

비접촉식 초음파탐상방법 자동화 기술

김 영 길, 안 봉 영, 이 승 석

한국표준과학연구원 비파괴평가연구소

요 약 비접촉으로 초음파를 송·수신하며 비파괴검사를 수행하는 EMAT(Electromagnetic Acoustic Transducer)를 이용한 초음파탐상장치를 구성하였고, 이를 3축 구동장치 및 데이터 수집, 처리장치와 연결하여 자동화를 시도하였다. 자동화에 적합하도록 송·수신이 한 몸체로 되어 있으며 인가하는 구동신호의 주파수를 변화시킴으로써 main beam의 방향을 조절할 수 있는 EMAT를 설계 제작하였으며, 제작된 EMAT의 특성을 측정하였다. EMAT를 이용한 초음파탐상장치, 3축 구동장치, 데이터 수집장치들에 대한 제어 및 데이터 처리를 위한 프로그램을 개발하였다. Host로 IBM-PC/AT 급을 사용하였으며, 컴퓨터 화면상에서 실제 장비를 가상적으로 구현하는 기법을 사용하였다. 제작된 전 탐상장치의 성능 분석과 결함 검출 능력을 평가하기 위하여, 인위적으로 결함을 가공한 시험편과 실제 결함이 내재되어 있는 용접부에 대한 결함 검출을 시도하였으며, 만족할 만한 측정 결과를 화상으로 얻었다.

1. 서 론

전자기장을 이용하여 초음파를 송·수신하는 EMAT (Electromagnetic Acoustic Transducer)를 이용한 초음파탐상은 기존의 초음파탐상에 비해 전기적 에너지를 운동에너지로 전환하여 주는 전환효율(conversion efficiency)이 떨어지고,¹⁾ 불감영역(dead zone)이 상대적으로 넓으며, 고주파의 초음파 발생에 어려움이 따르는 등의 단점도 있으나, 기존의 초음파탐상이 갖지 못한 여러 장점도 갖고 있다. EMAT는 비접촉으로 초음파를 송·수신하므로 고온이나 방사능 오염 등과 같은 접촉 매질을 사용할 수 없는 특수한 환경에서도 사용이 가능하며²⁾, 전기장과 자기장의 상호 방향을 변화시켜 초음파의 모우드를 바꾸어 줄 수도 있으며, 구동신호의 주파수를 변화

함으로써 초음파의 진행 방향을 어느 정도 임의로 변화시킬 수도 있다.³⁾ 이러한 장점들은 기존 초음파탐상의 대안으로써 뿐만 아니라 EMAT를 이용한 초음파탐상 자신만의 영역을 가질 수 있는 요건이 되며 또한 EMAT를 이용한 초음파탐상이 자동화에 적합한 이유가 된다.

본 논문은 EMAT를 이용한 초음파탐상을 자동화하기 위한 기본 연구의 결과로 EMAT의 제작 및 특성평가, EMAT를 이용한 초음파탐상장치의 구성, 구성된 장치의 운용 프로그램, 인공결함 및 실제 결함에 대한 측정 결과를 다루었다.

2. EMAT 제작

EMAT는 자석과 코일의 구성에 따라 초음파의 모

(접수 : 1993. 11. 9)

*본 연구는 과학기술처 시행 특정연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

우드가 결정되며, 사용 주파수에 따라 초음파의 진행 방향과 폭이 결정된다.^{4), 5)} 본 연구에서는 약 50 mm인 알루미늄 평판의 저면 인공결합과, 두장을 이음 용접한 두께가 약 40 mm인 알루미늄의 용접부위를 탐상하기에 적합한 탐촉자를 설계 제작하였다.

