

# 평면연삭에서 연삭력 변화와 스톨수명

최성삼\*(부경대원), 구 양, 광재섭, 하만경(부경대)

## Variation of Grinding Force and Wheel Life in Surface Grinding

S. S. Choi\*(Graduate School, Pukyong National University),  
Y. Koo, J. S. Kwak, and M. K. Ha(Pukyong National University)

### ABSTRACT

In the grinding process, the edge of shape is very important to evaluate the surface roughness and the precision of dimension. To keep precision of product, parameters with respect to the amount of wheel wear have to limit by grinding condition. In this paper, we measured variation of grinding force to seek the grinding characteristics by the amount of wheel wear in surface grinding. Also, we find out that how these condition give influence to wheel life.

**Key Words** : Surface roughness (표면거칠기), Wear amount (마모량), Grinding force (연삭력), Wheel life (스톨수명), Surface grinding (평면연삭)

### 1. 서론

최근 기계산업에서는 고정밀 고속가공으로 인하여 항공, 의료산업과 같은 각종 산업분야에서는 고정도, 고품질을 요구하는 부품이 증가하고 있다. 따라서, 기계가공의 마무리 공정에 속하고 고정도의 표면과 치수정밀도를 얻을 수 있는 연삭가공의 중요성이 더욱 부각되고 있다.

연삭가공에서 실제로 연삭작용을 하는 것은 스톨 작업면상에 돌출되어 있는 다수의 연삭입자의 절삭날이다<sup>(1)</sup> 그러므로 절삭날의 끝모양이 연삭성능에 지대한 영향을 줄 뿐만 아니라 다듬질면의 거칠기 및 치수 정밀도에도 크게 영향을 주게된다.<sup>(2)</sup> 그러므로 스톨의 종류와 연삭재료에 따른 여러 가지 절삭조건이 연삭입자에 미치는 영향을 분석하여 정량화된 파라메타를 만들 수 있다면 품위가 우수한 제품을 생산할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 여러 가지 재료를 WA 스톨과 CBN 스톨을 사용하여 절삭깊이, 공작물의 이송속도에 변화를 주었을 때의 절삭력과 표면거칠기(Ra), 스톨마모량을 측정하였다. 공작물과 스톨의 표면을 금속현미경(Microscope)으로 촬영하여 표면거칠기와 연삭 관련 미시적 관찰을 실시하였다. 그리고 가공횟수에

따른 스톨의 마모량을 측정하고 연삭비(Grinding Ratio)를 구함으로써 스톨의 연삭수명을 예측하고자 하였다.

### 2. 이론적 고찰

연삭가공 중에 연삭스톨에 작용하는 힘을 연삭력 또는 연삭저항이라 한다. 연삭스톨은 공작물에 접촉하므로, 스톨에 가해지는 연삭력과 크기가 같고 방향이 반대인 힘이 공작물에 작용한다. 따라서 연삭력의 크기는 공작물에 작용하는 힘을 공구동력계 등을 이용하여 측정하여 나타내고 있다. 특히 다른 가공에서와는 달리 연삭가공에서의 절삭력은 범선분력( $F_n$ )이 가장 크게 나타난다고 하는 것이 중요한 사항이다. 범선분력을 구하는 일반화된 이론식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.<sup>(3)(4)</sup>

$$F_n = m \cdot n_s = \lambda \cdot k_s \cdot f \cdot t \cdot \frac{v_s}{v_w} \quad (1)$$

여기서,  $n_s$ 는 연삭입자 한 개의 범선방향의 연삭

력이고,  $\lambda$ 는 접선방향과 법선방향의 연삭력 비를 나타낸다. 또한  $k_s$ 는 비연삭저항을 나타내며,  $f$ 는 이송,  $l$ 는 절입깊이,  $v_s$ 와  $v_w$ 는 연삭숫들의 주속도와 공작물의 속도를 나타낸 것이다. 한편 동시연삭 날 수  $m$ 은 다음과 같이 표현가능하다.

$$m = \frac{l \cdot f}{\mu^2} \quad (2)$$

여기서,  $l$ 은 연삭가공 중에 공작물과 숫들이 접하는 접촉호의 길이를 나타낸 것이며,  $\mu$ 는 절삭날의 평면적 평균거리를 나타낸 것이다. 따라서 접촉호의 길이가 크지면 이론적 연삭력은 증가하고, 이송과 연삭숫들의 주속도가 빠를수록 법선 연삭력은 증가하는 것을 알 수 있다.

