

수열법에 의한 수산화 마그네슘의 합성과 표면개질

이해용 · 강국현 · 이동규[†]

[†]충북대학교 공과대학 공업화학과
(2012년 3월 5일 접수 ; 2012년 3월 23일 수정 ; 2012년 3월 25일 채택)

Synthesis and Surface Modification of Magnesium Hydroxide by Hydrothermal Method

Hae-Young Lee · Kuk-Hyoun Kang · Dong-Kyu Lee[†]

[†]Department of Engineering Chemistry, Chungbuk National University
Cheongju 361-763, Korea

(Received March 5, 2012 ; Revised March 23, 2012 ; Accepted March 25, 2012)

요 약 : 본 연구에서는 올레산을 표면개질제로 사용하여 수열법을 통해 수산화 마그네슘을 합성하였다. 수산화 마그네슘은 알칼리 조건에서 올레인산과의 반응을 통해 표면 개질된 마이크로 크기의 플레이크 형상을 갖는다. 수열합성에서 수산화 마그네슘 입자 생성의 조건은 pH, 온도 그리고 반응시간이 표면개질과 입자 형상의 주요 변수임을 확인하였다. 생성된 수산화 마그네슘 입자는 FE-SEM, XRD, FT-IR 그리고 TGA를 통해 확인하였다. 유기 용매 내에서의 분산성의 확인은 개질되지 않은 수산화 마그네슘과의 침전 테스트 비교를 통해 확인하였다.

Abstract : Magnesium hydroxide[Mg(OH)₂] was prepared by hydrothermal method using oleic acid as surface modifier. Mg(OH)₂ particles exhibit flake morphology with micrometer in size and the surface modification starts from the reaction of C₁₇H₃₃COO⁻ group, derived from oleic acid molecule in alkaline environments. It is found that hydrothermal treatment conditions such as pH, temperature and reaction time are important for the control of the morphology and properties of surface modified magnesium hydroxide. The obtained magnesium hydroxide groups were characterized by FE-SEM, XRD, FT-IR, TGA. The dispersion in organic solution was determined by sedimentation test and compared with the result of raw Mg(OH)₂.

Keywords : Magnesium hydroxide, Hydrothermal method, Surface modification.

[†]교신저자 (E-mail: dkleee@chungbuk.ac.kr)

1. 서론

고분자 화합물은 기존의 금속재료에 비해 저렴하고, 성형이 쉽고, 가벼우며, 내구성 및 내식성 등의 장점이 있어 건축 내외장재, 자동차, 철도 및 IT기기까지 광범위하게 사용되어지고 있다[1]. 그러나, 고분자 화합물은 대부분 탄소, 수소 및 산소로 구성된 유기물질로서 연소하기 쉬운 성질을 가지고 있기 때문에 화재발생시 안전을 고려한 난연 특성이 요구되고 있다[2,3]. 지구상에 존재하는 물질 중 난연 효과를 나타낼 수 있는 원소로서 Mg, Al, P, Br, Cl 등이 유효하게 이용되고 있다[4,5]. 난연제는 구성성분에 따라 '유기계' 와 '무기계'로 구분되며, 난연제 전체의 30%를 차지하는 수산화 알루미늄은 무기계 난연제의 대표로 들 수 있다. 수산화 알루미늄은 무독성, 저발연성으로 부식성이 적고 전기 절연성도 우수하며 가격이 저렴하기 때문에 가전제품과 건축자재 등 많은 분야에 사용되고 있다[6]. 그러나, 수산화 알루미늄은 사용 온도가 200°C 이하로 제한되어 용도에 제한을 받으며, 적용된 고분자가 난연성을 나타내기 위해서는 다량의 충전제가 사용되며, 이에 따른 백화현상 또는 물성 저하를 일으키는 단점이 있다. 수산화 마그네슘은 수산화 알루미늄의 가격이 상승함에 따라 대안으로 등장하며, 친환경적이고, 단위 질량당 열 함유량이 우수하여 최근에 주목을 받고 있다[7]. 수산화 마그네슘은 첨가량 대비 난연 효과가 수산화 알루미늄보다 높으며 적인(red phosphorus), 카본블랙 등과 사용하면 탄화생성물(char)을 형성을 통해 고분자 수지의 절연성을 향상시킬 수 있다. 또한, 연소 시 유독가스를 발생하지 않아 독성이 없고, 내식성, 내열성 및 전기 절연성까지 우수하여 난연제 시장의 대체재료로서 발전 가능성이 매우 높다[8].

