

# 회귀분석에 의한 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 계 세라믹 절삭공구의 공구수명 추정

안영진\*, 권원태<sup>+</sup>, 김영욱<sup>++</sup>

(논문접수일 2004. 3. 30, 심사완료일 2004. 6. 9.)

## Estimation of Tool life by Simple & Multiple Linear Regression Analysis of $\text{Si}_3\text{N}_4$ Ceramic Cutting Tools

Y. J. Ahn\*, W. T. Kwon<sup>+</sup>, Y-W Kim<sup>++</sup>

### Abstract

In this study, four kinds of  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -based ceramic cutting tools with different sintering time were fabricated to investigate the relation among mechanical properties, grain size and tool life. They were used to turn gray cast iron at a cutting speed of 330m/min and depth of cut of 0.5mm and 1mm in dry, continuous cutting conditions. Multiple linear regression model was used to determine the relations among the mechanical property, grain size and the density. It was found that the combination of hardness and fracture toughness showed a good relation with tool life. It was also shown that hardness was the most important single element for the tool life.

**Key Words :**  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ceramic cutting tool( $\text{Si}_3\text{N}_4$  세라믹 절삭 공구), Mechanical properties(기계적 성질), Tool life(공구 수명), Grain size(결정립 크기), Linear regression analysis(선형회귀 분석), Sintering time(소결 시간)

## 1. 서론

세라믹(ceramics)은 산화물, 질화물, 탄화물 등을 고온에서 소결한 것을 말하며, 최근 절삭 공구, 압출용 다이스, 자동차 엔진, 베어링, 항공기용 부품 등의 다양한 분야에 이용되고 있다. 그 중 세라믹 절삭 공구는 세라믹 제조 기술의 발달에 따라 그 수요가 늘어나고 있다. 세라믹 절삭공구에 대한 연구는 국내외에서 많이 행하여졌는데, 크게  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 를

모재로 하는 경우<sup>(1-3)</sup>와  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 계를 모재로 하는 경우<sup>(3-6)</sup>로 나뉜다.  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 계 세라믹 절삭 공구는 파괴 인성과 강도가 높고 열팽창률이 낮아 내열충격성이 우수한 특성을 가지고 있어 세라믹 절삭 공구 중 가장 큰 파괴저항성을 나타내므로 최근 절삭공구로 많이 사용되고 있다. 하지만  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 계 세라믹 절삭 공구는  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 계 세라믹 절삭 공구에 비해 내마모성이 떨어지는 단점이 있다.  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 계 세라믹 절삭 공구도 다른 세라믹 절삭 공구와 같이 가장 전형적인

\* 서울시립대 기계정보공학과 대학원  
+ 교신저자, 서울시립대학교 기계정보공학과 (kwon@uos.ac.kr)  
주소: 133-766 서울시 동대문구 전농동 90  
++ 서울시립대학교 신소재공학과

마모 메카니즘은 마찰 마모(abrasive wear)이다. 이러한 마모 기구에 따른 세라믹 절삭 공구의 수명을 예측하고 원활한 절삭 가공을 수행하기 위한 기계적 특성(mechanical properties)과 절삭 공구의 수명과와의 관계를 구하기 위한 실험적인 연구가 행하여졌다<sup>(7)</sup>.

하지만 이 연구에서는 다른 조성을 가진 세라믹 공구들의 기계적 성질과 공구수명만이 비교되어 공작물-공구간의 화학작용에 의한 영향이 무시되었다. 공구수명은 공구의 기계적 성질에 못지않게 공구-공작물간의 화학적인 성질에도 영향을 받는 것을 고려해 볼 때 이 연구결과의 신뢰성은 그리 높지 않다고 할 수 있다.

알루미나 공구에서 결정립크기(grain size)가 공구 수명에 미치는 영향에 대한 연구도 행하여졌다<sup>(1)</sup>. 이 연구에서는 공구-공작물간의 화학작용에 의한 영향을 배제하기 위하여 순수 알루미나 공구를 자체 제작하면서 결정립의 크기만을 조절하였다. 하지만 이 연구는 공구수명보다는 결정립크기와 마모 메카니즘과의 관계규명에 중점을 두었으며 또한 기계적 성질과의 관계는 소홀히 하였다.

결정립 크기와 기계적 성질에 대한 상관관계를 밝히려는 연구도 행하여졌다<sup>(3)</sup>. 하지만, 이 연구는 공구수명과와의 연관관계까지는 다루지 않았다.

