

---

# 양극 전원형 형조 방전 가공기 설계 및 구현

정원근\*, 이건기\*

## Design and Implementation of Bi-polar Power Supplied Die-sinking Electrical Discharge Machine

Won-Geun Jeong\*, Gun-Ki Lee\*

### 요 약

본 논문은 양극 형조 방전 가공기를 제작하고 그 성능을 평가하였다. 설계 구현된 형조 방전 가공기는 극간 전압 제어기 설계와 서보 모터 제어기 설계 두 부분으로 이루어져 있고, 시뮬레이션을 통해 검증하고 제작 하였다. 구현된 방전 가공기의 성능을 기존의 방전 가공기와 가공속도와 가공 표면의 거칠기를 비교 평가 하였다. 연구의 결과로는 설계된 가공기가 가공속도와 면조도에서 개선된 결과를 얻었다.

### ABSTRACT

This paper works on the manufacture and performance evaluation of bi-polar power supplied diesinking electrical discharge machine. The design and implementation of diesinking electrical discharge machine consists of two parts which are a polarity voltage controller design and a servo motor controller design and they are verified and manufactured through simulation.

The performance of the implemented machine and conventional one were evaluated by comparing its machining speed and roughness of machined surface. Eventually, the designed machine showed improved performance in the speed and the roughness.

### 키워드

Die-sinking EDM(Electrical Discharge Machining)

### 1. 서 론

방전에너지를 이용하여 금속을 가공하려고 한 역사는 1940년대에 라자렌코가 방전가공기의 원형을 고안하면서 시작되었다. 방전가공 방법은 전극과 피가공 물체를 가공액 중에서 서로 마주보게 하고 수십수백  $\mu\text{m}$  정도의 미소한 거리로 접근시키면 방전이 발생하고 방전 전류가 흘러 전류의 열적 작용에 의해 고온에 의한 용융 가공이 된다. 방전가공은 미소 간격에서의 불꽃 방전에서 시작하는 아크 방전에 의해 가공이 되기 때문에 전기가 통하는 재료이면 아무리 단단한 재료라도 재료의 경도와

무관하게 가공될 수 있다.[1,2] 특히 자유곡면과 복잡한 3차원 형상으로 이루어진 금형 제품은 역학적 계산의 복잡성으로 인하여 절삭가공으로 만들어질 경우, 곡면 형상에 따른 적절한 가공조건을 가지지 못하면 가공 중 공구파손, 휨 및 과부하 등의 요인으로 가공물의 표면 거칠기, 형상 정밀도 저하를 가져오게 된다. 이러한 오차를 줄이기 위해 특수 가공방법인 형조 방전 가공이 필요하다.[3] 본 논문에서는 형조 방전 가공기를 설계하고, 설계한 회로를 제작하여 실험을 행하였다. 제작된 가공기로  $\phi$  5mm, 10mm Cu전극을 이용하여 각종 재료

---

\* 경상대학교 전자공학과

접수일자 : 2004. 02. 22

의 가공물을 10분 가공하여 가공속도, 가공표면과 전압, 전류 파형을 관측하여 기존제품과 비교 평가 하였다.

## II. 방전 가공기

방전가공은 단속적인 아크 방전에 의해 가공이 진행되고 이러한 방전을 지속하기 위해 TR방전회로가 이용된다. 극간 전압 파형과 전류 파형을 그림 1에서 보여준다.

