

國內 화인세라믹스 産業의 現況과 展望(Ⅱ)

李 東 白

韓國精密窯業協會 會長
雙龍洋灰工業(株) 副社長



●1934년생
●기계공학을 전공하였으며, 무기재료분야에 많은 관심을 가지고 특히 화인세라믹스의 연구 개발에 참여하고 있다.

4. 機械構造材로서의 화인세라믹스

4.1 機械構造用 세라믹스 技術

(1) 主要 素材別 特性和 用途

기계구조용 화인세라믹스는 이제까지의 靜的 構造材料에서 動的 構造材料로의 전환에 따라 機械의 應力과 燃燒 및 摩擦에 의한 熱的 應力에 견딜 수 있는 高靱性, 耐摩耗性과 潤滑性的 기계적 성질과 耐熱性, 高溫強度性, 耐熱衝擊性的 열적성질을 갖고 있어야 한다.

이러한 조건을 만족시키는 세라믹스 素材중 가장 중요한 것으로는 Al_2O_3 , ZrO_2 , Si_3N_4 및 SiC 등이 있다.

Al_2O_3 는 '33년 獨逸 지멘스에서 '진텔코르드'라는 航空機用 플라그를 만든 것이 시초로써, 1500~1700°C의 높은 온도에서 燒結된 緻密한 소결체이며 硬度 및 強度가 높고 耐摩耗性, 耐蝕性, 電氣絶緣성이 우수하다는 점의 특징 때문에 절삭공구는 물론 전기, 전자분야에까지 널리 사용되고 있다.

豪州의 Gervie에 의하여 연구개발된 部分安定化 ZrO_2 (PSZ)는 表 9에서 보는 바와 같이 다른 소재에 비해 破壞靱性이 상당히 높기 때문에 종래 세라믹스의 최대 단점이라고 할 수 있는 脆性的 근본원인이 되는 荷重下에서의 龜裂成長을 방지할 수 있다. PSZ는 立方晶 ZrO_2 結晶狀과 20~50%의 正方晶 ZrO_2 結晶

狀의 혼합 조직으로 이루어져 있는데 이러한 두 결정상의 혼합조직은 안정한 立方晶系의 ZrO_2 를 첨가물과 같이 燒成하여 얻는다. 이렇게 얻은 PSZ에 하중을 걸면 均열끝에 집중된 應力으로 인하여 그 근처의 立方晶 ZrO_2 입자가 單斜晶 ZrO_2 로 轉移를 일으키면서 이때 부피가 약 4% 정도 팽창하는데 이러한 팽창으로 均열의 성장을 막게 되는 것이다.

Si_3N_4 는 六方晶系로서 α 形과 β 形의 2種의 결정형이 존재하며 Si-N간의 결합은 共有結合으로서 高强度, 耐摩耗性, 耐蝕性和 熱衝擊抵抗性이 우수한 재료이다.

Si_3N_4 는 제조법에 따라 2가지로 나누어지는데 하나는 Metal Si를 출발원료로써 이것의 窒化反應에 의해 만들어지는 反應燒結 Si_3N_4 이고 다른 하나는 출발원료로 Si_3N_4 粉末을 사용해서 여기에 적당한 燒結助劑를 첨가해서 緻密化한 高密度 Si_3N_4 이다. 이중 緻密性 Si_3N_4 는 '60년대초 英國에서 hot press로 제조한 Si_3N_4 가 발표된 이래, 최근 國內에서 HIP process를 이용한 Si_3N_4 까지 개발되기에 이르렀다.

이 세라믹스는 매우 높은 강도를 가져 이미 절삭공구로서 상품화가 되었고 가스터빈 등 엔진분야에까지 응용실험이 활발히 행해지고 있다.

SiC는 共有結合性이 가장 높은 물질로서 옛날부터 알려져 있으며 研磨材나 耐火物로서 사용되어 왔다. 특성상으로 보면 Si_3N_4 에 비해

表 9 機械構造用 세라믹스

區 分		세 라 믹 스				金 屬		
材 料 組 成	部分安定化 지르코니아	窒 化 硅 素	炭 化 硅 素	알 루 미 나	니 켈	球 狀		
	ZrO ₂	Si ₃ N ₄	SiC	Al ₂ O ₃	基 超 合 金	黑 鉛 鐵		
제 조 略 稱	常 壓 燒 結 PSZ	加 壓 燒 結 HIPSIN	常 壓 燒 結 SSC	常 壓 燒 結 SSC	713C	FCD		
特 性	密度(g/cm)	5.91	3.52	3.10	3.98	7.91	7.2	
	굽힘강도	室 溫	1,020	1,000	500	500	850 (引張)	610 (引張)
		1,000°C	450 (800°C)	850	475	450	—	—
	MPa 1,200°C	—	480	470	—	—	—	
	破壞靱性(K _{IC}) (MN/m)	8.5	7.5	2.4	4.5	80~100	80~100	
	硬度(GPa) Knoop 300g	11.7	18.0	28.0	17.0	—	—	
	熱傳導率 (cal/sec·cm°C)	0.007	0.08	0.14	—	0.026	0.08	
	熱膨脹係數 40~1,000/°C (×10/°C)	10.5	4.0	4.3	8.6	16.4	13.5 ~600°C	
	熱衝擊抵抗 (水中急冷 ΔTc, °C)	350	900	370	—	—	—	

고온에서의 강도변화가 적고 특히 내마멸성 및 自己潤滑性이 좋아 mechanical seal 등에 사용되고 있으나 열충격저항이 떨어지고 靱性도 부족하여 기계구조용 세라믹스로서는 약간 용도가 좁다는 결점이 있다.

