

# 魔法의 돌 ..... 파인 세라믹스

張 埜 鎔

〈雙龍洋灰中央研究所 先任研究員〉

## 1. 우주왕복선 「콜롬비아」호에

세라믹스 素材가 최근에 각광을 받게 된 것은 지난 81년 100억불이라는 엄청난 開發費가 소요된 우주왕복선 「콜롬비아」號가 무사히 우주비행을 마치고 캘리포니아의 모자비사막에 着陸한 때부터라고 말할 수도 있다.

이일을 可能케 한 것은 우주왕복선이 大氣圈으로 進入할 때 공기와의 마찰에서 생기는 1,450℃라는 높은 熱로부터 보호받을 수 있는 세라믹 斷熱材의 개발에서 비롯된다. 우주선 外壁全體의 70%에 附着시키는 세라믹 斷熱타일은 急熱과 急冷에서도 견딜 수 있는 現代科學의 총아로서 이른바 파인 세라믹스로 불리우는 素材였던 것이다.

이해 지난 82년말 日本의 유명한 파인 세라믹스 會社인 교세라(Kyocera)와 이스즈(Isuzu) 自動車會社가 共同研究로 제작한 세라믹 디젤엔진을 탑재한 승용차의 走行試驗은 온 世上을 또 한번 깜짝 놀라게 하였다.

18세기 産業革命을 상징하는 제임스 와트(1736~1819)의 蒸氣機關은 「動力革命」을 의미하며 그 후로 19세기의 內燃機關과 原動機의 보급, 20세기의 原子力發電의 개발로 이어지는 3차에 걸친 動力革命의 과정을 거쳐 세라믹엔진을 탑재한 승용차의 走行試驗은 이미 파인 세라믹

스에 제 4차 動力革命의 임무를 부여한 셈이다.

## 2. 파인 세라믹스의 定義

「세라믹스」의 語源은 그리스語의 「Keramos」로서 土器나 陶磁器를 의미하는데 그 어원에서 알 수 있듯이 인류가 가장 오랜 세월 동안 사용한 材料이다.

1822년에 美國 세라믹스學會는 규산염을 原料로 高溫處理하여 만든 규산염工業製品에 세라믹스의 用語를 적용할 수 있도록 正식으로 認定하였다. 이 時點에서 유리, 琺瑯, 시멘트 등도 세라믹스로 認知를 받게 되었다.

