

해설

## 산업광물로서의 활석

김 건 영

한국원자력연구소

우리들 대부분은 세상에 태어나면서부터 '베이비 파우더(talcum powder)' 라는 이름의 활석제품과 접하게 됨으로써 활석과 밀접한 관계를 갖게 된다. 이러한 땀띠 분은 이 다용도 광물의 특성을 이용한 무수한 상품 중 하나에 불과한 것이다. 우리나라의 경우 청동기 시대부터 청동기의 주조를 위해 활석으로 거푸집을 만들었다는 기록도 있다. 활석은 산업광물로서 활용되고 있는 용도 이외에도, 활석의 낮은 경도 등의 광물학적 특성 때문에 관광상품의 조각품 재료로 이용되는 등, 우리 생활 주변에서 알게 모르게 친숙한 제품의 형태로 알려져 있다. 이러한 활석은 생성기원에 따라 크게 두 가지로 나뉘는데, 초염기성암의 열수변질작용에 의해 만들어진 것과 백운암과 같은 마그네슘 탄산염암의 열변성작용에 의해 생성된 것으로 나뉜다. 이중 초염기성암 기원의 활석인 경우 많은 유색광물들, 특히 녹니석이 불순물로 다량 포함되므로 전체적인 백색도는 마그네슘 탄산염암 기원의 활석에 비해 매우 좋지 않다. 그러나 활석질로 알려진 암석도 실제로는 활석이 거의 포함되어 있지 않은 경우도 있으며 단지 물리적 특성이 활석과 유사할 경우 활석질 암석으로 구분되는 경우가 많다. 따라서 상품명으로, 혹은 산업 현장에서 불리는 명칭도 여러 가

지가 있으며 이 중 스테타이트(steatite) 혹은 쉘스톤(soapstone) 등이 '활석' 이라는 명칭과 혼용되고 있다. 우리 나라에서는 흔히 '곰돌'이라는 명칭으로 활석질 암석이 통용되고 있다. 활석질 암석에는 일반적으로 투각섬석, 녹니석, 사문석, 투회석, 석영, 방해석, 백운석, 마그네사이트 등이 불순 광물로 수반된다. 이처럼 활석은 많은 불순물을 포함하고 있지만 부유선광법에 의해 분리할 수 있으며, 따라서 상품화된 활석중의 칼슘량은 산지에 따라 다르다(표 1). 또한 활석은 매우 연질이며 촉감이 매끄러워 비누와 같은 지방감을 준다. 광물학적으로 활석광물은 운모와 같은 벽개 및 쪼개짐을 가지나 결정상태로 산출되는 경우는 매우 드물며, 물리적 특성이나 산출상태가 엽납석(pyrophyllite)과 유사하여 흔히 혼동되어 사용되기도 한다.

활석의 영문명칭인 'talc'의 어원은 고대 아랍어인 'talq'에서 온 것으로 869년에 Jahiz에 의해 처음 사용되었으며 Europe Agricola에서 처음으로 정식명으로 사용하였다. 고대에는 활석을 'magnetis lithos'로 불렀다. 활석과 혼용해서 사용되고 있는 'steatite'라는 명칭은 그리스어로 'steatos(지방)'에서 온 것이다(Yantang and Luping, 2000).

표 1. 상업용으로 이용되고 있는 활석의 화학조성(Harben, 1999).

국 가	USA Montana	USA Montana	USA Montana	Canada	France	Italy	China	USA N.Y	Austria
용도	충진재	제지	피치조절	화장품	요업		화장품	화장품	
SiO <sub>2</sub>	61.5-63.1	60.7	61.3	61.5	46.3	61.8	62.0	57.3	18.5
MgO	31.0-32.9	31.9	31.1	31.3	32.0	61.65	31.9	30.7	29.8
CaO	0.19-3.90	0.1	0.15	0.4	0.7	0.2	0.21	6.17	3.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.93-2.37	0.47	1.5	0.1	9.5	0.6	0.29	0.38	3.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.0-1.3	0.6	0.9	1.3	1.9	0.59	0.15	0.16	3.8
TiO <sub>2</sub>	0.05-0.13	-	-	-	0.2	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	0.01-0.41	-	-	-	-	-	-	-	-
LOI	5.5-6.2	4.9	5.6	5	8.8	5.16	5.21	5.04	13.8
백색도	70-84	92.5	88	88	-	-	-	98	-
흡유도	-	30-48	50	-	-	-	-	-	-

### 활석의 광물학적 특성

활석의 일반적인 광물학적 특성을 표 2에 정리하였다. 활석은 함수 마그네슘 규산염 광물로서 삼팔면체(trioctahedral)형의 3층 구조형 층상 구조광물이다. 이론적으로는 Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>의 화학식을 갖고, 조성비는 MgO: 31.9%, SiO<sub>2</sub>: 63.3%, H<sub>2</sub>O: 4.8%이다. 단사정계 완전 상정족에 속하며 대개는 연질의 엽편상 또는 치밀조직의 괴상으로 나타나나, 간혹 능형 또는 육각형의 탁상결정으로 나타나기도 한다. 모오스 경도계중 가장 낮은 1에 해당하며 지방질의 느낌과 진주광택을 지닌다. 비중은 2.58~2.83의 범위를 가지며 백색에서 검은색까지의 다양한 색을 띤다. 이처럼 여러 색을 띠는 이유는 활석에 포함된 여러 희유원소에 기인한다. 예를 들어 크롬이 함유되었을 경우 자색의 반점을 가진 진녹색을 띠며, 니켈을 함유할 경우는 사과녹색, 결정

구조 내에 마그네슘을 치환하는 2가 철을 함유할 경우는 녹색, 구리를 함유할 경우 청녹색을 띤다. 황철석(pyrite)이나 산화 망간이 불순물로 존재할 경우 활석의 질이 떨어지게 되며, 이밖에 철을 함유한 모든 광물, 특히 3가 철을 함유한 광물이 불순물로 존재할 경우 활석의 질을 떨어뜨린다. 3가 철과는 달리 결정구조내 마그네슘을 6%까지 치환하는 2가 철의 경우는 활석의 질에 미치는 영향이 덜하다. 약간 어두운 색을 띠는 활석은 분쇄할 경우 흰색이 되며, 불순물이 다량 포함되지 않았을 경우 대개 78% 이상의 백색도를 갖게 된다. 활석은 화학적으로 매우 안정하며, 물이나 유기질 용액에 의한 팽윤성이 없고 이온교환능력이 거의 없다. 산에는 녹지 않으며 활석의 미세 분말은 가소성이 거의 없다. 전기에 대한 절연성을 가진 동시에 아주 연하여 쉽게 분말이 되는 특징이 있다. 기름을 흡수하는 능력이 매우 높고, 물에 젖어도 불투명도가 높으며, 소

표 2. 활석의 광물학적 특성(Roberts et al., 1990).

