

# 세라믹스 가공용 다이아몬드 공구 마모에 관한 연구

박상희\*, 김광민\*\*, 최성대#, 홍영배\*\*\*

## A Study on the Wearing Behavior of Diamond Tool used to Machining of Ceramics

Sang-Hee Park\*, Kwang-Min Kim\*\*, Seong-Dae Choi#, Young-Bae Hong\*\*\*

(Received 3 January 2011; received in revised form 15 February 2011; accepted 21 February 2011)

### ABSTRACT

In this study, coring with diamond core drill on the sintered  $Al_2O_3$  ceramic plate were carried out with different coring conditions such as various cutting speed and feed rate to evaluate their effectiveness on the wearing behavior of diamond tool and coring quality. The wearing rate of diamond core drill were getting better with increasing cutting speed and feed rate but the quality of cored hole were getting worse as increasing cutting speed and feed rate

**Key Words :** Alumina green body(알루미나 성형체), Sintered ceramics(소결 세라믹), Core drill(코어 드릴), Wear(마모), Drilling time(가공회수)

### 1. 서 론

세라믹스재료는 높은 강도 및 취성으로 인하여 금속재료와 같이 절삭가공이 곤란하여, 가공이 보다 용이한 소결전의 세라믹 성형체(Green body)를 선가공한 후 소결하여 원하는 제품을 얻기도 하지만 대부분 소결세라믹을 다이아몬드공구를 이용하여 연마가공하게 된다<sup>[1,2]</sup>. 얇은 필립 형상을 갖는 세라믹 성형체의 경우, 편칭방법으로 미소구멍가공을 수행하고 있으며, 두꺼운 세라믹의 미소구멍은 편칭을 이용한 제작

이 곤란하여 적층, 소결하여 제조하고 있으나 치수정밀도가 저하되고 공정이 복잡하다. 이러한 문제를 해결하기 위한 세라믹가공체의 구멍가공방법에 대한 연구가 필요하다<sup>[3]</sup>.

Besshi, T<sup>[4]</sup> 등은 왁스(Wax)가 첨가된 폴리에틸렌(Polyethylene)을 결합재로 사용한 알루미나 성형체의 절삭가공에 대하여 연구를 수행하였으며, 성형체내의 왁스질량비에 따른 홈절삭(Groove Cutting) 성능 및 성형체로부터 왁스를 제거하는 방법에 대해서도 실험을 수행하였다. Maier, H.R<sup>[5]</sup> 등은 알루미나 성형체(Green body)의 선반가공실험을 통하여 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이의 변화에 따른 표면 거칠기 변화에 대하여 연구를 수행하였다. 이와 같이 세라믹 성형체의 물성 및 가공에 대한 다수의 연구가 수행되고 있었지만, 일반적인 절삭가공에서 결합재가 미치는 영향에 대한 성형체(green body)에

\* 금오공과대학교 기계공학부

\*\* 한국폴리텍VI대학 자동화시스템과

# 교신저자 : 금오공과대학교 기계공학부

E-mail : sdchoi@kumoh.ac.kr

\*\*\* (주)원익퀴츠

대한 연구 실적은 있었지만 소결체에 관한 연구 실적은 미미한 실정이다.

본 연구에서는 알루미늄 세라믹 소결체에 다수의 구멍가공을 수행하기 위한 세라믹스가공용 다이아몬드공구의 마모시험을 위한 구멍가공을 수행하였다. 구멍가공시 발생하는 공구마모를 멀티미디어영상현미경에 의하여 공구의 두께변화를 관측하여 공구회전수와 이송속도가 공구마모에 미치는 영향에 대하여 실험적으로 검토하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 시험편 및 사용 공구

반도체 wafer handling arm과 lift pin, 정진chuck 등의 재료로 널리 사용되며 내식성과 내마모성, 고강도 및 높은 전기절연성을 가진  $Al_2O_3$  소결체를 시험편으로 사용하였으며, Table 1에 그 순도와 물성을 나타내었다.

