

◆특집◆ 선삭 가공 공정의 가공 정밀도 향상

선삭공정의 각도변화가 표면거칠기에 미치는 영향에 관한 기초 연구

김동현*, 최준영*, 이춘만#

A Basic Study on the Surface Roughness in Turning Process Considering Taper Angle Variation

Dong-Hyeon Kim*, Jun-Young Choi*, Choon-Man Lee#

(Received 21 November 2011; received in revised form 5 December 2011; accepted 6 December 2011)

ABSTRACT

In machining operation, the quality of surface finish is an important factor for many turned products. In this paper, surface quality in turning machining considering angle variation has been investigated. To reach this goal, surface quality turning experiments are carried out according to cutting conditions with angle variation. The variable cutting conditions are cutting speed, feed rate and taper angle of workpiece. The surface roughness was measured and the effects of cutting conditions were analyzed by the method of analysis of variance (ANOVA). From the experimental results and ANOVA, it is found that a better surface roughness can be obtained as decreasing feed rate, increasing cutting speed. Taper angle variation has been more influenced by feed rate and cutting speed.

Key Words : Turning Process(선삭공정), Machining Accuracy(가공정밀도), Surface Roughness(표면거칠기), Taper Angle Variation(테이퍼각 변화), ANOVA(분산분석)

1. 서 론

최근 가공기술의 발전으로 산업현장에서는 금속 가공의 고정밀·고능률화에 대한 요구가 증가하고 있다. 이를 실현하기 위해 가공오차의 원인을 파악하여 분석하

는 것이 중요하다. 공작물의 가공오차를 줄이고 가공정밀도를 향상하기 위해서는 적합한 가공조건을 선정하는 것이 필요하다. 최근 공작물의 가공정밀도에 영향을 미치는 변수들의 규명과 상관관계에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

Fig. 1에 나타난 바와 같이 공작물의 가공정밀도에 영향을 미칠 수 있는 변수들은 아주 다양하다. 선삭공정은 여러 절삭공정 중에서도 가장 기본적인 가공 공정으로 환봉형태의 소재를 원하는 단면 형상으로 호

* 창원대학교 기계설계공학과

교신저자 : 창원대학교 기계설계공학과

E-mail : cmlee@changwon.ac.kr

울적으로 가공할 수 있는 중요한 공정이다.

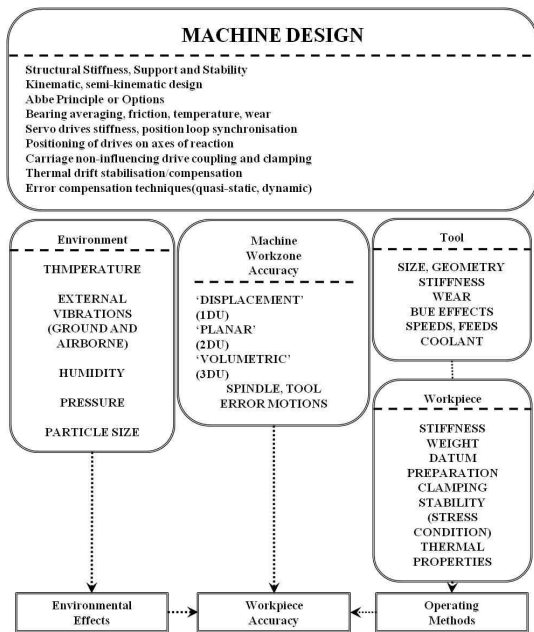


Fig. 1 Factors affecting workpiece accuracy^[1]

가공조건은 절삭공구, 절삭조건, 가공소재 등과 같은 다양한 변수를 가지는데, 이 중 절삭속도, 이송속도, 절삭 깊이와 같은 조건은 가공정밀도에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다^[1].

Zhou 등^[2-4]은 선삭 공정에서 가공오차에 영향을 미치는 인자들에 대해 분석하고 가공오차를 보정하는 방법에 관하여 연구하였다. Palanikumar 등^[5-7]은 선삭공정에서 절삭속도와 이송속도가 표면거칠기에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였고, Asilturk 등^[8]은 다구찌 방법을 이용하여 표면 거칠기를 최소화하는 최적절삭조건을 선정하는 연구를 수행하였다. Shin 등^[9]은 윤활조건을 포함한 절삭조건이 공작물의 원통도에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 Kang 등^[10]은 가상 가공 기반의 이송속도 최적화 방안에 대해 연구하여 절삭력과 가공시간을 줄일 수 있는 방법을 제시하였다.

