

## Cu 박판에 대한 초음파 용착 조건 확립

서정석\*, 박동삼<sup>+</sup>

(논문접수일 2010. 2. 10, 심사완료일 2010. 3. 26)

### Establishment of Conditions for Ultrasonic Welding of Cu sheet

Jeong Seok Seo\*, Dong Sam Park<sup>+</sup>

#### Abstract

This paper gives a description of an experimental study of the ultrasonic welding of metals. In ultrasonic metal welding, high frequency vibrations are combined with pressure to join two materials together quickly and securely, without producing significant amount of heat. Ultrasonic metal welder consists of Transducer, Booster, and horn that are designed very accurately to get the natural frequencies and vibration mode. In this study, The horn was designed and analyzed the natural frequency by the modal analysis and harmonic analysis. And using a fiber optic sensor, we measured the amplitude and analyzed the Fast Fourier Transformed result. Using the horn, Ultrasonic metal welding between Cu sheet and Cu sheet of 0.1mm thickness was accomplished under the optimal conditions of static pressure 0.15MPa, vibration amplitude 30% and welding time of 0.28s. This result can be used for ultrasonic metal welding in manufacturing industry.

**Key Words :** Ultrasonic metal welding (초음파 금속용착), Horn (혼), modal analysis (모달해석), Fiber optic sensor (광학센서), FFT (고속 푸리에 변환), Test of tensile load (인장시험)

## 1. 서론

초음파 금속용착은 항공, 우주, 전자, 기계 산업 등 여러 산업분야에서 용접, 절단, 세정, 측정 및 검사 등 다양한 분야에 널리 사용되고 있다. 이에 부응하여 신소재에 대한 관심

이 고조되고 있지만, 신소재가 개발되더라도 신뢰성 측면에서 많은 문제점을 갖고 있기 때문에 실제 적용에는 문제가 많다. 그러나 이미 개발된 합금을 조합하여 복합화한다면 단일 재료에서 얻을 수 없는 경제성과 기능성을 얻을 수 있다는 장점 때문에 최근에는 복합재료 제조 방법 중에서도 실용

\* 인천대학교 공학대학원 기계공학

+ 교신저자, 인천대학교 기계공학과 (dspark@incheon.ac.kr)

주소: 406-772 인천광역시 연수구 송도동 12-1번지 인천대학교 공과대학 A동 207호

성이 가장 좋은 접합 법에 대한 관심이 많아지고 있다.<sup>(1)</sup>  
 초음파 금속용착의 접합기술은 저온에서 접합되는 Adhesive를 사용하거나 국부적인 가열을 통하여 접합공정에서 열팽창계수 차이로 발생하는 열응력을 최소화하면서 고성능 다기능 IT부품을 접합하는 공정 및 정비기술을 지칭한다. 초음파 금속 용착은 Power Supply를 통해 들어온 전기적 에너지가 진동자(Transducer)를 통해 기계적인 진동에너지로 바뀐 뒤 부스터(Booster)로 그 진폭을 증폭시켜 형성된 초음파 에너지가 혼(horn)을 통해 금속 용착물에 전달되면 금속 용착물의 접합면에 강제적 확산에 의한 강력한 결합이 이루어진다. 가압하에 초음파로 금속패드와 범퍼를 마찰시켜 Cold weld를 형성하여 접합속도가 빠르며, 전도성 매개체를 사용하지 않으므로 Noise 특성은 거의 발생시키지 않으며, LPCB나 Rigid PCB와의 탁월한 결합력을 얻을 수 있다. 또한 전도성 입자를 포함한 필름을 중간에 사용하지 않으므로 가격적인 면에서도 우수하다. 유비쿼터스를 위한 휴대용 IT제품과 소형 디스플레이 시장의 급부상으로 인하여 접합기술은 그 수요가 급격히 증가하는 추세로 기계, 물리, 재료, 전기등 복합적인 기술이 요구되어 많은 연구가 필요하다.<sup>(2)</sup>  
 본 연구에서는 금속 Cu 박판의 용착 성을 평가하기 위하여 유한요소법(Finite Elements Method)으로 혼(Horn)을 설계하고, 초음파 금속용착 조건의 따른 용착 강도(Welding Strength)를 측정하여 용착 성을 평가함으로써 최적의 Cu 박판의 용착조건을 찾고자 하였다.

