# 굴패각 분말로부터 칼슘 이온 추출과 불순물 제거

# 윤유정<sup>1,2</sup>, 고현주<sup>1</sup>, 류영복<sup>1\*</sup> <sup>1</sup>한국생산기술연구원 친환경재료공정연구그룹, <sup>2</sup>부산대학교 재료공학과

# Extraction of Calcium Ions and Removal of Impurities from Oyster Shell Powders

Yu Jeong Yun<sup>1,2</sup>, Hyunju Go<sup>1</sup>, Young Bok Ryu<sup>1\*</sup> <sup>1</sup>Green Materials and Process R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology(KITECH) <sup>2</sup>School of Materials Science and Engineering, Pusan National University

**요 약** 본 연구는 굴패각을 활용해 PCC 합성에 적절한 칼슘 추출 조건 확보를 위한 목적으로 수행되었다. 이를 위해 서로 다른 추출제를 사용하여 굴패각 분말과 추출제의 비율(고액비), 굴패각 분말의 입도, 추출 시간, 추출제의 농도에 따른 영향을 살펴보았다. 굴패각 분말이 용해된 추출 여액은 pH 조절을 통해 불순물을 제거하고, 칼슘 이온의 순도를 높였다. 추출 과정 전, 후의 분말과 침전물에 대한 특성 분석은 XRD, XRF, TGA-DSC를 통해 실시하였고, 추출 여액 내 칼슘 이온 농도는 칼슘 전극과 ICP를 활용하여 측정하였다. XRD 분석 결과 실험에 사용한 굴패각 분말은 aragonite 결정구조를 보였으며, 400 ℃로 열처리한 분말에서 calcite가 확인되었고, 900 ℃부터는 전부 산화칼슘으로 전이된 것 을 관찰하였다. 추출 조건 검토 결과, 사용 가능한 추출제는 아세트산, 염산이었으며, 추출제의 농도는 1 M, 분말의 입도 200 ㎞ 이하, 고액비 50 g/L, 추출 시간은 30분이 적절하였다. pH 조절 과정에서 염산을 추출제로 사용한 경우, 미량의 불순물(산화철)이 침전되는 것이 발견되었다. 아세트산을 사용한 경우, 불순물이 관찰되지 않았으며 염산 대비 90 % 수준의 칼슘 추출 효율을 보였다. 추출 효율, 불순물 유입 방지 등을 고려하였을 때, 아세트산을 사용하는 것이 바람직하다.

Abstract This study was conducted to obtain the appropriate calcium extraction condition for the production of PCC using oyster shells. Different extractants were used to examine the effect from the ratio of oyster shell powder to extractant (the solid-to-liquid ratio), from the particle size of the oyster shell powders, from the extraction time, and from the concentration of the extractant. The extracted filtrate in which the oyster shell powders were dissolved removed impurities through pH adjustments, and increased the purity of the calcium ions. Characterization of the powders and precipitates before and after the extraction process was carried out through XRD, XRF, and TGA-DSC, and the calcium ion concentration in the extraction filtrate was measured using a calcium electrode and ICP. According to XRD analyses, the oyster shell powders used in the experiment showed aragonite crystals, heat-treated powders at 400  $\degree$  were partially transformed into calcite, and all the oyster shell powders were transformed into calcium oxide at 900 °C. As a result of reviewing the extraction conditions, the appropriate extractants were acetic acid, hydrochloric acid, etc., the concentration of the extractant was 1M, the particle size of the powders was 200  $\mu$ m or less, the solid-to-liquid ratio was 50 g/L, and the extraction time was 30 minutes. During the pH adjustment process, when hydrochloric acid was used as the extractant, a small amount of impurities (iron oxide) was found to precipitate. When acetic acid was used, impurities were not observed, and calcium extraction efficiency was 90% compared to hydrochloric acid. Considering the extraction efficiency and removal of impurities, we suggest using acetic acid as an extractant.

