

기능성 일라이트 미분체 제조 및 응용연구

김상배^{1*}, 조성백¹, 조건준¹, 한위생²

¹한국지질자원연구원 자원활용소재연구부

²(주)동창일라이트

1. 서론

비금속 광물들은 모두 가공과정을 거쳐 중간제품으로서의 분체로 이용되거나 분체 자체가 최종제품의 형태로 요업, 시멘트, 유리, 철강, 내화물, 제지, 페인트, 플라스틱, 화장품, 고무, 농약, 의약, 식품, 석유 화학공업, 반도체 산업 등 전 산업에 사용되고 있다고 해도 과언이 아니다. 그러나 충전재 등 산업원료로 사용되는 비금속 광물 미분체는 천연에서 산출되는 상태로 이용할 수 있는 것은 거의 드물다. 대부분이 최종 제품의 규격에 맞게 선별, 가공 등 처리과정을 거쳐 분체화하고 있다. 이 중에서 특히 충전재로서 비금속 광물 미분체의 주된 첨가 목적은 강도나 각종 성질의 개량을 위해, 또는 원가를 절감하기 위한 것이었다. 그러나 나노산업(NT) 및 생물산업(BT) 등 각종 산업이 발달함에 따라 제품의 종류 및 용도가 다양해지고, 규모가 커짐에 따라 그 기반이 되는 원료소재의 수요가 증가하고 있을 뿐 아니라 기능성도 다양해지고 있다. 충북 영동지역에서 산출되는 일라이트 광물은 여러 가지 기능성이 확인되고 있으나 현재까지 수 처리제, 토양개량제 등을 중심으로 사용되어 왔다. 최근 신규 주택 등에서 발생하는 환경호르몬등과 같은 유해물질을 제거하는 친환경소재로서의 사용과 건강에 유익한 원료로서의 일라이트 광물의 적용이 제안되고 있다. 본 연구에서는 충북 영동지역의 동창일라이트(주)에서 생산하는 일라이트를 이용하여 최근에 대두되는 기능성 미분체로서 사용을 위한 초미분체 제조 및 이를 이용한 유해가스 제거 등의 실험을 수행하고자 하였다.

2. 시료 및 실험방법

실험에 사용된 시료는 충북 영동군에서 산출되는 일라이트 원광을 사용하였으며, 외관상으로 확실히 구분되는 원광석의 특징적인 부분을 중심으로 연마편과 박편을 제작하여 편광현미경으로 관찰하였다.

일라이트 원광석을 jaw crusher를 사용하여 1차 파쇄 후 중쇄기인 cone crusher로 3mm 이하의 크기로 입도를 조절하였다. 파쇄된 산물을 다시 볼 밀에 투입 가능한 입도 조절과 오염방지를 위하여 alumina 재질의 single runner mill을 사용하여 1mm 이하로 입도조절한 후 시료를 100±5°C drying oven에 넣어 건조시켜 사용하였다. 원료광물의 주구성광물의 분석은 X선 회절(X-ray diffraction: XRD, X-pert MPD Philips, Netherlands) 분석으로 조사하였으며, X선 형광(X-Ray Fluorescence: XRF, MFX-2100, Shimadzu, Japan) 분석을 이용하여 정량분석을 행하였다.

일반적으로 비금속광물의 미분체를 제조하기 위해 사용하는 분쇄기는 분쇄메커니즘에 따라 볼 밀, 진동 밀, 마모 밀, 젯트 밀 등 여러 가지가 있다. 이 중에서 볼 밀은 운전이 간단하고 대용량을 제작이 가능하며, 건, 습식 회로로 운용이 가능하기 때문에 세계적으로 가장 널리 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서도 일라이트의 분쇄를 위해 1mm 이하로 파쇄한 시료를 대상으로 볼 밀을 사용하여 분쇄를 실시하였다. 실험에 사용한 볼 밀은 전력적산계가 부착되어 있어 분쇄에 의한 전력 소비량도 측정할 수 있는 장치로서 밀 직경 200mm, 길이

200mm이며, 내용적은 7600ml이다. 임계회전수(critical speed)는 91rpm이었으며 알루미늄 재질의 볼을 사용하였다.

