지수가 없는 친환경 가스는 건조공기[7]와 N_2/O_2 혼합가스[8-9]로 보고되어 있다. 특히 T. Rokunohe et al[7]은 N_2/O_2 혼합가스로 72.5kV 가스 절연개폐기의 제작이 가능하다는 것을 보였고, K. -S. Lee et al[8]은 체적과 압력의 증대 시 배전급 전력설비가 공기로 절연 가능함을 언급하였다. 추가적으로 친환경 전력케이블을 위한 고분자 재료에 관한 절연특성도 보고되었다[10].

N_2/O_2 혼합가스로 절연된 배전급 친환경 전력설비를 개발할 수 있는 시점에서, 그들 장치의 실제 운용과 적용을 위한 연구가 필요하다. 이는 그 장치 내부에서 발생하는 결함에 대한 절연특성과 절연진단에 관한 것이다. 절연진단 연구는 부분방전으로부터 방사되는 전자파를 검출하는 UHF(Ultra High Frequency) 기법으로 수행하고 있다[11-13]. 특히 밀폐된 전력설비 내부에서 진전하는 전자파 특성과 그 결함별 주파수 대역을 이용하면 부분방전뿐만 아니라, 정상적인 볼트 체결여부까지도 진단이 가능한 것으로 보고된 바 있다[14]. 그리고 절연유로 절연된 변압기의 절연진단은 리뷰논문으로 정리하여 보고될 정도로 활발히 연구되고 있다[15]. 반면에 친환경 전력설비를 위한 그 연구들은 [16-17]에서 보고되었지만, SF_6와 절연유를 이용한 전력설비에 비하여 극히 드물다. 게다가 건조공기 및 N_2/O_2 혼합가스 중 절연결함에 관한 방사전자파 특성과 주파수 대역에 관한 정보가 새로운 친환경 전력설비의 절연진단을 위해 필요한 실정이다.

본 논문은 N_2/O_2 혼합가스 중 스페이서(Spacer)와 전극의 불량접촉에 관한 절연진단을 연구하였다. 불량접촉은 고전압 전극과 고체유전체 사이에 수직방향으로 모의하였다. 절연진단의 여부는 부분방전전압(PDV), 부분방전전류, 방사전자파 주파수 대역을 측정, 확인하여 결정하였다. 불량접촉의 존재와 그렇지 않는 경우에 주파수 특성은 거의 유사하지만, 방사전자파의 주파수 대역을 상세히 분석하면 그 결함은 진단가능하다.

2. 실험장치와 실험방법

부분방전전압 PDV와 그 전류 및 방사전자파를 측정하기 위한 실험장치는 고전압 발생기, 테스트 챔버, CR 분압기, 오실로스코프, 스펙트럼 분석기, 바이코니컬 안테나를 사용하였다. 그 장치들로 구성한 회로는 그림 1에 도식하였다. 고전압 발생기는 380V, 60Hz의 전원으로부터 고전압 변압기를 통하여 교류 고전압을 발생시키며, 그 전압은 변압기 2차측에 테스트 챔버에 인가된다. 테스트 챔버는 직경 460mm, 높이 500mm로 스테인레스 스틸로 제작하였다. 이 챔버는 부분방전의 발생 시 방사전자파가 방출될 수 있는 2개의 위치를 보유한다. 하나는 아크릴 관측창이고 다른 하나는 고전압의 인출을 위한 테프론 재료로 절연된 부싱이 접속되는 위치이다. 그들의 크기는 각각 지름 105, 120mm이고 그 형상은 모두 원형이다. 챔버 내부의 압력은 챔버 상부에 설치한 압력계로 측정하였다. PDV와 부분방전전류 파형을 측정하기 위해 사용한 고전압 분압기는 CR 분압기이며, 그 분압비와 오차는 각각 5000:1, 3%이다. 그리고 그림 1에서 테스트 챔버와 직렬로 연결된 저항(E)은 방전전류의 파형과 크기를 측정하기 위한 22Ω의 저항이다. 부분방전이 발생할 때, 방전전압과 방전전류파형은 디지털 오실로스코프(Lecroy 9350AL)를 이용하여 측정하였다. Biconilog 안테나와 스펙트럼 분석기는 방사전자파를 측정하고 주파수 대역을 확인하는데 사용하였다. 그 안테나의 입력 임피던스와 주파수 대역은 각각 50Ω, 26~2000MHz이며, 스펙트럼 분석기의 측정가능 주파수 범위는 3GHz까지이다.

