

배관 용접부 초음파검사 시스템 개발

Development of Ultrasonic Testing System for Piping Welds

최성남*[†], 김형남*, 유현주*, 조현준**, 황원길***

Sung-Nam Choi*[†], Hyung-Nam Kim*, Hyun-Ju Yoo*, Hyun-Jun Cho** and Won-Gul Hwang***

초 록 원자력 발전소 설비의 건전성 확인을 위해서 주기적인 초음파탐상검사가 수행되고 있다. 수동 초음파탐상검사는 검사자의 경험 및 현장여건에 따라 균일한 검사 품질에 영향을 주게 되나, 자동 초음파탐상검사는 스캐너의 적용으로 검사 결과의 일관성을 유지하고, 디스크에 저장된 검사결과는 제3자에 의한 검토가 가능하다. 국내 원자력발전소에서 사용 중인 상용 초음파검사 시스템은 장비 구매, 교육 및 교정 등을 해외에 의존하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 초음파 하드웨어, 배관 스캐너 및 초음파검사 프로그램(SonicWizard)으로 구성된 초음파검사 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 검증용 위해 원전 배관 용접부의 자동 초음파검사 기량검증을 용시하여 인증을 획득하였으며, 현장 배관 감육 자동 초음파검사를 수행하여 정확한 감육 상태를 확인함으로써 개발된 자동 초음파검사 시스템의 유효성을 확인하였다.

주요어어: 초음파검사 시스템, 배관 스캐너, 초음파검사 기량검증, 배관 감육검사

Abstract Ultrasonic testing for welds is widely used to ensure the integrity of facilities in NPPs. Automated ultrasonic testing(AUT) is more consistent than the manual ultrasonic testing(MUT). It can scan welded parts, examines the scanned images, and saves the results as data files. AUT in NPPs is making use of commercial systems, and there has been some difficulties in calibration of the system. An AUT system is developed. It comprises of pulser/receiver, scanner and a control program(SonicWizard). The performance demonstration for piping welds in NPPs and the piping wall thickness measurement on site were conducted to verify this system. The test results of the ultrasonic testing system developed is satisfactory and effective.

Keywords: Ultrasonic Testing System, Pipe Scanner, Performance Demonstration, Pipe Thickness Measurement

1. 서 론

산업설비의 장기간 운전에 따라 건전성 확보에 대한 중요성이 부각되고 있다. 특히 원자력발전소 기기 및 배관의 균열로 인한 사고가 발생될 경우 발전정지로 인한 경제적 손실 이외에 국민 안전 위협으로 이어질 수 있는 중대사고로 이어질 수 있으므로 설비의 건전성 확보는 매우 중요한 사항이다.

국내 원자력발전소는 법령에 따라 가동중 설비의

건전성 확보를 위해 주요기기 및 배관 용접부에 대한 주기적인 비파괴검사를 수행하고 있다[1]. 원자력 설비의 가동중 손상이 예상되는 용접부에 대한 비파괴검사 방법[2]으로 표면검사와 체적검사가 수행되고 있다.

검사체 표면의 결함을 찾는 표면검사법에는 육안검사, 액체침투탐상검사, 자분탐상검사 등이 있으며, 검사체 내부의 결함을 찾는 체적검사법에는 방사선투과검사와 초음파탐상검사 등이 있다. 산업계

에서는 방사선 안전관리 및 검사대상의 접근 제한성을 갖는 방사선투과검사보다는, 인체에 무해하고 검사완료 후 즉시 결함 유무를 확인할 수 있는 초음파탐상검사가 확대되고 있는 추세이다. 가동중 원자력 설비의 경우 방사선 영향을 받지 않고, 보다 정밀한 크기 측정이 가능한 초음파탐상검사가 많은 장점이 있다.

초음파탐상검사는 크게 수동과 자동으로 구분된다. 수동 초음파탐상검사는 검사자의 경험과 현장 여건에 따라 균일한 검사 품질에 영향을 주게 되며, 현장 검사 부위의 초음파 신호를 확인하는 검사자의 기량에 전적으로 의존하게 된다. 자동 초음파탐상검사는 기계적인 스캐너의 사용과 초음파 신호의 저장으로 수동 초음파탐상검사 보다 객관적이고 일관적인 검사 품질 유지가 가능하다.

