연구논문

중액선별법을 이용한 국내 저품위 리튬함유 광물의 선별연구

이정훈¹⁾ · 김영진¹⁾ · 임진호¹⁾ · 전호석²⁾ · 이재령^{1)*}

Heavy-medium Separation for Low Grade Li-bearing Mineral In Korea

Junghoon Lee, Youngjin Kim, Jinho Lim, Hoseok Jeon and Jaeryeong Lee*

(Received 7 April 2014; Final version Received 20 May 2014; Accepted 19 June 2014)

Abstract : In order to improve grade of the domestic lepidolite (low grade Li-bearing mineral), heavy medium separation (HMS) was conducted with sample from Boam mine, in various range of size(+4, 4×20, 20×65, - 65 mesh) and medium specific gravity (2.65, 2.70, 2.75). As the result of HMS in crushed mineral by jaw crusher, separation efficiency of Li was higher in the range of 4×20 mesh at 2.70 of medium specific gravity (Li₂O grade: 4.32%, Li₂O recovery: 72.39%). Whereas the case of +4 mesh, separation efficiency of Li was very low, regardless of medium specific gravity and recovery of Li₂O drastically decreased in relation to increase in medium specific gravity. After grinding for +4 mesh minerals using disk pulverizer at 3 mm of distance of disk for liberation, HMS was carried out for ground minerals(+4, 4×20 mesh). As the range of +4 mesh size, grade of Li₂O was 4.8%(recovery: 80%) at a 2.70 of medium specific gravity.

Key words : Lepidolite, Heavy medium separation(HMS), Recovery, Grade, Separation efficiency

요 약 : 국내 저품위 리튬함유광물로부터 인운모(lepidolite)에 포함된 Li₂O의 품위 향상을 위해 입도구간(+4, 4×20, 20×65 mesh) 및 매질 비중(2.65, 2.70, 2.75)을 변화시켜 중액선별을 실시하였다. jaw crusher 분쇄 후 중액 실험 결과, 4×20 mesh에서 가장 높은 리튬 선별효율(매질비중 2.70 → Li₂O 품위 4.32%, 회수율 72.39%)을 나타내었다. +4 mesh는 매질 비중에 관계없이 리튬의 선별효율이 낮고, 매질 비중이 증가함에 따라 Li₂O의 회수율이 급격히 감소되었다. 이에 +4 mesh산물의 단체분리를 위해 disk pulverizer를 이용해 분쇄 후, 분쇄산물(+4, 4×20 mesh)에 대해 중액선별을 실시하였고, +4 mesh, 매질비중 2.70 에서 Li₂O 품위 4.8%, 회수율 80%가 가능하였다.

주요어 : 인운모, 중액선별, 회수, 품위, 선별효율

서 론

리튬(Lithium, Li)이 전기자동차에 이용되는 리튬이차 전지(Lithium secondary battery)의 주원료로 사용됨에 따라 소비량이 급증하고 있으며, 가격도 급격히 상승(1톤 Li₂CO₃ 가격, 2000년: \$2,000 → 2008년: \$5,500)하고 있는 실정이다(Chon *et al.*, 2010). 이에 일부 국가에서는 자국의 리튬관련 산업을 보호하기 위한 대책을 마련하고 있다. 하지만 리튬은 지역적 편중이 심한 광물 중 하나로 리튬관련 산업의 발전과 함께 자원무기화 현상이 발생될 것으로 예상된다(Ebensperger *et al.*, 2005; Chon

et al., 2010; Kesler *et al.*, 2012). 국내의 경우 2009년 기준 세계 3위의 리튬 소비국이지만 리튬을 전량 수입에 의존하고 있어, 국내 리튬산업의 경쟁력 확보를 위한 대책이 절실히 필요하다고 판단된다(Chon *et al.*, 2010).

일반적으로 자연으로부터 리튬을 회수하는 방법은 광석으로부터 회수와 염수로부터 회수하는 방법으로 나눌 수 있다. 이 중 광석으로부터 리튬을 생산하는 방법은 처리공정이 복잡하고 산, 알칼리 등의 침출시약 사용량이 많아 염수로부터 리튬을 회수하는 방법에 비해 약 3 배 정도 높은 생산비용(1톤 Li₂CO₃ 생산비용 → 염수: \$2,300, 광석: \$6,400)이 소요되고 있는 실정이다(Chon *et al.*, 2010). 따라서 가격이 상승하고 있는 리튬의 안정적인 확보를 위해서는 광물로부터 회수되는 리튬의 처리비용 절감이 필요하다고 판단된다.

