

## 형조 방전가공에서 극간 전압과 가공 안정성에 관한 연구

김 광 열<sup>†</sup> · 이 상 민\* · 이 건 기\*\*

(원고접수일 : 2003년 3월 10일, 심사완료일 : 2003년 4월 15일)

### A Study on the Gap Voltage and Machining Stability in Diesinking Electrical Discharge Machining

Gwang-Yull Kim<sup>†</sup> · Sang-Min Lee\* · Gun-Ki Lee\*\*

**Key words** : Electrical discharge machine(방전 가공기), Electrode(전극), Off time (무부하 시간), Machining powder(가공분), Discharge point(방전점)

#### Abstract

The electrical discharge machining(EDM) with Si electrode, instead of Gr or Cu electrode, made enormous effects on the surface, machining time, anti-caustic workpiece surface and so on. In this paper, we experimented on the inter-pole distance during discharge, the electrical phenomenon of inter-pole, the distribution of discharge point, the distribution of off load time, etc., using Si electrode, Cu electrode and Gr electrode under the same machining condition. As a result of a large quantity generated exclusive powders, the performance of the EDM using Si electrode, compared with EDM using others, is improved. We show that the quantities of those make far pole-gap discharge and discharge scatter under stable machining status possible.

#### 1. 서 론

방전가공의 정삭가공에서 실리콘(Si) 전극을 사용하게 되면 구리(Cu)나 그래파이트(Gr)전극을 사용한 가공과 비교하여, 정삭면의 거칠기 향상, 가공시간의 단축 및 가공물 표면의 내부식성, 내마모성의 향상 등 현저한 성능향상의 효과가 있다. 한편, 방전가공의 정삭공정은 통상 작은 에너지를

사용하기 때문에 극간에서 발생하는 가공분(machining powder)이 적다. 따라서 극간 거리가 짧아지고, 단락과 개방의 반복횟수가 많아짐에 따라, 방전가공기의 주축 동작이 불안정하게 된다. 이러한 경우 방전이 어느 특정 영역에 집중되어 가공물의 표면은 거칠게 된다.<sup>[8][9]</sup> 이러한 현상은 전극과 가공물의 거리와 밀접한 관계가 있다. 이 극간 거리는 전극사이에 존재하는 가공분의 양에

<sup>†</sup> 책임저자(마산대학 기계자동차공학부) E-mail : gykim@masan.ac.kr, T : 055)230-1324

\* 남해전문대학 전자통신과

\*\* 경상대학교 전자공학과

따라 변화하는 것으로 알려져 있다.<sup>(1)(2)(3)</sup> 본 논문에서는 먼저, 실리콘(Si), 그래파이트(Gr), 구리(Cu)전극 등을 사용하여 SKD-11 가공물을 동일한 조건으로 가공한 후 가공상태와 극간의 전기적 현상을 비교, 검토하였다. 또한 1차원 그래파이트(Gr) 가공물을 사용하여 각 전극별로 방전점간 거리분포 및 무부하 시간을 비교, 분석하였다.

방전가공기에 Fig. 1과 같이 전류센서, Laser 변위계 및 각종 데이터 취득장치를 설치하고, 가공시 주축의 변위와 방전전압, 전류의 변화를 동시에 약 1초간 연속 측정하였다. 극간 거리는 방전직후의 주축 위치로부터 가공물 면까지의 거리를 측정하여 구할

## 2. SKD-11 공작물에서의 극간전압과 가공안정성에 관한 관찰

종래의 연구에서 사용된 그래파이트나 구리 전극은 방전의 집중으로 인한 단락이 빈번히 발생하여 가공물의 표면 거칠기가 불량한 문제점이 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 실리콘 전극의 가공 특성을 비교하기 위해 비교전극으로 그래파이트와 구리 전극을 사용하여 SKD-11 공작물에서의 극간전압과 가공 안정성에 대하여 관찰하였다. 형조

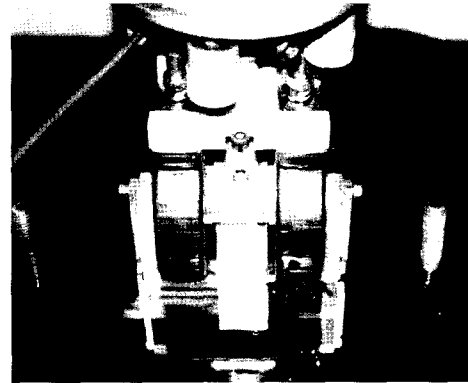


Fig. 1 Experimental equipment in electrical discharge machine.

