

원형전극봉에 의한 형조방전가공시 진원도 특성

Characteristics of Roundness Using Die-sinking Electrical Discharge Machining by Circular Electrode

우정윤(경남대 대학원), 왕덕현, 김원일, 이윤경(경남대 기계자동화공학부), 김종업(창원기능대 전산응용기계과)

J. Y. Woo(Graduate School, Kyungnam Univ.), D. H. Wang, W. I. Kim, Y. K. Lee(Kyungnam Univ.),

J. U. Kim(Chang Won Polytechnic College)

Abstract

The experimental study of die-sinking electrical discharge machining for alloy tool steel of STD-11 with circular electrode was conducted for various conditions of the peak current and duty factor with the change of internal size of electrode for distributing the amount of dielectric flow through the electrode. From this study, the material removal rate(MRR) was found to be increased with the peak current and duty factor. The more MRR was obtained for the case of electrode inside diameter of 10mm. The surface roughness and roundness values were analyzed regularly under various conditions, and these values were not affected by the inside diameter change of electrode.

Key Words : Die-sinking EDM(형조방전가공), DF(듀티팩터), MRR(공작물제거속도), EWR(전극봉마멸속도), WR(전극소모비)

1. 서론

최근에 고부가가치 기계산업분야에서는 소재 개발이 절실히 필요하며 이를 충족시키기 위하여 소재부품들을 보다 다양한 형상과 향상된 특성을 갖도록 하고 있다. 기계산업분야의 근간이 되는 금형산업에서는 향상된 많은 소재들이 사용되고 있으며, 그중 소입성이 좋아 공냉으로도 충분히 경도가 얻어지고 또한 열처리변형도 적은 냉간금형용 합금공구강을 주로 사용하고 있다. 이 소재

들은 점차적으로 실용화되어 자동차, 스포츠, 전자부품산업, 엔진, 펌프, 열교환기용 및 다이싱 등 다양한 용도의 부품으로 사용될 전망에 있다.

냉간금형용 합금강은 대부분 각종 기기의 부품으로 사용되며 고도의 치수 정밀도가 요구되지만, 제조시 필연적으로 발생하는 수축 등의 변형과 치수오차들이 생기는데, 이와 같은 오차를 제거하기 위해서는 기계적 가공이 필요하게 된다. 이들 소재의 원형가공으로, 비록 가공속도가 작지만, 특수가공방식인 형조방전가공이 있다[1]. 형조방전가공에서 가공속도를 향상시키는 방법으로 전극봉내에 구멍을 내어 그 구멍을 통하여 많은 방전유를 분사시키는 것일 수 있으리라 사료된다.

방전가공에 관련된 연구로는 Kunieoa[2] 등은 소재에 열전대를 심어 종전의 방전가공과 또한 방전가공시 가스를 주입했을 경우 공작물제거속도, 가공중 발생하는 칩의 입자크기 및 온도분포를 연구하였다. 또한 Kunieoa[3] 등은 두께가 얇은 파이프형의 전극봉으로 방전유, 공기 및 산소가스를 주입시켜 방전가공성을 비교하는 연구를 수행하여, 종전의 방전가공보다 가공속도가 빠르고 3차원 가공이 가능하였으며 또한 더욱더 정밀한가공이 이루어졌다고 하였다.

Mohri[4] 등은 여러 가지 재료를 소결시킨 복합재료 전극봉을 이용하여 방전가공에 의한 피삭재의 표면형상에 대해 연구를 하였으며, 적은 크랙, 높은 부식저항 및 마멸저항을 파악하였다. 또한 그는 고정밀가공으로 새로운 교정 방법인 폴리헤드라 시스템을 통하여 가공시간에 따른 피삭

재와 전극봉의 형상변화를 방전가공이 이루어지는 동안 기하학적으로 온라인 측정방법을 제시하였다[5]. 또한 전극봉 마멸량은 피삭재의 재질에 따라 영향을 받는다고 하였으며, 전극봉 마멸영역을 가장자리와 밑바닥부분으로 나타내었다[6].

