

## CNC 자동선반을 이용한 SUS440C 안지름 가공에 대한 표준 거칠기에 관한 연구

### A Study on the Standard Roughness for SUS440C Internal Diameter Machining Using a CNC Automatic Lathe

최철웅<sup>1</sup>, 최원식<sup>2\*</sup>

Chul-Woong Choi<sup>1</sup>, Sik-Won Choi<sup>2\*</sup>

#### 〈Abstract〉

The multi-axis combined machining technology has enabled combined machining, which was difficult. However, the reality is that manufacturing costs are rising due to expensive equipment and there is a shortage of machine operation engineers. The purpose of this research is to present the optimum cutting conditions for the surface roughness when processing the inner diameter of SUS440C, which is an egg material, using a CNC automatic lathe. As a result of measuring the surface roughness, dry machining was the best at  $R_a 0.481\mu\text{m}$  at a spindle speed of 4,000rpm, a feed rate of 0.05rev/min, and a cutting depth of 0.3mm. In wet machining, the highest value was  $R_a 0.317$  at a spindle speed of 2,000 rpm, a feed rate of 0.05 rev/min, and a cutting depth of 0.2 mm. The lower the feed rate, the better surface roughness appears. It was found that the feed rate had more influence than the number of revolutions and depth of cut.

*Keywords : CNC Automatic Lathe, SUS440C, Surface Roughness, Inner Diameter*

1 주저자, 한국폴리텍6대학 기계시스템과, 조교수

2\* 2저자, 교신저자, 부산대학교 바이오산업기계공학, 교수  
E-mail: ccw1021@kopo.ac.kr

1 College of Mechanical System, Korea Polytechnic UNIV

2\* Department of Bio-Industrial Machinery Engineering,  
Pusan National University

## 1. 서론

절삭가공에서 가공정밀도에 직접적인 영향을 미치는 인자는 절삭 속도, 이송 속도, 절입량 등이 있다. 일반적으로 이송 속도를 증가시키면 형상 오차가 커지게 되고 절삭 속도를 증가시키면, 공구 사이클이 짧아지는 결과를 나타낸다. [1-9]

다축 복합가공 기술이 어려웠던 복합형의 절삭가공을 가능하게 하고 있다. 하지만 고가의 장비로 인해 제조 경비 상승과 기계 운용 기술자 부족한 것이 현실이다. [10-13]

리머 가공을 통한 홀에 대한 표면 거칠기에 대한 연구도 발표 되었다. [14-김용경]

본 연구에서는 CNC 자동선반을 이용하여 난삭재인 SUS440C의 안지름을 가공 때 표면거칠기에 대한 최적의 절삭조건을 제시하는 데 목적이 있다.

## 2. 실험 장치 및 재료

### 2.1 실험 장치

본 실험에 사용한 가공 장비는 (주)한화에서 제조된 CNC 자동선반 장비로서 모델명은 XD38 II 이며, 실험 가공 장비는 Fig. 1에 도시하였고, 세



Fig. 1 CNC automatic lathe for experiments

부 사양은 Table 1에 나타내었다.

실험에 사용된 표면거칠기 측정 장비는 Fig. 2와 같고, 측정 장비에 대한 세부 규격은 Table 2와 같다.

Table 1. CNC Automatic lathe specification

Item		Specification
Manufacturer		Hanwha
Model		XD38 II
Max..Turing(mm)		∅38
Max. Stroke (mm)	main	320
	sub	280
Spindle speed (rpm)	main	6,500
	cross drill(main)	6,000
	sub	6,500
	back tool	6,000



Fig. 2 Photograph of surface roughness tester

Table 2. Specification of surface roughness

Item	Specification
Manufacturer	Kosaka laboratory corporation(Japan)
Model	Surfcoder-F501
Driving Method	One reciprocation
Driving speed(mm/sec)	measurement: 0.002~10
	Auto return : 2~10
Measuring values	Ra,Rz,Rmax(Ry),Pq,Pp,Rq, Rt,Ry
Cut-off values available	0.008, 0.25, 0.8, 8, ,25
Dimension(mm)	600 × 395 × 593

