

데스크탑 건성방전가공기의 제작 및 가공능력 평가에 관한 실험적 연구 Study on Development of Desktop-Dry EDM Machine and Its Machining Performances

*이상원¹, 오영석², 안수홍³

*S. W. Lee(sangwonl@skku.edu)¹, Y. S. Oh(oys7776@hotmail.com)², S. H. Ahn(motnahp1412@naver.com)³
1,2,3성균관대학교 기계공학부

Key words : Dry electrical discharge machining (EDM), Die-Sinking EDM, Desktop dry EDM machine, Surface roughness

1. 서론

최근에 마이크로 및 메소급 형상 및 부품에 대한 수요가 전자분야, 광학분야, 우주산업분야, 군수 분야 등을 중심으로 급격하게 늘어나고 있다. 이러한 마이크로 및 메소급 형상 및 부품의 제조를 위해 3 차원 자유 형상 가공이 용이하지 않고 가공 재료에 제한이 없는 마이크로 밀링, 마이크로 드릴링 등의 마이크로 기계 가공 기술과 레이저를 사용한 마이크로 레이저 가공, 마이크로 소성 가공, 마이크로 방전가공 기술 등이 많은 주목을 받고 있다. 이 중에서도 특히 방전가공 기술은 절연성 유체 (Dielectric fluid)에 잠긴 공구 전극과 전도성 소재사이에 고전압을 가하여 전기 스파크를 연속적으로 발생시켜 소재로부터 미세한 양을 제거시킴으로써 소재를 가공하는 기술로서 금속 소재의 마이크로 및 메소급 형상을 제조하는데 많이 사용되고 있으며 이에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다.

건성방전가공 기술은 탈이온수나 기름 등을 절연성 매질로 사용하는 기존의 습식 방전가공과는 달리 공기나 산소와 같은 기체를 절연성 매질로 사용한다. 건성방전가공은 일반적인 습식 방전가공과 비교하여 공구 전극 마모율이 상당히 작고 표면경화층이 얇으며 잔류응력이 작다. 또한, 방전 갭 (Discharge gap) 이 기존의 습식 방전가공보다 훨씬 작음으로써 더욱 향상된 부품 및 형상의 정밀도를 얻을 수 있다.

건성방전가공 기술은 일본 Tokyo University of Agriculture & Technology 의 Kunieda 교수에 의해 처음으로 소개되었다 [1]. Kunieda 는 고압의 공기 및 산소를 절연성 매질로 사용하여 다이-싱킹 건성 방전 가공을 최초로 시도하였으며 상기한 건성방전가공의 장점을 확인하였다. 또한, Kunieda 는 전기 스파크가 절연성 액체 내 방전 갭에서 발생할 때 상당히 큰 프로세스 반작용력이 공구 전극에 가해지는 반면에 절연성 매질로 공기를 사용하는 건성방전가공에서는 프로세스 반작용력이 무시할 만큼 미소하다는 것을 발견하였다 [2]. 또한 최근의 연구에서 Kunieda 등은 건성 와이어 방전가공 및 산소를 절연성 매질로 이용한 고속 3 차원 건성 다이-싱킹 방전가공의 가공특성을 분석하였다 [3,4]. 상기한 연구를 통해 건성 와이어 방전가공의 경우, 일반적인 습식 와이어 방전가공보다 가공물의 직진도 (Straightness), 표면거칠기, 코너컷 (Corner-cut) 정밀도 측면에서 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 고속 3 차원 건성 다이-싱킹 방전가공의 경우, 절연성 매질로 사용한 산소에 의해 발생한 준폭발 (Quasi-explosion) 모드로 인해 재료제거율이 급격히 증가하였다. 이러한 준폭발 모드는 소재의 거친 가공 (Roughing) 에 사용될 수 있으며 낮은 재료제거율을 갖는 일반 모드는 소재의 미세 가공에 사용될 수 있다.

Kunieda 교수의 건성 방전 가공 기술에 관한 연구는 주로 기존의 방전가공기에서 이루어져 오고 있어 건성 방전 가공에의 작은 방전 갭에서 발생하는 작은 방전 갭에서 발생하는 전기 스파크의 단락 (Short-circuit) 이 자주 발생하게 된다. 또한, 마이크로 및 메소급 형상의 가공하는데 있어서 기존의 대형 방전가공기의 사용으로 인해 에너지 및 공간의 사용이 증가하고, 상대적인 정밀도가 나빠지는 단점이

있게 된다.