본 연구는 원형전극봉 내의 구멍의 크기를 변화시켜 그 구멍속으로 방전유를 분사시킬 경우 가공속도 및 형상특성을 연구하고자 한다. 본 연구는 형조방전가공기에서 전류와 듀티팩터 등의 가공 조건을 변화시키면서 공작물제거속도, 전극마멸속도 등 가공속도 특성을, 표면거칠기 및 진원도를 측정하여 가공형상 특성을 파악하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 형조방전가공기는 Fig. 1에서 나타난 것처럼 피삭재를 방전유속에 완전히 잠기게 하고, 방전유를 노즐 뿐만 아니라 전극봉에 치수가 다른 직경을 만들어 전극봉속을 통해 분사될 수 있도록 하여 칩제거와 냉각효과를 돕게 하였다. 방전가공기는 헤드부분, 작업탱크, 베드 및 조절판으로 구성되어있는 형조방전가공기 SERVO III를 사용하였으며, 본 연구에 사용된 실험기기 및 측정기들을 Table 1에 나타내었다.

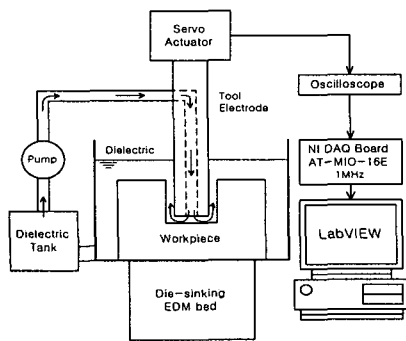


Fig. 1 Diagram of experimental setup

전극봉은 직경 $\phi 12\text{mm}$ 를 사용한 솔리드 상태와 방전유를 전극봉내로 주입시킬 수 있도록 $\phi 4\text{mm}$ 에서 $\phi 10\text{mm}$ 까지 2mm간격으로 4종류의 파이프형을 사용하였다. 본 연구의 정밀도를 위하여 샌드페이퍼 2000번의 입자로 된 것을 먼저

사용하고, 다시 입자 3000번의 알루미늄분말로써 전극봉면을 연마한 후 실험에 사용하였다. 본 실험의 조건들로 인가 피크전류와 듀티팩터들의 가공조건을 변화시키면서 가공특성을 파악하였으며, 또한 방전 및 휴지시간동안 전압의 변화를 측정하기 위하여 가변저항기를 설치하여 오실로스코프로 전압파형을 검출하였으며, 내쇼날인스트루먼트사의 NI DAQ Board와 LabVIEW 프로그램을 이용하여 전압변화 데이터를 PC에 저장하여 해석하였다. 피크 전류는 11A, 15A 및 19A로 변화시키면서, 듀티팩터는 0.24, 0.3 및 0.45의 조건을 변화시키면서 실험을 진행하였다.

Table 1 Experimental equipments

Item	Model	Company
Die-sinking EDM	SERVO III	Jung Kwang
Electronic balance	B120S	Basic
Surface roughness tester	Surftest-501	Mitutoyo
Ultrasonic cleaner	2210	Branson
Roundness tester	RA-116D	Mitutoyo

공작물제거속도와 전극봉마멸속도는 10^{-4}g 의 전자적시천칭을 이용하여 가공전후의 무게를 측정하여 구하였으며, 전극소모비는 전극마멸속도를 방전가공된 공작물제거속도로 나눈 값으로 나타내었다[7]. 또한 표면거칠기 상태는 표면거칠기 측정장치를 사용하였으며 동일조건으로 90도 방향으로 4회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다. 진원도의 값을 나타내는 각종 연산방법중 본 연구에 적용된 것은 최소자승법으로 Gaussian 필터를 이용하였으며, 회전수 6rpm으로 회전하며 최대 적재질량은 20kg까지 가능하고 본체부와 에어 필터부의 두부분으로 구성된 진원도 측정장치를 사용하였다.

실험연구에 사용된 피삭재는 Cr이 많이 함유된 난삭재인 냉간금형용 합금강(STD-11)을 사용하였고, 화학적 성분은 Table 2에 나타내고 있다.

Table 2 Chemical composition of STD-11

Chemical composition(wt %)											
Fe	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	
b. al	1.45	0.28	0.44	0.026	0.001	0.08	0.14	11.29	0.9	0.34	

본 연구에 사용된 전극봉은 순도가 99%이상이고 직경이 $\phi 20\text{mm}$ 인 구리를 가공하여 사용하였으며, 방전가공 깊이는 전극봉이 두께 5mm인 피삭재를 완전히 관통될 수 가공하면서 방전시간을 측정하였다. 전극봉의 성분과 기계적 성질값을 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Composition and properties of Cu electrode

Chemical composition(%)		Tensile Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Conductivity
Cu	Cr,Ti,Zr	25	15	102
99.9	small			

