

# 전극을 통한 초음파의 수신에 의한 용접 품질의 원격 탐상

## Remote Inspection of Weld Penetration via Ultrasonic Detection through Electrode

정선국\*, 부광석\*\*, 조형석\*\*\*

\* 거제전문대학, 경상남도 거제시

\*\* 인제대학교, 경상남도 김해시

\*\*\* 한국과학기술원, 대전시 유성구

### 1. 서론

용접부의 검사는 용접 후에 비파괴검사법을 적용하여 실시한다. 검사후 불량을 발견하여 수정함으로써 검사 및 수정 공정의 자동화가 어렵고 공정이 길어지며 이를 위한 많은 공간이 필요하다. 그러므로 용접품질의 모니터링과 제어를 실시간으로 수행할 필요가 있다.

그러므로 본 논문에서는 초음파를 이용하여 용접 품질을 원격으로 측정할 수 있는 방법을 제안하고 실험을 통하여 이 방법의 가능성에 대하여 검증한다. 초음파 탐상은 용접부의 검사에 가장 많이 사용되는 비파괴 검사법으로<sup>1)</sup> 검사를 위하여 부재의 한쪽만 접근이 가능하면 되고 또한 소모품 비용이 거의 없다는 장점이 있다. 그러나 탐상액을 이용하여 탐촉자를 밀착 시켜야 하므로 측정 대상이 고온이거나 실시간 측정에는 거의 이용되지 못하였다.

이러한 문제점을 극복하여 비접촉식으로 용접 품질을 측정하고자 하는 노력은 많이 시도되었다. Lott<sup>2)</sup>는 모재의 아랫면을 물에 잠기게한후 윗면에서 TIG 용접을 실시하면서 물 속에서 수직 증파를 이용하여 용입깊이를 측정하였다. 그리고 Carlson<sup>3)</sup>은 비드 윗면에 레이저를 조사하여 초음파를 발생시키고 EMAT를 이용하여 측정하는 방법을 제시하였다. 이 방법은 비접촉식이긴 하지만 EMAT가 용접부에 매우 가까이 위치하므로 모재의 온도에 의한 영향이 크고 표면과의 상대적인 거리에 따라 영향을 받는다. 뿐만 아니라 S/N 비가 매우 낮다.

그리고 Huber<sup>4)</sup>는 레이저에 의한 초음파의 발생과 Laser Interferometric detector에 의한 수신으로 비접촉식 측정이 가능하게 하였다. 그러나 이 경우도 감도가 낮고 표면 거칠기에 영향을 많이 받는다. 최근에 Oursler<sup>5)</sup>는 레이저와 EMAT를 이용하여 off line이지만 비접촉식으로 결함을 측정하였으며 이때 EMAT의 낮은 S/N 비를 개선하는 방법을 제안하였다.

레이저를 이용하여 비접촉식으로 초음파를 발생시키고 모재 내부로의 전달은 현재까지의 기술로 충분히 가능하다. 그러나 초음파의 원격 수신은 매우 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 초음파 신호를 용접 와이어를 통하여 수신함으로써 공정 중에 용접 품질을 원격으로 측정할 수 있는 시스템을 제안한다.

### 2. 초음파를 이용한 용접 품질의 원격 측정

#### 2.1 개요

초음파를 이용하여 용접 품질을 원격 측정하는 새로운 방법을 제시한다. 초음파를 이용하려면 용접부에 초음파를 송신하고 내부에서 전달되어온 신호를 수신하여 분석해야 한다. 그러므로 본 연구에서는 모재 표면에서 비접촉식으로 초음파를 발생시켜 초음파를 송신한다.

초음파의 발생은 모재의 표면에 순간적으로 집중된 열원이 가해진 경우 표면의 온도 상승으로 재료가 팽창하게 되고 이 변형 과정에서 초음파가 발생되는 방법을 사용한다. 이때 표면의 국부적인 가열을 위한 집중된 열원으로는 레이저 또는 전기아크를 이용할 수 있다.

그리고 전달되어 온 초음파의 수신은 용융금속이 단락 모드로 이행할 때는 전극과 모재가

용융금속으로 계속 반복 연결되므로 연결되는 순간에 초음파는 용융금속을 통하여 전극으로 전달된다. 전극을 통하여 전달된 초음파는 전극을 타고 전파되는 도중에 전극의 일부 구간을 물이 채워진 공간으로 통과시키면 수침탐촉자가 신호를 감지할 수 있게 된다.

