

금형강의 와이어 컷 방전가공시 방전조건과 가공특성

(Characteristics of Machinability and Operating Condition in Wire-Cut EDM of Die Material)

성준경*(부산대 원), 강명창(부산대 기계기술연구소), 황정현(한국기계연구원)
김정석(부산대 정밀정형 및 금형가공 연구센터)

ABSTRACT : From the experimental study of Wire-Cut EDM of die-material(SKD-11), machining characteristics such as machining rate, surface roughness and hardness have been observed and evaluated under the conditions varying pulse on time, pulse off time, peak voltage after fixing other conditions. It was found that various operating conditions have significant influences on machining rate, surface roughness. Hardness of workpiece was unaffected by operating conditions.

Key words : Wire-Cut EDM(와이어 컷 방전가공), Machining Rate(가공량), Surface Roughness(표면거칠기), Hardness of workpiece(경도), Die Material(금형강)

1. 서 론

난삭성재료에 대한 고능률· 고정밀가공 및 가공형상의 복잡화, 미소화의 요구에 따라 기존의 역학적 에너지 사용된 기계적 가공법을 대체할 수 있는 새로운 가공법인 방전가공이 폭넓게 사용되게 되었다.⁽¹⁾

일반적으로 방전가공기는 형조 방전가공기와 와이어 방전가공기로 크게 나누는데, 와이어 방전가공기는 타 가공법에 비해 난삭성재료의 우수한 가공특성으로 인하여 우주항공과 자동차산업, 부품가공 및 형조용 전극가공 등에도 폭넓게 사용되고 있어 형조의 2배이상이나 되는 수요를 확보하여 앞으로는 점점 그 적용분야가 넓어질 것으로 기대된다.^(2, 3)

와이어 방전가공은 공작물과 전극사이에서 방전현상을 일으키며 이때 발생하는 열 및 압력을 이용하여 공작물을 녹여서 자르게 된다.⁽⁴⁾ 이때 열적작용에 의해 가공이 진행되기 때문에 방전면은 금속조직학적 변화, 열적공정에 의한 잔류응력의 발생과 화학 조성 및 재질 변화, 경도등 기계·물리적 변화 및 균열이나 공동현상(Cavity)의 발생 등으로 인하여 모재와는 크게 다른 성질을 나타낸다. 이러한 가공표면에 대한 물성변화의 해석은 제품의 가공면 품위, 신뢰성 등의 품질에 관한 중요한 문제가 된다.^(5, 6)

따라서 본 연구에서는 난삭재료인 금형강을 이용하여 방전시간, 방전휴지시간, 피크전압의 방전조건과 공

작물의 두께 변화에 따라 표면거칠기, 경도, 가공량의 가공특성에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

2. 와이어 컷 방전의 가공특성

와이어 컷 방전가공에는 와이어 전극의 소모는 고려하지 않아도 되기 때문에 가공특성으로서는 가공속도 및 가공면 거칠기가 중요하다. 여기서 가공속도는 단위시간당의 가공 단면적을 나타낸다. 즉 가공속도(mm²/min)는 전극 이송속도(mm/min)와 가공물 두께(mm)의 곱으로서 면적 가공속도라고도 한다. 가공속도 즉 가공량은 이 면적 가공속도에 의해 평가된다. 이러한 면적 가공속도를 증가시키기 위해서는 우선 방전 에너지에 비례하는 단발방전에 의한 가공 제거량을 증가시켜야 한다. 단일 방전에너지 P(J)는 다음 식으로 표현된다.

$$P(J) = \tau_{on} \cdot I_p \cdot V_g \quad (1)$$

여기서, I_p : 극간에 있어서의 방전전류 피크값

τ_{on} : 방전시간

V_g : 방전전압

또한 실제의 가공에 있어서는 임의의 주기를 갖고 방전 현상이 반복적으로 이뤄지기 때문에 반복 조작횟수를 증가시키기에 의해서 가공량을 증가시킬 수 있다. 이것은 휴지시간을 작게하면 방전 반복횟수가 증가함으로써 가공속도가 높아지는 것을 의미한다.