화학식	색/광택	비중	경도	결정계/결정형	산출상태
Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	밝은 녹색~어두운 녹색, 백색, 은빛 백색, 갈색;	2.58	1	단사정계 혹은 삼사정 계. 얇은 판상, 피상, 세립질 섬유상	초염기성암의 열수변질 에 의한 2차생성광물: 규산질 백운석의 열변 성작용
	투명, 진주광택, 지방질 광택	- 2.83			

성시 수축율이 낮고, 높은 용융점을 갖고 있으며, 열전도율이 아주 낮은 특성을 갖고 있다. 열분석에 의하면 800℃ 정도까지는 매우 단조로운 곡선을 나타내지만 850℃정도에서부터는 결정수가 탈수되고 분해되어 엔스테타이트와 비정질의 실리카로 변한다. 1,100~1,300℃에서 소결하게 되면 비정질의 실리카는 크리스토팔라이트로 변한다.

### 활석의 용도 및 규격

활석은 앞서 설명한 여러 광물학적 특성 때문에 다양한 등급에 따라 특정한 상업적 용도를 갖게 된다 (그림 1).

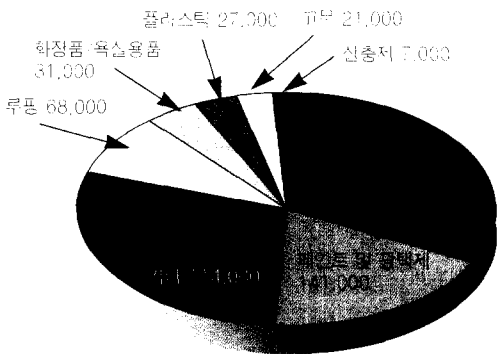


그림 1. 미국의 활석 소비분야 (Harben and Kuzvart, 1996)

예를 들어 미국 뉴욕에서 산출되는 투각섬석을 함유한 활석은 요업분야나 페인트의 충전재로서는 매우 이상적이지만 제지나 플라스틱제조용으로는 부적당하다. 이탈리아나 프랑스의 순수한 마그네슘 규산염 활석은 의약이나 화장품의 용도에 가장 적당하다. 일반적으로 분말원료 상태로 가장 널리 사용되는데 분말활석은 원석을 조분쇄한 후 분쇄기를 통과하고 사이크론에 의하여 미분말의 제품으로 생산된다. 그러나 여러 용도에 따라 사용되는 입자의 크기는 서로 달라서 일반적인 충전제로 쓰일 경우에는 20μm를 넘지 않아야 하며, 코팅용일 경우 10μm, 피치조절용일 경우에는 1μm를 넘지 않아야 한다.

활석은 페인트, 플라스틱 (특히 폴리프로필렌과 폴리에틸렌), 종이, 고무, 접착제, 외장용 벽토, 이음매용 화합물, 제약분야 등에서 충전재로 널리 사용된다. 이밖에 방직용의 호재, 기계의 감마제, 백색 안료, 크레용 및 농약분재료도 쓰이고 있다. 또한 활석의 높은 열충격에 대한 저항성과 고온에서의 높은 전기저항성 및 낮은 유전손실의 특성 때문에 고주파절연체와 같은 전기용자기류에도 쓰인다. 분말원료로 사용할 때의 활석은 일반적으로 300~325mesh 정도로 사용된다. 직포용, 제지용에 사용하는 분말활석의 경우 활석의 백색도가 중요시된다. 이러한 각 산업에 사용되는 활석의 용도별 품질요건을 표 3에 정리하였으며 각 용도별로 자세히 살펴보면 다음과 같다.

표 3. 활석의 용도별 품질요건 (Harben, 1995).

용도	품질요건
요업용	최소 MgO 30%, SiO <sub>2</sub> 60%; 최대 CaO 1%, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 4%, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1.5%, 알카리 0.4%; 95% -325 mesh; 화학조성과 색깔 및 소성시 수축률이 일정할 것
화장품용	수용성 물질 최대 0.1%, 산 용융성 물질 6%, 석영 0.1~1.0%, 투각섬석 0.1%, As 3ppm, Pb 20ppm, 중금속 40ppm; 중성; 섬유상/모래/박테리아 불포함; 평균입도 7 $\mu$ m
페인트용	Mg 및 Ca silicate 최소 88%, 최대 CaO, 수용성 물질 1%, 수분 및 기타 휘발분 1%, LOI 7%, -325mesh, 흡유성이 좋고 백색도와 농도가 좋아야 함
피치조절용	표면적 12 m <sup>2</sup> /g, 백색도 >78GE, 저마모도, 평균입도 2~5 $\mu$ m
제지용	백색도 >78GE, 최대입도 50 $\mu$ m, 평균입도 8~12 $\mu$ m
루핑용	입도 -80 mesh 정도의 저급품
고무용	중간입도 2 $\mu$ m 이하

페인트 : 활석수요의 20%정도를 차지하는 페인트 산업에서 활석은 비싼 이산화 티타늄을 대체하고 있다. 여기서 활석은 충전재와 백색안료로 사용될 수 있다. 어떤 페인트에서는 기름성분의 흡수, 점착성, 평탄도 및 광택도의 조절, 부유성, 화학적 안정성 및 안료의 분산 등의 용도로 사용된다. 즉, 활석은 기름을 흡수하는 성질이 뛰어나기 때문에 페인트내에서 넓게 흩어질 수 있어서 페인트의 노화현상 및 균열을 방지할 수 있다. 에멀션 페인트는 -325 mesh 등급의 활석

을 사용하는 반면 부식방지용 및 자동차용 페인트는 이보다 극미세의 등급을 필요로 한다. 이와 같은 초미립의 활석 분체는 자동차용 도료에서 상부도색재로서 실리카 대용으로 사용되기도 한다.