본 실험에서 전극계는 불량 접촉갭을 가진다. 그 불량 접촉갭은 그림 2와 같이 고전압 전극과 고체유전체 사이에 수직방향으로 형성하였다. 불량 접촉갭과 전극 사이에 갭은 각각 Contact Gap(CG)와 Electrode Gap(EG)으로 정의하였다. 전극은 스테인레스 재질인 나이프 형상의 전극을 이용하였고, 두 나이프 전극은 고체유전체(Teflon 두께 1mm, 지름 50mm) 표면 위에 수평방향으로 배치하였다. 이 배치는 삼중점의 집중된 전계로 인해 불평등 전계를 형성한다[18]. 불량 접촉갭이 없는 경우는 CG가 0mm인 경우이다.

www.dbpia.co.kr

특히 이 경우 양극 및 음극의 두전극과 고체유전체 사이에 수직적 불량접촉이 발생하지 않도록 그림 2에서 보여주는 조절나사(Adjusting Screw)를 이용하였다. 이는 정확한 PDV를 측정하기 위함이다.

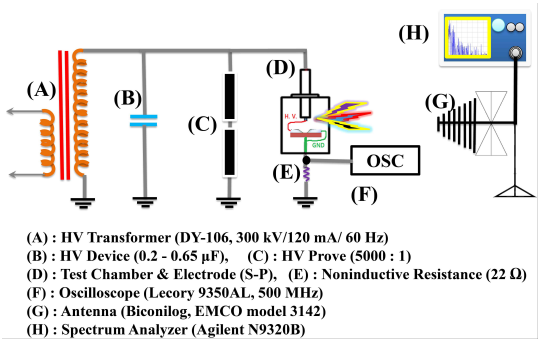


Fig. 1. Experimental apparatus and circuit diagram

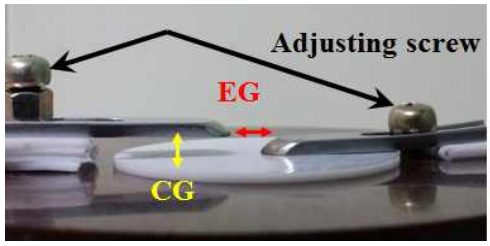


Fig. 2. The arrangement of knife electrode and solid dielectric

실험방법은 챔버 내부에 전극계의 설치와 진공화, 가스의 가압, 고전압 인가 후 PDV와 방사전자파 측정의 순으로 진행하였다. 그림 2와 같은 전극계가 실험조건의 설정 후 챔버내부에 설치된다. CG는 0, 0.5, 1.0, 2.0 3.0mm로 조절하였고, EG는 모든 실험에서 5mm이다. 전극계의 설치 후 챔버 내부는 진공펌프에 의해 6.7×10^{-2}Pa로 배기된다. 절연가스는 순도 99.999%를 보유하는 N_2와 O_2를 이용하였고, 주입순서는 N_2가 먼저 주입되었다. N_2/O_2의 혼합비는 공기와 유사한 80(N_2) / 20(O_2)으로 하였고 테스트 챔버 상부에 압력계의 압력비율을 기반으로 하였다. 부분방전 전압 PDV은 부분방전 전류가 그림 1의 저항(E)에 흐를 시 발생하는 전압강하를 이용하여 측정하였다. PDV는 그림 3과 같이 36~136mA에 상응하는 펄스성 전압이 발생하는 인가전압으로 결정하였다. PDV는 10번 측정에 대한 평균값을 활용하였고, PDV 측정 시 교류 고전압의 상승속도는 3.15kV/s이다. 방사전자파의 측정은 부분방전으로부터 방사되는 전자파를 안테나로 수신하여 그 전자파의 강도와 주파수 대역을 스펙트럼 분석기로 측정하는 방법을 적용하였다. 이 전자파의 측정은 PDV의 전압을 유지한 채 부분방전이 발생하는 3분 동안 26~500MHz 주파수 범위에서 수행하였다. 방전원과 안테나의 거리는 1m로 유지하였고, 실험동안에 실내온도는 26~31℃ 범위였다.

