

## 초고속 원통 플런지연삭에서 공작물속도의 영향

주종길\*(울산대원, 기계자동차공학부), 박규열( 울산대, 기계자동차공학부)

### Effect of workpiece speed in ultra high speed cylindrical plunge grinding

J. K. Ju\*(Sch.of mech.& automotive eng., Grad. school, UOU), K. Y. Park(Sch.of mech.& automotive eng., UOU)

#### ABSTRACT

In this paper, grinding characteristics of ultra high speed cylindrical plunge grinding was investigated by use of vitrified CBN wheel. From the experimental result, it was convinced that grinding power is decreased according to the increase of wheel and workpiece speed due to changing of grinding mechanism which decreases depth of cut and length of contact curve according to increment of wheel speed. And also, stock removal reduction of each grain lead to improvement of surface roughness by increasing the wheel speed.

**Key Words** : Cylindrical grinding(원통연삭), Plunge grinding(플런지연삭), Workpiece speed (공작물속도), Wheel speed (숫돌속도), Grinding power(연삭동력), Surface roughness (표면거칠기)

#### 1. 서론

최근 각종 기계부품 및 금형등을 포함하는 기계 가공 분야에서 고속화, 고정도화의 나아가 자동화의 필요성이 증대되고있다. 특히 제조, 가공분야에서는 다품종, 소량 생산과 함께 생산 원가 절감을 통한 가격 경쟁력을 확보에 주력하고 있다. 생산 원가 절감을 위하여 공정관리, 공장 자동화 및 유연 생산 시스템의 개발 등 여러 방면으로 노력이 계속되고 있으나, 위와 같은 생산체계의 개선만으로는 가공시간을 단축하는 데는 한계가 있으므로 직접적인 절삭가공 시간의 단축에 관심이 증대되고 있다. 한편, 가공기술 중에서도 연삭가공은 일반 절삭가공에서는 난삭성을 가지는 재료에 대해서도 비교적 높은 가공능률과 양호한 표면거칠기가 얻어진다는 점에서 주목받고 있다. 최근에는 전기의 생산 기술의 개발동향에 부합하는 연삭가공의 효과를 극대화하기 위한 일환으로 고속 혹은 초고속 연삭가공에 관한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 초고속 연삭가공에서 발생하는 연삭현상과 연삭특성을 조사하기 위하여 원통 플런지연삭을 대상으로 하여 초고속 연삭가공을 수행하였다. 숫돌주속은 최대 200m/sec를 적용하였으며, 고속연

삭을 위하여 개발된 비트리파이드(Vitrified) 결합재의 CBN(Cubic Boron Nitride)숫돌을 사용하였다. 연삭실험에서는 각각의 연삭조건에 따른 연삭 시의 소비동력의 차이를 조사하였으며, 가공결과로써 표면 거칠기와 진원도를 측정하고 이러한 일련의 연삭실험의 결과를 토대로 CBN숫돌을 사용한 초고속 원통 플런지연삭에서 공작물속도(회전수)가 연삭특성에 미치는 영향에 관하여 평가하였다

#### 2. 원통연삭 기구

연삭가공에서 소비동력의 증가는 연삭시에 발생되는 접선분력에 해당하는 연삭저항의 증가를 의미한다. 연삭 가공시 연삭저항의 크기에 중요하게 작용하는 요소는 연삭숫돌과 공작물과의 접촉호 그리고 (단위)연삭입자의 절삭깊이이다. 단위 연삭입자가 공작물에 접촉하기 시작해서 접촉이 끝나는 점까지 절삭해 가는 궤도의 길이를 접촉호의 길이라 한다. Fig. 1에서 원호 EC는 접촉호에 해당하는 길이이다. 일반적으로 연삭에서는 ED가 매우 짧으므로 입자의 궤적은 숫돌의 외주와 일치한다고 가정해서 접촉호의 길이를 DC로 보고 다음과 같이 계산할 수 있다.

