

# 평면연삭에서 숫돌의 종류와 연삭조건에 따른 표면거칠기 및 연삭숫돌의 파괴

오동석 · 이종훈\* · 이병곤

충북대학교 안전공학과, \*청주기능대학 생산기계학과

## 1. 서 론

평면연삭은 기계부품의 후가공 공정에 사용되며, 기계부품의 다듬질면은 내마멸성, 피로강도 및 내식성등 품질에 큰 영향을 미친다. 연삭작업중 가장 큰 위험 요소는 고속작업중 연삭숫돌의 파손이다. 연삭숫돌의 파괴되는 주요 원인은 고속 회전중 최고사용 원주속도를 넘어 지나치게 빠를 때 원심력이 결합력보다 커지는 경우와, 숫돌에 균열(crack)이 있을 때이다. 연삭숫돌이 파괴되어 숫돌 파편이 작업자의 머리, 안면등을 강타하여 사망이나 골절등 중대재해가 발생된다.

본 연구에서는 기계구조용 탄소강 SM45C와 경화열처리한 SM45C, 회주철 GC15 재료에 대하여, 입자 WA, 입도 #60, #100 2종류, 결합도 I, O, R 3종류의 연삭숫돌을 사용하여, 이송과 연삭깊이에 대한 표면거칠기의 변화를 실험하고, 기존의 실험식들과 비교하였다. 또한, 숫돌직경을 감소시켜가며 원심파괴회전수를 측정하고, 이론회전수와 비교하였다. 또, 실제로 평면연삭기에서 연삭작업시 숫돌이 파괴될 때의 연삭깊이를 실험하고 이론값을 제시하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 평면연삭에서의 표면거칠기

織岡<sup>[1]</sup>는 평면연삭에서의 표면거칠기에 미대하여 다음 식을 제안하였다.

$$R_{rms} = 0.328 \left( \frac{1}{D} + \frac{1}{d} \right)^{1/9} \left( \frac{v}{V} \right)^{2/9} \left( \frac{1}{jc} \right)^{2/9} \left( \frac{1}{\gamma} \right)^{2/9} H_0^{2/3} \dots \dots \dots (1)$$

小野<sup>[2]</sup>는 평면연삭에서의 최대골바닥깊이  $H_v$ 에 대한 식을 도출하여,  $H_v$ 와 표면거

칠기와의 관계를 구했다.

$$H_v = (15/16)^{2/5} \nu^{6/5} (\cot \phi)^{2/5} G^{2/5} \dots \dots \dots (2)$$

### 2.2 원심력에 의한 슷들의 파괴

회전하는 물체는 회전체의 반경방향으로 원심력이 작용한다. 연삭스틀이 회전중 원심력이 슷들의 결합력 보다 크게 되면 슷들이 파괴되며 파손시의 회전수  $n_{f1}$ 은 다음과 같다.<sup>[3]</sup>

$$n_{f1} = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{3(r_2 - r_0)}{\rho \pi (r_2^3 - r_0^3)} \frac{\sigma_{ave}}{k_t}} \dots \dots \dots (3)$$

### 2.3 평면연삭시 연삭깊이 증가에 의한 슷들파괴

佐藤建兒<sup>[4]</sup>는 연삭저항( $F_t$ )에 대하여 다음 식을 제시하였다.

$$F_t = \frac{\pi}{4} k_s \frac{R f}{w^2} \frac{\delta^2}{\beta + \delta} \left\{ 2Z - \frac{R(r+R)}{r} \frac{\delta^2}{3} \right\}^2 \sin \gamma \dots \dots \dots (4)$$

여기서,  $Z$  : 연삭깊이,  $r$  : 공작물의 반지름,  $k_s$  : 비연삭저항,  $\beta$  : 슷들접촉호의 길이,  $f$  : 슷들의 1회전당 시험편의 이송,  $R$  : 슷들의 반경 이다.

