

TOP 10 RESEARCH
ACHIEVEMENTS

희토류 - 백금 합금 나노입자 촉매 연구

Rare-earth-platinum alloy nanoparticles for catalysis

소속학과 화학과

연구책임자 유룡

홈페이지 <http://rryoo.kaist.ac.kr>

금속 나노 촉매는 화학 공정에 핵심 요소이다. 특히 2가지 이상의 금속으로 이루어진 합금 나노입자를 합성하여 촉매의 특성을 조절하는 것이 대단히 중요하다. 그러나 지금까지 희토류 원소는 화학 반응 포텐셜이 낮기 때문에 금속 촉매 입자로 만드는 것이 어려웠다. 유룡 교수의 연구진은 메조다공성 제올라이트의 표면을 이용하여 희토류 금속 원소를 단원자 상태로 분산시키는 방법을 창안하였다. 이에 따라 희토류 원소의 화학 포텐셜을 증가시킬 수 있게 되어 희토류-백금 합금 나노입자를 합성할 수 있었다. 이 합금 입자는 프로판에서 수소를 떼어 내서 프로필렌을 합성하는 석유화학 반응에서 대단히 우수한 촉매 특성을 나타냈다. 유룡 교수 연구진은 이처럼 새로운 개념의 획기적 발전을 이룩함으로써, 앞으로 불균일계 촉매 분야의 기초 연구와 응용성 개척에 크게 기여할 것으로 전망된다.

1. 연구배경

카이스트 유룡 교수 연구진은 최근 20년 동안에 메조다공성 물질의 합성 연구를 수행하였으며, 카이스트의 영문 명칭을 따라서 명명한 CMK series 탄소와 메조 다공성 제올라이트 등의 새로운 물질을 합성하여 네이처지에 5편과 사이언스지에 1편의 논문을 발표하였다. 이번에 유룡 교수가 정년 퇴임을 앞둔 마지막 학기에 제1저자 및 교신 저자로 네이처지에 발표한 연구는 “희토류-백금 합금 나노입자 촉매”로서, 지금까지 합성 연구에 주력하였던 메조 다공성 제올라이트 물질의 연구를 표면 화학적 반응 특성 탐구 방향으로 확장하면서 새롭게 발견한 현상(즉, 희토류 원소를 단원자 상태로 표면에 분산)을 적용하여 촉매 합성 분야의 발전 가능성을 탐색한 것이다. 특히 카이스트에서 개척한 메조다공성 제올라이트를 프로판 탈수소화 반응 촉매로 응용할 수 있는 가능성을 열게 되었다. 이 반응은 셰일가스와 천연가스에 들어 있는 프로판을 이용하는 반응으로서 현재 석유화학 분야에서 가장 중요한 토픽이다.

2. 연구내용

희토류 원소는 낮은 화학 반응 포텐셜로 인해 환원이 어려워서 금속 나노입자를 만들거나 다른 원소와의 합금 나노입자를 만들기 어렵다. 유룡 교수 연구진은 메조다공성 제올라이트의 표면 특성을 조절하여 희토류 원소를 제올라이트 표면에 단원자로 고르게 분산시키는데 성공하였다. 단원자로 분산된 희토류는 기존의 희토류 산화물에 비교했을 때 활성화되어 있어서 훨씬 쉽게 환원될 수 있었다. 이와 같이 단원자로 분산된 희토류를 이용하여, 기존에는 불가능하다고 여겨졌던 희토류 금속원자들(La, Ce, Y)과

백금간의 인터메탈릭 컴파운드 나노입자 형성에 성공할 수 있었다. 이렇게 얻어진 Pt-La, Pt-Y, 그리고 Pt-Ce 나노입자들은 그림 1a의 원자분해능 STEM 사진에서 볼수 있듯이 초격자를 가지는 L12 구조를 가지는 인터메탈릭 컴파운드였다. 이러한 방법으로 만들어진 희토류-백금 나노입자는 프로판 탈수소화 반응에서 우수한 촉매 활성 및 안정성을 보였다. 그림 1b와 1c의 결과를 보면, 희토류-백금 촉매들의 활성은 적게는 7일에서 길게는 20일 동안 지속 가능하였다. 이는 상용촉매인 알루미늄에 담지된 Pt-Sn 촉매의 수명에 비해 수배에서 수십배 증진된 것이다.

