
수중 충격파에 의한 방사음을 이용한 대상물 파쇄에 관련된 정보 분석

장 윤 석*

Analysis of Information Related to Object Fragmentation Using Radiated
Sounds Due to Underwater Shock Wave

Yoon Seok Jang*

요 약

본 논문은 체외 충격파 파쇄 장치를 사용하여 결석을 파쇄할 때 방사되는 소리에 관계된 정보를 분석한 것이다. 먼저, 방사음으로부터 대상물의 진동을 관찰하고, 대상물의 진동과 방사음 간의 관계를 통하여 피크주파수의 변화에 관한 정보를 추출하였다. 다음에는, 초점의 위치에 따른 피크주파수의 변화를 관찰하여 초점의 바로 위나 아래 부분보다 정확한 초점에서 대상물을 진동시키기가 더욱 어렵다는 사실을 입증하였다. 마지막으로, 캐비테이션과 방사음과의 관계를 분석하여 대상물의 파쇄에 더 유리한 위치를 조사하였다.

ABSTRACT

This paper investigates the information related to the radiated sounds during treatment using the extracorporeal shock wave lithotripter(ESWL). First, we observe the vibration of the objects from the radiated sounds and extract the information about the change of the peak frequency from the relation between the vibration and the radiated sounds. Next, we observe the change of the peak frequency according to the position of the focus and demonstrate that it is more difficult to vibrate objects exactly at the focal point than above or below the focus of the ESWL device. Lastly, we analyze the relation between the cavitation and the radiated sounds and examine the benefiting condition for the object fragmentation.

키워드

ESWL, Radiated sounds, Bending vibration, Power spectrum, Peak Frequency, Cavitation bubble

I. 서 론

압전식 충격파 결석 파쇄 장치가 결석의 치료에 유용하다는 것은 비뇨기과 분야에서는 이미 널리 알려진 사실이다. 압전식 충격파 파쇄 장치는 압전식 소자를 사용

하여 수중에서 충격파를 발생시키는 장치이다[1-3]. 압전식 충격파 파쇄 장치는 결석을 치료하는데 효과적인 특성을 가지고 있는데, 그것은 시술 후에 파괴된 결석의 파편이 체외로 배출되기가 쉽다는 데에 있다.

본 논문에서는, 압전식 충격파 파쇄 장치로 대상물을 파쇄할 때 발생하는 소리를 계측 및 분석하여, 대상물의

진동, 파워 스펙트럼에서 피크주파수의 변화, 충격파 파쇄 장치의 사용과 관련된 캐비테이션에 대해서도 관찰하였다. 전술한 항목들을 관찰한 결과, 파쇄과정에 있어서 방사되는 음으로부터 대상물의 파쇄에 유리한 정보를 추출할 수 있다는 사실을 발견하였다.

II. 대상물의 진동에 관련된 정보 분석

먼저, 수중 충격파에 의한 적합한 진동을 관측하기 위해서 압전식 충격파 파쇄 장치에 의해 대상물에서 방사된 소리를 측정·분석한다. 이 실험의 대상물은 길이가 6.3cm, 단면반경이 0.5cm인 황동봉을 선택한다. 그림 1은 황동봉이 충격파에 의해 타격되었을 때의 방사음을 마이크로폰으로 측정된 파형과 파워 스펙트럼을 나타낸 것이다. 파워 스펙트럼을 측정할 범위는 가청 주파수의 범위인 0-20kHz로 제한하였다. 숙련된 장치 기사들은 대상물에 충격파가 맞고 있는지 아닌지를 구별할 수 있다고 진술하였기 때문이다.

그림 1의 파워 스펙트럼을 보면, 7.50kHz에서 뚜렷한 피크를 발견할 수 있다. 이 피크의 주파수는 다음 식으로 정의되는 굴곡진동(bending vibration)의 공진주파수와 일치한다는 사실을 알 수 있다.

$$f_n = \frac{a\lambda_n^2}{4\pi l^2} v_l$$

여기서, $\lambda_1 = 4.73$, $\lambda_2 = 7.85$, $\lambda_3 = 10.99$, l 은 길이, a 는 단면반경, v_l 은 봉의 종파속도를 나타낸다. 이론식으로 계산할 때 황동의 종파 속도는 3300m/s로 하였다. 위의 식으로 계산된 이론적인 주파수 값은 7.64kHz이고, 이 값은 실험치인 7.50kHz와 거의 일치하고 있다.

