

방전드릴링의 가공특성 향상

Improvement of Electrical Discharge Drilling

송기영¹, 정도관¹, 박민수^{2,✉}, 주종남¹
Ki Young Song¹, Do Kwan Chung¹, Min Soo Park^{2,✉} and Chong Nam Chu¹

¹ 서울대학교 기계항공공학부 (School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National Univ.)

² 서울산업대학교 제품설계금형공학과 (Department of Product Design and Manufacturing Engineering, Seoul National Univ. of Technology)

✉ Corresponding author: pminsoo@snut.ac.kr, Tel: 02-970-6356

Manuscript received: 2009.12.30 / Revised: 2010.6.28 / Accepted: 2010.8.3

Electrical discharge drilling (ED-drilling) is a widespread machining method used to bore small holes with a high aspect ratio. This paper presents additional methods by which ED-drilling can improve machining speed, tool wear, and machined surface quality. Firstly, for high machining speed, and low tool wear, a new-type electrode that was ground on one side or both sides of the cylindrical electrodes was suggested to expel debris. The debris which is generated during the machining process can cause sludge deposition and secondary discharge problems: major reasons to decrease machining speed. This new-type electrode also reduced tool wear that was due to the decrease of unstable discharge in a machining gap by helping to expel waste water and debris from the gap. Secondly, to improve the machined surface roughness, an electrolyzation process was included after drilling. This process made the machined surface smooth by means of an electrochemical reaction between an electrode and a workpiece. In this study, the machining speed, electrode wear, and surface roughness were improved by the new-type electrode and the electrolytic process.

Key Words: Key Words: Electrical Discharge Drilling (방전드릴링), Electrode Shape (전극형상), Electrolyzation (전해현상)

기호설명

ρ = specific resistance [$\Omega \cdot \text{cm}$]

λ = thermal conductivity [$\text{W/m} \cdot \text{K}$]

Ra = arithmetical mean deviation of the profile

1. 서론

방전가공(Electrical Discharge Machining, EDM)은 전극과 공작물 사이에 방전 스파크를 발생시켜 공작물을 가공하는 특수 가공법 중 하나이다. 공구 전극과 공작물 사이에 물리적 접촉 없이 공작물이 가공되기 때문에 일반적인 금속 재료 뿐만 아니라

열처리된 고강도 스텔이나 초경합금(sintered tungsten carbide), 티타늄(Titanium) 등 절삭가공으로 다루기 힘든 난삭재 가공에 널리 사용되고 있다.^{1,4}

소위 슈퍼드릴링이라고 불리는 방전드릴링(Electrical Discharge Drilling, ED-drilling)은 여러 방전가공법 중 한 종류로 파이프 형태의 전극과 물을 주로 가공액으로 사용함으로써, 세장비가 높은 구멍을 공작물에 가공하는데 효과적이다. 특히 우수한 강도와 경도를 가진 공작물에 높은 세장비의 구멍을 가공할 수 있어 수십 μm 크기의 직경을 가진 인젝션 노즐부터 직경 수 mm 의 터빈블레이드 냉각홀까지 다양한 산업분야에 널리 쓰이고 있다.⁵⁻⁸ 고품질의 가공과 높은 생산성은 산업현장에

