

방전가공기의 방전 펄스 시간의 퍼지제어

이 제 회*, 박 호 준*, 양 직 현*, 허 옥 열*
 이 선 우**, 안 성 광**
 *인하대학교 전기공학과, ** (주) 유일기전

Fuzzy Control of Discharge Pulse Duration for Electrical Discharge Machinery

Je-Hie Lee*, Ho-Joon Park*, Jik-Hyun Yang*, Uk-Youl Huh*
 Sun-Woo Lee**, Sung-Kwang An**
 *Dept. of Electrical Engineering, INHA University
 **Yooil Electrical Machinery Co., LTD.

Abstract

As electrical discharge machinery(EDM) is industrial process which is manufactured by discharge energy, by producing discharge, EDM process finished material at the little micrometer air gap.

Especially, EDM is used for the characteristic of heat-resisting material, it puts to use air-space industrial element, confusing shaping material such as jet engine, rocket elements. Working performance is changed by environment of working, discharge current voltage and duration of discharge pulse. Evaluation of performance working is work speed, clearance smoothing of product surface, wasting of pole.

In this paper, this machine is compensated by adaptive controller which corrects the weak points of classical machine which is observed and operated working condition by user in hands. The previous purpose is main object in this thesis. The adaptive controller automatically detect abnormal condition and working conditions. To improve performance, surface smoothing and working speed, the adaptive controller uses fuzzy control strategy. To evaluate performance, this controller is implemented by microprocessor i80c196 and is applied real experimental machine.

1. 서론

방전가공은 동 등의 부드러운 공구로 초경합금 등을 원하는 대로 의 형태로 가공하는 금형가공기이다. 그림 1에서 보는데와 같이 전극과 피 가공물의 간극은 수 마이크로로서 그 사이에서 방전을 발생시켜 그 방전흔적에 의해 가공된다. 예로, 전극이 점 시 모양의 형상이면 점시를 눌러 놓은 것 같은 형태로 가공되며 선 형태를 가지고 있으면 실뿔으로 절단하는 것과 같이 가공한다. 극히 좁은 간극사이에서 불꽃방전으로 시작되는 짧은 아크방전에 의해서 가공하기 때문에, 전류만 흐르는 재료라면 어떤 딱딱한것이이라도 부드러운 재료와 큰 차이없이 가공하는 것이 가능하다. 그렇기 때문에 특수 경화된 강재나, 높은 경도를 갖는 소결합금, 동 이나 황동 등의 부드러운 재료를 전극으로 하는것에 의해서 용이하게 가공하는 것이 가능하다. 공구 전극과 피가공체가 기름이나 물 등의 액중에서 대치하여 수 10-100 볼트의 전압을 가하면 5-50 마이크로의 미소한 거리로 근접시키면 방전이 발생하여 방전전류가 흐른다. 가공작용은 주로 전류의 열적 작용에 의해서 행해진다.

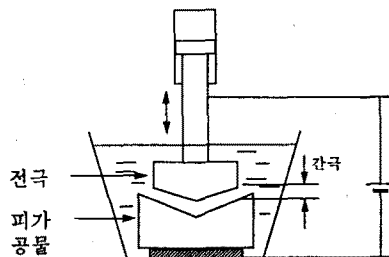


그림 1 방전가공의 원리

그림 2는 방전펄스에 의한 방전가공시의 현상을 개략적으로 나타낸 것이다. 방전가공의 대표적인 가공특성은, 가공시간, 면조도, 전극의 소모비이다. cut이 결정된다. 이러한 전기가공의 가공특성을 결정하는 것은 방전전류의 최대전류(I_p)와 방전펄스의 시간폭(r_p)에 관계되고 특히, 가공능률에 관계하는 것이 방전펄스 시간폭중에서도 휴지시간(r_r)이다. I_p , r_p , r_r 를 어떻게 제어하느냐에 따라 방전가공기의 성능은 결정된다. 방전 펄스의 형태를 발생시켜주는 여러 전기적인 회로가 있으나, 현재에는 고속의 스위칭소자의 발달로 인해, 적류 전원에서의 스위칭소자인 트랜지스터와 전류제한용 저항으로 구성되어 트랜지스터가 On, Off를 반복함으로써 구형파 전압이 극간에 가하게되어 구형파의 방전전류가 흐른다. 스위칭 회로는 강제적으로 전류를 차단하기 때문에 방전과 방전과의 시간을 짧게 할 수 있다. 즉, 방전펄스의 On 시간을 10%에서 90%까지 폭넓게 변화시킬수 있어 효율이 높은 가공방법이다. 펄스에너지의 광과 펄스에너지의 시간은 스위칭에 의해 변화된다. 가공물의 면이 고운 다듬질 가공은 1MHz이상, 거칠은 가공은 수백Hz정도의 개폐를 행함으로써 양극사이의 반복방전을 일으킨다. 더구나, 극간의 절연회복은 전압이 충전되어지는것에 의한 무부하 전압의 존재로 되어 확인가능 하므로 이 전압을 극간 상태의 검출수단으로 하여 휴지시간과의 최적치 제어를 행하는 것이 가능하여 가공 효율을 더욱 증진된다.

