

次世代 Automobile parts用 Ceramics

Ceramics for Automobile Engine Parts

강 재 훈* 이 재 경**
 Jae-hoon Kang, Jae-kung Lee

1. 머리말

근년에 이르러 국내의 자동차 산업 분야는 조선 산업 분야의 퇴조기를 이어 활황의 꽃을 피우게 되었다. 세계 시장에 뛰어들어 top level의 선진국들과 경쟁하기 까지 되었으나 최근 몇 년간의 노사문제, 고임금문제, 저생산성문제, 기술개발의 부족성 문제 등으로 인해 대외 경쟁력을 잃어 수출이 주춤거리게 된 것이 사실이다.

최근 첨단 산업이란 말이 자주 회자되며 과거 보다 더 가혹한 분위기하에서 우수한 특성과 기능성을 유지할 수 있는 제3의 소재, Fine ceramics가 전세계적으로 각광을 받기 시작하였다. 따라서, 항공, 우주 분야는 물론 운송기기 분야에 걸쳐서도 더욱 고도화되고 복잡하며 혹독한 환경내에서도 활용 가능한 신소재의 요구가 높아지게 된 것이다.

이렇게 자동차 부품 소재에도 신소재를 대체하게 되면 보다 더 고온에서도 작동이 가능하며, 경량화 및 단열 등의 효과로 에너지 자원의 절감이란 결과도 얻을 수 있다. 그 밖에 고경도를 지니므로 동력 전달계의 부품으로 내마멸성, 내구성 등의 향상을 극대화시킬 수 있

다. 또한, Electronics화의 영향으로 고급 차량에서 눈과 귀 역할을 담당할 수 있는 센서의 재료로도 빼놓을 수 없다.

근년 미, 일 등의 국가들은 이러한 차세대 첨단 산업 요소 부품의 핵을 이룰 신소재 및 그 초정밀 가공 기술 개발을 위해 범국가 차원에서의 거대 연구 과제를 수립하고 막대한 자금을 투자하여 상당한 궤도에 올라서 있는 실정이다. 그러나 처음 한 때는 큰 붐이 일어났던 만큼의 기대를 만족시키지 못했던 시기도 있었다. 즉, 신소재의 대체만을 너무 조급하게 신경쓴 나머지 기존 소재의 설계에다 소재만을 대입하여, 취성(brittle)이란 문제성을 극복하지 못했다. 차후 이러한 결점을 보완한 새로운 부품 설계 기술로 극복함으로써 세라믹스는 인류와 더욱 밀착되어지게 되었다.

이와 같이 선진국에서 이미 부분적으로 개발되어진 신소재 대체 부품이나, 연구중인 신소재 부품 등은 소위 고부가가치의 첨단 기술로 이전이 불가능하다고 볼 수 있다. 따라서 우리나라 역시 어려운 여건의 상황일지라도 신 기술을 자립적으로 개발 정립하고 신소재 부품의 개발을 수행해야만 향후 대외 경쟁력 및 수출량 회복도 가능해질 것이다.

앞으로 우리나라의 산업이 세계 시장을 잠

* 정회원, 한국기계연구소 가공기술연구실

** 한국기계연구소 가공기술연구실

식할 수 있는 유일한 방법은 研·産·學의 대형 공동 연구를 수행함으로써 첨단 기술이 요구되는 부품 및 제품을 스스로 개발하여 미래지향적 고부가가치의 고급품을 생산해내는 길 밖에는 없다고 보아도 사실일 것이다.

2. Ceramics와 New Ceramics

세라믹스는 일반적으로 “비금속의 무기재료로서 그 제조 공정에 있어 로안에서의 고온 열처리를 수반하여 생성된 물질”이라 정의되고 있다. 이 세라믹스는 도자기, 시멘트, 유리, 내화 벽돌, 연마제, 탄화제품, 인조보석 등을 포함하는 실로 광범위한 표현의 단어이다. 그러나 구미에서는 협의의 의미로 도자기 제품만을 뜻하는 경우가 많다. 도자기류는 점토, 長石, 珪石, 陶石을 원료로 하여 이를 성형, 소결한 것으로 이를 소위 전통적 세라믹스 또는 classic ceramics라고 일컬어 구분한다. 이에 대해 전후 공업 발전과 더불어 생겨진 각종의 새로운 세라믹스를 New Ceramics 혹은 Fine ceramics로 칭한다.

표 1에 석기, 전통적 세라믹스, New Ceramics를 비교하여 나타내 보았다. New Ceramics 즉, Fine ceramics란 보통 천연 원료를 사용하지만 사용하는 경우에 있어서도 정제된 원료를 사용하여 성분적으로 순도를 높여 재료 본래의 성질을 극대화 되도록 조절하여 만든 것이다.

New Ceramics는 그 구분상 약간씩의 표현차가 있긴 하나 다음과 같이 3가지로 성질이나 용도에 의해 구분해 보았다.

