

# Quartz의 연삭 특성에 관한 연구

임종고\*, 하상백\*, 김성현\* 최 환\*\*, 이종찬\*\*

## A Study on the Grinding Characteristics of the Quartz

Jonggo Lim\*, Sangbaek Ha\*, Sunghun Kim\*, Hwan Choi\*\*, Jongchan Lee\*\*

### ABSTRACT

This study reports the grinding characteristics of quartz. Grinding experiments were performed at various grinding conditions including wheel mesh, table speed and depth of cut. The grinding forces and specific grinding energies were measured. Surface roughness was also measured with tracer and the ground surfaces were observed with SEM. A new parameter SDR(Surface roughness Direction Ratio) is proposed to characterize the grinding mechanisms of quartz. A set of experiments was performed to verify the effectiveness of the suggested parameter. The experimental results indicate that the ductile mode is the dominant material removal mode at the grinding conditions which show the higher value of SDR whereas the material is removed by brittle fracture in a lower value of SDR. SDR is not affected by wheel mesh size when brittle fracture occurred. But in the ductile mode case, SDR value increases with wheel mesh size.

**Key Words** : Quartz (쿼츠), Specific grinding energy (비연삭에너지), Surface roughness (표면조도), SDR(횡방향과 종방향의 표면조도비),

### 1. 서론

최근 들어 반도체 산업의 발달로 인해 반도체 제작과정에서 없어서는 안될 웨이퍼 캐리어(Wafer carrier) 및 보트(Boat), 플랜지(Flange) 등에 사용되고 있는 고순도와 고온특성을 지닌 Quartz제품의 필요성이 증가하고 있다. 이러한 Quartz의 사용범위는 대단히 넓으며 반도체 외에도 CVD공정이나 광섬유 산업에서도 중요한 부분을 차지하고 있고 갈수록 점차 형상이 복잡하고 정밀가공이 필요한 Quartz제품을 요구하고 있는 실정이다. Quartz는 특성상 원재료로부터 잉곳형태나 튜브(Tube) 또는 플

라이트(Plate) 형태로 소성되어 나오게 되는데, 필요한 형상으로 가공하기 위해서는 세라믹스(Ceramics)나 다른 경취성 재료와 같이 다이아몬드 휠을 이용한 연삭가공을 행하게 된다.<sup>1)</sup> 기존의 경취성 재료 중에서 대표적이라 할 수 있는 세라믹스에 대해서는 많은 연구가 이루어져 왔고 현재도 활발히 연구되고 있지만<sup>2,5)</sup> 글래스 중에서도 특히 순도가 가장 높은 Quartz의 연삭 가공에 대한 연구는 가공방법<sup>6)</sup>이 소개되긴 하였으나 극히 일부분의 제품생산 등에 한정되어 있는 정도이며 기초적인 데이터 베이스가 정립되어 있지 않은 실정이다.

2001년 1월 19일 접수

\* 금오공과대학교 기계설계공학과 대학원

\*\* 금오공과대학교 기계공학부

본 연구에서는 Quartz의 연삭 특성을 파악하기 위하여 연삭휠과 연삭조건을 변화시키면서 연삭 가공하고 이때 발생하는 연삭저항력을 측정하여 비연삭에너지를 구해 봄으로써 연삭성능을 살펴 보았다. 그리고 연삭가공된 공작물의 표면에 대해서는 표면 조도계를 이용하여 표면 거칠기값( $R_a$ ,  $R_{max}$ )을 측정하였고 또한 이 표면에 대해 SEM사진을 촬영하여 표면을 살펴봄으로써 재료가 제거 되어진 형태를 살펴보았다. 또한 재료가 제거되어 지는 형태를 알아보기 위해 연삭방향 표면거칠기에 대한 연삭직각방향의 표면거칠기의 비(Surface roughness Direction Ratio, 이하 SDR)를 정의하여 Quartz재료에 대해서 각기 다른 연삭조건을 적용한 뒤 그 변화를 알아보았다. 그리고 이 SDR 값은 어떤 연삭 인자에 영향을 받는지를 살펴보기 위해 비연삭에너지와 연삭휠의 입도 변화에 따른 수치의 변화도 살펴보았다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용된 휠은 입도가 각각 #100, #200, #400이고, 결합도 N, 집중도 100인 레진본드 다이아몬드 휠을 사용하였다. Quartz 공작물은 GE에서 생산된 고순도의 214 Type을 사용하였으며, 크기는 JIG에 물릴 수 있도록 다이아몬드 절단기를 이용하여 40mm × 30mm × 5 mm로 절단하여 사용하였다. 그 외의 물리적 특성과 화학적 성분함량은 Table 1에서와 같다.

