

미세구멍 가공용 방전 가공기의 개발 및 시험

The development and test of the electro-discharge machine for micro-drilling

백형창* 김병희** 장인배**
Back, Hyeong-Chang Kim, Byeong-Hee Chang, In-Bae

Abstract

This is the pre-study to pile up the basic technique for the electro-discharge machining in the field of micro-drilling. The machined chips are flowed out from the machining area by the flow arisen from the high speed rotation of the electrode. The cylindrical shape electrode, whose diameter is 0.5mm, is clamped by the three point clamping type clammer and the clammer is attached at the front shaft of the high speed rotating DC motor. The current for machining is controlled by pulse width modulation technique and the machining conditions such as frequency and duty ratio are changed to find out the effect of the variables for machined results.

키워드: 방전가공, 미세구멍가공, 방전가공기, 방전회로

Keywords: EDM, micro-drilling, EDM machine, EDM circuit

1. 서론

최근 마이크로 머신의 기술에 대한 연구 개발이 세계적인 규모로 성장하는 경향에 따라 마이크로 가공기술에 대한 요구가 증가하고 있다[1]. 마이크로 머신은 크기가 1mm 이하의 미소기계로 정의하고 있다. 이를 실현하기 위해서는 종래의 기계 구조재료 뿐만 아니라 Si 등 반도체 재료를 포함한 넓은 범위에 대한 서브 마이크론 정밀도의 형상가공 기술이 필요하다[2].

미세 방전가공은 도전성을 가진 광범위한 재료의 가공이 가능하며 서브 마이크론의 표면거칠기와 우수한 형상 정밀도를 얻을 수가 있다. 이 때문에 미세 형상가공이 요구되는 마이크로머신의 미세 가공기술로 크게 기대되고 있다.

최근 미세 방전가공 기술의 지속적인 발전에 따라 산업현장에서의 사용이 널리 확대되고 있다. 잉크젯

프린터의 노즐을 구성하는 미세 형상의 가공을 위하여 현장에 사용되기 시작한 미세 방전가공기술은 미세 섬유 생산을 위한 사출용 노즐제조, 광 통신의 연결 터미널을 위한 미소 비구면 렌즈 금형 등의 가공에 널리 응용되기 시작하였으며 그 활용도는 꾸준히 늘어날 것으로 예측된다[3].

특히 방전에 의한 미세 구멍가공의 경우 기존의 레이저가공이나 전자빔가공에서는 얻을 수 없는 고 앰펙트 비(high aspect ratio)를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 기계적인 마이크로 드릴링에 비하여 상대적으로 높은 진직도와 진원도를 갖는 미세구멍을 가공할 수 있어 부가가치가 높은 정밀부품의 생산에 유용한 가공법이라 하겠다. 주된 단점으로는 가공시간이 상대적으로 긴 문제가 있어 최근의 연구자들은 가공액의 최적화, 전극 재료와 형상의 변경, 가공조건의 변화 등을 통해 고속 방전의 길을 모색하고 있다[4].

본 연구는 방전에 의한 미세 구멍가공기 개발 초기 단계의 선행연구로서, 미세 구멍가공 시 공통적으로 사용되는 고속 전극 회전 방식을 채용한 방전가공 공법의 개발을 목표로 하였다. 미세 방전가공에서

* 홍천 직업훈련원 교사

** 강원대학교 기계.메카트로닉스공학부 조교수

는 가공 칩의 배출이 가장 중요한 과제로 대두되고 있다. 효율적인 칩 배출을 위해서 수행된 다양한 시도 중 전극의 회전방식이 가장 효과적이다. 이는 제거된 입자의 비중이 방전액의 비중보다 높으므로 전극의 회전에 따른 점성 유동 시 더 큰 원심력을 받아 가공영역 밖으로 밀려 나간다. 따라서 본 연구에서는 칩의 원활한 배출을 위해 고속으로 회전하는 주축의 끝단에 전극을 설치하였으며, 전극의 수직방향 이송기구와 주파수 및 충격계수(duty ratio) 가변식 방전 발생회로 등을 개발하였다. 특히, $\phi 0.5\text{mm}$ 이하의 미세 직경 전극을 주축에 고정하기 위한 3점식 클램퍼를 구현하여 편심을 최소화하였다. 공작물의 고정엔 칩에 자력이 약한 자석을 내부에 설치하여 장착 및 탈착이 용이하도록 설계·제작하였으며, 다양한 가공조건 하에서 실제적인 미세 구멍가공을 위한 방전가공의 수행을 통하여 본 연구에서 개발된 방전 시스템의 유용성과 발전 가능성을 검증하였다.

