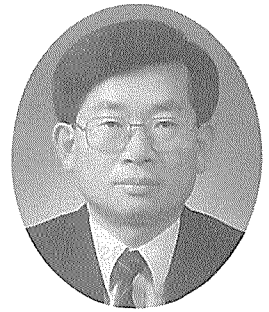


電導性 SiC 複合體의 開發과 放電加工



圓光大學校
教授 辛龍德

1. 概要

많은 현대의 과학기술은 여러가지 특성을 동시에 갖는 재료를 요구하는데, 이것은 전통적인 metal 합금, ceramic, polymer(고분자 또는 중합체) 재료등 한 가지 유형의 재료에 의하여 만족되기가 어렵다. 이와 같은 복합기능을 요구하는 현상은, 특히 우주항공, 수중 및 수송기기등의 용도에서 두드러진다. 예를 들면, 우주 항공 기술자들은 밀도가 낮으면서 강하고 강성도가 높으며, 마모 및 충격 저항이 있고, 내식성이 있는 재료를 요구하고 있다. 그러나 이러한 성질을 조합하여 가진 재료를 발견하는 일은 그리 쉬운 일이 아니다. 대개 강한 재질은 밀도가 높고, 강도 또는 stiffness(강성도)가 높으면 파괴에 대한 저항성의 부족으로 인하여 작은 균열에 의해서도 급작스러운 파괴가 일어날 수 있기 때문에 충격저항이 감소하는 것이 일반적이다. 이러한 많은 성질을 조합하여 가지고 그 특성 범위가 넓은 재료는 복합재료의 개발에 의하여 확대되고 있다. 일반적으로 복합재료는 여러가지 상으로 구성된 재질로서, 각 구성 재료의 개개 성질보다 향상된 성질이 복합되

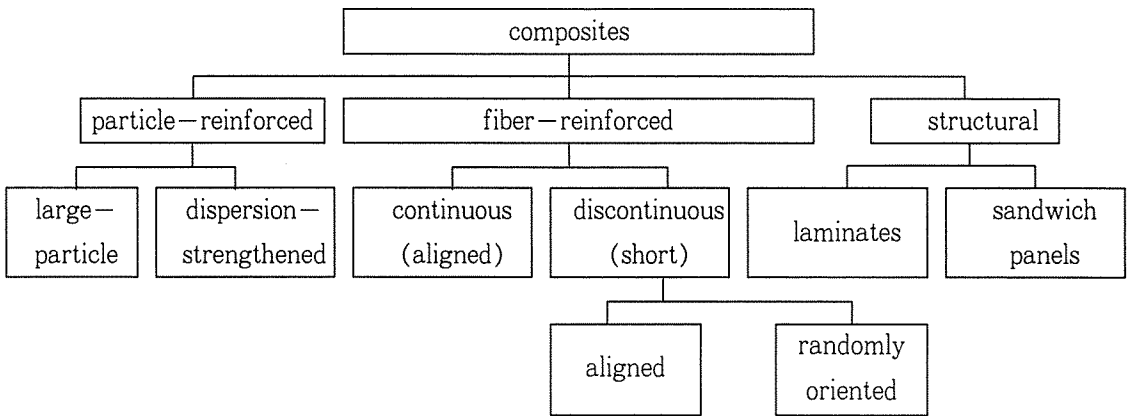
어 나타난다. principle of combined action(복합작용 원리)에 의하면, 두 개 이상의 서로 다른 재료를 적절하게 조합함으로써 향상된 성질을 얻을 수 있다고 한다. 많은 복합재료에서는 일부 특성이 개개 성질보다 저하되기도 한다. 복합재료는 사용된 matrix(기지상)의 종류에 따라 polymer matrix composite(pmc), metal matrix composite(mmc)와 ceramic matrix composite(cmc)로 구분할 수 있다. 예를 들면, parlite강은 α -ferrite와 cementite층이 교대로 있는 미세조직을 가진다. ferrite상은 연하고 연성이 있는데 반하여, cementite는 딱딱하고 매우 취약하다. 이와 같은 두 상의 조합된 pearlite의 기계적 성질(상당히 높은 연성과 강도)은 각 상의 것보다 우수하다. 또한 자연 상태에서 복합재료 형태로 존재하는 것이 있다. 예를 들면, 목재는 강하고 유연한 cellulose fiber(셀룰로오스 섬유)와 이를 둘러싸고 있는 lignin(리그닌)이라고 하는 강성이 높은 재료로 구성되어 있다. 또한 뼈는 연한 단백질 콜라겐과 딱딱하고 취약한 인회석 apatite(인화석)으로 구성되어 있는 복합재료이다.

본 논단에서 다루는 SiC 복합재료는 자연에서 합성된 것과는 달리 인공으로 두가지 상을 조합하

여 합성된 재료를 지칭한다. 또한 재료를 구성하고 있는 각 상은 화학적으로 서로 달라야 하며 분명한 계면으로 구분되어야 한다. 따라서 대부분의 금속 합금 및 세라믹은 자연 현상의 결과로 여러 constituent phase(구성 상)이 형성되므로 이러한 범주에 속하지 않는다.