이상과 같이 구조용 세라믹스는 현재 엔진 부품, 철강공업 등에 이용되는 大形 耐蝕機械部品, 高溫高强度 治工具部品 등에 사용되고 있고 앞으로 금속과 대체되는 새로운 공업재료로 부각되고 있는데 이는 무엇보다도

- 가. 사용환경의 高溫化, 高腐蝕化
- 나. 풍부한 원료자원
- 다. Ni, Cr, Co 등 超硬合金用 戰略資源의

보존

- 라. 輕量化
- 마. 低價格化

라는 장점을 갖춤으로써 산업전반에 걸쳐 高效率化와 資源절약을 추구해 갈 수 있을 것으로 생각된다.

(2) 製造技術 및 製造上의 問題點

기계구조용 세라믹스의 제조공정은 앞장의 표 4에서 보는 바와 같이 크게 原料處理→成形→燒結→加工→評價의 5가지로 이루어진다. 여기서도 세라믹스 자체의 기능성 부여라는 측면에서는 原料處理 工程이, 상품화라는 점에서 形象附與性을 강조한다면 成形工程이, 기계재

료로서의 응용, 즉 值數精度와 商品性은 加工工程이 그리고 제품의 信賴性을 고려한다면 評價工程이 가장 중요하다고 하겠다.

기계구조용 세라믹스는 거의가 소결체로서 單結晶이나 glass와 달리 微細組織이 복잡하여 粒子, 粒界, 介在物, 氣孔 등의 量과 存在狀態에 따라 성질이 변하기 때문에 이를 잘 제어하지 않으면 신뢰성있는 제품을 얻을 수 없다. 따라서 신뢰성이 큰 소결체를 얻는 데는 원료 분체가 가장 중요하며 가능한 한 易燒結性이 요구되며 동시에 적합한 소결조제를 선택하여야 한다. 복합체인 경우에는 무엇보다도 균질하게 혼합하여야 한다.

바람직한 원료분체는 高純度이며 粒徑은 1μ 또는 그 이하로써 粒度分布가 좋을 것, 粒形은 球形으로 고를 것, 또한 比表面積이 커서 活性인 것 등의 조건을 만족시켜야 하기 때문에 기계구조용 세라믹스 원료분체는 이러한 조건을 만족시키는 合成原料가 흔히 사용되고 있다.

成形工程은 소결체의 최대목표인 near net shape를 위해 매우 중요한 공정이다.

成形容易성과 燒結性은 다시 상반된 점이 없지만 이 모두를 위해서는 먼저 均一充鎮과 密充鎮이 요구된다. 더우기 submicron의 超微粒子는 물의 表面張力作用으로도 불규칙한 凝集이 일어나기 쉬워 특별한 처리방법이 필요하다.

기계구조용 세라믹스의 성형은 통상 rubber press법이나 射出成形法이 사용되는데 그중 rubber press법은 $1\sim 2t/cm^2$ 의 압력으로 理論密度 50~60%의 균일한 성형체를 얻을 수 있다.

분체의 성형체는 보다 강하고 치밀한 제품으로 소성하여 가능한한 결점을 줄여야 하는데 세라믹스의 소성방법에는 常壓燒結法, 反應燒結法, 加壓燒結法(hot press, hot isostatic press), 가스 壓燒結法, 加壓自己燃燒燒結法 및 超高壓燒結法 등 여러가지 방법이 있으나 기계구조용 세라믹스의 소결에 있어서는 加壓燒結法이 가장 많이 사용되고 있다.

따라서 이곳에서는 熱間靜水加壓燒結法과 가

스壓燒結法을 소개한다.

열간정수가압소결법은 壓力媒體로서 Ar가스를 이용하고, 압력 100~200MPa, 온도 2000°C 까지 올릴 수 있는 等方加壓燒結式이다. 一次豫備燒結한 것을 이 처리를 하면 거의 이론밀도에 가까와져 내부에 존재하는 微細氣孔의 제거와 결함의 크기가 작아지므로써 강도의 변동이 작아져 신뢰성이 향상된다.

가스壓 燒結法은 고온에서의 분해를 피하기 위해 적당한 가스의 1~10MPa 압력하에서 소결하는데 爐의 대형화가 비교적 용이하고 소결조제에 의한 입계 glass狀을 적게 할 수가 있어 기계적 특성의 劣化와 신뢰성 저하를 방지할 수 있다.

