

와이어컷 방전가공시 펄스변화에 따른 표면형상 특성

Characteristics of Surface Morphology According to the Pulse Change When Wire-cut Electrical Discharge Machining

이재명(경남대 대학원 기계공학과), 김원일, 이윤경, 왕덕현(경남대 기계자동화공학부)

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

Abstract

Wire deflection, surface roughness and roundness were observed on changing discharge time for electrical discharge machining(EDM) of STD-11 in various conditions of thickness. The wire deflection was decreased as increasing discharge time and wire tension. The deflection is the smallest at the speed of wire of 10.6m/min and the water specific resistivity of $5k\Omega \cdot cm$. The deflection is found to be decreased as increasing dwell time. But if the water pressure is high, it is found not to be changed after the vibration of 4sec. The component of copper(Cu) and zinc(Zn), which is the main material of wire electrode, is observed for rough wire-cutting EDM of STD-11. This phenomena is found to be similar in spite of the change of EDM time at various conditions of EDM energy level. But it will be improved by changing the material and the shape of wire. The roundness of middle is found to be worse than that of upper and it is increased as the thickness of material is increased.

Key Words : Wire-cutting EDM(와이어컷 방전가공), Pulse on time(방전펄스시간), Gap of deflection(처짐량), Hand drum form(복현상),

1. 서론

방전가공은 금형산업의 발달과 더불어 발전하고 있으나 제품의 수명주기가 짧아짐에 따라 다

양한 형상의 설계를 중요시하게 되었다. 또한 금형산업 분야에서는 다양한 특성을 갖는 신소재의 개발 뿐만 아니라 복잡한 3차원 형상 및 고품위 가공을 위하여 방전가공기술이 최근에 급속히 발전하고 있다^[1,2]. 금형산업에서는 많은 소재들이 기능이 향상되어 사용되고 있으며, 그 중 고탄소강과 고크롬강들은 상온에서 내마멸성이 크며 또한 담금질처리 후 변형도 적어 냉간금형용 합금공구강으로 주로 사용하고 있다^[3].

냉간금형용 합금강은 기계가공성이 나쁘며 담금질 온도가 높아 고도의 치수 정밀도와 정확한 형상의 제품의 가공을 위해서는 특수가공법인 와이어컷 방전가공이 필수적이다^[4]. 와이어컷 방전가공은 공작물과 와이어전극 사이에서 아크방전을 일으켜 이 때 발생하는 열 및 압력을 이용하여 가공하는 방법으로 방전은 1초에 수만 내지 수십만회가 발생하고 온도는 수천도에 이른다^[5,6].

본 연구에서는 자동제어방식을 이용하여 냉간금형용 합금공구강인 STD11을 방전펄스시간과 시편 두께를 변화시키면서 정방형과 원형으로 가공하는 경우 와이어의 처짐, 표면형상, 진원도 특성들을 연구하여 고품위 및 고정밀도의 방전가공 방법을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용한 와이어컷 방전가공기는 대우중공업(주)의 A320기종으로 테이블 이동거리는 X축은 320mm Y축은 200mm Z축은 175mm 이고, 가공물 최대치수는 700x500mm이며, 사용 와이어 직경은 0.1~0.3mm이고, 최대 와이어 이송속도는 250mm/sec, 와이어 장력은 0.2~2.8kgf

로, 가공방식은 분류가공과 침전가공이 가능하다. 본 연구에 사용된 실험기기 및 측정기들을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Experimental equipments

Item	Model	Company
Wire-cutting EDM	A320	Daewoo
Oscilloscope	9310A 400MHz	Lecroy
Surface roughness tester	Surftest-501	Mitutoyo
Digital multimeter	DM 3750	K.C. Engr.
Roundness tester	RA-116D	Mitutoyo

실험연구에 사용된 피삭재는 크롬이 많이 함유된 난삭재인 냉간금형용 합금강(STD-11)을 사용하였고, 화학적 성분은 Table 2에 나타내고 있다. 와이어의 성분과 기계적 성질값을 Table 3에 나타내었다.

