한국광물학회지 제 21 권 제 3 호 (2008년 9월)
J. Miner. Soc. Korea, 21(3), 313-320 (September, 2008)

합성 헥토라이트의 물리화학적 특성

Physicochemical Properties of the Synthetic Hectorite

채 수 천(Soo-Chun Chae)* · 장 영 남(Young-Nam Jang) · 배 인 국(In-Kook Bae) · 장 희 동(Hee-Dong Jang) · 류 경 원(Kyung-Won Ryou) · 채 영 배(Young-Bae Chae)

한국지질자원연구원
(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Yuseong-Gu, Daejeon 305-350, Korea)

요약 : 수열법에 의하여 합성된 헥토라이트의 물리화학적 특성을 연구하였다. 조건에 따른 저면간격의 변화양상을 관찰하기 위하여, 가열실험, pH 변화실험 및 유기용매 치환 실험을 수행하였으며, 헥토라이트의 특성평가를 위하여 IR 및 CEC, MB, 팽윤도, 비표면적 등을 측정하였다. 또한 헥토라이트의 기능성 향상을 위한 타물질과의 혼합 가능 고액비를 측정하였다. 가열 실험결과, (001)면의 저면간격은 12.63 Å (상온)으로부터 10.19 Å (650℃)으로 감소하였고, pH 7인 경우 가장 낮은 저면간격(13.33 Å)을 보인 반면, 이를 기준점으로 pH > 7과 pH < 7인 영역에서 점차 증가하는 추세를 보였다. 유기용매 치환 시, (001)면의 저면간격은 디에틸에테르(12.86 Å), 아세토니트릴(13.31 Å), 메칠알콜(13.59 Å), 에칠알콜(14.05 Å), 아세톤(15.69 Å) 및 에틸렌 글리콜(17.42 Å) 순으로 증가하였다. IR 분석 결과, 기존 타연구자들의 결과와 일치하였으며, 헥토라이트의 CEC, MB, 팽윤도 및 비표면적은 각각 105 cmol/kg, 80 cmol/kg, 68~74 ml/2 g 및 213 m^2/g이었다. 또한 헥토라이트의 기능성 향상을 위한 타물질과의 혼합 가능비(헥토라이트/증류수)는 2/100 이하임을 확인하였다.

주요어 : 헥토라이트, 팽윤도, 양이온교환능, MB, 저면간격

ABSTRACT : Hectorite was synthesized under hydrothermal conditions and its physicochemical properties have been investigated in terms of temperature, pH, and organic agent to observe the change of d_{001} basal spacing. The IR, CEC, MB, swelling volume and specific surface area of the hectorite were measured for the characterization. The solid/liquid ratio of hectorite to distilled water before mixing with other materials was also determined for its use as a multi-functional material. The d_{001} basal spacing decreased from 12.63 Å at room temperature to 10.19 Å at 650℃ in the heating tests. As the pH of hectorite slurry increased, the d_{001} basal spacing decreased, reaching the lowest value of 13.33 Å at pH 7 and afterward, increased. All the d_{001} basal spacings of the hectorite increased when it was intercalated with the following solvents: 12.86 Å in diethyl ether, 13.31 Å in acetonitrile, 13.59 Å in methanol, 14.05 Å in ethanol, 15.69 Åin acetone, and 17.42 Å in ethylene glycol. Our IR analysis results were in good agreement with those of other researchers. The CEC, MB, swelling volume and specific surface area of hectorite were determined to be 105 cmol/kg, 80 cmol/kg, 68~74 ml/2 g and 213 m^2/g, respectively. Also, the hectorite to distilled water ratio of 2 to 100 was found to be most favorable for mixing with other materials such as the solvents mentioned above.

Key words : hectorite, swelling volume, CEC (Cation Exchange Capacity), MB (Methylene Blue Adsorption Test), d-spacing

*교신저자: chae@kigam.re.kr

Table 1. Properties of hectorite (http://webmineral.com/data/Hectorite.shtml)

Chemical Composition	$Na_{0.4}(Mg_{5.5}Li_{0.4})Si_{7.9}O_{20}(OH,F)_4 \cdot nH_2O$
Crystal System	Monoclinic (S.G.: *C2/m*)
Cleavage	[001] Perfect
Color	White
Density	2~3 (average 2.5)
Diaphaniety	Translucent to Opaque
Fracture	Uneven
Habit	Aggregates
Hardness	1~2
Luminescence	Fluorescent
Luster	Earthy [Dull]
Streak	White

