

초음파 트랜스듀서의 종진동을 이용한 알루미늄 와이어 용접

이 건 복*, 김 희 수*

Aluminum Wire Bonding by Longitudinal Vibration of Ultrasonic Transducer

G. B. Lee,* H. S. Kim*

ABSTRACT

In recent years, ultrasonic has been widely applied in measurement and industrial fields and its application range has been expanded as a result of continuous research and development. Wire Bonding Machine, an instrument fabricating semi-conductor, makes use of ultrasonic bonding method. Specially, the method utilizes the longitudinal vibration of ultrasonic transducer composed of piezoelectric vibrator and horn.

This work investigates the design conditions affecting the dynamic characteristics through the theoretical and experimental analysis. It conducts separately the system identification of piezoelectric vibrator in time domain and the modal analysis of horn in frequency domain. The integrated modeling is conducted via a combination of dynamic identification of piezoelectric vibrator and theoretical analysis of horn. Then comparison is made for theoretical and experimental results of the dynamic characteristics of the ultrasonic transducer comprised of piezoelectric vibrator and horn.

From the results of the comparison we develop the design technique of ultrasonic transducer using dynamic characteristics analysis and propose the possibility of ultrasonic bonding considering the optimal conditions for the longitudinal vibration of ultrasonic transducer and other conditions.

Key Words: Ultrasonic Wire Bonding Machine(초음파 와이어 용접기), Ultrasonic Vibrator (초음파 진동자), BLT(볼트 조임 램지방 진동자), Nodal Plane(진동절면), ARMA Model(자기회귀 이동평균 모델)

1. 서 론

최근 초음파의 응용 분야는 음파의 파동 성질을 이용하는 정보, 측정 분야와 초음파의 고에너지를 사용하는 분야로 대표되며, 초음파의 고에너지를 이용한 예로는 초음

파 용접기와 가공기등을 들 수 있다. 초음파 용접기는 초음파의 진동 에너지를 응용한 것으로, 전기 도체인 가는 와이어(Wire)를 집적 회로(IC)와 리드 프레임(Lead frame)을 연결하는 기계 장치로, 구조는 Fig. 1과 같은 장치로 크게 초음파 발전기와 압전 진동자(Piezoelectric

* 숭실대학교 기계공학과

vibrator)와 혼(Horn)의 집합체인 초음파진동자 그리고 용접공구(Bonding tool)로 구성되어 있다.

용접은 기본적으로 용접 대상물에 열을 가하여 용융상태에 접합하는 방법이 있다. 그러나 이와 같은 열을 이용한 용접은 연속적인 작업에서 열의 손실이 나타나며 모재와의 용착에 많은 문제가 있다. 또한 집적회로와 핀을 연결하는 와이어 용접의 고정밀 자동화에는 적합하지 않다. 따라서 초음파를 이용한 용접이 검토되며, 초음파용접의 과정은 초음파로 발진된 교류전압이 압전진동자에 진동을 일으키고, 진동은 혼(Horn)에 증폭 전달되어 용접면 사이에서 고속 반복 마찰을 행하는 것으로, 대기 중에서도 가능하며, 빠른 작업이 진행될 수 있다는 잇점이 있다.

용접된 와이어는 모재와 같은 접합강도를 유지하기 위한 접합조건은 마모계면의 온도가 용접에 있어서 주요한 인자이고, 압력과 진동에 의한 반복수는 2차적 인자로 발열 에너지를 경유해서 기여한다. 따라서 용접시 압전진동자의 진동에너지가 혼의 고유진동수를 추종하며 소모되는 에너지를 최소화하기 위해 압전진동자의 공진주파수와 일치된 혼의 설계가 필요하다.

본 논문에서는, 60kHz의 공진주파수를 고려한 압전세라믹의 볼트조임방진동자(BLT)를 제작하여 압전진동자로 사용하며, 또한 혼의 설계시 위에 언급한 주파수 일치치를 위해 혼의 이론적 적용을 검토한다. 특히, 혼에 대해서는 이론과 실험적 동특성해석의 결과를 비교하며, 이론과 실험을 통해 제작된 초음파진동자를 이용해 알루미늄 와이어 용접의 가능 여부를 확인하고자 한다.

