

## 쇼트 블라스팅 표면처리를 통한 미세홀 방전가공 성능향상에 관한 연구

장한석<sup>1</sup> · 김홍석<sup>2</sup> · 신기훈<sup>#</sup>

### A Study on Performance Improvement of Electrical Discharge Machining for Producing Micro-holes Using a Shot Blasting Surface Treatment

H. S. Jang, H. S. Kim, K. H. Shin

(Received June 8, 2012 / Revised July 3, 2012 / Accepted July 4, 2012)

#### Abstract

With an increasing trend toward miniaturization, electrical discharge machining(EDM) has been receiving a lot of attention as a suitable production technology for micro-parts, since it enables the machining of hard conductive materials with a high degree of repeatability and without alteration to the material. When a micro-hole is fabricated by EDM, however, the diameter of the inlet hole is larger than that of the outlet region due to the additional discharge effect caused by the eroded particles. In this paper, a shot blasting surface treatment, in which an abrasive material is accelerated through a pressurized nozzle and directed at the surface of a part, is suggested as an effective method to reduce the tapered shape of EDM micro-hole. In addition, the influence of process parameters such as spark-on time and electrode diameter on the machining performance was investigated. It is shown quantitatively that the difference in diameter between the inlet and outlet holes decreases with the shot blasting treatment and with decreasing spark-on time.

**Key Words** : Shot Blasting, Micro-hole, Electrical Discharge Machining, Surface Treatment

#### 1. 서 론

최근 전자, 의료, 광학, 에너지, 항공우주 등 광범위한 산업분야에서 고정밀도의 소형화 제품에 대한 요구가 증대되고 있다. 따라서 전세계적으로 고정밀 미세가공 기술에 대한 투자와 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 광학기기, 터빈, 항공기 엔진, 의료기기 등의 분야에서는 미세홀 가공 기술에 대한 수요가 높은 상황이다[1,3]. 미세홀을 가공할 수 있는 방법은 마이크로 드릴링(drilling) 또는 밀링(milling), 레이저 가공, 마이크로 초음파

(ultrasound) 가공, 마이크로 방전가공(electrical discharge machining) 등이 있으나, 마이크로 방전가공이 비접촉 방식으로 높은 가공정밀도를 실현할 수 있어 많은 주목을 받고 있다[4]. 마이크로 방전가공은 전도성 소재의 경우 경도에 관계없이 고품위 가공을 가능하게 하지만, 공구와 공작물간에 발생하는 방전 열에너지를 활용하는 가공 방법이기 때문에 가공 중 전극의 마모가 동반되고, 특히 미세홀 가공시에는 가공 부스러기(debris)들이 원하지 않는 추가방전을 일으켜 균질한 구멍 단면을 얻기 어려운 단점을 가지고 있다. 방전가공된

