

저항용접에서의 용접성 평가에 관한 연구

홍민성*, 김종민+

A Study on the Evaluation of Weldability in Spot Welding

Hong Min Sung*, Kim Jong Min+

Abstract

Spot welding is frequently used for industrial purpose, such as automobile and aerospace industries and household appliances due to its high performance.

In these day, robotization and systemization of welding process made it possible to produce more precise or smaller electric parts. And when it comes to welding of steel sheet, the size of nugget must be getting smaller. Therefore, welding conditions are limited to avoid defects, such as deformation, damage, weakening of joining area.

In this research, the measurement of the nugget size by the nondestructive inspection has been conducted. As a result, the right estimation of the nugget size and void defects, the detection of corona bond near joining area, the selection of the optimum ultrasonic mode, and set up for ultrasonic inspection are studied. From the trustworthy solutions of nugget size estimated by results of measurement, the optimum inspection conditions depending upon the width of welding parts are determined as well.

Keyword : Spot Welding(저항용접), Nugget(너겟), Ultrasonic(초음파), Corona Bond(코로나 본드)

1. 서론

저항 용접은 자동차, 항공기, 가전 전기용품의 공업 분야에서 작업성이 높은 관계로 많이 사용되어지고 있다. 또한 최근에는 공정의 로봇화, 시스템화 과정에서 정밀 부품이나 전자 제품의 정밀화, 미세화로 인하여 박판을 대상으로 하는 것이 많으며, 그 접합부도 전극 가압력과 용접열에 의한 변형, 손상이나 품질 기능의 약화를 이유로 용접조건이 제한되어 용접 부위나 형상은 더욱 작아지는 경향이 있다. 그러나, 이에 반해 제품의 수명이나 신뢰성에 대한 요구는 지속적

로 증대되어 국내에서도 2002년 하반기부터는 제조자 책임법(Product Liability)이 발효되어 제품의 구조강도나 수명에 절대적 영향을 미치는 용접부의 품질과 신뢰도 확보에 대한 산업체의 기술개발이 현안으로 대두되고 있다.

이러한 용접부의 품질을 평가하는 방법으로써 너겟의 직경을 측정하는데 복잡하고 시간이 많이 걸리는 파괴 시험방법을 사용해 왔다. 그러나 박판 내부의 너겟 직경은 외부에서 육안으로 직접 측정할 수 없기 때문에, 현시점에 필요한 용접조건으로 더욱더 작아지는 너겟의 형상을 측정하기 위해서는 비파괴 검사방법이 필요하다.

여러 가지 비파괴 검사 방법 중 본 연구에서의 너겟과 같은 재료 내부의 미세 결함이나 불연속 경계면에 대해 민감도나 현장 적용성이 우수한 초음파 검사 방법이 가장 적절한 것으로 판단된다.^[1]

* 홍민성 (mshong@ajou.ac.kr), 아주대학교 기계공학부
주소 : 442-749 경기도 수원시 팔달구 원천동 산5번지
+ 아주대학교 기계공학과 대학원

최근에는 초음파 기술의 진보에 따라 박판과 미세-구조물(micro-structure)에서의 유도 초음파(guided wave, 혹은 lamb wave)나 레이저를 이용한 레이저 초음파 기술이 개발되어 접합부의 고속검사나 안전성 평가가 미국과 일본의 산업현장을 중심으로 크게 확대되고 있다. 또한 파괴 시험 방법과는 달리 초음파 검사법은 품질검사를 위해 생산라인을 중단하지 않으면서도 비교적 빠르고 정밀하기 때문에 자동화 추세에 맞추어 품질관리와 평가의 자동화 분야에 적용할 수 있어 제품의 품질향상과 생산성 증대에 기여할 수 있으리라 기대된다.^[2]

초음파 검사방법에는 검사대상체와 초음파의 종류에 따라 매우 다양한 기술들이 개발되어 왔는데, 본 연구에서는 비파괴 검사방법인 초음파 검사 방법을 이용하여 너겟의 크기를 정확히 측정하는데 그 중요성이 있다. 본 연구에서 대상으로 하는 박판 용접부의 너겟 크기 측정에 대해서는 기존의 표준코드(KS, JIS, ISO)에서 사용되어 온 종파 초음파나 횡파 초음파를 이용한 접촉식 사각 탐상 방법(angle beam inspection)을 사용하기에는 무리가 따르기 때문에 아직 표준화된 기법이 정립되어 있지 못하다. 너겟 크기를 가장 정확히 검사할 수 있는 초음파 현미경(scanning acoustic microscopy)방법도 육안으로 확인할 수 없는 수 μm 정도의 용접 크기까지 측정이 가능하지만 수침법을 사용하므로 현장에서 사용하기에는 부적절하다.

