

◆특집◆ 선삭 가공 공정의 가공 정밀도 향상

선삭가공에서의 테이퍼 홈 절삭특성에 관한 연구

최치혁*, 김동현*, 이춘만#

A Study on Cutting Characteristic of Tapered Groove in Turning

Chi-Hyuk Choi*, Dong-Hyeon Kim*, Choon-Man Lee#

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

ABSTRACT

In recently, it is demanded development of manufacturing techniques for machining of various mechanical parts. Therefore the development of turning is one of the important manufacturing techniques. In this study, an experimental shape in tapered groove turning was suggested, and the turning process was investigated by analyzing cutting speed, feed rate, tapered angle, depth of cut. The surface roughness and cutting force change in the workpiece was measured. From the results, the optimum machining conditions are obtained by design of experiments.

Key Words : Tapered Groove(테이퍼 홈), Turning(선삭), Cutting Force(절삭력), Surface Roughness(표면조도)

1. 서 론

근래 산업의 발전과 더불어 공작기계 시장이 크게 성장하였다. 공작기계 시장의 성장에 가장 크게 기여한 것이 기계부품 사업을 들 수 있다. 그중에서 소형에서 대형까지 가장 많이 적용되는 가공이 선삭가공(turning)이다. 과거 선삭가공은 선반(lathe)의 개발을 통해 가공기술을 개발하였지만, 근래에는 머시닝센터(machining center), 복합머신 등 여러 장비에서도 가능하게 되었다. 하지만, 근래 복잡한 부품개발에서 보다 고정밀, 고능률 선삭기술이 요구되면서, 여러 가지 가공능력을 가진 머시닝센터 등의 장비에서 가

공기술의 한계를 보이고 있다. 이에 선삭가공 기술개발이 특히 요구되고 있는 실정이다. 선삭가공 기술개발을 위하여 선반, 복합선반, 자동선반(swiss turn lathe) 등의 선삭가공 기술개발을 위한 공작기계 개발도 이루어지고 있다. 현재까지 선삭가공의 기본적인 가공특성 및 가공 소재특성에 관한 연구는 많이 진행되어왔다^[1-4]. 더불어, 공구의 적용을 통한 가공기술 개발 연구^[5], 가공 칩에 따른 가공특성 분석 등의 연구도 많이 이루어지고 있으며^[6], 일부 연구자에 의해서 테이퍼 형태에 대한 가공특성 연구가 이루어지고 있다^[7-10]. 본 연구에서는 실험계획법(Design of experiments)을 이용하여 선삭가공에서 테이퍼 형태를 가진 소재에 홈(groove) 가공을 하고, 절삭력, 표면조도, 표면형상 분석을 통하여 가공특성을 파악하고 선삭가공에 있어 효율적인 가공데이터를 제시하고자 한다.

* 창원대학교 기계설계공학과

교신저자 : 창원대학교 기계설계공학과

E-mail : cmlee@changwon.ac.kr

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

실험에 사용된 시편은 길이 100mm, 직경 100mm 환봉을 가공시간을 줄이기 위해서 Fig. 1과 같은 형태로 사전 가공을 실시하여 사용하였다. 테이퍼 각도는 15°, 척 고정부와 가공 끝단은 직경 40mm 형태로 가공되었다. 실험에 사용된 소재의 재질은 Al6061을 선택하였다. Fig. 2는 가공을 위한 실험 장치를 구축하였다. 선삭 절삭가공 실험을 위해서 CNC선반을 사용하였으며, 공구동력계(Dynamometer)와 공구동력계의 전압을 증폭시키기 위하여 전압증폭기(Amplifier)를 장비에 부착하여 절삭력을 측정하였으며, 가공 후 피삭재의 형상정밀도 측정을 위해 축척식 형상측정기를 통하여 형상정밀도와 표면 거칠기(Surface roughness)를 확인하였다.

