

미세입자 분사가공 시 표면 조건 변화에 따른 가공 표면 형상 분석

최성윤*, 황철웅*, 권대규**,#

*경남대학교대학원, **한국국제대학교 항공부품공학과

Analysis of Machined Surface Morphology According to Changes of Surface Condition in Micro Particle Blasting

Sung-Yun Choi*, Cheol-Ung Hwang* and Dae-Gyu Kwon**,#

*Graduate School, Kyungnam Univ.,

**Dept. of Aerospace Engineering, International Univ. of Korea

(Received 11 July 2018; received in revised form 16 July 2018; accepted 4 August 2018)

ABSTRACT

This study analyzes the change of Al 6061-T6 specimen surface shape when undergoing microparticle spraying and analyzes the influence of factors on the experiment. Fine particle spraying is applied to the specimen and the surface shape of the processed surface is measured through a surface shape measuring device. The measured data was analyzed by the ANOVA method to investigate the effect of factors such as particle, nozzle diameter, pressure, injection height, and injection time on the injection depth and injection diameter.

Key Words : Micro Particle Blasting(미세입자 분사가공), Orthogonal Arrays(직교배열), Injection Pressure(분사 압력), Particle(분사 입자), Injection Time(분사시간), Analysis of Variance(분산분석)

1. 서 론

기술발전과 더불어 급속히 변화하는 시장상황 및 국제적 경쟁력에 따른 제품수명의 단축으로 산업체 생산 공정에서의 지속적인 생산성 향상은 필연적이다. 또한 각종 기계구성 부품의 고정밀 및 고능률 가공에 대한 요구가 급증하고 있는 실정이다. 가공정밀도의 개선은 제품의 부가가치를 높여주고 그리고 생산성의 향상은 가공경비를 감소시켜 경쟁력을 강화시킨다.

알루미늄은 비중이 낮고 우수한 기계적 성질 때문에 경량화 금속재료로 항공분야뿐만 아니라 많은 산업분야에서 널리 사용되고 있다. 알루미늄 합금은 일반적으로 용점이 높고, 고경도이며 내환경성이 우수하여 고온 구조용 재료로서 주목받고 있으며, 알루미늄 6061 합금은 양호한 용접성, 절삭성 그리고 비교적 좋은 내식성을 가지고 있다.

하지만 알루미늄 소재는 연성재료로 최근 지문이 남는 것을 방지하기 위해 폴리머 코팅을 하고 있으며, 향후 다른 금속과의 코팅이나 다른 금속원소 등의 이온 주입을 위해 매끄러운 표면 보다 거친 표면이 요구된다. 이러한 요구는 향후 알루미늄이 다양한 분야에 사용되기 위해서 표면 형상의 가공이 중요하며, 코팅 또는

Corresponding Author : 1227jbc@hanmail.net
Tel: +82-55-751-8241, Fax: +82-505-999-2160

이중 재료와의 접착력 향상에 대한 대책이 필요하다.

이러한 요구를 충족하기 위해 정밀 가공 연구 분야에서는 기본적 절삭 방법, 방전과 레이저와 워터젯 등을 이용한 미세 열 가공 방법 그리고 표면미세가공(surface micro-machining) 등의 많은 연구가 이루어지고 있다.^[1-2] 티타늄합금의 마이크로 블레스팅 기초연구와 원형단면을 위한 회전 연마^[3] 연구가 진행되었으며, 그 중에 서도 미세입자 분사가공 (micro-abrasive-jetmachining, μ -AJM)^[4]은 코팅되거나 부식된 표면의 세척, 유리 및 거울의 장식등에 쓰인 오래된 가공법인 입자분사 가공 기술을 응용한 것으로 취성재료에 대한 마이크로 형상의 기계적인 부식 방법으로 주목 받고 있다.