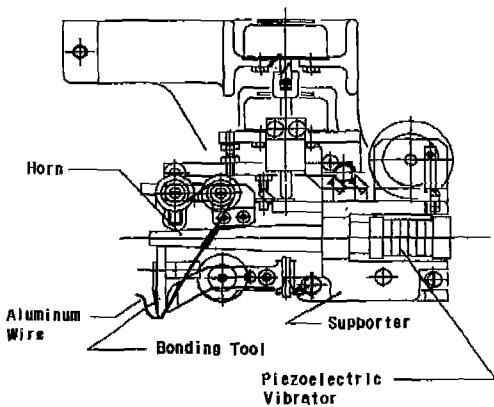


Fig. 1 The layout of ultrasonic aluminum wire bonding machine head

2. 관련 이론

2.1. 초음파 용접

초음파를 이용한 와이어의 용접은 용접작업 전에 와이어 또는 그 외 집합부에 예열을 가하여, 접합되는 와이어의 끝을 용융상태로 만들거나 집합부 주위의 온도를 높인 다음, 용착시 초음파 진동을 가진 하는 방법과 예열없이 초음파진동을 이용하여 와이어를 용접하는 방법으로 나누어 볼 수 있다. 와이어의 용접을 초음파의 진동만을 이용하는 것은 종진동하는 용접공구에 일정 하중을 와이어에 작용시켜 모재의 표면과 접합하는 와이어의 표면조직이 서로 엉키는 것이다. 이 용착이 가능하기 위해서는 와이어의 용융상태까지 이르는 이상의 에너지가 필요하다. 에너지의 상승효과는 하중과 종진동에 의한 용접공구와 와이어의 마찰을 이용한 고속반복마찰을 통해 에너지를 발생시키는 것으로, 용접작업의 속도는 종진동의 주파수와 비례적 관계에 있다.

초음파용접 순서는 초음파진동자의 용접공구에 밀착된 와이어의 위치 선정후 용접공구에 일정 하중을 가한 상태에서 모재와 접촉하며 초음파의 진동이 시작된다. 용접의 질을 높이기 위해 초음파 진동으로 와이어와 집적회로 의 핀에 덮여 있는 산화피막을 제거하고 나면 용접공구에 의한 마찰을 이용하여 모재와 용접하게 된다.

2.2. 압전 진동자

2.2.1 압전 이론

대표적으로 사용되는 압전진동자의 원리는 1880년 Cuire가 발견한, 크리스털의 결정 방향에 대해 기계적 응력을 가했을 때 전기적 분극이 생기는 압전효과의 반대적 현상인 역압전 효과를 이용한 진동자로, 현재는 크리스털보다는 압전 효과가 뛰어난 압전세라믹이 실용화되고 있다. 압전 세라믹은 강유전체의 세라믹을 항전계 이상의 전압을 가하여 잔류분극처리 되어 있다. 압전 세라믹은 화학 성분의 양을 바꿈으로써 압전 특성을 조절할 수 있으며 넓은 온도 범위에 걸쳐 유전율이 높고, 압전성이 우수하며 전기기계 결합계수(K)와 Cuire 온도가 높아 온도의 안정성이 우수하다는 잇점이 있다. 압전효과의 기본식과 제정수를 간략화한 관계식으로 나타내면 아래와 같다. 여기에서 전계를 E, 전기적 변위를 D, 기계적응력을 T, 변위를 S라고 하면

$$\begin{aligned}
 S &= S^E + dE \\
 D &= 4\pi dT + \epsilon^T E \\
 (D &= dT + \epsilon^T E)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

위 식은 d형식에 따른 압전 기본식으로 나타낸 것으로 S^E는 전계셀이 일정할때의 탄성계수, ε^T는 용력셀이 일정할때의 유전율, d는 압전외정수이다. 식(1)의 형식의외 e(압전용력정수), g(압전출력계수), h(압전용력정수)형식으로 나타낼 수 있으며 관계식은 아래와 같다.

$$d = \left(\frac{D}{T}\right)_E = \left(\frac{S}{E}\right)_T \quad (2)$$

$$e = \left(\frac{D}{S}\right)_E = -\left(\frac{T}{E}\right)_S$$

$$g = \left(\frac{E}{T}\right)_D = \left(\frac{S}{D}\right)_T$$

$$h = -\left(\frac{E}{S}\right)_D = -\left(\frac{T}{D}\right)_S$$

이러한 관계의 압전효과를 나타내는 것으로는 전기기계 결합계수(K)를 사용하며 식 (3)과 같다.

