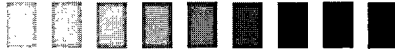


## 해설



# 흑연시장의 동향

박성완

(주) 한국수드케미

흑연은 원시인들이 동굴의 벽화를 그리는데 이용되었으며, 이집트인들은 도자기를 장식하는데 흑연을 이용하였다. 1400년경에 이미 독일 바바리아 지방에서는 흑연도가니가 만들어졌었다. 중세시대에는 흑연(graphite)이 납(lead)으로 구성되어 있거나 납을 다량 함유하고 있는 것으로 생각하여, 방연석(galena)나 휘수연석(molybdenite)등과 혼동이 되어 lead-silver를 뜻하는 'plumbago' 또는 'black lead' 등으로 불리워졌다. 그러다가 1779년에 Scheele가 흑연이 이산화탄소로 산화된다는 것을 밝혀냄으로써, 그 성분이 납이 아닌 탄소로 구성되어 있다는 것이 알려졌다. Werner(1789)는 '쓰다'의 뜻을 가진 그리스어인 'graphein' 으로부터 'graphite' 로 명명하였다(Taylor, 1994).

## 흑연의 특징

흑연은 편상 암석에 엽상(laminated), 'flaky aggregates' 형태로 발견되며, 광맥(vein)이나 섬유상구조로도 산출된다. 흑연은 검은 광택을 가지고 있으며, 능면체 대칭(rhombohedral symmetry)을 가지는 육방정계이다. 인상흑연

(flake)은 완전한 벽개를 가지며, 불투명하다. 결정화가 잘 된 인상흑연은 검은 금속광택을 가지지만, 토상흑연(amorphous)은 검고 토상광택을 가지며 미정질이다. 흑연은 열과 전기의 뛰어난 전도체이며, 88kg/cm<sup>2</sup>의 삼중점(triple point)에서 약 3,550℃에서 용융되며, 1.033 kg/cm<sup>2</sup>에서 3,300℃와 3,500℃에서 승화한다. 탄소의 3가지 형태인 목탄, 흑연, 금강석의 비중은 각각 1.3~1.9, 2.266, 3.5이다.

## 흑연의 분류

천연흑연은 인상(disseminated flake)흑연, 결정질(crystalline vein)흑연, 토상(microcrystalline, amorphous)흑연의 3가지 type으로 분류할 수 있다(Taylor, 1994).

인상(crystalline flake 또는 flake graphite 등으로도 불려짐) 흑연은 대리암, 편마암, 편암과 같은 변성암 내에서 'lamellar' 형태로 산출되며 각각의 인상편(flake)은 분리되어 있다.

이 흑연은 약 80~99%의 탄소를 함유하고 있으며, 기계적으로 분리되는 다량의 'parallel laminae' 로 이루어져 있다. 인상편의 크기에

따라 'flake(coarse flake, 20~100mesh)' 와 'fines(fine flake, 100~325 mesh)' 의 두 등급으로 분류하기도 한다(Harben, 2002). 주요 산출국은 중국, 인도, 브라질, 케나다, 멕시코, 노르웨이, 짐바브웨, 마다가스카르 등이다(Crossley, 2000).

고결정질(이수재, 2000: high crystalline, vein, fibrous, columnar 또는 lump graphite 로도 불려짐) 흑연은 페그마타이트의 관입접촉면을 따라 잘 발달된 맥이나 'pocket' 에서 산출되며, 흑운모, 정장석, 석영, 인회석등을 불순물로 수반하며, 약 80~98%의 조립질 'flaky graphite' 를 함유한다. 약 90~99%의 탄소를 함유하고 있으며, 스리랑카의 'Bogalda' 와 'Kahataga-Kolongata' 지역, 북한, 인도의

'Chennai', 'Rajasthan', 'Orissa' 지역, 마다가스카르, 브라질 등에서 주로 산출된다.