(1) Electronics Ceramics

Spark plug에 Alumina 자기가 절연체로서

표 1 石器, 전통적 세라믹스 (Old ceramics) 및 New ceramics의 비교

제품 process	石 器	전 통 적 세 라 믹 스	New ceramics
원 료	천 연	천 연	인 공
열처리(소결)	천 연	인 공	인 공
가공(제품화)	인 공	인 공	인 공

사용되는 것으로부터 IC package 등의 전자 재료에 이르기까지 광범위하게 사용되는 것으로 ceramic condencer, PZT 압전체, ZnO 벨리스터, ferrite, ZrO₂ sensor 등 특수 산화물 자기 등 전기적 특성을 이용하여 사용하는 전반적인 것들을 의미한다.

(2) Engineering Ceramics

종래 금속재로 만들어지던 구조용 부품에 대체하여 사용되어질 수 있는 세라믹스를 총칭한다. 구체적으로 Silicon Nitride, Silicon Carbide의 비산화물 재료를 위시하며 특히 고온하에서의 고강도가 특징이다. 각 사용 온도에서의 강도를 기타 재료와 비교하여 그림 1에 나타내 보았다.

(3) Fine Ceramics

New Ceramics와 같은 의미로 사용되나 최근에는 Fine Ceramics란 단어가 더 널리 통용되고 있다. Fine Ceramics가 구비할 조건은 다음과 같다.

- * 정성된 원료만을 사용한다.
- * 고도로 제어된 제조 공정과 기술로 생산되어진다.
- * 칫수 정도를 포함하여 정밀하게 설계, 제조된 구조를 지닌다.
- * 고도의 기능성을 보유한다.

미국 등에선 Fine Ceramics를 High Technology Ceramics, High Performance, Advanced Ceramics란 표현으로도 종종 사용하고 있다.

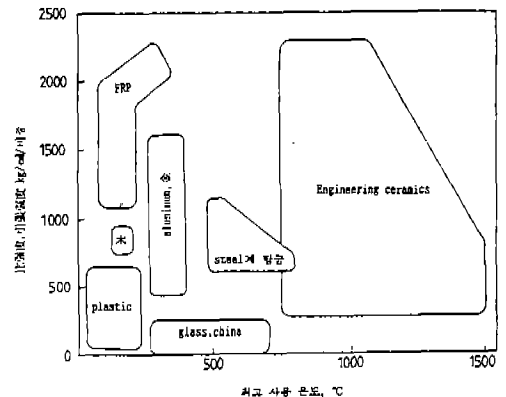


그림 1 각종 재료의 사용 온도 범위와 비강도와의 관계

3. 자동차에 사용되어지는 세라믹스

3.1 종래부터 사용되어지는 세라믹스

종래 세라믹스재가 자동차의 부품에 사용되어지던 것은 spark plug 절연체, water pump 용 mechanical seal, 창문용 안전 유리 등으로 한정된다. 자동차 전체적으로 보아 사용되어지는 다른 재료들에 비해 그량은 미소하다고 볼 수 밖에 없다(예; volume 비로 약 3.1%, 1982년 경우). 그러나 품목이나 그 수량은 작아도 기타 재료와는 대체할 수 없으며, 최근 수년간 자동차 관련 세라믹스의 증가가 현저하고 또한 자동차 생산 대수가 증가하면서 이러한 세라믹스 업계의 위치가 점차 중요해졌다고 해도 과언은 아니다.

3.2 금후 기대되어지는 자동차로의 세라믹스 용도

자동차 산업 분야에 있어서의 금후 가장 큰 기술적 지향 목표라면 Electronics 화와 재료(에너지) 혁명 등이라 할 수 있다. 이러한 이유의 배경은 잘 알다시피 대기 환경 오염 방지를 위한 배기 가스의 규제 강화와 2회에 걸친 oil shock 로 인한 에너지 절감으로의 요구가 강하게 일고 있기 때문이다. 따라서 단계적으로 강화되어져 온 배기 가스의 규제를 위해 배기 가스 처리 시스템의 기술적 개발에 주력해온 것이 사실이나, 한편으론 연비 삭감의 요구는 저버리게 되어 이에 대한 개선 요구도 강하게 일고 있는 것 역시 사실이다.

이러한 이유들로 인하여 연료 혼합비의 제어에 대단히 높은 정밀성이 요구되어져 지금까지의 기계적, 혹은 유체 제어방식으론 기능적으로 만족할 수 없게 되었으며 마야흐로 전자 제어에 의존하기에 이르렀다. 이러한 흐름으로 볼 때 특히 엔진 제어와 3원촉매 방식을 조합한 전자식 제어 장치가 크게 효과를 볼 것으로 기대를 모으고 있다.

