

CNC 旋盤加工에서 切削條件들이 表面 거칠기에 미치는 影響에 관한 연구

(A study on the effects of surface roughness in CNC lathe over various cutting conditions)

심재주*(전남대 산업대학원), 이연수(전남대학교 대학원 기계공학과),
윤희석(전남대 기계공학과)

Key Words: Surface roughness, feed, velocity, depth of cut

ABSTRACT: In the CNC lathe working, the study of the effects of various cutting conditions on cut surface roughness is less active than that of the ordinary lathe. After lathe working of SM45C, a carbon steel material for machine structure, its surface roughness was measured using a stylus surface roughness tester. In most cases, good surface roughness was obtained over 160m/min cutting speed and then the proper cutting depth was found as 1.0~1.5mm.

1. 연구목적 및 필요성

현대 산업이 고도화됨에 따라 기계 가공품에 대한 높은 정밀도와 표면의 고품위가 요구되는 실정에 CNC 공작기계의 발달과 아울러 각종 초정밀 가공법이 개발되고 있다. 기계가공품의 표면 정도를 판단하는데 있어 표면 거칠기는 매우 중요한 인자이다. 초정밀 기계부품을 가공하여 조립할 때 부품조립의 용이성과 정밀도는 치수공차의 정확도와 형상공차의 정확도 또한 중요한 요소이다. 형상공차의 정확도는 주로 공작기계의 절삭조건^[1,2]에 의해 결정되는 표면 거칠기에 많은 영향을 받게 된다.

이러한 표면 거칠기에 관한 연구는 주로 범용 선반을 배경으로 많이 이루어져 왔으며, 따라서 이 부분의 이론과 실험적 연구는 상당한 수준에 올라 있다해도 과언이 아니다.

그러나, CNC 선반^[3,5]으로 와서는 절삭가공 할 때 여러 가지 절삭조건에 따른 가공 표면의 거칠기에 어떻게 영향을 주는가의 연구는 범용에 비해 부진한 실정이다. 이러한 현실과 함께 산업현장에서도 역시 범용선반에 권장하는 절삭조건 등을 적용하거나 순전히 개인의 경험으로 얻어낸

감각으로 절삭가공을 하는 등 CNC 선반가공에 대한 실험이나 이론적 연구 결과를 토대로 한 최적화된 절삭 조건을 적용하지 못하고 있다는 것이 정설일 것이다. 초정밀을 요하는 CNC 선반 가공품에서 이러한 것은 시급히 자리잡아야 하며 본 연구의 목적이 여기에 기인한다.

2. 관련 이론적 배경

2.1 粗度の 測定法^[2,12]

1) Method of direct measurement(直接 測定法)

① 觸針法^[12]

표면조도의 定量的 측정을 위해 觸針式 측정기가 사용된다. 예리한 diamond 觸針이 arm의 일단에 고정되어 주어진 속도로 표면 위를 통과할 때 표면조도에 비례하여 상하로 움직인다. Fig.1에서와 같이 둥근 round skid가 觸針(stylus)의 안내 역할을 한다. 觸針先端의 曲率半徑에 따라 粗度が 다르게 된다는 것을 Fig.2에서 보여주고 있다. 先端半徑 r가 클수록 조도는 실제보다 작게 나타난다. 그러나 r가 너무 작으면 측정압에 의하여 측정면을 손상하고 측침의 마모가 쉽게 된다.

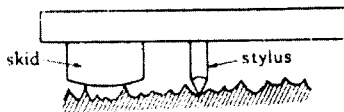


Fig.1 觸針式 測程器

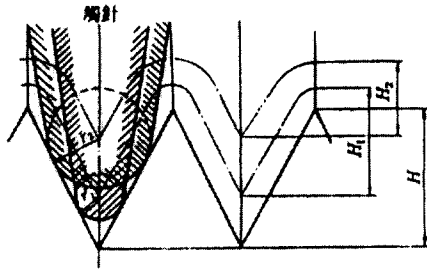


Fig.2 觸針形狀과 粗度

2.2 理論的 粗度^[1,2,11,12]

절삭가공에서의 이론적 조도(ideal roughness)라는 것은 built-up edge, 진동, 공작기계의 부정확 등이 없이 주어진 공구형상, feed에 의해서만 정하여지는 조도이다.