가공은 세라믹스가 고온소결에 의해 고밀도화할 때의 수축 때문에 소결후의 치수정도를 유지하거나 複合機能과 多機能의 실현을 위해 접합하는 공정이다. 따라서 기계구조용 세라믹스에서는 제품성능 면에서 가장 중요하고 또 cost도 많이 드는 공정인데 목적에 따라 接合加工과 除去加工이 있으며 接合加工에는 레이저 및 전자 빔을 이용하는 熔融接合과 擴散機構에 의한 擴散接合 및 壓接 등이 있다.

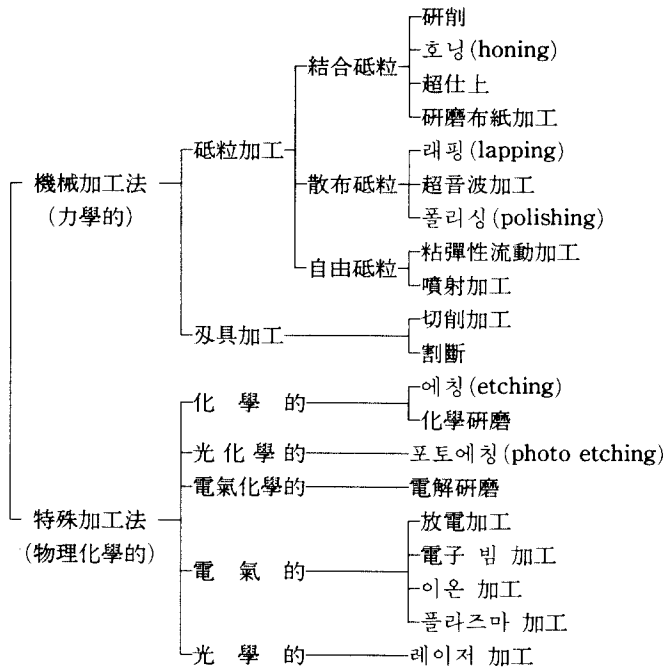
除去加工法(表 10 참조)에서는 종래의 금속 가공과 동등한 정도와 능력로 행해지며 가공에 의한 破壞, 缺損을 발생치 않도록 하는 것이 중요하다. 그것은 금속에 비해 破壞靱性值, 破斷時의 비틀림정도, 파괴 에너지가 훨씬 작고 脆性破壞를 하기 때문이다.

특히 熱傳導率이 작은 것은 가공으로 발생하는 열에 의해서 溫度勾配가 커지고 또 고온강도가 크기 때문에 열응력이 커져서 크랙이 생기기 쉽다. 이것은 기계가공 뿐만 아니라 특수 가공도 마찬가지다.

따라서 여러 조건을 감안하여 재료의 결함 발생, 機能劣化에 의한 신뢰성 저하를 초래하지 않고 아울러 低 cost로 가공하기 위해 재질이나 형상에 맞는 가공법을 선택하는 것이 중요하다.

마지막으로 信賴性評價는 세라믹스의 파괴가

表 10 除去加工法



micro order의 결함을 매개로 하여 발생하기 때문에 그 舉動을 예상한 것이 평가의 기준이다. 그러나 이것을 예측하기란 매우 힘들고 평가와 아울러 결함의 검사방법도 아직 不備한 입장이어서 단순한 破壞評價 모델만 가지고는 곤란하다.

통상 세라믹스의 평가기준으로서는 금속의 引張強度에 해당하는 曲強度와, 破壞靱性值, 衝擊抵抗, 사이클 疲勞, 酸化抵抗, 耐蝕抵抗 등을 들며 파괴에 대한 예측방법으로서 強度의 分布를 나타내는 Weibull 係數를

$$F = 1 - \exp \left[- V \left(\frac{\sigma - \sigma_{\mu}}{\alpha} \right)^m \right] \quad (1)$$

F : 破壞確率

m : Weibull 係數

V : 應力이 가해진 부피

σ : 加해준 應力

α : 正常化係數(normalizing factor)

σ_{μ} : 破壞確率比 0인 應力

사용하여 (1)式과 같은 破壞確率 分布函數를 써

서 평가하고 있다.

그리고 缺陷檢出은 超音波, X線 등을 이용한 非破壞檢査를 실시하는데 이에 대해서는 略하기로 한다.

4.2 세라믹 디젤 엔진

(1) 概 要

産油國의 石油武器化로 시작된 석유파동은 전세계 모든 산업에 큰 충격을 주었으며 특히 자동차산업 등 에너지 다소비산업이 받은 타격은 가장 심각한 것이었다.

따라서 자동차 산업계는 연료절감을 위해서 획기적인 대책을 강구해야만 했고 그 일환으로 시행된 대응책이 1971년부터 시작된 미국 Ford 자동차의 CGT(ceramic gas turbine) 개발 계획이었다. 가스터빈의 세라믹화는 석유파동 이전부터 Ni, Cr, Co 등의 戰略金屬 資源이 共產圈에 비해 빈약한 미국으로서는 이미 전략적으로 추진되고 있었으며, 가스터빈의 세라믹

스化時 자동차에 搭載할 수 있을 정도로 저렴하게 생산될 수 있고 燃料消耗率도 거의 1/2로 절감된다는 가능성이 CGT개발을 촉발케 했던 것이다.

