

조암광물의 분쇄특성을 이용한 마그네사이트 정제기술 연구

김상배 · 박형규 · 김완태 · 김윤종[†]
한국지질자원연구원 자원활용소재연구부

A study on the Beneficiation for Magnesite by the Grinding Characteristic of Rock Forming Minerals

Sang-Bae Kim, Hyung-Kyu Park, Wan-Tae Kim and Yun-Jong Kim[†]

Minerals & Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources,
30 Gajeong-dong, Yuseong-Gu, Daejeon, Korea 305-350

(2007년 10월 23일 접수 : 2007년 11월 5일 채택)

Abstract This study was conducted to beneficiation of magnesite by dry grinding and air classification. The raw ore was ground in a ball mill and pin mill controlled with grinding time and linear velocity of grinding media and fractionated in an air classifier. Pin mill is more efficient than the ball mill for liberation. As a result, the MgO grade of concentrate was 47.1% with recovery of 51.51% for classified with 3,000rpm of air classifier for ground at 13,000rpm in pin mill.

key words Magnesite, Beneficiation, Grinding, Classification, Recovery.

1. 서 론

탄산염 광물인 마그네사이트는 가장 중요한 산화 마그네슘 원료광물이다. 마그네사이트를 1400-1800°C 범위에서 소성하면 탄산 가스의 방출로 산화마그네슘이 생성된다. 산화마그네슘은 염기성 내화물 원료로서 소성 온도에 따라 방음제, 내마모성 물질, 단열재 그리고 의약품 원료로 사용되는 것으로 알려져 있다.¹⁻³⁾ 이러한 원료로 사용하기 위하여 산화마그네슘의 주요 원료광물인 마그네사이트의 품위향상이 요구되고 있다. 천연상에서 산출되는 상당량의 마그네사이트는 산화마그네슘 원료로 직접 사용이 가능한 품위를 유지하지 못하는 것으로 알려져 있다. 마그네사이트와 함께 산출되는 맥석광물로는 다른 탄산염광물, 규산염 광물 그리고 여러 종류의 산화물이 혼입되어 산출되는 것으로 알려져 있으며, 원료광물의 효율적 이용을 위하여 수반되는 불순광물의 제거가 필수적이다.⁴⁾ 마그네사이트의 정제에 이용되는 선별법으로는 부유선별법이 가장 널리 이용되고 있으며, 수반되는 불순광물의 종류에 따라 비중선별과 자력선별법을 이용하여 정제하고 있다. 부유선별법 역시 수반되는 불순광물의 종류에 따라 사용되는 포수제의 종류를 달리하고 있다.⁵⁻⁸⁾ 또한 미립의 마그네사이트의 회수를 위하여 불순

광물과 마그네사이트의 분산성 향상 및 표면특성 차이를 이용하여 미립의 자철석을 흡착시켜 자력선별기를 이용하여 정제하는 기술 역시 시도되고 있다.^{9,10)} 이러한 정제기술 중 부유선별법이 품위향상을, 유용성분의 회수율 등 정제에 가장 유효한 기술로 알려져 있다. 그러나 부유선별법, 자력선별법, 비중선별법 등은 습식 공정으로 구성되어 용수, 산물의 탈수, 건조, 폐수 처리 등 후처리 시설이 복잡하고 시설 투자비가 많이 소요되는 단점이 있으며, 특히, 부유선별의 경우 공정상에서 포수제(collector), 억제제(depressant), 기포제(frother) 그리고 pH 조절제 등 각종 시약의 사용으로 폐수처리 등 공정상 어려움이 많은 선별법으로 알려져 있다. 최근에는 정밀한 공기분급 장치의 개발과 더불어 구성 물질의 특성 차이를 이용하여 분쇄 후 공기 분급에 의한 품위향상 기술의 개발이 이루어지고 있다.¹¹⁻¹⁴⁾ 이러한 기술은 습식 공정의 문제점 해결이 가능한 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 조암광물의 물리적 특성 차이를 이용한 분쇄(선택분쇄) 및 분급 기술을 도입, 건조 공정으로 마그네사이트의 정제 가능성을 규명하고자 하였다. 이를 위하여 조암광물의 종류 및 화학성분 분석 등 원료광물의 특성을 분석하였다. 또한 천연으로 산출되는 마그네사이트는 불순광물과 서로 혼합된 상태로 산출되므로 이들을 서로 분리하는 방법인 단체분리(liberation)가 필수적이다. 단체분리는 물리적인 선별법에서 가장 중요한 인자이며, 단체분리를 위하여 일반적으로 유용광물