2. 마이크로 방전

방전가공의 기본원리는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 절연액 중에 전극과 공작물간에 전압을 인가한 후 두 전극을 접근시켜 방전의 발생을 통해 공작물을 용융 제거하는 방식이다. 공작물이 용융되어 전극과 공작물 사이의 간극(gap)이 벌어지면 서보 모터를 이용하여 전극을 전진시킨다. 이러한 작업방법을 통해 공작물을 가공해 나가며 최종적으로 전극의 형상이 공작물에 전사된다.

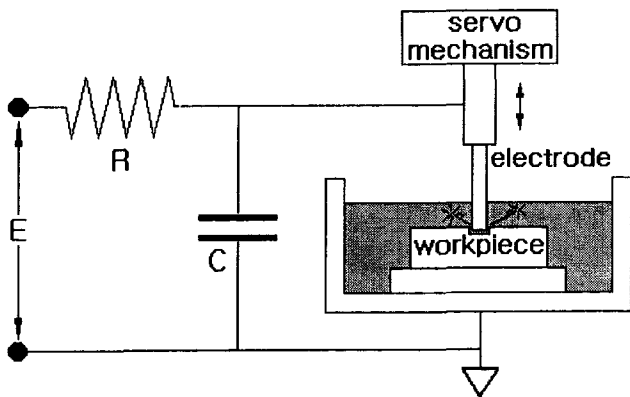


Fig. 1 Schematics of micro EDM

미세 방전가공도 동일한 방법을 기초로 하고 있지만 방전회로를 변경할 필요가 있다. 일반적인 방전가공에 비하여 1/100정도로 방전에너지(약 $10^{-6} \sim 10^{-7}\text{J}$)를 줄여야 하며 서보 마이크론의 표면거칠기와 마이크론 수준의 가공정밀도를 실현할 수 있어야 한다.

2.1 미세 방전가공을 위한 제반조건

금속의 방전가공에서는 1mm정도 이하의 구멍이나 홈을 가공할 때에는 보통 치수의 가공에 비해서 몇 가지 다른 점이 있다. 첫째는 가공 치수에 대응해서 전극직경이 매우 작다. 둘째로 방전흔의 크기가 가공 치수에 비해 충분히 작은 것이 필요하기 때문에, 매우 작은 펄스 방전이어서 하는 것이다. 그리고 이것들로부터 파생하여 여러 가지 조건이 요구된다. 아래에 이들의 조건에 대해서 전극, 전원, 이송 기구의 3개로 나누어서 설명한다.

2.1.1 전극의 조건

전극에 대해서는 우선 어떠한 재질이 사용되느냐가 문제로 되는데, $\phi 1\text{mm}$ 정도의 은, 텅스텐 등이 전극 소모가 적어 잘 사용된다. 그러나 그 이하의 치수에서는 전극소모의 점에서 유리한 펄스 조건이 설정되기 때문에 구리, 텅스텐, 강 등 가는 선을 얻기 쉬운 재료를 사용할 수도 있게 된다. 본 논문에서는 구리 전극을 이용하여 미세 방전을 수행하였다. 전극의 단면 치수는 가공하려고 하는 구멍의 치수보다 틈새 부분만큼 작게 해야한다. 틈새는 전원 조건에 따라서 다르다.

전극의 길이는 큰 치수의 가공에서는 문제로 되지 않지만, 마이크로 가공에서는 중요하다. 보(빔)로서 본 전극의 강성은 지름의 감소와 함께 급격히 작아지기 때문에, 구멍 치수와 비교한 전극의 처짐의 영향이 상대적으로 커진다. 방전가공에서는 가공할 때에 전극에 가해지는 하중은 드릴 등에 비하면 매우 작으나 그래도 방전이 충격이나 기포의 팽창·유동 등으로 가로 방향의 힘이 가해지고, 전극이 너무 길면 처짐 때문에 단락 되거나 가공이 불안정해진다. 안전하게 방전하는 전극 길이의 조건의 한 예를 Table 1에 나타냈다. 또 둥근 구멍가공에서는 진원도의 확보나 가공 속도의 진동의 진폭이 커지기 쉽고, 정밀도 저하의 원인이 된다. 따라서 전극 길이는 짧은 편이 바람직하다. 소모 대책 등으로 부득이 길게 할 경우에는 가이드를 사용해서 진공을 억제하는 등의 연구가 필요하다.

