

STD11 금형강의 고속가공에서 가공조건 선정

이춘만[#], 최치혁^{*}, 고태조^{**}, 정종윤^{***}, 정원지^{****}

Selection of Machining Condition in High Speed Machining of STD11

Choon Man Lee[#], Chi Hyuk Choi^{*}, Tae Jo Ko^{**}, Jong Yun Jung^{***}, Won Jee Chung^{****}

ABSTRACT

High-speed machining is one of the most effective technology to enhance productivity especially for hardened die material. High-speed machining can give great advantages for machining of dies and molds. But selection of machining condition is very difficult because of complicated machining mechanism. This paper presents the selection of machining condition in high-speed machining of STD11. Depth of cut, feed rate and spindle revolution are control factors. The effect of the control factors on surface roughness and machining error in Z-direction is discussed to improve machining accuracy.

Key Words : High-speed machining (고속가공), Machining Error in Z-direction(Z축가공오차), Surface roughness (표면거칠기), STD11

1. 서론

최근 산업현장에서는 생산성 향상과 품질향상을 위하여 고속화, 고정도화가 요구되는 고속가공(High-speed machining)^{1,2}이 이루어지고 있다. 이에, 각종 기계 구성 부품의 가공정밀도의 개선, 생산성의 개선은 가공경비를 감소시켜 경쟁력을 강화시킨다. 특히 최근 금형 가공에서 요구되는 납기단축과 제조경비절감(Cost down)에 따른 생산성 향상이 이루어지고 있다. 고속가공에서는 주축회전수(rpm)를 증가시킴으로써 높은 절삭속도(Cutting speed)를 얻을 수 있고, 절삭속도의 증가에 따라 기존의 이송

속도(Feed rate)보다 훨씬 빠른 이송속도로 절삭이 가능하다. 이런 빠른 이송속도에 의한 가공시간의 대폭적인 감소가 고속가공의 큰 이점이다. 그러나 고속가공에 있어 공작기계의 강성과 구조, 공구의 형상, 가공기술, 가공조건 등에 의해 고속가공은 많은 영향을 받게 된다. 또한, 최근 신소재의 개발에 따른 금형 재료의 고경도화, 난삭화에 따른 고속가공 기술개발이 더욱 대두되고 있다. 이에, 보다 나은 고속가공을 실현시키기 위해 국내·외에서 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 국내에서 진행된 고속가공에 대한 연구들은 대부분 외국에서 생산된 고속가공기를 사용한 연구 결과들이고, 실제로 현

[#] 접수일: 2003년 1월 6일; 게재승인일: 2003년 7월 11일

[#] 교신저자: 창원대학교 기계설계공학과

Email: cmlee@sarim.changwon.ac.kr, Tel: (055) 279-7572

^{*} 창원대학교 대학원 기계설계공학과

^{**} 영남대학교 기계공학과

^{***} 창원대학교 산업시스템공학과

^{****} 창원대학교 기계설계공학과

장에 적용하기는 어려운 점들이 많다.

따라서 본 논문의 목적은, 국내에서 개발된 고속가공기를 이용하여 가공조건에 따른 고속가공기의 특성을 파악하고 고속가공기의 고속가공 조건을 선정하는데 있다. 또한 일반 금형업체에서 많이 사용되고 있는 STD11(HrC45)을 가공하여 고속가공기를 이용한 자유곡면가공을 많이 하는 금형업체에서 적용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 연구에서 사용된 고속가공기는 수직형머시닝센터로 최대 주축회전수 20,000rpm, 최대 급속·절삭 이송속도 40m/min 이다. 사용된 공구는 고속가공 전용 공구로 날수가 2개인 고속가공용 $\phi 6$ -볼엔드밀(SANDVIK)이고, 시편재질은 일반 금형업체에서 많이 사용되는 냉간 공구강인 STD11(HrC45)을 사용하였다. 본 실험에 사용된 장비 및 절삭조건은 Table 1과 같다.

수직형머시닝센터에서 볼엔드밀로 가공시 최적의 경사각을 10° ~ 20° 로 설정함으로써 고속가공시 절삭의 최적화를 이룰 수 있다고 보고되고 있다.^{3,4} 이에 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 시편형상의 직선 경사부분을 45° , 30° , 15° 로 설정하여 경사각에 따른 가공 특성을 살펴보았다. 그리고 공구가 경사면을 올라가면서 절삭하는 상방향절삭(Upward cutting)과 공구가 경사면을 내려가면서 절삭하는 하방향절삭(Downward cutting)시 공구에 작용하는 절삭부위는 같은 경사각도를 가지는 시편이라 할지라도 공구경로에 따라 절삭부위가 다르게 나타난다. 이에 본 논문에서는 상방향절삭과 하방향절삭의 가공특성을 파악할수 있게 Fig. 1과 같이 좌우 대칭인 형상으로 시편을 결정하였다.