한편 가공면 거칠기는 단발방전에 의한 방전흔의 깊이와 그 주변에 있어서의 밀어 올려진 듯한 부위의 크기로 크게 나뉘어지게 되어 결국은 단발방전에 의한 제거 현상의 누적이라고 볼 수 있다.

일반적으로 가공량을 높이면 가공면의 거칠기가 악화되어지게 되며, 가공면의 거칠기를 양호하게 하기 위해서는 가공량을 낮추어야 한다.

따라서 가공면을 형성하는 방전흔(crater)은 가능한 작게하고 방전흔의 집적을 많게 하여 가공속도를 향상시키는 것이 바람직하다. 즉 단위시간 내의 방전 반복 횟수를 많게 함으로서 작은 방전흔으로 총 제거량을 증대시키게 되면 가공면 거칠기는 양호하게 되며, 가공속도가 높아질 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험기기 및 가공물

본 실험에 사용된 와이어 방전가공기는 일본 SODICK사의 수치제어장치를 내장한 대우중공업의 NC-WEDM이며, 절연액은 순수물을 사용하였다. 와이어 전극은 $\phi 0.25\text{mm}$ 의 황동을 사용하였다. 실험장치 개요도는 Fig. 1에 나타내었다. 가는 와이어를 전극으로 하여, 이 와이어에 장력을 준 상태로 감으면서 와이어와 가공물 사이에 방전을 일으키고, 방전에너지에 의하여 가공물을 가공하는 것으로서 가공물과 전극인 와이어에 상대운동을 줌으로서 실틀식으로 2차원 윤곽 형상을 가공한다.

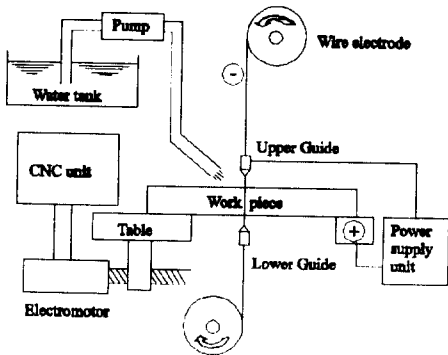


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

사용한 가공물은 난삭성 재료인 금형강(SKD 11)으로 가로·세로의 길이가 $100 \times 100\text{mm}$ 이고, 두께는 20, 40, 60mm이다. 전극과 가공물의 화학적, 기계적 성분은 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of wire electrode

Chemical Composition(%)					Mechanical Properties	
Cu	Zn	Pb	Sn	Fe	Tensile Strength (kgf/cm ²)	Elongation (%)
63.04	36.86	0.03	0.02	0.03	100	2

Table 2 Chemical compositions and hardness of workpiece(SKD 11)

Chemical Composition (%)									Hardness (H _{RB})
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	
1.44	0.23	0.27	0.02	0.03	0.13	12.0	0.90	0.24	96.5

3.2 실험방법

와이어의 공급속도, 와이어 장력, 피크 전류, 서어 기준전압 및 테이블의 이송속도는 일정하게 두고 방전 시간, 방전휴지시간, 공작물의 두께, 피크전압이 가공량과 가공면의 표면거칠기, 경도의 가공특성에 미치는 영향을 조사하였다. 여기서 와이어의 장력은 인장시험기를 이용하여 측정하고, 가공은 전극이 음극(-)을 띄고 공작물이 양극(+)을 띄는 정극성 가공을 행하였다. 실험을 위한 가공조건은 Table 3에 나타나 있다.