서 론

급속한 산업발달은 다양한 종류의 특성을 가진 물질을 요구한다. 특히 나노기술에 대한 범세계적인 관심은 자연계에 함유된 광물 중 입도가 가장 적은 점토광물에 초점을 맞추어 연구가 진행되고 있다. 이들 중 헥토라이트는 점토광물의 대분류 중 2:1 층형에 속하는 스멕타이트 족 중 사포나이트 아족에 속하는 점토광물이다. 사포나이트 아족에는 헥토라이트와 사포나이트가 있는데, 헥토라이트는 몬모릴로나이트와 마찬가지로 팔면체판에서 Mg를 Li이 치환함으로써 약한 층전하가 일어나는데, 이 같은 약한 층전하는 팽창 또는 팽윤성의 원인이 된다. 이러한 층간의 결합력이 약하다는 것은 층간에 존재하는 양이온의 결합력이 2:1 층형을 단단히 결합시킬 정도로 결합력이 크지 못할뿐더러 물과의 친화력 때문에 쉽게 팽창하는 것이다(문희수, 1996).

헥토라이트는 입도가 매우 작고(20~30 nm), 높은 팽윤도(high swelling) 및 濃化能(thickening capacity)적 특성을 갖는 점토광물이다. 특히 연한 색상을 보이며 철분을 함유하고 있지 않기 때문에 색상 변화가 없는 무해한 물질이다. 이러한 헥토라이트의 특성은 장기간 동안 방취 효과를 보이는 페인트의 원료, 현탁물질(suspended solid), 유체(emulsion)의 안정화제, 화장품 원료 및 알러지 치료제 등 다양한 방면에서 사용되고 있다. 표 1에 헥토라이트의 특성을 제시하였다.

헥토라이트는 Strese와 Hofmann (1941)에 의해 최초로 저온에서 합성되었다. 높은 결정도를 갖는 헥토라이트는 pH 8~9에서 얻어졌으며(Caillere *et al.*, 1954; Jaber and Miehé-Brendlé, 2008), Barrer와 Dicks (1967)에 의하여 실험실 규모로 합성되었다(Kollar *et al.*, 2001). 현재 상용화된 제품으로는 미국 Rockwood사의 Laponite와 일본 Kunimine 사에서 생산되는 합성 헥토라이트가 있다. 100℃ 이하에서 제조된 헥토라이트는 물속에서 분산 및 팽창이 되지 않기 때문, 150~300℃, 10~90 기압의 조건에서 제조되고 있다(Torii and Iwasaki, 1987; 장영남 등, 2007). 그러나 실험실적 규모이지만, 장영남 등(2007)은 100℃ 이하(90℃)인 조건에서 분산성 및 팽윤성이 우수한 합성 헥토라이트를 제조한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 장영남 등(2007)에 의해 합성된 헥토라이트를 대상으로 이들의 열적특성, 유기물 치환에 따른 저면간격 변화 및 IR 등 제반특성을 평가하여 차후 대량생산을 위한 기초자료로 활용코자 하였다.

실험방법

광물동정은 흑연 모노크로메이터가 장착된 X-선 분말 회절기(X-ray diffraction analyzer: XRD: 모델명: X'pert MPD, Phillips)를 사용하였으며, 정방위 시료에 대하여, 40 kV와 30 mA인 조건하에서 X-선 회절분석을 실시하였다. 헥토라이트의 화학조성은 Na_2O 및 Li의 경우 원자흡광분석(AAS: Atomic Absorption Spectrometry)법을, 그리고 SiO_2, MgO의 경우 습식분석법을 사용하여

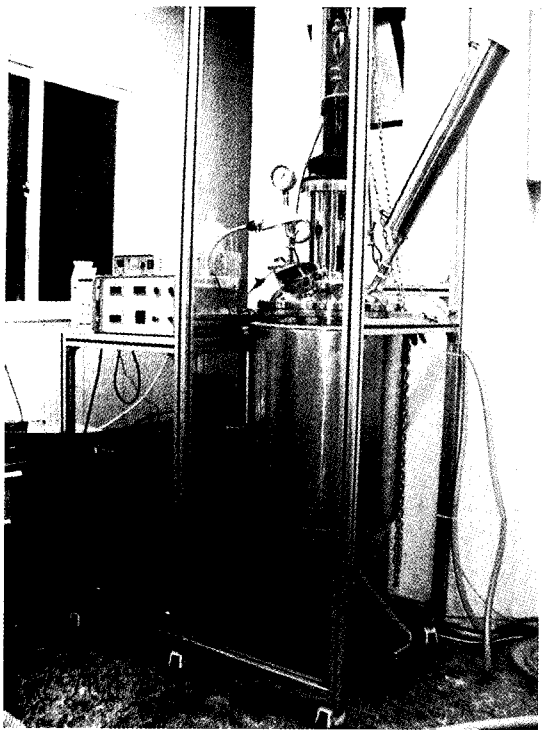

Fig. 1. Synthetic apparatus of hectorite.

