

## 골다공증 진단에서의 초음파 속도 파라미터를 이용한 2차원 골 영상의 재구성

김 주 영, 윤 세 진, 최 흥 호  
인제대학교 의용공학과  
전화 : 055-320-3639 / 핸드폰 : 016-9833-5543

### 2D Image Reconstruction of Bone Using Ultrasound Velocity in Diagnosing Osteoporosis

Ju Young Kim, Se Jin Yoon, Heung Ho Choi  
Dept. of Biomedical Engineering, Inje University  
E-mail : zlovelovez@hotmail.com

#### Abstract

In this paper, it is fundamental purpose that finding the relationship between quality and structure of bone, by reconstructing the bone structure image, using ultrasound.

In this study, longitudinal transmission method was used for experiment as basic measuring method, which is known as ultrasonic diagnosis method for human tibia. And using ultrasonic velocity parameter that can be detected and calculated with the transmitted signal, new estimated parameter, called Bone Area Fraction, is applied to reconstruct image. Through the *in-vitro* experiment in cattle's tibia bone, basic sectional image of bone which is similar in real bone structure image can be reconstructed.

#### I. 서론

골의 강도는 골량(bone mass) 이외에도 골의 구조, 질 등에 영향을 받는다. 기존의 골밀도 측정기로는 이러한 요소들을 평가할 수 없었으나 최근 초음파를 이용하여 이를 측정하는 방법에 대한 연구가 계속되고 있다. 초음파를 이용하는 방법은 방사선 피폭이 없고 골의 구조에 관한 정보를 얻을 수 있기 때문에 골다공

증 환자의 평가에 유용하게 사용될 것으로 기대되고 있다.

본 논문에서는 뼈를 통해 전파하는 초음파의 속도 차이로부터 얻은 뼈의 2차원적인 단면의 면적을 기초로 뼈 조직의 영상 재구성 알고리즘을 개발하고자 하였다. 이 기술은 단순히 수치적으로 골밀도를 측정함으로써 골다공증의 정도를 진단하는 기존의 진단기의 한계에서 벗어나 진단 시 환자의 골 구조를 추측하여 평가함으로써 보다 한 차원 높아진 진단기의 개발에 기초가 될 것이다.

#### II. 이론

##### II-1. Bone Area Fraction

뼈를 구성하는 물질은 크게 고체 성분인 bone substance와 액체 성분인 bone marrow라 할 수 있다. 초음파는 전파 특성상 액체에서 보다 고체에서 더 빠르게 전파된다. 음속(wave velocity)은 뼈의 밀도(bone density)와 그것의 구조의 영향을 받는다. 이때 순수 뼈 성분(bone substance)의 길이를 구하기 위해 리모델링(remodeling)한 것이 그림 1이다. 그림 1(a)은 실제 뼈에서의 전파 모델을 간략하게 나타낸 것이다. 그림에 나타난  $b_1 \sim b_4$ 는 초음파가 전파하는 순수 뼈 성분의 길이이고, 그것을 뺀 나머지는 뼈 이외의 성분(고

수 등)을 전파하는 길이라고 하면, 아래의 모델 (a)를 (b)와 (C)로 변형시킬 수 있을 것이다. 결과적으로 입사된 초음파는  $V_2$ 의 음속으로  $b$ 의 거리를 전파하고,  $V_1$ 의 음속으로  $(L-b)$ 의 거리를 전파한다고 할 수 있다.

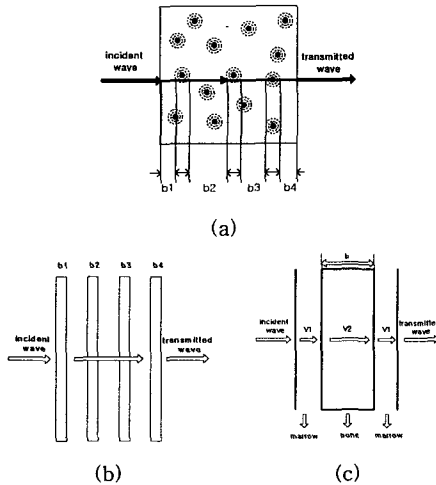


그림1. 뼈 성분의 길이 측정을 위한 리모델링

그림 1로부터 식 1이 유도되고, 이 식을 이용하여 순수 뼈 성분(bone substance)을 따라 전파된 총 길이를 계산할 수 있다.

