

特輯 : 용접자동화용 센서의 응용기술

초음파센서를 이용한 용접품질의 원격측정

정 선 국

Remote Ultrasonic Sensing of Weld Quality

Seon Kook Jeong



정 선 국 / 거 제 대학 /
1960년생 / 생산공정및 검
사공정의 해석과 자동화

1 서 론

일반적으로 센서를 이용한 용접자동화 분야에서는 아크센서 등을 이용하여 용접선을 추적하는 부분에 많은 비중을 두고 있다. 그러나 이 부분과 함께 용접품질을 모니터링하는 것도 매우 중요하다. 이를 위하여 카메라를 사용하여 비드의 폭을 측정하거나 적외선 센서를 사용하여 용접부의 표면온도, 냉각률 그리고 방사에너지 등을 측정하여 품질을 예측하였다. 그러나 이러한 간접적인 측정보다 직접적으로 품질을 측정하기 위하여 비파괴검사법에서 사용되는 여러 가지 기법이 도입되었다.

비파괴검사는 재료, 제품 그리고 구조물 등에 대하여 검사 대상물에는 손상을 가하지 아니하고 재료가 갖는 물리적 성질 또는 그의 변화를 이용하여 검사 대상물의 성질, 상태, 내부구조 등을 알아내기 위한 검사방법이다.

이러한 비파괴검사법은 신뢰성이 중요시되는 원자력 설비, 항공기, 철도차량, 압력용기 그리고 방위산업 등에서 많이 이용되어왔다. 이는 생산공정에서 미리 재료를 검사하여 결함이 있는 재료가 가공된 후에 수정에 들어가는 경우를 사전에 방지

하고 또한 가공공정에서 발생된 결함이 제품을 완성한 후에 수정 보완되는 경우를 제거함으로써 결함 부위의 수정과 재가공에 따른 많은 비용과 인력 그리고 시간을 절감하는 공정의 합리화와 품질관리의 측면에서 많이 이용하고 있다.

이러한 비파괴검사법으로는 방사선을 검사체에 조사하여 투과되는 강도의 차이를 관찰함으로써 결함의 상태를 알 수 있는 방사선 투과시험법과 초음파를 입사시켜 재료의 내부에서 반사, 굴절되어 되돌아오는 시간을 기하학적 형상과 함께 관찰함으로써 내부의 결함상태를 파악하는 초음파 탐상시험이 가장 널리 이용되고 있다.

그리고 자기장 내에 놓여진 강자성체에 결함이 존재하면 결함의 형상에 따라 자속의 흐름이 왜곡되거나 누설자속이 발생된다. 이를 관찰하여 결함을 조사하는 자기탐상시험이 있다. 그리고 도전성 시험체에 와전류를 발생시켜 이 와전류의 변화를 관찰함으로써 결함의 상태 등을 조사하는 와전류 탐상법이 있으며 표면에 존재하는 결함에 침투액을 침투시켜 결함을 관찰하는 침투탐상법 그리고 재료가 변형, 파괴 또는 충격이 가해졌을 때 발생하는 음향을 분석하여 결함을 조사하는 음향방출법도 있다.

이러한 여러 가지 검사방법 중에서 용접부의 평가에 가장 많이 사용되는 방법은 방사선 투과시험 방법이다. 이 방법은 결함의 상태가 사진으로 남게되므로 평가의 객관성과 보존성이 뛰어나다. 그러나 방사능의 유출과 피폭에 따른 위험으로 사용에 제한이 있다. 이러한 위험 부담이 없으며 간편히 사용할 수 있는 방법이 초음파 탐상법이다. 그러나 이 방법은 결함의 검사와 판단에 숙련과 기술이 요구되며 평가의 객관성과 보존성이 매우 결여된다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 컴퓨터와 연결하여 측정된 데이터를 보관하고 처리할 수 있는 검사장비가 개발되어 사용되고 있다.

위에서 설명한 여러 가지 검사방법은 주로 용접이 끝난 후에 OFF-LINE으로 검사를 실시한다. 생산 공정 중에 ON-LINE으로 검사를 해야하는 경우에는 비접촉으로 검사가 가능한 와전류 탐상법이나 자기탐상법이 주로 이용되고 있다. 그러나 이 방법도 파이프와 같이 제품의 형상이 비교적 간단한 경우에만 적용이 가능하다.

특히 초음파탐상은 용접부의 비파괴검사에서 매우 많이 사용되는 방법이다. 이는 용접부의 검사를 위하여 부재의 한쪽 면만 접근이 가능하면 되고 또한 소모품의 비용이 매우 적다는 장점이 있다. 그러나 모재의 표면에 접촉매질(couplant)을 계속 공급하여 탐촉자(transducer)를 모재에 밀착 시켜야하므로 용접이 완료되고 제품이 완전히 냉각된 후에 검사할 수밖에 없으며 측정대상이 고온이거나 실시간 측정에는 거의 이용되지 못하였다. 그리하여 이러한 한계를 극복하고 용접공정 중에 비접촉식 또는 원격으로 초음파탐상을 하고자하는 노력은 많이 시도되었다

본 특집에서는 현재 널리 사용되고 있는 초음파 탐상법을 간략히 소개하고 용접부의 품질검사에서 이용 가능한 비접촉식 초음파탐상을 소개한다. 그리고 원격으로 초음파탐상을 시도한 연구 결과들을 소개하여 원격 초음파탐상의 가능성을 알아본다.