일반적으로 구멍 가공 할 때는 마이크로드릴과 다이아몬드 코아드릴, Ti코팅 고속도강드릴 등이 사용되고 있으나 본 시험에서 구멍가공에 사용된 공구는 chip배

출을 쉽게하고 연삭효율을 높이기 위해 직경 8mm의 중공축인 전착코아드릴로 100메시(Mesh)의 다이아몬드입자를 래삭강재질의 생크에 니켈로 전착하여 제작한 공구의 hole직경과 산포 및 진원도와 산포를 측정하였으며, Fig. 1은 본 시험에서 사용된 드릴의 형상과 치수를 보여주고 있다.

### 2.2 실험 방법

정확한 공구회전수와 이송속도를 구현하고 가공의 균일성을 확보하기 위하여 CNC머시닝센터(TNV-40A)를 이용하여 동일회전수에서 이송속도를 변경 혹은 동일 이송속도에서 회전수를 변경시켜 구멍가공을 실행하였으며, 공구의 마모는 멀티미디어영상현미경(Sometec, ICS-3058)을 이용하여 일정구멍 가공 후의 동일한 위치에서 동일배율로 공구의 외경과 내경의 차이 값인 공구두께를 측정하여 마모량을 측정하였다. 가공구멍의 품질은 비접촉3차원측정기(Nikon VMR-6555)에 의한 구멍직경과 직경표준산포와 진원도 및 진원도산포를 측정하였으며, 피 가공물의 표면조도를 접촉식표면거칠기 측정기(Mitutoyo Surftest 402)를 사용하여 측정하였다. 특히 모든 데이터의 측정은 가공조건과 공구 마모 및 가공 품질간의 올바른 영향력을 평가하기 위하여 공구마모와 품질 산포가 큰 초기와 장시간 가공 시점을 피한 8번째, 16번째와 24번째 데이터를 취하였으며 구멍가공일 경우에는 칩 막힘으로 공구마멸 및 파손으로 공구수명에 영향을 초래하기 때문에 구멍가공시

Table 1  $Al_2O_3$  contents and its mechanical properties

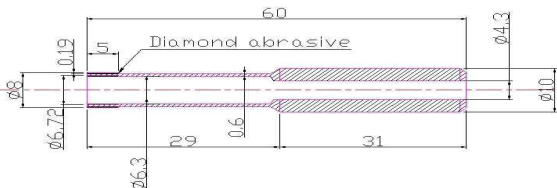
Composition		Mechanical Properties		
$Al_2O_3$	Vicker's Hardness (GPa)	Flexural Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio
99.7%	17.2	380	380	0.23

Table 2 Machining conditions

Hole diameter (mm)	Machining depth (mm/step)	Cutting Speed (RPM)	Feed rate (mm/min)
∅ 8	0.1	3,000	5
∅ 8	0.1	3,000	7
∅ 8	0.1	3,000	9
∅ 8	0.1	2,500	9
∅ 8	0.1	2,000	9



(a) Photo of core drill



(b) Specification of core drill

Fig. 1 Shape of core drill and its specification

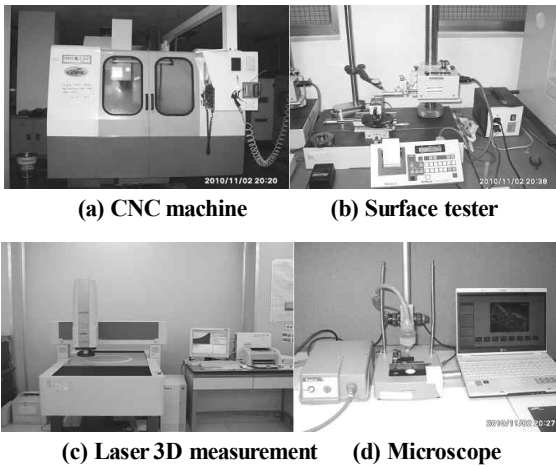


Fig. 2 CNC machine and measuring equipments

발생하는 열을 냉각시키고 연삭효율을 향상시키기 위하여 0.1mm 간격으로 step가공을 하였으며, Table 2에는 회전수 변화에 따른 가공조건을 나타내었고 실험에 사용된 머시닝센터와 평가측정기는 Fig. 2에 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 공구 회전수가 공구마모에 미치는 영향

