

전류변화에 따른 Over Cut에 관한 실험적 연구

신근하/아주대학교
차홍식/성남기능대학

ABSTRACT

A study is drawn up its result's tables and graphs by measuring tools(outside micrometer, cylinder gauge and dial caliper gauge) on the difference of diameter volumes from before-discharge and after-discharge under 52 kind's experimental condition by copper and graphite electrode of CNC EDM. The EDM is attached with A.V.R. and memory scope for keep up accuracy and the fixed table of work piece is used in order to eliminate the noise by the internal resistance of it and forcing to eradicate the discharge liquid. It is analyzed on OVER-CUT of optimal discharge cutting conditions to compare its wave value and pulse time (Ton, Toff) through voltage and current for decreasing working error.

1. 서 론

방전 가공은 방전현상을 人工的으로 설정하고 그 energy를 이용한 가공방법으로 절연성이 있는 방전액 중에서 동(Cu)과 같은 유연한 전극과 높은 경도를 갖는 재질의 공작물 사이에 단속적으로 방전시켜, 가공 전극과 같은 단면의 형상을 공작물에 電寫, 가공하는 방법으로 가공하기 어려운 재료, 즉 硬質合金, 耐熱鋼 같은 재질을 절단, 穿孔, 연마 등의 가공에 이용된다. 방전가공 방식에는 특정 형상의 전극을 사용하여 그 형상을 投影 가공하는 型彫방전 가공방식과 wire에 의한 輪廓方式이 있으며 근간에는 자동 위치검출, 전극 또는 가공물의 회전을 이용한 나사가공, 전극의 다양화, 3차원 윤곽가공, 요동가공, steep

가공 등을 할 수 있는 CNC 방전가공기가 제작되어 사용되고 있다. 방전현상을 문자의 刻印가공에만 사용하였던 1800年代 末 부터 1943年 소련의 라자렌코 夫婦가 RC회로에 의한 방전가공기를 개발하여 금속에 구멍을 뚫는데 성공하였고, 1970年代 前半에 이르러서는 Transistor 등의 발전에 따라 超다듬질 영역까지 가능하게 되었으며 현재 방전가공의 용도는 특수한 부품가공과 방전연삭가공까지도 연구되고 있는 등 금형 및 부품 제작에 대한 방전가공의 비중은 매우 크다. 방전가공의 특성에 따르는 전기적인 조건에는 가공전류, pulse time, 방전전압 등의 입력조건은 over cut에 매우 큰 영향을 미치며 전극의 재질은 전극과 공작물에 誘電體液속에서 數 micron으로 부터 수 10 micron 이라는 극히 좁은 間隙에서 energy 밀도가 높은($10^5 \sim 10^6 \text{ J/cm}^2$) 방전이 매우 짧은 시간 ($10^{-6} \sim 10^{-2} \text{ s}$) 동안에 가해져 極性和 재질의 차이에 따라 over cut의 크기가 달라진다.

本 연구는 전극을 동(Cu)과 Graphite, 시험편은 SM45C를 선택하여 실험을 하여 방전가공기를 이용한 금형 및 부품 가공시 over cut에 대한 필요 입력조건을 결정하여 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험기기 및 방법

2.1.1 방전가공기

본 실험에서 사용한 방전가공기의 성능은 Table 1과 같다.

Table 1 Specification of experiment equipment

Equip-ment	Description and specification		
	JCE-45A		
	Item	Unit	Specifi-cation
E.D.M.	X axis transfer range	mm	350
	Y axis transfer range	mm	250
	Z axis transfer range	mm	300
	Work tank	mm	1000 × 700 × 400
	Ram swing	mm	700
	Work tank capacity	l	500
	Work maximum weight	kgf	800
	Electrode maximum weight	kgf	100
	Machine size	mm	1820 × 1520 × 2800
	Machine weight	kgf	2000

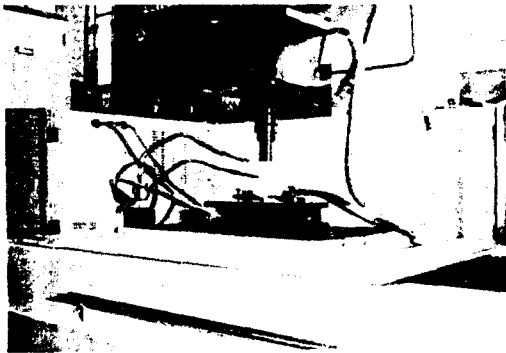


Photo 1 Experimental apparatus for electrical discharge M/C

2.1.2 memory scope

본 실험에서 전압 V에 따른 T_{on} 과 T_{off} 의 실험수치를 확인하였던 memory scope는 Table 2와 같은 성능의 장비를 사용하였다.

