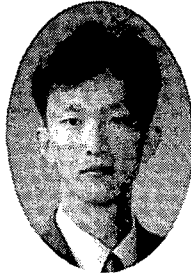


## SiC 복합체의 방전가공



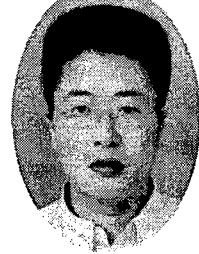
황 철

원광대학교 전기전자공학부 석사과정



윤세원

원광대학교 전기전자공학부 석사과정



주진영

원광대학교 전기전자공학부 박사과정

### 1. 머리말

전형적인 파인세라믹스는 공유결합성이 아주 강한 화합물로 강도와 동시에 내열성, 내식성, 내마모성에도 우수한 특성에 기인하여 최근에 기계, 전자, 항공기 장비 등의 부품에 응용되어지고 있는 중요한 새로운 물질로 각광받고 있다.

이러한 파인세라믹스는 경도가 높은 장점이 있지만 가공면에서 보면 이것이 오히려 가공성을 저하시키는 요인이 되고 있다. 난가공재인 파인세라믹스를 산업의 고도화와 맞물려 높은 치수정밀도가 요구되고, 필요한 형상과 크기에 맞게 정밀 가공하는 것이 매우 중요해지고 있다.

이러한 파인세라믹스의 가공에는 표 1에서 보여 지듯이 많은 가공법이 존재하고 있다.

가공 중 일반적으로 다이아몬드 지석에 의한 연삭, 연마 가공이 현재 실용적으로 광범위하게 이용되고 있다. 이 가공법은 고가의 지석을 사용하기 때문에 가공비용이 높고 복잡한 형상의 부품 제작이 어려우며 고도의 기술력을 요구하기 때문에 가공효율이 좋다고 할 수 없으며 SiC를 주성분으로 한 파인세라믹스를 실용화하는데 커다란 장애가 되고 있다.

위와 같은 문제를 해결하기 위해서는 전기적 가공법인 방전가공이 가능하도록 SiC에 도전성 물질을 첨가하여 도전성 세라믹 복합체를 제조하면 된다. 방전가공은 spark machining(스파크 가공)이라고도 하며 1970년대 후반에 computer numerical control(CNC)의 도입으로 급격하게 발전하면서 최근에는 저항률이  $100 \Omega \cdot \text{cm}$  이하인 ceramic-ceramic과 ceramic-metal의 복합체나 단상의 ceramic들을 가공하는데 응용되어지고 있다.

### 2. 방전가공의 기본 원리 및 구성

방전 가공은 전극과 공작물 사이의 공급 전압을 주기적인 펄스 형태로 미소 간격을 가진 두 금속에 인가해 준다. 이때 공구와 공작물은 전기의 양극이나 음극중 각각 서로 다른 극성을 가진다.

공급전압을 올리면 전극에 도달하는 이온의 수도 증가하게 되는데 전리작용은 대체로 일정하므로 단위 시간에 보급되는 음양 이온의 수에는 한도가 있어 단위시간에 발생한 음양 이온이 전부 전극으로 흡입되는 상태가 되면 전압을 올려도 전류는 그 이상 증가하지 않는다.

정상 방전인 경우, 두 금속 사이의 증가된 전압에

표 1. 파인세라믹스의 가공 방법 종류

Mechanical	by grain	Bonded	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grinding</li> <li>• Horning</li> <li>• Super Finishing</li> <li>• Grinding Paper</li> </ul>
		Dispersed	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lapping</li> <li>• Supersonic Machining</li> <li>• Polishing</li> <li>• Barrel</li> </ul>
		Unrestrained	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viscoelastic Flowing</li> <li>• Blast</li> </ul>
	by a single point tool		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cutting</li> <li>• Spliting</li> </ul>
Chemical			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etching</li> <li>• Chemical Polishing</li> </ul>
Photo-chemical			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Photo Etching</li> </ul>
Electro-chemical			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrolytic Polishing</li> </ul>
Electrical			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrical Discharge Machining</li> <li>• Electron Beam Machining</li> <li>• Ion Machining</li> <li>• Plasma Machining</li> </ul>
Optical			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laser Machining</li> </ul>

의하여 전리된 하전 입자가  $10^{-11} \sim 10^{-9} \text{A}$  정도의 미세한 전류로 흐르는데 이 상태를 암류(dark current)라고 한다.

