
자동 초음파 검사를 위한 결함 영상 처리 시스템의 설계 및 구현

김한종* · 박종훈** · 김철원***

Design and Implementation of Flaw Image processing System for Automated Ultrasonic Testing System

Han-Jong Kim* · Jong-Hoon Park** · Chul-Won Kim***

요 약

용접부 내에 존재하는 결함의 형태, 위치, 크기 등의 정보를 정량적으로 파악하기 위하여 초음파 탐상 검사가 많이 활용되는데, 최근 들어 용접부의 결함 탐상을 위해, 검사과정을 기계적 스캐너로 자동화한 자동 초음파 탐상 시스템이 많은 산업분야에서 활용되고 있고, 특히 배관 용접부의 건전성 평가를 위한 비파괴안전진단에서 그 활용 폭이 커지고 있다. 본 논문에서는 배관 용접부의 자동 초음파 검사를 위한 알고리즘 구현과 결함 영상을 보정하여 주는 결함영상 처리 시스템을 설계 및 구현하였다. 적용된 기법으로는 초음파 A-Scan 압축 알고리즘, Synthetic Aperture Focusing 알고리즘, 결함영상증폭 알고리즘과 이와 관련된 소프트웨어 설계 및 구현에 대하여 논한다.

ABSTRACT

In this study, an automated ultrasonic testing system and post signal and image processing techniques are developed in order to construct ultrasonic flaw images in weldments. Image processing algorithms are built into the flaw image processing system for the automated ultrasonic testing system. The developed signal and image analysis algorithms addressed in this study include an A-Scan data compression algorithm, ultrasonic image amplification algorithm and B-scan flaw image correction algorithm(SAFT). This flaw image processing system for the automated ultrasonic testing system can be applied to various inspection fields.

키워드

초음파 검사 시스템, 결함 영상 SAFT, 디지털 이득, 최소자승법

Key word

Ultrasonic, Inspection System, Flaw Imaging SAFT, Digital Gain, LSM

* 중부대학교 컴퓨터학과 박사과정
** 중부대학교 컴퓨터학과 부교수(교신저자)
*** 호남대학교 컴퓨터공학과 교수

접수일자 : 2009. 08. 13
심사완료일자 : 2009. 11. 17

I. 서론

배관 용접부 자동초음파 검사는 자동검사를 통해 A/B/B'/C-Scan 검사결과[1, 2, 3]를 얻는 것은 물론, 얻어진 B/B'/C-Scan 검사영상에 대한 영상 후처리와 다양한 신호처리를 수행함으로써, 정밀하고 정량적인 검사결과 판정에 필요한 객관적 근거자료를 제공한다.

배관 용접부 자동 초음파 검사장치에 활용되는 대표적 영상처리 기법으로는 SAFT(Synthetic Aperture Focusing Technique)[4, 5] 영상증폭을 들 수 있는데, 이러한 기법들은 초음파 A-Scan 결합신호에 포함된 회절신호(diffraction signal)와 반사신호(reflection signal), 빔 퍼짐 효과(beam spreading effect) 등을 확대, 혹은 보정함으로써 결합신호의 정량적 측정을 가능하게 한다.

본 논문에서는 배관 용접부 자동 초음파 검사 장치 개발과 함께, 초음파 빔의 퍼짐현상을 보정하여 지시결합의 실제 크기산출에 도움을 주는 SAFT기법과 균열성결합의 선단 회절신호(tip diffraction signal)[5]를 증폭해주는 영상증폭 그리고 A-Scan 데이터의 최소화를 위한 압축 알고리즘개발 연구에 대하여 논한다.

II. 기존의 자동초음파 검사 시스템

일반적으로 자동초음파 검사 시스템(Automated Ultrasonic Testing System: 이후 AUT 시스템)은 그림 1에서와 같이, 초음파 탐촉자 이송기구, 기구 드라이빙 모듈, 초음파 송수신모듈과 신호수집 및 후처리 모듈로 나누어 볼 수 있다.

1. 초음파 탐촉자 조종장치(manipulator)

초음파 탐촉자를 검사하고자 하는 시험편의 표면에 접촉, 혹은 간극을 유지하면서 정확한 위치표정과 제어가 가능하게 한다. 일반적인 AUT 시스템에서는 기계적인 이송축과 전자기모터를 활용한다.

