

〈論 文〉

CAD/CAM 와이어 방전가공의 가공확대여유에 관한 연구

강상훈* · 박원조** · 배성한***

(1992년 8월 24일 접수)

A Study on Discharge Gap in CAD/CAM Wire Electric Discharge Machining

S.H. Kang, W.J. Park and S.H. Bae

Key Words : Wire Electric Discharge Machining(와이어 방전가공), Discharge Gap(가공확대여유), Gap Voltage(극간전압), Peak Discharge Current(최대 방전전류), Spark Cycle(방전주기), Kerf Width(가공구폭), Machining Speed(가공속도)

Abstract

In precision wire electrode discharge machining by CAD/CAM, it is the most important problem on machining method to determine the wire electrode offset amount from the accurate calculation of discharge gap in order to increase the machining accuracy, after fixing the main machining conditions such as machining speed, wire tension, coolant conductivity, gap voltage. The present study shows the relationships between discharge gap and main machining conditions by means of a series of experiment concerned with the gap using the workpiece of STD 11, and suggests the experimental equation to calculate the accurate wire electrode offset amount under the given machining conditions for spot workers.

1. 서 론

방전가공기는 1940년대 소련에서 처음으로 개발된 이래 산업의 발달과 더불어 수요가 급증하고 있는 금형가공의 필수장치로서 그 진가를 유감없이 발휘해 왔다.

최근에는 CAD/CAM 방식의 와이어 방전가공기의 출현으로 IC 리이드 프레임용 프레스 금형등의 초밀형 금형가공분야에 일대 혁신을 일으키고 있다.

이와같은 와이어 방전가공기를 이용한 초정밀 가공에서 가공치수의 정밀도에 영향을 주는 인자로는

가공속도, 와이어 장력, 가공액 전기전도도, 극간전압 등의 여러가지가 있다.⁽¹⁻⁵⁾

그러나 이상과 같은 제반 조건들이 최적상태로 결정되었을 때 요구되는 치수 정밀도를 얻기 위해서 마지막으로 고려해야 하는 가장 중요한 가공 방법상의 문제는 Fig. 1에서 도시된 바와 같이 와이어전극 보정치수(wire electrode offset amount)를 어떻게 결정할 것인가 하는 것이다.

특히, 이 보정치수를 구성하는 유일한 변수인 가공확대여유(discharge gap)를 가공조건에 따라 얼마나 정확하게 계산할 수 있는가에 따라 가공치수 정밀도가 결정되는 것이다.

일반적으로 가공확대여유 g_0 는 방전전류 펄스폭(pulse width) T_{on} , 최대방전전류 I_p 및 재료상수 K_0 에 의하여 다음식으로 표시된다.^(6,7)

*정회원, 부산공업대학 인쇄공학과
**정회원, 통영수산전문대학 기계과
***정회원, 창원기계공업고등학교

$$g_o = K_o \cdot T_{on}^{0.3} \cdot I_p^{0.5} \quad (1)$$

그러나 이 식에서는 실제의 자동제어방식 와이어 방전가공에서 중요한 가공 조건인 극간전압(gap voltage)의 영향이 전혀 고려되지 않고 있어 실제의 실험결과와는 상당한 차이를 보이고 있다.

본 연구에서는 CAD/CAM 방식의 와이어 방전 가공기를 이용하여 현재 금형재료로 널리 사용되고 있는 STD 11중에 대한 일련의 가공실험을 통하여 주요 가공조건과 가공확대여유와의 관계를 구명함과 동시에 가공확대여유를 실제로 가장 중요한 가공조건 설정치인 최대방전전류 I_p 와 극간전압 목표치 V_g 와의 관계로 표시하므로써 산업현장에서 더욱 정확하고 체계적으로 와이어 전극 보정 치수를 결정할 수 있는 실험식을 구하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용한 와이어 방전가공기의 기본 구성은 Fig. 2와 같으며, 기계본체의 주요 사양은 가공범위 160×260 mm, 최대 테이블 이송속도 300 mm/min, 와이어 전극 이송속도 20~120 mm/sec, 사용 와이어 전극의 지름은 0.1~0.3 mm이며, 가공 전원은 트랜지스터 펄스 회로방식으로 최대 방전전류 I_p 는 7.3~200 A 사이의 10 단계로 되어 있으며 최대극간 전압 목표치 V_g 는 40~80V이다.

