

탄화규소(SiC)세라믹의 특성평가 기술



조인철

한국 티타늄공업(주) 부설
뉴세라믹스 연구소 과장



신용덕

원광대학교 전기전자공학부 교수
당 학회 편집위원

1. 머리말

SiC재료는 오랜 역사를 가진 재료로서 연마재·내화물로서 사용되었으며, 최근에는 구조용 화인세라믹스로 용도가 주목되고 있다. 내마모재료를 중심으로 사용범위가 확장되고 있는 실정이다.

탄화규소(SiC)소결체는 Si와C는 상호 사면체배위(四面體配位)를 하고 있고 결정계는 입방정계, 육방정계, 능면체정계로 구분된다. 입방정을 β -SiC, 육방정 및 능면체정을 α -SiC라고 총칭하고 일반적으로 사용되는 원료분말은 β -SiC 및 α -SiC 6H型이다.

탄화규소(SiC) 소결체는 고온강도, 경도, 내마모성, 내식성이 우수하여 고온용 구조세라믹으로서 유망하다. 본고에서는 탄화규소(SiC) 소결체의 특성평가 방법을 소개하고 간단하게 분석기술을 설명하여 보았다.

2. SiC제조 공정개요

2.1 제조공정

구조세라믹스의 일반적인 제조공정은 원료조합→

혼합분쇄→성형→탈지→소성→HIP소결→평가의 공정으로 이루어진다. 일반적 SiC제조는 β -SiC 미분말을 원료로하고, 소결조제로 B, B_4C 또는 Al 이나 B-C-Al계를 보통 0.5-3% 소량 첨가하여 조합하고, 조합원료는 약 1%의 결합제를 첨가하여 습식혼합후 성형한다. 생성형체를 약 500-600℃의 탈지로에서 탈지(dewax)시킨후 1700-2000℃로 1시간정도 상압소결하여 소결체를 얻는다. 보다 치밀한 소결밀도를 갖는 소결체를 얻기 위해 HIP소결을 하면 SiC 이론밀도까지 치밀화 할 수 있다.

2.2 제조상 문제점

상기 제조공정의 복잡한 단계를 거쳐 제조되는 세라믹스 소결체는, 기능성 부여라는 측면에서는 원료처리 공정이, 상품화라는 점에서 형상부여성(形象附與性)을 강조한다면 성형공정이, 기계 재료로서의 응용, 즉 치수정도와 상품성은 가공공정이 그리고 제품의 신뢰성을 고려한다면 평가공정이 중요하다고 본다.

SiC 소결체는 단결정이나 glass와는 달리 미세조직이 복잡하여 입자, 입계, 개재물(介在物), 기공 등의 양과 존재상태에 따라서 기계적 특성이 변화

므로 이를 잘 제어 하지 않으면 신뢰성 있는 제품을 얻을 수 없다. 따라서 신뢰성이 큰 소결체를 얻는 데는 SiC 원료 분말의 평가기술에서 설명한바와 같이 원료 분체가 가장 중요하여 가능한 이소결성(易燒結性)이 요구되며, 동시에 적합한 소결조제를 선택하여야 하며, 복합체(예 : SiC+ZrB₂, TiB₂)인 경우에는 최우선적으로 균질하게 혼합 분산되어야 한다.

바람직한 원료 분체는 고순도이며 입경은 1 μ 이하 미립으로써 입도분포가 양호하고, 입형(粒形)은 구형으로 비표면적은 높은 활성이 큰 분말의 조건을 만족하여야 하므로, SiC 분말 선정이 매우 중요하다고 본다.

성형공정은 소결체의 최대목표인 near net shape를 위해 매우 중요하며, 이를 위해서는 우선 균일충진과 치밀한 충진이 요구된다. 주의할점은 submicron의 초미립자는 물의 표면장력 작용으로 불규칙한 응집이 일어나기 쉬우므로 특별히 응집방지 방법이 필요하다.

성형방법은 통상 rubber press(CIP법), 사출 성형법 등이 사용되며 CIP성형은 1-2t/cm²압력으로 이론밀도 50-60%의 균일한 성형체를 얻을수 있어 많이 이용되고 있다.

