

## 벤토나이트로부터 몬모릴로나이트의 선택적 분리를 위한 습식 고순도화

### Wet Purification for the Selective Separation of Montmorillonite from Bentonite

김 완 태 (Wantae Kim) · 채 영 배 (Youngbae Chae) · 정 수 북 (Soobok Jeong) ·  
임 정 한 (Junghan Rim)

한국지질자원연구원 자원활용연구부

Mineral and Material Processing Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources,  
(E-mail: kimwt@kigam.re.kr)

**요약:** 초음파 해쇄, 침강 분리 및 원심 분리 등의 물리적 처리 기술을 적용하여 감포 13호 및 35호 광구의 벤토나이트 원광석으로부터 몬모릴로나이트를 선택적으로 회수할 수 있는 습식 고순도화 공정 특성을 연구 개발하였다. 초음파를 이용한 해쇄는 슬러리의 농도가 7 wt.%인 경우 우수한 해쇄 결과를 나타냈으며 감포 13호의 경우는 30분, 감포 35호의 경우는 10분 이내에 대부분의 해쇄가 종료되었다. 30분간 침강 분리를 행한 결과 감포 13호은 원광의 약 52 wt.%, 감포 35호는 약 64 wt.%를 정제된 산물로 회수하였으며, CEC는 각각 119.4, 124.5 meq/100 g이었다. 원심 분리를 이용한 입자 분리 결과, 원심 분리기의 회전수 1,000 rpm 이내에서 석영, 장석 등 대부분의 불순 광물들이 분리·제거되었다.

**주요어 :** 몬모릴로나이트, 초음파 해쇄, 침강 분리, 원심 분리, 고순도화

**ABSTRACT :** Wet purification process for the selective separation of montmorillonite from Gampo 13 and 35 bentonite ores was studied using physical processes such as ultrasonic scrubbing, decantation and centrifugation. Ultrasonic Scrubbing of Gampo 13 and 35 bentonite ores was revealed excellent result at 7 wt.% of slurry density and was almost finished within 30 minutes in the sample of Gampo 13 and 10 minutes in the sample of Gampo 35, respectively. After decantation, approximately 52 wt.% from the bentonite of Gampo 13 and 64wt.% from the bentonite of Gampo 35 were recovered as purified products and the CEC was reached up to 119.4 meq/100 g and 124.5 meq/100 g, respectively. Particle separation by centrifugation showed that most of the impurity minerals such as quartz and feldspar were removed within the condition of 1,000 rpm.

**Key words :** montmorillonite, ultrasonic scrubbing, decantation, centrifugation, purification

## 서 론

몬모릴로나이트(montmorillonite)는 벤토나이트(bentonite)를 구성하는 주 광물로 점결성, 팽윤성, 이온 교환성 등 몬모릴로나이트 광물이 가지는 물리화학적 특성을 이용하는 분야인 주물용이나 토목용에 주로 사용되었다. 최근에는 약품 첨가제, 제지용 충전재와 같은 분체 고유의 특성을 이용하는 분야와 몬모릴로나이트 층간의 미세한 공간을 이용해 고분자 등의 유기화합물을 층간삽입 및 분자제어 기술을 이용하여 나노 크기로 분산시켜 이상적으로 결합시킨 유기-무기 나노 복합재의 제조 분야 등으로의 수요가 점차 확대되고 있다(Kawasumi *et al.*, 1997, Kormmann *et al.*, 2001).

특히, 유기-무기 복합재와 같이 몬모릴로나이트가 가지는 층상 구조적 특성을 이용하는 분야에 있어서는 원료로 사용하는 천연 층상 광물의 품위가 최종 제품의 물성을 결정하는 중요한 인자로 취급되고 있다. 일반적으로 몬모릴로나이트의 품위를 결정하는 주된 요인으로는 불순 광물의 종류 및 분포, 층간에 존재하는 교환성 양이온의 종류 및 양이온의 교환능(cation exchange capacity, CEC), 충전하(layer charge), 입도 분포 등으로 알려져 있다. 그러나, 국내에서 산출되는 몬모릴로나이트는 팽윤도가 낮고, 석영, 장석, 크리스토팔라이트(cristobalite) 및 산화철 및 수산화철 광물 등의 불순물을 함유하기 때문에 그 자체만으로는 고부가가치의 원료 소재로 사용하기에는 적합하지 않다(채영배 외, 2001).

몬모릴로나이트의 품위를 향상시키기 위한 방법으로는 크게 건식 및 습식 처리에 의한 고순도화 기술의 적용이 가능하다. 일반적으로 건식 방법에 의한 고순도화는 벤토나이트에 함유된 불순물의 종류 및 거동에 따라 적절한 건식 처리 방법을 적용하여 몬모릴로나이트의 품위를 향상시키는 방법으로서 단위 시간당 처리량이 많고 2차 건조 및 수처리 공정이 필요 없는 처리 방법으로 어느 정도의 경제적인 품위 향상은 기대할 수 있으나 고품위 몬모릴로나이트를 회수하기에는 한계가 있다. 습식 처리에 의한 고순도화 기술은 침강 분리법(decantation), 부유 선별법(flotation), 원심 분리법(centrifugation) 등을 비롯하여 화학 처리법, 미생물 처리

법 또는 이들을 병용하는 정제 기술 등이 있으며, 건식 처리에 비해 고순도의 몬모릴로나이트의 회수는 가능하나 수  $\mu\text{m}$  혹은 나노 크기의 초미립 분체의 탈수, 건조, 해쇄 등 복잡한 공정을 거쳐야 한다는 단점이 있어 공정의 적용에는 한계가 있다.

