

임펄스전압에 의한 수중방전특성에 대한 연구

(The Study of Underwater Discharge Characteristics against impulse voltage)

이복희 · 최종혁 · 박건훈 · 이 봉 · 김희구 · 이강수 · 안창환*

(Bok-Hee Lee · Jong-Hyuk Choi · Geon-Hun Park · Feng Lee · Hoe-Gu Kim · Kang-Soo Lee · Chang-Hwan Ahn*)
Inha university · Inha technical college

Abstract

This paper presents the experimental results of underwater discharges in 25 mm point-plane gap caused by impulse voltage. Discharge phenomena were observed by digital cameras and recorded by oscilloscope. As a result, discharge patterns in positive and negative polarity have different shapes according to applied voltage amplitudes. The positive discharge is like root but the negative discharge is similar to bush. As the voltage is increased, the discharge routs are thick and have more branches. Also the time to breakdown is inversely proportional to voltage.

1. 서론

액체의 방전현상에 관한 연구는 기체나 고체에 비하여 굉장히 미약하며, 여러 방전메카니즘들이 제시되었지만 일반적으로 받아들여지는 이론은 없는 상태이다. 이렇게 액체에 대한 연구가 많이 진행되지 않는 이유는 액체에서의 방전의 경우 온도, 압력, 액체의 순도와 이 물질의 유무, 전극형상 등의 파라미터들에 의해 매우 다양한 결과들이 나타나기 때문이며, 심지어 연구 결과들이 상충되는 경우도 발생하기 때문이다.[1]-[3] 또한 액체에서의 방전현상은 차단기, 변압기 등에 사용되는 기름이나 니트로젠과 같은 비극성액체에서 주로 이루어지고 있어 모든 액체에 대한 포괄적인 연구가 필요하다. 최근 수중에서의 전구방전특성에 대한 연구가 빠른 상승시간과 매우 짧은 지속시간을 갖는 연속적인 정극성 펄스에서 이루어졌다.[4]-[6] 하지만, 물과 같은 액체에서의 방전현상은 인가전압의 극성과 크기, 액체의 저항률에 따라 매우 다양하게 나타나기 때문에 더욱 깊이 있는 연구가 필요하다. 이 논문에서는 1.2 [μs]의 파두시간과 50 [μs]의 파미시간을 갖는 표준 임펄스 전압을 인가하여 낙뢰에 의해 수중에서 발생 할 수 있는 방전광과 방전지속시간을 분석하였다.

2. 본론

2.1. 측정계의 구성

본 실험은 침-판 갭에서 수중방전을 관찰하기 위하여 12,000 [cm³]의 부피를 갖는 육면체모양의 수조에서 수행되었다. 수조 아랫부분에 직경 100 [mm]의 판전극을 설치하고 수조의 윗부분에 0.1 [mm]의 곡률반경을 갖는

침전극을 설치하였다. 10 [μm]의 간격을 갖는 깊이 마이크로미터를 이용하여 침전극의 높이를 정확하게 설치하였다. 판과 침사이의 거리는 25 [mm]로 일정하게 유지하였으며, 임펄스전압을 침전극에 인가하기 위하여 20 [kJ], 400 [kV]까지 인가할 수 있는 임펄스전압발생장치를 사용하였다.

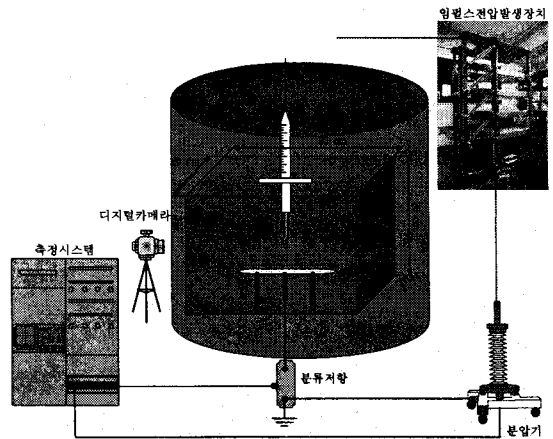


그림 1. 수중방전현상을 관찰하기 위한 실험계
Fig. 1. Test configuration for observing the discharge phenomenon in water.

