

# ED-Drilling의 방전가공 특성

## Machining Characteristics of ED-Drilling

김창호, 허관도(동의대 기계산업시스템 공학부), 예상돈(동의대 대학원)  
 Chang-Ho Kim, Kwan-Do Hur(Dept. of Mech.-Ind., Dong-Eui Univ.),  
 Sang-Don Yae(Graduate School, Dong-Eui Univ.)

### Abstract

This paper describes the machining characteristics of the sintered carbide and die steel by electric discharge drilling with various tubular electrodes. Electrical discharge machining(EDM) removes material from the workpiece by a series of electrical sparks that cause localized temperatures high enough to melt or vaporise the metal in the vicinity of the charge. In the experiment, four types of electrode which have different diameter are used with the application of continuous direct current and axial electrode feed. The controlled factors include the dimension of the electrode. In drilling by EDM, the dielectric flushed down the interior of the rotating tube electrode, in order to facilitate the removal of machining debris from the hole.

Key words : Electric Discharge Machining(EDM: 방전가공), ED-Drilling(방전에 의한 드릴링), Dielectric (방전액), Tubular electrode(파이프 전극)

### 1. 서 론

EDM은 전기적인 열에 의한 공정(electrothermal process)으로서 방전액으로 대치된 음극(주로 전극)과 양극(공작물)사이에서 발생하는 방전에 의해 초고온의 열집중에 의한 용융과 기화작용에 의해 재료가 제거되는 메커니즘(material removal mechanism)이다.<sup>(1)</sup>

ED-Drilling은 이러한 방전원리를 이용하여 소경의 구멍가공을 하는 것으로 와이어방전가공을 위한 개시구멍(start hole), 터어빈 블레이드 등의 항공기 부품의 냉각구멍, 플라스틱 금형의 공기취출 핀 (air bleeding pin)과 이젝터 핀, 타이어 금형 및 신발금형의 공기구멍, 초경합금 등 난삭재의 구멍가공, 시계부품 등 긴 구멍가공 및 건 드릴링(gun drilling)의 대체가공으로 응용되고 있다.

그러나 전기전도율이  $100^1\text{S/cm}$  이상인 공작물은 방전이 가능하며 부도체인 폴리머기지 복합재(polymer-matrix composite)라도 금속 필러(Cu, Al, Ag 분말 등)를 침투시키면 전도체로서 방전가공

이 가능하다.<sup>(2)</sup>

특히 초경합금, 금속기지 복합재 등은 취성이 강하여 전통적인 절삭가공방식으로는 이들을 가공하는 것이 부적절하므로 이러한 복합재들을 가공하기 위하여 레이저가공, 워터젯트(water jet: WJ), 연마재 워터젯트(abrasive water jet: AWJ) 및 방전가공, 전해가공(electro-chemical machining: ECM) 및 초음파가공(ultrasonic machining), 이온빔가공(ion beam Machining) 등이 종래의 가공방법을 대체하게 되었다. 그러나 방전가공이나 전해가공을 제외하곤 20mm이상의 경도가 높은 취성재료에  $\phi 0.5$ 이하의 구멍을 내는 것은 불가능하다.

B.H.Yan 등은 동전극으로 카아바이드에 미세한 구멍을 방전가공 할 때 전극의 소모와 구멍의 크기, 방전분(debris)등의 특성을 연구하였다.<sup>(3) (7)</sup>

### 2. 본 론

방전에 의한 드릴링(Electrical Discharge-Drilling)은 종래의 드릴과 같은 기계가공으로는 곤란한 미세

하고 긴 구멍을 방전현상을 이용하여 고속으로 구멍 가공하는 것으로서 Fig.1과 같이 동합금제의 파이프

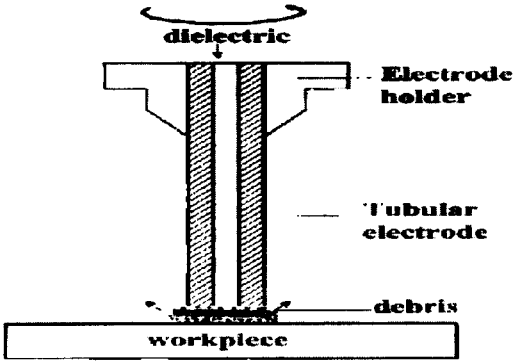


Fig.1 Principle of Ed-Drilling

전극(외경  $\phi 0.1\sim 3.0\text{mm}$ )을 지속적으로 회전함과 동시에 세라믹으로 된 전극가이드를 따라 아래로 이송시키면서 방전시 발생한 고열에 의해 금속을 용융 가공하는 것이다. 전극 안으로 분사되는 방전액은 방전액은 방전가공유 혹은 증류수에 흑연분말이 섞인 특수가공액으로서 방전가공분(debris)을 제거하며 전극과 공작물의 냉각작용을 한다.

