

압전형 ESWL장치에 의한 방사음과 파쇄대상물 진동과의 관계에 관한 연구

장 윤 석

부경대학교 전기공학과

A Study on Relativity between Radiated Sounds
and Vibrations of Phantom Induced by
Piezoelectric Extracorporeal Shock Wave Lithotripter

Jang Yun-Seok

Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University

I. 서 론

결석치료에 있어서, ESWL장치(Extra-corporeal Shock Wave Lithotripter)의 실효성은 이미 널리 알려져 있다. 따라서, 많은 ESWL장치들이 선보이고 있고, ESWL장치의 종류에 따라 결석파쇄 및 배석에 있어서의 장단점이 존재하는 것도 사실이다.

ESWL장치에 있어서 해결되어야 할 문제를 꼽는다면 무엇보다도 우선적으로 인체, 더욱 구체적으로 말하자면 결석외의 체내 조직에 영향을 주게되는 일을 줄이는 일이다. 현재, 이에 관한 많은 연구들이 진행되고 있다[1, 2]. 수중 충격파에는 당연히 함께 생각되어야 할 캐비테이션 문제[3], 결석이 아닌 다른 조직에 충격파가 조사되었을 때의 문제를 고려하여 결석의 존재 유무를 사전에 판별하는 방법의 문제등이다[4]. 이를 위하여, 인체에의 영향 유무에 관한 조사 및 영향이 있을 것을 대비한 충격파 조사전의 감시방법등에 대해서도 활발한 연구보고가 되고 있는데, ESWL장치를 사용할 때 방사되는 소리를 분석하여, 가청 주파수 범위내의 주 진동 피크의 검출 및 대상물의 파쇄과성도 감시할 수 있다는 연구결과가 이미 발표된 바 있다.

앞서 언급한 방사음에 관한 연구에서는, 결석을 대신한 모델로서 음향 임피던스가 유사한 초크를 사용하여 그 파쇄과정에서의

스펙트럼 변화를 분석하였다. 그 결과, 대상물이 파쇄되어 갈수록, 방사음이 점차 낮은 주파수로 변동해 가는 사실을 관측하였다. 본 연구에서는 그 결과를 뒷받침할 수 있는 재현성 있는 실험결과를 얻기 위하여, 충격파에 파쇄되지 않는 금속재질을 가진 물체를 대상으로 선정한다. 또한, 앞선 연구의 결과를 뒷받침하는 재현성있는 결과 추출에만 머물지 않고, 아직 연구된 바가 없는 충격파와 대상물과의 상대적 관련도 및 그것에 관계된 파쇄효율에 관해서도 실험적으로 검토한다.

II. 대상물 파쇄과정을 모델링한 실험

II-1. 실험방법

본 장에서는, 앞서 보고된 연구결과인 대상물 파쇄과정에서의 스펙트럼 변화에 대하여 해석한다. 대상물로서는, 재현성 있는 실험결과를 위해, 극단적이기는 하지만, 금속재질인 황동봉을 선정한다. 본 연구에서의 실험 구성도를 그림 1에 나타낸다. 본 실험에 쓰인 ESWL장치는 일본 Toshiba사의 시험용 압전식 충격파 발생장치를 이용한다. 아울러, 대상물의 진동을 보다 직접적으로 계측하기 위하여, 레이저 도플러 계측기(Laser Doppler Velocimetry)를 사용하고, 레이저 도플러 계측기의 센서로 계측된 진동을 분석하기 위하여는 2 채널 FFT 애널

라이저를 이용한다.

