

# 폴리스티렌-클레이 나노 복합재료의 합성 및 차단 특성에 관한 연구

비라즈 둔가나<sup>1</sup>, 손영곤<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>공주대학교 신소재공학부

## Synthesis of polystyrene-clay nanocomposites and investigation of their barrier property

Biraj Dhungana<sup>1</sup> and Younggon Son<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Advanced Materials Science and Engineering, Kongju National University

**요 약** 고성능 고분자/클레이 나노 복합재료의 제조 과정에는 친수성을 보이는 클레이 원료 물질인 Na<sup>+</sup>-MMT (sodium monmorillonite)를 친유성을 갖도록 유기화된 계면활성제로 처리하여 개질하는 과정이 필수적이다. 이를 위하여 이 연구에서는 VDAC (vinylbenzyl-dimethyl-dodecylammonium chloride)를 간단한 화합물로부터 합성하였고 이를 이용하여 양이온 교환반응에 의하여 Na<sup>+</sup>-MMT를 개질한 후 VDA<sup>+</sup>-MMT를 제조하였다. 이를 스티렌과 혼합하여 in-situ 중합에 의하여 나노복합재료를 제조하였고 클레이의 분산성 및 차단특성을 연구하였다. 연구 결과 PS/VDA<sup>+</sup>-MMT 나노 복합재료의 경우 클레이의 분산이 Na<sup>+</sup>-MMT와 비교할 때 현저히 증가함을 확인하였고 이로 인해 유기 용매에 대한 차단 특성이 매우 우수함을 확인하였다.

**Abstract** In preparation of the high performance polymer/clay nanocomposite, it is essential to modify the hydrophilic Na<sup>+</sup>-MMT to hydrophobic alkyl ammonium-MMT via organic surfactant. The organic surfactant, VDAC (vinylbenzyl-dimethyl-dodecylammonium chloride) was synthesized from two primary chemicals and VDA<sup>+</sup>-MMT was prepared from Na<sup>+</sup>-MMT through a cation exchange reaction between Na<sup>+</sup> and VDA<sup>+</sup> (vinylbenzyl-dimethyl-dodecylammonium<sup>+</sup>) cation. VDA<sup>+</sup>-MMT was then dispersed in styrene and polystyrene/VDA<sup>+</sup>-MMT nanocomposite was fabricated by in-situ polymerization reaction. The clay dispersion and barrier property of the nanocomposite were investigated. From the investigations, it was confirmed that dispersion of the VDA<sup>+</sup>-MMT was enhanced compared with that of Na<sup>+</sup>-MMT and as a consequence of better dispersion, barrier property of organic solvent was improved in a great extent.

**Key Words** : Clay, nanocomposite, Polystyrene, In-situ polymerization

### 1. 서론

고분자-클레이 나노복합재료 (polymer-clay nanocomposite)는 기존의 복합재료에 비해 내열성, 기계적 성질 등이 우수하여 최근에 큰 주목을 받고 있다[1]. 고분자-클레이 나노복합재료는 90년대 초반 내열성이 우수하고 금속보다 가벼운 자동차 부품을 만들려는 목적으로 토요타 자동차 중앙연구소에 의해 연구된 후[2,3] 전 세계적으로 주목을

받아 수많은 연구가 진행되고 있다. 고분자-클레이 나노 복합재료는 유기 매트릭스인 고분자에 점토 광물로부터 제조된 클레이 나노 층이 분산되어 있는 재료를 말한다. 클레이가 고분자 매트릭스에 분산되어 있는 형태는 Fig. 1에 나타난 바와 같은 세 가지 형태를 보이게 된다. 클레이는 두께가 1 nm 길이와 폭이 100 nm 정도 인 한 층의 실리케이트 (silicate)가 Na (때로는 Ca)을 매개체로 이온 결합에 의해 10 ~ 100 장 정도 적층되어 있는 구조이다

\*Corresponding Author : Younggon Son(Kongju National Univ.)

