

알루미늄 합금 2024의 와이어 컷 방전가공에서 방전 에너지가 표면 거칠기에 미치는 영향

류청원*, 최성대⁺, 이순관⁺⁺

(논문접수일 2011. 07. 05, 수정일 2011. 09. 14, 심사완료일 2011. 09. 19)

The effect of Surface Roughness on Wire-cut Electric Discharge Machining of Discharge Energy in Aluminium Alloy 2024

Cheong-Won Ryu*, Seong-Dae Choi⁺, Soon-Kwan Lee⁺⁺

Abstract

The surface roughness depending on the machining method is very important because is produce a finished product through riveting, sealing, bonding, and special paint in order to curb the turbulence and air resistance which occur between the sheets . Aluminum alloy 2024 which is widely used for interior and exterior material of aircraft are tested. Jin-young JW-60C wire cutting machine was used in this experiment. In this paper, the experimental investigation has been performed to find out the influence of the surface roughness and surface shape characteristics on the wire-cut EDM of discharge energy in aluminium alloy 2024. The selected experimental parameters are peak current, no-load voltage, off time and feed rate. The experimental results give the guideline for selecting reasonable machining parameters. The high discharge energy on the idle time, almost no change in surface roughness can be seen.

Key Words : Aluminum alloy 2024(알루미늄 합금 2024), Wire-cut EDM(와이어 컷 방전가공), Discharge energy(방전 에너지), Surface roughness(표면 거칠기)

1. 서론

항공기 산업은 2000년대 세계 10위의 목표를 달성하여 우리나라 산업의 중추적인 역할을 담당하고 있으며, 최근 차세대전투기 개발사업, 고등훈련기 개발사업, 헬기 개발사업 등의 국책사업과 국제공동설계에 의한 민간항공기 개발 사업 등 항공기 산업이 비교적 활발하게 진행되고 있다.

기존 항공기 산업은 기체조립 위주의 성장방식으로 소재 및

부품가공의 원천적인 기술을 갖지 못했다. 특히 항공기 동체 및 내장에 사용되는 알루미늄 합금 판재는 가공 후 판재사이에 발생하는 와류 및 공기 저항을 억제하기 위해 리벳팅(Riveting), 실링(Sealing), 본딩(Bonding) 및 특수 도색의 공정을 거쳐 완제품으로 생산되기 때문에 판재 가공방법에 따른 표면 거칠기는 아주 중요하다.

현재 항공기용 알루미늄 합금 판재 가공은 판재 프레스 절단 후 기계가공을 통해 규정의 표면 거칠기를 확보하고 있고, 선진

* 한국폴리텍 VI대학 컴퓨터응용기계과
+ 교신저자, 금오공대 기계공학부 (sdchoi@kumoh.ac.kr)
주소: 730-401 경상북도 구미시 양호동 1
++ 한국폴리텍 VI대학 컴퓨터응용기계과

국의 경우는 와이어 컷 방전가공 및 레이저를 이용한 가공이 이루어지고 있으나 레이저 가공의 경우 가공 후 절삭과정 중 발생하는 탄소입자 때문에 세척과정이 추가적으로 이루어져 와이어 컷 방전가공이 널리 사용되고 있다. 특히 절삭가공이 문제점을 야기 시키고 있기 때문에 복잡한 형상의 제품을 정밀하게 가공하기 위한 와이어 컷 방전가공에 관한 연구⁽¹⁾가 요구되고 있다.

와이어 컷 방전가공은 1868년 Priestly⁽²⁾에 의해 최초로 연구되었으며 가공 정밀도는 방전갭, 와이어의 장력, 냉각제의 분사 방향 및 압력과 관계가 되면서 방전 에너지인 방전 전압, 방전 전류, 방전 펄스 시간과 방전 휴지 시간 그리고 가공속도에 따라 데이터 값이 결정된다.

와이어 컷 방전가공은 금형재료와 전극재료에 관한 연구^(3~9)가 많이 이루어지고 있으나 항공기용 판재 및 부품에 널리 사용되고 있는 알루미늄을 포함한 비철금속에 대한 와이어 컷 방전가공 연구⁽¹⁰⁾는 다소 미흡한 상태이다.

