

## 초음파 광역 감쇠의 온도 특성에 관한 연구

신정식\*(부산대학교 지능기계공학과), 안중환(부산대학교 지능기계공학과),  
한승무(경희대학교 동서의학대학원), 김형준(경희대학교 동서의학대학원)

### A Study on Temperature Features of Broadband Ultrasonic Attenuation

J. S. Shin\* (Mechanical Engineering, Pusan Univ.), J. H. Ahn (Mechanical Engineering, Pusan Univ.),  
S. M. Han (East-West Medical School., Kyunghee Univ.), H. J. Kim (East-West Medical School, Kyunghee Univ.)

#### ABSTRACT

The distilled water is used for the ultrasonic wave propagating material in the measurements of broadband ultrasonic attenuation (BUA) that is applied in industrial and medical applications. The acoustic impedance of water is significantly changed with its temperature. Therefore, the quantitative evaluation of BUA with temperature and the ultrasonic wave propagating distance is highly needed. In this study, we evaluated the variation of attenuation with change in temperature. To measure the variation of BUA in the low frequency region at the temperatures, 27°C, 29°C, and 31°C, we tested the Polyethylene, Teflon, MC-Nylon, Urethane specimens and analyzed the center frequency, frequency bandwidth, spectral peak amplitude. The results showed that BUA value appeared to be lower with increasing temperature. This may be due to the fact that the frequency feature of ultrasonic wave is affected by not only the specific gravity, acoustic impedance, but material crystalline, porosity, the distance of ultrasonic wave propagation in the water.

**Key Words** : Ultrasound(초음파), Broadband Ultrasonic Attenuation(BUA: 초음파 광역감쇠), Acoustic Impedance(음향 임피던스), Center Frequency(중심주파수), Material(재료)

#### 1. 서론

초음파 신호는 투과 매질의 밀도, 음향 임피던스, 탄성계수 등의 영향을 받아 매질 내에서의 초음파의 전파 시간(Time of Flight: TOF)과 초음파 감쇠의 변화가 일어나게 된다.<sup>[1]</sup> 일반적으로 산업 현장의 비파괴 검사에는 주로 결함의 유무 확인을 위해 초음파의 전파 시간만을 측정하는 방법을 쓰고 있으나, 의료분야에서는 초음파 광역감쇠의 정량적인 양을 측정하는 방법도 사용되고 있다. 초음파 광역감쇠의 변화는 전파 매질의 종류 및 온도와 측정거리에 따라 달라지므로 정량적인 평가가 어려운 실정이다. 이러한 초음파 광역감쇠 변화의 정량적인 분석은 주로 의료분야에서 인체 뼈를 통과한 초음파 신호의 감쇠를 이용하는 초음파 골밀도 진단기<sup>[2]</sup>와 공업용 재료의 결함유무를 판별하는 비파괴 검사, 그리고 초음파 C-scan 을 이용하여 적층

(Laminate) 형태의 복합재료를 정량적으로 평가하는데 사용되고 있다.<sup>[3]</sup> 대부분의 경우에 있어서 전파 매질로 물을 주로 사용하게 되는데, 물은 음향 임피던스가 온도에 따라 크게 변화하는 문제점이 있어서 온도 및 측정거리에 따른 초음파 광역감쇠에 대한 정량적인 분석이 절실히 요구된다.<sup>[4]</sup> 본 연구에서는 온도에 의한 영향을 평가하기 위해 중심축이 일치된 채 일정거리를 유지하고 있는 1쌍의 초음파 탐촉자와 온도 변화를 PC 를 이용하여 제어할 수 있는 초음파 장치를 구성하고 초음파 투과법을 이용하여 각종 시편의 온도에 따른 감쇠 값의 변화를 정량적으로 평가하고, 각 시편에서의 온도 변화의 영향을 배제할 수 있도록 하기 위한 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

#### 2.1.1 초음파 탐상 장치

그림 1 은 실험에 사용된 초음파 탐상 장치의 블록도이다. 초음파 탐상 장치는 일정온도의 수침식 초음파 투과법이 가능한 구조의 수조와 초음파 신호의 처리를 위한 초음파 펄서/리시버, A/D converter, 온도의 제어 및 수조 내로의 물의 급/배수 제어를 위한 입출력 보드가 내장되어 있는 PC로 이루어져 있다. 집속식 초음파 탐촉자(USA, Panametrics, V301-SU-F: 중심 주파수 0.5MHz, Broadband type)는 중심축이 일치된 채 115mm 의 거리를 유지하고 초음파 투과법의 적용이 가능하게 되어 있다.

