

# 고경도 금형강의 와이어 방전가공특성에 관한 연구

이상훈\*, 정태성<sup>1</sup>

## A Study on the Characteristics of Wire Electrical Discharge Machining of the High-Hardened Mold Steel

S. H. Lee, T. S. Jung

(Received November 16, 2006)

### Abstract

In this study, the characteristics of Wire Electrical Discharge Machining(WEDM) of the high-hardened mold steel were investigated. WEDM experiments have been carried out based on parameter of wire diameter, pulse on time, pulse off time, feed rate and cycle etc. From the results, the optimized WEDM cycle of RIGOR steel has been revealed as 5~7 times. Also, geometrical accuracy of the Core Pin is dependent on WEDM wire radius machining condition and wire chattering.

**Key Words** : WEDM, RIGOR Steel, Core Pin, BGA(Ball Grid Array) Socket

### 1. 서 론

최근의 정보, 전자, 광, 반도체, 의료 등 각종 첨단산업에 요구되는 부품의 정밀도는 서브미크론 뿐만 아니라 Nanometer 이하를 요구하고 있으며, 기존의 가공기술을 초월하는 고도의 초정밀, 초미세 복합가공기술의 개발이 필요하다[1]. 따라서 금형산업과 가공기술의 발전을 위해서는 정밀가공기술과 제조기술 분야에서 선진국과 경쟁력 우위를 지닐 수 있는 기술의 개발이 요구 되어진다[2~4]. 그 중 국내 산업의 큰 비중을 차지하는 반도체 산업의 핵심 부품인 BGA Test Socket의 정밀사출금형 개발에 대한 연구가 국내·외적으로 활발히 진행되고 있다.

Micro Ball Grid Array(BGA) Burn In Test Socket 금형은 반도체 출시 예정인 메모리 반도체에 과열, 과전류와 같은 악조건하의 테스트를 통해 마지막 공정에서 무결점 반도체를 출하하기 위하여 사용되고 있는 Test Socket을 성형하는 고 정밀 부가가치 금형으로 Pin pitch와 hole 치수 등의 형상이 매

우 미세하고 초정밀하기 때문에 제품을 사출하기 위한 금형은 가공 공차가 매우 정밀한 범위( $\pm 1 \mu m$ ) 이내에서 가공이 이루어져야 한다[5].

따라서 BGA 컨넥터 금형과 같이 정밀한 가공 정밀도가 요구되는 가공법에는 초정밀 미세가공 기술이 함께 수반 되어야 한다. 초정밀 미세가공에는 연삭가공, 방전가공 등이 있으며, 본 연구에서는 와이어 방전가공에 대한 특성을 비교/분석하였다.

Fig. 1은 BGA 컨넥터 금형과 사출품을 나타낸다. 일반적으로 방전가공은 와이어방전가공과 형조방전가공으로 나누어지며, 와이어 방전가공(Wire Electrical Discharge Machining)은 난삭성 재료에 대한 가공성이 우수하고 공구로 사용하는 와이어 직경이 매우 작아 미세한 형상도 정밀하게 가공할 수 있어 자동차, 우주항공 산업의 부품가공 및 형조방전기용 전극가공에 폭넓게 사용되고 있다[6~8].

