

# 초음파 열지수 측정용 조직모사 물질의 성능계수

김용태\*, 조문재\*, 윤용현\*, 김호철\*\*

\*한국표준과학연구원 물리표준부 음향진동그룹, \*\*한국과학기술원 물리학과

## Performance Parameter of Tissue Mimicking Material measuring Ultrasonic Thermal Index

Yong Tae Kim\*, Moon Jae Jho\*, Yong Hyeon Yun\*, and Ho Chul Kim\*\*

\*Acoustic & Vibration group, Physical metrology division, Korea Research Institute of standards and Science

\*\* Department of Physics, Korea Advanced Institute of Science and Yrchnology

### 요약

초음파의 조사에 의한 인체내부의 온도상승의 측도로 열지수(thermal index)가 사용되고 있으며, 이는 주파수 및 음향파워에 의존한다. 초음파 조사에 의한 인체내부의 온도상승을 평가하는데 사용되는 재료를 조직모사 물질이라 한다. 본 논문에서는 단위 음향파워에 대한 온도 변화인 열 감도(thermal sensitivity)를 새로이 정의하였으며, 이 물리량으로 조직모사물질의 성능을 평가 할 수 있다는 것을 제안하고자 한다.

### 1. 서론

초음파는 진단 치료 수술 등 의료 전 분야에 널리 이용되고 있으며, 최근에는 실시간 3차원 영상 진단 High Intensity Focused Ultrasound 을 이용한 암 치료, 물리치료 비만 치료 등으로 사용범위가 넓어지고 있다. 의료용 초음파의 사용은 "발진 → 매질(치료, 수술) → 수신(진단)"의 순으로 인체가 직접 노출되므로, 신진국을 중심으로 의료용 초음파의 안전한 이용에 대한 관심이 점차 증대되고 있다.

초음파의 열적인 위해요소는 초음파의 조사에 의해 인체 내부 조직의 온도가 올라가는 것으로, 특히 WFUMB에서는 의료용 초음파는 조직온도 상승이 4 °C 미만인 범위에서 사용을 권고하고 있다.

초음파에 의한 조직의 온도상승은 조사하는 빔과 조직의 물리적 음향학적 특성에 의해 달라진다. 밀도 음속, 감쇠계수 및 흡수계수가 조직과 유사한 다양한 조직모사물질(Tissue Mimicking Material)에 대한 시험이 있었으나, 이러한 모든 특성을 만족하는 것은 대단히 어렵다.  $W_0$ 는 조직모사물질의 후보 재료로서 3가지 종류의 두부(연한 두부, 단단한 두부, 아주 단단한 두부)의 주파수 범위 1 MHz - 6 MHz에서 위상속도와 감쇠계수를 조사하여 그 차이가 무시할 수 있을 정도로 작음을 발견하였다. [1] 감쇠계수는 Duck 가 보고한 신장, 뇌, 및 지방

조직의 값에 유사하다. [2]

본 논문에서는 조직모사물질의 성능평가에 사용될 수 있는 새로운 물리량인 열감도를 제안 하였으며, 식용 두부(폴리우레탄)를 선택하여 초음파 조사에 의한 온도변화를 열감도에 적용하여 조직모사물질의 성능인자로 사용할 수 있음을 확인하였다.

### 2. 이론적 배경

음향에너지는 단위시간 동안 단위면적을 통해 전달되는 평균 음향에너지로 다음과 같이 정의된다.

$$P = \int IdA \quad (1)$$

여기서  $I$ 는 음향파워,  $S$ 는 음향세기,  $A$ 는 면적이다.

일반적인 열-유체 방정식으로부터 초음파 조사에 의한 두부내의 에너지 흐름 방정식은 다음과 같다. [3]

$$\alpha IV - \rho c_p V (dT/dt) - \kappa A (T - T_0) = 0 \quad (2)$$

여기서  $T$ 와  $T_0$ 는 각각 임의의 시간 및 초기의 온도이고,  $\alpha$ 는 시료의 초음파 흡수계수,  $A$ 와  $V$ 는 각각 표면적과 부피이고  $\kappa$ 는 열 수송 계수이다. 식 (3)의 첫 번째 항은 시료 내에서 초음파에 의해 생성되는 열에너지 흐름 (thermal energy flow)이고, 두 번째 항은 시료에 축적되는 에너지 flux, 세 번째 항은 시료 밖으로 유출되는 열에너지 흐름이다.  $T=0$ 일 때  $T = T_0$ 의 초기 조건을 이용하면 식 (3)의 해는 다음과 같다.

$$\Delta T = T - T_0 = \frac{\alpha IV}{\kappa A} [1 - \exp(-t/\tau)] \quad (3)$$

여기서 시정수  $\tau = \rho c_p V / \kappa A$ 이다. 초음파 변환기에서 방사된 음파가 모두 시료에 입사하는 경우, 식 (1)은  $P = IA$ 로 나타낼 수 있다. 식 (3)으로 부

터 단위 음향파워에 대한 온도상승은 다음과 같이 나타낼 수 있다

$$\frac{\Delta T}{P} = \frac{\alpha V}{\kappa A^2} [1 - \exp(-t/\tau)] \quad (4)$$

식(4)의 우변에는 입사하는 초음파에 관련된 물리량을 포함하고 있지 않기 때문에, 서로 다른 음향파워를 조사하여 측정된 온도 변화  $\Delta T$  들을 음향파워로 나누어  $\Delta T/P$ 로 변환한 물리량을 열감도로 제안한다.

