

가공면에서의 가공 오차 분석 및 평가

Analysis and Evaluation of Machining Error in a Machined Surface

*박성령¹, #양승한¹, 김태형²

*S. R. PARK¹, #S. H. YANG(syang@knu.ac.kr)¹, T. H. KIM²

¹경북대학교 기계공학부, ²두산인프라코어 주식회사

Key words : Machining error, OMM, Multi comparison

1. 서론

공작기계의 성능면에 있어 기술의 한계에 직면했다 할 만큼 고성능의 공작기계가 생산되고 있다. 일례로 일본의 Fanuc사에서 개발한 Robonano는 5축 초정밀 공작기계로 1nm의 분해능, 직선 구동축의 전 행정에 대하여 0.2 μ m의 진직도 및 회전 구동축에 대하여 0.05 μ m의 런아웃을 가진다¹. 하지만 공작기계의 성능만이 고정도 고품위의 가공물을 보장하는 것은 아니다. 특히 초정밀 공작기계로 가공한 공작물은 오차가 미소하여 오차의 제거가 필요할 경우 오차의 원인에 대한 파악이 더 중요해졌다. 즉 공작기계 자체의 성능뿐 아니라 가공에 의해 발생하는 오차에 대한 평가와 분석의 필요성이 대두되었다. 절삭 속도, 스피indle 회전 속도 및 절삭 깊이 등은 제어 가능한 가공 조건이지만 온도나 진동 등의 가공 조건은 특별히 제어하는 장치가 없으면 제어 불가능한 요소이다. 이렇듯 제어 불가능한 가공 조건 때문에 동일한 가공오차를 얻기는 어렵다. 하지만 이러한 가공오차 데이터들을 통계적으로 분석하면 가공오차의 균일성 여부를 판단할 수 있다. 여기서 가공오차의 측정 방법으로 OMM (On Machine Measurement) 시스템이 적합하다. OMM의 구조상 가공면에서 공작기계 자체 오차인 기하학적 오차의 측정이 불가능한 한계점이 있다². 하지만 본 논문에서는 이러한 특성을 이용하여 가공면에서 기하학적 오차를 제외한 나머지 오차인 가공오차를 측정하고자 한다. 이러한 가공오차를 측정 후 통계적 분석을 통하여 가공오차의 균일성을 평가한 후 가공 조건에 대한 세밀한 제어 여부에 대한 판단 기준을 제시하고자 한다. 제시한 방법론에 대한 실험으로 평면 가공을 수행하였다. 가공오차의 측정 방법으로 캡센서를 이용하여 OMM을 구성³하였으며 36점에 대하여 측정을 하여 평가하였다.

2. 개념 및 원리

공작물의 가공면은 여러 원인에 의해 오차의 형태로 원하는 형상과 다르게 가공이 된다. 고정밀의 가공물을 생산하기 위해서는 이러한 오차에 대한 보정이 필수적인데 이를 위해서는 먼저 오차 원인에 대한 분석이 선행되어야 한다. 형상 오차에 대한 원인을 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 동일 가공 조건 및 동일

