

감쇠 계수 추출을 위한 초음파 신호 분석 연구

- Homomorphic Process와 수정된 spectral difference방법을 사용하여
얻은 실리콘 팬텀의 감쇠 계수 안정성에 관한 연구 -

송 인 찬 · 민 병 구

= Abstract =

The Study on the Ultrasound Signal Processing for Estimating the Attenuation Coefficient

- The study on the stability of the attenuation coefficient in silicon-made phantom using
both homomorphic process and the modified spectral difference method -

In-Chan Song and Byoung-Goo Min

In the study on the quantitative diagnosis using ultrasound, the stability and precision of tissue characterized parameters are important for the clinical application. We estimate attenuation coefficient introducing homomorphic process into the modified spectral difference method about silicon-made phantom. We compare the results with those estimated using the method used for obtaining the attenuation map image before. Homomorphic process has the effect smoothing the reflected echo signal spectrum, therefore eliminates the random pattern of the signal spectrum generated by the scatterers. As a result, it is shown that the stability is enhanced

1. 서 론

기존 초음파 시스템은 여러 생체 조직 병변에 대한 정성적인 진단에 유용하게 많이 사용되어 왔

〈접수 : 1991년 11월 15일〉

서울대학교 의과대학부설 의공학연구소
Institute of Biomedical Engineering, College of Medicine,
Seoul National University

〈본 연구는 1991년도 서울대학교 병원 특진연구비로 이루어졌음.〉

다. 그러나 간 조직과 같은 생체 연부 조직의 미세한 변화(간 조직의 지방화 정도 등)나 분포적인 질환에 대해 초음파에 의한 진단이 가능하지 않고 있다. 이러한 문제점을 해결하고 좀 더 정확한 초음파 진단을 가능하게끔 하기 위하여 많은 연구자들이 노력해 왔다. 지금까지 정상적인 초음파 진단을 위해 간조직에 대한 초음파의 변화를 나타내는 조직 특성 변수인 조직 내의 초음파 속도와 감쇠 계수⁷⁾와 그리고 조직내의 산란체 특성 변수⁸⁾를 측정하는 여러 방법이 개발되었고 그것에 의한 임상

응용에 대한 가능성을 보여 주었지만 조직의 특성을 정확히 반영할 수 있는 조직 특성 변수의 정확성과 매번 측정시 안정하게 나올 수 있는 안정성에 대한 문제가 제기되었다. 조직 특성 변수의 산출에 있어 그에 대한 정확성과 안정성을 향상시키기 위해서는 사용된 기기의 완전성이 먼저 요구되지만 이 문제는 현재 기술의 한계에 해당되기 때문에 그 문제는 남겨두고 신호 처리를 위한 알고리즘에 대한 보완과 개발으로 이를 해결하려는 시도가 많다.

현재 임상적으로 간 조직 검사에 유용하게 쓰일 수 있는 조기 특성 변수는 감쇠 계수를 들 수 있다. 여러 병변의 간 조직에 대한 감쇠 계수 측정과 그 값의 임상 진단에 대한 유용성을 보여 주는 논문이 보고 되었다.⁹⁾

본 연구에서는 실리콘 팬텀에 대한 실험을 통하여 주파수 영역에서의 Homomorphic process를 도입한 분석 방법을 이용한 감쇠 계수를 산출하여 전번 본 연구진에서 사용한 시간 영역에서의 감쇠 계수 영상 방법^{1,5)}에 의해 산출한 감쇠계수를 비교한 결과 안정성이 향상됨이 보여 졌다.