금속가공에서는 비용, 정도, 직량의 값으로 하기위해, 최근 작업 전에 가공조건을 계산하며, 예상할 수 있는 가공상태에 따라 변화는 적용 제어방식이 개발되었다. 방전가공기에서는 적용제어 방식은 곤란한 가공을 용이케하고, 불가능한 가공을 가능케하는 효과를 가지는데 동시에, 가공능률을 향상시켜 저가의 비용으로 고 정도의 가공을 행하게 하는 것이다. 이 제어기는 오늘날 제 2세

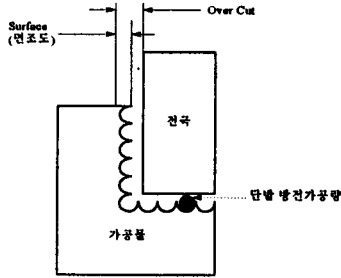


그림 2 방전필스에 의한 방전가공

대에 접어들었다고 말할 수 있다. 1세대 적용제어기는 가공정보에 대해 미리 계산된 최적화 장치를 가진 것으로서 자기조정 가능한 기억기구를 포함한 연산장치만 있으면 적용제어가 가능하다. 이에 반해 제 2세대 적용제어기는 프로그래밍에 의한 제어방법으로 외관까지 포함한 평가함수를 모니터 하는 방식으로 발전하였으며 학습과 최적기법(learning and optimizing)을 적용한 적용기법이다.

2. 적용제어기

적용 제어방식의 원리는 제어계에 영향을 주는 정보를 검출, 인식하여 제어계의 매개변수를 자동 수정함으로써 최적상태를 직접, 동시 제어하는 제어기이다. 적용제어기의 구성은 그림 3과 같이 크게 세가지로 나눌수 있다. 첫 번째로 프로세스의 특성을 검출하는 장치, 두 번째로 프로세스의 특성이 적절한 동작을 취하게끔 평가함수를 선정하는 장치, 마지막으로 프로세스의 특성을 변경하는 수단을 가진 장치가 필요하다.

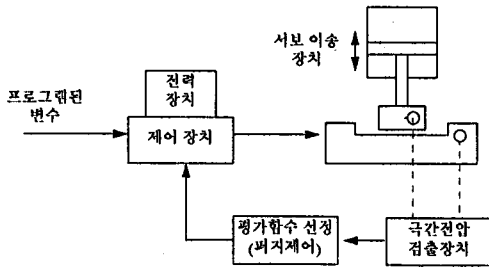


그림 3 적용제어기 구성도

검출장치는 극간전압을 검출한다. 검출신호인 극간전압은 전극과 공작물사이의 전압파형으로써 극 간격에 비례한다. 그 크기는 극간격 $1\mu\text{m}$ 에 대해서 10볼트의 값을 가진다. 극간의 거리뿐만아니라 가공분의 원활한 배출이 안될 경우 발생하는 단락 현상, 절연회복이 발생하지않는 경우 연속방전으로 인한 방전 집중현상 등의 비 정상적인 가공 상태의 관찰이 가능하다. 평가 선정장치는 검출된 상태를 받아들여 피지제어기에 의해 최적치의 제어입력을 연산한다. 결정된 제어입력에 합당한 값을 결정하여 카운터와 연산기에 의해 가공변수들을 다시 조절한다.

