

미세입자 분사가공용 시퀀스 제어가 가능한 2축 스테이지 개발에 관한 연구

황철웅*, 이세한**, 왕덕현**,#

*경남대학교 대학원, **경남대학교 기계공학부

A Study on the Development of a 2-axis Stage with Sequence Control for Micro Particle Blast Machining

Chul-Woong Hwang*, Sea-Han Lee**, and Duck Hyun Wang**,#

*Graduate School, Kyungnam Univ., **School of Mechanical Engineering, Kyungnam Univ.

(Received 19 May 2020; received in revised form 18 June 2020; accepted 19 June 2020)

ABSTRACT

A stable rotational-to-linear motion transformation structure using a driving mechanism with 2 degrees of freedom was developed for an orthogonal mechanism to prevent the interference of each axis in 2D motion. In this mechanism, a step motor was used for precise position control. This structure was developed to maneuver workparts in micro particle blast machining experiments. To determine the real-time performance of micro particle blast machining, the control, input, and output were operated simultaneously and precise position control was implemented, using a timer interrupt with multiple execution codes. The two step motors obtained precise position control by removing backlash with a ball-screw mechanism. The device has menu-type control codes for user-friendliness, and real-time sequence control was simultaneously adopted for user control input.

Key Words : Micro Particle Blasting Machining(미세입자 분사가공), Orthogonal Mechanism(직교방식 메커니즘), Rotation-linear Motion(회전-직선 운동), Precision Position Control(정밀한 위치제어), Moving Mechanism in 2 Degree of Freedom(2자유도 메커니즘)

1. 서 론

급속한 기술발전과 더불어 변화하는 시장상황 및 국제적 경쟁력에 따른 경제성과 생산성은 산업체 생산 공정에서의 필연적인 요구이다. 또한 기계구조물의 부품, 항공기 부품, 디스플레이 부품 등 고정밀 및 고능률 가공에 대한 요구가 급증하

고 있는 실정이며^[1], 가공정밀도의 개선은 제품의 부가가치를 높여주고 공정의 단순화로 생산성을 향상시켜 경쟁력을 강화시켜 왔다. 많은 기계적 혹은 전기전자적 부품가공^[2,3]에서 최근에 미세입자 분사가공이 많이 필요로 하고 있으며, 어떤 임의의 형상을 가공하려면 정밀하게 구동될 수 있는 2축 스테이지 기구의 사용이 필요하다. 미세입자 가공이 밀폐된 공간에서 진행되어야 하므로, 주어진 공간에서 백래시가 없는 2축 제어가 가능한 메커니즘 설계가 필요하다.

Corresponding Author : dhwang@kyungnam.ac.kr

Tel: +82-55-249-2712, Fax: +82-505-999-2160

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

모재 제거를 통한 정밀 가공 분야는 기본적인 절삭 방법, 레이저와 워터젯 등을 이용한 열 가공 방법과 함께 최근에 표면미세가공(surface mirco-machining) 등의 연구가 많이 이루어지고 있다. 특히 미세표면가공은 첨단 전자기기분야에서 널리 사용되고 있으며 여러 가지 복잡한 형상 작업을 한번에 진행할 수 있는 초정밀 기기와 같이 미세 기구 제작이 많이 요구되는 실정이다. 특히 실리콘과 같은 취성이 강한 세라믹 재료의 미세가공에 주목을 받고 있다. 그 중에 미세입자 분사가공(Micro particle blasting machining)^[4-5]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.

초기의 미세입자 분사가공은 도색의 전처리로 녹 제거, 표면처리 등의 단순가공 형태에서 금속 표면에 이온주입, 코팅 등 표면 처리 기술이 발달함에 따라 많은 분야에 적용되어지고 있으며 최근 들어 LCD디스플레이의 유리기관, 광 반도체의 유리 웨이퍼 공정까지 사용되어 이중금속 혹은 원소에 의한 표면 특성향상이 더욱 요구되고 있다. 또한 마이크로 머신용 부품, 플랫 패널 등의 제작에 적용할 수 있는 취성재료의 기계적인 가공방법으로 주목을 받고 있다.