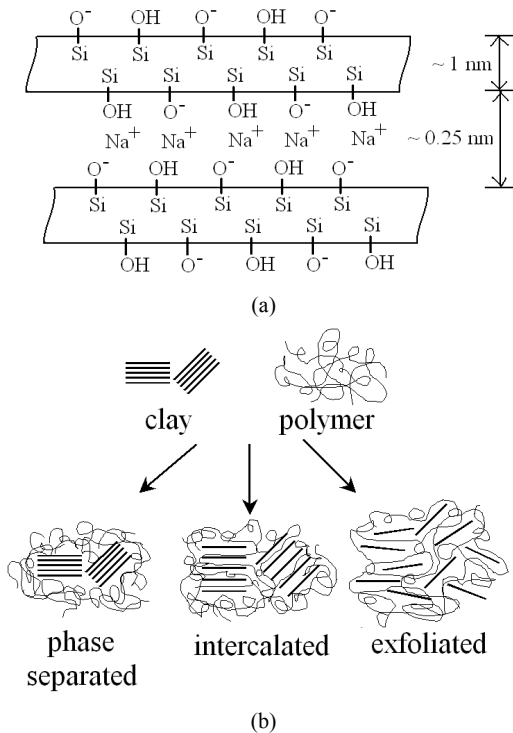
Tel: +82-17-224-6135 email: sonyg@kongju.ac.kr

Received April 10, 2013

Revised (1st May 1, 2013, 2nd May 3, 2013)

Accepted May 9, 2013

(Fig. 1(a))[4]. 첫 번째 구조는 상 분리 (phase separated) 된 구조로 클레이와 고분자간의 친화성 (affinity)이 낮아 실리케이트 층들이 원래 모양대로 뭉쳐있는 구조이다. 두 번째 구조는 고분자 사슬 들이 실리케이트 층간으로 삽입 (intercalated)이 되어 층간 거리가 원래 보다 다소 증가한 구조이다. 마지막은 고분자와 클레이의 친화성이 높아서 실리케이트 층들이 완전히 박리된 (exfoliated) 구조이다. 상분리와 층간 삽입된 구조는 실리케이트 판들이 일정한 거리를 유지하면서 규칙적인 구조를 보이지만 박리된 구조는 판들이 완전히 떨어져 나가서 방향성이 없는 등방적인 구조를 보이게 된다.



[Fig. 1] Structure of silicate (a) and clay dispersions in the polymer/clay nanocomposite (b).

일반적으로 박리된 구조가 우수한 물성의 발현을 위해서 필요한 구조라는 것이 지난 수년간의 연구에 의해서 밝혀졌다[5,6]. 그러나 클레이는 친수성 물질로 소수성인 고분자와는 친화성이 낮기 때문에 특별한 처리를 하지 않는 이상 클레이가 고분자에 박리된 구조를 보이는 것은 매우 어렵다. 따라서 친수성이 높은 클레이에 유기성분을 반응시켜 극성을 낮추는 과정이 필요하게 된다. 알킬 암모늄이온을 포함하는 물질을 클레이와 혼합시키면 이온 교환반응에 의하여 Na<sup>+</sup> 이온이 알킬 암모늄 양이온으로 대체되어 유기성분이 붙어있는 클레이가 제조된다.

이렇게 처리된 클레이는 Na<sup>+</sup>-MMT (sodium-Monmorillonite, 실리케이트의 한 종류로 대부분의 클레이 관련 연구들이 MMT를 이용하였다.) 보다 친수성이 낮아져서 고분자와 혼화성이 높아지게 된다. 사용되는 알킬기는 고분자와 유사한 구조를 가지는 것이 유리하다.

폴리스티렌 (polystyrene, PS)은 범용 고분자로 폴리올레핀, PVC와 더불어 가장 널리 사용되는 고분자이다. PS의 물성을 증가시키기 위해 PS/클레이 나노복합재료에 관한 많은 연구가 진행되었다. 이때 전술한 바와 같이 Na<sup>+</sup>-MMT를 알킬 암모늄으로 유기화시키는 과정이 필요하다. 현재까지 다양한 유기화 방법에 의하여 Na<sup>+</sup>-MMT를 개질하고 이를 이용하여 PS/클레이 나노 복합재료를 제조한 연구가 진행되었다.

