

국산 체외 충격파 쇄석기의 음향학적 특성 평가

최민주^{1,2)} · 이종수^{2,3)} · 김성삼³⁾ · 조성찬³⁾ · 양형석²⁾ · 손종수²⁾ · 천원기⁴⁾

Acoustic Properties of a Domestic Extracorporeal Shock Wave Lithotripter

Min-Joo Choi^{1,2)}, Jong-Soo Lee^{2,3)}, Sung-Sam Kim³⁾, Sung-Chan Cho³⁾,
Hyeong-Seok Yang²⁾, Jong-Soo Son²⁾ and Won-Gee Chun⁴⁾

ABSTRACT

In the study we measured and evaluated the acoustical property of a domestic spark gap type extracorporeal shock wave lithotripsy (ESWL). Altering the discharging medium between the electrodes of the shock wave generator (water, 1 % and 10 % NaCl electrolyte), we measured shock waveforms and sound pressure level (SPL). For the shock waves produced using the discharging medium, water, it was seen that the shock wave peak pressure went up to 70 MPa, and the SPL was in the range of 90 - 100 dB. As the concentration of NaCl increased in the electrolyte, the SPL did not change much and was shown to increase correlation with the discharging voltage. In the case of the discharging medium, 10 % NaCl electrolyte, it was found that the shock amplitudes varied in a narrow range when being high in the concentration of NaCl and were large when being high in discharging voltages. While the stone fragmentation was in process, we measured the acoustic emission and compared their spectral properties.

Key Words : ESWL, shock wave, SPL, discharging medium, stone fragmentation, electrolyte

1. 서론

체외 충격파 쇄석술 (Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy: ESWL)은 체외에서 발생된 충격파를 체내의 결석/담석이 위치한 곳으로 집중하여 결석을 분쇄한다. 최초로 임상에 이용된 충격파 발생 방식은 스파크 방전을 이용한 방식이다^{1,3)}. Fig. 1은 최초의 상용 ESWL 모델인 Dornier HM3를 이용한 ESWL 치료술의 모식도를 보여 준다.

- 1) 제주대학교 의과대학 의학과/ 인공심장연구소
Department of Medicine/ Institute of Artificial Heart, Cheju Nat'l Univ.
- 2) 제주대학교 의공학협동과정
Interdisciplinary Postgraduate Program in Biomedical Engineering, Cheju Nat'l Univ.
- 3) (주)코메드
Komed Co., Ltd.
- 4) 제주대학교 에너지공학과, 첨단기술연구소
Department of Nuclear and Energy Engineering, Research Institute of Advanced Technology, Cheju Nat'l Univ.

스파크 방전을 이용한 방식은 본질적으로 충격파의 발생이 불안정하여 발생된 충격파간의 변화 정도가 매우 심하다. 그럼에도 불구하고 스파크 방전 방식을 이용한 ESWL의 임상적 효과는 아주 우수한 것으로 알려져 있다.

스파크 방전 방식을 이용한 충격파 발생시 안정성을 높이기 위해 전해질에서 스파크 방전을 시키는 방법이 매우 가능성 있는 대안으로 제시되고있다⁴⁾.

스파크 발생 과정에서는 상당히 큰 소음을 야기한다. 많은 경우 스파크 방전 방식의 장비를 이용하여 ESWL 시술을 환자는 소음 차단용 귀마개를 착용한다. 오랫동안 ESWL을 시술한 경험자는 종종 ESWL 과정 발생된 소음의 특성으로부터 결석 분쇄 과정을 추정하기도 한다. 실제로 일부 연구자들에게 의해 결석 분쇄 과정 중에 측정된 음향 신호의 주파수 스펙트럼의 변화가 결석 분쇄 정도를 추정하는데 유용하게 사용 될 수 있음이 밝혀졌다. 이 경우 특성 주파수의 영역은 결석의 크기에 의한 공진 주파수와 관련된 수 kHz 부근으로 가청 주파수 범위를 넘고 있다⁵⁾.