2 초음파탐상

2.1 초음파의 성질

우리들이 귀로써 들을 수 있는 음파의 주파수 범위는 약 20 Hz 에서 20 KHz 까지 이며 이보다 더

높은 주파수를 지닌 음파를 초음파라 부른다. 초음파 검사에는 주파수의 범위가 100 KHz에서 25 MHz까지 이용되며 용접부의 품질검사에서는 2 MHz에서 5 MHz의 초음파가 주로 이용된다.

음파는 진동 양식에 따라 입자의 진동이 파의 진행방향과 동일한 종파와 입자의 운동과 파의 진행방향이 서로 수직인 횡파로 구분된다. 이 중 종파는 각종 파동의 음속 중 가장 빠르며, 액체나 기체에서는 횡파가 존재하지 않는다. 음파의 전달속도는 매질에 따라 정해지며 밀도가 큰 재료에서 더욱 빨리 전달된다. 예를 들면 공기 중의 음속은 340 m/s이고, 물 속에서는 1480 m/s이다. 그리고 췌기(wedge)를 만드는 대표적 재료인 Lucite에서 종파는 2680 m/s, 횡파는 1260 m/s이다. 또한 강철(1020)에서는 종파는 5890 m/s, 횡파는 3240 m/s이다. 그리고 주어진 재료에서 음속은 일정하므로 주파수를 증가시키면 파장은 짧아지게 된다.

이러한 음파가 음향임피던스가 다른 두 매질 사이의 경계 면에서 반사 또는 굴절될 때 진동양식이 변화될 수 있다. Fig. 1은 서로 다른 매질로서 물, 공기 그리고 철이 접하여 있는 경우 물을 통하여 입사된 종파가 철 속으로 전파하면서 일어나는 파형변환과 굴절, 반사되는 모양을 나타내었다. 이 그림과 같이 초음파가 굴절 또는 반사될 때는 종파에서는 항상 파형변환이 일어나 횡파와 종파가 생

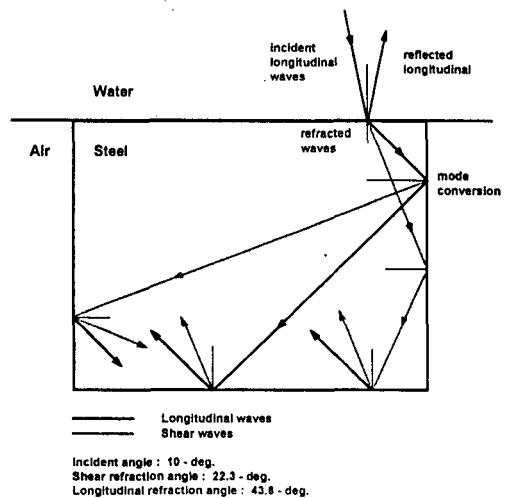


Fig. 1 Ultrasonic wave propagation, refraction, and mode conversion

기며 횡파가 굴절 또는 반사될 때는 그 각도에 따라 종파가 발생할 때와 그렇지 아닐 때가 있다.

그러므로 초음파는 전파되는 과정에서 반사, 굴절 그리고 파형변환에 의하여 진행방향이 변화하며 파의 종류는 종파와 횡파가 동시에 존재하기도 하고 그 중 한 개만 존재하기도 하며 파의 크기도 함께 변화한다. 이것은 매질의 경계에서 입사되는 각도와 두 매질의 재료에 따라 정해지며 이 때의 음향임피던스는 매질의 밀도와 음속을 곱한 것으로 물질에 따라 정해지는 상수이다. Fig. 2는 플라스틱 썩기를 통하여 철 속으로 각도를 가지고 입사될 때 입사각과 모드변환으로 생긴 각종 음파들의 종류와 상대적인 크기를 표시하였다.

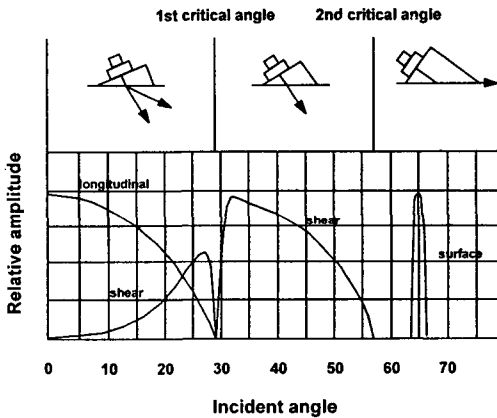
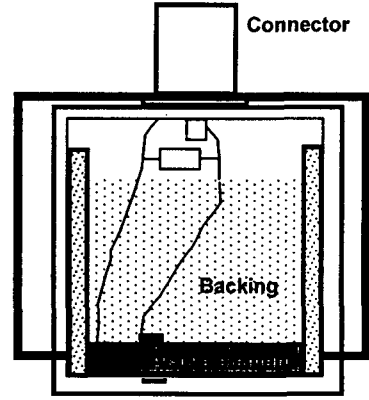


