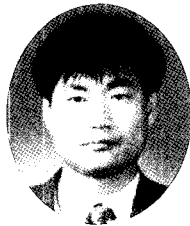


# 정밀 가공 및 생산성 향상을 위한 고기능성 세라믹 초경공구 재료 기술



박춘근  
한국생산기술연구원

## 1. 서 언

산업이 발달함에 따라 각종 사업용 부품을 제조하기 위하여 절단, 절삭, 연마 등 직접적으로 가공을 하거나 이들 부품의 형상을 결정해 주는 금형을 기계적으로 가공해주는 기술이 절대적으로 필요하다. 이러한 가공기술의 기반 기술이 절삭공구이며, 가공하는 소재에 따라 절삭공구의 재료도 함께 발전되어 왔다. 즉, 탄소공구강으로부터, 고속도강, 경질 주조합금, 초경합금, 세메트, 세라믹, 코팅 초경합금 등으로 소재가 개발되어 가공 및 장비의 고정밀, 고속화 추세에 따라 이들 재료가 사용되어 왔다.

부품의 정밀도는 금형이나 부품가공 시 정밀도에 큰 영향을 받기 때문에 일본이나 유럽, 미국 등의 선진국에서는 보다 나은 정밀도와 생산성을 위하여 가공 기술뿐 만 아니라 새로운 공구 재료의 개발에 많은 노력을 기울이고 있다.

따라서 본 고에서는 공구재료 중 새로운 기술이 함축되어 있고, 선진국에서 연구 개발하고 있는 세라믹 공구재료

에 대하여 재료적인 특성과 그 활용을 중심으로 소재의 관점에서 이해를 돕고자 서술하고자 한다.

## 2. 공구 재료의 종류

### 2.1 세라믹 절삭공구의 종류 및 특성

국제 경쟁력을 갖기 위하여 가공기술의 요구가 점차 증가되고 있으며, 이에 부응하여 부품가공 시 높은 정밀도와 높은 생산성이 그 어느 때 보다 중요한 인자로 인식되고 있다. 이에 따라 이들 요구 조건을 충족시켜 주는 고기능성 가공재료의 필요성이 증대되어 최근 치 분야에 대한 연구 개발이 활발히 진행되어 많은 진전이 이루어지고 있다.

소재의 화학성분에 따른 종류로 구분하여 보면, 현재 WC 계, 알루미늄계, 다이아몬드 계, 질화 규소 계 등이 용도에 따라 일반적으로 사용되고 있으며, 세메트(Ceramic-Metal, Cermet) 계 및 좀 더 나은 기능성 소재를 개발하기

위하여 초미립화 기술을 응용한 nano sized 분말 제조 및 성형화 기술과 coating 기술 등 공구 제조기술에 필요한 선진기술들을 혼합한 fusion technology를 개발하고 있어 지속적으로 정밀도와 생산성, 내구성 등이 향상되리라 예상된다. 그림 1에 세라믹 tool bit 사용 예를 나타내었다.

절삭가공의 고속화에 기초 기술인 초경 공구재료는 알루미늄, 다이아몬드 소결소재, CBN 등 세라믹 재료에 의해서 가공기술이 비약적으로 발전되었다. 현재에도 세라믹, 세메트 소재를 기본으로 하는 절삭공구가 초경합금을 대체하는 절삭공구 재료로 일반화 되어가고 있다. 최근에는 세라믹 소재의 단점인 취성적으로 깨짐(brittle)을 보완하기 위하여 고인성, 고강도, 높은 열적 충격저항성을 발휘하는

고성능 세라믹 절삭공구가 개발되어 생산성 측면에서 많은 향상을 이루어, 이들 공구 재료를 연구 개발하여 생산하는 회사들도 국내에 자리를 잡고 국제 경쟁력을 키워나가고 있다.