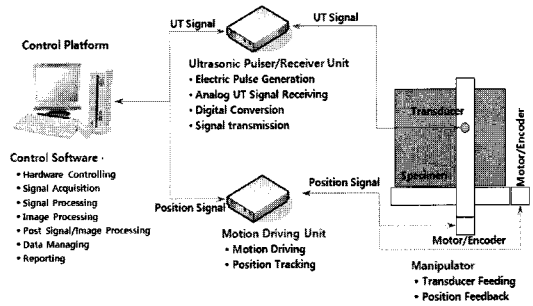


그림 1. 자동초음파 검사 시스템의 일반적 구성
Fig. 1 General model of automated ultrasonic testing system

2. 기구 구동 모듈(manipulator driving module)

초음파 탐촉자의 이송기구에 기전력과 이송 펄스를 가하여 실제 이송이 이루어지도록 하는 역할과 이송된 거리를 모션 컨트롤러에 피드백 하는 역할을 담당하게 된다[6]. AUT 시스템의 경우 모터 드라이버와 모션컨트롤러가 이 모듈을 구성한다.

3. 초음파 송수신 모듈(ultrasonic pulser/receiver)

자동 이송되는 초음파 탐촉자에 전기적 펄스를 가하고 수신된 초음파 신호를 받아 아날로그 후처리를 거친 후 신호수집 및 후처리 모듈로 전송하는 역할을 담당한다. 일반적으로 초음파 펄서/리시버가 그 역할을 담당하게 된다.

4. 신호수집 및 후처리 모듈

수집된 초음파 신호와 위치신호를 디지털화하여 영상구축에 필요한 각종 후처리를 실시하고, 필요한 하드웨어를 제어하는 역할을 담당한다. 일반적으로 AD 변환기와 자동검사 소프트웨어는 이 모듈에 포함된다.

이들 모듈들은 AUT를 위해 각각의 기능이 유기적으로 통합되고 연동되는데, 그림 2에 AUT 시스템의 일반적인 제어흐름도를 보였다. 그림에서와 같이 초음파 펄서/리시버 모듈과 기구 구동모듈을 자동 제어하여 검사를 수행하는데, 제어를 위한 통신 프로토콜은 일반적으로 TCP가 사용된다. 제어를 위한 소프트웨어와 신호처리 및 영상 후처리를 위한 소프트웨어를 거치면서 초음파 검사데이터가 가공되고, 최종적으로 영구저장장치에 저장된다.