다음에, 압전식 충격파 파쇄 장치에 의한 대상물의 파쇄와 관련된 현상을 관찰하여 파쇄과정에서 방사음이 변화하는 이유를 조사한다. 이 실험에는 요도결석과 음향 임피던스가 거의 같은 값을 가지는 초크를 대상으로 선정하였다. 이 실험에서 대상물의 진동은 레이저 도플러 장치로 측정하고, 그 결과는 FFT 분석기로 분석하였다.

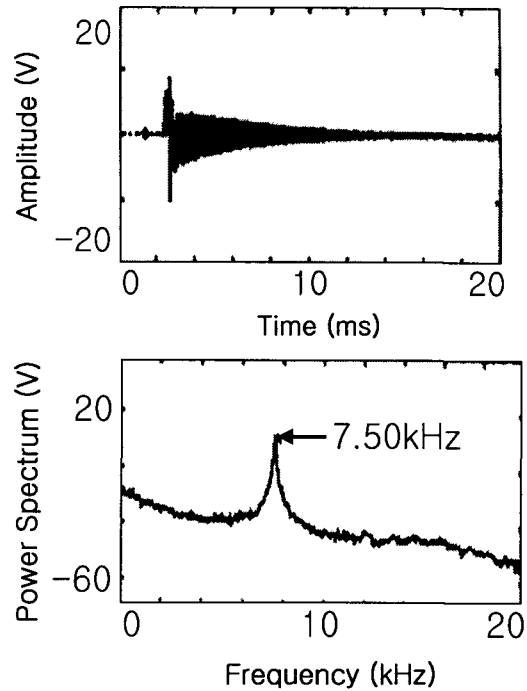


그림 1. 충격파 파쇄장치로부터 발생된 충격파에 타격된 황동봉의 파형 및 파워스펙트럼
Fig. 1. The waveform and the power spectrum of the bronze bar struck by the shock wave of the ESWL

그림 2(a)는 레이저 도플러 장치로 계측한 대상물의 진동에서 분석한 파형과 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림 2의 파형과 스펙트럼들은 각각 100번째, 300번째, 500번째, 700번째, 900번째 그리고 1,500번째로 충격파를 조사했을 때 계측한 것이다. 이 결과에서 스펙트럼의 피크주파수는 충격파의 조사 회수에 따라 변하고 있다. 즉 대상물의 파쇄 정도에 따라 피크주파수가 변화한다는 것이다. 그림 2(b)는 충격파의 조사 회수가 증가함에 따라 피크주파수가 점점 더 낮아지는 결과를 나타내고 있다.

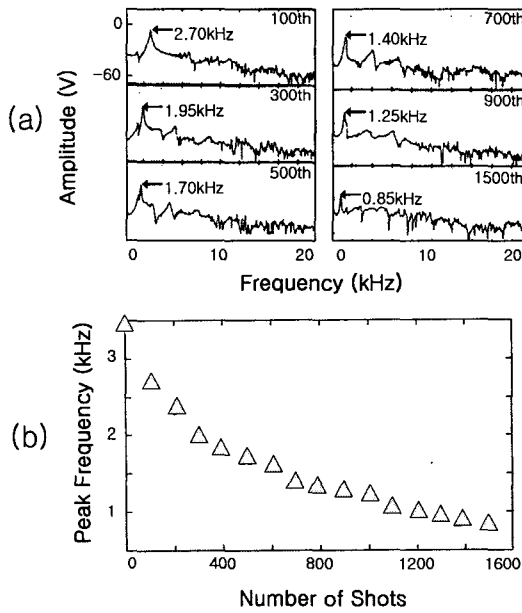


그림 2. (a)충격파가 대상물에 조사되었을 때 검출된 진동의 파워 스펙트럼, (b)파쇄과정에서 충격파 조사 회수에 따른 피크주파수의 변화
 Fig. 2. (a)The power spectra of the vibrations detected when the shock wave is applied to the object, (b)vibrations in the peak frequency with the number of shots during the breaking process