본 연구에서는 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>계 세라믹 절삭 공구를 제조하여 공구수명과 기계적 성질과의 관계에 대하여 연구하였다. 공구-공작물의 화학작용이 공구수명에 미치는 영향을 배제하기 위하여 같은 조성을 갖는 세라믹공구를 제작하였으며, 결정립 크기를 조절하기 위하여 소결시간을 제어하였다. 제작된 공구들의 기계적 특성과 미세 구조의 크기를 측정후 이들이 공구 수명에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>계 세라믹 절삭 공구의 제조

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>계 세라믹 절삭 공구의 기계적 특성과 소결 입자의 크기가 공구 수명에 미치는 영향을 조사하기위해 사용된 시편의 출발원료로 α-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 분말(Grade E 10, Ube Industries, Tokyo, Japan)과 β-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 분말(Grade SN-P21FC, Denkikagaku, Tokyo, Japan)을 사용하였고, 분말의 평균입경은 각각 0.33 μm와 0.56 μm이었다. 소결 첨가제로 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(99.9% pure, Shin-Etsu Chemical Co., Tokyo, Japan)와 α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(99.9% pure, Sumitomo Chemical co., Tokyo, Japan)를 사용하였다.

각 원료조합은 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 불과 polyethylene 병을 사용하여 에탄올을 용매로 24시간 동안 습식 혼합한 후, 슬러리를 건조시키고 과립화 과정을 거쳤다. 소결은 1760°C, 25MPa의 조건에서 N<sub>2</sub>분위기를 사용하여 각각 1~8시간 동안 일축 가압 소결하였다. 소결한 시편의 조성과 샘플의 이름들은 Table 1과 같다. 소결밀도는 Archimedes 방법을 사용하여 측정하였고, 소결된 시편들은 표면을 연마하여, CF<sub>4</sub>와 7.8% O<sub>2</sub>의 혼합가스로 플라즈마 에칭을 하였다. 미세구조는 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 관찰하였고, 결정상을 분석하기 위하여 시편들을 X-선 회절 분석(XRD)을 하였다. 그리고 경도와 파괴인성은 KS L 1603에 규정되어 있는 비커스 압자 압입법으로 측정하였다.

### 2.2 절삭실험 장치 및 조건

제조된 각 시편들은 선삭 실험을 위해 SNGN 120416의 크기로 시편을 가공하였으며 SN-Series(SN1~SN8)라 명명하였다. 틀 홀더는 절입 각이 75°C인 CSRNR 2525M 12CEA type을 사용하였다. 절삭 가공실험에 사용된 공작 기계는 CNC 선반(HIT 15, 현대자동차 공작기계사업부)이

Table 1 Compositions and Sintering Conditions

Sample	Batch(wt%)				Sintering Condition
	α-Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	β-Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1760° C, 25MPa
					Time
SN1	91	1	6	2	1hr
SN2	91	1	6	2	2hr
SN4	91	1	6	2	4hr
SN8	91	1	6	2	8hr

며, 공구 현미경을 이용하여 세라믹 절삭 공구 플랭크 면의 평균 마모량이 300  $\mu\text{m}$ 가 되었을 때까지의 시간을 공구수명으로 하여 절삭실험 하였다. 기준 절삭 조건은 회주철(gray cast iron, FC250, 180~250HB)의 추천 절삭 속도 중의 하나인  $v=330\text{m/min}$ 와 이송량  $f=0.2\text{mm/rev}$ , 절삭깊이  $d=0.5\text{mm}$ 와  $1\text{mm}$ 로 선정하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 기계적 성질

Fig. 1은 본 연구를 위해 제조된  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 계 세라믹 절삭 공구의 미세구조를 보여주고 있으며, 소결시간이 1시간에서 8시간으로 길어짐에 따라 소결된 입자의 크기가 증가함을 관찰할 수 있다. 또한 Fig. 1에서 길게 자란 소결 입자들은 시편의 파괴 인성을 증가시키기 위해 첨가한 종자입자(seeds)

인  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 로  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 계 세라믹 절삭 공구의 파괴저항성을 향상시키는 역할을 한다<sup>(8)</sup>. Table 2에 SN-Series와 상용  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 계 세라믹 절삭 공구의 경도, 파괴 인성, 소결 입자 크기, 소결 밀도를 나타내었다. SN-Series는 본 연구를 위해 선정된 상용  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 계 세라믹 절삭 공구인 AS10(TaeguTec Ltd., Korea)과 비슷한 경도와 파괴인성 값을 가지고 있으며, 소결시간에 따라 각각 서로 다른 경도, 파괴인성, 소결 입자 크기를 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 SN-Series의 경우 소결 시간이 증가함에 따라 경도는 감소하고 파괴 인성과 소결 입자 크기는 증가함을 알 수 있다.

