

# 형상에 따른 이종재료 접합용 60kHz 초음파 공구혼 설계 및 해석

## 60kHz Ultrasonic Horn Design and Analysis for Bonding Dissimilar Materials According to the Shape

\*한병선<sup>1</sup>, #전의식<sup>1</sup>

\*B. S. Han<sup>1</sup>, #E. S. Jeon(osjun@kongju.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 기계공학과

Key words : Transducer, Tool horn, Modal Analysis, Resonance Frequency, Ultrasonic bonding

### 1. 서론

초음파는 일반 사람의 청각을 통해 들을 수 없는 정도의 음파인 20kHz 이상의 고주파를 말한다. 현재 초음파는 공업, 의학 등 다양한 분야에서 초음파 접합, 세정, 미세가공, 검사 등으로 광범위하게 사용되고 있으며, 그 응용 분야는 초음파의 파동 성질을 이용한 정보 측정 분야와 초음파의 고에너지를 이용한 초음파 접합 및 가공 분야로 분류할 수 있다. 그 중에서 초음파 접합은 접합하려는 대상의 소재에 초음파 진동과 압력을 가하는 기술이며, 진동방향에 따라 종방향과 횡방향이 있다. 또한 향 후 반도체, 디스플레이, 태양 전지, 밀봉 공정 등에 응용이 가능한 기술이다.<sup>(1)</sup> 현재 초음파 접합은 전자 패키징, 박판형태의 비철금속 접합, 이종재료의 접합 등에 관한 연구가 진행되고 있으며 특히 생산 공정이 짧고 에너지 절약이 가능하며 태양광 에너지를 활용할 수 있는 이종재료의 접합에 관한 연구는 접합 성능을 높이는데 지속적으로 연구가 진행되고 있다.<sup>(2)</sup>

일반적으로 초음파 용접기는 50~60Hz의 AC 전류를 20kHz 이상의 고주파 전류로 변환시키는 초음파 발전기(generator), 전기에너지를 기계적 진동에너지로 변환시키는 초음파 진동자(transducer), 진동자의 진폭을 감소 또는 증폭시키는 부스터(booster), 그리고 부스터의 출력단에 부착되어 발생된 초음파를 최종적으로 접합재료에 전달하는 공구혼(tool horn)으로 구성된다.<sup>(3)</sup> 초음파 발생원인 초음파 진동자는 PZT를 많이 사용하며, 20kHz 이상의 공진주파수를 갖는 진동자로서 고효율이 요구되기 때문에 BLT(Bolt clamped Langevin-type Transducer)를 많이 사용한다. BLT에서는 PZT 자체

만으로 출력단에서 발생하는 진동 진폭이 매우 작기 때문에 진폭 증가를 위한 부스터 및 공구혼이 BLT 출력 면에 위치하며 이 혼의 형상에 따라 진동 진폭 크기가 결정된다.<sup>(4)</sup>

본 연구에서는 운동방정식을 이용한 공구혼의 이론적 치수를 결정하고, 형상에 따른 최적 설계를 위하여 기본적인 진동 해석을 수행하였다. 이를 통하여 형상에 따른 이종 재료 접합용 60kHz의 공진주파수를 갖는 초음파 공구혼의 설계 방안을 제안하였다.

### 2. 초음파 공구혼 설계

초음파 접합에 있어서 혼은 진폭을 증가하고 진동자에서 발생한 진동에너지를 접합하려는 소재에 전달하는 매우 중요한 역할을 한다. 또한 혼은 공진주파수가 앰프의 가진 주파수에 일치하여 공진조건을 만족해야 하며 대개 10% 이하의 오차로 이용이 가능하다.

파장은 혼을 설계하는 중요한 변수로 혼의 길이를 결정하는데 영향을 주며, 이에 공진조건을 만족하기 위한 혼의 길이는 진폭 확대율이 최대가 되는 1/2 파장의 길이에서 공진이 되는 것이 일반적이고 대체적인 혼의 길이는 다음과 같다.

$$\ell = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{f} \tag{1}$$

$\ell$  : 혼의 길이(mm),  $c$  : 음속도(m/s),  $f$  : 주파수(Hz)  
일반적으로 소형혼은 진동자의 진동 전달 방향으로 부착되며 종방향의 진동 전달과정에서 진폭을 증가시킬 수 있는 형태로 설계되어야 한다. 따라서 종파만을 고려한 혼의 운동방정식은 다음과 같다. 진동에너지 입력부의 면적을  $S_1$ , 출력부

