

강력 집중 초음파 시스템의 열적 성능 평가를 위한 팬텀 개발에 관한 기초연구

유우진, 노시철*, 박문규, 민해기, 박재현, 최흥호*
 인제대학교 의용공학과

*인제대학교 BK21 바이오조직재생사업팀

The Implementation of TMM test phantom for evaluating the thermal performance in High Intensity Focused Ultrasound system

Woo Jin Yu, Si Cheol Noh*, Moon Kyu Park, Hae Ki Min, Jae Hyun Park, Heung Ho Choi*
 Department of Biomedical Engineering, Inje University

*BK21 Bio-Organ Tissue Regeneration Project Team, Inje University

Abstract - 초음파는 의학적인 진단 및 치료의 목적으로 널리 사용되어 왔다. 일반적으로, 초음파 조사의 생물학적 무해성은 많은 연구를 통하여 보고되었으나, 최근 초음파 집속을 통한 강력 초음파의 사용에 대한 열적 안전성 평가가 중요한 요소로 대두되고 있다. 이에 본 연구에서는 강력 집중 초음파의 전달 에너지와 열적 분포를 측정하여 안전성 평가에 활용 가능한 초음파 열분포 팬텀을 제안하였다. 온도 분포 측정용 팬텀은 초음파 조직 유사 팬텀 재료인 한천을 이용하였으며, 음향학적 특성의 유사성을 평가하였다. 온도 효과를 측정하기 위하여 3x3의 형태로 온도 센서를 팬텀 내부에 배열하여 초음파 조사에 따른 온도 분포를 측정하였고, 온도 측정을 위한 시스템을 개발하여, 초음파 가열 실험을 수행하였다. 본 연구에서 제안된 초음파 온도 분포 측정용 팬텀의 유용성을 확인하였으며, 온도 분포를 팬텀을 통한 강력 집중 초음파 장비의 열적 성능 평가에 적용 될 수 있을 것으로 사료되었다.

1. 서 론

인체에 무해한 것으로 알려져 있는 초음파는 의학적인 진단 및 치료의 목적으로 널리 사용되어 왔다. 최근 음향 집중 기술을 이용한 강력 초음파에 대한 연구 결과로 온열 치료, 쇄석술, 강력집속 초음파술(HIFU : High Intensity Focused Ultrasound) 등의 기술이 개발되었으며, 초음파의 안전성 비침습성 등의 특성에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. 일반적인 진단 초음파의 경우의 열적 안전성에 대하여서는 많은 연구가 진행되어 왔으며, 최근 강력 집중 초음파를 이용한 종양 치료의 등장으로 초음파의 열적 안전성 평가는 중요한 요소로 대두되어 많은 연구들이 진행되어지고 있다.

강력 집중 초음파 수술은 매우 높은 에너지(초점에서의 강도 1,000W/cm² 이상)를 조사하기 때문에, 치료 효과 및 환자의 안전성을 위해서 강력 집중 초음파 치료 장치의 안전성이 적절하게 관리되어야 한다. 그러나 강력 집중 초음파 성능 및 안전성을 평가 기술은 아직 확립되어 있지 못하다. 이에 본 연구에서는 강력 집중 초음파의 전달 에너지와 열적 분포를 측정하여 안전성 평가에 활용 가능한 초음파 열 분포 측정용 팬텀을 제안 하였으며, 초음파 가열 실험을 통하여 제안된 팬텀의 유용성을 평가하였다.

2. 본 론

2.1 연구 배경

강력 집중 초음파를 이용한 수술법의 기본 원리는 다음과 같다. 인체 외부에 발생한 초음파는 인체 내부에 깊숙이 위치한 수술 부위인 종양 조직에 집중된다. 임상적으로 사용되는 초음파의 강도는 평균적으로 1,000W/cm² 정도가 된다. 이러한 고강도 초음파는 초점 부위 조직의 온도를 1초 이내에 65℃ 이상으로 상승시키며 종양 조직을 열 괴사시키고, 괴사된 조직은 주변의 세포 및 혈관의 대사 활동에 의해 흡수 제거되어 수술 효과를 얻게 된다. 이러한 강력 집중 초음파를 이용한 종양 수술은 중국, 미국, 영국 등에서 많은 연구가 이루어져 2004년에 국내에서 시행되기 시작하였다.

