

측면 연삭가공에 있어서 퀴축강성변화가 가공현상에 미치는 영향

The Effect on the Machining Phenomenon due to the Change of the Quill Rigidity in a Side-Cut Grinding

김창수^{*}, 서영일^{*}, 최 환^{**}, 이종찬^{***}, 정선환^{***}

^{*} 금오공과대학교 대학원, ^{**} 금오공과대학교 기계설계공학과, ^{***} 금오공과대학교 생산기계공학과

ABSTRACT

A side-cut grinding generates a machining error by the decrease of the quill rigidity. In this paper, The effect on the grinding force, machining error and surface roughness due to the change of the quill rigidity is investigated experimentally. The slenderness ratio of the quill is a significant factor to analyse the change of the grinding force and machining error.

Key Words : Side-cut grinding(측면연삭), Machining error(가공오차), Quill rigidity(퀴축강성), Grinding force(연삭저항력), Surface roughness(표면조도), Slenderness ratio(세장비)

1. 서 론

최근 머시닝 센터(Machining Center)의 정도 및 기능이 향상되어 MC를 이용한 연삭가공이 많은 산업분야에 이용되고 있다.^{1) 2)} MC를 이용한 연삭에서는 대부분 소경숫돌을 사용하므로 숫돌이 부착된 숫돌대(이하 퀴축)의 조건에 따라서 공구계의 강성이 저하하게 되어 연삭가공시 퀴축의 변형에 의한 가공오차가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 퀴축의 강성변화에 따른 가공현상을 알아보기 위하여 비트리파이드 CBN 소경숫돌로 금형재료로 널리 사용되는 합금공구강(STD-11, Rc 60)을 MC를 이용하여 측면연삭가공을 행하였다. 그리고 퀴축의 강성 변화가 연삭저항력과 가공오차에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 퀴축의 직경과 길이의 변화에 따른 연삭저항력과 가공오차를 실험을 통하여 살펴보았으며, 퀴축의 강성변화가 공작물 표면조도에 미치는 영향에 대해서도 알아보았다. 또한 퀴축의 직경과 길이의 비, 숫돌과 퀴축의 직경비에 따른 연삭저항력과 가공오차의 변화에 대하여 알아보았다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 숫돌 및 공작물

본 실험에 사용한 숫돌은 CBN 소경숫돌로 비트리파이드(V) 본드를 사용하였으며, 입도 #230, 집중도 100, 결합도 G이다. 퀴축은 각각 직경 $\phi 8$, $\phi 10$, $\phi 15$, 길이 10, 20, 30 mm으로 정밀 연삭가공하여 제작하였으며, 퀴축 끝단에 직경 $\phi 20$, 폭 15 mm의 비트리파이드 CBN 소경숫돌을 부착하였다.

공작물은 금형 재료로 널리 사용되고 있는 STD-11을 길이 47.5 mm, 폭 14 mm, 높이 76 mm로 제작하고, 경도 Rc 60으로 열처리하여 사용하였다.

2.2 실험방법

Fig. 1은 본 실험의 실험장치의 개요를 나타낸다.

본 실험은 수직형 머시닝센터(화천기계, ECOMIL 35V, 75kW)상에서 수행하였으며, 연삭저항력의 측정을 위해 압전형 공구동력계(Kistler, 9257B)를 머시닝센터 테이블 위에 설치하고, 그 위에 공작물을

고정한 후 Table 1에 나타난 실험조건에 따라 습식 상향 측면연삭을 행하였다.

