

회전테이블을 활용한 3축 가공기와 5축 가공기의 가공정밀도 비교

Machining Precision of 5-axis and 3-axis with Rotary Table Machining Center

김상훈*, 박동삼**

Kim Sang Hoon*, Park Dong Sam**

ABSTRACT

In this study, when a rotary table, an auxiliary device, was installed in the 3-axis machining center and the same performance as the 5-axis machining machine was completed, the similarity of machining was confirmed by comparing surface roughness and dimensional precision.

Key Words : Machining center, 3-axis machine, 5-axis machine, Surface roughness,
Dimensional accuracy

기호설명

Rmax = Maximum Roughness(um)

S = Feed speed(mm/rev)

Sz = Feed per cutter(mm/rev)

Rn = Nose radius(mm)

C, Cf = degree(°)

D = Diameter(mm)

1. 서론

3축 가공기는 X축, Y축, Z축을 사용한 3개의 축을 가지고 있으며 서보모터 구동을 통해 정밀한 가공이 가능한 현재 가장 많이 사용되고 있는 공작기계이다. 대표적으로는 머시닝 센터(machining center)가 있으며, 국가기술자격증 중 컴퓨터응용밀링기능사, 컴퓨터응용가공산업기사, 기계가공기능장 시험 등에 사용되며 기계가공분야에서 기초가 되는 기계로 볼 수 있다.

5축 가공기는 회전 이송축과 직선 이송축의 조합에 따라 이론적으로 720개의 형식이 구성될 수 있으나, 일반적으로 회전 이송축이 2개이고 직선 이송축이 3개 인 2R-3L 형식의 기계가 널리 사용되고[1] 조합에 따라 다양한 가공이 가능한 최첨단 공작기계이다. 6개의 축(X축, Y축, Z축, A축, B축, C축)을 다 활용한 6축 공작기계도 존재하지만 5축과 비교하였을 때 장점이 크지 않고, 더욱 많은 축을 가진 공작기계도 존재하지만 스핀들의 개수가 늘어날 뿐 실제로 움직이는 축은 5축 공작기계로 제한된다.

3축 가공기에서 보조기구인 회전 테이블(rotary table)을 설치하여 A, B축을 지정하면, 5축 가공기와 유사한 성능을 기대할 수 있다. 하지만, 이 두 가공기 사이에 가공종교도에 대한 정확한 비교 측정결과가나 연구가 존재하지 않아 본 연구에서는 두 가공기를 이용한 가공실험을 통하여 가공정밀도를 비교하고 회전 테이블을 장착한 3축 가공기로 가공 시 5축 가공기를 대체할 수 있는지를 규명하는데 그 목적이 있다.

2. 실험장비

3축 가공기와 5축 가공기 사이에 가장 큰 차이점은 이른바 A, B축이라는 추가축의 존재 여부이다.

이러한 차이점을 가지고 가공을 수행할 시에 면을 고정할 수 있는 범위와 공구가 진입하는 각도 및 위치 등에서 차이가 발생하며 복잡한 가공이나 경사진 가공을 수행하여야 하는 경우 5축 가공기에서 더욱 정밀하고 깨끗한 면을 기대할 수 있다.

3축 가공기 본연에서는 제한적으로 가공이 진행되나 보조기구인 회전 테이블을 설치하면 5축가공과 유사한 환경을 조성할 수 있다.

Fig. 1 에서는 실험에 사용한 3축 가공기를 나타내고 있으며, 이 장비는 국내 D사에서 제작한 공작기계이다.



Fig. 1 3-axis machine(machining center)



Fig. 2 Rotary table

Fig. 2는 Fig. 1의 3축 가공기 내에 설치한 보조기구인 회전 테이블을 나타내고 있으며, 보이는 장비 그대로 전후좌우로 이동하는 머시닝센터의 테이블 위에 회전과 기울기가 가능한 보조기구인 회전 테이블을 직접 설치한 모습이다.