1. 서울과학기술대학교 산업대학원

2. 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과

# 교신저자: 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과

E-mail: shinkh@seoultech.ac.kr

미세홀은 입구부분이 추가방전에 노출되는 시간이 길어 흔히 테이퍼(taper) 형상을 가지게 된다[5]. 이를 해결하기 위하여 Kagawa 등[6]은 전극의 직경을 변화시켜 균질한 구멍을 가공하였고, Kim[7] 등은 축전용량을 변화시키고 초음파 진동을 부가하여 미세홀의 테이퍼를 제거하였다. 하지만 이들 연구는 특정한 공구의 형상 때문에 여러 개의 구멍을 반복하여 가공하는데 한계가 있고 여러 공정변수를 정밀하게 제어해야 하는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 쇼트 블라스팅 공정을 활용하여 미세홀 방전가공의 성능을 향상시키고자 하였다. 쇼트 블라스팅은 압축공기를 통해 연마재나 강구를 소재의 표면에 고속으로 충돌시키는 냉간 단조공법의 일종으로, 가속된 입자는 금속표면을 강타하여 국부적인 발열과 영구변형을 유도하게 된다[8]. 따라서 방전가공 전 쇼트 블라스팅 처리된 시편은 소성변형 전의 상태로 복귀하려는 힘을 받게 되어 표면에는 내부 인장응력의 수배에 달하는 압축잔류응력이 발생하게 된다. 이는 소재 표면층의 경화 및 피로강도 향상을 유도하여 방전가공시 미세홀 형상의 직진성 향상에 도움을 줄 것으로 예상된다. 본 연구에서는 1mm 두께의 티타늄 합금 소재에 지름 800 $\mu$ m 크기의 구멍을 가공하였으며, 스파크 타임 및 전극 지름 등 공정변수를 변화시켜 미세홀 입구와 출구의 직경차이를 관찰하였다. 또한, 쇼트 블라스팅 공정이 미세홀 직경차이 감소 및 테이퍼 형상의 제거에 미치는 영향을 고찰하였다. 본 연구의 결과는 비슷한 크기의 냉각 홀 가공을 필요로 하는 가스 터빈의 블레이드(blade)나 베인(vane)의 제작에 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 실험 방법

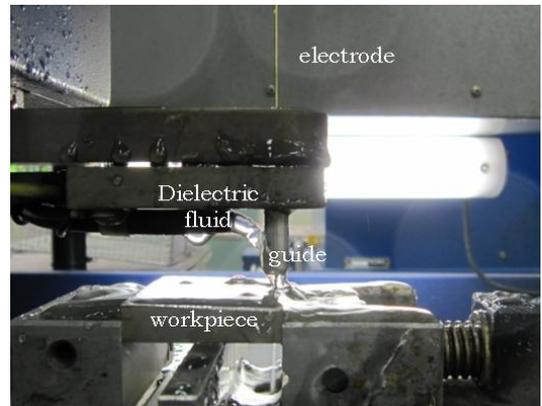
실험 재료는 초경량 소재로서 여러 산업분야에서 널리 활용되는 티타늄 합금을 사용하였다. 티타늄은 인성이 높고 열전도율이 낮기 때문에 소재가 공구에 쉽게 응착되며 절삭온도가 높다. 이와 같은 난삭재의 가공에는 방전가공과 같이 절삭가공을 대체할 수 있는 기술의 적용이 필요하다. 또한 방전가공은 비접촉식이고 가공 반력이 매우 작기 때문에 터빈 블레이드 또는 베인과 같이 비정형 곡면으로 구성된 부품의 구멍가공에는 절삭가공보다 적합하다. 본 연구에서 사용된 티타

**Table 1 Chemical composition of the titanium alloy**

O	N	C	H	Fe	Al	V
0.20	0.05	0.08	0.02	0.40	5.5-6.75	3.5-4.5

**Table 2 Mechanical Properties of the titanium alloy at room temperature**

Property	Value
Yield strength	910 MPa
Ultimate strength	1000 MPa
Elongation	18%
Reduction in area	20%
Hardness	330-390 HV
Modulus of elasticity	114 GPa
Charpy V-notch impact	20-27 J



**Fig. 1 Setup of an EDM system**

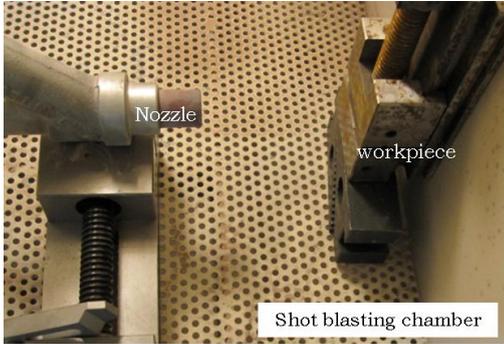
늄 합금의 성분 및 기계적 특성은 Table 1 과 Table 2 에 나타내었다.

