

# 비철금속의 선삭에서 측면경사각과 이송량이 표면 거칠기에 미치는 영향

전재익\*, 정진서\*\*, 하만경\*\*\*

## Influence of Surface Roughness by Feed-rate and Side-rake Angle at Turning of Non-ferrous Metals

Jae-Uhk Jun\*, Jin-Seo Chung\*\*, Man-Kyung Ha\*\*\*

### 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 the feedrate adjustment and the change of the side rake angle at turning of non-ferrous metals.

As the results, the surface roughnesses were on the decrease with a side-rake angle and feedrate diminution in the case of the plastic, brass, aluminum, and paulownia

**Key Words :** Paulownia(오동나무), Iron metal(철금속), Non-ferrous metal(비철금속), Side-rake angle(측면경사각), Feedrate adjustment(이송량 조정)

### 1. 서론

현재까지 기계가공을 주로 하는 제조업은 철계금속 위주의 가공이 주류를 이루고 있으며 이에 대한 연구는 활발히 진행되어왔다.<sup>(1-3)</sup>

그러나 현대의 산업사회에서는 철계금속류의 가공뿐만 아니라 알루미늄 합금이나, 구리합금, 플라스틱 및 목재에

이르기까지 다양한 종류의 재료를 이용한 가공물을 필요로 하게 되었다.<sup>(4,5)</sup>

이로 인하여 이에 대한 기초기술, 응용기술 및 가공시스템, 개발에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.<sup>(6-8)</sup> 그러나 이런 비철계 금속 및 비금속의 절삭가공 등에 있어서 그에 맞는 적당한 절삭 공구나 절삭조건 및 그와 관련한 연구가 부족한 것도 현실이다. 또한, 이러한 절삭에 관련

\* 부경대학교 대학원(junju66@hanmail.net)

\*\* 부산기능대학 전산응용기계과

\*\*\* 부경대학교 기계공학부

된 실험값들은 대부분 절삭공구 제조회사들이 약간의 자료를 갖고 있으며 제조회사 또한, 충분한 데이터의 확보가 되어 있지 않은 것이 현재 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 현재 사용되고 있는 비철계 금속 중 가장 많이 사용되고 있는 것 중에, 알루미늄 합금과 황동 그리고 플라스틱 및 목재(오동나무)의 4가지 종류의 재료를 사용하여, 선삭시 이송량의 변화에 따른 각 재료별 표면거칠기의 변화를 비교 분석하고 또한, 바이트의 측면경사각 변화에 대한 각 재료의 표면거칠기 변화를 측정하고 비교하였다.

아울러 이런 데이터를 근거로하여 비철·비금속의 4가지 재종의 절삭에 있어서 표면정도에 따른 일반적인 적정 이송량과 측면경사각을 제시하였다.

## 2. 이론적 배경

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 이송이 작은 경우 ( $f \leq 2R \sin Ce$ , Fig. 1의 a)

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

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

### 2.2 이송이 큰 경우 ( $f \geq 2R \sin Ce$ , Fig. 1의 b)

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

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

여기서  $T = \frac{f}{R} \sin Ce$

### 2.3 노즈 반경(Nose Radius)이 0인 경우

Fig. 1의 (c)와 같이 노즈반경이 없는 경우는 주절인각(Side cutting edge angle;  $Cs$ )과 부절인각(End cutting edge angle;  $Ce$ )이 표면거칠기에 영향을 주므로  $H_{max}$ 는 식(3)과 같다.