3. 실험결과 및 고찰

방전가공조건인 인가 피크 전류를 변화시키면서 전압신호를 측정하여 A/D변환기로 PC에 저장할 수 있었으며, 이때 측정된 전압신호를 분석해보면 총 방전시간은 방전유도시간을 거쳐, 방전시간을 지나 휴지시간이 반복되는 것을 알 수 있었으며 이때 총 방전시간중 실제 방전이 발생한 방전시간의 비를 듀티팩터(Duty factor, DF)라 하며 식 (1)과 같으며 본 실험에서 측정된 듀티팩터값들을 Table 4에 나타내었다.

$$DF = \frac{\tau_{on}}{\tau_w + \tau_{on} + \tau_{off}} \quad (1)$$

Table 4 Duty factor for EDM conditions

DF	$\tau_w(\mu\text{s})$	$\tau_{on}(\mu\text{s})$	$\tau_{off}(\mu\text{s})$
0.24	0	48	152
0.30	7	59	129
0.45	24	130	134

Fig. 2와 Fig. 3은 각각 듀티팩터가 0.24와 0.45인 경우 전극봉의 구멍을 낸 내경의 크기 변화에 따른 공작물제거속도의 양을 나타낸 것이며, Fig. 2에서는 인가전류의 증가와 전극봉 내경

이 클수록 공작물제거속도의 증가폭이 적게 나타나고 있지만, 듀티팩터가 증가하여 0.45인 경우 Fig. 3에 나타난 것처럼 공작물제거속도가 큰 폭으로 변화하고 있었다. 특히 전극봉내 구멍의 직경이 0, 8 및 10mm인 경우 공작물제거속도가 증가하는 경향을 나타내고 있었다. 하지만 구멍 직경이 4와 6mm인 경우 가공시간이 오히려 증가하는 경향을 나타내는데, 이것은 방전가공의 마지막 단계에서 전극봉내에 피삭재 일부분이 닿아 2차방전이 계속적으로 일어나기 때문이다.

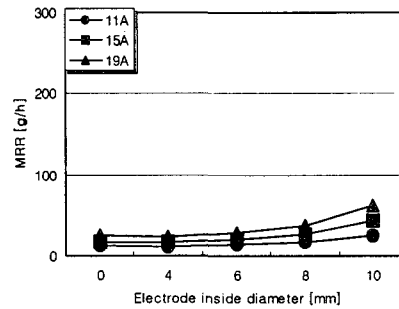


Fig. 2 Material Removal Rate for DF of 0.24

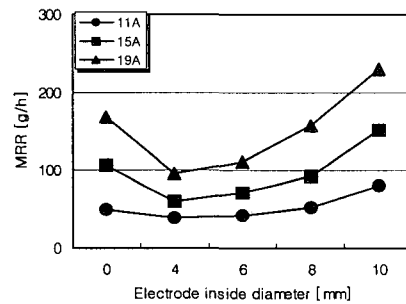


Fig. 3 Material Removal Rate for DF of 0.45

또한 인가전류가 11, 15 및 19A이고 전극봉내 방전유 분사를 위한 내경변화에 따른 전극봉제거속도를 듀티팩터가 0.24 및 0.45인 경우 각각 Fig. 4와 Fig. 5에서 나타내고 있다. 인가 피크 전류가 증가할수록 모두 전극봉제거속도가 크게 나타나고 있으며 또한 전극봉내 구멍의 직경이 클수록 전극봉제거속도가 커진다는 것을 알 수 있었다.

