

## 탄소공구강에 대한 세라믹공구의 초기파손 특성에 관한 연구

김 광 래, \* 유 봉 환\*\*

## A Study on the Early Fracture Characteristics of Ceramic Tool for Carbon Tool Steel

Kwang-Lae Kim, \* Bong-Hwan Ryu\*\*

### ABSTRACT

Early fracture and cutting force of ceramic tool for hardened STC3 steel was investigated in this study. It was found that early fracture of ceramic tool was mostly occurred before normal wear was progressed beyond a critical cutting speed and normal wear was performed under the critical cutting speed. The relationships among critical cutting speed, which was a cause of early fracture, suggested cutting cross section, that is, maximum thickness of cut and width of cut, and cutting force were examined. The following conclusions were obtained: (1) Critical cutting speed showed a high value in the case of small maximum thickness of cut and large nose radius, but was not influenced by width of cut, (2) Principal, feed and radial force, respectively, showed the proportional value to constant cutting area, width of cut and maximum thickness of cut orderly, (3) Occurrence of early fracture was dependent upon radial force.

**Key words :** Early Fracture(초기파손), Cutting Force(절삭력), Critical Cutting Speed(임계절삭속도), Ceramic Tool(세라믹공구), Hardened Steel(담금질강)

### 1. 서 론

최근들어 항공, 선박, 자동차등 각종 첨단산업의 발전과 함께 용력을 많이 받는 부품들은 강도와 마멸저항등을 향상시킬 목적으로 재료를 담금질하여 사용하는 경우가 증가하고 있다.

담금질강은 물리적, 기계적특성이 훌륭한 반면, 일반적인 절삭공구로서는 고능률, 고정밀 가공이 매우 어려운 난삭재로 분리되어 제품의 제작에 있어서 가공방법의 모색이 강하게 요구되고 있다.

담금질강의 절삭에 대해서는 많은 연구들<sup>[1,2,3]</sup>이 있어왔으며, 평균변형율이 작은 톱니형 침이 생긴다는 연구<sup>[4]</sup>

\* 인덕전문대학 기계과

\*\* 충실대학교 기계공학과

도 있으므로 공구경사각을 충분히 준다면 양호한 절삭성능을 얻을 수 있다고 생각된다.

담금질강의 절삭에서 가장 중요한 평가기준은 공구손상으로 알려지고 있으며 생산의 최적화란 점에서도 공구손상은 매우 중요한 요소중의 하나라고 할 수 있다.

그러나, 공구손상은 기계적, 열적, 화학적 작용등 여러가지 요인의 복합적 작용에 의해 발생하는 현상이므로 그것을 정확히 예측한다는 것은 많은 어려움이 있다.

최근에는 내마멸성이 우수한 새로운 공구재질의 개발에 의해 공구손상에 관한 조사는 공구마멸 보다 더 발달로 발생하는 공구파손을 연구<sup>(5,6)</sup>하는 것이 더욱 중요하게 되었다.

생산현장에서는 가공공정을 자동화하고 있고 특히, 테이퍼나 단면가공은 가공시간에 따라 절삭속도가 변하기 때문에 순간적으로 발생하는 초기파손<sup>(7)</sup>은 절삭불능 상태를 유발하게 되고 절삭공정의 신뢰성에 대한 문제 가 나타난다.

내마멸성이 우수한 세라믹공구는 단속절삭에는 부적합하지만 그 조성에서 고온경도가 높고 동시에 철제 가공재와의 친화성이 낮기 때문에 우수한 성능을 나타내는 것으로 알려지고 있으며, <sup>(8,9)</sup>연속절삭에서는 CBN공구보다 수명이 길다는 보고<sup>(10)</sup>도 있다.

그러나, 세라믹공구는 인성에 약하기 때문에 실용적으로 사용하기 위해서는 틀별적인 파손을 고려하여야 한다.

