

★ 배포 즉시 보도하여 주시기 바랍니다.

보도자료



한국연구재단
National Research Foundation of Korea

<홍보실> 실장 김한기, 담당 장효정 ☎ 042-869-6116

<자료문의> 광주과학기술원(GIST) 신소재공학부 최창혁 교수(062-715-2317),
정민욱 박사(062-715-2729)

활성산소 조절로 수소연료전지 촉매 내구성 향상 - 경제적 탄소기반 촉매 적용으로 수소자동차 대중화 기대 -

- 수소자동차에 저비용 탄소기반 촉매를 적용할 수 있게 되어, 친환경 수소자동차 대중화에 한걸음 다가섰다. GIST(지스트, 총장 문승현) 최창혁 교수와 김형준 교수(한국과학기술원) 공동연구팀이 수소연료전지 내에서 탄소기반 촉매의 내구성이 저하되는 원인이 활성산소임을 규명했다고 한국연구재단(이사장 노정혜)은 밝혔다.
- 수소자동차의 가격 경쟁력을 갖추기 위해 값비싼 백금 촉매를 저렴한 탄소기반 촉매로 대체하려는 연구가 다각적으로 이루어졌다. 그 결과 성능 면에서는 기존 백금 촉매에 견줄 만큼 발전되었으나, 100시간도 되지 않는 낮은 내구성으로 인해 상용화로 적용되지 못하고 있다.
- 연구팀은 탄소기반 촉매의 낮은 내구성이 중간 생성물인 활성산소 때문임을 규명해, 촉매의 안정성을 확보할 기반을 마련했다. .
 - 수소연료전지를 구동할 때 과산화수소가 생성된다. 마치 소독제인 과산화수소를 상처에 발랐을 때처럼 과산화수소가 탄소기반 촉매에 노출되면 활성산소에 의해 거품이 일어난다. 연구팀은 이 활성산소에 의해 촉매성능이 감소한 것을 확인했다.

- 또한 탄소기반 촉매에서 활성산소에 의해 생긴 산소작용기를 제거하면 촉매 성능이 회복되었다. 촉매의 구조는 붕괴되지 않아, 활성산소를 제어하는 것만으로 성능을 80% 이상 회복할 수 있다.
- 최창혁 교수는 “이 연구는 탄소기반 촉매의 내구성에 대한 지난 수년간의 수수께끼를 풀어낸 것이다”라고 설명하며, “향후 활성산소 제어를 통해서 탄소기반 촉매의 성공적인 연료전지 자동차 도입을 연구할 계획이다”라고 밝혔다.
- 이 연구 성과는 과학기술정보통신부·한국연구재단 미래소재디스커버리 사업, 기초연구사업(신진연구)의 지원으로 수행되었다. 환경과학 분야 최고 권위 학술지인 에너지 앤 인바이런멘탈 사이언스(Energy & Environmental Science)에 10월 4일 게재되었다.

<참고자료> : 1. 주요내용 설명
3. 연구 이야기

2. 그림 설명

1 주요내용 설명

□ 논문명, 저자정보

논문명	Achilles' heel of iron-based catalysts during oxygen reduction in acidic medium
주저자	최창혁 교수(교신저자/제1저자, GIST), 김형준 교수(교신저자, KAIST), Frédéric Jaouen(교신저자, CNRS)

□ 연구의 주요내용

1. 연구의 필요성

- 수소연료전지는 수소와 산소를 이용해 전기에너지를 생산하는 친환경 자동차의 핵심장치이다. 특히, 대기오염 및 석유자원의 고갈로 인한 전 세계적인 연료전지 자동차 시장의 돌풍과 함께, 수소연료전지 기술의 개발과 발전은 미래 자동차시장의 새로운 패러다임을 제시하고 있다.
- 이러한 수소연료전지 시스템의 효과적인 운영을 위해서는 발전 효율을 높여주는 '촉매' 물질이 반드시 필요하다. 현재 상용화된 연료전지 자동차를 포함하여, 대부분의 수소연료전지는 값 비싼 귀금속인 백금을 촉매로 사용하고 있다. 따라서 현재 연료전지 자동차의 높은 가격뿐만 아니라 장기적인 관점에서의 연료전지 자동차의 대중화는 백금 촉매를 대체 할 수 있는 신 촉매기술의 개발을 요구하고 있다.
- 이러한 수소연료전지 시장의 요구와 함께, 값싼 '철과 질소를 포함한 탄소기반 촉매'의 개발이 지난 수 십 년간 이루어 졌다. 그 결과, 현재 탄소기반 촉매는 성능 면에서는 기존 백금 촉매에 견줄 수 있을 만큼의 놀라운 발전을 보여 주었다. 그러나, 이러한 고 성능의 탄소기반 촉매의 경우 100시간 이하의 낮은 내구성을 보여주고 있으며, 그 원인은 아직까지 수수께끼로 남아있다.
- 따라서 탄소기반 촉매의 명확한 내구성 저하 원인에 대한 규명과 그에 따른 안정성 확보는 연료전지 자동차의 가격 경쟁력 강화를 위한 핵심 기술로 여겨지고 있다.