Zheng과 Lee는 2-methacryloyloxyethyl hexadecyl dimethyl ammonium bromide로 개질한 clay를 styrene과 혼합한 후 in-situ 중합에 의하여 PS를 제조하여 그 특성을 연구하였다. 유기화 처리에 의하여 클레이의 분산성이 증가하였고 이에 따라 PS/클레이 나노복합재료의 치수 안정성이 크게 증가한 것을 확인하였다[7]. Okamoto등은 methyl-trioctyl-ammonium chloride로 개질된 클레이를 사용한 PS/clay 나노 복합재료의 특성에 관하여 연구하였다. 그들은 유기화 처리에 따라 클레이의 분산성이 증가하여 유리전이 온도 및 탄성율이 다소 증가함을 보고 하였다[8]. 그 외에도 octadecyl-dimethyl betaine[9], 2-(acryloyloxy) ethyl 4-benzoylbenzyl dimethyl ammonium bromide[10], VDAC (vinylbenzyl-dimethyl-dodecylammonium chloride)[11] 등 다양한 알킬 암모늄을 이용한 클레이의 개질에 관한 연구가 진행되었고 대부분 Na<sup>+</sup>-MMT에 비하여 클레이의 분산성이 증가하고 물성이 증가하는 결과를 보고하였다.

대부분의 클레이 나노 복합재료에 관련된 연구는 클레이의 분산성 및 물성 증가에 관심이 집중되어 왔다. 클레이의 형태는 전술한 바와 같이 무기재료이면서 얇은 판상형태이기 때문에 클레이의 도입에 따라 고분자 복합재료의 유기 용매에 대한 차단 특성이 증가할 것으로 예상되지만 이에 대한 실제 실험결과는 매우 드물다. PS는 비정질 고분자로서 결정성 고분자에 비해 내 용제성이 낮은 편이다. 결정성 고분자는 조직이 치밀한 결정부분이 용매의 확산을 막아주는데 반해 비정질 고분자는 그러한 부분이 없기 때문이다.

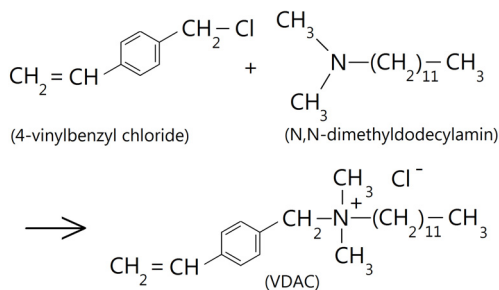
이 연구에서는 VDAC를 간단한 화합물로부터 합성하였고 이를 이용하여 양이온 교환반응에 의하여 Na<sup>+</sup>-MMT를 개질한 후 VDA<sup>+</sup>-MMT를 제조하였다. 이를 styrene과 혼합하여 in-situ 중합에 의하여 나노복합재료를 제조하였고 클레이의 분산성 및 차단특성을 연구하였다. 다양한

유기화 처리제 중에서 VDAC를 이용한 이유는 VDAC가 styrene과 비슷한 화학구조를 포함하여 PS와의 친화성이 높을 것으로 예상되었기 때문이다. PS에 소량의 VDA<sup>+</sup>-MMT를 혼합함에 따라 내 용제성이 크게 증가한 것을 관찰하였는데 PS/VDA<sup>+</sup>-MMT 나노 복합제를 활용하면 내 용제성이 필요한 여러 application (식품 용기, 냉장고 내상 재료 등)에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 실험

### 2.1 재료

유기화 처리가 되지 않은 클레이는 sodium montmorillonite (Na<sup>+</sup>-MMT)로 Southern Clay사에서 구입하였다. 이 제품은 상품명 Mineral Colloid BP로 판매되며 양이온 교환이 잘 이루어지는 Na<sup>+</sup> 양이온을 함유하고 있다. 양이온 교환능 (cation exchange capacity, CEC)는 90 mEq/100g 이다. Dimethyldodecylamine, diethyl ether, ethyl acetate, styrene 및 vinylbenzyl chloride는 Aldrich Chemical 사에서 구매하였다. styrene은 중합 금지제를 제거하기 위하여 30 °C에서 진공 증류에 의하여 정제하여 사용하였다. 라디칼 개시제인 AIBN (2,2-azobis- isobutyronitrile)는 삼전 순약에서 구입하여 사용하였다.