일반적으로 노즈반경 보다 절삭깊이가 큰 선삭에서 절삭두께(Thickness of cut)는 이송의 함수로, 절삭폭(Width of cut)은 절삭깊이의 함수로 결정되기 때문에 절삭현상에 대한 결과를 대부분 이송과 절삭깊이

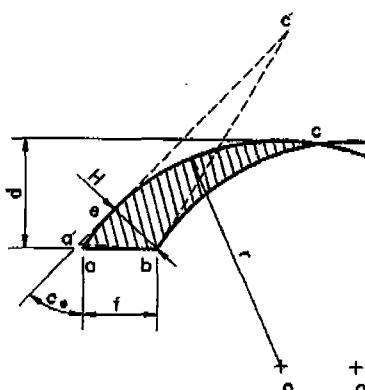


Fig. 1 Geometry of cutting cross-section for small depth of cut

에 대한 영향으로 검토하고 있다. 그러나, 노즈반경 보다 절삭깊이가 작은 다듬질 선삭에서는 절삭두께와 절삭폭이 이송, 절삭깊이 및 노즈반경의 함수로 나타나기 때문에 절삭현상에 대한 결과를 절삭두께와 절삭폭의 영향으로 검토하는 것이 합리적이라고 생각된다.

따라서, 본 연구에서는 담금질된 탄소공구강 STC3의 다듬질 선삭시 절삭초기에 발생하는 세라믹공구의 파손을 제안된 절삭단면 형상의 인자들에 대하여 살펴보고, 절삭력의 특성 및 영향에 대해서 실험적으로 검토했다.

## 2. 절삭단면의 기하학적 고찰

공구의 노즈반경만으로 절삭하는 다듬질 선삭에서는 투영절삭단면의 형상인 절삭면적(Cutting area), 절삭두께, 절삭폭은 이송  $f$ , 절삭깊이  $d$ , 노즈반경  $r$ 에 의해서 결정된다. 절삭단면의 형상은 Fig. 1과 같다.

그림에서 부채꼴  $oac$ 의 면적을  $A_1$ , 삼각형  $oco'$ 의 면적을  $A_2$ , 평행사변형  $oabo'$ 의 면적을  $A_3$ , 부채꼴  $o'bc$ 의 면적을  $A_4$ 라 하면 도형  $abc$ 인 절삭면적  $A$ 는 다음식과 같이 이송, 절삭깊이 및 노즈반경의 함수로 나타난다.

$$A = A_1 + A_2 - A_3 - A_4 \\ = r^2 \sin^{-1} \frac{0.5f}{r} + 0.5f \sqrt{r^2 - 0.25f^2} + f(d - r) \quad (1)$$

절삭두께는 절삭면적인 도형  $abc$ 의 형상에서 알 수 있듯이 절삭날의 위치마다 그 크기가 다르다. 따라서, 노즈반경의 중심을 기준하여 절삭면적의  $b$ 점을 지나는 반경 방향의 선분  $be$ 를 최대절삭두께(Maximum thickness of cut)  $H$ 로 하면 다음과 같다.

$$H = r - \sqrt{r^2 + f^2 - 2f\sqrt{r^2 - (r - d)^2}} \quad (2)$$

그리고, 절삭에 관여하는 노즈부분의 곡선  $ac$ 인 절삭날길이를  $B$ 로 하면 다음과 같다.

$$B = r(\cos^{-1} \frac{r-d}{r} + \sin^{-1} \frac{0.5f}{r}) \quad (3)$$

식(2), (3)에서 구한 최대절삭두께  $H$ 와 절삭날길이  $B$ 의 곱은 식(1)에서 구한 절삭면적  $A$ 의 2배에 해당한다.

따라서, 최대절삭두께를 나타내는 반경방향의 선분  $be$ 에 수직하게 선을 긋고  $ae = a'e$ ,  $ce = c'e$ 로 같게 하면 삼각형의 면적  $a'bc'$ 는 절삭면적 A와 같으므로 절삭날길이 B는 2차원 절삭에서의 절삭폭과 같다고 가정할 수 있다.