원자력 설비의 경우, 초음파탐상검사의 품질 유지를 위해 ASME Code Sec. XI, "Rules for inspection of nuclear power plant components" 기술기준[1]에 따라 검사자는 현장에서 발생하는 결함을 내재한 시험편에 대한 기량검증(performance demonstration)에 합격하여야 현장검사가 가능하다.

원자력 설비의 자동 초음파검사시스템은 장비, 교육 및 교정 등을 외국 제작사에 의존하고 있어, 시스템 교정 및 개선에 대한 많은 문제점이 제기되고 있다. 본 연구에서 자동 초음파검사 시스템의 요건 및 설계를 통하여 원전 배관 용접부의 자동 초음파검사가 가능한 초음파검사 시스템을 개발하였다.

개발된 시스템으로 원전 배관 용접부의 자동 초음파검사 기량검증과 현장 배관의 자동 초음파검사 수행 완료함으로써, 개발된 시스템의 유효성을 확인하였다.

2. 초음파검사 시스템

2.1. 개요

비파괴 선진 국가들은 비파괴 기반기술의 파급효과가 큰 자동 초음파검사 시스템의 개발을 지속적으로 수행하고 있으며, 이를 상용화하여 산업계에 활용하고 있다. 자동 초음파검사 시스템은 초음파 펄스/리시버, 스캐너 및 초음파검사 프로그램으로 구성된다. (Fig. 1)

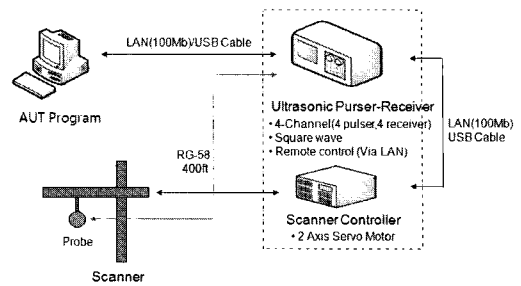


Fig. 1 Configuration of automated ultrasonic testing system

초음파 펄스/리시버는 스캐너에 부착된 초음파탐촉자(probe)로부터 초음파 신호를 발생시키고 검사체 내부에서 반사되는 초음파 신호를 취득하며, 스캐너는 검사 영역 정보에 따라 초음파탐촉자를 자동으로 주사(scanning)하고, 초음파검사 프로그램(AUT Program)은 자동 초음파검사 장비의 전반적인 제어를 수행하여 초음파 신호 및 위치를 저장한 후 A/B/B'/C-스캔 이미지를 구현하여, 검사부위의 결함 유무를 평가하게 된다.

2.2. 초음파검사 알고리즘

자동 초음파검사 시스템은 설정된 검사영역을 스캐너의 스텝 간격마다 취득되는 초음파와 엔코더 신호를 이용하여 검사체 내부의 이미지를 A/B/B'/C-스캔 창으로 구현하게 된다.

A-Scan은 가로축에 취득된 초음파 신호의 진행거리와 세로축에 신호 진폭을 표시한 창으로, 초음파탐촉자로부터 임의의 위치에서의 반사 신호의 크기와 거리를 확인할 수 있다.(Fig. 2)

B-Scan은 취득된 초음파 데이터를 스캔 방향의 검사체 단면을 표시한 창이며, B'-Scan은 인덱스 방향의 검사체 단면을 표시한 창이다. C-Scan은 검사체의 수평 평면을 표시한 창이다.(Fig. 3)

자동 초음파검사 프로그램은 하드웨어 및 검사관련 설정치를 입력하게 되며, 입력된 검사정보에 따라 검사구간을 자동으로 주사하여 초음파탐상검사를 수행하게 된다. 취득된 초음파 신호는 관심 구간(시간 거리)의 게이트를 설정하고, 해당 구간에서 가장 큰 진폭에 대응하는 색상표(Color map)와 초음파탐촉자 위치를 매핑하여 A/B/B'/C-Scan 이미지를 구현하여(Fig. 4), 이미지의 상호 비교를 통하여 결함 탐지 및 크기 측정을 수행하게 된다.

