

## 비철금속의 선삭시 절삭각과 이송량조정에 의한 절삭특성 분석

### Analysis of Cutting Specific in Non-ferrous Metal by Changed rake-angle and feed-rate adjustment at Turning

전재억\*(부경대, 원), 정진서(부산기능대), 최창수(부산정보대), 하만경(부경대 공대)

Jae Uhk Jun(PuKyung Graduated School), Jin Seo Chung(PuSan Polytechnic College), Chang Soo Choi(PuSan infor.College), Man Kyung Ha(PuKyong Univ.)

**ABSTRACT** : In the present industry, there are necessary to cut not only iron metals but also non-ferrous metals such as aluminum, brass, plastic and wood(Paulownia). therefore it had been made the studies of non-ferrous metals by many scientists. we hope this kind of study will continue. The purpose of this study is to conduct the basic experiment about influencing of change the side rake angle at turning of non-ferrous metals. As the results, the surface roughnesses were on the increase with a increase of side-rake angle at the case of the plastic, brass, aluminum, and paulownia.

#### 1. 서론

현대 산업의 생산구조는 기계가공을 주로 하는 제조업을 바탕으로 꾸준하게 발전하여 왔으며 그 중에서도 철계금속의 가공을 주류로 하여 진행되어 왔다. 이에 따라 많은 연구자들에 의해 그에 대한 연구가 활발히 진행되어왔다<sup>(1~3)</sup> 그러나 현대의 산업사회에서는 여러 가지 재료가 개발되고 있으며, 또한 수요자의 다양한 요구에 의하여 철계금속류의 가공제품 뿐만 아니라 알루미늄이나 그 합금 또는 구리합금류, 플라스틱류 및 목재에 이르기까지 다양한 종류의 재료를 이용한 기계부품과 그 생산품을 필요로 하게 되었다.<sup>(4,5)</sup>

이로 인하여 최근에는 이런 비철계금속 및 비

금속의 가공에 대한 기초기술, 응용기술 및 가공 시스템등의 개발에 박차를 가하고 있으며 이에 많은 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>(6~8)</sup>

그러나 이런 비철계금속 및 비금속의 절삭가공 등에 있어서 절삭에 관련된 실험은 아직도 미흡한 점이 많으며, 또한 이런 실험은 일부의 공구 메이커를 위주로 하여 많이 진행되어왔으나 시험의 선행적 데이터의 확보나 기계적특성 등 절삭에 관여하는 많은 절삭인자의 분석에 많은 실험을 수반하여야 하므로 이와 같은 등등의 문제로 인하여 대부분의 절삭공구 제조회사들도 이에 대한 많은 자료를 확보하지 못하고 있는 실정이다.

또한 새로운 가공기술과 공구재료의 등장에 대하여 비철계금속 및 비금속 전용 절삭공구의 개발도 뒤떨어지고 있다고 해도 과언이 아니다.

이에 이러한 비철계금속의 정도향상을 위한 절삭 메카니즘은 이송량의 지속제어를 통하든지 공작 기계에서 공구의 설치각을 변화시키거나, 바이트 각도를 변화시켜 가공하는 방법을 주류로 하여 발전하고 있으며, 이에 따라 자동화에도 많은 적용을 하고 있다. 그러나 이러한 이송량제어와 절삭에 관여하는 바이트각의 변화는 각각의 재종에 따라 변화무상하고 서로 밀접한 상호관계를 가지고 있어서 그 실제적인 적용에 많은 문제를 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 선삭시 다양한 재질의 가공물의 절삭에서 신속적으로 적용할 수 있는 공구를 자체 제작하고, 이 공구를 이용하여 다양한 실험을 통하여 각각의 재종에 대하여 그 절삭특성을 분석하고 개발공구를 간단히 검증하였다.

또한, 각각의 재종에 대하여 개발한 절삭공구의 적용으로 얻어진 절삭특성을 비교 분석하고 앞으로 선삭용 공구의 개발방향도 함께 제시하였다.

