

3D 프린팅시스템과 CAM시스템을 활용한 금형가공에 관한 연구

Research on Die Machining using 3D Printing and CAM System

한규택*

Kyu-Taek Han*

(접수일 : 2014년 10월 20일, 수정일 : 2014년 11월 27일, 채택확정 : 2014년 11월 27일)

Abstract: The purpose of this research is to investigate optimum machining conditions to improve the quality of die using the CAD/CAM system(Power Shape/Power Mill) and 3D printing. Surface roughness is widely used as an index for processing degree of accuracy. The Power Shape was used to model the shape of product. And the model shape is confirmed by 3D printing system(BFB-3000). Also, tool path and NC-codes were generated using Power Mill. Finally, the product was cut using CNC machine(NBS-2025). The cutting time and surface roughness were measured by measuring instrument. And then this process was repeated by changing the conditions to find optimal machining conditions. The surface roughness behavior with regard to specific factors were analyzed. Through this study, the optimal machining condition can be obtained.

Key Words : 3D Printing, Surface Roughness, Tool Path, Machining Condition

1. 서 론

다품종 소량생산체제에 있어서 제조 판매되는 제품은 생산을 시작하기 전에 여러 가지 다양한 모델이 시험 제작된다. 이런 모델들은 설계하는 도중 외관 디자인을 검사해 가장 좋은 것을 결정하기 위한 모델, 부품들을 조립한 후 상태를 점검하기 위한 모델, 주형과 금형을 제작하기 위한 마스터모델 등이 있다. 최근에는 수요자의 다양한 요구에 따라 제품의 형상도 매우 복잡해지고 있다. 한편 국내외 시장에서 경쟁이 더욱 치열해지고 라이프 사이클(life cycle)의 변화에 따른 제품 기간의 단축, 시제품의 제작에 소요되는 시간, 비

용과 인력의 감소, 설계한 모델의 외관 및 조립성 평가, 설계의 가시화, 검증 및 최적화, 동시공학(concurrent engineering)에 있어서의 이해증진을 위한 의사소통의 도구, 조립 및 간섭에 대한 검사, 설계에 대한 소비자의 반응 검사를 위해 신속한 시제품 제작이 필요하게 되었다.

그러나 최근 개발된 CAM시스템에서도 한정된 조건에서만 본체 형상을 가공할 수 있다. 더구나 CAM시스템을 활용하여 완제품 제작까지는 각 공정에서 가공순서 결정과 공구의 선택, 절삭조건 결정 등 기계가공에 관한 많은 지식¹⁻⁴⁾이 필요하다. 이러한 CNC 밀링머신을 사용한 절삭가공 시에 발생하는 문제점을 해결하기 위한 방법으로

*한규택(교신저자) : 부경대학교 기계공학과
E-mail : kthan@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6135

*Kyu-Taek Han(corresponding author) : Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University.
E-mail : kthan@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6135

최근에는 입체모델 제작기술인 광조형(Stereo Lithography) 기술을 활용하여 복잡한 형상의 3차원 물체를 전자동으로 빠르게 만들고 있다. 이 입체모델은 소위 RP시스템 (Rapid Prototyping System)을 활용하여 제작하는 데 이 기술은 응용 범위가 매우 넓고, 새로운 독자적인 가공 및 공작 기술 체계의 변화를 가져올 수 있는 기술이다.⁵⁾ 한편 정밀하게 제작된 금형을 통해서 우수한 제품이 생산될 수 있고, 정밀금형이 최종 부품 또는 제품의 경쟁력과 직결된다는 관점에서 볼 때 효율적으로 금형을 가공하는 기술에 관한 연구⁵⁻⁸⁾는 매우 중요하고 필요한 과제라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 고품질의 금형제조를 위해서 쾌속조형시스템인 3차원 프린팅시스템 및 CAM시스템을 이용하여 효율적으로 금형을 제조하는 과제를 수행하고자 한다. 먼저 쾌속조형기술을 응용하는 3차원 프린팅 시스템(BFB)으로 준비된 제품모형을 신속히 제작하여 제품을 확인한다. 그리고 제작된 제품형상을 제조하기 위한 금형을 제작하기 위하여 CNC 밀링머신을 이용하여 금형을 가공할 때 제품형상에 따른 금형가공 특성 및 재료에 따른 금형가공 특성을 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 모델형상 선정

