

## 재료변화에 따른 Micro-EDM에서의 가공성에 관한 연구

이상국\*, 김태현<sup>+</sup>, 홍민성<sup>++</sup>

(Manuscript received: Apr, 5, 2012 / Revised: May, 30, 2012 / Accepted: Jun, 6, 2012)

### A Study on the Machinability of the Micro-EDM Depending on the Materials

Sangkuk Lee\*, Taehyun Kim<sup>+</sup>, Minsung Hong<sup>++</sup>

#### Abstract

Micro-EDM is widely used in metallic pattern, electronics, nuclear power and industry in the form of precision process. The improvement of Electro Discharge Machining has been on a steady progress since 19<sup>th</sup> century. The technology has overcome the limits of the traditional precision process, enabling micro-EDM, micro electrolytic machining, micro drilling, micro punching and laser beam machining, which create versatile products with smaller sizes. What have been known about the major feature of Micro-EDM is high thermal energy so that their products are free from the hardness of their products as long as they are electrical conductor. However, each metal is suspected to have different features and natures even if they are created through the same procedure. In this thesis, the methodology of Micro-EDM and how to categorize them are explained. Also, the nature of the examined materials with surface shape and surface roughness are analyzed. The results of the experiments are expected to understand surface roughness and workability of other materials for Micro-EDM.

**Key Words :** EDM(방전가공), Surface Roughness(표면 거칠기), Electrode(전극), Laser Scanning Microscope(레이저 현미경)

## 1. 서론

방전가공(Electro Discharge Machining)은 특수가공법으로 전도성을 가진 재료를 인성, 취성, 경도, 강도와 같은 기계적 성질과 무관하게 가공할 수 있는 장점이 있어 많은 연구가 이루어지고 있다. 이런 장점은 미세가공에서 복잡한 형상을 고정밀도로 가공이 가능하므로 널리 이용되고 있다.

오늘날 금형, 전자, 원자력 공업 등에서 정밀 가공의 대명사처럼 된 방전 가공의 금속 가공에 활용은 근세에 들어서면서이다. 방전현상을 인공적으로 설정하여, 그 에너지를 이용하는 가공방법인 방전 가공은 1943년 소련의 라자렌코 부부에 의해

발견되어 초기에는 경질금속의 구멍을 뚫는 등 단순 작업에 많이 발명되어 사용되었으나, 1960년경에 이르러 그 실용화에는 한계가 있었다<sup>(1)</sup>. 그 후 1969년에 스위스에서 수치제어와 물을 이용한 방전가공기가 개발되어 주목을 받게 되었고, 1975년경에는 자동 프로그램 장치의 보급으로 급속한 발달을 하게 되었다. 특히 일본의 경우 1948년에 이 기술의 정밀성을 파악하고 금형가공의 범용기로 발전시킨 결과 지금은 금형공업의 총아로 되어 있지만 우리나라에서는 아직 이러한 방전가공기술이 심도 있게 연구되지 못하고 있다.

계속된 기술의 발전으로 방전가공기술은 기존의 절삭가공방법으로는 불가능한 정밀가공의 한계를 극복하여 마이크로방전

\* 아주대학교 산업대학원 기계공학과

+ 아주대학교 대학원 기계공학과

++ 교신저자, 아주대학교 기계공학과 (mshong@ajou.ac.kr)

주소: 443-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5번지

(Micro Electrodischarge Machining), 마이크로 전해가공(Micro Electrolytic Machining), 마이크로 드릴링(Micro Drilling), 마이크로 펀칭(Micro Punching), 레이저 빔 가공(Laser Beam Machining)등이 개발되었다<sup>(2)</sup>.

최근에는 반도체, 항공우주 산업의 발달로 인해서 크기가 작으면서도 고기능의 정밀가공에 대한 관심이 커지고 있다. 일반범용 공작기계로는 가공에 어려움이 있는 금형제작과 같이 난삭재를 주로 사용하는 분 방전가공은 내열재료, 형상가공, 절단, 난삭성 재료 등에 많이 사용되고 있으며 가공공정 등이 발달하고 이들 공정 간에 대한 수요가 꾸준히 증가함에 따라 각 공정에서 공작물의 고정 및 공정간 연결을 목적으로 하는 정밀 가공을 필요로 하는 경우가 빈번히 발생하고 있다.