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

일반적인 강 of 절삭에서 위의 이상적인 표면거칠기의 절삭조건 중 일반적으로 가장 많이 사용되는 것은 Fig. 1

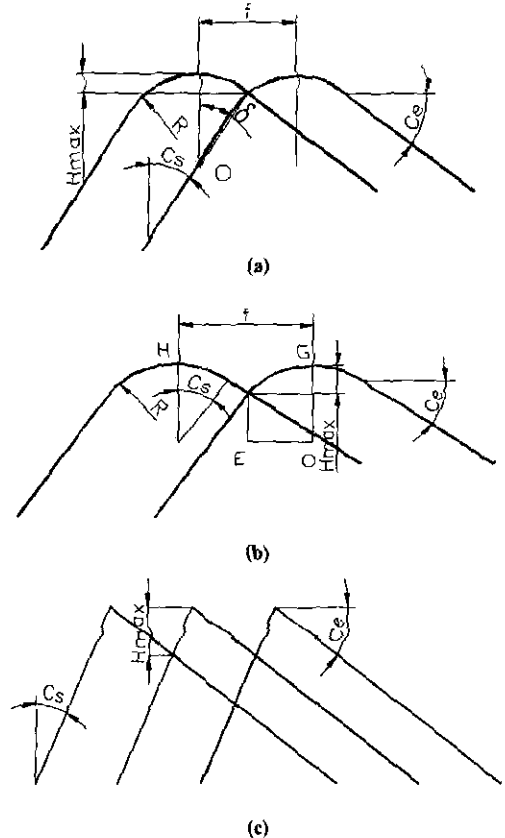


Fig. 1 Idealized model of surface roughness in cylindrical turning

의 (a)와 (b)의 절삭상태이다. 그러므로, 이송량이 크고 공구의 노즈반경이 작을수록 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 비철 금속 및 비금속등의 재종에서는 이러한 식이 그대로 적용되어지지 않고 공구의 설치각 및 절삭각등의 변화에 따라 표면거칠기 값이 변한다.

### 2.4 절삭각에 의한 표면거칠기

실제로 공구에서 절삭을 담당하는 전단각( $\Phi$ )은 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. 2의 2차원 절삭에서 경사각( $\Gamma$ )의 변화에 의하여 절삭력 변화를 시도하여 표면정도를 향상시키는

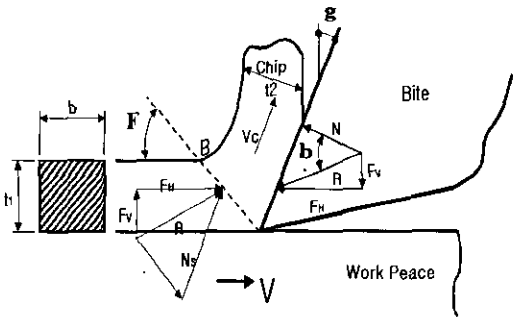


Fig. 2 Two dimensions cutting model

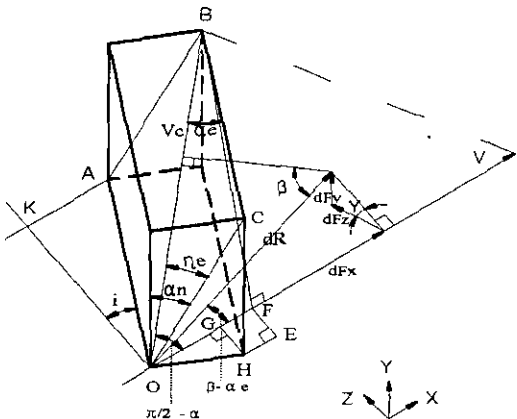


Fig. 3 Model by analysis of cutting force

방법을 선택하였으며, 실제로 선삭 작업은 3차원 가공이므로 Fig. 3과 같은 3차원 절삭의 절삭력 모델을 적용하여 절삭력( $F$ )과  $x, y, z$ 각각의 절삭분력( $F_x, F_y, F_z$ )의 분석으로 실제 공구동력계에 의한 측정치와 비교될 수 있으므로 여러가지 유용한 분석이 가능하다.<sup>(6,8)</sup>

## 3. 실험장치 및 실험방법

### 3.1 실험장치 및 실험재료

#### 3.1.1 실험장치

실험에서 사용한 선반은 화천선반 모델 HL380 BX750을 사용하여 실험하였으며 실험에 사용된 공구는 절삭각을 변화시킬 수 있도록 자체 제작한 공구를 사용하였으며, Fig. 4는 실험에 사용된 공구(Bite)형상을 나타내었다.

#### 3.1.2 실험재료

실험에는 알루미늄과 황동, 플라스틱 및 목재(오동나무)의 4가지 재료를 실험재료로 선정하여 사용하였으며 실험에 이용된 각각의 재료규격은 Table 1과 같다.