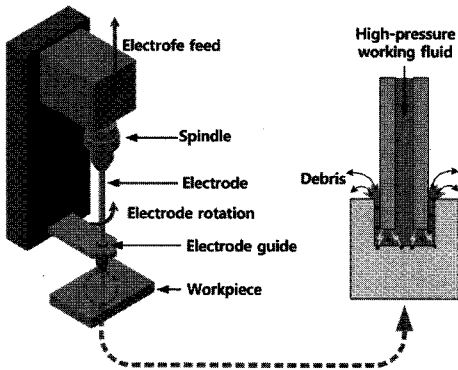


Fig. 1 Schematic of ED-drilling

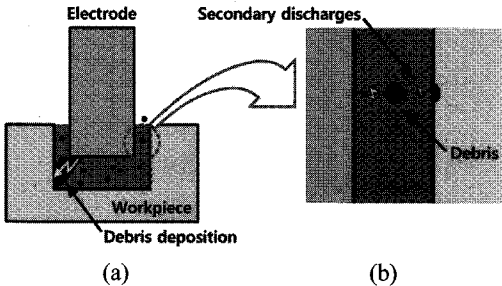


Fig. 2 Problems by debris (a) Short, (b) Secondary discharge

서 제품의 사용자와 생산자에게 모두 이익이 되는 요구사항이므로 방전드릴링의 주요 연구목적이 되고 있다. 이에 본 논문에서는 방전드릴링으로 열처리된 냉간용 합금공구강 가공 시 가공속도 증가, 공구전극마모 감소 등을 통한 생산성 향상 뿐만 아니라 가공표면 개선도 가능하도록 새로운 공정을 제안하였다.

2. 방전드릴링

2.1 가공원리

소위 슈퍼드릴링이라고 불리는 방전드릴링은 튜브형태의 공구전극을 통해 공구전극과 공작물 사이에 연속적으로 가공액인 물은 공급해 주면서 가공을 진행한다. 공작물에는 양극을 공구전극에는 음극일 인가하게 되는데 음극에서 나온 전자가 양극의 공작물로 이동하면서 전리현상을 일으켜 공작물에 충돌하며 높은 열을 일으키기 때문이다.^{9,10} 가공액으로 사용되는 물은 간극에서 스파크가 발생할 경우 절연특성이 낮아져 방전가공액으로서의 성질이 감소한다. 그러므로 가공액은 간극

에 연속적으로 공급되어야 한다.¹¹ 또한 공작물로부터 발생한 가공부스러기(debris)들은 공작물과 공구전극에 증착되어 방전회로의 단락을 일으키거나 2 차 방전을 일으켜 가공형상 정밀도에 악영향을 준다. Fig. 1 은 방전드릴링의 가공 개념도를 나타내고 있다. 공구전극 중앙의 중공(hollow)을 통해 공급되는 물은 고압으로 가공 간극에 분사되어 안정적인 스파크 발생을 위한 방전 환경을 개선하고 가공부스러기들을 전극측면과 가공된 구멍 사이의 틈으로 배출시킨다. 이때 일반적으로 공구전극을 회전시켜 가공액 배출이 원활하게 되도록 돕는다. 이렇게 사용된 물은 필터를 거쳐 가공부스러기를 제거하고 이온수저탱크에서 탈이온화하여 비저항을 증가시킨 후 다시 공구전극부분으로 공급된다.

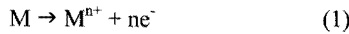
2.2 가공부스러기 발생 문제

방전 가공에서는 공작물이 국부적으로 용융되어 모재에서 이탈한 뒤 가공액 속에서 급속히 재응고 되는 과정을 거치므로 분말형태의 방전부스러기들이 연속적으로 발생한다. 이러한 방전부스러기들은 Fig. 2(a)에서 보는 바와 같이 공작물 표면이나 전극 표면에 증착되어 가공 간극을 좁게 만들어 가공액의 순환을 방해하거나 과도한 증착으로 공구전극과 공작물을 물리적으로 접촉시켜 가공 중에 방전회로를 단락시킨다. 이 경우 기계의 서보 시스템은 가공을 중지하고 단락이 해제될 때까지 공구전극을 역방향으로 움직인다. 이는 가공 속도를 저하시키고 가공 기계에는 전기적 부하를 가져오게 된다. 또한 Fig. 2(b)와 같이 전극의 측면과 가공면 사이에서 2 차 방전을 일으켜 형상 정밀도를 감소시키고 가공된 표면을 거칠게 할 뿐만 아니라 전극측면의 마모도 증가시킨다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 무엇보다 공구전극과 공작물 사이의 좁은 간극에서 가공액 배출이 원활해야 한다. 이러한 가공부스러기 문제들은 이미 다양한 미세방전드릴링 연구들에서 다루어져 왔다. 전극의 회전속도나 공구형상을 변경하여 가공액의 배출을 용이하게 하거나 방전 가공 중에 축전용량을 순간적으로 높여서 그 폭발력을 이용하여 가공부스러기 배출을 개선하는 것이 그 대표적인 예이다.¹²⁻¹⁶ 그러나 일반적으로 쓰이는 방전드릴링에서는 기존에 미세 방전드릴링에서 적용된 방법을 적용하기 힘들다. 강성이 낮은 가는 황동이나 구리 파이프를 전극으로 사용하기 때문에 높은 회전속도는 공구전극의 진동을 야기하고 또한 안정적

