

## 컴퓨터 내장형 비파괴검사용 초음파탐상기 개발

이원흠\*, 김진구\*, 김양래\*\*, 최관순\*\*, 김선형\*\*, 이순흠\*\*

\* 중앙검사주식회사

\*\* 순천향대학교

**요 약** 현재 널리 사용되고 있는 비파괴검사중의 하나인 초음파탐상검사(ultrasonic testing)는 교량, 발전소, 석유화학플랜트 및 중공업분야 등에 사용되는 각종 구조물의 사용전·중검사에 폭넓게 응용되고 있으며, 구조물의 안전관리와 품질관리에 필수적으로 요구되고 있다. 또한, 이들 구조물에 존재하는 결함에 대한 정량적 평가 및 검사 데이터의 해석에 많은 연구가 진행되고 있다. 기존의 초음파탐상검사에 사용되는 휴대용 초음파탐상기의 단점을 보완하기 위해 컴퓨터 내장형 초음파탐상기가 선진국에서 개발되고 있으며 다양한 소프트웨어의 사용에 따른 검사 신뢰도가 향상되고 있다. 본 연구는 컴퓨터 내장형 초음파탐상기를 구성하고, 이를 콘트롤할 수 있는 프로그램, 검사 결과의 저장 및 신호 처리 해석이 가능한 소프트웨어를 개발하였다.

### 1. 서 론

교량, 발전소, 석유화학플랜트 및 중공업분야 등에 사용되는 각종 구조물의 사용전·중검사를 위한 비파괴검사중의 하나인 초음파탐상검사(ultrasonic testing)가 널리 사용되고 있다. 이는 구조물의 안전관리와 품질관리에 필수적으로 요구되고 있기 때문이다. 현재 초음파탐상검사 방법에 의한 구조물에 존재하는 결함에 대한 정량적 평가 및 검사 데이터의 해석에 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나, 기존에 초음파탐상검사에 사용되는 휴대용 초음파탐상기의 경우 다음과 같은 문제점을 갖고 있다.

- 1) 아날로그 초음파탐상기인 경우 검사 결과의 저장 및 신호 처리가 불가능하기 때문에 검사의 신뢰도 향상에 어려움이 따른다.
- 2) 디지털 초음파탐상기의 경우, 메모리에 제한을 받기 때문에 검사 결과의 저장량이 제한되며,

정량적 평가를 위한 부수적인 검사 장치의 운용에 어려움이 따른다.

이를 보완하기 위해 컴퓨터 내장형 초음파탐상기가 선진국에서 개발되고 있으며 다양한 소프트웨어의 사용에 따른 검사 신뢰도가 향상되고 있다. 그러나 이러한 검사 장비의 경우 외국으로부터 수입에 의존하고 있으며, 매우 고가의 계측 장비이다. 특히 하드웨어보다는 기술 집약적인 소프트웨어의 가격이 상대적으로 매우 높고 지속적으로 개발되는 실정이다.

본 연구에서는 기존의 초음파탐상기의 단점을 보완할 수 있는 컴퓨터 내장형 초음파탐상기 및 자동검사장치를 개발함으로써 검사 신뢰도를 향상시키며, 초음파현미경(ultrasonic microscope), 음향방출법(acoustic emission) 등 여러 비파괴검사에 응용이 가능한 계측 시스템을 구성하는 자동화장치 및 응용 소프트웨어를 개발하였다.

2. 하드웨어의 구성

일반적으로 초음파 탐상검사의 A, B, C-scan system 제작시 주로 사용하는 방법은 초음파 pulser/receiver의 gate 회로에서 제공되는 time of flight와 amplitude 신호를 이용하는 방법과 RF signal을 이용하는 두 가지 방법으로 구분된다<sup>1-3)</sup>.

