

한국의 탄소재료 산업과 연구 현황

유 승 곤

1. 서 론

현대사회 공산품의 소재는 금속, 고분자 및 세라믹이 주종을 이루고 있다. 그런데 다가오는 21세기에는 탄소(炭素)가 제4의 소재로서 매우 중요한 역할을 맡을 것으로 주목된다. 사실상 탄소가 인류의 발달과 더불어 이용되어 왔지만 금세기 후반에야 구조 재료나 기능성 재료로 개발되기 시작하였다. 탄소는 평면구조 혹은 입체구조를 갖는 동소체들이 존재하고 본질적으로 다양한 결합을 이루어 변화무쌍한 구조를 형성할 뿐만 아니라 고온처리하면 흑연구조를 갖는데 흑연은 3500℃ 이상에서 승화하는 물질이므로 그 기계적·열적 특성을 살려 초고온 및 초저온에서도 열팽창·수축이 거의 없어야 하는 우주항공산업의 구조물 재료로 적합하다. 그 외에도 가볍고 내약품성이 우수하며 탄소섬유 등으로 다양한 복합재료를 만들 수 있어서 앞으로 이러한 특성을 살리는 새로운 공산품들이 무한히 등장하리라 전망된다. 그러므로 선진국에서는 이미 새로운 응용을 보이는 탄소재료에 관한 연구가 활발하고 관련분야 산업이 급성장 중에 있다.

한국의 탄소산업은 선진국에 비하여 대단히 뒤떨어져 있다. 미국과 소련이 탄소섬유를 이용하여 우주여행 경쟁을 벌이고 있을 때인 1965년에 우리나라에서는 가내공업 수준으로 톱밥으로부터 활성탄소를 처음 생산하였고, 1997년 현재의 탄소섬유 생산량은 년 60톤에 불과하며 자연흑연의 정제기술도 확립되어 있지 못하고 고온을 발생시킬 수 있는 흑연봉도 생산되지 않고 있다. 표 1에 한국의 개략적인 탄소산업의 역사를 정리하였다. 미래에는 탄소재료가 아주 중요한 공산품 소재로 응용될 것이 분명하므로 21세기를 대비한 우리나라의 많은 산·연·학 관계자들의 적극적인 연구활동, 생산활동이 필요하고 국가 관련 부서의 진취적인 사고가 요망된다.

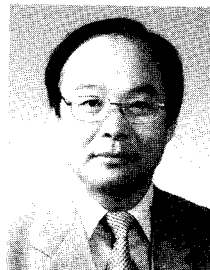
표 1. 한국 탄소산업의 역사

1965	톱밥으로부터 활성탄소가 가내공업 규모로 생산됨
1966	카본블랙이 소규모로 생산됨
1967	톱밥으로부터 활성탄소가 소규모 공업적 규모로 생산됨 (제일탄소)
1969	카본블랙이 소규모 공업적 규모로 생산됨 (력키 컨티넨탈)
1978	카본 부러취가 소규모 공업적 규모로 생산됨(가람)
1981	탄소섬유 prepreg가 생산됨(한국화이버)
1983	PAN 계 탄소섬유의 시험 생산(충남대학교)
1988	PAN 계 탄소섬유의 공업적 규모 생산(체철화학)
1990	PAN 계 탄소섬유의 공업적 규모 생산(태광산업)

2. 한국의 탄소산업

2.1 탄소섬유

1980년경부터 (주)한국 화이버-한국 카본으로 개명함을 비롯한 몇몇 회사들이 일본으로부터 탄소섬유를 수입하여 탄소섬유/에폭시 prepreg를 만들어 낚시대, 테니스 라켓 등과 같은 스포츠 용품을 생산하였다. 탄소섬유의 수입량이 서서히 증가하자 1988년에 (주)체철화학이 PAN계 탄소섬유 공장을 설립하였다. 그러나 사정에 의하여 생산이 중지되었다. 1990년부터 (주)태광산업이



