

컴퓨터제어식 5축 자동초음파탐상장치의 개발

김 영 수* · 김 재 곤* · 박 중 채* · 김 낙 인*

A Development of Computer Controlled 5 Axis Ultrasonic Testing System

Y. S. Kim, J. G. Kim, J. C. Park and N. I. Kim

Abstract A computer controlled 5 axis ultrasonic testing system is developed in order to detect flaws in special parts with complex shape. The various kinds of ultrasonic test can be performed automatically using computer program which was developed by DHI(Daewoo Heavy Industries Ltd.). By use of this computer program, the detector location can be programed and the amplitude signal of echo can be processed digitally. The test results can be plotted graphically on a high resolution display monitor in real time base. The test data can be also saved in magnetic memory devices(HDD or FDD) as well as in the form of hard copy through color printer. The computer software contains c-scan, c+a scan processing programs as well as statistical analysis for test data.

I. 서 론

당사에서는 비파괴시험 특히 초음파탐상분야를 현장에서 폭 넓게 활용하고 있으나 일반 용접부나 주강, 단조품에 대한 간단한 현장검사에 적용하는 수준이므로 현재 당사에서 개발, 제작하고 있는 핵심부품들의 정밀 라인검사에는 부적합하였다. 더욱이 이런 핵심제품은 제품특성상 기존의 단순한 초음파시험기만으로는 불감대의 특성을 배제시킬 수 없어 검사가 불가능하므로 제품과 탐촉자를 직접 접촉시키지 않고 일정거리를 유지시키며 검사하는 특수한 초음파 시험법(수침법)과 이때 제품의 표면을 추적할 수 있는 정밀한 센서 구동장치가 요구된다. 그러나 국내에서 일반적으로 보유하고 있거나 개발된 고급초음파

시험장비는 고가일 뿐 아니라(1억2천~1억8천) 2~3축 구동방식이므로 평면검사만 가능하며 시험 데이터의 분석도 일정한 범위에서 제한된 것만 처리 가능했다. 그러므로 이런 검사상의 제약사항을 모두 해결하기 위해 다음과 같은 시스템을 개발하게 되었다.

실사용에 효과적이며 정밀탐상이 가능한 초음파 자동검사장치를 구현시키기 위해 첫째, 기존의 단순한 초음파탐상기에 탐촉자를 자동으로 이송시킬 수 있는 자동이송장치^{2,4,5} 즉 구동부(5축 구동)와 이를 PC로 제어하는 제어부(Controller & Interface Card)를 설계 제작하였고¹⁾ 둘째, 시험에서 얻어진 초음파 시험 데이터와 자동이송장치의 위치 데이터를 일치시킨 화상처리와 분석, 시험결과와 인쇄처리 및 구동부의 위치 제어를 할 수 있는 소프트웨어를 자체 개

* 대우중공업(주) 중앙연구소 소재기술부
접수 : 1990년 6월 28일

발하였다.³⁾ 본 시스템에서 사용한 초음파탐상기의 제원은 다음과 같다.

Table 1. Specification of ultrasonic tester

ITEM		DESCRIPTION	REMARKS
MODEL(MAKER)		USIP12 (KRAUTKRAMER/GERMANY)	
FREQUENCY RANGE	NARROW BAND	0.5~15 MHz	
	WIDE BAND	1~25 MHz	
GAIN		0~112 dB	
PULSE REPEATATION RATE		20 Hz~8 KHz	

2. 연구내용

2-1. 자동 검사장치

본 장치는 초음파탐촉자를 평면 제품과 구면인 시험물 모두 검사 가능토록 X, Y, Z 및 B 축이 동시에 또는 각각 독립적으로 구동하며 시험을 회전(C 축)시킬 수 있는 5축 구동으로 설계 제작되었다. 또한 각축은 스텝모터를 이용한 개방제어 구조로 제어하였다.

구동은 PC를 이용한 자동모드(Computer Interfaced Control)와 조그다이얼을 이용한 수동모드가 모두 가능토록 하였으며 시험에서 얻어진 데이터는 자체 개발된 소프트웨어에 의해 영상처리되고 필요시 하드디스크(또는 디스켓)에 보관시키거나 칼라프린터에 의해 출력시킬 수 있도록 제작되었다.