노즈반경 보다 절삭깊이가 큰 일반적인 선삭의 경우에서 세장비 ( $G = d/f$ )는 절삭깊이와 이송의 비로 나타내지만, 노즈반경만으로 선삭하는 본 연구의 절삭조건에서는 절삭단면의 형상이 이송, 절삭깊이 및 노즈반경에 의해서 결정되므로 절삭폭 B와 최대절삭두께 H의 비를 유효세장비(Effective slenderness ratio)  $Ge$ 로 가정하면 다음과 같다.

$$Ge = \frac{B}{H} \quad (4)$$

선분  $a'c'$ 는 절삭날의 점 e에 있어서 접선이기 때문에 이 접선방향의 연장선과 절삭깊이의 방향이 이루는 각을 유효어프로치각(Effective approach angle)  $Ce$ 로 가정하면 다음과 같다.

$$Ce = \tan^{-1} \frac{r-d}{\sqrt{r^2 - (r-d)^2} - f} \quad (5)$$

### 3. 실험방법

세라믹공구의 초기파손에 대한 결과는 각 절삭조건에서 절삭시간을 2분으로 하여 4회 반복하고 평균값으로 하였다.

**세라믹공구:** 세라믹공구의 재종은 시판되는 것으로 기계적충격과 열충격에 강하여 담금질 처리된 고경도 강재의 절삭에 적합한 알루미나-탄화티탄계인 흑세라믹 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ )이며 그 규격은 SNGN1204, 공구의 Chamfer 형상은  $-25^\circ \times 0.2\text{mm}$ 이고, 물리적 성질은 Table 1과 같다. 공구홀더는 클램프 체결용 CSBNR 2020(-5, -6, 5, 6, 15, 15, r)을 선정하였다.

**가공재:** 가공재의 형상은 직경 70mm, 길이 300mm인 환봉을 주로 하였으며 담금질 처리된 그 경도는 HRC60~62이다. 가공재의 화학적 성분과 열처리 조건은 Table 2, 3과 같다.

**절삭시험:** 가공재를 선반의 척과 심압대에 장착하여 건식으로 축방향 절삭을 하였다. 절삭력은 AST식 공구 동력계(TSM-TH)와 증폭기(6M-52)를 사용하여 레코

Table 1 Physical properties of ceramic tool

E GPa	H HvA GPa	MOR GPa	K <sub>IC</sub> MPa <sup>1/2</sup>	K W/m. <sup>2</sup> K	$\alpha$ $10^{-6}$ °K
414	93.5	0.78	4.5	29.3	8.0

E : young's modulus

H : hardness

MOR: modulus of rupture

K<sub>IC</sub> : fracture toughness

K : thermal conductivity

$\alpha$  : thermal expansion. coeff.

Table 2 Chemical compositions of work material

Work KS	Chemical Composition, %				
	C	Mn	P	S	Si
STC3	1.04	0.26	0.02	0.02	0.23

Table 3 Heat treatment and hardness

Work KS	Heat treatment	Hardness HRC
STC3	300°C, 2h + 500°C, 2h + 810°C, 2h/AC + 180°C, 3h/AC	60-62

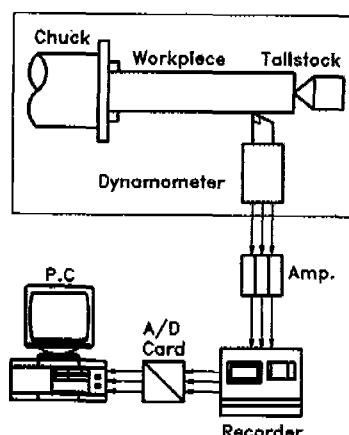


Fig. 2 Experimental setup

더(MC6715) 및 AD콘버터(PCL-812)를 내장한 PC에 연결하여 양 방향에서 측정하였다. 실험장치의 개략도는 Fig. 2와 같다.

절삭조건은 연삭공정의 대체와 생산성을 고려하여 Table 4와 같이 절삭단면 형상의 인자의 크기를 기준으로 하는 절삭조건하에서 네개의 그룹으로 나누었다.

