

## 화상처리를 이용한 방전와이어의 성능평가에 대한 연구

배진한\* · 이위로\*\* · 유송민\*

(\*경희대학교 기계·산업시스템공학부, \*\*산업자원부 기술표준원)

### A Study on the efficiency test of Electric Discharge Machine Wire using Image processing

Bae, Jin Han\* · Lee, Wi Ro\*\* · Yoo, Song Min\*

(\*Kyunghee University of Mechanical and Industrial System Engineering, \*\*Korean Agency for Technology and Standards)

#### ABSTRACT

Electrical discharge machining uses thermal energy from electrical discharge, while wire electrical discharge machining (WEDM) technology is widely used in conductive material machining. This paper proposes a method for evaluating the characteristics of wires in WEDM. In order to evaluate the wire processing performance, processing speed and roughness, straightness, corner processing have been assessed with precision experiment equipment and image processing including Laplacian filtering with various threshold levels.

Key Words : WEDM, Laplacian filtering, Image processing

#### 1. 서론

와이어 방전가공(WEDM : wire electric discharge machining)은 가공전극으로 강한 장력을 부여한 금속재 와이어를 사용하는 것으로 고체·액체·기체로 된 절연체에 전류가 흘렀을 때 방전되는 원리를<sup>1)2)</sup> 이용하여 물리적으로 공작물을 가공하는 방법이다. 우리가 흔히 볼 수 있는 아아크 용접, 형관등, 네온사인 등도 모두 방전의 원리를 이용한 것이지만, 이 원리가 공업기술에 적용된 역사는 불과 50여 년 밖에 되지 않았다. 일본을 비롯한 여러 공업선진국이 이 기술의 유효성에 착안하여 자체적으로 발전시킨 결과 지금은 금형 공업의 총아로 되어있지만 유감스럽게도

한국에는 아직 방전가공기술의 연구가 별로 진행되지 않고 선진국의 기술에 많이 의존하고 있는 실정이다. 최근 들어 방전가공의 수요가 늘어남에 따라 국내에서도 와이어에 대한 개발이 점차 이루어지고 있으나 방전 가공기 마다 또는 사용전극선 마다 최적의 가공 조건이 다르게 설계되어 있어 전극선의 절삭 성능을 평가하는 절대적인 방법은 없다고 하여도 과언이 아니다. 대부분의 제조사에서 제시하는 절삭 성능 보고도 모두 상대적인 평가를 통한 결과인데 그나마 표준화된 상대 평가 방법이 존재하지 않기 때문에 나름대로의 잣대로 결과를 평가하고 있는 실정이다. 따라서 규격화된 표준 평가 방법이 확립될 경우 평가 결과의 상대적 비교가 가능해지고 데이터의 호환이 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 와이어 방전가공 절삭에서 요구되는 특성의 최적 조건을 찾아내어 그를 바탕으로 국내·외 회사별 와이어를 가지고 절삭시험을 통해 방전 조건에 대한 절삭특성을 이해하여, 제조사별 와이어의 절삭성능을 평가하고 와이어 방전가공 용 와이어의 표준화된 평가 방법을 제시하고자 하였다.

#### 2. 이론적 배경

##### 2.1 방전가공 이론

와이어 방전가공은 황동, 동, 텅스텐 등의 가는 와이어를 감으면서 이것을 전극으로 하여 2차원 윤곽형상을 수치제어에 의해 이송하고, 실톱식으로 윤곽을 뚫어 가공하는 방전 가공기이다. 와이어방전가공 성능평가로 방전속도와 거칠기, 직진도 및 코너부의 절삭 정밀도를 측정하였다. 가공속도는 가공이송속도[mm/min]와 피 가공물

의 판두께[mm]의 곱(단위시간당의 가공면적[mm<sup>2</sup>/min])으로 표시하는 것이 보통이며, 큰 가공속도를 얻기 위해서는 높은 피크 값을 갖는 펄스 전류를 높은 주파수로 방전하고 고속 액체를 극간에 공급하며 동시에 가공특성이 좋은 와이어를 사용하는 것이 바람직하다. 일반적으로 가공속도의 실험식은 다음과 같다.

$$F = 14.3 \cdot \frac{(\bar{I} - 0.23)}{T^{1.16}}$$

$$W = F \cdot T = 14.3 \cdot \frac{(\bar{I} - 0.23)}{T^{0.16}}$$

단 F:이송속도[mm/min], W:가공속도[mm/min],  $\bar{I}$ : 평균전류[A],  $\bar{I} > 0.23A$ , T:판두께[mm]