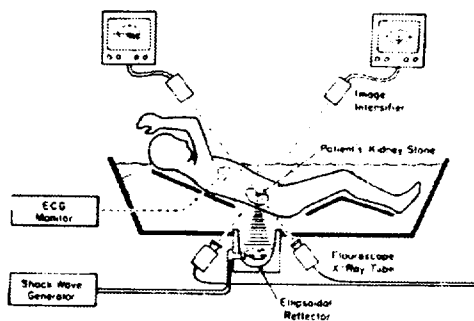


Fig. 1. Principle of ESWL.

본 연구에서는 스파크 방전을 이용한 ESWL 충격파 발생 과정에 발생된 가청음 영역의 음향 신호를 고찰하였다. 충격파에 의해 결석이 파쇄되어 가는 과정에서 음향 신호의 특성 주파수의 변화를 관찰하였다. 물 속에서 방전할 경우와 전해질 (NaCl)에서 방전할 때를 비교하여 보았다. 또한 결석 분쇄 과정 중 측정된 가청음 영역 내에서의 음향 신호의 주파수 변화를 관찰하여 보았다.

II. 방법

본 실험에서는 국산 체외 충격파 쇄석기 SDS5000 ((주) 코메드) 충격파 발생 장치를 이용하여 실험 장치를 구성하였다. Fig. 2는 측정 장치의 개요도를 보여준다. Fig. 2에서 capacitor의 용량은 0.5 uF 이며 방전 전압은 9 kV-17 kV 범위를 사용하였다.

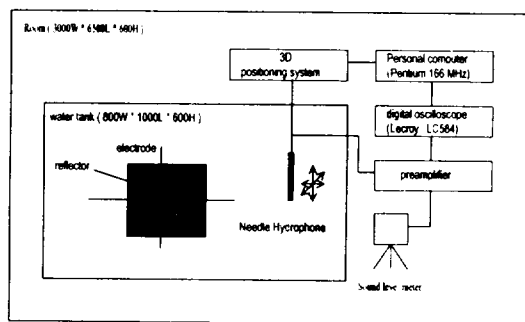


Fig. 2. Outline of the experimental setup.

ESWL 시술시 결석 분쇄 및 수술 효과에 가장 중요한 요인인 충격파는 needle hydrophone (NTR Sys. USA)을 이용하여 측정하였다. 강력한 cavitation에 의한 hydrophone 손상을 방지하기 위해 sensing element 부분을 castor oil을 채운 container에 넣어 밀봉하였다. castor oil은 초음파에 의해 거의 cavitation이 발생하지 않는 특성을 가지고 있다.

음압 수준 (SPL) 및 음향 신호 측정은 sound level meter (LA215 Sound Level Meter, Ono Sokki, Japan)를 사용하였다.

전극 사이를 채우고 있는 매질은 물 (0%), NaCl 전해질 (1%, 10%)을 사용하였다.

결석 분쇄 실험을 위한 모의 결석은 plaster of paris 와 물을 1:1.5 비율로 섞어 만들었다. 크기가 가로 30 mm 세로 30 mm 두께 10 mm 인 직육면체 모양이며 신장 결석과 역학적인 특성이 비슷하다[2]. 매질의 변화에 따른 전극 통한 방전의 용이성을 평가하기 위해 전극 사이를 흐르는 전류를 측정하였으며 측정 센서로 person current monitor (model 101, Pearson Electronics Ltd, Palo Alto, CA, USA) 를 사용하였다.

III. 결 과

3.1 전류 파형

Fig. 3은 방전 전압이 13 kV인 경우 물 속과 NaCl 전해질에서 방전하는 전극간을 흐르는 전형적인 전류 파형을 비교하고 있다.

Fig. 3a에서 보여 주듯이 물 속에서 방전할 경우 방전 스위치가 연결된 시점인 trigger 신호가 보인 후 3 us 이후에 전류가 흐르고 있음을 알 수 있다. 이러한 시간 지연은 물의 전기 저항이 크기 때문에 발생하는 것으로 매질이 NaCl 전해질인 경우 Fig. 3b와 Fig. 3c에서 보여주는 것처럼 스위치 트리거 신호와 동시에 전류가 흐르고 있다. 참고로 물 속에서 방전 시 시간 지연은 매우 불규칙적으로 변화하고 변화의 폭도 매우 큰 것으로 나타났다. 이것은 동일한 설정 하에서 발생한 충격파간의 변화의 폭이 매우 커지는 현상과도 밀접한 관련성이 있다. 방전 전압이 증가함에 따라 전류의 최대값은 증가하고 있다.

