

# 진동절삭을 이용한 탄소-세라믹 디스크의 선삭에 관한 연구

## A Study on the Lathe Machining of Carbon-Ceramic Disk Using Vibration Cutting

\*\*유종선<sup>1</sup>, 류시형<sup>1</sup>

\*\*J. S. Yu(rjsun@jbnu.ac.kr)<sup>1</sup>, S. H. Ryu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 전북대학교 기계공학과

Key words : Carbon-ceramic disk, Vibration cutting, Lathe machining

### 1. 서론

자동차산업, 항공우주산업에서 고강도, 경량 부품의 적용은 필수적인 과제로 내구성능이 뛰어난 소재의 개발과 적용이 확대되고 있어 탄소-탄소 복합체, 탄소-세라믹 복합체 및 Titanium 등의 특수합금 소재 및 성형기술이 개발되어 부품에 적용되고 있으며, 첨단 신소재를 적용하여 개발된 부품의 가공기술은 제품 개발에 중요한 요소 기술로 부각된다. 특히 탄소 복합체는 자동차 및 항공기의 브레이크디스크 뿐만 아니라 여러 부품에 적용되는 소재로써 기계적 성질 및 강도가 일반 소재와 달라 가공기술의 개발은 제품의 정밀도와 생산성 측면에서 해결해야 할 부분이다. 진동절삭은 공구의 절삭운동에 작은 진폭과 공구 변위를 일으켜 가공하는 것으로써, 강, 유리, 그리고 취성 세라믹 재료의 진동절삭 실험에서 다이아몬드 공구의 수명 연장과 재료의 경제적 가공 수행, 그리고 일반가공과 비교할 때 연성상태로의 절삭과 표면다듬질의 향상을 증명하였다.<sup>1,4</sup> 난삭재료에서 허용 가능한 표면거칠기와 향상된 형상정밀도를 이루고, 동시에 경제적인 공구수명을 얻기 위한 목적으로 김정두 등<sup>5</sup>은 플라스틱 강화 탄소섬유(CFRP)를 1차원 진동절삭을 이용하여 절삭하였고, 김홍건 등<sup>6</sup>은 탄소-세라믹 디스크를 다이아몬드 휠을 이용하여 연삭가공을 수행하였다.

현재 국내의 탄소-세라믹 디스크 제품 생산에 있어서 성형된 재료의 가공은 다이아몬드 휠을 이용한 연삭 작업으로 이루어지며, 가공시간이 2시간 이상으로 많은 시간을 필요로 한다. 또한 절삭유 사용으로 가공작업 중에 발생하는 절삭유의 미립화에 의한 작업자의 건강 문제뿐만 아니라 가공 후의 칩과 절삭유 처리과정에서 발생하는 환경문제 등을 해결해야 할 필요성이 있다.<sup>7</sup> 본 연구에서는 PCD (Polycrystalline diamond) 공구를 이용한 건식의 선삭가공으로 일반적인 가공방법과 함께 공구에 진동을 가하는 특수 절삭을 수행하고, 이를 통하여 탄소-세라믹 복합체에 대한 PCD공구의 가공성을 알아보며, 연삭에 대한 선삭의 이점을 살펴보고자 한다.

### 2. 실험 구성 및 방법

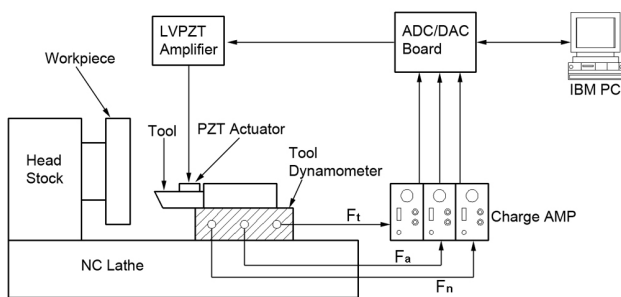


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup

탄소-세라믹 디스크를 가공하기 위해 PCD 공구를 이용하여 범용선반에서 일반절삭과 진동절삭을 수행하였다. 선반에 공구 동력계(tool dynamometer)를 장착할 수 있도록 지그를 설계, 제작하여 공구대에 설치하였고, 공구의 진동을 발생시키기 위해 공구 홀더 부에 Piezo-actuator를 부착하였다. Fig. 1은 전체 시스템 구성도를 보이며, Table 1은 실험에 사용된 주요 장비와 재료를 나타낸다.

