

## 다이아몬드 휠에 의한 세라믹 연삭의 연삭력 평가

문홍현\*(청주교도소), 김성청(충북대학교), 공재향(중소기업청),  
박병규(주성대학), 소의열(충청대학), 이근상(세인Eng.)

### Evaluation on Grinding Force of Ceramic Grinding by the Diamond Wheel

H.H.Moon\*, S.C.Kim, J.H.Gong, B.G.Park, E.Y.So, K.S.Lee

#### Abstract

In this study, through the experimental results of grinding ratio, grinding force and surface roughness with the obtained wear amount of diamond wheel and ceramic material during the grinding process, the following conclusions could be found. In the case of  $Si_3N_4$ , the wear of diamond wheel is large while the grinding force is stable and the range of change in surface roughness is small. For the case of  $Al_2O_3$  and  $ZrO_2$ , while the wear of diamond wheel is getting smaller, the grinding force is increasing but the value of surface roughness is decreasing. For grinding with the vitrified bond wheel, it seems that the self-sharpening can be found for  $Si_3N_4$  and the glazing effect of the cutting edge for  $Al_2O_3$  and  $ZrO_2$ .

Keyword : grinding force(연삭력), grinding ratio(연삭비), wear(마모), glazing(날무덤),

#### I. 서론

세라믹스는 고경도와 취성을 가진 난삭재라고 할 수 있으며 소결 공정에 따른 비틀림, 굽힘 및 수축 등의 다양한 변형들을 제어하여 고정도를 요구하는 부품으로 제작하기 위해서는 고능률적

이고도 고정도적인 기계적 제거 가공이 반드시 필요하다. 세라믹스의 기계적인 제거 가공 방법 으로서는 다이아몬드 연삭숫돌을 이용한 연삭 가공이 가장 효율적인 방법으로 알려져 있다.<sup>(1)</sup> 그러므로 난삭재에 대해서 연삭성능이 좋고 마모 되지 않는 연삭숫돌 요구가 가속화되고 있다. 일반지석을 사용하여 가공하면 지립의 경도가 공작물의 경도에 가깝기 때문에 가공이 좋지 않은 상태이든지, 지석의 마모가 너무 빨라서 가공비 문제가 심각하다. 따라서 세라믹스는 높은 경도 때문에 절입이 어렵고, 공작물에 미소한 소성변형을 일으키기 때문에 연삭저항이 높게 나타나고 있다. 지석에 의한 연삭가공에 있어서 연삭의 용이도를 파악하는 척도로는 소재제거율과 연삭비가 주로 이용되고 있다.<sup>(2)</sup> 즉 단위시간당 얼마만큼 소재를 제거하는지, 그리고 동시에 지석의 마모가 얼마나 적은지를 가지고 재료의 피가공성을 판단한다. 세라믹스는 피가공성이 나쁘므로 이들 재료가 갖는 우수한 특성을 활용하기에는 어려운 실정이며, 연삭가공 기술의 확립은 재료를 광범위 하게 이용할 수 있는 필요과제라 할 수 있다.<sup>(3)</sup>

본 연구에서는 평면연삭기에서 세라믹재료를 다이아몬드 휠(Diamond wheel)로 연속가공을 하면서 연삭 숫돌의 마모 진행이 어떠한 형태로 나타나는지를 관찰하기 위하여, 연삭 숫돌 및 세라믹 재료의 마모 체적을 구하여 연삭비(Grinding ratio)를 산출하고, 연삭의 법선저항 및 표면거칠기의 변화거동을 고찰하여 연삭력 변화에 따른 숫돌의 연삭수명을 예측하고자 하며, 세라믹

재료의 연삭력 평가를 통해서 효율적인 가공조건을 찾고자 한다.