세라믹 절삭공구 재료는 소재의 주요성분에 따라 실리콘 나이트라이드 계( $Si_3N_4$ ), 알루미늄-티타니아계( $Al_2O_3-TiC$ ), 알루미늄 지르코니아 계( $Al_2O_3-ZrO_2$ ), 알루미늄 실리콘카바이드 계( $Al_2O_3-SiC$ ), 휘스커 (whisker) 계, 세메트 계로 일반적으로 구분되어 진다.

$Si_3N_4$  계는 성분상으로는  $Si_3N_4$  이외에  $Al_2O_3$ ,  $Y_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CeO_2$  등을 10% 이내로 함유하고 있고, 특성상으로는 취성이 많이 개선되어 인성과 내열충격성이 우수하다.

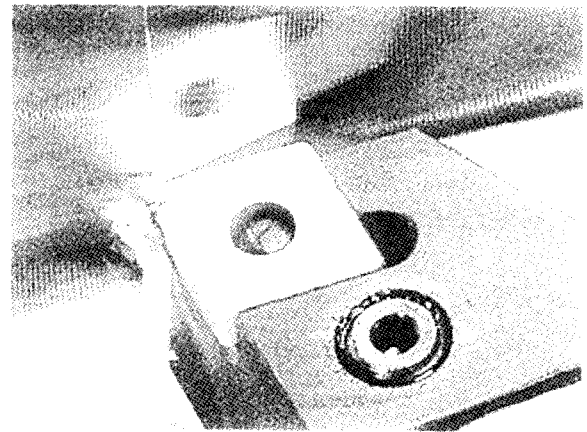
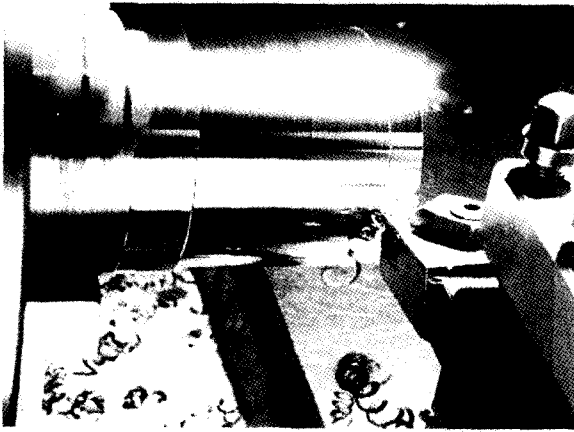