본 연구에서는 매우 작은 입자를 원하는 위치에 필요한 부분에만 고속으로 분사가공을 할 수 있는 2자유도 스테이지를 개발하고자 한다. 각 축의 간섭방지를 위하여 직교방식 메커니즘과 볼-스크류를 이용하여 신뢰성 높은 회전-직선운동으로의 변환을 구현하여 백래시 없는 정밀한 위치제어가 가능한 시스템 장치를 구현 하고자 한다. 사용자 조작 편의성을 고려한 메뉴방식 제어코드 구성과 사용자가 입력하는 명령을 실시간으로 제어에 반영하기 위해서 타이머 인터럽트를 이용한 시분할 다중실행 코드를 작성하여 제어, 입력, 출력이 동시에 실행될 수 있도록 하여 미세제어가 가능한 구동장치를 개발하고자 한다.

2. 시퀀스제어가 가능한 2축 스테이지

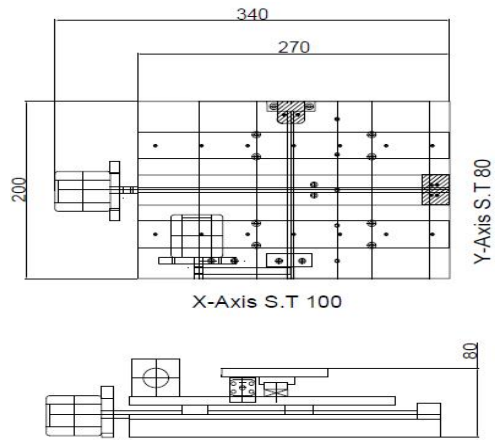


Fig. 1 Design of 2 stage micro-device capable of sequence control

2.1 구동장치 설계

고속분사 가공시 x축, y축 방향의 정밀한 분사 위치 제어가 가능한 미세입자 분사가공용 미세구동 장치는 평면 2자유도 움직임을 구현하는 실험장치로 개발하고자 하였다. Fig. 1에 나타난 것처럼 2자유도 메커니즘 (Moving mechanism in 2 degree of freedom)으로 구성되고, 베드는 2자유도 메커니즘에 의해서 직교 x축 및 y축 방향으로 움직인다. 각 x축 및 y축은 스텝모터로 구동되므로 백래시가 없는 정밀한 움직임이 얻어지도록 설계하였다. 또한 분사압력에 동반되는 변형에 영향을 받지 않는 충분한 강성이 필요하며 분사입자의 내마멸성을 견딜 수 있도록 고강성을 유지하도록 하였으며 분사가공이 원활하게 이루어지도록 충분한 이동이 가능하도록 설계하였다.

구동장치 설계를 통하여 베이스 플레이트와 슬라이드 가이드, 볼-스크류, 기타 부품 등 Fig. 2와 같이 조립 형상을 3D 모델링을 통해 확인하고 제작 및 조립을 진행하였다.

베이스 플레이트(Base plate)는 슬라이드 가이드와 정밀한 조립을 위해 플레이트면의 평면도를 확보해야하며, Fig. 3(a)은 x축 슬라이더 가이드 조립시 양측간의 평행도 유지를 위해 측정기를 부착한 후 조립하였으며 y축 슬라이더 가이드 또한 직각도 유지 및 위치좌표의 오차발생을 줄이기 위해 측정기기를 부착하여 조립하였다.

