

## 3-D 미세 방전 가공의 모서리 형상 가공 특성

김기현\*(서울대원), 김보현(서울대원), 김규만(서울대원), 주종남(서울대)

### Characteristics of Machining Corners in 3-D Micro EDM

G. H. Kim\* (Mech. Eng., SNU), B. H. Kim (Mech. Eng., SNU), G. M. Kim (Mech. Eng., SNU),  
C. N. Chu (Mech. Eng., SNU)

#### ABSTRACT

As mechanical components require size minimization and high precision, micro die machining technology has been developed in many fields. To machine a micro die by EDM, sometimes, a polygonal electrode is used. Machining corners by MEDM shows special characteristics. Physically, electrons are concentrated in sharp region and a high potential level is established in this region. Also, the electrode can't be rotated when machining a polygonal cavity, and machined debris can not drawn off easily. Discharge concentration in corners and 2nd discharge by machined debris result in distortion of corner shape. This phenomena can be improved by shaking the electrode. This method is also shown to be effective in improving surface roughness by circulation of machining fluid resulting from movement of the electrode.

**Key Words :** Corner (모서리), MEDM (미세방전가공), Micro die (미세금형), Electrode (전극)

#### 1. 서론

기계부품의 극소형화, 고정밀화가 추구됨에 따라, 제작을 위한 가공기술 또한 발전되어 왔다. 특히, MEMS 산업의 발전과 더불어 마이크로 기계요소 제작 기술에 대한 요구는 한층 증대되고 있다. 이러한 마이크로 가공에 있어서, 대표적인 기술로는 미세 방전 가공, 초음파가공, 전해가공, 레이저가공등이 있다. 일반적인 기계요소와 마찬가지로 마이크로 기계요소 또한 강성이 요구되고 대부분 전도체임을 고려할 때, 미세 방전 가공기술이 그 응용 범위가 넓다. 미세 방전 가공기술은 제작하려는 가공형상에 따라 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 2차원 형상을 가공하기 위한 와이어 컷 방전 가공기술(Wire cut EDM)과 3차원 형상을 가공하기 위한 와이어 방전 연삭기술(WEDG)이다. 초소형 기계부품은 대부분 3차원 형상을 가지고 있으므로 3-D 미세 방전 가공 기술이 요구된다. 이러한 미세 가공기술은 기계산업 뿐만 아니라, 전자, 통신, 화학, 의료, 생물등 광범위한 분야에 이용될 수 있다. 특히 의료 분야에서는

Bio-mechanic에 이러한 고정밀도 가공기술이 필연적으로 요구되고 있다. 본 논문에서는 이러한 초미세 부품 제작에 필수적인 미세 금형제작에 있어서, 모서리 형상 정밀도를 증대시키는 방법을 제시하여 향후 마이크로 금형가공에 이를 적용하고자 한다.

#### 2. 3-D 미세 방전 가공기술

##### 2.1 형방전에 의한 방법

가공하려는 모양과 반대되는 형상의 전극을 가공하여 이를 가공물에 전사시킴으로써 형상을 얻는 방법이다. 전극이 제작되면 1회 가공으로 원하는 형상을 얻을 수 있다는 장점이 있는 반면, 복잡한 형상은 전극 제작이 어려움으로 말미암아 시간이 오래 걸리고 전극 제작비가 많이 든다는 단점이 있으나 대량 생산의 경우에는 이 방법이 매우 효과적이다.

##### 2.2 단순전극에 의한 방법

가공하려는 모양과는 관계없이 단순한 형상의 전극을 가공하여 이의 경로를 제어함으로써 원하는 형

상을 얻는 방법이다. 복잡한 형상도 경로 제어를 통해 가공할 수 있다는 장점이 있으나, 공작물에 대한 가공시간이 커지게 되는 단점이 있으며, 가공 경로가 남게되어 다듬질 가공인 2차 가공을 필요로 하여 대량 생산에는 부적합하다.

일반적으로 미세 부품은 자유 곡면과 같은 복잡한 형상을 가지지 않고 폴리곤이나 원형상을 가지는 경우가 많다. 이 경우는 경로를 제어하여 가공하기 보다는 그와 같은 전극을 제작하여 형방전을 통해 짧은 시간에 가공하는 것이 보다 경제적이다. 따라서, 본 논문에서는 가공시간이 적게 요구되는 형방전을 이용하여 정확한 형상을 가공할 수 있는 방법에 대해 논의하고자 한다.