과학자나 기술자들은 여러 가지 metal, ceramic 및 polymer를 조합하여 특이한 특성을 가진 차세대 복합재료들을 연구 개발하고 있다. 대부분의 복합재료는 강성, 인성, 상온 및 고온 강도를 향상시키기 위하여 개발되고 있다. 많은 복합재료는 단 두개의 상으로 구성되어 있으며, 그 중 하나를 matrix라고 하는데, 이것은 연속적이고 dispersed phase(분산 상)이라 하는 다른 상을 둘러싸고 있다. 복합재료의 성질은 constituent phase

의 성질, 상대적 함량, 그리고 dispersed phase의 형태에 의하여 좌우된다. “dispersed phase의 형태”라는 것은 입자의 형상, 입자의 크기 및 분포, 배열을 의미한다. 복합재료를 간단하게 분류하여 (그림 1)에 나타내었다. 복합재료는 크게 세 분야로 나누어진다. 즉, particle-reinforced(입자강화), fiber-reinforced(파이버강화) 및 structural(구조 복합재료)들로 나누어지는데, 이들은 각각 2개 이상의 분야로 더욱 세분된다. 입자 강화 복합재료에서는 등축정상(입자 크기가 모든 방향에 대하여 거의 같음)의 분산 상이, 파이버 강화 복합재료에서는 파이버 형상(길이-지름 비율이 큼)의 분산상이 사용된다. 구조 복합재료는 복합재료와 균일한 재료로 구성되어 있다.



(그림 1) A classification scheme for the various composite types

2. 導電性 SiC 複合體

SiC(炭化硅素)는 1891년 미국의 Thomas A. Edison의 조수였던 E. G. Acheson이 diamond 합성 실험중 우연히 발견한 광물로서 처음에는

carbon(炭素)와 점토중에 함유되어 있는 Al_2O_3 (corundum)의 화합물로 생각해 caborundum이라고 이름을 붙였었고 1892년 이래 연마재나 내화재로 제 구실을 톡톡히 해왔다. SiC는 내열성, 내마모성, 열충격 저항성이 우수하며 열전도성이

ZrO₂ 소결체의 약 50배에 달하는 46.8kcal/m · hr · °C으로 클 뿐만 아니라 4×10⁻⁶/°C 정도의 낮은 열팽창계수와 고온에서의 기계적 강도가 높기 때문에 고온 구조재료로서 응용이 기대되는 소재이며 최근 절삭공구, mechanical seal, ball bearing, valve, nozzle, gas turbine blade, 교환 열교환기, 발열체, 점화기, heat engine 등 각종 산업용 부품으로의 이용분야가 확대되고 있다.

그러나 이렇게 열적, 화학적으로 지극히 안정한 IV-IV 화합물 반도체인 SiC 세라믹스는 강한 공유 결합성으로 난 소결성이며 높은 경도와 취성에 기인한 가공비가 많고 파괴인성이 대개 3~4MPa · m^{1/2} 정도로 낮은 결점이 있다. 이러한 결점 때문에 응용에는 한계가 있어 결점을 보완하기 위하여 B, C, Al, Be 단일체 또는 화합물 등 여러가지 소결조제의 첨가 및 소결방법 개선으로 소결성을 향상시키고 입자 또는 위스커 보강등을 통해 강도와 파괴인성 및 내마모성 등의 특성을 향상시키는 연구가 많이 진행되었다. 특히 최근에 V. D. Kristic 등은 파괴인성이 8~12MPa · m^{1/2}인 액상 소결 SiC를 개발하였다고 보고하였다. 또한 SiC는 내마모성이 크기 때문에 난가공성이며 복잡한 형상 가공이 어렵기 때문에 사용에 제한을 받고 있다. 이러한 난가공성 소재도 복합화로 전도성을 부여함으로써 용이하고 정밀하게 가공하는 물론 복잡한 형상도 가공할 수 있는 방전가공법을 이용할 수 있다.

또한, SiC는 입방정계의 zinc blende structure (섬아연광 구조)를 가지는 β-SiC와 육방정계, 능면체계 및 삼방정계의 wurtzite 구조를 가지는 α-SiC가 있다. 2700°C 이상의 고용점을 지닌 SiC는 전기적으로 반도체이고 내식성, 내산화성에 우수하며 고 강도로 열 충격에 우수하기 때문에 SiC

소재에 전도성 입자를 균일하게 분포시킨 복합체는 전도성이 우수한 발열체, 전자부품으로의 이용에 대한 관심이 확대되고 있다.

일반적으로 SiC 발열체는 상기특성이 충분히 발휘 가능한 1000°C 이상의 고온에서 사용되어 온 것은 SiC의 저항 온도특성이 1000°C 이상의 온도에서는 positive temperature coefficient(pte: 正(+))저항온도계수)를 나타 내지만 그 이하의 온도에서는 negative temperature coefficient(nte: 負(-))저항온도계수)를 나타내는 것도 하나의 이유가 된다.

바꿔 말하면 저항 발열체는 사용 온도 범위에서 저항-온도특성이 正(+))저항온도계수 또는 일정한 값의 특성을 나타내야 하기 때문에 SiC 도 1000°C 이하의 온도에서 이와 같은 특성을 지닐 수만 있다면 그의 응용 범위가 광범위 하리라고 기대된다.