[Fig. 2] Reaction scheme for formation of VDAC from 4-Vinylbenzyl chloride and N,N-Dimethyldodecylamine.

VDAC 는 vinylbenzylchloride (분자량 = 152.6 g/mol)와 dimethyldodecylamine (분자량 = 213.4 g/mol) 과의 산-염기 반응에 의하여 제조하였다 [Fig. 2]. 3.201 g (= 15 mmol)의 dimethyldodecylamine이 녹아있는 diethyl ether 15 mL에 1.526 g (10 mmol)의 vinylbenzylchloride을 투입하여 stirring에 의하여 두 반응물을 충분히 혼합하였다. 반응은 상온에서 72시간 이상 진행하였다. 반응이 진행됨에 따라 생성된 VDAC는 diethyl ether에 녹지 않고 침전되었다. 침전된 생성물을 필터에 의하여 반응물로부터

분리하고 diethyl ether로 여러 번 세척한 후 진공 건조시켰다. 생성된 VDAC는 흰색 분말 형태였다.

### 2.2 VDA<sup>+</sup>-MMT의 제조

유기화 MMT는 MMT 층 들 사이에 존재하는 Na<sup>+</sup> 양이온과 VDAC의 VDA<sup>+</sup> 양이온의 교환 반응에 의하여 제조되었다. 2.5 g의 Na<sup>+</sup>-MMT를 포함하는 250 mL 수용액에 3 mmol의 VDAC를 천천히 가하면서 교반하였다. 반응은 상온에서 3시간 정도 진행하였고, 생성된 유기화 클레이 (VDA<sup>+</sup>-MMT)는 필터링에 의하여 분리하였고 증류수로 여러 번 세척하고 건조하였다.

### 2.3 PS-MMT 나노 복합재료의 합성

정해진 양의 VDA<sup>+</sup>-MMT과 styrene을 비이커에서 마그네틱 바로 혼합시킨 후 조음과 세척기에서 충분히 분산되도록 하였다. styrene 기준으로 0.5 wt.%의 AIBN을 가하고 15 분간 교반한 후 60 °C, 질소 분위기에서 과상 중합 (bulk polymerization)으로 24 시간 중합을 진행하였다.

### 2.4 나노 복합재료의 특성분석

제조된 나노복합재료를 200 °C에서 압축 성형하여 두께 1 mm 지름 25 mm의 디스크 시편을 제조하였다. 제조된 시료를 이용하여 광각 X-선 데이터 (Wide angle X-ray)를 리카쿠 D/MAX-IIIC X-ray diffractometer (Cu Kα radiation, wavelength = 1.5418, accelerating voltage = 40 kV)에서 측정하였다. 회절 스펙트럼은 2θ 범위 1.28°에서 10° 까지 측정하였다.

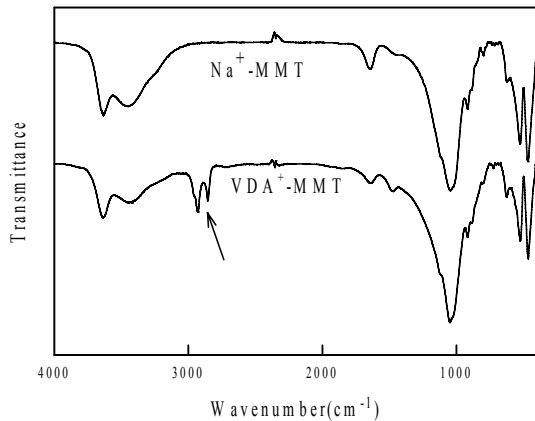
Na<sup>+</sup>-MMT와 VDA<sup>+</sup>-MMT를 분쇄기로 분말 형태로 제조한 후 KBr과 혼합하여 압축 성형시편을 제조하였다. 제조된 시편의 FTIR (Fourier transform infrared) 스펙트럼을 PerkinElmer FTIR spectrometer을 이용하여 측정하였다.

