

### 3 차원 방전가공조건 결정에 관한 연구

## A Study on the Determination of Machining Parameters in three-dimensional Electrical Discharge Machining

이건범 (홍성기능대학 생산기계기술학과), 손일복 (홍성기능대학 생산자동화기술학과)

Keon-Beom Lee (Hongseong Polytechnic College), Il-Bok Son (Hongseong Polytechnic College)

#### ABSTRACT

In general, machining time by electrical discharge machining (EDM) process is much longer than that of cutting process, so rough-cut has done for the purpose of reducing machining time prior to EDM. Nowadays EDM speed is improving due to the advance of EDM capacity. Therefore a new method, machining a raw material directly by EDM without rough-cut, is used widely.

EDM area is varies according to the EDM position in three-dimensional EDM process, so EDM parameters should be determined adaptively based on the EDM area to increase productivity. However it is difficult to calculate EDM area corresponding to the EDM position the EDM workers who have experience in shop floor determine machining parameters by experience.

This paper proposes a method for determining EDM parameters based on EDM area corresponding to EDM position.

Key words: EDM(Electrical Discharge Machining)

#### 1. 서론

방전가공법은 동, Graphite 등과 같이 비교적 가공성이 좋은 도전성 재료인 공구전극과 강, 초경합금등과 같은 난삭재의 도전성 재료 사이에 Carosin 이나 탈 이온수 등의 가공액을 개재시키고 두 전극 사이에 60~300V 정도의 펄스 전압을 인가하면 두 전극사이에서 불꽃방전(Spark)이 발생하는데 이 때 발생하는 이상 소

모현상을 이용하여 공구전극과 동일한 형상의 제품을 가공하는 가공법이다.

일반적으로 방전가공법은 절삭가공에 비하여 가공시간이 많이 소요되므로 가공시간을 단축하기 위하여 가공물을 절삭가공법으로 예비가공한 후 나머지 부분을 방전가공 하는 것이 일반적인 방법이었다. 그러나 현재는 방전가공기의 성능이 향상되어 높은 방전에너지를 이용하여 고속방전가공이 가능하게 됨에 따라 가공물을 황삭으로 예비가공하지 않고 직접 방전가공하는 이른바 통방전이 점차 널리 사용되고 있다[1].

통방전은 3 차원형상을 직접 방전가공 하는 가공법으로 방전가공 위치에 따라 방전가공면적이 변하므로 방전가공면적에 적응적인 방전가공조건을 결정하기가 어려우므로 산업현장에서는 작업자의 경험에 의존하여 가공상태에 따라 방전가공을 결정하는 실정이므로 체계적인 방전가공조건을 결정할 수 있는 방법이 절실히 요구되고 있다.

현재까지 체계적인 방전가공조건을 결정할 수 있는 방법에 관한 연구로는 가공물 두께에 적절한 와이어 방전가공조건을 결정하기 위하여 신경망을 이용한 연구[1,2]가 있었으며, 형조방전가공에 대한 연구는 2 차원 방전가공조건을 방전면적에 기초하여 결정할 수 있는 방법[3]이 연구된바 있다. 그러나 현재까지 방전가공면적이 방전가공 위치에 따라 변하는 3 차원 방전가공조건을 체계적으로 결정할 수 있는 방법에 관한 연구는 아직까지 이루어지지 않고 있다.

본 연구는 3 차원 방전가공조건을 체계적으

로 결정하기 위하여 공구전극 형상을 모델링한 곡면식과 방전가공 위치에 상당하는 평면과의 교선을 구하고, 교선으로 이루어진 방전가공면적을 계산한 후 계산된 방전가공면적에 기초하여 적절한 방전가공조건을 결정할 수 있는 방법에 관한 것이다.

## 2. SSI 알고리즘

곡면모델링에서 교선을 구하는 방법으로는 대수학적 방법, 격자 탐색법, Tracing 법, Subdivision 방법 등이 있으나 자유곡면 들간의 교선을 구하는 방법으로는 Tracing 법과 Subdivision 방법이 자주 이용되고 있다[5].