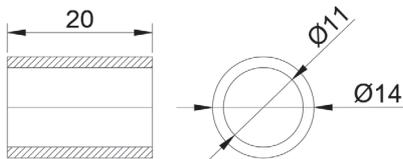


Fig. 3 Drawing of surface roughness measurement area

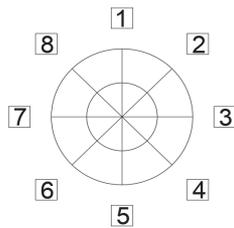


Fig. 4 Surface roughness measurement area after internal hole processing

Fig. 3은 표면거칠기를 측정하기 위한 가공 안지름 가공 도면이고, 측정 부위는 Ø11mm이다. Fig. 4는 표면거칠기를 측정하기 위한 안지름 소재에 대한 측정 위치 개수의 개략도를 표시하고 있다.

## 2.2 절삭공구

본 실험에서 사용된 절삭공구는 대구택 초경 팁 CCMT 060202 FA로 습식과 건식 가공 각각 250개 사용했다. 안지름 가공 홀더는 대구택 제품을 사용했다. Table 3은 초경 팁에 관한 형상과 치수이며, Table 4는 안지름 홀더에 대한 형상과 치수이다.

## 2.3 실험재료

본 실험에서 사용된 소재는 SUS440C이며 화학 성분은 Table 5에 표시하였고, 시편은 연마 가공한 환봉으로 Ø15 × 1,500mm를 사용하였고, 길이 20.0mm로 측정 시편을 제작하였다. 가공 전, 후는 Fig. 5와 Fig. 6과 같다.

Table 3. Lathe tip shape and dimensions(mm)

IC	S	RE
6.35	2.38	0.2

Table 4. Inner diameter holder shape and dimensions (mm)

DCIBNS	H	LF	LDRED	WF	Dmin
8	7	12.5	18	6	11

Table 5. Chemical composition of specimens

Element	SUS440C(%)
C	0.95~ 1.2
Si	1.0 or less
Mn	1.0 or less
P	0.04 or less
S	0.03 or less
Ni	0.6 or less
Cr	16.0~ 18.0
Mo	0.75 or less



Fig. 5 Previous experiments



Fig. 6 After the experiments

### 3. 실험방법 및 고찰

#### 3.1 실험방법

본 연구에서는 SUS440C 소재를 초경 팁을 이용한 안지름 절삭가공을 건식과 습식가공을 이용하여 실시하였다. CNC 자동선반에서 메인 축에서 길이 절단 및 외경 가공, 서브 축에서 안지름 절삭가공을 하였다. 가공 변화 조건은 Table 6과 같다.

Table 6. Experimental conditions of cutting process

Workpiece	Spindle speed (rpm)	Feed rate (mm/rev)	Depth of cut (mm)
SUS440C0	1,000 2,000 3,000 4,000 5,000	0.05	0.1 0.2 0.3 0.4 0.5
		0.1	
		0.15	
		0.2	
		0.25	
		0.3	
		0.35	
		0.4	
		0.45	
		0.5	

#### 3.2 실험 측정 결과

표면거칠기 측정 장비를 이용하여 건식과 습식 가공에 따른 표면거칠기 결과 평균치는 건식 가공은 Table 7-11, 습식가공은 Table 12-16에 표시하였다.

Table 7. Surface roughness according to cutting parameters during dry machining(1,000rpm)

Feed rate (mm/rev)	Depth of cut(mm)				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.05	1.179	1.273	1.73	0.789	0.853
0.1	2.03	2.199	1.872	2.061	1.937
0.15	2.955	3.043	2.743	2.381	1.585
0.2	4.012	3.496	2.584	3.182	2.513
0.25	5.095	3.347	3.112	3.547	4.664
0.3	5.179	5.7	5.63	5.849	4.735
0.35	6.576	5.899	6.236	6.384	6.044
0.4	7.561	6.391	7.03	7.234	7.034
0.45	7.779	7.072	7.878	7.429	7.455
0.5	8.072	7.361	8.136	8.402	8.491

Table 8. Surface roughness according to cutting parameters during dry machining(2,000rpm)

Feed rate (mm/rev)	Depth of cut(mm)				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.05	1.075	0.828	0.744	0.602	0.531
0.1	1.041	1.352	1.422	1.873	1.431
0.15	1.867	1.948	2.51	2.692	2.803
0.2	3.327	3.985	4.489	2.979	3.167
0.25	3.371	4.072	4.773	4.052	4.128
0.3	4.536	4.213	5.548	4.145	5.042
0.35	5.682	5.941	6.617	6.675	5.168
0.4	6.926	6.824	6.913	6.688	5.361
0.45	7.753	7.574	7.482	7.516	6.732
0.5	8.343	7.852	7.566	8.062	7.52

