

## 미세 방전 가공을 이용한 반구형 전극 제작

김기현\*(서울대 대학원 기계항공공학부), 주종남(서울대 기계항공공학부)

### Half spherical electrode machining in micro EDM

G. H. Kim (School of Mechanical and Aerospace Eng. Dept., SNU), C. N. Chu (School of Mechanical and Aerospace Eng. Dept., SNU)

#### ABSTRACT

In manufacturing a micro die with half spherical cavity by MEDM, it is necessary to prepare an electrode with the same shape. This paper suggests a simple method to manufacture a half spherical electrode based on tool wear. The tool wears more rapidly at the edge of a cylindrical electrode. In order to make a half spherical micro electrode, cylindrical electrode was fed into the workpiece by the distance of its radius. The  $d/R$  (depth/Radius) value varied with respect to capacitance and electrode diameter. The smaller the size of electrode was, the closer the electrode tip geometry approached to a half sphere.

**Key Words** Half sphere (반구), MEDM (미세방전가공), Micro die (미세금형), Micro electrode (미세전극)

#### 1. 서론

미세 방전 가공을 이용한 미세 금형 가공 방식에는 크게 두 가지가 있는데 가공하려는 형상과 동일한 전극을 제작하여 이를 공작물에 전사시키는 형방전 방법과 단순 형상의 전극을 제작하여 이의 이송경로 제어를 통해 공작물을 가공하는 단순 전극 방법이 그것이다. 후자보다는 형방전을 이용한 방법이 가공시간과 정밀도 측면에서 모두 우수한 성격을 가지므로 형방전을 이용한 가공기술이 많이 사용되고 있다. 이와 같은 형방전을 이용하여 원하는 형상의 금형을 제작하기 위해서는 금형 형상과 동일한 모양의 전극이 필요하다. 그래서 이러한 미세 금형 제작에는 가공 기술이 뿐만 아니라, 전극 제작 기술이 기본적으로 필요하다. 본 논문에서는 미세 금형 가공에서 다각형 형상과 함께 많이 요구되는 반구형 금형 제작에 있어서 필요한 반구형 전극 제작 기술에 관해 기술하였다. 반구형 전극을 빠른 시간에 용이하게 제작할 수 있는 방법을 제시하여 전극 제작의 효율성을 높이고자 하였다. 이는 고집적 회로용 와이어 접착 기구 제작에 요구되는 미소 반구형 가공 기술에 유용하게 이용될 수 있다.

#### 2. 가공원리

일반적으로 다양한 형상의 전극을 제작하는데 있어서는 WEDM 방법으로 제작한다. 즉 Wire의 운동을 제어함으로써 다각형 기둥이나 원기둥을 제작할 수 있다. 그러나 그 크기가 작아지면 제작이 곤란하므로 보다 효율적이고 간단한 방법을 생각하였다. 다음 2 가지의 방전 현상을 이용하여 보다 간단한 반구형 전극제작 방법을 생각하였다.

##### 2.1 전극과 가공물의 마모현상

방전 가공의 특징 중 하나는 가공 중에 공작물과 전극에서 동시에 마모가 일어난다는 것이다. 마모는 방전 가공에 있어서 여러 가지 제약조건으로 작용한다. 정확한 전극을 제작하여도 시간에 따라 이를 보상해 주어야 한다는 것과 정확한 크기와 모양을 갖는 cavity를 제작하기 위해서는 마모량까지를 함께 고려해야 하는 어려움이 있다.

##### 2.2 방전 집중 현상

공작물과 전극의 마모는 방전의 전 영역에서 고르게 나타나는 것이 아니라 예리한 부분에 집중되어 나타난다. 이는 방전의 물리적인 성질과 관련이 깊다. 방전 가공은 전자가 음극에서 양극으로 급속

히 이동하여 가공물에 충돌하면서 전자의 운동에너지가 열에너지로 전환되어 가공물을 용융 또는 증발시키는 현상을 통해 일어난다. 그런데, 전자는 예리한 부분에 밀집되는 특징을 가지므로 이 부분의 전기 위치에너지가 높아지게 되어 방전이 용이하게 일어날 수 있는 환경이 된다. 따라서 예리한 부분에서 방전이 더 자주 일어나게 되어 방전 집중 현상이 발생한다. 이 방전 집중 현상을 통해 원통형 전극의 모서리부분이 다른 부분보다 빠르게 제거된다는 현상을 이용하여 반구형의 전극을 제작하였다.

