

STI Brief

2026 VOL.01

플렉서블 이차전지 소재 및 시스템·
고분자 전해질 및 이온전달 기능성 막 개발



STI Brief

2026 VOL.01

플렉서블 이차전지 소재 및 시스템·
고분자 전해질 및 이온전달 기능성 막 개발



플렉서블 이차전지용 소재·시스템 및 고분자 전해질·이온전달막 개발

주저자 이상영 교수 (연세대학교)

공동저자 이권형 포스트닥 연구원 (케임브리지대학교)

I. 서론

II. 정책 동향

III. 결론

참고문헌

IoT·웨어러블·의료기기 시장 확대에 따라 반복 변형 환경에서도 안정적인 전력공급이 가능한 플렉서블 배터리 기술 중요성이 증대되는 가운데 유연 구조 설계와 높은 안전성을 동시에 구현하는 고분자 전해질 핵심소재 필요성 증대

미국·EU·중국·일본 등 주요국은 전고체·플렉서블 전지를 차세대 전원 기술로 육성하며 고분자 전해질·기능성 막 기반 대규모 R&D 투자와 IEC·ISO 국제표준화 경쟁 가속화

글로벌 기술 경쟁 심화에 대응하여 고분자 전해질 소재부터 플렉서블 배터리 시스템까지 전주기통합 기술체계구축과 EU 다국적 컨소시엄 참여국제표준 선점

1. 배경 및 필요성

초연결· 웨어러블 환경 확산

초연결 사회와 웨어러블·의료기기 시장 확대에 따라 유연성과 안정적 전력공급을 동시에 구현할 수 있는 플렉서블 배터리 기술 중요성 증대

- (초연결 전자기기 수요 확대) IoT·웨어러블·스마트 헬스케어 등 상시 연결형 전자기기 확산으로 유연·경량 전원기술 수요 증가
 - 초연결 사회 도래에 따라 전자기기는 신체·의류·생활공간과 결합되는 방향으로 진화하고 있으며 이에 대응 가능한 박막·경량·플렉서블 전원기술 확보 필요성 증대

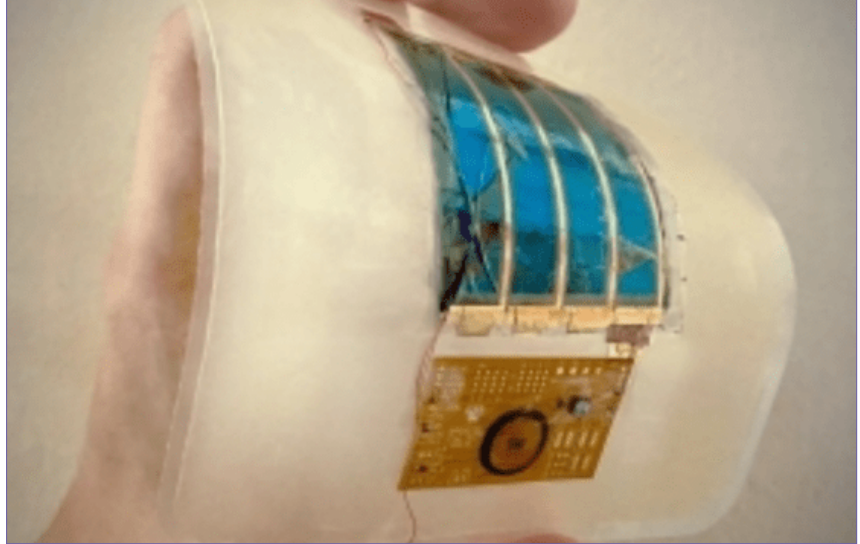
[그림 1-1] 초연결 사회로의 산업 패러다임 변화



자료: ETRI(2017), 초연결 지능 플랫폼 기술 보고서

- (웨어러블·의료기기 적용 확대) 웨어러블 기기가 생체신호 모니터링·질병 진단·맞춤형 헬스케어 영역으로 확장되면서 안전성과 장시간 구동 특성을 동시에 만족하는 배터리 기술 중요성 증가
 - 피부 부착형·섭취형·이식형 기기는 반복적인 굽힘·압박·변형 환경에서도 안정적 전력
 - 공급과 기계적 안정성을 유지할 수 있는 배터리 기술 요구 확대
- (플렉서블 배터리 기술 중요성) 차세대 웨어러블·이식형 기기는 반복 변형 환경에서도 안정적 전기화학 성능을 유지할 수 있는 플렉서블 배터리 기술 요구 확대
 - 기존 경질 배터리는 유연·신축 구조 적용에 한계가 있으며 높은 에너지 밀도·장수명·안전성·형태 자유도를 동시에 만족하는 차세대 배터리 설계 기술 확보 필요
- (고분자 전해질 핵심소재 기술 필요성) 고분자 전해질은 유연한 구조 설계와 높은 안전성을 동시에 구현할 수 있는 플렉서블 배터리 핵심 소재로 부상
 - 굽힘·압축·인장 등 물리적 변형 환경에서도 이온전도도와 계면 안정성을 유지할 수 있는 고안정성·고성능 고분자 전해질 기술 확보 중요성 확대

[그림 1-2]
 피부밀착형
 웨어러블 시스템



자료: 한국수력원자력(KHNP), "KHNP, 체코 HYTEP과 청정수소 사업협력 MOU 체결,"
 보도자료, 2024년 9월 23일

글로벌 차세대 전지 기술 경쟁 심화

주요국은 전고체·플렉서블 전지 기술을 차세대 전원 기술로 육성하며 고분자 전해질·기능성 막 분야 연구개발 투자 및 표준화 경쟁 확대

- ◎ (주요국 정책 확대) 미국·EU·중국·일본 등 주요국은 차세대 전지 기술을 국가 전략 기술로 지정하고 전고체 전지 및 플렉서블 전지 개발 지원 확장
 - 미국 DOE는 차세대 전지 기술개발에 약 30억 달러 투자 추진, EU는 Horizon Europe 기반 전고체 및 고분자 전해질 연구 지원 강화, 중국은 14차 5개년 계획 기반 전고체 전지 및 플렉서블 전지 기술을 핵심 육성 분야로 지정
- ◎ (연구개발 투자 증가) 글로벌 연구기관과 기업은 고분자 전해질 및 이온전달 기능성 막 기술 개발에 대규모 투자 확대하며 고이온전도도·계면 안정성·기계적 특성 확보를 위한 연구개발 경쟁 심화
 - 주요 글로벌기업(삼성SDI, LG에너지솔루션, CATL 등)은 고분자 전해질 기반 차세대 전지 기술 확보를 위한 연구개발 및 특허 확보 경쟁 전개
- ◎ (표준화 경쟁) 웨어러블·의료기기 시장 확대에 따라 플렉서블 전원 기술의 안전성·성능 평가 기준 및 국제 표준화 경쟁 확대
 - IEC·ISO 등 국제표준화기구는 플렉서블 전지 안전성 평가 기준 및 성능 시험방법 표준화 추진

연구개발 필요성

초연결 환경 확산과 웨어러블·의료기기 수요 증가와 글로벌 기술 경쟁 심화에 대응하기 위해 고분자 전해질 기반 핵심소재부터 플렉서블 배터리 시스템까지 전주기 연계형 통합 기술체계 구축 필요

- ◎ (통합 개발 체계 구축) 고분자 전해질 소재 개발부터 이온전달 기능성 막 설계, 플렉서블 배터리 시스템 통합까지 전주기 연계 기반 통합 개발 체계 구축 필요

- 웨어러블의료기기 형태 다양화와 반복 변형 환경에서의 안정적 구동 요구 증대에 대응
- (국제 경쟁력 확보) 주요국 정책 확대 및 국제 표준화 경쟁에 대응 가능한 기술 경쟁력 확보 및 국제 표준 선점 전략 수립 필요

2. 기술의 정의 및 범위

기술정의

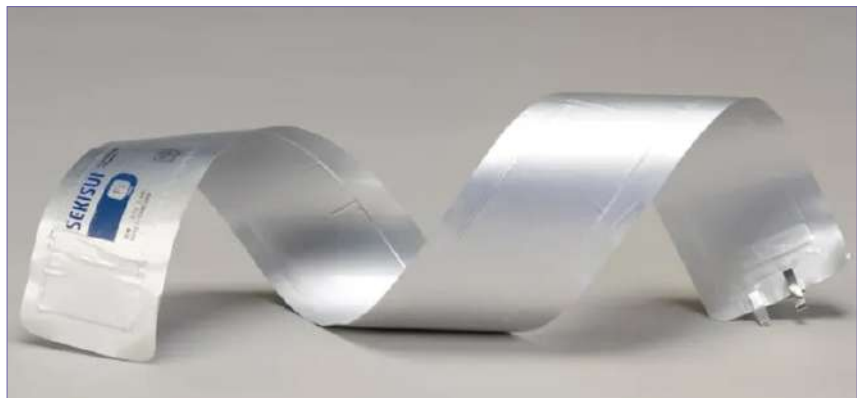
플렉서블 이차전지 및 고분자 전해질 기술은 외부 기계적 변형 환경에서도 안정적인 전기화학 성능을 유지할 수 있도록 설계된 차세대 에너지저장 핵심기술로 유연 전극·고분자 전해질·이온전달 기능성 막·계면 안정화 기술이 융합된 전기화학 기반 기술

- (플렉서블 이차전지 정의) 플렉서블 이차전지는 굽힘·접힘·신축 등 외부 기계적 변형 환경에서도 충방전 성능을 유지할 수 있도록 설계된 유연형 에너지 저장소자
- 전극·전해질·집전체·패키징 등 전지 구성 요소 전체에 기계적 유연성을 부여하며 웨어러블의료기기·스마트 섬유 등 차세대 응용기기에 적용 확대

[표 1-1] 플렉서블 이차전지 형태별 구분

구분	특징
굽힘형(Bendable)	• 일정한 곡률 반경 이상의 굽힘 변형에 대해 성능을 유지하는 형태. 가장 기본적인 플렉서블 배터리의 형태로, 스마트밴드·카드형 기기 등에 적용됨. 구조적으로는 박막구조 또는 케이블형 구조가 대표적
접힘형(Foldable)	• 완전한 180° 접힘을 포함한 반복적 접힘·펼침 사이클을 견디는 형태. 굽힘형 대비 계면 응력 집중이 극심하여, 전극·전해질 계면 안정성 확보가 핵심 기술임
신축형(Stretchable)	• 인장 변형에서도 전기화학 성능을 유지하는 형태. 전자 피부(e-skin), 인체 부착형 센서, 소프트 로보틱스 등 인체 동작에 순응해야 하는 응용에 필수적 • 구불구불한 전극 구조, 섬유형 구조, 또는 신축성 고분자 기반 복합 전극이 주로 활용

[그림 1-3] 플렉서블 이차전지 외관



자료: Tycorun Energy Blog

【표 1-2】 전기화학 시스템별 특징 및 플렉서블 기술개발 현황

전기화학 시스템	특징	플렉서블 기술개발 현황
리튬이온	• 높은 에너지 밀도 및 기술성숙도	• 유연화, 박막화, 케이블화 연구 활발
아연이온	• 수계 전해질 및 높은 안정성	• 하이드로겔 전해질 적용 연구 활발
소듐이온	• 저비용	• 플렉서블화 초기단계
슈퍼커패시터	• 고출력 및 장수명	• 제조 용이성으로 인해 다수의 연구 보고
아연공기	• 높은 에너지 밀도	• 대기 개방형 구조로 인해 패키징 난이도 높음

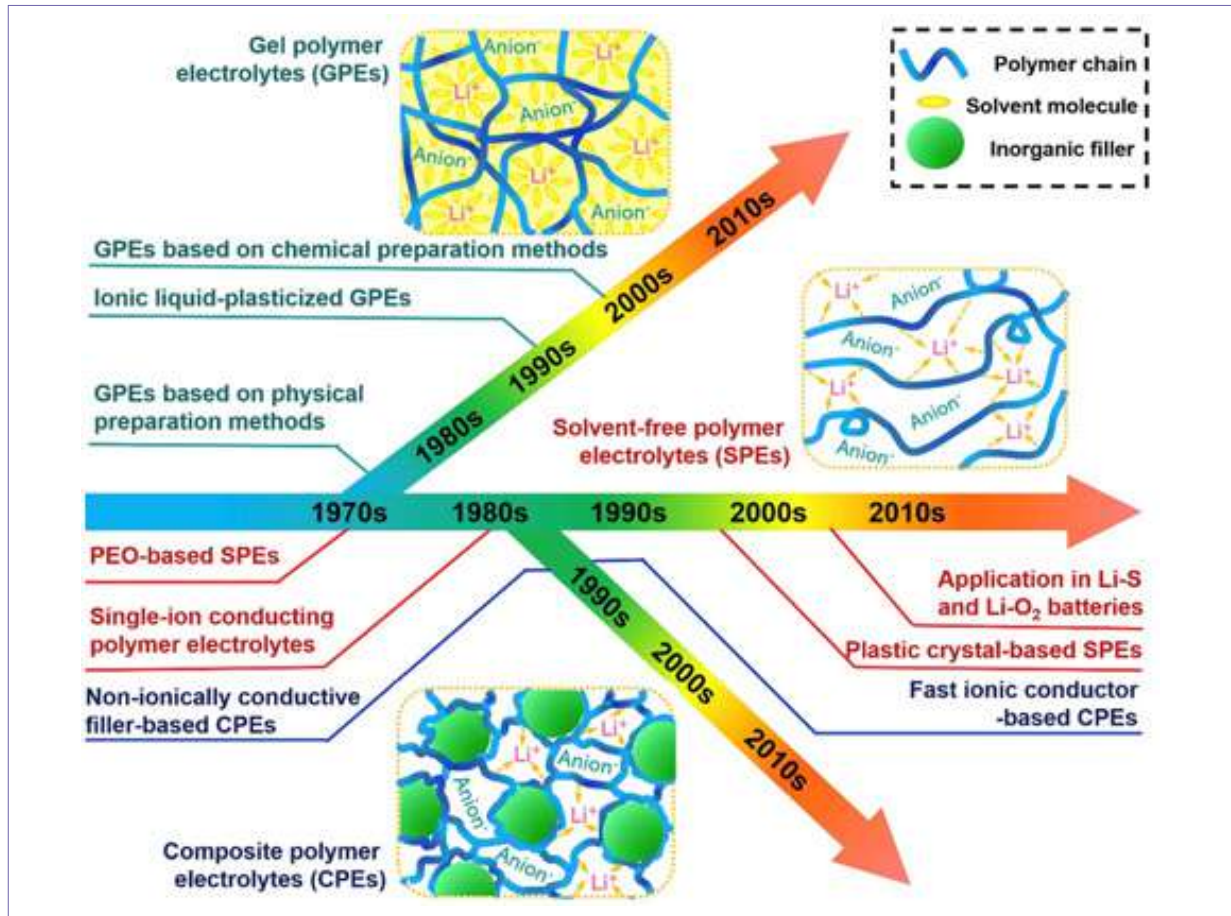
- ◎ (고분자 전해질 정의) 고분자 전해질은 고분자 기반 매트릭스를 활용하여 이온전도 기능을 구현하는 핵심 소재기술
 - 액체 전해질 대비 누액 위험이 낮고 유연 구조 구현이 가능하여 플렉서블 배터리·전고체 전지·웨어러블 전원기기의 핵심 소재로 활용 확대