**Table 9. Surface roughness according to cutting parameters during dry machining (3,000rpm)**

Feed rate (mm/rev)	Depth of cut(mm)				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.05	0.728	0.693	1.131	1.062	0.909
0.1	1.082	1.075	1.532	1.51	1.232
0.15	2.48	1.739	1.744	1.876	2.72
0.2	2.506	2.266	2.353	3.073	3.861
0.25	4.265	3.013	4.11	3.249	4.303
0.3	4.667	4.13	4.767	4.344	4.961
0.35	5.941	5.898	5.551	6.119	6.325
0.4	5.886	6.305	6.897	6.408	6.73
0.45	6.828	6.94	7.359	7.261	7.523
0.5	7.418	7.332	7.612	7.891	8.333

**Table 10. Surface roughness according to cutting parameters during dry machining (4,000rpm)**

Feed rate (mm/rev)	Depth of cut(mm)				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.05	1.057	0.932	0.481	0.751	1.172
0.1	1.887	1.092	1.332	1.52	1.041
0.15	1.976	1.54	1.964	1.758	2.019
0.2	2.731	3.101	2.479	2.897	3.158
0.25	3.718	3.197	4.074	4.779	3.449
0.3	4.969	4.826	5.215	5.49	3.829
0.35	5.126	6.359	5.934	5.82	5.91
0.4	5.671	6.372	6.651	7.225	6.309
0.45	7.003	6.83	7.781	8.086	6.254
0.5	7.134	7.739	8.252	8.27	6.999

**Table 11. Surface roughness according to cutting parameters during dry machining(5,000rpm)**

Feed rate (mm/rev)	Depth of cut(mm)				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.05	1.295	0.935	0.859	0.9	1.447
0.1	1.067	0.983	1.635	1.048	1.269
0.15	1.639	1.596	1.844	2.35	2.255
0.2	2.354	3.137	2.519	2.746	2.938
0.25	3.463	4.534	3.275	2.914	3.94
0.3	5.973	5.252	5.066	4.316	4.325
0.35	6.101	6.685	5.686	5.582	4.68
0.4	6.394	6.873	6.061	6.883	7.198
0.45	8.038	7.816	6.541	7.573	7.783
0.5	8.341	8.321	8.317	8.076	8.219

**Table 12. Surface roughness according to cutting parameters during wet machining (1,000rpm)**

Feed rate (mm/rev)	Depth of cut(mm)				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.05	0.632	0.527	0.318	0.374	0.487
0.1	1.166	1.365	1.383	1.125	1.016
0.15	1.794	1.958	2.125	2.917	1.969
0.2	1.969	2.889	2.485	3.881	4.108
0.25	4.023	4.669	4.518	4.014	4.136
0.3	3.904	4.417	4.414	5.126	5.871
0.35	5.36	5.428	5.436	5.088	5.821
0.4	7.138	6.664	6.376	6.863	5.941
0.45	7.367	7.506	6.529	7.723	7.742
0.5	7.379	6.887	6.987	7.796	8.206

**Table 13. Surface roughness according to cutting parameters during wet machining (2,000rpm)**

Feed rate (mm/rev)	Depth of cut(mm)				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.05	0.337	0.317	0.382	0.496	0.401
0.1	1.171	1.056	1.267	1.593	1.237
0.15	1.984	2.077	2.317	2.701	2.748
0.2	3.199	2.848	3.766	3.078	3.049
0.25	4.166	3.906	4.261	4.54	4.366
0.3	4.39	3.992	4.334	4.306	4.961
0.35	5.326	4.919	4.997	5.616	5.392
0.4	6.662	7.696	6.141	6.244	7.51
0.45	7.966	7.066	6.904	7.645	8.657
0.5	7.794	9.363	9.164	7.737	8.744

