

# 초음파 대형 혼 설계에 관한 연구

## A Study of Large Scale Ultrasonic Vibration Tool Horn Design

홍윤혁† · 김경태\* · 박경희\*\* · 최영재\*\*\* · 최헌중\*\*\*\*

Yun H. Hong, Kyeong-Tae Kim, Kyung-Hee Park, Young-Jae Choi and Hon-Zong Choi

### 1. 서 론

정밀 가공기술의 발전으로 최근 제품의 고성능, 고정밀화가 요구되고 있다. 따라서 제품 혹은 기계의 고성능, 고정밀을 추구하기 위한 특수한 정밀 가공 기법이 다양하게 연구되고 있으며 그중에서도 높은 주파수의 초음파 진동을 이용한 가공 기법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 흔히 초음파 진동을 하는 공구는 축 방향으로 진동하는 종방향 모드를 사용하기 때문에 직경이 작고 긴 형상의 소형 혼들이 주를 이루고 있다. 또한 현재 해외 선진국에서 개발되어 상용되고 있는 초음파 혼의 최대 직경은 80mm이다. 초음파 진동은 주로 종방향 모드를 사용하기 때문에 길이에 비해 직경이 큰 혼에 대해서는 초음파 진동 구현이 상대적으로 어려운 점이 있는 것이 사실이나 직경이 큰 연삭숫돌에 초음파를 적용하여 가공을 수행하는 형태의 기법에 대한 수요가 증가하고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 일반적으로 사용되고 있는 연삭숫돌의 형상을 반영하되 우선 혼의 직경을 200mm, 300mm 두 가지로 선정하여 FEM 시뮬레이션을 통해 20kHz의 주파수에서 가급적 종방향 모드를 갖는 혼의 형상을 선정하였고 이를 실제 제작하여 초음파 진동과 주파수를 비접촉식 레이저 진동 측정기를 사용하여 확인하는 방법을 통해 성능평가를 수행하였다.

† 교신저자; 정회원, 한국생산기술연구원  
IT융합생산시스템연구그룹

E-mail : secar@kitech.re.kr

Tel : 031-436-8078, Fax : 031-436-8050

\* 한국생산기술연구원 충청권지역본부장실  
\*\* 한국생산기술연구원 스마트시스템연구그룹  
\*\*\* 한국생산기술연구원 IT융합생산시스템연구그룹  
\*\*\*\* 한국생산기술연구원 IT융합생산시스템연구그룹

### 2. 초음파 대형 혼 설계

#### 2.1 상용 대형 혼 시뮬레이션

대형혼을 설계하기에 앞서 해외 상용제품 중 크기가 비교적 대형혼에 가까운 제품을 수배하여 시뮬레이션을 수행하였으며 이는 상용 제품에서 쓰이는 모드 형상을 확인하여 설계에 반영하는데 목적이 있다. 해석 소재는 S45C와 SUS420으로 하여 임의로 해석 한 점을 밝히며 직경이 60mm, 80mm 모델을 해석하여 사용되고 있는 모드 형상을 확인하였다. 다음 Fig.1은 80mm 직경 제품의 해석 결과이다.

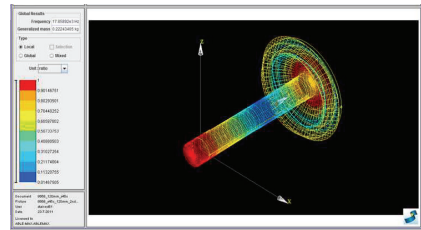


Fig.1 FEM simulation result of 80Φ commercial horn

각각의 혼에 대한 유한요소 해석 결과 직경 60mm 모델의 경우 종방향 2차 모드의 주파수가 25.72kHz 직경 80mm 모델의 경우 2차 종방향 모드는 17.86kHz로 확인되었다. 해석 결과 직경 100mm 이상의 대형혼을 설계할 경우에는 종방향 2차 이상의 종진동 모드를 사용할 수 있도록 설계하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

#### 2.2 대형 혼 설계 제작

상용 제품에 대한 FEM 해석 결과를 토대로 대형 혼의 설계는 20kHz의 주파수로 구현할 수 있는 2차

이상의 종방향 진동 모드를 선정하여 진행되었다. 대형 혼의 출력단의 직경은 200mm와 300mm의 두 가지 모델이며 소재는 알루미늄으로 하였다. 해석 조건은 양단 자유 조건의 경계조건을 선택하였고 전체 100차 모드까지 시뮬레이션을 수행하였다. 다음 그림 1-9는 200mm 혼의 해석 결과이다.