한편, break down 법에 의하여 비금속 광물의 미분체를 얻고자 하는 경우, 장시간에 걸쳐 분쇄를 하면 어느 한계까지의 입도축소는 일어나지만 분쇄시간이 길어질수록 분쇄 매디어의 마모에 의한 오염 및 투입되는 분쇄에너지의 과다 등이 문제가 된다. 또한 습식으로 분쇄를 하는 경우는 분쇄 후의 건조, 해쇄 등 처리 문제를 수반하게 된다. 따라서 본 연구에서는 건식분쇄방법을 이용하여 고기능성 일라이트 미분체를 얻고자 하였으며, 이를 위하여 분쇄 매디어의 마모에 의한 오염방지, 투입 에너지 절감 가능한 저에너지 분쇄화가 가능한 분쇄 및 분급 기술을 병용한 기술을 개발하고자 하였다. 분쇄 및 분급후의 일라이트 미분체의 입도 변화를 광산란식 입도분석기(Particle size analyzer, Mastersizer 2000, Malvern Co., England)를 사용하여 입도를 비교 관찰 하였다. 분쇄된 산물에는 경도 및 분쇄 매디어와의 충돌기회부족으로 미립화가 이루어지지 않은 입자들이 분포하고 있으므로 공기분급기를 사용하여 분급, 10 μ m 이하의 입자를 회수하였다. 회수된 분체는 기능성을 조사하기 위하여 섬유제로서 2wt%를 첨가하여, 암모니아 가스 탈취성, 원적외선 방사율 등을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 일라이트의 원광의 특성 평가

동창 일라이트의 원광에 대한 X선 회절 분석한 결과, 주 구성광물은 석영과 운모류임을 알 수 있었다. 동창일라이트의 원광의 특징적인 부분을 선택하여 연마편과 박편을 제작하여 편광현미경을 관찰한 결과 불순광물인 황철석 결정 내에 맥석과 함께 섬아연석이 혼재하고, 황동석(chalcopyrite)도 산출됨을 알 수 있었다. 또한 미세한 백운모(muscovite) 결정도 보였으나, 대부분 견운모로 존재하고 있음을 알 수 있었다. 미세한 균열을 따라 불투명 광물(Ti 또는 Fe)도 볼 수 있었다. XRF에 의해 분석한 원광의 주성분은 SiO₂ 72.36wt%, Al₂O₃ 17.26wt%, Fe₂O₃ 1.54wt%, CaO 0.11wt%, K₂O 4.66wt%, Na₂O 0.43wt%, Ig.loss 3.05wt%이었다. 일라이트를 구성하고 있는 광물들은 광물의 종류나 특성에 따라 어느 입도범위에 국한되어 존재하는 경우가 있다. 따라서 충북 영동지역의 일라이트 원광을 큰 크러셔까지 파쇄한 후 습식사분실험을 하여 각 입단별로 분리하고 입단별 산물의 품위와 구성광물의 종류 등을 알아보았다. 원광의 사분실험 결과 얻어진 각 입단별 산물을 XRF에 의해 분석한 화학조성 변화 결과에 의하면, 동창 일라이트는 굵은 입자에 SiO₂가, 미립자에 Al₂O₃가 많아지는 경향을 보이고 있어 석영이 굵은 입자에 농축되고 견운모가 미립자로 농축되고 있음을 알 수 있었다.

3.2. 볼 밀에 의한 분쇄 특성

천연 광물을 미립화하여 원하는 입도이하로 조절하는 공정은 에너지 효율 면에서는 매우 불합리한 공정으로 알려져 있다. 따라서, 에너지 효율의 향상과 분쇄 과정에서의 오염 방지를 위한 대책의 수립이 필수적이다. 특히, 처리코자 하는 본 시료에는 광물학적 특성에서도 언급하였듯이 원료광물에는 경질의 석영이 혼입되어 있음을 알 수 있었다. 이러한 불순광물은 경질이고 마모력이 강하여 분쇄효율을 저하시키는 물론이고 밀 내에 체류시간이 연장되어 밀의 처리량을 감소시키는 원인이 될 것이다. 또한 밀 내 체류시간이 연장됨에 따라 분쇄 매디어와의 접촉시간이 연장되어 분쇄산물의 백색도 저하 등을 유발시키는 원인이 된다. 따라서, 이의 효과적인 제거방안 수립이 필요할 것으로 판단되었다. 유용광물과 무용광물의

단체분리를 위한 방법은 이들 상호간의 분리가 가능한 입도로 파, 분쇄하는 것이 일반적이다. 따라서 본 실험에서는 원료광물을 파, 분쇄 과정을 거친 후 불 밀에 의한 원광석의 미립화 특성을 살펴보고자 하였다.

