J. Korean Ind. Eng. Chem., Vol. 17, No. 1, February 2006, 67-72

# 분사법으로 제조된 침강성 탄산칼슘 특성에 관한 연구

박주원 · 김준석 · 안지환* · 한 춘†

광운대학교 화학공학과, *한국지질자원연구원 자원활용연구부
(2005년 9월 13일 접수, 2005년 12월 6일 채택)

# A Study on Characteristics of Precipitated Calcium Carbonate Prepared by the Nozzle Spouting Method

**Joo-Won Park, Joon-Seok Kim, Ji-Whan Ahn*, and Choon Han†**

*Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul 447-1, Korea*
**Minerals and Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea*
*(Received September 13, 2005; accepted December 6, 2005)*

탄산가스로 채워진 반응기에 수산화칼슘 현탁액을 순환·분사하여 탄산가스와 현탁액의 접촉면적을 증가시키며 가능한 짧은 시간에 다수의 핵을 생성시킬 수 있는 분사법을 이용하여 침강성 탄산칼슘을 합성하였다. 현탁액의 농도와 온도, 반응기로 투입되는 탄산가스의 유량, 분사노즐의 크기를 조절하면서 침강성 탄산칼슘의 입자를 조절하였고 그 결과 약 0.1 $\mu$m 정도의 균질 분산된 입자에서부터 0.3 $\mu$m 크기의 불균일 입자를 얻을 수 있었다. 생성된 침강성 탄산칼슘을 XRD로 분석한 결과 대부분의 탄산칼슘은 calcite로 나타났고 반응조건에 따라 약간의 aragonite도 생성되었다. 또한 반응시간에 따른 현탁액의 pH와 전기전도도의 변화를 측정한 결과 반응조건에 따라 약간의 차이는 있었으나 초기에 일정시간 높은 pH와 전기전도도값을 유지한 후 급속히 감소하다 포화되는 경향을 보였다. 또한 생성된 침강성 탄산칼슘을 SEM을 이용, 반응조건 변화에 의한 입자생성변화를 고찰한 결과 입도 0.1 $\mu$m의 균일입자 생성조건은 반응온도 25 ℃, 현탁액농도 0.5 wt%, $CO_2$가스의 유량 1 L/min, 노즐사이즈 0.4 mm로 나타났다.

Precipitated calcium carbonate (PCC) was prepared in a cylindrical reactor by the nozzle spouting method. The reactor was filled with $CO_2$ and $Ca(OH)_2$ suspensions were circulated through a nozzle to prepare PCC. This method has several advantages such as provision of large contact area between suspension and $CO_2$ and production of large number of nuclei in short time. By changing suspension concentrations, suspension temperature, flow rates of $CO_2$ and nozzle sizes, PCC from homogeneously dispersed 0.1 $\mu$m to heterogeneous 0.3 $\mu$m can be obtained. According to XRD analyses, most PCC formed was calcite with small amount of aragonite depending on the reaction conditions. Usually, the reaction proceeded at high pH and electric conductivities initially. Then, pH and electric conductivities decreased rapidly to the saturation condition. Results indicated that the specific conditions (temperature: 25 ℃, suspension concentration: 0.5 wt%, $CO_2$ flow rate: 1 L/min, nozzle size: 0.4 mm) were required to prepare uniform particle size (particle diameter: 0.1 $\mu$m) of PCC.

***Keywords**: precipitated calcium carbonate, carbonate process, nozzle spouting, calcite, aragonite*

## 1. 서 론

탄산칼슘(calcium carbonate)은 자연에서 존재하는 풍부한 자원광물 중의 하나이고 calcite, aragonite, vaterite 등과 같이 무수의 성격을 가지고 있는 세 가지의 동질이상체(polymorphs)로 존재한다[1]. 일반적으로 탄산칼슘은 제조방법에 따라 원석의 파·분쇄에 의해 얻어지는 중질 탄산칼슘(ground calcium carbonate, GCC)과 화학적인 침전 반응에 의해 얻어지는 침강성 탄산칼슘(precipitated calcium carbonate, PCC)으로 나눌 수 있다. 그러나 중질 탄산칼슘의 경우 입자의 상과 형태 제어가 어렵고 입도가 균일하지 않으며 기능성을 부여하기 어렵다는 등의 단점 때문에 최근에는 침강성 탄산칼슘이 이의 수요를 점차 대체해 가고 있는 추세이다. 침강성 탄산칼슘은 칼슘기와 탄산기의 혼합에 의해서 또는 그들의 형태 및 구조의 변형에 의해서 합성되어진다[2]. 침강성 탄산칼슘은 불균일한 형태나 크기를 가진 다른 탄산칼슘보다 효과적인 성질을 가지고 있어 고무, 플라스틱, 제지, 페인트, 식품, 접착제 등에 다양하게 이용되고 있다. 또한 최근산업에서는 침강성 탄산칼슘의 수요와 그 다양성이 증가함에 따라 형태, 구조, 크기, 비표면적, 백색도, 흡유성, 순도 등의 수많은 변수들을 정확히 제