미세방전가공은 단발 방전에너지의 극소화, 정밀화된 위치결정, 방전주기의 극소한 작업 등을 수행함으로써 형상치수가 수십 마이크로에서 수백 마이크로에 이르는 3차원 부품을 가공하는 기술로써, 재료의 제한이 적고 비교적 강성이 크고 다양한 형상을 지닌 3차원 구조물을 손쉽게 가공할 수 있다는 장점을 지니고 있다<sup>(3,4)</sup>. 방전가공의 대상은 도전성 재료이지만 최근 절연성 재료도 가공하는 기술이 개발되었다. 가공물 표면에 PVD(Physical Vapor Deposition)으로 TiN(Titanium Nitride)막을 덮고 초기의 도전성을 확보하면 유중방전가공으로 인한 절연물 표면은 항상 도전성의 분해탄소로 덮여 있기 때문에 절연성 세라믹스(Ceramics) 등을 가공 가능하다. 또한 고정도 가공을 하려면 전극이 소모되지 않는 것이 중요하여 방전표면개질법이 개발되었다. 이 방법은 TiN의 미분말을 균해 전극을 사용하면 가공물의 표면에 소모된 전극의 재료가 이행하여 매우 단단한 막이 형성되는 원리를 이용한 방법으로서 금형이나 부품의 마무리공정에 널리 응용되고 있다.

본 연구에서는 Micro-EDM을 이용하여 재료에 따른 방전가공을 수행하고 그 가공성이 어떻게 나왔는지를 검증하였다. 가공에 사용되는 재료들은 모두 다른 특성과 물성치를 가지고 있다. 이러한 재료들을 가공함에 있어 모두 동일한 가공성을 나타낼 수는 없다. 따라서 실제 가공에 많이 쓰이는 구리(Copper), 스테인레스 스틸(Stainless Steel), 알루미늄(Aluminium), 황동(Brass)을 실험 시편으로 선정하여 모든 가공조건이 동일할 경우 재료에 따라 가공성의 변화가 있는지를 평가하였다. 또한 동일한 재료에서 이송속도값을 달리하여 실험을 함으로써 가공조건 변화에 따른 가공성 변화를 평가하였다. 이러한 결과를 통해 재료에 따른 방전가공의 가공성에 대해 보다 효율적인 가공법을 밝히고자 한다.

## 2. 방전가공

방전가공은 금속을 양극(+)으로 가공전극을 음극(-)으로 하여 절연성의 액에 넣고 전극에 전류를 가하여 펄스성 방전을

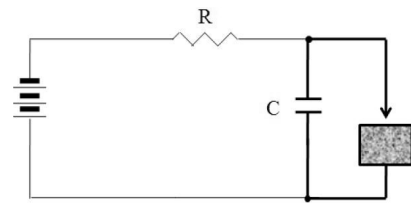


Fig. 1 RC circuit

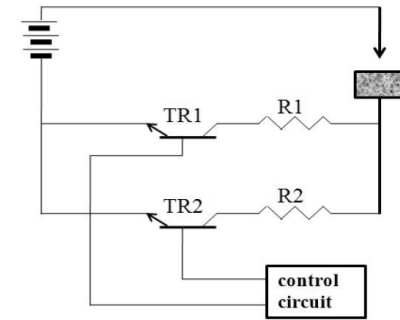


Fig. 2 Transistor circuit

반복시키면 전자충격에 의해 가공을 표면이 고온으로 되어 침식 이온화 되는 현상을 이용한 것으로 방전회로를 이용한다. 방전회로는 저항(Register)과 콘덴서(Condenser)로 구성된 RC 회로와 인덕터(Inductor)를 포함한 RLC회로, 그리고 트랜지스터(Transistor)를 이용한 회로 등이 이용된다. Fig. 1은 주로 사용되는 RC 방전 회로와 트랜지스터 방전 회로이다. RC 방전 회로의 경우 방전 전극의 상태에 따라서 충전방전을 반복하는 종속 전원형 방식으로 방전 전류의 단락을 임의로 조절하지 못하여 열연회복이 어렵고 충격계수도 낮지만 트랜지스터 방전회로에서는 구현하기 힘든 0.1 $\mu$ s 이내의 짧은 펄스폭과 입력 전원 전압에 대해 상대적으로 높은 피크치를 얻을 수 있어 저소모 전극사상가공, 소면적 사상가공, 소형방전가공 등이 사용된다. 최근에는 미세 방전 회로에 주로 이용된다. Fig. 2와 같은 트랜지스터 방전회로는 스위치용의 트랜지스터와 전류의 제한을 위한 저항을 통과시켜 극간에 이어진 회로이다. 트랜지스터가 ON, OFF를 반복함으로써 장방향의 파전압이 극간에 가해져 방전이 발생하여 장방향전류가 흐른다. 스위치회로가 있기 때문에 강제적으로 전류를 차단할 수 있으므로, 가공물에 들어가는 방전전류를 제어할 수 있다. 특히, 펄스폭과 휴지시간을 조절하여 충격계수(Duty Factor)를 높여 가공속도를 향상시킬 수 있다.