제작한 EMAT는 periodically arrayed permanent magnets와 elongated spiral coil로 구성되어, 사용 주파수를 변화시킴으로써 재료의 표면에 대하여 경사각으로 진행되는 horizontally polarized shear wave가 발생되도록 되어 있다. Horizontally polarized shear wave는 진동의 방향이 재료의 표면에 평행하여 저면반사 후에도 모우드의 변화가 없고, 또한 용접 시험편의 용접 경계면 통과시에도 투과 정도가 높을 뿐 아니라 모우드 변화가 없기 때문에 본 연구의 목적에 적합하다.⁶⁾ 송신용 및 수신용 탐촉자가 한 몸체에 들어 있는 일체형으로 되어 있으며, 각각의 탐촉자에는 크기가 10×5×3(mm)인 NdFeB 영구자석 24개에 0.12mm 동선이 총 60회 감겨져 있다. 이들 탐촉자를 약 15°의 사이각을 두고 배열함으로써, 송신용 탐촉자에서 발생하여 진행한 초음파가 반사되어 수신용 탐촉자에 도달하였을 때 최대의 효율로 검출되도록 하였다. Fig. 1은 코일과 자석의 배열이며, Fig. 2는 제작된 탐촉자의 외양이다.

Fig. 3에 제작한 탐촉자의 특성을 측정하는 방법을 보였다. Beam angle(θ)는 재료 표면에 수직인 방향에 대한 beam의 진행 방향으로 beam의 행적을

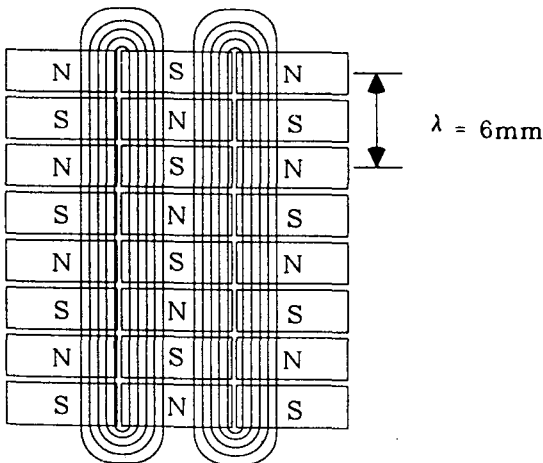


Fig. 1. Construction of magnets array and coil

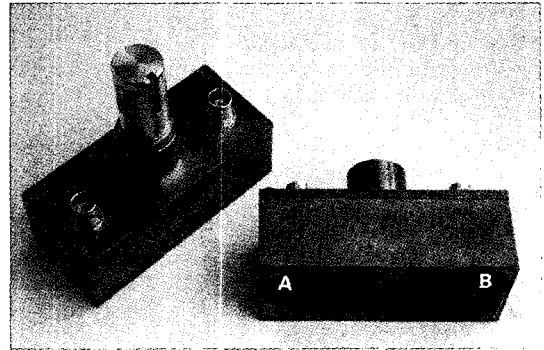


Fig. 2. Photograph of the fabricated EMAT

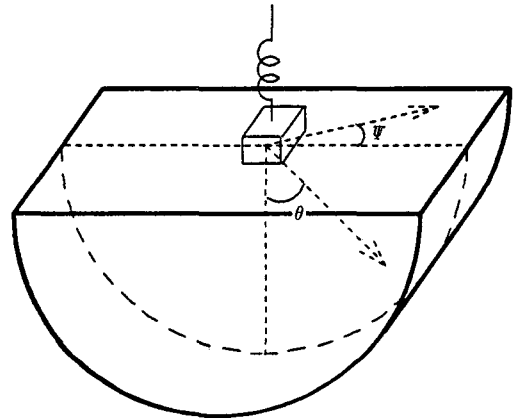


Fig. 3. Measurement of the directivity pattern of beam

결정하며, deviation angle(ψ)는 beam의 폭에 해당하는 값으로 결함 검출의 분해능을 결정한다. Fig. 4는 제작한 탐촉자에 대한 특성 평가 결과이다. 사용 주파수는 550kHz이며, deviation angle이 각각 0°, 4.3°, 8.5°, 12.6°인 위치에서 측정한 결과이다. 주 beam angle은 약 57°이며, 최대 진폭의 반인 half width는 약 5°임을 알 수 있다.

