

머시닝센터를 이용한 평면 연삭가공에 관한 연구(I)

이승만*(금오공대 대학원 기계설계공학과), 서영일((주) 공간코리아)
최 환, 이종찬, 정선환(금오공대 기계공학부)

A Study on the Surface Grinding using the Machining Center (I)

S. M. Lee(Dept. of Eng. Sci. & Mech., KNUT), Y. I. Seo(Kongkan Korea Co., Ltd),
H. Choi, J. C. Lee, S. H. Chung(Dept. of Mech. Eng., KNUT)

ABSTRACT

The surface grinding of STD-11 was attempted on the machining center. Grinding experiments were performed at the various grinding conditions and the grinding force, machining error, grinding ratio, and surface roughness were measured. The experimental results indicate that the grinding ratio decreases as the table speed and depth of cut increase. The surface roughness of ground surface was not affected by the change of depth of cut. The surface roughness values obtained on the experiments were $0.02 \sim 0.03 \mu\text{m}$ which are fairly good and acceptable for ground surface.

Key Words : Surface grinding (평면 연삭), Grinding force (연삭력), Machining error (가공오차),
STD-11 (합금공구강), Grinding ratio (연삭비)

1. 서론

최근 들어 생산형태가 다품종 소량생산화 되고, 복잡한 부품의 고정도 가공에 대한 요구가 대두되고 있는 상황에서 복합공작기계인 머시닝센터(MC)가 산업현장에 폭넓게 활용되고 있다. 머시닝센터는 NC기능과 자동공구교환기능을 갖고 있는 고정성, 고정도 공작기계로서 종래의 밀링, 드릴링, 태핑 등 각종 절삭가공기의 기능을 포함하고 있으므로 기계제작 공장이나 금형공장 등에서 이미 폭넓게 활용되고 있다. 근래에 들어서는 머시닝센터의 이송정도 및 수치제어 기능들이 더욱 향상됨으로써 고정도 연삭가공을 머시닝센터에서 구현하고자 하는 노력들이 점점증하고 있다.^{1) 2)}

본 연구에서는 머시닝센터를 이용한 연삭가공법 중 평면연삭가공을 그 대상으로 하였으며, 이를 위해 비트리파이드 CBN 컵형 휠을 사용하여 금형재료인 합금공구강(STD-11)을 머시닝센터상에서 가공조건(이송속도, 절입깊이등)을 변화시켜가며 실험을 수행하였다. 그리고 평면연삭의 가공 특성을 파악하기 위하여 가공조건에 따른 연삭력, 가공오차 및 연삭비, 표면거칠기 등에 관하여 고찰하였으며, 본 연구를 통해서 머시닝센터를 이용한 평면연삭가공의 기초를 확립하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 휠 및 공작물

본 실험에서 사용한 휠은 비트리파이드 CBN 컵형 휠로써, 입도 #200, 집중도 100, 결합도 G이다. CBN 휠의 크기는 외경($D=\phi 60\text{mm}$), 내경($D_1=\phi 50\text{mm}$), 폭($B=5\text{mm}$), 높이($H=5\text{mm}$)인 컵형숫돌로, 45° 테이퍼 알루미늄 대(臺)에 부착하여 사용하였으며, 직경 $\phi 25\text{mm}$, 길이 90mm 로 정밀하게 가공된 휠 축에 부착하여 실험을 수행하였다. 공작물은 금형 재료로 널리 사용되고 있는 합금공구강 STD-11을 길이 47.5mm , 폭 14mm , 높이 76mm 로 제작한 후 경도 Rc 60으로 열처리하여 사용하였다.

2.2 실험방법

본 실험에 사용된 공작기계는 수직형 머시닝센터(화천기계, ECOMIL 43V, 7.5kW)를 사용하였으며, 실험방법은 휠을 Table 1의 실험조건에 따라 휠과 공작물의 접촉부를 기준으로 머시닝센터의 Z축 방향으로 절입깊이를 설정한 후 NC 프로그램에 의해 X축방향으로 이송속도(V_f)를 변화시켜가며, 습식 상향 연삭가공을 수행하였다. 휠의 진원을 형성하기 위하여 단석 다이아몬드 드레서($3/4''$)를 사용하여 트루잉을 실시하였으며, Table 1의 실험조건으로 매 실험마다 드레싱을 행하였다.