그러나, 국내에서 산출되는 몬모릴로나이트의 고부가가치화 및 용도 다변화를 위해서는 고순도 원료화 기술의 개발이 시급히 요구되는 실정이며, 또한 순수한 입자의 특성이 요구되는 페인트, 제지, 유기-무기 복합재의 원료 소재 등과 같은 고기능성 소재로의 사용을 위해서는 벤토나이트로부터 이용 가능한 순수한 몬모릴로나이트만을 선택적으로 분리·회수하는 것이 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 산출되는 벤토나이트를 대상으로 초음파 해쇄, 침강 분리 및 원심 분리와 같은 습식 처리 기술을 적용하여 몬모릴로나이트의 고순도화 및 입자 분리를 시도하였다. 몬모릴로나이트 광물과 같은 미립의 점도 광물의 경우는 미립의 몬모릴로나이트 입자를 단일 입자로 분리하는 해쇄 기술과 서로 다른 비중을 가진 입자들의 침전 속도 차이를 이용하는 침강 분리 기술의 적용이 간단하면서도 매우 유용한 분리·선별 방법으로 알려져 있다. 본 연구에서는 초음파를 이용하여 점도 광물과 여타 불순 광물의 단체 분리를 피하였으며, 해쇄 시간, 슬러리 농도, 침강 시간의 변화에 따른 몬모릴로나이트의 품위 향상 효과를 분석하여 최적의 운전 조건을 수립하고자 하였다. 또한, 몬모릴로나이트 입자는 미립으로 존재하는데 반하여 불순 광물들은 비교적 큰 입자를 이루고 있으므로, 원심 분리를 통한 몬모릴로나이트의 입자 분리를 시도함으로써 순수한 몬모릴로나이트 입자만을 선택적으로 분리·회수하고자 하였다.

## 시료 및 실험 방법

본 연구에서는 매장량, 품위 및 향후 개발 가능성 등을 고려하여 감포 13(G-13) 및 35(G-35) 광구에서 각각 채굴한 시료를 고순도화 처리 대상으로 하였다. 채취한 시료의 화학 성분 조성은 Table 1과 같이 G-13의 경우 철분의 함량이 높은 반면, G-35의 경우는 실리카 및 알칼리

**Table 1.** Chemical compositions and CEC of the G-13 and G-35 raw samples

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	LOI	CEC(meq/100 g)
G-13	57.32	19.35	7.88	1.32	2.78	0.33	0.34	0.65	0.04	10.13	88.3
G-35	60.20	19.39	2.50	2.99	3.52	0.56	0.96	0.25	0.09	9.66	93.3

성분의 함량이 상대적으로 높게 나타났다. X-선 회절 분석 결과 두 시료는 모두 Ca-몬모릴로나이트로 주로 구성되고 석영과 장석 등의 불순 광물이 수반됨을 확인하였다.

습식 고순도화 공정의 적용에 앞서 채취된 시료는 충분히 자연 건조한 후 콘밀(cone mill)을 사용해 2 mm 이하로 분쇄하였다. 분쇄된 시료는 3,000 mL의 용기에 투입한 후 슬러리의 농도를 5, 7, 9, 11 wt.%로 조절하고 직경 10 mm의 초음파 발생장치(ULH-700, Taewon Scientific Co.)를 사용하여 2~60분 동안 슬러리 내에 직접 초음파를 조사시키는 방식으로 몬모릴로나이트와 여타의 광물들이 단체 분리되도록 하였다. 해쇄된 슬러리는 직경 20 cm, 높이 1 m의 침강 분리 장치에 투입하여 슬러리의 농도, 침강 시간의 변화 등에 따른 몬모릴로나이트의 품위 향상 효과를 측정하였다. 한편, 고순도 몬모릴로나이트 입자의 선택적 분리를 위해 초음파 해쇄된 슬러리를 500~5,000 rpm의 회전수를 갖는 원심분리기(Mega 21R, Hanil)를 사용하여 입자 분리를 시도하였다.

각 단계별 처리 효율은 회수된 몬모릴로나이트의 CEC를 측정함으로써 판단하였는데, 본 연구에서는 일본 벤토나이트공업회의 표준시험방법인 메틸렌블루 염료(methylene blue dye)에 의한 측정 방식(일본벤토나이트공업회, 1986)을 사용하였다. 이는 메틸렌블루 양이온이 몬모릴로나이트 광물에 선택적인 흡착특성을 가지고 있어 메틸렌블루의 흡착량을 평가함으로써 몬모릴로나이트의 함량을 측정하는 방식으로 본 연구에서는 각각의 시료마다 매회 3회 반복 측정하여 그 평균값을 분석치로 하였다. 분석 결과 시료로 사용한 G-13 및 G-35의 CEC는 Table 1에서와 같이 88.3과 93.3 meq/100 g으로 나타났다.