그림 1과 같이 선명한 방전광 촬영을 위해 수조를 암실에 설치하여, 외부의 빛을 완전히 차단하였다. 방전광의 촬영은 고성능 디지털 카메라를 사용하였으며 동일한 촬영을 위하여 실험진행 동안 조리개와 노출시간 등의 모든 조건을 일정하게 유지하였다. 방전시 출력전압을 측정하기 위하여 1:10,000의 비율을 갖는 분압기를 이용하였으며, 전류를 측정하기 위하여 0.02 [Ω]의

shunt 저항을 판전극과 접지사이에 연결하여 측정하였다.

2.2. 측정방법

침-판 25 [mm]의 일정한 갭 간격에서 전압에 따른 방전현상을 관찰하기 위하여, 비교적 저항률이 높은 5,000 [$\Omega \cdot m$]로 물의 저항률을 유지하며, 입력전압을 2 [kV]씩 증가시키며 방전광을 관찰하였다. 아크방전이 발생하기 시작한 이후 20번의 방전광을 촬영하였으며, 아크방전에 대한 방전광의 변화를 알아보기 위해 주 방전로에서 분기된 부 방전로의 수를 조사하였다. 또한 아크방전시의 전압과 전류파형으로부터 전압 상승에 따른 방전 지연시간의 변화를 알아보았다.

2.3. 측정결과

그림 2와 3은 각각 정극성과 부극성에서 전압에 따른 방전광 사진을 보여준다.

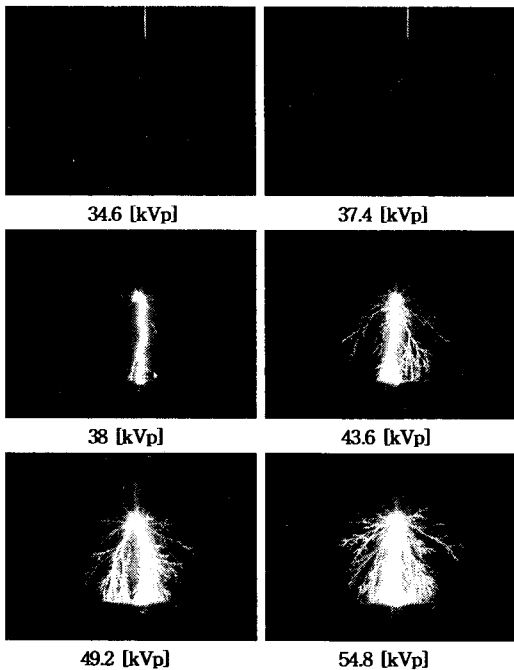


그림 2. 전압에 따른 정극성 방전광 (5,000 [$\Omega \cdot m$])
Fig. 2. The photographs of positive discharge at 5,000 [$\Omega \cdot m$]

정극성 방전은 침 끝에서 시작되는 필라멘트 모양의 스트리머에 의한 코로나 방전을 시작으로 전압이 38 [kVp]에서 아크방전이 발생하였다. 아크방전시의 방전광은 주 방전로와 주 방전로에서 분기된 부방전로들로 이루어지며, 마치 나무의 뿌리와 같은 형상을 이룬다. 전압이 증가할수록 주 방전로에서 분기하는 분기수가 증가하고 방전로의 굵기가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