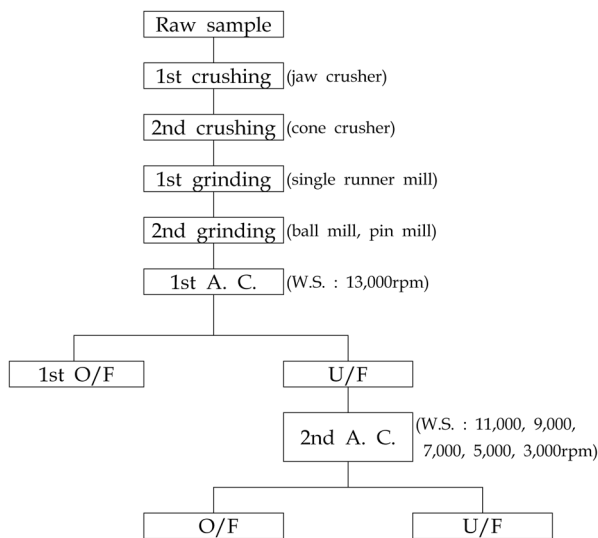
[†]Corresponding author
E-Mail : deareye@hanmail.net (Y. J. Kim)

(useful mineral)과 불순광물(gangue mineral)의 분리를 위한 방법으로 이들이 서로 분리되는 입자크기까지 마광하는 것이 일반적이다. 단체분리를 위하여 분쇄공정에서 널리 사용되는 볼 밀(ball mill)과 충격식 분쇄기(fine impact mill, UPZ pin disc type, Alpine, German)이하 핀 밀(pin mill)로 칭함)로 입도를 달리하여 분쇄한 후 적절한 단체분리 입도와 각 분쇄기의 선택분쇄 가능성을 검토하였다. 분쇄 후 공기분급기(air classifier, 100 MZR, Alpine, German)를 사용하여 각 입도별로 분급(classification)하여 습식법에 의하여 각 산물의 화학성분 품위를 조사함으로써 건식 공정으로 마그네사이트의 정제 가능성을 검토하였다.

2. 실험 및 방법

실험에 사용된 마그네사이트는 북한에서 생산된 괴상의 광석이다. 실험 방법은 다음 Fig. 1에 의하여 수행하였다. 원광석 중 육안으로 확인하여 대표시료를 선정, 현미경 감정을 위한 박편 제작용 광석으로 사용하였다. 원광석은 수십cm 정도의 크기로 실험실용 조 크러셔와 콘 크러셔를 사용하여 3 mm크기 이하로 파쇄하였다. 파쇄된 광석은 다시 single runner mill로 1 mm크기 이하로 분쇄한 후 균질하게 혼합하여 실험용 시료로 준비하였다. 원광석의 특성 분석을 위하여 현미경 관찰, X-선 회절 분석(XRD : X-Pert MPD, Philips, Netherlands), X선 형광(XRF : MXF-2100, Shimadzu, Japan)으로 원료광물의 화학성분 품위 등 원광석에 대한 광물학적 특성을 조사하였다. 원광석 중에 함유되어 있는 유용광물인 마그네