### 2.1 방전가공의 원리

방전가공은 공구전극(Electrode)과 피가공물(Workpiece)을 절연액(Dielectric) 속에서 전원장치(Power Supply)에서 가해지는 전압에 의해서 가공하는 방법이다. 실제로는 일정한 전압 하에서 전극과 피가공물의 간극을 점차적으로 좁혀 가면 특정 간극에서 전기 절연이 파괴되면서 높은 전류 밀도의 스파크 방전

이 발생한다. 전극과 피가공물이 수 마이크로미터의 미세한 거리로 접근하면 전자와 양이온이 양극(Anode)과 음극(Cathode)에 도달한다. 이때 운동에너지가 열에너지의 형태로 변하여 약 8,000~12,000℃의 온도와 최대 10<sup>17</sup>W/m<sup>2</sup>의 열 플럭스(Heat Flux)를 유지하게 된다. 일반적으로 0.1에서 2,000μs의 아주 짧은 방전기간에 전극의 온도는 국부적으로 비등점 이상으로 오르게 된다. 이때 피가공물의 미소영역이 용융된다. 이 열에 의해 주변의 절연액은 기화상태가 되어 팽창이 일어나 플라즈마 채널(Plasma Channel)에서의 압력이 대기압의 200배 정도의 높은 압력을 가하게 된다. 그 후 아크발생, 열 발생, 기화폭발, 용융부분의 비산, 절연회복의 과정을 빠른 속도(1~수kHz)로 반복하면 가공물에 방전 흔적이 누적되어 가공물이 XY 평면에 대해 전극 형상과 대칭 형상으로 가공된다. 연속적으로 방전 가공을 하기 위해서는 극간 거리가 방전을 발생시킬 수 있는 거리를 일정하게 유지하여야 하므로 가공이 진행되어 극간 거리가 멀어지게 되면 서보(Servo) 기구는 공구 전극을 가공물 쪽으로 이동시켜 항상 일정한 간격을 유지할 수 있도록 한다.

## 2.2 방전 가공 인자

EDM에 영향을 미치는 인자는 전기적 인자와 비전기적 인자가 있다. 전기적 인자는 피크 전류, 펄스 인자, 축전 용량 및 방전전압 등이 있으며, 비전기적 인자는 가공액 및 서보 기구 등이 있다.

### 2.2.1 피크 전류 및 펄스 인자

전술한 바와 같이 방전 성능과 가장 밀접하게 관련이 있는 것은 피크 전류치, 펄스 온타임, 휴지시간 등의 펄스인자이다. 한편, 펄스 인자는 아크 방전으로 이행하지 않는 방전이 되게 하는 목적으로 되는 동시에 방전이 연이어 같은 점에서 일어나지 않도록 분산시키고자 고려된 것이다. 이들의 영향은 다음과 같다.

- ① 피크 전류치 : 전극과 가공물간에 흐르는 피크전류의 크기로 방전 에너지와 밀접하게 관련된 파라미터로서 전극 소모율, 가공속도, 가공면 거칠기, 오버컷등에 가장 큰 영향을 미치는 EDM 인자 중의 하나이다.
- ② 펄스온타임 : 두 전극간에 전압이 인가되는 시간으로 전극 소모율, 가공속도 등과 밀접한 관계에 있는 EDM 인자로 특히 전극 소모율과 밀접한 관계가 있다.
- ③ 휴지시간 : 두 전극간에 전압이 인가되지 않은 시간이다. 이 기간 동안 절연이 회복되어 연속적으로 EDM이 가능하다. 가공 안정성과 밀접한 관계가 있는 가공 인자이다.

### 2.2.2 축전 용량

EDM에 있어서 가공 현상은 단발 방전의 누적 효과이다. 이와 같은 단발 가공은 단발 방전에너지에 의존적이다. 방전회로

에서 방전에너지는 방전전압이 높지 않을 경우 식 (1)과 같이 간단하게 표현될 수 있다.

$$P_{single} = (C + C') \frac{e_g^2}{2} \quad (1)$$

여기서  $e_g$ 는 방전전압, C는 회로의 콘덴서 용량, C'는 전극과 수조(또는 가공액) 사이에 생성되는 모든 콘덴서 용량의 합이다. 즉, C'=C1+C2+C3이다. 마이크로 수준의 EDM을 행하기 위해서는 에너지를 낮추어야 하는데, 이를 이루기 위해서는 방전전압을 낮추거나 전체 콘덴서 용량을 감소시켜야 한다.

