

## 공구 진동에 대한 공구 셋팅 오차의 영향

신영재\*(한국기계연구원), 박경택(한국기계연구원), 강병수(한국기계연구원)

### The Effects of Tool Setting Errors on Cutting Tool Vibrations

Y. J. Shin(KIMM), K. T. Park(KIMM), B. S. Kang(KIMM)

#### ABSTRACT

High speed milling process is emerging as an important fabrication process benefits include the ability to fabricate micro and meso-scale parts out of a greater range of materials and with more varied geometry. It also enables the creation of micro and meso-scale molds for injection molding. Factors affecting surface roughness have not been studied in depth for this process. A series of experiments has been conducted in order to begin to characterize the factors affecting surface roughness and determine the range of attainable surface roughness values for the high speed milling process. It has previously been shown that run-out creates a greater problem for the dimensional accuracy of parts created by high speed milling process. And run-out also has a more significant effect on the surface quality of milled parts. The surface roughness traces reveal large peak to valley variations. This run-out is generated by spindle dynamics and tool geometry. In order to investigate the relationship between tool setting errors and surface roughness end tilted mills were used to cut aluminum samples. The results indicate that tool setting errors have significant effects on surface roughness and cutting forces.

**Key Words** : Tool vibration(공구진동), Run-out(회전정도), Tool setting error(공구설치오차), Cutting force (절삭력)

#### 1. 서론

새로운 제품의 생산 준비기간, 생산 준비투자 중에서 비율이 높은 금형제작의 기간단축, 비용절감은 중요한 과제로 되고 있다. 따라서 금형제작단계에서 CAD/CAM과 고속가공기를 활용한 고속·고정도 가공에 의한 가공시간 단축, 다듬질 공수의 삭감에 의한 제작기간의 단축, 비용 절감을 시키고 있다.

대부분 금형은 곡면과 미세형상의 조합으로 구성되어 있으며 완만한 형상은 대경공구를, 미세형상은 소경공구를 이용하여 마무리해 가는 가공방법이 일반적이다. 절삭방법으로서 평탄부는 왕복가공, 경사부는 등고선상에 형상이음가공, 미세 형상은 능선이음에 펜슬 가공이나 형상이음가공을 실시하고 있다. 가공방법으로는 절삭깊이를 작게 설정함으로써 절삭부하를 절감하고 고속회전·고속이송을 실현하는 이른바 얇은 절삭깊이 고속이송이 사용되고 있다.

또한, 공구에 있어서도 도출길이를 L/D(공구길이

/공구직경)의 값으로 5 이하가 되도록 하여 공구의 채터링 진동 등의 발생 빈도를 줄이고, 수축 끼워맞춤방식의 공구홀더를 사용하여 고속 회전시에 진동 정밀도와 강성을 유지시키고 있다.

금형의 고속가공에서 상기와 같은 가공방법과 공구의 사용에도 불구하고 고속 주축에 장착되어 있는 공구 홀더가 셋팅 오차를 가질 경우에 공구가 주축의 회전축에 대하여 편심과 경사각을 가지게 된다. 이 경우 공칭 칩 두께의 수십 배에 달하는 공구 진동이 발생하여 공구 수명이 감소하게 되며 가공물의 표면 거칠기가 아주 악화된다[1].

본 연구의 최종목표는 공구의 셋팅 오차와 고속 회전시 공구의 회전정도 및 가공물 표면 거칠기와의 관계를 설정하는 것으로 본 연구에서는 레이저 공구 셋팅장치를 이용한 공구의 셋팅오차의 측정법과 공구의 셋팅 오차와 가공물의 표면 거칠기와의 관계에 대하여 실험한 결과를 소개한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

본 실험에 사용된 머시닝센터, 공구동력계, 레이저 공구 설치기, 표면 거칠기 측정기의 주요사항은 Table 1과 같다.

Table 1 Experimental Equipments

Machining center	Maker : DHI Ltd Model : FZ25 Spindle speed: 5,000 max
Tool dynamometer	Maker : Kistler Co., Ltd. Model : 9257B Range : - 5 ~ 5 kN
Laser tool setting system	Maker : Renishaw Inc Model : NC1 Repeatability of trigger points : ? .15 $\mu\text{m}$ 2 $\sigma$ Tool dia. measurement : < 0.2 mm
Surface Roughness tester	Maker : Mitutoyo Corp. Model : SJ-301 Type : Diamond stylus tip Measuring range : 350 $\mu\text{m}$ Traverse : 21 mm

### 2.2 실험방법

실험방법은 Table 2와 같은 조건으로 실험하였으며 본 실험에서는 3 종류의 공구를 사용하여 절삭력과 표면 형상 및 표면 거칠기를 비교 하였다.