생체 조직에 의하여 반향된 초음파 신호 형성은 아직 정확히 밝혀 지지 않은 조직과의 작용에 의하여 이루어 진다. 지금까지 알려진 바에 의하면 초음파 신호는 조직을 통과함에 따라 조직내의 산란체와 전달 매체에 의한 산란과 흡수를 통한 에너지 손실 정도는 조직의 성분과 구조 변화에 따라 달라 질 수 있으므로 이는 병변에 의한 조직 변화를 관찰하는 데 이용될 수 있다. 그러나 산란에 의한 초음파 신호 변화는 불규칙 현상(random phenomenon)이기 때문에 초음파 신호를 측정할 때 위상면에서 매번 다르게 나타나고 그 산란체의 불규칙한 분포에 의한 특성이 주파수 영역에서 나타난다. 이는 초음파에 의한 조직 특성 변수산출에 있어 산란체에 대한 정보를 주는 역할을 하지만 산란체에 대한 정보가 아닌 다른 조직 특성 변수 산출에 대한 안정성 문제를 수반하게 한다. Jafar 등은 물질 내의 산란체에 대한 정보를 분포로 인해 변형된 초음파 신호를 복원시켜 그 물질 특성을 밝히는 데 좋은 결과를 보여 졌다.⁴⁾ 본 연구에서는 이를 기반으로 하여 산란에 의한 영향을 제

거한 흡수 현상에만 의존한 신호 성분을 deconvolution 방법인 homomorphic process를 통해 추출하여 그로부터 감쇠 계수를 산출하였다.

2. 초음파 신호 구성 모델과 감쇠 계수 산출 방법

초음파 신호에 대한 조직의 감쇠 작용을 표현하기 위해 초음파 신호는 파가 진행되는 서로 다른 지역에서 다음과 같이 모델화할 수 있다.^{6,8)}

-----> 초음파 진행 방향

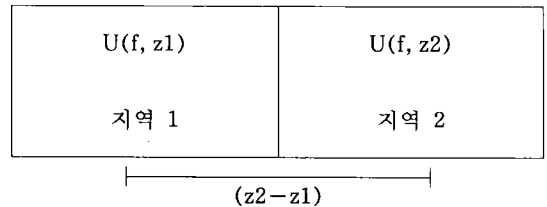


그림 1 주파수 영역에서 초음파 신호 형성 모델

Fig. 1 Model of ultrasound signal in frequency domain

$$U(f, z_2) = U(f, z_1) \exp(-2\alpha(f)(z_2 - z_1)) \quad (1)$$

$U(f, z)$: 위치 z 에서의 초음파신호 power spectrum

α : 감쇠계수

f : 주파수

주파수 의존 감쇠 계수의 경우 그 의존도는 사용된 파의 파장과 산란체의 크기와의 관계에 따라 달라지지만 주로 일치 관계로 가정된다.^{6,8)} 위 가정하에 감쇠 계수는 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다. (1)식 양변에 적분을 취하면 다음과 같이 주어진다.

$$\int_{f_-}^{f_+} u(f, z_2) df = \int_{f_-}^{f_+} u(f, z_1) \exp(-2\alpha(f)(z_2 - z_1)) df \quad (2)$$

적분 범위는 사용된 초음파의 주파수 영역으로 사용된다.(2MHz-4MHz)

위식에서 $\alpha(z_2 - z_1) < 1$ 이므로 Taylor series를 사용하여 위 식을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\int_{f_-}^{f_+} u(f, z_2) df = \int_{f_-}^{f_+} u(f, z_2) df - 2(z_2 - z_1) \int_{f_-}^{f_+} \alpha(f) u(f, z_1) df \quad (3)$$

(3)식으로부터 감쇠 계수는 다음과 같다. ($\alpha = \alpha \cdot f$)
 (감쇠 계수의 단위 : Neper/cm/MHz, 1 Neper=8.686 db)

$$\alpha_0 = \frac{[T(z_1) - T(z_2)]}{(z_2 - z_1) \int_{f_1}^{f_2} f u(f, z_1) df} \quad (4)$$

$$T(z) = \int_{f_1}^{f_2} u(f, z) df$$

그러므로 감쇠 계수는 두 지역(위치 z_1, z_2)에서 얻어진 각 스펙트럼의 주어진 주파수 영역까지의 적분값 차이와 처음 지역(위치 z_1)의 일차 모멘트에 의해 구해진다.