### 3. 기초 실험

#### 3.1 가공 방법

원통형 전극의 바닥면이 가공 지점에서, 일정 거리 만큼 떨어진 곳을 접촉함으로써 기준면을 정한다. 이 기준면으로부터 전극 반지름에 해당되는 깊이 만큼을 수직으로 이송시켜 가공한다. 가공이 끝나면 기준면을 다시 접촉함으로써 마모량을 계산한다. 1 회 가공으로는 마모량만큼 공작물이 적게 가공되므로, 다시 기준면을 접촉한 후 전극 반지름 만큼 가공하고 2 회 가공에서의 마모량을 측정한다. 이를 반복하여 마모량이 일정크기 이하로 줄어들면 가공을 완료한다. Fig 1 에 이러한 가공방법을 도식화하였다.

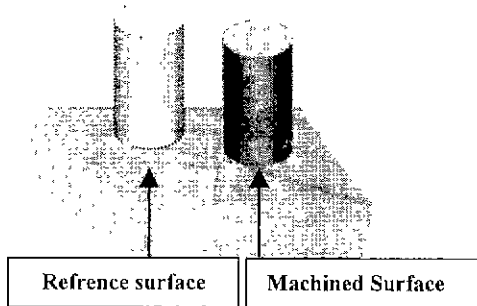


Fig. 1 Machining procedure

#### 3.2 실험 조건

실험 조건은 Table 1 과 같다. 가공 전 초기 전극의 형상을 Fig 2 에 나타냈다.

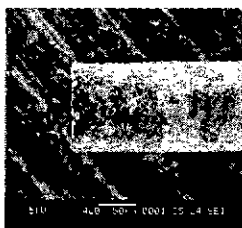


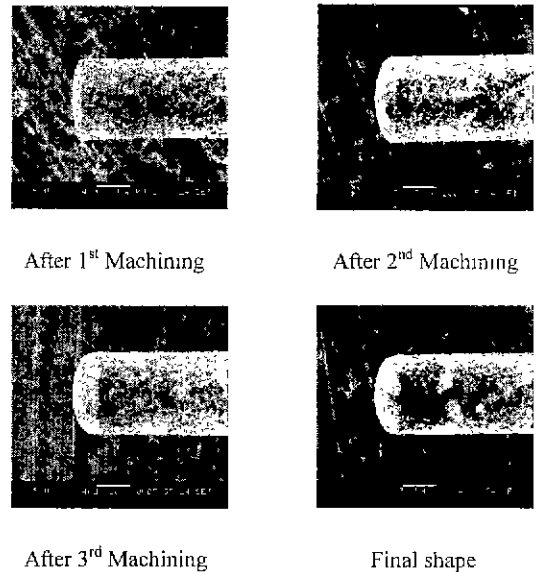
Fig. 2 Initial shape

Table 1 Machining condition

Electrode	WC
Diameter	100 $\mu\text{m}$
Voltage	100 V
Dielectric fluid	Kerosene
Capacitance	3000 pF
Machining depth	50 $\mu\text{m}$
Material	SUS304

#### 3.3 실험 결과

4 회에 걸쳐 앞에서 기술한 방법에 따라 가공한 결과를 Fig.3 에 나타냈다. 가공이 진행됨에 따라 초기의 예리하였던 원주부분이 점차 무디어져 라운드형상으로 변화하고 있음을 알 수 있다.



Total wear 28  $\mu\text{m}$

Fig. 3 Electrode shape change according to the number of machining step

위 실험에서 최종 형상을 얻기까지의 총 마모량은 28  $\mu\text{m}$ 였다. 이 마모량을 보정하여 처음에 78  $\mu\text{m}$  가공깊이로 가공한 후의 전극 형상이 Fig 4에 나타나 있다.

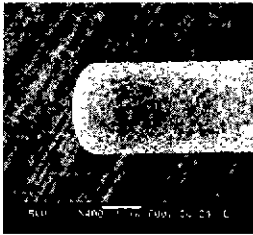


Fig 4 Machining in one step

Fig 3의 최종형상과 비교할 때 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 마모량을 알면 1회의 가공으로 라운드 형상의 전극을 제작할 수 있음을 알 수 있다

#### 4. 실험 계획 및 결과

##### 4.1 실험 계획

앞절의 결과를 토대로 전극 크기와 축전용량에 따른 전극 끝의 형상 변화 추이를 살펴보기로 한다. 그 전에 실험 데이터의 정량화를 위해 Fig.5과 같이 d/R ratio를 정의한다