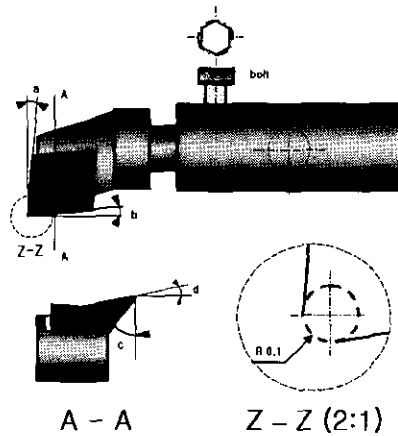


Fig. 4 Used bite shape and structure

Table 1 Material of used experiment

No.	Material	Disposition	Size
1	Aluminum	2024	$\phi 50 \times 50$
2	Brass	C3604	$\phi 50 \times 50$
3	Plastic	PET	$\phi 50 \times 50$
4	Wood	Paulownia	$\phi 50 \times 50$

### 3.2 실험방법

#### 3.2.1 이송량 변화에 따른 표면정도 실험

이송량 변화의 실험에서는 4종의 각기 다른 비철·비금속인 재료를 절삭속도, 회전수, 공구각( $a=2^\circ$ ,  $b=2^\circ$ )등을 한가지로 고정하고 이송량 만의 변화를 이용하여 각각의 재료를 가공한 후에 생성된 표면정도를 측정하고 비교하였다.

이송속도의 선정은 현재 범용선반에서 보편적으로 이용되고 있고, 선반에서 지원하는 이송 속도 범위 중 저속영역에서부터 고속영역의 이송속도에 이르는 총 12단계의 이송속도를 선정하여 실험을 하였다. Table 2는 실험에서 적용한 12단계의 이송속도를 나타내었다.

Table 3에서는 실험에 이용된 절삭속도, 절삭깊이, 이송량, 측면경사각을 나타내었다.

Table 2 Feedrate adjustment data (mm/rev)

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
feed rate	.390	.330	.285	.240	.195	.165	.143	.120	.097	.083	.071	.060

Table 3 Cutting condition of feedrate adjustment

Cutting speed(V)	235m/min
Depth of cut(t)	0.5mm
Feed-rate(f)	step 01~12
Side-rake angle( $^\circ$ )	0

#### 3.2.2 절삭각 변화에 따른 표면정도 실험

측면 경사각의 변화 실험에서도 앞 절과 같은 4가지 각기 다른 성질의 재료(Non-Iron Metal & Non Metal)를 절삭 가공하여 얻어진 표면거칠기를 측정하고 비교·분석하였다.

또한, 실험조건은 모든 절삭조건을 한가지로 하고 경사각만을 변화시켜 실험하였다. 그리고 바이트의 경사각은 임의로 변화시킬 수 있는 장치를 만들어 측면 경사각만을 일정하게 변화시켜 가면서 실험하였으며, 각각의 재료를 절삭가공 후에 생성된 표면거칠기를 측정하여 비교·분석하였다.

바이트의 절삭각도의 선정은 측면 경사각만을 조정하여 실험하였으며, 현재 철계 금속재료의 절삭시 가장 보편적으로 사용되는  $0^\circ$ 에서  $5^\circ$ 사이의 절삭각을 포함하여 그 이상의 절삭각까지 실험하였다.

실험에 이용한 바이트의 측면 경사각은  $0^\circ$ 에서부터  $50^\circ$ 까지 각각의 구간을  $5^\circ$ 씩 변화시켜가면서 4가지의 각기 다른 재종에 대하여 총 11단계의 바이트 각도를 선정하여 실험하였다. Table 4에서는 4가지 재종에 대하여 실험에 사용한 절삭조건을 나타내었다.

그리고 실험 후 각 재료의 표면거칠기의 측정은 축침식 표면정도 측정장치를 이용하여 최대 거칠기 값( $R_{max}$ )과 중심선 평균 거칠기 값( $R_a$ )을 구하여 비교 분석하도록 하였다. 측정장비의 제원을 Table 5에 나타내었다.