그림 1. 세라믹 tool bit의 고풍 turning 가공 적용 예

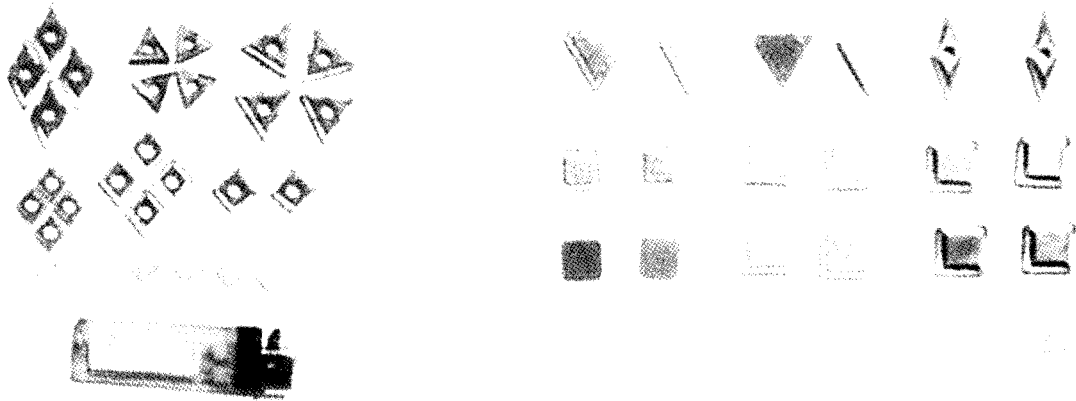


그림 2. 여러 종류 및 다양한 형상의 세라믹 절삭 공구 재료

주요 용도로는 주철의 황삭가공, 단속가공과 밀링가공에 적용되고 있다.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC 계는 탄소(C) 대신 질소(N)를 첨가하여 제조하기도 한다. 따라서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC(N)이라고도 표현되며, 이는 주요성분인 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 65~70%, TiC(N)이 30~35%로 거의 대부분을 차지하고 있고, 미량성분으로 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 MgO 등이 함유되어 있다. 특성으로는 기계적 충격과 열적 충격성이 우수하며, 강, 주철의 정삭, 중삭 및 단속가공과 고경도당, 합금강 및 난삭재의 가공에 활용되고 있다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> 계는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 90% 내외이며 나머지가 ZrO<sub>2</sub>로 구성되어 있다. 이는 세라믹 단점인 취성이 많이 보강되고 재질의 안정성이 향상된 소재로 주철의 정삭과 중삭 가공에 주로 적용되고 있다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC 계는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 인성을 증가시키기 위하여 whisker SiC를 15~30% 정도 첨가하여 제조하며, 주로 Ni alloy의 가공에 사용하고 있다. 세메트 계는 세라믹의 장점인 고경도 특성과 메탈의 장점인 고인성의 특성을 갖춘 복합 소재로써 주성분인 TiC(N)에 WC, Mo<sub>2</sub>C 등을 matrix(결합) 상으로 20% 내외를 첨가하고 여기에 Co, Ni을 10~20% 첨가하여 제조한다. 특성으로는 세라믹

과 금속의 특성이 동시에 발현되는데, 즉, 고온 경도 및 강도가 우수하고 고인성을 발휘하여 고속절삭에 유리하며, 또한 피삭재와의 친화성이 작아 가공면의 조도가 우수하다. 용도로는 강의 고속가공, 강 및 주철의 중삭/황삭 milling가공에 적용된다. 그림 2에 여러 종류의 세라믹 tool bit를 나타내었다

세메트 재료는 기존의 초경합금 절삭공구나 코팅 공구보다 기술적으로 한 단계 발전된 절삭공구로 위에서 언급한바와같이 세라믹과 금속의 특성을 동시에 발현하는 재료이다. 그러나 절삭 속도의 측면에서만 본다면 세라믹 절삭공구에 비교하여 약간 뒤지나, 복합재료의 특성으로 용도에 따라 재료의 설계가 변경되어 여러 재질이 개발됨에 따라 넓은 범위의 절삭 요구조건을 충족함에 따라 절삭공구 시장의 주요 재료로 자리매김을 하고 있다.

특히, 일본에서는 이미 세메트의 절삭공구의 시장점유율이 급격하게 높아지고 있으며 관련기술을 리드하고 있다. 국내에서는 절삭공구 업체에서 생산되고 있고, 기능성 개발을 위하여 연구개발을 활발하게 진행하고 있는 실정이나, 아직은 일본 제품에 비교하여 품질과 가공기기와의 조

표 1. 국내 생산 세라믹 절삭공구 재질에 따른 현황

재 질	SM 사	DT 사	HY 사	HN 사
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	SN 26 SN 300 SN 400 SN 500 SN 700	AS 10 AS 20 SC 10(CVD)		SX 2 SX 5 SX 5 EC 1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiC(N) 계	ST 100 ST 300 SD 200	AB 20 AB 30		HC 2 HC 4 HC 5 HC 6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> 계	SE 200	AW 20		HCI
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiC Whisker 계				WA 1
세메트 계	TX 510 TX 515 TX 520 TX 530 TX 910 (PVD) TX 915 (PVD) TX 920 (PVD) TX 930 (PVD)	CT 320 CT 420 CT 520 PV 320 (PVD)	CT 10 CT 20 CT 30 CN 100 CN 200 CN 300 CC 105 (PVD) CC 115 (PVD) CC 125 (PVD)	T3N T4N N20 N40 C50 T35

화에서 연구개발의 여지가 있는 실정이다.