성형체는 보다 치밀한 제품으로 소성하여 가능한 결점을 최소화하여야 하는데, 소성방법은 상압 소결법, 반응소결법, 가압소결법(hot press, hot isostatic press), 가스압소결법, 초고압 소결법 등이 있으나, SiC 소결은 보통 가압 소결법이 가장 많이 쓰이고 있다.

열간 정수 가압 소결법(HIP법)은 압력매체로서

Ar가스를 이용하고, 압력100-200MPa, 온도 2000 $^{\circ}$ C이하로 등방가압소결(等方加壓燒結)방식으로, 일차 예비소결 한 것을 이 처리를 하면 거의 이론밀도에 가깝게 내부에 존재하는 미세기공의 제거와 결합의 크기가 작아지므로 강도의 변동이 작아져서 신뢰성이 향상된다.

상기에서와 같이 재료의 신뢰성은 분체의 특성평가와 제조공정 간 평가를 시행함으로써 최종적 안정적인 SiC소결체를 얻을 수 있을 것으로 본다.

3. 탄화규소(SiC) 소결체의 특성

SiC분말의 소결기구는 α , β 형 모두 같지만, β 형 분말이 소결이 보다 어렵고, 소결온도는 약 2100 $^{\circ}$ C이다. 세라믹스분말은 소결중에 입(粒)의 접합(치밀화)과 입성장(粒成長)이 동시에 진행하므로, SiC 상전이는 통상 용해석출(溶解析出), 기화응축(氣化凝縮) 및 입성장 과정으로 일어나며 소결중에 β 에서 α 로의 상전이는 입성장이 따른다. 소결중의 이상입자성장은 치밀화의 구동력을 약화시키고, 소결성을 현저히 저해한다. 따라서 소결조제를 과잉으로 첨가하면 치밀화가 완료후 다시 β - α 전이와 2차 이상 입성장을 일으킨다. 소결체내의 이상 입성장은 재료의 강도를 저해하므로, β -SiC분말의 소결은 첨가물을 최적량 첨가하고 최적 소결온도와 시간의 제어가 요구된다. α -SiC 분말에서는 상전이가 일어나지 않으므로 그렇게 심각하지는 않다. α 형-SiC소결체 조직의 그림 1은 α 형-SiC 정상조직이며, 그림 2은 이상성장한 β 형-SiC 소결체 조직의 예를 나타냈다.

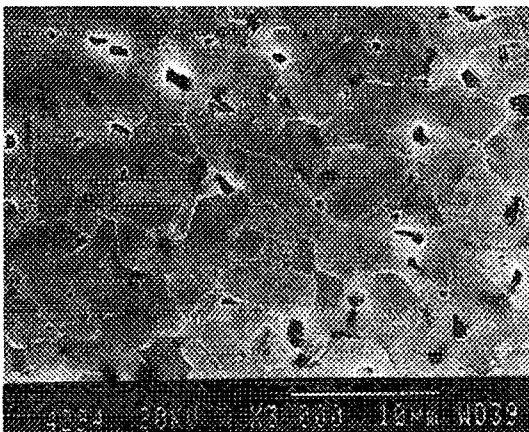
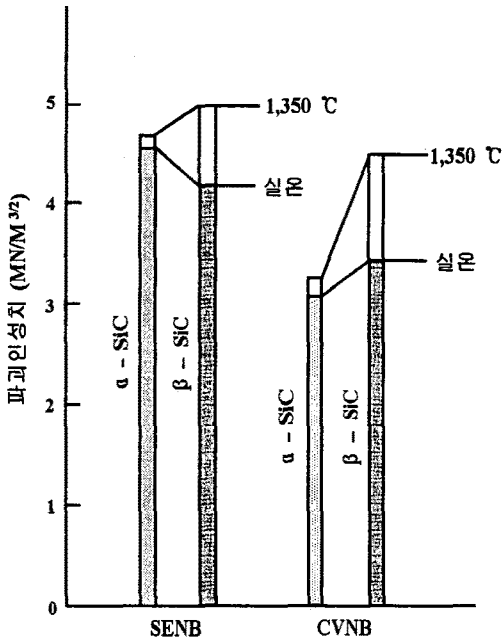


그림 1. α 형-SiC 정상조직



그림 2. 이상 성장한 β 형-SiC 소결체의 조직



SENB : Single-Edge Notched Beam
 CVNB : Chevron Notch법

그림 3. α, β형 SiC소결체의 파괴인성치

SiC소결체는 α, β형(形) 2종이 있으며 양자의 조직형상은 다르게 나타난다.