이와 같이 기존의 3축 가공기와 회전 테이블을 이용하여 5축 가공기와 유사한 기능을 발휘할 수 있도록 환경을 조정하였으나, 테이블 상면에 위치하고 있어 가공범위에 제한이 있으므로, 가공범위를 확인하여 가공물을 선정하여야 한다.

Fig. 3은 5축 가공기를 나타내고 있으며, 이 5축 가공기 또한 3축 가공기를 제작한 국내 D사의 제품이다.



Fig. 3 5-axis machine(machining center)



Fig. 4 5-Axis machine chuck

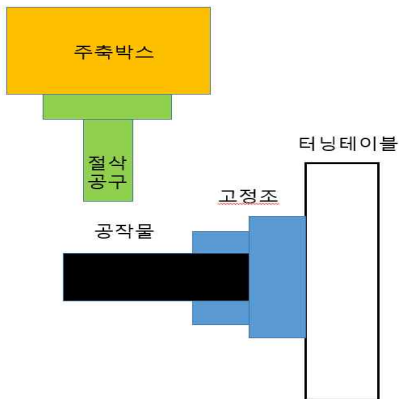


Fig. 5 Position of each part during machining in a 5-axis machine

5축 가공기 상에서 Fig. 4의 회전 테이블이 회전 및 각도를 가지고 틀어지며 5축 가공이 일어난다. 이러한 가공에서는 Fig. 5처럼 가공이 진행되는 데 이 경우 테이블과 공구박스 간에 간섭이 발생할 수 있다. 이러한 점을 고려하여 가공형상 및 가공범위를 선정하였다.

3. 측정장비

측정장비는 총 2 종류이며, 가공표면의 표면거칠기를 측정하기 위한 장비와 치수정밀도를 측정하는 장비를 이용하였다.



Fig. 6 Surface roughness measurement equipment

Fig. 6은 표면거칠기 측정장비를 나타내고 있으며 장비의 모델명은 Mitutoyo-SJ400이다. 측정범위는 X축 25mm, Z축은 800um이며 컷오프값 측정범위는 0.08~8mm까지지만 실험에서는 2.5 값을 기준으로 측정을 진행하였다.



Fig. 7 Precision measuring equipment

Fig. 7은 3차원 측정기를 나타내고 있다. 이 3차원 측정기를 통해 측정할 범위는 아래 Fig. 8에서 나타내는 부위를 측정할 예정이며, 이 부위에 대해서는 기울기로 인하여 정확한 측정이 어렵다는 결과로 인하여 가공된 면에 일정한 깊이를 가지고 치수를 측정하여 중심으로부터 좌표까지의 거리를 측정하는 방식을 채택하였다.

측정깊이는 제품의 상면으로부터 1mm 진입한 곳을 기준으로 측정되었으며, 제품의 바닥으로부터 기준을 잡지 않은 것은 실제 가공 범위가 15mm정도이고 나머지 부분은 척(chuck)에 물리기 위한 부분이기 때문에 차이가 존재한다고 판단하여 가공 완료된 부분에서 동일 깊이를 가지고 측정을 진행하였다.

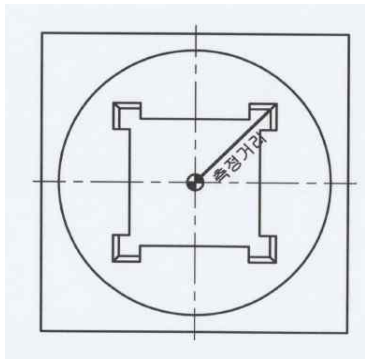


Fig. 8 Measuring distance

4. 가공 공구

머시닝센터에서 사용하는 공구는 그 크기나 종류가 다양하다. 그 중 본 가공에서 사용된 공구는 2 종류를 엮으며 아래와 같이 분류하여 사용하였다.



Fig. 9 Ball endmill



Fig. 10 Flat endmill

Fig. 9와 Fig. 10에는 사용한 공구의 형상을 나타내고 있으며, 3축 가공기에서 사용한 공구이다.