Fig. 2 Relationship between the incident angle and the relative amplitude of the refracted or mode converted waves

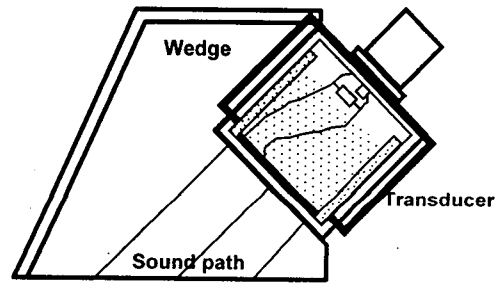
초음파가 매질을 통하여 전파될 때 감쇠도 생긴다. 감쇠는 전달매질의 불균일에 의한 산란, 매질 내에서 열로 변환되는 흡수 그리고 전달손실 등이 중요한 원인이 된다.

2.2 탐촉자(transducer)와 접촉매질(couplant)

초음파 탐촉자는 전기에너지와 기계적인 진동에너지 사이의 가역적인 에너지 변환장치이다. 그러므로 한 개의 탐촉자는 센서와 가진기의 두 가지 역할을 할 수 있다. Fig. 3은 탐촉자의 구조를 나타낸 것이다. 그림의 진동자(active element)에 고전압을 펄스로 가하면 진동자가 진동하여 초음파



(a) Transducer for longitudinal wave



(b) Transducer for shear wave

Fig. 3 Ultrasonic transducer

가 발생되며 반대의 경우로 초음파가 진동자에 전달되면 역으로 전압이 발생하는 구조로 되어있어 한 개의 탐촉자로 초음파의 송신과 수신 어느 경우에도 사용할 수 있다.

진동자에 사용되는 Piezoelectric 소자로는 수정이 처음으로 사용되었으나 수정은 출력이 약하다. 그리고 Lithium Sulfate는 취성이 강하고 물에 약하다. 그리하여 세라믹 재료인 Lead Zirconate Titanate, Barium Titanate 또는 Lead Metaniobate 등이 개발되어 사용되고 있다.

탐촉자의 종류는 작은 결함의 검사용으로 사용하는 진동자의 크기가 3mm인 매우 작은 것부터 넓은 영역을 검사하기 위하여 여러 개의 진동자가 일렬로 배치된 페인트 붓형까지 여러 가지가 있다. 탐촉자의 크기는 성능에 영향을 미치는데 동일한 주파수에서는 탐촉자가 클수록 초음파가 넓게 퍼지지 않고 집중되어 전달되며 더욱 큰 에너지

를 깊게 전달한다. 그리고 동일한 크기의 탐촉자에서는 주파수가 증가할수록 음파가 집중되어 전달되며 또한 전달과정에서의 감쇠가 증가한다.

탐촉자의 종류를 기능 면에서 나누면 첫째로 수직탐촉자는 두께를 측정하는데 유용하며 종파를 보내고 재료의 아랫면이나 결합에서 반사되어 오는 신호를 받는다. 사각탐촉자는 역시 종파를 생성하나 썩기와 결합하여 검사체에 전달되는 과정에서 모드변환으로 횡파가 전달된다. 그리고 송신용과 수신용으로 진동자가 나누어진 분할형 수직탐촉자는 표면 근처의 결함을 검출할 수 있다. 초음파의 강도를 증가시키기 위하여 음향렌즈를 이용하여 초음파를 집중시킨 집중형수직탐촉자는 주로 수침탐상에 이용되며 음향렌즈의 초점 근처에서는 작은 결함도 검출이 가능하다.

공기는 초음파를 잘 전달하지 못한다. 그러므로 탐촉자와 시편 사이의 접촉면에 존재하는 공기를 제거하고 초음파가 잘 전달될 수 있도록 접촉매질을 사용한다. 접촉매질로는 물, 기름, 글리세린용액 그리고 풀 등이 사용되는데 글리세린용액이 비교적 부드러운 표면을 형성하므로 가장 많이 이용된다. 그리고 고온의 부품을 검사할 때, 수직 벽이나 거친 표면의 탐상에는 그리이스나 고부하용 윤활유를 사용하여 탐촉자의 표면을 보호해야한다. 그러나 이러한 접촉매질도 검사가 끝난 후에는 완전히 제거하여 탐촉자를 보호해야한다.

2.3 초음파 탐상법

초음파탐상에는 여러 가지 방법이 있다. 탐상원리에 따라 반사파법, 투과법 그리고 공진법이 있다. 반사파법은 1개의 수직탐촉자를 이용하는 경우와 1개 또는 2개의 사각탐촉자를 사용하는 경우가 있다. 이 방법은 재료에 초음파 펄스를 보내어 불연속부 등에서 반사되어 오는 반사파의 모양에 의해 재료의 두께나 결함을 알 수 있는 방법이다. 투과법은 종파를 이용하며 송신, 수신용으로 2개의 탐촉자를 별도로 사용한다. 이 방법은 투과시킨 음파를 직접 받아 시험하는 것으로 재료를 통과하여 수신된 음파의 손실의 양에 의하여 결함을 판단한다. 공진법은 종파를 사용하며 파의 공진현상을 이용하여 주로 두께를 측정하는데 사용된다.