사이트와 불순광물의 단체분리를 위하여 볼 밀과 핀 밀을 사용하여 분쇄실험을 수행하였다. 볼 밀은 분쇄조건에 따라 분쇄 정도가 상당히 차이가 나는 것으로 알려져 있다. 분쇄에 사용된 볼 밀은 분쇄 과정에서의 오염방지를 위하여 알루미늄 재질의 볼과 밀을 사용하였으며, 밀의 크기는 직경 200 mm, 길이 200 mm이며, 임계회전수(critical speed)는 95 rpm 이다. 볼 밀의 분쇄에 영향을 미치는 인자는 분쇄 시간, 볼의 크기 및 종류, 장입량, 밀 회전수 등으로 알려져 있다. 따라서 실험의 일관성 유지를 위하여 직경 30 mm크기의 볼을 40 v/v%인 7.6 kg을 장입하였고, 밀의 회전수는 임계회전수의 80% 수준인 76 rpm으로 유지하면서, 분쇄시간을 5, 10, 15, 20분으로 변화시키면서 분쇄산물의 입도를 달리하였다. 핀 밀의 분쇄에 영향을 미치는 인자는 분쇄매체의 선속도와 급광량으로 알려져 있다. 따라서 급광량은 일정하게 고정된 후 분쇄매체의 회전수를 7,000, 9,000, 11,000, 13,000 rpm으로 변화시켜 분쇄산물의 입도를 조절하였다. 분쇄된 산물은 굵은 입자와 미세한 입자가 혼합되어 있는 상태이다. 따라서 공기 분급기를 사용하여 입도별로 분급하였다. 공기분급은 분급휠의 회전속도에 따라 각 입자가 받는 원심력이 상이하어 원심력을 많이 받는 입자는 외부로 향하여 굵은 입자(Under Flow, U/F)가 모이는 통에 모이고, 원심력을 작게 받는 입자(Over Flow, O/F)는 내부에 모이게 되어 외부에서 작용하는 힘에 의하여 집진 사이클론(cyclone)으로 모이게 되어 굵은 입자와 미세한 입자가 분리되게 된다. 따라서 분급 휠의 회전수가 빨라지면 미세한 입자까지도 굵은 입자로 분리되고, 분급 휠 회전수가 느려지면 이와 반대로 비교적 굵은 입자도 미립자 회수 사이클론에 집진되게 된다. 이러한 특성을 이용하여 분급휠 회전수를 13,000 rpm으로 조절하여 미립자를 회수하고, 나머지 굵은 입자는 다시 공기 분급기에 투입하여 분급하는 실험을 2,000 rpm 간격으로 3,000 rpm까지 분급하여 각 산물을 회수하였다. 회수한 각 산물들의 생산율 및 입도 크기 및 분포를 측정하고 화학성분을 분석하여 적절한 분쇄기, 분쇄입도, 분급점 등을 규명하였다.



* W.S. : Classifier wheel speed

Fig. 1. Flowchart of Experimental Procedure.

3. 결과 및 고찰

3.1. 원광석의 특성 분석

실험에 사용된 원광석은 북한 용양광산에서 생산된 광석이다. 원광석의 화학 성분의 분석 결과, 44.90wt.% MgO, 1.24wt.% SiO₂, 0.08wt.% Al₂O₃, 0.23wt.% Fe₂O₃, 1.30wt.% CaO, 51.20wt.% Ig.loss 품위이었다. Fig. 2에 나타난 원광석의 X-선 회절분석 결과, 주 구성광물은 마그네사이트(magnesite, MgCO₃), 녹니석(clinocllore, Mg₅Al(Si₃Al)O₁₀(OH)₈), 활석(talc, Mg₃Si₄O₁₀(OH)₂), 석영

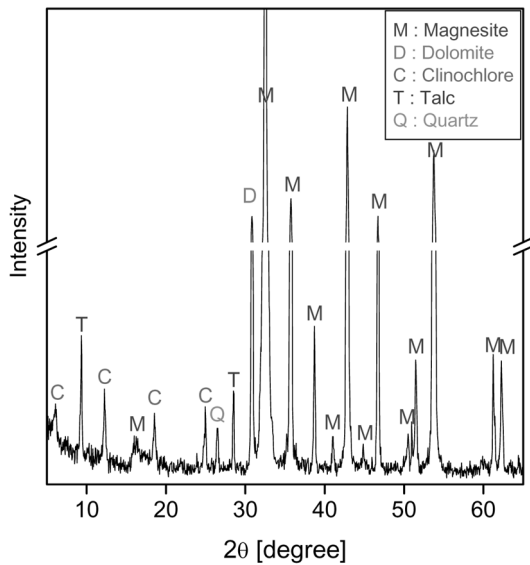


Fig. 2. XRD patterns of raw sample.