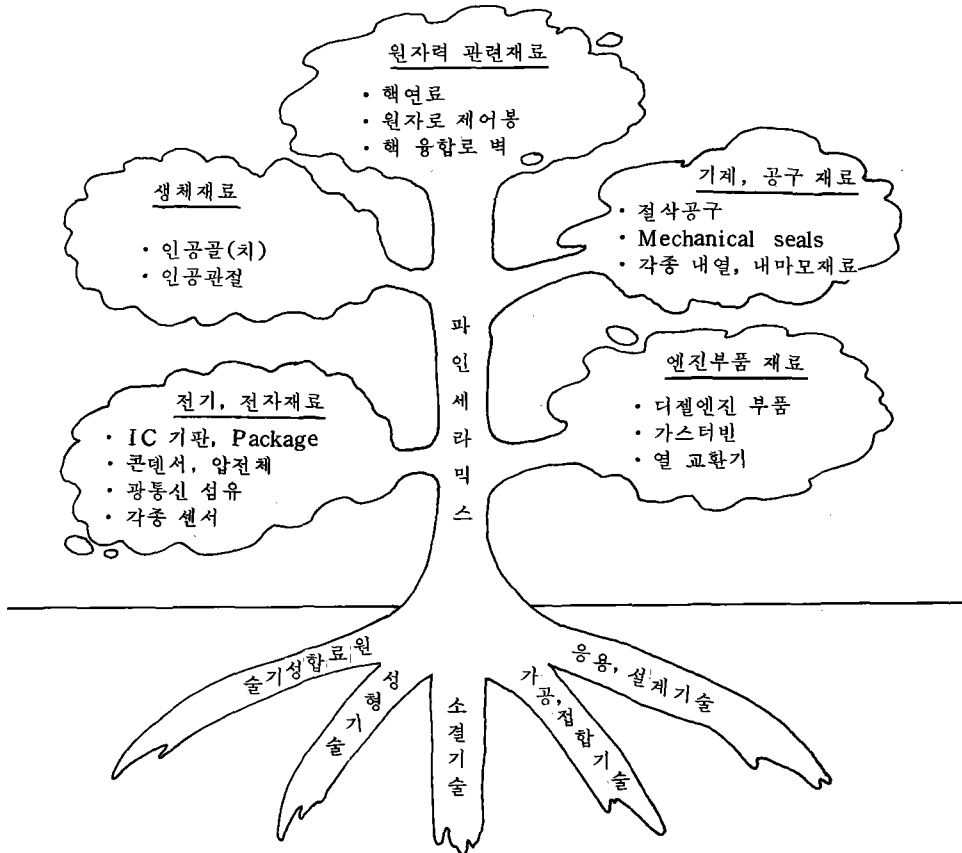
이것이 産業革命 이후 전기통신기술의 진보와 더불어 큰 진전을 보아 왔는데 이런 발전과정을 거쳐 新材料의 개발이 이루어진 한편 원료의 精製와 製程工程條件의 制御技術을 축적하게 되었고 이런 고도의 技術을 가지고 제조된 세라믹스는 종래의 세라믹스와 구별하여 파인 세라믹스 또는 뉴 세라믹스라 부른다.

파인 세라믹스에 권위있는 日本 東京大工學部の 柳田博明 교수는 파인 세라믹스를 「高度로 精製된 原料를 사용하여 精密하게 調製시킨 化學組成을 가지며 잘 制御시킨 成形 및 燒成法에 의하여 合成시켜 잘 설계된 構造를 갖는 高性能 세라믹스」라고 정의하고 있다.

전통 요업과 파인 세라믹스 비교

<表-1>

구분	전통 요업	파인 세라믹스
원료	점토, 장식, 석회석 등 천연광물	정제된 천연원료 및 화학약품
재료	주로 산화물	산화물의 탄화물, 질화물, 붕화물 등 포함
특성	내화성, 내식성, 투과성 일반적 성질	전자기적(반도성, 자성), 기계적(고강도, 초경질)특성 촉매성 등 특별한 성질
산업 분야	도자기, 시멘트 유리용 식기, 건축재료	반도체, 고온재료, 광섬유 등 전자, 기계, 통신산업의 특수 기능 재료
산업 Pattern	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자원, 에너지 의존형</li> <li>· 장치 의존형</li> <li>· 저 부가가치</li> <li>· 성숙산업</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고도 기술집약형</li> <li>· 기술(두뇌) 의존형</li> <li>· 고 부가가치</li> <li>· 성장산업</li> </ul>



<그림-1> 파인 세라믹스 機能材料의 分類

### 3. 파인 세라믹스 製造技術

#### 1) 原料

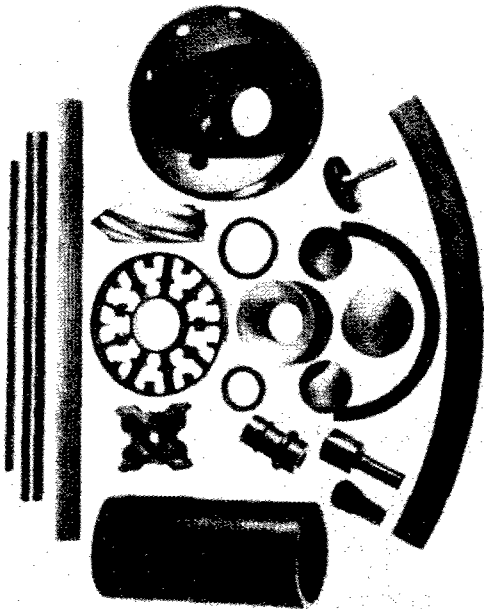
파인 세라믹스 原料粉末의 調製에 있어서는 특수한 방법이 사용되며 그 品質評價에 있어서도 化學成分은 물론 粒子의 形狀, 粒子徑, 粒度分布, 比表面積, 密度, 分散性 등을 체크하여야 한다.

