

“CO₂를 고부가가치 석유화학 원료로”

GIST, 친환경 촉매 기술 개발 세계 최고 안정·효율성 확보

- 화학과 홍석원 교수팀, 이산화탄소·에틸렌 활용해 기저귀 등 위생제 용도로 사용되는 고흡수성 소재(아크릴산나트륨) 합성할 수 있는 촉매 개발... 탄소 배출 줄이고 효율 높여
- 세계 최고 수준 촉매효율(TON 514→570) 달성하면서 생산효율 대폭 높이고(수율 21%→82%) 대량 생산 가능성도 확인... 국제학술지 《Journal of CO₂ Utilization》 게재



▲ (왼쪽부터) GIST 홍석원 교수, LG화학 이창희 박사, GIST 강창묵 박사과정생, GIST 김세용 박사
광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 화학과 홍석원 교수 연구팀이 이산화탄소(CO₂)와 에틸렌을 활용하여 고부가가치 석유화학 원료인 아크릴산나트륨(sodium acrylate)을 합성할 수 있는 세계 최고 수준의 안정성과 효율성을 확보한 촉매를 개발했다고 밝혔다.

전환수(TON)* 570의 효율성과 수율* 82%의 생산 효율을 달성한 이번 연구 성과는 세계 최고 수준의 전환수를 기록하는 한편 수율 면에서도 기존 한계를 뛰어넘는 혁신을 이룬 것이다.

* **전환수(TON, Turnover Number)**: 촉매 하나가 얼마나 많은 반응물을 생성물로 전환시킬 수 있는지를 나타내는 값이며 촉매의 성능을 평가하는 중요한 지표로, 높은 전환수는 적은 양의 촉매로 많은 양의 생성물을 얻을 수 있음을 의미한다. (촉매 효율에 초점)

* **수율(Yield)**: 반응에서 이론적으로 얻을 수 있는 생성물의 양에 비해 실제로 얻어진 생성물의 양을 백분율로 나타낸 값이다. 높은 수율은 실제로 얻어진 생성물이 낭비 없이 효율적으로 얻어졌음을 의미한다. (생산 효율에 초점)

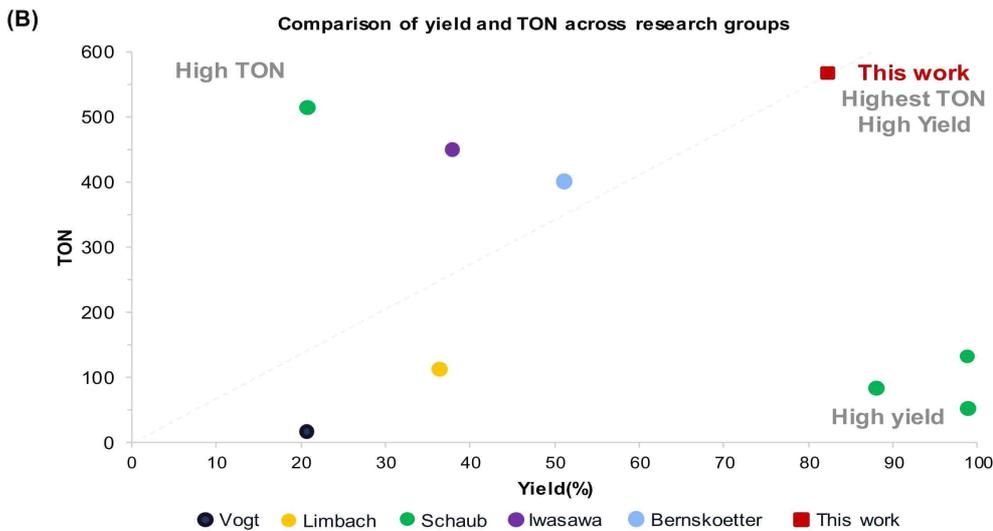
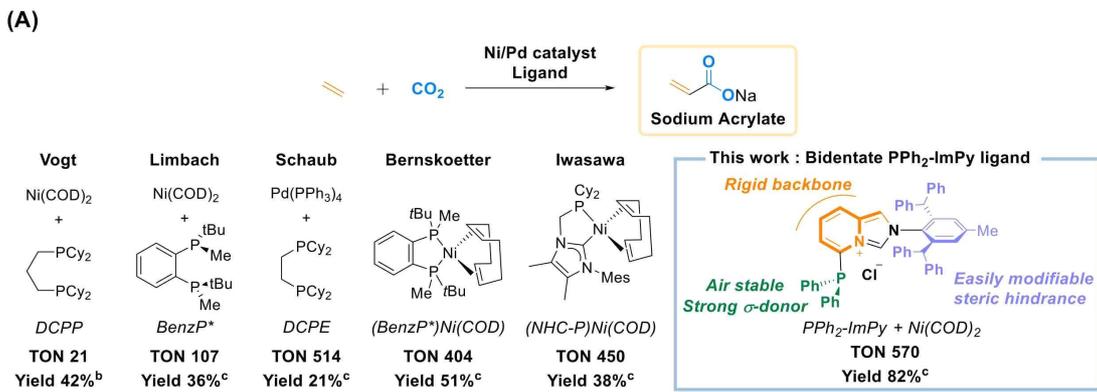
기저귀 등 위생제 용도로 사용되는 고흡수성 고분자(Super Absorbent Polymer, SAP) 소재의 핵심 원료인 아크릴산나트륨은 전 세계적으로 수요가 꾸준히 증가하고 있다.