## 2. 선삭의 표면거칠기 이론

### 2.1 이송량에 의한 표면거칠기

절삭가공면의 표면거칠기는 이론적으로 공구 인선부의 형상과 이송량의 크기에 따라 기하학적인 파형곡선을 형성하고, 곡선의 정점의 높이가 이상적인 선삭 표면거칠기  $H_{max}$ 는 다음과 같이 전개된다.

#### 2.1.1 이송이 작은 경우 ( $f \leq 2R \sin C_e$ , Fig.1)

이송이 극히 작고 거칠기의 산모양이 원호인 경우는  $H_{max}$ 는 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} H_{max} &= R(1 - \cos \delta) \\ &= R(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \delta}) \\ &\approx \frac{R}{2} \sin 2\delta \\ &= \frac{f^2}{8R} \end{aligned} \quad (1)$$

#### 2.1.2 이송이 큰 경우 ( $f \geq 2R \sin C_e$ , Fig.2)

이송이 다소 클 경우 부절단각(End cutting edge angle;  $C_e$ )이 가공물 표면조도에 영향을 주며  $H_{max}$ 는 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} H_{max} &= R \left[ 1 - \cos C_e \left( 1 - \frac{f}{R} \sin C_e \right) - \sin C_e \right. \\ &\quad \left. - \sqrt{2 \frac{f}{R} \sin C_e - \left( \frac{f}{r} \sin C_e \right)^2} \right] \\ &= R \left[ 1 - \cos C_e + T \cos C_e \right. \\ &\quad \left. - \sin C_e \sqrt{T(2 - T)} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{여기서 } T = \frac{f}{R} \sin C_e$$

### 2.1.3 노즈 반경(Nose Radius)이 0인 경우

Fig. 3과 같이 노즈반경이 없는 경우는 주절단각(Side cutting edge angle;  $C_s$ )과 부절단각(End cutting edge angle;  $C_e$ )이 표면거칠기에 영향을 주므로  $H_{max}$ 는 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} H_{max} &= f \frac{\sin C_e \cos C_s}{\cos(C_e - C_s)} \\ &= \frac{f}{\cot C_e + \tan C_s} \end{aligned} \quad (3)$$

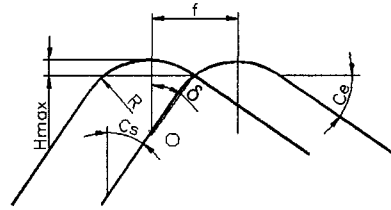


Fig. 1 Idealized model of surface roughness in cylindrical turning ( $f \leq 2R \sin C_e$ )

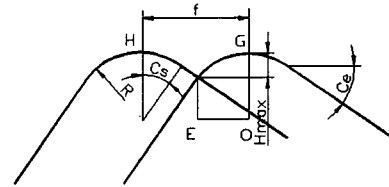


Fig. 2 Idealized model of surface roughness in cylindrical turning ( $f \geq 2R \sin C_e$ )

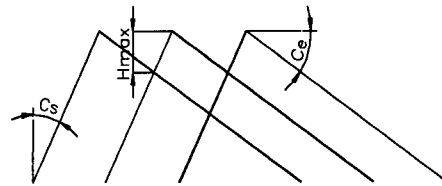


Fig. 3 Idealized model of surface roughness in cylindrical turning (Nose radius=0)

일반적인 강 절삭에서 위의 이상적인 표면거칠기의 절삭조건 중 일반적으로 가장 많이 사용되는 것은 Fig. 1과 Fig. 2의 절삭상태이다. 그러므로, 이송량이 크고 공구의 노즈반경이 작을수

록 표면거칠기는 증대된다.

또한, 절삭 폭, 절삭속도, 절삭유제, 공구 및 재료의 재질 등이 거칠기에 미치는 영향이 크게 되는 것으로 이론적으로 밝히고 있다.

그러나 황동, 알루미늄, 플라스틱, 목재 등의 비철금속 및 비금속등의 재종에서는 이러한 식이 그대로 적용되어지지 않고 공구의 설치가 및 절삭각등의 변화에 따라 표면거칠기 값이 변하는 것을 본 실험에서 알 수 있었다.

