

# 평균입자모델에 의한 연삭에너지 구성 해석

\*이영문<sup>1</sup>, 손재환<sup>2</sup>, 배대원<sup>3</sup>, 손성필<sup>3</sup>, 황근식<sup>3</sup>, 박건우<sup>3</sup>  
<sup>1</sup> 경북대학교 기계공학부, <sup>2</sup> 대구기계부품연구원, <sup>3</sup> 경북대학교 대학원

## Analysis of grinding energy partition using average grain model

\*Y. M. Lee<sup>1</sup>, J. H. Son<sup>2</sup>, D. W. Bae<sup>3</sup>, S. P. Son<sup>3</sup>, K. S. Hwang<sup>3</sup>, G. W. Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dept. of Mech. Eng., Kyungpook Univ., <sup>2</sup> Daegu. Machinery Institute of Components & Materials, <sup>3</sup> Graduate sch. of Mech. Eng., Kyungpook Univ.

Key words : chip contact area, specific nonchip formation energy

### 1. 서론

연삭공정은 미세한 연삭깊이와 빠른 절삭속도, 불균일한 연삭입자의 형태, 연삭입자의 간격 등 그 복잡성으로 인하여 연삭가공공정의 해석이 어렵고 복잡하다. 따라서 연삭을 이용한 초미세가공에 대한 정량적인 명확하고 간단한 해석 방법이 제시되지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 연삭가공의 고정밀화와 고능률화에 기여할 수 있는 연삭가공 방안을 정립하기 위하여 평균입자 모델에 기초하여 주어진 연삭입력조건으로부터 연삭입자와 공작물의 접촉면적과, 비절삭에너지를 정의하였다. 또한 다양한 입자크기의 CBN숫돌을 이용하여 입자크기에 따른 연삭에너지특성 평가를 연삭실험을 통하여 정량적으로 평가하였다.

### 2. 평균입자연삭모델

Fig. 1(a)에 나타난 바와 같이 실제 연삭입자는 불규칙 형태의 다면체이고, 절삭점(cutting points)들이 연결되어 다수의 절삭날(cutting edges)을 형성하고 있다. 본 연구에서는 기하학적으로 단순화하여 연삭입자의 형태를 구형(sphere)으로 가정하고, 절삭날(cutting edge)도 구의 단면인 임의의 원호로 구성되어 있다고 가정하였다.<sup>(1)</sup>

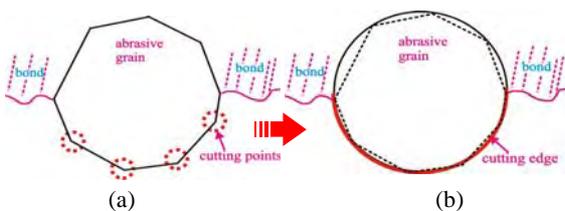


Fig. 1 Shape and cutting edge(bold line) of an abrasive grain (a) real shape (b) idealized shape.

#### 2.1 한 개의 연삭입자에 의해 생성되는 공작물과 연삭입자간의 접촉면적, A<sub>c</sub>

Fig. 2는 균일형상·분포의 연삭숫돌에 의한 평면 하향연삭공정에서 공작물이 이송하는 것을 대신하여 연삭숫돌이 입자당 S<sub>a</sub>만큼 이송하면서 l<sub>c</sub>의 접촉길이를 회전할 때 연삭입자의 절삭경로를 나타낸 것이다.<sup>(1)</sup>

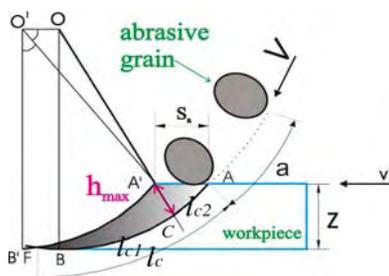


Fig. 2 Cutting path in down-surface grinding process.

그림에서 연삭입자의 최대미변형칩두께(maximum undeformed chip thickness), h<sub>max</sub>는 AC로 표시되며 근사적으로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.<sup>(2)</sup>

$$h_{max} = 2a \frac{v}{V} \left( \frac{Z}{D} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

여기서, a는 연삭숫돌의 연속절삭날간격(successive cutting point spacing)이며, v는 공작물속도, V는 연삭숫돌의 원주속도, Z는 연삭깊이, 그리고 D는 연삭숫돌의 직경을 나타낸다.

