

수열합성법을 이용한 큐빅과 로드형의 탄산칼슘 합성

강국현¹, 전상철², 현미호¹, 이동규^{1*}

¹충북대학교 공과대학 공업화학과

²한국폴리텍대학교 반도체 시스템학과

Synthesis of Cubic and Rod Shapes CaCO₃ by Hydrothermal Method

Kuk-Hyoun Kang¹, Sang-Chul Jeon², Mi-Ho Hyun¹, Dong-Kyu Lee^{1*}

¹Department of Engineering Chemistry, Chungbuk National University,

²Department of Semiconductor System, Korea Polytechnics

요약 탄산칼슘은 뛰어난 물리·화학적 특성, 다양한 결정성, 많은 매장량 등으로 인한 경제성 등 때문에 고무, 플라스틱, 종이, 식품 첨가제 및 중화제 등 여러 분야에 걸쳐 응용되고 있다. 특히, 탄산칼슘의 백색도 및 물리적 특성은 입자의 크기 및 형상에 의존하기 때문에 구조 및 형태를 조절하는 연구가 최근 주목 받고 있다. 본 논문은, 수열합성법 및 자기조립법을 이용하여 염화칼슘과 탄산칼슘을 이용해 다양한 형상과 결정구조를 갖는 탄산칼슘을 합성하였다. 탄산칼슘의 구조 및 형태는 pH 및 전구체의 농도를 조절함으로써 제어할 수 있으며, 특히 pH 조절은 탄산칼슘의 형상 조절 및 결정성 변화에 중요한 요인으로 나타났다. 다양한 조건을 통한 실험 결과, 칼사이트 결정형을 가지며 큐빅 형상을 지닌 탄산칼슘은 pH 7에서 나타났고, 아라고나이트와 칼사이트상을 동시에 가지며 로드형상을 갖는 탄산칼슘 입자는 pH 7 이상에서 나타났다. 연구 결과 입자의 생성과정 분석을 통해 탄산칼슘 입자의 형성 과정을 확인할 수 있었다. 탄산칼슘의 물리·화학적 특성은 SEM, XRD, EDS, FTIR 및 TG/DTA를 통해 확인하였다.

Abstract CaCO₃ was applied in various industries including rubber, plastics, paint, paper, food additives, and acid neutralizer, etc., owing to its excellent physical and chemical characteristics as well as various appearances of crystals and many reserves. In particular, research on controlling the structure and shape of CaCO₃ has attracted considerable attention recently, because the whiteness and physical characteristics of CaCO₃ depend on the size and shapes of the particles. In this study, CaCO₃ was synthesized using CaCl₂ and (NH₄)₂CO₃, which has multi-shapes and structures, using a self-assembly method with a hydrothermal method. The structure and morphology of the CaCO₃ could be controlled by adjusting the pH and precursor concentration. In particular, the pH adjustment appeared to be a critical factor for the morphology and crystal form. In addition, the calcite and cubic shape were obtained at pH 7, while the mixed calcite, aragonite structure, and rod shapes appeared at pH 7 and over. Through an analysis of the particle formation process, the formation of the calcium carbonate particles was confirmed. The physicochemical properties of the synthesized CaCO₃ were analyzed by SEM, XRD, EDS, FTIR, and TG/DTA.

Keywords : CaCO₃, Morphology control, Rod-Cubic shape, Self-assembly

1. 서론

최근 탄산칼슘의 형상제어와 관련된 연구는 활발하게

진행되고 있으며, 특히 형상에 따른 결정성의 변화는 고 전 물질인 탄산칼슘의 새로운 양상으로 최근 주목을 받고 있다[1,2]. 탄산칼슘의 결정은 기본적으로 세 가지 결

이 논문은 2014년도 충북대학교 학술연구 지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음 (This work was supported by the research grant of Chungbuk National University in 2014)

*Corresponding Author : Dong-Kyu Lee(Chungbuk National University)

Tel: +82-43-261-2488 email: dklee@cbnu.ac.kr

Received March 23, 2016

Revised (1st April 25, 2016, 2nd May 31, 2016)

Accepted June 2, 2016

Published June 30, 2016

정상적으로 calcite, aragonite 및 vaterite로 구성되며, 반응 조건에 따른 결정의 형성과 이에 따른 형태의 변화 제어에 대한 연구 및 탄산염 계열의 물질을 이용한 연구가 진행되고 있으나 pH와 입자형상간의 구체적인 연구결과는 나오지 않고 있다[3-7].