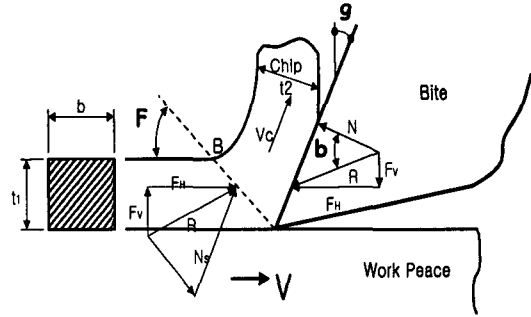


Fig. 4 Two dimensions cutting model

### 2.2 절삭각에 의한 표면거칠기

실제로 공구에서 절삭을 담당하는 전단각( $\phi$ )는 공구의 진행방향과 전단면사이의 각으로서 선삭 작업 시에 절삭저항의 변화와 더불어 3차원 절삭의 형태로 절삭이 일어나므로 공구의 절삭각도 가공물의 표면정도에 큰 영향을 미치게 된다.

그러므로 Fig. 4의 2차원 절삭에서 절삭각( $\gamma$ )의 변화에 의하여 절삭력 변화를 시도하여 표면정도를 향상시키는 방법을 선택하였다.

또한, 실제로 선삭 작업은 3차원 가공이므로 Fig. 5과 같은 3차원 절삭의 절삭력 해석 모델을 적용하여 절삭력( $F_r$ )과 x, y, z각각의 절삭분력( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ )의 식(4)을 얻을 수 있다.

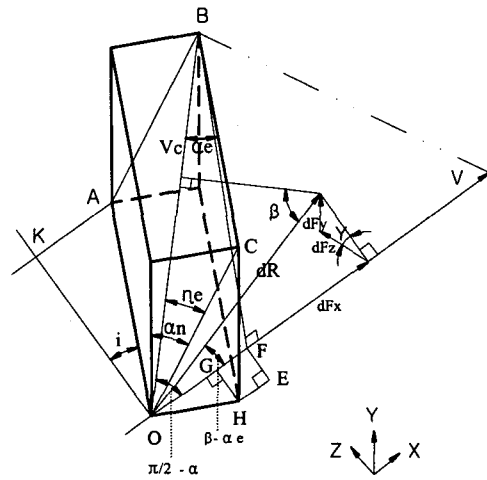


Fig. 5 Model by analysis of cutting force

$$F_r = \frac{\tau_s f_e d_e}{\sin \phi \cos (\phi + \beta - \alpha_e)}$$

$$F_x = F_r \cos (\beta - \alpha_e)$$

$$F_y = F_r \sin (\beta - \alpha_e) \sin \gamma$$

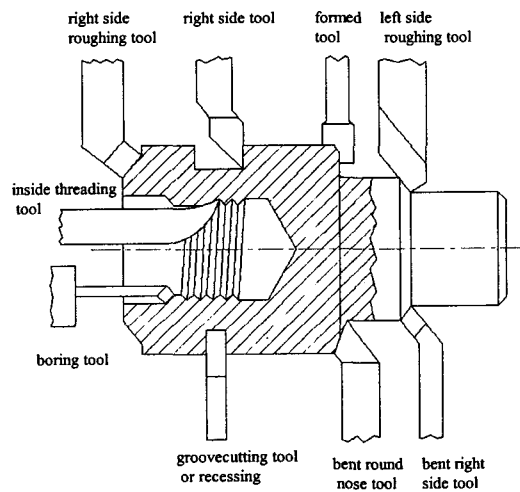
$$F_z = F_r \sin (\beta - \alpha_e) \cos \gamma \quad (4)$$

그리고, 위의 분력의 분석은 실제 공구동력계에 의한 측정치와 비교 될 수 있으므로 여러 가지 유용한 분석이 가능하다.<sup>(5)(8)</sup>

### 2.3 선삭바이트

일반적으로 선삭용 바이트는 모양과 용도 등에 따라 여러 분류법이 있으며, ASME의 규격에 따라 바이트의 용도별 종류를 Fig.6에 나타내었다.

본 연구는 비철 및 비금속에서 황삭 및 정삭에 광범위하게 적용 할 수 있는 바이트를 제작하였으며, 그 중에서 선반을 이용한 외경가공에 대하여 실험하였다.