이를 위해 3원촉매 방식에 적합한, 열충격에 강한 고밀도 구조의 코디에라이트 모노리스가 개발되어졌으며, 미소한 배기 가스 중의

산소 농도를 측정해 낼 수 있는 ZrO_2 질 산소 센서, 온도를 감지해 낼 수 있는 *thermistor* 등 세라믹스의 우수한 특성과 기능성을 충분히 발휘할 수 있는 부품들이 속속 개발되어지기에 이르렀다.

연비를 향상시켜 자원을 절감할 수 있도록 하기 위해서 점화 시기의 최적 제어, 회박 연소가 이뤄지도록 연구가 이뤄져야하며 새로운 형의 센서, PZT knock sensor 등에도 세라믹스가 응용될 수 있을 것으로 기대되기도 한다.

또 하나의 큰 과제인 재료 혁명의 면으로 본다면 경량화를 위해 기존의 금속 및 합금과 세라믹스 혹은 복합재로 대체를 하기에 이르렀고 이에 따라 새로운 기능마저 첨부하려는 연구가 일고 있다. 즉, 고온 강도에 강한 비산화물계 세라믹스 Si_3N_4 , SiC 과 산화물계로 새로이 개발되어진 ZrO_2 , 안정화 $Al_2O_3 \cdot TiO_2$ 등이 바로 이러한 목적으로 이뤄졌다.

이들 소재는 내열성, 단열성, 내마멸성 등의 요구에 따라 그 사용처가 정해진다. Gasoline engine 에서는 cylinder, piston 을 세라믹스화하여 경량화하고 작동 온도를 높임으로써 연비를 향상시킬 수 있게 된다. 또, Diesel engine 에서는 연소실 내부를 세라믹스화함으로써 엔진 열손실의 대부분을 차지하는 냉각 손실을 낮춰, 엔진의 열효율을 향상시키려는 노력이 진행중이며, 일부 와류실 등은 세라믹스화가 완성되어 연소의 개선과 배기 가스의 정화 등에 실용화되고 있다.

그러나 무엇보다도 현재 최대의 규모로 진행중인 분야는 Gas turbine engine 의 세라믹스화로서 연소통, rotor, stator, shroud, scroll 등 광범위하게 시제품화와 성능 실험이 추진되고 있다. 이는 국제적인 규모의 대형 과제로 추진되어졌으며, 일본의 경우는 여러 국가적 차원의 대규모 연구비를 투자한 Moon Light 와 같은 과제가 거의 10년간의 시간을 할애하였다.

참고로 New Ceramics 의 자동차로의 응용례 및 연구 개발 대상이 되고 있는 부품례를 표 2와 그림 2에 실어 보았다.

표 2 Auto Engine parts 로의 New ceramics 응용례

이용하는 성질	재 료	기능적 용 부품 명	응 용 장 치
내 마 모 성	Al ₂ O ₃ Si ₃ N ₄ SiC TiC TiN	pump	유압 부품
		mechanical seal	습동 부품
		apeck seal	
		bite	절삭 공구
		rocker-arm 등	동력 전달용
내 열 성	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ Cordealite	port liner 열교환기 배기가스 촉매체	배기가스 처리부품
고온고강도	Si ₃ N ₄ SiC Sialon	rotor, combustor 열교환기	Gas turbine parts
		발열소자	Diesel engine parts
		turbo-charger	
절 연 성	Al ₂ O ₃	spark plug	점화계 부품
		ceramics heater	흡기 가열용부품
이온전도성	ZrO ₂	온도센서, 산소센서	배기가스 처리시스템
전자전도성	TiO ₂	산소센서	상 동
	표리금속산화물	습도센서	상 동
압 전 성	PZT PbTiO ₃	knocking sensor	engine control system
		oil sensor	
		ultra-sonic sensor	후방점출장치, 차높이 측정

4. 2000년대를 목표로 하는 자동차의 첨단 부품 개발 연구 예

금후 미래지향적 차세대 승용차를 제작함에 있어 연구 개발의 핵심을 이루고 있는 다음의 3가지 예를 들어 본다. 일본의 경우 2000년대 이후 이들 산업이 꽃을 피우게 될 것으로 기대하고 있으며, 그 시장 규모는 약 2조엔에 이를 것으로 추정하고 있다.

4.1 Diesel Engine parts 로의 Engineering ceramics 소재 대체화

최근 energy의 유효 이용, 공해 대책의 견지에서 gasoline engine에 비해 본질적으로 열효율이 우수하고 배기 가스 중의 NO_x 성분이 적은 diesel engine으로의 요구가 점차 증가하고 있다. 그러나 현재의 diesel engine은 많은