α형(形)은 구상의 입(粒)에서, β형(形)은 판상 및 봉상으로 aspect비(중횡비)가 큰 입자로 구성되고 aspect비가 큰 입자의 재료가 일반적으로 강도가 높으며, β형(形)이 α형(形)보다 기계적특성이 우수하다. 현재 개발된 탄화규소(SiC) 소결체의 기계적 특성 결과는 표 1과 같다.

4. SiC소결체의 특성평가

통상 세라믹스 소결체의 특성평가 시스템은 조성(組成)·조직(組織)의 평가와 물성의 평가로 크게 분류할 수 있으며 이들 평가시스템이 재료의 신뢰성평가로 각 분석항목별 기술평가 기술이 접목되어야 한다.

소결체의 제조공정상 원료분말조합→성형→소결→가공으로 나눌 수 있지만 소결체는 전공정의 공정이력을 갖는 최종제품으로 소결체의 특성을 평가함으로써, 각 공정간 결함원인을 추정할 수 있으며, 또한 그 대책이 수립되어 보다 신뢰성을 갖고 내구성을 갖는 세라믹스 소결체를 얻을 수 있다고 본다.

표 1. 개발된 탄화규소(SiC) 소결체의 기계적 특성

개발 회사	밀도 g/cm ³	경도 HV	탄성률 GPa	강도 실온 MPa	파괴인성치 MN/m ^{3/2}	
SH	3.13	2500	410	450	500 ¹⁶	4.2
KY	3.2	-	440	550	-	-
HI	3.14	2800 ^{HK}	406	459	494 ¹⁶	4.2
AS	3.12 ^{3C}	2700	430	650	500 ¹⁴	5.1
TO	3.1	2800	410	550	590 ¹²	4.6
IB	3.1 ^{3C}	3100	400	830	920 ¹⁶	3.5-5.6
ON	3.15	2600	380	600	550 ¹²	4.0
NI	3.10	2200	420	550	500 ¹²	3.5
SM	3.1	2400	>250	500	500 ¹²	3.7
SC	3.2 ^{3C}	2500	460	640	780 ¹⁵	4.5

3C : 입방정(β형), 6H : 육방정(α형),
 고온강도 : 16 : 1,600°C 측정

SiC소결체의 결함은, 미세하고 복합적 원인에 의하여 만들어지므로 한 시험결과 만으로 파악하는 것은 매우 어려우며 다음과 같은 분석 평가시스템의 여러 분석결과를 유기적으로 집합한 분석으로 정확한 SiC소결체의 특성을 분석할 수 있다. 또한 SiC소결체의 파괴에 대한 예측방법으로 강도(強度)의 분포를 나타내는 Weibull계수를 사용하여 다음과 같은 파괴확률 분포함수를 사용하여 평가하고 있다.

$$F = 1 - \exp\left[-V\left(\frac{\sigma - \sigma_p}{\infty - \sigma_p}\right)^m\right]$$

여기서,

- F : 파괴확률, m : Weibull계수
- V : 응력이 가해진 부피, σ : 가해진 응력
- σ_p : 파괴확률비 0인 응력
- ∞ : 정상화 계수

4.1 조성·조직의 평가

1) 분광학적 분석(Spectrometric Analysis)

SiC소결체의 화학조성의 분광학적 분석방법은 원자흡수분광 광도법(Atomic Absorption Spectrometry), 고주파 유도결합 플라즈마법(Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry), X선형광분석법(X-Ray Fluorescence Analysis) 등이 있다.

AAS, ICP분석법은 SiC소결체를 가압산, Flux

로 용해·용해처리로 미량성분을 주로 분석하며, XRF는 비파괴적으로 고체상태로 분석이 가능하나, 불균일성의 문제로 정확도가 떨어지며, 높은 정확도를 얻기 위해서는 용융시료(Fusion Glass Bead)로 제조하여 내부 표준법에 의해서 측정한다.

SiC소결체의 분광학적 분석 결과 예는 표 2와 같다.

