

일라이트-운모의 이용 현황과 응용광물학적 특성 평가

조 현 구 · 노 진 환

경상대학교 지구환경과학과
강원대학교 지질학과

요약

수천 년 전부터 인간생활에 이용되어온 일라이트-운모는 다른 광물자원에 비하여 사용량은 많지 않지만, 요업, 도료, 종이, 건축용 재료, 화장품 소재 및 전자부품과 전기 재료 등 여러 산업 분야에 널리 사용되고 있다. 일라이트-운모는 광물학적으로 같은 계열의 광물군임에도 불구하고 산출상태, 입도 및 용도의 차이에 따라 다른 광물자원으로 취급되고 있다. 특히 국내에서 일라이트는 용어상의 혼란과 불명확한 법정 등록광종 때문에 효율적인 자원관리와 연구개발이 곤란한 실정이다. 그러므로 일라이트를 비롯한 점토광물 자원에 대한 광업법규상의 개선과 제도적 준비가 시급히 요구된다. 국내에서 개발되고 있는 일라이트-운모의 광석 유형은 그 광물상과 산출상태에 따라 페그마타이트상 백운모, 운모편암상 백운모, 납석상 일라이트 및 점토상 일라이트로 구분된다. 일라이트와 운모는 서로 다른 용도로 사용되고, 그 용도에 따라 그 품위 및 품질 개념이 다르다. 일라이트-운모 광석의 품위 및 품질 면에서 가장 기본적인 평가방식은 (1) 육안 및 편광현미경 관찰, (2) X-선회절 분석 및 (3) 화학분석인 것으로 생각된다. 특히 리트벨트법을 응용한 X-선회절 정량분석법은 일라이트의 품위를 산정하는데 유력한 수단이 될 수 있을 것으로 여겨진다. 국내 일라이트-운모 자원의 자원잠재성과 부가 가치를 향상시키기 위해서는 광석에 대한 정확한 품위 평가를 바탕으로 가장 적절한 이용 분야를 모색해야 할 것으로 판단된다.

서 언

16세기의 유명한 지질학자 아그리콜라(G. Agricola)에 의하여 '빛남' 또는 '반짝거림'을 뜻하는 라틴어 'micare'로부터 그 이름이 명명된 운모(Davis, 1985)는 오래전부터 인류에 의하여 이용된 광물질 중의 하나이다. 인도 신화에서 구름과 천국을 의미하는 'abracadabra' (힌두어로 'Abrak and Abhra')로 인용되는 운모는 신비한 의약품으로 이용되었다(Rajgarhia, 1951). 로마의 박물학자 플리니(Pliny the Elder)는 로마제국 대원형 경기장

(Circus Maximus)의 중앙에 위치했던 투기장의 바닥도포재(floor covering)로써 운모를 이용했다고 기록하고 있다. 14세기 에팔레치아 산맥 남부에 살던 아메리카 원주민들은 무덤의 장식품으로 이용하였으며, 러시아에서는 난로의 창과 개방된 불꽃등불의 갖으로 이용하였다.

그러나 운모가 가지고 있는 독특한 성질 즉, 전기적 성질과 절연성이 본격적으로 이용되게 된 계기는 19세기 후반에 발명된 전기제품의 덕택이다. 특히 1904년 플레밍(John A. Fleming)의 진공관의 발명은 운모의 이용을 크게 증진시키는 계기가 되어, 운모는 절연제품,

조인트 화합물, 고무 및 시추분야 등 여러 분야에 광범위하게 활용되게 되었다(Harben and Kuzvart, 1996).

일라이트(illite)는 운모류(mica group)에 속하는 백운모의 점토상 광물로 간주되지만, 이 광물의 정의에 대해서는 아직 완전한 일치를 보지 못하는 측면이 있다. 그러나 Srodon과 Eberl(1984)에 의하여 “4 μ m 이하 입자 크기로서 비팽창성, 이팔면체이면서 알루미늄이 풍부한 운모같은 광물”로 정의한 것이 가장 일반적으로 통용되고 있다. 일라이트의 결정상은 운모류와 흡사하지만, 산출상태, 결정도 및 용도에 있어서 현격한 차이를 보이기 때문에 산업광물의 측면에서는 별개의 광물로 취급된다. 일라이트는 과거에 견운모(sericite)라고 불리었던 미립질 백운모를 포괄하는 광물명으로 학계에서는 사용하고 있다. 그러나 아직도 산업계에서는 미립질 운모류 광석의 명칭으로 견운모라는 용어가 통용되고 있는 상황이기 때문에, 이들 일라이트-운모류 광물들 사이에서 다소간 용어상의 혼란이 야기되고 있는 실정이다.

산업광물로서 운모는 오래 전부터 사용되어 왔지만, 일라이트는 근래에 들어 그 효용성이 부각되었던 관계로 아직 그 용도, 수급관계 및 품질규격 면에서 체계가 잡혀있지 않은 실정이다. 따라서 일라이트는 국내에서는 물론 국외에서도 아직 독립된 산업광물 품목으로 인정되지 못한 채, 소위 ‘견운모질 납석(sericitic pyrophyllite)’ 또는 ‘도석(porcellanite)’의 일종으로 개발 및 유통되고 있다. 또한 최근 들어 학계에서 검증되지도 않은 인체의 건강과 관련된 천연 광물질의 응용에 관한 내용들이 국내에서 다소 무분별하게 전파되고 있는 와중에서, 일라이트-운모의 물질적 특성과 광산물로서의 가치기준 등에 있어서도 상당한 혼란과 오류가 야기되었다. 따라서 이 광물질에 대한 광물특성, 품위 및 품질 개념 및 용

용에 대한 올바른 지식 체계의 확립이 시급히 요구되고 있는 상황이다.

이 같은 배경과 취지에서 일라이트-운모의 최근 이용 현황을 소개하고, 앞으로의 전망을 살펴보고, 국내산 일라이트-운모의 광석 유형, 광물상, 광물 조성 및 특성을 밝히고자 한다. 또한 이 광물질의 용도와 관련하여 고려되어야 할 품위(grade) 및 품질(quality)의 기준과 그 평가 방안을 제안하고자 한다.

일라이트-운모의 종류와 산출상태

운모는 수화 알루미늄 필로규산염에 속하는 수십 가지 종류의 광물군(mineral group)이다. 운모류 광물들 중에서 산업광물로서 인정되는 광종으로는 백운모, 금운모(phlogopite) 및 리튬운모(lepidolite)가 있다(Table 1). 산업계에서는 백운모를 흔히 ‘white mica’ 또는 ‘ruby mica’라고 부르기도 하는데, 이는 ‘amber mica’로 통칭되는 금운모와 색깔의 차이에 의해서 구분하기 위함이다. 그렇지만 금운모와 리튬운모는 각각 자동차 범퍼 도장용과 Li의 원광으로 그 용도가 한정되고 그 수급 규모가 미미하기 때문에, 부존자원으로서의 잠재성과 효용성이 크고 다양한 백운모가 산업광물로서의 운모류 광물들을 대표한다.

모든 운모는 단사정계에 속하며 한 방향의 완전한 저면 벽개를 가지며, 이 벽개면을 따라 얇은 판(sheet)으로 쪼개진다. 판은 요곡성(flexible)과 탄성(elastic)을 가지는데, 탄성은 운모와 비슷한 질석(vermiculite), 활석 및 녹니석과 구분하는 중요한 특징이 되기도 한다. 운모의 색은 무색, 무지개색, 흑색 등이며, 진주 광택-유리광택을 가지며, 경도는 2-4, 비중은 2.7-3.2이다. 운모는 전기적으로 절연성을 가진

다. 운모의 절연성, 단열효과, 가벼움은 이 광물을 광범위한 산업 분야에 응용시키는 기본적인 성질이 된다.