Table 1 The relationship between the size of electrode and machining stability (RC circuit, Cu-WC, 100V, 800 Ω)

직경(mm)	길이(mm)	안정하게 가공할 수 있는 C의 범위 (pF)
0.1	7	10 - 3000
0.05	4	불안정
	1.35	10 - 3000
0.03	3.5	불안정

2.1.2 전원의 조건

금속의 방전가공에서는 일반적으로 펄스형태의(반드시 구형파여야 할 필요는 없다) 전류를 사용하는데, 이 전류 피크값 I_p 와 펄스폭 τ 의 곱이 방전흔의 크기를 강하게 지배한다. 미세 방전가공에서는 $I_p \times \tau$ 를 100 - 200으로 작게 할 필요가 있다. 최소한의 아크 방전을 얻기 위해서는 I_p 가 수백 mA 정도 이하이어야 때문에, 특히 미세한 조건에서는 τ 를 작게 해야 한다. 즉, 방전주기는 극히 줄이고 방전 주파수를 높임으로써 일정한 금속제거율을 유지하도록 하여야 한다.

인가전압으로는, 미세 가공에서는 100V이하로 하는 경우가 많다. 극성은 마이크로 가공의 경우, 전극 축을 음으로 공작물 축을 양으로 하는 것이 일반적이다. 이것은 보통 방전가공에서의 구리전극의 저소모 방전조건의 극성과는 반대이다. 반대의 접속에서는 전극 소모가 대단히 크다. 이 현상은 매우 짧은 펄스 방전에서는 전자가 주된 에너지의 전달 매개체이며 방전 개시 시에는 주로 음극에서의 전자의 방출에 의한 공작물가공이 주로 발생하기 때문이다.

전원회로는 대별해서 트랜지스터 회로와 콘덴서 회로의 2개가 주로 사용된다. 트랜지스터 회로는 Fig. 2와 같이 직류전원을 트랜지스터로 스위칭해서 강제적으로 구형파를 만들어내는 것인데, 큰 치수의 가공은 거의 이 방식이다. 이것은 충격계수(펄스폭과 주기의 비)를 크게 할 수 있는 것이 특징이지만, 현재의 기술수준에서는 펄스폭 약 $0.1 \mu s$ 가 한도이며, $\phi 0.2mm$ 이상의 약간 거친 가공에 적합하다.

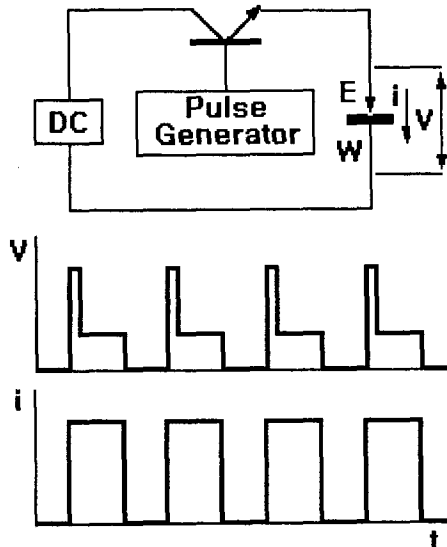


Fig. 2 EDM circuit with transistor

2.1.3 이송기구

금속의 방전가공에서는 극간 거리를 적당히 유지하기 위해서 일반적으로 Fig. 3과 같은 제어회로에 의해서 전극이송을 제어한다. 극간의 평균 전압이 설정값에 접근하도록 서보기구를 제어한다. 마이크로 가공의 펄스조건에서는 극간 거리가 수 μm 정도로 작아지므로, 설정값은 약간 높게 잡고, 약간 성긴 방전 상태로 해서 안전성을 확보하는 일이 많다. 특히 $\phi 0.2mm$ 정도 이하에서는 단락 발생시 서보가 끌어들리는 역할밖에 하지 못하는 일이 많고, 또 그 정도의 제어에서도 일단 가공은 가능하다. 한편, 높은 고주파에서의 응답특성을 개선하는 것에 따른 속도 향상의 시도도 있다.