전자의 경우 비교적 저속의 A/D convertor를 사용하여 time of flight와 amplitude 신호의 레벨을 얻은 후 화면에 표시하는 방법으로 간단히 B, C-scan system을 구성할 수 있다. 그러나 이 방법의 큰 단점은 가장 중요한 정보인 RF signal의 재현이 불가능하고 검사 신뢰도 향상을 위한 신호처리 등의 추가적 해석기법의 적용에 어려움이 따른다. 본 연구에서는 초음파 RF signal을 이용한 A, B, C-scan system을 구성하고자 하며, 이에 따른 전반적인 hardware 구성은 Fig. 1과 같다.

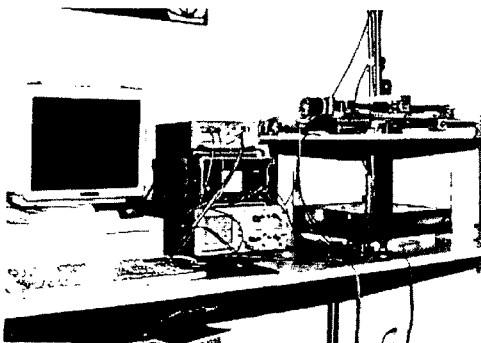
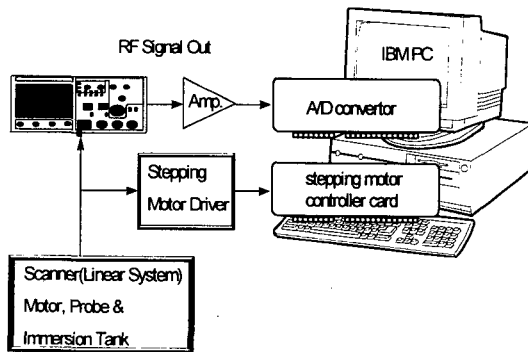


Fig. 1. Computer based ultrasonic system

2.1. 휴대용 초음파탐상기

현재 산업 현장에서 주로 사용하고 있는 휴대용 초음파탐상기(아날로그 및 디지털방식)에서 제공하는 RF output signal을 사용함으로써 본 연구에 필요한 초음파 pulser/receiver로 사용하였다. 본 연구에서는 휴대용 초음파탐상기인 영국 Sonatest 사의 UFD 7A를 사용하였고 RF output signal을 A/D converter Ch. 1에 pulser signal을 trigger input에 연결한다.

2.2. A/D convertor board

본 연구에서는 초음파 신호 검출에 적합한 IBM PC용 ISA Bus Type A/D convertor board로서, C, C++, Windows DLL 등 다양한 software driver를 제공하는 캐나다 GaGe사의 CS LITE를 사용하였으며, 주요 재원은 다음과 같다.

- 최대 샘플링 속도 : 40MHz
- 입력 채널 : 2 channel (A, B)
- 분해능 : 8 bit (0 - 255)
- Memory : 16 kbyte
- Input range :  $\pm 200mV$ ,  $\pm 1V$

다만, 최소 입력 전압 범위가  $\pm 200mV$ 이므로 휴대용 초음파 탐상기의 출력 RF signal의 전압 증폭을 위해 pre-amp를 제작, 장착하였다<sup>12)</sup>.

2.3. Stepping motor controller

Stepping motor control board는 Advantech사의 PLC-838을 사용하였으며, 주요 재원은 다음과 같다.

- Channels : 3 (X, Y, Z)
- Speed range : 1 - 10,000 PPS
- Operating mode : CW/CCW, pulse-direction
- Digital in/out : 24 (TTL)

2.4. Stepping motor & driver

스테핑 모터는 Sanyo Denki사의 정격전압 4.7V, 정

격전류 1.8A의 2상여자방식의 모터(1.8 DEG/STEP)를 사용하였고, 스텝핑 모터의 최대 토크를 갖는 300-400PPS의 구동 속도로 동작하도록 하였다.

모터 드라이버는 스텝핑 모터 전용 IC인 PMM8713를 사용하는 유니폴라 정전압 구동 방식을 사용하여 3축제어용으로 제작하였다<sup>10)</sup>.

