

조직의 정량화를 위한 초음파
영상시스템의 개발에 관한 연구

A study on the development of the
Ultrasonic imaging system for
tissue characterization

*최 종 호(Choi, J. H.)
**최 종 수(Choi, J. S.)

요 약

본 논문은 초음파의 감쇠정보를 이용하여 조직을 정량화하기 위한 연구이다. 비선형 매질에서의 제반특성(비선형감쇠, Non-Gaussian 특성, 산란등) 때문에 생기는 측정오차를 줄일 수 있는 스펙트럴 모멘트법을 제안하였다. 본 연구에서는 비선형 감쇠 및 산란특성을 고려하여 R. G 신호의 Z. C. D(Zero Crossing Density)를 측정하는 방법에 이론적인 기초를 두고, 산란매질에서 수신된 반사파의 P. S. D(Power Spectral Density)와 스펙트럴 모멘트를 이용하여 주파수의존 감쇠계수를 구하였다. 또한 이론의 유효성을 확인하기 위한 시제시스템을 개발하였다.

ABSTRACT

An ultrasonic pulse-echo diagnostic system for tissue characterization with the estimation of attenuation coefficients is developed and its performance has been examined by system implementation. The system divided into the ultrasonic generator, A/D converter, data communication, computer for signal processing.

The methods for estimating the spatial distribution of acoustic attenuation coefficients using the moment analysis are proposed. The experimental results indicate the potential of the methods for tissue characterization.

*중앙대학교 전자공학과 강사
**중앙대학교 전자공학과 부교수

I. 서론

초음파를 이용한 영상 기술은 전자기술의 발달에 힘입어 화질이 향상되고 인체에 해롭지 않다는 점, 그리고 연부조직에 대해 타의 방법보다 우수한 분석력을 가진다는 특징때문에 임상의학에 급속히 침투되어 왔다. 현재 실용화 되어 있는 초음파 펄스 에코 진단장치는 의용 영상 기술의 대표적인 기법이며, 수개의 분야에서 필수적인 임상 검사용 기기로 폭넓게 활용되고 있다.

그러나 초음파가 갖고 있는 제반특성때문에 화질이 떨어지고, 또한 정성적인 데이터만을 제공한다는 특징때문에 새로운 시스템의 개발 및 신호처리 방법등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 한편

국내 사정은 초음파 펄스 에코 진단 장치의 국산화 가 절실히 요청되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는, 펄스 에코 진단 장치의 국산화 및 각 대학과 연구소등에서 관심을 갖고 있는 생체 계측 및 모델 공학에 관한 연구등에 활용될 수 있는 실험 장치를 개발하는데 주안점을 두었다. 본 논문에서는 개발된 시스템의 설계 방법 및 특성을 서술하고, 모멘트 해석에 의한 감쇠계수의 측정법을 제안하며, 개발된 시스템에 의해 측정하고자 한다.

II. 시스템 구성

1. 초음파 발생 회로 및 수신 회로

트랜스 듀서를 전기적으로 동작시키기 위해서는

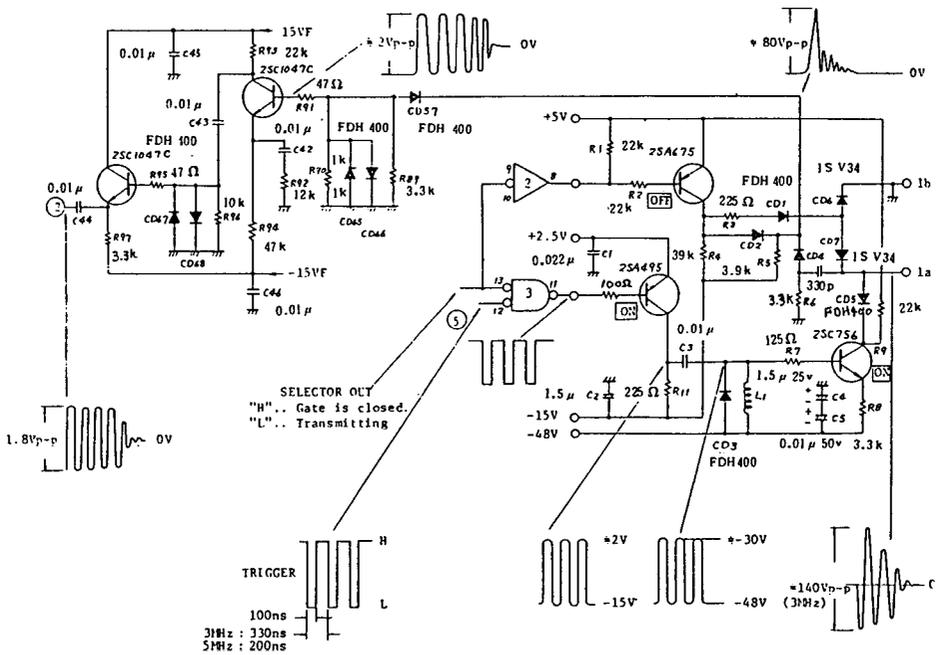


그림 1 Transmitter circuit.