탐촉자를 사용하는 방법에 따라 직접접촉법과 수침법이 있다. 직접접촉법은 시험체의 표면에 접

촉매질의 얇은 층을 두고 그 위에 탐촉자를 접촉시켜 시험하는 방법으로 현장에서 가장 많이 사용하는 방법이다. 수침법은 탐촉자와 시험할 재료의 일부분 또는 전체를 액체 매질 속에 잠기게 하여 초음파의 진동을 액체를 통하여 시험체에 전달하는 것으로 탐촉자가 시험편에 직접 접촉하지는 않는다. 이 방법은 재료의 표면이 거칠거나 곡면이 심한 경우에도 사용이 가능하며 음향렌즈를 사용하여 음파를 집중시킨 수침탐촉자를 이용하며 자동탐상에 주로 이용된다.

초음파탐상 시 측정결과의 표시방법에 따라 A-Scan, B-Scan 그리고 C-Scan으로 나눈다. A-Scan은 용접부의 검사에 가장 많이 사용되는 방법으로 시간축 즉 초음파의 전달 경로에 대한 초음파 신호의 진폭을 표시한다. 이 방법은 결함의 깊이와 대략적인 크기를 알 수 있다. B-Scan은 탐촉자의 직선 상 위치에 대한 반사파의 깊이를 표시하는 방법이다. 그러므로 이 방법으로 시편의 단면과 결함의 형상을 알 수 있다. C-Scan은 탐촉자의 평면상 위치에 대하여 일정 깊이에서 결함으로부터 반사되어 오는 반사파를 이용하여 일정 깊이의 평면 상태를 표시한다. 그러므로 이 방법으로는 결함의 깊이와 윤곽을 알 수 있다.

3 비접촉식 초음파탐상

앞에서 설명한 초음파탐상은 검사시 제품의 한쪽 면만 이용하고 비용이 적게 든다는 장점으로 용접부의 검사에서 매우 많이 사용되고 있다. 그러나 모재의 표면에 접촉매질과 함께 탐촉자를 밀착시켜야하는 문제점으로 고온 상태에서나 실시간 측정에는 거의 이용할 수 없다. 그러므로 이러한 문제점을 해결하여 공정 중에 비접촉식으로 초음파탐상을 하고자하는 연구는 많이 수행되었다.

비접촉식으로 초음파를 발생시키고 감지하는 방법은 크게 3가지가 있다. 첫째는 레이저를 이용하는 Laser-Ultrasonics이다. 둘째는 EMAT(Electromagnetic Acoustic Transducer)를 이용하는 방법이며 셋째는 Air-Coupled Transducer를 사용하는 방법이다. 이들의 특징을 간단히 살펴본다.

3.1 Laser-Ultrasonics

일반적인 초음파탐상에서는 앞에서 설명한 Piezoelectric 소자를 사용한 탐촉자를 이용하여 초

음파를 발생시키고 수신도 하는 방법이 이용되고 있다. 그러나 비접촉식 초음파탐상에서는 집중된 열원으로 전기아크를 이용하거나 레이저를 사용하여 초음파를 발생시키는 방법이 많이 이용된다.

집중된 열원을 이용한 초음파의 발생과 전파는 Fig. 4에 간단히 나타낸 바와 같이 비교적 잘 알려진 방법으로 초음파의 발생은 크게 두 가지 원리에 의한다. 첫째로 열 에너지의 강도가 비교적 낮은 경우는 가열된 표면의 온도가 용융온도까지 상승하지는 않으며 가열된 표면에서 과도적인 팽창에 의하여 초음파가 발생한다. 이때는 사각형파가 발생하며 팽창에 의한 응력이 탄성한계보다 상당히 낮으므로 thermoelastic 방법이라 부른다.

야한다. 이 방법은 아직까지 개발 단계이지만 검사표면으로부터 수 m 떨어진 거리에서도 적용이 가능하고 매우 높은 주파수의 초음파를 발생시킬 수도 있다. 그리고 진공 중이나 우주공간에서도 적용이 가능하므로 특수 용도에서 발전 가능성이 크다.

그리고 초음파의 수신은 레이저 간섭계를 이용하여 원격으로 측정이 가능하지만 측정부위의 표면거칠기에 절대적인 영향을 받는다. 그러므로 레이저를 이용하는 초음파 수신은 아직까지 좋은 방법이 되지 못한다. 그러나 레이저를 이용한 초음파 발생방법은 효율적이며 실용성도 크다.

