

# Wavelets 변환을 이용한 초음파 신호의 분석 ( I )

홍세원, 윤세진, 최홍호  
인제대학교 보건대학 의용공학과

## An analysis of Ultrasound signals using wavelet transform ( I )

S. W. Hong, S. J. Yoon, H. H. Choi

Department of Biomedical Engineering, College of Health, Inje University.

### Abstract

In this paper, we considered newly the use of wavelet transform in order to improve the troubles of the established methods for the analysis of ultrasound echo signals. We made the phantoms of 13.2g, 19.8g, 26.4g, 33.0g, 39.8g by ourselves, and extracted the only pulse-echo signals that reflected through the mediums using windowing technique. For determining the characterized value, the signals were wavelet transformed, absolved, and integral calculated. As the result, we acquired characterized value of each signals, and acknowledged the differences among them except of some datas. But this will be improved by advanced work as selecting a proper mother wavelet, a method of making phantoms, correcting the various errors, etc. We expect that wavelet transform is powerful for analysis of ultrasound signals.

### 서론

1950년경 초음파가 처음으로 진단의학분야에 응용된 이래 인체에 무해하고, 비파괴적이며, 실시간 처리가 가능하다는 점에 힘입어 초음파를 이용하여 생체조직으로부터 유용한 임상적인 정보를 얻어내려는 노력이 여러 각도에서 시도되어 왔다. 그러나, 초음파의 영상부문에서 해상도의 문제로 인해 한계에 도달하자, 이러한 문제점들을 극복하기 위한 방법의 하나로 초음파 반사신호를 이용하여 조직의 정량적 특성을 판별하려는 시도가 되어졌는데 이러한 조직 특성화의 연구는 지금까지도 활발하게 계속되어져 오고 있다.

현대에 이르러 식생활의 향상으로 인한 과영양화로 지방간의 증가가 예상되며, 실제로 많은 병례가 보이고 있다. 지금까지 진단은 혈액학적 진단, 초음파 검사, X-ray, CT검사등이 있지만, 그 중 초음파

검사가 가장 민감하다고 잘 알려져 있다.

종래의 B-mode 단층상 검사는 정성적 판단은 가능하지만, 지방간내의 지질함유량을 측정하는 중증도 평가는 어렵다고 생각된다. 더군다나 B-mode 화상의 pattern 판정법은 검사자 자신의 개인적 주관에 개입될 여지가 많고, 여러 기술상의 문제도 가지는 만큼 원하는 만큼의 정확한 data를 기대하기는 힘들다.

따라서, 초음파의 물리학적인 parameter를 측정하는 조직성상 진단에 관계되는 검사는 종래의 B-mode 상에 더하여 새로운 정량적인 정보를 얻을 수 있어야 한다.

생체조직내 초음파의 특성중에는 주파수 의존 감쇠(FDA), 주파수 의존 산란, 조직 구조, 음속, 온도 의존성등의 여러 parameter들이 있다. 특히 이들 중에서도 FDA는 높은 가치를 지니며 화상 재구성 뿐만 아니라 임상에서도 중요시되고 있다. 감쇠계수의 추정 방법에는 투과파에 의한 추정과 반사파에 의한 추정방식의 두가지가 있고, 이 중 반사신호를 이용한 감쇠계수의 추정에는 spectral shift법과 spectral difference법이 있다. spectral shift법은 반사신호의 투과거리에 대한 중심주파수 편이값을 거리에 대한 기울기를 구하여 감쇠계수를 추정하는 방법인데 이것은 피측정매질이 동종매질이고 반사가 비교적 단순할 때에는 추정이 잘 되는 이점이 있으나, 처리할 정보량이 방대해지고, 스펙트럼 추정시 주파수 스펙트럼이 갈라지는 현상인 scalloping의 제거등으로 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 또 spectral difference법은 임의의 매질에 입사된 파와 그 반사파의 스펙트럼을 각기 구한 후 그 차분을 구하여 감쇠계수를 추정하는 방식으로 이 때, 사용되는 입사파는 광대역의 스펙트럼을 갖는 펄스형의 신호가 바람직하지만, 실제로는 불가능하기 때문에 대역제한이 있는 입사파를 사용하여 추정하게 된다. 이 방식은 실제 생체내의 경우 반사형태가 매우 불규칙하여 많은 잡음의 영향이 발생하므로 문제점이 있다.