초음파 발생 회로가 필요하다. 이에는 고전압 임펄스 방식과 Burst 방식이 있으나, 본 시스템에서는 Burst 방식의 회로를 구성하였으며, 직경이 15mm이고 중심 주파수가 3 MHz인 원형평판 트랜스 듀서를 사용하여 초음파를 발생시켰다.

수신 회로에서는 트랜스 듀서를 여기시키는 고전압을 제거한 신호만을 증폭할 수 있는 Preamp를 구성하고, HP사의 8441A 광대역 증폭기를 사용하여 신호를 증폭하였다. 구성된 회로는 그림 1과 같다.

2. 고속 A/D 변환 회로

(1) A/D 변환기

8 bit의 분해능을 갖는 KSV 3100A를 사용하여 구성된 회로를 그림 2에 나타냈다.

(2) Temporary Vector Buffer

A/D 변환시에 A/D 변환기로부터 출력되는 데이타를 메모리에 기억시키기 전에 임시로 저장하는

부분이다.

20MHz의 샘플링 주기로 A/D변환된 데이타를 RAM에 기억시키는 과정에서 1개의 데이타를 50n-sec마다 써 넣어야 한다. 그러나 현재 일반적으로 마이크로 컴퓨터에 사용하고 있는 Static RAM의 어드레스 취득 시간은 약 70~250nsec이므로 A/D 변환된 데이타를 직접 기억시킬 수가 없다.

이러한 문제는 Ping-pong Mode의 버퍼인 Temporary Vector Buffer를 RAM 앞단에 구성함으로써 해결한다.

Temporpry Vector Buffer의 구성도와 Timing C Chart를 그림 3과 4에 나타냈다.

(3) DMA 발생회로

A/D 변환시 CPU에서 샘플링때마다 RAM에 어드레스를 공급하지는 불가능하다. Bus selector를 이용 CPU의 어드레스 버스를 끊어 놓고 그림 5

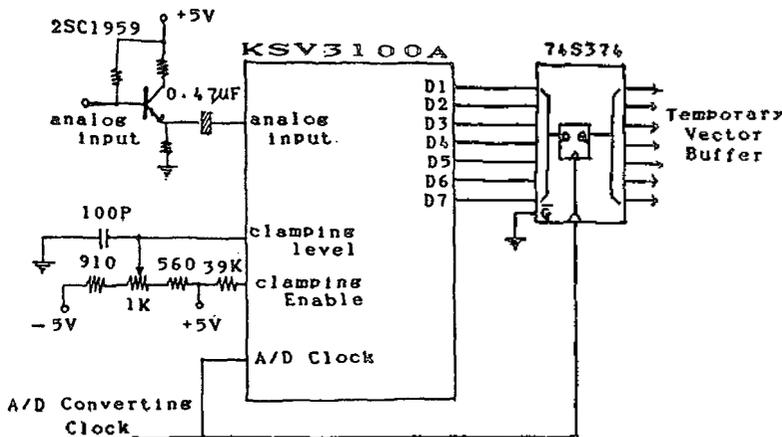


그림 2 A/D converter circuit.

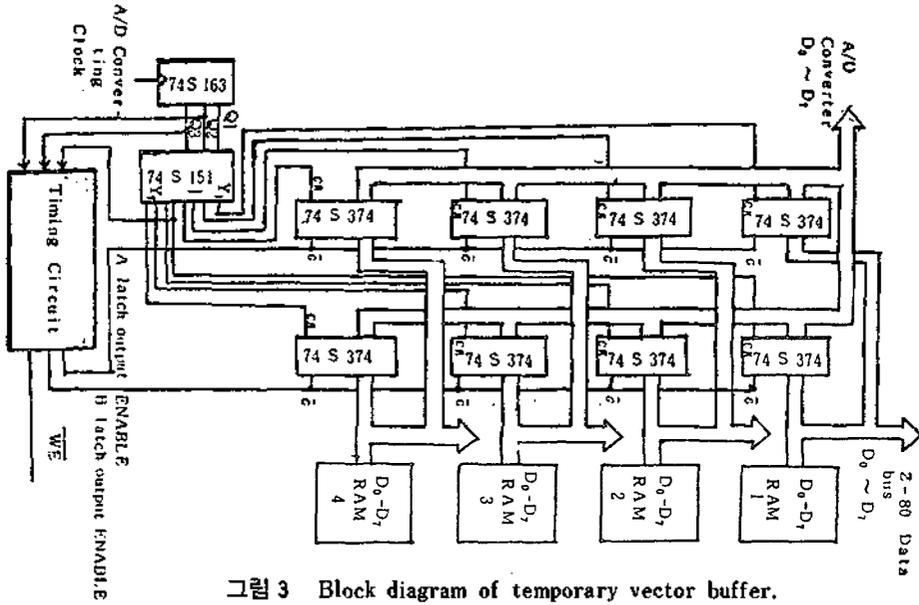


그림 3 Block diagram of temporary vector buffer.