### 2.2.3 방전 전압과 전극

방전전압은 전원으로부터 콘덴서에 인가된 전압을 말한다. 따라서 방전전압은 식 (1)에서와 같이 방전에너지에 밀접하게 관여하고 있으며 EDM의 중요한 파라미터(Parameter)의 하나이다.

전극의 재료에 있어서는 방전가공 특성, 가격, 피삭성 등에서 어느 정도 한정된다. 현재 사용되고 있는 전극 재료는 동, 그래파이트(Graphite), 은텅스텐, 동텅스텐이 대표적이지만 강, 황동 등이 사용되는 경우도 있다.

전극재와 피가공물재의 각종 조합에 대한 전극 극성의 선정과 전극 저소모 정도는 대단히 중요하다. 전극 저소모는 전극소모비 1% 이하의 조건을 의미하며, 전극 저소모 가공이 가능한 재료는 전극재에 동, 그래파이트, 동텅스텐, 은텅스텐이 있고 강, 알루미늄, 아연 황동 등의 피가공물을 가공 할 수 있다. 일반적으로 EDM에서의 전극은 직진성과 진동의 진폭을 최소화할 수 있는 황동 또는 동 텅스텐을 많이 사용한다.

### 2.2.4 가공액과 전극이송기구

EDM에 있어서 가공액의 역할은 EDM에 의해 생긴 용융금속을 비산시키고, 비산된 가공액을 극사이의 밖으로 내보내며, EDM에서 가열되는 부분을 냉각시키면서 극간의 절연을 회복시키는 등 중요한 역할을 한다. 현재 사용되고 있는 가공액은 EDM 전용으로 개발된 파라핀계 탄화수소를 주성분으로 한 광물유가 주체로서, 석유메이커에서 하고 있다. 가공액은 적절한 점도, 높은 인화점, 산화안정성, 좋은 방전효율 등을 만족시키는 것이어야 한다.

최근 들어 화재발생이나 환경오염을 이유로 하여 EDM의 가공액에 대해 물을 많이 사용하고 있다. 그리고, 가공의 특성상 홀 가공용 EDM에서는 가공액의 배출압력은 매우 중요한 파라미터로 작용한다.

EDM에서는 공작물과 전극과의 거리를 일정하게 유지하는 것이 매우 중요하다. 전극이송기구는 언제나 방전전극이 넓으

면 좁게, 또 좁으면 넓게, 전극과 공작물간극을 적절히 유지하는 것이다. 서어보(Servo) 기구의 제어방식은 일반적으로 방전간극의 평균전압의 차에 의하여 전극위치를 제어하는 방식이 취해지고 있다. 이것은 간극의 평균전압이 기준전압보다 높으면, 서어보기구가 간극을 좁히는 방향의 전기적인 지령을 받아 하강하고, 반대로 기준전압이 높아지면 서어보기구가 간극을 넓히는 전기적인 지령을 받아서 상승한다. 따라서 만일 간극이 열린 상태에 있을 때는 전극이 하강하여 설정된 기준전압과 같아질 때까지 서어보 기구에 의해 이송된다. 그 어떤 원인으로 전극이 공작물과 접촉하여 전기적으로 쇼트(Short) 되었을 경우, 방전간극전압은 제로가 되어 간극전압이 기준전압과 같아질 때까지 서어보 기구에 의해 상승한다. 그리고 기준전압을 내리면 방전시의 평균 방전간극이 좁아지고, 기준전압을 올리면 넓어져서 가공이 이루어진다<sup>5)</sup>.

**2.3 전극 제작**

미세방전가공을 이용하여 요구되는 형상을 제작하기 위해서는 공구에 해당하는 전극의 제작이 선행되어야 한다. 또한 전극의 제작을 위한 방법으로 와이어방전 연삭법(WEDG : Wire Electrode Discharge Grinding)을 이용한다. 전극제작방법은 회선에 의해 얻는 가는 선을 가열 확장 등을 함으로서 똑바르게 되도록 교정하여 방전 가공기에 설치하는 방법과 절삭, 연삭 등을 이용하여 작성한 전극을 방전 가공기에 설치하는 방법 두 가지가 있다. 그러나 두 방법 모두 가공기에 설치하였을 때, 수직내기, 중심내기를 하기가 어려워 정밀도, 재현성, 기능 의존성 등에 문제가 많았다. 두 번째 방법의 경우는 제작할 수 있는 전극의 직경이 실용상 50 $\mu$ m정도가 한계였다. 이러한 단점을 보완하기 위한 방법으로 화학적 방법을 이용한 에칭 방법, 와이어를 이용하여 가공하는 WEDG(Wire electrode discharge grinding) 방법, LIGA(Lithographic, Galvanoformung, Abformung) 프로세스에 의한 방법 등으로 크게 나누어 볼 수 있다.