#### 3.2 공구 수명

Fig. 2와 Fig. 3은 회주철을 절삭 속도  $v=330\text{m/min}$ , 이송량  $f=0.2\text{mm/rev}$ , 절삭 깊이  $d=0.5\text{mm}$ 와  $d=1\text{mm}$ 로 하여 각 절삭 공구별로 5회씩 선삭 실험한 결과로, 매 20초마다

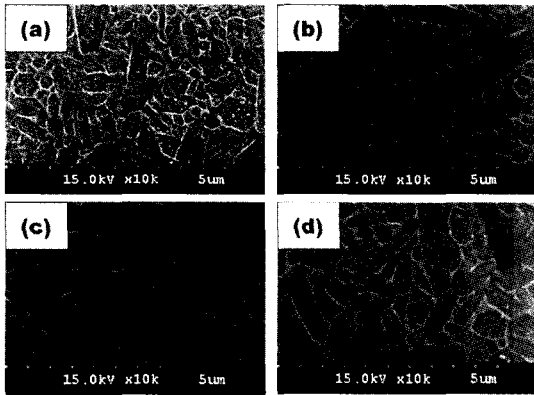


Fig. 1 SEM micrographs of hot-pressed samples: (a) SN1, (b) SN2, (c) SN4, (d) SN8 (refer to Table 1)

Table 2 Mechanical properties of cutting tools

Sample	Hardness (GPa)	Fracture Toughness ( $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ )	Grain size ( $\mu\text{m}$ )	Bulk Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
SN1	$15.8 \pm 0.17$	$5.68 \pm 0.06$	0.44	3.165
SN2	$15.4 \pm 0.22$	$5.87 \pm 0.18$	0.61	3.168
SN4	$15.2 \pm 0.21$	$6.09 \pm 0.10$	1.11	3.177
SN8	$15.0 \pm 0.31$	$6.11 \pm 0.08$	1.26	3.184
AS10	15.5	6.0	0.93	3.2

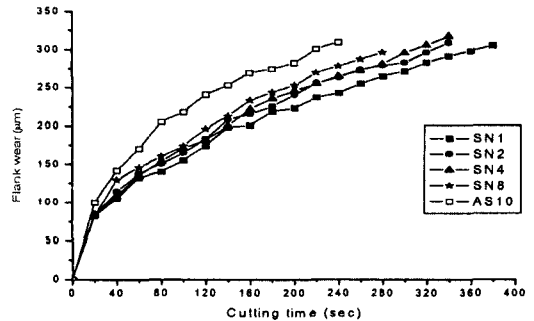


Fig. 2 Flank wear curve of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  inser machining gray cast iron under 330m/min, cutting speed with 0.2mm/rev feed 0.5mm depth of cut

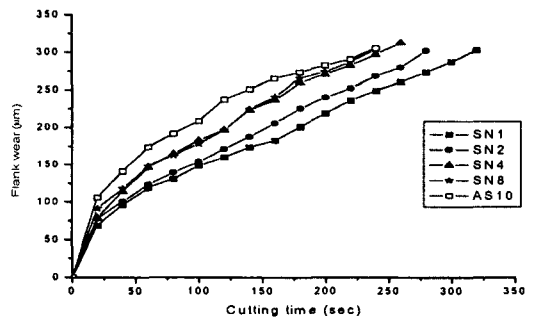


Fig. 3 Flank wear curve of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  inser machining gray cast iron under 330m/min, cutting speed with 0.2mm/rev feed 1mm depth of cut

공구현미경을 통하여 300  $\mu\text{m}$ 까지 플랭크 마모량을 측정하여 나타낸 것이다. Fig. 2와 Fig. 3에서 알 수 있듯이 새로 개발한 SN-Series가 상용  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 계 세라믹 절삭 공구에 비해 우수한 절삭 성능을 가지고 있고, 300  $\mu\text{m}$ 까지 마모 구간에서도 플랭크 마모가 점진적으로 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 SN-Series의 경우 회주철의 선삭 실험결과 절삭 깊이  $d=0.5\text{mm}$ ,  $d=1\text{mm}$ 일 때 두 경우 다 공구 수명과 소결 시간, 경도, 파괴 인성, 소결 입자 크기와의 연관성이 관찰되었다.