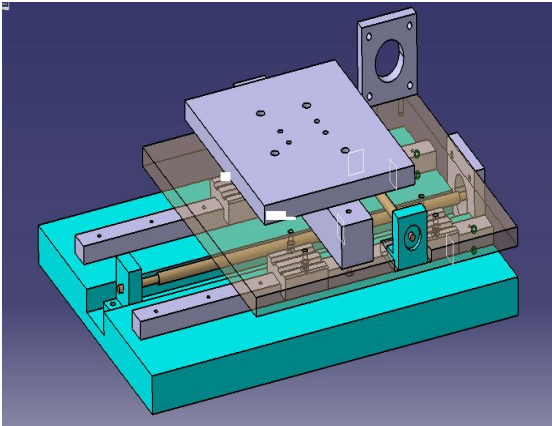
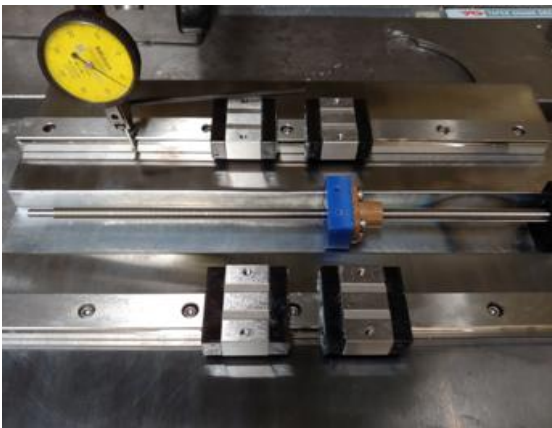
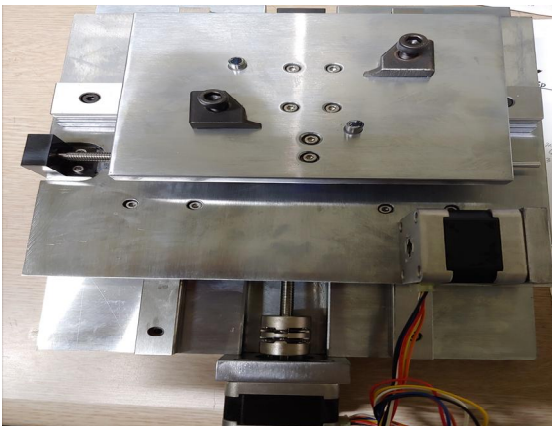


Fig. 2 Modeling of 2-axis stage driving system



(a) Assembly of slide guide



(b) Micro-drive side device

Fig. 3 Micro-device with sequence control

2자유도 메커니즘으로 구성되고 회전-직선운동으로 변환하여 직교 x축 및 y축 방향으로 움직이고, 각 x축 및 y축은 스텝모터로 구동되므로 백래시 없는 정밀한 위치제어 구동이 가능하다. Fig. 3 (b)는 각 x축 및 y축에 스텝모터인 구동모터가 장착이 완료된 모습이다.

2.2 제어장치 설계

2자유도 메커니즘을 구동하는 각 구동모터에 입력되는 신호는 제어부로부터 출력되는데, 그 제어부는 ATMEGA2560에 기반한 마이크로 컨트롤러에 의해서 구성되었다.

사용자 인터페이스(user interface)를 통하여 다양한 궤적이 컨트롤러에 입력될 수 있으며, 컨트롤러의 LCD 표시창에 실험장치의 동작상태와 사용자가 입력한 데이터가 표시되게 된다. 사용자는 입력한 데이터를 시각적으로 확인하면서 데이터를 올바르게 컨트롤러에 입력할 수 있다.

사용자의 키 입력 과정에서 혼입되는 잡음을 방지하기 위해서, 채터링 방지(Anti-chattering)부분이 마이크로 컨트롤러 프로그램에 추가하였고, 키 입력이 원활하며, 사용자 조작 편의성을 고려한 메뉴방식의 데이터 입력 프로그램이 마이크로 컨트롤러에 구현되어 있다.

사용자 입력과 2자유도 메커니즘 동작의 실시간성을 구현하기 위해서, 제어프로그램은 타이머 인터럽트를 이용한 시분할 다중실행 (제어, 입력, 출력 등 동시 실행) 방식으로 작성되어 있다,

이러한 프로그램에 기반하여 x, y축 슬라이더 가이드와 볼-스크류 메커니즘을 조합하여, 회전-직선 운동변환으로 각 축의 이송제어, 스텝모터를 이용한 정밀한 위치제어가 확보되었다. Fig. 4는 구동장치부와 제어장치의 플랫폼 구성도를 나타낸 것이다.