일반적으로 도전성 화합물로는 TiC, ZrC, WC, ZrB₂, TiB₂, HfB₂, NaB₂, TaB₂, TiN 등이 있다. 이중 천이금속의 붕화물인 ZrB₂는 일반적으로 높은 용점과 금속적인 도전성을 지녔지만 고온의 도전체재료로 사용할 경우 강도, 내산화성 등의 부족점이 문제가 된다.

따라서 SiC와 ZrB₂를 복합화 하므로써 도전성, 내산화성, 기계적 강도 등 고온용 도전체재료로써 필요한 특성을 지닌 재료를 개발 할 수 있으며 이것을 중점적으로 본 논고에서 소개하고자 한다.

ZrB₂는 SiC에 고용하지 않고 고용점, 고경도, 저 전기저항성의 특성을 갖고 있다. 고온구조재료의 ZrB₂의 전도성을 이용한 각종 전극류 및 발열체 등의 도전성 세라믹스로의 이용을 목적으로 기계적, 전기적 특성, 1000°C 이하의 온도에서 저항-온도특성이 正(+))저항온도계수 또는 일정한

값의 특성을 지닌 SiC-ZrB₂계 도전성 세라믹 복합체를 개발하였다

3. 導電性 SiC의 燒結

SiC 세라믹스 합성품으로는 열적, 화학적으로 지극히 안정한 IV-IV 화합물 반도체로 강한 공유 결합성을 갖기 때문에 소결하기 어려운 재료이다. 1973년 S. Prochaka와 R. J. Charles는 소결 촉진제로 B를 사용하여 hot-pressing법으로 boron-doped SiC를 제조하였고 1975년 F. F. Lange는 Al를 소결 촉진제로하여 hot-pressing법을 사용하여 SiC의 난 소결성을 보완하였다. 그 후에 B 화합물, Al 화합물, Be 화합물 등 여러가지 소결조제가 개발되었다. SiC의 소결법은 pressureless sintering(상압소결), reaction sintering(반응소결), hot-pressing(고온가압소결), gas pressure sintering(가스압소결), hot isostatic pressing(고온등방압소결) 등이 있다.

인간은 다른 동물들과 달리 불을 사용할 줄 알았기에 석기시대에서 청동기, 철기문화로 발전되어 인간의 역사가 시작되었고 생활에 가장 밀접하게 불을 사용하여 진흙으로 빚은 그릇을 구우면 이것이 단단해져서 잘 깨어지지 않고 물도 흡수하지 않는다는 것을 알았는데 이것이 상압소결의 기원이었을 것이다. 세라믹의 소결체를 얻기 위해 상압소결에 만족하지않고 소결과 동시에 압력을 가하여 줌으로써 치밀화를 촉진시키는 연구가 진행되고 있는데 이것이 소위 말하는 hot-pressing, hot isostatic pressing, gas pressure sintering의 새로운 소결방법들이다.

(그림 2)는 hot-pressing 장치의 개략도로 고밀도의 소결체를 얻을 수 있을 뿐만아니라 미세구

조를 조절하기도 용이하기 때문에 널리 사용되고 있다. 일반적으로 hot-pressing이라 할 때에는 uniaxial hot-pressing을 말하게 되며 hot-pressing은 원통형 금형내에 분말을 장입하여 치밀화 시키게 되므로 금형의 직경 D에 비해서 높이 L이 클 경우에는 분말과 금형 측면벽과의 마찰 손실로 인하여 치밀화가 어렵게 되는 단점이 있어 통상적으로 L/D의 값이 1 이하 이어야 한다.

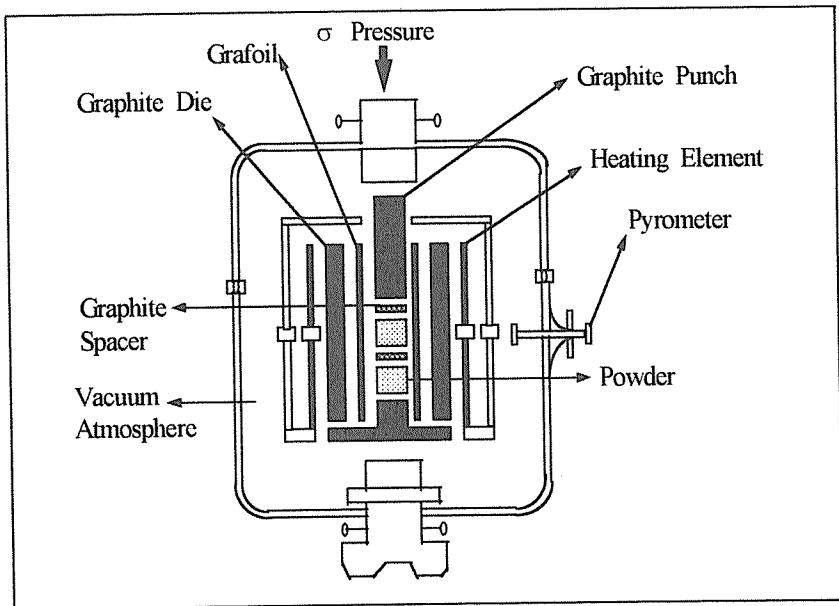
〈표 1〉은 Be, B, Al를 각각 소결조제로 한 hot-pressed SiC 세라믹으로 Be를 첨가하면 $3 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 로 전기저항값이 높은 반면에 B, Al 첨가는 각각 2×10^4 와 $0.8 \Omega \cdot \text{cm}$ 로 낮은 전기 저항값을 나타낸다. 〈표 2〉는 여러가지 소결조제를 첨가한 hot-pressed SiC 세라믹의 특성을 나타낸 것이다. SiC 소결체의 치밀화에 유효한 소결조제는 C, Be, B, Al 단일체나 화합물로서 상대밀도가 98% 이상이다. Be 단일체 또는 화합물을 첨가하면 SiC 소결체는 어느것이나 $260 \text{W/m} \cdot \text{K}$ 이상으로 지극히 높은 열전도율을 갖는 반면에 B계의 소결조제는 $110 \sim 170 \text{W/m} \cdot \text{K}$, Al계의 소결조제는 $60 \sim 80 \text{W/m} \cdot \text{K}$ 로 열전도율이 낮다. 전기 저항값에도 Be 단일체 또는 화합물을 첨가하면 SiC 소결체는 어느것이나 $1 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 이상으로 지극히 높고 B계의 소결조제를 첨가한 경우는 $10^4 \sim 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 이며 Al계의 소결조제는 $0.6 \sim 27 \Omega \cdot \text{cm}$ 로 가장 낮다.