## 4. 공구수명 추정

### 4.1 회귀 분석법

회귀분석(regression analysis)이란 변수들 간의 관련성을 규명하기 위하여 어떤 수학적 모형을 가정하고, 이 모형을 측정된 변수들의 데이터로부터 추정하는 통계적 분석 방법을 말하며, 일반적으로 이 추정된 모형을 사용하여 필요한 예측을 하거나 통계적 추론을 할 수 있게 된다<sup>(9)</sup>.

본 논문에서는  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 계 세라믹 절삭공구의 공구 수명에 영향을 미칠 것으로 생각되어지는 경도(hardness), 파괴 인성(fracture toughness), 소결 입자의 크기(grain size)를 독립 변수로 선정하고, 종속변수인 공구 수명(tool life)과의 관계를 회귀분석법을 이용하여 추정하였다. 선정된 독립변수와 종속변수는 다음과 같이 선형관계를 가진다고 가정하였다.

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{1i} + \hat{\beta}_2 x_{2i} + \varepsilon_i \quad (1)$$

$i = 1, 2, \dots, n$

여기서 상수  $\hat{\beta} = (\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2)$ 의 값들은 최소자승법을 이용하여 구하였고, 추정된 회귀 직선이 선정된 독립변수와 종속변수 사이의 함수관계를 어느 정도 잘 기술하고 있는가를 판별하기 위해 분산분석표 작성과 F-검정을 하였다.

또한, 추정된 회귀 직선의 적합도(goodness of fit)를 측정할 수 있는 척도로서 결정계수(coefficient of determination)를 이용하였다. 결정 계수는  $0 \leq R^2 \leq 1$ 의 범위를 가지며, 결정계수  $R^2$ 이 1에 가까울수록 추정된 회귀 직선은 유의하다고 할 수 있다<sup>(9)</sup>.

최종적으로 회귀분석을 통해 구해진 회귀 직선의 공구 수명 추정 값과 실험에 의한 공구 수명 값을 식 (2)와 같은 방법을 이용하여 정확도를 검증하였다.

$$P = \sum_{i=1}^n (y_{est} - y_{exp}) \quad (2)$$

여기서  $y_{est}$ 는 추정된 공구 수명,  $y_{exp}$ 는 실험에 의한 공구 수명을 각각 나타낸다.

### 4.2 회귀 분석에 의한 공구수명 추정결과

회귀분석에 의한  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 계 세라믹 절삭 공구의 공구 수명 추정을 위한 표본 데이터로 공구 수명과 밀접한 관계가 있을 것으로 추정되어지는 경도, 파괴 인성, 소결 입자 크기를 선정하였다. Fig. 4는 SN-Series의 선삭 실험 결과 얻어진 공구 수명과 경도, 파괴 인성, 소결 입자 크기를 나타낸 것으로 소결 시간이 1시간에서 8시간으로 증가함에 따라 소결입자의 크기와 파괴 인성은 증가하고 경도와 공구 수명은 감소하는 경향성을 가지고 있음을 알 수 있다.

$\text{Si}_3\text{N}_4$ 계 세라믹 절삭공구의 회귀분석에 앞서 마멸저항지수(wear resistance coefficient)에 대해 알아보았다<sup>(1)</sup>. 마멸저항지수는 식 3과 같으며,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 계와  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 계 세라믹 절삭공구의 경도와 파괴 인성을 변수로 하여 제거되어진 시편의 부피를 측정하여 실험적으로 구해진다.

$$WRC = K_{IC}^{3/4} H^{1/2} \quad (3)$$

여기서 WRC는 마멸저항지수,  $K_{IC}$ 는 파괴인성, H는 경도를 각각 나타낸다.