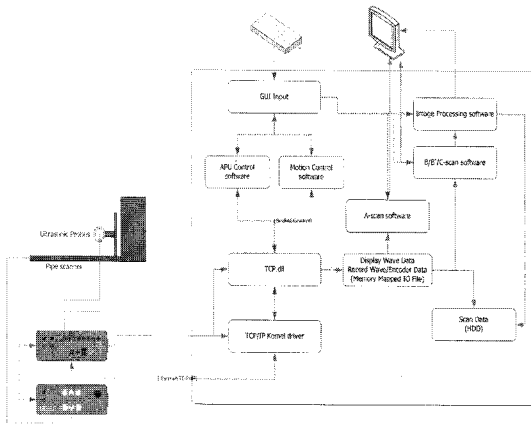


그림 2. AUT 시스템의 일반적인 제어 흐름도
Fig. 2 Control flow diagram of AUT system

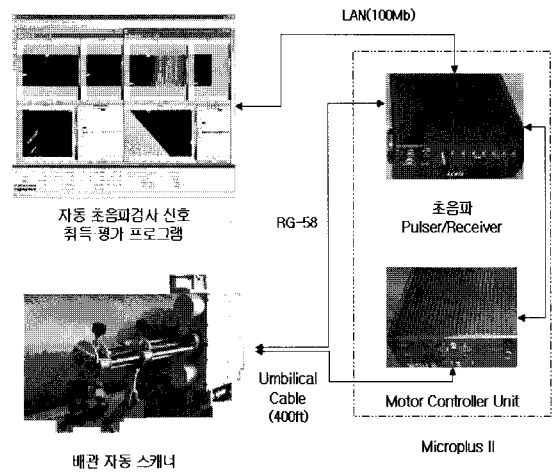


그림 3. 구축된 하드웨어 환경
Fig. 3 Hardware construction diagram

III. 자동초음파 결합 영상 처리 시스템 설계 및 구현

본 시스템은 다음과 같은 하드웨어 환경을 구축하였으며, 이러한 환경하에서 결합 영상처리 시스템을 설계하였다. 본 시스템은 크게 A-scan 압축알고리즘 모듈, 초음파 영상 증폭 모듈, 초음파 영상 보정 모듈, 초음파 펄스 발생 및 취득 모듈, 탐촉자 자동 스캐너 프로그램과 시스템 관리 프로그램 모듈로 구성된다.

1. 하드웨어 환경 구축

그림 3과 그림4에서 자동초음파 결합영상 처리 시스템은 신호 취득 평가 프로그램이며, 자동 초음파 검사를 위해 ethernet을 통해 8채널 Pulser/ Receiver/AD converter Unit(이후 POD)과 motor driving unit(이후 MDU)을 실시간으로 제어한다. 실시간 제어를 통해 얻은 A-scan신호와 인코딩된 신호는 다시 ethernet을 통해 시스템의 제어 컴퓨터(이후 PC)로 전송된다[7].

본 시스템의 프로그램이 제어하는 POD와 MDU는 각각 영국 Veritec사의 Microplus II와 MDU II 모델로 8개의 초음파 검사채널과 2개의 스캐너 축을 지원하는 하드웨어이다[7].

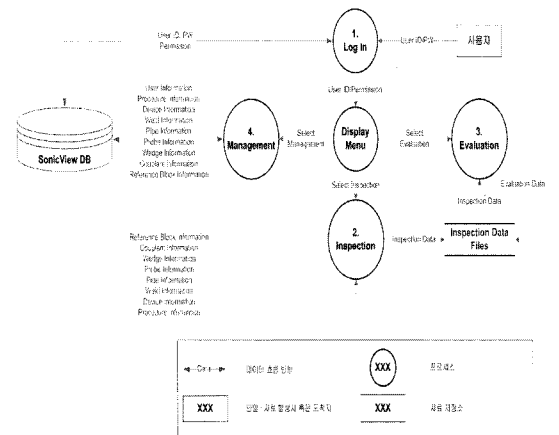


그림 4. 시스템의 데이터 흐름도
Fig. 4 Data flow diagram of system

2. 시스템 설계 및 구현

본 시스템은 Windows XP기반의 컴퓨터에서 동작하고, 개발 언어는 C++, RAID Tool은 C++ Builder 6.0, 그리고 3D Graphic 라이브러리는 OpenGL, GUI 개발은 ActiveX를 사용하였다.

본 시스템의 데이터 흐름도는 그림 4와 같으며, 크게 평가모드와 검사모드로 구분되고, 기본적인 검사정보와 시스템 설정정보는 데이터베이스에 보관하여 관리할 수 있도록 한다. 그리고 검사데이터는 검사모드와 평가모드에서 동등하게 접근이 가능하지만, 검사모드

에서는 주로 검사데이터의 저장을 위한 접근이 이루어지며, 평가모드에서는 검사데이터의 로딩과 이미지 후처리, 후평가를 위한 접근이 이루어진다. 본 시스템의 소프트웨어는 A/B/B'/C-Scan 영상을 동시에 확인하며 평가를 진행할 수 있도록 위치와 거리(혹은 길이) 지시자가 상호 동기화되어 작동하도록 설계하였다. 본 시스템은 깊이와 인덱스, 스캔 방향에 따른 데이터(혹은 영상) 시퀀스(혹은 단면)가 동기화되어 디스플레이 되도록 하였다.

1) A-Scan 압축 알고리즘 구현

B-scan 영상을 구현하려면 하나의 빔 데이터로부터 TOF와 진폭을 참조하여 스캔라인을 표현한다. 그런데 표현 가능한 픽셀 수는 한정되기 때문에 스캔라인을 구성하는 A-Scan 신호를 영상으로 표현되는 픽셀만큼의 데이터 세트로 압축해야 하고, 각각의 데이터 세트는 원래의 A-Scan 신호의 진폭특징을 잘 간직하고 있어야 한다.

