

## 전해환원수를 이용한 탄산염 광물화 원료용 사문석의 전처리

최원경<sup>†</sup>

\*단국대학교 공학대학

## Serpentine Pretreatment Using Electrolyzed Reduced Water for Mineral Carbonation Materials

WEONKYUNG CHOI<sup>†</sup>

\*School of Engineering, Dankook University, 29 Anseo-dong, Cheonan 330-714, Korea

### ABSTRACT

Electrolyzed reduced water was known as an alkaline solvent than piped water, natural water and mineral water etc. By means of reduction property, electrolyzed reduced water could dissolve a solute than other kinds of water without chemicals. In this study, serpentine dissolution in electrolyzed reduced water was investigated as a novel pre-treatment of serpentine which was a minerals for carbon dioxide sequestration. The elements (Ca, Si, Mg etc.) of serpentine were dissolved rapidly at early in the dissolution then after some minutes the solubilities of serpentine elements showed stable state without abrupt changes. In spite of serpentine elements dissolution, chemical bondings and crystallographic structure of serpentine were not changed. It was explained that the dissolution mechanism of serpentine occurred from surface in electrolyzed reduced water and bulk structure sustained without collapse.

**KEY WORDS** : Electrolyzed reduced water(전해환원수), Pretreatment(전처리), Mineral carbonation(탄산염 광물화), Serpentine(사문석), Mineral solubility(광물용해도)

### 1. 서 론

이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 화석연료의 연소로 인해 대기 중에 수십 년 동안 방출되어 그 축적된 양이 헤아릴 수 없을 만큼 많은 대기 중에 포함 되었고 이제 지구의 환경과 생태계를 위협하는 온실가스로그 위험성이 다른 천재지변이나 인위적인 사건 사고보

다도 큰 두려움의 대상이다. 산업의 발달과 함께 화석연료의 사용량은 급증하였고 대기 중에 축적된 막대한 농도는 지구온난화와 기후의 변화를 가져오는 물질로 알려지면서 이산화탄소의 저감은 반드시 해결해야 할 과제가 되었다. 최근 해마다 발생하는 자연재해로 인한 사회의 간접적인 손실은 막대한 금액의 피해들이 모든 국가들로부터 보고되고 있지만 이러한 문제를 해결할 수 있는 해법은 제시되고 있지 않다. 특히 이산화탄소는 60% 이상의 온실효과를 유발하는 기체로서 온실가스 경감을 위한 주

<sup>†</sup>Corresponding author : cwk5145@dankook.ac.kr

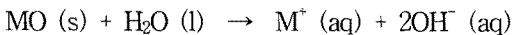
[ 접수일 : 2009.8.5 수정일 : 2009.10.23 게재확정일 : 2009.10.23 ]

요 대상이 되고 있다<sup>1,2)</sup>.

이산화탄소 배출 억제 대상은 대량의 온실가스를 생산하는 기존 화석연료를 이용하는 에너지시스템에 국한되는 것이 아니다. 화석연료의 단점을 극복하기 위해 개발 중인 바이오메스, 석탄액화 기술 등 저공해성 신에너지의 실용화를 위해 해결해야 할 필수적인 문제이다.

주목을 받고 있는 이산화탄소 저감 대책으로 연소로 인해 발생하는 CO<sub>2</sub> 저장법이 비용 면에서 경쟁력 있는 대책으로 모든 국가에서 적용가능하고, 충분한 저장용량으로 미래에 부담이 되지 않도록 영구적으로 저장 가능한 방법이다. 탄산염광물화는 CO<sub>2</sub>와 알칼리토금속 규산염을 발열 반응시켜 열역학적으로 안정한 탄산염으로 전환시키는 반응이다<sup>3,4)</sup>. 탄산염 반응은 자연계에서 실제로 발생하고 있는 탄소 순환과정의 일부이지만 자연계에서의 탄산염 반응은 매우 느리게 진행되므로 인류활동으로 발생하는 CO<sub>2</sub>를 처리하기에는 역부족이다. 반응원료인 알칼리토금속은 지구 지표면에 풍부하게 존재하며, 탄산염 형성에 필요한 기본성분인 산화마그네슘 함량이 많은 감람석(Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>)과 사문석(Mg<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>)에 관심이 집중되고 있다.

산성인 CO<sub>2</sub>와 반응하기 위해 광물은 알칼리성이어야 한다. 알칼리성 분위기를 만드는 과정은 광물의 용해 과정에서 쉽게 설명할 수 있다.



