

# 초음파의 산업과 의학계에서의 응용

高 慶 信\*

## ■ 차 례 ■

- 1. 서 론
- 2. 초음파의 기초원리와 펄스-에코 방법
- 3. 산업계에서의 응용
  - 3.1 공업공정에서의 응용
  - 3.2 결함 탐색
  - 3.3 측정과 조절
- 4. 의학계에서의 응용
  - 4.1 조직의 음향학적 특성
  - 4.2 초음파의 임상응용
- 5. 결 론
- 참 고 문 헌

### 1 서 론

超音波(ultrasonics, ultrasound)가 산업계에서 본격적으로 응용되기 시작한 것은 제 1차 세계대전 때 부터였으며, 제 2차 세계대전때는 펄스-에코(pulse-echo) 방법이 개발되어 무기를 만드는 재료와 완성된 무기들에 대한 결함탐색 (flaw detection)에 활발하게 이용되었다. X-ray가 1895년에 Röntgen에 의하여 획기적으로 발견된 것과는 달리 초음파에 관한 물리학적인 원리와 성질은 아주 오래전 부터 잘 알려져 있었다. 그러나 1970년대에 와서 초음파가 폭발적인 인기와 관심을 모으기 시작한 것은 의학계에서 비침입적인 진단방법 (non-invasive diagnosis)으로 개발되었기 때문이다. 진단과정에서 방사선에 의한 피해가 전혀 없으며 고통없이 손쉽게 이용할 수 있기 때문에 이제는 인체의 거의 모든 기관을 진단하는데 쓰이고 있다.

### 2 초음파의 기초원리와 펄스-에코 방법(pulse-echo method)

인간은 약 10 헤르쯔 (hertz ; Hz)에서 15내지 20 KHz 사이의 기계적 진동 (mechanical-vibration)

을 들을 수 있으며 이 보다 높은 진동수의 진동과그의 전파 (propagation)를 초음파라고 한다. 초음파는 물체의 입자들 자체가 진동하여 전파되는 현상이므로 빛과 X-광선과는 달리 진공에서는 전파할 수 없으며 현재  $10^{10}$  hertz 까지도 실험실에서 이용되고 있다. Fig. 1(a)와 1(b)에서 보는 바와 같이 초음파에는 종형파 (longitudinal wave)와 횡형파 (shear or transverse wave)의 두 종류가 있다. longitudinal wave는 입자들이 움직이는 방향과 같은 방향으로 초음파가 전파되며 transverse wave는 입자들이 움직이는 방향에 수직으로 전파된다.

초음파를 발생시키는 探觸子 (transducer)는 각 응용방면에 따라 여러원리에 의하여 만들어 지는데 가장 많이 쓰이는 자료는 '壓電効果 (piezoelectric effect) 물질들이다. 19세기 후반에 발견된 이 원리는 水晶과 ceramics 등의 물질에 전압을 가하면 압력이 발생하여 전기적 energy를 초음파 energy로 변환시킨다. 또한 압력이 가해지면 전압을 발생하는 반대방향의 변환을 일으켜서 물질로부터 전파되어 오는 초음파 energy를 voltage로 바꾸어 scope에 나타낼 수 있다. 圓板狀형태의 transducer는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 전압을 兩面에 가하면 그 전압의 極性 (polarity)에 따라 두께가 증가하든가 감소하여 전압의 polarity가 교대로 바뀌어짐에 따라 두께가 계속 증가하였다가 감소하여 초음파가 발생된다. 이 초음파의 진동수는 transducer 물질의

\* 正 會 員 : 中央大 文理大 化學科 副教授

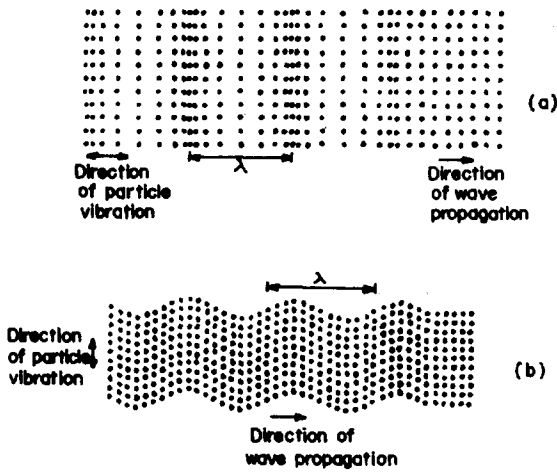


Fig. 1. (a) A longitudinal wave of sound<sup>1)</sup>  
 (b) A transverse or shear wave of sound<sup>2)</sup>

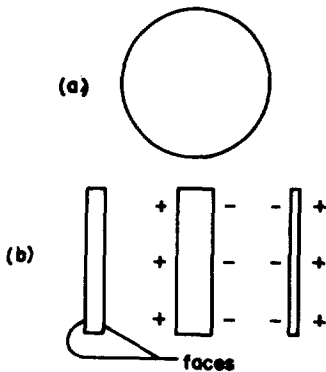


Fig. 2. Disc transducer element. (a) Front view. (b) Side view with no voltage applied to faces (normal thickness), voltage applied (increased thickness), and voltage of opposite polarity applied (decreased thickness).<sup>2)</sup>

전파속도와 두께에 의하여 결정되며 transducer의 共振周波數(resonant frequency)와 그의 odd overtone frequency의 교류전압(oscillating voltage)에만 의하여 작동된다.