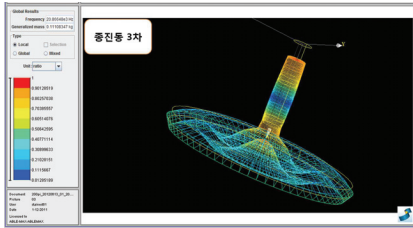


Fig.2 FEM simulation result of design horn (200Φ)

직경 200mm의 혼의 경우 해석 결과 직경 200mm 대형혼의 경우 3차 종진동 모드에서 20kHz를 구현할 수 있으며 이때 주파수는 20.866kHz로 길이는 120mm로 해석되었다. 직경 300mm 대형혼의 경우 4차 종진동 모드에서 20kHz를 구현할 수 있으며 이때 주파수는 20.333kHz로 길이는 80mm로 해석되었다. 또한 혼의 중앙 부분과 외경 부분의 진폭 비는 200mm일 경우 10~20%, 300mm일 경우는 60% 수준으로 확인되었다. FEM 시뮬레이션을 통하여 설계된 각각의 대형혼은 알루미늄 소재를 사용하여 실제 제작을 수행하였다. Fig. 3은 설계된 혼의 가공품이다.



Fig.3 Made of large scale ultrasonic horn (200Φ(L), 300Φ(R))

### 2.3 대형 혼 성능 평가

제작이 완료된 대형혼에 대하여 성능 테스트를 수행하였다. 성능 테스트는 혼의 전면에서 중앙부와 외경 방향을 선택하여 측정하였으며 시뮬레이션 결과에서 도출된 중앙 부분과 바깥쪽 외경 부분의 진

폭 비에 대한 검증이 이루어졌다. 다음 Fig.4는 대형혼의 측정 위치를 나타내고 있다.

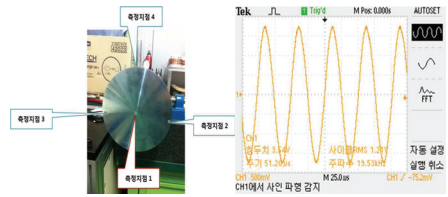


Fig.4 Measurement point and result

대형혼의 성능 테스트 결과 200mm의 대형혼의 경우 측정 결과 19.5~20.2kHz 정도에서 종진동 3차 모드 발생하는 것으로 판단되며 300mm의 대형혼의 경우에도 20.2kHz 정도에서 종진동 4차 모드 발생한 것으로 판단된다. 중앙 대비 외경 방향의 진폭은 시뮬레이션과 유사하게 200mm에서 16%, 300mm에서 70%로 측정되었다. 진폭은 두 가지 혼 모두 외경 방향에서 약 0.5에서 5μm 정도 발생하였다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 직경이 큰 대형 사이즈의 초음파 혼을 설계 제작하여 평가 하였다. 대형 혼은 직경이 길이에 비해 크므로 종진동 모드의 메커니즘이 일반적인 소형 초음파 혼과는 다르다. 따라서 우선 해외에서 사용되고 있는 초음파 혼의 모드를 확인하였고 이를 토대로 종진동 3~4차 모드를 20kHz 주파수 대역에서 사용할 수 있도록 최적 설계하여 실제 제품을 제작하고 검증하였다. 그 결과 약 20kHz 근처에서 진폭이 최대 5μm로 진동 가능한 대형 혼을 제작할 수 있었다. 현재 100mm 이상의 대형혼의 초음파를 적용시키는 사례는 해외에서도 찾기 어려운 부분으로 종진동 모드를 이용하여 대형혼이 가진 되도록 설계 제작한 점에서 의미가 있다고 판단된다. 진폭 효율을 높이는 방안을 찾는 것이 향후 연구로 사료된다.

### 후 기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업의 “차세대 하이브리드 연삭시스템 개발” 과제로 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.