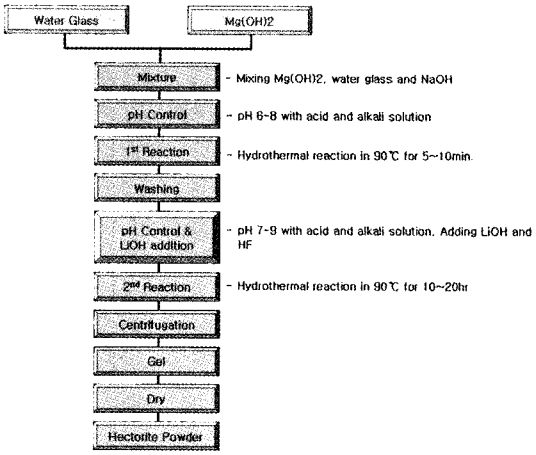

Fig. 2. Flow chart for the synthesis of hectorite.

측정하였다. 또한 메틸알콜, 에칠알콜, 아세톤, 에테르, 아세토니티릴, 에틸렌글리콜에 의한 유기화처리 후의 저면간격의 변화를 관찰하였다. 비표면적은 BET법을 사용하여 측정하였다. 그밖에 적외선 분광분석(IR: Infrared Spectrometry) 스펙트럼에 의한 분석과 더불어 암모늄법 및 메틸렌 블루 흡착실험(Methylene Blue Adsorption Test, cmol/kg)에 의한 CEC (Cation Exchange Capcity)와 증류수 하에서의 팽윤성을 측정하였다.

헥토라이트의 특성평가를 위한 대상시료는 장영남 등(2007)에 의해 합성된 헥토라이트였다. 따라서 본고에서는 헥토라이트의 합성에 대한 실험장치(그림 1) 및 실험과정(그림 2)만을 제시코자 한다.

결과 및 토의

헥토라이트의 팽윤실험

일반적으로 점토광물 중 팽윤현상이 두드러진 광물로는 몬모릴로나이트와 헥토라이트 등이 있다. 현재까지 연구된 몬모릴로나이트의 팽윤현상은 3가지 타입으로 나뉜다(표 2). 첫 번째 타입의 팽윤은 실리케이트 층간에 존재하는 양이온의 수화반응이 원인으로, 결정구조는 유지한 채 d-spacing이 ~10 Å에서 22 Å으로 증가한다. 두 번째 타입은 층간에 형성된 electric double layer에 의해 생성된 반발력이 층간에 존재하는 인력(반데르발스 인력)보다 커서 몬모릴로나이트 시트의 분리가 가능하게 된다. 그러나 이때는 몬모릴로나이트 시트의 말단과 층간의 상호작용(edge-to-face bond)만이 우세하게 나타나는데 이로 인해 팽윤상태에서는 paste 또는 gel과 같은 거동을 보이게 된다. 세 번째 타입은 물의 함량이 더욱 증가되었을 때, edge-to-face bond가 미약한 외력에 의해서도 소멸되어 겔-졸과 같은 거동을 보인다(채영배 등, 2005).

헥토라이트는 몬몰리로나이트보다도 팽윤도가 높은 것으로 알려져 있다. 이러한 높은 팽윤도는 헥토라이트의 활용 측면에서 장단점을 가진다. 즉 부적절한 고액비로 인하여, 여타 물질과의 혼합 시, 교반 불능상태를 야기함으로써, 매우 낮은 혼합도를 나타낼 수 있으며, 이와는 대조적으로 제습 등의 목적으로 사용할 때는 매우 유리한 이중적인 측면을 가진다. 물론 일반적으로 산업계에서는 이러한 성질을 갖는 물질의 경우, 분산제를 투입하는 경우가 많기는 하지만, 본 실험은 교반제에 의존하지 않아야 하는 경우에 대비한 실험이었다. 따라서 규격화된 팽윤도(시료량/증류수의 부피 = 2 g/100 ml)의 측정과는 별도로, 헥토라이트(H, g) : 증류수(W, ml) = 0.25~2 : 100인 비를 설정하여 혼합·교반 가능 비를 결정하는 실험을 수행

