

비철금속의 선삭에서 측면경사각의 변화에 대한 절삭특성에 대한 연구

전재억*(부경대 대학원 기계공학과), 정진서(부산기능대 전산응용기계학과), 권혁준(서리벌대 자동차학과), 하만경(부경대 기계공학부)

A Study on Cutting Character of Side-rake angle Adjustment at Non-ferrous Metals in Turning

English Title of The Paper (Times New Roman 12pt)

J. U. Jun(Mech. Eng. Dept., PKU), J. S. Jung(Mech. Eng. Dept., PIPC), H. J. Koun(Auto. Eng. Dept., SC), M. K. Ha(Mech. Eng. Dept., PKU)

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 and Cutting force adjustments 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) Cutting force(절삭력)

1. 서론

현대의 산업사회의 주류를 이루는 제조업은 지금 까지 기계가공을 주로 하여 진행되어 왔으며, 또한 이러한 기계가공을 하는 제조업은 철계금속 위주의 가공이 큰 비중의 차지하고 있으며 이에 대하여 많은 연구가 활발히 진행되어져 왔다.^(1~3)

그러나 현대의 산업사회에서는 수요자의 다양한 요구에 부응하기위하여 이러한 철계금속류의 기계가공 뿐만 아니라 알루미늄 합금이나, 구리합금, 플라스틱 및 목재에 이르기까지 다양한 종류의 재료를 이용한 가공물을 필요로 하게 되었다.^(4,5)

그러므로 이런 철계금속류 이외의 기타 재종에 대한 기초연구 및 가공기술, 응용기술 및 가공시스템, 개발에 관한 연구 또한 활발히 이루어지고 있

다.^{6~9)} 그러나 이런 비철계 금속 및 비금속의 절삭 가공 등에 있어서 그에 맞는 적당한 절삭 공구나 절삭조건 및 그와 관련한 연구가 부족한 것도 현실이다. 또한, 이러한 절삭에 관련된 실험값들은 대부분 절삭공구 제조회사들이 약간의 자료를 갖고 있으며 제조회사 또한, 충분한 데이터의 확보가 되어 있지 않고 지금도 계속적인 연구가 이루어지고 있는 것이 현재의 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 이에 따른 절삭특성을 비교하였다.

2. 선삭 및 표면거칠기

2.1 선삭의 가공물 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.1의 a)
이송이 극히 작고 거칠기의 산모양이 원호인 경우는 H_{max} 는 식(1)과 같다.

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

2.1.2 이송이 큰 경우 ($f \geq 2R \sin C_e$, Fig.1의 b)

이송이 다소 클 경우 부절단각(End cutting edge angle; C_e)이 가공물 표면조도에 영향을 주며 H_{max} 는 식(2)와 같다. 이송이 작은 경우($f \leq 2R \sin C_e$, Fig.1의 b)

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

여기서 $T = \frac{f}{R} \sin C_e$

2.1.3 노즈 반경(Nose Radius)이 0인 경우

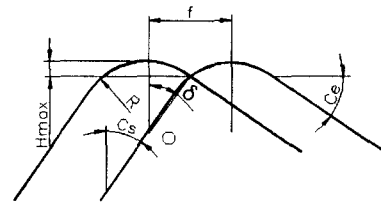
Fig. 1의 (c)와 같이 노즈반경이 없는 경우는 주절단각(Side cutting edge angle; C_s)과 부절단각(End cutting edge angle; C_e)이 표면거칠기에 영향을 주므로 H_{max} 는 식(3)과 같다.

일반적인 강의 절삭에서 위의 이상적인 표면거칠기의 절삭조건 중 일반적으로 가장 많이 사용되는 것은 Fig. 1의 (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 영향

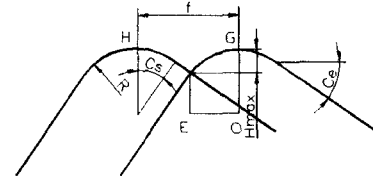
이 크게 되는 것으로 이론적으로 밝히고 있다.