Table 3 Experimental conditions

Item	Operating Condition
Wire speed	6 (m/min)
Wire tension	1.5 (Kgf)
Peak current	1 ~ 40 (A)
Servo reference voltage	32.5 (V)
Servo speed	5 (mm/min)
Pulse on time	0.4, 0.5, 0.6, 0.7 (μs)
Pulse off time	5, 10, 15, 20 (μs)
Peak voltage	60, 80, 100, 270 (V)
Workpiece thickness	20, 40, 60 (mm)

가공은 가로 및 세로가 100mm인 금형강을 가는 횡동와이어로 가공물의 두께별로 하나의 가공조건당 10mm씩 가공하였고, 가공량은 화면에 표시되게 하여 가공중 알 수 있도록 하였다. 가공면의 경도는 로크웰 B스케일로 위·아랫면과 중간면을 3번씩 측정하여 평균치를 구하였으며, 가공면거칠기는 평균거칠기(Ra)방법으로 윗면, 중간면 및 아랫면의 세부분을 표면조도기로 3번씩 측정하여 각각의 평균치를 구하였다. 또한 가공면의 표면상태를 살펴보기 위해서 광학 현미경을 이용하여 가공면의 윗면과 중간면을 촬영하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 방전조건과 가공물 두께에 따른 가공량

방전시간의 증가에 따른 가공량의 변화상태는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 방전시간의 증가에 따라 가공량은 증가하고, 가공물의 두께가 증가함에 따라 가공량은 증가함을 알 수 있다. 여기서 가공량은 방전에너지에 비례하고 이것은 또한 방전시간에 비례한다.

따라서 방전시간을 증가시키면 단발방전의 횟수가 증가하게 되어 가공량이 증가하게 된다.

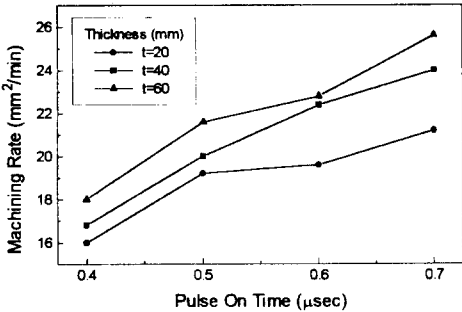


Fig. 2 Variation of machining rate according to pulse on time and thickness

Fig. 3은 방전휴지시간이 증가하면 가공량은 감소한다는 것을 나타내는데 방전휴지시간을 크게 하면 단발방전에 의한 방전 반복횟수가 감소하고, 방전에너지의 감소로 인하여 가공량은 줄어들게 된다. 또한 같은 방전에너지에 대해 가공물의 두께가 두꺼울수록 가공량은 증가한다.

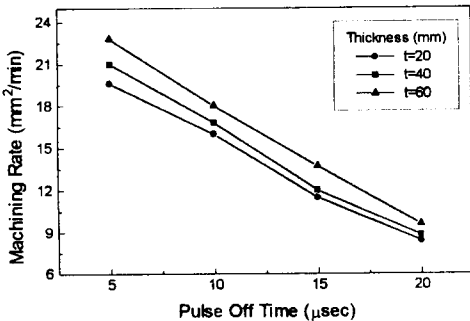


Fig. 3 Variation of machining rate according to pulse off time and thickness

피크전압에 따른 가공량의 관계는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 피크전압이 증가할수록 가공량이 증가하고, 가공물의 두께가 얇을수록 가공량은 감소한다. 여기서

피크전압의 상승은 최대 방전에너지를 증가시키고, 평균전류를 증가시켜 높은 에너지에 의한 방전횟수를 증가시키게 된다.

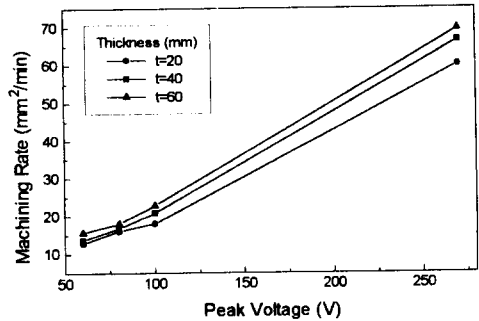


Fig. 4 Variation of machining rate according to peak voltage

이상과 같이 가공물의 두께가 두꺼울수록 가공량은 증가하는 현상이 보이는데 이를 면적효과라고 한다. 즉, 방전을 유발하기 위한 미소돌기가 가공면 전면에 걸쳐 분산분포되어 있을 필요가 있지만 면적이 작아질수록 분산분포의 정도가 작아져 방전이 1개소에 집중하여 일어나기 쉽다.