플라스틱 : 플라스틱 산업에서도 활석의 용도는 점점 증가하고 있어서, 합성수지의 양을 줄여줄 뿐만 아니라 강도를 높여 주는 역할도 하며, 내열성을 증가시키고, 주물제조시 수축률과 순환 시간을 줄여 주고, 용액의 유동성을 향상시킨다. 특히 미립분체의 경우에는 자동차용 부품으로 사용되는 엔지니어링 플라스틱 제조용으로서의 사용량이 크게 늘고 있는 추세다. 폴리프로필렌 (polypropylene)의 경우 활석은 고온에서의 변형에 대한 강도를 높여 주며, 폴리에틸렌 (polyethylene)에 활석분체를 20~30% 첨가하면, 고강성과 함께 충격강도가 향상되는 특성을 얻을 수 있다. 또한 차가워졌을 경우 접착되는 것을 방지하기 위해 점착성 플라스틱 필름의 표면을 거칠게 하고 블로킹 현상을 방지하는 보조재로서도 사용된다.

제지 : 제지산업은 활석의 주요 소비부문이며 충전재, 코팅재, 피치 조절재로서 사용된다. 특히 종이의 광택, 불투명도 및 인쇄용 잉크의 흡수력을 강화시키기 위해 주로 제지용 충전재로 사용된다. 또한 활석은 높은 비표면적 (12m<sup>2</sup>/g)과 더불어 유기물과 친한 성질을 갖고 있기 때문에 제지공정 중 미립의 피치에 달라붙어 이들이 서로 엉기는 것을 방지해 주며 (Burger, 1991), 기름 흡수력이 강하기 때문에 종이필프 (나무피치)로부터 수지를 흡수하는데도 사용된다. 일반적으로 화학적 피치조절제가 활석보다 더 경제적인 것으로 알려져 있으나 화학약품은 환경오염의 원인이 되고 또한 피치를 조절하는 방식이 활석처럼 제거하는 방법이 아니라 넓게 퍼뜨리는 방식이기

때문에 활석이 더 적합하다 할 수 있겠다. 또한 폐지 재생시 폐지의 인쇄용 잉크를 제거하는데도 일부 사용되는데 이 분야에서는 고령토와 탄산칼슘 충전재와는 비교가 안 된다. 또한 활석은 안정적인 화학적 성질 때문에 중성용지뿐 아니라 탄산칼슘이 사용될 수 없는 산성용지에도 사용할 수 있다. 종이에 사용되는 최고급의 활석분체는 종이의 광택 코팅제로서 카올리나이트를 대체하여 사용할 수 있다. 그러나 판상의 미립 활석의 탄성률 때문에 분쇄하는 데 난점이 있어서, 인쇄에 적합하도록 종이표면에 매끄러운 박막을 형성하도록 하는 코팅제로 이용하는 분야에는 그다지 많이 사용되지는 않는다. 서부유럽에서는 제지산업에 사용되는 활석의 비중이 미국의 13%에 비해 총 활석시장의 절반정도를 차지하며, 순수한 활석이 충전재로서 기존의 카올린 광물 및 탄산칼슘과 경쟁하고 있다. 스칸디나비아 반도와 같이 카올린 광물이 귀한 지역에서는 종이의 코팅재로 활석이 주로 사용된다. 유럽에서는 제지산업에서 약 70%정도가 충전재로서 사용되고 피치조절용으로 사용되는 양은 20%이하인 반면, 미국의 경우 이 비율은 반대로 된다. 목재 펄프로부터 피치를 제거하는 피치 조절용으로는 표면적을 극대화하기 위해서 극미세의 판상형 활석이 요구된다. 또한 카렌다에 사용된 경우에 낮은 압력으로 강한 광택을 내는 특징이 있어서 그라비아용지 및 코팅용 원지에 많이 사용되고 있다. 제지용 활석의 경우 고칼슘 활석이 백색도는 높지만 사이징이나 착색이 좋지 않기 때문에 원질에 첨가할 경우 최후에 첨가한다.

**고무 :** 고무제품 산업에서 활석은 경화제로서 뿐만 아니라 전선의 절연체로서 사용되며, 이때 활석은 구리와 철의 함량이 각각 0.005%와 0.012%를 넘지 않아야 한다.

**요업 :** 활석은 열변형 (수축, 팽창계수)이 적으므로 소성시킨 활석은 요업분야에 다양하게 이용

되고 있으며 인조 운모의 합성 원료로서도 철분 함량이 적은 활석이 주목받고 있다. 미국의 경우 요업 산업은 가장 큰 활석의 소비산업으로 총 소비량의 3분의 1 이상이 소비된다. 활석은 도자기나 타일 생산에 사용되는 질그릇 몸체의 45~70%를 차지하며 이 경우 철분함량이 낮아야 하고, 적당한 칼슘함량을 가져야 하며, 다른 용도와는 달리 공정시 박리현상을 방지하기 위해 판상의 활석은 적당하지 않다. 활석의 낮은 전기전도도 때문에 전기스위치와 같은 전기용 요업에서 80~90% 활석과 기타 점토광물 및 용제와 혼합하여 사용된다. 또한 활석은 유약에서 용제로도 작용한다.

**화장품 및 제약 :** 특별히 상급의 활석은 화장품 및 제약업에 사용된다. 여기에는 가용성분의 함량, 중금속함량 등 여러 가지의 품질기준이 적용되며 연소 잔류량, 산에 녹는 물질, 미생물의 양, 염소, 비소, 중금속, 납, 철 성분 등에 대한 엄격한 규격이 있다. 제약업에서 활석은 알약과 캡슐의 윤활재, 가루약에서 흡착재 및 필름 코팅에서 강도를 높이는 보강제로 사용된다 (Russell, 1988). 당연히 제약업에 사용되는 활석의 등급은 매우 특별하게 관리되며, 미국의 경우 미국제약협회 관리하에 있다. 영국의 화장품·향수협회는 화장품에 사용되는 활석에 대해 "화장품 산업 외에 다른 용도로 사용되는 활석은 실제로 활석이외에 불순광물의 함량이 높기 때문에, 일반적으로 혹은 관례적으로 활석으로 알려진 물질과는 주의 깊게 구분되어야 한다"고 언급한 바 있다.

**가축사료 및 방직 :** 앞서 설명한 산업용도와는 달리 가장 하위 등급의 활석은 아마 가축사료의 첨가제로 사용되는 것이다. 이는 가축의 소화률 도와주며, 사료에 지방분이 증가되면서 사료 펠렛 표면에 활석이 사용되는 정도가 증가하고 있

다. 섬유 산업에서는 최고급의 활석이 충전재 및 광택재로 사용될 수 있으며, 직물의 주입 및 전분과 함께 사이징하는 데 사용되어 제품의 비중과 산, 알칼리에 대한 저항성을 높일 수 있다.