3. EMAT를 이용한 초음파탐상장치의 구성

본 연구에서 사용한 EMAT를 이용한 초음파탐상장치의 구성도는 Fig. 5와 같다. 출력 앰프(power amplifier)는 gated modulator에서 발생하는 tone burst sine wave를 증폭하여 송신용 탐촉자를 구동하여 준다. 수신용 탐촉자에서 수신된 신호의 잡음들을 분리하기 위하여 double tuned pre-amplifier

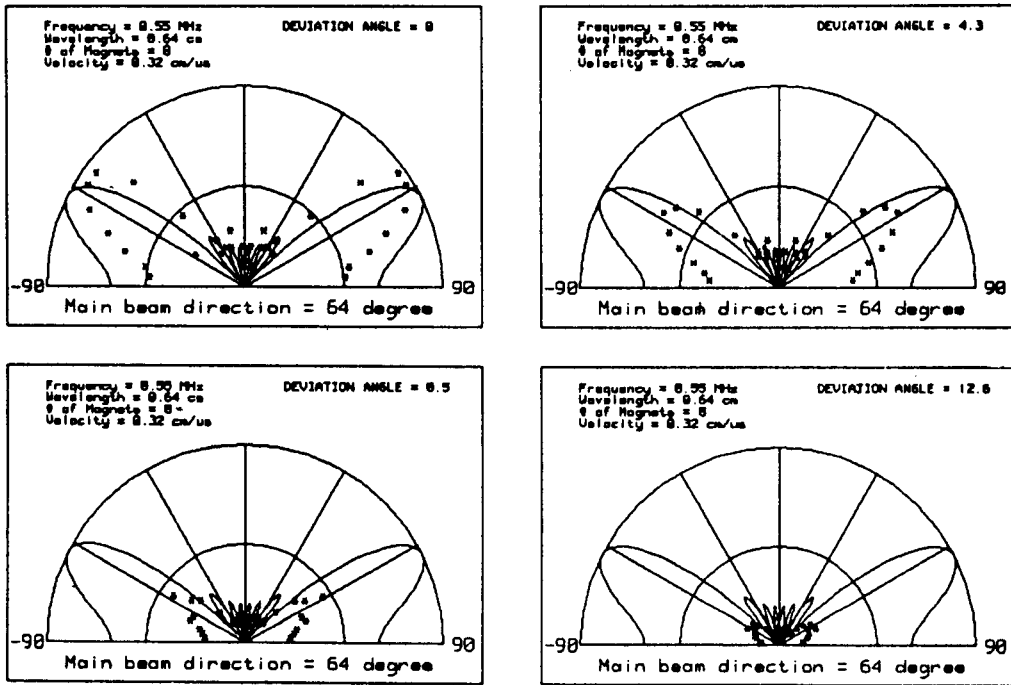


Fig. 4. Directivity pattern as a function of deviation angle (Polar axis plot, $f = 0.55$ MHz)

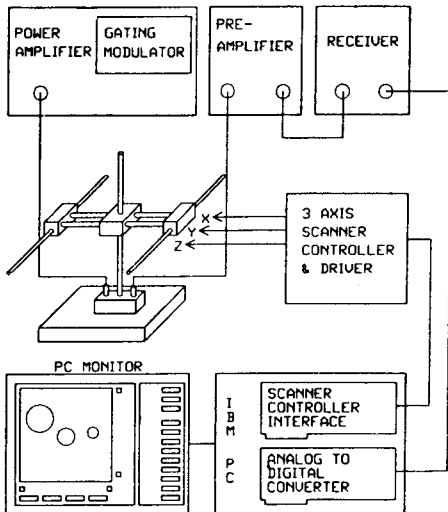


Fig. 5. Construction of the entire system

를 사용하며 이때 1차 증폭도 함께 한다. Pre-amplifier의 출력은 receiver에서 재차 증폭된 후 analog-to-digital converter(ADC) card로 입력되어 디지털 신호로 변환된다. Main controller는 프로그램을 통

해 전 장치를 통제하여 목적하는 작업을 수행한다. 즉, 탐촉자를 원하는 위치로 보내기 위하여 주사 장치 controller에 운동 명령을 보내는 작업, 주사 장치의 움직임을 감시하여 탐촉자의 위치정보를 얻는 작업, 이렇게 얻은 위치정보와 ADC card를 통해 얻은 탐상신호를 결합하여 화면상에 mapping함으로써 탐상 결과 화상을 얻는 작업 등을 수행한다.