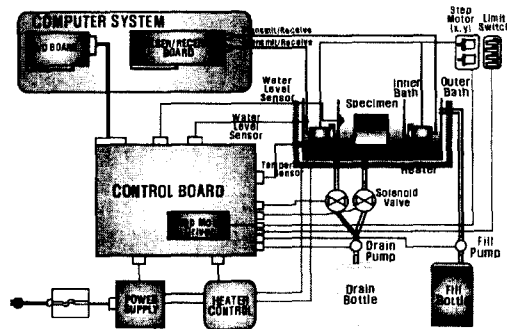


Fig. 1 Block diagram of ultrasonic testing device.

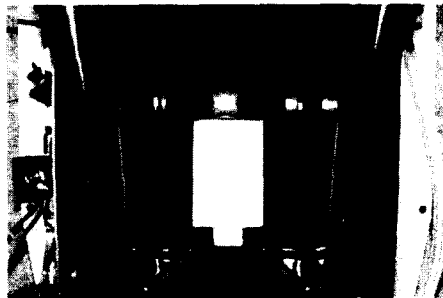


Fig. 2 The picture of testing device

물의 온도를 일정하게 유지할 수 있도록 평판형 실리콘 고무 히터가 수조 아래 부분에 있고 온도센서가 SUS304 재질의 수조에 부착되어 있다. 온도는 PC 상의 소프트웨어에 의해 제어가 가능하도록 되어 있다. 급/배수 시스템은 펌프와 솔레노이드 밸브 및 광학식 레벨 센서로 구성되어 있으며 PC에 의해 자동으로 동작된다. 그림 2 는 실험장치의 구성을 나타내고 있는 사진이다.

#### 2.1.2 초음파 탐상용 소프트웨어

초음파 펄서/리시버 및 A/D converter, 입출력 보드의 제어를 위해 초음파 탐상용 소프트웨어가 제작되었다. 그림 3 은 초음파 탐상용 소프트웨어를 나타내고 있다. 측정을 통해 초음파 RF signal, 주파수 스펙트럼을 동시에 나타내며 물의 급/배수 및 가열, 측정시의 온도 표시 등의 user interface 를 갖추고 있다.

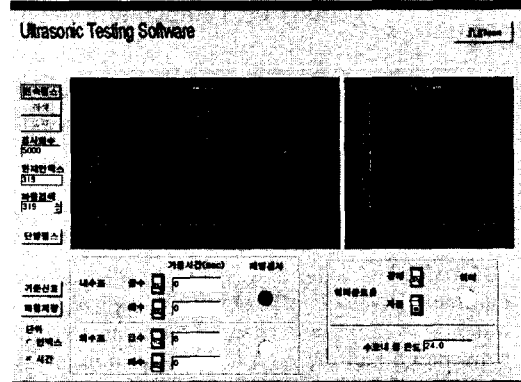


Fig. 3 User interface of ultrasonic testing software

#### 2.1.3 시편

초음파 골밀도 측정기에서 사용되는 저주파 대역에서의 온도에 따른 초음파 광역 감쇠의 변화를 측정하기 위해 균질한 재질의 폴리에틸렌(PE), 테프론(Teflon), MC-Nylon, 우레탄(Urethane) 재질의 시편이 사용되었다. 표 1 은 20℃의 물과 사용된 시편의 재질 및 두께, 밀도, 음향 임피던스를 나타내고 있다.

Material	Thickness	Specific gravity	Acoustic Impedance
Water	X	1	1.483
PE	45t	0.96	1.7
MC-Nylon	45t	1.14	2.9
Teflon	45t	2.1	3.0
Urethane	12t	1.2	1.9
	46t		

Table 1 The physical property of specimens.

#### 2.1.4 초음파 광역 감쇠(BUA)

의료용 초음파 장비 중에서 감쇠의 정량적인 분석이 필요한 초음파 골밀도 측정기에서 주로 사용되는 초음파 광역 감쇠의 정량적 평가를 위한 온도와 감쇠의 관계를 확인하기 위해 각 시편에서 온도 변화에 따른 초음파 광역 감쇠를 계산하였다. 초음

과 광역 감쇠는 측정시의 온도와 동일한 온도에서 물을 통과하여 수신된 초음파 신호와 시편을 통과하여 수신된 초음파 신호에 대한 일정 주파수 대역에서의 스펙트럼의 차이를 진폭(dB)으로 나타낸 것이다.

### 3. 결과

#### 3.1 온도의 변화에 따른 파형의 변화

그림 4(a), (b)는 27°C, 29°C, 31°C에서 물에 대한 초음파 RF signal 과 주파수 스펙트럼을 나타내고 있다.

