

# 알루미늄 홀 가공용 버니싱 드릴의 제작 및 평가에 관한 연구

하정호\*, 김동규\*\*, 사민우\*.#

\*에스제이티 기업부설연구소, \*\*대구기계부품연구원

## A Study on the Fabrication and Evaluation of Burnishing Drills for Aluminum Hole Making

Jeong-Ho Ha\*, Dong-Gyu Kim\*\*, Min-Woo Sa\*.#

\*SJT R&D Center, \*\*Daegu Mechatronics & Materials Institute

(Received 31 March 2022; received in revised form 09 June 2022; accepted 14 June 2022)

### ABSTRACT

Recently, the use of aluminum components in the reduction of the vehicle weight to improve fuel efficiency and reduce carbon dioxide emissions has increased. In the aluminum machining cutting process, hole-making is an important process that accounts for 30% of the machining process. Although many studies have been conducted using the continuously advancing hole processing technology, studies on the machinability of the tool depending on the type of chuck on the workpiece are still lacking. In this study, the machining performance of cemented carbide burnishing drills was compared and analyzed according to chuck type. The burnishing drill was used to create a hole in the AL6061 workpiece, and the surface roughness and dimensional accuracy of the hole were examined according to the type of chuck while monitoring the spindle load.

**Keywords** : Burnishing Drill(버니싱 드릴), Surface Roughness(표면 거칠기), Inner Diameter(내경), Spindle Load(주축 부하)

### 1. 서 론

전 세계는 지금 환경 규제가 추세이며, 특히 자동차는 규제의 영향을 많이 받는데, 이러한 사회의 요구에 부응하기 위해 자동차 업계는 연비 효율성을 증가하거나 하이브리드 차량 개발 등에 힘을 쏟고 있다. 이 일환으로 자동차 경량화도 함께 연구가 활발히 진행되고 있는데, 자동차 연료 소비의

약 23%는 차량의 중량과 연관이 있어서 무거울수록 연료 소비가 늘어나는 것이다.

따라서, 자동차의 무게를 줄이는 것은 연비 향상, 이산화탄소 배출 절감시킬 수 있다는 것이다. 자동차 차체 및 부품을 경량화하기 위해 알루미늄 합금의 사용이 증대되고 있는데 알루미늄을 가공하기 위해서는 고속 절삭 가공이 필수적이다. 하지만 알루미늄을 가공하려면 인성이 높고 절삭 날에 용착이 잘 되는 등의 문제점을 해결해야 한다<sup>[1]</sup>. 그래서 알루미늄 가공에 관한 연구가 많이 필요한 실정이다.

# Corresponding Author : 79smw42@gmail.com

Tel: +82-53-586-6210, Fax: +82-53-586-6211

절삭 가공에 있어서 구멍 가공은 큰 비중을 차지하고 있으며 여러 가지 변수를 가지고 있어서 실험을 수행하기가 쉽지 않다<sup>[2]</sup>. 하지만 시간이 지날수록 절삭가공의 시장이 확장되고 있어서 드릴가공의 연구가 활발히 수행될 필요가 있다. 과거의 구멍가공은 높은 치수정밀도를 요구하지 않았기 때문에 구멍가공의 기술이 크게 발전하지 않았지만 구멍가공은 전체 절삭가공 중에서 30%를 차지할 만큼 매우 중요한 공정인 만큼 구멍 가공용 드릴의 기술이 계속해서 발전하고 있다<sup>[3-5]</sup>. 구멍가공을 수행하기 위해서 다양한 종류의 드릴이 사용되는데 본 연구에서는 버니싱 드릴을 사용하였다. 일반 트위스트 드릴은 초기 절입시 치즐이 피삭재에 평행하게 닿게 되어 드릴의 중심 Point가 움직이는 오킹현상으로 구멍의 위치정밀도가 떨어진다. 반면에 버니싱 드릴은 치즐이 피삭재에 대해 췌기모양으로 닿아 중심 Point가 움직이지 않고 구멍의 위치 정밀도가 정확한 셀프 센터링의 기능이 있다<sup>[6]</sup>. 그래서 센터 드릴의 사용이 필요 없다. 이러한 장점을 가지고 있는 버니싱 드릴을 사용하기 위해서는 MCT 머시닝 장비에 고정을 시켜야 한다. 이 버니싱 드릴을 MCT 머시닝 센터에 고정을 시키기 위해서는 척이 필요하다. 척에도 종류가 있는데 본 연구에서는 콜렛 척(SDC16P, Dine, Korea), 유압 척(DHE14) 그리고 유압 콜렛 척(DHE20)을 이용하여 버니싱 드릴로 알루미늄 피삭재를 가공할 때 척이 어떠한 영향을 미치는지를 실험해보았다. 드릴의 가공 성능은 가공 시 발생하는 절삭력의 크기, 표면조도, 내경, 주축부하율 등으로 평가되고 있다<sup>[7]</sup>. 가공 성능을 분석하기 위해서 구조해석으로는 절삭력과 온도를 결과로 살펴보고 실험 결과로는 표면 거칠기, 홀의 내경 그리고 주축부하를 분석하였다.

## 2. 유한요소해석

### 2.1 유한요소해석 조건

드릴의 형상에 따른 절삭력과 절삭온도의 비교를 위해 절삭가공 전용 유한요소해석 소프트웨어 (AdvantEdge FEM)를 활용하였다. 드릴 가공 시 발생하는 추력에 영향을 주는 기능각 point angle을 120°와 140°로, clearance angle은 7°, 10°, 13°로 각각

변경해 6개의 조건으로 해석을 실시하였다(Table 1). Table 1의 명칭들의 이해를 돕기 위하여 Fig. 1은 버니싱 드릴의 2D 형상과 각부의 명칭들을 표시하였다. 피삭재와 드릴의 소재는 소프트웨어 라이브러리에서 제공하는 Al6061과 텅스텐 카바이드(WC)로 설정하였다. 드릴 회전수는 4,500rpm, 회전당 이송 0.3mm로 드릴이 360° 회전하는 동안 해석을 실시하였다.

