

해설

납석과 그 응용

조현구

경상대학교 지구환경과학과

“부드럽고 지방감을 가진” 납석은 활석과 유사하지만(표 1), 광물조성과 용도에 있어서는 전혀 다른 광석이다. 일반적으로 납석은 엽납석(pyrophyllite)을 주로 하는 광석으로 알려져 있지만, 엽납석이 거의 없고 카올린광물이나 견운모 등이 주 구성 광물인 납석도 상당히 많이 있다. 납석과 활석은 황백색, 옅은 녹색에서부터 밝은 회색까지 다양한 색을 가지며, 칼로 쉽게 자를 수 있을 정도로 약하며, 진주 광택을 가지므로 서로 혼동하기 쉽다. 그러나 활석과 다르게 엽납석은 그 이름이 의미하는 것처럼(그리스어 “pyros”는 불을 의미하고, “phyllithos”는 쪼갤 수 있는 암석을 의미) 내화도가 매우 크다. 엽납석이란 이름은 우랄산맥 내 베레조프스크(Berezovsk) 광상의 금-석영맥에서 채취한 규산염 광물에 대해서 1829년 허만(R. Herman)이 최초로 사용했다. 엽납석이란 이름은 이 광물의 최초 용도가 내

화용으로 사용되었음을 지시한다.

순수한 엽납석은 거의 발견되지 않고 1가지 또는 그 이상의 다른 광물이 항상 수반된다. 그러므로 산출국마다 납석의 구성광물이 다르고, 이에 따라 독특한 이름들을 가지고 있다.

일본의 로제키(Roseki)는 엽납석, 견운모, 카올리나이트, 석영을 함유한 납석이며, 브라질과 중국의 납석(agalmatolite)은 엽납석, 백운모, 다이아스포어(diaspore), 납정석과 석영으로 구성되며, 남아프리카의 윈더스톤(wonderstone)은 90% 이상의 엽납석에 클로리토이드(chloritoid), 금홍석, 녹염석 등이 포함되어 있다.

이에 따라 납석의 특성도 달라지는데, 예를 들면 미국 북캐롤라이나주에서 생산되는 납석에 포함된 석영 함량은 마모도와 내화도에 영향을 미친다(표 2).

표 1. 엽납석의 특징

화 학 식	색	투명도	광택	비중	경도	결정계	결정형	산출상태
$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$	백색, 회백색						판상	
	노랑, 담청색	투명-	진주	2.8	1-2	단사정계	엽상	열수변질
28.3% Al_2O_3	녹색	반투명	지방			삼사정계	방사상	편암질암석
66.7% SiO_2	회-갈녹색							

성인 및 산출 형태

엽납석은 응회암, 반암 및 각력암이 비교적 얇은 깊이에서 열수변질작용을 받아 형성되며, 열극, 층리면, 단층, 유동구조, 모암형태 및 열수용액의

성질에 규제를 받게된다. 엽납석 광체는 맥상, 층상 또는 괴상으로 산출되며, 규모는 최고 폭 500m, 길이 2,000m 그리고 깊이가 500m(미국 북캐롤라이나)이다. 화산재의 변성작용에 의하여 편암 내에 형성되는 경우도(브라질) 있다.

표 2. 상업적 납석의 화학 조성

산지	미국	캐나다	일본	한국	한국	한국	한국	중국	호주	브라질
용도	세라믹	내화제		점토 (충진제)	내화벽돌 유리섬유	타일	백색 시멘트		고품질	
SiO ₂	57.58	63.1	75.76	65-71	73-77	76-80	83-87	64.8	65.8	63.64
Al ₂ O ₃	33.31	27.4	17.68	21-27	18-19	15-19	9-12	29.6	28.2	25.59
Fe ₂ O ₃	0.33	0.8	0.57	0.15-0.25	0.15-0.30	0.15-0.30	0.15-0.30	0.4	0.11	-
CaO	trace		0.28	-				0.1	0.28	-
MgO	trace		0.02	-				0.04	0.01	0.01
K ₂ O	3.90	3.10	0.96	-				NA	0.96	2.48
Na ₂ O	0.06	0.2	0.15	-				0.02	0.1	0.29
TiO ₂	NA		0.31	-				NA	0.18	
LOI	5.56	4.9	4.38	4-5	3.8-4.5	3.3-3.8	2.9-3.4	4.0	NA	

생산

엽납석의 생산 통계치는 일반적으로 활석의 통계치와 함께 묶어 일괄적으로 취급한다. 전 세계 생산량은 일년에 약 250만 톤으로, 주요 생산국은 1백만 톤 정도를 생산하는 일본과 600,000-700,000톤을 생산하는 한국이다.

브라질, 캐나다와 북한은 연간 100,000-200,000톤을 생산하고, 미국은 약 85,000톤 생산한다. 그 외 좀더 생산량이 적은 나라로 (5,000-50,000톤/년) 중국, 태국, 인도, 호주, 남아프리카공화국, 페루, 아르헨티나가 있다(표 3, 그림 1).