수산화 마그네슘을 합성하는 방법은 대표적으로 수열법이 있다. 수열법의 장점은 반응속도가 빠르고 분산성이 좋아 균일한 결정상을 갖는 화합물 제조에 용이하며, 압력, 온도, 용액 및 첨가제의 조절을 통하여 입경, 형상, 입도분포, 조성 및 순도의 제어가 가능하고, 균일한 결정상의 미세입자를 제조하는데 용이하다는 점이다[9]. 수산화 마그네슘은 저발연성, 저독성, 및 탈할로겐화에 대한 요구를 충족시키고는 있으나, 고분자와 혼합시 분산도를 높이고, 혼

합양을 줄여야하는 문제가 제기되고 있다. 일반 수산 화마그네슘은 표면이 친수성을 갖기 때문에 고분자내에서 분산에 적합하지 않다. 따라서, 무기입자와 고분자간의 용화성을 높이기 위해서 표면개질 또는 형상조절이 요구되고 있다 [10~12].

본 연구에서는 수열법을 통하여 염화 마그네슘 수화물과 알칼리 용액을 출발물질로 한 플레이크형 수산화 마그네슘을 합성하였다. 합성된 입자의 응집을 막고 미립자를 얻기 위하여, 반응물 조성비, pH, 반응시간 및 반응온도 등의 조건을 조절하였고, 표면처리를 위해 유기산과 계면활성제를 사용하였다. 또한, 반응조건에 따라 생성된 생성물의 형태, 결정성, 입도변화, 열적특성 및 고분자내 분산특성을 확인하였다. 합성된 수산화 마그네슘은 열적 안정성이 우수하며, 표면이 소수성으로 개질되어 유기물내에 쉽게 분산될 수 있는 장점을 갖는다.

2. 실험

2.1. 실험 재료

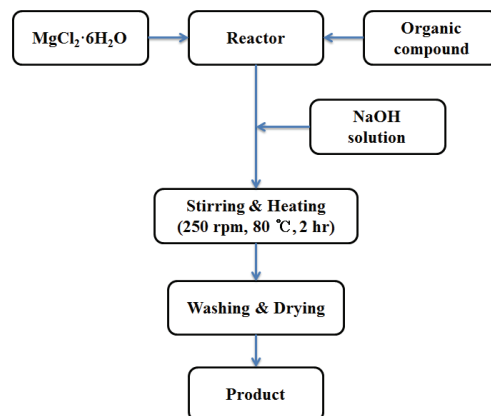
표면 개질된 수산화 마그네슘의 합성을 위해 사용한 출발물질은 다음과 같다. 마그네슘의 원료로서 고순도의 DC chemical Co., Ltd(korea).사의 99% magnesium chloride hexahydrate ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)를 사용하였고, pH를 조절하고 수산기 제공을 위한 기본 물질은 DC chemical Co., Ltd(korea).의 98% sodium hydroxide (NaOH)를 사용하였다. 수산화 마그네슘의 표면을 개질하는데 사용한 유기산은 Kanto chemical Co., Ltd(japan).의 oleic acid ($CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$, 99%)와 Samchun pure chemical Co., Ltd(korea).의 lauric acid ($CH_3(CH_2)_{10}COOH$, 97%), Duksan pharmaceutical Co. Ltd(korea).의 stearic acid ($CH_3(CH_2)_{16}COOH$, 98%) 그리고 Samschun pure chemical Co. Ltd(korea).의 citric acid monohydrate ($HOOCCH_2C(OH)(COOH)CH_2COO \cdot H_2O$, 99.5%)를 사용하여 표면 개질제로 선정하였다.

2.2. 실험 방법 및 장치

수열법에 의한 표면 개질된 수산화 마그네슘 합성의 개략적인 공정도를 Sch등 1에 나타내었

다. 2 M의 염화 마그네슘 용액 50 mL를 반응기에 넣은 후 표면개질제인 유기산을 넣어주고, 약 10분간 교반하여 준다. 교반이 끝난 후 2 M의 수산화 나트륨을 pH 범위를 맞추어 적가 하여 준다. 이때 하얀색 침전이 발생하게 된다. 수산화 나트륨의 적가가 끝난 뒤, 반응기의 교반속도를 250rpm으로 하고, 80°C로 가열하여 2 시간 반응 시킨다. 반응이 종료된 후 물과 에탄올을 이용하여 수회 수세하고, 60°C에서 24시간 건조하여 준다. 건조가 끝나면 약간 노란빛을 띄는 수산화 마그네슘을 얻을 수 있다. 위에 설명한 조건을 기본으로 하여, 유기산의 종류와 양, pH와 온도 그리고 반응시간을 변수로 하여 표면 개질된 수산화 마그네슘을 합성하였다. Table 1에 실험에서의 반응 조건과 합성 변수 등을 간략히 나타내었다. 일반적으로 고분자 및 유기 물질 내에서 생성물의 분산성을 예측하기 위한 실험은 생성물을 액체 파라핀 내에 분산시켜 분산된 정도를 측정하고, 이 때 분산물질의 침전속도를 측정함으로써 이루어진다. 실험 결과물의 소수성 내에서의 분산특성을 확인하

여 고분자 물질과 같은 유기물질로의 분산 가능성을 알아보고자 용매를 액체 파라핀으로 하여 실험을 진행하였고, 이와 비교하기 위해 증류수를 사용하여 관찰실험을 진행하였다.



