

구조세라믹스 산업의 현황과 전망

송규호, 김진영
쌍용머티리얼
jincera@ssym.com

1. 머리말

구조세라믹스는 1960년대 알루미늄(Al_2O_3), 질화규소(Si_3N_4)계의 소재 연구를 출발로 해서 1970년대 지르코니아(ZrO_2), 사이알론(Sialon) 등의 본격적인 연구를 통해 그 우수한 특성이 과학적 근거를 갖고 증명되면서 전 세계적으로 주목 받게 되었다. 1981년 우주왕복선 콜롬비아호 본체의 단열재로 세라믹 타일이 사용되면서 차세대 대체 재료로서의 가능성을 열게 되었고 오일쇼크 이후 열효율향상을 위한 냉각장치 없는 세라믹스엔진 개발의 가능성이 제기되면서 구조세라믹스의 실용화에 대한 범 세계적인 관심이 집중되었다. 그 이후 원료부터 가공에 이르는 공정요소기술의 지속적인 level-up, 신 용도 개발, 신뢰성 평가기술 개발 등이 이루어지면서 일부 제품군에서는 “규모의 매출”을 시현할 수 있는 산업으로 자리잡고 있다.¹⁾ 그러나 크게 기대를 모았던 세라믹 디젤엔진 개발이 답보상태에 머무르면서 구조세라믹스 산업의 시장규모나 성장속도가 처음 예상했던 것과는 달리 매우 느리게 성장하고 있다. 이 같은 현실을 반영하듯, 구조세라믹스 산업에 대한 국가 차원의 지원이나 상업적 투자는 물론 학문적 연구까지도 크게 위축되고 있는 실정이다. 그러나 최근 들어 나노 기술 등과 맞물려 그 동안 일정 한계에 머물러 왔던 구조세라믹스의 특성 향상 및 용도 확대 가능성이 다시 제기되면서 차세대 미래전략산업으로서의 제도약의 기회를 맞고 있다. 또한 중국이라는 거대한 시장이 WTO 체제에 편입되면서 구조세라믹스 산업분야에서도 시장규모의 확대가 예상되고 있기 때문에 향후 5~10년이 매우 중요한 시기가 될 것으로 판단된다.

따라서 본 고에서는 현재 구조세라믹스 산업이 처해 있는 현황을 돌아보고 향후의 전망과 당면과제에 대해 생각해 보고자 한다.

2. 구조세라믹스 시장규모와 업계 현황

파인세라믹스 시장은 수요, 공급 측면에서 일본, 미국 두 나라가 전체의 80%이상을 점유하고 있다. 세계 파인세라믹스 시장규모 추이를 살펴보면 Table 1과 같다.²⁾

Table 1. 세계 시장 규모 (단위: 억 달러)

년 도	1990	1995	1996	1997	2000	2001
파인세라믹	238	422	491	581	871	783

향후 세계 파인세라믹스 수요전망을 살펴보면 2005년 1300억불, 2015년 4500억불로 추정된다.³⁾ 특히 Digital 환경의 확산과 궤를 같이하는 정보통신 관련 분야, 연료 전지, 열 병합 발전용 세라믹 가스터빈으로 대표되는 신 에너지 관련 분야, 저 환경부하를 표방하는 ECO-Material로 대표되는 환경 관련 분야에서 파인세라믹스 수요가 확대될 것으로 예상하고 있다.⁴⁾ 일본의 경우 1983년 이후 일본 파인세라믹스 협회 주관으로 매년 생산금액 기준의 자료를 제시하고 있는데, 2000년에는 2조엔 규모로서 1983년 7천억엔과 비교해 볼 때, 17년간 약 3 배 성장하였다.⁵⁾ 미국의 파인세라믹스 시장규모도 2000년 80억불에서 2005년 110억불 수준으로 꾸준히 성장할 것으로 예상하고 있다. 다양한 분류가 가능하겠지만, 통상 기계부품, 환경 및 화공부품, 고성능 코팅으로 분류할 수 있는 구조세라믹스 부문은 생산 금액 부문이나 시장규모 면에서 파인세라믹스 전체의 약 10~12% 내외를

점유하고 있다고 판단된다. 2000년도 세계 구조세라믹스 총 생산액은 약 100억불 정도로 집계되고 있으며 년 평균 시장 성장률은 6~7% 정도로 알려져 있다.⁶⁾ 시장을 구성하는 제품 대부분은 범용 제품이며, 세라믹 터보차저, 베어링, 장갑재료와 같은 첨단 제품군은 전체규모의

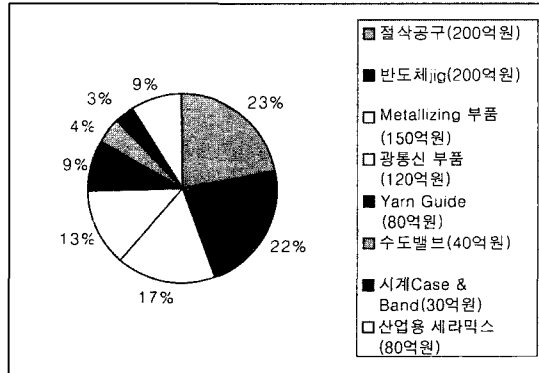


Fig. 1. 국내 기계부품용 구조세라믹스의 시장규모 (쌍용머티리얼).