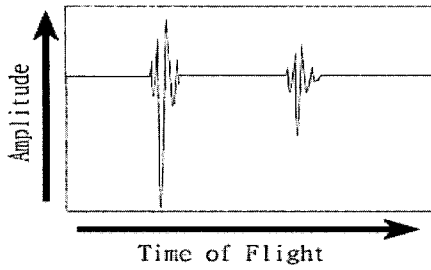


Fig. 2 A-Scan image

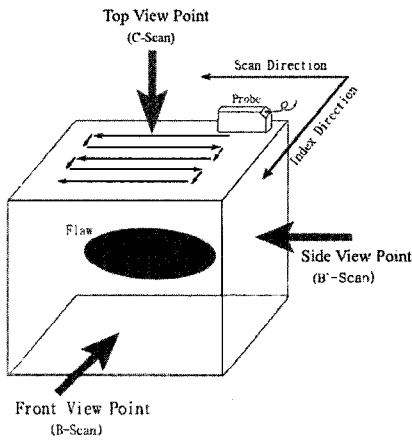


Fig. 3 B/B'/C-Scan view point

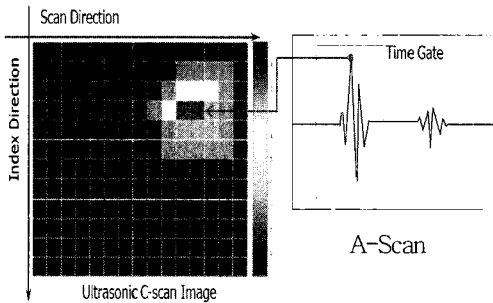


Fig. 4 C-Scan image mapping

3. 배관 초음파검사 시스템

원자력 발전소의 자동 초음파검사 시스템은 현장 검사자의 방사선 피폭을 최소화하기 위해 스캐너를 제외하고 모두 원자로 건물 밖에서 운영 된다. 이와 같이 현장 검사 여건 및 초음파검사 시스템의 요건 및 기능[1-5]을 고려하여 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 초음파 펄서/리시버 및 스캐너 제어기와 스캐너를 연결하는 4개 채널의 연결케이블(umbilical cable)로 구성된 하드웨어와, 자동검사 소프트웨어(SonicWizard)로 구성되어 있다.(Fig. 5)

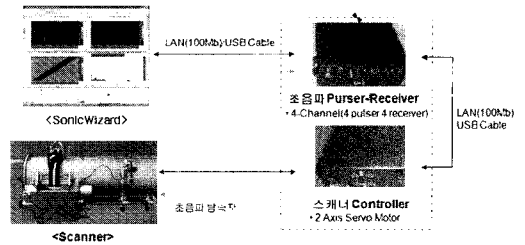


Fig. 5 Developed automated ultrasonic testing system

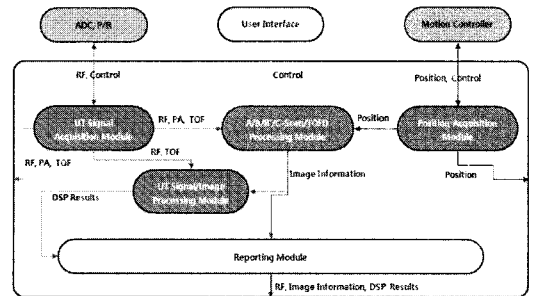


Fig. 6 Data flow chart of automated ultrasonic testing program

3.1. SonicWizard

SonicWizard는 PC 기반으로 개발되었으며, 개발 언어는 C++이다. SonicWizard는 초음파 펄서/리시버(P/R)로부터 초음파 신호(RF: radio frequency)를 송수신 하도록 하며, 수신된 초음파 신호의 진행거리(TOF: time of flight)와 신호 진폭(PA: peak amplitude) 및 스캐너의 위치를 디스크에 저장한다. 모터 제어기는 스캐너의 이동을 제어하게 되며, 사용자는 하드웨어의 설치치 입력과 신호처리(DSP: digital signal processor)된 검사데이터로부터 검사영역의 A/B/B'/C-Scan 이미지를 구현하고, 검사 결과보고서를 작성하게 된다.(Fig. 6)

3.2. SonicWizard 설계서

초음파검사 시스템의 요구기능을 기술한 요건서를 작성하였으며, SonicWizard의 체계적인 개발 및 관리를 위해 다음과 같은 설계서를 개발하였다.