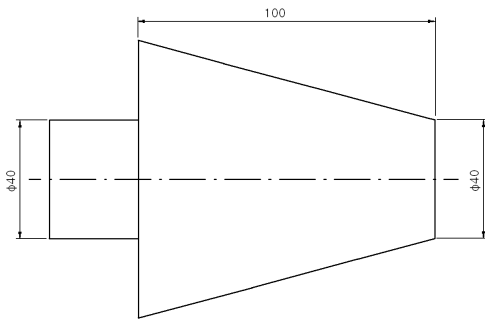


Fig. 1 Shape and dimensions of test specimen

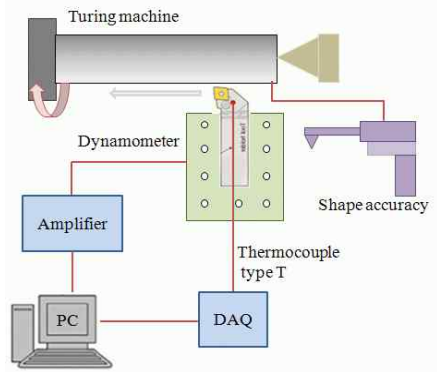


Fig. 2 Experimental set up

2.2 실험조건 및 방법

연속 본 연구에서 가공특성 분석을 위해 필요한 주요 인자와 수준은 Table 1과 같이 선정하였다. 주요인자들로는 절삭속도, 이송속도, 절삭 깊이 및 테이퍼각도를 선정하였으며, 수준은 각 3조건을 사용하여 실험을 하였다. 실험의 횟수를 줄이기 위하여 절삭속도, 이송속도, 경사각에 대하여 실험계획법을 적용함으로 절삭속도, 이송속도, 경사각에 대하여 15회의 실험 조건을 선택하였다. 또한, 홈 가공에서 영향력을 크게 미칠 수 있는 절삭 깊이에 대해서는 15조건에 대해 전체 수준을 선정하였다.

Table 1 Experimental conditions

Factors	Levels
Cutting speed [m/min]	150, 200, 250
Feed rate [mm/rev]	0.05, 0.1, 0.2
Depth of cut [mm]	0.1, 0.2, 0.3
Tapered angle [°]	5, 10, 15

실험은 가공조건 선정과 관련하여 Fig. 3과 같이 각 테이퍼 각(θ)에 대하여 3가지 절삭 깊이를 한 시편에서 가공을 실시하였다. 각 절삭 깊이별 거리는 10mm, 가공구간은 5mm로 선정하였다. 테이퍼 단에 대한 절삭 깊이 선정은 가공길이가 끝나는 부분의 절삭 깊이가 고려되어야 한다.

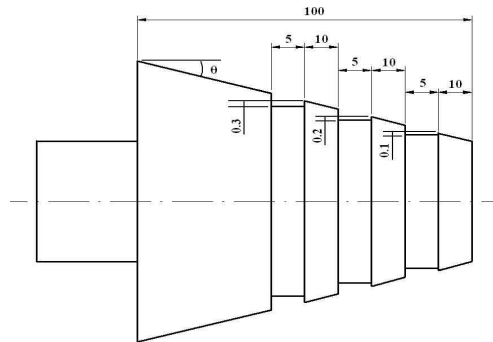


Fig. 3 Cutting method by depth of cut

3. 실험결과 및 고찰

3.1 절삭력

Fig. 4는 절삭력 측정을 위하여 공구동력계를 설치하여 실험 가공 모습을 보여주고 있다. 절삭력은 절삭 속도, 이송속도, 테이퍼 각도, 절삭 깊이에 따라 차이가 나지만, Fig. 5와 같이 각 구간별 유사한 경향을 보여주고 있다. 절삭력 측정에 있어서 노이즈 발생과 소재의 홈 가공이라는 특수한 경우에 대한 절삭력이 적으며 그 경향만을 파악 할 수 있다.