표 1에 국내에서 생산되고 있는 세라믹 절삭공구의 재질에 대한 간단한 비교표를 작성하여 나타내었다.

## 2.2 국내의 현황

### 2.2.1 국내의 현황

국내의 세라믹 절삭공구의 기술 현황은 앞서 언급한 바와 같이 미국, 일본의 선진국에 비교하여 아직은 품질면이나 종류의 다양성에서 개발의 여지가 많은 실정이다. 특히, 재료의 특성과 절삭 기기와의 조화 등과 고속가공 및 피삭체의 표면 조도 등 정밀도에서 기술 향상이 요구된다.

국내의 세라믹 절삭공구 제조업체로는 대구텍, 쌍용 머

티어리얼, 한국 야금, 한국 NTK 등이 있으며, 각각 업체의 특성에 맞게 경쟁력 있는 제품들을 제조하여 상품화하고 있다. 이들 제조회사중 국내 기술을 선도하고 있는 업체에서는 원료를 수입하여 개발된 기술을 이용하여 여러 생산공정을 거쳐 완제품을 생산하고 있다. 표 1에서 보는 바와 같이 유사한 재질의 제품을 각 업체에서 생산하고 있으며, 필요에 따라 재질을 선택하여 사용할 수 있다.

외국과의 기술상 비교는 단정적으로 할 수 없지만, 외국과의 유사한 생산공정을 채용하고, 소재 설계 및 가공기술에 know how와 고유 기술을 결합하여 일부 제품에서 선진국의 선진 사들과 비교하여 동등의 제품 품질 수준을 제조하고 있다. 즉,  $Al_2O_3-TiC(N)$  계와 일부 세메트 계에서는 소재의 품질 수준이 외국의 Ceramtec 및 NTK 등 선진