Table 2. Swelling behavior of montmorillonite in aqueous system (Chae *et al.*, 2005)

Region	State of clay/ water system	XRD pattern	Water content (g/g)	Nature of interlayer force	
				Repulsive	Attractive
1	Solid, Crystalline	Sharp	0~0.7	Cation hydration	Electrostatic
2	Paste-gel	Very diffuse maxima	0.7~20	Diffuse double layer interaction	Frictional Edge-to-face bond
3	Gel-sol	Only central scatter	>20	Diffuse double layer interaction Thermal motion	Edge-to-face Edge-to-edge bond

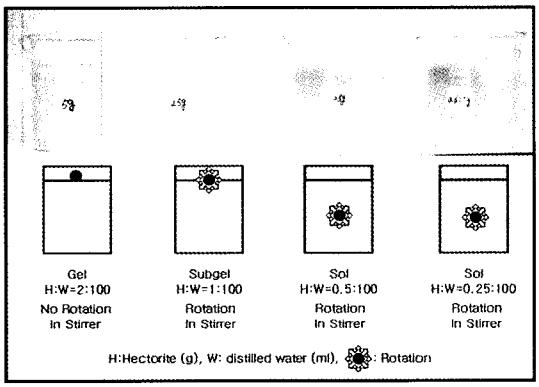

Fig. 3. Gelation with the ratio of hectorite (H) : Water (W).

하였다(그림 3). 실험결과, H : W = 0.25~1.0 : 100에서 교반이 가능하였으나 H : W = 2 : 100에서는 현저한 겔화가 일어나 교반이 불가능하였다. 따라서 이러한 고액비(H : W = 2 : 100)는 헥토라이트에 유기물 첨가 등 다양한 물성을 갖는 물질 제조에 있어, 균질화의 임계비임을 확인하였다.

헥토라이트의 화학조성

화학조성(표 3)으로부터 계산된 합성 헥토라이트의 화학식은 $Na_{1.1}(Mg_{5.6}Li_{0.5})\ Si_{7.8}O_{20}(OH,F)_4 \cdot nH_2O$로, 실제 전형적인 헥토라이트 $[Na_{0.4}(Mg_{5.5}Li_{0.4})\ Si_{7.9}O_{20}(OH,F)_4 \cdot nH_2O]$와 비교 시, Na_2O가 상당히 초과된 양상을 보였다. 이러한 결과는 헥토라이트에 있어 Na의 함량이 다소 넓은 범위를 가지고 있음을 지시하고 있다.

Table 3. Chemical composition of the synthetic hectorite (wt%)

SiO_2	MgO	Na_2O	Li_2O
56.70	27.50	4.08	0.97

가열온도에 따른 회절특성

가열온도는 250~850℃로, 각 목적온도에서 5시간 동안 충분히 가열한 후 X-선 회절분석을 실시하였다. 상온에서의 정방위 시료에 대한 X-선 회절 분석 결과 (001) 피크에 해당되는 회절선은 12.63 Å이었다. 이 피크는 250℃~450로 가열 시, 매우 넓은 양상을 띠는데, 450℃의 경우 (001) 피크는 12.09 Å으로 감소되다가, 650℃로 가열하였을 때, 전체적인 회절 패턴은 헥토라이트와 유사하였으나, 10.19 Å으로 현저히 감소된 것으로 측정되었다. 또한 850℃에서는 헥토라이트 대신 엔스테타이트, 석영 및 미지의 광물로 분해되는 것이 관찰되었다(그림 4). 따라서 헥토라이트의 열적 안정성의 한계는 850℃ 이하일 것으로 추론된다.

pH 변화에 따른 특성

pH에 따른 헥토라이트의 저면간격 변화를 관찰하기 위하여, 헥토라이트(H:g)/증류수(W, ml) = 4 : 40인 비를 사용하였고, pH는 1, 3, 5, 7, 9, 11로 질산을 사용하여 조절하였다. 앞에 기술한 팽윤실험에서 교반 가능한 H/W = 0.25~1 : 100인 비를 사용하지 않은 것은 헥토라이트의 물에 대

