

# 엔지니어링 세라믹스에 대한 최근의 기술동향과 응용

정 석 주

서울산업대학 기계설계학과 교수



● 1936년생  
● 固體力學에서 應力解析 및 材料學動特性을 專攻하였으며, 특히 變應力解析 및 音響과 構造物의 動的學動等에 많은 關心을 가지고 있다.

## 1. 머리말

新素材로써 화인세라믹이 登場한지도 10여 년전이 되었다.

그간 화인세라믹에 대한 期待는 점점 더해졌으며 新素材로서의 최고의 地位를 確保했다고도 할 수 있다.

더우기 最近에 있어서 窒素溫度이상의 높은 임계溫度를 갖는 세라믹 超電導體가 發見되었으며 새로운 材料의 開發은 新技術을 創成할뿐만 아니라 産業 및 國民生活에도 變革을 가져올 可能性이 확인되어 新素材로의 期待가 더한층 높아졌다.

各種 機術部品등으로서의 화인세라믹은 自動車用 엔진研究를 시작으로 발전되어 最近에는 점차로 그 製品開發의 단계에 到達하고 있다.

이와같이 하나의 素材가, 말하자면 工業材料로서 定着하기에는 엄격한 開發競争과 그에 따른 시간이 요하게 된다.

본 글에서는 엔지니어링 세라믹의 開發經過를 살펴보고 最近의 動向 및 應用的 現狀에 관하여 기술하고자 한다.

## 2. 엔지니어링 세라믹의 開發經過

酸化物 세라믹은 오래전부터 耐火性, 耐磨減性이 큰 材料로 알려져 그 高硬度和 高融點을

로부터 耐磨減材料, 耐火材料등으로 주로 使用되어왔다.

그러나 이러한 酸化物세라믹은 高溫에서는 強度가 크게 감소하기 때문에 高溫材料로 이용할 때에는 強度를 별로 필요로 하지않은 部品에만 사용되어왔다.

強度가 크게 떨어지는 이유는 酸化物세라믹의 대부분이 高溫에서 그것을 構成하고 있는 原子의 自己擴散係數가 결정입자가 크게 成長하며 결정은 原子의 擴散으로 變形되기 때문이다.

이에대해 窒化珪素, 炭化珪素 등의 非酸化物系의 세라믹은 종래에도 극히 難燒結性인 物質이라고 여겨져왔다.

이 이유는 그 결정의 化學結合方式이 共有結合性的의 것보다 많기 때문이다.

그러나 이 難燒結性的의 物質에 燒結助劑로써 酸化物系의 材料를 첨가하여 燒結함으로써 常溫強度가 높은 세라믹이 出現하고 非酸化物系의 세라믹에 대한 開發利用이 급속히 進展되어왔다.

1970年代에 들어 公害問題의 해결등을 위해, 자동차용의 새로운 엔진의 開發을 시작으로 각종 엔진부품 및 배기가스 淨化用 부품에 세라믹의 使用이 검토되었다. 1973년도에 에너지 위기는 더욱 이러한 경향을 부채질하여 엔지니어링세라믹에도 影響을 미쳐 그 開發에 대한 커다란 推進力이 되었다. 이러한 경향과 더불어

어 非酸化物系 세라믹의 研究開發이 進行되어 더욱 그 特性이 向上되었다.

즉, 窒化珪素系 세라믹은 常溫強度 뿐만 아니라 高溫에서도 높은 強度를 保有하고 熱衝擊에도 잘 견디어 耐摩減性에도 크며 가스 터빈의 高溫部品 등으로의 應用도 시도되었다. 炭化珪素도 窒化珪素와 마찬가지로 方法이 적용되어 從來의 再結晶 炭化珪素 세라믹과 비교하여 높은 강도를 지닌 製品이 開發되었다.

한편, 이러한 非炭化物系의 세라믹스에 활발한 研究開發이 자극받아 酸化物系의 세라믹에 대해서도 開發이 展開되어 部分安定化 지르코니아(PSZ)와 같은, 세라믹중 最高強度와 破壞靱성을 갖는 材料가 開發됨과 더불어, 알루미늄, 티탄산 알루미늄, 물라이트 등, 종래부터 이미 使用되어온 세라믹의 特性도 개량되어 엔지니어링 세라믹으로서 널리 使用되어지고 있다.

### 3. 엔지니어링 세라믹의 開發動向

엔지니어링 세라믹은 그 技術的, 熱的 및 化學的 特性을 利用한 세라믹이고 주로 工業用 製品에 使用된다.

엔지니어링 세라믹의 種類와 特徵을 표 1에 나타내었다.