Table 2 Specification of memory scope experiment equipmen

Item	Model	OS - 3020
CRT		6inch 1.9kw
Vertical deflection frequency band wide		DC ~ 20MHz
Vertical deflection accuracy		Normal: ± 3% Zoom: ± 5%
Vertical deflection input impedance		Aprox. 1MΩ in parallel capacity 25PF
Digital storage maximum sapmling ratio		20Ms/s

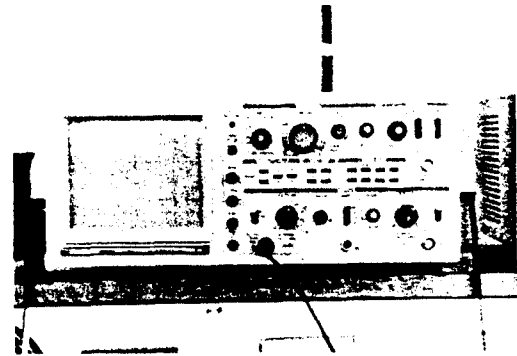


Photo 2 Experimental apparatus for memory scope measurement

2.1.3 전극 및 시편

(1) 전극

본 실험에 사용한 전극 Graphite은 일본 TOYO사 제품으로 재질은 Table 3과 같으며 四角材를 $\phi 20$ 으로 가공하였다. Cu의 재질은 Table 4와 같고, 전극가공은 Cu $\phi 25$ 를 $\phi 20$ 으로 가공하였다.

Table 3 Material test result of graphite

Material test result	
Manufactured name	Graphite for E.D.M
Quality	# ISEM - 3
Item	Size
	25 × 120 × 280 25 × 68 × 270
Density (g/cm ²)	1.84
Hardness (shore)	61
Elect resistance (μΩcm)	940
Flex strength (kgf/cm ²)	500
Comp strength(kgf/cm ²)	10100
Plaster	0.03

Table 4 Material test result of Copper

Material test result			
Material :CA110 Condition:1/2H	Property Spec	Tensile strength (kgf/mm)	Electrical resistivity
Dimension	Quantity per or kgf(min)	25	98
φ25×2000	1	26.8	99.5
Chemical composition(in wt%)			
Spec	Element	Cu	
Lot NO.(min)		99.9	

(2) 시편

본 실험에서 사용한 시편의 화학성분은 Table 5와 같고, 이것의 기계적 성질은 Table 6과 같으며, 시편의 길이는 몰림 길이20mm, 방전 가공길이 30mm로 가공하였다.

Table 5 Chemical composition of the testing materials

Chemical composition				
C	Si	Mn	P	S
0.45	0.23	0.56	0.02	0.006

Table 6 Mechanical properties of the testing materials

Materials	Tensile strength ₂ (kgf/mm ²)	Yield strength ₂ (kgf/mm ²)	Elongation (%)
SM45C	105	95	13