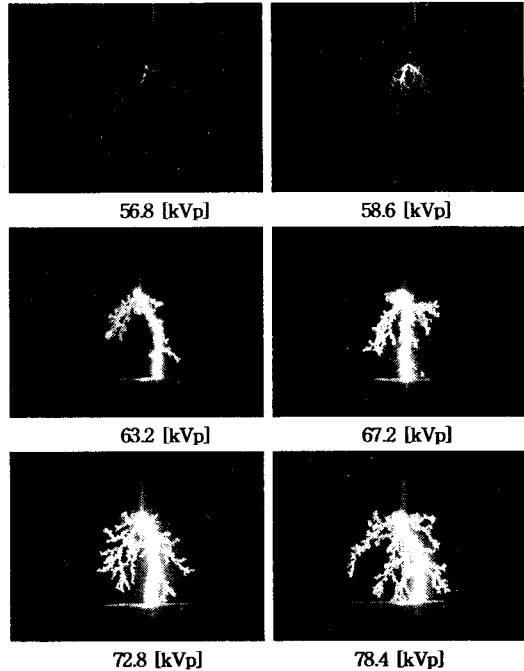


그림 3. 전압에 따른 부극성 방전광 (5,000 [$\Omega \cdot m$])
Fig. 3. The photographs of negative discharge at 5,000 [$\Omega \cdot m$]

부극성 방전의 경우 정극성 방전에 비하여 더욱 퍼진 형태의 스트리머 코로나를 확인할 수 있으며, 아크방전의 경우 정극성보다 높은 전압인 60 [kVp]에서 시작되었다. 부극성 방전광은 주 방전로와 나뭇잎 모양의 곁가지가 결합되어 관목형 모양을 나타내고, 정극성 방전광과 마찬가지로 전압이 증가할수록 주 방전로의 굵기가 증가하고 곁가지가 늘어나는 것을 확인할 수 있다. 또한 정극성에 비하여 부극성 방전이 퍼지는 각도가 크다는 것을 확인할 수 있다.

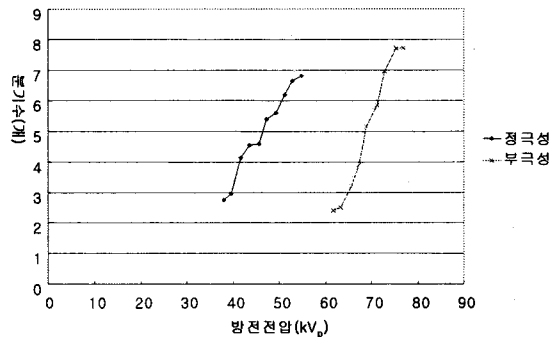


그림 4. 전압에 따른 주 방전로의 분기수 변화
Fig. 4. The number of branch from main discharge route according to voltage.

그림 4는 각각의 전압을 20번씩 증가하여 촬영한 방전광 사진에서 주방전로에서 갭간격에 절반 이상을 진

전한 분기수의 평균을 나타내고 있다. 그림 2와 3에서 확인할 수 있듯이 정극성과 부극성 모두 전압이 상승할 수록 분기수가 증가한다는 결과를 보여주고 있다.

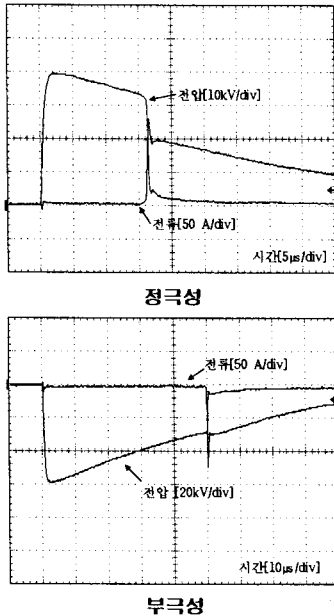


그림 5. 아크방전시 전압-전류파형
Fig. 5. The voltage-current waveform during arc discharge

그림 5는 아크방전이 발생할 때 전압과 전류의 파형을 나타내고 있다. 정극성과 부극성 모두 아크방전은 임펄스전압의 파미부분에서 발생하였다. 또한 아크방전이 발생하기 이전까지는 미세한 전류만이 나타나고, 방전이 발생하면 전압은 급격히 0으로 떨어지며 전류는 급격히 상승하였다.