**Table 14. Surface roughness according to cutting parameters during wet machining(3,000rpm)**

Feed rate (mm/rev)	Depth of cut(mm)				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.05	0.665	0.538	0.646	0.667	0.777
0.1	1.359	1.279	1.214	1.241	1.129
0.15	1.749	2.382	2.088	2.439	2.376
0.2	2.281	2.455	2.703	3.67	2.55
0.25	4.221	2.962	4.838	4.38	4.141
0.3	5.102	3.756	5.705	3.798	4.51
0.35	6.135	5.354	5.41	4.982	5.744
0.4	6.829	5.977	5.559	5.648	5.843
0.45	7.837	6.516	6.974	5.9	6.304
0.5	8.647	6.837	7.832	8.424	7.379

**Table 15. Surface roughness according to cutting parameters during wet machining (4,000rpm)**

Feed rate (mm/rev)	Depth of cut(mm)				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.05	0.447	0.897	0.846	0.488	0.49
0.1	0.733	1.411	1.051	1.198	1.222
0.15	1.877	2.051	2.342	2.305	2.288
0.2	2.569	3.013	2.925	2.214	3.398
0.25	3.213	3.92	3.851	3.634	3.658
0.3	3.633	4.227	3.12	3.778	4.941
0.35	5.289	6.049	5.732	5.763	4.833
0.4	5.917	7.064	6.501	5.873	5.401
0.45	7.389	7.317	6.46	6.636	6.549
0.5	7.801	7.745	7.613	8.657	7.177

**Table 16. Surface roughness according to cutting parameters during wet machining(5,000rpm)**

Feed rate (mm/rev)	Depth of cut(mm)				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.05	0.961	0.35	0.393	0.54	1.256
0.1	1.216	1.293	1.696	1.061	1.85
0.15	1.819	2.008	2.691	2.532	2.881
0.2	2.436	2.669	2.213	2.572	2.548
0.25	4.748	4.033	5.124	2.836	2.779
0.3	5.468	4.659	5.211	5.055	5.217
0.35	5.93	5.78	4.78	5.897	5.423
0.4	6.751	6.375	6.088	6.313	6.269
0.45	7.931	8.245	5.927	6.118	7.775
0.5	8.122	9.454	7.039	6.302	7.135

### 3.3 실험고찰

절삭가공 후 표면거칠기에 대한 최적의 절삭조건을 측정 조사하였다.

건식 가공에서 회전수 4,000rpm, 이송 속도 0.05rev/min, 절입량 0.3mm에서  $R_a$  0.481 $\mu$ m로 가장 우수하게 나왔으며, 회전수 1,000rpm, 이송 속도 0.4mm/rev, 절입량 0.5mm에서는  $R_a$  8.491

$\mu$ m로 가장 안 좋은 표면거칠기가 측정되었다.

이송 속도를 기준으로 평균적 표면거칠기를 분석했을 때 0.05mm/rev에서  $R_a$  0.958 $\mu$ m로 좋게 나왔으며, 이송 속도 0.45mm/rev에서  $R_a$  7.922 $\mu$ m로 가장 안 좋게 나왔다. 이송 속도에 따른 평균 표면거칠기의 순서를 보자면, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5 mm/rev 순으로 나열을 할 수 있다. 이송 속도가 올라갈수록 표면거칠기가 안 좋을 것을 알 수 있었다.

회전수를 기준으로 했을 때는 4,000rpm에서  $R_a$  4.263 $\mu$ m로 가장 좋게 나왔고, 1,000rpm에서  $R_a$  4.735 $\mu$ m로 가장 안 좋은 표면거칠기가 나왔다. 평균적으로 표면거칠기가 좋은 순서로는 4,000, 3,000, 5,000, 2,000, 1,000rpm 순이다.

절입량을 기준일 때는 평균적으로 절입량 0.5mm에서  $R_a$  4.346 $\mu$ m로 가장 좋게 나왔으며, 0.4mm에서는  $R_a$  4.486 $\mu$ m으로 절입량 기준으로 했을 때 가장 안 좋은 표면거칠기가 나왔다. 좋은 순서로는 0.5, 0.2, 0.1, 0.3, 0.4mm 순이다.

건식 가공은 Fig. 7-11까지 표시하였는데 그래프를 보았을 때 이송에 따른 이상향 그래프를 확인할 수 있다.