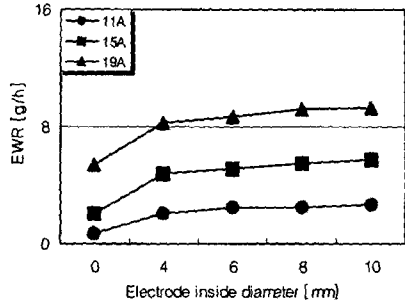


Fig. 4 Electrode Wear Rate for DF of 0.24

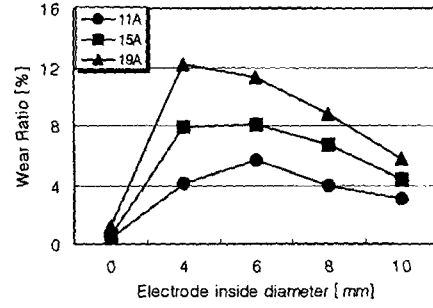


Fig. 7 Wear Ratio for DF of 0.45

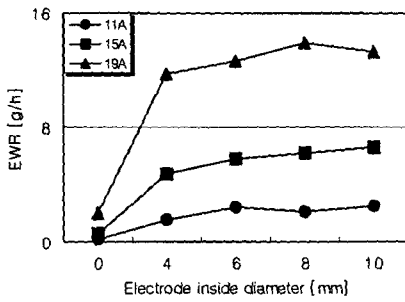


Fig. 5 Electrode Wear Rate for DF of 0.45

한편 전극소모비는 전극봉마멸속도를 공작물 제거속도로 나눈 값으로, 듀티팩터가 0.24 및 0.45인 경우 각각 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 듀티팩터가 0.45인 경우 전극봉내 구멍 직경이 0mm 보다 4mm인 경우 상대적으로 전극소모비가 많게 나타났는데 이것은 방전가공의 마무리 단계에서 2차방전이 발생하는 것으로 사료된다.

방전가공된면의 최대표면거칠기를 인가 피크 전류가 11A 및 15A 경우 각각 Fig. 8과 Fig. 9를 나타내고 있는데 종합적으로 비교해볼 때 피크 전류가 증가할수록 최대표면거칠기가 나빠진다는 것을 알 수 있었다. 전극봉내 구멍의 직경변화에 따른 최대표면거칠기값들은 거의 변화가 없는 것처럼 보이며 또한 듀티팩터의 변화에 대하여도 큰 변화가 없는 것으로 사료된다.

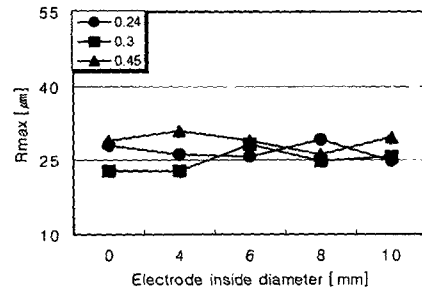


Fig. 8 Maximum surface roughness for peak current of 11A

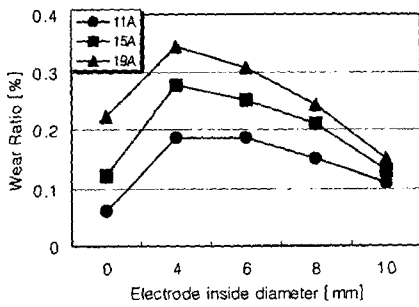


Fig. 6 Wear Ratio for DF of 0.24

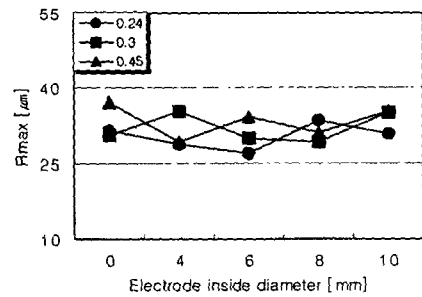


Fig. 9 Maximum surface roughness for peak current of 15A

인가 피크전류 11A와 19A인 경우 피삭재의 구멍형상을 진원도측정장치에서 측정한 진원도값들을 Fig. 10과 Fig. 11에 각각 나타내고 있다. 뚜렷한 경향을 얻을 수 없었으나 인가 피크전류가 작을수록 진원도값의 상태가 양호했으며, 대체로 전극봉내 구멍 직경변화에 따른 진원도 상태변화에서는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다.

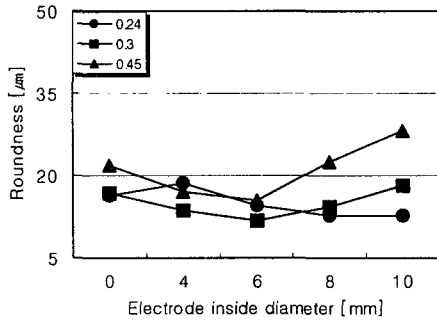


Fig. 10 Roundness for peak current 11A

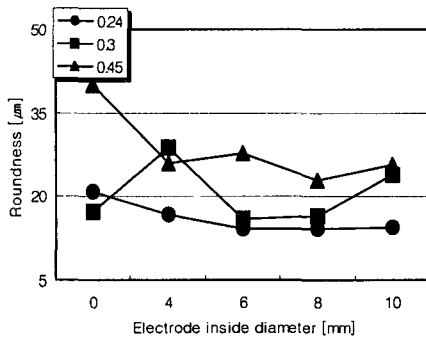
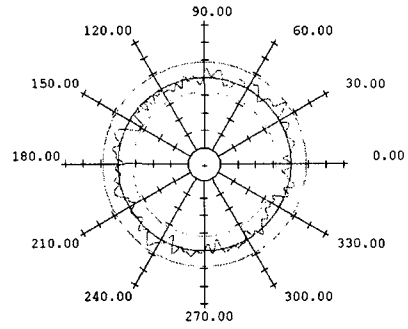
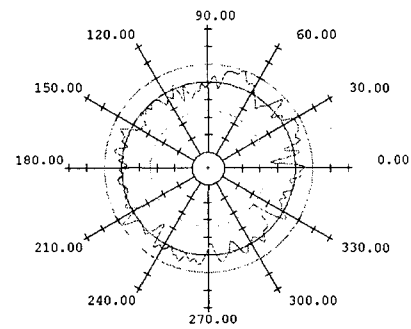