PC 화면상에 공작물의 도면을 그리고 그 도면으로부터 직접 NC 데이터를 자동 프로그래밍하여 입력하는 이른바 CAD/CAM방식의 외부입력장치를 구성하였다. 가공액은 물을 사용하여 공작물의 상하에서 각각 3l/min의 일정한 유량으로 분사하였으며 수온은 28±1°C로 유지하였다.

전극와이어는 0.25 mm의 황동선을 사용하였으며 와이어 송급속도와 장력을 각각 60 mm/sec, 750~850 gr으로 고정하였다.

Fig. 3은 트랜지스터 펄스방식에 의한 극간전압과 방전전류의 파형을 나타내며, 무부하 전압 V 및 방전전류 펄스폭 T_{on} 은 각각 85 V, 10 μ sec로 고정하였으며 최대 방전전류 I_p 는 에너지 입력 단계에 따라 42~157 A, 극간전압 목표치 V_g 는 55~75 V 범위로 설정하여 자동제어방식으로 가공하였다.

와이어 방전가공기의 가공방식은 제어방식에 따라 수동제어방식과 자동제어방식으로 나누며 수동

제어방식에서는 가공속도를 미리 설정하여 가공상태에 따라 와이어전극과 공작물 사이의 극간전압 V_g 가 상당히 큰 범위에서 변화하므로 매우 불안정한 방전이 발생한다. 그러나 자동제어방식에서는 극간전압 V_g 의 목표치를 미리 설정하여 주므로써 비교적 일정한 극간전압하에서 안정된 방전이 일어나므로 대부분의 현장가공에서는 자동제어방식을 채택하고 있으며, 따라서 가공상태에 대한 극간전압 목표치 V_g 의 영향을 검토하는 것은 매우 중요한 일이다.

또한, 1 방전 사이클당 가공량, 즉 방전 가공 능

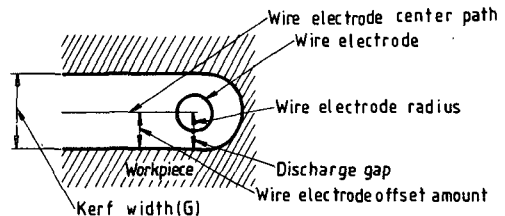


Fig. 1 Offset amount in wire electric discharge machining

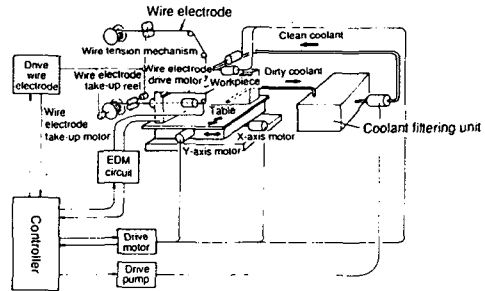


Fig. 2 Machine basic structure

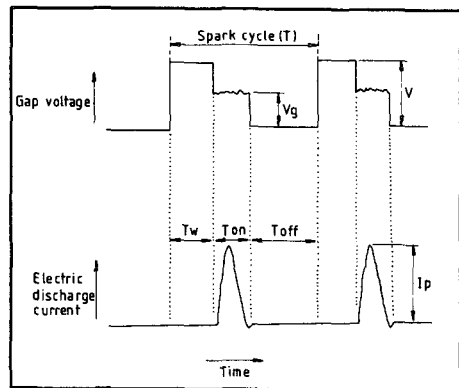


Fig. 3 Wave of discharge current

물은 방전에너지에 의존하므로 방전전류 펄스폭 Ton 및 극간전압 Vg를 일정하게 두면 방전에너지는 최대 방전전류 Ip만의 함수가 된다.

따라서 본 연구에서는 극간전압 목표치 Vg와 최대 방전전류 Ip를 주요 변수로 하여 가공확대여유와 가공조건과의 관계를 구명하기 위한 일련의 실험을 실시하였다. 공작물 형상은 두께 15 mm의 STD 11종 판재를 소재로 하여 가로, 세로 10 mm의 정방형으로 가공하였으며, 공작물 치수 측정은 1 μm까지 판독 가능한 버니어 마이크로미터를 이용하여 공작물의 가로, 세로별 상, 중, 하 6개의 부분의 평균치수를 구하였다.