세라믹스는 金屬材料에 비교하여 輕量인 것이 많다.

이 輕量성은 이들 세라믹스를 運動部品으로서 使用할 때 慣性 및 低減의 효과를 생기게 하며 이들 세라믹스는 一般的인 金屬材料와 比較하여 熱膨脹率은 작으나 剛性率이 크다.

이러한 性質은 세라믹스를 精密機械등에 使用할때 큰 長點이 된다.

#### 3.1 酸化物系 엔지니어링 세라믹스

##### (1) 알루미늄 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

알루미늄은 硬度, 常溫強度, 化學的 安定性이 뛰어나며 工業材料로서 널리 使用되고 있는 세라믹스이다.

표 1 엔지니어링 세라믹스의 種類와 特徵

재료명	특징	사용온도범위
알 루 미 나	화학적 안전성이 큼	상온~1000°C
PSZ	고강도	상온~800°C
물 라 이 트	고온강도가 큼	상온~1400°C
티탄산알루미늄	저열팽창, 단열성이 큼	상온~1000°C
탄 화 규 소	고온강도 큼, 경도 큼	상온~1600°C
질 화 규 소	고강도, 내열충격성 큼	상온~1300°C
사 이 어 론	내식성 큼	상온~1300°C

또한 그 製造方法이 잘 확립되어 있고 薄板으로부터 大型品까지 비교적 쉽게 製造할 수 있다.

알루미늄의 缺點의 하나는 熱衝擊抵抗이 다른 세라믹스와 비교하여 약하다는 것이다.

이것은 알루미늄의 熱膨脹係數가 약  $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 으로 비교적 크기 때문이다. 알루미늄이 엔지니어링 세라믹스로서 使用되고 있는 것은 耐磨減性, 耐蝕性, 剛性등의 特性을 지니고 있기 때문이다. 市販되고 있는 알루미늄 세라믹스의 特性을 표 2에 나타내었다.

##### (2) 지르코니아(ZrO<sub>2</sub>)

순수한 지르코니아는 1000°C의 부근에서 單斜晶↔正方晶의 마르텐사이트형의 相變化가 일어나며 이때 수%의 體積變化가 생겨 破壞된다. 이 때문에 一般的인 지르코니아 세라믹스는 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO 등의 安定化劑를 多量 添加하여 結晶相을 廣範圍한 溫度에서 安定한 立方晶으로 바꾸어 安定화된 지르코니아로서 使用하고 있다.

그러나 最近 이 安定化劑의 첨가량을 極度로 감소시켜, 常溫不安定相의 正方晶을 多量 存在시킨 部分安定화 지르코니아(PSZ)는 高強度와 큰 破壞靱성을 갖고 있다.

이것은 지르코니아 세라믹스와 結晶粒子가

표 2 市販 알루미늄의 特性

물 성	제 조 소결, Hot press	단결정
순 도 (%)	99.5~99.9	100
이론밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	3.99	3.99
밀 도 (g/cm <sup>3</sup> )	3.9~3.98	3.99
기 공 률 (%)	<0.1	0
영률 (10 <sup>4</sup> kg/mm <sup>2</sup> )	3.0~4.0	4.2
프와송비	0.22	0.25
인장강도 (kg/mm <sup>2</sup> ) RT	25~31	41
1000°C	(21)	36
굽힘강도 (kg/mm <sup>2</sup> ) RT	25~55	70
1000°C	(38)	-
압축강도 (kg/mm <sup>2</sup> ) RT	200~379	210
1000°C	(193)	-
용 점 (°C)	2000~2050	2050
최고사용온도 (°C)	1750~1980	2000
열전도율 (kcal/m.hr.°C)	29	31
열팽창계수 (10 <sup>-6</sup> /°C)	7.8~8.1	5.3
비열 (kcal/kg.°C)	0.2	0.18
전기절연성 (Ω.cm)	10 <sup>14</sup>	10 <sup>16</sup>

극히 작고 치밀하게 燒結되어 있는 경우, 不安定相의 正方晶이 室溫以下에서도 어느정도 安定하게 되며, 外部로부터 應力을 받아 龜裂이 進前되기 시작할 때 그 龜裂 先端 附近의 正方晶으로 바뀌며 이 때 破壞에너지를 吸收하기 때문이라고 여겨진다.

이 PSZ의 發見以來, 從來는 耐化物的인 용도로 밖에 사용하지 못했던 지르코니아 세라믹스가 室溫強度 1000~1500 MPa, 破壞靱性 10~15MPa m<sup>1/2</sup>으로서, 세라믹스 중에서도 가장 高強度, 高靱性을 갖게 되었으며 큰 注目을 받고 있다.