펄스 압축으로 인해 생기는 신호 세기(voltage amplitude)의 왜곡 가능성을 최소화하기 위해 제곱평균과 최소자승법 알고리즘을 적용하여 매핑에 적합한 기법을 찾아보았고, 그 결과 제곱평균 알고리즘을 적용하는 것이 타당함을 알았다. 알고리즘 검증을 위한 결합신호는 관통노치 시험편에서 취득하였으며, 초음파탐촉자의 중심주파수는 2/2.25/4/5 MHz, 협대역 타입을 사용했다.

(1) Root Mean Square 알고리즘

제곱평균(Root Mean Square, 이후 RMS)은 n개의 데이터를 하나의 대표 데이터로 표현하는 값 중 하나인데, \bar{x} 를 time of flight의 평균, x_i 는 time of flight 라 정의하면, 식 (1)과 같이 표현할 수 있다[8, 9].

$$f(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

A-Scan 결합신호를 가공해, 가로축에 시간(혹은 거리)의 평균값을, 세로축에 신호세기의 RMS와 피크 값을 사용해 구한 RMS 침두치(이후 Peak RMS)를 적용한 결과를 그림 5에 보였다.

(2) Least Square Method 알고리즘

최소자승법(Least Square Method, 이후 LSM)은 n개의 데이터 쌍을 가장 잘 표현하는 근사함수를 구하는 알고리즘인데 식 (2)와 같이 1차식만을 고려하였다[9].

$$f(x) = a + b \cdot x \quad (2)$$

여기서, $f(x)$ 는 신호세기, x 는 비행시간이다.

식 (3)에 LSM 근사함수의 절편(a)과 기울기(b)식을 보였다.

$$a = \frac{\sum f(x) \cdot \sum x^2 - \sum x \cdot \sum (x \cdot f(x))}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n \cdot \sum (x \cdot f(x)) - \sum x \cdot \sum f(x)}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (3)$$

LSM 알고리즘을 구현한 프로그램을 이용해 결합신호를 압축했다. 압축을 위해 사용한 신호 내의 데이터 포인트의 개수는 5개이다. A-Scan 결합신호의 가로축에는 시간의 평균값을, 진폭은 신호세기의 LSM으로 구하였으며, 그 결과를 그림 5에 나타내고 RMS, Peak RMS, LSM기법을 이용해 얻은 결과를 비교하였다.

자동검사에서는 신호세기의 변화추이가 중요하게 고려되는데, Peak RMS를 이용해 얻은 펄스 압축결과가 본래의 A-Scan 결합신호의 신호세기 패턴을 가장 잘 표현하고 있음을 알 수 있다.

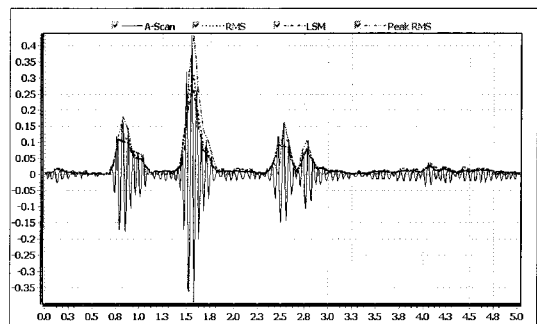
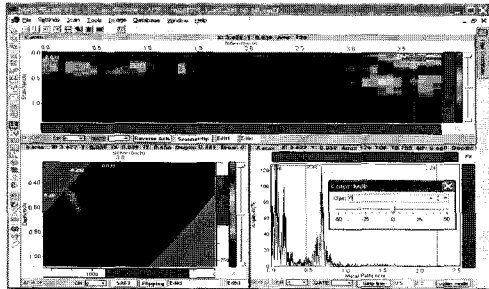