$$b = \frac{(t_1 - t_2)}{\left[ \left( \frac{1}{V_2} \right) - \left( \frac{1}{V_1} \right) \right]} \quad (1)$$

$V_1$  : marrow 에서의 전파 속도, 1540m/s  
 $V_2$  : 뼈 성분에서의 전파 속도, 2986m/s  
 $t_2$  : 길이가 L인 뼈 시편을 통해 초음파 전파시간  
 $t_1$  : marrow로 구성된 길이 L의 시편을 전파하는 시간

이때의  $t_1$ 은 식2를 이용하여 구할 수 있다.

$$t_1 = \frac{L}{V_1} = \frac{L}{1540(m/s)} \quad (2)$$

여기서, 전체 시편 길이에 대한 뼈 성분의 길이 비 (C)는  $C=b/L$ 에 의해 계산될 수 있다. 따라서, 2차원적인 뼈의 단면이 등방형 구조라 가정하면,  $S=C^2$ 이다. 이때 구해진 S는 전체 뼈 시편의 단면적에 대한 뼈 성분만의 단면적의 면적 비이며, 이 값을 bone area fraction이라 한다. 이렇게 구해진 면적 비 S는 2차원적인 뼈 구조의 영상을 재구성할 때 파라미터로 이용되며, 면적 비에 따라 영상에서 뼈가 차지하는 부분과 다공이 차지하는 부분의 비가 결정된다.

## II-2. 골 영상의 재구성

2차원적인 뼈 구조의 단면을 bone area fraction을 바탕으로 구현하기 위한 기본적인 개요는 다음과 같다. 먼저 바탕이 되는 기본 패턴을 만들고, 그 위에 뼈가 차지하는 비율에 맞추어 다공을 형성한다. 이러한 영상의 재구성은 프로그래밍을 통하여 이루어졌다.

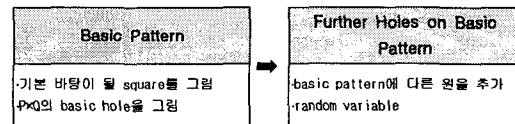


그림 2. 영상 재구성의 개요

## II-3. 프랙탈 차원

프랙탈 구조는 존재하는 공간에서 채움의 정도와 복잡성을 나타내는 프랙탈 차원(fractal dimension)으로 평가되며, 표면 거칠기와 같은 미소 구조부터 지형과 같은 확대된 구조까지 복잡한 형상을 해석하는 유용한 수단으로 사용된다. 본 연구에서는 재구성된 영상과 실제 영상 사이의 구조적인 비교를 위한 파라미터로서 box-counting을 통해 계산된 프랙탈 차원을 이용하고자 하였다. box counting은 프랙탈 차원을 계산하기 위한 가장 대표적인 알고리즘으로써 측면의 길이  $\epsilon$ 와 비어있지 않은 상자 수  $N(\epsilon)$ 의 관계를 이용하는 방법으로 아래의 식 3과 같이 나타낸다.

$$D_B = - \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log M(\epsilon)}{\log \epsilon} \quad (3)$$

본 연구에서는 winfeed 프로그램을 사용하여 영상에서의 프랙탈 차원 값을 구하였으며, 이렇게 구해진 차원은 골질의 유사성을 검증하는 데 유용한 파라미터가 되었다.

## III. 실험

### III-1. in-vitro 실험

소의 tibia bone을 절단하고, 트리클로로에틸렌용액( $CHCl_3$ , 99.5%)을 이용하여 defatting 처리를 한 후, 차아염소산나트륨 용액( $NaClO$ , 10%)에 각각 24시간, 48시간, 72시간 반응시켜 인위적인 골다공증을 유발시켜 시켜 시편을 제작하였다.

실험에 있어서 데이터 수집을 위해 pitch-catch 방식

을 사용하였고, 초음파 센서는 1MHz(KB-Aerotech)의 원형 단일 진동자를 사용하였으며, 직접 제작된 펄스를 사용하였다. 수신된 신호는 처리를 위하여 디지털 오실로스코프(TEKTRONIX, TDS360)에 저장되었다. 측정 방식으로는 가로축 투과 방식과 세로축 전송 방식이 사용되었다. 그림 3과 4는 시편을 이용하여 초음파 전파 시간을 측정하는 방법을 나타낸 그림이다.