† 주 저자(e-mail: chan@daisy.kw.ac.kr)

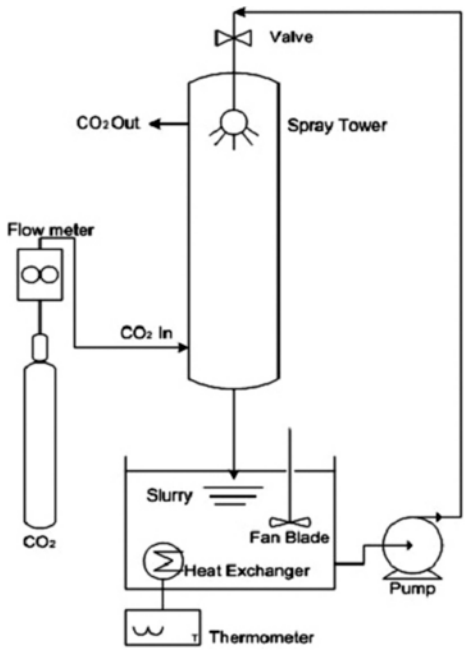



**Figure 1. Experimental apparatus for preparation of PCC.**

어함으로써 탄산칼슘입자를 응용하고 있다[3,4].

침강성 탄산칼슘의 제조 방법에는 기-액 반응[5,6], 액-액 반응[7,8]으로 구분된다. 전자는 탄산화법(carbonate process)으로 수산화칼슘수용액에 이산화탄소를 흡수시키는 반응이고, 후자는 탄산염용액 반응법으로 각종 칼슘염 수용액과 다양한 탄산염 수용액에서 탄산칼슘을 제조하는 방법이며 일본과 우리나라에서는 탄산화법을 주로 사용하고 있다[9]. 현재 탄산화법을 이용한 공장규모의 공업적 제조는 CMSMPR (continuous mixed suspension mixed product removal)법에 의해 이루어지고 있으며 이에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다[10,11]. 그러나 반응온도는 10~25 ℃의 범위로 상온이하에 한정되어 연구되었고, 고농도 현탁액에서 발생하는 점도증가로 인해 탄산가스의 공급이 제대로 이루어지지 않아 실험조건이 초기조건과 달라지면 반응시간 또한 길어지는 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 탄산가스로 채워진 반응기에 수산화칼슘 현탁액을 순환시키면서 분사하여 탄산가스와 현탁액의 접촉면적을 증가시켜 가능한 짧은 시간에 다수의 핵을 생성시킬 수 있는 분사법을 이용하여 침강성 탄산칼슘을 합성하였다. 현탁액의 농도와 온도, 반응기로 투입되는 탄산가스의 유량, 분사노즐의 크기를 조절하면서 침강성 탄산칼슘의 입자를 조절하였고 반응시간에 따른 현탁액의 pH와 전기전도도의 변화를 측정하고 생성된 침강성 탄산칼슘을 SEM과 XRD로 분석함으로써 입자생성조건을 고찰해 보았다.

## 2. 실 험

### 2.1. 실험시약 및 장치

본 연구에 사용된 반응기는 순환분사형으로서 기액 접촉 면적을 균일하게 증대시킬 수 있다. 본 연구에서 사용한 반응기의 개략도를 Figure 1에 나타내었다. 반응기는 내경 30 cm, 길이 180 cm의 원통형 아크릴로 제작되었다. 분사노즐 또한 내경 10 cm, 높이 8 cm의 아크릴 원통으로 제작하였으며 분사구는 각각의 크기별로 146개의 분사구를 만들어 사용하였다. 현탁액은 증류수에 시약급 수산화칼슘(DC

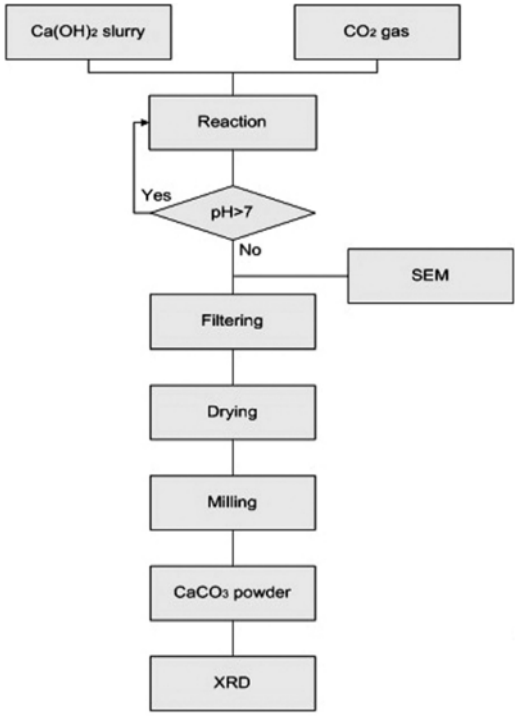



**Figure 2. Schematic diagram of experimental procedures.**

Chemical)을 분산하여 제조했고 교반기로 2 h 교반한 뒤 수조에서 열교환기(UTD-50, Uriel)로 온도를 조정하여 반응시켰다. 현탁액과 탄산가스의 반응 시 pH와 전기전도도(electrical conductivity, EC)의 변화를 측정하기 위하여 pH meter (PH 211, Hanna)와 전기전도도측정기(EC meter, EC 214, Hanna)를 사용하였다. 또한 반응에 사용된 탄산가스는 99.9%의 고순도가스를 사용했으며 flow meter (RK 1600R, KOFLOC)를 이용하여 반응기로 주입되는 탄산가스의 양을 조절했다.