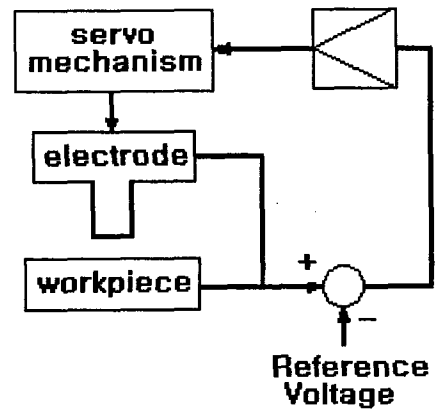


Fig. 3 Servo system for feeding the electrode

마이크로 방전가공의 이송기구에서 제어특성과 동등하거나 그 이상으로 중요한 것은 안내부의 마찰특성과 직진성이다. 극간 거리가 작으므로 스틱-슬립, 백래시 등은 가공능률을 낮추며, 전극과 공작물의 충돌로부터 전극이 손상되는 경우도 있다. 또한, 아주 근소한 가로진동도 정밀도를 크게 저하시킨다. 드릴처럼 커터가 휘어서 가공기에 의한 가로진동을 흡수해 주는 일은 없으며 가로진동한 뿔만큼 구멍의 측면을 가공하기 때문이다.

비금속의 방전가공에서는 전극이 밀어붙여지고 있기 때문에 자연히 이송이 걸려, 특별히 복잡한 이송 제어는 반드시 필요한 것은 아니다.

2.2 마이크로 방전가공에 의한 형상가공

앞에서 언급한 바와 같이 가공형상은 전극형상을 전사하므로 전극을 회전시키면서 공작물 또는 전극을 NC제어하여 이동시키면 밀링가공과 유사한 3차

원 가공이 가능하다. 이 경우 전극의 운동방향에 따라 Fig. 4와 같이 두 가지 가공법으로 분류된다.

가) 극히 미세한 피치를 중첩시켜 구멍가공을 반복적으로 수행하여 원하는 형상을 가공하는 point-to-point 가공법 : 이 방법은 전극의 이송방향이 수직방향이므로 전극의 소모가 주로 전극의 길이방향으로 발생하며 직경방향으로의 전극소모는 작은 편이므로 공작물의 폭 방향 형상정도를 높일 수 있는 장점이 있다. 그러나, 이송에 따른 표면거칠기의 확보가 어려운 편이며 연속 가공법과 동일한 표면거칠기를 얻으려면 가공시간이 길어지는 단점이 있다.

나) 전극을 원하는 윤곽선을 따라 연속이동하며 가공하는 연속가공법 : 이 방법은 공작물에 대하여 전극을 수직방향으로 특정 거리만큼 이송한 후에 주로 전극의 측면으로 가공을 수행하므로 전극의 소모가 주로 반경방향으로 발생하는 특징이 있다. 따라서 전극의 저 소모 조건하에서도 전극의 소모를 완전히 무시할 수는 없으므로 필요에 따라 전극의 성형을 반복하며 가공할 필요가 있다.

이러한 가공법의 경우 가공된 공작물의 형상정밀도는 주로 전극의 소모에 의존하는 함수가 된다. 따라서 전극의 소모를 고려하여 2 또는 3차원가공을 수행하기 위해서는 위의 두 가지 방법을 조합하여 가공하는 것이 가장 효과적이다. 예를 들면 Fig. 4 (a)와 같이 어느 정도의 표면거칠기를 가지도록 point-to-point가공을 수행한 후에 표면에 남은 스킈럽을 Fig. 4 (b)와 같이 연속가공으로 제거하면 바람직한 가공결과를 얻을 수 있다

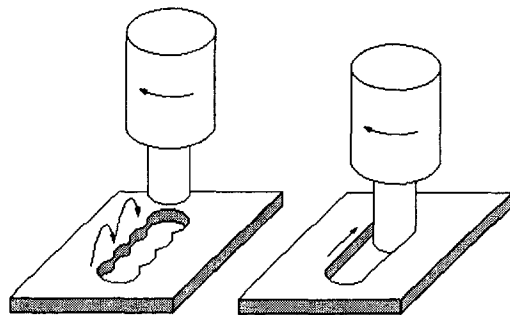


Fig. 4 Machining in the micro-EDM

3. 미세 구멍 가공용 방전가공기의 제작

미세 방전가공 기술은 서론에서 언급한 바와 같이 미세 구멍 가공기술에 그 기반을 두며, 이형단면 형상의 가공을 위해서는 다양한 형상의 미세 단면을 갖는 방전전극의 가공기술과 미세 칩 배출 기술이

결국, 미세 방전가공의 핵심이라 할 수 있겠다. 그런데, 이형단면을 갖는 미세 전극 가공기술은 본 논문의 연구범위를 벗어나므로 구체적인 언급을 생략한다. 본 논문에서는 향후 마이크로 머시닝을 위한 미세 구멍 방전가공기의 개발 초기 모델로 1mm 미만의 직경을 갖는 소 구경 관통 홈을 원활한 칩 배출을 도모하며 방전가공을 수행할 수 있는 전극 회전식 방전가공기를 설계 및 제작하여 그 성능을 검증하였다.