【표 1-3】 고분자 전해질 분류

구분	특징
고체 고분자 전해질	<ul style="list-style-type: none"> • 고체 고분자 전해질은 용매 없이 고분자 호스트(polymer host)와 염(salt)만으로 구성되고 용매가 없어 누액 위험이 없고, 박막 형태로 가공이 용이하여 플렉서블 배터리 구현에 구조적으로 적합 • 상온에서 10⁻⁷~10⁻⁵ S cm⁻¹ 수준의 낮은 이온전도도가 한계이며, 실용화를 위한 목표치(>10⁻³ S cm⁻¹)에 미치지 못하는 것이 핵심 기술 과제
겔 고분자 전해질	<ul style="list-style-type: none"> • 고분자 매트릭스 내에 액체 전해질 또는 가소제를 함침시켜 고분자의 기계적 특성과 액체 전해질의 높은 이온 전도도를 동시에 확보한 하이브리드 시스템 • 기존 액체 전해질을 대체하는 안전한 대안으로 주목받고 있으며, 우수한 전기화학적·기계적 특성으로 인해 플렉서블 전지 설계에 핵심 인자로 평가 • 일반적으로 10⁻³~10⁻² S cm⁻¹ 수준의 이온전도도를 보이지만, 고분자 매트릭스 내 잔류 액체 성분으로 인해 고온에서 전해질 휘발 및 누액 가능성이 완전히 배제되지 않는 한계 존재
복합 고분자 전해질	<ul style="list-style-type: none"> • 고분자 매트릭스에 무기 필러(inorganic filler) 또는 기능성 첨가제를 도입하여, SPE 또는 GPE의 단점을 보완하고 이온 전도도와 기계적 물성을 동시에 향상시킨 시스템 • 무기 필러는 종류와 계면 특성에 따라 고분자 결정성 억제, 국소 사슬 운동성 변화, 또는 추가 이온전도 경로 형성에 기여할 수 있으며, 그 효과는 필러 함량과 분산 상태에 영향 • 고분자 내 세라믹(polymer-in-ceramic) 또는 세라믹 내 고분자(ceramic-in-polymer)의 구조 설계에 따라 이온 전도 메커니즘과 기계적 특성이 달라지며, 필러 함량의 최적화를 통해 전기화학적 특성 및 기계적 물성 확보 필요

- ◎ (이온전달 기능성 막 정의) 이온전달 기능성 막은 특정 이온을 선택적으로 전달하여 전기화학 반응 효율과 안정성을 향상시키는 핵심 기능성 소재
 - 전지 내 이온전달, 계면 안정화, 전기적 절연 및 기계적 지지 기능을 동시에 수행하며 플렉서블 전지에서는 전해질막·분리막·계면 기능막이 통합되는 방향으로 발전

[그림 1-4] 고분자 전해질 구성요소 및 연구개발 현황

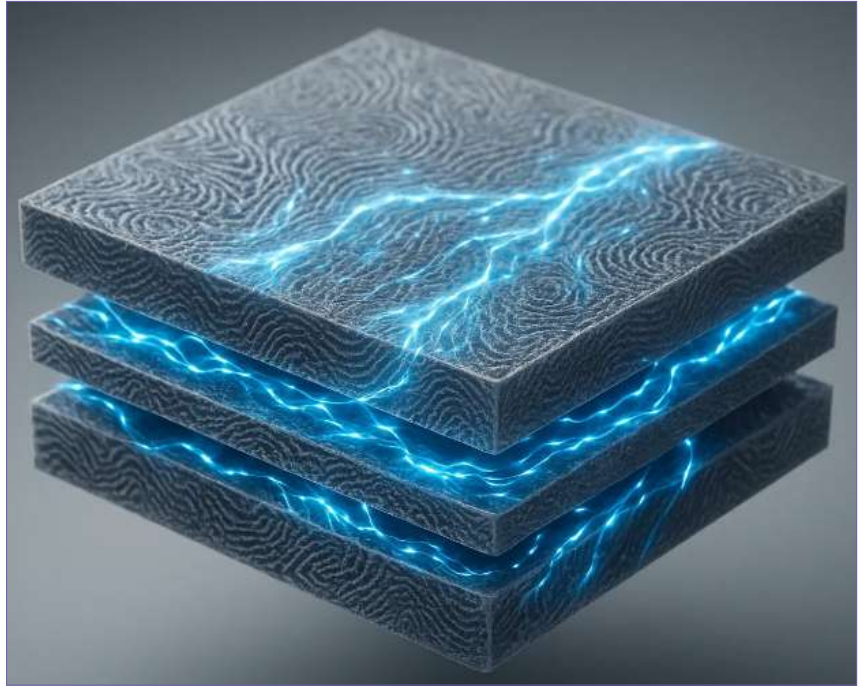


자료: NPJ Flexible Electronics(2021), 5, 27

[표 1-4] 고분자 전해질 종류별 특성

항목	고체 고분자 전해질	겔 고분자 전해질	복합 고분자 전해질
구성	• 고분자 매트릭스 + 염	• 고분자 매트릭스 + 액체 전해질(염+용매)	• SPE 또는 GPE + 무기필러
대표 고분자	• PEO, PAN, PVDF, PDMS, PMMA	• PVDF-HFP, PAN, PMMA, PEO, PVDF	• PEO/LLZO • PEO/LLZTO • PVDF/SiO2 • PAN/Al2O3
이온전도도 (상온)	• $10^{-8} \sim 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$	• $10^{-4} \sim 10^{-2} \text{ S cm}^{-1}$	• $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$
기계적 특성	• 우수한 유연성, 박막화 형성 용이	• 중간수준, 함침량증가시 강도저하	• 설계에 따라 상이 • 세라믹 과량 시 취성 증가
안정성 (누액·가연)	• 용매 없음, 누액 없음	• 양호: 잔류 액체로 부분 위험 존재	• SPE/GPE에 준함
계면특성	• 전극 밀착성 우수, 고체-고체 계면 저항 문제	• 계면 저항 낮음, 액체 성분이 계면 보완	• 필러 설계에 의존
플렉서블 적용성	• 최적: 자립형 박막, 구조 통합 용이	• 우수: 굽힘, 접힘형에 용이	• 양호: 필러 함량 최적화 필요

[그림 1-5]
이온전도성 고분자 전해질막



자료: IBS 홈페이지, IBS 기술이전 개요(이온전도성 고분자 전해질 막)

기술 범위

플렉서블 이차전지 및 고분자 전해질 기술은 전지 구조·시스템 설계, 유연 전극집전체·패키징, 고분자 전해질, 계면 안정화, 이온전달 기능성 막 기술을 포괄하며 웨어러블·의료기기 등의 차세대에너지저장변환소자구현을 위한 통합 기술체계로 구성

- ◎ (플렉서블 전지 구조 및 시스템) 플렉서블 이차전지는 변형 형태와 전기화학 시스템에 따라 굽힘형·접힘형·신축형 및 리튬이온·아연이온·소듐이온 기반 시스템으로 구분

 - 웨어러블·전자피부·의료기기 적용 확대에 따라 박막형·케이블형·섬유형 구조 기반 연구개발 확대
- ◎ (고분자 전해질 설계) 고분자 전해질 기술은 고체 고분자 전해질(SPE), 겔 고분자 전해질(GPE), 복합 고분자 전해질(CPE) 중심으로 발전

 - 이온전도도, 계면 안정성, 기계적 유연성 및 안전성을 동시에 확보하기 위한 고분자 조성·무기필러·복합 구조 설계기술 포함
- ◎ (계면 안정화 및 안전성 확보) 반복 굽힘·압축·인장 환경에서 발생하는 계면 들뜸·균열·누액·열폭주 문제를 제어하기 위한 계면 안정화 기술 포함

 - SEI 안정화, 전극-전해질 계면 접촉 강화, 덴드라이트 억제 및 패키징 안정성 확보 기술 중심으로 확대

| 표 1-5 | 기술범위 및 세부기술 요소·적용영역

기술범위	세부 기술요소	적용영역
플렉서블 이차전지 구조·시스템	• 굽힘형·접힘형·신축형 구조, 리튬이온·아연이온·소듐이온·슈퍼커패시터·아연공기 시스템	• 웨어러블 기기, 전자피부, 의료·헬스케어 기기, 스마트 섬유, 소프트 로보틱스
유연 전극·집전체·패키징	• 박막형·케이블형·섬유형 전극, 유연 집전체, 신축성 패키징, 구조 안정화 설계	• 신체 부착형 센서, 스마트밴드, 카드형 기기, 의료 결합형 전자기기
고분자 전해질 설계	• 고체 고분자 전해질, 겔 고분자 전해질, 복합 고분자 전해질, 고분자 조성·무기필러·복합구조 설계	• 플렉서블 배터리, 전고체전지, 웨어러블 전원소자, 안전성 강화형 이차전지
계면 안정화·안전성 확보	• 전극-전해질 계면 접착, SEI 안정화, 덴드라이트 억제, 누액·열폭주 방지, 계면 임피던스 저감	• 반복 굽힘·접힘·압축 환경용 전지, 인체 밀착형·의료용 전원소자
이온전달 기능성 막	• 이온 선택전달막, 전해질막, 분리막, 계면 기능막, 이온 플럭스 제어, 기계적 지지 기능	• 플렉서블 이차전지, 연료전지, 수전해, 센서, 차세대 에너지저장·변환 소자



정책 동향

1. 정책 동향

① 해외 정책 동향

정책추진방향

주요국은 플렉서블 이차전지를 차세대 전지 R&D, 고체·고분자 전해질 소재, 배터리 안정성, 웨어러블·의료기기 응용시장과 연계하여 정책 추진

- ⊙ (미국) 차세대 배터리 R&D와 웨어러블·의료기기 응용 수요를 연계하여 고안전·고성능 플렉서블 전원기술 기반 확대 중심으로 정책 추진

 - DOE 「National Blueprint for Lithium Batteries (2021-2030)」에서 차세대 리튬 이온전지용 전극·전해질 소재, 전고체전지, 신규 제조공정 개발을 핵심 R&D 축으로 제시하고 고분자 전해질을 전고체전지 및 고안전성 배터리 핵심 소재군으로 포함
- ⊙ (EU) 배터리 전 생애주기 규제와 차세대 배터리 R&I 로드맵을 병행하며 안전성·지속가능성·데이터 기반 표준화 강화

 - 「Regulation (EU) 2023/1542」를 통해 배터리 지속가능성, 안전성, 폐배터리 관리 등 포괄적 요구사항을 규정하고 「Battery 2030+ (2020)」 로드맵에서 고분자 막을 고체 고분자 전해질, 하이브리드 시스템 구성요소, 자가치유 배터리 구현 소재로 제시
- ⊙ (일본) 전고체전지 실용화와 소재 평가기반 구축을 중심으로 고체전해질·차세대 전지 기술경쟁력 확보 추진

 - 「축전지 산업전략 (2022)」을 기반으로 2030년까지 축전지·소재의 국내 제조기반 확충 및 전고체전지 시장 확보를 추진하고 NEDO 「차세대 전고체 리튬이온전지 재료 평가 및 기반기술 개발 (2023~2027)」을 통해 고체전해질 및 고분자계 전해질의 성능검증 기반 구축
- ⊙ (중국) 전고체전지 정의 표준과 안전규제 강화를 중심으로 고체전해질·차세대 전지 기술의 제도화 추진

 - 중국자동차공학회(CSAE) 「T/CSAE 434-2025」를 통해 전고체전지 정의를 명확화하고 전고체·반고체·하이브리드 전지 간 기술적 경계를 규정하며, 정부 주도 약 60억 위안 규모의 전고체전지 개발 지원을 통해 CATL, BYD 등 주요 기업 중심 차세대 전지 기술개발 촉진