방전기 공급 전압이 더욱 증가되어 절연 파괴 전압이 되면 전극 표면 중에 특히 전계가 강한 부분에 국부적인 절연 파괴가 이루어져 코로나 방전(corona discharge)이 일어난다.

흘러나간 하전 입자에 전압을 더욱 높여주면 비교적 질량이 작은 전자가 우선 전리속도를 얻어 중성분자와 충돌하여 전리시킨 결과 전자와 양이온이 발생한다.

전압이 더욱 높아지면 충돌전리의 결과 발생한 전자도 또한 전리속도를 얻어 다른 중성분자를 전리시키게 되고 이때 생긴 전자가 또다시 전리를 일으킨다. 이렇게 흘러나간 하전 입자는 증가된 속도로 주위의 분자 또는 원자와 충돌하여 하전 입자가 잇달아 자기 증식되어 전류의 흐름이 시작된다.

이때 방전기 공급 전압의 상승과 더불어 전자 에벌렌체(electron avalanche)가 형성되므로 전류의 증가는 현저하게 된다. 즉 갭에서 절연파괴가 일어난다. 이 영역으로 되면 자속방전이 되고 자속방전은 전극의 형태와 재료 등에 의하여 형태가 다

르게 된다. 전로파괴로 이행할 때의 단시간의 과도 현상을 불꽃방전이라 하며 소리와 강열한 빛을 수반한다.

불꽃방전이 지속되는 시간이 길어지면 방전주는 굵어지고 방전점은 커져서 보다 넓은 범위에 파괴 현상을 초래하게 된다. 이 상태를 아크 방전이라 한다.

충전전압이 콘덴서의 용량보다 높아지면 순간적으로 절연이 파괴되어 짧은 시간 내에 공구와 가공물 사이에 전류가 흐르게 되고 방전이 끝날 무렵에 다시 콘덴서에서 전압이 충전되기 시작한다. 이와 같이 가공물과 공구 사이에서 충전, 방전이 연속적으로 발생된다. 이러한 방전가공의 진행도는 그림 1에 나타내었다.

방전가공은 크게 형조방전가공(die-shinking electrical discharge machine)과 선방전가공(wire electrical discharge machining)으로 나뉘어진다.