市販되고 있는 PSZ의 特性은 표 3에 나타나 있다.

표 3 市販 部分安定化 PSZ의 特性

항 목	대 표 치
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	6.05
색	백 색
굽힘강도 (kg/mm <sup>2</sup> )	120
탄성률 (정적) (동적) (kg/mm <sup>2</sup> )	1.5×10 <sup>4</sup> 2.1×10 <sup>4</sup>
프와송비 (동적)	0.31
경도 (HrA)	91
열팽창계수 (20~1000°C)/°C	9.2×10 <sup>-6</sup>
열전도율(실온) (kcal/cm/sec/°C) (800°C)	0.0045 0.0052
열충격(수냉법) ΔT°C	360

지르코니아는 高融點을 가지며 耐蝕性도 크고, 熱傳導率이 낮기 때문에 遮斷效果도 크다. 또한 熱傳導率이 크고 金屬에 가까운 값을 갖기 때문에 安定化 지르코니아(PSZ)는 高溫機器의 遮熱코딩재료로서 實用化 되어지고 있다.

### (3) 알루미늄-실리카系

알루미늄-실리카系의 가장 一般的인 材料로서 몰라이트가 있다.

이것은 一般的인 카오린질점토와 알루미늄의 混合物을 燒成하여 만든 것으로 몰라이트(3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>)結晶을 주성분으로 한 것이고, 耐火度, 耐熱衝擊性이 뛰어나고 耐蝕性, 高溫에서의 荷重軟化抵抗등이 비교적 크고, 가격이 싸며, 從來부터 理化學用品 및 耐火材로서 使用되어 왔다.

그러나 從來의 몰라이트 세라믹스는 強度, 특히 室溫強度가 100MPa 程度로서 알루미늄 등의 다른 엔지니어링 세라믹스에 비하여 상당히 뒤떨어진다.

그러나 最近 이 몰라이트의 原料合成에 새로운 방법이 導入되어 그 特性도 향상되어지고 있다.

예를 들면 굽힘强度가 400MPa 程度의 것도 생겼으며 더우기 그 强度는 1400°C의 高温에서도 거의 低下하지 않는다.

(4) 기타 酸化物系 세라믹스

이상과 같은 高强度 및 硬度, 耐熱性등을 利用한 세라믹스 이외에 낮은 熱膨脹係數 및 斷熱性을 利用한 것으로 티탄산알루미늄, 리튬, 알루미늄, 실리케이트등의 엔지니어링 세라믹이 있다.

이들은 耐熱衝擊性 및 斷熱性이 요구되는 部品 예를 들면 熱交換器, 觸媒擔體, 排熱管등으로서 사용된다.

3.2 非酸化物系 엔지니어링 세라믹스

(1) 窒化珪素 (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)

窒化珪素는 炭化珪素등과 더불어 共有結合性의 강한 재료로서 擴散係數도 극히 작기 때문에 燒性에 의한 粒子間의 結合, 즉 燒結이 생기기 어렵다. 이때문에 酸化物를 중심으로한 燒結助劑를 사용함으로써 粒子間의 固着 또는 反應을 促進하는 方法이 이용되고 있다.

窒化珪素 세라믹스의 製造法으로는 常壓燒結, hot press, 反應素結, CVD 등이 있다.

이들 製造의 特徵을 표 4에 나타내었다.

窒素珪素의 熱膨脹係數는 室溫으로부터 1000°C까지의 平均值로 약 3×10<sup>-6</sup>/°C로 非酸化物系 세라믹스중에서 가장 작은 部類에 속한다. 또한 熱傳導率도 高密度品은 약 25kcal/mh°C정도이다.

따라서 窒化珪素 세라믹스의 熱衝擊抵抗은 아주 크게 된다.

緻密한 燒結體의 硬度는 높아서 누이프硬度로 1700~2000정도이며 영률도 300GPa로 비교적 큰값을 지니고 있다.

굽힘강도는 1000MPa 이상의 常溫强度를 지니고 있는 것도 있으나 그림 1에 나타낸 것과 같이 高温强度는 1000°C정도서부터 低下하기 시작하는 것이 많다. 이것은 燒結體中에 존재하고 있는 Glass상의 軟化에 의한 것이다. 또 空氣中 高温에서 사용할 때 酸化로 인한 表面附近이 變質된다.

이 때문에 一般的으로 窒化珪素 세라믹스의 使用溫度는 反應燒結, CVD 製品을 제외하고 常溫에서 약 1300°C정도까지 이다.