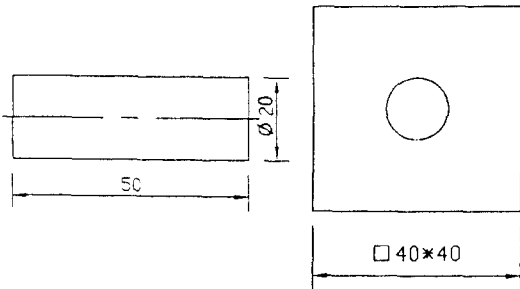


Fig. 1 Electrode and work piece

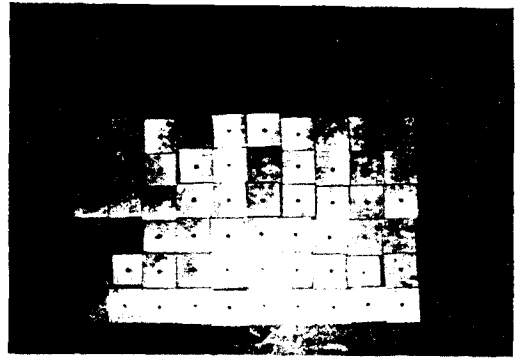
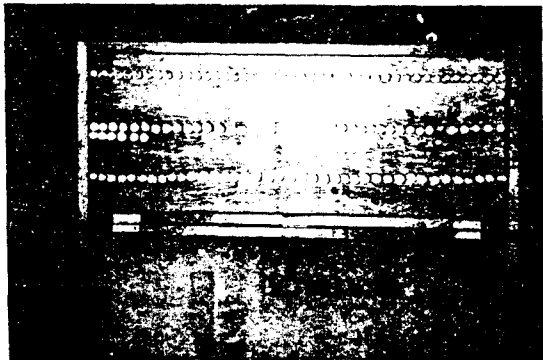


Photo 3 Electrode and work piece

2.1.4 실험방법

加工擴大餘裕 또는, 방전 clearance라 불리는 over cut의 치수는 가공형상의 실제 치수에서 전극의 치수를 뺀 값을 말하며, 방전가공에서 가공된 구멍의 크기가 전극의 크기보다 커지는 현상을 over cut라 한다. 발생원인은 전극과 공작물간의 일정 간격이 없으면 방전이 일어나지 않으므로 일정한 간격을 유지하면서 방전가공을 진행시키기 때문이며, 이 간격은 방전 간격보다 크게 남는다. over cut은 전극底面の over cut과 底面周邊의 over cut, 측면 over cut이 있다. over cut의 크기는 주로 방전 energy와 가공 전압에 따라서 변하며 이를 표시해야한다. 또한 전극의 장착 정밀도, 加工 chip이나 gas의 배출 등의 문제로 인한 10~20%의 over cut량을 전극 설계시 반드시 예상하여야 하며 over cut은 다음의 식으로 측정된다.

$$\delta = \frac{L - \iota}{2}$$

[δ : over cut(μm), ι : 전극의 크기(μm), L:가공된 구멍의 크기(μm)]

over cut은 방전시간과 전류 량의 증가에 따라 지수 함수적으로 증가한다. 그러므로 정밀한 가공을 하고자 할 때는 pulse에서 전류 량을 적게 하고 방전시간은 짧게 하며 극성은 reverse mode로 하는 것이 좋다. 그 이유는 다음 식에서 증명된다.

$$\delta_0 = K_v \cdot V + K_R \cdot \epsilon_0^{0.4} + A_m$$

[δ₀ : over cut(μm), K_v : 상수 (5×10⁻²),

ε₀^{0.4}: 방전 energy(J),

K_R: 가공재료에 따라서 변하는 상수(Fe=2.5×10², WC=1.4×10², Cu=2.3×10²),

A_m : 기계적인 over cut(일반적으로 2~3 μm)]

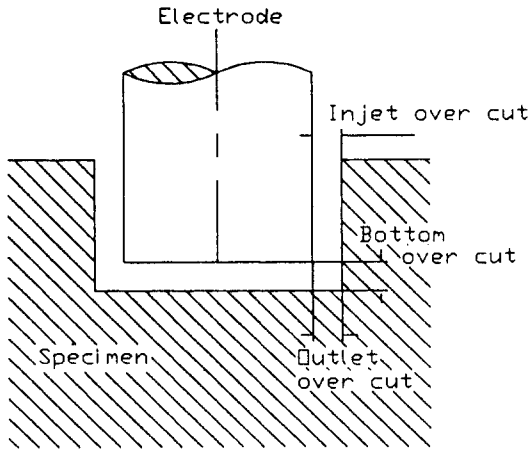


Fig. 2 Over cut

본 연구는 방전가공기에서 전극은 Cu와 graphite, 시편은 SM系의 재료를 사용하여 다음과 같은 조건으로 실험하였다.