原料粉末의 製造技術은 커다란 塊狀의 物質을 微粉碎하여 分級整粒하는 粉碎法과 氣相 또는 液相에서 物理·化學反應에 의한 微粒子를 生成, 成長시키는 成長法이 있다. 成長法은 反應環境을 적절하게 制御시키므로 희망하는 特성을 갖는 粒子를 제조할 수 있다.

일반적으로 粉碎法으로는 1 $\mu$ m 程度의 微粒化가 可能하며 그 이하의 微粒인 경우는 成長法에 의하여 제조한다.

#### 2) 成形

파인 세라믹스의 成形의 경우에 그 材料의 燒結難易 程度에 따라서 常溫에서 成形시킨 후에



燒結시키는 경우와 高溫에서 成形과 燒結을 동시에 행하는 경우가 있다.

前者의 경우는 프레스成形, 壓出成形, 射出成形 등이 있으며 後者の 경우는 핫 프레스(Hot Press)법, HIP (Hot Isostatic Press)법이 있다.

프레스成形에서는 成形用 몰드에 原料粉末을 충전하여 加壓壓縮하나 原料粉末이 매우 微細하여 流動性이 나쁜 몰드 내에 均일하게 충전되기가 어렵다. 이 때문에 분무건조기(Spray Dryer)를 사용하여 적당한 顆粒으로 造粒하여 流動性을 높이므로 치밀하게 충전시킬 수가 있다.

射出成形法은 原料粉末에 적당한 有機系添加劑를 加하여 프라스틱成形과 같은 모양의 金型內에서 加壓射出시켜 成形시키기 때문에 複雜形狀이 可能하고 量産性이 있기 때문에 활발한 기술개발이 進行되고 있다.

핫 프레스법은 高溫의 金型內에서 粉末을 加壓燒結하는 것으로 小型工具 등의 제조에 이용된다. HIP 법은 原料粉末을 통상 1,000 kg/cm<sup>2</sup> 이상의 高壓가스 분위기에서 1,000~2,000℃로 가열하여 均一방壓力下에서 燒結을 행하기 때문에 空孔缺陷이 없는 치밀한 燒結體를 얻을 수 있다.

#### 3) 燒結

파인 세라믹스는 燒結工程에 의하여 粒子間의 燒結이 일어나며 치밀하고 強固한 燒結體가 形成된다. 粒子間의 融着을 촉진하는 添加物이 사용되는데 이 때문에 세라믹스 本來의 성능이 바뀔 가능성이 크다.

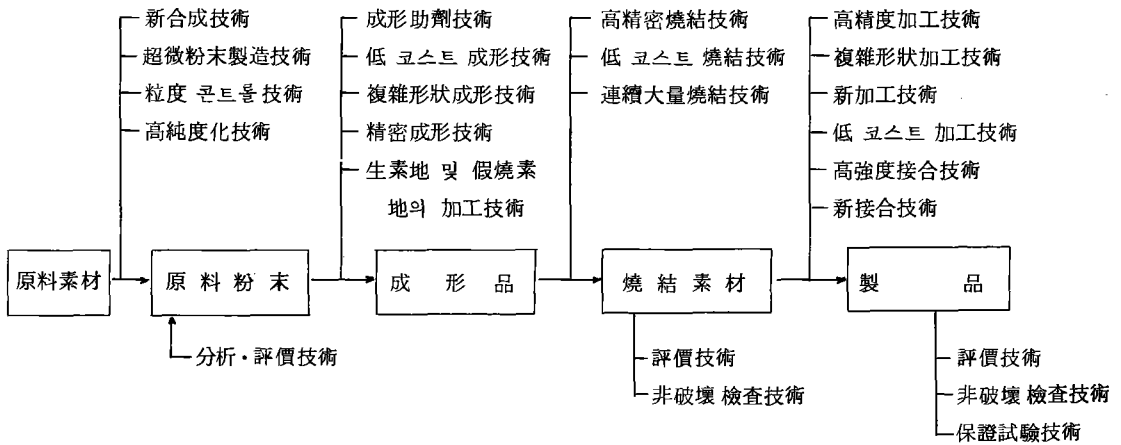
알루미나와 같은 산화물의 化學結合은 이온結合이 주체로 易燒結性을 나타내지만 질화규소, 탄화규소 같은 비산화물 세라믹스는 共有結合性이 강한 難燒結物質이기 때문에 通常은 加壓下에서 燒結하든지 燒結助劑를 첨가하여 燒結하게 된다.

