펄스파워 기술을 이용한 방전파쇄과정의 전압파형 검출

정영환*. 윤성호. 이유수. 이동훈. 김희제. 조정수
부산대학교 전기공학과

Voltage waveform detection of discharge breaking process used pulsed-power technique

Y. H. Chung*. S. H. Yoon. Y. S. Lee. D. H. Lee. H. J. Kim. J. S. Cho.
Dept. of Electrical Eng. Pusan national Univ.

Abstract - Electric breakdown in the liquid produces a spark channel. The energy input into the channel causes expansion of a vapor - gas cavity. If the power of the discharge is high enough, this expansion is fast enough to produce a shock wave which propagates through the liquid to the subject of destruction. We focused our attention on the correlation between electric parameters and the characteristics of the flash caused by point-to-point electrode discharge in the water. By varying firing voltage and gap length, we obtained the features of the flash : amplitude, pulse width, and so on. In this paper, We have known that there is a concrete interrelation between underwater firing voltage and photodiode output.

1. 서 론

암반 발파 및 도시내 노후건물의 폭파작업 등에 일반적으로 사용되고 있는 폭약에 의한 파쇄법은 폭약의 운반, 보관, 취급이 까다롭고, 폭발에 의한 인체에의 위험성이 있으며, 분진에 의한 공기오염, 진동에 의한 소음공해 등의 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 전기적 펄스파워를 이용한 암반파쇄방법이 개발되었고[1], 최근에는 수중방전으로 고온·고압의 Plasma를 발생시켜 이에 의한 충격파로 암반이나 콘크리트를 파쇄하는 방법이 연구되고 있다[2-7]. 이러한 파쇄법은 분진과 소음이 거의 없고, 폭발로 인한 위험성이 제거되는 장점을 가지고 있다.

펄스파워기술은 종래의 고전압·대전류공학을 기초로 하여 콘덴서, 인덕터 등에 저장된 초기 전자(電磁)에너지를 時空的으로 성형·중첩·압축하여 수ns~수ms의 짧은 시간안에 고출력에너지를 좁은 공간에 집중 공급하는 기술이다. 이 기술의 핵심은 한정된 전기에너지를 얼마나 짧은 시간에 부하로 방출할 수 있는가에 달려 있다. 예를 들면 1[J]의 에너지를 1[sec]동안 공급할 때의 전력은 1[W]이지만, 1[ns]동안에 공급한다면, 1[GW]가 된다. 이와 같이 전기에너지를 단시간에 방출시킴으로써 정상적으로 실현할 수 없는 극한 상태를 용이하게 실현할 수 있는 제 3의 전력기술이다[8].

현재 국외에서는 1940년대에 고밀도 플라즈마를 발생시키기 위한 연구에서 시작해 이미 산업에 적용하기 위해 상당한 기술력의 축적과 응용이 이루어지고 있는 반면에[9-11], 국내에서는 아직도 기초적인 연구단계 수준이며, 이러한 시스템 설계에 관한 자료 또한 부족한 실정이다. 따라서 펄스파워 시스템의 기본적인 전압·전류파형을 얻었으며, 수중방전시 발생하는 섬광과 파괴전압사이의 상관관계에 촛점을 두어 섬광의 특성과 전기적 파라메타와의 관계를 규명해 보고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 방법

본 실험에 사용한 실험장치의 구성도는 그림 1과 같다. 그림 1에 보여지는 것처럼 실험장치는 AC Power Supply, 충전용 Capacitor Bank, 개폐 Switch, 수중방전용 침대침 전극과 아크릴 Chamber로 구성되어 있다. AC Power Supply는 용량 400[VA], 입력 220[V], 출력 18[kV]의 변압기를 사용하였으며, 충전용 Capacitor Bank는 Maxwell 사에서 제작한 정격 100[kV], 정전용량 0.3[μF]을 사용하였다. 전체적인 전원회로는 Cockcroft - walton 회로의 형태로 6단으로 구성하여 90[kV]까지 시험할 수 있게 하였다.

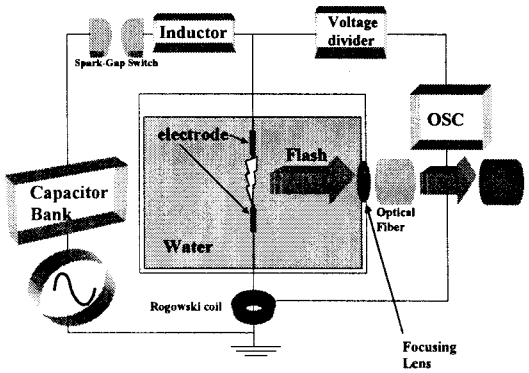

그림1. 실험장치 구성도

수중 방전을 개시시키기 위한 트리거링 시스템으로는 Spark-Gap Switch를 사용하였고, 아크릴 Chamber는 반경 8[cm], 높이 17[cm], 두께 2[cm]의 원통형구조를 취하고 있으며, 침전극은 직경 4[mm], 곡률반경 0.3[mm]로서 재질로는 SUS를 사용하여 수중에서 부식에 의한 이물질이 생기지 않도록 하였다. 또한 전극간격은 0.2~5[cm]까지 가변가능하도록 제작하였다.