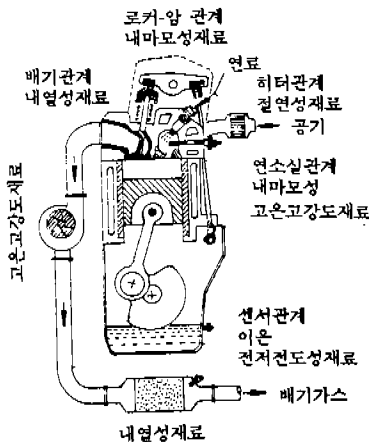


그림 2 자동차 엔진 부품으로의 New ceramics 소재 응용례

표 3 構造用 Fine-ceramics 로의 기대

자동차로 응용시 장점	검토되어지고 있는 내용	세라믹스의 특성
연비의 향상	<ul style="list-style-type: none"> ○ 엔진 연소의 개선 ○ 배기 에너지의 회수(회수효율을 높이기 위해서는 배기가스의 고온화가 필요) ○ 손실 마력의 절약(마찰손실의 저감, 무냉각수화, 무윤활화) ○ 중량의 감소 	단열성 단열성, 내열성 마찰, 마멸특성, 내열성 경량성
배기가스의 정화	<ul style="list-style-type: none"> ○ 엔진 연소의 개선 ○ 디젤 촉매의 보완 ○ 고온연소에 의한 출력 향상 	단열성 내열성 내열성
성능의 향상	<ul style="list-style-type: none"> ○ turbo-charger의 성능향상(응답성의 향상, 고온작동화) 	경량성, 내열성
소음의 저감	<ul style="list-style-type: none"> ○ 엔진연소의 개선 ○ clearance의 저감 	단열성 저열팽창성
내구성의 향상	<ul style="list-style-type: none"> ○ 마모문제의 저감 ○ 부식문제의 저감 	마찰, 마멸특성 내식성
대체연료로의 대응	<ul style="list-style-type: none"> ○ 디젤연료비의 절감 	단열성
신동력원의 실현	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소형 gas turbine의 열효율 향상 ○ 소형 스테어링 엔진의 열효율 향상 	내열성 내열성
자원문제로의 대응	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고급금속의 대체 	내열성, 마멸, 마찰특성

문제점을 지니고 있는 것이 사실이다. 최근 이를 타파하기 위한 많은 연구가 수행되어져 왔으며 최선책의 방법으로서 부품 소재의 세라믹스화 연구가 집중적으로 이뤄져 왔던 것이다. Diesel engine의 부품을 세라믹스화하게 되면 시동성의 개선, 부품 수명의 향상과 더불어 연소 효율의 향상을 기대할 수 있을 것이란 생각 때문이다.

연소 효율 향상을 목표로 한다면 엔진을 단열화함으로써 에너지 손실의 주류를 이룬다고 볼 수 있는 냉각 계통을 폐지해야 한다. 그렇게 함으로써 단열화하여 얻은 고온 배기 가스에너지를 회수하여 재이용할 수 있게 된다.

부품의 소재면에 있어서도 diesel engine에는 고가의 내열합금이 많이 사용되고 있어 자원절감 및 재질대체란 관점에서 세라믹스가 요구되고 있다.

Diesel engine에서의 세라믹스화 효과 및

세라믹스 특성의 관계를 표3에 나타내 보았다. 표4에는 이러한 부품들이 세라믹스화하는 경우에 있어 사용 기대되어지는 재질 및 성형법을 나타내 보았다. 그리고 표5에는 diesel engine 부품의 요구 제성능을 나타내 보았다. 아울러 그림3에는 일본국 경우의 diesel engine parts의 각종 시제품 예들을 실어 보았다.

4.2 Ceramics turbo-charger rotor

Turbo-charger rotor를 세라믹스화하는 연구 개발은 전세계의 자동차 생산 업체와 세라믹스 제조업체의 주목을 받아 오고 있다. 1985년 10월 세계 최초의 ceramics turbo차가 일본의 日産自動車(사)에 의해 실용화되었다. 이 ceramics rotor에는 日本特殊陶業에서 제조한 gas壓 소결 질화규소(Silicon Nitride)가 사용되어졌다. 그림3에는 Ceramics turbo-

charger rotor의 사진을 나타내고 있다. Turbine rotor의 효과로서는 metal rotor의 단점을 보완하여 고회력, 급가속시 rotor가 고회전이 되기까지의 지연시간이 짧아지고 비중이 작은 세라믹소재로 대체하게 됨에 따라 관성력이 적게 걸리게 되며 고온 가스 등 혹독한 분위기 하에서도 무난히 견딜 수 있다는 것 등을 들 수 있다.

고온하에서 고속 회전을 가능케 하는 ceramics rotor의 성공은 향후 gas turbine의 개발에 있어서도 가장 어려운 부품의 세라믹스화 실현에 따른 밝은 희망을 주기도 한다.

Ceramics rotor의 개발에는 우수한 설계

기술과 이를 실현시킬 수 있는 재료가 필수적이다. Rotor와 같은 고속 회전체에 세라믹스를 사용하기 위해서는 국부적인 응력 집중 현상을 피할 수 있도록 매끄러운 곡선의 창성을 위한 유한요소법의 사용이 불가피하며 철저한 저응력화에 주력할 필요성이 있다.