공구의 경사각을 측정하기 위하여 Fig. 1과 같이 레이저 공구 설치기를 사용하였으며 절삭력을 측정하기 위하여 Fig. 2와 같이 공구동력계를 사용하였다.

Table 2 Experimental Conditions

Workpiece	Al alloy
Cutter	4 flute end mill, $\varnothing$ 12 mm Extrusion length 55 mm
RPM	2600
Feed rate(mm/min)	1000
Radial depth(mm)	0.3
Axial depth(mm)	8
Initial tool's tilting( $\mu\text{m}/\text{mm}$ ) & eccentricity( $\mu\text{m}$ )	Tool #1 : 2 & 2 Tool #2 : 10 & 4 Tool #3 : 20 & 7

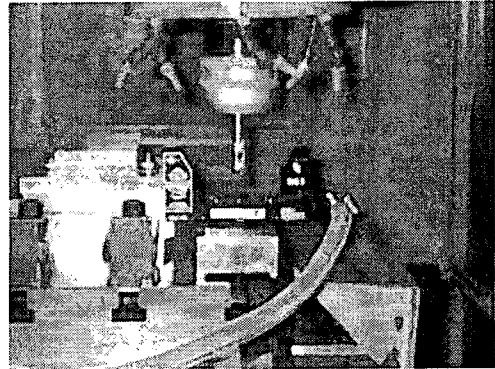


Fig. 1 Measurement of tool's tilting by laser tool setting system

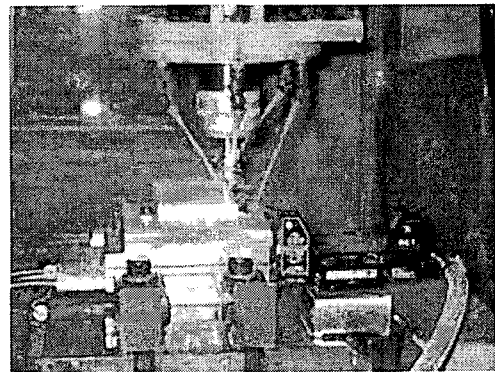


Fig. 2 Measurement of cutting forces by tool dynamometer

## 3. 실험결과

### 3.1 공구 경사각

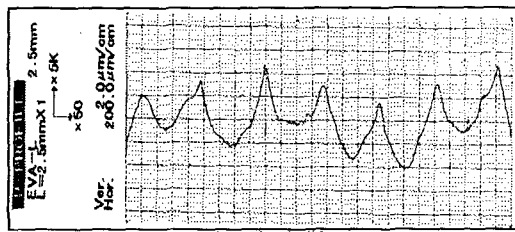
주축이 2600 rpm으로 회전하는 상태에서 레이저 공구 설치기를 이용하여 측정된 결과를 Table 3에 나타내었다. 주축이 정지한 상태에서는 측정된 경사각보다 크게 측정됨을 볼 수 있다. 이는 공구의 장착할 때에 생기는 조그만 편심과 경사각의 기하학적 오차가 회전 중에는 공구의 불평형 질량으로 작용하여 공구의 흔들림이 증대되는 때문이다.

Table 3 Measured tool's tilting

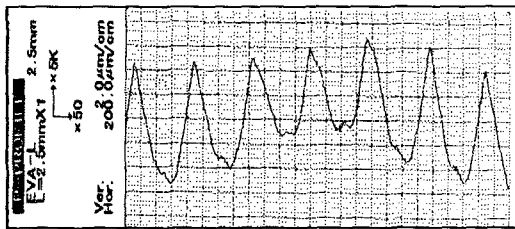
Tool #1.	4 $\mu\text{m}$ / 10 mm
Tool #2	16 $\mu\text{m}$ / 10 mm
Tool #3	69 $\mu\text{m}$ / 10 mm

### 3.2 표면 형상 및 표면 거칠기

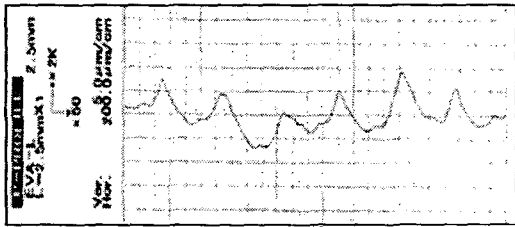
Table 2의 주어진 조건으로 가공된 표면의 형상을 Fig. 3, 측정된 표면 거칠기를 Table 4에 나타내었다. 공구 경사각의 측정 결과와 동일하게 표면 거칠기도 증대됨을 알 수 있으나 크기는 증가하지 않았다.