- 객체별 cross-reference
- 객체별 산출물
- 객체 설명서
- data flow diagram & 객체 흐름
- entity relationship diagram

- 화면설계서
- 시험계획서

3.3. SonicWizard

SonicWizard는 자동 초음파검사 신호 취득 및 평가뿐만 아니라 관련된 모든 검사 데이터 관리, 보고서 출력 및 사용자 편의성을 최대한 반영하여 개발되었다. 또한 프로그램의 확장성 및 유지보수를 위해 모듈로 구성되었다.

SonicWizard 메인 메뉴 구성은 다음 Fig. 7과 같다.

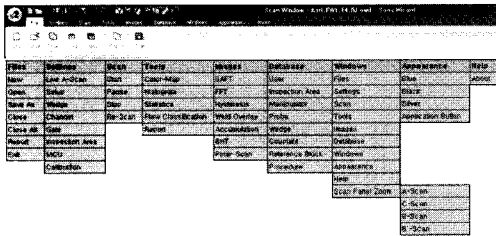


Fig. 7 Main menu of SonicWizard

3.3.1. UT 검사 모듈

검사 채널, 초음파탐촉자 주파수, 지연시간, 게인, 샘플링 간격과 같은 초음파 펄서/리시버 장비의 설정치를 관리한다.

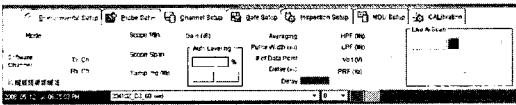


Fig. 8 Channel setup menu

3.3.2. Scanner 모듈

초음파탐촉자가 설치된 2축 배관 스캐너의 모터 속도, 엔코더 거리 교정 및 검사 영역의 원점을 설정한다.

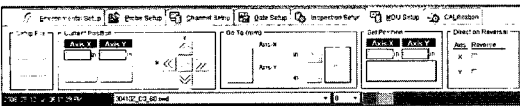


Fig. 9 Scanner control menu

3.3.3. UT 평가 모듈

저장된 초음파 신호로부터 TOF, PA 및 초음파 입사각도의 정보를 조합하여 다음 Fig. 10과 같이 A/B/B'/C-스캔 이미지를 구현한다.

검사자가 A-Scan의 관심 구간 게이트를 설정하면, 해당 게이트 내에서의 C/B/B'-Scan 이미지를 구현하게 된다. 검사체 내부의 기하학적인 원인이 아닌 초음파 기준 진폭(색상)의 표시여부를 확인하고, 기준 진폭 이상의 지시가 나타날 경우 커서를 이동하여 결함의 위치, 길이 및 깊이를 측정한다.

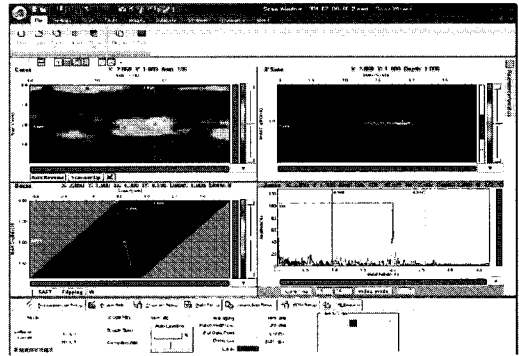


Fig. 10 A/B/B'/C-scan window of SonicWizard

3.3.4. 이미지 처리 모듈

B-Scan 창의 용접부 형상 표시, 원주방향 검사의 이미지(polar view) 출력 및 스캐너 히스테리시스 교정 등을 수행한다.

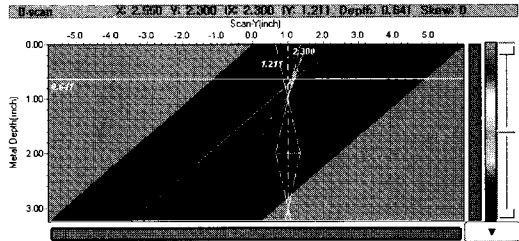


Fig. 11 Display of weld overlay

3.3.5. 관리 모듈

자동 초음파검사 장비, 검사자, 검사보고서 작성/보관/출력 등의 자동 초음파검사 관련 모든 데이터를 관리한다.