본 실험에 사용된 공작기계는 1 μm까지 절입이 가능하도록 디지털 장치가 부착된 부분 유압식 범용 횡축 수평형 평면연삭기(Model: YGS-50A (1.5 kW, 3440 rpm))를 사용하였다. 실험장치의 구성은 Fig. 1에서와 같이 공작물의 연삭 가공시 발생하는 연삭저항력의 측정을 위해 압전형 공구 동력계(Piezo-electric type tool dynamometer, Kistler, 9254)를 연삭기 테이블 위에 설치하고 그 위에 지그를 설치한 후 공작물을 고정하였다.

공작물 연삭시 공구동력계에서 발생된 신호는 다채널 증폭기(Multichannel charge amplifier, Kistler, 5019A)에서 증폭된 후 아날로그-디지털변환기(Analog-digital Converter, IOtech, DaqBook)를 거쳐 디지털화되어 개인용 컴퓨터(PC)로 전송되고, Grinding force software를 사용하여 실험에서 얻어

진 연삭저항력 값을 측정하였다.

Table 1 Property of the Quartz

Workpiece	214 Type
Size	40 × 30 × 5 mm
Chemical composition	Al(14%), Ca (0.4%), K(0.6%), Li(0.6%), Na(0.7%), Ti(1.1%), Zr(0.8%), Si(81.8%)
Hardness	570 KHN
Poisson's Ratio	0.17
Tensile Strength	$4.8 \times 10^9$ Pa (N/m <sup>2</sup> ) (1000psi)
Compressive Strength	Greater than $1.1 \times 10^9$ Pa (160,000psi)

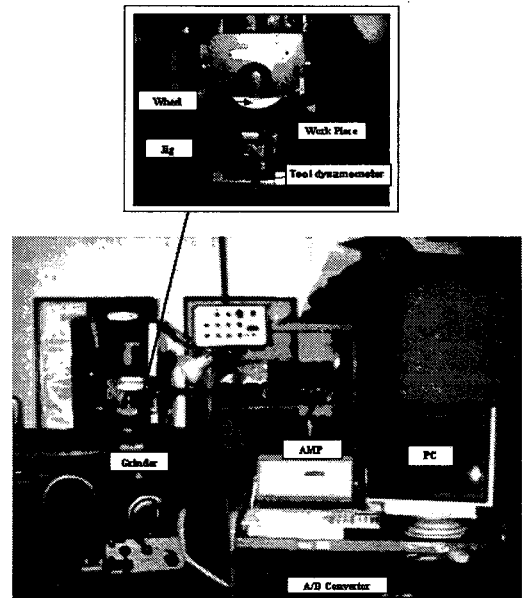


Fig. 1 Experimental set-up

연삭된 공작물의 연삭방향과 연삭직각방향으로의 표면거칠기( $R_a$ 와  $R_{max}$ )는 축침식 표면조도계(Mitutoyo, SV-600)를 사용하여 측정하였다. 공작물 표면사진은 전자주사현미경(SEM)을 사용하여 촬영하였다. 모든 실험은 같은 조건으로 5pass 하여 3번째 큰 값과 그 값의 앞 뒤 값을 취하여 평균값을 구함으로써 Data를 구하였다. Table 2는 본 실험에 사용된 연삭가공 조건을 나타낸다.