## 2.2 비접촉식 초음파의 발생

일반적으로 비접촉식 초음파 탐상의 연구에서는 전기 아크를 이용하거나 레이저를 이용하여<sup>5,6)</sup> 초음파를 발생시킨다. 집중된 열원을 이용한 초음파의 발생은 두 가지 원리에 의한다. 첫째로 열 에너지가 낮은 경우는 주사된 표면의 온도가 용융온도 까지 상승하지는 않으며 가열된 표면에서 과도 팽창에 의하여 초음파가 발생한다. 이때는 사각 횡파가 발생한다.

그러나 높은 강도의 열원이 주사되면 모재 표면이 기화점까지 올라갈 수 있으며 이때 원자가 고속으로 표면을 이탈하면서 운동량의 원리에 의하여 초음파를 발생시킨다. 이 경우는 수직종파가 발생되는데 이러한 초음파의 발생은 White<sup>7)</sup>에 의하여 처음으로 구체화되었다.

이러한 방법은 모재가 용융된 액체 상태나 고체 상태에서 모두 가능하며<sup>3)</sup> 비접촉식 초음파 탐상에 대한 연구에서는 Nd:YAG Laser를 주로 사용하였다. 그리고 Graham<sup>6)</sup>은 세라믹 재료에서 레이저를 이용한 초음파의 발생과 굴절각, 지향성 그리고 감쇄 등을 연구하였다.

본 연구에서는 전기방전을 이용하여 초음파를 발생시키는 간단한 방법을 이용한다. 전체적인 실험장치는 Fig. 1과 같으며 전기 아크를 이용한 초음파 발생 회로는 Fig. 2와 같다.

## 2.3 전극을 통한 초음파의 수신

Fig. 1과 같이 표면에서 발생된 횡파가 모재로 굴절되면서 횡파와 종파로 전파된다.<sup>1)</sup> 종파가 전파되어 모재의 밑면에서 반사되어 오는 곳에 전극이 위치하면 전극으로 전달된다. 여기서 중요한 문제는 모재에서 전극으로의 전달과 전극에서 수신 탐촉자로 신호의 전달이다.

일반적으로 GMAW에서 용융금속의 이행 모드는 solid wire를 사용하는 경우 저 전류에서는 단락이행이다. 그러므로 전극과 모재 사이에는 초당 수십 번씩 용융금속으로 연결된다. 그러므로 초음파 신호를 단락 되는 시점에 동기 시켜 송신하면 전극으로 전달이 가능하다.

Fig. 3은 단락이행 시 전극과 용융부 형상의 변화이다. 이 그림에서 2,3,4 부분은 전극과 모재가 완전히 연결되어 있으며 특히 2 부분은 초음파가 전달되기에 양호한 모양이다. 그러므로 2 부분에서 초음파 신호 발생을 동기시켜 전달하면 전극을 통하여 수신이 가능하다. 그림에서 보면 전압이 더 민감하므로 전압의 변화를 감지하여 동기 신호를 발생시킨다.

그리고 전극으로 전달된 초음파 신호를 수신 탐촉자로 전달하기 위하여 Fig. 4와 같이 전극의 일부 구간을 물이 채워진 공간을 통과하게 하면서 이 공간에 수침탐촉자를 설치하여 물을 통하여 전달되어 오는 초음파 신호를 수신한다. 그리고 수신 감도를 높이기 위하여 음향렌즈를 이용하여 초음파를 집속하는데 초점거리는 19.5mm이다. 탐촉자의 주파수 대역은 5MHz이다 그리고 Fig. 5는 축정의 예로서 용접을 하지 않는 상태에서 전극의 끝은 모재에 녹여 붙여 두고 전기 방전으로 초음파를 발생시켜 수침 탐촉자로 수신한 것이다. 이 그림에서 초음파의 발생과 전달 그리고 전극을 통한 수신은 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다.