SiC의 낮은 파괴인성을 향상시키고 전도특성을 부여하기 위하여 입자 또는 위스커 보강에대한 연구가 많이 진행되었다. 입자보강의 예로는 SiC에 TiC 입자보강, TiB₂ 입자보강, TiN 입자보강, ZrB₂ 입자보강등의 보고가 있다. Wei 와 Becher 등의 보고에 의하면 SiC에 TiC를 24.6Vol%까지 첨가했을 때 복합체의 인성치가 $6 \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$

로 SiC 단일상보다 약 1.5배가 증가하였다.

〈표 1〉 Characteristics of SiC Ceramics with Various Additives

	Additives		
	Be	B	Al
Relative density(%)	98	99	99
Thermal conductivity(W/(m · K))	260	170	60
Flexural strength(MN/m ²)	400	290	940
Average grain size(μm)	5.1	4.2	2.3
Electrical resistivity(Ω · Cm)	3×10^{13}	2×10^4	0.8



(그림 2) Hot pressing apparatus

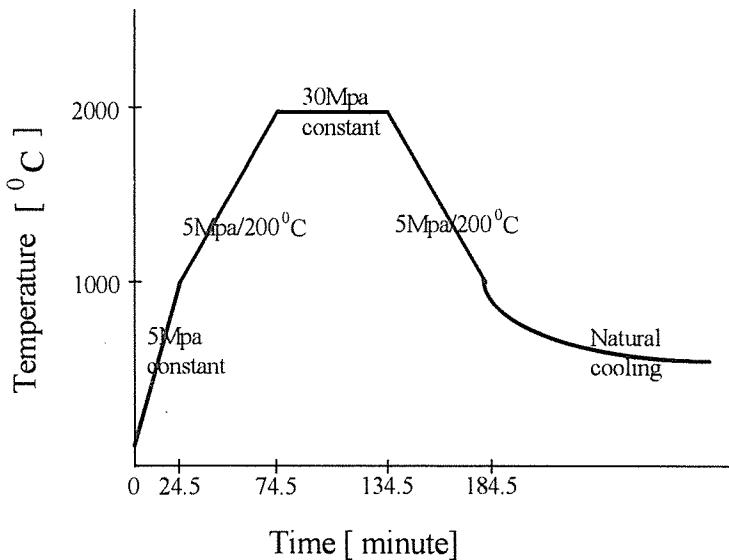
상온에서 일정한 온도까지는 온도를 직선적으로 증가시키되 압력은 낮은 압력만 가해주고 그 이상의 온도에서부터 소결온도에 도달할 때까지는 온도와 압력을 직선적으로 증가시키고 그 순간 압력이 최고로 승압되는 것이 좋다. 그 예를 (그림 3)

에 나타낸 것과 같이 혼합 분말을 내부를 graphite foil로 둘러싼 60mm, L 150mm 크기의 흑연 몰드에 넣고 (그림 2)의 hot-pressing 소결로에서 진공도 10^{-4} torr 조건하의 상온에서 1000°C 까지 $40^{\circ}\text{C}/\text{min}$, $1000\sim 2000^{\circ}\text{C}$ 까지 $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의

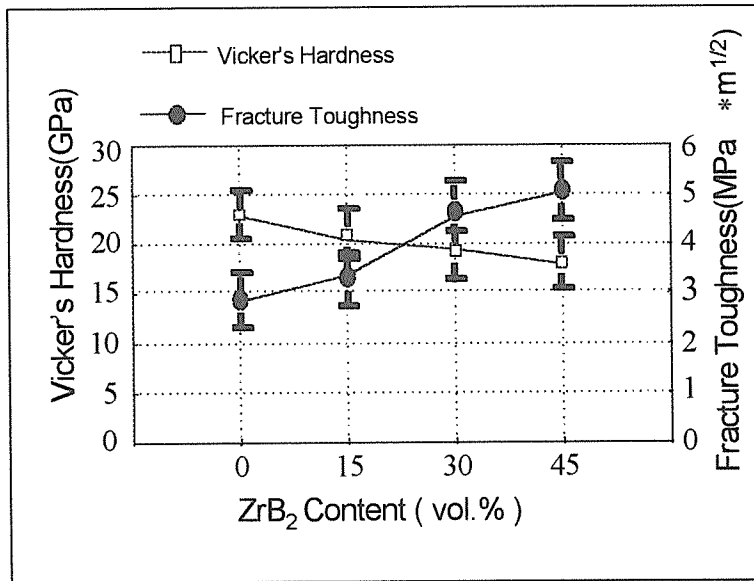
승온속도로 가열하였다. 압력은 상온에서 1000℃에서 60분간 유지시켰다. 냉각과 강압은 승온, 승온까지 5MPa로 유지시킨 후 1000℃~2000℃까지 압의 반대조건으로 하였으며 1000℃ 이후에는 로 매 200℃ 승온할 때 5MPa로 승압한 후 2000℃ 냉시켰다.