판 두께 T가 클 때는  $\bar{I}$ 를 크게 흐르게 할 수 있으므로, 가공속도는 커진다. 홈폭 S[mm]를 나타내는 실험식은

$$S = [0.25 + \frac{9.7 \times 10^{-3}}{(\bar{I} - 0.23)}] \cdot T^{0.05}$$

평균 전류  $\bar{I}$ 를 크게 할 수 있으면 S도 작아지므로, 결국 큰 전류를 흐르게 하여 고속가공을 할 수 있는 가공시스템이 바람직하게 된다.

### 2.1.3 진직 정도 (복현상)

복현상(hand drum form)은 와이어 방전가공 특유의 현상으로 가공된 펀치(punch)제품의 중앙부 치수가 작게 되는 것으로 다음과 같은 원인으로 발생한다.

- (1) 가공과 같이 발생되는 금속이온 등이 액의 입구에서는 적고 중앙부에서는 많아지므로 중앙부는 비 저항치가 낮은 상태가 되어, 방전 갭이 중앙에서 넓어진다.
- (2) 상하 가이드를 지점으로 한 와이어가 가공 중 방전에 의한 반발력 때문에 진동함으로 공작물의 중심부 진폭이 최대가 된다.

이와 같은 원인으로 발생하는 복현상은 Fig. 1에서 나타낸 다이에서 X의 값을 측정함에 있어서

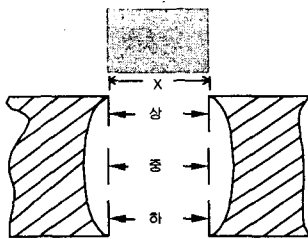


Fig. 1 Schematic diagram of square column

공작물을 두께에 따라 상, 중, 하로 나누고 3차원 접촉식 측정기를 이용해 측정할 수 있다.

### 2.2 화상처리

연속적인 색상정보를 가지고 있는 가공물 형상을 분석하기 위해서는 컴퓨터가 이해할 수 있는 형태로 변환되어야 한다. 모든 아날로그(analog) 신호를 디지털(digital) 화하기 위해서는 표본화(sampling)와 양자화(quantization)가 필수적이다. 표본화란 원 화상을 원하는 크기의 형태 즉, 화소로 나누어 이산화 할 수 있다. 실험에 사용된 카메라는 770(pixel)×600(pixel)의 격자로 이산화 한다. 양자화란 각 화소의 색상정보를 수치화 하여 표현한 것으로 본 연구에서는 0~255사이의 음영도(gray level)로 표현하였다. 이러한 형태로 원 화상을 컴퓨터가 분석할 수 있는 형태로 변환한다. Fig. 2와 같이 아날로그 영상을 표본화하여 각 화소별 농도를 표현한다.

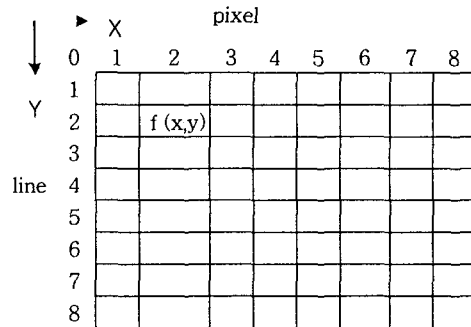


Fig. 2 Discrete pixel numbering convention

#### 2.2-1 라플라시안 필터

라플라시안 필터(laplacian filter)는 2차 미분을 이용한 필터로서 명암 값이 급격히 변화하는 부분을 추출하며, 이 점들을 에지라 한다. 2차원 공간에서의 필터링은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}$$

디지털화상의 특성상 결과적으로 차분이 되며, 실제 적용시에는 원 화상에 다음의 마스크(mask)를 적용시킴으로써 구현된다.

0	-1	0	-1	-1	-1
-1	4	-1	-1	8	-1
0	-1	0	-1	-1	-1

Fig. 3 Laplacian filter

### 3. 실험방법 및 측정방법

#### 3.1 실험기기

본 실험에서 사용한 방전가공기와 측정기기의 사양은 Table 1과 같으며, Fig. 4와 같다.