2.5. Scanner & immersion tank

초음파 센서의 위치를 제어하는 scanner는 볼스크류 베어링(1회전당 5mm이송) 등을 사용하여 1.8 DEG/STEP(200 Pulse/1회전) 스텝핑 모터 사용시 최소 25 $\mu$ m의 작은 거리를 이송할 수 있도록 설계·제작하였으며 500mm×500mm×300mm(X-Y-Z)의 검사 영역을 갖도록 하였다. 또한 수침법을 위한 immersion tank (400mm×400mm×250mm)를 제작하였다.

3. 소프트웨어의 구성

본 연구에서 software 개발 영역은 다음의 2 가지로 구별되며, 언어는 C 와 assembler를 사용하였다.

3.1. A, B, C-scan 및 scanner control 프로그램

A/D convertor board와 stepping motor controller board를 동시에 구동시키며 초음파 신호를 실시간 display하고, 임의의 초음파 RF 신호를 저장할 수 있는 software를 제작하였다.

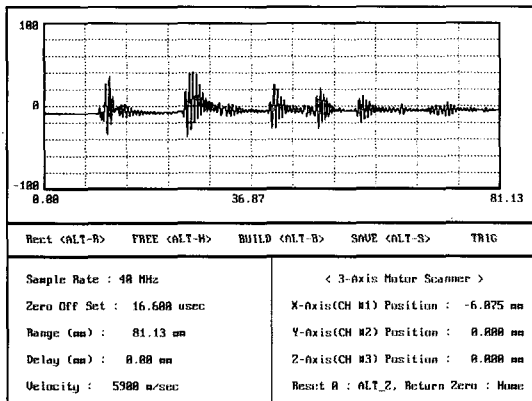


Fig. 2. A-scan & motor control software

Fig. 2는 A-scan 초음파탐상기의 control 화면과 센서를 구동시키는 scanner control 화면이다. A-scan 초음파탐상기의 조종부는 일반적으로 사용되는 디지털 초음파탐상기와 같은 기능을 하며, 센서의 이동은 25 $\mu$ m, 1mm, 5mm 간격으로 이동하도록 되어 있으며, 원점 설정 기능 및 원점 복구 기능, 검사 영역 설정 기능 등을 갖도록 하였다.

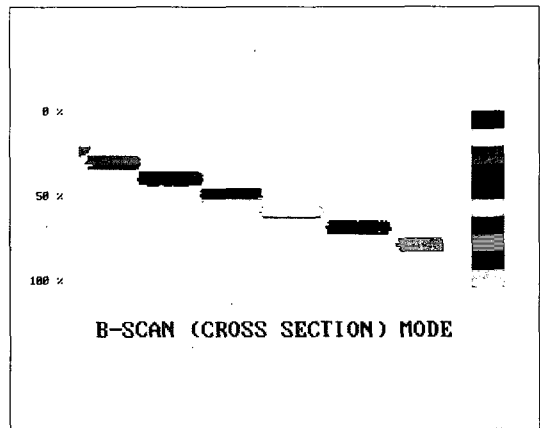


Fig. 3. B-scan display

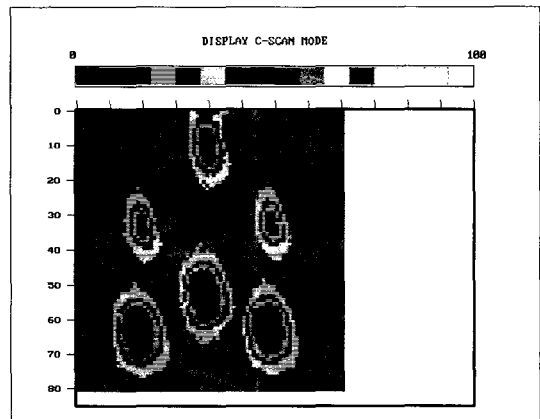


Fig. 4. C-scan display

초음파 RF 신호의 저장은 AD convertor의 메모리 전체 크기 길이인 16kbyte 크기의 신호를 하나씩 저장하는 방법과 B, C-scan을 위해 550개(Pixel)를 하나의 RF signal로 저장하는 방법을 사용하였다. A-scan mode에서 임의의 구간에서의 초음파 신호중 시간축 값(time of flight)과 최대 진폭값(peak-amplitude) 및 scanner 구동에 따른 센서의