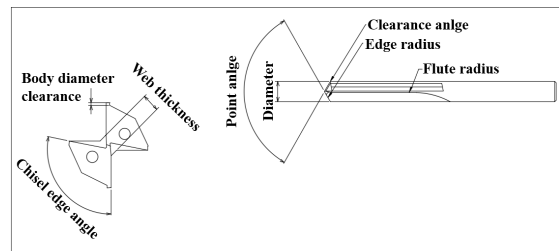


Fig. 1 Drill shape and name of each part

Table 1 Information of burnishing drill shape

Parameter	1	2	3	4	5	6
Point angle (°)	120			140		
Clearance angle (°)	7	10	13	7	10	13
Helix angle (°)	0					
Web thickness (mm)	4.5					
Flute radius (mm)	5					
Edge radius (mm)	0.04					
Diameter (mm)	14					
Body diameter clearance (mm)	0.6					
Chisel edge angle (°)	118.5					

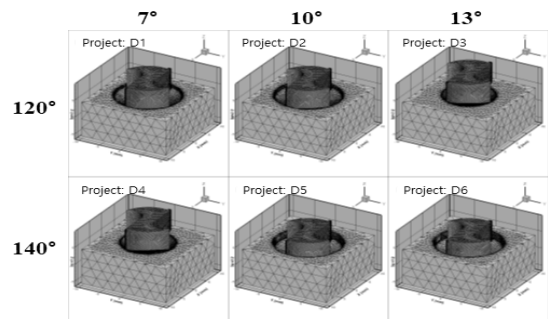


Fig. 2 Mesh generation of burnishing drill

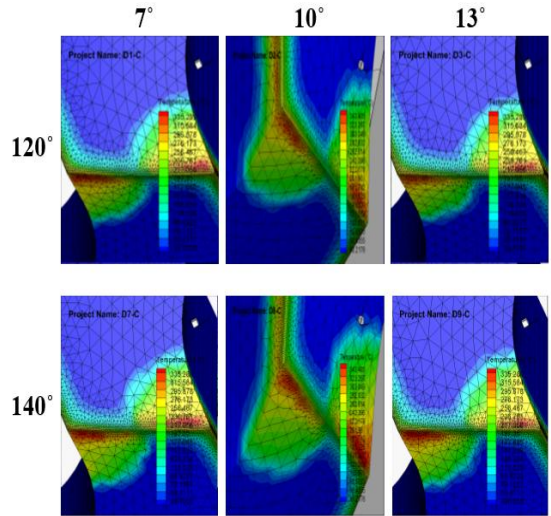
## 2.2 유한요소해석 결과

Fig. 3(a)의 치즐부에서의 온도분포를 살펴보면 각 형상별로 340℃ 정도의 최고 온도를 보였으며 그 분포와 경향이 유사했다. Fig. 3(b)와 같이 경사면에서의 온도분포는 point angle 140°, clearance angle 10°에서 고온의 분포가 가장 낮은 것을 확인했으며, point angle 120°가 point angle 140°보다 고온의 분포가 다소 높다는 것을 확인했다. point angle이 낮으면 인선부와 피삭재, 칩의 접촉면적이 길어져서 온도가 다소 높게 형성되었다.

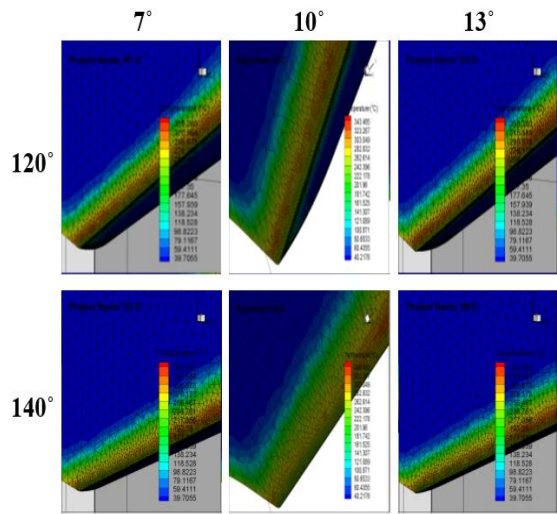
절삭온도의 변화를 Fig. 4와 같이 시간별로 살펴봤다. 드릴 진입부터 해석을 시작하면 각 형상에 따른 영향을 확인하기 위해 과도한 해석시간이 요구되므로 본 해석에서는 드릴이 피삭재의 1mm 깊이에 있다고 가정 후 해석이 시작되었다. 따라서 해석 시작과 동시에 온도와 절삭력이 순간적으로 상승했다. 해석 시작 시 온도는 모든 형상에서 유사했고, 드릴의 회전각도가 180° 이전까지는 point angle 140°가 120°보다 낮은 경향을 보였다. 이는 상대적으로 point angle이 작은 120°드릴에서의 lips와 피삭재의 접촉 길이가 상대적으로 길어서 발생하는 현상이다. 그리고 절삭이 더 진행되고 드릴 회전각도가 180° 이상이 되면 point angle 120°는 절삭온도가 약 30도 정도 하락했으며 point angle 140°는 상대적으로 절삭 초기와 유사한 절삭온도를 유지했다. 이는 lips의 길이가 긴 영향으로 생성되는 chip의 면적 또한 넓어져 가공 중 발생하는 열의 제거가 더 효과적으로 발생한 것으로 판단된다.

마지막으로 절삭을 더 진행하면 모든 조건에서 온도가 상승하는 경향을 보였다. Fig. 5, Fig. 6과 같이 절삭 최고온도와 최저온도를 살펴보면 point angle 120°, clearance angle 7°에서 순간적으로 온도가 상승하는 구간이 발생해 최고온도가 가장 높게 나타났으며 나머지 형상에서는 큰 차이를 확인하기 어려웠다.