Fig. 5에 SN-Series의 마멸저항지수를 구한 값과 실제 선삭 실험 결과 얻어진 공구 수명을 그래프로 나타내었다. 마멸저항지수 식에 따르면 파괴인성이 경도 보다 공구 수명에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 하지만 Table 2에서

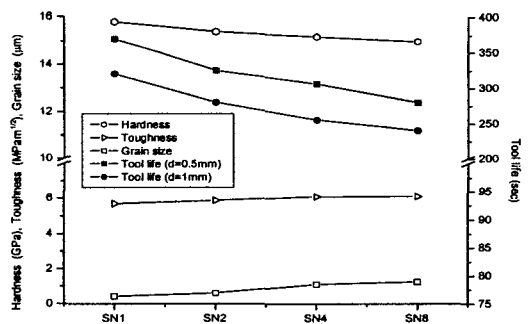


Fig. 4 Hardness, toughness, grain size of SN-series and tool life during machining gray cast iron

볼 수 있듯이 소결 시간이 증가함에 따라 파괴인성이 증가했음에도 불구하고 실제 실험 결과 얻어진 공구 수명과 마멸저항지수가 일치하지 않았다. 서론에서 언급하였듯이 WRC는 공구-공작물간의 화학작용을 고려하지 않았기 때문에 위의 불일치가 발생한 것으로 분석된다. WRC는  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiC}$  복합 세라믹의 경우에도 공구수명과 일치하지 않았다<sup>(10)</sup>.

Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8은 단순회귀분석(simple regression analysis)을 이용하여 독립변수인 경도, 파괴인성, 소결 입자 크기와 종속변수인 공구 수명사이의 관계를 각각 나타낸 것이다. Fig. 6에서 공구 수명과 경도는 양의 상관관계를, Fig. 7, Fig. 8에서 파괴 인성과 소결 입자 크기는 음의 상관관계를 가짐을 알 수 있고, 절삭 깊이  $d=0.5\text{mm}$ ,  $d=1\text{mm}$  일 때 모두 결정계수 값  $R^2=0.9981$ ,  $R^2=0.9953$ 으로 경도가 공구 수명과의 함수 관계를 가장 잘 추정하였다. 또한,

파괴인성과 소결 입자의 크기도 공구 수명과 밀접한 관계가 있음을 결정계수 값( $R^2$ )을 통하여 알 수 있다.

단순회귀분석에 비해 좀 더 정도(precision)가 좋은 상관관계를 추정하기위해 경도( $x_1$ ), 파괴인성( $x_2$ ), 소결 입자 크기( $x_3$ )를 독립변수로 하여 두 가지 독립변수를 고려했을 때, 즉  $3C_2(C : \text{combination})$ 에 대해 중회귀분석(multiple linear regression analysis)을 하였다.

중회귀분석 결과 추정된 식은 경도와 파괴인성을 독립변수로 하였을 때 식 (4) ( $d=0.5\text{mm}$ )와 식 (5) ( $d=1\text{mm}$ ), 경도와 소결 입자의 크기를 독립변수로 하였을 때 식 (6) ( $d=0.5\text{mm}$ )과 식 (7) ( $d=1\text{mm}$ ), 파괴인성과 소결 입자의 크기를 독립변수로 하였을 때 식 (8) ( $d=0.5\text{mm}$ )과 식 (9) ( $d=1\text{mm}$ )이다.

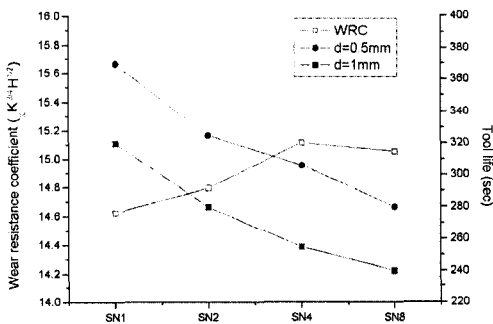


Fig. 5 Relation between wear resistance coefficient ( $K_{IC}^{3/4} H^{1/2}$ ,  $K_{IC}$ =fracture toughness,  $H$ =hardness) and tool life during machining gray cast iron

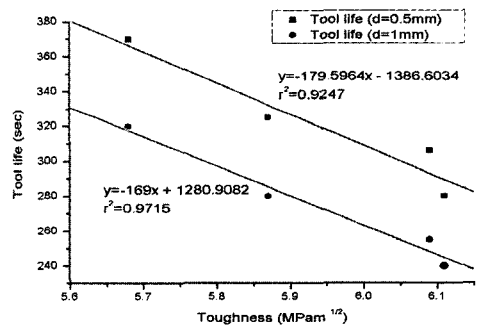


Fig. 7 Scatter diagram and estimated regression equation by simple regression analysis when independent variable is toughness