Barnhill[6], Timmer[7]등에 의하여 제안된 Tracing 방법은 수행속도는 빠르지만 곡면을 다면체로 근사하여 처리하므로 일부 교선을 탐지하지 못하는 문제점이 있으며 Subdivision 방법은 분할된 곡면을 둘러싼 최대최소박스를 이용하여 두 곡면의 교차여부를 판별하므로 모든 교선을 찾을 수 있다는 장점이 있으나 수행속도가 느리고 얻어진 교선이 매끄럽지 못하다는 단점이 있다[5]

본 논문에서는 자유곡면간의 교선을 빠르고 정확하게 구하기 위하여 Tracing 방법과 Subdivision 방법이 혼합된 Hybrid 방법[5]을 이용하였다. Hybrid 알고리즘은 입력된 두 곡면에 대하여 교선 상에 존재하는 일련의 점들을 여러 개의 subpatch로 분할하는 Subdivision 단계, 교차 가능한 subpatch 쌍으로부터 하나의 교점을 찾는 탐지단계, 두 곡면에 대하여 교선 상의 한 점이 얻어지면 이웃한 교점을 결정하기 위한 추적단계의 3 단계를 거쳐 구한다[5].

Fig.1 은 SSI 알고리즘을 이용하여 방전가공 위치에 상당하는 평면과 공구전극을 모델링한 곡면과의 교선 커브가 생성된 결과를 방전가공 위치에 따라 나타낸 것이다.

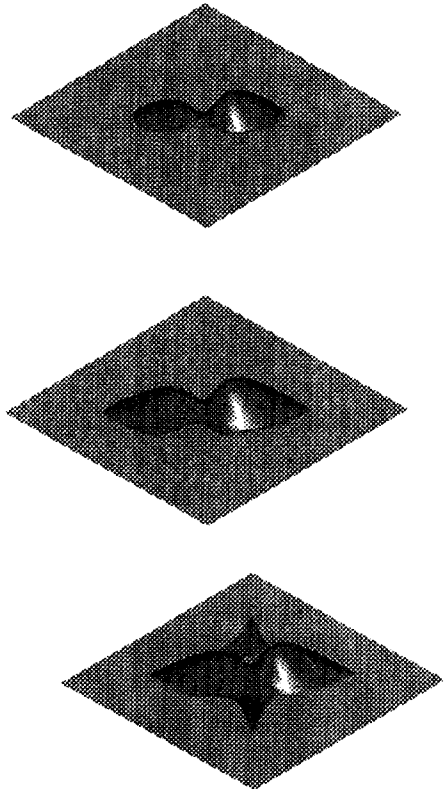


Fig.1 Intersection curves between surface and plane

## 4. 방전가공 위치에 대한 방전면적 계산

평균전류밀도는 방전가공 위치에 대한 공구전극의 투영면적으로 결정된다[1]. Fig.2 는 방전가공 위치에 대한 전극의 투영면적을 나타낸 것으로 3 차원 방전가공은 방전가공 위치에 따라 방전가공면적이 다르므로 평균전류를 일정하게 유지하기 위해서는 방전가공 위치에 대한 방전가공면적을 계산하여야 한다.

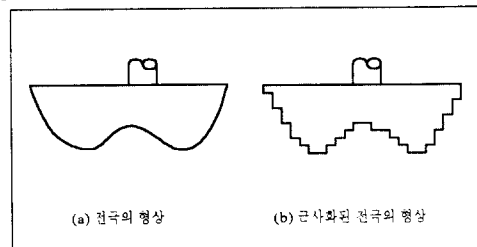


Fig.2 EDM area according to EDM positions

본 논문에서는 제 2 절에서 제시된 SSI 알고리즘을 이용하여 모델링 된 공구전극의 형상 정보와 방전가공깊이에 상당하는 XY 평면과의 교선을 구하고 교선으로부터 방전가공면적을 계산하는 방법을 제시하였다.