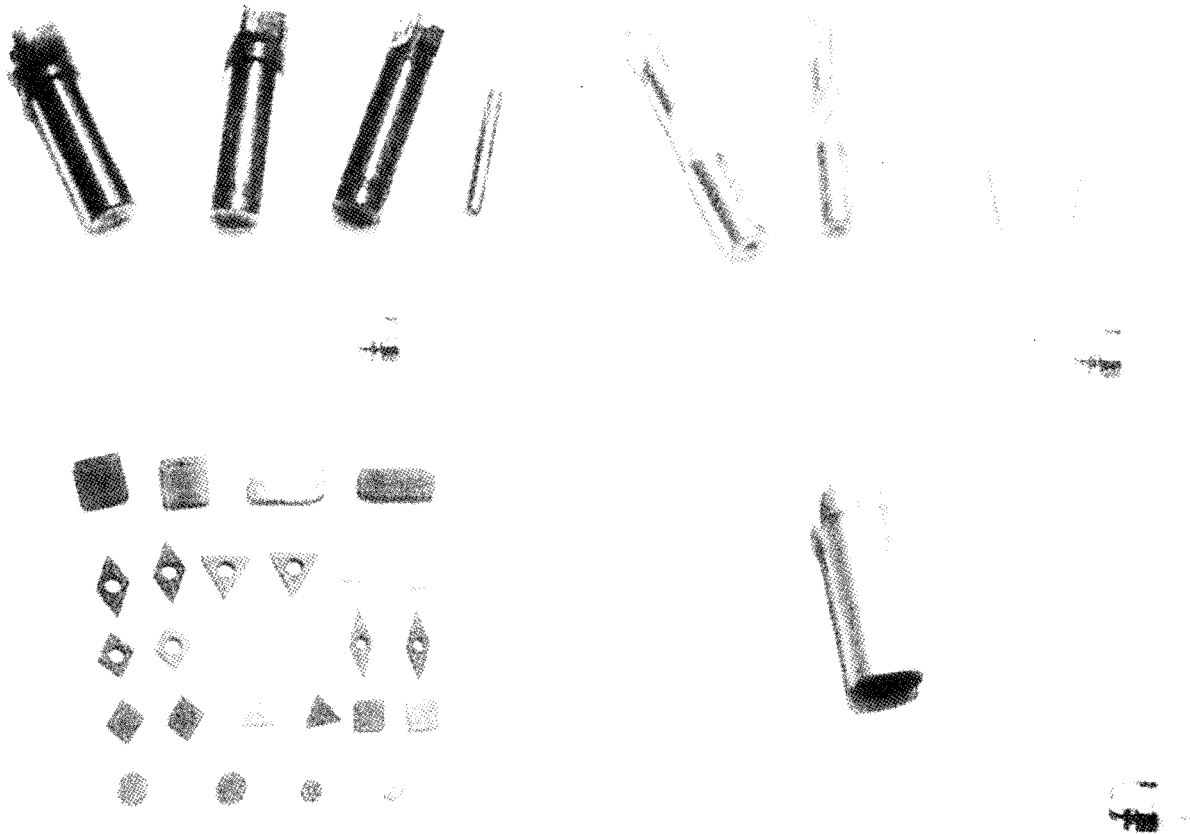


그림 3. 기계 가공을 위한 다양한 형상과 재질에 따른 절삭공구

사와 비교하여 동등 이상의 수준에 도달하여 국제적으로 경쟁하고 있다.

국내 기술 또한 선진국의 수준에 아직은 도달하지는 못하였지만, 필요에 따라 용도에 맞는 요구조건을 국내 회사에 기능성을 요구하여 소재 설계시 반영할 수 있다. 즉, 요구 조건을 발휘하는 새로운 특성을 갖는 절삭 공구를 주문하여 사용할 수 있을 정도의 업체의 기술이 개발되어 선진화된 업체도 있다. 현재 이러한 기술 선도 업체는 선진국과의 경쟁에서 우위를 점하기 위하여 다 방면으로 연구 개발에 노력을 하고 있으며, 머지않아 국내 업체도 국제 경쟁력을 갖춘 기술을 확보하리라 생각된다.

### 2.2.2 국외의 현황

선진국에서는 정밀가공과 생산성의 요구로 인하여 우리보다 절삭공구에 대한 필요성이 일찍 대두되어 기술상으로 여러 방면에서 앞서 있는 상황이다. 미국의 경우를 보면, Greenleaf 사와 Onrud Cutter 사가 SiC whisker를 사용한 알루미늄질 절삭 공구에서 국제경쟁력을 확보하고 있으며, 이 제품은 알루미늄질 공구에 비교하여 인성이 2배 이상, 수명이 4~5배의 특성을 갖는 것으로 알려져 있다. 또한 Onrud Cutter 사는 이 제품을 목공용 드릴 bit로 상품화 하여 시판중이다.

일본의 경우는 일본 텅스텐, NTK사에서 여러 종류의 세라믹 절삭공구를 제조하여 시판중에 있으며, 특히, 세메트 제품의 시장 점유가 높은 실정이다. 이는 용도에 따라 다양하게 특성을 발휘하여 맞춤형 절삭공구를 제작하여 사용하고 있다고 볼 수 있다.

독일은 Hertel사가 세메트, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Alumina-zirconia, Alumina-TiC 등을 제조하여 판매하고 있으며, 기술적으로 선진대열에 속해 있고 전세계에 제품을 생산하여 공급하고 있다.

그림 3에 다양한 금속 및 기계 가공을 위한 tool bit를 나타내었다.