Keywords : Oyster Shell, Recycling, Carbonation, PCC, Ca-ion Extraction

# 1. 서론

국내 패류 양식수산물 중 생산량이 가장 많은 굴은 일 본, 미국 등 다양한 국가로 수출되고 있으며 주요 굴 양 식지인 통영, 고성 등의 남해지역 경제에서도 중요한 위 치를 차지하고 있다[1,2]. 이로 인해 우리나라는 연간 약 30만 톤의 굴패각이 발생되고 있으나, 처리시설 부족과 수요 개발의 미흡으로 많은 양의 패각이 처리되지 못하 고 불법 매립 또는 방치되고 있다. 현재까지 누적되어 쌓 여 있는 굴패각은 100만 톤에 이르는 것으로 보고되고 있으며 방치된 굴패각은 주변 지역의 경관을 훼손하고 해안 오염을 야기할 뿐만 아니라 굴패각에 붙어있는 유 기물질이 부패하여 악취를 발생시키는 등 여러 문제를 일으킨다[3-6].

굴패각의 주성분은 탄산칼슘(CaCO3)으로 석회석과 동일한 방해석(calcite) 구조로 이루어져 있으며 탄산칼 슘의 순도는 석회석보다 낮지만 가공성이 높아 활용성이 높다. Yim 등[7]은 굴패각의 비료 및 토양개량제로 활용 하기 위한 연구를 진행하였다. 굴패각을 첨가한 산성의 사양토에서 배추를 재배하여 작물의 높이, 굵기 및 식물 체중 무기성분 함량이 증가함을 확인하였다. 이와 같이 굴패각은 패화석 비료 및 사료 등으로 개발, 생산하여 공 급되고 있으나 염분 함유 우려로 수요처 확보가 쉽지 않 고 처리물량이 줄어들고 있어 기존 자원화 방식에는 한 계가 있다. 이러한 굴패각 처리문제를 해결하기 위하여 다양한 연구가 시도되고 있다. Eo 등[8]은 굴패각 입도 및 대체율에 따른 콘크리트용 골재로서의 활용성을 검토 하였으며, 대체율이 50 %일 때 일반 콘크리트 대비 약 10 % 경량화가 가능하지만 강도 및 작업성이 떨어져 내 구성과 경제성 확보를 위한 추가연구가 필요하다고 보고 하였다. Jung 등[9]은 건식탈황 공정에서 굴패각의 SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 흡수제로서 가능성을 검토하였다. 전처리(소 성 및 수화)를 통하여 굴패각의 비표면적과 pore 부피를 증가시킬 때 동일 처리한 석회석보다 SO2 제거 활성 및 반응속도가 빠른 것을 확인하기도 하였다. 그러나, 국내 배연탈황공정은 95 % 이상이 습식공정[10]으로 실제 기 술 도입의 효과가 크지 않다. 따라서 굴패각을 낮은 처리 비용으로 대량 처리하고, 고부가화할 수 있는 기술이 새 롭게 요구되고 있다.