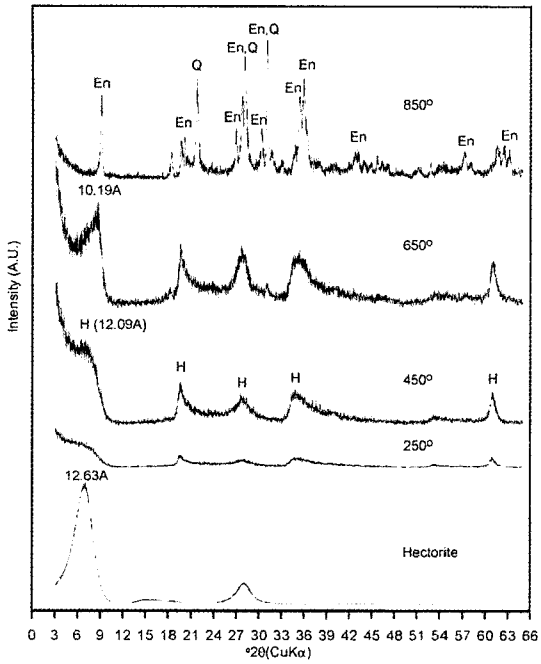

Fig. 4. XRD patterns of hectorite with the calcination temperature. H: hectorite, En: enstatite, Q: quartz.

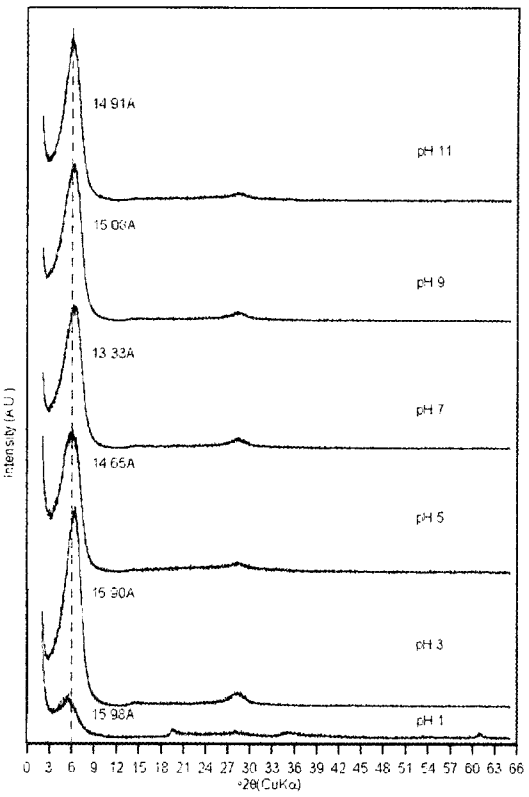

Fig. 5. XRD patterns of hectorite with pH.

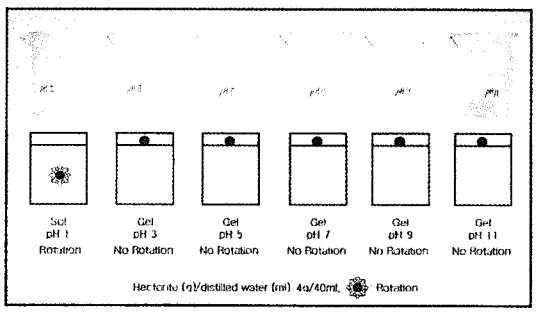

Fig. 6. Gelation of hectorite with pH.

한 높은 흡착능력을 감안하여 pH에 따른 영향을 배가시키기 위함이었다. 따라서 첨가된 증류수가 모두 흡수되어 gel화 된(약 1시간 소요) 시료에 대하여 X-선 회절실험을 실시하였다. 분석결과, pH 3~11인 범위에서 전형적인 헥토라이트의 패턴을 갖는데 반하여, pH 1인 경우에는 회절강도가 현저히 감소되었다. 저면간격의 변화는 pH 1~7인 범위에서 15.98 Å으로부터 13.33 A으로 감소되었으나, pH 9 이상에서 약 15 Å을 유지하였다(그림 5). pH별 헥토라이트의 외형상에는 큰 차이를 보였다. 즉 pH 3~5까지는 1 시간 후에 모든 용액이 헥토라이트에 흡수되어 gel 상태를 보인 반면, pH 1에서는 sol 상태를 보였다. 이는 pH와 비례하여 팽윤도가 증가하는 것으로 판단되는데, 이는 헥토라이트의 생성조건인 알칼리성과 밀접한 관계를 갖는 것으로 해석되었다(그림 6).