출력 앰프는 MATEC 사의 Model 5100 Gating Modulator를, double tuned pre-amplifier는 MATEC 사의 Model 252를, receiver는 MATEC사의 Model 605 Broadband Receiver를 각각 사용하였다. Analog-to-digital converter card 는 SONOTEK 사의 STR*8100으로, sampling rate가 100 Ms/s이며 64 kbytes의 고속 memory를 내장하고 있다. 또한 STR*8100은 초음파탐상에 적합하도록 설계되었기 때문에 다른 ADC card에서는 보기 드문 wave rectifier 및 gate 기능 등이 하드웨어로 구현되어 있다. 주사 장치는 본 연구에 적합하도록 설계 제작하였다. 3축으로 이동 가능하며, 각 축은 10mm 피치의 볼 스크류를 200pulses/회전의 스텝 모터로 구동하여 분해

능이 0.05mm가 되도록 하였으며 실 이동거리는 500 mm가 되도록 하였다. Main controller는 IBM PC/ AT 호환 기종을 사용하였다.

4. 자동화를 위한 프로그램 개발

Fig. 6는 개발된 프로그램 block diagram이다. 프로그램의 기본 구조는 실제 장비를 컴퓨터 모니터 상에서 가상으로 구성하도록 되어 있다. 자동화에 사용되는 실제 장비의 구조를 볼 때, 일반적으로 장비 자체의 명령 또는 자료를 입력하거나 장비의 현 상태를 표시하여 주는 panel, 실제 기능을 수행하는 본체, 타 장비와의 상호 통신을 위한 interface 부분으로 구성된다. 본 프로그램에서 가상으로 구성된 각 장비 역시 이와 같은 구조를 갖도록 하였다. 이와 같은 구조를 가짐으로써 각 장비를 개별적으로 개발할 수 있으며, 개발후 독립된 장비로 단독으로 사용할 수 있다. 또한 이렇게 개발된 장비에 interface를 추가함으로써 주관리기(main manager)의 관리하에 전 장치의 일부로서 맡은 바의 기능을 수행할 수도 있다. 그러나 한 개의 processor에 의하여 작업이 수행되는 퍼스널 컴퓨터에서는 실제와 같이 여러 장비가 각자의 작업을 동시에 수행할 수는 없다. 그러므로 각 장비는 하나의 processor와 하나의 모니터를 공유할 수 있도록 설계되어야 한다. 하나의 processor를 공유하기 위해 각 장비들이 수행할 각자의 작업을 최소 단위로 분할하여 processor가 할당되었을 때 하나의 분할된 작업을 수행한 후 processor를 돌려 주도록 하였다. 이는 여러 장비가 동시에 작업을 수행하여야 하는 경우, 주관리기는 각 장비에 순차적으로 processor를 할당하고 각 장비는 최소한의 작업만을 수행한 후 processor를 돌려 주는 작업을 반복함으로써 겉보기에 모든 장비가 동시에 작동하는 것처럼 보이는 효과를 얻기 위한 것이다. 또한 하나의 모니터를 공유하기 위해 화면 관리를 따로 두어 화면을 관리하도록 하였다. 각 장비는 화면 관리 interface를 가지고 있으며, 이를 통해 화면 관리기와 교신함으로써 화면을 할당받아 필요한 화면을 생성하거나 화면에서 이루어지는 입력을 받아 해석하여 해당 장비가 요구되는 작업을 하도록 장비로 요구사항을 전달한다.

본 연구를 통해 개발된 장비는 oscilloscope card, oscilloscope monitor, scanner card, scanner monitor 4 가지다. Oscilloscope card는 ADC card를 제어하여