실제의 ceramics rotor에 있어서도 고속 회전 혹은 고온 가스에 접하게 될 때의 원심응력, 열응력은 日産自動車(사)의 자료에 의해서도 그림 4, 5와 같이 나타나 있다.

표 4 Diesel Engine parts로의 Fine-ceramics 응용례

명 칭	적 용 재 질	성형법
rocker-arm seat (벨브축)	SiC, Si ₃ N ₄ , Al ₂ O ₃	K
top seat	"	K
배기 port liner	Si ₃ N ₄ , LAS, MAS, MICA, ZrO ₂	S
배기 valve	SiC, Si ₃ N ₄	R, I
turbó-charger valve seat	"	I, S K
cylinder liner	SiC, Si ₃ N ₄ , Al ₂ O ₃	R
piston crown	"	K, R
piston pin	"	O
rocker-arm chip (push rod 축)	"	K, I
push rod chip	"	O
예연소실	Si ₃ N ₄ , LAS, MAS, MICA, ZrO ₂	I
blow plug	SiC	I
cylinder head	SiC, Si ₃ N ₄	K
tappet	SiC, Si ₃ N ₄ , Al ₂ O ₃	K

- * K : 금형 프레스 성형
- I : Injection 성형
- O : 압출 성형
- R : rubber press 성형
- S : slip cast 성형

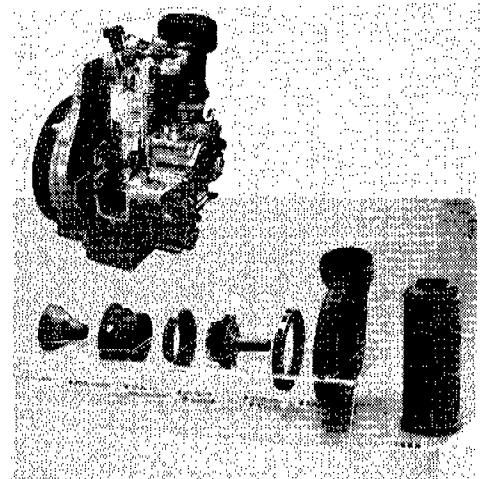
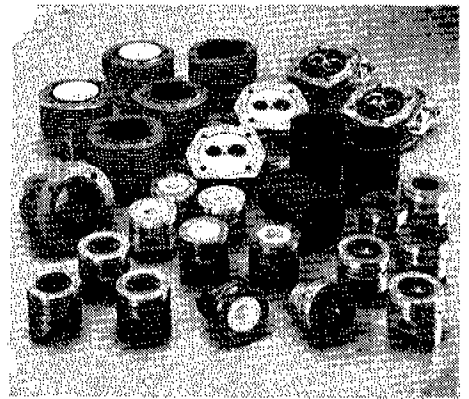


그림 3 일본에서 생산중인 New ceramics 材 Automobile engine parts의 예

표 5 Diesel Engine parts의 재요구 기능 및 특성

응용분야	부 품	요 구 기 능 및 특 성	
엔진	흡기 valve	곡강도, 내열충격저항성, seal 성 (경량)	
	배기 valve	곡강도, 내열충격저항성, seal 성, 내식성 (경량)	
	valve seat	내마멸성, 내열성, seal 성	
	chip	내마멸성	
	rocker-arm	마멸성 : 20 μm 이하 (윤활유존재하, 유입 50-100 kg/mm^2)	
	tappet	내부식성 (예 : diesel, propane)	
	valve lifter	경도 (경량)	
진부	cam piece	내마멸성, 내부식성, 경도 (경량)	
	valve guide	내마멸성, 내열성 (경량)	
	turbo	rotor	1000 $^{\circ}\text{C}$ 곡강도 : 40 - 50 kg/mm^2 이상 (인장강도 12.5 kg/mm^2) 耐creep : 5000시간으로 1.0% 이하 내산화성 : 5000시간으로 0.1 mg/cm^2 이하 耐粒子衝突特性
		housing	1000 $^{\circ}\text{C}$ 곡강도, 내산화성, 기계적 충격강도, 내진동강도
	기타	bearing	내마멸성, 윤활성
		apex seal	내마멸성, seal 성
		배기 port liner	열전도율, 열팽창계수, 내진동강도 (8-10G) 내열강도 (약 1100 $^{\circ}\text{C}$)
		배기 manifold	내열강도 (약 950 $^{\circ}\text{C}$), 내진동강도, 열전도율 종래는 약 +100 $^{\circ}\text{C}$ (8G)
		내마멸 진동특성	vane, housing, (aircone, oil pump) 연료분사 cam ring 접촉압 2-4 kg/cm^2 , 500 $^{\circ}\text{C}$, 마찰거리 5 \times 10 km 로 마멸량 100 μm 이하 접촉압 2-4 kg/cm^2 , 500 $^{\circ}\text{C}$, 무윤활로 마찰계수 0.1 이하