강력 집중 초음파는 많은 잠재력을 가진 비침습적 국부 치료방법으로 국내외의 주목을 끌고 있다. 또한 HIFU 주변 기술이 발전하고 개선됨에 따라 더욱 광범위하게 응용될 것으로 기대되어 지고 있다.

2.2 연구 재료 및 방법

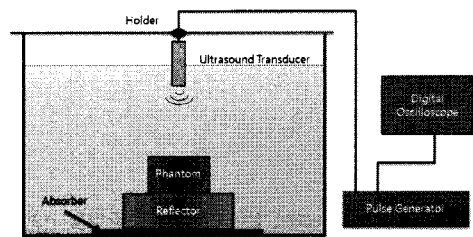
2.2.1 조직 유사 팬텀

강력 집중 초음파의 연부 조직에 전달되는 열을 측정하기 위하여 연부 조직과 음향학적 특성이 유사한 조직 유사 팬텀을 제작하였다. 팬텀은 IEC 60601-2-37에 명시되어 있는 기준 규격을 따라 제작하였다. 팬텀은 IEC에 사용된 재료 및 성분비이다. 표 1에 모든 성분들을 구성비에 맞추어 섞고, 실온에서 가스를 제거하였다. 핫플레이트와 스티리틀을 이용하여 90℃까지 가열하였다. 점도가 높아지지 않도록 잘 저으면서 물질을 47℃가 되도록 냉각시킨 후, 주형에 물질을 붓고 추가로 냉각 시켰다. 모든 과정에서 주변의 영향으로 인한 중량비 변화를 고려하여 주형을 차폐하였다.

<표 1> 조직 유사 팬텀 성분 및 중량비

성분	중량비(%)
글리세롤(glycerol)	11.21
증류수(distilled water)	82.95
염화 벤잘 코니움(Benzalkoniumchloride)	0.47
실리콘 카바이드[SiC(-400메시)]	0.53
산화 알루미늄[Al2O3(0.3um)]	0.88
산화 알루미늄[Al2O3(3um)]	0.94
한천(Agar)	3.02

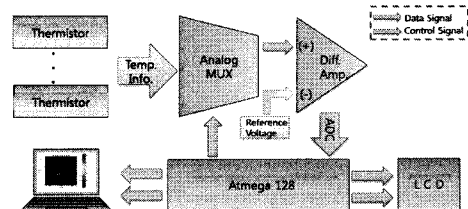
제작된 팬텀의 음향속도, 감쇠 계수 등의 음향학적 특성을 측정하기 위한 실험을 수행하였다. 실험 장치의 구성은 그림 1에서와 같이 수조에 증류수를 채우고, 단일 트랜스듀서를 고정시킨 후, 수조의 바닥에 음향 흡수체, 반사판 그리고 팬텀의 순으로 정렬하였다. 초음파 진동자는 3.5MHz(Aerotech社)의 원형 단일 진동자를 사용하였으며, 펄스 발생기는 MKPR-1030(MKC Korea Co. Ltd)을 사용하였다. 펄스 발생기로부터 -150V 부펄스는 초음파 진동자를 진동시켜 초음파를 발생시키고, 이렇게 방사되어진 초음파는 팬텀을 통과한 후 반사판에서 반사된다. 반사 신호는 오실로스코프(Lecroy, NI社)를 통하여 저장되어 컴퓨터를 이용하여 신호처리를 수행하였다. 마지막으로 강력 집중 초음파의 열적 성능 평가를 위하여 썬미스터를 3x3(간격 1cm)의 형태로 팬텀 내에 삽입, 정렬시켰다. 온도 센서는 초음파 진행에 최소의 간섭을 주기 위하여 일자의 형태로 배열하였으며, 후방 산란을 방지하기 위하여 흡수체를 팬텀 아래 부분에 삽입하였다.