**초기파손 관찰:** 절삭날의 초기파손 발생의 판정은 절삭중의 절삭력 변화와 절삭후 절삭날의 현미경관찰로 하였다.

Table 4 Cutting conditions

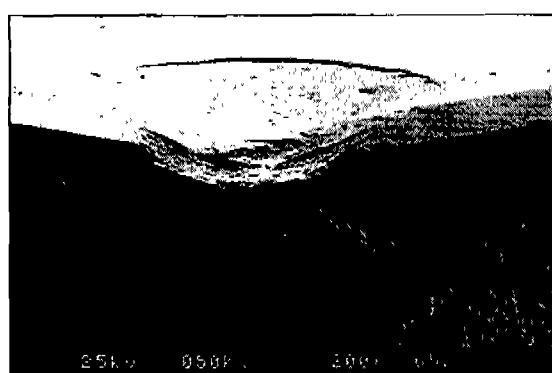
$f$ (mm/rev)	$d$ (mm)	$r$ (mm)	$H$ (mm)	$B$ (mm)	$A$ (mm <sup>2</sup> )
0.20	0.20		0.116	0.678	
0.18	0.22	0.8	0.111	0.698	0.040
0.15	0.27		0.105	0.752	
0.13	0.30		0.093	0.782	
0.10	0.40		0.085	0.888	
0.20	0.21		0.118		0.044
0.18	0.22	0.8	0.111	0.700	0.040
0.15	0.23		0.097		0.036
0.13	0.24		0.087		0.031
0.20	0.18		0.111	0.658	0.036
0.18	0.22		0.111	0.700	0.040
0.15	0.30		0.093	0.792	0.045
0.13	0.41		0.085	0.914	0.053
0.15	0.40	0.8	0.128	0.913	0.060
		1.2	0.107	1.084	
		1.6	0.096	1.231	
		2.0	0.086	1.362	

#### 4. 실험결과 및 고찰

세라믹공구의 손상은 절삭속도가 저속인 경우에는 공구면에 점진적으로 진행되는 안정된 정상마멸의 형태로 되지만, 고속인 경우에는 대부분 절삭시간 2분 이내에 돌발적인 파손이 발생하게 된다.

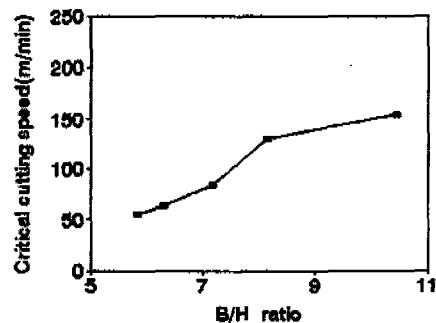
Fig. 3은 초기파손을 일으킨 대표적인 일례를 나타낸 공구의 사진이다. 이와같이 세라믹공구에 나타나는 퀴스손상의 하나인 파손형태는 우선적으로 절삭깊이 경계부에 균열과 치핑이 발생되고 이것이 진전되어 절삭날 끝부분이나, 공구경사면 또는 여유면에 박리(flaking)를 동반한 파손이 발생된 것으로 판단된다.

점진적인 마멸이 일어나는 정상절삭과 파손발생이 나타나는 절삭속도의 경계를 임계절삭속도(critical cutting speed)라 한다.



(r=0.8mm, f=0.15mm/rev, d=0.3mm, V=85m/min)

Fig. 3 SEM photograph of tool fracture

Fig. 4 Relation between B/H ratio and critical cutting speed ( $r = 0.8\text{mm}$ ,  $A = 0.04\text{mm}^2$ ,  $t = 2\text{min}$ )

ting speed)라 한다.

#### 4.1 초기파손 특성

##### 4.1.1 유효세장비의 영향

Fig. 4는 이송과 절삭깊이를 조합하여 절삭면적을  $0.04\text{mm}^2$ 로 일정하게 하고, 유효세장비 Ge와 초기파손이 발생하는 임계절삭속도와의 관계를 살펴 본 것이다.

임계절삭속도를 갖는 선의 상측인 고속에서는 대부분 순간적으로 초기파손이 발생하며, 하측인 저속에서는 정상절삭의 범위로 된다.

초기파손이 발생하는 임계절삭속도는 유효세장비가 5.84인 경우에 55m/min를 나타내며, 유효세장비가 6.29인 경우에 63m/min, 유효세장비가 7.16인 경우에 85m/min, 유효세장비가 8.15인 경우에 130m/min, 유효세장비가 10.45인 경우에는 154m/min를 나타낸다. 이와같이 일정한 절삭면적에서 나타나는 임계절삭속도의 변화는 유효세장비가 증가하면서 3배 정도 상승하는 결과로 나타났다.

한편, Fig. 5는 유효세장비에 대한 최대절삭두께와 절삭폭의 관계를 나타낸 그림으로 유효세장비가 증가하면 최대절삭두께가 감소하고 절삭폭은 증가하게 된다. 따라서, 초기파손에 영향을 미치는 임계절삭속도가 상승하는 요인은 유효세장비의 크기에 따라서 절삭단면의 형상이 변하기 때문이라고 생각된다.

