한국공작기계학회 2003 추계학술대회 논문집 pp.106~112

고속절삭가공기술개발(2)

이춘만*, 류승표+, 정원지++, 정종윤+++, 고태조++++

Development of High Speed Machining Technology(2)

C. M. Lee*(Changwon National Univ.), S. P Ryu+(Graduate School Changwon National Univ.),W. J. Chung++(Changwon National Univ.)
J. Y. Jung+++(Changwon National Univ.), T. J. Ko++++(Yeungnam Univ.)

Abstract

High-speed machining is one of the most effective technology to improve productivity. Because of the high speed and high feed rate, high-speed machining can give great advantages for the machining of dies and molds. This paper describes on the improvement of machining accuracy in high-speed machining and an estimate about machining accuracy of high-speed machining.

Key Words : High-speed Machining, STD11, Surface Roughness

1. 서 론

최근 산업현장에서는 생산성 향상과 품질향상을 위하여 고속화, 고정도화가 요구되는 고속가공(High-speed machining)[1,2]이 이루어지고 있다. 이에, 각종 기계 구성부품의 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 이송속도(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, 보다나은 고속가공을 실현시키기 위해 국내·외에서 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 국내에서 진행된 고속가공에 대한 연구들은 대부분 외국에서 생산된 고속가공기를 사용한 연구 결과들이고, 실제로 현장에 적용하기는 어려운 점들이 많다.

따라서 본 논문의 목적은, 국내에서 개발된 고속가공기를 이용하여 가공조건에 따른 고속가공기의 특성을 파악하고 고속가공기의 고속가공 조건을 선정하는데 있다. 또한 Al6061계열의 알루미늄과 일반 금형업체에서 많이 사용되고 있는 STD11(H_RC45)을 가공하여 고속가공기를 이용한 자유곡면가공을 많이 하는 금형업체에서 적용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

* 창원대학교 기계설계공학과
E-mail : cmlee@sarim.changwon.ac.kr
TEL : (055)279-7572
+ 창원대학교 기계설계공학과 대학원
++ 창원대학교 기계설계공학과
+++ 창원대학교 산업시스템공학과
++++ 영남대학교 기계공학부

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 고속가공기는 수직형머시닝센터로 최대 주축회전수 20,000rpm., 최대 급속·절삭 이송속도 40m/min 이다. 사용된 공구는 날수가 2개인 알루미늄 전용 ϕ6-볼엔드밀과 고속가공 전용 공구로 날수가 2개인 고속가공용 ϕ6-볼엔드밀(SANDVIK)을 사용하였고, 시편재질은 Al6061계열의 알루미늄과 일반 금형업체에서 많이 사용되는 냉간 공구강인 STD11 (H_RC45)을

Table 1 The Specification of Experimental Equipment and Cutting Condition according to Aluminum

Machine Tool	Vertical Machining Centers (ACE-M500, DAEWOO Heavy Industries & Machinery Ltd)
Spindle Speed(rpm)	12000, 14000, 18000, 20000
Feed rate(mm/min)	3200, 6400, 9600
Depth of Cut(mm)	0.1
Pick-Feed(mm)	0.15
Cusp Height(mm)	0.001
Tool	2 Ball Endmill Diameter : ϕ 6
Workpiece	Al6061

Table 2 The Specification of Experimental Equipment and Cutting Condition according to Steel

Machine Tool	Vertical Machining Centers (ACE-M500, DAEWOO Heavy Industries & Machinery Ltd)
Spindle Speed(rpm)	10000, 12000, 14000
Feed per tooth(mm/tooth)	0.1, 0.2, 0.3
Depth of Cut(mm)	0.1
Pick-Feed(mm)	0.15
Cusp Height(mm)	0.001
Tool	HSM 2 Ball Endmill Diameter : ϕ 6
Workpiece	STD11(H_RC45)

사용하였다. 본 실험에 사용된 장비 및 절삭조건은 Table 1과 같다.

수직형머시닝센터에서 볼엔드밀로 가공시 최적의 경사각을 10° ~20° 로 설정함으로서 고속가공시 절삭의 최적화를 이룰 수 있다고 보고되고 있다.[4] 이에 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 시편 형상의 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. 표면거칠기를 측정한 위치는 Fig. 2와 같고, 가공방향의 직각 방향으로 측정하여 각각의 측정위치에 a ~ i의 부호를 정하였다.