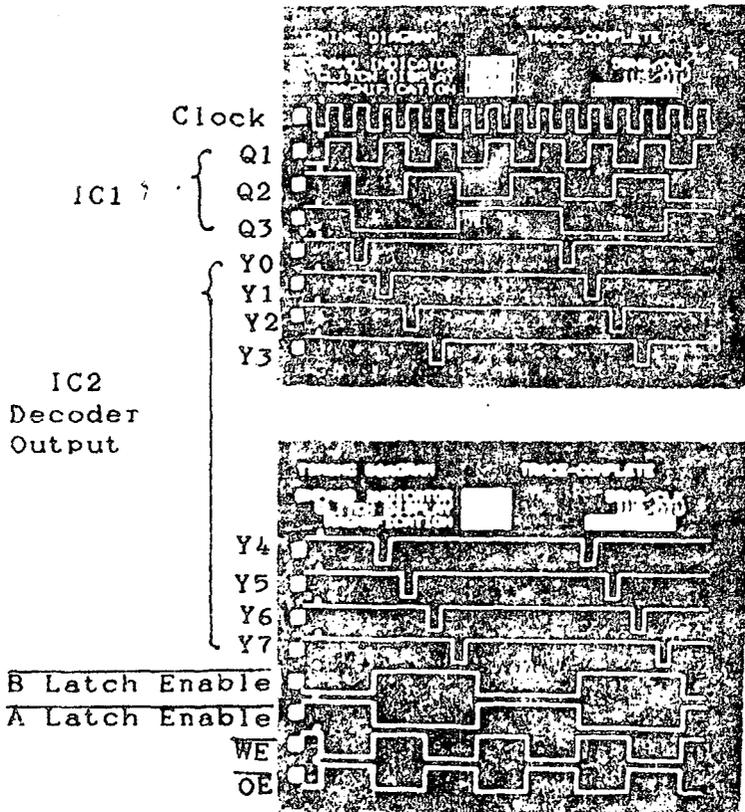


그림 4 Test timing Chart.

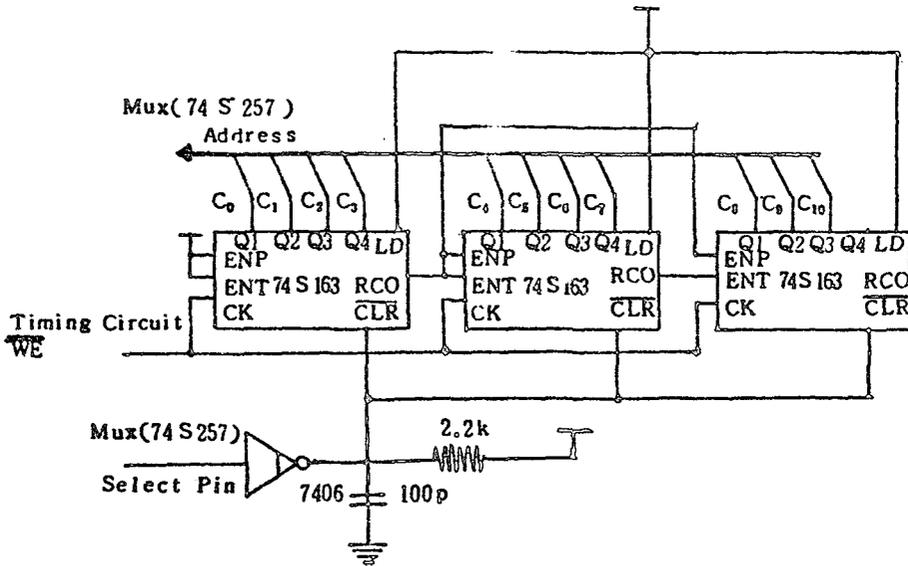


그림 5 DMA circuit.

의 WE 신호에 의해 카운트되어 어드레스를 공급한다. 4 개의 데이터를 Latch한 후에 동시에 4 개의 데이터를 RAM에 써 넣기 때문에 4 개의 데이터를 한 어드레스로 간주하고 4 번 샘플링한 후 어드레스를 증가 시킨다.

(4) RAM Bank

4 개의 데이터를 동시에 기억시키기 때문에 20M Hz의 주기로 샘플링할 때는 최소 200nsec의 어드레스 취득시간의 메모리가 필요하다.

본 시스템에서는 어드레스 취득시간이 120nsec 인 6116LP-2 RAM 4 개를 이용하여 8 K Byte의 메모리 영역을 구성하였다.

