

직교형 적층 압전액추에이터로 구성된 초음파 타원진동 절삭기의 진동특성

Vibrational Characteristics of Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting Device Comprised of Dual Orthogonal Stacked Piezoelectric Actuators

* #노병국¹, 김기대²

* # B. G. Loh¹(bgloh@hansung.ac.kr), G. D. Kim²

¹한성대학교 기계시스템공학과, ²대구가톨릭대학교 기계자동차공학부

Key words : Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting, Orthogonal Stacked PZT, Resonance

1. 서론

타원진동절삭이란 절삭날에 마이크로미터 스케일의 2 차원 타원궤적을 생성시키면서 가공하는 새로운 절삭법이다. 일반절삭과 달리 절삭공구가 업밀링(up-milling)과 유사한 형태로 회전하면서 가공물을 절삭한다. 이미 많은 선행 연구를 통해 타원진동절삭법을 이용하면 절삭저항이 감소되고 버의 생성이 억제되어 가공 정밀도 및 표면 조도가 크게 향상됨이 알려졌다¹⁻⁵. 타원진동절삭법의 가공 성능은 타원궤적의 가진 주파수와 진동 진폭 이외에 타원궤적의 형상 및 회전 방향에도 크게 영향을 받는다. 가진 주파수가 증가함에 따라 타원진동절삭기는 공진하며 공진에 의해 타원궤적의 형상 및 회전 방향은 크게 변화한다.

본 연구에서는 2 개의 적층형 압전소자를 서로 수직한 형태로 결합한 타원진동절삭기의 가진 주파수 증가에 따른 진동 특성을 실험적으로 관찰하였다.

2. 타원궤적진동절삭기의 진동특성

Figure. 1 은 직교형 타원진동절삭기의 사진 및 개략도를 나타낸다. 2 개의 수직하게 배열된 적층형 압전액추에이터를 가공 공구와 점접촉하도록 볼트 예압에 의해 결합하여 두 액추에이터의 기계적 커플링(coupling)에 의한 상호 간섭(cross-talk)을 최소화하였다.

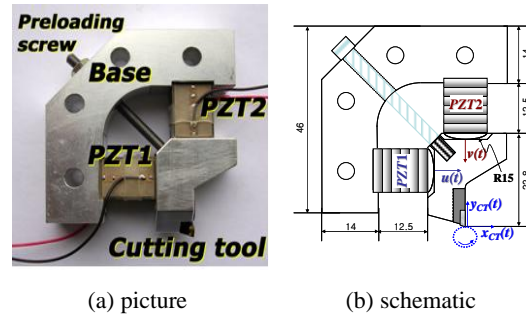


Fig. 1 Orthogonal elliptical vibration cutting device (unit: mm)

타원궤적 진동절삭기의 진동 특성을 측정하기 위해 PZT1 과 2 에 진폭($V_{\text{peak-to-peak}}$)이 8V 이고 90 도의 위상차(ϕ)를 갖는 조화신호(harmonic wave) 형태의 전압을 입력한 후 주파수를 10 Hz 부터 23 kHz 까지 점진적으로 증가시키며, 두 개의 광섬유 비접촉 변위센서(optical fiber displacement sensor system: PM-E, Nanotex corp., resolution: 30 nm, bandwidth: 100 kHz)를 수직하게 배열하여 절삭 공구의 진폭을 절삭방향과 배분력방향으로 동시에 측정하였다.

Figure. 2 는 입력전압(V_I)의 주파수 증가에 따른 측정된 절삭방향의 진폭(x_{CT}) 및 입력전압(V_I)과 절삭방향 진폭(x_{CT}) 사이의 위상차(ψ_I)를 나타내며, Fig. 3 은 배분력방향의 진폭(y_{CT}) 및 가진 전압(V_I)과 배분력방향

진폭(y_{CT}) 간의 위상차(ψ_2)를 나타낸다. 가진 주파수가 증가함에 따라 절삭방향 및 배분력 방향의 진폭이 변화하고, 각 방향 입력 전압과 발생하는 변위간의 위상차가 변화함을 알 수 있다. 두 방향에서 발생하는 진동 진폭이 변화하고, 위상차가 변화함에 따라 절삭날에 생성되는 타원궤적의 형상 및 회전 방향 또한 크게 변화시키는 것이 관찰되었다.