Point angle은 작고 clearance angle은 클수록 절삭 시 낮은 절삭력이 발생했다(Fig. 7-9). 이 각도의 변화에 따라서 드릴의 인선부가 더욱 날카로운 형상으로 변경되므로 가공에 긍정적 영향을 주었고, 타 소재보다 상대적으로 연성이 큰 알루미늄 계열 소재의 절삭가공의 절삭성 향상에 큰 효과를 준다.



(a) Cutting edge 1



(b) Cutting edge 2

Fig. 3 Temperature distribution of cutting edge

하지만 point angle이 너무 작아지면 lips의 길이가 길어져 마모 측면에서 불리할 수 있다. 또한 clearance angle 또한 너무 크게 되면 인선부의 강성에 영향을 줄수 있으므로 적절한 선정이 필요하다. 이러한 결과를 토대로 본 연구에서는 선단각 120도에 여유각 10도의 해석 결과 이용하여 버니싱 드릴을 제작 및 가공 평가를 수행하였다.

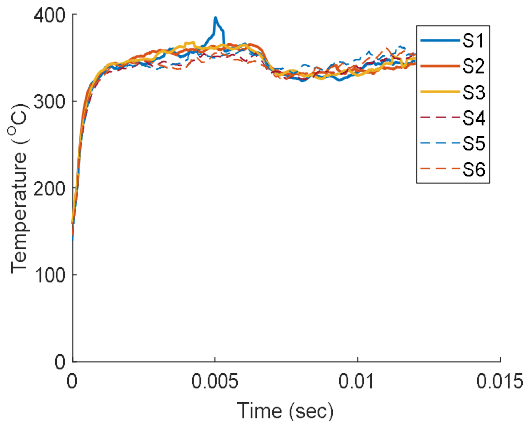


Fig. 4 Variation of temperature along the time

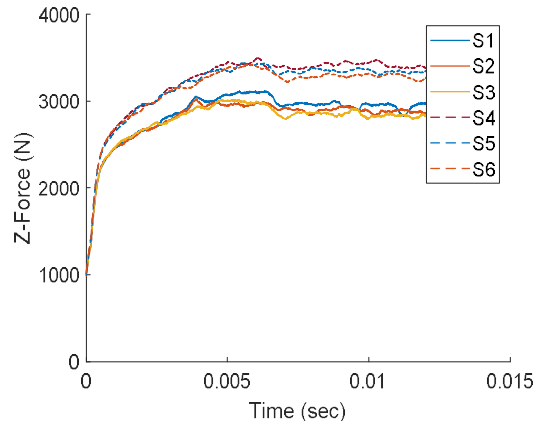


Fig. 7 Variation of cutting force along the time

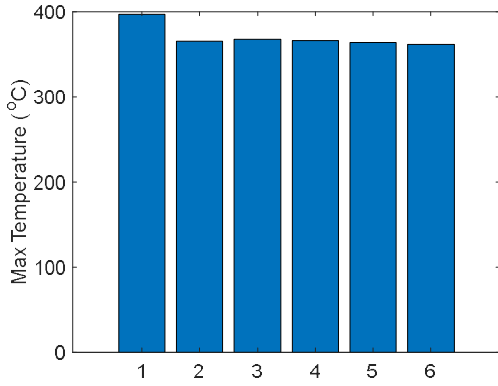


Fig. 5 Max temperature of different clearance angle and point angle

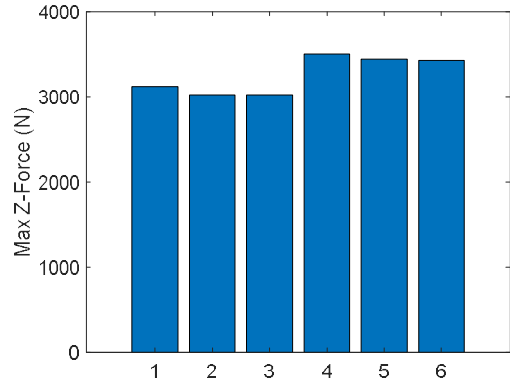


Fig. 8 Max cutting force of different clearance angle and point angle

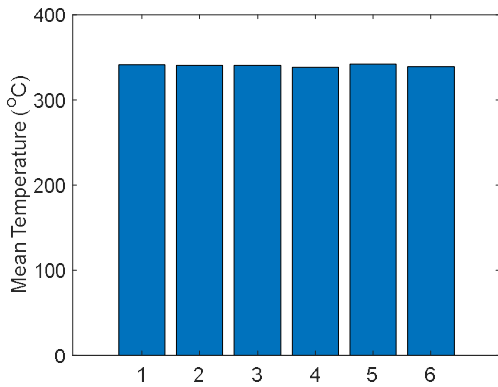


Fig. 6 Min temperature of different clearance angle and point angle

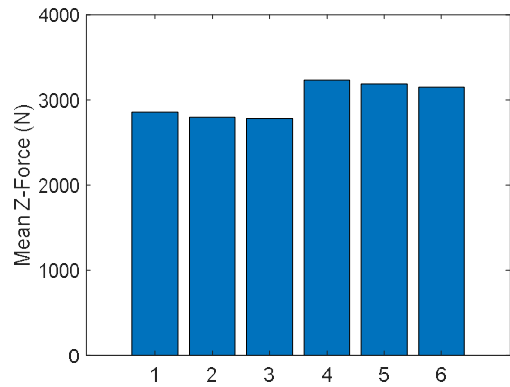


Fig. 9 Min cutting force of different clearance angle and point angle

### 3. 재료 및 방법

#### 3.1 재료 준비

Fig. 10은 실험 장비의 셋업 사진을 보여준다. Fig. 10 (a)는 MCT 장비(DST-36D, Daesung HITEC, Korea)를 보여주고 있다. Fig. 10 (b)는 알루미늄 피삭재를 지그에 고정시킨 사진을 보여주고 있다. 그리고, Fig. 10 (c)는 버니싱 드릴을 MCT 장비에 셋팅한 사진을 보여주고 있으며 홀 가공하기 직전의 사진이다. 피삭재는 AL6061(30T\*200W\*200L)을 사용하였고 피삭재의 정보는 Table. 2에 나타내었다. Table. 3은 알루미늄 6061의 화학적 성분을 나타내었다.