이러한 결과에 대해서 유효세장비의 인자인 최대절삭두께와 절삭폭이 임계절삭속도에 어떠한 영향을 미치는지를 다음절의 실험에서 검토했다.

##### 4.1.2 최대절삭두께의 영향

Fig. 6은 이송과 절삭깊이를 조합하여 절삭폭을

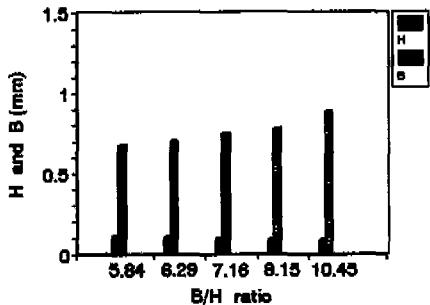


Fig. 5 Maximum thickness of cut and width of cut at various B/H ratio ( $r = 0.8\text{mm}$ ,  $A = 0.04\text{mm}^2$ )

0.7mm로 일정하게 하고, 최대절삭두께와 임계절삭속도의 관계를 살펴 본 것이다.

최대절삭두께가 0.087mm인 경우에 임계절삭속도는 148m/min을 나타내며, 0.097mm인 경우에 125m/min, 0.111mm인 경우에 67m/min, 0.118mm인 경우에는 52m/min를 나타낸다. 이와같이 최대절삭두께가 커지면 임계절삭속도는 낮아지게 되므로 최대절삭두께가 초기파손에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

#### 4.1.3 절삭폭의 영향

Fig. 7은 이송과 절삭깊이를 조합하여 최대절삭두께를 0.111mm로 일정하게 하고, 절삭폭과 임계절삭속도의 관계를 살펴 본 것이다.

여기서, 임계절삭속도는 절삭폭의 크기와는 상관없이 거의 일정한 값을 나타낸다. 이와 같이 임계절삭속도가 절삭폭의 영향을 받지 않는 것은 최대절삭두께의 크기가 일정하기 때문이라고 생각된다.

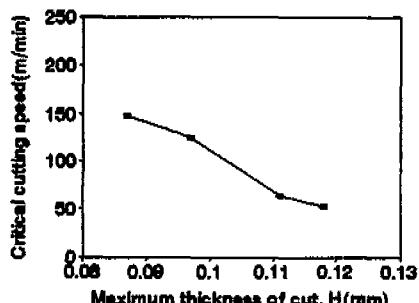


Fig. 6 Relation between maximum thickness of cut and critical cutting speed ( $r = 0.8\text{mm}$ ,  $B = 0.7\text{mm}$ ,  $t = 2\text{min}$ )

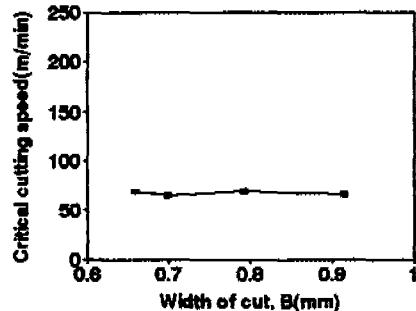


Fig. 7 Relation between width of cut and critical cutting speed ( $r = 0.8\text{mm}$ ,  $H = 0.111\text{mm}$ ,  $t = 2\text{min}$ )

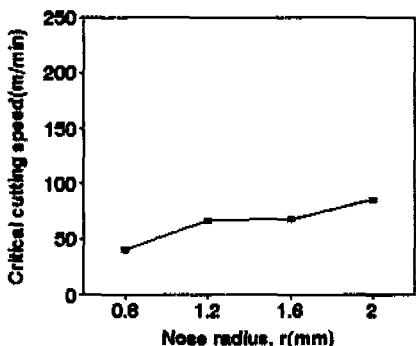


Fig. 8 Relation between nose radius and critical cutting speed ( $f = 0.15\text{mm/rev}$ ,  $d = 0.4\text{mm}$ ,  $t = 2\text{min}$ )

#### 4.1.4 노즈반경의 영향

Fig. 8은 이송과 절삭깊이를 일정하게 하고, 노즈반경에 대한 임계절삭속도의 관계를 살펴 본 것이다.