Table 1 Machining condition of SKD-11 workpiece.

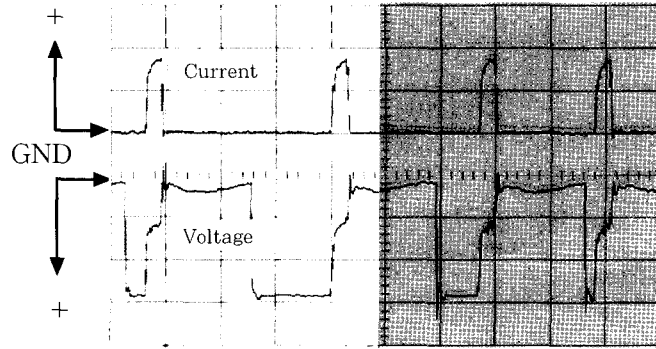
Electrical discharge machine	MITSUBISHI electric, M35K C7G70
Machining electrode	∅ 15mm Si, Gr, Cu
Electrode polity of workpiece	SKD 11(-)
Electric condition	Open voltage Vg : 80V Machining current I <sub>p</sub> : 6A On time τ <sub>p</sub> : 8 μs Off time τ <sub>r</sub> : 64 μs
Machining oil	White kerosene(KOTON#600 : HOUGHTON)
Machining time	60 Minitures
Roughness of workpiece before machining	Rz : 4.32 μm Ry : 6.05 μm

Table 2 EDM results in each electrodes.

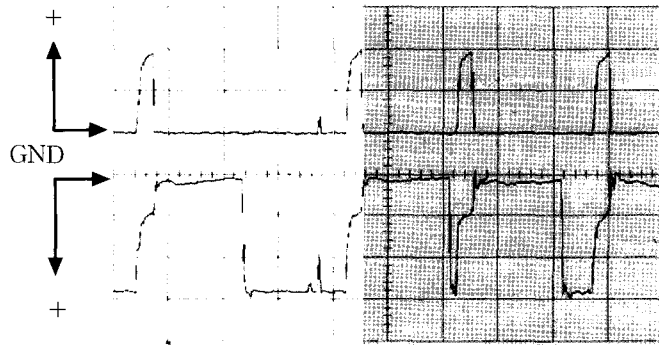
Electrode materials	Si	Gr	Cu
Voltage between the electrodes of during pause time	High	Middle	Low
Crack	None	Few	Many
Short	None	Few	Many
Distance between the electrode(μm)	80	40	20
Surface coarse(μm)(5 times)	Rz : 2.45 Ry : 4.32	Rz : 4.15 Ry : 6.53	Rz : 8.41 Ry : 12.98
Machining of condition	Machining condition of table 1		

구할 수 있다. 주축의 변위량은 Laser 변위계를 이용하여 계측하였다. 전극을 가공물 면에 접촉시켜, 주축의 변위량을 측정할 경우 접촉점이 다수개 존재하기 때문에 극간 거리를 정확히 측정하기가 어렵다.