그림 5. 펄스 압축 알고리즘 비교
Fig. 5 Comparison of pulse compression algorithms

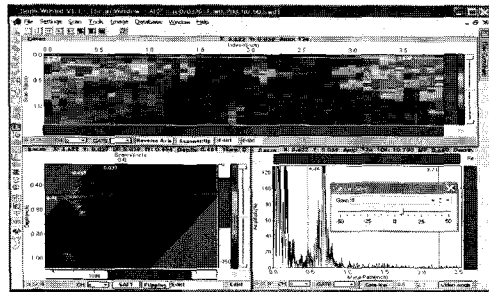
2) 초음파 영상 증폭 구현

초음파 신호를 이용한 B/B'/C-Scan 영상의 구현에서, 이미지를 구성하는 픽셀의 색상이 낮은 수준의 세기를 보인다면 결합 영상을 통해 실제 결함을 확연히 구분하기 힘든 경우가 생길 수 있다. 특히 균열성 결함의 경우 균열의 선단(tip)에서 회절된 신호는 반사신호에 비하여 상대적으로 낮은 진폭을 보이지만[10], 결함의 크기산정을 위해서는 반드시 찾아내고 판독해야 할 신호이기 때문에, 영상의 증폭문제가 대두되게 된다. 증폭하고자 하는 본래의 스캔 영상을 구성하는 각 데이터 포인트의 신호세기를 A_{ij} , 증폭을 원하는 증폭값을 G 증폭값 G 에 따라 본래의 데이터 포인트들에 적용될 증폭 비를 V_{ij} , 증폭이 적용된 후 매핑에 사용될 데이터 포인트들의 결과 값을 E_{ij} 라고 정의하면, E_{ij} 는 식 (4)와 같다.

$$E_{ij} = (10^G)^{1/20} A_{ij} \quad (4)$$



(a)



(b)

그림 6. 영상의 비교

(a) 일반 초음파 영상 (b) 증폭된 초음파 영상

Fig. 6 Comparison of images

(a) General ultrasonic image (b) Amplified ultrasonic image

디지털 영상증폭모듈을 구현하고, 배관 용접시험편에 대하여 실험을 수행하였다. 그림 6에 디지털 증폭 전후 초음파 영상을 비교했는데, 증폭을 적용할 때 결함이 보다 쉽게 구분됨을 볼 수 있다.

3) 초음파 영상 보정 구현

원형 체적성 결함의 B-Scan 영상을 보면, 초음파 빔 퍼짐 (beam spreading) 때문에, 실제와 달리 초음달 형태로 퍼진 결합영상이 얻어진다. 왜곡된 형상을 가진 초음파 결합영상은 자동 검사에서 overcall 요인이 되므로 보정이 필요한데, 주로 사용되는 영상처리기법 중 하나가 SAFT(Synthetic Aperture Focusing Technique)이다[11].

피검체 내부를 전파하는 초음파 빔은 초음파 탐촉자의 형상과 중심주파수, 음압점의 기하학적 위치에 따라 그 세기와 위상이 변한다. 초음파 음장식으로 일반화된 것이 Rayleigh-Sommerfeld 적분이다[12]. 체적 V 를 둘러싼 표면(S)을 포함하는 X-Y평면의 임의의 점을 y 그로부터 X-Y평면에 대칭으로 r_1, r_2 위치에 존재하는 체적 밖의 소스점을 x, x^* 라고 하면, Rayleigh-Sommerfeld 적분식은,

$$p(x, \omega) = \frac{-i\omega\rho}{2\pi} \int_{S_p} v_{z(x, \omega)} \frac{e^{ikr}}{r} dS(y) \quad (5)$$

여기서, ω 는 각속도, ρ 는 매질의 밀도, k 는 파수(wave number)이다.

식에 의해 원형탐촉자의 음장을 모사하여 그림 7와 같은 결과를 얻게 되는데, 초음파 탐촉자 빔 퍼짐 폭은 1/2 강도 위치까지 초음파 신호 진행거리에 비례하고 중심주파수에 반비례한다. 평면 타입의 원형 진동자를 가지는 초음파 탐촉자의 빔 퍼짐 폭은 식 (6)과 같이 일반화할 수 있다[13].

$$\sin \frac{\phi}{2} = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (6)$$

여기서, λ 는 파장, D 는 탐촉자 직경, ϕ 는 1/2 강도 위치까지의 빔 퍼짐각의 1/2 이다.