백운모는 쉽게 매우 얇고, 강하며(tough), 요곡성이 있으며 탄성이 있는 얇은 판으로 쪼개진다. 큰 백운모 판은 창문의 창으로 사용되었다. 백운모라는 이름은 모스크바(Moscow)에서 많이 사용되었기 때문에 그 이름이 유래된 것이다. 백운모는 불산을 제외한 모든 산에 대한 내식성이 있으며, 500℃ 이상의 온도에서 물을 잃고 구조가 파괴된다. 금운모는 백운모에 비하여 특성이 낮은 것으로 간주되지만 온도에 대한 안정성만은 더 높다. 백운모는 500℃에서 파괴되지만 금운모는 1,000℃까지 안정하다(Lesure, 1973).

백운모는 다양한 암석에서 흔히 발견되는 광물이지만, 부존자원으로서 취급될 수 있는 백운모의 산출은 대부분 산성의 거정질 화성암체인 페그마타이트(pegmatite)로 한정된다(Harben and Kuzvart, 1996). 전 세계적으로는 미국과 노르웨이가 이 같은 백운모의 주요 산지이다. 또한 드물지만 운모편암(mica schist)의 형태로 저품위 광상을 이루는 백운모도 적절한 선광 과정을 통해서 개발될 수 있는 것으로 알려져 있다(Liu et al., 1979). 일반적으로 백운모는 페그마타이트 내에서 불소(F)와 같은 승화성 원소가 관여되어 흔히 야기되는 열수변질작용인 소위 'greizenization'의 산물로서, 전체적으로 대개 1-2% 정도 함유되지만, 경우에 따라서 많게는 10% 정도로 함유되기도 한다(Harben, 1999). 리튬운모는 이 같은 화강암질 페그마타이트나 주석이 풍부한 반화강암(aplite)에 수반된다. 이에 비해서 금운모는 백운석질 변성탄산염암이나 초염기성 화성암체에서 산출된다.

일라이트는 운모와 유사한 점토광물을 통칭하는 용어이다. 그러나 백운모에 비하여 사면체의 Al이 적고, 물의 함량이 더 많고, 층간양이온 K

의 일부가 Ca 또는 Mg로 치환되어 있다는 점에서 차이를 가진다. 이 광물은 세일과 이암의 주구성광물이며, 해양환경, 토양 및 열수환경에서 잘 발견된다. 산업적으로 개발이 가능한 규모와 순도로 일라이트가 부존되는 것은 대부분 화산암류의 열수변질의 산물, 즉 건운모질 납석이나 열수점토(hydrothermal clays)로서 산출되는 경우이다(Table 1). 전자는 비교적 견고·치밀한 광석 형태를 나타내지만, 후자는 전형적인 점토상을 이루기 때문에 매우 취약한 물성을 갖는 것이 특징이다. 그 밖에 드물지만 해성 퇴적기원의 점토로서 산출되는 것이 개발되기도 한다.

일라이트-운모의 광석 유형과 품위 및 품질

전술한 바와 같이 일라이트-운모는 유사한 광물상 관계를 갖지만, 국내의 광업법 상으로는 국제유통 체계상으로는 명확히 구분되어 있지 않다. 국내의 경우, 법정 등록광종으로서 운모 광석은 백운모를 의미하고, 일라이트는 납석의 한 유형인 소위 '건운모질 납석(sericitic pyrophyllite)'으로 취급되고 있다. 이외에 열수변질대나 해안에 부존되는 점토상 일라이트는 고령토의 일종으로 다소 애매하게 구분되어 있는 실정이다. 이런 이유 때문에 일라이트는 운모, 납석 및 고령토로 나뉘어 등록광구가 설정되어 있다(한국자원연구소, 1996; 산업자원부·광업진흥공사, 2001). 이 같은 다소 혼란스러운 광석분류 체계는 이 광물류의 산출상태 및 광물상에서의 특이성과 용도의 차이에 기인한 것으로, 현재 이 광물자원의 개발, 가공 및 이용 부문에서 상당한 오류와 혼란이 야기되고 있는 상황이다.

산업용 운모의 주된 광물상인 백운모는 대부

Table 1. Representative mica group minerals and their principal properties.

Mineral	Formula	Color/Luster	SG	H	Crystal system/habit	Occurrences
Biotite	$K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	green, black, dark brown, yellow; transparent-opaque; splendent	2.8-3.2	$2\frac{1}{2}$ -3	monoclinic; irregular foliated masses; scales, tabular or short prismatic xls	mainly in granites, pegmatites, gabbros, diorites, schists, phyllites, and gnesses
Lepidolite	$K(Li, Al)_2-3(AlSi_3O_{10})(O, OH, F)_2$	rose-red, violet-gray, lilac, pink, purple, grayish white, yellow; transparent-translucent; pearly	2.8-2.9	$2\frac{1}{2}$ -4	monoclinic; usually plate or prisms with hexagonal outline; coarse to fine scaly aggregates	almost exclusively in granite pegmatites, and less commonly in granites, aplites
Muscovite	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	colorless, brown, pale green, yellow, dark-olive green, ruby; transparent-translucent; vitreous-pearly or silky	2.8-2.9	2- $2\frac{1}{2}$	monoclinic; tabular xls, hexagonal or diamond-shaped in cross section; commonly lamellar or scaly massive	many geological environments, granites and granitic pegmatites; schists and gneisses; in sediments
Phlogopite	$KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	yellowish brown, brown to brownish red, white, greenish; transparent-translucent; pearly	2.9	$2\frac{1}{2}$ -3	monoclinic; prismatic xls, usually tapered, often long and coarse	in metamorphosed Mg-rich limestones, dolomites, and ultrabasic rocks
Zinnwaldite	$K(LiFe^{+2}Al)(AlSi_3O_{10})(OH, F)_2$	pale violet, yellowish or grayish brown; transparent; vitreous	2.9-3.0	$2\frac{1}{2}$ -4	monoclinic; short prismatic or tabular xls; disseminated scales or scaly aggregates	mainly in greisens, high-temperature quartz veins, and in granite pegmatites.
Illite Sericite	$K_{0.8-0.9}(Al, Mg, Fe)_2(AlSi)_4O_{10}(OH)_2$	white, other pale colors; translucent; earthy	2.6-2.9	1-2	monoclinic; flaky or scaly aggregates	in shale and mudstone; in marine sediments, hydrothermal alteration zone

분 페그마타이트나 운모편암 상의 광체로서 산출되기 때문에 석영 및 알칼리 장석류를 흔히 수반한다. 이들은 백운모와 함께 거정질을 이루므로 선별과정에서 비교적 쉽게 분리될 수 있다. 페그마타이트에 수반되는 운모는 대개 수 cm 이상의 거정질을 이루어 그 광석 부위를 육

안적으로 쉽게 선별할 수 있기 때문에, 운모의 함량을 의미하는 품위 개념은 여기서 별다른 의미를 갖지 못한다. 이 보다는 선별된 운모편의 크기와 형상이 그 용도와 관련하여 중요하게 취급된다. 즉, 선별된 백운모의 정광 형태는 그 결정편의 크기에 따라 판상 운모(sheet mica)와

분쇄 운모(ground mica)로 구분되어 유통되고 그 응용부문도 달리 취급된다.

판상운모는 수선과정을 거쳐 얻어진 운모편의 크기와 형상에 따라 통상 4가지 형태(block, thins, films, splittings)로 구분되고, 여기에는 인도, 영국 및 미국의 운모 제품규격들이 국제적으로 표준이 된다. 판상 운모에서의 품위 개념은 통상적인 유용광물의 함량이 아니라 운모 결정편의 크기와 형상을 의미한다. 분쇄 운모는 판상운모의 개발 및 처리 과정, 페그마타이트와 알라스카이트(alaskite)로부터 장석을 추출하는 과정 또는 고령토 정제 과정에서 나온 백운모의 미편을 의미하는 것으로서, 입도에 따라 품위와 용도가 달라진다. 일반적으로 운모편의 폭과 두께에 의해서 결정되는 형상비(aspect ratio)가 이 광물의 산업응용 면에서 중요하다.