## 실험 결과 및 고찰

### 초음파를 이용한 해쇄 특성

천연의 몬모릴로나이트 광물은 미세한 불순 광물 입자들이 상호 응집되어 있기 때문에 몬모릴로나이트만을 선택적으로 분리·회수하기 위해서는 단일 입자의 물리화학적 특성을 발현할 수 있도록 분산시키는 것이 중요하며, 이러한 분산을 위하여 행해지는 해쇄(scubbing) 조작에서는 슬러리의 농도 및 해쇄 시간에 따른 산출물의 품질 변화 등의 영향 인자에 대한 고찰이 필요하다. 본 연구에서는 초음파를 이용하여 점토 광물과 여타 불순 광물의 단체 분리를 꾀하였으며, 해쇄 시간, 슬러리 농도, 침강 시간의 변화에 따른 효과를 분석하여 최적의 운전 조건을 수립하고자 하였다. G-13 및 G-35 시료에 협재된 석영과 장석 등 불순 광물들은 몬모릴로나이트로부터 불순 광물들을 단체분리시키기 위해서는 매우 강력한 물리적 외력을 필요로 한다. 종래에는 교반기를 사용하여 임펠러의 회전력을 작용시켜 몬모릴로나이트와 여타의 광물들을 단체 분리시키는 조작이 행해졌는데, 광물들의 결합력에 비하여 여기에 작용된 외력이 상대적으로 약하기 때문에 낮은 단체 분리도를 나타내었다.

본 연구에서는 몬모릴로나이트와 불순 광물들을 분리하기 위한 순간적이고 강력한 물리적 외력을 작용시키고자 몬모릴로나이트 원광과 물이 혼합된 슬러리를 제조하고, 이를 임펠러를 이용해 교반시키면서 초음파를 사용하여 슬러리 내에 직접 조사시키는 방식으로 몬모릴로나이트와 여타의 광물들이 단체 분리되도록 하였다.

Fig. 1은 각각의 농도별로 제조한 슬러리에 대해 일정 시간 초음파를 조사한 후 100 mesh (150 μm)의 Tyler 표준체를 이용하여 체가름 한 후 150 μm 이상의 입도를 가지는 산물의 무게 변화를 나타냈다. 본 연구에서는 해쇄된 슬러리를 체가름 할 경우 150 μm 이상의 입도를 가지

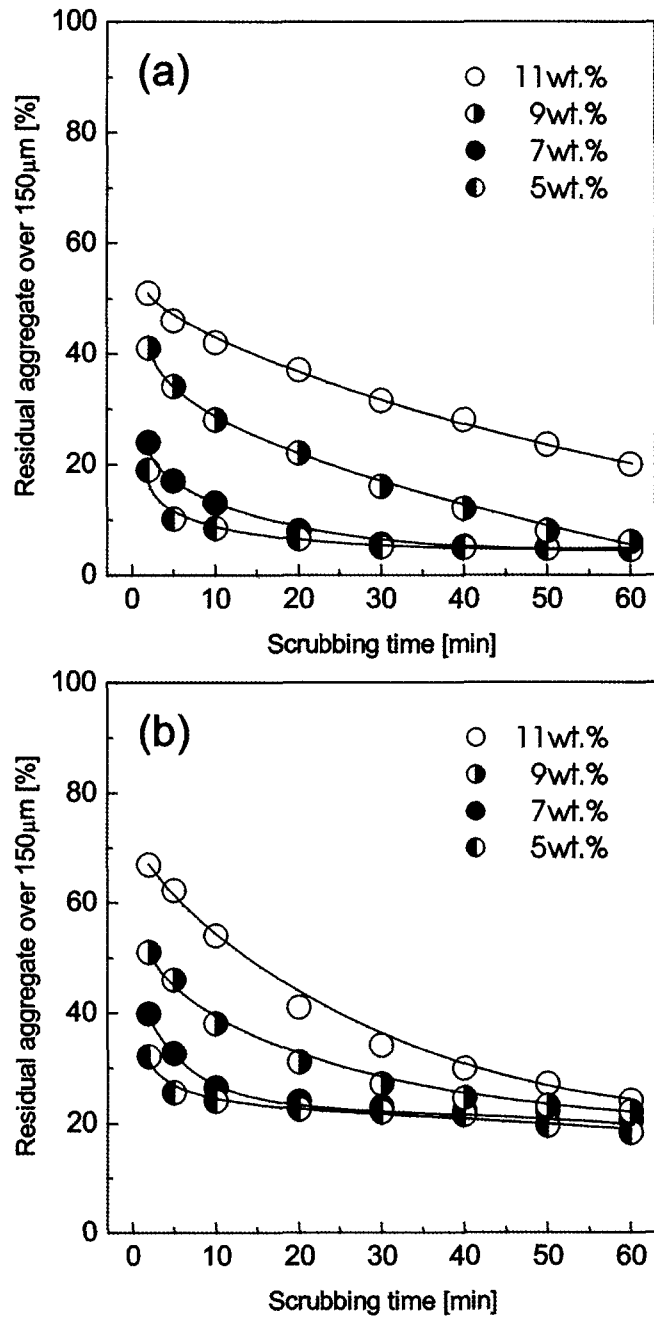


Fig. 1. Weight of the residual particles over 150  $\mu\text{m}$  of G-13(a) and G-35(b) samples as a function of scrubbing time.

는 입자들의 체 잔류량이 변화가 없을 경우를 해쇄가 완료된 시점으로 가정하였다. 이는 미립으로 산출하는 몬모릴로나이트 광물은 비교적 굵은 입자로 존재하는 불순 광물들과 상호 강

하게 응집되어 있는 상태이기 때문에 이들이 단일 입자로 모두 분리된다면 불순 광물만이 굵은 입자로 잔류한다고 판단하였기 때문이다. 슬러리의 농도가 낮은 경우 초음파 해쇄 초기