방전가공 실험은 NSD 사의 1000TF 모델을 사용하였으며, Fig. 1 에 시스템 각 부 명칭을 나타내었다. 전극에 -전원을 연결하고 시편에 +전원이 연결된 정극성으로 실험을 실시하였고, 절연액으로는 수돗물에 이온수지를 첨가하여 사용하였다. 절연액은 70kg/cm<sup>2</sup> 압력으로 가공영역에 분사하였다.

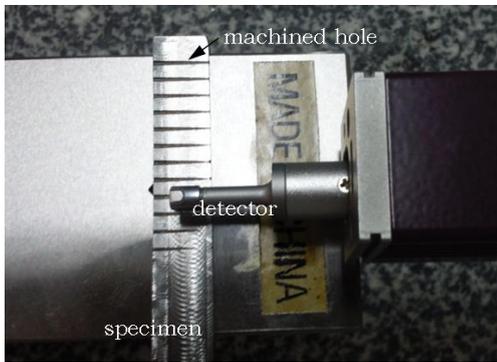
방전가공을 위한 실험조건은 Table 3 에 나타내었다. 전극 재료는 황동을 사용하였으며, 구멍 가공을 위한 가공방법으로는 두 가지 경우를 고려

**Table 3 Experimental condition for EDM**

Voltage	100V
Spark-on time	10, 25, 50 $\mu$ s
Electrode diameter	500, 800 $\mu$ m
Electrode material	Brass
Polarity	DCSP



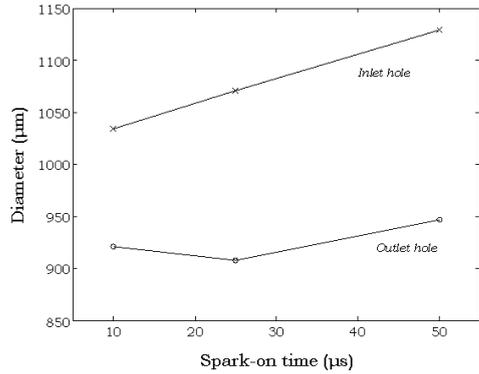
**Fig. 2 Setup of a shot blasting system**



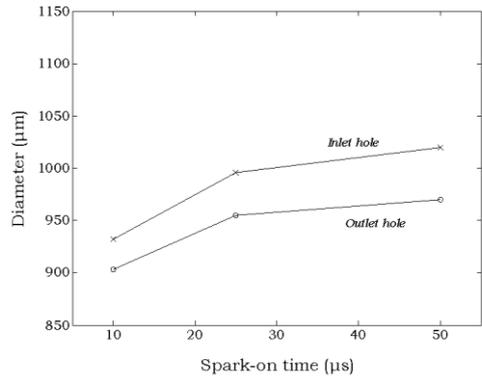
**Fig. 3 Setup of a roughness measurement system**

하였는데, 첫째는 800 $\mu$ m 전극봉을 사용하는 경우이며, 둘째는 500 $\mu$ m 및 800 $\mu$ m 전극봉을 순차적으로 사용하는 경우이다. 스파크 타임은 10, 25, 50 $\mu$ s의 3 수준으로 선정하였다.

Fig. 2 에 나타난 것처럼 가공 전 시편에 쇼트 블라스팅 처리를 실시하여, 쇼트 블라스팅이 방전 가공 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 연마재로는 GC36 과 강구(steel ball)를 사용하였으며, 노즐로부터 100mm 거리에 시편을 위치시키고 공기압 3kg/cm<sup>2</sup> 로 10 초간 연마재를 시편 표면에 분사하였다.