초음파는 連續모드(continuous mode)나 펄스모드(pulsed mode)로 사용된다. Continuous mode는 transducer가 교류전압에 의하여 연속적으로 가동되어, 전파되는 초음파도 연속적으로 산출된다. Continuous mode의 장치에서는 초음파를 발생하는 送信用(source) transducer가 계속 연속

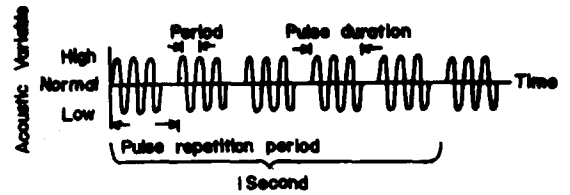


Fig. 3. Pulse repetition frequency is the number of pulses occurring in 1 second. In this figure, five pulses (containing three cycles each) occur in 1 second; thus the pulse repetition frequency is 5 Hz.

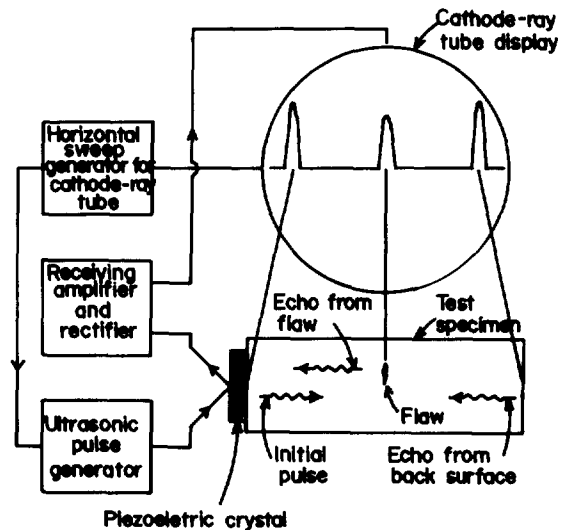


Fig. 4. A schematic diagram of a simple pulse-echo flaw detection system using a contact-type transducer.<sup>3)</sup>

해서 작동하고 있으므로, 물체에 전파되었다가 반사되어 돌아오는 초음파를 교류전압으로 변환시키는 受信用(receiver) transducer가 따로 필요하다.

산업계와 의학계에서 응용되는 초음파는 continuous mode보다도 pulsed mode로 훨씬 더 많이 사용된다. 펄스超音波(pulsed ultrasound)는 transducer에 電氣의펄스(electrical pulse)를 보냄으로써 Fig. 3에서 보는 바와 같이 몇 cycle에 해당하는 pulse를 주기적으로 발생시킨다. 1초간에 일어나는 pulse의 수를 펄스反復周波數(pulse repetition frequency)라고 한다.

Fig. 4는 pulsed ultrasound를 이용하여 물체에 어떠한 종류의 결함이 얼마나 있나를 탐색하는 pul-

se-echo 방법을 나타냈다. 짧은 pulse-length(약 100분의 1~2 정도)의 초음파를 물체에 전파시키면 물체에 포함되어 있는 금(crack)과 같은 결함에 의하여 초음파의 일부가 반사(reflect)되어 돌아오고 또 일부는 물체의 반대편의 경계에 의하여 반사되어 온다. 반사된 초음파가 transducer에 도달하면 electrical signal로 변환되어 scope에 echo 형태로 나타낼 수 있으며 echo의 위치와 크기에 따라 결함의 위치와 크기에 따라 결함의 위치와 크기 등을 판별할 수 있다. 이 pulse-echo 방법은 1940년경에 개발되어 산업계와 의학계에서 여러방면으로 응용되고 있다.

### ③ 산업계에서의 응용

초음파가 산업계에서 응용되는 분야는 공정응용(processing applications), 결함탐색(flaw detection)과 측정과 조절(measurement and control)로 나눌 수 있다. 일부 공업공정은 몇천 watt의 높은 초음파 energy를 필요로 하나 결함탐색과 측정응용에서는 백만분의 1 watt 정도의 낮은 energy를 이용한다. 초음파 진동(ultrasonic vibrations)을 발생시키는 노력은 100여년전 부터 이루어졌으나 응용될 수 있는 기술(technology)로 등장한 것은 불란서의 P. Langevin 교수가 제 1차 세계대전때 잠수함을 탐색하는 방법을 개발하고 끝 뒤이어 1927년에 Wood와 Loomis가 액체를 입자화(atomization of liquids)시키고 유화(emulsification)시킨데서 부터다.

여러종류의 재료에 결함을 탐색하는 작업에 초음파를 이용하는 것은 1929년 S. Sokolov에 의하여 처음 제의되었으나 pulse-echo 방법이 개발되기 전까지는 공업공정에 비하여 훨씬 느리게 발전하였다.<sup>3)</sup>

#### 3.1 공업공정에서의 응용

여러 종류의 초음파 공업공정들은 초음파가 액체속에서 전파할때 캐비테이션(cavitation) 작용에 의하여 순간적으로 매우 높은 압력을 발생하는 성질을 응용한다. 액체속에는 기포(bubble)를 형성할 수 있는 먼지와 같은 여러종류의 기포핵(bubble nucleus)들이 존재하고 있으며 이들이 초음파의 기계적 진동사이클(cycle)에서 압력이 감소하는 동안 커졌다가 다시 압력이 증가할때 순간적으로 터짐으로써 높은 에너지가 발생하게 된다. 터지는 bubble의 중심에는 75,000 psi의 순간적 압력(instantaneous pressure)

