

구리전극봉을 이용한 합금공구강재(STD11)의 비관통 방전 탭 가공에 관한 연구

박인수*, 왕덕현**, 김기태*[#]

*한국폴리텍대학 창원캠퍼스, **경남대학교 기계공학부

A Study on the Electrical Discharge Blind Hole Tap Machining of STD11 with Copper Electrode

In-Soo Park*, Duck-Hyun Wang**, Gi-Tae Kim*[#]

*Changwon Campus of Korea Polytechnics, **School of Mechanical Engineering, Kyungnam Univ.

(Received 24 March 2017; received in revised form 9 April 2017; accepted 23 April 2017)

ABSTRACT

The technology of electrical discharge tap machining may be appropriate for making thread out of highly brittle material. Especially, it is very difficult to machine tap with the traditional method if the brittle material has been hardened by quenching. In this study, the shape of electrical discharge blind hole tap machining was analyzed by discharge time, discharge current, and the flushing hole condition after quenched the tool steel of STD11 has discharged the tap shape with a screw-shaped copper(Cu) electrode. An experimental design was planned and analyzed by Taguchi robust experimental design. The result showed that the shape of the blind hole discharge tap was influenced by the flushing hole, discharge time, and discharge current. The most important factor of the processing conditions was found to be the discharge current. When blind hole EDM with a copper electrode with a flushing hole was conducted, the discharged shape was found to be smooth and the angle of the discharged tapped thread was also found to be close to the thread angle of 60°. As the values of discharge time and discharge current increased, the EDMed surface coarsened due to the increase of the single discharge energy and the shape of the thread collapsing.

Key Words : EDM(방전가공), Blind Hole Tap(비관통 탭), Taguchi Robust Experimental Design(다구찌 실험계획법)

1. 서 론

방전가공은 공구전극과 공작물 사이에 전기에너지를 이용 스파크를 발생시키면서 이때 발생한 열에 의해 고온에서 가공하는 특수 가공법의 하나이다.^[1-3] 방전가공은 전도성만 가지면 고경도 합금인 초경합금, 고

강도 합금 뿐만 아니라 담금질 열처리 후의 소재도 가공이 가능하다는 장점이 있다.^[4] 또한 공구전극과 공작물간의 물리적인 접촉이 발생하지 않아 미세한 구멍이나 복잡한 형상 등의 가공도 쉽게 할 수 있는 장점이 있다.^[5]

최근 방전가공 관련 연구는 마이크로 크기의 가공과 방전 최적화 관련 연구들이 많이 이루어지고 있다.^[7,8] Kwon^[6]은 마이크로 구멍 가공 중 생산성을 최대화를 위해 다구찌 기법 등을 사용하였고 Krishna^[9]는 전도성

Corresponding Author : 8511ki@kopo.ac.kr

Tel: +82-55-279-1829, Fax: +82-55-260-1177

을 가진 SiC를 마이크로 방전할 때 갭 전압, 정전용량, 임계값과 같은 매개변수의 영향을 다구찌 기법과 분산 분석법에 의해 실험한 후 분석하였다. Kumar^[10]는 다구찌 기법을 이용하여 알루미늄 합금 소재를 방전 가공할 때 소재제거율(Material removal rate)과 전극소모량(Electrode wear rate)에 대한 연구를 하였다. Lee^[11]는 홀 관통 순간을 평가하는 방법을 제시하는 연구를 하였으며 Ferreira^[12]는 동 텅스텐 전극을 사용하여 헬리컬 나사 캐비티 마무리 표면형상에 관한 연구하였다. Song^[13]은 방전드릴링 가공법의 가공속도와 공구전극 마모, 표면 개질을 위한 실험을 하였으며 Kim^[14]은 가공 부스러기의 효율적 배출을 위해 전극형상을 스크류 형상을 이용하는 연구를 하였다.

현재 프레스 금형의 형조 방전 공정에서 방전 탭 가공은 10%정도를 차지하고 있다. 이때 방전 탭 가공은 주로 열처리한 공작물에서 설계상 변경과 공정상 누락 등이 생겼을 때 이루어진다. 방전을 이용한 탭 작업이 실용화가 된 지는 얼마 되지 않는다. 이러한 이유로 지금껏 방전 탭에 대한 학문적 연구가 제대로 이루어지지 않은 상태이다. 그로인해 현재 방전 탭 가공은 산업현장에서 공정 설계자나 작업담당자의 자의적인 판단과 경험적 해답에 의해 방전 탭의 가공이 이루어지고 있다.