에 체 잔류량이 빠르게 감소하는 경향을 보였으며, 초음파 조사 시간이 경과됨에 따라 체 잔류량의 변화는 거의 나타나지 않았다. 따라서, 체 잔류량의 변화가 없는 시점을 해쇄가 완료된 시점으로 보면, G-13 (Fig. 1(a))은 슬러리의 농도가 7 wt.%인 경우, 초음파 해쇄를 30분간 실시하였을 경우이며, 슬러리의 농도를 9 wt.% 이상으로 증가시키면 초음파에 의한 해쇄 효과는 현저히 감소하고 있음을 알 수 있었다. G-35 (Fig. 1(b))의 경우도 낮은 슬러리 농도에서는 유사한 경향을 나타내고 있으나, G-13에 비해 초음파 조사에 의한 해쇄 효과가 우수하여 슬러리 농도 7 wt.%의 경우 10분 이내에 모든 해쇄가 완료되는 결과를 보였다. 그러나, 초음파 조사 시간이 10분 이상인 경우에도 체 잔류량은 미미하나 감소하는 경향을 보이고 있었는데, Fig. 2와 같이 해쇄는 완료되었으나 굵은 입자로 존재하는 석영과 같은 불순 광물들이 지속적인 초음파 조사에 의해 입자의 일부가 분

쇄·미립화 되었기 때문으로 판단되었다.

#### 침강 분리에 의한 고순도화 특성

Fig. 3은 침강 분리 공정에서 슬러리의 농도를 7 wt.%, 초음파 해쇄 시간을 G-13의 경우는 30분, G-35는 10분으로 설정하여 해쇄시킨 후 침강 분리 시간별 부유 산물의 산출량과 산출물의 CEC를 나타낸 것이다. 그 결과 G-13(Fig. 3(a))의 경우 초기 30분까지는 빠른 부유 산물의 감소율을 나타내었으나, 60분 이후의 변화율은 크게 둔화되었다. CEC의 변화에서도 침강 분리 초기 30분 이내에서는 빠른 CEC의 증가를 확인할 수 있었으나, 이후의 증가율은 다소 감소하고 있었다. 이는 Fig. 1(a)의 결과에서도 예측 가능한 바와 같이 초음파 해쇄 공정에서 용이하게 단체 분리된 굵은 입자의 불순 광물들이 침강 분리 시간 30분 이내에 대부분 분리되었음을 의미한다. 침강 시간 30분 이후 부유

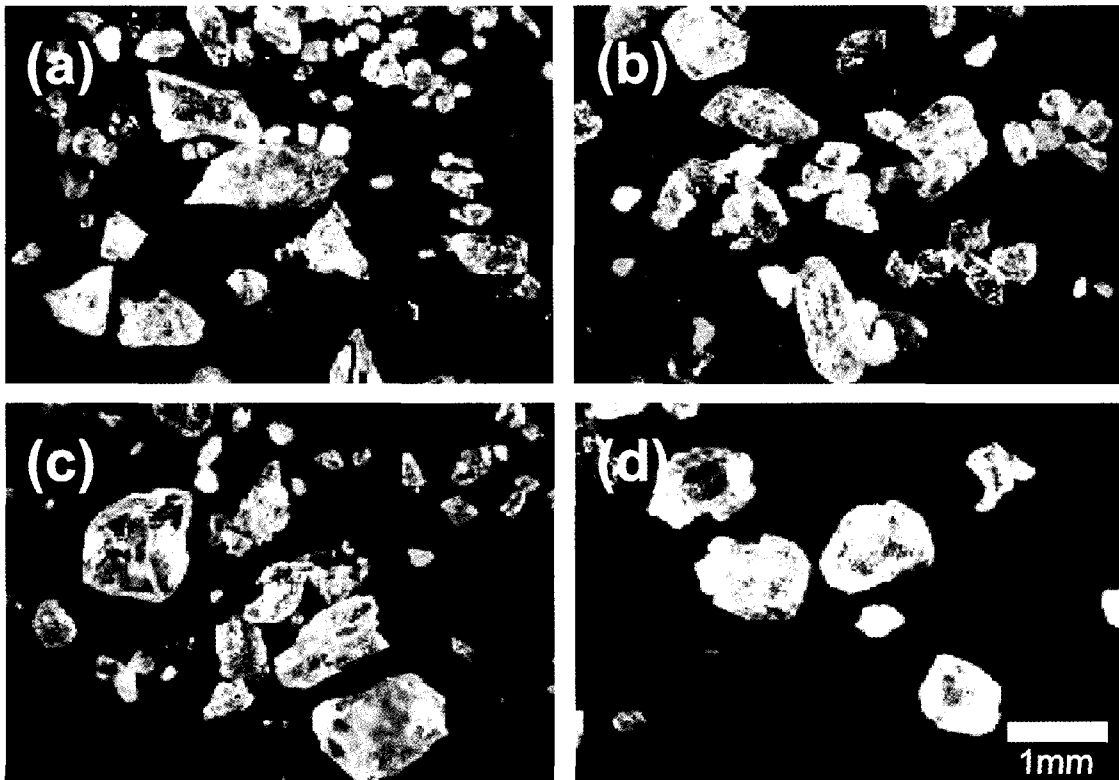


Fig. 2. Photographs of the residual particles as a function of scrubbing time (scrubbing for (a) 10 min, (b) 20 min, (c) 40 min and (d) 60 min).