과 13,000°F의 높은 온도가 발생할 수 있다.<sup>3)</sup>

초음파 공업공정중에서 가장 먼저 개발되고 성공적으로 많이 사용된 분야는 초음파 세척(ultrasonic cleaning)이다. 대체로는 초음파의 cavitation 작용에 의하여 세척이 되지만 초음파가 액체를 빠른 속도로 흔들고 저어주는 작용에 의하여 표면에 싸인 먼지와 때가 잘 녹고 확산되기도 한다. 세척하는 물건의 표면을 기계적으로 깎지않고 화학적으로 녹이지 않기 때문에 보석, 정밀한 기계와 유리제품등을 세척하는데 가장 빠르고 효율적인 방법으로 쓰이고 있다. 세척하는데 쓰이는 진동수는 25KHz 과 40~50 KHz 두 종류이며 1liter에 대하여 1 watt에서 부터 25 watt 정도의 power가 사용된다.<sup>4)</sup>

초음파 세척 다음에 많이 사용되는 초음파 공업공정은 유화작용과 그에 관련되는 여러 공정들이다. 잘 섞이지 않는 두 가지의 액체들을 cavitation 작용에 의하여 균일하게 섞는 이 공정에는 대체로 많은 power가 필요하므로 전자발생기(electronic generator)보다는 기계적 초음파 발생기(mechanical ultrasonic application)를 많이 사용한다. 비교적 값이 싼 용매재료에 비싼 색소(pigment)와 페니실린(penicillin)등의 emulsifying 재료들을 고르게 분산시키고, 버터(butter), 크림(cream)과 구두약(shoe polish)등을 균질(homogenize)되게 만드는데 효율적으로 이용된다.

또한 초음파 진동은 고체물질 사이의 마찰(friction)을 만들고 찌르고 용접하는데 쓰인다. 보기에 편편한 금속표면은 현미경으로 관찰하면 높은 봉우리들과 낮은 골짜기들로 구성되어 있어서 울퉁불퉁하기 때문에 두 금속판이 서로 스쳐 지나게 되면 마찰이 생기고 높은 봉우리끼리 만나면 순간적으로 용접(weld)이 된다. 초음파 진동은 높은 봉우리들끼리 접촉되는 시간을 감소시키고 순간적으로 용접된 부분을 깨뜨리기 때문에 마찰이 현저하게 감소된다.

旋盤(lathe)의 칼을 초음파 진동으로 움직이면 아주 작은 구멍들과 복잡한 모양을 한 단계의 조작으로 자를 수 있다. 일반 lathe가 회전(rotate)하며 금속재료를 자르는 것과는 달리 초음파 절단(cutting)은 진동수대로 아래 위로 두들겨 자르기때문에 도구 모양과 꼭 같은 형태로 된다. 자르는 속도와 완성된 물품의 정교한 정도는 사용되는 초음파의 진동수와 진폭과 연마제 크기등에 의하여 결정된다.

초음파를 이용한 용접방법은 종류와 모양이 아주 다른 금속들을 간편하고 쉽게 집착시킬 수 있어서 정교한 전자 부품들을 조립하는데와 열전대 접합(ther-

mocouple junction)을 만드는데 많이 쓰인다. 적당한 양의 압력으로 조이고 초음파 진동으로 용접하는 이 방법은 열이 거의 발생되지 않기 때문에 용접된 부분이 녹고, 기체가 생기고, 튀기며, 산화되는 일이 거의 없다. 100watt 정도의 작은 용접공에서부터 4Kw 정도되는 것까지 있으며 0.1초 내지 1.0초 안에 용접을 끝낼 수 있다.

### 3.2 결함 탐색(flaw detection)

초음파가 의학계에서 비침입적인 진단방법으로 각광을 받고 있는 것과 같이 산업계에서도 초음파를 이용한 결함 탐색 방법이 비파괴적 (non-destructive)이라는 이유로 오랜동안 많은 관심을 모아왔다. 특히 현대의 대량생산 (mass production)방법에 의하여 만들어 지는 제품들의 품질을 관리하는 문제에 있어서 제품들에 대해서 아무런 변화도 일으키지 않고 손쉽게 검색할 수 있는 방법은 날로 중요시 되고 있다.

초음파를 이용한 결함 탐색 방법은 유리와 수정 (crystal)제품들을 가볍게 쳐서 소리가 날때 흠이 없으면 그 소리가 오랫동안 곱게 퍼져 나가는 원리와 같다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 어떠한 결함이 없을 때는 초음파 pulse 가 물체안에서 거의 감쇄되지 않고 전파되어 뒷면에 의하여 반사되어 돌아오게 된다. 그러나 crack 이나 전위 (dislocation)등의 결함이 있을 때는 초음파 energy 가 이들에 의하여 반사되고 산란되어 많이 감쇄하게 된다.

X-ray는 다만 몇 인치 (inch)만을 통과할 수 있는 반면에 초음파는 한 방향으로만 전파하며 금속을 여러 피트 (feet)까지 침투할 수 있다. 이 방법은 값이 비교적 싸고 빨라서 1분 안에 여러 제곱피트 (square feet)와 입방피트 (cubic feet)크기의 재료를 계속적으로 탐지할 수 있으며 결함의 위치와 크기를 순간적으로 알 수 있다.