## II. 연삭력 및 연삭비

연삭 중에 휠에 작용하는 힘을 연삭력이라 한다. 연삭력하면 법선분력과 접선분력이 있다. 접선분력은 연삭동력과 관계가 깊으며, 법선분력은 동력과 관계되지 않으나 휠과 공작물에 변위를 일으키게 해서 공작물에 절삭잔량을 발생하게 하고, 진동을 유발하는 등 가공정밀도에 관련되는 중요한 요소이다. 특히 휠이 마모되어 무디어진 이 발생한다든지 눈매움 등 상태에서는 이 분력은 상당히 커진다. 연삭력은 절입량, 공작물속도가 증가하면 증가하고, 휠의 원주속도가 증가하면 감소한다.

또한, 연삭가공에서 연삭의 경제성을 평가하기 위해서는 휠이 제 성능을 발휘하는가를 알아야하며 휠 성능의 지표가 되는 것이 연삭비(G)이다. 연삭비는 연삭작업의 많은 인자들 즉, 슷들의 종류, 공작물 재료, 연삭액, 연삭깊이 및 연삭속도 같은 공정변수 등에 따라 달라진다. 낮은 재료 제거율은 생산성이 떨어지나 휠의 수명을 연장시키고, 높은 재료 제거율은 휠 수명이 떨어지나 생산성을 향상시킨다. 휠의 수명을 늘리기 위해 높은 연삭비 값을 유지하면 입자가 무디어져서 표면손상을 유발하므로 G값이 높은 것이 항상 바람직한 것은 아니다. 전반적인 경제성 분석을 통하여 제품당 최소 총 연삭비용에 기초하여 선택한다.<sup>(4)</sup> 연삭비를 구하는 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_w = b \cdot \Delta t \cdot \ell \quad (1)$$

$$V_s = \pi \cdot D \cdot b \cdot \Delta r \quad (2)$$

$$G = \frac{V_w}{V_s} \quad (3)$$

여기서,  $V_w$ 는 공작물의 제거된 체적,  $V_s$ 는 휠의 제거된 체적,  $b$ 는 공작물과 휠의 폭,  $\ell$ 은 공작물의

길이,  $\Delta t$ 는 공작물의 제거된 두께,  $D$ 는 마모 전·후의 평균 휠 지름,  $\Delta r$ 은 감소된 휠의 반지름을 나타낸다.

이 식에서 보면 연삭비가 높을수록 휠의 수명이 길어진다. 그러므로 같은 조건하에서 연삭비가 증가하다가 다시 감소하는 시점을 연삭 수명 점으로 볼 수가 있다.<sup>(6)</sup>

## III. 실험

### 1. 시험편과 다이아몬드 휠

본 실험에 사용된 시험편은 3종의 세라믹 재료인 질화규소( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), 알루미나( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 그리고 지르코니아( $\text{ZrO}_2$ )를 사용하였고, 시험편의 규격은 60(L)×13(W)×18(H)mm이며, 스틱(Stick)형으로 제작하였다. 다이아몬드 휠은 비트리파이드(Vitrified) 본드를 사용하고 입도(Mesh)를 400으로 하고 집중도(Concentration)를 100으로 제작하여 사용하였다. 그리고 휠의 크기는 180(OD)×31.75(ID)×13(W)×3(t) mm로 제작하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

본 실험은 주축의 회전수가 변속이 가능하도록 인버터(Inverter)를 부착하고, 절입량이 1mm까지 가능하도록 디지털 장치를 부착한 평면 연삭기(HGS-515XA, Hwacheon)를 사용하였으며, 실험에 사용한 실험 장치는 Fig. 1과 같다. 가공조건은 주축회전수 3000rpm, 이송속도 1m/min, 절입량 0.02mm 로 연속가공을 실시하였으며, 공작물을 10회 가공한 후마다 연삭 슷돌 및 세라믹 재료의 마모 체적을 구하여 연삭비의 변화거동을 관찰하였고, 연삭저항을 측정하기 위하여 공구동력계(AST-MM, Satowo)를 연삭테이블 위에 설치하고, 그 위에 지그를 설치한 후 공작물을 고정하였다. 공구동력계에서 발생된 신호는 앰프(UCAM-70A, Kyowa)에서 증폭된 후 A/D 변환기를 거쳐 출력장치인 프린터를 통해 출력이 되도록 하였다. 공작물의 표면상태를 측정하기 위하여 측정식 조도계(Surftest-301, Mitutoyo)를 이용하여 최대높이 거칠기( $R_{max}$ )를 측정하였다.