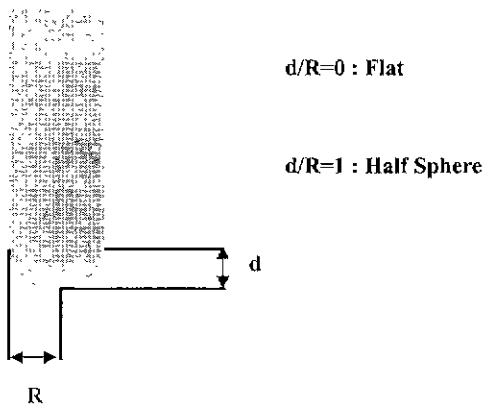


Fig. 5 d/R Ratio

그림에서 보는 바와 같이 d/R ratio가 0에 가까워지면 전극형상은 평탄한 형상을 갖게 되며 1에 가까워지면 반구형상에 도달하게 된다. d/R ratio에 가장 큰 영향을 주는 인자를 전극 크기와 축전용량으로 선택하여 실험을 수행하였다. 그 이유는, 반구형 전극 제작의 기본 원리가 공작물과 전극의 마모와 전극 원주부에서의 방전 집중 현상에 있으므로 마모에 가장 큰 영향을 주는 전극 크기와 축전 용

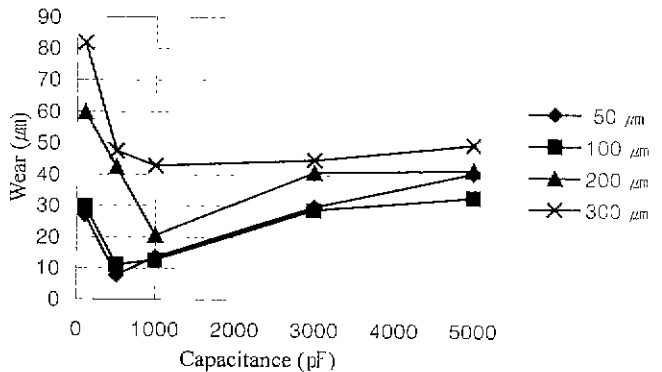
량을 주요한 변수로 고려하였다

##### 4.2 마모 실험 결과

전극 크기를 50  $\mu\text{m}$ 부터 300  $\mu\text{m}$ 까지 변화시키고 각각에 대하여 축전용량을 100 pF부터 5000 pF까지 변화시키면서 마모를 측정하였다. 각각의 가공은 전극 반지름 크기 만큼 수직으로 이송한 후 마모를 측정하고, 다시 기준면에서 가공깊이까지 반복 가공하면서 마모가 1  $\mu\text{m}$ 이하가 될 때 까지 실험을 수행하였다. 그 결과를 Table 2에 나타내었다

Table 2 Wear Unit.  $\mu\text{m}$

Diameter \ Capacitance	50 $\mu\text{m}$	100 $\mu\text{m}$	200 $\mu\text{m}$	300 $\mu\text{m}$
100 pF	26.94	29.73	59.72	81.79
500 pF	7.72	11.02	42.45	47.53
1000 pF	13.74	12.76	20.62	42.93
3000 pF	29.89	28.87	41.03	45.00
5000 pF	40.92	33.05	42.00	50.05



위 결과를 그래프로 정리하면 Fig 6과 같다

Fig. 6 Wear change with respect to capacitance and electrode diameter

같은 축전용량을 가지고 가공했을 때 전극이 클수록 마모량이 증가되는 추세가 나타났으며 100 pF의 축전기를 사용한 경우를 제외하면 축전용량의 크기에 따라 마모가 증가되는 양상을 띠다 100 pF를 사용한 경우는, 공작물 위에 있는 산화막 제거에 요구되는 에너지보다 단발 방전 에너지가 작아서 산화막 제거에 많은 에너지가 소비되어 전극마모가 커진 것에 원인이 있는 것으로 보인다 위의 값을 이용하여 각각의 전극에 요구되는 가공 깊이에 마모값을 보정한 후 다음 실험을 수행하였다

### 4.3 d/R 값 측정 결과

마모를 보정한 가공 깊이로, 1 회 가공 후 각각에 대한 d/R ratio 값을 측정한 결과가 Table 3 에 나타나 있다 축전 용량과 전극 크기에 따라 가공한 시편을 SEM 을 통해 파일로 저장한 뒤, 각각을 측정하였다