〈표 2〉 Characteristics of SiC Ceramics with Various Additives Hot-Pressed at 2040℃ under 20 MPa for 1 h.

Additive	Amount	Relative	Thermal conductivity	Electrical
	wt %	density %	W/m · K	resistivity Ω · cm
Be	1.0	98	260	3×10^{13}
Be ₂ C	2.0	98	260	1×10^{13}
BeO	2.0	99	270	4×10^{13}
B	1.0	99	170	2×10^4
B ₄ C	2.0	99	120	3×10^4
BN	2.0	98	110	1×10^{11}
Al	1.0	99	60	0.8
AlN	2.0	99	80	27
Al ₂ O ₃	1.5	99	70	0.6
AlPO ₄	3.0	98	60	0.7



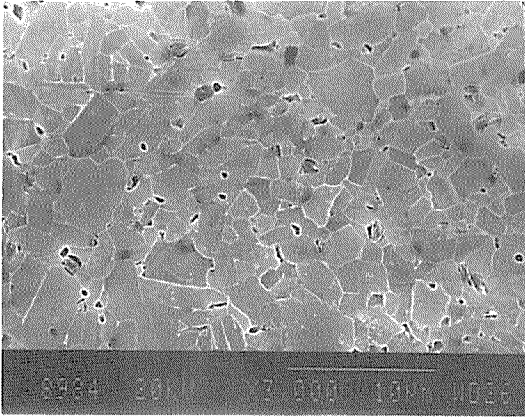
(그림 3) Heating & cooling schedule for experimental process



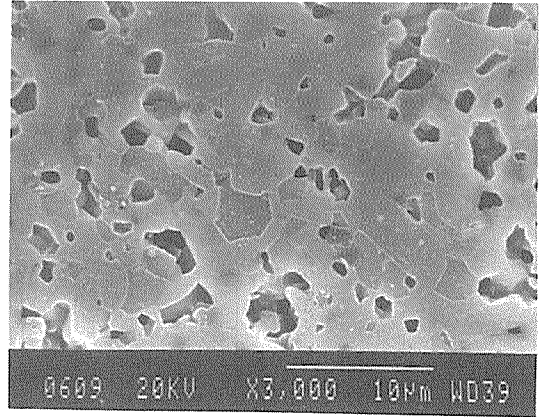
(그림 4) Hardness and fracture toughness of SiC composites as a function of ZrB₂ content.

(표 3) Electrical resistivity and sheet resistance of SiC composite as a function of ZrB₂ content.

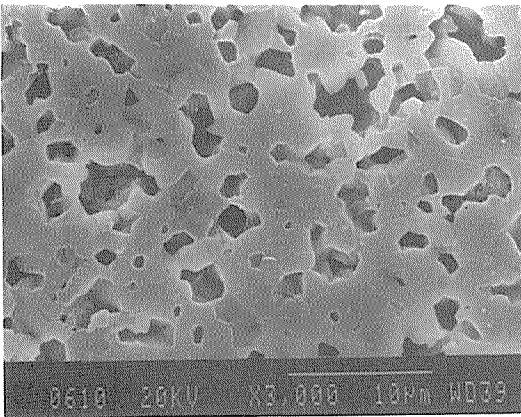
순 번	Ω/\square				$\Omega \cdot \text{cm}$			
	Vol.0%	Vol.15%	Vol.30%	Vol.45%	Vol.0%	Vol.15%	Vol.30%	Vol.45%
1	∞	0.024926	0.001813	0.001359	∞	9.84×10^{-3}	7.16×10^{-4}	5.37×10^{-4}
2		0.023567	0.001813	0.001359		9.31×10^{-3}	7.16×10^{-4}	5.37×10^{-4}
3		0.024019	0.001359	0.001359		9.48×10^{-3}	5.37×10^{-4}	5.37×10^{-4}
4		0.024019	0.001813	0.001359		9.48×10^{-3}	7.16×10^{-4}	5.37×10^{-4}
5		0.024019	0.001359	0.001359		9.48×10^{-3}	5.37×10^{-4}	5.37×10^{-4}
6		0.024019	0.001359	0.001359		9.48×10^{-3}	5.37×10^{-4}	5.37×10^{-4}
7		0.024926	0.001359	0.001359		9.84×10^{-3}	5.37×10^{-4}	5.37×10^{-4}
8		0.024473	0.001813	0.001359		9.66×10^{-3}	7.16×10^{-4}	5.37×10^{-4}
9		0.024473	0.001813	0.001359		9.66×10^{-3}	7.16×10^{-4}	5.37×10^{-4}
10		0.024019	0.001813	0.001359		9.48×10^{-3}	7.16×10^{-4}	5.37×10^{-4}
11		0.024019	0.001813	0.001359		9.48×10^{-3}	7.16×10^{-4}	5.37×10^{-4}
12		0.024473	0.001813	0.001359		9.66×10^{-3}	7.16×10^{-4}	5.37×10^{-4}
13		0.024019	0.001813	0.001359		9.48×10^{-3}	7.16×10^{-4}	5.37×10^{-4}
14		0.024926	0.001813	0.001359		9.84×10^{-3}	7.16×10^{-4}	5.37×10^{-4}
15		0.024473	0.001813	0.001359		9.66×10^{-3}	7.16×10^{-4}	5.37×10^{-4}
16		0.024019	0.001359	0.001359		9.48×10^{-3}	5.37×10^{-4}	5.37×10^{-4}
17		0.023567	0.001359	0.001359		9.31×10^{-3}	5.37×10^{-4}	5.37×10^{-4}
18		0.022659	0.001359	0.001359		9.95×10^{-3}	5.37×10^{-4}	5.37×10^{-4}
19		0.023467	0.001813	0.001359		9.31×10^{-3}	7.16×10^{-4}	5.37×10^{-4}
평균		0.02411	0.001646	0.001359		9.52×10^{-3}	6.50×10^{-4}	5.37×10^{-4}