## 2. 초음파 금속용착

초음파 금속 용착은 초음파 진동에 의해 2개의 금속 접합면에 기계적인 진동을 가함으로서 물리적인 확산작용으로

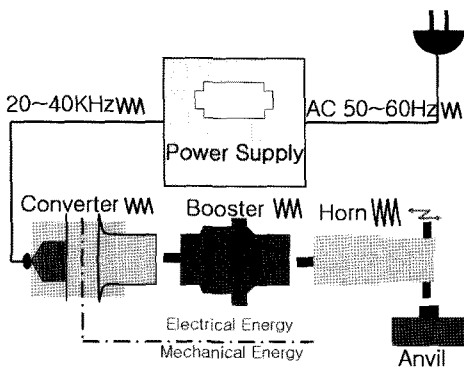


Fig. 1 Ultrasonic welding process setup

강력한 접합이 이루어지는 공법이다. 초음파 진동에 의해 2개의 금속접합면의 확산현상으로 인하여, 금속표면에 상존하는 금속 산화 막을 제거하고 용착하기 때문에 높은 기계적 강도와 저항이 거의 없는 전기적인 특성을 얻을 수 있다.<sup>(3)</sup>

Fig. 1은 초음파 금속 용착기의 주요 핵심부를 나타낸 것으로 주요 핵심부는 50 or 60Hz 전류를 20,000Hz or 40,000Hz 전기 에너지로 변환시키는 Power Supply와 전기에너지를 기계적 진동에너지로 변환시키는 진동자, 진동자의 진폭을 감소 또는 증폭 시키는 부스터와 금속부재에 진동에너지를 전달하여 용착시키는 혼으로 구성된다.

초음파 금속 용착기의 Power Supply를 통해 들어온 전기적 에너지가 진동자를 통해 기계적인 진동 에너지로 바뀐 뒤 부스터로 그 진폭을 증폭시켜 형성된 초음파 진동에너지가 혼을 통해 금속부재에 전달되면 금속 부재에 접합면에 강제적 확산에 의한 강력한 결합이 이루어지게 된다.<sup>(4)</sup>

### 2.1 혼(Horn)

초음파 금속용착은 BLT(Bolt clamped Langevin type transducer)진동자의 출력 단에 진동자와 같은 고유진동수를 가진 부스터와 혼을 부착하여 공진에 의한 증폭작용을 이용, 초음파 금속용착에 필요한 진동에너지를 얻게 된다. 금속용착의 경우 횡진동이 쓰이며 Fig. 2는 횡 진동을 사용하는 초음파 금속 용착을 도식화 하였다.

혼의 설계 시 가장 중요하게 여기는 변수는 혼 재료의 가진 주파수에 따른 파장의 길이이다. 이 파장의 길이는 공구 혼의 재료 내에 전파하는 파동의 정확한 음속 도에 따라 결정된다. 파장의 길이는 혼을 설계하는 중요한 변수로 혼의 길이를 결정하는데 영향을 미치고, 혼의 초음파 진동을 발생시켜 공진을 발생하는 요소가 된다.<sup>(5)</sup>

초음파 금속 용착시 혼의 용착 턱에 진동이 전달되기 때문

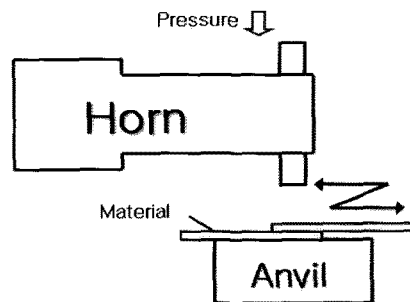


Fig. 2 Basic principle of ultrasonic metal welding

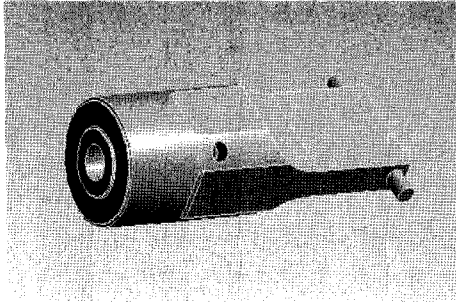


Fig. 3 Modeling of horn

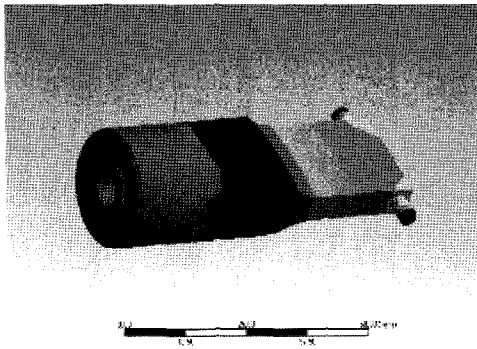


Fig. 4 Modal analysis of horn

에 혼에 대한 공진설계가 중요하다. 본 연구는 진동자가 40,000Hz의 고유공진 특성을 갖기 때문에 초음파 에너지가 효율적으로 전달될 수 있도록 공진주파수가 40,000Hz이고 혼의 용착 팁에서 원하는 증폭 도를 얻을 수 있도록 Fig. 3과 같이 혼을 설계하였다.<sup>(6)</sup> 혼의 길이는 파장의 1/2이고, 초음파 진동의 진폭은 혼의 끝에서 최대가 되므로, 용착 팁은 혼의 끝에 위치하게 된다.