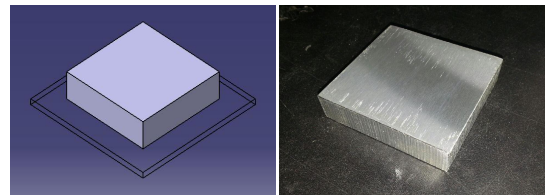
본 연구는 미세입자 분사 가공 시 실험계획법의 분산분석기법으로 가공조건의 주요인자인 분사 입자(Particle), 노즐 직경(Nozzle diameter), 분사 압력(Pressure), 분사 높이(Height injection), 분사 시간(Injection time) 등의 인자들 중 주요 인자를 변수 값으로 지정하고 나머지 인자를 고정 값으로 지정하여 실험을 진행하며 가공 후 분사가공면의 최대깊이, 분사가공면의 최대지름을 측정하여 그 특성들을 통해 미세입자 분사가공에 인자들이 미치는 영향을 통계적 방법인 분산분석^[5]에 의하여 파악하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

미세입자 분사가공은 Fig 1의 그림에 보이 듯 Comco 사 제품인 Dual tank micro blaster (MB1006)을 사용하였다. 또한 미세 입자의 습기를 제거하기 위해 공기 건조기를 부착하고 가공 도중 발생하는 분진과 흩날리는 미세입자를 제거하기 위해 흡진장치를 부착하였다.



Fig. 1 Photograph of micro blaster



(a) 3D modeling (b) Experimental specimen

Fig. 2 Experiment specimen 3D modeling

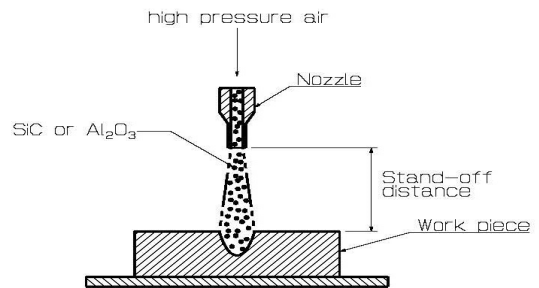


Fig. 3 Schematic illustration of main experimental factors of blasting

Fig 2에 보이듯 시편을 사각 시편의 형상으로 제작하고, 시편 고정용 지그를 제작하여 마그네틱 블록을 사용하여 바닥에 고정 지지하여 실험하였다.

Fig. 3은 시편에 미세입자 가공하는 모습을 도시화한 모습이다.

사각 시편의 크기는 70mm × 70mm × 25(t)mm로 설정하였으며 사각 시편의 제작은 Al 6061-T6소재를 절단 후 밀링가공 통하여 육면체형상의 사각 시편을 제작하였으며, 평면 연삭가공을 통해 표면 거칠기 Ra 값을 0.386 μ m로 제작 하였다.

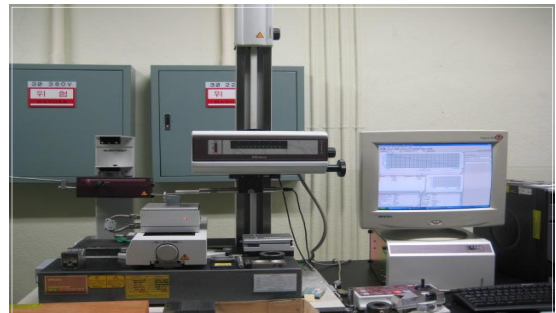


Fig. 4 Contact type shape measuring instrument(SV-C3000H4)

Table 1 Three main factors for plane micro blasting experiment

Division		0, 1, 2, 3
A	Particle (50 μ m)	Sic, Al ₂ O ₃
B	Nozzle diameter (mm)	\varnothing 0.46, \varnothing 0.7, \varnothing 1.16, \varnothing 1.5
C	Pressure (KPa)	172, 345, 517, 690
D	Height injection (mm)	50
E	Injection time (sec)	20

미세입자 분사 가공 후 측정 방법으로는 Fig. 4에 보이는 접촉식 3차원 형상 측정기(SV-C3000H4)를 사용하여 분사된 표면의 분사 직경과 분사 깊이를 측정하였다.

또한 실험에 앞서 사각 시편을 고정하고 분사하기 위해서는 분사 노즐의 중심과 시편의 분사면이 수직으로 정확하게 일치시키고 분사 거리의 조절을 위하여 시편고정용 및 분사 노즐 고정용 가이드를 별도로 제작하여 시험을 하였다.