습식가공에서는 회전수 2,000rpm, 이송 속도 0.05mm/rev, 절입량 0.2mm에서  $R_a$  0.317 $\mu$ m로 가장 우수하게 나왔으며, 주축 5,000rpm, 이송 속도 0.5mm/rev, 절입량 0.2mm에서  $R_a$  9.445 $\mu$ m로 가장 나쁜 표면거칠기를 보여 주었다.

이송 속도를 기준으로 평균적인 표면거칠기를 분석했을 때 가장 좋은 평균값을 가지는 이송은 건식과 같았으며, 안 좋은 표면거칠기를 가지는 이송 속도는 0.5mm/rev에서 나왔다.

회전수를 기준으로 했을 때는 4,000rpm에서  $R_a$  4.021 $\mu$ m로 가장 좋게 나왔고, 2,000rpm에서  $R_a$  4.286 $\mu$ m로 가장 안 좋은 표면거칠기가 나왔다.

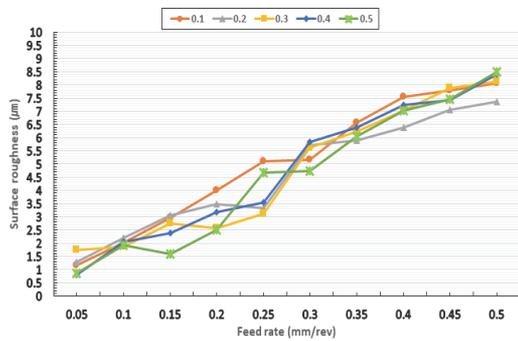


Fig. 7 Surface roughness during dry processing of SUS 440C steel (1,000 rpm)

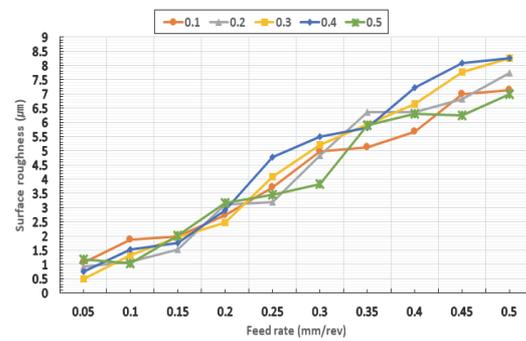


Fig. 10 Surface roughness during dry processing of SUS 440C steel (4,000 rpm)

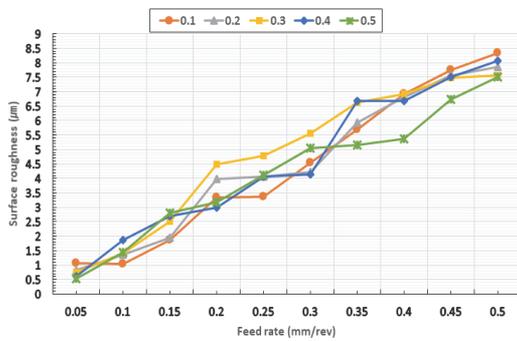


Fig. 8 Surface roughness during dry processing of SUS 440C steel (2,000 rpm)

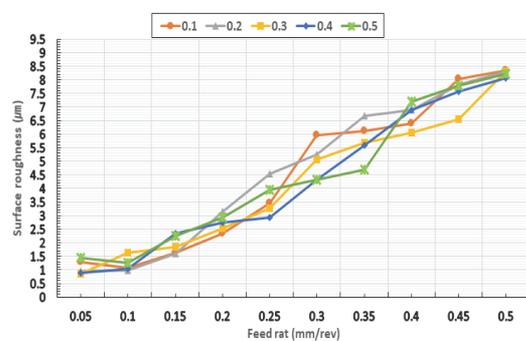


Fig. 11 Surface roughness during dry processing of SUS 440C steel (5,000 rpm)

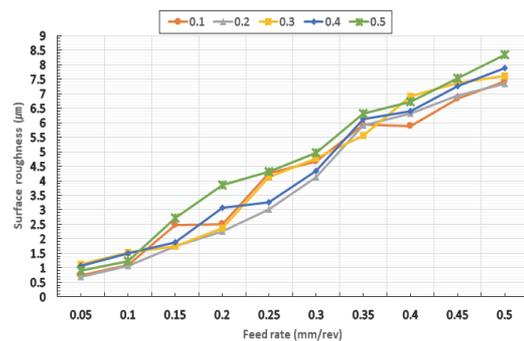


Fig. 9 Surface roughness during dry processing of SUS 440C steel (3,000 rpm)