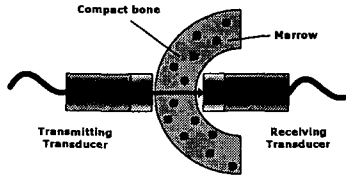


그림 3. 가로축에서의 전파 시간(속도)의 측정

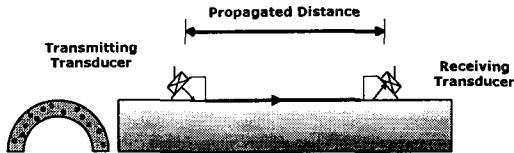


그림 4. 세로축에서의 전파시간(속도)의 측정

위의 그림 3과 4에서와 같이 전파 시간을 측정하여 다음의 각각의 수식 4와 5를 이용해 속도를 계산한다.

$$V = \frac{X}{t} \quad (\text{가로축에서의 속도}) \quad (4)$$

$$V_{x_2} = \frac{D_{x_2}}{\left(T_t - \frac{D_{(x_1+x_2)}}{V_w}\right)} \quad (\text{세로축에서의 속도}) \quad (5)$$

#### IV. 결과 및 고찰

##### IV-1. 전파 시간의 측정

그림 5는 파형에서 전파 시간을 측정하는 그림이다. 전파 시간은 두 가지 방식 모두 송신 펄스가 시작되는 부분에서 수신펄스가 시작되는 부분까지의 시간을 측정하였다.

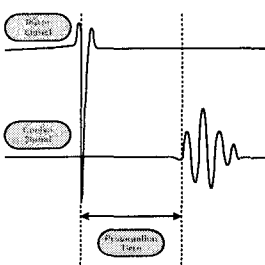


그림 5. 전파시간의 측정

##### IV-2. 데이터 분석

실험을 통해 획득된 데이터들은 AcqKnowledge 3.26을 사용하여 분석되었다. 그림 6은 가로축에서의 전파 속도, 그림 7은 세로축에서의 전파 속도, 그림 8은 두 속도 사이의 관계 그래프를 나타낸다. 실험 결과 화학 반응시간에 따라 즉, 골다공증의 정도가 증가함에 따라 속도가 선형적으로 감소하는 것을 볼 수 있었다.

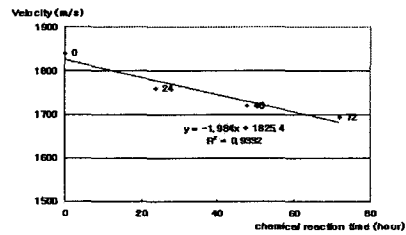


그림 6. 가로축에서의 전파 속도

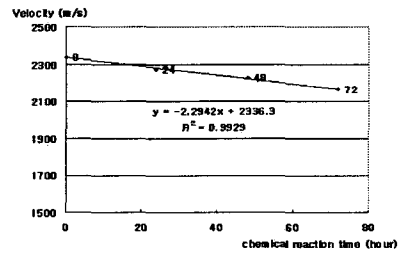


그림 7. 세로축에서의 전파 속도

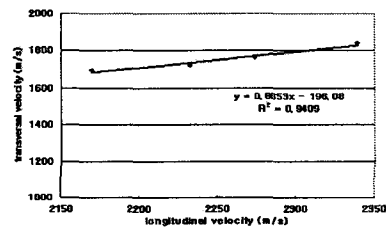


그림 8. 두 방식 사이의 속도관계

위의 관계 그래프를 통해 두 방식 사이의 관계식을 도출하였고, 이 식은 세로축 방식의 측정을 통해 가로축 속도를 유추할 수 있는 방법이 된다.

표 1은 측정된 속도와 전파 시간으로부터 식 1과 2에 의해 bone area fraction(S)을 계산한 것이다. 차아염소산 나트륨과의 반응시간이 길수록, S값이 감소하는 추이를 나타낸다. 이때, S값의 감소는 뼈에서의 bone substance의 감소를 나타낸다.

