

## 금속결합제 연삭숫돌의 방전트루잉 성능 평가

김태규\*, 신건휘\*, 정명원\*\*, 곽태수\*<sup>#,</sup>

\*경남과학기술대학교 기계공학과, \*\*한국세라믹기술원 전자융합소재본부

### Truing Performance of Metal-Bonded Grinding Wheel by Electro-Discharge Truing Method

Tae-Kyu Kim\*, Gun-Hwi Shin\*, Myung-Won Jung\*\*, Tae-Soo Kwak\*<sup>#,</sup>

\*Dept. of Mechanical Engineering, Gyeongnam National Uni. of Sci. and Tech.

\*\* Electric Convergence Material Division, Korea Institute of Ceramic Eng. and Tech.

(Received 19 March 2016; received in revised form 16 April 2016; accepted 18 April 2016)

#### ABSTRACT

Truing process is a very important process for recovering the shape of wheels worn by continuous grinding operation. In this study, the devices, controller, and spindle for electro-discharge truing were developed, and the electro-discharge truing method was applied to metal-bonded grinding wheels and compared with the conventional truing method. The shapes of the grinding wheels were measured by a surface profile measurement device. The protrusion of abrasives on the surface of the wheels was compared with the conventional truing method using an optic microscope measurement device. The experimental results showed that the performance of the electro-discharge truing method, in terms of the protrusion of abrasives on the surface of the wheels and the recovery of the shape of the worn wheels, was similar to that of the conventional truing method.

**Key Words** : Abrasive(숫돌입자), Electro-discharge Truing(방전트루잉), Metal-bonded Wheel(금속결합제 숫돌)

#### 1. 서 론

연삭가공은 연삭숫돌의 작용면이 공작물 표면에 그대로 형상 재현되는 모성가공 방식으로써 연삭숫돌의 작용면이 되는 숫돌표면의 지립 돌출 상태가 가공표면에 큰 영향을 준다.<sup>[1]</sup> 따라서 숫돌의 형상 보정 및 숫돌표면의 지립 돌출을 위한 트루잉 작업은 매우 중요하게 여겨진다. 일반적으로 트루잉 작업은 절입에 의한 가공방식으로 이루어지며, 공통적으로 작업자의 숙련도 요구와 마모에 의한 잦은 드레서 교체의 문제점을 갖는다. 특히 금속결합제

삭숫돌을 사용하는 ELID연삭 가공에서는 숫돌 결합제의 강성에 의해 트루잉 시 지립을 덮고 있는 결합제의 탈락이 어려워 연마지립 돌출이 원활하지 않다는 단점이 있다. 이러한 기존 트루잉 방법의 단점을 개선하기 위해 방전가공의 가공원리<sup>[2,3]</sup>를 응용한 방전트루잉 방법이 개발되었다.<sup>[4]</sup> 방전트루잉은 인가전압에 의해 도전성 숫돌과 전극표면에 형성된 간극에서 전리작용에 의해 발생하는 방전현상으로 연마입자를 둘러싼 결합제가 소손되는 방식이다. 따라서 드레서의 잦은 교체를 해결할 뿐만 아니라 숫돌표면의 결합제를 제거하여 숫돌입자의 충분한 돌출로 난삭제의 가공에 효율적이다.

본 연구는 금속결합제 다이아몬드 연삭숫돌을

# Corresponding Author: tskwak@gntech.ac.kr  
Tel: +82-55-751-3317, Fax: +82-55-751-3319

대상으로 방전트루잉 방법을 적용하고, 적합한 트루잉 조건을 제시하는 실험을 진행하였다. 방전트루잉 실험에서 원형의 동전극 트루어와 입도 #325 주철결합제 다이아몬드 슷돌을 이용하였다. 슷돌의 회전속도, 절입깊이를 달리하여 슷돌입자의 돌출, 슷돌 형상, 트루잉 시간 등을 비교함으로써 기존의 트루잉법과 방전트루잉법의 성능을 비교 및 평가하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치 구성