본 연구는 항공기용 구조재로 널리 사용되는 알루미늄 합금 2024를 와이어 컷 방전가공 중 방전 에너지에 따른 표면 거칠기의 특성을 고찰하여 가공조건을 실험을 통하여 구하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

실험에 사용된 와이어 컷 방전가공기는 국내에서 생산한 (주)진영정기의 JW-60B는 기중으로 정밀금형 및 항공기 부품 가공용, 칼럼이동형의 침적형 가공기로 한글, 자동결선, 냉각장치, U, V축, 전식방지회로, 자기진단기능 등이 탑재되어 있다. 와이어 컷 방전가공기의 주요제원은 Table 1에 나타내고, 실험에 사용된 와이어 전극은 지름 0.2mm, 0.25mm의 황동선으로 이의 화학적 성분과 기계적 성질을 Table 2에 나타내었다.

본 연구에 사용한 시험편은 알루미늄 합금 2024는 일반적으로 두랄루민(Duralumin)이라고 한다. 이 합금은 연강에 준하는 기계적 성질을 얻을 수 있고, 시효경화에 의한 항복강도를 현저히 증가시키지만 연신율이 감소하며, 항공기용 구조재로

Table 1 The specification of wire-cut E.D.M

Item	Specifications
Model	JW-60B
Work capacity(mm)	1000×750×300
Max. table speed(mm/sec)	360
Table stroke(mm)	600×400
Wire diameter(mm)	0.1 ~ 0.35
Wire tension(gf)	200 ~ 3000
Wire feed rate(mm/sec)	250

Table 2 Chemical compositions and mechanical properties of wire electrode

Chemical compositions(wt.%)				
Cu	Zn	Pb	Sn	Fe
63.04	36.86	0.03	0.02	0.03
Mechanical properties				
Tensile strength(MPa)			Elongation(%)	
9.8			2	

대단히 유용하게 사용되고 있다.

시험편의 크기는 25×25×120mm로 시험편을 제작하여 시험에 사용하였다. 시험편의 화학적 성분과 기계적 성질을 Table 3에 나타내었다.

2.2 실험 방법

Fig. 1은 와이어 컷 방전가공기에서 시험편의 방전과정을 나타낸 것으로 시험편을 바이스에 견고히 고정하였으며, 방전조건은 Table 4에 나타낸 바와 같이 방전 전류를 12에서 16A까지 2A간격으로, 무부하 전압을 10에서 15V까지 1V간격으로, 메인 펄스 휴지 시간을 5에서 7μs까지 1μs간격으로, 가공 속도는 2에서 10mm/min까지 2mm/min간격으로 등의 조건에 따라 방전절삭실험을 시행하였다.

Table 5은 조도측정기의 주요제원을 나타내고 있다. 표면 거칠기의 정확한 측정을 위해 수준기로 수평을 맞춘 후 컷 오프 값 0.8mm, 기준길이는 컷 오프 값의 5배인 4mm, 범위 값은 25μm로 설정하였으며 가공된 시험편을 알콜로 세척 후 측정 테이블 위에 올려놓고 절삭방향의 직각방향으로 이송장치를 작동하여 측정하였다.

중복기 및 기록기로부터 최대높이(Ry), 10점 평균 거칠기(Rz), 중심선 평균 거칠기(Ra)를 측정한 다음 그 중 중심선 평균 거칠기 값을 선정하여 3회 측정된 평균값을 데이터로 사용

Table 3 Chemical compositions and mechanical properties of work-piece

Chemical compositions (wt.%)							
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Al
0.5	0.5	4.9	0.2	1.8	0.28	0.1	remainder
Mechanical properties							
Tensile strength (MPa)						470	
Yield strength (MPa)						325	
Elongation (%)						20	
Electric conductivity (%)						30	
Heat conductivity (W/mk)						121	
Melting Point (°C)						500	

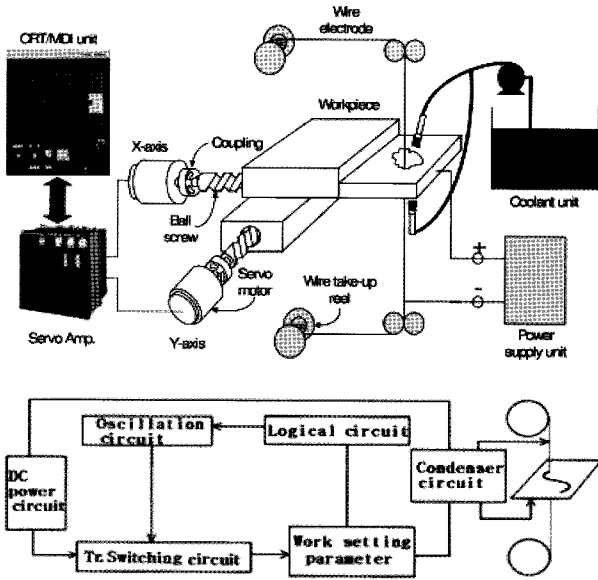


Fig. 1 Schematic diagram of wire-cut E.D.M.