시험편으로 사용된 10mm두께의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 소결체를 가공 조건별로 공구회전수가 3000rpm일때 이송속도를 5, 7, 9mm/min로 변경하고, 이송속도가 9mm/min일 때 공구회전수를 2000, 2500, 3000rpm으로 증가시키면서 24개의 구멍가공을 순차적으로 실행하면서 8번째, 16번째 및 24번째구멍을 가공후의 공구두께의 마모량을 측정하여 Table 3과 Table 4의 데이터를 얻었다. MiniTab 을 이용하여 공구회전수와 공구마모율과의 상관관계식<sup>[6]</sup>인 식 (1)은 초기 두께 대비 공구 마모율 y1은 공구회전수와 90% 이상의 높은 부(-)의 상관관계를 나타내나 회귀식의 P값은 0.121로 타당성이 떨어지는 것으로 나타났으며, 상관관계를  $y = ax + b$  일차 함수로 나타낸 회귀식에서 상수값 b는 회전수가 0일때의 추정 절편값이고, a는 상관관계기울기를 나타내고 99%의 높은 부(-)의 상관관계를 나타내었고 그 회귀식의 P값도 0.05이하인 0.046으로 회귀식에 대한 타당성이 있는 것을 알

수 있다. 공구회전수가 증가함에 따라 커진 가공력으로 피가공체의 가공이 용이해지는 것에 반하여 공구 자체에 추가되는 힘은 감소되어 Fig 3에 나타난 공구회전수와 공구마모율과의 상관 관계식과 회귀그래프에서 알 수 있듯이 공구회전수가 증가함에 따라 공구마모율이 감소함을 알 수 있었다. 특히 초기 두께 대비 공구 마모율 y1보다는 가공시간 대비 공구 마모율y2는 공구회전수가 증가함에 따라 마모율이 감소하는 큰 부의 상관관계를 보이고 있음을 알 수 있었다.

Table 3 Raw data of core drill thickness

Machining condition		Core drill thickness after holing(μm)		
Cutting speed (rpm)	Feed rate (mm/min)	After 8th hole	After 16th hole	After 24th hole
3,000	5	714.9280	661.1720	629.1770
3,000	7	718.5170	666.4580	661.9760
3,000	9	661.8190	650.1560	644.3780
2,500	9	656.5790	647.9350	615.6950
2,000	9	638.3650	586.4330	563.2320

Table 4 Wearing rate of core drill

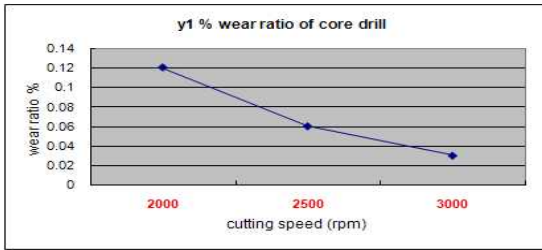
Machining condition		Wearing rate of core drill	
Cutting Speed (rpm)	feed rate (mm/min)	with thickness of core drill % y1	with machining time (μm/min) y2
3,000	5	0.12	0.15
3,000	7	0.08	0.13
3,000	9	0.03	0.05
2,500	9	0.06	0.12
2,000	9	0.12	0.21

$$y1 = 0.295 - 0.0009 \text{ cutting speed} \quad (1)$$

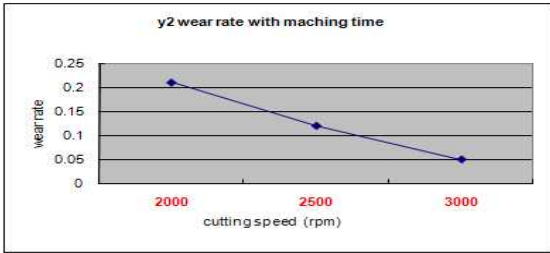
( P값 cutting speed 0.121 > 0.05 )

$$y2 = 0.527 - 0.000160 \text{ cutting speed} \quad (2)$$

( P값 cutting speed 0.046 < 0.05 )