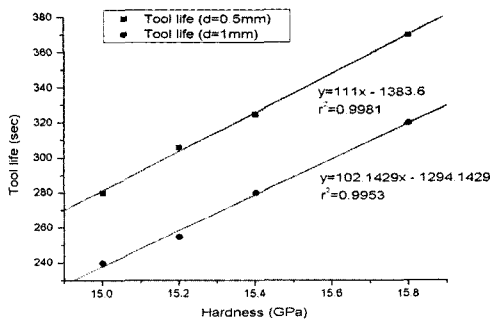


Fig. 6 Scatter diagram and estimated regression equation by simple regression analysis when independent variable is hardness

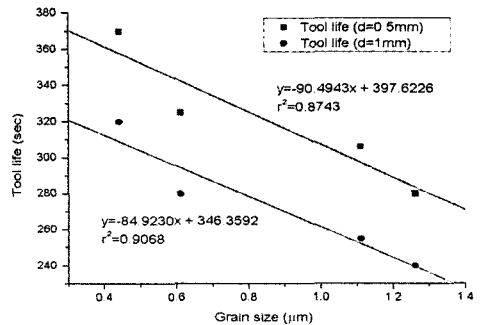


Fig. 8 Scatter diagram and estimated regression equation by simple regression analysis when independent variable is grain size

Table 3 Coefficient of determination

Variables	C12	C13	C23
R <sup>2</sup> (d=0.5mm)	0.999879	0.998533	0.924764
R <sup>2</sup> (d=1mm)	0.999710	0.996475	0.971956

(\* 1 : hardness, 2 : fracture toughness, 3 : grain size)

Table 4 Estimated tool life and precision by multiple regression analysis, when depth of cut is 0.5mm

	SN1	SN2	SN4	SN8	P
Exp. tool life	370	325	306	280	*
C12	370.3	324.5	305.9	280.4	0.5213
C13	370.7	324.6	304.2	281.6	6.3375
C23	366.4	332.6	292.9	289.1	325.0779

(\* 1 : hardness, 2 : fracture toughness, 3 : grain size)

$$y = -1891.2149 + 130.8191x_1 + 34.2553x_2 \quad (4)$$

$$y = -568.9787 + 73.8298x_1 - 48.9361x_2 \quad (5)$$

$$y = -1494.8538 + 117.8932x_1 + 6.3658x_3 \quad (6)$$

$$y = -1135.2088 + 92.2954x_1 - 9.0940x_3 \quad (7)$$

$$y = 1366.3594 - 175.9030x_2 - 1.9707x_3 \quad (8)$$

$$y = 1360.7039 - 184.1863x_2 + 7.7690x_3 \quad (9)$$

( $x_1$ =경도,  $x_2$ =파괴인성,  $x_3$ =소결입자크기, 식 (4), (6), (8): d=0.5mm, 식(5), (7), (9): d=1mm)

또한 추정된 중회귀방정식의 적합도를 잴 수 있는 척도로써 중회귀분석의 분산분석표와 결정계수 값을 각각의 경우에 대해 검토하였다. Table 3은  ${}_3C_2$ 에 대한 결정계수 값들을 나타낸 것으로 경도와 파괴 인성을 독립변수로 하였을 때 가장 좋은 결정계수 값을 가지고 있음을 알 수 있다. 중회귀분석을 통해 얻어진 회귀방정식에 독립변수인 경도, 파괴인성, 소결 입자의 크기를 넣어서 공구 수명을 역으로 추정하여 절삭 깊이 d=0.5mm일 때의 결과를 Table 4에, d=1mm일 때의 결과를 Table 5에 나타내었다. 또한, 중회귀분석을 통해 추정된 회귀 직선의 공구 수명 추정 값과 실험에 의한 공구 수명 값을 식 2과 같은 방법을 이용하여 정확도를 검증하고 Table 4와 Table 5에 나타내었다. Table 4와 Table 5에서 알 수 있듯이 경도와 파괴인성을 독립변수로 하여 중회귀분석을 하였을 때 가장 좋은 정확도를 가

Table 5 Estimated tool life and precision by multiple regression analysis, when depth of cut is 1mm

	SN1	SN2	SN4	SN8	P
Exp. tool life	320	280	255	240	*
C12	319.6	280.7	255.2	239.5	1.0638
C13	319.1	280.6	257.6	237.8	12.9336
C23	317.9	284.3	247.6	245.1	17.1400

(\* 1 : hardness, 2 : fracture toughness, 3 : grain size)

지고 있음을 알 수 있다.