이 방법의 가장 빠른 응용중 하나는 철도를 검사하는데 있었다. 보통 철도와 transducer 사이의 공기 틈이 초음파 energy 를 상당히 감쇄하기 때문에 물기름, 글리세린 (glycerine)등의 커플링 매체 (coupling medium)를 특별히 조작한 고무 바퀴속에 채우고 바퀴 차축 (axle)에 2.25 MHz 내지 2.5MHz 의 초음파 transducer 를 달아서 철도위를 달리며 탐지한다. 재료의 결함이나 갈라진 금등의 자동적으로 기록하고 페인트를 뿜어내어 결점의 위치를 표시한다.

발전기와 터빈 (turbine)의 무거운 단조물 (forg-

ings)들, 미사일 (missile)의 탄두 (nose cones)와 제트기의 rotor등의 복잡한 형태의 금속제품들을 탐색하는데도 이 방법이 응용된다. 제트기의 rotor 를 탐색하는 데는 약 한시간쯤 걸리며 복잡한 외형때문에 transducer를 맞닿게 할 수 없으므로 rotor 기구 전체를 탱크의 물속에 담그어 시험한다. 때로는 transducer 자체도 물속에 담그며 물은 rotor와 초음파를 잘 커플링 (coupling)시켜서 energy가 감쇄되는 정도를 줄인다. aluminium을 시험하는데는 100MHz과 같이 높은 진동수가 사용되며, 강철 (steel)은 일반적으로 1내지 5MH , 플라스틱 (plastics)은 100내지 5KHz의 낮은 진동수를 필요로 한다. 콘크리트 (concrete)는 60KHz 정도의 진동수를 쓴다.

### 3.3 측정과 조절(Measurement and Control)

초음파는 특정한 상태의 특정한 고체나 액체속에서 특정한 속도로 전파되므로 물체의 상태에 조그마한 변화가 있으면 초음파의 속도가 변하게 된다. 따라서 속도의 변화를 재므로써 물체의 온도, 압력, 합금의 성분, 입자 (grain)의 크기, 이방성 (anisotropy), 액체의 흐르는 속도, 액체의 깊이와 높이등을 잴 수 있다. 또한 이러한 변수들의 측정이 이루어지면 그 값들을 다시 그 시스템 (system)에 연결하여 피드백 조절 (feedback control)이 가능하다. 거리 (distance)의 측정은 echo들의 간격으로 잴 수 있다.

음파 (sound wave)는 물체의 입자들이 주기적으로 변하는 힘에 의하여 움직여서 전파되기 때문에 그 속도는 원자나 분자 입자들이 힘에 의하여 얼마나 쉽게 움직일 수 있나에 관련된다. 그 속도는 또 입자들 주위의 입자들과 지니고 있는 인력, 즉 "spring constant"와 밀도에 의하여 결정된다. 다결정 고체 물질에서는 spring constant 들을 두개의 탄성계수 (elastic constants)  $\lambda$ 과  $\mu$ 로 나타낼 수 있으며 이들은 longitudinal wave 의 속도  $C_1$ 과 shear 의 wave 속도  $C_s$ 와 다음과 같이 관련된다.

$$C_1 = \sqrt{(\lambda + 2\mu) / \rho}$$

$$C_s = \sqrt{\mu / \rho}$$

액체와 기체에는 transverse wave는 전파하지 못하고 압축성을 (compressibility)이 단 하나의 longitudinal wave 와 관련된 elastic constant 틀 나타낸다.

다결정 고체에서 longitudinal 과 shear wave 의 속도에서 구한 elastic constants 들로부터 young's

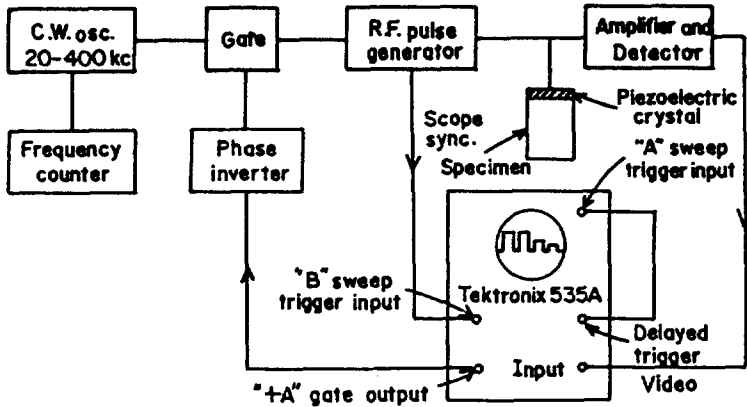


Fig. 5. Block diagram of apparatus for the precise measurement of the velocity sound by a pulse superposition technique. (After H. J. McSkimen)<sup>3)</sup>

계수 (modulus), modulus of rigidity  $G$ 와 poisson's 비율을 계산할 수 있다. 또한 어떠한 고체나 액체물질에 상변화 (phase transition)가 일어나면 완화 (relaxation) mechanism에 의하여 초음파의 속도가 현저하게 떨어지고 감쇄 (attenuation)가 커짐으로 이들의 변화를 측정하므로써 상변화의 상태를 연구할 수 있다. 그러므로 초음파는 물질들의 고유성질과 변화를 연구하는 방법으로도 쓰인다.

