

## 다이아몬드 터닝 가공공정에서의 미세절삭력 특성 연구

정상화(조선대 기계공학과), 김상석\*, 차경래(조선대 대학원 기계공학과), 김건희,  
김근홍(한국기초과학지원연구원), 박순섭(충남대 대학원 기계공학과)

### A Study on Cutting Force Characteristics in Diamond Turning Process

S. H. Jeong(Mech. Eng. Dept, CSU), S. S. Kim, K. R. Cha(Mech. Eng. Dept, CSU)  
G. H. Kim, G. H. Kim(KBSI), S. S. Park(Mech. Eng. Dept, CNU)

#### ABSTRACT

A complete quantitative understanding of DT has been difficult because the process represents such a broad field of research. The experimental measurement of tool force is a single area of DT which still covers a wide range of possibilities. There are numerous parameters of the process which affect cutting forces. There are also many turnable materials of current interest. To obtain information toward a better understanding of the process, a few cutting parameters and materials were selected for detail study.

It was decided that free-oxygen copper and 6061-T6 alloy aluminum would be the primary test materials. There are materials which other workers have also used because of their wide use in reflective applications. The experimental phase of the research project began by designing tests to isolate certain cutting parameters. The parameters chosen to study were those that affected the cross-sectional area of the uncut chip. The specific parameters which cause this area to vary are the depth of cut and infeed per revolution, or feedrates. Other parameter such a tool nose radius and surface roughness were investigated as they became relevant to the research.

**Key Words** : Diamond Turning Machine(DTM, 다이아몬드 터닝 머시인), free-oxygen copper(무산소동), tool nose radius(공구 날끝 반경)

#### 1. 서론

다이아몬드 터닝머시인은 단결정 다이아몬드 공구를 사용하여 초정밀 부품을 경면 가공하는 공작기계이다.<sup>(1)</sup>

최근에 다이아몬드 터닝머시인은 절삭공정의 미세 동역학 규명과 가공 정밀도를 높이기 위한 새로운 기법이 개발됨에 따라 초정밀 산업에 필요한 광학부품, 정밀기계부품, 전자부품들의 영역에 널리 적용되어지고 있다.<sup>(2)(3)</sup>

다이아몬드 터닝 공정에서 공구 미세 절삭력을 측정하여 초정밀가공의 동적모델을 규명하는 것은 가공공정을 이해하고 제어하기 위해 필수적인 것이다.<sup>(2)(6)</sup>

다이아몬드 터닝의 절삭력 측정 연구는 많은 연구자들에 의해 다양한 방법으로 수행되어 왔다.

몇몇 연구자들은 광학 부품을 가공할 때 고려되어지는 절삭속도 및 피이드율 그리고 절삭속도와 같은 절삭 공정변수에 대한 영향을 고찰하기 위해 절삭력 측정실험을 시도하였다.<sup>(4)(5)</sup>

본 연구에서는 다이아몬드 터닝 공정에서 발생하는 공구 미세 절삭력을 측정하기 위해 설계 제작한 공구지지시스템을 이용하여 Al6061-T6과 무산소동에 대한 미세절삭력을 측정하였으며,<sup>(1)</sup> 미세가공공정에 중요한 영향을 미치는 변수인 절삭깊이와 피이드율의 영향을 평가하였다. 또한 가공조건에 따른 표면조도를 측정하여 최적의 표면조도를 얻기 위한 가공조건을 고찰하였다.

## 2. Force Measurement in Diamond Turning

### 2.1 Experiment Set-up

압전소자 힘 트랜스듀서(Piezo-electric force transducer)의 전류 출력은 힘에 비례한다. 트랜스듀서로부터 나오는 신호는 전류증폭기에 의해 증폭되고 전압으로 변환된다. 그리고 저주파 필터를 통과하여 Labview 프로그램을 이용하여 신호처리를 하였다. Fig.1은 절삭력 측정을 위한 실험 장치 구성도를 나타낸 것이다.