가공속도 F는 일반적으로 단위시간당 가공량(g/min)으로 표시하는 방법과 단위시간당 가공길이(mm/min)로 표시하는 방법이 있으나, 본 연구에서는 일정 두께의 판재를 소재로 사용하였기 때문에 단위시간당 길이로써 표시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 연구의 목적은 와이어 방전가공에서 치수정밀도를 결정하는 가장 중요한 요소인 가공확대여유에 대한 주요 가공조건의 영향을 검토하는 것이다.

Fig. 1에 도시된 바와 같이 가공확대여유(discharge gap)는 (가공구폭-와이어지름)/2가 되므로 가공구폭(kerf width) G를 가공확대여유를 나타내는 파라미터로 사용하였다.

Fig. 4는 방전전류 펄스폭 Ton, 최대방전전류 Ip, 및 극간전압 Vg를 각각 10 μsec, 90 A, 65 V로 일정하게 두었을 때 가공구폭 G와 방전주기 T의 관계로써, 가공확대여유는 방전주기에 관계없이 거의 일정하게 유지됨을 보여준다. 그러나 이하의

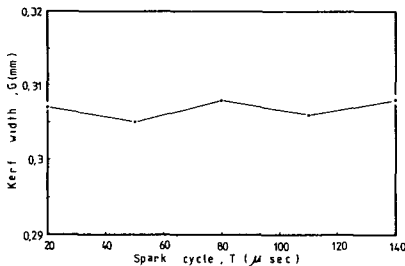


Fig. 4 Relationship between kerf width and spark cycle under constant gap voltage 64V and peak discharge current 90 A

실험에서는 더욱 엄밀한 실험을 위하여 방전주기 T를 20 μsec로 고정하였다.

Fig. 5는 일정한 극간전압하에서 가공구폭 G와 최대 방전전류 Ip와의 관계를 보여준다. 방전전류 펄스폭과 극간전압이 일정할 때 최대 방전전류가 커지면 방전에너지가 증가하므로 최대 방전전류 Ip의 증가에 비례하여 가공구폭 G도 증가할 것으로 예상되나, Fig. 5의 실험결과에서는 가공구폭 G가 최대 방전전류 Ip의 증가에 따라 일시적으로 증가한 후 다시 점차 감소하고 있음을 보여준다.

자동제어방식 와이어 방전가공에서는 극간전압 목표치 Vg와 최대 방전전류 Ip가 설정되면 방전 에너지의 크기에 따라 가공속도 F는 자동적으로 최적 가공속도로 조절되므로 최대 방전전류의 증가에 따라 가공속도가 증가하게 되면, 주어진 방전에너지하에서 가공 가능한 최대 가공반경까지의 충분한 가공시간을 확보하기 전에 와이어 전극의 진행이 이루어지므로 가공구폭은 작아지게 된다. 따라서 가공구폭 G는 최대 방전전류 Ip에는 비례하고 가공속도 F에는 반비례하므로 Fig. 5에서 나타난 바와같이 최대 방전전류 Ip가 90 A 이하에서는 가공구폭 G에 대한 최대 방전전류 Ip의 영향이 가공속도 F의 영향보다 크게 나타나고, 90 A 이상에서는 반대로 가공속도의 영향이 최대 방전전류의 영향보다 증대되는 것으로 생각된다.

Fig. 6은 일정 극간전압하에서 가공구폭 G에 대한 최대 방전전류 Ip 및 가공속도 F의 관계로써 최대 방전전류가 작을 때에는 가공구폭에 대한 최대 방전전류의 영향이 가공속도의 영향보다 크게 나타나 최대 방전전류의 증가에 따른 가공구폭의

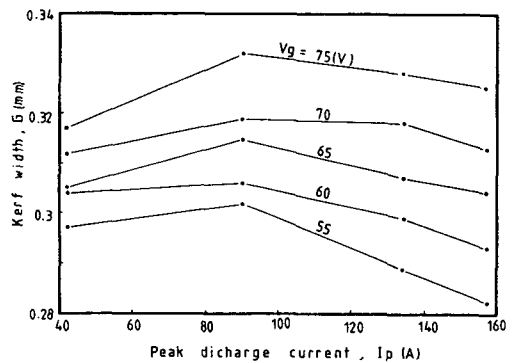


Fig. 5 Relationships between kerf width and peak discharge current on variable gap voltage steps

증가를 보이지만, 최대 방전전류가 증가할수록 가공속도의 영향이 최대 방전전류의 영향보다 크게 되어 가공속도가 증대함에 따라 가공구폭이 감소함을 보여준다.