본 연구는 구리 파이프 전극을 사용하여 냉간금형 공구강인 SKD-11과 초경합금(Cobalt 12%)를 공작물 재료로 ED-Drilling하였을 때 공작물의 두께 및 종류가 방전가공속도에 미치는 영향을 비교하였다. 또 전극소모 및 방전가공후의 입구측 구멍의 크기변 주사식 전자현미경 등을 이용하여 분석하였다.

### 3. 실험방법 및 장치

#### 3.1 실험기계

본 실험에 사용된 ED-Drilling기계는 구멍의 직경  $\phi 0.1\sim 3.0\text{mm}$ 의 가공이 가능한 세현방전가공기(SD-1M: KTC사, 한국)로서 전극이 안내되는 이송거리는 250mm, 최대 가공전류 30A, 테이블의 이송거리는  $300\times 200\text{mm}$ 이다. 전극은 외경  $\phi 0.5\sim 2.0$ , 길이 300mm의 구리 파이프 전극이며, 방전액은 방전가공 전용액을 사용하였다.

#### 3.2 실험 재료

실험에 사용한 공작물은 냉간금형공구강인 SKD-11의 열처리한 것과 초미립의 미세한 WC입자로

HIP처리한 초경합금(12%의 Cobalt 함유,  $1\mu\text{m}$ ) 판재이다. 이들의 두께는 각각 10, 20, 30, 50mm이며 두 재료의 화학성분을 Table 1과 2에 나타내었다.

Table 1 Chemical Composition of SKD-11(%)

Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
89	1.4	0.4	0.3	8.2	0.8	0.2

Table 2. Chemical Composition of sintered carbide(%)

grain size	Co	Ti+Ta	WC
under $1\mu\text{m}$	12	3	85

Table. 3 ED-Drilling Conditions

Work condition	Description
Workpiece material	WC, SKD-11
Workpiece height(mm)	10, 20, 30, 50
Electrode(mm)	Tubular copper, Outer diameter $\phi 0.5\sim 2.0$
Dielectric fluid	Kerosene
Fluid pressure(Kg/cm <sup>2</sup> )	30 ~70
Machining condition	6~20
Servo voltage	1~4
Capacitance	C <sub>1</sub> ~C <sub>5</sub>

Table3은 실험에 사용된 방전조건들이다. machining condition 및 servo voltage, capacitance 등은 작업 manual 상의 조건들이다.

작업이 끝난 표면을 #1500의 sandpaper와  $0.5\mu\text{m}$ 의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 분말로 각각 polishing을 실시하였다.

### 4. 실험결과 및 고찰

#### 4.1 방전 가공속도

Fig.2는 외경이 다른 전극으로 두께가 각각 10, 20mm인 steel을 가공하였을 때의 가공속도(mm/min)로서 전극의 직경이 클수록 방전속도가 느렸다. 그러나 외경이 1.0mm 이상부터는 가공속도에 큰 차이는 없었는데 이것은 직경이 클수록 전극의 내부에서 Fig.3과 같은 썩기 모양의 가공되지않은 칩이 전극의 안쪽에 달라붙어 방전을 방해하기 때문이다. 이

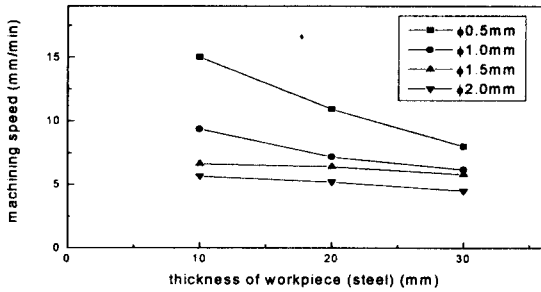


Fig.2 Machining speed(SKD-11)

빼기 때문에 방전액의 분출이 제대로 되지 않고 가공 도중에 전극이 가끔 가공을 멈추고 위로 올라갔다 다시 가공하는 경우가 있기 때문에 가공시간이 예상보다 더 소요되는 경우가 있다.