그러나 최근에 개발되어 박판 구조물에서 그 유용성이 검증된 유도초음파는 판재에서 발생하는 특수 형태의 공진 초음파로서 감쇠가 적고 접합부의 접합상태(너겟 크기 등)에 민감하기 때문에 정밀화 미세화 과정에서 작아지고 있는 너겟의 크기를 측정하는데 적합한 방법으로 평가되고 있다.^[3] 그렇지만 유도 초음파는 일반 초음파와는 달리 분산특성(dispersion)이 있어서 위와 같이 미세한 크기를 정확히 실행하기 위해서는 너겟 크기에 민감한 초음파 모우드를 선정해야 하고, 모재의 두께와 재질에 맞는 초음파 주파수와 굴절각을 적절히 선택해주어야 하며, 또한 그 모우드를 선별 추출하는 신호처리 기법이 필요하다.

본 연구에서는 저항 용접에서 초음파 검사를

시행할 경우 너겟의 크기 void 결합 등의 정량적 평가와 너겟의 주변에 나타나는 Corona Bond의 정확한 식별에 알맞은 최적의 유도 초음파의 모드 선정 방법과 초음파 검사 조건의 설정을 제시하고자 한다. 또한 초음파 측정결과로부터 너겟 크기를 평가하는 신뢰성 있는 방법을 제시하고, 각기 다른 용접부위의 두께에 따른 최적의 검사 조건 등을 제시하고자 한다.

2. 초음파 탐상 방법

금속 등의 재료 및 그 접합부의 비파괴 시험 방법의 하나로 초음파 탐상 시험이 있다. 이 방법은 방사선 투과 시험과 같이 주로 내부 결함을 검출하여 평가하는 것을 목적으로 하여 사용된다. 예를 들면 철강 재료나 그 용접부의 비파괴 시험방법으로써 압력용기나 건축철골 등의 구조물에 잘 적용되고 있다.

초음파 탐상 시험의 목적은 주로 결함의 검출, 두께 등의 치수의 측정 및 재료열화 등의 검사로 분류된다. 이 중에서 특히 금속재료 등의 접합부 검사의 경우는 결함의 검출이 주목적이 된다. 여기에서는 금속재료 등의 접합부의 결함을 검출하는 것을 목적으로 한 초음파 탐상 시험을 중심으로 그 원리와 특징, 접합부의 결함의 검출 상황에 미치는 시험조건의 영향, 검출한 결함의 평가 방법이 중요한 영향을 미친다.

일반적으로 PC 기반에서의 초음파 검사 시스템 구성 및 너겟의 크기 측정에 가장 신뢰성 있는 초음파 측정 기법으로 A-Scan 방식과 C-Scan 방식이 있다.

2.1 A-Scan Type

Fig. 1에 보여진 것과 같이 초음파 탐상 시험 방법은 그 기본 원리에서 통상의 초음파 탐상 시험에 사용되는 펄스 반사법이다. 이 방법은 시험체가 있는 면(탐상면)에서 초음파 펄스를 입사시키고, 반사된 초음파 펄스를 수신한다. 이 때 초음파의 전파시간에서 반사원의 위치를 수신한 초음파 펄스의 크기에서 반사원의 상황을 추정한다. 실험 방법이 간단하고 실험하기가 용이하나,

정확한 치수 등의 측정이 어렵고, 단지 용접의 유무만의 판단이 가능하다.

