

초음파 접합용 진동자 냉각에 관한 수치해석

박상준*, 이영림*

*공주대학교 기계자동차공학부

e-mail: ylee@kongju.ac.kr

Numerical Analysis of Piezoelectric Element for Ultrasonic Joining

Sang Jun Park*, Young Lim Lee*

*Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University

요 약

초음파의 응용분야에는 음파 성질을 이용한 정보 측정분야와 에너지를 이용한 용접 및 가공 등을 들 수 있다. 초음파 용접의 경우 저항용접이나 용융 용접을 적용할 수 없는 재료의 접합에 이용되는데 이는 모재를 음극간에 놓고 압입하면서 초음파를 발신하여 그 진동을 이용하는 용접방법이다. 압전소자의 경우 피에조 물질을 사용하는데 일반적으로 150℃이상에서 분자구조의 변형을 일으켜 제 역할을 못하게 된다. 본 연구에서는 압전소자와 공구혼의 온도를 최적으로 유지하기 위하여 추가적인 공기 유로와 방열핀을 설계하여 이것이 방열성능에 미치는 영향에 대해 고찰하였다.

1. 서론

초음파는 음파의 파동 성질을 이용하는 측정 분야 및 에너지를 이용한 용접 및 가공 등 다양한 응용 분야를 갖고 있다[1]. 최근 이러한 초음파 에너지를 이용하여 특성이 서로 다른 이종금속의 활용도를 높이기 위한 접합성능 확보가 주요 관심사로 떠오르고 있다. 태양전지의 경우 유리 표면 전극 인쇄에 활용 가능한데, 특히 염료감응형 태양전지의 경우 염료를 주입한 후 이를 마감하는 기술에 따라 전지의 효율 및 수명이 좌우된다. 또한, 플라즈마 디스플레이 패널 제조 공정 중 상·하판 봉축을 위한 밀봉(seal) 소성 및 배기관의 마감 기술 역시 모든 디스플레이 시장에서 관심을 받고 있다. 현재 이처럼 유리에 전극을 인쇄하거나 진공마감 시 활용하는 공정은 저용점유리본드(frit)를 사용하고 있으며, 저용점 유리본드는 납 성분이 포함되어 있어, 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서는 사용을 금지하는 법안이 실행되고 있다[2]. 초음파 접합은 일반적으로 20 kHz 이상의 초음파를 사용하며, 접합에 미치는 주요 변수에는 압력과 초음파 조사시간, 온도 등이다. 접합 계면의 온도는 용융 온도의 40~50% 정도로 비교적 저온의

고상 접합으로써, 모재와 솔더(solder) 사이의 계면에서만 열이 발생하여 접합부 이외의 부분에는 열손상을 적게 할 수 있고 접합 시간은 5초 이내이다 [3]. 초음파 용접은 모재를 초음파를 발생하는 두 진동 음극 사이에 지지하고 압력을 가하여, 초음파 진동을 이용하여 접합시키는 용접법이다.

압전소자에 사용되는 세라믹의 경우 150℃에서 분자구조의 변형을 일으켜 제 역할을 못하게 된다. 따라서 열을 가해주는 공구혼이나 블록, 커버에는 냉각을 하지 않으나 초음파에너지를 발생하는 압전소자에는 부수적인 냉각 장치를 이용하여 냉각을 하게 된다.

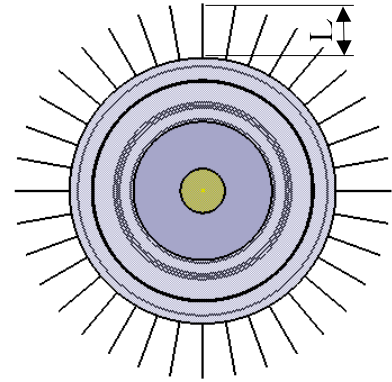
본 연구에서는 압전소자와 공구혼의 온도를 최적으로 유지하기 위하여 추가적인 공기 유로와 방열핀을 설계하여 이것이 방열성능에 미치는 영향에 대해 알아 보았다.