탄산칼슘의 물리적 제조방법은 크게 두 가지로 나뉘며, 첫 번째 방법은 석회석을 기계적으로 파쇄, 분쇄하여 가루로 만드는 중질 탄산칼슘이다. 저품질 탄산칼슘은 대개 아스팔트 충전제, 유리, 사료, 비료 등에 사용된다. 두 번째 방법은 침강성 탄산칼슘을 이용하는 방법으로 석회석을 1200℃의 고온에서 가열하거나 물과 결합시키는 등의 과정을 거쳐 순수한 탄산칼슘을 얻는데 일반적으로 경질 탄산칼슘이라고 부른다. 침강성 탄산칼슘 입자는 제조 조건에 따라 수 μm 단위의 다양한 크기, 형태 및 결정을 만들 수 있기 때문에 중질 탄산칼슘에 비해 많은 기능을 가지고 있으나, 기술개발 및 테스트를 거치며 생산 안정화 시기까지 고도의 기술과 장비 등 막대한 투자가 필요로 하여, 세계시장의 대부분을 미국과 일본이 장악하고 있다[8].

고전적 합성법은 탄산칼슘 입자의 조절 때문에 고온 고압 하에서 반응해야 하는 단점이 있다. 기존의 연구 방법들은 입자의 형상이 불규칙하고, 생성물의 합성 시간이 길고, 반응온도가 높으며, 균일한 입자의 제어가 되지 않는 문제점들이 존재하였다. 따라서 탄산칼슘을 산업현장에 적용 시 공정 적용이 어렵고, 생성물 또한 우수한 탄산칼슘의 특성을 구현하기에 부족한 실정이다. 최근 주목받은 탄산칼슘의 합성은 비교적 저온 상압에서 화학적으로 합성하는 방법이며, 제조된 입자는 저품질 탄산칼슘에 비해 그 모양과 형태가 균일하며, 열안정성이 높고, 표면결함이 적으며, 입자의 분산성 및 유동성이 우수하다는 장점을 지닌다. 고분자 강화제와 같은 충전제와 브레이크 디스크의 첨가제로 적용가능하며, 이들의 물성을 향상시키는 역할을 할 수 있는 특성이 있다[9,10].

자기조립 현상은 다양한 입자의 구조를 형성하는데 매우 유용하게 사용된다[11]. 특히 hierarchical molecular architectures(계층 분자 구조)를 형성할 때 입자의 형상을 조절하거나, 구조를 이루는데 매우 적합하다[12]. 자기조립은 더 안정한 분자가 되기 위해 응집현상을 이용하며, 이를 통한 구조는 강한 방향성과 결합체기를 가지므로, 합성된 입자는 안정하면서도 독특한 구조를 형성하게 된다.

본 논문은 수열합성과 자기조립법을 이용하여 탄산칼슘의 형상과 결정성을 조절하고, 이의 특성을 확인하였다. 전구체의 농도에 따라 형성되는 입자의 형상과 이의 결정성을 비교할 수 있었고, pH 조건에 따라 형성되는 입자의 특성을 XRD, SEM, EDS, TG/DTA, FT-IR를 이용하여 분석하였다.

2. 실험

2.1 실험 재료 및 방법

다양한 형상의 탄산칼슘을 합성하기 위해 사용된 시약은 다음과 같다. 칼슘 전구체로 염화칼슘(Calcium chloride, CaCl_2 , 93%, Junsei Chemical. Co., Ltd., Japan)을 사용하였고 pH 조절 및 탄산이온을 제공하기 위해 탄산암모늄(Ammonium Carbonate, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, 95%, Junsei Chemical. Co., Ltd., Japan)을 사용하였다. 높은 pH 조건을 조절하고 이에 따른 탄산칼슘 변화 영향을 비교하기 위해 수산화소듐(Sodium hydroxide, NaOH, 98%, Samchun Chemicals Co., Ltd., Korea)를 사용하였다. 용매와 수세에는 증류수를 사용하였다.