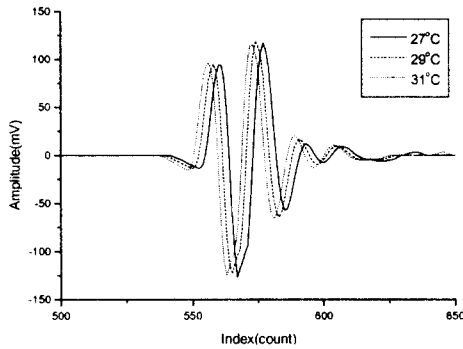


Fig 4.(a) Ultrasonic RF signal for water (27°C~31°C)

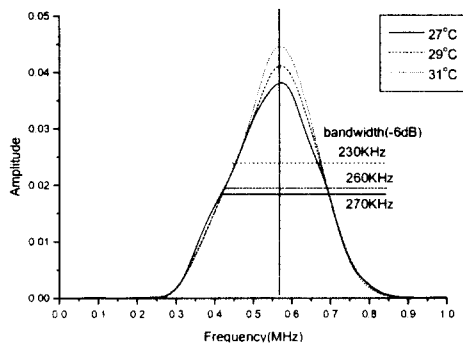


Fig 4.(b) The frequency spectrum for water (27°C~31°C)

그림 4 에서와 같이 초음파 전파 매질인 물의 온도가 27°C에서 31°C로 상승함에 따라 TOF 는 작아지고, 주파수 스펙트럼의 진폭은 상승하며, 대역폭은 좁아짐을 알 수 있다.

그림 5(a), (b)는 폴리에틸렌 시편에 대해서 27°C,

31°C에서 얻어진 초음파 RF signal 과 주파수 스펙트럼을 나타내고 있다. 물을 통과하여 얻어진 신호의 분석 결과와 같이 온도 상승에 따라 TOF 는 증가하고, 주파수 스펙트럼의 진폭은 상승하며, 대역폭은 좁아짐을 알 수 있다.

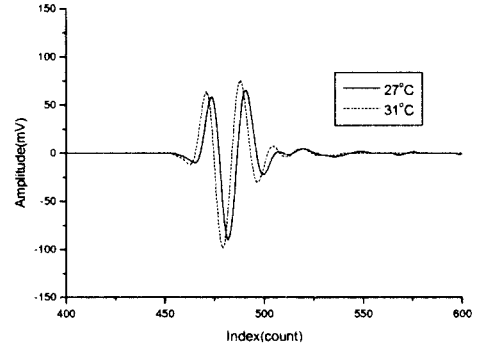


Fig 5.(a) Ultrasonic RF signal for PE (27°C, 31°C)

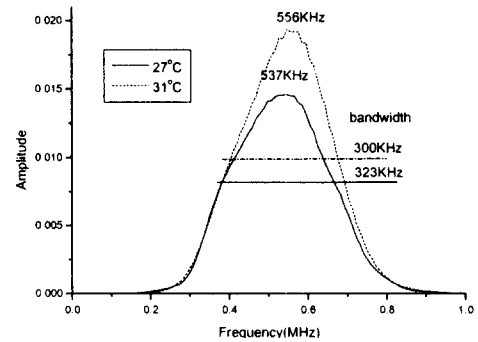


Fig 5.(b) The frequency spectrum for PE (27°C, 31°C)

#### 3.2 온도의 변화에 따른 BUA 의 변화

BUA 계산에 영향을 미치는 인자인 중심주파수와 대역폭, 최고 진폭의 크기에 대한 분석이 이루어졌다. 표 2 는 온도 변화에 따른 각 시편의 중심주파수, 대역폭, 최고 진폭의 크기의 변화를 나타내고 있다. 동일 두께의 시편인 폴리에틸렌, MC-Nylon, 테프론의 결과를 보면 비중과 음향 임피던스가 큰 재질의 시편이 중심 주파수는 높고, 대역폭은 좁으며, 최고 진폭의 값이 작게 나타남을 알 수 있다. 동일 재질의 우레탄 시편에 대해서는 두꺼운 시편일수록 중심 주파수는 낮고, 대역폭은 좁으며, 최고 진폭의 값은 낮아져 얇은 시편에 비해 상대적으로 감쇠가 크게 나타남을 알 수 있다.