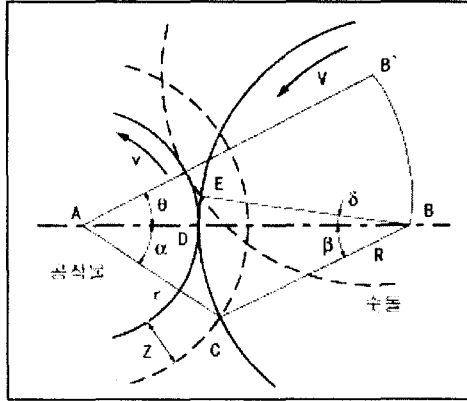


Fig. 1 Mechanism of cylindrical grinding

$$AC=r, AB=R+r-Z, BC=R, \cos\beta = 1-\beta^2/2$$

$$AC = AB+BC-2AB\cos\beta$$

이 때,

$$\beta = \sqrt{\frac{2rZ}{R(r+R)}}$$

로 표시되며, 접촉호길이 ( $l_c$ )는  $R\beta$ 가 된다. 따라서 구하는 접촉호의 길이  $l_c$ 는 다음과 같다.

$$l_c \cong l + v \cdot \frac{l}{V} = \sqrt{2Z} \cdot \sqrt{\frac{rR}{r+R}} \left( 1 + \frac{v}{V} \right)$$

식에서 나타낸 바와 같이 연삭숫돌의 속도가 빨라지면, 즉  $V$ 가 증가하면 접촉호의 길이는 작아진다. 이는 결국 연삭저항의 감소를 의미하며 결국 동일한 연삭조건에서 숫돌의 속도가 빨라질수록 소비동력이 감소하게 됨을 알 수 있다.

### 3. 실험장치 및 방법

연삭실험에는 Fig. 2에 나타낸 자동차용 캠연삭에 사용되는 CNC 원통연삭기의 기존 주축부에 실험용으로 제작한 고속용 주축부를 장착하여 사용하였다. 실험용 주축의 경우, 최고회전수가 11,000rpm(숫돌주속: 200m/sec)이며, 실험조건에 따라서 회전수를 조절하기 위하여 인버터를 부착하였다. 본 실험에 적용한 연삭조건은 Table 1과 같으며, 연삭방법은 축방향 이송이 없는 플런지 연삭을 적용하였다. 공작물의 표면거칠기의 측정은 광학식 형상표면조도 측정기를 사용하였으며, 연삭결과로는 주로 표면거칠기와 소비동력 및 연삭에서 발생하는 칩의 형태를 측정, 관찰하여 초고속 원통 플런지 연삭에서 숫돌의 주속과 공작물속도가 소비동력과 표면거칠기에 미치는 영향에 관하여 고찰하였다.



Fig. 2 CNC cylindrical grinding machine

Table 1. Condition of grinding experiment

Grinding machine	CNC Cylindrical Grinding machine (HYUNDAI MOTORS CO., LTD)
Grinding Wheel	Vitrified Bond CBN Wheel 350φ×20U×3XW×80H
Work Material	Chilled cast iron SCM 435
Grinding Method	Cylindrical Plunge Grinding
Wheel Speed	80, 120, 160, 200 m/sec
Depth of cut	0.5-3mm
Work Speed	60-640 mm/sec
Grinding Fluid	Soluble Type

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 숫돌주속과 소비동력의 관계

연삭실험을 통하여 숫돌주속에 따른 소비동력의 차이를 조사하였다. 측정된 소비동력은 연삭조건과 공작물 재질에 따라서 최고 5.25kw에서 최저 1.58kw까지 측정되었으며, 무부하 운전시에 회전수의 차이에 따른 소요되는 동력의 차이를 고려하면 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 숫돌주속이 증가함에 따라서 소비동력은 현저하게 감소하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 전기의 식에서 제시된 바와 같이, 동일한 공작물 속도 및 절입속도의 조건하에서 숫돌주속이 증가하면 접촉호가 짧아지게 되며 이로 인하여 단위입자의 연삭량에 해당하는 궤적이 숫돌주속의 증가분만큼 감소하는 효과에 기인하는 것으로 판단할 수 있다.

또한 동일한 연삭조건하에서 SCM435와 철드주강을 비교하면, Fig. 4의 SEM사진에 나타낸 바와 같이 공작물의 재질에 따라 칩의 크기에 차이를 가지며, 숫돌주속이 80m/sec영역에서는 SCM 435보다 상대적으로 경한 재질인 철드주강이 다소 큰 값을 가지나 주속의 증가와 더불어 소비동력의 차이가 감소되어 최대주속인 200m/sec 영역에서는 거의 동일

한 값을 가지는 것으로 확인되었다.