Table 2 Chemical composition of STD-11

Chemical composition(wt %)										
Fe	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
85.40	1.47	0.28	0.27	0.021	0.001	0.05	0.14	11.28	0.83	0.25

Table 3 Chemical composition and mechanical properties of wire electrode

Chemical composition(%)					Mechanical properties	
Cu	Zn	Pb	Sn	Fe	Tensile strength (kgf/cm ²)	Elongatio n(%)
63.04	36.86	0.03	0.02	0.03	100	2

와이어의 공급속도와 장력을 각각 10.6m/min, 840gr로 고정하였고, 가공액은 침전방식으로 상하노즐을 가공물로부터 0.1mm를 띄우고 방전액으로 물을 사용하여 고속가공 조건인 18kg/cm²의 압력으로 6 l/min의 유량으로 하였으며 가공액 비저항은 $5 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 로 고정하고 수온은 냉각장치에 의하여 20℃를 유지하였다.

본 실험에서는 방전시간을 3 μs , 6 μs , 12 μs , 20 μs 으로 변화시키면서 두께 20mm, 40mm, 60mm의 STD11을 가로, 세로 각각 5mm의 정방형과

지름 10mm의 원형으로 가공하여 와이어의 처짐, 표면형상 및 진원도 특성들을 관찰하였다.

복원상과 처짐량은 2 μm 까지 측정이 가능한 다이얼 테스트 인디케이터와 V-블록을 이용하여 상중하 3개 부분의 치수를 측정하였고, 표면거칠기는 동일조건으로 90도 방향으로 4회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다. 원형시편의 진원도값은 진원도를 나타내는 연산방법중 최소자승법으로 Gaussian 필터를 이용하였으며, 6rpm으로 회전하며 최대 적재질량은 20kg까지 가능한 진원도 측정장치를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 방전가공조건인 방전펄스시간과 시편두께를 변화시키는 경우 전류, 전압 및 가공속도의 변화를 각각 Fig. 1, Fig. 2 및 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 1과 Fig. 2에 보여주는 것처럼 시편두께가 20mm인 경우 펄스주기에 따라 전류 및 전압값이 비례하지 못하고 전류값이 상대적으로 작고 전압값이 상대적으로 큰 것은 주어진 에너지의 양이 일정하며 변화가 없기 때문이다. 그 결과 에너지 즉 같은 방전시간에서 Fig. 3에 나타난 것처럼 가공속도는 두께에 비례하여 증가하는 경향을 나타내고 있다.

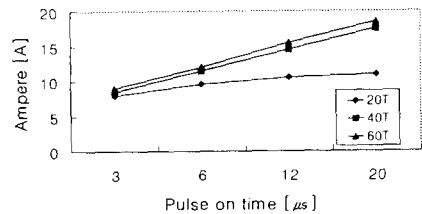


Fig. 1 Ampere change due to the pulse on time

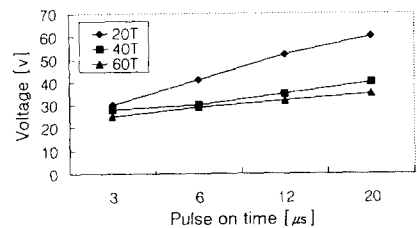


Fig. 2 Voltage change due to the pulse on time

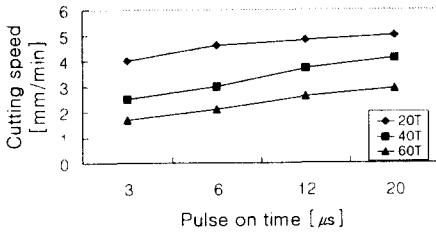


Fig. 3 Cutting speed change due to the pulse on time

Fig. 4는 방전펄스시간의 변화에 따른 주파수를 디지털 multimeter를 이용하여 평균값을 얻은 것이며 Fig. 5는 오실로스코프(400Mhz)로 파형을 측정된 결과를 나타낸 것으로 1눈금은 $10\mu\text{s}$ 이다.