Table 4 Discharge cutting conditions

Wire diameter(mm)	0.2, 0.25
Peak current(A)	12, 14, 16
No-load voltage(V)	10, 11, 12, 13, 14, 15
Off time(μs)	5, 6, 7
Feed rate(mm/min)	2, 4, 6, 8, 10

Table 5 The specification of surface roughness measuring instrument

Item	Specifications
Model	Mitutoyo SURF-TEST SV-414
Limit indication(Rmax, μm)	600
Cut off value(mm)	0.08 ~ 8
Basic range(mm)	0.25 ~ 8
Stylus force(N)	0.00392
Driving speed(mm/sec)	0.02 ~ 1.2
Stylus tip radius(μm)	5

하였다.

Table 6에는 광학현미경의 주요제원을 나타내고 있다. 시험편의 표면 형상을 관찰하기 위해 광학현미경에 부착된 CCD 카메라로 표면 형상을 컴퓨터의 측정프로그램(XT-Measure)에 의해 이미지로 저장하여 관찰하였다. 그리고 각 시험편의 표면 형상은 대물렌즈 5배율, 대안렌즈 10배율 총 50배율로 측정하여 관찰하였다.

Table 7은 전계방출형 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope)의 주요제원을 나타내고 있다.

Table 6 Specifications of measuring microscope

Item	Specifications
Model	Mitutoyo TF-510F
X, Y table travel(mm)	50, 50
Digital X, Y counter resolution (mm)	0.001, 0.005
Measuring accuracy (μm, @20°C)	3+0.02L (L = measuring length: mm)
Focusing travel(mm)	150
Driving speed(mm/s)	0.02 ~ 1.2
Eyepieces magnification	×10, ×15, ×20
Objective magnification	×1, ×3, ×5, ×10, ×20, ×50, ×100
Resolving power of magnification(μm)	9.2 (×1), 3.9 (×3), 2.5 (×5), 1.5 (×10), 0.7 (×20), 0.5 (×50), 0.7 (×100)

Table 7 Specifications of measuring field emission scanning electron microscope

Item	Specifications
Model	JSM 7401F
Resolution(nm)	1.0, 1.5
Accelerating voltage(kV)	0.1 ~ 30
Magnification	×25 ~ 300,000
Stage	Type I X=70mm, Y=50mm Type II X=110mm, Y=80mm Type III X=140mm, Y=80mm

시험편의 표면 형상은 300배로 측정하여 관찰하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 표면 거칠기의 특성

방전 에너지에 의해 용융된 소재가 기화, 비산하여 방전흔을 형성하게 된다. 항공기 구조용재인 알루미늄 합금 2024 와이어 컷 방전가공에서 가공면의 표면 거칠기에 미치는 가공조건을 파악하는 것은 매우 중요하다.

Fig. 2는 가공속도 4mm/min, 방전 전압 13V, 방전 전류 및 방전 휴지 시간의 변화에 따른 시험편의 표면 거칠기의 변화를 나타내고 있다. 방전 전류가 33.3% 증가할 경우 표면 거칠기는 와이어 전극 지름 0.2mm는 평균 22.7%,이고 0.25mm는 평균 17.0% 증가하였으며 0.2mm에 비해 0.25mm 낮은 증가율 보여주는 반면 표면 거칠기는 0.2mm가 본 실험조건에서 낮은 것을 보여주고 있다. 또한, 방전 전류가 커질수록 표면 거칠기가 증가하고, 12~14A에서의 조건보다 큰 14~16A에서 상대적으로 작은 표면 거칠기의 변화폭을 보이고 있다. 방전 휴지 시간에서 표면 거칠기의 영향은 미미하지만, 방전 휴지시간 6μs

에서 가장 낮은 표면 거칠기를 보여주고 있다.