Kuc에 의해 제시된 spectral difference 방법⁶⁾은 linear regression model를 통해 감쇠 계수를 얻어내는 데 이에 따른 fitting error가 발생하여 데이터의 안정성에 나쁜 영향을 준다. 식 4에 의한 감쇠 계수 산출 방법은 얻어진 스펙트럼에서 직접 감쇠 계수를 계산하므로 이러한 error가 제거되는 장점이 있다.

3. Homomorphic process

Homomorphic process는 지진파 연구와 해저 탐사를 위한 초음파 연구 등 time-delay되어 도달하는 신호를 분석하는 데 사용되었다. 본 연구에서 사용된 homomorphic process는 Jafar연구의 결과를 기초로 하여 수행하였다.⁴⁾

시간 영역에서 초음파 신호는 전달 매체와 시스템의 특성이 반영된 평균적인 입력 신호와 산란체의 impulse response함수와 convolution으로 주어진다고 모델화할 수 있다. 즉 다음과 같이 주어진다.

$$R(t) = \langle u(t) \rangle * \sum_{i=1}^N A_i(t-t_i) \quad (5)$$

* : convolution

$\langle u(t) \rangle$ 는 초음파 transducer를 비롯한 기기의 전달함수와 전달매체의 음향학적인 특성을 반영한다. A_i 는 산란체의 반사세기를 반영하는 random variable이다. t_i 는 산란체의 전달 매체 내의 분포를 의미한다. N 은 수집된 신호의 지역 내의 잔체

산란체의 갯수이다. 이러한 가정하에 $\langle u(t) \rangle$ 는 homomorphic process를 통하여 deconvolution될 수 있다. 즉 cepstrum영역에서 흡수성분과 산란체에 의한 신호 성분이 분리되는 데 산란체에 의해 형성된 신호의 시간 지연은 $\langle u(t) \rangle$ 의 시간 지연보다 길므로 shortpass lifter를 사용하여 이를 제거할 수 있다.^{3,4)}

구체적인 homomorphic process는 다음 그림2에 나타나 있다.

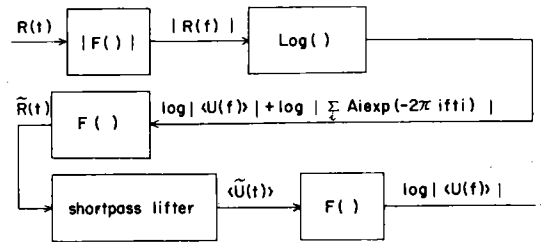


그림 2 Homomorphic process의 흐름도

Fig. 2 Block diagram of homomorphic process

위 과정에서 shortpass lifter의 범위는 입사된 파의 크기와 관계 하였다.(약 1μsec)

4. 감쇠 계수 영상 방법

이 방법을 통한 시간 영역에서의 감쇠 계수 산출은 본 연구진에서 전번에 수행한 방법과 같다.^{1,5)}

5. 팬텀 실험

초음파 신호를 얻기 위하여 본 연구진에서 제작된 범용의 초음파 기기를 사용하였다. 사용된 transducer의 중심 주파수는 3.5MHz이다. 신호 처리를 하기 위하여 386컴퓨터 시스템과 본 연구진에서 제작된 신호 수집 장치를 사용하였다. 신호는 20MHz의 sampling rate와 해상도 8bit의 A/D converter에 의해 컴퓨터에 저장된다. 팬텀은 직육면체 모양으로 실리콘으로 만들었다(크기 : 4.7×7×9cm). 신호 수집은 같은 실리콘 재료에서 10번을 약간 다른 위치에서 수행되었다. 한 데이터의 크기는 각 주사선마다 4096개의 데이터를 포함한다.