위치값을 이용하여 검사체의 단면도(B-scan) 및 평면도(C-scan)를 얻을 수 있으며, Fig. 3은 계단모양의 두께 변화를 갖는 검사체로부터 얻어진 단면도(B-scan)를 나타내며, Fig. 4는 다른 크기의 인공 결함(관통홀)을 갖는 검사체에 대해 0.5mm 간격으로 검사 영역 40×40mm에 대해 얻어진 평면도(C-scan)를 나타낸다.

### 3.2. 초음파 신호에 대한 신호 처리 프로그램

초음파 센서의 성능 평가, 초음파의 주파수별 감쇠량, 검사체의 재료 상태 및 초음파 반사 신호의 특징 추출 등의 평가에 유용한 주파수 분석(FFT)프로그램을 제작하였다.<sup>5), 6), 8)</sup>

초음파 입력 신호(RF signal)를 f(t)로 주어질 때, 푸리에변환(fourier transform)은 다음 식과 같다.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} f(t)[\cos(2\pi ft) - j\sin(2\pi ft)] dt$$

$$|F(\omega)|_{mag} = \sqrt{RE[F(\omega)]^2 + IM[F(\omega)]^2}$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{IM[X(f)]}{RE[X(f)]}\right)$$

Fig. 5는 초음파 반사 신호(RF signal)에 대한 주파수 분석의 예로 주파수 영역상에서의 peak frequency, center frequency, 3dB & 6dB 지점의 band-width, 위상 등을 계산하여 표시하며, 커서를 이동하여 각 주파수별 정보를 얻을 수 있다.

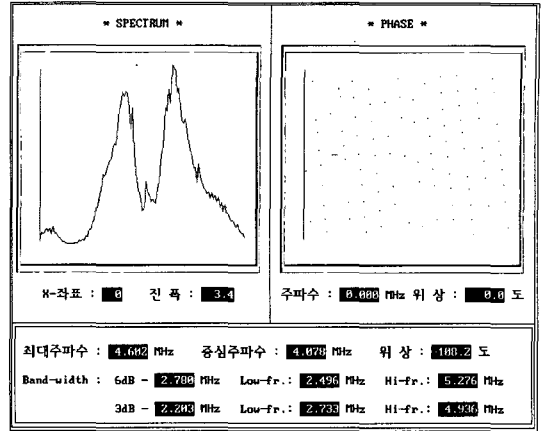
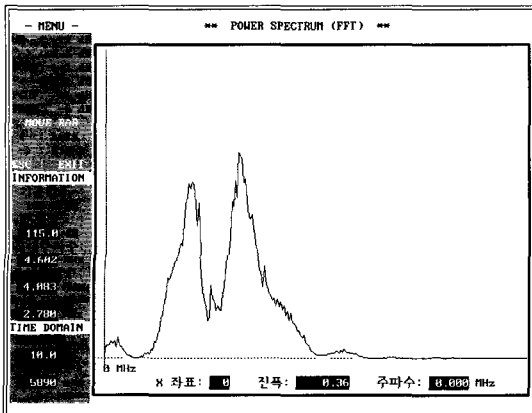