그림 6은 아크방전이 발생할 때 전압 증가에 따른 방전지연 시간을 나타낸다. 방전지연 시간은 전압이 인가되어 미세한 전류가 흐르기 시작한 시간부터 전압이 0으로 떨어지는 시간까지를 측정하였다.

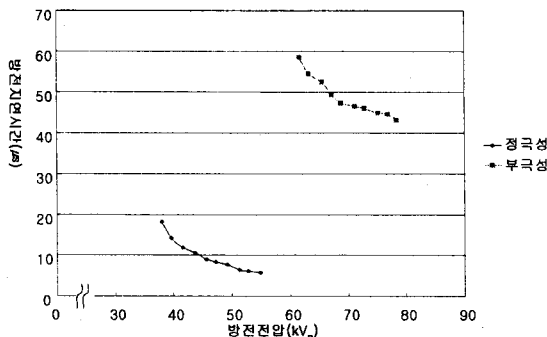


그림 6. 전압에 따른 방전지연시간의 변화
Fig. 6. Variety of time lag to breakdown in different voltages

정극성과 부극성 모두 전압이 증가함에 따라서 지연 시간이 반비례하는 것으로 나타났다. 또한 SF₆ 기체와 같은 기체 내에서의 방전과 비교해서 정극성과 부극성 모두 방전지연시간이 매우 길게 나타났고, 부극성의 경우가 정극성보다 6배 정도 길게 나타났다. 이것은 절연 액체의 전구방전에서 정극성스트리머가 부극성스트리머보다 빠르다는 결과에 상응하며, 정극성과 부극성에서의 방전메카니즘에 분명한 차이가 있음을 보여준다.[3]

3. 결론

임펄스 전압에 의한 침-판 갭에서 수중방전현상을 관찰한 결과, 정극성 방전광의 경우 나무뿌리와 같은 형상을 띠고, 부극성의 경우 관목형을 이루었으며, 부극성 방전광이 정극성 방전광에 비하여 퍼지는 각도가 큰 것으로 관찰되었다. 또한 전압이 상승함에 따라서 주 방전로에서 분기된 가는 방전채널수가 많아지고, 주 방전로의 굵기가 증가하였다. 전압과 전류의 파형으로부터 5,000[Ω · m]의 저항률에서 방전이전에는 미세한 전류만이 흐르고, 아크방전이 발생 할 때 전압과 전류가 급격히 변화하였다. 방전지연시간은 정극성 부극성 모두 전압에 반비례하는 것으로 나타났고, 부극성의 경우가 정극성보다 길게 나타났다.

참고 문헌

- [1] E. Kuffel, W. S. Zaengl, J. Kuffel, "High Voltage Engineering Fundamentals", McGraw-Hill 1995, pp.385-pp.394
- [2] M. S. Naidu, V. Kamarahu, "High voltage Engineering", Newnes 2000, pp.56-pp.61
- [3] Mazen Abdel-Salam, Ahdab El-Morshedy "High-Voltage Engineering Theory and Practice" Marcel Dekker 2000, pp217-234
- [4] H. M. Jones and E. E. Kurhardt Weber Research Institute, Polytechnic University Farmingdale, New York 11735 USA "Nanosecond Pre-Breakdown and Breakdown Phenomena in Water", Conference Record of the ICCL 96 12th International Conference on Conduction and breakdown in Dielectric Liquids, Roma, Italy, July 15-19, 1996
- [5] J. Nieto-Salazar, O.Lesaint and A.Denat, LEMD.CNRS & University Joseph Fourier, Grenoble, France, "Transient current and light emission associated to the propagation of pre-breakdown phenomena in water", Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Annual Report Conference on 2003, pp.542-545
- [6] Anto Tri Sugiarto, Masayuki Sato and Jan D Skalny, "Transient regime of pulsed breakdown in low-conductive water solutions", J.Phys. D:Appl.Phys.34(2001) 3400-3406.