5축 가공기에서도 동일한 공구를 사용하는 것이 원칙이겠으나 5축 가공기 헤드의 크기 및 공구헤드로부터 절삭이 이루어지는 영역까지의 거리가 3축 가공기에서의 상황이 달라 부득이하게 같은 크기 종류가 다른 공구를 사용하였다.

5축 가공기에서는 공구를 길게 물리면 동일한 공구를 사용하여 가공을 진행할 수 있으나, 공구가 길게 고정되면 가공간에 회전에 의한 떨림이 발생하여 정확한 표면거칠기 값을 비교하기 어려운 단점이 있다.

이러한 내용을 방지하고자 Fig. 11에 표현한 것처럼 긴 홀더를 사용하여 최대한 공구의 떨림을 줄여서 정확한 데이터를 추출 및 비교할 수 있도록 실험을 설계하였다.



Fig. 11 Endmill holder(5-axis machine)

5. 실험조건

앞에서 설명하였던 실험장비와 공구를 사용하여 실험을 진행하였을 때 측정되는 세부

적인 실험 데이터를 지정하였다.

가공에서 표면거칠기를 계산하는 공식은 선반가공에서는 (1)의 공식을 따르고, 밀링가공에서는 (2)의 공식을 따른다.

$$R_{\max}(theo) = \frac{S_z^2}{8r_n} \times 1000 (um) \dots\dots\dots(1)$$

$$R_{\max}(theo) = \frac{S_z \tan \epsilon \tan \phi}{\tan C + \tan \phi} \times 1000 (um) \dots(2)$$

식 (2)의 공식을 기준으로 보면 Sz(날당 이송) 값이 커질수록 표면거칠기 값이 커지는 것을 확인할 수 있다. 이에 프로그램 상에서 Sz(날당 이송) 값을 조정할 수 있는 S(스핀들 속도, rpm), F(이송속도, mm/min) 값을 조정하여 실험을 진행하였다.

자세한 실험 조건은 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 나타낸 것처럼 가공 후 총 4개 부위에서 조건을 비교하였으며 측정범위는 기준으로부터 11시 방향을 Point 1로 선정하여 시계방향으로 Point 번호를 부여하여 측정을 진행하였다.

Table 1 Processing condition table

구 분	스핀들 속도 (rpm)	이송 속도 (Feed)	적용범위
Cas1.1	2200	80	Point 1, 2
Cas1.2	2200	90	Point 3, 4
Cas1.3	2200	100	Point 5, 6
Cas1.4	2200	110	Point 7, 8
Case2.1	2100	80	Point 1, 2
Case2.2	2100	90	Point 3, 4
Case2.3	2100	100	Point 5, 6
Case2.4	2100	110	Point 7, 8

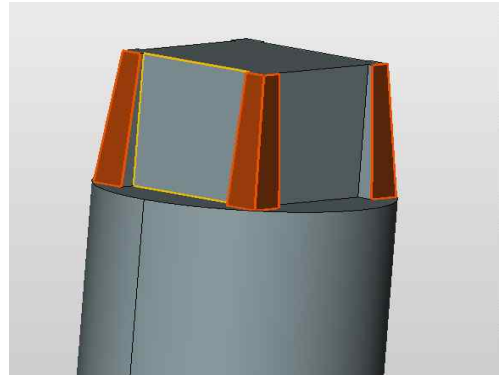


Fig. 12 Surface roughness measurement locations

사용한 공구의 번호는 평엔드밀을 T01로 위치 시켰으며, 볼엔드밀을 T06으로 지정하여 두 공구를 사용하여 가공을 진행하였으며, 스핀들 속도에서 동일한 속도를 기준, 이송값 만을 변경하여 실험을 진행하였다.

사용한 CAM Software는 Hypermill을 통해 CAM DATA를 생성하였으며, 이송은 F 값 100을 기준으로 +10%, -20% 범위로 측정을 진행하였다.

Fig. 13은 작성한 프로그램의 일부를 발췌한 것이며, CAM Software 특성상 세밀한 속도 변화로 인해 전부를 표현하지 못하고 중간을 잘라 표현하였다.