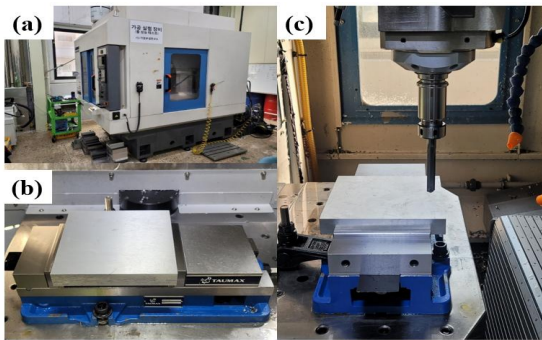


Fig. 10 Experimental set up : (a) Tapping machine, (b) Workpiece, (c) Drilling

Table 2 Material properties of AL6061

parameter	AL6061
Density	2,700 kg/m <sup>3</sup>
Tensile strength, Yield	48.3 MPa
Tensile strength, Ultimate	117 MPa
Modulus of Elasticity	68.9 GPa

Table 3 Chemical composition of AL6061 substrate(wt%)

AL6061	Al	Cr	Cu	Fe	Mg
	95.8	0.04	0.15	0.7	0.8
	~98.6	~0.35	~0.40	less	~1.2
	Mn	Si	Ti	Zn	
	0.15	0.4	0.15	0.25	
less	~0.8	less	less		

#### 3.2 드릴 제작

Fig. 11은 버니싱 드릴의 정보를 보여준다. 소재는 초경 소재(CTS20D, Ceratizit, Luxembourg)를 사용하였다. 내부 컬런트 홀을 가진 초경 환봉을 도면에 맞게 연삭 가공 및 후처리 가공을 통해 버니싱 드릴을 제작하였다. 최대 길이는 164.04mm, 플루트 길이는 85mm이다. 직경은 14mm이고 샹크의 직경도 14mm이다. Table. 4는 드릴의 상세 정보를 보여준다. 드릴의 직경은  $\phi 14$ 이고 선단각은 120°, 날 수는 2개이다. 그리고 날 부위에 호닝 처리를 0.04-0.06mm만큼 해준 다음 연마제 H4/400을 이용하여 drag finishing 처리를 해주었다. 총 6분 처리하였고 정회전 3분, 역회전 3분 처리하였다. Fig. 12는 3가지 척의 종류를 버니싱 드릴과 결합한 사진을 보여준다. Fig. 12(a)는 콜렛 척을 보여준다. 콜렛의 기계적인 힘으로 드릴과 척을 고정시켜 준다. Fig. 12(b)는 유압 척을 보여준다. 유압의 힘으로 척과 드릴을 고정시켜준다. Fig. 12(c)는 유압 콜렛 척을 보여준다. 유압의 힘으로 스트레이트 콜렛을 조여주는 원리로 드릴과 척을 고정시켜준다. Fig. 12(a)의 콜렛 척에는 피삭재 가공 중 칩이나 절삭유 등이 들어가 가공 결과에 영향을 미칠 수 있다. 반면에 Fig. 12(b)의 유압 척에는 칩이나 절삭유 등이 들어갈 수 있는 공간이 없어서 가공에 영향을 미치는 변수가 줄어든다는 장점이 있다.

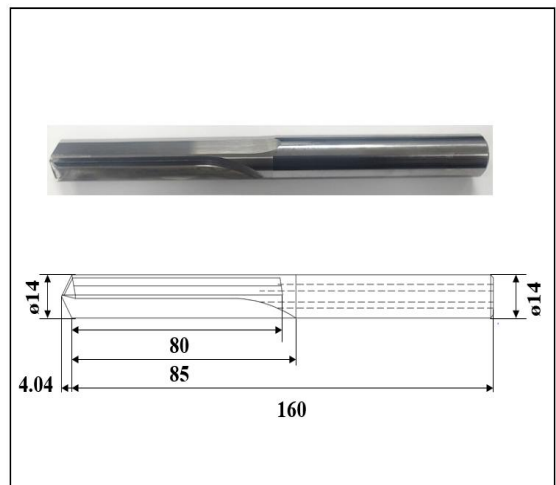
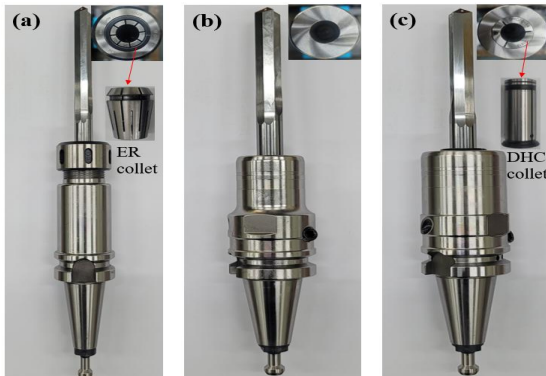


Fig. 11 Burnishing Drill information

**Table 4 Detail information of drill**

	Value
Outer diameter( $\phi$ )	14
Point angle( $^{\circ}$ )	120
Flute(F)	2
Overall length(mm)	160