10% 미만으로 추정된다.

지역별로 볼 때, 일본은 주로 절삭공구, 다이스, 반도체 jig와 같은 고정도의 산업기계부품의 비율이 높고, 미국은 세라믹 베어링을 필두로 한 장갑재료, 우주항공용 자이로스코프 와 같은 첨단 제품과 자동차 배기가스 정화 촉매와 같은 환경 관련 제품의 비율이 높다고 알려져 있다. 2002년 국내 구조세라믹스 시장규모는 절삭공구, 수도용 faucet disc, metallizing 제품 등을 근간으로 하는 일반 기계부품 분야에서 약 900억원, 폐수처리 필터와 같은 환경 관련 제품 분야는 약 6000억 원 정도로 조사되고 있다.⁷⁾ 그러나 환경 관련 제품분야는 거의 전량 수입에 의존하고 있어서, 범용 제품을 중심으로 한 기계부품 분야를 중심으로 국내 구조세라믹스 업계의 생산이 이루어지고 있다. Fig. 1은 국내 구조세라믹스의 시장규모 중 기계부품 분야에 대해 각 세부 제품별 시장 규모를 나타낸 것이다. Table 2에 나타난 기계부품용 구

Table 2. 국내외 구조세라믹스의 주요 업체 현황

구분	해외	국내	End - User
절삭공구 - Ceramic - Cermet - Coated	NTK(일) Ceramtec(독) Kyocera(일) Kennametal(미) Ceramtec(미) Sandvik(독)등	쌍용머티리얼 대구텍(주)	자동차제조업체 Roll가공업체 정밀기계가공업체
반도체 Jig	Coors(미) 세라테크(일) Ashahi Glass(일) 등	SNT(상부 정밀) CoorsTec Korea 원익 이노세라 등	반도체 장비업체
Metallizing 부품 -Magnetron Ceramics -VCB Tube -Terminal Bush 등	Kyocera(일) Toshiba(일) Ceramtec(독) Coors(미)	쌍용머티리얼 KCC(금강) 한국전자재료 CM Tech 등	전자레이저제조업체 중전기업체
수도밸브용 faucet disc	Ceramtec(독) Saint-Goban(프) Kyocera(일),NTK(일) Morgan matroc(영) 등	쌍용머티리얼 동서산업 신한세라믹 동양세라믹 등	수전 금구 업체 카트리지 업체
일반 산업기계 부품	Ceramtec(독) Kyocera(일) NGK(일),Toray(일) Norton(미),Coors(미) 등	쌍용머티리얼 대구텍 상호세라믹 태평전자공업 맥테크,세라코 등	공작기계업체 전선업체 전자제품제조업체 섬유기계 업체
자동차용부재 - Glow Plug - 터보차저로터 등	NTK,NGK (일) Norton(미) Lanxide(독) Allied Signal(미)등		자동차 제조업체
광통신 부품 - Ferrule - Sleeve 등	Admant(일) Kyocera(일) ToTo(일) 등	쌍용머티리얼 상호세라믹 프라임포텍 대원광통신 등	IT server 업체 광 connector업체

조세라믹스 업체 현황을 살펴보면, NTK, Kyocera, Coors, Ceramtec 등과 같은 외국의 선진업체들이 거의 전 부분에 걸쳐 시장지배력을 행사하고 있다는 것을 알 수 있고 고부가가치의 첨단 제품의 개발에 있어서도 막대한 자금력, 풍부한 기술적 경험, 업체의 지명도 등을 바탕으로 End - User와 공동으로 기술적, 경제적 장벽을 극복해 나가고 있다.⁸⁾ 반면 국내 구조세라믹스 업체들은 신규 용도를 갖는 제품의 개발이나 시장의 선점보다는 외국 사례를 bench marking하면서 그 격차를 줄이기 위한 노력에 기업의 역량을 집중하고 있다.