제조한 나노복합재료의 차단 특성 (barrier property) 관찰하기 위하여 메탄올과 에탄올의 흡수량 (uptake)을 시간에 따라서 측정하였다. 압축성형으로 제조한 디스크 형태의 시편을 24 시간 이상 진공 건조한 후 무게 (M<sub>0</sub>)를 측정하고, 에탄올과 메탄올에 잠기게 하여 일정 시간이 흐른 후 꺼내어 실험실 용 티슈로 표면에 묻은 용매를 제거한 후 무게 (M(t))를 측정하였다. 흡수율은 아래와 같이 계산하였다.

$$\text{Uptake (\%)} = 100 \times (M(t) - M_0) / M_0$$

### 3. 결과 및 토론

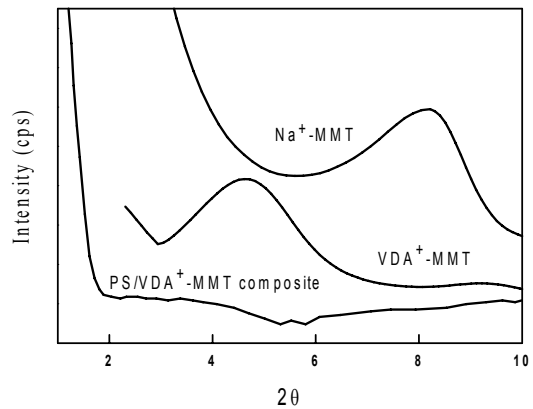
Fig. 3에  $\text{Na}^+$ -MMT와  $\text{VDA}^+$ -MMT의 FTIR 스펙트럼 결과를 나타냈다.  $\text{Na}^+$ -MMT 스펙트럼의 경우,  $3624 \text{ cm}^{-1}$ 에서 흡수 띠 (band)가 관찰되는데 이는 MMT의 Al-OH 쌍에 회합되어 있는 (coordinated) OH 기의 신축 진동 (stretching vibration)에 의한 것으로 알려져 있다.  $1032 \text{ cm}^{-1}$  부근의 넓고 강한 흡수띠는 Si-O의 신축에 해당되고  $528$  and  $467 \text{ cm}^{-1}$  부근의 흡수띠는 Al-O-Si, Si-O-Si, 및 Si-O 변형에 의한 것이다[12,13].  $\text{Na}^+$ -MMT의 높은 친수성에 의해 흡수된 수분 때문에  $3447 \text{ cm}^{-1}$  부근에서  $\text{H}_2\text{O}$ 의 신축 진동에 의한 넓은 흡수띠가 관찰된다.  $\text{H}_2\text{O}$ 의 굽힘 진동 (bending vibration)은  $1639 \text{ cm}^{-1}$  부근의 흡수띠를 형성시킨다[14].  $\text{VDA}^+$ -MMT의 FTIR 스펙트럼에서는  $\text{Na}^+$ -MMT에서는 관찰되지 않은 두 개의 좁은 흡수띠가 관찰된다 ( $2922$  와  $2822 \text{ cm}^{-1}$ ). 이는  $\text{VDA}^+$ -MMT에 있는 C-H 기 사이의 상호작용에 의한 흡수띠로 VDAC에 회하여  $\text{Na}^+$ -MMT의 유기화가 잘 수행되어 원하는  $\text{VDA}^+$ -MMT가 잘 형성 되었음을 알 수 있다.



[Fig. 3] FTIR spectra for two different monmorillonites.

유기화 처리되지 않은 클레이는 친수성 (hydrophilic)을 나타낸다. 이 연구에서 사용된 클레이는  $\text{Na}^+$  양이온을 함유한 종류인데, 이  $\text{Na}^+$ 는 쉽게 유기화 양이온으로 교환될 수 있다. 이 연구에서는 Fig. 2에 나타낸바와 같은 vinylbenzyl-dimethyl-dodecylammonium chloride (VDAC)를  $\text{Na}^+$ -MMT와 혼합하여 vinylbenzyl-dimethyl-dodecylammonium ( $\text{VDA}^+$ ) 유기화 양이온과  $\text{Na}^+$  양이온을 교환하여  $\text{VDA}^+$ -MMT를 제조하였다. 이렇게 유기화 처리된 클레이는 친유성 (hydrophobic)이 증가하여 PS와의 분산성이 증가할 것으로 예상된다.

