

산학연 연구실 소개(2)

하이퍼 이온 이송 채널 기반 초이온 전도성 유연 소재 연구단 (Hyper-ion Transferable Channel based Flexible Solid Electrolyte Research Center)

주소: 경기도 수원시 장안구 서부로 2066 성균관대학교 제2공학관 25402호 (우: 16419)

전화: 031-290-7257, E-mail : djkim@skku.edu, Homepage: http://web.skku.edu/~polyphysics/



연구책임자 | 김덕준 교수
성균관대학교
화학공학/고분자공학부

1. 연구단 소개

본 연구단은 미래창조과학부가 주관하는 창의소재 디스커버리 사업의 일환으로 2018년 7월 선정되었다. 2024년 7월까지 기존의 액상 및 겔형 전해질의 기계적 안정성 문제를 극복하기 위해 지지체를 포함하면서도 이로 인한 이온전도도 손실 문제를 극복하기 위한 하이퍼 이온 이송 채널을 갖는 고체 전해질 소재를 개발하고자 한다. 이를 위해 이온 채널 및 고체 전해질의 구조적, 동적 특성에 대한 멀티스케일 전산모사 모델, 분자설계 기법, 물성진단 모델을 개발하고 이를 기반으로 초이온 전도체를 제조한다. 또한 이를 이온 전도성 소자에 적용하여 다양한 응용 시스템을 구현하고자 한다.

2. 연구개요 및 목적

이온의 이송 특성을 활용하는 이온전도 소자는 일반적인 화학반응 시스템으로부터 직접적으로 에너지를 끌어낼 수 있는 장점을 가지고 있다. 이온전도 소자를 기반으로 한 이차 전지는 스마트 그리드 시스템부터 웨어러블 디바이스 까지 활용 범위가 넓어짐으로써 다양한 외부 환경에서 전

총괄: 김덕준 (성균관대/화학공학부)

하이퍼 이온 이송 채널 기반 초이온 전도성 유연 소재



그림 1. 각 세부 별 연구 개요도.

지특성을 유지하는 것이 매우 중요해 지고 있다. 특히 스마트기기, 전기자동차, ESS 등의 이머징마켓을 위한 전지의 대용량화, 안정성 향상, 다양한 디자인 설계를 위한 유연성 등이 필요하다. 하지만 기존 이차 전지에 사용되던 액상 전해질은 누액이나 폭발로 인한 안전성 문제가 제기되고 있다. 이를 토대로 겔형 전해질을 이용하여 안전성을 높이고자 하였으나 온도, 외부 충격 등에 대한 취약성이 문제점으로 제기되고, 이로 인한 사고가 이슈화되었다.

따라서 본 연구단은 기존의 액상 및 겔형 전해질의 기계적 안정성 문제를 극복하기 위해 지지체를 포함하면서도 이로 인한 이온전도도 손실 문제를 극복할 수 있는 하이퍼 이온 이송 채널을 갖는 고체 전해질 소재에 대해 연구한다. 이를 위해 미세상 나노스케일의 채널구조의 도입과 함께 열적, 기계적 안정성이 우수한 이온성 액체 기반의 하이퍼 이온 이송체의 접목을 통해 하이퍼 이온 전도특성의 구현이 가능한 하이퍼 이온수송 소재를 개발하고자 한다.

3. 연구내용 및 연구단 구성

본 연구단은 김덕준 성균관대학교 교수를 연구책임자로 하여 1세부에 이원보 교수(서울대학교), 조용석 교수(경상대학교), 2세부에 박문정 교수(포항공과대학교), 이민재 교수(군산대학교), 유필진 교수(성균관대학교), 이기라 교수(성균관대학교), 박종혁 교수(성균관대학교), 3세부에 김동완 교수(고려대학교), 이상영 교수(UNIST), 박호석 교수(성균관대학교)로 이루어져 있다(그림 1).