아크릴산나트륨은 주로 프로필렌을 고온에서 산소와 반응시키는 방식으로 합성되고 있으나 이 과정은 에너지 효율성과 환경적 측면에서 개선이 필요하다는 평가를 받는다.

이에 따라, 탄소 배출 감소와 고부가가치 화학 물질 생산의 두 가지 목적을 달성할 수 있는 대안으로 이산화탄소와 에틸렌을 활용한 합성 기술이 주목받고 있다.

그러나 이 기술은 촉매 분야에서 매우 도전적인 과제로 꼽힐 만큼 구현이 매우 어려울 뿐만 아니라 기존 촉매들의 낮은 전환수와 수율은 실제 공정에서 활용하기 어려워 이에 대한 연구가 요구되어 왔다.

연구팀이 개발한 촉매는 전환수 최고 기록을 달성(효율 TON 570)하면서도 수율이 82%에 이르렀고, 전환수 312에서는 수율 99%를 기록하였다. 기존 기술의 한계를 극복한 혁신적 결과를 통해 이산화탄소를 활용한 화학 공정에 새로운 가능성을 열었다.



▲ (A) 기존 보고된 촉매들의 구조와 결과 및 본 연구에서 제안한 촉매 구조. (B) 연구 그룹간 수율과 전환수 비교. 기존 연구에서는 400-500 범위의 높은 전환수를 달성하기 위해 20-50% 수준의 낮은 수율을 감수하거나, 90% 수준의 높은 수율을 위해서는 낮은 전환수 100 정도에 머무는 것이 한계였으나 이번 연구에는 가장 높은 전환수 570을 높은 수율(82%)로, 전환수 312를 99%의 수율로 달성.

종전의 세계 최고 기록은 전환수 514(수율 21%) 정도인데, 일반적으로 전환수가 올라가면 수율이 낮아지고 수율이 높으면 전환수가 낮아진다.

연구팀은 견고하고 평면적인 구조를 갖춘 니켈(0) 화합물 촉매를 개발하여 기존 촉매 대비 뛰어난 안정성과 효율성을 확보했다. 이러한 구조적 특성은 촉매의 반응 안정성을 극대화하고, 성능 저하를 최소화할 수 있다.

또한 부산물은 물에 녹지 않고, 생성물인 아크릴산나트륨만 물에 잘 녹는 간단한 물 추출법*을 통해 생성된 소듐 아크릴레이트를 높은 수율로 분리할 수 있어 **공정의 단순화 가능성 또한 입증**하였다.

* **물 추출법**: 원료를 습식 또는 건식법으로 분쇄한 후 물을 가하여 기름을 추출하는 방식이다.

홍석원 교수는 “이번 연구는 **이산화탄소를 활용한 화학 공정의 새로운 전기를 마련한 것으로, 특히 산업적 규모에의 적용과 확장이 기대된다**”고 평하며, “기존 공정의 한계를 극복하고 이산화탄소와 에틸렌을 활용한 고효율 아크릴산나트륨 합성 기술의 실현 가능성을 한 단계 끌어올렸다”고 설명했다.

또한 “향후 아크릴산 합성을 포함한 **다양한 화학 공정에서 탄소 저감과 고부가가치 소재 생산에 실질적으로 기여할 수 있을 것**”이라고 말했다.

GIST 홍석원 교수가 지도하고 LG화학 이창희 박사가 공동 교신저자를 맡아 강창묵 박사과정생과 김세용 박사가 공동 제1저자로 수행한 이번 연구는 LG화학과 과학기술정보통신부·한국연구재단 나노·소재기술개발사업의 지원을 받았으며, 연구 결과는 국제학술지 《저널 오브 CO₂ 유틸라이제이션(Journal of CO₂ Utilization)》에 2024년 12월 18일 온라인 게재되었다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자 정보

- 저널명 : Journal of CO₂ Utilization (IF: 7.4, 2024년 기준)
- 논문명 : In situ generated diphenylphosphine-chelated imidazo[1,5-*a*]pyridin-3-ylidene nickel(0) catalysts for highly efficient acrylate synthesis from ethylene and CO₂
- 저자 정보 : 강창묵(제1저자, GIST), 김세용(공동 제1저자, GIST), 이창희(교신저자, LG Chem), 홍석원(교신저자, GIST)