Table 2 Experimental conditions

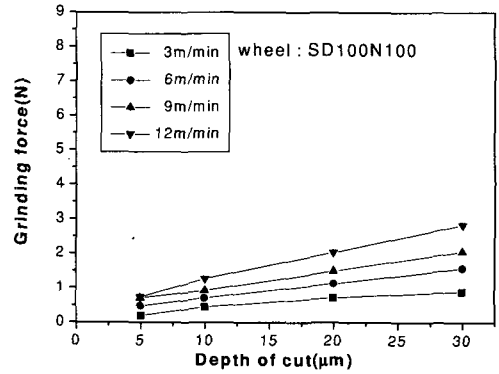
Grinding machine	Horizontal spindle surface grinding machine
Grinding wheel	SD100N100, SD200N100, SD400N100 (180D × 31.75d × 10t)
Grinding conditions	Wheel speed( $V_s$ ) : 32.4 m/s
	Table speed( $v_w$ ) : 0.06, 3, 6, 9, 12 m/min
	Depth of cut( $a_p$ ) : 5, 10, 20, 30, 1000 $\mu\text{m}$
	Grinding type : Surface grinding & Wet
Grinding fluid	Shell lubricool (soluble type, 50:1)
Dressing condition	Dressing sticks : WA100, WA200, WA400
	Grinding type : Traverse & Wet
	Depth of cut : 30 $\mu\text{m}$
	Table speed : 6 m/min
Truing condition	Dressing sticks : GC100
	Grinding type : Traverse & Wet
	Table speed : 6 m/min

### 3. 실험결과 및 고찰

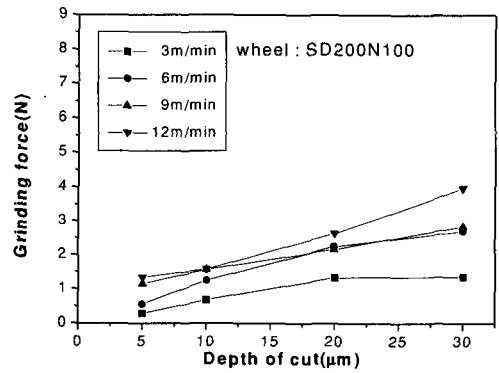
Quartz재료의 연삭 특성을 알아보기 위하여 입도가 각각 #100, #200, #400인 다이아몬드 휠을 이용하여 절입깊이와 이송속도 변화에 따른 연삭실험을 수행하여 이때 발생하는 연삭저항력과 비연삭에너지를 구하였고 연삭된 표면에 대해 표면거칠기를 측정하였다.

Fig. 2는 #100, #200, #400인 휠을 이용하여 Quartz를 연삭하고 이때 발생하는 법선방향의 연삭저항력을 측정한 결과이다. 절입깊이를 5~30  $\mu\text{m}$ 로 변화시킬 때는 테이블 이송속도를 6 m/min으로 고정하여 실험하였고, 이송속도를 3~12 m/min으로 변화시킬 때는 절입깊이를 10  $\mu\text{m}$ 으로 고정하여 실험하였다. Fig. 2에서 와 같이 입도가 큰 연삭휠이 연삭저항력이 높게 작용하였고 입도 #100 휠로 연삭했을 때보다 입도 #400 휠로 연삭했을 때의 법선방향 연삭저항력이 전체적으로 3배정도 큰 것을 알 수 있다. 절입깊이 변화에 따른 연삭저항력은 모든 휠에 대해 절입깊이가 증가함에 따라 연삭저항력이 비례적으로 증가한다는 것을 알 수 있었고 테이블 이송속도의 변화에 따른 법선방향 연삭저항력도 이