Table 1. Specification of experiment equipment

Equipment	Description and specification
Contact coordinate measuring machine	정밀도 : $0.1\mu\text{m}$ 이송거리 : 120mm Resolution : 10nm 모델 : Mahr perthometer PGK120
contact/non contact surface roughness tester	범위 : $850 \times 700 \times 600\text{mm}$ 측정정밀도 : $(0.7+L/600)\mu\text{m}$ 반복정밀도 : $0.2\mu\text{m}$ Resolution : $0.08\mu\text{m}$ 모델 : Carl Zeiss(Germany)
Electrical discharge M/C	Funack korea

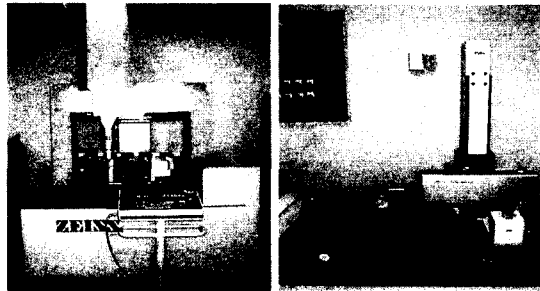


Fig. 4 Experimental apparatus for contact coordinate measuring machine and contact/noncontact surface roughness tester

공작물의 형상은 속도와 거칠기, 코너정밀도 및 부 현상을 측정하기 위해 Fig. 5와 같은 형상으로 금형용 재료로 널리 사용되고 있는 두께 60mm의 SKD-11을 사용하였다.

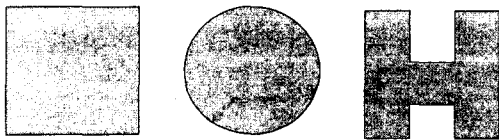


Fig. 5 The shapes of specimen

방전 가공기는 가공 시 여러 가지 조건 인자들에 따라 가공의 정도가 다르게 나타나며, 따라서 거칠기와 속도, 진직도 및 코너부에 대한 형상의 최적화 조건이 따로 있으므로 원하고자하는 각각의 인자에 따라 최적의 조건을 찾아내어 평가하고자 하는 조건에 맞춰 가공한 후 국내·외 및 코팅 와이어에 대해 각종 정밀 측정기를 사용하여 평가하였다.

#### 3.2 화상처리 실험

방전가공을 마친 시편은 공구현미경을 통해 확대된 이미지로 저장된다(Fig. 6). 이때 저장된 화상은 영상처리보드에 의해  $770 \times 600$  화소(pixel)수의 파일 형태를 가진다. 취득한 화상은 16진수 형태(hexa code)로 저장되는데 산술적인 처리를 위해, 이것을 Fig. 6의 그림과 같이 Visual C++ 프로그램을 이용해 10진수 형태(decimal code)로 변환시킨다. 변환된 수치 중 명암 값의 급격한 변화가 있는 곳을 시편의 코너 윤곽선으로 보아 시편의 코너부 외곽 에지를 검출하였다. 이렇게 하여 얻은 데이터로부터 와이어별 특성에 따라, 그리고 조건에 따라서 코너부의 정밀도를 측정하였다. 또한 정확한 calibration을 하기 위해 1mm의 블록게이지의 화상을 얻어 1mm에 대한 정확한 픽셀의 수를 얻어 와이어별 코너정밀도를 측정할 수 있었다.

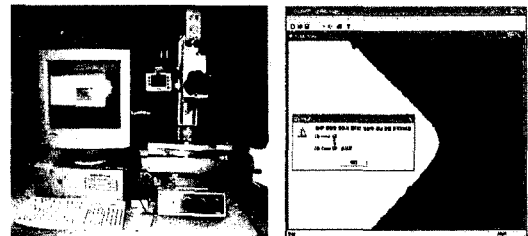


Fig. 6 Experimental apparatus for image processing and The image of image processing

### 4. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 와이어의 성능을 평가하기 위한 방법으로 표준화된 상대평가 방법을 위해 우선적으로 실험통계학을 통해 각각의 요구되는

실험인자에 대해 최적의 방전가공조건을 찾아내었으며, 이를 기준으로 H형과 사각형, 원형의 형태로 공작물을 1차 가공부터 2, 3차 가공에 거친 정밀가공을 한 후 와이어별 속도, 거칠기, 진직도, 코너 정밀도의 4가지 측면에 대한 평가를 정밀측정기와, 화상처리를 이용하여 실행 하였다. 평가 대상으로 선정된 와이어는 국내에서 가장 많이 상용되고 있는 brass 와이어와, 방전가공의 선진국으로 부를 수 있는 독일의 charmilles 와이어, 일본의 Hittachi 와이어, 그리고 최근 들어 와이어 성능을 향상시키고자 금속 코아 표면에 코팅을 한 코팅 전극선 중 대표적으로 Zinco 코팅 와이어를 선정하여 비교 평가하였다.