탄산칼슘을 합성하기 위한 방법은 다음과 같이 진행하였다. 염화칼슘과 탄산암모늄을 각각 메스플라스크에 정량하여 농도를 조절하여 100 mL의 용액을 제조 한다. 제조된 용액을 각각 35 mL 씩 정량하여 각각의 비커에 담는다. 염화칼슘 용액과 탄산암모늄 용액을 증류수 60 mL가 정량되어 있는 주 반응기에 순차적으로 정량주입 펌프를 이용해 1.2 mL/min의 속도로 동시에 주입한다. 반응은 80℃를 유지하며 450 rpm의 속도로 용액을 교반 해준다. 탄산암모늄계 전구체의 경우 pH 8.0 이상으로 조절이 어려워 필요에 따라 수산화나트륨 4 M 용액을 지속적으로 반응기에 첨가 하여 높은 pH 조건에서 반응이 일어날 경우 조건을 조절해 준다. 최종 반응시간은 염화칼슘과 탄산암모늄 용액이 모두 주 반응기에 주입될 경우 종료되며 대체적으로 1시간 이내에 종료하는 것으로 측정된다. 반응이 끝난 반응기는 상온에서 냉각시켜 안정화를 시켜준 후, 증류수를 이용해 수 회 세척해준다. 세척이 완료되면 여과기로 여과해준 후, 80℃에서 12시간 건조하면 백색의 탄산칼슘이 합성된다.

2.2 분석

합성된 큐빅 그리고 로드형 탄산칼슘의 물리화학적

특성을 확인하기 위하여 다음과 같은 분석기기를 사용하였다. 형상을 확인하기 위해 전계방사형 주사 전자 현미경 (Field Emission Scanning Electron Microscope, ULTRAPLUS, Carl Zeiss NTS GmbH, Germany)을 사용하였다. 합성된 물질의 결정화 및 생성물의 주류를 확인하기 위해 X선 회절분석기 (X-ray Diffractometer, D8 Discovery, Bruker AXS, Germany)를 이용하였고, 그 결과는 JCPDS(Joint Committee on Powder Diffraction Standards) 카드를 이용하여 확인하였다. 원소분석기 (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, IXRF Systems, Inc, USA)로 생성물의 구성원소를 확인하였고 적외선 분광기 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, 480-plus, Jasco, Japan)를 이용해 생성물의 기능기를 확인하였다. 합성된 물질의 열적안정화와 온도에 따른 중량거동을 비교하기 위해 열중량분석기 (Thermogravimetric analysis / Differential Thermal Analysis, TA instrument, USA)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전구체 조성 비율에 따른 형상 변화

염화칼슘과 탄산암모늄의 몰비를 변화하여 합성한 탄산칼슘 입자의 SEM 분석결과를 Fig. 1.에 나타내었다. (a)는 염화칼슘과 탄산암모늄의 몰비가 1 : 1로 반응한 결과로 큐빅형 입자가 합성된 것을 볼 수 있다. 각 입자의 크기는 9 ~ 11 μm 의 크기를 갖는 입자가 형성되었다. (b)는 전구체의 몰비가 1 : 2일 경우 합성된 결과로, 로드형태의 입자가 형성된 것을 볼 수 있다. 로드 입자를 확대해 보면 휘스커 형태의 입자로 형성된 것이 아닌 큐빅 입자들이 서로 결합되어 로드 형태로 형성되는 것을 볼 수 있으며, 이는 Fig. 2.에 나타난 것과 같이 Ostwald ripening 효과에 의해 작은 입자들이 뭉쳐 덩어리지게 되고 이들이 큐빅 형태의 입자를 이루고, 생성된 큐빅 입자의 결정방향에 따라 결합하게 되어 로드 형태로 구성되는 것을 볼 수 있었다[13]. (c)는 전구체의 몰비가 1 : 4일 때의 결과로, 큐빅과 로드의 입자가 혼합되어 형성되는 것을 확인 할 수 있었다. 큐빅형의 입자 크기는 10 μm 내외로 (a)와 비슷한 결과가 나타났으나, 로드 모양의 입자는 약 20 ~ 30 μm 의 길이가 나타나는 것이 확인되었다.