본 연구는 지방간에 대한 조직특성연구의 선행연구의 일환으로서, 전술했던 이러한 문제점들을 줄이고자 wavelet transform이라는 기법을 사용하여 반사 초음파 신호를 분석하고자 하였다.

### Wavelet Transform

고전수학에서 신호의 선형적 표현을 다루기 위해 연구되었던 이 이론은 80년대에 들어서면서 다양한 신호처리 분야에서 연구되었고, 또한 의용생체신호의 신호처리분야에서도 널리 이용되어져 오고 있다.

stationary signal을 변환하기 위한 방법으로는 Fourier변환이 가장 잘 알려져 있는데, 이것은 무한 주기의 정현파 기저함수로 신호의 내적을 계산하는 것이다. 따라서 신호가 stationary 성분들로만 구성되어 있다면 잘 수행된다. 실제로도 신호해석의 용이함으로 인해 대부분의 신호들을 정상신호로 가정하여 왔으나, 사실상 신호들은 많은 적든 nonstationary 성분들을 포함하고 있을 수밖에 없기 때문에, 이를 위한 해석으로는 다른 방법이 요구되어져 왔다. 그래서 이들을 보완할 수 있는 wavelet transform이 소개되었다. 이 기법은 높은 주파수에 대해 분석할 때는 시간축에서 창의 크기가 감소하여 좋은 시간 국부성(localization)을 보이고, 주파수 축에서는 창의 크기가 증가하여 넓은 주파수 대역을 나타낸다. 또한 nonstationary signal들 가운데에서 스펙트럼 특성이 아주 짧은 시간동안 변화하는 신호의 국소화 문제에서도 정도(精度) 제공이 가능하다.

이렇듯이, wavelet transform은 그 가변적 분해능으로 인해 nonstationary signal을 적절하게 변환하여 해석하는 것이 가능한 것이다.

wavelet transform은 변수 a와 b가 연속적인 경우 continuous wavelet transform, 이산적인 경우 discrete wavelet transform, 이 중 이산적인 경우에는 비직교기저와 직교기저등 각각 3가지로 나눌 수 있다. 생체의용분야에서는 직교 wavelet transform이 가장 널리 이용되고 있다.

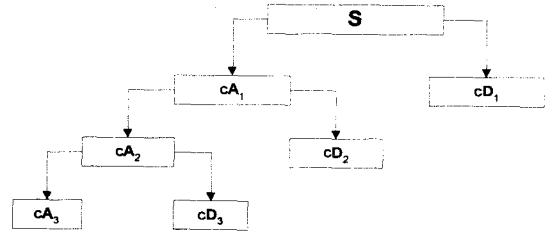
wavelet이란  $\psi(x)$ 로 정의되는 mother wavelet을 변이시키고 확대/축소 시킴으로서 얻어지는 함수들의 집합이다. 가령, 어떤 신호  $f(x)$ 의 wavelet변환은 다음식과 같이 나타내어진다.

$$\text{Wave } f(a, b) = \frac{1}{|a|^{1/2}} \int \psi\left[\frac{x-b}{a}\right] f(x) dx$$

여기서  $\psi$ 는 mother wavelet(prototype)이라고 한다. 또한, 매개변수 a는 크기인자로 wavelet기저의 크기를 조정하고, 매개변수 b는 시간축상에서의 변이를 나타내므로 이를 조정하여 wavelet 기저를 원하는 곳에 놓을 수 있다.

본 연구에서는 multi-level wavelet decomposition을 이용하여 신호처리를 하였는데 이 기법의 개요를 <Fig.1>과 같이 나타낼 수 있다. <Fig.1>에서 third-level decomposition의 모든 component들의 계수들은 하나의 vector, C로 사슬처럼 연결되어있다. 여기서 vector L은 각 component의 길이를 부여하게 된다. 즉, multi-level wavelet decomposition은 함수 f를 서로 다른 scale에서의 근사(Approximation) 함수집합의 계층구조로 구성하는 것이다.

본 연구에서는 초음파 반사 에코 신호에 multi-level decomposition을 시킴으로서 다중으로 분해된 분해신호로부터 기존의 방법들에서는 발견할 수 없었던 미묘한 조직특성의 차이를 구분하고자 하였다.