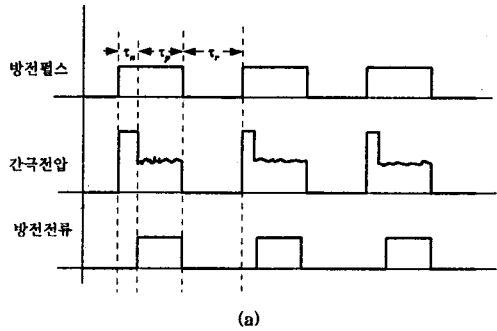
검출장치는 전극과 공작물사이의 이러한 극간의 전압신호를 가지고 실시간 특성을 파악한다. 디지털 제어기를 구성하여 적절한 사구간(dead zone)을 설정하고 사구간을 벗어나는 양의 전압 계수 값 C_0 와 매번의 방전 필스 발생시 절연 회복 여부를 판단하기위한 계수 값 C_c 측정변수로 놓는다.

제한한 제어기의 평가 선정 함수는 피지 제어기법을 이용한다. 피지 기법은 외관, 프로세스의 비선형성, 플랜트의 매개변수의 변화에 잘 적용하며, 마이크로 프로세서를 기초로 함으로 인해

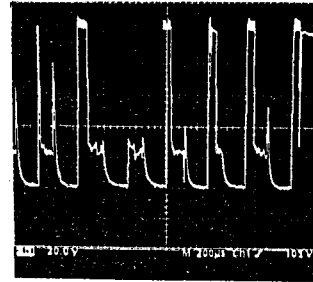
과거의 정보를 토대로 미래의 결과를 예측가능하게한다. 그러므로 피지 기법은 하나의 변수의 변화에 여러 변수가 따라 변화는 복잡한 방전가공기에 알맞은 제어기법이다.

앞에서 설명한것과 같이 방전 필스에너지와 폭은 작업시간에 영향을 미친다. 특히, 적절한 필스의 휴지시간폭 조절은 다른 가공특성에 영향을 거의 미치지않으면서 작업시간의 단축을 꾀할 수 있는 제어 특성이다. 즉, 동일 가공특성에 있어서 휴지시간의 장단에 의해 가공능률이 변화한다. 필스폭 제어는 가공중의 에너지 감소와 가공중의 절연 회복 상태유지 그리고 칩 배출을 용이하게한다.

$$D = \frac{\tau_p}{(\tau_p + \tau_n + \tau_r)} \quad (1)$$



(a)



(b)

그림 4 (a) 방전 필스, 극간전압, 방전전류
(b) 실제 극간전압(On : Off = 160 : 160 μs)

D 는 충격계수(duty factor)로써 필스에너지의 크기는 충격계수에 비례하여 변화한다. 그림 4 (a)는 방전필스의 인가시에 발생하는 전압과 전류의 특성을 나타내었으며 (b)는 실제 극간 전압과 τ_n 은 절연회복유지구간, τ_p 는 절연파괴전압에 도달하여 방전가공되는 구간이며, τ_r 은 절연회복 구간이다.

방전가공기의 피지제어의 목적은 빠른 시간으로 원하는 상태의 공작물 생산에 있다. 피지제어기는 피지집합을 구성하기 위해서는 극간전압에서 받아들이는 C_0 , C_c 가 필요하다. 피지제어기의 입력은 하나의 샘플링동안 절연회복유지구간의 개수값인 C_0 와 방전필스수의 개수인 C_c 의 차와 샘플링동안의 C_0 의 개수와 방전 필스 On시간중의 적절한 가공이 되기위한 절연회복유지 기간에 해당하는 개수 C_r 의 차를 입력변수로 놓는다. 그러면, 피지제어기는 다음과 같은 에리 함수를 최소로 유지하도록하여야한다.

$$C_d(k) = C_r(k) - C_c(k) \quad (2)$$

$$C_d(k) = C_p(k) - C_r(k) \quad (3)$$

제어기의 출력은 휴지시간의 폭으로 나타내어진다.

$$r_r(k+1) = r_r(k) + K r_r(0) u(k) \quad (4)$$

$$-2 < u(k) < 2 \quad (5)$$

여기서, $u(k)$ 는 제어입력이며, $r_r(0)$ 는 유지시간의 초기값이다. 이득 K 는 크게 설정되면 가공의 형태가 변화하므로 0.1 - 0.3 정도의 값으로 설정한다. 각 입력변수에 대해 멤버함수는 3개씩 설정하였으며, 제어입력은 5단계로 나누었다. 표 1은 메모리에 저장되는 제어입력 결정표의 형태를 나타내었다.