Fig. 1은 CAM시스템의 CAD프로그램인 Power Shape를 이용하여 본 연구에서 선정한 제품형상에 따른 금형형상을 모델링한 것이며, 이것은 금형업체에서 실제 금형제작을 하는 과정과 유사하며 실제 프레스금형의 제작방법에 근거하여 수행하였다.

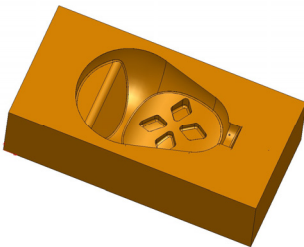


Fig. 1 Model shape generated using Power Shape

2.2 실험 장치

2.2.1 CNC 밀링머신

Fig. 2는 본 연구에 사용된 CNC 밀링머신 (모델명:NBS-2025)이다. 일반적으로 소형제품의 정밀가공, 지그제작 등에 활용되며, 컴퓨터의 CAD/CAM 프로그램과 연동하여 모델링에서부터 시제품 가공까지 컴퓨터 네트워킹에 의한 원격 DNC작업이 가능하다. 본 장비에 대한 사양은 Table 1에 나타내었다.

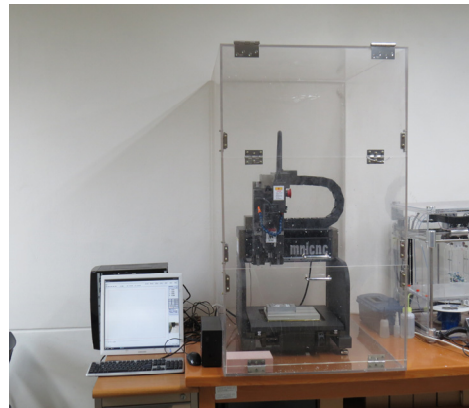


Fig. 2 Photo of CAM system(NBS-2025)

Table 1 Specification of NBS-2025

X,Y,Z work area	210×260×200mm
Spindle Motor	1HP, 24000rpm, max ϕ 10 collet
Measuring force of detector	0.75mN
Maximum feed rate	60mm/sec
machinable material	Aluminum, Brass, Scaglila, etc

2.2.2 표면조도 측정기

Fig. 3은 본 연구에 사용된 표면조도측정기 세트이며, 장치에 대한 사양을 Table 2에 나타내었다. 평가파라미터로 Ra, Ry, Rz, Rq, Rv, Rsk, Rku, Rc, RSm, S, RPc 등을 평가 할 수 있으며, ISO뿐 아니라 JIS, ANSI, VDA에 대해서도 평가 할 수 있다.

Table 2 Specification of SJ-310

Model	SJ-310
Drive head	Standard type (178-230-2)
Measuring force of detector	0.75mN
Radius of tip	2 μ m

2.2.3 3D 프린팅 시스템

Fig. 4는 본 연구에서 사용된 3D프린팅시스템 (BFB-3000) 이며, 장비에 대한 사양을 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Specification of BFB-3000

Molding size	280×300×200
Equipment size	580×520×520(h×w×d)
Layer thickness	0.1mm(100microns)
X&Y positioning	0.05mm(50microns)
Print speed	Max 150mm ³ /sec
Nozzle temperature	280 °C

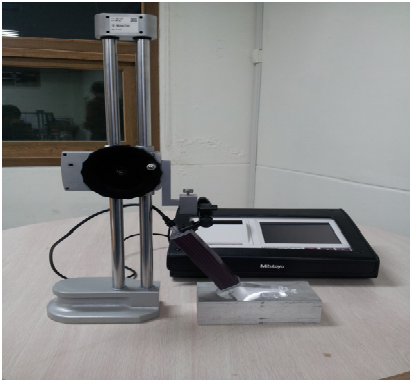


Fig. 3 Photo of Surface roughness measuring instrument (SJ-310)