<Fig. 1> Multi-Level Decomposition

### 실험방법

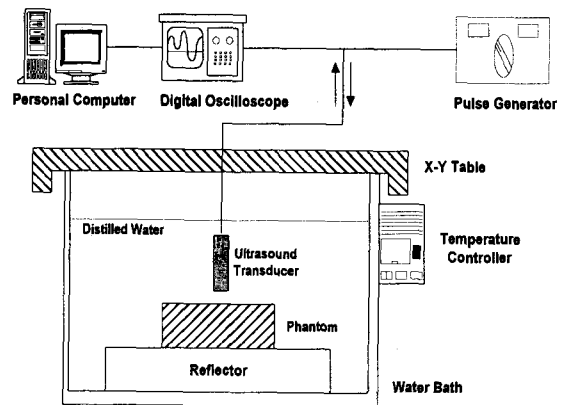
먼저, 한천과 증류수, 그리고 graphite를 준비하였고, 가로, 세로 각각 5cm, 높이 1cm의 아크릴 틀을 제작하였다. 한천과 graphite는 각각 전자저울로 그 중량을 정확하게 측정하였다. 비이커에 증류수를 부어서 증탕으로 덩힌 후 한천과 graphite를 넣어서 1시간동안 약한 불에 가열시켰다. 그 동안 시료를 계속 저어주어서, 성분들이 가능한한 균일하게 섞이도록 하였다. 냉각은 상온에서 행하였으며, 먼저나 기타 이물질들을 막기위해 외부와 차폐시켰다. 그 구성들이 <table 1>에서 보이고 있다.

<table 1> 시료의 구성 물질

	증류수(ml)	Graphite(g)	분말한천(g)
A	200	13.25	4
B	200	19.8	4
C	200	26.4	4
D	200	33	4
E	200	39.6	4

측정시에는 transducer의 위치제어장치인 X-Y table을 사용하여 초음파 탐촉자의 미동을 방지하고 수평을 유지하면서 움직이도록 하였다.

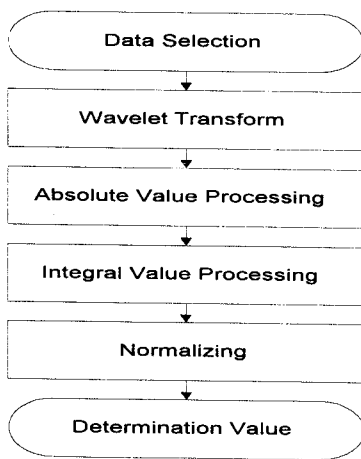
transducer는 2.25MHz의 원형 단편 진동자를 사용하였고, 항온수조의 증류수내에서 반사신호를 획득하였다. 수조내 물의 온도는  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 로서 일정하게 유지하였고, 가능한한 기포가 발생하지 않도록 하였으며, 반사체로는 두께 5cm인 알루미늄판을 사용하였다. <Fig.2>에 실험장치의 구성도를 보이고 있다.



<Fig.2> 실험 장치 구성도

신호처리 과정 및 결과

X-Y table에 부착된 초음파 transducer로부터 발사된 초음파는 시료를 통과한 후 반사판에서 반사되며, 반사된 초음파 에코신호를 동일한 transducer로 수신하여 디지털 오실로스코프에 나타낸 후 저장하였다. 이 data를 다시 컴퓨터에 off-line으로 저장하여 신호처리하였다. 사용한 초음파 주파수는 2.25MHz이며, sampling frequency는 20MHz이고, transducer에는 80V의 부의 펄스를 가하여 초음파를 발생시켰다. 신호의 처리는 주로 Excel과 Matlab의 Wavelet tool에서 하였다. <Fig.3>에서 신호처리과정의 flow chart를 보인다.



<Fig.3> 신호처리 Flow chart

디지털 오실로스코프를 통해 얻어진 데이터를 wavelet transform의 db(N=5)를 이용하여 level5까지 decomposition시켰다. 이 때, 수신신호는 10개로서 모두 평균시켜, 결과적으로 얻어지는 신호를 수신신호로 간주하였다.

신호의 Daubechies wavelet은 실공간에서 support compact라는 뚜렷한 특성을 가지지만, wavelet의 미분가능회수가 증가되면 support가 커지고 함수형태는 좌우비대칭으로 된다. 이 특성을 식으로 적어보면 다음과 같다.

