

# 초음파를 이용한 미세저항용접에서의 용접성 평가에 관한 연구

홍민성\*, 김종민†

## A Study on the Evaluation of Weldability Using Ultrasonic in Thin Spot Welding

Hong Min Sung\*, Kim Jong Min†

### Abstract

Thin spot welding is frequently used for industrial purpose, such as automobile and aerospace industries and household appliances due to its high performance. In these days, the systemization of welding process made it possible to produce more precise or smaller electric parts. And when it comes to welding of steel sheets, the size of nugget must be getting smaller. Therefore, welding conditions are limited to avoid defects, such as deformation, damage and weakening of joining area.

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

**Keyword :** Thin Spot Welding(미세저항용접), Nugget(너겟), Ultrasonic(초음파), Corona Bond(코로나 본드)

## 1. 서론

미세저항용접은 가진 전기용품 분야에서 작업성이 높은 관계로 많이 사용되어지고 있으며 최근에는 공정의 로봇화, 시스템화 과정에서 정밀 부품이나 전자 제품의 정밀화, 미세화로 인하여 박판을 대상으로 하는 것이 많다. 또한, 그 접합부도 전극 가압력과 용접열에 의한 변형, 손상이나 품질 기능의 악화를 이유로 용접조건이 제한되어 용접 부위나 형상은 더욱 작아지는 경향이 있다.

특히 미세저항용접은 미소부품의 접합을 목적으로 하고 있기 때문에, 피접합재의 정밀도나 정확한 위치제어가 접합강도의 안정성에 영향을 미친다. 미세저항용접이 적용되는 모재는 적은 용열량의 차이에도 큰 영

향을 끼치기 때문에 접합 조건의 확립이 중요하다. 기존의 저항용접에 비하여 저 전류, 짧은 통전시간, 저가압력으로 행하기 때문에 피접합재의 표면 거칠기나 급속 산화 피막의 영향이 커진다. 또한 접합부가 사각으로 판단하기 어렵고 정확한 접합의 정량적 평가가 어렵기 때문에 비파괴 검사가 필수적이다.

미세저항용접의 경우는 너겟 직경을 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.<sup>[1]</sup>

최근에는 초음파 기술의 진보에 따라 박판과 미세구조물(micro-structure)에서의 유도 초음파(guided wave, 혹은 lamb wave)나 레이저를 이용한 레이저 초

\* 홍민성 (mshong@ajou.ac.kr), 아주대학교 기계공학부  
주소 : 443-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산5면지  
† 아주대학교 기계공학과 대학원

음파 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.<sup>[2]</sup>

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 사용되어온 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 확인 할 수 없는 수  $\mu\text{m}$  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.<sup>[3]</sup> 그렇지만 유도 초음파는 일반 초음파와는 달리 분산특성(dispersion)이 있어서 위와 같이 미세한 크기를 정확히 실행하기 위해서는 너겟 크기에 민감한 초음파 모드를 선정해야 하고, 소재의 두께와 재질에 맞는 초음파 주파수와 굴절각을 적절히 선택해주어야 하며, 또한 그 모드를 선별 추출하는 신호처리 기법이 필요하다.

본 연구에서는 박판의 미세저항 용접에서 용접을 하기 위한 최적의 조건을 찾는 한편 이러한 용접을 수행한 후 용접성 평가를 내리기 위한 초음파 검사를 시행할 경우 너겟의 크기, void 결함 등의 정량적 평가와 너겟의 주변에 나타나는 코로나 본드(corona bond)의 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 방

사선 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 중심으로서 그 원리와 특징, 접합부의 결함의 검출 상황에 미치는 시험조건 영향, 검출한 결함의 평가 방법이 중요한 영향을 미친다.

일반적으로 PC 기반에서의 초음파 검사 시스템 구성 및 너겟과 코로나 본드의 크기 측정에 가장 신뢰성 있는 초음파 측정 기법으로 C-Scan 방식이 있다.

### 2.1 C-Scan Type

초음파 C-scan 검사법은 검사체의 일정 면적에 대해 초음파 탐상을 하여 특정깊이에서의 초음파 신호 정보를 수집하여 용접부의 결함상태를 측정하는 기술이다. Fig. 1은 C-scan 검사법의 원리와 장치에 대한 개략도이다.