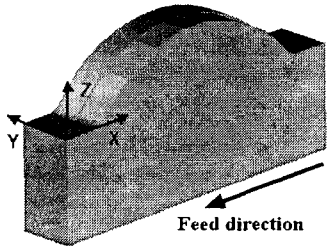

Fig. 1 Modeling of sample

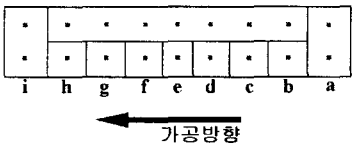

Fig. 2 Measuring point

본 연구의 실험은 실험계획법을 적용하여 실험을 실시하고, 측정된 데이터를 분산분석(Analysis of variance)을 통해 분석하였다. 본 논문의 실험에서 이송속도, 주축회전수를 제어인자로 하였는데, 이는 표면거칠기에 가장 큰 영향을 주는 인자이기 때문이다. 본 연구에서는 각각의 rpm에 대한 날당이송량의 변화를 주어 2가지의 의 실험을 실시하였는다. 각각의 실험에서 인자의 수준은 Table 3 ~ Table 5와 같이 결정하였으며, 가공순서는 난수표를 사용하여 완전 랜덤화하여 실시하였다. 알루미늄가공 시 Table 3과 같은 인자의 수준으로 가공을 실시하였다. 그리고 중삭, 정삭 가공 시 고정도윤곽보정기능(HPCC)을 사용하여 가공하였다. STD11(H_RC45)의 첫 번째 실험에선 비교적 높은 이송속도에서 가공을 실시하였기 때문에 공구마모를 고려 하나의 시편당 1개의 공구를 사용하였다. 두 번째 실험에선 금형업체의 효율적인 금형가공을 위해 현재사용중인 공구의 수명을 최대로 생각한 공구회사의 공구 추천속도를 고려하여 하나의 공구로 가공 실험을 실시하였다. 따라서, 본 연구에서는 공구마모를 무시하였다.

Table 3 Factors and levels for experimental machining according to feed rate and spindle RPM (Depth of cut : 0.1mm)

Factor			Level			
Sign	Factor	Unit	1	2	3	4
A	RPM	rpm	12000	14000	18000	20000
B	Feed rate	mm/min	3200	6400	9600	

Table 4 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 5 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 toot	mm/min	0.06	0.08	0.1

앞에서 언급한 각 조건에서 절삭한 시편을 가공표면을 표면조도기(Surftest SV-600, Mitutoyo)를 이용하여 중심선평균표면거칠기(Ra)로 피크피드(pick feed) 방향에서 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 이송속도와 주축회전수를 고려한 Al6061의 가공실험

Fig. 3은 직선보간을 이용하여 가공한 부분의 표면거칠기를 나타내었고, Fig. 4는 NURBS보간을 이용하여 가공한 부분을 나타낸다. a, e, i 의 평면부위가 다른 가공경사각을 가지는 부위보다 표면거칠기가 양호하게 나온 것을 볼 수 있다. 이는 주축의 고속회전에 따른 주축의 진동발생으로 인한 이상가공으로 판단된다. 그리고 가

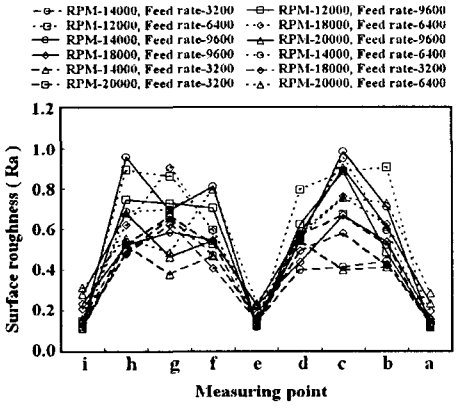

Fig. 3 Surface roughness according to measuring point (Linear interpolation)

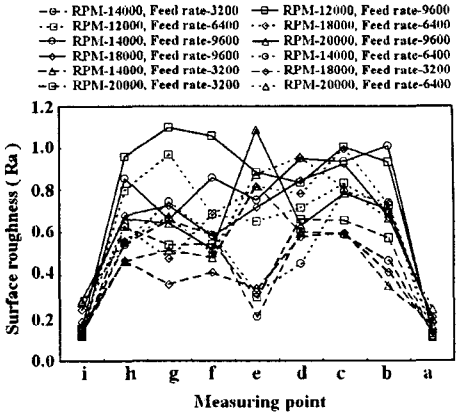

Fig. 4 Surface roughness according to measuring point (NURBS interpolation)

공경사각이 15° 인 부분에서 표면거칠기가 양호한 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

이상의 측정결과를 이용하여 이상가공을 나타내는 a, e, i 부분을 제외한 나머지 부분의 표면거칠기를 분산분석을 하여 Table 6에 분산분석표로 나타내었다. 주축회전수는 10% 유의수준에서 유의하고 이송속도는 1% 수준에서도 유의하다. 즉, 표면거칠기에는 이송속도와 주축회전수가 모두 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이상의 분산분석 결과를 가지고 이송속도와 주축회전수의 모평균의 추정을 하였다.