용매로 사용되는 물의 알칼리성이 높으면 반응에 유리하지만 화학약품 등을 사용하면 자연환경 오염에 대한 위험성을 다시 한 번 생각할 때 그 대책 역시 큰 문제가 될 것이다. 이러한 문제의 대안으로서 전해환원수를 본 연구에서는 적용시키고자 한다. 전해환원수의 알칼리성 환원력이 강하다는 것은 산화환원전위(ORP)가 음(-)의 값이 큰 것을 의미하며 전해환원수의 산화환원전위(ORP)는 -250mV 이하의 음의 값을 갖기 때문에 강한 환원력을 갖고 있는 물이다. 결국 물의 환원력의 세기를 나타내는 음 값의 산화환원전위(ORP)는 그 용도가 전기화학 적/화학적 환원반응에서 일반 물과는 큰 차이점을

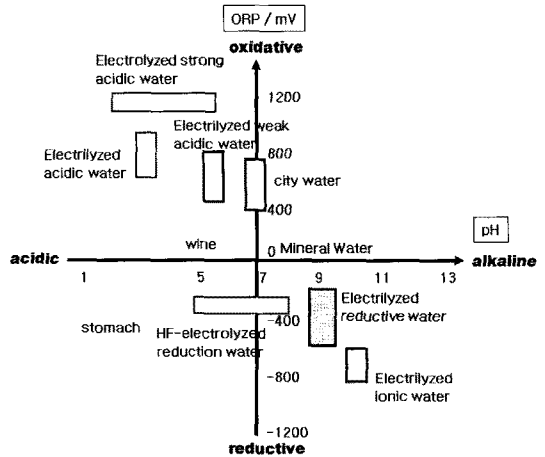


Fig. 1 A distribution hart of electrolyzed reduced water and various kinds of waters at oxidation reduction potential and pH.

갖게 된다. 단순히 양(+)의 값을 갖는 알칼리성 이온이 풍부한 이온수와는 확실하게 구분이 되며 그 기준이 산화환원전위(ORP)로서 설명되는 것이다. 구조적인 면에서도 전해환원수의 구조는 물 분자 6개가 모인 클러스터를 형성하므로 10~13개의 물 분자가 클러스터를 이루는 일반 물보다 미세한 구조를 이루고 있다. 즉 클러스터의 구조적인 특징도 일반 물보다는 화학적 반응성이 우수한 구조로 이루어진 것을 알 수 있다(Fig. 1)<sup>5,6)</sup>.

본 연구에서는 사문석을 탄산염광물화의 원료로 사용하기위한 전처리에 대한 연구로 사문석을 물과 접촉시키는 과정에서 알칼리 환경으로 변화하는 과정에 대해서 고찰하고자 전해환원수를 용매로 선택하여 용해시킨 후의 사문석의 용해 특성과 전기화학적인 평가를 통해 pH, 전도도의 변화 등을 평가하였다.

## 2. 실험방법

알칼리 환원수를 이용한 사문석(serpentine)의 전처리를 위해 사용된 원료 물질인 사문석은 안동 예천광산생산지로부터 직접 공급 받아 사용하였다. 실험에 적절한 시료 제조를 위해 원광 사문석을 attrition mill(대화테크)을 이용하여 1차 분쇄하였고, 입도의 균

일화를 위해 labo, planetary potmill(ITOH, LA-PO.4)을 이용한 기계적 분쇄 법으로 건식 2차 분쇄를 하였다. 분쇄한 시료의 입도는 자동 sieve shaker(CISA)를 이용하여 53 $\mu\text{m}$  이하의 사이즈를 선택하였다.

사문석 전처리용 알칼리 환원수는 전해 시스템을 채용한 전해환원수 제조 장비를 이용하여 제조하였으며 전해환원수 제조에 사용된 물은 카본 필터를 이용하여 불순물을 제거 후 사용되었다. 사문석 전처리를 위해 제조된 전해환원수는 일정 시간 실온에서 방치 후 전처리 용매로 사용하였다. 제조한 전해환원수는 방치 중 pH, 전도도 등의 변화를 관찰하여 일정한 측정값을 나타내는 안정화가 이루어진 후 사문석 용해 실험에 사용하였다.

