

E.D.M 가공조건에 관한 실험적 연구

신 근 하/아주 대학교
차 흥 식 /성남기능대학

Experimental research for the machining conditions of E. D. M

Sin Keun-Ha/A JOO UNV.

Cha Huang-Sik/SUNG NAM industrial masters' college*

ABSTRACT

This research is a experimental study for the machining conditions of E.D.M. They were used Cu electrode and the various amplitude of current waves for the machining by E.D.M. By the analyse the characteristics of current, voltage, roughness of surface and over cut, the next results were obtained. E.D.M. machining time become to be more longer by the increasing the tensile stress. In case of NAK 55 as the composite resin, the machining time was more faster without the relationship for the tensile stress. And if it was more increased the amplitude of I_p , it has been more faster in the machining time and more poor in the surface roughness. But it was increased I_p with 5A, it has been increased 0.3 time in over cut. So, if we want to be the precision machining, the diameter of the electrode should be more smaller than the diameter of machined hole in workpiece with E.D.M.

I. 서 론

제조 산업은 금형 산업이라고 말할 수 있을 정도로 오늘날의 금형 산업은 그 필요성의 증대와 더불어 설계 단계에서부터 완품 생산에 이르기까지 일련의 기술적인 측면에서도 상당히 빠르게 진척되어 오고 있다. 더구나 생산의 형태가 일반적으

로 다품종 소량 생산 방식의 체제로 바뀌어 가고 있음에 따라 적은 수량의 제품을 만들면서도 이제는 얼마나 더 낮은 가격으로 시장을 지배할 것인가가 중요한 관심사로 되어 가고 있다. 따라서 이렇게 까다로운 생산 공급의 조건을 가장 만족스럽게 해결하여 주는 방법이 곧 금형을 이용한 제조 방식인 것이다. 이러한 금형을 생산하는 입장에서 볼 때 중요하게 고려되어야 할 몇 가지 요소는 소재, 설계, 가공, 그리고 후처리 기술 등으로 크게 볼 수 있으며, 그 중 가공 방법으로 이용되는 가장 중요한 두 가지 기술은 절삭 가공과 방전 가공이다. 방전 가공은 또 크게 형조(型彫)방전과 와이어 컷방전⁽¹⁾으로 대별할 수 있는데 어느쪽 가공이든 모두 핵심은 고품위(고정도)기술 및 고능률 가공 기술의 2가지로 압축된다.

방전 가공은 방전 현상을 人工적으로 설정하고 그 에너지를 이용한 가공 방법으로 절연성이 있는 방전액 중에서 가공 전극과 공작물 사이에 단속적으로 방전시켜, 가공 전극과 같은 단면의 형상을 공작물에 전사(電寫), 가공하는 방법이다.^(2, 3, 4) 즉, 공구로 전극과 공작물과의 사이에 직접 방전을 발생시켜서 방전과 함께 열적 작용(증발, 용융)과 화학적 작용(방전 충격 압력)에 의해 소기의 목적을 달성하는 가공 수단이며, 이 방전 현상을 이용하여 주로 제거 가공하는 가공기를 방전 가공기라 한다. 방전 기술의 개발은 방전 현상을 문자의 각인(刻印)가공에만 사용하였던 1800年代末에서부터 시작하여 최근에는 CNC화되어 자동 위치 검출, 전극 또는 가공물의 회전을 이용한 나사 가공, 전극의 다양화, 3차원 윤곽 가공, 요동(搖動)가공, 스텝

(steep)가공 등을 할 수 있는 정밀 가공기가 제작 사용되고 있다.^(5, 6, 7, 8, 9, 10) 이 가공법은 Cu와 같은 유연한 전극을 사용하여 가공하기 어려운 재료, 즉 경질 합금, 내열강 같은 재질을 절단, 천공(穿孔), 연마 등의 가공에 이용된다. 방전 가공 방식에는 특정 형상의 전극을 사용하여 그 형상을 투영 가공하는 형조 방전 가공 방식과 와이어에 의한 윤곽 방전 가공 방식이 있으며 방전 가공의 특성에 따르는 조건에는 가공 전류 및 방전 전압 등의 전기 입력 조건과 방전 액의 종류와 분사 방법, 전극의 재질, 공작물의 재질 등의 기계적 조건이 있다.^(11, 12) 이에 본 연구는 형조 방전 가공기를 이용하여 생산 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 전극인 Cu⁽¹³⁾를 사용하여 방전 가공시 전기적인 입력 조건을 결정하여 방전 가공에서의 최적 조건을 규명하고 산업 사회에서 그 활용성에 크게 기여하고자 하였다.

