

# 용접부 비파괴검사를 위한 지능형 초음파 탐상시스템 개발

## A Development of an Intelligent Ultrasonic Testing System for Nondestructive Testing of Weldments

송성진\*, 조 현\*, 김창환\*, 정희준\*, 이정기\*\*

\* 성균관대학교 기계공학부

\*\* (주)대한검사기술연구소

**ABSTRACT** 지능형 초음파 탐상 시스템은 재래식 초음파 탐상시험에서 주된 논란의 대상이 되는 검사객관성과 신뢰성, 그리고 일반화된 검사자료의 데이터베이스화 문제를 해결할 수 있는 해법으로 제시되었다. 또한 이 시스템은 검사의 자동화(혹은 간이자동화)를 통해 검사자에 의해 수작업으로 작성되던 피검체 및 결함관련 정보를 자동으로 계산하고 데이터베이스화함으로써, 열악한 검사환경에서도 최선의 능력을 제공할 수 있는 기반을 제공한다. 본 논문에서는 지능형 시스템의 개발을 위해 필요한 요소기술과 개발된 시스템의 전반에 관하여 논한다

### 1. 서 론

초음파를 이용한 비파괴검사서 최근 이슈로 부각되고 있는 것이 검사의 최적화와 지능화이다. 이를 위해서는 기존의 검사기술코드와 최근까지 개발된 기술을 총망라하여 피검체와 검사환경에 가장 적합한 검사를 수행하도록 지침과 방법을 제공하는 최적화기술과 수집한 검사데이터를 자동으로 분석하고 신호처리하여 그 결과를 검사자와 중앙서버에 알리는 지능화기술이 개발되어야 하는데 본 논문에서는 지능화기술에 초점을 맞추었다.

비파괴검사현장에서 일반적으로 부각되는 중요 이슈는 검사자가 수행한 검사의 객관성과 신뢰성이다. 검사의 객관성은 검사를 수행하는 검사자의 기량, 경험, 검사환경 등에 따른 편차를 최소화하는 연구를 통해 확보될 수 있고, 검사의 신뢰성은 검사수행과 동시에 검사정보를 중앙서버로 즉시 전송하고 데이터베이스화함으로써 확보될 수 있다.

본 연구는 검사를 수행하는 검사자의 검사부담을 최소화하면서 최선의 검사결과를 일정한 수준으로 유지하기위한 해법을 제시하기 위해 수행되었다. 용접부 초음파 검사의 지능화를 위한 요소기술은 크게 1) 장치제작 및 제어기술과 2) 신호해석 지능화 기술, 3) 원격자료전송 및 데이터베이스기술로 구분하여 생각할 수 있다. 검사장치제어기술은 탐촉자의 자동(혹은 간이자동)이송을 위한 기구부 및 기구부

제어기술과 펄서/리시버, A/D Converter등의 제어기술 그리고 필터링, 증폭 등 아날로그 및 디지털 초기단계의 신호처리기술을 포함한다. 이 기술은 이미 많은 선행 연구와 개발을 통해 상당부분 일반화된 기술이므로 제외하고 본 논문에서는 신호해석 지능화와 원격자료전송 및 데이터베이스화, 그리고 이들의 구현을 통해 개발된 시스템에 대해서 논한다

### 2. 신호해석 지능화

초음파 탐상 시험의 결과로 획득한 신호(보통 RF 신호라 부름)를 해석하여 결함의 종류와 크기를 판별하는 것은 매우 어려운 일이다. 실제로 매우 숙련된 전문가들도 때로는 만족할 만한 정확도를 내지 못하는 경우도 많은데, 검사자가 육체적 정신적 피로에 따라 주의가 산만해 지게 되면, 검사자가 해석한 결과의 객관적 신뢰도가 떨어지게 마련이기 때문이다.

그림 1에 나타난 것과 같은 용접부의 초음파 탐상 시험의 경우에는 그 어려움이 더하다. 용접부에는 표면 개구 균열과 같은 용접결함 뿐 만 아니라 카운터 보어나 용접 루트부와 같은 결함이 아닌 기하학적 불연속부도 혼재하는데, 이런 기하학적 불연속부 또한 입사된 초음파 빔을 반사하기 때문에, 초음파 탐촉자로 수신한 신호는 그림 1에 나타난 바와 같이 매우 복잡한 형태를 띄게 되고 결함의 위치, 종류,

크기를 정확히 결정하는 일을 어렵게 한다.