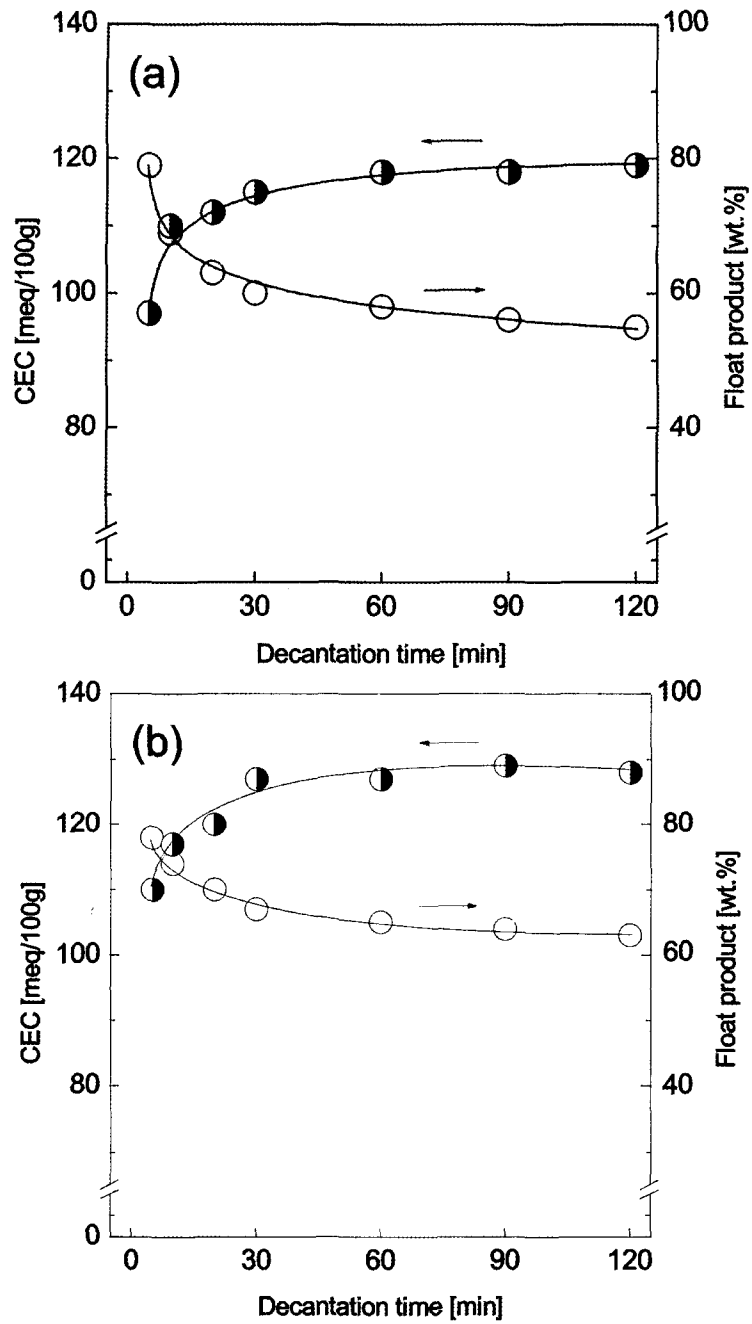


Fig. 3. Yield and CEC of the float products of G-13(a) and G-35(b) samples as a function of decantation time.

산물의 산출율 또한 미미하나마 감소하는 경향을 나타내고는 있는데 이는 일부 미립으로 존재하는 불순 광물들이 침강 시간이 증가함에 따라 점차 분리되는 양상으로 이해할 수 있었

다. 그러나 침강 시간 60분 이후의 변화율은 극히 미약하며 부유 산물의 CEC 변화도 나타나지 않음에 따라 대부분의 침강 분리가 이루어졌음을 알 수 있었다.

G-35 (Fig. 3(b))의 경우는 G-13에 비해 보다 빠른 시간 내에 침강 분리가 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 이는 해쇄 실험 결과에서와 같이 석영, 장석과 같은 불순 광물들의 단체 분리가 용이할 뿐만 아니라 불순 광물들의 입자 크기 또한 차이가 있기 때문으로 판단되었다.

결과적으로 경제적인 몬모릴로나이트 광물의 선택적인 회수를 위해서는 슬러리의 농도와 해쇄 시간의 설정뿐만 아니라 적절한 침강 분리 시간의 조절이 요구됨을 알 수 있다. 본 실험 결과에서와 같이 슬러리 농도의 증가뿐만 아니라 해쇄 시간의 증가는 전체적인 산출물의 품위를 저하시키는 요인으로 작용할 수 있으며, 또한 적정 침강 시간 이상의 부유 산물을 회수하는 것도 경제적인 측면에서는 바람직하지 못하므로 산출물 및 산출물의 품위를 평가함으로써 적절한 분리 공정을 수립하는 것이 타당할 것으로 보인다.

#### 고순도화 공정의 최적화 및 분리 산물의 특성

본 연구에서는 초음파 해쇄 및 침강 분리 실험의 결과를 토대로 전체적인 고순도화 공정을 수립하고자 하였다. 이는 침강에 의한 입자 분리에 있어서 적절한 슬러리의 농도, 해쇄 시간,

침강 분리 시간 등의 설정은 상호 밀접한 관계를 가지고 있으며 몬모릴로나이트의 단위 시간당 생산량을 결정하는 중요한 인자가 될 뿐만 아니라 몬모릴로나이트의 품위를 결정하는 요인으로도 작용하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 침강 분리 입자의 크기에 따른 CEC의 변화를 관찰함으로써 최적의 침강 분리 조건을 설정하고자 하였다. Fig. 4는 부유 산물의 평균 입자 크기와 CEC의 변화를 나타낸 것으로 부유 산물의 평균 입도가  $10 \mu\text{m}$  이하가 되면 CEC가 크게 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 몬모릴로나이트의 단일 입자 크기가  $10 \mu\text{m}$  이하의 미립으로 존재함을 의미하는 것이며, 따라서 이와 같은 조건에 의해 해쇄에 따른 슬러리의 농도, 해쇄 시간, 침강 분리 시간 등을 설정할 수도 있을 것으로 판단하였다.