II. 본론

A. 이론적 배경 생략

B. 실험 기기(機器) 및 실험 방법

1. 실험 기기

1). 방전 가공 실험 장치

본 실험에서 사용한 방전 가공기는 한국 진영정기에서 제작한 장비로서 사양은 Table 1과 같다.

2). 표면 거칠기 실험 장치

본 실험에서 사용한 표면 거칠기 실험 장치는 일본 MITUTOYO제품으로 사양은 Table 2와 같다.

3). 메모리 스코프(Memory scope)

본 실험에서 사용한 메모리 스코프는 국내 LG전자 제품으로 사양은 Table 3과 같다.

Table 1 Specification of experiment equipment

Description and specification		
Item	Unit	Specification
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	kg	800
Electrode maximum weight	kg	100
Machine size	mm	1820×1520×2800
Machine weight	kg	2000

Table 2 Specification of surface roughness experiment equipment

Equipment	Description and specification		
	Item	Unit	Specification
Surface roughness M/C (SURF TEST-402)	Limit indication	R _{max}	50
	Cut off value	mm	0.25~2.5
	Basic range	mm	0.25~30
	Driving speed	mm/s	0.5~1
	Temperature	℃	5~40
	Mass	kg	1.5
	Detector	No.	178-350

Table 3 Specification of memory scope experiment equipment

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

2. 전극 및 시편

1). 전극 및 시편 가공 실험 기기

본 실험에 사용된 전극 및 시편 가공 기계는 화천 기공사에서 제작한 스윙(swing)380의 선반(lathe)과 ISO 50의 밀링을 사용하였다.

2). 실험용 전극

(1) 재질

본 실험에 사용한 전극 Cu의 재질에 따른 규격은 Table 4와 같으며 이것은 국내 정경(주) 발행한 재료 시험 성적이다.

Table 4 Material test result

Manufactured name	Cu-1/2H
Quality	CA110-JK 950821
Item \ Size	φ10 × 2000
Elect resistance (μΩcm)	99.5
Tensile strength (kgf/mm)	26.8
Chemical composition(in wt%)	99.92

(2) 가공

본 실험에서 사용된 전극은 Cu φ10을 φ8로 선반 가공하였고, 길이는 물림 길이20(mm), 방전 가공 길이 30(mm)로 하였다.

3). 시편

(1) 재질

Table 5 Chemical composition and mechanical properties of the testing materials

Materials	SM35C	Al	STS303	NAK 55	
Chemical composition	C	0.35	-	0.15	0.15
	Si	0.23	0.12	1.0	0.3
	Mn	0.56	-	2.0	1.5
	P	0.02	-	0.2	-
	S	0.06	-	0.2	-
	Cu	-	0.01	-	1.0
	Ni	-	-	9.0	3.0
	Cr	-	-	18	-
Tensile strength (kgf/mm ²)	Mo	-	-	0.6	0.3
	50	4.8	63.29	128	
	Yield strength (kgf/mm ²)	30	1.25	24.61	
	Elongation (%)	20	48.8	55	39.8

시편의 화학 성분과 기계적 성질은 다음의 Table 5와 같으며, NAK 55는 단단하고 절삭되는 대표 범용 열 가소성이나 열 경화성 일반 수지로써 대·중형의 정밀 투명품에 최적으로 사출금형 재료로 사용되고 있으며 특성은 table 6과 같다.

Table 6 NAK55의 특성

Hardness (HrC)	열처리 조건	품 질 특 성						
		피삭성	경면성	줄무늬가공성	용접성	내마모성	인성	내식성
38~42	불요	◎	◎	◎	◎	○	△	○

(△:보통, ○:양호, ◎: 특히 양호)

(2) 가공

본 실험에 사용된 피삭재는 평철을 밀링을 이용하여 □40으로 가공하였다.

3. 실험 방법

본 실험을 위한 조건과 실험 방법은 다음과 같다.