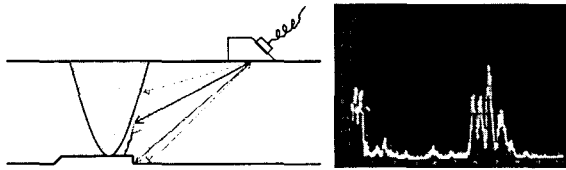


그림 1. 용접부 초음파 탐상 시험에서 획득한 신호

초음파 탐상 신호해석 지능화는 이러한 문제를 해결하기 위한 것으로, 1) 수많은 신호 중에서 결함으로부터 획득한 신호만을 구별해내는 “결함신호 식별”과 2) 획득한 신호로부터 용접결함의 종류를 판별해내는 “결함신호 분류” 그리고 3) 균열성 결함의 크기를 결정하는 “결함크기 산정”의 3가지 요소로 구분할 수 있다.

### 2.1 결함신호 식별

결함신호 식별은 전적으로 검사자의 경험과 지식에 의존했기 때문에 잦은 논란의 대상이 되었다. 이 문제를 완전히 해결하기 위해 “TIFD(Technique for Identification of Flaw signal using Deconvolution)”<sup>3)</sup> 기법을 개발하였다. 이 기법은 획득한 신호를 기준 신호로 deconvolution하여 단순한 형태의 패턴을 얻고, 그 형태를 보고 그것이 결함신호 여부를 판단하는 것이다. 이때 기준신호로 사용하는 신호는 STB-A1 표준시험편의 원주로부터 획득한 반사신호이다. 그림 2는 TIFD의 결과를 보여주고 있다. 그림에 보인 바와 같이, 결함에 해당하는 균열선단신호와 균열코너신호는 각각 bi-polar 혹은 negative polarity를 갖는 impulse-like pattern을 갖는데 비해서, 결함이 아닌 counter bore는 positive polarity를 갖는 impulse-like pattern을 가짐을 알 수 있다. 이를 이용하면, 수많은 출력신호 중 결함신호만을 정확하게 구분할 수 있다.

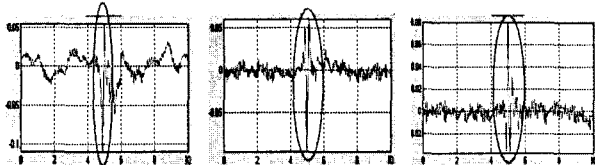


그림 2. TIFD 결과 (crack tip, crack corner, counter bore)

### 2.2 결함신호 분류

용접부에는 균열, 슬래그 혼입, 기공과 같은 여러 가지 결함이 발생할 수 있다. 결함식별 기법을 통해 결함신호만을 구분했다면, 이제 그 결함이 실제로

용접결함 중 어느 결함으로부터 발생되었는가를 판단해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 “형상인식” 기법<sup>6,7)</sup>을 활용하였다. 형상인식 기법은 검출 신호로부터 신호의 특성을 잘 표현하는 “특징(feature)”을 추출하고 이를 기반으로 의사결정을 행한다. 의사결정의 도구로 널리 사용되는 것이 인공신경회로망인데 본 연구를 통해 그림 3에 보인 초음파신호분류 프로그램을 개발하였고 이를 지능형 시스템에 탑재하였다. 이 프로그램은 초음파 탐상 시험 신호 중 결함 신호만을 구분하고, 특징을 추출한다. 추출할 특징으로는 결함 신호의 지속시간, 에너지, 주파수 대역폭 등이 포함된다. 추출한 특징을 확률신경회로망의 입력 노드에 입력하면, 출력 노드에 해당 결함신호가 균열, 슬래그 혼입, 기공의 세 종류의 결함으로부터 생성되었을 확률이 자동으로 표시된다.