굴패각을 고부가화하기 위한 방안으로 광물 탄산화 기 술을 이용해 탄산칼슘의 순도를 높이는 기술을 고려해 볼 수 있다. 광물탄산화는 대표적인 이산화탄소 포집 저 장 기술 중 하나로 이산화탄소와 칼슘, 마그네슘 등과 같 은 금속을 포함한 화합물을 반응시켜 안정적인 탄산염을 얻는 기술이다. 광물탄산화로 제조할 수 있는 탄산염 광 물인 탄산칼슘은 제지, 섬유, 합성수지, 건축 소재 및 제 약 등 다양한 분야에서 사용되고 있으며 제조 방법에 따 라 직접탄산화(Direct Carbonation)와 간접 탄산화 (Indirect Carbonation) 로 구분할 수 있다. 직접탄산 화는 이산화탄소가 직접 원료물질과 반응하여 탄산화되 는 공정이고, 간접 탄산화는 용제를 사용하여 원료물질 에서 칼슘이나 마그네슘을 용출한 뒤, 이산화탄소가 그 용출액과 반응하여 탄산화되는 공정을 의미한다. 간접탄 산화 공정을 통해 생산된 탄산칼슘은 침강성 탄산칼슘 (PCC: Precipitated Calcium Carbonate, 이하 PCC) 으로 분류되며, 석회석을 단순 파/분쇄하여 생산한 중질 탄산칼슘(GCC: Ground Calcium Carbonate, 이하 GCC)에 비해 불순물 함량이 낮고, 입도와 입형 조절이 용이하다[11-13]. 지금까지 고순도의 석회암을 원료로 PCC를 제조해 왔으나, 굴패각을 원료로 하는 PCC 생산 공정 개발은 굴패각 처리비용의 경감, 산업부산물의 고 부가화로 경제성 확보를 기대할 수 있다[14].

본 연구에서는 굴패각을 활용해 PCC 제조를 위한 칼슘 추출 연구를 수행하였다. 칼슘 이온 추출 조건 확보를 위해 굴패각 분말의 입도, 분말과 추출제의 고액비, 추출시간 및 추출제의 종류와 농도 등에 따른 영향을 살펴보았다.

# 2. 실험 방법

#### 2.1 칼슘 이온 추출 방법

본 실험에서는 경남 통영시 소재의 업체로부터 굴패각 분말을 공급받아 전처리 없이 입도별로 분류하여 사용하 였다. 칼슘 이온 추출을 위한 추출제로는 acetic acid (99.5 %, Daejung), ammonium chloride(99.0 %, OCI), hydrochloric acid(35-37 %, Daejung), oxalic acid (99.0 %, Samchun), phosphoric acid(85 %, Samchun) 을 사용하였다.

굴패각으로부터 칼슘을 추출하기 위해 굴패각의 입도, 굴패각과 추출제의 고액비(S/L), 추출 시간 등 다양한 조 건에서 실험을 진행하였다. 추출 반응은 Fig. 1(a)에 나 타낸 것처럼 추출원(굴패각)과 추출제를 300 rpm에서 교반하에 이루어졌고, 일정 시간 교반 후 glass filter를 이용하여 추출 잔여물과 여액을 분리하였다. 이후 칼슘 이외의 물질 제거를 위해 NaOH를 이용하여 pH를 조절 하였고, 침전 생성물은 필터링을 통해 제거하였다(Fig. 1(b)).



Fig. 1. A schematic of experiments: (a) extraction and (b) pH-adjustment process.

# 2.2 분석 방법

굴패각 분말과 추출 후 잔여물의 성분 분석을 위해 X-선 형광분석기(XRF-1800, SHIMADZU)를 사용하였으며, 결정 구조 확인을 위해 X-선 회절분석기 (X'pert3-Powder, PANALYTICAL)를 사용하였다. 굴패각 분말 의 열중량 변화와 상전이 온도 등 열적특성을 살펴보기 위해 열분석기(TGA-DSC 3+, METTLER TOLEDO)를 사용하여 공기 분위기에서 승온속도 10 °C/min으로 1000 °C까지의 변화를 조사하였다. 추출 후 여액 내 칼 슘 이온 측정은 칼슘 이온 선택성 전극(ME-60510100, METROHM)과 유도결합 플라즈마 방출 분광기 (iCAP6500, THERMO ELECTRON)를 사용하였다.

# 3. 실험 결과 및 고찰

Table 1은 본 실험에서 사용된 굴패각 분말의 XRF 분석 결과이다. 분석 결과 굴패각의 주요 구성 성분은 칼 슘임을 알 수 있으며, 해수에 노출되어 유입된 것으로 보 이는 Si, Na, Cl, K 등과 단백질 성분 유래의 S과 P가 포함되어있는 것이 확인되었다.