(2) 炭化珪素 (SiC)

炭化珪素도 窒化珪素와 마찬가지로 常壓燒結, hot press, 反應燒結등의 方法에 의해 제조된다.

炭化珪素의 常壓燒結法에 있어서 燒結助劑로서 소량의 炭素와 硼素를 이용하는 方法이 最

표 4 窒化珪素 세라믹 製造法의 特徵

제조법	장 점	단 점
상압소결	복잡형상 가능 경제성이 좋음	소성수축이 큼
Hot press	강도가 큼	복잡형상 불가능
HIP	복잡형상 가능 소성수축 없음	기공율 큼 강도 작음
반응소결	복잡형상 가능 소성수축 없음	기공율 큼 강도 작음
CVD	경도 큼 고온강도 큼	이방성
CVI	저온합성 가능	제조가 복잡

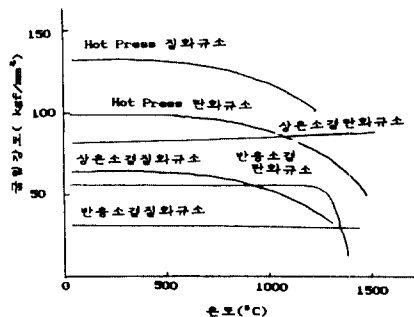


그림 1 질화규소 및 탄화규소 세라믹스의 강도에 주는 온도의 영향

近에 開發되었다.

이 方法은 이제까지의 炭化珪素와 같이 共有 結合성이 높은 物質은 多量의 酸化物系燒結助劑를 가해 液相의 存在下에서 밖에 燒結하지 않는다고하는 常識을 깨뜨렸다는 點에서 畫期的인 것이다.

이 方法으로 만들어진 炭化珪素 세라믹스는 粒境界相이 거의 생기지 않기 때문에 1600°C 정도까지도 強度低下가 없으며 오히려 室溫強度보다도 높은 強度를 가지며 最近에도 굽힘強度가 700~900 MPa의 것도 만들어지고 있다.

酸化珪素의 熱傳導率은 비교적 큰값을 지니고 있다.

最近 少量의 酸化 베리리움을 첨가하여 燒結한 常壓燒結炭化珪素는 熱傳導率 230kcal/mh°C의 金屬알루미늄보다 높은 熱傳導率을 지니며 더우기 電氣的 絶緣體이다.

이 高熱傳導性炭化珪素 세라믹스는 그 高熱傳導性과 電氣絶緣性을 이용하여 電子材料로의 이용이 시도되어지고 있으며 엔지니어링 세라믹스로서도 高熱傳導性을 이용하는 용도로 쓰여질 가능성이 크다.

한편 炭化珪素의 熱膨脹率은  $4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 으로 窒化珪素 세라믹스 보다도 약간 떨어진다.

### (3) 사이아론(Sialon)

사이아론은 酸化物과 窒化物과의 中間의 組成을 갖는 材料에 붙여진 名稱이다.

高溫構造材料로서는  $\beta$ -窒化珪素의 Si와 N을, Al과 O로 치환한  $\beta$ -Sialon ( $\text{Si}_6 - \text{Z Al}_2\text{D}_2\text{N}_8 - \text{Z}$ ,  $0 \leq z \leq 4.2$ )가 중요하다.

$\beta$ -Sialon系의 더욱 큰 高強度를 나타내는 燒結體는 常溫에서 약 500MPa, 1200°C에서 약 550MPa의 굽힘강도를 지니고 있다.

熱膨脹係數는  $2.7-3.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이며 Z數의 增加에 따라 크게된다.

$\beta$ -Sialon은 耐酸化性이 뛰어나며 또 특수한 金屬에 대한 耐蝕性도 크다. 強度는 窒化珪素보다도 작지만 耐酸化性, 耐蝕性등이 뛰어나다.

### 3.3 기타의 非酸化物系의 세라믹스

기타의 非酸化物系의 엔지니어링 세라믹스로서 窒化티탄, 炭化티탄 등은 큰 硬度를 가지고 있으며 切削工具등의 超硬工具로서 이용되어지고 있다. 또 炭化크롬( $\text{Cr}_3\text{C}_2$ )은 耐酸化性이 뛰어나 鋼片加熱用 工具로서 이용되어지고 있다.

## 4. 엔지니어링 세라믹스의 應用

엔지니어링 세라믹스는 機械的, 熱的 그리고 化學的 特性을 이용하여 많은 機器에 使用되어지고 있다.