불 장입량은 40v/v%, 시료의 장입량은 500gr, 회전수는 80rpm으로 고정하고 분쇄시간을 30분, 60분, 90분, 120분, 150분, 180분으로 변화시키며 분쇄 매디아인 불의 크기에 따른 분쇄 효과를 살펴보고자 하였다. 분쇄매디아를 20mm인 알루미늄 불을 사용하면 60분 분쇄하였을 시 11.71 μ m이었던 평균입경이 90분 분쇄 후에는 입도축소가 급격히 이루어져 평균입경이 9.00 μ m까지 감소됨을 볼 수 있었다. 이후에는 분쇄시간에 따른 입도축소의 효과가 적음을 알 수 있었다. 이에 비하여 분쇄매디아를 42mm인 알루미늄 불을 사용하면 분쇄시간 증가와 함께 점차적인 평균입경 축소의 경향을 볼 수 있었으며, 90분 분쇄 후에 입도축소의 폭이 작아지고 있음을 알 수 있었다. 따라서 동창 일라이트 원광은 비교적 작은 불 매디아로 분쇄하는 것이 미립화에 효과적임을 알 수 있었다.

불장입량은 6.2kg, 시료의 장입량은 500gr, 불 크기는 직경 22mm의 알루미늄 불을 사용하였으며, 회전수는 임계회전 수의 약 80%인 72rpm으로 고정하여 분쇄실험을 수행하였다. 분쇄시간을 30분, 60분, 90분, 120분, 150분, 180분으로 변화시키며 분쇄시간에 따른 분쇄효과를 살펴보았으며, 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 90분정도까지는 분쇄가 진행되고 있음을 알 수 있으나, Fig. 1의 결과로부터 분쇄시간별 효과를 살펴보면, 30분간 분쇄하면 평균입경(D₅₀)이 15.65 μ m이었으나 60분후에는 11.71 μ m로 급격히 감소함을 알 수 있었다. 분쇄 90분 후에는 평균입경(D₅₀)이 9.00 μ m까지 변화하지만 이 후 분쇄시간에 따라 완만한 변화를 보이며 입도축소가 이루어져 180분간 분쇄한 후에는 7.99 μ m까지 입도축소가 일어남을 볼 수 있었다. 따라서 적절한 분쇄시간은 90분 정도가 타당할 것으로 사료되었다.

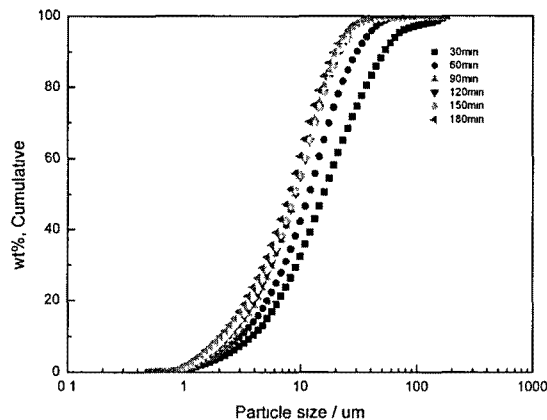


Fig. 1. Particle size distribution of ball mill ground illite powders with grinding time.

3.3. 공기분급기에 의한 분급 특성

앞에서 언급한 것처럼 일라이트 원광은 건운모와 석영이 주 구성광물이며, 특히 건운모는 미립으로 존재하고 있으며 분급한 후 얻은 중광물의 대부분은 석영임을 알 수 있었다. 이상

에서 알 수 있는 바와 같이 동창일라이트(주)의 일라이트에는 연질이고 미립으로 산출되는 견운모 광물과 석영 등 경질이고 굵은 상태로 산출되는 광물이 혼합되어 있다는 것을 알 수 있었다. 연질의 견운모 광물은 외부로부터 약간의 충격만 가해져도 미립화가 쉽게 이루어지는 반면 경질의 석영광물은 미립화가 어렵게 이루어진다. 따라서 경질의 광물을 미립화시키는데 불리한 즉, 미립화를 이루지 못하는 분쇄기를 사용하여 혼합된 광석을 분쇄하게 되면 연질의 광물은 미립화가 이루어지고 경질의 광물은 굵은 상태로 남게 되어 단체분리가 이루어진다. 이러한 상태의 혼합광물을 공기 분급기를 사용하여 분급하여 입도 분리를 이룬다면 연질의 견운모질 광물과 경질의 석영 불순물이 분리, 정제가 이루어지는 매우 단순한 공정이다. 따라서 앞 절에서 설명한 방법으로 불 밑에 의해 90분간 분쇄한 시료에 대해 마모성 물질인 석영을 제거하기 위하여 공기분급기를 사용하여 건식분급을 수행하였으며 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2의 결과를 살펴보면 조립산물에는 견운모의 함량이 적고, 미립산물에 대부분이 견운모가 농축되어 있음을 알 수 있다.