본 연구의 실험은 실험계획법을 적용하여 실험을 실시하고, 측정된 데이터를 분산분석(Analysis of variance)을 통해 분석하였다. 본 논문의 실험에서 이송속도, 절삭깊이, 주축회전수를 제어인자로 하였는데, 이는 표면거칠기와 가공오차에 가장 큰 영향을 주는 인자이기 때문이다.

본 연구에서는 3번의 실험을 실시하였는데, 첫 번째는 절삭깊이와 이송속도를 제어인자로 하였고, 두 번째는 주축회전수와 이송속도를 제어인자로 하였다. 세 번째는 주축회전수와 날당이송량을 제어

Table 1 Specification of Experimental Equipment and Cutting Condition

Machine Tool	Vertical Machining Centers (ACE-M500, DAEWOO Heavy Industries & Machinery Ltd)
Spindle Speed(rpm)	10000, 12000, 14000
Feedrate(mm/min)	3200, 6400, 9600
Depth of Cut(mm)	0.1, 0.15, 0.2
Pick-Feed(mm)	0.15
Cusp Height(mm)	0.001
Tool	HSM 2 Ball Endmill Diameter : $\phi 6$
Workpiece	STD11(HrC45)

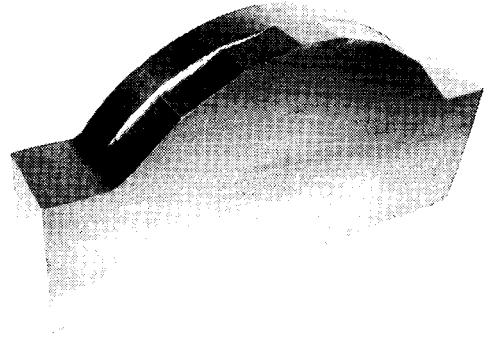


Fig. 1 Modeling of sample

인자로 하였으며, 각 실험에서 인자의 수준은 Table 2~Table 4와 같이 결정하였다. 이 수준은 현장에서 가장 일반적으로 많이 사용되는 값이며, 가공순서는 난수표를 사용하여 완전 랜덤화 하여 실시하였다. 첫 번째와 두 번째의 실험에서는 STD11소재 특성상 공구마모가 발생할 것이라 판단하고, 실험순서에 따라 3시편당 1개의 공구를 사용하여 가공하였다. 이는, 현장 경험에 의한 최적의 공구 교체시기를 고려하였다. 그러나, 가공결과 공구코팅마모라 볼 수 있는 현상이 발생하였다. 따라서 세 번째 실험에서는 공구회사에서 추천하는 경제적 이송속도 구간에서 가공조건을 선정하여 실험을 실시하였다. 본 가공에 사용된 공구에 대해 공구회사에서 제시한 추천속도는 270m/min이고, 추천 날당이송량은 0.1mm/tooth이다.

Table 2 Factors and levels for first experimental machining (RPM : 14000rpm)

Factor			Level		
Sign	Factor	Unit	1	2	3
A	Depth of cut	mm	0.1	0.15	0.2
B	Feed rate	mm/min	3200	6400	9600

Table 3 Factors and levels for second experimental machining (Depth of cut : 0.1mm)

Factor			Level		
Sign	Factor	Unit	1	2	3
A	RPM	rpm	10000	12000	14000
B	Feed rate	mm/min	3200	6400	9600

Table 4 Factors and levels for third experimental machining (Depth of cut : 0.1mm)

Factor			Level		
Sign	Factor	Unit	1	2	3
A	RPM	rpm	10000	12000	14000
B	Feed per tooth	mm/min	0.06	0.08	0.1

3. 실험결과 및 분석

3.1 절삭깊이와 이송속도를 고려한 가공실험

절삭깊이와 이송속도를 고려한 가공실험에서 반복이 없는 이원배치법을 적용하여 실험을 실시하였다. 그리고 분산분석을 이용하여 절삭깊이와 이송속도가 표면거칠기에 미치는 영향을 분석하였다. 측정포인트는 직선부분의 직선구간은 2포인트, 경사구간은 3포인트를 측정하였으며, 곡선부분은 직선부분의 구간과 같은 위치를 측정하였다. 측정포인트는 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 3과 Fig. 4는 가공시편의 직선부분과 곡선부분의 Z축가공오차 측정결과를 그래프로 나타내었다. 일반적으로 알려진 가공특성인 상방향절삭(Upward Cutting)시 미절삭이 일어나고, 하방향절삭(Downward Cutting)시 과절삭이 일어나는 특성을 나타내고 있다. 가공결과는 Z축 가공오차 값이 최대 약 35 μ m 정도의 양호한 가공결과를 나타내었다. 이는 전 연구⁶⁾에서의 AI가공 결과보다 좋게 나타났다. 가공소재가 난삭재임에도 불구하고 Z축 가공오차값이 좋게 나타난 것은 가공 공구의 차이, 가