다(4096개×63주사선). 즉 한번의 실험은 63개의 감쇠 계수를 측정하게 한다. 실험 장치는 그림 3과 같다.

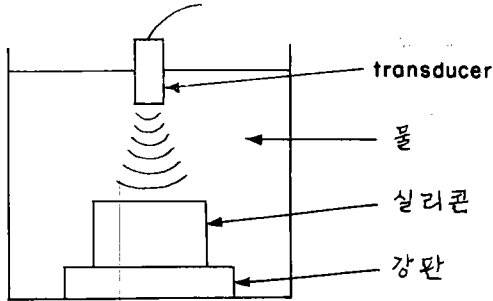
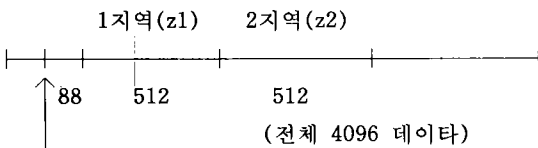


그림 3 실험 장치

Fig. 3 Experiment setup

5. 1 감쇠 계수 산출을 위한 데이터 영역 선택

실제 팬텀으로부터 나온 한 주사선의 초음파 신호에서 다음과 같이 두영역으로 나누어 각각 512개의 데이터에 대한 푸리에 변환을 시행하여 스펙트럼을 얻었다. 얻어진 스펙트럼을 본 알고리즘[식 4]에 적용시켜 감쇠 계수를 산출하였다.



데이터 시작점

그림 4 신호처리를 위한 데이터 영역 선택

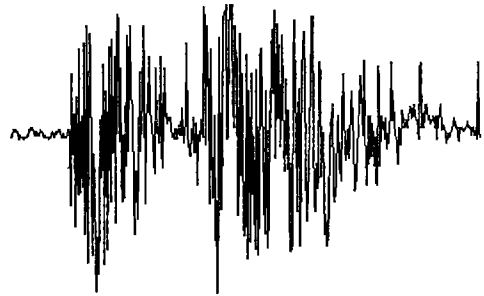
Fig. 4 Data selection for signal processing

강한 반사에 의한 영향을 피하기 위해 신호 처리 부분을 앞부분 88개의 데이터 다음부터 시작하였다.

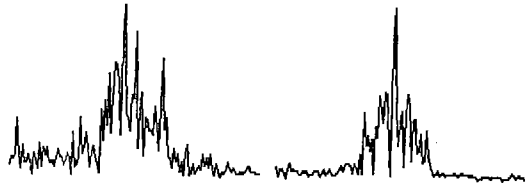
6. 결과 및 고찰

실리콘 팬텀으로부터 수집된 RF 신호와 homomorphic process를 하기 전과 한 후의 초음파 신호의 결과는 그림 5에 나타나 있다. 위 결과를 보면 homomorphic process는 원래 초음파 신호에 spe-

ctral smoothing의 효과를 나타내 줄을 알 수 있다. 이러한 결과는 결국 본 연구진에 의해 제시된 감쇠 계수 산출 방법에 있어서 그 값에 대한 안정성을 향상시켜 주는 사실로 나타난다.



a)



b)



c)

그림 5 a) RF신호 b) Homomorphic process하기 전의 power spectrum c) Homomorphic process한후의 power spectrum

Fig. 5 a) RF signal b) power-spectrum before homomorphic process c) power spectrum after homomorphic process

Homomorphic process를 통해 얻어진 power spectrum을 사용하여 본 알고리즘을 적용해 얻어진 감쇠 계수와 감쇠 계수 영상 방법에 의해 얻어진 감쇠 계수의 결과가 표1에 나타나 있다.

