

알루미늄 경사면 절삭의 표면거칠기

한정식 · 정종윤[†] · 문덕희

창원대학교 산업시스템공학과

Surface Roughness for the Machining of Inclined Planes of Aluminum

Jeong-Sik Han · Jong-Yun Jung[†] · Dug-Hee Moon

Dept. of Industrial and Systems Engineering, Changwon National University

Surface roughness is an important factor to evaluate machined parts in precision machining. This is the major measure of surface quality. This research sets up experiments to select the factors which affect surface roughness in the machining of inclined planes of aluminum. The levels of the selected experimental factors are chosen to evaluate the relationship between the surface roughness of the machined parts and machining parameters. This is to find out the optimal machining condition in the inclined planes. The objective of this research is to improve the surface roughness of the machined products by using the ANOVA analysis. The factors for the experiments are cutting speed, feed rate, cutting depth, and cutting width. The experimental levels of the factors are two for the cutting depth and width. For the cutting speed and feed rate, their levels are three because they are more sensitive for the surface roughness than the other two. The inclined planes are machined by 5-axis machining equipment.

Keywords : Surface Roughness, Machining Parameters, Experimental Design, Material Removal

1. 서론

기계가공은 제품의 정밀 다듬질을 목적으로 하는 절삭공정으로 가공면의 정밀도와 표면거칠기를 설계 공차 이내에 충족시키는 것이 관건이다. 제품의 품질을 향상시키기 위한 방법으로는 각 부분품이 설계 시방서에 나타나 있는 규격을 만족시켜 생산되어야 완성품으로서 품질 규격을 충족할 수 있다. 이는 현대사회의 복잡 다양해지는 소비자의 요구를 충족시키기 위해 복잡한 형상을 가공할 때 더욱 그렇게 요구된다.

절삭 가공표면은 소재 및 공구의 재질, 절삭속도와 이송속도 절삭유 등에 영향을 많이 받는다. 기계가공에서는 기계의 효율적 운용이 점점 부각되고 있으며, 특히 절삭 효율을 높임과 동시에 제품의 정밀도를 향상시키고자 하는 2중의 요구가 높아지고 있다. 이러한 관점에서 후처리공정을 최소화하기 위한 여러 가지 방안이 제시되고 있으며, 그에 대한 방안으로 표면거칠기와 형상 정밀도의 향상을 통한 최적 절삭조건 선정에 대해 많은 연구가 진행되고 있다[1]. 대부분의 연구내용은 제품 생산의 경제성을 높임과 동시에 정밀도를 향상시키려는

논문접수일 : 2007년 08월 06일 논문수정일 : 2007년 08월 30일 게재확정일 2007년 08월 30일

[†] 교신저자 jjjung@changwon.ac.kr

※ 이 논문은 2007년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

관점에서 문제를 해결하고자 하였다[2]. 5축 밀링가공에서 표면거칠기와 절삭력 측정에 대한 많은 연구가 이루어져 왔으며, 이 중에서 제품의 품질에 직접적인 영향을 미치는 표면거칠기 향상에 관한 많은 방안이 제시되어지고 있다[3].

2. 연구목적 및 내용

근래에 개발되는 정밀 공작기계의 사양은 일반 설계 공차 내에 제품을 생산할 능력이 있으나, 기계운용의 미숙련으로 제품설계의 사양을 만족시키지 못하거나 또는 후처리 가공 등의 중복성 작업으로 생산 원가가 증가하는 경우가 있다. 또한 공작기계의 기능 향상으로 인하여 복잡한 부품의 가공이 증가하고 납기 및 고정밀도의 요구로 인하여 다축공작기계가 증가함에 따라 부수적으로 동시 5축이나 4축 가공의 중요성이 증대되어지고 있다[4]. 이러한 요구에 의하여 다축가공에서 경사각에 대한 표면거칠기에 관한 연구와 절삭 면의 깊이에 따른 표면 품질의 보증에 관한 연구가 필요하게 되었다.

본 연구는 다축 가공기를 이용한 flat 엔드밀 가공에서 [5] 절삭조건들과 경사각과 절삭된 면의 깊이에 따라 표면거칠기에 미치는 영향을 파악하여, 최적절삭 조건을 제시하고자 한다. 이를 위해 절삭에 영향을 미치는 인자들과 그의 수준을 선정하여 절삭실험한 후, 분산분석(ANOVA)을 이용하여 가공면의 표면거칠기와 절삭조건과의 상관관계를 규명하여 최적 절삭조건을 찾아 가공면의 품질을 향상시키고자 한다.

3. 실험장치 및 실험계획

3.1 실험장비

실험에 이용된 5축 Machining Center는 미국 C사의 장비로 최대회전수 3600rpm, Table size는 3000 × 750 × 600, 출력 20HP인 Vertical type으로 <Figure 1>은 실험에 사용된 5축 머시닝센터를 나타내고 있다.

3.2 실험소재 및 공구

실험에서 사용된 소재는 항공기부품에 주로 사용되며 최근 이 소재가 다양한 분야에 사용됨에 따라 사용량이 증가하는 추세에 있는 AL7050-T7542 열처리 알루미늄으로 선정하였다.