결과적으로 탄산암모늄과 염화칼슘의 몰비를 통해 입자 형상의 조절이 가능함을 알 수 있었다.

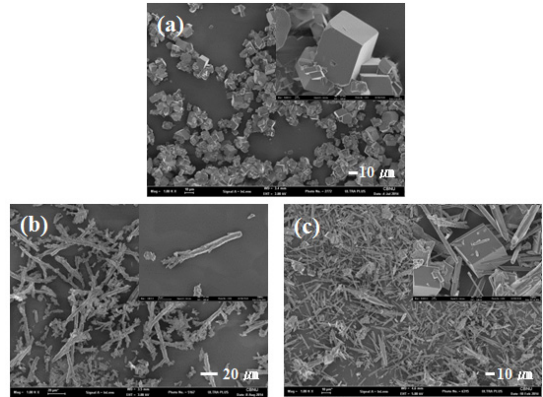


Fig. 1. SEM images of CaCO_3 by different $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ - CaCl_2 concentrations (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:4.

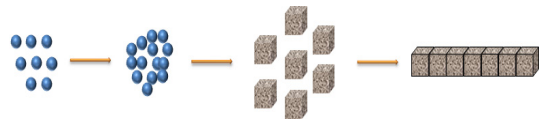


Fig. 2. Schematic illustration of the formation mechanism for the CaCO_3 .

3.2 pH 변화에 따른 형상 변화

큐빅형의 탄산칼슘이 형성되는 조건에서 pH 조절이 입자형태에 미치는 영향을 확인하기 위해 실험한 결과의 SEM 분석 사진을 Fig. 3.에 나타내었다. 각각의 pH는 4 M의 수산화소듐을 이용하여 조절하였고, 수산화소듐을 사용하지 않은 용매의 pH는 약 7이었으므로 pH 8 ~ 12 범위에서 pH 2씩의 간격으로 실험을 진행하였다. 먼저 (a)를 보면 큐빅형과 로드형의 입자가 혼합되어 형성된 것을 알 수 있으며, 확대된 SEM 사진을 보면 큐빅형의 입자가 응집되고 성장하여 로드형의 입자가 형성된 것을 확인 할 수 있었다. pH 10인 (b)를 보면 (a)보다 상대적으로 큐빅형의 입자는 감소, 로드형의 입자는 증가한 것을 알 수 있으며, 입자크기 역시 성장하여 수십 μm 에서 크게는 100 μm 의 크기를 갖는 것을 확인 하였다. 또한 (b)에서는 대부분의 입자가 거대한 로드형으로 나타나는 것을 볼 수 있었다. 이를 통해 pH 8 이상의 범위에서 큐빅 형상이 서로 붙어 로드로 성장이 이루어지고, 특히 pH가 높은 경우 이러한 경향성을 뚜렷이 볼 수 있으며 이를 통해 로드형의 입자가 생성될 경우 큐빅형의 입자

가 시드가 되어 로드 형태의 입자로 성장되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 pH가 증가할 경우 로드형의 입자 크기가 증가하는 데, 이는 시드가 되는 큐빅형의 입자가 pH가 높을수록 비교적 크게 형성되어 나타나는 것으로 보인다.

가장 높은 pH인 (c)에서 생성된 입자의 분석 결과를 보면, 생성 입자는 큐빅과 로드형태가 아닌 다각형 형태의 판상형 입자가 형성된 것을 볼 수 있고, 로드 형태의 입자도 함께 나타난다. 또한 생성 입자의 크기가 로드는 3 μm 내외의 다각형 입자의 경우 1 μm 내외로 기존의 큐빅과 로드로 합성된 입자에 비해 감소된 것을 볼 수 있는데 이는 입자의 생성 시 pH가 높을 경우 반응속도가 증가하고, 반응이 빠르게 종결되어 나타나 기존의 형상이 아닌 다형체의 형상을 갖는 것으로 보인다.