또한 竹中<sup>[5]</sup>은 연삭저항( $F_t$ )에 대하여 실험식을 제시하였다

$$E_t = KZ^\alpha V^{-\beta} \nu^\gamma \dots \dots \dots (5)$$

여기서, 평면연삭저항 실험식의 지수치인,  $\alpha$  : 공작물 접촉호의 길이,  $\beta$  : 슷들 접촉호의 길이,  $\gamma$  : 가공혼적 횡단면의 산높이,  $K$  : 연삭저항비 이다.

본 연구에서는 연삭저항이 슷들의 파괴시 인장력  $F_t = \sigma A$ 와 같아지면 슷들이 연삭 가공중에 파괴되는 것으로 간주하고 파괴시 연삭깊이를 다음과 같이 나타내었다.

Theory 1 값 : 佐藤建兒<sup>[4]</sup>의 연삭저항 이론식을 이용한 슷들파괴시 연삭깊이 ( $Z$ )

$$Z = \left[ \left( \frac{\sigma A}{\frac{\pi}{4} k_s \frac{R f}{w^2} \delta^2 \sin \gamma} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{R(r+R)}{r} \frac{\delta^2}{3} \right]^2 \dots (6)$$

Theory 2 값 : 竹中<sup>[5]</sup>의 연삭저항 실험식을 이용한 숫돌파괴시 연삭깊이

$$Z = \left( \frac{\sigma A}{K V^{-\beta} v^{\gamma}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \dots \dots \dots (7)$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 연삭깊이와 표면거칠기

Fig. 1은 입도 # 60, 결합도 I형의 숫돌로 건식시 경화 열처리된 SM45C 및 SM45C, 회주철 GC15에 건식시 연삭깊이 증가에 대한 표면거칠기이다. 연삭깊이가 증가하면 표면거칠기도 증가하며, 연삭깊이 8 [μm]일 때가 가장 양호한 표면거칠기를 보인다. 연삭깊이 4 [μm]일 때가 8 [μm]보다 큰 데, 이는 연삭입자의 절입치수가 너무 적어서 발생하는 비연삭저항의 증가로 인한 치수효과(size effect)로 판단된다. 경화열처리된 SM45C가 가장 양호하고 GC15가 가장 불량하다.

#### 3.2 평면연삭에서 표면거칠기

Fig. 2는 입도 # 60, 결합도 I형의 연삭숫돌로 경화 열처리된 SM45C를 연삭속도 2000 [m/min], 연삭깊이 8 [μm]에 대하여 건식과 습식으로 이송의 변화에 따른 표면거칠기로서, 기존의 실험식들과 비교한 그림이다. 그림에서 織岡의 실험식은 비교적 실험값과 유사하게 예측되나, 小野<sup>[3]</sup>의 실험식은 매우 상이한 값을 보인다.

#### 3.3 원심파괴 회전수

Fig. 3은 입도 # 60, 결합도 I, O, R형의 연삭숫돌의 직경마모율에 따른 원심파괴회

전수이다. 그림에서 원심파괴회전수는 슷들직경이 감소할수록 급격하게 증가한다.  
또한 결합도 I, O, R순으로 원심파괴회전수가 크다.  
그림에서 이론값은 약 2%오차 내로 실험값과 잘 일치한다.

### 3.4 슷들이 파괴될 때의 연삭깊이

Fig. 4는 입도 # 60, 이송 10 [m/min]일 때 결합도에 따른 슷들파괴시 연삭깊이다.  
결합도가 큰 순서인 I, O, R로 슷들파괴시 연삭깊이가 커진다.  
Theory (1)과 Theory (2)는 결합도가 낮은 I형은 일치하나 결합도가 클수록 오차가 커져 차이가 난다.

## 4. 결론

1. 표면거칠기는 연삭깊이와 이송이 작을수록, 연삭스들의 입도와 결합도가 커질수록 양호해진다. 또한 경화열처리한 강이 표면거칠기가 작다.
2. 원심력에 의한 회전파괴시 결합도가 높은 I, O, R 순으로, 직경마모율이 클수록 파괴회전수가 크고, 이론값은 실험값과 일치한다.
3. 연삭깊이 증가에 의한 슷들 파괴시 결합도가 높은 I, O, R 순으로, 연삭스들의 입도와 이송이 커질수록 파괴될 때의 연삭깊이가 커진다.
4. 연삭스들의 파괴시 연삭깊이를 예측할 수 있는 식을 제시하였다.