본 연구는 열처리 한 합금공구강재인 STD11을 나사 형상을 가진 구리(Cu)전극으로 비관통 방전 탭 가공을 수행하는 경우 전극의 Flushing hole과 방전시간과 방전전류라는 조건이 비관통 방전 탭 가공면 형상에 미치는 영향을 다구찌 기법을 활용한 실험분석법으로 해석하여 보다 정밀한 비관통 방전 탭 가공을 위한 가공조건을 도출하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 장비(Beijing agie charmilles actspark sp-3)의 개요도를 나타내고 있다. 형조방 전기의 기본적인 구조는 헤드(head)부분, 작업탱크, 베드, 제어판 등으로 구성되어 있다.

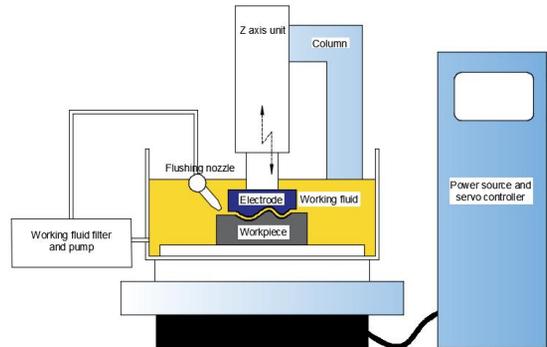


Fig. 1 A schematic diagram of experimental system

Fig. 2에는 방전 탭 가공시 전극과 공작물간의 작동모습을 나타내었다. 헤드부분에 설치되어 있는 전극은 상하 이동(Z축)을 하며, 베드에 설치되어 있는 시편은 X, Y축으로 동시에 이동하면서 탭 가공이 이루어진다.

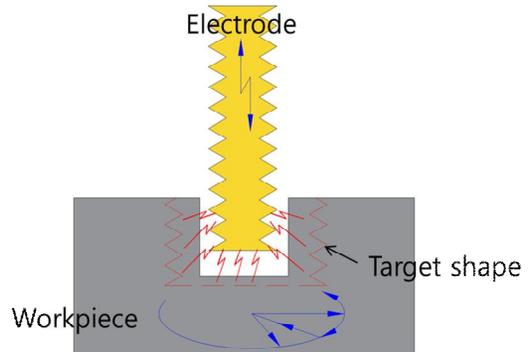


Fig. 2 The tap processing of blind hole EDM

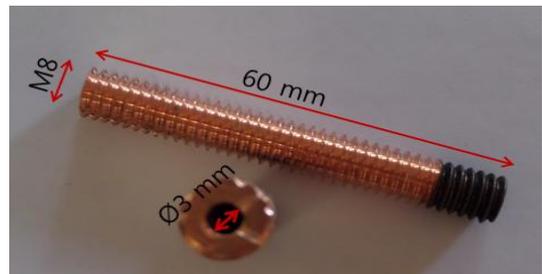


Fig. 3 Electrolytic copper tool used for blind hole EDM

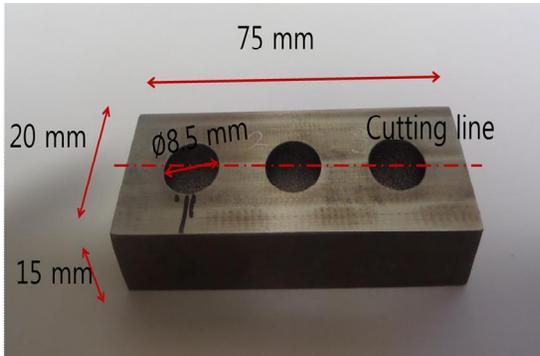


Fig. 4 The shape of blind hole EDMed of STD11 workpiece

Table 1 Chemical composition of the STD11(wt. %)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Fe
1.40	≤0.40	≤0.60	≤0.03	≤0.03	11.00	0.80	0.20	bal.
1.60					13.00	1.20	1.20	

2.2 실험재료

M10 텡을 내기위해 본 연구에 사용한 Cu전극은 Fig. 3와 같이 Cu봉을 M8 x 60 mm 나사로 가공하였다. 이때 나사의 피치는 1.5 mm이며 나사산의 각도는 60°로 가공하였다. 9개는 Flushing hole이 없는 solid 형태로, 9개는 $\varnothing 3$ mm 인 Flushing hole이 있는 파이프 형태로 준비하였다.

