

초음파 용접기 시스템 설계에 관한 연구

이인혁\*, 송성근\*, 이상훈\*\*, 박성준\*, 천창근\*\*\*, 윤철호\*\*\*\*  
 전남대학교\*, 부산대학교\*\*, RIST\*\*\*, 한국생산기술연구원\*\*\*\*

A study of ultrasonic welding system design

In-Hyuk Lee\*, Sung-Geun Song\*, Sang-Hun Lee\*\*, Sung-Jun Park\*, Chang-Keun Chun\*\*\*, Cheol-Ho Yun\*\*\*\*  
 Chonnam National University\*, Pusan National University\*\*, RIST\*\*\*, Korea Institute of Industrial Technology\*\*\*\*

**Abstract** - The ultrasonic welding is with features of high electric conductivity and hot conductivity when it is used in metallic bond, high electric conductivity and hot conductivity when it is used in various metallic bonds, excellent quality when it is used for advanced junction, easiness when it is used in various metallic bonds, being needless for the exhaustive material and being benefit for the environment. Currently the use of ultrasonic welding is increasing in the industrial fields such as the automobile battle, the refrigerator, the air conditioner, the battery and the solar cell junction. But the production ability is insufficient in our country and it is necessary to explore the core technology of the ultrasonic welding. In this paper, the output LC resonance filter and 35kHz square wave on occurrence Full Bridge plans was designed. The output examination of the ultrasonic oscillator and the ultrasonic welding examination were done. The method for getting more smooth result in the ultrasonic welding machine system was researched.

1. 서 론

초음파 금속 용접기의 원리는 응력 집중에 의한 발열, 진동 변위(진동속도, 진폭)에 의한 발열이 복합적으로 작용하며 이와 같은 작용을 간단히 설명하면 다음과 같다.

두 개의 피접합물은 실제로 산화피막이나 불순물이 표면에 묻어 있고 표면이 많은 돌기 형태를 띠고 있다. 이 상태에서 두 피접합물을 강한 압력으로 누르고 초음파로 진동을 시키면 미끄럼 이동에 의해 피접합물의 접촉면에 있는 산화 피막이 제거되고, 불순물 파괴 작용이 있는 후 깨끗한 피접합물의 면까지 접촉되어 탄성 변형이나 소형변형에 의해 두 면이 응착 접근하여 접착제와 같이 원자간 결합이 작용하고 이것에 마찰열이 가해져 가열, 용착(용접)이 이루어진다. 그러므로 초음파 금속 용접 방식은 기존의 금속 용접 방식에 비해 다음과 같은 장점을 지니고 있다.

- 펌프, 플럭스 등의 소모품이 필요 없음.
- 유해가스의 발생이 없음
- 이종금속의 용접이 가능.
- 피용접재의 세정 처리 불필요.
- 저항 용접에 비해 작은 소비전력.

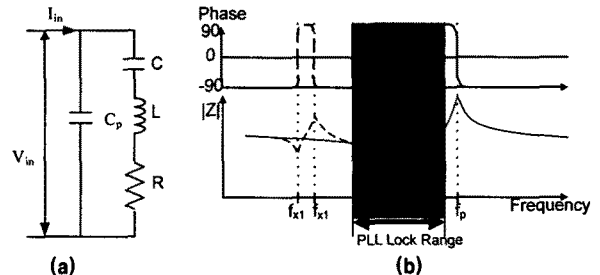
이와 같은 초음파 금속 용접을 하기 위해서는 크게 전기적 발진부와 기계적 용접부가 필요하며, 기계적 용접부는 압전체를 볼트로 조인 형태의 BLT(Bolt Clamped Langevintype Transducer)라는 진동자와 기계적 변위를 피접합물에 맞게 증폭시키기 위한 부스터(booster), 그리고 실제로 피접합물에 접촉되어 기계적 변위를 피접합물에 전달하는 혼(horn)으로 구성되어 있다. 전기적 발진부는 고주파(10 ~ 40kHz)의 정현파를 발생시키기 위한 인버터이며 최대 출력을 내기 위해서는 PLL 제어를 통한 출력 주파수 제어 및 다양한 용접 파라미터를 설정 할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 대용량(1.2kW급) 금속 초음파 용접기에 사용가능한 35kHz 발진부를 개발 하였으며, 개발된 발진부는 '테크소닉'사의 초음파 기계적 용접부에 실제로 장착하여 용접 특성을 확인 하였다.

