

## 압전식 ESWL장치를 사용한 대상물 진동시 초점위치에 따른 진동 및 파쇄효율의 분석

장 윤 석

부경대학교 전기제어계측공학부

부산광역시 남구 용당동 산 100

### Analysis of Vibration and Its Break Efficiency Due to Focal Position Induced by Piezoelectric Extracorporeal Shock Wave Lithotripter

Jang Yun-Seok

Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University

San 100, Yongdang-dong, Nam-gu, Pusan

E-mail : jangys@dolphin.pknu.ac.kr

#### ABSTRACT

In this paper, the relation between the vibration and the sound radiated due to the piezoelectric ESWL (Extracorporeal Shock Wave Lithotripter) is examined. And the relation between the focus and the vibration of the objects is examined. The same experiments with the objects that can be broken are done and the relation between the vibration and the break efficiency of the phantom is experimentally investigated. These results show that the relativity between the power of the peak frequency and the break efficiency can be confirmed.

#### I. 서 론

현재 Extracorporeal Shock Wave Lithotripter(이하 ESWL장치)가 결석 치료에 많이 이용되고 있다[1, 2]. 따라서 ESWL장치에 대한 많은 연구가 행해지고 있는 데, 그 중 방사음에 관한 연구에서는, 결석을 대신한 모델로서 음향 임피던스가 유도결석과 유사한 초크를 사용하여 그 파쇄과정에서의 스펙트럼 변화를 분석한 결과, 대상물이 파쇄되어 갈수록, 방사음이 점차 낮은 주파수로 변동해 가는 사실을 관측하였다[3, 4].

본 연구에서는 그 결과를 뒷받침할 수 있는 재현성있는 실험을 위하여, 충격파에 파괴되지 않는 금속재질을 가진 물체를 대상으로 선정하여 대상물 위의 초점 위치와 대상물의 진동과의 관계에 대하여 조사한다. 또한 그 결과를 바탕으로 하여, 충격파에 조사된 대상물의 진동과 파쇄가

능한 대상물에 있어서의 파쇄효율과의 상관성을 실험적으로 조사한다.

#### II. 대상물 파쇄과정을 모델링한 실험

먼저, 앞서 보고된 연구결과인 대상물 파쇄과정에서의 스펙트럼 변화에 대하여 해석한다. 대상물로서는, 재현성 있는 실험결과를 위해, 금속재질인 황동봉을 선정한다. 계측기기로서는 레이저 도플러 계측기(Laser Doppler Velocimetry)를 사용하고, 계측기의 센서로 측정된 진동을 분석하기 위해서는 2채널 FFT 애널라이저를 이용한다.

실험대상물은, 그림 1 (a), (b), (c)에 나타낸 것과 같은 형태의 3종류 황동봉을 선정한다. 결석대신에 선정된 초크의 파쇄과정을 관찰한 결과, 대상물 표면의 초점영역 부분이 충격파가 조사되는 횟수에 따라 점차 부서져 없어지는 것을 알 수 있다. 즉, 그림 1. (a), (b), (c)의 순서대로 충격과 조사회수가 많아서 파쇄된 부분이 많은 대상물의 형태를 가정한 것이다.

대상물의 설치 위치를 표현하기 위하여, 그림 2와 같은 구성에 있어서,  $d_r$ 이라는 파라미터를 설정한다. 여기서  $d_r=0$ 는, 대상물의 중앙과 초점 위치가 일치하는 상태를 나타내고, 대상물 중앙의 위치가 초점으로부터 쇄석기측으로 기울어져 있는 방향을  $d_r$ 이 음(-)인 방향, 초점에서 쇄석기의 반대방향으로

로 기울어져 있는 방향을  $d_r$ 이 양(+)인 방향으로 설정해 둔다.

먼저, 각 대상물을  $d_r=0$ 에 맞추어서 충격파를 조사한 경우의 대상물의 진동을 레이저 도플러 계측기로 측정함과 동시에 하이드로폰으로 그 때의 방사음을 관측한다. 이 때, 하이드로폰은 대상물에서 약 5 cm 떨어진 수조 밑바닥에 설치한다.