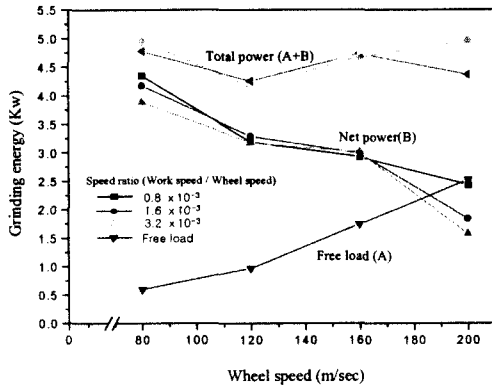
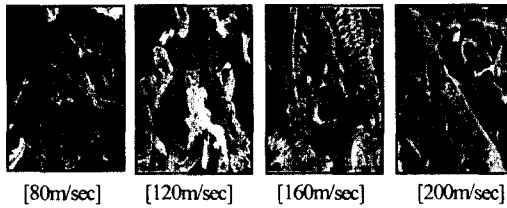


Fig. 3 Grinding energy - wheel speed (SCM 435)

(a) SCM435



(b) Chilled cast iron

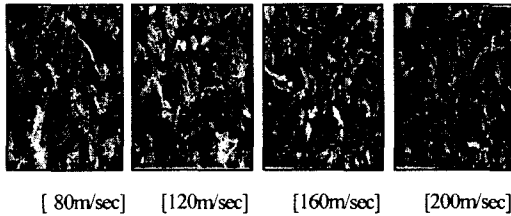


Fig. 4 SEM view of grinding chip - wheel speed

#### 4.2 슷돌주속과 표면거칠기의 관계

스�돌주속에 따른 공작물의 표면거칠기의 차이를 조사한 결과를 Fig. 5에 나타낸다. 칠드주강과 SCM 435의 재료특성의 차이에도 불구하고 표면거칠기는 Ra: 0.45 $\mu$ m 이내의 유사한 값을 가지며, 슷돌주속의 증가와 더불어 점진적으로 표면 거칠기가 개선되어 주속 200m/sec에서는 0.3 $\mu$ m 전후의 값을 가지는 것으로 확인되었다. 이는 슷돌주속의 증가로 단위입자의 절삭깊이가 감소되는 결과에 기인한다. 절삭깊이의 변화는 전기 Fig. 4의 결과에서 확인하는 것이 가능하다. 즉, 전체적으로 슷돌주속의 증가에

따라 칩의 크기가 감소함되며, 공작물의 재질에 따라 상이한 칩의 형태를 가지는 것을 알 수 있다. 특히, 칠드주강의 경우에는 경취성 재료이면서 흑연이 다량 함유되어 있는 소재 특성으로 인하여 연삭시에 입자에 의해서 절삭이 이루어지는 동안에 흑연 부분에서 쉽게 파괴가 일어나게 되며, 따라서 단속적이며 잘게 부서진 형상을 가지는 것으로 판단 할 수 있다.

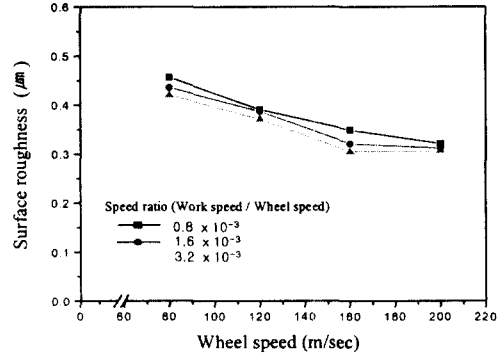


Fig. 5 Surface roughness - wheel speed (SCM435)

#### 4.3 공작물 속도와 소비동력의 관계

원통연삭에서 공작물의 회전속도가 연삭특성에 미치는 영향은 연삭형태에 따라서 다르게 취급되어진다. 본 연구에서 대상으로 하는 플런지 연삭에서는, 트래버스 연삭의 경우와는 상이하게, 동일한 슷돌주속 및 절입속도의 조건하에서 공작물의 속도가 증가하면 소비동력은 감소하게 된다. Fig.6에는 각 슷돌속도의 영역에서 공작물의 속도에 따른 소비동력의 차이를 나타낸다.

일반적으로 원통연삭시 접선방향 분력과 법선방향 분력 그리고 이송방향 분력이 존재하며, 이 중에서 접선방향 분력이 연삭시에 발생하는 소비동력과 직접적인 관계를 가진다. 접선방향 분력의 경우는 가공물과 슷돌의 접촉길이가 절입깊이의 증가에 따라 비례적으로 증가하게 된다. 전기의 접촉호의 식에 의하면, 절입깊이가 시간변화에 무관하게 동일 가공면 상에서는 항상 일정한 값을 가지는 트래버스 연삭의 경우에는 접촉호의 길이는 공작물의 속도에 비례하여 증가하게 된다. 그러나 플런지 연삭의 경우에는 트래버스 연삭과는 달리 시간변화에 따라 절입깊이가 지속적으로 변하게 되므로 일정 시간을 기준으로 고정된 절입깊이를 가지고 접촉호를 계산하는 것은 의미가 없다. 따라서 변화하는 공작물의 단위 회전당 절입깊이를 다음식으로 계산하고 이 값을 전기의 접촉호식에 적용하여 접촉호의 길이를 구한 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