국내 구조세라믹스업계의 특징을 살펴보면, 일부 회사를 제외하고는 대부분이 중소기업 위주로 국제경쟁력이 취약한 실정이다. 내수시장 위주의 영업 활동 전개, 원료 및 고성능 제조 설비의 대외 의존도 심화 등으로 국내외 산업 경기 변화에 민감하여 수익성 면에서 좋지 못한 실정이다. 그러나 전자레인지용 마그네트론 세라믹과 같은 메탈라이징 부품 분야에서는 국내 가전 3사에서 기존의 교세라 제품을 대부분 국산업체 제품으로 전환, 사용하면서 규모의 매출을 지속적으로 실현하고 있다. 절삭공구부분도 매년 10%이상의 견실한 성장세를 유지하고 있고 산업용세라믹스부품도 사용업체의 인지도 변화 등을 통해 꾸준히 용도 개발이 이루어지고 있는 상황이다. 반면 수도밸브용 faucet disc는 IMF를 겪으면서 국내건설경기의 침체, 국내업체 간 가격덤핑, 값싼 중국산 제품의 등장 등으로 시장 상황이 악화되었지만 유럽, 미국 등의 해외시장 개척을 통해 그 활로를 찾아가고 있다. 특히 2001년부터 관심의 집중이 되고 있는 광통신 부품은 전 세계 IT경기의 일시적인 침체와 국내 관련기업의 조심스러운 투자로 인해 다소 주춤거리고 있으나 2004년부터는 회복세에 들어서면서 향후 지속적인 성장세가 예상된다.

3. 구조세라믹스의 연구개발 동향

Fig. 2는 주요 구조세라믹스의 기계적 물성에 대한 증진 수준을 평균적으로 예시하고 있다.⁹⁾ 1970년대 이전에 대부분의 구조세라믹스의 상온 강도는 대체로 350 MPa 이하였으나, 현재는 상업용 알루미나 (Al_2O_3)와 탄

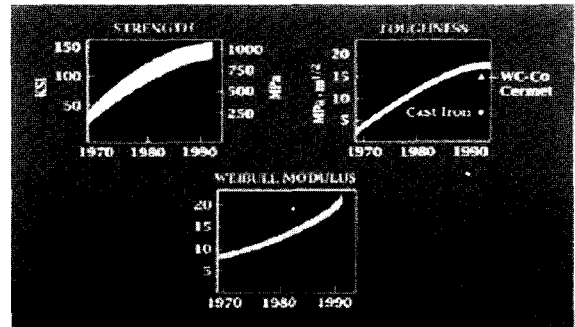


Fig. 2. 주요 구조세라믹스의 기계적 물성 증진 수준.

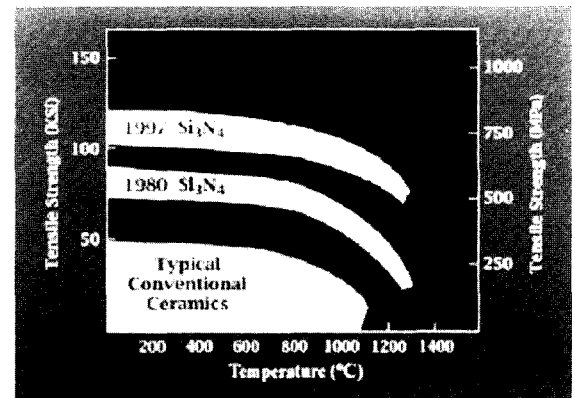


Fig. 3. 질화규소(Si_3N_4)의 상온 및 고온강도.

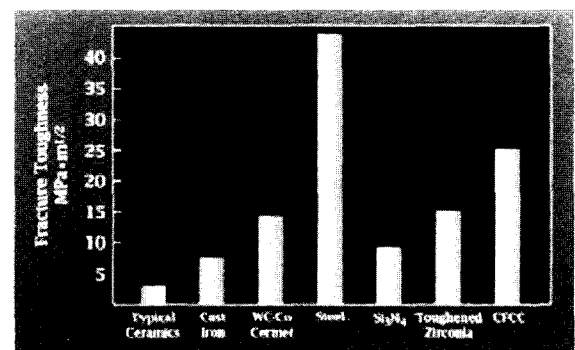


Fig. 4. 주요 구조재료의 파괴인성.

화규소(SiC)는 400~600 MPa 수준이고, 질화규소(Si_3N_4), 지르코니아(ZrO_2)의 경우는 700 MPa를 상회하는 수준이다. 고온강도 역시 Fig. 3의 질화규소(Si_3N_4) 경우에서 보듯이 증진되어 왔다. 그 동안 구조세라믹스 연구에서 가장 주목할만한 결과는 Fig. 4에서 보듯이 파괴인성의 증진이었는데, 현재 금속계 재질 대비 매우 근접한 수준 또는 그 이상을 시험하는 수준에 도달해 있다. 그러나 아직도 고온강도, 인성, 내크리프성을 모두 다 만족하는