## 3. 초경질 절삭공구 세라믹 재료

세라믹 절삭공구의 출현으로 가공속도에서 고속화를 이

루었고, 난 가공 물질의 증가로 인하여 초경질 재료의 절삭공구의 연구 개발이 매우 활발하게 진행되고 있다. 초경질 절삭공구의 재료의 기본이 되는 세라믹은 기계공업의 발전에 크게 기여하는 원자재로서 매우 중요한 위치를 차지하고 있고 향후 그 역할이 더욱 터질 것으로 기대하고 있으며, 이들 재료의 특성을 이해하는 것이 가공시 매우 중요하다.

초경질 재료로서 가장 잘 알려진 재료로는 다이아몬드로서, 경도나 열전도율에서 가장 좋은 물질이다. 단결정은 날카로운 예각의 날을 얻을 수 있어 비철재료의 초정밀 가공에 아주 적합하다. 다이아몬드는 미국의 General Electric사가 미세한 분말형상의 인조 다이아몬드 합성을 시작한 후 이를 이용하여 가공을 시작한 후 단결정 성장기술에 힘입어 현재에는 수 mm의 대형 다이아몬드를 합성하여 여러 방면에서 가공용으로 사용되고 있다.

합성 다이아몬드는 잘 알다시피 레이저, 광 자기 디스크, 반도체 등 전자 및 광산업에서 중요한 역할을 하고 있으며, 광학렌즈 및 금형 등의 초정밀 절삭 가공에 활용되고 있다. 다이아몬드 소결체는 합성 다이아몬드 분말을 코발트 등의 바인더를 사용하여 성형된 다이아몬드가 약 5만 기압의 초고압과 고온에서 소결된 것으로 General Electric사가 처음으로 개발하였다. 이 다이아몬드 소결체는 세라믹과 같은 비금속 재료 및 비철금속의 절삭에 사용되어지며, 내구성이 매우 우수하고 특히, 절삭에 의한 열전도율이 우수하여 Al-Si 합금, 초경질합금, 강화 플라스틱 등의 난가공 물질에 매우 적합하다.

그러나 금속 바인더를 함유하고 있어 내열 온도가 700℃ 정도로 낮기 때문에 용도와 사용조건이 제한된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 최근 비철금속 촉매에 의한 소결과 낮은 온도에 영향을 주는 바인더를 사용하지 않는 소결체의 연구가 활발히 진행되고 있다.

이러한 단점을 보완하고자 새로운 소재의 연구가 진행됨과 더불어 다이아몬드와 유사한 재료가 개발되었다. 이는 입방형의 보론 나이트라이드로 cBN이라 불리운다. 입방정 절삭공구 cBN(cubic BN)은 다이아몬드 다음가는 경도 및 열전도율을 가지고 있기 때문에 세라믹 절삭공구의 중요한 초경재료로 주목을 받고 있다. 그러나 cBN은 천연으로 존재하지 않고 다이아몬드와 같이 고온 고압의 한정된 조건

에서 합성된다.

표 2에 주요선진국인 미국, 일본의 주요 용도에 대한 세라믹 절삭공구에 대한 요구를 간접적으로 파악하기 위하여 이들 국가의 공구시장을 국내에 비교하여 나타내었다.

cBN은 위에서 언급한 바와 같이 다이아몬드와 매우 유사한 제조 공정과 특성을 발휘한다. 그러나 내열성에서는 다이아몬드와 비교하여 우수한 특성을 나타내기 때문에 다이아몬드 공구로는 가공할 수 없는 철 계, 니켈 계, 코발트 계 재료를 가공할 수 있다. 또한 열처리를 한 높은 정도의 재료를 절삭 가공할 수 있어 정밀 가공분야에서 가장 중요한 공구재료로 간주 되고 있다. 세계적으로는 미국의 General Electric, 영국의 De Beers, 일본의 Showa Denko와 Sumitomo 등이 이들 소재를 생산하고 있다.