(a) Wear rate with thickness of core drill y1

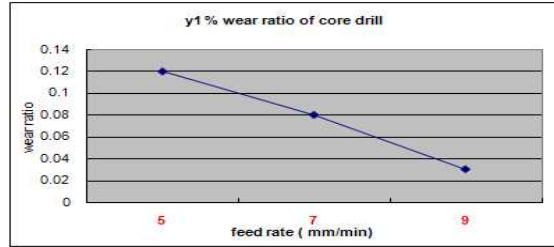


(b) Wear rate with machining time y2

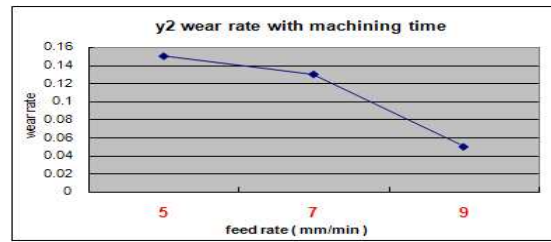
Fig. 3 Wear rate of core drill with cutting speed

$$y2 = 0.285 - 0.0250 \text{ feed rate} \quad (4)$$

( P값 feed rate 0.212 >> 0.05 )



(a) Wear rate with thickness of core drill y1



(b) Wear rate with machining time y2

Fig. 4 Wear rate of core drill with feed rate

### 3.2 이송속도가 공구마모에 미치는 영향

이송속도가 공구마모에 미치는 영향을 보기 위하여 Table 3과 Table 4의 데이터를 Minitab을 이용하여 공구회전수가 일정한 상태에서의 변화된 이송속도와 공구마모율과의 상관 관계식 (3)과 (4)를 얻었다. 식 (3)에서는 초기 두께 대비 공구마모율 y1은 이송속도와 99.2%의 높은 부(-)의 상관관계를 나타내었으며 그 회귀식과 P값도 0.05 이하인 0.041으로 회귀식에 대한 타당성이 있으며, 식 (4)에서는 가공시간 대비 공구마모율 y2는 공구회전수와 70% 이상의 부(-)의 상관관계를 나타내었으나 회귀식의 P값이 0.212로 타당성이 없는 것으로 나타났다. Fig. 4에서 보듯와 같이 초기 두께 대비 공구마모율 y1의 경우는 동일공구회전수와 이송속도가 증가함에 따라 감소하는 큰 부의 상관관계를 보이고 있는 반면, 가공시간 대비 공구마모율 y2는 이송속도 증가함에 따라 감소하나 초기두께 대비 공구마모율보다는 큰 상관관계를 보이지는 않는 것으로 관측되었다.

$$y1 = 0.234 - 0.0225 \text{ feed rate} \quad (3)$$

( P값 feed rate 0.041 < 0.05 )

### 3.3 공구마모에 미치는 공구회전수와 이송속도의 영향력

공구회전수와 이송속도간 공구마모에 미치는 영향력의 크기를 알아보기 위해 Table 3, 4의 data를 Minitab을 이용하여 식 (5)와 (6)의 회귀식을 얻었다. 식 (5)에서는 초기 두께 대비 공구마모율 y1은 가공 이송속도와 공구회전수가 93.8%의 높은 부(-)의 상관관계를 나타내었으며 그 회귀식의 상수, 공구회전수 및 이송속도의 P값이 0.05 이하로 회귀식에 대한 타당성이 있으며, 식 (6)에서는 가공시간 대비 공구마모율 y2는 가공이송속도와 공구회전수간에 초기 두께 대비 공구마모율 y1 보다 낮은 88.6%의 부(-)의 상관관계를 나타내고 있다. 즉 공구마모율은 공구회전수와 이송속도가 증가함에 따라 부의 상관관계를 보이고 있으며 특히 초기 두께 대비 공구마모율 y1은 이송속도에 더 큰 상관관계를 가지며 가공시간 대비 공구마모율 y2는 공구회전수와 더 큰 상관관계를 보였다.