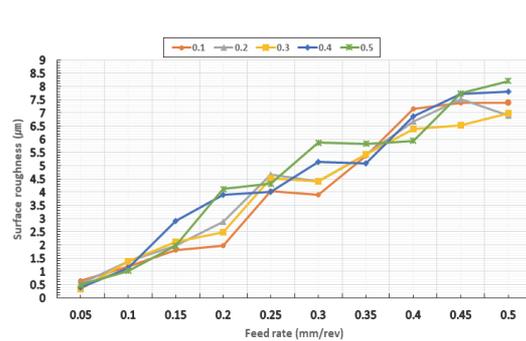


Fig. 12 Surface roughness during wet processing of SUS 440C steel (1,000 rpm)

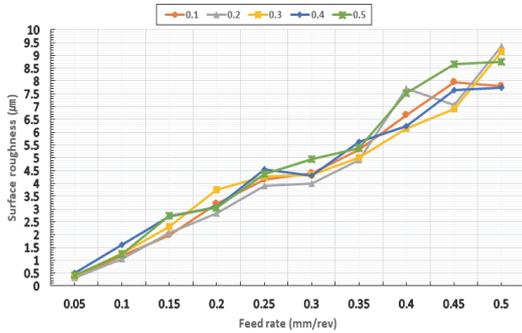


Fig. 13 Surface roughness during wet processing of SUS 440C steel (2,000 rpm)

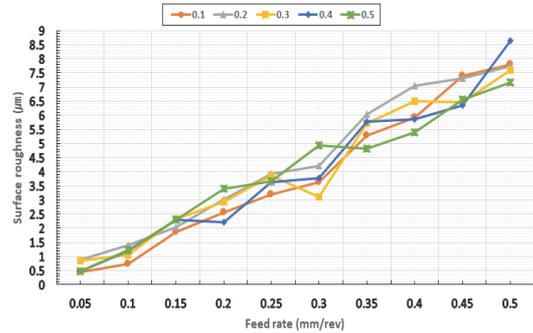


Fig. 15 Surface roughness during wet processing of SUS 440C steel (4,000 rpm)

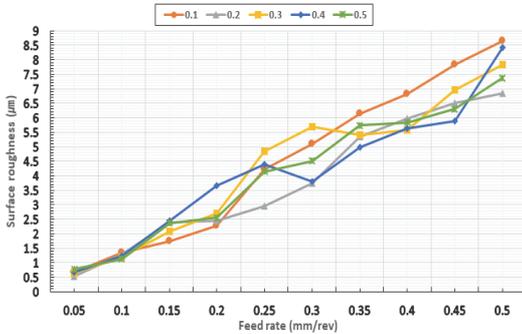


Fig. 14 Surface roughness during wet processing of SUS 440C steel (3,000 rpm)

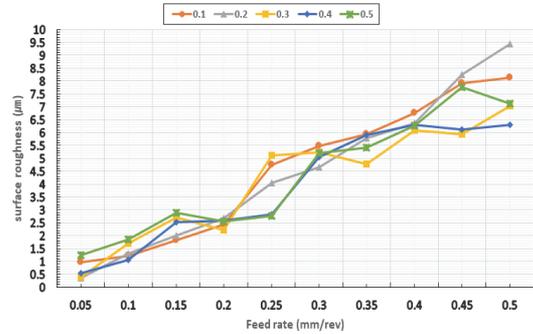


Fig. 16 Surface roughness during wet processing of SUS 440C steel (5,000 rpm)

평균적으로 표면거칠기가 좋은 순서로는 4,000, 3,000, 5,000, 1,000, 2,000rpm 순이다.

절입량을 기준일 때는 평균적으로 절입량 0.3 mm에서  $R_a$  4.094 $\mu$ m로 가장 좋게 나왔으며, 0.5 mm에서는  $R_a$  4.222 $\mu$ m로 절입량 기준으로 했을 때 가장 안 좋은 표면거칠기가 나왔다. 좋은 순서로는 0.3, 0.2, 0.4, 0.1, 0.5mm 순이다.

습식 가공은 Fig. 12-16까지 표시하였고, 건식 가공과 비슷하게 이송 속도에 따른 우상향 그래프를 보이고 있다.