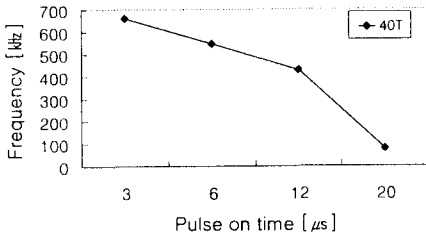


Fig. 4 Frequency change due to the pulse on time

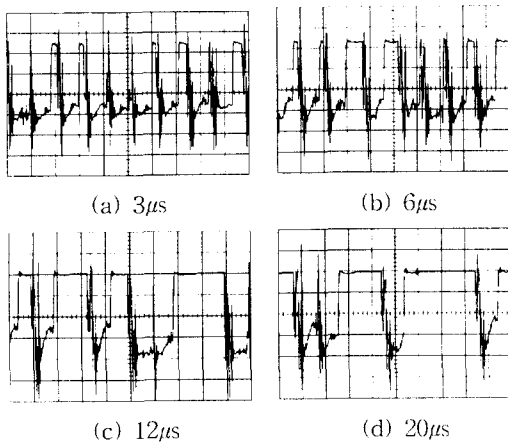


Fig. 5 General waveform of spark due to the various pulse on time

Fig. 6은 방전시간에 따른 북현상의 변화로써 두께 60mm에서 급격히 증가하며, 방전시간 $6\mu\text{s}$ 에서 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

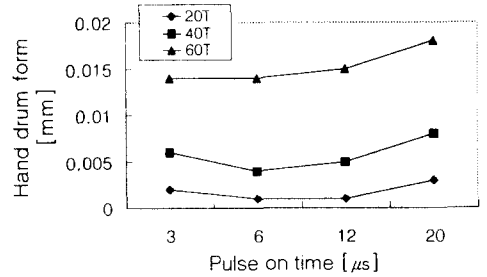


Fig. 6 Hand drum form change due to the pulse on time

Fig. 7은 시편의 두께별 방전시간의 변화에 따른 와이어의 처짐으로 방전시간의 증가에 따라 처짐이 완만하게 작아지고 있으나 두께 60mm에서는 많은 처짐이 있는 것을 볼 수 있다.

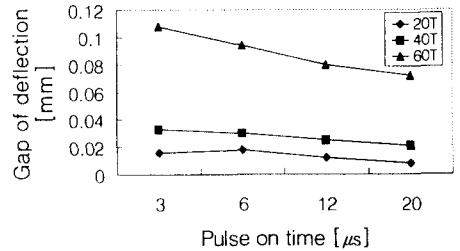


Fig. 7 Gap of deflection change due to the pulse on time

Fig. 8은 와이어 이송속도 변화에 따른 처짐량으로 두께 20mm에서는 거의 변화가 없으며 와이어 속도가 10.6m/min 인 경우 처짐이 작게 나타난다.