d= 공작물직경, D = 스톨직경, Z = 걸보기연삭깊이  
 v= 공작물속도, V = 스톨속도

$$\text{연삭깊이 } g = a \frac{v}{V} 2\sqrt{Z} \sqrt{\frac{d-D}{dD}}$$

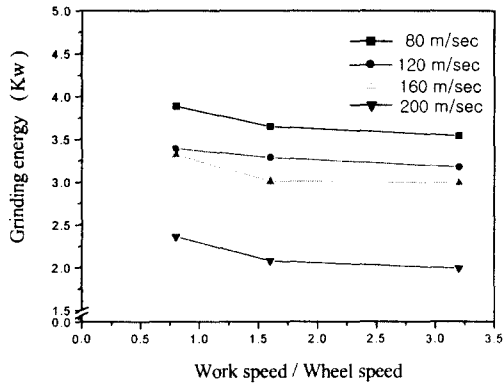


Fig.6 Grinding energy - workpiece speed

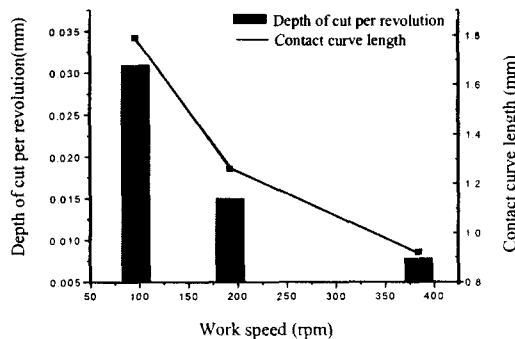


Fig. 7 Contact curve length - workpiece speed (Change depth of cut)

이 결과는 플런지 연삭의 경우 공작물의 속도에 따라 절입깊이가 감소하게 되며 이에 따라 접촉호의 길이도 감소함을 보여준다. 또한 실제적으로 공작물 단위회전 당의 스톨에 의해 제거되는 체적 제거량을 확인하기위해 전체 체적 제거량을 확인하고 이를 공작물 회전수로 나누어 계산한 결과를 Table 3에 나타낸다. 결과에서 나타낸 바와 같이, 공작물 속도의 증가는 단위 회전당 절입깊이와 접촉호의 길이를 감소시키며 실질적으로 체적 제거량을 비례적으로 감소시키게 된다. 이는 접선방향 분력을 감소시켜 결국 연삭시에 발생하는 소비동력이 감소하게 되는 결과를 가져온다.

Table 3 Stock removal according to work speed

Work speed	96	192	384(rpm)
Stock removal per revolution	55.9	27.9	13.9(mm <sup>3</sup> /r)

## 5. 결론

본 연구에서는 초고속 원통 플런지연삭 가공에서 스톨주속 및 공작물 속도가 소비동력 및 표면거칠기에 미치는 영향에 관하여 조사하였다. 본 연구에서 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. 스톨주속이 증가되면 스톨입자 당의 절삭량이 감소되어 소비동력이 감소된다.
2. 공작물 재질에 따라 생성되는 칩의 형상에 차이가 있으며, 상대적으로 연질재료 일수록 길고 연속적인 형태의 칩이 생성된다.
3. 원통 플런지연삭의 경우 공작물의 속도가 증가함에 따라 단위 회전당 절입깊이가 감소하게 되어 소비동력은 감소하게 되고 표면 거칠기는 양호하게 된다.

## 후기

본 연구는 한국과학재단 지정 울산대학교 기계부품 및 소재 특성평가 연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Otas M.; Ueada, H; Meada, M.A. : "Cam Grinding Grinding Wheel Spindle" 1st French and German Conference on High Speed Machining, Metz, France, June 1997
2. Manabu Wakuda, Minoru Ota, Hiroo Ueda and Katsutoshi Miyahara, Development of ultra high speed and high power cam grinding machine (1st report), 1998, 日本國精密工學會誌, Vol.64, No.4
3. 원종호, "CBN 휠의 고속 연삭에서의 가공 특성에 관한 연구" 고려대학교 박사학위 논문, pp. 53-93, 1990
4. 竹中 笹谷, 日本機械學會 論文集. 26卷 163 (1963) pp.403
5. 孫明煥, 切削加工論, 1996, 文運堂, pp.321, 377, 413