전해환원수를 이용한 사문석 용해 반응은 투명한 용기를 밀폐하여 용매의 증발을 방지하며 실시되었다. 전해환원수에 용해된 사문석 성분의 변화를 조사하기 위해서 주어진 시간별로 사문석을 용해시킨 전해환원수 용액을  $\varnothing$  0.45 $\mu\text{m}$ 의 cellulose nitrate membrane filter로 여과하여 여액과 침전물을 분리하였다. ICPMS를 이용하여 사문석을 용해시킨 전해환원수 용액 내 금속 이온 농도의 변화를 조사하였으며 여과를 통해 얻어진 여액은 별도의 회석이나 후처리 공정 없이 성분분석에 사용되었다. Nitrate membrane filter에 걸러진 사문석 침전물은 회석, 수세 등의 공정 없이 건조 하였으며 침전물 표면에 흡착한 수분과 휘발성물질을 완전히 제거하기 위하여 120 $^{\circ}\text{C}$ 의 convection oven에서 24시간 건조하였다.

사문석을 용해시킨 용액의 정성분석과 정량분석은 유도결합 플라즈마 질량분석(ICPMS, JOBIN-YVON, JY 38 Plus)을 이용하여 실시하였고 농도함수로서 사문석을 구성하는 물질의 이온수와 내부 표준물 이온 수의 비율을 도시한 검량곡선에 의해 함량을 조사하였다. RF-Generator는 160~800nm의 스펙트럼 범위에서 40.68MHz, 2.3kW의 측정조건에서 진행되었다.

원광 사문석과 침전물의 결정학적 구조를 조사하기 위해 X-ray Diffractometer(Rikaku Co.)를 사용하였다. 전처리 전후의 분말시료를 유리홀더에 고정하여  $2\theta = 20^{\circ}\sim 80^{\circ}$  범위에서 측정조건 40kV

관전압과 30mA 관전류에서 Cu-K $\alpha$ 선( $\lambda = 1.542 \text{ \AA}$ )을 사용하였다.

사문석에 포함된 hydroxy(-OH)기의 변화는 사문석의 화학적 성분과 구조 변화에 대한 설명을 뒷받침하는 자료로 FT-IR 분광기를 이용한 수소 신축진동 영역에서 조사할 수 있다. 전처리 전후 사문석의 -OH기와 금속산화물의 변화를 조사하기 위해 FT-IR 분광기(Bio-Rad, FTS 135)를 이용하여 분광학적 분석을 실시하였다. 탄산염광물화를 위한 원료광물의 전처리 전후의 분말 광물시료 1mg 정도를 약 100~300 배의 KBr 가루와 섞어 상온, 상압에서 5ton/cm $^2$  정도의 압력으로 가압 성형하여 스펙트럼을 얻기 위한 KBr pellet을 만들어 측정영역 400~4000cm $^{-1}$  영역에서 분석하였다.

증류수에 용해된 사문석의 용해 특성을 조사하기 위한 다른 방법으로 사문석의 용해 시간에 따른 용액의 pH 변화를 조사하였다. 일반적으로 용매에 용해된 염의 이온화나 금속의 이온화 등이 일어나면 이들 금속이나 염으로부터 해리된 이온들은 용매에 분산되어 활성을 갖게 되며 이온들의 농도가 이온 활성에 직접적인 영향을 주게 된다. 수소이온의 농도 변화에 따라 특성을 나타내는 pH(수소이온 지수 또는 수소이온농도)는 단순한 산의 세기를 나타내는 산성도의 지표가 될 뿐만 아니라 용액이나 슬러리 등에 포함된 이온 활동도의 평가 기준으로 도 사용할 수 있다. 본 연구에서는 SevenEasy pH meter(s20-KS, Mettler Toledo)를 사용하여 pH 측정을 실시하였다.

고체의 용해도를 측정하는 방법 중 질량을 정량하는 방법을 사용하여 본 연구에서 실시된 용해도를 평가하였다. 용해도를 100g의 용매에 녹을 수 있는 최대 용질의 양이라 하면 다음 식으로 용해도를 계산하였다.

$$S = \frac{[m_2 - m_0]}{[m_1 - m_2]} \times 100$$

여기서, S : 용해도(g/100g 용매),  $m_0$  : 증발 용기의 질량(g),  $m_1$  : 용기 및 포화용액의 질량(g),  $m_2$  : 증발, 건조 후 질량(g) 이다.