Fig. 2는 굴패각 분말의 TGA-DSC 분석 결과를 보여 준다. 600 ℃까지 완만한 무게 감소를 보였으며, 600 ℃부터 800 ℃ 사이에서 약 44 %의 급격한 무게 감소 가 관찰되었다. 600 ℃ 이하에서 관찰된 중량 감소는 분 말 표면에 잔존하고 있는 수분과 유기물에 의한 것으로 판단되며, 600 ℃부터 800 ℃의 구간에서 발생한 무게 감소는 탄산칼슘(Mw 100.1 g/mol)이 산화칼슘(Mw 56.01 g/mol)과 이산화탄소(Mw 44.0 g/mol)로 열분



Fig. 2. TGA-DSC analysis results for the oyster shell powders.

해 됨에 따른 결과로, 이산화탄소가 탈기됨에 따른 것으 로 판단된다. 이는 분자량 비교만으로 쉽게 유추되며, 상 변화로 인한 발열 피크도 800 ℃ 아래에서 관찰되었다.

굴패각 분말의 소성 온도에 따른 XRD 분석 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 열처리하지 않은 분말은 aragonite 에 해당하는 특성피크가 나타났으며, 양식 패각류의 껍질 이 매우 급격하게 형성되어 aragonite로 전이될 시간적 여유가 없는데 비해 제공받은 굴패각은 패각 형성이 충분 한 시간을 거쳐 생성된 것으로 추정된다[15]. 이후 소성온 도 400 °C에서부터 calcite 특성피크가 보이기 시작해 600 °C에서 모두 calcite로 전이됨을 확인할 수 있었다. 이후 700 °C에서 산화칼슘의 특성피크가 관찰되었고, 800 °C에서 대부분 산화칼슘으로 전이되었다. 800 °C부 근 탄산칼슘에서 산화칼슘으로 상전이를 확인할 수 있었던 열분석 결과와 일치함을 확인할 수 있었으며, aragonite 에서 calcite로의 상전이는 열분석으로는 관찰되지 않았다.

Table 1. XRF analysis result for the oyster shell powder from Tongyeong-city.

[%]	Ca	Si	Na	Al	Fe	Cl	Sr	К	S	Р
Oyster shell	94.57	1.71	0.93	0.79	0.62	0.51	0.36	0.28	0.18	0.05



Fig. 3. XRD patterns of the oyster shell powders according to the calcination temperature.

굴패각으로부터 칼슘 이온 추출조건을 확보하기 위해 굴패각과 추출제의 고액비(S/L), 굴패각의 입도 및 추출 시간에 대한 실험을 진행하였고, 그 결과를 Fig. 4에 나 타내었다. 실험은 1 M의 염산 수용액과 아세트산 수용액 각 100 mL를 추출제로 사용하였다. 이후, 잔여물을 필 터링하여 얻어진 추출 여액을 칼슘 이온 전극을 활용하 여 여액 내 존재하는 칼슘 이온 농도를 측정, 비교하였 다. 먼저 굴패각과 추출제의 고액비 조건을 확보하기 위 하여 추출제 100 mL에 ~ 200 m 굴패각 분말 1, 3, 5, 10, 20 g을 30분 동안 반응하였다. Fig. 4(a)에서 볼 수 있듯이, 염산 수용액과 아세트산 수용액 모두 50 g/L까 지 굴패각 분말의 양이 증가함에 따라 칼슘 이온 농도가 증가하였지만, 50 g/L 이상에서는 증가하지 않았다. 50 g/L까지는 사용된 추출제 조건(1 M, 100 mL)에서 굴패 각 분말을 충분히 녹일 수 있지만, 그 이상에서는 녹지 않으며, 따라서 적절한 고액비는 50 g/L이다. 굴패각 분