#### 2.1 형조방전가공(die-shinking electrical discharge machining)

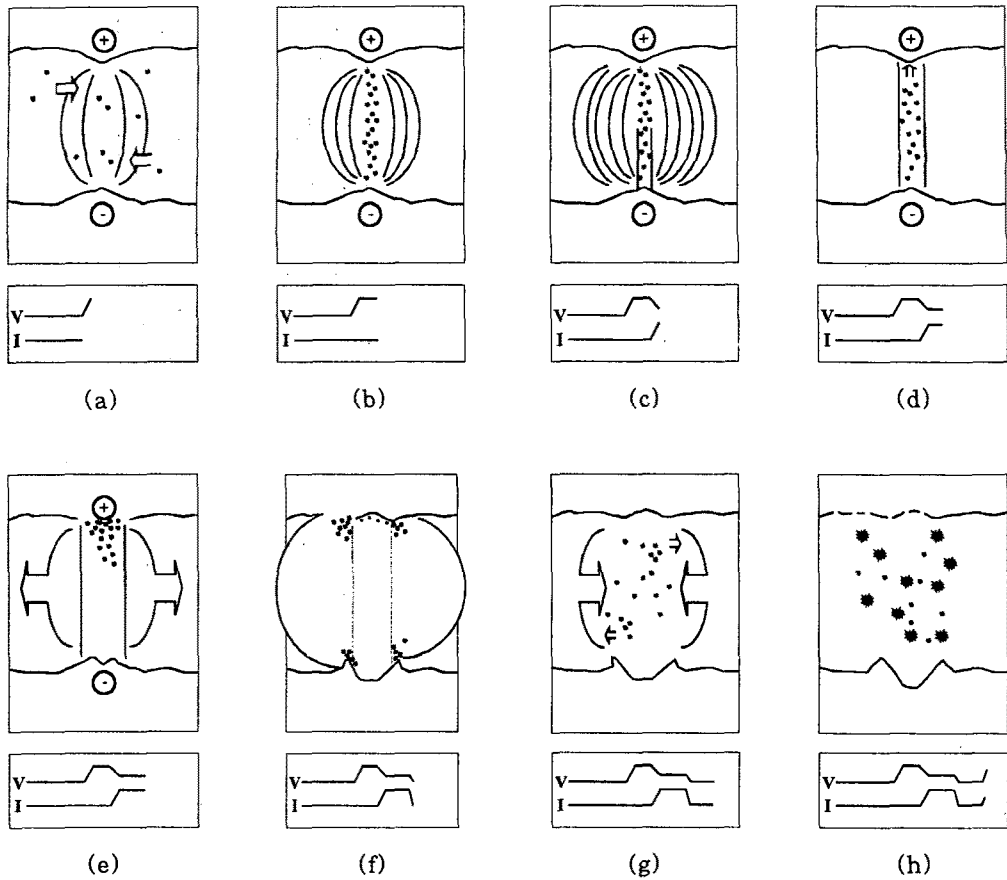


그림 1. 방전가공의 진행과정 : (a) 전계의 형성, (b) 도전성 입자에 의한 브릿지형성, (c) 음전자의 방출에 의한 방전초기단계, (d) 음과 양전자에 의한 전류 흐름, (e) 온도와 압력의 증가로인한 방전채널의 발달과 중기 기포형성 (f) 전류와 열의 감소와 물질제거, (g) 중기기포의 붕괴, (h) 물질입자, 탄소와 가스의 잔여

형조방전가공은 일반적으로 가공물에 매우 복잡한 모양의 연삭이나 절삭을 하고, 나선형 가공, 홈뚫기, 암나사의 홈파기 등에 사용되어지며 ram 형태나 수직 부식 가공기로서 알려져 있다. 이러한 형조방가공에서 가공물은 전기적으로 음극이고 공구는 양극으로 설정한다. 여기서 공구의 물질은 보통 황동, 강철이나 다른 합금으로 만들고, 유전액은 중탄화수소나 등유를 사용한다.

형조방전가공의 원리는 그림 1의 과정을 기본으로 하여 비교적 가공이 용이한 재료를 전극으로하여 60-110V 전압을 양극간에 가하면 간헐적인 방전이 일어나는데 이 방전에 의해 발생하는 이상적인 소모 현상을 이용하는 방전가공법을 말하며 가공기는

그림 2에 나타내었다.

## 2.2 선방전가공(wire electrical discharge machining)

선방전가공은 실타래처럼 자르는 장력을 이용한 얇은 금속선을 이용하여 가공한다. 금속선은 두 개의 spool사이에서 연속적으로 이어져 있고, 이것이 가공물을 지나면서 부식시켜 가공이 이루어지는데 만약 과도한 부식이 이루어지면 선이 끊어지는 경우도 있다. 이때 유전액은 물을 사용하고, 금속선의 재료는 황동, 강철이나 폴리브텐에 기초한 선을 사용한다. 이러한 가공은 상판과 하판의 금속선 유도

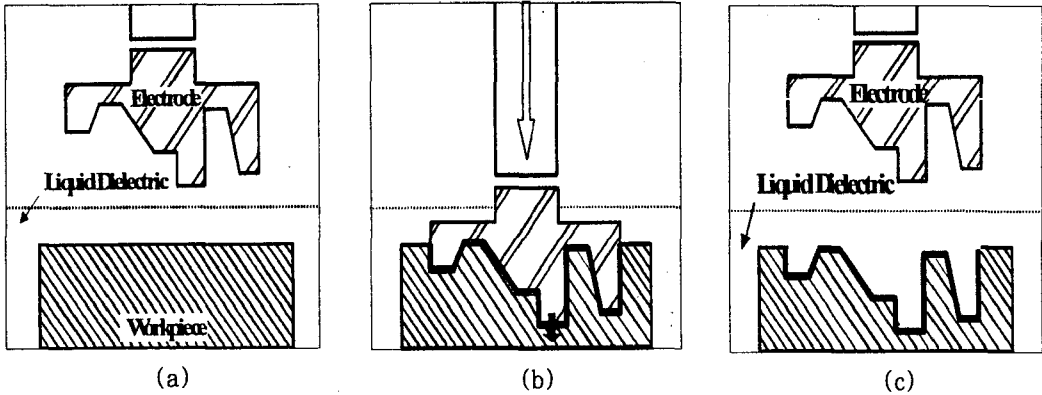
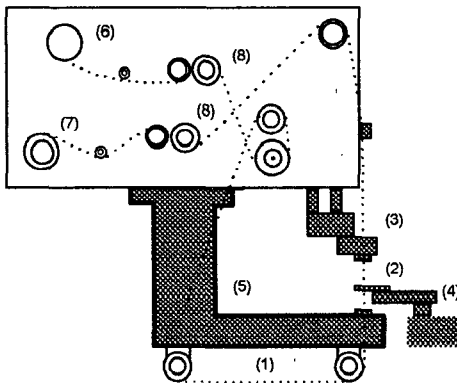