1). 전기 조건 및 방법

전류량 I_p (A)는 5를 정식으로, 10을 중삭으로, 15(A)를 황삭으로 입력하여 가공하였으며, 시편에 가(加)해지는 전압의 정밀도를 위해 자동 전압조정기를 설치하여 안정되고 정확한 전압을 공급하였으며, 메모리 스크프를 방전 가공기에 부착하여 전압에 따른 파고 시간 T_{on} 과 T_{off} 의 입력 조건을 확인하고, 전류의 크기에 대한 정확성을 위해 방전 가공기 자체 내의 내부 저항 등의 노이즈(noise)를 없애고 방전액을 강제 분사시키기 위해 시편 고정 테이블을 제작 사용하여 가공하였으며, 전원은 정극성으로 실험하였으며, 이 조건들에 대한 자세한 것을 table 7에 표시하였다.

Table 7 E.D.M condition in experiments

cutting	T_{on} (μs)	T_{off} (μs)	I_p (A)	SV (V)	steep	cutting depth (mm)
rough cutting	20	20	15	5	1	4
medium cutting	19	19	10	5	1	4
finish cutting	16	16	5	5	1	4

2). 측정 방법

표면 거칠기는 시편의 상면(上面)을 반지름(radius) $5\mu m$ 의 축침식 측정침(stylus)로 측정하였고, 가공 시간은 아크(arc) 시작부터 방전 가공 깊이 4mm 완료 때까지의 시간을 스톱워치(stop watch)로 초까지 측정하였으며, 오버 컷은 최소 눈금 0.001mm인 실린더 게이지와 다이얼 캘리퍼 게이지를 이용하여 측정한 데이터(data)를 table 8과 Fig. 1~6으로 작성하여 비교 분석하였다.

C. 실험 결과 및 고찰

1. 전류의 변화

Fig. 1에서 나타났듯이 I_p 15(A)에서의 전류의 변화는 평균 13.75(A), I_p 10(A)에서는 10.13 (A), I_p 5(A)에서는 6.25(A)로 나타나 I_p 가 10(A)였을 때가 가장 안정된 전류 값으로 나타났으며, 재질별

로는 Al이 가장 변화가 적고 NAK55가 가장 컸으며, 이는 A.V.R을 설치하였다 하더라도 가공할 때의 전류와 입력의 전류 값은 약간의 오차가 발생되어 입력 조건을 정밀하게 통제할 수 없으므로 이를 숙지하고 작업에 임하여야 하며, 그 오차가 가장 적은 I_p 값은 10(A)임을 판단하게 되었다.

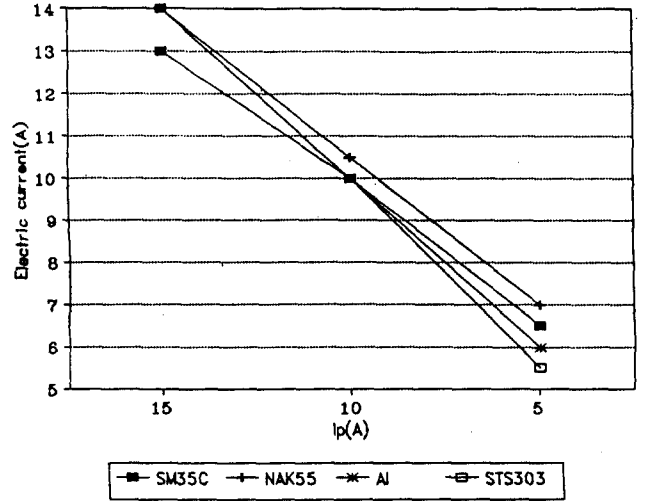


Fig. 1 Electric current

2. 전압의 변화

Fig. 2에서 나타났듯이 전압을 220(V)공급하였는데 가공 중 15(A)에서의 전압은 평균 238.75 (V), I_p 10(A)에서는 230(V), I_p 5(A)에서는 231.25(V)로 나타났으며, 재질별로는 SM35C가 안정되었고, Al의 전압의 변화가 가장 컸으며, 전류 값과는 상이하게 전압이 모두 상승됨을 보여주었으며, 전압 또한 자동 전압 조정기(A.V.R)를 설치

