

## 체외 충격파 쇄석기에 의해 발생된 음향 흐름 현상 연구

최민주\* · 이승환\*\* · 홍경진\*\* · 김호찬\*\*\* · 박재우\*\*\*\* · 이현주\*\*\*\*

### A Study of Acoustic Streaming Produced by an Extracorporeal Shock Wave Lithotripter

Min-Joo Choi\*, Seung-Hwan Lee\*\*, Kyoung-Jin Hong\*\*,  
Ho-Chan Kim\*\*\*, Jae-Woo Park\*\*\*\* and Heon-Ju Lee\*\*\*\*

#### ABSTRACT

Acoustic streaming produced by an extracorporeal shock wave lithotripter was visualized for the first time in the present study. It was observed that the streaming velocity increased with the shock wave amplitude and was reaching up to 3 cm/s at the highest output setting of the lithotripter.

**Key Words** : Acoustic streaming, extracorporeal shock wave, lithotripter

#### 1. 서론

체외 충격파 쇄석술은 체외에서 발생한 충격파를 체내에 위치한 결석/담석에 집중시켜 분쇄 효과를 얻는 방법이다<sup>1)</sup>. (Fig. 1).

충격파는 체내 조직을 전파하면서 다양한 형태의 생물학적 효과를 야기하며 에너지를 소진한다. 음파

가 유체 내에서 전파하는 과정에서 발생하는 에너지의 손실은 음향 흐름을 야기한다. 인체 조직은 음향학적으로 물/유체와 유사하게 취급될 수 있다. 진단용 초음파에 의한 음향 흐름에 대한 연구들이 일부 보고된 바 있었으나, 충격파에 의한 음향 흐름 현상에 대한 고찰은 아직 보고되지 않고 있다.

본 연구에선 최초로 충격파에 의한 음향 흐름을 측정하고 분석해 보았다.

\* 제주대학교 의과대학 의학과/ 인공심장연구소

Department of Medicine/ Institute of Artificial Heart, Cheju Nat'l Univ.

\*\* 제주대학교 의공학협동과정

Interdisciplinary Postgraduate Program in Biomedical Engineering, Cheju Nat'l Univ.

\*\*\* 제주대학교 전기전자공학부, 첨단기술연구소

Faculty of Electrical Engineering, Research Institute of Advanced Technology, Cheju Nat'l Univ.

\*\*\*\* 제주대학교 에너지공학과, 첨단기술연구소

Department of Nuclear and Energy Engineering, Research Institute of Advanced Technology, Cheju Nat'l Univ.

#### II. 실험 장치 및 방법

##### 2.1. 충격파 발생기

Fig. 2는 전자기식 충격파 발생 장치의 기본 구조를 보여준다. 슬레노이드 코일은 절연 막을 사이에 두고 외부가 동판으로 싸여 있다. DC 충전부에서는

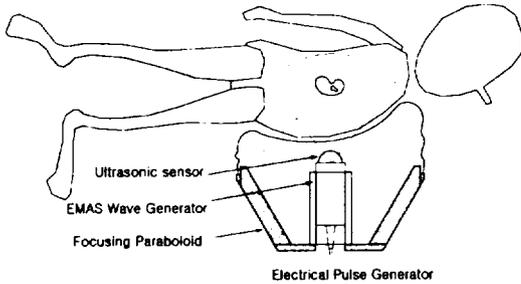


Fig. 1. Concept of extracorporeal shock wave lithotripter.

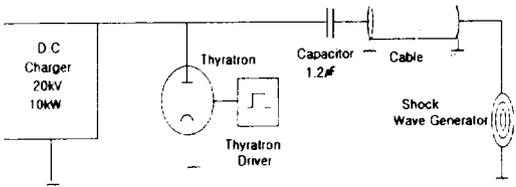


Fig. 2. Schematic of electromagnetic shock wave generator.

축전지가 6-18kV로 충전된다. Thyatron 스위치를 닫으면 솔레노이드 코일을 통해 순간적으로 (4-8 $\mu$ s) 강한 펄스 전류 (10kA 이상)가 흐른다. 펄스 전류가 흐르는 코일에 형성된 자장은 금속 박막과 상호 간섭을 일으키고 이 결과 금속 박막은 짧은 시간 동안 미세하게 진동하게 된다. 박막의 진동은 주위의 매질(물)로 전달되어 초음파를 발생한다. 박막의 진동으로 발생된 초음파는 포물선형 반사판에 의해 초점 부위로 집중 된다<sup>2)</sup>.

## 2.2 유체 흐름 영상 입수 장치 및 가시화

Fig. 3은 충격파에 의해 야기된 유체 유동 영상 입수 장치의 개요도이다. 수조 바닥 부분에 충격파 발생기가 위치하고 있다. 물과 미세한 광학 반사 입자를 섞은 혼합 유체를 원통형 수조에 채워 사용하였다. 유체의 유동을 가시화 하기 위해 사용한 광학 반사 입자는 직경이 100 $\mu$ m 정도이며 밀도가 물과 같도록 하여 물 속에서 부유할 수 있도록 하였다. 할로젠 램프를 사용하여 광학 입자의 움직임을 2차원 평면으

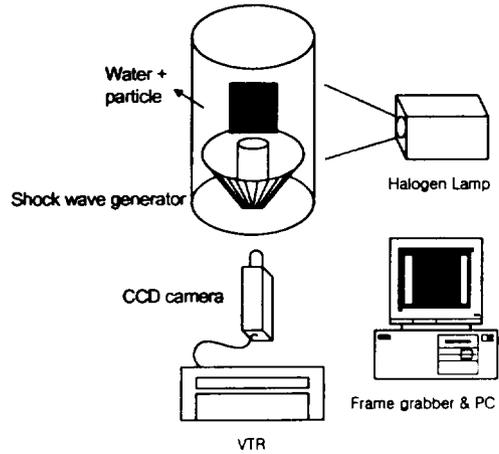


Fig. 3. Acoustic streaming frame grabber by shock wave.