실험 방법으로는 Table 1에 나타내었듯 (A)분사 입자 (B)노즐 직경, (C)분사 압력을 주요인자로 선정하여 변수 값으로 지정하였으며 (D)분사 높이, (E)분사 시간을 고정인자로 선정하여 고정 값을 주었다. 또한 실험은 시편 64개를 준비하여 실험계획법에 의한 실험 순서대로 진행하였으며 분산분석을 통한 데이터 분석을 진행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

실험은 같은 조건을 2번씩 측정하여 32번의 실험을 64개의 시편을 이용하여 진행하였으며 그 데이터를 각각 노즐의 직경, 분사 압력을 기준점으로 데이터 그래프를 나타내었다. 그 후 데이터를 분산분석을 통하여 주요한 영향을 미치는지 판별하고 기여도를 통한 인자들의 중요도를 나타내었다.

Fig. 5, Fig. 6은 분사 입자를 SiC로 가공한 데이터 중 분사 깊이에 관하여 정리한 그래프이다. Fig. 5는 노즐 직경 기준으로 Fig. 6은 분사 압력에 따라 정리하였으며, Fig. 5에서 보면 분사 압력이 690KPa에서 급격히 증가하는 현상이 보인다. Fig. 6에서 보면 노즐 직경이 1.5mm에서 517KPa와 690KPa가 급격히 증가하는 현상을 보였다.

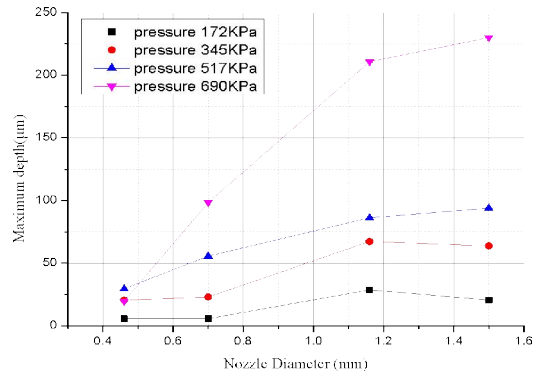


Fig. 5 Maximum depth according to the nozzle size with SiC

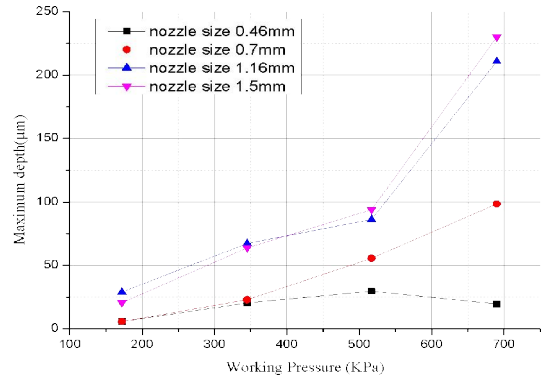


Fig. 6 Maximum depth according to the working pressure with SiC

Fig. 7, Fig. 8은 분사 입자를 Al₂O₃로 가공한 데이터 중 분사 깊이에 관하여 정리한 그래프이다. Fig. 7은 노즐 직경을 기준으로 Fig. 8은 분사 압력에 따라 정리한 그래프이다. Fig. 7에서 보면 분사 압력이 690KPa에서 급격히 증가하다 일정 유지되는 현상이 있으며 Fig. 8에서 보면 노즐 직경이 1.5mm에서 517KPa와 690KPa가 급격히 증가하는 현상을 보였다.

분사 입자 SiC의 데이터 값과 비교하였을 때 분사 깊이가 노즐 직경이 작고 분사 압력이 낮을 때에는 차이가 적었으나 노즐 직경과 분사 압력이 증가하면서 그 차이가 벌어지는 것으로 나타났다.

P 값이 0.05이하의 값을 나타날 경우 실험에 미치는 영향이 유의한 것으로 판단하는데, Table 2에서 보시는 바와 같이 분사 입자의 P 값이 0.002, 노즐 직경의 P 값이 0.012, 분사 압력의 P 값이 0.001으로 나타나