납석의 주요 수출국은 일본, 한국, 브라질, 캐나

다, 호주, 남아프리카공화국 등이며, 수입국은 일본, 중국, 스리랑카, 인도네시아, 영국, 독일, 네덜란드 등이다.

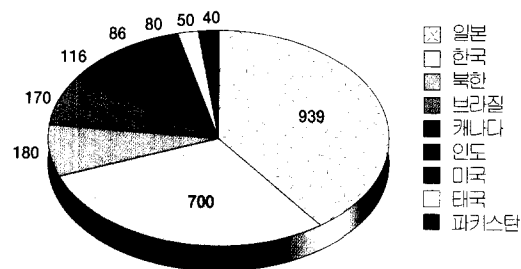


그림 1. 1995년 납석의 생산량(단위: 천톤)

표 3. 전 세계 납석 생산량 (단위 : 천톤)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
일본	1,213	1,229	1,056	1,030	934	939
한국	658	573	603	645	708	700
북한*	170	170	170	180	180	180
브라질	165	186	144	150	150	170
캐나다*	137	123	107	108	130	116
미국	82	W	W	W	W	W
인도	80	85	85	82	86	86
파키스탄	30	34	34	47	45	40
태국	29	43	43	43	55	50
페루	8	8	8	8	8	8
호주	5	6	5	5	5	5
남아프리카공화국	3	4	3	4	6	6
합계	2,580	2,461	2,239	2,302	2,228	2,300

*납석과 활석을 합한 자료

일본

전세계 납석의 대부분은 일본, 한국, 중국 등 동북아시아 지방에 매장되어 있고, 상업적인 생산량의 75% 이상이 이 지역에서 산출되고 있다 (그림 2). 일본 납석의 근원은 로제키(일본어로 밀랍석(wax stone)을 의미)로서, 엽납석, 견운모, 혹은 카올리나이트로 구성되어 있다. 생산된 로제키의 약 60%는 엽납석이다. 로제키는 비교적 얇은 깊이에서 열수변질작용에 의하여 형성된 것으로, 열수유체의 특성과 지질학적 구조, 모암의 형태에 따라 다양한 변종이 산출된다.

산성-중성 관입암과 관련된 로제키 광상은 중심에는 알루미늄 함량이 높고, 외부로 갈수록 실리카가 풍부한 엽납석대를 거쳐 약한 변질작용만 받은 가장자리까지 대상분포를 이루고 있다. 지표면 근처에서 발생한 열수변질작용에 의하여 형성된 광상은 규산염이 풍부한 핵을 중심으로 엽납석이나 견운모대를 거쳐 외부로 갈수록 약한

변질작용을 받았다. 다이아스포어, 비마이트(boehmite), 카올리나이트 및 엽납석으로 구성된 알루미늄이 매우 풍부한 대가 형성된 경우도 있다. 전자의 예로는 큐슈지방의 고토(Goto)광산, 혼슈 중앙부의 신요(Shin'yo) 광산과 혼슈 서부의 아부(Abu) 지역의 광산들이 있으며, 후자의 예로는 혼슈지방의 미츠키시(Mitsuishi) 지역에 분포하는 로제키 광장이 있다.

납석 형성에 필요조건인 화산활동은 혼슈지방의 중심부와 북동부, 한반도와 중국 본토에서 후기 백악기 동안 활발했다. 일본 산출량의 40% 이상을 차지하는 미츠키시와 소코조안(Shokozan) 지역도 이 시기에 형성된 광장이다. 이 지역은 응회암질 셰일과 세립질 응회암으로 이루어져 있다. 열수변질작용은 열극, 층리면, 단층과 모암의 특성에 의해 규제되어 발생한다. 화산과 지각변동은 신생대 마이오세에서 활발하였는데, 녹색 응회암지대(Green Tuff