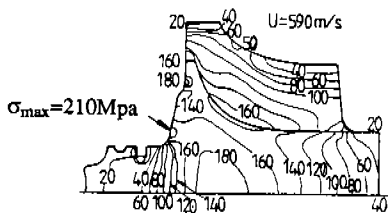


그림 4 Ceramics rotor의 원심 응력

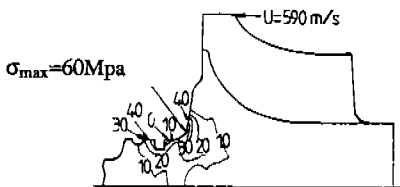


그림 5 Ceramics rotor의 열응력

4.3 Ceramics Gas Turbine

Ceramics Gas Turbine은 재료(연료)를 연소하여 생긴 고온 가스의 에너지로서 터빈을 회전시켜 동력을 얻어내는 기관으로서 다양한 연료가 사용되어질 것, 완전 연소가 용이할 것, 기관의 진동이 없을 것 등의 많은 장점이 고려되어 지고 있다. 더구나 자동차 엔진으로서 본다면 초소형 엔진이므로 유체역학상 불리한 면이 생겨 turbine blade의 냉각 기구가 갖춰져야 한다는 점과 가격면에서만 보더라도 고가라는 단점을 지니는 내열합금이 많이 사용되지는 않는다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 “고온 무냉각 Ceramics Gas Turbine”

이 구상되어 미국에서는 AGT(Advanced Gas Turbine) project 라는 대형 연구 과제가 수행되어지고 있다. 표 6에는 미국의 DOE & DDA 계획표를 나타내어 보았고 표 7에는 Ceramics Gas Turbine의 적용 재질과 그 성형법을 나타내 보았다.

4.3.1 첨단 가는 미국의 Ceramics Gas Turbine

4.3.1.1 Gas Turbine Rotor

Gas Turbine Rotor는 그 형상으로서 angular type과 radial type 2가지로 구분한다. Angular type은 ceramics blade ring과 ceramics hub의 접합형 혹은 ceramics hub에 ceramics blade segment를 삽입 접합해서 만든 하이브리드형으로 처음 시제품화되었었다. Radial type은 그 구조상 하이브리드형

은 어려워 세라믹스 일체형 혹은 中心孔付 ceramics rotor+ceramics shaft type 이 고려되고 있다.

(1) Angular Tubrine Rotor

○ Ceramics blade ring+ceramics hub :

이 형은 복잡한 형상을 갖는 ceramics blade ring부위와 단순형상을 갖는 ceramics hub부위를 각각 따로 성형하여 만든 후 양자를 접합하여 만드는 것이다. Ceramics blade ring부위에는 비교적 원심응력의 발생이 낮기 때문에 정밀 소결품을 얻는 것을 제1의 조건으로서 강도는 비교적 낮지만 소결에 의한 수축이 거의 없는 RBSN 재질을 선택하여 Injection 성형법으로 만들고 있다. 중심 hub부위는 강도를 요하지만 형상이 단순하여 Hot press SN 재질을 사용한다. 양자의 접합으로 중심

표 6 미국 DOE와 DDA 계획의 분석 및 비교

	DOE의 AGT 100 계획	DOE의 AGT 101 계획	서독항공우주연구소
主 契 約 副 契 約	DDA (GM) Pontiac Div 자동차 Carborundum α-SiC GTE Zirconia Si ₃ N ₄ Coning Regenerator	Air Research Ford 자동차 Ceramics Carborundum α-SiC Air Research casting ceramics Coning Regenerator	폭스바겐(주) 벤츠 MTU
type, 출력, HP	2축, 100	1축, 130	φ 130, 133
회전수, rpm	86, 240 / 68, 000	100, 000	52, 200
turbine 입구온도 °C	1288	1371	1010
turbine 형태	radial ceramics+metal	radial ceramics	
가 변 요 소	가변 nozzle	無	
자동차 model	Phoenix (1,362 kg)	Fairmount (1,419 kg)	VW. GT 150 (1,700 kg)
燃 比	18.1 km/ℓ (42.4 mpg)	15.3 km/ℓ (36 mpg)	10.6 km/ℓ (25 mpg)
0-100km/h 가속, sec	15	11.9	14
열교환 type 효율	Regen 0.945	Regen 0.929	
출구온도 °C	288	327	

* AGT의 목표 :

- (1) 연비를 1984년의 火花點火 엔진 자동차의 경우보다 30% 향상.
- (2) 소음과 배기문제에 대해서는 가장 엄격한 미연방규제에도 적합.
- (3) 대체 혹은 비석유 연료의 연소가 가능.
- (4) 1990년대 초에는 대량 생산 궤도 진입.

* AGT : Advanced Gas Turbine의 약자.