큰 방전 전류와 방전 휴지 시간이 상대적으로 큰 표면 거칠기를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3은 가공속도 4mm/min, 방전 휴지 시간 6 μ s, 방전 전압 및 방전 전류의 변화에 따른 시험편의 표면 거칠기의 변화를 나타내고 있다. 방전 전압이 커질수록 표면 거칠기가 증가하는 경향을 보이고, 10~13V에서의 조건보다 큰 13~15V에서 상대적으로 큰 표면 거칠기의 변화폭을 보여주고, 방전 전류가 커질수록 표면 거칠기가 증가하였다.

Fig. 4는 가공속도 4mm/min, 방전 휴지 시간 및 방전 에너지의 변화에 따른 시험편의 표면 거칠기의 변화를 나타내고 있다. 방전 휴지 시간이 6 μ s에서 가장 낮은 표면 거칠기를 보여주고, 표면 거칠기는 방전 휴지 시간이 5~6 μ s로 증가 시킬 경우 다소 감소하다 6~7 μ s 다시 증가하는 결과를 보여주고, 방전 에너지가 증가할수록 표면 거칠기가 증가하는 결과를 보인다.

방전 휴지 시간에서 방전 에너지가 증가할수록 표면 거칠기의 변화가 거의 없음을 알 수 있다.

Fig. 5에서는 오프타임이 6 μ s, 가공속도 및 방전 에너지의 변화에 따른 시험편의 표면 거칠기의 변화를 나타내고 있다. 방전 에너지가 증가할수록 표면 거칠기가 증가하고, 가공속도가 2에서 10mm/min까지 증가할수록 표면 거칠기도 증가하는 것을 보여주고 있는데, 이것은 방전가공 시 가공면적이 너무 작을 때에 가공속도가 저하하는 면적 효과 때문으로 방전이 안정되게 행해지기 위해서는 방전을 유발하는 미소 돌기가 가공면 전면에 걸쳐 분포되어야 하나, 면적이 작아질수록 분산분포의 정도가 작아지며 방전이 1개소에 집중되어 효율적인 방전이 어려워진다. 즉 와이어 컷 방전시에는 미세한 와이어 전극에 대항하는 미소면이 가공면이 되므로 면적효과를 받기 쉽다.

Fig. 2~5의 그림에서 와이어 전극 지름 0.2mm가 전극 지름 0.25mm보다 낮은 표면 거칠기를 보여주고 있으며, 와이어 지름이 가늘어지면 전류의 용량이 적어지기 때문에 가공속도는 와이어 굵기가 가늘어지는 것에 비례하여 늦어지고, 반면 와이어 지름이 굵어지면 전류용량이 커지기 때문에 가공속도가 빨라져 가공 확대되어 넓어지므로 전류를 증가시킬 필요가 없다. 그 이유는 전류용량은 와이어 지름의 2승에 비례하고 가공 확대되는 와이어 지름에 비례하기 때문이다.

여러 가지 조건에서 방전흔의 지름과 깊이는 일반적으로 방전 에너지에 비례하여 증가하게 된다⁽¹¹⁾. 상대적으로 큰 방전 에너지 조건에서 가공될 경우 낮은 방전 에너지 조건에서 가공된 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 방전흔이 중첩되어 낮은 표면 거칠기를 나타낸다.