$$\frac{1}{K^2} = a \cdot \frac{f_r}{f_a - f_r} + b \quad (3)$$

위의 식 (3)에서 a와 b는 진동자의 형태에 의해 정해지는 상수로 원통형이 종진동하는 경우에는 a=0.405, b=0.810이 된다. 또한 f_r은 압전세라믹의 공진 주파수, f_a은 압전 세라믹의 반공진 주파수로 압전세라믹에 교류 전압을 인가하여 주파수를 변화시키면 일정 주파수에서 압전세라믹이 매우 강하게 진동한다. 이 주파수를 공진 주파수라 하며, 공진 주파수를 이용한 진동은 높은 기계적진동을 나타낸다. Fig. 2와 같은 압전세라믹의 등가회로상에서 전극간의 어드미턴스가 영위상이 되는 2개의 주파수 가운데 높은 쪽이 공진 주파수, 낮은 쪽은 반공진 주파수이다. 따라서 압전세라믹의 주파수 결정에서 기계적 공진 주파수를 이용하는 경우, 진동의 변위는 Q배가 되고 대단히 좋은 효율의 진동자를 얻을 수 있다. Q는 기계적확대도(Mechanical Quality)를 나타내는 것으로 다음식으로 나타내어진다.

$$Q = \frac{1}{2\pi \cdot f_r \cdot Z_n \cdot C |1 - (f_r / f_a)^2|} \quad (4)$$

여기서 Z_n은 공진 임피던스, C는 정전용량이다.

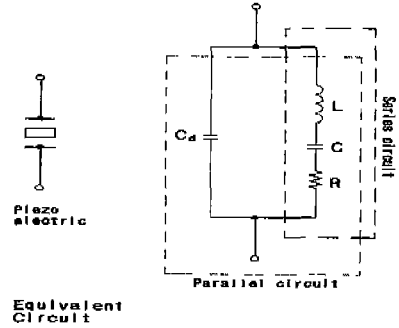


Fig. 2 Equivalent electric circuit of piezoelectric ceramics

2.2.2 압전 진동자의 제작 이론

압전세라믹을 다른 기계적 요소와의 체결 문제를 해결하고 기계적 진동의 효과를 증대하기 위하여 볼트조임량 지방 진동자의 모양으로 조합할 필요가 있다. 우선 일반적으로 알루미늄 와이어 용접기에 사용되는 주파수가 60kHz로 상용되어 있는 관계로 초음파 트랜스듀서의 제작은 60kHz에 맞추어 제작하기로 한다.

이로써 압전 세라믹의 공진 주파수를 60kHz가 되도록 아래의 식 (5)에 따라 압전 세라믹의 두께를 맞춘다.

$$t = \frac{N_r}{f_r} \quad (5)$$

여기서 N_r는 압전 세라믹의 제조상 나타나는 고유한 값인 주파수상수이다. 두께가 결정된 압전 세라믹은 초음파 트랜스듀서의 최대 변위 출력을 얻기 위해 Fig. 3과 같이 4개의 압전 세라믹사이에 전극판을 삽입한다. 교류 입력 전압의 인가시 각각의 압전 세라믹의 길이 변화가 전극판에 의해 유도되는 상대적 변위의 작용으로 전체적으로는 3/4 파장(λ)으로 최대의 변위로 진동할 수 있도록 제작하였다. 또한 형태와 체결 문제를 해결하기 위해서는 양쪽

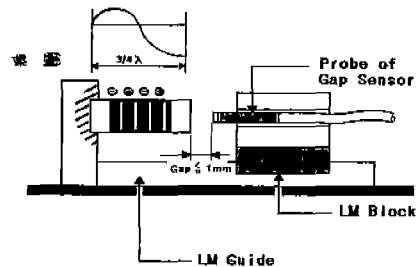


Fig. 3 Configuration of piezoelectric vibrator

끝을 금속블록에 연결 구속하였으며, 금속과 압전세라믹을 볼트로 체결하였다. 이를 볼트조임량지방 진동자라 하며, 고온에서 사용 가능하며 금속블록으로 체결되어 견고하고 체결 및 분리가 간편하다는 잇점이 있다.

2.2.3 압전 진동자의 시스템 인식

이와 같이 제작된 압전진동자는 금속블록과 볼트의 체결로부터 실제적인 진동에 영향을 받기 때문에 실험적으로 측정된 압전진동자의 시스템 인식이 필요하다.