이를 구현하기 위해서는 원하는 발진 주파수와 충격계수를 갖는 방전발생 장치가 필요하며, 최적의 방전발생 간극 유지를 위한 전극의 수직방향 이송장치를 구축해야 된다.

3.1 발진회로

방전가공을 위해서는 전극이 공작물에 가하는 에너지의 일정비율 이상은 방전가공에만 직접적으로 사용되어야만 하며 나머지는 열에너지로 발산된다. 이는 시스템의 온도를 극도로 높일 수 있으므로 회피하여야만 하나 이는 전극의 전기전도도와 공작물의 전기전도도 사이의 차이에서 발생하는 열 발산은 피할 수 없다.

최적의 전류와 전압의 상관관계는 실험적으로 도출되어야만 하며, 이를 도출하기 위한 다양한 노력은 이미 다른 여러 연구자들에 의해 수행되어왔다⁴⁵. 논문의 주제를 유지하기 위하여 이러한 유사 인자에 대한 논의는 앞으로도 계속적으로 언급만 할 것이며 보다 깊은 논의는 유보하기로 한다.

본 연구에서는 방전발생을 위한 기본 발진 알고리즘에 대하여 초보적인 수준으로 소개하며, 이를 실제적으로 구현하기 위하여 필요한 부수적인 부품에 대하여 논의하겠다.

본 논문에서 적용한 발진회로는 OP 앰프 555를 이용하였으며, 발진주파수의 조절을 위하여 R-C 커플링의 시상수를 가변하였다.

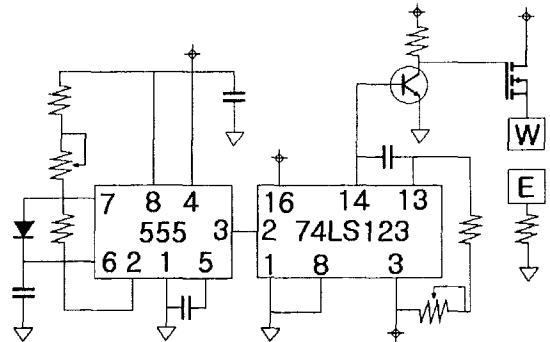


Fig. 5 Electric discharging circuit

조절된 발진 주파수는 1.30kHz - 22.47kHz 사이에서 임의로 조절이 가능하다. 여기에 사용된 회로는 Fig. 5에 그 회로도도 도시되어 있으며 주파수의 범위는 포텐시오미터에 의하여 전 영역에서 조절이 가능하다. 충격계수의 조절을 위해 74LS123 가변폭 단발 발진 회로를 채용하였다[6].

3.2 방전발생회로

방전은 전극의 대전표면에 직각방향으로 시작하나 종점은 전극의 위치에 따라 달라진다. 이에 따라 발생하는 전자에 의한 예기치 않는 방전현상은 적절히 제어되지 않은 전기-기계적 시스템에서 발생하는 현상이다. 이를 효과적으로 제어하고 전극의 형상으로부터 최소의 윤셋을 보장받기 위해서는 효율 높은 전압/전류 증폭회로가 필요하다. 회로의 단순성과 효율성 및 사용을 위한 편의성을 고려하여 아날로그형 전류증폭기 요소인 절연형 IRF IP 150 FET를 사용하였다. 전원으로는 DC 24V 스위칭 공급장치가 사용되었다.

3.3 방전가공기의 구성

설계·제작된 방전가공기의 구조는 주축대, X-Y-Z축 칼럼 및 이송테이블, 가공탱크, 공작물 고정척, 전원 공급장치 등으로 구성되었다.

