

## 초음파 감쇠계수 추정에 있어서 빔 형태의 보정에 관한 연구

김기욱\*·최흥호\*·홍승홍\*

= Abstract =

### A Study on the Correction of Beam Pattern for the Ultrasonic Attenuation Coefficient Estimation

Ki-Wook Kim\*·Heung-Ho Choi\*·Seung-Hong Hong\*

In estimating the frequency-dependent attenuation coefficient, we analyzed the range-dependent ultrasonic beam and proposed the method of calculating the experimental equation of beam pattern in order to reduce the error on the influence of beam pattern.

These experimental equations are divided into the spectral centroid and the spectral standard deviation slope according to axial propagation length. These are represented by the first-order equation in the near field of the beam and the second-order equation in the far field.

In order to prove the validity of this method, the attenuation coefficients of the non-corrected case and the corrected case are compared. Using the reflected signal from acrylic plate, the attenuation coefficients were estimated by the spectral shift method and the spectral difference method. The result shows attenuation coefficients after correction are better than attenuation coefficients before correction. And this method can be applied in vivo measurement.

#### 1. 서 론

지난 20 여년간 초음파진단 영상장치는 생체연부조직의 병리학적 진단에 인체에 무해하며, 비파괴적인 검사와 실시간 (Real-Time) 처리가 가능하다는 점에서 임상에 응용되어져 왔다. [1]

그러나 이러한 초음파 영상장치는 축방향 해상력과 축방향 해상력에 따라 분해능이 좌우되며, 간경변과 지방간등을 구별하기 어렵다는 것 등의 난점이 있기 때문에 1970년대 말부터는 조직내의 물리적인 성질을 측정하여 영상으로 재

(접수 : 1987년 5월 25일)

\* 인하대학교 전자공학과

Dept. of Electronic Eng., Inha University

구성하려는 조직의 특성화 (tissue characterization)에 관한 연구가 행하여져 왔다. 그 중에서도 초음파가 조직내를 전파할 때, 초음파의 전체적인 손실 (흡수, 반사, 산란, 회절 및 굴절에 의한) 척도인 조직의 감쇠추정이 생체조직 특성화라는 관점에서 상당한 비중을 차지하고 있으며 관심이 집중되고 있다. [2]

현재의 초음파 영상장치는 초음파 변환기 (ultrasonic transducer)의 변환특성이 비선형적이며, 방사된 초음파가 완전한 가우시안 (Gaussian)의 형태를 갖지 못하고, 또한 방사된 빔의 집속이 잘되지 않아 빔이 진행할 때 퍼짐현상이 심하고 전파거리에 따라 빔의 밀도분포가 선형적이 아닌 점들의 많은 문제점이 있다. 그러므로 감쇠계수 추정시에는

이와 같은 점을 보정할 필요가 있다. [3] 감쇠계수를 추정하는 과정에서 직면하게 되는 가장 중요한 문제중의 하나가 회절영향(Diffraction Effect)에 의한 거리의존오차(Range-dependent Error)이다. R.Kuc 등은[4] 초음파 빔의 회절영향이 원거리장에서만 문제가 된다는 사실을 근거로하여 빔의 초점영역 내에서 실험을 행하였다. 최근 Fink 등은[5] 빔의 영향이 감쇠계수 추정에 상당한 영향을 주고 있다는 점을 고려하여 빔 형태를 보정하기 위한 산란 모델을 사용하였다. 또한 Cloosterman 등은[6] 집속형 변환기의 빔 패턴에 대한 각 거리 부분간의 감쇠 기술품을 추정한 후 거리에 대한 방정식을 구하여 보정을 하였으며, Insana 등은[7] TM과 TE 패턴을 사용하여 스펙트랄 차분법에 적용할 때 무손실 매질에서 각 기준점의 반사파를 각각 구하여 사용하였다. 한편 Robinson 등은[8] 진동자의 근거리 내에서 여러가지 반사체를 이용하여 변환기와 반사체간의 거리, 매질의 깊이 변화에 따른 스펙트랄 레벨의 변화를 각 매질의 깊이에 따른 평균값과 변환기와 반사체간의 거리에 대한 감쇠 기술품으로 환산하여 빔 보정을 하였다.

일반적으로 자기 다른 주파수에서 진동자의 빔 형태가 변화한다는 것은 잘 알려진 사실이다. 이러한 것은 주로 회절에 의한 영향이 크다. 회절은 빔의 주변에서 발생하며 주파수에 의존적이다. 따라서 광대역 펄스에서는 고역 주파수 성분이 빔 축상에 모이는 경향이 있고, 낮은 주파수 성분은 축상에서 넓게 퍼지는 경향이 있다. 그러므로 빔이 진행해감에 따라서 펄스의 스펙트럼이 조금씩 상향하는 경향이 있기 때문에 감쇠계수를 추정할 때 이와 같은 현상을 보정할 필요가 있다.