**(a) Single step (800 $\mu$ m electrode)**



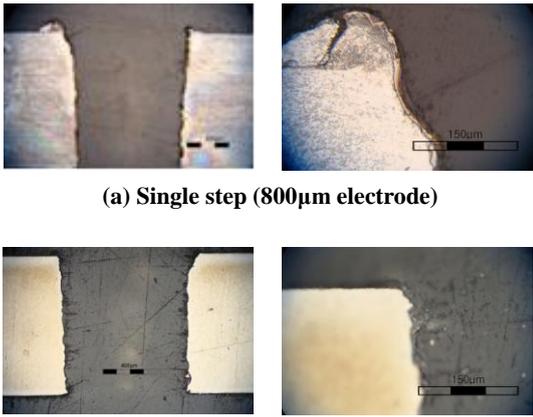
**(b) Two steps (500 $\mu$ m and 800 $\mu$ m electrode)**

**Fig. 4 Diameters of the inlet and outlet holes without shot blasting treatment**

방전가공 후 성능평가를 위해 광학현미경을 사용하여 시편의 진입부와 관통부의 직경을 관찰하였다. 또한 구멍을 절단하여 시편단면의 테이퍼 형상을 관찰하였으며, Fig. 3 에 나타난 것처럼 Mitutoyo 사의 SJ-301 장비를 이용하여 구멍의 표면거칠기를 측정하였다.

### 3. 실험 결과

Fig. 4 는 쇼트 블라스팅 처리하지 않은 시편의 방전가공 성능을 나타내고 있다. 스파크 타임이 증가함에 따라 가공에너지가 증가하여 가공시간은 줄어들었지만, 홀의 크기가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 스파크 타임의 영향은 관통부 구멍보다 진입부 구멍의 크기에 미치는 영



(a) Single step (800µm electrode)

(b) Two steps (500µm and 800µm electrode)

Fig. 5 Cross section of a straight hole machined by EDM

향이 컸다.

Fig. 4(a)와 같이 800µm 전극봉을 사용한 경우 가공구멍과 전극의 지름차가 진입부는 230~330µm, 관통부는 108~147µm로 측정되었으며, 시편의 상하부 직경 차이가 최대183µm로 분석되었다. Fig. 4(b)와 같이 500µm 및 800µm 전극봉을 순차적으로 사용하는 경우에는 가공시간은 증가하였지만, 구멍과 전극의 지름차가 진입부는 130~220µm, 관통부는 103~170µm로 시편 상하부의 직경 차이가 최대 50µm로 감소하였고, 직진성이 약 30% 향상된 것을 확인할 수 있었다. 이는 1차 가공시 이미 구멍이 관통되었기 때문에 800µm 전극봉으로 가공시 가공면적이 감소되고 칩의 배출이 용이하여 추가방전이 감소 되기 때문인 것으로 분석된다.

Fig. 5는 800µm의 전극봉을 사용하는 경우와 500µm 및 800µm 전극봉을 순차적으로 사용하는 경우의 구멍단면을 비교한 것이다. 후자의 경우가 복수가공으로 정밀하고 변형이 적은 구멍을 가공할 수 있으며 직진성이 양호한 것을 확인할 수 있다.

Fig. 6는 구멍단면의 표면거칠기를 측정한 결과를 보여주고 있다. Fig. 4에서 논의한 바와 같이 스파크 타임 증가에 따라 방전 에너지가 증가하여, 거친 가공이 된 것을 확인할 수 있다. 또한 500µm 및 800µm 전극봉을 순차가공한 경우 추가방전 감소 및 재료제거율 감소로 표면거칠기 값이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7는 쇼트 블라스팅 처리한 시편의 방전가공 성능을 보여주고 있다. Fig. 4와 마찬가지로 스