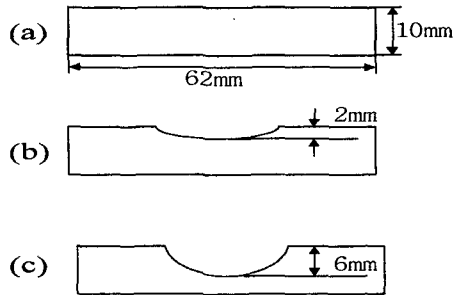


그림 1. 실험에 사용된 대상물 (a) 원래의 형태, (b) 약 200회 조사후의 형태, (c) 약 600회 조사후의 형태

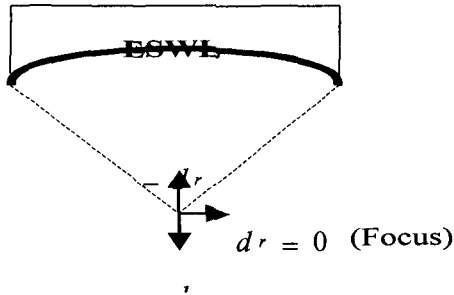


그림 2. 쇄석기의 초점과 대상물 간의 상대적 위치

다음에는, 그림 2와 같은 좌표에서  $d_r = -10mm$ 로부터  $+10mm$ 까지 각 대상물에 대한 초점의 위치를 이동시켜 가면서 충격파를 조사하여, 각 대상물에 대한 진동의 변화를 조사·분석한다. 그림 3은 그림 1. (a)를 대상으로 한 실험결과로서, (a)는 레이저 도플러 계측기로 측정된 대상물의 진동파형과 스펙트럼, (b)는 하이드로폰으로 관측한 방사음의 파형과 그 스펙트럼, (c)는 (a)와 (b) 스펙트럼 간의 코히런스(coherence) 함수를 나타낸다. 이 때, 스펙트럼의 평균횡수는 16회로 설정하였다. 이 결과를 살펴보면, 진동 및 방사음의 스펙트럼 양쪽 모두 동일하게 7.5 kHz에서 명확한 피크가 검출되고 있고, 코히런스에 있어서도 7.5 kHz에서만 1에 가까운 값이 나타나고 있음을 알 수 있다. 이 피크의 값을 이론적으로 조사

해 보면, 굴곡진동(bending vibration)의 1차 고유주파수의 피크와 일치한다. 굴곡진동의 고유주파수를 나타내는 식은 다음과 같다.

$$f_n = \frac{a \lambda_n^2}{4\pi l^2} v_l, \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

$$\lambda_1 = 4.73, \lambda_2 = 7.85, \lambda_3 = 10.99, \dots$$

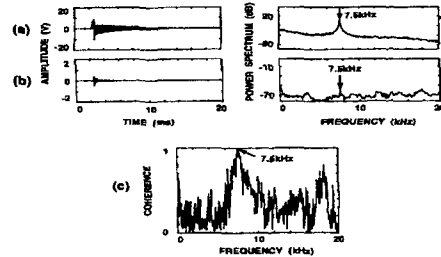


그림 3. (a)의 대상물을 사용한 결과

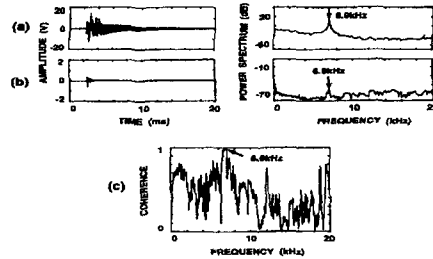


그림 4. (b)의 대상물을 사용한 결과

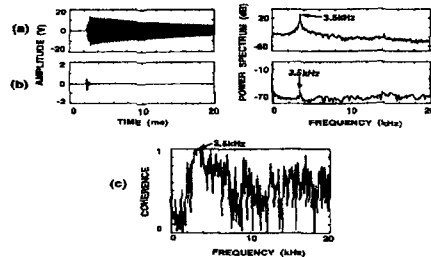


그림 5. (c)의 대상물을 사용한 결과

이 때,  $l$ 은 대상물의 길이,  $a$ 는 단면반경,  $v_l$ 은 대상물 재료의 종파속도를 나타내며, 본 실험에서 사용된 황동의 종파속도는 3,300 m/s로 설정한다. 그림 4는, 그림 1. (b)를 대상으로 한 실험결과인데, 여기서도 (a), (b)의 스펙트럼 및 (c)의 코히런스에서 6.9 kHz에 분명한 피크가 검출된다. 그림 5는, 그림 1.

(c)와 같은 형태를 대상으로 한 실험결과로서, 여기서도 스펙트럼 및 코히런스에서 3.5 kHz에 명확한 피크가 관측되고 있다. 이들 결과를 보다 정량적으로 나타내기 위하여, 대상물의 초점영역이 부서져 없어진 부분의 크기에 따른 피크 주파수의 변화를 나타낸 그래프가 그림 6이다. 이 그래프를 보면, 파쇄가 가능한 대상물일 경우, 대상물이 파쇄되어 초점영역 부분이 부서져 없어질수록 피크 주파수가 저주파측으로 변동할 것이라는 예상된 결과를 확실히 관측할 수 있다. 결론적으로, 파쇄가 가능한 대상물인 초크를 대상으로 했던 이전 연구결과와 정확히 일치하는 사실을 확인할 수 있었다.