## 3. 실험

### 3.1 용접시 발생하는 초음파 잡음

실제 용접에서는 전극이 이송되면서 전극과 송급관의 내면이 금속적 마찰, 또 용융금속의 생성과 응고에 의한 변형, 수침탱크 내부에서의 초음파의 반사와 모드변환, 그리고 전극에서

의 아크에 의한 잡음이 발생된다. 그러므로 용접 품질의 원격 측정을 위하여 초음파를 수신할 때 발생할 수 있는 초음파 잡음을 분석하여 잡음의 성격을 미리 파악할 필요가 있다.

실험 결과 전기 아크에 의한 초음파가 가장 큰 영향을 미치는 것이며 그 이외는 전달 과정에서 감쇄되어 미소한 값으로 측정되었다. Fig. 6은 잡음의 크기와 특징을 알아보기 위하여 평판 위에서 이동하면서 용접을 하고 발생하는 초음파를 수침 탐촉자로 측정한 예이다. 용접 조건은 전류 250A, 전압 24V, 이송 속도 5mm/sec 이며 신호는 60dB로 증폭하였다.

또한 열 입력에 따른 초음파 발생을 파악하기 위하여 이송 속도와 용접토치의 모재에 대한 위치는 일정하게 두고 용접 전류를 변경시키면서 실험을 하였다. 그 결과 열 입력의 변화에 따른 잡음의 발생은 낮은 전류 영역에서는 전류에 비례하여 상승하다가 어느 정도 이상에서는 변화가 매우 적었다. 그러나 초음파 잡음의 크기가 신호와 비슷한 크기여서 분리가 쉽지 않다. 그리하여 Fig. 7과 같이 전압의 변화와 초음파 잡음을 동시에 측정하였다. 이 그림에서 초음파는 단락의 시작과 끝에서만 발생하고 단락 중에는 발생되지 않음을 알 수 있다.

### 3.2 용접 품질의 원격 측정

위의 내용에서 완전히 단락된 순간에 초음파 신호를 보내면 잡음의 영향 없이 신호가 모재의 내부로 진행하고 또한 용접 토치에 설치된 수침탐촉자로 초음파신호를 수신할 수 있다.

용접을 하면서 아크의 단락 시점에 맞추어 1micro sec 동안 1.24J의 에너지를 방전시켜 모재의 표면에서 초음파 신호를 발생시켰다. 모재를 통하여 진행되는 초음파 신호를 종파가 표면으로 전달되는 위치에서 초음파 신호를 수신하였다. 실험 결과 용접 공정 중에 전극을 통한 초음파 신호의 수신이 가능함을 보여주고 있다.

## 4. 결론

전기 방전으로 모재의 표면에서 초음파를 발생시키고 용접 토치에 설치된 수침탐촉자로 용접 전극을 통하여 초음파 신호를 수신함으로써 용접품질을 실시간으로 원격 측정할 수 있는 새로운 방법을 제시하였으며 실현 가능성에 대하여 여러 가지 실험을 통하여 확인하였다.

## 5. 참고문헌

1. Carl R. Weymueller, Know your welding NDT-Ultrasonic testing, JUNE, 1983, welding design and fabrication, pp. 58-66.
2. Lott, Ultrasonic detection of molten/solid interfaces of weldpools, Materials Evaluation, Mar., 1984, pp. 337-341.
3. N. M. Carlson, J. A. Johnson, D. Kunerth, Control of GMAW: Detection of discontinuities in the weld pool, Welding Journal, July., 1990, pp. 256-263.
4. R. D. Huber, R. E. Green, Noncontact acousto-ultrasonics using laser generation and laser interferometric detection, Materials Evaluation, May, 1991, pp. 613-618.
5. D. Oursler, Narrow-band hybrid pulsed laser/EMAT system for noncontact ultrasonic inspection using angled shear waves, Materials Evaluation, May, 1995, pp. 593-597.
6. George M. Graham, J. Yang, Charles Ume, Laser ultrasound directivity in CS-3 Ceramic, Materials Evaluation, May, 1994, pp. 607-610.
7. R. M. White, Generation of elastic waves by transient heating, Journal of applied physics, Vol. 34, pp. 3557-3567.