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

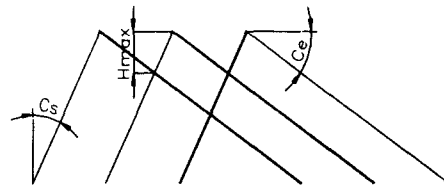
그러나 황동, 알루미늄, 플라스틱, 목재 등의 비철금속 및 비금속등의 재종에서는 이러한 식이 그대로 적용되어지지 않고 공구의 설치각 및 절삭각등의 변화에 따라 표면거칠기 값이 변한다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 1 Idealized model of surface roughness in cylindrical turning

2.4 절삭각에 의한 표면거칠기

실제로 공구에서 절삭을 담당하는 전단각(ϕ)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 2차원 절삭에서 경사각(γ)의 변화에 의하여 절삭력 변화를 시도하여 표면정도를 향상시키는 방법을 선택하였다.

또한, 실제로 선삭 작업은 3차원 가공이므로 Fig. 2과 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.

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

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

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

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

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

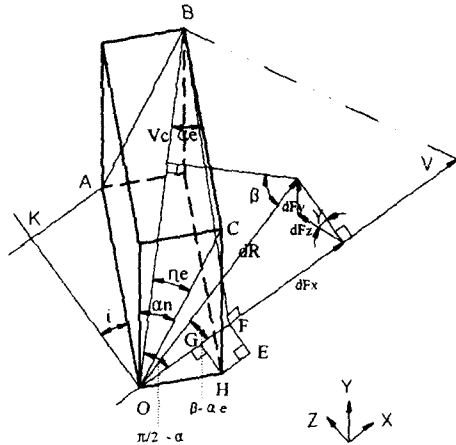


Fig. 2 Model by analysis of cutting force

3. 비철의 절삭특성 실험

3.1 실험장치 및 실험방법

3.1.1 실험장치 및 재료

실험에서 사용한 선반은 회전선반 모델 HL380 BX750을 사용하여 실험하였으며 실험에 사용된 공구는 절삭각을 변화시킬 수 있도록 자체 제작한 공구를 사용하였으며, Fig. 3는 실험에 사용된 공구(Bite)형상을 나타내었다.

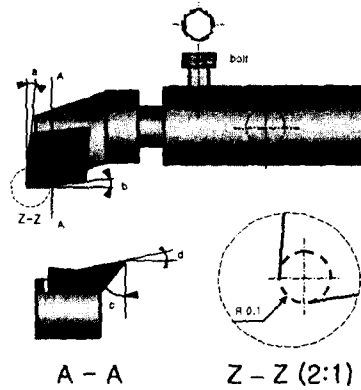


Fig. 3 Used bite shape and structure

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

Table 1 Material of used experiment

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

3.2 실험방법

3.2.1 이송량변화에 따른 표면정도 실험

이송량 변화의 실험에서는 4종의 각기 다른 비철·비금속인 재료를 절삭속도, 회전수, 공구각($\alpha = 2^\circ, \beta = 2^\circ$)등을 한가지로 고정하고 이송량만의 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 2 Feedrate adjustment data (mm/rev)

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
feed rate	660	480	360	300	240	180	150	120	090	075	068	060

Table 3에서는 실험에 이용된 절삭속도, 절삭깊이, 이송량을 나타내었다.

Table 3 Cutting condition of feedrate adjustment

Cutting speed(V)	235m/min
Depth of cut(t)	0.6mm
Feed-rate(f)	step 01~12

3.2.2 절삭각 변화에 따른 표면정도 실험

측면 경사각의 변화 실험에서도 앞 결과 같은 4가지 각기 다른 성질의 재료(Non-ferrous 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 철재 금속재료의 절삭시 가장 보편적으로 사용되는 0°에서 5° 사이의 절삭각을 포함하여 그 이상의 절삭각까지 실험하였다.

실험에 이용한 바이트의 측면 경사각은 0°에서부터 45°까지 각각의 구간을 5°씩 변화시켜가면서 4가지의 각기 다른 재종에 대하여 총 10단계의 바이트 각도를 선정하여 실험하였다. Table 4에서는 4가지 재종에 대하여 실험에 사용한 절삭조건을 나타내었다. 또한 절삭각 변화에 따른 절삭력 변화에 대하여 실험하였다.

Table 4 Cutting condition of side-rake angle adjustment

Cutting speed(V)	235m/min
Depth of cut(t)	0.6mm
Feedrate(f)	0.060mm/rev
Side rake angle(°)	0 ~ 50

그리고 실험 후 각 재료의 표면거칠기의 측정은 측정식 표면정도 측정장치를 이용하여 최대 거칠기 값(Rmax)과 중심선 평균 거칠기 값(Ra)을 구하여 비교·분석하도록 하였다.