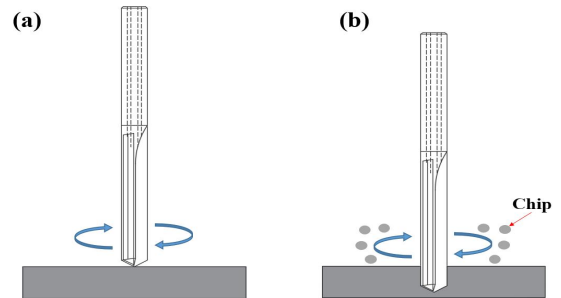
**Fig. 12 Photograph of (a) SDC16P, (b) DHE14 and (c) DHE20**

### 3.3 가공 조건

Table 5는 실험에서 사용된 가공 조건을 보여준다. 척 1개 당 이송속도와 회전수를 변경한 12가지 가공 조건에서 홀 가공을 했고 조건 당 3개의 홀을 가공하였다. 3가지 척의 오버행은 115mm로 동일하게 하였고, 홀 깊이도 20mm로 동일하게 하였다. Fig. 13은 드릴 공구를 사용하는 것을 개략도로 보여준다. 드릴은 회전하며 구멍을 생성할 위치로 이동하게 되고 구멍을 생성할 위치에서 아래로 내려가면서 구멍을 뚫는다. 그 과정에서 칩이 발생하게 되고 내부 급유로 인해서 칩이 원활하게 배출될 수 있도록 하였다.

**Table 5 Detail information of drill**

$\phi 14$	Drill
Spindle speed(rpm)	1,500, 2,000, 2,500
Feed rate(mm/min)	150, 200, 250, 300
Over hang(mm)	115
Depth(mm)	20



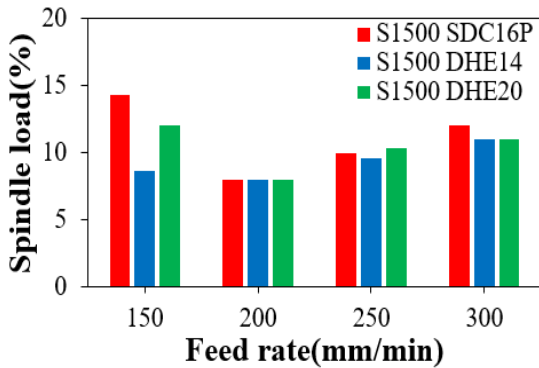
**Fig. 13 Schematic diagram of drilling process**

## 4. 결과 및 토론

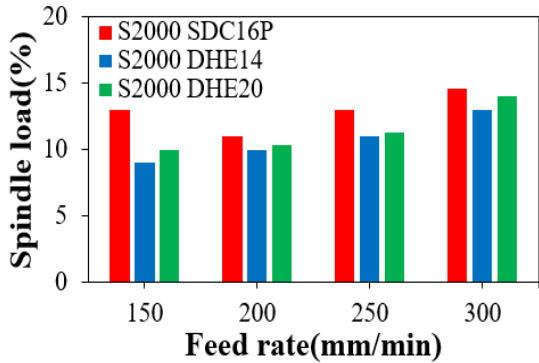
### 4.1 MCT 주축부하

가공 평가 시 가장 우선적으로 확인이 되는 변화는 장비의 화면에 나타나는 부하이다. 이 부하를 통해 작업자는 공구의 가공 조건을 결정짓기도 하며, 톨 교체를 하는 경우도 있어 가공에서 중요한 요소로 여겨지고 있다. 드릴을 이용한 피삭재 가공 시 가공 부하는 장비 자체에서 자동으로 측정이 된다. Fig. 14는 각 1,500, 2,000, 2,500 회전수에서 이송속도에 따른 주축부하 값을 그래프로 나타내었다. 척의 종류에 따른 런아웃의 변화는 거의 없었으며  $4\mu\text{m}$  이내로 측정되었다. 회전수 1,500rpm에서는 이송속도 150mm/min에서 주축부하가 크게 측정이 되었고 200mm/min에서 감소하였다가 200mm/min 이후로 이송속도가 증가할수록 주축부하가 서서히 증가하였다. 회전수 2,000rpm에서는 DHE14 척과 DHE20 척에서 이송속도가 증가할수록 주축부하가 서서히 증가하였고 SDC16P 척은 150mm/min에서 높은 값으로 측정되었다가 200mm/min의 이송속도에서 감소하였다. 그리고 200mm/min 이후로 이송속도가 증가할수록 서서히 주축부하가 증가하였다. 2,500rpm에서는 3가지의 척에서 모두 이송속도가 증가함에 따라 주축부하가 증가하였음을 보여준다. 전체적으로 DHE14 척과 DHE20 척의 경우에는 거의 유사하게 주축부하가 측정되었지만 SDC16P 척에서는 주축부하가 조금 더 높게 측정이 되었다. Kim et al<sup>[8]</sup>에 따르면 언밸런스량이 진동을 유발한다는 것을 고려하였을 때 본 연구에서 사용된 SDC16P

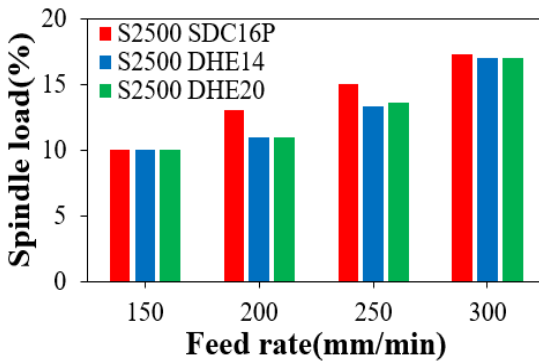
척은 콜렛이 틀을 파지하는 면적이 작아 진동에 취약할 수 있는 것으로 보여졌으며, 이처럼 가공 시 발생하는 진동은 주축부하에 영향을 미쳤다고 판단되었다.