마이크로 컨트롤러에 기반한 컨트롤러는 실험자가 희망하는 궤적의 모양을 선택할 수 있는 모드(mode) 키, 해당 궤적의 제원을 value 키와 item 키를 채택하고 있다. 제작된 컨트롤러의 외관은 Fig. 5에 나타내었다. 상단부는 데이터와 모드가 표시된 LCD 표시창, 하단은 궤적의 제원을 입력하는 키, 그리고 우측은 실행과 초기화 키를 나타

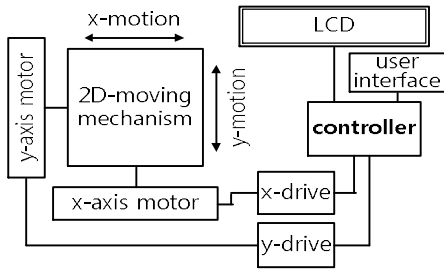


Fig. 4 Platform device configuration diagram for 2-axis stage with sequence control



Fig. 5 Control box of programmable operation

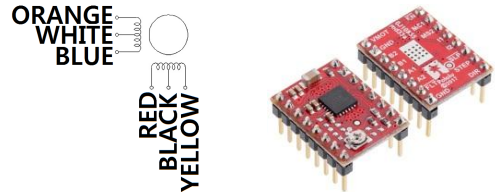
내고 있다.

사용된 모터는 2상 양극형인데, 배선에 관한 내용을 Fig. 6에 나타내었다. 모터는 2상 양극형이므로 주황색(orange), 청색(blue), 그리고 적색(red), 황색(yellow) 배선만 회로에 연결되게 된다.

컨트롤러에 사용된 마이크로 컨트롤러에서 출력되는 신호는 매우 미약하므로 모터 구동에 직접적으로 사용될 수 없다.

마이크로 컨트롤러에서 출력되는 미약한 신호를 모터를 구동할 수 있을 정도의 충분한 전력을 갖는 신호로 증폭하기 위해서 모터 드라이브가 필요하게 되는데, 모터에 1.8A 전류까지 입력할 수 있는 Fig. 6(b)과 같은 모터 드라이버 MP6500을 사용하였다.

모터 드라이브 MP6500을 마이크로 컨트롤러에 연결하기 위해서 Fig. 7과 같은 회로를 사용하였다. 구동정밀도를 개선하기 위해서 모터로 출력되는 펄스는 MP6500의 MS1과 MS2의 입력을 설정하여 4분주되게 만들었다.



(a) Step motor wiring diagram (b) Motor driver of MP6500

Fig. 6 Step motor wiring diagram and motor drive

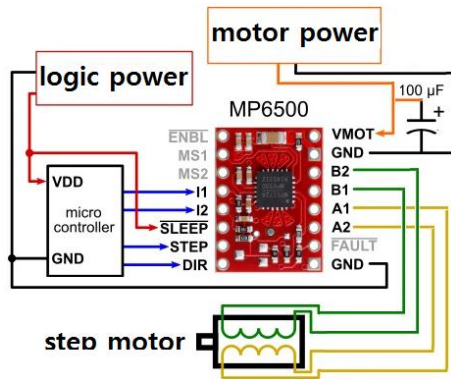


Fig. 7 The connection of step motor and MP6500

2.3 스텝모터 구동궤적

사용자 인터페이스를 통해서 선택되는 궤적들은 다음의 Fig. 8과 같이, 원형, 사각형, 오각형, 육각형 등 모두 4가지 도형의 형태로 구성되어 있다.