<그림 1> 팬텀 특성 실험 장치 구성

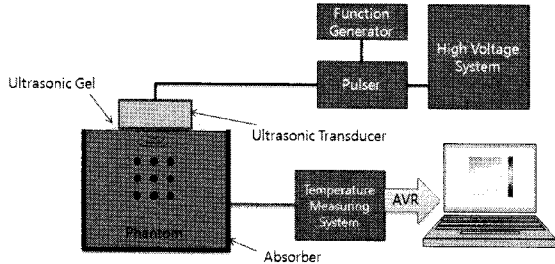
2.2.2 초음파 가열 실험

팬텀 내부의 온도를 측정하기 위하여 온도 측정 시스템을 구성하였다. 그림 2는 온도 측정을 위한 시스템의 구성 블록도이다. 9개의 썬미스터로부터의 온도 정보를 읽기 위하여 브릿지 형태의 아날로그 회로를 구성하고 순차적으로 읽어오기 위하여 아날로그 멀티플렉서를 사용하였다. 아날로그 멀티플렉서를 이용하여 선택된 온도 정보는 기준 전압과 함께 차동 증폭기에 입력되어 증폭된 신호가 AVR의 ADC 단자로 입력되며, AVR 내부에서 온도 정보로 바뀌어 직렬 통신을 통하여 PC로 전송되게 된다. PC로 전송된 온도 정보는 MATLAB 7.1을 이용하여 선형보간(보간계수 : 6)되어 디스플레이 된다.



<그림 2> 온도 측정 시스템 블록도

제작된 온도 열적 성능 평가를 위한 팬텀을 평가하기 위하여 치료용 초음파 프로브를 이용한 초음파 가열 실험을 수행하였다. 초음파 가열 실험을 위한 실험 장치는 그림 3과 같다. 제작된 팬텀위에 초음파 젤을 충분히 바른 후, 치료용 초음파 프로브를 위치시켰다. 초음파 프로브의 직경은 15mm 이고, 1MHz의 주파수를 가지며 합수 발생기, 고전압 회로, 초음파 펄스 구동 회로로 초음파를 발생시켰다. 가열은 20분 동안 하였으며 이에 따른 온도의 변화를 측정하고 디스플레이 하였다.



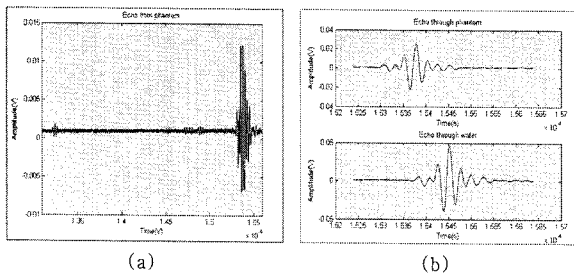
〈그림 3〉 초음파 가열 실험 장치 구성

2.3 연구 결과

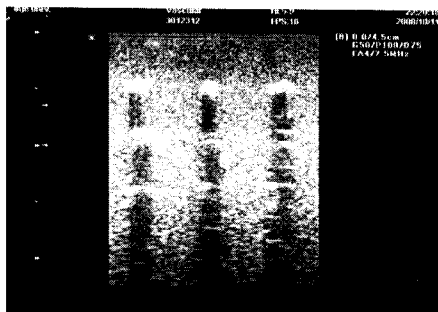
표 2은 본 연구에서 개발된 팬텀의 음향속도 및 감쇠계수를 측정된 결과이다. 실험에서의 오차를 줄이기 위해, 3번의 신호를 측정하여 신호를 분석하였다. 음향 속도는 그림 4(a)의 두 반사 신호의 피크점 사이의 시간으로 팬텀의 두께의 2배를 나누어주어 구하였으며, 감쇠 계수는 그림 4(b)의 두 신호를 FFT하여 음압이 줄어든 비율을 통하여 구하였다. 그림 4는 음향 속도 및 감쇠 계수를 측정하기 위한 팬텀으로부터의 반사신호이다. (a)의 작은 반사 신호는 팬텀과 물의 경계면으로부터의 신호이며, 큰 반사 신호는 팬텀과 반사체 사이로부터의 신호이다. 그림 4(b)의 첫 번째 그래프는 팬텀을 위치하였을 때의 반사신호이고, (b)의 두 번째 그래프는 팬텀을 위치하지 않고 그대로 반사체에서 나온 신호이다. 그림 5는 제작된 온도 분포 측정용 팬텀의 초음파 영상을 초음파 영상장치(Sono Ace 6000CMT, 메디슨, 리니어 프로브)를 이용하여 촬영한 사진이다.