표 2. SiC 소결체의 대표적 화학분석치

불순물		분석치		분석방법
		A사	B사	
금속불순물	Fe(ppm)	50	50	AAS
	Al(ppm)	10	10	AAS, ICP
	Ca(ppm)	10	10	AAS, ICP
	Na(ppm)	10	10	AAS
	K(ppm)	10	10	AAS
산소(wt%)		1.0	0.8	LECO
염소(wt%)		0.1	0.03	ICP
탄소		0.1	0.1	

2) 화학분석(Chemical Analysis)

세라믹스 소결체중의 화학조성에서 원소의 함량이 많거나, 산화물 형태로 존재 할 때는, 우선 습식으로 Flux용융·용해한 후 부피분석(Volumetric Analysis)과 중량분석(Gravimetric Analysis)으로 정량한다.

3) X-선 회절분석(X-Ray Diffraction Analysis)

X-선 회절분석기(X-Ray Diffractometer)를 이용하여 SiC소결체의 광물상(鑛物相)을 분석할 수 있으며, SiC 미분체의 소결시 소결조제와 분말활성도에 따라서 고온소성 반응에서 α, β형의 유무 결정 발달정도, 결정크기 등의 광물학적 정보를 얻을 수 있어 화인세라믹스 소결조직 평가에서 필수적인 분석장비이다.

화인세라믹스 광물상 분석장비의 X-선 회절(X-Ray Diffraction)의 기본원리를 설명하면 다음과 같다. X-선이 시편에 주사되면 시편에서는 연속 X-선(continuous X-Ray)과 특성 X-선(characteristic X-Ray)이라는 두 가지 X-선이 발생한다. 연속X-선이란 일정 전압으로 전자를 가속하여

X-선을 발생시켰을 때 연속적으로 분포하는 스펙트럼으로 백색선이라고도 한다. X-선 발생원에서 X-선을 발생시켜 시편에 입사하면, 각 원소의 원자핵 주위에 있던 전자와 충돌하여 이 전자를 밀어내어 원자는 이온화한다. 이와 같이 에너지가 높아진 상태를 여기상태(excitation state)라고 하고, 이 빈자리를 근접층의 전자가 자리를 메꾸면서 그 에너지 차에 해당하는 파장의 X-선을 발생하는데 원자의 핵 주위에 K층에 2개, L층에 8개, M층에 18개……의 전자가 배열되어 있어 K층과 L층 등의 에너지준위는 원소에 따라 정해져 있으므로, 발생된 X-선의 에너지(파장)는 원소에 따라 결정되며 이것이 특성X-선이다.

K_α선, K_β선, L_α선, L_β선……등의 호칭은 그림 4에 나타난 바와 같이 전자선의 에너지 준위 차에 따라서 구분된다.

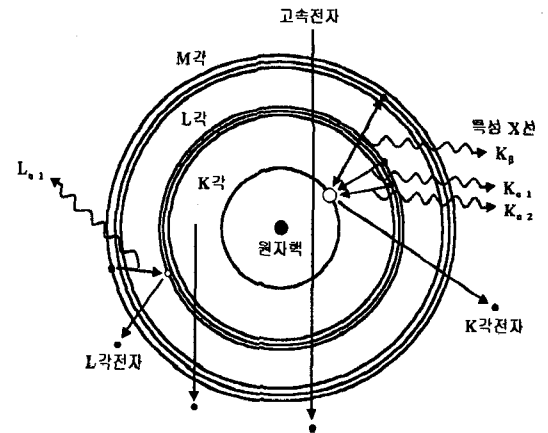


그림 4. 특성 X-선의 발생

X-선 회절 분석은 Bragg법칙에 따라서, X선이 결정내의 질서 있게 배열된 입자에 의해 산란되면, 산란 복사선간에 간섭(보강과 상쇄)이 일어난다. 이것은 산란중심들간의 거리가 복사선의 파장크기와 같은 자리의 수 이므로, 이 결과 회절(diffraction)이 생긴다. 1912년 W. L. Bragg는 그림 5에서와 같이 결정에 의한 X-선 회절을 발견하여 Bragg식을 만들었다.