와이어 방전가공법의 기본적인 방전원리에 있어서는 일반 방전가공과 거의 같지만 전극으로 와

1. 제영솔루텍㈜ 플라스틱 응용기술연구소  
\* 교신저자: 제영솔루텍㈜, E-mail:sh7717@jysolutec.com

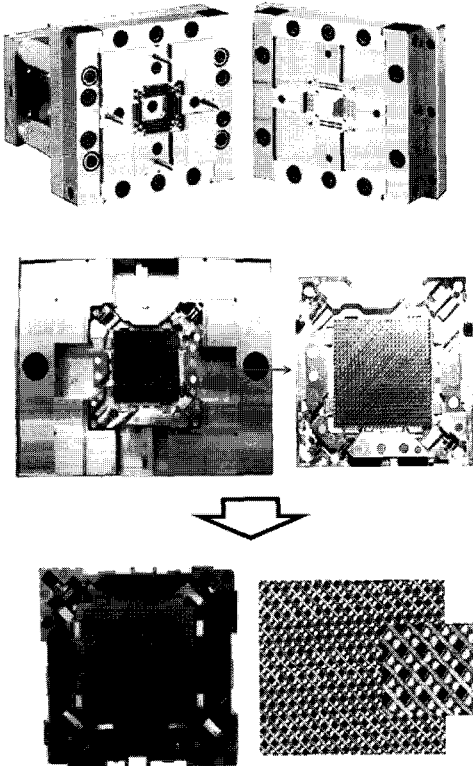


Fig. 1 BGA connector

이어를 사용한다는 것이 다르며 동, 황동, 텅스텐 등의 재질로 된 가는 와이어 전극을 이용해 피가공물을 가공한다[9~10].

본 연구에서는 BGA컨넥터 금형의 와이어 방전가공에 대한 최적의 가공조건을 선정하기 위해 BGA 컨넥터 금형재료인 RIGOR강과 Core Pin의 와이어 방전가공을 수행하여 공정 변수에 따른 표면조도와 형상정밀도 등을 비교 분석 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 RIGOR 금형강의 와이어 방전가공

BGA 컨넥터 금형에 사용된 Core 원재료는 RIGOR 라는 금형강으로 공기소입 혹은 기름소입 열처리강으로 SKS-3(O1)와 SKD-11(D2) 강종의 중간상태의 강종으로 좋은 내마모성과 인성이 조화를 이루어 플라스틱 사출 금형 및 냉각작업 공구강에 적합하고, 인성이 뛰어나 절단면의 Chipping 현상 방지에 높은 효과가 있다. 또한 기존 강종으로 제작 되어지는 금형보다도 더 경제적인 효과

Table 1 Chemical composition of RIGOR

Chemical Component (%)	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
	1.0	0.2	0.6	5.3	1.1	0.2

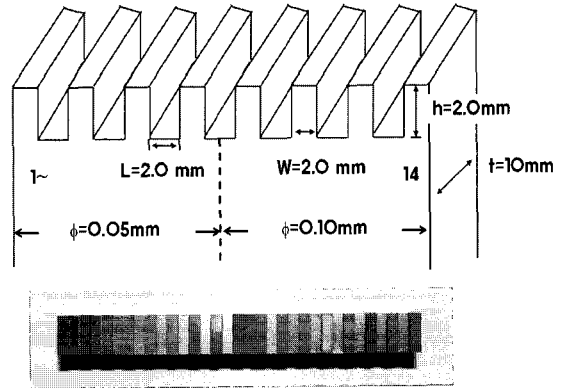


Fig. 2 Specimen of WEDM

를 얻을수 있으며, 기계가공성, 연삭성에 있어서도 매우 좋은 특성을 갖고 있어 반도체금형, 컨넥터금형, 엔지니어링 플라스틱 금형 등에 사용되어지고 있다.

Fig. 2 는 RIGOR 강 의 와이어 방전실험에 사용된 시험편을 나타내며 화학 성분비는 Table 1 과 같다.

본 연구에 사용된 와이어 방전가공기는 일본 SODICK 사의 AP200L 이다. 절연액은 순수물을 사용하였다.

방전시간, 휴지시간, 이송속도 등은 일본 SODICK 사에서 제공된 AP200L 가공기의 보편적인 가공조건이며, 와이어 직경을 주요 공정변수로 선정하였다. 와이어 장력은 와이어 직경이 0.05mm 일 때 0.25kg~0.5kg, 0.10mm 일 때 0.3kg~0.4kg 이다. 와이어 재질은 황동이며, 직경은 0.05mm, 0.10mm 이다.