많은 연구자들이 절삭속도, 이송속도, 절삭 깊이, 윤활조건 등 공작물에 영향을 미치는 가공변수를 찾고 최적가공조건을 선정하는 연구를 수행하였지만 절삭공구와 소재의 재질, 가공품의 형상 등이 모두 다르기 때문에 상황과 조건에 맞는 최적가공조건을 찾는 것

은 어려운 일이다.

본 연구에서는 선삭공정에서 공작물의 테이퍼 각, 절삭속도 및 이송속도가 공작물의 표면 거칠기에 미치는 영향에 대한 실험을 수행하고 분석하였다.

2. 실험장치 및 조건

2.1 실험장치

선삭공정에서 테이퍼 각에 따른 표면 거칠기를 측정하고 분석하기 위하여 사용된 장치는 Table 1과 같다. 선삭장비는 국내 공작기계 전문 업체 HWACHEON사의 Hi-ECO 10을 사용하였고, 선삭가공 후 공작물의 표면 거칠기 측정을 위하여 Optacom사의 VC-10을 사용하였다. 그리고 공작물 표면의 현미경 사진은 ANMO사의 Dino-Lite을 사용하였다.

2.2 시편 및 절삭공구

실험에 사용된 시편의 재질은 Al6061이며, Fig. 2와 같은 형상과 치수로 가공하여 사용하였다. 시편의 경사 각도는 5°, 10°, 15° 등 3가지 유형으로 사용하였다.

절삭공구는 알루미늄 전용 절삭공구로 노즈 반경이 0.4mm이고, ISO 분류로 K10인 카바이드 인서트(CCGT 120404 FL, TaeguTec)를 사용하였다. 공구홀더는 외경 선삭용으로 옆날각(approach angle)과 앞날각(end cutting edge angle)이 각각 5°, 절입각(entering angle)이 95°를 가지는 홀더를 사용하였다^[11].

2.3 실험방법

선삭공정에서 각도변화에 따른 공작물의 표면 거칠기를 측정하고 분석하기 위해 실험계획을 수립하고, 실험계획에 따라 원통외경 선삭을 실시하여 중심선 평균 거칠기(Ra)를 측정하였다.

Table 1 Instruments and specifications

Instrument	Company	Specification
Turning machine	HWACHEON	Hi-ECO 10
Shape accuracy tester	Optacom	VC-10
Digital microscope	ANMO electronics corporation	Dino-Lite

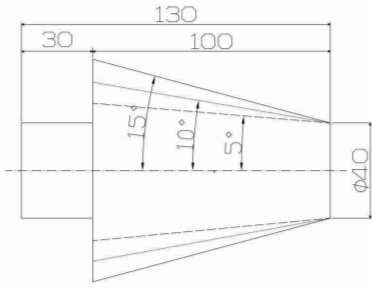


Fig. 2 Dimension of the specimen for 3 type



Fig. 3 Experimental set up

Table 2 Level value of each parameter

No.	Cutting speed [m/min]	Feed rate [mm/rev]	Angle [°]
-1	150	0.05	5
0	200	0.1	10
1	250	0.15	15



Fig. 4 Photograph of surface roughness measuring

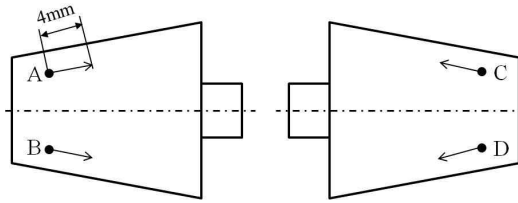


Fig. 5 Measuring points of surface roughness

Fig. 3에 보이는 바와 같이 시편과 공구를 장착하였고, 절삭작업의 용이함을 위해 각도별로 미리 시편을 가공하여 사용하였다. 공구 마모에 의한 영향을 배제하기 위해 각각의 실험마다 공구 인서트를 교체하였다.

본 연구에서는 절삭속도, 이송속도, 공작물의 경사각을 실험인자로 선정하여 각 3 수준으로 실험배치를 하였고, 총 15번의 실험을 실시하였다. 가공 시 절삭깊이는 0.5mm로 동일하게 하였다. Table 2는 실험조건을 나타내고 있다.