(quartz, SiO_2) 그리고 백운석(dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) 등으로 나타났다. 현미경 감정 결과, Fig. 3에서 보이듯이 마그네사이트의 결정은 비교적 굵은 상태로 산출되고 있으며, 마그네사이트의 결정 사이에 견운모와 녹니석이 불순물로 혼입되어 산출되기도 하고, 마그네사이트 결정면을 따라 견운모가 혼입되기도 함을 알 수 있었다. 일부 불투명 광물이 확인되기도 하였으나 대부분의 불순광물

이 미세하게 수반되므로 광학 현미경을 이용하여 모든 광물의 종류를 확인하기는 곤란하였다. 그러나 일부 불순물을 제외하고 대부분의 불순물은 마그네사이트 결정면을 따라 혼입되는 것으로 확인되었다. 이러한 현미경 사진은 향후 단체분리를 위한 마광 과정에서 마그네사이트는 비교적 굵은 상태로, 불순광물은 미세하게 분포 가능할 것으로 추측된다.

3.2. 단체분리를 위한 분쇄실험

단체분리를 위하여 원광석을 파쇄 및 분쇄실험을 수행하였다. 1차 분쇄기로 사용된 single runner mill을 사용하여 파쇄한 시료를 대상으로 Tyler standard sieve를 사용하여 습식 체가름 후 입도분포 및 화학분석 결과를 다음 Table 1에 기재하였다.

입도분석 결과, 대부분의 입자는 +65mesh에 분포하고 있으며, 화학성분의 품위는 0.80wt.% SiO_2 , 0.11wt.% Al_2O_3 , 0.21wt.% Fe_2O_3 , 45.70wt.% MgO , 0.63wt.% CaO 로 나타났다. 이와는 달리 13.19wt.%가 분포하는 -325mesh 산물의 화학성분 품위는 2.28wt.% SiO_2 , 0.35wt.% Al_2O_3 , 0.26wt.% Fe_2O_3 , 42.10wt.% MgO , 0.82wt.% CaO 로 굵은 입자에 비하여 불순물의 품위는 높은 반면 산화마그네슘의 품위는 낮아짐을 알 수 있었다. 이러한 결과는 파쇄 과정에서 마그네사이트 입자와 입자 사이에 분포하는 불순광물이 파쇄과정에서 분리되어 미립자로 분포하기 때문으로 판단된다. 즉, 적절한 파쇄 후 입도분리를 한다