인 방전지속을 위해서는 가공 중 축전용량을 급격히 변화시킬 수 없다.

2.3 방전가공 중 발생하는 전해현상

방전가공은 전도체인 공구전극과 공작물 사이에 전압을 인가해주기 때문에 스파크가 발생하지 않는 경우 양측의 전압 차이로 인하여 전기장이 생성되고 그 속에서 가공액을 매개체로한 전해현상이 발생한다. 특히 물을 가공액으로 사용하는 방전드릴링의 경우 아래 식 (1)과 같은 전기화학적 반응으로 인해 공작물인 금속원자 M 이 전자 e 를 n 개 잃고 양이온형태로 물에 전해용출된다.^{17,18}



이러한 전기화학적 반응으로 방전가공 시 표면에 증착된 가공부스러기나 재용고된 금속 등을 제거할 수 있으므로 가공면을 개질하는데 적용할 수 있다.

3. 실험 장치 및 실험 방법

본 실험에서는 한국 NSD 社의 NSD-1000T 기종을 사용하여 방전드릴링 실험을 진행하였다. 본 방전드릴링기는 TR type 의 방전회로를 가지고 있으며 펄스의 충격계수(duty factor)와 전압, 전류를 조절함으로써 가공조건을 결정하게 된다. 전극으로는 직경 2 mm 의 황동 전극을 사용하였으며 전극 내부에는 직경 0.6 mm 의 중공이 있어 이곳을 통해 가공액인 물이 방전 간극으로 공급된다. 공작물은 냉간용 합금공구강인 STD11 을 사용하였다. 모든 실험은 30 mm 두께의 공작물을 관통하는 가공이었으며 실험에 사용된 가공 조건은 Table 1 에 나타내었다.

3.1 공구전극 형상에 따른 가공 실험

가공액인 물은 전극 중앙을 지나 가공 간극에 공급된 후 공구전극과 가공면의 좁은 틈을 통해 배출된다. 이때 스파크의 영향을 받아 절연성이 저하된 가공액뿐만 아니라 가공부스러기들 또한 함께 나오게 된다.

Table 1 Machining conditions

Tool electrode				
Material	Brass	65 wt.%Cu / 35 wt.%Zn $\lambda = 119 \text{ W/m}\cdot\text{K}$		
Size	Inner	$\phi 0.6 \text{ mm}$		
	Outer	$\phi 2.0 \text{ mm}$		
Rotation speed	60 RPM			
Workpiece				
Material	STD11	1.50wt.%C 2.00wt.%Cr $\lambda = 28 \text{ W/m}\cdot\text{K}$	0.25wt.%Si 0.35wt.%V	0.45wt.%Mn
Thickness	30 mm			
Working fluid				
Water	Deionized water ($\rho = 4.0 \times 10^4 \Omega\cdot\text{cm}$)			
Pressure	2 MPa			
Electrical conditions				
Voltage	80 V			
Peak current	40 A			
On time	50 μs			
Off time	40 μs			