의 면적을  $S_2$ , 입력부로부터 거리  $x$ 되는 지점의 단면적을  $S_x$ , 혼의 영률을  $E$  라 하면 운동방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho S_x \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = E \frac{\partial}{\partial x} (S_x \frac{\partial u}{\partial x}) \quad (2)$$

이 운동방정식을 이용하여 혼의 양단면과 길이를 구할 수 있다. 혼의 형상은 스텝형, 코니컬형, 익스포넨셜형이 있으며, 혼의 형상에 따른 진폭 확대율은 Fig 1 과 같이 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 세 가지의 혼 타입을 운동방정식과 FEM 해석을 이용하여 형상에 따른 이종재료 접합을 위한 60kHz에서의 초음파 공구혼을 설계하였다.

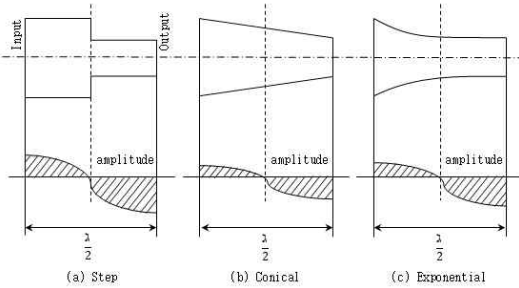


Fig. 1 Types of Ultrasonic Tool Horn

### 3. 초음파 공구혼 해석

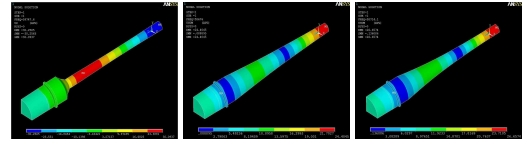
초음파 공구혼의 재질은 일반적으로 알루미늄 합금이나 티타늄 합금이 사용되고 있는데 음향학적 성질이 뛰어난 티타늄 합금을 많이 사용한다. 본 연구에서는 티타늄 합금을 사용하였으며, Table 1은 본 연구에 사용된 티타늄 합금의 물성치를 나타내었다.

Table 1. Materials properties

Materials	Young Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Density (kg/m <sup>3</sup> )
Titanium	113.85	0.31	4,430

공구혼의 FEM 해석을 이용한 기본적인 모드 해석을 통하여 60kHz 초음파 혼의 출력단에서 진폭이 가장 큰 것으로 확인되었으며, 진동모드에서 스텝형의 고유진동수는 59,748Hz로 주파수 60kHz와 약 0.42%의 오차가 발생하고, 코니컬형의 고유진동수는 58,676Hz로 주파수 60kHz와 약 2.21%의 오차가 발생하며, 익스포넨셜형의 고유진동수는

58,714Hz로 주파수 60kHz와 약 2.14%의 오차가 발생하는 것으로 나타나 적절한 혼의 모델링임을 확인할 수 있다.



(a) Step (b) Conical (c) Exponential

Fig. 2 Modal Analysis of Tool Horn

### 4. 결론

본 연구에서는 이종재료 접합에 활용되고 고유진동수 60kHz를 가지는 초음파 공구혼을 설계하였다. 혼의 최적 설계를 위해 운동방정식을 이용하여 형상과 치수를 결정하고, FEM 해석을 통해 진동 특성 및 공진주파수를 파악하였다. 공구혼의 해석 결과 고유진동수의 오차는 10% 이내로 확인되어 초음파 접합용 혼의 최적 설계 및 제작이 가능함을 검증하였다.

### 후기

본 연구는 한국연구재단의 지역혁신인력양성 사업을 통해 수행된 결과임.

### 참고문헌

1. A. M. Jeong, C. H. Kim "Design Method for Ultrasonic Transducer to Bonding with Dissimilar Materials," Transactions of the KSNVE, Vol. 22, No. 1, pp. 3-8, 2012
2. B. G. Lee, K. L. Kim and K. E. Kim, "Design of Ultrasonic Vibration Tool Horn for Micromachining Using FEM," Transactions of the KSMTE, Vol. 17, No. 6, pp. 63-70, 2008
3. C. D. Yoo, "Design of Ultrasonic Welding Horn," Journal of KWJS, Vol. 26, No. 1, 2008
4. H. S. Jang, W. Y. Park, and D. S. Park, "A Horn of Half-Wave Design for Ultrasonic Metal Welding," Journal of the KSMPE, Vol. 11, No. 1, pp. 76-81, 2012