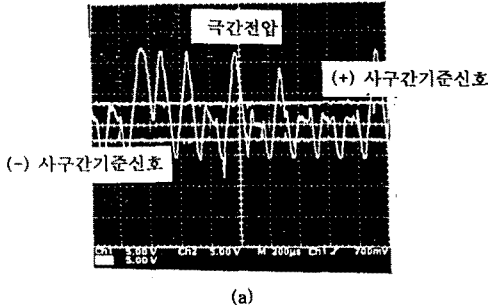
표 1. Lookup Table

		C_e		
		Negative	Zero	Positive
C_e	Negative	-2	-2	-2
	Zero	1	0	-2
	Positive	2	1	-1
		u		

3. 실험결과

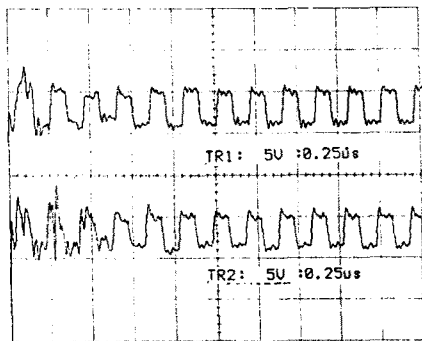
플랜트에서 검출하여 제어기에 입력되는 신호는 세가지이다. 설정된 극간전압을 벗어나는 양과 음의 전압 폭을 검출하기 위한 신호와 절연회복이 유지 여부를 판별하는 신호이다.

그림 5 (a)는 실제 방전기의 극간전압과 극간 전압과 설정된 사구간을 나타내었으며 (b)는 이때의 사구간의 양의 범위를 벗어나는 전압의 폭을 검출하기 위한 신호이다. 이 신호를 계수하여 이상 방전 여부와 극간 간격의 크기를 판별한다. 그림 6 (a),(b)는 극간전압과 절연회복 판단 신호이다. 마찬가지로 이 신호를 계수하여 절연회복 여부를 판단한다.



(-) 사구간기준신호

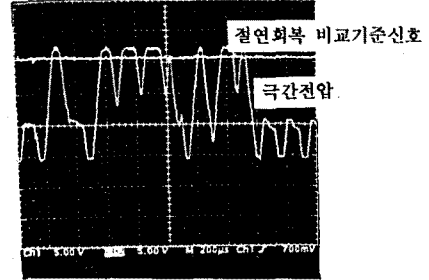
(a)



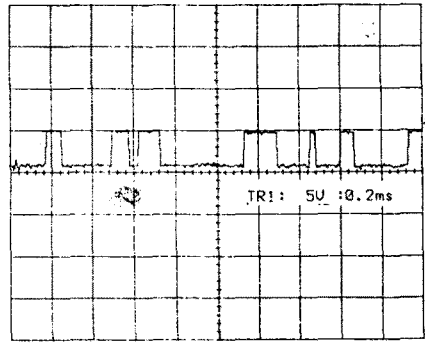
(b)

그림 5 (a) 극간전압과 사구간

(b) 사구간을 벗어나는 전압내에 인가되는 검출신호



(a)



(b)

그림 6 (a) 극간전압과 절연회복 판단을 위한 비교기준신호
(b) 비교되어진 출력신호

4. 결론

본 논문에서는 금속공작물의 방전가공시에 발생하는 이상 현상을 프로세서가 자동 검출, 조정하는 적응제어기를 개발하였다. 기존의 가공기에 비해 가공능력, 가공시간의 절감효과가 가능하여진다. 이 제어기의 기법은 퍼지제어를 사용하였으며, 실험을 통해 제어기의 성능평가한다.

참고문헌

- [1] Y. F. Li, C. C. Lau, "Development of Fuzzy Algorithms for Servo Systems", *control system magazine*, April, 1989.
- [2] (주)삼다전기 기술부, 방전가공의 100% 활용법, 1985
- [3] (주)유일기전, 방전가공기사용취급설명서, 1990