리튬을 함유한 광물을 분리하기 위한 일반적인 선별공정은 광물종류(리티아 휘석(spodumene), 인운모(lepidolite)

1) 강원대학교 에너지·자원공학과

2) 한국지질자원연구원 광물자원연구본부

*Corresponding Author(이재령)

E-mail: jr-lee@kangwon.ac.kr

Address: Department of Energy & Resources Engineering,
Kangwon National University, Chuncheon, Korea

등)에 따라 약간씩 차이는 있지만 주로 파/분쇄 후 분급, 자력선별, 부유선별 등의 공정을 통해 리튬함유 광물을 회수하고 있다. 이러한 공정을 통해 회수되는 Li_2O 의 품위(%)는 광물종류에 따라 차이가 있으며, Li_2O 의 품위가 4% 이상일 때 경제적으로 활용가치가 있다고 알려져 있다(Bale and May, 1989; Wang and Yu, 2007; Choi *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2012). 하지만, 자력선별은 자성 특성을 가진 광물에 대해서만 적용이 가능하며, 부유선별공정은 분쇄공정에 투입되는 에너지 소비가 높고 부선시약을 사용함에 따라 다량의 폐수가 발생된다는 단점이 있다(Jeon *et al.*, 2011). 이러한 이유에서 최근에는 전기펄스와 광학선별을 이용한 리튬함유광물의 분리 연구가 진행되었다. 하지만 리튬을 함유하는 광물 중 매장량이 가장 많은 리티아 휘석에만 한정된 연구로서 리튬을 포함하고 있는 타 광물에 대한 적용성이 검토되지 않았을 뿐만 아니라 광학특성이 비슷한 광물에는 선별이 제한되는 단점이 있다(Brandt and Haus, 2010).

이에 본 연구에서는 리튬을 함유하는 대표광물 중 하나인 인운모를 선별대상 광물로 선정하였다. 대상 시료로부터 인운모 정광을 저비용으로 분리하기 위해 파쇄 후 입도구간별 하여 중액선별을 실시하여 이에 필요한 분쇄, 단체분리 및 중액선별공정의 조건을 도출하였고, 조건별 Li_2O 의 품위, 회수율 및 리튬의 선별효율을 확인하였다.

실험원료

실험에 사용된 대상 시료는 경상북도 울진에 위치한 보암광산으로부터 채취 하였으며, 채취시료의 광물조성을 확인하기 위해 고분해능 X-선 회절기(HRXRD, High-resolution X-ray diffraction, X'pert-pro MPD, PANalytical, Netherlands)를 이용해 분석하였다. 전반적인 성분 및 함량

분석은 X-선 형광 분석기(XRF, X-ray fluorescence spectrometry, S2 RANGER, Bruker, Germany)를 이용해 조사하였다. 리튬성분에 대한 정량분석은 유도결합플라즈마 분광기(ICP, Inductively Coupled Plasma Spectrometer, OPTIMA 7300DV)를 이용해 확인하였다. Fig. 1은 대상 시료에 대한 XRD 분석결과를 나타낸 것으로 주요 구성 광물로는 방해석(calcite, CaCO_3), 석영(quartz, SiO_2), 백운모(muscovite, $(\text{K}(\text{OH},\text{F})_2\text{Al}_3\text{Si}_2\text{O}_{10})$), 인운모(lepidolite, $(\text{KLiAl}(\text{OH},\text{F})_2\text{Al}(\text{SiO}_4)_3)$)로 조사되었고, 인운모에 리튬이 집중적으로 분포함을 확인하였다. XRF 분석결과 Ca-, Si- 계 화합물이 전체의 약 74% 이상을 차지함을 확인하였으나 본 연구의 목적 물질인 리튬성분은 XRF 분석으로부터 불검출 되었다. 이는 분석에 사용된 XRF의

Fig. 1. XRD Patterns of the starting mineral from Boam mine.