(a) : 1,500 rpm



(b) : 2,000 rpm

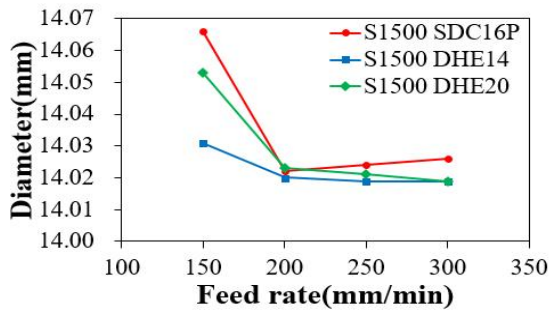


(c) : 2,500 rpm

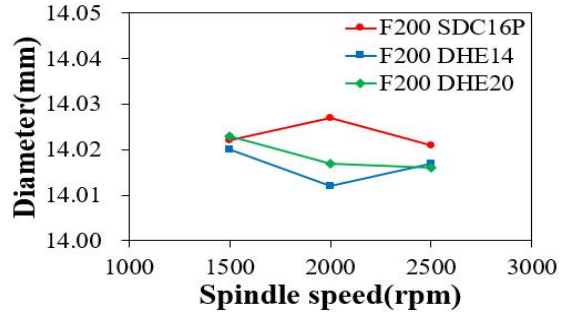
Fig. 14 Variation of drill spindle load during drilling

## 4.2 홀의 내경 측정 데이터

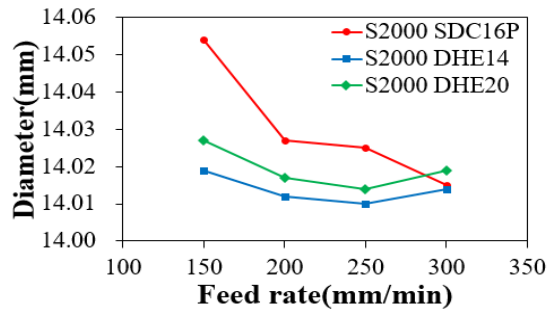
버니싱 드릴로 알루미늄 홀을 가공한 뒤에 생성된 홀의 내경을 측정하여 척의 종류에 따른 성능을 분석하였다. 이때 내경을 측정하기 위해서 3차원 측정기를 사용하여 프로브로 홀의 4부분을 터치시켜 내경을 측정하였다. 프로브로 터치한 4부분의 높이는 일정하게 측정하였고 위치도 최대한 같은 위치에서 측정할 수 있도록 하였다. Fig. 15에서는 각 1,500, 2,000, 2,500rpm 회전수에서 이송속도에 따른 내경 값과 각 150, 200, 250, 300mm/min 이송속도에서 회전수에 따른 내경 값을 그래프로 나타내고 있다. 회전수 1,500rpm에서는 DHE14 척과 DHE20 척에서 이송속도에 증가함에 따라 내경이 감소하는 경향을 보이고 있다. 반면에 SDC16P 척은 이송속도 200mm/min에서 감소하였지만 200mm/min 이후에 이송속도가 증가함에 따라 내경이 증가하는 경향을 보였다. 회전수 2,000rpm에서는 DHE14 척과 DHE20 척의 내경 변화 경향성이나 값이 비슷하게 측정되었고 SDC16P 척의 경우는 이송속도가 증가함에 따라 점점 내경이 작게 측정되는 것을 확인할 수 있다. 회전수 2,500 rpm에서는 이송속도 300mm/min을 제외하면 DHE14 척과 DHE20 척의 값이 비슷하게 측정이 되었다. 이송속도 150mm/min에서는 회전수가 증가함에 따라 SDC16P 척과 DHE20 척의 내경은 감소하는 경향을 보였고 DHE14 척은 내경이 감소하다가 다시 증가하였다. 이송속도 200mm/min에서는 DHE14 척과 DHE20척의 변화 양상이 비슷하게 측정되었고 SDC16P는 회전수가 증가함에 따라 내경이 증가하였다가 감소하는 경향을 보였다. 이송속도 250 mm/min에서도 이송속도 200 mm/min에서와 비슷한 경향을 보였다. 이송속도 300 mm/min에서는 회전수가 증가함에 따라 DHE14와 DHE20의 내경이 작아지는 경향을 보였고 SDC16P는 회전수가 증가함에 따라 내경이 감소하다가 증가하였다. 몇 가지 예외적인 부분을 제외하면 상대적으로 SDC16P 척을 이용했을 때 내경이 크게 측정되는 것은 DHE14와 DHE20에 비해 공구의 파지면적이 달라 가공 시 파지력이 치수정밀도에 영향을 미쳤음을 알 수 있다.