유승곤

- 1969 연세대학교 졸업(학사)
- 1969~1971 육군사관학교 화학과 교관
- 1973 연세대학교 대학원 졸업(석사)
- 1979 연세대학교 대학원 졸업(박사)
- 1980~1981 클리브랜드 주립대 방문교수
- 1976~현재 충남대학교 전임강사-교수

Status of Carbon Researches and Industries in Korea

충남대학교 화학공학과(Ryu Seung Kon, Department of Chemical Engineering, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea)

표 2. 한국의 탄소섬유 소비량(1992-1994)

① 생산품 기준		(unit : tons)		
품 목	1992	1993	1994	
남 시 대	400	380	350	
폴 프 채	40	90	130	
라 켓	40	20	20	
기 타	5	5	10	
계	485	495	510	

② 탄소섬유 기준		(unit : tons)		
종 류	1992	1993	1994	
T300-3K/6K	20	30	30	
T300-12K	440	420	430	
M30	10	30	30	
M40 이상	15	15	20	
계	485	495	510	

③ 공급회사 기준		(unit : tons)		
회 사	1992	1993	1994	
Toray(일본)	80	135	155	
Toyobo(일본)	205	175	170	
태광산업(한국)	60	60	60	
miscellaneous(일본)	140	125	125	
계	485	495	510	

④ 사용자 기준		(unit : tons)		
회 사	1992	1993	1994	
한 국 카 본*	220	220	220	
선 경	160	180	190	
우 신	60	70	70	
기 타	45	25	30	
계	485	495	510	

*한국 카본(한국 화이버).

역시 PAN계 탄소섬유 공장을 설립하고 년 60톤을 생산하게 되었다. 태광산업에서 생산되는 탄소섬유의 가격은 약 30 \$/kg이며 대부분 자체에서 소비하고 있다.

1980년에 년 약 2,000톤이던 탄소섬유의 세계적인 수요가 1987년에는 년 4,000톤, 1996년에는 년 10,000톤을 초과함으로써 급진적인 수요의 증가를 보이고 있다. 국내 탄소섬유의 소비량은 1996년에 년 약 550톤으로 통계되었고 그 수요의 증가가 세계적인 추세와 유사하다. 국내 생산량이 60톤에 지나지 않음을 볼 때 대부분이 수입되었음을 알 수 있으며 응용제품의 수입량까지 합하면 더 많은 수요가 예측된다. 표 2에 1992-1994년의 국내 탄소섬유의 소비량을 제시하였다.

2.2 활성탄소/활성탄소섬유

1965년 제일탄소가 가내공업 수준으로 톱밥을 염화아연으로 활성화하여 제조해 낸 것이 한국 최초의 탄소공업이라고 볼 수 있다. 1967부터 소규모 공업적 규모 생산이 시작되었다. 현재 한국의 활성탄소 생산업체는 약 18개가 된다. 근래에는 야자각 char를 주 원료로 사용하며

표 3. 한국의 활성탄소 생산량(1997. 2)

생 산 업 체	연락처(전화)	생산량(tons/year)	
		분말상	입 상
삼 천 리	02-783-1041	600	5,000
한 일 그 린 텍	02-564-0321	300	3,700
신 기 화 학	02-634-6631	2,500	2,400
제 일 탄 소	02-763-7061	0	1,500
유 니 온 카 본	02-677-4734	500	1,500
대 립 탄 소	02-832-8338	700	2,500
기 타		3,400	2,400
계		8,000	19,000

전량을 인도네시아, 말레이시아, 필리핀과 같은 동남아 국가로부터 수입하여 국내에서 활성화한다. 1997년 현재 국내 활성탄소의 생산량은 입상이 년 약 19,000톤이고 분말상은 연 약 8,000톤으로 통계되고 있으며, 1996년 외국으로부터의 년 수입량은 입상이 약 10,000톤, 분말상이 약 9,000톤으로 집계되고 있다. 대부분이 중국과 일본에서 수입되며 분말상의 수입량이 해마다 급격히 증가하고 있다. 표 3에 국내 활성탄소 생산량을 제시하였다. 이 자료는 각 생산업체에 직접 문의한 결과인데도 정확한 자료라고는 볼 수 없다. 그 이유는 최근에는 여러 업체들이 자체생산보다는 수입을 하여 판매하기 때문이다.