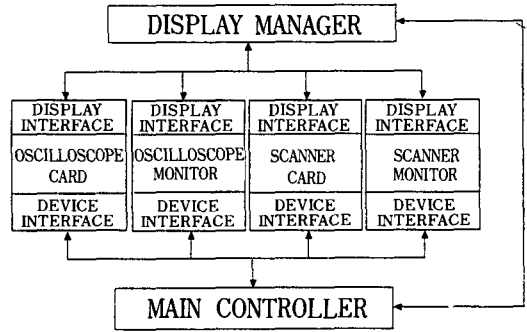


Fig. 6. Block diagram of the developed software

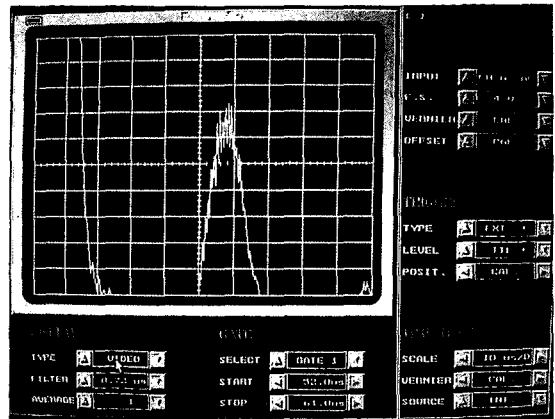


Fig. 7. Panel of oscilloscope monitor and oscilloscope card

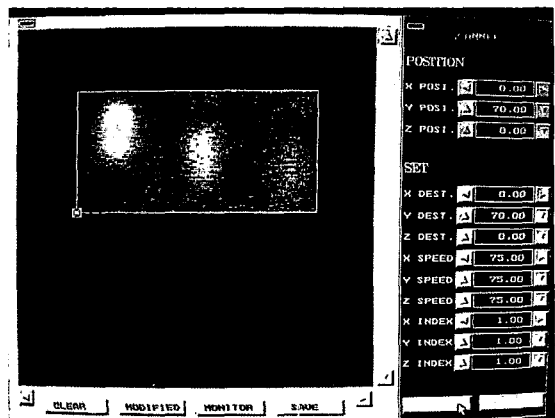


Fig. 8. Panel of scanner monitor and scanner card

입력된 신호를 필요한 형태로 처리한 후 디지털 값으로 변환하여 준다. Oscilloscope monitor는 디지털 값으로 변환된 신호를 화면상에 도시하기도 하며, average 기능, 파형의 도시 형태 변화 및 filtering, gate 설정 기능 등을 수행한다. Scanner card는 주사 장치의 운동을 제어하면서 탐촉자의 위치를 감시하여 현재의 위치를 추적하고 그 값을 화면상에 나타내준다. Scanner monitor는 scanner card에서 읽은 탐촉자의 위치값과 oscilloscope card에서 측정된 신호 값을 화면상에 대응시켜 측정 결과를 도시하는 역할을 한다. 이들 장비는 주판리기에 등록됨으로써 주판리기의 통제하에 놓이게 되며, 주판리기는 요구되는 작업에 맞추어 일련의 작업 순서를 결정하여 각 장비를 통제함으로써 작업을 수행한다. 각 장비의 제어 인자는 각 인자에 부여된 화면상의 button을 mouse로 조작함으로써 변화되도록 하였다. Fig. 6은 oscilloscope monitor 및 oscilloscope card의 전면이고, Fig. 7은 scanner monitor 및 scanner card의 전면이다.

5. 결함 탐상 결과

초음파를 이용한 결함 탐상 방법에는 pulse-echo법, through-transmission법, 그리고 pitch-catch법 등이 있다. 가장 널리 사용되는 방법은 pulse-echo법이나, EMAT에 가해지는 pulse가 고전력인 관계로 사용이 어렵다.⁷⁾ 이에 따라 본 연구에서는 용접 부위

에 대한 결함 탐상을 위해 pitch-catch법을 적용하였다. Fig. 9는 결함 탐상 방법에 대한 설명이다. 탐촉자가 B의 위치에 있을 때 초음파 beam이 반사되어 탐촉자로 되돌아 오는 시간을 계산하여 그 시간대에 gate를 설정하면 저면 부위에 있는 결함을 검출할 수가 있다. 즉 이와 같이 gate를 설정하여 탐촉자를 A 위치에서 C 위치로 이동할 경우, 탐촉자가 A 또는 C의 위치에 있을 때에는 반사되어 돌아오는 초음파가 gate 내에서 검출되지 않는 반면 B의 위치에 있을 때에는 반사된 초음파가 gate 내에서 검출되므로 결함의 위치가 B임을 알 수 있다.