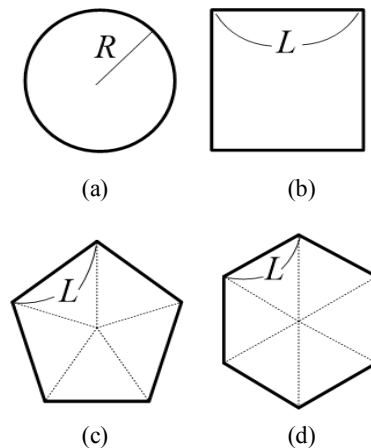


Fig. 8 Driving trajectory for different four shapes

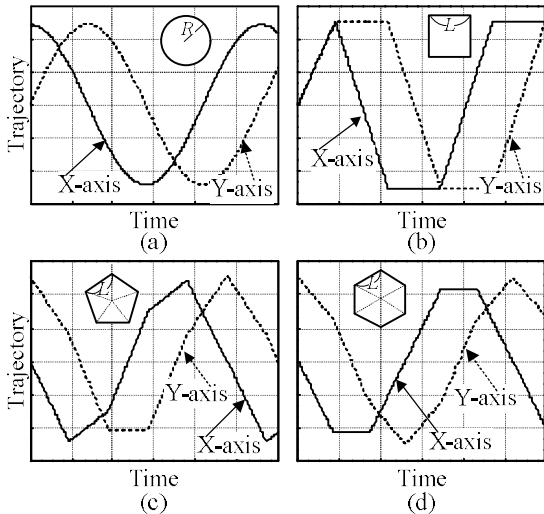


Fig. 9 Example of x and y axis trajectory for different four shapes

Fig 8의 구동궤적 중에서 원형 (a)의 경우, 반지름(R)으로 그 크기를 지정되고, 나머지 사각형(b), 오각형(c), 육각형(d)의 경우, 한 변(L)으로 그 크기가 지정되게 된다.

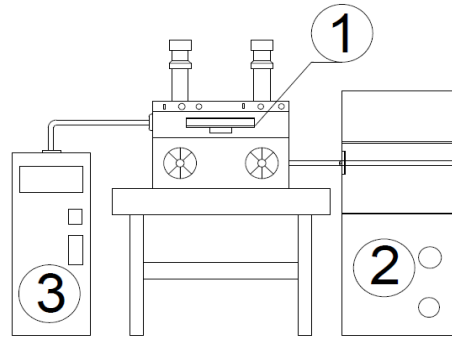
사용자 인터페이스에 의해서 특정한 도형의 궤적이 선택되면 그 도형에 해당되는 x축과 y축 궤적으로 분해되는데, 각 도형에 해당되는 x축과 y축의 궤적을 Fig. 9에 나타내었다.

2.4 미세입자 분사가공기

2축 스테이지를 개발한 후에 가공실험 연구를 위해 미세입자 분사가공을 할 수 있는 장비로



Fig. 10 Photograph of micro particle blasting machine

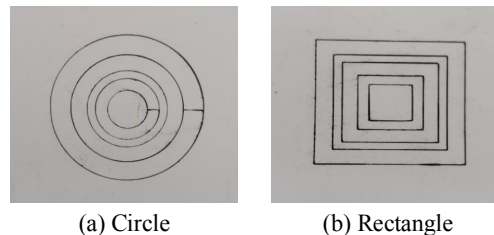


① Micro blaster ② Dust collector ③ Air dryer
Fig. 11 Schematic illustration of micro particle blasting machine

Fig. 10에 나타낸 것처럼 컴코(Comco, USA)사 제품인 Dual tank micro blaster (MB1006)를 사용할 계획이다. 또한 정밀 미세입자를 건조한 상태를 유지하기 위하여 공기 건조기를 부착하고, 미세입자 분사가공시 발생하는 분진을 제거하기 위하여 흡진장치를 사용할 계획이다. Fig. 11은 정밀입자 분사가공 장치의 작동시스템을 도식적으로 나타낸 것이다.