토상(amorphous, microcrystalline) 흑연은 주로 점판암이나 셰일에서 다소 규칙적으로 미정질 형태로 산출되며, 어떤 경우는 거의 전부 흑연으로 구성된 층에서도 산출된다. 탄소의 함유량은 탄질 퇴적물이 변질된 점판암이나 셰일에서 산출되는 흑연은 약 25~60%이며, 변성된 coal seam은 약 80~85%의 탄소함유량을 가진다. 상업적으로 개발 가능한 광상은 주로 접촉 변성작용에 의해 형성되는데, 멕시코, 오스트리아, 이탈리아, 대한민국이 주요 산출국이다.

합성(Synthetic, artificial manufactured) 흑연은 일차합성흑연(primary synthetic graphite 또는 electrographite)과 이차합성흑

표 1. 흑연과 그 응용(Crossley, 2000).

	Natural			Treated		Synthetic
	Crystalline Flake	Microcrystalline/ amorphous	Crystalline vein/lump	Exfoliated / Expanded	Colloidal	
Applications	Batteries Carbon pans Carbon brushes Catalysts Coatings Crucibles Foil Flame retardants Friction materials Fuel cells Lubricants Pencils Plastics + resins	Carbon additives Coatings Friction materials Lubricants Pencils Refractories	Batteries Lubricants	Batteries Coverings Foil Flame retardants Gaskets Insulation Lubricants Paint Seals	Batteries Carbon resistance film Catalysts Conductive suspensions Lubricants Metal alloys Mould release agents	Batteries Carbon additives Electrodes Fuel cells Heating systems
Producers	China, India, Brazil, Canada, Mexico, Norway, Zimbabwe, Madagascar	Austria, China, Czech Republic, North Korea, Mexico	Sri Lanka	India, Switzerland	India, Ukraine	Austria, Japan, Switzerland, USA

연(secondary synthetic graphite)으로 나누어지는데, 일차합성흑연은 원유 정제 후에 남은 잔류물질이나 중간생성물인 석유코크(petroleum coke), 카본블랙(carbon black), 무연탄, 천연흑연, 다양한 바인더나 피치 등을 하소시켜 만든 순수한 탄소이다. 이차합성흑연은 탄질 펠러나 바인더 물질로부터 같은 방식으로 생성된다.

### 흑연의 산출상태

흑연은 전세계에 광범위하게 분포하고 있으며, 다양한 화성암, 퇴적암, 변성암에서 산출된다. 하지만 경제적으로 중요한 흑연은 교대광상 또는 열수변질광상에서 산출되고 있으며, 광역 변성작용이나 열변성작용을 받은 퇴적암내에서 산출되고 있다. 전세계 대부분의 인상흑연과 결정질흑연 광상들은 선캄브리아기의 변성암에서 산출된다.

경제성 있는 흑연광상들은 지질학적으로 다음과 같이 5대별할 수 있다(Taylor, 1994).

1. 실리카가 풍부한 변성된 퇴적암내에 분포된 인상흑연(flake graphite)
2. 대리암내에 분포된 인상흑연(flake graphite)
3. 석탄이나 함탄소 퇴적암의 변성작용에 의해 형성된 토상흑연 광상(amorphous deposits)
4. 모암의 균열, 틈, 공동을 충전한 결정질 흑연(veins)
5. 변성된 석회질 퇴적암내의 접촉교대광상이나 열수변질광상

### 흑연의 용도

천연흑연은 합성흑연이 요구되는 순도에 비해 비용이 높기 때문에 전통적인 용도인 연필, 내화물, 고온금속성형, 윤활제등으로 아직까지 이용되고 있다. 중국산 흑연은 이와 같은 저품위 용도로 보편적으로 이용된다. 제철산업은 흑연

표 2. 전세계 흑연 생산량 및 매장량 (1000톤 단위; Olson, 2004).

	Mine Production		Reserves	Reserve base
	2002	2003		
United States	-	-	-	1,000
Brazil	70	65	360	1,000
Canada	25	25	NA	NA
China	450	450	64,000	220,000
Czech Republic	25	15	11,400	13,000
India	130	110	800	3,800
Korea, North	25	25	NA	NA
Madagascar	1	10	940	960
Mexico	25	20	3,100	3,100
Other Countries	62	62	5,100	44,000
World total (rounded)	813	782	85,000	280,000

NA, Not available

의 큰 소비자인데, 마그네시아-탄소 벽돌(mag-carbon bricks)과 같은 내화물이나 전기로(electric arc furnaces, EAFs)에서 전극으로 이용된다. 또한 연료전지(fuel cells), 전지(battery) 산업에 이용된다. 흑연의 분류에 따른 용도를 표 1에 나타내었다.