- (1) 전류량 I_p (A)는 고 소모 조건일 때 0.7에서 12(A)까지, 중 소모 조건일 때 3에서 50(A)까지, 저 소모 조건일 때 3에서 50(A)까지 입력, 방전 가공을 하였고,
- (2) pulse time T_{on} 과 T_{off} 는 1:1에서 1:3의 비율로 각 조건별 입력 가공하였으며
- (3) 1개의 시편에 대한 방전가공시간은 30~60분간으로 하였으며,
- (4) 전극의 side clearance는 cylinder gauge, dial caliper gauge 등으로 측정하여 그 값을 1/2로 환산, data화 하였으며,
- (5) 시편에 더해지는 전압의 정밀도를 위해 자동 전압조정기를 설치하여 안정되고 정확한 전압을 공급하였고,
- (6) memory scope를 방전 가공 기에 부착하여 전압에 따른 pulse time T_{on} 과 T_{off} 의 입력조건을 확인하였고,
- (7) 전류의 크기에 대한 정확성을 위해 방전가공기 자체내의 내부저항 등의 noise를 없애고 방전 액을 강제분사 시키기 위해 시편 고정 table을 제작 사용하였으며,
- (8) 전극을 +, 시편을 -로 전원을 연결하는 정극성으로 실험하였다.

2.2. 실험 결과 및 고찰

2.2.1 high wear의 전극소모비에 따른 over cut

Fig 3에서와 같이 전극의 고 소모조건 실험에서 전류의 파고값 I_p 가 5(A)일 때에 두 전극에 대한 over cut의 변화는 같은 기울기 값을 갖고 전류 I_p (A)가 증가함에 따라 over cut도 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이것은 전류의 파고값 I_p (A)가 커지면 over cut도 증가하는 것을 알 수 있으며, 작은 전류 값에서는 두 전극 모두 같은 over cut이 발생되며 이 변화는 (+) 기울기 값을 갖는 1차 함수와 같은 변화를 갖는다는 것을 알 수 있었다. 또한 5(A)이상 부터는 Cu전극 사용시 over cut이 크게 발생되어 같은 전류 사용시 Cu전극 사용보다는 graphite 전극사용이 유리하다고 판단되었다.

over cut과 KS에 규정하는 바를 비교, 고찰하면 전류 I_p 가 12(A)까지 실험한 결과 0.04에서 0.055 μm 의 side clearance가 나타나므로 KSB 0401에서 규정하는 20mm일 때 IT 1등급에 해당되는 초 정밀 가공에 적합하다고 사료된다.

Table 7 $\text{Cu}^+ - \text{ST}^-$ high wear

NO.	Machining condition				Wear ratio (%)	Side clearance (1/2)(m/m)
	T_{on}	T_{off}	I_p (A)	LV (V)		
1	3	7	0.7	40	12.08	0.0050
2	5	7	1.5	40	12.00	0.0100
3	9	9	2.2	40	11.29	0.0125
4	9	9	3.0	40	10.80	0.0180
5	12	12	5.2	40	10.50	0.0230
6	15	9	6.0	40	8.04	0.0300
7	20	15	10.5	40	6.38	0.0350
8	30	30	12.0	40	5.20	0.0400

Table 8 $\text{GR}^+ - \text{ST}^-$ high wear

NO.	Machining condition				Wear ratio (%)	Side clearance (1/2)(m/m)
	T_{on}	T_{off}	I_p (A)	LV (V)		
1	10	10	0.75	40	15	0.007
2	10	10	1.50	40	14	0.010
3	10	10	2.25	40	12	0.015
4	20	20	3.00	40	10	0.0175
5	20	20	5.25	40	8	0.022
6	20	20	10.5	40	8	0.040
7	20	10	12	35	7	0.045
8	20	10	16	35	7	0.055