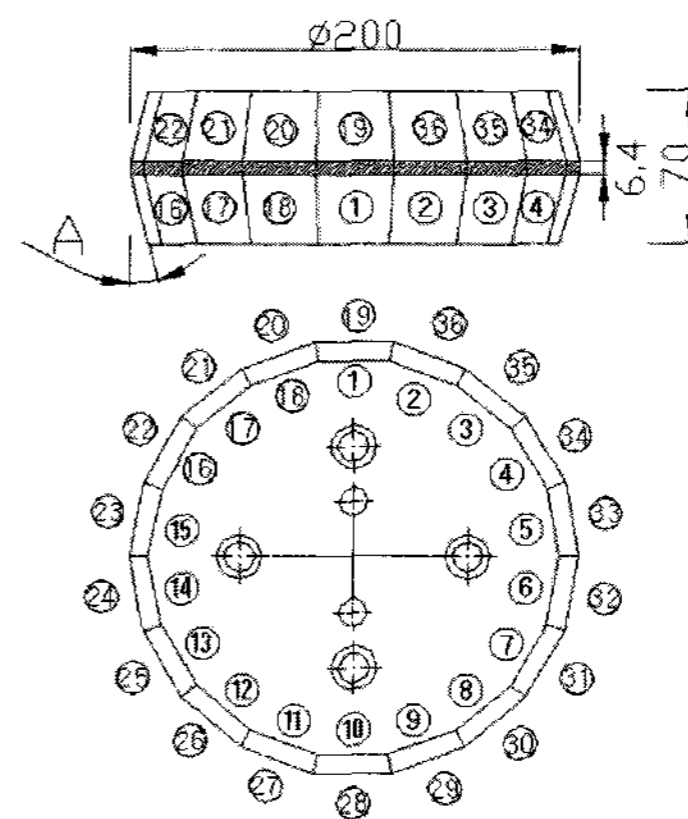
<Figure 1> Experimental equipment-5 axis machining center

하나의 시편에 36회의 실험이 가능하도록 설계하였고 한 구간의 절삭 길이는 35mm이며 절삭 깊이는 end mill 공구의 측면 길이 방향으로 19mm, 31.8mm로 한다. 경사면 기울기에 대한 가공성을 평가하기 위해 경사각을 각각 0, 7, 15, 23도로 선정하여 일반적인 가공의 경사면을 포함할 수 있도록 한다.

실험에 사용된 공구는 $\varnothing 12.7\text{mm}$ HSS 소재의 날 길이 50.8mm, 전장 101.6mm인 flat 엔드밀이다. 일반적으로 3날 공구의 경우 chip pocket이 커 배출이 원활하며, 동시에 단면적이 넓어 엔드밀의 강성이 크기 때문에 공구의 deflection에서 오는 편차를 줄일 수 있어 본 연구에서는 3날 공구를 선택한다. 아래 <Table 1>에는 시편에 사용된 AL7050-T7542 소재의 화학적 성분, <Figure 2>는 경사각 A가 15도인 specimen의 형상을 나타낸다.

<Table 1> Chemical composition of AL7050

Specimen	Cu	Fe	Si	Mn	Mg
	2.35	0.12	0.60	<0.01	2.44
	Zn	Cr	Ti	Zr	AL
	5.94	<0.01	0.03	0.095	88.4