이송속도와 주축회전수를 고려한 실험에서는 표면거칠기와 함께 3차원 측정기를 이용하여 가공오차(Machining error)를 측정하였다. 가공 오차란 3차원 측정기를 이용하여 측정한 좌표값에서 모델링상의 좌표값을 뺀 값이다. 가공된 3차원 형상의 가공오차를 측정하기 위해서는 시편의 X축, Y축, Z축 모두 측정하여야 한다. 그러나 Fig. 1에서 보는바와 같이 시편형상이 Y축 방향으로는 평행하기 때문에 어느 곳을 측정해도 오차는 0(Zero)이다. 그리고 본 실험에서 사용된 고속가공기의 X축과 Z축의 구성이 X축에 Z축이 부착되어 있는 형태

Table 6 Surface roughness analysis of variance table (slope = 15° , 30°)

Source	S	φ	V	F_0	F (0.10)	F (0.05)	F (0.01)
A	0.03465	2	0.01155	4.28608	3.29	4.76	9.78
B	0.09194	2	0.04597	17.0597	3.46	5.14	10.9
E	0.01617	4	0.00269				
T	0.14275	8					

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

이고, 시편의 형상이 X축 방향으로 경사면을 이루고 있으므로 Z축만의 측정으로도 충분하기에 측정의 편의상 Z축의 가공 오차만을 측정하였다. 측정 위치는 표면거칠기를 측정한 위치와 동일하다.

Fig. 5~ Fig. 6에 Z축 방향의 가공오차를 그래프화하여 나타냈는데, Fig.5는 이송속도가 각각 3200mm/min에서 직선 보간을 이용한 가공 결과를 나타내었고, Fig. 6은 이송속도가 각각 3200mm/min에서 NURBS 보간을 이용한 가공 결과를 나타내었다. 그래프는 왼쪽이 상방향절삭이 일어나는 부분이고 오른쪽이 하방향절삭이 일어나는 부분이다. 일반적으로 가공이론에서 공구가 휘어지는 현상으로 인해 상방향절삭시는 미절삭이 일어나고 하방향절삭시는 과절삭이 일어나는 것으로 알려져 있다.[11] Fig. 5와 Fig. 6에서 보면 이러한 현상이 뚜렷하게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 그리고 Fig. 5와 Fig. 6에서 보면 가공경사각이 0° 인 a, e, i 평면부위는 ± 5 ㎛ 보다 작은 가공오차가 나타나고 있고, 평면부위를 제외한 나머지 부분은 각각의 가공조건에 대해서 가공오차의 편차가 평균적으로 10㎛에서 5㎛정도 나타나고 있다. 이것은 주축회전수와 이송속도는 가공오차에 영향을 미치지 않는 것으로 판단할 수 있다. 그리고 Fig. 5와 Fig. 6을 비교해보면 NURBS보간을 이용하여 가공을 하더라도 가공오차에는 큰 영향을 미치지 않는다고 판단되지만, 가공시간은 직선보간을 이용하여 가공하였을 때보다 단축되는 것을 실험을 통해 확인하였다.

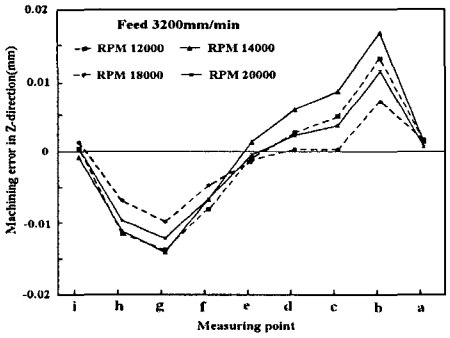

Fig. 5 Machining error in Z-direction according to cutting condition (Linear interpolation)