전기전도도는 용액이 전류를 운반할 수 있는 정도로 용액중의 이온세기를 평가할 수 있는 항목으로서 전기저항의 역수  $\text{ohm}^{-1}$  또는  $\text{mho}$ 로 나타내며 S(Siemens) 단위가 통용되고 있다. 측정원리는 용액에 담겨있는 2개의 전극에 일정한 전압을 가해주면 가한 전압이 전류를 흐르게 하며, 이때 흐르는 전류의 크기는 용액의 전도도에 의존한다는 사실을 이용한 것으로 저자의 다른 연구와 동일한 방법으로 실시하였다<sup>7)</sup>.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 사문석의 용해 특성 분석

탄산염 광물화 원료 후보 물질인 사문석 분말의 특성을 알아보기 위하여 전해환원수를 이용한 전처리 과정의 용해에 대하여 조사하였다. 전체 용해과정 중 용매의 증발을 방지하기 위해 밀폐된 용기에서 용해실험을 실시했다. 용매로 사용한 전해환원

수와 사문석 분말의 접촉이 충분히 이루어지도록 용해 과정은 일정한 속도로 교반시키며 반응을 진행시켰다. 분말 사문석을 첨가한 전해환원수 용액의 용해 시간에 따른 변화는 아래 Fig. 2와 같이 용해 반응 시간이 증가하면서 용액의 색이 변화하는 것으로 관찰 되었다. 사문석을 전해환원수에 첨가 후 교반 시작과 동시에 사문석분말이 전해환원수에 분산되며 용액은 점차적으로 혼탁해졌고 용해 시간이 5시간, 10시간, 20시간으로 증가하면서 용액은 점차 짙은 색으로 변화되었다. 용해 전후의 변화를 조사하기 위하여 30분, 5시간, 10시간 20시간이 반응을 진행한 용액을 membrane filter를 이용하여 여과 후 여액과 침전물을 분리 하였다. 침전물은 convection oven에서 건조하고 여액은 밀폐용기에 보관하며 용해 시간 증가에 대한 사문석분말의 변화와 용액에 용해된 성분 등을 분석하였다.

전해환원수에 용해된 사문석 성분원소의 용해 특성을 용해 시간 증가에 따른 전도도 변화를 관찰하여 조사하였다. 전해환원수를 용매로 이용하는 본 실험에서 평가하는 용액의 전도도는 이온전도도로서 수용액에 이온의 농도 증가와 더불어 증가하는 경향을 나타낸다. Fig. 3에는 사문석을 전해환원수에 용해시키면서 변화한 전도도를 용매로 사용하는 전해환원수와 증류수를 용매로 이용한 경우와 비교하여 나타내었다<sup>7)</sup>. 증류수의 경우 초기 100 분간 전

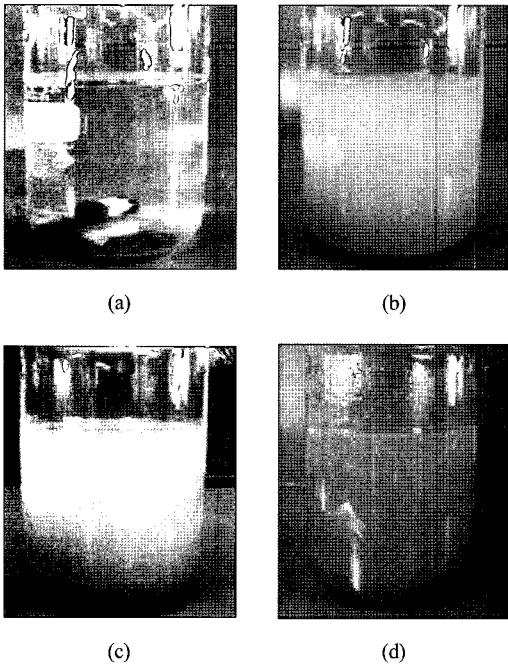


Fig. 2 Photographs of serpentine dissolved solution in electrolyzed reduced water at various reaction time; (a) 0 h, (b) 0.5 h, (c) 5 h (d) 20 h.

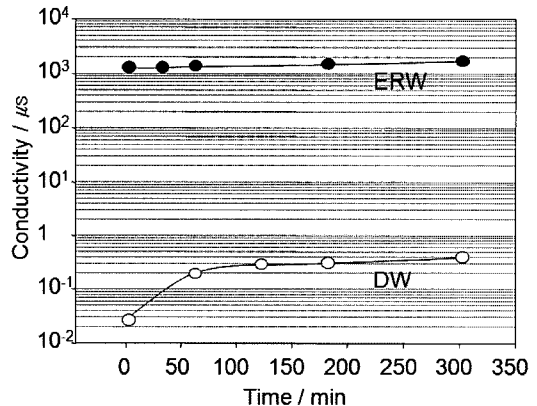


Fig. 3 Conductivity changes of serpentine powder dissolved in electrolyzed reduced water with dissolution time increase.