기타 : 이밖에 화학산업에서는 넓은 표면적을 가진 물질로서 촉매제로 사용되며, 또한 화학비료 제조시 서로 뭉치는 것을 방지해 주는 보조재로도 사용되고, 살충제에도 사용된다. 건축용 외장재로서 사용될 경우 루핑 (roofing)용 펠트에서 활석은 무게감을 더해주며 자외선을 막아주고, 기름성분이 투과하는 것을 방지하고, 내열성을 증가시켜 준다 (Schober, 1987).

'Steatite' 및 'Soapstone' : 앞서 설명한 바와 같이 원료광물로서 '활석'의 명칭은 'steatite' 및 'soapstone'과 혼용되어 사용되나 미국과 유럽 등지에서는 이들을 구별하여 사용한다. 'Steatite'는 미세입자의 활석이 괴상으로 산출되는 형태로서, 전기용 요업산업에서 중요한 원료물질이다. 최상등급의 절연체용 활석은  $Fe_2O_3$  함량이 0.7% 이하이어야 하고 연소 후 크리스토팔라이트가 함유되어서는 안되고 오직  $MgSiO_3$  형태의 'meta talc'만 존재해야 한다. 이러한 steatite는  $CaO$ 와  $Fe_2O_3$ 가 각각 1.5% 이하이고  $Al_2O_3$ 가 4%이하인 활석광물로부터 혹은 건조·압착된 분말활석으로부터 생산될 수 있다. 1,300~1,400℃로 소성된 후에는, 결정화된 'Mg-metasilicate'가 90%, 유리질이 10%로 구성된다. 저어콘 광물이 첨가될 경우 강도가 증가된다. 압축강도는 490~880 MPa, 연성을 갖게되는 점이 1,250~1,400℃, 절연도가 20℃에서 >1014 Wm, 유전 상수가 5.5~7.5(합성수지의 경우 5.3)이다. 자철석(magnetite)과 결합된 'steatite'는 상자성체의 물질을 생산하며, 활석과 25~40%의 점토를 혼합하여 갈라짐에 대한 저항력을 높인 자기 제조에 사용되고, 유약, 지

붕재, 내화재, 강화 패널판, 고압·저압용 절연체, 레이더 부품, 군함과 자동차의 위장 코팅용 분말, 고무의 충전재, 늘어붙는 것을 방지하기 위한 분말제품 등에 사용된다. 또한 가스버너, 크레용, 금속 도가니 등의 제조에 이용된다. 중국의 조형물들은 일반적으로 'steatite'로 조각되었다고 생각되지만 보통 'agalmatolite' (pagodite)라고 불리는 엽납석(pyrophyllite)의 변종으로 만든 경우도 많다.

'Soapstone'은 활석과 마그네사이트의 집합체로 녹색, 회색 및 검은색으로 산출된다. 배전반이나 실험실의 세면대 등과 같이 여러 형태로 잘라질 수 있는, 질감이 부드러운 활석질 암석이다. 비록 아직은 조각용으로 많이 이용되고 있지만, 이들의 산업적 용도는 줄어들고 있는 추세다. 핀란드 헬싱키의 한 교회는 이 'soapstone' 벽돌로 지어졌다. 활석과 유사한 특성을 지닌 알루미늄 규산염 광물인 엽납석(pyrophyllite)은 전통적으로 상업적 용도에 있어서 활석과 함께 고려되어 왔으나 이들의 고유한 특성 때문에 활석과는 분리하여 고려되어야 한다. 금속 제련, 유리, 시멘트 용광로용 내화벽돌이 채석장에서 'soapstone'으로부터 직접 잘라서 만들어진다. 500 volts 까지 견딜 수 있는 전기 절연체 부품들이 이 'soapstone'으로 만들어진다. 또한 화학적으로 안정한 부품의 제조나 비철금속 및 합금의 용해에 사용되는 도가니의 제조에도 사용된다.

## 활석의 성인별 유형

상업적 명칭으로 통용되는 '활석'은 마그네슘 규산염 광물로 이루어진 암석을 칭하는데, 실제 주로 활석 광물로 이루어져 있을 수도 있고 활석 광물을 거의 포함하지 않는 경우도 있다 (Bates, 1969). 적어도 활석광물을 35% 함유하고 있는 광석을 'soapstone'이라 부르며, 75% 이상 함

유한 원석을 주로 '활석질 암석(talcite)'이라 부른다. 활석과 가장 흔하게 수반되는 광물은 녹니석(chlorite) 이외에 투각섬석(tremolite:  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ )이 있다. 이밖에 상업용 활석에 수반되는 불순광물로는 사문석(serpentine), 엔소필라이트(anthophyllite), 투휘석(diopside) 등이 있으며, 석영(quartz), 방해석(calcite), 백운석(dolomite), 마그네사이트(magnesite), 엽납석(pyrophyllite) 등이 함유되기도 한다(Brown, 1973). 따라서 일반적으로 활석으로 통용되는 상품에는 클리노클로어(clinocllore: Mg-녹니석), 류텐버자이트(leuchtenbergite: 소량의  $\text{Fe}^{2+}$ 를 함유한 Mg-녹니석), 사문석, 백운석, 마그네사이트, 투각섬석, 엔소필라이트, 양기석 등이 혼합되어 있다.

실험에 의하면 500℃ 이하에서는 사문석이 생성되고 500-700℃에서 활석이 생성된다. 더 높은 온도에서는 엔스테타이트, 석영, 포스테라이트와 같은 무수광물로 전이된다. 자연환경에서는 마그네슘이 풍부한 암석이 광역변성작용이나 접촉변성작용의 후기에 실리카가 풍부한 열수와 반응하여 생성되며, 이 때의 변성상은 녹색편암에서 각섬석 상에 해당한다. 활석광상으로서의 성인에 따라 다음과 같은 4가지 주요 유형이 알려져 있다.

○ 초염기성암 기원

미국의 Vermont, Massachusetts, Pennsylvania, Georgia, California, Arkansas, Texas, 캐나다의 Ontario, Quebec, 남부 스페인, 핀란드, 러시아의 Shabry와 Miassy광상, 이집트, 한국의 충남 부여, 예산(유구)지역.

○ 염기성암 기원

미국의 Schuyler County, Virginia, 이집트.