(5) Bus Selector

A/D 변환시 제어신호, 데이터, 어드레스는 CPU에서 공급하지 않고, Timing 발생회로에 의해 동작된다. 또한 A/D 변환 종료후 RAM Bank에 기억된 샘플링 데이터를 읽어 드릴 때 CPU의 BUS에 취

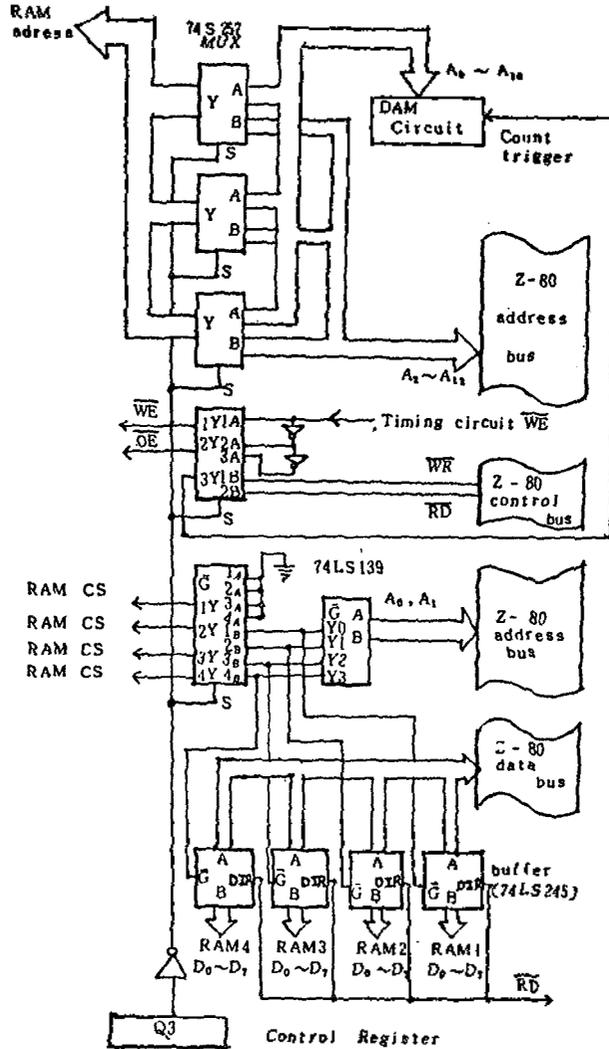


그림 6 Bus selector.

독되어 동작한다.

따라서 두가지 모드에 따라 bus를 선택하는 Bus selector 회로를 그림 6에 나타냈다.

(6) A/D변환 제어

A/D 변환을 제어하기 위해 제어 레지스터를 구성한다. 제어 레지스터의 각 bit의 값에 따라 샘플링

주기, Bus selector 등을 제어한다.

제어 레지스터의 기능은 표 1과 같고, 구성된 회로를 그림 7에 나타냈다.