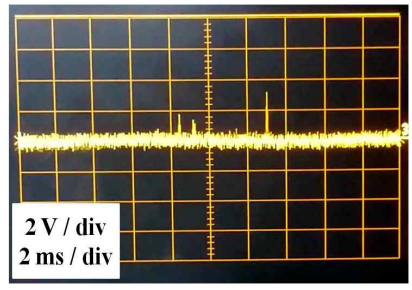


Fig. 3. Voltage drop waveform by partial discharge current

3. 실험결과 및 고찰

3.1 N_2/O_2 혼합가스 중 불량 접촉갭에 대한 부분방전특성

부분방전은 완전한 절연파괴 이전에 발생하는 방전현상으로 순간적인 펄스성 전류를 동반한다. 그림 4는 순간적인 펄스성 전류를 기반으로 측정된 0.3MPa의 N_2/O_2 혼합가스 중 불량 접촉갭 CG에 따른 부분방전 전압 PDV를 보여준다. CG의 증가와 함께 PDV는 증가하였다. 그 증가의 경향은 CG와 함께 포화한다. 특히 불량 접촉갭이 없는(CG=0mm) 경우에서 PDV가 가장 낮았다. PDV가 증가하는 CG와 함께 상승하는 것은 파센의 법칙에 상응하는 결과이다. 그리고 PDV의 포화경향은 고전압 전극(양극)과 고체유전체 사이에 형성되는 공간의 전계가 CG의 증가와 함께 평등하게 감소되지 않기 때문이라 판단된다. 아울러 CG가 0인 경우는 양극이 고체유전체와 접촉하여 음극과 같

www.dbpia.co.kr

이 전극, 절연가스, 고체유전체가 서로 접촉하는 삼중점을 형성하게 된다. 삼중점에서 전계는 고체유전체의 유전율에 의존하여 상승하기 때문에[19], 불량 접촉갭이 존재하는 경우보다 양극 주위에 전계가 더욱 더 높아져 부분방전이 용이하게 발생하게 된다. 이러한 해석이 그림 4와 같이 CG가 0인 경우에 가장 낮은 PDV를 보이는 이유라 할 수 있다. 즉 PDV는 전극 주위에 집중하는 고전계에 의존한다.

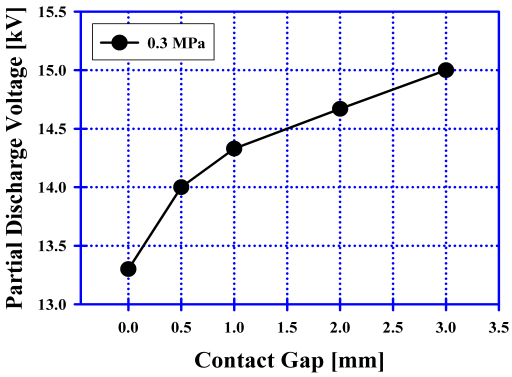


Fig 4. Partial discharge voltage as a function of contact gap in N_2/O_2 mixture gas

그림 5는 불량 접촉갭이 0.5mm인 경우와 존재하지 않는 정상적인 경우에 대한 부분방전전류 파형을 보여준다. 그림 5의 파형은 그림 3의 부분방전전류 파형과 달리 인가전압 17kV에서 부분방전이 연면플래쉬오버 직전까지 발달된 상황에서 측정된 것으로, 부분방전전류의 펄스를 300ns div로 확대하여 상세하게 나타낸 것이다. 그림 3과 비교할 때 부분방전 발달로부터 전류의 크기는 상당히 증가하며, 단일 펄스의 부분방전전류 파형은 약 1.8μs 동안 진동하는 정현파로 구성되어 있음을 알 수 있다. 특정한 부분방전 발생조건과 전자파방출개소의 크기 및 형상이 결정되면, 방사전자파의 주파수 대역은 부분방전전류 파형에서 시간에 따른 전류 크기의 변화율과 그 형상에 영향을 받는다. 그림 5에서 확인할 수 있듯이 불량 접촉갭의 존재와 정상상태의 조건에서 부분방전 전류파형은 거의 유사하다. 하지만 약 0~200ns 구간에서 첫 번째 피크 방향으로 상승하는 부분은 서로 상이한 형상을 보인다. 다시 말해서 불량 접촉갭에 대한 전류파형이 정상상태인 경우에 비해 0~200ns의 시간 범위에서 더 많이 왜곡, 일그러져 있다. 이러한 특성으로부터, 부분방전에 의한 방사전자파 주파수 대역은 두 조건에서 서로 상이한 대역이 존재하리라 추정된다.