2. 수치해석

본 연구에서 고려된 유체유동은 3차원, 정상, 비압축성이고 난류모델은 $k-\epsilon$ 을 사용하였다. 그림 1은 수치해석에 사용된 초음파 혼을 보여준다. 히터에서 발생하는 온도는 300℃이고 유리 내부의 공기가 혼

과 혼커버의 틈새를 통하여 외부로 배출된다. 공구 혼은 티타늄, 압전소자는 세라믹, 그 외의 물질은 STS 404로 이루어져 있다. 또한 그림 2와 같이 에어박스(air box)를 설치하여 공기의 유량을 바뀌가며 압전소자의 온도를 예측하였다. 공기 유입구의 지름은 4mm로 입구의 공기온도는 25℃이다. 주위 공기와 접촉하는 면에는 대류열전달계수 $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ 를 가정하였다. 그림 3은 압전소자에 전달되는 온도를 낮추기 위해 블록부분에 높이가 20 mm인 방열핀을 10° 간격으로 36개 배치한 모델을 보여준다.

해석에 사용된 격자 수는 약 25만개이고 3차원 형상 설계에는 Catia[4], 격자 생성에는 Gambit[5], 3차원 CFD 해석에는 상용 프로그램인 Ansys[6]를 사용하였다.



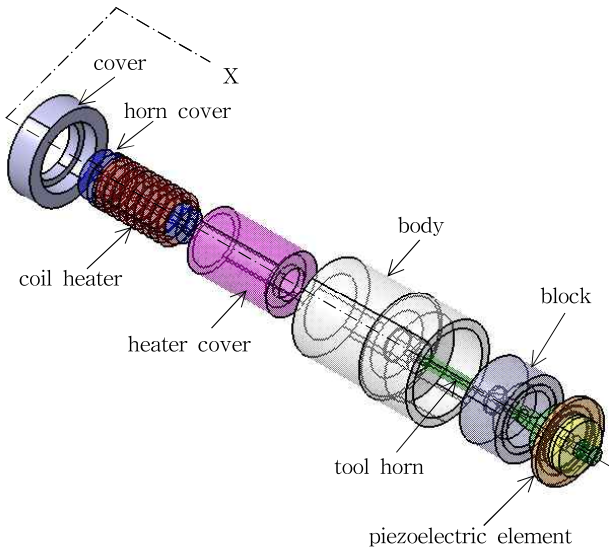
[그림 3] 방열핀 모델

3. 결과 및 고찰

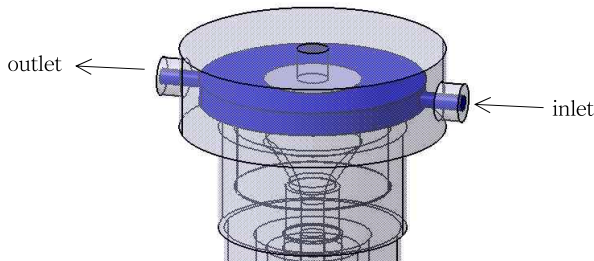
3.1. 공기의 유속에 따른 압전소자 평균온도

그림 4는 공구 혼 하단부에서부터 중심선을 따라 혼의 온도 변화를 나타낸다. 온도는 압전소자가 있는 상단부로 갈수록 감소하는데 양끝단보다 중간 부분에서 온도 변화가 크다. 자연대류 상태에서 혼 하단부 온도는 198°C , 혼 상단부 온도는 139°C 로 예측되었다. 강제 냉각에서는 공기 속도가 빨라지면 거의 선형적으로 온도가 반비례하여 감소하게 된다. 유속 6 m/s 일 때 혼 하단부 온도는 192°C , 혼 상단부 온도는 122°C 로 예측되어 혼 상단부 온도는 약 17°C , 혼 하단부 온도는 6°C 정도 감소한다. 따라서 강제대류에 의해 혼 상단부 뿐만 아니라 혼 하단부 온도도 동시에 감소하게 되므로 혼 설계시 이러한 온도 감소를 보상해야 한다.