Sch. 1. Synthetic procedure of Mg(OH)₂ surface modified by hydrothermal method.

Table 1. Formulation of Reaction

No.	MgCl ₂ ^{a)} (mL)	Oleic acid (mL)	Stearic acid (g)	Citric acid (g)	Lauric acid (g)	pH ^{b)}	Temp. (°C)	Time (hr)
01						10		
02						11		
03	50	0				12	80	2
04						13		
05								2
06	50	0				11	80	3
07								4
08		3						
09			2.5					
10	50			1.9		11	80	2
11					1.8			
12		1						
13		3						
14	50	5				11	80	2
15		7						
16							70	
17	50	3				11	80	2
18							90	

Materials for Mg(OH)₂ Synthesis

a) MgCl₂(2 mol/L)

b) NaOH(2 mol/L)

2.3. 분석

합성된 생성물의 확인은 다음과 같은 방법으로 수행하였다. 표면개질된 수산화 마그네슘의 결정성 및 합성물의 확인을 위하여 X-선 회절분석기(XRD, Model RTP300RC, Rigaku Co. USA)를 이용하여 분석하였다. 생성물의 형상 및 입자크기는 주사전자현미경(SEM, LEO-1530FE, Hitachi Co. Japan), 합성물내의 기능기의 확인과 표면 개질된 수산화 마그네슘의 기능기 확인은 적외선 분광기(FT-IR, 480plus, Jasco, Japan)를 이용하여 확인하였다. 열분석기(TG/DTA, SDT2960, TA Instruments, USA)는 온도변화에 따른 중량의 변화를 측정하여 생성물의 열안정성을 확인하였다. 생성물의 구성 원소 확인은 원소분석기(EDS, S-2500C, Hitachi Co. Japan)를 통하여 확인하였다. 생성된 수산화 마그네슘의 입자크기 특성은 입도분석기(PSA, Mastersizer 2000, Malvern, UK.)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수산화 마그네슘 합성 및 최적 조건

수산화 마그네슘 합성에서 중요한 변수인 pH에 따른 결정성 확인을 위해 pH를 변화시켜 합성하였다. 제조된 샘플의 특성은 XRD 분석을 통하여 확인하였으며, 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 각각의 샘플은 동일 조건(전구체 농도, 온도, 반응시간)에서 pH 만을 변화하여

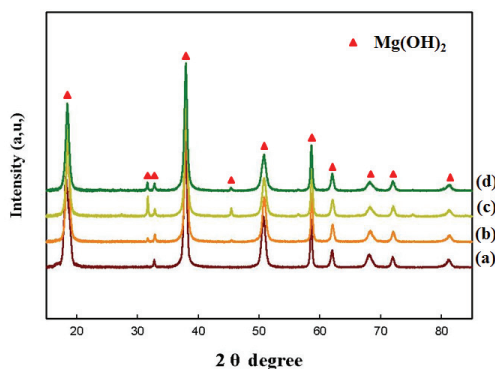


Fig. 1. XRD patterns of magnesium hydroxide synthesized at different pH.

(a) No.-01, (b) No.-02, (c) No.-03,
(d) No.-04.

실험을 진행한 것으로 (a) pH 10, (b) pH 11, (c) pH 12, 그리고 (d) pH 13에서 합성된 샘플의 분석결과이다. 각 결과는 JCPDS 카드를 이용하여 7-239의 육방정계형 수산화 마그네슘의 결정성 피크와 같음이 확인되었다. 각 피크의 결정성 비교 결과 pH 11에서 합성한 (b)의 샘플이 상대적으로 결정성이 우수한 것으로 확인할 수 있었다. 이를 통해 수산화 마그네슘의 합성은 최적 pH가 11로 결정하였다.