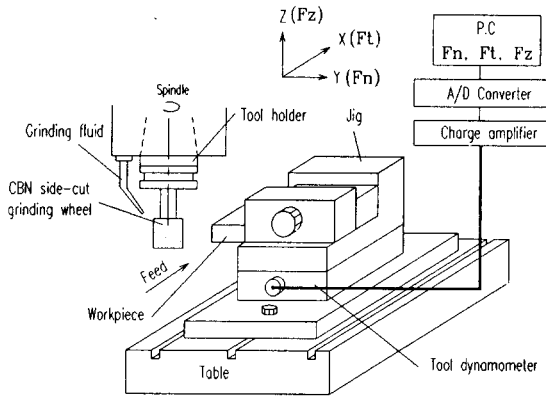


Fig. 1 Experimental setting

또한 매 실험조건마다 슷들의 진원을 형성하기 위하여 단석 다이아몬드 드레서(1/2")를 사용하여 트루잉을 행하였고, Table 1의 조건으로 드레싱을 행하였다.

Table 1에 본 실험의 실험조건에 관하여 나타내었다.

Table 1 Experimental conditions

Grinding machine	Vertical type Machining Center (ECOMIL, 75kW)
Wheel speeds (m/min)	188(3000rpm)
Table speeds (mm/min)	20
Depth of cut (μm)	5, 10, 20, 30
Dressing condition	wheel speed : 143 m/min feed speed : 200 mm/min depth of cut : $5\mu\text{m} \times 2\text{pass}$ dresser : One-point diamond
Grinding fluid	Syntilo-9954(Castrol, 40:1)

2.3 연삭저항력 및 가공오차의 측정

Fig. 1에서 보는바와 같이 슷들의 이송방향의 연삭저항력(F_t)과 법선방향의 연삭저항력(F_n)을 측정

하기 위하여 머시닝센터 테이블 위에 압전형 공구동력계(Kistler, 9257B)를 설치하고, 그 위에 지그를 부착하여 공작물을 고정하였다. 공구동력계에서 발생된 신호는 다채널 증폭기(Kistler, 5019A)에서 증폭되어 아날로그-디지털변환기(IOtech, DaqBook)를 거쳐 개인용 컴퓨터(PC)로 전송되며, Grinding force software를 이용하여 데이터를 분석하였다.

또한 소경숫돌을 사용한 측면연삭가공 시 킨축강성의 저하에 따라 발생하는 가공오차량을 정밀하게 측정하기 위하여 본 연구에서는 집축식 표면조도계(Mitutoyo, TV-600)를 사용하였으며³⁾ 킨축의 강성의 변화에 따른 가공성능을 알아보기 위하여 킨축경(d)과 킨축 길이(L)의 비, 즉 L/d 를 세장비(Slenderness ratio)라 정의하고 이 비에 따른 연삭저항력과 가공오차와의 관계를 살펴보았다.

또한 슷돌직경(D)과 킨축경(d)의 직경비(D/d)와 법선연삭저항력의 관계를 실험을 통하여 알아보았다.

3. 실험결과 및 검토

Fig. 1은 설정절입깊이(a)의 변화에 따른 실제절입깊이와 킨축 길이의 변화를 살펴보기 위하여 킨축경이 $\phi 10$ 인 경우 킨축 길이를 10, 20, 30 mm로 각각 변화시켜가며 실험한 결과이다.

그림에서 보는 바와 같이 실제절입깊이는 킨축 길이가 증가함에 따라 점차 감소하고 설정절입깊이가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다.

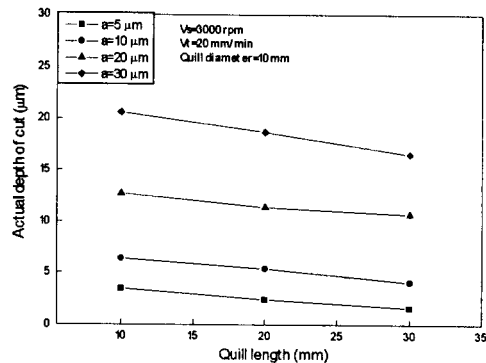


Fig. 1 Actual depth of cut versus Quill length change for setting depth of cut

이와 같은 경향은 킨축 길이가 증가함에 따라 공구계의 강성이 저하되어 가공시 킨축의 변형에 의해 실제절입깊이가 감소하게 되었다.