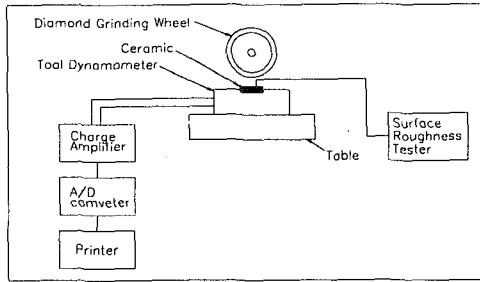


Fig. 1 Block diagram of experimental apparatus

#### IV. 실험결과 및 고찰

##### 1. 질화규소( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )의 연삭력 변화

Fig. 2는 비트리파이드 본드로 입자가 400인 다이아몬드 휠로 질화규소를 연속가공을 실시하였을 때의 연삭비를 나타낸 그림이며, Fig. 3은 연속가공 횟수에 따른 연삭저항의 법선분력의 값을 나타낸 그림이다. 또한 연속가공 횟수에 따른 표면거칠기의 값을 나타낸 그림은 Fig. 4이다.

연삭 입도가 400인 비트리파이드 본드 휠로 연삭하였을 때는 숫돌의 마모가 크고, 연속가공 횟수에 따라 거의 비슷한 마모량을 보이고 있으며, 숫돌은 적당하게 마모하고 연삭날이 자생작용을 하면서 이상적인 연삭작용을 한다. 연삭저항은 10회부터 증가하는 경향은 있으나 비교적 안정적이다. 또한 표면거칠기는 연속가공 횟수에 따라 증가하고 있으나 변화의 폭은 작다. 이것은 휠의 자생작용으로 정상적으로 가공이 수행되고 있다고 생각된다.

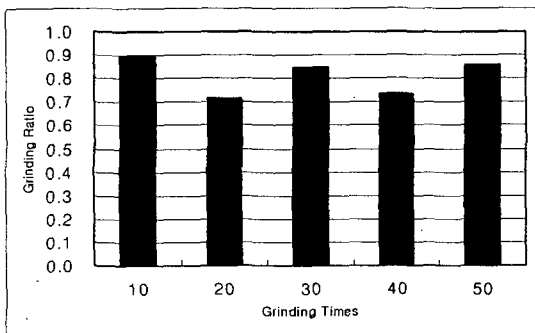


Fig. 2 Variation of grinding ratio for grinding times (material :  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , bond : vitrified, mesh number : 400)

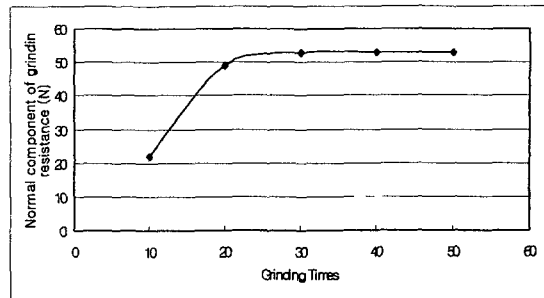


Fig. 3 Variation of normal component of grinding resistance for grinding time (material :  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , bond : vitrified, mesh number : 400)

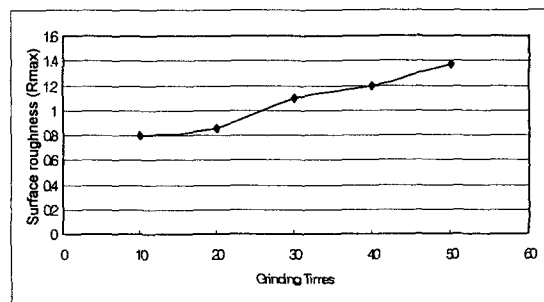


Fig. 4 Variation of surface roughness for grinding times (material :  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , bond : vitrified, mesh number : 400)