○ 마그네슘 탄산염암 기원

미국의 Alabama, Montana, California,

west Texas, Washington, 호주의 Mount Seabrook과 Three Springs 광상, 중국, 러시아의 Onot 광상, Eastern Sayan Mountains, 북부 스페인, 한국의 경기도 가평, 양평등지, 충북 충주, 중원, 영동 지역.

○ 변성암 기원

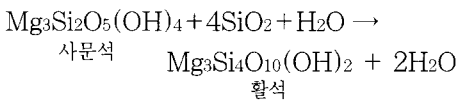
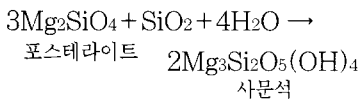
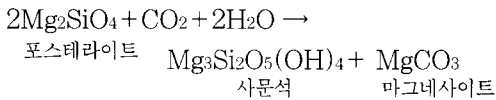
미국의 Murphy Marble Belt, North Carolina, Southern Death Valley-Kingston Range, California, Gouverneur 지역, New York, Chatsworth, Georgia, 캐나다의 Madoc, Ontario, 이탈리아의 Chisone Valley, 러시아의 Krasnoyarsk 지역, 독일의 Wunsiedel, 오스트리아의 Leoben, 슬로바키아의 Gemersk, Poloma, 핀란드, 프랑스의 Luzenac 지역, 스페인, 브라질의 Brumado(Yantang and Luping, 2000), 한국의 경기도 광주, 충남 공주, 금산, 전북 장수, 무주, 완주, 경북 문경지역.

초염기성암 및 염기성암 : 활석은 감람암의 사문암화 작용에 의해 초염기성암을 모암으로 하여 산출되며, 이 경우 수화반응시 Mg와 Si의 손실은 거의 없다. 이러한 반응은 5%이상의  $\text{CO}_2$ 를 함유한 광화용액의 유입에 의해 탄산염화 작용을 수반하게 되는데, 결국 Si를 함유한 열수 용액에 의해 활석화 된다. 이 유형의 광상은 매우 규모가 큰 특징이 있으며 낮은 등급의 충전재 등에 사용되거나, 정제과정을 거쳐서 높은 등급으로 만들어지게 된다.

석면 광상을 포함하고 있는 암석처럼 사문암화 작용을 받은 초염기성암체도 활석을 함유하고 있다. 활석광체는 사문암체를 완전히 치환하기도 하지만 일반적으로 사문암체 주변부를 따라 변질대를 형성한다. 활석화 작용은 사문암과 유입된  $\text{CO}_2$ 간의 변질교대작용이나 사문암과 규장질의 주변암간의 변성작용에 의해 완성되어진다. 일반

적으로 CO<sub>2</sub>의 유입에 의한 변질교대작용으로 생성되었을 경우, 활석-탄산염암이 형성되고, 변성작용에 의한 것일 경우 활석 암체가 형성된다 (Brown, 1973).

SiO<sub>2</sub>나 CO<sub>2</sub>를 포함하는 열수용액은 멀리 떨어져 있는 산성 관입암체와 관련이 있거나, 변성작용 동안에 유리된 것이며, 혹은 사문암과 직접 접촉하고 있는 산성 관입암체로부터 유래된 것이다. 보통 흔하게 관찰되어지는 변질대의 분포 양상은 화강암이나 기타 다른 규장질 암석에서, 질석대, 녹니석대, 양기석대, 활석대, 사문암이 활석화 및 탄산염화작용을 받은 활석-탄산염암대, 변질되지 않은 사문암대 순으로 나타난다. 이러한 누대 분포양상은 보통의 경우 불완전한 분포를 보여, 대부분 활석광상에서는 질석대가 관찰되지 않는다. 초염기성암의 활석화 과정에 수반되는 기본적인 화학반응식들은 다음과 같다.

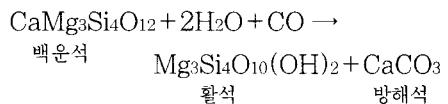
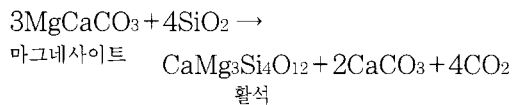


사문암에서 활석과 온석면(chrysotile) 간에는 매우 밀접한 관계가 있다. 활석은 온석면에 비해 SiO<sub>4</sub>-사면체가 하나 더 많으며, 따라서 화학적으로 이 두 광물은 단지 구성원소들의 함량에서만 차이가 난다(온석면이 MgO가 10% 더 많다). 이 두 광물은 사문암체에 실리카가 공급된 결과로서 생성되며 약 500℃에서는 활석이, 400℃에서는 온석면이 생성된다. 사문암이 화강암과 직접 접촉하고 있는 경우에 이 두 광물의

광상은 매우 유사한 변질대의 분포양상을 보이지만, 온석면 광상에서 흑운모대가 활석광상에서는 질석과 녹니석대로 나타나며 대체로 온석면이 활석보다 잘 생성된다. 어떤 광물이 생성될 것인지는 온도뿐만 아니라, 사문암화 작용을 받은 초염기성암의 관입과 광물들의 형성간의 시간 간격(온석면이 활석보다 더 짧음) 및 광상형성과 관련된 조구조적 응력 등에도 좌우된다. 조구조적 응력은 활석의 층상구조 격자 형성을 촉진하고 섬유상 온석면의 성장을 억제한다.

반려암과 같은 염기성암의 사문암화 작용 역시 사문암체를 형성시킨다. 이는 5% 이상의 CO<sub>2</sub>를 함유하는 광화용액의 유입에 의한 탄산염화 작용을 수반하면서 활석-탄산염 암을 형성시키고 이는 다시 Si를 함유한 광화용액과 반응하여 활석화된다. 이런 유형의 광상에서 산출되는 활석은 대개 질이 낮아서 경제적인 가치는 매우 낮다.

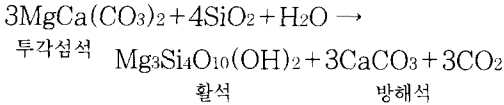
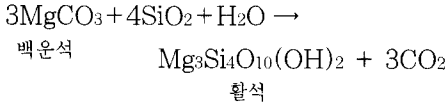
**마그네슘 탄산염 암석:** Si와 Mg가 포함된 광화용액의 유입에 의해 백운암이 변질교대작용이나 열수변질작용을 받아 활석을 생성시킨다. 이 유형의 광상은 양질의 활석이 백운암내 맥상으로 산출된다. 마그네사이트, 백운석, 백운석질 석회암내에 활석과 녹니석-활석질 편암 광상이 다음 반응식에 의해 주변 관입암체의 열수변질작용 영향에 의해 형성될 수 있다.