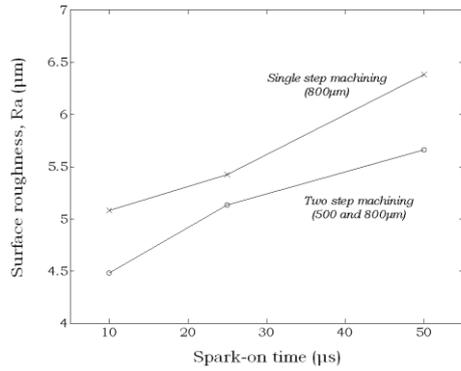
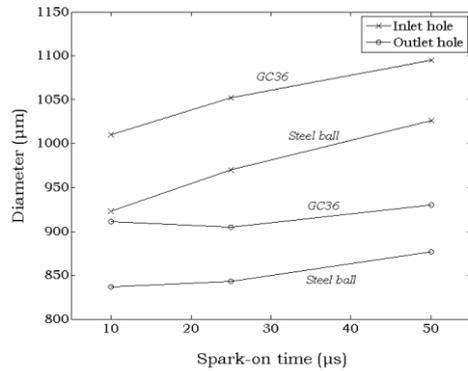
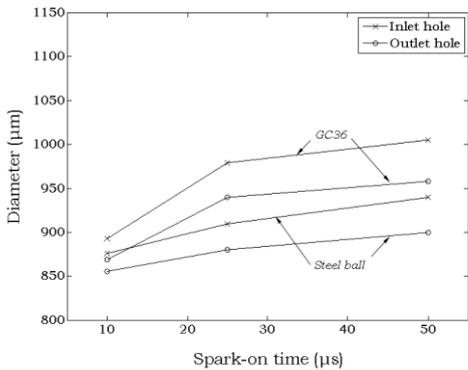


Fig. 6 Surface roughness (Ra) values of machined holes at different process conditions



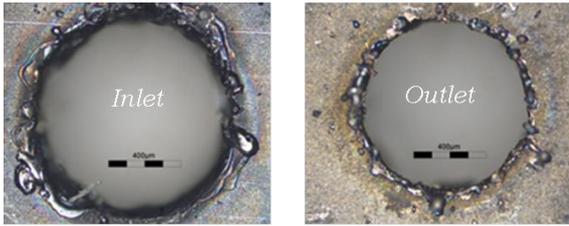
(a) Single step (800µm electrode)



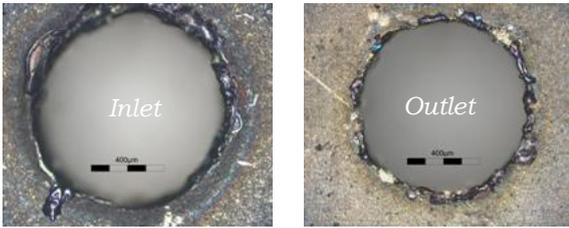
(b) Two steps (500µm and 800µm electrode)

Fig. 7 Diameters of the inlet and outlet holes with shot blasting treatment

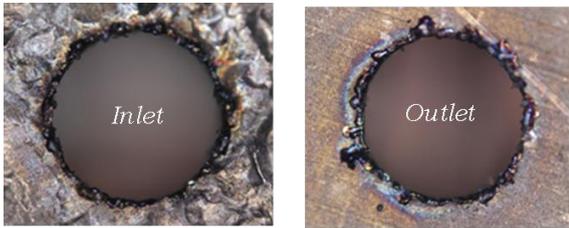
파크 타임이 증가함에 따라 구멍의 크기가 증가하는 것이 관찰되었다. 시편 상하부의 직경차이는 800µm 전극봉의 경우 각각 최대 165µm (GC36) 및



(a) Without shot blasting



(b) GC36



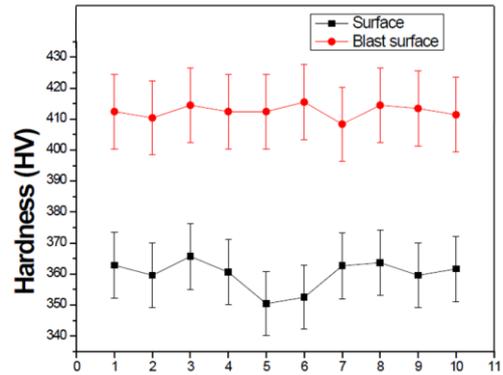
(c) Steel ball

**Fig. 8 Inlet and outlet of the machined holes with and without shot blasting treatment (spark-on time=25µs, 800µm electrode)**