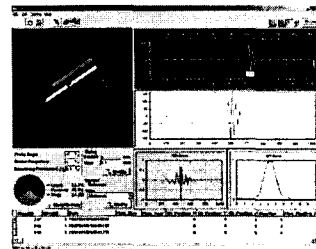


그림 3. 확률신경회로망을 이용한 지능형 결함분류 프로그램<sup>6)</sup>

### 2.3 결함크기 산정

용접결함의 크기 산정은 결함신호의 세기보다는 비행시간(time-of-flight)을 이용하여 결정하는데 많은 기법들이 알려져 있다. TE(tip echo) 기법은 균열 선단 회절 신호의 발생 위치로부터 균열의 크기를 결정하는 것으로, 만약 균열선단 신호를 정확하게 구분해 낼 수 있다면 매우 간단하게 적용할 수 있는 방법이다.

또한, 초음파 탐상 시험의 모델링 결과로부터 알게 된 사실 즉, 표면 개구 수직 균열의 코너로부터 반사된 신호의 세기가 균열의 크기와 관련이 있다는 사실을 이용하여 표면 개구 수직 균열의 크기를 산정할 수 있다. 모델링을 이용하면 주어진 크기의 수직 균열로부터 획득할 수 있는 균열코너 반사신호의 세기를 계산할 수 있고, 수직 균열의 크기 증가에 따른 균열 코너 반사 신호의 세기변화를 계산할 수 있는데, 이를 그래프로 표시하면 그림 4와 같은 Size Amplitude Curve (SAC)<sup>8)</sup>를 얻을 수 있다. 이를 이용해 크기를 알지 못하는 수직균열의 코너반사 신호를 획득하고 신호세기를 측정함으로써 수직균열의 크기를 결정할 수 있다.

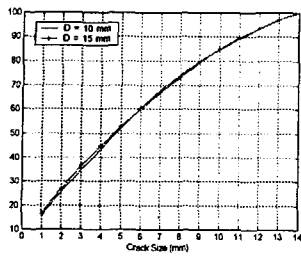


그림 4. Size Amplitude Curve를 이용한 표면 개구 수직 균열의 크기산정

### 3. 원격자료전송 및 데이터베이스화

검사자료의 원격전송을 위해 본 연구에서는 서버와 클라이언트 개념을 도입하고 TCP/IP를 이용한 전송 포맷을 개발하였다. 전송되는 데이터는 검사현장에서 수집한 초음파 신호, 검사위치정보, 결함식별결과, 결함크기산정 결과와 기존의 현장보고서에 필요한 모든 정보를 포함하고 있다. 그림 5와 같이 서버는 클라이언트가 보낸 검사데이터를 받아 TIFD, TE, PNN을 이용한 신호처리 작업을 수행하여 데이터베이스에 저장하고, 검사보고서를 자동으로 생성한다. 무선전송을 위해 클라이언트는 무선랜카드를 탑재했으며, 서버 시스템은 무선(혹은 유선)랜으로 클라이언트와 접속을 유지하고 검사자로부터 격리된 분석실에서 제반 신호처리 작업과 후처리 작업을 수행한다.

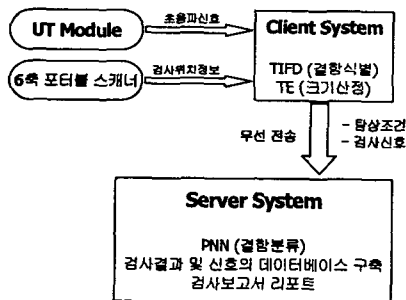


그림 5. 원격자료전송 및 데이터베이스화 개념도

### 4. 지능형 초음파 탐상 시스템

본 연구를 통해 개발된 지능형 신호처리 소프트웨어와 원격전송 소프트웨어를 탑재한 진단장치(클라이언트)와 서버 시스템 그리고 검사위치 판독을 위한 6축 간이 자동 스캐너를 개발하였다. 그림 7은 클라이언트의 운용소프트웨어인데 클라이언트에 장착된 펄서/리시버와 A/D보드를 제어하고 결함식별(TIFD)과 위치표정, 신호분류 및 전송 등 제반 신호처리를 실시간으로 수행하며 서버로 전송한다. 그림 8은 서버 시스템 소프트웨어 화면이다. 서버로

전송된 제반 검사데이터는 가상 검사위치모델링과 결함식별, 결함판별, 크기산정의 과정을 다시 한번 거치게 되며 최종적으로 데이터베이스에 저장되고 검사보고서로 출력할 수도 있다.