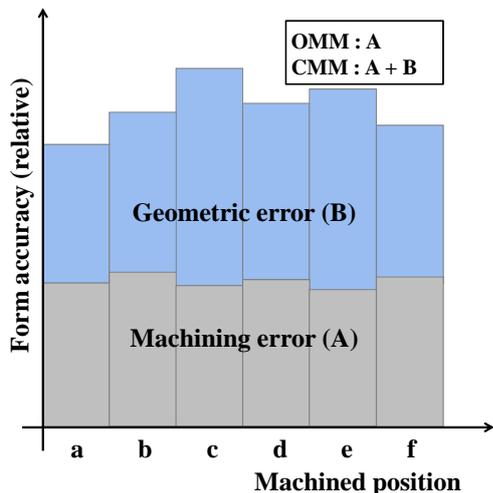


Fig. 1 Classification of errors in a machined surface

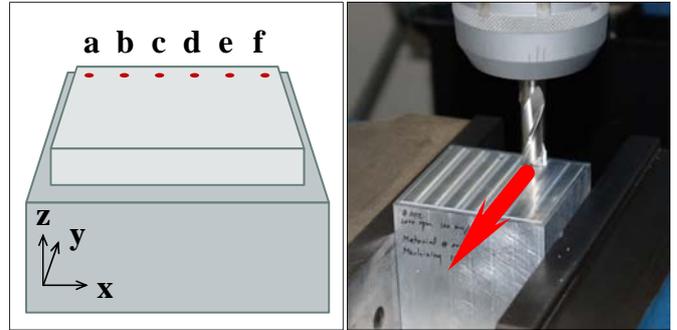


Fig. 2 Profile of surface to be machined

가공 지점에서 가공 때마다 변하는 오차에 대한 원인(Group A)과 변하지 않는 오차에 대한 원인(Group B)으로 분류된다. 여기서 Group A는 가공 때마다 그 값이 변하는 요소로 열, 진동 및 가공물의 균일성 등이 있고, Group B는 그 값이 변하지 않는 요소로 공작기계 자체 오차인 기하학적 오차 및 열에 의한 영향을 조절하기 위해 설정한 항온실의 온도 등과 같은 요소가 있다. 또한 큰 의미에서 Group A에 의한 오차는 보정 혹은 예측 불가능한 요소로 Group B에 의한 오차를 보정 혹은 예측 가능한 요소로 분류할 수 있다. Group A와 B의 분류 기준은 항상 일정하지 않고 공작기계의 설치 위치 등에 의해 변한다.

오차 원인의 제거는 현재의 기술력에도 영향을 받지만 공작기계가 항온실 안에 있는지 혹은 제진장치 위에 있는지도 영향을 받는다. 최고의 성능을 내기 위해서 현재 최고의 기술력으로 만들어진 공작기계 및 외부 장치를 이용하면 되지만 이는 비용에 대한 한계가 있다. 이렇듯 최소의 비용으로 사용자가 원하는 형상 오차를 구현하기 위해서 Group B와 같이 공작기계 자체에 존재하는 오차 원인이 아닌 Group A와 같이 외부 환경의 제어 여부에 대한 판단 또한 중요하다.

본 연구의 목적은 Group A에 의해 생기는 오차의 크기를 판단하여 그 원인의 제거 혹은 제어 여부를 판단하는데 있다. 이를 위해서는 Group A에 의해 생기는 오차를 측정해야 한다. 먼저 Group B를 보면 주된 요소가 기하학적 오차이다. 또한 제어부에 의해 CAM상에서 원하는 경로대로 움직이지 못해 생기는 오차도 있다. 하지만 xy 평면을 가공하게 된다면 제어부에 의해 생기는