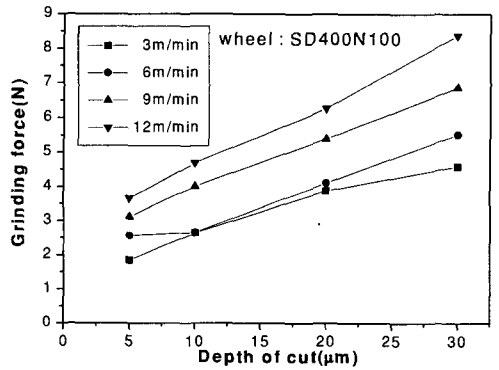
송속도가 증가함에 따라 법선방향 연삭저항력도 비례적으로 증가한다는 것을 알 수 있었다.



(a) #100



(b) #200



(c) #400

Fig. 2 Grinding forces versus depth of cut for (a) #100, (b) #200, (c) #400 mesh wheel

Fig. 3은 절입깊이와 테이블 이송속도의 변화에

다른 연삭방향에 대한 표면거칠기의 변화를 나타낸 결과이다. Fig. 3(a)는 절입깊이 변화에 따른 표면거칠기를 살펴보기 위해 이송속도를 6m/min로 고정시키고 절입깊이를 5~30 μm까지 증가시키면서 여러 종류의 휠로 연삭 했을 때의 Ra값과 Rmax값을 나타낸 결과이고, Fig. 3(b)는 테이블 이송속도 변화에 따른 표면거칠기를 살펴보기 위해 절입깊이는 10 μm로 일정하게 유지하고 공작물 이송속도를 3~12 m/min까지 증가시키면서 여러 종류의 휠로 연삭 했을 때의 Ra값과 Rmax값을 나타낸 결과이다. 절입깊이변화에 따른 표면거칠기는 거의 변화가 없었고 테이블 이송속도변화에 따른 표면거칠기 값은 테이블 이송속도가 증가할수록 표면거칠기 값도 증가하는 경향을 보였다. 또한 입도가 낮은 연삭휠로 연삭한 경우의 Ra, Rmax 값이 높게 나타났다.

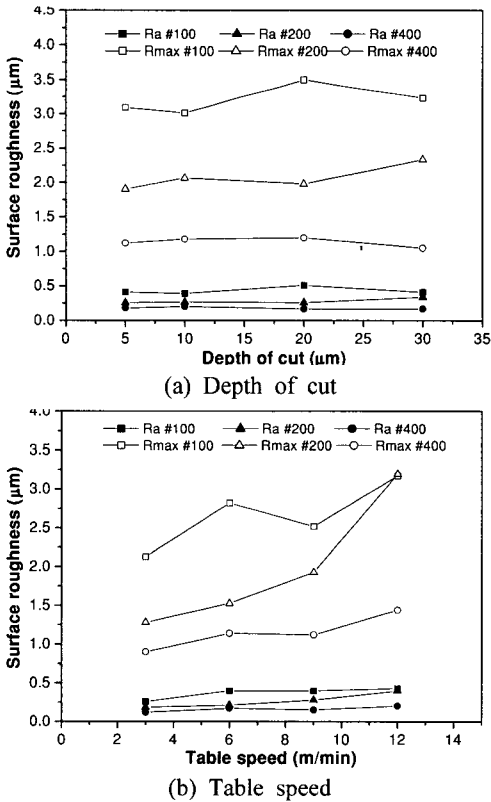


Fig. 3 Surface roughness of grinding direction for (a)Depth of cut (b) Table speed

깊이 5~30 μm, 이송속도 3~12 m/min으로 연삭조건을 변화시키면서 연삭 가공했을 때의 재료제거율 변화에 따른 비연삭에너지 값의 변화를 나타낸 것이다. 비연삭에너지는 다음과 같이 식(1)을 이용하여 구하였다.

$$u = \frac{P}{Q_w} = \frac{F_t V_s}{b a_p V_w} \quad (1)$$

$Q_w$ : 재료제거율  $P$ : 연삭동력

여기서,  $F_t$ 는 접선방향 연삭저항력(N/mm),  $V_s$ 는 휠 속도(m/s),  $b$ 는 휠 폭(mm),  $a_p$ 는 절입깊이(mm),  $V_w$ 는 공작물 이송속도(m/min)이다. Fig. 4에서 보는 것과 같이 재료제거율이 증가할수록 비연삭에너지가 감소하는 경향을 보이고 있으며 Chip formation 에너지는 5J/mm<sup>3</sup> 정도였다.