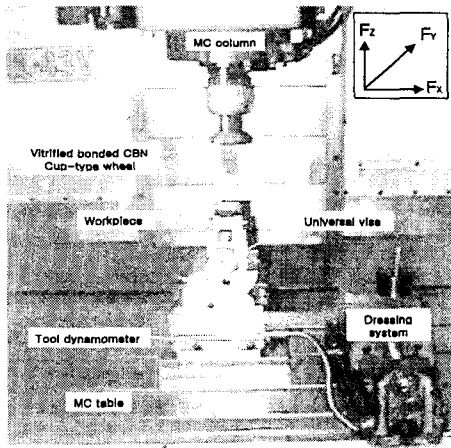


Fig. 1 Experimental set-up

Table 1 Experimental conditions

Grinding machine	Vertical type machining center (ECOMIL-43V, 7.5kW)
Wheel (mm)	CBN 200 100 G V D× D ₁ × B× H : 60× 50× 5× 5
Quill (mm)	Diameter : ø 25 Length : 90
Workpiece (mm)	14B × 76H × 47.5L
Wheel speed (m/min, rpm)	565 (3000rpm)
Table speed (mm/min)	10, 30, 50, 70
Depth of cut (μm)	5, 10, 20, 30
Dressing condition	Wheel speed : 188.5 m/min Feed speed : 100 mm/min Depth of cut : 5μm × 2pass Dresser : Single-point diamond
Grinding fluid	Syntilo-9954(Castrol, 40:1)

Fig. 1은 본 실험의 실험장치의 개요를, Table 1에 는 실험조건을 각각 나타내었다.

2.3 연삭저항력 및 표면거칠기의 측정

평면 연삭가공시 발생하는 슛돌 이송방향의 연삭저항력(F_x)과 접선방향 연삭저항력(F_y) 및 법선방향의 연삭저항력(F_z)을 측정하기 위하여 머시닝센터 테이블 위에 공구동력계를 설치하였다. 공구동력계에서 발생된 신호는 다채널 증폭기(Kistler, 5019A)에서 증폭된 후 아날로그-디지털 변환기(10tech, DaqBook)를 거쳐 개인용 컴퓨터로 전송되고, 이렇게 전송된 연삭력의 데이터를 Grinding S/W를 이용하여 분석하였다. 가공면의 표면거칠기는 접촉식 표면조도계(Mitutoyo, TV-600)를 사용하여 공작물의 이송방향으로 측정하였다.

2.4 가공오차 및 연삭비의 측정

평면 연삭가공에 따른 가공오차(δ)는 머시닝센터에서 입력한 설정절입깊이(Setting depth of cut : a_s)와 공작물이 실제로 가공된 실제절입깊이(Actual depth of cut : a_a)의 차로 나타나며, 가공조건에 따라서 평면연삭을 수행한 후 다음과 같은 방법으로 측정하였다.

본 실험에서는 가공오차를 정밀하게 측정하기 위해 먼저 공작물 평면(윗면)에 대해 미세 절입(2μm)후, 수번의 spark-out을 실시하여 공작물 기준면의 정도를 높였다. 설정절입깊이를 정확하게 설정하기 위해 슛돌을 공작물의 기준면에 접촉시켜, 접촉시 공구동력계로부터 얻어지는 신호를 이용하여 설정절입깊이의 기준점을 잡았으며, 그 기준점으로부터 가공조건인 설정절입깊이로 절입하였다. 그리고 공작물 길이방향으로 1/2지점까지만 연삭가공을 하여, 공작물의 기준면과 실제 가공된 면의 단 차이(실제 절입깊이)를 표면조도계를 사용하여 측정하였다. Fig. 2 (a), (b)는 본 실험에서의 가공오차 측정에 대한 개요와 표면조도계로부터 측정된 실제절입깊이 측정결과의 일 예를 나타낸다. Fig. 2 (a)에서 a_s는 머시닝센터에서 주어지는 휠의 설정절입깊이를, a_a는 공작물의 실제 가공된 실제절입깊이를 나타내며, 이들의 차이가 가공오차 δ가 된다.