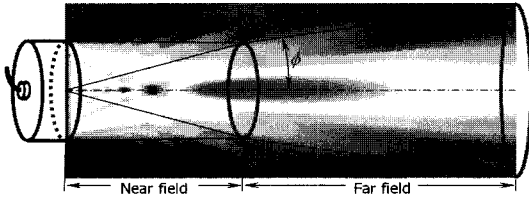


그림 7. 초음파 빔의 분산
Fig. 7 Spread of ultrasonic beam

SAFT 신호처리 알고리즘은 그림 8과 같이 초음파 빔 퍼짐 때문에 나타나는 초음파 신호의 진행 시간차를 보정하기 위하여 인접한 A-Scan과 중첩한 후 평균을 구해 A-Scan을 재구성하고, 이를 B-Scan 영상화함으로 구현된다. 즉, 초음파 탐촉자의 정중앙에서 일직선상에 있는 반사원에서 반사될 때의 초음파 빔 진행거리를 d_A 초음파 탐촉자의 위치를 x_A 초음파 빔이 분산된 가장자리에서 반사된 신호의 진행거리를 d_n 초음파 탐촉자의 위치 x_n 이라면, x_n 위치에서의 초음파 빔의 진행거리 d_n 과 보정된 초음파 신호 A_c 는 식 (7), 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

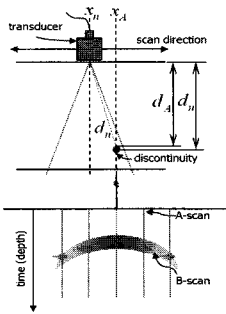
$$d_n = \sqrt{d_A^2 + (x_A - x_n)^2} \quad (7)$$

$$A_c = \frac{1}{m} \sum_{n=r-m/2}^{r+m/2} A_n(k) x_n(k) \quad (8)$$

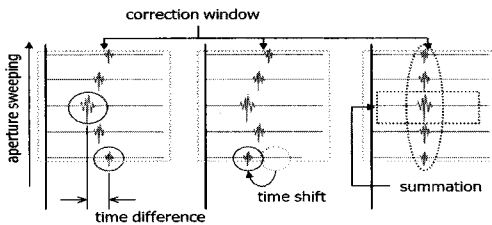
여기에서, m 은 aperture를 구성하는 초음파 빔 다발의 개수, r 은 aperture의 중심라인, $A_n(k)$ 는 n라인의 초음파 세기, $x_n(k)$ 은 n라인의 보정 위치, A_c 는 보정된 초음파 빔이다.

그림 9에 보인 것과 같이 연강 재질의 시험 대상물체에 깊이와 크기가 다른 측면공을 가공하고, 자동 검사를 통해 얻은 데이터를 분석하였다.

그림 10 a)는 측면공을 가공한 시험 물체에 대한 초음파 B-Scan 영상인데, 점선 원 부분이 깊이 18.62mm, 직경 2mm인 측면공에서 반사한 신호를 나타낸다. 지시결함의 크기는 ≈ 15 mm를 나타내고 있는데, 실제로는 반원에서 반사한 형태인 원형 결함영상패턴을 보여야 한다. 신호 다발크기를 50(≈ 35 mm), aperture의 크기를 5(≈ 3.5 mm)로 설정한 b)의 경우, 지시결함의 크기가 ≈ 1.8 mm를 나타내고 있음을 알 수 있다.



(a)

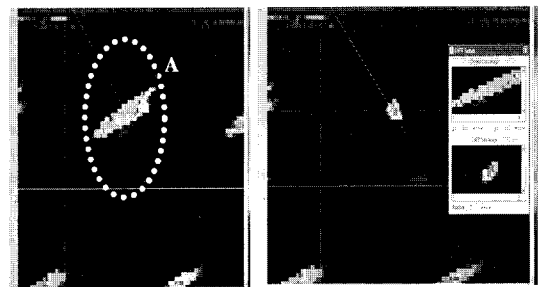


(b)

그림 8. (a) B-Scan 영상에서의 빔 퍼짐효과와
(b) SAFT기법
Fig. 8 (a) Beam spread effect of B-scan image
(b) SAFT method



그림 9. SAFT 알고리즘 검증을 위한 시험 대상물체
Fig. 9 Test object for SAFT algorithm



(a)

(b)

그림 10. (a) 초음파 B-Scan 영상과 (b) SAFT 보정 영상
Fig. 10. (a) Ultrasonic B-scan image and (b) SAFT image

측면공 시험 대상 물체의 경우, 지시크기가 $\approx 15\text{mm}$ 인 데 이는 빔의 퍼짐현상이 없고 탐촉자의 직경이 12.5mm 인 경우에 결함에 입사하는 초음파 빔의 경사영역이 $\approx 18\text{mm}$ 인 점을 감안하면, 상당히 정확한 결함지시양상을 보인다고 볼 수 있다.