교선 커브로부터 방전가공면적을 구하기 위하여 Fig.3 과 같이 교선 커브의 최대 y 값인  $T_y$  와 최소 y 값인  $B_y$  의 범위에서  $T_y$  에서부터 일정한 스캐닝 간격(Scanning interval)  $d$  씩 감소 시켜 최소 Y 값인  $B_y$  에 도달할 때까지 X 축에 평행한 Scan-line 과 교선 커브와의 교점을 구한다.

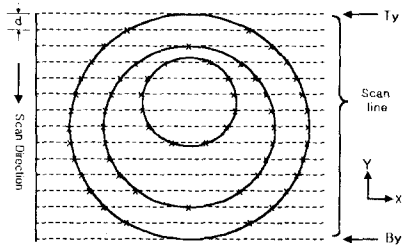


Fig.3 Intersection Points between curves and scan-lines

Scan-line 과 교선 커브와의 교점이 계산되면 Scan-line 위치에 대한 일련의 교점들을 차례로 저장한다. 만약 교점이 접점이면 교점의 개수를 두개로 인식한다.

각 Scan 위치에 대한 일련의 교점으로부터 홀수번째와 짝수번째의 교점을 연결한 직선에 상당하는 부분이 임의의 방전위치에서 방전 가공되는 위치이므로 Fig.4 와 같은 방법으로 방전가공길이  $L_i$  와 스캔 간격  $d$  를 곱하여 총합하면 식(1)과 같이 임의의 방전가공 위치에서의 방전가공 면적이 된다.

$$S = \sum_{i=0}^n L_i d \quad (1)$$

여기서  $S$  는 임의의 방전가공 위치에서의 방전가공 면적이고  $L_i$  는  $i$  번째 스캔 위치에서의 방전가공이 발생하는 부분의 길이이다.

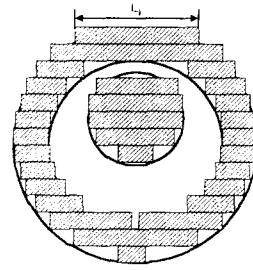


Fig.4 Area calculation by proposed scan-line method

## 5. 방전면적에 적합한 방전가공조건 결정

방전가공면적이 계산되면 이를 기초로 평균 가공전류밀도를 일정하게 유지할 수 있도록 Fig.7 과 같은 절차에 의하여 방전가공조건을 결정할 수 있다.

최적 방전가공조건을 결정하기 위해서는 전극과 가공물의 재질에 적합한 전류밀도( $J$ )를 일정하게 유지하는 것이 중요하다. 최적 전류밀도는  $5 \text{ A/cm}^2$  정도가 가장 효율이 좋다고 알려져 있으므로[1] 본 연구에서는 최적 평균전류밀도가 단위면적 당  $5 \text{ A/cm}^2$  가 되도록 방전가공조건을 결정하였다.

식(2)는 단발방전에 대한 전류밀도를 나타낸 것으로 실제 방전가공에서 평균전류밀도( $J_m$ )가 일정하도록 방전조건을 결정하여야 한다[1,4].

$$J_m = \frac{\tau_p \cdot I_p}{S(\tau_p + \tau_r + \tau_w)} = \frac{I_p \cdot D}{S} \quad (\text{A/cm}^2) \quad (2)$$

$$D = \frac{\tau_p}{(\tau_p + \tau_r + \tau_w)} \quad (3)$$

$\tau_p$ : 펄스 온타임 ( $\mu\text{s}$ )

$\tau_r$ : 휴지시간 ( $\mu\text{s}$ )

$\tau_w$ : 지연시간 ( $\mu\text{s}$ )

$S$ : 방전가공 면적 ( $\text{cm}^2$ )

$I_p$ : 피크전류 (A)

$D$ : Duty factor

본 연구에서는 수 많은 방전가공 인자들 중 방전가공 성능과 가장 큰 밀접한 관계에 있는 주요 방전가공 인자들을 결정하는 방법에 대한 것으로 Fig.5 와 같은 절차에 의하여 방전

가공조건을 결정하였다.