Table 4 Cutting condition of side-rake angle adjustment

Cutting speed(V)	235m/min
Depth of cut(t)	0.5mm
Feedrate(f)	0.060mm/rev
Side rake angle( $^\circ$ )	0 ~ 50

Table 5 Measurement system

Metric system	R
Measuring speed	Auto
Measuring range	600 $\mu$ m
Cutoff value $\lambda_c$	0.8mm
Number of sampling lengths	5
Measurement parameter	Ra, Ry

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 실험결과

#### 4.1.1 이송량 변화에 따른 실험결과

4가지재료의 이송량 변화에 따른 실험의 결과를 Table

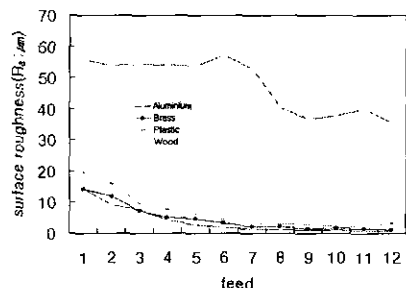


Fig. 6 Diagram of result by feedrate adjustment

Table 6 Result of experiment by feedrate adjustment

material feedrate (mm/rev)	Aluminum (2024)		Brass (C3604)		Plastic (PET)		Wood (Paulownia)	
	Rmax ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rmax ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rmax ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rmax ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )
0.390	58.95	14.15	69.1	14.20	78.9	19.55	175.4	55.76
0.330	40.88	9.197	58.5	11.88	63.1	15.88	169.4	53.97
0.285	32.7	7.30	42.2	7.16	41.7	9.44	172.6	54.32
0.240	18.84	4.203	28.2	4.97	31.1	7.51	173.4	54.11
0.195	12.76	2.648	26.3	4.71	24.3	6.16	170.9	53.70
0.165	10.0	1.88	20.8	3.20	22.4	4.52	177.5	57.21
0.143	9.2	1.30	14.0	2.07	21.1	3.48	160.4	52.98
0.120	7.2	1.18	11.9	2.10	20.2	2.97	150.5	40.32
0.097	6.6	1.07	10.9	1.64	24.9	3.70	145.4	36.77
0.083	8.4	1.63	11.8	1.78	20.4	2.29	147.5	37.76
0.071	5.5	0.79	9.7	1.60	21.5	2.54	150.4	40.12
0.060	3.8	0.68	9.9	1.20	31.1	3.12	148.5	35.51

6에 나타내었고, 그 값을 종합하여 Fig. 6에 그래프로 나타내었다.

#### 4.1.2 측면경사각 변화에 따른 실험결과

4가지 재료의 측면 경사각 변화에 따른 실험의 결과를 Table 7에 나타내었고, 그 값을 종합하여 Fig. 7에 나타내었다.

Table 7 Result of experiment by change the side-rake angle

material angle ( $^{\circ}$ )	Aluminum (2024)		Brass (C3604)		Plastic (PET)		Wood (Paulownia)	
	Rmax ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rmax ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rmax ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rmax ( $\mu\text{m}$ )	Ra ( $\mu\text{m}$ )
0	10.7	1.59	16.9	2.28	19.2	4.01	138.0	27.27
5	10.5	1.56	15.9	2.27	8.0	1.19	108.1	18.42
10	10.1	1.46	15.3	2.25	6.9	1.23	91.7	15.52
15	9.6	1.06	15.1	2.23	6.1	0.99	73.4	13.04
20	8.4	1.21	15.1	2.20	5.8	0.97	62.5	12.69
25	7.1	1.20	13.8	2.16	5.7	0.91	59.6	10.08
30	5.0	0.88	55.1	9.96	7.0	1.07	12.4	1.80
35	6.9	1.05	9.5	1.61	4.8	0.85	46.7	7.30
40	6.2	1.02	9.1	1.56	4.7	0.86	37.6	5.72
45	5.6	1.00	7.9	1.32	4.6	0.84	27.3	4.57
50	5.5	0.98	7.6	1.29	4.5	0.83	27.1	4.35

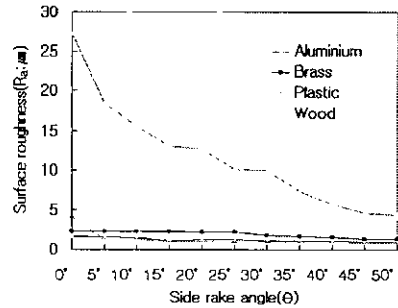


Fig. 7 Diagram of result by change the side-rake angle

#### 4.2 실험의 고찰

Table 6와 7의 결과에서 나타난 바와 같이 동일한 절삭 조건 하에서 이송량의 감소와 측면경사각의 증대에 따라 표면정도가 좋아지고 있음을 알 수 있다. 또한, 측면경사각의 변화 실험은 사용된 4가지의 재종에 대하여 플라스틱, 알루미늄, 황동, 목재의 순서로 표면거칠기가 나쁘게 나타났다.