일라이트는 광석의 유형에 따라 광물조성은 물론 조직 및 물성에서도 현격한 차이를 보인다. 납석이나 도석의 형태로 산출되는 일라이트는 극미립상을 이루므로 비교적 견고한 물성을 나타낸다. 이 같은 유형의 일라이트 광석은 대개 담회색 내지 담황색의 색깔을 나타내지만, 분쇄 상에서는 비교적 높은 백색도를 나타낸다. 이에 비해서 점토상으로 열수변질대나 열극충진물(cavity-fillings)의 형태로 산출되는 일라이트 광석은 상대적으로 품위가 높고 취약한 물성을 보이는 것이 특징이다. 열수변질대 보다는 맥상을 이루는 것이 상대적으로 고품위를 이루지만, 경우에 따라 불순물로서 열수기원의 석영이나 함철광물들이 많이 수반되어 특정 용도의 품질 면에서는 오히려 부적합한 상태일 수도 있다. 즉, 일라이트 광석의 품위는 일라이트의 함유도를 의미하지만, 일라이트의 함유도가 높다고 해서 반드시 특정 용도에서 좋은 품질이 되지 않는다는 점이다.

일라이트-운모의 산업적 이용

산업용으로 이용되는 운모 제품에는 판상운모, 분쇄 운모(운모분), 마이카나이트(micanite) 및 합성운모(synthetic mica) 등이 있는데, 이들은 용도가 각각 다르다.

판상운모

판상운모는 양호한 절연성, 내열성, 방수성, 내부식성, 탄성 및 높은 박리성(high-stripping)을 가지고 있다. 이런 특성 때문에 전자부품과 전기 절연재료써 광범위하게 사용되었다. 판상 운모의 생산량은 일년에 5,000톤 이하이며, 이것의 80% 이상은 인도에서 생산된다. 그러나 1970년대 이후 운모지를 비롯한 다른 대체품으로 대체되면서 사용량이 많이 줄어들고 있는 실정이다.

판상운모는 다음과 같은 독특한 전기적 특성을 가지고 있다. 낮은 전기전도율(conductivity)과 높은 절연강도(백운모 1,500-3,000; 금운모 1,000-1,500 volts/mill) 때문에 높은 전압에도 견딘다. 낮은 전력 손실(high Q factor)과 높은 저항(백운모 1015-1016; 금운모 1012-1014 ohm/cm) 및 축전용량 안정성을 가진다. 또한 높은 유전율(dielectric constant)(백운모 6-8, 금운모 5-6)을 보유하므로 정전기 에너지를 순간적으로 저장할 수 있다. 이런 특성들은 판상운모가 콘덴서, 변압기, 가감 저항기(rheostat), 퓨즈, 열전자 밸브 브릿지(thermionic valve bridge), 백열전구, 진공관의 절연재 등 수많은 전기제품에 이용되는 원인이 된다. 판상운모는 전기제품 또는 이와 관련되는 분야에 전체의 90% 이상이 사용된다.

판상운모는 압축할 수 없으며(incompressible), 물, 산(불산과 진한 황산 제외), 알카리, 일반 용

매 및 기름과 반응하지 않는 화학적 불활성, 가소성(flexibility)과 투명성 및 높은 기계적 강도 때문에 광학적 필러(optical filler), 난로와 용광로의 창, 헬륨-네온 레이저의 감속판(retardation plate), 고압 증기 보일러의 계량기 유리(gauge glass), 컴퓨터 기록 헤드의 gap separator 등에 사용된다. 또 운모는 천연적인 구조적 안정성이 있기 때문에 고온에서의 안정성과 높은 단열 강도(insular strength)를 가진 이상적인 부도체이다.

분쇄운모(Ground Mica)

분쇄운모는 분쇄 방식에 따라 품위가 달라진다. 건식분쇄운모(dry ground mica)는 평균 입자 크기가 1.2mm-150 μ m이며, 가장자리가 거칠고, 광택이 거의 없는 백색 분말로써, 매우 얇게 갈라지므로 '높은 형상비를 가진 운모'라고도 부른다. 습식분쇄운모(wet ground mica)는 평균 크기가 90-45 μ m이며, 광택이 많이 나고, 미끄럼(slip)이 좋은 얇은 판상 입자를 이룬다. 미분쇄운모(micronized mica)는 직경이 53 μ m 이하인 극미립 입자의 운모이다.

다양한 품위를 가지는 분쇄운모의 소비는 주로 분쇄 기술과 입도 분포에 의하여 결정된다. 분쇄 운모의 매년 생산량은 200,000톤 정도이며, 대부분 백운모이다. 미국이 절반 이상을 생산하며, 러시아가 약 12%를 차지한다. 금운모는 20,000-30,000톤 생산되는데, 대부분 캐나다에서 생산되며 마다가스카르에서 극히 일부 생산된다.

분쇄운모의 용도는 분쇄 기술과 입자 크기에 따라 결정된다. 미국의 경우 분쇄운모는 연간 약 111,000톤 정도 소비된다. 이 중 조인트시멘트(joint cement)용으로 소비되는 것이 47,000톤으로 가장 많고, 페인트산업에는

38,000톤 소비되어 그 다음을 차지하고 있다. 플라스틱산업에 4,000톤, 시추용 니수(well-drilling mud)에 3,000톤 소비되고 있다. 전기 절연재, 고무, 섬유, 장식용 코팅제, 용접봉 등에도 19,000톤 소비된다.

건식분쇄운모는 내화성, 불용(용)성, 불연성, 불염성, 낮은 열전도도, 뛰어난 열적 안정성 등 뛰어난 물성을 가지므로 열 절연 패널, 내연성 석고보드, 조립식 패널과 같은 분야에서 석면 대체물질로도 쓰인다. 일반적으로 석고보드 위에 바르는 페인트나 종이는 운모를 포함하는 것이 많다. 운모는 크리스마스카드 장식품, 인공눈(artificial snow), 유정의 시추, 플라스터보드(plaster board) 조인트시멘트의 충전재, 전기 케이블, 지붕 재료(roll roofing)의 dusting agent, 절연 보드, 용접용 전극, 주물산업, 콘크리트, 타일, 표면 및 벽지 등에 이르기까지 매우 다양하게 이용된다. 입자가 큰(1.2mm-420 μ m) 건식분쇄운모의 판상 구조는 기공이 많거나 균열이 발달된 암층을 시추할 때 기공이나 균열을 막기 위하여 설계된 순환유실(lost-circulation) 물질로 이용된다. 또 -250 μ m 운모는 폭발물, 살균제, 소화기(fire extinguisher)의 흡수제로도 사용된다(Harben, 1999).

습식분쇄운모는 주로 페인트, 플라스틱, 고무 및 종이제품에 사용된다. 특히 진주빛 안료, 운모강화플라스틱, 고품질 코팅제품의 특수 충전제, 타이어의 내부판과 외부 틀(casting) 사이에 반접착(anti-sticking) 및 반마찰(anti-friction)용 분말 및 윤활제(소프트 패키징에 사용되는 특수 그리스에서 흑연 대체물질)로 사용된다.