표 II-1 | 주요국 플렉서블 이차전지 및 고분자 전해질 정책 추진 방향

국가	산업 특징	주요 기업·플랫폼	핵심 경쟁력
 미국	<ul style="list-style-type: none"> National Blueprint for Lithium Batteries (2021~2030) 	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 리튬이온전지용 전극·전해질 소재, 전고체전지, 신규 소재·전극·셀 제조공정 개발 고분자 전해질을 전고체전지 및 고안전성 배터리 핵심 소재로 포함 	<ul style="list-style-type: none"> 고안전성·고성능 배터리 소재 혁신 공공-민간 R&D 연계 제조 스케일업을 통한 차세대 배터리 기술 선점
 유럽	<ul style="list-style-type: none"> Regulation (EU) 2023/1542 Battery 2030+(2020) IEC 62133-2:2017 (2017) 	<ul style="list-style-type: none"> 배터리 지속가능성, 안전성, 표시·정보 제공, 폐배터리 관리 등 포괄적 요구사항 규정 고분자 막을 고체 고분자 전해질, 하이브리드 시스템 구성요소, 자가치유 배터리 구현 소재로 제시 휴대용 리튬이차전지 안전 요구사항 규정 (플렉서블 특화 시험 항목 미포함) 	<ul style="list-style-type: none"> 안전성·지속가능성·데이터 기반 표준화 강화 전 생애주기형 규제 운영 고분자 전해질·기능성 막 기반 차세대 배터리 기술 R&I 핵심 연구화
 일본	<ul style="list-style-type: none"> 축전지 산업전략 (2022) NEDO 차세대 전고체 리튬이온전지 재료 평가 및 기반기술 개발 (2023~2027) 	<ul style="list-style-type: none"> 2030년까지 축전지·소재의 국내 제조기반 확충 전고체전지 소재 평가와 셀 성능을 연계한 R&D 플랫폼 강화 고체전해질 및 고분자계 전해질의 성능검증 기반 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 전고체전지, 고체전해질, 소재 평가기술 중심 공급망·양산기반 확보 고분자 전해질을 전고체·준고체 전지 기술군 내 핵심 소재로 육성
 중국	<ul style="list-style-type: none"> T/CSAE 434-2025 (2025) 전고체전지 R&D 투자 (60억 위안) (2024) 전기차 배터리 안전기준 강화 (2026) 	<ul style="list-style-type: none"> 전고체전지를 "이온 전달이 전적으로 고체전해질을 통해 이루어지는 전지"로 규정 전고체·반고체·하이브리드 전지 간 기술적 경계 명확화 CATL, BYD 등 주요 기업 차세대 전지 기술개발 지원 2026년부터 전기차·플러그인하이브리드 배터리 강화된 안전기준 시행 	<ul style="list-style-type: none"> 전고체전지 정의 정립 고체전해질 기반 안전성 검증 EV 배터리 안전규제 강화 산업계 주도 기술 상용화 지원

자료: (미국) DOE, "National Blueprint for Lithium Batteries 2021-2030", (EU) European Commission, "Regulation (EU) 2023/1542"; Battery 2030+ (2020); IEC 62133-2:2017, (일본) 경제산업성, "축전지 산업전략" (2022); NEDO, "차세대 전고체 리튬이온전지 재료 평가 및 기반기술 개발" (2023-2027), (중국) 중국자동차공학회(CSAE), "T/CSAE 434-2025"; 중국 정부 전고체전지 R&D 투자 발표 (2024); 전기차 배터리 안전기준 강화 (2026)

2 국내 정책 동향

정책 추진 체계

플렉서블 이차전지는 차세대 이차전지 R&D와 안전·표준화 체계를 기반으로 추진되고 있으며 중장기적으로 웨어러블·의료기기·스마트섬유 등 응용산업 실증과 연계한 전용 평가인증 기반 확충 필요

- ◎ (차세대 이차전지 R&D) 전고체전지·고분자 전해질 등 차세대 전지 소재·공정 기술개발 정책과 연계하여 플렉서블 배터리 핵심소재 및 구조 설계 기술 확보 추진

-「이차전지 산업경쟁력 강화 국가전략(2023)」을 기반으로 차세대 전지 개발 및 민간 R&D 투자를 확대하고, 「K-배터리 경쟁력 강화 및 2035 이차전지 산업기술 로드맵(2025)」에서 전고체·리튬금속·리튬황 등 차세대 배터리와 플렉서블 배터리용 핵심 소재 개발 방향 제시

- (안전·표준화) 휴대기기용 리튬이차전지 안전기준과 차세대 이차전지 표준화 전략을 기반으로 추진하되 중장기적으로 플렉서블 특화 평가인증 기준 마련 필요

 - 「휴대기기용 밀폐 리튬이차전지 안전기준(2020)」을 플렉서블 배터리 안전성 평가에 일부 적용 중이나 반복 굽힘접힘신축 특성을 반영한 전용 기준은 부재하며 「이차전지 표준화 전략(2025)」에서 고체고분자 전해질, 변형 성능 평가, 계면 안정성 등 차세대 이차전지 표준 개발 추진
- (응용산업 실증) 웨어러블·의료기기·스마트섬유 등 유연 전자기기 수요산업과 연계한 실사용 환경 기반 성능평가 및 실증체계 구축 추진

 - 「바이오분야 연구개발사업 신규지원 품목(2024)」을 통해 웨어러블용 유연 안전 전원소자 실증 기반을 지원하고 「웨어러블 산업 육성 정책(2015)」 기반으로 스마트섬유·인체 부착형 기기 등 플렉서블 배터리 적용 시장 확대 추진

표 II-2 | 플렉서블 이차전지 관련 국내 정책 현황

구분	정책 틀	주요 국내 정책·제도	플렉서블 이차전지와 연계 내용
차세대 이차전지 R&D	차세대 배터리 기술 고도화	• K-배터리 경쟁력 강화 및 2035 이차전지 산업기술 로드맵(2025)	• 전고체·리튬금속·리튬황 등 차세대 배터리 기술우위 확보 방향과 연계하여 플렉서블 배터리용 고안전·고성능 소재 연구 확장 가능
	이차전지 산업 경쟁력 강화	• 이차전지 산업 경쟁력 강화 국가전략(2023)	• 전고체전지 등 차세대 전지 개발과 민관 R&D 투자 확대를 통해 고분자 전해질, 유연 전극, 차세대 전지 구조 설계 기술 확보와 연계
안전·표준화	이차전지 표준화	• 이차전지 표준화 전략(2025)	• 고체전해질 성능 분석방법 등 차세대 이차전지 표준 개발과 연계하여 고분자 전해질 분석, 변형-성능 평가, 계면 안정성 검증 기준 확장
	이차전지 안전기준	• 휴대기기용 밀폐 리튬이차전지 안전기준(2020)	• 현재 플렉서블 배터리 전용 기준 부재 상황에서 휴대기기용 소형 리튬이차전지 안전성 평가에 간접 적용 가능
응용산업 실증	웨어러블·의료기기 R&D	• 바이오분야 연구개발사업 신규지원 품목 내 웨어러블 의료기기 성능평가·사업화 지원(2024)	• 생체현상 측정·모니터링용 웨어러블 의료기기 적용을 위해 유연·소형 안전 전원소자 실증 수요 연계
	스마트섬유·웨어러블 융합	• IT·섬유·의료 융복합 개발 및 웨어러블 산업 육성 정책(2015)	• 스마트섬유, 인체 부착형 센서, 의료 결합형 전자기기 등 플렉서블 배터리 적용 시장 창출 연계

표 II-3 | 현행 플렉서블 이차전지 및 고분자 전해질 규제 체계

1. 플렉서블 이차전지 규제체계

- 현재 국내외를 통틀어 플렉서블 전지를 독립적으로 정의하거나 전용 시험방법을 규정하는 안전표준은 부재한 상황으로, 폼팩터와 관계없이 기존 포터블 이차전지 안전 규격을 준용하는 과도기적 체계
- 국제전기기술위원회가 발행한 IEC 62133-2:2017은 휴대용 응용을 위한 밀폐형 리튬이차전지의 안전 요구사항을 규정하는 국제 표준으로 현재 플렉서블 전지에도 일반 포터블 전지 규격으로 간접 적용
- 정적(static) 상태의 전지 안전성만을 평가하며 반복 변형 후의 안전성, 곡률반경 기준 등 플렉서블 전지 고유의 특성에 대한 시험 항목은 미포함

〈플렉서블 이차전지 관련 국내외 규제 현황〉

구분	표준/규정	발행기관	적용대상	플렉서블 이차전지 적용성
국제	IEC 62133-2:2017	IEC	포터블 리튬이온 전지	포터블 배터리로 분류 적용
EU	Regulation (EU) 2023/1542	EC	EU 내 모든 배터리	포터블 배터리로 분류 적용
한국	KC 62133(IEC 도입)	국가기술표준원	안전인증 대상 전기용품	간접 적용

자료: Intertek, "IEC 62133: Safety Testing for Lithium Ion Batteries", Intertek, "EU Battery Regulation explained", 국가기술표준원, "휴대기기용 밀폐 리튬이차전지 안전"

2. 고분자 전해질 규제체계

- 고분자 전해질을 적용한 전지 시스템은 플렉서블 전지와 마찬가지로 현재 전용 규제 체계가 존재하지 않으며 고체전해질 및 전기자동차용 이차전지 안전 표준을 차용하는 구조
- 중국자동차공학회(CSAE)는 T/CSAE 434-2025 "전고체전지 판별방법" 표준을 발표하였으며 전고체전지와 준고체(하이브리드 고체-액체) 전지 사이의 엄격한 기술적 경계 확립
- 국내에서는 국가기술표준원이 2025년 11월 발표한 이차전지 표준화 전략을 기반으로 전고체 전지 고체전해질 분석방법 표준화를 2030년까지 달성 계획 공식화

〈플렉서블 이차전지 관련 국내외 규제 현황〉

구분	표준/규정	발행기관	적용대상	플렉서블 이차전지 적용성
국제	IEC 62660-3	IEC	EV용 이차전지 신뢰성·안전	간접적용
중국	T/CSAE 434-2025	CSAE	전고체전지 정의	세계 최초 전고체전지 공식 정의 표준 (황화물·산화물·고분자 모두 포괄)
한국	이차전지 표준화	국가기술표준원	고체 전해질 분석방법	2030년까지 달성 목표

자료: SAE-China, "T/CSAE 434-2025", IEC 62660-3:2022, "Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles - Part 3: Safety requirements", 산업통상자원부, "이차전지 표준화 전략 발표"

2. 시장·산업 동향

1 플렉서블 이차전지

시장동향

플렉서블 이차전지 시장은 초기 단계이나 웨어러블·의료·IoT 수요 확대에 따라 2035년까지 고성장 전망

- (글로벌 시장 전망) 2025년 약 7,170만~4억 7천만 달러 수준에서 2035년 5억 3,100만~22억 1천만 달러로 성장 전망, 연평균 20~25% 성장
 - IDTechEx는 13개 응용시장 및 6개 핵심 전지기술 기반으로 2035년 5억 3,100만 달러 시장을 전망하였으며 조사기관별 시장 정의·포함 제품군 차이로 규모 추정 편차는 존재하나 고성장 잠재력에는 공통 전망

표 II-4 | 조사기관별 플렉서블 이차전지 시장 전망

조사기관	시장규모 (2025)	전망규모 (2035)	CAGR
IDTechEx	\$71.7M	\$531M	20%
Mordor Intelligence	\$470M	\$1.46B	25.4%
Precedence Research	\$113M	\$1.05B	24.9%
Insight Ace Analytic	\$233.9M	\$2.21B	25.4%
Coherent Market Insights	\$237.6M	\$887.3M	20.7%

자료: <https://www.idtechex.com/en/research-report/flexible-batteries-market/1018>,
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/flexible-battery-market>
<https://www.precedenceresearch.com/flexible-battery-market>
<https://www.insightaceanalytic.com/report/flexible-batteries-market/1653>
<https://www.coherentmarketinsights.com/market-insight/flexible-battery-market-4621>

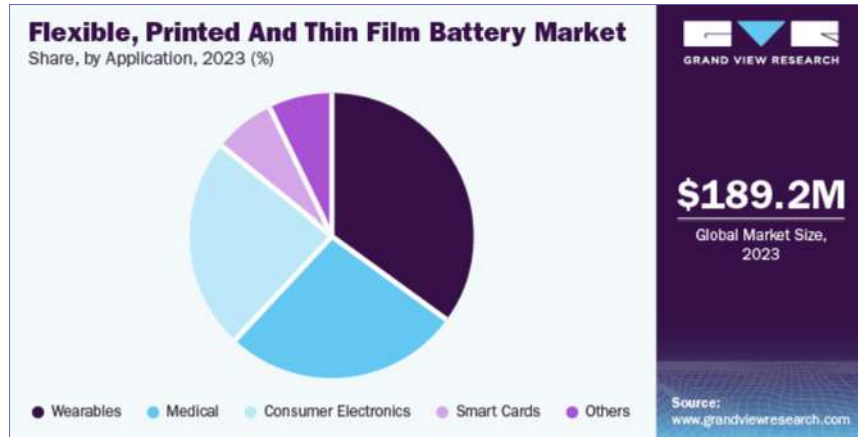
- (수요 분야별 현황) 웨어러블·의료기기·스마트 패키징 순으로 수요 형성되어 헬스케어·IoT 센서 확산이 주요 성장 동력
 - 웨어러블·의료기기 및 스마트 패키징·RFID·IoT 센서 시장 성장에 따라 경량·초박형 플렉서블 전원과 저비용 인쇄형 플렉서블 전지 수요 확대
- (지역별 시장 특성) 국내는 세계적 이차전지 제조 기반과 웨어러블·의료기기·스마트섬유 응용수요를 바탕으로 성장 잠재력 보유
 - 플렉서블 배터리는 웨어러블·의료·헬스케어·스마트섬유·IoT 등 수요산업 연계 초기 응용시장 중심으로 형성되고 있으며 스마트워치·신체 부착형 센서·의료용 패치·스마트 의류 등 특정 응용처 기반의 소형·경량·유연 전원 수요 확대

|그림 II-1|
 플렉서블 이차전지
 시장 동향 전망

Report Metrics	Details
CAGR	The global flexible battery market is projected to reach US\$ 531 million by 2035, which corresponds to a CAGR of 22.2%
Forecast Period	2025 - 2035
Forecast Units	379.1 million by 2035
Regions Covered	Worldwide
Segments Covered	Flexible batteries market divided into technologies (bulk solid-state, thin-film solid-state, advanced lithium-ion, primary lithium-based, zinc-carbon and silver-zinc), and into application markets (e.g. wrist-worn wearables, skin patches, smart labels and RFID etc.).