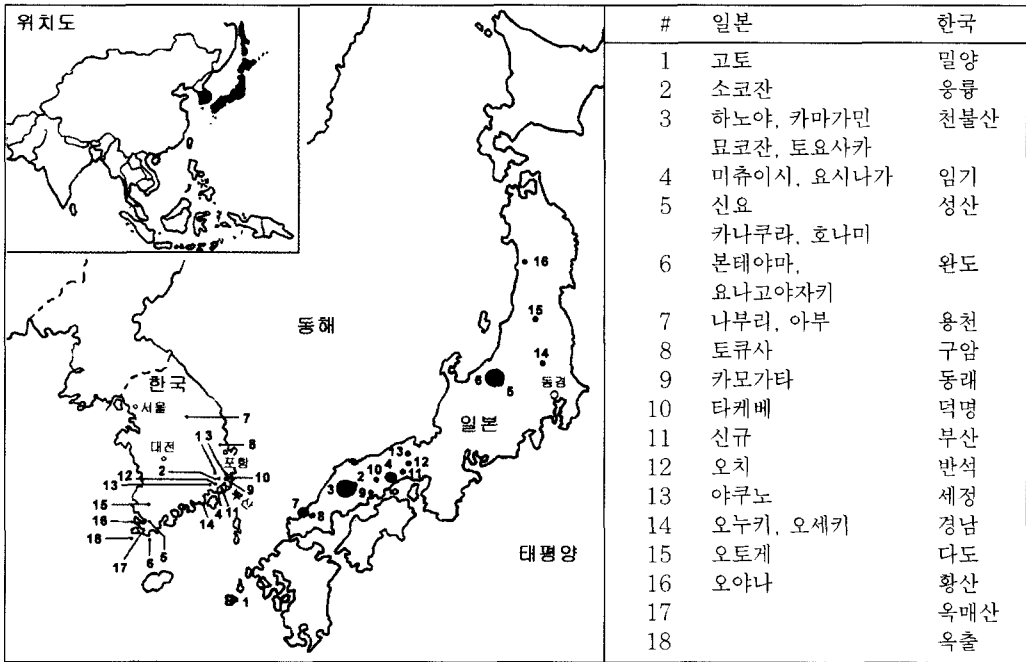


그림 2. 일본과 한국의 중요 납석광산 위치도

Region)를 형성한 혼슈 중심부와 일본 북동부의 동해의 가장자리가 여기에 해당된다. 후기 마이오세의 화성활동은 홋카이도에서 혼슈 중앙부까지 분포하는 규모가 작은 저품위의 납석광상을 형성하였으며, 큐슈지방의 서쪽 끝에 위치한 고토 지역 광상을 형성했다. 일본 엽납석 광상의 약 반 정도는 혼슈 남서부에 있는 오사카 서쪽 145Km에 위치한 오카야마(Okayama) 지방에 분포하고 있다. 이곳 엽납석은 퇴적암과 화산암 내에서 맥상이나 불규칙한 광체로 산출된다. 이 지역 내의 주요 광산은 오히라(Ohira), 카와베(Kawabe), 카토(Kato) 및 미츠키시광산 등이다. 미츠키시광산은 19세기말부터 채광되어 왔고 현재 시나가와 시로렌가(Shinagawa Shirorenga)사에서 운영하고 있으며 일년에 100,000톤을 생산하고 있다. 엽납석은 데사이트질 화산력 응회암과 안산암질 응회암으로 구성된 층을 교대하고 있다. 엽납석과 다이아스포

어로 구성된 중심부로부터 강옥과 카올린, 규산질 엽납석, 적철석과 황철석으로 이루어진 중간대를 거쳐 약한 변질작용을 받은 외곽지대로 변화된다(Fujii et al., 1976). 효고(Hyogo) 지방의 킨키(Kinki) 지역은 일본 총 매장량의 70%에 상당하는 많은 엽납석을 보유하고 있다. 혼슈 중심부와 서부의 엽납석 광산은 관입암체에 인접한 응회암질 퇴적암 내에 광석이 들어있다.

큐슈 서부 나가사키 지방 고토 지역의 경우, 연간 110,000톤을 생산하는 고토코잔(Goto Kozan)사와 130,000톤을 생산하는 오히라코잔(Ohira Kozan)사가 중요한 회사이다. 이 지역은 신생대 에오세 퇴적암과 마이오세 화강반암으로 구성되어 있는데, 두 암체 모두 엽납석 광체를 함유한다. 광체의 모양은 괴상에서부터 맥상까지 다양하며, 대상분포를 보이는 경우도 있다. 엽납석 이외에도 다이아스포어, 카올리나이트, 견운모, 강옥 그리고 홍주석을 포함하고

있다. 요코미치(Yokomichi)광상에서는 사암층을 교대한 다이아스포어를 상업적으로 채광되고 있다.

한국

일본 서부의 지질은 한국의 남해안에서 나타나는데 이 지역은 50개 이상의 엽납석 광상이 분포하고 있다. 광석은 괴상이며, 구성광물에 따라 엽납석, 석영, 카올린, 명반석으로 이루어진 것, 카올린-엽납석과 약간의 다이아스포어로 구성된 것, 그리고 엽납석-견운모, 석영으로 이루어진 것 등 3가지로 구분할 수 있다. 납석은 한반도의 남서부지역인 전라남도 해남, 진도, 완도 지역과 한반도의 남동부지역인 경상남도 밀양, 김해, 동래, 양산 등에서 대부분 생산되고 있다. 이 지역은 엽납석이 1억 톤 이상 매장된 것으로 알려져 있다. 엽납석 광상은 후기 백악기 불국사 화강암의 열수변질작용을 통하여 형성되었다. 광상은 대개 작고 불규칙한 형태를 이룬다. 상부에서 하부로 감에 따라 규산질이 풍부한 대, 명반석과 석영대, 엽납석과 카올린대, 그리고 황화광물대 순으로 놓여있다.