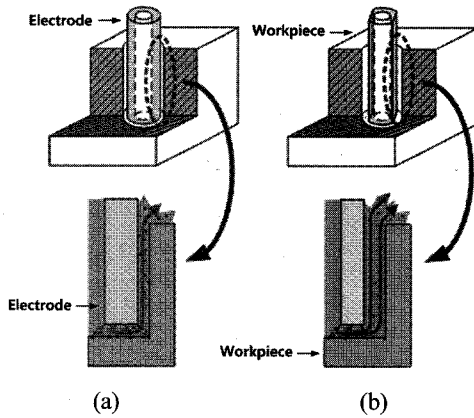


Fig. 3 Electrodes for ED-drilling (a) Conventional shape, (b) New-type electrode suggested in this study

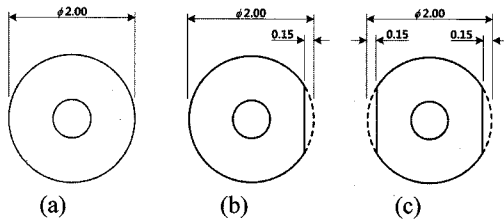


Fig. 4 The cross sections of the electrodes used in the experiments (a) Type A, (b) Type B, (c) Type C

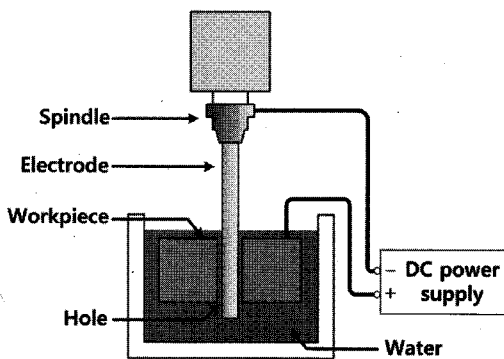


Fig. 5 Electrolytic process after ED-drilling

사용된 가공액과 가공부스러기들이 가공 중 원활히 배출될 수 있도록 기존에 사용하던 원형 전극의 한 쪽 면 또는 양쪽 면을 제거하여 변형된 전극을 제작하였다. 이는 Fig. 3 과 같이 공구전극과 가공면의 측면에 좀 더 넓은 유로를 확보함으로써 가공부스러기들이 혼합되어 있는 가공액이 원활히 배출될 수 있도록 도와주기 위함이다.

본 연구에서는 Fig. 4 와 같은 세 가지 종류의

단면 형상을 가진 전극을 이용하여 가공실험을 수행하였다. Type A 의 형상은 일반적으로 쓰이는 파이프 형태의 전극 단면이다. 그리고 type B 와 type C 는 전극의 한 쪽 또는 양 쪽을 0.15 mm 씩 제거하여 가공 시 공작물과 발생하는 측면 간극을 넓힌 전극의 단면 형상이다. 이 세 가지 전극을 통해 방전드릴링 시 공작물에 구멍이 관통되는 가공 시간과 전극 소모길이를 측정하였다.

3.2 전해현상을 이용한 가공표면 개선실험

공작물에 구멍을 가공한 후 가공된 표면을 전해현상을 이용해 개질시키고자 공구전극과 공작물 사이에 일정전압을 인가해준 뒤 시간에 따른 표면 조도의 변화에 대해서 관찰하였다. Fig. 5 는 전해현상을 이용한 표면 개선실험의 개략도를 나타낸다. 가공된 면은 공구전극의 표면과 일정 거리만큼 떨어져 있고 그 사이에는 물이 채워져 있다. 이때 전압을 인가하면 양극을 떠고 있는 공작물 표면에서는 금속이 이온화 되어 물 속으로 전해용출된다. 가공에 사용되었던 공구전극을 그대로 이 공정에 적용하게 되면 공구전극과 공작물 사이의 좁은 틈에 있는 물의 전도도가 이온화로 상승하여 공구전극과 공작물 측면 사이에서는 스파크가 발생한다. 이 스파크는 공구전극과 공작물 표면을 손상시킴으로 이를 방지하고자 전해 공정에서는 가공 시 사용하였던 직경 2 mm 의 공구전극 대신에 1.5 mm 의 공구전극으로 실험을 진행하였다.