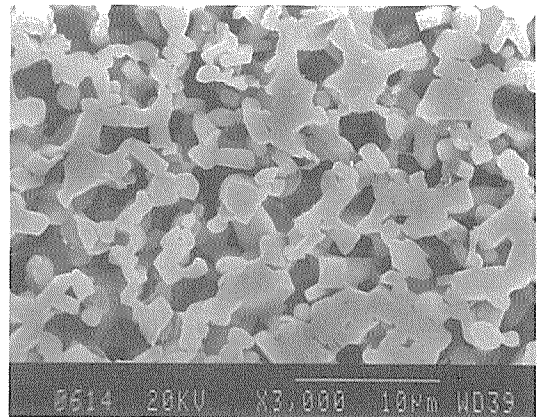
(a)



(b)



(c)



(d)

(그림 5) SEM micrographs of the etched surface of (a) SiC (b) SiC-15vol.% (c) SiC-30vol.% (d) SiC-45vol.% ZrB₂ samples.

4. 導電性 SiC 의 放電加工

파인세라믹스는 경도가 높은 장점이 하나 있지만 가공면에서 보면 이것이 오히려 가공성을 저하시키는 요인이 되고 있다. 난가공재인 파인세라믹

스의 가공법중 다이아몬드 지석에 의한 연삭, 연마 가공이 현재 실용적으로 광범위하게 이용되고 있다. 이 가공법은 고가의 다이아몬드 지석을 사용하기 때문에 가공효율이 좋다고 할 수 없으며 가공비용이 높고 복잡한 형상의 부품 제작이 어려

위 SiC를 주성분으로한 파인세라믹스를 실용화 하는데 커다란 장애가 되고 있다.

위와 같은 문제를 해결하기 위해서는 전기적 가공법인 방전가공이 가능하도록 SiC에 도전성 물질을 첨가하여 도전성 세라믹 복합체를 제조하면 된다. 방전가공이란 spark machining(스파크 가공)이라고도 하는데 전극과 피가공재료 사이의 공급 전압을 주기적인 펄스 형태로 미소 간격을 가진 두 금속에 인가해 준다. 이때 전극과 피가공재료는 전기의 양극이나 음극중 각각 서로 다른 극성을 갖는다. 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 흡인되는 상태가 되면 전압을 올려도 전류는 그 이상 증가하지 않는다. 정상 방전인 경우 두 금속 사이의 증가된 전압에 의하여 전리된 하전 입자가 $10^{-11} \sim 10^{-9}A$ 정도의 미세한 전류로 흐르는데 이 상태를 dark current(암류)라고 한다. 방전기 공급전압이 더욱 증가되어 절연 파괴 전압이 되면 전극 표면중에 특히 전계가 강한 부분에 국부적인 절연파괴인 corona discharge(코로나 방전)이 이루어진다. 다음에 더욱 전압을 올리면 비교적 질량이 작은 전자가 우선 전리속도를 얻어 중성분자를 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. 이리하여 전압상승과 더불어 electron avalanche(전자 애벌런체)가 형성되므로 전류의 증가는 현저하게 된다. 즉 갭에서 절연파괴가 일어난다. 이 영역으로 되면 자속방전이 되고 자속방전은 전극의 형태와 재료

등에 의하여 형태가 다르게 된다. 전로파괴로 이행할 때의 단시간의 과도현상을 불꽃방전이라 하며 소리와 강열한 빛을 수반한다. 불꽃방전이 지속되는 시간이 길어지면 방전주는 굵어지고 방전 점은 커져서 보다 넓은 범위에 파괴 현상을 초래하게 된다.