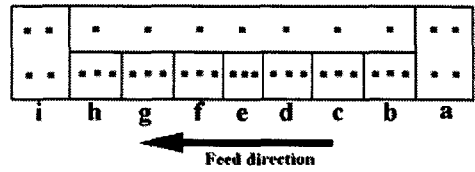


Fig. 2 Measuring point

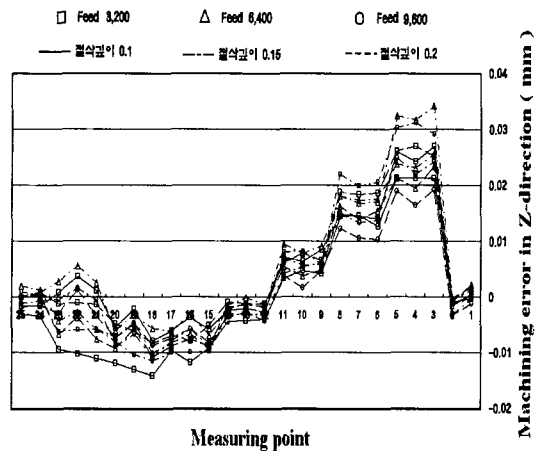


Fig. 3 Machining Error in Z-direction according to Cutting Condition (Linear Part)

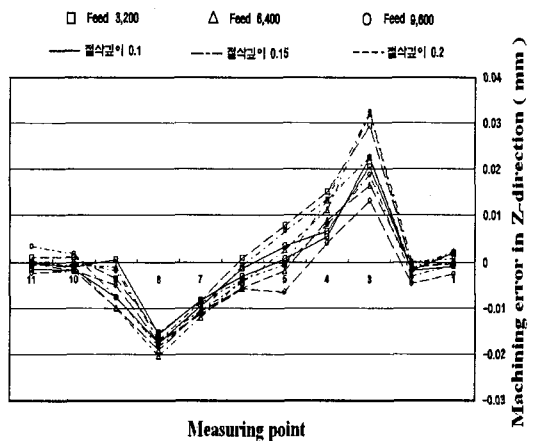


Fig. 4 Machining Error in Z-direction according to Cutting Condition (Curve Part)

공소재의 열특성, 가공환경의 변화 등이 영향을 미쳤다고 생각된다. 또한, 가공순서에 따라 약간의 오차값 차이를 보임을 알 수 있다. 이는 절삭깊이와

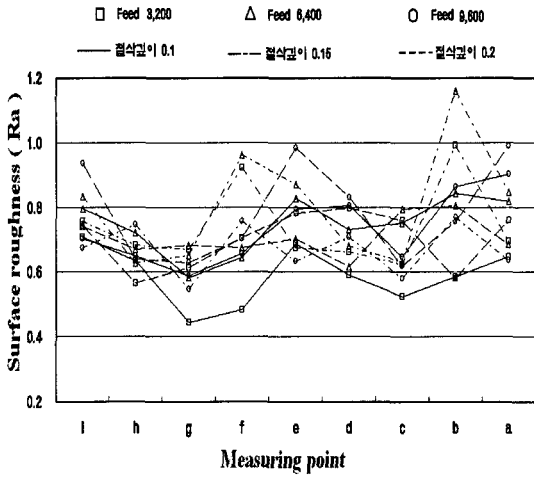


Fig. 5 Surface roughness according to measuring point (Linear Part)

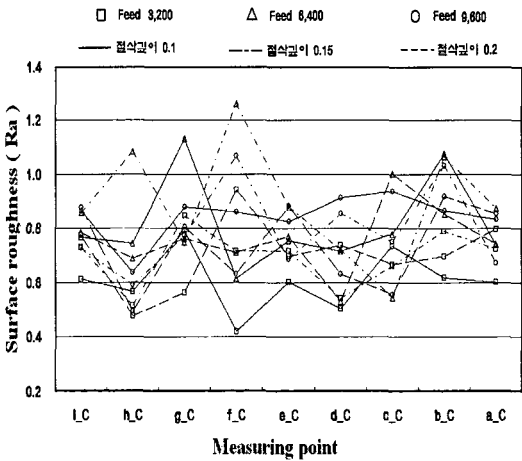


Fig. 6 Surface roughness according to measuring point (Curve Part)

