

# FEM을 이용한 초음파 진동 연삭 공구 혼 설계 연구

## A Study of Ultrasonic Vibration Horn Design Using FEM Method for Grinding machine

홍윤혁† · 김경태\* · 최영재\*\* · 최헌중\*\*\*

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

### 1. 서 론

최근 정밀 가공기술의 발전으로 제품의 고정밀, 고성능화가 요구되면서 다양한 가공 방법이 제시되고 있다. 특히 정밀 가공기술로 부각되고 있는 방법이 초음파를 이용한 가공이다. 초음파 가공은 가공 공구에 높은 주파수의 진동을 가진하여 가공하는 방법으로 이는 가공이 어려운 높은 기계적 성질을 갖는 재료 및 난삭재 재료의 가공 등에 사용되고 있다.

본 연구는 회전형 연삭 공구에 초음파 진동을 적용한 공구 혼을 FEM을 이용하여 설계하는 방법에 대한 연구로서 20kHz의 높은 주파수 진동을 이용하는 공구의 공진 설계 방법을 연구하였다.

### 2. 초음파 진동 연삭 공구

#### 2.1 초음파 진동 연삭 공구의 구성

초음파 진동을 이용한 연삭 공구는 다음 Fig.1과 같이 크게 발진기, 초음파 진동자(transducer), 부스터(booster), 공구 혼으로 구성되며 초음파 진동을 발생시키기 위하여 초음파 진동자는 압전 세라믹(PZT)으로 구성된다. 초음파 진동자에서 발생된 진동 에너지는 부스터를 거쳐 공구 혼으로 전달된다. 따라서 발생하는 진동 에너지가 효율적으로 전달되기 위해서는 공구혼에 대한 공진 설계가 필요하다.

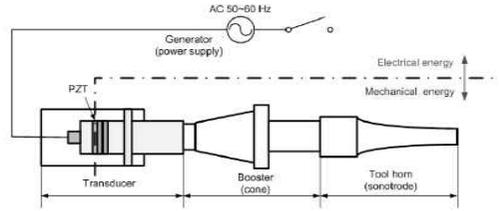


Fig.1 Schematic of diagram ultrasonic horn assembly

본 연구에서는 유한요소 해석 프로그램을 이용하여 공구 혼에 대한 공진 설계를 수행하였으며 공진 주파수로는 20kHz를 설정하여 고유진동수를 20kHz로 하는 최적 설계를 진행하였다. 또한 공구의 출력단의 직경이 큰 대형 혼에 대한 설계를 진행하였다.

#### 2.2 1차원 파동방정식을 이용한 공진 설계

초음파 진동 공구 혼은 진동자에서 발생하는 진동 주파수와 일치하는 종방향 고유진동수를 갖게 설계되어야 하며 혼의 종류에 따라 출력단에서 발생하는 진폭 확대율이 다르게 나타난다.

또한 공구혼은 진동의 입력면과 출력면 사이의 거리가 음파의 1/2 파장에서 진폭이 최대가 되며 혼의 길이도 음의 반파장 길이가 된다. 따라서 공진 설계 시 대부분의 혼의 길이는 다음 식(1)과 같다.

$$\text{혼의 길이 } l = 1/2 \times c/f \quad (1)$$

c : 재질 내의 파동전파속도(음속도)

f : 초음파 진동자 발생 주파수

최종 공구의 진동 모드 및 길이를 산정하기 위해 위의 제시된 식을 이용하여 초음파 공구의 길이를 결정하였으며 단면적에 따른 형상을 고려하여 FEM으로 초음파 공진설계를 수행하였다.

† 교신저자; 정희원, 한국생산기술연구원 디지털협업센터  
E-mail : secar@kitech.re.kr

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

\* 한국생산기술연구원

\*\* 한국생산기술연구원

\*\*\* 한국생산기술연구원

### 3. 초음파 연삭 공구 혼 설계

#### 3.1 소형 초음파 공구 혼 설계

초음파 공구 혼을 설계하기 위해 공구의 길이를 앞서 제시된 식을 이용하여 127.7mm로 계산하였고 출력부의 직경은 13mm로 설정하였다. 재질은 일반강(Steel S45C)으로 형상이 간단한 원통형 형상부터 시작하여 최종 공구 혼까지 FEM을 이용하여 20kHz 종방향 모드를 구현하는 방법으로 이루어졌다. 다음 Fig.2는 최종 설계된 공구 혼이다.

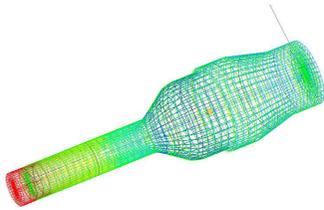


Fig.2 Vibration mode shape for horn (20.07kHz)

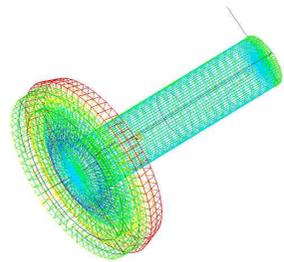
최종 설계된 공구는 끝단 자유의 구속조건 상태에서 127.7mm인 경우 20.69kHz, 130mm인 경우 20.07kHz로 종진동 모드가 구현되었다.

#### 3.2 대형 초음파 공구 혼 설계

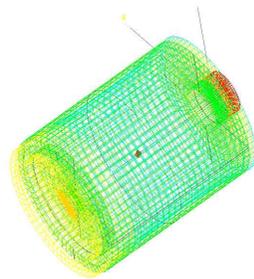
원통형 공구의 경우 지름이 길이 방향의 1/3 과장이 넘는 경우 대형 혼 이라고 하며 이 경우 종파와 횡파가 동시에 존재하기 때문에 소형 혼의 경우처럼 종파만을 고려할 수 없는 어려움이 있다.

본 설계는 대형 혼(총길이 130mm)을 대상으로 Fig.3에서 제시된 바와 같이 a) 입력단 부분이 긴 경우 b) 출력단 부분이 긴 경우로 나누어 설계, 비교하였다. 재질은 티타늄 합금(Ti6Al4V) 이다. 입력단의 길이 120mm, 출력단 직경 100mm인 a) 경우 종진동 모드 3.4kHz로써 예상보다 낮은 것을 보인 반면 출력단의 길이 120mm인 직경 100mm인 b) 경우는 종진동 모드가 20.72kHz로써 직경이 큰 출력단의 길이가 모드를 지배하는 것을 볼 수 있다. 그러나 대형 혼의 경우 출력단의 길이가 긴 공구는 구조적으로 비효율적인 것으로 판단된다. 따라서 혼

의 좌우 길이에 따른 슬롯을 고려하여 출력단 길이를 가급적 짧게 구현하는 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.



a) long input part of horn (3.4kHz)



b) long output part of horn (20.72kHz)

Fig.3 Vibration mode shape for large size horn

### 4. 결 론

본 연구에서는 초음파 연삭 가공 공구 혼에 대해 FEM을 이용하여 출력부 직경 13mm, 20.07kHz 공진모드를 갖는 혼의 설계를 진행하였다. 또한 대형 혼 모델을 구성하여 모드를 구현하고 그 특징을 살펴보았다. 소형 혼의 경우 20kHz 종방향 모드를 갖는 공구 설계가 용이하였으나 대형 혼의 경우는 정밀한 종방향 모드 구현을 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 설계된 소형 공구 혼은 실제 제작 중이며 공진주파수를 검증하여 테스트 가공 실험을 예정하고 있다.

### 후 기

본 연구는 2011년도 차세대 하이브리드 연삭시스템 개발사업의 연구비에 의하여 지원되었으며 이에 감사합니다.