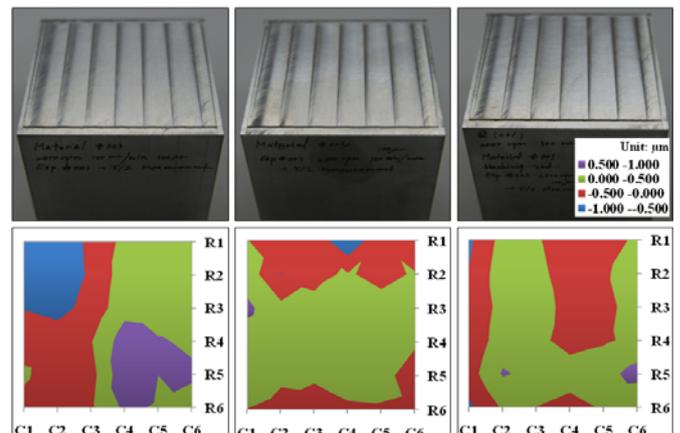


Fig. 3 Machined surfaces and its contour plots

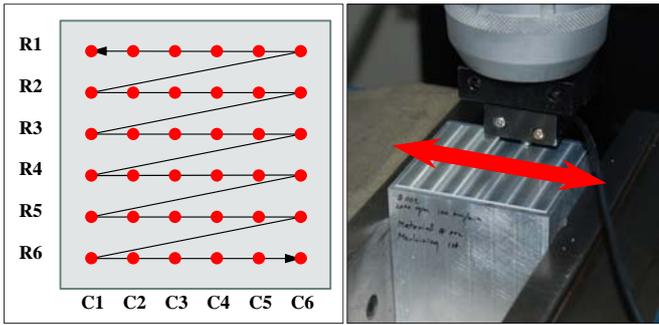


Fig. 4 Measurement path of machined surface

오차는 일정하게 생기더라도 평면의 정도에는 크게 영향을 미치지 않는다. 이러한 원리를 이용하면 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 기하학적 오차만을 분리하여 Group A에 의한 영향을 분석할 수 있다. 여기서 가공면에서 기하학적 오차만을 분리하여 측정하는 방법은 OMM을 이용한 방법으로 갱센서를 이용하여 구성하였다! 이러한 방식으로 구성된 OMM으로 여러 번 가공한 평면을 측정 후 이를 통계적으로 분석하면 측정 지점 사이의 관계를 분석할 수 있다. 이렇게 가공 지점들 사이에서 오차의 동일 여부를 판단하여 Group A의 의한 영향 여부를 판단하게 된다.

3. 가공 실험 및 통계적 분석

본 논문에서는 가공 실험에 대한 예를 보이기 위해 일반적인 3축 공작기계를 이용하여 평면을 가공하였다. 가능한 모든 가공 지점에서의 가공 조건을 균일하게 하기 위해 Fig. 2와 같이 (1) 가공 평면 테두리는 미리 단을 만들어 가공하였고, (2) a와 f 양 끝단에는 각각 한 줄 더 가공(총 8열 가공)을 수행하였으며, (3) 황삭을 수행하여 절삭 깊이를 일정하게 하였으며, (4) 가공 방향을 일정하게 설정하였다. 또한 가공 조건은 Table 1과 같이 설정하였다. 평면은 총 3회 가공하였으며 가공 때마다 동일한 G-code를 사용하였다. Fig. 3에서 가공 후 모습과 가공면을 등고선 형태로 나타냈다. 측정 지점은 6×6의 형태로 총 36점에 대하여 갱센서를 이용하여 한 가공면의 오차를 총 6회 측정하였다. Table 2를 보면 가공 순서는 C1열에서 C6열 순으로 수행했는데 오차가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 가공에 의해 발생한 열 때문인 것으로 보인다. 또한 갱센서를 이용하여 동일 지점을 정적으로 측정하게 되면 그 간격은 계속 증가하는 경향을 보였다. 이를 바탕으로 갱센서로 가공면을 측정할 때 같은 양상을 보일 것으로 예상하여 3회는 정방향으로 나머지 3회는 역방향으로 측정함으로써 열에 의한 영향을 상쇄시켰다. Fig. 4는 갱센서를 이용한 측정 방법과 경로를 나타낸다. 이렇게 측정할 경우 가공면의 측정치가 전반적으로 증가하는 경향을 보이는데 이는 최소자승법을 이용하여 3회의 가공면에 대한 기준면을 만들었다.