DDA : GM의 Detroit Diesel Allison DIV.의 약자.

hub 부의 hot press 소결시에 blade ring 부위 도 동시에 접합시키는 수단을 사용하고 있다. 또 blade ring 과 ceramics hub 를 각각 상압 소결한 Si_3N_4 의 것을 만들어 소결시의 수축 현상을 이용, 양자를 접합시키는 방법도 고려되고 있다.

○ Ceramics Blade Segment + 금속 hub :
 취부용 고무를 갖는 Ceramics blade segment 를 돌로 분할한 금속판을 물리개 한 후, 가열 가압한 2장의 금속판을 확산 접합하는 방법으로서 세라믹과 금속과의 계면에는 얇은 백금박을 끼워 넣어 양자의 화학반응 및 접합 부의 응력 완화를 시킨다. 또, Ceramics blade Segment 는 반응 소결 Si_3N_4 재질, 상압 소결 Si_3N_4 재질을 사출 성형하여 만들고 있다.

표 7 Gas turbine parts 로의 Engineering ceramics 의 응용례

parts item	적 용 재 질	성형법
Combustor	SiC	R
Power turbine, Gasifier turbine	SiC, Si_3N_4	I, S
Turbine inlet guide vanes	"	"
Scroll	"	S
Regenerator	LAS, MAS, AS	D

- * R : Rubber press 성형법
- I : Injection 성형법
- S : Slip cast 성형법
- D : Doctor sheet 성형법

표 8 AGT 의 radial turbine 제조법 일람표

AGT - 100	AGT - 101	제 조 원	재 료 와 제 법
	○	ACC	IMSSN
○		Carborundum	IM- α SiC, T. Casting RBSiC
○	○	"	H. P.- α SiC (Core) + IM α -SiC (2피스)
	○	Ford	Slip casting SRBSN
○		GTE	IMSSN
○	○	Pure carbon	Slip casting SRBSN (refel type)

* IM : 사출 성형 T. casting : 주입법

표 9 AGT rotor 의 회전 테스트 결과

일 시	연 구 처	재 료	rotor 의 종류	달성회전수 (rpm)
1981. 5. 20	Ford	SRBSN	AGT shumilate rotor	95,000 (cold spin)
5. 29	Garrett	ACCSN (Airresearch Casing Co.)	AGT shumilate rotor	115,000 (cold spin)
6. 1	DDA	α -SiC	ceramics blade + metal hub 의 rotor	37,000 (937°C) 실용회전수 100%
6. 3	DDA	"	AGT rotor	109,000 (cold spin)
7. 7	Ford	SRBSN	AGT shumilate rotor	134,000* (cold spin)

* 발생한 최대 원심응력은 주속 940 m/sec. 로 turbine 을 운전할 때의 상태에 해당.
 SRBSN : 2 단 소결 질화규소 (Silicon Nitride)

(2) Radial Turbine Rotor

Radial rotor는 all ceramics로 제작할 필요가 있으나 재질적으로 반응 소결품에는 강도상의 문제가 있고 hot press로는 제작상의 문제가 있다. 그러나 그후 상압 소결 Si_3N_4 , 상압 소결 SiC 등의 고강도 재질이 개발되긴 하였으나, 사출 성형시는 냉각 고화 수축이 작아 열분해 제거가 용이한 결합 첨가제를 사용하지 않게 되면 성형 변형이 일어나고 결합제 제거시에 기포가 발생하게 되는 등의 문제점이 생긴다.

AGT의 radial turbine 제조법의 일람표와 AGT rotor의 회전 테스트 결과를 표8과 9에 각각 실어 보았다.

5. 맺 음 말

일본국의 경우 1981년부터 10년간 “차세대 산업 기반 개발 제도”라는 명칭으로 11,000억엔의 투자비를 소요해 첨단 분야의 연구를

주력해오고 있다. 이 중 세라믹스 소재 분야에도 130억엔의 연구비를 투자하여 Gas Turbine Engine, 원자로, 기타 구조 등으로의 응용 개발에 많은 집중을 하고 있다. 이 연구조합이 세라믹스 분야에 대한 목표로 하고 있는 방향을 표10에 나타내 보았다.

그러나 이렇게 세라믹스가 Gas Turbine Engine 구조 재료 등으로 활용되기 위해선 단순 형상이 아닌 복잡한 형상 자체 그대로의 특성 평가도 사실상 크게 요구되어지므로 새로운 시험법 개발이 필요하며, 이에 대한 표준화 추진도 필수적이다.

Gas Turbine Engine의 요구 특성을 표11에 나타내 보았다. 국내에서도 세라믹스 표준화에 대한 조사 연구가 시급히 시행되어져야 하며, 앞서 언급하였듯이 자동차 산업조합—연구기관—대학부설 연구소 등의 거대 공동연구가 수행되어 빠른 시일내에 비이전첨단 가공 기술인 이 분야에 대한 자체적 기술 정립이 이뤄져 수입 억제 및 수출 증대, 대외 경쟁력 등을 향상시켜야 하겠다.