유기용매 치환에 따른 특성

합성 헥토라이트에 대한 유기 용매 처리시 저면간격을 관찰하였다. 유기용매로써 일반적으로 점토광물에서 사용되는 에칠렌 글리콜은 물론 아세톤, 에칠알콜, 메칠알콜, 아세톤, 디에틸에테르(Diethyl Ether: $C_2H_5OC_2H_5$) 및 아세토니트릴(Acetonitrile: CH_3CN) 등을 사용하였다. 실험방법은 헥토라이트 시료 1 g을 10 ml의 증류수와 혼합한 후, 48시간동안 방치시켜 이따금씩 흔들어 주었다. 고액분리는 원심분리를 사용하여 고상의 헥토라이트를 회수한 후, X-선 회절분석을 통해 저면간격의 변화를 관찰하였다. (001)면의 저면간격은 디에틸에테르(12.86

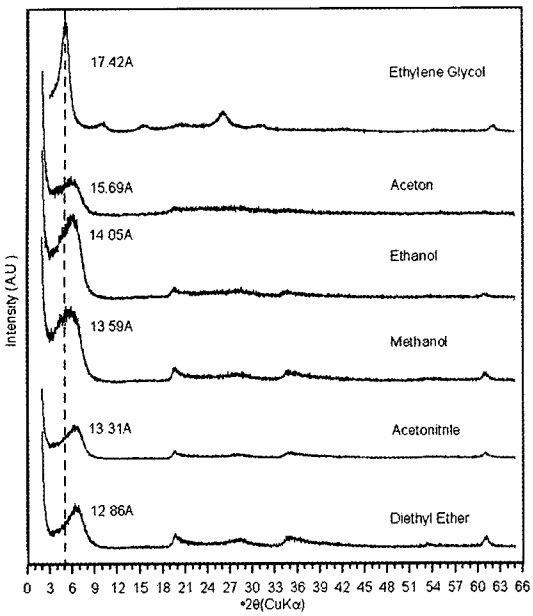

Fig. 7. XRD patterns of hectorite with organics agents.

Å), 아세토니트릴(13.31 Å), 메칠알콜(13.59 Å), 에칠알콜(14.05 Å), 아세톤 (15.69 Å) 및 에틸렌 글리콜(17.42 Å) 순으로 증가하였다(그림 7). 이들 유기용매 중 아세톤과 에틸렌 글리콜의 경우, 유기용매처리를 하지 않은 시료(12.63 Å: 그림 4)에 비하여 각각 3.06 Å 및 4.79 Å의 층간 거리가 확장되었다. 이러한 정도의 저면간격의 팽윤은 류경원 외(2006)에 의한 유기바이델라이트의 실험에서 암시하였듯이 아세톤과 에틸렌 글리콜이 층사이에 존재하는 "hole space"로 들어가 자리를 차지하기 때문에 약간의 층간거리 확장이 부가적으로 발생한 것으로 추론될 수 있다.

IR 분석 결과

합성 헥토라이트에 대하여 적외선 흡수분광분석을 실시하고 흡광특성을 관찰하였다. 적외선 흡수분광 분석 결과, 3448, 1637 및 669 (± 657) cm^{-1}에서 각각 OH 신축진동, 단일 H_2O에 의한 층간수의 굽힘진동, OH 굽힘진동이 관찰되며, SiO에 의한 신축진동과 굽힘진동은 각각 1016 cm^{-1} 및 470 cm^{-1}에서 관찰된다(그림 8 및 표 4). 이러한 흡수분광 패턴은 기존의 연구자(Kloprogge *et al.*, 2000; Farmer, 1979; Komadel *et al.*, 1996; Madejova *et al.*, 1998; van der Marel and Beutelspacher, 1976; Gadsden, 1975)들의 결과와 잘 일치하였다.

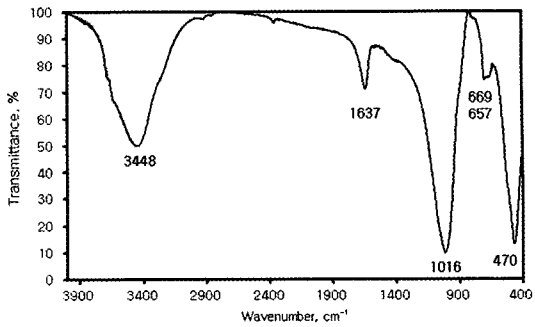

Fig. 8. IR spectra of hectorite.