### 3. 측정장치

그림 1은 초음파의 조사에 의한 조직모사물질의 온도 상승 측정 시스템의 구성이다. 신호발생기(HP 8642A)에서 정현 신호를 발생시켜, step attenuator를 통해 적절하게 전압을 감쇠시킨 다음, 전력증폭기(ENI 3100LA)로 충분한 전력을 갖도록 증폭된 CW 신호를 초음파 변환기에 공급하며, 이때 변환기에 인가되는 전압은 실효전압계(rms. level meter)로 측정한다. 두부 내부의 온도와 초음파 변환기 및 물의 온도를 16 채널 데이터 획득 장치(Agilent 34970A)를 사용하여 pc에 전송하여 기록할 수 있도록 구성하였다.

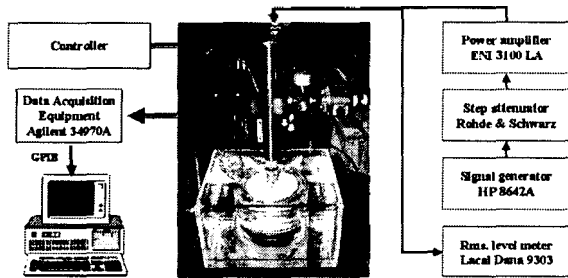


그림 1 초음파 조사에 의한 두부의 온도 상승 측정 시스템 구성도

### 4. 결과 및 논의

그림 2는 주파수를 8 MHz로 고정하고, 물과 초음파 변환기 및 두부의 23 °C의 평형 상태에서 음향파워를 158 mW, 138 mW, 112 mW, 91 mW, 74 mW 및 49 mW인 경우, 깊이  $d = 5$  mm에서  $\Delta T$ 를 300 초 동안 기록한 다음, 열 감도  $\Delta T/P$ 로 변환한 결과로 식(4)와 같이 시간에 대하여 지수 함수 형태로 의존한다.

그림 3은 8 MHz 주파수에서 초음파 파워를 15.5 mW에서 58.4 mW까지 변화시키면서 300 s 동안 초음파를 조사하였을 때 초음파가 입사하는 두부 표면으로부터의 깊이  $d$ 에 따른 온도 변화를 측정하여, 열감도로 변환한 결과이다.

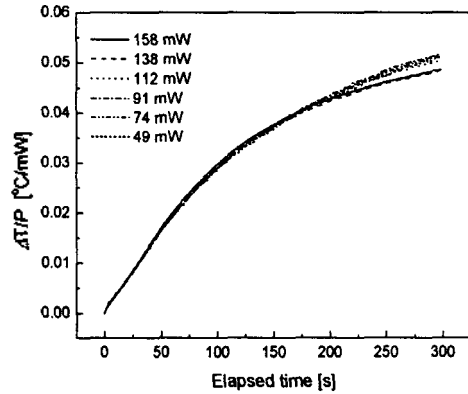


그림 2. 초음파를 조사하는 동안 소요시간에 따른 열 감도 변화.

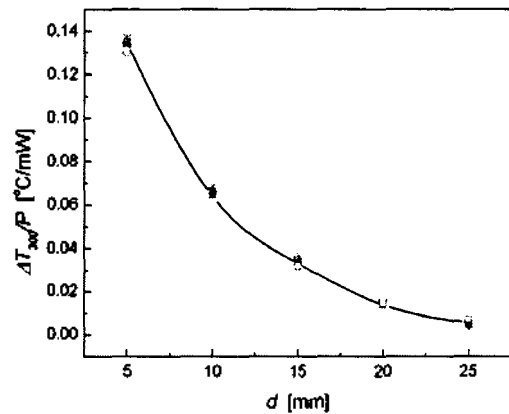


그림 3. 열 감도의 두부 내부의 깊이 의존 특성.

### 5. 결론

본 논문에서는 새로운 개념의 물리량인 열감도를 정의하였으며, 이 물리량이 조직모사물질의 고유한 특성을 나타내는 물리량을 확인하였다. 또한 열 감도  $\Delta T_{300}/P$ 의 초음파 조사시간 및 두부 표면으로부터의 깊이  $d$ 에 대한 의존 특성을 측정하였다.

#### 참고문헌

1. Junru Wu, "Tofu as a tissue-mimicking material," *Ultrasound in Med. and Bio.*, 27(9), 1297-1300(2001).
2. Duck, F. A., *Physical properties of tissue*, Academic press, 1990.
3. M. Romdhane, et. al. "Thermoelectric sensor for ultrasonic intensity measurement", *Ultrasonics*, 33(2), 139-146, 1995.