3.2 EMAT

EMAT는 Electromagnetic Acoustic Transducer로서 초음파를 발생시키고 감지하는 원리는 Fig. 5와 같다. 이 그림에서 전선이 도체의 표면 근처에 놓여있고 전선에는 발생시키고자하는 초음파와 동일한 주파수의 전류를 흐르게 한다. 그러면 금속 내에 와전류가 유도되고 이 상태에서 그림처럼 자기장이 가해지면 와전류는 주기적인 로렌츠힘을 받게된다. 이 힘은 금속 내부에서 격자간의 충돌 등과 같은 미시적인 과정을 통하여 금속 내부로 전달되는데 이 힘이 일정한 주파수로 발생하므로 초음파의 발생원처럼 작용하게 된다. 이 방법은 전기모터에서 운동이 발생하는 현상과 비슷한 점이 많다. 그리고 역으로 초음파가 모재표면에 도달하여 진동하게 되면 전선에 전류가 유도되어 신호를 감지할 수 있게 된다.

이 방법은 원리에서 보는 바와 같이 비접촉식이

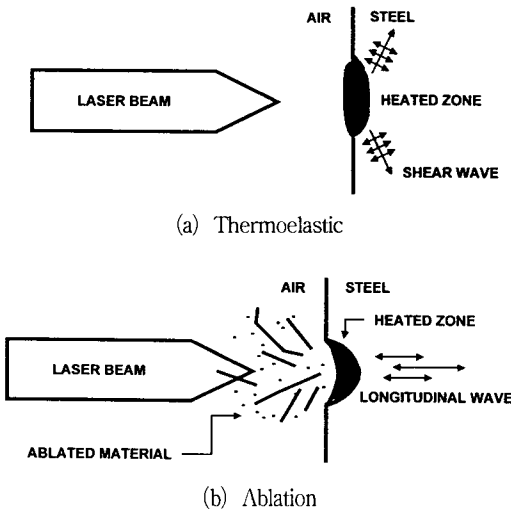


Fig. 4 Two types of laser generated ultrasound

그러나 높은 강도의 열원이 주사되면 모재 표면의 온도가 기화점까지 올라갈 수 있으며 이때 원자가 고속으로 표면을 이탈하면서 운동량의 원리에 의하여 초음파를 발생시킨다. 이 경우는 수직종파가 발생되는데 이 과정을 ablation이라 한다. 이러한 초음파 발생방법에서는 Nd:YAG Laser를 이용하여 1060nm의 파장대를 지나는 적외선 레이저를 주로 사용하였다.

이 방법은 모재가 용융된 액체 상태이거나 고체 상태에서 모두 가능하며 금속이나 세라믹 등 모든 재료에 적용이 가능하다. 그러나 강한 레이저는 재료에 손상을 줄 수도 있으며 안전 문제를 고려해

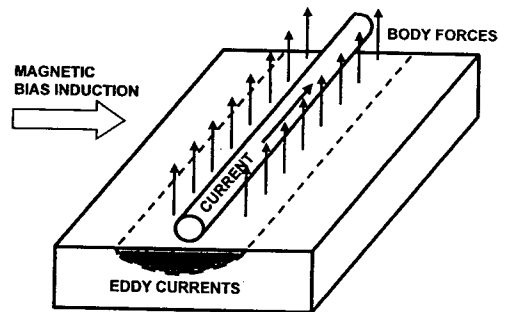


Fig. 5 Single element of an electromagnetic acoustic transducer

기는 하지만 EMAT를 용접부의 표면에서 수 mm 이내로 근접시켜야 측정이 가능하고 그나마 검사면과 멀어지면 성능은 급격히 저하한다. 그러나 이 방법은 비접촉식보다는 접촉매질을 사용하지 않는 것에 더 큰 비중을 두고 발전하여 왔다. 접촉매질을 사용하지 않는 것만으로도 움직이는 물체, 고온상태, 거친 표면, 이물질이 있는 표면, 진공 상태 그리고 위험한 표면에서의 검사가 가능해진다.

일반적으로 0.5 MHz에서 10 MHz까지 적용이 가능하나 전체적으로 감도나 S/N비가 매우 낮다. 그러나 현재까지 개발된 초음파의 비접촉식 측정 방법으로는 가장 실용성이 있는 방법이며 EMAT는 초음파의 발생보다 수신에 더욱 좋은 성능을 발휘한다.

3.3 Air-Coupled Transducer

공기를 전달매질로 사용하므로 50 KHz 수준까지는 충분히 떨어진 거리에서 사용이 가능하다. 그러나 주파수가 높아지면 감쇠가 심하여 사용하기 어렵다. 주로 1 MHz 이하에서 사용되며 주파수의 증가나 검사면과의 거리에 따라 성능이 급격히 떨어진다. 그리하여 음향임피던스가 작은 부드러운 재료나 복합재료의 검사에 주로 사용한다. 최근에 100 KHz의 주파수로 알루미늄 판의 검사에 적용이 되었으나 금속의 용접부의 검사에는 부적당하다. 공기를 매질로 하므로 진공에서는 사용이 불가능하지만 0.1기압에서 0.01기압 정도에서는 사용이 가능하다.

4. 원격 초음파탐상

초음파를 이용하여 용접 품질을 공정 중에 ON-LINE으로 또는 원격으로 측정하기 위한 연구는 많이 시도되었다. Fig. 6과 같이 Lott는 모재의 아랫면은 물에 잠기게하고 윗면에서 TIG 용접을 실시하면서 물 속에서 수직종파를 보내어 모재와 용착 금속의 경계면에서 반사되는 초음파와 모재의 윗면에서 반사되는 초음파를 수신하여 용입깊이를 측정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 용융부가 형성됨에 따라 신호의 파형에 뚜렷한 변화를 볼 수 있었다. 그러나 이 방법은 용입깊이의 변화에 따른 초음파 신호의 변화를 잘 규명하였으나 실제 용

접 상황에 적용하기에는 한계가 많다.