#### 4) 加工

파인 세라믹스 燒結體는 精密部材로 사용되기

파인 세라믹스의 工程과 技術開發課題

< 表-2 >



때문에 높은 寸法精度가 요구된다. 앞에서 언급한 成形 및 燒結을 거친 素材를 機械加工하는 것은 세라믹스 燒結體가 高硬度, 高脆性材料이기 때문에 능률적이고 경제적인 精密加工을 하는 데는 여러가지 문제가 많다.

가장 많이 사용하는 機械加工法은 다이아몬드 砥石으로 切斷加工과 研削加工을 행하는 것이며 최근에는 레이저, 電子 빔, 이온 빔에 의한 加工法도 개발되어 이용되고 있다.

#### 4. 先進各國의 파인 세라믹스 研究開發動向

1960년대 후반부터 美國과 西獨에서는 自動車排가스 대책이 도시환경 대책의 중요 課題였다. 美國·西獨 양국이 産業界의 의견을 교환한 결과 自動車 엔진을 高溫作動시키는 것이 排가스 대책의 중요한 方策으로 이를 위하여 세라믹스의 導入이 효과적이라는 결론을 얻게 되었다.

1973년 油價 쇼크 이후에는 排가스 대책에 새로운 에너지 문제가 더해져서 세라믹스 엔진 개발의 중요성이 한층 높아졌다.

美國은 陸軍材料機械研究所(AMMRC)가 중심이 되어 지난 71년부터 엔진용 세라믹스의 연구에 착수했으며 79년에는 에너지省的 自動車

用 가스터빈開發計劃(AGT)이 시작되었다.

한편 西獨은 油價 쇼크 다음 해인 74년에 研究技術省(BMFT) 및 독일 航空宇宙研究所(DFVLR)가 중심이 된 自動車會社, 세라믹스會社, 大學, 研究所가 협력하여 自動車用 가스터빈 계획이 시작되었다.

이와 같이 美國이나 西獨은 國家計劃으로 自動車用 세라믹스 엔진 개발을 진행하고 있으며 중복연구를 피하고 研究效率를 향상시키기 위하여 1979년 國際에너지機構(IEA)의 프로젝트로서 政府間的 협력을 피하고 있다.

##### 1) 美國

美聯邦政府의 기본자세는 總合安全保障으로 油價 쇼크 이후 國防, 外交와 더불어 資源 에너지의 안정확보를 중요시하고 있다.

우선 파인 세라믹스가 高溫耐熱性, 高強度性, 輕量性 등 특성을 가지며 自動車엔진素材로 응용될 수 있다는 點에 착안하였다. 高溫斷熱엔진의 사용에 따른 高效率化에 의하여 燃料消費量을 크게 절감시키고 油種에 關係없이 사용, 가솔린偏重을 방지할 수 있기 때문이다.