위의 두 반응 모두 SiO<sub>2</sub>가 산성 관입암체에 의해 공급된다. 활석은 또한 접촉변성작용 및 광역 변성작용에 의해 백운석이 투각섬석으로 변질된



후, 다시 투각섬석의 변질에 의해서도 생성된다.



변성작용: 실리카질 백운암이나 실리카질 활석-탄산염암과 같은 모암의 광역 및 접촉 변성작용은 투각섬석 혹은 양기석을 함유하는 백운암질 대리암을 형성시키며 이는 Si를 포함한 광화용액과 반응하여 활석을 형성시킨다. 백운암질 층이 화강암 등의 관입에 의해 접촉변성작용을 받아 상당한 규모의 고순도 활석광체를 형성시킨다. 활석화 작용은 변질된 화강암과 실리카질 층조차도 활석으로 변질시킨다. 활석이 형성되기 용이한 장소는 화강암과 퇴적암의 접촉부, 단층, 전단대 등이다. 백운암질 층은 인근 화강암질 암석의 관입에 의해 선택적으로 투각섬석화되며 후퇴 변성작용동안 선택적으로 활석 편암으로 변질된다.

표 4. 활석의 국가별 생산추이 (단위: 천톤)  
(Harben and Kuzvart, 1996).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
China*	2,545	2,600	2,650	2,700	2,400	2,400
United States	1,185	1,037	997	968	935	1,060
Finland	385	361	371	399	400	450
India	406	424	425	360	360	370
Brazil	280	292	286	290	290	290
France	385	310	300	282	306	300
Australia	200	210	210	210	210	210
Korea, North*	170	170	170	180	180	180
Italy(steatite/talc)	152	161	184	165	139	130
Austria(steatite)	134	161	146	137	131	130
Canada*	137	123	107	108	130	116
Former USSR	500	450	-	-	-	-
Russia	-	-	150	132	100	100
Spain(steatite)	70	70	70	65	65	65
Japan	62	66	61	54	56	55
Korea, South	182	171	150	54	35	30
Norway	100	80	60	50	50	50
Others	239	208	217	172	161	161
Total	7,131	6,894	6,554	6,329	5,956	6,097

\*활석, steatite, 엽납석의 구분이 없는 자료

### 세계적 생산량 추이 및 시장 구조

활석의 최종 용도에 대한 다양한 분야 때문에 앞서 설명한 여러 기원 중 한가지 기원으로는 만족시킬 수 없는 수많은 등급기준으로 세분되어 진다. 전세계적으로는 40국가 이상에서 6백만톤 이상의 활석이 생산되고 있다(표 4). 전세계 생산량의 약 40% 이상이 중국에서 생산되며, 미국의 경우 15%, 브라질, 핀란드, 프랑스에서 5% 정도를 생산한다. steatite의 가장 큰 생산국은 인도, 오스트리아, 스페인 등이다.

몇몇 국가에서 산출되는 활석은 한 두 가지 특정 산업에 집중적으로 이용되는 것으로 유명한다. 예를 들어 프랑스, 중국, 호주산 활석은 화장품, 미국 뉴욕산 활석은 주로 요업산업에 이용되며, 이들은 최종 소비자에게까지 장거리 운송을 거쳐 공급된다. 이처럼 활석 자원이 전세계적으로 고르게 분포되어 있지 않기 때문에 몇몇 분야에서는 국가별로 여러 가지 대체 광물을 사용하고 있으며, 따라서 나라마다 활석시장의 양상은 서로 달라지게 된다. 예를 들어 중국의 경우는 제지 산업에서 60%이상, 코팅 산업에 2%, 도자

기 산업에 2%, 화장품 산업에 2%, 건축외장 산업에 3%, 플라스틱 산업에서 2%를 소비한다. 서유럽은 제지 52%, 코팅 11%, 플라스틱 7%, 도자기 6%, 화장품 3%, 건축외장에 7%를 소비한다. 미국은 도자기 33%, 코팅 15%, 제지 14%, 건축외장 12%, 플라스틱 8%, 화장품에 6%를 사용한다. 일본은 제지 61%, 플라스틱 18%, 기타용도로 21%를 사용한다. 유럽에서는 활석이 제지 산업에서 펄프의 피치조절제로 사용되는데 18.8%, 충전재로 47.9%가 사용되고, 방직산업에 33.3%가 사용되고 있다(Yantang and Luping, 2000). 그러나 이러한 활석 소비양상은 엽납석, 탄산칼슘, bowlingite 등과 같은 대체 광물의 증가로 인하여 그 활용 분야에 따라 매우 달라질 것으로 예상된다. 우리나라의 경우 1980년대에는 활석을 일본에 수출하기도 하였지만 점차 국내매장품위가 하락하고, 최근에는 자원부국인 중국의 등장으로 인하여 경쟁력이 약화되어 이제는 연간 2~3만 톤의 극소량만 생산하는 실정에 불과하고 거의 대부분의 원료를 수입에 의존하고 있다. 우리나라에서 활석분체의 주된 수요는 제지용으로써, 1990년 이후에는 연간 30만 정도의 내수를 유지하고 있다(한국자원연구소, 인터넷). 국내산으로서 실제 제지용으로 사용될 정도로 양질의 활석은 전체 생산량의 약 15% 정도밖에 되지 않는다(Lee, 1994). 국내산 고급분체는 페인트용으로의 사용이 대부분이고, 국내산의 저품위 분체는 대부분이 농약의 중량재용으로 사용되고 있는 것으로 분석된다.

### 국내의 부존 현황

우리나라는 활석의 총매장량이 4천만 톤 이상으로 중요한 활석 생산국이었으나 오랜 동안의 선택채광에 의하여 고급원료광물의 부존량한계를 나타내고 있다. 최근에는 국내생산이 전체 소비량의 10%에 불과한 3만 톤 정도를 유지하고

있으며, 나머지 90%는 수입에 의존하고 있다. 국내 활석광의 부존량은 표 5와 같다

표 5. 국내 활석광의 부존 현황 (한국자원연구소, 인터넷 자료).