3. 시퀀스 제어가 가능한 2축 스테이지 궤적

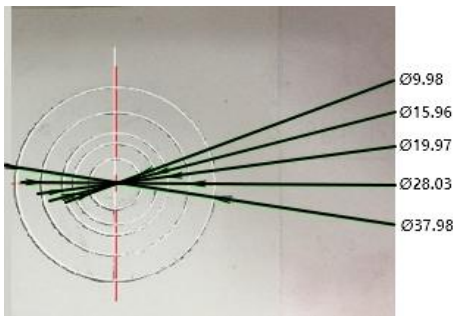
사용자 입력과 2자유도 메커니즘 동작의 실시간성을 구현하기 위해서, 제어프로그램은 타이머 인터럽트를 이용한 시분할 다중실행 (제어, 입력, 출력 등 동시 실행) 방식으로 작성되어 타원형과 사각형의 궤적을 선택하고 그 도형에 해당되는 x



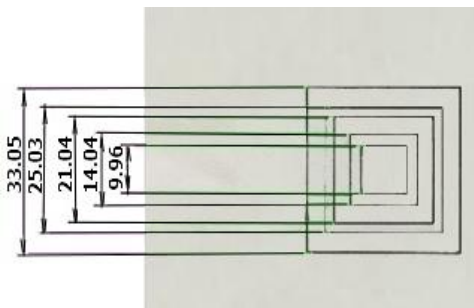
(a) Circle (b) Rectangle
Fig. 12 The shapes of driving trajectory for developed 2-axis stage with sequence control

Table 1 Measurement date value by shape trajectory

Division	Circle		Rectangle	
	date	Measured	date	Measured
1	∅10.0	∅9.98	L10.0	L9.96
2	∅16.0	∅15.96	L14.0	L14.04
3	∅20.0	∅19.97	L21.0	L21.04
4	∅28.0	∅28.03	L25.0	L25.03
5	∅38.0	∅37.98	L33.0	L33.05



(a) Different seven circular trajectories



(b) Different seven rectangular trajectories

Fig. 13 The measured dimension values according to the each driving trajectory

축과 y축 궤적으로 불규칙 증분으로 진행하였고, 두 도형에 해당되는 x축과 y축의 궤적을 Fig. 12에 나타내었다.

이러한 프로그램에 기반으로 x축과 y축 슬라이딩 가이드와 볼-스크류를 조합하여 회전-직선 운동으로 전환하도록 하였다. 각 축의 이송제어, 스텝모터를 이용한 정밀한 위치제어가 될 수 있도록 하였으며, Table 1은 주어진 데이터와 구동된 궤적을 측정된 실측값을 나타낸 표이다.

Fig. 13은 불규칙 증분으로 원형과 사각형으로

전개된 도형을 측정한 데이터 결과들이다.

4. 결론

본 연구는 미세입자 분사가공용으로 시퀀스 제어가 가능한 2축 스테이지 개발을 위해 주요 구성요소로 2자유도 메커니즘 구조와 제어용 소프트웨어를 활용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 2축제어가 가능하며 x축과 y축의 간섭방지를 위해 직교방식의 메커니즘과 볼-스크류를 이용한 직선-회전운동으로 변환을 구현하였고 각 축은 비접촉 모션에 의해 반력이 없도록 구동모터(스텝모터)를 이용하여 제어정밀도를 확보하였다.
2. 각 구동모터에 입력되는 신호는 아두이노 메가로 구성하고 사용자 인터페이스를 통하여 다양한 궤적으로 컨트롤러에 표현될 수 있었고 실험장치의 동작현황과 입력데이터가 LCD에 시각적으로 표시되었다.
3. 사용자가 입력하는 명령을 실시간으로 제어에 반영하기 위해서 타이머 인터럽트를 이용한 시분할 다중실행(제어, 입력, 출력 동시실행) 코드 작성과 목표궤적 데이터를 구동장치, 구동데이터로의 변환코드작성, 동작범위 초과를 검출하는 안전리미트 스위치 처리용 제어 소프트웨어를 활용하여 궤적을 완성하였다.
4. x축 및 y축에 입력되는 신호는 컨트롤러에서 생성되어 모터드라이버인 MP6500에 연결되고 구동정밀도를 개선하기 위해 MS1과 MS2의 압력을 설정 하였고 불규칙증분으로 지령되어 나타난 궤적의 데이터를 확인하였다.

REFERENCES

1. 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.

2. 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 of the Korean Ceramic Society, Vol. 34, No.10, pp. 1092-1098, 1997.
3. 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.
4. 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.
5. 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.