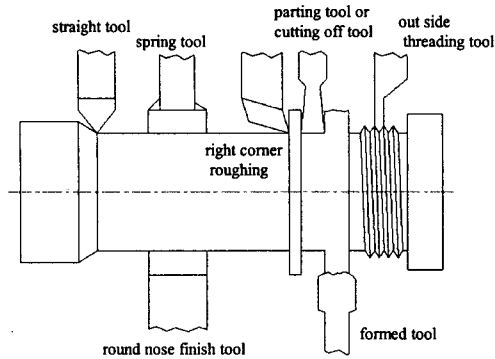


Fig. 6 Classification of bite(ASME)

### 3. 공구의 제작 및 실험

#### 3.1 공구의 제작

본 연구에서 자체 제작한 공구는 앞에서 언급한 것과 같이 황삭 및 정삭용 공구이며 특이할 만한 기능은 바이트의 측면 경사각을 사용재료에 따라 조절할 수 있다. 즉 바이트를 몸체와 머리부분을 둘로 나누어 제작하여 몸체부분에 원통홈을 만들고 그 원형 홈 속에 바이트 머리부분을 조립하였으며, 머리부분의 고정을 위하여 볼트로 몸체와 머리부분의 축을 고정하도록 하였다. 이런 메카니즘으로 인하여, 바이트 생크부분이 회전하여 사용자의 경험 및 보유 데이터에 따라 측면경사각을 자유로이 조절할 수 있는 형태로 제작하였다.

Fig. 7에 그 형태와 구조를 나타내었다.

#### 3.2 실험방법

본 연구에서 실험에 사용한 선반은 HWA-CHEON에서 제작된 선반 중 HL380BX750의 모델을 사용하여 실험하였다.

개발한 비철금속의 선삭 용 바이트를 이용하여 비철금속 중 산업현장에서 선삭에 많이 이용되고 있는 대표적인 재료 4가지를 선정하여 측면경사각을 변화시켜 가면서 표면거칠기를 비교하였다.

그리고 Table 1에 실험에 사용된 4가지 재종을 나타내었다.

본 실험에서 이송량 변화에 대한 각 재종별 절삭력 변화와 표면거칠기 변화를 측정하였고 또

한, 바이트의 측면 경사각을 0°, 15°, 30° 의 3가지로 변화시켜 가면서 4가지의 각기 다른 재종에 대하여 실험하였으며, Table 2, 3, 4, 5에 4가지 재종에 대하여 실험에 사용한 절삭조건을 나타내었다.

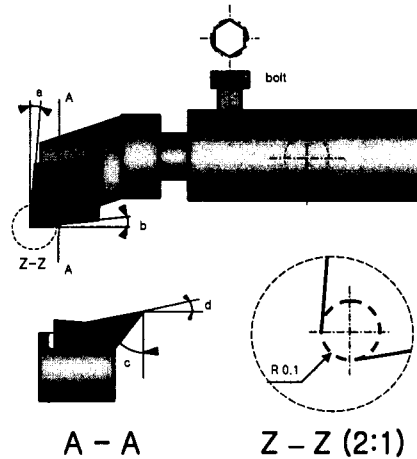


Fig. 7 Used bite shape and structure

Table 1 Material of used experiment

No.	Material	Disposition	Size
1	Aluminum	2024	∅50×50
2	Brass	C3604	∅50×50
3	Plastic	PET	∅50×50
4	Wood	Paulownia	∅50×50

Table 2 The step of feed-rate and side-rake angle adjustment

	(mm/rev; °)											
no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
feed	.66	.48	.36	.30	.24	.18	.15	.12	.09	.075	.068	.06
angle	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45		

Table 3 Cutting condition of feed-rate adjustment

Cutting speed(V)	235m/min
Depth of cut(t)	0.7mm
Feedrate(f)	0.66 ~ 0.06mm/rev (12 step)
Side rake angle( °)	0

Table 4 Cutting condition of side-rake angle adjustment

Cutting speed(V)	235m/min
Depth of cut(t)	0.7mm
Feedrate(f)	0.060mm/rev
Side rake angle( °)	0° , 15° , 30°