Table 3. 선진국 국가주도 구조세라믹스 프로젝트

국가	프로그램	주관기관	목 표	비 고
일 본	High Performance Ceramics	MITI	고성능 구조 세라믹스 소재 개발	1981-1992
	Ceramic Gas Turbine	NEDO	300KW 세라믹 가스터빈 개발 사용온도 : 1350°C 효율 : >42%	1988-1998 Moonlight project
	Automotive Ceramic Gas Turbine	JARI	100KW 세라믹 가스터빈 개발 사용온도: 1350-1400°C 효율 : >40%	1988-1996
	Ceramics Gas Turbine Technology	NEDO AIST	300kW 세라믹 가스 터빈 신뢰성 향상 사용온도: 1350°C	1993-2004 Sunshine Project
	Synergy Ceramics	FCRA	다공질, 고온 고강도, 고 열전도도 및 고 내마모 Si ₃ N ₄	1993-
미 국	ATTAP AGT100/AGT101	DOE	세라믹 가스터빈 개발 사용온도 1370°C	1979-1992
	Ceramic Technology for Advanced Heat Engine	DOE	세라믹 엔진부품을 위한 기반 기술개발	1983-1996
	Advancing Turbine Systems Program	DOE	산업용 가스터빈(저전력, NOx배출 저감) 고온부품세라믹스화	1992-
	Ceramic Coating, CMC	DOE	원자료를 세라믹스개발	1997-
	Advanced Industrial Materials Program	DOE	산업용 에너지 저감 재료 개발	1998-

“만능 구조세라믹스”를 개발하기까지에는 많은 난제가 도사리고 있다. 1960년대 알루미늄(Al_2O_3), 소결체의 제조 성공을 시발로 해서 1980년대 고인성 지르코니아(ZrO_2)의 개발과 세라믹스의 인성증진 기구(toughening mechanism)의 규명^{10,11)} (사실 이것이 자동차 엔진의 세라믹스화에 대한 개발 열기를 가능케 한 동기였다)을 거쳐 1990년대 세라믹스가 갖는 한계를 극복하기 위한 대안으로서 제기된 복합재료의 개발열기, Lanxide process의 등장, 2000년대 스파크 플라즈마 소결기술 개발,¹²⁾ 나노 기술을 응용한 초 반응성 미세원료분말의 개발¹³⁾ 등이 이루어지면서 기초원료정제부터 공정기술에 이르는 전 분야에 걸쳐 구조세라믹스가 기존에 갖고 있던 한계들에 대한 돌파가능성이 보이고 있다. 지난 40여 년간 구조세라믹스의 연구를 돌이켜 보면, 시장규모가 큰 세라믹 엔진과 에너지 절감재료의 제품화를 위한 노력으로 요약할 수 있다.

1971년 미 국방성의 ARPA(Advanced Research Project Agency)의 결정으로 촉발된 일본, 미국의 범 국가적인 구조세라믹스 개발 프로젝트는 미국의 ATSP(Advanced Turbine Systems Program)나 일본의 “Moonlight Program, Sunshine Program” 등을 통하여 꾸준히 지속되어, 마침내 2000년에는 독일의 Benz사에서 세라믹 밸브채용을 발표하는 등 가시적인 성과가 나오고 있다. 이처럼 선진국의 구조세라믹스 연구개발은 대형시장 형성이 예상되

고 고부가가치를 실현할 수 있는 분야에 집중 투자하고 있다.¹⁴⁾ Table 3은 그 동안 일본, 미국에서 국가주도로 추진되어온 프로젝트를 요약한 것이다.^{15,16)}

국내 구조세라믹스 연구 개발은 1970년대 대구권을 중심으로 섬유산업에 들어가는 알루미늄(Al_2O_3)재질의 사도, 라이너 등을 개발, 상품화한 태평전자공업, 선광세라믹스 등의 선발업체 들이 구조세라믹스 산업의 개척자로서 나름대로의 역할을 했다. 그러나 국내 구조세라믹스의 본격적인 연구 개발의 시작을 연 것은 한국과학기술원과 쌍용양회 중앙연구소가 1983년부터 추진한 “세라믹디젤엔진 개발” 프로젝트라고 말할 수 있다. 이때부터 비로소 대기업의 인적, 물적 투자와 국가적 차원의 정책 지원이 가시화 되면서 국내 구조세라믹스 연구가 활기를 띠게 되었고 쌍용양회, 대한중석(현 대구텍)에서 세라믹 절삭공구를 개발, 상품화하기에 이른다. 현재 소재개발에 대한 기술은 상당 수준 축적되어 있는 현황이다. 특히 sialon의 개발,¹⁷⁾ 탄화규소(SiC) 소결메카니즘 연구,¹⁸⁾ 입자배향성 질화규소(Si_3N_4)개발¹⁹⁾ 등 많은 학문적 진보가 이루어 졌고 그 결과들이 제품화에 접목되고 있다. 특히 입자배향성 질화규소(Si_3N_4)는 국내 구조세라믹분야 연구 중 탁월한 성과를 보인 것의 하나로 평가되는데, 조대한 주상정들을 일 방향으로 배열함으로써, 격임강도와 파괴인성을 모두 향상시킨 재료로서 KIMM(한국기계연구원)에서 개발되었다. 1990년대 들