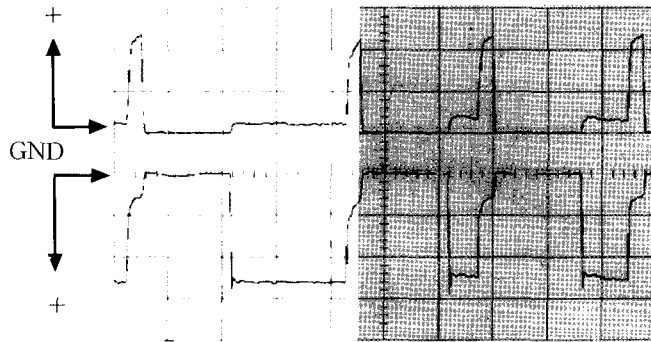
따라서 가공물 면과 전극사이에 직경 1.512(mm)의 강구(steel ball)를 삽입하여 주축의 변위를 측정하고, 방전 직후 주축의 위치로부터 강구의 직경을 뺀 값에 따라 극간 거리를 측정하였다.



(a) Voltage and current between Si-electrode and machining material



(b) Voltage and current between the Gr-electrodes



x Axis :  $20 \mu\text{S}/\text{div}$ , y Axis : Current  $2.5\text{A}/\text{div}$  : Voltage  $30\text{V}/\text{div}$   
 ( SKD11, 6A  $\tau_p=8 \mu\text{S}$ ,  $\tau_r=64 \mu\text{S}$  )

(c) Voltage and current between the Cu-electrodes

Fig. 2 Waveform of gap voltage and current each electrode.

Table 1의 가공조건으로 실리콘, 그래파이트, 구리 전극 등을 사용하여 SKD-11 재질의 가공물을 가공하였을 때 가공면의 조도 및 가공형상을 Table 2에 표시하였다. Table 2에 나타난 결과와 같이 육안으로 관찰된 가공상태, 표면조도, 현미경에 의한 관찰 등으로부터 실리콘 전극에 의한 가공면이 가장 우수한 것으로 판명되었다. Fig. 2에 실리콘, 그래파이트, 구리 전극에 대한 가공중의 극간전압 파형, 전류 파형을 각각 표시하였다. 휴지시간(pause time)중의 극간 전압이 구리 전극의 경우는 거의 "0"값을 표시하고 있다. 이것은 신속한 차기방전의 어려움은 물론, 가공물의 표면 거칠기가 불량한 원인이 된다. 또한 실리콘과 그래파이트 전극의 경우는 수 Volt의 전압이 인가되어

있으므로 차기방전이 용이하고 가공물의 표면이 양호하게됨을 알 수 있다.

### 3. 1차원 그래파이트 공작물에서의 극간전압과 가공안정성에 관한 관찰

실험결과 가공상태와 가공면의 조도는 전극의 재질에 많은 영향을 받게된다. 전극의 재질 차이가 연속 방전에 있어 방전분산의 정도에 영향을 주는 것으로 가정하고, 각 전극에 대한 방전점의 위치 측정을 하였다. 방전위치의 계측에 있어서는 전극에 가공전류를 공급하는 급전선을 Fig. 3과 같이 양쪽으로 분할하고 각 급전선에 흐르는 전류 값의 분포를 관찰함에 따라 방전점의 위치를 검출하는

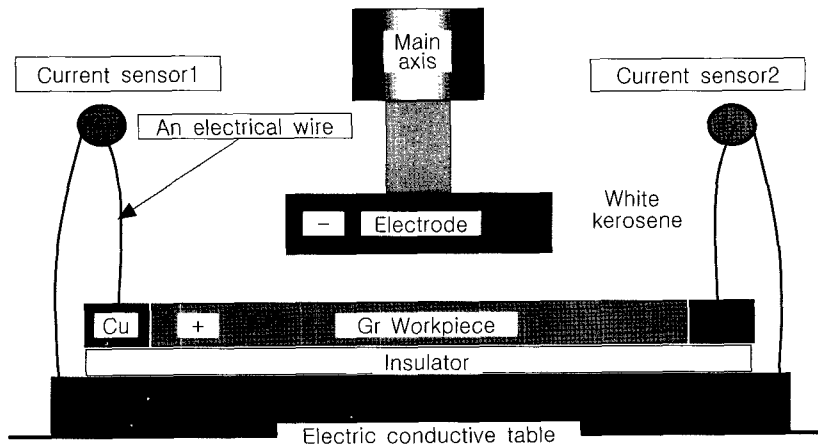


Fig. 3 Structure of one dimensional workpiece.