따라서 와이어 직경에 따른 표면조도를 측정하여 와이어 방전가공에 대한 최적 가공조건을 선정하였다.

표면조도는 Veeco 사의 NT-1000 3 차원 측정기를 이용하였다.

Table 2 는 와이어 직경에 따른 공정변수를 나타낸다.

### 2.2 Core Pin의 와이어 방전가공

BGA 컨넥터 금형의 경우 여러 개의 Core Pin 이 겹쳐 조립되고 많은 Core 로 분할되며, 또한 Core 분할선에 따른 단차가 허용되지 않는다. 이와 같

Table 2 Experimental conditions

Wire diameter	Cycle	On time	Off time	Feed
Ø=0.05	1 Cycle	0	23	60
	2 Cycle	0	20	50
	3 Cycle	305	0	50
	4 Cycle	305	0	50
	5 Cycle	0	1	50
	6 Cycle	100	0	50
	7 Cycle	100	0	50
Ø=0.10	1 Cycle	1	17	80
	2 Cycle	0	8	100
	3 Cycle	1	27	100
	4 Cycle	316	4	100
	5 Cycle	316	2	100
	6 Cycle	0	1	100
	7 Cycle	100	0	100

이 BGA 컨넥터 Core Pin 의 정밀한 가공정밀도가 요구된다. 따라서 조립되기 전의 Core Pin 에 대한 와이어 방전가공을 수행하여 가공정밀도를 측정함으로써 가공 오차를 줄이고 최적의 가공방법과 공정변수를 선정하였다.

가공 정밀도를 측정하는 방법은 가공물의 형상 정도와 각 구멍간이나 형상간의 피치 등 특정 위치결정 치수의 정적인 정밀도가 있다. Core Pin 의 경우 미세한 Pin 들로 구성되어 있으며, 피치간격은 0.2mm 내외로써 고정밀도가 요구 되므로, 치수의 정적인 정밀도를 측정하였다. 본 연구에서는 Core Pin 설계에 있어서 실제 도면상의 Pin 과 Pin 사이의 간격, 모서리의 반경 등을 가공 후 측정값과 비교 하여 형상정밀도를 분석하였다.

측정에 사용된 3 차원 측정기는 일본 Mitutoyo 사의 QV606PT 이다.

측정은 Pin과 Pin 사이 거리D(mm)와 모서리반경을 R<sub>1</sub>(mm), R<sub>2</sub>(mm)로 하여 Pin의 수만큼 측정하고 이 값들을 평균하여 실제 도면상의 값들과 비교/분석 하였다.

Fig. 3은 와이어 직경이 Ø=0.05mm로 가공하기 위한 Core Pin 의 설계 도면이다. D는 Pin과 Pin사이의 간격, R은 모서리 반경을 나타낸다.

Fig. 4는 와이어 직경이 Ø=0.10mm로 가공하기 위한 Core Pin 의 설계 도면이다. D는 Pin과 Pin사이의 간격, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>는 모서리 반경을 나타낸다.

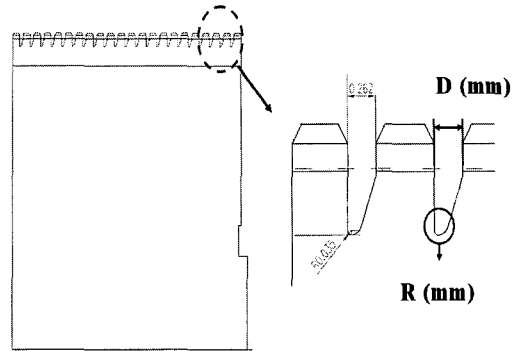


Fig. 3 The drawing of the core pin(Ø=0.05mm)