Fig. 4는 표면 거칠기 측정사진을 나타내고 있다. 측정을 위하여 Table 1에 설명된 VC-10 표면 거칠기 측정 장비에 공작물이 체결되어있다. Fig. 5는 측정지점을 나타내고 있다. 측정의 신뢰도를 높이기 위해 A, B, C, D의 각 4 지점에 대해 4mm씩 측정 후 그 평균값을 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서 선정한 인자들이 특성치인 표면 거칠기에 미치는 영향을 분석하기 위해 실험을 통해 얻은 데이터를 통계적 방법으로 분석하였다. 통계적 분석에는 상용소프트웨어 MINITAB 을 사용하여 분산분석을 수행하였다.

3.1 표면 거칠기 측정 및 분석

Table 3은 선삭 가공에 대한 실험배치 및 실험 결과를 나타내고 있다.

Table 4는 표면 거칠기에 대한 분산분석을 나타내고 있다. 분산분석표에서 95%의 유의수준으로 볼 때 p값이 0.05 보다 작을 경우 그 인자는 특성치에 유의한 것으로 볼 수 있다^[12]. 공작물의 표면 거칠기에는 이송

속도의 주 효과가 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Table 3 Result according to design of experiments

Run order	Cutting speed [m/min]	Feed rate [mm/rev]	Angle [°]	Roughness Ra [μm]
1	0	0	0	0.77
2	0	1	-1	2.07
3	-1	1	0	2.58
4	-1	-1	0	0.27
5	-1	0	-1	1.19
6	0	0	0	0.99
7	1	0	-1	1.21
8	-1	0	1	0.80
9	0	-1	-1	0.32
10	0	1	1	1.38
11	1	-1	0	0.31
12	0	-1	1	0.32
13	0	0	0	0.83
14	1	1	0	1.25
15	1	0	1	0.70

Table 4 The result of ANOVA for surface roughness

Factor	DF	SS	MS	F	P
Cutting speed	1	0.017	0.676	4.000	0.080
Feed rate	1	1.097	1.928	7.060	0.029
Angle	1	0.377	0.377	2.240	0.173
Cutting speed * Feed rate	1	3.962	0.469	2.780	0.134
Feed rate * Angle	1	0.007	0.119	0.700	0.426
Angle * Cutting speed	1	0.092	0.314	1.860	0.210
Error	8	1.352	0.169		

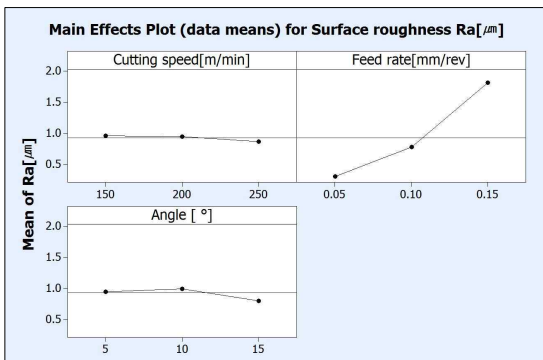


Fig. 6 Main effects plot for surface roughness

Fig. 6은 표면 거칠기에 대한 주 효과의 크기를 비교하기 위해 그래프로 나타낸 것이다. 여기서 수평선은 총 평균을 나타내며, 점은 각 수준에서의 평균을 뜻한다.

표면 거칠기에는 이송속도의 효과가 가장 크고 그 다음 테이퍼 각, 절삭속도의 순서로 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 절삭속도는 표면 거칠기에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타났다. 이는 시편재질인 Al6061 이 연한재료인데 이에 비해 절삭속도를 낮게 선정해서 절삭 시 발생할 수 있는 공구와 공작물의 상대적 영향이 작았던 것으로 판단된다. 시편 재료를 강재 등의 강한 재료를 사용하면 더 큰 영향을 미칠 것이다. 이송속도는 본 연구에서 고려한 절삭조건외 범위에서 낮을수록 표면 거칠기에 좋은 결과를 얻는 것으로 나타났다.