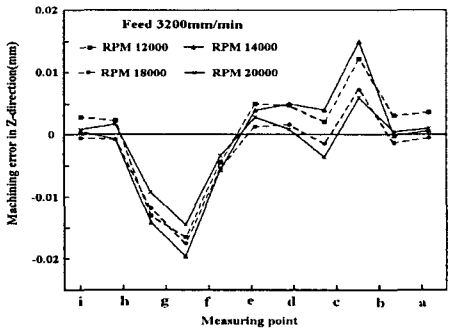

Fig. 6 Machining error in Z-direction according to cutting condition (NURBS interpolation)

3.2 이송속도와 주축회전수를 고려한 STD11(H_RC45)의 가공실험

절삭깊이와 이송속도를 고려한 실험과 같은 방법으로 Z축가공오차와 표면거칠기를 측정하여 Fig. 7 ~ Fig. 10에 그래프화 하여 나타내었다. Fig. 7은 가공시편의 직선부분에 대해 측정위치에 따라 Z축가공오차값을 나타내었고, Fig. 8는 가공시편의 곡선부분에 대해 측정위치에 따라 Z축가공오차값을 나타내었다. Fig. 9는 가공시편의 직선부분 표면거칠기를 측정위치에 따라 나타내었고, Fig. 10은 가공시편의 곡선부분 표면거칠기를 측정위치에 따라 나타내었다. 그래프에서 나타나듯이 Z축 가공오차 결과는 알루미늄 실험 때와 마찬가지로 상방향절삭시 미절삭, 하방향 절삭시 과절삭을 나타내고 있

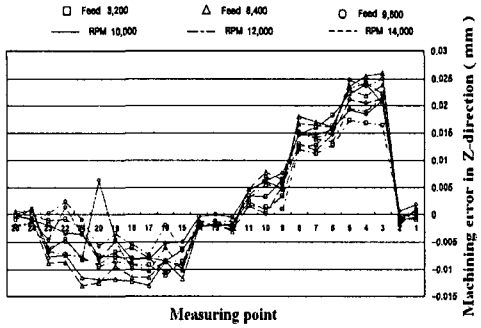

Fig. 7 Machining Error in Z-direction according to Cutting Condition (Linear Part)

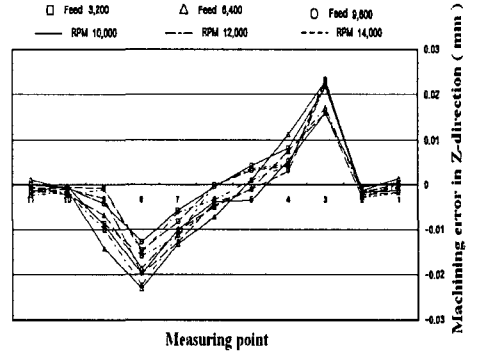

Fig. 8 Machining Error in Z-direction according to Cutting Condition (Curve Part)

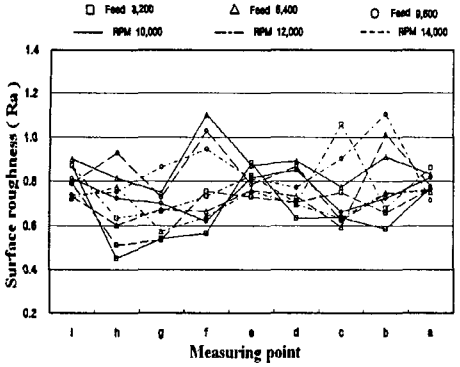

Fig. 9 Surface roughness according to measuring point (Linear Part)

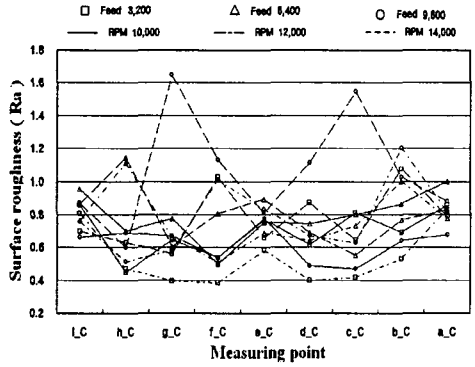

Fig. 10 Surface roughness according to measuring point (Curve Part)