LIGA 프로세스에 의한 전극 제작은 동일한 형상의 전극을 한 번에 여러 개 만들 수 있고 3차원 형상의 전극도 제약받지 않는

장점이 있지만 가공시간이 길다는 단점이 있다. 화학적 방법에 의한 전극 제작은 단지 원형 공구 형상에 국한되며 다른 형상의 공구를 만들 수 없다. 또한 원형 형상의 전극도 실이 방향으로 정확한 치수를 유지하기 힘들다. 이와 달리 WEDG방법은 다양한 전극 형상을 만들 수 있으며 전극 가공시간도 줄일 수 있다. Fig. 3는 WEDG 방법의 원리를 보여주고 있다.

**2.4 전극 소모비**

전극소모는 피크 전류와 펄스비 이외에도 가공재료의 재질, 전극의 재질, 가공시간, 온도, 가공액의 수압 등 여러 가지 요인에 의해 결정된다.

- 중량 소모비

$$\text{중량소모비} = \frac{\text{전극소모량}}{\text{공작물의제거량}} \times 100\% \quad (2)$$

- 전극 체적 소모비

$$\text{체적소모비} = \frac{\text{전극의 소모 체적}}{\text{공작물의가공 체적}} \times 100\% \quad (3)$$

$$= \frac{\text{전극의 소모량}}{\text{공작물의가공 중량}} \times \frac{\text{공작물의비중}}{\text{전극의비중}} \times 100\% \quad (4)$$

- 형상 소모비

$$\text{단면 소모비} = \frac{c}{t} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{측면 소모비} = \frac{b}{t} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{각부 소모비} = \frac{a}{t} \times 100 \quad (7)$$

**3. 실험장치 및 방법**

**3.1 실험재료**

본 연구에 사용된 시편의 사양은 Table 1과 같다.

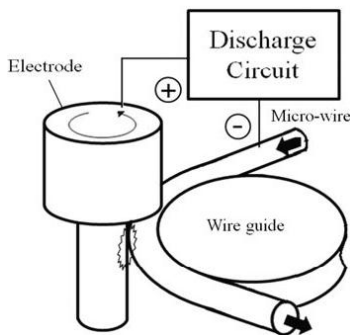


Fig. 3 Schematic diagram of WEDG

Table 1 Properties of Materials

	Al	Brass	SUS	Cu
Specific Gravity	2.7	8.4	7.9	8.93
Hardness (HB)	25	80	135~185	46
Melting Point (°C)	657	880	1400	1083
Thermal Conductivity (Cal/cm.sec)	0.5	0.2	0.038	0.918
Specific Heat (Cal/gr°C)	0.219	0.092	0.118	0.0936
Specific Resistance ( $\times 10^{-6}(\Omega/\text{cm}^2)$ )	2.94	7	70	1.78



Fig. 4 EDM machine

### 3.2 방전가공기

실험에 사용된 장비는 Fig. 4에 나타내었고, (주)Hybrid Precision에서 제작한 Hyper-15이다. 이 모델은 마이크로 EDM 방전가공기로서 채널가공을 위해서 다음과 같은 가공특성을 가진다. X-Y축의 운동과 Z축은 PC-NC에 의해 구동된다. 가공 중에 전극과 공작물 사이에 연속적으로 스파크를 발생시키기 위한 Z축의 운동은 아래 식에 따른다.

$$Fz = k \cdot \text{sign}[V_{gap} - V_{th}] \quad (8)$$

여기서, Fz는 Z축의 이송속도,  $V_{gap}$ 은 전극과 공작물 사이의 전압,  $V_{th}$ 는 gap 제어를 위한 스톱스레드(Threshold) 값을 의미한다. k는 EDM gap 속도제어를 위한 제어 파라미터를 의미한다. EDM 이송속도(Feedrate), 저항(Resistance), 충전용량(Capacitance), gap 제어 파라미터 k 등은 가공조건에 따라 적절히 변화시킨다.

