

이차전지용 복합 집전체 기술 특허 동향 분석 및 전략 제시 - 고분자 소재, 탭 연결 방식을 중심으로

박진명¹ · 정해영¹ · 박찬정^{2*}

¹경기대학교 화학공학과, ²경기대학교 교양학부

(2025년 3월 14일 접수 : 2025년 3월 31일 수정 : 2025년 4월 5일 채택)

Patent Trend Analysis and Strategic Proposal in Composite Substrate Technology for Secondary Battery - Focusing on Polymer Materials and Tab Connection Methods

Jin Myeong Park¹, Hae Yeong Jeong¹, and Chan-Jeong Park^{2*}

¹Department of Chemical Engineering, Kyonggi University, 154-42,
Gwanggyosan-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, Korea

²College of Liberal Arts, Kyonggi University, 154-42,
Gwanggyosan-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, Korea

(Received March 14, 2025 : Revised March 31, 2025 : Accepted April 5, 2025)

초 록

본 논문에서는 이차전지용 복합 집전체 기술의 특허 동향을 분석하고, 기술 발전 방향과 전략을 제시하였다. 특허 검색을 통해 11,819건을 수집하고 체계적 분석을 거쳐 543건의 유효 특허를 도출하였으며, 이를 국가별, 출원인별, 기술별로 분류하여 동향을 파악하였다. 분석 결과, 2018년 이후 특허 출원이 급증하였으며, 일본이 175건으로 가장 많았으나 2020년 이후 미국과 중국의 비중이 증가하였다. 주요 출원 기업 9곳 중 일본과 한국이 각각 4곳, 중국이 1곳을 차지하였으며, 일본 기업들은 주로 도전성 필러를 포함한 고분자 소재를 연구하고 있었다. 고분자 소재는 PET가 가장 많이 사용되었으며, 우수한 물성과 경제성으로 인해 지속적인 관심이 예상된다. 향후 전도성 향상을 위해 도전성 필러를 추가하고, 안정성 확보를 위해 난연 소재를 첨가하여 성능을 개선할 것으로 전망된다. 탭 연결 방식은 주로 금속층에 탭을 초음파 용접하는 방식이 활용되었으며, 이 기술은 성능이 우수해 향후 다른 용접 기술과의 융합 가능성이 높다. 아울러, 탭 연결에서 용접 및 전기적 성능이 핵심 요소로 작용하며, 이를 개선하기 위한 지속적 연구가 필요함을 확인하였다.

Abstract : This paper analyzes patent trends in composite substrate technology for secondary batteries and presents strategies for future development. A total of 11,819 patents were collected and systematically analyzed, resulting in 543 valid patents. These patents were categorized by country, applicant, and technology to identify key trends. The study includes patents from Korea, United States, Japan, China, and Europe. Various polymer materials in composite current collectors were examined, including insulating types, cable-type batteries, conductive filler-containing materials, and fiber-based structures. The analysis revealed a sharp increase in patent filings since 2018, with Japan leading with 175 patents. However, after 2020, filings in the

*E-mail: hien77@kgu.ac.kr

United States and China increased significantly. Among the top nine applicants, Japan and Korea each had four, while China had one, with Japanese companies primarily focusing on polymer materials with conductive fillers. PET was the most commonly used polymer due to its excellent properties and cost-effectiveness. Future advancements are expected to improve conductivity with conductive fillers and enhance safety with flame-retardant materials. Ultrasonic welding was the dominant tab connection method, showing excellent performance. This method may evolve by integrating with other welding techniques. Welding quality and electrical performance were identified as key factors, stressing the need for continued research.