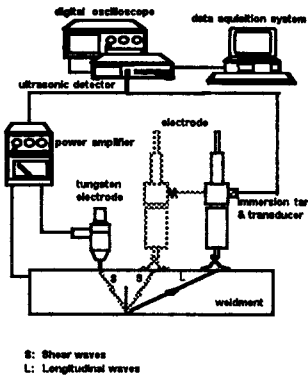


Fig. 1 Schematic illustration of remote ultrasonic detection

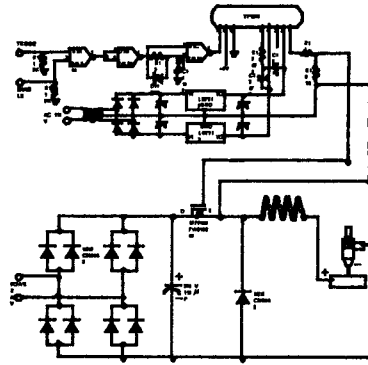


Fig. 2 Circuit of electric pulse for ultrasound generation

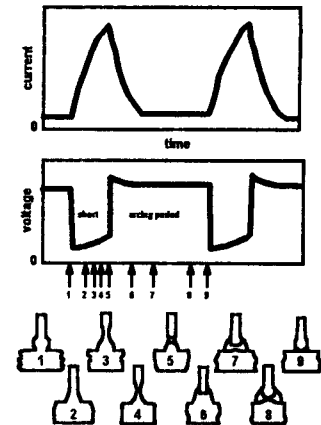


Fig. 3 Schematic representation of short circuiting metal transfer

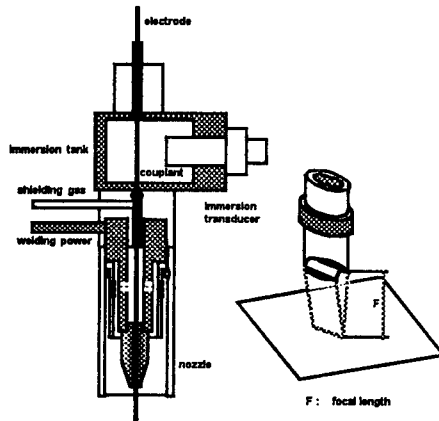


Fig. 4 Immersion transducer mounted in welding gun

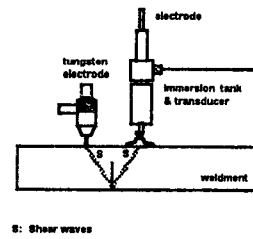


Fig. 5 Generation and detection of ultrasound

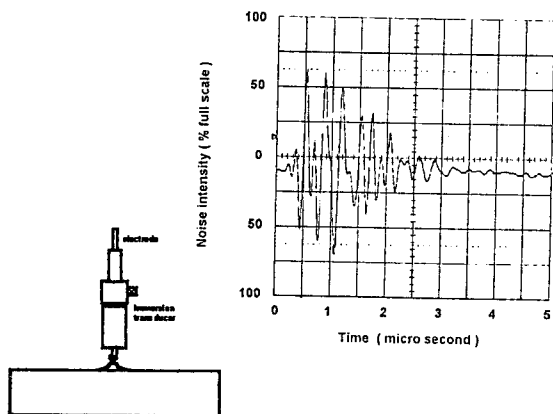
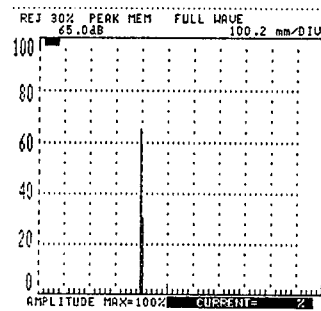


Fig. 6 Ultrasonic noise during welding

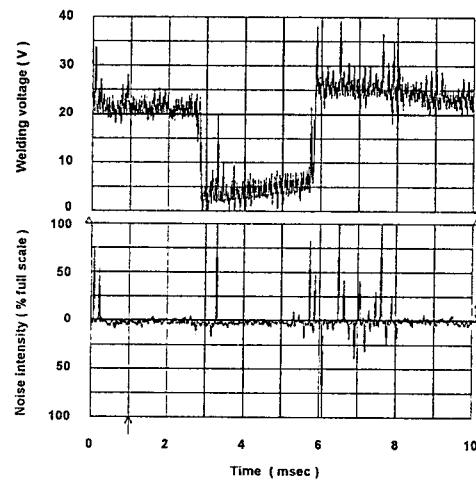


Fig. 7 Welding voltage and ultrasonic noise