### 2.2. 실험방법 및 분석

분사법에 의한 침강성 탄산칼슘의 합성 실험은 Figure 2와 같은 공정개략도에 의해 이루어졌다. 최초의 실험조건은 현탁액 농도 0.5 wt%, $CO_2$ 유량 1 L/min, 반응온도 25 ℃, 노즐크기 1 mm로 실험하였으며 각 변수별로 수치를 변화하여 실험하였다. 반응이 종료될 때까지 전기펌프(PM-250PMS, Wilo)로 현탁액을 순환시키면서 시간에 따른 현탁액의 pH 및 전기전도도를 측정하였다. 현탁액과 탄산가스의 반응은 발열반응이므로 반응시 약간의 온도상승이 일어난다. 따라서 온도에 민감한 전기전도도는 측정시간에 따라 EC meter의 온도범위를 조절해 가며 전기전도도를 측정하였다. 합성된 침강성 탄산칼슘은 먼저 현탁액 상태로 샘플링한 후 나머지는 여과, 건조, 분쇄하여 $CaCO_3$ 분말형태로 제조하였다. 현탁액상태의 시료는 SEM (S-470, Hitach)으로 분석하였고, 분말상태의 $CaCO_3$는 XRD (D5005, Bruker)로 분석하여 합성된 침강성 탄산칼슘의 상태를 고찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

수산화칼슘 현탁액에 탄산가스를 주입하여 침강성탄산칼슘을 제조하는 탄산화반응은 $CO_2$ (gas), $H_2O$ (liquid), $Ca(OH)_2$ (solid) 등의 기체, 액체 및 고체 등 3상을 포함하는 불균일 반응이다. Juvekar 등[12]은 수산화칼슘 현탁액의 탄산화반응을 다음과 같이 5단계의 기본반응

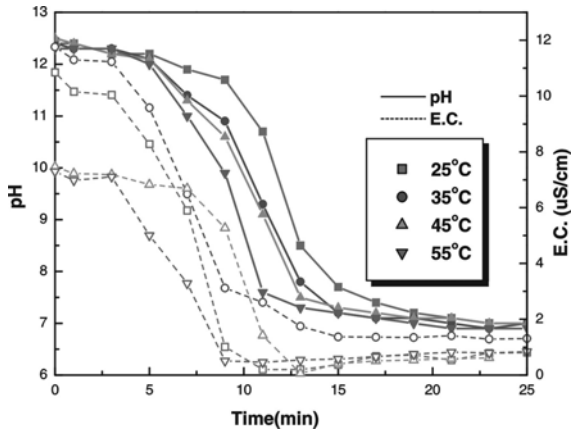



**Figure 3. Variations of pH and electrical conductivities for vario reaction temperatures.**

들로 진행된다고 보고하였다.

$$Ca(OH)_2(s) + H_2O(l) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + 2OH(aq) + H_2O(l) \quad (1)$$

$$CO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow CO_2(aq) + H_2O(l) \quad (2)$$

$$CO_2(aq) + OH(aq) \rightarrow HCO_3^-(aq) \quad (3)$$

$$HCO_3^-(aq) + OH(aq) \rightarrow H_2O(l) + CO_3^{2-}(aq) \quad (4)$$

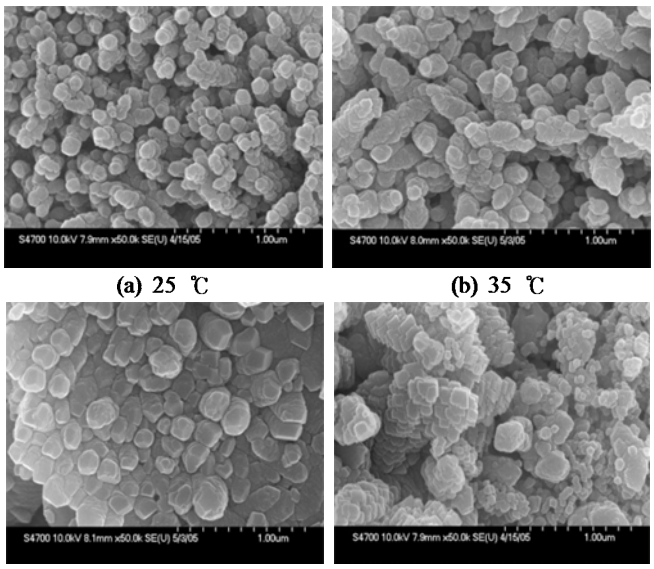
$$Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightarrow CaCO_3(s) \quad (5)$$