따라서 압전진동자의 이산화된 시간의 입출력 데이터, 즉 입력 전압에 대한 변위의 측정으로 압전 진동자의 시스템 인식을 수행한다. 압전진동자의 동력학적 입출력 모델로는 입력 전압 $u(k)$ 와 출력 변위 $y(k)$ 에 관계되는 식 (6)과 같은 ARMA(Auto Regressive Moving Average) 모델을 사용한다.

$$y(k+1) = -\sum_{i=1}^n a_i y(k+1-i) + \sum_{i=0}^m b_i u(k+1-i-d) = \theta^T \phi(k) \quad (6)$$

입출력에 관련된 파라미터 b_i 와 a_i 그리고 관측 벡터 (Observer vector)는 아래와 같다.

$$\theta^T = [a_1 \cdots a_n, b_0 \cdots b_m] \quad (7)$$

$$\phi(k)^T = [-Y_E(k) \cdots -Y_E(k-n+1), U_E(k-d) \cdots U_E(k-d-m+1)] \quad (8)$$

파라미터의 추정은 식 (9)의 PAA(Parameter Adaptation Algorithm)을 이용하여 추정 파라미터 $\hat{\theta}(k+1)$ 을 추정하였다.

$$\hat{\theta}(k+1) = \hat{\theta}(k) + F(k) \phi(k) \varepsilon(k+1) \quad (9)$$

식 (9)의 적응게인(Adaptation gain)의 $F(k+1)$ 은 Lemma의 정의에 따라 아래와 같이 게인의 값을 추정하며

$$F(k+1) = F(k) - \frac{F(k)\phi(k)\phi(k)^T F(k)}{1 + \phi(k)^T F(k)\phi(k)} \quad (10)$$

또한, 예측오차(A posteriori prediction error)의 $\varepsilon(k+1)$ 는 식 (11)과 같다.

$$\varepsilon(k+1) = \frac{Y_E(k+1) - \hat{\theta}(k)^T \phi(k)}{1 + \phi(k)^T F(k)\phi(k)} \quad (11)$$

이와 같은 PAA를 이용하여 압전진동자의 입출력에 관계된 파라미터를 추정할 수 있다.

2.3. 혼 (Horn)

2.3.1 혼의 제작 이론

전기적인 고주파 신호를 압전진동자에 의한 기계적 진동으로 변환하여 와이어 용접에 사용하기 위해서는 진동의 전달 매체가 필요하다. 이러한 진동을 종방향으로 전달하는 매개체로 혼을 사용하게 되며 혼은 와이어 용접기에 장착하기 위한 형태와 종진동 전달과정에서 진폭을 증폭할 수 있는 형태로 주로 사용된다.

혼에 대한 운동 방정식은 일차원적 파동 전파 이론식을 적용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_x \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = c_h^2 \frac{\partial}{\partial x} (S_x \frac{\partial y(x,t)}{\partial x}) \quad (12)$$

위의 식은 종방향 진동을 연속체로 모형화하여 종방향에 대한 변형만이 존재하며, 단면에서의 응력은 균일하게 분포한다는 가정하에 수립한 것이다. 여기서 S_x 는 길이 방향에 대한 단면적이며, c_h 는 재질에서 음속을 나타내고, 위 식의 일반해로부터 단면적의 축소는 진폭의 증폭 요인임을 알 수 있다. 따라서 혼의 형태는 직선적인 부분에 연속적으로 단면이 축소되는 원추형을 연결한 형태가 되며 Fig. 4와 같다. 혼의 경계조건은 길이 방향에 대한 응력과 진폭의 관계로 부터

$$\begin{aligned} x = 0 & : \frac{\partial y_1}{\partial x} = 0 \\ x = l_1 & : y_1 = y_2, \frac{\partial y_1}{\partial x} = \frac{\partial y_2}{\partial x} \\ x = l_1 + l_2 & : \frac{\partial y_2}{\partial x} = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

과 같으며, 식 (12)는 경계 조건에 의해 혼의 길이비와 단면적비의 관계로 나타낸 공진 조건식으로 표현할 수 있다.

$$\tan \alpha l_1 = \frac{\alpha l_2 (\sqrt{S_1/S_2} - 1)^2 - [\sqrt{S_1/S_2} (\alpha l_2)^2 + (\sqrt{S_1/S_2} - 1)^2] \tan \alpha l_2}{\sqrt{S_1/S_2} \alpha l_2 [\alpha l_2 + (\sqrt{S_1/S_2} - 1) \tan \alpha l_2]} \quad (14)$$

여기서 α 는 파장 정수($=c_v/2\pi f_l$)이다. 압전 진동자의 입력에 대한 혼의 출력단에서의 진폭 확대율은 아래와 같다.

$$M = \frac{y_2}{y_1} = \left| \frac{\sqrt{S_1/S_2} \cos \alpha l_1}{\cos \alpha l_2} \frac{\alpha l_2}{\alpha l_2 + (\sqrt{S_1/S_2} - 1) \tan \alpha l_2} \right| \quad (15)$$

따라서 직선부의 길이와 단면적을 정하고 진폭 확대율을 결정하면 위의 식으로부터 원추형의 길이와 작은쪽의 단면적(S_1)을 결정할 수 있을 것이다.