A의 구간이 1회의 방전에 해당하고 그리고 B이 후  $t_0$ 의 휴지시간을 경과한 후 재차 전압  $V_0$ 가 인가되어 다음 방전이 발생한다. 이상의 반복 과정으로 가공이 진행된다.[4]

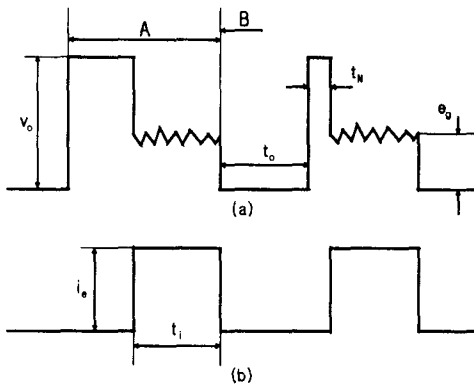


그림 1. 방전 파형의 예

Fig. 1 Example of electrical discharge waveform

콘덴서 방전회로는 방전가공 초기부터 사용했던 것으로 저항을 경유하여 콘덴서에 충전된 전하를 방전하는 방식으로 전류 피크치  $I_p$ 가 높고 전류 펄스폭  $\tau_p$ 가 짧은 방전 전류를 얻기 쉬우므로 사상가공에 적합하다. 그러나 스위칭 회로가 아니기 때문에 전원과 극간에 저항이 연결되어 있어 한번 방전한 후 다음 방전을 빨리 발생시키려면 극간의 절연회복이 되지 않는 동안에 전류가 흘러 동일한 지점에 방전점이 집중되는 아크 방전으로 인한 가공면을 거칠게 하고 단락을 발생시켜서 가공능률과 가공 결과를 저하시키는 원인이 된다.[5] 트랜지스터 방전회로는 직류전원으로부터 스위칭용의 트랜지스터와 전류 제한 저항을 통과 시켜 극간에 연결된 회로로서 트랜지스터가 ON, OFF를 반복함으로써 정방형파의 전압과 전류의 극간 공급을 강제

적으로 차단 할 수 있으므로 아크로의 진행을 막고, 안정된 방전을 지속할 수 있다. 또한  $I_p$ ,  $\tau_p$ 의 제어도 콘덴서 방전에 비해 훨씬 용이하므로 광범위한 가공조건 설정이 가능하다. 더욱이 극간 절연회복을 무부하 전압의 존재로서 확인할 수 있기 때문에 이것을 극간 상태의 검출 수단으로 이용함으로써 휴지시간  $t_0$ 의 최적치를 제어할 수 있어 가공 효율을 증대시킬 수 있다.[6,7]

## III. 형조 방전 가공기의 설계

본 논문에서 설계한 형조 방전 가공기는 그림 2와 같이 방전 전압 검출부, 극간 전압 제어부, 극간 위치 조절부, 펄스 발생 및 마이크로 컨트롤러 부로 구분할 수 있다. 설계한 회로는 양극 전원형으로 전극의 극성을 고속으로 바꾸면서 가공할 수 있게 제작되었다.

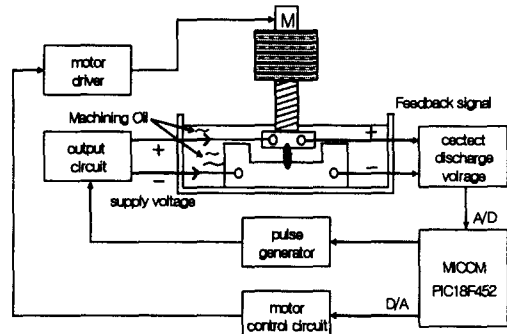


그림 2. 양극형 형조방전 가공기의 블록도

Fig. 2 Block diagram of electrical discharge machine

### 3.1 방전 전압 검출회로

그림 3과 같이 방전전압을 검출하여 펄스 발생회로의 동작을 제어하기 위한 입력전압으로 전극과 피가공물에 전압 80150[V]를 인가하여 극간의 거리가 가까워지면 방전이 일어나는데 기준전압을 사용자가 설정하고 방전유무를 검출한다.[8]

극간의 거리가 방전발생 거리보다 멀리 있으면 펄스 발생회로가 동작하지 않고 첫 방전이 일어나면 펄스를 발생시켜 정확한 ON/OFF 시간을 제어한다.