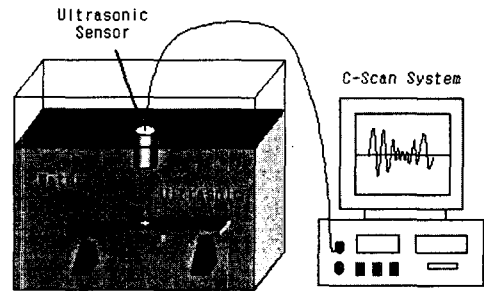


Fig. 1 Ultrasonic Test : C-Scan Type

수조 속에 검사시편을 침착한 후 수면으로부터 초음파 센서(transducer)가 외부 탐상 장비와 연결되어 수조 상부에 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 지점에서 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 저항 용접부를 초음파 탐상법 중 C-Scan원리를 이용하여 용접시편을 수침조에 침적한 후 송수신 전용 110MHz 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 용접부분에서 반사파 없이 투과되므로 반사 신호가 발생하지 않는다.

따라서 탐상 결과로 용접부는 반사 신호가 없어서 검은색 이미지로 나타나며 나머지 영역은 반사 신호가 발생하며 미세한 표면 거칠기, 표면의 미세한 곡면 등에 따라 조금씩 반사량이 다르게 흰색으로 표시된다. Fig. 2는 실제 초음파 검사에 사용된 장치이다. 그림에서 보이는 것과 같이 수조 하부에는 받침대 위에 수평이 맞춰진 저항 용접시편이 놓여있다. 수조 표면에는 초음파 센서가 있으며 센서는 수조 표면에 설치된 궤도에 의해 2차원 좌표계로 움직인다.



Fig. 2 Ultrasonic Test Equipment : C-Scan

#### 3.1 용접 시편

실제 용접은 두께가 0.05 mm부터 0.3mm인 미세박판에 관한 용접 작업을 수행하였다. 현재 이러한 크기에 관한 저항용접에 관해서는 정확한 용접조건도 없을 뿐만 아니라 용접결과에 대한 판단 방법도 없다. 본 연구에서는 여러 용접조건을 통한 미세박판의 용접 및 시편들의 C-Scan 그리고 인장 강도 테스트를 통한 용접성 평가를 수행하였다.

이를 위해 사용된 용접 시편의 두께는 0.05 mm, 0.1 mm, 0.15 mm, 0.2 mm, 0.25 mm, 0.3 mm의 6종류의 시편들을 각기 다른 용접 조건을 주어서 용접을 수행한 후, 이 시편들의 초음파 검사를 수행하였다.

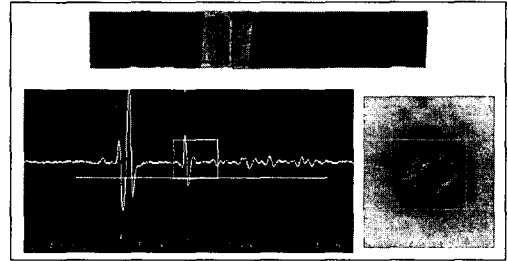


Fig. 3 C-Scanned Data

Fig.3 은 시제 초음파 검사에 사용된 용접 시편과 오실로스코프에서 얻어진 파형, 그리고 저항 용접점의 2차원 영상(image)을 보여준다.

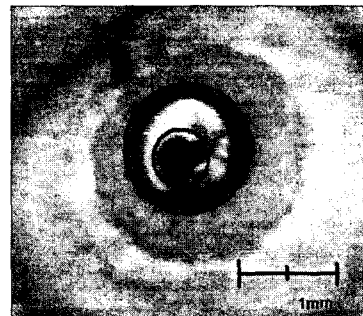


Fig. 4 Welding Point Image

초음파 C-scan 측정 결과의 대표적 영상은 Fig. 4에 나타내었다. 영상의 가로 폭은 용접시편의 좁은 폭을 전부 포함하도록 설정하였으며 세로 폭의 길이는 약 35mm이다. 영상에서 관찰되는 원형 흰색부분은 두 가지 영역으로 나누어지는데, 최외각의 검은색 부위는 용접의 열영향부이고, 안쪽의 진한 검은색이 실제 용접된 너겟이다. 자세히 관찰하면 열영향부의 바로 안쪽에 연한 회색 부위가 나타나고 있는데, 이 부분이 코로나 본드이다. 이 부분은 실제 용융하지 않고 열과 압력을 받아서 고상으로 압접된 부위인데, 접합강도에는 기여 하지 않고, 비파괴 검사 시 너겟의 크기를 평가하는 중요한 부분이 된다.