이 cBN의 등장으로 주철과 각종 합금강 및 절삭용 강철 등의 가공능률이 급격히 향상되어 자동차 산업과 같은 기계공업에서 그 역할이 클 것으로 생각된다. 현재 시판되고 있는 cBN 소재는 cBN 입자가 서로 점점 결합되어 바인더가 분산되어 있는 다결정 타입과 결합제 중에 cBN 입자가 분산되어 있는 복합형으로 크게 나누어진다. 다결정 타입은 주철과 내열 합금의 가공에서 뛰어난 성능을 나타내고 복합형은 합금강에 적합하다. 모두 엔진 블록, 샤프트, 베어

링 등의 자동차 부품과 철 계통의 경질 재료에 고성능 고효율을 나타내기 때문에 아주 중요한 소재로 각광 받고 있다.

cBN의 소결체 역시 다이아몬드 소결체와 유사한 제조공정을 거치기 때문에 결합제의 참가량 및 종류에 따라 품질이 변하는 단점을 보완하기 위하여 무바인더화 및 미립화의 연구가 진행되고 있어, 향후 이러한 단점이 보완된 광범위하게 사용될 수 있는 절삭 공구의 재료가 개선 및 개발되어 기계가공에서 고속화 및 정밀화에 크게 기여할 것으로 보인다.

#### 4. 결 언

기계가공에서 생산성 및 정밀도의 향상에 대한 과제는 영원한 숙제로 이를 해결하기 위한 방안이 가공기기 및 절삭공구 등에서 지속적으로 수행될 것이다. 특히, 현재 각광을 받고 있는 nano technology 및 소결 기술, 코팅 기술 등 관련된 기술이 하나의 목표를 위하여 융합된 fusion technology 가 체계적으로 조합되고 개발되기 때문에 지속적으로 가공의 고능률화 및 고품질화가 이루어 질 것으로 예상된다.

특히, 선진국에서 시장이 확대되고 있는 분야인 세메트

표 2. 공구 및 연마 재료용 세라믹스의 시장 점유율 (단 : 억원)

제 품 명	구분 년도	1985	1990	2000	2005	비 고
초경재료	세계	25,230	33,550	59,680	79,920	
	미국	6,310	8,390	14,920	19,980	25 %
	일본	5,050	6,710	11,940	15,980	20 %
	한국	450	625	1,480	2,390	
내마모세라믹스	세계	14,230	17,100	38,000	67,040	
	미국	4,290	5,130	11,400	20,100	30 %
	일본	3,575	4,275	9,500	16,760	25 %
	한국	80	206	915	1,934	
다이아몬드 (cBN 포함)	세계	16,500	26,545	68,900	110,900	
	미국	4,830	7,100	15,242	22,400	
	일본	3,135	4,780	11,020	16,640	
	한국	140	500	1,800	3,000	
cBN	세계	-	560	2,400	5,000	
	미국	-	170	720	1,500	30 %
	일본	-	280	1,200	2,500	50 %
	한국	-	25	90	150	

와 cBN 등과 같은 용도에 맞는 절삭공구와 다이아몬드에 버금가는 소재의 절삭공구에 대한 기술이 더욱 발전될 것으로 보인다. 향후 전개될 초경합금제조 기술에 대한 예상은 복잡한 형상과 정밀성을 요구하고, 고온 고속의 가공 환경, 고도의 정밀도와 생산성이 높은 방향으로 유도 될 것으로 예상된다.

따라서 공구 재료도 이제와는 달리 이러한 목적에 부합 되는 맞춤형 공구재료로 발전될 것으로 보이며, 가공자도 목적에 맞는 가공 기기와 공구를 선정하여 최고의 능률을 이루어 경쟁력을 확보해야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 고기능성 세라믹스 기술개발 전략, 한국과학기술연구원 (1995)
2. 과학기술 2005년 기획 사업, STEPI, 1994
3. Diamond Deposition Science and Technology, Vol. 8, No. 8, 1991
4. New Diamond, Vol.4, No.1, 1988
5. 쌍용 머티리얼 자료집, 2003
6. 대구텍 자료집, 2003
7. 기능성소재 및 부품, 한국생산기술연구원, 2002