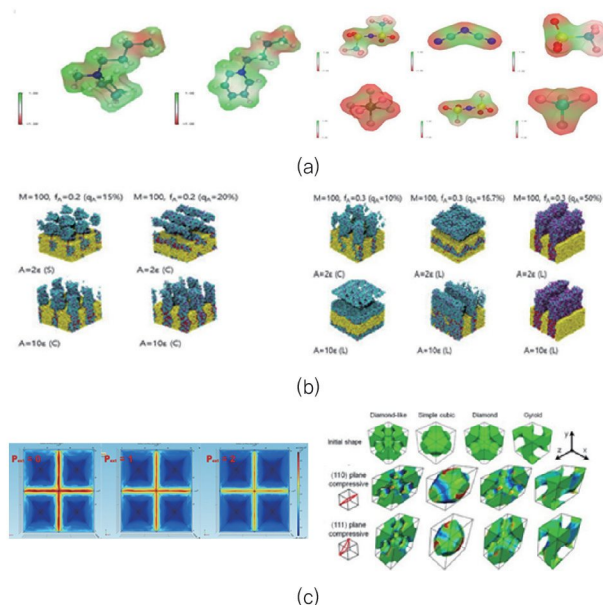


그림 2. (a) 아원자 수준 제일원리계산 기반 멀티스케일 전산모사 모델, (b) 분자 수준 블록공중합 고분자 전해질의 채널 형성 및 (c) 연속체 수준 이온전달 이론 및 모델개발.

3.1 하이퍼 이온 이송 채널 설계(1세부)

1세부에서는 하이퍼 이온 이송 채널 설계 연구를 수행한다. 연구책임자는 이원보 교수(서울대학교)이며, 공동연구원으로 조용석 교수(경상대학교)가 참여한다. 이원보 교수팀에서 가장 기초가 되는 원자(또는 분자)간 상호작용 힘(또는 포텐셜)에 대한 연구를 제일원리를 이용하여 계산하고, 이를 바탕으로 분자 동력학 또는 역학 계산을 통해 구조 및 이온 전도도 계산을 수행하며, 조용석 교수팀에서 이온간의 상호작용 힘에 대한 이론적 연구를 수행할 예정이다. 이를 기반으로 확보된 데이터베이스를 기계학습 기법에 도입하여 다양한 이온성 액체와 고분자의 전산 모델을 예측하여 실험 가이드라인을 제시할 것이다(그림 2).

3.2 하이퍼 이온 이송 채널 고체전해질 합성 및 평가(2세부)

2세부에서는 1세부에서 제안한 분자구조를 바탕으로 이온성 블록 공중합체, 이온가속제를 합성하고 미세 상분리에 의한 하이퍼 이온 이송 채널 형성 고체전해질을 실험적으로 합성하고 평가하는 연구를 수행한다. 이온 전도도를 극대화하기 위해서 이온이 채널 내에서 잘 이동하도록 이온가속제를 도입하고, 채널 내 기능기 간의 상호 작용을 최소화하기 위하여 1세부의 계산 결과를 반영하여 실증하는 연구를 수행할 것이다.

한편 지지체의 도입으로 인해 이온전도도가 낮아지는 것을 극복하고자, 높은 이온전도도를 갖는 하이퍼 이온이송채널을 실험적으로 구현할 것이다. 특히, 일반적으로 이온성 액체를 도입하면 이온 채널 내에서 클러스터의 형성으로 오히려 이온 전도도가 급격하게 떨어지는데, 본 연구에서는 크게 두가지 방식으로 이를 극복하고자 할 예정이다.

첫 번째 방법은 이온 채널 내 이온가속제를 도입 하는 것이다. 이러한 방식으로 이온 클러스터의 형성을 최대한 억제함으로써, 이온 전도도가 향상하여 지지층의 도입으로 인한 손실을 극복할 것이다. 두 번째 방법은 이온 채널 표면에 이온성 브리쉬를 도입하여 이온 채널 내에서 고분자에 추가한 관능기와 이온간의 상호작용 에너지를 최대한 낮춤으로써 이온이 쉽게 이동하게 하는 것이다. 마지막으로 이러한 자발적 이온채널 구조체의 기계적 강도를 높이고 장기적으로 성능을 유지할 수 있도록 하는 연구를 수행할 예정이다. 가장 간단한 방안인 가교제 도입에서부터, IPN, 비트리머 도입까지 계획 중이며 특히 비트리머는 후가공이 가능하므로 이온 채널의 형성 방향 제어에까지 확대하여 연구할 것이다.

