

합금공구강 SKS3의 와이어컷 방전가공 특성

고병두*, 신명철⁺

(논문접수일 2008. 6. 17, 심사완료일 2008. 8. 27)

Machining Characteristics of SKS3 in Wire Cut Electrical Discharge Machining

Ko Beong Du*, Sin Myong Cheol⁺

Abstract

In the wire cut electrical discharge machining, the optimal machining parameters setting satisfying the requirements of both high efficiency and good quality is very difficult because its process involves a series of complex physical phenomena and the machining parameters are numerous over diverse range. In this paper, the experimental investigation has been performed to find out the influence of the machining parameters on the machining performance such as cutting speed and surface roughness. The selected experimental parameters are no load voltage, discharge peak current and pulse-off time. The experimental results give the guideline for selecting suitable machining parameters.

Key Words : Wire-cut electrical discharge machining(와이어컷 방전가공), Alloy tool steel SKS3(합금공구강 SKS3), Cutting speed(가공속도), Surface roughness(표면 거칠기)

1. 서론

방전가공(electrical discharge machining)은 절연액 중에서 가공전극과 공작물사이에 펄스전압을 유도하여 연속적으로 발생되는 아크방전에 의해 공작물을 용융 또는 증발시켜 도체에 구멍을 뚫거나 또는 원하는 형상으로 깎아내는 전기 가공법으로 전도성의 재료라면 경도에 관계없이 가공할 수 있다⁽¹⁾. 가는 와이어를 공구로 사용하는 와이어컷 방전가공(wire-cut electrical discharge machining)은 두 전극인 와

이어와 가공물 사이에 특정 형태의 전압, 전류 펄스가 흐를 때 발생하는 방전현상을 이용한 가공 방법이다. 공구로 사용하는 와이어의 지름이 매우 작아 미세한 형상도 정밀하게 가공할 수 있어 금형부품가공 등에 널리 사용되고 있다.

와이어컷 방전가공에서 두 전극 사이에서 발생된 방전에 의한 열은 가공물을 부분적으로 용융 시키며 급격히 가열된 가공액은 기화, 팽창하여 이 폭발 압력으로 용융된 가공물을 제거하게 된다. 가공방식은 정삭가공 여유량을 감안하여 황삭가공을 한 후 동일한 궤적으로 와이어전극과 공작물간의

* 인하대학교 기계공학과 (kobd9@hanmail.net)

주소: 402-751 인천시 남구 용현동 253

⁺ 인천인력개발원

간격인 오프셋(offset)을 줄여가면서 가공제품의 요구정도에 따라 2~6회의 정삭가공을 추가하여 최종치수까지 가공한다⁽²⁾. 가공에 앞서 선택되어야 할 가공조건으로는 전극에 인가되는 전압, 전류 펄스의 형태를 결정하는 무부하전압(no loadvoltage), 최대방전전류(discharge peak current), 방전 펄스 폭(pulse-on time), 방전휴지시간(pulse-off time) 등이 있으며 와이어 재질이나 장력, 이송속도, 가공액의 비저항 값과 분사압력, 분사방법 등도 결정되어야 한다. 방전가공에서는 이러한 다양한 가공조건에 따라 가공속도, 가공면 거칠기, 가공 정밀도, 전극 소모비 등과 같은 가공특성이 다른 결과를 나타낸다. 와이어컷 방전가공은 가열과 냉각을 비롯한 일련의 복잡한 물리 현상을 포함하며 다양하고 넓은 가공조건으로 인하여 가공 과정의 정확한 메커니즘이 확실히 규명되지 않은 상태이다^(3,4). 다양하고 넓은 범위의 가공조건은 서로 연관성을 가지며 가공특성에 영향을 미치게 된다. 제조사나 기종별로 제어하는 가공조건 및 특성이 다르기 때문에 적절한 가공조건을 선택을 조작자의 시행착오에 의한 경험이나 가공기 제조사에서 제공하는 제한적인 자료에 의존하는 것에는 한계가 있다. 효율적이고 합리적인 가공특성을 얻기 위해서는 다양한 가공조건에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 금형 소재로 많이 사용되는 합금공구강 SKS3에 대해 와이어컷 방전가공에서 방전에너지의 변화에 따른 가공특성의 영향을 실험적으로 분석하고 합리적인 가공조건을 제시하고자 한다. 실험에서 변수로 사용된 가공조건은 무부하전압과 최대방전전류, 방전휴지시간이다. 이러한 가공변수가 주된 가공특성인 가공속도와 가공면 거칠기에 미치는 영향을 분석하고 두 가공특성 사이의 연관성을 실험을 통해 분석하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