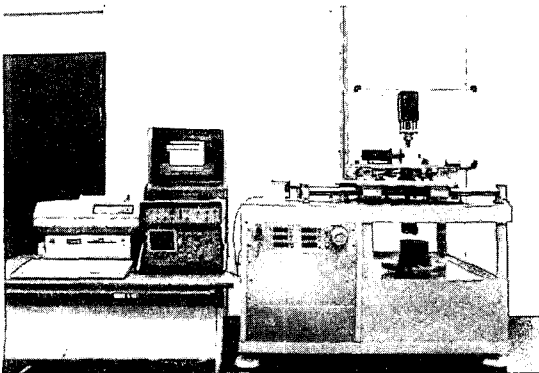


Fig. 1 Auto scan system

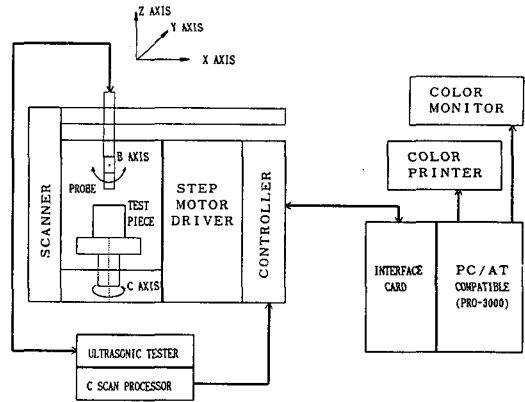


Fig. 2 Block diagram of auto scan system

2-1-1. 구동부 제원

자동 이송장치의 부품은 경량화와 부식방지를 위해 대부분 알루미늄합금 소재를 사용했으나 일부 강성이 요구되는 부분에는 스텐레스 강이나 일반 강재를 사용했다. 구동부의 제원은 다음과 같다.

Table 2. Specification of moving parts

AXIS	MAIN PARTS	MAX. STROKE	MAX. VELOCITY	STEP ANGLE*
X	BALL SCREW & BALL GUIDE	420mm	100mm/sec	0.72°
Y	BALL SCREW & BALL GUIDE	430mm	100mm/sec	0.72°
Z	RACK & PINION	200mm	10mm/sec	0.0036°
B	WORM & WORM WHEEL	-	2.34°/sec	0.0036°
C	TIMING BELT & PULLEY	-	3rev/sec	0.72°

* STEP MOTOR(5 PHASE)

2-1-2. 제어부(Controller Parts)

PC를 이용한 자동 이송장치의 구동과 제어 및 시험데이터의 획득을 위해 PC와 모터구동부, PC와 초음파탐상기의 데이터 전달을 가능케 해주는 인터페이스 카드를 자체 개발하였으며 자동 이송장치의 조정판에서 현 탐촉자의 위치(시험위치)를 쉽게 알아볼 수 있도록 표시부를 부착시켰다.

또한 시험기의 안전과 시험자의 편의를 위해 4개의 위치센서를 각 축에 부착시켜 구동거리(stroke)의

제한과 기기의 절대원점 및 상대원점(시험위치)를 정의해 놓았다.

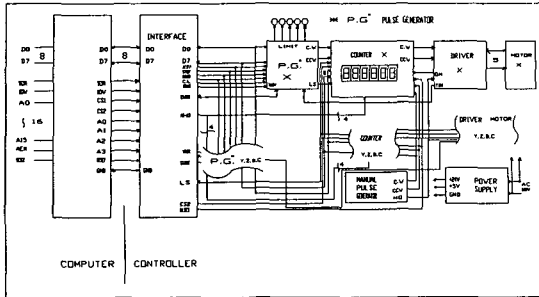


Fig. 3 Circuit diagram of controller & interface parts

2-2. 소프트웨어

당사에서 개발된 소프트웨어는 터보 C(Version 2.0)과 터보 어셈블러(Version 1.0)로 작성되었다. 이 언어는 다른장비들과 데이터를 주고 받을 때 속도 및 성능 면에서 우수한 특성을 나타내는 언어이다.