$$\Psi(t) \in c^{\lambda(N)}(R), \quad \lambda(N) \approx 0.3489N$$

$$supp \Psi(t) \subset [1-N, N], \quad \text{for large } N$$

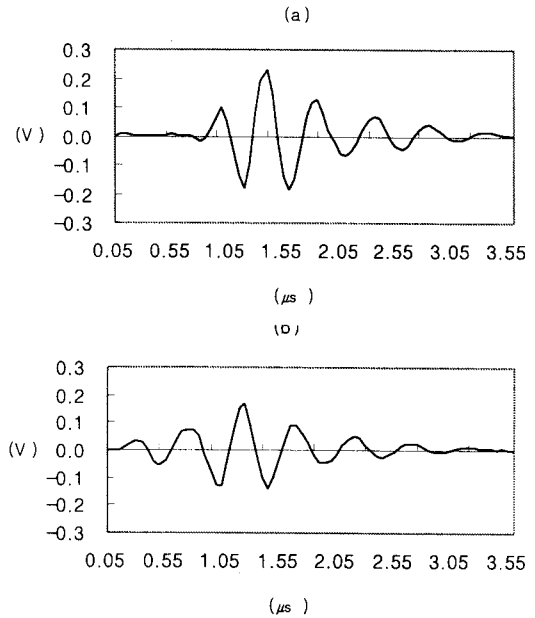
$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) t^m dt = 0, \quad \text{for } 0 \leq m \leq N-1$$

이렇게 multi-level decomposition하여 얻어진 level 5의 data중 datail 4의 data에 관심을 두었다. 그 이유로는 신호처리의 결과, level 4의 detail신호에서부터 각 시료들간의 의미있는 차이를 볼 수 있기 때문이었다. 그 다음으로 datail 4의 data를 적분하기 위해 먼저 절대값을 취한다음, 그 신호들을 적분하였

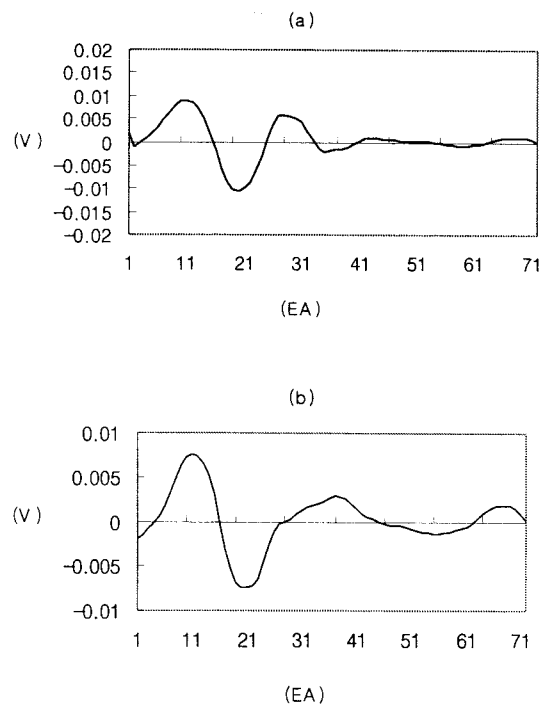
다. 적분이후 나온 값들을 각각의 특성값으로 간주하고 그 신호들을 비교하였다.

<Fig.4>는 수신된 신호를 관심부분만 windowing 시킨 결과이다. 지면상 모두는 보이지 못하고 몇 개의 신호만 보인다. 이 중 (a)는 시료를 거치지 않고 순수하게 반사판으로부터 반사되는 신호이고 (b)는 13.2g의 시료를 통과하여 나온 신호이다.

다음의 <Fig.5>는 wavelet transform한 detail 4의 결과이다. 마찬가지로 (a)는 시료가 없을 때의 반사체로부터의 신호이고 (b)는 13.2g의 graphite가 함유된 시료를 통과한 신호이다.



<Fig.4> Windowing 되어진 수신 신호



<Fig.5> Level 4의 detail 신호

wavelet 변환되어진 신호에 절대값을 취한 다음, 각각을 적분시켰다. 이렇게 해서 나오는 값들을 그 신호의 특성값으로 간주하였다. 그 결과가 다음의 <table 2>에서 보이고 있다.

<table 2> wavelet 변환신호의 적분결과

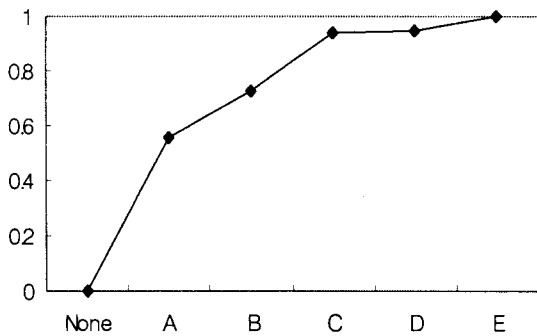
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
A	0.00259	0.00259	0.00259	0.00259	0.00192
B	0.00122	0.00122	0.02208	0.00161	0.00072
C	0.00087	0.01103	0.01494	0.0013	0.00071
D	0.00172	0.00968	0.01582	0.00092	0.00035
E	0.00184	0.01065	0.0088	0.00091	0.00031
F	0.00205	0.01017	0.00802	0.00082	0.00029

시료의 감쇠량과 wavelet신호처리결과와의 비교를 위하여 감쇠량을 측정하였다. 감쇠량의 측정법으로는 시간영역에서의 에너지분포 비교법을 사용하였다. 그 결과를 <table 3>에 나타내었다.