(a) Tool #1



(b) Tool #2



(c) Tool #3

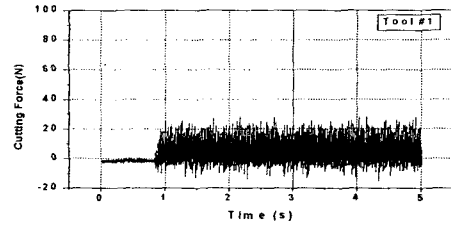
Fig. 3 Measured surface profiles

Table 4 Measured surface roughnesses

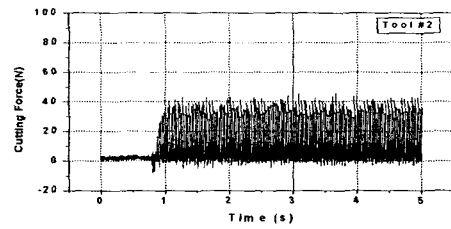
Tool #	Ra: $\mu\text{m}$ , Rz: $\mu\text{m}$
Tool #1	Ra: 0.84 $\mu\text{m}$ , Rz: 4.17 $\mu\text{m}$
Tool #2	Ra: 1.13 $\mu\text{m}$ , Rz: 5.13 $\mu\text{m}$
Tool #3	Ra: 1.14 $\mu\text{m}$ , Rz: 7.33 $\mu\text{m}$

### 3.3 절삭력

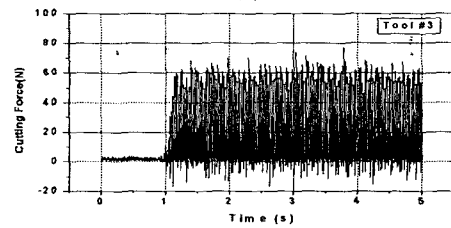
Fig. 4의 (a), (b), (c)는 반경방향의 절삭력이고 (d), (e), (f)는 이송방향의 절삭력이다. 공구의 초기 경사각 및 편심이 크면 같은 절삭조건에서도 절삭력도 증대됨을 알 수 있다. 절삭력은 표면 거칠기와 달리 확연히 증가됨을 알 수 있다.



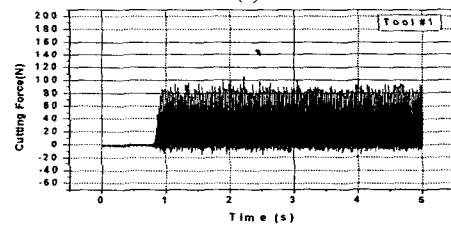
(a)



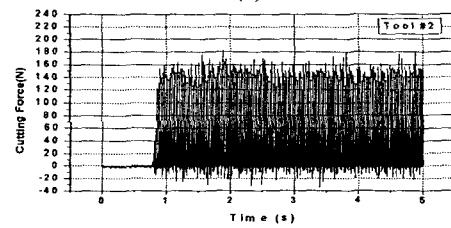
(b)



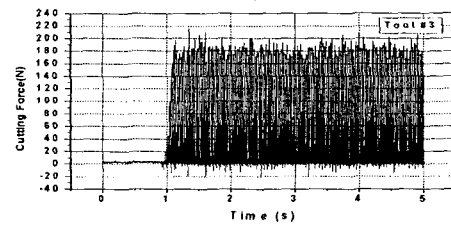
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 4 Measured cutting forces

#### 4. 결론

본 연구는 머시닝센터 가공시 공구의 설치오차가 가공물의 표면 거칠기에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험으로 엔드밀를 이용한 절삭가공실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 공구의 설치오차 즉 편심과 경사각이 존재하면 회전 중에 주축계의 동특성에 의하여 흔들림이 증가된다.
- (2) 공구의 설치오차 즉 편심과 경사각이 크면 클수록 표면 거칠기와 절삭력이 증가된다.
- (3) 표면 거칠기보다는 절삭력의 증가가 크게 나타난다.
- (4) 공구의 설치오차와 표면 거칠기의 상호관계를 이용하여 공구설치오차에 따른 표면 거칠기의 예측이 가능하다고 사료된다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중, 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 글로벌 정보공유 및 지식기반의 차세대 생산시스템기술 개발사업의 위탁과제로서 수행중이며, 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 올립니다.

#### 참고문헌

1. Martin B. Jun, Shiv G. Kapoor, Richard E. Devor, "The Effects of End Mill Alignment Errors on Vibrations at High Spindle Speeds," SME Technical Paper TP04PUB202, 2004