평면 연삭가공에 있어서 가공성능을 알아보기 위하여 휠 회전수를 3000 rpm으로 일정하게 하고 설정절입깊이와 이송속도의 변화에 따른 연삭비를 구하였다. 여기서 연삭비(G-ratio)는 공작물의 제거체적(ΔV_{work})과 휠 마모체적(ΔV_{wheel})의 비를 의미하며 아래식(1)로 구하였다.

$$G\text{-ratio} = \frac{\text{Volume of material removed } (\Delta V_{\text{work}})}{\text{Volume of wheel wear } (\Delta V_{\text{wheel}})} = \frac{B L a_a}{\pi d_s \Delta r_s h} \quad (1)$$

여기서 B는 공작물의 폭(mm), L은 공작물의 실제 가공 길이(mm), a_a는 공작물의 실제절입깊이(mm), h는 휠의 절입깊이 방향으로의 마모량(mm), d_s는 휠의 가공하기 전과 후의 평균직경(mm), 그리고 Δr_s는 휠의 가공하기 전과 후의 반경 마모량(mm)이다.

연삭 가공후 휠의 마모량 측정은 실험전과 실험후 탄소막대를 가공하여 가공 단 차이를 표면조도계를 사용하여 1/100000 mm까지 정밀하게 측정하였다

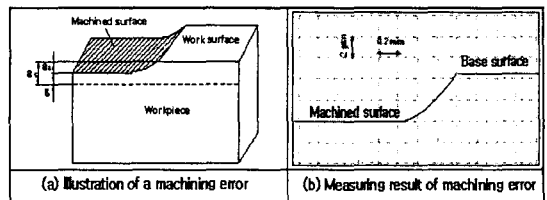


Fig. 2 Measuring illustration and result of machining error

3. 실험결과 및 검토

3.1 연삭저항력

머시닝센터를 이용한 평면연삭가공을 수행하는데 있어서 가공조건에 따른 연삭저항력의 변화를 살펴보기 위하여 휠의 주속도를 3000 rpm으로 일정하게 유지시키고, 휠의 설정절입깊이(a_s)와 이송속도(V_t)의 변화에 따른 연삭저항력(F_x , F_y , F_z)의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 연삭저항력은 휠의 설정절입깊이(a_s)와 이송속도(V_t)가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 경향은 이송속도 및 설정절입깊이가 증가할수록 입자의 최대절입깊이가 증가하고, 또 입자의 공작물 제거량(Meatal removal rate)이 증가하므로 연삭저항력이 증가하게 되었다.³⁾

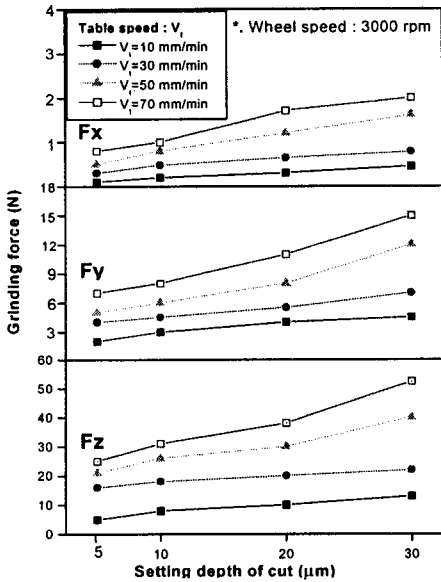


Fig. 3 Grinding force versus table speed and depth of cut

3.2 가공오차 및 연삭비

Fig. 4는 휠의 주속도를 3000 rpm으로 일정하게 유지시키고, 설정절입깊이(a_s) 및 이송속도(V_t)의 변화에 따른 가공오차의 변화를 살펴 본 결과이다. Fig. 4에서 가공오차는 설정절입깊이와 이송속도가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 이유는 이송속도 및 설정절입깊이가 증가할수록 법선연삭저항력이 증가하기 때문이라고 사료되며, 법선연삭저항력의 변화가 공구계 등의 변형에 영향을 미치므로 가공오차를 감소시켜 가공능률을 향상시키기 위해서는 법선연삭저항력이 감소하는 가공조건을 선정하는 것이 매우 중요하다고 생각된다.