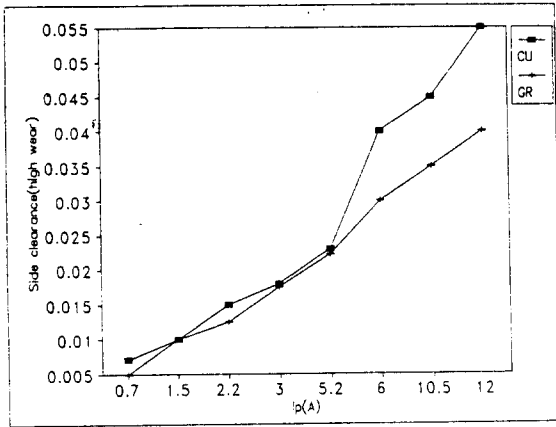


Fig. 3 The relation of using Cu^+ , Gr^- current I_p and over cut of high wear

2.2.2 medium wear의 전극소모비에 따른 over cut

Fig. 4에서는 파고 전류 $I_p(\text{A})$ 변화에 따른 over cut 발생의 변화 폭이 일정하고, 또한 두 전극의 over cut 발생 량도 거의 동일한 (+) 기울기 값을 갖는 1차 함수 graph를 나타내며 전류 값이 증가하면 over cut의 량도 증가한다는 실험 결과를 다시 나타냈다. 같은 전류 사용시 Cu전극 사용보다는 graphite 전극사용이 작으나 유리하다고 판단되었으며, over cut과 KS에 규정하는 바를 비교, 고찰하면 high wear의 결과와 같이 나타났다. 그러나 최대 값은 high wear 보다 큰 값을 보여주고 있어 전극의 소모가 많을수록 over cut의 발생이 많아짐을 알 수 있었다.

Table 9 Cu^+ - ST^- medium wear

NO.	Machining condition				Wear ratio (%)	Side clearance (1/2)(m/m)
	T_{on}	T_{off}	$I_p(\text{A})$	LV (V)		
1	30	7	3	35	3.70	0.018
2	30	7	5	35	3.63	0.030
3	40	9	6	35	3.60	0.040
4	40	9	8	35	3.56	0.042
5	50	12	10	35	3.49	0.060
6	55	12	12	35	3.41	0.075
7	62	12	16	35	3.39	0.082
8	77	15	20	35	3.00	0.085
9	77	15	26	35	2.89	0.095

Table 10 GR^- - ST^- medium wear

NO.	Machining condition				Wear ratio (%)	Side clearance (1/2)(m/m)
	T_{on}	T_{off}	$I_p(\text{A})$	LV (V)		
1	30	10	3	40	3.4	0.02
2	30	10	5	40	3.3	0.03
3	30	10	6	40	3.2	0.04
4	30	10	8	40	3.1	0.045
5	40	15	10	35	3.0	0.06
6	40	15	12	35	3.0	0.075
7	50	20	16	35	3.3	0.085
8	50	20	20	35	3.1	0.09
9	50	20	26	35	3.0	0.11

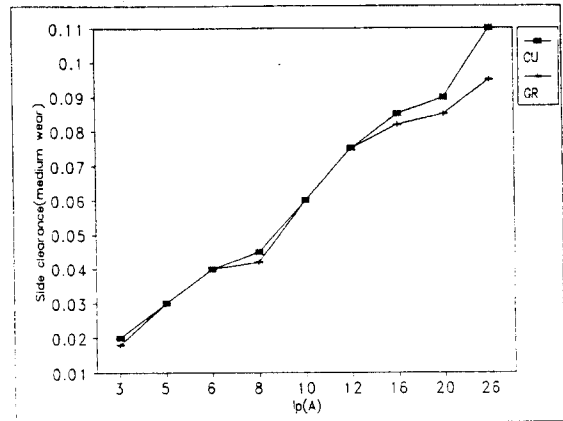


Fig. 4 The relation of using Cu^+ , Gr^- current I_p and over cut of medium wear

2.2.3 low wear의 전극소모비에 따른 over cut

Fig. 5에서와 같이 전극 소모량에 따른 low wear에서도 전류가 커지면 over cut도 커지며 두 전극을 비교 고찰하여 보면 Cu전극을 사용하였을 경우 보다 graphite전극의 사용시 over cut 발생 량이 적어짐을 알 수 있으며, 이는 높은 전류에서 확실히 나타남을 판단할 수 있었다. 즉, 전극의 저 소모 조건에서의 두 전극에 대한 over cut의 비교에서 graphite전극 사용이 Cu전극 사용의 조건에 비해 양호하며, 전극의 소모가 많을수록 over cut의 량은 커짐을 재차 확인할 수 있었다.

이상에서와 같이 전류의 파고값 $I_p(\text{A})$ 의 크기에 따라 over cut도 상승하며 따라서 전극의 소모와 반비례하며 방전가공에서 얻어지는 제품의 용도에 따라 필요한 加工擴大餘裕를 참고하여 가공하면 필요한 제품을 얻을 수 있다고 판단되었다.