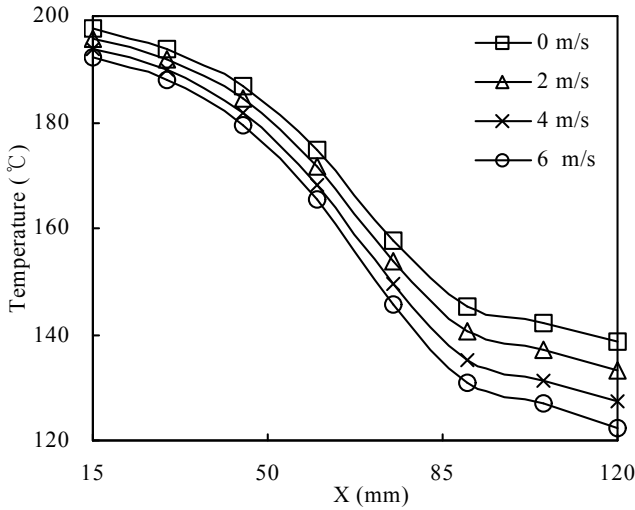
그림 5는 공기의 유속에 따른 압전소자의 온도를 보여준다. 코일히터에서 발생된 열이 공구 혼을 거쳐 압전소자에 전달되는데 자연대류 상태에서는 약 137°C 로 예측되었다. 일반적으로 피에조물질은 150°C 이상이 되면 분자구조의 변형을 일으키므로 137°C 의 온도는 지속적 사용에 다소 부적합하다. 따라서 압전소자 주위에 에어박스를 장착하고 강제 냉각을 시켜 보았다. 공기속도를 증가시키면 압전소자 온도는 감소하게 되는데 공기속도 6 m/s 에서 $11\sim 13^\circ\text{C}$ 정도 온도를 낮출 수 있다. 이러한 온도 감소는 충분하지는 않지만 압전소자의 내구성 향상에 어느 정도 기여하리라 사료된다.