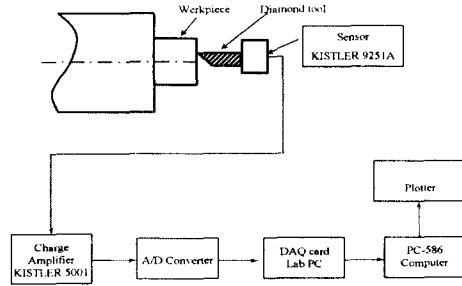


Fig. 1 Experimental setup

Fig. 2는 위에서 설명한 절삭력 측정시스템을 나타낸 것이다.

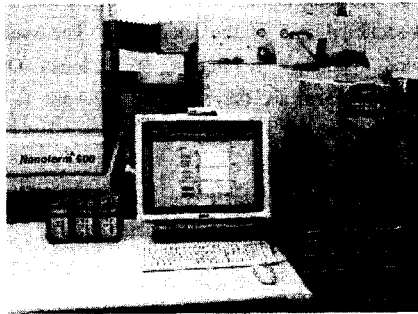


Fig. 2 Data acquisition System

### 2.2 Study of Parameters

본 연구에서는 절삭깊이와 피이드율의 영향을 고찰하기 위해 A16061-T6과 부산소동을 이용하여 미세절삭력 측정 실험을 수행하였으며, 초정밀가공에서의 피이드율을 각각 1.5, 3, 6, 12 $\mu\text{m}/\text{rev}$ 로 일정하게 유지하고 절삭깊이를 2, 5, 8, 10 $\mu\text{m}$ 까지 변화시키면서 절삭력을 측정하였다. 공구 날끝 반경(tool nose radius)이 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm인 NCD(Natural Crystal Diamond)를 사용하였고, 스피들 속도는 1600rpm으로 일정하게 하였다. Table 1는 실험을

수행하기 위한 절삭조건을 나타낸 것이다.

Table 1 Basic set of cutting conditions

Material	Al 6061-T6, Free-oxygen copper
Spindle speed	1600rpm
Depth of cut	2, 5, 8, 10 $\mu\text{m}$
Feedrate	1.5, 3, 6, 12 $\mu\text{m}/\text{rev}$
Tool nose radius	0.5mm, 1.0mm, 1.5mm (NCD)
Radius of workpiece	20mm

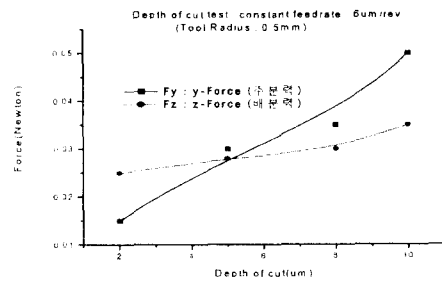
### 2.3 Study of Surface roughness

본 연구에서는 A16061-T6과 부산소동에 대해 좋은 표면조도를 얻기 위한 최적 절삭 조건을 구하기 위해 공구 날끝 반경 R=1.0mm인 NCD(Natural Crystal Diamond)를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험 방법은 Table 1과 동일하게 수행되었으며, 표면조도 측정장비는 WYKO사의 NT2000 표면조도측정기를 이용하였다.

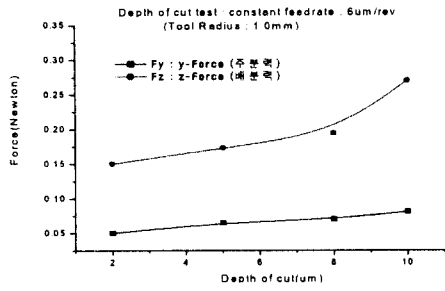
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 Influence of Depth of Cut

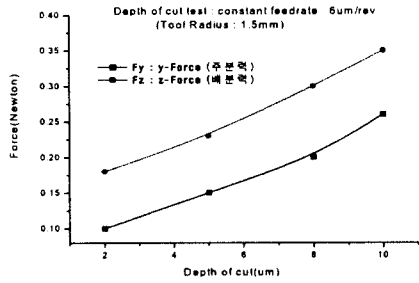
절삭깊이에 대한 영향을 고찰하기 위해 피이드율을 일정하게 유지하고, 절삭깊이를 변화시키면서 절삭 가공을 수행하였다. 피이드율은 6 $\mu\text{m}/\text{rev}$ 이고, 절삭깊이는 2, 5, 8, 10 $\mu\text{m}$ 로 변화시켰다.