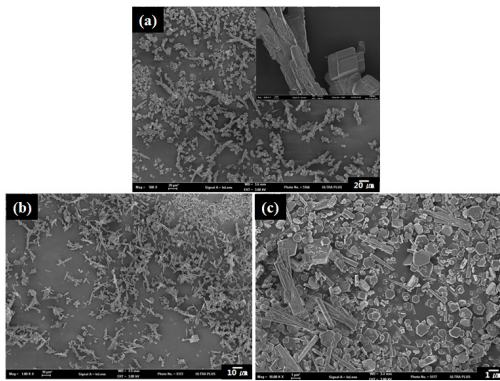


Fig. 3. SEM and Optical microscope images of CaCO_3 by pH control with NaOH (a) pH 8, (b) pH 10, (c) pH 12.

3.3 형상에 따른 분석 결과

3.3.1 XRD 분석

큐빅과 로드 형태로 합성된 입자의 XRD 분석 결과를 Fig. 4. 나타내었다. (a)는 aragonite 결정의 JCPDS 카드, (c)는 calcite의 JCPDS 카드 결과이며, 각각 (b)와 (d)는 합성된 로드형과 큐빅형의 분석 결과이다. 먼저 (b)의 결과를 보면, (a)의 aragonite 및 (c)의 calcite의 피크 모두 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이는 입자가 로드로 성장할 때 큐빅형 입자의 면과 면이 합쳐져 로드 형태로 성장하기 때문에 XRD 분석 결과 두 상의 피크가 모두 나타나는 것으로 보인다. 큐빅형의 (d)입자는 전형적인 calcite의 결정성 피크와 일치함을 볼 수 있으며, 결정성이 매우 높고, 조밀한 것을 보아 입자가 균일하게 잘 형

성된 것으로 볼 수 있다.

일반적으로 80 $^{\circ}\text{C}$ 이상에서 합성되는 탄산칼슘은 대부분 aragonite 결정으로 성장하며, 이때 생성입자는 granule 형태의 입자로 특별한 형상을 갖지 않는 bulk 타입으로 생성되는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구에서 생성된 탄산칼슘 입자는 pH 변화와 자기조립현상을 이용하여 입자의 생성 및 침전속도를 조절하고, 입자의 결합 방향성을 조절하여 형태 및 결정상이 변화하게 된다 [11,12]. 따라서 생성된 입자의 형상에 따라 결정성이 조절되었으며, 특히 큐빅 형태의 입자는 산업에서 범용적으로 사용되고 있는 calcite 입자로서 그 응용가능성을 예측할 수 있는 결과를 나타내었다[14-16].

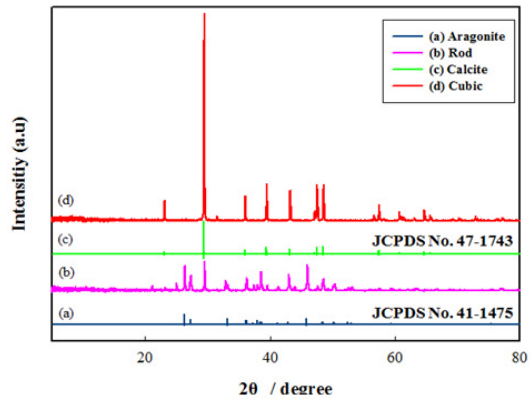


Fig. 4. XRD patterns of CaCO_3 (a) aragonite, (b) rod (c) calcite, (d) cubic.