3.2 충격파 압력 (P+, P-)

초점 부위에서 측정된 충격파의 압력 (P+, P-)은 Fig. 4에서 보여 주고 있다. 본 논문에서 충격파의 압력은 하이드로폰 출력 전압을 의미한다. 일반적으로 충격파의 압력은 방전 전압이 증가함에 따라 증가하고 있다. 방전 전압이 낮을 경우 (9 kV) P+는 물 (즉 0 % NaCl 전해질)에서 가장 높고, 1 % NaCl 전해질, 10 % NaCl 전해질 순으로 낮지만, 방전 전압이 높아짐에 따라 10 %, 1 %, 0 % 순으로 급격히 P+가 높아지고 있다. 물 속에서 방전할 경우 P+는 증가하다가 방전 전압 13 kV 이후에는 오히려 감소하고 있다. P-는 10 % NaCl 전해질에서는 방전 전압이 증가함에 따라 증가하고 있지만, 0 %와 1 % NaCl 전해질인 경우 13 kV 까지는 감소하다가 다시 증가하는 형태를 보이고 있다. 동일한 설정 하에서 충격파간의 P+ 와 P- 값의 변화는 물 속에서 방전할 때 매우 크며 (표준 편차 평균치의 30 % 정도), NaCl에서 방전할 때는 매우 작아지고 있음을 볼 수 있다 (10 % NaCl 전해질인 경우 표준 편차가 평균

치의 5 % 이내).

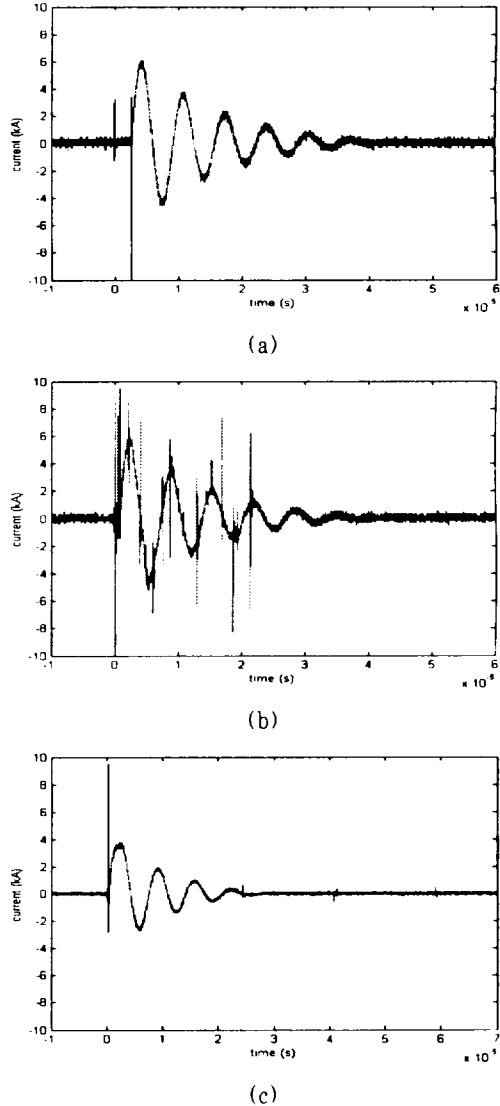
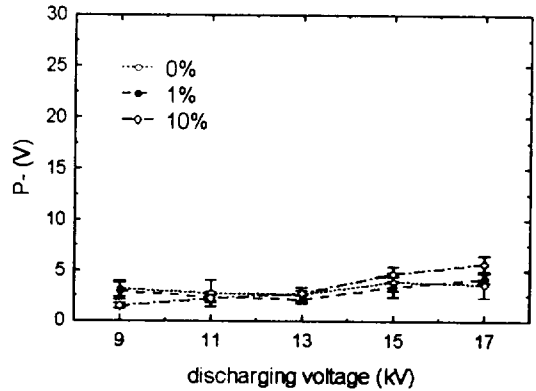
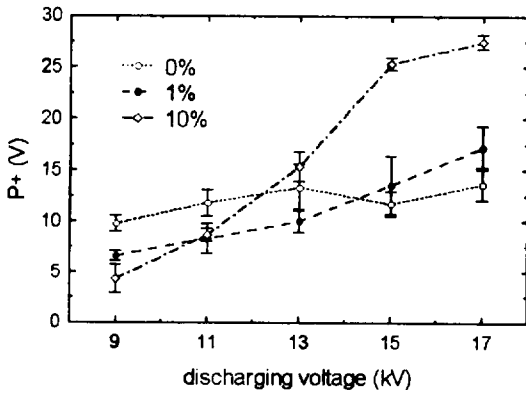