### 3. 방전면에 따른 가공 특성

#### 3.1 모서리 부의 왜곡 현상

대부분 기계요소들의 면은 서로 예리하게 만나는 경우가 많다. 방전 가공에 있어서 이러한 부분은 다른 부분과는 다른 가공 특성을 갖는다. 방전가공의 기본 원리는 음극에서 양극으로의 전자의 이동에 있다. 양극에 공작물을 음극에 가공 전극을 배치하여 음극으로부터 배출된 전자가 가공물을 타격하여 발생하는 순간적인 열에너지로써 공작물을 미소량씩 제거해나가는 과정을 통하여 가공이 일어난다. 그러므로 전자의 배출량이 많을수록 가공량이 커지게 된다. 그런데 이러한 전자 배출의 용이성은 전극의 형상과 밀접하게 관련되어 있다. 전자는 예리한 부분에서 밀집되는 물리적 성질을 갖는다. 밀집된 전자들에 의해 모서리 부분은 퍼텐셜이 높아지게 된다. 방전은 전자가 절연공간을 극복하고 이동할 수 있는 가장 좋은 경로를 찾아 발생하므로 모서리 부가 바로 그러한 조건을 만족한다. 따라서 모서리 부에서 과다 방전이 일어나며 이는 원하는 형상의 왜곡을 초래한다. 이러한 현상 때문에 라운드 형상을 갖는 부분과는 달리, 폴리곤 형상에서는 가공 형상에서의 각 모서리 부분이 제대로 구현되지 않는 경우가 발생한다. Fig. 1은 모서리 부의 왜곡 모습을 보여준다.

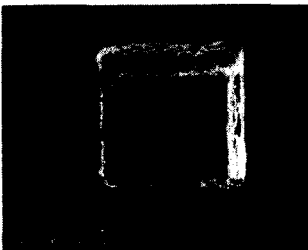


Fig. 1 Cavity Shape

가공된 전극을 이용하여 이를 공작물에 전사시킬 경우 수직방향으로 이송시키면서 가공을 하게 된다. 가공이 진행될수록 공작물로부터 제거된 가공 부스러기는 전극과 공작물사이에 축적된다. 구멍 가공과는 달리, 폴리곤 형상의 가공을 위해서는 전극을 회전시키는 것이 불가능하므로 가공 부스러기의 배출 조건이 악화된다. 이때 배출되지 못한 가공 부스러기는 2차방전을 일으킬 수 있다. 이는 전극과 공작물 사이의 방전 현상과는 달리, 공작물과 방전 부스러기 사이에서 방전이 일어나는 것으로, 과도한 가공이 일어나는 원인이 된다. 이와 같은 현상은 공작물과 방전 부스러기 사이의 거리가 일반적으로 가까운 모서리 부분에서 자주 발생하게 된다. 그러므로 모서리 부는 전극 형상에 기인한 전자 밀집현상과 2차 방전의 결과로 말미암아 그 형상이 왜곡된다.

#### 3.2 방전 바닥면의 형상 특성

방전 바닥면은 전극면이 평탄하다면 국부적인 과다방전이 그다지 크게 일어나지 않으나, 가공 부스러기 배출이 가장 힘든 부분이므로, 2차 방전이 일어날 가능성이 크다. 실제로 가공을 한 것을 관찰하면 Fig. 2와 같이 바닥면에 방전자극이 겹겹히 쌓여 있는 모습을 볼 수 있다. 이는 가공 부스러기 배출이 잘 이루어지지 않아 부스러기의 일부가 다시 공작물에 늘어붙어 일어난 것으로 생각된다. 가공 부스러기가 계속적으로 빠져나가지 못해서 일탈과 흡착을 반복한 것이다. 이런 경우, 면의 거칠기가 나빠서 미세 금형으로써의 그 기능을 상실하게 된다. 따라서 깨끗한 면을 얻기 위해서는 부스러기 배출 효과를 증대시켜야 한다.

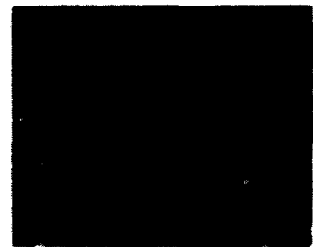


Fig. 2 Cavity Bottom Surface

#### 3.3 왜곡 현상에 대한 대책

모서리 부의 왜곡 현상은 모서리 부에서의 전자의 밀집현상으로 말미암아 과다 방전이 일어나기 때문이다. 따라서 과다 가공이 일어나지 않게 하기 위해서는 모서리 부의 방전 집중 현상을 줄이고, 2차 방전의 효과를 줄이기 위한 가공 부스러기 배출도 잘 이루어지도록 할 필요가 있다. 효과적인 가공 부스러기 배출은 방전 바닥면의 거칠기 향상에도 큰

효과를 얻을 수 있다.