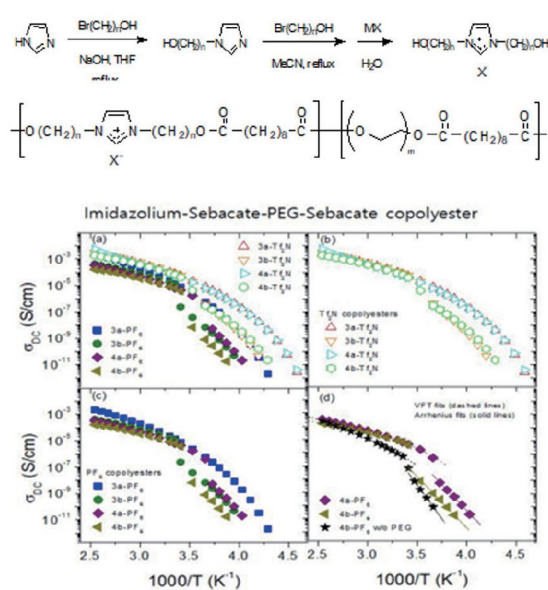
연구책임자인 김덕준 교수팀과 유필진 교수팀(성균관대학교), 그리고 박문정 교수팀(포항공과대학교)이 이온성 블록 공중합체의 합성 및 구조화, 이민재 교수팀(군산대학교)이(반응성) 이온성 액체의 합성, 이기라 교수팀(성균관대학교) 기계적 강도를 유지하기 위한 기능기 도입 연구, 박종

혁 교수팀(연세대학교)은 고체 전해질과 전극간의 계면에 관한 연구를 수행할 것이다(그림 3).

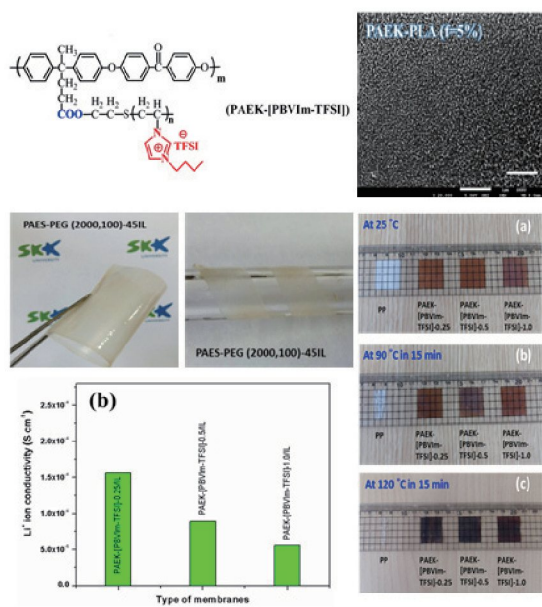
3.3 하이퍼 이온 이송 채널 응용 및 적용(3세부)

3세부에서는 2세부에서 합성된 초이온 전도체가 실제 소자 단계에서도 우수한 성능을 발휘할 수 있도록 초이온 전도체 맞춤형 이종계면제어 기술 및 비주액형 셀 제조 공정 기술의 확보를 통하여 다양한 형태의 에너지 저장소자의 응용