습식분쇄운모의 높은 형상비와 평탄한 입자는 뛰어난 절연 방벽 역할을 할 수 있기 때문에 화재 방지용으로 이용되며, 일부 산업용 페인트에도 사용된다. 미분쇄(100-325 mesh) 운모는 증량제(extender)와 염료로서의 역할을 하며,

갈라짐(checking)과 깨짐을 감소시키며, 저항력 있는 차폐물을 형성하고, 수용성 및 수지성 유제 제품의 응집력을 촉진시키므로 유액, 실내용 페인트, 가공 페인트, 내부식성-알루미늄 페인트, 해수용 페인트, 금속 프라이머(primer)에 사용된다. 운모는 화학적 저항성과 높은 내마모성을 제공하기 때문에 산업용 코팅제의 충전제로 이용된다. 미국 'Engelhard'사의 가장 큰 운모 시장은 무광페인트(flat paint), 밀폐제, 착색제용(primer stains)의 보호 첨가물인데, 이는 운모가 큰 형상비를 가지므로 코팅이나 필름에 공기나 물이 침투하는 것을 방지하는 능력이 있기 때문이다. 안료로서의 운모는 자동차의 마감칠과 플라스틱에서의 진주빛 효과를 얻기 위하여 일반적으로 사용한다. 1970년대에는 알루미늄 입자가 마감칠에 주로 이용되었지만, 1980년대 들어 운모 안료를 사용하기 시작하였다. 알루미늄 입자는 특정한 각도에서만 빛을 반사하는 거울 역할을 하는 반면, 운모는 마치 비누 거품처럼 보는 시각에 따라 다른 진주빛 효과를 만든다. 제조업자들이 생산하는 운모 안료는 간섭 현상을 나타내도록 하기 위하여 이산화티타늄 같은 화학적 혼합물을 입힌다. 플라스틱과 그래픽스(graphics)에 운모 안료를 이용할 경우가 가까울 시일 내에 휴대폰 같은 제품에 응용될 수 있는 성장 분야로 예상된다(Harris, 2002).

플라스틱의 경우 운모는 인장강도(tensile strength)와 굽힘강도(flexural strength), 열변형 온도(heat distortion temperature), 액체와 기체에 대한 불투수성을 증진시킨다. 또한 열팽창성을 감소시키며, 유전특성(dielectric property)을 개선하며, 자외선, 극초단파(microwave) 및 많은 화학약품에 대한 불활성을 부여한다. 플라스틱의 경우, -325mesh 운모가 20-25% 사용될 경우, 치수안정성(dimensional stability), 열안정성과 절연성,

방수 및 기밀성(gas proof), 자외선에 대한 저항력, 최종제품의 압축탄성계수와 굽힘계수(flexural modulus)의 증진시키므로, 열가소성수지(PP, PBT, PET, HDPE, ABS, nylon 6/6)와 열경화성수지에 사용된다. 특히 강화작용사출성형(RPIM, Reinforced Reaction Injection Molded) 폴리우레탄의 굽힘계수를 증가시키므로, 뒤틀림을 제거하며, 뛰어난 도포면(painted surface)을 형성한다. 이런 특성 때문에 자동차 계기반과 펜더(fender) 내 강철부분에 연결되는 부분에 습식분쇄운모가 사용된다.

내구력, 강도 및 열 저항성을 부여하는 가공플라스틱(engineered plastic)용 재료들은 운모와 같은 보강성 충전용 광물이 필요하다. 이런 광물에는 탄소 섬유나 유리 섬유(fiberglass), 건식 및 습식분쇄운모, 규회석, 활석, 탄산칼슘 등이 있다. 최근 자동차용 플라스틱에 사용되는 활석을 운모로 대체하려는 움직임이 있는데, 그 이유는 적은 양의 운모를 사용하더라도 필요한 성능을 발휘하기 때문이다. 운모는 비교적 높은 형상비를 가지고 있는데, 이것은 플라스틱에 강도를 추가시켜 준다. 또한 변형률과 경화성(stiffness) 면에서도 활석보다 더 우수하고 열 저항성도 훨씬 뛰어나다. 운모는 유리 섬유에 비하여 평탄하게 만들었을 때 경화제(stiffening agent) 역할을 하며, 모든 방향에서 유용한 특성을 나타낸다. 유리 섬유는 주형의 방향에 편향되는 경향이 있어 방향에 따라 특성이 달라지며, 가로축 방향에서는 모양이 틀어진다. 운모는 작용사출성형(RIM, Reaction Injection Moulding) 분야에 쓰이는 규회석을 대체하였으며, 나일론과 폴리프로필렌에 사용되는 유리 섬유를 대신하고 있다.

고무산업에서 운모는 성형윤활제로 사용된다. 특히 고무 타이어 제조에서 성형윤활제와 dusting으로 이용된다. 주물산업의 경우 코팅

제와 주형 세척제로 사용되며 제지 산업의 경우, 습식분쇄운모는 벽지의 광택(sheen)을 차단하기 사용된다.

습식분쇄운모의 소비는 점점 증가하고 있다. 특히 운모강화플라스틱, 운모 진주빛 안료, 새로운 형태의 건축재료 및 시추용 니수 등에서 급증하고 있는 실정이다(Benlow, 1988; Yu and Mao, 2002). 최근 습식분쇄운모에 대한 연구는 고품질 진주빛 안료에 집중되어 있다. 균질한 입도(주 입자크기가 85% 이상), 높은 백색도(>80), 직경-두께비가 큰 것(>60), 표면이 평탄한 습식분쇄운모의 소비가 증가할 것으로 추정된다.

마이카나이트(Micanite)

절연재료로 가장 뛰어난 것은 판상운모이지만, 이것의 산출이 다소 희귀하기 때문에 얇은 운모 조각을 서로 붙여 두께를 두껍게 만들어 천연 판상운모 대체품으로 이용한다. 이런 제품에는 마이카나이트, 운모지, 유리접착운모 등이 있다(Harben, 1999).

얇은 운모 조각을 내열성 접착제(셀락, 에폭시 수지, 알키드 수지 또는 실리콘)로 붙인 후 열과 압력을 가하여 두께를 두껍게 만든 운모 제품을 마이카나이트(micanite) 또는 조립운모(built-up or manufactured mica)라고 한다. 마이카나이트는 제조 방법, 원료의 질, 접착물질의 종류, 두께에 따라 다양한 제품을 만들 수 있다.

투명한 운모편을 셀락(shellac)을 이용하여 전기 크라프트 종이로 접착한 것을 경질 마이카나이트(micafolium)라고 하는데, 이것은 연화 온도(軟化溫度)가 높고 강도가 크기 때문에 정류자의 세그먼트(segment)에 사용된다. 성형(成形)에 적합한 성형용 마이카나이트(molding micanite)는 가열에 의해 연화하고

냉각에 의해 경화한다. 접착제에 불건조유(不乾燥油)를 넣어 요곡성을 높인 요곡성 마이카나이트(flexible micanite)나 글립탈 수지로 접착하여 내열성을 높인 내열성 마이카나이트(heat-resisting micanite)도 있다.

미국의 경우 마이카나이트는 일년에 약 550톤 정도 판매되고 있다. 이 중 성형용 마이카나이트가 176톤으로써 가장 많이 팔리고 있으며, 정류자 세그먼트에 사용되는 경질 마이카나이트는 133톤, 요곡성 마이카나이트는 110톤 판매된다.

운모지(mica paper)는 양질의 스크랩 운모를 내열성 실리콘으로 접착한 후 종이제조기계에 넣어 큰 판상으로 만든 후 적당한 길이로 자른 것으로서 균질한 두께와 무게를 가진 제품으로 만들 수 있는 장점이 있다. 원료 물질에 따라 백운모지(white mica paper), 금운모지(golden mica paper), 합성운모지(synthetic mica paper) 및 혼합운모지(mixed mica paper) 등이 있다. 운모지는 운모벨트(mica belt)와 운모판(mica board)으로 가공하여, 전자제품의 부품 및 전기기기와 전열기기의 절연체로써 널리 사용된다. 혼합운모지는 천연운모와 합성운모를 혼합하여 만든 새로운 제품이다. 합성운모를 첨가하면 운모지의 품질을 향상시키고, 운모지의 내열성과 잔기절연성을 증진시킬 수 있다.

유리접착운모(glass-bonded mica)는 분쇄운모와 붕소규산염 유리 분말을 섞은 후 열과 압력을 가해 만든 것으로써 마이카나이트처럼 절연물질로 이용된다. 이것은 고온성 엔지니어링 플라스틱(engineering plastic)과 저온성 세라믹 재료 사이의 간격을 메워주는 물질이기 때문에 ceramoplastic이라고도 부른다.