품 위	매장량 (천톤)	지역별 매장량	비 고
백색도 80이상	5,695	경기 782, 충북 4,913	고품위 매장상태 가 불량하여 생산 량이 적고, 최근 에는 수입에 의존
백색도 80이하	37,158	경기 185, 강원 556, 충북 8,349, 충남 26,446, 전북 806, 경북 58, 경남 758	저품위의 활용성 이 높지 않으므로 생산량이 저조함
합 계	42,853		

### 환경 영향 및 안전성

결정질 실리카는 WHO (World Health Organization) 산하의 IARC (International Agency for Research on Cancer)에 의해서 가능한 발암물질로 분류되어 왔다. 따라서 미국의 경우, 활석내 결정질 실리카의 함량 때문에, 처리과정을 거쳐 결정질 실리카의 양을 0.1% 이하로 줄이지 않는다면, 활석은 'OSHA (Occupational Safety and Health Administration) Hazard Communication Standards, 29 CFR Section 1900, 1200'에 의해 규제를 받게 되어 경고문 부착 및 안전 검사 결과 명시, 발암물질이 0.1% 이상의 농도를 함유한 제품에 대한 고용인들의 훈련 교육 등의 의무사항을 지켜야 한다. 활석은 대부분 불순광물로서 엔소필라이트, 투각섬석, 양기석 등과 같은 섬유상 석면 광물을 함유하고 있기 때문에 환경적 측면에서 관심의 대상이 되고 있다. 1992

년 6월에 미국의 OSHA는 이러한 광물들의 비석면상 변종을 석면광물의 범위에서 제외시키려는 최종법안을 검토중이었다. 이는 요업산업에서 주로 사용되는, 투각섬석을 함유한 활석에 대해 매우 중요한 사항이다.

또한 제지산업에서는 재생지 활용의 증가에 따라 천연 펄프의 소비가 줄어들고, 종이의 강도는 약화되었으며, 충전재의 비율도 줄어들게 되었다. 그러나 이러한 폐지의 재활용은 피치콘트롤용 활석의 수요를 증가시키고, 반복되는 폐지의 재활용에 따라 펄프의 질이 떨어지게 되어 백색도가 더 높은 충전재의 사용을 증가시키게 되었으며, 더 높은 백색도를 얻기 위한 처리에 따른 환경오염을 증가시키는 결과를 가져왔다. 요업산업에 있어서도 재생요업물의 광범위한 활용이 현재까지는 제한적이었지만 위생도기와 같은 용융물질의 재활용이 증가추세에 있어서 이에 대한 환경적 측면이 앞으로 검토되어야 할 것이다 (Harben, 1995).

## 탐사와 개발

사문암이나 탄산염암과 같이 활석을 함유하는 암석은 종종 주변보다 높은 지표면을 이루거나 그 위를 덮고있는 토양 층에 활석의 함량이 높게 나타난다. 지표에 전혀 노출되지 않은 활석광상에 대한 저주파 전자기탐사(VLF-EM), 자력탐사, 중력탐사, 지진파탐사 등과 같은 물리탐사방법은 그다지 큰 효과를 보이지 않는다. 그러나 경우에 따라서는 활석을 함유한 지역에서 일반적으로 나타나는 특징들을 인지할 수는 있다. 예를 들어 저주파 전자기탐사로 단열대의 분포상황을 알아낼 수 있고, 지진파탐사는 편마암, 편암, 규암 등의 암석 내에 존재하는 백운암질 대리암을 검출할 수 있다. 지구화학탐사방법으로도 어느 정도 가능하며, 세밀한 지질도 작성 및 시료채취를 통하여 변질되지 않은 주변의 신선한 암석에

비해 활석을 함유한 암석 근처에서 특정 광물 및 원소들이 농집되었거나 고갈된 특성을 알아낼 수 있다. 이러한 지시광물이나 지시원소들은 각각의 활석산출지에 따라 다른 특성을 보이기 때문에 활석의 다양한 산출양상은 다양한 지구화학적 특성으로 인지된다. 일반적으로 자세한 지질도 작성과 체계적인 시료채취가 가장 효과적인 활석탐사방법이다. 이밖에 활석광상을 형성하기 위한 조건으로, 변질작용의 조합, 광화용액의 유동을 위한 단층대 및 기타 구조적 조건, 광화 용액으로부터의 침전 및 유동을 돕기 위한 낮은 압력조건 등이 있다.

활석의 채광은 노천채굴이나 갱내 채굴방법으로 이루어진다. 실제로 미국 내 생산되는 모든 활석은 일부 주(Vermont와 California)에서 생산되는 것을 제외하고는 대부분 노천 채광된 것이다. 이에 비해 중국에서 생산되는 대부분의 활석은 갱내 채굴된 것이다. 노천채광의 범위는 브라질에서 인력으로 채광하는 것부터, 미국에서 발파 및 포크레인 작업으로 채광을 하는 것까지 매우 다양하다.

중국의 Guangxi 지역의 모든 채광은 노천채광법이며 이 경우 활석광체를 덮고 있는 층과 불필요한 부분들은 불도저로 제거하고, 스크레이퍼로 점토를 제거하며, 암석들은 포크레인으로 제거하고 있다. 활석-백운암층은 드릴작업 및 발파작업 후 인력으로 채광된다. 이후 활석은 순도와 백색도에 따라 육안으로 분리된다. 이에 비해 중국의 Liaoning 지방의 Haicheng 지역에서는 대부분 갱내 채광을 하고 있다. 드릴링 작업 및 발파 뒤 2×2m 정도의 갱도를 따라 정방향으로 받침목을 낸다. 마그네사이트나 백운암이 모암일 경우 채광의 전반부의 3×2 m 구역은 보통 받침대를 설치하지 않는다. 탄산규질암(calc-silicate rock)에서의 갱내 채광 시에는 받침목을 덜 설치한다. 갱내채광은 광체의 순도가 높아질수록 어려워지기 때문에 주의가 요구된다. 매우 고순도

의 활석광화대는 변형작용을 받기 쉽고 각력질로 되어 있으며 모암 내에 얇은 맥상으로 산출되기 때문에 위험하며, 반면에 마그네사이트, 백운석, 투각섬석 등이 섞여있는 경암의 경우는 좀더 안전하여 room and pillar법으로 채광할 수 있다.