노즈반경이 0.8mm인 경우에 임계절삭속도는 40m/min을 나타내며, 1.2mm인 경우에 67m/min, 1.6mm인 경우에 68m/min, 2.0mm인 경우에는 85m/min을 나타낸다.

이와같이 노즈반경이 0.8mm에서 2.0mm로 커지면서 임계절삭속도는 2배 이상 상승하여 정상절삭의 범위가 넓어진다.

노즈반경이 증가하게 되면 절삭면적은 일정하지만, Fig. 9에서와 같이 최대절삭두께가 감소하고, 유효어프로치각은 증가하게 된다.

이러한 노즈반경의 증가에 따른 복합적인 작용에 의하여 절삭날의 강도가 증대되고, 절삭개시시 점진적인 절삭날의 접촉으로 인해 임계절삭속도가 상승하는 것이

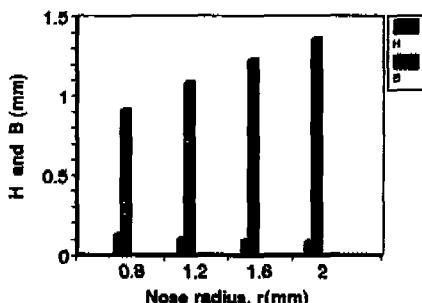


Fig. 9 Maximum thickness of cut and width of cut at various nose radius  
( $f=0.15\text{mm/rev}$ ,  $d=0.4\text{mm}$ )

라고 생각된다.

#### 4.2 절삭력 특성

가공재가 담금질 처리된 고경도 재료이기 때문에 공구가 가공재와 접촉을 시작하는 순간부터 공구의 손상이 일어나게 되므로 이를 피할 수 있는 절삭속도를 선정한다. 또한, 절삭면적이 일정하게 되는 시점에서의 절삭력과 절삭단면 형상의 인자와의 관계 등을 조사하고, 초기 파손에 미치는 영향을 살펴보는 것이 중요하다.

##### 4.2.1 유효세장비의 영향

Fig. 10은 유효세장비에 대한 절삭력의 관계를 살펴보기 위하여 Fig. 4에서의 초기파손에 대한 임계절삭속도가 낮은 영역( $60\text{m/min}$ )을 기준하여 일정하게 하고, 절삭력의 변화를 살펴 보았다.

유효세장비를 5.84, 6.29, 7.16, 8.15, 10.45 인 다섯단계로 변화 시켰을 때의 절삭력 특성에서 각 분력은 유효세장비가 증가하면서 이송분력( $F_f$ )은 증가하고,

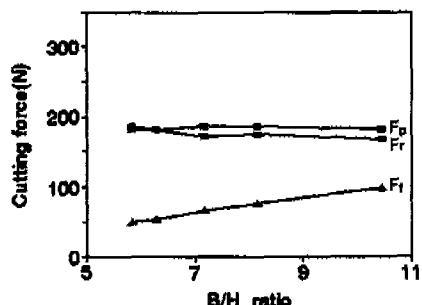


Fig. 10 Relation between B/H ratio and cutting force  
( $V = 60\text{m/min}$ ,  $r = 0.8\text{mm}$ ,  $A = 0.04\text{mm}^2$ )

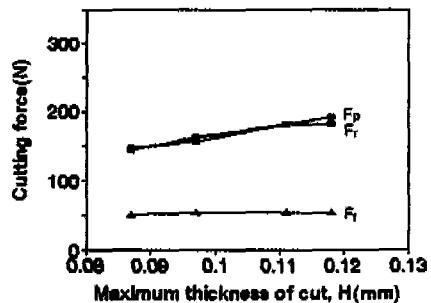


Fig. 11 Relation between maximum thickness of cut and cutting force  
( $V = 60\text{m/min}$ ,  $r = 0.8\text{mm}$ ,  $B = 0.7\text{mm}$ )

배분력( $F_p$ )은 감소함을 나타내며, 주분력( $F_t$ )은 일정한 값을 나타낸다.