조선내화(주)는 해남군 노화도 구목리에 위치한 완도납석광산을 소유하고 있다. 이 광산은 연간 140,000톤을 생산하는 한국에서 가장 큰 광산으로, 2천만 톤(O'Driscoll, 1993)이 매장되어 있다. 하부에 있는 유문암의 유동구조는 열수용액의 통로 역할을 하여 열수변질작용을 촉진하였다. 렌즈상의 엽납석 광체는 규장암 내에 불규칙하게 분포하며, 명반석, 카올린, 석영, 어떤 경우에는 다이아스포어와 황철석을 포함하고 있다. 이 지역 내 유사한 광산으로 옥매산, 황산, 성산광산 등이 위치하고 있다. 광물학적으로 완도 광산과 유사한 성산광산은 석영 반암과 응회암의 열수변질작용에 의하여 형성된 판상 광체로 이루어져 있다. 한반도 남서부 지역에 있는 납석광산에는 다도, 송석, 구시, 옥출광

산 등이 있다.

다른 주 산출지는 동래지역으로 엽납석 광석은 백운모, 견운모, 카올리나이트를 수반하며, 안산암, 조면암, 조면암질 안산암과 석영반암 등 중성암의 열수변질작용에 의하여 형성되었다. 연간 1,000-4,000톤을 생산하는 밀양, 옹릉, 임기광산 등이 있다. 밀양광산은 백악기 응회암이 변질되어 만들어졌고, 옹릉광산은 각력암질 안산암, 임기광산은 조면암-안산암이 변질되어 생성되었다. 한반도 동남부에 있는 광산으로는 김해, 경주, 덕봉, 보배, 산내, 경남광산 등이 있다. 보배와 경남 광산은 모암이 석영반암과 장석 반암, 동래, 임기광산은 조면암질 안산암이다. 일부 광상은 불완전한 변질작용으로 인해 황철석과 4%에 달하는 칼륨과 나트륨이 존재한다. 최고 품질의 광석은 SiO_2 함량이 70% 이상, Al_2O_3 24%, 그리고 Fe_2O_3 가 0.5% 이하로 함유된 녹색 광석이다(Anon, 1972; Benbow, 1988; Cornish, 1983; Ciullo and Thompson, 1995; Sang, 1983).

미국

미국에서 엽납석의 산출지는 북캐롤라이나주로 한정되어 있다. 광산은 버지니아주 페테스부르그에서부터 북캐롤라이나와 남캐롤라이나주를 통과해 조지아주 밀레지빌까지 640km 연장되는 피드몬트대지 내 후기 선캠브리아기 화산성 퇴적암 지대 내에 분포한다.

북캐롤라이나주에 있는 화산암과 쇄설성 퇴적암은 캐롤라이나 점판암대로 알려져 있으며, 엽납석 이외에도 카올리나이트, 견운모, 홍주석, 강옥, 다이아스포어 같은 고 알루미늄질 광물을 포함하는 것이 특징이다.

엽납석의 주 산출지는 몽고메리 카운티의 와데스빌에서 무어 카운티 북동부를 거쳐 그렌빌 카운티 북부에 이르는 지역이다. 엽납석 광체는 응회암과 화산성 각력암들을 교대하여 형성되었

이며, 폭 140-460m, 길이 1,800m, 깊이 450m 이상이다. 열수교대작용의 증거는 변질의 여러 단계, 모암 내 벽개의 주향과 경사 방향을 따라서 배열된 광체, 원 암석 구조의 보존, 원소들의 제거와 침가 등이다. 일부 광상에서 금과 구리가 함께 나타나는 것으로 보아 광화용액의 근원이 상당한 깊이에 관입하여 있던 화강암질 마그마였고, 엽납석은 중간정도의 온도와 압력 하에서 형성되었음을 알 수 있다.

연간 약 5,000톤을 생산하는 무어 카운티의 반더빌트(R. T. Vanderbilt) 광물회사가 가장 큰 생산업자이다. 대부분은 세라믹 산업에 사용되고, 일부는 충전제로 이용된다. 무어 카운티의 글렌돈(Glendon) 엽납석사는 충전제로 연간 20,000톤을 생산하며, 일부는 내화재료로 이용된다.

글렌돈 북부의 고알루미나 광상은 화산력응회암과 역암질 이암이 상부의 엽층상 응회질 점토암과 화산력응회암으로 전이되는 경계 부근에서 산출된다. 고알루미나질 광물로의 변질작용은 층리를 가로질러 일어난다. 열수유체의 이동은 주향이동 단층에 의하여 규제되며, 석영맥은 하도로 작용한 단층면을 나타낸다. 이런 사실들은 이들 광상이 북캐롤라이나주에 존재하는 다른 광상과 약간 다른 조건에서 형성되었음을 시사하는데, 아마도 열원에서 훨씬 떨어져 있거나 얇은 심도에 기인한 낮은 온도와 규화작용의 결여에 의한 덜 산성화된 용액인 것으로 추정된다(Schmidt, 1985).