Keywords: Composite substrate for secondary batteries, Composite current collector, Patent trend analysis, Polymer materials, Tab connection method

1. 서 론

1.1 연구배경

내연기관 차량의 판매 금지와 탄소 중립 정책 추진으로 자동차 산업의 전동화가 가속화되면서 전기차 시장도 지속적으로 성장해 왔다.¹⁻⁴⁾ 그러나 최근 글로벌 전기차 시장에서는 보조금 축소, 가격 경쟁력 부족, 안전성 우려 등의 요인으로 성장을 둔화가 나타나고 있다.⁵⁻⁷⁾ 이러한 상황에서 복합 집전체 기술은 배터리 산업의 주요 문제를 해결할 대안으로 주목받고 있다. 복합 집전체는 기존 집전체 대비 원가 절감이 가능하며, 음극박의 경우 구리 사용량을 최대 66%, 양극박은 알루미늄 사용량을 최대 85%까지 줄여 경제성이 높다.⁸⁾ 또한, 고분자의 낮은 밀도를 활용해 면적밀도를 감소시켜 배터리의 에너지 밀도를 증가시킬 수 있다.⁹⁻¹¹⁾ 실제로 6 μm 복합 집전체(1 μm Cu-4 μm PET-1 μm Cu)은 6 μm 동박 대비 면적밀도가 56% 낮아(동박: 53.76 mg/cm², 복합 집전체: 23.38 mg/cm²), 에너지 밀도가 약 5% 증가한다.⁸⁾ 복합 집전체는 화재 발생 시 고분자 필름이 용융되어 금속층을 차단함으로써 화재 확산을 방지하는 등 안전성 측면에서도 강점을 갖는다.¹²⁾ 더불어, 기존 집전체가 얇아질수록 발생하는 컬(curl)과 주름 문제를 해결할 수 있다는 점에서도 주목된다.^{13,14)} 이러한 장점으로 복합 집전체는 배터리 시장의 성장 둔화를 극복할 수 있는 요소로 작용할 것으로 기대되며, 실제로 2023년 4억 3,561만 달러에서 2032년 29억 3,268만 달러로 시장이 확대될 전망이다.¹⁵⁾

1.2 이차전지용 복합 집전체 기술의 필요성 및 한계

복합 집전체는 일반적으로 금속 도전층-고분자 필름-금속 도전층의 3층 구조로 구성되며, 고분자 필름이 지지체 역할을 하면서 상·하부의 금속층을 통해 전기 전도성이 확보된다. 또한, 제조 공정에서 안정성을 유지하기 위해 적절한 기계적 강도와 내열성이 요구된다.¹³⁾ 이 기술은 기존 금속-고분자-금속 구조를 넘어

다양한 형태로 발전하고 있으며, 시장 또한 빠르게 성장하고 있다.¹⁵⁻¹⁹⁾ 그러나 고분자 필름의 낮은 접착성, 전기적 연결의 한계, 조립 구조 문제와 같은 기술적 과제가 여전히 남아 있으며, 이를 해결하는 것이 복합 집전체의 상용화 및 시장 확대의 핵심 과제로 꼽힌다.^{8,20)}

1.3 연구목적

본 연구에서는 고분자를 활용한 복합 집전체의 특허 동향을 분석하고, 이를 바탕으로 향후 연구 방향을 제시하고자 한다. 이를 위해 한국, 미국, 일본, 중국, 유럽 등 주요 국가의 특허를 조사하여 주요 출원 기업을 식별하고, 국가별 출원 현황을 분석하였다. 또한, 주요 특허를 선별해 기술적 흐름을 파악하고, 연구개발의 핵심 초점을 도출하여 향후 전략을 제안하고자 한다.

2. 분석 방법

2.1 유효 특허 추출 및 분류

“고분자 소재를 사용한 이차전지용 집전체”와 관련된 모든 유효 특허를 빠짐없이 검색하고자 하였다. 이를 위해 고분자가 포함된 이차전지 전반에 대한 특허까지 아우르는 넓은 검색 범위를 설정하였으며, 그 결과 단 하나의 유효 특허도 놓치지 않고 확보할 수 있도록 하였다. 이를 위해 최근 20년간 출원된 특허를 대상으로 ‘이차전지’, ‘집전체’, ‘고분자’ 및 관련 IPC 코드를 조합하여 검색식을 작성하였다. 특허 검색은 웹스온(www.wipson.com)을 이용하였으며, 분석 대상 국가는 한국, 미국, 일본, 중국, 유럽으로 설정하였다. 그 결과, 총 11,819건의 특허가 검색되었다(한국 1,744건, 미국 1,861건, 일본 3,708건, 중국 3,711건, 유럽 795건, 2024.06.15 기준). 검색 범위를 넓게 설정하고, 유효 특허의 인용·피인용 내역을 검토하여 13건을 추가하며 누락을 최소화하였다. 이후 5단계의 체계적인 분류 작업을 통해 노이즈를 제거하였다. 1단계에서는 연료 전지 특허와 같이 리튬 이차전지와 무관한 특허