실험에 사용된 와이어컷 방전가공기는 진영정기(주)의 JW-30A기종을 사용하였다⁽⁵⁻⁸⁾. 실험소재는 합금공구강 SKS3로써 Table 1과 같이 열처리를 하였다. 공구로 사용된 와이

Table 1 Heat treatment conditions of SKS3 used in experiment

Quenching (Gas cooling)	Tempering (Air cooling)	Hardness (HRC)
850℃	180℃	58

어 전극은 지름 0.25mm의 황동선이며, 와이어의 화학적 성분 및 기계적 성질은 Table 2와 같다. 실험은 와이어 장력을 1.8kgf, 이송속도를 8m/min로 유지하면서 실험을 수행하였다. 소재의 두께는 20mm로써 가공길이 25mm를 10mm간격으로 직선으로 자동제어방식을 이용하여 반복 가공하였다.

실험에 사용된 변수는 Table 3과 같이 무부하전압과 최대방전전류, 방전휴지시간이다. 방전 전류폭 10μs, 서보 전압 40V, 가공액 분사압력 11kgf/cm² 등은 고정하여 실험을 수행하였다. 실험은 무부하전압 15, 16, 17, 18V에 대하여 최대방전전류 14, 15, 16, 17A, 방전휴지시간은 4, 6, 8μs가 되도록 가공조건을 변화 시키면서 48번의 실험을 실시하였다. 가공속도는 가공 조건의 영향으로 일정하지 않으므로 직선 방전 가공 중 일정한 가공거리 25mm를 초시계로 측정하여 분당 거리(mm/min)로 환산하고 시험편 두께를 곱하여 분당 면가공속도(mm²/min)로 나타내었다. 가공면 거칠기는 시험편 두께의 중앙 부분에 대해 가공 방향으로 측정하여 중심선 평균거칠기(Ra)로 나타내었다. 시험편의 가공면 거칠기는 일본 Mitutoyo사의 Surftest SV400을 이용하여 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 가공 속도

와이어컷 방전가공에서 가공속도는 단위시간당 공작물이

Table 2 Chemical composition and mechanical properties of wire electrode

Chemical composition(%)				
Cu	Zn	Pb	Sn	Fe
63.04	36.86	0.03	0.02	0.03
Mechanical properties				
Tensile strength(kg/mm ²)			Elongation(%)	
100			2	

Table 3 Machining parameters

Parameters	Value
No load voltage(V)	15, 16, 17, 18
Discharge peak current(A)	14, 15, 16, 17
Pulse-off time(μs)	4, 6, 8
Pulse-on time(μs)	10
Servo voltage(V)	40

제거된 면적으로 정의되며 와이어의 이송속도에 공작물의 높이를 곱한 것이다. 가공속도는 가공능률을 결정하는 가장 중요한 요소로써 제품의 품질에 미치는 영향이 크다.

Fig. 1은 무부하전압, 최대방전전류, 방전휴지시간의 가공 조건 변화에 따른 가공 속도의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 나타난 것과 같이 최대방전전류가 21.4% 증가 할 경우 가공속도는 평균 51.5% 증가한다. 또한 최대방전전류의 변화에 대한 가공 속도의 변화는 방전휴지시간이 클수록 무부하전압 17V이상에서 상대적으로 가공속도의 증가율이 크게 나타난다. 방전휴지시간이 50% 감소 할 경우 가공 속도는 평균 29.1% 증가하는 것으로 나타나며 최대방전전류가 작을 때 더 큰 증가율을 보인다.