III. 대상물의 초점 위치와 관련된 정보 분석

초점과 대상물의 위치 간의 상대적인 위치를 정의하기 위하여 d_r 이란 파라미터를 사용하기로 하였다. $d_r = 0$ 라는 값은 장치의 초점과 대상물의 중앙이 정확하게 일치하는 것을 나타낸다. 대상물의 중앙이 정확한 초점보다 장치 방향으로 놓이게 되면 d_r 은 음의 값을 가지게 되고, 그 반대 방향으로 놓이게 되면 d_r 은 양의 값을 가지게 된다.

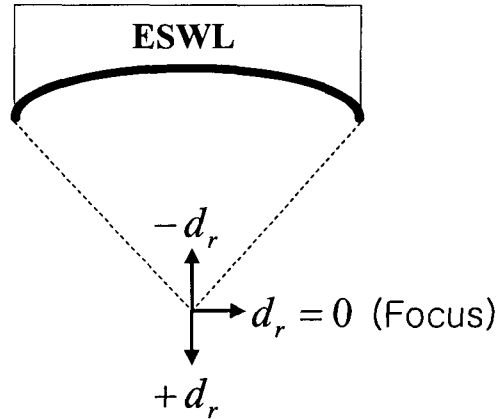


그림 3. 충격파 파쇄 장치의 초점과 대상물의 상대적인 위치를 나타내는 구성도
 Fig. 3. The relative positions of the object and the focal point of ESWL device

이제 d_r 의 값을 -10mm 에서 $+10\text{mm}$ 까지 바꾸어 가면서 피크주파수의 크기가 어떻게 변하는지를 관측한다. 관측 결과를 그림 4에 나타내었다. 결과를 보면, 피크주파수의 크기가 $d_r = 0$ 부근에서 감소되는 것을 알 수 있는데, 이 현상을 분석하기 위하여 봉의 진동 모드(mode)를 조사하였다. 양단이 자유로운 봉이 있을 때, 그 봉의 중심은 굴곡진동에서 모드 2의 경우 절점(node)이 되는 곳이다. 이런 이유로 인하여, 봉의 모양을 한 대상물은 중심을 진동시키기가 어려운 것이다. 이 실험 결과에서 $d_r = 0$ 인 위치에서의 피크주파수 크기는 $d_r > 0$ 또는 $d_r < 0$ 인 위치에서의 피크주파수 크기보다 작아진다는 사실을 알 수 있다. 이 결과로 초점 영역에서 정확히 대상물 표면에 맞춘 초점보다는 그 위치의 조금 위나 아래에 초점을 맞추는 것이 봉의 형태를 가진 대상물을 진동시키기가 더 쉽다는 사실을 발견하였다.

위의 결과에서 진동시키기가 쉬운 초점의 위치를 찾았다는 점에서 대상물을 파쇄하기 보다 효율적인 방법은 대상물의 표면에 초점을 두기 보다는 그보다 조금 위 혹은 아래 쪽에 초점을 두는 것이 좋을 것이라는 추정을 할 수 있다.

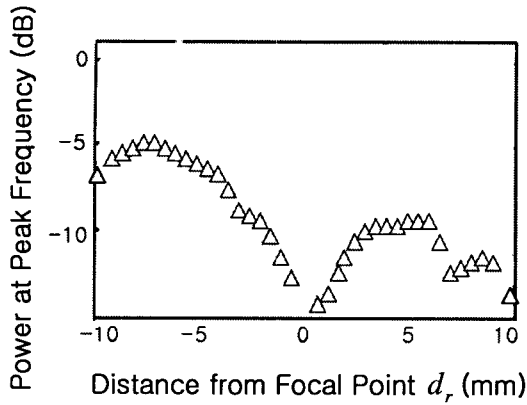


그림 4. d_r 값의 변화에 따른 피크주파수의 크기
Fig. 4. The amplitude at the peak frequency when the value of d_r is changed