CEC, MB, Swelling volume, 비표면적 분석 결과

헥토라이트에 대한 암모늄법을 사용한 양이온 교환능력(CEC)과 유기 양이온염료인 메칠렌블루의 흡착성(cmol/kg)을 측정하였다. 기존의 연구에서 스멕타이트 군에 속하는 바이델라이트의 경우 CEC가 70 cmol/kg (Kloprogge *et al.*, 1990)과 47 ~118 cmol/kg (류경원, 2007) 그리고 MB가 41 ~115 cmol/kg (류경원, 2007)였다. 또한 또 다른 스멕타이트인 사포나이트의 경우, CEC가 62~99 cmol/kg 그리고 MB가 65~85 cmol/kg (류경원, 2007)이었다. 본 연구에서 사용된 헥토라이트의 CEC는 105 cmol/kg 그리고 MB는 80 cmol/kg으로, 다소 편차가 있기는 하지만 이들과 유사한 것으로 판단되었다. 팽윤도와 비표면적이 각각 68~74 ml/2 g 및 213 m^2/g이었다(표 5).

결 론

수열법에 의하여 합성된 헥토라이트의 물리화학적 특성을 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 헥토라이트의 팽윤실험은 헥토라이트(H, g) : 증류수(W, ml) = 0.25~2 : 100인 범위에서 수행하였으며, 실험결과, H : W = 2 : 100에서 심한 겔화현상으로 인한 교반불능 상태를 야기하였다. 따라서 이 비가 헥토라이트의 기능성 향상을 위한 타물질과의 혼합에 있어 임계점임을 확인하였다.

2) 헥토라이트의 화학조성은 $Na_{1.1}(Mg_{5.6}Li_{0.5})$

Table 4. Infrared absorption band positions of the standard hectorites in comparison with some literature values (Kloprogge *et al.*, 2000)

This study	SHCa-1 Kloprogge *et al.*, 2000	SHCa-1 Farmer, 1979	Hector (Ward's) Kloprogge *et al.*, 2000	Hector Komadel, 1996 and Madejova *et al.*, 1998	Hector van der Marel and Beutelspacher, 1976	Hectorite (unknown origin) Gadsden, 1975	Assignment
	3680	3678	3679	3675	3680	3670 ± 3610 doublet?	OH stretching
	3633		3636		3623		
3448	3450	3420	3455	3427	3420	3450 ± 3400	H_2O OH stretching
	3249		3244		3225		H_2O OH stretching
	1798	1795	1797				Calcite
1637	1635	1625	1636	1626	1630	1650 ± 1630	H_2O bending
	1422	1425	1425	1432	1430	1430	Calcite CO_3 stretching
	1065	1078	1064	1070 ± 1100	1078	1075 ± 1073	SiO stretching
1016	1010	1012	1008	1012 ± 1015	1012	1011 ± 1005	SiO stretching
	875	875	874	874	877	873 ± 853	Calcite CO_3 bend
	798	800	798			820 ± 780	Silica
		780			796		Silica
	712	712	712			712 ± 696	Calcite
	702		703	701 ± 703	696		Quartz
669	667	660	668		660		OH bending
657	654		653	654 ± 657		655	OH bending
	523	530	524	522	526	533 ± 530	MgO stretching
470	468	470	469	467 ± 467	467	470 ± 465	SiO bending
	459		460		449		
	424		428		427		
		315					Calcite

Table 5. Properties of hectorite

Temp, (℃)	Final pH	BET Surface area, (m^2/g)	Swelling (ml/2 g)	CEC (cmol/kg)	MB (cmol/kg)
Room	9.12	213	68~74	105	80

$Si_{7.8}O_{20}(OH,F)_4 \cdot nH_2O$으로, 전형적인 헥토라이트 $[Na_{0.4}(Mg_{5.5}Li_{0.4})Si_{7.9}O_{20}(OH,F)_4 \cdot nH_2O]$와 비교시, Na_2O가 상당히 초과된 양상을 보였다. 이러한 결과는 헥토라이트에 있어 Na의 함량이 다소 넓은 범위를 가지고 있음을 지시하고 있다.

3) 가열실험결과, 헥토라이트의 열적 안정성은 850℃ 이하일 것으로 추론되었다.

4) pH 변화 실험에서, 저면간격은 pH 7을 중

심으로 U자형의 변화를 보였으며, pH 1인 경우, 결정도가 가장 낮은 것은 물론 모든 영역의 pH에서 유일하게 졸 상태로 존재하였다.

5) 유기용매 치환 시, (001)면의 저면간격은 디에틸에테르(12.86 Å), 아세토니트릴(13.31 Å), 메칠알콜(13.59Å), 에칠알콜(14.05 Å), 아세톤 (15.69 Å) 및 에틸렌 글리콜(17.42 Å) 순으로 증가하였다.