Table 4. 국내외 구조세라믹스 관련 기술수준 비교

분 야	선진국	우리나라
원료 및 소재	<ul style="list-style-type: none"> - 일본, 미국, 독일 등에서 Si₃N₄, SiC, Al₂O₃, ZrO₂ 등 원료분말, 나노 분말 및 SiC whisker, fiber 등을 생산 판매 - Si₃N₄의 경우 파괴강도 : > 1.3 GPa 파괴인성 : > 10 MPa.m^{1/2} Weibull 계수 : 30 - 최근 일본 Nissan에서 Weibull계수 50 소재 개발 - 복합재료 연구는 성숙단계 	<ul style="list-style-type: none"> - 일부 원료 배합 기술 보유 - 나노 분말 합성 연구 초기 단계 - Si₃N₄의 경우 cabothermal reduction 및 imide process 연구 개발 중 - Si₃N₄의 경우 파괴강도 : > 1.0 GPa 파괴인성 : > 8 MPa.m^{1/2} Weibull 계수 : 30 (양산화 제품은 상기한 특성보다 낮은 값을 가짐) - 복합재료 연구는 초기단계
성형 및 가공	<ul style="list-style-type: none"> - 일본 미국 등에서 두께 >1.2 cm인 제품의 사출성형 - 실험상 성형 기술(사출성형, 겔캐스팅, 직접 응집 성형) 개발 및 성숙 단계 	<ul style="list-style-type: none"> - 사출성형 기술 개발 단계 - 첨단 실험상 성형 기술(실험상 RBSC, 열경화 몰딩) 개발 초기단계
소 결	<ul style="list-style-type: none"> - HIP, GPS, SPS 등의 기술에 의해 제품 생산기술 확보 	<ul style="list-style-type: none"> - 주로 PLS 기술에 의해 제품 생산 - HIP 및 GPS 기술 정착 및 SPS 기술 초기 단계
실장 및 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 비파괴, 수명예측 성숙단계 - 터보차저 로타 등 엔진부품 상용화 	<ul style="list-style-type: none"> - 비파괴, 수명예측 초기단계 - 구조 세라믹스의 엔진부품으로 응용 연구 초기 단계

어서는 “선도기술개발과제” 사업을 통해 제품 생산과 직접 관련되는 성형, 가공, 접합, 신뢰성평가 분야에 대한 연구개발도 시작되었다. 그러나 연구 개발에 소요되는 막대한 시간과 비용에 반해, 그 결과가 보장되지 않는 구조세라믹스분야에 대한 연구 개발이 민간기업이나 대학에서 수행하기에는 한계가 있기 때문에 관련분야의 연구 개발 활동은 현재 침체되어 있는 실정이다. 다만 나노기술과 접목하여 수행하는 분야의 연구 활동은 어느 정도 활발히 이루어지고 있다. 국내외 구조세라믹스 관련 기술 수준을 비교하여 Table 4에 나타내었다.²⁰⁾

4. 구조세라믹스 제품의 실용화

본 절에서는 구조세라믹스 중 Kyocera, NTK, Toshiba 등 해외 선진업체와 Global한 규모로 치열한 경쟁을 하고 있는 세라믹 절삭공구와 메탈라이징 부품인 마그네트론용 세라믹의 실용화 사례와 과제에 대해 살펴보고자 한다.

4.1 절삭공구

세라믹 절삭공구는 산업기술의 발전, 첨단소재의 정밀가공부품 필요성 증대, 가공장비의 고정도화, 고속화에 발맞추어 발전되어 왔다. 1920년대 원시적 형태의 세라믹 절삭공구가 출현한 이래, 산화물계, 비산화물계, Cermet, PCD, CBN 등으로 진화하고 있다. 세계시장규모는 세라믹 절삭공구가 약 1500억 수준으로 전체 공구시장의 4% 정도를 점유하고 있고, 국내 시장 규모는 세라믹 공구가 약 80억 수준이고, 서메트와 CBN/PCD를 합쳤을 때 약 200억 규모의 시장으로 추정 된다. 이는 전체 국내 공구시장의 14% 정도이다. 쌍용머티리얼의 경우, 1983년 “CDE(세라믹디젤엔진)개발” 연구를 수행하면서 축적된 소재개발기술 및 Hot Press 등의 공정기술을 이용, 질화규소(Si₃N₄)계 절삭공구를 개발, 상용화 하였다.