방전트루잉 실험을 위해 ELID 전원공급 장치의 양극을 연삭스�돌에 음극은 트루어 슷핀들에 연결하고, 인가전압 세기에 따른 방전전류를 확인할 수 있도록 Fig. 1과 같이 방전트루어를 구성하였다. 제작된 방전트루어의 제원은 Table 1과 같다. 실험은 Table 2와 같은 사양으로 왕복식 수평축 평면연삭기(YGS-63A)에 입도 #325 주철 결합제 다이아몬드 슷돌을 사용한 ELID 연삭시스템을 구성하고 방전트루어를 연삭기 테이블에 올려 실험하였다. 또한 방전트루잉 중 방전전류 데이터를 얻기 위해 ELID 모니터링 시스템을 이용하였다. Fig. 2는 녹색 탄화규소질 연삭스�돌(GC#100)과 로터리 테이블을 이용하여 트루잉하는 전통적인 트루잉 방식을 보여주는 그림이다.<sup>[5]</sup>

### 2.2 실험 및 측정방법

#### 2.2.1 트루잉 조건별 비교실험

스�돌과 트루어를 직접 접촉시켜 슷돌형상을 수정하는 일반적인 트루잉 방식과는 달리, 방전트루잉은 슷돌과 트루어 간극에서 발생하는 방전에너지에 의해 트루잉이 진행되며, 방전에너지의 세기가 슷돌형상에 영향을 준다. 따라서 적합한 트루잉 조건 선정에 앞서 방전에너지에 영향을 미치는 인자를 선정하여 Table 3과 같은 조건으로 실험하였다. 연삭스�돌의 회전속도는 트루어와의 상대속도를 고려해 1,200~2,100rpm사이에서 4단계로 나



Fig. 1 Photograph of electro-discharge truing device

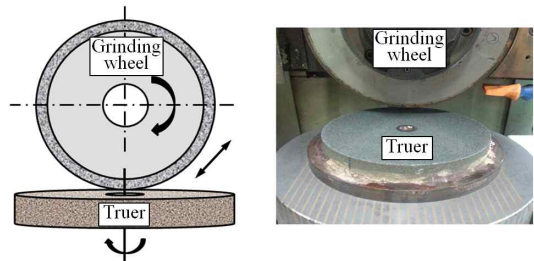


Fig. 2 Schematic diagram and photograph for conventional truing using rotary table

Table 1 Specification of electro-discharge truer

Material of truer	Copper
Diameter	80mm
Thickness	8mm
Max. revolution speed	8200rpm

Table 2 Specification of experimental device for electro-discharge truing

Machine	YGS-63A
Mesh no.	#325
Abrasive	Diamond
Bonding material	Cast iron
Power supply	ED-910
ELID Input voltage	85V
Grinding wheel type / diameter	Straight / Ø165mm

누었으며, 절입깊이와 기준전류는 슷돌과 트루어

**Table 3 Experiment condition**

Wheel speed	1,200/1,500/1,800/2,100 rpm
Depth of cut	2 $\mu$ m, 4 $\mu$ m
Total depth of cut	60 $\mu$ m
ELID input voltage	85V
Reference current	0.1A, 0.2A

의 간극을 고려하여 1회 절입 깊이는 2 $\mu$ m과 4 $\mu$ m으로 나누었으며, 기준전류는 0.1A, 0.2A으로 나누어 설정하였다. 각각의 조건에서 방전트루잉 실험을 진행하고 숫돌의 형상, 방전에너지, 소요시간을 각각 비교 평가하였다. 기존의 트루잉 방법과 방전트루잉 결과를 비교하기 위하여 숫돌회전수를 1800 rpm로 동일하게 하여 실험하고, 숫돌의 형상 및 숫돌입자의 돌출 상태를 접촉식 표면조도 측정기(Mitutoyo, SJ-401) 및 광학식 현미경(Sometech, IMS-M-345)을 이용하여 측정하고 그 결과를 비교하였다. [6,7]

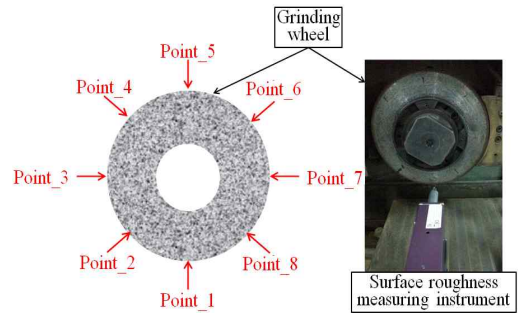
**2.2.2 측정방법**

숫돌의 표면형상 비교는 Fig. 3과 같이 8군데를 접촉식 표면조도 측정기로 측정하여 평가하였다. 숫돌 두께가 10mm임을 고려하여 측정길이를 8.3mm로 설정하였으며, 평가곡선은 필터링 없이 숫돌 표면을 확인할 수 있도록 단면곡선 Pa와 Py를 이용하여 비교하였으며, Pa와 Py는 각각 표면형상 평균높이와 최대높이를 의미한다. 또한 광학식 현미경을 사용해 트루잉 후 숫돌표면의 지립의 돌출 상태를 확인하였다.