자료: IDTechEx (2023), "Wearable Technology Forecasts 2023-2033"

|그림 II-2|
 플렉서블 이차전지
 주요 응용분야 점유율



자료: Grand View Research (2024), "Wearable Technology Market Size, Share & Trends Analysis Report by Product, by Application, by Region, and Segment Forecasts, 2024-2033"

DRIVER	(-) % IMPACT ON CAGR FORECAST	GEOGRAPHIC RELEVANCE	IMPACT TIMELINE
Rapid adoption of healthcare & fitness wearables	+4.2%	Global, early gains in North America, Europe, Asia-Pacific	Medium term (2-4 years)
IoT sensor proliferation in smart infrastructure	+3.8%	Asia-Pacific core, spill-over to North America & EU	Long term (≥ 4 years)
Surge in miniaturized medical implants	+3.1%	North America & EU, expanding to Asia-Pacific	Long term (≥ 4 years)
Expansion of RFID-enabled smart packaging	+2.9%	Global, concentration in manufacturing hubs	Medium term (2-4 years)
Defense demand for conformal power sources	+2.4%	North America, selective adoption in allied nations	Short term (≤ 2 years)
Sustainability push for solid-state zinc chemistries	+2.1%	EU-led, with global adoption following	Long term (≥ 4 years)

자료: Mordor Intelligence (2026), FLEXIBLE BATTERY MARKET SIZE & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS AND FORECAST (2026 - 2031)

산업동향

글로벌시장은 인쇄형·초박형 전지를 중심으로 저전력 응용시장 상용화 단계에 진입하고 있으며 국내는 리튬 고분자 기반의 폼팩터 다변화 및 플렉서블 배터리 기술개발을 추진 중

- ◎ (해외 기업 동향) 아연계 고분자 전해질 기반 인쇄형 전지 중심으로 스마트 패키징·IoT·의료용 패치 시장 진입, 라벨패키징 기업과 M&A 통한 사업확대
- ◎ (미국) 아연계 고분자 전해질 기반 인쇄형 초박형 전지 ZnCore® 개발, 2023년 세계 최대 라벨 기업 CCL Industries 자회사 CCL Design에 합병
- ◎ (핀란드) 아연-이산화망간(Zn-MnO₂) 기반 인쇄형 1차전지 SoftBattery® 개발, IoT 센서의료용 패치스마트 패키징 적용, 2018년 중국 Jiangsu Enfucell Flexible Electronics에 합병

|그림 II-3|

해외 기업의 플렉서블 이차전지



- ◎ (국내 기업 동향) 세계적 이차전지 제조 기반을 바탕으로 리튬 고분자금속섬유 기반 유연 전지 기술개발 추진 중이나 전용 수요시장 및 시험인증 기반 미비로 상용화는 초기 단계
- ◎ (리베스트) 전 구간 플렉서블 리튬 고분자 이차전지 개발, 스마트워치 스트랩 등 웨어러블 적용 가능
- ◎ (제낙스) 금속섬유 기반 고내구성 플렉서블 배터리 Jflex 개발, 수만 회 굽힘 환경 안정성 확보하였으나 본격 상용화 미도달

|그림 II-4|

국내 기업의 플렉서블 이차전지



자료: LiBEST 공식 홈페이지, 바이오타임스 “한국 기업 Jenax, 의료기기에 적합한 접히는 리튬이온 배터리 선보여”

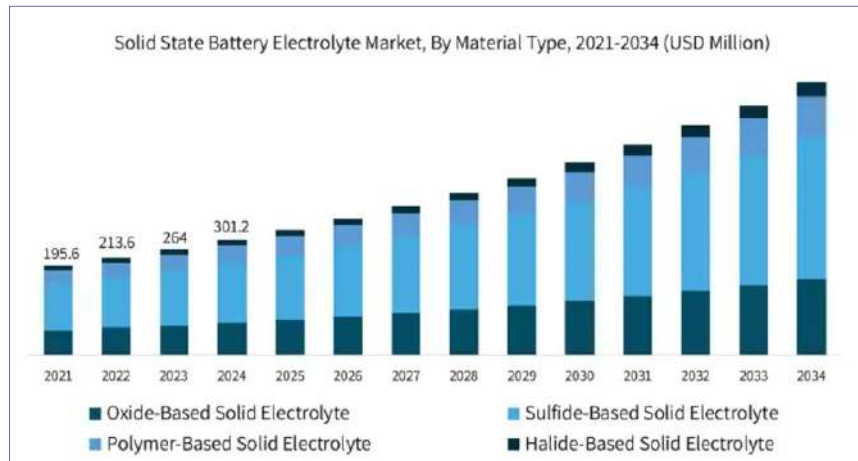
② 고분자 전해질

시장동향

고분자 전해질 시장은 전고체전지·플렉서블 배터리용 핵심소재로 2031년까지 고성장 전망되나 현재 황화물·산화물계 대비 제한적 시장 점유

- (글로벌 시장 전망) 고분자 전해질 시장 2024년 1,790만 달러에서 2031년 2억 2,100만 달러로 성장중이며 (CAGR 46.8%) 전고체 전해질 포함 시 2034년 45억 달러 전망
 - 전고체 배터리용 고체전해질 시장 포함 시 2024년 약 3억 120만 달러에서 2034년 약 45억 달러 규모로 연평균 32.6% 고성장 전망
- *현재 고체전해질 시장은 황화물계(48%), 산화물계(28%) 등 세라믹 전해질 주도, 고분자 전해질은 약 18% 점유로 제한적

|그림 II-5|
전고체 배터리 시장 전망



자료: Grand View Research (2024), "Wearable Technology Market Size, Share & Trends Analysis Report by Product, by Application, by Region, and Segment Forecasts, 2024-2033"

- (전해질 유형별 시장) 고체·겔·복합 고분자 전해질로 구분, 각각 전고체전지·플렉서블 배터리·하이브리드 시스템 적용 중심
 - 고체·겔·복합 고분자 전해질 시장은 전고체·플렉서블 배터리 확산과 전기차웨어러블·소비자 전자기기·ESS 수요 증가를 기반으로 성장 전망

시장동향

해외는 고분자·복합 전해질 기반 전고체·반고체 배터리 상용화 추진하며 국내 전지 3사는 황화물계 중심 전략 전환 추세

- (해외 기업 동향) 고분자·복합 전해질 기반 전고체·반고체 배터리 상용화 추진
 - 미국·유럽·중국 기업 중심으로 완성차 업체 투자 유치 및 상용화 추진 확대

표 II-5 | 주요 글로벌 고분자·복합 전해질 기반 전고체 배터리 개발 및 상용화 동향

국가	기업	주요 기술 및 추진 현황
미국	Factorial Energy	• 고분자 기반 전해질 기술 개발, 현대차-메르세데스-벤츠-스텔란티스 투자 유치 및 2026년 이후 상용화 추진
	Blue Current	• 실리콘 탄성 복합 전해질(Silicon Elastic Composite Electrolyte) 기반 전고체 전지 개발 및 상업화 추진
프랑스	Blue Solutions	• GEN4 세대 고분자 전해질 기반 전고체 배터리 개발, 상온 구동형 고분자 전해질과 고전압 양극재 호환성 확보 추진
중국	WeLion	• 산화물·고분자 복합 기반 반고체 전해질 배터리 양산 확대 및 전기차 적용 추진

그림 II-6 | 북미 지역 전고체 배터리 기업 현황

Company	Electrolyte Technology	Launch Date	Funding, Stage	Notable OEM Partners / Investors	No. Of Patent Families On Solid-state batteries (Up To 2025-12)
24M Technology	Semi-solid	2010	~ 250 M\$, Series H	Volkswagen	5
Adden Energy	Undisclosed	2021	≥ 20 M\$, Series A	-	2
Ampcera	Sulfide	2017	≥ 10 M\$, Seed/Serie A	Ford, NIO	16
Blue Current	Polymer (composite)	2014	~ 130 M\$, Series B/C	Umicore	18
Brightvolt	Polymer	2008	~ 42.5 M\$, Series B	-	3
DragonFly Energy	Undisclosed	2016	≥ 145 M\$, NADASQ Stock	-	4
Ensurge	Oxide/Polymer	2005	~ 75 M€, Oslo stock	Mercedes-Benz	11
Factorial Energy	Polymer/Ceramic	2013	~ 250 M\$, Series D	Hyundai/Kia, Mercedes, Stellantis	20
Ion Storage System	Oxide	2019	~ 85 M\$, Series A	Toyota	7
Nuvvon	Polymer	2022	~ 5.3 M\$, Series A	-	3
Prieto Battery	Undisclosed	2008	~ 32.35 M\$, Series E	Hercules Electric Vehicles, Stanley B&D	3
QuantumScape	Oxide	2010	>\$1 B\$, NYSE Stock	Volkswagen, PowerCo, BMW	55
Sakuu	Oxide	2016	~ 84.3 M\$, Series C	NGK, SK, Musashi Seimitsu Industry	4
SoElect	Polymer	2018	~ 14.3 M\$, Series A	GM, Lotte Chemical	5
Solid Energy Systems	Semi-solid	2012	~ 600 M\$, NYSE Stock	Hyundai, Kia, Honda, GM, LG, SK, Geely, SAIC	3
Solid Power	Sulphide	2011	~ 437 M\$, NADASQ Stock	BMW, Ford, Solvay, Samsung, SK	53

자료: Volta foundation (2025), "Battery report 2025"

- (국내기업동향)SK온유일하게복합 고분자전해질 지속개발,LG삼성은 황화물계로 전략전환
- SK온·LG에너지솔루션·삼성SDI 등 국내 기업은 고분자·복합 황화물계 전고체 전해질 기반 차세대 배터리 기술개발 및 상용화 추진 확대

3. 기술개발 동향

① 고분자 전해질 및 이온전달 기능성 막 소재 기술 발전 현황

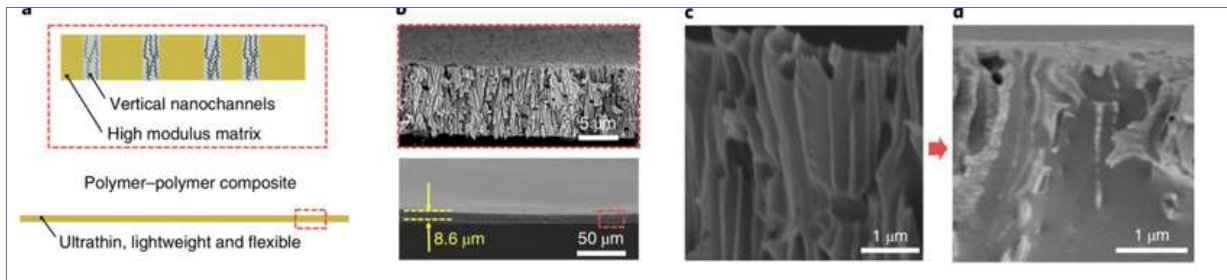
고분자 전해질 소재 기술

나노구조·복합화·단이온 전도 설계 등을 통해 이온전도도·안전성·계면 안정성을 확보하고 고니켈 양극재·리튬 금속 음극 등 고에너지 전극과의 계면 호환성 중심으로 기술개발 확대

- (고체 고분자 전해질) 수직 정렬 나노채널 및 3D 플라스틱 결정상 구조 설계를 통해 30꺼에서 10^{-4} S/cm 수준 이온전도도 및 300 MPa 인장강도를 동시 확보하고 1,000시간 이상 사이클링에서 덴드라이트 형성 억제

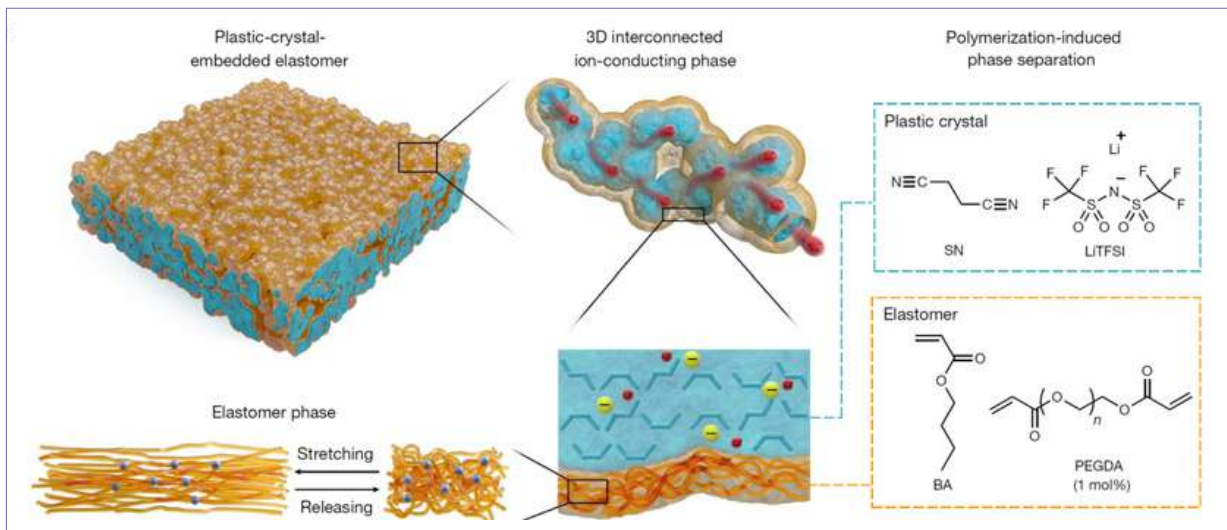
-스탠포드(2019)는 PI 골격 기반 나노채널로 60꺼 플렉서블 파우치셀 안정 구동 실증하였으며 조지아공대·KAIST는 3D 플라스틱 결정상으로 기계적 물성·이온전도도 상충관계 완화