그리고 Carlson은 Fig. 7과 같이 Piezoelectric소자를 사용한 사각탐촉자를 접촉매질이 채워진 알

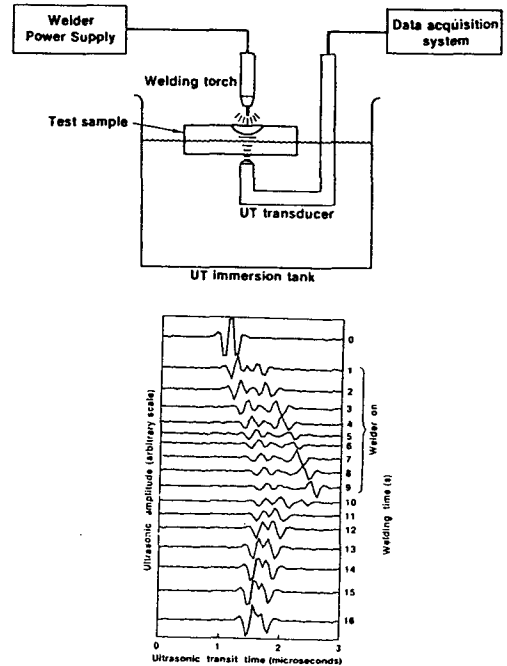


Fig. 6 Schematic diagram and ultrasonic A-scans of experiment

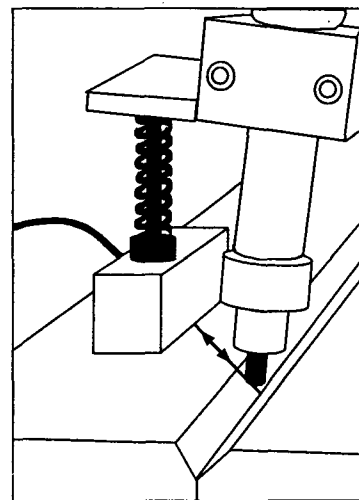


Fig. 7 Transducer aligned with electrode on weldment

루미늄 통 속에 설치하여 탐촉자와 썬기를 용접 열로부터 보호하였다. 그리고 이 탐촉자를 모재의 표면에 일정한 압력으로 밀착되게 하여 용접토치와 함께 이동하면서 용접부의 기공과 용착불량 등의 결함을 측정하는 연구가 수행되었다. 이 방법은 비접촉식은 아니지만 공정 중에 ON-LINE으로 용접 품질을 측정할 최초의 시도였다.

그리고 또 다른 방법으로는 물과 같은 접촉매질이 채워진 타이어의 내부에 탐촉자를 설치하고 용접토치의 뒤를 따라 타이어를 굴리면서 용접상태를 측정하는 바퀴형 탐촉자가 연구되었다. 그러나 이 실험에서는 용융부의 고온으로 인하여 토치와 탐촉자간의 거리는 최소 3m가 요구되어 시간지연이 너무 큰 문제점이 있었다. 그러나 이 바퀴형 탐촉자는 현재 ON-LINE용은 아니지만 접촉매질을 사용하지 않는 장점으로 많이 이용되고 있다.

그리고 Carlson은 Fig. 8과 같이 레이저를 이용하여 비드 윗면에서 초음파를 발생시키고 EMAT를 이용하여 비접촉식으로 용융깊이를 측정하는 실험을 하였다. 그 결과 용융깊이의 변화에 따른 신호의 변화를 확인하였다. 그러나 이 방법은 접촉매질을 필요로 하지 않는 비접촉식이지만 센서가 용접부의 표면에 가까이 위치해야 하므로 모재의 온도에 의한 영향이 크고 표면과의 상대적인 거리에 따라 영향을 받는다. 뿐만 아니라 이 방법은 감도와 S/N비가 매우 낮았다.

그리고 Huber는 레이저에 의한 초음파의 발생과 Laser Interferometric detector에 의한 수신으로 원격측정의 가능성을 실험하였다. 그러나 이 방법은

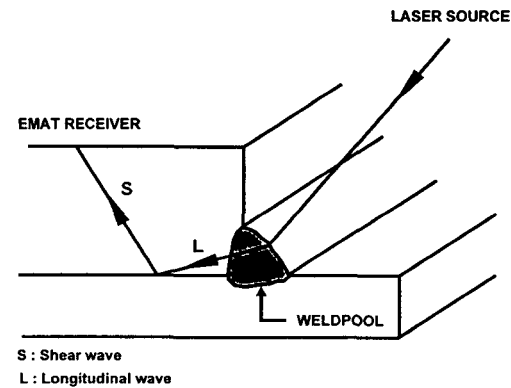


Fig. 8 Schematic of noncontacting sensing of fill level of a fillet weld

장치의 설치에 공간적인 제한이 매우 적고 신호의 왜곡도 적으나 감도가 낮고 측정면의 표면거칠기에 영향을 많이 받는다.