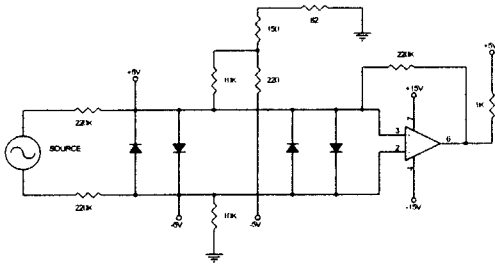


그림 3. 극간 방전전압 검출회로  
Fig. 3 Discharge voltage detection circuit

### 3.2 극간 전압 제어부

그림 4의 회로는 방전 전압 스위칭 회로로서 제어 용이하고 고속 스위칭이 가능하며, 대전력용인 IGBT를 이용한 방전 전원부로서 H 브리지 회로이다. 방전펄스 발생회로에서 입력을 받아 입력 부분과 출력부분을 포토커플러를 사용하여 전기적으로 분리 시켰으며 전원은 교류전원과 전파 정류하여 평활회로를 거쳐 DC전압으로 인가하여, 스위치로서 전극의 극성을 바꾸면서 가공할 수 있게 하였다.

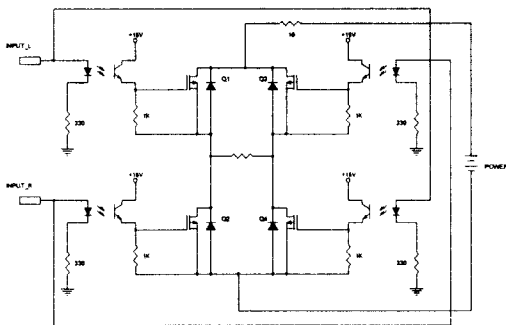


그림 4. 방전 전압 스위칭 회로  
Fig. 4 Discharge voltage switching circuit

실제 가공시에 저소모 조건에서는 전극을(+), 가공물을(-)로 하였으나 초경 등 경재료의 가공에서 매우 좁은 펄스폭을 사용할 경우에는 역으로 전극을(-), 가공물을(+)로 한다. 와이어 컷 방전가공기의 경우는 유 소모이므로 전극을(-), 가공물을(+)로 하여 가공한다. 일반적으로 형조방전 가공기의 경우에는 거의 저소모 영역에서 사용하므로 전극을(+), 가공물을 (-)로 한다.[9]

### 3.3 극간 위치 조절부

그림 5에서 서보 모터를 이용하여 극간의 가공

틈새 길이를 제어한다. 방전가공을 안정되게 행하는 데는 가공 틈새 길이를 적정하게 자동 제어 할 필요가 있다.[6]

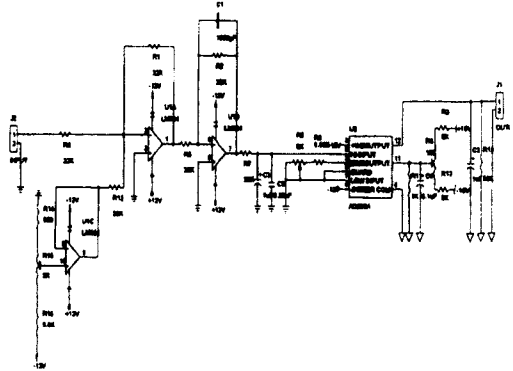


그림 5. 입력력 분리 증폭회로  
Fig. 5 I/O isolation AMP Circuit

가공 틈새 길이의 검출 방법에는 극간을 통과하는 평균전압과, 혹은 방전개시의 지연시간을 기준치와 비교하여 그 차가 보통 '0'으로 되도록 틈새 길이를 제어한다. 서보 모터 제어 방식은 속도제어 방식을 사용하며, 극간의 틈새가 넓으면 속도를 빠르게 하고 극간의 거리가 좁으면 속도를 느리게 한다. 단발 방전시에는 회전이 멈추었다가 연속방전이 발생하면 회전속도가 느리게 되므로 틈새의 길이가 작게 변화한다. 아주 가까이 방전이 일어나면 모터를 역회전 시켜 단락을 방지한다. 그림 5에서 입력된 극간의 전압과 기준전압을 비교하여 오차를 검출한다. 검출된 오차신호는 Isolation AMP를 거치면서 입력단과 출력부를 분리시켜 2배로 증폭하여 극간 잡음을 차단하였다. Isolation AMP의 출력은 마이콤의 A/D 컨버터의 입력으로 받아 극간의 위치 정보를 서보 모터로 전송하여 속도를 제어하여 극간을 조정한다. 서보 모터는 SGDA-01AS (YASKAWA)을 사용하였다.