Table 1. The results of the ICP and XRF analysis for the starting mineral from Boam mine

analysis	Chemical composition										
	ICP	XRF									
elements	Li	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	Rb_2O	Cs_2O	MgO
contents(%)	0.622	16.95	44.3	0.27	5.87	30.1	0.17	0.51	0.55	0.12	1.16

Table 2. Physical properties of each minerals in starting mineral

	lepidolite	muscovite	calcite	quartz
tenacity	elastic	elastic	brittle	brittle
density	2.8~2.9	2.77~2.88	2.71	2.65

특성상 원자번호 11번인 Na부터 측정 가능한 EDXRF (에너지 분산형 x-ray 형광분석기, energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry) 장비로 XRF기기의 측정 가능한 원소 분석범위에 리튬이 포함되지 않아 나타난 결과이다. 따라서 리튬의 함량은 ICP를 이용해 평가하였으며, ICP 분석결과 리튬은 0.622%로 확인되었다(Table 1). ICP로부터 확인된 Li의 농도는 Li_2O 로 환산 하였으며 1.33%로 계산되었다.

Table 2는 대상 시료에 포함된 4종류 광물의 물리적 특성 중 강도(tenacity)와 밀도(density)를 나타낸 것으로 회수 목적광물인 인운모의 강도특성은 방해석, 석영에 비해 쉽게 부서지지 않는 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라 4종류 광물 중 가장 높은 비중 특성을 확인 하였다. 이에 선택적 분쇄 및 중액선별에 의한 인운모의 선별실험을 진행하였다(RRUFF, 2013).

실험방법

대상 시료를 jaw crusher(급광구: 100 mm(가로)×80 mm(세로), 배출구: 100 mm(가로)×10 mm(세로))를 이용해 파쇄 하였으며, 파쇄된 산물을 체를 사용하여 +4 (+4760 μm), 4×20(4760~840 μm), 20×65(840~212 μm), -65 mesh(-212 μm)의 4 개 구간으로 입도 조정하였다. 입도 조정된 시료는 각 구간별 무게비율(wt%), Li_2O 의 품위 및 분포 확인 후, +4, 4×20, 20×65 mesh구간의 산물을 각각 중액선별 실험에 투입하였다(Fig. 2). -65 mesh구간은 입자의 크기가 너무 작기 때문에 중액선별로는 분리가 어려울 것으로 판단되어 본 연구의 중액선별 실험대상에서 제외하였다.

중액선별에 사용된 매질(medium)은 비중이 2.967인 1,1,2,2-tetrabromoethane(98.0%, Junsei)을 희석해 매질의

Fig. 2. The flowchart of this research.

비중을 2.65, 2.70, 2.75로 변화시켜 실험하였으며 침강시간(10 min.), 시료의 투입량(50 g) 및 매질의 량(300 ml)을 고정하여 500 ml 용량의 비이커에 투입하였다. 희석용액으로는 등유(kerosine, density: 0.8 g/cm³, Junsei)를 이용하였다.

Jaw crusher 파쇄 후, 중액선별실험에서 리튬의 선별효율(separation efficiency)이 낮은 +4 mesh 구간의 산물은 리튬을 포함하는 인운모와 맥석광물의 단체분리를 목적으로 disk pulverizer(UD pulverizer, BICO INC. USA)를 이용해 분쇄하였고, 선별효율은 Schulz가 제안한 식을 이용해 계산하였다(Wills and Napier-Munn, 2006). disk pulverizer는 disk 간격을 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 mm로 조절하였으며, disk의 회전속도(900 rpm)를 고정하여 실험하였다. disk pulverizer에 의해 분쇄된 산물은 입도구간별(+4, 4×20, 20×65, -65 mesh) 무게비율을 조사하였으며, +4, 4×20 mesh 산물을 각각 중액선별에 투입하였다. 중액선별은 앞서 언급한 선별실험과 동일한 조건으로 침강시간(10 min.), 시료 투입량(50 g) 및 매질(300 ml)을 고정하고 매질의 비중(2.65, 2.70, 2.75)을 비교조건으로 실시하였다. 실험을 통해 회수된 부유물과 침강물은 각각 회수하여 에탄올로 세척 후, 105℃에서 2 hr 건조 후 중량을 측정하였으며, 각 산물별 전 원소분석을 통해 ICP 분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