표 10 개발목표로 하는 Engineering ceramics의 성능

적용분야	성 능 목 표 치
고강도재료	(1) 대기중, 1200℃이상의 고온환경하에 1000시간 방치한 후 동환경하에서 다음과 같은 성능치를 만족할 것. ① 신뢰성 (Weibull 계수) $m : 20$ 이상. ② 강도 (평균 인장강도) $\sigma : 30 \text{ kg/mm}^2$ 이상. (2) 대기중, 1200℃이상의 고온환경하에 1000시간의 Creep 시험에 있어 다음과 같은 성능치를 만족할 것. 내구성 (Creep 강도) $\sigma : 10 \text{ kg/mm}^2$ 이상.
내식성재료	대기중, 1300℃이상의 고온환경하에 1000시간 방치한 후 동환경하에서 다음과 같은 성능치를 만족할 것. ① 신뢰성 (Weibull 계수) $m : 20$ 이상. ② 내부식성 (酸化增量) : 1 mg/cm^2 이상. ③ 강도 (평균 인장강도) $\sigma : 20 \text{ kg/mm}^2$ 이상.
고 정 밀 내마멸재료	(1) 대기중, 800℃에서 1000시간 방치한 후 동환경하에서 다음의 성능치를 만족할 것. ① 신뢰성 (Weibull 계수) $m : 22$ 이상. ② 강도 (평균 인장강도) $\sigma : 50 \text{ kg/mm}^2$ 이상. (2) 다음의 항목을 상온에서 시험하여 다음의 성능치를 만족할 것. ① 내마멸성 (比마멸량) : $10^{-6} \text{ mm}^3/\text{kg} \cdot \text{mm}$ 이하. ② 정 밀 성 (표면조도) : $R_{\text{max}} . 2 \mu\text{m}$ 이하.

표 11 Gas turbine parts의 요구 성능 및 특성

응용분야	부 품 명	요 구 기 능 및 특 성
Gas turbine	Combustor	1250-1450 °C 곡강도, 내열충격강도 (500 °C/s), 내산화성
	Scroll	1250-1450 °C 곡강도, 내열충격강도, 내산화성
	Stator (靜翼)	1250-1450 °C 곡강도, 내열충격강도, 내산화성
	Rotor (動翼)	1250-1450 °C 곡강도 : 30-45 kg/mm ² 이상 (7 kg/mm ² : 인장강도) 耐 creep : 1,000 시간에 0.2% 이하 내열충격강도 : (500 °C/s), 내식성 내산화성 : 1,000 시간후 특성열화無, 耐粒子衝突特性 고체윤활특성 : 마찰계수 0.1 이하
	Power turbine rotor (2 축)	max. 1,200 °C 곡강도, 내열충격강도, 내산화성
	열교환기	1000-1250 °C 내열충격강도, 열팽창계수 $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 이하

참 고 문 헌

1. 林田正俊 : ファインセラミックス 85, 自動車とセラミックス, pp.79-85, 1985.
2. ファインセラミックス協會 : ファインセラミックス標準化に関する報告書, 昭和 59 年, pp.5-8.
3. 河村英男 : ティーセルエンジンの始動性とブロープラグの急速加熱制御について, 自動車技術, Vol.36, No.8, 1982, pp.825-831.
4. H. Kawamura : Development of Ceramics Pre-Combustion Chamber for the Automotive Diesel Engine, SAE 840426
5. 加藤哲ほか 3 名 : ドヨタクラウン用 2L-THE 形 ティーセルエンジン, 内燃機関, Vol. 23, No.300, 1984.11, pp.109-117.
6. 土井孝吉ほか 4 名 : 高出力ターボティール用窒化珪素の開発, ドヨタ技術, Vol.35, No.11, 昭和 60 年 6 月, pp.91-99.
7. Automotive Engineering, June, 1986, p.106.
8. 岡崎相一郎 : セラミックスターボチャージャーの開発, F. C. Report, Vol.3, No.8, 1985-8, pp.16-23.
9. 川瀬道彦ほか 2 名 : ターボチャージャー用セラミックスローターの開発, 第 141 回 ガスタービン定期講演會講演論文集 ('86-6), pp.121-127.
10. 服部善憲ほか 1 名 : 構造用セラミックスの開発動向, 自動車技術, Vol.40, No.8, 1986, pp.975-979.
11. 永廣彰夫 : 次世代産業基盤技術研究開発, ファインセラミックス, 失施状況の概要について, F. C. Report, Vol.4(1986), No.9.
12. ニューセラミックス懇談會編 : 第 3 の素材 ファインセラミックス, 通産省調査會 (1963)
13. 通産省・生活産業局編 : 21 世紀への新素材 ファインセラミックス—その展望と課題—,

通産省調査會(1964)

14. 柳田博明：セラミックスの科學，技報堂
(1981), pp.2-3.
15. 大拓恂：自動車技術，34, (8) 1980. pp.
819-825.
16. Automotive Engineering, June, 1986.
p.106.