### 3.4 펄스 발생 및 마이크로 컨트롤러회로

본 논문에서 제안한 펄스 발생회로는 그림 6에 나타내었다. 시스템 클럭을 16[MHz]를 사용하였으며, Micom과 스위치로 클럭을 분주하여 1256[μs]값을 단계적으로 설정할 수 있도록 설계하였다.

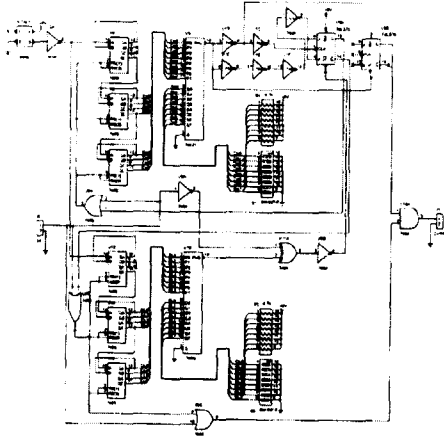


그림 6. 펄스 발생회로  
Fig. 6 Pulse generator circuit

마이크로 컨트롤러 회로는 그림 7과 같으며, Microm은 10MIPS의 동작속도와 10bit A/D 컨버터, PWM 등 다양한 입출력 포트를 제공해주는 Microchip사의 PIC18F452를 사용하였다.

마이크로 컨트롤러에서는 방전 전압 검출회로의 출력값과 사용자의 극간 조절값 ON/OFF 시간을 입력받아 극간 위치 조절부의 서보모터의 제어량과 IGBT의 동작 시간을 조절해 준다. A/D 컨버터로 입력되어진 입력과 출력값은 전극의 종류, 가공물, 가공시간, 가공액에 따라 최적의 조건으로 자동 조절되게 프로그램 되었다.

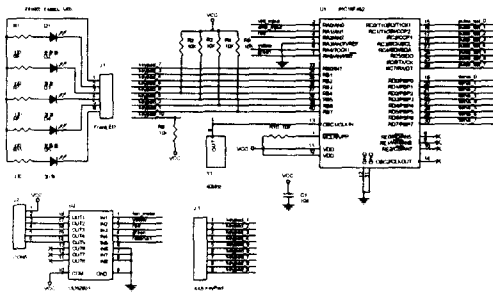


그림 7. 마이크로 컨트롤러 회로  
Fig. 7 Microcontroller circuit

#### IV. 구현된 장치의 시험 및 평가

본 논문에서 설계 제작된 양극전원형 형조방전

가공기는 그림 8, 그림 9와 같다. 그림 8은 구현된 형조 방전 가공기를 나타내었고, 그림 9는 구현된 형조 방전 가공기의 제어회로를 나타내었다.

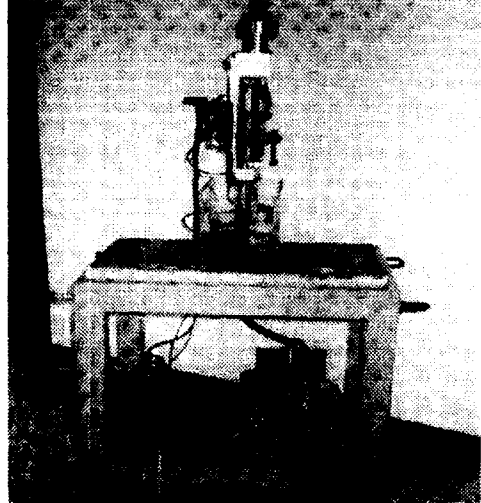


그림 8. 구현된 형조 방전 가공기  
Fig. 8 Implemented die-sinking electrical discharge machine