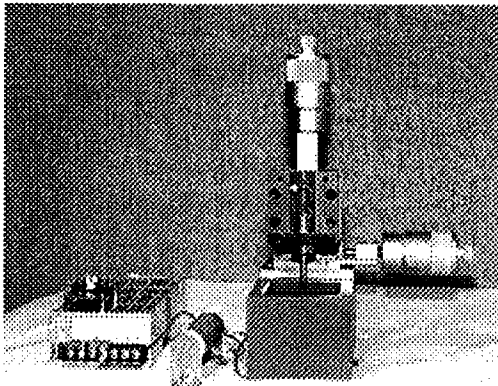


Fig. 6 Micro-drilling EDM system

주축대는 12V 소형 DC모터의 축($\phi 1.95\text{mm}$)에 $\phi 0.5\text{mm}$ 이하의 미세 직경 전극을 자유로이 고정하기 위해 스프링을 이용한 3점식 클램퍼를 구현함으로써 장기적이며 편리하게 사용할 수 있도록 하였으며, 회전 시 축의 동심이 미세 직경의 정밀도에 직접적인 영향을 주기 때문에 특히 주의하여 정확하게 맞도록 설계, 제작하였다. X-Y-Z축 칼럼 및 이송테이블은 주축이 원하는 위치까지 정확(정밀도 0.002mm)하게 수동조작으로 이동이 가능하도록 기 제작된 X-Y-Z

축 테이블을 이용하여 부착하였다. 가공탱크 내에는 공작물 고정을 위한 마그네틱 척을 설치하였으며, 방전액이 외부로 누출되지 않도록 기밀을 유지하였으며, 아울러 공작물과 척을 통하여 전류가 흐를 수 있도록 설계되었으며, 탱크하부에 배선을 쉽게 할 수 있는 구조로 제작하였다.

4. 실험 및 분석

4.1 시편 및 전극의 제작

시편은 두께 0.1, 0.2, 0.3, 0.5mm의 간극계지를 고정척에 부착이 가능한 크기로 절단(15*50mm 정도)하여 초기에 방전이 잘 진행 되도록 습식연마를 하여 시편표면에 붙어 있는 산화물질을 제거하였다. 전극은 직경 0.5mm의 전기 동선심을 약 30mm의 길이로 끈게 편 다음 절단한 후 부착하였다.

4.2 저주파 방전실험

두께 0.1mm, 0.2mm, 0.3mm, 0.5mm의 시편을 방전 가공조건을 설정한 후 방전에 의한 미세 구멍 가공실험을 수동으로 수직축을 이동하면서 수행하였다. 방전시 발진주파수와 충격계수는 Fig. 7에 도시되어 있는데 이때의 주파수는 4.167kHz이며, 충격계수는 72% 이다. 가공에 소요된 시간은 시편의 두께마다 다르나 대략 0.1mm 시편의 경우 약 5분, 0.5mm의 경우 약 20분이 소요되었다. 위의 조건으로 가공한 결과를 비교한 결과는 아래 Table 2와 같다.

Table 2 Low Frequency EDM Machining

시편두께	0.1	0.2	0.3	0.5
전극직경	0.5	0.5	0.5	0.5
구멍직경	0.556	0.535	0.63	0.693
	0.587	0.564	0.627	0.732
구멍직경평균	0.572	0.550	0.623	0.699
구멍직경평균오차	0.072	0.050	0.123	0.199

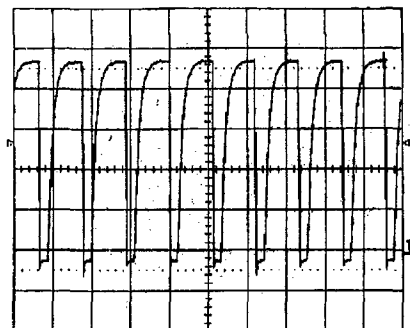
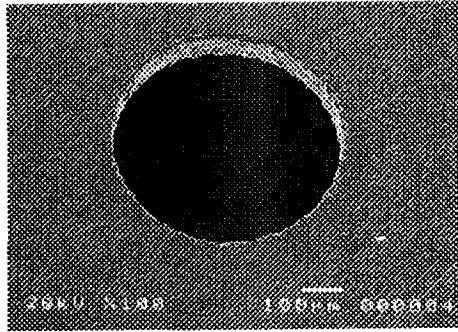
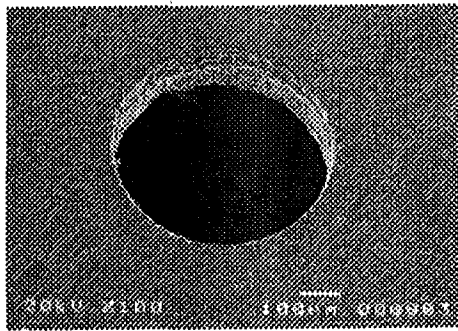