표 5에 이들의 例를 보이며 이들의 應用중에

표 5 엔지니어링 세라믹스의 應用例

기 기	품 명	재 료
공 구 류	절삭공구정반 V블록, I형 스트레치 가이드롤라	$\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Si}_3\text{N}_4, \text{TiC}$ $\text{Al}_2\text{O}_3$ PSZ
내마멸부품	노즐, 축수, 라이너	$\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiC}, \text{PSZ}$
산 업 기 계	샤프트, 축수부품 압출기, 사출성형 기부품 분말성형기	$\text{Al}_2\text{O}_3, \text{PSZ}, \text{Si}_3\text{N}_4$ $\text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{Al}_2\text{O}_3$
화 학 기 기	밸브, 펌프, 샤프트 분사노즐	$\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Si}_3\text{N}_4, \text{PSZ}$ $\text{Al}_2\text{O}_3$
가 스 터 빈	동익, 정익 연소기	$\text{Si}_3\text{N}_4, \text{SiC}$ $\text{Si}_3\text{N}_4, \text{SiC}$
디 젤 엔 진	피스톤헤드, 실린 더라이너 밸브, 연소부실 터보챔버	$\text{Si}_3\text{N}_4$ $\text{Si}_3\text{N}_4$ $\text{Si}_3\text{N}_4$
제 강 용	열교환기	SiC
고 온 기 기	버너, 고온팬 내열기기	$\text{Si}_3\text{N}_4, \text{SiC}$ $\text{Si}_3\text{N}_4, \text{SiC}$
기 타	가위, 칼 서보모터축	PSZ, $\text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{Al}_2\text{O}_3$

서 自動車部品, 工具類, 産業機械部品 등에 대한 具體的인 例에 대하여 說明한다.

#### 4.1 自動車部品으로의 應用例

自動車部品으로서의 엔지니어링 세라믹스는 1981년에 처음으로 디젤엔진용 窒化珪素製가 開發된 이래 副然燒室, 터보차지로터와 그 實用化部品이 점차로 增加하여 왔다.

이것은 세라믹스의 性能, 즉, 耐熱性, 耐磨減性등이 向上되고 強度特性 등의 信賴性이 向上된 것을 보여주는 것이다.

動的部品으로서의 처음 록크암(lock arm)에 使用되었으며 高速回轉部品으로는 터보차지로터에 耐熱合金 대신에 세라믹스가 使用되었다. 이러한 엔지니어링 세라믹스의 技術的 進歩를 배경으로 하여 피스톤헤드(piston head), 실린더 라이너(cylinder liner), 밸브(valve), 캠축(cam shaft) 등의 應用도 시도되어지고 있다.

이들 부품의 실용화에도 아직 어려운 점도 있지만 가까운 장래에는 세라믹스제 엔진의 實用化가 이루어 지리라 생각된다.

장래의 自動車用 엔진으로서 注目되고 있는 가스터빈 엔진은 1971년에 미국에서 세라믹스를 使用한 프로젝트가 發足된 이래 世界各國에서 많은 研究가 進行되어 왔다.

세라믹스 가스터빈은 이와같이 이미 수십년의 歷史가 있으며 熱交換器에 있어서는 상당한 實績을 올리고 있으나 가장 중요한 動翼은 아직 實用化에 성공을 거두지 못한 형편이다.

이는 1350°C 이상의 高溫과 큰 遠心力에 견디어야 하고 더우가 높은 信賴性을 지녀야 하기 때문이다.

세라믹스 가스터빈의 實用化는 엔지니어링 세라믹스에 있어서 커다란 目標중의 하나이다.

#### 4.2 工具類에의 應用

알루미나 세라믹스를 切削工具로 應用하는 것은 오래전부터 행하여져 왔다.

그러나 알루미나는 靱性이 약하기 때문에 이것을 改善하기 위하여 TiC를 첨가한 Al<sub>2</sub>

O<sub>3</sub>-TiC系 세라믹스공구가 開發되었다.

최근 窒化珪素系 세라믹스공구가 開發되었지만, 耐磨減性이 약하기 때문에 표면에 CVD법 등으로 알루미나를 코팅한 素材가 開發되어지고 있다.

그밖에도 工具類에 세라믹스를 使用하려 하는 시도가 많이 행하여지고 있다. 예를들면 伸線用 다이스에 PSZ 및 窒化珪素系 세라믹스가, 또 熱間加工用 다이스에 窒化珪素系 세라믹스가 이용되고 있으며 그외에 블럭 게이지에 PSZ 및 窒化珪素系의 세라믹스를 使用한 製品이 開發되어지고 있다.

#### 4.3 産業機械部品으로의 應用

各種 機械部品으로의 엔지니어링 세라믹스의 應用은 耐磨減部品, 耐蝕部品으로서 많이 利用되어지고 있다.