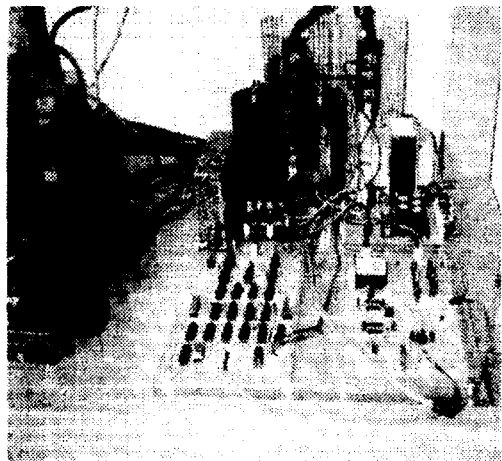


그림 9. 구현된 형조 방전 가공 제어기  
Fig. 9 Implemented machine control part

#### 4-1. 가공결과

표 1의 가공조건에 따라 가공면과 전압, 전류 파형을 실험을 통해 관찰 하였다.

표 1. 가공조건  
Table 1. Machining condition

전극	φ5mm, 동(Cu), (+)
공작물	SKD-11, (-)
전기조건	개방전압 $V_g$ : 90[V] 가공전류 $I_p$ : 16[A] On 시간 $\tau_p$ : 64[μs], 100[μs] Off 시간 $\tau_r$ : 128[μs], 100[μs]
가공유	KOTON #600 (HOUGHTON)
가공시간	10분

그림 10은 방전 전압 및 전류 파형이며, 무부하 극간 전압은 90[V] 방전(아크)전압은 25[V]이며, 전류는 16[A]로 측정되었다. 가공시에 휴지시간을 너무 길게 하면 극간 표면의 온도가 낮아서 전극에 카본이 붙지 않으므로 전극이 소모가 되는 조건이 되며, 가공액을 강하게 흘려 표면이 씻겨 흐르도록 하면 이 때문에 가공칩이나 카본이 극간에 머물지 못하고 외부로 나오므로 저소모 조건이라도 보호막이 생기지 않으므로 전극이 소모된다. 이러한 결과로서 가공시에 가공액의 상태와 가공액의 순환 방법에 따라 전극의 소모 조건이 결정된다. 본 논문에서는 가공시에 여과제를 이용하여 가공액을 여과하였으며 가공액을 분출시키는 방법에 따라 가공 상태가 달라지는 것을 관찰하였다.

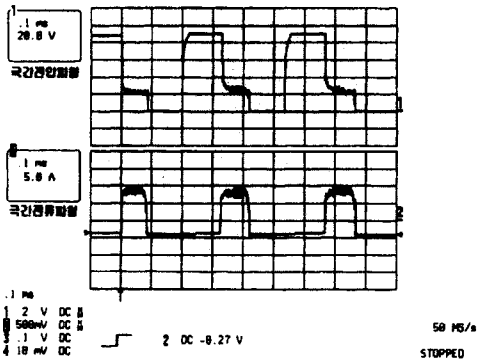


그림 10. 방전 전압 및 전류  
Fig. 10 Discharge voltage and current waveform

4-2. 기존 방전가공기와 비교평가

본 논문에서 설계한 형조 방전 가공기와 히타치 정공의 EDM-HDS02S 모델과 가공특성을 비교평가 하였다.