측정시스템의 구성으로는 충격 전압·전류파형을 측정하기 위하여 Voltage divider와 Rogowski coil을 사용하였다. Voltage divider는 저항용량분압기로서 저항 100[MΩ], 콘덴서 220[pF]를 조합하여 10단으로 분압비 1000:1로 구성하였다. Rogowski coil은 외부적분형으로 측정주파수가 $\omega \ll R/L$을 만족하도록 시험·설계하였다. 각각의 파괴전압에 따른 방전시 섬광의 특성을 얻기 위해 초점거리 20[cm]의 집광렌즈와 광파이버를 통과시켜 광다이오드(MRD721 PIN Photodiode)에 입력하였다. 주위의 광에 의한 오차를 줄이기 위해 실험장치 주변을 암실로 구성하였다. 측정파형은 디지털 오실로스코프(LeCroy 9310AM 400㎒)로 분석·비교하였다.

2.2 실험결과

그림 2는 전극간격 0.2[cm]에서의 수중방전시 전압, 전류 파형이다. 전압파형은 파두장 T_f=1[㎲], 파미장 T_t=8[㎲]로 관측되었다.

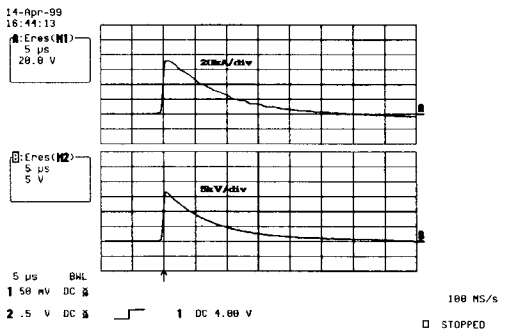

그림 2. 전극간격 0.2[cm]에서 전류·전압파형

그림 3은 전극간격 0.5[cm]에서 파괴전압을 5, 18, 40, 60[kV]로 달리했을 때 광다이오드 출력이다. 이 때 광다이오드 출력은 11.2~28.5[mV], 펄스폭은 9.2~15.3[㎲]까지 측정되었다.

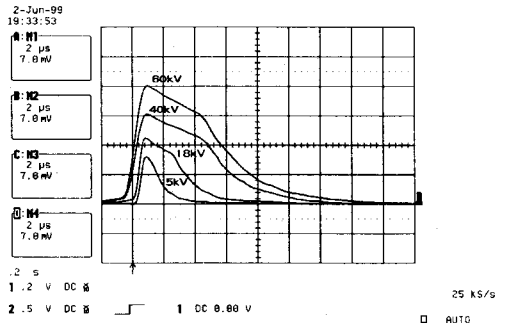

그림 3. 전극간격 0.5[cm]에서 광다이오드 출력

그림 4는 전극간격 1[cm]에서 파괴전압을 18, 40, 60, 80[kV]로 인가했을 때, 광다이오드 출력이다. 출력은 14.9~37.9[mV], 펄스폭은 9.9~17.0[㎲]까지 측정되었다.

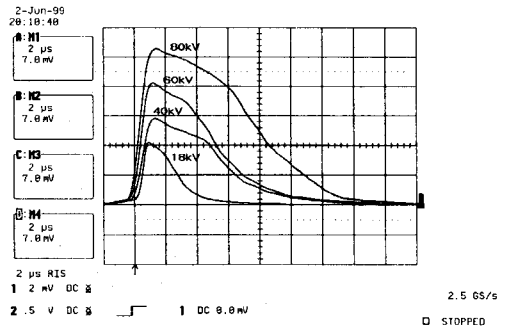

그림 4. 전극간격 1[cm]에서 광다이오드 출력

그림 5는 전극간격 2[cm]에서 파괴전압을 18, 40, 60, 80[kV]로 가변했을 때의 광다이오드 출력이다. 이 때 나타난 광다이오드 출력은 17.0~38.5[mV], 펄스폭은 10.5~18.6[㎲]까지 측정되었다.

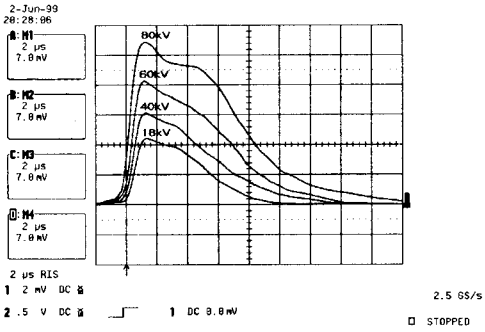

그림 5. 전극간격 2[cm]에서 광다이오드 출력

2.3 고찰

위의 파형들을 분석해 본 결과 다음의 선형적 관계를 얻을 수 있었다.