Table 1. Technical classification

Main Category	Subcategory	Detailed Category
Polymer Application Type	Composite Current Collector	A. Insulating Polymer Film Type
		B. Cable Type
Electrical Tab Connection Method	Electrode Assembly Structure	C. Conductive Polymer Film & Fiber Type
		D. No Specific Welding Method Mentioned
		E. Mention of One or More
		F. Ultrasonic, Laser, Resistance Welding
		G. Others
		H. Winding
		I. Stacking

(14.65%)를 제외하였으며, 2단계에서는 활성 물질과 함께 고분자를 사용하는 특허(53.11%)를 배제하였다. 특히, 이 단계에서는 고분자 바인더 관련 특허가 큰 비중을 차지하였다. 이어서 3단계에서는 고분자 분리막 관련 특허(11.65%), 4단계에서는 고분자 전해질 관련 특허(8.42%)를 제외하였으며, 마지막으로 5단계에서 기타 관련성이 낮은 특허(7.58%)를 최종적으로 제외하였다. 이와 같은 과정을 통해 총 543건의 유효 특허를 도출하였다(한국 74건, 미국 108건, 일본 175건, 중국 119건, 유럽 67건). 이후 시장 분석을 통해 출원인 대표 명화를 진행하고, 기술별 중·소분류를 거쳐 정량 분석을 실시하였다.

2.2 기술 분류표

기술 분류표는 Table 1에 제시된 바와 같이 특허들을 분류하여 분석하였다. 1.2에서 언급한 세 가지 문제점을 기준으로 기술분류표를 구성하였다.

복합 집전체에 적용되는 고분자는 절연성, 캐피탈형 전지용, 도전성 필러 포함, 섬유형 등 다양한 형태로 나타난다.¹⁶⁻¹⁹⁾ 그러나 고분자 필름은 전기적 연결을 어렵게 하며, 이를 보완하기 위해 탭 연결 방식의 개선이 필요하다.⁸⁾ 또한, 조립 공정 중 필름의 연신으로 인한 구조적 결함을 방지하고 전기적 신뢰성을 확보해야 한다.²⁰⁾

탭 연결 방식은 주로 초음파, 레이저, 저항 용접이 활용되며, 이 외에도 열융착과 탭리스 방식이 있다. 초음파 용접은 고주파 진동을, 레이저 용접은 고밀도 에너지 빔을, 저항 용접은 전류로 발생한 열과 압력을 이용하는 방식이다.^{21,22)} 열융착은 금속 없이 고분자와 탭을 직접 결합하는 방법이며, 탭리스 방식은 집전체 본체에서 탭을 연장하거나 탭이 없이 전기적 연결을 구현한다.²³⁾

전극 조립체는 권취(winding)와 적층(stacking) 방식으로 나뉜다. Winding 방식은 양극-분리막-음극을 적층 후 원형으로 조립하는 방식으로, 파우치형, 원형,

각형 등 다양한 전지에 적용되며 속도가 빠르고 비용이 저렴하다.²⁴⁾ Stacking 방식은 Z-stacking, lamination & stacking, stack & folding 방식으로 구분되며, 배터리 성능, 안전성, 제조 효율에 따라 적절히 선택된다.²⁵⁻²⁸⁾

3. 결과 및 고찰

3.1 정량분석

3.1.1 국가/연도별 특허 출원 현황

Fig. 1은 이차전지 복합 집전체의 국가별 및 연도별 특허 출원 현황을 나타낸다. 2009년 일본에서 도전성 필러 관련 특허가 급증했으며, 2018년 이후 출원이 증가해 2019년 최고치를 기록하였다. 이러한 출원 증가의 주요 원인으로는 2018년 전기차 관련 정책 및 배터리 산업에 대한 지원 확대가 있으며, 전 세계 전기차 누적 판매량이 100만 대를 돌파한 이후, 전기차 판매량이 급증하여 2019년 말에는 약 480만 대의 전 기차가 운행 중에 있었다. 이후 2021년부터는 중국과 미국에서 꾸준한 증가세를 보인다.