설계한 혼을 Ansys를 이용하여 Fig. 4와 같이 modal 해석을 수행한 결과 10차 mode에서 진동자의 고유진동수에 근접한 39,992Hz의 공진특성을 갖는 횡 진동 모드의 운동을 보였다.

Fig. 5는 Harmonic 해석을 통해 혼의 팁 부분에서의 진동 응답을 진동수와 진폭의 그래프로 나타낸 것으로 40,000Hz와 근접한 40,100Hz에서 가장 큰 진폭을 나타냈으며, modal 해석과 비슷한 결과를 보였다.

40,000Hz의 공진주파수를 갖는 혼을 최적 설계하여, 제작 가능성을 검토하였으며, 이를 제작하여 혼의 공진주파수에서의 Amplitude를 구하고자, PHILTEC사의 Fiberoptic Sensor를 이용하여 초음파 금속 용착기의 혼 진동 amplitude

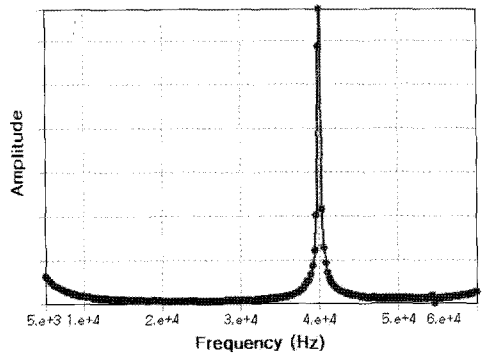


Fig. 5 Harmonic Response of horn

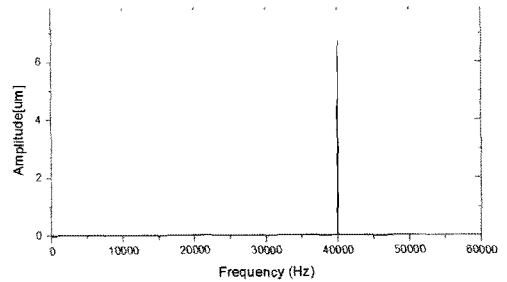


Fig. 6 Plot of the frequency spectrum using the Origin FFT

측정하여 Fig. 6에 나타냈다.

Fig. 6은 Fiberoptic Sensor에 의한 측정값을 RMS값으로 FFT해석 한 것으로<sup>(7)</sup>, 40,000Hz에서 RMS Amplitude 값이 6.9um이 나왔다. 따라서 혼의 Peak-to-Peak 최대 진폭은 19.5um 정도임을 알 수 있다.

### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 실험장치

Cu 박판의 용착성 평가 실험으로 초음파 금속 용착 장비를 이용하였다. Fig. 7은 자체 제작한 초음파 금속용착 장비와 혼을 장착한 사진으로 주요 성능은 Table 1에 나타내었다.

Fig. 8은 초음파 금속 용착 기를 이용하여 Cu의 용착성 실험후 최대 인장력을 측정하기 위한 인장시험 장비로 주요 성능으로는 최대 20N, 1/10,000의 분해능을 가진 장비로 Table 2의 자세하게 나타내었다.

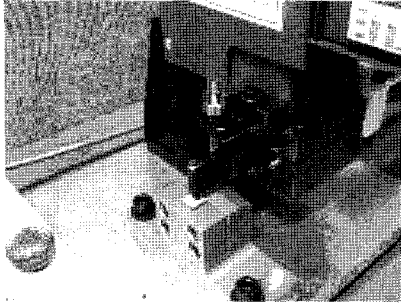


Fig. 7 Ultrasonic metal welder

Table 1 Specification of ultrasonic metal welder

Welding parameters	Ranges
Power	800W
Frequency	40khz
Welding speed	3m/min
Pneumatic cylinder	Φ 40
Pressure	0.1~0.7MPa
Amplitude	1~8 $\mu$ m

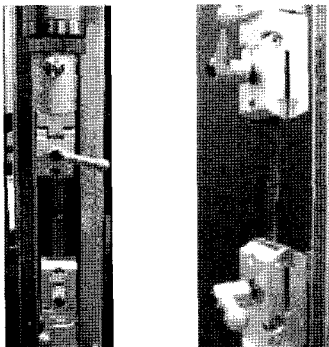


Fig. 8 Tensile tester

Table 2 Specification of tensile tester

Capacity	20N
Max. travel	400mm
Space	Φ 100mm
Speed	5-500mm/min
Force resolution	1/10000
Stroke resolution	0.005mm
Dimension	400×300×600mm
Power	100~240 VAV1 Φ 2A

또한 Cu 박판의 인장 시험 방법으로 Fig. 9의 지그(Jig)의 방식으로 시편을 고정하여 최대 인장력 측정을 수행하였다.