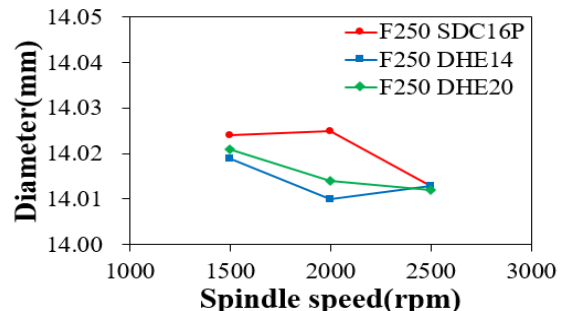
(a) : 1,500rpm



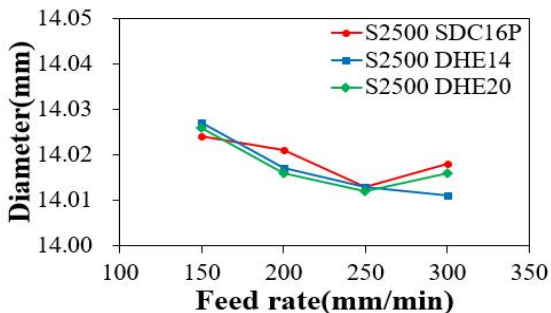
(e) : 200mm/min



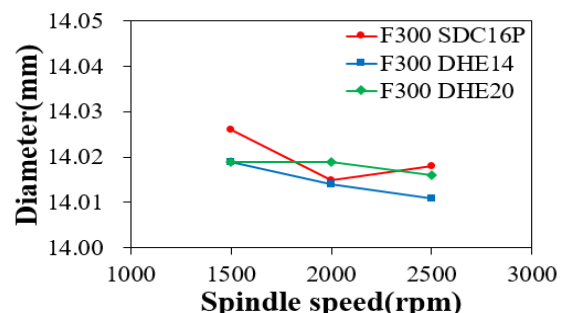
(b) : 2,000rpm



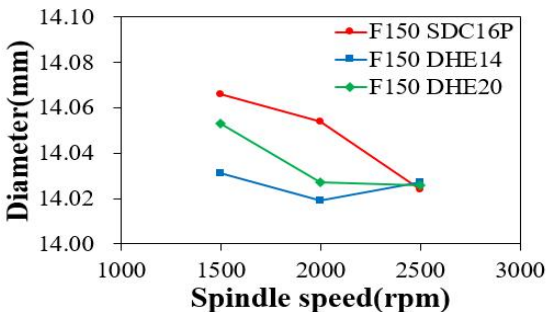
(f) : 250mm/min



(c) : 2,500rpm



(g) : 300mm/min



(d) : 150mm/min

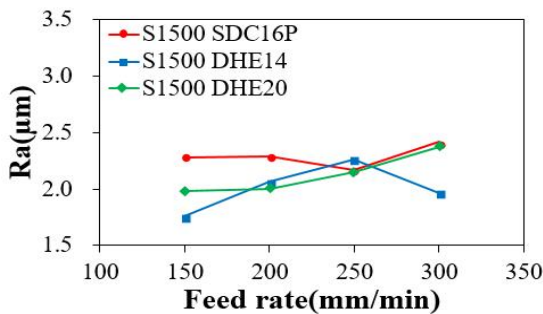
Fig. 15 Variation of inner diameter at different spindle speed and feed rate

### 4.3 홀의 표면거칠기 측정 데이터

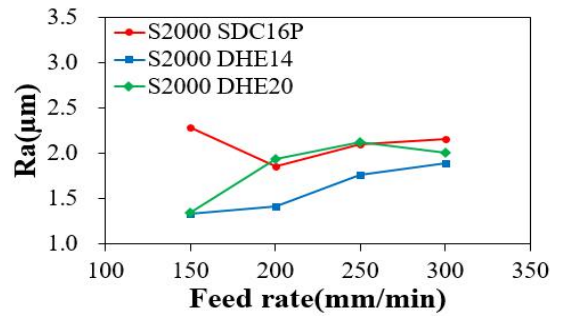
Fig. 16에서는 각 1,500, 2,000, 2,500rpm 회전수에서 이송속도에 따른 표면 거칠기( $R_a, \mu\text{m}$ ) 값과 각 150, 200, 250, 300mm/min 이송속도에서 회전수에 따른 표면 거칠기 값을 그래프로 나타내고 있다. 회전수 1,500rpm에서는 SDC16P 칩과 DHE20 칩의 표면 거칠기가 이송속도에 따라 비



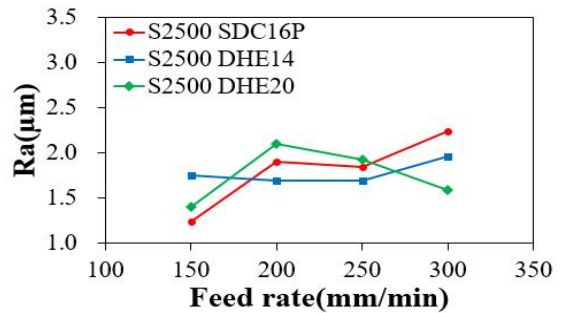
슷하게 측정이 되었고 DHE14는 그에 비해 표면 거칠기가 상대적으로 변화 폭이 크게 측정이 되었다. 회전수 2,000rpm에서는 이송속도 150mm/min을 제외하면 SDC16P 칩과 DHE20 칩의 값이 거의 유사하게 측정되었고 DHE14 칩이 상대적으로 Ra값이 낮게 측정이 되었다. 회전수 2,500rpm에서는 이송속도 300mm/min을 제외하면 SDC16P 칩과 DHE20 칩의 값이 유사하게 측정이 되었고 DHE14 칩은 이송속도에 따른 변화 폭이 상대적으로 작게 측정이 되었다. 이송속도 150mm/min에서는 회전수 2,000rpm을 제외하고는 SDC16P와 DHE20 칩의 표면 거칠기가 비슷하게 측정되었다. 이송속도 200mm/min에서 회전수 1,500rpm을 제외하고는 상대적으로 SDC16P와 DHE20의 표면 거칠기가 유사하게 측정되었다. 250mm/min에서도 SDC16P와 DHE20 칩의 표면 거칠기가 거의 비슷하게 측정되었고 이송속도 300mm/min에서는 회전수 2,500rpm을 제외하고 SDC16P와 DHE20의 표면 거칠기가 비슷하게 측정되었다. 몇 포인트에서 예외적인 부분이 있지만 전체적으로 살펴보았을 때 몇 가지 예외적인 포인트를 제외하면 SDC16P와 DHE20 칩을 사용했을 때 표면 거칠기가 유사하게 측정이 되는 것은 콜렛에 의한 파지력이 가공 성능에 영향을 미쳤음을 유추해볼 수 있다. DHE14는 버닝 드릴 공구를 안정적으로 파지하고 그 면적 또한 가장 넓어서 가공 시 가장 안정적이기 때문에 12개 포인트 중 4개를 제외하고 표면 거칠기가 가장 우수하게 측정 되었다.