그림 2. 형조방전의 가공공정((a) 방전가공 전, (b) 방전가공, (c) 방전가공 후)

장치의 프로그램이 독립적이기 때문에 기하학적으로 하부에 비해 다른 상부의 모양을 가공할 수가 있다.

선방전가공의 원리는 선을 공구로 하고 고정된 가공물과의 사이에서 발생하는 방전 기화 현상을 이용하여 임의 윤곽현상으로 공작물을 가공하며 가공기는 그림 3에 나타내었다.



Components include (1) wire (cathode), (2) workpiece (anode), (3) wire-guide table, (4) workpiece table, (5) machine body, (6) wire spool, (7) used-wire spool, and (8) wire-tension adjusters.

그림 3. 선방전가공의 공정

### 3. 선방전가공의 응용

방전가공의 능력을 나타내는 가공속도는 일반적인 가공속도의 정의와는 달리, 단위 면적당의 공작물 가공량 g/min, mm/min, in<sup>3</sup>/min으로 표시된다.

방전 속도에 영향을 주는 방전 에너지, 공작물과 전극의 극성 및 가공 재료와 전극 재료의 물리적 성질, 가공시 연속적인 펄스의 방전등이 가공 속도에 영향을 준다.

피가공재료인 SiC-ZrB<sub>2</sub>복합체의 가공 시작과 끝의 영향을 무시하기 위해서 가공길이를 두께 5mm보다 충분히 긴 20mm를 방전가공하여 가공속도와 표면조도를 구하였다. 선방전가공시의 각종 실험조건은 표 2와 같다.

SiC-ZrB<sub>2</sub> 복합체의 방전가공은 이론이나 실험식이 아직 확립되어 있지 않지만 다음과 같은 이용하여 평가하였다.

$$W \propto I_p^{3/2} \frac{\tau_{on}}{\tau_{on} + \tau_{off}}$$

$$R_{max} \propto I_p \tau_{on}^{0.38}$$

여기서

- W : 가공속도(mm/min)
- R<sub>max</sub> : 가공 최대조도(μm)
- I<sub>p</sub> : 피크전류(A)
- τ<sub>on</sub> : 전류의 펄스폭(μsec)
- τ<sub>off</sub> : 펄스의 휴지폭(μsec)

표 2. 선방전가공의 조건

On Time $\tau_{on}(\mu s)$	1	2	3	4	5
Off Time $\tau_{off}(\mu s)$			19		
Peak Current $I_p(A)$			17		
Duty Factor(%)	5	9.5	13.6	17.4	20.8
Polarity			-		
Wire Material and Thickness			Brass=Cu(70%) +Zn(30%) ,0.25mm $\phi$		
Wire Tension			400g		
Wire Speed			5.8m/min		

\*Duty factor(D)  $\tau_{on} / (\tau_{on} + \tau_{off}) \times 100\%$   
 (pulse width :  $\tau_{on}$  pulse interval :  $\tau_{off}$ )

가공속도를 나타내는 식은 피 가공재료의 전기 전도도가  $10^2 S/cm$  이상의 금속에 일반적으로 이용되고 있으며 가공 최대 조도를 나타내는 식은 방전흔에 의해 표면조도를 구한 식이다. 가공속도 W는 피크전류  $I_p$ 와 전류의 펄스폭  $\tau_{on}$ 에 따라 비례하므로 펄스 폭과 피크전류를 크게하면 방전 가공량이 많아져서 가공시간이 짧아지지만 가공최대조도  $R_{max}$ 는 커져서 표면조도가 불량하게 된다.