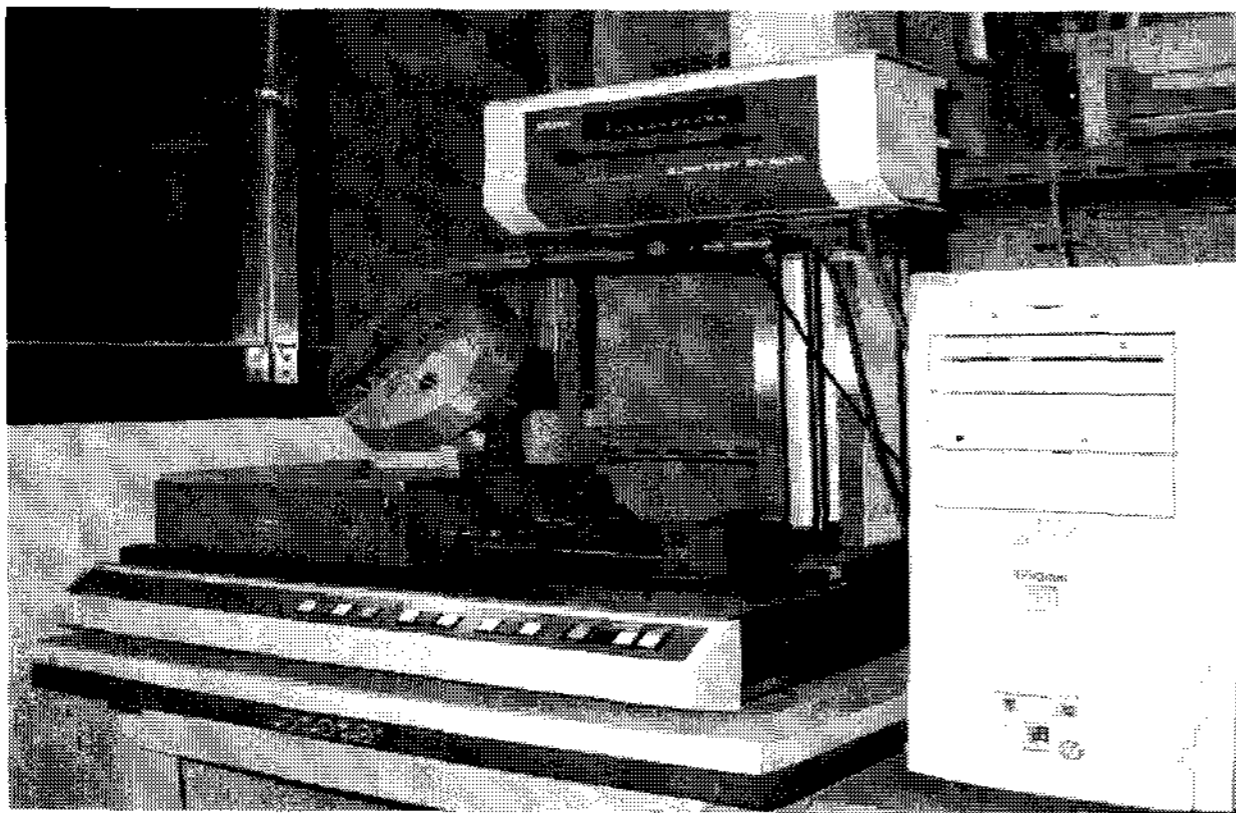
<Figure 2> Geometry of the specimen

3.3 측정 방법

표면거칠기를 측정하기 위해 일본 M사의 Surftest SV-624를 이용하여 중심선으로부터의 평균이탈선 간의 거리를 구하는 중심선 평균 거칠기 (CLA) Ra 값을 <Figure 3>에서 보는 것과 같은 순서와 방향으로 측정하였다. 측정 방법은 10mm 간격으로 상·중·하면을 각각 균일한 간격으로 3회 측정하여 평균값으로 산출하였다. 측정 시 Cutoff value, Sampling Length, Evaluation 등의 선정 방법은 <KS B 0161>규격을 [6] 참조하여 <Table 2>와 같이 선정하였다. <Figure 3>은 표면거칠기를 측정하는 M사의 Surftest SV-624를 나타내고 있다.

<Table 2> Standard values for the measurements of surface roughness

Cutoff (mm)	Sampling length (mm)	No. of sampling	Evaluation length (mm)
0.8	0.8	5	4.0



<Figure 3> Measuring the specimen

3.4 실험의 계획

시편의 4가지 형상 0도, 7도, 15도, 23도 경사각에 대하여 실험을 계획한다[7]. <Figure 4>에서 나타난 것과 같이 4가지의 경사각에서 RPM, 이송속도, 절삭 폭, 절삭 깊이에 대하여 RPM 1,200, 1,500, 2,000 (3수준), 이송속도 400, 600, 800mm/min (3수준), 절삭 폭 0.254, 0.508mm (2수준), 절삭 깊이 19, 31.75mm (2수준)으로 선정하였다. 각 경사각에 대하여 4인자의 full factorial design으로 실험을 36회 편성하였다. <Figure 5>는 15도 시편을 기계가공하고 있는 모습을 나타내고 있다.

알루미늄 습식 밀링 가공에서 절삭속도 60M/min, 이송속도 600mm/min은 적정 속도로 알려져 있어 이를 중심

으로 상하 2수준을 추가하고 상한과 하한을 정하여 실험의 결과가 바르게 나타나도록 한다. 상하한 선정 시 적정 중앙 수준으로부터 가까우면 실험의 결과로서 가공특성의 차이점을 얻기 어렵고, 절삭 한계를 벗어나면 관찰 특성을 얻기 어려우므로 본 연구에서는 절삭속도 하한 약 48M/min, 상한 약 80M/min으로 정하고, 이송속도 하한 400mm/min 상한 800mm/min으로 선정하여 넓은 범위 내에서 다양한 가공특성을 검출할 수 있도록 하였다. 그러나 절삭 깊이 및 절삭 폭에 대하여는 특별히 최적의 값이 알려 지지 않고 이것들이 절삭효과에 미치는 영향이 크지 않을 것을 판단되어 적정한 2수준으로 값을 정한다.

		factorial design	
1	Experimental factor	RPM	
		Feed	
		Cutting depth	
		Cutting width	
2	Level of factors	RPM (rev/min)	1200
			1500
			2000
		Feed (mm/min)	400
			600
			800
	Cutting width (mm)	0.254	
		0.508	
	Cutting depth (mm)	19	
		31.75	

<Figure 4> Test specimen and factorial design



<Figure 5> Machining of workpiece, 15 degree

4. 실험결과 및 고찰

4.1 측정 Data 및 분산분석

아래의 <Table 3>~<Table 6>은 각 경사 각도별 Surface-

roughness의 측정 데이터의 일부를 나타낸다. 각 경사각에 대하여 4인자의 full factorial design으로 실험을 36회 편성하고 그 일부를 나타낸다. 실험계획법에서 가장 많이 사용되는 분석방법으로 분산분석이 이용되고 있다. 분산분석 방법으로 인자들의 특성치산포를 요인별로 분해하여 어느 인자가 표면거칠기에 큰 산포를 가지는가를 규명하는 것이다. MINITAB을 [8] 사용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. <Table 7>~<Table 10>에서 보는 것과 같이 절삭폭을 제외한 모든 인자가 5% 수준으로 유의한 것으로 나타났으며, RPM(절삭속도)과 이송속도 교호작용의 주 효과는 유의함을 보여주고 있다[8].

<Table 3> Surface roughness, 0 degree

specimen (0 degree)								
Rum Order	StdOrder	RPM	Feed	Cutting depth	Cutting width	Ra (um)		
						Top	Mid dle	Bot tom
1	27	2000	400	31.75	0.254	0.362	0.464	0.648
2	22	1500	800	19	0.508	0.980	1.487	1.330
3	25	2000	400	19	0.254	0.378	0.816	0.591
4	17	1500	600	19	0.254	0.578	0.688	0.563
5	11	1200	800	31.75	0.254	1.186	1.815	1.866
6	33	2000	800	19	0.254	0.689	1.002	0.859
7	14	1500	400	19	0.508	0.397	0.775	0.382
8	12	1200	800	31.75	0.508	1.522	2.036	1.913
9	30	2000	600	19	0.508	0.449	0.787	0.550
10	6	1200	600	19	0.508	0.929	1.268	1.220
11	2	1200	400	19	0.508	0.536	0.855	0.602
12	35	2000	800	31.75	0.254	0.725	1.226	1.042
13	36	2000	800	31.75	0.508	1.024	0.950	1.015
14	5	1200	600	19	0.254	1.200	1.284	0.957
15	23	1500	800	31.75	0.254	1.100	1.279	1.066
16	21	1500	800	19	0.254	1.017	1.389	1.024

