

펄스파워를 이용한 수중 충격파 발생 및 응용

조주현*, 이홍식*, 최영욱*, 조성찬**, 정우근**
 *한국전기연구원, **HnT 메디칼

Shock Wave Generation and its Applications by Pulsed Power

Chuhyun Cho*, Hong-Sik Lee*, Young-Wook Choi*, Sung-Chan Jo**, Woo-Geun Jung**
 *KERI, **HnT Medical

Abstract - Focused shock wave generation was tested under the water by the method of wire explosion. The wire was installed a focal point of the half ellipsoid, and the shock wave was focused on the other focal point. A numerous cavitations were observed in the path of the traveling shock wave and focal point by using high speed camera.

1. 서 론

수중 충격파는 수중에서 폭발에 의한 급격한 부패팽창, 또는 물리적 힘에 의한 물체의 급격한 변위 등에 의해서 발생된다. 거대 규모의 충격파는 지진에 의해서 발생하는 지진해일(쓰나미)을 예로 들 수 있으며, 화약 폭발에 의한 충격파도 인간이 만들어내는 대규모의 충격파라고 할 수 있다. 국부적이고 소규모의 충격파는 의료기기 등에 널리 이용되고 있다. 가장 널리 보급되고 있는 충격파를 이용하는 의료기기는 비뇨기과에서 결석 치료에 체외충격파 치료기(Extracorporeal Shock Wave Therapy: ESWT)이다.

체의 충격파 쇄석술 (Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy: ESWL)은 1980년 최초로 결석 환자를 성공적으로 치료한 이후 결석 및 담석 치료의 일대 혁명을 일으킨 획기적인 방법이다[1]. 그 원리는 체외에서 발생된 충격파를 집속기에 의해 체내의 결석 및 담석의 위치로 집속하여 체내의 결석을 분쇄한다. 충격파에 의해 미세하게 분쇄된 결석은 요도를 통해 소변으로 배출된다. 충격파에 의해서 결석이 파괴되는 메커니즘은 아직 명확하게 밝혀지지는 않았지만, 충격파의 급격한 압력변화에 의해서 발생하는 기포가 작용하는 음향 캐비테이션(acoustic cavitation) 효과가 작용하고 있는 것으로 추정되고 있다[2]. 최근의 연구결과는 캐비테이션에 의해서 액체 중에서 고온 상태의 기포가 생성되는 것으로 밝혀지고 있다[3].

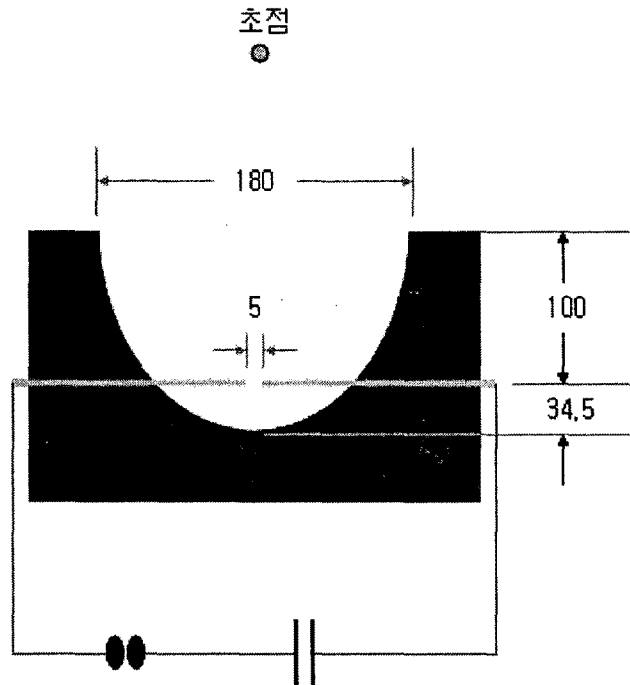
충격파 발생원은 수중에서 스파크 방전을 통하여 만들어내는 것이 일반적이고, 솔레노이드 코일에 도전체 막을 입혀서 전자력에 의한 막의 변위를 이용하여 원통형의 충격파를 발생시키는 것도 최근 도입되어 사용되고 있다[2].