활석에 사용되는 선광 기술은 광상의 특성 및 최종적으로 이용되는 목적에 따라 다르다. 미국의 Montana주나 중국의 활석광상과 같은 괴상의 활석광체는 채광시 색상과 조성에 따라 분류된다. 미국 Vermont주나 동부 캐나다와 같은 활석-탄산염암 광상은 일반적으로 부유선광법을 이용하여 질을 향상시킨 뒤 -0.4~-0.08 mm 까지 분쇄를 한다. 자력분리법으로 자철석 및 분쇄작업시 생성된 철분 및 기타 자성을 가진 유색 불순물들을 제거한다. 남부 프랑스의 활석-녹니석 광체는 특수 용도용으로 색상과 활석함량을 향상시키기 위해 수작업이나 기계작업을 통해 분류된다.

루핑용(roofing)의 활석 광석은 롤러를 이용하여 -0.6 mm로 분쇄되거나 해머로 분쇄한 뒤 -0.6~+0.15 mm로 가려진다. 요업용으로는 롤러나 불밀을 이용하여 활석광석을 -0.15 mm 로 분쇄한다. 라텍스 페인트, 베이비 파우더, 방수·방열플라스틱, 벽이음매용 등에는 74~44  $\mu$ m의 더 미세한 활석 등급이 적용되며 링 타입의 롤러분쇄기를 이용하여 활석 고유의 판상구조를 보존시킨다. 2~25 $\mu$ m의 초미세 등급은 해머분쇄기, 유압분쇄기, 제트분쇄기 등을 이용하며, 에어 분급기의 효과를 높이기 위해 보통 밀폐된 순환계에서 작업이 이루어진다(Piniaskiewicz, 1994). 한 예로 Montana Barretts Minerals 회사에서는 활석광석을 광산에서 Baratts에 있는 공장으로 운반하여 그곳에서 롤러분쇄기, 해머분쇄기, 유압분쇄기를 이용하여 분쇄한다.

최근 국내의 주요 수입국인 중국에서도 'air-jet mill'을 이용하여 1,250 mesh 제품들이 다량 생산되면서, 우리나라와 일본에 많은 수출을

이루고 있으므로 우리나라의 분체제 조업체에서도 이에 부응하는 고급제품의 개발이 이루어져야 할 것이며, 특히 중국에서도 원료광물의 수출을 지양하고 제품수출을 꾸준히 확대하고 있기 때문에 이에 대한 대비가 필요하다.

## 결론 및 향후 전망

무엇보다도 세계 활석시장은 국제경제성장과 밀접한 관계가 있다. 1950년 이후 세계 경제가 고속성장을 이룩함에 따라, 활석의 산업적 응용 부문에 대한 시장이 확대되어 전세계적으로 활석의 생산 및 소비가 증가되었으나 1990년 이후 유럽의 경기침체, 구소련의 해체, 일본의 거품경제 붕괴, 남미와 동남아시아의 경제위기 등으로 인하여 세계 경제발전의 속도가 감소되었다. 따라서 활석시장도 수축되었으며 총 수요는 감소하기에 이르렀다. 1990년 이후 세계 활석 생산량 및 소비량은 1991년 8.93백만 톤에서 1998년 8.4백만 톤(납석 포함)으로 감소하였다. 이러한 소비감소는 물론 앞서 설명한 세계 경제 성장률의 감소, 아시아 경제 위기 및 전체 시장 수용의 감소 때문이기도 하지만 세계 활석 시장에서 대체 광물에 의한 잠식도 무시될 수 없는 한가지 요인이었다(Yantang and Luping, 2000).

산업광물 충전제로 사용되는 활석을 대체할 수 있는 광물들은 매우 다양하며 향후 상당히 오랫동안 활석시장에 타격을 줄 것으로 예상된다. 더구나 비금속 산업광물의 주요 특징 중 하나가 서로 비슷한 기능을 하는 광물은 서로 대체가 용이하다는 점이다. 그러나 장기적으로 볼 때, 어떤 광물이 어떤 산업분야에서 성공할 것이지는 그 산업광물의 광물학적 특징과 가격 경쟁력에 달려 있다. 이러한 관점에서 대부분의 대체광물들이 활석 고유의 화학적 안정성 및 매끄러움, 절연성 및 강력한 기름흡수성 등의 매우 뛰어난 광물학적 성질을 완전히 대체할 수는 없으며, 생산량의

측면에서도 아직은 활석이 대체광물에 비해 경제적인 경쟁력이 있고, 더구나 최근에는 활석 표면 변형 기술이 개발되어 새로운 합성물질이 생산되면서 활석의 산업적 용도가 더욱 다양해지고, 세계 경제가 21세기에는 회복될 것으로 기대되기 때문에, 비록 활석과 대체광물간의 경쟁이 치열해 지더라도 산업광물로서 활석의 중요한 위치는 계속 이어질 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- 한국자원연구소, 인터넷, <http://kis.kigam.re.kr/~sbcho/dbase/talc.html>
- Bates, R. L. (1969) Talc. in *Geology of the Industrial Rocks and Minerals*, Dover Pub. Inc., New York, 328-340, 437-438.
- Brown, C. E. (1973) Talc. in *United States Mineral Resources*, US Geol. Surv. Prof. Paper 820, D.A. Brobst and W.P. Pratt, eds., 619-626.
- Burger, J. (1991) Talc, USA & Europe competitive markets, *Industrial Minerals* Jan. 1991.
- Harben, P. W. (1995) *The Industrial Minerals HandyBook II*, 182-186.
- Harben, P. W. (1999) *The Industrial Minerals HandyBook III*, 211-215.
- Harben, P. W. and Kuzvart, M. (1996) Talc and soapstone, in *Industrial Minerals, A Global Geology*, Industrial Minerals Information Ltd., 407-417.
- Lee, D. J. (1994) Major industrial minerals in Korea : Geological occurrence and current status of demand/supply. *Jour. Miner. Soc. Korea*, 7, 1-13.
- Piniakiewicz, R. J., McCarthy, E. F., and Genco, N. A. (1995) Talc. in *Industrial Minerals and Rocks*, 6th ed., D. D. Car, ed., SME, Littleton, CO, 1049-1069.
- Roberts, W. L., Campbell, T. J., and Rapp, Jr., G. P. (1990) *Encyclopedia of Minerals*. 2nd edition, Van Nostrand Reinhold Company, New Your, 979 pp.
- Russell, A. (1988) Minerals in pharmaceuticals the key is quality assurance. *Industrial Minerals*, 251, 32-43.
- Schober, W. (1987) Talc in Europe - optimistic views are prevailing. *Industrial Minerals*, 237, 40-51.
- Yantang, Y. and Luping, M. (2000) The view from China, *Industrial Minerals*, Feb., 47-51.