Table 3은 jaw crusher를 이용해 대상 시료 5 kg을 파쇄 후 건식 입도분리 한 결과로서 입도구간별 무게분포(wt%), Li₂O의 품위(%)를 나타내었다. 전체 무게 중 75.1%가 +20 mesh 구간에 분포하고, 입자의 크기가 커질수록 Li₂O의 품위가 높은 경향을 나타내었다. 이는 대상 시료에 포함된 Li₂O성분이 인운모에만 집중된 상태로 존재하고 있으며(Fig. 1), 인운모의 강도(tenacity)특성이 맥석광물인 방해석, 석영에 비해 쉽게 부서지지 않는 특성을 가지고 있어 나타난 결과로 판단된다(Table 2).

jaw crusher 파쇄 후, 입도별로 분리된 산물(+4, 4×20, 20×65 mesh)은 중액에 투입, 침강시간은 10 min.으로 고정하였으며, 침강물질의 Li₂O품위 및 회수율을 확인하였다. 선별에 사용된 매질의 비중은 Table 2에 제시된 4 종류 광물의 비중을 고려해 2.65, 2.70, 2.75로 조절하여 실험하였다(Fig. 3).

입도구간에 관계없이 매질의 비중이 높아질수록 Li₂O의 품위는 증가, 회수율은 감소되는 경향을 나타내었으며, 4×20 mesh구간 산물은 매질 비중 2.70조건에서 품위 4.32%, 회수율 72.39%로 가장 높은 리튬 선별효율(66.8%)을 나타내었다(Fig. 3, Fig. 4). 하지만 +4, 20×65 mesh의 경우, 매질 비중 2.70에서 2.75로 증가함에 따라 Li₂O의 회수율이 급격히 감소하는 것으로 확인되었다

Fig. 3. Grade and recovery for Li₂O with change of the medium specific gravity ((a) +4 mesh, (b) 4×20 mesh, (c) 20×65 mesh).

Table 3. The weight ratio and grade of Li₂O with change of the size ranges for the starting mineral

Particle size	+4 mesh (+4760 μm)	4×20 mesh (4760~840 μm)	20×65 mesh (840~212 μm)	- 65 mesh (- 212 μm)
weight ratio (wt%)	48.60	26.50	11.00	13.90
grade (Li ₂ O, %)	1.46	1.32	1.05	1.11

(+4 mesh: 70.20 → 52.52%, 20×65 mesh: 83.68 → 52.47%). 이 중 +4 mesh는 매질비중에 관계없이 리튬의 선별효율이 45%이하로 4×20, 20×65 mesh구간에 비해 전체적으로 낮게 확인되었다(Fig. 4). 이러한 결과는 jaw crusher를 통해 파쇄된 +4 mesh 구간의 인운모가 방해석,

Fig. 4. Separation efficiency for Li with change of the medium specific gravity and particle size.

Fig. 5. Weight ratio of Li₂O with change of the distance of disk.

석영, 백운모와의 단체분리가 부족해 발생된 결과로 판단된다(Amarante *et al.*, 1999). 20×65 mesh구간은 +4 mesh에 비해 대체적으로 리튬의 선별효율이 높게 나타났으나, 선별효율이 가장 높은 구간(비중: 2.70, 선별효율: 58.7%)에서의 Li₂O의 품위가 2.42%(회수율: 83.68%)로 경제적 활용가치가 있는 4% Li₂O에 비해 낮게 확인되었다. 이는 입경이 작아짐에 따라 중액과 입자간의 표면마찰(surface friction)의 영향력이 증가되고 입자의 침강속도가 감소함에 따라 발생된 결과로 판단되며(Wills and Napier-Munn, 2006), 단순히 중액만을 이용한 선별실험으로는 Li₂O의 품위 및 회수율 향상은 어렵다고 판단된다. 따라서 중액선별에 의한 리튬의 선별효율이 가장 높은 4×20 mesh구간과 Li₂O의 품위 및 회수율 향상이 어려운 20×65 mesh구간은 이후 실험에서 제외하였으며, +4 mesh 산물에 대해서만 Li₂O의 품위 및 회수율을 향상시키기 위한 분쇄실험을 진행하였다.