근래에는 기체혼합물의 선택적 흡착 기능성을 갖는 흡착제의 개발에 관심이 고조되고 있다. 금속침착 활성탄소는 이러한 기능을 강조한 것으로 기존의 활성탄소를 침착 수용액에 넣고 처리하는 함침법과 침착시약의 휘발성을 이용하는 승화법이 있는데 침착시약이 활성탄소의 기공 내에 균일하게 분포·침착되어야 한다.

또한, 최근에는 촉매의 담체로서 금속침착 활성탄소를 응용하기 시작하였다. 그러므로 활성탄소의 소비는 단순한 흡착제로서 뿐만 아니라 다양한 응용분야까지 확대되고 있다.

활성탄소섬유 혹은 섬유상 활성탄소(activated carbon fiber, ACF)는 1962년 미국의 Abbott에 의하여 처음으로 특허화 되었고 제품으로서 세상에 알려지기는 1976년으로 추정된다. 활성탄소섬유는 페놀수지계 탄소섬유 외에 PAN(polyacrylonitrile)섬유, 셀룰로오스계 섬유, 핏치계 탄소섬유 등 유기섬유를 탄화하고 산화성 가스로 활성화하여 만드는데 입상이나 분말활성탄에 비하여 비표면적이 월등히 큰 것 외에도 여러 가지 독특한 특성을 가지고 있다. 매우 가는(15 μm 이하) 섬유상에 발달된 미세공들은 기상 및 액상 흡착에 있어서 대단히 신속한 세공내 흡착(intraparticle adsorption)을 보일 뿐만 아니라 기본 형태가 섬유이므로 직포나 부직포, 종이 등의 형태로 가공하여 사용할 수 있고 취급이 용이하다. 그리고 낮은 온도에서 탈착이 용이하므로 재생성이 뛰어나다. 따라서 현재는 활성탄 등 다른 흡착제에 비하여 비싸다는 단점이 있으나 이들에 비하여 비표면적이 월등히 크

고 흡착속도가 우수하며 여러 차례 재사용하므로써 비싸다는 단점을 만회하고 있다. 동시에 값싼 원료를 이용하여 저렴하게 만드는 공정이 시도되고 있다.

활성탄소섬유는 기공이 균일한 미세공(10-20 Å)으로 이루어져 있지만 최근에는 프리커서에 세공을 쉽게 발달시키는 휘발성 고분자물질 및 소량의 금속이온들을 혼합하고 방사한 후 활성화하여 미세공의 크기분포를 30-40 Å 범위로 넓히고 금속을 침착시키는 새로운 기술이 도입되었다. 이러한 기술은 미세공의 구조적, 전기적 특성을 마음대로 변화시켜 활성탄소섬유를 기능성 흡착제로는 물론 촉매의 단계, 연료전지의 분리전극, 리튬이차전지의 음극활물질 등 다양한 분야에 응용할 수 있기 때문에 탄소소재와 관련있는 산업과 연구자들의 세계적인 관심사가 되고 있다.

현재의 세계적인 활성탄소 및 생산현황을 검토하면 일본의 Toyobo, Toho Rayon, Osaka Gas 3사가 약 700톤/년 생산시설을 확보하고 있으면서 또한 증설을 시도하고 있는 중이다. 중국에서는 시험생산 정도이므로 일본이 전세계의 시장을 석권한 셈이다. 한국은 1988년부터 (주)대동AC가 일본으로부터 활성탄소섬유를 수입하여 각종 흡착제와 탈취제를 제조하고 정수용 카트리지를 개발하는 등 응용분야가 확대됨으로서 그 수입량이 점차로 증가하고 있으나 국가의 전체적인 수입량은 아직 파악되고 있지 못하다. 다만 그 수요량의 증대로 인하여 몇몇 기업이 국내에서 생산하려는 시도가 진행 중이다.