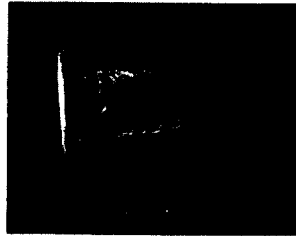


Fig. 3 Unmachined part of workpiece

빼기의 형성과정은

방전가공이 아래로 진행되면서 전극의 내경 및 가공 중인 공작물은 아래쪽이 넓어지고 윗부분은 뾰족한 형태로 발전하여 가공이 끝난 뒤에도 공작물에서 떨어져 있지 않고 붙은 채 남아있는 경우가 있다. 이러한 현상은 외경이  $\phi 1.0\text{mm}$  이상되는 전극으로 구멍가공시 간혹 생기는 현상으로서 이와 같이 관 전극의 내부에 공작물의 일부가 가공되지 않은 채 끼는 것을 방지하기 위하여 관 내경이 다양한 coreless pipe 전극이 개발되었다.

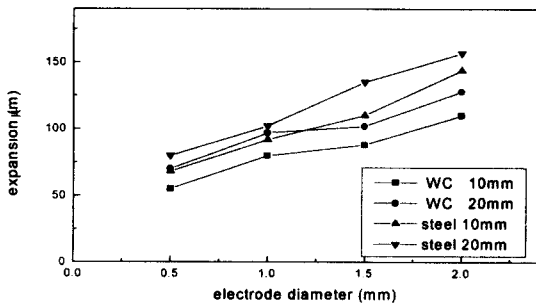


Fig. 4 Change of hole size at inlet

#### 4.2 입구측 구멍의 특성

전극이 회전할 때, 입구측의 구멍은 전극의 가이

드와 전극간의 틈새 및 전극의 동심도 및 직직도 등에 의해 커지게 된다. 이러한 구멍크기의 변화는 공작물의 두께 및 전극의 직경의 크기에 따라 달라지는데 Fig.4는이 변화를 보여주는 것이다. 초경합금의 경우, steel에 비하여 변화율이 낮았다.

Fig.5는 두께 30mm의 SKD-11재에 drilling한 구멍으로서 구멍의 표면에 서부터 모재쪽으로 방전에 의해 약 20~30μm 깊이의 열영향층이 생겼음을 볼 수 있었다. 이러한 열영향층은 모재에 미해 경도 및 강도가 떨어지고 취성이 강하므로 lapping 등에 의해 제거



Fig.5 Ed-drilled hole 할 필요가 있다.

#### 4.3 전극소모비

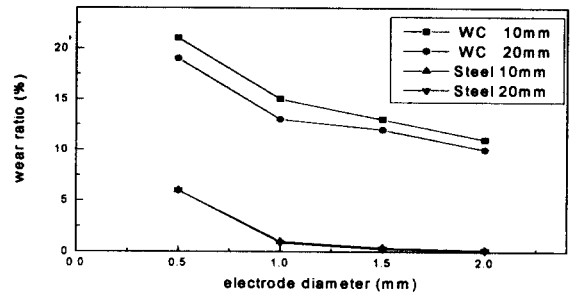


Fig. 6 Electrode wear ratio

전극의 소모비는 공작물의 제거량에 대한 전극의 소모량에 대한 백분율이다. 전극의 소모비(EWR)은

$$EWR(\%) = \frac{EWW}{WRW} \times 100 \quad (1)$$

여기서

EWW: 전극의 소모량(electrode wear weight)

WRW:공작물의 제거량(workpiece removal weight)이다.

Fig.6은 공작물을 가공할 때 소모된 전극의 소모비로서 초경합금을 가공할 때의 전극소모율은 15~21%로서steel의 소모율에 비해 약 3배나 될 정도로 심하게 소모되었다. 또 전극의 외경이 클수록 그 소모율은 감소하였다. 이것은 전극이 커질수록 그 두께가 두껍게 제작되므로 상대적으로 전극이 덜 소모

되는 것이라 생각된다.