이같은 절삭력의 변화는 Fig. 5에서 살펴 본 바와 같이 유효세장비의 증가에 따른 최대절삭두께의 감소와 절삭폭의 증가에 기인하며, 특히 주분력이 일정한 것은 절삭면적이 일정하기 때문이라고 판단된다.

##### 4.2.2 최대절삭두께의 영향

Fig. 11은 최대절삭두께에 대한 절삭력의 관계를 살펴보기 위하여 절삭속도를 Fig. 4에서의 임계절삭속도가 낮은 영역( $60\text{m/min}$ )을 기준하여 일정하게 하고, 절삭력의 변화를 살펴 보았다.

최대절삭두께를 0.087, 0.097, 0.111, 0.118mm인 네단계로 변화 시켰을 때의 절삭력 특성에서 각 분력은 최대절삭두께의 증가에 따라 주분력과 배분력은 증가함을 나타내며, 이송분력은 일정한 값을 나타낸다. 이러한 현상은 최대절삭두께의 증가와 이로 인한 절삭면적의 증가에 기인하며, 이송분력이 일정한 것은 절삭폭이 일정하기 때문이라고 판단된다.

##### 4.2.3 절삭폭의 영향

Fig. 12는 절삭폭에 대한 절삭력의 관계를 살펴보기 위하여 절삭속도를 Fig. 7에서의 임계절삭속도가 낮은 영역( $60\text{m/min}$ )을 기준하여 일정하게 하고, 절삭력의 변화를 살펴 보았다.

절삭폭을 0.658, 0.700, 0.792, 0.914mm인 네단계로 변화 시켰을 때의 절삭력 특성에서 각 분력은 절삭폭의 증가에 따라 주분력과 이송분력은 증가함을 나타내며, 배분력은 절삭폭과 관계없이 일정한 값을 나타낸다. 이러한 현상은 절삭폭의 증가와 이로 인한 절삭

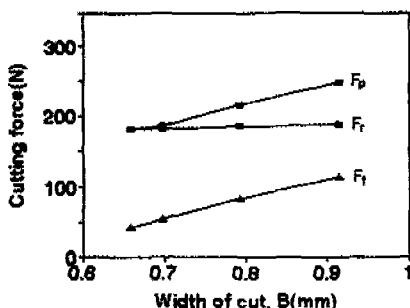


Fig. 12 Relation between width of cut and cutting force  
( $V = 60\text{m/min}$ ,  $r = 0.8\text{mm}$ ,  $H = 0.111\text{mm}$ )

면적의 증가에 기인하여, 배분력이 일정한 것은 최대절삭두께가 일정하기 때문이라고 판단된다.

#### 4. 2. 4 노즈반경의 영향

Fig. 13은 노즈반경에 대한 절삭력의 관계를 살펴보기 위하여 절삭속도를 Fig. 8에서의 임계절삭속도가 낮은 영역( $50\text{m/min}$ )을 기준하여 일정하게 하고, 절삭력의 변화를 살펴 보았다.

노즈반경을  $0.8, 1.2, 1.6, 2.0\text{mm}$  인 네단계로 변화 시켰을 때의 절삭력 특성에서 각 분력은 노즈반경의 증가에 따라 배분력은 증가하고, 이송분력은 감소하지만 주분력은 약간의 증가하는 경향이 나타난다. 최대절삭두께가 감소함에도 불구하고 배분력이 증가하는 것은 일정한 절삭조건하에서 노즈반경의 증가에 따른 유효어프로치각의 증가에 기인한다고 판단된다.

이상의 Fig. 4~Fig. 13에서와 같이 제안된 절삭단면 형상에 관한 실험결과에서 초기파손에 영향을 미치

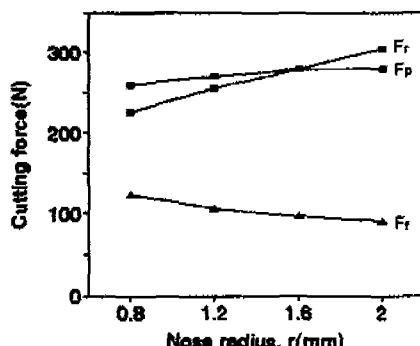


Fig. 13 Relation between nose radius and cutting force  
( $V=50\text{m/min}$ ,  $f=0.15\text{mm/rev}$ ,  $d=0.4\text{mm}$ )

는 임계절삭속도는 최대절삭두께의 영향을 받으며, 절삭면적이 일정할 때 유효세장비의 증가는 임계절삭속도를 상승시키는데 이는 최대절삭두께의 감소와 이에 따른 배분력의 감소에 의한 것임을 알 수 있었다.