반대로 이들 인자를 작게하면 조도는 좋아지나 가공 시간이 길어진다. 모든 방전가공은 방전에너지에 의해 방전흔을 발생시키는데 그의 가공면은 위치에 따라 방전흔이 중첩 될 수가 있고 용융기화상태에서 재 응고하며 입자들이 불규칙적인 모양이나 구립으로 나타난다.

가공속도는 피크전류와 펄스폭에 의해 크게 영향을 받는다. 작업전류는 펄스 방전의 주파수로 제어한다. 펄스 전류와 펄스폭의 증가에 따른 빠른 전

자의 증가에 의해 피 가공재료의 제거율이 늘어난다. SiC-ZrB<sub>2</sub> 복합체의 방전가공은 그것의 전기 저항률에 의해 영향을 받는다. 그림 4과 5는 SiC-ZrB<sub>2</sub> 복합체가 표 2에 주어진 조건하에서 선방전가공이 진행된 결과이다. 그림 4은 duty factor와 펄스폭에 비례와 가공속도의 증가는 위의 방정식을 따른다. 그림 5은 ZrB<sub>2</sub>의 첨가량에 따른 비례와 가공속도의 감소를 나타내었다.

4. 맺는말

고인성인 파인세라믹들은 내열성, 내식성, 내마모성에 우수한 특성을 가지고 있어서 다른 재료로는 대체하기 어려운 특이한 성질로 기계구조 재료로서 유력시되어지고 있다. 이런 파인세라믹들의 경질취성을 극복하여 기계구조 재료로 응용하기 위해서 비교적 간단히 가공할 수 있는 방전가공법을

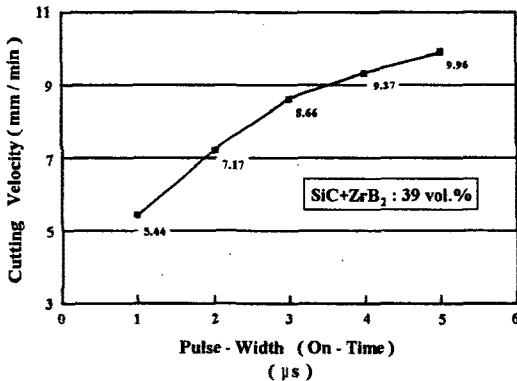


그림 4. 펄스폭에 따른 가공속도

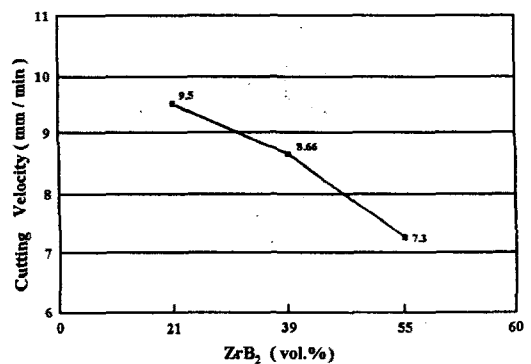


그림 5. 가공속도에 대한 ZrB<sub>2</sub>의 영향

적용시켜 윤곽가공, 가공정밀도 및 표준조도를 만족시키면서 고속가공을 실현시켜 과거에 불가능했던 여러형상의 부품을 가공하므로써 관련기업의 원가절감은 물론 국제경쟁력을 높여 수출 증대에 크게 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

1. Nancy F. Petrofes and Ahmed M. Gadalla, "Electrical Discharge Machining of Advanced Ceramics", *Ceramic Bulletin*, Vol. 67, NO. 6, 1988.
2. M. Nakamura, I. Shigematsu, K. Kanayama, Y. Hirai, "Surface
3. Eiji Kamijo, Masaaki Honda, Matsuo Higuchi, Hisao Takeuchi, Tsuyoshi Tanimura, "Electrical Discharge Machinable  $\text{Si}_3\text{N}_4$  Ceramics" , *Sumitomo Electrical Review*, Number 24.
4. Yong Deok Shin, "Electric Discharge Machining of Hot-Pressed  $\text{SiC-ZrB}_2$  Composites Ceramic" *Trans. KIEE*, Vol. 46, NO. 7, pp. 1062-1067, 1997.