〈표 2〉 제작된 온도 팬텀의 음향 파라미터

	음향속도(m/s)	감쇠 계수(dB/[cmMHz])
1차	1541	0.503
2차	1540	0.583
3차	1535	0.599
평균	1538.7	0.562



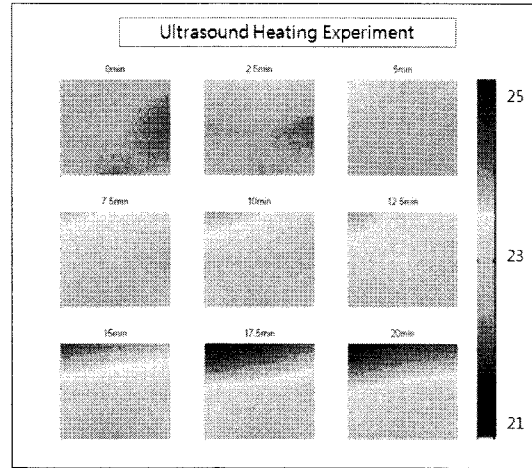
(a) 팬텀으로부터의 초음파 반사신호



〈그림 5〉 제작된 온도 분포 측정용 팬텀의 초음파 영상

그림 6는 초음파 가열 실험으로부터의 온도 데이터를 2분 30초 간격으로 하여 측정하고 팬텀 내부 온도 센서에서의 온도 분포를 디스플레이 한 결과이다. 온도의 범위는 21℃부터 25℃까지로, 가열 전의 팬텀의 온도는 약

22℃로 균일하였으며, 20분 가열 후 팬텀의 최고 온도는 약 25℃로 팬텀 내부의 온도가 상승한 것이 관찰되었다.



〈그림 6〉 초음파 가열 실험을 통한 온도 분포 측정 결과

3. 결론 및 고찰

본 연구에서는 강력집속초음파의 열적 성능 평가의 일환으로 팬텀 내부 온도 분포 측정이 가능한 온도 팬텀을 제작하고, 초음파 가열 실험을 통하여 제작된 팬텀의 유용성을 확인하였다. 생체 내의 정확한 열 전달 및 온도의 평가를 위해서는 생체 연부 조직과 비슷한 음향 특성을 가지는 생체 연부 조직 유사 팬텀이 필요하다. 이를 위하여 IEC 60601-2-37에 수록된 조직 유사 팬텀을 제작하고 이의 음향학적 특성을 측정하였다. 제작된 팬텀은 표 2의 결과와 같이 연부조직과 유사한 음향속도(연부조직 : 1540m/s) 및 감쇠계수(연부조직 : 0.6-2.24)를 가짐을 확인하였고, 초음파의 열적 성능 평가를 위한 조직 유사 팬텀으로 사용 가능함을 확인하였다. 제작된 팬텀은 그림 5의 초음파 영상에서처럼 내부에 온도 센서가 위치함으로 인하여 초음파 진행이 온도 센서로부터 간섭을 받지만, 온도 센서 주변의 부위에서는 초음파가 일반 조직에서처럼 무리없이 진행됨이 관찰 가능하다. 그렇지만, 온도 센서 표면에서의 반사는 초음파가 굴 표면에서 반사되어질 때 열이 발생하는 것처럼 센서 부위의 온도가 실제 팬텀의 온도보다 높게 관찰될 가능성이 있다. 이로 인하여 발생하는 열에 대한 고려는 향후 연구에 이루어져야 할 것이다. 또한, 초음파 가열 실험에 의해 나타난 그림 6의 결과는 충분한 에너지의 초음파 조사가 이루어지면 팬텀의 내부 온도가 전반적으로 상승한다는 것을 알 수 있었으며, 본 연구에서 제안된 팬텀이 초음파 조사에 따른 온도 효과를 평가하기에 적합한 방법임을 확인할 수 있었다. 향후 연구에서는 본 연구에서 제작된 팬텀을 강력집속초음파에 적용시킨 실험 결과를 시뮬레이션, 음장 측정 등 여러 가지 방법들과의 비교를 통하여 제작된 팬텀을 강력집속초음파에 적용하는 것에 대한 유용성이 평가되어야 할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] 한상석, "체외강력집속초음파치료", 대한골관절종양학회지, 제 11권, 제 1호, 17-24, 2005
- [2] 김지원, 이국일, 한재문, "초음파치료가 종양세포에 미치는 효과", 한국전문물리치료학회지, Vol 4, No. 1, 11-19, 1997
- [3] Kremkau FW., "Cancer therapy with ultrasound : A historical review", J Clin Ultrasound. 7(4), 287-300, 1979
- [4] 최홍호, "의용초음파공학", 인터비전, 2002
- [5] 한국표준협회, KS C IEC 60601-2-37, "의료용 전기 기기 - 초음파 진단 및 감시 기기의 안전에 관한 개별 요구 사항", 2005