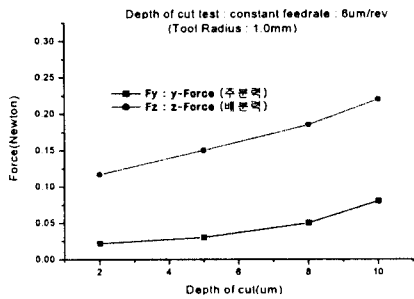
(a) Aluminum, Tool nose radius=0.5mm



(b) Aluminum, Tool nose radius=1.0mm



(c) Aluminum, Tool nose radius=1.5mm



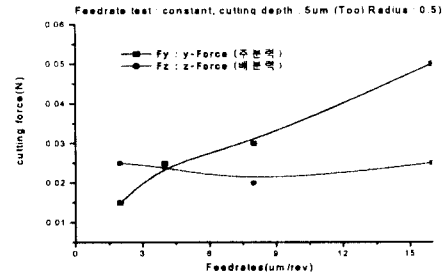
(d) Copper, Tool nose radius=1.0mm

Fig. 3 Experimental data of cutting forces according to depth of cut ; (a), (b), (c) force in aluminum using 0.5, 1.0, 1.5mm tool radii respectively, (d) force in copper 1.0mm tool radius

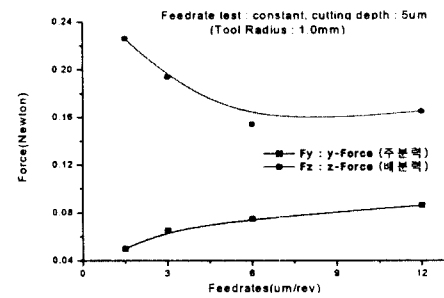
Fig. 3에 나타난 바와 같이 알루미늄은 공구의 공구 날끝 반경이 커질수록 공구에 작용하는 미세절삭력은 증가하였으며, 배분력이 주분력보다 미세절삭력이 커지게 됨을 알 수 있었다. 부산소동에서도 주분력보다는 배분력이 크게 나타났으며, 또한 절삭깊이가 증가할수록 선형적으로 절삭력이 증가함을 알 수 있었다.

### 3.2 Influence of Feedrate

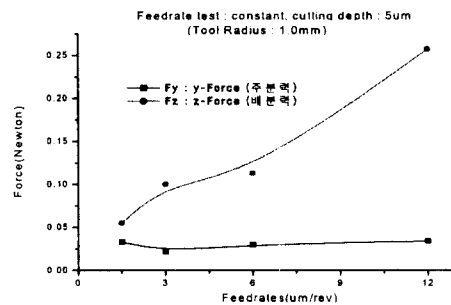
두 번째 실험으로 피이드율에 대한 영향을 고찰하였다. 피이드율은 1.5, 3, 6, 12 $\mu$ m/rev까지 고려하였으며, 절삭깊이는 5 $\mu$ m, 주축회전수는 1500rpm으로 일정하게 유지하였다. 피이드율 변화에 대한 절삭력 실험값은 Fig.4에 나타내었다



(a) Aluminum, Tool nose radius=0.5mm



(b) Aluminum, Tool nose radius=1.0mm



(c) Copper, Tool nose radius=1.0mm

Fig. 4 Experimental data of cutting forces according to feedrates ; (a), (b), (c) force in aluminum using 0.5, 1.0 tool radii respectively, (c) force in copper 1.0mm tool radius

피이드율이 미세가공에 미치는 영향은 Fig. 4에 나타난 바와 같이 알루미늄에서는 피이드율이 증가할수록 주분력은 선형적으로 증가했지만 공구 날끝 반경에 따른 증가는 거의 없었고, 배분력은 8 $\mu\text{m}/\text{rev}$ 까지 감소 후 증가하였고 공구 날끝 반경이 증가함에 따라 주분력에 비해 크게 증가함을 알 수 있었다. 무산소동에서는 주분력보다는 배분력이 선형적인 증가가 나타났으며, 주분력은 피이드율의 증가에 일정하게 유지하였다.