3.1.2 국가별 특허 출원 현황

Fig. 2는 국가별 특허 현황과 2019년을 기준으로 한 출원 비교를 나타낸다. 일본(JP)은 175건으로 가장 많으며, 주로 고분자에 도전성 필러를 첨가한 방식이 차지한다. 중국(CN)은 고분자 소재 관련 특허 비중이 높고 119건으로 두 번째로 많으며, 미국(US)은 108건, 한국(KR)은 74건, 유럽(EP)은 67건으로 확인되었다. 특히, 한국은 용접 방법을 다룬 특허가 특징적이었다.

2019년 이전에는 일본이 42%로 우위를 점했으나, 2020년 이후 중국(34%)과 미국(27%)의 출원 비율이 증가하며 주도권이 변화하였다. 이는 미국의 인플레이션 감축법(IRA) 시행과 중국 기업의 시장 점유율 확대에 따른 결과로 분석된다.^{29,30)} 일본은 초기에는

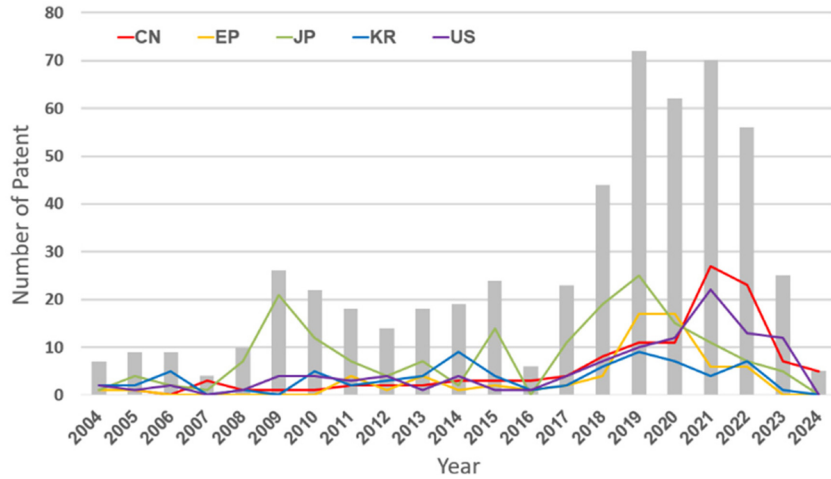


Fig. 1. Patent application status by country and year.

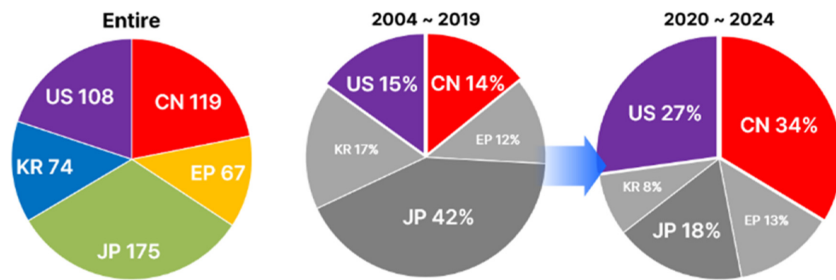


Fig. 2. Patent application status by country.

도전성 필러를 포함한 고분자 소재 응용 기술 중심으로 특허를 주도했으나, 이후 중국과 미국이 제조공정 개선 및 응용 기술 개발을 통해 연구개발(R&D)을 강화하며 특허 출원을 확대하였다. 특히, 중국은 대량 생산과 원가 절감에, 미국은 IRA 시행을 계기로 친환경·고성능 배터리 기술 개발에 집중하고 있다. 이에 따라 일본은 고성능 소재 개발에, 중국과 미국은 생산성과 효율성 향상에 주력하는 경향을 보인다.