본 연구에서는 이러한 빔의 형태를 진행거리에 대한 펄스의 스펙트럼 변화로써 분석하여 스펙트럼의 변화에 대한 실험식을 추정하고, 이 실험식을 감쇠계수 추정방법의 스펙트랄 편이법과 스펙트랄 차분법에 적용하여 빔 형태에 관한 보정이 유용한가를 검토한다.

## 2. 이 론

주파수 영역법에 의한 감쇠계수의 추정은 송신신호와 수신된 반사신호의 주파수 스펙트럼에 의존한다. 이 반사신호의 스펙트럼에는 반사매질에 포함된 정보외에 변환기와 반사체까지의 거리에 따라 얼마간 달라지는 초음파 빔의 진행영향이 포함되어 있다.

본 장에서는 무손실 매질에 있어서 초음파 변환기의 빔 형태에 대하여 검토하고, 스펙트랄 모우멘트에 의한 스펙트럼의 중심 주파수와 표준편차 추정에 대해서 논의한다.

2-1 무손실 매질에 있어서 평판형 변환기의 빔 진행형태 평판형 변환기에 대한 근거리장에서의 빔 형태는 그림1과 같이 변환기 직경과 동일한 크기의 원통형으로 추정하며 천이거리에서 모여지는 것으로 알려져 있다. 또한 평판형 변환기의 지향각은 그림2와 같다. 이 때의 천이거리 T와 입체각  $\theta$ 는 각각

$$T = d^2/4 \lambda \quad (2-1)$$

$$\theta = \sin^{-1}(2.44 \lambda / d) \quad (2-2)$$

와 같으며, 여기서  $\lambda$ 는 파장이고, d는 변환기의 직경이다. [9]

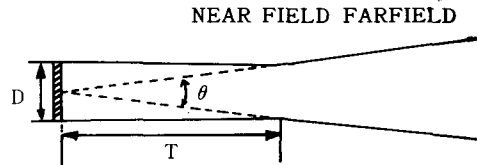


그림 1. 평판형 변환기의 빔 형태

Fig. 1. Beam pattern of plane disc transducer

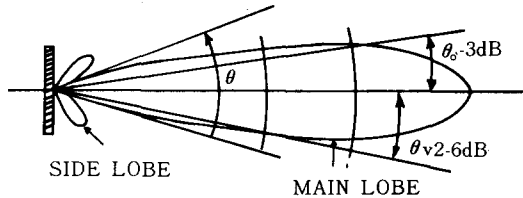


그림 2. 평판형 변환기의 지향각

Fig. 2. The directivity angle of plane disc transducer

이 천이점 이후를 원거리장이라고 하는데, 이 부분에서는 회절의 영향으로 빔의 퍼짐이 발생하여 낮은 주파수 성분은 빔 축 주변에 분포되고 빔 축상에는 높은 주파수 성분들이 분포하게 된다. 그러므로 빔의 거리에 따라 음장의 주파수 구성 성분이 달라지게 된다.

그림1의 임의의 점에 있어서 속도전위를  $v(y,z,t)$ 라 하자. 여기서 y는 빔 축상으로부터의 거리, z는 음장의 거리이고 t는 시간이다. 이 점에서의 압력응답  $P(y,z,t)$ 는 다음 식으로 구해진다.

$$P(y,z,t) = \rho \frac{d}{dt} v(y,z,t) \quad (2-3)$$

여기서  $\rho$ 는 매질의 밀도이다. 근거리장에서의 빔 응답  $bn(y,z,t)$ 는 이러한 압력응답과 여기펄스 (excitation pulse) $h(t)$ 와의 콘벌루션 (convolution)이 된다.

$$bn(y,z,t) = P(y,z,t) * h(t) \quad (2-4)$$

$$= \rho \frac{d}{dt} v(y,z,t) * h(t) \quad (2-5)$$

$$= \rho v(y,z,t_0) * \frac{d}{dt} (h(t)) \quad (2-6)$$

이러한 빔이 손실없는 매질 중  $y,z$ 인 점에서 반사되어 변환기에 수신된다면 수신파는 다음과 같다

$$en(y,z,t) = P(y,z,t) * P(y,z,t) * h(t) \quad (2-7)$$

$$= e^2 v(y,z,t) * v(y,z,t) * \frac{d^2}{dt^2} (h(t)) \quad (2-8)$$

변환기에 수신되는 전압은 이와 같은 압력응답에 비례하고 총 응답은 변환기의 표면을 통하여 수신되는 모든 압력 신호의 적분으로 계산된다. [8]

초음파 빔이 천이거리  $T$ 인 평판형 변환기의 근거리장 내에 위치한 평면 반사체로부터 반사되는 경우에는 식(2-8)이 만족되나 이 천이거리  $T$ 를 벗어난 원거리장에서는 회절에 의한 빔의 퍼짐(Dispersion)영향이 있기 때문에, 식(2-6)과 식(2-8)을 적용할 수 없으며, 원거리장에서의 빔 응답  $bf(y,z,t)$ 와 수신파  $ef(y,z,t)$ 는 다음과 같이 수정하여야 한다.

$$bf(y,z,t) = P(y,z,t) * h(t) * u(f) \quad (2-9)$$

$$ef(y,z,t) = P(y,z,t) * P(y,z,t) * h(t) * u(f) \quad (2-10)$$

여기서  $u(f)$ 는 회절영향을 나타내는 함수이다.