또한, 노즈반경이 큰 공구는 최대절삭두께는 작고 유효어프로치각을 크게 하여 절삭날의 강도를 증대시키고, 절삭개시시 가공재에 대한 점진적인 절삭날의 접촉으로 인한 절삭력의 완만한 증가에 의해 임계절삭속도를 상승시킴을 알 수 있었다.

한편, Fig. 10~Fig. 13에 의하면 노즈반경 보다 절삭깊이가 큰 경우<sup>(11,12)</sup>와는 달리 배분력과 주분력의 크기가 비슷한 경향을 보이고 이송분력이 작은 값을 나타냄을 알 수 있었다. 그리고, 주분력은 절삭면적과, 이송분력은 절삭폭과, 배분력은 최대절삭두께와 비례적인 관계가 나타났다.

## 5. 결 론

담금질된 탄소공구강 STC3의 선삭시 세라믹공구 ( $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$ )의 초기파손에 영향을 미치는 임계절삭속도를 제안된 절삭단면의 형상에 대하여 살펴 보고, 절삭력의 특성과 영향을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 초기파손을 일으키는 임계절삭속도가 존재함을 알 수 있었다.
- (2) 임계절삭속도는 최대절삭두께의 영향을 받는다.
- (3) 주분력은 절삭면적, 이송분력은 절삭폭, 배분력은 최대절삭두께와 비례적이다.
- (4) 노즈반경이 같은 조건하에서 초기파손은 배분력의 영향을 받는다.
- (5) 노즈반경이 큰 공구가 초기파손에 효과적이다.

## 참고문헌

1. 大谷敏昭, 藤瀬健領, 横川洪, “焼入れ鋼の仕上切削による切削抵抗の特性”, 精密工學會誌, 第54卷, 第10號, pp. 1969-1974, 1988.
2. W. Koenig, M. Klinger, R. Link, “Machining Hard Materials with Geometrically Defined Cutting Edges Field of Application and Limitations”, Annals of the CIRP, Vol. 39, No. 1, pp. 61-64, 1990.

3. D. Bordui, "Hard-Part Machining with Ceramic Inserts", Ceramic Bulletin, Vol. 67, No. 6, pp. 998-1001, 1988.
4. 鳴龍側彦, 山根八洲男, 武内陸郎, "CBN工具の摩耗", 精密機械, 第45卷, 第2號, pp. 201-207, 1979.
5. J. W. Powell, "In-Process Tool Sensing", J. Carbide and Tool, Nov./Dec., pp. 17-23, 1988.
6. W. Weis and D. Dornfeld, "Workshop on Tool Condition Monitoring", 2nd Meeting of the CIRP Working Group on TCM, pp. 28-30, Sept., 1993.
7. 大石建司, 西田敏史, "焼入鋼旋削時のセラミック工具の初期缺損", 精密工學會誌, 第55卷, 第9號, pp. 1657-1662, 1989.
8. W. G. Walter, "Ceramic Tools Improve Cutting Performance", Ceramic Bulletin, Vol. 67, No. 6, pp. 993-996, 1988.
9. H. K. Tonshoff and H. G. Wobker, "Influence of Surface Integrity on the Wear of Ceramic Cutting Tools", J. of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers, Vol. 47, No. 7, pp. 579-583, 1991.
10. 大谷敏昭, 藤瀬健領, 横川洪, 三井武良男, "CBNおよびセラミック工具による焼入鋼の旋削" 精密機械, 第49卷, 第6號, pp. 804-808, 1983.
11. 竹山秀彦, 土井康弘, 光岡豊一, 關口博, "工作機械の最適化制御に関する研究, 第1報", 日本機械學會論文集, 第34卷, 第261號, pp. 992-998, 1968.
12. K. Langhammer: Die Zerspankraftkomponenten als Kenngrössen zur Verschleissbestimmung an Hartmetall Drehwerkzeugen, Dissertation der RWTH Aachen, 1972.