플라스틱의 경우에는  $10^{\circ}$  이하의 경사각 조정만으로도 좋은 표면거칠기를 기대할 수 있으며, 황동과 알루미늄은 경사각의 변화에 따라 표면거칠기값은 실험범위내에서 지속적으로 좋아지고 있으나  $25\sim 30^{\circ}$ 를 넘어서는 표면거칠기 값의 감소폭이 둔화되고 있다. 그리고, 같은 비금속이라 할지라도 목재가 플라스틱(PET)의 표면거칠기 보다 더 나쁜 값을 나타내었으며, 목재의 절삭에서는  $50^{\circ}$  이상의 예리한 경사각으로 절삭하여만 보다 나은 표면거칠기를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

전체적인 실험의 결과에서 비금속류의 절삭은 현재의 철금속 절삭용 메카니즘에 맞추어 제작된 일반 바이트를 사용할 경우 보다 각각의 재종에 맞는 이송량과 절삭각을 가진 공구를 사용하는 것이 보다 양호한 표면거칠기 값을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

가공물의 표면거칠기는 이송, 절삭속도, 절삭깊이 등과 아울러 측면경사각의 변화에도 큰 영향을 받고 있는 것으로 나타났다.

#### 5. 결론

선삭에서 비철 및 비금속 4종의 이송량조정 및 측면경사각 조정에 의한 실험에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 이송량 변화 실험에서 모든 절삭조건을 고정하고 이송량만을 조정하였을 경우 목재를 제외한 황동, 알루미늄, 플라스틱의 재종에서는 이송량이 감소할수록 표면거칠기 값은 현저히 감소한다.
- (2) 측면경사각 변화 실험에서 모든 절삭조건을 고정하고 바이트의 측면경사각을 0~50° 까지 변화시켰을 때 경사각이 커질수록 공작물의 표면거칠기 값은 감소한다.
- (3) 측면경사각 실험에서 사용된 4가지 재종에 대하여 플라스틱, 알루미늄, 황동, 목재의 순서로 표면거칠기 값이 나쁘게 나타났다.
- (4) 플라스틱의 경우에는 10° 이하의 경사각 조정만으로 현저히 좋은 표면을 얻을 수 있다.
- (5) 황동과 알루미늄은 측면경사각이 0~50° 범위내에서 경사각이 커짐에 따라 표면거칠기 값이 감소하였으며, 25~30° 이상에서는 그 감소폭이 둔화되었다.
- (6) 목재(오동나무)의 절삭은 측면경사각이 커짐과 비례하여 표면거칠기가 현저히 감소되었으나, 이송량의 변화는 표면거칠기의 향상에는 큰 영향을 미치지 않았다.

결론적으로 선삭에서 표면거칠기 향상을 위해서는 저속 이송을 이용해야 할 것이며, 측면경사각은 공구 마모를 고려하여 각각의 재종에 따라 그 각도를 조정하여 절삭을 하는 것이 보다 양호한 제품의 표면을 얻었수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- (1) 윤재용, 이권용, 이수철, 최종권, "선삭가공에서 절삭력을 이용한 공구 마멸의 감시," 한국공작기계학회지, 제10권, 제1호, pp. 1~9, 1992.
- (2) 성철현, 한복수, 김형철, 김기수, 남궁석, "조정밀 선삭 가공 시스템에 관한연구," 대한공업교육학회지 Vol. 22, No. 2, pp. 116~124, 1997.
- (3) 김석원, 안철수, 이득우, "난삭성재료의 가공환경변화에 따른 고속가공 특성 평가" 한국공작기계학회지, 제9권, 제6호, pp. 158~163, 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 monitor -ing for operation security and reliability", Int. Tool and Manufacturing Eng. Conf., IQ81, 1981.