실험조건은 Table 1에 나타내었다. 현재 0.05mm부터 0.3mm 까지 박판 저항용접에는 이에 적절한 용접 조건이 없었다. 따라서 실제 현장에서 사용되는 소형 용접기를 기준으로 최적의 용접 조건을 찾기 위한 여러 가지 용접 조건을 적용하여 실험을 수행하였다.

가압력에 대해서는 박판 용접이므로 매우 반응이 커져 가장 많이 사용되고 있는 조건으로 고정하였고, 특히 전류는 가장 영향을 많이 받는 1kA에서 1.5kA 영역을 세분하여 용접조건을 설정하였다. 용접시간은 실제 용접에서 가장 중요시되는 T2 조건을 적용하였다.

Table 1 Welding Conditions

No	Thickness (mm)	Current (KA)	Time (ms)
1	0.05	0.6	20
2	0.1	0.8	30
3	0.15	1	40
4	0.2	1.2	50
5	0.25	1.3	60
6	0.3	1.4	70
7		1.5	80

\* Time은 T2 용접시간, Time이 60ms 이상에서는 용접불량

#### 4. 실험 결과

Table 1에 주어진 조건으로 용접한 시편들을 인장 시험을 통해서 확인하였다. 인장시험 결과가 현저히 차이가 난 것은 용접 불량으로 간주하였다. 또한 각각의 시험 값을 통하여 최적의 용접조건을 도출하였다.