Table 3 Machining condition of 1 dimensional Gr workpiece.

Electrode	Si, Gr, Cu	
Workpiece	Width 10mm, Length 120mm, Gr	
Length of electrode	60mm	
Electrode polarity	(-)	
Electrical condition	Open voltage	$V_g : 80V$
	Machining current	$I_p : 8A$
	ON time	$\tau_p : 32\mu S$
	OFF time	$\tau_r : 128\mu S$
Machining oil	White kerosene(KOTON #600 : HOUGHTON)	
Machining time	Measuring after 60 minutes machining	

분할 급전법을 사용하였다.<sup>(5)(7)</sup> 본 연구에서는 종래의 1차원 전극과 역으로 공구전극을 “-”전극으로 하고 가공물인 그라파이트를 “+”전극으로 하여 가공하였다. 현실적으로 너무 짧은 펄스 폭으로는 방전점의 위치 검출이 어렵기 때문에 방전 펄스 폭을 확대하여 가공을 행하였고 그 가공조건을 Table 3에 표시하였다.

실리콘, 그라파이트, 구리 전극 등으로 1차원 그라파이트 가공물의 특정부분을 약 60분간 가공한

후의 무부하 방전시간 및 방전위치를 각각 측정하였다. 1차원의 가공물에 대해 3,000회분의 방전점간 거리의 분포 및 무부하 시간의 분포를 Fig. 4, 5에 각각 표시하였다. Fig. 4에 있어 방전점간 거리가 1mm 이내의 방전회수 비율을 방전집중도로 정의할 때, 실리콘 전극의 경우 4.7%, 그라파이트 전극 11.9%, 구리전극 20.1%로 나타났다. 이로써 실리콘 전극의 경우가 가장 큰 분산성을 갖는 것을 알 수 있었다.

