



연료전지 에너지혁신연구센터

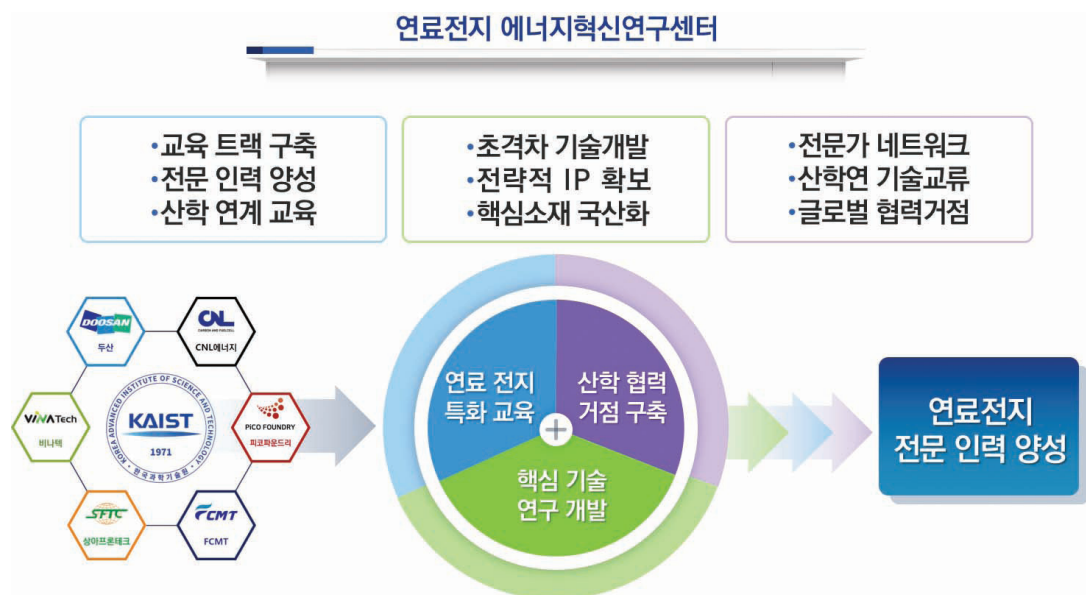
조 은 애 (한국과학기술원 신소재공학과 부교수)

주소: 대전광역시 유성구 대학로 291 응용공학동 2402호
전화: 042-350-3317
이메일: eacho@kaist.ac.kr
홈페이지: <https://ecsm-kaist.net:50568/>

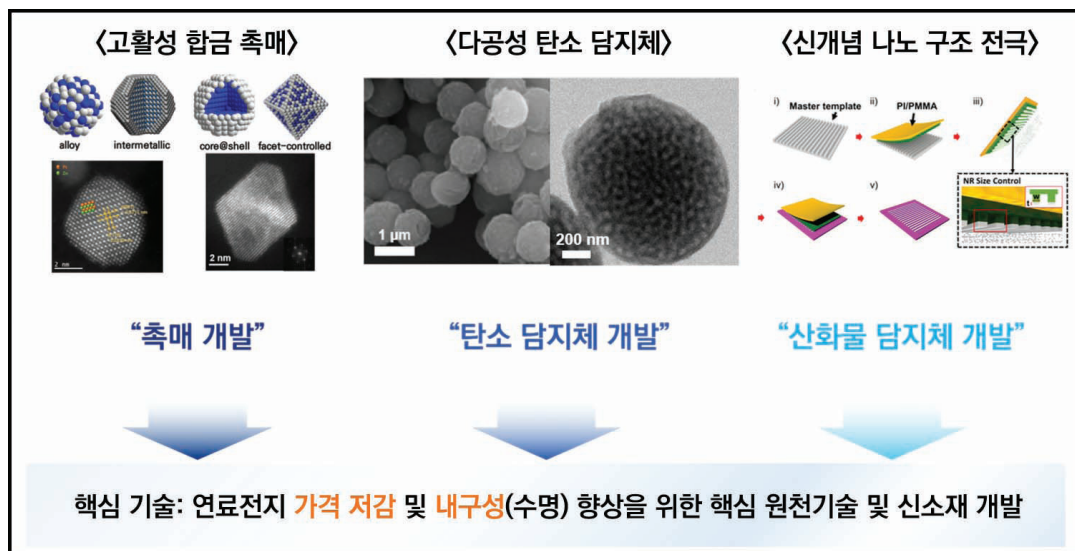
1. 연구센터 소개

글로벌 탄소중립 이행과 에너지 안보 위협으로 인해 향후 전개될 산업에 미칠 불확실성의 충격을 최소화하기 위해서는 에너지자립이 필수적이다. 연료전지 에너지혁신연구센터는

2021년에 설립되어 에너지자립을 위한 연료전지 전문 인력의 지속적인 양성과 동시에 연료전지 및 수소에너지 분야의 핵심 소재 국산화를 위한 기반 기술 연구를 수행하고 있으며 산·학·연 협력을 통해 수요 기반의 맞춤형 기술 개발을 진행하고 있다[그림 1].