초음파가 전파되는 속도를 측정하는 방법은 여러 가지가 있으며 가장 효과적이고 정확한 방법중의 하나는 Fig. 5에 나타낸 McSkimen의 펄스—중첩 (pulse—superposition) 방법이다. 낮은—진동수의 발진기 (law-frequency oscillator)를 이용해서 펄스를 시료에 보내는 속도를 조절한다. 그 속도를 에코사이의 간격과 같게 조절하여 에코들이 중첩이 되도록 한다. 에코의 중첩은 진폭 (amplitude)의 변화에서 볼 수 있으며 이 방법으로 0.05% 이내의 속도변화를 관찰할 수 있다.

얇은 고체물질의 두께와 tank속의 물의 깊이등을 측정할때는 펄스—에코 방법과 공명 (resonance) 방법을 사용한다. 펄스—에코 방법은 0.250 inch 이상의 두께를 측정하는데 편리하고 대체로 1 inch 이하의 두께물질은 resonance 방법을 사용한다. 펄스 방법에서는 초음파 펄스를 두께를 측정하려는 물체에 전파시켜서 물체의 뒷면에 의하여 반사되어 오는 시간을 측정한다. Resonance 방법은 longitudinal wave를 발생시키는 transducer를 고체물질판위에 부착시키고 진동수를 옥타브 (octave)범위 정도로 계속 변화시키며 물체에 초음파를 송신시킨다. 물체의

두께에 따라서 여러 resonance frequency가 물체에 발생하게 된다.

음파와 초음파를 바다에서 전투 수단으로 쓰는 응용은 중요하나 매우 복잡하다. 바다물에서는 약 1.5 km/sec의 속도로 전파하고 100KHz와 같이 낮은 진동수의 초음파도 약 60 db/km 정도로 energy가 감쇄 (attenuate)된다. 따라서 낮은 진동수만을 사용할 수 있으므로 분해능력 (resolution power)도 대체적으로 낮다. 또한 시끄러운 고기떼들, 물속의 빙산 (iceberg) 등에 의한 간섭을 고려하면 먼 거리를 위한 음파탐지기 (sonar)는 현대의 레이더 (rader) 탐지기에 비교하여 정밀도가 많이 떨어진다. 그러나 배 밑의 바다 깊이를 측정하고 고기들의 위치와 장애물의 위치를 찾아내는 등의 짧은 거리를 위한 상업적인 응용에는 많이 쓰이고 있다.<sup>4)</sup>

#### 4 의학계에서의 응용

X-ray가 1895년에 발견되고 곧 의학계에서 인정을 받고 강력한 진단 방법으로 개발된 것은 잘 알려진 사실이다. 1970년대에 計算斷層映像法 (computed tomography)의 개발에 이르기까지 여러차례의 중요한 새로운 개발과 발전에 의하여 X-ray는 의학계에서 가장 중요한 진단방법으로 사용되어왔다. 반면에 산업계에서 응용되기까지는 오랜 시간이 걸려서 1920년대 후반에야 사용되기 시작했다. 가장 큰 문제는 방사선을 충분히 철쇄시키는 것이었으며 또한 강철 (steel) 제품에 필요한 높은 voltage를 발생시키는 것이었다. 5~6 cm 정도 두께의

강철단면 (steel section)을 검사하는데는 180~200kV의 X-ray에 약 5분 정도의 노출 시간이 필요하였다.

초음파는 X-ray와 반대로 산업계에서 먼저 개발되고 의학계에서 중요시된 것은 앞에서 말한 것과 같이 1970년대부터이다. 산업계에서 초음파는 X-ray가 잘 응용될 수 없는 곳에 가장 적합하였다. X-ray는 differential absorption 원리에 의하여 결함을 탐색하는 까닭에 두께의 1% 정도 되는 crack까지만을 관찰할 수 있다. 10cm 정도 두께의 제품에서는 1mm 이하의 결함은 나타나지 않는다. 반면에 초음파는 작은 공간이나 결함에 의하여 반사 (reflect)되기 때문에 제품의 두께에 무관하게 약 10<sup>-7</sup>cm까지도 탐지할 수 있다. 또한 초음파를 탐색하는 X-ray에 비하여 훨씬 간편하고 값이 싸다.<sup>3)</sup>

의학계에서 진료와 치료에 사용되는 모든 방법들은 산업계에서 이용되는 pulse-echo 방법을 비롯하여 다른 여러가지 기술과 유사하다. 낮은 mega-hertz 범위의 초음파가 사용되며 이보다 높은 주파수는 초음파 길이가 더 짧으므로 더 높은 분해능 (resolution power)을 나타내나 energy가 너무 많이 흡수되어 검출이 불가능하다. 검사하고자 하는 몸부분에 짧은 펄스의 초음파를 전파시키면 음향학적 특

성 (acoustical properties)이 변하는 부분에 의하여 반사되어 와서 echo가 생기게 된다. 예를 들어 뼈와 근육은 acoustical properties들이 서로 매우 다르므로 이들 사이에서 초음파가 반사된다.