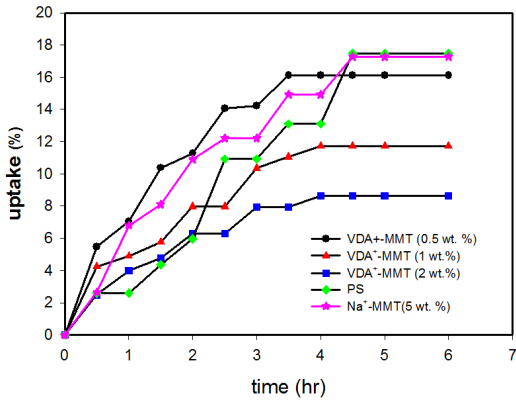
제조한  $\text{VDA}^+$ -MMT와 PS/ $\text{VDA}^+$ -MMT 나노복합재료의 XRD 패턴을  $\text{Na}^+$ -MMT와 비교하여 Fig. 4에 나타냈다. 유기화 처리하지 않은  $\text{Na}^+$ -MMT는  $2\theta = 8.2^\circ$  부근에서 피크를 나타냈고,  $\text{VDA}^+$ -MMT는 피크의 위치가 더 낮은 각도인  $2\theta = 4.6^\circ$ 에 나타났다. 이는  $\text{Na}^+$  비해 크기가 큰  $\text{VDA}^+$  양이온이 클레이의 층간 사이로 삽입되어 층간 거리를 증가시켰음을 보여주는 결과로 유기화 처리가 원하는 데로 잘 되었음을 의미한다. 또한 이렇게 유기화 처리된 클레이를 이용한 PS/ $\text{VDA}^+$ -MMT 복합재료는 XRD 패턴에 피크가 관찰되지 않은 것으로 보아 클레이 층 하나 하나가 PS에 잘 분산되어 박리된 구조를 보이는 것으로 생각된다. 이는 유기화 처리에 의하여 클레이와 PS의 친화도가 증가하였기 때문이다.



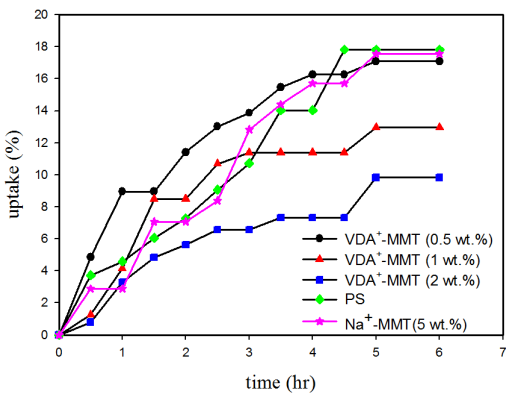
[Fig. 4] X-ray diffraction patterns of the  $\text{Na}^+$ -MMT,  $\text{VDA}^+$ -MMT and PS/ $\text{VDA}^+$ -MMT nanocomposites.

$\text{VDA}^+$ -MMT를 styrene에 혼합하여 괴상 중합에 의하여 나노 복합재료를 제조하였고 제조한 나노 복합재료의 내 화학성을 측정하기 위하여 에탄올 및 메탄올의 흡수 (uptake) 실험을 하였다. Fig. 5에 시간에 따른 흡수량을 나타냈다. 시간이 지나면서 에탄올 및 메탄올의 흡수량이 증가하여 5시간 정도가 지나면 더 이상 흡수량이 증가하지 않는 평형 상태를 보였다. 클레이가 없는 순수한 PS는 최종적으로 18 wt. % 정도의 메탄올과 에탄올을 흡수하는 것으로 관찰되었다. 반면 PS에  $\text{VDA}^+$ -MMT가 혼합되면 최종 흡수량이 감소되었고 초기 흡수 속도 또한 감소되는 것을 관찰 할 수 있었다. 그러나  $\text{Na}^+$ -MMT가 혼합되어 있는 경우에는 5 wt.% 나 혼합했음에도 흡수 속도 및 최종 흡수량이 거의 증가하지 않음을 볼 수 있다. 이는  $\text{Na}^+$ -MMT 경우 PS와의 친화도가 낮아 잘 분산되지 않는 미시구조를 가지게 되면 이로 인해 에탄올과 메탄올과 같은 저분자 량물질이 흡수하는데 방해가 되지 않