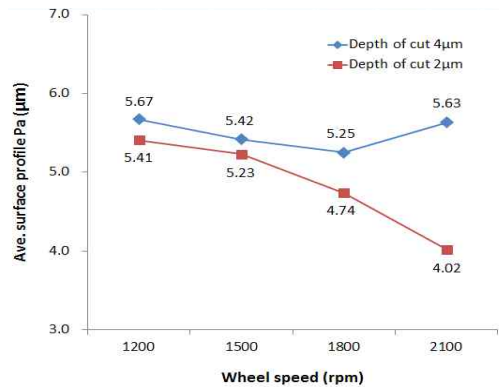
**3. 실험결과 및 고찰**

연삭숫돌의 회전속도와 절입깊이, 기준전류에 따른 방전트루잉을 평가하고 비교를 위해 방전트루잉 후 숫돌의 형상, 방전에너지, 트루잉 소요 시간을 각각 비교하였다.

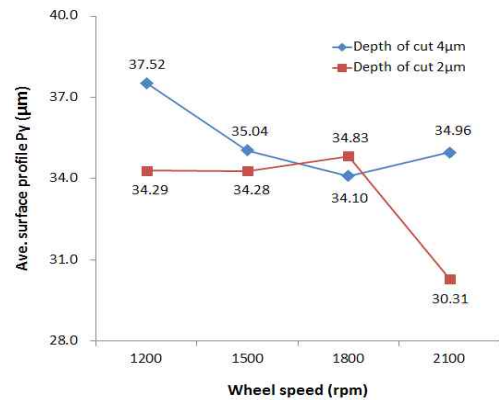
**3.1 숫돌 형상 비교**



**Fig. 3 Measurement point of grinding wheel profile**



(a) Surface profile, Pa( $\mu$ m)



(b) Surface profile, Py( $\mu$ m)

**Fig. 4 Measured surface profile in case of reference current 0.1A**

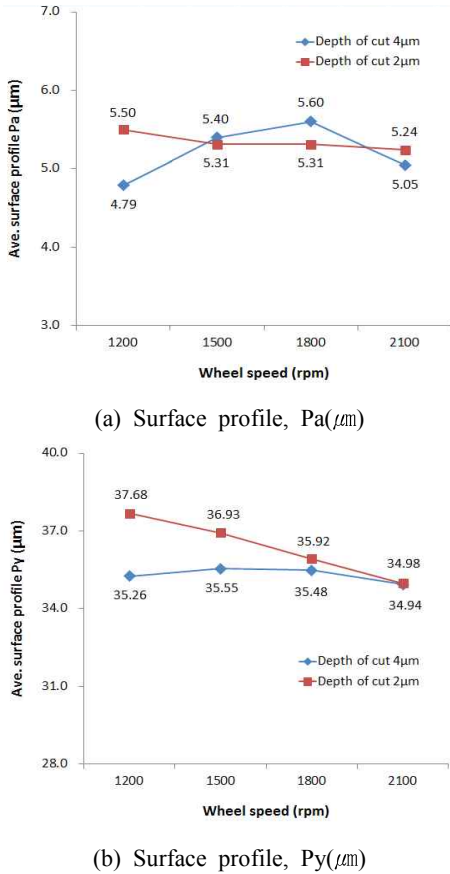


Fig. 5 Measured surface profile in case of reference current 0.2A

Fig. 4와 Fig. 5는 슛들의 회전속도 변화에 따라 방전트루잉 후의 슛돌형상을 비교한 그래프이다. 기준전류 0.1A에서 절입깊이가 2μm일 때 슛들의 회전속도가 증가할수록 슛들의 표면형상이 5.41μm Pa에서 4.02μmPa로 개선되었다. 반면, 절입깊이가 4μm일 때는 회전속도가 1800rpm까지는 표면형상이 5.67μmPa에서 5.25μmPa로 개선되었으나, 회전속도가 2100rpm으로 증가하면 5.63μmPa로 다소 나빠졌다. 표면형상 최대높이(Py)는 슛들의 회전속도가