본 연구에서 최종 적용대상 재료로 알루미늄 블럭의 용접부위를 선정하였으며, 이를 위해 인공결함을 갖는 2개의 알루미늄 블럭을 대비시편으로 가공하여 C-scan 탐상을 하였다. Fig. 10은 깊이가 다른 5개의 결함이 일렬로 연속 배열된 인공시편에 대한

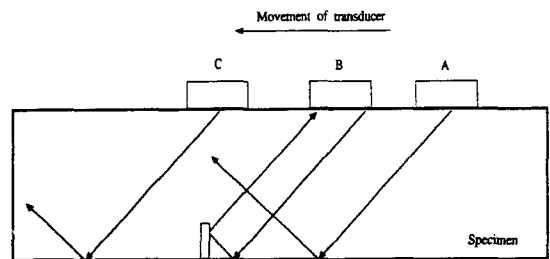


Fig. 9. Relation of a flaw and the propagation direction

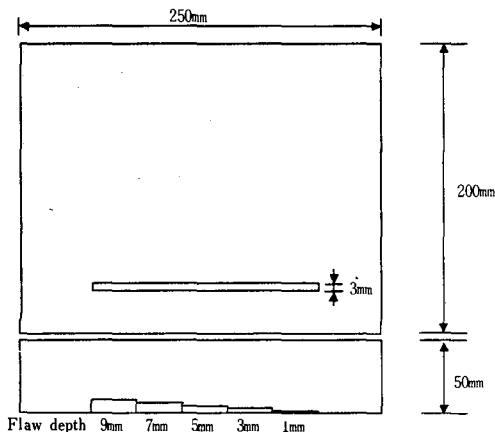


Fig. 10. Scan image of a continuous flaw in aluminium block

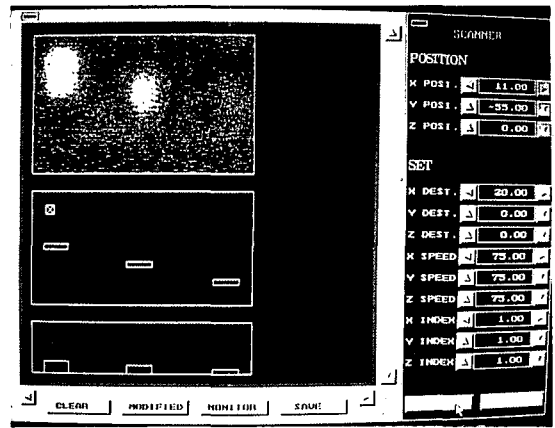
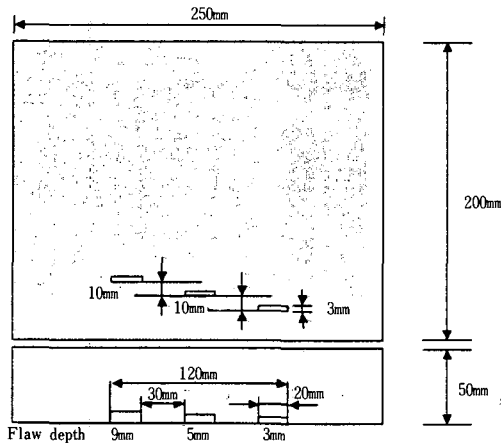


Fig. 11. Scan image of separated flaws in aluminium block

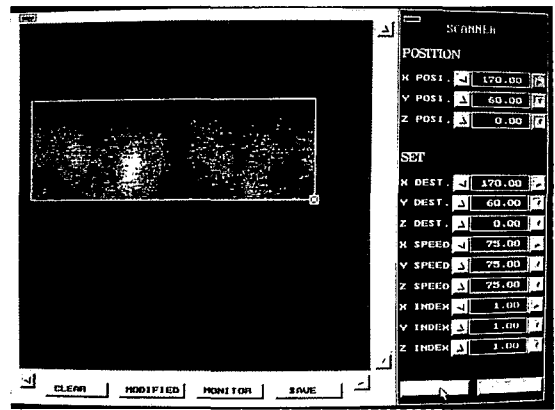
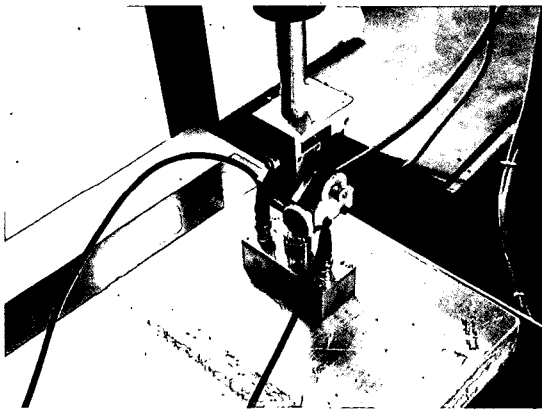