Table 5 Surface Roughness Analysis of Variance Table

Source	S	φ	V	F0	F (0.10)	F (0.05)	F (0.01)
A	0.01234	2	0.00617	1.62149	4.32	6.94	18.0
B	0.00903	2	0.00451	1.18651	4.32	6.94	18.0
E	0.01522	4	0.00381				
T	0.03659	8					

※ · A : Depth of Cut · B : Feed rate
 · E : Error · T : Sum · S : Variation
 · V : Mean squared · φ : Degree of freedom

이송속도의 영향보다는 가공조건 선정시 공구마모를 무시했기 때문이다. 실질적으로 공구의 코팅마모가 일어나면서 코팅마모만큼의 가공오차가 발생하였다고 볼 수 있다. 그리고, Z축가공오차값에 대해 실험계획법을 통한 분산분석 결과 절삭 깊이와 이송속도는 Z축 가공오차에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(Fig. 5와 Fig. 6은 시편의 직선부분, 곡선부분에 대한 표면거칠기 결과를 그래프로 나타

내었다. 본 실험에서 Cusp 높이를 0.001mm로 설정하여 가공하였는데 표면거칠기 대체적으로 양호한 것을 볼 수 있다. 일반적으로 볼렌드밀을 이용하여 평면을 가공할 때 보다 경사면을 가공할 때 표면거칠기가 양호하게 나오는 것으로 알려져 있다. 그러나 Fig. 5에서는 경사면에서 표면거칠기(Ra)가 평면에서의 표면거칠기보다 모두 양호하게 나타나는 것은 아니다. 이는 가공조건마다의 영향보다는 가공환경의 영향이 크게 작용했다고 생각된다. 전체적인 그래프 형태를 보면 W형태를 나타낸다. 즉, 상향, 하향 30. 구간(c, g)에서 상대적으로 양호한 표면거칠기를 나타내고 있다. 그리고, 각 이송속도별로 가공결과를 보면 3200mm/min가 상대적으로 양호한 표면거칠기를 나타내고 있으며, 절삭깊이는 0.1mm에서 상대적으로 양호한 표면거칠기를 나타내었다.

절삭깊이와 이송속도가 가공에 미치는 영향을 파악하기 위해 분산분석을 실시하였다. Table 5는 절삭깊이와 이송속도에 대한 분산분석 결과를 나타낸다. 분석결과 절삭깊이와 이송속도는 모든 가공경사각에서 표면거칠기에 아무런 영향을 주지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 기존 결과⁶에 비해 큰 차이를 나타내고 있다. 이는 일정 절삭깊이와 이송속도까지는 가공영향이 줄어들음을 확인할 수 있다. 따라서, STD11이라는 난삭성 소재에 대해서 어느 정도까지의 절삭깊이와 이송속도를 유지해도 가공결과에 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 즉, STD11에서는 절삭깊이와 이송속도를 어느 정도의 값까지 크게 유지하는 가공이 좋다고 생각할 수 있다.

3.2 이송속도와 주축회전수를 고려한 가공 실험

절삭깊이와 이송속도를 고려한 실험과 같은 방법으로 Z축가공오차와 표면거칠기를 측정하여 Fig. 7~Fig. 10에 그래프화 하여 나타내었는데, 절삭깊이

와 이송속도를 고려한 실험에서와 유사한 결과가 나왔다. Fig. 7은 가공시편의 직선부분에 대해 측정 위치에 따라 Z축 가공오차값을 나타내었고, Fig. 8은 가공시편의 곡선부분에 대해 측정위치에 따라 Z축가공오차값을 나타내었다. Fig. 9는 가공시편의 직선부분 표면거칠기를 측정위치에 따라 나타내었고, Fig. 10은 가공시편의 곡선부분 표면거칠기를 측정위치에 따라 나타내었다. 절삭깊이와 이송 속도를 고려한 실험에서와 마찬가지로 Z축가공오차 결과는 전체적으로 일반적 가공경향을 나타내고 있다. 오차값은 최대 약 25 μ m 정도의 양호한 결과를 나타내고 있다. 이는 절삭깊이와 이송속도를 고려한 실험보다 보다 좋은 정도를 나타낸다고 할 수