#### 4.1 와이어별 가공속도 평가

와이어의 가공속도를 평가하기 위해 가공속도에 큰 영향을 미치는 코너부가 많이 들어가 있는 H형상과, 원형, 그리고 사각형의 형상을 각각의 평가와이어별로 1차에서 2, 3차에 걸쳐 가공 후 결과를 3차원적으로 표시해보았다(Fig.7-9).

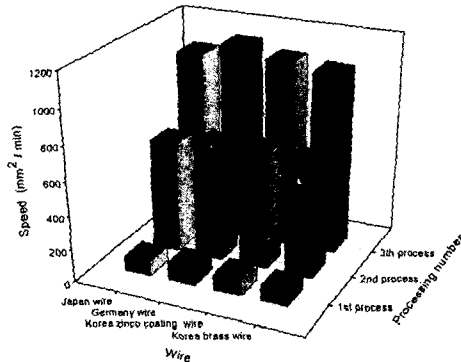


Fig. 7 Speed difference to the H shape

H형에 대한 평가에서는 1차와 3차 가공에서 독일의 와이어가 상대적으로 큰 이송속도를 보이고 있으며, 미세한 차이이긴 하지만 2차 가공에서는 Zinco 코팅와이어의 속도가 빠른 것을 보여주고 있다. 1,2,3차 가공을 모두 합해서는 독일 와이어, Zinco 코팅와이어, 국내 brass 와이어, 일본 와이어 순으로 평가되었고, Fig.9의 사각형상에서도 독일과 Zinco 코팅와이어가 가장 성능이 좋았으며, 다음으로 일본, 한국 brass 와이어 순이었다. 이와는 다르게 Fig. 8의 원형 가공에

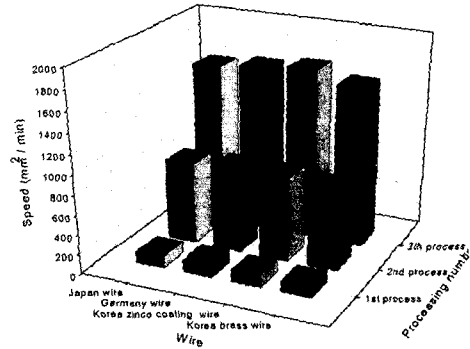


Fig. 8 Speed difference to the Circle shape

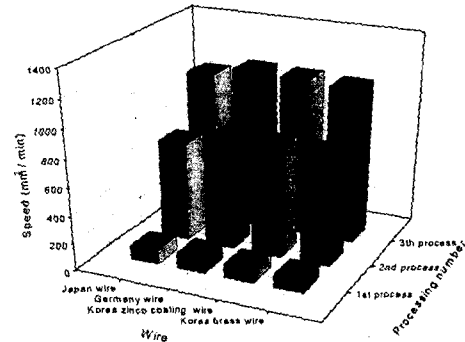


Fig. 9 Speed difference to the rectangular shape

서는 독일의 와이어보다 Zinco 코팅와이어가 3차 가공에서의 월등한 속도로 가장 빠른 가공속도를 보여주고 있다. 이를 종합해보면, 1차 가공에서는 독일의 샤밀, Zinco 코팅와이어, 일본, 한국와이어 순으로 3가지 형상 모두 같은 경향을 보였으며, 2차 가공에서는 와이어별 큰 특징 없이 비슷한 이송속도를 보였으나, 3차 가공에서 H형과, 사각형상에서 샤밀 Zinco 코팅와이어 순서로 이송속도가 빠른 것과는 달리 원형의 형상에서는 Zinco 코팅와이어가 상대적으로 다른 와이어보다 절삭속도가 빠르게 나왔다.

Fig. 10의 그림은 이를 한눈에 볼 수 있게 표현한 것이다. 1,2,3차의 절삭속도를 합해 절삭형상별로 나타내었다.