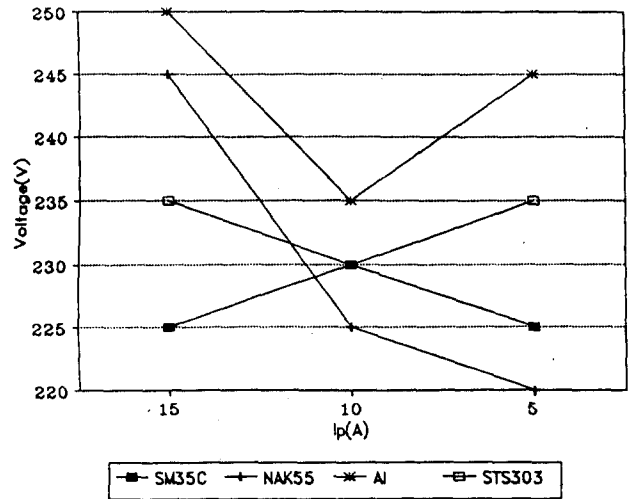


Fig. 2 Voltage

하였다 하더라도 가공할 때의 전압과 입력의 전압이 오차가 발생되어 입력 조건을 정밀하게 통제할 수 없으므로, 이를 숙지하고 작업에 임하여야 하며, 그 오차가 가장 적은 I_p 값은 전류와 마찬가지로 10(A)일 때임을 판단하게 되었다.

3. 가공 시간

방전 가공 시간에 대한 실험 결과를 Fig. 3에 나타내어 이를 고찰하여 보면 Al, NAK55, SM35C, STS303순으로 가공 시간이 소요되었으며, 이는 인장 강도의 순은 Al, SM35C, STS303, NAK55순으로 NAK55를 제외하고는 인장 강도의 크기 순임을 알 수 있어 인장 강도가 클수록 가공 시간이 길어지나, 합성수지인 NAK55가 인장 강도에 관계없이 가공 속도가 빠름을 알 수 있었다. 또한 I_p 별로 가공 시간을 비교하여 보면 15 : 10 : 5 = 1 : 1.4 : 3.0으로 나타났다. 이는 I_p 크기의 역순임을 나타내었다.

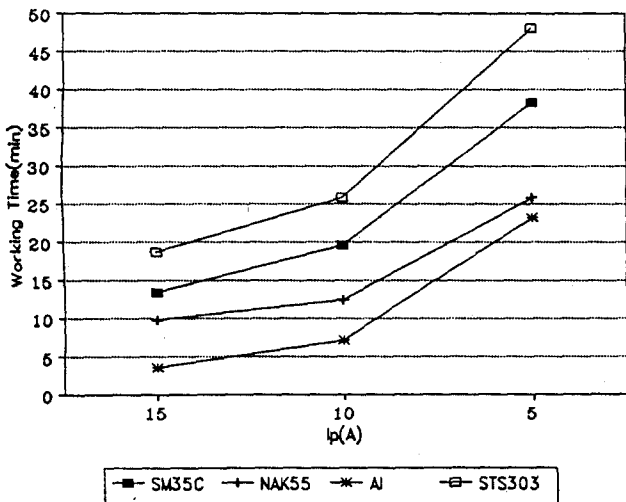


Fig. 3 Working time

4. 피 가공물의 표면 거칠기

표면 거칠기에 대한 Fig. 4의 실험 결과를 고찰하여 보면 I_p 가 클수록 표면 거칠기는 불량해지며, SM35C가 가장 양호하고, Al이 가장 불량하게 나타났다. 표면 거칠기와 I_p 의 크기별로 비로 나타내면 I_p 3 : 2 : 1 = R_{max} 2.1 : 1.4 : 1로 나타나

전류가 2배로 입력, 가공시키면 표면 거칠기는 1.4 배로, 3배로 늘려 입력, 가공시키면 방전 가공 면의 표면 거칠기가 2배 이상 거칠어짐을 알 수 있었다. 이를 KS B 0617의 다듬질 기호 규정과 비교하여 보면 다듬질 기호 $\nabla\nabla$ 일 경우에는 SM35C일 때 I_p 10(A) 이하일 때 가능하고 그 이외에는 다듬질 기호 ∇ 에 해당함을 알 수 있었다.