표 1. bone area fraction(S)

시편 time	A	B	C	D	Average
0시간	0.855502	0.85926	0.842136	0.840472	0.849343
24시간	0.853924	0.835037	0.836557	0.809212	0.833682
48시간	0.851996	0.832869	0.832706	0.788979	0.826638
72시간	0.842566	0.82872	0.816754	0.784688	0.818182

IV-3. 영상의 재구성

계산된 bone area fraction을 바탕으로 영상을 구현하였다. 실험 결과 시편의 현미경 관찰 시 50배율에서 골질 및 구조의 관찰이 용이하다고 판단하였으며, 이를 기준으로 재구성 영상의 배율을 광학 현미경 관측 사진에 맞추어 50배로 영상을 구현하였다. 구멍의 크기 또한 실제 뼈의 50배 영상의 크기를 기준으로 하였고, 영상의 크기는 실제 영상과 동일한 픽셀의 수로 맞추어 구현하였다. 그림 9는 재구성된 영상을 이용한 골다공증의 진행 예이다.

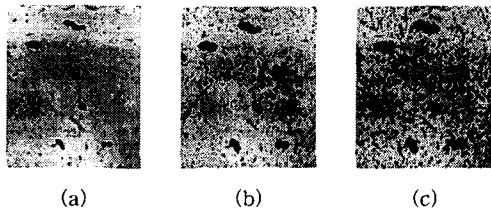


그림 9. 골다공증의 진행에 따라 재구성된 영상

IV-4. 실제 영상과 재구성 영상의 비교

앞서 설명한 바와 같이 재구성 영상은 bone area fraction을 바탕으로 한다. 이렇게 재구성된 영상의 비교는 box counting 방법을 통해 이루어졌으며, 그 유사성을 확인하였다. 그림 10은 실제 영상과 재구성 영상의 비교 그림이다.

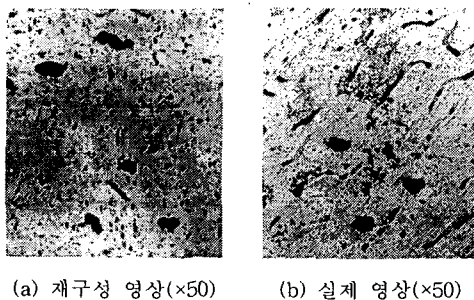
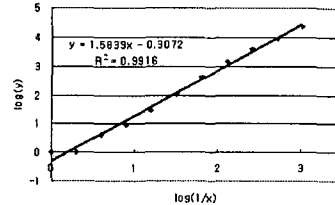
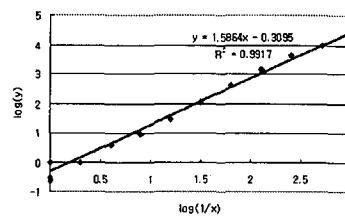


그림 10. S=76% 일 때, 재구성 영상과 실제 영상

그림 11은 그림 10의 (a)와 (b)의 각각의 영상에 대한 프랙탈 차원을 구한 결과이다. 두 영상은 동일한 S값 76%를 가지며, 계산 결과 재구성 영상의 차원은 1.5839, 실제 영상의 차원은 1.5864로 계산되었다.



(a) 재구성 영상의 프랙탈 차원



(b) 실제 영상의 프랙탈 차원

그림 11. box counting에 의한 프랙탈 차원

V. 결론

본 논문에서는 초음파 속도 파라미터를 이용하여 bone area fraction(S)이라는 새로운 파라미터를 적용하였고, 소의 경골을 대상으로 실험을 한 결과 실제 골의 구조와 유사한 기초 영상을 구현하였다. 그 결과, 속도 및 S의 감소에 따른 영상을 재구성하여, 골다공증이 진행된 영상을 추측할 수 있었다. 본 연구의 결과로 세로축 전송 방식을 통한 가로축 전송 방식에서의 속도의 유추가 가능함을 보였고, 나아가서는 사람의 경골의 단면 영상을 추측할 수 있다. 이러한 결과들은 골밀도 이외의 뼈의 질 및 구조와 깊은 관계가 있는 골질의 예방 및 골다공증 환자의 치료 진행 상황, 그리고 영상으로 통한 진단으로 보다 효율적인 진단기 개발의 기초가 될 것이라 기대한다.

참고문헌(또는 Reference)

[1] C. Langton, S. Palmer, R. Poster. The Measurement of Broadband Ultrasound Attenuation in Cancellous Bone. Eng. Med, 1984, 13:89-91  
 [2] 윤세진, 최홍호 : 세로축 전송 방식을 사용한 초음파 골밀도 측정 알고리즘의 개발, 공학석사논문.