1200rpm이고 절입깊이가 2μm일 때 34.29μmPy, 절입깊이가 4μm일 때 37.52μmPy로 나타났으며 절입깊이가 작을수록 표면형상은 양호하였다. 이것

은 방전 간극이 좁아짐에 따라 방전에너지가 높아 지므로 강한 방전스파크에 의하여 순간적으로 금속결합제가 소손되는 양이 많아지기 때문에 상대적으로 표면형상 최대높이가 증가하는 것으로 사료된다. 슛들의 회전속도가 2,100rpm에서도 동일한 현상이 나타났다. 즉, 절입깊이 2μm일 때 최대높이는 30.31μmPy, 4μm일 때 34.96μmPy로 증가하였다.<sup>[8]</sup> 반면, 절입깊이가 4μm일 때는 회전속도가 1800rpm까지는 표면형상이 5.67μmPa에서 5.25μmPa로 개선되었으나, 회전속도가 2100rpm으로 증가하면 5.63μmPa로 다소 나빠졌다. 표면형상 최대높이(Py)는 슛들의 회전속도가 1200rpm이고 절입깊이가 2μm일 때 34.29μmPy, 절입깊이가 4μm일 때 37.52μmPy로 나타났으며 절입깊이가 작을수록 표면형상은 양호하였다. 이것은 방전 간극이 좁아짐에 따라 방전에너지가 높아지므로 강한 방전스파크에 의하여 순간적으로 금속결합제가 소손되는 양이 많아지기 때문에 상대적으로 표면형상 최대높이가 증가하는 것으로 사료된다. 슛들의 회전속도가 2100rpm에서도 동일한 현상이 나타났다. 즉, 절입깊이 2μm일 때 최대높이는 30.31μmPy, 4μm일 때 34.96μmPy로 증가하였다.

한편, 기준전류가 0.2A이고 절입깊이가 2μm일 때는 회전속도가 증가할수록 슛들의 표면형상이 5.50μmPa에서 5.24μmPa로 미소하게 개선되었으나, 절입깊이가 4μm일 때는 회전속도가 1200rpm일 때 표면형상 평균높이는 4.79μmPa, 2100rpm일 때 5.05μmPa로 회전속도가 빨라짐에 따라 표면형상이 나빠지는 것을 확인할 수 있었다. 기준전류가 0.1A보다 0.2A일 때 슛돌과 전극표면 사이의 간극이 더 좁으므로 4μm씩 절입하게 되면 일시적으로 슛돌과 트루어가 접촉하여 통전되므로서 방전스파크가 발생하지 않았기 때문으로 사료된다. 따라서 본 실험 결과에 따르면 기준전류가 0.1A에서는 슛돌과 전극표면 사이의 간극이 4μm이상인 것으로 판단되며, 기준전류가 0.2A인 경우에 방전간극은 4μm이하가 되는 것으로 사료된다.<sup>[9,10]</sup>

### 3.2 트루잉 소요시간

기존의 금속결합제 연삭스�들의 트루잉 방법은 슛돌과 트루어가 접촉하여 절입에 의해 트루잉이

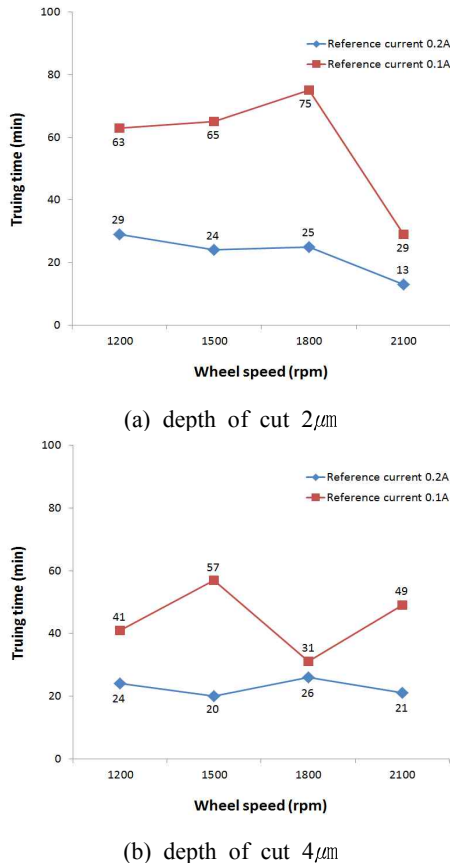


Fig. 6 Comparison of truing time by wheel speed

진행되므로 작업자의 숙련도가 트루잉 시간을 단축시키는데 큰 영향을 미친다.