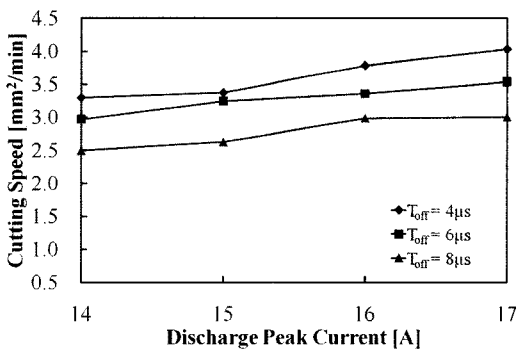
Fig. 1 (a)와 Fig. 1 (b)에서 나타난 결과 보다 상대적으로 무부하전압이 큰 조건인 Fig. 1 (c)와 Fig. 1 (d)에서 방전휴지시간의 감소에 대한 가공 속도의 증가율이 크게 나타남을 보인다. 무부하전압의 변화에 따른 가공 속도의 변화는 일정한 경향은 보이지 않으나 무부하전압이 큰 경우에 다른 두

가공 조건이 가공 속도에 미치는 영향이 더욱 민감하게 작용하고 있다. 이상의 결과에서 상대적으로 큰 값의 최대방전전류와 짧은 방전휴지시간에서 빠른 가공 속도를 나타내며 무부하전압은 가공 속도에 일정한 경향을 나타내는 인자는 아니지만 다른 두 가공조건 변화에 대한 가공 속도의 영향을 더욱 민감하게 하는 가공조건임을 알 수 있다.

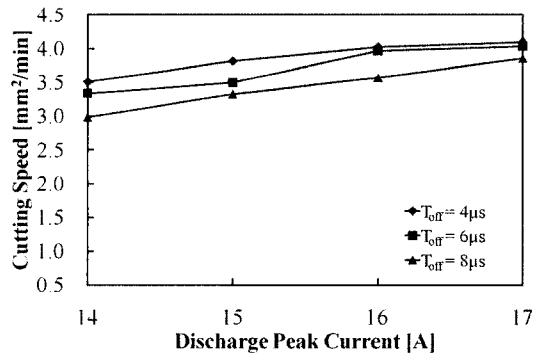
3.2 가공면 거칠기

방전에너지에 의해 용융된 소재는 기계적 압력으로 비산하여 방전흔을 형성하게 된다. 금형가공이 주 대상인 와이어 컷 방전가공에서 가공면의 거칠기에 미치는 가공조건을 파악하는 것은 매우 중요하다.

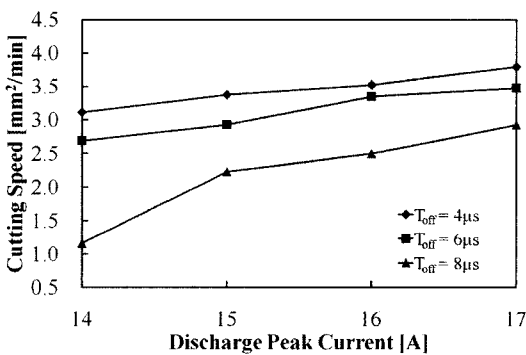
Fig. 2는 무부하전압, 최대방전전류 및 방전휴지시간의 변화에 따른 가공면 거칠기의 변화를 나타내고 있다. 최대방전전류가 21.4% 증가할 경우 가공면 거칠기는 평균 28.0% 증가한다. 무부하전압이 클수록 방전휴지시간의 크기에 따라 가공면 거칠기가 상대적으로 더 큰 차이를 보이고 있다. 동