### 3. 실험조건 및 방법

본 실험에서는 연삭력을 측정하기 위해 Table 1과 같은 조건으로 실험을 하였다. 숫들은 입도가 #80, #100인 WA숫들과 CBN숫들을 사용하였고, 가공조건으로는 주축의 속도를 1800rpm으로 일정하게 유지하고, 공작물의 이송속도를 2m/min, 4m/min으로 하였으며, 절입깊이는 5~20 $\mu$ m까지 변화를 주어 가공하였다.

Fig. 1은 장치 개략도를 나타내었다. 공구 동력계에서 발생된 신호는 AMP를 통해서 증폭된 후 12비트의 분해능력을 갖는 A/D변환기를 통해 디지털화시켜 PC로 저장하였다.

Table 1 Experimental conditions

Grinding machine	Horizontal spindle surface grinder
Workpiece	STD11, SUS304, STB2, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Wheel	WA100, WA80, CBN
Conditions	Wheel speed : 1,800rpm
	Table speed : 2~5m/min
	Depth of cut(t) : 5.10,15,20 $\mu$ m
	Up & Plunge & Wet
Fluids	Shell lubricant (soluble type, 10.1)
Dressing conditions	Dressing stick WA
	Depth of cut . 10~50 $\mu$ m

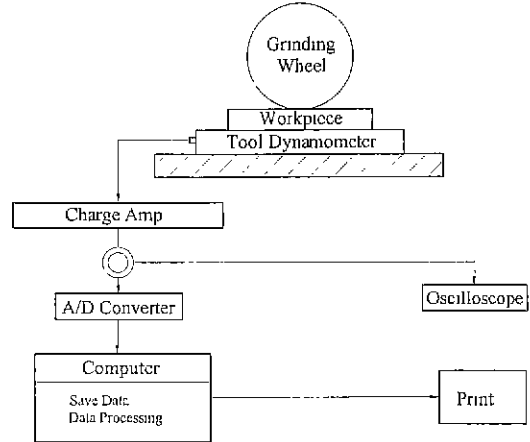


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up

공작물과 숫들의 표면사진은 금속 현미경(Microscope)으로 확대하여 디지털 카메라로 촬영하였고, 표면거칠기는 측정식 표면조도기를 사용하여 측정하였다.

### 4. 실험결과 및 고찰

#### 4.1 연삭력

Fig. 2는 SUS304, STD11, STB2, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 CBN숫들을 사용하여 이송속도를 각각 2m/min, 4m/min으로 절입깊이의 변화를 주었고, Fig. 3은 입도가 #100인 WA숫들을 사용하여 절입깊이에 따른 연삭력을 비교한 것이다.

절입깊이가 깊어질수록 연삭력은 증가하였고, 이송속도가 빠를수록 연삭력이 더 크게 나타났다. 또한 WA(#100)숫들에 비해 CBN 숫들을 사용한 경우 연삭력이 현저히 작게 나타난 것을 볼 수 있다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 경우 경도가 아주크고 취성이 강한 성질 때문에 WA숫들로는 5 $\mu$ m이상 절입깊이를 줄 수가 없었다.

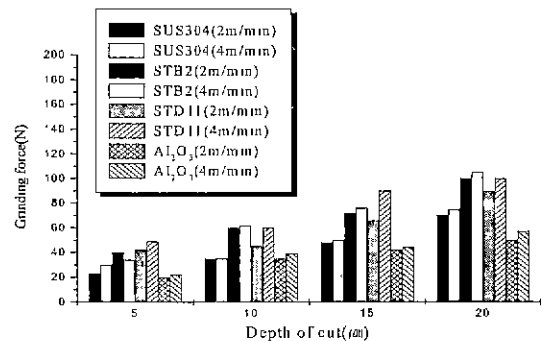


Fig. 2 Grinding force of SUS304, STD11, STB2, and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> by CBN wheel

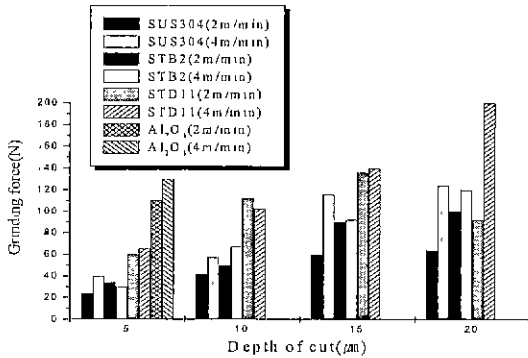


Fig. 3 Grinding force of SUS304, STD11, STB2, and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> by WA(#100) wheel