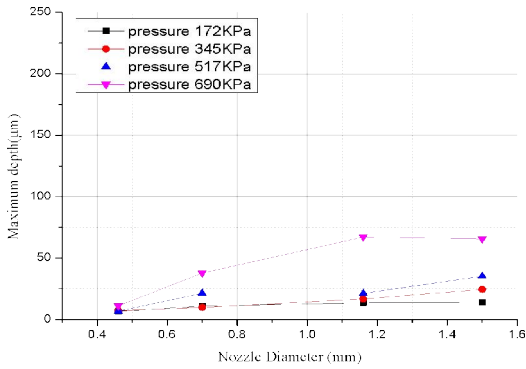


Fig. 7 Maximum depth according to the nozzle size with Al₂O₃

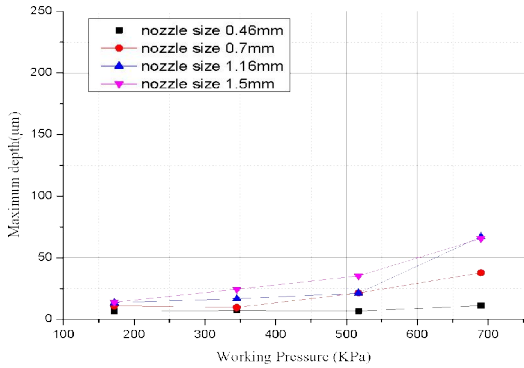


Fig. 8 Maximum depth according to the working pressure with Al₂O₃

주요인자 3가지 모두가 실험에 유의한 영향을 미친다고 판단되었다. 또한 분사 깊이에 영향을 주는 인자의 기여도를 살펴보면 분사 입자가 16.74%, 노즐 직경이 18.52%, 분사 압력이 31.78%로 나타났다. 기여도를 통한 분사 깊이에 대한 영향력을 비교했을 때 분사 압력, 노즐 직경, 분사 입자 순으로 영향력이 높다고 판단된다.

Fig. 9는 분사 깊이에 대한 수준별 인자 주효과도이다. 수준별 인자를 분석하였을 때 분사 입자는 1수준(SiC)의 값이 영향력이 높았다. 노즐 직경은 3수준(φ 1.16)과 4수준(φ 1.5)의 값이 영향력이 높았으며, 분사 압력은 4수준(690KPa)의 값이 다른 1,2,3수준에 비해 월등히 높게 나타났다.

Fig. 10과 Fig. 11은 분사 입자를 SiC로 가공한 데이터 중 분사 직경에 관하여 정리한 그래프이다. Fig. 10은

Table 2 The factor analysis of variance for the maximum hole depth of micro blasted surface

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	level of contribution (%)
Particle	1	14881	14881	14881	12.19	0.002	16.74
Nozzle diameter (mm)	3	16459	16459	5486	4.50	0.012	18.52
Pressure (KPa)	3	28249	28249	9416	7.72	0.001	31.78
Error	24	29290	29290	1220			32.95
Total	31	88879					100.00

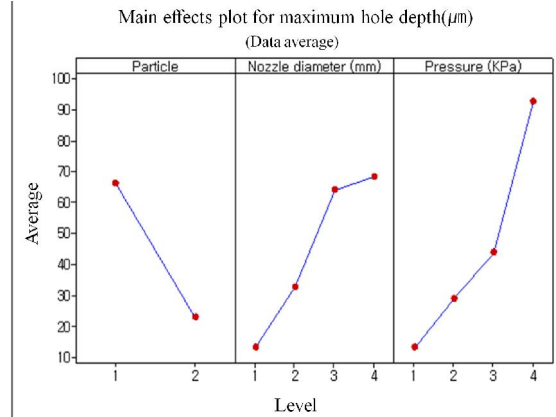


Fig. 9 Main effects plot for maximum hole depth of micro blasted surface

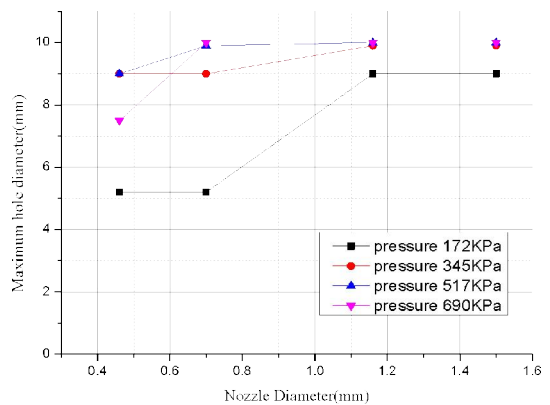


Fig. 10 Maximum hole diameter according to the nozzle size with SiC particle

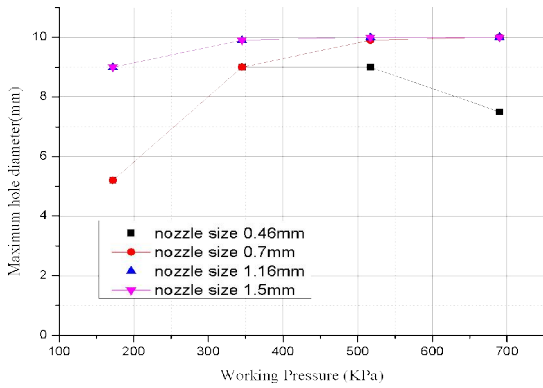


Fig. 11 Maximum hole diameter according to the working pressure with SiC particle