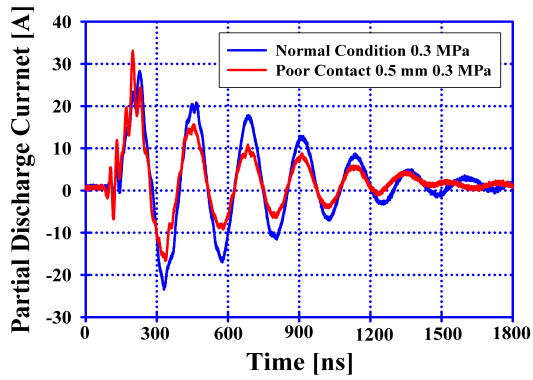


Fig. 5. Waveform of partial discharge current for normal and poor contact(0.3MPa, CG 0.5mm)

3.2 불량 접촉과 정상상태에 대한 방사전자파 특성

본 항은 이전 3.1 항에서 검토된 불량접촉과 정상상태에 대한 부분방전특성을 기반으로 방사전자파 주파수 특성을 설명한다.

그림 6은 본 실험실에서 측정된 0~3GHz 대역에서 존재하는 주변잡음을 보여준다. 주변잡음은 약 0.8, 2.7, 2.2GHz 대역에서 존재함을 알 수 있다. 주변잡음과 부분방전에 의한 방사전자파가 서로 같은 범위의 주파수 대역을 보유할 수 있기 때문에, 측정범위의 주파수 대역을 결정할 필요가 있다. 그래서 측정용 EMC 안테나의 주파수 범위와 부분방전에 의한 방사전자파 주파수 범위를 고려하여 측정 주파수 대역이 결정되었다. 사전에 본 실험조건에서 부분방전으로 인한 방사전자파의 주파수 범위는 0~1.5GHz로 나타남을 확인 하였으며, 주로 0~500MHz 대역에서 활발히 검출되었다. 그리고 그 이상의 주파수 대역에서는 낮은 빈도로 강도가 약한 방사전자파가 검출되었다. 이러한 측정결과와 바이코니컬 안테나의 측정 주파수 범위를 고려하여, 본 논문은 측정범위의 주파수 대역을 26~

www.dbpia.co.kr

500MHz로 결정하였다. 더욱이 이 주파수 범위는 중앙전파관리소에서 발표된 무선호출, 휴대전화, 무선데이터통신, 무선전화기, 개인휴대통신의 주파수 대역을 벗어난다[20]. 이 범위에서 측정한 주변잡음은 그림 7에서 보여준다. 주변잡음이 거의 없기 때문에, 부분방전에 의한 방사전자파와 주변잡음의 혼동은 최소화된다.

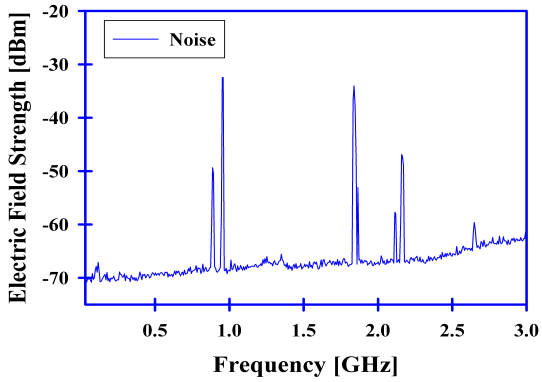


Fig. 6. Background noise measured in the laboratory

가스압력 0.3MPa, CG와 EG가 각각 0, 5mm인 조건(정상상태)에서 측정된 방사전자파 주파수 특성은 그림 8에 나타내었다. 방사전자파는 약 60~300MHz 대역에서 산발적으로 측정되었고, 60, 80, 120, 280MHz의 주파수에서 가장 높은 방사전자파 강도를 보였다. 이들 강도는 잡음에 비해 약 10~12dBm 더 높았다. 그림 8과 같은 방사전자파가 측정된 조건(13kV)에서, 부분방전전류 파형은 그림 3과 같은 펄스성의 특성을 보였다. 하지만, 나이프 전극 사이에 간헐적으로 진전하는 방전로는 관측되지 않았으며, 양극에 코로나 또한 육안으로 관측할 수 없었다. 반면에 인가전압이 17kV로 상승하였을 때, 나이프 전극 사이로 진전하는 간헐적 방전로가 관측되었다. 그 조건에서 방사전자파는 그림 8과 같은 주파수 대역에서 증가하는 강도와 함께 1.2~1.5GHz 대역으로 확장되어 관측되었다. 1.2~1.5GHz 대역의 방사전자파 강도는 주변잡음에 비해 약 2~4dBm 더 높지만, 60~300MHz 대역의 강도보다는 상당히 낮았다.