#### 4.1 조직(tissue)의 음향학적 특성(acoustical properties)

생체조직의 음향학적 특성은 초음파 energy가 전파되는 속도, 감쇄되고 흡수되는 정도, 조직의 밀도 ρ와 음파의 속도 C의 곱 ρC로 나타내는 임피던스(impedance), 산란 (scattering) 특성 등이 중요하다. 이외에도 tissue의 반사(reflectivity) 특성은 tissue의 크기와 모양 그리고 초음파가 전파하고 있는 방향과의 각도 등에 의하여 결정된다. 이러한 초음파 특성들은 여러각도에서 많은 종류의 조직에 대하여 측정되어 왔으나 이들을 이론적으로 설명하고 포괄적으로 체계화시킬 수 없다. 또한 여러 특성들이 여러 조직사에서 서로 겹칠 수 없는 미묘한 상관관계를 가지고 있어서 초음파 映像기술에 필요한 定量的인결과 (data)를 얻기에 매우 힘들다.

Fig. 6은 인체와 다른 포유동물들의 생체조직에 대한 23개의 독립적인 연구에 의한 attenuation

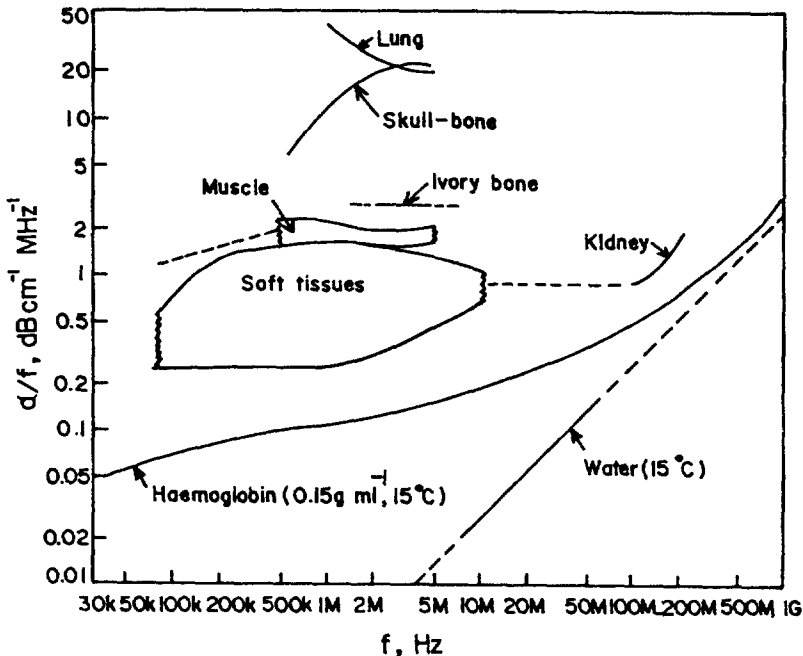


Fig. 6. Attenuation in biological materials, expressed in terms of  $\alpha/f$ .

결과들을 나타낸 도표다. 이러한 측정결과들을 서로 비교하고 이해하는데는 아직 여러가지 어려움이 있다. 제일 큰 문제는 초음파 energy가 흡수(absorb)되는 정도와 감쇄(attenuate)되는 정도를 구분하지 않았다는 점이다. Absorption은 초음파 energy가 tissue에 의하여 흡수되어 thermal energy로 변환된 것을 말하여 attenuation은 흡수외에도 산란과 반사과정등에 의하여 energy가 전체로 감쇄되는 정도를 말한다. 이러한 흡수나 감쇄의 측정예온도에 대한 언급이 정확하지 않은 것들이 많으며 온도에 대한 함수관계가 아직 정확하지 않다. 또한 조직들을 채취한 후 경과하는 시간에 따른 시효효과(aging effect)가 측정 data들의 이해를 어렵게 한다. Hueter 등은 간(liver)의 흡수계수가 4 MHz에서 죽은 후 20시간이 되면 반정도로 된다고 한 반면 Panly와 Schwann등은 어떠한 시효현상을 볼 수 없다고 보고하고 있다.<sup>5)</sup>

Fig. 6에서 0.1과 50 MHz 사이에 attenuation  $\alpha$ 와 frequency f의 관계를 살펴보면  $\alpha \approx af^b$ 의 관계가 관찰된다. 여기에서 a와 b는 tissue의 고유성

질과 측정조건에 따라 다르며 제한된 범위의 주파수에서는 상수이다. 대체로 b의 값은 1보다 약간 커서 점도(viscosity)와 열전도(heat conduction)등의 고전(classical) mechanism에 의한 흡수계수가 진동수의 제곱에 비례하는 것과 다르다. Schwann에 의하면 80% 정도의 흡수는 조직의 protein에 의하여 이루어진다.<sup>6)</sup> 따라서 protein은 구조가 복잡하여 활성화(activation) energy와 완화시간(relaxation time)이 다른 여러 완화과정(relaxation process)을 지니고 있기 때문에 이 과정들이 합해져서 정비례 관계가 관찰될 수 있다.