기 때문이다. 반면,  $VDA^+$ -MMT는 VDA에 존재하는 방향족과 PS의 친화도가 높아 클레이의 분산이 완벽하게 박리된 구조를 보이고 (Fig. 4 XRD pattern 참조) 이로 인해서 저분자량 물질이 확산되는데 barrier로서 방해를 하기 때문인 것으로 판단된다. 이 메카니즘을 Fig. 6에 나타냈다. 클레이가 박리된 구조에서는 유기 용매가 확산되기 위해서 클레이 주위를 돌아가야하기 때문에 긴 경로를 거쳐야 한다. 그러나 클레이가 분산되지 않고 자기들끼리 뭉친 경우에는 클레이 사이에 고분자만으로 이루어진 빈 공간이 넓기 때문에 짧은 거리만 이동하면 확산이 가능하다. 이로 인해 박리된 구조에서는 저분자 유기 용매들이 흡수하는데 클레이가 장애로 작용하여 내용제성이 높아지게 된다.



(a) methanol

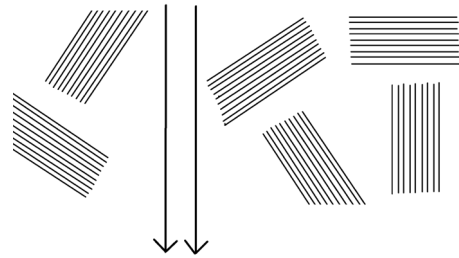


(b) ethanol

[Fig. 5] Methanol and ethanol uptake experiments as a function of time for PS/ $VDA^+$ -MMT nanocomposites with various clay content and PS/ $Na^+$ -MMT (5 wt. %) nanocomposites



(a) exfoliated structure



(b) phase separated structure

[Fig. 6] Schematic diagram for effect of clay dispersion on the barrier property of polymer/silicates nanocomposite.

#### 4. 결론

VDAC는 vinylbenzylchloride와 dimethyldodecyl-amine 으로부터 산-염기 반응에 의하여 쉽게 합성되는 것을 확인하였다. 제조한 VDAC는 알킬암모늄 + 착이온 (complex ion)과 염소 음이온 상으로 존재하는데, 암모늄 양이온이  $Na^+$ -MMT에 존재하는  $Na^+$  양이온과 쉽게 교환되어  $VDA^+$ -MMT이 제조되었다. FTIR 분석을 통하여  $VDA^+$ -MMT이 성공적으로 제조되었음을 확인하였다. 또한 이렇게 제조한  $VDA^+$ -MMT를 styrene과 혼합하여 in-situ 중합에 의하여 PS/클레이 나노 복합재료를 제조하였는데 XRD 분석을 통하여  $VDA^+$ -MMT가 PS상에 박리된 구조로 존재함을 확인하였고 이는 VDA+에 있는 방향족이 styrene과 친화도를 높여 얻어진 결과인 것임을 알 수 있었다. 제조한 나노복합재료의 용매에 대한 차단특성을 관찰한 결과 유기화 처리된  $VDA^+$ -MMT가  $Na^+$ -MMT에 비해 차단 특성이 높음을 확인하였고 이는  $VDA^+$ -MMT가 PS 상에 완벽히 분산된 구조에 기인함을 알 수 있었다.