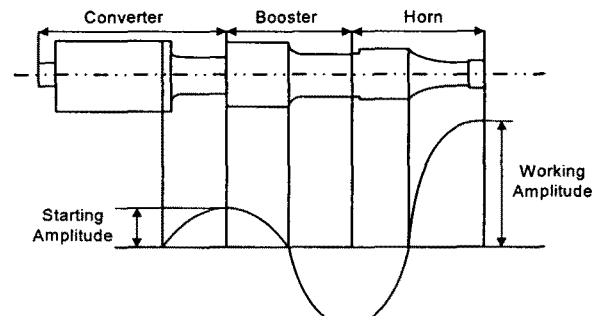
2. 진동자 및 발진부

2.1 진동자 특성

압전소자를 이용한 진동자의 등가 회로는 그림 1의 (a)와 같으며, L, R, C에 의한 직렬 공진과 Cp에 의한 병렬 공진이 모두 존재 한다. 이와 같은 진동자 등가 회로의 주파수에 대한 임피던스 특성은 그림 1의(b)와 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 임피던스가 최소가 되는 주파수는 직렬공진 주파수(fs)이며 임피던스가 최대가 되는 주파수를 병렬공진 주파수(fp)라 한다. 그러나 실제 초음파로 용접을 하기 위해서는 충분한 기계적 변위를 가지게 그림 2와 같이 Booster와 Horn을 이용하여 기계적 변위를 증폭 하게 된다. 이와 같이 기계적 결합에 의해 압전체의 직렬, 병렬공진주파수(fs, fp)외에 다른 공진 점(fx1, fx2)들이 발생 한다. 그러므로 PLL제어에 의해 주파수를 가변 할 수 있는 범위는 그림 1의 (b)에서 표현한 것과 같이 직렬 공진 주파수 영역으로 한정된다.



〈그림 1〉 압전체 전기적 등가회로 및 초음파 용접기 주파수 특성



〈그림 2〉 초음파 용접기 기계적 변위특성 및 구조

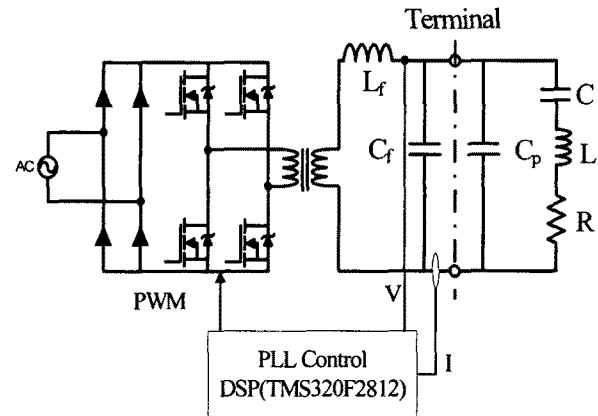
2.2 발진부

초음파를 이용하여 용접을 하기 위해서는 진동자에 전원을 공급할 발진부가 있어야 하며 초음파 용접용 발진부는 다음과 같은 특징을 가지고 있어야 한다.

- 최대 효율 및 출력 제어가 가능 하여야 함.
- (PLL 제어를 통한 발진부의 출력 주파수를 가변)
- 압전체의 정확한 발진을 위해 정현파를 출력하여야함.
- 최대 기계적 변위를 위해 고압(수kV)발생.

이와 같은 조건을 만족시키기 위해 본 논문에서는 그림 3과 같이 Full Bridge 인버터의 출력단에 LC 병렬 공진형 저주파 통과 필터를 사용한다.