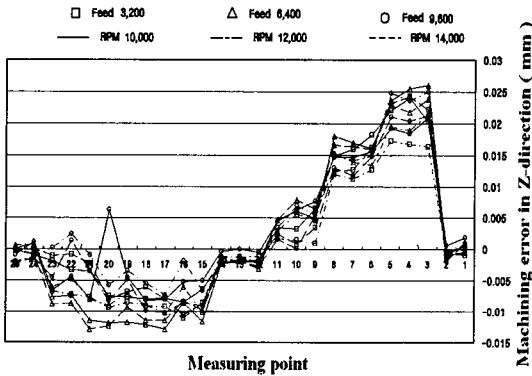


Fig. 7 Machining Error in Z-direction according to Cutting Condition (Linear Part)

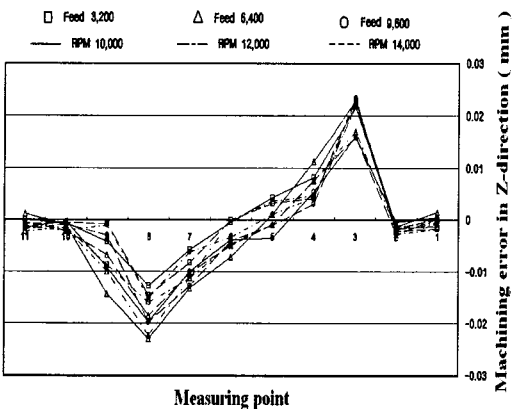


Fig. 8 Machining Error in Z-direction according to Cutting Condition (Curve Part)

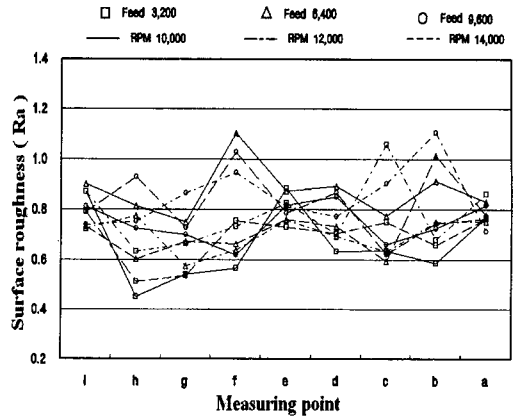


Fig. 9 Surface roughness according to measuring point (Linear Part)

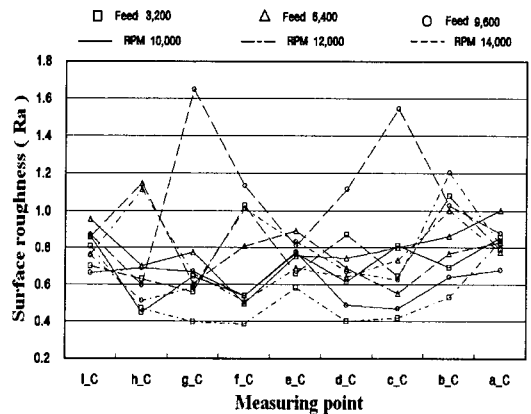


Fig. 10 Surface roughness according to measuring point (Curve Part)

Table 6 Surface Roughness Analysis of Variance Table

Source	S	φ	V	F0	F (0.10)	F (0.05)	F (0.01)
A	0.00175	2	0.00087	0.12408	4.32	6.94	18.0
B	0.01249	2	0.00625	0.88736	4.32	6.94	18.0
E	0.02816	4	0.00704				
T	0.04240	8					