3.2. 수산화 마그네슘 표면개질

3.2.1. 수산화 마그네슘 표면개질제의 선정

최적조건으로 선정한 수산화 마그네슘 합성 조건을 이용하여 개질제를 첨가하여 합성을 진행하였다. 표면 개질제로 유기산을 사용하였으며, 이를 통해 합성된 수산화 마그네슘의 SEM 분석결과를 Fig. 2에 나타내었다. (a) 올레인산, (b) 스테아린산, (c) 시트릭산, (d) 라우린산을 개질제로 첨가하여 합성한 후 실험 결과이다. 각각의 유기산이 작용하여 생성된 합성물은 모두 입자가 고무 분산된 플레이크 형태를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이중 분산성이 가장 우수하게 나타난 경우는 스테아린산과 올레인산이었으나, 올레인산은 물에 분산을 시킬 경우 가라앉지 않고 물 표면에 떠 있는 것을 확인할 수 있었으며, 스테아린산은 물에 분산시켰을 경우 입자가 물에 가라앉는 현상을 보였다. 입자의 분산성이 상대적으로 떨어지는 시트릭산과 라우린산 또한 물에 분산되지 않는 것이 확인되었다. 이 결과를 통해 올레인산을 표면개질제로 선정하였다.

3.2.2. 올레인산 첨가량에 따른 SEM 분석

Fig. 3은 올레인산을 사용하여 수산화 마그네슘을 합성할 경우 최적의 조건을 찾기 위해 첨가량을 조절하여 제조된 샘플의 SEM 분석의 결과이다. (a)의 경우 올레인산을 1 mL 첨가하였을 때의 생성된 수산화 마그네슘을 나타내었다. 올레인산의 양이 적은 경우 입자간의 응집이 심하게 되는 것을 확인할 수 있었다. 샘플 (b) 3 mL의 올레인산을 첨가한 경우 입자가 균일하게 형성됨을 확인할 수 있었으며, 분산도 우수한 것으로 확인할 수 있었다. 그러나, 3 mL이상으로 첨가량을 늘린 (c)와 (d)의 경우 입자의 형성이 불완전하며, 성장이 잘 안되고

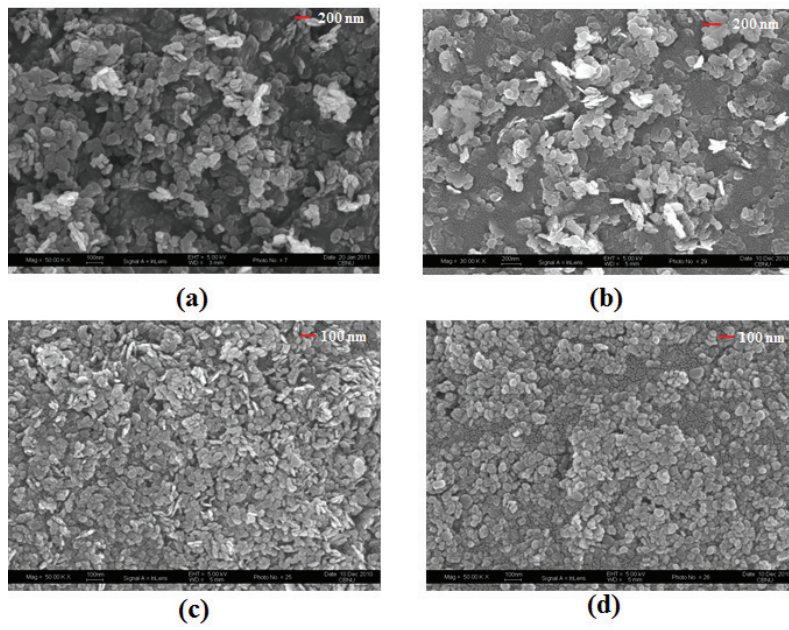


Fig. 2. SEM image of magnesium hydroxide synthesized by different organic acid treatment. (a) No.-08, (b) No.-09, (c) No.-10, (d) No.-11.