도도의 급격한 상승이 나타나고 있으나 전해환원수를 용매로 이용한 사문석의 전도도는 처음 용해 반응의 시작부터 300 분간 용해시킨 용액의 전도도의 변화가 크게 나타나지 않는 경향을 보이고 있다. 전해환원수는 제조 공정에서 근본적으로 높은 전도도를 갖고 있는 용매이므로 초기 전도도가 높은 것을 알 수 있으며 이와 같이 전도도 변화가 크게 나타나지 않는 것은 사문석 성분들이 증류수를 용매로 사용한 경우보다 용해되는 성분 원소들이 적기 때문이라고 할 수는 없다. 전도도의 변화는 용매에 용해되는 용질의 화학종의 변화에 기인하는 것으로 일반적으로 전도도의 상승은 이온성 화학종의 증가에 의한 것이고 반대로 전도도의 감소는 이온성 화학종이 다른 성분들과 반응을 하면서 침전물 등의 비이온성 화합물로 변화하는 과정이 원인이 되고 있다. 본 연구에서 사용한 용매가 전해환원수로 전도도가 높은 물질이기 때문에 일반적인 이온 전도도의 변화와 다른 거동을 나타내는 것으로 생각된다. 용매로 사용한 전해환원수의 높은 초기 전도도 때문에 사문석으로부터 용해되는 이온성 화학종이 증가하였지만 실제 전도도의 변화에는 큰 영향을 미치지 않고 전도도의 상승이 조금씩 나타나는 것으로 판단된다.

전해환원수에 사문석을 용해한 용액의 반응 시간 증가에 대한 pH 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 사

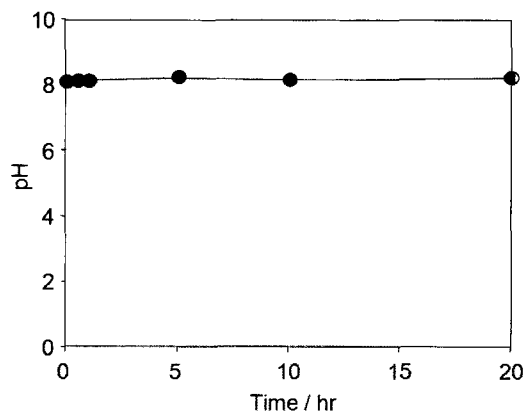


Fig. 4 pH changes of serpentine powder dissolved in electrolyzed reduced water with dissolution time increase.

문석을 증류수에 용해한 용액에서 보이는 초기 급격한 pH 변화가 없이 거의 일정한 경향을 나타내고 있다. 사문석의 용해와 pH 변화에 대해서 수용액에서 일어나는 히드로늄이온과 용질 구성성분의 작용으로 저자의 다른 연구에서 설명하고 있으므로 본 연구에서도 동일한 설명이 적용된다<sup>7)</sup>. 전해환원수에 사문석을 용해시킨 경우 나타나는 일정한 pH 값은 사문석과 용해시킨 용액에 사문석의 구성성분들의 용출에 의한 화학종의 증가에도 전해환원수의 pH 값이 높기 때문에 전해환원수 용매에 사문석 성분 용해로 인한 pH 변화는 없고 용해 시간의 증가에도 일정한 경향을 보이는 것으로 생각된다. Fig. 3의 전도도 변화와 동일한 설명이 되고 있으며 증류수를 사용한 이전 연구와 비교하면 그 차이점이 분명해진다.

유도결합 플라즈마 질량분석은 원소의 검출 한계가 낮고, 감도가 높고, 정밀도와 정확도가 우수하기 때문에 본 연구에서도 사문석 광물에 포함된 무기물, 금속성분 등 원소의 정량분석, 반정량분석, 정성분석을 위해 사용하였다. Fig. 5는 유도결합플라즈마 질량분석 결과를 통해 용해시간의 증가에 따른 사문석 구성원소의 용출 특성을 나타내고 있다. 실리콘(Si), 칼슘(Ca) 그리고 마그네슘(Mg) 성분은 Fig. 5에 나타나듯이 용해 시간의 증가와 함께 증가했으며 알루미늄(Al)과 철(Fe) 성분의 변화는 20 시

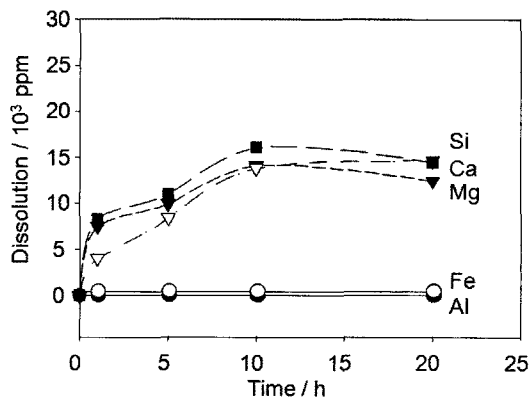


Fig. 5 Dissolved metallic ion content changes of serpentine powder in distilled water at various time.