말은 sieve를 이용하여 ~75 \m, 75 \m ~ 100 \m, 100 /m ~ 150 /m, 150 /m ~ 200 /m, 200 /m ~ 총 5개의 입 도별로 분리한 후 50 g/L 비율로 30분 동안 반응하였다. 굴패각 분말의 입도에 따른 칼슘 이온의 농도는 Fig. 4(b)에서 확인할 수 있듯이, 뚜렷한 차이는 나타나지 않 았다. 다만, 200 @ 이상의 굴패각에서는 필터링 과정에 서 제거되지 못한 불용성 불순물이 발견되었다. 이것은 패각을 분쇄하는 과정에서 탄성이 있는 코팅사의 경우 블레이드에 의해 분쇄, 제거되지 않았기 때문이다. 따라 서 고품질의 PCC 제조를 위해 sieve를 이용해 불순물을 제거한 200 @ 이하의 패각 분말을 사용하는 것이 적합 하였다. 추출 시간에 따른 칼슘 이온 농도를 알아보기 위 하여 앞선 추출 결과들을 고정한 후 10, 30, 60, 120, 150분 동안 반응을 진행하였다. Fig. 4(c)에서 추출 반응 시간에 대한 칼슘 이온의 농도는 큰 차이를 볼 수 없었지 만, 충분한 반응을 위해 반응 시간은 30분으로 고정하였다.



Fig. 4. Calcium ion intensity according to (a) solid-liquid ratio (~ 200 μm, 30 min) (b) particle size of oyster shell (50 g/L, 30 min) and (c) extraction time (50 g/L, ~ 200 μm).

[g]	0.1 M	0.5 M	1.0 M	1.3 M	1.5 M
Ammonium chloride	4.94	4.73	4.78	4.69	4.76
Acetic acid	4.21	2.38	0.69	0.46	0.28
Hydrochloric acid	4.07	2.26	0.14	0.18	0.17
Oxalic acid	5.06	5.85	5.58	-	-
Phosphoric acid	4.96	2.06	0.17	0.16	0.18

Table 2. The amount of residue after extraction according to the extractants and concentrations.

추출제에 따른 영향을 확인하기 위한 실험으로, 200 때 이하의 굴패각 분말 5 g과 추출용제 100 mL를 사용 하였다. Table 2는 추출 후 잔여물의 질량을 측정하여 정리한 표이다. 염산, 아세트산 그리고 인산의 경우 추출 제의 농도가 진해질수록 더 많은 양의 굴패각 분말이 녹 는다. 하지만 염화암모늄 수용액은 농도 변화가 굴패각 분말의 용해도에 영향을 주지 않았으며, 옥살산 수용액 을 사용한 경우 투입된 굴패각 분말의 무게보다 더 많은 반응 생성물이 얻어졌다.

1 M의 추출제에서 얻어진 각 잔여물의 결정구조를 분 석하였으며, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 영화암모늄 수용액의 추출 잔여물은 굴패각 분말과 같은 aragonite 상의 탄산칼슘이며, 이는 굴패각 분말로부터 칼슘을 추 출하는 데 염화암모늄 수용액은 효과적이지 못하다는 것 을 의미한다. 아세트산 수용액을 이용한 추출에서는



Fig. 5. XRD patterns of residue after extraction according to the extractant.: (a) raw material, (b) ammonium chloride, (c) acetic acid, (d) hydrochloric acid, (e) phosphoric acid and (f) oxalic acid

silicon oxide와 aragonite가 혼재되어있음을 확인하였 고, 염산 수용액과 인산 수용액을 추출제로 사용한 경우 의 추출 잔여물은 silicon oxide로 나타났다. 따라서 아 세트산, 염산 그리고 인산 수용액을 적절히 활용할 경우, 굴패각의 칼슘 추출과 굴패각에 잔존하는 불순물 제거에 활용할 수 있음을 알 수 있다. Table 2의 추출 잔여물과 결과와 함께 1 M 이상의 아세트산 수용액 또는 0.5 ~ 1 M 범위의 염산 수용액이나 인산 수용액을 활용하면 굴 패각에서 효과적으로 칼슘을 추출할 수 있을 것으로 기 대된다. 옥살산을 사용한 추출 잔여물의 경우 옥살산칼 슘(whewellite, CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O)의 특성피크를 확인하였 다. 이는 칼슘 이온과 옥살산 간의 반응에 따른 반응 생 성물로 옥살산을 추출제로 사용하는 것은 적합하지 않음 을 나타낸다.