Fig. 2는 설정절입깊이 변화에 따른 법선연삭저항력과 가공오차량을 킨축 길이변화에 대한 관계를 살펴보기 위하여 킨축경이 $\phi 10$ 인 경우, 킨축 길이를 10, 20, 30 mm로 각각 변화시켜가며 실험한 결과이다. 단 연삭저항력은 법선연삭저항력(F_n)이 지배적이므로³⁾ 법선연삭저항력(F_n)을 중심으로 검토하였다.

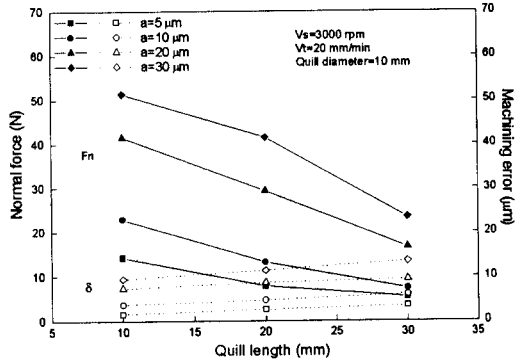


Fig. 2 Normal force & Machining error versus quill length for depth of cut

법선연삭저항력은 킨축 길이가 증가함에 따라 점차 감소하고, 설정절입깊이가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 가공오차량은 킨축 길이가 증가함에 따라 증가하고, 설정절입깊이의 증가에 대하여 증가함을 나타내고 있다.

이러한 이유는 Fig. 1에서 살펴본 바와 같이 킨축 길이가 증가함에 따라 공구계의 강성이 감소하여 실제절입깊이가 감소하게되어 법선연삭저항력이 감소하고 가공오차량은 증가하게 된다고 생각된다.

Fig. 3은 설정절입깊이의 변화에 따른 실제절입깊이와 킨축경 변화를 알아보기 위하여 킨축 길이를 20 mm로 일정하게 하고 킨축경을 $\phi 8$, $\phi 10$, $\phi 15$ 로 변화시켜가며 실험한 결과를 나타내었다.

실제절입깊이는 킨축경이 증가할수록 증가하고, 설정절입깊이가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 킨축경이 증가하여 공구계의 강성이 증가하면, 가공시 공구계의 변형이 감소하므로 실제절입깊이가 증가한다고 판단된다.

설정절입깊이 변화에 따른 법선연삭저항력과 가공오차량이 킨축경과의 관계를 살펴보기 위하여 킨축경을 변화시켜가며 실험한 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

법선연삭저항력은 킨축경이 증가할수록 증가하였으며 가공오차량은 킨축경의 증가에 대하여 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 Fig. 3에서 살

펴본 바와 같이 킨축경이 증가하면 공구계의 강성이 증가하여 실제절입깊이가 증가하기 때문에 법선연삭저항력이 증가하고 가공오차량은 감소하였다는 것을 알 수 있다.