이 반응들 중에서 (3), (4), (5)는 순간적인 반응이기 때문에 전체반응의 속도결정단계는 (1)의 용해반응이거나 (2)의 탄산가스의 물에 용해되는 반응일 것으로 예상된다. $CaCO_3$는 물에 대해 한정된 용해도를 가지기 때문에 온도에 따라 pH 12~13 정도의 액성을 나타내며, 이것에 $CO_2$ 가스를 주입하면 중화반응이 일어나며 $CaCO_3$이 침전된다. 그러나 탄산화반응이 진행되면서 현탁액의 농도가 초기농도의 1/10 정도로 급격하게 감소하여 반응온도에 따라 일정한 pH 6~7을 나타내게 된다. 그러므로 현탁액의 탄산화반응에 대한 반응혼합물의 pH를 연속적으로 측정함으로써 반응의 진도를 파악할 수 있다.

기·액반응법으로 기존 연구들에서는 탄산칼슘이 물에 한정된 용해도를 갖기 때문에 pH 12~13 정도의 액상을 나타내며 $CO_2$ 가스 반응 후 중화반응으로 침강성 탄산칼슘이 생성되는 것을 pH만으로 측정하여서 중간 생성물의 합성 유무확인 및 생성 규명이 어려웠다. 하지만 본 논문에서는 전기전도도를 함께 사용함으로써 전기전도도 변화단계와 탄산칼슘 전이, 결정화 등에 관한 특성을 규명하고, 공업적, 실험실 적으로 사용되는 탄산화반응으로 기·액반응법을 채택하여 침강성 탄산칼슘을 합성하고자 하였다. 따라서 반응변수의 변화에 따른 pH변화 및 전기전도도변화를 측정함으로써 침강성 탄산칼슘의 생성특성을 고찰하였다.

### 3.1. 반응온도 변화에 따른 현탁액의 pH 및 전기전도도 변화

먼저 반응온도 변화에 따른 침강성 탄산칼슘의 생성 변화를 알아보기 위하여 현탁액농도 0.5 wt%, $CO_2$ 유량 1.0 L/min, 노즐크기 1.0 mm의 조건에서 온도변화에 따른 pH 및 전기전도도 변화를 고찰하였다.



(a) 25 ℃ (b) 35 ℃ (c) 45 ℃ (d) 55 ℃

**Figure 4. Scanning electron micrographs of precipitated calcium carbo ate at various temperatures.**

Figure 3에 나타난 바와 같이 반응온도가 높아질수록 pH의 감소는 빠르게 진행되었으며, 전기전도도는 높은 온도에서 초기수치가 낮게 나타남을 알 수 있었다. Juvekar 등[12]은 수산화칼슘의 용해 속도와 탄산가스의 흡수속도를 다음과 같이 표현했다.

$Ca(OH)_2$의 용해 속도(Ra)

$$Ra = (k_s a_p v / z v_d)([B_s] - [B_o]) \quad (6)$$

$CO_2$의 흡수속도(Ra)

$$Ra = [A] a \sqrt{(D_A k_2 [B_O])} \quad (7)$$

(6)식과 (7)식에서 온도와 관계된 변수는 용해도($[B_s]$, [A]), 물질이동상수($k_s$, $k_2$) 및 확산계수($D_A$)이다. 온도가 올라가면 수산화칼슘이나 탄산가스의 용해도는 감소하는 반면, 물질이동상수와 확산계수는 증가하게 된다. 따라서 반응온도가 증가할수록 용해도의 감소분보다 물질이동상수나 확산계수의 증가분이 커져야만 반응속도가 빨라지게 된다. 이러한 이유로 일정온도 이상에서는 낮은 수산화칼슘 및 탄산가스의 용해도에서 빠른 반응이 진행됨으로 불균일, 불규칙적인 침강성 탄산칼슘 결정이 생성된다. 또한 45 ℃ 이상에서의 낮은 초기 전기전도도수치도 탄산가스의 용해도 감소로 인한 결과로 사료된다.

반응온도변화에 따른 침강성 탄산칼슘의 SEM 결과를 Figure 4에 도시하였다. 그림에 나타난 바와 같이 반응온도가 증가할수록 생성된 침강성 탄산칼슘의 입자가 불균일, 불규칙함을 확인할 수 있었다. 이때 SEM에 나타난 입자의 크기는 작게는 0.1 $\mu$m에서 크게는 0.3 $\mu$m 정도로 나타났다.

### 3.2. 침강성 탄산칼슘의 합성시 현탁액 농도의 영향

침강성 탄산칼슘의 합성시 현탁액 농도가 입자 생성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 반응온도 25 ℃, $CO_2$ 유량 1.0 L/min, 노즐크기 1.0 mm의 조건에서 현탁액의 농도를 각각 0.5 wt%, 1.0 wt%, 1.5 wt%, 2.0 wt%로 하여 반응중의 pH 및 전기전도도의 변화를 측정했다. Figure 5는 그 결과를 나타낸 것이다.