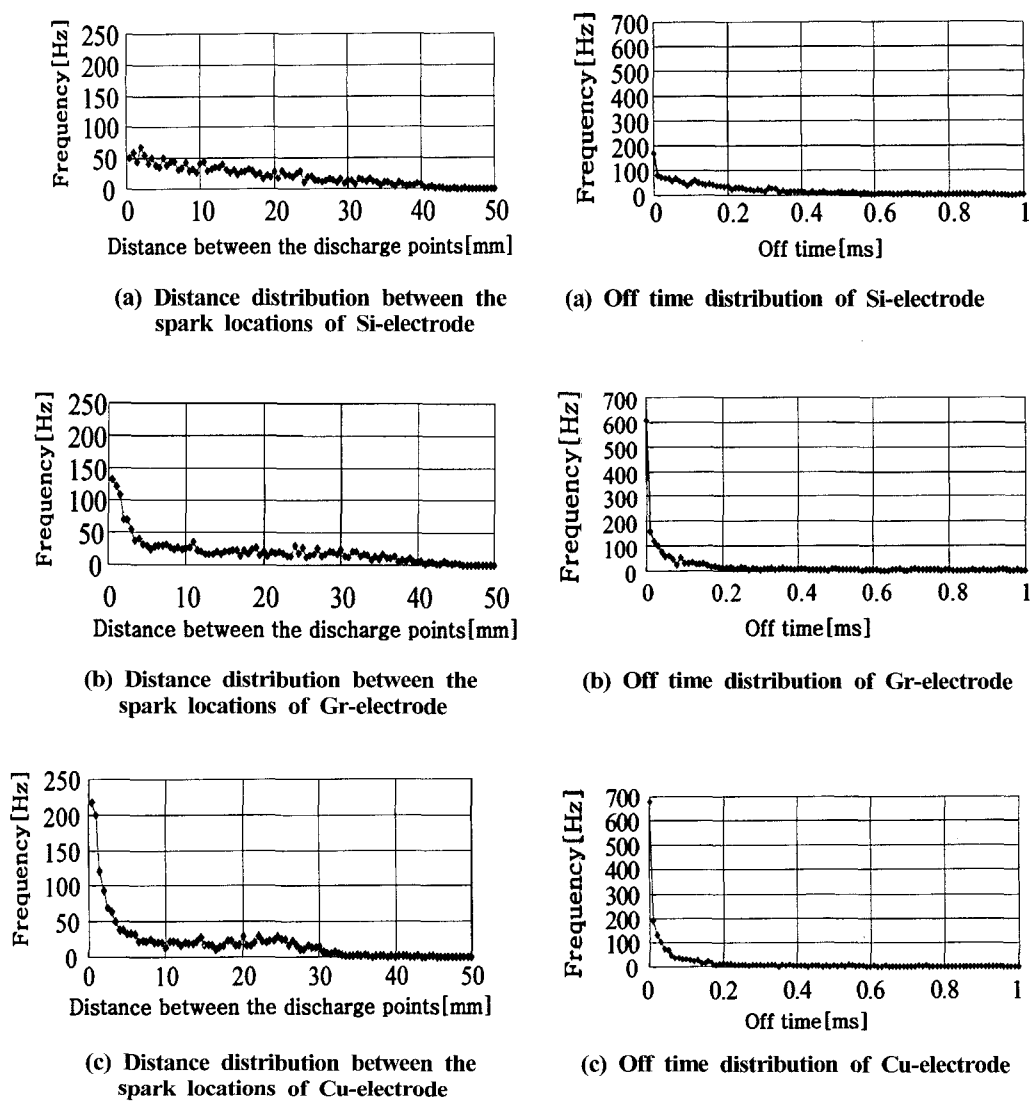


Fig. 4 Distance distribution of each electrodes.

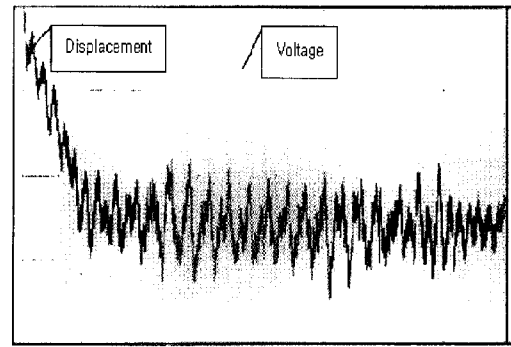
Fig. 5 Off time distribution of each electrodes.

Fig. 5에 있어 무부하 시간이  $10\mu\text{S}$ 이내의 방전 비율은 실리콘 전극 11%, 그라파이트 전극 39%, 구리 전극 44%의 분포를 보였다. 이상의 결과로 볼 때 방전점간 거리의 분포는 그라파이트 전극과 구리 전극은 거의 유사한 분포를 나타내지만, 실리콘 전극의 경우는 원거리까지 방전점이 균등하게 분포하고, 넓게 방전이 분산되고 있음을 알 수 있다. 특히 실리콘 전극과 비교하여 구리 전극의 경우에는 단락의 빈도가 큰 것을 Fig. 4에서 알 수 있으며 또한 Fig. 5에서 무부하 시간이 극히 짧음을 볼 때 구리 전극의 경우는 방전중에 발생된 가공분의 분산, 기타 분해물과 극간 이온소멸이 어려운 것을 알 수 있다. 실리콘 전극의 경우는 가공분의 작용으로 비교적 안정된 방전을 함에 따라 무부하 시간의 분포는 비교적 넓게 분포하고 있음을 알 수 있었다.<sup>(4)(6)</sup> 그라파이트 전극과 구리 전극의 경우는 방전점간 거리가 짧은 것과 더불어 무부하 시간이 "0" 일 때 방전된 횟수가 대단히 높은 것으로 나타났다. 실제로 그라파이트 전극의 경우는 구리 전극에서와 마찬가지로 불안정한 주축 동작이 육안으로도 관찰되었다.