+4 mesh구간 산물에 대한 분쇄실험은 중액선별시 리튬의 선별효율이 높은 4×20 mesh구간의 무게비율이 많고, 중액선별이 어려운 -20 mesh구간의 발생이 적은 분쇄조건을 확인하기 위한 목적으로 disk pulverizer를 이용해 실험하였다. Fig. 5는 jaw crusher로 분쇄된 산물 중 +4 mesh구간의 산물을 disk pulverizer에 투입하고, disk 간격을 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 mm로 변화시켜 분쇄하여 +4, 4×20, 20×65, -65 mesh구간으로 건식 입도분리 한 결과이다. 모든 분쇄조건에서 disk 간격보다 더 큰 입자 크기를 갖는 +4 mesh(aperture size: 4760 μm) 입도구간에서도 분쇄산물이 존재함을 알 수 있었으며, 이는 disk pulverizer 기기의 분쇄 특성에 의해 발생된 것으로 판단된다.

4×20 mesh 구간 산물의 무게비율은 3.0 mm 이하의 간격에서 disk 간격변화에 관계없이 약 70 wt%정도를 나타내었으나 3.5 mm구간에서 급격히 감소하였다(3.0 mm: 71.0 wt%, 3.5 mm: 54.1 wt%). 이러한 결과는 disk 간격이 넓어질수록 분쇄대상에 전달되는 충격 및 전단력이 감소되어 나타난 것으로 판단된다. 따라서 4×20 mesh 구간 산물이 70 wt% 이상 회수되는 3.0 mm 이하의 간격조건 중 20 mesh를 통과되는 무게비율이 가장 적은

Table 4. The weight ratio and grade of Li₂O with change of the size ranges for the passing +4 mesh mineral after grinding by disk pulverizer

Particle size	+4 mesh (+4760 μm)	4×20 mesh (4760~840 μm)	20×65 mesh (840~212 μm)	-65 mesh (-212 μm)
weight ratio (wt%)	11.48	71.00	8.04	9.48
grade (Li ₂ O, %)	1.95	1.50	1.03	0.89

3.0 mm 조건(+4 mesh: 11.48 wt%, 4×20 mesh: 71.00 wt%, 20×65 mesh: 8.04 wt%, -65 mesh: 9.48 wt%)을 disk pulverizer의 분쇄조건으로 설정하였다. Table 4는 disk 간격 3 mm 조건에서 분쇄한 +4 mesh 산물을 입도 구간별 무게분포 및 Li_2O 의 품위를 나타낸 결과이다. +4 mesh 산물의 전체 무게 중 82 wt% 이상이 +20 mesh에 분포하였고, 입도가 커질수록 Li_2O 의 품위가 증가하였다. 이는 앞서 언급하였듯이 인운모와 맥석광물의 강도 특성 차이에 의해 발생한 결과로 판단된다(Table 2).

Fig. 6은 disk pulverizer의 disk의 간격이 3.0 mm인 조건에서 회수된 분쇄산물 중 +4, 4×20 mesh 구간산물을 대상으로 매질비중 변화(2.65, 2.70, 2.75)에 따른 실험결과이다. Fig. 3(a, b)와 마찬가지로 입도에 관계없이 매질비중이 높아질수록 Li_2O 의 품위는 증가, 회수율은 점차 감소되는 경향을 나타냈으며 동일한 매질의 비중조건에서 입도가 커질수록 Li_2O 의 품위, 회수율이 증가되었다. 이는 disk pulverizer에 의한 분쇄 후에도 맥석과 단체분리가 부족한 인운모는 매질의 비중이 커질수록 부유되며, 비중선별의 선별효율은 시료의 입자크기가 커질수록 증가되기 때문에 나타난 결과로 판단된다(Wills and Napier-Munn, 2006).