4 실험결과 및 고찰

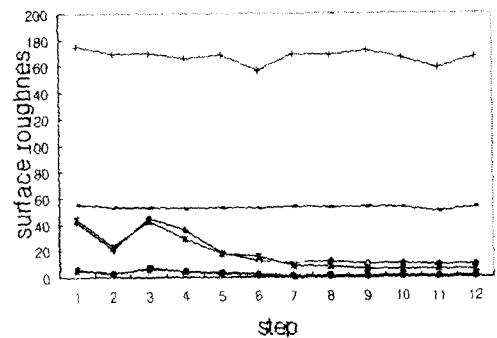
4.1 이송량 변화에 따른 실험결과

4가지재료의 이송량 변화에 따른 실험의 결과를 Table 5에 나타내었고, 그 값을 종합하여 Fig. 4에 그래프로 나타내었다.

Table 5 Surface roughness in result of experiment by feedrate adjustment

		(unit, μ m)					
step		1	2	3	4	5	6
1	R _y	42	21	45	36	19	12
	R _a	5.5	2.35	7.3	4.6	2.7	1.4
2	R _y	13	16	18	17	14	11
	R _a	2.1	2.5	3.2	3	2.4	1.7
3	R _y	44	23	43	29	18	16
	R _a	5.7	2.7	7	4.5	3.5	2.2
4	R _y	175.6	169.3	170.3	165.4	168.5	156.4
	R _a	55.68	53.41	53.21	52.11	53.12	52.17

		(unit, μ m)					
step		7	8	9	10	11	12
1	R _y	11	12	10.5	10.3	10.1	9.6
	R _a	1.5	1.8	1.5	1.6	1.2	1.2
2	R _y	12	9	10	6	6	5
	R _a	2	1.2	1.5	0.7	0.8	0.6
3	R _y	9	8	7	6	7	6
	R _a	1	1	0.7	0.7	0.7	0.65
4	R _y	169.3	168.5	172.4	166.4	158.9	166.8
	R _a	54.1	53.12	54.21	53.21	50.18	52.97



← Brass Rmax ← Brass Ra Aluminum Rmax
 Aluminum Ra ← Plastic Rmax ← Plastic Ra
 ← Wood Rmax ← Wood Ra

Fig. 6 Diagram of result by feedrate adjustment

4.2 측면경사각 변화에 따른 실험결과

4가지 재료의 측면 경사각 변화에 따른 실험의 결과를 Table 6에 나타내었고, 그 값을 종합하여 Fig. 6에 나타내었다. 그리고 측면 경사각 변화에 대한 절삭력의 변화를 주분력(z), 이송분력(x), 배분력(y)으로 하여 Table 7과 Fig. 8에 나타내었다.

Table 6 surface roughness in result of experiment by change the side-rake angle

(unit, μm)						
step	1(0°)	2(5°)	3(10°)	4(15°)	5(20°)	
1	R _y	5	13	11	9	11
	R _a	0.7	1.5	1.7	1.1	1.5
2	R _y	7	7	8	8	13
	R _a	1	0.7	1	1	1.8
3	R _y	10	10	6	12	10
	R _a	1.5	1.5	1	1.8	1.3
4	R _y	148	118.3	102.7	83.2	76.23
	R _a	29.32	20.41	17.25	14.13	12.78

step	6(25°)	7(30°)	8(35°)	9(40°)	10(45°)	
1	R _y	12	11	12	12	15
	R _a	1.7	2	2	1.5	2.2
2	R _y	12	19	6	6	7
	R _a	2	2.2	0.7	0.9	1
3	R _y	7	10.5	9.5	9	5
	R _a	1.1	1.5	1.2	1	0.7
4	R _y	61.47	54.2	43.57	35.4	25.24
	R _a	10.86	9.86	8.64	5.46	4.23