Table 3에 나타낸 추출 잔여물의 XRF 분석결과에서 확인할 수 있듯이, 염화암모늄 수용액을 이용한 추출 실 혐의 잔여물은 90 % 이상의 칼슘으로 구성되어 있다. 염 산과 인산 수용액을 이용한 추출에서 대부분의 칼슘이 추출되기 때문에 추출 잔여물은 대부분 규소로 구성되어 있으며, 아세트산 수용액을 사용한 경우 일부의 칼슘만 추출되기 때문에 추출 잔여물의 성분에 칼슘과 규소 모 두 높은 비율을 차지한다. 옥살산 수용액을 사용한 경우 추출 잔여물의 주성분이 칼슘임을 확인하였다. 본 실험 에서 분석한 XRF 결과 앞선 XRD 결과와 일치함을 확인 하였다.

각 추출제에 대한 칼슘 추출 효과를 확인하기 위한 추출 여액의 ICP 분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 염산과 인산, 아세트산 수용액을 사용한 추출 여액의 칼슘 이온 농도는 높은 반면 염화암모늄 수용액과 옥살 산 수용액을 사용한 추출 여액의 칼슘 이온 농도는 낮 다. 앞의 XRD와 XRF 분석 결과들과 마찬가지로, 염산 과 인산, 아세트산에서는 칼슘 추출이 원활하게 일어나 는 반면 염화암모늄염과 옥살산 수용액은 추출제로써 적합하지 않음을 나타낸다. 추출 잔여물의 성분 분석

Table 3. XRF analysis results for the residue after extraction according to the extractants.

[%]	Ca	Si	etc.
Ammonium chloride	94.83	1.97	3.2
Acetic acid	50.87	24.40	24.73
Hydrochloric acid	4.32	53.11	42.57
Oxalic acid	96.54	1.63	1.83
Phosphoric acid	4.19	53.84	41.97



Fig. 6. XRD patterns of residue after extraction: (a) and (b) hydrochloric acid and (c) acetic acid

결과와 추출 여액의 칼슘 이온 농도를 분석한 결과를 종합하였을 때, 굴패각을 잘 녹일 수 있으며 칼슘 이온 과 결합하여 부산물을 형성하지 않는 추출제를 사용하 는 것이 적합하다. 또한, 경제적인 측면을 고려하였을 때, 산성 추출제의 농도는 1 M을 초과하지 않는 것이 바람직하다.

추출 여액의 pH에 따른 침전 생성물 유무를 확인함으 로써 칼슘 외 불순물 제거 가능성을 살펴보았다.

1 M의 염산 수용액과 아세트산 수용액을 추출제로 활 용한 추출 여액에 1 M NaOH 수용액을 사용하여 pH를 서서히 증가시키면서 침전물 발생을 관찰하였다. 염산 추출 여액의 경우 pH 11.05일 때 붉은색 침전물과 pH 11.50일 때 흰색 침전물이 각각 생성되었다. 생성된 침 전물의 XRD 분석 결과 붉은색 침전물은 산화철(Fig. 6(b)), 흰색 침전물은 수산화칼슘인 것으로 확인되었다. 아세트산 추출 여액에서는 붉은 침전물 없이 pH 11.50 에서 흰색 침전물이 생성되었다. 흰색 침전물을 XRD 분 석한 결과 수산화칼슘임이 확인되었다. 반응성이 높은 염산 추출제가 더 많은 금속을 용해할 수 있지만 pH 조 절을 통해 불순물이 제거될 수 있음을 확인할 수 있으며, 아세트산을 추출제로 사용할 경우 불순물이 용해될 확률 이 낮아 불순물을 제거해주는 과정 없이 높은 순도의 칼 슘 추출이 가능하다.