6) IR 분석 결과, 3448, 1637 및 669 (± 657) cm^{-1}에서 각각 OH 신축진동과 단일 H_2O에 의한 층간수의 굽힘진동, OH 굽힘진동이 관찰되며, SiO에 의한 신축진동과 굽힘진동은 각각 1016 cm^{-1} 및 470 cm^{-1}에서 관찰되었다.

7) 헥토라이트의 CEC, MB, 팽윤도 및 비표면적은 각각 105 cmol/kg, 80 cmol/kg, 68～74 ml/2 g 및 213 m^2/g이었다.

사 사

본 연구는 2008년도 일반연구사업인 "광물자원으로부터 나노소재의 원료물질 제조기술개발연구"의 일환으로 수행되었다. 논문에 대한 세심한 검토와 조언을 주신 한국슈드케미 박성원 이사님과 익명의 심사위원 그리고 영문교정에 도움을 주신 한국지질자원연구원 유효신 박사님께 감사를 표한다.

참고문헌

류경원 (2007) 수열법에 의한 스멕타이트의 합성 및 광물학적 특성. 충북대학교 박사학위 논문, 127.

류경원, 장영남, 조성준, 최상훈 (2006) 유기 바이델라이트의 합성 및 거동연구. 한국광물학회지, 19. 1. 123-128.

문희수 (1996) 점토광물학. 민음사, 649.

장영남, 배인국, 채수천, 류경원, 김유동, 장희동 (2007) 저온 수열법에 의한 헥토라이트 합성. 한국광물학회지 20, 1-6.

채영배, 정수복, 김완태, 안기오, 현종영, 임정한 (2005) 천연 층상화합물의 고순도화 및 organo-clay 제조 공정 연구, 산업자원부.

Komadel, P., Madejova, J., Janek, M., Gates, W.P., Kirckpatrick, R.J., and Stucki, J.W. (1996) Dissolution of hectorite in inorganic acids. Clays Clay Miner., 44, 228-236.

Barrer, R.M. and Dicks, L.W.R. (1967) Chemistry of soil minerals. Part IV. Synthetic alkylammonium montmorillonites and hectorites. J. Chem. Soc. A, 1523-1529.

Caillere, S., Oberlin, A., and Henin, S. (1954) Electron microscope study of several phyllitic silicates synthesized at low temperatures. Clay Minerals Bull., 2, 146-156.

Farmer, V.C. (1979) in: van Olphen, H., Fripiat, J.F. (des), Data handbook for clay minerals and other non-metallic materials, Pergamon Press, Oxford, p. 299.

Gadsden, J.A. (1975) Infrared spectra of minerals and related inorganic compounds, Butterworth, London, 277 pp.

Jaber, M. and Miehé-Brendlé, J. (2008) Synthesis, characterization and applications of 2:1 phyllosilicates and organophyllosilicates: Contribution of fluoride to study the octahedral sheet. Microporous and Mesoporous Materials, 107, 121-127.

Kloprogge, J., Frost, R.L., and Hickey, L. (2000) Infrared emissionspectroscopic study of the dehydroxylation of some hectorites. Thermochimica Acta, 345, 145-156.

Kloprogge, J.T., Jansen, J.B.H., and Geus, J.W. (1990) Characterization of synthetic Na-beidellite. Clays and Clay Miner., 16, 405-414.

Kollar, T., Konya, Z., Palinko, I., and Kiricsi, R. (2001) Intercalation of various oxide species in-between Laponite layers studied by spectroscopic methods. J. Molecular Structure, 563-564, 417-420.

Komadel, P., Madejova, J., Janek, M., Gates, W.P., Kirckpatrick, R.J., and Stucki, J.W. (1996) Dissolution of hectorite in inorganic acids. Clays Clay Miner., 44, 228-236.

Madejova, J., Bujdak, J., Janek, M., and Komadel, P. (1998) Comparative FT-IR study of structural modifications during acid treatment of dioctahedral smectites and hectorite Specrochim. Acta A54, 1397-1406.

Strese, H. and Hofmann, Z. (1941) Synthese von Magnesiumsilikat-Gelen mit zweidimensional regelmäßiger Struktur. Alleg. Chem. 247, 65-95.

Torii, K. and Iwasaki, T. (1987) Synthesis of hectorite. Clay Science, 7, 1-6.

van der Marel, H.W. and Beutelsacher, H. (1976) Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures. Elsevier, Amsterdam, 396 pp.

접수일(2008년 8월 25일), 수정일(1차 : 2008년 9월 12일), 게재확정일(2008년 9월 12일)