방전트루잉시 소요되는 시간은 방전트루잉을 활용하는데 필요한 기초 데이터로 활용된다. 방전트루잉은 숫돌과 전극표면 사이의 간극에서 방전스파크에 의해 금속결합제가 소손되는 방식이므로 트루잉 시간을 단축시킬 수 있을 것으로 기대된다. 트루잉 시간 비교 실험은 기준전류 및 절입깊이, 숫돌의 회전수 변화에 따라 시간을 측정하였다.

Fig. 6은 절입깊이 2 $\mu$ m, 4 $\mu$ m과 기준전류 0.1A, 0.2A에 대해서 숫돌의 회전속도에 따라 전체 트루잉 시간을 비교한 그래프이다.

절입깊이와 기준전류가 각각 2 $\mu$ m, 0.2A일 때 전체 트루잉 시간은 회전속도가 1200rpm에서

2100rpm으로 빨라짐에 따라 29분에서 13분으로 단축되었으며, 절입깊이와 기준전류가 각각 2 $\mu$ m, 0.1A일 때는 숫돌의 회전속도가 1800rpm에서 75분으로 가장 길었으며, 2100rpm일 때 29분의 시간이 소요되었다. 절입깊이가 4 $\mu$ m에서는 숫돌의 회전속도에 따른 변화는 나타나지 않았으며, 기준전류를 0.2A로 설정했을 때 트루잉 시간이 단축되는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.3 트루잉 성능 평가

#### 3.3.1 숫돌표면

Fig. 7은 기존의 트루잉과 방전트루잉을 각각 적용한 후 숫돌표면을 광학식 현미경으로 관찰한 사진이다. 기존의 트루잉 방법을 적용한 경우를 살펴보면 숫돌 표면에 분포되어 있는 연마 입자가 탈락되거나 돌출이 뚜렷하지 못한 것을 알 수 있다.

반면에, 방전트루잉 후의 숫돌 표면은 연마입자

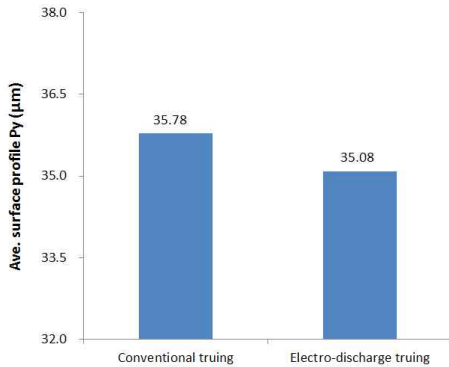


(a) Conventional truing



(b) Electro-discharge truing

Fig. 7 Comparison of grinding wheel surface after truing



**Fig. 8 Comparison of surface profile about ground surfaces of conventional and electro-discharge truing**

가 뚜렷하게 돌출되어 있는 것을 확인할 수 있으며, 방전스파크에 의해 금속결합체가 산화되어 황갈색을 띠고 있는 것을 볼 수 있다. ELID 연삭에서는 초기에 슷돌을 인위적으로 산화시켜 줌으로써 슷돌입자의 돌출을 유도하는 초기 드레싱 과정이 필요하다. 그러나 방전트루잉을 활용하는 경우에는 트루잉 과정에서 슷돌 표면이 산화되어 슷돌입자가 충분히 돌출되므로 초기 드레싱 과정을 거치지 않고 ELID연삭이 가능할 것으로 사료된다.