### 3.3.1 가공액의 순환에 의한 가공

가공액의 순환은 가공 부스러기의 효과적인 배출을 가능하게 한다. 가공 부스러기가 모서리 부의 사이에 축적되어 2차 방전의 원인이 되므로 이는 모서리 부의 파다 방전을 줄이는 효과를 갖는다. 또한 바닥면 방전의 경우에는 가공 부스러기가 가공물에 늘어붙는 현상을 줄일 수 있다. 이상적인 방법은 중공축을 사용하여 그 구멍을 통하여 가공액을 분사시킴으로써 가공 부스러기를 배출시키는 것이다. 그런데 미세 방전가공에서는 이 방법을 사용하기가 용의하지 않으므로 전극의 측면에서 가공액을 분사시키는 방법을 택하였다. 실험 결과, 가공 깊이에 따라 100  $\mu\text{m}$  이하에서는 방전 바닥면의 상태가 개선되었으나 그 이상에서는 효과가 거의 나타나지 않았다. 이는 일정 깊이 이상에서는 가공액의 부스러기 배출효과가 떨어지기 때문인데, 가공액을 측면에서 분사하는 방법보다 좀더 직접적인 배출 방법이 요구된다. 또한 모서리 부의 왜곡도 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 이는 모서리 부의 전자 밀집 현상에 의한 방전 집중 현상이 가공 부스러기에 의한 2차 방전의 효과에 비해 크다는 것을 알 수 있다.

### 3.3.2 Round 전극에 의한 가공

모서리 부의 전자 밀집에 의한 방전 집중이 모서리 부의 왜곡에 직접적인 영향을 준다는 결과로부터 전극의 모서리 반경을 크게 하여 가공 하는 방법을 고려하였다. 직사각형의 전극을 가공한 후 각각의 모서리에 모따기를 수행하여 모서리 반경을 크게 하였다. 이와 같은 전극으로 가공한 결과 전에 비해서 모서리의 왜곡현상이 줄어들었으나 그 크기에 따라서 반경이 너무 크면 가공형상이 전극과 같은 모습 즉 원하는 형상과는 다르게 가공이 일어나고 반경이 너무 작으면 모서리 부의 왜곡현상이 줄어들지 않았다. 즉, 왜곡 없는 모서리 형상을 얻기 위한 모서리 반경을 찾는 것에 어려움이 있었다. 방전 형상에 대한 이론적인 모델 정립이 되지 않고 있고, 가공재료와 전극의 종류, 축전 용량, 가공 깊이에 따라 요구되는 반경의 수치가 다르므로 가공 시에 많은 시행착오를 요구하게 된다.

### 3.3.3 전극 요동에 의한 방법

모서리 부의 전자 밀집 현상을 제어하기가 어려우므로 가공 시간을 줄임으로써 과도한 가공을 막는 방법을 고려하였다. 일반 방전에서 이용하고 있는 전극 요동 방법을 미세 방전 가공에 적용하여, 황가공을 통해 원하는 형상의 70~80%를 가공한 후 정가공때 전극을 요동시켜 마무리 가공을 수행하였다.

## 4. 실험 및 결과

### 4.1 실험 조건

실험 재료와 조건은 Table 1과 같다.

Material	SUS304
Tool	WC
Voltage	100V
Working Fluid	Kerosine
Depth	100 $\mu\text{m}$
Capacitor	3000 pF (Roughing), 100 pF (Finishing)
Shaking Frequency	2Hz

Table 1 Machining Condition

가공 방법은 다음과 같다. 원하는 전극크기의 80% 크기의 전극을 제작한 후, 형방전을 이용하여 황가공을 수행한다. 깊이 방향으로 요구되는 깊이까지 가공을 하며 가로, 세로 방향으로는 정가공 여유를 둔다. 이 때 사용되는 축전용량은 3000 pF로 빠른 시간에 원하는 가공량을 제거하는 것이 목적이다. 황가공이 끝나면 앞서 가공한 전극을 이용하여 정가공을 수행한다. 황가공에서 가공한 깊이까지 전극을 진입시킨 후 전극을 요동시켜 요구되는 크기를 가공하게 된다. 앞서 가공된 부분에 네 모서리 방향으로 전극을 왕복시켜 가공한다. Fig. 3에 그 방법을 나타내었다. 가공면 거칠기를 좋게 하기 위해 정가공시에는 축전용량이 100 pF인 것을 사용한다.

본 실험에서는 한 변이 80  $\mu\text{m}$ 인 정사각형 전극을 제작하여 깊이 100  $\mu\text{m}$ 로 황가공을 한 후, 이 전극을 요동거리 10  $\mu\text{m}$ , 2Hz의 진동수로 요동시키면서 전류 feedback 제어에 의해 가공하였다.