<Table 4> Surface roughness, 7 degree

specimen (7 degree)								
Rum Order	StdOrder	RPM	Feed	Cutting depth	Cutting width	Ra (um)		
						Top	Mid dle	Bot tom
37	27	2000	400	31.75	0.254	0.316	0.871	0.396
38	22	1500	800	19	0.508	0.941	1.293	1.137
39	25	2000	400	19	0.254	0.323	0.470	0.422
40	17	1500	600	19	0.254	0.488	1.321	0.525
41	11	1200	800	31.75	0.254	1.865	1.623	1.707
42	33	2000	800	19	0.254	0.802	0.899	0.678
43	14	1500	400	19	0.508	0.403	0.855	0.440
44	12	1200	800	31.75	0.508	1.820	1.815	1.971
45	30	2000	600	19	0.508	0.560	1.408	0.609
46	6	1200	600	19	0.508	0.859	1.178	1.029
47	2	1200	400	19	0.508	0.531	0.775	0.771
48	35	2000	800	31.75	0.254	0.633	1.176	0.705
49	36	2000	800	31.75	0.508	0.722	0.738	0.837
50	5	1200	600	19	0.254	0.693	0.701	0.919
51	23	1500	800	31.75	0.254	0.994	1.049	1.147
52	21	1500	800	19	0.254	0.996	1.222	0.982

<Table 5> Surface roughness, 15 degree

specimen (15 degree)								
Rum Order	StdOrder	RPM	Feed	Cutting depth	Cutting width	Ra (um)		
						Top	Mid dle	Bot tom
73	27	2000	400	31.75	0.254	0.488	0.462	0.714
74	22	1500	800	19	0.508	0.959	1.431	1.121
75	25	2000	400	19	0.254	0.520	0.905	0.523
76	17	1500	600	19	0.254	0.741	1.236	0.657
77	11	1200	800	31.75	0.254	0.901	1.693	1.763
78	33	2000	800	19	0.254	0.577	1.190	0.727
79	14	1500	400	19	0.508	0.609	1.129	0.541
80	12	1200	800	31.75	0.508	1.180	1.619	1.686
81	30	2000	600	19	0.508	0.423	0.665	0.508
82	6	1200	600	19	0.508	0.804	1.645	1.051
83	2	1200	400	19	0.508	0.630	1.375	0.522
84	35	2000	800	31.75	0.254	0.687	0.740	0.833
85	36	2000	800	31.75	0.508	0.859	1.126	0.945
86	5	1200	600	19	0.254	0.957	1.281	1.075
87	23	1500	800	31.75	0.254	0.940	1.536	1.055
88	21	1500	800	19	0.254	0.816	0.874	1.117

<Table 6> Surface roughness, 23 degree

specimen (23 degree)								
Rum Order	StdOrder	RPM	Feed	Cutting depth	Cutting width	Ra (um)		
						Top	Mid dle	Bot tom
109	27	2000	400	31.75	0.254	0.215	0.439	0.347
110	22	1500	800	19	0.508	0.853	1.317	0.936
111	25	2000	400	19	0.254	0.472	0.559	0.574
112	17	1500	600	19	0.254	0.598	0.996	0.712
113	11	1200	800	31.75	0.254	1.312	1.217	1.450
114	33	2000	800	19	0.254	0.553	0.760	0.534
115	14	1500	400	19	0.508	0.707	1.069	0.498
116	12	1200	800	31.75	0.508	1.915	1.627	1.803
117	30	2000	600	19	0.508	0.452	0.637	0.519
118	6	1200	600	19	0.508	0.729	0.688	0.868
119	2	1200	400	19	0.508	0.465	1.225	0.518
120	35	2000	800	31.75	0.254	0.682	0.909	0.924
121	36	2000	800	31.75	0.508	0.547	0.577	0.702
122	5	1200	600	19	0.254	0.743	0.892	0.952
123	23	1500	800	31.75	0.254	0.792	0.738	0.879
124	21	1500	800	19	0.254	0.892	1.107	0.986

<Table 7> ANOVA Table, 0 degree, top

Factor	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
RPM	2	1.54288	0.77144	31.88	0.000
Feed	2	2.02830	1.01415	41.90	0.000
RPM * Feed	4	0.26604	0.06651	2.75	0.049
Error	27	0.65345	0.02420		
Total	35	4.49067			

S = 0.155569, R-제곱 = 85.45% R-제곱(수정) = 81.14%

<Table 8> ANOVA Table, 7 degree, top

Factor	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
RPM	2	1.51719	0.75860	97.80	0.000
Feed	2	2.66349	1.33174	171.68	0.000
Cutting depth	1	0.03881	0.03881	5.0	0.035
Cutting width	1	0.03770	0.03770	4.86	0.038
RPM × Feed	4	1.11421	0.27855	35.91	0.000
RPM × Cutting depth	2	0.06036	0.03018	3.89	0.035
Error	23	0.17841	0.00776		
Total	35	5.61017			

$S = 0.0880734$, R-제곱 = 96.82% R-제곱(수정) = 95.16%

<Table 9> ANOVA Table, 15 degree, top

Factor	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
RPM	2	0.67892	0.33946	21.04	0.000
Feed	2	1.17959	0.58979	36.56	0.000
RPM * Feed	4	0.23414	0.05854	3.63	0.017
Error	27	0.43559	0.01613		
Total	35	2.52824			