현재는 절삭공구 소재의 인성증진을 통한 절삭 영역의 확대 방향으로 지속적인 재질의 up-grade를 실시 중에 있다. Table 5는 쌍용머티리얼이 시판하고 있는 대표적인 세라믹 절삭공구의 재질 중 일부를 나타낸 것이다.

Table 5. 세라믹 절삭공구의 재질

구 분	개발시기	Grade	주 용도
Si ₃ N ₄ 계	1986	SN26, SN300, SN500, SN700 등	주철의 황삭, 중삭
Al ₂ O ₃ - TiC 계	1987	ST100, STK, ST300, ST500 등	고경도강의 중삭, 정삭
TiC - Al ₂ O ₃ 계	1988	SD 200 등	Ductile주철의 중삭, 정삭
Al ₂ O ₃ - ZrO ₂ 계	1988	SZ 200 등	강, 주철의 중삭, 정삭
Cermet	1990	TX310, 320, 330 등	강의 고속 사상, 중삭, 황삭

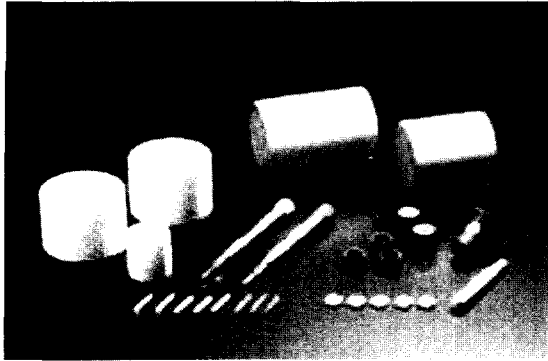


Fig. 5. 메탈라이징 제품 예.

개발 초창기 애로점을 살펴보면 1) 제품의 요구특성에 대한 인지 부족, 2) 기존 초경공구를 이용하는 현장 작업자의 거부감/가공장비의 노후화에서 오는 현장 적용 test의 어려움, 3) 파인세라믹스 원료 조달 문제, 4) 관련 장비가 전량 외산으로 인해 생기는 Trouble shooting 기술경험 문제, 5) 국내 수요처의 국산 제품에 대한 불신, 6) 금형 및 Tooling 기술 관련 전문가 부족 등을 들 수 있다. 이 같은 어려움을 딛고 양산, 상품화에 이른 절삭공구가 계속적으로 성장·발전해 나가기 위해서는 1) 지속적인 원료 source의 다변화를 통한 저가원료 발굴, 2) Near Net Shape 성형으로 가공여유 최소화, 3) Multi-Cavity 성형 및 Multi-Clamping 가공을 통한 생산성 증대, 4) 공정자동화를 통한 인건비 절감 등을 해결해야 한다. 아울러 소재 개선과 형상개발을 통해 시장을 선도하여야 하고 Tooling 전문가와 금형전문가의 양성을 통해 절삭공구 적용영역의 확대를 도모해야 한다. 기계공업 및 타 분야와의 협력연구를 통해 공정장비의 국산화도 조속히 해결해야 할 과제이다.

4.2 마그네트론용 세라믹 부품

마그네트론은 초단파를 이용하여 음식을 가열하는 전자레인지(Microwave oven)의 핵심부품으로 초단파를 발생시키는 2극 진공관 역할을 한다. 세라믹 부품은 마그네트론의 음극부 및 출력부에 절연 목적으로 메탈라이징된 상태로 적용되는 전자레인지의 핵심부품이다. Fig. 5는 메탈라이징 제품의 일례를 나타낸 것이다. 재질은 알루미늄산화물(Al_2O_3)이며, 대표적인 요구특성으로는 메탈라이징된 접합면의 접합강도가 250 kg/cm^2 이상이어야 하

Table 6. 마그네트론용 세라믹의 시장 규모 (단위: 만set/년)

수요업체		수요량	공급업체		생산규모
국내	삼성, LG, 대우	3,000	국내	쌍용머티리얼 한국전자재료	4,500
일본	마쯔시다, 도시바	2,500	일본	교세라, 도시바	2,000
중국	WITOL, Galanz	1,400	중국	-	-
계		6,900			수요 확대추세

며, 내열충격성은 $\Delta T = 250^\circ\text{C}$ 를 만족해야 하고, 주요 부분의 치수정밀도는 소결체 상태에서 0.1 mm 이하 수준을 요구하고 있다. 또한 가전업체에서는 전자레인지 조립과정에서 생기는 crack, 치핑, 기능이상 등으로 인한 최종 불량 수준을 100 ppm 이하로 요구하고 있다.