Fig. 11 Roundness for peak current 15A

그리고 전극봉내 구멍 직경이 4mm인 경우 인가 피크전류가 11A와 15A일때 실제 측정된 진원도 형상을 500배 확대하여 Fig. 11에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 인가 피크전류가 증가하여도 진원도 상태가 약간씩 변한다는 것을 관찰할 수 있었고, 인가 피크전류가 증가할수록 타원형 모양의 형태를 나타내고 있었다.



(a) Peak current 11A



(b) Peak current 15A

Fig. 12 Roundness profile for according to electrode inside diameter of 4mm

4. 결론

본 연구에서는 형조방전가공시 가공속도를 향상시키기 위하여 전극봉내 구멍을 만들어 그 속으로 방전유를 분사시키는 실험을 진행하였으며, 전극봉내 직경변화와 함께 인가 피크전류와 듀티팩터들의 가공조건의 변화에 따른 공작물제거속도, 전극마멸속도 및 전극소모비들의 방전가공 특성을 파악하였고, 최대표면거칠기 및 진원도 분석들의 형상특성 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

인가 피크전류와 듀티팩터가 증가할수록 공작물제거속도가 증가하고 있었으며, 특히 같은 인가 피크전류에서 듀티팩터가 0.24인 경우보다 0.45인 경우 공작물제거속도의 증가폭이 크게 나타났다.

전극봉내 구멍 직경이 커질수록 방전가공시간

이 빠른 것으로 나타났으며, 전반적으로 구멍 직경이 4mm와 6mm에서는 오히려 직경이 0mm인 경우보다 많은 가공시간이 소요되었고 또한 전극 소모비 또한 전극봉내 구멍 직경이 8mm와 10mm보다 크게 나타났는데, 이것은 형조방전가공시 마무리단계에서 피삭재 일부분이 전극봉내 표면에 닿아 계속적으로 2차방전이 발생하여 마무리되지 않고 계속 방전이 발생하여 공작물제거 속도가 낮게 나타났기 때문이다.

방전가공된면의 최대표면거칠기는 인가 피크 전류가 증가할수록 표면이 거칠어진 것을 알 수 있으며, 전극봉내 구멍 직경변화는 최대표면거칠기값에 거의 영향을 미치지 않았다.

방전가공된 피삭재 구멍에서 측정된 진원도값들은 많은 변화가 나타나지 않았지만 인가 피크 전류가 작을수록 양호한 진원도값을 나타내고 있었으며, 전극봉내 구멍 직경에 따른 진원도값의 변화는 뚜렷이 나타나지 않았다.

참고문헌

- [1] S. Abrate and D. Walton, "Machining of Composite Materials. Part II: Nontraditional Methods," Vol. 3, No. 2. pp. 85-94, 1992.
- [2] M. Kunieoa and S. Furuoya, "Improvement of EDM Efficiency by Supplying Oxygen Gas into Gap," Annals of the CIRP, Vol. 40, pp. 215-218, 1991.
- [3] M. Kunieda and M. Yoshida, "Electrical Discharge Machining in Gas," Annals of the CIRP Vol. 46, pp. 143-146, 1997.
- [4] N. Mohri, N. Saito and Y. Tsunekawa, "Metal Surface Modification by Electrical Discharge Machining with Composite Electrode," Annals of the CIRP Vol. 42, pp. 219-222, 1993.
- [5] N. Mohri, H. Takezawa and N. Saito, "On-the-Machine Measurement in EDM Process by a Calibration System with Polyhedra," Annals of the CIRP Vol. 43, pp. 203-206, 1994.
- [6] N. Mohri, M. Suzuki and M. Furuya, "Electrode Wear Process in Electrical Discharge Machining," Annals of the CIRP, Vol. 44, pp. 165-168, 1995.
- [7] 김창호외 1인, "방전가공," 기전연구사, 1995, pp. 45-46.