본 연구에 사용한 시편은 75 mm x 20 mm x 15mm STD11을 준비하였다. STD11은 고C, 고Cr 강으로 열처리 이후 높은 경도를 유지하고, 치수 변화가 적고, 냉간 상태에서 내마모성 우수하여 가공품을 냉간 상태에서 가공하는 공구용도로 사용한다. 시편은 Fig. 4과 같이 제작하였다. CNC가공 후 시편은 경도를 높이기 위해 진공 열처리하였다. 그리고 열처리 후 시편은 형상의 정밀도를 위해 연삭을 하였다. Table 1에 시편의 화학적 성분을 나열하였다. CNC로 방전 텡 가공할 위치에 방전 가공량을 남긴 $\varnothing 8.5$ mm로 깊이 10 mm인 세 개의 구멍을 미리 가공하였다.

2.3 실험방법

시편과 전극은 Flushing hole의 효과를 보다 잘 파악하기 위해 절연액에 담그지 않은 채 공기 방전으로 텡 가공을 실시하였다. 그리고 전극주변에 설치한 분

Table 2 Experimental conditions

Experiment Conditions	Value
Flushing hole	X O
Pulse-on Time(μ s)	130 180 240
Pulse-off Time(μ s)	42
Peak current(A)	14.2 18.4 25.6
Reference voltage(V)	70

Table 3 Experimental layout of L_{18} orthogonal array

Flushing hole	Pulse-on Time(μ s)	Peak current(A)
X	130	14.2
X	130	18.4
X	130	25.6
X	180	14.2
X	180	18.4
X	180	25.6
X	240	14.2
X	240	18.4
X	240	25.6
O	130	14.2
O	130	18.4
O	130	25.6
O	180	14.2
O	180	18.4
O	180	25.6
O	240	14.2
O	240	18.4
O	240	25.6

사노즐을 통하여 방전이 일어나는 부위에 절연액인 케로신을 집중 분사함과 동시에 방전가공이 진행되는 동안 주축이 상하점핑을 하여 가공 칩의 배출을 원활하게 하였다. Cu전극에 양극(+)을, 시편에는 음극(-)을 연결하였다. 이 실험에 앞서 행한 방전 홀 가공에서 얻은 실험조건을 기반으로 Table 2에 방전 텡의 실험조건을 나타내었다. 이때 Peak current는 방전전류, Pulse-on Time과 Pulse-off Time은 방전시간 및 휴지시간이며 Reference voltage는 방전전압을 의미한다.

본 실험은 실험계획법 중 적은 수의 실험횟수로 최적의 효과를 찾을 수 있는 직교배열표를 이용한 다투지 기법에 의해 실시하였다. 특성치인 방전 텡 형상에

가장 영향을 줄 것이라 예상되는 제어인자인 방전시간과 방전전류를 3수준으로 설정하고 flushing hole이 특성치인 방전 탭의 형상에 어떻게 영향을 미치는가를 알아보기 위해 flushing hole의 유·무를 2수준으로 설정하여 실험을 실시하였다. 인자가 3개이고 수준이 3수준과 2수준의 혼합 수준일 때 설계 가능한 직교배열표 중 실험횟수를 18번으로 줄인 L_{18} 을 이용하여 Table 3와 같이 실험을 실시하였다.

가공을 마친 시편은 Fig. 4에 보는 것과 같이 깊이 방향으로 절단 선을 따라 와이어 방전을 이용하여 두 조각으로 나누었다. 나누어진 방전 탭을 각각 비접촉식 형상 측정기를 이용하여 방전 탭의 형상을 측정하였다. 이때 방전 탭의 형상은 나사의 정밀도의 선정기준 중 하나인 나사산의 각도를 기준으로 판단하였다. 탭 형상 6곳의 나사산을 측정하여 결과 값으로 도출하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 방전 탭 형상

Fig. 5에서 보는 것과 같이 blind hole 방전 탭 가공은 전극에 Flushing hole이 있는 파이프형 전극으로 가공했을 때 전극의 나사산 각도(60°)에 좀 더 가깝게 탭 형상이 가공이 된다.