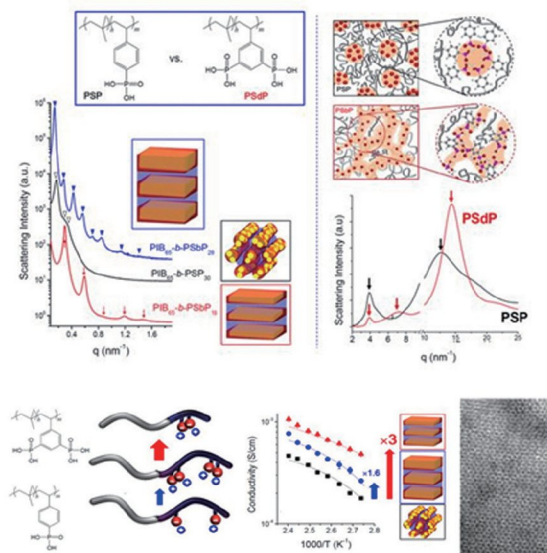
가능성을 탐색하고 적용하고자 한다. 연구책임자는 김동완 교수팀(고려대학교)으로 계면 특성 분석 및 리튬-황, 리튬-공기 이차전지에 관한 연구를 수행하며, 이상영 교수팀(UNIST)은 리튬메탈 음극 보호막 제조 및 비주액형 프린팅 공정 기술 개발, 박호석 교수팀(성균관대학교)은 초내열성 하이브리드 전지 개발 및 연료전지 성능 최적화와 관련된 연구를 수행한다(그림 4).



(a)

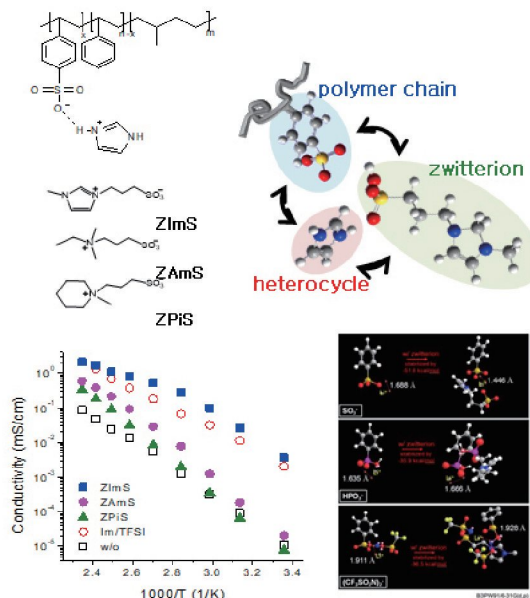


(c)



특허출원: KR10-2018-0003318

(b)



(d)

그림 3. (a) 이온성 액체 Imidazolium-PEG 공중합 이온전도체 합성, (b) 자발적 이온채널형성 블록 공중합체의 합성, (c) 자발적 이온채널형성 아릴렌계 블록 공중합체 합성 및 (d) 이온가속화제 효과의 타당성 실험적 검증.

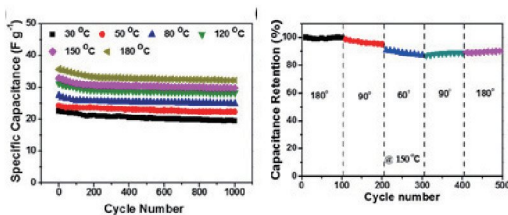
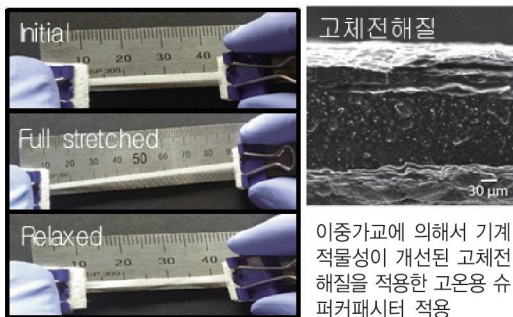
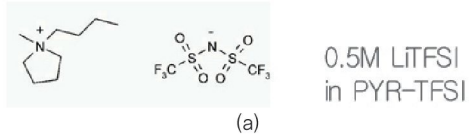
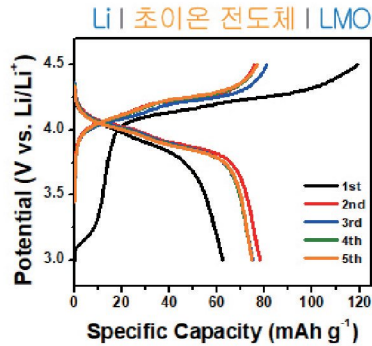


그림 4. (a) 합성된 고체 전해질의 리튬이온 반쪽전지 Feasibility 테스트 및 (b) 이중가교된 고체 전해질 활용 초내열성 전지 적용.