Table 5 Data of side-rake angle adjustment

	0°	15°	30°	mm/rev
Brass	5-1-1	5-1-4	5-1-7	0.36
	5-4-1	5-4-4	5-4-7	0.075
Aluminum	6-1-1	6-1-4	6-1-7	0.36
	6-4-1	6-4-4	6-4-7	0.075
Plastic	7-1-1	7-1-4	7-1-7	0.36
	7-4-1	7-4-4	7-4-7	0.075
Wood	8-1-1	8-1-4	8-1-7	0.36
	8-4-1	8-4-4	8-4-7	0.075

그리고 실험 중 절삭력 측정은 multichannel charge amplifier kistler(5019)를 사용하였고 실험 후 가공물의 표면거칠기측정은 축침식(Surf-test 412) 조도계를 이용하여 최대 거칠기 값(Rmax)과 중심선 평균 거칠기 값(Ra)을 구하여 비교·분석하도록 하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 실험결과

이송량 조절에 의한 표면거칠기 변화의 실험결과를 Fig. 8에 나타내었다

측면경사각 변화에 의한 표면거칠기변화를 Fig. 9에 절삭력 변화 측정의 실험결과를 Fig. 10,11,12,13,14에 나타내었다

##### 4.2 고찰

이송량 조절의 실험결과에서 이송량이 작아짐에 따라 표면거칠기는 향상되고 있음을 알 수 있다. 또한 주분력은 약간의 증가세를 보이고 배분력은 큰 변화를 보이지 않고 있으며, 이송분력은 감소하는 경향을 나타내고 있다.