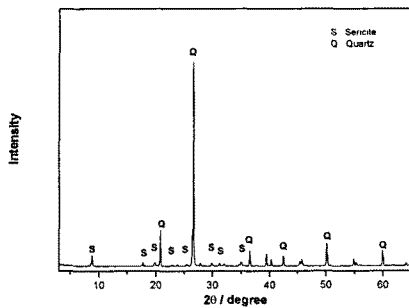


Fig. 2. XRD Patterns of U/F(left) and O/F product(right) classified at 15,000rpm.

3.4. 기능성 충전재 적용 실험

기능성 섬유제품에 적용하기 위한 일라이트 초미분체는 3.2 및 3.3의 실험방법을 이용하여 외관상 보여지는 색상 차이에 따라 yellow와 white 두 종류를 준비하였으며 제조를 위해 Top size가 10 μ m인 일라이트 초미분체 시제품을 제조하였다. 제조한 일라이트 초미분체의 화학분석한 결과는 Table 1에 나타내었다.

일라이트 초미분체 2%를 첨가한 현탁액을 제조하고 그 현탁액에 원단을 침지시켜 기능성 원단을 제조하였다. 이 기능성 원단에 대한 원적외선 방사율, 암모니아 가스를 이용한 탈취 시험, 항균성 시험을 실시하였다. 원적외선 방사율 측정은 37 $^{\circ}$ C에서 FT-IR spectrometer를 이용한 black body 대비 원적외선 방사율을 측정하였으며 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 원적외선 방사율은 초미분체의 종류에 상관없이 거의 일정한 방사율을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

한편 기능성 원단의 탈취효과를 알아보기 위하여 암모니아 가스의 제거율을 조사하였다. 암모니아 가스의 초기 농도는 500ppm으로 하였으며 가스 검지관을 이용하여 시간 경과에 따른 암모니아 가스의 농도 변화를 측정하였다. 이때 암모니아 가스 제거율은 기능성 원단을 넣은 상태에서의 암모니아 가스 감소율과 control로서 시료를 넣지 않은 상태에서의 암모니아 가스 감소율을 측정하여 비교하였으며 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3의 결과로

부터 시료를 넣지 않은 상태에서 암모니아 가스의 자연 감소가 있음을 알 수 있었으나, yellow 또는 white 일라이트 초미분체 2%를 함유한 현탁액에 침지시켜 제조한 기능성 원단을 사용하면 30분 후에 약 130ppm 정도까지 공기 중의 암모니아의 농도가 급격히 떨어짐을 알 수 있었다. White 일라이트 초미분체를 사용한 경우가 yellow 일라이트 초미분체를 사용한 경우보다 약간 탈취효과가 좋은 결과를 보여주고 있으나 그 차이는 매우 미미하였다.

Table 1. Chemical compositions of the test sample.

Composition (wt.%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Igloss
White	77.17	13.64	1.05	0.30	0.33	4.17	0.59	0.17	0.02	0.20	2.00
Yellow	65.37	21.20	1.96	0.38	0.51	6.16	0.46	0.17	0.04	0.18	3.56

Table 2. 일라이트 초미분체 현탁액에 침지한 기능성 원단의 원적외선 특성

시 료	방사율 (5~20 μ m)	방사에너지 (W/m \cdot μ m, 37 $^{\circ}$ C)
yellow	0.905	3.49 X 10 ²
white	0.902	3.48 X 10 ²

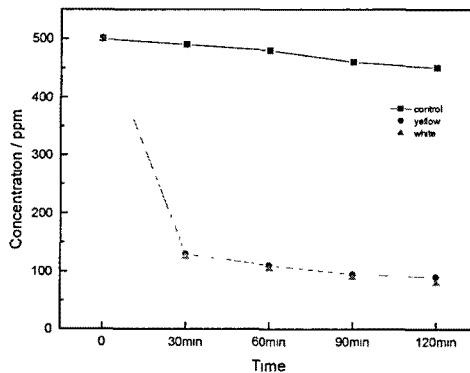


Fig. 3. 기능성 원단에 의한 암모니아 가스의 탈취효과

4. 결 론

충북 영동지역의 일라이트를 건식 불 밀로 분쇄한 후 공기분급을 하면 최대입도 10 μ m 이하인 초미분체를 얻을 수 있으며, 이 일라이트 초미분체를 사용하여 기능성 섬유 및 유해가스 제거용 흡착제로서의 적용 실험을 수행한 결과, 원적외선 방사체, 암모니아가스 제거 등에 일라이트 초미분체가 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

- Ho, K. S. (1995) Powder Technology, p.153, Hee Joong Dang, Korea.
Lan K., John A. H. (1981) Powder Technology, 28, p.91.