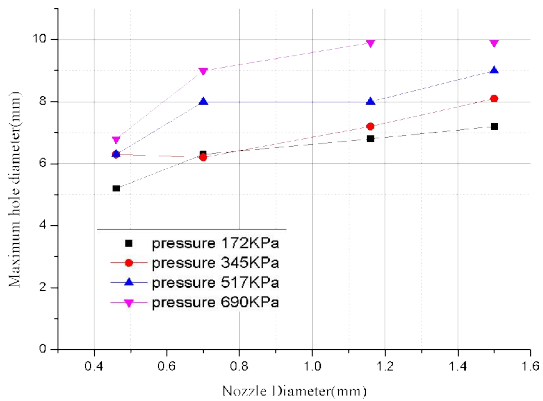


Fig. 12 Maximum hole diameter according to the nozzle size with Al₂O₃ particle

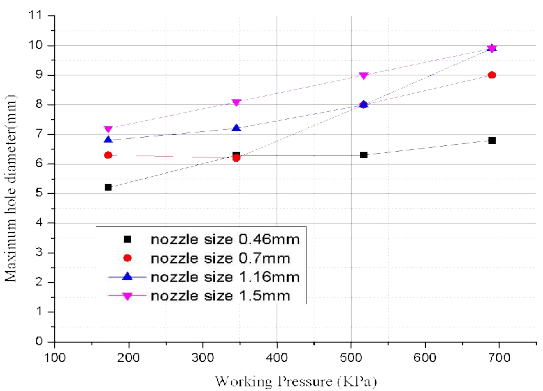


Fig. 13 Maximum hole diameter according to the working pressure with Al₂O₃ particle

노즐 직경을 기준으로 Fig. 11은 분사 압력에 따라 정리한 그래프이다. Fig. 10에서 보면 분사 압력이 172KPa, 노즐 직경이 1.16mm일 때와 Fig. 11에서 노즐 직경이 0.46mm와 0.7mm에서 345KPa일 때 급격히 증가하는 현상으로 보인다. 하지만 분사 직경은 일정 크기 이상으로 커지지 않는 모습을 나타내었다.

Fig. 12와 Fig. 13은 분사 입자를 Al₂O₃로 가공한 데이터 중 분사 직경에 관하여 정리한 그래프이다. Fig. 12는 노즐 직경을 기준으로 Fig. 13은 분사 압력에 따라 정리한 그래프이다. Fig. 12에서는 일정 분사 직경 크기에 도달하면 크기가 정체되는 현상이 보이고 Fig. 13을 보면 대체적으로 노즐 직경과 분사 압력에 따라 분사 직경이 커지는 현상으로 보인다.

분사 입자 SiC의 그래프와 비교해 볼 때 분사 압력에 따라 분사 직경이 증가하는 현상을 볼 수 있었다.

Table 3을 보면 분사 입자의 P 값이 0.000, 노즐 직경의 P 값이 0.000, 분사 압력의 P 값이 0.000으로 나타나 주요인자 3가지 모두가 실험에 미치는 영향이 유의하다고 판별한다. 또한 분사 직경에 영향을 주는 인자의 기여도를 살펴보면 분사 입자가 18.79%, 노즐 직경이 28.96%, 분사 압력이 32.09%로 나타났다. 기여도를 통한 분사 직경에 대한 영향력을 비교했을 때 분사 압력, 노즐 직경, 분사 입자 순으로 영향력이 높다고 판단된다.