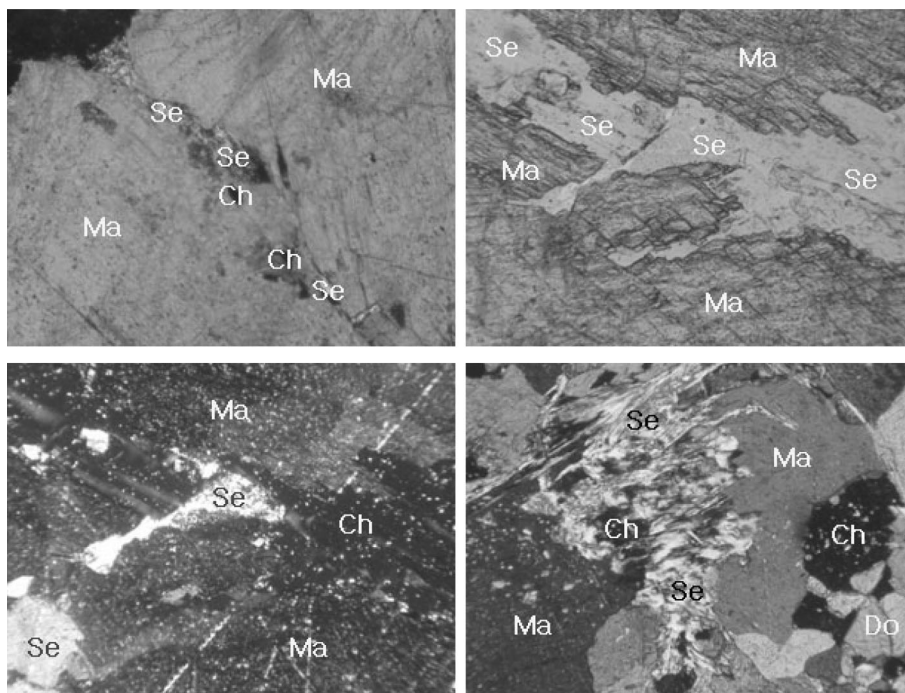


Fig. 3. Optical photographs of raw sample($\times 100$; Ma : magnesite, Ch : clinocllore, Se : sericite, Do : dolomite).

Table 1. Particle size analysis of ground sample in single runner mill.

Fracture (mesh)	Distribution (wt.%)	Composition (wt.%)				
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO
+65	41.60	0.80	0.11	0.21	45.70	0.63
-65+100	18.61	0.86	0.13	0.23	45.2	0.45
-100+150	13.40	0.88	0.21	0.24	45.1	0.64
-150+200	7.39	0.92	0.3	0.24	45.00	0.71
-200+325	5.81	1.00	0.30	0.26	43.9	0.67
-325	13.19	2.28	0.35	0.26	42.10	0.82
Total	100.00	1.04	0.18	0.23	44.90	0.63

면 마그네사이트 품위향상이 가능함을 제시하는 결과이다. 이러한 원료광물의 특성을 이용하여 마그네사이트의 품위향상을 위하여 볼 밀과 핀 밀을 2차 분쇄기로 사용하여 분쇄조건을 변화시키면서 분쇄한 산물에 대한 입도 분석 결과를 다음 Table 2에 기재하였다. 분쇄실험 결과, 볼 밀의 분쇄시간이 길어질수록, 핀 밀의 회전수가 증가할수록 미립자 생성율이 점점 증가하는 것으로 나타났다.

볼 밀을 사용하여 5분 동안 분쇄한 결과 최대 입도는 336.03 μm , 평균 입도는 88.35 μm 이었으며, 20분 동안 분쇄하면 최대 입도는 129.31 μm , 평균 입도는 30.08 μm 으로 감소됨을 알 수 있었다. 이에 반하여 핀 밀을 사용하여 분쇄매체 회전수를 7,000 rpm으로 유지하여 분쇄하면 최대 입도 214.45 μm , 평균 입도는 66.50 μm 이었으며, 13,000 rpm으로 분쇄하면 최대 입도는 74.02 μm , 평균 입도는 26.29 μm 으로 나타났다. 이와는 달리 $D_{(10)}$ 의 경우 볼 밀 분쇄산물의 입자가 핀 밀 산물에 비하여 비교적 미세하게 나타났다. 이러한 원인은 볼 밀의 경우 입자 크기와 관계없이 분쇄 매디어인 볼과의 접촉하는 입자는 분쇄가 이루어져 아주 미세한 입자가 생성되는 반면 분쇄 매디어와 충돌할 기회를 가지지 못하는 입자가 존재하기 때문인 것으로 판단된다. 반면 핀 밀에서는 분쇄기에 투입되는 대부분의 입자는 분쇄 매디어인 핀과 접촉이 일어나 입도축소가 일어나는 것으로 판단된다. 분쇄실험 결과, 분쇄 시간을 연장하거나 핀의 회전수를 증가시키면 원료광물의 미립화는 꾸준히 일어날 것으로 판단되었다. 그러나 미립자 생성율이 많아지면 산화마그네슘의 실수율이 저하되는 점을 고려하여 분쇄 시간과 분쇄매체 회전수를 각각 20분과 13,000 rpm으로 고정하였다.