3.3.2 FT-IR 분석

탄산칼슘 입자의 형태에 따른 기능기 확인을 위한 FT-IR 분석 결과를 Fig. 5.에 나타내었다. (a)는 큐빅, (b)는 로드형의 분석결과이며, 표면수에 의한 O-H(3414 ~ 2921 cm^{-1})피크와 C-O(1065 cm^{-1})피크가 공통적으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한 700 ~ 800 cm^{-1} 영역의 확대사진을 보면, (a)에서는 713 cm^{-1} 에서 단일피크만 확인되며, (b)의 경우 713 cm^{-1} 과 700 cm^{-1} 에서 두 개의 피크가 관찰되는 것을 확인할 수 있다. 이는 입자의 결정성이 calcite인 경우 713 cm^{-1} 에서, aragonite는 700 cm^{-1} 와 713 cm^{-1} 에서, 피크가 나타나기 때문에 얻을 수 있는 결과[15]로, 앞서 측정된 결정성과 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

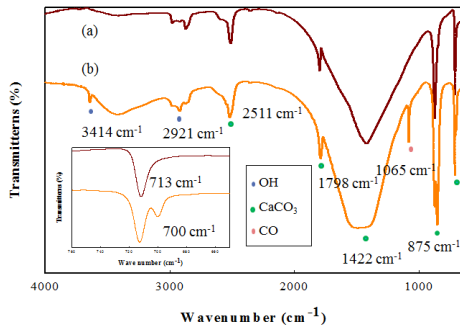


Fig. 5. FT-IR spectra of CaCO₃ (a) cubic, (b) rod.

3.3.3 TG/DTA 분석

온도에 따른 질량변화를 분석하기 위해 실시한 TG/DTA 분석결과를 Fig. 6.에 나타내었다. DTA 그래프를 보면 두 개의 큰 피크를 확인 할 수 있다. 첫 번째 피크는 60 ~ 180°C에서 나타나는 피크로 물의 증발에 의해 나타나는 것으로, 약 3%의 중량감소가 나타났다. 두 번째 피크는 684 ~ 754°C의 흡열피크로, 결정내의 탄산이 분해되어 탄산칼슘 입자가 산화칼슘으로 변화하여 발생하는 결과이며, 약 45%의 질량감소가 발생하였다. 각 형상별 분석 결과인 (a), (b), (c)를 비교하면, 큐빅형의 (a)가 가장 높은 온도에서 분해가 시작하였고 로드형의 (c)가 가장 낮은 온도에서 분해되었다. 이를 통해 큐빅형의 입자가 열적으로 가장 안정하다는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 입자의 형성 시 큐빅 입자가 성장하여 로드로 변화하기 때문에 나타나는 결과로 볼 수 있다. 또한 결정에서 calcite가 aragonite에 비해 안정하기 때문에 열적 안정성 경향이 분석 결과와 같이 나타난 것을 확인할 수 있다.

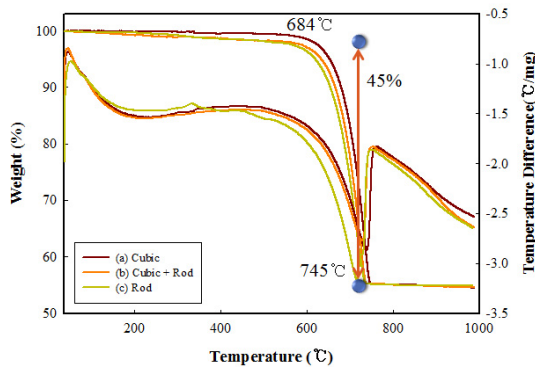


Fig. 6. TG/DTA graphs of CaCO₃ by different shapes (a) cubic, (b) mix, (c) rod.

3.4 EDS 분석

생성된 탄산칼슘 입자의 성분을 분석한 EDS 결과를 Fig. 7.에 나타내었다. 큐빅과 로드가 혼합된 샘플의 원소분석 결과는 칼슘 약 15.24 at.%, 탄소 약 24.12 at.%, 산소 약 60.64 at.% 로 분석되었다. 탄산칼슘의 이론적 칼슘과 탄소, 산소의 구성 비율은 1 : 1 : 3이므로 각각 20.0 at.%, 20.0 at.%, 60.0 at.%가 되어야 한다. 이론값에 비해 탄소의 비율이 조금 높은 것은 EDS 분석 시 탄소 그리드에 의한 탄소 분석 결과 값이 높아진 것으로 확인되며, 이를 감안할 경우 이론적 구성 비와 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 중량 비를 분석한 결과 칼슘은 약 32.64 wt%, 탄소 약 15.49 wt%, 산소 약 51.87 wt% 인 것으로 확인되었다. 원자질량에 원소구성비율을 곱해주면 칼슘이 $40.08 \times 15.24 = 610.79$, 탄소 $12.01 \times 24.12 = 289.71$, 산소가 $16.00 \times 60.64 = 970.18$ 로 계산된다. 이를 백분율로 계산해주면 각각 32.65%, 15.49%, 51.86%으로 나타나며, 이론적 원소비와 중량비는 일치하는 것을 확인할 수 있다.