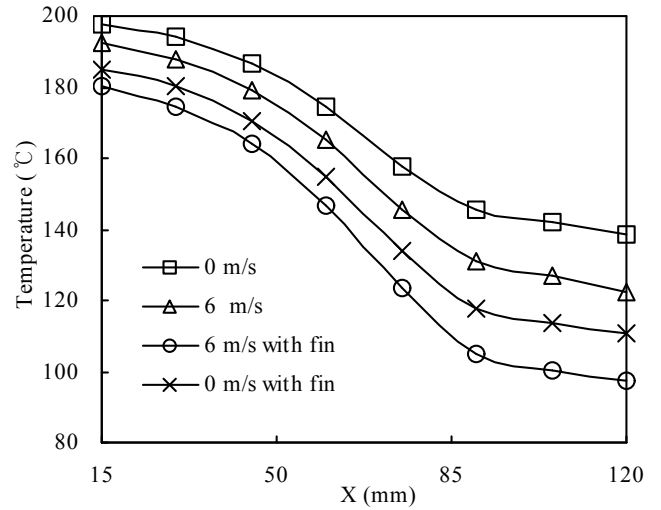
[그림 1] 초음파 혼 구성품 명칭



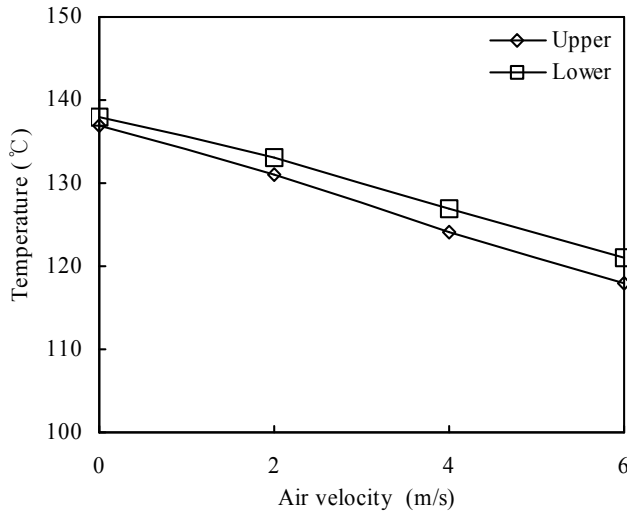
[그림 2] 수치해석에 사용된 에어 박스 모델



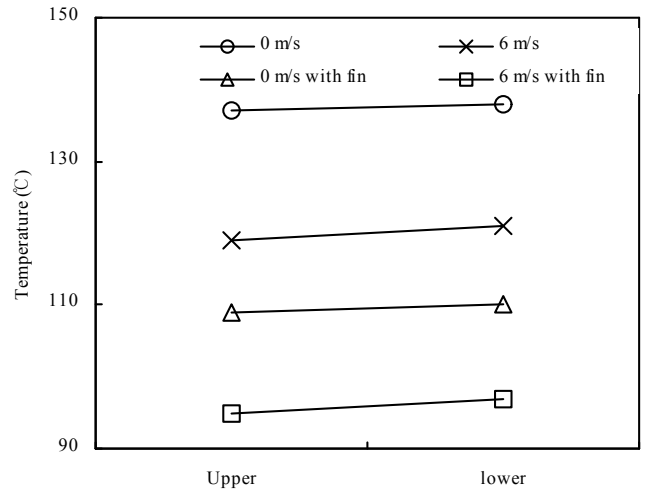
[그림 4] 공기속도에 따른 공구 혼 온도 변화



[그림 6] 방열핀 유·무에 따른 공구 혼 온도 변화



[그림 5] 공기속도에 따른 상하 압전소자의 평균온도



[그림 7] 방열핀 유·무에 따른 압전소자 평균 온도

3.2. 방열핀 유·무에 따른 압전소자 평균온도

그림 6은 공구혼 하단부에서부터 중심선을 따라 방열핀 유·무에 따른 혼의 온도 변화를 나타낸다. 강제대류에 비해 방열핀을 장착하였을 경우가 혼의 하단부 온도를 더욱 감소시킬 수 있어 냉각 효과가 더 우수함을 알 수 있다. 냉각 성능을 극대화하기 위해 방열핀과 강제대류를 동시에 사용한다면 방열핀이 없는 자연대류 상태보다 혼의 하단부 온도를 약 42°C 감소시킬 수 있다. 하지만 이 경우 혼의 하단부 온도 또한 17°C 정도 감소하므로 이에 대한 보상이 필요하다.

그림 7은 방열핀 유·무에 따른 압전소자의 평균 온도를 보여준다. 자연대류 상태에서 방열핀을 장착하면 압전소자의 온도는 약 109~110 °C로 감소하고 6 m/s의 강제 대류도 고려하면 약 95~97 °C로 감소하게 되어 충분한 방열 성능 확보가 가능하다.

3. 결론

본 연구는 초음파 혼에 사용되는 압전소자의 냉각 성능 확보를 통한 내구성 향상 연구로써 공기의 유로 및 방열핀을 이용하여 방열 해석을 수행하였다. 이러한 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 에어박스를 통한 6m/s의 풍속은 자연대류 비교 압전소자의 온도를 약 17 °C 낮출 수 있어 내구성 향상에 기여할 수 있다.

2) 방열핀을 사용하면 압전소자 온도를 약 25 °C 만큼 감소시킬 수 있다. 만약 강제대류와 같이 사용한다면 압전소자 온도가 95~97°C가 되어 충분한 냉각 성능 확보가 가능하다. 하지만, 공구혼 하단부 역시 17°C 정도 감소하므로 하단부가 연납을 녹일 수 있는 충분한 온도가 되도록 코일히터 열량을 보충해야 한다.

후기

본 연구는 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업을 통해 연구된 결과임

참고문헌

- [1] C. D. Yoo, "Design of Ultrasonic Welding Horn," KWJS, Vol. 26, pp. 9~11, 2008.
- [2] J. J. Funley, "Heat treatment and bending of low-E glass," Thin Solid Films, volume 351, Issues 1-2, pp. 264~273, 1999.
- [3] N. E. Faridi, J. H. Develetian, H. P. Le, "A New Look at Flux-Free Ultrasonic Welding of Cu sheet," Journal of the KSMTE, Vol. 19, No. 2, pp. 282~287, 2010
- [4] Catia V5 R17, Dassault Systems, 2006
- [5] Gambit, Fluent Inc., Lebanon, NH 2005
- [6] Ansys version 12.1. Ansys Inc.