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

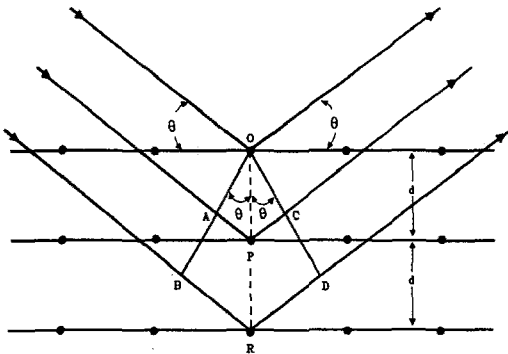


그림 5. 결정내의 X-선 회절

결정내에 X-선이 입사하여 회절되는 현상을 이용하여 분석 시료로부터 방출된 특성 X-선을 분광시킬 수 있게 되었고, 결정성 미지 시료에 단색광의 X-선을 입사시켜 회절 각을 측정 하므로써, 결정의 면간 거리를 측정하고, 아울러 시료의 결정구조를 밝힐 수 있게 되었다. 이로써 X-선 분석법이 시료에 존재하는 원소의 확인 및 정량은 물론 결정구조를 규명 하는데 필수 방법이 되었다.

그림 6에 SiC 소결체의 XRD분석 결과를 나타냈다.

4) 현미경관찰(Investigation of Microscope)

SiC소결체의 미세구조 관찰은 광학현미경(Optical Microscope)과 전자현미경(Scanning

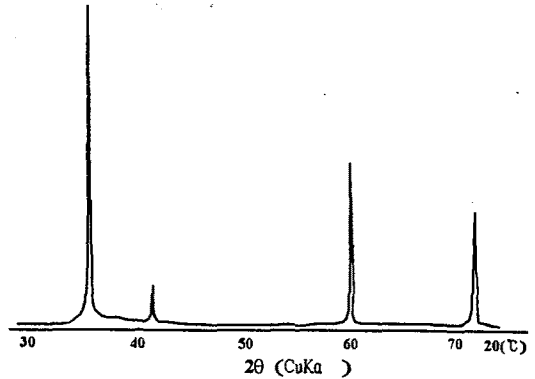
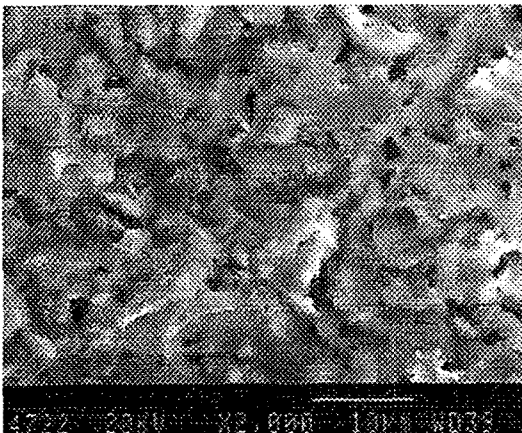


그림 6. X-선 회절 분석결과(β -SiC)

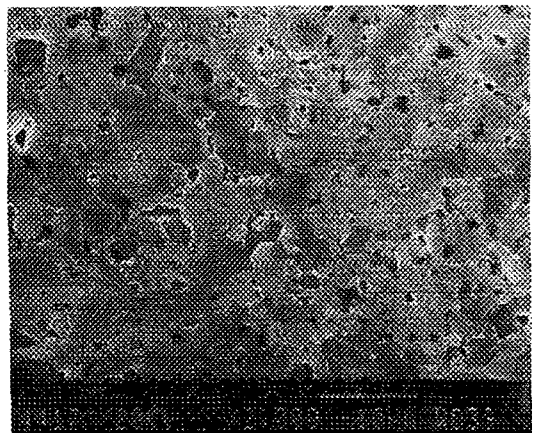
Electron Microscope : SEM / Transmission Electron Microscope : TEM) 두 가지 방법이 있다.

광학 현미경은 저배율의 macro한 미세구조를 관찰하는데 이용하지만 SiC 소결체의 미세구조는 치밀한 미립자 분포로 고분해능 전자현미경에 의한 조직분석이 주로 이용되고 있다.

SiC소결체의 파단면(Fracture Surface)과 Etching면 조직은 주로 SEM으로 관찰한다. SiC 입자의 크기, 형상과 SiC상 형태, 기공형태·분포, 소결치밀도 등 미세조직은 SiC 제조공정의 공정이력을 추정하기에는 가장 유력한 정보를 얻을 수 있고, 또한 미세조직과 강도는 강한 상관성을 갖고 있어 기계적 물성 평가도 추정 할 수 있다.