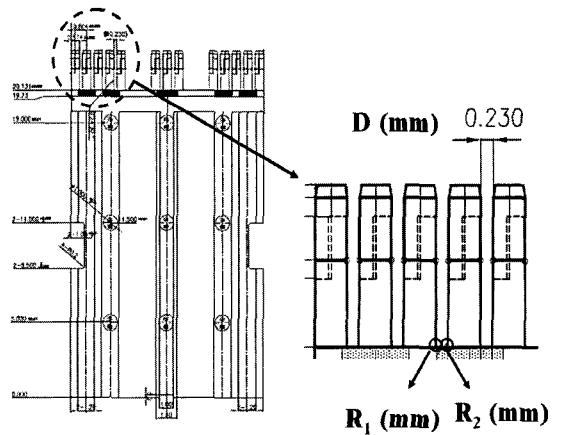


Fig. 4 The drawing of the core pin(Ø=0.10mm)

### 3. 실험결과 및 고찰

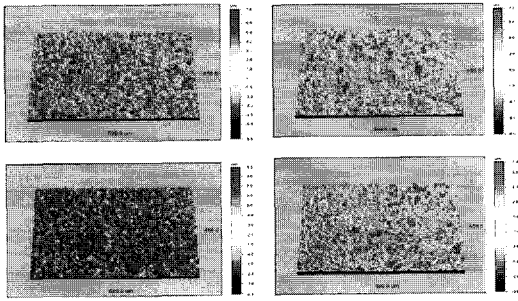
#### 3.1 표면조도

RIGOR강의 방전 실험결과 Ø=0.05mm, Ø=0.10mm의 와이어 직경에 대한 표면조도는 5~7Cycle일 때 우수한 표면조도를 확인하였다. 또한, Ø=0.05mm를 갖는 와이어가 Ø=0.10mm를 갖는 와이어 보다 큰 차이는 없지만 5~7Cycle에서 표면조도가 우수하게 나타났다.

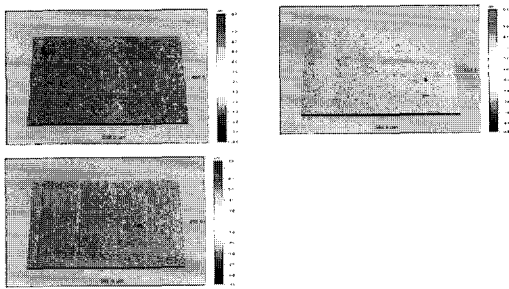
따라서 초정밀 와이어 방전가공 시 원하는 표면조도를 얻기 위한 최적 가공 Cycle은 5~7Cycle임을 확인 하였다.

표면조도는 중심선 평균 거칠기(Ra)를 측정하여 비교 분석 하였다.

Fig. 5, 6은 와이어직경이 0.05mm 일 때 표면형상과 중심선 평균 거칠기 값을 나타낸다.



(a) 1~4cycle



(b) 5~7cycle

Fig. 5 Surface shape of RIGOR steel(Ø=0.05mm)

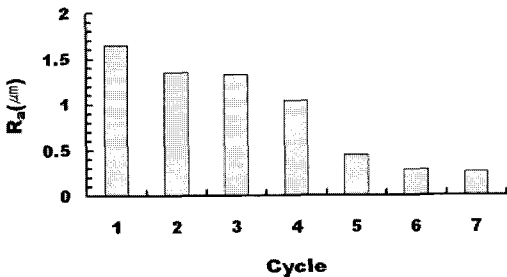
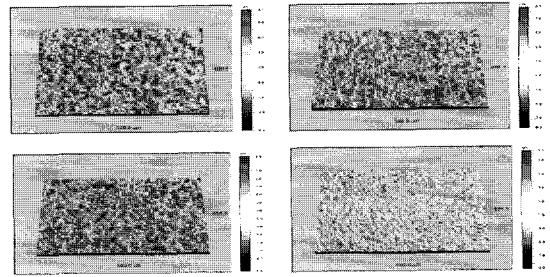