Fig. 12. The welding specimen and its flaw image

탐상결과이며, Fig. 11은 깊이가 다른 3개의 결함이 가로 세로 위치를 서로 달리하며 산재된 인공시편에 대한 탐상결과이다. 이들 결과를 볼 때 결함의 길이는 비교적 실제 결함의 길이와 일치하나, 결함의 깊이는 다소 판정이 어렵다. 결함깊이가 깊어짐에 따라, 반사된 초음파가 gate 내에서 검출되는 탐촉자의 위치가 넓게 자리잡게 되므로 결함화상 또한 길게 늘어나리라 예상되나 탐상결과는 길이늘음보다는 명암대비가 커지는 현상이 두드러지게 나타났다. 결론적으로 결함의 깊이는 결함화상의 명암을 비교함으로써 상대적인 예측이 가능하다고 볼 수 있다.

Fig. 12는 LNG 운반선의 가스 저장탱크에 사용되는 알루미늄 블럭 2장을 이음 용접한 실제 시편에 대한

탐상결과이다. 인공시편에서의 결과와 이를 비교할 때, 밝은 색의 화상 크기로 미루어 7~8mm 깊이의 결함 2개와 기타 작은 결함들이 거의 전 용접 라인에 내재되어 있을 것이라는 추측을 가능케 한다.

6. 결 론

기존 초음파탐상과는 달리 EMAT는 접촉매질이 필요 없을 뿐만 아니라 탐촉자의 구조와 구동신호의 사용 주파수 등을 변화시켜 beam의 방향을 바꿀 수 있으므로 자동화에 많은 이점이 있다. 이에 따라 본 연구에서 EMAT를 이용한 초음파탐상의 자동화를 시도하였으며, 이를 알루미늄 용접부위에 적용한 결과 미흡한 점은 있으나 만족할만한 성과를 얻었

다. 사용 주파수 및 송신용 펄스의 출력을 높일 수 있는 hardware의 개선과, 탐상신호 검출시의 gate 및 신호레벨의 설정이라든가 화상처리와 같은 software의 개선이 이루어진다면 보다 진보된 EMAT를 이용한 초음파탐상의 자동화를 구현할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. E.R. Dobbs and J.D. Llewellyn, *Nondestructive Testing* Vol. 14(1), Feb., 49(1971)
2. K.R. Whittington, M. A., Eng., M.I.E.E., *Brit. J. NDT*, Sept., 242 (1978).
3. J.F. Martin and R.B. Thompson, *Proceedings of 1981 Ultrasonics Symposium*, 388 (1981)
4. 안봉영, 이세경, *한국음향학회지* Vol. 7(3), 10(1988)
5. 안봉영, 김영환, 김영주, *응용물리* Vol. 3(1), 67 (1990)
6. 이승석, 안봉영, 김영길, "비접촉식 초음파 탐상 방법 자동화 기술", KRISS-92-158-IR (1992).
7. B.W. Maxfield and C.M. Fortunko, *Mater. Eval*, Vol. 41, Nov., 1399 (1983).

Automatic Noncontact Ultrasonic Inspection Technique

Y. G. Kim, B. Y. Ahn and S. S. Lee

NDE Lab., Korea Research Institute of Standards and Science

Abstract A system for EMAT, which generates ultrasound by electro-magnetic forces and performs nondestructive testing in noncontact, was established. By linking it with a 3 axis scanning system and a data acquisition and processing system the automation of EMAT testing was attempted. A EMAT sensor was fabricated and the directivity pattern of it was measured. To be suitable automation, it has a transmitter and a receiver in one case and the main beam direction of it can be controlled by the frequency of driving signal. A program which controls the EMAT system, the 3 axis scanner and the data acquisition and processing system was developed. It also processes acquired data and displays the processing results. IBM-PC/AT compatible PC was used as main controller and the stratage of the program is emulation of real devices on the PC monitor. To provide the performance of the established EMAT system, two aluminium blocks contain:ng artificial flaws and a welded aluminium block were tested. The result of the tests were satisfactory.

(Received : November 9, 1993)