### 3.3 레이저 현미경(Confocal Laser Scanning Microscope)

레이저현미경은 일반적인 광학현미경이 다파장 광원인 할로겐 혹은 텅스텐 전구를 사용하여 초점위치에 상관없이 렌즈 시야의 모든 부분을 결상 시키는 것과는 달리 단파장인 He-Ne 혹은 Ar 레이저를 이용하여 X, Y축은 물론 깊이 방향의 Z방향을 동시에 스캔하여 초점이 맺히는 부분만을 합성, 하나의 3차원적인 이미지를 실시간으로 구성하는 기구이다. Fig. 5와 같이 실험에 사용한 레이저 현미경은 올림푸스의 OLS3000-300mm autostage로 최대 100(H)×100(W)×100(D)mm, 10kg까지의 대형 시료도 측정가능하다.

### 3.4 실험방법

실험에 사용된 텅스텐 전극은 직경 300~360 $\mu$ m이며, 시편은



Fig. 5 OLS3000-300mm autostage

Table 2 Processing conditions

Dia. of Electrode	300~360 $\mu$ m
Input Voltage	150V
Depth of Cut	200 $\mu$ m
Channel Length	3000 $\mu$ m
Spindle Speed	250RPM
Feedrates	100, 300, 500mm/min

10×15×15크기의 구리, 스테인레스, 알루미늄, 황동이다. 실험은 입력 전압을 150V로 사용하였고 가공깊이 200 $\mu$ m, 채널길이 3000 $\mu$ m 스피들 스피드 250RPM 이송속도를 100, 300, 500mm/min으로 세 가지 경우를 사용하였다.

## 4. 실험 결과

입력전압, 이송속도, 회전 속도를 같게 설정 했을 경우 전극의 마모량과 가공시간, 가공면의 표면거칠기(Sa)에 대한 결과 값을 측정하였다. 각각의 재료를 이송속도를 달리하여 측정하고 각 재료에 따른 변화를 나타내었다.

### 4.1 알루미늄(Aluminum)

방전가공된 알루미늄 시편의 가공면의 표면거칠기를 이송속도에 따라 Fig. 6에 나타내었고, Fig. 7에는 가공시간, Fig. 8에는 레이저 현미경으로 측정된 화면을 나타내었다.

### 4.2 황동(Brass)

방전가공 된 황동 시편의 가공면의 표면거칠기를 이송속도에 따라 Fig. 9에 나타내었고, Fig. 10에는 가공시간, Fig. 11에는 레이저현미경으로 측정된 화면을 나타내었다.

### 4.3 스테인레스강(SUS)

스테인레스 시편의 가공면의 표면거칠기를 이송속도에 따라 Fig. 12에 나타내었고, Fig. 13에는 가공시간, Fig. 14에는 레이저현미경으로 측정된 화면을 나타내었다.

#### 4.4 구리(Cu)

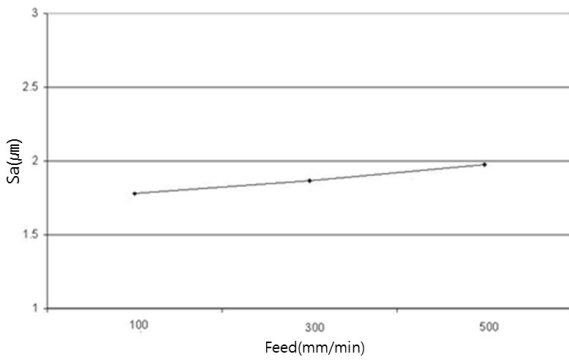
방전가공 된 구리 시편의 가공면의 거칠기를 이송속도에 따라 Fig. 15에 나타내었고 Fig. 16에는 가공시간을 나타내었으며 Fig. 17에는 레이저현미경으로 측정된 화면을 나타내었다.