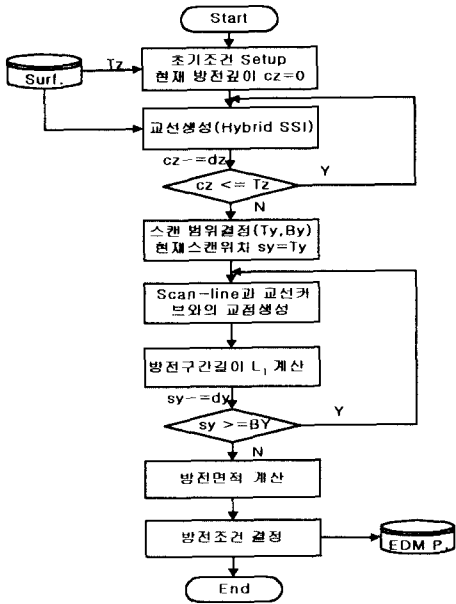


Fig.5 Procedure for determination of EDM parameters based on EDM area

Duty factor 는 황삭 0.8, 중삭 0.7, 정삭은 0.6로 고정하면 식 3으로부터 방전가공면적에 적절한 피크전류치  $I_p$ 를 계산할 수 있다.

피크전류치  $I_p$ 가 계산되면 전극이 동이고 가공물이 강일 경우 전극 소모비  $\epsilon$ 이 1% 이하가 될 수 있도록 식(4)를 이용하여 펄스 온타입  $\tau_p$ 를 결정하고, 결정된 펄스 온타입  $\tau_p$ 와 식(3)의 Duty factor의 관계식으로부터 휴지시간  $\tau_r$ 을 차례로 계산한다.

$$\epsilon = \frac{1.5I_p^{1.74}}{\tau_p^{1.35}} \quad (4)$$

이와 같은 방법으로 방전가공위치에 따라 방전면적에 기초하여 이에 적합한 방전가공조건을 결정하면 3차원 방전가공도 2차원 방전가공과 같이 효율적인 방전조건으로 가공할 수 있어 어떠한 형상이라도 체계적으로 방전가공조건을 결정할 수 있다.

## 6. 결론 및 향후 연구방향

예비가공 되지않은 가공물을 직접 방전가공하는 통방전의 경우는 방전가공 위치에 따라 방전가공면적이 변하므로 효율적인 방전가공을 위해서는 방전가공 면적의 변화에 적응적인 방전가공조건을 결정해야 한다. 본 연구에서는 방전가공면적에 적응적인 방전가공조건을 결정하기 위하여 전극곡면과 방전가공위치에 상당하는 평면과의 교선 커브를 구하여 이를 기초로 방전면적을 계산하여 방전면적에 적합한 방전가공조건을 결정할 수 있는 방법을 제안한 것으로 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 3차원 방전가공에서도 전류밀도를 일정하게 유지하며 가공할 수 있어 생산성을 향상시킬 수 있다.
- (2) 체계적으로 방전가공조건을 결정할 수 있으므로 생산자동화가 가능하다.

## 참고문헌

1. 이건범, “최적 방전가공조건 결정에 관한 연구”, 울산대학교 박사학위논문, 1998
2. 이건범, 주상윤, 왕지남, “2 단계 신경망 추정에 의한 와이어 컷 방전가공조건 선정”, IE interfaces, Vol.10, No.3, pp.125-132, 1997
3. 이건범, 주상윤, 왕지남, “와이어 가공조건 자동생성 2 단계 신경망 추정”, 한국정밀공학회, Vol.15, No.2, pp.7-13, 1998
4. 이건범, 주상윤, 왕지남, “신경망을 이용한 2차원 방전가공조건 선정”, IE interfaces, Vol.11, No.1, pp.145-153, 1998
5. 주상윤, 이상현, “곡면간의 교선에서 Step size 결정 및 점점 탐지방법”, 한국 CAD/CAM 학회, Vol.3, No2, pp.121-126, 1998
6. R. E. Barnhill, F. Farin, M.Jordan, B.R. Piper, “Surface Surface Intersection”, CAGD, Vol.4, pp.3-16, 1987
7. H. G. Timmer, “Analytic Background for Computation of Surface Intersection”, Douglas Aircraft Component Technical Memorandum, C1-250-CAT-76-044, April, 1977