Fig. 3. Electrical current flowing through the electrodes at the discharging voltage 13 kV. (a) 0 % NaCl electrolyte (water), (b) 1 % NaCl electrolyte, (c) 10 % NaCl electrolyte.

3.3 음압 수준 (SPL)

Fig. 5는 방전 전압에 따른 음압 수준의 값의 변화



(a) P+ (in units of Volt) against discharging voltage (in units of kV)

(b) P- (in units of Volt) against discharging voltage (in units of kV)

Fig. 4. Variation of shock amplitude against discharging voltage (discharging medium: 0 % (water), 1 % and 10 % NaCl electrolyte)

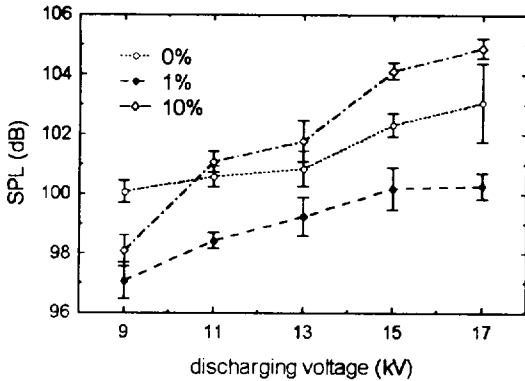


Fig. 5. Sound pressure level against discharging voltage (discharging medium: 0% NaCl electrolyte (water), 1% NaCl electrolyte, 10% NaCl electrolyte).

를 보여 주고 있다. 음압 수준은 방전 전압이 증가함에 따라 증가하고 있으며, 증가율은 물 속에서 방전할 때와 1 % NaCl 전해질의 경우와 유사하지만 10 % NaCl인 경우에는 상대적으로 더 큼을 보여 주고 있다. 또한 동일한 설정에서 SPL 값의 변화 폭은 NaCl 전해질에서 물 속 (표준편차 5 % 이내) 보다 작으며, 10 % NaCl 전해질에서 가장 작은 것 (표준편차 1 % 이내)으로 나타났다.

3.3 음압 수준과 충격파 압력과 관계

Fig. 6은 충격파 압력과 음압 수준과의 관계를 보여 주고 있다. Fig. 6a는 물(0 % NaCl electrolyte)에서 방전할 때이고 Fig. 6b는 1 % NaCl electrolyte, Fig. 6c는 10 % NaCl electrolyte에서 방전할 때이다. P+ 와 SPL의 상관성은 10 % NaCl 전해질에서 가장 높으며, 1 % NaCl 전해질, 물 순으로 낮아지고 있다.

3.4 결석 분쇄 과정에 따른 음향 신호 특성

Fig. 7은 모의 결석에 충격파를 조사하면서 일정한 간격으로 측정된 음향 신호 및 주파수 특성을 보여 주고 있다. Fig. 7a는 결석이 없는 경우 Fig. 7b는 초점 위치에 놓여있는 결석에 충격파를 최초로 조사할 때, Fig. 7c는 충격파를 700번째 조사할 때 측정된 음향 신호이다. 음향 신호의 주파수 특성은 Fig. 7d에 보여 주고 있다. 500 Hz 부근에서의 피크 주파수는 점차 주파수의 크기와 에너지가 감소하고 있음을 보여 주고 있다. 고 주파수 영역은 충격파 조사가 증가함에 따라 에너지가 감소하고 있다.