G-13 시료의 경우는 석영, 장석 등의 불순 광물들 이외에도 상자성 물질들을 상당량 함유하고 있기 때문에 침강 분리 후 습식 자력 선별을 통해 자성 물질을 분리하고자 하였으며 전체적인 고순도화 공정은 다음과 같다. 7 wt.%의 슬러리를 30분 동안 초음파 해쇄한 후 해쇄 산물에 대하여 슬러리 농도 조절 없이 30분간 침강시켜 부유 산물을 회수하였다. 그 결과 Table 2와 같이 부유 산물은 60 wt.%가 회수되었으며,

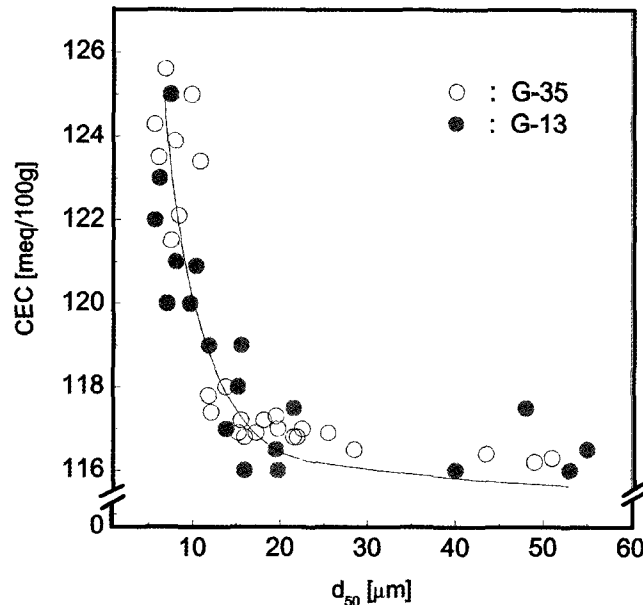
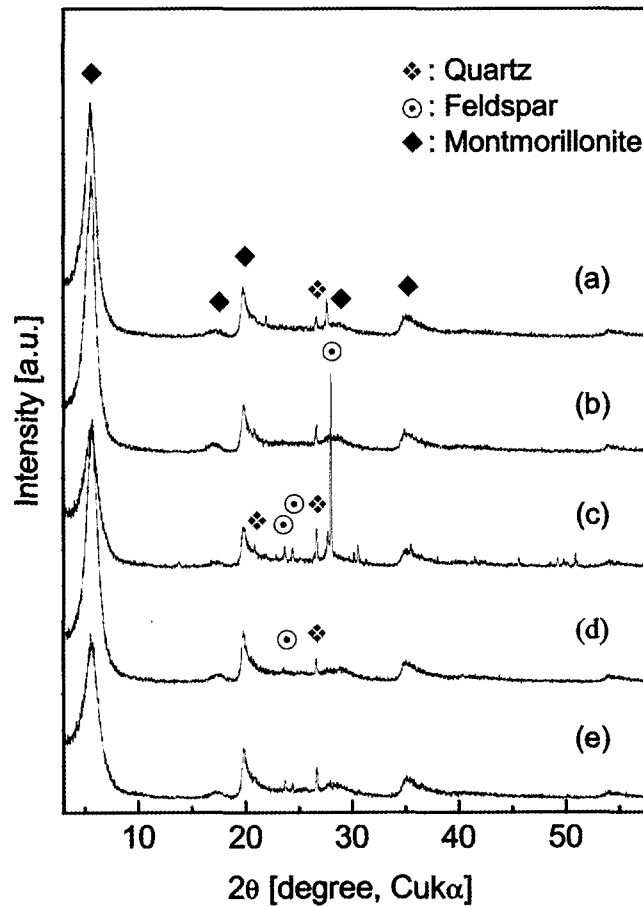


Fig. 4. Relationship of particle size and CEC of the samples.

**Table 2.** Chemical compositions and CEC of the purified products of G-13 sample

	wt. (%)	Chemical composition										CEC (meq/100 g)
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	LOI		
Float	Non-mag.	52.2	57.10	19.77	7.84	1.36	2.99	0.36	0.06	0.54	9.92	119.4
	Mag	7.8	57.63	19.02	8.48	1.38	2.71	0.32	0.06	0.70	9.61	95.0
	Total	60.0	57.16	19.69	7.91	1.37	2.96	0.35	0.06	0.56	9.89	116.2
Sink	40.0	58.78	19.48	7.25	2.21	2.16	0.52	1.56	0.81	7.16	46.5	



**Fig. 5.** XRD patterns of the separated products of G-13 sample ((a) raw, (b) float, (c) sink and (d) non-magnetic and (e) magnetic fractions).

이때, 회수되는 산물에 대하여 습식 자력 선별을 통해 자성 산물을 제거하면 최종적으로는 전체의 약 52 wt%가 회수되며, CEC는 119.4 meq/100 g로 나타났다. 고순도화 단위 공정별 산물에 대한 X-선 회절 분석 결과 Fig. 5에서와

같이 최종 산물 중에는 원광 중에 함유되었던 일부 석영, 장석 등의 불순 광물들이 제거되었음을 확인할 수 있었다.