Fig.3은 연삭입자에 의해 생성된 한 개의 칩형상을 구형인 평균입자에 의해 연삭이 이루어진다고 가정하여 미변형칩의 형상을 원의 일부를 단면으로 하는 원뿔형으로 가정하였다.

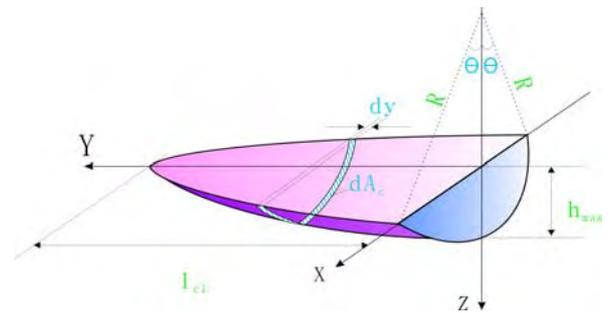


Fig. 3 Geometric of individual undeformed chip.

공작물과 연삭입자간의 접촉면적을 그림에서와 같이 최대미변형 칩두께를 기준으로 접촉길이 l<sub>c1</sub>, l<sub>c2</sub>구간으로 나누어 각각 구하면 체 접촉구간 l<sub>c</sub>에서 접촉면적 A<sub>c</sub>는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$A_c = \frac{4\sqrt{2Rh_{max}}}{3} l_c \quad (2)$$

여기서 R은 연삭입자의 평균반경, θ는 최대물림깊이에 해당하는 연삭입자의 사이각이다.

#### 2.2 공작물과 연삭입자의 접촉면적, A

연삭 시 접촉길이 l<sub>c</sub>에 해당하는 공작물과 연삭입자간의 전체 접촉면적은 식(3)과 같다.

$$A = n_a \times A_c \quad (3)$$

여기서 n<sub>a</sub>는 연삭휠과 공작물의 접촉면에 존재하는 연삭입자의 총 개수이다.<sup>(1)</sup>

### 2.3 절삭력과 비절삭력

일반적으로 연삭과정은 미세한 연삭깊이로 인하여 절삭과정과 경작작용에 의한 소성과정으로 이루어진다.<sup>(2)</sup> 따라서 접선방향 연삭력  $F_t$ (tangential grinding force)은 칩을 발생하는 절삭력  $F_{t, ch}$ (tangential chip formation force)과 미끄럼 및 경작작용을 하는 비절삭력  $F_{t, nonch}$ (tangential non-chip formation force)으로 나타내며 식(4)과 같다.

$$F_t = F_{t, ch} + F_{t, nonch} \quad (4)$$

### 2.4 칩생성에너지와 비칩생성에너지

연삭 시 소모되는 비연삭에너지는 칩생성에 소요되는 칩생성에너지  $u_{ch}$ 와 미끄럼 및 경작작용에 소모되는 비칩생성에너지  $u_{nonch}$ 로서 구성된다.<sup>(2)</sup>

이를 식으로 나타내면 식 (5), (6), (7)과 같다.

$$u = u_{ch} + u_{nonch} \quad (5)$$

$$u_{ch} = \frac{F_{t, ch}}{n_a A_a} \quad (6)$$

$$u_{nonch} = \frac{F_{t, nonch}}{n_a A_c} \quad (7)$$

여기서  $n_a A_a$ 는 연삭입자들에 의해 제거되는 연삭단면적이며,  $n_a A_c$ 는 연삭입자들에 의해 생성되는 접촉면적이다.

## 3. 연삭 실험 및 결과

### 3.1 연삭 실험

Table.1은 연삭실험조건을 나타낸 것으로 3가지 입도의 CBN연삭숫돌로 각각 32가지 조건에 대해 연삭실험을 행하였다. 연삭실험에 사용된 공작물은 경화열처리 된 SM45C강(HRC59)을 사용했다. 연삭력 성분을 구하기 위하여 공구동력계(Kistler, 9273)로부터 측정된 절삭력 신호를 전하증폭기(Kistler, 5807A)를 통해 증폭시키고, A/D 변환기(Pcim-das1602/16)를 거쳐 신호분석 기능을 갖고 있는 소프트웨어(Kistler Dynoware)를 사용하여 분석하였다. 측정된 수평분력  $F_y$ 의 평균값을 취하였다.

Table. 1 Conditions of the grinding force experiment.