Fig. 8은 실험에서 사용한 모의 결석 (a: 충격파 조사 전, b: 충격파 700번 조사 후)을 보여 주고 있다.

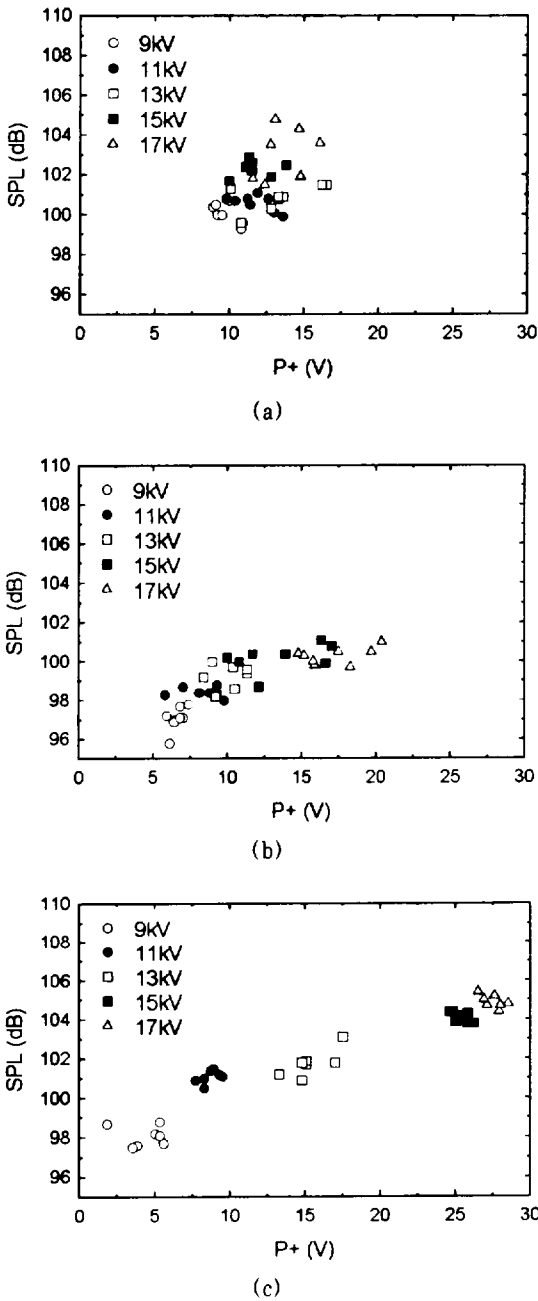


Fig. 6. Sound pressure level (in units of dB) against shock amplitude (in units of Volt). (a) 0 % NaCl electrolyte (water). (b) 1 % NaCl electrolyte. (c) 10 % NaCl electrolyte.