따라서 SN-Series의 단순회귀분석과 중회귀분석을 통해 경도가 공구 수명과 가장 밀접한 관계가 있음을 알 수 있고, 소결 공정의 개선을 통해 경도를 높임으로써 우수한 절삭 성능을 가지는 절삭 공구의 개발이 예상되어진다.

## 5. 결론

본 논문에서는 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>계 세라믹 절삭공구의 기계적 특성과 미세구조가 공구 수명에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 서로 다른 기계적 특성과 소결 입자 크기를 가지는 SN-Series를 제조하여 회귀분석법을 이용하여 공구 수명을 추정하였다.

- (1) 소결시간을 달리한 SN-Series의 미세구조와 기계적 특성 관찰 결과 소결시간이 길어짐에 따라 소결입자의 크기와 파괴인성은 증가하고 경도는 감소하는 경향을 나타냈다.
- (2) SN-Series의 상관분석 결과 경도는 공구 수명과 양의 상관관계를 가지고 있고, 파괴인성과 소결 입자의 크기는 공구 수명과 음의 상관관계를 가지고 있다.
- (3) 단순회귀분석과 중회귀분석 결과 경도가 공구 수명과 가장 밀접한 관계가 있고, 경도와 파괴인성을 독립 변수로 고려했을 경우 공구 수명을 가장 정확히 추정하였다.
- (4) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>계 세라믹 절삭 공구의 경우 소결공정의 개선을 통해 경도를 높임으로써 공구 수명을 증가 시킬 수 있을 것으로 예상되어진다.

## 후 기

본 논문은 2002년도 서울시립대학교 연구교수 지원비로

지원된 연구결과입니다.

### 참 고 문 헌

- (1) Goh, G. K. L., Lim, L. C., Rahman, M., and Lim, S. C., 1997, "Effect of grain size on wear behavior of alumina cutting tools," *Wear* 206, pp. 24~32.
- (2) Krell, A., Blank, P., Berger, Lutz-Michael, and Richter Volkmar, Dec. 1999, "Alumina Tools for Machining Chilled Cast Iron, Hardened Steel," *The American Ceramic Society Bulletin*, pp. 65~73.
- (3) Ahn, D. G., and Yoon, M. J., 2000, "Effect of Microstructure on Evaluation of Fracture Toughness and Hardness of cutting Tool Ceramics," *Transactions of Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 9, No. 6, pp. 170~176.
- (4) Szarfán, M., Boyryk, E., Kukra, D., and Olszyna, A., 2000, " $\text{Si}_3\text{N}_4$   $\text{Al}_2\text{O}_3$ -TiC- $\text{Y}_2\text{O}_3$  composites intended for the edges of cutting tools," *Ceramics international* 26, pp. 579~582.
- (5) Park, J. S., Kim, K. J., Shim, W. H., Kwon, W. T., and Kim, Y-W, 2001, "Cutting Characteristics of SiC-based Ceramic Cutting Tools Part 1 : Micro-structure and Mechanical Properties of SiC-based Ceramic Cutting Tools," *Journal of Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 18, No. 9, pp. 82~88.
- (6) Park, J. S., Kim, K. J., Kwon, W. T., and Kim Y-W, 2001, "Cutting Characteristics of SiC-based Ceramic Cutting Tools Part 2 : Microstructure and Mechanical Properties of SiC-based Ceramic Cutting Tools," *Journal of Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 18, No. 9, pp. 89~96.
- (7) Baldoni, J. G., Wayne, S. F., and Buljan, S. T., 1985, "Cutting Tool Materials Mechanical Properties-Wear-Resistance Relationships," *ASME Transaction*, Vol. 29, No. 3, pp. 347~352.
- (8) Choi, H-J, Lee, J-G, and Kim Y-W, 1997, "High temperature strength and oxidation behaviour of hot-pressed silicon nitride-disilicate ceramics," *Journal of Materials Science* 32, pp. 1937~1942.
- (9) Seber, G. A. F, 1997, *Linear Regression Analysis*, John Wiley & Sons, New York.
- (10) Kwon, W. T., and Kim, Y-W., 2004, "Cutting Performance of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  Based SiC Ceramic Cutting Tools," *KSME International Journal*, Vol. 18, NO. 3, pp. 388~394.