IV. 캐비테이션 기포와 관련된 정보 분석

충격파 파쇄 장치의 성능 및 충격파가 인체에 미치는 영향에 대한 연구는 많이 진행되고 있다[1-4]. 캐비테이션 현상은 항상 충격파와 같이 생각해야 하는 중요한 문제 중 하나이다[5-7]. 충격파의 매질은 캐비테이션 현상과 관계가 깊다. 따라서, 본 논문에서는 충격파의 매질에 따라 초점 영역에서의 파쇄 효율 및 충격파의 파워가 어떻게 다르게 나타나는 지에 대하여 조사하였다.

먼저, 앞서 정의한 파라미터 d_r 을 바꾸어 가면서 파쇄 효율을 관측하는 실험을 수행하였는데, 이 실험의 대상 물로는 초크를 선정하였다. 실험에서는 d_r 의 값을 변화시켜 가면서 초크가 두 조각으로 파괴될 때까지의 충격파 조사 회수를 비교하는 방법을 사용한다. 또한 충격파의 매질로는 탈기수와 비탈기수를 사용하여 결과를 비교한다.

이 실험의 결과를 그림 5에 나타낸다. 결과를 보면, 매질의 종류에 따라 파괴될 때까지의 충격파 조사 회수가 다르다는 사실을 알 수 있다. 이 결과는 캐비테이션 기포가 충격파 파쇄 장치의 파쇄 효율에 영향을 미친다는 사실을 나타내고 있다.

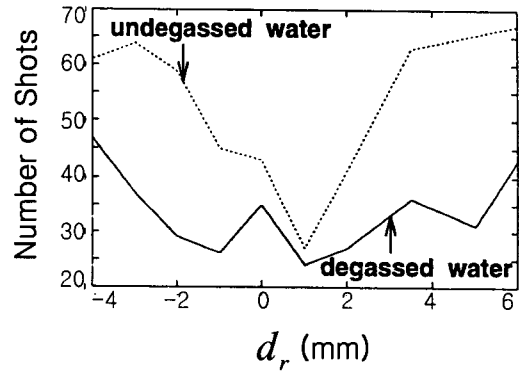


그림 5. 대상물 위의 초점 위치에 따른 파괴까지의 조사 회수의 비교
Fig. 5. The number of shots to break due to the positions of the focal point on the object

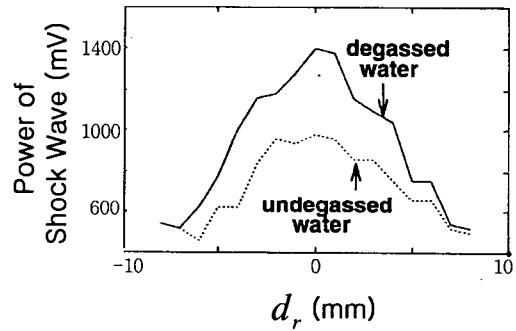


그림 6. 매질에 따른 초점 영역에서의 충격파 파쇄 장치의 파워 비교
Fig. 6. The comparison of the ESWL power in the focal region due to the medium

다음에는, 캐비테이션 기포의 영향을 보다 직접적으로 조사하기 위하여 매질의 종류에 따른 초점 영역에서의 충격파의 파워를 조사한다. 초점 영역에서 충격파의 파워는 특수 하이드로폰을 사용하여 측정하였다.

그림 6은 두 매질에서 충격파의 파워를 관측한 결과를 보여준다. 이 결과를 보면, 탈기수에서 측정한 파워가 비탈기수에서의 경우보다 충격파의 파워가 강하다는 사실을 명백히 알 수 있다. 캐비테이션 기포와 관련된 이들 실험 결과에서 충격파 파쇄 장치를 사용할 때, 대상물을 보다 효율적으로 파쇄할 수 있는 매질로는 탈기수를 사용하는 것이 좋다는 사실을 분명히 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 충격파 파쇄 장치로부터 방사되는 소리와 관련된 정보를 추출하여 제시하였다. 대상물의 진동, 대상물 위의 초점 위치와 캐비테이션과 파쇄효율간의 관계 등이 추출된 정보들이다.