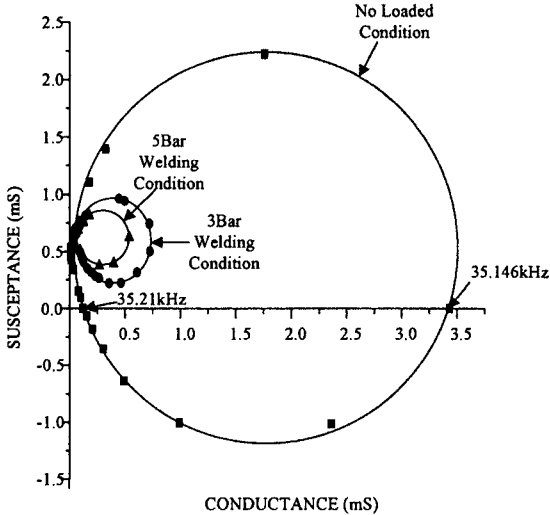
LC필터의 설계시 LC 병렬 공진점이 발진기의 PLL 주파수 범위에서 벗어나 있도록 설계를 하여야 하며 직렬 리액터(Lr)의 값은 발진기의 정출력을 낼 수 있는 범위 내에서 설계 하여야 한다. 본 논문에서는 35kHz용 발진기를 위해 LC 병렬 공진점을 약 38kHz가 되게 설계 하였다.



〈그림 3〉 초음파 발진기 및 용접기 등가회로

### 2.3 35kHz 용접기의 어드미턴스 루프

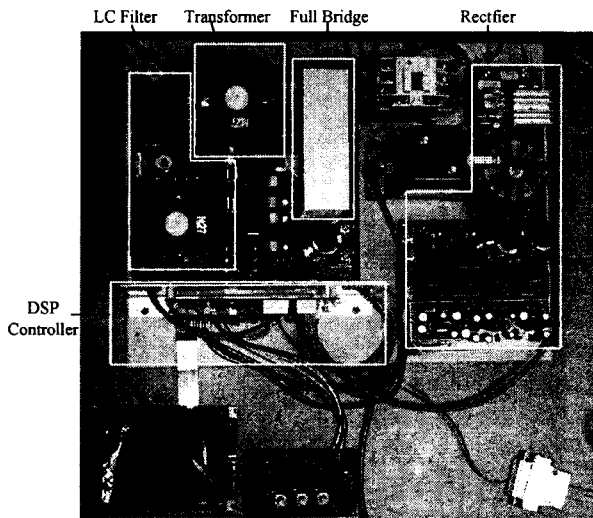
그림 4는 35kHz 금속 용접기의 Free admittance loop를 나타내고 있다. 본 논문에서는 각 부하 조건 별로 어드미턴스 루프를 계속하기 위해 용접기에 100Vp-p 정형파를 주파수를 변화 시켜 가면서 입력 하여 계산 하였으며 그림 4는 용접할 금속은 일정하게 하고 용접기의 압력을 0Bar(무부하), 3Bar, 5Bar로 하였을 때의 어드미턴스 루프를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 무부하시에는 공진점이 35.146kHz 이며 반공진점은 35.21kHz 이다. 그러나 실제 용접시에는 공진점이 존재 하지 않음을 알 수 있으며 이는 용접시 부하가 순수 저항만으로는 동가가 되지 않는다는 것을 뜻한다. 또한 용접시 최대 출력을 위해서는 위의 그림 3에서 나타낸 것과 같이 PLL제어를 통해 발진기의 출력 주파수를 가변 하여야 한다.



〈그림 4〉 35kHz 금속 용접기의 부하 조건별 Free Admittance Loop

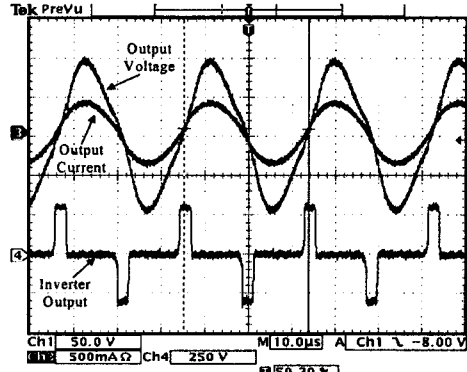
### 3. 실험 결과

그림 5는 실제 제작한 35kHz 금속 용접용 발진부이며, 발진부는 크게 정류부와 인버터, 고주파 절연 변압기, 출력 LC 공진 필터, DSP 제어부, 공압 제어부로 나뉜다. 본 논문에서는 발진부의 제어 및 MMI 구성을 위해 고속의 DSP인 TMS320F2812를 사용 하였다. 출력 LC 공진필터는 압전체의 공진 주파수 35kHz 보다 큰 38kHz 부근이 되도록 L값은 1.1mH로 하였으며 C값은 15.7nF이 되도록 설계 하였다.