따라서 이 함수  $u(f)$ 의 형태를 실험적으로 구하고, 이를 해석한 후에 감쇠계수 추정시 빔 형태에 대한 오차를 보상하고자 한다.

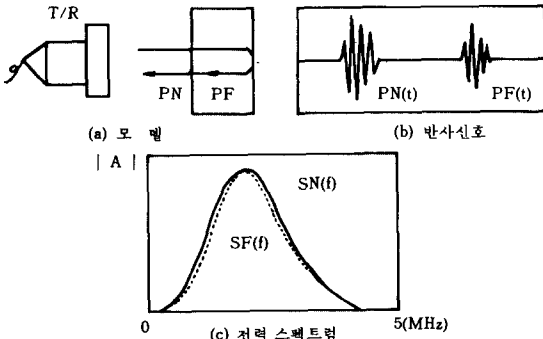


그림 3. 초음파 반사모델  
Fig. 3. A ultrasonic reflection model  
(a) model (b) reflected (c) power spectrum

2-2 스펙트랄 모우먼트에 의한 스펙트럼의 중심 주파수와 표준편차 추정

일반적으로 전력 스펙트럼에 대하여 논할 때, 주파수 영역을 정의의 주파수로 하는 것이 적당하다. 따라서 신호의 스펙트럼이 정의의 주파수에서만 값을 갖는 해석신호 (Analytic Signal)의 개념을 도입한다.

반사체로부터 반사되어 변환기에 수신된 실시간 신호  $s(t)$ 에 대하여 그 해석신호  $z(t)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$z(t) = s(t) + j\hat{s}(t) \quad (2-11)$$

여기서  $\hat{\cdot}$ 는 Hilbert 변환을 나타낸다.  $s(t)$ 와  $\hat{s}(t)$ 의 푸리에 변환을 각각  $s(f)$ 와  $\hat{s}(f)$ 라 하면 다음의 관계가 있다.

$$\hat{s}(f) = \begin{cases} -js(f) & f > 0 \\ 0 & f = 0 \\ js(f) & f < 0 \end{cases} \quad (2-12)$$

그러므로  $z(t)$ 의 푸리에 변환  $z(f)$ 는

$$z(f) = \begin{cases} 2s(f) & f > 0 \\ s(f) & f = 0 \\ 0 & f < 0 \end{cases} \quad (2-13)$$

로 된다. 이와 같이 해석신호의 스펙트럼은 정의의 주파수에서만 값을 가지며 그 값은 원 신호의 스펙트럼을 2배한 것과 같다.

$z(t)$ 의 구간  $[ts - T/2, ts + T/2]$ 에 대한 전력 스펙트럼  $Pz(f,ts)$ 의 원점 주변에 있어서  $n$ 차 모우먼트  $Mn(ts)$ 는 다음과 같이 정의된다. [10]

$$Mn(ts) = \int_{-\infty}^{\infty} f^n Pz(f,ts) df \quad (2-14)$$

식(2-14)에 의해 구해지는 중심 주파수와 표준편차는 각각

$$F(ts) = \frac{M_1(ts)}{M_0(ts)} \quad (2-15)$$

$$\sigma^2(ts) = \frac{M_2(ts)}{M_0(ts)} - \left[ \frac{M_1(ts)}{M_0(ts)} \right]^2 \quad (2-16)$$

와 같다.

### 3. 실험장치의 구성

본 장에서는 보정 실험식의 추정 및 감쇠계수 추정을 위한 초음파 실험장치와 초음파 반사신호의 수집에 대하여 논한다.

### 3-1. 초음파 신호 수집장치의 구성

본 연구에서 사용한 변환기는 평판형으로서 KB - EAROTECH 사 제품 PCT50BN 을 사용하였다. 이 변환기는 중심 주파수가 5 MHz, 직경 6 mm, 내전압 1KV 재질은 PZT 이며, 천이거리는 3 cm 이다.

이 변환기는 펄스 발생기에 의해 만들어지는 0.2 $\mu$ sec, 120V인 부의 펄스로 구동시킨다. 무손실 매질로서는 가스가 제거된 증류수를 사용하였으며, 수신되는 반사신호를 A/D 변환하고 기억시키기 위한 고속 A/D 변환기 및 메모리로는 IWATSU 사의 DM - 902를 사용하였다. 이 제품의 입력 전압 범위는 최대  $\pm 200V$  이며, 8비트 2048점의 기억용량을 가지고 있다. 샘플링 속도는 최저 0.5 $\mu$ sec로부터 최대 10 nsec 까지 가능하고 GPIB(General Purpose Interface Bus)에 의해 Host 컴퓨터로 데이터를 병렬전송할 수 있다. 신호처리용 컴퓨터로는 IBM-PC 를 사용하였다.