3.3. 분급실험 결과

분쇄한 산물의 체질 후 화학분석 결과, 미립자일수록 산화마그네슘의 품위는 낮아지고 실리카와 알루미늄의 품위는 점점 향상되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 현미경 감정 결과에서도 나타났듯이 마그네사이트는 비교적 굵은 입자로 산출되는 반면 불순광물은 미세한 크기로 산출되는 것을 입증하는 결과이다. 따라서 분쇄된 입자를 입자의 크기와 비중 등의 차이를 이용하여 분급하면 정제된 마그네사이트 정광의 회수가 가능할 것으로 판단된다. 분쇄산물의 분급실험은 실험실 규모의 공기 분급기를 사용하였다. 분급점의 결정은 분급기에 내장된 분급 휠의 회전속도 조절을 통하여 결정된다. 따라서 각 산물을 동일한 분급점에서 분급 후 화학분석을 통하여 정제 산물의 품위변화 및 산화마그네슘의 실수율을 산출하여, 그 결과를 Fig. 4, 5에 각각 나타내었다. 동일한 입도를 기준으로 분급실험을 수행하였으나 분쇄조건 변화에 따라 구성입자의 크기가 달라 평균 입도는 상이함을 알 수 있었다.

먼저 Fig. 4에 보이듯이 볼 밀을 사용하여 5분 분쇄한 산물의 공기 분급실험 결과, 평균 입도 92 μm 수준의 입자를 회수하면 생산율은 77.70wt.%이었으며, 품위는 0.89wt.%SiO₂, 0.16wt.%Al₂O₃, 0.13wt.%Fe₂O₃, 45.25 wt.%MgO로 나타나 산화마그네슘의 실수율은 78.31%이었으나 정광의 품위향상은 거의 이루어지지 않고 산화철 제거율은 43.47%로 나타났다. 그리고 볼 밀을 사용하여 10분 분쇄한 산물의 공기 분급실험 결과, 평균 입도 85 μm 수준의 입자를 회수하면 생산율은 61.07wt.%이었으며, 품위는 0.81wt.%SiO₂, 0.14wt.%Al₂O₃, 0.12wt.%Fe₂O₃, 45.53 wt.%MgO로 나타나 산화마그네슘의 실수율은 61.93%로

Table 2. Particle size analysis of ground sample in ball mill and pin mill.

Particle size (μm)	ball mill(min.)				pin mill(rpm)			
	5	10	15	20	7,000	9,000	11,000	13,000
$D_{(90)}$	336.03	273.48	172.47	129.31	214.45	122.58	103.85	74.02
$D_{(50)}$	88.35	58.01	41.56	30.08	66.50	43.72	35.92	26.29
$D_{(10)}$	7.11	4.35	2.95	2.13	11.96	9.26	6.64	4.52

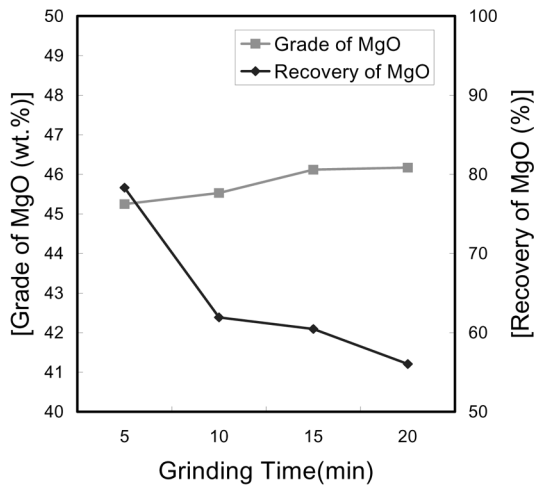


Fig. 4. Recovery and grade of MgO by air classified samples for ground in ball mill for various grinding time.

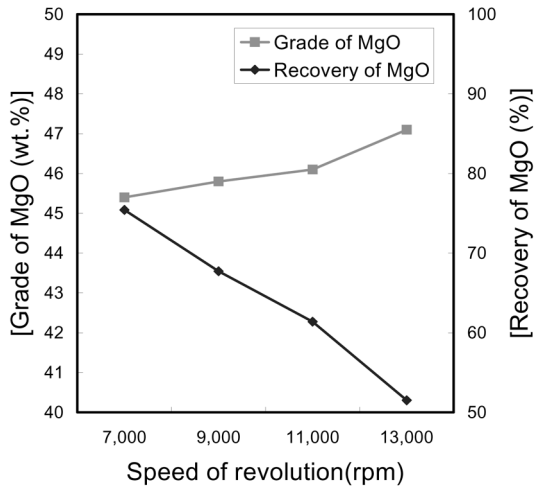


Fig. 5. Recovery and grade MgO by air classified samples for ground in pin mill at various speed of revolution.