O1111	.
G90 G80 G40 G00	.
G17	.
G91 G28 Z0. M09	.
G91 G28 Y0.	
G91 G28 X0.	
G0 G90 G54 B0.	G91 G28 Y0.
A0.	G91 G28 X0.
T1	M05
M06	G0 G90 B0. A0.
G91 G28 Z0. M09	M30

Fig. 13 A Part of NC program for machining

6. 실험결과

가공완료 후의 형상을 관찰한 결과 Fig. 14는 3축으로 가공했을 때의 형상이며, Fig. 15는 5축 가공기로 가공했을 때의 최종 형상이다.

두 가공 형상 간에 큰 차이점은 확인하기 어려웠으며, 형상에서 나오는 자국들은 최적의 가공조건(rpm, feed) 값을 지정해주지 못해 벽면 및 바닥면에 가공자국이 남은 것으로 판단된다.

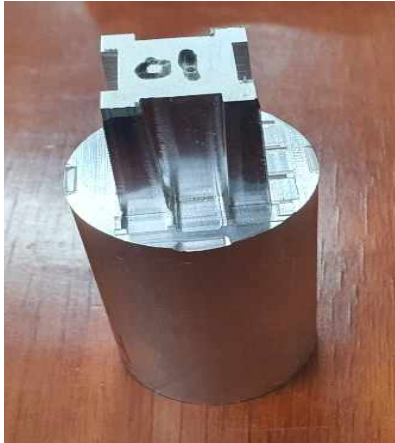


Fig. 14 Machined workpiece(3-axis)



Fig. 15 Machined workpiece(5-axis)

표면거칠기 Ra 측정 시 컷오프 값을 Table 2에, 가공부의 표면거칠기 Ra 측정결과를 Table 3과 Fig. 16에 나타내었다.

각 시편별로 4회씩 측정한 결과 4회 모두 유의미한 차이를 갖는 것으로는 보이지 않는데 표면거칠기의 차이가 0.02~0.03um이다.

Table 2 The cutoff value of Ra

Ra의 범위		컷오프 값 λ c(mm)	비고
초과	이하		
(0.006)	0.02	0.08	
0.02	0.1	0.25	
0.1	2.0	0.8	
2.0	10.0	2.5	설정
10.0	80.0	8	

Table 3 Surface roughness with feed (um)

Feed	Ra1 (3축)	Ra2 (5축)	차이값
80	1.20	1.18	0.02
90	1.21	1.19	0.02
100	1.21	1.24	0.03
110	1.19	1.18	0.01

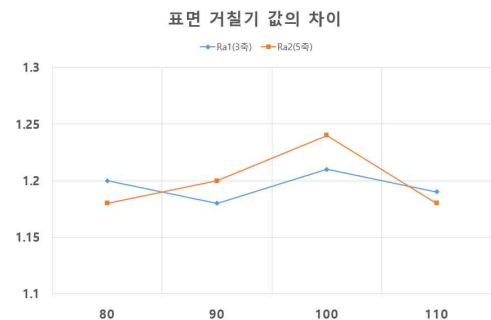


Fig. 16 Feed vs surface roughness

Table 3을 구체적으로 살펴보면 각 피드값에 대해 Ra1과 Ra2 값 사이에 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 총 8 Point를 측정하였으나 평균값이 1.20~1.22um로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이 차이는 약 0.2um로 나타내고 있으며, 따라서 표면거칠기에서는 큰 차이를 나타내지 않고 유사하다가는 결론을 내릴 수 있다.

또한 Feed 값에 따라 표면거칠기 차이 폭이 5축 가공기에서 크게 나타는데 이는 공구를 고정함에 있어 진동을 줄이고자 하였지만 홀더 자체의 진동을 잡지 못해 표면거칠기에서 차이가 난다고 판단된다.