## References

- [1] B. M. Novak. "Hybrid Nanocomposite Materials – between inorganic glasses and organic polymers ", Adv. Mater., Vol. 5, pp. 422-433, 1993.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/adma.19930050603>
- [2] A. Usuki, Y. Kojima, M. Kawasumi, A. Okada, A. Fujishima, T. Kurauchi, O. Kamigaito, "Synthesis of nylon 6-clay hybrid", J Mater Res Vol 8, pp.1179 - 1184, 1993.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1557/JMR.1993.1179>
- [3] Y. Kojima, A. Usuki, M. Kawasumi, A. Okada, A. Fujishima, T. Kurauchi, O. Kamigaito, "Mechanical properties of nylon 6-clay hybrid", J Mater Res, Vol 8, 1185 - 1189, 1993.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1557/JMR.1993.1185>
- [4] T. J. Pinnavaia, "Intercalated Clay Catalysts", Science, Vol 220(4595), pp. 365-371, 1983.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.220.4595.365>
- [5] R. A. Vaia, E. P. Giannelis, "Polymer Melt Intercalation in Organically-Modified Layered Silicates: Model Predictions and Experiment," Macromolecules, Vol. 30(25), pp. 8000-8009, 1997.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ma9514333>
- [6] C. M. Koo, S. M. Kim, I. J. Chung, "Study on Morphology Evolution, Orientational Behavior, and Anisotropic Phase Formation of Highly Filled Polymer-Layered Silicate Nanocomposites," Macromolecules, Vol. 36(8), pp. 2748-2757, 2003.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ma021377n>
- [7] C. Zeng, L. J. Lee, "Poly(methyl methacrylate) and Polystyrene/Clay Nanocomposites Prepared by in-Situ Polymerization", Macromolecules, Vol. 34, pp. 4098-4103, 2001.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ma010061x>
- [8] M. Okamoto, S. Morita, H. Taguchi, Y. H. Kim, T. Kotaka, H. Tateyama, "Synthesis and structure of smectic clay/poly(methyl methacrylate) and clay/polystyrene nanocomposites via in situ intercalative polymerization", Polymer, Vol. 41, pp 3887-3890, 2001.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861\(99\)00655-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861(99)00655-2)
- [9] P. Meneghetti, S. Qutubuddin, "Synthesis, thermal properties and applications of polymer-clay nanocomposites", Thermochemica Acta, Vol. 442, pp. 74 - 77, 2006.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2006.01.017>
- [10] Y. Zhong, Z. Zhu, and S.-Q. Wang, "Synthesis and rheological properties of polystyrene/layered silicate nanocomposite", Polymer, Vol. 46, pp. 3006 - 3013, 2005.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymer.2005.02.014>
- [11] X Fu, S Qutubuddin, "Polymer - clay nanocomposites: exfoliation of organophilic montmorillonite nanolayers in polystyrene", Polymer, Vol. 42, pp. 807 - 813, 2001.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00385-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00385-2)
- [12] J. Russell, A. Fraser, "Infrared methods in clay mineralogy," in Spectroscopic and Chemical Determinative Methods, M. J. Wilson, editor, Chapman and Hall, London, pp. 11 - 67, 1994.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-0727-3\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-0727-3_2)
- [13] J. Madejová, P. Komadel, "Baseline studies of the clay minerals society source clays: infrared methods," Clays and Clay Minerals, vol. 49, pp. 410 - 432, 2001.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1346/CCMN.2001.0490508>
- [14] J. Madejová, M. Janek, P. Komadel, H. J. Herbert, H. C. Moog, "FTIR analyses of water in MX-80 bentonite compacted from high salinary salt solution systems," Applied Clay Science, Vol. 20, pp. 255 - 271, 2002.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-1317\(01\)00067-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-1317(01)00067-9)

### 손 영 곤(Younggon Son)

[정회원]



- 1988년 2월 : 서울대학교 화학공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 한국과학기술원 화학공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 서울대학교 화학공학과 (공학박사)
- 2002년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 신소재공학부 교수

<관심분야>

고분자가공, 고분자 블렌드

### 비라즈 둔가나(Biraj Dhungana)

[정회원]



- 2011년 11월 : Kathmandu University 기계공학과 (공학사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 공주대학교 고분자공학과 (공학석사)

<관심분야>

고분자 나노 복합재료