#### 4.5 실험결과 분석

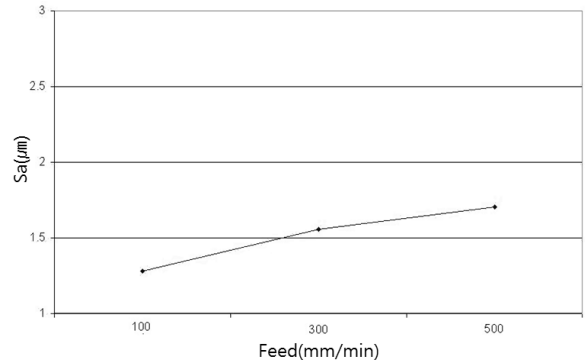
Table 3에서와 같이 전극의 소모량은 재료의 경도에 비례하

**Table 3 Results depending on Materials and Feedrates**

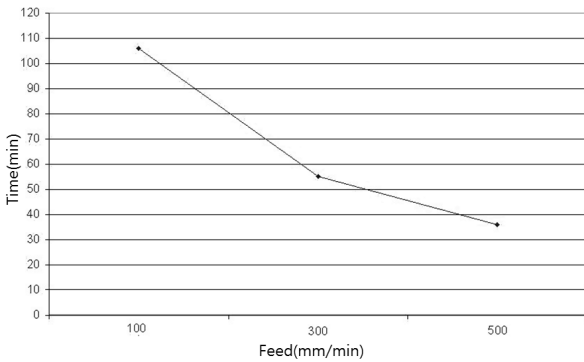
		Al	Brass	SUS	Cu
Machining Time (min)	f100	106	24	96	20
	f300	55	11	59	11
	f500	36	8	40	8
Surface Roughness Sa( $\mu\text{m}$ )	f100	1.777	1.279	1.778	1.545
	f300	1.664	1.556	1.912	1.667
	f500	1.973	1.405	2.936	1.735



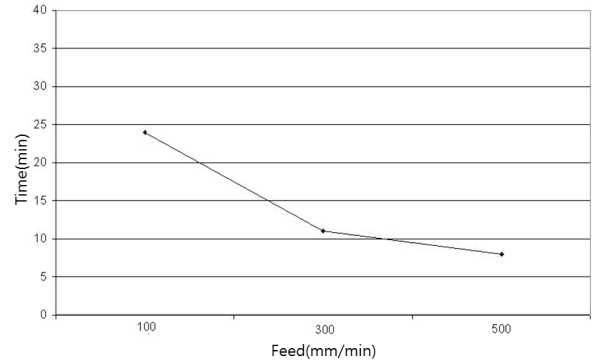
**Fig. 6 Chart of Aluminium surface roughness**



**Fig. 9 Chart of Brass surface roughness**



**Fig. 7 Chart of Aluminium machining time**



**Fig. 10 Chart of Brass machining time**

Input Voltage = 150V, Spindle = 250rpm		
Feedrate = 100mm/min	Feedrate = 300mm/min	Feedrate = 500mm/min
Time = 106min	Time = 55min	Time = 36min
Sa = 1.777 $\mu\text{m}$	Sa = 1.864 $\mu\text{m}$	Sa = 1.973 $\mu\text{m}$

**Fig. 8 Microscopy image of Aluminium surface**

Input Voltage = 150V, Spindle = 250rpm		
Feedrate = 100mm/min	Feedrate = 300mm/min	Feedrate = 500mm/min
Time = 24min	Time = 11min	Time = 8min
Sa = 1.279 $\mu\text{m}$	Sa = 1.556 $\mu\text{m}$	Sa = 1.705 $\mu\text{m}$

**Fig. 11 Microscopy image of Brass surface**

여 차이를 보였고 가공시간과 가공면의 거칠기는 재료의 비열 또는 비전기저항이 높을수록 높게 측정되었다. SUS의 경우 가공면의 거칠기 값이 급격히 증가되는 것을 볼 수 있는데 재료에 따른 물성치에서 비전기저항의 값이 다른 재료들에 비해 월등히 높은 것을 알 수 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 마이크로 EDM을 이용하여 재료에 따른 마이크로 채널 가공시 발생하는 가공표면의 거칠기를 레이저 현미경을 통해 측정하였다. 또한 가공에 걸리는 시간을 비교하여 재료에 특성에 따라 가공성의 차이를 밝혀내었다.