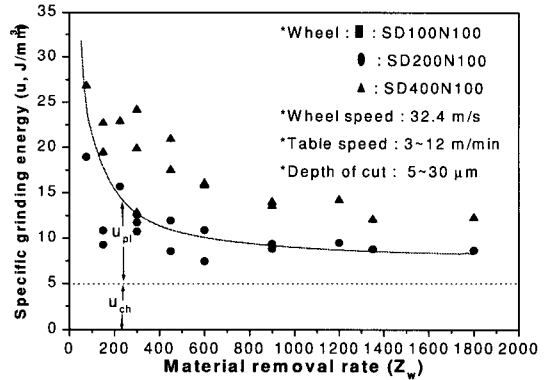


Fig. 4 Specific grinding energy versus material removal rate

본 연구에서는 연삭된 표면의 특성을 살펴보기 위하여 연삭방향 표면거칠기 값에 대한 연삭직각방향의 표면거칠기 값의 비인 Surface roughness Direction Ratio(SDR) 값을 살펴보았다. 여기서, SDR 값은 식(1)과 같이 정의하였다.

$$SDR = \frac{\text{연삭직각방향 표면거칠기}(\mu m)}{\text{연삭방향 표면거칠기}(\mu m)} \quad (2)$$

SDR 값의 차이에 따른 공작물 표면의 형태를 SEM사진과 함께 살펴보았으며 SDR 값에 영향을 미치는 연삭인자에 대해서도 살펴보았다.

Fig. 4는 Quartz 재료를 여러 종류의 휠로 절입

Fig. 5는 Quartz 재료를 같은 재료제거율에 대하여 이송속도와 절입깊이가 연삭표면에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 Conventional 연삭과 Creepfeed 연삭조건으로 가공하여 표면거칠기를 측정된 결과이다. 표면조도는 공작물의 연삭방향과 연삭직각방향에 대한  $R_a$ ,  $R_{max}$  값을 측정하였고 이값들로 SDR 값을 구하였다. Creepfeed 연삭을 한 경우의 연삭방향의 표면거칠기가 Conventional 연삭을 한 두 경우에 비해  $R_a$ ,  $R_{max}$  값 모두 상당히 작다는 것을 알 수 있다. 하지만, 아랫부분의 연삭직각방향에 대해서는 그다지 큰 차이가 없음을 알 수 있다. Fig. 6은 SDR 값을 나타낸 것이다. Conventional 연삭을 한 경우의 SDR 값은  $R_a$ ,  $R_{max}$ 가 대략 5 이하였고, Creepfeed 연삭을 한 경우는 30 정도의 값을 보였다. 다이아몬드 휠을 이용한 Quartz 연삭 시의 재료 제거 형태를 알아보기 위해 Conventional 연삭조건과 Creepfeed 연삭조건으로 연삭된 공작물 중 각각 하나씩을 택하여 SEM사진을 촬영하여 보았다. Fig. 9는 입도가 다른 여러 종류의 휠을 이용하여 위 조건으로 연삭가공된 재료의 표면을 촬영한 SEM사진이다.