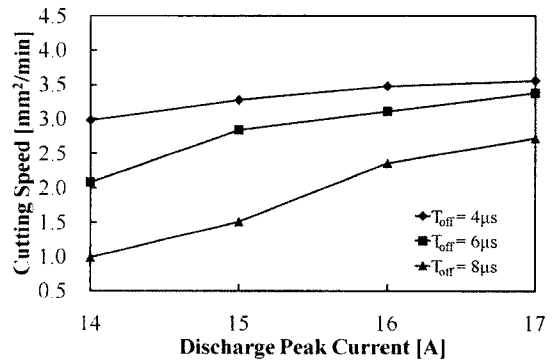
(a) No load voltage Vn=15V



(b) No load voltage Vn=16V



(c) No load voltage Vn=17V



(d) No load voltage Vn=18V

Fig. 1 The cutting speed variation on different conditions with no load voltage

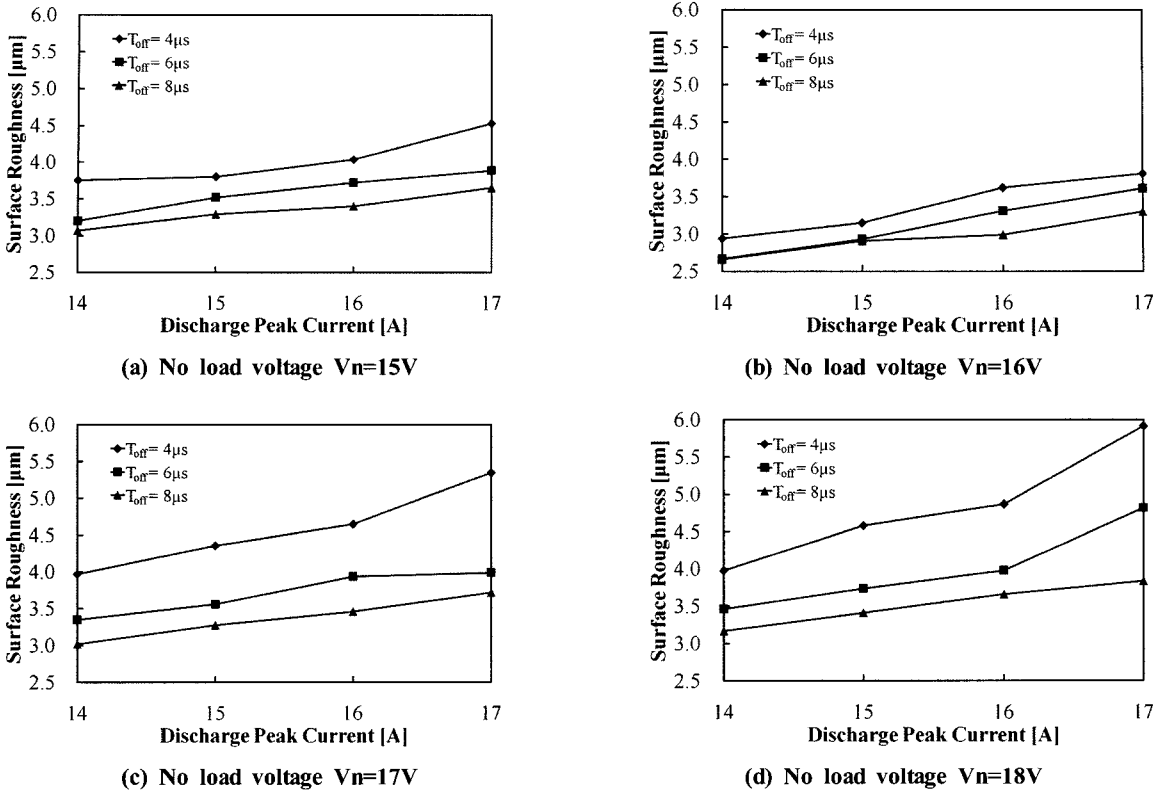


Fig. 2 The surface roughness variation on different conditions with no load voltage