2.3 카본 블랙

카본 블랙은 무정형 탄화수소로 분류되며 입자 1개 중에는 백만-수백만개의 탄소원자를 함유하고 있으며 입자의 직경은 10-500 μm의 범위에 있다. 이의 생성 이론은 1956년에 발표된 유적설(Oil droplet theory, Peker)이 가장 유력하다. 즉, 카본 블랙 생성공정에서는 고방향족 중질유를 고온 열기류(1600-2000 °C) 내부로 무화 분사시키는데 분사된 원료는 기화되어 분해·축합 과정을 거쳐 분자량이 큰 탄화수소로 축합된다. 이것은 핵으로 작용하여 유적의 형성·성장에 관계한다. 이와 같이 성장과 합체 과정을 거친 유적은 최종단계에서 극히 짧은 시간내에 탄화되어 카본 블랙이 생성된다.

카본 블랙은 예전에는 숯검댕이로 인식되었고 주로 검정 잉크, 고무제품의 원료로 이용되었으나 근래에는 자동차 타이어에 주로 이용된다. 한국의 카본 블랙 생산은 1968년 (주)럭키와 미국 콘티넨탈사가 합자회사인 럭키콘티넨탈카본사를 설립하고 1969년 (주)럭키 부평공장이 년 약 10,000톤을 생산한 것이 처음이다. 1981년에는 (주)제철화학이 미국 Ashland 사의 기술로 포항공장을 가동하였으며 80년대 후반 자동차 산업의 급격한 발달로 카본 블랙의 생산은 수출량을 포함하여 비약적으로 성장하였다. 표 4에 한국의 카본 블랙 생산량을, 표 5에

표 4. 한국의 카본 블랙 생산량(1996)

생산업체	연락처	생산량 (1,000 ton)	기술제휴회사
LG화학	0662-680-6720	195	-USA(Continental)
POSCO(제철화학)	02-231-2401	90	-USA(Ashland)
정우 석탄화학		50	-Japan(TOKAI)
계		335	

표 5. 카본 블랙과 자동차 산업 성장율의 비교(%)

	자동차(1,000대)		자동차 타이어(1,000개)		카본 블랙(1,000 ton)	
	1966	1992 (%)	1966	1992 (%)	1966	1992 (%)
일본	2,286	12,499	447	34,800	153,677	341
한국	-	1,730	-	443	33,710	7500
						0.4
						250
						62500

는 카본 블랙과 자동차 산업의 성장율을 비교한 자료를 제시하였다. 럭키콘티넨탈카본사는 (주)LG화학으로 상호를 바꾸었다.

2.4 흑연/흑연전극봉

카본 부러쉬, 펠트, 파이프로의 가열용 흑연제품(Graphite heating elements) 등은 1978년부터 (주)가람에 의해, 1986년부터 (주) 카본로렌 코리아(Carbone-Lorraine Korea)에서 생산되기 시작하였다. 그러나 대부분의 분말상과 블록형 흑연은 외국으로부터 수입되고 있다. 최근에 와서 몇몇 관련 연구기관에서 천연 흑연을 정제하는 연구가 시도되고 있다. 표 6은 한국내 두 회사의 흑연 소비량을 보여주고 있다.