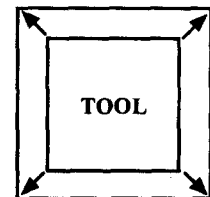


Fig. 3 Shaking Method

### 4.2 결과 및 고찰

일반적인 형조방전을 통해 가공한 cavity와 요동을 이용하여 가공한 cavity를 Fig. 4에 나타내었다. 요동 없이 가공한 부분은 모서리 부분의 반경이 크고,

과다하게 가공되었음을 알 수 있다. Fig. 5는 방전 바닥면의 사진이다. 전극을 요동시킨 경우와 그렇지 않을 경우가 확연한 차이를 보인다. 요동을 하지 않은 경우는 방전자국이 뚜렷이 나타나며, 방전 부스러기의 배출이 원활하지 못하여 일부가 바닥면에 다시 흡착된 모습을 볼 수 있다. 반면에, 전극을 요동시키면서 가공한 경우는 방전자국이 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 이 방법은 모서리 부의 방전 집중현상은 제어하지 않고 주기적으로 전극을 요동시킴으로써 가공 시간을 제어한 것이다. 이를 통해 모서리 부가 과다 가공이 되는 것을 저지하였고, 또한 주기적인 전극운동으로 가공액이 순환되어 가공 부스러기 배출효과가 증대됨으로써 2차 방전의 효과가 줄어들었으며, 이러한 결과로 방전 바닥면의 거칠기가 향상되었다.

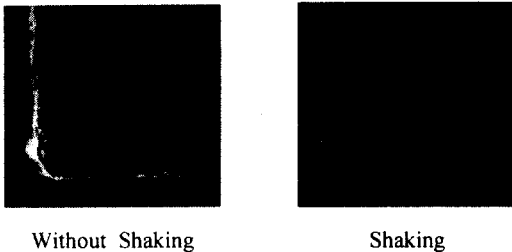


Fig. 4 Corner Geometry without and with Shaking

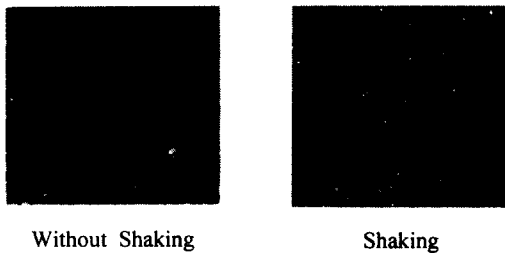


Fig. 5 Bottom Surface Texture without and with Shaking

## 5. 결론

미세 방전가공에서 모서리 부와 바닥면의 방전 특성을 분석함으로써 모서리 부와 바닥면의 정확한 형상 가공을 위한 방법을 제시하였다.

1. 모서리 부는 전자 밀집 현상에 의한 방전 집중과 가공 부스러기에 의한 2차 방전으로 인하여 과다 방전이 일어나 그 형상이 왜곡된다.

2. 바닥면은 가공 부스러기의 원활한 배출이 일어나지 않으면, 부스러기의 일부가 밀면에 흡착하여

가공면에 방전 흔적을 남겨 가공 거칠기를 악화시킨다.

3. 전극 요동 방법을 이용하여 방전 집중에 의한 과다 방전 시간을 줄임으로써 모서리 부의 왜곡현상을 줄일 수 있었으며, 또한 전극 운동에 의한 가공액 요동으로 인하여, 가공부스러기 배출 효과를 증대시켜 보다 좋은 가공면을 얻을 수 있었다.

## 후기

이 연구는 국가지정연구실 연구과제로 진행되었다.

## 참고문헌

1. Yu, Z., Masuzawa, T., and Fujino, M., "3-D Micro-EDM with Simply Shaped Electrode (2nd Report)," *Journal of the Japan society of electrical machining engineers*, Vol. 31, pp. 14-22, 1997.
2. Masuzawa, T., Fujino, M., and Kobayashi, K., "Wire Electro-Discharge Grinding for Micro-Machining," *Annals of the CIRP*, Vol. 34, pp. 431-424, 1985.
3. Mori, N., Suzaki, M., Furuya, M., and Satio, N., "Electrode Wear Process in Electrical Discharge Machining," *Annals of the CIRP*, Vol. 44, pp. 165-168, 1995.
4. 김규만, 김보현, 주종남, "미세구멍의 미세방전 가공에서 가공율과 전극소모 특성," *한국정밀공학회지*, 제16권, 제10호, pp. 94-100, 1999.