한편, 치수정밀도는 총 4개의 포인트를 측정하였으며 각각 삼각함수를 활용하여 좌표값까지의 거리를 계산하여 측정하였다. 측정결과를 Table 4 및 Fig. 17에 나타내었는데 각 스핀들별 측정거리까지의 평균값들을 보면 이 또한 표면거칠기와 같이 큰 차이를 보이지 않는다.

이상의 실험결과를 종합하면 표면거칠기와 치수정밀도(중심으로부터의 거리)는 두 가공

Table 4 Distance value from center (mm)

Spindle	3축	5축	차이
2200	24.74	24.76	+0.02
2100	24.75	24.72	-0.03

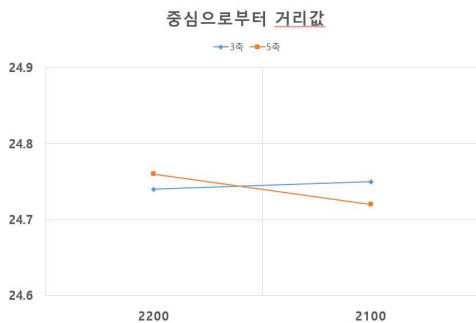


Fig. 17 Spindle 2100~2200, Measurement result of distance value from center

사이에 특별한 차이점을 확인할 수 없으며 이러한 데이터를 통해 두 가공이 서로 거의 동등한 수준의 가공이라고 확인할 수 있었다.

거리값에서는 +값에서 -값으로 차이가 존재하는데 이러한 결과는 가공 후 버(burr)를 제거하는 작업에서 모따기 값이 0.1~0.3까지 임의로 생성됨에 따라 초정밀 측정을 실시하는 3차원 측정기 상에서 나오는 오차라 판단된다.

4. 결론

본 연구는 3축 가공기에 추가 악세서리인 회전 테이블을 장착한 후 유사 5축 가공을 실시하여 실제로 5축 가공기에서 가공한 제품과의 표면거칠기 및 좌표 측정치들을 비교하여 두 가공사이에 가공정밀도를 비교하는데 목적을 가지고 있으며, 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 3축 가공기에 회전 테이블을 설치하면 표면거칠기 및 치수확인에 있어서 오차값이 거의 나타나지 않는 것으로 확인할 수 있었다. 가공조건에 의한 차이값들은 나타나나 서로 동일한 조건으로 가공하였을 경우 차이가 $\pm 0.2\mu\text{m}$ 내외로 나타나 극히 미미하였다.

2. 이로서 고가의 5축 가공기를 사용할 필요없이 3축 가공기에 회전 테이블 같은 보조 기구를 설치하여 5축 가공기를 대체하여 사용해도 무방함을 알 수 있었다.

3. 두 가공에서 큰 차이점은 가공할 수 있는 크기가 3축에서는 제한된다는 점인데 이를 고려한 뒤 가공을 계획을 세워야 한다.

교육용 장비들을 사용하여 실험을 진행함에 따라 5축 가공기와 같이 동시 5축 가공이 진행되지 않아 정확하게 5축가공기에서 표현할 수 있는 형상을 가공하는데 어려움이 있었으며 추후 실험에서는 킷트롤러를 변경하여 가공성을 비교할 필요성이 있음을 제안한다.

참고문헌

1. 윤재득. (2009). 축 가공기의 조인트 위치를 이용한 기하학적 후처리 방법. 부산대학교 (2009), p.6
2. 박동근, 이준성. (2015). 축선삭가공의 피삭재에 따른 표면거칠기의 비교 분석. 한국산학기술학회논문지, 16(2) p.941
3. 채성규. (2020). 머시닝센터에서 엔드밀 가공시 절삭방향이 표면 거칠기에 미치는 영향에 관한 연구. 인천대학교(2020), p.7
4. 엄성진. (2019). MC Nylon의 선삭가공에서 절삭조건과 노즈각도가 표면거칠기에 미치는 영향 / The Effects of Cutting Conditions and Nose Angle on Surface Roughness in Turning of MC Nylon. 부경대학교(2019), p.6
5. 강구봉, 황영동. 절삭공구와 가공기술, 기전 연구사, 서울특별시, 2011, p.154