##### 2. 알루미나( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )의 연삭력 변화

Fig. 5는 비트리파이드 본드로 입자가 400인 다이아몬드 휠로 알루미나를 연속가공을 실시하였을 때의 연삭비를 나타낸 그림이며, Fig. 6은 연속가공 횟수에 따른 연삭저항의 법선분력의 값을 나타낸 그림이다. 또한 연속가공 횟수에 따른 표면거칠기의 값을 나타낸 그림은 Fig.7이다. 연삭입자가 400인 비트리파이드 본드 휠로 연삭하였을 때는 처음에는 날교정의 영향으로 큰 마모가 나타나지만 이후 숫돌은 마모가 점차로 작아지고, 연삭력은 30회 이후 급격히 증가하고 있다. 또한 표면거칠기 값은 감소하다가 40회 이후 증가하고 있다. 이것은 숫돌입자가 마모되어 날무덤(glazing)현상이 발생되어 평탄한 마모면이 나타나 절삭날 면적율이 일정한 크기가 되면서 연삭저항은 급격히 증가한다. 또한, 숫돌입자와

공작물 표면과의 접촉면적이 많아져서 표면거칠기가 좋아지고 있다고 사료된다.

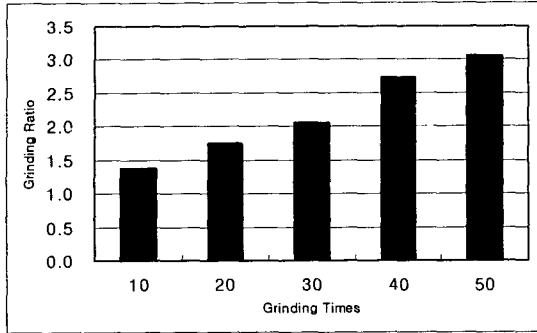


Fig. 5 Variation of grinding ratio for grinding times (material :  $Al_2O_3$ , bond : vitrified, mesh number : 400)

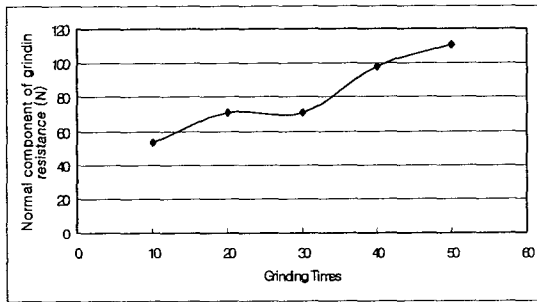


Fig. 6 Variation of normal component of grinding resistance for grinding time (material :  $Al_2O_3$ , bond : vitrified, mesh number : 400)

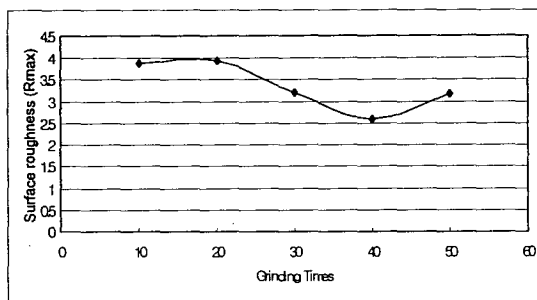


Fig. 7 Variation of surface roughness for grinding times (material :  $Al_2O_3$ , bond : vitrified, mesh number : 400)

### 3. 지르코니아( $ZrO_2$ )의 연삭력 변화

Fig. 8은 비트리파이드 본드로 입자가 400인 다이아몬드 휠로 지르코니아를 연속가공을 실시하였을 때의 연삭비를 나타낸 그림이며, Fig. 9는 연속가공 횟수에 따른 연삭저항의 법선분력의 값을 나타낸 그림이다. 또한 연속가공 횟수에 따른 표면거칠기의 값을 나타낸 그림은 Fig. 10이다. 연삭 입자가 400인 비트리파이드 본드 휠로 연삭하였을 때는 연삭비와 연삭력은 알루미늄과 같이 증가하고, 표면거칠기는 감소하고 있는데 이것은 슷돌입자가 마모되어 공작물 표면과의 접촉면적이 많아져 표면거칠기는 좋아졌지만 연삭력은 아주 커지게 된다고 사료된다.

