

# Run-out과 공구교환을 고려한 분리형 초음파 혼 설계 연구

## A Study of Detachable Ultrasonic Tool Horn Design for the Run-out and Tool Change.

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

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

### 1. 서 론

최근 정밀 가공기술의 발전으로 제품의 고정밀, 고성능화가 요구되면서 가공 공구에 높은 주파수의 진동을 가진하여 가공을 수행할 수 있는 초음파 가공이 부각되고 있다. 본 연구는 여러 가공 기법 중 연삭 가공을 위한 초음파 공구의 설계를 진행하였으며 높은 RPM으로 회전하는 수직형 연삭기에 장착되는 공구 혼을 20kHz의 주파수로 공진할 수 있도록 하였다. 논문에서 제시하는 공구의 연삭 스톱들은 공구 진동에 손실을 주지 않기 위해 연삭 입자를 공구 끝단에 전착하는 방식을 이용하였다. 이에 일반 연삭 공구에 비해 공구의 수명이 짧으므로 많은 혼을 신속하게 교체하여야 하는 작업이 필요하다. 또한 이 경우 정밀한 가공을 위해 공구의 회전 정밀도 또한 고려해야 하는 문제가 있다.

본 연구에서는 초음파 공구의 Run-out을 5µm 이내로 유지하면서 혼을 노드 포인트 지점에서 나누어 전착된 공구 부분만을 신속히 교체할 수 있는 형태의 초음파 혼을 설계하였다.

### 2. 분리형 초음파 혼 설계 및 제작

#### 2.1 분리형 초음파 혼 설계 및 시뮬레이션

초음파 진동 공구 혼은 진동자에서 발생하는 진

동 주파수와 일치하는 종방향 고유진동수를 갖게 설계되어야 한다. 공구 혼은 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

윗 식을 이용하여 20kHz의 초음파 진동을 갖는 공구의 길이를 산정하였고 FEM 기법을 이용하여 초음파 혼을 설계하였다. 초음파 공구는 입력단 직경 38mm, 출력단 직경 10mm로 설계 하였으며 초음파 진동자 발진부의 직각도를 기준으로 하여 혼의 외경을 정밀히 가공하는 작업을 수행하였다.

공구혼은 교체 툴과 툴을 연결하는 바디로 이루어져 있으며 소형 혼을 반으로 잘라놓은 형태로 중앙부에 위치한 노드 점을 기준으로 교체 툴의 길이를 산정하였고 바디와 결합할 경우 20kHz의 초음파 진동이 발진할 수 있도록 하였다. 또한 run-out을 정밀하게 유지하기 위하여 교체 툴과 바디의 체결 방식을 테이퍼 방식으로 설계 하였다. Fig.1은 초음파 혼의 1차 공진해석 결과이다. 혼의 총 길이는 128mm 이며 해석 시 20.014kHz의 종진동 1차 모드를 갖도록 설계 하였다.

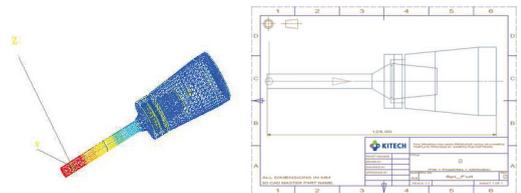


Fig. 1 Vibration mode shape and design drawing (1st model)

† 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

그러나 본 모델은 테이퍼가 바디에 완벽히 결합 되지 않는 형태로 효율이 떨어져 체결 방식을 테이퍼가 아닌 볼트와 핀 형태의 조합으로 변경 설계를 하였다. 볼트로 인하여 바디와 교체 툴이 결합하고 핀 구조가 결합 시 가이드라인을 형성하여 run-out 을 정밀하게 맞추는 구조이다. 다음 Fig.2는 변경된 공구 혼의 2차 설계도와 해석 모델이다. 혼의 총 길이는 135.1mm 이며 본 모델 또한 해석 시 20.012kHz의 종진동 1차 모드를 갖도록 설계 하였다.

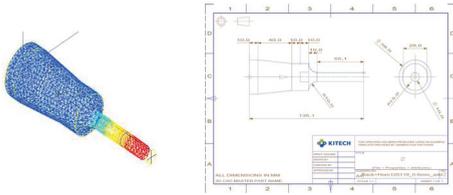


Fig. 2 Vibration mode shape and design drawing (2nd model)

## 2.2 분리형 초음파 혼 제작 및 검증

앞서 제시된 초음파 혼에 대한 설계를 바탕으로 실제 모델을 제작하여 성능을 검증하였다. 또한 제작된 혼에 대한 다이아몬드, CBN을 전착하였다. 혼의 경우 steel(S45C)로 제작하였다. 다음 Fig.3은 제작된 혼이다.



Fig. 3 Made of detachable ultrasonic tool horn

제작된 초음파 혼을 회전형 초음파 연삭 공구를 장비에 체결하였을 때 공구 끝단의 최종 Run-out 오차 정도를 측정하였다. 측정은 아래 Fig.4와 같이 변위 센서를 회전형 초음파 연삭 공구의 끝단에 설치한 후, 공구가 일정한 RPM으로 회전하는 동안의 변위량의 변화를 일정한 시간 간격으로 측정하여 그 결과값을 확인하는 것으로 진행되었다. 제작한 회전형 초음파 연삭 공구의 Run-out 오차를 변위 센서

로 실제 측정한 결과 Run-out 오차 범위가 5 $\mu$ m 이내임을 확인할 수 있었다.

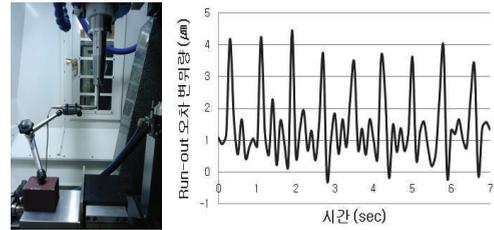


Fig. 4 Run-out measurement data of detachable horn

제작된 혼의 초음파 가진을 검증하기 위하여 제작된 혼을 비접촉식 Laser vibrometer와 오실로스코프를 사용하여 테스트 하였다. 그러나 기존 일반 초음파 혼이 5 $\mu$ m 이상의 진폭을 갖는 것과는 달리 분리형의 경우 결합 방식과 시뮬레이션 검토 상 바디 부분의 강성이 높은 점 등을 이유로 진폭의 크기가 미약하였다. 이 점은 향후 연구를 통하여 개선해야 할 것으로 판단된다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 유한요소 해석 기법 (FEM)을 이용하여 출력단 직경 10mm 20.01kHz의 종방향 공진모드를 갖는 혼을 공구 끝단을 교체하면서 높은 회전 정밀도를 갖도록 설계 제작하고 성능을 검증하였다.

설계한 분리형 혼은 테이퍼 구조 방식과 볼트와 핀 구조 방식으로 제작하였고 회전 정밀도와 진폭을 측정하였다. 그 결과 회전 정밀도 오차가 5 $\mu$ m 이내로 높은 회전 정밀도를 갖는 것으로 판단되었다. 그러나 초음파 가진의 경우 기존 일체형에 비해 진폭의 크기가 미약하였으며 원인은 결합 방식에서 발생하는 부하와 분리형 혼의 바디 부분의 강성이 높은 점으로 사료된다. 현재 초음파 가진 진폭을 개선하는 연구가 진행 중에 있다.

## 후 기

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