그리고 Graham은 세라믹에서 레이저를 이용한 초음파발생과 발생된 초음파가 전파될 때 굴절각도, 지향성 그리고 감쇠를 연구하였다. 그리고 발생된 초음파가 철의 내부로 굴절될 때 굴절각 및 지향성도 연구되었다. 이 때 레이저는 0.1 msec 동안 100 mJ의 열량을 가하여 초음파를 발생시켰다.

그리고 Oursler는 레이저와 EMAT를 이용하여 용접부의 결함을 측정하는 방법을 연구하면서 짧은 시간 간격으로 발생시킨 여러 개의 신호를 중첩시켜 EMAT의 S/N비와 감도를 증가시키는 narrow-band laser excitation 방법을 Fig. 9와 같이 제안하였다. 이 때 레이저는 9 nsec 동안에 6 mJ의 에너지를 가하였으며 1060nm의 파장대역을 지니는

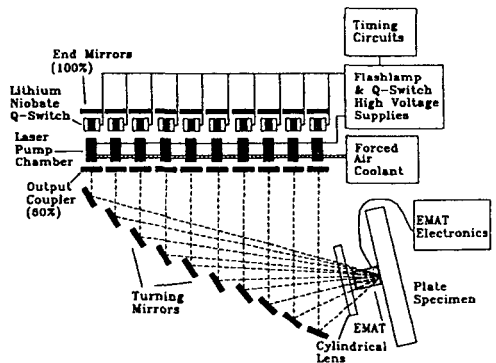
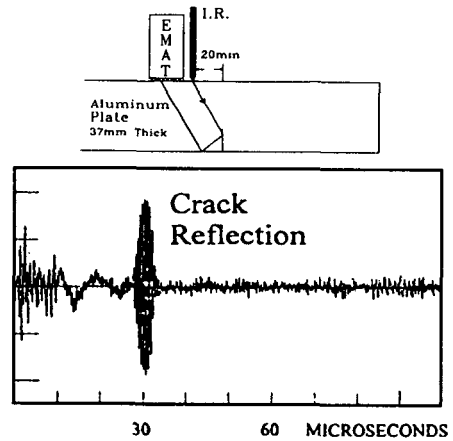


Fig. 9 Multiple pulse excitation in an Al plate and laser system used to generate ultrasound

적외선 레이저를 사용하였다.

초음파를 이용하여 원격측정을 하려면 비접촉식 초음파의 발생과 수신이 필요하다. 그러나 레이저를 이용한 초음파의 발생과 모재로의 전달은 현재의 기술로 충분히 가능성이 있지만 초음파의 원격수신은 지금까지의 방법으로는 매우 어렵다. 그리하여 용접와이어를 통하여 초음파 신호를 수신함으로써 공정 중에 용접부의 품질을 원격으로 측정할 수 있는 방법이 제안되었다.

전극을 통하여 초음파를 수신하기 위한 용접도치와 수신장치는 Fig. 10과 같다. 발생된 초음파가 전파 도중 모재의 밀면에서 반사되어 표면으로 전달되어 오는 점에 전극이 위치하면 전극을 통하여 초음파가 전달된다. 용접공정 중에 전극을 통하여 초음파를 수신할 때 중요한 문제는 모재에서 전극으로, 전극에서 수신탐촉자로 초음파 신호의 전달이다.

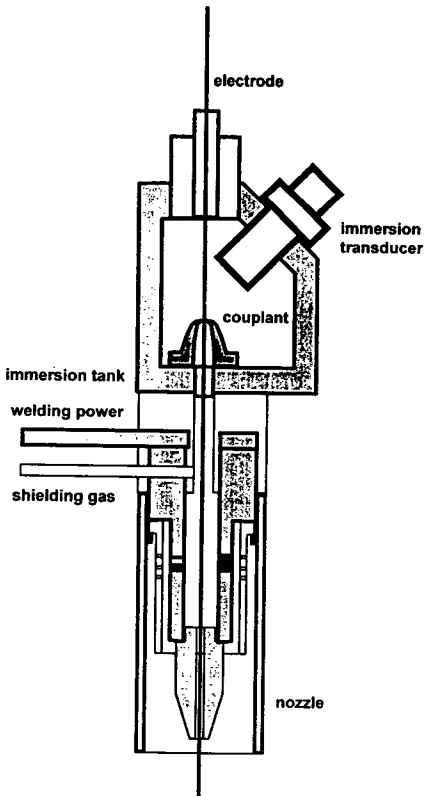


Fig. 10 Immersion transducer mounted in welding gun

일반적으로 GMAW에서 용융금속의 이행모드는 Solid wire를 사용하는 경우 저 전류에서는 단락이행 (Short circuiting transfer)이며 대 전류에서는 보호가스로 Ar등의 불활성가스를 사용하는 경우는 스프레이이행 (Spray transfer)이다. 그러나 보호가스로 CO_2 를 사용하는 경우는 입상이행 (Globular transfer)을 한다. 또한 FCAW에서는 전류에 관계없이 거의 입상이행을 한다.