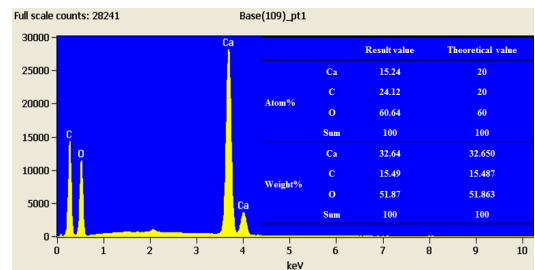


Fig. 7. EDS spectra of CaCO₃.

4. 결론

수열합성법을 이용하여 큐빅과 로드형의 탄산칼슘을 합성하였고, 반응 조건에 따른 입자의 형상 조절 조건과, pH 변화에 따른 합성에서의 영향을 확인해 보았고, 이에 따라 다음과 같은 결론을 유추할 수 있었다.

1. 염화칼슘과 탄산암모늄을 이용해서 큐빅과 로드 모양의 탄산칼슘 입자를 합성했으며, 큐빅의 형성은 pH 7 이하의 조건에서 합성이 가능하고, 로드 형성은 pH 8 ~ 11 사이에서 합성이 가능하며, pH 12로 높일 경우 다각형 모양의 입자를 형성할 수 있었다.

2. 전구체의 조건을 조절한 결과 큐빅 형태의 입자는 calcite, 로드형태의 입자는 aragoinite로 결정이 형성됨이 확인되었다. 열안정성 평가 결과 큐빅 형태의 입자가 로드형태에 비해 안정하며, 이는 결정성에 의한 영향으로 확인된다.
3. 합성된 큐빅 입자의 평균 크기는 10 μm 내외였으며, 로드 입자의 크기는 수십 μm 에서 100 μm 이상으로 반응 조건에 따라 조절할 수 있었다.

References

- [1] J. Chen, L. Xiang, "Controllable synthesis of calcium carbonate polymorphs at different temperatures", *Powder technol.*, **189**, 64-69, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2008.06.004>
- [2] Liu XinRong, ZHU BaoQing, SHAO YingYa, YANG XinLin, "Control of morphology and structure of calcium carbonate crystals b heparin", *Mat. Sci.*, **55**, 1107-1111, 2010.
- [3] F. Manoli, E. Dalas, "Spontaneous precipitation of calcium carbonate in the presence of ethanol, isopropanol and diethylene glycol", *J. Cryst. Growth*, **218**, 359-364, 2000.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-0248\(00\)00560-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-0248(00)00560-1)
- [4] J. Stolkowski, "Essai sur le determinisme desformesmineralogiques du calcaire", *Ann I oceanogr paris*, **26**, 1-113, 1951.
- [5] L. N. Plummer, E. Busenberg, "The solubilities of calcite, aragonite and vaterite in $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ solutions between 0 and 90°C, and an evaluation of the aqueous model for the system $\text{CaCO}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ ", *Geohim. cosmochim. ac.*, **46**, 1011-1040, 1982.
- [6] D. Walsh, B. Lebeau, S. Mann, "Morphosynthesis of calcium carbonate(vaterite) microsponges", *Adv. mater.*, **1999**, 324-328, 1999.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-4095\(199903\)11:4<324::AID-ADMA324>3.0.CO;2-A](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1521-4095(199903)11:4<324::AID-ADMA324>3.0.CO;2-A)
- [7] E. Altaya, T. Shahwana, M. Tanoğlu, "Morphosynthesis of CaCO_3 at different reaction temperatures and the effects of PDDA, CTAB, and EDTA on the particle morphology and polymorph stability", *Powder Technol.*, **178**, 194-202, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2007.05.004>
- [8] Y. Wen, L. Xiang, Y. Jin, "Synthesis of plate-like calcium carbonate via carbonation route", *Mater. lett.*, **57**, 2565-2571, 2003.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-577X\(02\)01312-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-577X(02)01312-5)
- [9] C. Wenyi, X. Qin, Z. Xiaoning, Z. Junjie, C. Hongyuan, "Porous Gold-Nanoparticle-CaCO₃ Hybrid Material: Preparation, Characterization, and Application for Horseradish Peroxidase Assembly and Direct Electrochemistry", *Chem. Mater.*, **18**, 229-284, 2006.
- [10] G. Falini, S. Fermani, G. Tosi, E. Dinelli, "Calcium Carbonate Morphology and structure in the Presence of Seawater Ions and Humic Acids", *Cryst. Growth Des.*, **9**,