고부가가치 탄소재료 중의 한 가지가 인조흑연 성형체이다. 이것은 원료의 분쇄, 혼련, 1차소성, 함침, 2차소성, 흑연화를 거쳐서 제조하는데 원료의 선택과 제조조건에 따라서 특성을 달리하는 성형체를 얻을 수 있다. 방전 가공용 흑연전극은 우수한 가공성과 고순도 및 적당한 전기저항 특성을 이용하여 전기에너지를 열에너지로 변환시켜 피처리물을 가열, 용해시키는데 사용하고, 탄소의 내열성, 내약품성을 이용한 전기화학용 전극재는 알미늄 전해용 전극, 인산형 연료전지용 전극, 전기저장용 전극재 등에 사용한다. 근래의 조강 조업은 전기로를 많이 사용하는데 이 때 흑연전극이 사용된다. 고온로 재료 및 고온 발열체로 사용되는 흑연봉은 아직까지 전량 외국에서 수입하는데 1987년의 연 수입량은 약 20,000톤이었고 2000년에는 년 약 65,000톤으로 예측된다. 인조 흑연봉의 개발은 매우 시급한 과제 중의 하나이므로 한국철강협회에서 흑연전극봉의 국산화를 위하여 적극적으로 노력하고 있다.

표 6. 한국의 분말 및 블록형 흑연의 소비량(1996. 12)

생산업체	연락처	소비량(tons/year)		기술제휴회사
		1988	1996	
가람	02-232-6378	-	540	-Morgan(England)
카본 로렌 코리아	02-598-0071	15	100	-Carbone-Rorraine(France)

3. 한국의 탄소재료와 관련된 연구활동

지난 수십년간 여기 저기에 흩어져 있는 탄소재료에 관련된 연구업적을 일일이 조사하여 정확히 열거하기는 쉽지 않다. 그러므로 여기에서는 그 동안 파악된 정보와 연구자들의 연구활동을 중심으로 소개하고자 한다.

한국에서의 PAN 계 탄소섬유의 실험실적 제조는 1983년부터, 피치계 탄소섬유의 실험실적 제조는 1984년부터 충남대학교 탄소섬유연구실(이보성 교수)에서 수행되었다. 충남대학교 탄소섬유연구실은 콜 탈 또는 납사 크래킹 잔사 피치를 개질하여 등방성 및 이방성의 원형, C형, hollow형 탄소섬유를 제조할 수 있는 기술을 확보하였고, 탄소섬유를 CVD 방법으로 표면처리하여 탄소/탄소 복합재를 만드는 연구 및 탄소섬유를 스팀으로 활성화하여 활성탄소섬유(유승곤 교수)를 만드는 연구를 꾸준히 수행하고 있다. 포항 산업과학기술원 탄소재료연구팀(박양덕 박사)과 전남대학교 섬유공학과(양갑승 교수)에서도 콜 탈 피치로부터 탄소섬유의 제조에 관한 연구를 수행 중에 있고, 명지대학교 무기재료공학과(임연수 교수), 화학공학과(김명수 교수)에서도 피치의 개질과 메조페이스 피치계 탄소섬유의 제조에 열심이다. 고성능 탄소섬유 보강 복합재는 (주)한국 카본 복합재료연구소(최영선 박사), (주)대우 중공업 항공우주연구소(김광수 박사), 국방과학연구소(윤병일 박사), 한국화학연구소(이재락 박사, 박화동 박사) 등이 연구하고 있다.

균일한 미세공을 갖는 분자체적 활성탄소의 생산을 위한 연구는 에너지기술연구소(김춘호 박사)에서, 금속첨착 활성탄소의 개발연구는 원자력연구소(이후근 박사)에서, 석탄을 원료로 하는 분자체의 개발연구는 포항 산업과학기술원(김제영 박사)에서 수행되고 있으며 최근에는 몇몇 기업체에서 제올라이트와 활성탄소의 장점을 모두 살리는 제오카본을 개발하고 있다. 탄소재료의 미세공 크기 분포를 훨씬 카우먼 촉매의 담체로 사용할 수가 있기 때문에 화학적·열적 안정성이 좋은 탄소계 담체의 생산을 요망하는 산업체가 늘고 있으므로 여러 연구소의 촉매 관련분야 부서에서 연구가 진행 중이다.