혼의 직경과 길이는 고유 진동수에 관계하며, 길이는 초음파 용접의 작업시 회전에 의한 관성력이 작용하여 정확한 위치 이동의 장애가 될 수 있다. 따라서 초음파에 의한 혼의 진동의 파장 (λ_h)을 이용한 길이비로 축소해야 한다.

$$\lambda_h = \frac{\sqrt{\frac{Y^E}{\rho_h}}}{f_r} = \frac{c_h}{f_r} = 2l_1 \quad (16)$$

식 (16)에 의해 Fig. 4에서와 같이 직선부 길이 l_1 에서 진동의 반파장을 유도하여 직선부의 중점에서 진동절면(Nodal plane)이 생기도록 한다. 진동절면은 초음파진동자를 고정할 수 있는 지지대로 사용하면 초음파 진동 에너지의 소모를 극소로 줄일 수 있으며, 또한 초음파 진동에 의한 진동절면에서 작용하는 최대의 응력 보강재로도 쓰일 수 있는 이점이 있다. 더욱이 진동절면의 유도를 정확하게 하기 위해서는 진동절면의 위치에서 계단(Step)형을 만들어 진동 파장의 불연속적인 부분을 만들어 사용할 수 있다.

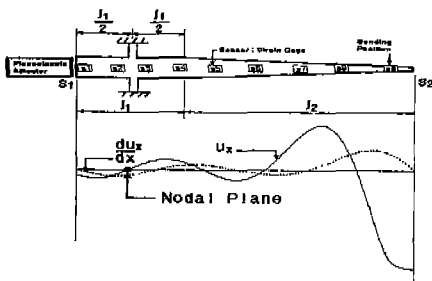


Fig. 4 Configuration of ultrasonic transducer and wavelength of longitudinal vibration

3. 실험 장치 및 방법

3.1. 실험 장치

압전진동자의 진동 진폭을 측정하기 위해 Fig. 3과 같이 압전 진동자가 3/4 파장을 이루도록 제작된 것을 이용하여 끝 부분을 고정하여 앞부분에서 캡센서로 진폭을 측정한다. 캡센서의 고정 위치를 조정할 수 있게 고정 블록에 직동기구(LM guide)을 부착시켰다. 또한 Fig. 4와 같이 압전 진동자와 혼이 연결된 상태에서 혼의 길이 변화에 대한 종진동 변위를 측정하고자 길이 등분으로 스트레인 게이지를 부착하였다.

위와 같은 실험을 통해 최적의 조건으로 초음파 트랜스듀서의 압전 진동자와 혼을 설계 제작하였고 Fig. 5와 같은 용접기 헤드(Bonding head)에 초음파트랜스듀서를 부착하여 와이어의 용접을 시도 하였다. 용접은 직경 $\phi 150\mu\text{m} \sim \phi 400\mu\text{m}$ 까지의 알루미늄 와이어를 알루미늄 금속판에 용접하였고 용접시 작용하는 하중은 솔레노이드를 이용한 변위의 조정으로 하였다. 또한, 과변위에 의한 과부하를 예방하기 위해 솔레노이드의 전압을 콘트롤할 수 있게 설계되어 있다.

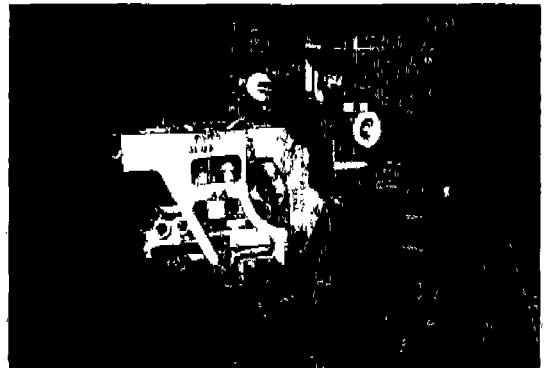


Fig. 5 Close view of the wire bonding machine head (①: Horn ②: Solenoid ③: Z axis ④: X-Y Table)

3.2. 실험 방법

초음파진동자는 압전진동자와 혼이 결합된 집합체로 구성되어 있다. 고주파 신호에 의한 압전진동자의 진동은 혼에 결합된 상태에서 전달되므로 결합 상태에서 혼을 진동하는 압전 진동자의 진동은 측정이 불가능하다고 할 수 있다. 따라서 Fig. 6과 같은 방법으로 압전 진동자의 시스템 인식을 수행한다. 신호 발생기의 입력 전압과 캡센서의 변위 출력의 데이터는 시간적 오차를 줄이기 위해서

은 라인(On line)으로 처리된다. 측정 결과 입출력에 대해 외란(Noise)의 영향이 거의 나타나지 않은 관계로 시스템 인식의 방법은 PAA를 이용한 직병렬 방법(Series parallel method)을 사용하였다.