Table 2는 3회 가공 평면의 각 측정 지점(36점)에서 얻은 데이터의 평균을 구하여 나타낸다. 통계 기법 중 다중 비교를 이용하여 Group A에 의해 발생하는 오차를 가공 위치 사이에서의 동일 여부를 파악한다. 본 논문에서는 Tukey 방법을 이용하여 측정 데이터를 통계적으로 분석하였다⁴. 먼저 ANOVA표를 Table 3과 같이 구하였다. 유의 수준(α)은 5%, 처리에 의한 평균 개수(k)는 36개 및 자유도(r)는 72일 때 Studentized range 통계량은 5.75이다. 여기서 HSD(36,05)는 1.174가 나온다. Table 4는 다중 비교한 결과로 36점에 대하여 두 지점을 비교하기 위해서 630개의 조합

Table 1 Machining conditions

Material	AL6061
Spindle speed	2000 rpm
Feedrate	100 mm/min
Depth of cut	100 μ m
Coolant	None
Tool	ϕ 12 flat endmill

Table 2 Mean data of measured surface (Unit: μ m)

Index	C1	C2	C3	C4	C5	C6
R1	-0.463	-0.280	-0.177	-0.381	-0.082	-0.121
R2	-0.266	-0.333	-0.125	0.020	-0.037	0.134
R3	-0.129	-0.105	0.000	0.139	0.111	0.174
R4	-0.108	0.038	0.098	0.260	0.231	0.232
R5	0.074	0.120	0.112	0.531	0.388	0.250
R6	-0.250	-0.154	-0.164	0.083	0.139	0.039

이 나온다. 그래서 본 논문에서는 5개의 경우만을 표시하였다. Table 4에서 첫 번째 줄은 1번 지점(R1 및 C1)과 2번 지점(R2 및 C1)은 95%의 신뢰도를 가지고 다르지 않다는 것을 의미한다. 본 실험에서는 특별히 외부 환경을 제어하지 않고 실험 하였으나 균일한 외부 환경을 유지하기 위하여 야간에 실험을 수행하였다. 그 결과로 모든 지점에 대하여 95%의 신뢰도를 가지고 다르지 않다는 결론을 얻었다.

4. 결론

동일 가공 지점에서 발생하는 가공면의 오차는 가공 때마다 변하는 오차(Group A)와 변하지 않는 오차(Group B)로 분류된다. 본 논문에서는 가공 때마다 변하는 오차(Group A)에 대하여 통계적 방법으로 분석한 후 오차 원인에 대한 제어 여부를 판단하는 방법을 제시하였다. 제안한 방법에 대한 일례로 3축 공작기계를 이용하여 평면을 가공하였으며 다중 비교 중 하나인 Tukey 방법을 이용하여 가공면에서의 오차를 분석하였다. 그 결과 원하는 형상(평면)에 대하여 Group A에 속하는 열이나 진동 등의 변화량이 크지 않음을 제시하였다.

후기

본 연구는 지식경제부가 주관하는 전략기술개발사업의 지원으로 진행되었으며 지원 기관에 감사드립니다.

참고문헌

- www.fanuc.co.jp, Fanuc.
- 이상준, 김선호, 김옥현, "기계 체적오차가 고려된 가공형상-거칠기 측정 OMM 시스템," 한국정밀공학회지, 17권, 7호, 232-240, 2000.
- 박성령, 양승한, "기하학적 오차를 제외한 가공면의 오차 측정 방법," 한국정밀공학회 2009년도 춘계학술대회논문집, 579-580, 2009.
- Robert O. Kuehl, "Design of experiments: statistical principles of research design and analysis," 2nd edition, Duxbury press.

Table 3 ANOVA table

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	107	14.000	
Treatment	35	14.000	0.400
Error	72	9.000	0.125

Table 4 Comparison of measured errors between two points

Comparison	$ \bar{y}_i - \bar{y}_j $	95% CIT	Different ?
1 vs. 2	0.197	0.197 < 1.174	No
1 vs. 3	0.333	0.333 < 1.174	No
1 vs. 4	0.355	0.355 < 1.174	No
1 vs. 5	0.537	0.537 < 1.174	No
⋮	⋮	⋮	⋮
35 vs. 36	0.211	0.211 < 1.174	No