그림4는 초음파 신호 수집장치의 계통도이다.

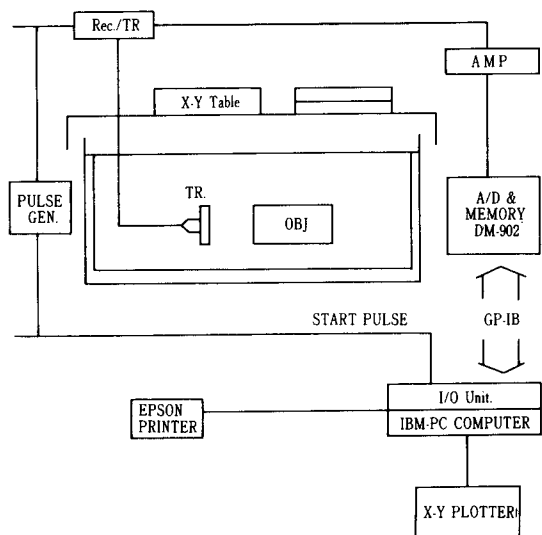


그림 4. 초음파 신호 수집장치의 계통도

Fig. 4. A block diagram of ultrasonic signal acquisition system

### 3-2. 초음파 반사신호의 수집

빔 형태의 분석과 감쇠계수 추정을 위한 반사신호를 그림 4의 실험장치를 이용하여 수집하였다.

먼저 IBM-PC 컴퓨터로부터 펄스 발생기로 Start 펄스를 인가하여 변환기를 구동시키고, 고속 A/D 변환기인 DM - 902를 초기화시킨다. 이 때 초음파 신호가 매질로 방사되

어 반사체로부터 반사된 파형이 초음파 변환기로 수신된다. 이 신호는 매우 미약하기 때문에 신호처리에 적당한 크기로 증폭이 된 후 DM - 902로 입력된다. DM - 902에서는 이 신호가 고속으로 A/D 변환되어 메모리에 기억되고, Host 컴퓨터의 명령에 따라서 GPIB(IEEE - 488card)를 통해 전송, 디스크에 데이터 파일로 수록된다.

## 4. 결과 및 검토

### 4-1. 보정 실험식의 추정

변환기의 빔 형태를 분석하기 위하여 평면 반사체로는 반사계수가 크며 충분히 두꺼운 평판 알루미늄 판을 사용하였다. 초음파를 알루미늄 판에 수직입사시킨 후, 40 mm까지는 1 mm의 간격으로, 40 mm부터 100 mm까지는 2 mm의 간격으로 반사신호를 수집하였다. A/D 변환시 사용된 샘플링 주파수는 100 MHz 이며 그림5에 알루미늄 판에서의 반사파형 중 하나를 나타내었다.

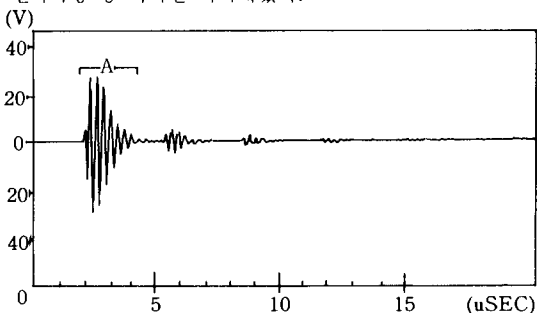


그림 5. 반사체로부터의 반사신호(4.0 cm)  
Fig. 5. Reflection signal from the reflector.

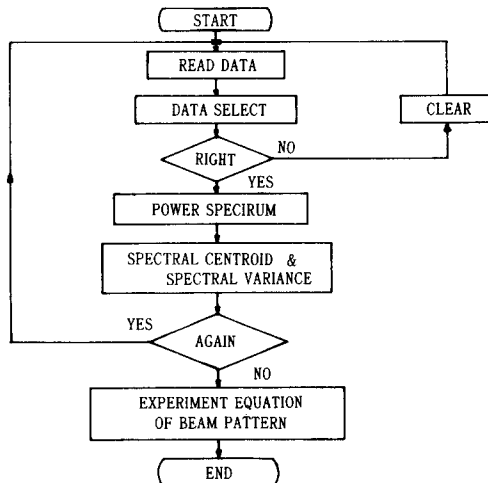


그림 6. 빔 형태의 실험식 추정을 위한 신호처리 흐름도  
Fig. 6. Flow chart of signal processing for experimental estimation of beam pattern

그림6에는 빔 형태에 관한 실험식 추정의 처리과정을 나타내었다.

그림5의 A부분을 256점의 Hamming 창으로 선택한 후, 2048점 FFT 하여 반사파들의 스펙트럼을 구하였으며 거리별로 수집된 반사파의 스펙트럼으로 표시된 빔 윤곽은 그림7과 같다. 이 반사파들의 스펙트럼을 식(2-14), 식(2-15)와 식(2-16)에 적용하여 중심 주파수와 표준편차를 구하였다.