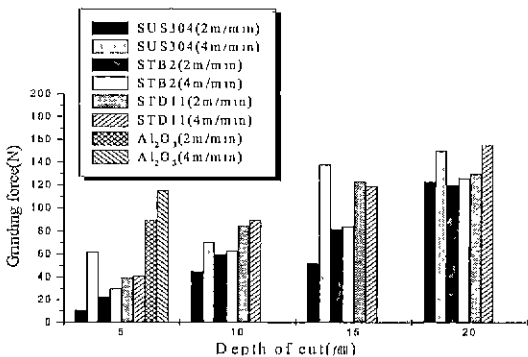


Fig. 4 Grinding force of SUS304, STD11, STB2, and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> by WA(#80) wheel

Fig. 4는 WA숫돌의 입도를 #80으로 낮추고 동일 조건으로 연삭했을 때 연삭력을 나타낸 것이다. Fig. 3에 비해 Fig. 4에서 연삭력이 작게 나타난 것을 볼 수 있다. 이 결과에 의해 입자의 입도가 작은 숫돌은 거친가공에 적합함을 알 수 있다. 또한 세 개의 그림에서 공통적으로 볼 수 있듯이 재료의 성질이 경할수록 절삭력이 크게 나타난 것을 볼 수 있었다

## 4.2 표면거칠기와 숫돌수명

연삭수명은 드레싱을 시작해서 더 이상 요구하는 치수정밀도와 표면조도를 유지할 수 없게 드레싱할 때 까지의 시간으로 나타내는 것이 일반적이다.

Fig 5는 STD11 공작물을 사용하여 절입깊이를 10 $\mu$ m로 일정하게 유지하여 가공횟수에 따른 숫돌의 표면거칠기를 측정하였다. 가공횟수가 10회씩 증가할수록 표면 거칠기 값이 감소하다가 50~60회 사이에서 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 연삭횟수가 증가할수록 숫돌입자의 절삭날이 마모되어 표면거칠기 값이 낮아지다가 50~60회 사이에서 숫돌입자와 공작물사이의 연삭력이 한계에 달해 불규

칙한 자생작용을 일으켜 표면거칠기 값이 높아짐을 알 수 있다.

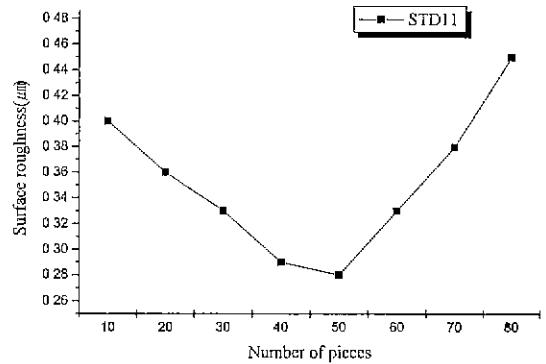


Fig. 5 Surface roughness versus number of pieces

따라서 본 실험조건에서 STD11을 연삭할때의 연삭수명은 연삭횟수가 50~60일때로 생각할 수 있다.

Fig. 6은 Fig. 5와 같은 조건으로 실험했을 때 숫돌의 마모량을 측정하였다. 이 실험에서도 역시 50~60회 사이에서 마모량이 증가하는 것을 볼 수 있었다.

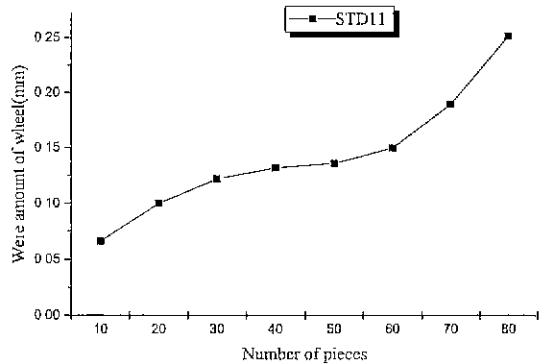


Fig. 6 Wear amount of wheel versus number of pieces

Fig. 7에서는 가공횟수에 따른 연삭비(G)를 나타내었는데, 여기서도 가공횟수 60에서부터 연삭비가 떨어짐을 알 수 있다.

Fig. 8은 숫돌의 체적 감소량과 공작물의 체적 감소량을 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프에서도 마찬가지로 공작물 체적 감소량 1500~1800(mm<sup>3</sup>) 사이에서부터 기울기 값이 증가하는 것을 볼 수가 있다. 위의 모든 그래프의 수치가 일치하는 것으로 알 수 있듯이 본 실험조건에서 STD11을 연삭할 때의 연삭수명은 절삭횟수가 50~60사이 에 있음이 분명해졌다.