[그림 II-7] 나노 채널을 이용한 고체 고분자 전해질 이온전도도 향상



자료: Nature Nanotechnology (2019), 14, 705-711

[그림 II-8] 플라스틱 결정상 물질을 이용한 고체 고분자 전해질 모식도

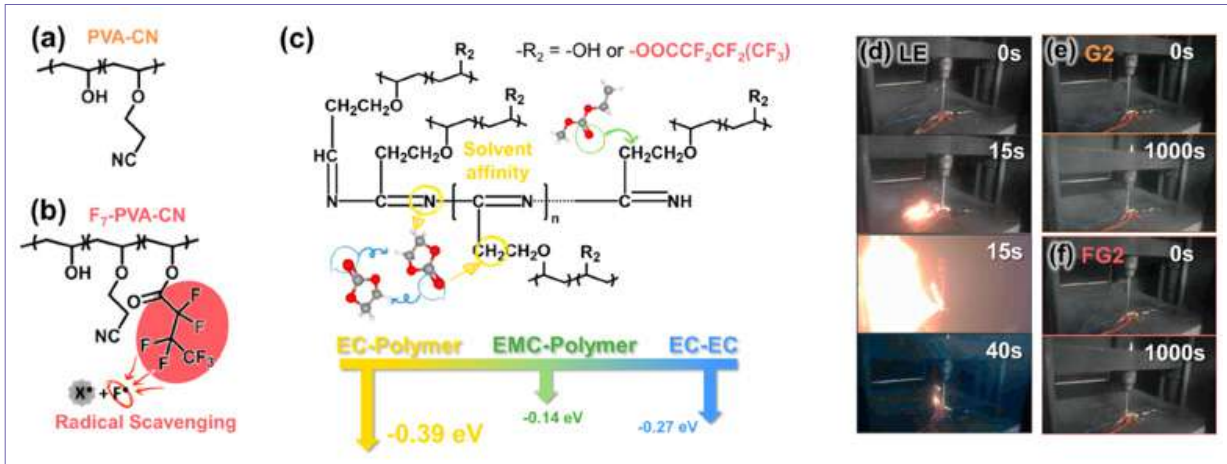


자료: Nature (2022), 601, 217-222

- (겔 고분자 전해질) 라디칼 스캐빈징 기능성 사이드체인 기반 고분자 첨가로 LiPF₆ 전해질의 열폭주 억제 및 파우치셀 수준 불연성 기계적 충격 내성 실증

- UNIST-KRICT-KIER(2023)는 라디칼 스캐빈징 고분자 2 wt% 첨가로 안전성 확보 및 겔 고분자 전해질의 기능성 전해질 플랫폼 활용 가능성 제시

[그림 II-9] 난연성 겔 고분자 전해질 기술 모식도

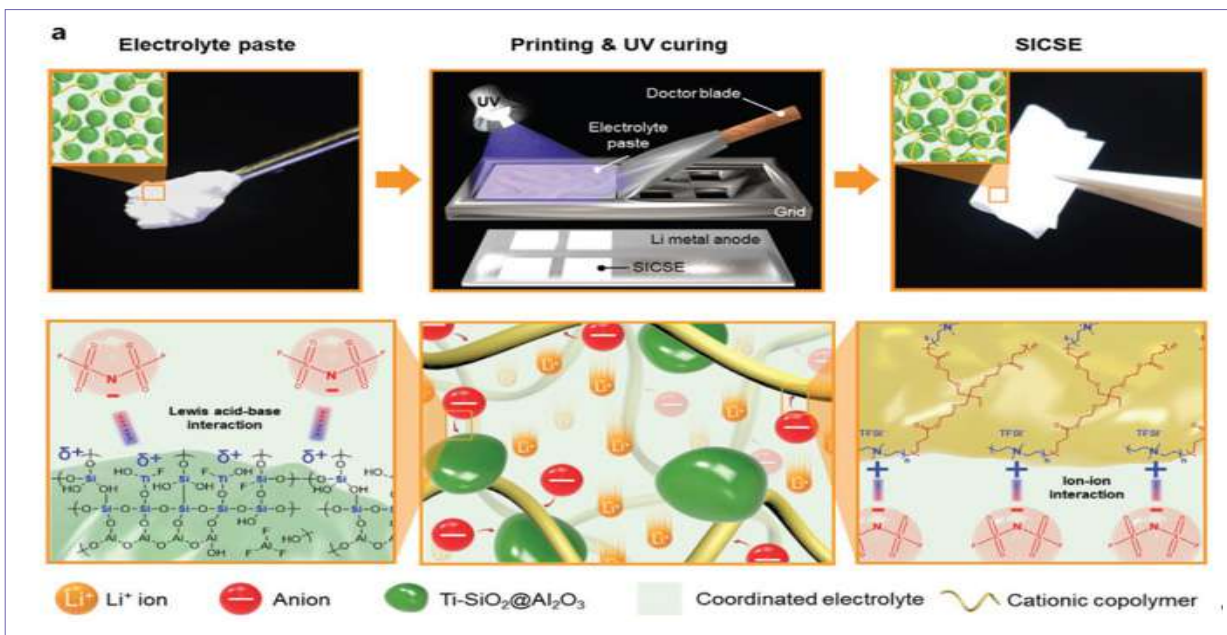


자료: ACS Energy Letters (2023), 8, 4650-4657

- (복합 고분자 전해질) 음이온 고정 단이온 전도형 전해질 설계로 높은 양이온 전달수(≈1) 확보 및 프린팅 공법 기반 상온 공정 플렉서블 전지 구현

- 연세대-인천대-상해대(2021)는 바이폴라 적층 구성으로 높은 에너지 밀도·접힘 안정성·저온 구동 실현 및 무기 고체전해질 대비 공정 우위 확보

[그림 II-10] 준고체 소프트 전해질 기술 모식도

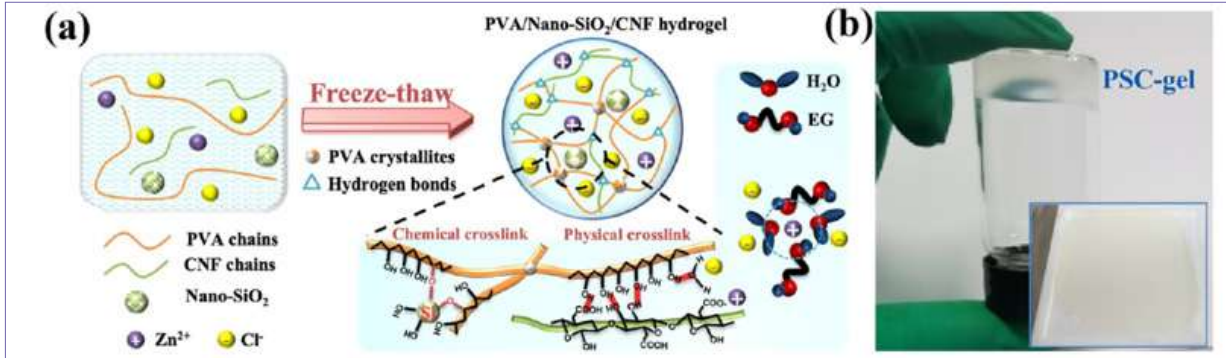


자료: Advanced Energy Materials (2021), 2101813

- (하이드로겔-계면 안정성) 나노 복합화로 -20~80켈 저온 구동 확보 및 in-situ 중합 GPE 침투로 전극-전해질 계면 일체화하여 세탁-굽힘 등 가혹 조건 안정성 실증

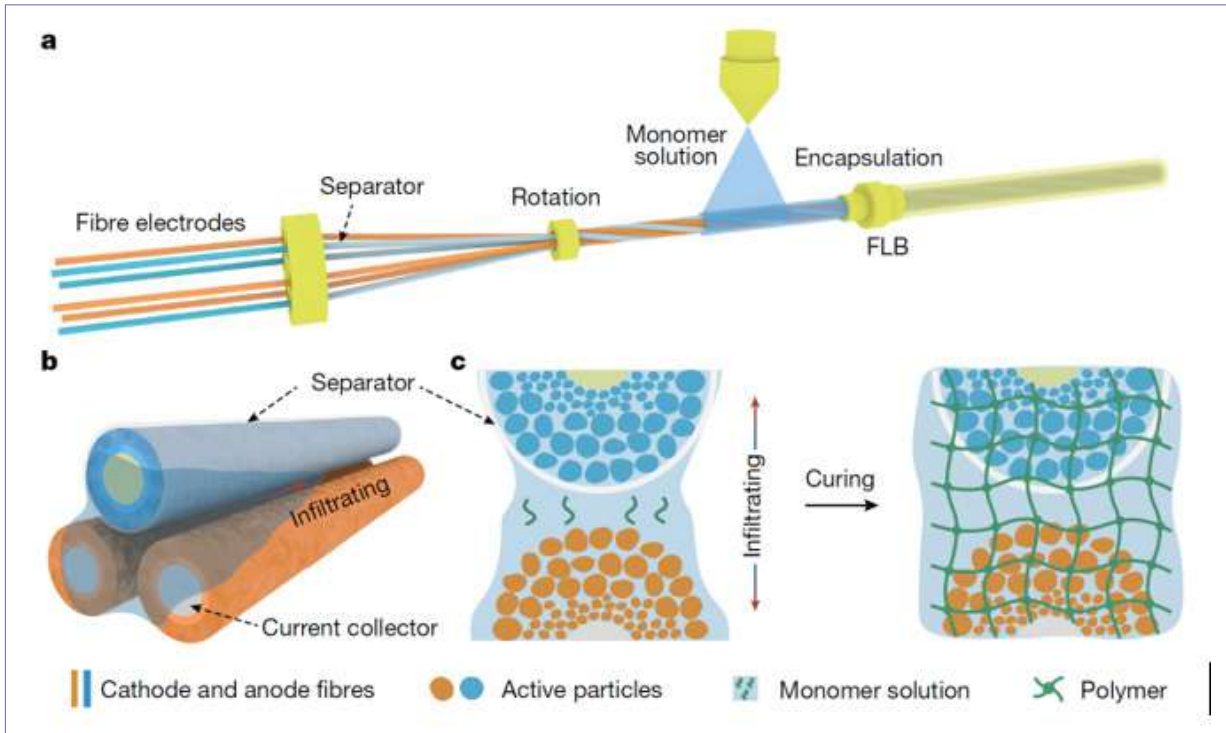
-중국 서북공업대(2024)는 PVA-나노실리카-셀룰로오스 기반 복합 하이드로겔을 통해 넓은 온도범위 구동 특성을 확보하였으며, 중국 푸단대(2024)는 전극 내부 채널 구조 설계를 통해 계면저항 저감 및 섬유형 전지의 확장 생산 가능성 입증

|그림 II-11| 나노셀룰로오스가 복합화된 아연전지용 하이드로겔 모식도



자료: ACS Nano (2024), 18, 7596-7609

|그림 II-12| In-situ 중합을 통해 계면이 안정화된 섬유형 배터리



자료: Nature (2024), 629, 86-91

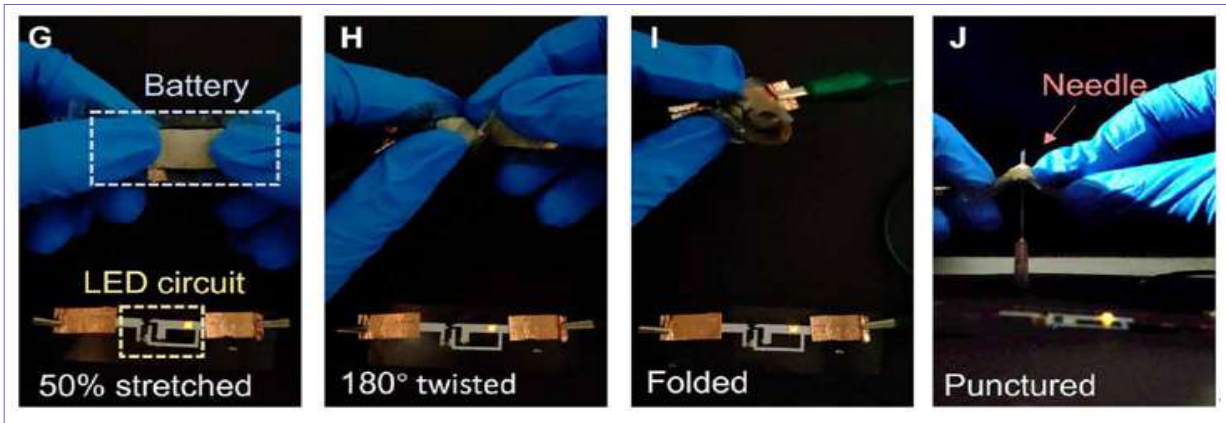
2 고분자 전해질 응용 연구 동향

웨어러블· 인체 부착형 응용

수분 희박 하이드로겔·섬유형 배터리·프린터블 배터리 기술을 통해 인체 부착·직물 통합·사물 일체형 전지를 구현하고 웨어러블 전원으로서 실용성 확보