진동과 관련된 실험에서는, 굴곡진동의 피크주파수가 충격파 조사 회수에 따라 변한다는 사실을 알게 되었고, 이 결과에서 대상물이 점점 파쇄됨에 따라 방사음이 낮은 주파수로 들릴 수 있다는 사실을 알 수 있다.

다음 실험에서는 초점의 위치와 관련된 정보를 알게 되었다. 즉 $d_r > 0$ 이나 $d_r < 0$ 에서 피크주파수의 크기가 $d_r = 0$ 에서 피크주파수의 크기보다 크다는 사실로 미루어 보아 정확히 표면에 초점을 맞추기 보다는 좀 더 위 쪽이나 아래 쪽에 초점을 맞추는 것이 대상물을 진동시키기 더 효율적인 방법이 된다. 대상물을 진동시키는데 효율적이라는 사실은 파쇄하기에도 효율적이라는 것으로 받아들일 수 있으므로 이것을 대상물 파쇄에도 그대로 적용할 수 있는 것으로 생각된다.

마지막으로는 캐비테이션 기포와 관련된 정보를 조사하였다. 이와 관련된 실험에서는 탈기수의 경우가 비탈기수의 경우보다 충격파 파쇄 장치를 사용하기에 더 효율적인 매질이라는 사실을 발견하였다. 왜냐하면 탈기수를 매질로 사용한 경우가 대상물을 파괴하기까지의 충격파 조사 회수를 비교한 실험에서도 직접적인 충격파의 파워를 계측한 실험에서도 비탈기수가 매질인 경우보다 좋은 결과가 나타났기 때문이다.

본 논문에서 취득한 정보는 압전식 충격파 파쇄 장치를 사용하는 데 있어서 충분히 응용될 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

[1] E. Heusler and W. Kiefer, "Destruction of kidney stones by means of autofocused guide shock waves", In 2nd European Cong. On Ultrasonics and Medicine, Munich, 1975.

- [2] Ch. Chaussy and E. Schmidt, "Shock wave treatment for stones in the upper urinary tract", The Urologic Clinics of North America, Vol. 10, No. 4, pp. 743-750, 1983.
- [3] H. Kanai, Y. S. Jang, N. Chubachi and Y. Tanahashi, "Power difference in spectrum of sound radiation before and after break of phantom by piezoelectric shock wave lithotripter", JJAP, 33-1, No. 5B, pp. 3159-3161, May 1994.
- [4] Y. S. Jang, "Effect of focusing position on the relation between vibration of phantom and break efficiency of piezoelectric extracorporeal shock wave lithotripter", J. Acoust. Soc. Korea, Vol. 19, No. 5, pp. 35-40, 2000.
- [5] A. J. Coleman, J. E. Saunders, L. A. Crum and M. Dyson, "Acoustic cavitation generated by an extracorporeal shock wave lithotripter", Ultrasound Med. & Biol., Vol. 13, No. 2, pp. 69-76, 1978.
- [6] C. C. Church, "A theoretical study of cavitation generated by an extracorporeal shock wave lithotripter", J. Acoust. Soc. America, Vol. 86, No. 1, pp. 215-227, 1989.
- [7] N. Samada, J. Ikeuchi, K. Takayama and O. Onodera, "Interaction of an air bubble with a shock wave generated by a microexplosion in water", Proc. Int. Symp. on Cavitation, pp. 67-72, 1986.

저자소개

장 윤 석(Yoon Seok Jang)



1985 부산대학교 전자공학과 학사
1987 부경대학교 전자공학과 공학석사
1992 일본 토호쿠대학 전기 및 통신공학전공 박사

1996~부경대학교 전기제어공학부 교수
※관심분야: 신호처리, 생체전기신호