이와 같은 공정을 통해 형성된 가공면을 3 차원 표면측정기(NANO View-E100, Nanosystem Co.)를 이용해 전해효과가 일어난 면의 표면조도를 측정하였다. 표면조도의 값은 산술평균거칠기인 Ra 를 사용하였다.

4. 실험 결과

4.1 공구전극 형상에 따른 가공 특성

Fig. 6 은 공구전극형상 변화에 따른 각각의 가공시간을 나타내고 있다. 실험은 6 회 반복하여 평균값으로 나타내었다. 일반적으로 쓰이는 공구전극형상인 type A 와 비교해 볼 때, type B 와 type C 의 가공시간이 각각 13.9% 와 25.0% 감소하였다. 이는 가공간극에서 원활한 가공액의 배출로 방전 환경이 개선되었기 때문이다. 또한 type A 에서는 가공 중 공구전극과 공작물이 물리적으로 접촉되는 단락이 평균 985 회 발생하였으나 type B 와

type C에서는 각각 평균 733 회와 707 회가 발생하였다. 가공 중 발생하는 단락은 가공속도의 저하에 직접적으로 영향을 미치므로 단락 횟수의 감소는 가공시간의 단축으로 나타났다.

공구전극형상의 변화는 가공시간 뿐만 아니라 공구전극의 마모에도 영향을 주었다. Fig. 7은 가공 전후의 공구전극의 마모 정도를 나타낸다. Type A에 비하여 개선된 공구전극 type B와 type C의 마모가 감소한 것으로 나타났으며 특히 type A에 비하여 type C의 공구전극이 상대적으로 20.4% 감소되었다. 이는 이상방전(異常放電)인 아크(arc) 감소와 이차방전의 주요 원인인 가공부스러기들의 원활한 배출로 기인한 것이다.

4.2 전해현상을 이용한 가공표면 변화

방전드릴링기로 구멍을 가공한 후 Fig. 5에서 나타낸 것처럼 1.5 mm 직경의 원형전극을 가공된 구멍에 위치시킨 후 직류전원을 인가하여 공작물 표면에 전해공정을 진행하였다. 이때 사용된 전압은 40 V, 80 V이고, 전압 인가시간은 최초 10 초에서 20 초 간격으로 50 초까지 설정하였으며 1분 이후에는 60 초 간격으로 5분까지 실험을 진행하였다.

Fig. 8은 인가 전압과 시간에 따른 가공된 구멍 내부의 표면 조도를 나타낸다. 방전드릴링으로 가공된 표면은 1.23 $\mu\text{m Ra}$ 의 표면조도 값을 가지고 있었고 전해공정을 수행한 경우 표면조도가 개선되었다. 전압인가시간이 1분 이내까지는 시간에 따라서 표면 조도 값이 점차 개선되는 경향을 나타내었으나 1분 이후에는 추가적인 표면 개선 효과가 거의 미미하였다.

Fig. 9는 전해공정 전후의 방전크레이터 변화를 전자주사현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)으로 관찰한 사진이다. 방전드릴링 직후에는 Fig. 9(a)와 같이 겹쳐진 크레이터 외곽으로 재응고된 금속분들이 남아있으나, 전해공정 후에는 Fig. 9(b), (c)에서 보는 바와 같이 전해용출로 인하여 표면이 개선된 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 산업 전반에 널리 사용되고 있는 방전드릴링 가공법의 가공속도와 공구전극마모, 표면 개질을 위한 실험이 수행되었다. 특히 가공 특성에 지대한 영향을 끼치는 가공부스러기 문제