Fig. 7 Voltage variation at low frequency EDM machining

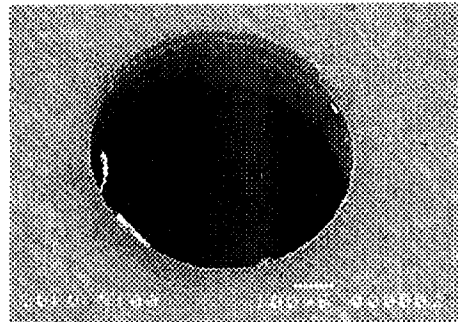
Table 2에 따르면, 시편의 두께에 따른 구멍의 크기를 나타내고 있다. 시편의 두께가 커질수록 구멍의 크기가 증가하고 있음을 알 수 있다.



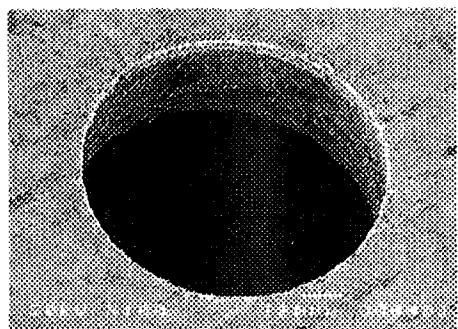
(a) $t = 0.1 \text{ mm}$



(b) $t = 0.2 \text{ mm}$



(c) $t = 0.3 \text{ mm}$



(d) $t = 0.5 \text{ mm}$

Fig.8 SEM Photograph of machined holes

Fig. 8에서, 저주파 방전가공시험의 결과에 따르면 시편의 두께가 0.2mm 이하인 경우에는 가공된 구멍의 직경이 전극직경보다 약 10%정도 크게 나타난다. 이는 모터의 회전정밀도와 전극고정용 척의 동심도 오차를 고려하면 매우 정확한 결과이다. 그러나 시편의 두께가 증가함에 따라 0.3mm 이상의 시편에서는 가공된 구멍의 직경이 점차로 증가함을 관찰할 수 있는데 이는 두꺼운 시편의 경우 상대적으로 잔류 칩에 의한 2차 방전이 주로 출구 측인 상부에서 발생하기 때문이다. 이러한 2차 방전은 주로 아크방전을 동반하는 경향이 많기 때문에 일발방전에 의한 방전흔이 크게 나타나고 때대로 거스르미(burr)를 발생시키기도 한다.

0.1mm 두께의 시편을 가공한 결과를 살펴보면 가공면이 거칠게 수직방향으로 단층과 같은 형태를 보이는데, 이는 z축을 수동/단속적으로 이송한 결과이다. 또한 가공면이 매우 거칠게 나타나는 것은 가공 주파수가 비교적 낮고 충격계수가 높아 단발방전 에너지가 크기 때문이다. 0.2mm 두께의 시편을 가공한 결과를 살펴보면 이송조건에 기인한 단층형상은 0.1mm 시편의 경우에서와 동일한 경향을 보이며, 수직면 끝의 전극 출구 모서리 부분이 움푹 패인 것은 시편에 구멍이 생성되는 순간에 칩의 배출이 용이치 않은 등의 이상 가공조건에 기인하여 아크 방전이 발생한 것으로 사료된다. 0.3mm 두께의 시편을 가공한 결과를 살펴보면 가공면의 상태는 가장 양호한 편이나 이는 측면방전이 반복적으로 지속되면서 면을 고르게 가공한 결과이며, 그림의 모든 경우에서 거스르미가 발견되는데, 이는 아크 방전에 의해 시편이 순간적으로 용융된 후 칩의 형태로 융착된 것으로 볼 수 있다. 0.5 mm 두께의 시편을 가공한 결과를 살펴보면 가공된 측면 부위에 검게 변한 점들이 관찰되는데, 이는 방전 가공시 아크방전에 의한 열충격의 결과로 열경화된 부분으로 생각된다.