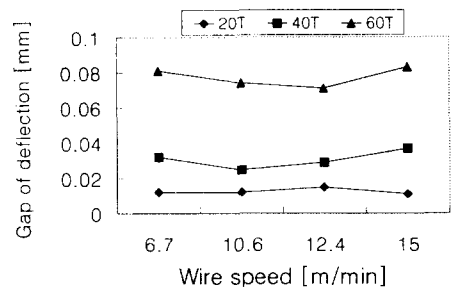


Fig. 8 Gap of deflection change due to the wire speed

Fig. 9는 와이어의 장력에 따른 처짐으로 두께 20mm에서는 거의 변화가 없으나 두께 60mm에서는 장력이 커질수록 급격히 처짐이 작아지고 있었다. Fig. 10에서는 가공액의 비저항이 $5k\Omega \cdot cm$ 에서 처짐이 가장 작게 나타나므로 SKD11의 가공액의 가공조건으로 최적인 것으로 사료된다. Fig. 11은 처짐을 작게 하기 위하여 코너에서 이송을 정지시키는 드웰시간을 준 경우이며 4sec까지는 처짐이 줄어들었으나 그 이후로는 처짐의 변화가 없음을 보여준다. 이것은 거친가공의 조건으로 가공액의 압력과 유량이 크기 때문에 진동이 생겨 처짐이 더 이상 작아지지 않는 것으로 생각된다.

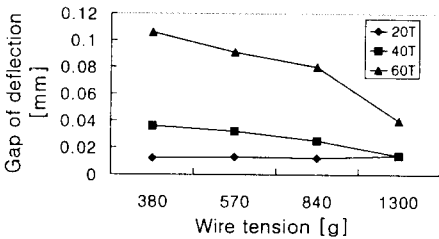


Fig. 9 Gap of deflection change due to the wire tension

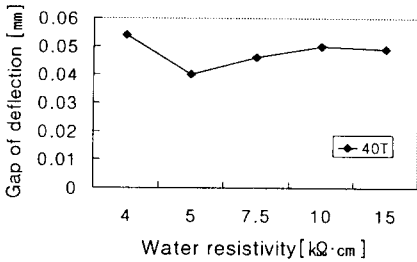


Fig. 10 Gap of deflection change due to the water resistivity

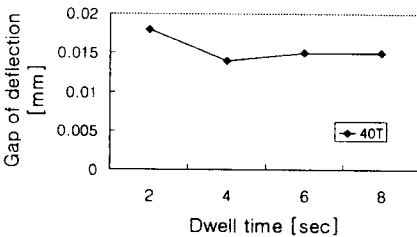


Fig. 11 Gap of deflection change due to the dwell time

Fig. 12는 방전펄스시간에 따른 가공면 최대표면거칠기로써 방전시간이 길어짐에 따라 두께가 40, 60mm인 경우 최대표면거칠기는 증가하나, 두께 20mm는 거의 변화가 없다. Fig. 13(a)와 13(b)는 두께가 40mm이고 방전시간이 각각 $3\mu s$ 와 $20\mu s$ 인 경우 측정된 가공면 거칠기상태를 나타내고 있다.

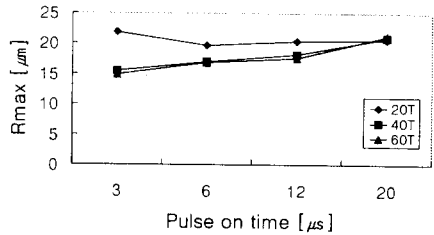


Fig. 12 Maximum surface roughness change due to the pulse on time

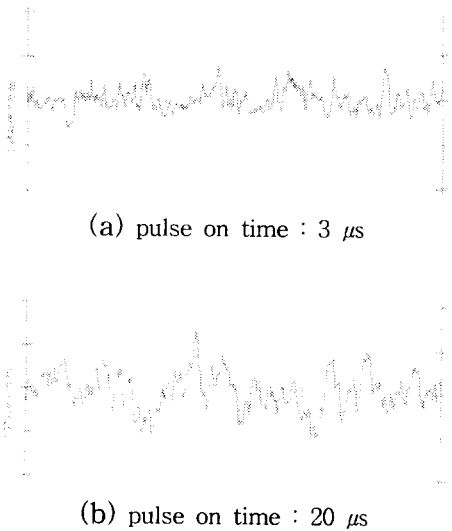


Fig. 13 Measured surface roughness signals for different pulse on time

Fig. 14와 Fig. 15는 두께 40mm인 시편을 가공액의 비저항과 유량에 따른 최대표면거칠기로써 비저항 $5k\Omega \cdot cm$ 에서 가장 양호하게 나타나며, 유량이 증가할수록 가공면이 거칠어짐을 알 수 있다.