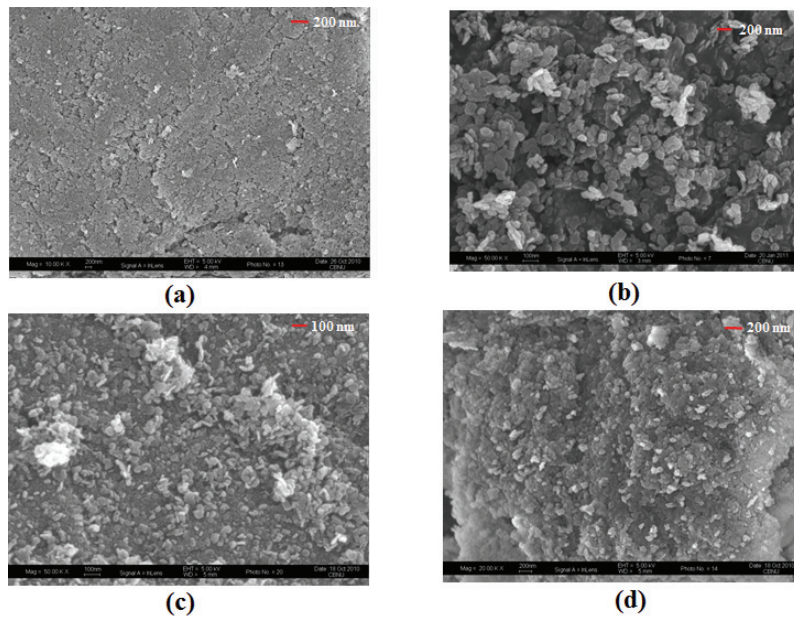


Fig. 3. SEM image of magnesium hydroxide synthesized by oleic acid volume ratio. (a) No.-12, (b) No.-13, (c) No.-14, (d) No.-15.

응집이 심해지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 앞으로 실험을 통해 확인해야 할 과제이다. 이를 통해 최적의 표면 개질제 첨가량을 3 mL로 선정하여 실험을 진행하였다.

3.2.3. 온도 변화에 따른 SEM 분석

표면 개질제를 사용하여 수산화 마그네슘 합성 시 온도에 따른 형상의 변화와 영향을 알아보기 위해 온도를 변화하여 실험을 진행한 SEM 분석의 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 유기산을 첨가 후 70°C에서 반응을 진행한 (a)의 결과를 보면 낮은 온도에서는 입자의 형성이 작고 입자간 응집이 심하게 이루어짐을 확인할 수 있다. 상대적으로 높은 온도인 90°C에서 실험을 진행한 결과 (c) 샘플에서 입자 형성이 심하게 엉기고, 입자간의 결합으로 인해 균일한 입자가 생성되지 않음을 확인할 수 있었다. 따라서, 입자의 형태가 플레이크 되면서 입자간 응집이 없고, 균일하게 생성된 (b)의 합성조건인 80°C에서의 합성을 최적 온도 조건으로 선정하여 표면 개질된 수산화 마그네슘을 합성하였다.

3.3. FT-IR에 의한 분석

적외선 분광기를 이용하여 생성된 수산화 마그네슘의 기능기 확인을 위한 데이터를 Fig. 5에 나타내었다. (a)는 표면 개질제인 유기산을 사용하지 않았을 경우로서 기타 기능기의 피크가 없는 순수한 수산화 마그네슘임이 확인되었다. 이때 3698 cm^{-1} 에서 나타나는 피크는 표면수의 수산기에 의해 나타나는 것으로 확인된다. (b)는 각 실험에서 올레인산을 이용하여 표면개질을 진행한 수산화 마그네슘의 공통 데이터이다. 2920과 2850 cm^{-1} 에 의해 나타나는 피크는 올레인산의 CH_2 에 의해 나타나는 피크로 확인할 수 있었다. 1270과 1241 cm^{-1} 에 의해 나타나는 피크는 수산화 마그네슘이 개질되었을 때 올레인산의 카르복시기와 수산기에 의한 결합으로 발생하는 C-O-C의 기능기에 의해 나타나는 것으로 확인되었다. 이 피크를 표면개질제인 올레인산을 분석한 데이터인 (c)와 비교하였다. 표면 개질된 수산화 마그네슘과 비교시 같은 피크가 중첩되는 것을 확인할 수 있으며, 표면 개질되지 않은 수산화 마그네슘에서 나타날 수 없는 기능기가 확인된 것으로 보아 수산화 마그네슘이 올레인산에 의해 개질된 것으로 알 수 있었다.

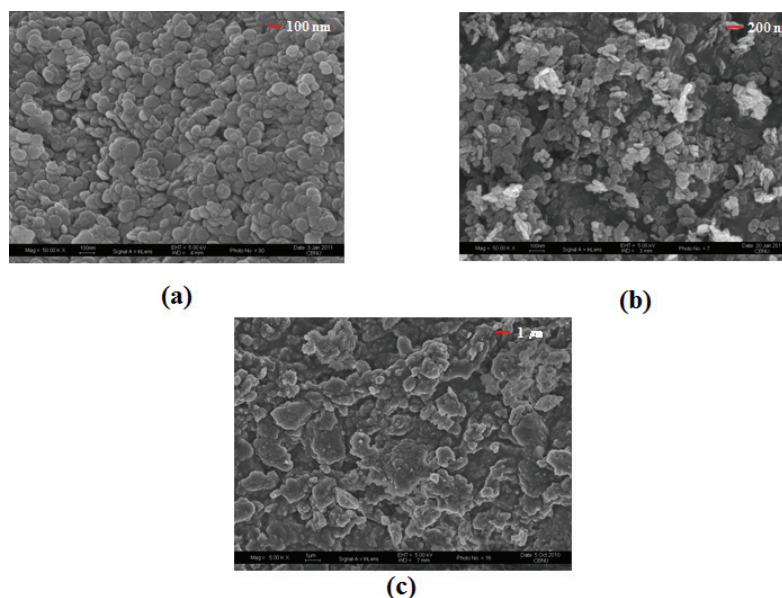


Fig. 4. SEM image of magnesium hydroxide synthesized at different reaction temperature with oleic acid 3 mL. (a) No.-16, (b) No.-17, (c) No.-18.