27℃	C.F.	B.W.	P.A.
PE	537	323	0.0146
MC-Nylon	566	275	0.0094
Teflon	596	256	0.000217
Urethane 12t	527	313	0.0106
Urethane 46t	400	250	0.00135
31℃	C.F.	B.W.	P.A.
PE	556	300	0.0192
MC-Nylon	566	236	0.0173
Teflon	605	215	0.000117
Urethane 12t	547	291	0.0138
Urethane 46t	400	260	0.0007

Table 2 The spectral features of each specimen at different temperatures. (Where, C.F.: Center Frequency, B.W.: Bandwidth, P.A.: Peak Amplitude)

#### 4. 결론

온도 변화에 따른 초음파 광역 감쇠의 정량적인 분석을 위해 27℃, 29℃, 31℃의 물에서 비중 및 음향 임피던스, 두께의 차이를 가지는 시편에 대하여 수침식 초음파 투과법을 적용하고 각각의 경우에 대한 주파수 스펙트럼 분석을 통해 중심 주파수, 주파수 대역폭, 최대 스펙트럼 진폭의 변화를 분석하였다. 그림 4(a), (b)는 27℃, 31℃에서의 물을 투과한 초음파 신호의 RF signal 과 주파수 스펙트럼을 나타내고 있는 것으로 온도가 증가하여도 중심주파수는 변화하지 않으며, 주파수 대역폭은 감소하고 최대 주파수 스펙트럼 진폭은 증가하게 된다. 이는 온도의 증가에 따른 물의 비중 변화로 인해 음향임피던스가 증가하게 됨을 반영하는 결과이다. 그림 5(a), (b)는 폴리에틸렌 시편에 대하여 각각의 온도에서 초음파 신호의 RF signal 과 주파수 스펙트럼을 비교한 것으로 결과는 물에서와 같이 동일하게 나타남을 확인할 수 있었다. 표 1 과 2 는 각각의 시편의 비중과 음향 임피던스, 온도에 따른 중심주파수, 주파수 대역폭, 최대 주파수 스펙트럼 진폭을 나타내며 동일 온도에서 중심 주파수는 비중과 음향 임피던스가 가장 큰 테프론 시편에서 가장 크게 나왔으며, 대역폭 및 최대 주파수 스펙트럼 진폭은 비중과 음향 임피던스가 가장 작은 폴리에틸렌 시편에서 가장 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 비중 및 음향 임피던스가 작은 재질의 물질이 중심주파수의 저주파수 대역으로의 천이 및 최대 주파수 스펙트럼 진폭의 감소로 인해 초음파 광역 감쇠 값이 증가함을 나타내는 결과이다. 즉 전파매질(물)의 온도가 증가함에 따라 모든 시편에서의

초음파 광역 감쇠는 감소함을 알 수 있다. 동일한 재질의 두께가 다른 우레탄 시편에 대한 결과에서는 두께가 증가할수록, 중심 주파수가 저주파수 대역으로 천이되고, 주파수 대역폭이 감소하며, 최대 주파수 스펙트럼 진폭이 감소하여 초음파 광역 감쇠가 증가하였다. 최대 주파수 스펙트럼 진폭은 온도가 증가함에 따라 전반적으로 증가하였으나, 테프론 시편과 우레탄 46t 시편의 경우에는 감소함을 나타내었다. 이는 테프론 시편의 경우에는 재료 내부의 결정 구조에 의해 초음파 주파수의 변화가 일어난 결과이고, 우레탄 46t 시편의 경우에는 12t 시편에 비해 초음파가 전파하는 물의 거리가 상대적으로 줄어든 것과 재료 내부의 결정 구조가 복합적으로 작용한 결과이다.

초음파 광역 감쇠의 온도 특성에 관한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 초음파 광역 감쇠는 온도가 증가함에 따라 감소하게 되는 데, 이는 중심 주파수, 주파수 대역폭, 최대 주파수 스펙트럼 진폭이 재료의 비중, 음향 임피던스 뿐만 아니라 재료 내부의 결정 구조, 기공의 정도, 초음파 전파 물 거리 등에 의해서 큰 영향을 받게 되기 때문이다. 따라서, 평가하고자 하는 물질 각각의 물성치에 대한 정확한 분석을 통해 좀더 정량화된 초음파 광역 감쇠의 온도 특성에 대한 분석이 이루어질 수 있음을 확인하였다.

#### 참고문헌

1. Josef Krautkramer, Herbert Krautkramer, "Ultrasonic Testing of Materials", 4<sup>th</sup> Fully Revised Edition.
2. Langton CM, Palmer SB, Porter RW, "The measurement of broadband ultrasonic attenuation in cancellous bone", Eng in Med, Vol. 13, No. 2, 89-91, 1984.
3. A. Kumer, Y. Kumer, B. Kumer, "A New Approach of ultrasonic attenuation measurement for NDE and Material Characterization.", Proceedings of the 14<sup>th</sup> World Conference on NDT., Vol. 4, 2263-2266, 1996.
4. M. Iki, E. Kajita, S. Mitamura, H. Nishino, T. Yamagami, N. Nagahama, "Precision of Quantitative Ultrasound Measurement of the Heel Bone and Effects of Ambient Temperature on the Parameters", Osteoporosis International, Vol. 10, 462-467, 1999.