### 3.2 실험 방법

초음파 금속 용착기의 용착 성을 테스트하는 소재는 Cu 박판으로 하였으며, Fig. 10에서 나타난 거와 같이 양면 모두 60mm×10mm×0.1mm로 제작하였으며, 용착 부는 각 소재의 가로 10mm, 폭10mm 부분을 포개어 용착 시험을 수행하였다.

초음파 금속 용착기의 용착성 실험에서 용착의 변수로는 용착시간(Welding time), 압력(Pressure), 진폭(Amplitude)의 변수가 있는데 용착 대상의 소재 종류나 크기 또는 혼의 형상에 따라 다양한 용착조건을 갖게 된다.

본 연구에서는 최적의 용착조건을 찾기 위해 용착시간을 변수로 실험을 수행 하였으며, 용착시간의 변수에 따라 Cu 박판의 초음파 금속 용착 성을 평가 하고자 하였다.

Table 3은 Cu 박판의 초음파 금속 용착 성을 평가하기 위한 초음파 용착기의 용착조건을 나타내었다.

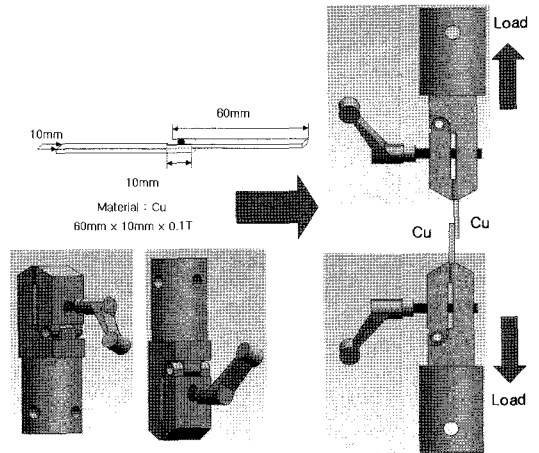


Fig. 9 Schematic diagram of tensile test

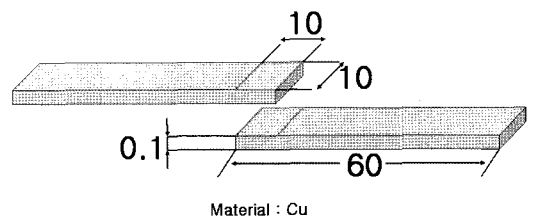
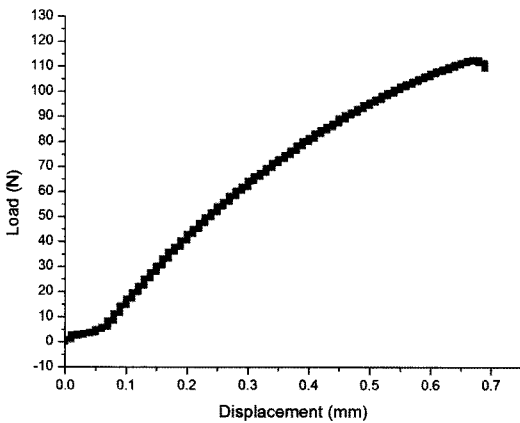


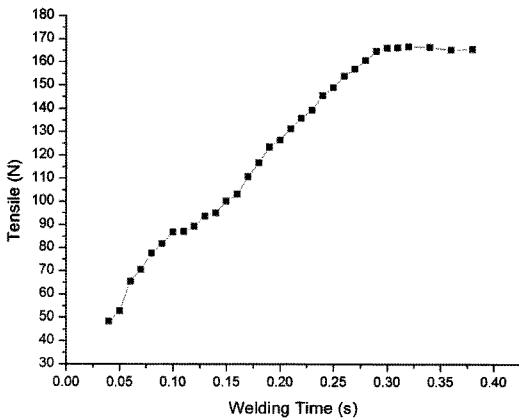
Fig. 10 drawing of the metal welding condition