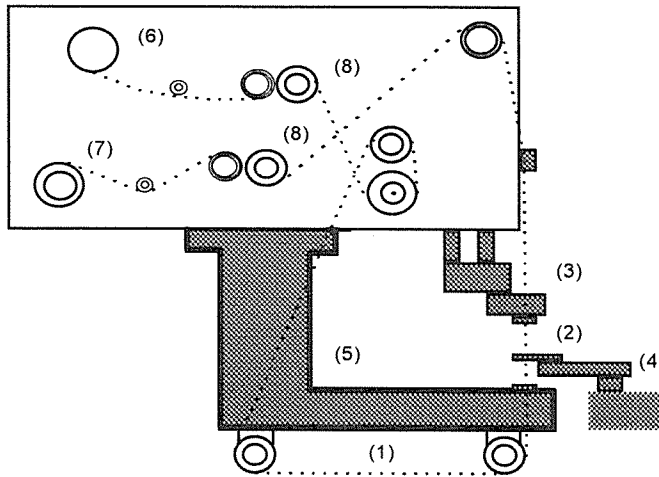
이러한 기본적인 원리로 구리나 흑연등 비교적 가공이 용이한 재료를 전극, 즉 공구로 하여 60~110V 전압을 양극간에 인가하면 간헐적인 방전이 일어나는데 이 방전에 의해 발생하는 이상적 소모 현상을 이용하는 것을 형조 방전 가공법이라고 하고, 원리는 거의 같지만 전극 대신에 연속적으로 보내는 wire, 즉 선을 공구로 하고 고정된 가공물과의 사이에서 발생하는 방전 기화 현상을 이용하여 임의 윤곽 현상으로 공작물을 가공하는 것을 wire 방전 가공이라 한다. (그림 6, 7)은 wire 방전 가공기와 형조방전 가공기를 이용한 작업 공정을 나타낸 것이다. 방전가공의 능력을 나타내는 가공속도는 일반적인 가공속도의 정의와는 달리, 단위 면적당의 공작물 가공량 g/min, mm/min in³/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-ZrB₂ 복합체의 가공 시작과 끝의 영향을 무시하기 위해서 가공길이를 두께 5mm보다 충분히 긴 20mm를 방전가공하여 가공속도와 표면조도를 구하였다. wire 방전가공시의 각종 실험조건은 <표 4>와 같다.

SiC-ZrB₂ 복합체의 방전가공은 이론이나 실험식이 아직 확립되어 있지 않지만 다음과 같은 식을 이용하여 평가하였다.

〈표 4〉

Conditions of wire-EDM

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 ϕ			
Wire Tension			400g		
Wire Speed			5.8m/min		



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 6) Process works of Wire-EDM

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

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

W : 가공속도(mm/min)

R_{max} : 가공 최대조도(μm)

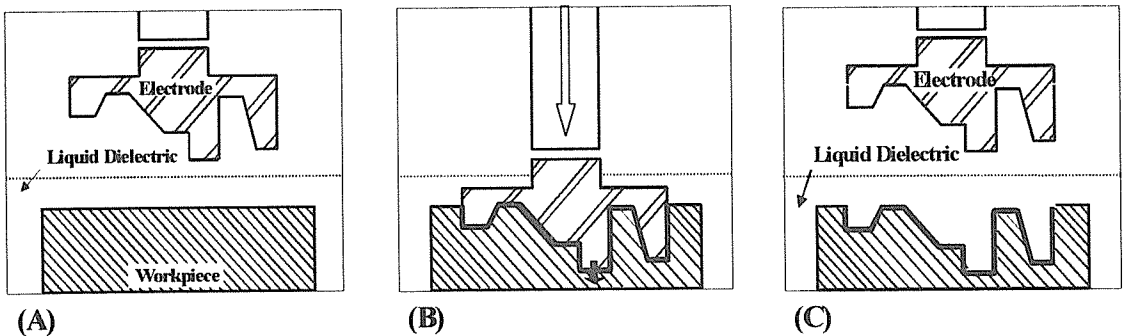
I_p : 피크전류(A)

τ_{on} : 전류의 펄스폭(μsec)

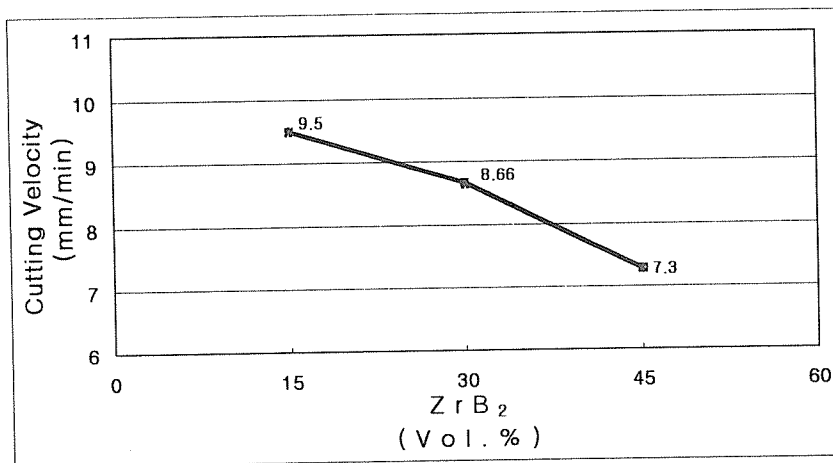
τ_{off} : 펄스의 휴지폭(μsec)