Fig. 6에 Flushing hole을 제외한 다른 조건은 동일하게 가공한 후 디지털 현미경으로 측정된 사진을 나타내었다. 측정사진을 보면 Fig. 5의 평균에 대한 주효과도에서 보는 바와 같이 크게 차이는 나지 않지만 Flushing

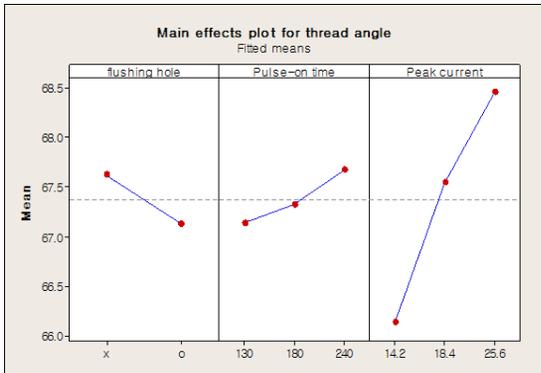
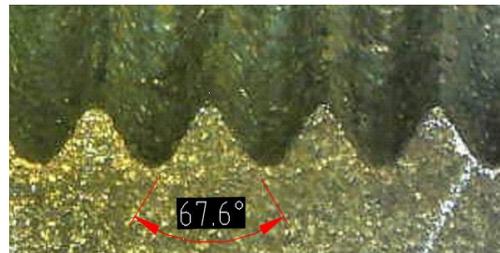


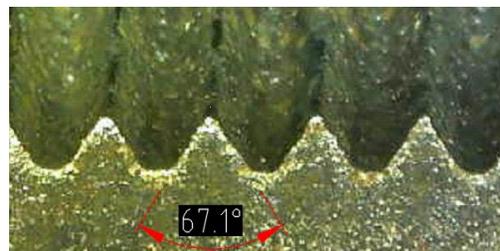
Fig. 5 Main effects plot for thread angle

hole이 있는 파이프형 전극으로 가공한 (b)나사가 나사산의 형상과 나사의 표면이 좀 더 깨끗한 것으로 보여진다. 이것은 through hole에 비해 칩 배출이 자유롭지 못한 blind hole에서, 전극의 Flushing hole의 유·무로 인한 칩 배출의 원활함의 차이가 나사의 형상과 표면에 영향을 끼쳤다고 짐작된다.

방전가공에서 가공특성은 전기조건에 의해 지배되는데 동일 휴지시간 조건하에 방전시간과 방전전류 값이 증가할수록 가공속도와 함께 면의 거칠기 값은 증가한다. 이것은 방전시간과 방전전류 값에 의한 단발방전 에너지의 크기가 커지므로 발생하는 것이다. Fig. 5에서 보는 것과 같이 방전시간과 방전전류 값이 작게 한 가공조건이 전극의 나사산 각도(60°)에 좀 더 가깝게 가공이 된다. Fig. 7과 Fig. 8에 각각 방전시간과 방전전류를 제외한 다른 조건은 동일하게 가공한 후 디지털 현미경으로 측정된 사진을 나타내었다. 측정사진을 보면 방전시간과 방전전류 값이 증가할수록 단발방전 에너지의 증가로 인한 면이 거칠어지고 나사산의 형태가 무너지는 현상을 관찰할 수 있다. 그 차이는 방전시간보다 방전전류 값의 차이에 의해 더 잘 파악이 된다.



(a) Flushing hole (X)



(b) Flushing hole (O)

Fig. 6 Digital microscope images comparing flushing hole effect

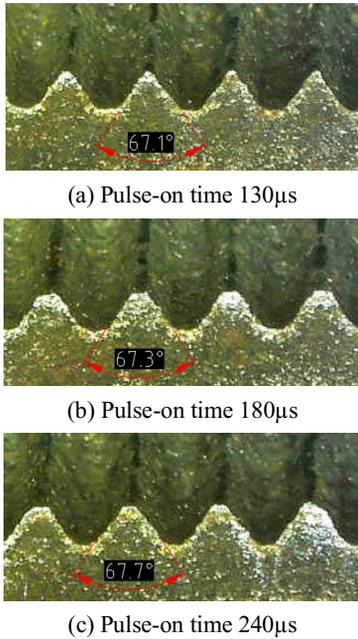


Fig. 7 Digital microscope images comparing pulse-on time effect

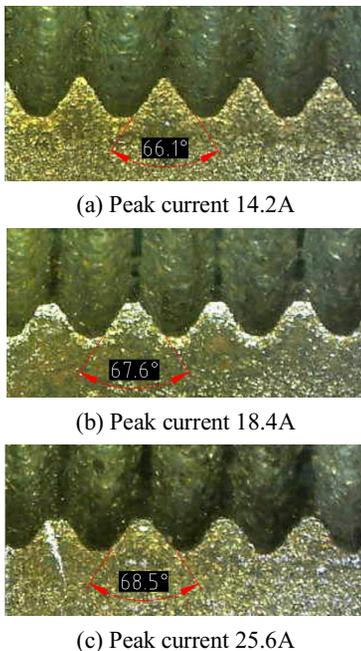


Fig. 8 Digital microscope images comparing peak current effect

3.2 신호 대 잡음 비(SN 비)