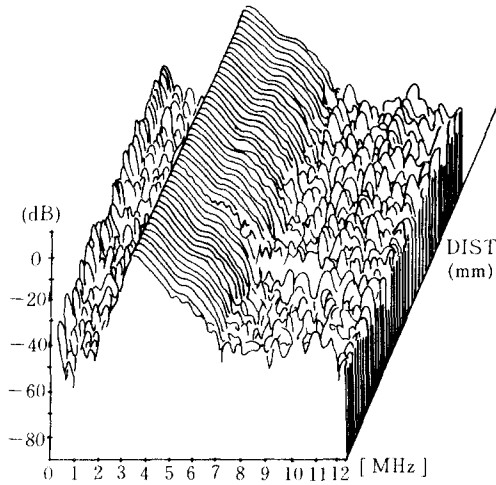


그림 7. 평판형 변환기의 거리에 따른 빔 축상음향 에너지의 스펙도그래프

Fig. 7. The acoustic energy spectrogram of beam axis over the range for plane disc transducer

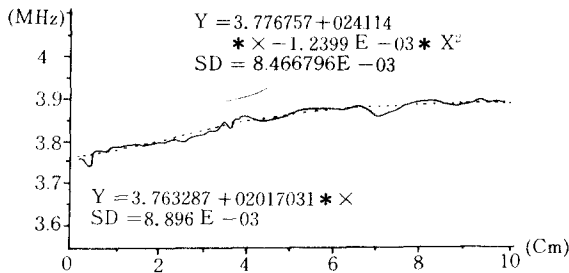


그림 8. 그림 5의 중심 주파수 기울기 형태

Fig. 8. Center frequency slope of Fig. 5.

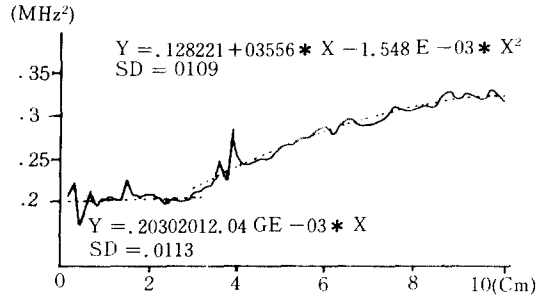


그림 9. 그림 5의 표준편차 기울기 형태

Fig. 9. Standard deviation slope of Fig. 5.

그림8에는 빔의 중심 주파수를 거리에 따른 변화로 나타내었으며 파선은 최소자승추정을 한 것이다.

30 mm 까지는 선형 추정을 하였고 30 mm 이후는 비선형 추정을 하였다. 이 때 얻어진 값은 다음과 같다.

1) 0~30 mm 범위에서의 중심 주파수 기울기  
 $Y = 3.763287 + 0.02017031 * X$   
 $SD = 8.896 E - 03$  (4-1)

2) 30 mm 이상에서의 중심 주파수 기울기  
 $Y = 3.776757 + 0.024114 * X - 1.23999 E - 03 * X^2$   
 $SD = 8.466796 E - 03$  (4-2)

여기서 Y의 단위는 MHz, X의 단위는 mm이고 SD의 단위는 MHz<sup>2</sup>이다.

그림9는 반사파 스펙트럼의 표준편차(SD)를 거리에 따른 변화로 나타낸 것이며 중심 주파수의 경우와 같이 30 mm 까지는 선형 추정을 하였으며 그 이후는 비선형 추정을 하였다. 표준편차의 식은 아래와 같다.

3) 0~30 mm 범위에서의 표준편차 기울기  
 $Y = 0.203626 + 2.046 E - 03 * X$   
 $SD = 0.0113$  (4-3)

4) 30 mm 이상에서의 표준편차 기울기  
 $Y = 0.128221 + 0.035556 * X - 1.548 E - 03 * X^2$   
 $SD = 0.0109$  (4-4)

여기서 Y의 단위는 MHz<sup>2</sup>, X는 mm이며 SD는 MHz<sup>2</sup>이다.

#### 4-2. 스펙트럴 편이법예의 적용

본 연구의 유용성을 검토하기 위하여 시험용 팬텀에서의 감쇠계수를 추정하였으며, 동일한 팬텀의 반사신호에 빔 형태의 실험식 (4-1), (4-2), (4-3)과 (4-4)를 적용 보정한 후 비교검토했었다.

시험용 팬텀으로는 두께가 4.7 mm 인 아크릴 판에서의

반사신호를 변환기로부터 40 mm 에서 100 mm 까지 10 mm 간격으로 이동하며 6회 반복수집하였다. 이때 얻어진 여러 개의 반사신호 중 하나를 그림10에 나타내었다.

그림11은 스펙트랄 편이법에 의한 감쇠계수 추정치의 데이터 처리과정을 나타낸 것이다. 그림10의 A 및 B부분의 데이터를 Hamming 창으로 선택하여 전력 스펙트럼을 구하고 스펙트랄 모우먼트의 식(2-15)와 식(2-16)으로부터 중심 주파수와 표준편차를 계산한다.