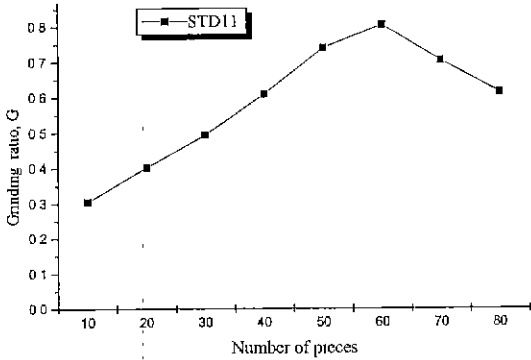


Fig. 7 Grinding ratio(G) for the number of pieces

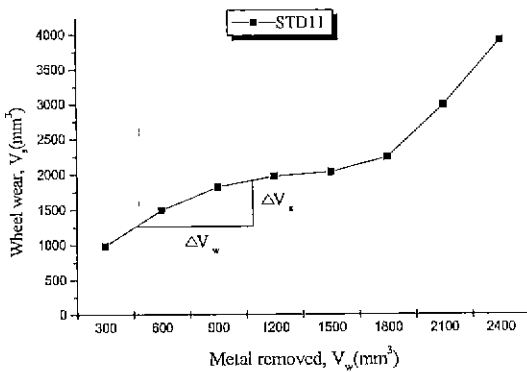


Fig. 8 Volumetric wheel wear versus accumulated metal removed for the surface grinding

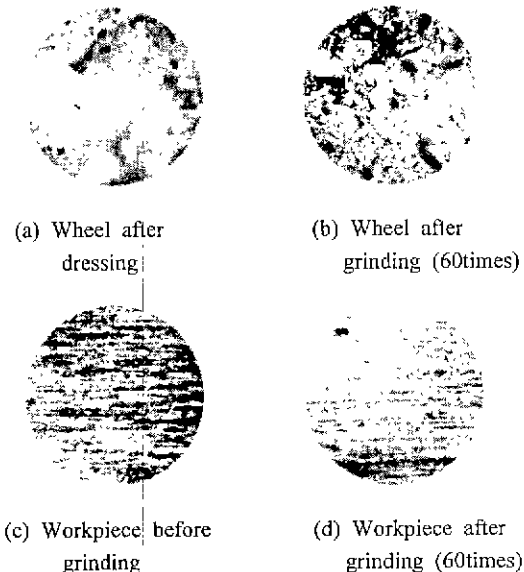


Fig. 9 Microscope photo of workpiece and wheel

Fig. 9는 공작물과 스톨의 금속현미경 사진으로 시편의 가공 전 사진과 60회 가공후의 사진에서 조도의 차이를 볼 수 있었고, 드레싱후의 스톨에서는 입자날이 살아있고 불순물이 없는 반면 60회 가공후의 스톨에서는 입자날이 무더져 있었으며, 심한 눈때움>Loading)현상을 볼 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 연삭저항력과 스톨에 수명을 알아보기 위해 SUS304, STD11, STB2,  $Al_2O_3$ 의 공작물을 CBN, WA(#100), WA(#80)의 스톨로 가공하여 값을 비교, 고찰하여 본 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) SUS304, STD11, STB2,  $Al_2O_3$ 의 연삭력에서는 적삭깊이와 이송속도가 증가 할수록 연삭력이 증가하였고, WA스톨보다는 CBN스톨의 연삭력이 작게 나타났다. 또한 스톨입자의 메시가 재료의 경도가 클수록 연삭력은 크게 나타났다.
- (2) 가공횟수에 따른 스톨의 표면 거칠기는 가공횟수가 증가함에 따라 감소하다가 56~60회부터 증가하였다. 스톨의 마모량도 가공횟수에 따라 마모량이 점점 감소하다가 50~60회부터 증가하였다. 이것은 가공횟수 50~60사이에서 스톨의 자생작용으로 스톨입자가 불규칙적이게 탈락했기 때문이다.

#### 후기

본 연구는 부경대학교 2001년도 두뇌한국21사업비에 의하여 지원되었으며, 이에 감사 드립니다.

#### 참고문헌

1. 손명환, 절삭가공론, 문운당, pp. 300-412, 1996.
2. 이종찬, 초연마재를 이용한 연삭, 절삭가공, 문운당, pp. 41-160, 1998.
3. S. Malkin, Grinding Technology-Theory and Applications of Machining with Abrasives, pp. 187-200, 1989.
4. Chander Bhateja, Richard Lindsay, Grinding-Theory, Techniques and Troubleshooting, pp. 75-145, 1982.