$S = 0.127016$, R-제곱 = 82.77% R-제곱(수정) = 77.67%

<Table 10> ANOVA Table, 23 degree, top

Factor	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
RPM	2	1.25395	0.62698	34.27	0.000
Feed	2	1.65407	0.82703	45.21	0.000
RPM * Feed	4	0.82152	0.20538	11.23	0.000
Error	27	0.49392	0.01829		
Total	35	4.22345			

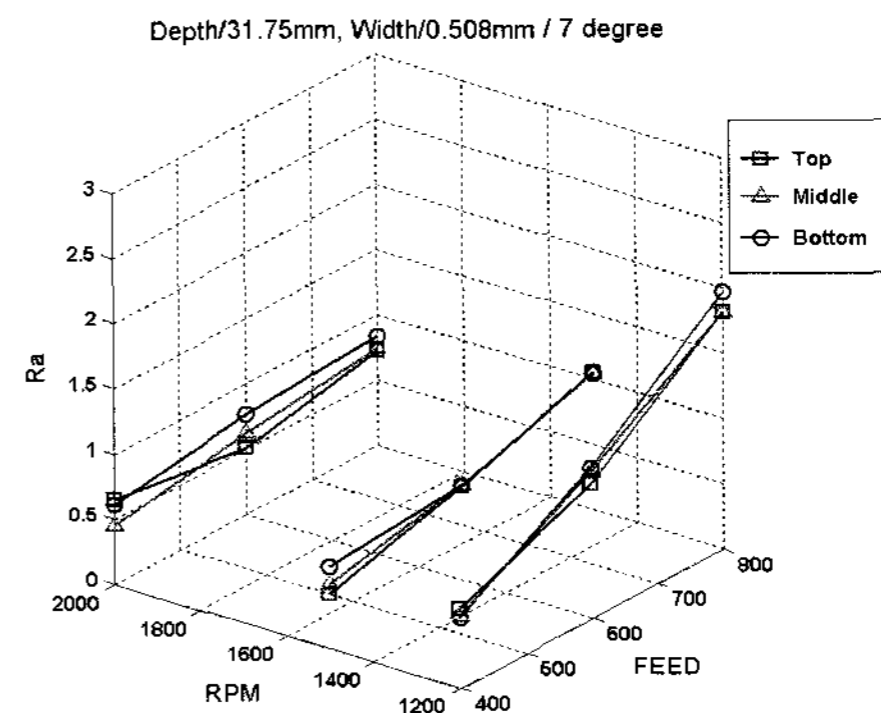
$S = 0.135252$, R-제곱 = 88.31% R-제곱(수정) = 84.84%

4.2 분산분석 비교분석

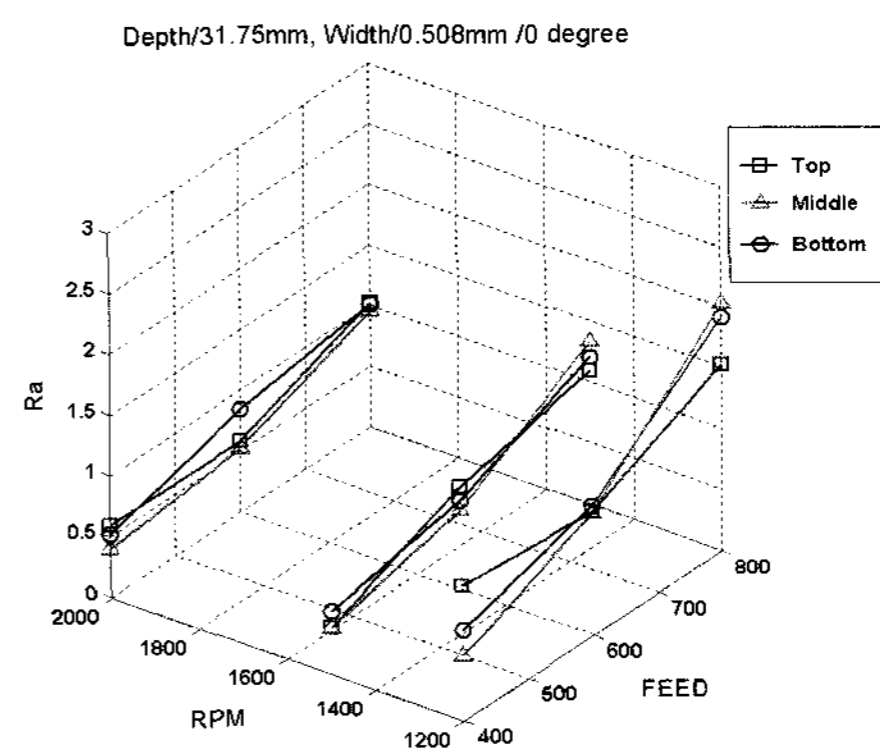
실험결과를 분산분석의 방법으로 인자들의 특성 치산포를 요인별로 분해하여 어느 인자가 표면거칠기에 큰 산포를 가지는가를 규명한다. Minitab을 사용하여 분산분석(ANOVA)을 실시한 결과, 0도, 7도, 15도, 23도 경사면 절삭에서 절삭속도 (RPM), 이송속도, 절삭속도와 이송속도의 교호작용의 주 효과는 유의한 것으로 나타났다. 특히 7도에서는 절삭 속도, 절삭 깊이, 절삭 폭의 주 효과가 유의하며, 절삭속도와 이송속도, 절삭속도와 절삭 깊이의 교호작용도 유의하므로 가공의 파라미터 선정 시 최적 값을 신중히 선정할 필요가 있음을 알 수 있다.