Table 4. ICP results for the leachate after extraction according to the extractants.

[ppm]	Concentration of Ca ion
Ammonium chloride	330
Acetic acid	15,000
Hydrochloric acid	17,000
Oxalic acid	14
Phosphoric acid	16,000

#### 4. 결론

본 연구는 굴패각에서 효과적인 칼슘 추출을 목적으로 진행한 실험으로 다음과 같은 결과를 얻었다. 실험에 활 용한 굴패각은 aragonite 결정을 보였으며, 400 °C 이 상에서 calcite가 관찰되기 시작해 900 °C 이상에서는 전부 산화칼슘으로 전이되었다. aragonite 결정이 관찰 된 것은 굴의 생육환경에 기인한 것으로 패각 형성 시간 이 충분히 주어져 생성된 것으로 판단된다. 추출제로 아 세트산, 염산, 인산 등을 활용하여 검토하였으며, 굴패각 분말의 입도, 분말과 추출제의 고액비, 추출 시간 등의 추출 조건을 살펴보았다. 그 결과, 아세트산과 염산이 추 출제로 적절하였으며, 200 m 이하의 입도, 50 g/L의 고 액비, 30분의 반응 시간이 적합하였다. 염산을 추출제로 사용한 경우, 칼슘 추출 효율은 가장 높았으나 추출 여액 내 미량의 불순물이 관찰되었다. 아세트산을 추출제로 사용한 경우, 불순물은 관찰되지 않고, 염산 대비 90 % 수준의 칼슘 추출 효율을 보였다. 추출 효율, 불순물 유 입 방지와 향후 탄산화 반응 등을 고려하였을 때 아세트 산을 추출제로 사용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

# References

- E. Y. Baek, W. G. Lee, "A Study on the Rational Recycling of Oyster-Shell", *J. Fish. Bus. Adm.*, Vol.51, No.2, pp.71-87, 2020.
   DOI: <u>https://doi.org/10.12939/FBA.2020.51.2.071</u>
- [2] X. Wang, S. B. Kim, C. J. Kim, "Development of Sulfated Oyster Shell-Based Solidifying Agent for Flowable Backfill Material", *Clean Technol*, Vol.24, No. 4, pp.315–322, Dec. 2018. DOI: <u>https://doi.org/10.7464/ksct.2018.24.4.315</u>
- [3] J. W. Lee, S. H. Choi, S. H. Kim, "Mineralogical Changes of Oyster Shells by Calcination: A Comparative Study

with Limestone", *Econ. Environ. Geol.*, Vol.51, No.6, pp.485-492, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.9719/EEG.2018.51.6.485

