

배관 용접부 자동 초음파 검사 시스템 연구

김한중* · 박중훈**

* 한국수력원자력 · **중부대학교

A Study on an Automated Ultrasonic Testing System

for the Inspection of Pipe Welding

Han-Jong Kim* · Jong-Hoon Park**

*Korea Hydro & Nuclear Power Co., **Joongbu University

요 약

최근까지 전자정보산업의 발달로 자동 초음파검사 하드웨어는 갈수록 경량화 되어 가고 있고, 소프트웨어는 다양한 최신 이미지 처리 기법이 적용되어 정확한 결함 위치 및 크기 측정이 가능하도록 연구되어지고 있다. 본 논문에서는 원전 배관 자동 검사에 최적화된 시스템을 구성하기 위해 배관 자동 초음파 검사 시스템을 제안하고, 시스템 설계를 위해 소프트웨어의 데이터 흐름과 일반적인 구성에 대해서 기술한다.

ABSTRACT

As a result of the recent development of the electro-information industry, the hardware of an automated ultrasonic testing system is getting lighter and diversified image processing techniques are applied to its software so that the possible precise locating and detecting of the flaws are studied. This study proposes an automated ultrasonic testing system of the pipe in order to organize the optimized system, and also describes the data flow and general composition of the software for the design of the system.

키워드

Automated Ultrasonic Inspection System, detecting of the flaws

1. 서론

최근까지 전자산업의 발달로 자동 초음파검사 하드웨어는 갈수록 경량화 되어 가고 있고, 소프트웨어는 다양한 최신 이미지 처리 기법이 적용되어 정확한 결함 위치 및 크기 측정이 가능하게 되었는데, 특히 자동 초음파검사 기술은 비파괴검사 자동검사 시스템에 대한 기반기술의 파급효과가 커져 세계적으로 적극적인 연구개발이 지속적으로 이루어지고 있고, 미국, 프랑스, 독일, 일본 등 비파괴검사 선진 국가들은 자동 초음파검사 시스템을 자체 개발하여 산업계에 활용하고 있다. 국내 원자력발전소에서는 미국 ABB AMDATA 사

의 Intraspect 자동 초음파검사 장비를 사용하고 있다. 일반 산업계에서는 미국 Zetec 사의 μ TomoScan 및 Tomo III 등이 사용되고 있다[1, 2, 3].

자동 초음파 검사 시스템(Automated Ultrasonic Testing System: 이후 AUT 시스템)은 크게 초음파 펄스 발생 및 취득 장비, 탐촉자 구동 스캐너 및 신호 취득·평가 프로그램으로 구성된다.

AUT 시스템은 검사를 수행할 피검체의 형태에 따라 평판형 자동 초음파 검사와 튜브/파이프 자동 초음파 검사, 곡면 주행 자동 초음파 검사, 임의 표면 자동 초음파 검사로 구분할 수 있고,

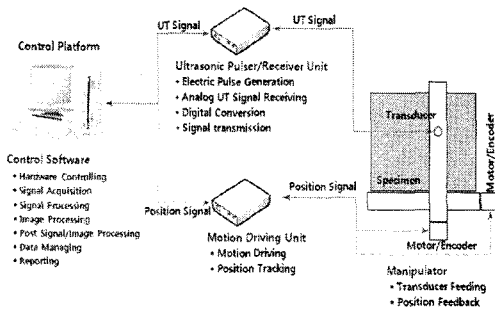
검사기법에 따라 B/B'/C-Scan 초음파 검사, TOFD 초음파 검사, 초음파 spectroscopy 등으로 구분할 수 있다. 또한 검사기법에 따라 초음파 영상화 기법과 결함크기산정을 위한 후처리기법들이 다양하게 존재한다.

본 논문에서는 원전 배관 자동 검사에 최적화된 시스템을 구성하기 위해 배관 AUT 시스템을 제안하고, AUT 시스템 및 소프트웨어의 일반적인 구성에 대해서 기술한다.

II. 기존의 자동 초음파 검사 시스템

일반적으로 AUT 시스템은 <그림 1>에서와 같이, 1) 초음파 탐촉자 이송기구 2) 기구 드라이빙 모듈 3) 초음파 송수신모듈 4) 신호수집 및 후처리 모듈로 나누어 볼 수 있다.

1) 초음파 탐촉자 이송기구(manipulator)는 초음파 탐촉자를 검사하고자 하는 시험편의 표면에 접촉(혹은 간극)을 유지하면서 정확한 위치표정과 제어가 가능하게 한다. 일반적인 AUT 시스템에서는 기계적인 이송축과 전자기모터를 활용한다.