PC와 제어부 사이의 데이터전송은 1:1 입출력부 접속(I/O map)방식이며 모타 제어는 약속된 명령어들을 제어부에 예약시켜 놓고 시작신호에 의해 순차적으로 구동되게 하는 방식(Down Load 방식)을 사용했다.

2-2-1. 하드웨어 제원

당사에서 개발된 소프트웨어의 구현을 위해 요구되는 하드웨어의 사양은 다음과 같다.

Table 3. Required hardware options

NO.	ITEM	SPECIFICATION(MODEL)	REMARKS
1	PERSONAL COMPUTER	IBM PC/AT COMPATIBLE (RAM 640 KB)	
2	MONITOR	MULTI SYNCHRONIZED (MAX. 1024 X 768)	
3	VIDEO CARD	ENHANCED VGA (1024 X 768, 16 COLOR) VIDEO RAM 512 KB	
4	COLOR PRINTER	COLOR INK JET TYPE	
5	MOUSE	LOGITECH OR MICROSOFT SERIAL MOUSE	

2-2-2. 소프트웨어 기능

시스템의 핵심이 되는 부분으로 구동부 제어, 시험 데이터의 획득, 화상처리, 분석처리, 저장 및 화면인쇄기능을 포함하고 있는데 이런 기능을 사용할 필요가 있을 때는 언제든지 전 메뉴가 나타났다가 사라질 수 있는 메뉴방식(Pop & Pull Down Menu)과 화면인쇄를 위한 핫키(Hot Key) 방식으로 되어 있으며 메뉴선택시 자판과 마우스를 동시에 사용할 수 있어 현장 사용자가 쉽게 사용할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 특히 메뉴에 한글을 사용해 사용자의 편리도를 도왔다.

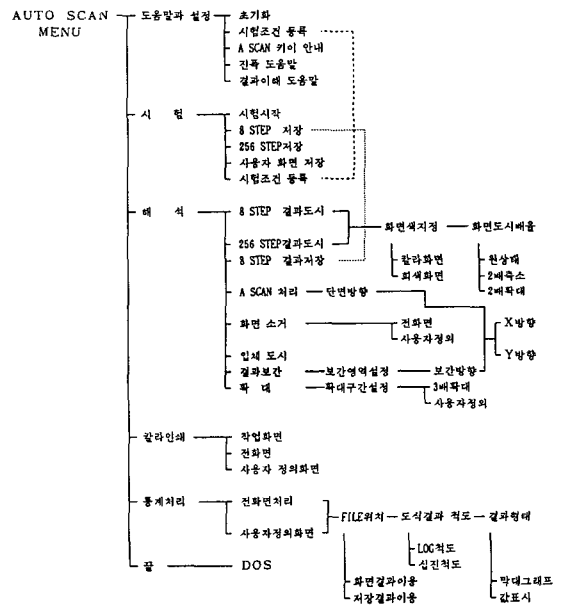


Fig. 4 Screen menu(data acquisition, display, analysis, saving & hardcopy)

(1) 스텝모타 제어

각 명령어 조합을 모듈화(Library) 시켜 프로그램이 가능하게 되어 있는 펄스발생기(Programmable Pulse Generator)에 목적과 적절한 값 및 순서대로 명령하면 구동토록 되어 있다. 따라서 필요한 어드레스와 상수를 그 숫자 의미의 단어로 정의하고 다시 예약어 화일(Headfile)로 정의시켜 이용하므로 소프

트웨어의 가변성 및 확장성이 용이토록 하였다.

또한 다축모타의 구동을 하기 위해 구동상태 점검(Strobe Check)을 모다가 가동중임을 나타내는 신호. 점검방법과 시간지연방법 두가지로 사용해 실제 5축모두를 동시에 또는 별개로 구동 가능케 되어있다.