불량 접촉갭의 절연진단을 위해, 불량 접촉갭의 존재와 그 접촉갭이 없는 조건에서 부분방전에 의한 방사전자파 주파수 대역을 비교 및 검토하는 것이 필요하다. 그 비교 및 검토를 위해 그림 9는 불량 접촉갭의 존재에서 방사전자파 주파수 특성을 보여준다. 불량 접촉갭이 0.5~3.0mm일 때, 방사전자파 주파수 대역은 유사하다. 방사전자파 강도는 50, 150, 260MHz의 주파수에서 강하게 검출되었다. 그림 9에 기록된 부분방전전압(14~15kV)보다 더 높은 전압이(17~18kV) 인가되면, 방사전자파 강도는 증가하며 1.1GHz 대역에서 강도가 낮은 방사전자파가 검출된다. 즉 인가전압의 상승에 따른 방사전자파 특성은 불량 접촉갭이 존재하지 않는 경우와 유사하다.

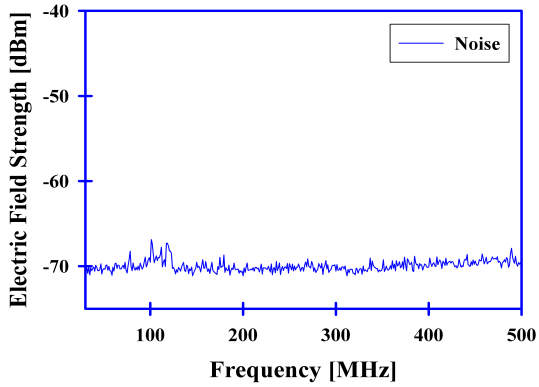


Fig. 7. Background noise ranged from 0~500MHz

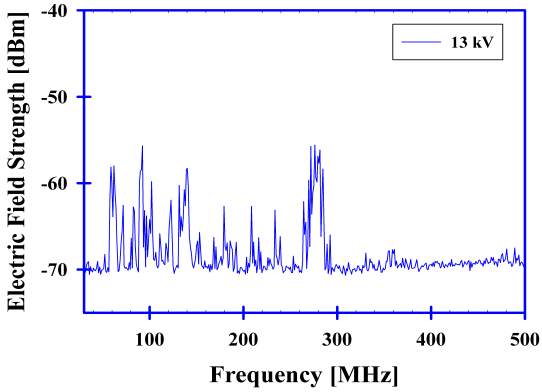


Fig. 8. Radiated electromagnetic waves due to partial discharge in normal condition(0.3MPa, CG 0mm, 13kV)

그림 8과 그림 9의 비교로부터 불량 접촉갭의 존재여부를 판단하게 해주는 주파수 대역을 파악할 수

www.dbpia.co.kr

있다. 그 주파수 대역은 380~400MHz이다. 불량 접촉갭이 존재하지 않는 그림 8에서 그 주파수 대역의 방사전자파는 검출되지 않았다. 이는 불량 접촉갭에 의한 절연열화를 부분방전에 의한 방사전자파로 진단할 수 있음을 의미한다. 검출된 방사전자파의 주파수 대역에서 상이함은 3.1 항에서 이미 설명한 부분방전전류 파형(그림 5)의 차이로부터 초래되는 것으로 판단된다.