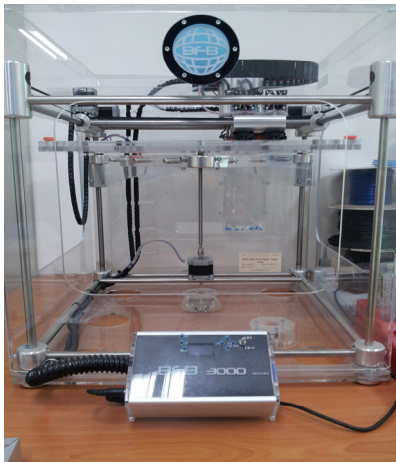


Fig. 4 Photo of 3D printing system (BFB-3000)

2.2.4 실험 재료

가공 소재는 Al6061을 사용하였으며, 3D프린팅 시스템의 소재는 PLA(Polylactic acid)를 사용하였다. Table 4에서 Al6061의 기계적 성질 및 화학조성과 같은 재료의 특성을 나타내었다.

Table 4 Component properties of Al6061

Component Elements Properties	Metric
Aluminum, Al	95.8 - 98.6 %
Chromium, Cr	0.040 - 0.35 %
Copper, Cu	0.15 - 0.40 %
Iron, Fe	<= 0.70 %
Magnesium, Mg	0.80 - 1.2 %
Manganese, Mn	<= 0.15 %
Other, each	<= 0.050 %
Other, total	<= 0.15 %
Silicon, Si	0.40 - 0.80 %
Titanium, Ti	<= 0.15 %
Zinc, Zn	<= 0.25 %

2.3 실험 방법

Power Shape를 이용하여 모델링한 후 Fig. 5와 같이 3D프린팅시스템을 통해 입체모델을 프린팅하여 모델을 확인하여 실제 모델과 차이점이 있는지 확인하였다. 확인된 모델을 Power Mill을 통해 tool path를 계산한 뒤, NC코드를 출력하여 CNC 밀링머신으로 가공하였다. 가공된 모델의 표면조도는 표면조도측정기를 사용하여 측정하였으며, 각 조건에 따른 표면조도를 비교분석하는 실험을 수행하였다.

2.3.1 가공조건 설정

표면조도의 차이를 분석하고, 보다 효율적인 가공을 위해 일정수준의 표면조도를 위한 가공시간의 최적화를 목표로 하여 tool path를 생성하였다. Fig. 6은 Power Mill을 이용하여 최적화한 tool path로서 각각 황삭, 중삭 및 정삭가공시 사용되었다. 고품질의 금형제조를 위해 가공 조건을 다양하게 변경하였다. 일정한 위치에서의 표면조도를

측정하기 위해 Fig. 2와 같이 하이트 게이지(height gauge)를 사용하여 측정부의 위치를 고정하고 측정하고자 하는 모델의 종류만 바꾸어 측정하였다. 측정은 평면, 경사면, 곡면의 3가지 위치에서 측정하였으며, Fig. 7은 가공된 금형이며 그 위에 표면조도의 측정 위치를 표시하였다.

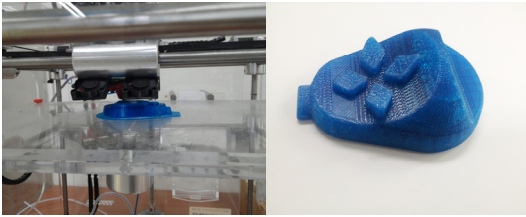


Fig. 5 Photos of 3D printer working and finished part obtained by the 3D printing system