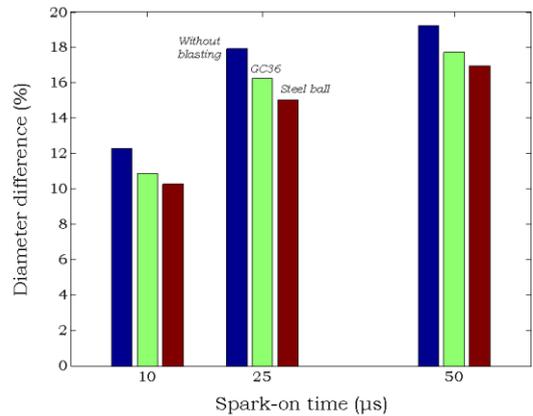
149µm(steel ball)로 감소하였으며, 500µm 및 800µm 전극봉을 순차적으로 사용한 경우에는 각각 45µm (GC36) 및 40µm (steel ball)로 감소하였다. Fig. 4와 비교할 때 직진성의 개선은 크지 않으나, 가공량이 감소하여 가공 구멍과 전극과의 지름 차가 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 특히 강구의 경우 지름 차의 감소가 현저하였다.

Fig. 8에 시편의 방전가공 사진을 비교하였다. 쇼트 블라스팅 처리를 통하여 구멍의 직진성이 향상된 것을 다시 한번 확인할 수 있었다. 특히 구멍 진입부에 방전량의 감소하여 표면특성이 개선된 것을 확인할 수 있었다.

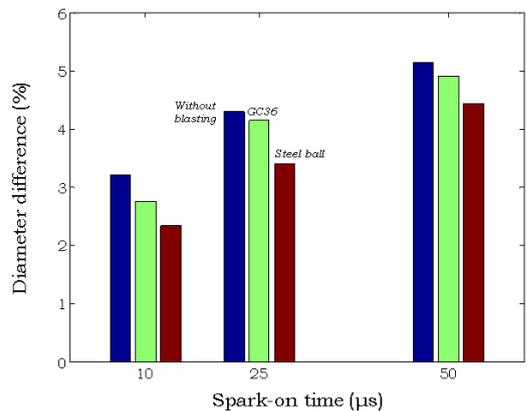
쇼트 블라스팅 후 구멍의 직진성이 향상되는 것은 연마재나 강구가 소재표면에 충돌하여 압축 잔류응력을 유발함과 동시에 소재 표면층의 경화



**Fig. 9 Surface hardness with and without shot blasting treatment**



(a) Single step (800µm electrode)



(b) Two steps (500µm and 800µm electrode)

**Fig.10 Diameter difference between the inlet and outlet holes**

시켰기 때문에 분석된다. 이를 확인하기 위하여 1mm 판재를 강구를 이용해 쇼트 블라스팅 처리한 후 표면경도를 측정하였다. Fig. 9에 나타난 것처럼 블라스팅 가공 전 재료의 경도는 354.3HV로 측정되었고, 블라스팅 가공 후 시편은 406HV로 측정되어, 블라스팅 가공으로 14.6% 경도가 상승한 것을 확인 할 수 있었다. 즉 쇼트 블라스팅은 소재 표면의 경도를 향상시킴으로써 원하지 않는 추가방전의 양을 감소시키고 구멍의 직진성을 향상시키는 수단으로 활용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 10에 나타난 것처럼 방전가공 전 시편에 대한 쇼트 블라스팅 처리는 구멍의 진입부와 관통부의 지름 차이를 개선하는 효과가 있는 것으로 관찰되었다. 특히 강구를 사용한 경우 표면경화 효과가 커서 가장 좋은 가공성능을 보였으며, 절대적인 가공량도 현저히 감소하는 것으로 확인되었다. 이는 고정밀의 소형화 제품을 필요로 하는 다양한 산업분야에 적용가능 할 것으로 판단되며, 향후 방전가공 뿐 아니라 쇼트 블라스팅 공정의 최적화 과정을 통해서 가공 성능을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 쇼트 블라스팅 처리를 통한 미세홀의 방전가공 특성에 대하여 고찰하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 방전가공시 스파크 타임이 상승하면 방전에너지가 증가하여 가공시간은 줄어들지만, 전극의 마모가 증가하고 상하부 홀직경의 차이가 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 스파크 타임이 10 $\mu$ s에서 50 $\mu$ s로 증가함에 따라 구멍 상하부의 최대 직경차이는 단가공(800 $\mu$ m)의 경우 12%에서 19%로 증가하였으며, 복수가공(500 $\mu$ m, 800 $\mu$ m)의 경우에도 3%에서 5%로 증가하였다.