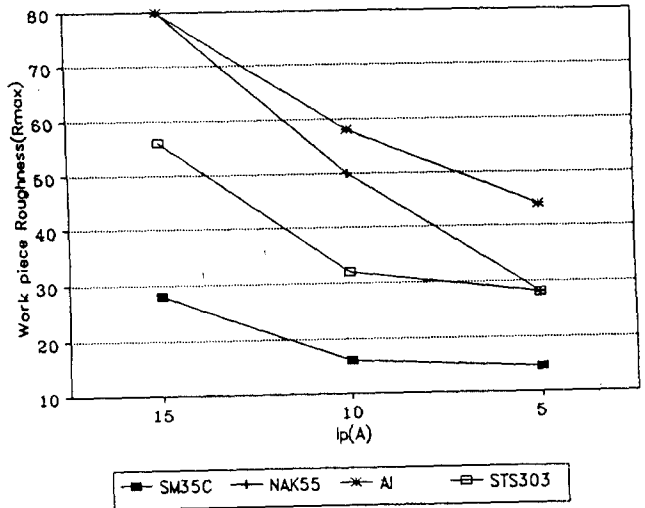


Fig. 4 Working piece roughness

5. 전극의 표면 거칠기

전극의 표면 거칠기에 대한 Fig. 5의 실험 결과를 고찰하여 보면 I_p 가 클수록 전극의 표면 거칠기는 불량해지며, I_p 의 변화에 따른 표면 거칠기의 변화 폭은 Al이 가장 크고 그 다음에 NAK 55순

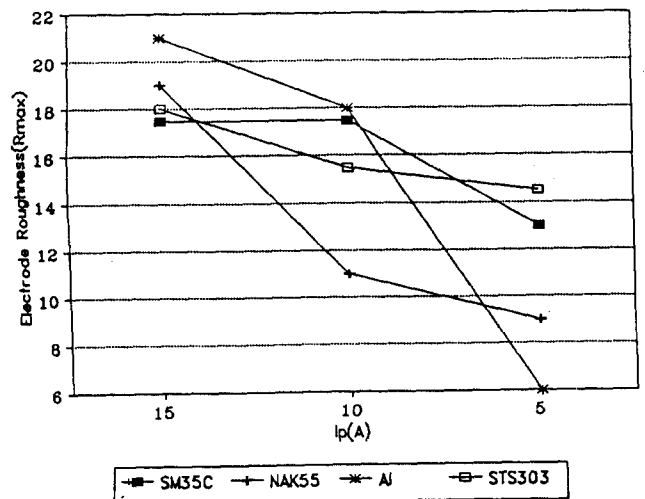


Fig. 5 Electrode roughness

이며 STS 303이나 SM35C의 변화는 약간의 변화만 있을 뿐 거의 같은 거칠기를 나타내었으며, 그 값의 차이는 Al 가공시 최대 15 μ m로 무시할 정도의 값을 나타내는바 이는 Cu 전극 붕을 사용하였을 때 전극 붕의 방전 부분 표면 거칠기가 크게 변화하지 않으나 피 가공물과 전극 붕의 표면 거칠기는 거의 흡사한 변화순임을 알 수 있었다.

6. 피 가공물의 오버 컷

Fig. 6의 실험 결과를 고찰하여 보면 Ip가 증가할수록 오버 컷이 증가하며, 그 비율은 Ip가 5(A) 증가시 0.3배정도 증가함을 알 수 있었으며, 이 오버 컷은 작업자의 추상적 상식을 벗어나는 값을 나타내는바 정밀한 가공을 하기 위해서는 가공하고자 하는 구멍의 치수보다 전극 붕의 직경을 작게 제작하여 방전 가공해야 하며, 이는 전극의 재질, 피 가공물의 재질, 전기적 입력 조건 등 수많은 인자를 변화시켜 실험하여 이를 토대로 전극 붕의 치수를 결정해야 한다고 사료된다.

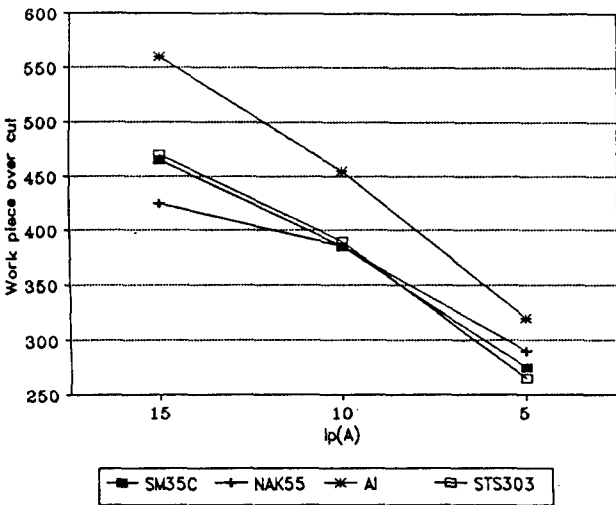


Fig. 6 Working piece over cut

III. 결 론

본 연구에서는 Cu 전극을 사용하여 전류 파고치에 변화를 주어 실험하였으며, 그 결과 전류 및 전압, 가공 속도, 표면 거칠기, 오버 컷의 특성을

분석한 전류 파고치에 따른 최적 방전 조건은 다음과 같다.