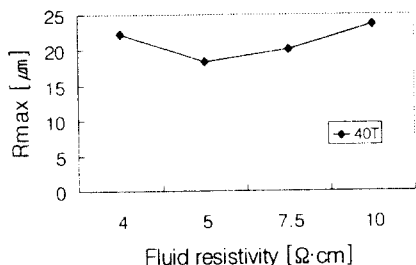


Fig. 14 Maximum surface roughness change due to the fluid resistivity

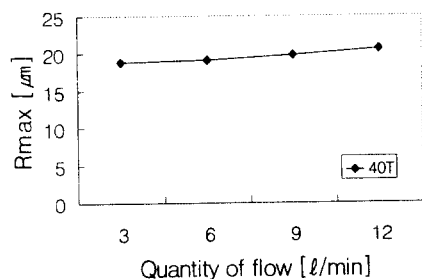
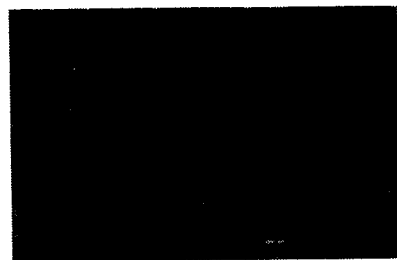
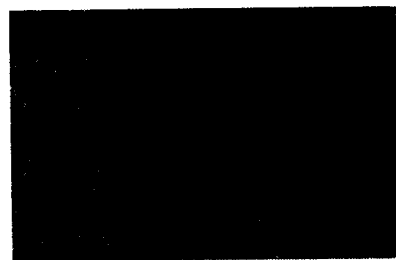


Fig. 15 Maximum surface roughness change due to the quantity of flow

Fig. 16(a)는 두께 60mm, 방전시간 20 μ s의 가장 거친가공의 주사전자현미경 사진을 400배 확대한 것으로 Rmax값이 21.0 μ m이고 Fig. 16(b)는 4차의 마무리가공으로 Rmax값이 5.23 μ m인 경우의 사진들이다. Fig. 17은 Fig. 16(a)의 거친 불규칙한면에서 높은부분과 바닥부분을 EDS(Energy Dispersive Spectrum)분석한 결과로써 Fig. 17(a)의 높은부분은 Cr이 7.81%, Fe이 46.57%, Cu가 31.85%, Zn이 13.76%이고, Fig. 17(b)의 바닥부분은 Cr이 11.38%, Fe이 79.73%, Cu가 5.75%, Zn이 3.14% 성분인 것으로 나타났다. 이것은 크롬 성분이 많이 함유된 냉간금형용 합금공구강인 SKD11에 와이어전극의 주성분인 Cu와 Zn이 코팅되어진 것으로 볼 수 있다. 이것은 방전시간의 변화에도 유사한 성분비로 나타나고 있으므로 방전에너지의 변화에는 무관하고, 와이어의 재질이나 형태의 변화에 의하여 개선될 것으로 생각된다.

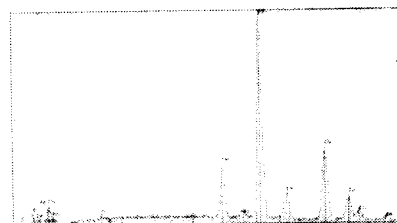


(a) Rough cutting (pulse on time : 20 μ s)

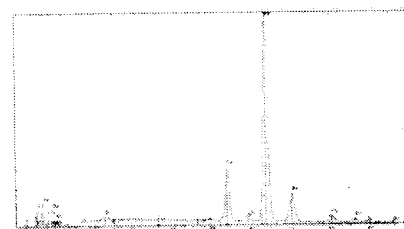


(b) Finish cutting (4th cutting)