4×20 mesh구간의 경우, 비중 2.70조건에서 리튬의 선별효율 67.9%, Li_2O 품위 4.61%, 회수율 71.37%로 나타났으며, 이러한 결과는 jaw crusher를 통해 회수된 4×20 mesh 산물의 중액선별 결과와 큰 차이가 없었다. 하지만 +4 mesh구간 산물의 경우, 매질비중 2.70이상의 조건에서 jaw crusher 파쇄 후 바로 투입된 중액선별에 비해 Li_2O 의 품위, 회수율 및 리튬의 선별효율이 각각 0.8%, 10%, 33% 정도 향상됨을 확인하였다(Fig. 3(a), Fig. 4, Fig. 6(a), Fig. 7). 이는 이 입도범위에서 인운모

표면에 부착된 맥석광물이 disk pulverizer에 의한 분쇄를 통해 단체분리가 잘 이루어져 나타난 결과로 판단된다. 따라서 중액선별을 이용한 보압광산 리튬광물의 품위 향상을 위해서는 파/분쇄조건으로, jaw crusher를 이용한 광물 파쇄 후 인운모의 입자크기가 +4 mesh로 존재 가능한 상태에서 맥석과의 단체분리가 용이한 분쇄조건의 적용이 적합하다고 판단된다. 본 연구를 통해 얻어진 +4, 4×20 mesh구간에 대한 최적 중액선별결과(recovery, grade)를 이용한 회수율(yield)은 약 48.33%, Li_2O 의 품위는 4.51%로 확인되었다. 이에 경제적 가치가 있는 품위 4%이상의 Li_2O 의 분리가 파/분쇄 후 중액선별만으로도 가능함을 확인하였다.

Fig. 7. Separation efficiency for Li with change of the medium specific gravity and particle size.

Fig. 6. Grade and recovery for Li_2O with change of the medium specific gravity ((a) +4 mesh, (b) 4×20 mesh).