합성운모(Synthetic Mica)

합성운모는 포타시(potash), 장석, 불화규산

칼륨(potassium silicofluoride), 마그네시아(magnesia), 알루미늄 및 실리카 분말을 용광로에서 1,360℃로 가열하여 용융시킨 후, 며칠 동안에 걸쳐 서서히 냉각시켜 만든 불소금운모(fluor-phlogopite, $KMg_3AlSi_3O_{10}F_2$)이다. 천연 운모 내에 존재하는 수산화 이온 대신 불소가 함유된 합성운모는 천연운모보다 더 강한 내열성(1,100℃까지 견딤), 높은 내산-알카리성, 높은 전기절연성, 고온과 진공상태에서의 매우 낮은 누기성(air-bleeding) 및 높은 빛 투과성 등 많은 우수한 특성을 가지고 있다.

대형 합성운모는 천연 판상운모 대신 전자관(electronic tube)의 지지용 보드, 축전기 코어용, 고압 보일러의 플루비오그래프(fluviograph, 수위의 변동을 자동으로 측정하고 기록하는 장치) 및 전자레인저(microwave)의 유리창용에 사용된다(Yu and mao, 2002).

합성 운모스크랩은 분쇄운모와 운모지 생산에 사용된다. 합성전식분쇄운모는 저수소 용접용 전극, 강화플라스틱(reinforced plastic), 페인트 및 코팅에 사용될 수 있다. 그러나 가격이 높기 때문에 저수소 용접용 전극에만 유일하게 사용되고 있다. 합성습식분쇄운모는 진주빛 안료에만 사용된다. 합성운모지는 주로 방화운모벨트 제조에 사용된다.

방화운모벨트(fireproof mica belt)는 운모지, 접착제 및 보충물질(supplementary material)를 혼합하여 운모벨트 제조 기계를 사용하여 만든 제품으로써 방화케이블의 방화 및 절연층으로써 사용된다. 방화운모벨트 제조에 이용되는 운모지는 균일한 두께, 높은 기계 강도, 강한 전기절연성, 600m 이상 말아도 끝이 손상되지 않을 것 등 우수한 특성을 요구하기 때문에 주로 금운모지와 합성운모지만 사용된다.

합성운모 제조기술의 발달은 신물질 제조를 가능하게 하였다. 일본의 경우, 운모와 유리의

합성 대리석, 불소 금운모와 붕소 운모로 만든 새로운 운모제품, 운모, 인산염, 붕산염, 규산염의 혼합물질, 불소 금운모와 활석의 합성물질, 불소금운모와 금속의 합성물질 등을 새로 만들었다.

일라이트

일라이트는 폐수처리를 비롯한 환경분야, 양식장이나 가축들의 사료 보조제, 논-밭, 과수원이나 비닐하우스의 토량개량제, 정수용, 제지, 섬유, 의약품, 비누, 화장품, 건강보조기구 등 매우 넓은 분야에 활용되고 있다. 특히 견운모는 위생도기, 내화물, 타일, 도자기, 용접봉의 용착제, 페인트와 고무제품의 충전제, 화장품 등에 사용되고 있으며 최근에는 바이오 세라믹 원료로 쓰인다(추창오, 2001). 선진국의 경우 견운모 수요는 지속적으로 증가하고 있다(Yu and Mao, 2002). 국내에서 생산되는 운모는 대부분 견운모로써 거의 대부분 위생도기나 타일용으로 사용되며, 소량 사료용으로도 사용되고 있다. 화장품용으로 쓰이는 견운모는 전량 수입되고 있다. 견운모가 화장품에 많이 사용되고 있는 이유는 다층구조의 밝은 반투명 판상에 박편이므로 피부에서의 퍼짐성이 좋고 부착성 또한 뛰어나기 때문이다. 또한 굴절률이 작고 투명감이 있어 피부에 부착된 상태에서도 명암이 없는 자연광택을 낼 수 있으며, 탄성이 좋고 덩어리지지 않기 때문이다. 그러나 천연 광물의 정제 시에 많은 어려움이 있으므로 최근에는 합성운모를 주로 사용한다.

일라이트의 양이온교환능력(CEC)은 다른 점토광물에 비하여 높지 않기 때문에 효율성과 활용성은 낮다. 그렇지만 일라이트가 토양이나 지표환경에서 차지하는 비중이 크고, 열수변질대 환경에서처럼 비교적 온도가 높아(약~300℃)

다른 점토광물에 비하여 안정한 광물학적 특성 때문에 특정폐기물처분 시설에의 응용이 가능하며, 그런 연유로 인하여 일라이트 자체의 흡착 특성은 여전히 주목의 대상이다(추창오, 2001). 일라이트는 층간에 K⁺를 함유하기 때문에 세슘(Cs)과 같은 +1가 방사성 양이온과 치환이 일어날 수 있으므로 환경방사능 연구에 매우 중요한 대상이다. 또한 일라이트의 Ca, Na, Ba, NH₄ 등과 같은 다른 이온과의 흡착경쟁성, 및 유해중금속의 종류에 따른 흡착선택성 연구, 풍화작용과 용해반응, 층간양이온의 탈착 등은 많은 학자들에 의하여 연구되고 있는 중요한 대상이다.

최근 일라이트를 이용한 기능성 섬유들이 개발되어 기대를 모으고 있다. 이런 제품으로 일라이트론(illitelon)이 있다. 일라이트론은 미분쇄 일라이트 분말을 나일론, 폴리에스테르, 폴리프로필렌, 아크릴 등 화학섬유에 혼합시켜 상품화한 신소재이다. 이들은 축열, 탈취, 항균작용 등 고기능성 고부가가치 차세대섬유로 부상하고 있으며, 스포츠와 골프웨어에 주로 쓰인다.

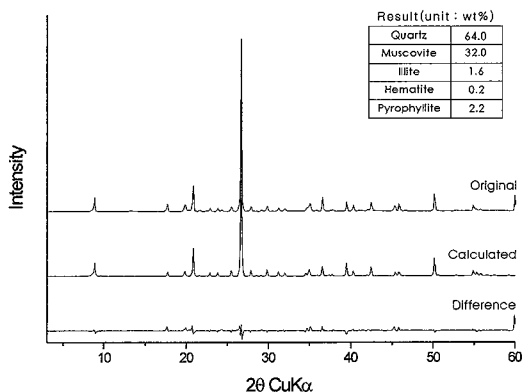


Fig. 1. Quantitative XRD results for the illitic pyrophyllite from the Bobae Mine.

국내산 일라이트-운모의 광물조성 및 응용광물학적 특성

일라이트 광석은 광물조성상 일종의 혼합물이기 때문에, 금속광물의 경우처럼 특정한 원소의 함량을 기준으로 품위를 산정하는 것은 불합리하다. 물론 일라이트나 백운모에 농집되는 K의 함량은 이 광물들의 함유 정도를 간접적으로 지시하기는 하지만, 이들에 대한 정량적 기준치는 될 수 없을 것으로 여겨진다. 통상 석영 등과 함께 미립질을 이루는 일라이트를 현미경 하에서 정량하는 것은 원천적으로 불가능한 상황이다. 따라서 여기에는 최근에 개발된 X-선회절 정량분석법(quantitative phase analysis: QPA)이 적용되어야 할 것으로 여겨진다. 이 정량분석법은 원래 분말X-선회절 자료를 사용하여 광물의 구조를 검증하기 위해서 고안된 구조해석법(Rietveld, 1969)을 응용하여 개발된 것으로, 최근에 보다 개선된 형태의 상용 프로그램(SIEROQUANTTM, version 2.5)의 등장과 더불어 광물의 정량에 효과적으로 적용되기에 이르렀다(Taylor, 1991; Taylor and Matulis, 1994; Taylor and Hinczak, 2001). 실제로 이 분석법을 국내산 일라이트 광석(보배 광산의 도석질 일라이트 광석)의 품위 산정에 적용하여 비교적 재현성 있고 신뢰할만한 결과를 구할 수 있었다(Fig. 1).