3. 마이크로 프로세서 부분

A/D 변환을 제어하거나 완료된 후 취득된 샘플링 데이터를 신호 해석하기 위하여 Main 컴퓨터로 전

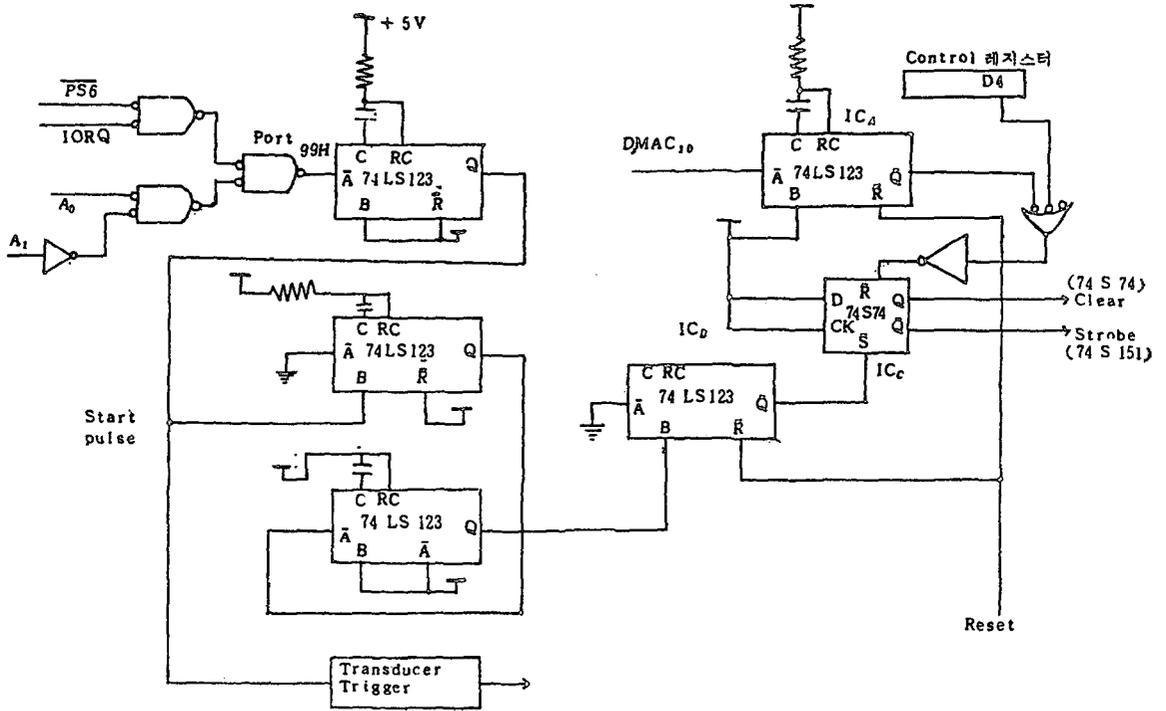


그림 7 A/D control circuit.

표 1 Function of control register.

bit	기능
D 0	A/D 변환의 clock rate를 선택
D 1	0 일때 가장 고속인 20MHZ
D 2	1 증가할때 마다 주기는 배가 됨
D 3	1 : A/D 0 : CPU RAM access
D 4	0 : RAM BANK Microprocessor의 memory에서 떨어져 나간다.

송하기 위한 부분이다. 전체적인 구성도는 그림 8과 같다.

(1)메모리 Map 및 메모리 디코딩

메모리는 시스템 모니터의 EPROM (2716) 2K Byte와 시스템 소프트웨어 용의 EPROM (2716) 2K Byte를 구성하고, RAM 영역으로 2000H~3FFH의 8K Byte 영역과 A/D 변환된 데이터를 기억시키는 RAM Bank를 C000H~DFFFH 영역에 구성하였다.

메모리 디코딩은 디코더에 의해 이루어진다. 전체 메모리 영역중 16K Byte(0000H~3FFFH)를 2K Byte의 블록으로 나누었다. A/D 변환된 후 RAM에 저장되어 있는 데이터를 마이크로 프로세서에 의해 읽어들이 다음을 처리를 하면 되지만 1개의 RAM속에 연속으로 데이터가 들어있지 않으므로 4개의 RAM에 연속으로 써넣은 것처럼 읽어 드

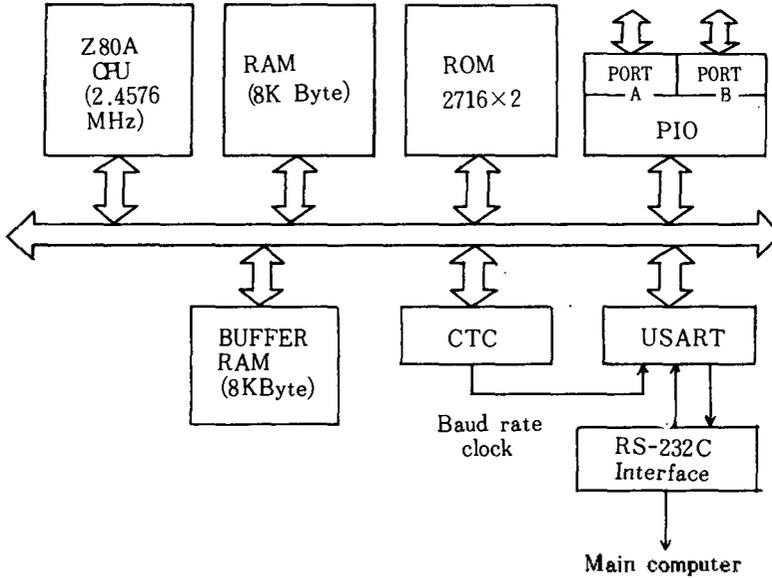


그림 8 Block diagram of microprocessor part.

발때도 그와 같은 방법으로 해야한다. 따라서 그림 9와 같이 어드레스 A₀와 A₁에 의해 순서대로 칩을 선택한다.

(2) 포트 디코딩

I/O 포트는 디코더에 의하여 8개의 부분으로 나누어 지도록 구성된다. 그리고 다시 이 어드레스 블록을 디코딩한다. 표 2에 포트 어드레스 디코딩을 나타냈다.

(3) PIO

Z-80 PIO는 일반적인 병렬 인터페이스 소자이다. 두 세트의 Handshake Line과 하나의 Interrupt Controller를 이용하여 소프트웨어에 의하여 병렬 데이터 처리를 할 수 있다. 본 연구에서는 병렬 데이터 전송, 외부 Controller의 제어등 시스템 확장성을 위하여 구성해 놓았다.

(4) CTC (Counter Timer Circuit)

표 2 I/O port decoding.