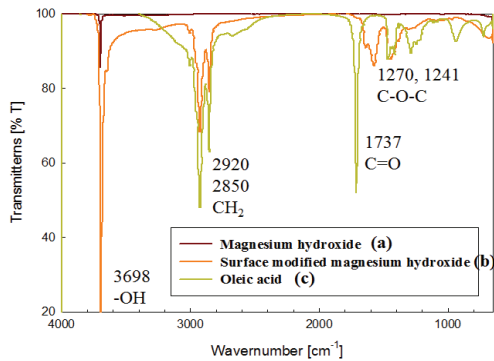


Fig. 5. FT-IR spectra of magnesium hydroxide.

3.4. TGA에 의한 열안정성

Fig. 6은 생성물의 TGA 분석에 의해 측정되어진 시간에 따른 열분해의 결과이다. (a)는 최적조건으로 선정된 pH 11에서 유기산 3 mL를 넣고, 반응시킨 표면 개질된 수산화 마그네슘의 열분해 곡선이다. 초기 203°C에서의 중량 감소는 유기산인 올레인산의 분해에 의해 나타나는 것으로 추측할 수 있었고, 353°C에서의 분해는 수산화 마그네슘이 열에 의해 분해되어 산화 마그네슘으로 될 때 나타나는 것으로 확인할 수 있었다. 이후에 나타나는 350°C 이상에서 발생하는 열분해는 표면 개질제인 올레산에 의해 부반응으로 생성된 탄산마그네슘에 의해 나타나는 열분해 곡선으로 탄산 마그네슘이 분해되어 산화마그네슘과 이산화탄소로 분해되었을 때 발생하는 중량감소임을 확인할 수 있었다 [14]. (b)의 열분해 곡선은 표면개질하지 않은 수산화 마그네슘의 열분해 곡선으로 342°C에서 분해되는 것을 확인할 수 있었다. 합성물은 모두 머크인덱스(The MERCK INDEX)에 등록된 천연광물인 수산화 마그네슘의 분해온도인 332°C보다 높은 열분해 온도를 갖는 것으로 합성물이 열적으로 안정함을 확인할 수 있었으며, 표면 개질된 수산화 마그네슘이 열적으로 안정함을 확인할 수 있었다.

3.5. EDS 분석

EDS 분석을 통하여 합성된 물질의 구성 원소에 대한 분석결과를 Fig. 7에 나타내었다. (a)는 실험 조건에 의해 생성된 표면 개질되지 않은 수산화 마그네슘으로 불순물이 없는 순수한 수산화 마그네슘의 함량이 확인되었다. (b)의 경우 표면 개질된 수산화 마그네슘의 분석결과

로서 표면개질제인 올레인산에 의해 탄소의 함량이 증가된 그래프를 확인할 수 있었다. 또한, 원소 함량의 분석결과 탄소의 함량이 증가된 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 표면 개질된 수산화 마그네슘은 유기산에 의해 탄소의 피크가 나타남을 확인할 수 있었고, 이 분석을 통해 수산화 마그네슘과 표면 개질된 수산화 마그네슘의 차이를 확인할 수 있었다.

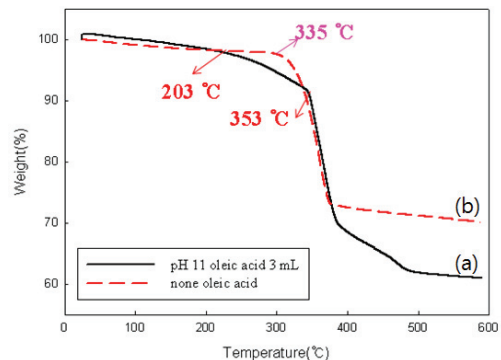
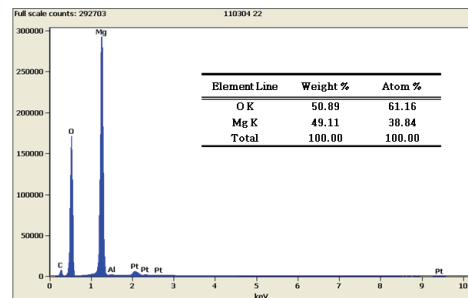
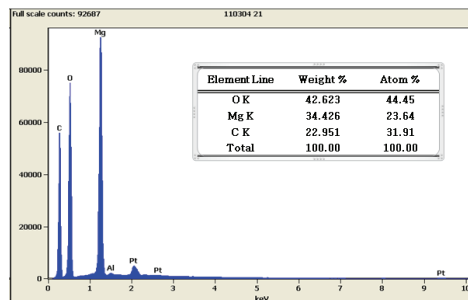


Fig. 6. TG curves of magnesium hydroxide synthesized with different treatment.