Fig. 6 Surface roughness of RIGOR steel(Ø=0.05mm)

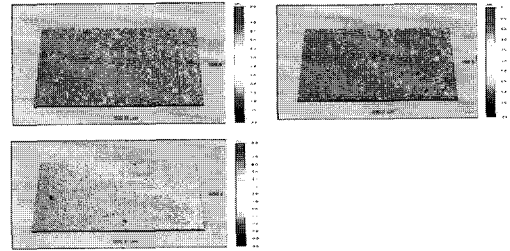
Fig. 7, 8은 와이어직경이 0.10mm 일 때 표면형상과 중심선 평균거칠기(Ra) 값이며, 와이어 직경이 0.05mm 일 때와 유사한 경향을 나타내었다.

### 3.2 형상정밀도

Core Pin의 와이어 방전가공 후 형상정밀도 측정결과 Ø=0.10mm 와이어로 가공한 Core Pin의 경우 핀 사이의 간격 D 값의 오차는 1µm으로 큰 차이가 없는 것을 알 수 있었다. 하지만 모서리부의 반경의 경우 사용된 와이어의 반경대비 약 13µm 수준의 가공 오차를 보였다. Ø=0.05mm 와이어로 가공한 Core Pin의 경우 D 값의 오차는 3µm으로 나타났는데, 이는 와이어 반경에 의한 영향과 가



(a) 1~4 cycle



(b) 5~7 cycle

Fig. 7 Surface shape of RIGOR steel(Ø=0.10mm)

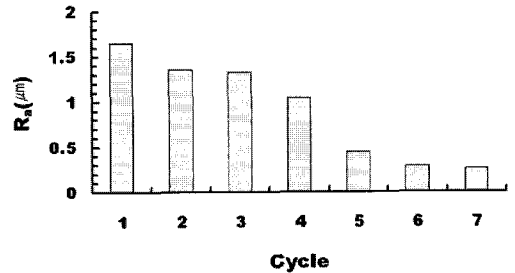


Fig. 8 Surface roughness RIGOR steel(Ø=0.10mm)

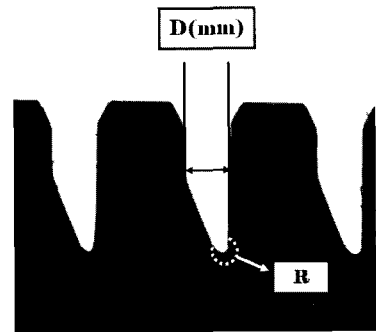


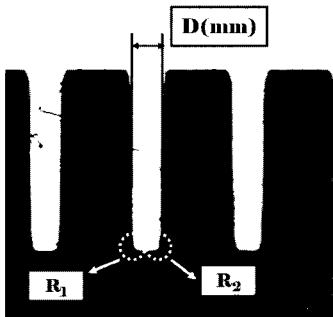
Fig. 9 Measurement shape of the specimen(Ø=0.05mm)

공조건에 의한 유효가공반경, 와이어의 흔들림 등이 영향을 미친 것으로 판단된다.

Fig. 9는 와이어 직경이 Ø=0.05mm로 가공한 후 각 치수를 측정하기 위해 형상을 확대한 사진이며,

**Table 3 Geometrical accuracy( $\phi=0.05\text{mm}$ )**

	D(mm)	R (mm)
Process before	0.262	0.025
Process after	0.265	0.038
<b>Value of error</b>	<b>+0.003</b>	<b>+0.013</b>



**Fig.10 Measurement shape of the specimen( $\phi=0.10\text{mm}$ )**

**Table 4 Geometrical accuracy( $\phi=0.10\text{mm}$ )**

	D(mm)	R <sub>1</sub> (mm)	R <sub>2</sub> (mm)
Process before	0.23	0.05	0.05
Process after	0.229	0.063	0.051
<b>Value of error</b>	<b>-0.001</b>	<b>+0.013</b>	<b>+0.001</b>

Pin간 거리인 D와 코너반경 R을 각각 측정하였다. 측정값은 Table 3과 같다.