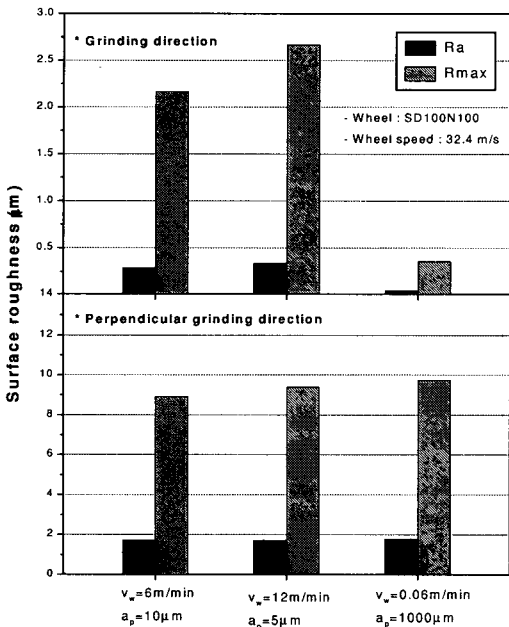


Fig. 5 Surface roughness of Quartz for grinding direction and perpendicular grinding direction

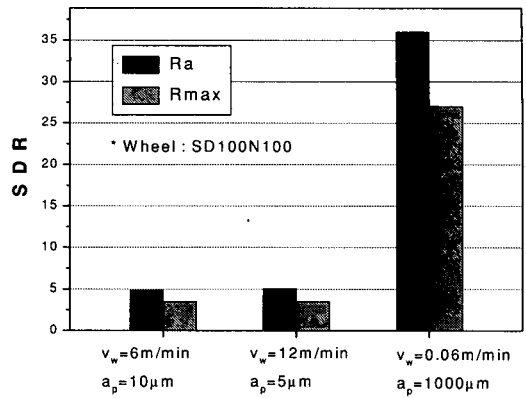


Fig. 6 SDR of Quartz

Fig. 7(a1), (a2), (a3)는 Conventional( $VW:6$  m/min,  $a_p:10 \mu$ m) 연삭을 한 표면의 SEM사진이고, Fig. 7(b1), (b2), (b3)는 Creepfeed ( $VW:0.06$  m/min,  $a_p:1000 \mu$ m) 연삭을 한 표면의 SEM사진이다. Conventional에서 Creepfeed연삭조건으로 되면 재료가 취성모드에서 연성모드로 제거되게 되고 입도가 높은 연삭휠로 가공할수록 취성모드에서 연성모드로 되는 것을 확인할 수 있다.

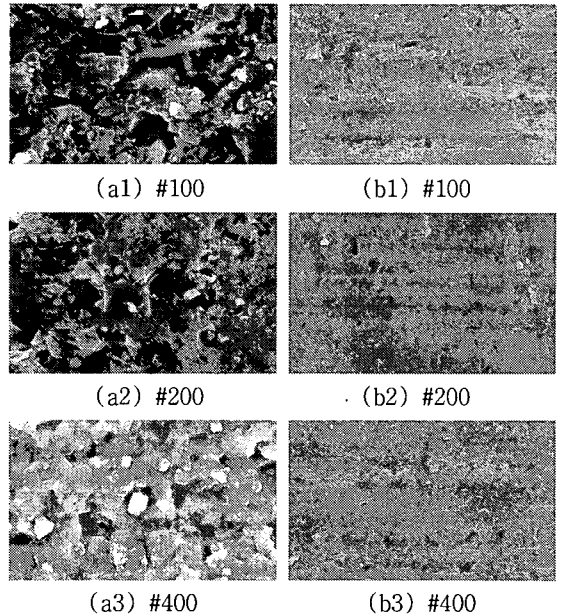


Fig. 7 SEM photograph of ground surface for (a)Conventional condition (b)Creepfeed condition