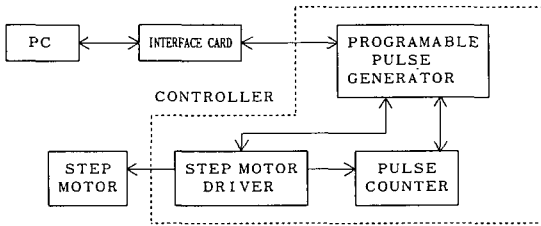


Fig. 5 Block diagram of control algorithm

(2) 시험데이터의 입력과 출력

초음파탐상기의 출력단자를 통해 나온 아날로그 시험데이터를 8비트의 디지털신호로 변환시킨 후 PC의 입출력 단자중 하나를 통해 직접 읽어들인다(I/O map 방식). 이때의 데이터 변환처리 속도는 40 kHz로 시스템에서 요구하는 변환속도를 충분히 만족시켰다. 이 데이터는 분석 처리되지 않은 초기 데이터이므로 차후의 분석을 위해 이 상태대로 임시보관이 되며(Data Location과 Map 방식) 동시에 시험자가 현 시험물의 검사상태를 인지해야 하므로 PC의 화면상에 현 탐촉자의 위치와 상응하는 위치에 최대 화면분해능 1024 × 768(Pixel Resolution)을 이용해 나타나도록 하였다(Real Time Display).

이때 실제 데이터는 8비트인 256등분으로 입력하여 저장 및 분석처리를 하지만 화면에는 시험자가 색이나 농담의 구분이 용이하도록 8등분(8색 또는 & gray level)하여 표시하였다.

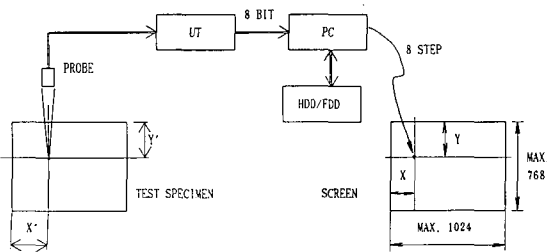


Fig. 6 Block diagram of data acquisition & display

(3) 데이터분석과 저장

시험데이터는 시험특성 및 데이터의 특성에 따라 통계처리를 이용해 분석하게 되는데 현재의 분석특성에 따라 적절한 몇개의 선택기능을 두어 실제 검사 결과를 사용자가 쉽게 분석 이해할 수 있도록 하였다. 이 결과는 화면에 출력시키거나 PC 외부의 보조 기억장치(하드디스크 또는 디스켓)에 저장시킬 수 있다.

(4) 화면인쇄

시험이 완료되면 정밀한 결과 분석 및 보존이 필요할 때마다 시험결과 화면을 칼라프린터로 인쇄할 수 있게 되어 있다. 프린터는 기본 4색으로 되어 있으나 색 배합 방법을 프로그램하여 구동시키므로 8색을 사용할 수 있게 변환시켜 화면상의 영상중 사용자가 지정한 부분을 그대로 인쇄할 수 있도록 하였다. 프린터 프로그램 방법은 프린터의 1024 × 4(가로 × 세로) 대응 가상메모리(point map)을 이용 화면상의 영상색을 읽어 상응하는 위치에 표시한 후 그 결과를 복사시킨 것이다.

3. 시험사례

개발된 초음파 자동이송장치를 이용한 표준시험편(STB-A1)과 이중 금속접합부 검사결과를 Fig. 7부터 Fig. 11에 예로써 나타내었다(시험조건 Table 4 참조). 표준시험편 검사결과를 보면 장비운용시 장비가 안정되어 있어(진동 등이 나타나지 않아) 시험데이터가 안정되게 얻어진다는 것을 확인할 수 있으며(Fig. 7) 특히 이중 금속접합부 검사에서는 시험후 제품의 각 부분에서 시편을 채취하여 전단시험을 실시하고 그 시험데이터를 초음파시험 데이터와 대비 분석하여 표준화된 초음파시험을 실시하면 전단강도를 색으로 구분하는 것이 가능하다는 결과를 얻었다. 이것은 특정제품에 대한 데이터 베이스(표준시험조건 + 물질특성) 구축으로 현장에서 제품에 대한 즉각적인 정량적 분석이 가능하다는 것을 말해준다.