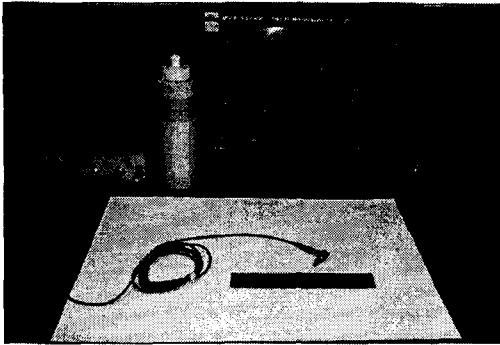


Fig. 1 Ultrasonic Test Equipment : A-Scan

2.2 C-Scan Type

초음파 C-scan 검사법은 검사체의 일정 면적에 대해 초음파 탐상을 하여 특정깊이에서의 초음파 신호 정보를 수집하여 용접부의 결합상태를 측정하는 기술이다. Fig. 2는 C-scan 검사법의 원리와 장치에 대한 개략도이다.

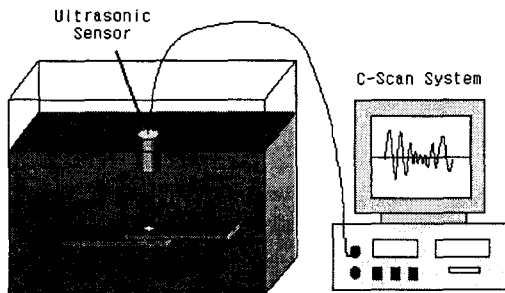


Fig. 2 Ultrasonic Test : C-Scan Type

수조 속에 검사시편을 침적한 후 수면으로부터 초음파 센서(transducer)가 외부 탐상 장비와 연결되어 수조상부에 설치된 궤도를 따라 움직인다. 탐상 원리는 센서에서 발생된 초음파가 물을 매질로 이동하며 검사 대상의 표면이나 내부로 전달된 후 반사되어 돌아온 신호를 다시 초음파 센서에서 수신하여 기록장비로 기록한다. 각 지

점에서 초음파 센서는 그 지점의 내부를 검사하되 센서가 한 라인씩 움직이면서 각 라인의 한 점에서 측정된 초음파 신호를 기록장비에서 종합하여 2차원 영상으로 단면에 대한 결과를 보여준다.

3. 초음파 검사

본 실험에서는 스폿 용접부를 초음파 탐상법 중 C-Scan원리를 이용하여 용접부를 수침조에 침적한 후 송수신 전용 25MHz 초음파 센서를 이용하여 검사하였다.

검사면적은 용접부를 포함한 시편 면적 중 두 판의 접합 부분이다. 이때 수신된 신호의 특징은 용접이 되지 않은 부분은 두 시편이 단순히 면 접촉하고 있으므로 시편의 경계표면에 도달한 초음파 신호가 경계면에서 임피던스의 차에 의해 반사파가 발생하고, 용접부의 경우 두 시편이 용착되어 결합되었기 때문에 입사된 초음파가 용접 부분에서 반사파 없이 투과되므로 반사 신호가 발생하지 않는다.

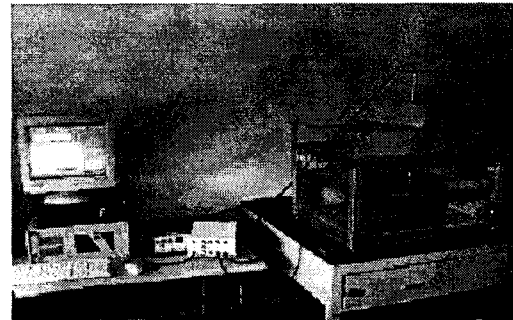


Fig. 3 Ultrasonic Test Equipment : C-Scan

따라서 탐상 결과로 용접부는 반사 신호가 없어서 흰색 이미지로 나타나며 나머지 영역은 반사 신호가 발생하며 미세한 표면 거칠기, 표면의 미세한 곡면 등에 따라 조금씩 반사량이 다르게 여러 색상으로 표시된다. Fig. 3에서 보이는 것과 같이 수조 속에 물이 채워져 있으며 수조 아래에는 받침대 위에 수평이 맞춰진 저항 용접시편이 놓여있다. 수조 표면에는 초음파 센서가 있으며 센서는 수조 표면에 설치된 궤도에 의해 2차원

좌표계로 움직인다.

3.1 실험에 사용된 시편

용접 두께가 0.5 mm 이하인 초박판에 관한 용접 작업을 수행하기에는 현실적으로 어려움이 야기되어, 두께가 0.5 mm 이상의 용접 시편을 통하여 C-Scan 그리고 인장 강도 테스트를 통한 용접성의 평가를 수행하였다.