이렇게 인식된 압전진동자의 실제적인 모델은 시뮬레이션 프로그램인 Matlab의 Simulink에서 부분적인 시스템으로 구성하여 유한요소법(FEM)을 이용한 혼의 모델과 함께 전체적 시스템으로 구성한다. 입력값으로는 백색 잡음(White noise)을 주며 각각의 압전진동자를 통과한 출력과 전체 시스템을 통과한 출력을 FFT(Fast Fourier Transform)의 알고리즘을 이용한 Matlab 프로그램으로 주파수 영역에서의 스펙트럼(Spectrum)을 구하고 나면 혼의 이론적 해석의 주파수 응답은 가장 함수를 이용한 커브 피팅으로 구할 수 있다. Fig. 7은 이론적 해석과 실험적 해석의 관계를 나타낸 것이다.

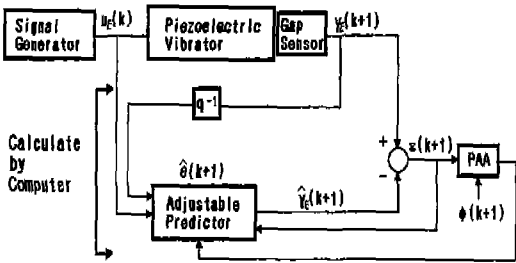


Fig. 6 Recursive identification method of piezoelectric vibrator

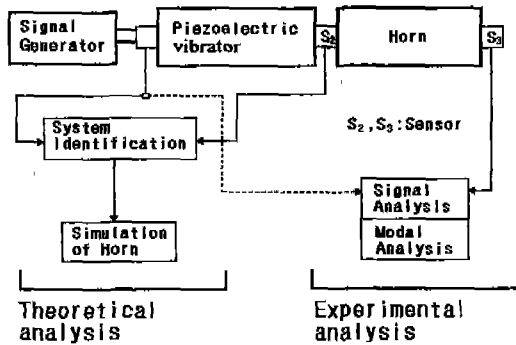


Fig. 7 Components of theoretical and experimental system for dynamic characteristic analysis

4. 실험 결과

4.1. 초음파 진동자의 동특성

Fig. 8은 압전 진동자의 시스템 인식의 파라미터 수렴

의 결과, 오차가 수렴되고 있으며, 이로써 추정된 파라미터가 실제 파라미터에 접근됨을 보이고 있다. Fig. 9는 압전 진동자의 입력 전압에 대한 출력 변위의 주파수 응답으로 처음에 의도한 압전 세라믹의 공진 주파수 60kHz외에도 피크치 응답이 나타나고는 있으나 최대 피크치는 60kHz로 처음에 의도한 공진주파수에서 최대로 진동하게됨을 알 수 있다. 따라서 Fig 8과 Fig 9로 압전 진동자의 시스템분석과 공진주파수를 확인 할 수 있다.

Fig. 10은 용접 작업이 이루어지는 혼의 끝단인 용접점(Bonding Position)에서, 입력이 의사가진으로 주어질 때의 종진동의 변위를 측정된 진동실험에 의한 주파수 응답과 압전진동자의 시스템분석에 의한 결과와 유한요소법에 의한 혼의 이론을 결합한 이론적 해석의 주파수 응답을 비교하였다. 비교 결과 피크 응답의 위치가 거의 동일한 주파수에서 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 혼의 실제 진동해석이 이론에 의한 혼의 해석과 크게 차이가 없음을 보이는 것으로 앞에 언급한 혼의 설계에 무리가 없음을 보이고 있는 것이다.