1. 전류와 전압의 변화는 Ip가 10(A)였을 때가 입력과 출력이 오차의 변화가 가장 적으며, 가공할 때의 전류와 입력의 전류 값의 변화를 알고 작업에 임하여야 한다고 사료되었다.
2. 방전 가공 시간은 인장 강도가 클수록 가공 시간이 길어지나, 합성수지인 NAK55는 인장 강도에 관계없이 가공 속도가 빠르며, 또한 Ip 크기가 클수록 가공 속도가 빠름을 판단하게 되었다.
3. 표면 거칠기는 Ip가 클수록 피 가공물의 표면 거칠기가 불량해지며, Al이 가장 불량하고 다듬질 기호 $\nabla\nabla$ 일 경우에는 SM35C일 때 Ip 10(A) 이하일 때 가능하고 그 이외에는 다듬질 기호 ∇ 에 해당함을 알 수 있었으며, 전극의 표면 거칠기는 전극 붕의 방전 부분 표면 거칠기가 크게 변화하지 않으나 피 가공물과 전극 붕의 표면 거칠기는 거의 흡사한 변화순임을 알 수 있었다.
4. 오버 컷은 Ip가 5(A) 증가시 0.3배정도 증가하며, 정밀한 가공을 하기 위해서는 가공하고자 하는 구멍의 치수보다 전극 붕의 직경을 작게 제작하여 방전 가공해야 하며, 각각의 조건을 변화시켜 실험하여 이를 토대로 전극 붕의 치수를 결정해야 한다고 사료된다.

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. 國枝正典, "放電加工における放電点分布の觀察", JSPE Vol.57, pp9~11, 1991
3. 齊藤長男, ワイヤカット放電加工技術, 日刊工業新聞社, pp12~128, 1983
4. 鹽田泰仁, 放電加工ワイヤカット, 日刊工業新聞社, pp2~14, 1990
5. 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
6. 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.36, No.2, pp18~25,

1992

7. 木下夏夫, "放電加工の研究開発技術動向", JSPE, Vol.157, No.6, pp5~7, 1991
8. K. P. Rajukar and W.M. Wang, "A New Model Reference Adaptive Control of EDM", CIRP Vol.38, No.1, pp183~186, 1989
9. T. Masuzawa, "Drilling of Deep Microholes by EDM", CIRP Vol.38, No1, pp195~198, 1989
10. D.Kremer, "Effects of Ultrasonic Vibrations on the Performances in EDM", CIRP, Vol.38, No1, pp199~202, 1989
11. 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
12. 木本康雄, 田官勝恒, 田畑英彦, "超硬質合金放電加工の電極消耗放電加工の研究", 日本造船技報, Vol.35, No.1, pp1~7, 1975
13. Thomas I. Drozda, Charles Wick, "Tool and Manufacturing Engineers Hand book (vol-Machining)", Society of Manufacturing Engineers One SME Drive, No.14, pp42~63, 1988
14. 高木六彌, 金型工作法, 機電研究社, pp230~250, 1975
15. 柳濟九, 放電加工, 大光書林, pp12~65, 1988
16. 김창호, 방전가공, 機電研究社, pp47~98, 1992

Table 8 Results of measurement

Work piece	Ip (A)	Electric current (A)	Voltage (V)	Working time (min)	Work piece roughness (Rmax)	Electrode roughness (Rmax)	Work piece Over cut (μm)
SM35C	15	13	225	13'20"	28	17.5	465
	10	10	230	19'33"	16	17.5	385
	5	6.5	225	38'13"	14.5	13	275
NAK55	15	14	245	9'46"	80	19	425
	10	10.5	225	12'26"	50	11	385
	5	7	220	25'46"	28	9	290
Al	15	14	250	3'33"	80	21	560
	10	10	235	7'7"	58	18	455
	5	6	245	23'7"	44	6	320
STS303	15	14	235	18'40"	56	18	470
	10	10	230	25'46"	32	15.5	380
	5	5.5	235	48'	28	14.5	265