(a) 파단면



(b) 에칭면

그림 7. SiC 소결체의 (a) 파단면과 (b) 에칭면

SiC 소결체의 SEM에 의한 미세구조 관찰 예를 그림 7과 같이 나타냈다.

SiC소결체의 소결조제는 B=0.2wt%, C=4wt%, 성형압력은 CIP 2.0ton/cm²이고 소결온도는 2060℃, 30분 Ar분위기로 상압소결한 파단면(Fracture Surface) 및 Murakamis Etchant로 Etching한 미세구조로, 소결체 3점곡강도(MOR강도)를 JIS R1601방법 측정된 결과가 80kg/mm²이었다.

4.2 물성(物性)의 평가

1) 물리적 성질(Physical Properties)

SiC 소결체의 물리적성질 평가항목은 기공율(Porosity), BET(N₂-gas흡착기공), 진밀도(True density)등의 측정 방법이 있다.

SiC 소결체의 기공은 미세한 기공이 닫힌 기공(closed pore)형태로 존재하여 내부의 기공정보는 측정불가능하나 표면의 열린기공(open pore)의 기공크기, 분포등의 정보는 수은압 기공율 측정기(Mercury Porosimeter)로 측정가능하고 A단위의 기공은 BET방법에 의한 N₂-gas흡착으로 미세한 기공정보를 알 수 있지만 이 두가지 방법은 치밀질 소결체는 정확한 측정이 불가능하다고 본다.

진밀도(true density)측정은 He 치환방식의 부피측정법의 pycnometer장비에 의하여 보다 정확한 밀도를 측정할 수 있다. 또한 아르키메데스 원리의 부력에 의한 기공율, 흡수율 및 비중을 측정할 수 있으며 계산식은 다음과 같다.

$$\text{겉보기 기공율}(\%) = \frac{W_3 - W_1}{W_3 - W_2} \times 100$$

$$\text{흡수율}(\%) = \frac{W_3 - W_1}{W_1} \times 100$$

$$\text{겉보기 비중} = \frac{W_1}{W_1 - W_2}$$

$$\text{부피비중} = \frac{W_1}{W_3 - W_2}$$

여기서,

W₁: 건조무게(g)

W₂: 수중무게(g)

W₃: 포수시료무게(g)

2) 열적특성(Thermal Properties)

화인세라믹스 열적 특성평가 항목은 열 변화에 따른 무게감량, 온도전이, 상변화를 측정할 수 있다. 화인세라믹스 소결체 제조시 소결조제·결합제의 첨가시 소결조건에 따라 결합으로 존재할 수 있으므로 유기결합제의 탈가스(degasing) 온도를 정확히 분석함으로써 결합제의 완전연소로 기공결합을 없앨 수 있으며, 고온열반응시 상전이 온도를 분석할 수 있어, 소결 전과정 정보를 얻는데 유용하게 활용되고 있다.

분석장비로는 시차열 분석기(DTA), 열중량 분석기(TGA)가 있으며, 소결체의 열팽창계수 측정은 열팽창계수 측정기(Dilatometer)가 있으며, 열전도도 측정은 열전도도 측정기(Thermal Conductivity Test)가 주로 활용되고 있다.

SiC, Si₃N₄ 소결체의 열팽창계수와 열전도도 분석결과를 표 3과 같이 나타냈다.

표 3. SiC, Si₃N₄ 소결체의 열적특성

세라믹스	열팽창계수 (40~1000/℃)	열전도도 cal/cm ² sec℃
SiC소결체	4.3×10 ⁻⁶ /℃	0.14
Si ₃ N ₄ 소결체	4.0×10 ⁻⁶ /℃	0.08

3) 기계적특성(Mechanical Properties)

화인세라믹스 소결체의 기계적특성 항목은 곡강도(MOR강도), 경도(Vicker's Hardness), 파괴인성(Fracture Toughness), 탄성율(E·G-moduls)등이다.

경도와 파괴인성은 경도계(Vicker's Hardness Tester)로, 곡강도(MOR강도)는 재료시험기(Material Test System)로 측정되며 종단성율(E-moduls), 횡단성율(G-moduls)은 측정방법이 두가지로 나누어진다. 첫째는 초음파 격임 진동법에 의한 재료의 밀도차이로, 초음파 공진 주파수 변화를 측정하므로써 탄성율(E, G값)을 계산할 수 있으며, ASTM, JIS방법에 의한 전용 탄성율 측정장비가 선보이고 있다. 둘째로는 초음파 탐상장치(Ultrasonic Tester)를 사용하여 각 재료마다 다른 밀도를 갖고 있으므로 초음파 진행속도를 반사법, 투과법으로 측정하여 탄성율(E, G값)을 측정할 수도 있다.