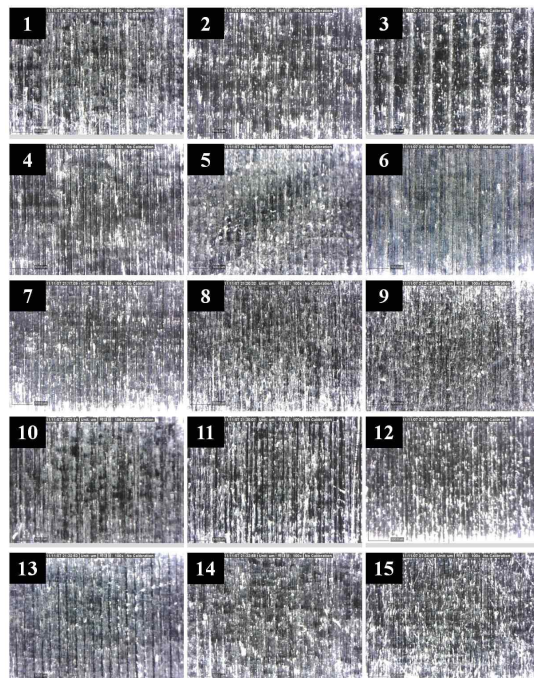


Fig. 7 Characteristics of the workpiece surface in photomicrograph

3.2 표면형상

Fig. 7은 Table 3의 실험배치에 따라 15case의 조건들로 절삭가공 후 표면 형상을 현미경으로 촬영한 사진이다. 각각의 가공조건들이 공작물의 표면 거칠기에

영향을 미치고 있으나 현미경 사진에서는 각각의 가공조건에 대한 뚜렷한 특징을 찾기 어렵다. 향후 가공조건을 추가하고 실험의 수를 늘리면 그 경향을 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 공작물의 테이퍼 각이 표면 거칠기에 미치는 영향을 분석하기 위해서 절삭속도, 이송속도 등의 절삭조건을 선정하고, Al6061에 대해 원통 외경 선삭 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 통계적 기법을 이용하여 분석한 결과, 본 연구에서 주어진 가공조건인 절삭속도, 이송속도, 테이퍼 각에서 표면 거칠기에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 이송속도, 테이퍼 각, 절삭속도의 순서로 나타났다.
2. 본 연구에서 주어진 가공조건에서 절삭속도 150m/min, 이송속도 0.05mm/rev, 테이퍼 각 10°일 때, 표면 거칠기가 0.27 μ m로 가장 좋게 나타났고, 절삭속도 150m/min, 이송속도 0.15mm/rev, 테이퍼 각 10°에서 표면 거칠기가 2.58 μ m로 가장 나쁘게 나타났다.
3. 이송속도가 낮을수록, 절삭속도가 높을수록 표면 거칠기가 좋아지는 것으로 나타났다. 이는 선삭가공 시 이송속도와 절삭속도가 공작물에 영향을 미치는 일반적인 경향과 일치한다. 테이퍼 각은 이송속도와 절삭속도의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다.

본 실험에서는 절삭속도, 이송속도, 테이퍼각 등 3가지의 가공조건에 대해 각 3 수준으로 나누어 실험을 진행하였다. 향후 연구에서는 본 연구에서 얻은 정보를 바탕으로 수준을 더 세분화하고, 윤활조건과 절삭깊이 등을 추가하여 테이퍼 각이 표면 거칠기에 미치는 영향에 관한 연구를 수행할 예정이다.

후 기

이 논문은 2009~2010년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Dornfeld, D. and Lee, D. E., "Precision Manufacturing", Springer, pp. 37-48, 2007.
2. Zhou, J. M., Andersson, M. and Stahl, J. E., "Identification of cutting errors in precision hard turning process", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 153-154, pp. 746-750, 2004.
3. Topal, E. S. and Cogun, C., "A cutting force induced error elimination method for turning operations", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 170, pp. 192-203, 2005.
4. Abouelatta, O. B. and Madl, J., "Surface roughness prediction based on cutting parameters and tool vibrations in turning operations", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 118, pp. 269-277, 2001.
5. Palanikumar, K., Mata, F. and Davim, J. P., "Analysis of surface roughness parameters in turning of FRP tubes by PCD tool", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 204, pp. 469-474, 2008.
6. Lalwani, D. I., Mehta, N. K. and Jain, P. K., "Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 206, pp. 167-179, 2008.
7. Hwang, Y. K. and Lee, C. M., "Prediction of Relative Deformation between Cutting Tool and Workpiece by Cutting Force", Journal of the KSPE, Vol. 27, No. 9, pp. 86-93, 2010.
8. Asilturk, I. and Akkus, H., "Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method", Measurement, Vol. 44, pp. 1697-1704, 2011.
9. Shin, S. W., Hwang, Y. K. and Lee, C. M., "Correlation Analysis between Cutting Conditions and Cylindricity in MQL Turning", Journal of KSMPE, Vol. 8, No. 3, pp. 74-81, 2009.
10. Kang, Y. K., Cho, J. W. and Kim S. I., "Feed Optimization Based on Virtual Manufacturing for High-Efficiency Turning", Journal of KSME, Vol.

31, No. 9, pp. 960-966, 2007.

11. TaeguTec LTD., "Catalogue-Turning Application", 2003.

12. Eretec LTD., "New minitab", Eretec LTD, pp. 513-567, 2005.