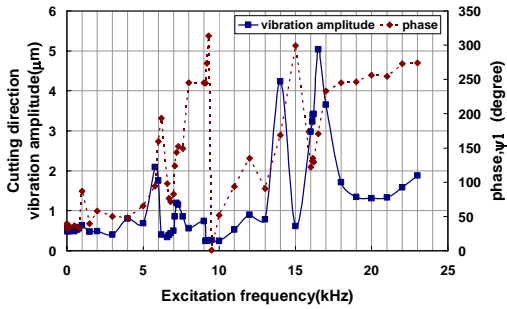


Fig.2 Cutting direction amplitude and phase vs. excitation frequency

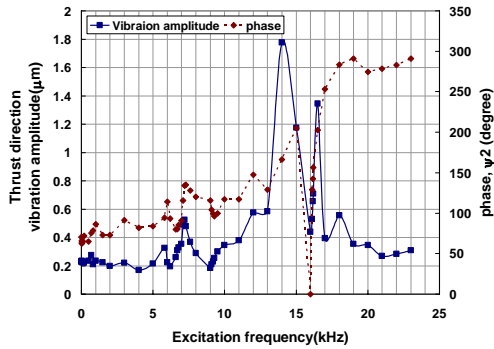


Fig.3 Thrust direction amplitude and phase vs. excitation frequency

3. 가진주파수 변화에 따른 타원궤적 형상 해석

타원진동절삭기에 인가된 전압과 그로 인해 발생된 절삭날의 궤적을 Eqs.(1)-(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$V_1(t) = V_1 \sin(2\pi ft) \quad (1)$$

$$V_2(t) = V_2 \sin(2\pi ft + \phi) \quad (2)$$

$$x_{CT}(t) = A_x \sin(2\pi ft) \quad (3)$$

$$y_{CT}(t) = A_y \sin(2\pi ft + \beta) \quad (4)$$

여기서, V_1, V_2 : harmonic voltage to PZT1 and PZT2, f : excitation frequency, t : time, ϕ : phase difference between voltages V_1 and V_2 , A_x : cutting direction amplitude, A_y : thrust direction amplitude, β : phase difference between x_{CT} and y_{CT} defined by $\psi_2 - \psi_1$.

Eq. (3)을 Eq. (4)에 대입하여 정리하면 절삭날의 x - y 평면 상의 궤적을 Eq.(5)와 같이 얻을 수 있다. 따라서 Eq. (5)에 측정된 변위(x_{CT} , y_{CT})와 변위 간의 위상차(β)를 대입하면 가진 주파수 증가에 따른 타원궤적의 형상을 예측할 수 있다.

$$y_{CT} = \frac{A_y}{A_x} \cos \beta \cdot x_{CT} \pm \frac{A_y}{A_x} \sin \beta \cdot \sqrt{A_x^2 - x_{CT}^2} \quad (5)$$

4. 결론

두 개의 수직한 적층형 압전액추에이터로 구성된 타원진동절삭기의 진동 특성을 가진 주파수를 23 kHz 까지 증가시키며 실험적으로 관찰하였다. 측정된 진동 특성은 절삭날에 생성되는 타원궤적의 형상 예측에 활용될 수 있다.

참고문헌

1. Shamoto, E., Moriwaki, T., "Study on Elliptical Vibration Cutting, Annals of the CIRP", Vol. 43, pp.35~38, 1994
2. Moriwaki, T., Shamoto, E., "Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting", Annals of the CIRP, Vol. 44, pp.31~34, 1995
3. Cerniway, M. A., "Elliptical Diamond Milling: Kinematics, Force, and Tool Wear", M.S. thesis, North Carolina State University, 2001
4. Brocato, B. C., "Micromachining using Elliptical Vibration Assisted Machining (EVAM)", M.S. thesis, North Carolina State University, 2005
5. Kim, G. D., Loh, B. G., "Characteristics of Elliptical Vibration Cutting in Micro V-grooving with Variations of Elliptical Cutting Locus and Excitation Frequency." Journal of Micromechanics and Microengineering, doi:10.1088/0960-1317/18/2 /025002, 2008.