결 론

리튬의 품위가 0.622%(Li_2O 로 환산 시 1.33%)인 국내 저품위 리튬함유광물로부터 경제적으로 활용 가능한 Li_2O (품위: 4% 이상)를 회수하기 위해 대상광석을 jaw crusher를 이용해 파쇄 후 입도구간(+4, 4×20, 20×65)별 중액선별을 실시하였다. 중액선별 후 Li_2O 의 품위, 회수율 및 리튬의 선별효율이 높은 입도구간을 조사, 중액선별에 의해 선별이 어려운 입도구간을 확인한 후 추가 분쇄공정을 통해 중액선별을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 저품위 리튬함유광물에 포함된 광물의 종류로는 방해석(calcite, CaCO_3), 석영(quartz, SiO_2), 백운모(muscovite, $(\text{K}(\text{OH}, \text{F})_2\text{AlSi}_2\text{O}_{10})$), 인운모(lepidoilite, $(\text{KLiAl}(\text{OH}, \text{F})_2\text{Al}(\text{SiO}_4)_3)$)로 확인되었으며, 리튬의 성분은 인운모에만 분포하였다.
2. jaw crusher 파쇄된 산물의 입도구간별 중액선별을 실시한 결과, 4×20 mesh구간 산물이 매질 비중 2.70 조건에서 Li_2O 품위 4.32%, 회수율 72.39%로 가장 높은 리튬 선별효율(66.8%)을 나타냈다. +4 mesh의 경우, 중액 비중이 증가함에 따라 Li_2O 의 회수율이 급격히 감소되어(비중 2.70: 70.20 → 비중 2.75: 52.52%), 인운모와 맥석과의 단체분리를 위한 분쇄실험이 필요함을 확인, 단체분리를 위해 disk pulverizer를 이용한 분쇄를 실시하였다.
3. disk pulverizer에 의한 분쇄는 4×20 mesh 구간 산물이 70% 이상 회수되는 3.0 mm 이하의 disk 간격조건 중 20 mesh를 통과되는 무게비율이 가장 적은 3.0 mm 조건을 분쇄조건으로 설정하였으며, +4 mesh 산물의 전체 무게 중 82 wt% 이상이 +20 mesh에 분포하였다.
4. disk pulverizer에 의해 분쇄 후 회수된 분쇄산물(+4, 4×20 mesh)의 중액실험에서 +4 mesh구간 산물은 매질비중 2.70조건에서 jaw crusher 파쇄 후 바로 투입된 중액선별에 비해 Li_2O 의 품위, 회수율 및 리튬의 선별효율이 각각 0.8%, 10%, 33% 정도 향상됨을 확인되었다(Li_2O 품위: 4.8%, 회수율: 80%). 이는 +4 mesh 범위에서 대상 시료에 포함된 인운모와 맥석간 단체분리가 disk pulverizer에 의해 이루어져 나타난 것으로 판단된다.
5. 본 실험을 통해 얻어진 +4, 4×20 mesh구간에 대한 최적 중액선별결과(recovery, grade)로부터 계산된 회수율(yield)은 약 48.33%, Li_2O 의 품위는 4.51%로, 경제적 가치가 있는 품위 4% 이상의 Li_2O 의 분리가 파/분쇄 후 중액선별만으로도 가능함을 확인하였다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원에서 수행중인 “국내 희유금속자원 탐사 및 활용기술개발”과제의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- Amarante, M.M., Sousa, A.B. and Leite, M.M., 1999, “Processing a Spodumene ore to obtain lithium concentrates for addition to glass and ceramic bodies,” *Minerals Engineering*, Vol. 12, No. 4, pp. 433-436.
- Bale, M.D. and May, A.V., 1989, “Processing of ores to produce tantalum and lithium,” *Minerals Engineering*, Vol. 2, No. 3, pp. 299-320.
- Brandt, F. and Haus, R., 2010, “New concepts for lithium minerals processing,” *Minerals Engineering*, Vol. 23, pp. 659-661.
- Choi, J.H., Kim, W.T., Chae, W.R., Kim, S.B. and Kim, H.J., 2012, “Electrostatically Controlled Enrichment of Lepidolite via Flotation,” *Materials Transaction*, Vol. 53, No. 12, pp. 2191-2194.
- Chon, U., Han, G.C., Kim, K.Y. and Kim, K.H., 2010, “Current Status of Lithium Resources,” *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, Vol. 19, No. 3, pp. 3-8.
- Ebensperger, A., Maxwell, P. and Moscoso, C., 2005, “The lithium industry: Its recent evolution and future prospects,” *Resources Policy*, Vol. 30, pp. 218-231.
- Jeon, H.S., Park, C.H., Han, O.H., Kim, B.G. and Kim, J.H., 2011, “Froth Flotation of Molybdenum Ore by Multistage Grinding Process,” *J. of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineering*, Vol. 48, No. 1, pp. 25-33.
- Kesler, S.E., Gruber, P.W., Medina, P.A., Keoleian, G.A., Everson, M.P. and Wallington, T.J., 2012, “Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits,” *Ore Geology Reviews*, Vol. 48, pp. 55-69.
- Lee, K.H., Jeon, H.S., Baek, S.H. and Kim, S.G., 2012, “Development of Flotation System for Utilization of Low Grade Lithium Ore,” *J. of the Mineralogical Society of Korea*, Vol. 25, No. 0, pp. 1-10.
- RRUFF, 2013.12.09, <http://rruff.info>.
- Wang, Y.H. and Yu, F.S., 2007, “Effects of Metallic Ions on the Flotation of Spodumene and Beryl,” *J. of China University of Mining & Technology*, Vol. 17, No. 1, pp. 35-39.
- Wills, B.A. and Napier-Munn, T.J., 2006, *WILLS' Mineral Processing Technology*, 7th Ed., Oxford: Butterworth-Heinemann, p. 18, 226.

이 정 훈

현재 강원대학교 에너지·자원공학과 석사과정
(本學會誌 第50卷 第6号 參照)

임 진 호

현재 강원대학교 에너지·자원공학과 석사과정
(本學會誌 第50卷 第6号 參照)

이 재 령

현재 강원대학교 에너지·자원공학과 부교수
(本學會誌 第50卷 第6号 參照)

김 영 진

현재 강원대학교 에너지·자원공학과 박사과정
(本學會誌 第50卷 第6号 參照)

전 호 석

1988년 강원대학교, 자원공학과 공학사
1990년 강원대학교, 자원공학과 공학석사
1994년 강원대학교, 자원공학과 공학박사

현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임연구원
과학기술연합대학교 자원순환공학과 교수
(E-mail; hsjeon@kigam.re.kr)