2. 연구내용

- 수소연료전지 구동 중 촉매 반응인 산소환원의 중간 생성물로 과산화수소가 발생한다. 연구팀은 탄소기반 촉매를 다양한 온도의 과산화수소 용액에 직접 노출시킴으로써 촉매 성능의 변화와 함께 물리화학적 특성변화를 관찰하였다.
- 탄소기반 촉매의 철 활성점*과 과산화수소의 펜톤 (Fenton) 반응으로 인하여, 활성산소가 생성되는 것을 확인 하였다. 이러한 활성산소의 생성과 함께 촉매의 성능은 2.2 mA/cm^2 에서 0.1 mA/cm^2 로 급격하게 감소하였다. 특히 이러한 성능의 감소는 과산화수소의 처리 온도가 증가할수록 그 정도가 커지는 것을 관찰하였다.

* 활성점 : 촉매 반응이 일어나는 촉매 내 특정 부위

- 활성산소의 생성 이후, 활성점인 철의 함량과 그 주변 구조는 변하지 않았다는 것을 분광학적 분석을 통해 증명 하였다. 반면, 활성점 주변의 탄소표면에 다양한 산소작용기들이 형성되었음을 알 수 있었다. 계산화학 기법을 통하여, 활성산소에 의해 형성된 산소작용기가 활성점인 철의 전환빈도*에 부정적인 영향을 줄 수 있었다.

* 전환빈도 (Turnover frequency) : 촉매의 활성을 표현하는 용어. 촉매의 활성점당 단위시간당 반응하는 분자수.

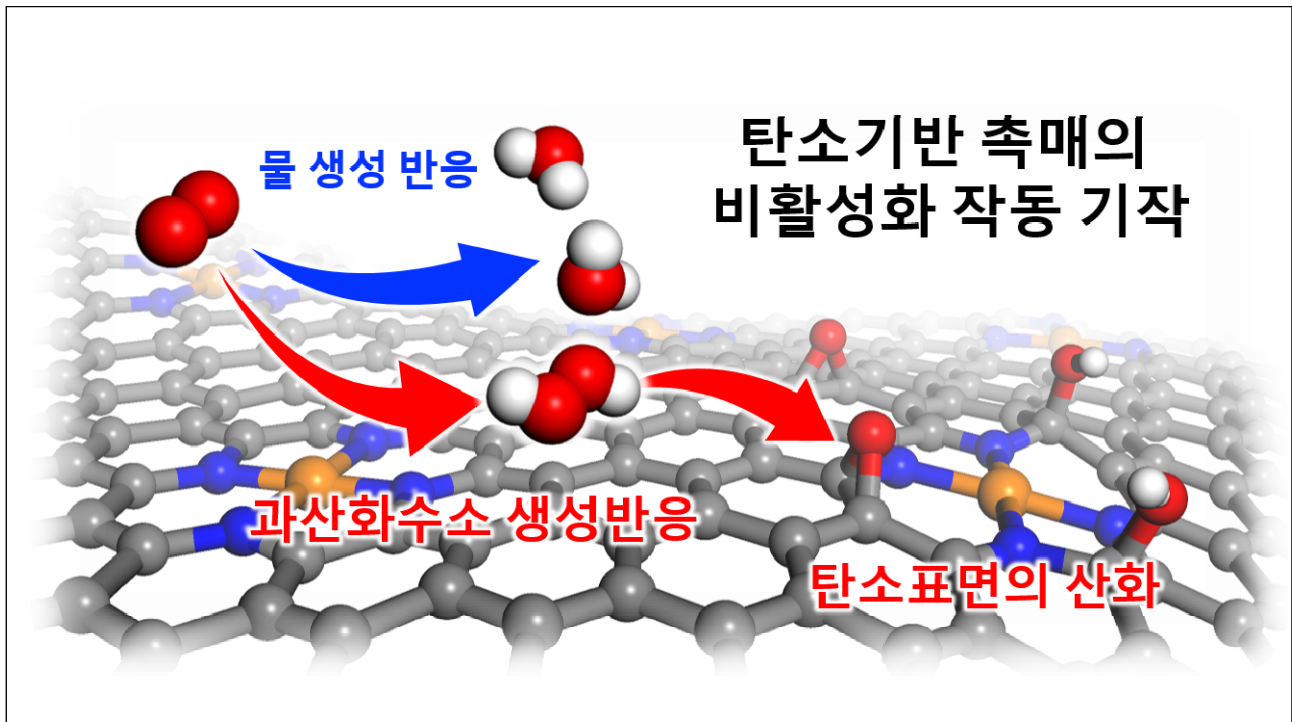
- 추가적으로, 탄소기반 촉매에 형성되었던 산소작용기를 전기화학적인 방법으로 제거하였다. 이후, 촉매의 성능은 약 80% 이상 회복되었으며, 이를 통해 활성점인 철이 아닌 활성산소에 의한 탄소표면의 산화가 탄소기반 촉매의 내구성 저하의 핵심 기작임을 다시 한 번 증명할 수 있었다.