Fig. 7은 생체조직에서 초음파가 전파하는 속도를 나타낸다. Attenuation 결과에서와 같이 tissue의 종류와 측정조건에 따라 속도의 값이 달라지고 조직의 종류와 측정조건에 따라 속도의 값이 달라지고 tissue마다 어떠한 범위의 속도를 지니고 있다. 이러한 조직의 60~70%가 수분이므로 초음파 속도가 물에서의 속도와 비슷하며 약 1,530 meters/sec 정도가 된다. 단백질 농도가 높은 뼈의 속도는 보통 조직들 보다 훨씬 높고(약 2,600~3,950 m/sec)공기가 있는 폐의 속도는 낮다.(약 650~1,150 m/sec)

#### 4.2 초음파의 임상응용(clinical applications)

초음파가 임상적으로 응용되는 분야는 치료용(therapeutic use), 진료(diagnosis)와 수술(surgery)의 수단등으로 근래에 매우 다양해졌다. Pulse-echo 방법은 복부기관(abdominal organs)들, 심장과 태아등의 연부조직 구조들을 진단하는데 편리하고, 도플러효과(doppler effect)를 이용한 초음파 방법으로는 혈액의 흐르는 속도, 태아의 활동 등 신체의 움직이는 상태를 검사할 수 있다. 音波의 밀도변동이 光을 굴절하는 원리를 이용한 holography와 같은 음향광학기기(acousto-optics)들은 현재 활발하게 개발되고 있으며 임상적으로도 시험되고 있다.

또한 畫像표시 방법도 여러가지 있다. 受信된 펄스를 수직방향의 偏向(vertical deflection)으로 나타내는 A 모드(amplitude mode), 스폿(spot)의 밝기로 나타내는 M모드(motion mode), 스폿의 밝기로 二次元的(two dimensional)으로 나타내는 B모드(brightness mode), 마찬가지로 스폿의 밝기로 표시되거나 transducer가 어떤 특정한 위치에서 反射波가 수신되었을 경우에만 스폿이 비치는 C-mode 등이 있다. 표시 장치는 스토레이지형 음극선

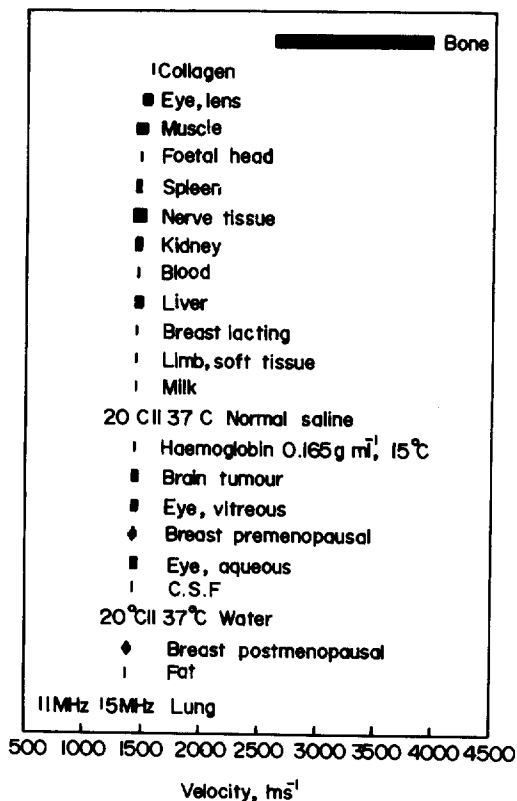


Fig. 7. Velocity in biological materials.<sup>5)</sup>

관(cathode-ray storage tube)이 오래 사용되었으나 현재는 펄스 輝度の 강도를 스토레이지하여 표시하는 그레이 스케일 표시(grey-scale display)와 이것을 저축하여 TV 수신기에 표시하는 것을 가능하게 하는 스캔 콘버터(scan converter)가 있다. 연속적으로 움직이는 구조물의 화상을 즉시 나타내는 實時間表示(real-time display)는 수동으로 주사(scan) 하지 않고 기계적 스캔(mechanical scan)이나 어레이(array)를 사용하는 전기적 스캔(electronic scan)을 이용한다.

이렇게 다양하게 개발된 초음파 기술이 물리요법(physiotherapy)으로도 많이 쓰이고 있으나 현재 가장 많이 사용되는 분야는 진료분야이다. 초음파 진료는 첫째, 검사의 실시가 편리하여 前處理가 필요하지 않고, 둘째, 생체에 대해 無害하고 無痛하여 누구나 진단을 받을 수 있으며, 셋째, 연부조직에 대하여 X-선과 같은 다른 방법보다 우수한 分析力을 가졌다는 장점이 있다.<sup>7)</sup>

초음파 진료가 가장 빨리 개발되고 널리 사용된 분야는 산부인과였다. 태아에 대한 초음파 진료는 임신 아주 초기부터 가능하여 때로는 소변검사 보다도 더 빨리 임신의 여부를 판가름할 수 있다. 임신 6주(sixth week of gestation)부터는 심장이 뛰는 상태를 알 수 있고 처음 10주까지 태아의 진이를 측정하므로써 임신의 기간을 몇 일 안의 오차로 결정할 수 있다.<sup>5)</sup>

태아의 성장이 가장 큰 임신 13주부터 26주까지는 태아의 머리 직경을 echo 방법으로 측정하므로써 임신 기간을 일주일 안의 오차로 결정할 수 있다. 특히 머리는 초음파를 잘 반사시키기 때문에 위치를 찾기가 쉽다. 복식임신(multiple pregnancy), cyst나 fibroid의 존재 모르고 있는 유산과 hydatidiform mole 등의 비정상 상태가 모두 초음파 화상에서 구별될 수 있다. 따라서 많은 의사들은 정상 임신상태를 모니터(monitor)하고, amniocentesis 검사를 실시할때 태반(placenta)의 위치를 결정하며, 분만시 태아의 상태를 monitor 하는데 초음파 방법들을 더 많이 사용하는 것을 권장하고 있다.<sup>8)</sup>