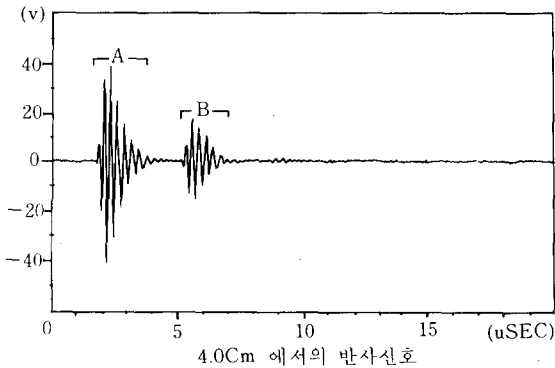


그림 10. 아크릴 판으로부터의 반사신호  
Fig. 10. Reflected signal from acryle plate 4.0Cm

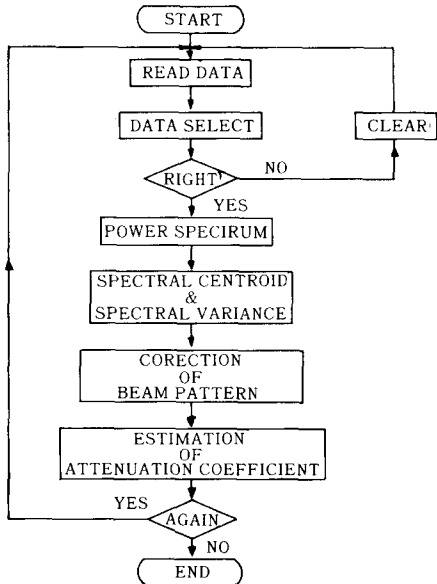


그림 11. 스펙트랄 편이법의 처리과정  
Fig. 11. Procedure of the spectral shift method

다음에 이 값들을 아래의 식(4-5)에 대입하여 감쇠계수를 구하였다.

$$\alpha = 4.343 (f_n - f_t) / (dB^2) \text{ dB}/(\text{cm.MHz}) \quad (4-5)$$

이와 같은 방법으로 추정된 아크릴 4.7 mm의 평균 감쇠계수 기울기는  $2.34 \pm 0.34 \text{ dB}/\text{cm MHz}$ 이다.

한편 보정방법은 중심 주파수와 그 표준편차를 모두 보정해 주어야 한다.

반사체가 있는 위치를 변환기로부터의 거리로 환산하여 그 부분에 도달될 빔의 스펙트럼 중심 주파수와 표준편차 값을 실험식으로부터 계산하여 실제 얻어진 스펙트럼과 비교하면 보정된 감쇠계수를 추정할 수 있다.

이 방법으로 보정된 아크릴 판에서의 평균 감쇠계수 기울기는  $2.45 \pm 0.38 \text{ dB}/\text{cm MHz}$ 이다.

표1은 스펙트랄 편이법으로 추정된 감쇠계수의 보정전과 보정후를 비교한 것이다.

표 1. 스펙트랄 편이법에 의한 감쇠계수  
Table 1. Attenuation coefficient by the spectral shift method

변환기로부터 반사체까지의 거리(mm)	보 정 전			보 정 후		
	주파수 (MHz)	대역폭 (MHz <sup>2</sup> )	$\alpha$ (dB/cmMHz)	주파수 (MHz)	대역폭 (MHz <sup>2</sup> )	$\alpha$ (dB/cm MHz)
40	00.75	0.304	2.268	0.081	0.300	2.507
50	0.073	0.314	2.149	0.078	0.309	2.339
60	0.109	0.325	3.083	0.113	0.321	3.240
80	0.083	0.342	2.250	0.085	0.339	2.318
90	0.072	0.330	2.020	0.073	0.328	2.052
100	0.080	0.329	2.249	0.080	0.328	2.245

### 4-3. 스펙트랄 차분법에의 적용

스펙트랄 차분법에 의한 감쇠계수 추정과정을 그림12에 나타내었다.

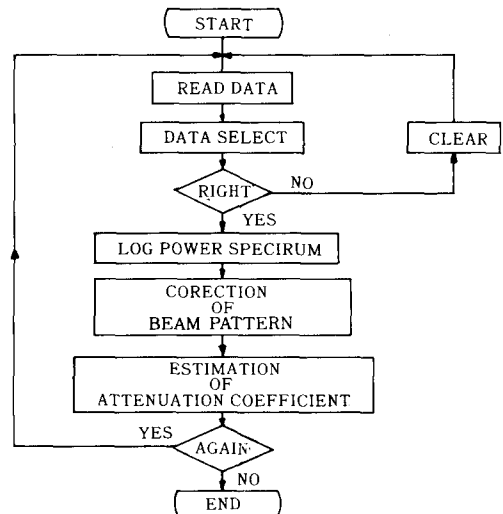


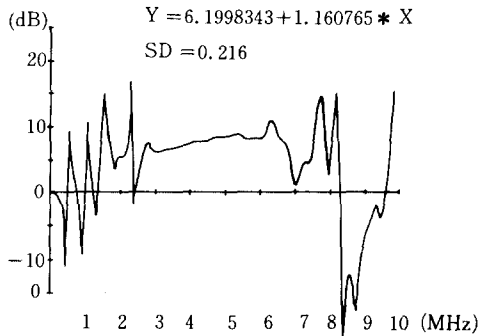
그림 12. 스펙트랄 차분법의 처리과정  
Fig. 12. Procedure of the spectral difference method