3.1.3 출원인별 특허 출원 현황

Table 2는 출원인 대표 명화를 통해 각 기업별 특허 출원 건수를 비교한 것이다. 중국의 CATL (Contemporary Amperex Technology Co., Limited)은 55건으로 가장 많이 특허를 출원하였다. Nissan (54건)과 Sanyo Chemical (48건)은 일본 기업으로, 도전성 필러 기반 고분자 복합 집전체 관련 특허를 다수 출원하였다. 한국의 LG Chem (34건)과 U&S Energy (26건)는 각각 네 번째와 다섯 번째로 많은

Table 2. Patent application status by applicant

Company name	Number of patent applications
CATL	55
Nissan	54
Sanyo Chemical	48
LG Chem	34
U&S Energy	26
ATL	19
Prime Planet Energy & Solutions	17
LG Energy Solution	15
Samsung SDI	15

특허를 보유하고 있으며, 일본의 ATL (Amperex Technology Limited)과 Prime Planet Energy & Solutions은 각각 19건과 17건의 특허를 출원하였다. 이와 함께, 한국의 LG Energy Solution과 Samsung SDI는 각각 15건의 특허를 출원하였다.

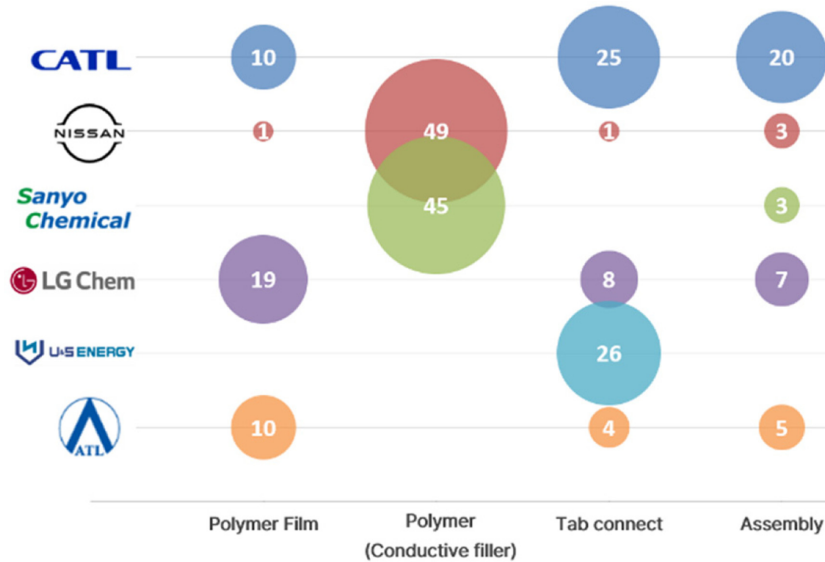


Fig. 3. Patent application status by applicant-technology.

3.1.4 출원인-기술별 특허 출원 현황

Fig. 3는 상위 6개 출원인의 기술별 특허 출원 현황을 나타낸다. 케이블형 복합 집전체를 주로 연구하는 LG Chem은 고분자 필름 소재 관련 특허를 19건 출원하여 가장 높은 비중을 차지하였다. Nissan과 Sanyo Chemical은 도전성 필러를 포함한 고분자 소재 관련 특허를 각각 49건과 45건 출원하였으며, 이들은 산화 전류 억제제를 통해 시장의 요구 사항을 해결하고자 하였다. 탭 연결 기술 분야에서는 U&S Energy가 26건으로 가장 많은 특허를 보유하고 있다. 또한, 최근 다양한 Stacking 구조 연구를 진행 중인 CATL은 탭 연결 기술뿐만 아니라 조립 공정과 관련된 특허도 20건 출원하며, 다양한 기술 분야에서 활발한 특허 출원을 이어가고 있다.