FORD-DARPA로 시작된 CGT개발에 '80년대부터 日本, 西獨 등 구미선진국들도 본격적으로 참여하여 치열한 개발경쟁에 數百億弗의 비용을 투자하였으나 결국, 세라믹스의 신뢰성 부족이라는 난관에 봉착하게 되었으며 이 문제는 '90년대 후반 이전에는 해결되지 않을 것으로 예측되고 있다. 따라서 이와같은 개발과정에서 엔진의 세라믹스화는 보다 容易하다고 생각되는 CDE(ceramic Diesel engine) 개발에의 착상이 도입되었으며, 이후 엔진의 세라믹스화의 연구투자는 CGT에서 CDE로 전환되게 되었다.

(2) CDE 開發動向

CDE에의 착상은 세라믹스가 지닌 우수한 耐熱性, 斷熱性을 이용하여 기존 디젤엔진의 燃燒室을 구성하고 있는 실린더 헤드, 피스톤 크라운 및 실린더 라이너 등은 세라믹스로 代替하여 冷却裝置를 제거하는 斷熱엔진(adiabatic engine)의 개념이었다. 그러나 이러한 斷熱化로 얻어지는 燃比의 향상효과는 미미하였다. 그래서 이때 발생하는 고온排氣가스가 가진 에너지를 동력으로 이용하는 터보-복합 엔진이 미국의 디젤엔진 전문메이커인 Cummins社에서 개발되었다. 同社는 이 ADE(adiabatic Diesel engine)를 5톤 軍用트럭에 搭載하여 13개월 동안 10만 km 走行試驗에 성공, 48%의 熱效率를 달성하였으며 향후 54%까지 향상도 가능하다고 주장하였다.

이러한 세라믹엔진의 개발품을 통하여 表 11에서 보는 바와 같이 엔진의 세라믹화시 기대되는 효과와 適用部品가 알려지게 되었으며 또한 表 12와 같이 일부 부품이 실용화되었다. 기술적 성과에 있어서도 제반 기초기술(壽命豫測技術, 缺陷檢出을 위한 非破壞檢査技術, 脆性材料의 設計技術 등)의 진보로 그동안 문제가 되었던 세라믹스의 신뢰성 결여가 극복될

表 11 세라믹의 特性과 엔진의 세라믹化

特 性	期待效果	適用部品
輕 量 性	<慣性質量減少> · 應答時間減少 · 엔진의 高速化 · 振動減少 · 出力向上 · 出力密度(重量/出力比) 向上	-過給機 로터 -피스톤 캡, 핀 -밸브, 로커암 部品, 태핏 등 -밸브, 로커암 部品, 태핏 등
耐 磨 減 性	· 自己潤滑에 의한 耐久性 向上	-밸브, 가이드, 밸브시이트, 캠로브, 웨어패드, 롤러팔로워, 피스톤링 등
斷 熱 性	· 熱輻射 減少 · 水冷系의 除去可能 · 燃比向上 · 使用燃料의 多樣化	-排氣포트/多氣管 라이너 -피스톤·실린더 라이너, 헤드플레이트, 밸브 등 -피스톤·실린더 라이너, 헤드플레이트, 밸브 등 -豫備燃燒室
熱膨脹性	· 騒音의 減少 · 링(MFE diesel) 除去	-피스톤 空隔의 減少 -오일潤滑系의 縮小
高溫強度 熱衝擊 抵抗性	· 가스터빈의 熱力學的 效率의 增加, 使用燃料의 多樣化	-모든 高溫部位用 部品 燃燒機, 덕트, 베인, 로터 스프라우드
耐 蝕 性	· 가스터빈 燃燒가스의 浸蝕에 대한 耐久性	-베인, 로터翼

전망이다. 소재에 있어서도 美 GTE에 의해서 소위 CWRC(ceramic whisker reinforced ceramics) SiC whisker를 補強材로 한 窒化硅素 複合材의 개발에 성공하였다.

이 複合材는 지금까지 알려진 어떤 세라믹스보다 파괴에 대한 저항이 크고 보강하지 않은 질화규소에 비해 內部龜裂에 대한 저항성은 40%, 破壞 靱性은 25% 크며 GTE에서는 이 소재를 이용하여 피스톤, 실린더라이너, 로터

表 12 세라믹 엔진部品の 實用化 現況

部 品	自 動 車 메이커	세라믹 메이커	年度	'86 生産量 ×百萬
디젤용 glow plug	ISUZU	교 세 라	1981	0.4
	三 菱	교 세 라	1983	
	豐 田	豐 田	1984	
	케터필라	교 세 라	1986	
디젤 豫備燃燒室	ISUZU	교 세 라	1981	0.15
	松 田		1986	
	豐 田		1986	
排氣포트 라이너	PORS- CHE	H O E- CHST		
로커암칩	三 菱	日本碍子	1984	
過給機로터	日 産	日本特殊 陶 業	1985	500個/月

등에 실용화할 것이라고 한다. 日本에서도 도요다 자동차와 피스톤 전문제조업체인 마아트 금속공업이 알루미늄과 알루미늄실리케이트계 세라믹섬유를 복합시킨 세라믹 纖維強化金屬 FRM(fiber reinforced metal)을 피스톤 헤드에 사용한 디젤 엔진의 실용화에 성공하였다고 한다. 향후 CDE 개발의 소재로서 複合材의 응용에 귀추가 주목될 것으로 생각된다.