예를들면 펌프류의 미케니칼실(mechanical seal), 베어링, 임펠러등, 또는 化學機器의 밸브, 분사노즐등은 磨減에 견디어야할 필요가 있고 더우기 바닷물 및 그외의 腐蝕性 液體의 壓送用으로서는 耐蝕性이 重要하게 된다.

이와같은 점을 해결하는 材料로서 알루미나, PSZ, 窒化珪素, 炭化珪素등의 세라믹스가 使用되고 있다.

한편 엔지니어링 세라믹스는 金屬에 비해 가볍고 剛性이 높은 점을 利用하여 定盤, V블록, 工形스트레치등의 計測器具로서, 또 알루미나 세라믹스가 合金鋼에 비해 比重이 1/2 이하이나 剛性은 2倍 以上이라는 特性을 利用하여 서보모터의 축으로 써서 모터축의 低慣性化, 振動特性의 改善등을 꾀하였다.

以上の 엔지니어링 세라믹스의 使用方法은 常溫에서 使用되는 部品이지만 高溫의 産業機器에도 세라믹스가 利用되어지고 있다.

예를들면 高溫爐用的 버너, 高溫팬의 날개, 耐熱工具등은 이미 實用化되었으며 射出成形機部品, 製鋼用的 스킵보턴등으로의 利用이 시도 되어지고 있다.

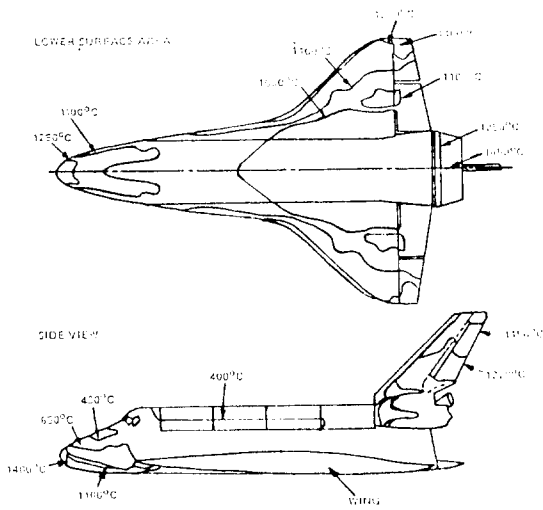


그림 2 우주왕복선의 고열부의 세라믹스 재료의 이용

#### 4.4 航空用 내열 부품

우주왕복선이 대기권에서 벗어날 때와 再進入할 때 그 표면 온도는 1650°C에 이른다. 우주 왕복선에는 세라믹스를 이용하여 고온에 견디도록 설계되었다(4,5).

100번의 우주 왕복을 수행하도록 설계할 경우 동체의 각 표면 부분이 견디어야 하는 온도 곡선을 그림에 나타내었다. 가장 높은 온도를 보이는 곳은 船頭部와 뒷날개로서 1425~1650°C 정도를 나타내며, 이 부분에는 탄소섬유 복합재료에 탄화규소(SiC)를 도포하였다. 1260°C 이하의 부분에는 록히드사가 개발한 경량의 다공성 실리카를 도포하였는데, 그 성분은 SiO<sub>2</sub>/B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Boron Silicate=93/5/2%로 알려져 있다.

#### 4.5 기타의 應用

엔지니어링 세라믹스는 以上과 같이 産業用 機器로의 應用외에 가위, 칼, 핀셋, 줄 등등의 日用品 및 業務用品에도 쓰이고 있으며 또한 運動用品에 까지도 쓰이고 있다.

이들은 세라믹스에 높은 硬度和 가벼운 重量 및 높은 電氣絶緣性등을 이용한 것으로 이후에

도 各種分野에 應用되어질 것이다.

### 5. 세라믹스를 이용한 製品의 設計

部품을 設計할 때 재료의 선택과 加工 方法의 設定은 재료의 물성은 물론 다른 因子도 고려해야 한다. 즉 제품의 구조 및 가공 공정에서도 공정 비용을 신중히 검토하여야 하며, 제품이 사용되는 조건, 환경, 허용 오차, 신뢰도, 파괴 유형의 검토가 필요하게 된다.

#### 5.1 材料 物性的 檢討

세라믹스를 사용할 때는 재료의 물성과 그 제품이 사용될 때 요구되는 물성을 비교하여야 한다. 그러나 제품이 사용되는 환경에서의 적정 물성의 계산이 어렵기 때문에 실제로는 재료 물성과 비교하기가 쉽지 않다.