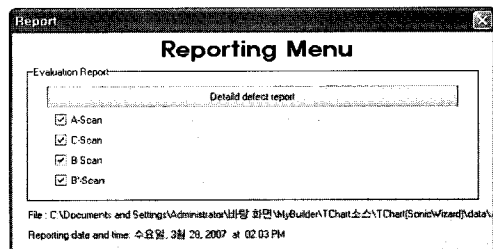


Fig. 12 Reporting menu

3.4. 배관 스캐너

배관 자동 스캐너는 MDU(motor driver unit)로부터 제어신호를 수신하여 설정된 검사 부위의 자동 주사를 수행한다. 배관은 비자성체인 오스테나이트 스테인리스강과 자성체인 페라이트 강으로 제작되며, 다양한 직경과 두께로 구성되어 있다.

일반적으로 비자성체 배관은 직경별 별도의 스캐너 트랙(track)을 제작하여 배관에 설치 한 후 그 위에 배관 스캐너를 부착하여 자동 초음파검사를 수행한다. 하지만, 본 연구에서는 스캐너 트랙의 설치가 필요 없는 스캐너를 다음 Fig. 13과 같이 개발하였다.

개발된 스캐너는 자동 스캐너의 상하 이동시 자체 무게로 인한 모터 부하의 불균형을 최소화하기 위해 균형추를 부착하여 원활한 위치제어가 가능하며, 배관 직경 크기에 따라 조절이 가능한 벨트타입으로 제작되었다. 또한, 소구경(4인치 이하) 배관의 경우 주위 구조물과 간섭이 발생되지 않도록 크기 및 무게를 최소화하여 다음 Fig. 14와 같이 소구경 배관 스캐너를 개발하였다.

3.5. 배관 초음파검사 절차서

ASME Sec. XI 기술요건[1]에 따라 초음파 하드

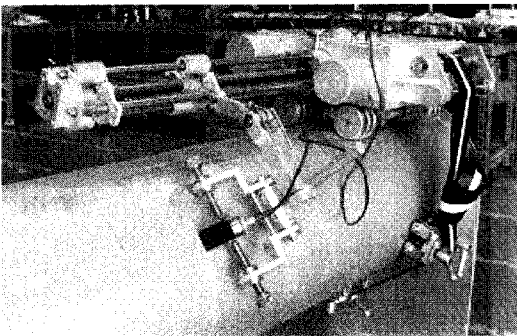


Fig. 13 Automated piping scanner

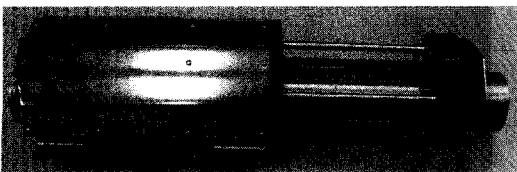


Fig. 14 Scanner for small pipe

웨어 특성과 관련된 필수변수 정의 및 신호평가를 절차화한 원자력발전소 배관 용접부의 자동 초음파탐상검사 결함검출 및 길이 측정(KEPRI-NG(UT)-31 Rev. 1)과 깊이 측정(KEPRI-NG(UT)-32 Rev. 1) 절차서를 개발하였다.

개발된 절차서는 원전 배관 용접부의 자동 초음파검사에 사용되는 초음파 장비의 필수변수, 시스템 검증, 초음파탐촉자 종류, 크기, 주파수, 교정과 스캐너 속도 제한을 명시하고 있으며, 결함과 기하학적 형상에 의한 지시의 구별, 크기 측정 및 기록 절차를 기술하고 있다. 개발된 절차서는 초음파탐상검사 기량검증시 절차서 검증 및 기량검증으로 원전 현장의 적용 적합성을 평가받게 된다.