4.3 고주파 방전실험

두께 0.1mm, 0.2mm, 0.3mm, 0.5mm의 시편을 방전 가공조건을 설정한 후 방전에 의한 미세구멍 가공실험을 수동으로 수직축을 이송하면서 수행하였다. 방전시 발진주파수와 충격계수는 Fig. 9에 도시되어 있는데 이때의 주파수는 15.6kHz이며, 충격계수는 43% 이다. 가공에 소요된 시간은 시편의 두께마다 다르나 대략 0.1mm 시편의 경우 약 10분, 0.5mm의 경우 약 30분이 소요되었다

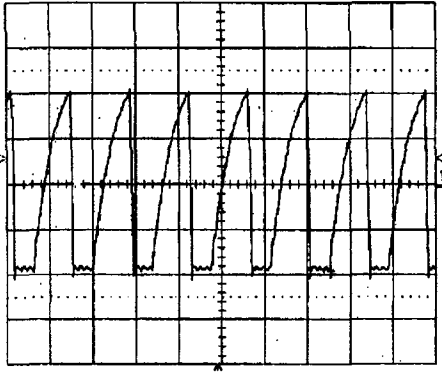


Fig. 9 Voltage variation at high frequency EDM machining

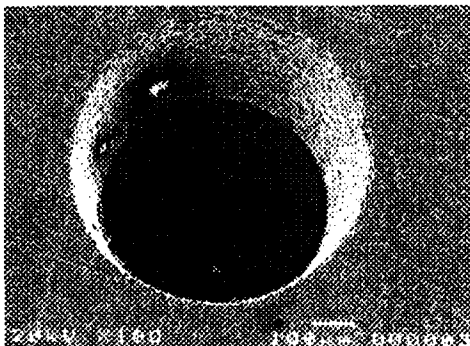


Fig. 10 SEM Photograph of machined holes (t = 0.3 mm)

고주파 방전가공 실험을 수행하는 과정에서 전극의 회전을 위한 주축 시스템의 미끄럼 베어링이 과도한 부하로 인하여 마멸되었다. 이에 따라 고주파 방전실험 결과에서 직경의 변화는 무의미하며, 방전 주파수의 증가와 충격계수의 감소에 기인한 단발방전시 방전흔의 크기가 앞서의 실험에 비하여 비교적 많이 감소한 것을 관찰할 수 있다. 또한 가공된 칩의 크기가 작고 배출이 저주파 방전가공에 비하여 매우 우수한 것을 실험시 확인할 수 있었으며 일부의 경우 칩배출이 미진한 부분에서는 열응력이 발생하여 검게 탄 것을 시편의 여러 부위에서 관찰됨을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 미세구멍 방전가공의 기반연구를 수행하기 위한 초기단계의 선행연구로서, 미세구멍 가공시 공통적으로 사용되는 칩 배출을 위한 고속 전극회전 방식을 채용한 방전 가공공법의 개발을 목표로

하였는데, 이를 구현하기 위한 기본 구동 메카니즘으로는 전극주축의 칩배출을 위한 고속회전, 전극의 수직방향 이송, 주파수 및 충격계수 가변식 방전발생회로 등을 개발하였으며, 특히, $\phi 0.5\text{mm}$ 이하의 미세 직경 전극을 주축에 고정하기 위한 3점식 클램퍼를 구현하였다. 또한, 공작물의 고정은 원통형의 척에 자력이 약한 자석을 내부에 설치하여 장착 및 탈착이 용이하도록 설계·제작하였으며, 다양한 가공조건 하에서 실제적인 미세구멍 가공을 위한 방전가공의 수행을 통하여 본 연구에서 개발된 방전시스템의 유용성과 발전 가능성을 검증하였다.

참고문헌

- [1] A. K. M. De Silva and J. A. McGeough, 1998, 'Process monitoring of electrochemical micromachining,' *J. of Material Proc. Tech.*, Vol. 76, pp165-169
- [2] T. Sato, 1995, '3-dimesional processing by micro electro-discharge machining,' *JSPE*, Vol. 61, pp. 1369-1372(in Japanese)
- [3] 마이크로가공기술 편집위원회, 1993, "마이크로가공기술", *기전연구사*
- [4] S. K. Battacharyya et al., 1981, 'A correlation between machining parameters and machinability in EDM,' *Int. J. of Prod. Res.*, Vol. 19, pp.111-122
- [5] J. A. McGeough and H. Rasmussen, 1997, 'A theoretical model of electrodischarge texturing,' *J. of Material Proc. Tech.*, Vol. 68, pp172-178
- [6] R.A Gayakwad, 1988, 'Op-amp and linear integrated circuits,' *Prentice-Hall*