이를 위해 사용된 용접 시편의 두께는 0.8 mm, 1.0 mm, 1.2 mm, 1.4 mm의 4개의 시편을 각기 다른 용접 조건을 주어서 용접을 수행하고, 이 시편들을 가지고 초음파 검사를 수행하였다. 위의 각각의 시편에 관한 저항 용접에서의 작업 조건을 Table 1에 기술하였다.

3.2 실험 결과 C-scan 이미지

초음파 C-scan 측정 결과의 대표적 이미지는 Fig. 4에 나타내었다. 이미지의 가로 폭은 용접시편의 좁은 폭을 전부 포함하도록 설정하였으며 세로 폭의 길이는 약 35mm이다.

이미지 전체에서 공통으로 관찰되는 원형의 흰색 이미지가 스폿 용접부이며 그 외의 색깔은 용접되지 않은 두 판사이의 경계면에서 발생하는 초음파의 강도를 나타내는데, 이러한 색깔이 있는 부분은 용접되지 않은 부분을 표시한다. 색의 종류는 노랑-연두-황색-검정색의 순서로 경계면에서의 반사 초음파의 에너지가 크다는 것을 의미하지만 색의 종류는 용접부와 용융부의 크기를 결정하는 본 실험의 경우에는 별 의미는 없다.

Table 1 Welding condition

No	Thickness (mm)	Cycle	force (Kgf)	Current (KA)
1	0.8	8	290	10.7
2	0.8	9	250	9.8
3	0.8	8	290	10.7
4	0.8	9	250	9.8
5	1.0	9	350	12.0
6	1.0	11	300	10.8
7	1.2	11	400	12.7
8	1.2	13	330	11.4
9	1.2	15	280	10.3
10	1.4	13	450	13.3
11	1.4	15	370	12.0
11	1.4	18	320	11.0

특정 이미지의 경우 사각형 검사영역 중 원형 이외의 곳에서 흰색 영역이 관찰되는데(Fig. 4의 경우 이미지 위쪽 경계면 근처) 이는 두 판이 겹치는 부분에 점착된 셀로판 테이프에서 산란되어 반사파가 없는 영역이다. 또한 모든 실험에서의 이미지 크기가 시편마다 다른 것은 원래 시편의 크기가 다르기도 하고 앞서 설명한 셀로판 테이프 등으로 이미지가 왜곡되었기 때문이다.