Table 1 Experimental apparatus and material

Lathe	Hwacheon HL460×1000GN
Tool dynamometer	Kistler 9257B
Charge amplifier	Kistler 5017A
ADC/DAC board	DS1104 R&D Controller board
Surface roughness tester	Mitutoyo Surftest SJ-301
PZT amplifier	PI E663 LVPZT Amplifier
Displacement measuring system	Kaman KD-2300
Video measuring system	VMS-2515F
Workpiece	Carbon-ceramic disk(OD : 330mm)

PCD 공구는 디스크의 면을 가공하며, 가공 중에 발생하는 절삭력은 공구 홀더에 설치된 공구동력계를 통하여 측정하고, 공구의 진동 진폭은 와전류형 변위센서를 이용하여 측정한다. 공구동력계와 변위측정기에서 발생된 신호는 ADC board를 이용하여 1kHz로 샘플링되고, Matlab Simulink S/W를 사용하여 데이터를 얻도록 하였다. 절삭가공 후 가공면의 표면거칠기는 축침식 표면조도계(Mitutoyo, Surftest SJ-301)를 이용하여 컷오프(cutoff) 0.8mm, 샘플링 길이 8mm의 조건에서 측정하여 중심선 평균거칠기 ( $R_a$ )와 최대높이거칠기( $R_{max}$ )를 얻었으며, 비디오 측정시스템을 사용하여 공작물, 공구 및 칩(chip) 이미지를 얻었다. Table 2는 실험에 적용된 가공조건을 보여준다.

Table 2 Experimental cutting conditions

Cutting speed(rpm)	32	
Feed rate( $\mu\text{m}/\text{rev}$ )	44, 90, 140, 200	
Depth of cut( $\mu\text{m}$ )	10, 30, 50, 100, 150	
Tool	Frequency(kHz)	0.4, 3.2
	Amplitude( $\mu\text{m}$ )	5, 10

### 3. 실험 및 결과

Fig. 2는 진동절삭과 일반절삭의 절삭력을 비교한 그래프이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 진동절삭 과정에서 발생된 절삭력이 일반절삭 중에 발생된 주절삭력과 배분력보다 작게 나타난다. 이러한 이유는 일반절삭에서는 공구와 공작물이 가공 시작에서부터 한 과정이 끝날 때까지 계속 물려있는 상태로 가공이 이루어지는 반면에, 진동절삭에서는 공구의 진동속도가 빠르게 진행하여 공작물의 가공속도를 초과하면 순간적으로 공구와 공작물이 분리되어 간헐적인 절삭이 이루어지지만, 진동 속도가 공작물의 가공 속도보다도 느릴지라도 순간적으로 공구에 작용하는 절삭력의 크기가 줄어드는 과정을 반복하게 됨으로써 전체 절삭력의 크기에 영향을 미치지 않기 때문인 것으로 보인다. 주분력의 경우 진동절삭이 일반절삭에 비해 평균적으로 약 15% 감소된 결과를 나타내고 있음을 알 수 있으며, 보다 경제적인 절삭을 수행할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

한편, Fig. 2에서 절삭깊이가 작은 부분에서는 공구와 공작물 사이의 상대진동으로 인한 불안정한 절삭이 이루어지기 때문에 전체적으로 절삭력의 변화가 규칙적이지 못함을 보여준다. 정상 절삭이 이루어지는 부분은 절삭깊이가 약 80 $\mu\text{m}$  정도 이상에서부터인 것을 알 수 있다.

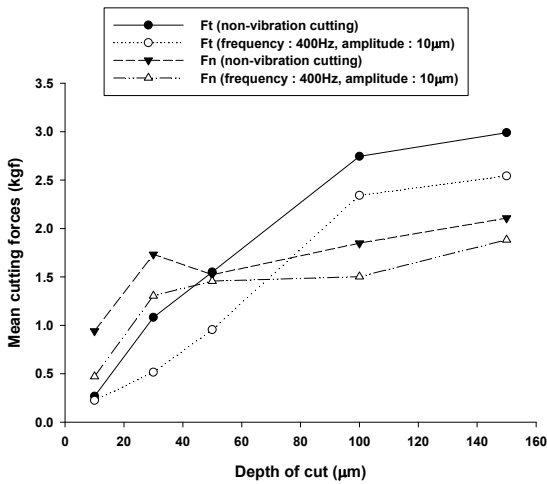


Fig. 2 Cutting forces of vibration cutting vs. conventional cutting (cutting velocity : 32rpm, feed rate : 90μm/rev)

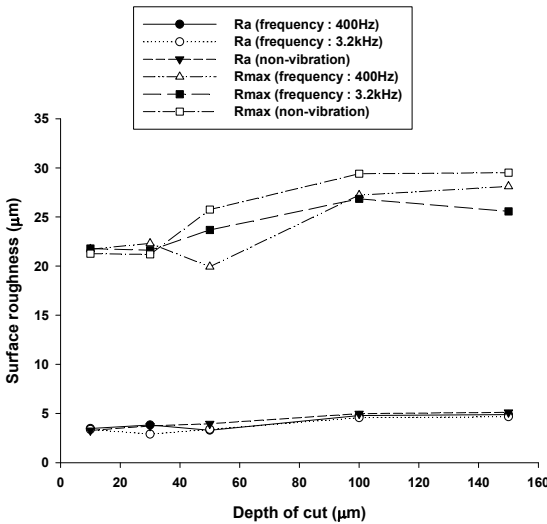


Fig. 3 Surface roughness of vibration cutting vs. conventional cutting (feed rate : 90μm/rev, nose radius : 0.4mm)

Fig. 3은 표면거칠기에 대한 400Hz와 3.2kHz의 두 진동절삭과 일반절삭의 영향을 나타낸 그림이며, 그래프에서 R<sub>max</sub>의 경우 진동절삭에 의한 표면거칠기가 보다 안정적인 것을 볼 수 있으며, R<sub>a</sub>도 진동절삭의 경우가 일반절삭의 경우보다는 작은 값을 나타낸다. 이는 진동절삭의 경우가 절삭저항을 감소시키면서 가공 상태에도 영향을 주어 좀 더 원활한 절삭이 이루어지도록 하며, 가공면의 상태를 양호하게 하는 것으로 판단된다. R<sub>max</sub>의 경우에 400Hz의 진동절삭과 일반절삭의 차이를 살펴보면, 진동절삭의 경우가 평균 약 11% 더 양호한 표면거칠기 값을 나타낸다.