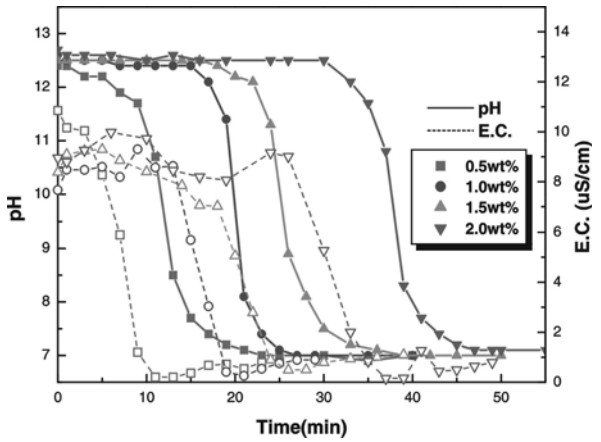



Figure 5. Variations of pH and electrical conductivities for vario $Ca(OH)_2$ slurry concentrations.

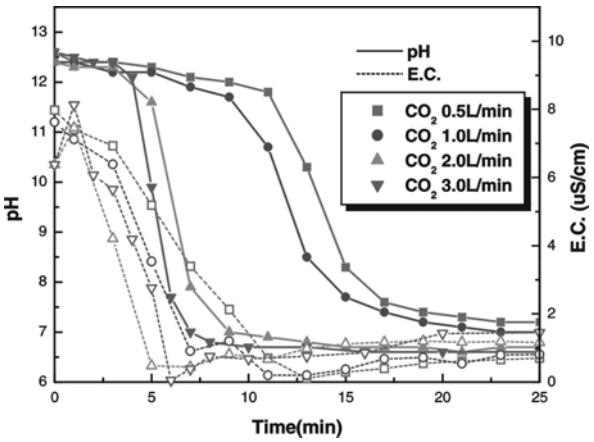
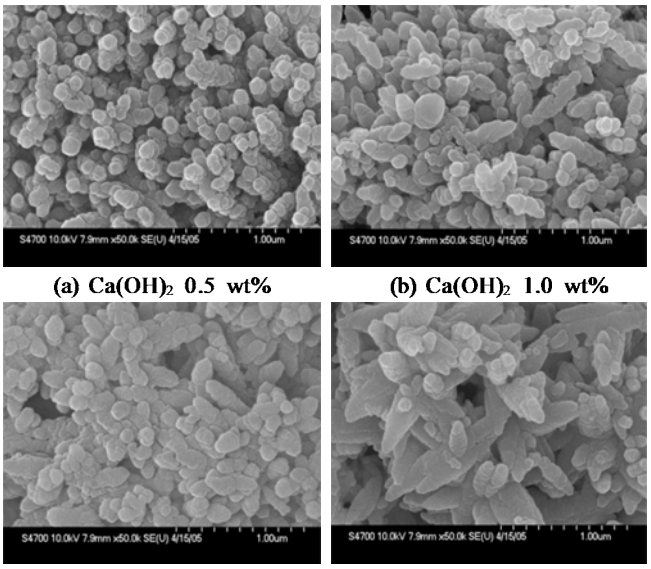


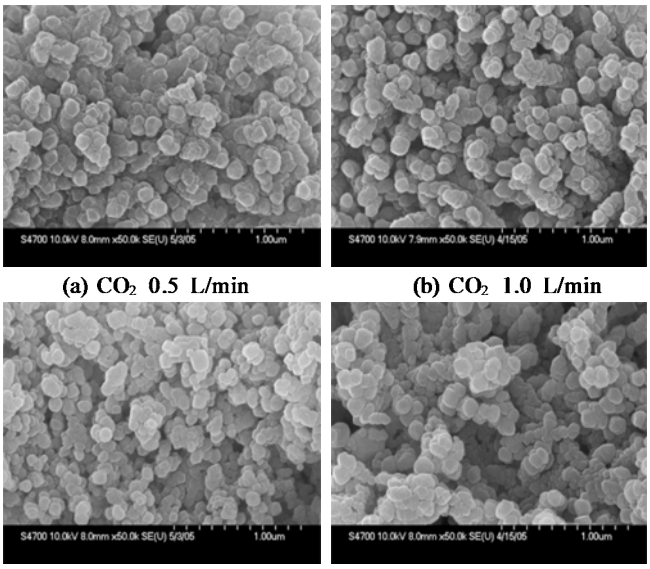

Figure 7. Variations of pH and electrical conductivities for vario $CO_2$ flow rates.



(a) $Ca(OH)_2$ 0.5 wt% (b) $Ca(OH)_2$ 1.0 wt%

(c) $Ca(OH)_2$ 1.5 wt% (d) $Ca(OH)_2$ 2.0 wt%

Figure 6. Scanning electron micrographs of precipitated calcium ca bonate at various $Ca(OH)_2$ concentrations.