Port Select	Port Address Space	Connected to
ps 0	80H - 83H	Z-80 PIO
ps 1	84H - 87H	Z-80 CTC
ps 2	88H - 8BH	SEG LATCH
ps 3	8CH - 8FH	DIGIT LATCH
ps 4	90H - 93H	KB SEL
ps 5	94H - 97H	USART
ps 6	98H - 9BH	Control Register start pulse 발생 port
ps 7	9CH - 9FH	Unused

직렬 인터페이스 특히 비동기 직렬 인터페이스를 사용할 때는 시동되는 회선의 Baud Rate에 맞춘 클럭을 발생하는 Baud Rate 발생기를 필요로 한다. 따라서 CTC를 사용하여 Baud Rate 발생기를 구성하고, 소프트웨어에 따라, 110~19200 BPS의 클럭을 발생하도록 하였다.

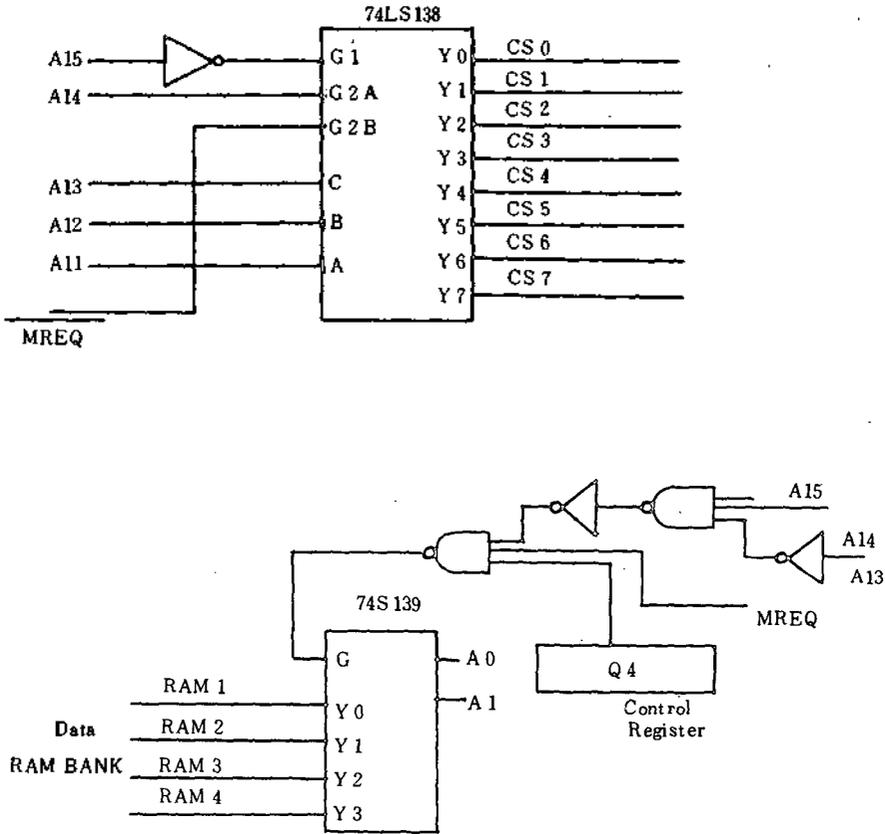


그림 9 Memory decoding.

CTC의 채널0의 CLK/TRGO에는 614.4KHz의 클럭이 공급되며 채널0은 이 클럭을 카운터에 의하여 분주하고, ZC/TO0에 Baud Rate 클럭을 출력한다. CTC의 특성을 살펴보면 ZC/TOX(X=0~2)에 출력되는 펄스폭을 시스템 클럭주기의 1.5배 정도가 되며 USART(8251)에 Baud Rate 클럭을 공급할 때는 Duty가 약 50%인 클럭을 필요로 한다. 따라서 ZC/TO0의 출력 주파수를 2배로 두고 플립-플롭에 의하여 Duty Cycle이 50%인 펄스를 얻어 Baud Rate 클럭으로 공급한다. CTC회로는 그림10과 같다.

(5)USART

A/D변환된 데이터를 다른 Main 컴퓨터로 전송하기 위해 Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter 8251을 사용하여 구성된 데이터 통신회로를 그림11에 나타냈다.

III. 모멘트 해석에 의한 감쇠계수의 추정 이론

C·W 도플러 시스템으로 부터 응용된 Z. C. C. (Zero-Crossing Count) 감쇠 추정법은 하드웨어 제작이 용이하기 때문에 시간 영역에서 일정한 시간 간격내의 Z. C. C.에 의해 실시간으로 매질의 통계적인 성질을 측정할 수 있다¹⁾. 그러므로 스펙트럼