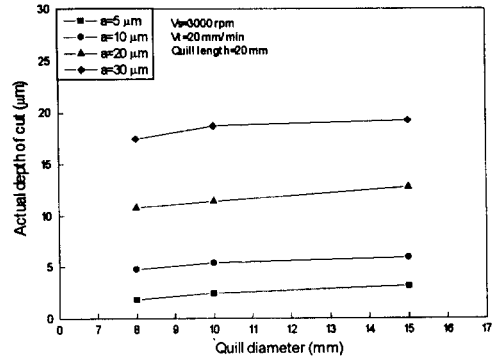


Fig. 3 Actual depth of cut versus quill diameter change of setting depth of cut

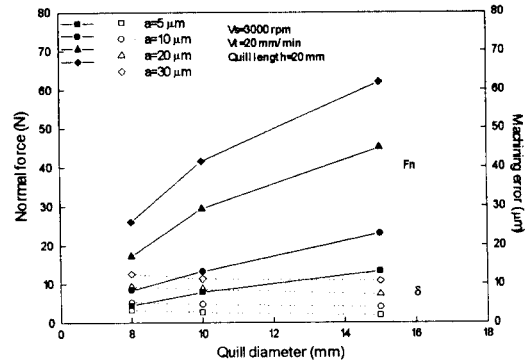


Fig. 4 Normal force versus quill diameter for setting depth of cut

Fig. 5는 킨축경(d)과 킨축 길이(L)의 비, 즉 세장비(L/d)의 변화에 따른 법선연삭저항력과 가공오차량의 관계를 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 세장비(L/d)가 증가할수록 법선연삭저항력(F_n)은 감소하고, 가공오차량(δ)은 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 세장비(L/d)가 증가할수록 킨축경(d)의 감소와 킨축 길이(L)의 증가로 인해 공구계의 강성이 저하되어 법선연삭저항력은 감소하고 가공오차량은 증가한다고 판단된다.

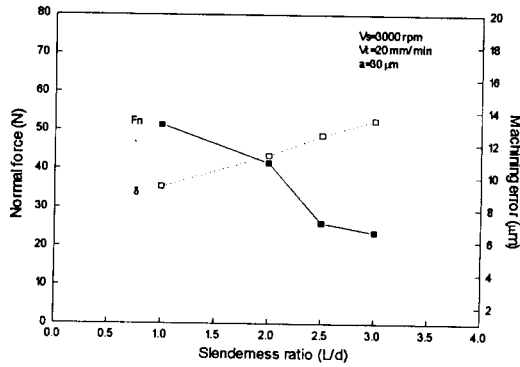


Fig. 5 Normal force & Machining error versus slenderness ratio

Fig. 6은 슛돌직경(D)과 켈축경(d)의 직경비(D/d)에 따른 법선연삭저항력과 가공오차량의 변화를 나타내고 있다.

그림에서 법선연삭저항력은 직경비(D/d)가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내는데 이것은 켈축경(d)의 감소로 인한 공구계의 강성저하와, 슛돌직경(D)의 증가에 의한 슛돌원주속도의 증가로 인해 직경비(D/d)의 증가에 대해 법선연삭저항력이 감소한다고 판단된다.⁴⁾ 또한 가공오차량은 직경비의 변화에 대해 거의 일정하였다.

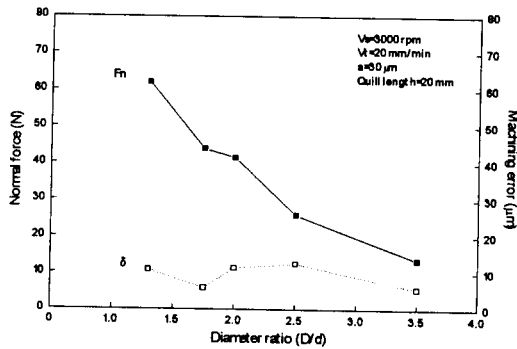


Fig. 6 Normal force versus diameter ratio

켈축 길이의 변화가 표면조도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 켈축 길이를 변화시켜가며 실험한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 켈축 길이가 증가함에 따라 Ra값이 급격히 증가함을 알 수 있다. 또한 Fig. 8의 (a)와 (b)는 Table 1의 실험조건으로 가공 후, 켈축 길이가 10 mm, 40 mm일 때의 가공표면을 영상현미경으로 촬영한 사진이다. 켈축 길이가 40 mm인 경우 채터링이 심하

게 발생함을 볼 수 있다.