### 3.3.2 형상정밀도

기존의 트루잉 방법과 방전트루잉법의 효과를 비교하기 위하여 슷돌회전수를 1800rpm로 동일하게 하고, 방전트루잉시 기준전류는 0.2A, 절입깊이는 2μm으로 선정하여 실험하고 슷돌의 표면형상을 비교하였다. Fig. 8은 슷돌의 표면형상 최대높이를 측정하여 비교한 결과이다. 실험 결과에 따르면 기존의 트루잉 방법을 적용하였을 때 표면형상 평균높이(Pa)와 최대높이(Py)의 평균은 각각 4.21μm Pa, 35.78μmPy의 결과를 얻었으며, 방전트루잉을 적용하였을 때는 5.23μmPa, 35.08μmPy로 나타났다. 방전트루잉 방법을 적용한 경우가 일반적인 트루잉 방법을 적용한 결과에 비해 표면형상 평균높이(Pa)는 다소 높게 나타났으나, 최대높이(Py)는 미세하게나마 양호하였다. 또한, 방전트루잉은 슷돌입자가 잘 돌출됨에도 불구하고 슷돌 표면의 최대높이는 기존 트루잉 방법보다 다소 우수한 결과를

얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

## 4. 결 론

ELID 연삭가공에 사용되는 금속결합체 연삭스틀의 트루잉 방법을 개선하기 위해 방전트루잉 방법을 적용하고 기존의 트루잉 방법과 비교 실험함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 슷돌 회전속도 2100rpm, 1회 절입깊이 2μm, 기준전류 0.1A로 방전트루잉 했을 때 슷돌형상은 4.02μmPa, 30.31μmPy로 가장 우수하였다.
2. 슷돌 회전속도 2100rpm, 1회 절입깊이 2μm, 기준전류 0.2A일 때 트루잉 시간을 가장 크게 단축하였으며 트루잉 시간은 13분에 불과하였다.
3. 방전트루잉시 슷돌의 표면형상 정밀도는 35.08 μmPy, 기존의 트루잉 방법을 적용시 35.75μmPy로 나타났으며, 방전트루잉은 슷돌 입자가 잘 돌출됨에도 불구하고 슷돌 표면의 최대높이는 기존 트루잉 방법보다 다소 우수하였다.

## 후 기

“ 논문은 경남과학기술대학교 2014년도 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

## REFERENCES

1. Kim, S. H. and Ahn, J. H., “Reducing the Non Grinding Time in Grinding Operations(2nd report) -Decision of Dressing Chance and Depth by the Direct Measurement of Grinding Wheel Surface-”, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 14, No. 8, pp. 101-107, 1997.
2. Wang, Y., Zhou, X. J., and Hu, D. J., "An Experimental Investigation of Dry-electrical Discharge Assisted Truing and Dressing of Metal Bonded Diamond Wheel", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 46, pp.

- 333-342, 2006.
3. Lu, Y. J., Xie, J., and Si, X. H., "Study on Micro-topographical Removals of Diamond Grain and Metal Bond in dry Electro-contact Discharge Dressing of Coarse Diamond Grinding Wheel", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 88, pp. 118-130, 2015.
  4. Sanchez, J. A., Pombo, I., Cabanes, I., Ortiz, R., and de Lacalle, L. L., "Electrical Discharge Truing of Metal-bonded CBN Wheels Using Single-point Electrode", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 45, pp. 362-370, 2008.
  5. Kang, J. H. and Lee, J. K., "Study on the Surface Grinding Machining of Fine-ceramics with high Efficiency" *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 7, No. 4, pp. 40-54, 1991.
  6. Lee, J. S., "A Study on the Truing of Diamond Wheel for Micro V-shaped Groove Grinding", *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 22, No. 9, pp. 27-33, 2005.
  7. Xie, J., Xie, H. F., Luo, M. F., Tan, T. W. and Li, P., "Dry Electro-Contact Discharge Mutual-Wear Truing of Micro Diamond Wheel V-Tip for Precision Micro-Grinding", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 66, pp. 44-51, 2012.
  8. Lee, H. Y., Kim, H. J., and Lee, S. H., "Evaluation of Discharge Current Employing Generalized Energy Method and Integral Ohm's Law Using Finite Element Method" *The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 60, pp. 357-361, 2010.
  9. Choi, J. Y. and Kim, K. H., "A Study on Relation Between Expansion and the Characteristics of Surface in the ED-Drilling", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 11, No. 3, pp. 73-79, 2012.
  10. Kim, S. H. and Lim, H. S., "Development of Micro Milling EDM and Analysis of Machined Characteristics", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 10, No. 1, pp. 1-7, 2011.