3.1.5 주요 특허 선별 기준

유효 특허 543건 중 세 가지 기준을 적용하여 66건의 주요 특허를 선별하였다. 첫째, 상위 6개 출원인의 특허 중 도전성 필러가 포함된 고분자 필름을 사용하는 기업을 선별하고, 그중 Nissan의 특허만을 분석 대상으로 포함하였다. 이는 절연층을 포함한 고분자 필름 관련 특허에 집중하기 위함이다. 둘째, 패밀리 특허 수가 4건 이상인 특허를 선별하였으며, 셋째, 시장 점유율이 높은 Samsung SDI와 LG Energy Solution의 특허를 추가하여 시장성을 고려하였다. 최종적으로 선별된 66건의 주요 특허는 ‘발명의 설명’을 포함한 내용을 검토하며 심층 분석을 진행하였다.

3.2 기술별 현황 및 추후 방향

3.2.1 고분자 소재 현황 및 추후 방향

주요 특허에서 분석된 고분자 소재로 PET (polyethylene terephthalate), PE (polyethylene), PI (polyimide), PP (polypropylene) 등이 활용되었으며, 이 중 PET가 30건으로 가장 높은 비중을 차지했다. 이어서 PE 20건, PI 19건, PP 18건 순으로 사용되었으며, 기타 소재는 총 15건에서 확인되었다.

PET는 기계적 강도, 열 안정성, 내화성 등의 우수한 특성으로 복합 집전체에서 널리 활용된다. 특히, PET 기반 전류 집전체는 못 관통 실험에서 배터리 온도 상승을 지연시켜 LIB의 신뢰성을 향상시키는 것으로 나타났다.³¹⁾ 또한, PET, PP, PI 등의 고분자에 금속층을 도금한 복합 집전체는 에너지 밀도를 증가시키며, PET 기반 다층 알루미늄 복합 집전체는 우수한 전기화학적 성능과 안전성을 제공한다.³²⁾ 하지만, PE는 PET에 비해 영률과 인장 강도가 낮아 집전체 조립 시 단점으로 작용할 수 있다. PI는 다른 고분자 소재에 비해 가격이 높으며, PP는 접착력이 부족해 활물질과의 상호작용이 원활하지 않을 가능성이 있다. 경제적 측면에서도 PET는 경쟁력이 높아 향후 복합 집전체의 주요 소재로 주목받을 것으로 예상된다.^{33,34)}

복합 집전체의 절연 필름은 주로 고분자 소재로 구성되며, 금속보다 높은 전기 저항과 낮은 전기 전도도를 갖는다. 전도성 향상을 위한 연구가 진행되고 있지만, 과도한 전도성 증가는 내부 단락 및 화재 위험을

Table 3. Patent applications for conductive fillers by year

Year	Application number
2008	JP2008-324131
2010	KR10-2013-7031070, JP(2011-503746, 2011-551693)
2015	JP(2015-067223, 2016-545477, 2016-545478)
2017	JP(2017-033631, 2017-212045)
2018	US16/756059
2019	US16/973657
2020	JP2020-215016
2021	JP2021-082564

조래할 수 있다. 이에 따라 고분자 소재 자체의 개선이 요구되며, 카본 블랙, Au 미립자, 아세틸렌 블랙 등의 도전성 필러를 포함하여 전기적 성능을 향상하는 연구가 활발히 이루어지고 있다.

특허 출원 동향을 분석한 결과, 도전성 필러를 활용한 기술이 지속적으로 발전해왔다. 2008년 특허에서는 도전성 필러를 적용한 수지층과 활물질층의 열융착을 통해 밀착성을 향상시키는 방안이 제시되었다. 2010년에는 카본 계열 필러를 활용한 도전성 수지층을 도입하여 리튬이온의 침투 및 흡착을 방지하는 기술이 개발되었다. 2015–2017년에는 아세틸렌 블랙을 적용하여 전기적 접촉 구조를 최적화하고 전지 출력 성능을 향상시키는 연구가 진행되었다. 2018년부터는 카본 필러 적용이 주목받았으며, 2019년에는 카본 필러와 아세틸렌 블랙을 복합적으로 사용하여 산화 전류 발생을 억제하는 전극 제조 방법이 제안되었다. 2020–2021년 특허에서는 도전성 입자를 포함한 수지층을 통해 집전체의 도전성을 개선하고, 전기 저항 감소 및 용량 유지율·저온 저항 특성 개선 효과가 확인되었다.