4. 연구 파급효과

다양한 외부 환경에서도 물성을 유지하며 장기안정성을 확보할 수 있는 새로운 구조의 하이퍼 이온 이송 채널 기반 유연 소재의 개발을 통해, 에너지 소재 기술 분야에서 기술 경쟁력을 확보할 수 있으며, 기존의 액체 전해질을 사용하는 전지의 안정성과 기계적 물성의 한계를 뛰어넘는 전해질 소재의 개발을 통하여 차세대 전지 개발의 기반 소재 기술을 확보할 수 있다. 또한 미래 동력의 IoT 기반 정보의 연결과 관련된 디바이스 작동에 필수적인 전력 공급을 위한 핵심 기반 기술을 제공할 것으로 기대된다.



김덕준 교수_성균관대학교 화학고분자공학과
· 전공: 화학공학
· 연구분야: 이온전도성 고분자
· E-mail: djkim@skku.edu
· 전화번호: 031-290-7250



이원보 교수_서울대학교 화학생명공학부
· 전공: 화학공학
· 연구분야: Soft Matters(고분자, 고분자/무기 등) 이론 및 전산모사
· E-mail: wblee@snu.ac.kr
· 전화번호: 02-880-7076



조용석 교수_경상대학교 물리학과
· 전공: 물리학
· 연구분야: 생체 및 연성 물질 물리 이론 및 전산 연구
· E-mail: ysjho@gnu.ac.kr
· 전화번호: 055-772-1403



박문정 교수_포항공과대학교 화학과
· 전공: 응용화학
· 연구분야: 이온전도성 고분자 합성/나노 구조체 분석
· E-mail: moonpark@postech.ac.kr
· 전화번호: 054-279-2342



이민재 교수_군산대학교 화학과
· 전공: 화학
· 연구분야: 이온성 액체, 이온 전도성 고분자 물질
· E-mail: minjae@kunsan.ac.kr
· 전화번호: 063-469-4575



유필진 교수_성균관대학교 화학고분자공학과
· 전공: 응용화학
· 연구분야: 고분자/무기 혼성 소재
· E-mail: pijoo@skku.edu
· 전화번호: 031-290-7345



이기라 교수_성균관대학교 화학고분자공학과
· 전공: 화학공학
· 연구분야: 나노구조 자기조립, 블록 공중합체, 메타물질
· E-mail: yigira@skku.edu
· 전화번호: 031-290-7289



박종혁 교수_연세대학교 화공생명공학부
· 전공: 화학공학
· 연구분야: 이차전지/태양전지 소재 제작 및 응용
· E-mail: lutts@yonsei.ac.kr
· 전화번호: 02-2123-7560



김동완 교수_고려대학교 건축사회환경공학부
· 전공: 재료공학
· 연구분야: 세라믹 나노재료 합성, 에너지 저장 및 수처리 전지축매 응용
· E-mail: dwkim1@korea.ac.kr
· 전화번호: 02-3290-4863



이상영 교수_UNIST 에너지/화학공학부
· 전공: 화학공학
· 연구분야: 플렉서블/프린터블/종이 전지, 유기 복합전해질, 멤브레인
· E-mail: syleek@unist.ac.kr
· 전화번호: 052-217-2948



박호석 교수_성균관대학교 화학고분자공학과
· 전공: 화학공학
· 연구분야: 배터리/슈퍼커패시터/탄소나노소재/유기 복합전해질
· E-mail: phs0727@skku.edu
· 전화번호: 031-299-4715