4. 초음파검사 시스템 검증

4.1. 초음파검사 기량검증

초음파검사 기량검증이란 원자력발전소의 초음파검사 부위에서 발생 되는 실제와 유사한 결함을 내포한 시편을 검사 부위, 재료, 두께 및 형상별로 제작하여 초음파검사자, 검사 절차서 및 검사장비에 대해서 사전에 검사능력을 평가하는 것이다. 초음파탐상검사 시스템(초음파검사자, 검사절차서, 검사장비)에 대한 정확성을 평가하고 검증함으로써 원전 비파괴검사의 신뢰성을 제고하는데 목적을 두고 있으며, ASME Sec. XI, App. VIII, "Performance demonstration for ultrasonic examination systems"[1] 요건에서 검사자, 검사절차서 및 검사장비에 대한 총괄적인 기량검증을 요구하고 있다.

과학기술부 고시 2002-18에서 미국 10 CFR 50.55a에서 적용되고 있는 ASME Code Sec. XI를 국내에 적용하도록 요구되어, 2004년 1월부터 국내 전 호기에 대해 기량검증을 적용하도록 고시가 개정되어, 2004년 하반기부터 한전 전력연구원 비파괴평가센터에서 원전 배관에 대한 기량검증 시스템(Korean performance demonstration: KPD)을 구축하였으며, 현재까지 원전 초음파검사자에 대한 기량검증을 수행하고 있다.

본 연구에서 배관 자동 초음파검사 기량검증 인증 및 현장검사를 통해 개발된 초음파검사 시스템의 신뢰성 및 원전 현장 적용성을 확인하였다.

4.2. 초음파검사 시스템 기량검증

본 연구에서 개발된 자동 초음파검사 시스템을 기량검증센터에 설치하고 배관 시험편에 대한 자동 초음파검사를 수행하였다.

개발된 KEPRI-NG(UT)-31 및 KEPRI-NG (UT)-32의 자동 초음파검사 품질절차서를 적용하여 기량검증이 수행되었다.

배관 시험편의 결함 유무, 위치, 길이 및 깊이 등의 정보를 파악하기 위해 사용된 횡파 초음파탐촉자의 입사각은 45°/60°/70°이고, 종파 초음파탐촉자는 30-70-70 및 60°이며, 사용된 중심주파수는 매질과 두께를 고려하여 횡파는 2.25 MHz, 종파는 2, 4 MHz를 각각 사용하였다. 또한 배관 축방향 결함의 탐지를 위해 용접선에 수직한 방향과 좌우 45° 비틀림각 및 용접부의 downstream 및 upstream 방향에서 각각 자동 검사가 수행되어, 한 개 배관 시험편에 대해 총 10~14회의 자동검사를 수행하였다.(Fig. 14)

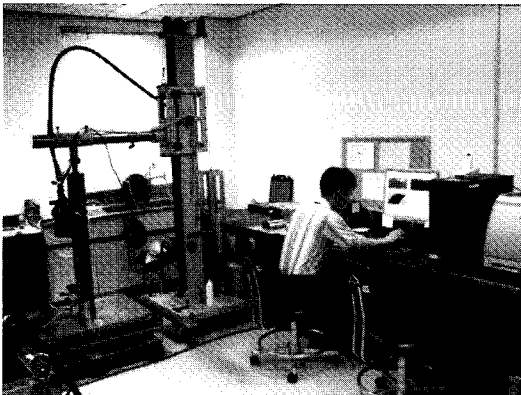


Fig. 14 Korean performance demonstration for AUT piping welds of SonicWizard

배관 시험편 용접부의 자동 초음파검사를 수행하여 취득된 초음파 신호로부터 A/B/B'/C-스캔 이미지를 평가하여 배관 용접부 결함 탐지, 길이 및 깊이 측정을 수행하였다.

배관 시험편 용접부의 자동 초음파검사 수행 결과, 자동 초음파검사 기량검증 인증의 합격기준(부록 참조)을 만족함으로써 PDQS(performance demonstration qualification sheet)를 획득하였다.(Fig. 15).

개발된 초음파검사 시스템은 ASME Code Sec. XI에서 요구하는 결함 탐지 및 결함크기 측정능력을 보유함으로써, 원전 현장에서 직접 사용이 가능하리라 사료된다.