대전류 펄스를 이용한 전기폭발(wire explosion)에 의해서도 화약처럼 급격한 부피의 팽창이 발생하고 이 때 발생하는 충격파를 이용하여 암반을 파쇄하는 응용연구가 시도되었다[IEEE]. 부분적으로 화약을 대체하는 수단으로서 활용되고 있다[4].

본 연구에서는 수중에서 전기폭발을 이용하여 충격파를 발생시키고 집속시키는 실험을 실시하고 그 과정에서 발생하는 캐비테이션 현상을 고속카메라를 이용하여 관측하였다.

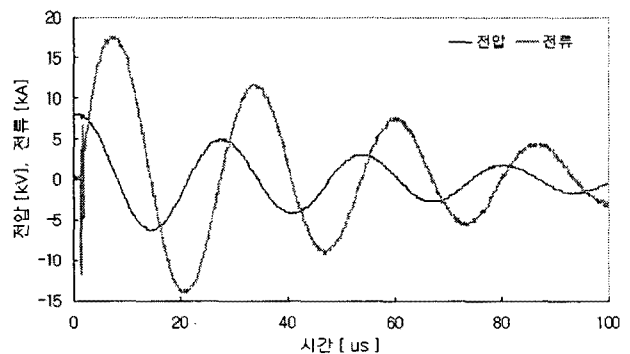
2. 수중 전기폭발을 이용한 충격파 발생 실험

그림 1은 수중 전기폭발을 이용한 충격파 발생 및 집속 장치의 개략도를 나타내었다. 충격파 집속장치의 표면은 식 1로 표현되는 타원형으로 제작되었으며, 한 쪽 초점에 와이어를 설치하여 폭발시켜 반대편 초점에 충격파가 집속되도록 하였다. 와이어는 직경 0.3mm, 길이 5mm의 은 와이어를 전극 끝에 설치하고 10uF의 캐패시터에 8kV의 전압으로 충전하여 스파크 갭 스위치를 통하여 방전하였다.



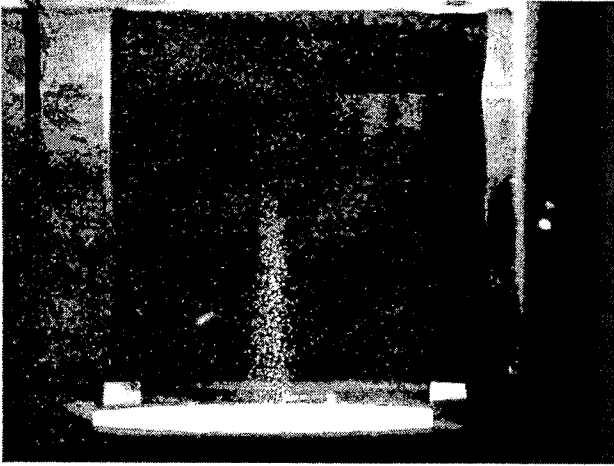
〈그림 1〉 전기폭발을 이용한 충격파 발생 및 집속 장치

$$\frac{x^2}{134.5^2} + \frac{y^2}{90^2} = 1 \quad (1)$$



〈그림 2〉 방전 전압 및 전류 파형

그림 2에는 방전 전압 및 전류의 파형을 나타낸다.



<그림 3> 충격파의 집속 및 진행 방향에 따라서 발생한 캐비테이션

그림 3에는 그림 1의 셋업에서 외부조명을 이용하여 고속카메라 (Phantom 7.0)를 이용하여 측정한 캐비테이션의 발생 모습을 나타내고 있다. 충격파는 매우 높은 압력의 파가 수중을 진행하는 것을 말한다. 이 때 진행되는 충격파 중에 놓인 한 점은 압력이 급속히 상승하고 또한 급속히 하강하는 변화를 거치게 된다. 압력이 급격히 하강하는 순간에 물의 일부가 증발하여 기포를 형성하는 것이 캐비테이션의 발생 원리이다. 이 기포가 다시 높은 압력 속에 놓이면 부피가 줄어들어 기포 내부 기체의 온도가 상승하여 수 천도에 이르게 된다는 관측결과가 최근 연구에 의해서 밝혀졌다.