일한 무부하전압에서 방전휴지시간이 길수록 가공면 거칠기가 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한 최대방전전류가 커질수록 각각의 방전휴지시간에서 가공면의 거칠기가 증가하는 경향을 보이고 있다. Fig. 2 (a)와 Fig. 2 (b)에서의 조건 보다 큰 무부하전압의 조건을 가진 Fig. 2 (c)와 Fig. 2 (d)에서 상대적으로 더욱 큰 가공면 거칠기의 변화폭을 보이는 것을 알 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 가공면의 거칠기는 무부하전압이 15V에서 16V로 증가 시킬 경우 다소 감소하다 17V, 18V에서 다시 증가하는 결과를 보인다.

그림을 통해 큰 방전전류와 짧은 방전휴지시간이 상대적으로 큰 가공면 거칠기를 나타내고 있음을 알 수 있다. 상대적으로 큰 무부하전압 조건에서 방전휴지시간의 변화가 가공면 거칠기에 더욱 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

3.3 가공속도와 가공면 거칠기의 관계

와이어 컷 방전가공에서 최선의 가공조건은 빠른 가공속도를 유지하면서 가공면의 거칠기를 작게 하는 조건이라 하

겠다. 하지만 와이어컷 방전가공에서 가공 속도를 향상시키는 인자는 가공면 거칠기를 증가시키는 경향을 보인다. 이러한 경향은 방전가공에서 소재가 제거되는 기본적인 메커니즘과 밀접하게 연관되어 있다⁽⁹⁾. 방전가공에서 가공속도에 영향을 미치는 인자는 최대방전전류와 방전펄스폭, 방전휴지시간 등이다.

Fig. 3은 여러 가지 조건에서 방전가공된 표면의 특성을 개략적으로 도시한 것이다. Fig. 3 (a)에 나타난 것과 같은 방전흔의 지름과 깊이는 일반적으로 방전에너지에 비례하여 증가하게 된다. 동전극과 강소재의 단발가공의 경우 식 (1)과 같은 실험식으로 방전흔의 크기를 나타낸다⁽⁹⁾.

$$\begin{aligned} D &= 2.4 T_{on}^{0.4} I_p^{0.4} \text{ (cm)} \\ H &= 1.3 T_{on}^{0.2} I_p^{0.6} \text{ (}\mu\text{m)} \end{aligned} \quad (1)$$

이러한 단발가공에서의 방전흔의 크기는 가공속도와 가공면 거칠기에 모두 영향을 미친다.

Fig. 3 (a)와 같이 상대적으로 큰 방전에너지 조건에서 가

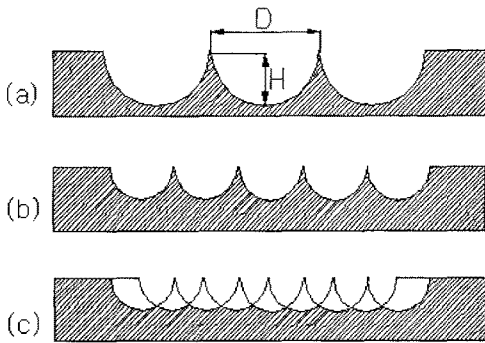


Fig. 3 Machined surface with different conditions
 (a) Relatively high discharge energy
 (b) Relatively low discharge energy
 (c) Crater overlapping at relative low speed

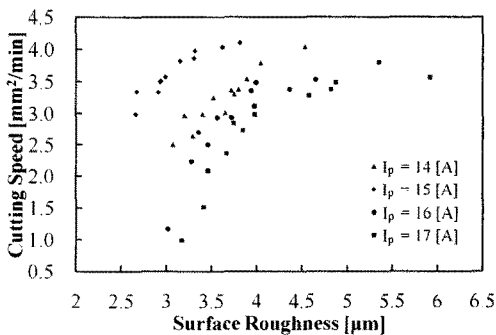


Fig. 4 The relationship between cutting speed and surface roughness

공될 경우 낮은 방전 에너지 조건에서 가공된 Fig. 3 (b)의 경우보다 빠른 가공속도를 보인다. 하지만 가공속도에 대한 영향과 더불어 상대적으로 높은 방전 에너지에서 가공된 표면은 더 깊은 방전흔의 형상으로 가공되어 큰 가공면 거칠기를 나타낸다. 또한 같은 조건의 방전 에너지에서 가공된 경우에도 상대적으로 느린 이송속도에서는 Fig. 3 (c)와 같이 방전흔이 중첩되어 낮은 가공면 거칠기를 나타낸다.