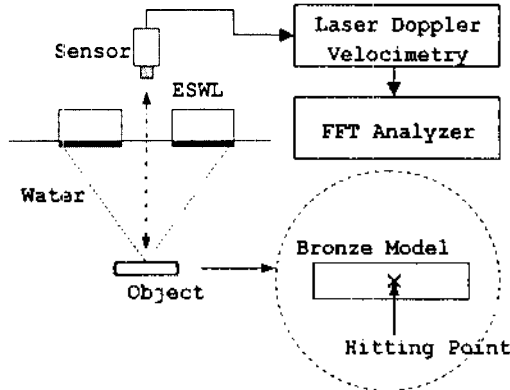


그림 1. 레이저 도플러 계측기를 이용한 대상물의 진동측정

실험대상물은, 그림 2 (a), (b), (c)에 나타난 것과 같은 형태의 3종류볼 선정한다. 결석대신에 선정된 초크 파쇄과정을 관찰한 결과, 대상물 표면의 초점영역 부분이 충격파가 조사되는 횟수에 따라 점차 부서져 없어지는 것을 알 수 있다. 따라서, 파쇄될 수 있는 대상물의 경우, 파쇄가 진행되는 데 따라서 부서져 없어져 가는 점을 가정하여, 파쇄과정에 있어서의 3 순간의 외형을想定한 금속 모델을 제작한 것이다. 초크를 대상으로 사용한 때를 고려하여, 초크와 동일하게 크기인, 길이 6.2cm, 단면반경 0.5cm의 황동봉을 사용한다. 또한, 상술한 3순간이란 1회도 충격파를 조사하지 않은 초크의 원 상태(그림 2. (a)), 200회 정도의 충격파를 조사하여 2mm정도가 부서져 나간 상태(그림 2. (b)) 및 600회 이상의 충격파 조사 횟수를 가정하여 6mm정도 부서져 나간 상태(그림 2. (c))를 모델화한 것이다. 즉, 그림 2. (a), (b), (c)의 순서대로 충격파 조사회수가 많아서 파쇄되어 부서져 나간 부분이 많은 대상물을 가정한 것이다.

대상물의 설치위치를 표시하기 위하여, 그림 3과 같은 구성에 있어서, d_r 이라는 새로운 파라미터를 설정한다. 여기서, $d_r=0$ 는, 대상물을 설치할 때 대상물의 중앙과 초점의 위치가 일치하는 상태를 나타내고, 대상물 중앙의 위치가 초점으로부터 ESWL 장치의 진동자측으로 어긋나 있는 방향을 d_r 이 음(-)인 방향, 초점에서 장치 진동자의 반대쪽 방향으로 어긋나 있는 방향을 d_r 이 양(+)인 방향으로 설정한다.

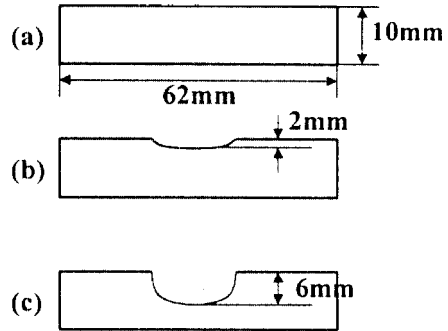
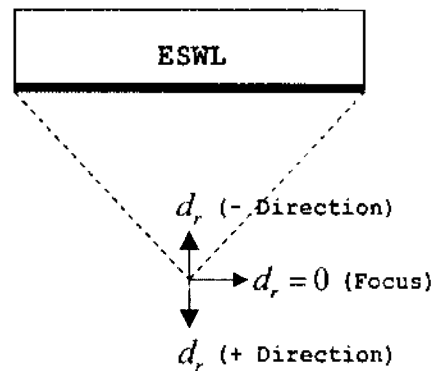


그림 2. 파쇄과정을 모델링한 대상물 외형



d_r : Relative position of center of object from the focus

그림 3. 대상물과 초점과의 상대적 위치를 나타내는 실험구성도

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

다음은, 그림 3의 구성에서 $d_r=-10mm$ 로부터 +10mm까지 각각의 대상물에 대한 초점의 위치를 이동시켜 가면서 충격파를 조사하여, 그것에 따른 대상물의 진동에 있어서의 변화를 조사, 분석한다.

II-2. 실험결과

본 장에 있어서의 실험결과를 그림 4, 그림 5 및 그림 6에 나타낸다. 그림 4는 그림 2. (a)를 대상으로 한 실험결과로서 (a)는 레이저 도플러 계측기로 측정된 대상물의 진동파형과 스펙트럼, (b)는 하이드로폰으로 관측한 방사음의 파형과 스펙트럼, (c)는 (a)

와 (b)의 스펙트럼간의 코히런스(coherence) 함수를 나타낸다. 이 때, 스펙트럼의 평균횟수는 16회로 설정하였다. 이 결과를 살펴보면, 진동 및 방사음의 스펙트럼 양쪽 모두 동일하게 $7.5kHz$ 에 명확한 피크가 검출되고 있고, 코히런스에 있어서도 $7.5kHz$ 에서만 1에 가까운 값이 나타나고 있다. 이 피크를 이론적으로 조사하면, 굴곡진동(bending vibration)의 1차 고유주파수의 피크와 일치하고 있음을 알 수 있다. 굴곡진동의 고유주파수는 다음 식과 같다.