장량을 표2에 나타내었다(Olson, 2004). 전세계의 흑연 매장량은 약 85,000,000톤으로 중국이 약 64,000,000톤의 매장량을 가지고 있으며, 전세계 매장량의 약 75%이상을 차지하고 있다. 체코공화국은 2003년도에 광산에서 생산한 흑연의 양이 15,000톤으로 약 1.9%의 점유율을 가지지만, 매장량은 약 11,400,000톤으로 약 13.4%의 점유율을 가진다는 것이 특이할 만 하다.

### 매장량 및 생산

#### 매장량

전세계에서 산출되는 흑연의 광산생산량과 매

#### 각 나라별 흑연 생산량

2003년도에 전세계적으로 약 782,000톤이 광산에서 생산되었으며, 중국이 450,000톤을

표 3. 국가별 흑연 생산량 (톤 단위; Olson, 2002).

Country	1998	1999	2000	2001	2002
Austria	10,738	12,635	12,000	12,000	12,000
Brazil	61,369	53,503	71,208	70,091	70,000
Canada	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000
China	224,000	300,000	430,000	450,000	450,000
Czech Republic	28,000	22,000	23,000	23,000	25,000
Germany	270	300	300	300	300
India	143,333	145,000	140,000	140,000	130,000
Korea, North	35,000	33,000	30,000	25,000	25,000
Korea, Republic of	62	62	65	65	65
Madagascar	20,629	16,137	40,328	2,013	1,000
Mexico	43,461	27,781	30,330	21,442	25,000
Mozambique	5,889	4,007	-	-	-
Norway	2,600	2,500	2,500	2,500	2,400
Romania	1,951	1,041	1,251	1,176	1,200
Russia	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Sri Lanka	5,910	4,592	5,902	6,585	6,600
Sweden	3,011	4,500	5,108	963	900
Turkey	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
Ukraine	5,104	7,461	7,431	7,500	7,500
Uzbekistan	60	60	60	60	60
Zimbabwe	13,806	11,405	11,838	11,836	9,912
Total	651,000	692,000	857,000	821,000	813,000

생산하여 약 57.5%의 시장 점유율로서 세계 최대의 흑연생산국의 위치를 가지고 있고, 110,000톤을 생산한 인도(14.0%), 65,000톤을 생산한 브라질(8.3%)이 그 뒤를 따르고 있다. 그 외 캐나다(25,000톤), 북한(25,000톤), 멕시코(20,000톤), 체코공화국(15,000톤), 마다가스카르(10,000톤)등이 주요 생산국이다. 중국, 인도, 브라질의 3개 국가가 전세계 흑연생산량의 약 80%를 차지한다.

최근 5년(1998년~2002년)동안의 전세계 흑연생산국들의 자세한 생산량을 표3에 나타내었다(Olson, 2002). 전세계의 흑연생산국가들은 1998년에는 약 651,000톤을 생산하였고, 2000년에 857,000톤을 생산한 것을 정점으로 생산량이 감소하는 추세에 있으며, 2003년의 흑연생산량(782,000톤)은 2002년(813,000톤)에 비해 약 31,000톤이 줄어들었다(Olson, 2004).

## 시장 동향과 전망

내화물, 주물, friction 제품과 윤활제 용도의 흑연은 가장 큰 규모의 시장이지만, 건전지, 연필, 고무, 안료, 방수(防銹, rust proofing), 방염제(flame retardants), 석탄건류, 분말야금 등과 같은 용도로 사용되는 흑연은 탄소의 함량에 크게 의존한다.

일반적으로 대량의 흑연을 필요로 하는 산업들은 정체되어 있거나 위축되는 추세이지만, 특수한 용도로 사용되는 소량의 흑연을 필요로 하는 산업들은 실질적으로 성장하고 있다.