1) 旋削에 의한 조도

① 선단반경 R=0인 경우 : Fig.12에서 평균조도(average arithmetic roughness) Ra는

$$Ra = \frac{|\Delta abc| + |\Delta cde|}{f} \quad (1)$$

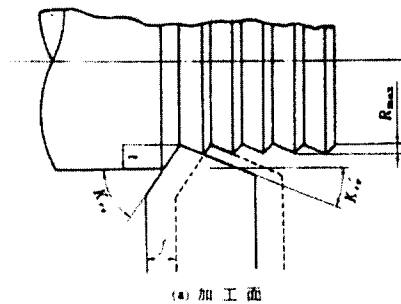
$$Ra = \frac{f}{4(\cot K' re + \cot K' RE)} \quad (2)$$

式 (2)에서 平均粗度 Ra는 移送 f에 比例함을 알 수 있다.

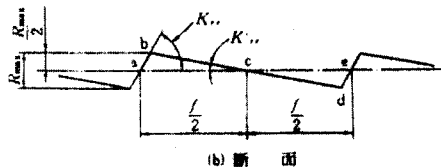
②先端半徑 R≠0인 경우 : Fig.14에서와 같이 加工面に 圓弧의 切削무늬(cutting mark)만 남는 경우($\frac{f}{2} \leq R \cdot \sin K' re$), 圓弧와 直線의 切削무늬가 동시에 남는 경우($\frac{f}{2} \leq R \cdot \sin K' re$)가 있다. 또 $\frac{f}{2} > R \cdot \sin K' re$ 의 경우에도 主切削(major cutting edge)에서는 圓弧切削무늬만 남기고 副切削(minor cutting edge)에서는 圓弧와 直線의 切削무늬를 남기는 경우와 主切削과 副切削이 동시에 圓弧와 直線의 무늬를 남기는 경우가 있다.

平均粗度 $\therefore Ra = \frac{0.0321f^2}{R}$

Fig.4는 銅을chatter와 built-up edge의 영향이 거의 없도록 조심스럽게 切削하였을 때 이송(feed)에 대한 조도를 이론값과 실제값을 비교한 것이다



(a) 加工面



(b) 断面

K' : 主切削角 (working major cutting edge angle)
 K'' : 副切削角 (working minor cutting edge angle)
 f : 移送 (lead)

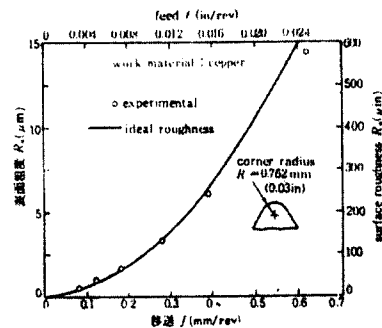


Fig.4 feed에 의한 理論的 粗度 및 實驗값

3. 실험

3.1 절삭공구

코오로이 한국야금(주)의 insert byte tip CNM G120408KA)과 tool holder (PCLNR/L2020K 12)

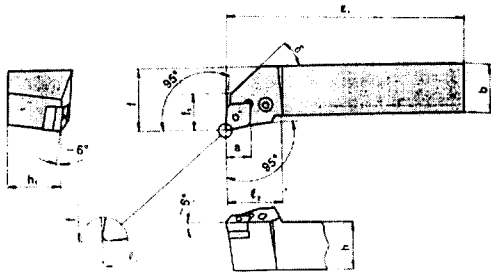


Fig.5 Tool Holder

3.2 측정기 : 본 실험에 사용한 표면 거칠기 실험장치는 일본의 MITUTOYO 제품으로 촉침식 조도측정기이며 사양은 다음과 같다.

Surface roughness M/C 의 제원 (SURFTEST-402)		
Item	Unit	Specification
Limit indication	Rmax	50
Cut off value	mm	0.25~2.5
Basic range	mm	0.25~30
Driving speed	mm/s	0.5~1
Temperature	°C	5~40
Mass	Kg	1.5
Detector	No.	178-350

Table.2 Specification of surface roughness experiment equipment

3.3 실험재료

본 실험에 사용된 시편 재료는 기계구조용 탄소강 중에 SM45C를 선정하였다.

3.4 시험편 가공^[5,6,7,8]

지름 38mm, 길이 110mm인 SM45C 환봉을 CNC Lathe 주축에 고정하고 Dial indicator로 center를 setting하여 도면과 같은 형상으로 가공한다.