정광의 품위향상이 거의 이루어지지 않았음을 알 수 있었다. 볼 밀을 사용하여 15분 분쇄한 산물의 공기 분급

실험 결과, 평균 입도 46 μm수준의 입자를 회수하면 생산율은 58.87wt.%이었으며, 품위는 0.79wt.%SiO₂, 0.12wt.%Al₂O₃, 0.12wt.%Fe₂O₃, 46.12wt.%MgO로 나타나 산화마그네슘의 실수율은 60.47%임을 알 수 있었다. 또한 볼 밀을 사용하여 20분 분쇄한 산물의 공기 분급실험 결과, 평균 입도 39 μm수준의 입자를 회수하면 생산율은 54.33 wt.%이었으며, 품위는 0.75wt.%SiO₂, 0.12wt.%Al₂O₃, 0.12 wt.%Fe₂O₃, 46.17wt.%MgO로 나타나 산화마그네슘의 실수율은 56.04%임을 알 수 있었다.

다음 Fig. 5는 핀 밀 회전수를 조절하여 분쇄 후 분급한 산물중 MgO 실수율 및 MgO 품위 변화를 나타낸 것이다. 먼저 핀 밀의 회전수를 7,000 rpm을 유지하여 분쇄 후 공기분급기를 사용하여 평균 입도 83 μm을 기준으로 분급하여 회수한 산물의 생산율은 74.6wt.%이었으며, 품위는 45.40wt.%MgO이었고, 산화마그네슘의 실수율은 75.43%로 나타났다. 굵은 입자에서 품위향상이 미미한 것은 아직 단체분리가 이루어지지 않았기 때문으로 판단된다. 또한 평균 입도 3 μm산물의 생산율은 2.70wt.%로 소량이었으나 품위는 40.60wt.%MgO, 2.24wt.%SiO₂, 0.39wt.%Al₂O₃, 1.09wt.%Fe₂O₃으로 굵은 입자에 비하여 불순물 품위가 상당히 높아져 미립자에 불순물들의 농축이 이루어지는 것이 확인되었다. 그러나 단체분리가 상당히 이루어진 것으로 판단되는 중간 크기의 입자의 품위가 비교적 낮은 원인은 단체분리는 되었으나 비교적 굵은 불순물이 혼입되어 있기 때문으로 판단되었다. 핀 밀의 회전수를 9,000 rpm을 유지하여 분쇄 후 공기분급기를 사용하여 70 μm을 기준으로 분급하면 정광의 생산율은 66.4 wt.%이었으며, 이 산물의 품위는 45.8wt.%MgO이었으며, 산화마그네슘의 실수율은 67.73%로 나타났다. 핀 밀 회전수를 11,000 rpm을 유지하여 분쇄 후 공기분급기를 사용하여 46 μm을 기준으로 분급하면 정광의 생산율은 59.8wt.%이었으며, 이 산물의 품위는 46.1wt.%MgO이었으며, 산화마그네슘의 실수율은 61.39% 이었다.

핀 밀의 회전수를 13,000 rpm을 유지하여 분쇄 후 공기분급기를 사용하여 39 μm을 기준으로 분급하면 Table

Table 3. Yield and composition of air classified samples for ground in pin mill at 13,000rpm.

Cut point (μm)	Yield (wt.%)	Composition(wt.%)				
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO
39	49.1	0.72	0.10	0.17	47.10	0.53
19	21.8	0.96	0.21	0.18	43.70	0.63
12	11.7	1.28	0.22	0.21	42.60	0.67
8	5.7	1.58	0.25	0.3	42.40	0.68
6	3.9	1.80	0.27	0.45	42.20	0.74
4	3.4	2.00	0.31	0.64	42.10	0.79
2.5	4.4	2.18	0.44	0.71	40.30	1.24
Total	100.0	1.04	0.18	0.23	44.90	0.63