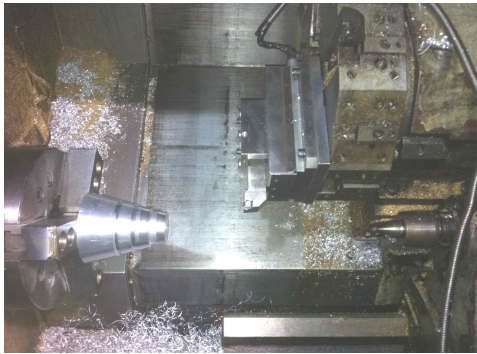


Fig. 4 Experimental set up for measuring cutting force

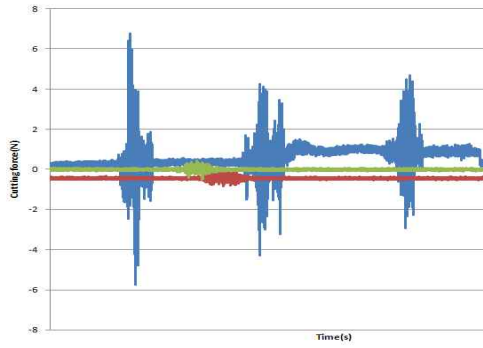


Fig. 5 Measured cutting force

3.2 표면조도

Table 2는 실험 조건에 대하여 표면 조도에 대한 결과를 나타낸 것이다. 절삭속도, 이송속도, 테이퍼 각도에 따라 절삭 깊이 표면조도의 결과이다.

Table 2 Results according to experiments

Run order	Cutting speed [m/min]	Feed rate [mm/rev]	Angle [°]	Roughness[Ra] by depth of cut		
				0.1	0.2	0.3
1	200	0.1	10	1.555	1.743	1.874
2	200	0.2	5	2.848	2.844	2.583
3	150	0.2	10	2.914	3.143	3.368
4	150	0.05	10	0.717	0.492	0.544
5	150	0.1	5	0.413	1.217	1.041
6	200	0.1	10	1.307	1.377	0.981
7	250	0.1	5	0.487	1.856	1.179
8	150	0.1	15	1.351	1.497	1.416
9	200	0.05	5	0.687	0.912	0.600
10	200	0.2	15	2.573	2.609	2.574
11	250	0.05	10	0.654	0.593	0.596
12	200	0.05	15	0.521	0.526	0.544
13	200	0.1	10	1.283	1.333	1.129
14	250	0.2	10	2.712	2.689	2.342
15	250	0.1	15	1.064	1.142	1.166

Fig. 6은 이송속도 0.2mm/rev에서의 절삭속도별 절삭 깊이에 대한 표면조도를 보여주고 있다. 경향을 보면 절삭속도 변화에 따라서 표면조도의 변화가 다른 실험 조건의 경향보다 크지 않은 것을 확인 할 수 있다. 이는 본 연구의 가공조건 중 절삭속도가 표면조도의 변화에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단 할 수 있다.

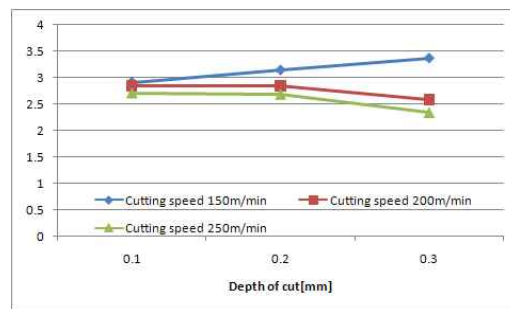


Fig. 6 Surface roughness by depth of cut and cutting speed in feed rate 0.2mm/rev

이송속도, 테이퍼 경사각, 절삭 깊이만 표면조도에 주로 영향을 미침을 확인하였다. Fig. 7은 절삭속도 200m/min일 때 이송속도별 절삭 깊이에 대한 표면조도, Fig. 8은 절삭속도 200m/min일 때 테이퍼 경사각별

절삭 깊이에 대한 표면조도를 나타내었다. 이송속도를 감소시킬수록 표면조도가 향상되는 경향을 확인하였다. 테이퍼 각도에 따른 표면조도는 가공방법보다는 칩의 원활한 배출과 밀접한 연관성을 보인다고 판단된다. 실험 결과 이송속도, 테이퍼 각도별 경향을 보이지만 절삭 깊이 0.2mm보다 0.3mm에서 표면조도가 좋은 결과를 보이는 것은 절삭 깊이가 일정구간 이상을 가공할 때 칩의 발생과 연관되어 절삭칩에 의한 문드러짐 현상이 발생되었다고 판단할 수 있다.