G-35의 경우는 불순 광물이 비교적 적은 입자로 혼재되어 있으므로 침강 분리에 앞서 이



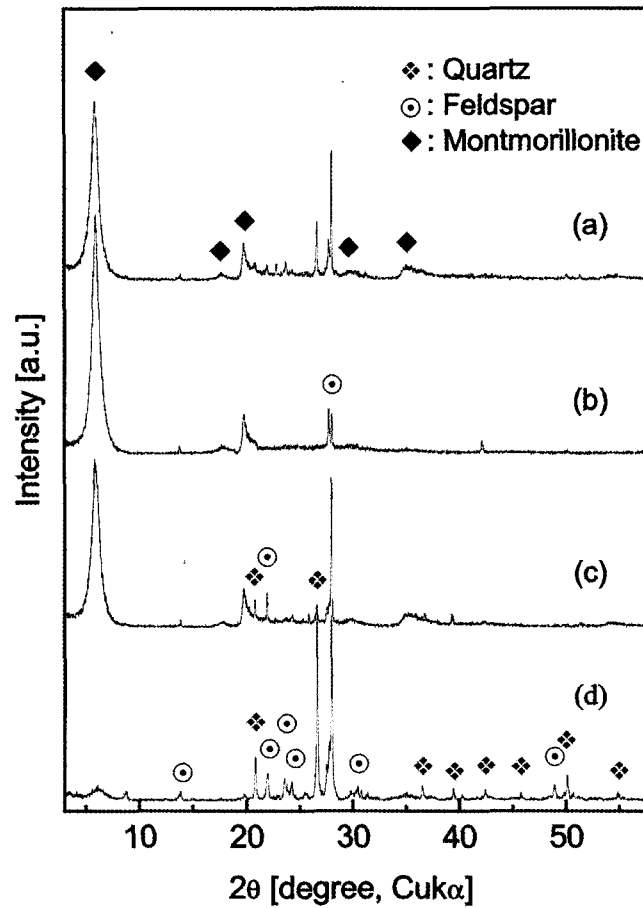


Fig. 6. XRD patterns of the separated products of G-35 sample ((a) raw, (b) float, (c) sink and (d) +150  $\mu\text{m}$  fractions).

Table 3. Chemical compositions and CEC of the purified products of G-35 sample

	wt. (%)	Chemical composition									CEC (meq/100 g)	
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	LOI		
+150 $\mu\text{m}$	15.4	59.75	18.65	4.07	3.26	2.90	1.01	1.53	0.44	8.36	28.8	
-150 $\mu\text{m}$	Float	64.2	60.21	19.70	2.16	2.82	3.17	0.741	1.37	0.22	9.15	124.5
	Sink	20.4	60.44	19.30	2.24	2.27	3.71	0.54	0.74	0.22	10.13	73.1
	Total	84.6	60.26	19.6	2.18	2.7	3.3	0.69	1.22	0.22	9.38	112.1

들을 미리 제거한다면 전체적인 품위 향상에 기여할 것으로 판단되었다. 따라서, 7 wt.%의 슬러리에 10분간 초음파를 조사한 후 습식 체가름하여 150  $\mu\text{m}$  이상의 입단을 우선 제거하였다. 습식 체가름 결과 분리된 150  $\mu\text{m}$  이상의 입단은 대부분 석영, 장석류의 불순 광물이 주

를 이루고 있었으며, 이는 Fig. 6의 X-선 회절 분석에서도 확인할 수 있었다. 150  $\mu\text{m}$  이상의 입단이 제거된 슬러리에 대하여 30분간 침강 분리를 행한 결과, Table 3과 같이 최종 산물은 약 64 wt.%가 회수되었으며, CEC는 124.5 meq/100 g으로 나타났다.

원심 분리에 의한 입자 분리 특성

일반적으로 광물의 정제 기술에서는 습식 방법의 적용이 건식 방법에 비해 보다 우수한 효과를 나타낸다. 그러나, 탈수, 건조, 해쇄 등 복잡한 후처리 공정을 거쳐야 한다는 단점을 지니고 있어 경제적인 측면에서는 공정의 적용에 한계가 있다. 그러나, 본 연구는 고순도의 천연 층상 광물의 회수에 그 목적이 있으므로 경제적인 측면에서는 다소 불리하지만 고순도의 몬모릴로나이트 입자만을 선택적으로 회수하기 위해서는 원심 분리를 이용한 입자 분리 기술의 적용이 필요하다고 판단되었다.

본 연구에서는 정제 효과가 보다 우수한 G-35를 대상으로 원심 분리에 의한 입자 분리

를 시도하였다. 입자 분리는 초음파 해쇄된 슬러리를 체가름하여 150  $\mu\text{m}$  이상의 입단을 제거한 후 슬러리의 농도를 3 wt.% 내외로 조절한 후 행하였는데, 이는 슬러리의 농도를 변화시키면서 원심 분리 효과를 측정하는 예비 실험 결과, 슬러리의 농도가 3 wt.%를 초과하는 경우에는 몬모릴로나이트 입자의 분리 효율이 크게 감소하는 경향을 보였기 때문이다. 원심 분리기의 조작성은 500 rpm에서 침강 산물과 부유 산물을 분리, 침강 산물을 1차 제거한 후 부유 산물에 대하여 원심 분리기의 회전수를 1,000, 2,000, 5,000 rpm으로 증가시키면서 각각의 회전수에서 침강하는 입자를 회수하였다. 그 결과 Fig. 7에서와 같이 원심 분리기의 회전수 1,000 rpm 이내에서 대부분의 불순 광물들이 분리·제거