물성의 측정 방법과 평가는 응용되는 제품의 성질에 따라 다르게 된다. 어떠한 물질은 제품에 필요한 요구 특성을 충분히 만족시키는 경우가 있으며, 이 때에는 물성의 측정이 불필요하다. 결정형 소결체인 알루미늄과 熱壓縮성형된 BC가 상온에서 내마멸체로 사용될 때, 이들의 강도는 제품의 요구 특성보다 10배나 높으며, 적정 硬度보다 높은 硬度를 가지고 있으므로 세라믹스 자체의 물성을 주의깊게 평가할 필요가 없게 된다. 따라서 가격 및 大量 生産 가능성 등이 제품의 설계에 있어서 중요한 인자가 된다.

電磁氣 분야에 세라믹스가 이용될 때는 물성의 조절 및 품질 관리가 매우 중요하다. 특히 광학 분야에 응용될 때는 굴절 지수, 광흡수도 및 색 등을 정밀하게 평가할 수 있어야 한다.

재료의 물성이 적절한지를 평가하는 것도 고려할 필요가 있다. 제품의 형태가 단순하며 쉽게 낮은 가격으로 생산될 수 있는 경우에는, 제품 자체를 직접 평가하는 방법을 연구하여야 그 商業化에 있어서 시간과 개발비용의 절감이 가능하다.

첨단 응용 분야에 있어서는, 기존재료의 물

성이 미흡한 경우가 대부분이므로 제품의 설계에 제약을 많이 받는다. 세라믹스를 가스 터빈에 응용하는 연구가 그 대표적例이다. 금속을 사용할 경우 최고 사용 온도인 1000°C를, 1400°C로 올릴 수 있다면 연료의 소모를 10~25%까지 절감할 수 있다. 이러한 가능성은 일찌기 밝혀졌으며<sup>(2)</sup>, 현재는 장기간 사용할 수 있는 신뢰도 향상에 개발의 焦點을 두고 있다<sup>(3)</sup>.

### 5.2 材料의 選定

세라믹스를 이용하여 부품을 설계할 때 필요한 개발 프로그램을 그림 3에 나타내었다. 이 프로그램은 金型 설계, 금형 제작, 시제품 생산, 부품의 크기평가, 금형 개량, 부품 가공, 검사, 부품의 시험과 같은 각각의 단계가 반복되게 된다.

전체의 프로그램 비용을 절감하기 위해서, 특히 금형 비용을 감소시키기 위해서는 실제 생산과는 별도의 가공 방법으로 프로토타입을 만든다. 例를 들면, 복잡한 생산용 사출 금형의 경우 약 1억원이 소요되지만, 그림에 나타난 프로그램을 이용하여 프로토타입을 만들 경우는 금형 비용이 1/10에 지나지 않는다. 이때는 슬립 캐스팅법을 사용할 수 있다.

는 일부를 제외하고는 아직 개발단계에 있지만 自動車, 航空機, 스포츠용품 등으로의 應用을 中心으로 활발한 開發이 進척중에 있으며 最近 특히 세라믹스의 분야에서 破壞靱性を 개선하는데 많이 利用되어지고 있다.

그리고 화인 세라믹스는 다양한 電磁氣的, 光學的 및 生物學的 特性을 지닌 機能材料와 기존재료의 성능 한계를 초월하는 耐熱性, 耐蝕性 및 耐磨滅性을 지닌 構造材料 이외에도 最近에는 超傳導材料가 추가됨으로서 90년대의 첨단산업을 주도할 新素材가 될 것이다.

그러나 엔지니어링 세라믹스는 아직 開發단계에 있는 실정이다.

따라서 그 性能은 계속 進전되고 있는 狀況이나 아직까지는 利用面의 開拓에는 많은 問題點이 남아있다. 先進國에 比較하여 우리나라의 엔지니어링 세라믹스의 技術수준은 初步的 단계에 있다해도 과언이 아닐 것이며 외국의 기술전수에 지금은 많은 어려움이 있는 관계로 우리는 우리의 힘으로 세라믹스재료에 대한 研究에 박차를 가하지 않으면 안된다.

이러한 엔지니어링 세라믹스에 대한 많은 研究開發의 問題點은 범국가적인 차원에서 장기간의 研究로 解決해야 될 것이며 產學研의 공동연구가 本格的으로 進行되어 無限한 研究開發에 先進國과 발맞추어 進行되어 나가야 할 것이다.