따라서 와이어 방전가공은 미세한 와이어 전극에 대항하는 미소면이 가공면으로 되기 때문에 항상 면적효과를 받기 쉬우며, 가공물의 두께가 두꺼울수록 와이어의 진행방향에 가공면적이 커지기 때문에 면적효과가 유효하게 작용하여 면적 가공속도가 향상된다.

4.2 방전조건과 가공물 위치에 따른 표면거칠기

가공물의 두께가 60mm일 때 방전시간의 증가에 따른 표면거칠기의 변화는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 방전시간이 증가할수록 표면거칠기는 점점 거칠어지는 것을 알 수 있다. 이것은 방전시간이 커질수록 방전에너지의 증가에 따른 큰 방전흔의 발생과 단발방전 집적에 의한 영향으로서 볼 수 있다. 또한 가공물의 중간부분(mi)에서의 거칠기가 윗면(up)과 아래면(dn)의 거칠기보다 더 거친데 이것은 와이어 방전가공시 윗쪽 노즐과 아래쪽 노즐에서의 물 분사에 의해 칩들이 중간부분에서 엉키며 융착되고, 2차방전을 일으킴에 의해서 생긴 현상으로 볼 수 있다. 실제 가공시 칩들은 중간영역에서 거의 배출되고 있다.

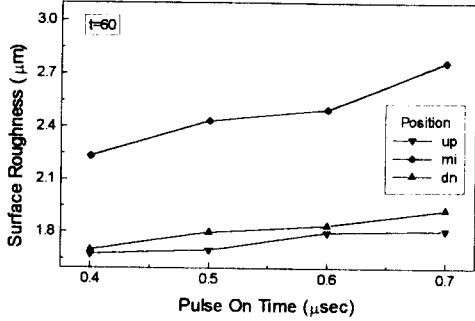


Fig. 5 Variation of surface roughness according to pulse on time

Fig. 6은 가공물의 두께 20mm에서 방전휴지시간의 증가에 대한 표면거칠기의 변화를 나타낸 것으로 방전휴지시간이 증가하면 표면거칠기가 감소한다. 이는 방전조작횟수의 감소로 인한 방전흔이 적게 발생하는 것으로 사료된다. 또한 방전휴지시간이 증가함에 따라 가공물의 중간부분에서 표면거칠기가 크게 나타났다.

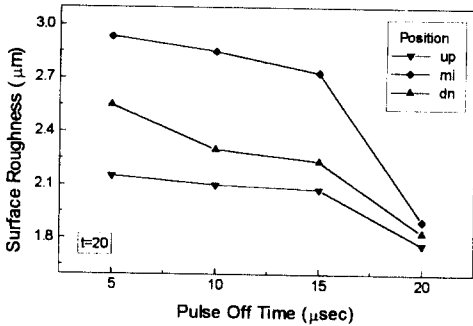


Fig. 6 Variation of surface roughness according to pulse off time

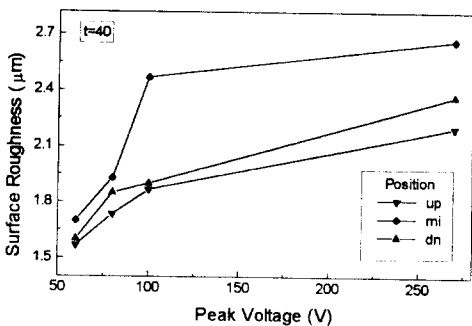


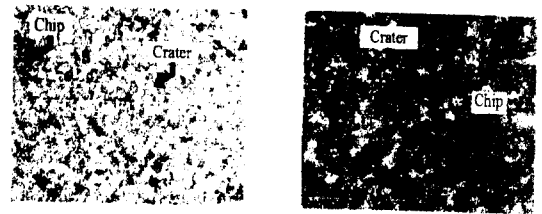
Fig. 7 Variation of surface roughness according to peak voltage