(a) $CO_2$ 0.5 L/min (b) $CO_2$ 1.0 L/min

(c) $CO_2$ 2.0 L/min (d) $CO_2$ 3.0 L/min

Figure 8. Scanning electron micrographs of precipitated calcium ca bonate for various $CO_2$ flow rates.

그림에서와 같이 현탁액의 농도가 높을수록 용출되어 나오는 수산화칼슘의 양이 많기 때문에 반응시간이 길어진다. 또한 현탁액의 농도가 증가할수록 초기 전기전기도(e.c.) 수치는 감소하였는데 이는 수산화칼슘 농도의 증가에 따른 용해도 감소로 인한 결과로 사료된다. Figure 6은 Figure 5 대한 SEM 결과이다. 그림에서와 같이 0.5 wt%, 1.0 wt%의 경우에는 0.1~0.2 $\mu$m 정도의 비교적 잘 분산된 입자를, 1.5 wt%, 2.0 wt%에서는 0.2 $\mu$m 이상의 큰 입자가 주를 이루고 미세한 입자들이 큰 입자 주위에 산재해 있으며 전체적으로 응집이 심한 입자를 얻을 수 있었다. 또한 현탁액의 농도가 증가할수록 생성된 탄산칼슘의 입자는 밀집된 방추형의 형태로 나타났다. 이는 Arai와 Yasue[13]의 결과에서 나타내듯이 과포화도가 높을수록 에너지가 낮은 변뿐만 아니라 높은 면으로의 성장도 일어나기 때문에 이방성이 높은 연쇄상이나 방추형으로 성장한 것으로 사료된다.

### 3.3. $CO_2$ 유량 변화 따른 침강성 탄산칼슘의 변화 양상

분사법에 의한 침강성 탄산칼슘 합성시 반응기 내로 투입되는 $CO_2$ 가스의 유량을 0.5~3.0 L/min의 범위에서 변화시켜 $CO_2$ 가스 유량이 현탁액의 pH 및 전기전도도에 미치는 영향을 고찰하였다. 이때 사용된 현탁액의 농도는 0.5 wt%, 반응온도 25 ℃, 노즐크기 1.0 mm이었으며 유량계로 $CO_2$ 가스의 유량을 조절하여 실험하였다. Figure 7에 나타난 바와 같이 반응기에 투입된 $CO_2$ 가스의 유량이 증가할수록 현탁액 pH의 감소가 빨리 진행되어 탄산화 반응의 반응성 증가를 알 수 있었다. 그러나 $CO_2$ 가스 유량 2.0 L/min 이상에서 현탁액내의 탄산화반응의 반응성은 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있었다. 이러한 결과는 반응기내에서 현탁액과 $CO_2$ 가스의 접촉시 일정 $CO_2$유량 이상에서는 현탁액내의 $Ca(OH)_2$ 입자를 둘러싸고 있는 기체경막 저항이 사라지기 때문이라고 사료된다. 또한 Figure 8에서 보는 바와 같이 $CO_2$ 가스의 유량변화에 따라 0.1~0.3 $\mu$m 정도의 균질한 침강성 탄산칼슘 입자를 얻을 수 있었으며 이는 $Ca(OH)_2$(고체)-$H_2O$(액체)-$CO_2$(기체)로 이루어진 반응계에서 탄산화반응이 일어나는 액체경막 내의 위치가 $CO_2$ 가스 유량에 따라 달라지기 때문인 것으로 사료된다. 송과 박[14]에 의하면 $CO_2$ 가스 유량 변화에 따라 칼사이트, 아라고나이트,

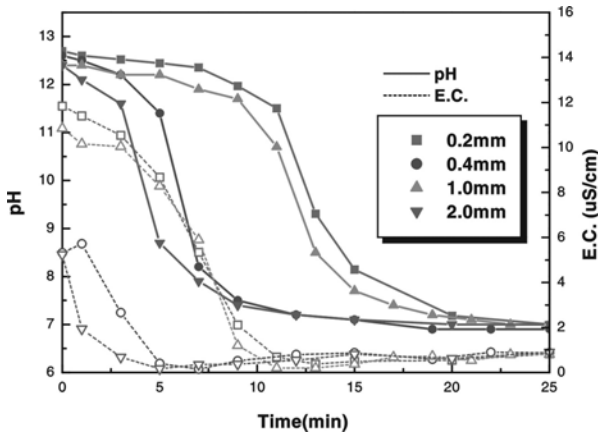
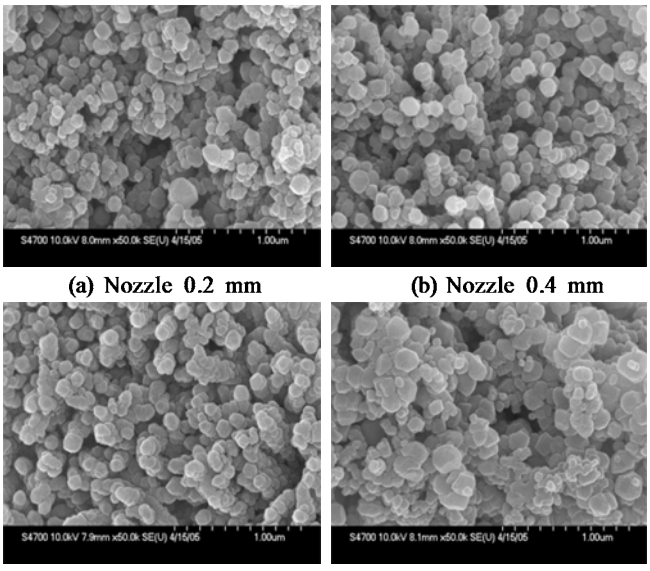