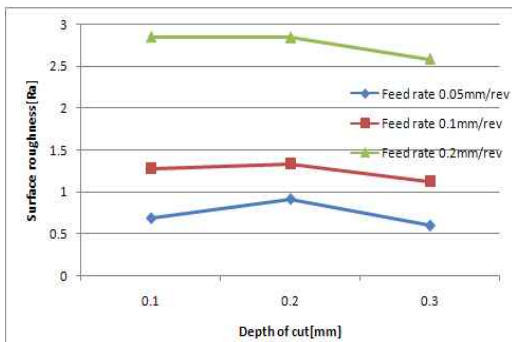


Fig. 7 Surface roughness by depth of cut and feed rate in cutting speed 200m/min

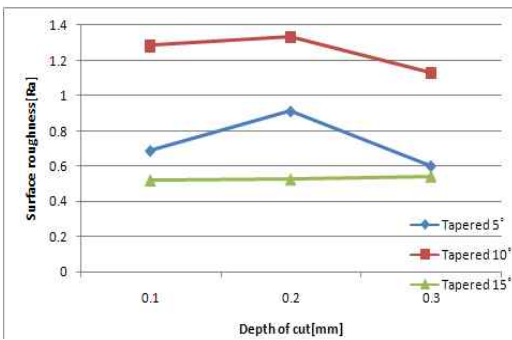


Fig. 8 Surface roughness by depth of cut and tapered angle in cutting speed 200m/min

절삭조건 중 가장 영향력이 적은 것으로 판단되는 절삭속도를 제외하고 이송속도, 테이퍼 경사각, 절삭 깊이를 실험계획법인 반응표면법을 이용하여 분석을 실시하였다. Fig. 9는 실험결과를 바탕으로 다중반응 최적화를 분석한 결과를 보여주고 있다. 반응 변수가 하나 또는 여러 개일 때 이들 반응 변수의 목표 값을

만족시키는 인자의 최적조합을 찾아내었다.

본 연구의 조건에서 표면조도가 가장 좋은 최적화된 조건은 이송속도 1.916mm/rev, 절삭 깊이 0.273mm, 테이퍼 각도 14.28°일 때임을 찾아내었다.

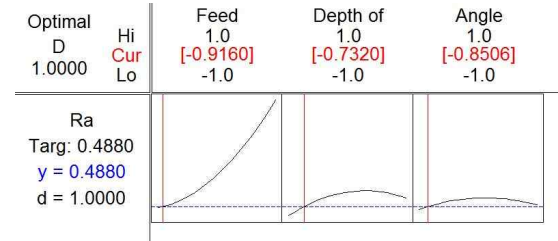
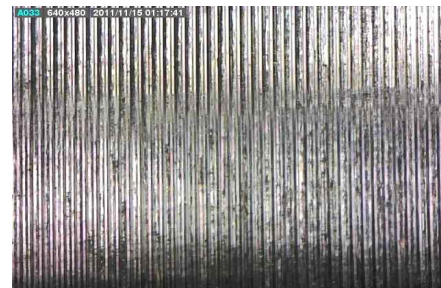


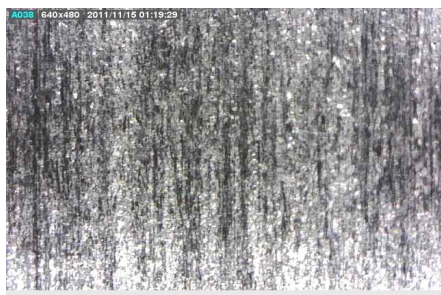
Fig. 9 Overlaid plot according to design of experiments

3.3 표면형상

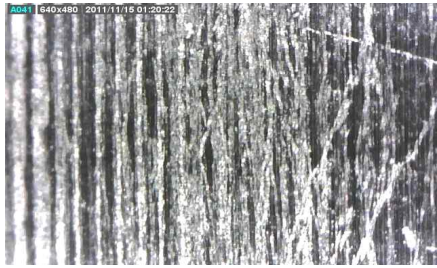
Fig. 10은 가공 결과물에 대하여 테이퍼 각도별 표면 형상을 보여주고 있다. 형상 결과 선삭가공에서 이송 속도에 따른 표면형상 경향을 확인 할 수 있다. 그러나 일부 구간에서 표면조도 결과에서 예측된 칩 발생에 의한 문드러짐 현상을 확인 할 수 있다.