여기서 SiC소결체(α형)의 3점 고온곡강도와 파괴인성 측정 예를 설명하였다.

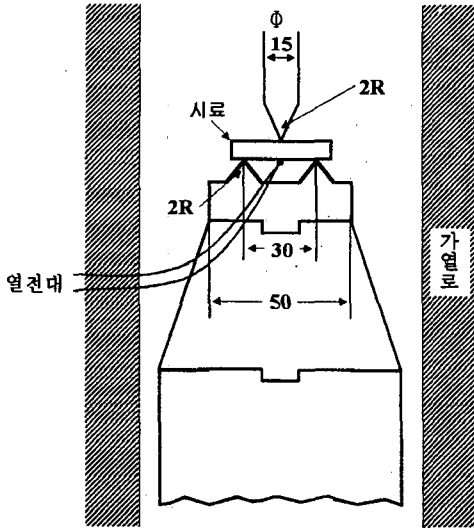


그림 8. 고온 곡강도 시험 장치

먼저 3점 곡강도(MOR강도) 시험용 시편은 3×4×36(mm)로 시험편의 표면조도는 0.8S이하로 연

마하여 준비하였다. 시험장비는 재료시험기에 탄화규소(SiC)발열체 사용의 전기로를 장착하여 1350℃ 대기중에서 5분 유지후에 하중을 가하였다. 34개 측정결과 평균곡강도 44.6kgf/mm²(438MPa), 최소곡강도 28.0kgf/mm²(275MPa), 최고곡강도 59.1kgf/mm²(580MPa)이었으며, 와이블계수는 7.0이었다.

표 4. 고온 3점 곡강도 시험결과(1350℃대기중)

	28.0[275]	31.3[307]	31.4[308]
	33.8[332]	34.0[334]	35.8[351]
	38.3[376]	39.7[389]	39.7[389]
	42.4[416]	42.5[417]	43.3[425]
	43.8[430]	44.1[433]	44.5[437]
측정결과	44.5[437]	45.1[442]	46.4[455]
kgf/mm ² [MPa]	46.5[456]	46.7[458]	46.7[458]
	46.8[459]	46.8[459]	47.5[466]
	49.1[482]	49.3[484]	49.8[489]
	50.1[491]	50.2[492]	52.5[515]
	52.9[519]	55.6[545]	57.2[561]
	59.1[580]		
平均强度	44.6 kgf/mm ² [438 MPa]		
標準偏差	7.4 kgf/mm ² [73 MPa]		

표 5. Indentation법의 K_{IC}계산식(8종)

(1) $K_{IC} = 0.02 E^{0.5} P^{0.5} a^{-0.5} (c/a)^{-1.5}$	$K_{IC} = 0.02 \frac{E^{0.5} P^{0.5} a}{C^{1.5}}$	Marshall and Evans (1981)
(2) $(K_{IC}/H_a^{0.5})(H/E)^{0.5} = 0.028 (c/a)^{-1.5}$	$K_{IC} = 0.0191 \frac{E^{0.5} P^{0.5} a}{C^{1.5}}$	Lawn, Evans and Marshall (1980)
(3) $K_{IC} = 0.016 (E/H)^{0.5} (P/C_0^{1.5})$ ($C_0 = C$)	$K_{IC} = 0.0235 \frac{E^{0.5} P^{0.5} a}{C^{1.5}}$	Antis et al. (1981)
(4) $K_{IC} = 0.018 (E/H)^{0.5} (P/C^{1.5})$	$K_{IC} = 0.0264 \frac{E^{0.5} P^{0.5} a}{C^{1.5}}$	三好, 佐川, 佐 (1984)
(5) $K_{IC} = 0.036 E^{0.4} P^{0.6} a^{-0.7} (c/a)^{-1.5}$	$K_{IC} = 0.036 \frac{E^{0.4} P^{0.6} a^{0.8}}{C^{1.5}}$	Marshall and Evans (1981)
(6) $K_{IC} = (0.032 + 0.026)P/C^{1.5}$	$K_{IC} = 0.058 \frac{P}{C^{1.5}}$	Marshall and Lawn (1979)
(7) $K_{IC} = 0.073P/C^{1.5}$	$K_{IC} = 0.073 \frac{P}{C^{1.5}}$	Lawn and Fuller (1976)
(8) $(K_{IC}\Phi/Ha^{0.5})(H/E\Phi)^{0.4} = 0.129(c/a)^{-1.5}$ ($\Phi = 3$)	$K_{IC} = 0.0421 \frac{E^{0.4} P^{0.6} a^{0.8}}{C^{1.5}}$	Niihara et al. (1982)