(3) 國內 開發動向

국내에서도 화인세라믹스에 대한 관심이 고조되어 大學, 研究機關 및 企業에서도 共同 세미나를 개최하는 등 활발한 연구개발 활동을 보이고 있으며 現在 國內의 세라믹엔진 개발은 CDE 개발 및 이들 소재를 이용한 응용부품 실용화에 노력이 傾注되고 있다.

CDE개발은 雙龍洋灰 中央研究所와 韓國科學技術院이 공동으로 기업주도 國策과제로 추진중에 있다. 제 1차년도인 1983년에는 窒化硅素 및 炭化硅素의 소재기술 개발에 성공하였고, 현재 5차년도 개발을 추진중에 있다. 특히 세라믹의 수명 예측기술인 K-V Diagram이나, Strength-Probability Time Diagram을 구함으

로써 장기신뢰도 예측기술을 개발하는 등 기초 기술 구축에 역점을 두고 있다.

또한 雙龍洋灰는 CDE개발과정에서 획득한 질화규소 소재기술을 응용한 窒化硅素質 切削工具를 『CERABIT』란 상품명으로 시판하고 있다.

(4) 展 望

美國의 BCC(Business Communication Co. Inc.)에 의하면 서기 2000년에 세계 화인세라믹스의 시장규모는 400억달러에 달할 것이며 그중 절반이 채 안 되는 186억달러가 미국시장이 될 것이라고 예측하고 있다. BCC의 예측 결과인 表 13을 보면 자동차산업은 '95년에 26억달러, 2000년에는 57억달러로 나타나고 있는 엔진부품의 세라믹스화에 근거하여 예측한 것이라고 한다.

엔진의 세라믹스화 時期는 表 14에서 보는

表 13 美國의 화인세라믹스 市場規模

分野	年度	1985	1990	1995	2000
自 動 車 産 業		53	634	2,606	5,700
切 削 工 具		14	92	246	500
레 이 저 産 業		—	1	13	111
電 子 세라믹스		1,708	3,740	6,565	11,360
新에너지시스템		—	—	160	360
기 타 産 業 用		30	125	310	500
宇 宙 航 空 用		20	30	44	65
生 體 代 替 用		—	10	20	30
合 計		1,825	4,632	9,964	18,626

表 14 엔진의 세라믹화 時期

商業化時期	項 目	部品/엔진시스템
既 實用化	● 部品 세라믹 化(既存金屬 部品の 代替)	◎ 포트라이너 ◎ 豫備燃燒室 ◎ 過給機로터
90年代中半	● 一部 시스템 變更	◎ 밸브系的 全 세라믹化
90年代中半 ~後半	● 全엔진시스템 變更	◎ 斷熱디젤엔진 ◎ 세라믹 가스 터빈

바와 같이 엔진의 세라믹스화는 이미 시작되었고 日本 등과의 新車 경쟁으로 더욱 가속되어 '90년대 중반이나 늦어도 후반에는 세라믹스화에 맞도록 전반적인 엔진설계의 변경이 예측되고 있다.

4.3 세라믹 切削工具

(1) 概 要

절삭공구로서의 세라믹 공구는 1940년경 알루미나(Al_2O_3)가 최초로 사용되었으며 1951년 이후부터 비로서 공업적 생산이 이루어졌으며 그후 表 15에서 보는 바와 같이 비약적인 발전을 거듭하여 근래에 와서는 窒化珪素系와 같은 非酸化물系 절삭공구에 이르기까지 발전하였다.

세라믹 절삭공구는 表 16과 같은 특성을 갖고 있기 때문에 사용상 다음과 같은 이점이 있다.

가. 常溫에서는 물론 高溫에서도 硬度가 높아 高速切削이 가능하여 (超硬合金材에 비해 3~5배의 속도) 생산성 향상, 가공비의 절감 및 가공제품의 精度向上을 얻을 수 있다.

表 15 세라믹 工具의 略史

年度	材 料	抵 抗 力	製 造 上 特 徵
1958	Al_2O_3	30~40kg/mm	cold press
1967	Al_2O_3	50~60kg/mm	hot press
1970	Al_2O_3 -炭 化物系	70~80kg/mm	Al_2O_3 와 TiC 등의 炭化物를 復合하여 hot press 또는 HIP
1981	Si_3N_4	90~100kg/mm	Si_3N_4 를 主體로 靱 性を 크게 補完, 適用領域의 確大가 可能

- 나. 耐磨耗性이 우수하여 공구의 수명이 길다.
- 다. 化學的으로 안정하여 被削材와의 化學반응성이 작기 때문에 加工의 精度가 좋다.
- 라. 세라믹工具의 靱性強化에 따라 移送量을 높일 수 있고 텃의 교체없이 荒削, 精削 加工의 연속작업과 연속절삭 및 밀링 절삭, 黑皮절삭도 가능하다.