- (패키징 리튬리튬 배터리) 쌍성이온 단량체 공중합 기반 수분 희박 하이드로겔 전해질로 수분 함량 19wt%만으로 전기화학 안전성 확보 및 인체 표피 탄성계수(140~600 kPa) 일치
 - UC버클라조지아공대·홍공과기대(2025)는 쌍성이온 주쇄의 친리튬성 작용기가 Li⁺ 1차 용매화 껍질에서 물분자 대체하여 절단·관통·신축·비틀림·접힘 등 가혹 변형에도 정상 구동 실증

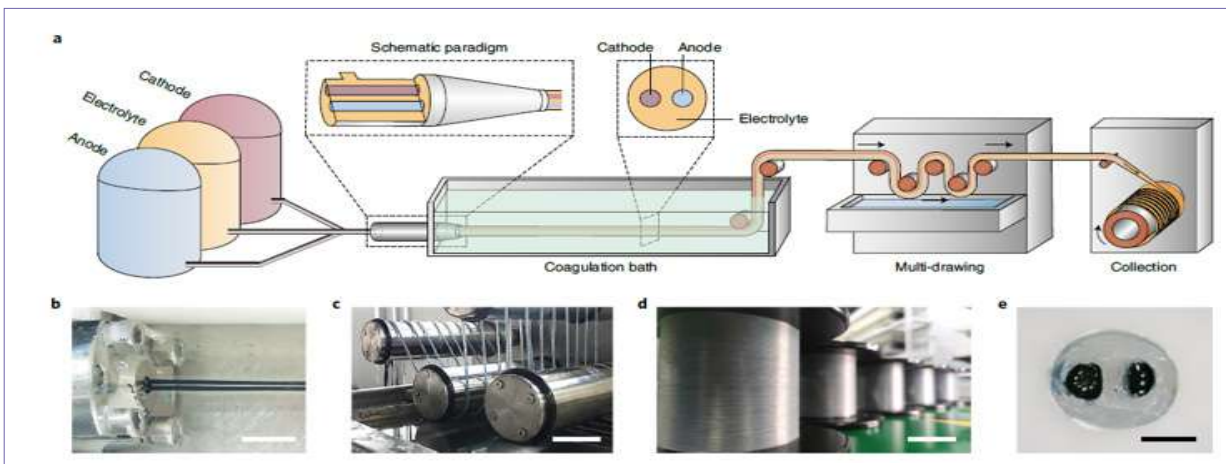
[그림 II-13] 수분 희박 하이드로겔 전해질을 적용한 리튬전지의 변형 평가



자료: Science Advances (2025), 11, eadu3711

- (대량생산 가능 섬유형 배터리) 양극음극겔 전해질 잉크를 동시 압출하는 3채널 산업용 방사공정으로 1,500 km 길이 연속 섬유형 전지 생산 및 상용 직조기로 직물형 전지 제작
 - 중국 푸단대(2022)는 생산 속도 250 m/h 조건에서 섬유 직경·용량 편차 10% 미만 재현성 확보 및 약 10 m² 면적 직물형 전지로 태양전지·전지·디스플레이 일체화 스마트 텐트 시스템 구현

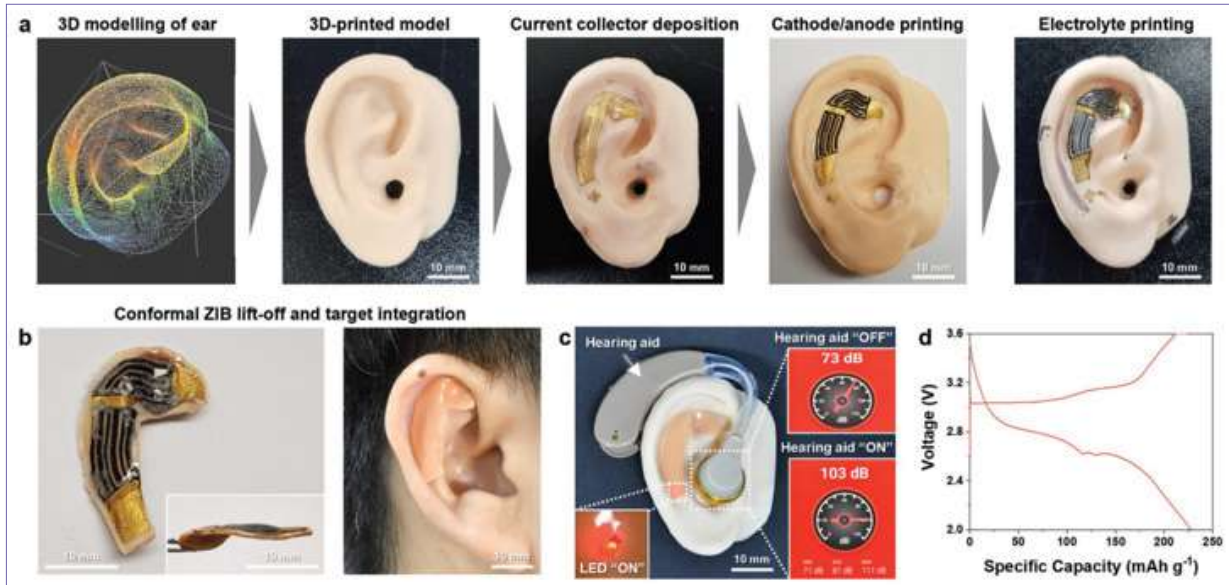
[그림 II-14] 고분자 전해질이 적용된 섬유형 배터리 공정 모식도



자료: Nature Nanotechnology (2022), 17, 372-377

- ◎ (사물 일체형 프린터를 배터리) 텍스트로픽 유연 특성 기반 UV 경화형 겔 복합 전해질 잉크로 직접 잉크 쓰기(DIW) 기반 비평면 3D 프린팅 구현 및 형상 일체화 전지 제작
 - 연세대(2023)는 비평면 기판에서 균일 적층 구현하여 인체 귀 표면에 아연이온 전지를 직접 프린팅하고 보청기 구동 성공으로 겔 고분자 전해질 기반 인쇄형 전지의 구조 통합 가능성 실증

|그림 II-15| 겔 고분자 전해질을 이용하여 귀 형상으로 프린팅된 아연-이온 전지



자료: Advanced Functional Materials (2023), 2211597

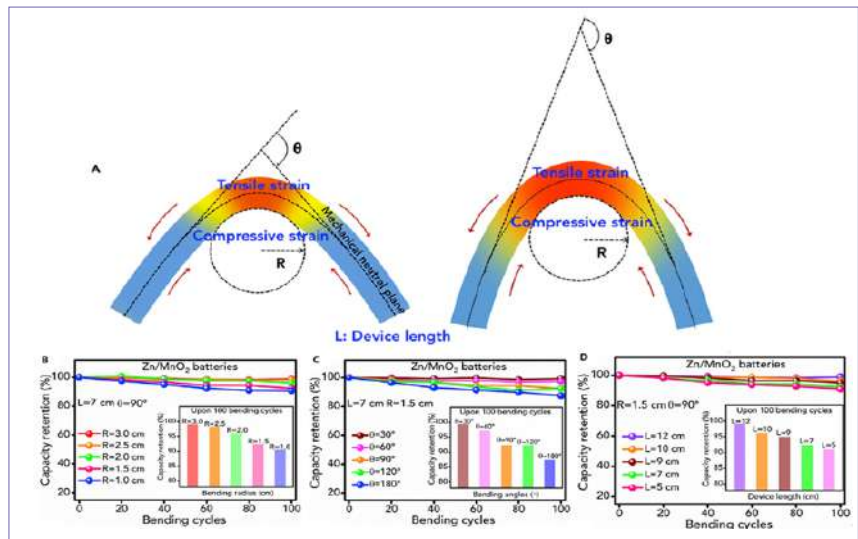
③ 플렉서블 배터리 평가기술 발전 현황

평가체계 개선

플렉서블 배터리 분야는 기술 발전에도 불구하고 평가 방법론이 아직 표준화되지 않았으며 굽힘 각도·곡률 반경·소자 길이·충전 상태·착용감 등 플렉서블 소자 특성을 정량적으로 반영할 수 있는 다차원 평가체계 개발 필요

- ◎ (유연성 평가) 굽힘 각도(θ)·곡률 반경(R)·소자 길이(L)를 동시 고려하는 다차원 평가체계로 전기화학 성능에 대한 독립적 영향 분석 및 반복 굽힘 이후 EIS로 계면 저항·SEI 손상·집전체 활물질 박리·비파괴 분석
 - 홍콩 시립대(2019)는 세 파라미터 모두가 전기화학 성능에 유의미한 영향을 미침을 ZnMnO₂ 기반 플렉서블 전지 실험으로 실증하고, 굽힘 시 외측 인장·내측 압축 변형 및 기계적 중립면 위치가 각 층의 두께·탄성계수에 의해 결정됨을 규명

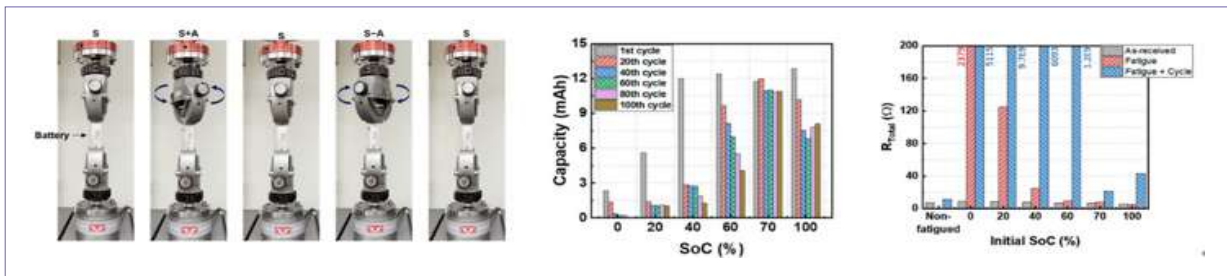
[그림 II-16] 변형 정량화를 위한 파라미터 및 아연-이온전지의 반복 변형 평가 결과



자료: Joule (2019), 3, 613-619

- (비틀림 및 SoC 의존성) 충전 상태에 따른 플렉서블 전지의 비틀림 피로 특성 분석 결과 SoC 40~70% 조건에서 우수한 기계적 피로 내성을 보인 반면 SoC 0% 및 100% 조건에서는 전극의 리튬화/탈리튬 상태 차이와 이에 따른 기계적 응력-계면저항 증가로 용량 감소
 - 서울과기대·국민대·경상국립대·애리조나대는 특히 낮은 SoC(0~20%) 조건에서 피로 이후 총 저항이 급격히 증가하며 전지의 물리적 파손 발생을 EIS 분석으로 확인

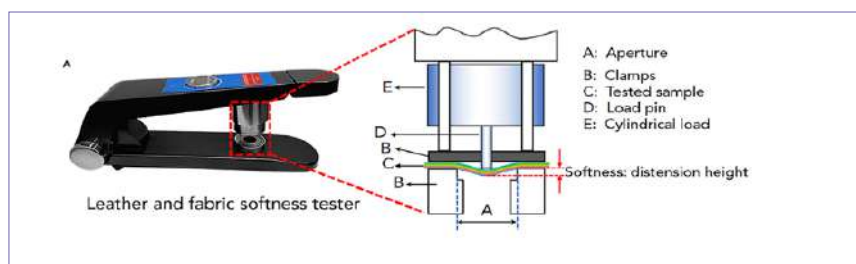
[그림 II-17] 충전상태에 따른 반복 비틀림 평가



자료: Materials (2022), 15, 5557

- (착용감 평가) 가죽 소프트니스 국제표준(ISO17235)을 차용하여 소프트니스 개념을 플렉서블 배터리 평가에 도입하고 상업용 가죽직물 소프트니스 시험기로 착용감 정량화
 - 홍콩 시립대(2023)는 고정 소자 위 원통형 핀 하강 시 소자 처짐 높이를 측정하는 방식으로 소프트니스 평가 적용하며, 수치가 클수록 부드러움을 의미