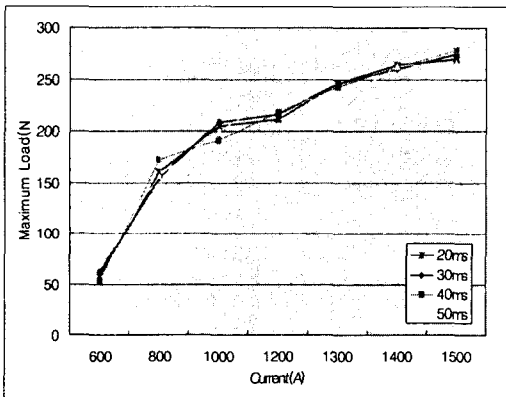


Fig. 5 Maximum Load of 0.1t

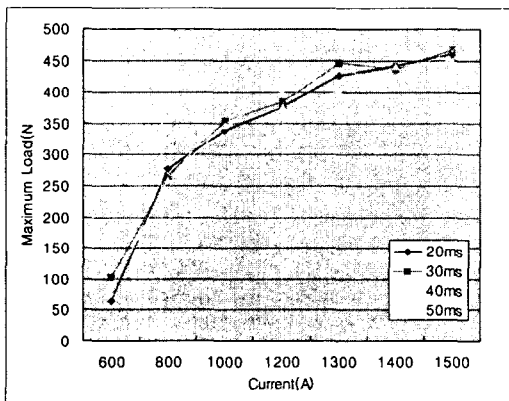


Fig.6 Maximum Load of 0.15t

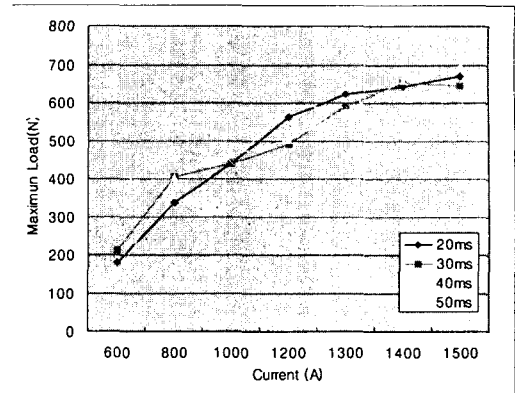


Fig.7 Maximum Load of 0.2t

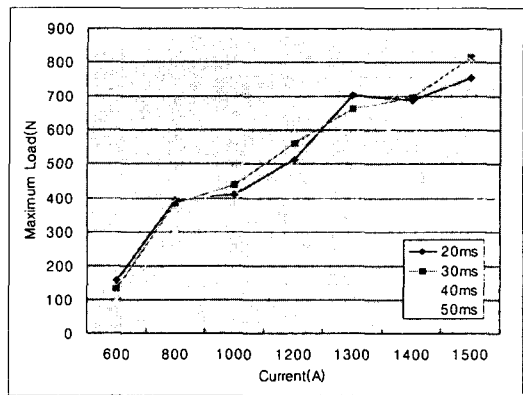


Fig.8 Maximum Load of 0.25t

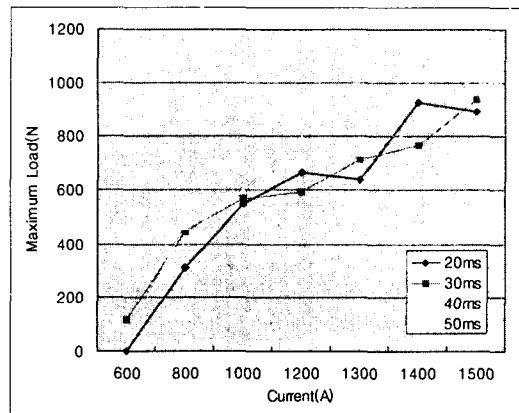


Fig.9 Maximum Load of 0.3t

Fig. 5-9는 각각 두께 0.1-0.3mm의 용접시편들의 전류량과 통전시간의 변화에 대한 최대 인장력을 나타내었다.

#### 4.1 미세저항용접 조건

인장시험을 통하여 각기 다른 두께의 시편에 대하여 얻어진 미세용접의 최적 조건을 아래 Table 2에 제시하였다. 또한, 대표적으로 0.1mm 두께의 용접시편의 최적 용접 조건시의 영상을 Fig. 10에 나타내었다.

Table 2 Optimal Welding Conditions

Thickness (mm)	Current (kA)	Time (ms)	Max. Load(N)
0.1	1.4	30	278.1
0.15	1.4	30	460.6
0.2	1.5	40	698.2
0.25	1.5	40	810.2
0.3	1.5	50	1044.4

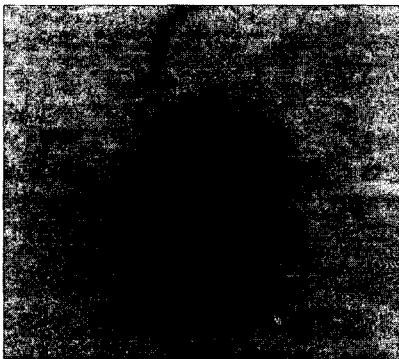


Fig. 10 Optimal Spot Welding Point (t=0.1mm)

#### 4.2 실험 결과 분석

우선 실제로 0.05t 박판은 용접을 수행하기가 무척 힘들었고, 용접한 후에도 대부분의 시편들이 인장시험기로 측정하기에는 무리가 있는 용접성을 보여서 조건선정에서는 제외하였다.

최적 조건에 선정된 데이터들은 단순히 최대 하중이 큰 값이 아닌 데이터가 전체적으로 선형성을 유지하는 지에 우선순위를 두어 선택을 하였고, 그 다음에 최대 하중에 중점을 두어 선정했다. 또한 실제 용접된 표면을 C-Scan 검사로 측정하여 용접된 부위와 코로나 본드의 크기를 정량적으로 분석하여 상관관계를 가지는 테이블을 만들었다. 초음파 검사에서 나타난 용접부의 외경보다는 코로나 본드와 내경의 상관관계가 강도에

큰 영향을 주는 것으로 밝혀졌다. 따라, 본 실험에서 얻어진 결과를 통하여 초음파 검사만으로 미세저항용접의 용접성, 즉 인장력의 예측이 가능할 것으로 여겨진다.

### 6. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 미세저항용접의 너겟과 코로나 본드의 크기를 측정하였고, 영상화한 PC기반 초음파 검사 시스템(C-Scan)과 용접성 실험을 이용하여 용접성과 인장 강도를 예측할 수 있었다.
2. 인장시험과 초음파 검사에서 얻어진 결과를 비교, 관찰하고, 미세저항용접에서 용접 변수들에 대한 최적의 용접 조건들을 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.