4.3. 초음파검사 시스템 현장적용

개발된 자동 초음파검사 시스템의 현장 적용성을 확인하기 위해 배관의 두께 감육 자동 초음파검사를 수행하였다.

현장 배관의 감육 상태 확인은 주로 수동 초음파 탐상검사가 적용되나, 검사 결과의 수기 기록 및 별도의 감육 상태의 이미지 처리 작업을 수행하여야 한다. 하지만, 자동 초음파검사는 취득된 초음파 신호의 저장 데이터로부터 이미지 처리가 가능하며, 제3자에 의한 재평가가 가능하므로, 검사 결과의 추적성 및 균일성이 양호하다.

개발된 초음파검사 시스템을 현장에 설치하여(Fig. 16), 배관 감육 자동검사를 수행하였다. 검사 대상 배관은 곡관부이므로, 안쪽 곡률과 바깥쪽 곡률 부분으로 분리하여 자동검사를 수행하였다.

배관 바깥쪽 곡률부의 자동검사 결과는 다음 Fig. 17과 같이 배관 단면 형태의 이미지 형태로 구현하였다.

배관 설계두께(두 원 간격)사이에서 배관 내면의 지시가 확인되어, 배관 설계두께 이상으로 감육된

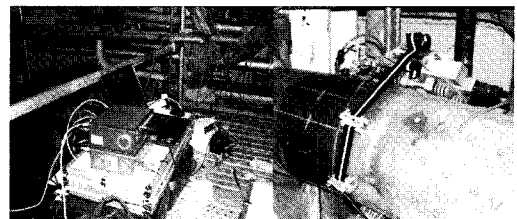


Fig. 16 Installation of AUT system for wall thickness measurement

한국형 기량검증 체계

KEPRI-NG(UT)-31, KEPRI-NG(UT)-32

공용 기량검증 요건

KPD

수집 및 보관관리요령
 검사자: KEPRI-NG(UT)-31, KEPRI-NG(UT)-32
 측정대상: 100mm 이하 두께의 용접부

구분	항목	내용
1. 시험편	1.1. 시험편	1.1.1. 시험편: 100mm 이하 두께의 용접부
	1.2. 결함	1.2.1. 결함: 용접부 결함
2. 검사방법	2.1. 검사방법	2.1.1. 검사방법: 자동 초음파검사
	2.2. 검사장비	2.2.1. 검사장비: 자동 초음파검사 시스템
3. 검사결과	3.1. 검사결과	3.1.1. 검사결과: 결함 탐지, 길이 및 깊이 측정
	3.2. 검사결과	3.2.1. 검사결과: 결함 탐지, 길이 및 깊이 측정

Fig. 15 PDQS for the SonicWizard

상태를 시각적으로 나타냈고 있으며(점선부위), 배관 하부로 갈수록 감육량이 커지고 있다. 따라서, 개발된 자동 초음파검사 시스템을 이용하여 현장 적용검사를 성공적으로 완료하였다.

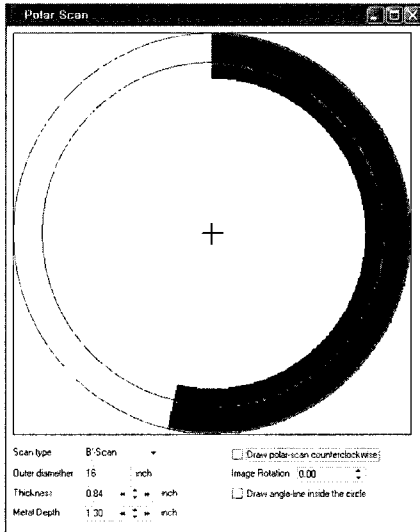


Fig. 17 Result of AUT for piping wall thickness

5. 결 론

본 연구에서는 원자력 발전소 배관 용접부의 자동 초음파검사 위해 초음파 펄서/리서버, 스캐너, 검사절차서 및 자동 초음파검사 프로그램(SonicWizard)으로 구성된 초음파검사 시스템을 개발하였다.