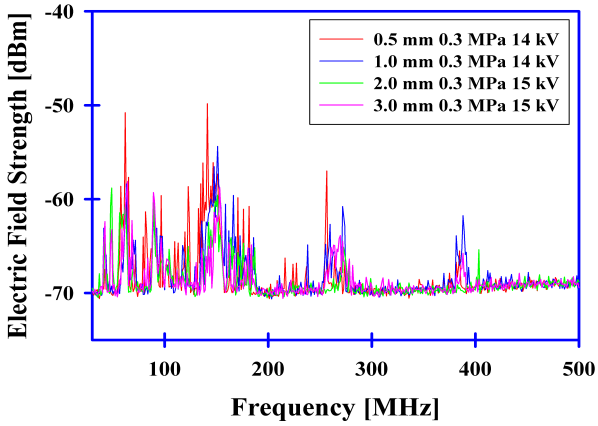


Fig. 9. Radiated electromagnetic waves due to partial discharge in the presence of poor contact gap(0.3MPa)

4. 결 론

본 논문은 N_2/O_2 혼합가스(8/2) 중 불량 접촉갭의 존재에서 부분방전특성과 절연진단을 위한 방사전자파 특성을 연구하였다. 부분방전전압은 불량 접촉갭의 증가와 함께 상승하였다. 그리고 부분방전전류 파형으로부터, 추정한 불량 접촉갭의 방사전자파 특성은 불량 접촉갭이 없는 경우의 방사전자파와 상이한 주파수 대역을 보이는 실험결과와 일치하였다. 그 상이한 방사전자파의 주파수 대역을 고려하면, 불량 접촉갭의 존재는 부분방전에 의한 방사전자파에 의해 검출될 수 있다. 본 논문은 부분방전에 의한 방사전자파의 주파수 대역이 부분방전 발생조건과 절연파괴를 이끄는 전자사태의 진전단계에서 다르게 나타나는 특성을 이용하면, 공기를 적용한 친환경 전력설비에서 고체유전체와 전극의 불량 접촉에 관한 절연진단에 활용할 수 있음을 보였다. 본 논문에서 고려한 방사전자파 특성은 불량 접촉갭의 결함 외에 다른 내부결함(도전성 파티클, 고체유전체의 손상 등)을 검출하는데 적용할 수 있을 것이다. 추후 고기압에 대한 불량 접촉갭과 도전성 파티클에 대한 절연파괴 메커니즘과 방사전자파 특성에 관한 연구와 직류고전압을 이용한 전력설비의 절연진단에 관한 연구가 필요할 것이다.

References

[1] H. Okubo, A. Beroual, "Recent Trend and Future Perspectives in Electrical Insulation Techniques in Relation to Sulfur Hexafluoride (SF_6) Substitutes for High Voltage Electric Power Equipment", IEEE Electr. Insul. Mag., Vol. 27, No. 2, pp. 34-42, 2011.

[2] L. G. Christophorou, J. K. Olthoff and R. J. Van Brunt, "Sulfur Hexafluoride and the Electric Power Industry", IEEE Electr. Insul. Mag., Vol. 13, No. 5, pp. 20-24, 1997.

[3] H. Okubo and N. Hayakawa, "Dielectric Characteristics and Electrical Insulation Design Techniques of Gases and Gas Mixtures as Alternatives to SF_6", Gaseous Dielectrics X, pp. 243-252, 2004.

[4] T. Takuma, O. Yamamoto and S. Hamada, "GASES AS A DIELECTRIC", Gaseous Dielectrics X, pp. 195-204, 2004.

[5] E. H. Choi, B. H. Koo, L. K. Kim and K. S. Lee, "Assess of Breakdown Characteristics about Environmentally Friendly Gases", J Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng., Vol. 23, No. 5, pp. 96-100, 2009.

[6] M. Taki, D. Maekawa, H. Odaka, H. Mizoguchi and S. Yanabu, "Interruption Capability of CF_3I Gas as a Substitution Candidate for SF_6 Gas", IEEE Trans. Dielectri. Electr. Insul., Vol. 14, No. 2, pp. 341-346, 2007.

[7] T. Rokunohe, Y. Yagihashi, K. Aoyagi, T. Oomori, and F. Endo, "Development of SF_6-free 72.5 kV GIS", IEEE Trans. Power Deliv., Vol. 22, No. 3, pp. 1869-1876, 2007.

[8] J. H. Lee, H. Park, E. H. Choi, S. H. Jang and K. S. Lee, "Surface Discharge Characteristics of Teflon Resin in Environment-Friendly Insulation Gas", J Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng., Vol. 23, No. 10, pp. 121-127, 2009.

[9] D. Y. Lim, "Comparative Study on Surface Insulation Performance in Oxygen/Nitrogen Gas Mixtures for High Voltage Equipment in Distribution Class", Ph. D. Thesis, Yeungnam University, 2015.