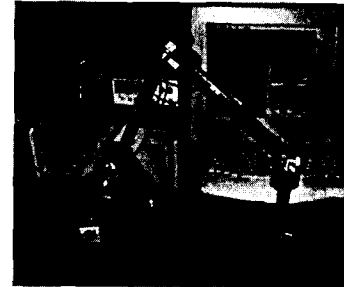


그림 6. 6축 간이 자동 스캐너<sup>1)</sup>

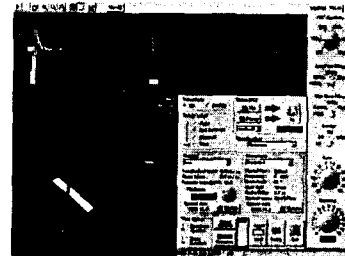


그림 7. 지능형 초음파 탐상 클라이언트 소프트웨어

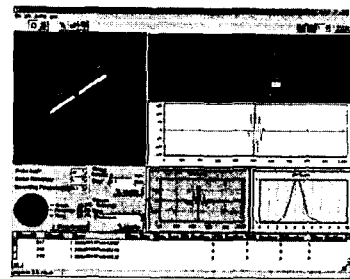


그림 8. 초음파 탐상 서버 소프트웨어

## 5. 결 론

본 연구를 통해 용접부 비파괴검사를 위한 지능형 초음파 탐상 시스템을 개발하였는데, 이 시스템은 클라이언트 시스템과 서버 시스템간의 무선 데이터 송수신으로 초음파 탐상 정보와 각종 데이터베이스를 공유할 수 있다.

- 1) 3차원 상의 임의의 곡면부를 정밀하게 탐상하기 위하여 인간의 팔과 유사한 구조를 갖는 6축으로 구성된 포터블 초음파 스캐너를 제작하였다.
- 2) 실시간으로 획득된 신호가 기하학적 반사체에서 반사된 신호인지, 결함에서 산란된 신호인지 식별할 수 있는 모델링을 이용한 결함 식별 기법(TIFD)을 개발하였다.

- 3) 실시간으로 식별한 TIFD에 의해 결함 신호로 식별된 신호에 대해 PNN을 이용한 결함의 분류 알고리즘을 개발하였다.
- 4) 용접부에 치명적일 수 있는 균열 결함에 대한 크기 산정 알고리즘을 개발하였다.
- 5) 개발된 알고리즘을 이용하여 실시간으로 결함 정보를 획득하고, 무선으로 서버 시스템으로 전송함으로써, 신호 분석과 데이터베이스 구축이 가능한 통합 시스템을 구축하였다.

### 참고문헌

1. 성균관대학교: “지능형 결함평가 프로그램 및 결함정보 원격전송 및 DB구축 시스템 개발”과제 최종보고서(2002), 산업자원부
2. 송성진: “Prediction of Angle Beam Ultrasonic Testing Signal Using Multi-Gaussian Beams”, Review of Progress in QNDE, Vol. 20(2002)
3. 김영환, 송성진: “용접부 초음파 사각탐상에서 디컨볼루션을 이용한 균열신호와 기하학적 반사신호의 식별”, 비파괴검사학회지, 22권 4호(2002)
4. 김영환, 송성진, 김준영: “초음파 탐상시험 모델링을 이용한 TIFD기법 개선”, 추계한국비파괴검사학회(2002)
5. Sung Jin Song, Hak Joon Kim: “Prediction of Flaw Signals of the Ultrasonic Round Robin Problem by Sungkyunkwan University”, Review of Progress in QNDE, Vol. 20(2002)
6. Sung Jin Song, Hak Joon Kim, Hyun Cho: “Development of an Intelligent System for Ultrasonic Flaw Classification in Weldments”, Nuclear Engineering and Design, 212/1-3(2002), pp. 307-320
7. 송성진, 조현: “지능형 초음파 탐상시스템 개발에 관한 연구”, 성균관대학교 논문집, 기계기술편, 제2권 제2호(2000)
8. Sung Jin Song, Hak Joon Kim: “Angle beam ultrasonic testing models and their application to identification and sizing of surface breaking vertical cracks”, 한국비파괴검사학회지, 22권 6호(2002)