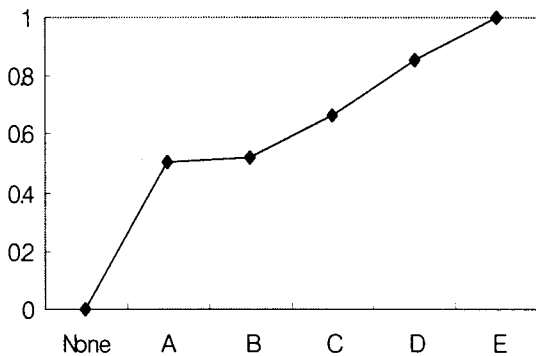
<table 3> 각 신호의 감쇠비

	A	B	C	D	E	F
감쇠비	0	4.1240	4.1911	5.418	6.9403	8.1266

이 두 결과들을 효과적으로 비교하기 위해 일련의 처리를 행하였고, 그 결과가 <Fig.7>과 <Fig.8>에서 보인다.



<Fig.7> level 4 detail signal



<Fig.8> 감쇠량의 감쇠비

### 결론

본 연구에서는 wavelet transform에 의한 초음파 에코 신호의 분석법을 제안하였으며, in vitro 실험을 통하여 제안 내용을 검증하였다. 각각 13.2g, 19.8g, 26.4g, 33.0g, 39.8g의 graphite와 4g의 한천, 그리고 증류수로 만들어진 5개의 시료들을 만들었고, 이들로 부터의 감쇠량에 대한 감쇠의 비와 wavelet을 통하여 얻어진 결과를 수치적으로 비교하였다. 연구 결과 wavelet 변환에 의한 방법이 감쇠의 정도를 정량화 시키는데 한 방법이 될 수 있으며 그 분해능 면에서 감쇠량 측정법보다 우수하다는 것을 알 수 있었다. 여기서, 시료들사이의 차이가 비교적 적게 나온 것들은 보다 더 적절한 mother wavelet의 선택, 시료제작 방법의 개선, 그 외 여러 가지 예러들의 교정등으로서 충분히 개선될 수 있으리라 생각된다.

차후연구로서 반사법외에도 투과법에 의한 실험, 음속과 같은 다른 초음파 파라메타의 측정등을 비롯하여 동물 실험이 요구되어진다. 그와 더불어 많은 종류의 시료 제작과 시료 사이의 성분 차이를 줄인다면 더 정도가 높고 세밀한 data를 얻을 수 있을 것이다.

이렇게 얻어진 data들은 각 인체조직의 병변특성의 판별에 있어 기초자료가 되리라 생각되어진다.

### 참고 문헌

1. 谷口信行, 伊東紘一, 森博昭, "超音波組織性狀診斷に關する研究. -ラット脂肪肝の周波數依存減衰およびエコー輝度の計測-", Jpn. J. Med. Ultrasonics, Vol.20, No.10, pp. 574-588, 1993
2. Metin Akay, "Wavelets in Biomedical Engineering", Annals of Biomedical Engineering, Vol.23, pp. 531-532, 1995
3. 최홍호, "超音波에 의한 生體組織의 溫度特性化에 관한 研究", pp. 3-4, 24, 1991
4. 김희준, "웨이블렛 변환에 의한 파형해석", Econ. Environ. Geol. Vol.28, No. 5, pp. 527-534, 1995
5. 허웅, 홍승홍, "Spectral Difference법에 의한 생체에서 초음파 주파수의존 감쇄기울기 추정", 전기학회논문지, 제33권 제12호, pp. 1-5, 1984
6. Ernest L. Madsen, James A. Zagzebski, Richard A. Banjavie, and Ronald E. Jutila, "Tissue mimicking materials for ultrasound phntoms", Med. Phys. Vol.5(5), Sep./Oct., pp. 391-394, 1978