[10] S. K. Kim, "A Study on Electrical Properties of Polymeric Insulating Materials for Eco-Friendly Power Cable", M. S. thesis, Hoseo University, 2013.

[11] R. Sarathi, A. J. Reid and M. D. Judd, "Partial Discharge Study in Transformer Oil due to Particle Movement under DC Voltage using the UHF Technique", Electric Power Systems Research, Vol. 78, pp. 1819-1825, 2008.

[12] M. D. Judd, O. Farish, and B. F. Hampton, "The Excitation of UHF Signals by Partial Discharges in GIS",

www.dbpia.co.kr

IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 3, No. 2, pp. 213-228, 1996.
[13] M. Hikita, S. Otsuka, T. Teshima, S. Okabe, and S. Kaneko, "Electromagnetic (EM) Wave Leakage at the Spacer Aperture for Partial Discharge Diagnosis", IEEE, Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 14, No. 2, pp. 453-460, 2007.
[14] T. Hoshino, K. Kato, N. Hayakawa and H. Okubo, "Frequency Characteristics of Electromagnetic Wave Radiated From GIS Apertures", IEEE Trans. Power Deliv., Vol. 16, No. 4, pp. 552-557, 2001.
[15] T. K. Saha, "Review of Modern Diagnostic Techniques for Assessing Insulation Condition in Aged Transformers", IEEE, Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 10, No. 5, pp. 903-917, 2003.
[16] D. Y. Lim, E. H. Choi, S. T. Choi, B. J. Choi, K. S. Lee and S. Bae, "Surface Flashover Characteristics on Poor Contact in N_2/O_2 Mixture Gas under Non-Uniform Field", J Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng., Vol. 29, No. 8, pp. 63-69, 2015.
[17] S. G. Park, E. H. Choi and K. S. Lee, "A Design of Insulted Diagnosis Sensor and the Characteristics of Frequency Spectrum from the Radiated Electromagnetic Waves according to Surface Discharge", J Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng., Vol. 26, No. 10, pp. 27-34, 2012.
[18] D. Y. Lim and S. Bae, "Study on Oxygen/Nitrogen Gas Mixtures for the Surface Insulation Performance in Gas Insulated Switchgear", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 22, No. 3, pp. 1567-1576, 2015.
[19] H. C. Miller, "Surface Flashover of Insulators", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 24, No. 5, pp. 765-786, 1989.
[20] J. S. Lim, K. Park, S. G. Goo, J. Y. Yoon and K, J. Jung, "Measurement of Ultra-High Frequency (UHF) Noise Spectra in GIS Substation", KIEE Summer Conference, pp. 1768-1769, 2003.

◇ 저자소개 ◇



임동영 (林東永)
1983년 4월 12일생. 2009년 2월 경주대학교 컴퓨터정보시스템공학부 졸업. 2011년 8월 영남대학교 전기공학과 졸업(석사). 2015년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 (주)형진 연구소장.



최은혁 (崔殷赫)
1977년 2월 19일생. 2003년 경일대 전기공학과 졸업. 2005년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국폴리텍 VI대학 대구캠퍼스 스마트전기과 교수.



배성우 (裵晟佑)
1978년 6월 30일생. 2006년 한양대학교 전기공학과 졸업. 2009년 미국 텍사스 오스틴대학교 전기공학과 졸업(석사). 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2012~2013 삼성종합기술원 근무. 현재 영남대학교 전기공학과 조교수.



최상태 (崔相泰)
1957년 8월 8일생. 1984년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1992년 독일 Ruhr Bochum 대학교 전기공학부 석사과정 졸업(Dipl. Ing.). 1997년 동 대학원 박사과정 졸업(Dr. Ing.). 1998년~현재 경주대학교 신재생에너지학과 부교수.



이광식 (李廣植)
1948년 10월 25일생 1971년 2월 영남대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 대한전기학회 방전 고전압 연구회 간사장 역임. 현재 본 학회 명예회장. 영남대학교 전기공학과 명예교수.



최병주 (崔炳柱)
1958년 12월 12일생. 1981년 영남대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 Kyushu대학 대학원 공학연구과 졸업(박사). 1982~1986년 현대중전기(주)기술연구소 연구원. 1986~1997년 한국전기연구원 선임연구원. 1997~2009년 서라벌대 고속전기철도과 부교수. 2014년~현재 영남대학교 전기공학과 산학협력중점전임교원.

www.dbpia.co.kr