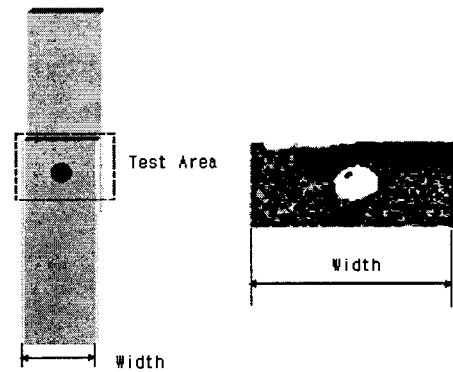


Fig. 4 Specimen and Scanned image

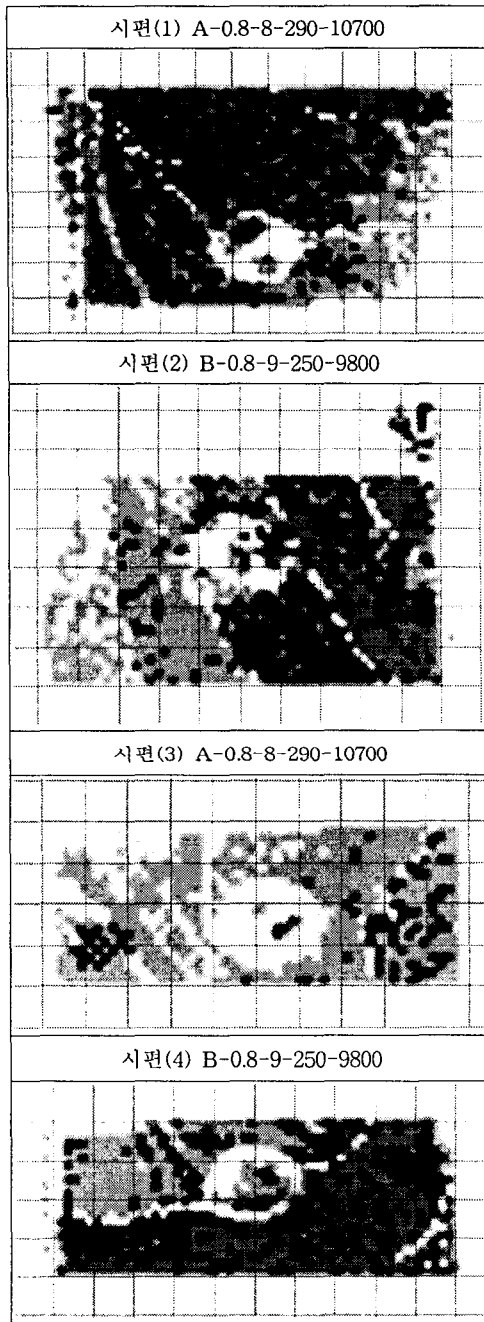


Fig. 5 Specimen C-Scan Image

참고로 Fig. 4에서 A, B 는 일반 저항 용접에서의 용접 강도의 등급을 나타내는 것으로 A>B 순으로 용접 강도를 나타낸다. 단순히 용접 조건에 의한 평가 기준이며, 용접 상태에 따라서 다

를 수 있다.

4. 인장시험 결과

SHIMADZU사의 FHF-ER-401 인장 시험을 통하여 위의 C-scan을 통한 용접 시편의 강도 테스트를 수행하였다.

Table 2 Result of tensile strength test

No	Thickness (mm)	Strength (kgf)
1	0.8	400
2	0.8	345
3	0.8	440
4	0.8	320
5	1.0	645
6	1.0	630
7	1.2	763
8	1.2	771
9	1.2	780
10	1.4	1010
11	1.4	1000
12	1.4	1003

5. 실험결과 분석

C-scan을 통한 이미지와 인장 강도 시험을 통한 결과를 비교 분석하였을 때, 최적 조건의 용접 조건보다는 용접 시 두 모재 사이의 너겟 영역의 크기에 따라서 인장 강도의 차이가 나는 것을 알 수 있다. 너겟 영역이 크면 인장 강도가 크게 나오는 것을 볼 수 있다.

시편 (1) 과 (3), (2) 와 (4)에서 같은 조건이라도 위에서 언급한 두 모재 사이의 너겟 영역의 크기와 corona bond 영역에 의해서 강도가 차이 나는 것을 볼 수 있다.

현재 데이터 획득 장치를 이용하여 입력된 시편의 이미지를 접합부와 비접합부의 영역을 비교

분석하여 인장강도를 예측할 수 있는 프로그램의 개발 중에 있다.

6. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 너겟의 크기를 측정하고 형상화한 PC기반 초음파 검사 시스템(C-Scan)과 용접성 테스트 프로그램을 이용하여 용접성과 인장 강도를 예측할 수 있다.
2. 인장시험과 초음파 검사에서 얻어진 결과를 비교, 관찰하고, 최적의 용접 변수에 대한 데이터 베이스화를 통하여 최적의 용접 조건을 제시하였다.

참고문헌

- [1] Arakawa, T., Hirose, S. and Senda, T., 1985, "The detection of weld cracks using ultrasonic testing", NDT International, Vol. 18, No. 1, pp. 9-16.
- [2] Murray, E. E., 1968, "Ultrasonics in process control of spot welding quality", Ultrasonics, Vol. 6, No. 1, 1968, pp. 63~67.
- [3] Hayashi, T. and Endoh, S., 2000, "Calculation and visualization of Lamb wave motion", Ultrasonics, Vol. 38, No. 1, pp. 770-773.
- [3] Hemmingson, E., 1996, "New robot improves cost-efficiency of spot welding", Fuel and Energy Abstracts, Vol. 37, No. 4, pp. 273-275.
- [4] Tsujino, J. and Ueoka, T., 1996, "Ultrasonic multi-spot continuous welding of metal plate specimens using a two-vibration system welding equipment", Ultrasonics, Vol. 34, No. 2, pp. 229-233.
- [5] Graham, G. M. and Ume, I. C., 1997, "Automated system for laser ultrasonic sensing of weld penetration", Mechatronics, Vol. 7, No. 8, pp. 711-721.