가공속도를 나타내는 식은 피 가공재료의 전기 전도도가 10^2S/cm 이상의 금속에 일반적으로 이용되고 있으며 가공 최대 조도를 나타내는 식은 방전흔에 의해 표면조도를 구한 식이다. 가공속도 W 는 피크전류 I_p 와 전류의 펄스폭 τ_{on} 에 따라 비례하므로 펄스폭과 피크전류를 크게하면 방전 가공량이 많아져서 가공시간이 짧아지지만 가공최대

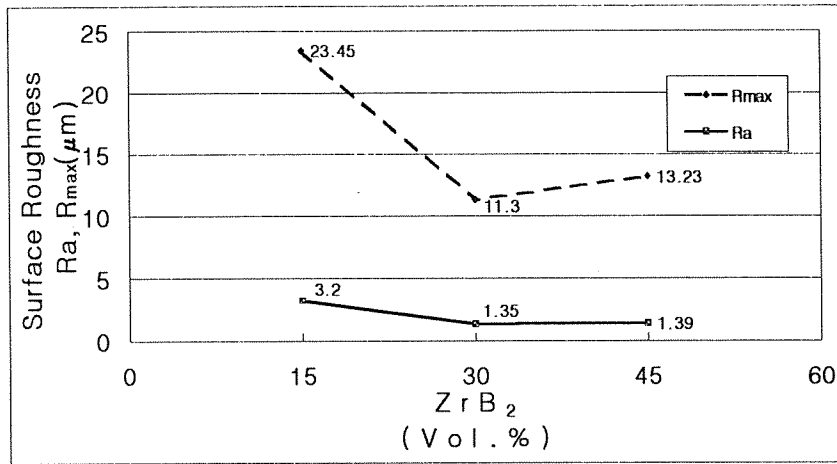
조도 R_{max} 는 커져서 표면조도가 불량하게 된다. 반대로 이들 인자를 작게하면 조도는 좋아지나 가공 시간이 길어진다. 모든 방전가공은 방전에너지에 의해 방전흔을 발생시키는데 그의 가공면은 위치에 따라 방전흔이 중첩 될 수가 있고 용융기화 상태에서 재 응고하며 입자들이 불규칙적인 모양이나 구립으로 나타난다.



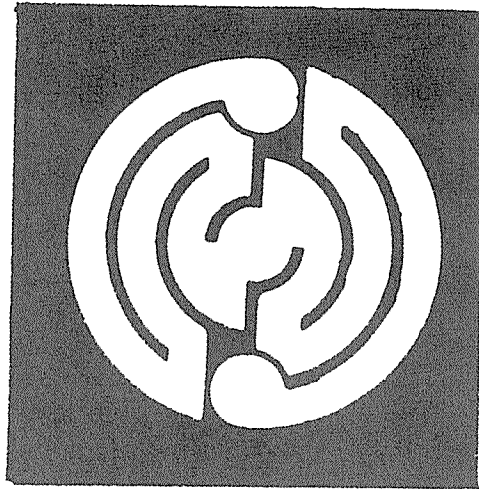
(그림 7) Process works of Die-EDM
((a) before EDM, (b) EDM, (c) after EDM)



(그림 8) Effect of ZrB_2 content on cutting velocity



(그림 9) Effect of ZrB² content on surface roughness



(그림 10) Electrical discharge machined SiC-ZrB² 30Vol.% composites

따라서 다른 가공법에 비해 방전 가공은 기계적 응력을 가하지 않고 전기적인 높은 열 에너지로 아주 단단한 재료도 쉽게 가공하며 수치제어에 의한 자동화가 가능하기 때문에 ceramic의 정밀가공과 복잡한 형상의 부품 가공에 어려움을 해결할 수 있다는 점이다.

5. 맺음말

SiC와 ZrB₂를 복합화 하므로써 도전성, 내산화성, 기계적 강도등 고온용 도전재료로써 필요한 특성을 지닌 복합재료를 개발할 수 있음을 본 논고에서 고찰하였다.

ceramic을 matrix(기지상)으로한 ceramic matrix composite(cmc)에 대한 복합재료의 연구가 1986년경에 시작하여 최근에는 절삭공구, mechanical seal, ball bearing, valve, nozzle, gas turbine blade 등의 고온 구조재료써의 응용도를 높이기 위하여 파괴인성 증진이나 강도등 기계적 특성 향상에 역점을 두고 있다. SiC와 같은 비산화물계 구조용 재료는 분말제조, 가공, 평가에 필

요한 제반 설비 및 기기장치가 고가이기 때문에 국내 여건에서는 아직도 선진국에 비해 미흡하지만 지금까지의 연구 분위기 측면에서 보면 cmc에 대한 복합재료의 연구방향을 제시했다는 점에 의의를 두어야 할 것 같다. 하지만 SiC의 분말제조의 재료 개발에서부터 실용화에 이르기까지 수입 대체 뿐만아니라 고부가가치 창출과 국제경쟁력 제고를 위하여 독자적인 기술의 틀을 확립하고 더욱더 많은 연구노력이 절실히 요구되는 시점이다. 특히 SiC ceramic heater 개발은 다소 늦음감은 있지만 전도기구의 규명과 더불어 초보 단계부터 시작해야 할 것이며 앞으로의 연구 진행 결과에 따라 이 ceramic matrix composite(cmc)의 복합재료의 실용화가 매우 광범위 할 것으로 본다.