[그림 1] 에너지혁신연구센터 추진전략



[그림 2] 에너지혁신연구센터 연구 개요

본 연구센터는 연료전지 핵심 원천기술 개발을 위한 전략으로 (1) 백금 사용량 저감을 위한 고활성 합금 촉매, (2) 고성능 MEA 제조를 위한 다공성 탄소 담지체 구조 개발, (3) 연료전지용 신개념 나노 구조 전극 제조 기술을 개발하고 있으며, 궁극적으로는 핵심 원천기술에 대한 최고 수준의 연구를 유지하기 위해 노력하고 있다[그림 2]. 이러한 연구를 기반으로 연료전지 에너지혁신연구센터에서는 Nature communications, small, ACS catalysis를 비롯한 연료전지 재료화학 분야의 여러 SCI급 저널에 학술 논문을 게재하며 활발한 연구 활동을 펼치고 있다.

2. 연구 분야 및 연구내용

2-1. 백금 사용량 저감을 위한 고활성 합금 촉매

연구목표

백금기반 촉매의 가격 절감을 위한 촉매 활성 향상과 동시에 촉매의 내구성 증대를 목표로 연료전지 구동 환경에서의 형태 안정성이 우수한 촉매합성 기술을 개발하고 있다.

연구내용

연료전지 시스템의 효율과 수명을 향상시킬 수 있는 고활성 고내구성 촉매를 개발하기 위하여, 본 연구센터는 새로 개발한 촉매를 intermetallic화 하는 공정과 촉매의 불균일성을 제어하는 기술을 활용하고 있다. 연료전지 촉매 중 가장 보편적으로 활용되는 Pt-M 촉매를 대량 합성하고 연료전지에 적용하기 위한 연구를



수행하고 있으며, 그 중에서 특히나 백금 담지량이 높은 고담지 촉매의 개발에 노력을 기울이고 있다. 저담지 촉매를 연료전지 시스템에 사용하면 과도하게 두꺼운 촉매 전극층으로 인하여 반응물질 전달 속도 저하, 생성 물질 배출 지연, 촉매 활용도 저하 등과 같은 다양한 문제가 발생할 수 있어 고담지 촉매의 개발이 필요하다. 그러나, 고담지 촉매의 경우 열처리를 진행하는 과정에서 나노입자 간의 응집 현상이 심해져서 촉매의 전기화학적 활성 표면적의 감소를 초래할 수 있으므로, 이러한 응집 현상을 억제하면서도 고담지 촉매를 대량 합성하는 기술이 요구되고 있다.

본 연구센터에서는 백금 담지량이 30 wt% 이상인 고담지 촉매에 대하여 한 번에 대량합성하는 데 성공하였으며, 소량 합성한 촉매군과 큰 차이 없이 안정하게 합성되는 것을 특성 분석을 통해 확인하였다[그림 3]. 더 나아가 전이금속의 용출을 방지하고 구조를 안정화하기 위하여 Core@Shell 구조를 합성하는 기술을 개발 중이며, 합성 과정의 단계별로 촉매군의 열

역학적 안정성 및 촉매 활성화 정도를 비교함으로써 연료전지 적용 가능성을 검토하고 향후 연관기업의 상업화 프로세스 가속화에 힘쓰고 있다.