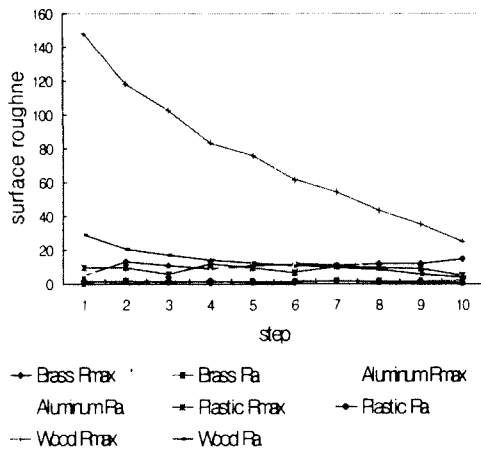


Fig. 7 Diagram of result by change the side-rake angle

Table 7 Cutting force in result of experiment by change the side-rake angle

step	1	2	3	4	5	
1	x	-1	6	2	10	25
	y	8	14	10	15	28
	z	-7	10	12	-8	-8
2	x	25	0	-2	1	5
	y	34	30	7	8	20
	z	5	-25	20	0	-12
3	x	-5	-6	6	-5	-3
	y	4	5	27	2	3
	z	4	-24	32	0	-12
4	x	-1	-2	-6	-1	-1
	y	1	2	-2	3	2
	z	-17	-20	-19	-17	-17

step	6	7	8	9	10	
1	x	28	38	4	16	30
	y	28	24	4	22	48
	z	-12	-17	-19	12	10
2	x	15	10	10	4	8
	y	20	16	15	16	0
	z	-12	-15	-20	3	0
3	x	-2	0	0	20	0
	y	4	6	3	50	5
	z	-12	-15	-20	15	0
4	x	-2	-1.5	-1	-5	0
	y	3	2	2	2	4
	z	-17	-17	-17	-17	-17

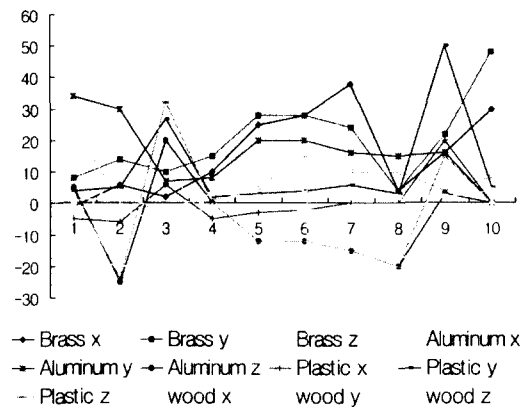


Fig. 8 Diagram of result by change cutting force

4.3 실험의 고찰

이송량 변화의 실험에서는 Table 5와 Fig. 6에서 나타나는 것과 같이 이송량이 작아질수록 표면거칠기는 전체적으로 향상되는 것을 보이고 있다.

또한, 절삭각의 변화 실험에서는 절삭각이 커짐에 따라 표면 거칠기는 나빠지는 경향을 보이며 또한 이때의 절삭력은 주분력 이송분력 배분력이 전체적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이런 현상의 발생은 측면경사각의 변화에 대한 절삭력이 감소하였기 때문으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 비철 및 비금속의 선삭에서 측면경사각의 변화와 이송량 변화가 가공물의 표면거칠기에 미치는 영향과 이때 나타난 절삭력을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 비철금속에서 이송량의 변화에 대한 실험에서 전체적인 표면거칠기는 이송량이 커질수록 표면거칠기는 나빠진다.
2. 황동과 알루미늄의 선삭시 절입량이 1mm 이상의 경우 측면 경사각이 커짐에 따라 표면거칠기는 나빠진다.
3. 플라스틱의 선삭시 절입량이 1mm 이상의 경우 측면 경사각이 커짐에 따라 표면거칠기는 거의 변화가 없이 진행된다.
4. 목재의 선삭시 절입량이 1mm 이상의 경우 측면 경사각이 커짐에 따라 표면거칠기는 좋아진다.
5. 또한 측면경사각이 커짐에 따라 각 재종의 절삭력은 감소한다.

참고문헌

1. 윤재용, 이권용, 이수철, 최종권, "선삭가공에서 절삭력을 이용한 공구 마멸의 감시," 한국공작기계학회지, 제10권, 제1호, pp1-9, 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 가공환경 변화에 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", 한국정밀공학회지, 제16권, 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.
9. 전재익, 정진서, 하만경, "비철금속의 선삭에서 측면경사각과 이송량이 표면거칠기에 미치는 영향", 한국공작기계학회지, 제10권, 제4호, pp. 1-6, 2001.