국내에서 일라이트-운모는 흔히 산출되지만, 개발 대상이 될 정도로 고품위의 대규모 광상을 이루는 경우는 많지 않은 실정이다. 특히 대부분의 운모 광산은 경제성이 낮아 현재 휴광 내지는 폐광 상태에 있다. 휴광중인 3개소의 운모 광산에서 페그마타이트(지암광산, 가곡광산)와 운모편암(풍원광산) 상으로 산출되는 백운모 광석을 편광현미경 관찰 및 화학분석을 시행하였다. 대부분 암회색 내지 담회색을 띠는 운모편

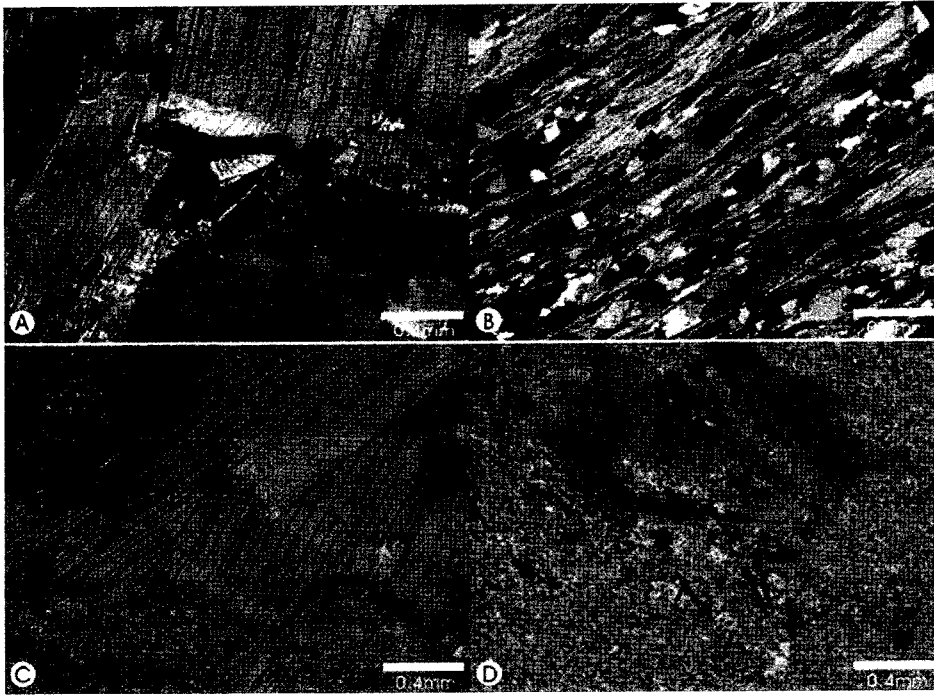


Fig. 2. Polarizing micrographs showing the fine-scale occurrence and association of muscovite and illite (crossed nicols): A. Muscovite crystals in pegmatite, B. Muscovite and associated biotite flakes in mica schist, C. Remnant muscovite crystals perched on illitic matrix in illitic pyrophyllite, D. Impurities of muscovite and hematite crystallized in the illitic matrix of illitic pyrophyllite.

의 크기는 페그마타이트 광상에서 2-10cm 정도인데 비해서, 운모편암 중에서는 대개 1 cm 미만의 미립질을 이루는 것으로 나타난다. 편광 현미경 하에서 페그마타이트 상의 운모는 대부분 순수한 백운모로 구성되어 있지만, 흔히 석영과 알칼리 장석류의 미립들을 잔류포획물(residual inclusions)로 포함한다(Fig. 2). 또한 인접하는 석영립들의 정출과정에서 결정편이 다소 변형되어 만곡된 양상을 나타내기도 한다. 이에 비해서 운모편암 중의 운모류 광물들은 백운모 외에 부분적으로 녹니석화된 소량의 흑운모와 함께 산출된다(Fig. 2, Table 2). 편리구조에 규제되어 박판상으로 배열된 수 mm 크기의 백운모 집합체들이 물성적으로 취약대를

형성하면서 쪼개지는 산출양상을 보이는 것이 특징이다. 페그마타이트 상의 운모 광석은 백운모와 공생하는 석영 및 알칼리 장석류들의 영향으로 SiO₂의 함량이 높은 화학조성을 보인다(Table 3). 이에 비해서 운모편암 상의 광석(sample No: 202231)은 백운모의 함량이 20 wt% 정도로 저품위를 이룬다. 또한 부수적으로 수반되는 흑운모의 영향으로 상대적으로 낮은 SiO₂의 함량과 높은 MgO 및 Fe₂O₃ 함유도를 나타내는 것이 특징이다.

국내에서 산출되는 일라이트는 견운모라는 명칭으로 대부분 요업 용도로 사용되는 일라이트질 납석이나 도석의 형태를 이룬다. 이런 일라이트 광석은 대개 10 μm 전후의 극미립상으로 자생기

원의 석영과 치밀한 공생조직을 이루며 산출되어 비교적 견고한 물성을 보인다. 일라이트나 소위 '백운모' 상의 백운모 미편들과 석영이 주요성분을 이루고, 적철석같은 함철광물들도 흔히 수반된다(Fig. 2, 3). 일라이트질 납석은 소성에 적합한 판상 내지 엽상의 결정형과 높은 알칼리 함유도 때문에 내화물 보다는 도기류(ceramics)의 원료로 적합하다(Harben, 1999; Chang, 2001). 이 같은 용도로 사용되는 일라이트질 납석 광석은 일라이트(20-25%) 외에 석영을 이보다 2배 정도(50-60%)로 더 많이 함유해야 된다는 품위 요건이 요구되는 것으로 알려져 있다(Chang, 2001). 따라서 일라이트질 납석의 품위는 일라이트의 절대적 함량에 기준되는 것이 아니고 석영과 기타 점토광물들의 조화적 조성비에 의해서 결정되는 다소 복잡한 광물조성의 개념으로 인식되어야 할 것이다.

국내의 강원도 석포, 충북 청양 및 영동, 경북 포항, 부산 등지에서 현재 개발 중이거나 개발 예정인 7 곳의 일라이트 광장에서 산출되는 대표적인 광석들의 광물 조성과 특성을 조사해 보았다. 대부분 요업용도로 개발되는 납석상의 광석들은 일라이트와 옥수질 석영(chalcedonic quartz)이 μm 크기의 극미립 집합체를 이루고 있는 것이 특징이다(Fig. 2). 광석에 따라 일라

이트 외에 엽납석이나 고령토 광물들이 약간씩 수반되기도 하지만, 대부분 석영과 일라이트로 구성되는 비교적 단순한 조성을 이루는 것이 특징이다. 또한 불순물로서 백운모상의 결정편들이 잔류되고 적철석이 미량 수반되는 양상이 특징적으로 나타난다. 백운모 결정편은 분쇄되기 어렵기 때문에 일라이트 광석에서는 품질저해요인이 된다. 주사전자 현미경 하에서 엽상 내지 박판상의 일라이트 결정들 사이로 자생기원의 석영이 공생하는 조직적 관계가 흔히 관찰된다(Fig. 3).

대표적인 일라이트질 납석이라고 볼 수 있는 부산 지역의 일라이트질 납석 광산(sample No: 303071)의 광석은 일라이트(33.6wt%) 보다 대략 2배 정도 높은 석영 함유도(64.0wt%)를 보인다(Table 2). 이에 따라 화학조성도 70wt%를 상회하는 상대적으로 높은 SiO₂ 함량을 갖는 것으로 분석된다(Table 3). 비교적 낮은 Fe₂O₃ 함량(0.15wt%)과 더불어 도자기 제조에 저해 성분인 황화철 광물이 수반되지 않는 광물조성상의 특징은 이 광석이 소위 '도석'으로서 적합한 품위 조건을 갖추고 있음을 시사하는 것으로 여겨진다. 이에 비해서 석포 지역과 청양 지역 등에서 개발되고 있는 일라이트질 납석들은 상대적으로 일라이트 함량이 경우에 따라 70wt%를 상회할 정도로 고품위를 이루고

Table 2. Mineral composition (wt%) of some domestic illite-mica ores, determined by quantitative XRD method.