$$y_1 = 0.504 - 0.0239 \text{ feed rate} - 0.000087 \text{ cutting speed} \quad (5)$$

(  $P_{\text{값}}$  cutting speed  $0.018 < 0.05$  , feed rate  $0.022 < 0.05$  )

$$y_2 = 0.740 - 0.0263 \text{ feed rate} - 0.000149 \text{ cutting speed} \quad (6)$$

(  $P_{\text{값}}$  cutting speed  $0.030 < 0.05$  , feed rate  $0.057 > 0.05$  )

### 3.4 Core Drill의 마모 분석

멀티미디어영상현미경을 이용하여 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 소결체로 제작된 시편의 구멍가공후 다이아몬드전착Core drill의 마모상태를 관측한 결과, 상기 고찰결과와 같은 이송속도와 공구회전수가 증가함에 따라 공구의 마모율이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 5는 공구회전수를 3000rpm으로 고정하고 이송속도를 달리하여 가공한 후의 Core drill 표면상태 사진으로 이송속도가 5mm/min인 경우의 Core drill의 마모 상태가 7 및 9mm/min의 경우보다 표면에서 많

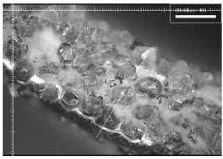
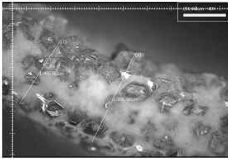
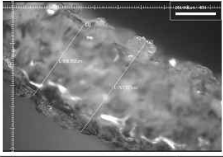
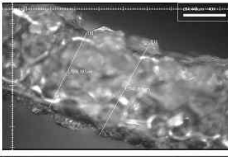
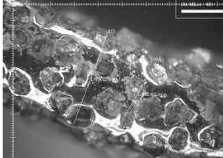
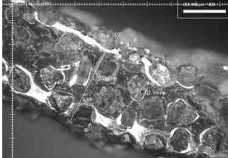
Feed mm/min	photo got after 8 <sup>st</sup> holing	photo got after 24 <sup>th</sup> holing
5		
7		
9		

Fig. 5 Photos show difference of wearing status with different feed rate(3000rpm fixed cutting speed)

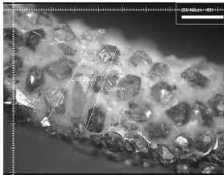
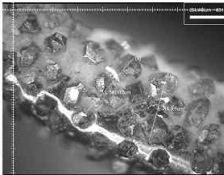
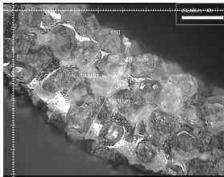
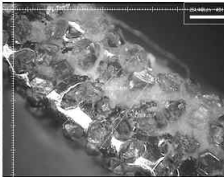
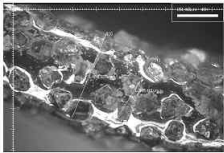
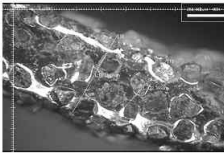
rpm	photo got after 8 <sup>st</sup> holing	photo got after 24 <sup>st</sup> holing
2,000		
2,500		
3,000		

Fig. 6 Photos show difference of wearing status with different cutting speed ( 9mm/min fixed feed rate )