※ · A : RPM · B : Feed rate

· E : Error · T : Sum · S : Variation

· V : Mean squared · φ : Degree of freedom

있다. 즉, 절삭깊이와 이송속도를 고려한 가공실험보다 이송속도와 주축회전수를 고려한 가공실험에서 그 인자들이 가공에 미치는 영향이 줄어들었다고 말할 수 있다. 이송속도와 주축회전수를 고려한 가공실험에서도 가공순서에 따라 수 μm 정도의 오차값이 발생하였다. 이는, 절삭깊이와 이송속도를 고려한 실험에서의 마찬가지로 공구 코팅 마모에 의한 오차값임을 알 수 있다. 절삭깊이와 이송속도를 고려한 실험과 같은 방법으로 표면거칠기를 측정하였다. Fig. 9와 Fig. 10의 그래프를 살펴보면 표면거칠기가 절삭깊이와 이송속도를 고려한 실험에서와 유사한 결과가 나왔으며, 가공경향도 전체적으로 W형태를 나타내고 있다. 이송속도와 주축회전수의 가공 영향을 확인하기 위해 분산분석을 통해 분석한 결과 이송속도와 주축회전수는 표면거칠기에 전체적으로 유의하지 않게 나타났다. Table 6은 이송속도와 주축회전수에 대한 분산분석 결과를 나타낸다. 이송속도와 주축회전수가 표면거칠기에 영향을 미치지 않는 결과를 보이고 있다. 하지만, 절삭깊이와 이송속도를 고려한 가공 실험과 마찬가지로 이는 고속가공에서 표면거칠기의 가공 및 측정 오차값과 분산분석이 데이터 분석용이기 때문에 가공결과와의 오차가 발생할 수 있다. 즉, 일반적인 연구 결과를 고려해볼 때 인자들의 가공에 미치는 영향이 일반적인 가공들보다 줄어들었다고 생각할 수 있다. 또한, 가공결과는 전 연구⁶와 비교해보면 Al과 같은 연질 소재에 비해 STD11이라는 소재가 절삭조건의 영향이 줄어들었음을 확인할 수 있다. 즉, STD11이라는 소재에 대해서는 절삭깊이, 이송속도를 고려한 실험과 마찬가지로 어느 정도의 이송속도와 주축회전수까지는 가공에 미치는 영향이 줄어들었다는 것을 확인할 수 있다. 이는 일반 금형 업체에서 STD11 소재로 가공을 할 때 시간 및 비용을 줄이기 위해 고속가공을 하는 것이 유리하다는 것을 증명해주고 있다. 그리고 인자들의 영향이 줄어들었다 판단하고 각구간의 분산분석표를 실시하면, 상대적으로 상방향 15° 구간(d)과 하방향 30°, 45° 구간(h)에서 B인자(이송속도)의 영향이 나타나고 있고 평면 0° 구간(c)에서는 A인자(주축회전수)의 영향이 나타난다. 즉, 상방향 절삭시는 15° 이하의 낮은 각도에서 이송속도에 영향을 미치고, 하방향 절삭시는 30° 이상의 높은 구간에서 영향을 미친다고 생각할 수 있다. 또한 주축회전수에 대해서는 경사구간보다는 평면구간에서 표면거칠

기에 영향이 있다고 해석할 수 있다. 이상의 분석 결과 표면거칠기에는 이송속도와 주축회전수가 일부 각도 구간에 대해서 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

3.3 경제적 이송속도 구간에서의 가공실험

절삭깊이와 이송속도를 고려한 실험 및 이송속도와 주축회전수를 고려한 가공 실험과 같은 방법으로 표면거칠기를 측정하였다.

Fig. 11과 Fig. 12는 가공시편의 직선부분과 곡선부분에 대한 표면거칠기를 측정위치에 따라 그래프화하여 나타내었다. 이송속도와 주축회전수를 고

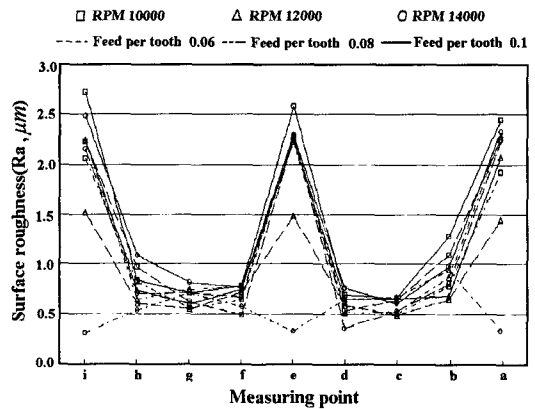


Fig. 11 Surface roughness according to measuring point (Linear part)

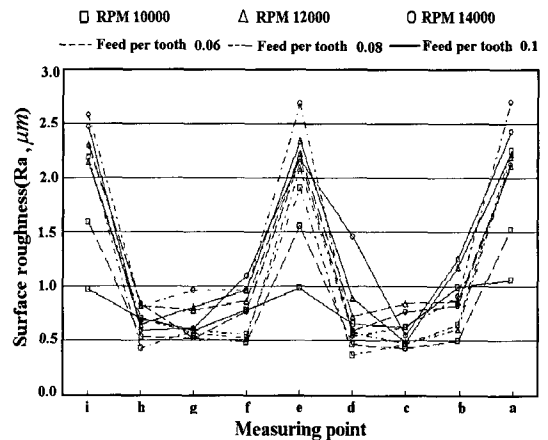


Fig. 12 Surface roughness according to measuring point (Curve part)

려한 가공 실험에 비해 명확한 W자 형태를 나타내고 있으며, 각 가공조건에 대해서 좋은 가공 정도를 보이고 있다. 이는 이송속도와 주축회전수를 고려한 가공실험 때보다 공구의 마모가 일어나지 않았기 때문에 나온 결과라고 볼 수 있다. 하지만, 표면조도가 경사구간을 제외한 평면구간에서 좋지 않은 결과를 나타낸다. 이는 공구비를 절약하면서 고속가공을 실시할 수는 있지만 평면을 가지는 금형에 대해서는 좋은 표면거칠기를 얻을 수는 없다. 일반 금형업체에서 좋은 표면품위를 얻는 것과 생산비용을 줄이는 문제를 잘 이용한다면 보다 효율적인 고속가공의 이점을 얻을 수 있을 것이다. 날당이송량과 주축회전수의가공 영향을 확인하기 위해 분산분석을 통해 분석한 결과 날당이송량과 주축회전수는 표면거칠기에 전체적으로 유의하지 않게 나타났다.