**Table 3** Welding condition of ultrasonic metal welding

Welding Pressure (MPa)	0.15
Amplitude (%)	30
Welding Time (sec)	0.04~0.44



**Fig. 11** a graph of the Tensile Load (0.23s, 0.15MPa, amplitude80%)



**Fig. 12** Relation between welding time and Tensile load

Fig. 11은 초음파 금속 용착 기를 이용하여 실험 조건 중 0.15MPa, 80% amplitude, 0.23s Welding time으로 Cu 박판을 용착하여 Fig. 8의 인장 시험기를 이용하여 최대 인장력을 측정하는 것을 나타낸 것으로, 이와 같은 측정 방법으로 각 용착 조건마다 최대 인장력을 측정하여 Cu의 용착시간에 따른 최대 인장력의 값을 얻을 수 있었다.

#### 4. 실험 결과

Fig. 12는 Cu 박판을 초음파 금속 용착 기를 이용하여 용착한 후 인장 시험기를 통하여 각 용착 조건별 최대 인장력을 측정하는 결과로, 용착시간이 증가함에 따라 비례하여 인장력이 커지는 것을 알 수 있었다.

또한 0.28초 이후부터는 약 160.7N의 값의 최대 인장력을 얻을 수 있었는데 이는 0.28초 이후로는 더 이상의 용착 시간을 증가하여도 인장력에는 변화가 없다는 것을 의미하며 그 뒤로는 시편의 팁 형상의 구멍이 생겨 인장력에 악영향을 미치게 된다는 것을 알 수 있었다.

#### 5. 결론

Cu 박판의 초음파 금속 용착을 위해 40,000Hz 혼을 설계 및 제작 하였다. 인장 시험기를 이용하여 최대 인장력을 측정하였으며, 이를 통해 Cu 박판의 초음파 금속 용착 성을 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 초음파 금속용착에 사용되는 혼을 횡 진동 모드에서 40,000Hz에 근접한 고유진동수를 갖도록 설계하였으며, 혼의 입력 면을 가진 하였을 때 혼의 출력 면에서 고유진동수에 근접하여 가장 큰 진폭의 변화를 보임에 따라, 40,000Hz의 고유진동을 하는 혼의 제작 가능성을 알 수 있었다.
- (2) 설계한 혼의 진동운동을 혼의 용착 팁에서 광센서를 이용하여 측정하였으며, FFT를 통해 혼의 용착 팁에서의 최대 진동 진폭(amplitude)값을 측정할 수 있었다.
- (3) 초음파 금속 용착 조건 중 0.15Mpa, 80% amplitude, 0.28s Welding time 의 조건에서 약 160.7N의 최대 인장력을 얻을 수 있었다.
- (4) 0.28초의 용착시간 이후로는 더 이상의 인장력은 증가하지 않았으나 0.3초의 용착 시간 이후로는 오히려 최대 인장력이 점점 줄어드는 경향을 알 수 있었다.
- (5) 0.32초의 용착 시간 이후로 최대 인장력이 줄어드는 현상은 과도한 용착으로 인하여 시편의 손상으로 인해 생기는 문제점 때문인 것으로 파악 하였다.

#### 참고 문헌

- (1) Park, H. S., Kim, W. Y., and Kang, C. Y., 1996,

- “Welding and Bonding of Dissimilar Metal Steel/ Nonferros Metal,” *Journal of the Korean Welding and Joining Society*, Vol. 14, No. 6, pp. 1~7.
- (2) Lee, S. I. and Hong, S. H., 2007, “Nonliner Analysis of ultrasonic horn model for flip-chip bonding,” *Proceedings of the KSMTE Autumn Conference*, pp. 523~528.
- (3) STAPLA Ultrasonic Corp., n.d, viewed 12 October 2009, <<http://www.staplautronics.com/c2-ultra/ultra.htm>>.
- (4) Branson Ultrasonic Corp., n.d, viewed 5 September 2009, <[http://www.amtechultrasonic.com/articles\\_theory.asp](http://www.amtechultrasonic.com/articles_theory.asp)>.
- (5) Lee, B. G., Kim, K. L., K., and Kim, K. E., 2008, “Design of Ultrasonic Vibration Tool Horn for Micromachining Using FEM,” *J. of KSMTE*, Vol. 17, No. 6, pp. 63~70.
- (6) Seah, K. H. W., Y. S. Wong, and Lee, L. C., 1993, “Design of tool holders for ultrasonic machining using FEM,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 37, pp. 810~816.
- (7) Liu, Z., Kim, H. S., Park, J. R., and Kim, J. T., 2004, “Surface profile measurement with FFT method and stabilized interferometer,” *Proceedings of the KSMTE Autumn Conference*, 2004, pp. 269~273.