<그림 1> 자동 초음파 탐상 시스템의 일반적 구성

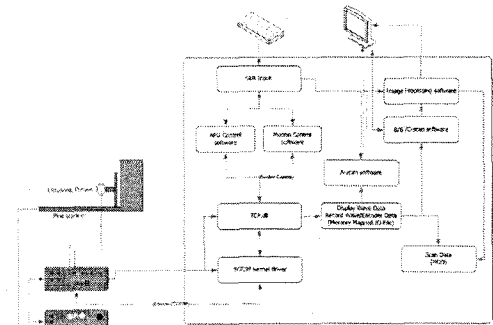
2) 기구 구동 모듈(manipulator driving module)은 초음파 탐촉자의 이송기구에 기전력과 이송 펄스를 가하여 실제 이송이 이루어지도록 하는 역할과 이송된 거리를 모션 컨트롤러에 피드백 하는 역할을 담당하게 된다[4]. AUT 시스템의 경우 모터 드라이버와 모션 컨트롤러가 이 모듈을 구성한다.

3) 초음파 송수신 모듈(ultrasonic pulser/receiver)은 자동 이송되는 초음파 탐촉자에 전기적 펄스를 가하고 수신된 초음파 신호를 받아 아날로그 후처리를 거친 후 신호수집 및 후처리 모듈로 전송하는 역할을 담당한다. 일반적으

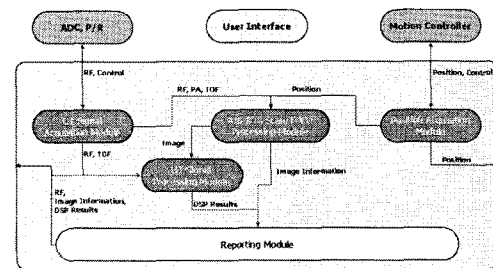
로 초음파 펄서/리시버가 그 역할을 담당하게 된다.

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

이들 모듈은 AUT를 위해 각각의 기능이 유기적으로 통합되고 연동되는데, <그림 2>에 AUT 시스템의 일반적인 제어흐름도를 보였다. 그림에서와 같이 초음파 펄서/리시버 모듈과 기구 구동 모듈을 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 제어흐름도



<그림 3> AUT 시스템 소프트웨어 제어 흐름도

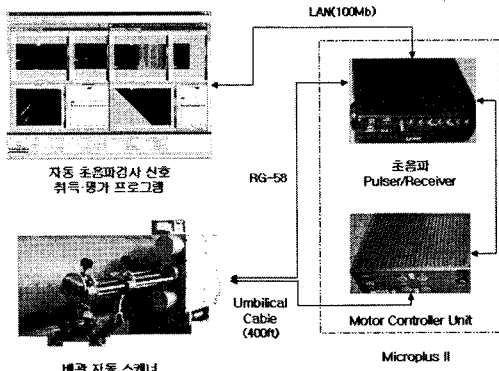
<그림 3>에 AUT 시스템을 구성하는 초음파 자동검사 소프트웨어의 일반적인 구성과 자료흐름을 보였다. 그림에서와 같이 자동 초음파 검사에 있어 근원이 되는 데이터는 탐촉자의 위치와 해당 위치에서 수집한 A-Scan 초음파 결함신호이다. 초음파 검사신호와 초음파 탐촉자의 위치를 수집하면 이를 이용하여 다양한 신호처리와 이미

지 처리를 통해 초음파 스캔 영상을 구축할 수 있게 된다.

III. 배관 용접부 자동 초음파 검사 시스템의 구성 및 설계

AUT 시스템은 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 encoder신호는 다시 ethernet을 통해 AUT 시스템의 제어 컴퓨터(이후 PC)로 전송된다[5, 6].

AUT 시스템 프로그램이 제어하는 POD와 MDU는 각각 영국 Veritec사의 Microplus II와 MDU II 모델로 8개의 초음파 검사채널과 2개의 스캐너 축을 지원하는 하드웨어[5, 6, 7, 8]인데, PC와 POD 그리고 MDU의 시스템 구성을 <그림 4>에 보였다.



<그림 4> 배관 자동 초음파검사 시스템 구성도

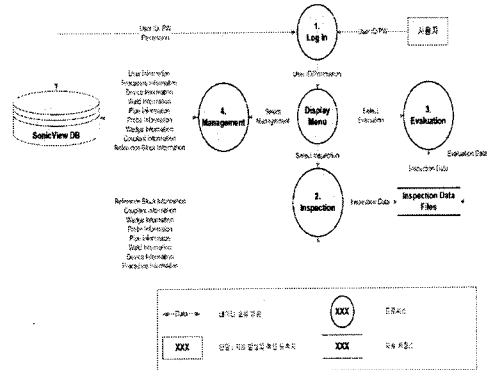
원전 배관 용접부 검사를 위해 최적화된 AUT 시스템 구성을 위해 상용화된 자동 초음파검사 시스템에 대한 분석을 기초로 하여, 자동 초음파 검사 시스템 프로그램 설계서를 작성하였다. 기량 검증 및 현장 검사를 위해서 원전 배관 자동 초음파검사 신호 취득·평가 절차를 작성하였다.