	Quartz	Illite	Hematite	Pyrophyllite	Pyrite	Muscovite	Biotite	Chlorite
Mi0202231	53.4	.	1.4	.	.	17.6	27.1	0.4
I10103051-1	20.1	75.6	0.5	3.4	0.4	.	.	.
I10303071	64.0	33.6	0.2	2.2	.	.	.	.
I10102223-2	26.0	68.4	0.1	5.4	.	.	.	.
I10302212-1	23.1	76.5	0.4	.	.	.	.	.

Mi0202231: muscovite ore in mica schist, I10103051-1, I10303071: illitic pyrophyllite, I10102223-2, I10302212-1: hydrothermal illitic clays.

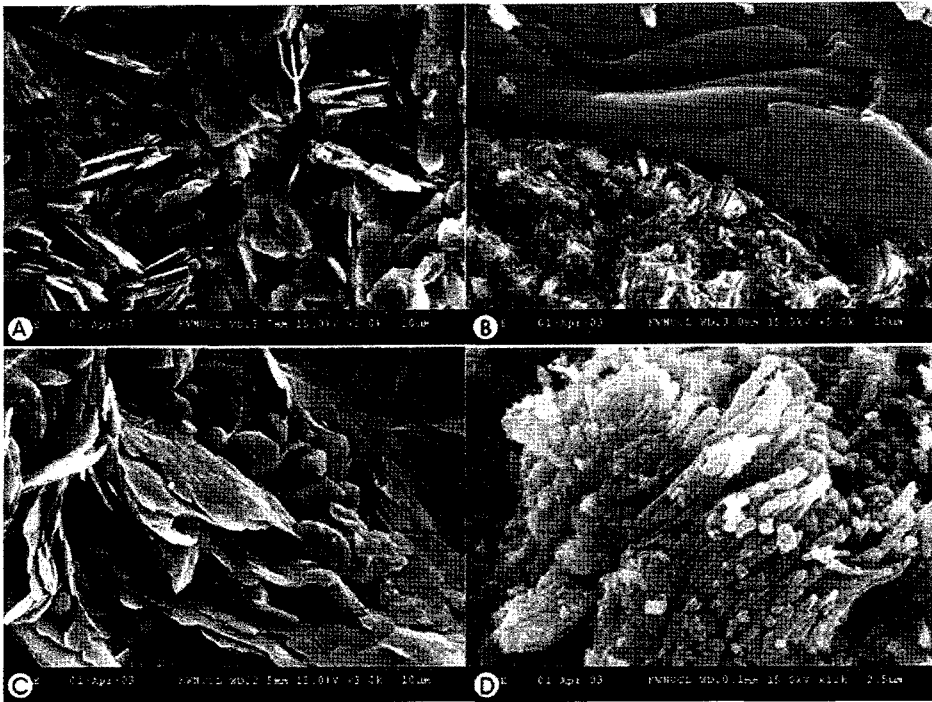


Fig. 3. SEM micrographs of illite ores: A. Typical illite crystal aggregates, B. Residual mica flakes in the illitic matrix, C. Lamellar crystals of illite associated with authigenic quartz, D. Other rod-shaped clayey impurities (pyrophyllite?) intermixed with illite in the hydrothermal illitic clays.

상대적으로 석영의 함량이 전반적으로 낮은 것이 특징이다. 화학조성 상으로도 도자기용 원료로서 요구되는 일라이트질 납석의 화학적 품질 규격(Al_2O_3 : 18-22wt%, K_2O : 0.5-3.0wt%, Fe_2O_3 : 0.5wt%)에 비해서 전반적으로 높은 Al_2O_3 및 K_2O 함유도를 나타낸다(Table 3).

따라서 이 같은 고품위 납석상 일라이트 광석의 요업 용도와의 용도개발이 요구되지만, 여기에서는 오히려 일라이트에 수반되는 석영이 이를 가로막는 저해 요소가 된다. 일라이트 광석은 백운모의 경우와 마찬가지로 그 품위가 증가됨에 따라 Rb 함유도가 높아지는 공통적인 성향을 보인다.

열수변질대에서 점토상으로 산출되는 일라이트

광석은 대개 일라이트질 납석보다 고품위를 이루고, 보다 미세한 입도 및 조직과 취약한 물성을 보이는 것이 특징이다. 화장품, 도료, 제지 및 사료의 첨가제 그리고 기타 건강제품 제조용으로 사용되고 있거나 용도개발 중에 있는 이 유형의 광석은 광업법상 요업 용도의 납석으로 볼 수도 없어서 국내에서는 일종의 고령토의 범주에서 다루어지고 있는 것으로 여겨진다. 따라서 용도별로 정립된 별다른 품위 및 품질 규격이 없이, 단지 높은 수준의 일라이트 품위, 형상비 및 백색도 등과 같은 통상적인 고령토류의 광석평가 기준에 의해서 취급되고 있는 것으로 보인다.

국내에서 영동 지역과 포항 지역에서 산출되는 점토상 일라이트의 광물조성과 광물특성을

Table 3. Chemical analyses (wt%) determined by XRF method for some illite-mica ores from the domestic deposits.

	Muscovite			Illite						
	111241	202231	210121	102223-1	103051-1	302213	302241	303071	102221-2	103072-1
SiO ₂	74.54	65.63	76.48	48.04	45.88	63.43	48.97	73.64	48.72	43.69
Fe ₂ O ₃ *	1.00	7.10	0.58	0.57	0.48	1.90	0.31	0.15	1.01	tr
Al ₂ O ₃	13.80	14.89	13.56	34.36	33.30	14.37	31.05	17.25	32.49	39.00
TiO ₂	0.15	0.74	0.03	0.51	0.17	0.27	0.21	0.48	0.02	0.37
MnO	0.02	0.05	0.02	0.01	0.01	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01
CaO	0.53	0.32	0.15	0.14	0.73	6.47	0.44	0.16	0.42	0.17
MgO	0.36	2.77	0.12	0.18	1.05	0.70	2.01	0.12	0.84	0.08
K ₂ O	4.79	4.39	5.68	8.74	10.83	4.24	10.20	4.82	10.25	9.99
Na ₂ O	1.38	0.61	0.17	0.84	0.10	0.16	0.10	0.02	0.26	0.24
P ₂ O ₅	0.34	0.13	0.08	0.03	0.47	0.08	0.24	0.02	0.24	0.06
L.O.I	1.94	2.17	1.78	4.90	4.60	7.30	4.24	2.26	4.24	4.58
Total	98.85	98.79	98.66	98.31	97.61	99.03	97.77	98.94	98.49	98.19

Fe₂O₃*: calculated as total iron, tr: trace

시험·분석해 보았다. 여기에 동원된 시료들은 대개 X-선회절 정량법으로 측정된 일라이트의 품위가 75-85wt% 범위에 달하고, 석영을 주요 불순물로 수반하는 것으로 밝혀졌다. 영동 지역 산 광석 중의 일부는 엽납석을 소량 수반하기도 하지만, 대부분 일라이트 위주의 단일 점토광물 상을 이룬다. 일부 광석들은 1wt% 이상의 철분을 함유하고 황철석도 미량 함유하는 것으로 분석되었다. 이 같은 유형의 일라이트 광석들이 고급용도로 활용되기 위해서는 공통적으로 함유되는 불순 성분인 석영과 철분의 제거를 위한 적절한 습식분리 공정이 개발되어야 할 것으로 여겨진다.