은 양의 다이아몬드 입자의 탈락 상태를 보이고 있으며, 5mm/min의 이송속도로 가공할 때의 8번째와 24번째 구멍 가공후의 같은 위치에서 공구 두께 측정치를 비교한 결과, 공구마모량이 85.751 $\mu$ m이고, 이송속도가 7mm/min일때는 56.541 $\mu$ m이었으며, 이송속도가 9mm/min일때는 17.441 $\mu$ m로 측정되어 구멍가공을 할 때 이송속도가 높을수록 공구의 마모도가 적은 것으로 관측되었다. Fig. 6는 이송속도를 9mm/min로 고정하고 공구회전수를 달리하여 가공한 후의 Core drill 표면상태 사진으로 공구회전수가 2,000rpm인 경우의 Core drill의 마모 상태가 2,500 및 3,000rpm인 경우보다 많은 양의 다이아몬드 입자의 탈락상태를 보이고 있으며, 이송속도를 9mm/min로 일정하게 유지하고 공구회전수가 변화할때의 공구마모량을 나타내었으며 공구회전수가 2000rpm일때에는 75.233 $\mu$ m였으며, 공구회전수가 2500rpm일때는 40.884 $\mu$ m이었고, 공구회전수가 3000rpm일때는 17.441 $\mu$ m로 측정되어 공구회전수가 증가할수록 공구의 마모량이 감소하는 경향을 나타내었다.

### 3.5 가공품질에 미치는 가공조건의 영향

공구회전수와 이송속도의 변화조건에서 가공된 hole의 가공품질에 대한 데이터인 hole의 진원도와 산포 및 표면거칠기를 측정하여 회전수와 진원도 및 이송속도와 진원도, 표준편차와의 관계식 (7), (8), (9)을 얻을 수 있었다. 식 (7)에서는 hole진원도는 공구회전수에 대해 100%의 높은 양(+)의 상관관계를 나타내었으며 그 회귀식도 P값이 0.006으로 타당성을 보였다. 식 (8)에서는 반면, hole 진원도의 표준편차값은 가공 이송속도에 대해 99.8%의 높은 부(-)의 상관관계를 나타내었으며 그 회귀식도 P값이 0.022로 회귀식에 대한 타당성을 보이고 있다. 식 (9)에는 hole 진원도 표준편차값은 공구회전수와 가공 이송속도에 대해 99%의 높은 상관성을 나타내었으며 그 회귀식의 P값도 0.05이하로 회귀식에 대한 타당성을 보였다. Fig. 7에는 구해진 상관식과 그래프에 나타났듯이 구멍진원도는 공구회전수의 증가에 따라 저하되는 반면 진원도 표준편차는 이송속도 증가에 따라 향상되는 경향을 보이고 있다.

$$y3 = - 0.0114 + 0.000006 \text{ cutting speed} \quad (7)$$

( P값 cutting speed 0.006 < 0.05 )

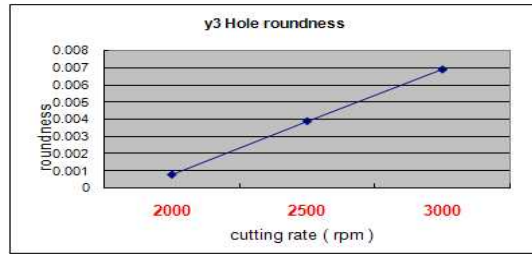
$$y4 = 0.0150 - 0.00123 \text{ feed rate} \quad (8)$$

( P값 feed rate 0.022 < 0.05 )

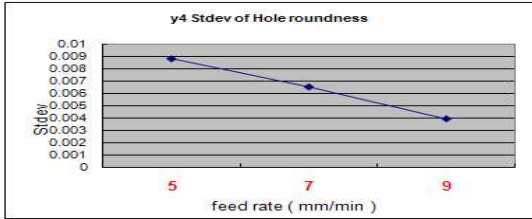
$$y5 = 0.00476 + 0.000003 \text{ cutting speed} - 0.00118 \text{ feed rate} \quad (9)$$

( P값 cutting speed 0.006 < 0.05, feed rate 0.0059 < 0.05 )

Table 5에는 가공 조건과 가공품질간의 상관관계를 Minitab에 의해 분석한 결과를 나타내었다. 여기서 진원도에 미치는 가공조건인 이송속도와 공구회전수의 영향은 공구회전수가 큰 것으로 나타났으나, 반면에 동일한 Mesh의 Core drill을 사용한 본 연구 범위에서의 가공 조건의 변화는 가공면의 표면 거칠기에는 영향이 없는 것으로 나타났다.