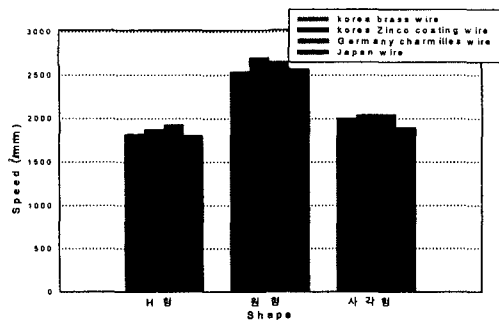


Fig. 10 The difference of processing speed to the shape

#### 4.2 와이어별 거칠기 평가

표면 거칠기는 정밀가공을 요하는 방전가공에서 중요하게 평가되는 인자로서 와이어의 전도도 정도나 직진도, 표면 형상 등 여러 가지 인자에 따라 다른 거칠기의 정도를 보일 수 있다. 본 실험에서는 다음과 같은 결과를 보였다. 거칠기의 평가대상 공작물의 형상은 사각형과 원형으로 Fig. 11에서보는 것 처럼 와이어별 큰 차이를 볼 수 있다. 독일의 와이어가 속도에서 좋은 성능을 보여준 반면 거칠기는 상대적으로 가장 좋지 않았으며, 원형 형상의 가공에서는 Zinco 코팅 와이어가 속도와 거칠기 면에서 모두 상대적으로 좋은 결과를 얻어 낼 수 있었다. 대체적으로 국내 brass 와이어와 코팅와이어가 좋은 거칠기를 얻어낸 것을 볼 수 있다.

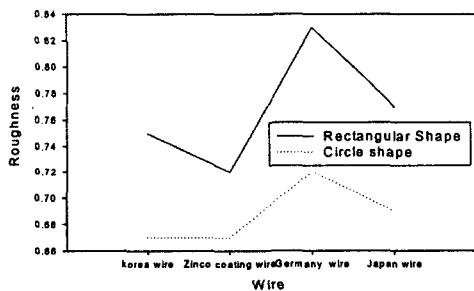


Fig. 11 Surface roughness to the wire

#### 4.3 속도와 거칠기의 비교

방전가공에서 속도와 거칠기는 서로 반대의 경향을 보이는 것이 일반적인 현상이다. Fig. 12는 거칠기와 속도의 최적 조건하에서 사각의 형상과 원형의 형상이 어떠한 경향을 보이는지를 속도의 측면에서 보여주고 있다. 그림에서 볼

수 있듯이 거칠기 조건에서의 사각과 원형의 가공형상에서의 와이어별 차이는 미세하나 최적 속도 조건하에서는 원형이 사각의 가공형상보다 월등히 빠른 것을 보여주고 있다. 이와는 다소 대조적으로 Fig. 13의 다른 최적 조건하에서의 거칠기의 정도는 거칠기 최적조건 하에서의 사각과 원형의 거칠기 정도는 와이어별로 미세한 차이를 보이나 속도 최적조건 하에서의 사각과 원형의 거칠기 정도는 그림에서 볼 수 있듯이 독일의 샤밀와이어가 큰 거칠기를 가지고 있으며 속도에서 처럼 원형의 형상이 사각의 형상보다 낮은 표면 거칠기 정도를 얻을 수 있었다.

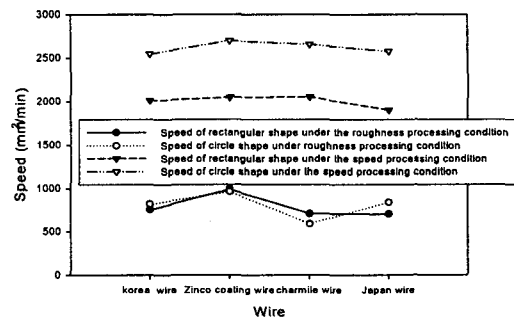


Fig. 12 Speed under different condition and shape

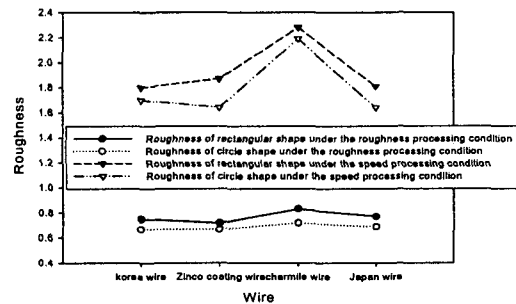


Fig. 13 Roughness under different condition and shape

#### 4.4 코너 정밀도

H형상의 안쪽 코너부분 중에 들어가는 부분과 나오는 부분의 두 형상의 이미지를 확대해서 이미지 처리한 그림이다. Fig. 14, 15 그림에서 미세한 차이지만 와이어별로 일본와이어, 국내 brass와이어, 독일 샤밀 와이어, Zinco 코팅와이어 순으로 코너에 대한 정밀도가 높게 나왔다. calibration 결과 1픽셀이 약 2 $\mu$ m 정도로 정밀도가