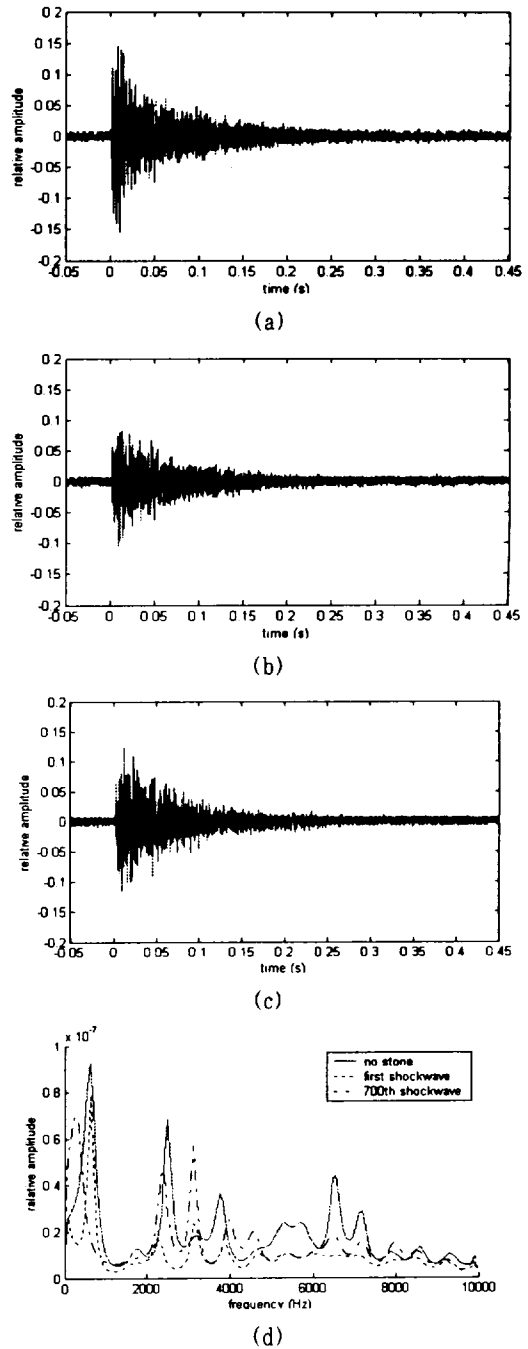


Fig. 7. Acoustic signals measured during shock wave lithripsy. (a) without stone. at the (b) 1st. (c) 700th shock wave. (d) AR spectra (order: 30).

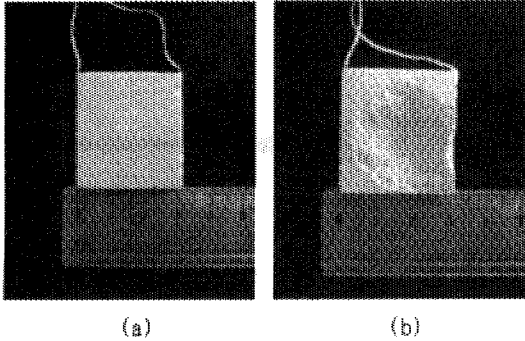


Fig. 8. Photograph of the stone phantoms used in the experiments. (a) before exposure to shock waves. (b) after shattered by 700 shock waves in water.

IV. 결론

스파크형 충격 발생기에서 발생한 가청음 대역의 신호의 특성을 충전 전압 및 스파크 방전 매질, 결석 분쇄 진행 정도에 따라 관찰하였다. 측정된 SPL의 값은 95-110 dB의 범위의 값을 가지고 있으며, 방전 전압의 크기가 커짐에 따라 상승하였다. NaCl 전해질에서의 방전의 경우에는 방전 전압과 SPL 값과의 상관성이 물 속에서와는 달리 매우 높은 것으로 나타났다. NaCl 전해질에서의 안정적인 방전으로 인해 SPL 및 충격파 압력의 변화의 폭은 물 속 보다 작은 것으로 나타났다. 결석 분쇄가 진행되는 동안 음향 신호의 가청음역대역의 스펙트럼 변화는 결석 분쇄 진행 상태에 따라 거의 차이가 없으며 주로 전극의 마모에 의한 효과로 추정된다.

감사의 글

본 연구의 일부 내용은 원자력기초 연구 사업비, 과학재단 산학협력연구 (2000-31400-001-1) 지원 연구비, 산업기반기술개발사업비 (A00-993-3302-02-1-2) 로 수행된 결과이다.

참고 문헌

- 1) M. J. Choi. 1992. Physical aspects of high amplitude pulsed ultrasound used in lithotripsy. PhD Thesis, University of Bath, Bath, England.
- 2) C. J. C. Chuong, P. Zhong and G. M. Preminger. 1992. A comparison of stone damage caused by different modes of shock wave generation. The Journal of Urology, Vol. 148, pp. 200-205.
- 3) A. J. Coleman, J. E. Saunders and M. J. Choi. 1992. An experimental shock wave generator for lithotripsy studies. Physics in Medicine & Biology, Vol. 34, No. 11, pp. 1733-1742.
- 4) J. L. Mestas and D. Cathignol. 1994. Design and characterization of a shock wave generator using canalized electrical discharge: Application to lithotripsy, Rev. Sci. Instrum., Vol. 65, No. 7, pp. 2356-2363.
- 5) H. Kanai, Y. S. Jang, N. Chubachi and Y. Tanahashi. 1994. Power difference in spectrum of sound radiation before and after break of phantom by piezoelectric extracorporeal shock wave lithotripter, Jpn. J Appl. Phys., Vol. 33, pp. 3159-3161.