전도체 용도의 리튬이온 전지와 'flexible foil(or cloth)' 제품분야가 흑연에 있어서 가장 큰 성장을 한 분야이다. 현재 알칼린 건전지 시

장은 정체되어 있지만, 'expanded graphite'를 이용함으로써 시장이 성장할 가능성을 가지고 있다. 연료전지 분야는 상용화후 약 7에서 10년까지는 흑연의 대량의 잠재적인 수요가 예상된다.

자동차산업에 있어서, 흑연은 트랜스미션과 브레이크 등에 이용되고 있는데, 세계적인 자동차회사의 구매팀으로부터 강력한 가격압력을 받았다. 자동차 시장과 일반 경제와의 밀접한 연관성으로 인해 이 분야의 흑연산업은 하향추세에 있음을 의미한다.

윤활제 시장은 대용량의 흑연시장을 형성하였으며, 안정된 추세에 있다. 전도성 프라스틱(conductive plastics) 분야는 좋은 전망을 보여주고 있지만, 내화물시장은 매우 어려운 상황이다. 이 시장의 저조한 실적으로 인하여 전 세계의 많은 흑연광산들이 휴광중이며, 이러한 상황이 계속될 경우에는 광산들이 다시 가동하기는 어려울 것이다.

탄소를 함유한 벽돌제품은 가격의 하락으로 인하여 기존의 'monolithics' 제품을 대체하고 있는 중이다. 중국으로부터의 내화물 완제품의 수출 증가로 인하여 서양 생산회사들의 문제를 가중시키고 있는 중이다.

흑연의 새로운 응용분야에 주의를 기울이고 있는 생산업체들은 히트싱크(heat sinks, 정류기 등에 부착되는 열 흡수·소산 장치)에 있어서 천연흑연의 이용을 시도하고 있다. 이것은 전자공학에서의 냉각장치 응용분야(예를 들면, 컴퓨터, 서버, 전원장치 등)에 이용되어질 수 있을 것이다.

미국 오하이오에 위치한 'GrafTech'사는 천연흑연과 합성흑연에 관련된 제품을 생산하고 있는 회사로서, 이 히트싱크의 개발을 선도하고 있는 회사이다. 'GrafTech'사는 예폭시 내에서 충전시킨 천연흑연은 열전도율이 알루미늄을 사

용했을 때의 200Wm-1K와 구리를 사용했을 때의 360Wm-1K 보다 훨씬 높은 370Wm-1K의 컴퓨터 판을 생산할 수 있다는 것을 발견하였다. 이것은 구리의 약 22%의 무게를 가지면서도 거의 같은 이차원 열전도율을 가진다는 것을 의미한다.

여기에서 흑연을 사용하여 생기는 부정적인 면은 이차원 열전도율뿐만 아니라 삼차원 열전도율도 가진다는 점이다. 어떤 특정한 삼차원 열전도율은 fins로부터 히트싱크의 바닥을 다른 방향으로 배열시킬 수 있다.

'GrafTech'사는 열원과 히트싱크 사이에 100% 열을 전달하는 접착테이프와 같은 'thermal interface' 물질을 생산하는데도 흑연을 사용하고 있다. 천연흑연은 열전도율이 단지 100Wm-1K이기 때문에 열관리 응용분야에서 합성흑연을 대체하기는 힘들다.

## 참고문헌

- 이수재 (2000) 흑연의 종류와 용도. 광물과 산업, 13, 2, 40-50.
- Crossley, P. (2000) Graphite, high-tech supply sharpens up, Industrial Minerals, Issue 398, 31-47.
- Crossley, P. (2003) Graphite: a finger on the pulse, Industrial Minerals, Issue 433, 48-55.
- Harben, P. W. (2002) The Industrial Minerals Handybook, Graphite (4th Ed.), Industrial Minerals Information, UK, 146-152.
- Olson, D. W. (2002) Graphite, In: Minerals Yearbook, USGS, 34.1-34.4.
- Olson, D. W. (2004) Graphite(natural), In: Mineral Commodity Summaries, USGS, 74-75.



그림 1. 흑연질 편암에서 산출되는 인상흑연의 편광현미경 관찰사항(침상의 검은부분, CJ Mitchell, 1992)