

실험계획법을 이용한 마이크로밀링기의 최적절삭조건 설정 Optimum cutting conditions of a micro milling machine tool by using DOE

*장성현¹, 심광섭¹, 김찬봉², 박종권³, #최영휴¹

*S. H. Jang¹, K. S. Sim¹, C. B. Kim², J. K. Park³, #Y. H. Choi(yhchoi@changwon.ac.kr)¹

¹창원대학교 기계설계공학과, ²㈜바텍, ³한국기계연구원

Key words : Design of experiment, SN ratio, Micro milling machine tool, Surface roughness

1. 서론

최근 마이크로팩토리(Micro-Factory)에 관한 연구가 일본, 유럽, 미국뿐만 아니라 국내에서도 꾸준히 진행됨에 따라 여러 형태의 마이크로팩토리 시스템이 실용화단계에 접어들고 있으며, 다양한 마이크로 공작기계가 개발되고 있는 실정이다.

그리고 마이크로 공작기계는 마이크로/메소 스케일의 가공이 가능해야 함으로 가공정밀도에 대한 성능지표가 상당히 중요하다. 그런데 이러한 가공정밀도는 마이크로 공작기계의 구조본체 동특성, 고속스핀들의 회전체특성, 마이크로 절삭공구의 칩킹 강성, 공구와 공작물간의 상대적인 진동에서 발생하는 chatter현상 등 다양한 요인들에 의해 영향을 받을 수 있다. 그러므로 여러 요인들을 모두 고려하여 가공정밀도가 향상된 최적의 절삭조건을 구한다는 것은 쉽지 않은 부분임에 틀림없다. 그러나 실제 가공조건의 변화에 따른 가공시험을 통해 실험적으로 안정적인 절삭구간을 구할 수는 있다.

따라서 본 논문에서는 마이크로밀링기의 가공정밀도가 높은 절삭조건을 실험적으로 찾고자 하며, 부분적인 영역이긴 하지만 절삭조건과 관계된 인자들로부터 실험계획법(design of experiment, DOE)을 이용해 최적의 절삭조건을 찾고자 한다.

2. 실험 조건 선정

본 연구의 실험대상은 3축 마이크로밀링기로서 본체의 크기는 $300 \times 200 \times 320 \text{ mm}^3$ 이며, 최대 가공 영역은 $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ 의 소형공작기계이다. 구조물 재질은 알루미늄 합금(Al 7079)이며, 장착된 스핀들은 5,000 ~ 60,000 rpm의 작동범위를 가진다.

최적절삭조건 선정을 위하여 실험계획법 중에서 다구짜 기법을 사용하였으며, 가공성능에 영향

을 미치는 제어인자로 공구직경(tool diameter) d , 스핀들 회전속도(rotation speed) N , 절삭깊이(depth of cut, DOC) 및 이송속도(feed rate) F 로 두었다.

이러한 제어인자는 Table 1에서와 같이 각각 3개의 수준을 가지며, 실험인자들을 Table 2의 직교배열표와 같이 배치시켰다.

Table 1 Factors and levels

Control factor	Level		
	1	2	3
d (mm)	0.2	0.5	1.0
N (rpm)	25,000	40,000	50,000
DOC (mm)	0.05	0.1	0.15
F (mm/s)	0.05	0.1	0.15

Table 2 Layout of control factors

Exp. no.	d (mm)	N (rpm)	DOC (mm)	F (mm/s)
1	0.2	25,000	0.05	0.05
2	0.2	40,000	0.1	0.1
3	0.2	50,000	0.15	0.15
4	0.5	25,000	0.1	0.15
5	0.5	40,000	0.15	0.05
6	0.5	50,000	0.05	0.1
7	1.0	25,000	0.15	0.1
8	1.0	40,000	0.05	0.15
9	1.0	50,000	0.1	0.05

가공실험을 위한 절삭시편은 AI 6061재질이며, 직교배열표의 절삭조건에 따라 절삭시편에 $4 \times 6 \text{ mm}^2$ 의 평면절삭을 수행하였다.

각각의 조건하에서 3회 실험을 수행하여 전체 절삭시간(machining time)과 표면조도(surface roughness)를 측정하였다. 이 결과로부터 식 (1)과 같은 망소특성식을 이용해 SN비를 도출하였다.

$$SNratio = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

3. 실험 결과 및 분석

Fig. 1은 각각의 실험에 따른 표면조도와 가공시간을 나타낸 그래프이며, Fig. 2는 망소특성식으로부터 구한 표면조도와 가공시간에 대한 SN비이다.

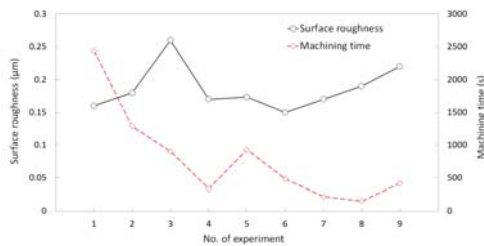


Fig. 1 Test result

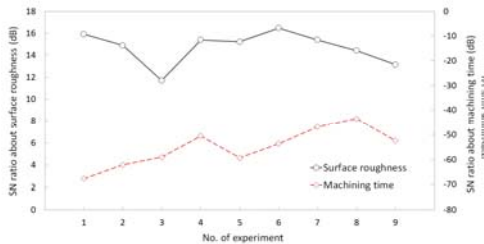


Fig. 2 SN ratio for surface roughness and machining time

각 실험에 대한 SN비로부터 제어인자의 수준에 따른 SN비를 분석할 수 있으며, 인자의 SN비가 클수록 우수한 결과를 이끌어 낸다. Table 3과 Table 4에 각각 표면조도와 가공시간에 대한 수준별 SN비를 나타내었다. 그 결과 절삭시간과 표면조도에 대한 최적절삭조건은 다음과 같다.

절삭시간 : $d = 1.0 \text{ mm}$, $F = 0.15 \text{ mm/s}$

표면조도 : $d = 0.5 \text{ mm}$, $N = 25,000 \text{ rpm}$,
 $DOC = 0.05 \text{ mm}$, $F = 0.1 \text{ mm/s}$

Table 3 Table of SN ratio about machining time

Control factor	SN ratio		
	1	2	3
Tool diameter	-62.99	-54.51	-47.58
Rotation speed	-55.03	-55.01	-55.05
Depth of cut	-54.98	-55.04	-55.06
Feed rate	-59.83	-54.20	-51.05

Table 4 Table of SN ratio about surface roughness

Control factor	SN ratio		
	1	2	3
Tool diameter	14.17	15.68	14.32
Rotation speed	15.57	14.85	13.78
Depth of cut	15.61	14.48	14.11
Feed rate	15.18	15.59	13.84

4. 결론

본 연구에서는 마이크로밀링기의 최적절삭조건을 실험적으로 구하였다. 표면조도에 따른 최적절삭조건은 인자들 간의 복합적인 영향도가 있을 수 있는 반면 절삭시간에 대한 최적절삭조건은 공구직경과 이송속도에 지배적인 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 지식경제부 청정제조기반 산업원천 기술개발사업인 “차세대 BT Micro-Factory 시스템 기술 개발”의 지원으로 연구되었습니다.

참고문헌

1. Taguchi, G., Chowdhury, S. and Wu, Y., Taguchi's Quality Engineering Handbook, Wiley, New Jersey.
2. Lee, J. H., Ko, T. J. and Baek, D. G., "A Study on Optimal Cutting Conditions of MQL Milling Using Response Surface Analysis," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, **26(1)**, 43-50, 2009.