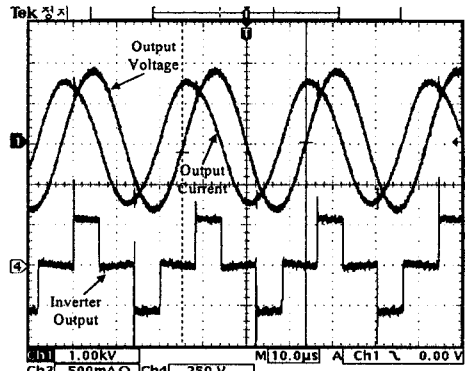


〈그림 5〉 제작된 35kHz 금속 용접기의 발진부

그림 6은 용접시 발진부의 출력 전압, 전류 및 인버터 출력을 나타내고 있으며, (a)는 무부하시 발진부 출력을 (b)는 실제 용접시의 출력 파형을 나타내고 있다. 그림 6의 (a)에서 볼 수 있듯이 무부하시에는 공진 점이 맞아져 전압과 전류가 거의 동상으로 제어 됨을 확인 할수 있으며, (b)의 용접시에는 출력전압의 최대값이 2kV까지 상승함을 확인 할 수 있다. 또한 그림에서 볼 수 있듯이 인버터의 출력은 35kHz 부근의 구형파이나 발진기 출력단의 최종 출력 전압을 고조파가 제거된 정형파임을 확인 할 수 있다.



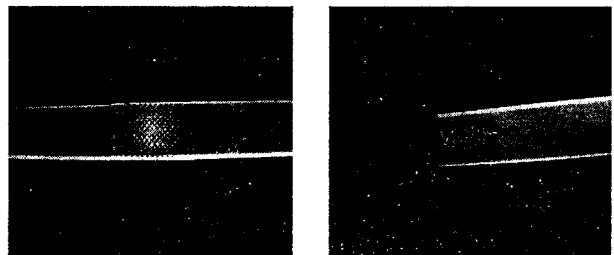
(a) 무부하시 발진기 출력



(b) 부하시 발진기 출력

〈그림 6〉 발진기 출력 전압 전류 파형

제작된 용접기를 이용하여 실제 금속 용접 시험을 한 결과 그림 7과 같이 2개의 0.5mm 알루미늄판이 주변의 변형 없이 용접이 됨을 확인 할수 있다.



〈그림 7〉 실제 금속 용접 결과

### 4. 결 론

본 논문에서는 35kHz 금속 용접용 초음파 용접기의 발진부를 개발 하고자 하였으며, 발진부 개발을 위해 금속용접기의 용접부 특성을 파악 하였다. 금속 용접기의 어드미턴스 특성이 발진부의 주파수에 의해 가변하므로 발진부에서 최대 출력을 내기 위해서는 발진부는 PLL제어를 통해 출력 주파수를 가변해 주어야 함을 확인 하였다. 또한 압전체에 고압의 정형파의 전원을 인가하기 위해 Full-Bridge의 출력단에 LC 공진형 필터를 사용하여 인버터 출력의 구형파를 고조파 성분을 제거한 정형파의 고압 전원을 인가 하였다. 본 논문에서는 35kHz 금속 용접용 발진기를 실제 제작하였으며 제작된 발진기를 테크소닉사의 금속 용접기에 부착하여 금속 용접 시험을 시행 하여 우수한 금속 용접 결과를 확인 하였다.

### 〈참 고 문 헌〉

[1] Lorenzo Parrini, "Design of Advanced Ultrasonic Transducers for Welding Devices", IEEE Trans. Sonics Ultrason. Vol 48, No 6, 1632~1639, Nov 2001.  
 [2] J. TSUJINO, T. UEOK, Y SUZAKI, K UCHIDA, "ULTRASONIC BUTT WELDING OF THICK METAL PLATE SPECIMENS USING A CAPACITY STATIC INDUCTION THYRISTOR POWER AMPLIFIER" IEEE Ultrasonic Symposium, 371~374, 1990.  
 [3] 이종락, "초음파와 그 사용법", 세화출판사