(a)



(b)

Fig. 7. EDS spectra of (a) magnesium hydroxide, (b) surface modified magnesium hydroxide.

3.6. 분산 안정성

고분자내 분산 안정성을 확인하기 위한 실험은 다음과 같다[13]. 용매(액체 파라핀, 증류수) 내에 각각 0.06 g의 생성물을 넣어 주고, 초음파를 이용하여 15분간 분산시킨 후의 차이점을 관찰하였다. Fig. 8은 초음파를 이용한 분산 후 5분 후의 침전 양상에 관한 사진이다. 샘플 1은 No. 05, 샘플 2는 No. 13의 합성물을 물과 액체 파라핀에 각각 넣었을 때의 사진이다. 물에 분산시킨 (a)의 실험 결과를 보면 개질되지 않은 수산화 마그네슘을 물에 혼합한 경우(샘플 1) 바닥에 쉽게 가라앉는 것을 볼 수 있다. 그러나, 수산화 나트륨을 사용하여 표면 개질한 수산화 마그네슘(샘플 2)을 보면 바닥에 쌓인 것이 없고, 물위에 떠있는 수산화 마그네슘을 확인할 수 있다. 이것으로 수산화 나트륨을 사용하여 개질한 샘플 2만이 개질이 되었음을 추측할 수 있었다. 각각의 샘플을 액체 파라핀에 분산시킨 경우를 Fig. 10의 (b)에 표시하였다. 물에 분산시켰을 때의 (a)와는 달리 샘플 2는 액

체파라핀 내에서 잘 분산되어 부유하고 있는 반면, 샘플 1은 바닥에 덩어리져 가라앉는 것이 확인 되었다. 이것으로 보아 수산화 나트륨을 사용하여 표면 개질을 시행한 수산화 마그네슘은 소수 특성을 띄기 때문에 고분자나 유기 용매에 잘 분산될 가능성이 높을 것으로 예측할 수 있었다.

4. 결론

수열법을 이용하여 수산화 마그네슘을 제조하고, 이를 표면 개질제를 이용하여 표면 개질된 수산화 마그네슘을 합성하였다. 실험은 표면 개질제의 종류 및 첨가량, 합성시간, 온도 및 pH 등을 조절하여 반응을 진행하였으며, 생성된 합성물의 특성은 기기분석을 통하여 확인하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 합성물의 생성 온도 범위는 70 ~ 90 °C 이

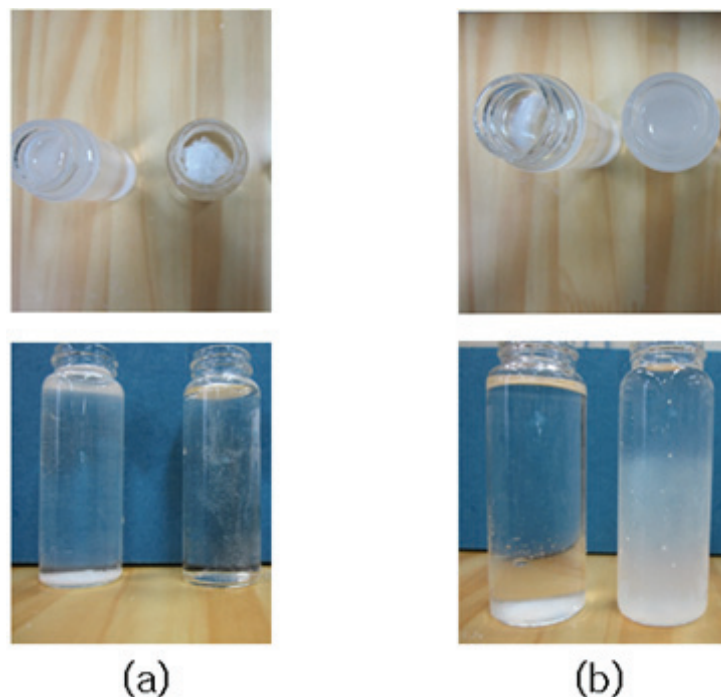


Fig. 8. Sedimentation phenomenon of magnesium hydroxide in water and liquid paraffin; (a) Water, (b) Liquid paraffin.