Fig. 16 Scanning electron microphotographs of wire cutting EDMed workpiece



(a) Top

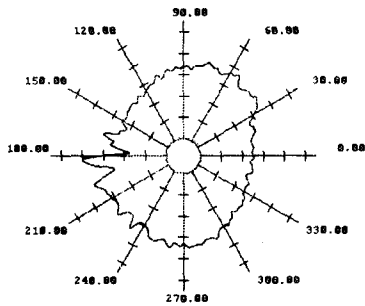


(b) Bottom

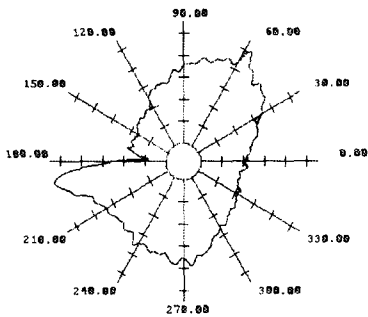
Fig. 17 X-ray diffraction pattern obtained from wire cutting EDMed surface

Fig. 18은 두께 60mm의 시편을 방전시간 12 μ s의 조건으로 ϕ 10되게 가공한 것으로 Fig. 18(a)는 위로부터 2mm되는 부분과, Fig. 18(b)는 중간부분의 진원도 형상을 500배 확대하여 나타

내었다. 여기서 Fig. 18(a)의 위부분은 $16.89\mu\text{m}$, Fig. 18(b)의 중간부는 $34.01\mu\text{m}$ 로 중간부가 더욱 타원형이 됨을 알 수 있다. 그리고 두께가 얇아질수록 이 차이는 현저히 줄어든다.



(a) Top



(b) Middle

Fig. 18 Roundness profile of machined surface by wire cutting EDM

4. 결론

본 연구에서는 방전시간을 $3\mu\text{s}$, $6\mu\text{s}$, $12\mu\text{s}$, $20\mu\text{s}$ 으로 변화시키면서 두께 20mm, 40mm, 60mm의 STD11을 가공하여 와이어의 처짐, 표면형상, 진원도 특성 등을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

방전시간, 와이어장력의 증가에 따라 와이어의 처짐이 작아지며, 와이어의 속도가 10.6m/min인 경우 가공액 비저항이 $5\text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ 에서 처짐이 가장 작게 나타나고 있으며, 드웰시간의 증가로 처짐이 작아지나 4sec 후로는 변화가 없는 것은 가공액의 압력과 유량이 크기 때문에 진동이 생겨 처

짐이 더 이상 작아지지 않기 때문이다.

가공면 거칠기는 가공액의 비저항 $5\text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ 에서 가장 양호하게 나타나며, 유량이 증가할수록 가공면은 거칠어진다. 거친가공면의 표면형상은 크롬(Cr)성분이 많이 함유된 냉간금형용 합금공구강인 SKD11에 와이어전극의 주성분인 Cu와 Zn이 코팅되어있다. 이것은 방전시간의 변화에도 유사한 성분비로 나타나고 있으므로 방전에너지의 변화에는 무관하고, 와이어의 재질이나 형태의 변화에 의하여 개선될 것으로 생각된다. 원형으로 가공시 진원도가 위부분보다 중간부분이 좋지 않으며, 두께가 두꺼울수록 커진다.

참고문헌

- [1] 김기선, "CNC방전가공 및 와이어컷방전가공," 문운당, pp. 281-284, 1998.
- [2] 眞鍋明, "ワイヤ放電加工," 日刊工業新聞社, pp. 7-12, 1997.
- [3] 김창호, "방전가공," 기전연구사, pp. 25-28, 1995.
- [4] M. Kunieda and M. Yoshida, "Electrical Discharge Machining in Gas," Annals of the CIRP Vol. 46, pp. 143-146, 1997.
- [5] S. Abrate and D. Walton, "Machining of Composite Materials. Part II: Nontraditional Methods," Composite Manufacturing, Vol. 3, No. 2. pp. 85-94, 1992.
- [6] 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.