고분자 소재의 안전성을 개선하기 위한 연구로 난연성을 부여하는 접근이 제안되고 있다. PI에 TPP (triphenyl phosphate) 난연제를 첨가하여 전지의 성능과 안전성을 동시에 개선할 수 있으며, TPP는 전기적 성능 저하 없이 열적 안정성을 확보하는 데 기여하는 것으로 나타났다.³⁵⁾ 또한, HNT (halloysite nanotube)를 필러로 적용해 복합 집전체의 난연성을 강화하고 내부 단락을 방지하는 기술이 연구되었으며, 이를 통해 전지의 수명과 안전성이 향상되는 효과가 확인되었다.³⁶⁾ 이러한 연구들은 고분자 수지의 난연 성능을 향상함으로써 전지의 안전성을 확보하고 내부 단락을 방지하는 데 기여하며, 복합 집전체 기술의 발전 가능성을 제시한다. 특히, 도전성 필러와 난연 소재를 적용함으로써 전지의 내구성과 안전성을 강화할 수 있어 고성능 이차전지 개발에 기여할 것으로 기대된다.

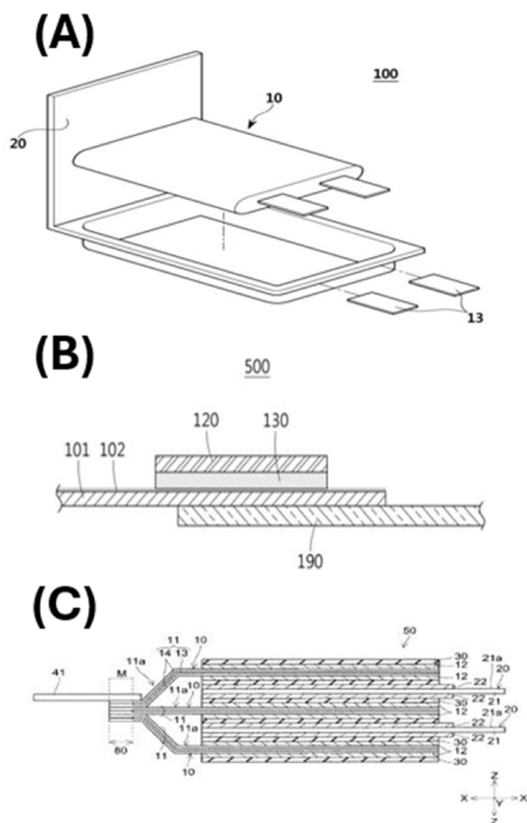


Fig. 4. Patent drawings about (A) tab extension and tabless current collector design³⁷⁾, (B) direct welding of tab onto polymer layer³⁸⁾, and (C) welding of tab onto metal layer in current collector³⁹⁾.

3.2.2 탭 연결 방식 현황 및 추후 방향

전기적 탭 연결 방식은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 집전체 몸체에서 탭을 연장하거나 탭이 없는 구조를 제공하는 탭리스 방식³⁷⁾, 둘째, 금속층 사이에 위치한 고분자 소재에 탭을 직접 용착하는 방법³⁸⁾, 셋째, 금속층에 탭을 용접하는 방법이다.³⁹⁾

본 연구에서는 금속층에 탭을 용접하는 방식 중 초음파 용접이 가장 많이 활용된 것으로 나타났다. 관련 특허는 초음파 용접 29건, 초음파·레이저 저항 병행 19건, 초음파·레이저 병행 4건, 저항 용접 3건, 초음파·저항 병행 2건 순이었으며, 레이저 용접 단독 적용 특허는 확인되지 않았다. 초음파 용접은 복합 집전체에서 전기적 탭 연결에 효과적이며, 레이저 용접보다 접합 효율성이 우수한 것으로 평가되었다.⁴⁰⁾ 또한, 기존 용접 방식의 한계를 극복하기 위해 초음파 용접과 다른 기술을 결합하는 연구가 활발히 진행되며, 향후 활용이 더욱 확대될 것으로 예상된다.