일라이트-운모의 품위 및 품질 평가 방안

일라이트-운모 광석의 품위 및 품질 면에서 가

장 기본적인 평가방식은 (1) 육안 및 편광현미경 관찰, (2) X-선회절 분석 및 (3) 화학분석인 것으로 여겨진다. 특히 페그마타이트 상의 백운모 광석에서는 육안적인 색과 크기의 식별 그리고 박판상 벽개의 발달정도 등을 면밀히 관찰하는 것이 개발단계는 물론 가공과정에서도 그 품위와 품질을 평가하는데 중요하다. 편광현미경 관찰을 통해서 백운모 광석은 물론 일라이트 광석의 전반적인 품위와 품질을 효율적으로 평가할 수 있다. 특히 백운모 내의 포획상 불순물의 존재와 일라이트질 납석에서의 함철광물의 존재와 그 함유정도를 신속히 파악할 수 있는 방안을 제공한다. 운모편암 내의 백운모의 함량과 특히 일라이트 광석에서의 광물조성을 효과적으로 감정하고 정량할 수 있는 방법은 X-선회절 분석법이 유일한 수단이다. 특히 리트벨트법을 응용한 X-선회절 정량분석법은 일라이트의 품위를 산정하는데 유력한 수단이 될 수 있을 것으로 여겨진다. 화학분석에 의한 평가방식은 특

히 납석상의 일라이트의 요업용 용도에서의 품질 평가에 결정적인 단서를 제공하는 유력한 평가수단이다. 특히 철분의 존재와 그 함량을 정하고 요업용도에서 중요한 Al_2O_3 와 알칼리 성분 함량을 검증하는데 필수적인 평가방법이다.

이외에 주사전자현미경 관찰과 백색도 측정도 일라이트의 품질 평가에 유용한 수단이 된다. 주사전자현미경 관찰을 통해서 극미립상의 일라이트의 결정형, 조직 및 미시적 산출상태를 면밀히 관찰함으로써, 일라이트 광석의 품질을 보다 정밀하게 평가할 수 있는 방안을 제공한다. 특히 간이분석 장치(EDS)가 장착된 주사전자현미경을 사용하면 극미립 함유되는 불순광물 성분들을 효율적으로 감정할 수 있어서 편리하다. 일라이트나 분체상 운모에서 백색도의 측정은 특히 요업제품 제조용으로 사용하는데 중요한 품질평가 항목이다.

결 언

수많은 운모 광물 중 백운모와 일라이트(견운모)가 가장 많이 사용되며, 금운모는 특수한 분야에서 일부 사용된다. 판상운모는 전자부품과 전기 절연체로써 광범위하게 사용되었지만, 운모지를 비롯한 다른 대체품으로 대체되면서 사용량이 많이 줄어들고 있다. 분쇄운모는 주로 페인트, 플라스틱, 고무 및 종이제품에 사용되며, 소비량이 점점 증가하고 있다. 특히 운모강 화플라스틱, 운모 진주빛 안료, 새로운 형태의 건축재료 및 시추용 니수 등에서 급증하고 있다. 마이카나이트는 성형용과 정류자 세그먼트에 주로 사용되며, 운모지는 전자제품의 부품 및 전기기기와 전열기기의 절연체로써 널리 사용된다. 합성운모는 전자관, 전자레인지 및 강화플라스틱에 많이 사용된다. 일라이트는 환경

분야, 농업분야, 정수용, 섬유 등에 널리 사용되며 특히 견운모는 화장품에 사용된다. 최근 이산화티타늄으로 피복한 운모 제품이 특수한 간섭 효과를 내기 때문에 안료로써 많이 사용되고 있다.

일라이트-운모는 동일 계열의 광물군이지만, 그 입도와 광물상이 아주 다르고 다양한 산출상태를 보인다. 현재 국내에서 개발되고 있는 일라이트-운모의 광석 유형은 그 광물상과 산출상태에 따라 페그마타이트상 백운모, 운모편암상 백운모, 납석상 일라이트 및 점토상 일라이트로 구분될 수 있다. 일라이트와 운모는 서로 다른 용도로 사용되고, 그 용도에 따라 그 품위 및 품질 개념이 다르다. 조립질을 이루는 백운모 광석의 품위는 그 함량 보다도 입도에 기준하고 품질은 색상, 형상, 벽개의 발달 정도 및 포획상 불순물의 정도에 의존된다. 이에 비해서 극미립질인 일라이트 광석의 품위는 기본적으로는 그 함량에 의거하지만, 요업용으로 그 용도가 한정되는 납석상 일라이트의 경우에는 석영과의 조화적 조성비로 가름되는 것이 합리적이다. 일라이트의 품질은 그 용도에 따라 다소 달라질 수 있지만, 대개 일라이트의 입도 및 형상 그리고 화학조성, 특히 Al_2O_3 , 알칼리, 철 및 납 성분들의 함유도에 규제되는 것으로 여겨진다. 그러나 현재 국내외적으로 일라이트의 품질규격은 관련 산업이 영세하고 연구개발이 부진하여 다른 산업광물들에 비해서 제대로 정립되어 있지 않은 실정이다.

일라이트-운모는 광물학적으로 같은 계열의 광물군임에도 불구하고 그 산출상태, 결정도 및 용도의 차이에 의해서 달리 취급되고 있다. 특히 국내에서 일라이트는 용어상의 혼란과 더불어 법정 등록광종으로 명확히 구분되어 있지 않기 때문에 효율적인 자원관리와 연구개발에 장애가 되고 있는 상황이다. 이와 더불어 일라이

트를 비롯한 점토광물 자원에 대한 광업법규상의 개선과 제도적 준비가 시급히 요구된다.

참고 문헌

- 산업자원부 · 대한광업진흥공사, 2001, 광물자원 매장량 현황. 440p.
- 추창오, 2001, 일라이트의 광물학적 특성과 그 응용. 한국광물학회지 '광물과 산업', 14(2), 29-37.
- 한국자원연구소, 1996, 등록광물 분포도. 474p.
- Benlow, J., 1988, Mica: markets built on dry ground. *Industrial Minerals*, 245, Feb., 19-31.
- Chang, L.L.Y., 2002, *Industrial Mineralogy: Materials, Processes, and Uses*. Prentice Hall, 472 p.
- Harben, P.W., 1999, Mica. In: *The Industrial Minerals HandyBook* (3rd ed.). A Guide to Markets, Specifications and Prices. 132-137.
- Harben, P.W. and Kuzvart, M., 1996, Mica. In: *Industrial Minerals - A Global Geology*. Industrial Minerals Information Ltd., London, 258-266.
- Harris, P., 2002, Has mica lost its magic? *Industrial Minerals*, May, 42-49.
- Lesure, F.G., 1973, Mica. In: D.A. Brobst and W.P. Pratt (eds.) *United States Mineral Resource*. US Geol. Surv. Prof. Paper 820. 415-423.
- Liu, H.S., Liu, K.C., Wen, S.B., and Yao, C.F., 1979, Processing and utilization of mica-schists of Taitung County, Taiwan. In: *Proceedings of Bilateral Workshop on Enrichment of Low Grade Ores*, Korea Research Institute of Geosciences and Mineral Resources, 19-30.
- Rajgarhia, C.M., 1951, *Mining, Processing, and Uses of Indian Mica*. McGraw Hill, New York, 376p.
- Rietveld, H.M., 1969, A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *Journal Applied Crystallography*, 2, 65-71.
- Srodon, J. and Eberl, D.D., 1984, Illite. In: Bailey, S.W. (ed.) *Micas. Reviews in Mineralogy*, 13, Min. Soc. Amer., 495-544.
- Taylor, J.C., 1991, Computer programs for standardless quantitative analysis of minerals using the full powder diffraction profile. *Powder Diffraction*, 6, 2-9.
- Taylor, J.C. and Matulis, C.E., 1994, A new method for Rietveld clay analysis. Part 1. Use of a universal measured standard profile for Rietveld quantification of montmorillonite. *Powder Diffraction*, 9, 119-123.
- Taylor, J.C. and Hinczak, I., 2001, *Rietveld Made Easy: A practical guide to the understanding of the method and successful phase quantification*. J.C. Taylor and I. Hinczak, 201p.
- Yu, Y. and Mao, L.B.S., 2002, Chinese mica: Supply, demand and export. *Industrial Minerals*, Sep., 48-51.