다꾸지 기법에서 개선을 위한 정도를 나타내는 측정치로 SN비(Signal-to-noise ratio)를 사용한다. SN비는 잡음에 대한 제어 인자의 영향력 정도를 나타낸다. 이러한 SN비 값이 크면 클수록 신호의 힘이 크고 잡음의 힘이 작아지는 것으로 이 SN비 값을 가장 크게 하는 조건이 최적조건이 된다.

SN비(db)는 잡음의 힘과 신호의 힘의 비를 말한다.

Fig. 9와 Table 4에 따르면 SN비가 큰 최적조건은 전극은 flushing hole이 있는 파이프형 전극, 방전시간은 130(µs), 그리고 방전전류가 14.2(A)이다. 개선 효과를 알아보기 위해 최적조건을 현행실행하고 있는 조건(전극은 Flushing hole이 없는 solid형 전극, 방전시간=180(µs), 방전전류=18.4(A))의 SN비와 비교하여 현행 수준의 조합 SN비는 -36.5438 db이고 최적수준의 조합은 -36.2998 db이므로 0.2449 db만큼의 이득이 생기는 결과가 된다.

3.3 분산 분석(ANOVA)

분산 분석(ANOVA-Analysis of variance)을 하는 이유는 통계적으로 유효한 파라미터를 찾아내고 결과 값에 영향을 주는 파라미터의 중요도를 밝혀내기 위해서이다.

Table 5에 따르면 Blind Hole 방전 텡의 나사산의 각도에 가장 영향을 주는 인자는 방전전류이다. 각 인자의 기여도를 보면 방전전류(42.99%), Flushing hole(3.44%) 그리고 방전시간(2.60%) 순으로 blind hole

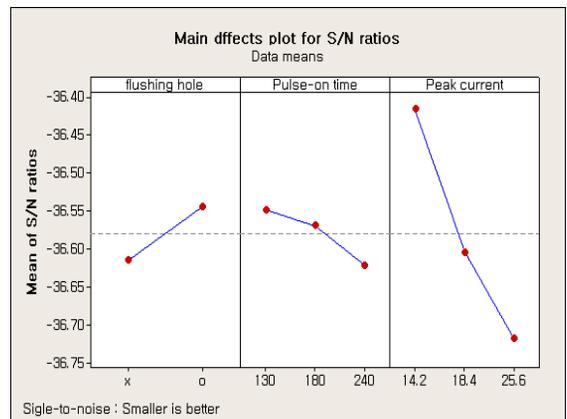


Fig. 9 SN ratio plots for thread angle as response

Table 4 Response table for signal (smaller is better) to noise ratios

Level	Flushing hole	Pulse-on Time (μs)	Peak current (A)
1	-36.62	-36.55	-36.42
2	-36.54	-36.57	-36.60
3		-36.62	-36.72
Delta	0.07	0.07	0.30
Rank	3	2	1

Table 5 ANOVA for SN ratios

Level	DF	Seq SS	value of F	value of P	Contribution (%)
Flushing hole	1	0.02247	0.81	0.386	3.44
Pulse-on Time(μs)	2	0.01696	0.31	0.742	2.60
Peak current(A)	2	0.28077	5.06	0.025	42.99
Error	12	0.33284			50.97
Total	17	0.65304			100.0

방전 탭의 나사산의 각도에 영향을 준다. 분산분석을 하면 방전전류는 95%에 유의하지만 나머지 인자는 유의하지는 않다. 그러나 다구찌 기법은 ‘현실적으로 조금이라도 개선된다면 그리고 인자의 수준을 바꾸는데 비용이 들지 않는다면 개선되는 조건을 선택한다’라는 원칙이 있다. 그러므로 현행 수준보다 문제의 개선인자로 찾은 Flushing hole(없는것→있는 것)과 방전시간(180 μs → 130 μs)과 방전전류(18.4 A → 14.2 A)의 수준을 변경하면 blind hole 방전 탭 나사의 형상의 정밀도가 개선이 될 것이다.