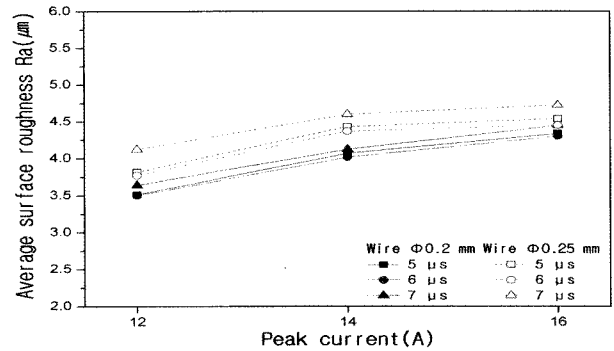


Fig. 2 Surface roughness according to peak current in Al alloy 2024

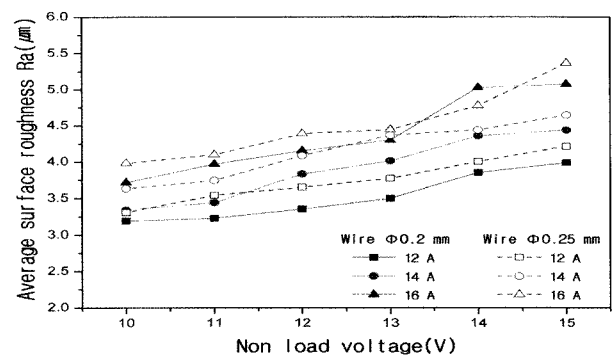


Fig. 3 Surface roughness according to non load voltage in Al alloy 2024

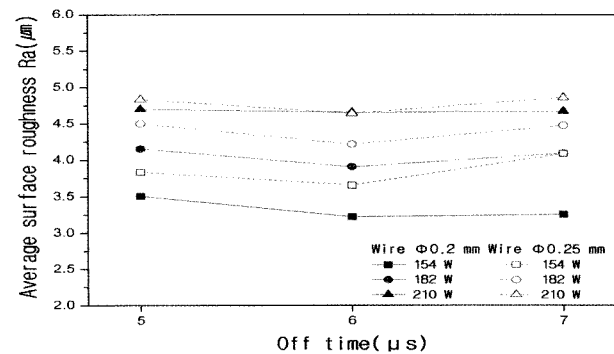


Fig. 4 Surface roughness according to off time in Al alloy 2024

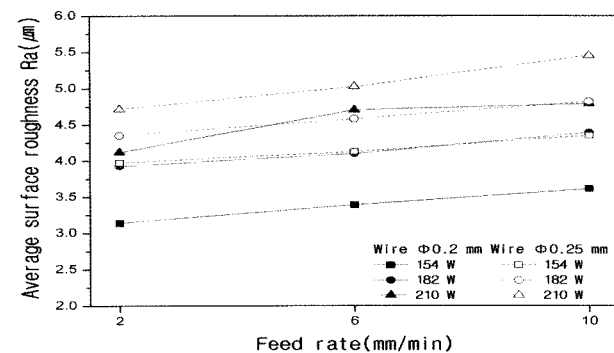


Fig. 5 Surface roughness according to feed rate in Al alloy 2024

3.2 표면형상 특성

전극의 단선현상이 발생하지 않은 방전조건인 방전 에너지 182W 오프타임이 7 μ s일 때, 시험편의 단면 형상을 관찰하기 위해 광학현미경의 대물 및 대안렌즈 배율을 총 50배율로 시험편의 단면 및 표면을 측정하여 대표적으로 Fig. 6~8에 나타낸 것으로 그림에서 왼쪽은 단면, 오른쪽은 표면을 나타내고 있다.

Fig. 6~8의 왼쪽 단면에서 밝게 빛나는 부분은 시험편의 단면, 옅은 검정색 부분은 측정환경, 진한 검정색부분은 시험편 표면 단면 곡선이 겹쳐진 층을 나타낸 것으로 와이어 전극 지름이 0.2mm에서는 단면 곡선이 겹쳐진 층의 두께가 거의 일정한 반면 와이어 전극 지름이 0.25mm는 단면 곡선의 커셉 높이가 0.2mm에 비해 높고 불규칙적으로 곡선이 형성되고, 단면 곡선의 겹쳐진 층이 두꺼운 것을 알 수 있다. 또한 겹쳐진 층의 두께와 표면 단면 곡선 직진도로 3차원 평면의 편평도를

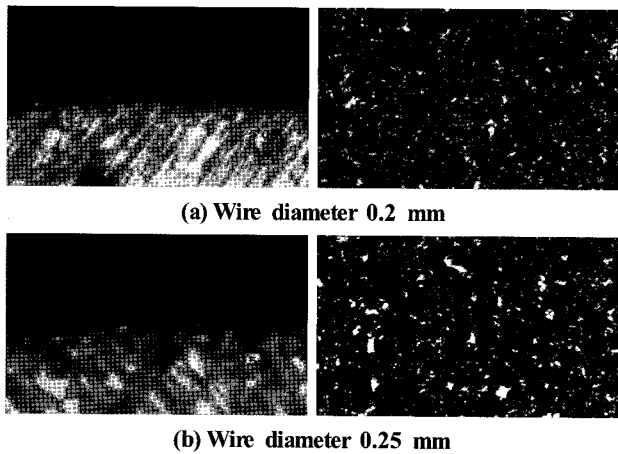


Fig. 6 Cutting section and surface of workpiece by optical micrographs : discharge energy 182 W, off time 7 μ s and feed rate 2 mm/min