a) Surface shape in tapered angle 5°



b) Surface shape in tapered angle 10°



c) Surface shape in tapered angle 15°
Fig. 10 Photographs of the surface shape

4. 결 론

본 연구에서는 선삭가공에서의 가공기술 개발을 위하여 테이퍼 형태의 소재에 홈 가공을 실시하여 절삭 속도, 이송속도, 테이퍼 각도, 절삭 깊이 등이 고려된 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 테이퍼 홈 선삭 가공시 절삭속도, 이송속도, 테이퍼 각도 중 절삭속도가 가장 적은 영향을 보인다고 판단할 수 있다.
2. 본 연구의 테이퍼 형태 소재에 홈 가공을 하는 경우 실험계획법을 통하여 표면조도가 가장 좋은 최적 조건은 이송속도 1.916mm/rev, 절삭 깊이 0.273mm, 테이퍼 각도 14.28°일 때임을 확인하였다.
3. 본 실험의 표면조도와 표면형상 결과 일정 절삭 깊이 이상으로 가공시 절삭 칩 발생에 따른 문드러짐 현상에 의한 표면조도 이상 현상이 발생하였다. 이는 실제 가공에서 지속적인 칩 제거가 불가능하기 때문에 적정 절삭 깊이의 선정이 매우 중요하다. 소재별 칩 말림 현상이 발생하는 절삭 깊이 선정이 반드시 필요할 것으로 판단된다.

차후 보다 많은 실험을 통하여 칩 말림 및 표면 문드러짐 현상 발생을 고려한 절삭속도, 이송속도, 테이퍼 각도, 절삭 깊이에 따른 최적조건 선정에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

후 기

이 논문은 2011~2012년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Choi, T. K., Kim, J. S., Park, J. H. and Lim, H. J., "The Machinability Estimation Depending on Cutting Condition in Al6061-T6 Turning Operations", Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineering, Vol. 18, No. 12, pp. 675-680, 2009.
2. Fung, Eric H. K., Cheung, S. M. and Leung, T. P., "The implementation of and error forecasting and compensation system for roundness improvement in taper turning", Computers in Industry, Vol. 35, pp. 109-120, 1998.
3. Yoon, Y. S. and Lee, S. J., "Prediction the Surface Profile in the Single Point Diamend Turning", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 189-198, 1994.
4. Hwang, Y. K., Chung, W. J. and Lee, C. M., "Experimental Study of Cutting Force and Surface Roughness Prediction in MQL Turning Al 6061", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 159-167, 2008.
5. Cho, G. J. and Park, J. N, "A Study on the Cutting Characteristic in the Turning using TiAlN Coated Tools", Proc. of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Conference, pp. 69-74, 2005.
6. Sim, G. J., Cheong, C. Y., Oh, S. H. and Seo, N. S, "A Study on the Classification and Prediction of the Chip Type under the Specified Cutting Conditons in Turning", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 53-62, 1995.
7. Ssengonzi, J. B., Lee, J. M. and Yum, Y. H., "A Study on the Prediction of the Limiting Depth of Cut in Dynamic Cutting of a Tapered Workpiece", Transaction of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 6, No. 3, pp. 271-281, 1982.
8. Eyup, S. T., Can, Cogun, "A cutting force induced error elimination method for turning operations", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 170, pp. 192-203, 2005.
9. Lee, M. J., Hwang, Y. K. and Lee, C. M, "A Study on the Development of Analysis Model for Prediction

- of Relative Deformation between Cutting Tool and Workpiece", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 27, No. 4, pp. 20-26, 2010.
10. Shin, D. S., Lee, J. H., Lim, S. H., Kim, J. D. and Lee, S. J., "Cutting Characteristics on Rake Angle in Laser-Assisted Machining of Silicon Nitride", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 26, No. 4, pp. 47-54, 2009.