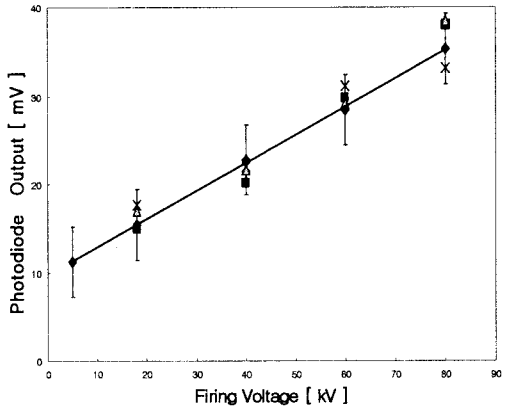

그림 6. 파괴전압에 따른 광다이오드 출력

그림 6은 수중방전의 파괴전압에 따른 광다이오드의 출력을 나타낸 그래프이다. 그림 6의 그래프에서 알 수 있는 바와 같이 전극간격에는 무관하고, 단지 파괴전압이 증가함에 따라 광다이오드 출력전압은 11.2~38.5[mV]까지 거의 선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 선형화하여 수식적으로 나타내면,

$$y = 0.3x + 10.5$$

와 같은 함수관계가 성립하였고, 여기에서 x는 파괴전압[kV], y는 광다이오드 출력전압[mV]이다.

그림 7은 수중방전의 파괴전압에 따른 광다이오드 출력의 펄스폭을 나타낸 그래프이다. 그림 7에서 보여지는 것처럼 광다이오드 출력펄스폭은 전극간격에는 무관하고, 파괴전압이 증가함에 따라 9.2~18.5[㎲]까지 거의 선형적으로 증가하였다.

선형적으로 나타낸 그래프의 함수관계는 다음 식으로 나타낼 수 있었다.

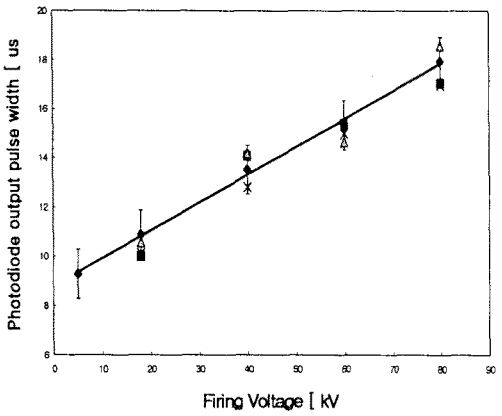

그림 7. 파괴전압에 따른 광다이오드 펄스폭

$$y = 0.1x + 8.8$$

여기에서 x는 파괴전압[kV] y는 광다이오드 출력펄스폭[μs]이다.

3. 결 론

본 논문에서는 수중방전을 이용한 암반파쇄기의 모델을 제작하여, 수중에서의 방전시 수반되는 섬광과 전기적인 파괴전압 및 펄스폭과의 관계에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 파괴전압이 증가함에 따라 광다이오드 출력전압 및 펄스폭은 선형적으로 증가하였다.

2) 광다이오드 출력전압과 펄스폭은 전극간격에 무관한 결과를 나타내었다.

따라서, 고전압 펄스파워를 이용한 방전파쇄기의 모니터링의 한가지 방법으로서 광다이오드 출력을 이용할 수 있는 가능성을 발견하였다.

[참 고 문 헌]

[1] H.H.Lee et. al., "Rock Blasting Technology by Using the Pulsed Power with High Voltage and High Current", '97 Korea-Japan Joint Symposium on Electrical Discharge and High Voltage Engineering, pp.11-14, 1997
[2] F. B. A. Frugel : High Speed Pulse Technology (Academic Press, New York, 1965) Vol. 1, p.476
[3] V. V. Rzevskii and Y. I. Protasov : Electrical Methods of Rocks Destruction
[4] Martin, E. A. J. Appl. 31, 255. 1960
[5] Robinson, J. W. J. Appl. Phys. 38, 210. 1973
[6] Naugolnykh, K. A.; Roy , N. A. Electrical Discharges in Water. A Hydrodynamic Description. Technical Report FTD-HC-2049-74; Foreign Technology Division; Wright-Patterson Air Force Base, OH, 1974.
[7] Bunizen, R. R. The Use of Exploding Wires in the Study of Small-Scale Underwater Explosions. In Exploding Wires, Vol. 2; Chace, W. G., Moore, H. K., Eds.; Plenum Press; New York, p 195, 1962
[8] 原雅則, 秋山秀典, 高電壓パルスパワー工學, 森北出版株式會社, 1991.
[9] Wesley, R. H. : Ayres. R. A. U.S. Patent No. 4,479,680 1984
[10] Smith, K. F. Electro-Hydraulic Forming. In High-Velocity Forming of Metals; Wilson, F. W., Ed.; Prentice Hall; Englewood Cliffs, NJ, p 77, 1964
[11] Coleman, A. J.; Saunders, J. E.; Crum, L. A; Dyson, M. Ultrasound Med. Biol. 13, 69 1987