(a) Hole roundness with cutting speed



(b) Stdev of hole roundness with feed rate.

Fig. 7 Hole quality with machining condition

Table 5 Relationship between machining condition and hole quality

Machining condition	Correlation with			
	hole roundness y3	Stdev of hole roundness y4	Ra (μm)	Rmax (μm)
feed rate	X	O	X	X
cutting speed	O	X	X	X

### 4. 결 론

본 연구에서는 난삭재인 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 소결체인 시편을 직경 8mm인 중공축인 전착다이아몬드 core drill을 이용하여 시편에 구멍을 가공하고 가공 후 core drill의 두께를 멀티미디어영상현미경으로 동일한 위치를 측정하여 가공조건이 생산성과 연관된 공구마모와 품질특성인 구멍가공품질에 미치는 영향을 평가하고 공구의 효율

성을 조사한 결과, 본 논문의 시험범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 가공조건인 공구회전수와 이송속도가 공구마모에 미치는 영향력을 평가한 결과, 공구마모율은 공구회전수와 이송속도가 증가함에 따라 부의 상관관계를 보이고 있으며 특히 초기 두께 대비 공구마모율  $y_1$ 은 이송속도에 큰 부의 상관관계를 가지는 반면 가공시간 대비 공구마모율  $y_2$ 는 공구회전수와 더 큰 부의 상관관계를 나타내었다. 즉 공구회전수와 이송속도를 증가시킬 경우 적은 공구마모율로 가공 생산성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.
2. 멀티미디어영상현미경을 이용하여  $Al_2O_3$  소결체로 제작된 시편의 구멍 가공후 전착다이아몬드 Core drill의 마모상태를 관측한 결과 공구회전수와 이송속도가 보다 작은 가공 조건의 경우에서 Core drill 표면이 보다 많은 다이아몬드입자의 탈락을 보이고 있어, 두께로 측정된 공구 마모량은 이 다이아몬드입자의 탈락정도에 따라 공구마모량은 증가하는 것을 알 수 있다.
3. 가공품질에 대한 가공조건의 영향력을 분석한 결과, 구멍 품질 중 공구 진원도의 경우는 공구회전수와 이송속도가 증가할수록 나빠지는 것을 알 수 있으며 특히 공구회전수의 증가에 더 큰 영향을 받는 것을 알 수 있으나 동일한 Core drill mesh를 사용한 이유로 가공면의 표면 거칠기는 본 연구 범위에서의 공구회전수와 이송속도의 증가에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.
4. 결론적으로 가공 품질이 허용되는 한 생산성 향상을 목적으로 공구회전수와 이송속도를 상향 최적화 할 수 있음을 알 수 있다.

## 후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비 지원에 의한 내용입니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 허찬, 이창규, 채승수, 박세진, 이종찬, "실리콘 미세구멍가공기술에 관한 연구," 한국기계공학회, 제4권 제1호, pp. 18-23, 2005.

2. 김태영, 신형곤, 김종택, 김민호, 이한교, "TiAlN 코팅드릴의 구멍가공특성에 관한 연구," 한국기계공학회, 제3권 제4호, pp. 30-37, 2004.
3. Imen, K., and Allen, S. D., "Pulse  $CO_2$ Laser Drilling of Green Alumina Ceramic." IEEE Transactions on Advanced Packaging, Vol. 22, No. 4, pp. 620-623, 1999.
4. Besshi, T., Sato, T., and Tsutsui, I., "Machining of alumina green bodies and their dewaxing," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 95, pp. 133-138, 1999.
5. Maier, H.R., and Michaeli, N., "Green Machining of Alumina," Key Engineering Materials, Vols. 132-136, pp. 436-439, 1997.
6. 이승훈, "Minitab을 이용한 공학 통계자료 분석," 이레테크, pp. 179-242, 2006.