로 볼 수 있도록 하였으며 CCD 카메라를 사용하여 촬영하였다. 촬영된 비디오 영상은 PC에 입력되어 PIV 방법을 이용하여 입자들의 속도를 분석하였다<sup>3)</sup>.

## III. 결 과

Fig. 4는 충격파에 의해 발생된 유체의 유동을 비디오 영상(상부)과 입자의 속도를 영상화(하단)하여 보여 주고 있다. 시간  $t=0$ 은 충격파가 발생된 시점을 의미한다. 충격파가 발생된 순간 비디오 영상은 충격파가 빔 축을 따라 가늘고 긴 타원형의 빛을 보여준다. 빛의 세기와 타원의 크기는 충격파의 에너지가 높을수록 커지고 있다. 이것은 충격파에 의해 발생된 기포가 할로젠 램프에서 조사되는 빛을 강하게 반사하는 것을 반영하는 것으로 추정할 수 있다. 음향 흐름에 의한 입자의 속도 분포는 충격파가 발생된 순간 충격파의 빔 초점 부위보다 약간 하단에서 최대가 되고 있다. 최대 속도를 가지는 입자군은 시간이 지나면서 점차 위로 상승하고 있다. 시간이 충분히 지난 후 ( $t>2/3s$ ) 빠른 유체 흐름을 주도하는 부분의 폭은 점차 커지며 궁극적으로 소멸하게 된다. 충격파의 전파는 매우 짧은 시간 내에 종료되지만 ( $t<1ms$ ), 이로 인해 야기된 유체의 흐름은 상당히 오랜 기간 ( $t>3s$ ) 남아 지속되고 있다.

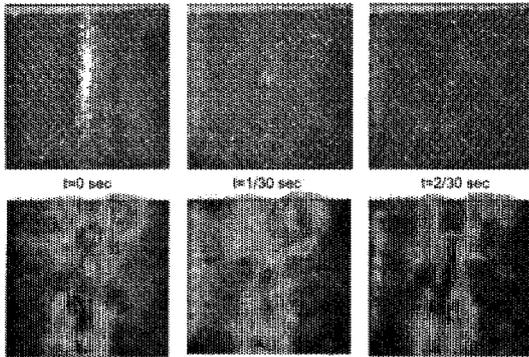


Fig. 4. Acoustic streaming image and visualization of stream velocity.

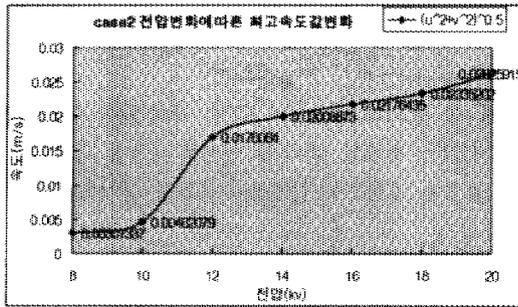


Fig. 5. Stream velocity according to set point of shock wave generator

Fig. 5는 충격파의 에너지에 따른 음향 흐름의 최대 속도를 보여준다. 그림에서 충격파의 크기는 충격파의 발생기의 전압으로 변화를 시켰다. 음향 흐름은 충격파의 에너지가 증가함에 따라 증가하고 있다. 충격파 발생기 전압이 10-12 kV 부근에서는 매우 민감하게 변하지만 그 범위 이외에서는 민감도가 상대적으로 작은 시그모이드 형태를 띠고 있다. 본 실험에서 측정된 충격파에 의해 발생된 음향 흐름의 최고치는 3 cm/s 이내의 값으로 나타났다. 이 값은 진단용 B 모드 초음파에 야기된 유동(0.3-1.3cm/s) 보다는 크지만 Doppler 모드 경우(1.4-14cm/s)보다 작은 것으로 나타났다<sup>4)</sup>. 이는 충격파의 크기는 매우 높지만 매우 그 효과가 매우 짧은 시간 동안 존재하기 때문인 것으로 추정된다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 최초로 체외 충격파 쇄석기에 의해 발생하는 유체의 흐름 현상을 측정하였다. 충격파의 압력이 높을수록 야기된 유체 흐름 속도는 상승하였으며, 민감도가 높은 특정한 영역이 존재하고 있음을 관찰하였다. 충격파에 의한 음향 흐름의 속도의 크기는 B 모드 초음파와 Doppler 초음파에 야기된 경우의 중간 정도에 속하는 것으로 측정되었다. 충격파에 의한 음향 흐름 현상의 임상적인 유용성을 확인하는 추가적인 연구가 요망된다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업기반기술개발사업비 및 원자력기초 연구사업비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- 1) C. G. Chaussy, W. Brendel and E. Schmiedt, 1980. Extracorporeally induced destruction of kidney stones by shock waves." Lancet. Vol.13. pp.1265-1268.
- 2) M. J. Choi, 2000. Acoustic properties of an electromagnetic type shock wave generator employing a solenoid coil. Proceedings of the Acoustical Society of Korea. Vol.19(2s), pp. 319-322.
- 3) R. J. Adrian, 1991. Particle imaging technique for experimental fluid mechanics. Ann. Rev. Fluid Mech., pp.261-304.
- 4) H. C. Starritt, F. A. Duck and V. F. Humphrey, 1989. An experimental investigation of streaming in pulsed diagnostic ultrasound beams. Ultrasound in Med. Biol., Vol.15. pp. 63-373.