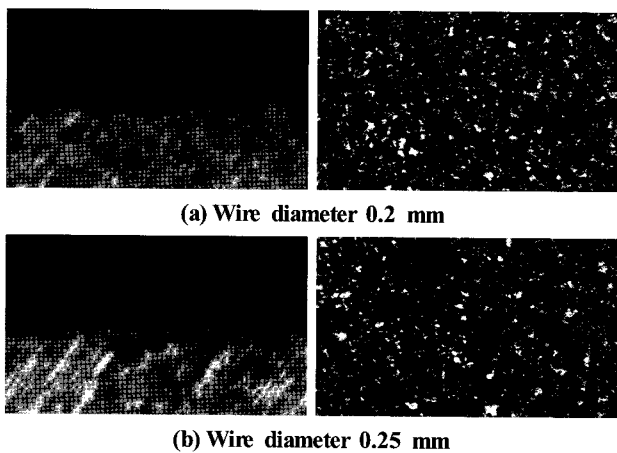


Fig. 7 Cutting section and surface of workpiece by optical micrographs : discharge energy 182 W, off time 7 μ s and feed rate 6 mm/min

고찰한 결과 와이어 전극 지름이 0.25mm보다 0.2mm가 겹쳐진 층의 두께와 표면 단면 곡선 직진도가 낮아 편평도가 좋은 것을 알 수 있다.

Fig. 6~8의 오른쪽 표면을 나타낸 것으로 침탐처럼 형성된 분화구들은 어두운 부분의 계곡과 밝게 빛나는 부분의 봉우리

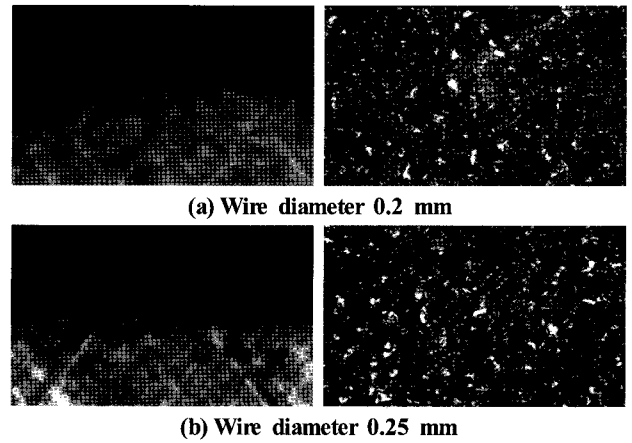


Fig. 8 Cutting section and surface of workpiece by optical micrographs : discharge energy 182 W, off time 7 μ s and feed rate 10 mm/min

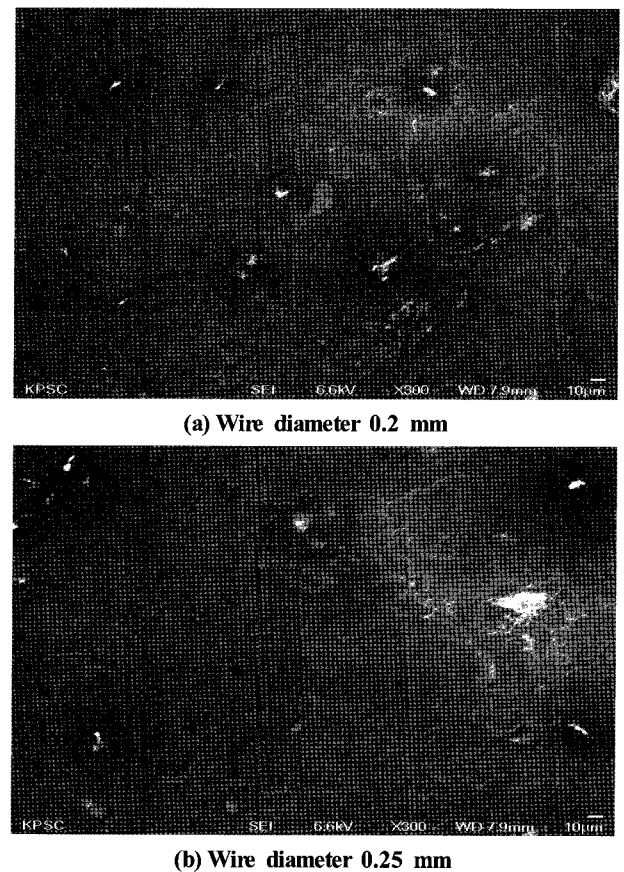


Fig. 9 F.E.-S.E.M. surface : discharge energy 182 W, off time 7 μ s and feed rate 10 mm/min