## 참고문헌

1. Akiyama, "The Protective of Safety Guards made of Steel plate", 1998.
2. 織岡, "On the Grinding Geometry for the Random Spacing of Abrasive Grains on Wheel Surface", 日本機械學會誌, pp1185-1193, 1985.
3. 小野, " 粒子의 形狀分布가 研削仕上面에 미치는 影響", 日本機械學會論文集 pp671-679, 1964.
4. 이운호, "탁상研削 作業시 安全에 관한 研究", 金烏工科大學, 1997.
5. 佐藤建兒, "砥粒 및 砥石에 의한 加功", 日本 誠文堂新光社刊, pp88~93, 1971.
6. 竹中, "Thermal Expansions and Grinding Forces according Surface inding", JSPE, Vol.45, No.5, pp.12, 1979.

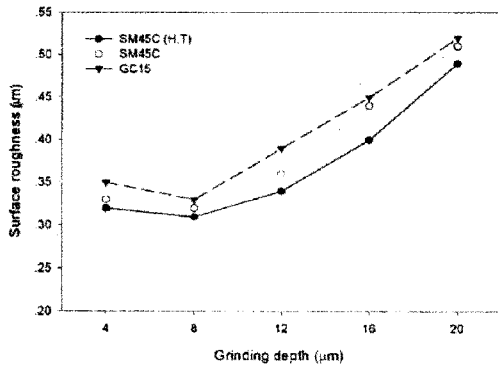


Fig. 1 Variation of surface roughness for the grinding depth (Grainsize:#60, grade:I, feed:15m/min, dry)

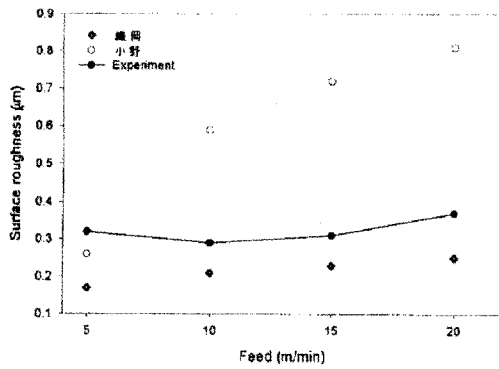


Fig.2 Variation of theoretical surface roughness and measured surface roughness

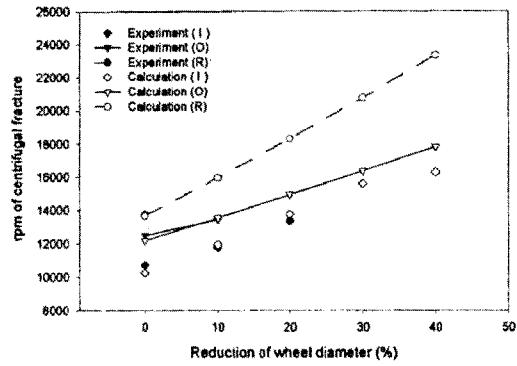


Fig. 3 Comparison of theoretical value and experimental value of revolving speed for fracture

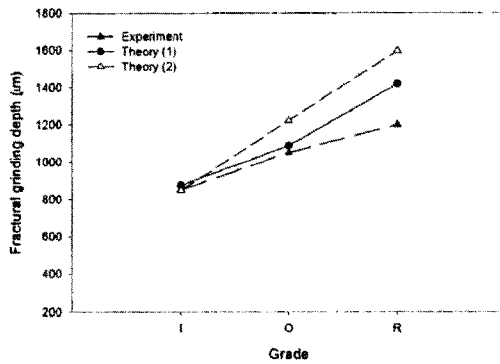


Fig. 4 Variation of theoretical value and experiment value of fracture for load (Feed:10m/min, grainsize:#100)