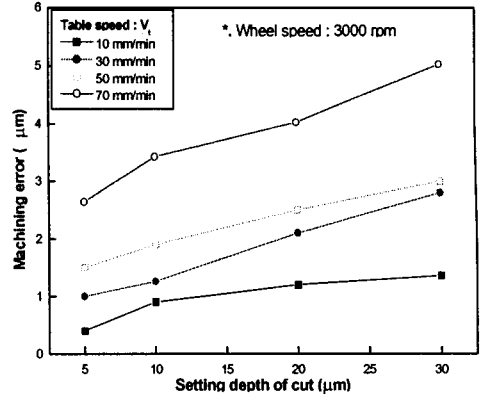


Fig. 4 Machining error versus setting depth of cut

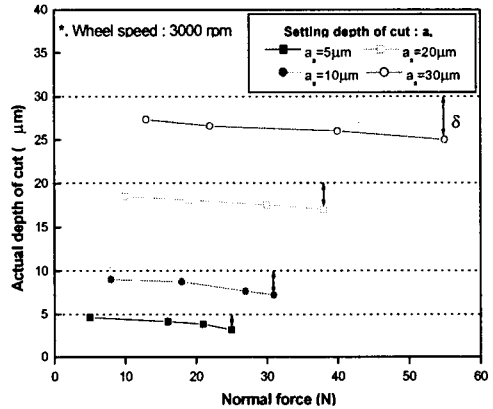


Fig. 5 Actual depth of cut versus normal force

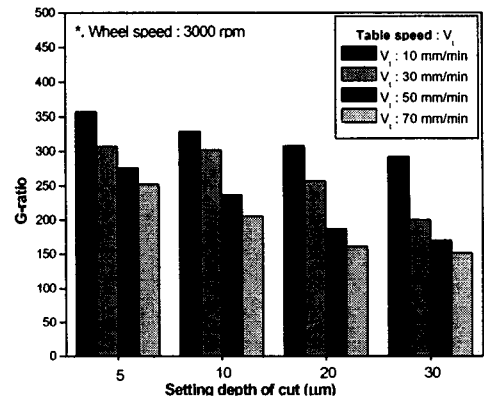


Fig. 6 G-ratio according to setting depth of cut

Fig. 5는 설정절입깊이(a_s)의 변화에 따른 법선연삭저항력(F_z)과 실제절입깊이(a_a)와의 관계를 나타냈으며, 그림에서 파선은 각 조건의 설정절입깊이를 나타낸 것이다. Fig. 5에서 설정절입깊이가 일정할 때 법선연삭저항력이 증가할수록 실제절입깊이가 감소하며, 설정절입깊이가 증가할수록 가공오차가 증가함을 알 수 있다. 그러므로 설정절입깊이가 증가하

여 법선연삭저항력이 증가하게 되면 가공오차(δ)가 증가하게 된다. 따라서 연삭저항력의 변화가 가공정도(오차)에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 평면 연삭가공에 있어서 가공성능을 알아보기 위하여 휠 회전수를 3000 rpm으로 일정하게 하고 설정절입깊이(a_s)와 이송속도(V_t)의 변화에 따른 연삭비를 나타내었다. Fig. 6에서 연삭비는 전체적으로 이송속도와 설정절입깊이가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 이유는 이송속도와 설정절입깊이가 증가하게 되면 입자의 최대 절입깊이가 증가하여 연삭저항력이 증가하게 되므로 연삭 휠 입자의 탈락과 마모가 증가하기 때문으로 생각된다.