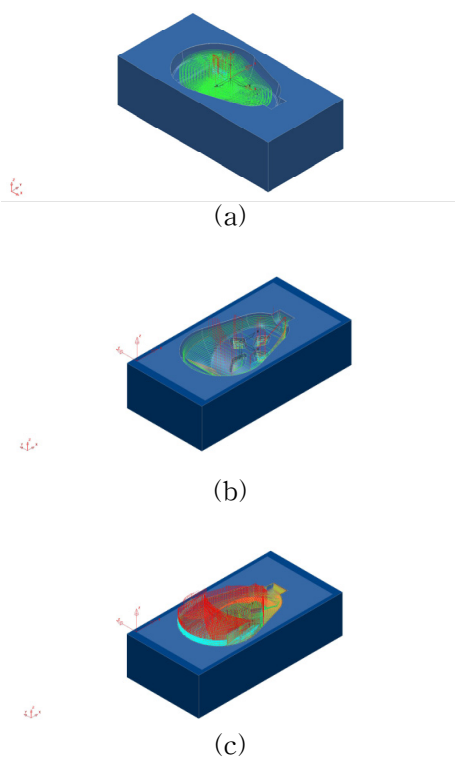


Fig. 6 Tool paths simulation and generation for optimal cutting, rough (a), medium (b), finish (c), respectively

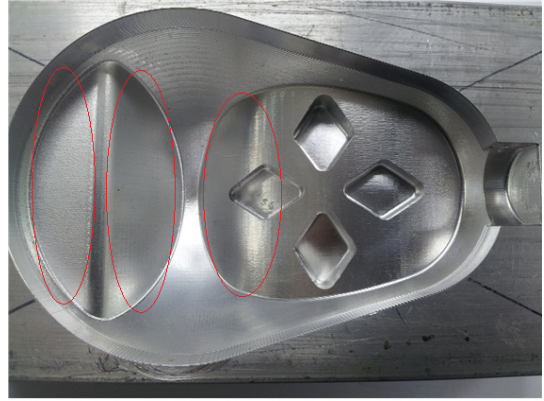


Fig. 7 Photo of measuring locations on a machined die

3. 실험 결과

Table 5에 실험의 가공조건을 나타내었고, 가공 여유는 모든 가공에서 '0'으로 설정하였다. 실험조건은 잔삭(마무리 가공)에서 절삭속도, 공차, 가공 여유의 변화에 따른 표면조도를 확인하였다. 플런지 피드는 절삭속도에서 50 or 20 mm/min 정도 감소시켜 적용하였다.

Table 5 Machining condition

구분	사용 공구	플런지 피드 (mm/min)	절삭속도 (mm/min)	공차	스핀들 회전수 (rpm)	Tool path
황삭	10F	150	200	0.1	13000	3D옵셋가공
중삭	6B	100	120	0.01	13000	등고선가공
정삭	3B	150	200	0.01	13000	3D옵셋가공
잔삭	1.5B			0.01	13000	라스터가공

3.1 절삭속도에 의한 표면조도

Fig. 7~9는 각각 평면, 곡면, 경사면에서 절삭속도의 변화에 따른 평균 표면조도(Ra)와 가공시간의 관계를 보여주고 있다.