Table 11 Cu⁺ - ST⁻ low wear

NO.	Machining condition				Wear ratio (%)	Side clearance (1/2)(m/m)
	T _{on}	T _{off}	I _p (A)	LV (V)		
1	87	20	3	40	1.89	0.04
2	87	20	8	40	1.84	0.09
3	100	30	12	40	1.81	0.12
4	100	30	16	40	1.78	0.18
5	125	20	20	40	1.50	0.24
6	125	20	26	40	1.30	0.30
7	157	20	35	40	1.26	0.45
8	157	20	40	30	1.20	0.48
9	240	20	50	30	0.40	0.50

Table 12 GR⁺ - ST⁻ low wear

NO.	Machining condition				Wear ratio (%)	Side clearance (1/2)(m/m)
	T _{on}	T _{off}	I _p (A)	LV (V)		
1	100	20	3	40	0.9	0.024
2	100	20	8	40	0.9	0.04
3	120	20	10	40	0.8	0.045
4	160	15	12	40	0.6	0.06
5	160	15	16	35	0.6	0.09
6	160	15	20	35	0.6	0.12
7	200	20	30	30	0.6	0.16
8	240	20	45	30	0.5	0.22
9	240	20	50	30	0.5	0.26

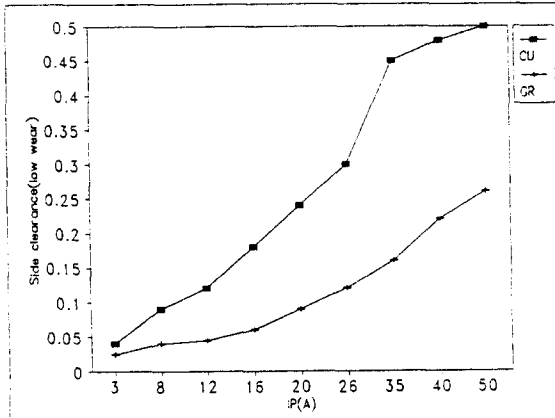


Fig. 5 The relation of using Cu⁺, GR⁻ current I_p and over cut of low wear

3. 결 론

본 연구에서는 SM종류의 재료를 Cu와 graphite의 전극을 사용하여 전류에 변화를 주어 실험하였으며, 이에 따른 over cut의 특성을 분석함으로써 전류에 따른 최적 방전조건에 따른 결

론을 다음과 같이 규명하였다.

- (1). 전류의 파고 값을 높이면 side clearance가 많아진다.
- (2). 전류 I_p가 50(A)이하까지는 side clearance가 0.02mm로 나타나므로 KSB 0401에서 규정하는 20mm일 때 IT 1등급에 해당되는 끼워 맞춤 공차의 용도에 적합하다고 판단된다.
- (3). over cut의 발생을 적게 하려면 전극의 소모는 많게 가공해야 한다고 판단 된다.
- (4). 저 전류에서는 두 전극의 side clearance가 거의 같이 상승되며 동일한 I_p(A)에서의 두 전극을 비교하여 보면 graphite전극 사용의 경우 Cu에 비해 side clearance가 적게 나타남을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. 型技術協會 : 型技術便覽, 日刊工業新聞社, pp955~958, 1992
2. 國技正典 : "放電加工における放電点分布の觀察", JSPE Vol.57, pp9~11, 1991
3. 鹽田泰仁 : 放電加工ワイアカット, 日刊共業新聞社, pp2~14, 1990
4. 김창호 : 방전가공, 機電研究社, pp47, 1992
6. 柳濟九 : 放電加工, 大光書林, pp12~65, 1988
7. 古谷克可 외 2인 : "超小型放電加工機の開發", 日本精密工學誌 Vol.57 No.5, pp66~171, 1991
8. 齊藤長男 : "放電加工法による高速微細加工の技術動向", 機械技術 Vol.6 No.2, pp18~25, 1992
9. 木下夏夫 : "放電加工の研究開發技術動向", JSPE Vol.157 No.6, pp5~7, 1991
10. K. P. Rajukar and W.M. Wang : "A New Model Reference Adaptive Control of EDM", CIRP Vol.38. No.1, pp183~186, 1989
11. T. Masuzawa : "Drilling of Deep Microholes by EDM", CIRP Vol.38 No1, pp195~198, 1989
12. D.Kremer : "Effects of Ultrasonic Vibrations on the Performances in EDM", CIRP Vol.38 No1, pp199~202, 1989
13. 木本保夫 : "銅電極による電極低消耗の放電加工", 精密機械 Vol.33 No.6, pp379~385, 1967