### 5 결론

초음파 진단이 의학계에서 획기적인 각광을 받고 그에 대한 기술이 날로 발전하고 있는 가장 큰 원인은 초음파가 인체에 아무런 害를 끼치지 않는다

고 알려졌기 때문이다. 그러나 근래에 와서 그의 사용이 너무도 넓혀졌기 때문에 초음파 진단이 과연 완전히 안전한 것인가에 대한 질문이 새로와 지고 있다. 특히 위에서 본바와 같이 태아에 대한 초음파 진단은 날로 증가하고 있어서 1980년 이후에 태어나는 신생아들은 모두 한번 정도는 태아로써 초음파를 접할 가능성이 있는 것으로 예상되고 있다.<sup>9)</sup> 또한 태아의 성장은 환경의 변화에 매우 민감하다고 알려졌고 초음파의 생체작용에 대한 수많은 연구가 진행됨에 따라 동물실험에서 여러가지의 해로운 영향이 관찰되기 때문에 초음파의 안전성에 대한 관심이 높아지고 있다. 예를들어 진단에 쓰이는 정도의 강도를 임신된 쥐에 쬐이면 뇌근육(neuromuscular)의 발달이 늦어지고 선천적인 이상(congenital anomaly)이 많이 생긴다고 보고 되었다.<sup>10)</sup>

이에 따라 미국 초음파학회(the American Institute of ultrasound in Medicine)생체작용위원회(committee on Bioeffects)는 초음파의 생체작용에 관한 많은 보고를 검토하고 많은 경험자들과 의논한 후에 1976년 8월에, 그리고 다시 1978년 10월에 다음과 같이 발표하였다. 低에너지 헤르쯔 범위에서는 100mw/cm<sup>2</sup> 이하의 음향강도에서 포유동물 조직에 개별적으로 확인된 유이할만한 생체작용은 없다. 더 나아가서 초음파 조사시간(ultrasonic exposure times)으로는 1초이상 500초 사이, 또한 더 높은 강도를 사용하였드라도, 음향강도와 조사시간의 곱이 50joule/cm<sup>2</sup> 이하라면 아무런 생체작용을 관찰할 수 없다.<sup>2), 11)</sup>

위와 같은 미국 초음파학회의 결론은 거의 모두가 포유동물에 대한 실험에 기인하였으며 인체에 대한 실질적인 영향에 대한 연구는 아직 충분하지 못하다. 그러나 아직까지 인체에 대한 해로운 임상학적인 영향이 알려지지 않았으며 X-선 진단에 비하여 훨씬 더 안전한 것을 알 수 있다. 이러한 현황에서 초음파 진단은 이의 위험성과 이익을 비교해 가며 적절한 방법으로 사용하는 것을 전문가들은 권장하고 있다.

초음파의 안정성에 대한 연구는 현재 다각적인 면에서 이루어지고 있으며 초음파 장치들의 개발에도 기술적인 많은 발전이 기대된다. 의학계에서 비침입적인 진단방법과 산업계에서 비파괴적인 결함탐색 방법으로 계속 널리 사용된 것으로 보이는 초음파의 전파속도와 감쇄정도를 통한 재료와 생체에 대한 기초 연구의 뒷바침이 또한 바람직하다.



## 참 고 문 헌

- 1) J. Szilard, "Physical principles of ultrasonic testing," *Ultrasonic Testing*, pp.1—23 (Ed. by J. Szilard, John Wiley & Sons, New York) (1982)
- 2) Frederick W. Kremkau, *Diagnostic Ultrasound*, Grune & Stratton, New York, (1980)  
金周完, 朴誘誠共譯, F. W. 크렘카우著, 超音波 診斷의 原理, 一潮閣, (1982)
- 3) Julian R. Frederick, *Ultrasonic Engineering*, John Wiley & Sons Inc., New York, (1965)
- 4) Richard Goldman, *Ultrasonic Technology*, Reinhold Publishing
- 5) PNT Wells, *Biomedical Ultrasonics*, Academic Press, New York, (1977)
- 6) H. P. Schwann, *Mechanical Physics*, 3(Ed. by O. Glasser, Year Book, New York) (1960)
- 7) 崔宗秀: "超音波 斷層 映像法,"  
電子工學會 雜誌, 第9卷, 第3號, pp.6—13 (1982)
- 8) D. E. Robinson and G. Kossoff, "Pulse echo visualization". *Ultrasound: Its Applications in Medicine and Biology*, Part II, pp.589—636 (Ed. by F. J. Fry, Elsevier Scientific Publishing Company, New York) (1978)
- 9) Mel E. Stratmeyer, "Research directions in ultrasound bioeffects: a public health view", pp.240—245 (Ed. by De Witt G. Hazzard and L. Litz, Symposium on Biological Effects and Characterizations of Ultrasound Sources: Proceedings of a conference held in Rockville, Maryland, June 1—3, 1977, U. S. Department of Health, Education, and Welfare) (1977)
- 10) P. C. Scheidt and F. E. Lundin, "Investigations for effects of intrauterine ultrasound in humans", *ibid.*, pp.19—26 (1977)
- 11) F. Kremkau and W. Nyborg, "Who's Afraid of A Hundred Milliwatts per Square Centimeter (100m W/cm<sup>2</sup>, SPTA)?" Committee on Bioeffects. American Institute of Ultrasound in Medicine (1979)