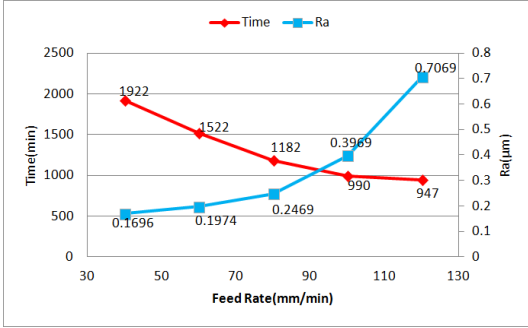


Fig. 7 Flat surface roughness and machining time according to feed rate



Fig. 10 Flat surface roughness and machining time according to tolerance

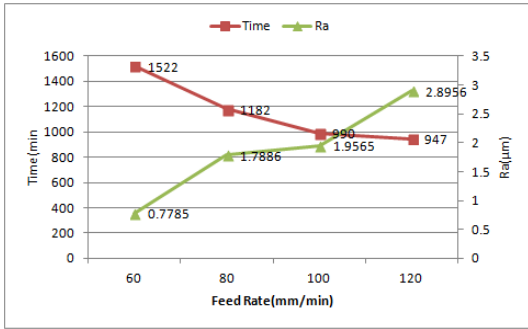


Fig. 8 Curved surface roughness and machining time according to feed rate

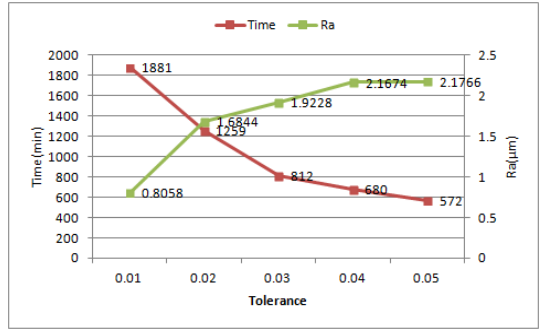


Fig. 11 Curved surface roughness and machining time according to tolerance

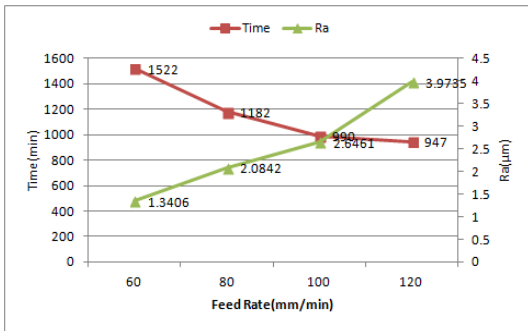


Fig. 9 Inclined surface roughness and machining time according to feed rate

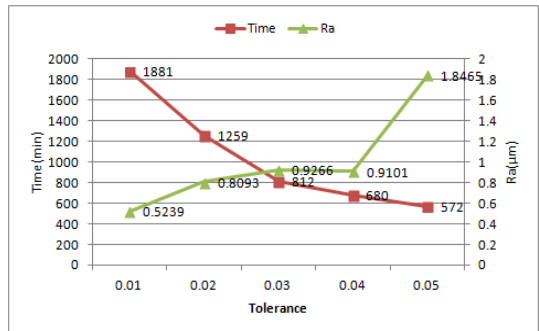


Fig. 12 Inclined surface roughness and machining time according to tolerance

3.2 공차에 의한 표면조도

Fig. 10은 평면, Fig. 11은 곡면, Fig. 12는 경사면에서 공차의 변화에 따른 평균 표면조도와 가공시간의 관계를 보여주고 있다.

3.3 가공여유에 의한 표면조도

Fig. 13은 평면, Fig. 14는 곡면, Fig. 15는 경사면에서 가공여유의 변화에 따른 평균 표면조도와 가공시간의 관계를 보여주고 있다.

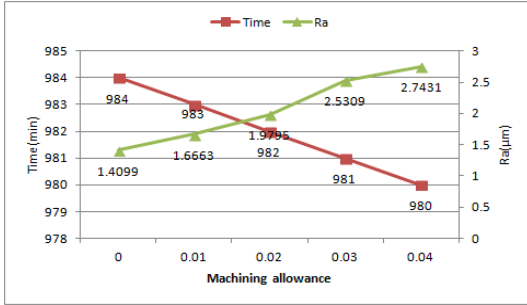


Fig. 13 Flat surface roughness and machining time according to machining allowance