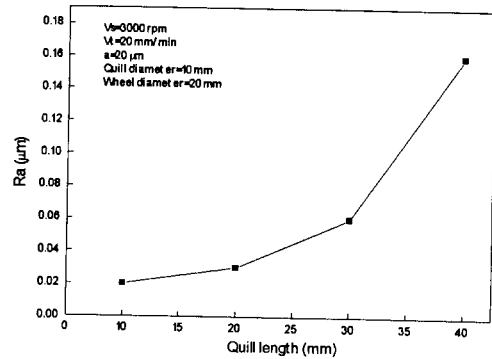
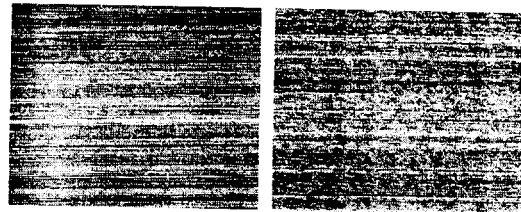


Fig. 7 Surface roughness for quill length change



(a) L=10 mm

(b) L=40 mm

Fig. 8 Machined surface for quill length change

Fig. 9는 켈축 길이를 20 mm로 하고 켈축경을 8, 10, 15 mm로 변화시켜가며 Table 1의 실험조건으로 가공 후 표면조도를 측정된 결과이다.

그림에서 켈축경의 변화에 대한 Ra는 0.03~0.04로 거의 일정한 값을 나타내고 있다.

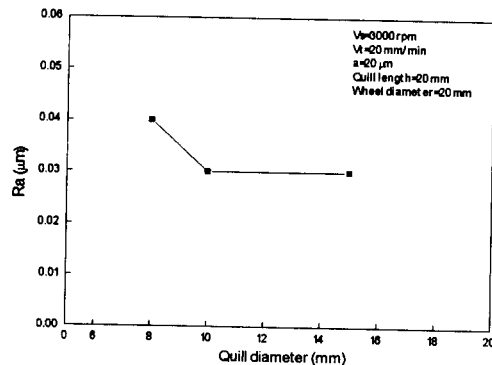


Fig. 8 Machined surface for quill diameter change

따라서 본 실험의 범위에서 켈축의 강성변화중 켈축경의 변화보다 켈축 길이의 변화가 가공오차 및 표면조도에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 측면연삭 가공에 있어서 킨축 강성 변화가 가공현상에 미치는 영향을 파악하기 위하여 비트리파이드 CBN 소경숫돌로 고경도 합금공구강(STD-11, Rc60)을 MC를 이용하여 측면연삭가공을 행하였다. 킨축강성변화가 연삭저항력 및 가공오차 그리고 표면조도에 미치는 영향을 실험으로 비교, 검토한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 킨축 길이가 증가할수록 법선연삭저항력은 감소하고 가공오차량은 증가하는 경향을 나타내었다.
- (2) 킨축경이 증가할수록 법선연삭저항력은 증가하고 가공오차는 감소하는 경향을 나타내었다.
- (3) 세장비(L/d)의 증가에 따라 법선연삭저항력은 감소하고 가공오차량은 증가하는 경향을 나타내었다.
- (4) 숫돌직경(D)과 킨축경(d)의 직경비(D/d)가 증가함에 따라 법선연삭저항력이 감소하는 경향을 나타내었다.
- (5) 킨축 길이가 증가함에 따라 표면조도의 Ra값은 급격히 증가하였으며, 킨축경 변화에 대한 Ra값은 거의 일정한 값을 나타내었다.

5. 참고문헌

- 1) 垣野義昭, 喜田義宏, 中川平三郎, “マシニングによる研削加工に関する研究調査”, GC研究會報告書, 1990
- 2) 垣野義昭, 喜田義宏, 中川平三郎, “グラインディングセンタ”, 日刊工業新聞社, 1993, p. 118
- 3) 김창수, 서영일, 최 환, 이종찬, 정선환, “MC를 이용한 측면 연삭에 관한 연구”, 한국정밀공학회 '96 춘계학술대회 논문집, 1996, p. 901
- 4) 서영일, 최 환, 이종찬, “다이아몬드 블레이드를 사용한 절단가공의 절단저항력 해석”, 한국정밀공학회지, vol. 13, no. 1, 1996, p. 84