

최적 조건에서의 가공을 통한 직선축의 기하학적 오차 검증

Verification of Measured Geometric Error of a Linear Axis by Machining under Optimal Conditions

*이광일¹, 김문준¹, #양승한¹

*K. I. Lee¹, M. J. Kim¹, #S. H. Yang(syang@knu.ac.kr)¹

¹ 경북대학교 기계공학부

Key words : Linear axis, Geometric Error, Compensation, Verification by machining, 2^k factorial design

1. 서론

공작기계는 구성요소의 불완전함으로 인해 다양한 오차를 가지며, 이 중 기하학적 오차는 가공면의 형상오차에 악영향을 미치는 주요 요인이다. 볼바, 레이저 간섭계 등을 사용한 기하학적 오차의 측정 및 보정에 관한 연구는 많이 이루어졌다. 하지만 측정된 기하학적 오차를 가공을 통해 보정 여부를 검증한 연구는 미흡하다.

본 논문에서는 직선축의 진직도 오차를 측정 및 보정하고, 이를 검증하기 위해 보정 전후에 가공된 시편의 형상 오차를 측정하여 비교한다. 이때 가공 오차를 최소화하는 최적 가공 조건을 결정하는 실험을 진행한다.

2. 최적 가공 조건 결정

밀링 가공에서 가공물의 표면 거칠기에 영향을 미치는 주요 인자는 Fig. 1 과 같이 주축의 회전속도(S), 테이블의 이송속도(F) 및 절삭깊이(D)이다.

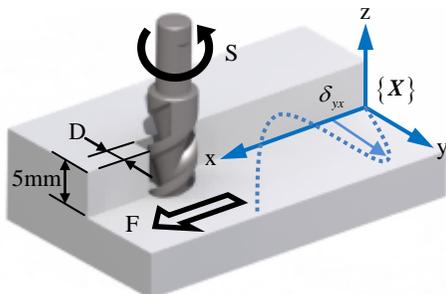


Fig. 1 Main factors of side milling

Table 1 Experimental conditions

Factor	Level	
	(High)	(Low)
Spindle speed (rpm)	4000	2000
Feed rate (mm/min)	500	200
Depth of cut (mm)	0.5	0.2

Table 2 Experimental results

Exp. No.	S (rpm)	F (mm/min)	D (mm)	Roughness (μm)
1	2000	200	0.2	0.195
2	2000	200	0.5	0.180
3	2000	500	0.2	0.440
4	2000	500	0.5	0.440
5	4000	200	0.2	0.195
6	4000	200	0.5	0.198
7	4000	500	0.2	0.240
8	4000	500	0.5	0.260

각 인자를 Table 1 과 같이 2 수준으로 선정하여 각 조건에서 2 회 반복 실험한다.

실험은 3-축 공작기계 SPT-T30 에서 Φ10 의 HSS 플랫 엔드밀을 사용하여 AL6061 시편을 절삭 깊이 5mm 로 건식 측면 가공한다. 각 수준에서 측정된 표면 거칠기 Ra 는 Table 2 와 같다. 실험 번호 3,4 는 다른 인자와 수준에 비해 주축의 회전속도는 낮고 이송속도가 높아서 공구 1 개 낱당 절삭체적이 증가하여 표면 거칠기가 높게 나타난다.

인자에 따른 시편의 표면 거칠기의 분산분석 결과를 Table 3 에 나타낸다. 테이블의 이송 속도, 주축의 회전속도와 이 두 인자의 교호 작용은 표면 거칠기에 영향이 크지만, 절삭깊이는 영향이 크지 않다.