表 16 材料別 工具의 特性

특성		종류	Diamond (C)	窒化硼素 (CBN)	窒化珪素 (Si_3N_4)	알루미나 (Al_2O_3)	Cermet (TiC-TiN)	超硬工具 (WC-Co)
密度(g/cm ³)			3.52	3.48	3.35	3.97	7.1	13.3
曲强度 (kg/mm ²)	常溫		210	73	105	85	140	220
	1200°C		190	66	55	40	불능	불능
Young率 (10 ³ kg/mm ²)			88	71	38	42	40	60
破壞靱性 (MN/m ^{3/2})			—	—	5.0	3.5	7.0	9.5
硬度(mHv) (kg/mm ²)	常溫		>9,000	4,500	1,800	2,100	1,650	1,600
	1200°C		불능	1,000	1,000	1,100	400	350
熱傳導率 (cal/cm sec °C)			0.82	0.54	0.07	0.05	0.06	0.20
熱膨脹率 (10 ⁻⁶ /°C)			3.1	4.7	2.8	8.5	7.9	5.1

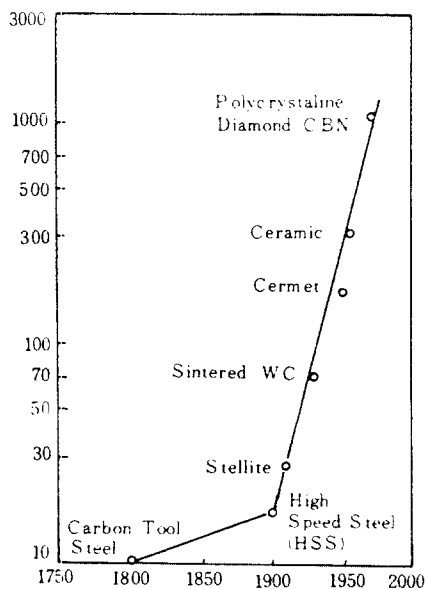


그림 1 工具材料의 變遷과 切削速度와의 關係

마. 내열충격성이 높아 熱的磨滅(crater)가 생기기 어렵다.

바. 텅 경사면의 장시간 사용시에도 지구력이 강하다.

등이며 특히 窒化珪素系는 열팽창율이 작고 내열 충격성이 뛰어난 濕式切削도 가능하다.

(2) 開發動向

절삭공구의 개발추이는 그림 1에서 보는 바와 같이 절삭속도의 향상에 초점이 맞춰져 있다. 절삭공구로서의 요구특성은 高溫硬度和 靱性이지만 전반적으로 재료는 고온경도가 높으면 인성이 낮고 인성이 높으면 고온경도가 낮은 상반되는 경향을 가지고 있어 고온경도도 높고 인성도 높은 새로운 재료를 개발하는 데는 용이하지 않고 상당한 기간이 소요되리라 예상된다.

현재까지 개발된 세라믹 공구중에는 질화규소계가 비교적 인성이 높은 것으로 나타나 있으나 현재 sub-micron의 SiC whisker로 인성을 강화시킨 복합재공구도 시판중에 있다. 현존하는 재료중 가장 내마모성이 뛰어난 다이아몬드와 CBN(立方晶 窒化珪素)도 있으나, 아직까진 가격이 너무 高價여서 제한적으로 사용되고 있다.

이와같이 세라믹 공구재료는 인성면에서도 개량이 진행되고 용도도 확대되고 있지만 특히 용도에 적합한 공구의 디자인, 크래핑 방법을 포함한 專用홀더의 개발 등 공구 기술면에서의 개발도 중요하다. 아울러 공구의 적정 적용분야와 절삭조건을 확립하는 것도 시급한 과제이다.

表 17 國產 세라믹 工具의 種類別 用途

區 分	製 品 名	用 途	特 性
Al ₂ O ₃ 系	AZ 10	<ul style="list-style-type: none"> • 鑄鐵의 荒削, 仕上 • 鋼의 重, 仕上切削 	<ul style="list-style-type: none"> • ZrO₂ 첨가로 靱性이 대폭 증가 • 耐缺損性, 安定性이 큼
	AT 25	<ul style="list-style-type: none"> • 高硬度材 切削 • 高速의 重, 仕上切削 	<ul style="list-style-type: none"> • 耐機械的 衝擊性이 큼 • 耐熱衝擊性이 큼
Si ₃ N ₄ 系	SN 26	<ul style="list-style-type: none"> • 鑄鐵의 荒削, 仕上 및 斷續切削 • 鑄鐵의 高速 밀링 • Ti 合金銅 加工 • Ni 合金銅 加工 	<ul style="list-style-type: none"> • 熱傳導도가 크고 熱膨脹率이 낮아 耐熱衝擊性이 우수함 • 柱狀結晶으로 強靱한 結晶構造를 가지고 있음
	TB 16	<ul style="list-style-type: none"> • 高速, 高途 切削 • 黑皮切削 • 斷續切削 • 濕式切削 	<ul style="list-style-type: none"> • 熱傳導도가 크고 熱膨脹率이 낮아 耐熱衝擊性이 우수함 • 靱성은 세라믹과 코팅의 중간임