Table 3 The factor analysis of variance for the maximum hole diameter of micro blasted surface

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	level of contribution (%)
Particle	1	15.68	15.68	15.6800	22.37	0.000	18.79
Nozzle diameter (mm)	3	24.17	24.17	8.0558	11.49	0.000	28.96
Pressure (KPa)	3	26.78	26.78	8.9275	12.73	0.000	32.09
Error	24	16.83	16.83	0.7010			20.16
Total	31	83.46					100.00

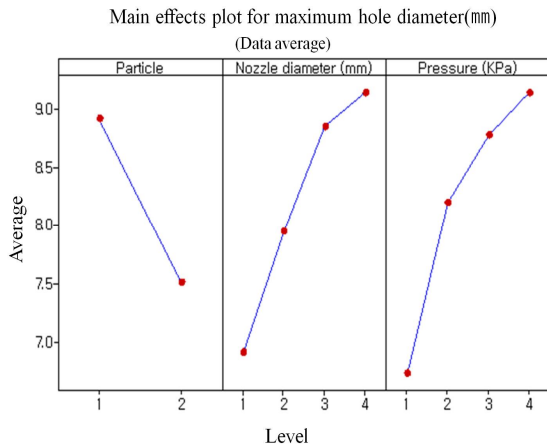


Fig. 14 Main effects plot for maximum hole diameter of micro blasted surface

Fig. 14는 분사 직경에 대한 수준별 인자 주 효과도 분석 그래프이다. 수준별 인자를 분석하였을 때 분사 입자는 1수준(SiC)의 값이 영향력이 높았다. 노즐 직경은 3수준($\phi 1.16$)과 4수준($\phi 1.5$)의 값이 영향력이 1수준과 2수준에 비해 높게 나왔으며, 분사 압력은 1수준과 2수준에서의 차이는 많이 나타났지만 나머지의 수준에서는 수준이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다.

4. 결론

본 연구는 미세입자 분사 가공 시 실험계획법의 분산분석기법으로 가공조건인 인자들 중 주요 인자 변수 값으로 지정하고 나머지 인자를 고정 값으로 지정하여 실험을 진행한다. 분사가공면의 최대깊이, 분사가공면의 최대지름을 측정하여 인자들이 미세입자 분사가공에 미치는 영향을 연구한다.

1. 주요인자로 설정한 분사 입자, 노즐 직경, 분사 압력이 분사 깊이와 분사 직경 크기에 관하여 유의한 영향을 미치는 인자로 판명되었다.
2. 실험 영향력을 비교하기 위해 실험 기여도를 분석한 결과 분사 깊이와 분사 직경의 크기 모두 분사 압력, 노즐 직경, 분사 입자 순으로 영향력이 높다고 판단되었다.

3. 분사 깊이에 관하여 수준별 인자 분석한 결과 분사 입자는 SiC, 노즐 직경은 $\phi 1.16$ 와 $\phi 1.5$, 분사 압력은 690KPa이 높게 나타났다.
4. 분사 직경에 관하여 수준별 인자 분석한 결과 분사 입자는 SiC, 노즐 직경은 $\phi 1.16$ 와 $\phi 1.5$ 이 높게 나타났으며, 분사 압력은 압력이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다.

REFERENCES

1. Kwon, D. G., Wang, D. H., "Optimal Blasting Conditions for Surface Profile when Micro Particle Blasting by Statistical Analysis of Orthogonal Arrays," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 4, pp. 148-154, 2016.
2. Jang, H. S., Kim, H. S., Shin, K. H., "A Study on Performance Improvement of Electrical Discharge Machining for Producing Micro-holes Using a Shot Blasting Surface Treatment," Transactions of Materials Processing, Vol. 21 No. 5, pp. 312-318, 2012.
3. Kim, S. H., Wang, D. H., Lee, S. H., "The Characteristics of Surface Roughness when Micro Blasting of Titanium Alloy with Spiral Movement," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 4, pp. 125-130, 2012.
4. Yun, J. D., Wang, D. H., Ahn, Y. C., Go, C. H., "Electrical Discharge Machining of Alumina Ceramic Matrix Composites Containing Electro-conductive Titanium Carbide as a Second Phase," JOURNAL-KOREAN CERAMIC SOCIETY, Vol. 34, No.10, pp. 1092-1098, 1997.
5. Choi, S. Y., Kwon, D. G., Park, I. S., Wang, D. H., "A study on the optimal conditions for machining accuracy when endmill fillet cutting at the corner", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15 No. 4, pp. 101-108, 2016.