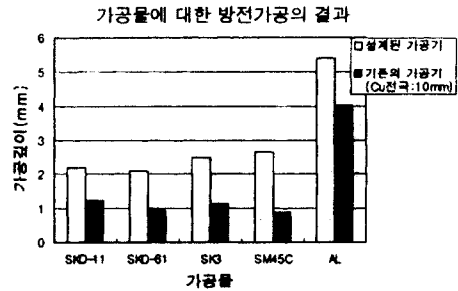


그림 11. 두 방전 가공기의 가공속도  
Fig. 11 Speed comparison of both EDM

표 1의 조건으로 φ 5mm, 10mm 전극으로 10분 가공한 후 각 가공물의 가공깊이를 관측하였다. 두 가공기를 비교 평가한 결과 설계된 가공기의 가공속도가 빠르다는 것을 그림 11에 보여준다.

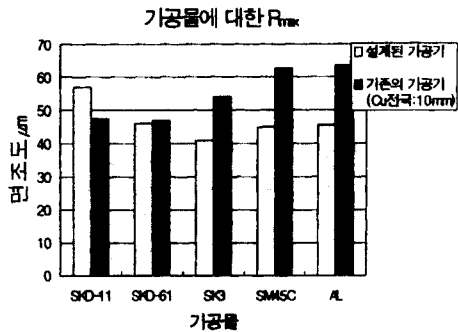


그림 12. 두 방전가공기의 면조도  
Fig. 12  $R_{max}$  comparison of both EDM

그림 12는 제작된 가공기와 기존의 가공기의 면조도를 관측한 결과이다. SKD-11은 제작된 가공기의  $R_a$ ,  $R_{max}$ 가 크고, AL은 상대적으로 작다. 각 재료에 대해서 비교한 결과 제작된 가공기로 방전시 면조도가 개선된 것을 알 수 있다. 두 가공기를 비교 평가한 결과 가공속도와 면조도에서 설계된 가공기의 성능이 다소 우수함을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서 설계한 회로는 형조 방전 가공기의 방전 전압 검출부, 극간 전압 제어부, 극간 위치 조절부, 펄스 발생 및 마이크로 컨트롤러 부이다. 가공의 조건에 따라 황가공, 마무리 가공등을 사용자가

전극의 종류, 가공물, 가공시간, 가공액에 따라 최적의 조건으로 실험할 수 있게 설계되었다. 기존의 형조 방전가공기와 본 논문에서 설계 제작된 형조 방전 가공기를 같은 조건하에서 가공한 후 가공물을 비교 평가한 결과 설계 제작된 가공기가 속도와 면조도에서 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] S. Abrate and D. Walton, Machining of composite materials. part II, nontraditional methods, Composite Manufacturing, Vol. 3, No. 2. pp. 8594, 1992.
- [2] 김창호, 최재찬, 방전가공, 기전연구사, pp. 107119, 1998.
- [3] S. Abrate and D. Walton, Machining of composite materials. part II : nontraditional methods, Composite Manufacturing, Vol. 3, No. 2. pp. 8594, 1992.
- [4] R. D. Cope and J. C. Brown, An Investigation of Electrical Discharge Machining of Graphite/Epoxy Composites, Composites Manufacturing, Vol. 1, No. 3, pp. 167171, 1990.
- [5] 濟藤長男, 毛利尙武, 古谷政典, 放電加功技術, 日刊工業新聞社, pp. 821, 1997.
- [6] 増井, 放電加工における異常アーク面の改善, 日本金型技術者會機械論文集, No. 314, pp.

204205, 1995.

- [7] 柳濟九, 放電加功, 大光書林, 1020, 1993.
- [8] 小鳥弘之, 放電点検出による放電功現象の解明, 2022, 1993.
- [9] 申泰民, 放電加功における極間電壓と加工安定性に關する研究, 3, 1996.

### 저자 소개



**정원근(Won-Geon Jung)**

2004년 8월 : 경상대학교 전자공학과 공학박사  
경상대학교 공학연구원 연구원

※관심분야 : 디지털신호처리, 생체신호처리



**이건기(Gun-Ki Lee)**

1985년~현재 : 경상대학교 전자공학과 교수  
경상대학교 공학연구원 연구원

※관심분야 : 디지털신호처리, 생체신호처리