3.3 표면 거칠기

Fig. 7은 휠의 주속도를 3000 rpm으로 일정하게 유지시키고, 설정절입깊이(a_s)와 이송속도(V_t)의 변화에 따른 가공면의 표면거칠기(R_a , R_{max})의 변화를 살펴 본 결과이다.

Fig. 7에서 가공면의 표면거칠기는 설정절입깊이의 변화에 따라서는 거의 차이를 나타내지 않았고,

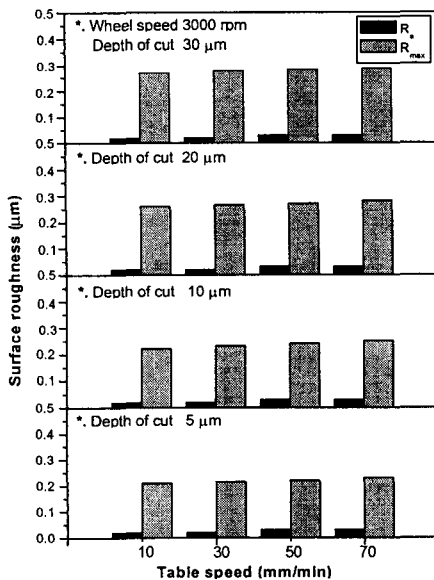


Fig. 7 Surface roughness versus table speed according to depth of cut

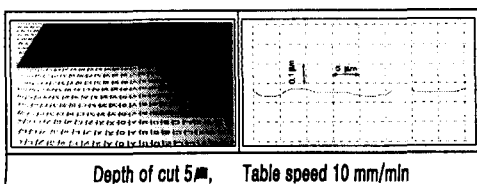


Fig. 8 The machined surface and profile($R_a=0.02\mu m$)

이송속도가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었지만 큰 차이($R_a: 0.01\mu m$ 이내)는 없었다. 본 실험의 범위에서 가공면의 표면거칠기(R_a)는 $0.02 \sim 0.03\mu m$ 정도로 나타났다.

Fig. 8은 가공 후 가공면을 검정글씨가 쓰여진 종이 위에 반사시킨 표면 사진과 접촉식 표면조도계로 측정된 표면형상(Surface profile)을 나타낸 것이다. Fig. 8에서 가공면의 표면은 경면으로 나타났으며, 컵형숫돌과 머시닝센터를 이용한 연삭의 특성으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 MC를 이용한 평면 연삭가공의 가공특성을 파악하기 위해 가공조건의 변화에 따른 연삭저항력, 가공오차, 연삭비, 표면거칠기 등을 측정하여 비교, 검토한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 연삭저항력은 휠의 절입깊이와 이송속도가 증가할수록 증가하는 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

(2) 가공오차는 이송속도 및 절입깊이가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내는데, 이러한 이유는 이송속도 및 절입깊이가 증가할수록 법선연삭저항력이 증가하기 때문이라고 사료된다.

(3) 연삭비는 이송속도와 절입깊이가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내는데, 이러한 이유는 이송속도와 절입깊이가 증가하게 되면 입자의 최대 절입깊이가 증가하여 연삭저항력이 증가하게 되므로 연삭 휠 입자의 탈락과 마모가 증가하기 때문으로 생각된다.

(4) 가공면의 표면거칠기는 절입깊이의 변화에 따라서는 거의 차이를 나타내지 않았고, 이송속도가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었지만, 큰 차이($R_a : 0.01\mu m$ 이내)는 없었다.

본 실험의 범위에서 가공면의 표면거칠기(R_a)는 $0.02 \sim 0.03\mu m$ 정도로 나타났다.

참고문헌

- 1) 垣野義昭, 喜田義宏, 中川平三郎, “マシニングセンターによる研削加工に関する研究調査”, GC研究会報告書, 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ー”, 日刊工業新聞社, 1993
- 3) 서영일, 김창수, 최 환, 이종찬, 정선환, “측면 연삭가공에 있어서 가공오차에 관한 연구”, 99대한기계학회춘계학술대회 논문집, pp. 16 ~ 21, 1999