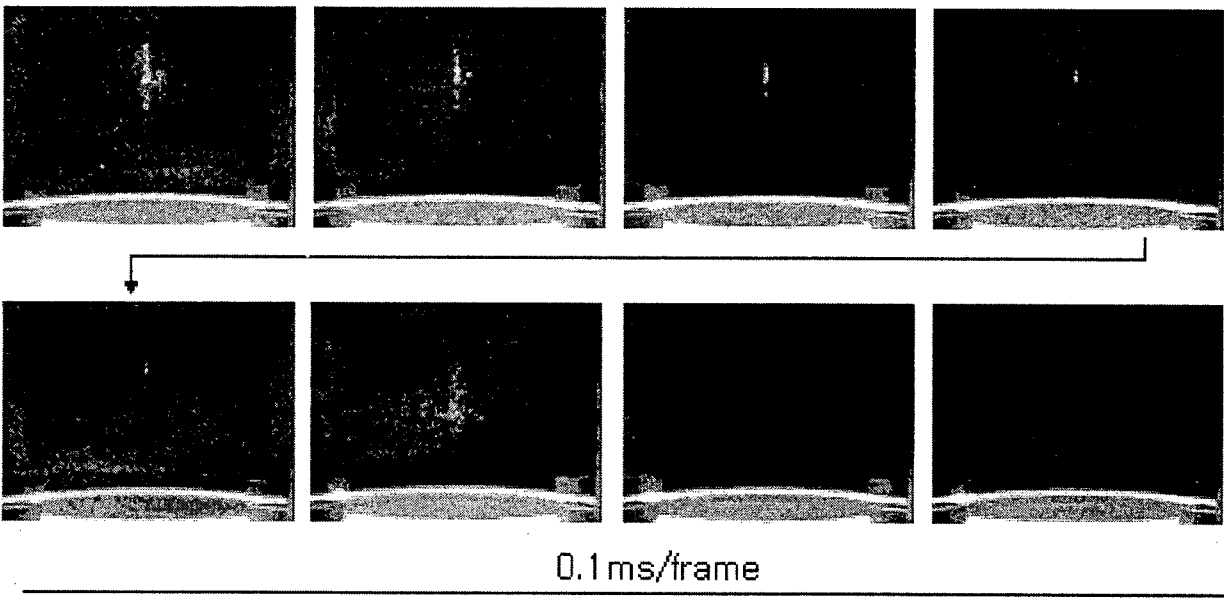
그림 4에는 그림 1에 나타난 충격파 발생 및 집속장치에서 발생하는 충격파의 진동에 의해서 발생하는 캐비테이션의 변화를 나타내고 있다. 충격파의 진행에 의해서 다수의 캐비테이션이 발생하고 그중에서 가장 강하고 오래 지속되는 캐비테이션은 타원체의 초점부근에서 발생하고 있음을 알 수 있다. 또한 집속기의 바닥면에서 반사된 압력이 2차적인 캐비테이션의 발생과 집속을 일으키고 있으며 그 집속되는 위치가 초점부분보다 아래쪽에 생성되는 것을 보여주고 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 수중 전기폭발을 이용하여 충격파를 발생시키고 집속하고 캐비테이션 현상을 고속카메라를 이용하여 관찰하였다. 발생한 충격파는 충격파의 진행경로에 수많은 기포를 발생시켰으며, 초점부근에서 강하게 오랫동안 캐비테이션이 발생하였다. 또한 충격파의 반사에 의한 2차적인 캐비테이션이 발생하였으며, 그 위치는 초기의 위치와 다른 지점에서 발생하였다.

[참 고 문 헌]

1. C.G. Chaussy, W. Brendel and E. Schmiedt, Lancet, Vol. 13, pp. 1265-1268, 1980.
2. M. J. Choi et al, Journal of physics : conference series 1, 217-223, 2004.
3. David J. Flannigan and Kenneth S. Suslick, Nature, vol. 434, 52-55, 2005.
4. G. Rimet al, IEEE Trans. Plasma Sci., vol37, 389-393, 2001.



<그림 4> 충격파의 집속에 의해서 발생하는 캐비테이션