전자레인지는 한국이 생산하는 “world best” 상품으로 전자레인지의 핵심부품인 마그네트론은 세계 수요량의 80% 이상을 국내 가전 3사에서 조립, 공급하고 있다. 마그네트론의 시장 규모는 Table 6과 같다. 쌍용머티리얼은 1994년 자체 기술진의 연구 개발로 최초 양산납품을 시작한 이래, Kyocera, Toshiba 등의 선진업체의 가격 덤핑(개발초기 800원/set, 현 가격은 370원/set), 양산 납품까지의 수십 차례에 걸친 신뢰성 test 수행, Claim 발생시 세라믹 부품가격의 수십 배에 이르는 Assy' 금액 배상, 가전업체간 조립라인의 상이한 특성에서 오는 조립 부품 상호간의 부정합성, 도면에 나타나 있지 않는 기술 사상, 선진 세라믹업체 관련 기술 정보 부재 등으로 인해 많은 어려움을 겪었다. 그러나 2001년을 기점으로 국내 가전 3사는 물론 일본의 마쯔시다 전자, 중국의 WITOL사, Galanz사 등이 국산제품을 채택하기에 이르렀다. 현재의 시장우위상태를 계속 유지하면서 중국시장을 보다 적극적으로 공략하기 위해서는, 수입선 다변화를 통한 저가원료 발굴이 관건이며 무엇보다도 ppm 수준의 불량률을 관리할 수 있는 “생산관리기술”을 확보하여야 한다. 아울러 고출력, 산업용 마그네트론 세라믹 부품의 개발을 병행하여, 제품의 고부가가치화를 도모하여야 한다.

쌍용 머티리얼의 세라믹 절삭공구나 마그네트론용 세라믹 제품이 시장 진입에 성공, 선진업체들과의 경쟁에서 현재까지 살아 남아 있는 제일 큰 이유는 “품질 경쟁력”을 확보하였기 때문이다. 장·단기 공정능력지수

(Cpk, Ppk) 산출 및 공정관리도와 같은 품질 기법들을 소량다품종 세라믹 생산 공장에 적극적으로 적용, 생산 공정의 안정성과 재현성을 확보하는데 주력하면서, 전산 프로그램 개발을 포함한 Traveler's sheet 등과 같은 새로운 물류 관리 시스템 운용, 불량발생시 4M (Man, Material, Method, Machine)tool에 의한 정량적인 분석을 통해 원인 분석과 재발 방지 대책을 세우면서 시행착오를 줄여왔다. 향후 구조세라믹스가 "규모의 산업"으로 성장하고 Global한 차원의 경쟁을 해나가기 위해서는 세라믹 산업에 맞는 새로운 개념의 품질 관리 및 보증 기법들을 본격적으로 연구해야 할 것으로 판단된다.

5. 맺음말

구조세라믹스 산업은 절삭공구, 산업용기기부품과 같은 기존 제품군들의 신규수요 창출과 자동차, 우주항공, 에너지·환경 분야의 시장 성장 잠재력이 큰 첨단 제품군들의 지속적인 상업화 시도라는 2개의 축으로 발전해 나갈 것이다. 기존 제품군의 시장 확대를 위한 상업화 연구는 제조cost절감, 품질보증, 신 공정관리시스템 개발, 국제 표준화 제정 등에 초점을 맞추어 진행될 것으로 보인다. 특히 중국이라는 새로운 시장의 출현은 기존 제품군의 성장에 큰 역할을 할 것으로 생각된다. 그러나 풍부한 지하자원, 우수한 기초과학 수준, 값싼 노동력을 보유한 중국 업체들의 시장 진입이 구조세라믹스 산업계 판도에 큰 변수로 작용할 것이다. "글로벌한 경쟁력을 갖추고 있느냐?"가 구조세라믹스 업계에서도 "생존의 화두"로 대두될 것이며, Cash Cow 역할을 할 수 있는 제품을 지속적으로 발굴, 상업화에 성공하는 업체만이 살아남을 것이다. 향후 10여 년간 구조세라믹스 업계의 재편이 예상된다.

첨단 제품군에 있어서는 우수한 성능을 갖는 소재를 얻기 위한 기초 연구가 나노 기술과 접목하여 계속 진행될 것으로 보인다. 상업화 시도는 기술력과 일정수준의 End-User를 확보하고 있는 미국, 일본의 선진업체들을 중심으로 이루어질 것으로 보인다. 이들 업체들은 높은 기술 수준, 초기 시장 선점, End-User의 협력 체계를 무기로 후발업체들을 심하게 견제할 것으로 예상된다.