또한 엔진用 세라믹스로서 개발이 진행되고 있는 碳化矽素(SiC), 질화矽素(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) 등은 탄소

질소, 규소 등 매우 풍부한 元素로 構成되어 있다는 점도 높히 평가되었다. 그것은 현재 엔진 素材로 사용하고 있는 니켈, 코발트, 크롬 등 稀少非鐵金屬들이 일부국가에 편중돼 있어 鑛物資源問題의 安全保障面에서도 매우 중요시되기 때문이다.

研究開發 프로젝트는 DOE(에너지省)가 중심이 되어 NASA, DOD(國防省), NSF(全美科學財團) 등 國家機關이 하나가 되어 研究開發을 進行하고 있다. 初期는 가스터빈엔진 개발이 중심이 되었지만 81년부터는 스텔링(Stirling)엔진, 디젤엔진에의 세라믹스 應用研究가 시작되었다.

DOE에서는 세라믹스의 高溫材料로서의 利用開發을 總合적으로 실시하고 있기 때문에 84년부터 오클리지國立研究所(ORNL)內에 2,100만 달러의 豫算으로 研究施設을 建設하고 있다.

## 2) 日本

日本 通産省의 「차세대산업기반 기술개발 연구제도」에 따라 금년도부터 발족한 「파인 세라믹스 기술연구조합」의 주목표는 지금까지 파인 세라믹스로 代表되어 왔던 電子세라믹스 외에 탄화규소, 질화규소 등 高熱에 견딜 수 있는 機械裝置의 部品·素材 등의 機械構造材 開發이다.

東芝, 昭和電工, 豐田自動車 등 15개會社가 90년대를 목표로 390억원의 豫算으로 각종 엔진과 핵융합로의 壁 개발에 참여해 왔다. 東芝, 旭硝子, 日本碍子, 교세라가 중심이 된 「高效率 가스터빈엔진 기술연구조합」이 결성되어 燃燒機와 터빈블레이드의 개발을 進行하고 있다.

엔진分野에 있어서도 日本碍子 외에 豐田自動車, 교세라와 이스즈自動車の 연구가 잘 알려져 있으며 피스톤, 피스톤링 엔진밸브 등 각 부품의 세라믹스화 연구에 전력을 다하고 있다.

자동차 외에도 발전용 가스터빈, 航空機·선박용 엔진개발을 목표로 하고 있으며 항공기용으로는 탄소섬유보다도 가볍고 耐熱性이 우수한 炭化硅素섬유의 형태로 항공기와 우주기기용으로 개발되고 있다.

한편 磁性材料, 半導體材料, 센서 등 電子세라믹스 분야에 新製品, 新技術開發이 치열하며 센서의 용도는 知能로봇용, 無人工場用 등 용도가 다양한 유망한 분야이다. 바이오세라믹스 분야에 있어서 여러가지 人工骨의 개발이 進行되고 있으며 人工關節 등 새로운 의료용 素材가 개발되고 있다.

## 3) 英國

英國은 옛날부터 「科學의 나라」라고 불리웠다. 파인 세라믹스 研究에서도 이미 1950년대 후반에 벌써 엔진에 세라믹스를 利用할 것을 시도했었다.

최근에는 더블린大學에서 사이아론(Sialon)이라는 질화물과 산화물의 중간적 組成을 갖는 새로운 化合物을 발견하였는데 이것은 高強度, 耐酸化性, 耐蝕性, 耐크리프(Creep)性이 우수하며 高強度 高耐熱性 材料로서 앞으로 利用이 크게 기대되고 있다.

현재는 切削工具를 중심으로 제품화가 進行되고 있으며 大學과 企業이 合作으로 만든 研究企業 「루카스 쿠크슨 사이아론 (Lucas-Cookson

### 英國 세라믹스 研究財團의 概要

<表-3>

(British Ceramic Research Association:BCRA)

設立	1948년, 英國의 窯業産地의 中心, Stoke-on-Trent 民間企業의 出資로 設立
主業務	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 研究</li> <li>• Consultant</li> <li>• 試驗檢査</li> </ul>
스텝	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 研究員 約 100名</li> <li>• 補助員 約 100名</li> <li>• 事務員 約 40名</li> </ul>
設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 試驗, 分析用 設備는 거의 完備하며 同協會에서 실시하는 試驗 및 分析 能力은 세계적으로 높은 評價를 얻고 있다.</li> </ul>

• 本財團은 試驗機能, 研究機能, 指導機能을 갖고 民間의 지원과 政府와의 協力에 의하여 운영되고 있다.