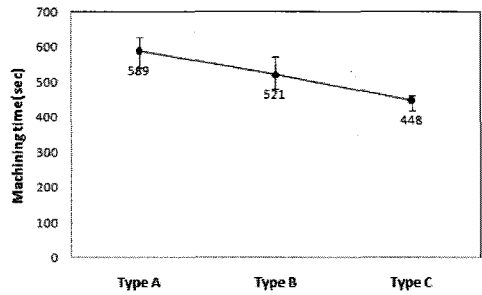


Fig. 6 Machining time according to electrode shapes

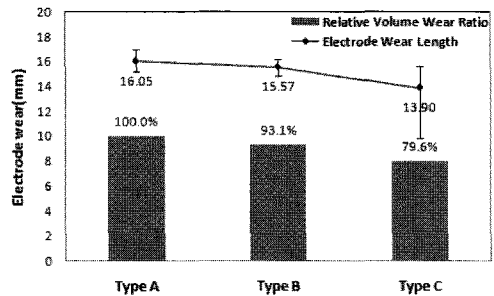


Fig. 7 Electrode wear according to electrode shapes

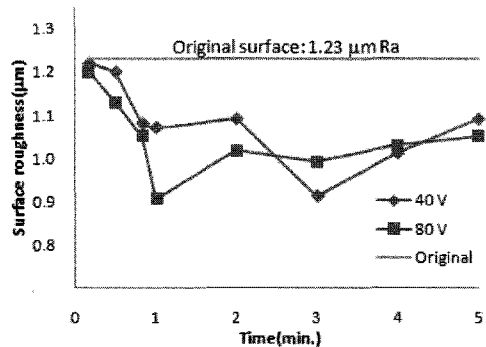
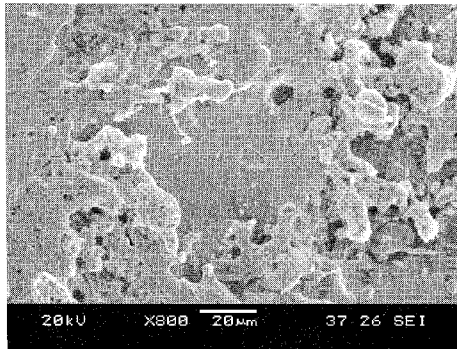
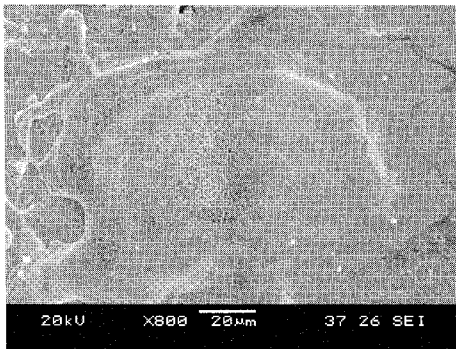


Fig. 8 Surface roughness according to voltage level and applying time

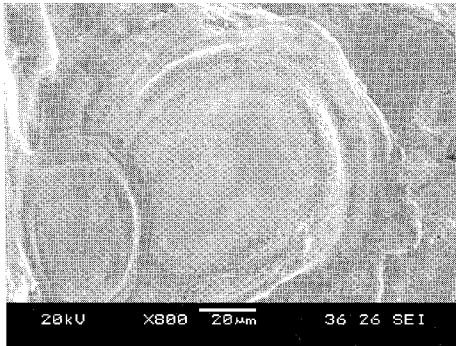
를 개선하기 위하여 기존에 쓰였던 원형전극 대신 공구전극의 한 쪽 면이나 양 쪽 면을 0.15 mm 씩 제거한 새로운 공구전극이 제안되었다. 이러한 공구전극을 사용하여 구멍을 가공하였을 때 가공속도가 증가하였다. 특히 직경 2 mm의 전극을 사용한 실험에서는 양쪽 면을 제거한 공구전극의 경우 기존의 원형전극보다 25.0%의 가공시간 단축을 나타내었다. 이는 공구전극과 공작물 사이의 좁은 방전간극에서 발생한 가공부스러기들이 전극과 공작물의 틈으로 원활히 배출되었기 때문이다. 또한



(a)



(b)



(c)

Fig. 9 The craters before and after electrolytic process (a) Initial, (b) 50 sec with 40 V, (c) 50 sec with 80 V

가공 간극으로 가공액이 원활히 공급되고 가공부스러기들이 원활히 배출됨으로써 이상방전이나 이차방전이 줄어들어 공구전극의 마모가 20.4% 감소하였다. 이렇게 가공된 구멍에 직경이 작은 원형전극을 삽입하고 가공액의 교체없이 물을 그대로 사용하여 전해공정을 진행하였을 때 가공된 구멍의 표면조도가 개선되었다.