표 1 실리콘 팬텀의 감쇠 계수

Table 1. Attenuation coefficient of silicon-made phantom (단위 : dB.MHz/cm)

횟수\방법	본 알고리즘	감쇠계수 영상방법
1	0.11±0.05	0.11±0.09
2	0.10±0.04	0.12±0.08
3	0.13±0.07	0.12±0.08
4	0.09±0.05	0.13±0.11
5	0.09±0.05	0.12±0.10
6	0.08±0.04	0.11±0.10
7	0.10±0.06	0.12±0.11
8	0.09±0.05	0.11±0.08
9	0.09±0.05	0.11±0.06
10	0.08±0.04	0.12±0.08

위 결과에 의하면 감쇠 계수 영상 방법에 의한 감쇠 계수가 본 알고리즘에 의한 감쇠 계수의 값보다 크게 나타나고 그 편차 또한 크게 나타남을 보여 주고 있다. 이러한 사실은 본 알고리즘에 의한 감쇠 계수 산출에 의해 그 값에 대한 안정성이 향상됨을 보여 주고 있다. 감쇠 계수 영상 방법에 의해 산출된 감쇠 계수의 값의 크게 나타남은 이 경우 산란과 흡수과정을 모두 고려한 까닭이라 생각된다. 그러나 산란에 의한 영향을 제거함으로써 안정성이 향상된 본 알고리즘에 의해 산출된 감쇠 계수의 편차가 그리 작지않음을 알 수 있다. 또한 homomorphic process에서 shortpass lifter의 크기는 감쇠 계수 산출에 영향을 주는 것을 알 수 있었다. Shortpass lifter는 lowpass filter와 같은 개념으로써 Homomorphic process에서 가장 중요한 과정은 cepstrum 영역에서 shortpass lifter의 설계 과정이다. 본 연구에서 사용된 Shortpass lifter는 흡수 성분만의 초음파 성분을 얻기 위해 사용되는 데 이는 얻고자 하는 정보에 따라 달라 질수 있다^{3,4)}. 그러므로 간 조직에 대한 정확한 정보와 조직 특성 변수의 안정성을 얻기 위해서는 간 조직에 대한 좀 더 정확한 모델 설정에 대한 연구와 그에 따르는 shortpass lifter의 모양과 크기 설정이 요구된다. 실리콘 팬텀과 같은 균일한 물질이 아닌 실제 불균일한 생체 간 조직에 대한 본 알고리즘에 대한 적용 문제는 다른 조건(혈관과 같은 강한 산

란체의 존재)이 많이 제기되므로 추후 계속되는 연구에 의해 수행될 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Eugene Walach et al., "Local Tissue Attenuation Images Based on Pulsed Echo Ultrasound Scans", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol.36, No.2, 1989.
- 2) Jafar Sanie and Nihat M.Bilgutay, "Quantitative grain size evaluation using ultrasound backscattered echoes", J.Acoust.Soc.Am., Vol. 80, No.6, 1986.
- 3) Donald G. Childers et al., "The cepstrum : A guide to processing", Proceedings of the IEEE, Vol.65, No.10, 1977.
- 4) Jafar Sanie, Tao Wang, and Nihat M. Bilgutay, "Analysis of Homomorphic Processing for Ultrasonic Grain Signal Characterization", IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency control., Vol.36, No.3, 1989.
- 5) 송인찬, 민병구, "간조직 감쇠계수의 초음파 영상", 의학학회지 Vol.11, No.2, 1990.
- 6) B J Oosterveld et al., "Ultrasound attenuation and texture analysis of diffuse liver disease : methods and preliminary results", Phys. Med., Biol., Vol.36, No.8, 1991.
- 7) Gerard E.Sceefe et al., "Tissue characterization based on scatterer number density estimation", IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol.35, No.6, 1988.
- 8) Roman Kuc, "Bounds on estimation the acoustic attenuation of small tissue regions from reflected ultrasound", Proceedings of the IEEE, Vol.73, No.7, 1985.
- 9) T. Lin, J. Ophir, and G. Potter, "Frequency-dependence ultrasonic differentiation of normal and diffusely diseased liver", J. Acoust..Soc. Am., 82(4), 1987.