개발된 시스템으로 원전 배관 용접부에 대한 기량검증을 수행하여 결함 탐지, 길이 및 깊이 측정에 대한 기술기준을 만족함으로써 원전 현장에 적용 가능한 시스템으로 인증 받았으며, 현장 배관의 감육 자동 초음파검사를 수행함으로써 개발된 자동 초음파검사 시스템의 신뢰성 및 유효성을 확인하였다. 특히 국내에서 유일한 원전 배관 용접부의 결함 깊이 측정에 대한 기량검증이 완료된 자동 초음파검사 시스템이다.

본 연구를 통하여 축적된 자동 초음파검사 기술은 향후 원자로 및 CRDM(control rod drive mechanism) 용접부 검사 등과 같은 자동 초음파검사 시스템의 국산화 개발에 확대 적용이 가능하리라 사료된다.

후 기

본 연구개발은 전력산업기반 연구개발사업인 "원전 배관 자동 초음파검사 신호 취득·평가 프로그램 개발" 연구과제의 일환으로 수행되었으며, 관계자분들에게 감사드립니다.

참고문헌

- [1] ASME B&PV Code Sec. XI, Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components, Division 1, (1995)
- [2] ASME B&PV Code Sec. V, Non-Destructive Examination, (1995)
- [3] API, Welding of Pipelines and Related Facilities, STD 1104, American Petroleum Institute, (1999)
- [4] R. L. Powis and W. J. Powis, A Thinker's Guide to Ultrasonic Imaging, Urban & Schwarzwzwnberg, (1984)
- [5] ASTM, Standard Practice for Mechanized Ultrasonic Examination of Girth Welds Using Zonal Discrimination with Focused Search Units, E-1961, (2003)
- [6] V. Schmitz and W. Kappes, Data Acquisition and Evaluation with μ -Processor Controlled Automatic Ultrasonic Testing Systems, Institution of Electrical Engineers, Colloquium on 21st, (2000)
- [7] M. G. Silk, Sizing crack-like defects by ultrasonic means, Vol. 2, Ch. 2, Academic Press, London, (1977)
- [8] J. P. Charlesworth and J. A. G. Temple, Engineering Applications of Ultrasonic Time-of-Flight Diffraction, Research Studies Press, England, (1989)
- [9] S. R. Doctor, M. D. Avioli, Jr., R. L. Barron and R. L. Beverly, Improving Ultrasonic Inspection Reliability, ERPI-NP-2568, Electric Power Research Institute, (1982)
- [10] C. I. K. Sinclair, "Guidelines for the interpretation of automated ultrasonic test images: pulse echo," 7314.01/96/944.03,

TWI, (1997)

- [11] Veritec Ltd, Microplus 2 μ MAP - II, Operational and Software Licence Manual, Ver. 3, (2002)
- [12] AMDATA, Intraspect Ultrasonic Imaging System Operations Manual, Ver. 6.0, (2003)
- [13] R/D Tech, TomoView 2 Reference Manual, Vol. 1/2, (2003)

부록. 초음파탐상검사자 기량검증 인정 요건 및 합격기준

원전 배관 용접부의 결함 시험편은 ASME Sec. XI, App. VIII, "Performance demonstration for ultrasonic examination systems"에 따라 오스테나이트 및 페라이트 배관 시험편 구성요건을 만족해야 한다. 시험편 결함의 크기 측정에 대한 평가는 결함의 길이와 깊이에 대해 수행되며, 최소 결함수는 10개이며, 시험편에 존재하는 모든 결함을 100% 검출하고, 결함의 길이와 깊이 측정에 대한 다음 합격기준을 만족해야 한다.

1. 결함 길이 측정 합격기준

자동 초음파검사 결과 측정된 결함 길이와 실제 결함 길이와 비교하여 초음파 검사를 통해 평가된 결함길이의 RMS(root mean square) 오차가 0.75 "를 초과하지 않아야 한다.

2. 결함 깊이 측정 합격기준

자동 초음파검사 결과 측정된 결함 깊이와 실제 결함 깊이와 비교하여 초음파 검사를 통해 평가한 결함 깊이의 RMS 오차가 0.125 "를 초과하지 않아야 한다.

결함크기 평가에 대한 RMS 오차는 다음 식 (1) 과 같이 계산된다.

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - t_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (1)$$

여기서, n은 시험편 개수, m은 측정 값, t는 시험편 실제 결함 크기 이다.