북쪽의 피드몬트 광물회사는 연간 10,000톤을 생산하는 그렌빌 카운티에 있는 힐스보로우(Hillsborough) 광산을 운영한다. 이 광산은 홍주석-엽납석-석영 광체를 개발한다. 선별 채광, 파쇄, 체분리, 혼합과정에 의하여 3개 광물의 혼합물을 함유하는 다양한 등급을 생산하고 있다. 알루미나함량은 30-50%이다. 3개의 주요 등급은 내화산업에 사용되고 나머지 다른 품위

들은 백자와 전기 자기(electrical porcelain) 산업에 이용된다.

캐나다

뉴펀들랜드 세인트존스 남서쪽 20km 정도에 위치한 폭스트랩 근처에 있는 광산은 뉴펀들랜드 광물회사에서 운영하며 캐나다 전체 생산량에 버금가는 연간 35,000톤의 엽납석을 생산한다. 이 광상도 북캐롤라이나주에 있는 광상처럼 후기 선캠브리아기의 암석대 내에 포함되어 있는데, 여기에서는 아발론대(Avalon Zone)라고 부른다. 아발론 반도는 북쪽으로 신장되어 기울어진 돔 형태로 이루어져 있으며, 화산쇄설암과 소량의 퇴적암으로 구성된 하보어층(Harbour Main Group)으로 이루어진 돔의 중심은 천부형성 화강암류인 홀리로드 화강암에 의하여 관입 당하였고, 쇄설성 퇴적암에 의하여 덮여있다. 하보어층 화산암과 홀리로드 심성암 접촉대의 1-2 km 범위 내에 존재하는 산성암은 균열대가 발달하여 있다. 심성암체에 가까운 균열대는 열수에 의하여 SiO₂, 알칼리 금속, Ca, Mg, Fe 등이 용탈되어 엽납석, 백운모(견운모), 석영의 세립질 집합체로 변질되어 있다(Papezik et al., 1978; Papezik and Hume, 1984; Taylor et al., 1979). 엽납석 광상은 화강암 저반의 동쪽과 컨셉션(Conception) 만 동쪽 측면 중 남쪽의 좁은 띠 내에 분포한다. 7km의 긴 변질대 내에서 폭스트랩, 트라우트폰드(Trout Pond) 및 독파운드(Dog Pound) 등 3개의 중요한 광상이 있다(Collings and Andrews, 1990). 1900년대 초부터 간헐적으로 채광되다가, 1950년대 중반부터 폭스트랩의 남동쪽 3km 지점에서 본격적으로 채광되기 시작되었다. 광체는 렌즈상이며, 12-18%의 Al₂O₃를 함유한다. 최저개발품위는 17% Al₂O₃를 적용하여 선별 채광하고 있다.

광산 소유자의 모회사인 미국의 올레안

(Olean) 타일회사가 전 생산량을 소비하며, 필라델피아 근처의 바닥 타일 공장에서 사용한다 (Papezik and Hume, 1984).

브라질

엽납석은 미나스 제라이스, 상파울로와 파라나주에 집중되어 있다. 주 광상은 미나스 제라이스주 내의 피탕구이(Pitangui), 파라 드 미나스(Para de Minas), 온카 도 피탕구이(Onca do Pitangui), 마테우스 렘(Matheus Leme), 콘사이카오 도 파라(Conceicao do Para), 그리고 베티뎀(Betim) 지역에 걸쳐있는 64km 길이의 띠 내에 존재한다. 렌즈상 광상은 견운모편암과 견운모-녹니석 편암 내에 포함되어 있다(Ciullo and Thompson, 1995). 브라질 납석(agalmatolite)은 엽납석뿐만 아니라 백운모, 다이아스포어, 납정석, 그리고 석영의 혼합물로 산출된다. 브라질 납석은 흰색, 크림색, 녹회색을 띠며, 비중은 2.7-3.0, 경도는 2.5-3, 밝기는 95%에 달한다(표 4).

접착제, 고무, 플라스틱, 페인트, 퍼티, 종이, 파우더, 비누, 역청, 화장품의 충전제로 사용된다. 엽납석과 유사한 용도인 내화물질, 요업, 매개체로도 사용된다.

호주

호주 엽납석은 뉴사우스 웨일즈주의 남동쪽 해안에 있는 항구도시 에덴 북서쪽 20km에 위치한 팜블라 근처의 광산에서 산출된다. 커머셜(Commercial) 광물회사가 운영하는 이 광산은 집괴암, 현무암, 유문암과 퇴적암으로 이루어진 후기 데본기 보이드(Boyd) 화산암복합체를 포함하는 고대의 에덴열곡대 중심 부근에서 형성된 광산이다. 이 복합체내에 동쪽 방향으로 40도 경사진 엽납석을 함유한 띠를 포함하는 유동 구조를 가진 유문암과 화산각력암, 화산쇄설암의 순서로 북쪽으로 뻗어있다. 엽납석을 함유한 띠는 상승하는 산성용암에 의해 모암의 열수변질작용에 의하여 형성되었으며, 북서쪽의 주향과 수직의 경사를 가지고 있다. 변질작용에 의