따라서, 본 연구에서는 마이크로 및 메소급 형상의 가공을 위한 데스크탑 크기의 초소형 건성방전가공기를 제작하고 가공능력에 대한 실험적 평가를 수행하였다. 개발된 3 축 데스크탑 건성방전가공기의 경우, 방전갭 상태의 효율적인 제어를 위해 인치웸 원리를 이용한 압전소자 (Piezoelectric elements) 기반 선형슬라이드를 공구전극 이송시스템으로 사용하였고, 스크류를 이용한 소형 정밀 슬라이드를 가공물 이송시스템으로 사용하였다.

2. 데스크탑 건성방전가공기의 설계 및 제작

데스크탑 건성방전가공기 외형의 체계적인 설계를 위해 그래프 이론을 도입하였고, 이를 기반으로 데스크탑 건성방전가공기의 구조를 4 단계 계층구조로 나누어, 각 기계부품 및 연동장치간의 기능적 적합성을 고려하여 외형 설계를 수행하였다 [5]. 상기한 방법론을 통해 도출된 다수의 외형 설계안 중 전문가 설계 이론의 관점에서 기구학적 부품 배치의 균일화 및 이동 질량의 최소화하는 외형 설계안이 최종적으로 선정되어 실제 데스크탑 건성방전가공기 제작에 이용되었다. 최종적으로 선정된 3 축 데스크탑 건성방전가공기의 외형 설계안이 Fig. 1 에 주어지고 있다.

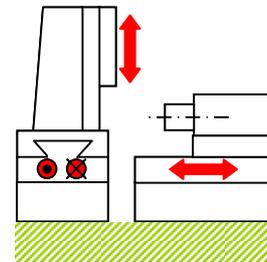


Fig. 1 Selected configuration of desktop-dry EDM machine

Fig. 1 에서 알 수 있듯이 공구전극의 운동자유도는 1 자유도이고, 가공물의 운동자유도는 2 자유도로 구성되어 공구전극과 가공물의 3 자유도의 상대운동이 구현된다. Fig. 1 에 주어진 외형 설계안을 기반으로하여 Fig. 2 에 인벤터로 구현된 3 차원 모델이 주어지고 있다.

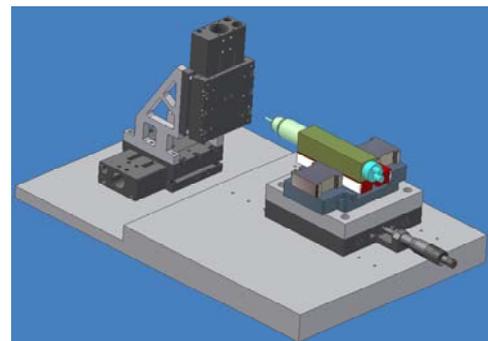


Fig. 2 3D solid model of desktop-dry EDM machine

Fig. 2 에서 알 수 있듯이 압전소자 기반 정밀 슬라이드가 공구전극의 1 자유도 운동을 구현하고, 2 개의 스크류 기반 정밀 슬라이드가 가공물의 2 자유도 운동을 구현한다. 또한, 압전소자 기반 정밀 슬라이드를 수동 선형 슬라이드에 장착하였는데 이는 공구전극과 가공물 간 초기 방전점 설정에 이용된다. 상기한 외형 설계안을 바탕으로 데스크탑 건성방전가공기가 제작되었고, Fig. 3 에 사진이 주어졌다.

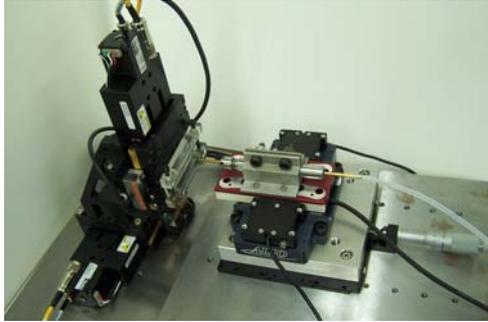


Fig. 3 Photo of developed desktop-dry EDM machine

제작된 데스크탑 건성방전가공기의 전체 크기는 300x200x260 mm 이며, 이는 일반적인 대형 방전가공기 크기의 약 1/1000 에 해당된다. 공구전극 이송을 위해 사용된 인치웸 기반 압전소자 선형 슬라이드는 Alio Industry 사의 AI-D4-5000E 이며, 총 변위가 50 mm 이고, 최대속도는 250 mm/s, 이동분해능은 0.1 μm 이다. 또한, 가공물 이송을 위해 사용된 스크류 기반 선형 슬라이드는 Parker 사의 MX80ST 이며, 총 변위가 50 mm 이고, 최대속도는 40 mm/s, 이동분해능은 0.5 μm 이다.