자동 초음파검사 신호 취득·평가 프로그램(이후 AUT 프로그램) 구성은 설계서에 따라 체계적으로 진행했고, 프로그램은 다음과 같이 5개 모듈로 구성되어 있다.

- 초음파 신호 취득 프로그램 모듈
- 초음파 A/B/B'/C/P-Scan/TOFD 프로그램 모듈

- 초음파 신호 처리 및 평가 프로그램 모듈
- 배관 스캐너 구동 프로그램 모듈
- 자동 초음파검사 시스템 관리 프로그램 모듈

<그림 5>에 AUT 시스템 프로그램 전반의 데이터 흐름도를 보였고, <그림 6>에는 AUT 시스템 프로그램의 검사모듈에 대한 데이터 흐름도를 보였다.



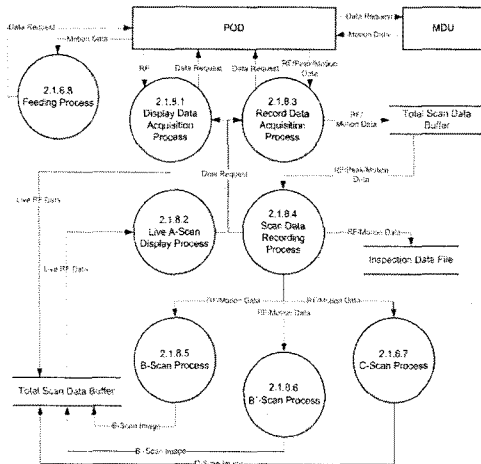
<그림 5> 자동 초음파 검사 시스템의 프로그램 전체 데이터 흐름도

AUT 시스템 프로그램은 <그림 5>에서와 크게 평가모드와 검사모드로 구분되며, 기본적인 검사 정보와 시스템 설정정보는 데이터베이스에 보관하여 관리할 수 있도록 한다. 그리고 검사데이터는 검사모드와 평가모드에서 동등하게 접근이 가능하지만, 검사모드에서는 주로 검사데이터의 저장에 위한 접근이 이루어지며, 평가모드에서는 검사데이터의 로딩과 이미지 후처리, 후평가를 위한 접근이 이루어진다. AUT 시스템 프로그램의 검사모듈은 검사를 위한 프로세스인데, <그림 6>에 보인 것과 같이, POD와 MDU를 제어하여 얻은 디스플레이 데이터와 레코드데이터 그리고, 이송 프로세스를 통해 얻게 되는 엔코더 정보를 신호처리과정에서 가공하여 A-Scan 신호와 B/B'/C-Scan영상을 디스플레이 한다. 본 연구를 위해 사용된 POD는 디스플레이만을 위한 A-Scan 데이터와 스캔 영상 생성을 위한 저장목적의 A-Scan 데이터를 별도로 수집하여 시스템에 전송하는데, 이들을 각각 디스플레이데이터와 레코드데이터라고 한다.

레코드데이터와 디스플레이데이터는 모두 우선적으로 검사데이터의 전반을 실시간으로 제어 PC의 메모리상에서 관리하는 total memory buffer에 저장하여 프로그램의 실행속도를 높여도록 하였고, 검사위치정보와 A-Scan 레코드 데

이터는 검사와 동시에 영구저장장치에 저장되도록 하였다. 이러한 절차의 프로세스는 초음파 영상을 생성하는 속도를 개선시키고, 데이터의 관리하기 쉽게하는 장점이 있다.

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



<그림 6> 자동 초음파 검사 시스템의 검사모듈 데이터 흐름도

IV. 결 론

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, 새로운 초음파 탐상기법과 초음파 신호처리기법 및 영상 처리 기법 개발 연구에 활용이 기대된다.

참고문헌

- [1] 최성남, 이희중, 윤병식, 유현주, 조현, "원전 배관 자동 초음파검사 신호 취득·평가 프로그램 개발", 산업자원부, pp. 9-61, 2006
- [2] "Intraspsect Ultrasonic Imaging System", Operations Manual Ver. 6.0, AMDATA, 2003
- [3] "TomoView 2", Reference Manual, Vol. 1, 2, 2003
- [4] John J. Craig, "Introduction to Robotics Mechanics and Control," 2nd ed. Addison Wesley Publishing, pp. 19-77, 1989
- [5] "Microplus 2 μ Line - II", Operational and Software Licence Manual, Veritec Ltd, Ver. 2, 2001
- [6] "Microplus II Pod Communication Protocol Specification", Veritec Ltd, 2005
- [7] "Microplus 2 μ TOFD - II", Operational and Software Licence Manual, Veritec Ltd, Ver. 1, 2001
- [8] "Microplus 2 μ MAP - II", Operational and Software Licence Manual, Veritec Ltd, Ver. 3, 2002