표 4. 브라질산 납석(agalmatolite)의 특징

	견운모질 납석	다이아스포어-엽납석질 납석	석영-납정석질 납석
암석 형태	부드럽고 치밀함	부드럽고 치밀함	단단하고 결정질
광택	지방	지방	결정질
색	백색, 회색, 녹색	노랑, 어두운 색	백색-회색
경도	2.5-3.0	3.0	2.9-3.0
비중	2.7-2.8	2.9-3	2.9-3.0
화학적 안정성	좋음	좋음	좋음
열적 안정성	1,400℃이상		내화성
용융점	1,530℃(PCE21)	1,615-1,640℃(PCE28-29)	내화성
내산성	우수	부분 분해. 황산염에서	
용량 밀도	우수 @0.55t/m ³	좋음 @0.63t/m ³	낮음 @0.67t/m ³
오일 흡수	30, 40	28, 40, 44	38
표면 장력	낮음-양호한 친수도		매우 높음
이용	충진제/필터	충진제, 필터/세라믹	충진제/세라믹

하여 만들어진 대상분포는 중심 부분의 순수한 엽납석과 국부적으로 다이아스포어와 쿠키이트(cookeite)가 풍부한 대, 이를 둘러싸고 있는 옥수와 견운모질 엽납석대, 외곽부의 변질작용을 받지 않은 암석 순으로 나타난다(Nichol, 1983). 알칼리 원소들의 선택적인 이동에 의하여 견운모가 풍부한 대를 형성하고, 알루미늄과 실리카가 풍부한 잔류물은 용액 내의 다른 성분들과 반응해서 순수한 엽납석을 형성한다. 모암과 지질 구조는 광체형성을 규제하여 렌즈상 광체를 형성한다(Cornish, 1981, 1983). 확정매장량은 천만 톤, 추정매장량은 3천-5천만 톤이다. 하부, 중부, 상부 등 3군데에서 노천채굴법에 의하여 개발 중이다. 다양한 등급을 생산하고 있다. 옥수질 엽납석(14% Al_2O_3 , <0.5% K_2O)은 내화산업, 녹니석질 엽납석(25% Al_2O_3 , 0.5% K_2O)은 충전제, 견운모질 엽납석(20% Al_2O_3 , 3% K_2O)은 요업용, 그리고 옥수질과 견운모질 엽납석(18% Al_2O_3 , <0.7% K_2O)는 터널가마용으로 사용된다(Anon, 1986).

기타 지역

인도 엽납석 광석은 우타르 프라데시, 오리사, 라자스탄과 마디아 프라데시주에 분포하고 있다. 주 생산지는 마디아 프라데시주의 티캄가르(Tikamgarh)와 시립푸리(Shrivpuri) 주변과 오리사주 콘자르(Konjhar) 지역이다. 인도 엽납석은 대개 백운모-다이아스포어-엽납석 또는 카올리나이트-엽납석으로 구성되어 있다. 엽납석 함량은 매우 다양해서 10% 보다 적은 것도 있다. 고무, 종이, 플라스틱, 지붕재료, 비누, 화장품, 석면제품 그리고 농약 내 충전제로 사용된다(Ciullo and Thompson, 1995).

아르헨티나 서부 안데스산맥의 라 리오자(La Rioja) 지역과 페루의 쥘림(Junim), 리마, 이카(Ica)에서도 엽납석이 생산된다. 남아프리카공

화국의 납석(wonderstone)은 피상의 불룩형 광체로서, 90% 이상의 엽납석에 클로리토이드, 금홍석, 녹염석을 포함하고 있다. 리히텐버그(Lichtenburg) 지역 내 오토스달(Ottosdal) 근처에 광상이 존재하며, 렌즈상의 광체는 위트위터스랜드층의 화산암과 유문암질 암석 내에 존재한다.

소 비

엽납석은 내화재와 세라믹 분야에 주로 사용되지만, 플라스틱, 고무, 종이, 건축 등 여러 분야에도 사용되고 있다. 엽납석은 조각, 석필과 도장 제조 등에도 이용된다.

내화재

엽납석과 활석은 거의 같은 용도로 사용되지만 엽납석은 내열성과 내화도로 인해 내화산업에 주로 사용되고 있다(그림 3). 엽납석은 27-28의 PCE(pyrometric cone equivalent)를 가지고, 1200℃에서 크리스토팔라이트와 몰라이트로 분해되며, 이 때 경도는 7-8까지 증가한다. 엽납석은 열전도도, 팽창계수, 열변형(hot load deformation), 가열적 열 팽창성과 부피밀도(bulk density)가 낮고 재 가열에도 안정하고, 용융 금속과 염기성 용재로 인한 부식에 대한 저항성이 뛰어나고, 열 수축이 작기 때문에 알루미늄-실리카 단일 내화물, 내화벽돌, 금속주물용 내화물과 주물 코팅 등에 사용된다. 엽납석은 내화점도보다 훨씬 작은 열수축성을 가지고, 가열 후에도 강도를 유지한다(Harben, 1995). 내화재료로 사용될 때 엽납석은 저어콘과 함께 섞여 사용하는 경우가 많다(Cornish, 1983). 그러나 일본과 한국을 제외하고 내화산업에서 엽납석은 이보다 높은 알루미늄 함량을 가진 경쟁물질과, 저어콘-엽납석 레이들(ladle) 벽돌을 사용하지 않는 연속성형법의 개발 때문에 점차 감소 추세에 있다.