$$H = 1.854 \left[\frac{P}{(2a)^2} \right]$$

$$3\text{점 썩임강도 } \delta = \frac{3PL}{2Wt^2}$$

여기서

P : 파괴최대하중(kgf)

L : 하부지점간거리(mm)

W : 시험편의 나비(mm)

t : 시험편의 두께(mm)

δ : 3점 썩임강도(kgf/mm²)

Indentation법에 의한 K_{IC} 의 측정은 상압소결한 Si_3N_4 소결체를 시험편으로 경면으로 연마 후 비커스 경도계로 하중 20kgf 부하시간 15초 조건으로 비커스 압흔의 대각선길이를, crack길이를 경도계 부착장치인 현미경을 이용하여 측정한다.

Indentation법의 K_{IC} 계산식은 표 5와 같고, 각 사의 K_{IC} 의 측정결과를 비교 분석 예는 표 6에 나타내었다.

표 6. 각 사의 Indentation법에 의한 K_{IC} 의 측정치

K_{IC} 계산식	$K_{IC}(MN/m^{3/2})$		
	A사	B사	C사
식(1)	3.44	3.47	3.72
식(2)	3.28	3.31	3.55
식(3)	4.04	4.36	4.37
식(4)	4.54	4.59	4.91
식(5)	4.96	4.96	5.32
식(6)	3.22	3.14	3.41
식(7)	4.96	3.96	4.30
식(8)	5.81	5.79	6.22

5. 맺는말

탄화규소(SiC)를 포함한 화인세라믹스 소결체의 개요, 일반적 제조공정, 소결체의 결정학적 조직특

성과 제조상의 문제점을 기술하였다. 또한 소결체의 특성 평가를 SiC(탄화규소)를 중심으로 각 분석 항목별 특징과 측정 예를 설명하여 제시하였지만, 현재 화인세라믹스의 품질평가방법이 미비하여 급속, 광산, 요업분야의 기존 분석방법과 병용하여 사용하여 각 회사마다 약간의 차이가 날 수 있다.

화인세라믹 소결체의 기본적인 분석평가에서는 보다 자세히 설명하려 하였지만 지면 관계상 간단히 피력한 것이 못내 아쉽지만, 기본적으로 SiC 세라믹스의 품질평가를 보다 이해하기 쉽도록 도움을 주고져 노력하였다. 앞으로, SiC(탄화규소) 소결체의 기계적 물성 향상을 위해서는 ZrB_2 , TiB_2 , Si_3N_4 whisker 등의 복합화로 기계적 물성이 향상되고 전기적 특성이 개량될 것으로 보아 보다 많은 연구가 SiC-Composite분야에서 이루어질 것으로 기대된다.

여기에 따라서, 재료의 신뢰성 평가도 각 시험평가방법의 연구가 뒷받침 되어야만 할 것이다.

참고문헌

1. ファインセラミックスの標準化しニ關する調査研究報告書.
2. 기기분석 세미나(1), 한국 기기분석학회.
3. 뉴세라믹스(1991) NO. 3, pp. 63-67.
4. ファインセラミックスハンドブック 通商産業省ファインセラミックス室編.
5. 猪股吉三, 三友讓, 井上善三郎, 田中廣吉, 窯業協會誌, 77, 130-135 (1969).
6. 猪股吉三, 松本精一郎, 窯業協會誌, 79, 40-46 (1970).
7. 田中英彦, “炭化硅素の焼結”, 猪股吉三編, 内田老鶴圃, 1988, pp. 155-73.
8. G. Orange, H. Tanaka and G. Fantozzi, Ceram. Int., 13, 159-65 (1987).
9. X線回折の手引 理學電機(株).