IV. 검증 및 실험

배관 시험 대상 물체에 내재된 결함은 검사를 수행하지 않고서는 결함의 유무나 위치, 크기, 깊이 등의 정보를 전혀 파악할 수 없기 때문에, 초음파 감도와 초음파 탐촉자의 입사각과 비틀림각(Skew angle) 등 절차서에 따라 검사가 수행되었다. 기능 검증에 사용된 횡파 초음파 탐촉자의 굴절각은 $45^\circ/60^\circ/70^\circ$ 이고 종파 초음파 탐촉자는 $30^\circ-70^\circ-70^\circ$ 및 60° 이며, 사용된 중심주파수는 매질과 두께를 고려하여 횡파는 2.25MHz , 종파는 $2, 4\text{MHz}$ 를 이용하였다. 결함의 방향성을 고려하여 용접선에 수직인 방향과 좌우 45° 비틀림각 검사를 수행하였다. 원전 배관 용접부 기능 검증을 위해 사용된 주사방식은 다음 그림 11과 같다.

배관 용접부 자동 초음파검사를 수행하여 취득된 초음파 신호로부터 A/B/B'/C 이미지 형태로 출력하여 배관 용접부 결함 탐지, 길이측정 및 깊이 측정을 수행하였으며, 자동 초음파검사를 위한 결함 영상 처리 시스템 프로그램으로부터 얻은 배관 용접부 신호 평가 이미지는 그림 12와 같다.

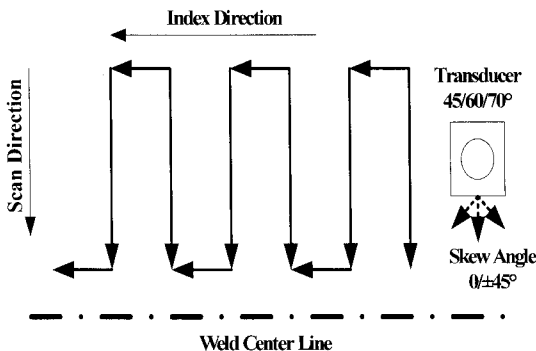


그림 11. 검사 스캐닝 방향
Fig. 11 Scan direction for testing

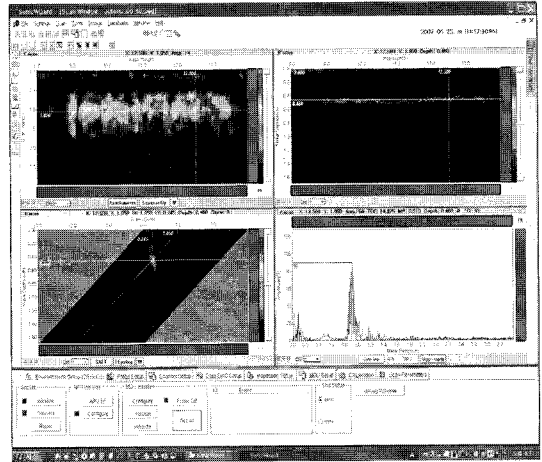


그림 12. 구현된 시스템의 결과 화면
Fig. 12 Result screen of system implemented

국내에 규정된 검증 절차와 KPD(Korean Performance Demonstration)[14]규정에 의해 제시한 시험 대상물체에 따라 검증시험을 실시하여 실험하였다. 기능 검증을 통과하기 위해서는 결함 검출은 100%, False call은 20% 이내의 수준을 유지해야 한다. 또한 결함의 길이산정에서는 RMS 오차가 $0.75''$ 이내, 결함 깊이 산정 RMS 오차가 $0.125''$ 이내 이어야 한다. KPD의 규정에 따라 기능 검증에 응시한 시스템의 RMS오차나 시험 물체에 내재되었던 결함의 정량적 정보는 공개되지 않으며, 단지 합부여부만을 통보받기 때문에 KPD에 근거한 구체적인 수준의 오차범위와 검출 범위를 알 수 없다.