### 3.3 Result of Surface Roughness Measurement

본 연구에서는 원하는 표면조도를 얻기 위한 최적절삭조건을 구하기 위해 앞 절에서 제시된 가공조건을 이용하여 가공한 후 NT2000 표면조도 측정기를 이용하여 표면조도를 측정하였다. Table 2에 나타난 결과값은 가공조건에 따라 가공한 후 가장 좋게 나타난 결과값을 산별한 것이다 측정값은 일정하게 4군데를 측정하여 평균값을 낸 값이다.

Table 2 Result of surface roughness according cutting condition

Al6061-T6	
Cutting condition	Surface roughness (Ra)
Feedrate : 10mm/min Depth of cut : 2 $\mu\text{m}$	6.43nm
Feedrate : 10mm/min Depth of cut : 5 $\mu\text{m}$	6.478nm
Feedrate : 10mm/min Depth of cut : 8 $\mu\text{m}$	6.053nm
Feedrate : 10mm/min Depth of cut : 10 $\mu\text{m}$	6.258nm
Free-oxygen copper	
Cutting condition	Surface roughness (Ra)
Feedrate : 5mm/min Depth of cut : 8 $\mu\text{m}$	5.613nm
Feedrate : 5mm/min Depth of cut : 10 $\mu\text{m}$	5.458nm
Feedrate : 10mm/min Depth of cut : 1 $\mu\text{m}$	5.46nm
Feedrate : 10mm/min Depth of cut : 2 $\mu\text{m}$	5.413nm

위 결과로 부터 Al6061-T6은 절삭깊이가 8~10 $\mu\text{m}$ , 피이드율이 10mm/min인 경우, 무산소동은 절삭깊이 1~2 $\mu\text{m}$ , 피이드율 10mm/min, 절삭깊이 8~10 피이드율 5mm/min일 경우 좋은 표면조도를 얻어 낼 수 있었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 다이아몬드 터닝시 발생하는 절삭력을 측정하여 미세가공 공정에 중요한 영향을 미치는 변수인 절삭깊이와 피이드율의 영향을 고찰하였고, 가공조건에 따른 표면조도를 측정하여 최적의 표면조도를 얻기 위한 가공조건을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 알루미늄은 공구의 공구 날끝 반경이 커질수록 공구에 작용하는 미세절삭력은 증가하였으며, 배분력이 주분력보다 크게 나타남을 알 수 있었다. 무산소동에서도 주분력보다는 배분력이 크게 나타났다. 또한 절삭깊이가 증가할수록 절삭력이 증가하였다.
- (2) 알루미늄에서는 피이드율이 증가할수록 주분력은 증가했지만 공구 날끝 반경에 따른 영향은 거의 없었고, 배분력은 8 $\mu\text{m}/\text{rev}$ 까지 감소 후 증가하였고 공구 날끝 반경이 증가함에 따라 주분력에 비해 크게 증가함을 알 수 있었다. 무산소동에서는 주분력보다는 배분력이 크게 나타났으며, 주분력은 피이드율의 증가에 따른 영향이 거의 없었다.
- (3) Al6061-T6은 절삭깊이가 8~10 $\mu\text{m}$ , 피이드율이 10mm/min인 경우, 무산소동은 절삭깊이 1~2 $\mu\text{m}$ , 피이드율 10mm/min, 절삭깊이 8~10 피이드율 5mm/min일 경우 좋은 표면조도를 얻었다.

## References

1. T. A. Dow, Joe Drescher, "Measurement of Tool Force in diamond Turning" 1988
2. Kazuaki, Toshimich., Society of Manfg. Engineers, 1987
3. Furukawa, Moriwaki., "Effect of Material Properties on Ultra-precision Cutting processes" CIRP vol 37, pp.113, 1988
4. 정상화, 김상석, "다이아몬드 터닝 가공의 미세 절삭력 측정을 위한 tool holder 설계" 한국정밀공학회 추계 학술 대회 논문집, pp.68-71, 2000
5. 정상화, 김상석, 도철진, 홍권희, 김건희, "다이아몬드 터닝의 절삭력 측정용 tool holder를 이용한 미세절삭력 특성연구", 한국정밀공학회 2001년도 춘계학술대회, pp 938-941, 2001
6. R.J.P. Schrama, J. Franse., "The precision cutting process as a non-linear closed loop system" PE, Vol 10, pp.199-207, 1988