간 용해시켜도 거의 변화 없이 일정한 것으로 나타났다<sup>8-10</sup>. 실리콘, 칼슘 그리고 마그네슘 성분의 용해는 사문석 용해 시작 후 10 시간까지 이들 금속 성분의 농도가 지속적으로 증가하는 유사한 경향이 나타났고, 10 시간 이후 용해 반응을 마친 20 시간까지는 농도의 변화가 거의 나타나지 않고 있다. 전해환원수에서 사문석 구성 성분의 용해는 지속적으로 이루어지지 않고 10 시간 반응시간 내에 이루어지는 것을 알 수 있었다. 증류수를 이용한 사문석의 용해에서 나타나는 초기 30분간 용출량보다 구성성분의 용출량이 많은 것으로 나타나고 있지만 5 시간 후의 용출량은 증류수의 경우 각 성분별 용출량이 차이가 뚜렷하지만 전해환원수에서는 대부분 성분들의 용출량이 많은 것으로 나타나고 있다. 이와 같은 경향은 10 시간 이후의 용출에서도 관찰되었으며 20 시간 후의 용출 결과에서는 증류수를 용매로 사용한 결과와 전해환원수를 용매로 사용한 용출량 결과가 거의 동일한 것으로 나타내고 있다. Fig. 6에 전해환원수에 용해시킨 사문석의 각 성분별 용출량의 합과 용출전후의 사문석의 질량 변화로 계산된 용해도 변화를 나타내었다. 용해도와 전체 용출농도 결과 곡선은 모두 초기 증가가 뚜렷하게 나타나고 용해 시간이 경과함에 따라 변화가 크게 나타나지 않는 유사한 결과들을 보이고 있다. 용질로 사용한 사문석의 용출 특성을 나타내는 용해도 변화 경향과 사문석 성분이 용매에 용출되어 나

탄 농도 변화의 경향이 유사하게 나타나는 것은 사문석의 용해 과정 중 전해환원수와 사문석의 접촉으로 새로운 화합물을 형성하는 반응은 일어나지 않는 것을 설명할 수 있다. 만일 전해환원수의 환원력에 의해 고체상 환원 생성물이 형성되면 용해도 곡선의 변화가 농도변화 곡선과 다른 경향을 나타낼 것이다.

미처리 사문석분말과 전해환원수에서 0.5~20 시간 용해시킨 용액으로부터 여과한 침전물의 XRD 패턴들을 Fig. 6에 나타냈다. 침전물은 표면의 수분을 제거하기 위해 24 시간 120°C에서 건조 후 XRD 측정을 실시하였다. 전해환원수에서 용해되지 않고 침전된 사문석이나 미처리 사문석은 모두 유사한 X-선회절패턴을 보이고 있으며 특히 주피크인  $2\theta = 12^\circ$ ,  $2\theta = 25^\circ$ ,  $2\theta = 35^\circ$  부근에서 나타나는 피크들이 일치하는 것으로부터 동일한 삼사정계 규산염 광물의 기본 구조를 이루는 결정 구조로 판단된다<sup>11,12</sup>. 주 피크 이외의 작은 intensity를 나타내는 피크들은 사문석을 구성하는 소량의 다양한 원소 물질들의 결정 구조로부터 나타나는 것이며 사문석의 결정 구조의 변화에 의한 피크로 나타나는 것은 아니다. 전해환원수를 이용한 사문석의 용해 후에도 결정구조의 변화가 나타나지 않는 것은 사문석 구조

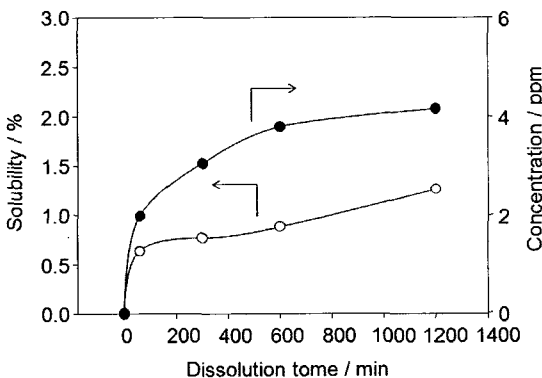


Fig. 6 Solubility and dissolved metallic ion content changes of serpentine powder in distilled water at various time.