LG 그룹은 카본 블랙 외에 새로운 탄소재료의 개발을 위하여 1995년에 LG화학 카본기술연구소를 설립하였다. (주)한국 타이어는 카본 블랙의 주 사용업체이므로 탄소재료의 연구에 관심이 많다. 최근에는 21세기형 무공해 에너지 생산을 위한 이중층 축전지(double layer capacitor), 리튬 2차전지, 연료전지 등의 분리전극이나 음극 활물질에 특수 기능형 탄소가 필수적으로 응용되는 사실을 인식하고 많은 연구소와 기업체들이 신 탄소재료의 개발에 관심을 고조시키고 있다. 리튬 2차전지의 음극 활물질 개발에는 한국과학기술연구원(이중기 박사), 한국전기연구소(문성인 박사) 등과 전지 생산업체 연구

표 7. 한국의 탄소재료 연구인력 현황

주 제	주요 연구 분야	성명 및 소속	연 락 처
Activated carbon	Active carbons containing metals	이 후 근 한국원자력연구소	042-868-2383
Activated carbon	Preparation of active carbons from coal	김 춘 호 한국에너지기술연구소	
Activated carbon fibers	Preparation and characterization of ACF	유 승 곤 충남대학교	042-821-5685
Activated carbon fibers	Heavy metal adsorption with ACF	정 종 현 한국원자력연구소	042-868-2347
Carbon fibers	Production of CF from mesophase pitch	이 보 성 충남대학교	042-821-5684
Carbon fibers	Production of CF from isotropic pitch	박 양 덕 포항 산업과학기술원	0562-279-6729
Carbon fibers	Mesophase pitch	양 갑 승 전남대학교	062-520-7016
Carbon fibers	Pitch reformation	임 연 수 명지대학교	0335-30-6464
Carbon fibers	CVD	이 보 성 충남대학교	042-821-5684
Carbon fibers	Structure analysis	박 종 래 성균관대학교	0331-290-7315
Carbon fibers	Structure analysis	김 명 수 명지대학교	0335-35-6391
Carbon fibers	Surface treatment	박 수 진 한국화학연구소	042-860-7234
Carbon black	Production and application of carbon black	황 윤 태 LG 화학 카본연구소	0662-680-6720
Coke	Preparation and application	윤 광 의 거평그룹 중앙연구소	0432-48-9070
Composites	Preparation of CF/polymer composites	이 재 락 한국화학연구소	042-860-7235
Composites	Preparation of multi-directional C/C composites	윤 병 일 국방과학연구소	042-821-4610
Composites	Preparation of multi-directional C/C composites	주 혁 종 충남대학교	042-821-6664
Composites	C/C composites	김 광 수 대우, 항공우주연구소	0551-80-6694
Composites	C/C composites	최 영 선 한국카본	0527-359-2011
Composites	Preparation of CF/ceramic composites, CVD	박 화 동 한국화학연구소	042-860-7506
Diamond	Mineralogy, application	신 태 중 일신 다이아몬드	0446-877-3831
Diamond	Mineralogy, application	윤 소 영 이화 다이아몬드	0339-370-9000
Electrodes	Preparation of graphite electrodes	윤 재 톤 (주) 가람	053-615-1061

표 7 계속)

주 제	주요 연구 분야	성명 및 소속	연락처
Fuel cell	Performance of electrolyte fuel cell	정 두 환 한국에너지기술연구소	042-860-3577
Fullerenes	Characterization	전 일 철 전북대학교	0652-70-3415
Fullerenes	Structure analysis	소 현 영 한국표준연구원	042-868-5040
Graphite	Expanded graphite	고 영 신 서울 교육대학	02-580-5114
Li-battery	Carbon cathode	분 성 인 한국전기연구소	0551-80-1660 0551-80-1662
Li-battery	Carbon cathode	이 중 기 한국과학기술원	02-958-5252
Mesophase	Production of mesophase from petroleum pitch	황 종 식 (주)한화에너지 연구소	032-570-5631
Molecular sieve	Production of molecular sieve from coal	김 제 영 포항 산업과학기술원	0562-279-6729
Soft carbon	Li-secondary battery	윤 성 호 동부그룹 중앙연구소	042-866-8020

소에서 수행되고 있다.