Table 7과 Table 8은 날당이송량과 주축회전수에 대한 분산분석 결과를 나타낸다. Table 7은 전체구간에 대한 분산분석 결과이고, Table 8은 좋지 않은 표면거칠기를 가지는 평면구간을 제외한 경사구간에 대한 분산분석 결과를 나타내었다. 분산분석을 실시한 결과 날당이송량과 주축회전수는 영향을 미치지 않는 것으로 나왔다. 하지만, 절삭깊이와 이송속도를 고려한 가공실험과 이송속도와 주축회전수를 고려한 가공과 마찬가지로 이는 고속가공에서 표면거칠기의 가공 및 측정 오차값과 분산분석이 데이터 분석용이기 때문에 가공결과와의 오차가 발생할 수 있다. 즉, 일반적인 연구결과를 고려해볼 때 인자들의 가공에 미치는 영향이 일반적인 가공들보다 줄어들었다고 생각할 수 있다. 즉, STD11이라는 소재에 특성상 날당이송량과 주축회전수가 가공에 미치는 영향이 일반적인 가공들보다는 줄어들었다는 것을 확인할 수 있다. 이는 일반 금형 업체에서 STD11 소재로 가공을 할 때 시간 및 비용을 줄이기 위해 고속가공을 하는 것이 유리하다는 것을 증명해주고 있다. 그리고 인자들의 영향이 줄어들었다고 판단했을 때 이송속도와 주축회전수를 고려한 가공실험과 유사하게 상방향 15° 구간(d)일 때와 하방향 45° 구간(h)에서 상대적으로 B인자(날당이송량)의 영향이 나타났다. 그리고, Fig. 11의 표면거칠기 그래프에서 각각의 상대구간인 상방향 15° 구간(d)에 대해서는 하방향 15° 구간(f), 하방향 45° 구간(h)에 대해서는 상방향 45° 구간(b)을 비교해보면 영향을 미치는 상방향 15° 구

Table 7 Surface roughness analysis of variance table (all section)

Source	S	φ	V	F0	F (0.10)	F (0.05)	F (0.01)
A	0.09721	2	0.04361	0.69130	4.32	6.94	18.0
B	0.18842	2	0.09421	1.49349	4.32	6.94	18.0
E	0.25232	4	0.06308				
T	0.52795	8					

※ · A : RPM · B : Feed per tooth
 · E : Error · T : Sum · S : Variation
 · V : Mean squared · φ : Degree of freedom

Table 8 Surface roughness analysis of variance table (slope section)

Source	S	φ	V	F0	F (0.10)	F (0.05)	F (0.01)
A	0.01083	2	0.00541	1.47485	4.32	6.94	18.0
B	0.03001	2	0.01501	4.08812	4.32	6.94	18.0
E	0.01468	4	0.00367				
T	0.05552	8					

※ · A : RPM · B : Feed per tooth
 · E : Error · T : Sum · S : Variation
 · V : Mean squared · φ : Degree of freedom

간(d)과 하방향 45° 구간(h)의 표면거칠기가 더 좋게 나타났음을 확인할 수 있다. 즉, 상방향 절삭시는 15° 이하의 낮은 각도에서 날당이송량이 표면거칠기에 영향을 미치고, 하방향 절삭시는 45° 이상의 높은 구간에서 날당이송량이 표면거칠기에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 이상의 측정결과를 이용하여 표면거칠기에는 이송속도와 주축회전수가 일부 각도 구간에 대해서 영향을 미치고 있음을 확인하였다. 그러나, 본 연구의 절삭조건이 14000 rpm이라는 한정된 범위이기 때문에 더 빠른 주축회전수에서의 가공 연구의 필요성이 사료된다.

이상의 결과를 토대로 측정된 표면거칠기를 이용하여 이송속도와 주축회전수에 따른 표면거칠기를 나타내는 함수는 식 (1), 식 (2)와 같이 최소자승법에 의하여 유도되었다.

$$R_a = 7.838F^{0.259} \quad (1)$$

R_a : Surface roughness, F : Feed rate 이다.

$$R_a = 0.205S^{0.137} \quad (2)$$

R_a : Surface roughness, S : RPM 이다.