-Syalon)社]를 설립하여 研究開發에 박차를 가하고 있다. 지난 83년 3월에는 日本의 히다찌金屬에 「사이아론세라믹스 製造技術」을 提供하는 계약을 체결한 바도 있다.

현재 産業貿易省이 중심이 되어 산하 연구기관의 사업으로 民間研究財團과 民間企業에 補助를 통하여 파인 세라믹스의 공업적 이용에 주력하고 있다.

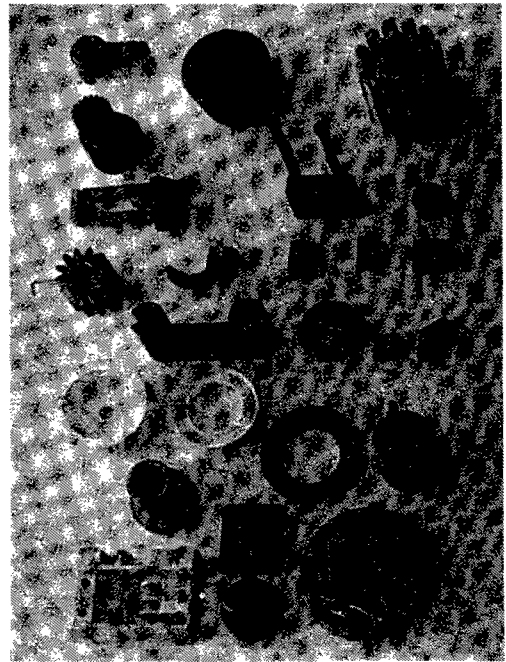
英國의 民間研究財團은 50여개가 있는데 세라믹스에 관계된 財團은 영국 세라믹스研究財團(British Ceramic Research Association)이 있다. 이 研究財團에 관한 개요는 <表-3>에 나타내었다.

#### 4) 西 獨

1974년 이래 聯邦研究技術省, 獨逸航空宇宙研究所가 중심이 되어 大學, 研究所, 民間企業이 참여하여 自動車엔진 개발을 추진하고 있다.

西獨에서는 1960년경부터 科學技術에 관하여 「미국을 추월하자」는 목표를 세우고 材料開發에 역점을 두고 있으며 1970년부터는 막스 프랑크研究所와 몇 개의 大學에서 실시하던 基礎研究와 應用研究를 기업에서도 맡아 진행하고 있다.

80년부터 85년까지의 계획으로는 세라믹스, 金屬粉末, 複合材料, 金屬高溫材料, 高分子 등 5개 테마에 20개 과제 연구가 進行中이며 그 중에서 5개 과제는 産業, 大學, 政府가 협력하여 추진 중이다.



#### 5) 프랑스

프랑스에 있어서 파인 세라믹스의 市場規模는 약 15억프랑(84년 기준)이며 그 대부분이 機能材料이다. 構造材料은 미케니컬 실(Mechanical Seal), 糸道, 펌프 등으로 아직은 市場規模가 작은 편이다.

研究開發에 있어서는 産業研究省이 산하의 研究機關과 大學의 研究所와의 協力關係를 지원하고 있으며 파인 세라믹스에 관한 研究豫算中 83년에 政府에서 약 2,000만프랑, EC에서 약

프랑스 政府關係 파인 세라믹스 프로젝트

<表-4>

計 劃 名	參 加 機 關	研 究 概 要
• 디젤엔진 研究開發計劃	• MRI 프로젝트 참가기업 : Renault Peugeot 自動車 Latarge Refractories, Ceraver 등	• PSZ, Sialon, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 利用研究
• 가스터빈 研究開發計劃	• DRET 프로젝트 참가기업 : Ceraver, Lofarge Refractories	• SiC, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , Sialon 利用研究
• 열교환기의 研究開發計劃	• DRET 프로젝트 참가기업 : Ceraver	• 열교환기에 SiC 利 用研究