그림10의 A 부분과 B 부분의 전력 스펙트럼을 구하고 다음의 식(4-6)에 의하여 전력 스펙트럼의 차분을 구한다.

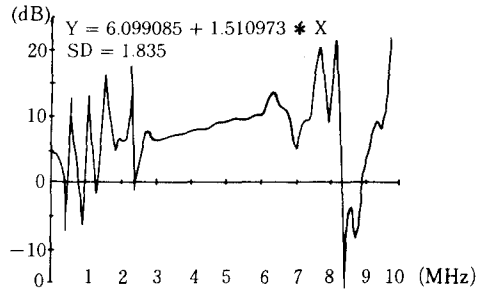
$$\alpha(f) = \frac{10\log_{10}S_n(f) - 10\log_{10}S_r(f)}{2d} \quad (4-6)$$

이 차분은 주파수에 대한 함수이므로 단위주파수 당 기울기로 변환하면 감쇠계수를 구할 수 있다. 그림10에 있는 반사신호의 대수전력 스펙트럼을 구하여 그 차를 나타내면 그림13과 같다. 이 그림13의 차를 식(3-6)에 대입 추정한 아크릴의 평균 감쇠계수 기울기는  $1.28 \pm 0.13$  dB/cm MHz 이다.

한편 스펙트랄 차분법에서의 보정방법은 추정하고자 하는 두부분의 위치와 동일한 거리에서 합성된 두 개의 가우시안 스펙트럼과 실제 두 부분 스펙트럼의 차분을 각각 구한 후 두 개의 차분의 차를 구하면 빔의 윤곽을 보정한 감쇠계수 기울기를 구할 수 있다.



(a) 4.0 cm 의 보정전



(b) 4.0 cm 의 보정후

그림 13. 대수 전력 스펙트럼의 차

Fig. 13. Difference of log power spectrum

(a)Before correction of 4.0 cm (b)After correction of 4.0 cm

이 방법으로서 빔 형태를 보정한 후의 대수 스펙트럼 차를 그림13에 나타내었다. 보정된 평균 감쇠 기울기는  $1.57 \pm 0.08$  dB/cmHz 이다.

#### 4-4. 검토

본 연구에서 제안된 빔 형태의 보정방법에 대한 유용성을 입증하기 위하여 실제 반사신호를 사용하여 얻어진 보정전과 보정후의 감쇠계수를 검토하고자 한다.

아크릴 판에서 얻어진 반사신호를 사용하여 감쇠계수를 추정된 결과 보정전 보다 스펙트랄 편이법에서는 약 0.11 dB/cm MHz, 스펙트랄 차분법에서는 약 0.29 dB/cm MHz의 차이로 비교적 정확한 감쇠계수 추정을 할 수 있었다. 또한 그림13의 보정전과 보정후를 비교검토하면, 높은 주파수 성분에 대한 보정이 잘 이루어져 기울기가 보정전보다 선형적이다. 따라서 보정결과가 양호한 것을 알 수 있었다.

추정된 감쇠계수가 거리에 따라서 약간씩 차이가 생기는 이유는 초음파가 매질을 통과할 때 감쇠뿐만 아니라 회절, 산란등의 영향으로 중심 주파수의 편이와 표준편차의 분산이 선형적으로 변화하지 않는 관계로 인하여 나타나는 현상으로 생각된다. 또한 스펙트랄 편이법과 스펙트랄 차분법에 의해 감쇠계수를 추정할 때 차가 생기는 것은 각각의 방법에 대한 접근방식의 차이에 대한 오차라고 생각된다.

표2는 추정된 감쇠계수의 결과이다.

표 2. 아크릴 판의 감쇠계수 기울기

Table 2. Attenuation coefficient of acryle plate

변환기로부터 반사체까지의 거리(mm)	스펙트랄편이법(dB/cm MHz)		스펙트랄차분법(dB/cm MHz)	
	보정전	보정후	보정전	보정후
40	2.268	2.507	1.235	1.607
50	2.149	2.339	1.009	1.633
60	3.083	3.240	1.315	1.709
80	2.250	2.318	1.338	1.528
90	2.020	2.051	1.407	1.514
100	2.249	2.245	1.363	1.438
평균	$2.336 \pm 0.345$	$2.450 \pm 0.378$	$1.278 \pm 0.131$	$1.571 \pm 0.088$

#### 5. 결론

본 논문에서는 초음파 변환기의 빔 형태에 관한 실험식을 추정함으로써 회절현상을 고려한 빔 보정을 행할 수 있는 방법을 제안하였으며, 아크릴에서의 감쇠계수를 추정하여 본 방법의 타당성을 입증하였다.