**Figure 9. Variations of pH and electrical conductivities for vario nozzle sizes.**



**(a) Nozzle 0.2 mm** **(b) Nozzle 0.4 mm**

**(c) Nozzle 1.0 mm** **(d) Nozzle 2.0 mm**

**Figure 10. Scanning electron micrographs of precipitated calcium ca bonate for various nozzle sizes.**

바테라이트 등의 합성이 조절 가능하다고 하였으며 본 연구에서도 부분적으로 그 결과와 일치함을 알 수 있었다.

### 3.4. 노즐크기에 따른 현탁액의 pH 및 전기전도도 변화

분사법을 이용한 침강성 탄산칼슘 합성시 반응기에 사용된 노즐의 크기에 따른 탄산칼슘 결정 생성 변화를 알아보기 위한 실험을 실시하였다. Figure 9에서와 같이 노즐크기가 0.2 mm인 경우가 반응속도가 가장 느렸고 2.0 mm인 경우 가장 빠른 반응속도를 보였다. 하지만 노즐크기 1.0 mm 보다 0.4 mm가 더 빠른 반응속도를 보였다. 이는 분사노즐의 크기가 작은 경우 많은 비표면적으로 인해 $CO_2$ 가스와의 접촉면 증가로 빠른 반응을 보이지만 0.2 mm인 경우 현탁액과 노즐 구멍 사이의 마찰과 압력의 영향으로 노즐을 통해 분사되는 현탁액의 양이 급격히 감소하여 생기는 현상으로 사료되면 실험 중에 그러한 사실을 확인할 수 있었다. 또한 노즐크기 2.0 mm에서는 분사되는 현탁액의 양이 급격히 증가하여 다른 노즐크기의 반응보다 반응속도가 급격히 증가하였다. 전기전도도 역시 pH와 비슷한 결과로 나타났다.

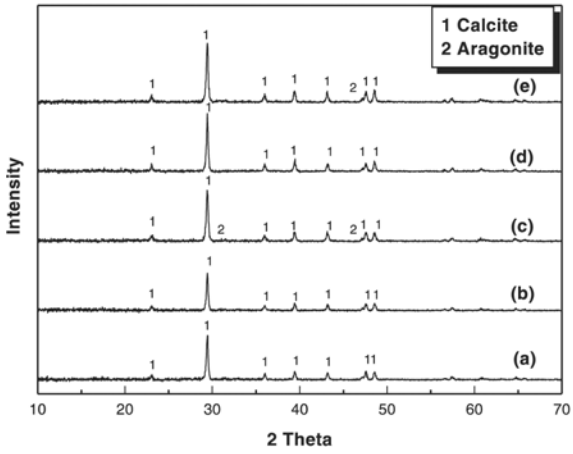



**Figure 11. XRD patterns of prepared precipitated calcium carbonate.**
**(a) $Ca(OH)_2$ 0.5 wt%, $CO_2$ flow 1 L/min, Temp. 25 ℃, Nozzle 1.0 m**
**(b) $Ca(OH)_2$ 0.5 wt%, $CO_2$ flow 3 L/min, Temp. 25 ℃, Nozzle 1.0 m**
**(c) $Ca(OH)_2$ 2.0 wt%, $CO_2$ flow 1 L/min, Temp. 25 ℃, Nozzle 1.0 m**
**(d) $Ca(OH)_2$ 0.5 wt%, $CO_2$ flow 1 L/min, Temp. 25 ℃, Nozzle 0.2 m**
**(e) $Ca(OH)_2$ 0.5 wt%, $CO_2$ flow 1 L/min, Temp. 55 ℃, Nozzle 1.0 m**

Figure 10은 노즐크기변화에 따라 합성된 침강성 탄산칼슘의 SEM 결과이다. 그림에서와 같이 빠른 반응을 보였던 노즐 2.0 mm의 경우 0.2 ~0.3 $\mu$m 정도의 큰입자 주위에 작은 입자들이 산재해 있는 불균일한 입자를 보였고 가장 반응시간이 길었던 0.2 mm의 경우 역시 입자의 크기는 불균일하였다. 노즐크기가 0.4 mm와 1.0 mm의 경우는 0.1 $\mu$m 정도의 비교적 균일한 입자들이 분산되어 생성됨을 알 수 있었다.