Fig. 7은 가공물의 두께 40mm에서 피크전압의 증가에 따라 표면거칠기가 증가하는 것을 나타낸 것으로서 전압의 증가에 따른 에너지와 평균 전류의 증가로 높

은 에너지 밀도가 발생하여 가공면은 큰 방전흔을 형성하여 거칠기가 나빠진다.

따라서 방전조건에 따라 중간면의 거칠기가 가장 나쁜데, 이것은 중간부분에서 칩들이 2차방전을 일으키고 배출되지 못한 칩에 의해 생긴 현상이다. 또한 아랫면의 거칠기가 윗면의 거칠기보다 큰데, 와이어가 윗면에서 방전을 일으켜 소모가 일어난 상태에서 다시 아랫면에서도 방전을 일으키므로 가공면은 소모된 와이어에 의해 영향을 받는 것으로 사료된다.

위와 같은 현상을 알아보기 위해 가공면의 윗면과 중간면을 광학 현미경을 이용하여 250배 확대 촬영한 것을 Fig. 8에 보였다. Fig. 8(a)에서는 방전에 의한 방전흔이 뚜렷하게 드러나 보이고 약간의 칩들이 융착되어 있는 것을 알 수 있다. 그러나 Fig. 8(b)에서는 방전흔이 거의 보이지 않고 중간부분에서 칩들의 2차방전과 영킴, 용융 및 융착에 의해 표면이 그을려 있고 윗면과는 상당한 차이가 있다는 것이 관찰된다.



(a) Upper Surface (b) Midpoint Surface

Fig. 8 Surface texture of the machined SKD11

한편 다른 방전조건에 대해서도 가공물 두께에 따른 중간면이 가장 거친 경향을 보이고 있다.

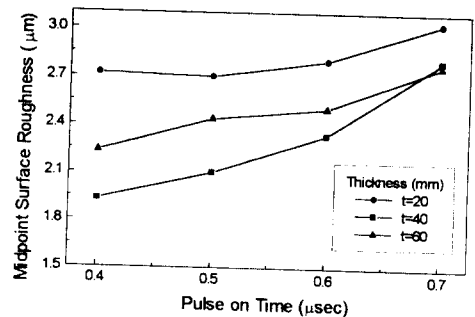


Fig. 9 Midpoint surface roughness of each thickness according to pulse on time

Fig. 9~Fig. 11에서는 방전조건에 따라 가공물 두께별로 중간부분의 표면거칠기를 나타내는 것으로서, 두께가 20mm일 때 가장 거칠고, 40mm에서는 가장 좋은 칩의 배출상태로 인하여 양호한 표면거칠기가 얻

어진다. 40mm일 때 가장 좋은 표면거칠기를 나타내었다. 이것은 표면거칠기에 가장 좋은 입계두께가 존재한다는 것을 의미한다.