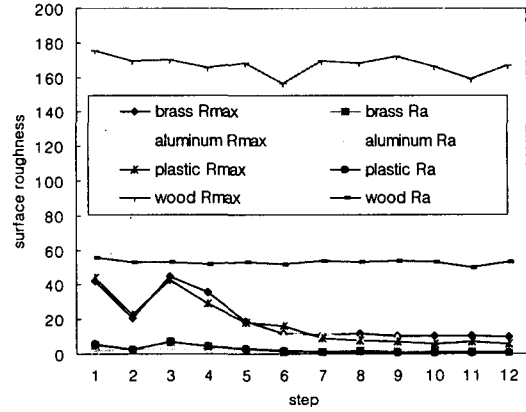


Fig. 8 Surface Roughness of feed-rate adjustment

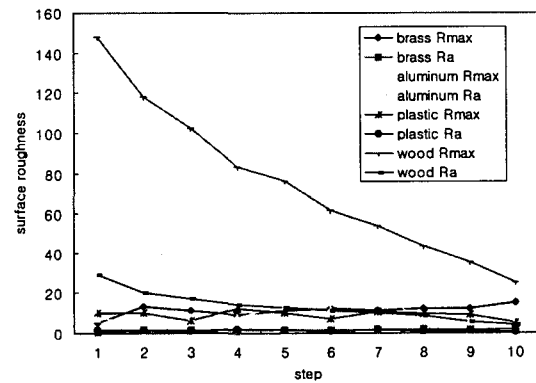


Fig. 9 Surface roughness of side-rake angle adjustment

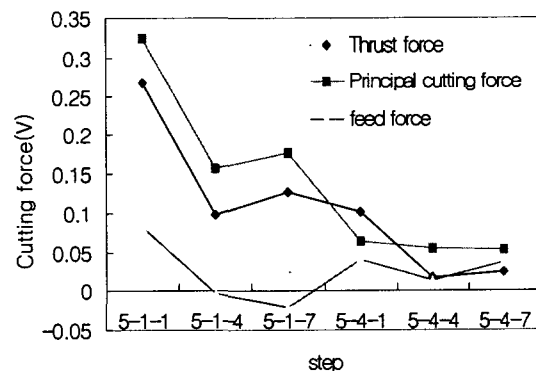


Fig. 10 Cutting force of side-rake angle and feed-rate adjustment in brass

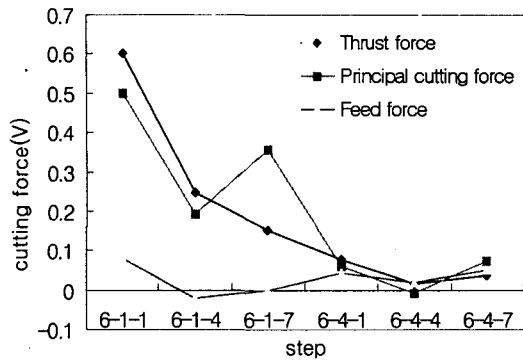


Fig. 11 Cutting force of side-rake angle and feed-rate adjustment in aluminum

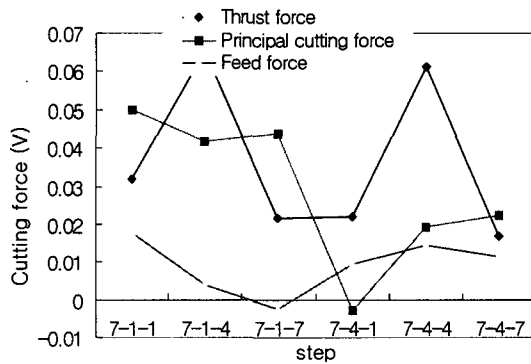


Fig. 12 Cutting force of side-rake angle and feed-rate adjustment in plastic

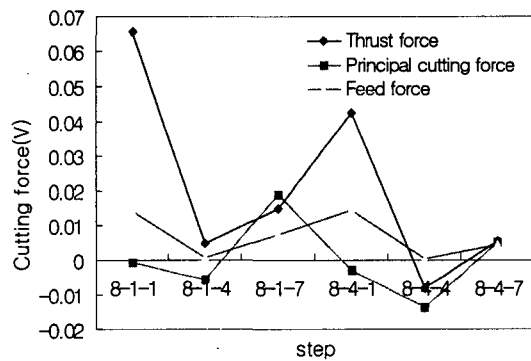


Fig. 13 Cutting force of side-rake angle and feed-rate adjustment in Paulownia

또한, 측면경사각의 증가는 표면거칠기를 오히려 나쁘게 하는 결과를 나타내고 있다. 이는 일반적인 실험결과에 반하는 것으로 과절삭에 기인한 것으로 보인다. 또한 이때의 절삭력은 주분력

과배분력이 일반적으로 감소하는데 비해 이송분력은 (-)값을 가지는 이상현상을 나타내었다.

## 5. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 이송량이 줄어들고 동시에 전체적으로 각 재종별로 표면거칠기는 향상되며 절삭력도 감소하였으며, 목재의 경우는 큰 변화가 없다.

2. 측면경사각이 커질 경우의 이상 현상으로 표면거칠기는 나빠지는 경향을 나타내었다.

3. 측면경사각 변화에 따른 절삭력은 이송분력이 (-)값을 가질 때 표면거칠기는 더욱 나빠진다.

이상의 결과와 같이 비철 및 비금속 재료의 가공에 있어서 여러 가지 절삭인자에 대한 많은 실험과 고찰이 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 윤재용, 이권용, 이수철, 최종권, "선삭가공에서 절삭력을 이용한 공구 마멸의감시," 한국공작기계학회지, 제10권, 제1호, pp1-9. 1992.
2. 성철현, 한복수, 김형철, 김기수, 남공석, "조정밀 선삭 가공 시스템에 관한연구," 대한공업교육학회지 Vol. 22, No. 2, pp. 116-124. 1997.
3. 김석원, 안철수, 이득우, "난삭성재료의 가공 환경변화에 따른 고속가공 특성 평가" 한국공작기계학회지, 제9권, 제6호, pp158-163, 2000.
4. E. M. TRENT, Metal Cutting, Butter Worths, pp. 54-80, 1977.
5. G. BOOTHROYD, "Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools", Mc Graw-Hill, 1975.
6. M.C. SHAW, "Metal Cutting Principles", Oxford, pp.168-177, 1984.
7. 성철현, 김형철, 김기수, "알루미늄 합금의 고속 미소 선삭에 있어서 표면거칠기의 특성", 한국정밀공학학회지, 제 16권, 제7호, pp. 94-100, 1999.
8. Wolf, W, and Mafadanz, p., "Feed force monitoring for operation security and reliability", Int. Tool and Manufacturing Eng. Conf., IQ81, 1981.