## 6. 맺음말

窒化珪素 위스커 (whisker)의 強化複合材料

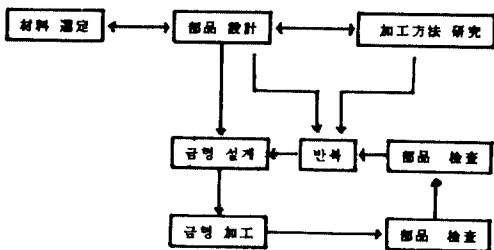


그림 3 세라믹스 부품의 開發 프로그램 例

## 참 고 문 헌

- (1) Richerson, David. W., 1982, "Modern Ceramic Engineering", ch. 3, Marcel Dekker, Inc.
- (2) Katz, R. N., 1980, Science, 208, pp. 841~847.
- (3) Reliability of Ceramic for Heat Engine Applications, Natl. Acad. Publ. NMAB-357, Washington, D.C., 1980.
- (4) Svec, J. J., 1986, Ceram. Ind., 107, pp.



- 20~24.
- (5) Korb, L. J. et al., 1981 Bull. Amer. Ceram. Soc., 60, 1188~1193
- (6) Komeya, K., Inoue, H., 1975, Synthesis of the Form of Silicon Nitride from Silica, J. Mater. Sci. 10, 1243~1246.
- (7) Tsai, S.W. and Hahn., 1980, "Introduction to Composite Materials", Technomic Publishing Co.
- (8) Wagner, R.S. and Ellis, W.C., 1984, Appl. Phys., Lett, 89.
- (9) Baratta, F.I., 1981, "Fracture Mechanics of Ceramics, Vol. 5, p. 543, Plenum Press.
- (10) Richerson, D.W., 1973, Effect of Impurities on the High Temperature Properties of Hot-Pressed Silicon Nitride., Am. Ceram. Soc. Bull., 52, pp. 560~569.
- (11) Gazza, G.E., 1973, Hot-Pressed  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , J. Am. Ceram. Soc., 56, 662.
- (12) Glemser, O. and Nauman, P., 1959, Z. Anorg. Allgem. Chem., 298, pp. 134~141.
- (13) Yamata, Kawahito T. and Iwai, T. 1983, J. Mater. Sci. Lett., 2, pp. 275~278.
- (14) Johnson, R.C. et al., 1966, Synthesis of Fibrous Silicon Nitride U.S. Pat. 3, 244, 480.
- (15) Spriggs, R.M., 1964, J. Amer. Ceram. Soc., Vol. 44, p. 224.
- (16) Christensen, R.M., 1979, "Mechanics of Composite Materials", Wiley-Interscience Publication.
- (17) 阿部修實, 1985, 名古屋工業技術試験所報告, 34, pp. 355~366.
- (18) Green, D.J., Nicholson, P.S., 1973, "Fracture Toughness of a Partially Stabilized  $\text{ZrO}_2$  in the System CaO- $\text{ZrO}_2$ ", J. Am. Ceram. Soc., 56, p. 619.
- (19) Whalen, T.J. and Carl. F.J., 1981, "Injection Molding of Ceramics", Ceramic Bulletin, Vol. 60, No. 2.
- (20) Carruthers, D. and Wimmer, J., 1988, "Gas Turbine Challenge Ceramic Technology", Aero Space America, May, pp. 22~26.
- (21) George, B.K. and Brown, H.K., 1983, High Tech Ceramics in Japan, Current and Future Market", Ceramic Bulletin, Vol. 62, No. 5, pp. 590~596.
- (22) Buckley, D.H. and Miyoshi, K., 1985, "Fundamental Tribological Properties of Ceramics", Ceramic Eng. Sci. Vol. 6, pp. 919~930.
- (23) Mehrotra, P.K., 1983, "Mechanisms of Wear in Ceramic Materials", Wear of Materials 83, pp. 194~201.
- (24) Aronov, V. and Mesyef, T., 1986, "Wear in Ceramic/Ceramic and Ceramic/Metal Reciprocating Sliding Contact", Trans of ASME, Vol. 108, pp. 16~21.
- (25) Sutor, P., 1984, "Tribology of Silicon Nitride and Silicon Nitride Sliding Pairs", Ceramic Eng. and Sci. Proc. 5, pp. 461~470.
- (26) Semenov, A.P. and Katsura, A.A., 1979, "Investigation of Friction and Wear of Oxide Ceramics at Temperature to 1500°C", Wear of Materials, 79, pp. 551~555.
- (27) Rice, R.W., 1985, "Micromechanics of Microstructural Aspects of Ceramic Wear", Ceramic Eng. and Sci. Proc. 6, pp. 940~958.
- (28) Sargent, P.M. and Page, T.F., 1978, "The Influence of Microstructure of the Microhardness of Ceramic Materials", Proc. British Ceramic Soc., Vol. 26, pp. 193~208.