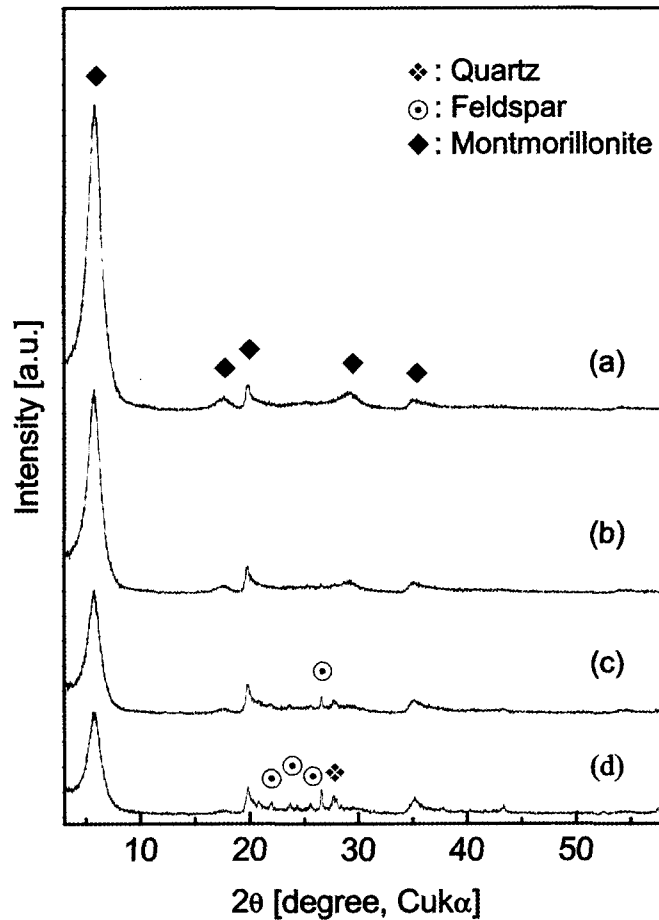


Fig. 7. XRD patterns of the centrifuged products of G-35 ((a) 5,000 rpm, (b) 2,000 rpm, (c) 1,000 rpm and (d) 500 rpm).

**Table 4.** CEC, weight and size distribution of the centrifuged products of G-35 sample

		wt.(%)	d <sub>50</sub> ( $\mu$ m)	CEC (meq/100 g)
+150 $\mu$ m		15.4	-	28.8
-150 $\mu$ m	500 rpm	34.7	49.5	89.1
	1,000 rpm	12.2	4.7	115.8
	2,000 rpm	9.8	2.1	129.2
	5,000 rpm	19.5	0.95	132.5
	over 5,000 rpm	8.4	0.48	134.4

되었음을 확인할 수 있었다. Table 4는 원심 분리기의 회전 속도별 회수 산물의 구성비(wt.%), 평균 입도(d<sub>50</sub>) 및 CEC를 나타낸 것으로 원심 분리를 이용한 입자 분리를 통해 불순 광물의 제거는 물론 균일한 입도의 sub-micron 산물을 선택적으로 분리·회수할 수 있음을 확인하였다. 이는 향후 몬모릴로나이트의 입자 크기, 결정 형태 및 종횡비(aspect ratio) 등을 선택적으로 조절 가능함을 의미하는 것으로 고순도 몬모릴로나이트 입자의 물성을 제어하는데 기여할 수 있을 것으로 판단되었다.

**결 론**

- 1) 초음파를 이용한 해쇄는 슬러리의 농도가 7 wt.%인 경우 우수한 해쇄 결과를 나타냈으며 슬러리의 농도가 증가함에 따라 해쇄 효과는 감소하였다. 해쇄 후 굵은 입자의 체 잔류물의 변화량을 측정한 결과 G-13의 경우는 초음파 조사 시간 30분, G-35의 경우는 10분 이내에 대부분의 해쇄가 종료됨을 알 수 있었다.
- 2) G-13의 경우 침강 분리 및 분리된 부유

산물에 대한 습식 자력 선별을 통해 슬러리의 약 52 wt.%를 회수하였으며, 최종 산물의 CEC는 119.4 meq/100 g이었다. 또한, G-35의 경우 초음파 해쇄, 체가름 및 침강 분리에 의해 약 64 wt.%의 최종 산물을 회수하였으며 이때의 CEC는 124.5 meq/100 g로 나타났다. 침강 분리 시간은 두 시료 모두 30분이 적당하였다.

3) G-35를 대상으로 고순도 몬모릴로나이트의 분리를 위하여 원심 분리를 이용한 입자 분리를 시도한 결과, 원심 분리기의 회전수 1,000 rpm 이내에서 석영, 장석 등 대부분의 불순 광물들이 분리·제거되었다. 원심 분리기의 회전수가 증가함에 따라 몬모릴로나이트 입자의 입도별, 품위별 분리가 가능해 불순 광물의 제거는 물론 고순도 몬모릴로나이트 입자의 물성을 제어하는데 유용한 방법으로 판단되었다.

**참 고 문 헌**

일본벤토나이트 공업회 (1986) 표준시험방법 JBAS-107-77.  
 채영배, 정수복, 김완태, 현종영, 신동철, 조효영 (2001) 국내산 벤토나이트를 이용한 나노복합재용 고순도 원료 소재화 기술. 자원활용소재워크샵, 한국지질자원연구원, 195-214.  
 Kawasumi M., N. Hasegawa, M. Kato, A. Usuki, and A. Okada (1997) Preparation and mechanical properties of polypropylene-clay hybrids. *Macromolecules*, 30, 6333-6338.  
 Kornmann, X., H. Lindberg, and L. A. Berglund (2001) Synthesis of epoxy-clay nanocomposites : Influence of the nature of the clay on structure. *Polymer*, 42, 1303-1310.

2002년 11월 14일 원고접수, 2002년 11월 29일 게재승인.