다만, KPD가 규정한 오차범위와 검출을 만족하면서 검사자와 검사장비, 검사절차서가 기능 검증을 통과하기에 충분한 수준이었음을 입증하였다.

V. 결론

자동 초음파 검사 시스템은 피검체의 형상과 검사를 수행하는 검사환경, 검사목적에 따라 다양하게 개발될 수 있는데, 평판형 피검체와 튜브형 피검체, 용접부에 대한 검사를 수행할 수 있도록 자동 초음파 검사 시스템을 연구하였으며, 초음파 신호압축, SAFT, 영상 증폭 알고리즘과 초음파 결함영상 처리 시스템을 구현함으로써 원전 배관 용접부 검사에 필요한 기술기반을 구축

하였으며 향후 새로운 초음파 탐상기법과 초음파 신호 처리기법 및 영상처리 기법 개발 연구에 활용이 기대된다.

참고문헌

[1] "Nondestructive Testing Handbook, Vol. 7, Ultrasonic Testing", ASNT, pp. 220-266, 1991

[2] 박은수, 박익근, 송성진, "비파괴평가공학", 학연사, pp. 245-270, 2004

[3] R. L. Powis and W. J. Powis, "A Thinker's Guide to Ultrasonic Imaging", Urban & Schwarzwzwnberg, 1984

[4] D. J. Chinn, H. A. Dieterman, "Defect Imaging Using Long-Distance Ultrasonic Testing", Review of Progress in QNDE, Vol. 11, Plenum Press, pp. 1901-1908, 1992

[5] M. S. Hughes, D. K. Hsu, F. Margetan, R. B. Thompson, S. R. Ghorayeb, "Application of SAFT on Composites", Review of Progress in QNDE, Vol. 11, Plenum Press, pp. 1413-1419, 1992

[6] John J. Craig, "Introduction to Robotics Mechanics and Control," 2nd ed. Addison Wesley Publishing, pp. 19-77, 1989

[7] "Microplus II Pod Communication Protocol Specification", Veritec Ltd, 2005

[8] Richard G. Lyons, "Understanding Digital Signal Processing", Prentice Hall PTR, pp. 476-485, 2001

[9] Jamal T. Manassah, "Elementary Mathematical and Computational Tools for Electrical and Computer Engineers Using MATLAB", CRC 1st edition, pp. 238-247, 2001

[10] K. Harumi, Y. Ogura M. Uchida: "Ultrasonic Defect Sizing-Japanese Tip Echo Handbook", Tip Echo Working Group of 210 and 202 Sub-committee of Japanese Society, pp. 45-53, 1996

[11] Q. W. Elbern, L. Guimars, "Synthetic Aperture Focusing Technique for Image Restauration", NDT.net, Vol. 5 No. 08, 2000

[12] Lester W. Schmerr, "Fundamentals of Ultrasonic Nondestructive Evaluation", Plenum Press, pp. 29-275, 1998

[13] Josef Krautkramer, Herbert Krautkramer, "Ultrasonic Testing of Materials: 4th Fully Revised Ed", Springer-Verlag, pp. 4-92, 1990

[14] KHNP, 2004, "Development of Performance Demonstration System for Non-Destructive Examination of Nuclear Power Plant(Final Report)," KHNP, 00NJ09

저자소개

김한종(Han Jong Kim)

한국수력원자력(주) 팀장
2009년 중부대학교 대학원
정보과학과(공학박사)

※ 관심분야: 자동 초음파 검사 시스템



박종훈(Jong Hoon Park)

1995년 광운대학교 전자계산기
공학과 (공학박사)
1995년~1998년 한국전산원
선임연구원

1999년- 현재 중부대학교 컴퓨터학과 교수

※ 관심분야: XML 웹서비스, XML 검색, 시맨틱 웹



김철원(Chul Won Kim)

1996년 광운대학교 컴퓨터공학과
(공학박사)
1988년~ 현재 호남대학교 컴퓨터
공학과 교수

※ 관심분야: XML 웹 서비스, 이미지 처리 및 멀티미
디어정보검색