그러므로 우선 용융금속이 단락이행을 하는 경우 전극과 모재 사이에는 초당 수십번씩 용융금속으로 연결된다. 이때 전극이 한번 단락되는 시간은 수 msec 수준이며 초음파의 전달시간은 수십 μ sec 수준이다. 그러므로 단락되는 시점에 동기시켜 초음파를 송신하면 모재에서 전극으로 전달이 가능하다.

그리고 전극으로 전달된 초음파 신호를 수신 탐촉자로 전달하기 위하여 그림과 같이 전극의 일부 구간을 액체가 채워진 공간으로 통과하게 하면서 이 공간에 수침탐촉자를 설치하여 액체를 통하여 전달되어 오는 초음파를 수신한다. 이 때 수신감도를 높이기 위하여 음향렌즈를 사용하여 초음파를 집중시킨다.

5. 결 론

초음파를 이용한 용접품질의 원격측정을 실용화 하려면 아직도 많은 연구가 필요하다. 앞에서 살펴본 바와는 초음파의 원격발생은 레이저를 사용하고 수신은 EMAT를 이용하는 것이 현재까지 가장 가능성이 큰 방법이다. 그러나 실용화에 가장 큰 걸림들은 레이저를 이용한 초음파 발생에서는 모재에 레이저에너지를 흡수하기 위한 표면처리를 별도로 하여야한다. 그리고 안전문제를 충분히 고려하여야한다. EMAT를 이용한 수신에서는 센서의 감도를 충분히 높일 수 있는 방법이 마련되어야 한다. 그리고 전극을 통한 초음파의 수신은 매우 획기적인 방법이지만 초음파의 수신상태가 전극의 금속이행모드에 크게 영향을 받는다. 뿐만 아니라 초음파의 전달 경로가 복잡하여 잡음이 많이 발생한다. 그러나 이러한 여러 어려움을 극복하고 용접품질의 원격측정을 실현하기 위한 연구는 매우 필요하다. 또한 원격측정이 실현되면 산업에 미치는 영향도 상당히 클 것이다.

참 고 문 헌

1. D. E. Hardt and J. M. Katz : Ultrasonic measurement of weld penetration, *Welding Research Supplement*, Vol. 63, (1984), pp. 273-281
2. Carl R. Weymueller : Know your welding NDT-Ultrasonic testing, *Welding design and fabrication*, (1983), pp. 58-66
3. L. A. Lott : Ultrasonic detection of molten/solid interfaces of weldpools, *Materials Evaluation*, Vol. 42, Mar., (1984), pp. 337-341
4. R. M. White : Generation of elastic waves by transient heating, *Journal of applied physics*, Vol. 34, (1963), pp. 3557-3567
5. N. M. Carlson, J. A., Johnson, L. A. Lott, and D. C. Kunerth : Ultrasonic NDT methods for weld sensing, *Materials Evaluation*, Vol. 50, Nov., (1992), pp. 1338-1343
6. K. H. Beck : Ultrasonic transducer focusing for inspection of cylindrical material, *Materials Evaluation*, Vol. 49, July, (1991), pp. 875-882
7. R. D. Huber and R. E. Green : Noncontact acousto-ultrasonics using laser generation and laser interferometric detection, *Materials Evaluation*, Vol. 49, May, (1991), pp. 613-618
8. N. M. Carlson and J. A. Johnson : Ultrasonic sensing of weld pool penetration, *Welding Journal*, Vol. 67, Nov., (1988), pp. 239-246
9. George M. Graham, J. Yang and Charles Ume : Laser ultrasound directivity in CS-3 Ceramic, *Materials Evaluation*, Vol. 52, May, (1994), pp. 607-610
10. Douglas A. Oursler and James W. Wagner : Narrow-band hybrid pulsed laser/EMAT system for noncontact ultrasonic inspection using angled shear waves, *Materials Evaluation*, Vol. 53, May, (1995), pp. 593-597
11. 이 용, 비파괴검사의 기초, 제 4 권 초음파탐상검사, 세진사, (1995)
12. Y. Berthelot and J. Jarzynski : Directional laser generation and detection of ultrasound with arrays of optical fibers, *Journal of Nondestructive Evaluation*, Vol. 9, No. 4, Dec, (1990), pp. 271-279
13. Y. Berthelot and J. Jarzynski : Thermoacoustic generation of narrow and signals with high repetition rate pulsed lasers, *Journal of the Acoustical Society of America*, Mar., (1989), pp. 1173-1181
14. Panametrics, INC. : Ultrasonic transducers for nondestructive testing, Panametrics, INC., Waltham, MA U. S. A., (1994), pp. 30-34
15. American Society for Nondestructive Testing, : Section 10 Other ultrasonic techniques, Vol. 7, Ultrasonic testing, *Nondestructive testing handbook*
16. 정용무, 비파괴검사개론, 대한용접학회지, 제12권 4호, (1994), pp. 1-10
17. 정선국, 필릿용접의 해석적 모델과 실시간 모니터링을 위한 초음파 측정장치, 한국과학 기술원 자동화 및 설계공학과 박사학위논문, (1997)