希少金屬鑛石生産現況(1980年)

〈表-5〉

명 스 덴 (톤) (%)	중 공 13,000 (26.2)	소 련 8,700 (17.6)	카 나 다 3,688 (7.4)	世 界 計 49,570 (100)
니 켈 (톤) (%)	캐 나 다 194,900 (25.9)	소 련 143,000 (19.0)	뉴칼레도니아 86,300 (11.5)	753,400 (100)
몰 리 브 덴 (1,000파운드) (%)	미 국 150,686 (63.4)	칠 레 29,412 (12.4)	캐 나 다 26,892 (11.3)	238,101 (100)
코 발 트 (톤) (%)	자 이 레 13,150 (40.3)	뉴칼레도니아 4,170 (12.8)	호 주 3,450 (10.6)	32,660 (100)
크 롬 (1,000톤) (%)	남 아 연 방 3,144 (32.7)	소 련 2,300 (23.9)	알 바 니 아 930 (9.7)	9,612 (100)

1,000 만프랑 지원하였다.

民間에 있어서도 耐火物企業, 自動車企業이 세라믹스의 개발 및 利用研究를 행하고 있지만 國立研究機關과의 보다 긴밀한 협조가 필요하다는 것이 업계의 의견이다. 〈表-4〉는 프랑스의 政府關係 파인 세라믹스 프로젝트를 나타낸 것이다.

### 5. 파인 세라믹스에의 기대

原子力, 情報, 電子, 바이오테크놀로지, 航空·宇宙 등 先端産業의 발전에는 시스템개발과 並行하여 要素技術이 되는 材料의 개발이 매우 중요하다.

이런 산업에서는 耐熱性·耐蝕性·耐放射能 등 既存材料로는 사용이 불가능한 엄한 환경조건에서 견딜 수 있는 構造材料 및 化學的機能, 光學的機能, 電磁氣的機能 등 여러가지 기능을 갖는 機能材料가 요청되며 파인 세라믹스는 이러한 요청에 충분히 응할 수 있는 중요한 재료이다.

또한 파인 세라믹스는 그 우수한 기능이 既存産業의 각 방면에 이용되어 高度化·多樣化·活性化에 공헌할 것으로 기대된다. 예를 들면 耐摩耗材料로서 미케니컬 실, 耐蝕材料로는 化學

工業用 펌프, 電子·電氣機器의 중요한 재료로서 센서와 IC 패키지 등을 들 수 있다.

파인 세라믹스는 현재 電磁氣部材로서는 큰 산업을 형성하고 있으며 앞으로도 情報·電子産業의 발전에 호응하여 비약적인 발전이 기대된다.

한편 構造用 파인 세라믹스에 관하여서도 현재는 「미래의 産業」이라고 부를 수 있는 규모이지만 關係제품의 상품화가 진행됨에 따라 결과적으로 큰 산업을 형성할 수 있을 것으로 기대된다.

에너지와 稀少金屬資源의 절약에도 파인 세라믹스의 역할이 기대되고 있다.

自動車用 세라믹엔진의 開發은 에너지 效率을 대폭으로 개선했다는 점에서 주목을 받고 있으며 미국·서독에서는 國家프로젝트로서 연구개발을 실시하고 있다.

특히 耐熱合金으로 사용되는 니켈, 크롬, 코발트 등의 稀少金屬은 産出國이 偏在되어 있다는 것이 需給上 脆弱點으로 지적된다.

따라서 碳化矽소(SiC), 질화矽소(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) 등은 쉽게 合成하여 이용할 수 있다는 점을 감안할 때 稀少鑛物資源에 대한 문제도 해결될 수 있을 것으로 기대된다. ♣