表 18 세라믹 切削工具의 業體別 製品現況

메이커	製品	Al ₂ O ₃ 系			Si ₃ N ₄ 系			
		A	AT	AZ	SN	SNTC	SNTN	SIALON
雙龍洋灰			AT 25	AZ 10	SN 26		TB 16	
KYOCERA	W		A 65	SN 80	KS8000			
N T K	HC 1		HC 2	CX 3	SX 7		SP 4	
MISTUBISHI			XD 3		XE 2			
東芝 TUNGALOY	LX A		LX 21		FX 920	FX 910		
日本 TUNGSTEN	H 1		A 2		Naycon			
住友電工	W 80		NB 90S		NS 10			
SANDVIK	CC 620		CC 650					CC 680
KENNAMETAL								Kyon 2000
VALENITE						Q 5000		
FORD					S 8			

(註) A : Al₂O₃, AT : Al₂O₃ + TIC, AZ : Al₂O₃ + ZrO₂, SN : Si₃N₄, SNTC : Si₃N₄ + TiC, SNTN : Si₃N₄ + TIN TIN

(3) 國內現況

중래에는 세라믹공구를 전량 수입에 의존하여 왔으나 1985년 쌍용양회에서 질화규소계(SN26, TB16) 및 알루미늄나 세라믹 공구를 국내 최초로 개발, 상품명 『CERABIT 세라비트』로 시판하여 국산화 성공의 개가를 올렸다.

이는 前述한 CDE개발의 핵심기술인 Si₃N₄, SiC 등의 尖端素材技術, HIP 및 hot press 燒結技術 및 品質設計技術 등의 축적에 기인되며, 질화규소계 절삭공구의 경우 1986년 7월 美國特許를 획득했고 현재 시판되고 있는 제품의 종류별 용도와 특성은 表 17과 같고 세계유수의 공구 전문업체의 제품(表 18)과 경쟁하고 있다.

(4) 展 望

초기의 세라믹공구는 脆性이 커서 주로 브레이크 드럼 등 주철재 부품의 高速精削(finishing)에 사용되었으나 공구소재 기술의 향상으로 점차 적용분야가 확장되고 있다.

세라믹 공구의 수요를 산업별로 보면 자동차 산업이 가장 많은 약 84%를 점유하며 산업기계 7%, 건설기계가 5% 정도(1981년도 조사 기준)였으나 점차 철강, 베어링, 항공기 등의

산업에도 확대되는 추세이다.

4.4 기타 機械構造用 세라믹스

(1) 開發動向

대표적인 기계구조용 세라믹스는 Al₂O₃, SiC, Si₃N₄, ZrO₂, SiAlON 등이고 이들 소재에 각종 기계적 가공 및 metallizing 가공 등을 통하여 수요를 개척해 왔지만 表 19에서 보는 바와 같이 개발된 제품은 소재가 가지고 있는 특성을 단순히 발휘하도록 한 것에 지나지 않는다.

더우기 용도 및 사용조건에 따라 수많은 제품이 필요하기 때문에 그때마다 needs가 생기고 있으나 기술적인 측면보다는 시장적인 측면에서 즉, 수요의 기반이 작다는 데 개발의욕이 많이 위축되어 있다는 것을 부인할 수 없다. 그러나 세라믹素材가 가지고 있는 특성을 응용함으로써 지금까지 他素材가 해결하지 못한 문제점을 해소할 수 있었고 향후 壽命延長, 生産性向上 등 세라믹 제품이 기여할 분야는 대단히 클 것이다. 하지만 아직까지도 值數精度가 요구되는 부분에 대해서는 세라믹소재의 개발과 아울러 가공에 따른 高 cost 및 제반처리공

表 19 現在 商品化된 構造세라믹 部品

品 目	材 料	特 性
롤 러	High Al ₂ O ₃	<ul style="list-style-type: none"> · 熱에 의한 溫度變化가 작아 部分的인 膨脹이 작으므로 分散性 向上 · 金屬粒, 녹 등이 없다 · 耐磨耗性 · 取扱 및 洗滌 容易
各種 블레이드	ZrO ₂	· 非磁性으로 磁器 테이프 製斷用
工業用 커터	TiN	· 耐磨耗性
廚房용 커터	Coated	· 耐熱性
가 위 等	Al ₂ O ₃	· 耐蝕性으로 인한 衛生
베 어 링 類	Si ₃ N ₄	<ul style="list-style-type: none"> · 耐化學性 · 耐熱性 · 耐磨耗性 · 輕量性
기계적 시일	Al ₂ O ₃ SiC	<ul style="list-style-type: none"> · 耐磨耗性 · 耐化學性
밸 브	Al ₂ O ₃ SiC Si ₃ N ₃	<ul style="list-style-type: none"> · 耐化學性 · 耐熱性
熔接用 노즐	Al ₂ O ₃ SiC	<ul style="list-style-type: none"> · 作業中 sputter 未附着 · 電氣的 端絡이 없음 · 耐熱性
세라믹 旋盤	Al ₂ O ₃ SiC	· 耐磨減性을 利用, 精密 CNC 旋盤 製造

정이 고도의 기술을 요하므로 현재 개발된 기술수준과 양산화 사이에는 많은 갭(gap)이 있다. 따라서 再現性을 통한 신뢰성향상이 앞으로 최대 과제가 되리라 생각된다.