3. 연구성과/기대효과

- 이 연구에서는 수소연료전지의 탄소기반 촉매개발 관련 분야에 있어서 오랫동안 수수께끼로 남아 있던 그들의 낮은 내구성의 원인을 규명하는데 성공하였다. 연료전지 구동 중 발생하는 활성산소로 인하여 탄소기반 촉매의 표면이 산화되는 것을 확인하였으며, 이는 촉매의 성능저하와 직접적으로 연결됨을 알 수 있었다.

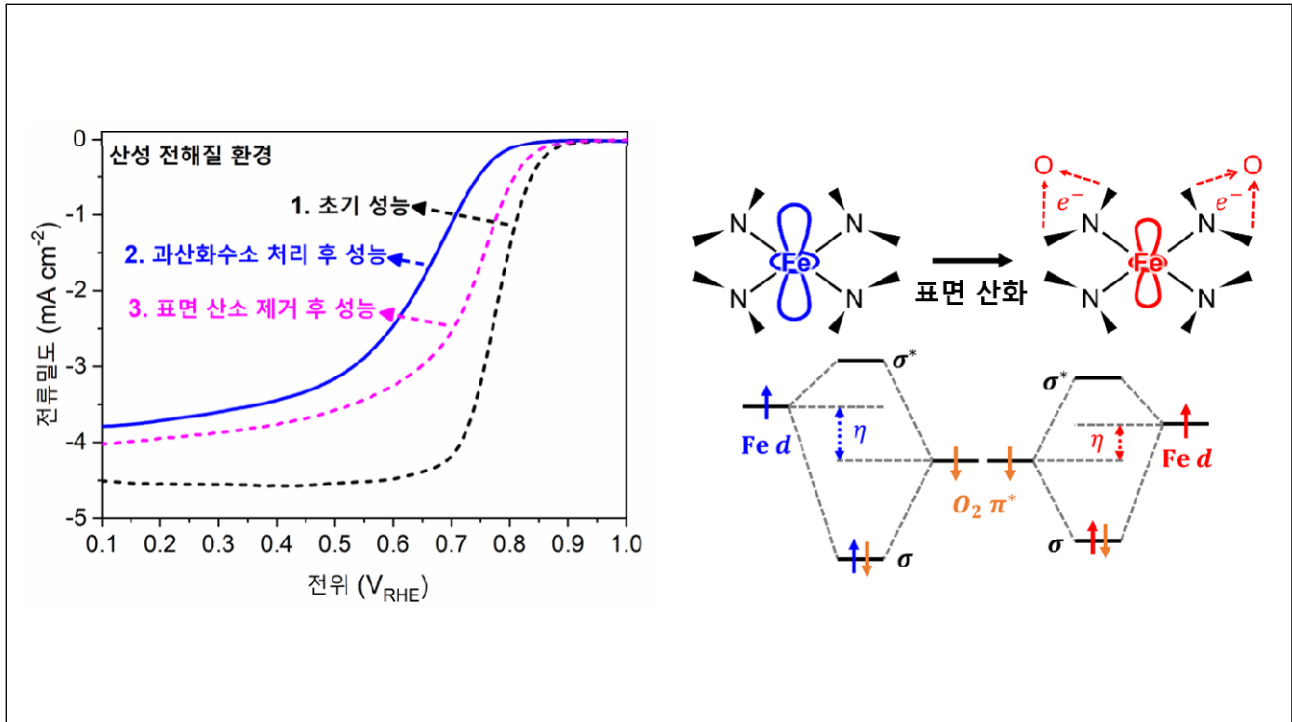
- 이러한 기초연구 결과를 통하여 활성산소를 생산하지 않는 방법 혹은 생성된 활성산소를 빠르게 제거하는 방법 등의 내구성 향상 전략들을 제안할 수 있었다.
- 이를 활용한다면 높은 내구성을 가지는 탄소기반 촉매의 개발이 가속될 것으로 기대되며, 이는 향후 수소연료전지 내 백금 촉매의 성공적인 대체를 통하여 친환경 자동차의 가격 경쟁력 강화 및 성공적인 대중화를 위한 하나의 돌파구가 될 것으로 기대된다.
- 더욱이 이러한 탄소기반 촉매의 기술은 친환경자동차의 대중화를 넘어, 산업용 발전기 및 전자기기용 소형/이동형 전원 등 다양한 에너지 산업에 광범위하게 활용될 것으로 기대된다.