이와 같은 결과를 토대로 방전드릴링 시 개선된 공구전극으로 구멍을 빠른 속도로 가공한 뒤

전해공정을 통해 가공면을 개질하면 생산성과 품질 측면에서 큰 장점을 가질 수 있다. 또한 이 방법은 기존에 쓰이는 방전드릴링기 외에 추가적인 기계장치나 가공액이 불필요하기 때문에 일선 산업 현장에서 바로 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Obara, H., Satou, H. and Hatano, M., "Fundamental study on corrosion of cemented carbide during wire EDM," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 149, No. 1-3, pp. 370-375, 2004.
2. Manabe, A. and Haishi, Y., "Electrical discharge machining," *Nikkan Kogyo Shimbun, Ltd.*, pp. 179-181, 2003.
3. Ho, K. H., Newman, S. T., Rahimifard, S. and Allen, R. D., "State of art in wire electrical discharge machining," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 44, No. 12-13, pp. 1247-1259, 2004.
4. 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.
5. Song, K. Y., Chung, D. K., Kim, B. H. and Chu, C. N., "Improvement of super drill EDMing speed with specific electrode shape," *Proc. of KSPE Spring Conference*, pp. 265-266, 2007.
6. Kang, S. H., "Monitoring of ED drilling process using an oscilloscope," *Proc. of KSME Autumn Conference*, pp. 7-12, 2007.
7. Kim, M. Y., Yang, S. H., Park, S. Y. and Choi, C. J., "Application of EDM for gas turbine blade cooling hole processing," *Proc. of KSPE Spring Conference*, pp. 415-416, 2008.
8. Sommer, C. and Sommer, S., "Complete EDM handbook," *Advance Publishing Inc.*, pp. 179-189, 2005.
9. Jameson, E. C., "Electrical discharge machining," *Society of Manufacturing Engineers*, pp. 75-86, 2001.
10. Taniguchi, K., Masura, S. and Kida, K., "Discharge phenomena and their applications," *Kuoritsu*

- Publication Co., pp. 5-19, 2007.
11. Guitrau, E. B., "The EDM handbook," Hanser Gardner Publications, pp. 184-193, 1997.
 12. Kim, G. M., Kim, B. H. and Chu, C. N., "Machining rate and electrode wear characteristics," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 16, No. 10, pp. 94-100, 1999.
 13. Yan, B. H., Huang, F. Y., Chow, H. M. and Tsai, J. Y., "Micro-hole machining of carbide by electrical discharge machining," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 15, No. 11, pp. 780-784, 1999.
 14. Masuzawa, T., Ku, C. L. and Fujino, M., "Drilling of deep microholes by EDM using additional capacity," International Journal of the Japan Society of Precision Engineering, Vol. 23, No. 4, pp. 275-276, 1990.
 15. Masuzawa, T., Tsukamoto, J. and Fujino, M., "Drilling of deep microholes by EDM," Annals of the CIRP, Vol. 38, No. 1, pp. 195-198, 1989.
 16. Hung, J. C., Lin, J. K., Yan, B. H., Liu, H. S. and Ho, P. H., "Using a felical micro-tool in micro-EDM combined with ultrasonic vibration for micro-hole machining," Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 16, No. 12, pp. 2705-2713, 2006.
 17. Choi, S. W., "Micro electrochemical machining of tungsten carbide," School of Mechanical and Aerospace Engineering, Ph.D Dissertation, Seoul National University, pp. 26-27, 2007.
 18. Mababe, A. and Haushi, Y., "Wire electrical discharge machining," Nikkan Kogyo Shimbun Ltd., pp. 39-45, 2003.