(1) C 스캔

시험결과(Signal Amplitude)를 선형적으로 균등분하여 화상처리한 것이다. 그림에서 보는 것처럼 중앙부에 비해 외곽으로 갈수록 접합이 잘되지 않았다는

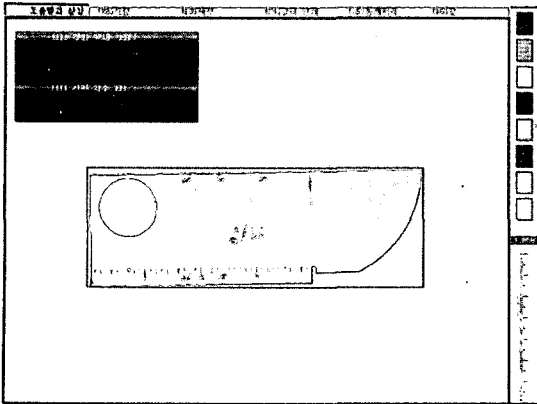


Fig. 7 Test result(STB-A1)

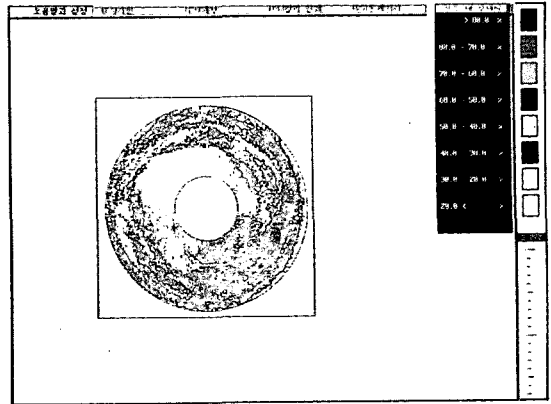


Fig. 8 C Scan(disk/steel + powder metal)

Table 4. Test condition

FIG. NO.	TEST SPECIMEN	RPROBE(FREQ./ FOCAL LENGTH**)	SCANNING AREA	TESTING TIME
7	STD BLOCK STB-A1	25MHz 25.4mm	305 × 110mm	30MIN
8	PM*METAL BONDING BLOCK	15MHz 50.8mm	φ110mm	10MIN
9	*BRAKE DISK	15MHz 50.8mm	310 × 310mm	48MIN
10	COIN (50₩)	25MHz 25.4mm	25 × 25mm	20MIN
11	PM*METAL BONDING BLOCK	15MHz 50.8mm	φ110mm	10MIN

* power metal(copper base) + steel base

** focal distance in water

***scanning increment depends on the dimension of testing area (min. size 0.01mm)

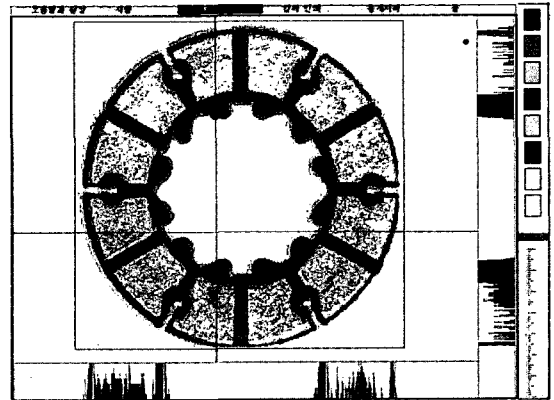


Fig. 9 C+A Scan(brake disk)

것을 정량적으로 알 수 있게 해준다.

(2) C+A 스캔

C 스캔을 실시한 결과와 그 결과를 임의의 단면에서 파형크기(Signal Amplitude)로 재조명(A 스캔 처리) 해본 것을 함께 화상처리한 것이다. 다시 말하자면 C 스캔 임의의 단면을 따라 나타난 A 스캔 파형을 모아 놓은 것이다.

(3) 확대기능

C 스캔 결과분석시 중점검사 부분에 대해 임의의 배율로 확대 처리한 것으로 보다 정밀한 분석이 가능하다.