식 (1)과 식 (2)는 RPM이 10,000~14,000, Feed per tooth가 0.06~0.1mm/min의 가공 조건에서 적합한 실험값이다.

4. 결론

본 논문은 블엔드밀에 의한 고속가공 절삭실험을 통해, 가공조건에 따른 고속가공의 가공 특성을 파악하고, STD11이라는 일반 금형업체에서 많이 사용하는 소재에 대한 가공특성을 파악하였다. 고속가공기의 성능을 평가하기 위해 이원배치법을 적용하여 절삭깊이, 이송속도, 주축회전수가 표면거칠기와 가공오차에 미치는 영향을 분산분석을 통해 분석하였으며, STD11 소재에 대한 고속가공시 Z축 가공오차와 표면거칠기 향상을 위한 가공조건을 선정하였다.

본 실험에서 수행한 가공조건의 범위에서 각 조건에 의한 영향은 다음과 같다.

1. 본 실험에서 사용된 고속금형가공기를 이용하여 STD11 소재에 대한 절삭작업을 할 때 이송속도와 주축회전수에 따른 표면거칠기를 예측할 수 있는 실험식을 제안하였다.
2. 주축회전수가 10,000~14,000rpm, 이송속도가 3,600~9,600mm/min, 절삭깊이가 0.1~0.2mm의 가공 조건일 때 STD11 가공실험 결과를 분산분석을 통해 분석한 결과, Z축가공오차에 아무런 영향을 미치지 않는다는 것을 확인하였으며, 상방향 절삭에서의 미절삭과 하방향 절삭에서의 과절삭 현상을 확인하였다. 이는 일반적인 가공이론이 적용됨을 확인하였다.
3. 주축회전수가 10,000~14,000rpm, 이송속도가 3,600~9,600mm/min, 절삭깊이가 0.1~0.2mm의 가공 조건일 때 STD11 가공실험 결과를 분산분석을 통해 분석한 결과, 주축회전수, 이송속도(날당이송량), 절삭깊이는 표면거칠기에 AI과 같은 연질 소재보다 적은 영향을 미치는 것을 확인하였다. 이는 STD11 가공시 일정

범위 안에서는 표면거칠기에 영향이 줄어들므로 고속가공의 적용이 유리함을 확인하였다.

4. STD11의 경제적 이송속도 구간에서의 가공 실험 결과 평면구간의 표면거칠기가 양호하지 못한 것을 확인하였다. 이는 일반 금형업체에서 효율적인 가공을 위해서는 경제적인 측면과 표면품위를 고려하여 적절한 선택을 한다면 고속가공의 이점을 얻을 수 있다.
5. 본 실험에서 가공실험을 한 결과 이송속도(날당이송량)와 주축회전수를 고려한 실험에서 상방향 절삭시는 15° 이하의 낮은 구간에서, 하방향 절삭시는 45° 이상의 높은 구간에서 이송속도(날당이송량)가 표면거칠기에 영향을 미치는 것을 확인하였다

후 기

본 연구는 과학기술부 · 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터와 (주)대우종합기계의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. King, R. I., Vaughn, R. L., "A Synoptic view of High-Speed Machining From Salomon to the Present," Ann. ASME, pp. 1-13, Dec. 1984.
2. Tlustý, J., "High speed milling," Proceedings of the 6th Int. Machine Tool Engineers Conference (IMEC), pp. 35-60, 1994.
3. Lee, J. C., "High Speed Machining," The Korean Society of Machine Tool Engineers, 'Spring Conference, pp 8-10, 1998.
4. Ko, T. J., Jeong, H., Kim, H. S., "Selection of Machining Inclination Angle of Tool Considering Tool Wear in High Speed Ball End Milling," J. of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 15, No. 9, pp. 135-144, 1998.
5. Kahles, J. F., Field, M. and Harvey, S. M., "High Speed Machining Possibilities and Need," CIRP, Vol. 27/2, pp. 551-560, 1978.
6. Lee, C. M., Kweon, B. D., Ko, T. J., Jung, J. Y., Chung, W. J., "A Study on the Improvement of

- Machining Accuracy in High Speed Machining using Design of Experiments," J. of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 19, No. 7, pp. 88-96, 2002.
7. Schulz, H., Hock, St., "High-speed Milling of Dies and Molds - Cutting Conditions and Technology," Annals of the CIRP, Vol. 44, No. 1, pp. 35-38, 1995.