[그림 II-18] 착용감 정량화를 위한 소프트니스 측정 도구



자료: Joule (2019), 3, 613-619

4. 국제협력 동향

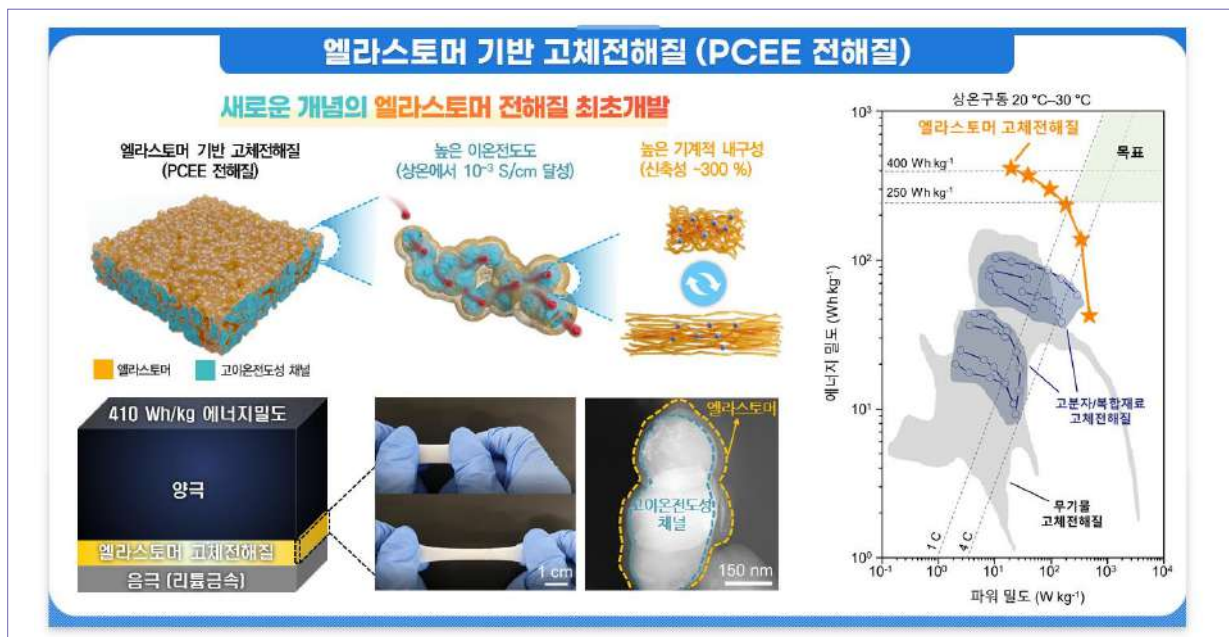
① 국내 국제협력 동향

한미 산학연 공동연구

한국-미국 산학연 공동연구를 통해 고분자 전해질 핵심 원천기술을 확보하고 Nature 게재 등 세계 최고 수준 연구성과 도출 및 국내 기업 상용화 기반 구축

- (KAIST-조지아공대) KAIST-조지아공대 공동연구(2022)로 고무 형태의 엘라스토머 고분자 전해질을 개발하고 4.5V 이상 고전압 구동 안정성 및 410 Wh/kg 이상 에너지밀도 달성
 - Nature 게재를 통해 기계적 유연성과 높은 이온전도도를 동시 확보한 플렉서블-전고체 배터리 적용 가능성 실증 및 SK이노베이션 차세대배터리센터를 통한 소재 특성-상용화 가능성 검증

[그림 II - 19] 엘라스토머 기반 고체 전해질 모식도 및 개발된 전고체 전지 성능 비교 그래프



자료: KAIST-Georgia Tech, Nature(2022)

- (SK온-텍사스대) SK온-텍사스대 공동연구로 단일이온전도성 고분자 전해질(SIPE) 개발 및 상온 이온전도도 향상과 리튬메탈 음극 계면 안정성 확보
 - SK온의 고분자산화물 복합 전해질 2028년 양산 목표 기여 및 고분자 전해질 기술 상용화 기반 마련
- (연세대 제조공정) 연세대 고분자 전해질 제조공정 혁신(2025)으로 엔트로피 기반 고분자 전해질 골격틀 개발 및 기존 리튬이온전지 제조 공정과의 호환성 확보
 - 액체상 고분자 전해질의 열처리 후 고체화 공정 구현으로 전극 내부 함침-계면 안정성 확보 및 전고체-플렉서블 소자 생산 공정 단순화 기여

국내 표준화 추진

이차전지 표준화 전략을 통해 고분자 전해질 평가 방법 국제표준화 대응 및 주도 추진하고 차세대 전해질 소재 관련 표준 개발 가속화

- ◎ (산업부 표준화 전략) 산업통상자원부는 이차전지 표준화 전략 발표(2025)를 통해 고체전해질 성능 분석방법 등 차세대 전해질 소재 관련 표준 개발 추진
 - IEC/ISO 국제표준 대응 체계 강화 및 고분자 전해질 이온전도도·계면 안정성·기계적 특성 평가방법 표준 개발 참여
- ◎ (국제표준 제안) 고분자 전해질의 안전성·성능 검증 시험 방법 표준 개발을 통해 한국 주도 국제표준 제안 추진 및 IEC 62133-2 국내 도입(KC 62133-2) 기반 고분자 전해질 특화 안전성 평가기준 개발

1 국내 국제협력 동향

EU 전고체 배터리 프로젝트

EU는 고분자 전해질 기반 전고체 배터리 개발을 위한 대규모 다국적 공동연구 프로젝트를 통해 기술경쟁력 확보 추진 및 례투롤 공정 기반 플렉서블 배터리 제조 기술 확보

- ◎ (SOLIDIFY 프로젝트) 14개 유럽 파트너 기관이 참여하는 고분자 전해질 기반 전고체 배터리 개발 컨소시엄으로 벨기에 EnergyVille, IMEC, 스위스 EMPA, 프랑스 Solvionic 등 다국적 협력 수행
 - 'liquid-to-solid' 가공 가능한 고분자 이온성 액체 기반 고체 나노복합 전해질 개발로 에너지밀도 1,070 Wh/L 달성 및 상온 제조 공정 기반 기존 생산라인 적용 가능성 확보
- ◎ (PSIONIC 프로젝트) EU Horizon 프로그램 지원 단일이온전도성 고분자 전해질 개발 프로젝트로 가교된 비정질 폴리에틸렌옥사이드(PEO) 리튬 박막 음극 적층 기술 확보
 - 단일이온전도성 고분자 코팅 기술로 고전압 양극재 계면 안정성 향상 및 가연성·불안정 액체 전해질 대체 소재로서 안전성 검증
- ◎ (SOLID 프로젝트) 유럽 전고체 배터리 제조 스케일업 프로젝트(2022~현재)로 고체 고분자 전해질 슬롯-다이 파일럿 스케일 코팅 기술 개발 및 례투롤 공정 기술 확보
 - 례투롤 공정 기반 고분자 전해질 연속 생산 기술 확보로 플렉서블 소자 제조 공정 확장 가능성 제시
- ◎ (유럽 산업체) 유럽 산업체는 고분자 전해질 상용화를 위한 협력 강화 추세로 Blue Solutions는 GEN4 세대 고분자 전해질 기반 전고체 배터리 개발 중

[그림 II - 20] SOLiDIFY: Liquid-Processed Solid-State Li-metal Battery



자료: SOLiDIFY: Liquid-Processed Solid-State Li-metal Battery

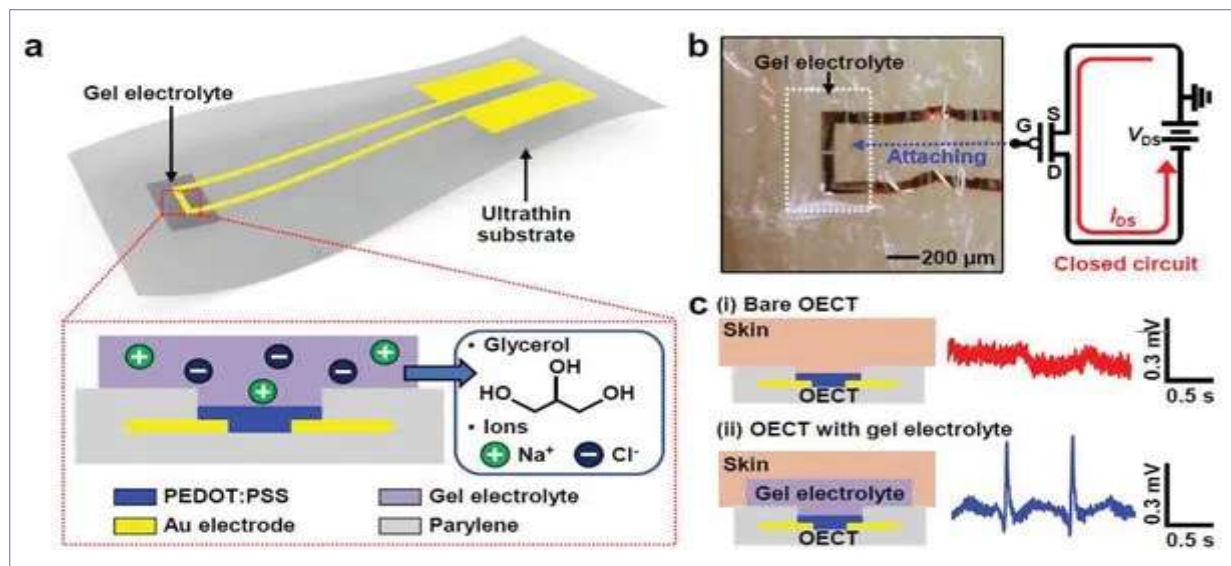
웨어러블 배터리 프로젝트

EU는 웨어러블-의료기용 플렉서블 배터리 개발 전용 프로젝트를 통해 응용 분야 기술 경쟁력 확보 및 인쇄 가능 고분자 전해질 기술개발 추진

○ (FlexiMin 프로젝트) EU Horizon 프로그램 지원 비가역성 고분자 전해질 개발 프로젝트(2024~현재)로 웨어러블 헬스케어 센서 적용을 위한 소재 특성 최적화 추진

-측면 치수 소형화 가능 고분자 전해질 구조 설계·생체 적합성 확보 및 유기 전기화학 트랜지스터(OECT) 센서와의 계면 안정성 검증을 통한 연속 구동 실증

[그림 II - 21] 젤 전해질 기반 OECT 센서의 구조 및 작동 원리



자료: PEDOT:PSS 기반 젤 전해질 적용 초박막 OECT 구조 및 피부부착 센서 개념도. Source: PMC (PubMed Central)

- ◎ (BASMATI 프로젝트) EU H2020 지원 인쇄 가능 고분자 전해질 잉크 개발 프로젝트로 대규모 나노잉크제조 파일럿 라인 구축 및 저비용 제조 기술 확보

 - 잉크 배합 최적화로 인쇄형 고분자 전해질 물성 개선 및 웨어러블·의료기기 적용 기술 확보했으며 IDTechEx는 인쇄형 고분자 전해질 시장이 향후 10년간 4억 달러 이상 규모로 성장 전망
- ◎ (홍콩폴리텍대학) 섬유형 고분자 전해질 개발(2019)로 섬유 기반 고분자 전해질 적용 기술 개발 및 웨어러블 소자 적용 가능성 실증

 - 기계적 내구성 확보로 굽힘 반경 1mm 미만, 1,000회 이상 접힘 내구성 달성 및 스타트업 EightOSix Technology 설립을 통한 기술 사업화 추진

국제표준화 협력

IEC/ISO 중심의 배터리 표준화 체계 내 고체 전해질·고분자 전해질 평가 방법 개발 추진 및 중국의 국제표준 주도권 경쟁 심화

- ◎ (IEC 표준화) IEC TC21/SC21A는 이차전지 제품 표준 개발 주도하며 고체 전해질 및 고분자 전해질 기반배터리의 성능·안전 평가방법 표준화 논의 진행

 - 고분자 전해질의 안전성·성능 검증 시험 방법 개발 추진 및 유럽 전기기술표준화위원회 (CENELEC)가 IEC TC21/SC21A의 미러 위원회로 활동하며 유럽 표준화 작업 수행
- ◎ (중국 표준화 경쟁) 중국은 2025년 ISO 및 IEC에서 신에너지 분야 등 285개 국제표준 주도 발표(전년 대비 26.7% 증가)하며 배터리 분야 국제표준화 주도권 경쟁

[그림 II-22] 리튬이차전지 셀 또는 배터리의 안전성평가 관련 표준

<표 5> 리튬이차전지 셀 또는 배터리의 안전성평가 관련 표준	
특성평가 항목	국제표준(IEC, ISO)
외부단락	IEC 62133-2, IEC 62660-3, IEC 62619
과충전	IEC 62133-2, IEC 62660-3, IEC 62619
과방전	IEC 62133-2, IEC 62660-3, IEC 62619
충격	IEC 62619
낙하	IEC 62133-2, IEC 62619
압착	IEC 62133-2, IEC 62660-3, IEC 62619
진동	IEC 62133-2
충격	IEC 62133-2, IEC 62660-3
열노출	IEC 62133-2, IEC 62660-3, IEC 62619
강제 내부단락	IEC 62133-2, IEC 62660-3, IEC 62619
화재 전이	IEC 62619, ISO 6469-1

자료: IEC (International Electrotechnical Commission), ISO (International Organization for Standardization)

1. 시사점

① 기술개발 시사점

기술 성과 및 경쟁력

플렉서블 이차전지용 고분자 전해질은 지난 10여 년간 소재 설계 전략 다양화 및 제조 공정 경쟁력 확보 측면에서 상당한 기술 진전 달성

- ◎ (소재 설계 다양화) 고체 고분자 전해질(SPE)의 초박형 자립막 설계, 겔 고분자 전해질의 기능성부여 및 복합 고분자 전해질의 퍼콜레이션 네트워크 최적화 등 소재 설계 전략 다양화
 - 솔루션 캐스팅 및 롤투롤 공정과의 높은 호환성 기반 연속 생산 및 플렉서블 소자 공정 적용 우위 확보
- ◎ (제조 경쟁력 확보) 고분자 전해질은 무기 고체전해질 대비 연속 생산 및 플렉서블 소자 공정 적용에 유리한 제조 경쟁력을 보유하여 대면적 플렉서블 배터리 양산 공정 구축의 핵심 소재로 작용

상용화 핵심 과제

고분자 전해질 상용화를 위해서는 전극 열화 대응형 계면 설계 및 기계적 피로 메커니즘 규명이 핵심 기술 과제로 잔존

- ◎ (전극 열화 대응) 고니켈 양극재는 고탈리튬 상태에서의 미세균열 및 구조 붕괴 특성을, 리튬 금속 음극은 도금박리에 따른 계면 불안정성을 나타내고 있어 전극별 열화 메커니즘 대응형 계면 설계 필요
 - 기계적 피로에 따른 SEI 손상, 계면 임피던스 증가 및 용량 감소 간 상관관계를 정량적으로 분석하는 연구 확대 필요