4.3 표면거칠기 비교분석

절삭경사면 0도인 경우 <Figure 6>에서 나타난 것과 같이 절삭속도 2,000RPM의 중앙부 표면거칠기는 이송속도 400mm/min, 600mm/min에서 상부와 하부의 표면거칠기보다 낮게 나타내고 있다. 절삭속도 1,200RPM에서 중앙부와 하부의 표면거칠기가 600mm/min과 800mm/min에서 편차가 비슷한 현상을 보여 주고 있다. 절삭속도 2,000 RPM에서 가공면의 표면거칠기는 1,500RPM, 1,200RPM에서의 거칠기보다 낮게 분포되어 있다. <Figure 6>은 절삭 깊이 31.75mm, 절삭 폭 0.508mm의 표면거칠기 비교 그래프를 나타내고 있다.



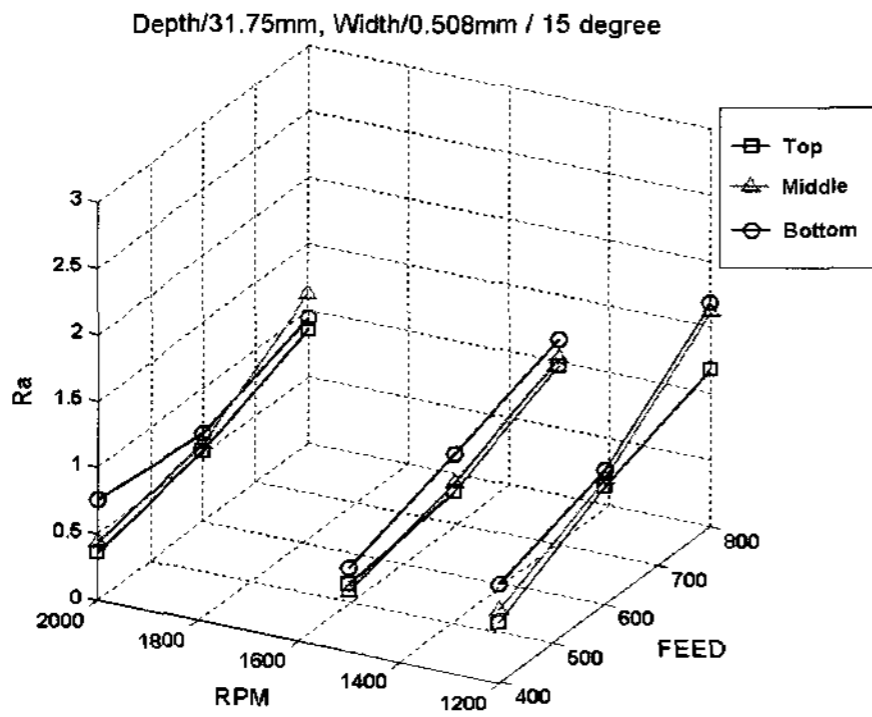
<Figure 6> Surface roughness from various cutting conditions, 0 degree



<Figure 7> Surface roughness from various cutting conditions, 7 degree

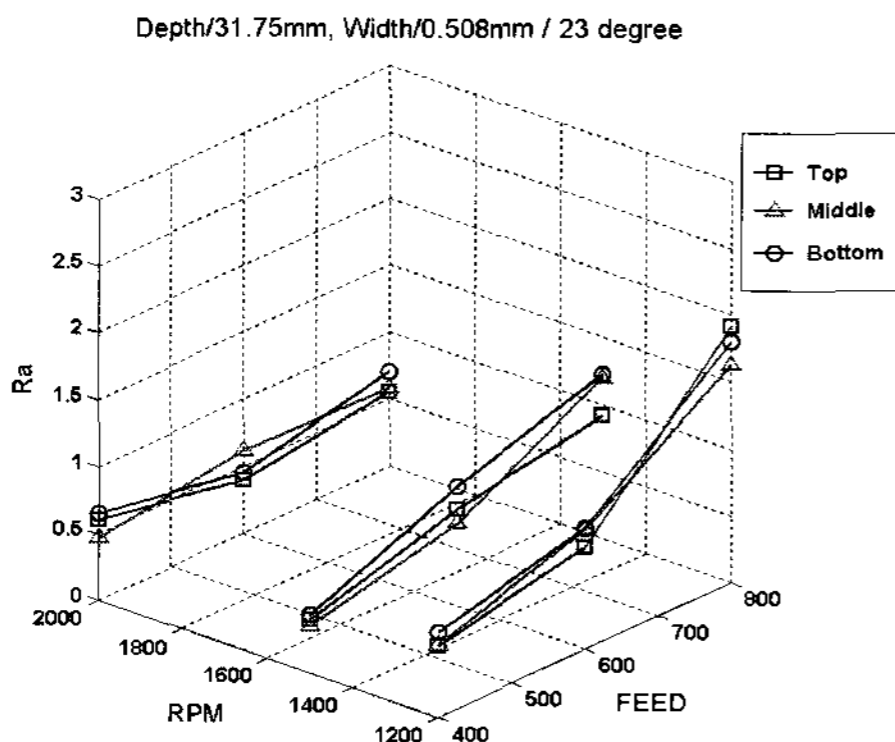
경사각 7도인 경우 <Figure 7>에서 나타난 것과 같이 절삭속도 1,200RPM에서 400mm/min, 600mm/min, 800mm/min 상부, 중앙부, 하부의 표면거칠기는 비슷한 분포로 좋지 않게 나타나고 있다. 이는 1,200RPM에서 이송속도 변화에 따라 표면거칠기 분포가 민감하게 나타난 것을 알 수 있다. 절삭속도 2,000RPM에서 400mm/min의 중앙부

는 상부와 하부의 분포보다 중앙부 거칠기가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 1,200RPM에서 이송속도 800mm/min의 표면이 거칠게 나타났으나 절삭속도가 높은 2,000RPM에서 거칠기가 낮게 나타나고 있는데 이는 절삭속도 2,000RPM의 가공면 표면거칠기는 이송속도에 예민하지 않아서 이송속도의 선정에 크게 문제되지 않은 절삭속도임을 알 수 있다.