Fig. 8은 비연삭에너지와 휠 입도의 변화에 따른 SDR 값의 변화를 나타낸 것이다. 비연삭에너지가 낮은 Conventional 연삭조건에서는 SDR 값이 전체적으로 낮고 큰 변화를 보이지 않지만 비연삭 에너지가 높은 Creepfeed 연삭조건에서는 SDR 값이 높으며 메쉬의 변화에 따라 많은 변화를 보임을 알 수 있다. 이것으로 SDR 값은 비연삭에너지에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 또한 입도가 낮을수록 SDR 값이 크게 나타나는 것으로 보아 SDR 값은 다이아몬드 입자 크기에도 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다. 또한 Conventional 연삭조건에서 유심히 살펴보면 #400보다 #100의 경우 SDR 값이 약간 큰 것을 알 수 있고, Creepfeed조건에서는 #100의 경우가 #400의 경우보다 SDR 값이 확연히 크다는 것을 알 수 있다. 비연삭에너지가 낮은 영역에서는 SDR 값이 휠 입도에 크게 영향을 받지 않지만, 비연삭에너지가 높은 영역에서는 입도에 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

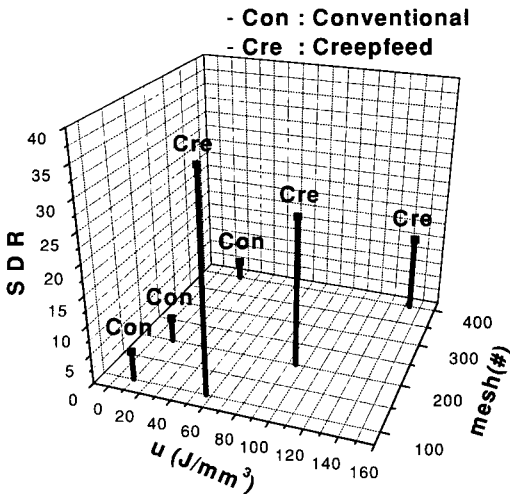


Fig. 8 The relation of SDR, specific grinding energy and wheel mesh

#### 4. 결 론

본 연구에서는 Quartz의 연삭실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Quartz의 법선방향 연삭저항력은 공작물 이송 속도와 절입깊이가 증가할수록 연삭저항력도 비례적으로 증가하였다.

2) Quartz의 비연삭에너지는 재료제거율이 증가함에 따라 지수함수적으로 감소하였고 chip formation 에너지는  $5J/mm^3$  정도였다.

3) Quartz의 표면거칠기는 연삭직각방향이 연삭 방향에 비해 크게 나타났고 이송속도와 입자크기가 커질수록 거칠게 나타났다.

4) Quartz의 연삭시 연삭표면은 Conventional 연삭조건에서 Creepfeed연삭조건으로 갈수록 취성에서 연성모드로 가공되었고 비연삭에너지가 높을수록 취성에서 연성모드로 가공이 되었다.

5) SDR 값은 비연삭에너지와 입자크기가 클수록 크게 나타났고, 비연삭에너지가 높은 조건에서 입자 크기에 더 큰 영향을 받았다.

#### 후 기

본 연구는 2000년도 금오공과대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구된 논문임.

#### 참 고 문 헌

- Malkin, S., "Grinding Technology : Theory and Application of Machining with Abrasives," John Wiley & Sons, New York, 1992.
- Hwang, T.W., Malkin S., "Grinding Mechanical and Energy Balance for Ceramics," Transaction of the ASME, Vol. 121, 1999.
- Malkin, S., Hwang, T. W., "Grinding Mechanisms for Ceramics," Annals of the CIRP, Vol. 45, 1996.
- Ritter, J. E., Malkin, S., "Grinding Mechanisms and Strength Degradation for Ceramics," Transaction of the ASME, Vol. 111, 1989.
- Pei, Z. J., Billingsley, S. R., Miura, S., "Grinding induced subsurface cracks in silicon wafers," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 39, 1999.
- Bifano, T. G., Hosler, J. B., "Precision Grinding of Ultra-Thin Quartz Wafers," Transactions of the ASME, Vol. 115, 1993.
- Sang Baek Ha, Young Kil Jeon, Whan Choi, and Jong Chan Lee, "A Study on the Grinding Characteristics of Ceramics," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 103, 1999.