4. 결 론

본 연구를 통해 나사형상으로 가공한 Cu전극으로 열처리를 한 STD11를 시편으로 하여 방전 탭 가공을 한 후 전극의 Flushing hole과 방전시간 그리고 방전전

류라는 조건이 blind hole 방전 탭 형상에 미치는 영향을 다구찌 기법에 의해 계획하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. blind hole 방전 탭의 형상에 전극의 Flushing hole과 방전시간 그리고 방전전류 모두 영향을 끼쳤다.
2. 분산분석에 의하면 방전 탭의 형상에 가장 중요한 영향을 주는 가공조건은 방전전류이다.
3. Flushing hole이 있는 파이프 전극으로 가공한 blind hole 방전 탭의 형상이 전극의 나사산 각도(60°)에 가깝게 가공이 된다.
4. 방전시간과 방전전류 값이 작을 때 전극의 나사산 각도(60°)에 가깝게 가공이 된다. 방전시간과 방전전류 값이 증가함에 따라 단발방전 에너지의 증가로 인한 면이 거칠어지고 나사산의 형태가 무너지는 현상이 보였다.
5. 최적 수준의 조합은 Flushing hole이 있는 전극이고 방전시간은 130 μs, 그리고 방전전류가 14.2 A이다. 이 조합으로 현행 수준의 SN비와 비교하여 보면 0.2449 db만큼의 이득이 생긴다.

REFERENCES

1. DiBitonto, D. D., Eubank. P.T. et al., "Theoretical models of the electrical discharge machining process. I. A simple cathode erosion model," Journal of Applied Physics, Vol. 66, No. 9, pp. 4095-4103, 1989.
2. Park, C. H., Kim, C. U., Wang, D. H. and Kim, W. I., "Development of electrical guide of super-drill EDM and electrical discharge machining of small hole for high precision semiconductor die," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 4, No. 3, pp. 32-38, 2005.
3. Song, K. Y., "DEVELOPMENT OF STRIP EDM," A Thesis for a Doctorate, Seoul National University, Republic of Korea, 2012
4. Tsai, H. C., Yan. B. H., Huang. F.Y., "EDM performance of Cr/Cu-based composite electrodes," International Journal of Machine

- Tools and Manufacture, Vol. 43, No. 3, pp. 245-252, 2003.
5. Kim, C. H., "Improvement of the ED-Drilling Machinability using Multi-hole Electrodes," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 5, pp. 88-93, 2012.
 6. Kwon, W. T., Kim, Y. C., "Process Optimization for Productivity Improvement during EDM machining of a micro-hole," Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 21 No.4. pp. 556-562, 2012.
 7. Lee, E. J., Lee, K. S., Park, I. S., Kim, H. K., Wang, D. H., Chung H. S., "A study on the Electrical Discharge Machining by using Screw electrode" Proceedings of the KSMPE Autumn Conference, pp. 22-22, 2016.
 8. Lee, E. J., Park, I. S., Kim, H. K., Wang, D. H., Chung, H. S., Lee, K. S., "A Study on the Electrical Discharge Machining Tap by using Cu Electrodes of the Cold-Work Tool," Steel Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 151, No. 5, pp. 131-136, 2016.
 9. Krishna, K., S., Anand, S., S., Sanjay, A., "Experimental investigation into the micro-EDM characteristics of conductive SiC," Journal of Ceramics International, Vol. 42 No. 1, pp. 1597-1610, 2016.
 10. Kumar, N. M., Kumaran. S. S., Kumaraswamidhas. L. A. , "An investigation of mechanical properties and material removal rate, tool wear rate in EDM machining process of AL2618 alloy reinforced with Si3N4, AlN and ZrB2 composites," Journal of Alloys and Compounds, Vol. 650, pp. 318-327, 2015.
 11. Lee, C. S., "A Method of Hole Pass-Through Evaluation for EDM Drilling," Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 38, No. 3, pp. 220-226, September 2012.
 12. Ferreira, J. C., "A study of die helical thread cavity surface finish made by Cu-W electrodes with planetary EDM," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 34, No. 11-12, pp. 1120-1132, 2007.
 13. Song, K. Y., "Improvement of Electrical Discharge Drilling" Journal of the Korean Society for Precision Engineering Vol. 27, No. 10, pp. 45-51, 2010.
 14. Kim, B., H., "Micro Hole Machining Using MEDM with Screw-Type Electrode," Master Thesis, Seoul University 1999.