- [4] S. H. Ha, M. K. Cha, K. J. Kim, S. H. Kim, Y. K. Kim, "Mineralogical and Chemical Characteristics of the Oyster Shells from Korea", *J. Miner. Soc. Korea*, Vol.30, No.4, pp.149-159, 2017. DOI: https://doi.org/10.9727/jmsk.2017.30.4.149
- [5] G. U. Nam, N. J. Lee, J. W. Ahn, "Sustainable Management of Oyster Shell By-Products and Recent Research Techniques", *Journal of Energy Engineering*, Vol.27, No.1, pp.1-11, 2018. DOI: https://doi.org/10.5855/ENERGY.2018.27.1.001
- [6] O. S. Lee, N. J. Joh, Where did all the oyster shells go. Sisain, c2021 [cited 2021 Dec. 14], Available From: https://www.sisain.co.kr/news/articleView.html?idxno =46210 (accessed Feb. 15, 2022)
- [7] J. H. Yim, N. C. Sung, S. H. Lee, "A Study on the Effect of Oyster Shell to Improve the Acid Soil and to Treat the Stimulated Acid Rain", *J. of KSEE*, Vol.21, No.12, pp. 2427-2434, 1999.
- [8] S. H. Eo, K. H. Hwang, J. G. Kim "Application of Oyster Shells as Aggregates for Concrete", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.14, No.4, pp.540-548, Aug. 2002. DOI: <u>https://doi.org/10.4334/JKCI.2002.14.4.540</u>
- [9] J. H. Jung, K. S. Yoo, H. G. Kim, H. K. Lee, B. H. Shon, "Reuse of Waste Oyster Shells as a SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> Removal Absorbent", *J. Ind. Eng. Chem.*, Vol. 13, No.4, pp.512-517, 2007.
- [10] S. H. Kim, B. U. Hong, W. S. Cha, K. J. Kim, B. K. Moon, "Evaluation of SO<sub>2</sub> Absorption Efficiency for Calcined Oyster Shell Slurry Using a Simulated Spray Type-flue Gas Desulfurization (FGD) System: A Comparative Study with Limestone Slurry", *Econ. Environ. Geol.*, Vol.52, No.2, pp.119-128, 2019. DOI: <u>https://dx.doi.org/10.9719/EEG.2019.52.2.119</u>
- [11] K. W. Han, C. H. Rhee, H. D. Chun, "Feasibility of Mineral Carbonation Technology as a CO<sub>2</sub> Storage Measure Considering Domestic Industrial Environment", *Korean Chem Eng. Res*, Vol.49, No. 2, pp. 137-150, 2011. DOI: <u>https://doi.org/10.9713/kcer.2011.49.2.137</u>
- [12] D. Kim, M. J. Kim, "Mineral Carbonation using Industrial Waste", *Journal of Korea Society of Waste Management*, Vol.32, No.4, pp.317-328, Jun. 2015. DOI: <u>http://dx.doi.org/10.9786/kswm.2015.32.4.317</u>
- [13] Y. J. Shin, H. K. Han, "Phase Changes of Calcium Carbonate by Temperature and RPM in Continuous Crystallizer", *Korean Chemical Engineering Research*, Vol.57, No.5, pp.666-671, Jul. 2019. DOI: <u>http://doi.org/10.9713/kcer.2019.57.5.666</u>
- [14] A. Son, G. H. Kim, K. W. Han, M. W. Lee, J. T. Lim, "Development Status and Research Direction in the Mineral Carbonation Technology Using Steel Slag", *Korean Chemical Engineering Research*, Vol.55, No.2, pp.141-155 Apr. 2017.

#### DOI: http://doi.org/10.9713/kcer.2017.55.2.141

[15] C. W. Chung, "Possibility to Recycle Domestic Waste Shells-with Emphasis on Oyster Shells", *J Rec Const Resources*, Vol.11, No.1, pp.11-16, Mar. 2016. DOI: <u>https://doi.org/10.14190/MRCR.2016.11.1.011</u>

# 윤유정(Yu Jeong Yun)

#### [준회원]



- 2022년 2월 : 울산대학교 재료공 학과 (공학사)
- 2022년 3월 ~ 현재 : 한국생산기 술연구원

〈관심분야〉 Recycling, Green chemistry



#### [정회원]



- 2019년 2월 : 부경대학교 화학공 학과 (공학사)
- 2021년 2월: 부경대학교 화학공
  학전공 (공학석사)
- 2021년 4월 ~ 2022년 2월 : 한국 생산기술연구원

〈관심분야〉 에너지, 환경

#### 류 영 복(Young Bok Ryu)

### [정회원]



- 2006년 2월 : 부경대학교 화학공 학과 (공학석사)
- 2016년 2월 : 부산대학교 재료공 학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 한국생산기 술연구원 수석연구원

#### 〈관심분야〉

Nano-material synthesis, Heterogeneous catalysis, Green chemistry, Upcycling