건식과 습식가공을 비교했을 때 습식이 건식보다 좋은 표면거칠기를 가지는 것을 알 수 있었고, 건식과 습식가공 둘 다 회전수, 절입량 보다는 이송 속도에 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

CNC 자동선반을 이용하여 난삭재인 SUS440C 안지름 가공에 대한 회전수, 이송 속도, 절입량 조건을 변경하여 절삭 실험했을 때 표면거칠기에 대한 분석 결과는 다음과 같다.

1. 표면거칠기를 측정한 결과 건식 가공에서는 주축 4,000 rpm, 이송속도 0.05 rev/min, 절입량 0.3 mm에서  $R_a$  0.481 $\mu$ m로 가장 우수하게 나왔으며, 습식 가공에서는 주축 2,000 rpm, 이송속도 0.05 rev/min, 절입량 0.2 mm에서  $R_a$  0.317 $\mu$ m 로 가장 우수하게 값을 보였다.

2. 표면거칠기는 이송 속도가 낮은 수록 좋은 표면거칠기가 나타나며. 회전수, 절입량 보다 이송 속도에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

- [1] Y. C. Lee, T. S. Kwak, and G. N. Kim, J. R. Lee, "High-speed Machining Technology using CNC Machining Center Equipped with Attachment Type High-Speed Spindle", Journal of the Korean society of machine tool engineers, Vol. 11, No. 2, pp. 152-158, (2012).
- [2] M. J. Shin, I. S. Kim, and J. H. Kim, J. S. Kim, M. K. Kim, "Hardness Machining Characteristics using the SCM415 Still", J. of Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 16, No. 2, pp. 44-49, (2017).
- [3] J. G. Choi, H. S. Kim, and S. C. Kim, "A Study on the Optimum Finish Allowance for Machining Accuracy Improvement in the End Milling Processes", Journal of the Korean society of machine tool engineers, Vol. 13, No. 3, pp. 8-14, (2004).
- [4] M. S. Chung, "A Study on Transition of Dimension Error and Surface Precision in High Speed Machining of Al-alloy", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 9, No. 3, pp. 96-102, (2000).
- [5] J. H. Yoon, S. W. Seo, and H. C. Lee, "A Study on the Effect of Dimensional Errors and Roundness in High Speed Cylindrical Machining of Al-alloy", Journal of the Korean society of machine tool engineers, Vol. 10, No. 5, pp. 17-27, (2000).
- [6] Y. K. Kim, "A Study on the Optimum Cutting Condition in Reamer Machining of SNCM616 Alloy Steel", A Thesis for a Master, Kyeongsang National University, Republic of Korea, (2018).
- [7] S. Doo, J. W. Hong, and N. S. Suh, "A Study on the Cutting Force and Machining Error on the Inclined Plane in Ball-end Milling", J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 18, No. 7, pp. 112-119, (2001).
- [8] J. S. Kim, C. W. Choi, and M. J. Shin, "A Study on the Squareness of Circular Pocket Machining of SCM415 Steel", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 7, pp. 42-47, (2019).
- [9] C. W. Choi, "A Study on Surface Roughness in Circular Pocket Machining of SCM415 Steel", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 7, pp. 77-82, (2019).
- [10] J. W. Youn, K. H. Kim, and J. T. Park, "A Study on the Test Workpiece of Accuracy Evaluation of 5-axis Machine Tool", J. Korean Soc. Precis. Eng. Vol. 31, No. 5, pp. 431-439, (2014).
- [11] W. P. Hong, "Machine Capability Index Evaluation of Machining Center and Comparative Analysis with machine Property", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 22, No.3 pp. 349-355, (2013).
- [12] B. C. Kim, "Development of the Optimal Jig and Fixture Applied to Ultra-precision Saddle Machining", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 13, No. 3, pp. 89-95, (2014).
- [13] J. P. Hong, B. C. Gong, S. D. Choi, H. J. Choi, and D. S. Lee, "Study on Structure Design of High-Stiffness for 5-Axis Machining Center", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 10, No. 5, pp. 7-12, (2011).
- [14] C. W. Choi, Y. K. Kim, S. J. Kim, J. M. Shin, "A Study on the Surface Roughness Characteristics by using SNCM616 Alloy Still", Journal of Korean Society of Industry Convergence, Vol. 22, No. 6, pp. 607-613, (2019).