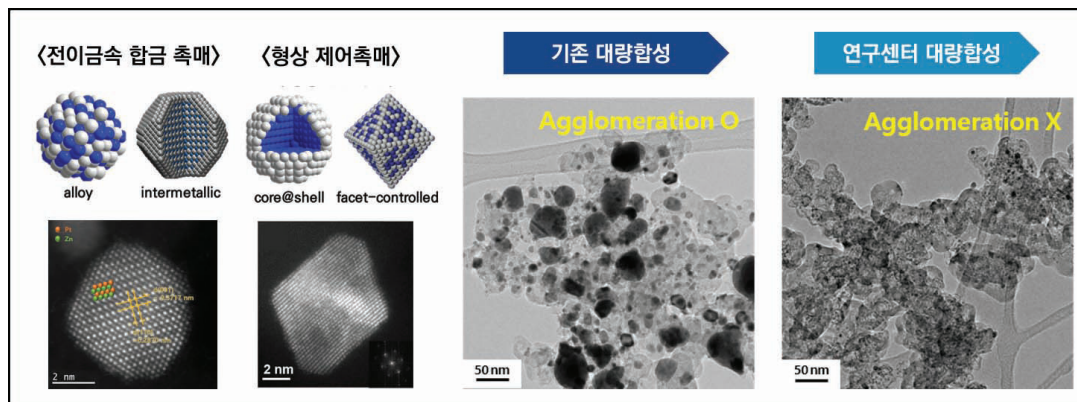
2-2. 고성능 MEA 제조를 위한 연료전지용 다공성 탄소 담지체 구조 개발

연구목표

담지체 입자 합성 조건을 조절하여 다공성 탄소 입자 기공의 열린 정도 제어하고, 이를 통해 연료전지 구동 중의 물질 수송 및 전기화학 성능을 극대화하는 것을 목표로 하고 있다. 더불어, 합성한 탄소 입자의 기공과 입자 특성 간의 상관관계를 연구하여 고효율의 저백금 탄소 복합체를 개발하는 것을 목표로 한다.

연구내용

연료전지 촉매의 구성요소인 탄소 지지체는 그 기공 구조가 연료전지 성능에 큰 영향을 미칠 수 있어 다양한 방식으로 다공성 탄소 재료



[그림 3] 대량 합성된 고효율 합금 촉매

를 설계하는 연구가 진행되고 있다. 특히 본 연구진은 산소환원반응을 위한 다공성 탄소 재료를 형성하기 위해 나노 구조 도메인을 갖는 블록 공중합체를 템플릿으로 사용하여 메조다공성 탄소 지지체를 합성하는 방법을 개발하고 있다. 에멀전 내에서 블록 공중합체가 자가 조립될 때 유기용매가 증발하는 속도를 조절함으로써 입자의 기공이 열린 정도를 조절할 수 있다. 블록 공중합체 사슬들의 배열이 열역학적으로 안정해지기 전에 용매를 빠르게 증발시키면 열린 기공이 형성되지만, 용매를 천천히 증발시킬수록 계면에너지의 영향으로 인해 닫힌 기공이 형성된다[그림 4].

기공이 열린 정도에 따른 탄소 입자의 특성 분석 및 연료전지 셀 성능 평가를 진행하고 있으며 본 연구를 통해 탄소 지지체의 기공이 열린 정도가 연료전지 구동 시 물질 수송과 연료전지 성능에 끼치는 영향을 평가할 수 있을 것이라 기대한다.