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

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

이 때, l 은 대상물의 길이, a 는 단면반경, v_l 은 대상물의 재료의 종파속도이다. 본 실험에서 사용된 황동의 종파속도는 $3300m/s$ 로 한다. 위 식으로 계산된 이론치는 스펙트럼에서 화살표로 나타내고 있다. 그림 5는, 그림 2. (b)를 대상으로 한 실험결과인데, 여기서도 (a), (b)의 스펙트럼 및 (c)의 코히런스에서 $6.9kHz$ 에 분명한 피크가 검출된다. 그림 6은, 그림 2. (c)와 같은 형태를 대상으로 한 실험결과로서, 여기서도 스펙트럼 및 코히런스에서 $3.5kHz$ 에 명확한 피크가 나타나고 있다. 그림 5 및 그림 6의 피크도 그림 4에서와 같이 대상물의 굴곡진동 피크인 것으로 추정되며, 3개의 대상물에서의 결과로부터, 대상물에 있어서 초점영역의 부분이 부서져 없어질수록 피크 주파수가 더욱 낮아진다는 것을 분명히 알 수 있다. 이들 결과를 부서져 없어진 부분의 크기에 대한 피크 주파수의 변화로서 나타낸 그래프가 그림 7이다. 그림 7과 같은 정량적인 그래프를 분석하면, 파쇄가능한 대상물일 경우, 대상물이 파쇄되어 초점영역 부분이 부서져 없어질수록 피크 주파수가 저주파측으로 변동할 것이라는 결과를 확실히 예측할 수 있고, 실제 쇼크를 대상으로 했던 이전 연구결과와 결론적으로 일치한다는 사실을 충분히 확인할 수 있다.

다음에, 대상물과 초점의 상대적인 위치에 따른 실험의 결과를 그림 8에 제시한다. 이것은 대상물과 초점에 있어서의 상대적인 위치 d_r 을 일정한 간격으로 이동시켜 가면서, 그 위치에서 충격파 조사한 결과로 발생하는 대상물의 진동 그림에서 알 수 있듯이, 그림 2. (a), (b) 및 (c) 대상물 모두 ESWL

장치의 진동자축에 가까운 초점영역에서의 피크 주파수 파워가 진동자에서 멀어지는 쪽의 파워보다 상대적으로 약 $10dB$ 이상 큰 경향을 보이고 있다. 또, 그림 2. (a)와 (b) 대상물의 경우, $d_r=0$ 부근 즉, 대상물의 중앙과 초점이 일치하는 위치 부근에서는 피크 주파수의 파워가 상대적으로 감소하고 있다. 이런 현상은 굴곡진동의 진동모드를 이용하여 해석할 수 있다. 대상물의 정중앙은 이론적으로 진동의 절점(node)이 되는 부분이기 때문에, 실제 실험에서 정중앙에만 충격파가 도달하는 것은 아니겠지만 그 부근에 충격파를 조사하여도 여진되기가 어려운 점인 것은 분명하다. 따라서, d_r 이 양 또는 음의 값을 가질 때인 중앙 1점보다 초점 영역이 넓은 경우 즉, 절점인 정중앙 외에도 충격을 가하고 있는 경우가 거의 정중앙만을 충격하고 있는 경우보다 파워가 크게 나타나는 것은 당연하다고 생각된다.