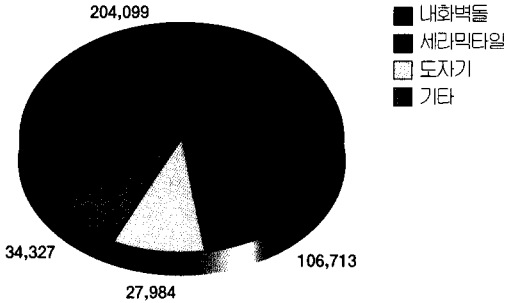


그림 3. 한국에서 엽납석의 소비(단위: 톤)

세라믹

바닥이나 벽 타일과 같은 도자기나 전자기기 제조과정에서 엽납석은 소성온도를 낮추거나 축소나 깨짐을 감소시키고, 열적 충격에 대한 저항력을 향상시키기 위해 사용되고 있다. 단순한 석영 입자보다 엽납석의 층상구조 내에 실리카를 삽입하면 도기 내에 플라이트의 분배를 향상시키며, 소성 사이클을 빠르게 할 수 있다. 치밀하게 가공할 수 있기 때문에 전기 절연체로도 유용하며, 완벽한 밀봉력을 가지고 있어서 합성 다이아몬드 제조에서 반응용기로도 사용된다.

기타 용도

엽납석은 마모성이 없고, 중성 pH를 가지며, 비활성이며, 유동성이 좋은 흡착제이기 때문에 회석제, 증량제, 부형제 및 살균제, 살충제, 제초제와 같은 액체의 매개체로 사용될 수 있고, 동물 먹이와 같은 비고형 작용제뿐만 아니라 비료로도 사용된다. 산과 알칼리성 독약 모두에 대해 적합하고, 잎을 덮거나 잎 위에 쌓일 수 있을 수 있을 정도로 가볍다. 어떤 백색 제품은 미세하게 분쇄하여 벽보드, 벽보드 시멘트와 회반죽, 페인트, 플라스틱, 종이, 고무의 충전제로 사용한다 (Harben, 1995). 생석회와 분쇄된 엽납석은 도로건설에 적합한 미끄러짐 방지성과 높은 발광성과 같은 특성이 있다.

품질과 규격

엽납석은 일반적으로 남정석, 다이아스포어, 석영 및 명반석과 같은 광물들과 밀접히 수반되어 산출되기 때문에, 상업용 제품은 다양한 화학 조성을 가지고 있다. 엽납석에 수반되는 광물들은 엽납석의 상업적 특성에 영향을 끼친다. 예를 들면 석영은 내구성을, 남정석은 내화성을, 견운모는 윤활성을 증가시킨다. 엽납석은 여러 가지 형태로 산출되며, 이에 따라 사용되는 분야도 달라지게 된다. 판상 벽개를 가진 얇은 엽상은 도자기나 충전제로, 작은 결정들이 모인 괴상 구과상 집합체는 내화제로, 그리고 방사상의 침상 결정은 충전제, 도자기, 내화제 등으로 사용된다.

생산국마다 광물조성과 화학조성이 다르며, 용도에 따라서도 달라진다. 대략적인 규격은 다음과 같다(표 2, 표 5).

내화제: 낮은 견운모와 알칼리 함량, 착색 산화염($Fe_2O_3 + FeO + TiO_2$) <1%

내화제 등급(일본): 5-18% Al_2O_3 , 낮은 알칼리 함량

세라믹: 높은 견운모, 낮은 철, 다소 높은 알칼리 함량

일본 로제키 섬유유리 등급: 19-20% Al_2O_3

중국(덩어리): 60-70% SiO_2 , 최소 20% Al_2O_3 , 약 0.4% Fe_2O_3 , 7% LOI

중국(분말): #100, 200, 300 체를 통과한 비율이 최소 95%.