다. 오차값은 최대 약 25㎛정도의 양호한 결과를 나타내고 있다. STD11소재의 이송속도와 주축회전수를 고려한 가공실험에선 가공순서에 따라 수㎛ 정도의 오차값이 발생하였다. 이는 공구의 코팅 마모가 일어나면서 코팅 마모만큼의 가공오차가 발생하였다고 볼 수 있다. Fig. 9와 Fig. 10의 그래프를 살펴보면 표면거칠기가 전체적으로 W형태를 나타내고 있다. 이송속도와 주축회전수의 가공 영향을 확인하기 위해 분산분석을 통해 분석한 결과 이송속도와 주축회전수는 표면거칠기에 전체적으로

Table 7 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

유의하지 않게 나타났다. Table 7은 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 연구결과를 고려해볼 때 인자들의 가공에 미치는 영향이 일반적인 가공들보다 줄어들었다고 생각할 수 있다. 또한, 가공결과는 전 연구[6]와 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 분산분석표을 실시하면, 상대적으로 상방향 15° 구간(d)과 하방향 30° ,45° 구간(g, h)에서 B인자(이송속도)의 영향이 나타나고 있고 평면 0° 구간(e)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 표면거칠기에 영향이 있다고 해석할 수 있다. 이상의 분석결과 표면거칠기에는 이송속도와 주축회전수가 일부 각도 구간에 대해서 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

3.3 경제적 이송속도 구간에서의 가공실험

이송속도와 주축회전수를 고려한 가공 실험과 같은 방법으로 표면거칠기를 측정하였다.

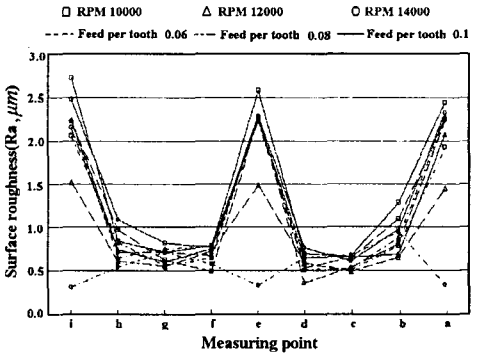

Fig. 11 Surface roughness according to measuring point(Linear part)

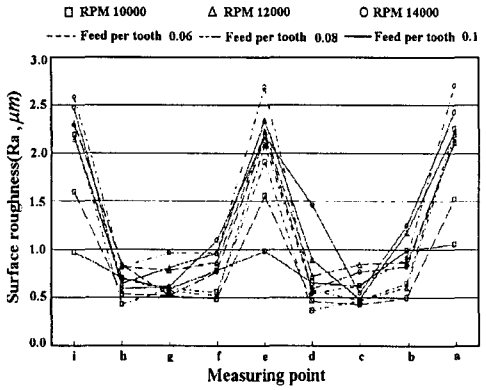

Fig. 12 Surface roughness according to measuring point(Curve part)

Fig. 11과 Fig. 12는 가공시편의 직선부분과 곡선부분에 대한 표면거칠기를 측정위치에 따라 그래프화하여 나타내었다. 이송속도와 주축회전수를 고려한 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 8과 Table 9는 날당이송량과 주축회전수에 대한 분산분석 결과를 나타낸다. Table 8은 전체 구간에 대한 분산분석 결과이고, Table 9는 좋지 않은 표면거칠기를 가지는 평면구간을 제외한 경사구간에 대한 분산분석 결과를 나타내었다. 분산분석을 실시한 결과 날당이송량과 주축회전수는 영향을미치지 않는 것으로 나왔다. 하지만, 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 판단했

Table 8 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 9 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

을 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 상방향15° 구간(d)에 대해서는 하방향 15° 구간(f), 하방향 45° 구간(h)에 대해서는 상방향 45° 구간(b)을 비교해보면 영향을 미치는 상방향 15° 구간(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 14000rpm이라는 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 rouhgness* , F : *Feed rate* 이다.

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

R_a : *Surface rouhgness* , 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. 결 론

본 논문에서는 국내에서 생산된 고속가공기를 이용하여 볼엔드밀에 의한 Aluminum과 STD11 절삭실험을 통해, 고속가공기의 가공조건에 따른 고속가공의 가공특성을 파악하고, 이송속도, 주축회전수가 표면거칠기에 미치는 영향을 분산분석을 통해 분석하였으며, 축적된 Data를 바탕으로 표면거칠기와 같은 특성치를 예측할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

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

1.이송속도와 주축회전수는 비교적 낮은 가공경사각 (30°)에서 표면거칠기에 유의한 영향을 미치고 있다. 이송속도와 주축회전수는 절삭이 일어날 때 공구의 절삭부하에 영향을 주는 인자이며 절삭부하를 줄이면 표면거칠기가 좋아지게 된다. 본 가공실험 결과에서도 절삭부하를 줄일 수 있도록 이송속도를 줄이고 주축회전수를 높임으로써 좋은 표면조도를 얻을 수 있다.