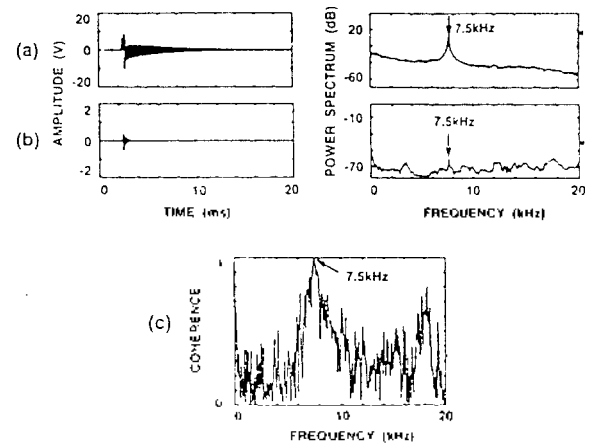


그림 4. (a)모델에 대한 계측치

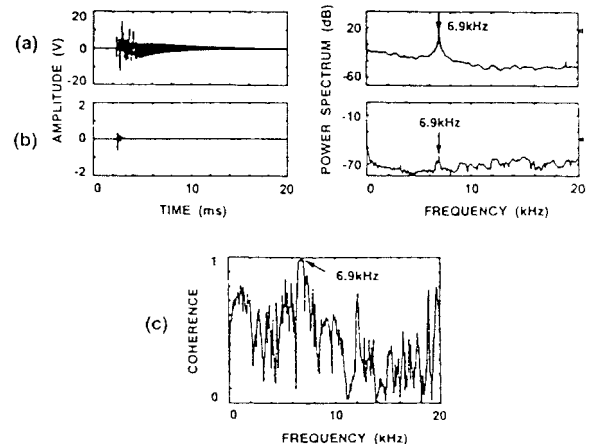


그림 5. (b)모델에 대한 계측치

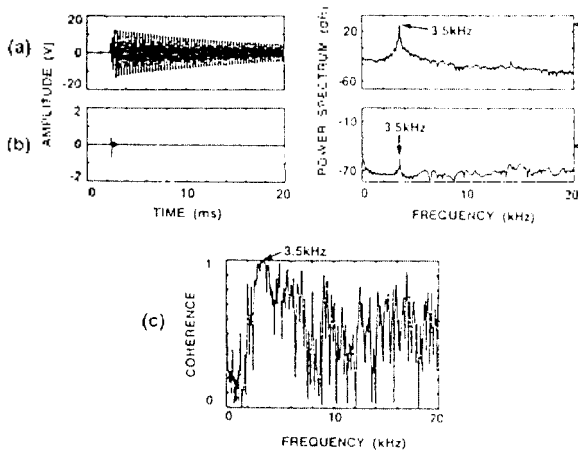


그림 6. (c)모델에 대한 계측치

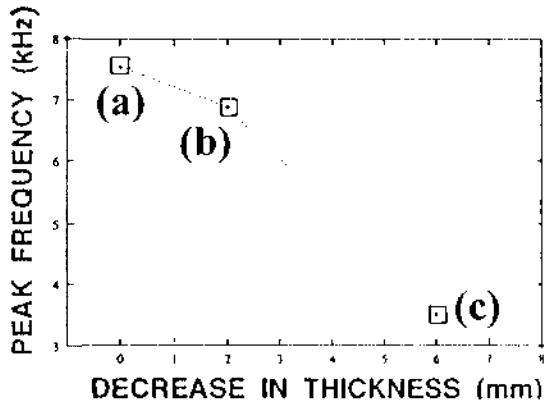


그림 7. 각 모델의 피크주파수의 변화

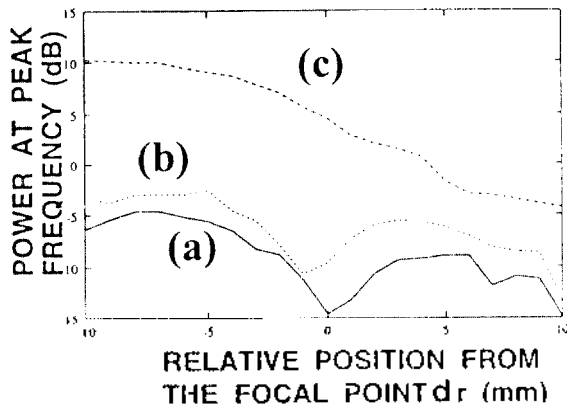


그림 8. d_r 에 따른 피크치의 변화

III. 결론 및 고찰

본 논문에서는 과쇄과정에서 대상물이 파

쇄될수록 대상물 고유진동의 피크가 고주파에서 저주파로 낮아지는 연구결과에 주목하여, 금속봉을 대상으로 한 계현상 있는 실험을 통하여 진동주파수 변화이유를 실험적으로 입증하였다. 그 결과에서, 대상물의 과쇄 과정에 있어서 대상물이 과쇄되는 데 따라 그 대상물로부터의 방사음이 점점 낮게 될 것임을 입증하였고, 아울러 대상물과 초점과의 상대적 위치에 대한 파라미터를 d_r 를 설정하여, d_r 에 의한 대상물의 피크주파수의 파워변화를 조사한 결과, ESWL 장치의 초점을 대상물의 표면에 맞추는 것보다 대상물의 이면(裏面)에 설정하는 경우 즉, d_r 이 음의 값을 가지는 경우의 피크주파수 파워가 크다는 점을 발견하였다. 또한, 초점이 대상물의 집중양에 있을 때가 초점영역을 넓게 활용할 수 있는 d_r 이 양 혹은 음의 값인 경우보다 피크주파수의 파워가 상대적으로 작다는 점이 관측되어 이론적인 진동 모드로 초점영역과 대상물 진동과의 관련성을 해석할 수가 있었다. 따라서, 본 연구에서는 ESWL 장치를 이용한 충격파의 영향을 대상물과 초점영역과의 상대적 위치에 따라 추정할 수 있는 근거자료로서 충분히 활용될 수 있는 결과를 얻었다고 생각된다.

참고 문헌

- [1] P. T. Hunter et. al. "Measurement of shock wave pressures used for lithotripsy", *J. Urology*, Vol. 136, pp. 733-738, 1986
- [2] L. Olsson et. al. "Analysis and classification of secondary sounds from the disintegration of kidney stones with acoustic shock waves", *Ultrasound Med. and Biol.* 17, 1991
- [3] A. J. Coleman et. al. "Acoustic cavitation generated by an extracorporeal shock wave lithotripter", *J. Acoust. Soc. America*, Vol. 86, No. 1, pp. 215-227, 1989
- [4] H. Kanai, Y. Jang, N. Chubachi and Y. Tanahashi, "Power difference in spectrum of sound radiation before and after break of phantom by piezoelectric extracorporeal shock wave lithotripter", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 33-1, No. 5B, pp. 3159-3161, 1994