좋은 일본와이어와 상대적으로 낮은 Zinco 코팅 와이어의 최대 차이가 8픽셀 정도이므로 16 $\mu$ m 정도의 차이까지 보이기 있으며 대체로 와이어가 코너부에서 나오는 부분에서 두두러진 차이를 보이고 있다.

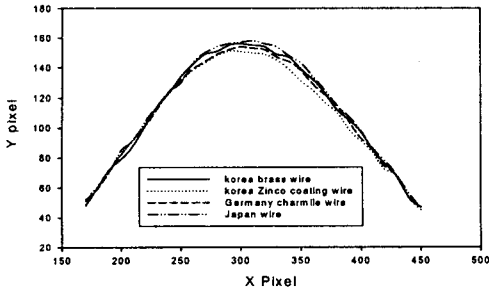


Fig. 14 Corner image of first corner

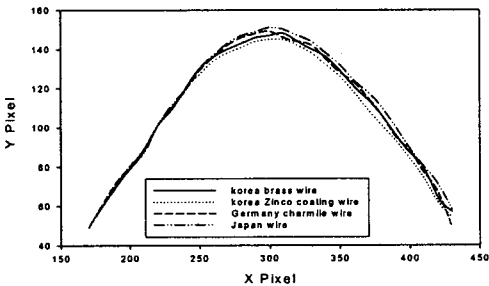


Fig. 15 Corner image of second corner

#### 4.5 직진도

3차원 접촉식 측정기에 의해 A, B 2개의 면을 정밀 측정한 결과 직진도 측정에서는 Fig. 16에서와 같이 일본 와이어가 가장 좋은 직진도를 보이고 있으며 한국의 Brass 와이어, Zinco 코팅 와이어, 독일 와이어 순으로 평가되어 진다.



Fig. 16 Straightness to the wire

### 5. 결과 및 고찰

본 연구에서는 요구되는 특성의 인자별로 최적의 조건을 찾아낸 것으로 공작물을 평가하여 요구하는 인자들이 서로 어떠한 특징을 보이는지를 국·내외, 코팅와이어를 가지고 살펴 보았다. 속도 면에서는 독일와이어가 대체로 좋은 성능을 보이고 있으나 코너 정밀도와 직진도에서는 일본 와이어가 좋은 성능을 보였으며, 거칠기 면에서는 국내와이어가 좋은 성능을 보여주고 있었다. 실험 결과에서 보았듯이 각 측정 인자 당 조금씩의 차이는 있었지만 국내 와이어 또한 외국에 뒤지지 않을 정도로 발전되어가고 있으며, 따라서 본 연구에서 얻어진 와이어 평가를 바탕으로 좀 더 활발한 개발, 신뢰성 있는 평가가 이루어진다면 더 이상 방전가공 분야에서 세계 선진국에 뒤지지 않을 것이라 생각한다.

### 후 기

본 연구는 산업기반기술개발과제(과제명:방전 가공용 전극선의 성능평가방법 개선)로 산업자원부 기술표준원의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자들에게 감사 드립니다.

### 6. 참고문헌

1. J.Prohaszka, A.G.Mamalis, N.M.Vaxevanidis, "The effect of electrode material on machinability in wire electro-discharge machining", journal of Materials Processing Technology 69, pp. 233~237,1997
2. Y.S.Liao, Y. Y. Chu and M.T.Yan, "Study of Wire Breaking Process and Monitoring of WEDM" Int. J. Mach. Manufact., Vol. 37, No. 4, pp. 555~567, 1997
3. G. Spur and J. Schonbeck, "Anode Erosion in Wire-EDM-A Theoretical Model", Annals of the CIRP, Vol. 42, No. 1, pp.253~256. 1993
4. 김창호, "초경합금의 와이어방전가공 가공성 및 표면특성", 한국정밀공학회지, Vol. 16, No. 8, pp. 100~105, 1999
5. C. Martin, B. Cales. P. Vivier, and P. Mathev, 1989. "Electrical discharge machinable ceramic composites" Material Science and Engineering, Vol. 109, pp. 351~356