(2) 國內 現況

1970년대 국내에서 최초로 개발된 기계구조용 세라믹 제품은 섬유공업과 관련하여 Al₂O₃를 이용한 Yarn Guide가 최초였다. 그 후 Al₂O₃를 이용한 제철, 시멘트, 발전설비에 이용되는 내열, 내마모성 제품 등이 개발되어 현재 어느 정도 시장을 형성하고 있으나 크게 성장

하지는 못했다. 여기에는 여러 가지 이유가 있겠으나 대부분의 업체가 중소기업체로서 제품의 多樣化를 위한 소재개발에 필요한 연구인력 및 자금력을 보유하지 못했다는 점이 가장 큰 원인이다.

그후 80년도 중반에 들어 雙龍洋灰, 大韓重石 등이 Si₃N₄ 및 Al₂O₃-TiC계의 절삭공구를 제조하였고 나아가 쌍용은 엔진재료로서 각광 받고 있는 SiC, Si₃N₄, ZrO₂, SiAlON 소재의 소결 및 성형기술을 개발하여 高機能性 高附加價値의 절삭공구 및 magnetron治具, 노즐 등의 제품을 생산하게 되었다. 현재 이 분야의 국내생산업체 및 개발품목은 표 20과 같고 아직 시장개척 단계를 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

종합적으로 볼 때 기술수준이 아직 선진국 수준에는 도달하지 못하였고 특히 제조설비의 국산화가 저조하여 상대적으로 기술개발에 어려움이 많을 뿐 아니라 제조원가 상승의 요인이 되며 더우기 원료가 대부분 일본이나 미국, 유럽 등지에서 수입되고 있어 독자적인 기술개발이나 제품개발에 阻害要因이 되고 있다. 이를 위해 浦項製鐵 등 여러 회사에서 원료개발에 주력하고 있지만 무엇보다도 기계구조용 세라믹스를 필요로 국내 산업이 경제단위에 도달하는 것이 급선무라 하겠다.

5. 맺음 말

화인세라믹스는 多樣한 電磁氣的, 光學的 및 生物化學的 特성을 가진 機能材料과 기존 재료의 성능 限界를 초월하는 耐熱性, 耐蝕性 및 耐磨耗性을 가진 構造材料 이외에도 최근에는 超電導材料가 추가됨으로서 '90년대 이후의 첨단산업을 주도할 情報, 通信, 에너지, 宇宙航空産業의 필수소재가 되어 있다.

선진국의 경우 이 분야의 基礎技術 및 産業 基盤이 상당한 수준에 도달해 있는데 반하여 국내의 경우는 겨우 '70년대에 시작하였기 때문에 기반기술이 미약하고 수요기반도 매우 취약

表 20 國內 세라믹스 生産業體

業 體 名	既開發素材	生 産 品 目
선광세라믹스	Al ₂ O ₃	Mechanical Seal, Ceramic Tape, Sand Blast Nozzle, Ceramic Liner
태평전자요업	Cordierite Al ₂ O ₃	Mechanical Seal, Welding Back Up Tape, Nozzle Yarn Guide, Guide Ring
광 양 전 자	Al ₂ O ₃	Ceramic Liner, Sand Blast Nozzle
세일세라믹스	Cordierite Al ₂ O ₃	Mechanical Seal, Welding Back Up Tape, Ceramic Liner, Burner Nozzle
남성세라믹스	Cordierite Al ₂ O ₃	Cement Case Resister, Alumina 耐磨減磁器, Welding Back Up Tape, 其他 電子部品
대 한 중 석	Al ₂ O ₃ Al ₂ O ₃ -TiC	Cutting Tool
雙 龍 洋 灰	Al ₂ O ₃ Al ₂ O ₃ -TiC SiC Si ₃ N ₄ ZrO ₂ SiAlON	Cutting Tool, Dies, Fin Cutter, Mechanical Seal, Plug, Guide Roller, Sand Blast Nozzle, Magnetron 製作用 置具, Ceramic Liner

약한 실정이다. 그 외에 이 분야는 선진국의 기술이전기피와 보호무역의 장벽이 점차 강화되고 있기 때문에 기술개발 및 수요기반의 구축이 매우 어렵다고 하겠다.

이러한 문제를 타개하기 위해서는 자력기술개발로 대처해 나갈 수밖에 없는데 이를 위해서 정부는 물론 학계, 산업계가 혼연일체가 되어 공동의 노력을 경주해야 할 것이다.

그 구체적인 방안의 하나로서 기초기술분야의

연구는 정부의 주도하에 대형화하여 대학 및 전문 연구기관을 중심으로 범국가적인 차원에서 장기적으로 추진해야 할 것이며 산업계의 연구개발은 응용 및 용도개발에 초점을 맞추어 수요자측인 기계 및 전자분야 조립업체와 소재 공급자측인 요업, 금속 등의 전문업체가 긴밀한 협동체제를 구축하여 공동개발함으로써 단기간에 높은 성과를 거둘 수 있도록 해야 할 것이다.