#### 4. 측정결과에 대한 고찰

통상 방전가공이 불안정한 상태로 되는 원인은 전극과 가공물간의 협소한 극간거리와 극간의 가공분 존재를 들 수 있다. 대단히 협소한 극간거리에서는 가공중에 발생하는 가공분과 가스, 기타 분해물이 축적되고 방전점의 집중이 연속되면 이상 아크(arc)로 발전되어 단락의 발생빈도가 높아지기 때문에 불안정한 가공상태로 되기 쉽다.<sup>(7)</sup> 이상의 사항을 확인하기 위해 주축의 변위와 극간전압을 동시에 측정하고 그 관계를 관찰하였다. Fig. 6에서 구리 전극에서의 방전집중의 결과를 표시했다. 이 그림에 있어, 전압 파형은 전체의 데이터를 시간축 방향에 따라 압축하여 표시하였다. Fig. 6에서 극간전압과 주축의 변위가 거의 동일한 위상으로 변화하고 있는 것을 확인할 수 있다. 주축의 하강에 따라 무부하 시간중의 극간전압이 저하하는 것은 짧은 극간 간격에서는 단위 체적당 이온

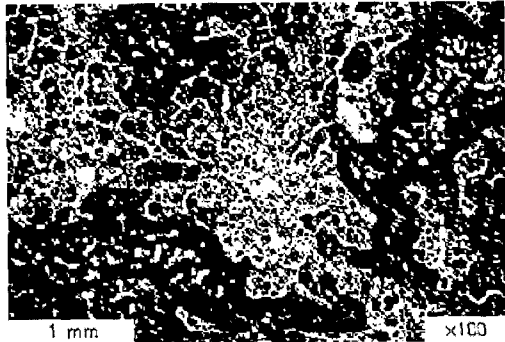
화된 가공분의 양이 많게 되고, 따라서 극간의 저항치가 낮게되어 방전이 없는 상태라도 전류가 흐르고 있는 것으로 판단된다.



x Axis :  $100\mu\text{S}/\text{div}$ , y Axis : Displacement  $10\mu\text{m}/\text{div}$  : Voltage  $20\text{V}/\text{div}$   
(Cu Electrode, SKD11, 8A,  $\tau_p=64\mu\text{S}$ ,  $\tau_r=64\mu\text{S}$ )

Fig. 6 Gap voltage and main axis displacement.

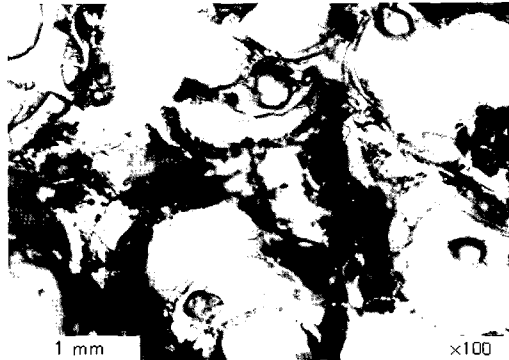
이러한 현상은 Fig. 2에 표시한 휴지시간중의 극간 전압관찰을 통해 알 수 있다. Fig. 7은 실리콘, 그라파이트, 구리 등을 가공전극으로 가공물 SKD-11에 전류 8A, 펄스폭  $32\mu\text{s}$ , 휴지시간  $32\mu\text{s}$ , 가공조건으로 약 10분간 가공 후, 그대로 건조시켜 가공물 표면을 현미경으로 관찰한 것이다. 실리콘 전극을 사용한 가공물은 기타 전극에 비해 가공물의 표면에서 각 방전점의 주위에 대량의 실리콘 분말과 방전유 그리고 기타 가공 분해물 등이 관찰되었고 가공면은 그라파이트, 구리 전극에 비해 면조도가 깨끗함을 알 수 있었다. 실리콘 전극과 비교하여 그라파이트 전극의 가공에서는 표면에 가공분과 기름의 분해물 등이 소량 관찰되었고 구리 전극에는 거의 관찰되지 않았다. 그리고 가공표면을 관찰해보면 그라파이트, 구리 전극을 사용한 표면은 균열과 가공면의 조도가 극히 불량함을 알 수 있다. 실리콘 전극을 사용한 가공물의 표면조도가 양호한 이유는 실리콘 전극의 가공분은 가공물 표면에 잔류하고 있어, 다음 방전의 교각으로 작용했기 때문에 가공물 전체에 걸쳐 광범위하게 방전이 분산된 것으로 판단된다.