원거리장으로 빔이 진행함에 따라 발생하는 커짐현상을 중심주파수와 표준편차의 기술기에 관한 실험식을 사용하여 보정하였다. 보정방법은 반사체가 있는 위치를 변환기로부터의 거리로 환산하고 실험식들로부터 중심 주파수와 표준편차 값을 구한 다음 보정전의 감쇠계수와 비교한다. 이 방법으로 최절현상을 보정한 아크릴에서의 평균 감쇠계수가 스펙트랄 편이법에서는 2.450 dB/cm<sup>2</sup>MHz, 스펙트랄 차분법에서는 1.571 dB/cm<sup>2</sup>MHz로 비교적 양호하였다.

결론으로 임의의 변환기의 빔 형태에 대한 스펙트럼의 실험식을 완성할 수 있으며 그 식에 의하여 실제 감쇠계수 추정에 사용될 수 있었다.

한편 본 연구에서는 무손실 매질에서의 빔 형태에 대한 실험식을 추정하였는데 실제 임상에 응용시에는 매질 자체가 산란현상을 포함하기 때문에 산란매질에 대한 연구가 차후의 과제가 되겠다.

## 참 고 문 헌

- 1) P.N.T. Wells, "Biomedical Ultrasonics," Academic Press Inc., New York, 1977
- 2) Lanrie A. Segal and W.D. O'Brien, Jr., "Frequency Dependent Ultrasonic Attenuation Coefficient Assessment in Fresh Tissue," *IEEE Ultrasonic Symposium* p.p.797 ~ 799, 1983
- 3) 허웅, "생체연부조직의 초음파 주파수의존 감쇠계수 추정," 인하대학교 대학원 1985
- 4) M.Fink, F.Hoitter and J.F. Cardoso, "Ultrasonic signal processing for in vivo attenuation measurement: Short time Fourier analysis," *Ultrasonic Imaging*, Vol. 5, pp. 117 ~ 135, 1983
- 5) R. Kuc, and M. Schwartz, "Estimating the Acoustic Attenuation Coefficient Slope for Liver from Reflected Ultrasound Signal," *IEEE Trans., Sonics and Ultrasonics*, Vol. su-26, No.5, pp.353 ~ 362, Sep., 1979
- 6) M.J.T.M. Cloosterman and J.M.Thijssen, "A Beam Corrected Estimation of the Frequency Dependent Attenuation of Biological Tissues from Backscattered Ultrasound," *Ultrasonic Imaging*, Vol.5, pp.136 ~ 147, 1983
- 7) M. Insana, J. Zagzebski, and E. Madsen, "Improvement in the Spectral Difference Method for Measuring Ultrasonic Attenuation," *Ultrasonic Imaging*, Vol.5, pp.531 ~ 534, 1983
- 8) D.E. Robinson, L.S. Wilson and T. Bianchi, "Beam Pattern(Diffraction)Correction for Ultrasonic Attenuation Measurement," *Ultrasonic Imaging*, Vol.6, pp.293 ~ 303, 1984
- 9) 丹羽登, "超音波計劃", 昭見堂, 東京, 昭和58年
- 10) 鈴木彰文, 八木晋一, 中山淑, "短時間 スペクトラルモーメント解析の生體組織による超音波減衰係數分布の推定", *超音波醫學* 12(6), 1985
- 11) R.Kuc, "Bounds on Estimating the Acoustic attenuation of Small Tissue Regions from Reflected ultrasound," *IEE proceedings*, Vol.73, No.7, pp.1159 ~ 1168, Jul., 1985
- 12) A.C. Kak and Kris A. Dines, "Signal Processing of Broadband Pulsed Ultrasound: Measurement of Attenuation of Soft Biological Tissues," *IEEE Trans. Biomedical Eng.*, Vol. BME - 25, No.4, pp.321 ~ 334, Jul., 1978
- 13) L.S. Wilson, D.E. Robinson and B.D. Doust, "Frequency Domain Processing for Ultrasonic Attenuation Measurement in Liver," *Ultrasonic Imaging*, Vol.6, pp.278 ~ 292, 1984
- 14) R. Kuc, "Modelling Acoustic Attenuation of Soft Tissue with a Minimumphase Filter," *Ultrasonic Imaging*, Vol.6, pp.24 ~ 36, 1984
- 15) 최홍호, "간내의 비정상조직 검출을 위한 감쇠계수 추정," 인하대학교 대학원, 1986
- 16) 김기욱, 윤영배, 최홍호, 허웅, 홍승홍, "초음파 감쇠 추정의 보상을 위한 법 패턴에 관한 연구," 대한 전자공학회 하계종합학술대회 논문집, Vol.9, No.1, pp. 444 ~ 446, 1986