시장과 가격

내화제 수요는 판로는 철과 제강산업 및 금속 생산량 연결되어 있고, 이것은 소비자들의 수요와 건설 활성화에 의존하며, 이는 다시 GDP 및 인구 증가율과 밀접한 연관이 있다. 세라믹 산업에서의 수요도 이와 비슷한 요인을 가지고 있다. 하지만, 제강산업에서 내화제 소비는 기술의 발

표 5. 엽납석의 조성과 규격

	내화제 등급(낮은 견운모)					세라믹 등급(높은 견운모)					
	광물조성 (%)	화학조성 (%)	입자크기 체#	누적%		광물조성 (%)	화학조성 (%)	입자크기 체#	누적%		
엽납석	40-50	SiO ₂	75.0	4	17.0	엽납석	20-30	SiO ₂	80.9	40	90
석영	30-45	Al ₂ O ₃	19.3	8	40.0	석영	50-60	Al ₂ O ₃	13.8	30	78
견운모	5-15	Fe ₂ O ₃	0.8	16	57.8	견운모	20-50	Fe ₂ O ₃	0.2	20	58
카울린	103	Na ₂ O	0.1	30	72.5	카울린	5-10	TiO ₂	0.1	10	28
		CaO	0.1	50	80.8			Na ₂ O	0.4	5	10.6
		LOI	0.1	100	84.4			K ₂ O	2.3	2	1.6
			3.9	200	88.6			LOI	2.3	1	nd
				325	92.0						

전과 연속성형법의 개발에 따라 감소하고 있으며, 매그카본(mag-carbon)과 매그크롬(mag-chrome) 내화제를 선호성 때문에 엽납석-저어콘 벽돌의 점유도는 떨어지고 있다. 일부 국가, 특히 라틴 아메리카와 아시아에서는 인구 증가와 산업화에 따라 수요가 증가하고 있다.

규격에 따라 가격은 달라지지만 대략적인 가격은 다음과 같다.

미국: \$80-130/t, 브라질: \$45-50/t, 일본: ¥7,000-8,000(\$50-60)/t, 남아프리카공화국: FOB 듀란(종이 등급) \$253/t, 호주: FOB 캠블라항 \$120-130/t, FOB 시드니(분쇄된 충전제 등급) \$280/t, 한국(FOB 노화도항): 점토 충전제(18-21% Al₂O₃) \$110-150/t, 유리섬유, 내화제(18-21% Al₂O₃) \$59-65/t, 세라믹(15-19% Al₂O₃) \$27-44/t, 백색 시멘트(9-12% Al₂O₃) \$15-24/t.

참고 문헌

- Anon, 1972, Mineral Requirements for Korea's Industrialization. Korean Ind. Mining, 93-96.
- Anon, 1986, Pyrophyllite: Asia and America lead. Materials for the Refractories Industry. In: Dickson, E.M. (ed.) Industrial Minerals Consumer Survey (2nd Ed.), 131-141.
- Benbow, 1988, Pyrophyllite: Far East steels the market. Industrial Minerals, No. 249, June, 37-49.
- Ciullo, P.A. and Thompson, C.S., 1995, Pyrophyllite. In: Carr, D.D. (ed.) Industrial Minerals and Rocks (6th Ed.), SME, Littleton, CO, 815-826.
- Collings, R.K. and Andrews, P.R.A., 1990, Summary Report No. 8: Talc and Pyrophyllite. CANMET Rpt MSL 90-18(R), 111p.
- Cornish, B.E., 1981, Australian

- pyrophyllite and its growing influence on world markets. In: Coope, B.M. (ed.) Proceeding, Fourth Industrial Minerals International Congress, Atlanta, USA, 179-183.
- Cornish, B.E., 1983, Pyrophyllite. In: Lefond, S.J. (ed.) Industrial Minerals and Rocks (5th Ed.), AIME, New York, 1085-1108.
- Fujii, N. Togashi, Y. and Igarashi, T., 1976, An Outline of Kaolin, Pyrophyllite, and Sericite Clay Deposits in Japan. Geol. Surv. Japan, Tokyo, 25p.
- Harben, P.W., 1995, Pyrophyllite. In: Industrial Minerals HandyBook (2nd Ed.), Industrial Minerals Information Ltd., London, 143-145.
- Nichol, D., 1983, Pyrophyllite operations at Pambula, Australia. Industrial Minerals, No. 194, Nov., 31-35.
- O'Driscoll, M., 1993, South Korea's minerals industry - imports prove Seoul - destroying. Industrial Minerals, No. 311, 18-37.
- Papezik, V.S. and Hume, W.D., 1994, The pyrophyllite deposit on the Avalon Peninsula, Newfoundland. In: Guillet, G.R. and Martin, W. (eds.) The Geology of Industrial Minerals in Canada, V. 29, 9-11.
- Papezik, V.S., Keats, H.F. and Vahtra, J., 1978, Geology of the Foxtrap pyrophyllite deposit, Avalon Peninsula, Newfoundland. CIM Bull., V. 71, 152-160.
- Sang, K.M., 1983, Pyrophyllite clay deposits in the Republic of Korea. Industrial Minerals, No. 194, Nov., Nov., 30-31.
- Schmidt, R.G., 1985, High-alumina hydrothermal systems in volcanic rocks and their significance to mineral prospecting in the Carolina Slate Belt. US Geol. Survey Bull., 1562, 59p.
- Taylor, S.W., O'Brien, S.J. and Swinden, H.S., 1979, Geology and mineral potential of the Avalon Zone and granitoid rocks of eastern Newfoundland. Mineral Development Div., Dept. Mines and Energy, Newfoundland, Rpt. 79-3, 52p.