(2) 단가공(800 $\mu$ m)과 복수가공(500 $\mu$ m, 800 $\mu$ m)을 비교하였을 때 가공 차수에 따라서 상하부의 직경 차이가 발생하는 것을 관찰하였다. 전자의 경우 최대 직경차이가 149-183 $\mu$ m의 범위에 있었으나 후자의 경우에는 40-50 $\mu$ m 범위로 감소하였다. 이는 2차 가공 시 1차 가공에서 홀의 관통되기 때문에 칩의 배출이 용이해지고 가공면적이 감소하여 전극봉의 마모도 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 가공된 구멍의 단면 거칠기도 복수가공

의 경우 최대 5.6 $\mu$ m로 단가공에서 측정된 6.5 $\mu$ m에 비해 향상된 것을 관찰할 수 있었다.

(3) 방전가공 전 시편 표면을 쇼트 블라스팅 처리할 경우 비커스 경도가 14.6% 정도 증가하였다. 이는 블라스팅 처리하지 않은 시편과 비교할 때 가공구멍의 직진성을 향상시켰으며, 동일한 공정 조건에서도 방전가공량을 감소시키는 효과를 가져왔다.

(4) 향후 방전가공 및 쇼트 블라스팅 공정의 최적화 과정을 통해서 고정밀 소형화 제품의 생산에 적합한 가공 조건 및 가이드라인을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] S. Das, M. Klotz, F. Klocke, 2003, EDM Simulation: Finite Element-based Calculation of Deformation, Microstructure and Residual Stresses, J. Mater. Process. Technol., Vol. 142, No. 2, pp. 434~4512.
- [2] C. Diver, J. Atkinson, H. J. Helml, L. Li, 2004, Micro EDM Drilling of Tapered Holes for Industrial Applications, J. Mater. Process. Technol., Vol. 149, No. 1~3, pp. 296~303.
- [3] S. H. Lee, T. S. Jung, 2006, A Study on the Characteristics of Wire Electrical Discharge Machining of the High-hardened Mold Steel, Trans. Mater. Process., Vol. 15, No. 9, pp. 648~653.
- [4] K. H. Ho, S. T. Newman, 2003, State of the Art Electrical Discharge Machining (EDM), Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol. 43, No. 13, pp. 1287~1300.
- [5] R. Cusanelli, M. Minello, F. Torchia, W. Ammann, P. E. Grize, 2007, Proc. 15th Int. Symposium Electromachining, University of Nebraska-Lincoln, Industrial & Management Systems Engineering, Pittsburgh, PA, pp. 241~245.
- [6] M. Kagawa, 1999, Study on Straight Micro Hole Machining by EDM using Stepped Electrode, J. JSPE, Vol. 65, No. 12, pp. 1793~1797.
- [7] D. J. Kim, S. M. Yi, Y. S. Lee, C. N. Chu, 2006,

Straight Hole Micro EDM with a Cylindrical Tool using a Variable Capacitance Method Accompanied by Ultrasonic Vibration, J. Micromech. Microeng., Vol. 16, No. 5, pp. 1092~1097.

[8] A. Fedoryszyn, P. Zyzak, 2010, Characteristics of the Outer Surface layer in Casts Subjected to Shot Blasting Treatment, Arch. Metall. Mater., Vol. 55, No. 3, pp. 813~818.