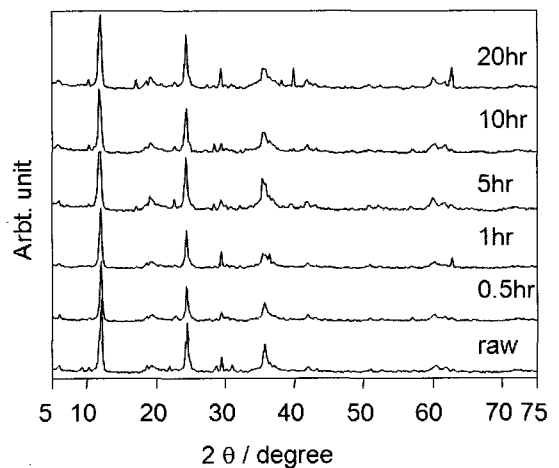


Fig. 7 X-ray diffraction patterns of as-pulverized serpentine powder and electrolyzed reduced water treated serpentine powder at various dissolution time.

에 큰 변화가 일어나지 않은 것을 설명하고 있으며 앞에서 설명한 유도결합플라즈마, 전도도 변화 등의 사문석 성분 용출의 메커니즘과 같이 유추해 볼 수 있다<sup>13)</sup>. 알칼리성 전해환원수를 용매로 사용하면 사문석 표면으로부터 소량의 금속성분이 이온화되면서 용출되고 있지만 사문석의 결정구조의 변화를 가져올 수 있는 과격한 용출반응은 진행되지 않는 것으로 판단된다. 앞에서 설명한 용해도 곡선과 용출 농도 변화 곡선의 유사한 경향(Fig. 6)에서 설명하는 사문석과 전해환원수의 접촉으로 고상 환원 생성물이 형성되지 않는 것을 미처리 사문석과 전해환원수에 용출 시킨 사문석의 본 XRD 분석의 결과에서도 다시 설명되고 있다.

Fig. 8은 미처리 사문석 분말과 0.5~20시간 전해환원수에서 용해시킨 후 건조한 사문석의 FT-IR 스펙트럼들을 나타내었다. 금속성 원소를 구성성분으로 포함하는 광물질에 결합된 관능기 변화, 결정구조 구성 또는 결정격자에 포함된 산화물이나 수산화물의 결합에 발생하는 화학적 변화에 대한 분광학적 분석은 이 FT-IR 스펙트럼들에서 확인할 수 있다. Fig. 8에 나타난 세 피크는 사문석 결정격자에 포함된 -OH기(3688, 3643cm<sup>-1</sup>)와 Si-O(1080cm<sup>-1</sup>)와 966cm<sup>-1</sup>결합의 신축진동에 해당하는 피크와 Si-O-Mg(450cm<sup>-1</sup>) 결합을 나타내는 스펙트럼 피크들이다.

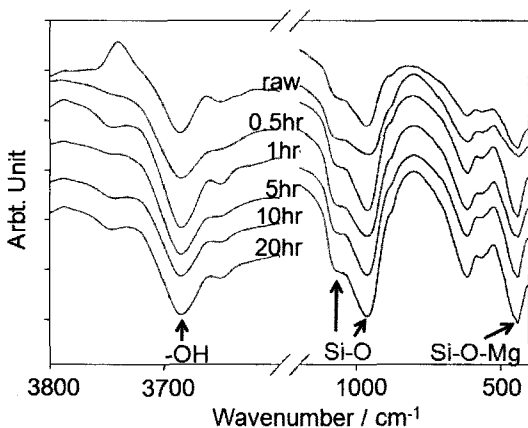


Fig. 8 FT-IR spectra of untreated serpentine powder and electrolyzed reduced water treated serpentine powder at various dissolution time.