Fig. 10 은 와이어 직경이  $\phi=0.10\text{mm}$  로 가공한 후 각 치수를 측정하기 위해 형상을 확대한 사진이며, Pin 간 거리인 D 와 코너반경 R<sub>1</sub> 과 R<sub>2</sub> 를 측정하였다. 측정값은 Table 4 와 같다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 와이어 직경에 따른 방전가공을 통해 BGA 컨넥터 금형강의 표면조도와 Core pin의 형상정밀도를 분석함으로써 초정밀 와이어 방전가공 시 공정변수가 품질에 미치는 영향을 평가 하여 최적의 가공조건을 선정하였다.

BGA 컨넥터 금형의 원재료인 RIGOR강의 표면조도는 와이어 직경 보다는 가공 Cycle에 대한 영향이 주요 변수임을 확인 하였으며, 최적 가공 Cycle은 5~7Cycle임을 알 수 있었다.

Core Pin의 형상 정밀도는 와이어 직경이 0.10mm 일 때 0.05mm 보다 BGA 컨넥터 금형가공 시 요구되는 정밀도에 만족하였다. 이는 와이어 직경보다는 와이어 반경과 가공조건에 의한 유효가공반경, 와이어 흔들림 등에 대한 영향이 큰 것을 알 수 있었다.

향후 가공 오차를 줄이기 위하여 와이어의 직경에 따른 적절한 가공 조건 선정이 요구된다.

또한, BGA 컨넥터 금형 가공의 표준화를 위해 와이어 방전가공뿐만 아니라 연삭, 래핑 등의 초정밀 금형 가공이 추가적으로 수행 되어야 할 것이다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부 “우수제조기술연구센터사업”의 연구결과의 일부이며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 이영수, 김보현, 이상민, 주종남, 강영훈, 최태훈, 박훈재, 2005, 미세 방전을 이용한 3 차원 미세 구조물 및 미세 공구 제작, 한국소성가공학회지, 제 14 권 제 3 호, pp. 251~256.
- [2] Sato, T., Nontraditional Machining, Yokendo, Tokyo, 1994.
- [3] R. Snoeys, W. Dekeyser, C. Tricarico, 1998, Knowledge-Based System for Wire EDM, Annals of the CIRP. Vol. 37, No. 1, pp. 197~202.
- [4] T. Masuzawa, M. Fujino, K. Kobayashi, 1985, Wire Electro-Discharge Grinding for Micro Machining, Annals of the CIRP, Vol. 34, pp. 424~431.
- [5] www.Jysolutec.com
- [6] S. Abrate, D. Walton, 1992, Machining of Composite Materials. Part II : Nontraditional Methods, Vol. 3, No. 2, pp. 85~94.
- [7] D. H. Wang, J. Y. Woo, 1999, Die-sinking EDM with Dielectric Fluid Ejection System through the Inside of the Electrode, Journal of the Korean Society of Machine Engineers, Vol. 10, No. 12001.
- [8] Y. S. Tarng, S. C. Ma, L. K. Chung, 1995, Determination of Optimal Cutting Parameters in Wire Electrical Discharge Machining, Int. J. Mach. Tools Manufact, Vol. 35, No. 12, pp. 1693~1701.

- [9] T. Matsuo, E Oshima, Kumamoto, 1992, Investigation on the Optimum Carbide Content and Machining Condition for Wire EDM of Zirconia Ceramics, *Annals of the CIRP*, Vol. 41, No. 1.
- [10] 김정석, 이득우, 강명창, 이기용, 성준경, 황경현, 1997, 황동과 금형강의 와이어 컷 방전가공을 통한 가공특성 평가, *한국공작기계학회지*, 제 6 권 제 4 호, pp. 130~137.