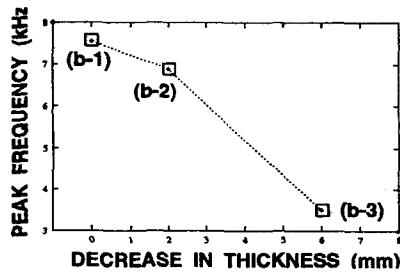


그림 6. 파쇄 부분의 두께에 의한 피크 주파수의 변화.

다음에, 대상물과 초점의 상대적인 위치에 따른 실험의 결과를 그림 7에 제시한다. 이것은 대상물과 초점에 있어서의 상대적인 위치  $d_r$ 을 일정한 간격으로 이동해 가면서, 그 위치에서 충격파를 조사한 결과로 발생하는 대상물 진동 스펙트럼에서 고유주파수에 나타나는 피크의 파워를 측정하는 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 그림 1. (a), (b), (c) 대상물 모두가 쇄석기축에 가까운 초점영역에서의 피크 주파수 파워가 쇄석기에서 멀어지는 쪽의 파워보다 상대적으로 약 10 dB 이상 큰 경향을 보이고 있다. 또, 그림 1. (a)와 (b) 대상물의 경우,  $d_r=0$  부근 즉, 대상물의 중앙과 쇄석기의 초점이 일치하는 위치 부근에서는 피크 주파수의 파워가 상대적으로 감소하고 있다. 이런 현상은 굴곡진동의 진동 모드를 이용하여 해석할 수 있다. 대상물의 정중앙은 이론적으로 절점(node)이 되는 부분이므로, 실제 실험에서 정중앙에만 충격파가 도달하는 것은 아니겠지만 그 부근에 충격파를 조사하여도 여진되기 어려운 점인 것은 분명하다. 따라서,  $d_r$ 이 양 또는 음의 값을 가질 때인 중앙 1점보다 초점영역이 넓은 경우 즉, 절점인 정중앙 외에도 충격을 가하고 있는 경우가 거의 정중앙만을 충격하고 있는 경우보다 파워가 크게 나타나는 것은 당연하다고 생각된다.

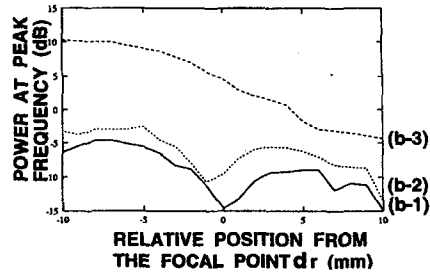


그림 7.  $d_r=-10\text{mm}$ 에서  $d_r=+10\text{mm}$ 까지의 피크 주파수의 파워 변화.

### III. 대상물 충격시의 파쇄효율에 관한 실험

본 장에서는 초크를 파쇄대상물로 하여 충격파를 조사한 경우, 고유진동의 피크 주파수의 파워 변화와 파쇄효율과의 관계를 조사·분석한다. 즉, 대상물에 있어서의 초점위치에 따른 고유진동의 피크 주파수의 파워와 초크가 파괴되기까지의 충격파 조사회수에 관한 측정치를 비교하는 방법을 사용한다.

실험방법을 먼저 설명하면, 그림 2의 설정에 따라, 6.2 cm의 초크를 대상으로 하여 각각의 위치에 의한 피크 주파수의 파워를 측정한다. 단, 초크는 부서지는 재질이므로, 그림 1에서 나타낸 바와 같이 레이저 도플러 계측기용 반사 테잎을 충격파를 받게 되는 대상물의 중앙이 아닌 끝부분에 접착하여 사용한다. 따라서 설정한 위치에 초크를 고정된 후, 쇄석기로부터 충격파를 1회 조사시 발생하는 초크의 진동을 레이저 도플러 계측기를 이용하여 관찰하는 실험방법을 사용한다. 그 실험결과를 그림 8에 나타낸다.

다음에는, 이 결과와 비교하기 위하여 초점 위치의 변경에 따른 파쇄효율을 측정하는 실험을 행한다. 먼저, 대상물에 있어서의 초점의 위치를 바꾸어 가면서 초크가 부서질 때까지의 충격파 조사회수를 조사한다. 본 실험에서는, 이 과정을 5회 반복하여 평균한 결과를 그림 9에 나타낸다. 그림 9의 형태로서는 그림 8와 비교가 곤란하다고 판단되므로, 파쇄까지의 충격파 조사회수를 파쇄효율로 변환할 수 있는 파라미터를 설정할 필요가 있다. 따라서, 충격파 조사회수와 파쇄효율이 서로 반비례 관계라는 것에 착목하여,

$$K = \frac{1}{N} \text{과 같이 정한다. 여기서, } K \text{는 파쇄효율,}$$

$N$ 은 대상물이 부서지기까지의 충격파 조사회수이다. 이와 같이 그림 9의 그래프를 변환한 결과를 나타낸 것이 그림 10이다. 이 그림을 보면, 전체적인 경향이 그림 8에서 나타낸 고유진동의 피크 주파수의 파워변화와 유사하게 보이는 것을 알 수 있다. 따라서, 고유진동의 피크 주파수의 파워와 파쇄효율과