#### 4.4 방전가공분(debris)

Fig. 7은 steel과 초경을 방전가공시 발생한 가공분으로서 EDS 분석결과, (a)의 그림에서, Fe 86%, Cu 13%, Cr 2%가 이것은 용융된 전극의 구리성분 중의 일부가 공작물과 같이 용융된 채 방전액 속으로 비산하였기 때문이라고 생각된다. (b)의 경우, 구(sphere) 형태의 방전분에서 W와 Co가 각각 75, 25%만 검출되고 Cu성분은 따로 검출되었는데 이것은 WC에 비해 낮은 용융점 때문이라고 생각된다. 검출되었다.

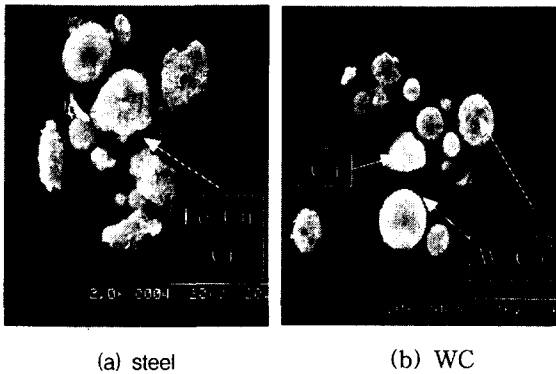


Fig. 7 Debris during machining

### 5. 결 론

난삭재인 초경합금과 열처리된 금형강을 ED-Drilling에 의해 구멍가공 하였을 때 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 외경이 다른 전극으로 두께가 각각 10, 20mm인 steel을 가공하였을 때의 가공속도(mm/min)로서 전극의 직경이 클수록 방전속도가 느렸다. 향후 다양한 공작물과 전극으로 추가적인 실험을 통하여 그 경향을 파악할 예정이다.
2. 가공된 구멍은 크랙의 크기가 심하고 열영향층이 깊기 때문에 모재에 비해 기계적 성질이 크게 약화될 것으로 보인다. 따라서 lapping이나 polishing에 의한 방법에 의해 이 열영향층을 제거할 수 있는 방법을 모색하거나 크랙을 방지할 수 있는 전원장치를 추후 개발해야 할 것으로 보인다.
3. 초경합금을 가공할 때의 전극소모율은 15~21%

로서steel의 소모율에 비해 약 3배나 될 정도로 심하게 소모되었다. 또 전극의 외경이 클수록 그 소모율은 감소하였다. 마모는 새로운 전류 펄스발생장치(pulse generator) 및 방전액의 종류와 전극재료 및 기하학적인 성질들에 좌우된다. 용융점과 기화압력이 낮으면 이온화 시간(ionization time)이 짧게 되어 방전이 효율적으로 되기 때문에 낮은 용융점과 기화압력이 바람직하다.

#### 후 기

본 연구는 동의대학교 BK21사업단의 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사를 드립니다.

### 1 Reference

1. W. Konig and R. Wertheim, "Material Removal and Energy Distribution in EDM", Annals of CIRP, pp. 95-100, 1975.
2. A. De Silva and J. Rankine, "Electrical Discharge Machining of Metal Matrix Composites", Proc. of ISEM XI, pp. 75-84, 1995.
3. T. Masuzawa, J. Tsukamoto, M. Fujino, "Drilling of Deep Microholes by EDM", Annals of the CIRP, Vol. 38, No. 1, pp.195-198, 1989.
4. B.H. Yan, F.Y. Huang, H.M. Chow and J.Y. Tsai, "Micro-hole Machining of Carbide by EDM", Journal of Materials Processing Technology 87, pp. 139-145, 1999.
5. H. Hocheng and P.S. Pa, "Electropolishing and Electrobrightening of Holes using Different Feeding Electrodes", Journal of Materials Processing Technology Vol. 89-90, pp. 440-446, 1999.
6. Z. Yu, T. Masuzawa and M. Fujino, "3D Micro-EDM with Simple Shape Electrode, Part 1 : Machining of Cavities with Sharp Corners and Electrode Wear Compensation", International Journal of Electrical Machining, Vol. 3, pp. 7-12, 1998.
7. T. Yuzawa, T. Magara, A. Goto, Y. Imai, T. Sato and T. Tiyo, "Micro Contour EDM Machining Using Thin Cylindrical Electrode", Vol. 19, No. 63, pp.1-6, 1995.