Fig. 5. Power spectrum for ultrasonic signal

## 4. 결론

본 연구에서는 기존의 휴대용 초음파탐상기의 단점을 보완할 수 있는 컴퓨터 내장형 초음파탐상기를 개발하였다. 초음파탐상검사 결과를 저장할 수 있으며, 검사체에 대한 A, B, C-scan을 display 할 수 있는 프로그램 및 초음파 신호의 신호 처리 프로그램 등 초음파탐상검사 관련 응용 프로그램을 개발하였으며 여러 가지 계측시스템에 효율하게 사용될 수 있음을 보였다. 본 연구에서 개발된 시스템은 반도체 검사 및 정밀 부품의 검사에 사용되는 초음파현미경 및 재료의 성분 및 제조 상태를 비파괴검사적으로 평가할 수 있는 계측 시스템에 응용될 수 있을 것이다.

검사체의 형태에 따른 적합한 센서 이동 장치의 개발과 검사체의 display 및 보다 강화된 초음파 신호 처리 프로그램의 개발이 요구되며 아울러 자동 검사 장치에 대한 연구는 비파괴검사의 수준 향상과 이에 따른 검사 신뢰도에 기여할 것이다.

## 후 기

본 연구는 1995년도 산학협동재단 지원 학술 연구 조성비에 의해 연구되었음.

## 참고 문헌

1. Bernard Hosten, "High-Precision Measurement

- Using Digital Oscilloscopy", Material Evaluation (1990), pp. 1416-1422
2. J. L. Rose & G. H. Thomas, "Microprocessor Utilization in Ultrasonic Nondestructive Inspection System", Material Evaluation, Jan.(1980), pp. 69-76
  3. V. E. Panhuse, "The Implementation of a Computerized Ultrasonic Scan System" Material Evaluation, Feb.(1984), pp. 231-238
  4. ASNT "Nondestructive Testing Handbook, Ultrasonic Testing, Vol. 7"
  5. A. Sinclair "Analysis of the Ultrasonic Frequency Response for Flaw Detection : A Technical Review" Material Evaluation Jan.(1985), pp. 105-107
  6. Paul M. Embree, Bruce Kimble, "C Language Algorithms for Digital Signal Processing", Prentice Hall
  7. G. P. Singh, "Fundamentals of Data Acquisition for Nondestructive Evaluation", Material Evaluation, Nov.(1990), pp. 1341-1347
  8. 이원흠, 장경영 "초음파 사각탐상시 결합형상에 따른 주파수 특성에 관한 연구", 한양대학교 석사학위논문.(1995)
  9. 김응목, 박선호, 퍼스컴 제어와 인터페이스 실습, 도서출판 기문사
  10. 김응목, 박선호, 모터회전의 회로기술(제어용 및 스테핑모터의 실용회로설계), 도서출판 세화
  11. IBM PC 인터페이스 기술, 가남사
  12. 실용 OP앰프회로. 디지털회로, 성안당

## Development of Computer Based Ultrasonic Flaw Detector for Nondestructive Testing

Weon Heum Lee\*, J. K. Kim\*, Y. R. Kim\*\*, K. S. Choi\*\*, S. H. Kim\*\* and S. H. Lee\*\*

\* Joongang Inspection Co., Ltd., Seoul 135-010

\*\* Soonchunhyang University, Asan, 336-745

**Abstract** Ultrasonic testing is one of the most widely used method of nondestructive testing for pre-service inspection(PSI) & in-service inspection(ISI) in structures of bridges, power plants, chemical plants & heavy industrial fields. It is very important to estimate safety, life, quality of structures. Also, a lot of research for quantities evaluation & analysis inspection data is proceeding. But traditional portable ultrasonic flaw detector had been following disadvantages.

- 1) Analog ultrasonic flaw detector decreased credibility of ultrasonic test, because it is impossible for saving data & digital signal processing.
- 2) Stand-alone digital ultrasonic flaw detector cannot effectively evaluate received signals because of lack of its storage memory.

To overcome this shortcoming, we develop the computer based ultrasonic flaw detector for nondestructive testing. It can store the received signal and effectively evaluate the signal, and then enhance the reliability of the testing results.