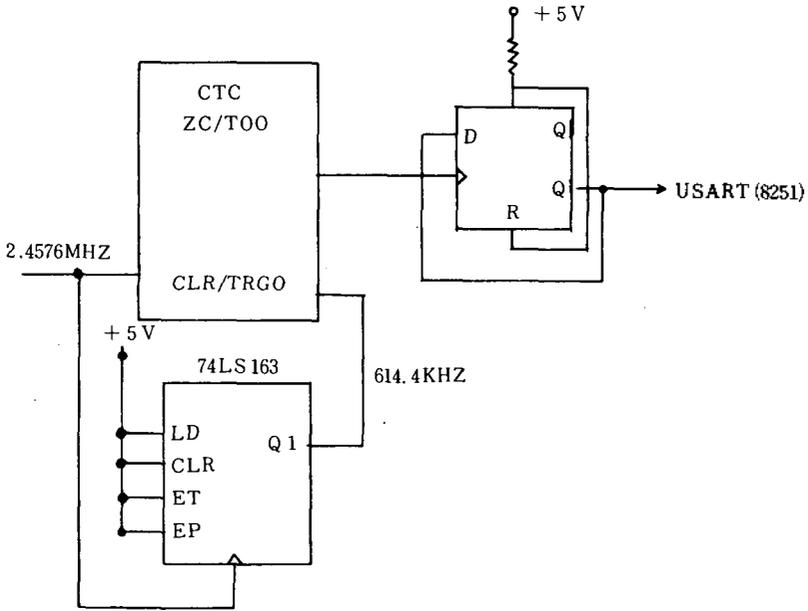


그림10 Baud rate clock generator circuit.

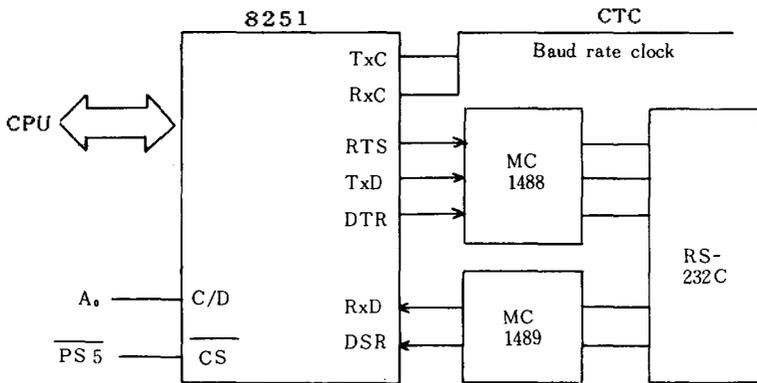


그림11 Interface between RS 232C and 8251.

의 Gaussian가정은 필요가 없으나 많은 오차가 수
반된다. 따라서 본 논문에서는 주파수 영역에서의
Z. C. D. 와 반사된 신호의 P. S. D. (Power Spectral
Density) 사이의 Rice관계식²⁾에 모멘트를 적용

하여 감쇠계수를 구하는 관계식을 유도하고자 한다.
먼저 반사신호의 P. S. D. 의 K번째 모멘트를 다
음과 같이 정의한다.

$$M_k = E\{f^k\} = \int_0^{\infty} f^k \cdot S_y(f) df \quad (1)$$

여기서 $E\{f^k\}$ 는 f^k 의 기대값이다. 그러므로 이산시스템에서 모멘트는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$M_k = \sum_{i=1}^N f_i^k \cdot S_y(f_i) \quad (2)$$

여기서 N 는 샘플링 수이다.

Z. C. D. 를 λ_0 로 정의할 경우 다음과 같게 된다.

$$\lambda_0 = \frac{1}{\pi} [-R''(0) / R(0)]^{\frac{1}{2}}$$

여기서 $R(\tau)$: 반사신호의 자기상관함수(Auto correlation Function) (3)

$R''(0)$: $R(\tau | \tau=0)$ 의 2개 도함수

반사신호의 자기상관 함수를 푸리에 변환하여 식(2)를 정리하면

$$S_y(w) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) \exp(-jw\tau) d\tau \quad (3)$$

여기서 $S_y(w)$ 는 P. S. D.

$$\lambda_0 = 2 \left[\frac{\int_0^{\infty} f^2 \cdot S_y(f) df}{\int_0^{\infty} S_y(f) df} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$= 2 (M_2 / M_0)^{\frac{1}{2}}$$

로 된다. 그러므로 Z. C. D.는 반사신호의 P. S. D.에 대응되는 2차 모멘트의 제곱근에 비례함을 알 수 있다. 반사신호의 P. S. D.가 거리에 관한 함수이므로 P. S. D.의 모멘트 또한 거리에 관한 함수가 되어 거리에 대한 도함수가 존재하게 된다.

$$\frac{\partial M_k}{\partial d} = -4 \alpha_0 \int_0^{\infty} f^{k+2} S_y(f) df \quad (5)$$

$$= -4 \alpha_0 M_{k+2}$$

식(5)를 이용하여 거리에 대한 도함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial \lambda_0}{\partial d} = -4 \alpha_0 \frac{(M_{k+2}/M_0 - M_2 \cdot M_k/M_0^2)}{(M_2/M_0)^{\frac{3}{2}}} \quad (6)$$