앞으로 환경·에너지분야의 국제 규범은 더욱 강화될 추세이므로 첨단 제품군의 성장은 필연적이다. 이 시장을 선점하기 위해서는 세제 지원, 신 기술 보호시스템 등과 같은 국가 주도의 거시적 전략이 필요하다. 또 기초 연구에서 공정 기반 기술 연구에 이르는 학·연 주관의 일관된 연구 개발 전략, 초기시장으로의 연착륙을 도모하기 위한 산업계의 시장 대응전략 등이 조화롭게 상호보완을 해나가야 할 것으로 생각된다. 그런 측면에서 현재 우리나라에서 국가적 시책으로 추진하는 "NT", "BT", "TT"와 같은 분야의 전방위적 프로젝트가 구조세라믹스 분야에도 활성화되었으면 한다. 미래의 구조세라믹스 산업의 지분을 확보하기 위한 큰 경쟁은 이미 시작되었고, 우리도 이 경쟁에서 승리해야만 현재의 반도체 산업, Digital 정보통신 산업처럼 향후 국가 장래의 한 축을 담당할 새로운 산업을 갖게 될 것이다.

참고문헌

1. M. Savitz, "Commercialization of Advanced Structural Ceramics(I)", *Am. Ceram. Bull.*, **78** [53] (1999).
2. "파인세라믹스산업 중장기 발전계획", 산업자원부 (2002).
3. "파인세라믹스 21세기 비전", 일본 통상성 (1998).
4. Laurel M. Sheppard, *Ceramic Industry*, June 46 (1998).
5. 井川 博行, "ファインセラミックス 市場の現状と今後", *セラミックス* 36(10) 752 (2001).
6. 일본 파인세라믹스 보고서 (1998).
7. 이재도, "구조세라믹스의 현황과 전망", *세라미스트* 4(3) 5-8 (2001).
8. *Interceram*. 47 (1998).
9. D. W. Richerson and D. W. Freitag, "Ceramic Industry in Opportunities for Advanced Ceramics to Meet the Needs of the Industries of the Future", DOE/ORO 2076 (1998).
10. D. J. Green, R. H. Hannink, and M. V. Swain, "Transformation Toughening of Ceramics", CRC Press, Florida (1989).
11. R. H. Hannink, P. M. Kelley, and B. C. Muddle, "Transformation Toughening in Zirconia-Containing Ceramics", *J.Am.Ceram.Soc.*, **83** [3] 461-87 (2000).
12. K.-S.Cho, etc, "The Effect of La-Silicon Oxynitride on Densification of Si₃N₄ Ceramics by Spark Plasma Sintering", *J.Kor.Ceram.Soc.*, **38** [8] 678-92 (2001).
13. Patricia A. Janeway, "Nanotechnology", *Am.Ceram.Bull.*, **82** [4] (2003).

14. 일본 세라믹스협회 비전 위원회, “21세기로 향한 세라믹스의 연구개발에 관하여”(2003).
15. T. Abraham, “U.S. Advanced Ceramics Growth Continues”, <http://www.ceramicindustry.com>. (2003)
16. M. Erchner and D. W. Richerson, “Advanced Ceramics Technology Roadmap”(2000).
17. D.-S.Park, S.-Y.Lee, H.-D.Kim, etc, “Fabrication and Mechanical Properties of the α/β Sialon Ceramics”, pp123-27 in Proc. 11th Korea-Japan Seminar on New Ceramics, YongPyeong, Korea September 28-30(1994).
18. Y.-W.Kim, M. Mitomo, and G. D. Zhan, “Mechanism of Grain Growth in Liquid-Phase-Sintered β -SiC”, *J.Mater.Res.*, **14** [11] 4291-93 (1999).
19. D.-S.Park, M.-J.Choi, T.-W. Roh, H.-D. Kim, and B.-D. Han, “Orientation- Dependent Properties of Silicon Nitride with Aligned Reinforcing Grains”, *J. Mater. Res.*, **15** [1] 130-35(2000).
20. “고기능성 구조세라믹스 기술개발 전략”, 한국과학기술연구원(1996).



김진영

- 1979년 서울대학교 공과대학 요업공학과 (학사)
- 1983년 서울대학교 대학원 무기재료공학과 (석사)
- 1991년 日本 長岡技術科學大學 대학원(박사)
- 1983년 쌍용양회 중앙연구소 세라믹제품개발실책임연구원
- 1994년 쌍용양회 신소재 대구공장 -2000년 6월 공장장
- 2000년 7월 쌍용머티리얼 대구공장 ~현재 공장장 (상무)



송규호

- 1988년 연세대학교 공과대학 요업공학과(학사)
- 1990년 연세대학교 대학원 요업공학과(석사)
- 2002년 연세대학교 대학원 세라믹공학과(박사)
- 1991년 쌍용양회 중앙연구소 세라믹제품개발실 책임연구원
- 1994년 쌍용양회 신소재 대구공장 -2000년 6월 품질보증팀장
- 2000년 7월 쌍용머티리얼 대구공장 ~현재