Wheel speed(rpm)	1720
Radial depth of cut( $\mu\text{m}$ )	10, 20, 30, 40
Workpiece velocity(m/min)	5, 10, 15, 20
Grinding wheel(305mm)	CBN120R125V CBN170R125V CBN230R125V
Grinding width(mm)	8
Material of workpiece	SM45C
Heat treatment	O
Grinding Fluid	None
Depth of dressing( $\mu\text{m}$ )	50

### 3.2 실험결과 및 고찰

Fig. 4는 CBN 휠을 이용한 연삭실험에서 연삭 시 측정 연삭력을 이용하여 칩의 생성이외에 소요되는 비절삭력을 나타낸 것으로 최대미변형칩두께가 클수록 증가함을 알 수 있으며 구성비는 전체 연삭력의 약 74~84% 정도이다.

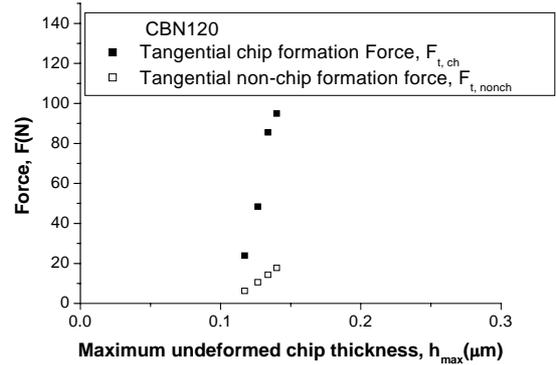


Fig. 4 Tangential chip formation force and non-chip formation force in CBN120R125V wheel.

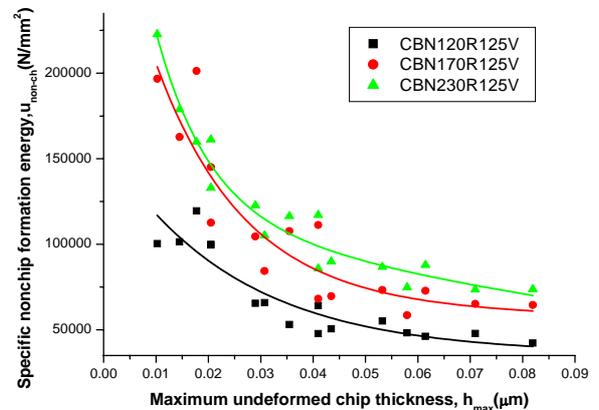


Fig. 5 Specific nonchip formation energy as grain in CBN wheel.

Fig.5은 미변형칩두께에 따른 비칩생성에너지를 나타낸 것으로 미변형칩두께가 증가할 수록 지수함수적으로 감소하고 있으며, 이는 치수효과에 의한 것으로 볼 수 있다.<sup>(3)</sup>

최대미변형칩두께가 동일한 경우 연삭입자가 작을수록 비칩생성에너지가 커지는 경향을 나타내고 있는데 이는 접촉면적이 증가하여 미끄럼 및 경작작용에 소모되는 비칩생성에너지가 증가하기 때문으로 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 평균입자모델에 기초하여 기하학적인 연삭칩의 표면적을 유도하였고 평면연삭기를 이용한 실험과 경화열처리된 SM45C강을 이용하여 기하학적인 최대미변형칩두께에 따른 비절삭에너지 및 비연삭에너지를 나타내었다.

- (1) 연삭접선방향 절삭력에서 절삭력 이외에 소모되는 비절삭력은 접선방향 연삭력의 약 74~84%이다.
- (2) 최대미변형칩두께가 증가할수록 비칩생성에너지는 지수함수적으로 감소하였고 최대미변형칩 두께가 동일한 경우에는 연삭입자가 작을수록 비칩생성에너지가 큰 값을 가졌다.

## 참고 문헌

1. Y. M. Lee, W. S. Choi, S. I. Chang, D. W. Bae, J. W. Son and H. G. Lee, "Analysis of specific grinding energy using average grain model" Trans. KSMTE, Vol. 14, pp. 61-68, 2005.
2. S. Malkin, 1989, Grinding Technology - Theory and Application of Machining with Abrasives, John Wiley & Sons.
3. W. R. Brecker, M. C. Shaw, 1952, "The Size Effect in Metal Cutting", Trans. of ASME, Vol. 74, pp. 61-723.