Table 3 Results of ANOVA for surface roughness

Factor	S	Φ	V	F_0	P
S	0.0452	1	0.0452	49.15	0
F	0.1106	1	0.1106	120.33	0
D	0.0001	1	0.0001	0.06	0.811
SF	0.0473	1	0.0473	51.49	0
SD	0.0001	1	0.0001	0.06	0.811
FD	0.0005	1	0.0005	0.55	0.479
SFD	0.0000	1	0.0000	0.01	0.936
Error	0.0074	8	0.0009		
Total	0.2110	15			

Table 4 ANOVA of multiple linear regression model

Factor	S	Φ	V	F_0	P
Regression	0.156	3	0.052	11.283	0.0008
Residual Error	0.055	12	0.005		
Total	0.211	15			

표면 거칠기와 각 인자들의 관계는 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$Ra = 0.274 + 0.053S - 0.083F - 0.054SF \quad (1)$$

여기서 주축의 회전속도 S 가 증가하고 테이블의 이송속도 F 가 감소하면 표면 거칠기 Ra 는 증가한다. 회귀방정식의 신뢰성을 분석한 중회귀 분산분석 결과를 Table 4에 나타낸다. 결정 계수 R^2 은 73.9%의 정도를 나타내고, MSE가 0.0046으로 데이터의 산포가 작으므로 신뢰성은 양호하다.

3. 직직도 오차 보정 및 가공

직선축 X 의 y 방향 직직도 오차 δ_{yx} 를 평가하기 위해 레이저 간섭계로 측정하며, 측정 결과는 Fig. 2과 같다. 측정된 직직도

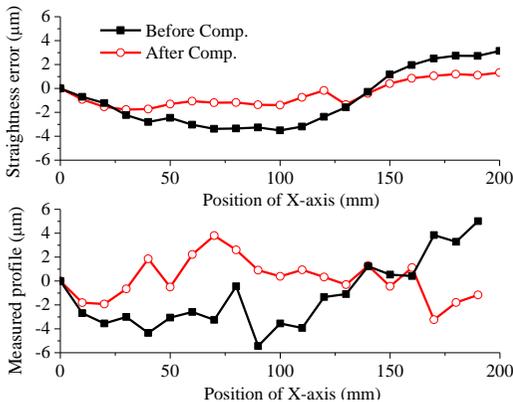


Fig. 2 Measured straightness error of the X-axis and measured profile of machined surfaces

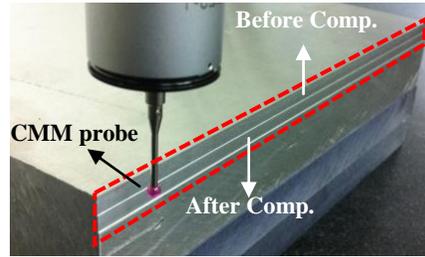


Fig. 3 CMM Measurement of machined surface

오차를 선형 근사하여 측정축과 테이블 이송축의 불일치로 인한 기울기를 제거한다. 직선축 X 의 10mm 간격마다 직직도 오차를 보정한다.

직직도 오차 보정 전후의 영향을 알아보기 위해 최적 가공 조건에서 시편을 200mm 건식 측면 가공하고, Fig. 3과 같이 CMM으로 형상 오차를 측정한다. 보정 전후의 시편 형상오차의 PV 값은 10.4 μ m에서 7.0 μ m로, 표준 편차는 2.9 μ m에서 1.2 μ m로 개선되었으며 이는 직직도 오차 보정의 타당성을 나타낸다. 여기서 잔류 형상 오차는 측정한 직직도 오차의 보정시 사용한 직선축 Y 의 백래쉬와 측정기 CMM의 측정 불확실도에 의한 것으로 추정된다.

4. 결론

본 논문에서는 측정한 기하학적 오차를 보정하고 가공을 통해 검증을 하였으며, 결론은 다음과 같다.

- 실험 계획법을 통한 최적 밀링 가공 조건을 결정함.
- 측정한 직선축의 오차를 보정하고 가공을 통해 가공면의 형상 오차 개선을 확인함.

후기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0020445), (No. 2012-0005856).

참고문헌

1. Montgomery, D., "Statistical Quality Control," 6th edition, Wiley, 549-587, 2009.