의 상관성을 직접적으로 나타내어 확인하기 위하여 고유진동의 피크 주파수의 파워를 세로축, 파쇄효율을 가로축으로 한 그래프를 그림 11에 제시한다. 그림 11의 결과를 보면, 피크 주파수의 파워와 파쇄효율이 거의 선형적으로 비례하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 대상물에 발생하는 고유진동의 피크 주파수에서의 파워가 커면 클수록 파쇄효율도 비례적으로 향상되는 것을 분명히 확인할 수 있다.

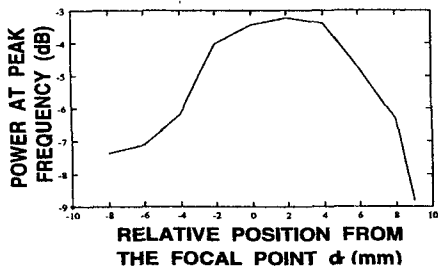


그림 8. 초점위치에 따른 쇼크의 진동 피크 주파수

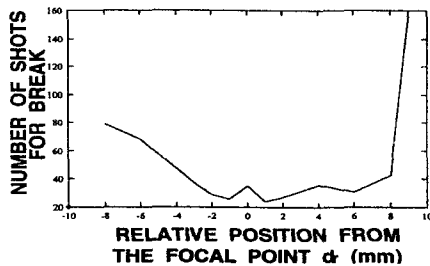


그림 9. 초점위치에 따른 쇼크 파쇄의 충격파 조사 회수

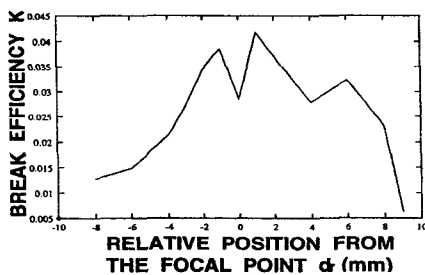


그림 10. 초점위치에 따른 파쇄효율

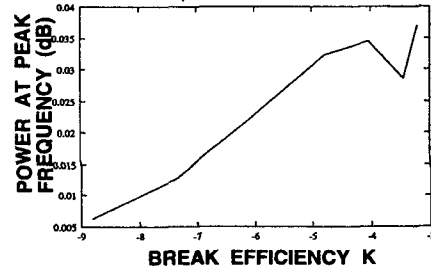


그림 11. 피크 주파수의 파워와 파쇄효율과의 상관 관계

#### IV. 결 론

파쇄과정에서 대상물이 파쇄될수록 대상물 고유진동의 피크가 고주파에서 저주파로 낮아지는 연구결과에 주목하여, 금속봉을 대상으로 한 재현성있는 실험을 통하여 진동 주파수 변동이유를 실험적으로 확인하였다. 이러한 특성으로 미루어 볼 때, ESWL장치의 초점을 대상물의 정중양보다 전후 표면에 두는 경우가 충격파에 더욱 큰 진동을 하게 됨에 따라 파쇄효율이 커지게 될 가능성을 추정할 수 있었다.

이런 결과에 따라 더욱 직접적인 파쇄효율을 평가하기 위한 실험을 행하고, 그 결과를 비교하였다. 그 결과, 피크 주파수의 파워가 큰 위치와 파쇄효율이 좋은 위치가 거의 대응되는 것을 확인할 수가 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1]. L. Olsson, L. O. Almquist, A. Grennberg, N. G. Holmer, "Analysis and Classification of Secondary Sounds from the Disintegration of Kidney Stones with Acoustic Shock Waves", *Ultrasound Med. and Biol.*, **17**, 1991.
- [2]. E. Heusler, W. Kiefer, "Destruction of Kidney Stones by means of Autofocused Guided Shock Waves", In 2nd European Cong. on Ultrasonics and Medicine, Munich, 1975.
- [3] Hiroshi Kanai et al "Power Difference in Spectrum of Sound Radiation before and after Break of Phantom by Piezoelectric Extracorporeal Shock Wave Lithotripter", *JJAP*, **33-1**, No. 5B, pp. 3159~3161, May 1994.
- [4] 장윤석, 박무훈, "체의충격파결석파쇄장치에 의한 대상물 파쇄시의 발생음의 측정과 해석", *음향학회지*, 16권 6호, pp.36~40, 1997.