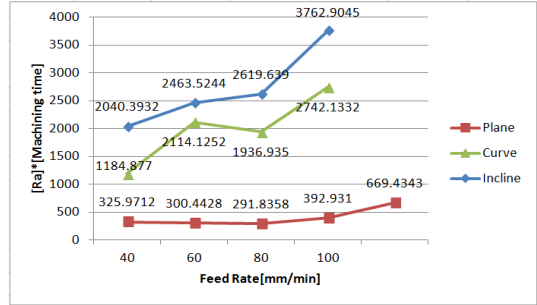


Fig. 16 Ra×machining time according to feed rate

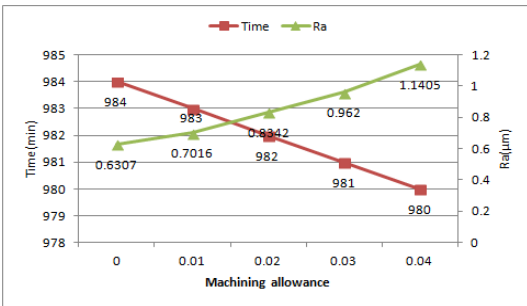


Fig. 14 Curved surface roughness and machining time according to machining allowance

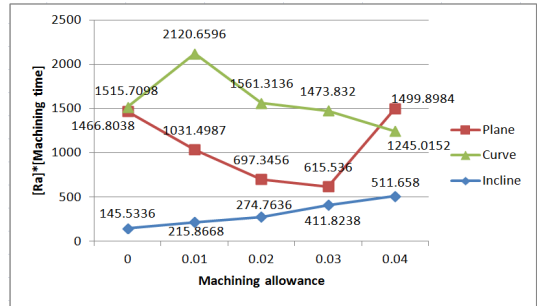


Fig. 17 Ra×machining time according to tolerance

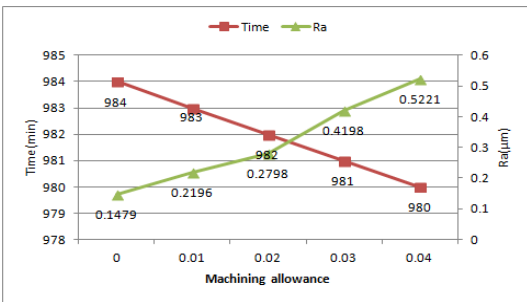


Fig. 15 Inclined surface roughness and machining time according to machining allowance

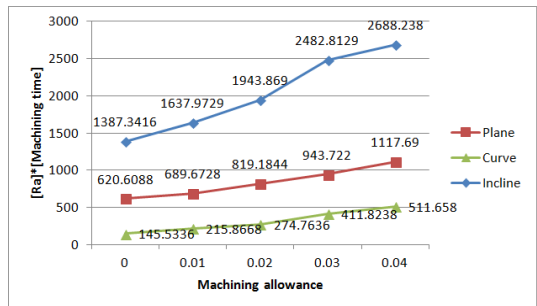


Fig. 18 Ra×machining time according to machining allowance

4. 고 찰

3.4 최적의 가공조건 도출

절삭가공에서 최적의 가공조건은 가공시간이 짧고 표면조도의 값이 작은 경우로 추정할 수 있으므로, 표면조도의 측정값인 Ra 와 가공시간을 곱하여 비교하였다. Fig. 16-18은 ‘Ra×가공시간’ 값을 절삭속도, 공차, 가공여유의 변화에 대하여 나타낸 것이다.

본 연구에서는 절삭속도, 공차, 가공여유를 증가시키고 그에 따른 표면조도의 결과를 분석하였다. 절삭속도에 의한 표면조도는 절삭속도가 느릴수록 표면조도의 값이 낮아진다고 알려져 있다.^{1,4,5)}

본 실험결과를 통해 Al6061 또한 같은 특성을

가진다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 공차와 가공여유 역시 그 값이 증가할수록 가공시간은 줄어들고, 표면조도의 값은 커진다는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과들로부터 최적의 가공조건을 도출하기 위해 평균표면조도 값인 'Ra'와 '가공시간'의 값을 곱하여 분석해 보았다. 이는 'Ra값과 가공시간은 서로 반비례의 관계에 있다'는 사실에 기초하여 시도하였으며, 3.4절에서 확인할 수 있는 바와 같이 'Ra'와 '가공시간'의 값을 곱한 값은 최적의 가공조건을 유추하는 한 방법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