- 며, pH는 10 ~ 13 범위에서 수산화 마그네슘을 합성할 수 있었고, pH가 증가함에 따라 생성된 입자의 크기가 증가하는 경향을 확인할 수 있었다.
- 수산화 마그네슘의 표면개질을 위해 개질제로는 올레인산을 이용하여 표면개질을 할 수 있었고, 생성된 입자의 형태는 플레이크 형태를 나타내며 그 크기는 대략 150 ~ 300 nm의 크기를 나타내며, 이때 최적의 첨가량은 3 mL, 최적 pH는 11로 확인할 수 있었다.
 - 올레인산으로 표면 개질된 수산화 마그네슘의 열중량 평가법에 의해 353 °C에서 산화 마그네슘으로 분해가 되는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 천연 수산화 마그네슘 보다 높은 열분해 온도를 가짐으로써 열적으로 안정함을 확인할 수 있었다.
 - 표면 개질된 수산화 마그네슘의 소수성 내에서의 분산 특성을 알아보기 위해 액체 파라핀과의 혼합성을 확인한 결과, 분산성이 우수하였으며, 이를 통해 유기물질 및 고분자 물질과의 혼합성을 향상시킬 수 있을 것으로 예측할 수 있었다.
 - J. Zhang, X. Wang, F. Zhang and AR. Horrocks. Estimation of Heat Release Rate for Polymer-Filler Composites by Cone Claorimetry", *Polym. Test.*, **23**, 225 (2004).
 - K. H. Kang, J. H. Lee and D. K. Lee, Synthesis and Characteristics of Magnesium Hydroxide group Flame Retardant for Polymer Addtives", *J. Kor. Oil Chem. Soc.*, **26**, 385 (2009).
 - G. Hua, Z. Xiao and D. Wei, Flame Retardant Synergism of Rubber and Mg(OH)₂ in EVA Composites, *Polymer*, **48**, 2537 (2007).
 - C. Henrist, J. P. Mathieu and C. Vogels, et al., Morphological Study of Magnesium Hydroxide Nanoparticles Precipitated in Dilute Aqueous Solution", *J. Cryst. Growth*, **249**, 321 (2003).
 - Lv. Jingping, Qiu. Longzhen and Qu. Baojin, Controlled Synthesis of Magnesium Hydroxide Nanoparticles with Different Morphological Structures and Related Properties in Flame Retardant Ethylene-Vinyl Acetate Blends, *Nanotechnology*, **15**, 1576 (2004).
 - Wu. Xiang-Feng, Hu. Guo-Sheng, W. Biao and Yang and Yun-Feng, Synthesis and Characterization of Superfine Magnesium Hydroxide with Monodispersity", *J. Cryst. Growth*, **310**, 457 (2008).
 - C. Sanchez, B. Julian, P. Belleville and M. Popall, Applications of Hybrid Organic - Inorganic Nanocomposites, *J. Mater. Chem.*, **15**, 3559 (2005).
 - L. Fabrice and T. Christine, Fine Tuning between Organic and Inorganic Host Structure: New Trends in Layered Double Hydroxide Hybrid Assemblies, *J. Mater. Chem.*, **15**, 3628 (2005).
 - L. Z. Qiu, R. C. Xie, P. Ding and B. J. Qu, Preparation and Characterization of Mg(OH)₂ Nanoparticles and Flame-Retardant Property of its Nanocomposites with EVA, *Compos. Struct.*, **62**, 391

참고문헌

- J. Zhu, FM. Uhl, AB. Morgan and CA. Wilkie, Studies on the Mechanism by which the Formation of Nanocomposites Enhances Thermal Stability, *Chem. Mater.*, **12**, 4649 (2001).
- H. Horacek and R. Grabner, Advantages of Flame Retardants Based on Nitrogen Compounds, *Polym. Degrad. Stab.*, **54**, 205 (1996).
- LV. Xiaotang, Hari-Bala, Li. Minggang, Ma. Xiaokun, Ma. Shanshan, Ye Gao, Lanqin Tang, Jingzhe Zhao, Yupeng Guo, Xu Zhao and Zichen Wang, In situ Synthesis of Nanolamellas of Hydrophobic Magnesium Hydroxide, *Colloids Surf., A*, **296**, 97 (2007).

- (2003).
13. R. N. Rother and P. R. Hornsby, Flame Retardant Effects of magnesium Hydroxide, *Polym. Degrad. Stab.*, **54**, 383 (1996).
14. A. Botha and C.A. Strydom, Preparation of a Magnesium Hydroxide Carbonate from Magnesium Hydroxide, *Hydrometallurgy*, **62**, 175 (2001).