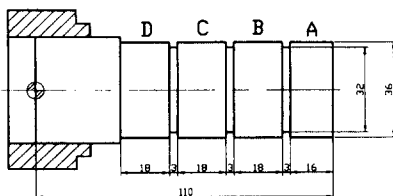


Fig.6 Geometry of test material

3.5 측정법

절삭가공 부분 중 A, B, C, D면의 평균 표면 거칠기(Ra)를 표면 조도기로 측정하여 Data화한다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1) 절삭속도 변화와 가공면의 표면거칠기

Fig7~Fig10은 절삭깊이(t) 0.5, 1.0, 1.5, 2.0(mm)와 회전당 이송량(f)을 0.060, 0.097, 0.150, 0.200(m/rev)로 선정하고 절삭속도는 80, 120, 160, 200(m/min)로 변화 시켰을 때 나타나는 가공면의 표면거칠기를 보여 주는 그림이다.

Fig7은 회전당 이송량을 $f=0.060$ 으로 선정했을 때는 절삭깊이 0.5~1.5까지는 거칠기값이 크게 나타나다가 $t=0.5$ mm를 제외하고 급강하하여 점점 완만함을 유지한다. 그러다가 $v=200$ 에 와서는 거의 거칠기값이 비슷한 양상을 보인다. 이는 고속절삭으로 인한 구성인선이 점차 소멸되는 동시에 절삭유의 공급에 따라 냉각작용으로 chip의 간섭이 현저하게 저하된 것으로 본다^[9]. 특이한 것은 $t=2.0$ mm로 했을 때가 속도 변화에 따라 가장 양호한 거칠기값을 나타낸다는 것이다. 그러나 실제적으로 SM45C의 선반가공시 $t=2.0$ mm로 할 때는 선반 및 공구에 무리가 따른다. $f=0.060$ 일 때의 $t=1.0\sim 1.5$ 에서는 $v=160\sim 200$ 으로 하는 것이 양호한 조건으로 나타난다.

Fig8에서는 $f=0.097$ 일 때 $t=0.5$ 와 0.1 mm로 절삭속도는 80에서는 매우 거친 면을 보이다가 역시 $v=120$ m/min일 때부터 표면거칠기는 감소하는 경향이 완만하게 형성된다. 마찬가지로 $v=160\sim 200$ 일 때 거칠기값이 거의 같은 값을 유지함으로 $v=160$ 이상 고속절삭으로 가공하는 것이 유리하다.

Fig9은 $f=0.15$ 에서는 역시 $t=0.5$ 와 $t=1.0$ 에서는 저속에서 ($v=80$)는 매우 거친 모양을 나타내다가 급강하하여 $v=120$ 부터는 $t=1.0\sim 2.0$ 에서 전반적으로 완만한 선을 긋고 있다. 절삭깊이마다 약간의 거칠기차가 있기는 하지만 대체로 안정된 평균 거칠기값을 나타낸다.

Fig10은 $f=0.20$ 인데 저속에서 고속까지 거칠기가 전반적으로 다소 불규칙적인 변화의 폭을 유지하며 불량한 값들을 나타내주고 있다. $t=0.5$ 일 때 고속 가공하면 오히려 거칠기는 나빠지며

그외의 두께로 가공했을 때는 고속으로 갈수록 완만하게 하향하고 있다. 결론적으로 이송량이 적을 때는 저속에서 거칠기값은 불량하며 고속으로 갈수록 양호하지만 $f=0.2$ 일때는 고속으로 가공할지라도 거칠기 상태가 크게 개선되지 않고 있음을 발견한다. 따라서 이송량과 절삭깊이 증가에 따라 표면거칠기 변화가 거의 없이 완만 상승하는 원인^[10,11]은 바이트의 구성인선과 chattering 및 snarled chip 현상에 따른 것으로 분석된다.

① $f=0.060$ mm/min

t \ v	80	120	160	200
0.5	3.2	3.2	1.97	0.8
1.0	3.4	1.05	0.57	0.60
1.5	2.82	1.7	1.10	0.5
2.0	1.9	0.5	0.70	0.6

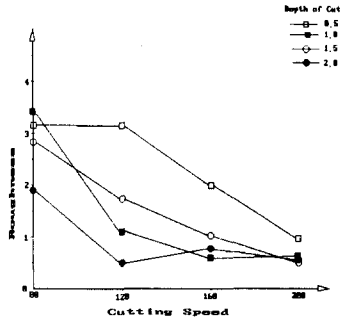


Fig.7 Roughness vs cutting speed with $f=0.060$

② $f=0.097$ mm/min

v \ t	80	120	160	200
0.5	3.5	2.6	1.55	0.87
1.0	4.0	1.27	0.92	0.95
1.5	1.27	1.2	0.90	0.9
2.0	1.5	0.8	0.8	0.9