3. 건성방전가공 실험

제작된 데스크탑 건성방전가공기의 가공성을 평가하기 위해 건성방전 슬롯가공을 수행하여 가공표면의 표면거칠기를 측정하였다. 건성방전가공을 위해 RC 형 방전필스 발생기를 사용하였고, 튜브형태의 공구전극을 사용하여 고압의 공기를 방전 갭에 공급하였다. 건성방전 슬롯가공의 실험조건은 Table 1 에 주어졌다.

Table 1 Machining conditions for dry EDM experiments

Open gap voltage	Air pressure	Diameter of electrode	Work-material	Electrode
25V	0.3MPa	1.8mm	Brass	Copper

건성방전 슬롯가공에 있어서 50, 100, 150 $\mu\text{m/s}$ 의 3 가지 이송속도에 대하여 실험을 수행하였다. Fig. 4 에 건성방전가공 실험에서 실제로 방전이 발생한 경우에 대한 사진이 주어졌으며, 3 가지 이송속도에 따른 건성방전 슬롯가공 실험 결과가 Fig. 5 에 주어졌다.

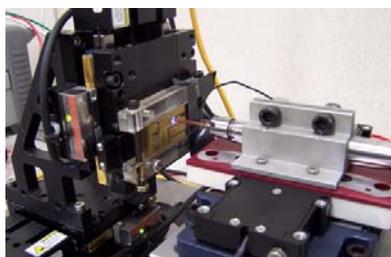


Fig. 4 Photo of spark in dry EDM experiment

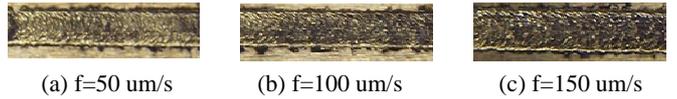


Fig. 5 Photos of dry EDMed slots

Fig. 5 에 주어진 각 건성방전가공 슬롯의 표면거칠기를 측정하였고, 그 결과가 Table 2 에 주어졌다. Table 2 에서 알 수 있듯이 가공된 슬롯의 표면거칠기는 5 μm 미만이다.

Table 2 Surface roughness (R_a) of dry EDMed slots

Feed rate	50 $\mu\text{m/s}$	100 $\mu\text{m/s}$	150 $\mu\text{m/s}$
R_a	4.4 μm	3.8 μm	3.7 μm

상기한 건성방전 슬롯가공 실험을 통해 제안된 데스크탑 건성방전가공기가 마이크로 및 메소급 형상 제조에 이용될 수 있음을 고찰하였다. Table 2 에 주어진 슬롯의 표면거칠기는 방전 갭의 상태를 모니터링하여 피드백 알고리즘을 이용한 방전 갭 제어를 적용하지 않은 Open-loop 시스템의 결과로서 추후 방전 갭 제어를 적용함으로써 가공형상의 표면거칠기 및 정밀도가 상당히 향상될 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결론

본 연구는 마이크로 및 메소급 형상 가공을 위하여 데스크탑 건성방전가공기의 설계 및 제작, 실험적 성능평가에 관한 것이다. 그래프 이론에 의해 제시된 기계 외형의 기반으로 압전소자 인치웸 정밀 선형 슬라이드와 스크류형 정밀 선형 슬라이드를 이용하여 데스크탑 건성방전가공기 프로토타입을 제작하였다. 구리 전극을 이용한 황동 소재 건성방전 슬롯가공 실험이 수행되었으며, 표면거칠기 고찰을 통해 마이크로 및 메소급 형상 가공성을 확인하였다.

후기

본 논문은 2006 년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국 학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (KRF-2006-331-D00038)

참고문헌

1. Kunieda, M. and Yoshida, M., "Electrical Discharge Machining in Gas", *Annals of the CIRP*, **46(1)**, 143-146, 1997
2. Kunieda, M., Adachi, Y. and Yoshida, M., "Study on Process Reaction Force Generated by Discharge in EDM", *Proc. MMSS'2000*, 313-324, 2000
3. Kunieda, M. and Furudate, C., "High Precision Finish Cutting by Dry WEDM", *Annals of the CIRP*, **50(1)**, 121-124, 2001
4. Kunieda, M., Miyoshi, Y., Takaya, T., Nakajima, N., Zhanbo, Y. and Yoshida, M., "High Speed 3D Milling by Dry EDM", *Annals of the CIRP*, **52(1)**, 147-150, 2003
5. Shinno, H and Ito, Y., "Computer Aided Concept Design for Structural Configuration of Machine Tools: Variant Design using Directed Graph", *Trans. of ASME*, **109**, 372-376, 1987