한편 이러한 결과가 다른 재료와 실험에서도 타당한 것인지에 대한 검토를 위해 향후 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 Power Shape와 Power Mill을 활용하여 금형형상부를 모델링 한 후 3D 프린팅 시스템을 통해 모델의 실제 형상을 확인하고, 절삭속도와 공차, 그리고 가공여유 등 가공 조건을 달리하여 NC데이터를 생성하고 3축 가공용 CNC 밀링머신 작업을 통해 Al6061의 금형 형상부를 가공한 후, 표면조도 측정기를 이용하여 평면, 곡면, 경사면에서의 표면조도를 비교분석한 결과 금형형상에 따른 최적의 금형가공조건을 도출할 수 있었으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 절삭속도의 변화에 따른 표면조도에 대해서는 알려진 것과 같이 속도가 느릴수록 평균표면조도는 낮아진다는 것을 알 수 있었다. 평면에서 절삭속도를 40mm/min ~ 120mm/min 까지 증가시켰을 때, 평균 표면조도는 서서히 증가하다가 120mm/min에서 급격히 증가한다는 것을 알 수 있었다. 곡면에서는 80mm/min에서, 경사면에서는 120mm/min에서 급격히 증가한다는 것을 알 수 있었고, Ra값과 가공시간을 곱한 결과에서 80mm/min의 조건이 가장 효율적인 가공조건이라는 것을 알 수 있었다.

2) 공차의 변화에 따른 표면조도는 절삭속도의 변화와 같이 공차의 값이 클수록 표면조도의 값 또한 커진다는 것을 알 수 있었다. 공차의 크기를 0.01 ~ 0.05까지 증가시켰을 때, 평면에서는 0.02에서 급증하고, 곡면과 경사면에서는 0.05에서 급증한다는 것을 알 수 있었다. Ra값과 가공시간을 곱한 결과에서 공차의 크기는 0.04 일 때 가장 효율적인 가공을 할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

3) 가공여유의 변화에 따른 표면조도 또한 값이 클수록 표면조도의 값 또한 커진다는 것을 알 수 있었다. 가공여유의 크기를 0 ~ 0.04까지 증가시켰을 때, 일정한 기울기로 증가한다는 것을 알 수 있었다. Ra값과 가공시간을 곱한 결과에서는 가공여유가 0 일 때 가장 효율적인 가공을 할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의기술연구비(2014년)에 의하여 연구되었음.

Reference

1. G. T. Kim and W. I. Kim, 2007, "A Study on the Numerical Simulation of Surface roughness due to cutting condition", Proceedings of the KSME 2007 Autumn Annual Meeting pp.146~153.
2. H. W. Lee and W. D. Kwon, 2010, "Determination of the minute range for RSM to select the optimum cutting conditions during turning on CNC lathe", JMST, Vol. 28, No. 8, pp.1637-1645.
3. S. W. Lee and D. J. Lee, 2012, "Prediction of Surface Roughness on the PCD Tool Turned Aluminum Alloys by using Regression Analysis", KSMPE, Vol. 11, No. 3, pp. 41-47.
4. C. Y. Kim, 2012, "An experimental study of Al2017 on characteristics of the surface roughness in machining center processing",

KSMPE, Vol. 11, No. 3, pp. 68-72.

5. K. T. Han, B. Lee and J. W. Kim, 2013, “A Study on Die Machining using CAD/CAM System(POWER SHAPE/MILL)”, Proceedings of the KSME 2013 Spring Annual Meeting, pp.125-129.
6. D. H. Jin, J. D. Kim and M. C. Yoon, 2013, “Surface roughness model of end-milling surface”, KSMPE, Vol. 12, No. 2 pp.67-73.
7. M. I. Bae and Y. S. Lee, 2014, “Surface Roughness Prediction of Interrupted Cutting in SM45C Using Coated Tool”, KSMPE, Vol. 13, No. 3, pp.77-82.
8. S. H. Cheon, 2014, “Effects of cutting condition on surface roughness in the spiral up milling of aluminum alloy”, KSMPE, Vol. 14, No. 4, pp.83-90.