Fig. 4는 본 실험에서 나타난 가공속도와 가공면 거칠기의 관계를 나타낸 것이다. 다른 가공조건의 영향에 따라 다소의 차이는 있지만 최대방전전류가 증가하면 가공속도와 가공면 거칠기가 모두 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 동일한 최대방전전류에서 상대적으로 큰 가공속도를 갖는 경우 가공면 거칠기 역시 크게 나타나는 경향을 볼 수 있다. 일반적으로 합리적인 가공조건은 금형제작에서 요구되는 가공면 거칠기

와 경제적인 가공속도를 만족하는 것이다. 본 실험을 통해 합리적인 가공조건은 무부하전압 16V, 방전휴지시간 4~6 μ s, 최대방전전류 14~15A의 조건임을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 합금공구강 SKS3의 와이어컷 방전가공에 있어 주요 가공조건인 무부하전압, 최대방전전류, 방전휴지시간이 가공 속도와 가공면 거칠기에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 가공속도와 가공면 거칠기 사이의 연관성을 실험을 통해 분석하였으며 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) SKS3의 와이어컷 방전가공에서 가공면 거칠기 및 가공속도를 고려한 합리적인 가공조건은 무부하전압 16V, 방전휴지시간 4~6 μ s, 최대방전전류 14~15A의 조건이다.
- (2) 무부하전압 17V 이상에서 방전휴지시간에 따라 가공속도 및 가공면 거칠기가 상대적으로 더 큰 차이를 보인다.
- (3) 동일한 무부하전압에서 방전휴지시간에 관계없이 최대방전전류가 클수록 가공속도 및 가공면 거칠기가 증가한다.

참고 문헌

- (1) Lim, S. H., Kim, J. H., Lee, W. R., and Park, J. S., 2002, "Optimum Selection of Machining Parameters of WEDM using Taguchi Method," *Proceeding of KSMTE Autumn Conference 2002*, pp. 123~128.
- (2) Kim, C. H. and Kang, J. W., 2006, "Machining Characteristics of WEDM due to Electrical Conductivity of Dielectric," *Trans. of KSMTE*, Vol. 15, No. 6, pp. 15~21.
- (3) Liao, Y. S., Huang, J. T., and Su, H. C., 1997, "A Study on the Machining-Parameters Optimization of Wire Electrical Discharge Machining," *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 71, pp. 487~493.
- (4) Liao, Y. S. and Woo, J. C., 1997, "The Effects of Machining Setting on the Behavior of Pulse Trains in the WEDM Process," *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 71, pp. 433~439.
- (5) Jinyoung Precision Machine Research Center, 1997, *User Reference Manual JW-30A*, Jinyoung Precision Machine Co. Ltd., Republic of Korea.

- (6) Jinyoung Precision Machine Research Center, 1997, *Machine Function Manual JW-30A*, Jinyoung Precision Machine Co. Ltd., Republic of Korea.
- (7) Jinyoung Precision Machine Research Center, 1997, *Operator Manual JW-30A*, Jinyoung Precision Machine Co. Ltd., Republic of Korea.
- (8) Jinyoung Precision Machine Research Center, 1997, *Machining Conditions JW-30A*, Jinyoung Precision Machine Co. Ltd., Republic of Korea.
- (9) Kim, G. S. and Jung, P. D., 1998, *CNC EDM and wire-cut EDM*, Munwondang, Republic of Korea, pp. 218~225.