2.Aluminum 가공 실험에서 절삭깊이, 이송속도, 주축회전수를 변화시켜가며 가공실험을 한 결과 알루미늄의 고속절삭가공에서 절삭깊이, 이송속도, 주축회전수는 가공오차에 영향을 주지 않는 것을 확인하였다.

3. STD11와 같은 난삭재인 경우 가공 시간의 단축을 위해 무리한 가공조건으로 가공 할 시 공구와 시편에 좋지 않은 영향을 미침을 알 수 있었다. 이는 적절한 가공조건 선정의 중요성을 의미한다.

4. STD11의 경제적 이송속도 구간에서의 가공 실험결과에선 평면구간의 표면거칠기가 양호하지 못한 것을 확인하였다. 이는 일반 금형업체에서 효율적인 가공을 위해서는 경제적인 측면과 표면품위를 고려하여 적절한 선택을 한다면 고속가공의 이점을 얻을 수 있을 것이다.

5. STD11 가공실험 결과를 분산분석을 통해 분석한 결과 날당이송량(이송속도), 주축회전수는 표면거칠기에 Al과 같은 연질 소재보다 적은 영향을 미치는 것을 확인하였다. 이는 STD11 가공시 일정범위 안에서는 표면거칠기에 영향이 줄어듦으로 고속가공의 적용이 유리함을 확인하였다.

6. 여러 가지 절삭조건 중 주축회전수와 이송속도만 표면거칠기에 영향을 준다고 가정을 하여 실험한 Data에서 근사화 식을 유도함으로써 어느 임의의 조건에서의 표면거칠기를 예측할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

후 기

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

참고문헌

1. R. I. King, R. L. Vaughn, "A Synoptic view of *High-Speed Machining From Salomon to the Present*", Ann. ASME, Dec.1984, pp.1～13.
2. J. Tlusty, "High speed milling", Proceedings of the 6th Int. machine tool engineers conference(IMEC), pp. 35～60, 1994.
3. 양민양, "절삭가공 이론과 실제", 청문각, pp 174, 183, 1997.
4. 고태조, 정훈, 김희술, "고속 볼엔드밀링에서 공구마모를 고려한 공구의 가공경사각 선정", 한국정밀공학회지, Vol. 15, No. 9, pp. 135～144, 1998.
5. 이춘만, 최치혁, 정원지, 정종윤, 고태조, 김태영, 고속절삭가공기술개발, 한국공작기계학회 "2002년도 춘계학술대회 논문집, pp. 266～271, 2002.
6. 이춘만, 최치혁, 정원지, 정종윤, 고태조, 김태영, STD11 금형강의 고속가공에서 가공정밀도 향상에 관한 연구, 한국공작기계학회 "2002년도 추계학술대회 논문집, pp. 329～334, 2002.
7. Milton C.Shaw,Metal Cutting Principles, 1986.
8. P.Mathew and P.L.B.Oxley, "Predicting the Effects of Very High Cutting Speeds on Cutting Forces, etc., CIRP Vol.31/1/1982, pp.49～52.
9. J. F. Kahles, M. Field and S. M. Harvey, "High Speed Machining Possilities and Need", CIRP Vol.27/2/1978, pp.551～560.
10. 이종찬, "고속가공기술", 한국공작기계학회 '98년도 춘계학술대회 논문집, pp. 5～10, 1998.
11. H. Schulz, St. Hock, "High-speed Milling of Dies and Molds - Cutting Conditions and Technology", Annals of the CIRP, Vol. 44, No. 1, pp. 35～38, 1995.
12. 김경균, 강명창, 이득우, 김정석, "볼 엔드밀을 이용한 고속가공에서 금형제품의 형상가공 특석파악", 한국정밀공학회 '97추계학술대회 논문집, pp. 143～146, 1997.
13. 정훈, "고속엔드밀링에서 가공면 경계표현법을 통한 공구경로 방향 선정", 영남대학교 석사학위 논문, 1997.
14. 이춘만, 권병두, 고태조, 정종윤, 정원지, "실험계획법을 이용한 고속가공의 가공정밀도 향상에 관한 연구", 한국정밀공학회회지, Vol. 19, No. 7, pp. 88 ~ 96, 2002.