구조적 한계 극복

고분자 전해질은 이온전도도 및 열적 안전성 측면에서 구조적 한계를 보유하고 있어 고전압·고온 환경 대응형 차세대 전해질 설계 필요

- ◎ (이온전도도 향상) PEO 계열 SPE의 상온 이온전도도는 상용화 목표 수준에 미달하며 황화물·산화물 기반 무기 고체전해질 대비 전도도 격차 존재
 - 이온전도 메커니즘 재설계 중심의 근본적 돌파구 마련 필요
- ◎ (열적 안전성 확보) GPE는 잔류 유기용매 기반 열적 안전성 문제가 완전히 해소되지 않았으며 향후 연구는 산화 안정성 확보 및 고안전성 구현 중심으로 추진 필요

2 정책·산업 시사점

시장 특성 및 융합 전략

플렉서블 전지 시장은 초기 단계 수준이며 독립 제품보다 웨어러블·스마트 패치·IoT 센서 등 수요 산업과의 융합을 통한 산업적 가치 확대 전략 필요

- ◎ (시장 위치) 플렉서블 전지 시장은 높은 성장률에도 불구하고 전기차·에너지저장장치 시장 대비 아직 초기 단계 수준
- ◎ (수요 융합 전략) 플렉서블 전지는 독립 제품보다 웨어러블·스마트 패치·IoT 센서 등 수요 산업과의 융합을 통해 산업적 가치 확대 가능
 - 플렉서블 전지 산업은 수요 산업과의 수직계열화 기반으로 전개되고 있으며, 디바이스 폼팩터 차별화 및 사용자 경험 혁신 수단으로 활용 확대. 전지 자체 판매보다 디바이스 내재화를 통한 공급망 경쟁력 확보가 핵심 산업 전략으로 부상

산업 생태계 구축

플렉서블 전지 산업은 스타트업 중심 개방형 생태계 구축 및 수요 연계형 사업화 지원 전략 추진 필요

- ◎ (스타트업 중심 육성) 대형 배터리 제조사의 직접 진입에는 구조적 한계가 존재함에 따라 전문 스타트업 중심의 기술사업화 및 실증 지원 체계 강화 필요
 - 웨어러블 의료기가 스마트 패키징 등 수요 산업과 연계한 개방형 산업 생태계 조성이 핵심 정책 방향으로 제시

3 국제협력 시사점

국제협력 확대 전략

(국제협력 확대 전략) EU 중심 다국적 컨소시엄 모델 참여 및 웨어러블·의료기기 분야 국제협력 확대를 통한 고분자 전해질 핵심 기술 접근성 확보 및 글로벌 산학연 협력 기반 원천기술 확보 필요

- ◎ (EU 협력 강화) EU 중심 다국적 컨소시엄 모델 참여를 통한 고분자 전해질 핵심 기술 접근성 확보 필요
 - SOLiDIFY, PSIONIC, SOLiD 등 EU Horizon 프로그램은 롤투를 공정 및 단일이온전도성 고분자 전해질 원천기술 확보를 위한 다국적 산학연 협력체계 구축 추진
 - 한국은 EU 프로젝트 참여 및 Horizon 연계 협력을 통해 롤투를 공정 기술과 고분자 무기 복합 전해질 설계 노하우 확보 필요
- ◎ (웨어러블 협력 확대) 웨어러블·의료기기 분야 국제협력은 인쇄형·섬유형 고분자 전해질 기술경쟁력 확보 중심으로 확대 필요
 - FlexiMin·BASMATI 프로젝트는 웨어러블 헬스케어 및 인쇄형 고분자 전해질 개발 중심으로 추진

-한국은 웨어러블·의료기기 수요 산업 기반을 활용하여 EU·중국·홍콩 연구기관과의 인쇄형·섬유형 고분자 전해질 공동연구 및 실증협력 확대 필요

- ◎ (산학연 협력 강화) 글로벌 산학연 협력은 고분자 전해질 원천기술 확보 및 상용화 연계의 핵심 수단으로 작용

-KAIST-조지아공대 공동연구는 세계 최고 수준의 엘라스토머 고분자 전해질 성능을 실증하였으며 SK온-텍사스대 협력은 고분자산화물 복합 전해질 양산 기반 확보 추진

-향후 미국·유럽 주요 연구기관과의 전략적 파트너십 확대를 통해 원천기술 확보 및 국내 기업 연계형 상용화 체계 강화 필요

표준화 전략 강화

국제표준화 경쟁 심화에 대응한 IEC·ISO 기반 표준 선점 전략 강화 필요

- ◎ (IEC·ISO 대응) IEC TC21/SC21A를 중심으로 고분자 전해질 성능·안전 평가방법 표준화 논의가 확대되고 있으며 중국 등 주요국의 국제표준 주도 경쟁 심화

-국내에는 KC 62133-2 기반 안전성 평가체계 및 이온전도도·계면 안정성·기계적 특성 평가방법 개발을 통해 한국 주도 국제표준 제안 확대 필요

참고 문헌

- 1 IDTechEx (2023), "Wearable Technology Forecasts 2023-2033"
- 2 Grand View Research (2024), "Wearable Technology Market Size, Share & Trends Analysis Report by Product, by Application, by Region, and Segment Forecasts, 2024-2033"
- 3 Tycorun Energy (2024), "With a variety of deformation capabilities - flexible battery", <https://www.tycorun.com/blogs/news/flexible-battery> (2025년5월7일 접속).
- 4 Hu, L et al. (2010) ACS Nano, 4, 10, 5843-5848. "Thin, Flexible Secondary Li-Ion Paper Batteries"
- 5 Cho, S.-J. et al. (2015) Advanced Functional Materials, 25, 6029-6040. "Hetero-Nanonet Rechargeable Paper Batteries: Toward Ultrahigh Energy Density and Origami Foldability"
- 6 Kumar, R. et al. (2017) Advanced Energy Materials, 7, 1602096. "All-Printed, Stretchable Zn-Ag₂O Rechargeable Battery via Hyperelastic Binder for Self-Powering Wearable Electronics"
- 7 IDTechEx (2024), "Flexible Batteries Market 2025-2035: Technologies, Forecasts, and Players"
- 8 한국전자통신연구원(2021), "플렉서블 전자소재 산업 동향"
- 9 Liang, G. et al. (2021), Springer Nature. "Adhesive and cohesive force matters in deformable batteries"
- 10 Manoharan, K. et al. (2026) Energy & Fuels, 40, 5, 2319-2337. "Roadmap of Flexible Electrodes for Next-Generation Wearable Electronics"
- 11 Chattopadhyay, J. et al. (2023), Polymers, 15, 3907. "Applications of Polymer Electrolytes in Lithium-Ion Batteries: A Review"
- 12 Wan, J. et al. (2019), Nature Nanotechnology, 14, 705-711. "Ultrathin, flexible, solid polymer composite electrolyte enabled with aligned nanoporous host for lithium batteries."
- 13 Lee, M.-J. et al. (2022), Nature, 601, 217-222. "Elastomeric electrolytes for high-energy solid-state lithium batteries."
- 14 Jeong, J. et al. (2023), ACS Energy Letters, 8, 4650-4657. "Fire-Inhibiting Nonflammable Gel Polymer Electrolyte for Lithium-Ion Batteries."
- 15 Oh K.-S. et al. (2021), Advanced Energy Materials, 2101813. "Single-Ion Conducting Soft Electrolytes for Semi-Solid Lithium Metal Batteries Enabling Cell Fabrication and Operation under Ambient Conditions"
- 16 Wang, Z. et al. (2024), ACS Nano, 18, 7596-7609. "A Hydrogel Electrolyte toward a Flexible Zinc-

Ion Battery and Multifunctional Health Monitoring Electronics”

- 18 Lu, C. et al. (2024), Nature, 629, 86-91. “High-performance fibre battery with polymer gel electrolyte.” He, P. et al. (2025), Science Advances, 11, eadu3711. “High-voltage water-scarce hydrogel electrolytes enable mechanically safe stretchable Li-ion batteries.”
- 19 Liao, M. et al. (2022), Nature Nanotechnology, 17, 372-377. “Industrial scale production of fibre batteries by a solution-extrusion method.”
- 20 Ahn, B. D. et al. (2023), Advanced Functional Materials, 2211597. “Enabling On-Demand Conformal Zn-Ion Batteries on Non-Developable Surfaces”
- 21 Li, H. et al. (2019), Joule, 3, 613-619. “Evaluating Flexibility and Wearability of Flexible Energy Storage Devices.”
- 22 Kim, J.-Y. et al. (2022), Materials, 15, 5557. “Influence of Mechanical Fatigue at Different States of Charge on Pouch-Type Li-Ion Batteries.”
- 23 Mordor Intelligence (2026), FLEXIBLE BATTERY MARKET SIZE & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS AND FORECAST (2026 - 2031)
- 24 LiBEST 공식 홈페이지, <https://libest.co/>, (2025년5월4일 접속).
- 25 바이오타임스(2020), “한국 기업Jenax, 의료기기에 적합한 접히는 리튬이온 배터리 선보여”, <https://www.biotimes.co.kr/news/articleView.html?idxno=1535>, (2025년5월4일 접속).
- 26 Bloomberg UK (2023), “Donut, Anyone? Batteries Are Coming in All Shapes And Sizes”, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-02-09/batteries-are-starting-to-come-in-all-shapes-and-sizes> (2025년5월7일 접속).
- 26 Enfucell, <https://www.enfucell.com/>, (2025년5월7일 접속).
- 26 IEC 62133-2:2017 (2017), “Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Safety requirements for portable sealed secondary cells, and for batteries made from them, for use in portable applications - Part 2: Lithium systems”
- 27 European Parliament and of the Council (2023), “Regulation (EU) 2023/1542”
- 28 국가기술표준원(2020), KC 62133-2, “휴대기기용 밀폐 리튬이차전지 안전”
- 29 Precedence Research (2025), “Flexible Battery Market Size, Share and Trends 2026 to 2035”
- 30 InsightAce Analytic (2025), “Flexible Batteries Market Size, Revenue Share and Future Scope to 2034”
- 31 Coherent Market Insights (2026), “Flexible Battery Market Size, Trends & Forecast, 2026-2033”
- 32 Blue Solutions (2026) “Blue Solutions: The French Champion of Solid-State Batteries”, 공식보도자료

- 33 삼성증권(2026), "인터배터리2026 참관후기"
- 34 Volta Foundation (2025), Battery Report 2025
- 35 Volta Foundation (2024), Battery Report 2024
- 36 Volta Foundation (2023), Battery Report 2023
- 37 SAE-China (中国汽车工程学会) (2025), T/CSAE 434-2025, "全国态电池判定方法(Determination Methods for All Solid-State Battery)"
- 38 IEC 62660-3:2022 (2022), "Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles - Part 3: Safety requirements"
- 39 산업통상자원부 보도자료(2025), "이차전지 표준화 전략 발표"
- 40 CORDIS (2020), "Liquid-Processed Solid-State Li-metal Battery: development of upscale materials, processes and architectures (SOLiDIFY)", <https://cordis.europa.eu/project/id/875557>
- 41 EuropaWire (2024), "European SOLiDIFY Project Develops Advanced Lithium-Metal Solid-State Battery for Electric Vehicles", (2024년 9월 14일)
- 42 CORDIS (2022), "High voltage, room temperature single-ion polymer electrolyte for safer all solid state lithium metal batteries (PSIONIC)", <https://cordis.europa.eu/project/id/101069703>
- 43 PSIONIC Project (2022), <https://www.psonic.eu/>, (2025년 5월 접속)
- 44 IEC 62133-2:2017 (2017), "Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Safety requirements for portable sealed secondary cells, and for batteries made from them, for use in portable applications - Part 2: Lithium systems"
- 45 European Parliament and of the Council (2023), "Regulation (EU) 2023/1542"
- 46 Lee, M. J., Han, J., Lee, K., Lee, Y. J., Kim, B. G., Jung, K.-N., Kim, B. J., & Lee, S. W. (2022), "Elastomeric electrolytes for high-energy solid-state lithium batteries", *Nature*, 601, 217-222. DOI: 10.1038/s41586-021-04209-4
- 47 SK Innovation Newsroom (2024), "SK On develops polymer electrolytes for lithium metal batteries", (2024년 6월 16일)
- 48 Businesskorea (2024), "SK On and University of Texas Team up to Develop Polymer Electrolyte for Lithium Metal Batteries", (2024년 6월 17일)
- 49 ZDNet Korea (2025), "리튬이온배터리 공정으로 전고체전지 생산 세계 첫 성공", (2025년 1월 16일)
- 50 연세대학교 (2024), "엔트로피 기반 고분자 전해질 플랫폼 개발", *Nature Communications*, (2024년 12월 6일)
- 51 산업통상자원부 (2025), "이차전지 표준화 전략"
- 52 국가기술표준원 (2020), KC 62133-2, "휴대기기용 밀폐 리튬이차전지 안전"

STI Brief

발행일 2026년 6월 19일

발행처 (주)이니씽크(INITHiNK)

서울특별시 송파구 법원로 11길 7

T. 02-468-4137

inithink.co.kr

출 갈 Top-Tier 사업 출갈지원단

STI Brief

STI 브리프는 연구단별 핵심분야에 대한 글로벌 정책·기술·산업 등 최신 동향 및 트렌드 정보와 더불어 다양한 시각과 심층분석을 제공하기 위해 발간하고 있습니다. 동 브리프는 저자의 개인적 견해이며 (주)이니씽크의 공식 견해가 아님을 알려드립니다.