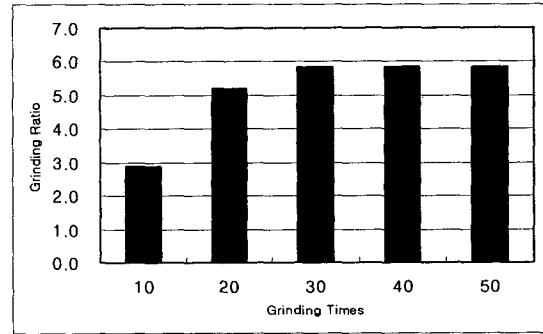


Fig. 8 Variation of grinding ratio for grinding times (material :  $ZrO_2$ , bond : vitrified, mesh number : 400)

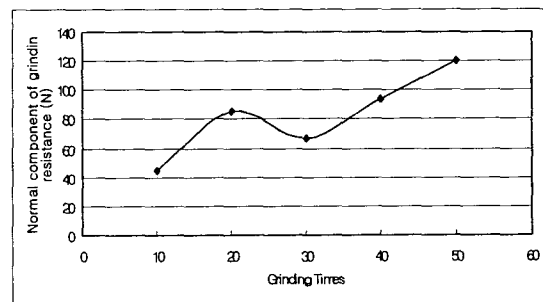


Fig. 9 Variation of normal component of grinding resistance for grinding time (material :  $ZrO_2$ , bond : vitrified, mesh number : 400)

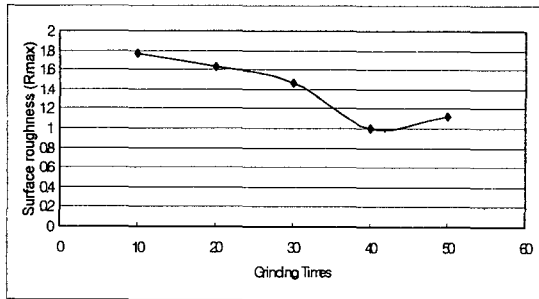


Fig. 10 Variation of surface roughness for grinding times (material :  $ZrO_2$ , bond : vitrified, mesh number : 400)

## V. 결론

본 연구는 세라믹 재료를 다이아몬드 휠로 연삭가공할 때 연삭숫돌 및 세라믹 재료의 마모 체적을 구하여 연삭비, 연삭력 및 표면거칠기의 변화거동을 고찰한 실험결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 질화규소는 숫돌의 마모가 크고, 연삭력은 비교적 안정적이며, 표면거칠기의 변화의 폭은 작다.
2. 알루미늄 및 지르코니아는 숫돌의 마모는 작아지나 연삭력은 증가하고, 표면거칠기 값은 감소한다.
3. 비트리파이드 본드로 연삭 할 경우 질화규소는 비교적 자생작용이 이루어지고 알루미늄 및 지르코니아는 절삭날의 날무덤(glazing)현상이 나타난다.

## 참고 문헌

1. 강재훈 외, "세라믹 경면 가공 기술", 요업기술, Vol.11, No.2, pp. 83-91, 1996.
2. S. Malkin, "The Wear of Grinding Wheels", ASME, No.11, pp. 1129-1133, 1971.
3. 이영서 외, "난삭재 가공을 위한 Vitrified

Diamond 지식에 대하여", 요업기술, Vol.11, No.2, pp. 95-98, 1996.

4. 김낙수 외, "공업재료가공학", 반도출판사, pp. 526, 1996.

5. T. W. Liao, "Wear of diamond wheels in creep-feed grinding of ceramic materials", Wear 211, pp. 94-103, 1992.