Fig. 11은 실험의 진동 응답을 커브 피팅을 통해 얻은 진동 모드이다. 그림으로부터 혼의 종진동 진폭은 직선부에서 보다 원추형에서 확실한 진폭의 증폭이 이루어짐을 알 수 있다. 또한 용접작업의 공진주파수인 60kHz에서의 진동 모드 Fig. 12를 보면 이론해석한 진동 모드와 실험에 의한 진동 모드가 거의 유사한 모드를 보이고 있다. 그러나 원추형 부분에서 이론과 실험의 진동 모드가 약간의 오차를 보이고 있으며, 이것은 혼의 종방향 진동 측정시 스트레인 게이지 부착의 부정확함과 혼 재질의 불균질성 그리고 가공오차에 기인된 것으로 생각된다. 또한 Fig. 12에서 혼의 직선부에 대한 진동 모드에서는 혼을 지지할 수 있는 점으로 길이의 중심에 진동 절면(Nodal Plane)이 존재하고 있음이 이론과 실험에서 정확히 확인되고 있다.

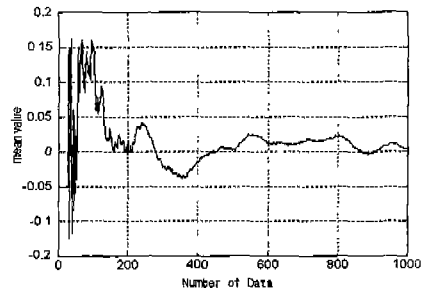


Fig. 8 Value of error [ε(k+1)]

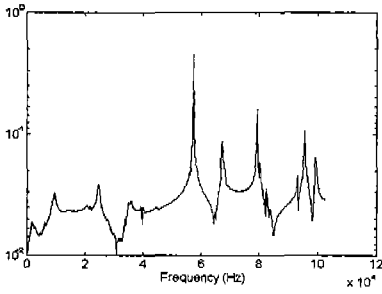


Fig. 9 Experimental frequency response of piezoelectric vibrator

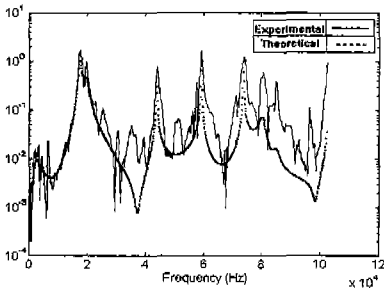


Fig. 10 Experimental and theoretical frequency response of horn ($x=l_1+l_2$)

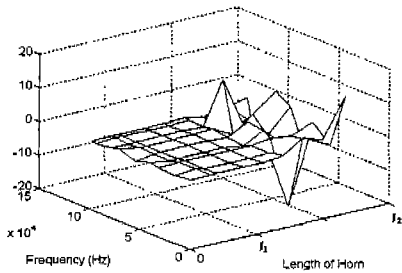


Fig. 11 Experimental mode shape of horn

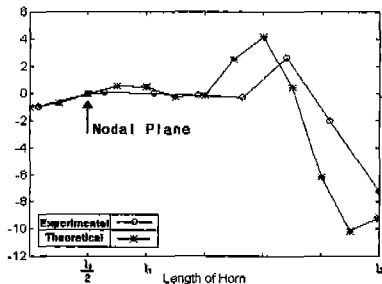


Fig. 12 Experimental and theoretical mode shape of horn at 60kHz resonance frequency

4.2. 알루미늄 와이어 용접

진동절면의 확인으로 직선부 길이의 중심에 체결이 가능한 혼을 용접기 헤드에 장착하여 초음파 용접을 실시하였다. 용접의 시간과 하중은 Fig. 13과 같은 알루미늄 와이어를 용융시킬 수 있는 에너지를 상위 하는 에너지가 작용할 수 있도록 실험적으로 결정하였다. 와이어의 용접에는 초음파에너지, 용접시간, 용접하중의 동시 작용으로 용접이 이루어 진다. Fig. 14에서 보면 두번의 용접시간 동안 용접기헤드의 Z축 방향에 대한 위치는 하강이며 하

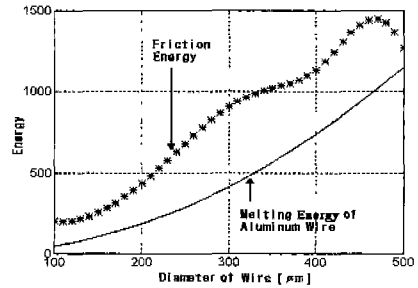


Fig. 13 Friction energy and melting point of aluminum wire ($\phi 400 \mu m \sim \phi 100 \mu m$)