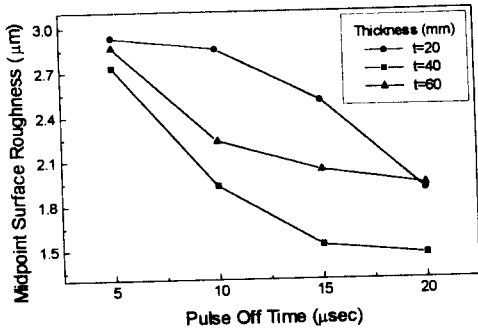


Fig. 10 Midpoint surface roughness of each thickness according to pulse off time

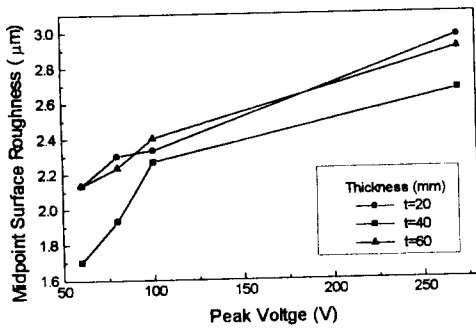


Fig. 11 Midpoint surface roughness of each thickness according to pulse on time

4.3 방전조건에 따른 경도변화

피크전압에 따른 경도의 변화는 Fig. 12에 나타내고 있는데, 피크전압의 따라 경도는 크게 변화하지 않고 거의 일정하다. 이것은 가공조건이 크게 경도에 영향을 미치지 않는다는 것을 보여준다. 반면 중간부분의 경도는 윗면의 경도보다 높다는 것을 알 수 있는데 중간부분에서 칩에 의한 2차방전으로 인한 열의 영향과 칩의 집적에 의해 경도가 다소 높아진 것이다. 또한 윗면과 중간부분에서 각각의 가공물의 두께에 따라서도 경도변화는 미소하다. 한편 Table 2에 나타낸 모재의 경도가 96.5 H_{RR}로서 가공면의 경도보다 큰 값을 가지는데, 이것은 형조 방전가공의 경우 가공표면 근처의 기름이 분해하여 탄소가 표면층에 침투해 가는데 대해서 와이어 방전가공에서는 이 현상이 전혀 없다는 것과 극히 소량이지만 물의 전해작용이 있어서 표면층이 용해하여 가공연화층이 형성된 것이다.

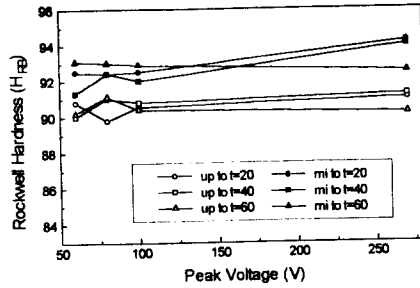


Fig. 12 Rockwell hardness of upper and midpoint surface according to thickness

5. 결론

- (1) 방전시간이 증가하고, 방전휴지시간이 감소하고, 피크전압이 증가할수록 가공량은 증가하고, 면적효과의 영향에 의해 두께가 두꺼울수록 가공량은 증가하였다.
- (2) 표면거칠기는 방전시간과 피크전압이 증가하면 거칠어지고, 방전휴지시간이 증가하면 양호하였다.
- (3) 표면거칠기는 칩의 영향에 의해 위, 아랫면의 거칠기보다 중간면이 더 거칠지는 특성을 보였다.
- (4) 가공면의 경도는 가공연화층의 형성에 의해 모재보다 낮은 값을 보였다.

참고문헌

- (1) R. Snoeys, W. Dekeyser, C. Tricarico, "Knowledge-Based System for Wire EDM", Annals of the CIRP, Vol. 37, No. 1, 1988
- (2) T. Matsuo, E. Oshima;Kumamoto, "Investigation on the Optimum Carbide Content and Machining Condition for Wire EDM of Zirconia Ceramics", Annals of the CIRP, Vol. 41, No. 1, 1992
- (3) Y. S. Tarng, S. C. Ma, L. K. Chung, "Determination of Optimal Cutting Parameters in Wire Electrical Discharge Machining", Int. J. Mach. Tools Manufact, Vol. 35, No. 12, pp. 1693-1701, 1995
- (4) 왓슨엔지니어링, 大關秀明, "ワイヤ放電加工の高精度化技術", 機械技術, Vol.20 No.3, pp.60~64, 1993.
- (5) 増井清徳, 曹根 匠, "放電加工面の性状と高品位化", 精密工學會誌, 6. pp. 13~16. 1991.
- (6) K. P. Rajurkar, W. M. Wang, "On-line Monitor and Control for Wire Breakage in WEDM", Annals of the CIRP, Vol. 40, No. 1, 1991