2 그림 설명



(그림1) 탄소기반 촉매의 비활성화 과정 모식도

연료전지의 상용 백금 촉매를 대체하기 위한 탄소기반 촉매의 경우, 촉매작용 중 과산화수소가 중간체로 형성된다. 이 과산화수소와 활성점인 철이 화학반응을 일으켜 활성산소를 생성하게 되고, 이 활성산소가 탄소기반 촉매 표면에 다양한 산소작용기를 형성함으로써 촉매의 내구성이 저하되는 결과를 초래한다.



(그림2) (좌) 탄소기반 촉매의 초기 및 비활성화/재생 처리 후 전극 성능

(우) 주변 산소작용기에 의한 철 활성점의 전자적 변화 계산화학 예측 결과

초기 탄소기반 촉매 (좌, 검정색 점선) 의 경우 높은 전극 활성을 보여 주었으나, 과산화수소에 의한 산소작용기 형성 이후 (좌, 파란색 실선) 그리고 전기화학적 개질을 통한 산소작용기의 제거 이후 (좌, 분홍색 점선) 급격한 성능 감소 및 회복을 보여주었다. 계산화학 분석 결과, 탄소작용기에 생성된 다양한 산소작용기는 활성점인 철의 촉매 능력을 감소시킬 수 있음을 보여주었다.

3 연구 이야기

☐ 연구를 시작한 계기나 배경은?

연료전지에서의 탄소기반 촉매의 경우는 비싼 백금 촉매를 대체하기 위해 수십 년 동안 많은 연구가 진행되었다. 상당한 성능을 보이는 탄소기반 촉매들이 최근 다수 보고 되었지만, 실제 연료전지 구동 조건에서 매우 낮은 안정성으로 인해 상용화까지는 많은 난관이 존재했다. 우리 연구팀은 지난 수년간 다각적인 형태로 탄소기반 촉매의 내구성 저하 원인을 연구하였으며, 이를 통해 최종적으로 과산화수소가 그 원인임을 지목 하였다. 이번 연구는 과산화수소에 의해 어떻게 촉매의 내구성이 저하되는 지에 대한 그 작동 기작을 명확하게 밝히는 데 중점을 두었다.

☐ 꼭 이루고 싶은 목표나 후속 연구계획은?

이번 연구를 바탕으로 탄소기반 촉매의 내구성 저하 원인을 명확하게 파악 할 수 있었다. 또한 이를 이용하여 어떻게 하면 내구성을 증가시킬 수 있는지에 대한 중요한 단서를 제공하였다. 이러한 기초연구의 결과를 바탕으로 고 내구성을 가지는 탄소기반 촉매를 디자인 하여 실제 연료전지 자동차에 적용하는 것이 큰 목표이다.