3. 기대효과

본 연구를 통해 발견한 원자적 합금과정 원리는 비단 백금-희토류간 뿐만 아니라 일반적인 백금 전이 금속 간의 경우에도 특이 성질을 갖는 합금을 형성하는데 이용할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 프로판 탈수소화 반응뿐만 아니라 산업적으로 중요한 여러 화학 반응의 촉매를 설계하는데 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

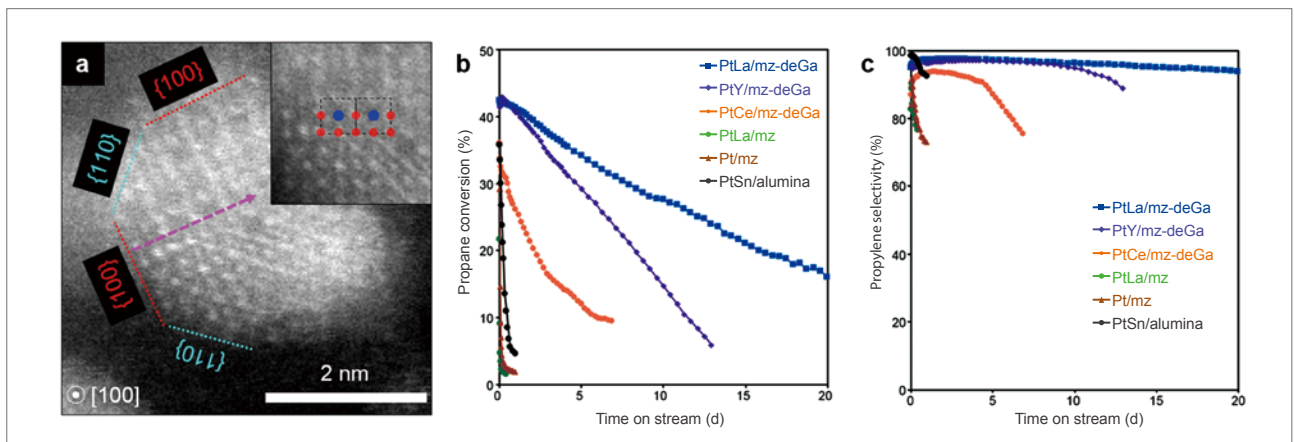


그림 1. (a) 메조다공성 제올라이트에 담지된 L12 구조를 가지는 Pt₃Y 인터메탈릭 컴파운드 합금 나노입자의 원자분해능 STEM 사진. 다양한 백금 기반 촉매의 프로판 탈수소화 반응에서의 시간에 따른 (b) 프로판 전환율 (propane conversion) 과 (c) 프로필렌 선택도 (propylene selectivity).



연구 성과

[논문] R. Ryoo,* J. Kim, C. Jo, S. W. Han, J.-C. Kim, H. Park, J. Han, H. S. Shin, and J. W. Shin, "Rare-earth-platinum alloy nanoparticles in mesoporous zeolite for catalysis", *Nature* 585, 221-224 (2020) [2019 Impact Factor = 42.778].

[특허] 유용, 김재현, 조창범, 김정철, 국내 및 PCT 특허 출원 중.

[홍보] KAIST 유용 교수, 백금-희토류 합금 나노촉매 개발, 연합뉴스, 2020년 9월 10일
카이스트, 세일가스서 프로필렌 만드는 기술 개발, 조선비즈, 2020년 9월 10일

연구비 지원

[기관고유과제] 나노물질 설계 및 합성 (과제코드: IBS-R004-D1-2020-a00)