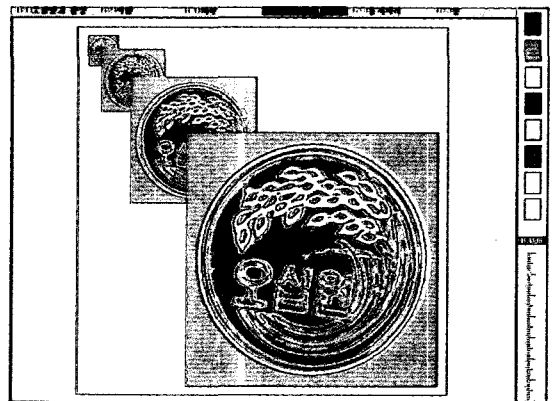


Fig. 10 Zoom

(4) 통계처리

C 스캔 결과를 분석하는데 사용하는 것으로 파형의 크기를 나타내는 색 분포를 통계처리하여 로그나 십진도표로 그려주는 기능으로 제품의 경향을 쉽게 판단할 수 있게 해준다.

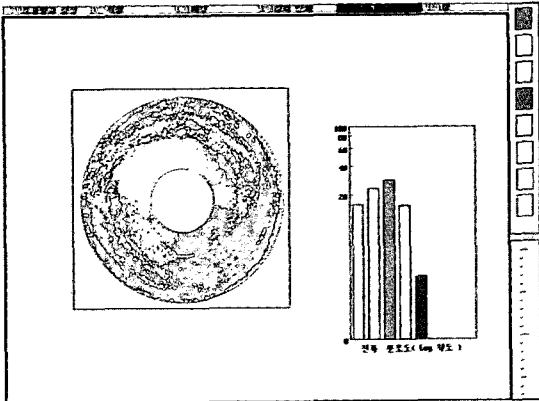


Fig. 11 Statistical analysis(log scale)

4. 결론 및 향후과제

정밀한 검사를 위해 개발된 본 시스템의 특징은 5축을 각각 또는 동시 구동이 가능한 PC 제어식 초음파 자동이송 장치이며(X, Y축 위치 정밀도 0.01mm 이내) 다양한 데이터 획득 및 분석처리가 가능하다는 것이다. 특히 개발된 여러 소프트웨어의 기능(한글 메뉴, 마우스 사용, C 스캔, C+A 스캔, 확대 및 통계처리 기능등)은 다양한 분석 및 쉬운 결과이해를 가능케 해주었다. 이는 고가의 시험장비를 국산화시켰다는 점과 시험에 요구되는 소프트웨어를 자체 개발하므로 여하한 시험자의 요구(제품특성에 적합한

초음파 검사방법 및 전용 시험장치)도 만족시켜 줄 수 있는 시험시스템 개발에 대한 핵심기술을 확보할 수 있는 성과를 얻었다고 생각된다. 향후 개발된 시스템을 이용하여 품질보증에 필수로 요구되는 다양한 형상의 제품에 대해 정밀한 자동 전수검사 처리를 실시하여 제품 신뢰성을 높일뿐만 아니라 개발중인 여러 제품에 대해 초음파시험을 실시하여 그 결과를 정량적으로 분석하고 제품 물성치(인장강도, 밀도 등)와 대비 분석한 결과인 실제적인 데이터 베이스를 구축하므로 초음파시험에 대한 전문지식이 없는 현장에서도 측정된 초음파시험 결과를 직접 제품의 평가인자로 쉽게 치환 사용할 수 있도록 효용성이 높은 시스템을 구현하기 위해 꾸준히 수정 보완할 것이다.

References

1. Lewis C. Eggbrecht. "Interface to the IBM Personal Computer", Howard W. Sams & Co. Inc.
2. D. J. Chwirut. "A Simple Technique for Visualizing Transmitted or Reflected Sound Fields", Material Evaluation/Dec. 1979.
3. J. L. Rose and G. H. Thomas. "Microprocessor Utilization in Ultrasonic Nondestructive Inspection System", Material Evaluation/Jan. 1980.
4. J. M. Warren. "Inexpensive Expansion of Ultrasonic C-scan Capabilities", Material Evaluation/Jan. 1982.
5. 허형, 박치승, 홍순신, 박종현. "컴퓨터제어에 의한 자동초음파탐상장치에 관한 연구", 한국비파괴검사학회지, 제15호 Vol. 9. 1, 1989.