Fig. 7은 가공구폭에 대한 최대 방전전류의 영향을 배제하고 순수한 가공속도만의 영향을 고려하기 위하여 일정한 최대 방전전류하에서 가공구폭 G와 가공속도 F와의 관계를 나타낸 것으로 가공구폭 G가 가공속도 F와 거의 직선적으로 반비례하고 있음을 알 수 있다.

다시 가공구폭 G에 대한 가공속도의 영향을 배제하고 순수한 최대 방전전류만의 영향을 고려하기 위하여 Fig. 7의 실험결과로부터 각 I_p 단계별로 최소사승법을 이용하여 근사식을 구한 다음 이 근사식으로부터 일정한 가공속도하에서 가공구폭 G와 최대 방전전류 I_p 와의 관계를 도시하면 Fig. 8과 같이 되어 가공구폭 G와 최대 방전전류 I_p 사이에

완만한 포물선형의 비례관계가 있음을 알 수 있다.

가공조건에 따라 현장에서 직접 가공확대여유를 보정할 수 있게 하기 위해서는 가공구폭 G를 자동 제어방식에서 가장 중요한 가공조건인 최대 방전전류 I_p 와 극간전압 목표치 V_g 의 관계로 나타낼 수 있어야 한다.

Fig. 9는 각 단계별로 일정한 최대방전 전압하에

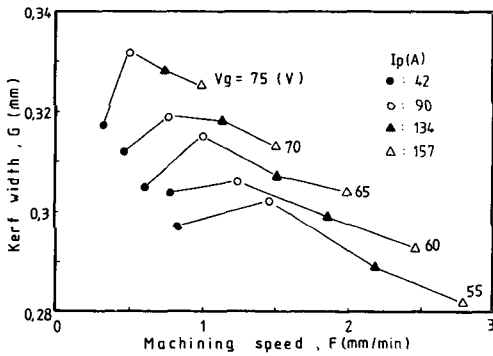


Fig. 6 Relationships between kerf width and machining speed on variable gap voltage steps

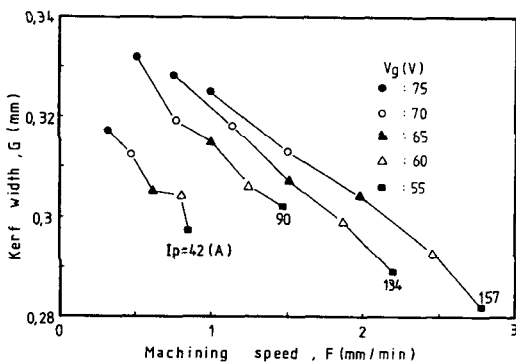


Fig. 7 Influence of pure machining speed on kerf width under variable peak discharge current steps

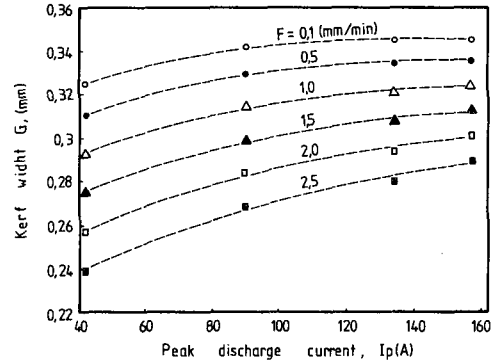


Fig. 8 Influence of pure peak discharge current on kerf width under variable machining speed steps

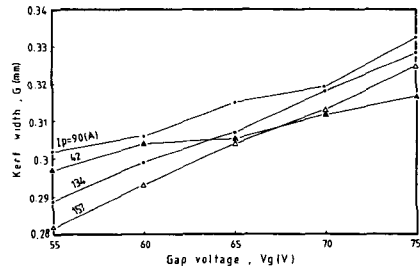


Fig. 9 Relationships between kerf width a gap voltage on variabl peak discharge curret steps