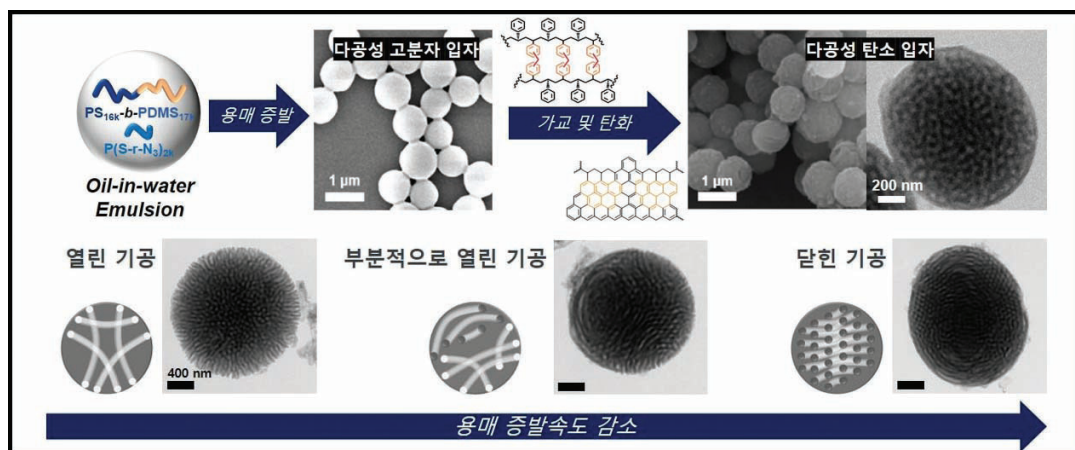
2-3. 연료전지용 신개념 나노 구조 전극 제조 기술

연구목표

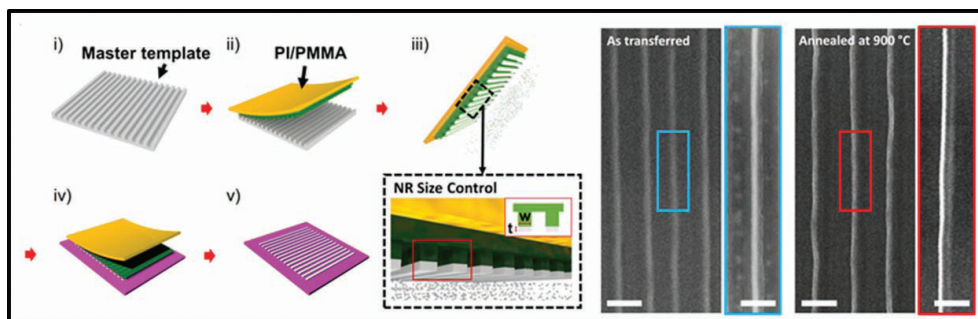
본 연구의 주요 목표는 선행 연구 기술인 solvent-assisted nanotransfer printing (S-nTP) 방법을 기반으로 하여 3차원 금속산화물 나노 복합 담지체를 제작하는 기술을 개발하는 것이다. 더불어 연료전지 성능과 내구성을 향상시키기 위해 내구 구조, 간격, 크기 등 다양한 파라미터를 최적화하여 새로운 3차원 산화물 나노아키텍처 담지 소재를 개발하고자 한다.

연구내용

금속산화물 담지체의 3차원 나노 구조화는 적은 양의 촉매로도 넓은 전기화학적 활성 면적을 확보할 수 있다는 이점과 촉매와 담지체 사이 강한 전자적 상호작용을 통해 촉매의 전자 구조를 변형시켜 고유 활성을 크게 증가시킬 수 있다는 이점을 가진다. 그러나 금속산화물 담지체는 탄소계 담지체에 비해 전기전도성



[그림 4] 블록 공중합체 자가조립과 화학적 가교를 이용한 다공성 탄소 입자



[그림 5] 산화물 담지체의 3차원 구현을 위한 증착 공정

이 낮다는 한계를 가지고 있어 이를 극복하는 것이 필수적이다.

본 연구진은 기존 S-nTP 공정에 연속 증착 공정과 고온 열처리 공정을 추가하여 금속산화물의 전기전도성을 향상시켰다. S-nTP를 활용한 제작 공정 중에 다양한 구조적 파라미터를 조절함으로써 선폭, 주기, 간격 등이 다양한 금속산화물 담지체를 제작할 수 있으며, 담지체의 두께도 조절할 수 있다[그림 5]. 고성능 촉매 전극을 개발하기 위해 반응물/생성물의 크기에 따라 이러한 구조적 파라미터를 최적화하는 연구를 진행하고 있다. 이 최적화 과정으로 인해 물질 전달 효율과 전기화학적 활성 면적 활용 효율이 동시에 극대화될 것으로 기대한다.

로 하고 있다. 이에 따라 핵심 기술 개발을 통해 국내 연료전지 소재 산업을 촉진하고 사업화를 지원하며, 수요기업에 특화된 맞춤형 기술을 개발하고자 부단한 노력을 기울이고 있다. 이를 위해 (주)두산과 같은 기업들이 협력하고 있으며, 정기적으로 기술 교류를 통해 산학협력 네트워크를 구축하고 있다. 이를 통해 궁극적으로 연료전지 부문에서의 가격 경쟁력과 성능을 강화하여 세계의 연료전지 시장에 진출할 가능성을 높이하고자 한다. 이는 연료전지 시스템의 국산화율을 높이고 국가 연료전지 기술의 독립성과 자립성을 높이는 데 기여할 것으로 기대된다.

*이 연구는 산업통상자원부 한국에너지기술평가원의 에너지 인력양성사업을 통해 6년간 72억 원을 지원받아 진행 중이다.

3. 센터의 비전

본 연구센터는 에너지인력양성사업의 일환으로 연료전지 분야와 관련된 새로운 교육 트랙을 구축하고 친환경 에너지 분야 전반에 걸쳐 수요기업에서 필요로 하는 지식과 경험을 갖춘 석/박사급 연구인력을 다수 배출할 것을 목표

• 조은애 •



학력 및 경력

1992~2002	한국과학기술원 재료공학과 학사/석사/박사
2002~2014	한국과학기술연구원 연료전지연구센터 책임/선임/연구원
2014~현재	한국과학기술원 신소재공학과 부교수