결정격자에 -OH기를 포함하는 규산염광물의 결정 구조변화는 -OH기 피크의 소멸과 동시에 나타나는 것으로 보고되어 있다<sup>11,12)</sup>. 전해환원수를 이용한 사문석 용출반응 이후에는 -OH기 피크의 변화가 전혀 없이 미처리 사문석과 동일한 결과를 보여 주고 있다. 또한 Si-O 결합과 Si-O-Mg의 결합에 해당하는 피크들도 역시 변화가 나타나지 않고 미처리 사문석과 동일한 스펙트럼 결과를 나타내고 있으므로 사문석을 구성하는 원소들 사이의 화학적인 결합구조에는 변화가 일어나지 않은 것을 알 수 있다. 이 결과들로부터 사문석은 전해환원수에 용해 후 사문석을 구성하는 성분 금속이 이온으로 해리하여 용액에 용출되지만, 사문석 구성성분의 화학결합 구조에는 영향을 주지 않는 것을 설명하고 있다. 앞에서 설명한 유도결합플라즈마 분석과 용해도 계산의 결과에서 사문석 구성 성분이 용출되고 있는 것을 유추하면 전해환원수에서 사문석의 용출에 대한 메커니즘이 설명된다. 사문석이 전해환원수와 접촉하면서 사문석의 표면으로부터 금속 성분들이 용해되고 있지만 이들 구성 성분 사이의 화학적 결합 구조를 붕괴시키는 격렬한 용해 반응이 진행되지는 않는 것을 설명하고 있다. 또한 다른 화합물의 결합으로 생각되는 피크들이 나타나지 않는 것으로 보아 사문석의 용출농도 분석과 용해도 측정의 결과와 XRD 패턴에서 설명했듯이 사문석과 전해환원수의 접촉에 의한 고상생성물을 형성하는 반응은 나타나지 않고 사문석 구성 성분만이 용출되고 있음을 FT-IR 스펙트럼들에서 다시 한 번 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

이산화탄소의 포획 원료인 사문석의 전해환원수에서 용해특성을 평가하여 기존 화석에너지나 신에너지를 이용하며 발생하는 이산화탄소와 반응을 위한 전처리 특성에 대해 조사했다.

- 1) 전해환원수에 용해된 사문석은 용매와 반응이 시작되어 30 분 이내에 사문석 구성 성분들이 많

- 이 용해되고 10 시간 이후 용해도의 변화는 크게 나타나지 않는 것으로 확인되었다.
- 2) 전해환원수에 사문석 구성 성분들이 용해되는 과정은 주로 표면으로부터 용출 반응이 일어나고 이후 사문석의 결정구조나 화학결합구조에 영향을 미치는 용해반응까지는 진행되지 않는 것으로 밝혀졌다.
  - 3) 사문석과 전해환원수의 환원력으로부터 형성되는 고상 생성물은 나타나고 있지 않으므로 사문석의 용출반응만이 일어난 것이 확인되었다.

### 참 고 문 헌

- 1) Tremblay, Alain, "Greenhouse Gas Emissions-Fluxes And Processes", Springer Verlag, 2005, pp. 26-86.
- 2) 조현재, 임상균, 전병득, 현경식, 김기철, "CO<sub>2</sub> 전쟁", 매일경제신문사, 2006, pp. 38-74.
- 3) K. S. Lackner, D. P. Butt and C. H. Wendt, "Progress on binding CO<sub>2</sub> in mineral substrates", Energy Convers Manage, Vol. 38, 1997, pp. 259-264.
- 4) K. S. Lackner, C. H. Wendt, D. P. Butt, E. L. Joyce and D. H. Sharp, "Carbon dioxide disposal in carbonate minerals", Energy, Vol. 20, Issues 11, 1995, pp. 1153-1170.
- 5) 芝 アキ彦, 芝 紀代子, "強電解水ハンドブック", 医學情報社, 1996, pp. 14-26.
- 6) 松尾 昌樹, "電解水の基礎と利用技術", 技報堂出版, 2000, pp. 23-38.
- 7) 최원경, "이산화탄소 포획 원료용 사문석의 수용액 전처리 평가", 한국수소 및 신에너지학회 논문집, Vol. 19, No. 4, 2007, pp. 340-347.
- 8) J. L. Post and L. Borer, "High-resolution infrared spectra, physical properties, and micromorphology of serpentines", Applied Clay Science, Volume 16, Issues 1-2, 2000, pp. 73-85.
- 9) R. W. Luce, R. W. Bartlett, G. A. Parks. "Dissolution kinetics of magnesium silicates", Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol 36, Issue 1, 1972, pp. 35-50.
- 10) F.-C. Lin, C. V. Clemency, "The dissolution kinetics of brucite, antigorite, talc, and phlogopite at room temperature and pressure", American Mineralogist, Vol. 66, 1981, pp. 801-806.
- 11) 최원경, 문승현, 조태환, 이재근, "이산화탄소 탄산염광물화용 사문석의 열처리 및 특성평가", 한국수소 및 신에너지학회 논문집, Vol. 16, No. 1, 2005, pp. 74-81.
- 12) 최원경, 조태환, "이산화탄소 포획을 위한 serpentine의 열처리와 물리화학적 특성 변화 연구", 한국수소 및 신에너지학회 논문집, Vol. 18, No. 3, 2007, pp. 3016-308.
- 13) Wilson, M. Jeffrey, "A Handbook of Determinative Methods in Clays Mineralogy", Chapman and Hall, New York, 1987.