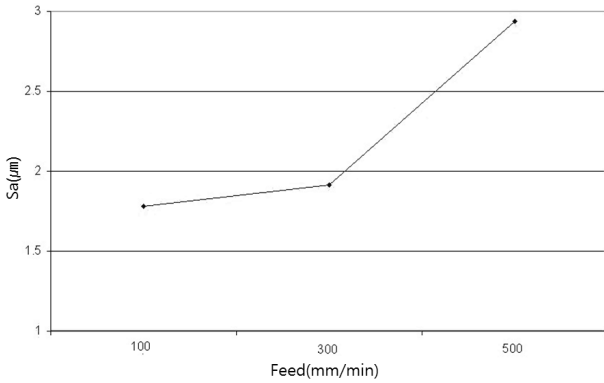


Fig. 12 hart of SUS surface roughness

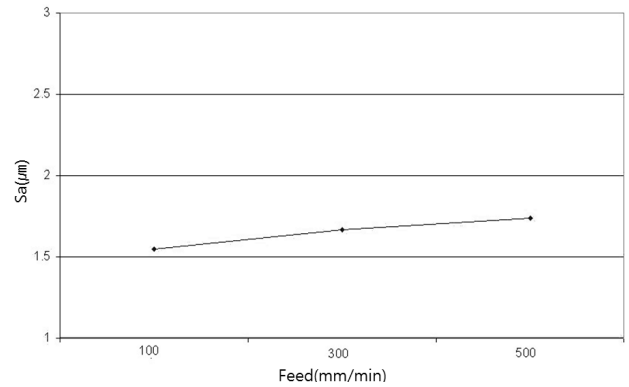


Fig. 15 Chart of SUS surface roughness

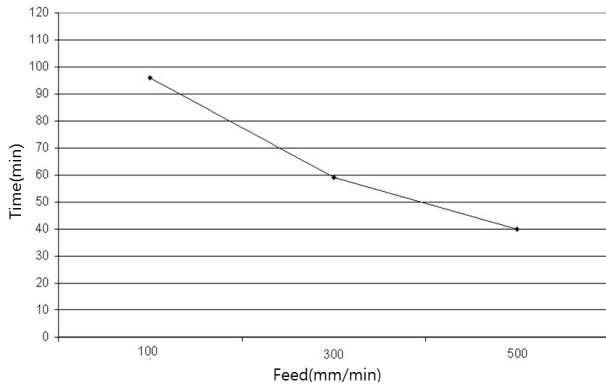


Fig. 13 Chart of SUS machining time

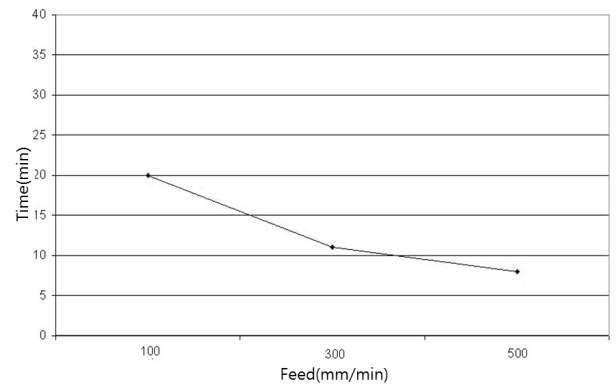


Fig. 16 Chart of SUS machining time

Input Voltage = 150V, Spindle = 250rpm		
Feedrate = 100mm/min	Feedrate = 300mm/min	Feedrate = 500mm/min
Time = 106min	Time = 59min	Time = 40min
Sa = 1.778μm	Sa = 1.912μm	Sa = 2.936μm

Fig. 14 Microscopy image of SUS surface

Input Voltage = 150V, Spindle = 250rpm		
Feedrate = 100mm/min	Feedrate = 300mm/min	Feedrate = 500mm/min
Time = 20min	Time = 11min	Time = 8min
Sa = 1.545μm	Sa = 1.667μm	Sa = 1.735μm

Fig. 17 Microscopy image of Copper surface

- (1) 마이크로 방전가공시 재료에 따른 전극의 소모는 가공시간과는 상관없이 가공량과 재료의 경도에 비례하여 차이를 보였다.
- (2) 알루미늄, 황동, 스테인레스강, 구리 모두 재료의 성질에 따라 값은 다르지만 이송속도가 높아질수록 가공면의 평균 표면거칠기는 점점 커지는 경향을 보였다.
- (3) 이송속도가 높아질수록 가공에 필요한 시간은 줄어들지만 가공면의 평균 표면거칠기는 커진다.
- (4) 가공시간은 비열과 비전기저항의 영향을 받으며 비전기저항이 높을수록 가공면의 표면거칠기 상승폭이 늘어나는 것을 알 수 있다.

### 후 기

이 논문은 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

### References

- (1) Kim, J. N., 2011, *Design/fabrication of an Alignment Mechanism for an Extreme Aspect Ratio Micro-hole for Application to a Proton Beam Shaping and Computer Simulation*, Master Thesis, Seoul National University, Republic of Korea.
- (2) Park, J. M., 2004, *A Study on the Precision Micro-Hole Drilling using Micro-EDM*, Master Thesis, Korea Polytechnic University, Republic of Korea.
- (3) Sung, J. H., 2004, *A Study on Improvement of Processing Efficiency EDM through the Control of Processing Variation*, Master Thesis, Konkuk University, Republic of Korea.
- (4) Hong, M. S., Kim, J. M., and Sharavsambuu, B., 2010, "A Study on the Micro Channel Machining using Micro-EDM," *KSMTE Spring Conference*, pp. 466-469.
- (5) Lee D. H., 2004, *A study on Micro burr formation by EDM*, Master Thesis, Sejong University, Republic of Korea.