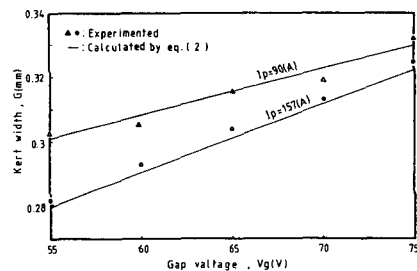


Fig. 10 Comparision of experimental results and experimental eguation on relationships among kerf width, gap voltage and peak discharge current

서 가공구폭 G와 극간전압 목표치 Vg와의 관계로서 가공구폭이 극간전압에 직선적으로 비례함을 나타내며 최대 방전전류의 증가에 따라 근사 직선의 기울기가 증대하고 있음을 보여준다.

Fig. 9의 실험결과를 각 Ip 단계별로 최소자승법을 이용하여 근사식을 구한 다음 전체 Ip 단계에 대한 일반식을 구하면 식(2)와 같이 된다.

$$G = (-6.656 \times 10^{-8} I_p^2 + 2.642 \times 10^{-5} I_p - 3.878 \times 10^{-4}) V_g - 8.643 \times 10^{-4} I_p + 0.299 \text{ (mm)} \quad (2)$$

식(2)는 와이어 전극 지름 d가 0.25 mm인 경우이므로 와이어전극 지름 d를 변수로 취하여 일반화하면 다음식으로 표시된다.

$$G = (-6.656 \times 10^{-8} I_p^2 + 2.642 \times 10^{-5} I_p - 3.878 \times 10^{-4}) V_g - 8.643 \times 10^{-4} I_p + d + 0.049 \text{ (mm)} \quad (2')$$

Fig. 10은 가공구폭 G와 극간전압 목표치 Vg 및 최대 방전전류 Ip에 대한 실험결과를 식(2)에 의한 계산결과와 비교 도시한 것으로 약 3 μm 오차 범위내에서 실험결과와 잘 일치되고 있음을 보여준다.

4. 결 론

CAD/CAM 와이어 방전가공에서 치수 정밀도의 향상을 도모하기 위하여 STD 11종을 소재로 하여 실시한 가공확대여유에 대한 일련의 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 가공확대여유는 극간전압에 비례하고 가공속도에 반비례한다.
- (2) 가공확대여유는 최대 방전전류의 증가에 따

라 증대되지만 최대 방전전류가 커질수록 그 영향은 감소한다.

(3) 가공구폭 G는 자동제어방식 와이어 방전가공에서 가장 중요한 가공조건인 최대 방전전류 Ip 및 극간전압 목표치 Vg로부터 다음 실험식에 의하여 직접 구할 수 있게 되어, 이 식을 이용하여 산업 현장에서 더욱 정확하고 체계적인 와이어 전극 보정치수를 결정할 수 있게 되므로써 와이어 방전가공의 정밀도 향상에 기여할 것으로 생각된다.

$$G = (-6.656 \times 10^{-8} I_p^2 + 2.642 \times 10^{-5} I_p - 3.878 \times 10^{-4}) V_g - 8.643 \times 10^{-4} I_p + d + 0.049 \text{ (mm)}$$

참고문헌

- (1) Brother Industries, LTD., 1989, "Wire E.D.M HS-350 Instruction Manual," pp. 9~24.
- (2) Brother Industries, LTD., 1990, "Technical Manual for Service Engineer," HS-300," pp. 33~44.
- (3) 小林 和彦, 仙北谷 英次, 1983, "ワイヤカット放電加工技術," 日刊工業新聞社, 東京, pp. 41~64.
- (4) 菅原 敏, 1984, "ワイヤ放電加工機による高精度加工," プレス技術 第22巻 第7號 pp. 64-68.
- (5) 志田 伸一, 葉石 雄一郎, 1984, "ワイヤ放電加工機による加工特性と高精度加工の要領," プレス技術 第22巻 第7號, pp. 29~34.
- (6) 도서출판 技多利 편집부, 1990, "와이어 커트放電加工," pp. 23~103.
- (7) 柳濟九, 1989, "放電加工," 大光書林, pp. 105~133.