그러므로 감쇠계수는 수신된 신호의 P. S. D.의 4개의 모멘트와 Z. C. D.의 거리에 대한 기술기로 부터 구할 수 있다. 일반적으로 연부조직에서의 감쇠는 주파수에 대해 선형함수이므로 감쇠계수는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\alpha(f) = \alpha_0 \cdot f$$

$$\alpha_0 = -\frac{1}{4} \frac{\Delta \lambda_0}{\Delta d} \frac{(M_2/M_0)^{\frac{1}{2}}}{(M_0/M_0 - M_2 \cdot M_0/M_0^2)} \quad (7)$$

IV. 시스템 실행 및 실험

실험에 사용된 시험용 팬텀은 아크릴과 돼지근육이며, 트랜스듀서는 중심주파수가 3MHz이고 지름 D가 15mm인 원형판 진동자이다. 근거리장과 원거리장의 구분점인 $Z_R(D^2/4\lambda)$ 을 8.564cm이고, 원거리장에서의 회절각 $\theta_a (= \sin^{-1}(r \cdot 4\lambda/D))$ 는 5.313°가 된다. 원거리 장에서의 반사신호를 얻기 위하여 트랜스듀서와 팬텀간의 거리는 30cm로 하였다. 반사되어 나오는 에코신호 중에서 관심부위의 신호를 얻기 위하여 근거리 경계면과 원거리 경계면에 해당되는 적당한 폭만을 해밍창으로 선택하였다.

1. 아크릴의 경우

사용된 아크릴의 두께는 8mm이고, 이로부터 반사된 신호를 그림12에 나타냈다. 제안된 방법에 의해 측정된 Z. C. D.와 감쇠 계수 값을 표3에 나타냈다. 문헌에 따르면 아크릴의 감쇠계수는 0.767dB

B/MHz/cm로, 본 실험에서 측정된 값과 거의 일치됨을 알 수 있었다.

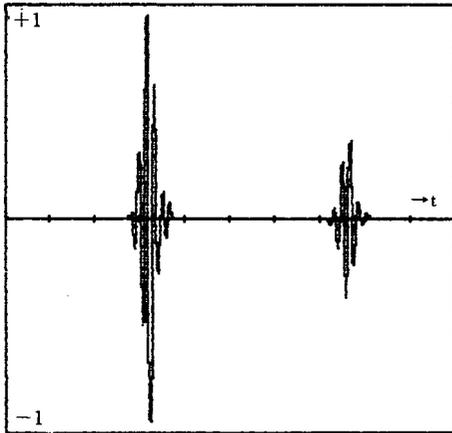


그림12 Reflected signal from acryl plate.

표 3 Measured result from acryl plate.

두께	Near Field Z. C. D	Far Field Z. C. D	감쇠 계수 (dB/MHz·Cm)	오차(%)
8mm	6.2667	5.8672	0.7568	1.02%

2. 돼지 근육의 경우

사용된 돼지근육은 IV VITRO로 얻어진 것이며 조직중 약 30mm에 해당되는 부분의 신호를 그림13에 나타냈다. 측정결과 표4에서 보는 바와 같이 약 3dB의 오차가 발생됨을 알 수 있었다. 돼지근육의 반사신호에는 조직의 구조에 따라 비선형적인 효과

표 4 Measured result from pig's muscle.

Near Field Z. C. D.	Far Field Z. C. D.	감쇠 계수 (dB/MHz·Cm)
4.7331	4.3614	1.0384

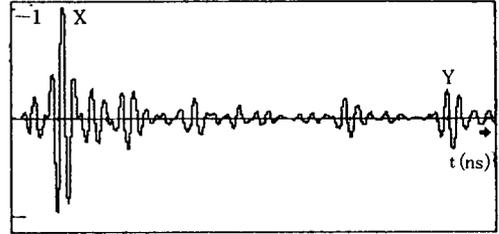


그림13 Reflected signal from pig's muscle.

가 포함되어 있으므로 Deterministic 신호에서의 측정오차보다 크게 나타나고 있다.

V. 결 론

초음파 펄스 에코 진단장치가 실험장치의 수준으로 개발되었다. 본 연구의 결과로써 대부분 컴퓨터 모의실험에 의존했던 생체공학에 관련된 연구를 저렴한 가격으로 구성될 수 있는 시스템을 이용하여 실제적으로 수행하는 일이 가능하게 되었다.

본 연구실에서는 조직의 정량화에 관한 기초 연구결과를 응용하여 정량성을 지닌 진단장치의 개발을 목적으로 하고 있다.

*이 논문은 한국학술진흥재단의 1986년도 연구비에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

1. J. Ophir, M.A. Ghouse and L.A. Ferrari, "Attenuation Estimation with the Zero-Crossing Technique," Ultrasonic Imaging 7, pp.122-132 (1985).
2. A. Papoulis, "Probability, Random Variables and Stochastic Process," pp.485-487 (McGraw Hill, New York, 1965).
3. "Z-80 Technical Manual," (Zilog).
4. Harold S. Stone, "Microcomputer Interfacing," (Addison Wesley).