<Figure 8> Surface roughness from various cutting conditions, 15 degree

경사각 15도인 경우 <Figure 8>에서 보는 것과 같이 절삭속도 2,000RPM에서 이송속도 400mm/min, 600mm/min, 800mm/min의 표면거칠기는 0.8 μ m 이내에 포함되며 양호한 표면 거칠기를 보이고 있다. 1,200RPM과 1,500RPM의 경우 이송속도 800mm/min에서 거친 표면이 나타났고 그 범위는 1.8 μ m 이내로 다른 절삭조건보다 낮지만, 동일 절삭속도의 낮은 이송속도에서의 거칠기보다 높게 나타났다. 중앙부 표면의 표면거칠기가 나쁜 상태로 분포되어 있으며 2,000RPM의 경우 모든 이송속도 범위 내에서 비교적 양호한 상태로 나타나고 있다.



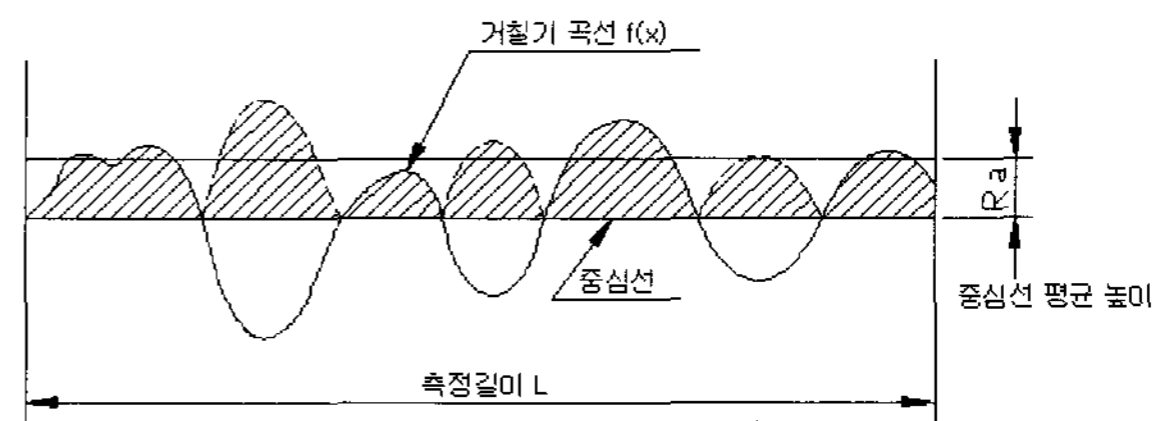
<Figure 9> Surface roughness from various cutting conditions, 23 degree

경사각 23도의 경우 <Figure 9>에서 보는 것과 같이 절삭속도 2,000RPM에서 이송속도 400mm/min, 600mm/min, 800mm/min의 표면거칠기가 비교적 양호한 상태로 나타난 것으로 알 수가 있다. 1,500RPM, 400mm/min에서 하부가 상대적으로 거친 표면거칠기를 나타내며 특히 1,200RPM에서 하부의 거칠기가 상부와 중앙부의 거칠기보다 높게 나타내고 있다. 이는 다른 절삭조건에서 나타나지 않은 특이한 현상이며 1,500RPM, 2,000RPM에서도 같은 분포를 나타내고 있다. <Figure 9>는 절삭 깊이 31.75mm, 절삭 폭 0.254mm의 표면거칠기의 비교 분포를 나타내고 있다[9].

5. 표면거칠기 고찰

5.1 이론적인 표면거칠기

가공면의 표면거칠기는 공구의 자국으로 파인 형상을 정량적으로 나타내는 치수로 가공면의 품위를 나타내는 척도로 자주 쓰인다. 이론적인 표면거칠기(ideal surface roughness)는 built-up-edge, 진동, 공작기계의 부정확 등이 없이 주어진 공구형상, 이송에 의해서만 정해지는 거칠기이므로 [1]절삭조건에 따라 예측이 가능하다. <Figure 10>은 중심선 표면거칠기 방법으로 거칠기의 높이 값(Ra)을 나타낸다.



<Figure 10> Profile of surface roughness curve

밀링커터에 의한 표면거칠기는 날(tooth) 하나하나의 자국으로 나타나겠지만, 실제에 있어서는 커터의 진동, 밀링머신의 강성 등이 영향을 미친다. 이런 외부적인 요인을 배제하고 순수한 이론적인 거칠기를 다음과 같이 표현한다. 밀링가공의 하향절삭에서 f 를 이송속도, R 을 공구 반경, f_z 를 이송을 n 을 초당 공구 회전수라 할 때, 이론적인 표면거칠기는[1] 다음과 같이

$$R_{max} = \frac{f_z^2}{8R} \left(1 + \frac{f}{\pi n R}\right)$$

이 된다.