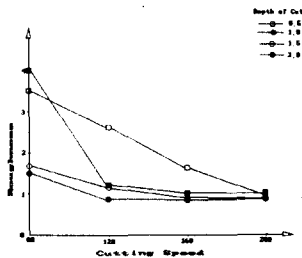


Fig.8 Roughness vs cutting speed with $f=0.097$

③ $f=0.150$ mm/min

v \ t	80	120	160	200
0.5	3.6	2.0	1.42	2.0
1.0	4.0	1.27	0.92	0.95
1.5	2.17	2.0	1.8	1.8
2.0	1.7	1.5	1.4	1.2

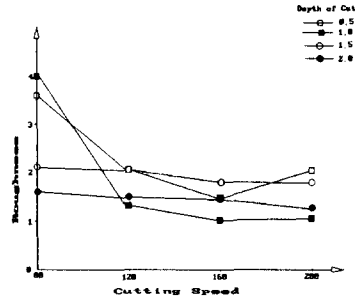


Fig.9 Roughness vs cutting speed with $f=0.150$

④ $f=0.200$ mm/min

v \ t	80	120	160	200
0.5	3.1	2.62	3.40	3.45
1.0	2.9	2.4	2.15	2.02
1.5	2.32	3.1	2.9	2.9
2.0	2.6	2.5	2.4	1.5

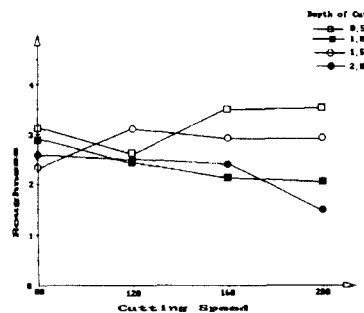


Fig.10 Roughness vs cutting speed with $f=0.200$

4.2) 이송량의 변화와 가공면의 표면거칠기

Fig11~Fig14는 절삭깊이를 0.5, 1.0, 1.5, 2.0(mm)로 선정하고 이송량을 각각 0.060, 0.097, 0.150, 0.200(mm/rev)로 선정하면서 절삭속도는 80, 120, 160, 200(m/min)로 변화 시켰을 때 가공면의 표면 거칠기를 도시한 그림이다. 그림에서

보여 주는 것처럼 절삭깊이에 따른 표면 거칠기 값은 대체로 이송량 증가와 가공속도가 비교적 낮은 범위에서 높게 나타나고 있다.

Fig11은 $v=80\text{m/min}$ 일때는 이송량 0.060에서 거칠기값이 불량하다가 변화폭이 크게 양극화현상을 보이며 점차 그 폭이 점점 줄어드는 경향을 보인다. 따라서 저속에서는 $t=1.5$ 와 2.0으로, f 는 0.097로 가공하면 양호한 가공면이 나타남을 알 수 있다.

Fig12는 $v=120\text{m/min}$ 이고 f 가 0.060일 때는 $t=0.5$ 를 제외하고는 낮은 거칠기값을 갖다가 f 가 증가함에 따라 점점 상승곡선을 긋고 있음을 나타내준다. 또한 절삭 깊이가 $t=2.0$ 일 때는 $f=0.060$ 에서, 즉 이송량이 적은 쪽에서 양호한 표면 거칠기값을 얻을 수 있는 것으로 나타난다.

Fig13은 $v=160\text{m/min}$ 일 때는 $f=0.060\sim 0.150$ 에서 $t=1.0\sim 2.0$ 으로 가공한 거칠기값은 비교적 적은 범위내에서 증가하는 경향을 보이고 있으므로 가공면의 거칠기는 절삭깊이에 대하여 적은 영향을 받는 것으로 여겨진다.

Fig14는 $v=200\text{m/min}$ 일 때는 $f=0.060$ 일 때는 R_a 가 $0.5\sim 0.8\mu\text{m}$ 범위로 매우 양호한 값을 나타내며 이송량이 증가할수록 거의 일정한 비율로 거칠기값이 증가하는 것을 볼 수 있다.