3에 나타냈듯이 정광의 생산율은 49.1wt.%이었으며, 이 산물의 품위는 47.1wt.%MgO로 이었으며, 산화마그네슘의 실수율은 51.51% 이었으며, 정광의 산화마그네슘 순도는 98.53%이었다. 실험결과, 핀 밀을 사용하여 건식방법으로 분쇄 후 공기분급에 의하여 입도분리를 하면 고순도 정광의 생산이 가능함을 알 수 있었다. 이러한 기술은 향후 마그네사이트 정제시 경제적인 공정으로 상용화에 커다란 기여가 예상된다. 그러나 산화마그네슘의 실수율은 51.51%까지 저하되었다. 이러한 원인은 가장 굵은 입자만을 정광으로 회수하고 나머지 입자는 회수하지 않았기 때문이다. 따라서 실수율 향상을 위하여 굵은 입자는 분급에 의하여 회수하고 중간 크기의 입자는 효율적인 처리기술을 병행하여 유용광물의 회수하여야 산화마그네슘의 실수율 향상이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

불 밀과 핀 밀을 사용하여 분쇄 후 공기 분급으로 마그네사이트 정제 가능성을 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 원광석의 주 구성광물은 마그네사이트, 녹니석, 활석, 석영, 백운석 등이었으며, 산화마그네슘의 품위는 44.90wt.%MgO이었다.
2. 현미경 감정 결과, 마그네사이트는 굵은 상태로 산출되고 있으며, 불순광물은 마그네사이트 결정과 결정 사이에 협재되어 미립으로 산출되고 있었다.
3. 불 밀과 핀 밀을 사용하여 분쇄 및 분급한 결과 핀 밀의 선택적인 분쇄효율이 불 밀에 비하여 우수함을 알 수 있었다.
4. 불 밀 분쇄산물에 대한 공기분급 결과, 분쇄가 많이 진행될수록 정광의 품위는 향상되어 20분 분쇄하여 39 μm을 기준으로 분급하면 정광의 생산율은 54.33wt.%이었으며, 품위는 46.17wt.%MgO로 산화마그네슘의 실수율은 56.04%로 나타났다.

5. 핀 밀의 분쇄매체 회전속도를 13,000 rpm으로 조절하여 분쇄 후 39 μm을 기준으로 분급하면 정광의 생산율은 49.10wt.%, 품위는 47.10wt.%MgO, 산화마그네슘의 실수율은 51.51%로 나타나 건식 분쇄 및 분급의 단순한 공정에 의하여 마그네사이트 정제가 가능함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단 에너지·자원 기술개발사업의 일환으로 수행하였습니다[마그네사이트광의 용융염제련기술개발]. 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. G. Chen, D. Tao, *Int. J. miner. Process*, **74**, 343 (2004).
2. N. Gence, H. Ozdag, *Int. J. miner. Process*, **43**, 37 (1995).
3. O. Lacin, B. Donmez, F. Demir, *Int. J. miner. Process*, **75**, 91 (2005).
4. A. N. Santana and A. E. C. Peres, *Minerals Engineering*, **14**(1), 107 (2001).
5. O. Kangal and A. Guney, *Minerals Engineering*, **19**, 376 (2006).
6. K. A. Matis, Th. N. Balabanidis and G. P. Gallios, *Colloids and Surfaces*, **29**, 191 (1988).
7. J. Skvarla and S. Kmet, *Int. J. miner. Process*, **32**, 111 (1991).
8. N. Gence, *Applied Surface Science*, **252**, 3744 (2006).
9. S. G. Ozkan, *Minerals Engineering*, **15**, 99 (2002).
10. G. N. Anastassakis, *J. colloid and Interface Science*, **256**, 114 (2002).
11. S. Zhang and E. Forssberg, *Powder Technology*, **105**, 295 (1999).
12. T. Kaljuvee, R. Kuusik, M. Veiderma, *Int. J. miner. Process*, **43**, 113 (1995).
13. N. Acarkan, G. Bulut, O. Kangal, G. Onal, *Minerals Engineering*, **18**, 739 (2005).
14. R. Q. Honaker, F. Boaten, G. H. Luttrell, *Minerals Engineering*, **20**, 12189 (2007).