### 3.5. 합성조건 변화에 따른 침강성 탄산칼슘의 XRD 분석

분사식 반응기를 이용한 침강성 탄산칼슘의 합성에서 합성조건 변화에 따른 침강성 탄산칼슘의 XRD 분석 결과를 Figure 11에 도시하였다. 그림에 나타난 바와 같이 대부분의 침강성 탄산 칼슘은 calcite의 형태로 나타났으며 현탁액의 농도와 반응온도가 높은 경우에는 약간의 아라고나이트가 생성됨을 알 수 있었다. 이러한 결과는 반응조건의 변화를 통해 침강성 탄산칼슘의 성분조절이 가능하다는 것을 확인시켜 주었다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 carbonation process에서 기액 접촉면을 증대시키며 균일성을 유지시킬 수 있는 순환분사형 반응기를 채택하여 침강성 탄산칼슘을 합성하였다. 이 때 반응조건을 변화시키며 생성되는 침강성 탄산칼슘에 미치는 영향을 고찰하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 반응온도 변화에 따른 침강성 탄산칼슘 합성시 온도증가에 따라 현탁액의 pH의 감소는 빠르게 진행되었으며, 전기전도도는 높은 온도에서 초기수치가 낮게 나타남을 알 수 있었다. 이는 높은 온도에서의 현탁액의 용해도 감소 때문으로 사료된다.

(2) 침강성 탄산칼슘 합성시 현탁액의 농도의 영향을 조사해본 결과 저농도에서는 0.1~0.2 $\mu$m 정도의 비교적 잘 분산된 입자를, 고농도에서는 밀집된 방추형의 입자가 생성됨을 알 수 있었다.

(3) 분사법을 이용한 침강성 탄산칼슘 합성시 적절한 $CO_2$ 가스의 유량은 1 L/min이였고, 분사반응기에 사용된 노즐의 최적 크기는 0.4

mm~1.0 mm 범위였으며 이때 0.1 $\mu$m 정도의 비교적 균일한 입자들이 분산되어 생성됨이 확인되었다.

(4) 합성된 탄산칼슘의 XRD 분석 결과 대부분 calcite의 형태로 나타났고 현탁액의 농도와 반응온도가 높은 경우에는 약간의 아라고나이트가 생성됨을 확인할 수 있었다.

## 감 사

본 연구는 에너지관리공단의 연구비지원하에 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 사 용 기 호

- $a$ : gas-liquid interfacial area [$m^2$]
- $a_p$ : solid-liquid interfacial area [$m^2$]
- $A$ : velocity of dissolution of $CO_2$ [m/sec]
- $B_o$ : concentration of $Ca(OH)_2$ in slurry [kmol/kg]
- $B_s$ : solubility of $Ca(OH)_2$ [kg/kg-$H_2O$]
- $D_A$ : diffusion coefficient of $CO_2$ in solution [$m^2$/sec]
- $k_2$ : reaction rate constant of $CO_2$ and $OH^-$ [m/sec]
- $k_s$ : solid-liquid interfacial mass transfer constant [kg/$m^3$/sec]
- $v$ : volume of liquid [$m^3$]
- $v_d$ : volume of particle [$m^3$]
- $z$ : stoichiometric constant [-]

## 참 고 문 헌

1. W. D. Carlson and R. J. Reeder, *Mineralogical Society of America*, **11**, 191 (1975).
2. K. S. Seo, C. Han, J. H. Wee, J. K. Park, and J. W. Ahn, *J. Cryst. Growth*, **276**, 680 (2005).
3. M. Vucak, M. N. Pons, J. Peric, and H. Vivier, *Powder Technology*, **97**, 1 (1998).
4. L. Xiang, Y. Xiang, Y. Wen, and F. Wei, *Materials Letters*, **58**, 959 (2004).
5. V. A. Juvekar and M. M. Sharma, *Chem. Eng. Sci.*, **28**, 825 (1977).
6. S. Wachi and A. G. Jones, *Chem. Eng. Sci.*, **46**, 1027 (1991).
7. O. Söhnel and J. W. Mullin, *J. Cryst. Growth.*, **60**, 239 (1982).
8. D. Kralj, L. BreeviArne, and E. Nielsen, *J. Cryst. Growth.*, **104**, 793 (1990).
9. 신동욱, 화학공업과 기술 제2권 1호, 40 (1984).
10. M. Kitamura, H. Konno, A. Yasui, and H. Masuoka, *J. Cryst. Growth.*, **236**, 323 (2002).
11. T. Yasue, A. Mamiya, T. Fukushima, and Y. Arai., *Gypsum & Lime*, **198**, 245 (1985).
12. V. A. Juvekar and M. M. Sharma, *Chem. Eng. Sci.*, **28**, 825 (1973).
13. Y. Arai and T. Yasue, *Gypsum & Lime*, **228**, 41 (1990).
14. 송영준, 박찬훈, 한국자원공학회지, **34**, 38 (1997).