① $v=80\text{m/min}$

f \ t	0.060	0.097	0.10	0.200
0.5	3.2	3.5	3.6	3.1
1.0	3.4	4.0	3.0	2.9
1.5	2.82	1.72	2.17	2.32
2.0	1.9	1.5	1.7	2.6

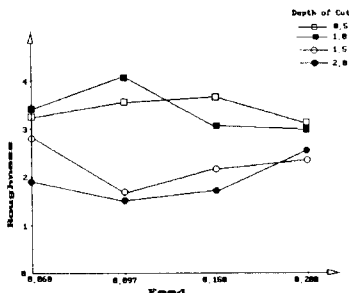


Fig.11 Roughness vs feed(f) with $v=80\text{m/min}$

② $v=120\text{m/min}$

f \ t	0.060	0.097	0.150	0.200
0.5	3.2	2.6	2.0	2.62
1.0	1.05	1.27	1.32	2.4
1.5	1.7	1.2	2.0	3.1
2.0	0.5	0.8	1.5	2.5

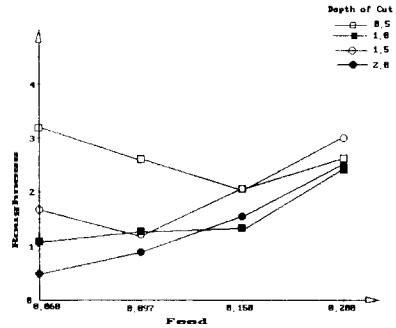


Fig.12 Roughness vs feed(f) with $v=120\text{m/min}$

③ $v=160\text{m/min}$

f \ t	0.060	0.097	0.150	0.200
0.5	1.97	1.55	1.42	3.40
1.0	0.57	0.92	1.22	2.15
1.5	1.10	0.90	1.80	2.90
2.0	0.7	0.8	1.40	2.40

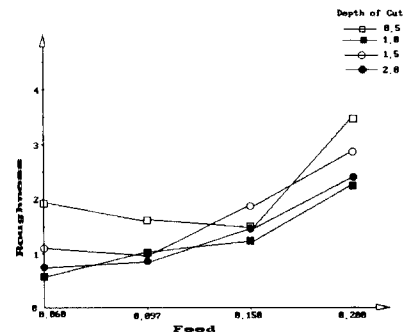


Fig.13 Roughness vs feed(f) with $v=160\text{m/min}$

④ $v=200\text{m/min}$

$f \backslash t$	0.060	0.097	0.150	0.200
0.5	0.80	0.87	2.0	3.45
1.0	0.60	0.95	1.07	2.02
1.5	0.50	0.9	1.80	2.9
2.0	0.60	0.9	1.2	1.5

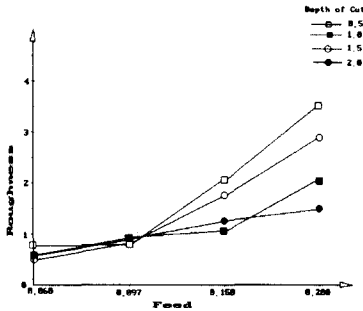


Fig.14 Roughness vs feed(f) with $v=200\text{m/min}$

5. 결론

이상과 같이 기계구조용 탄소강SM45C를 선정한 절삭조건에 의하여 절삭실험을 실시한 결과 가공면의 표면거칠기에 대한 결론은 다음과 같다.

I. 절삭속도의 표면거칠기의 변화실험에서 보면, 절삭속도가 160m/min 이상에서 좋은 가공표면을 얻고, 그 때의 절삭깊이(t)는 $1.0\sim 1.5\text{mm}$ 정도가 적절한 것으로 나타났다.

II. 이송량의 절삭면조도에 관한 실험에서 보면, 정밀가공을 하려면 이송량(f)가 좋은 것은 당연하고 중요한 것으로는 절삭깊이(t)가 1.0mm 일 때 가장 적절한 절삭면 조도를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 서남섭, 1994, 금속절삭이론 [동명사]
2. 염영하, 1995 공작기계의 절삭이론 [동명사] P304~313
3. 노상래, 1996, CNC 프로그래밍 & 가공법

[일진사]

4. J.N Greenhow, 1969, "Orthogonal Cutting with Worn Tools", Int. J.Mech. Tool Des. Res, Vol 9, p1~16
5. 윤희석, 이연수, 1998, "전산기계제도", [전남대학교출판부]
6. 노동부, 1993, "CNC 선반실기"
7. (주) 첨단 "기계가공기술" 1997.12
8. (주) 기술정보 기계기술" 1996.4
9. Sin Keun-ha, Cha Huang-Sik, 1997.12, "Specification of surface roughness experiment equipment" [Journal of Korean Society of Machine Tool Engineers vol.6 no.4] p75
10. 진윤희, 1991, "피복공구를 사용한 CNC 선반 가공에서 최적절삭조건에 관한연구"
11. 이용성, 1994, "절삭 및 연삭이론", 동명사, p.9 8~165
12. 유한영 "정밀측정공학", 형설출판사, p.167~170
13. 김영환 "최신기계제작법", 광문각, p.324~325