5.2 실험결과와 이론적인 거칠기 비교

실험데이터와 이론적인 거칠기를 비교 했을 때 절삭 속도 1,200, 1,500, 2,000RPM에 따라 표면거칠기가 많이 차이가 나는 것을 아래와 같이 다음의 표에서 볼 수 있다. 본 실험에서 표면거칠기는 이론적인 값보다 나쁜 거칠기를 나타내고 있다. 이런 이유는 절삭가공 시 물리적 기계적인 진동, 마찰저항, 가공 소재, 공구 마도에 의한 영향 등으로 판단된다. <Table 11>~<Table 13>은 절삭 속도별 실험 data와 이론적 표면거칠기 값을 비교 분석한 표를 나타내고 있다.

<Table 11> Surface roughness at 1,200 RPM

절삭 속도	이송 속도	절삭 깊이	절삭 폭	경사 각	절삭 위치	측정값 (Ra)	이론값 (Ra)
1,200	400	19.00	0.254	0도	중	0.719	0.247
1,200	400	19.00	0.508	0도	중	0.855	0.247
1,200	400	31.75	0.254	0도	중	0.885	0.247
1,200	400	31.75	0.508	0도	중	0.536	0.247

<Table 12> Surface roughness at 1,500 RPM

절삭 속도	이송 속도	절삭 깊이	절삭 폭	경사 각	절삭 위치	측정값 (Ra)	이론값 (Ra)
1,500	400	31.75	0.254	0도	중	1.111	0.158
1,500	400	19.00	0.254	0도	중	0.755	0.158
1,500	400	31.75	0.508	0도	중	0.386	0.158
1,500	400	19.00	0.508	0도	중	0.775	0.158

<Table 13> Surface roughness at 2,000 RPM

절삭 속도	이송 속도	절삭 깊이	절삭 폭	경사 각	절삭 위치	측정값 (Ra)	이론값 (Ra)
2,000	400	19.00	0.254	0도	중	0.816	0.088
2,000	400	19.00	0.508	0도	중	0.710	0.088
2,000	400	31.75	0.508	0도	중	0.405	0.088
2,000	400	31.75	0.254	0도	중	0.464	0.088

6. 결 론

6.1 각도별 최적의 절삭 조건

절삭속도와 이송속도 절삭 깊이, 절삭 폭의 가공조건에 따른 표면거칠기 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 절삭면의 표면품위를 각 측정부위에서 표면거칠기의 고른 분포에 높은 비중을 줄 경우 상, 중,

하부의 거칠기의 차를 $0.2\mu m$ 이내로 제한하여 <Table 14>와 같이 각 각도별 최적의 거칠기 조건을 선정하였다. 표에 보는 바와 같이 모든 경사각도에서 이송이 최저인 경우 양호한 표면거칠기를 얻을 수 있었다.

<Table 14> Specimen of optimal cutting condition (0, 7, 15, 23 degree)

Degree	RPM	Feed	depth	width	Ra (um)		
					Top	Mid	Bot
0	1,500	400	31.75	0.508	0.387	0.386	0.522
7	2,000	400	19.00	0.254	0.323	0.470	0.422
15	1,500	400	31.75	0.508	0.515	0.455	0.629
23	1,500	400	31.75	0.508	0.393	0.347	0.437

6.2 경사각에 따른 표면거칠기 변화

경사각이 7도인 경우에는 중앙부의 표면거칠기의 편차의 폭이($0.3\sim 2.7\mu m$)으로 가장 크게 나타났으며, 이 경사각에서 표면거칠기가 가장 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 또한 모든 인자의 주 효과와 다수의 교호작용이 유의한 것으로 나타났다. 이것으로부터 7도 경사각 가공 시 우수한 표면거칠기를 얻기 위해 최적의 절삭 파라미터를 선정해야 함을 알 수 있다.

절삭속도가 빠르면 대체로 표면이 매끈하며 이송속도가 빠르면 표면거칠기는 매우 거친 상태로 나타난다. 그러므로 높은 수준의 표면거칠기를 얻기 위해서 정삭가공 시 절삭속도를 빠르게 이송속도를 낮게 선정하여야 한다.

각도별 표면의 영향은 15도 시편에서 좋은 표면을 보여주고 있다. 상부의 경우 표면거칠기가 모든 조건하에서 $1.5\mu m$ 를 넘지 않는 것으로 나타났다. 특히 상부, 중앙부, 하부의 관계는 중앙부가 상대적으로 거친 표면을 나타내고 있어 절삭 깊이가 클수록 중앙부의 표면거칠기에 유의하여야 한다.

참고문헌

- [1] 서남섭; 절삭가공학, 동명사, 2002.
- [2] 백대균, 고태조, 김희술; "표면조도 모델을 이용한 정면밀링에서의 최적 이송속도 선정", 대한기계학회논문집(A), 20(8) : 2508-2515, 1996.
- [3] 배효준, 박홍식; "엔드밀 고속가공시 표면정도 향상을 위한 가공인자의 영향분석", 한국정밀공학회지, 21(6) : 2004.
- [4] 전득; "다축 가공에 요구되는 CAD/CAM 시스템의 기능", 일본 공업조사회 기계와 공구, 4, 2004.

- [5] 이우영, 최성주; “엔드밀을 이용한 알루미늄 측벽 형상의 고속가공 특성”, 한국정밀공학회, 2000년 춘계학술대회논문집, 912-916, 2000.
- [6] 강구봉, 황영동; “절삭공구와 가공기술”, 기전출판사, 1994.
- [7] 박성현; 현대 실험계획법, 도서출판 민영사, 1999.
- [8] 이레테크 미니탭사업부, MINITAB 실무 완성, 이레테크, 2001.
- [9] 한정식; “가공면의 표면거칠기를 고려한 최적절삭조건에 관한 연구”, 석사학위논문, 창원대학교, 2005.