인조흑연 성형체인 고성능 흑연전극봉은 한국철강협회의 지원을 받아 포항 산업과학기술원 박양덕 박사팀이 개발 중에 있고, 천연흑연의 정제는 한국자원연구소에서 어느 기간 수행한 바 있다. 금속이온의 doping/undoping을 위한 흑연의 팽창이 서울교육대학 고영신 교수에 의하여 수행되고 있다.

1996년 노벨화학상 수상자는 fullerene 이라 불리는 탄소의 동소체를 발견한 미국 Rice 대학 Curl과 Smalley, 영국 Sussex 대학의 Kroto이다. 이들이 발견한 fullerene은 C₆₀으로 대표되는 탄소만의 화합물인데 그 모양이 축구공과 같다. 국내에서는 전북대학교(전일철 교수) 외에 한국표준연구원(소현영 박사)팀이 연구하고 있다.

이 외에도 탄소재료와 관련된 분야와 연구원은 무척 많다. 표 7에 현재 탄소재료를 연구하는 한국의 몇몇 과학자들을 열거하였고, 표 8은 탄소재료연구회에서 추출해낸 탄소소재의 세부 분류도이다.

한편, 한국에는 아직까지 탄소와 관련된 학술단체가 구성되어 있지 않다. 그러므로 탄소와 관련된 연구에 종사하는 많은 학·연·산 종사자들이 관심있는 과제로 심도 있게 논의할 여지가 부족하다. 이것은 서로의 정보를 교환을 궁색하게 하고 선진국과의 격차를 더욱 넓히는 일이기도 하다. 고분자학회에서나마 탄소재료의 중요성을 인식하고 이렇게 특집을 낸 것을 감사하게 생각한다.

표 8. 탄소소재의 분류도

대 분류	중 분류	소 분류	세 분류
탄소소재	기계기능재료	고온강도재료	고온금형재료
			내화물재료
		열기능재료	초고온발열재료
			고온단열재료
	마찰/마모재료	항공기브레이크/라이닝재료	베어링재료
			브러쉬재료
		윤활재료	DLC(다이아몬드형 탄소)
			탄소섬유
		복합재료	탄소/탄소
			탄소/세라믹
탄소/금속			
탄소/고분자			
전기/전자기능재료	전자재료	도전재료	
		활물질재료	
	전자재료	연료전지기능재료	
		축전지기능재료	
고전기전도재료	전자기차폐재료		
	고온반도체재료		
환경기능재료	흡착재료	고전기전도재료	
		활성탄소	
	분리기능재료	활성탄소섬유	
가능성흡착재료			
원자력기능재료	구조재료	분리막재료	
		분자체재료	
	감속재료	분자체재료	
특수기능재료	촉매/담체재료	분자체재료	
		전기화학촉매재료	
기타 탄소재료	촉매/담체재료	수소저장재료	
		산화/환원반응재료	
	생체의료용재료	인공장기재료	
		인공뼈재료	
	측정센서재료	생체고정화재료	
		치과용재료	
	토양개질재료	기타의료용재료	
		전자기능측정	
	음향재료	생체기능측정재료	
		독성제거기능재료	
광학기능재료	투양개질재료		
	흡음기능재료		
인쇄기능재료	흡음기능재료		
	특수음향조정재료		
안료재료	완전흑체		
	인쇄기능재료		
다이아몬드	안료재료		
	초경재료		
Fullerlene	고탄성재료		
	고열전도성재료		
Fullerlene	Fullerlene		
기타 탄소재료	기타 탄소재료	기타 탄소재료	