들로 이루어지게 되는데 그 깊이는 와이어 컷 방전가공을 하면서 발생이 된 가공변질부로 가공변질부는 세부적으로 재 응고층, 백층, 상변환층, 모재 등으로 세분할 수 있다. 열변질층부위가 원소재와 차이가 남을 알 수 있다. 와이어 컷 방전가공을 중 전극이 용융되면서 소재 표면에 불규칙적으로 영킴 및 용착이 된 결과로 볼 수 있다. 이러한 현상은 이전의 표면 거칠기의 특성의 고찰을 뒷받침해주는 것이다.

Fig. 9는 Fig. 6~8의 오른쪽 표면의 분화구들의 형상을 더 세밀하게 고찰하기 위해 주사전자현미경(S.E.M.)의 배율 300배로 시험편의 가공표면을 나타내었다.

그림에서 (a)전극 지름 0.2mm에서 단위 면적에 나타나는 봉우리의 수집여 개소, (b)전극 지름 0.25mm에서 봉우리의 수 개소로 전극 지름 0.2mm에서 봉우리의 개소가 보다 많이 나타나고 있다. 또한 전극 지름 0.2mm는 불규칙인 요철이 많이 나타나 전체적으로 일정하게 와이어가 진행하지 않은 반면 전극 지름 0.25mm는 가공표면이 비슷하게 나타났으며, 가공면의 거칠기는 약간 거칠지만 전체면으로 일정하게 와이어 가공이 진행됨을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구의 실험결과 항공기용 알루미늄 합금 2024에서 와이어 컷 방전가공의 방전 에너지에 따른 표면 거칠기의 특성에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 알루미늄 합금 2024의 와이어 컷 방전가공에서 표면 거칠기의 특성을 고려한 합리적인 가공조건은 무부하 전압 13V, 방전 휴지 시간 6 μ s, 방전 전류 14~16A의 조건이다.
- (2) 큰 무부하 전압에서 방전 전류의 변화가 표면 거칠기에 더욱 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.
- (3) 방전 휴지 시간에서 방전 에너지가 증가할수록 표면 거칠기의 변화가 거의 없음을 알 수 있다.
- (4) 와이어 전극 지름 0.2mm보다 전극 지름 0.25mm가 가공면의 거칠기는 약간 거칠지만 전체면으로 일정하게 와이어가 진행됨을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) 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.
- (2) Bruma, M. M., and Magat, M., 1868, "Lusinage Par Elec-icity," *5E Congress International des Fabrications Mecaniques*, No. 57, pp. 125~136.
- (3) Kim, S. J., Sung, B. S., Jung, S. T., Ban, J. S., and Cho, G. J., 2002, "A Study on the Selections of Optimized Process Conditions in the Wire Electric Discharge," *Proceedings of KSMTE Autumn Conference 2002*, pp. 631~636.
- (4) Ko, B. D., and Sin, M. C., 2008, "Machining Characteristics of SKS3 in Wire Cut Electrical Discharge Machining," *Trans. of KSMTE*, Vol. 17, No. 5, pp. 101~106.
- (5) Suzuki, M., 1987, "Surface Modification of Metals by E.D.M.," *JSPE*, Vol. 53, No. 2, pp. 51~57.
- (6) 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, No. 1, pp. 487~493.
- (7) Liao, Y. S., and Woo, J. C., 1997, "The Effects of Machining Setting on the Behavior of Pulse Trains in the Wire-cut E.D.M. Process," *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 71, No. 1, pp. 433~439.
- (8) Dauw, D. F., 1992, "About the Evolution of Wire Tool Performance in Wire E.D.M.," *Annals of the CIRP*, Vol. 41, No. 1, pp. 221~224.
- (9) Dauw, D. F., 1989, "Wire Analysis and Control for Precision E.D.M. Cutting," *Annals of the CIRP*, Vol. 38, No. 1, pp. 191~194.
- (10) Lyu, S. K., and An, S. G., 2004, "A Study of Characteristics of the Wire-cut EDM Process in Aluminum Alloys," *Journal of the KOSOS*, Vol. 19, No. 2, pp. 21~25.
- (11) Kim, G. S., and Jung, P. D., 1998, *CNC E.D.M. and Wire-cut E.D.M.*, Munwondang, Korea, pp. 218~225.