2065-2072, 2009.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/cg8002959>

- [11] H. E. Lundager Madsen, "Comment on 'the growth of dicalcium phosphate dihydrate on octacalcium phosphate at 25°C' by J.-C. Heughebaert, J. F. De Rooij and G. H. Nancollas", *Cryst. growth*, **80**, 450-452, 1987.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0248\(87\)90095-9](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0248(87)90095-9)
- [12] T. F. Kazmierczak, M. B. Tomson, G. H. Nancollas, "Crystal growth of calcium carbonate. A controlled composition kinetic study", *J. phys. chem-us*, **86**, 103-107, 1982.
- [13] Y. Y. Gao, H. H. Wang, Y. L. Su, Q. Shen, D.J. Wang, "Influence of magnesium source on the crystallization behaviors of magnesium hydroxide", *J. Cryst. Growth*, **310**, 3771, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2008.01.025>
- [14] Eva Loste, Rory M. Wilson, Ram Seshadri, Fiona C. Meldrum, "The role of magnesium in stabilizing calcite amorphous calcium carbonate and controlling calcite morphologies", *J. Cryst. Growth*, **254**, 206-218, 2003.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-0248\(03\)01153-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-0248(03)01153-9)
- [15] T. Tsuzuki, K. Pethick, P. G. McCormisk, "Synthesis of CaCO_3 nanoparticles by mechanochemical processing", *J. nanopart res*, **2**, 375-380, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010051506232>
- [16] Kuk Hyoun Kang, Sun In Jeong, Dong Kyu Lee "Shape Change of $\text{Mg}(\text{OH})_2$ with Different Magnesium Precursors in Low Temperature", *J. Korea. Aca. Ind. cooper. Soc.*, **14**, 888-984, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.4.2049>

이 동 규(Dong-Kyu Lee)

[정회원]



- 1981년 2월 : 충북대학교 화학공학과 (공학석사)
- 1989년 2월 : 충북대학교 화학공학과 (공학박사)
- 1991년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 공업화학과 교수

<관심분야>

형광체, 초음파분무 열분해, sol-gel, 필 안료

강 국 현(Kuk-Hyoun Kang)

[정회원]



- 2010년 2월 : 충북대학교 공업화학
과 (공학석사)
- 2013년 8월 : 충북대학교 공업화학
과 박사 (공학박사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 신용보증기
금 재직

<관심분야>

무기물 합성, 무기첨가제, 디스플레이 소재, 코팅

전 상 철(Sang-Chul Jeon)

[정회원]



- 2005년 2월 : 충북대학교 공업화학
과 (공학석사)
- 2011년 8월 : 충북대학교 공업화학
과 박사 (공학박사)
- 2004년 12월 ~ 2015년 2월 나노
종합기술원 책임연구원
- 2015년 2월 ~ 현재 : 한국폴리텍
대학 청주캠퍼스 교수

<관심분야>

나노전자소재, 초미세 나노패터닝, 반도체 제조공정

현 미 호(Mi-Ho Hyun)

[정회원]



- 2013년 2월 ~ 2015년 2월 : 충북
대학교 공업화학과 (공학석사)

<관심분야>

무기물 합성, 고분자 첨가제