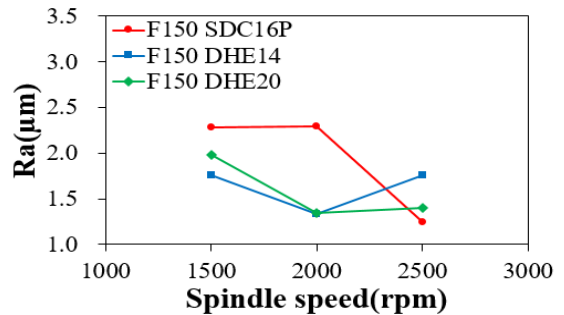
(a) : 1,500rpm



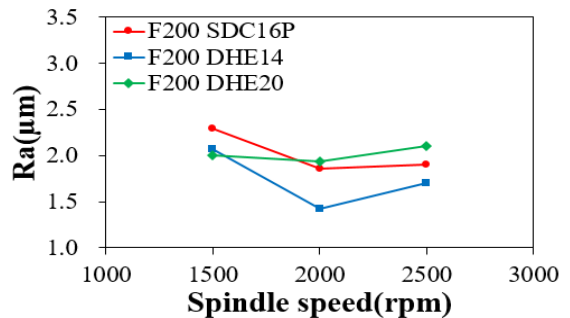
(b) : 2,000rpm



(c) : 2,500rpm



(d) : 150mm/min



(e) : 200mm/min

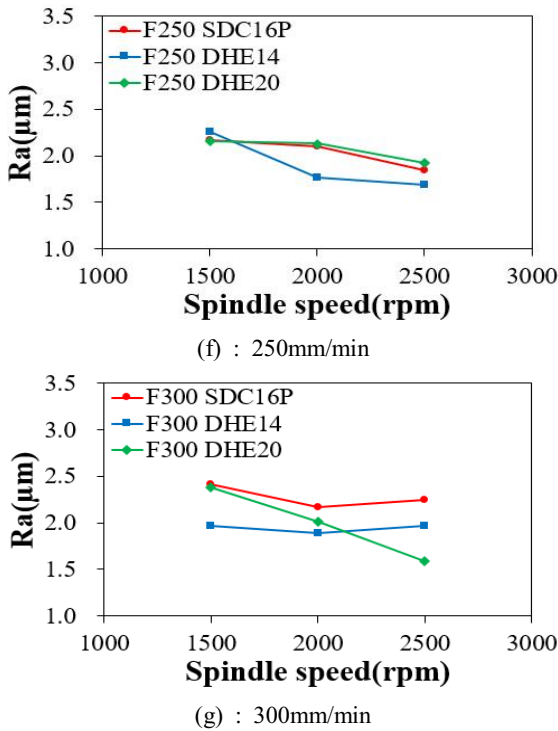


Fig. 16 Variation of surface roughness at different spindle speed and feed rate

## 5. 결론

본 연구에서는 버니싱 드릴을 이용한 피삭재 AL6061을 가공함에 있어 칩의 종류가 어떠한 영향을 미치는지 연구하였으며, 주축부하, 홀의 내경 그리고 표면 거칠기를 결과로 보여주고 있다. 결과들을 통해 아래와 같은 결론을 내렸다.

1. SDC16P 칩을 이용했을 때 주축부하가 가장 높게 측정이 되었고 DHE14와 DHE20 칩을 사용했을 때는 주축부하가 거의 유사하게 측정되었다.
2. 결과를 분석했을 때 SDC16P의 칩으로 가공한 내경이 가장 크게 측정되었고 DHE14와 DHE20의 칩으로 가공한 내경은 거의 유사하게 측정되었다.
3. 가공 조건에 따른 표면 거칠기의 경향성은 뚜렷하게 보이지 않았지만 DHE14 칩을 사용했을 때 12개의 포인트 중 4개의 포인트만 제외하고 표면 거칠기가 가장 우수하게 측정이 되었다.

결과적으로 유압척인 DHE14와 DHE20은 결과거리의 비슷한 것으로 판단되었고 콜렛 척인 SDC16P는 유압척에 비해 좋지 않은 것으로 확인되었으며 이러한 부분은 공구와 칩의 파지 면적으로 인한 차이인 것으로 사료된다.

## 후 기

“본 연구는 2021년도 중소벤처기업부 기술혁신개발사업 소부장 일반의 지원에 의해 연구되었음. (S3039100)”

## REFERENCES

1. Choi, M. S., “Effect of Coating and Machining Parameters on Surface Finish in Dry Drilling of Aluminium 6061,” Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 14, No. 2, pp. 47-52, 2015.
2. Choi, M. S., “Effect of Geometrical Similarity between Twist Drill on the Shape of Chip Produced,” Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 9, No. 6, pp. 118-126, 2000.
3. Shin, H. G. and Kim, T. Y., “A Study on the Detection of the Drilled Hole State in Drilling,” Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 12, No. 3, pp. 8-16, 2003.
4. Shin, H. G., Kim, S. I. and Kim, T. Y., “A Study on Tool Wear in Drilling of Hot-rolled High Strength Steel,” Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 10, No. 2, pp. 10-17, 2001.
5. Byun, S. K., Jang S. G., Lee, C. Y. and Jeon, E. C., “A Study on the Cutting Performance of the Carbide Step Drill,” Proc. of the Korean Society for Precision Engineering Conference, pp. 1063~1067, 1997.
6. Kim, J. S. and Park, D. G., “The Influence of Guide Pads in the High Precision Cutting Process of Burnishing Drill,” Proc. of the Korean Society

for Precision Engineering Conference, pp. 80-84, 1996.

7. Kim, T. Y., Shin, H. G., Kim, J. T., Kim, M. H. and Lee, H. G., "A Study on the Drilling Characteristics of TiAlN Coated Twist Drill," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 3, No. 4, pp. 29-36, 2004.
8. Kim, M. S., Kim, J. T., Park, S. W., Jeong, D. W., Choi, S. H., Koo, B. H. and Yoon, S. H., "Effect of Unbalance on Vibration and Machining of Al6061 Aluminum Alloy in Precision Rotator," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 20, No. 3, pp. 76-82, 2021.