Table 3 d/R Ratio

Capacitance \ Diameter	50 $\mu\text{m}$	100 $\mu\text{m}$	200 $\mu\text{m}$	300 $\mu\text{m}$
100 pF	0.224	0.106	0.034	0.116
500 pF	0.718	0.718	0.298	0.105
1000 pF	0.714	0.708	0.542	0.101
3000 pF	0.950	0.736	0.656	0.550
5000 pF	0.772	0.568	0.424	0.544

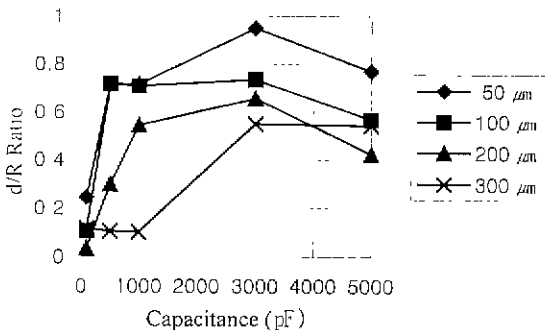


Fig 7 d/R ratio change with respect to capacitance and electrode diameter

위 결과를 그래프로 나타내면 Fig.7 과 같다 위 실험 결과를 통해서 두 가지 사실을 알 수 있다.

첫째, 전극 크기가 일정할 때 축전용량이 클수록 d/R ratio 가 증가한다는 것이다. 100 pF과 1000 pF사이에는 큰 폭으로 증가를 하고 그 이상의 값에서는 서서히 증가하는 양상을 띠었다 또한 축전용량을 변화시킴으로써 다양한 d/R ratio 의 값을 갖는 전극을 제작할 수 있었다.

둘째, 같은 축전용량에서는 전극크기가 작을수록 반구형에 가까운 형상이 얻어졌다. 이는 축전용량이 같으면 빙전에너지도 같으므로 면적효과에 기인한 것으로 보인다 즉 같은 Aspect ratio 를 갖고 가공을 하더라도 전극의 크기가 크면 제거해야 할 모서리부의 부피가 커지므로, 전극크기가 작은 경우는 원주부의 제거 되어야 할 가공량이 상대적으로 적어서 원주부의 방전 집중 효과가 크게 나타나기 때문이다

Fig.8 는 위의 방법으로 제작한 전극의 실례이다

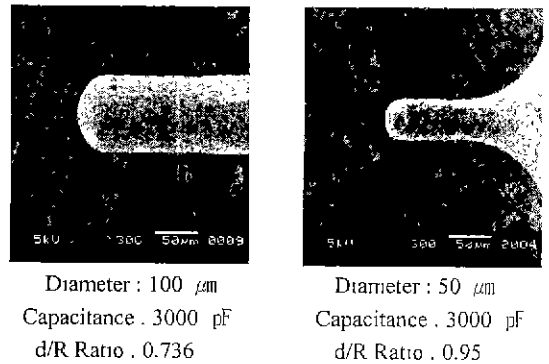


Fig 8 Machined electrode

## 5. 결론

미세 반구형 전극제작을 위한 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다

(1) 전극과 공작물의 마모와 모서리부에서의 방전집중 현상을 이용하여 1 회의 형방전으로 반구형상을 갖는 전극을 제작할 수 있었다.

(2) 축전용량이 증가함에 따라 전극의 d/R ratio 가 증가하는 경향으로 나타났으며, 축전용량을 조절함으로써 전극 끝 형상의 Curvature 를 변화시킬 수 있음을 알 수 있었다

(3) 전극의 크기가 작아짐에 따라 d/R ratio 가 크게 나타났다. 즉 이 방법은 전극 크기가 작아질수록 반구형상의 전극 제작에 효과적임을 알 수 있다.

## 참고문헌

- 1 Masuzawa, T. and Tönshoff, H. K., "Three-Dimensional Micromachining by Machine Tools, " Annals of the CIRP, Vol. 46, No. 2, pp. 621-628, 1997
- 2 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.
- 3 Kumeda, M., "Challenges in EDM Technology, " Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol. 33, pp. 276-282, 1999.
- 4 Mohri, N. and Morita, H., "Development of an Electrical Discharge Drilling Device by Using a New Method for Direct Drive of Electrode, " JSPE, Vol. 58, No. 12, pp. 2063-2068, 1992.
- 5 김규만, 김보현, 주종남, "미세구멍의 미세방전가공에서 가공율과 전극소모 특성," 한국정밀공학회지, 제 16 권, 제 10 호, pp. 94-100, 1999.