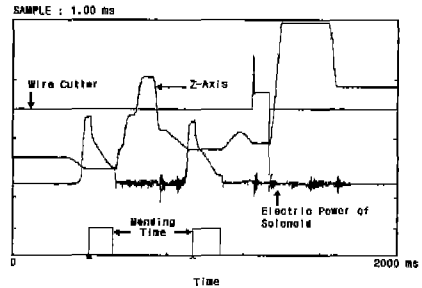


Fig. 14 Plot of displacement of Z-axis and electric power of solenoid

강위치에서 솔레노이드의 전압을 증가시켜 와이어에 하중을 작용시킨다. 동시에 압진동자와 혼은 초음파 진동을 하게된다. 이러한 와이어의 용접을 실험하기위하여 알루미늄 와이어를 동일한 금속판에 용접하였다. 용접 결과, 와이어 직경 400 μm 와 150 μm 을 보면 Fig. 15와 Fig. 16과 같은 형태의 용접이 이루어졌으나 아직 용접강도의 강화와 용접면의 부정확한 모양의 개선이 문제로 남아 있다.

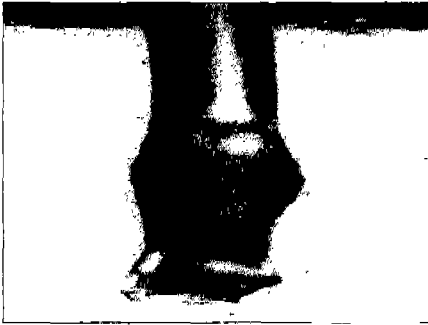


Fig. 15 View of bonded aluminum wire(ϕ 400 μ m, \times 500)



Fig. 16 View of bonded aluminum wire(ϕ 150 μ m, \times 1000)

5. 결 론

초음파 용접기의 용접 구동 장치인 초음파트랜스듀서의 압전진동자와 혼을 설계하기 위한 방법으로, 압전진동자와 혼의 동특성 해석을 실험과 이론적으로 비교 검토하였다. 이에따른 결과를 바탕으로한 초음파트랜스듀서의 제작으로 알루미늄 와이어를 초음파 용접한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 볼트조임랑지방 진동자는 압전세라믹의 공진주파수를 유지하며 압전진동자 제작에 유리하다.
2. 혼의 제작시 진동절면의 위치 선정에 의한 설계는 초음파 용접기의 장착에 유용하다.
3. 혼의 진동 모드에서 혼이 원추형을 이루는 연속적 인구간은 진폭의 증폭 효과가 매우 좋으며, 이 구간의 길이와 직경의 비를 조절하면 증폭비 조절이 가능하다.
4. 초음파트랜스듀서의 실험 및 이론의 동특성 해석 결과가 잘 일치한다.

5. 제작된 초음파트랜스듀서를 이용하여 알루미늄 와이어의 초음파 용접이 가능하다.

참 고 문 헌

1. 이성일, 최 현중 외 2, "초음파 가공기의 개발 (II)", 생산기술연구원보 1993.
2. Ioan Dore Landaw, "System Identification and control Design", Prentice-Hall, PP.156 ~ 159, 1990.
3. D. J. Ewins, "Modal Testing: Theory and Practice", Research Studies Press LTD, 1984.
- 4.金子, 上雨, 森 "プラスチックの超音波溶接", 日本音響學會誌, VOL.42, No 5, pp. 365 ~ 371, 1986.
5. Leonard Meirovitch, "Analytical Methods in Vibration", The MacMillan Company, PP.126 ~ 138, 1967.
6. 什野, "超音波溶接の現状と課題", 日本音響學會誌, VOL.45, No 5, PP.409 ~ 415, 1989.
7. H. S. Tzou, "Piezoelectric Shells Distributed Sensing and Control of Continua", Kluwer Academic Publishers, PP.13 ~ 58, 1993.
8. Daniel J. Inman, "VIBRATION with Control, Measurement, and Stability" Prentice-Hall international Inc, PP.187 ~ 207, 1989.
9. Kinsler, Frey, Coppens, Saners, "Fundamentals of ACOUSTICS", Wiley, PP.373 ~ 375, 1982.
10. 김호기 외 3인, "압전 세라믹, 고분자 복합재료를 이용한 초음파 트랜스듀서의 개발에 관한 연구", 한국 과학 기술원 1992.
11. William T. Thomson, "Theory of Vibration with Applications", Prentice-Hall, PP.302 ~ 324, 1993.
12. 實吉, 菊池, 能本監修, "超音波 技術便覽(新訂版)", 日刊工業新聞社, PP.79~130, 1985.
13. The University of Cincinnati, "MODAL ANALYSIS Theory & Measurement Techniques", PP.286 ~ 334
14. 谷腰欣司, "超音波とその使い方", 日刊工業新聞社, PP.128~150, 1994.