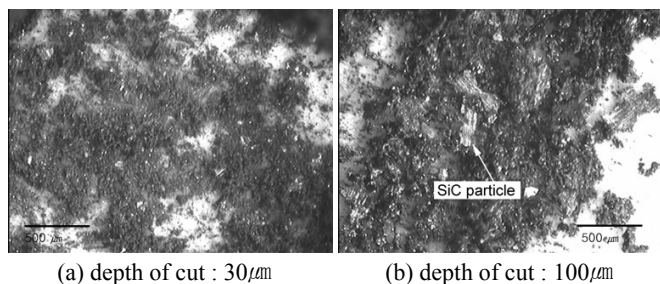


Fig. 4 Photos of chip shapes with vibration cutting (feed rate : 90μm/rev, frequency : 400Hz, amplitude : 10μm)

Fig. 4는 절삭깊이가 각각 30μm와 100μm인 진동절삭에 의해 배출된 칩의 형상을 비디오 측정시스템을 사용하여 나타낸 사진

이다. 절삭깊이가 클 때, 절삭깊이가 작은 경우보다 가공면으로부터 떨어져 나온 SIC 입자가 더 큰 것을 볼 수 있으며, 이와 같이 대부분의 칩들은 가공면에서 탈락되거나 층간 박리현상으로 떨어져 나오는 일반 금속절삭의 칩들과는 다른 입자나 가루 형태로 배출되고, 이로 인하여 가공면의 품질을 떨어뜨리게 된다.

#### 4. 결론

현재의 연삭 가공에 의한 탄소-세라믹 디스크 제작 공정들 보다 경제적이며 친환경적인 선삭 공정으로 대체할 목적으로, PCD 공구를 이용한 탄소-세라믹 복합재의 진동 절삭 특성에 대해 연구하였으며, 이를 통해 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 진동절삭을 수행한 결과의 절삭력이 일반절삭에서 발생하는 절삭력보다 주분력에 있어서 약 15% 감소된 결과를 확인함으로써 경제적인 절삭을 수행할 수 있음을 보였다. 이송과 절삭깊이가 작은 부분에서는 스틱-슬립이나 버니싱(burnishig)에 의한 공구와 공작물의 상대진동이 커져 불안정한 절삭이 이루어짐을 알 수 있었으며, 본 실험에서의 최적 절삭깊이는 80μm 정도이다.
2. 표면거칠기에 대한 일반절삭과 진동절삭의 영향은 최대높이 거칠기에서 진동절삭의 표면거칠기가 일반절삭의 경우보다 약 11% 감소되어 보다 나은 표면 상태를 보이고 있다.
3. 칩의 형태는 일반 금속재료의 절삭과는 다른 가루 형태로 배출되며, 재료의 취성으로 인해 미세하게 가공된 입자들로부터 큰 입자들의 탈락이나 박리된 여러 형태의 칩들을 보이는데, 이는 공작물 재료의 균질성, 정밀도가 높은 공작기계의 필요성이 요구됨을 보여준다.

#### 참고문헌

1. Moriwaki, T. and Shamoto, E., "Ultraprecision diamond turning of stainless steel by applying ultrasonic vibration," Annals of the CIRP, 40, 559-562, 1991.
2. Moriwaki, T., Shamoto, E., and Inoue, K., "Ultraprecision Ductile Cutting of Glass by Applying Ultrasonic Vibration," Annals of the CIRP, 41, 141-144, 1992.
3. Shamoto, E. and Moriwaki, T., "Ultraprecision diamond cutting of hardened steel by applying elliptical vibration cutting," Annals of the CIRP, 48, 441-444, 1999.
4. Weber, H., Herberger, J., and Pilz, R., "Turning of machinable glass ceramics with an ultrasonically vibrated tool," Annals of the CIRP, 33, 85-87, 1984.
5. 김정두, 이은상, 최인휴, "탄소섬유강화 플라스틱의 초음파 진동절삭에 관한 연구," 대한기계학회논문집, 18, 24-33, 1994.
6. 김홍건, 고범용, 강영우, 박명모, "탄소-세라믹디스크의 가공 특성에 관한 연구," 한국공작기계학회 추계학술대회논문집, 206-211, 2005.
7. Hwang, J. and Chung, E.S., "A Study on the Environmentally Conscious Machining Technology Cutting Fluid Atomization and Environmental Impact in Grinding Operation," Journal of the KSPE, 22, 61-69, 2005.