(a) Si electrode



(b) Gr electrode



(c) Cu electrode

Fig. 7 Photograph of machining sludge on workpiece after machining by each electrodes.

### 5. 결 론

동일한 가공조건에서 실리콘, 그래파이트, 구리 등의 전극으로 방전가공을 행하고 각각의 전극에 대한 가공결과를 비교, 관찰하여 다음과 같은 결론

을 얻었다.

- (1) 실리콘 전극을 이용한 가공은 기타 비고전극에 비하여 안정되고, 균열과 방전흔(electrical discharge traces)의 거칠기가 균일한 양호한 가공면을 얻을 수 있었다. 또한 1차원 그라파이트 가공물에 대한 방전위치의 측정결과, 넓은 방전분산을 확인할 수 있었다.
- (2) 실리콘 전극을 사용한 경우도 기존의 다른 도체전극을 사용한 경우와 같이 휴지시간 및 무부하 시간에 대한 극간 전압으로부터 간격의 상태를 추정하여 연속으로 발생하는 차기 방전을 안정하게 제어하는 것이 가능할 수 있게 되었다.
- (3) 실리콘 전극에는 전극 소모분의 양이 기타 전극에 비해 많이 발생되기 때문에 단위거리 당 방전점간 거리와 무부하 분포를 균일하게 하여 가공면의 조도가 양호한 가공을 가능하게 할 수 있었다.

### 후 기

이 논문은 2001년도 마산대학 교내연구비 지원에 의하여 연구된 것 임.

### 참고문헌

- [1] 宇野, "粉末混入放電加工における表面生成機構の研究", 日本電氣加工學會誌, Vol. 29, No.62, pp.9-17, 1995
- [2] 毛利, 齋藤, "粉末混入加工液による放電仕上加工", 日本電氣加工學會誌, Vol. 25, No.49, pp.47-60, 1990
- [3] 増井, "放電加工における異常アーク面の改善", 日本金型技術者會議 講演論文集, No.314, pp.204-205, 1995
- [4] 齋藤, 毛利, "放電加工の消イオン 特性(第1報)", 日本精密工學會 學術講演論文集, E64, pp.713-714, 1995
- [5] 國枝, "放電加工における放電点分布の觀察", 電氣加工技術, Vol. 15, No.49, pp.34-40, 1991

- [6] 三菱電機(株), “放電加工のしくみと100%活用法”, 技術評論社, pp.1-33, 1979
- [7] 小島弘之, “放電点検出による放電加工現象の解明”, 東京農工業大學, pp.18-27, 1993
- [8] 柳濟九, “放電加工”, 大光書林, pp.1-10, 1993
- [9] 김창호, 최재찬, “放電加工”, 機電硏究社, pp.1-10, 1995

### 저 자 소 개



#### 김광열 (金光烈)

1963년 12월생. 1990년 경남대학교 공과대학 전자공학과 졸업. 1998년 경상대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1989.12-1999.2 기아중공업(주) 기아기술연구소 선임연구원. 2002년 경상대학교 대학원 전자공학과 박사수로 1999.3 - 현재 마산대학 기계자동차공학부 교수, 당학회 회원



#### 이상민 (李尙珉)

1966년 4월생. 1992년 한양대학교 공과대학 전자공학과 졸업. 1996년 경상대학교 대학원 전자공학 졸업(석사). 2001년 경상대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1997~현재 남해전문대학 전자통신과 교수.

#### 이건기 (李建基)

1978년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업. 1980년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1985년 ~ 현재 : 경상대학교 전자공학과 교수, 경상대학교 공학연구원 자동화컴퓨터 연구센터