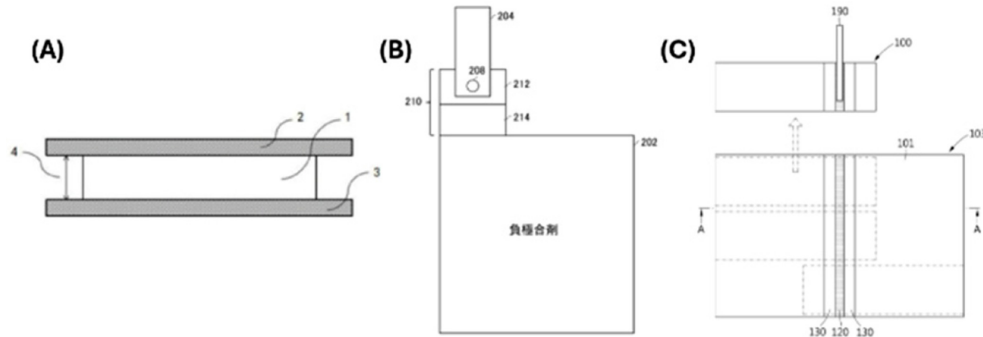


Fig. 5. Patent drawings about (A) no polymer in weld area⁴¹⁾, (B) pores in polymer layer⁴²⁾, and (C) polymer melting.⁴³⁾

Table 4. Comparative analysis of tab welding methods for polymer layers

Patent	Effect	Issue
(A) No polymer in weld area	Connects conductive layers directly	Low tensile strength
(B) Pores in polymer layer	Reduces delamination	Requires punching process
(C) Polymer melting	Connects top and bottom conductive layers	Limited polymer options

금속층과 같은 도전층에 전기적으로 탭을 용접 연결하는 특허 분석 결과, 탭을 용접하는 방식은 고분자층의 용융 여부에 따라 세 가지로 분류되었다. 각 방식은 고분자층과 도전층의 구조적 및 전기적 특성에 따라 차별화된 장단점을 가지며, 제조 공정 및 최종 제품의 신뢰성에 큰 영향을 미친다.

첫 번째 방식은 고분자 소재가 없는 용접 영역을 설정하여 탭을 용접하는 방식이다.⁴¹⁾ 이 방식은 고분자층을 관통할 필요 없이 전기적 연결이 가능하고, 고분자층이 용접에 관여하지 않아 공정이 단순하다. 그러나 도전층만 용접하여 인장 강도가 부족할 수 있어, 기계적 안정성이 중요한 환경에서는 한계가 있다. 따라서, 낮은 기계적 부하가 예상되는 응용 분야에 적합하다.

두 번째 방식은 고분자층에 기공을 생성하여 도전층을 전기적으로 연결한 후 탭을 용접하는 방식이다.⁴²⁾ 이 방식은 고분자층과 도전층 간 밀착성을 높이고 탈락 현상을 완화할 수 있는 장점이 있다. 그러나 기공을 생성하는 펀칭 공정이 추가되어 제조 공정이 복잡해지고 비용이 증가할 수 있다. 또한, 기공 내부에 도전층을 형성할 때 균일성을 확보하기 어려워 전기적 성능에 영향을 미칠 수 있다.

세 번째 방식은 고분자층을 용융시켜 도전층을 연결하는 방식이다.⁴³⁾ 고분자 필름이 녹으면서 탭이 도전층과 전기적으로 연결되어 공정 효율성을 높일 수 있다. 그러나 온도 범위가 제한되어 적합한 고분자 소재를 선택해야 하며, 열적 안정성과 용융 특성을 정밀하게 제어해야 하는 기술적 어려움이 있다.

결론적으로, 세 가지 방식은 각각 장단점이 있으며,



선택은 제품의 요구 사항에 따라 달라진다. 고분자층의 물성, 제조 공정의 용이성, 성능 균형을 고려한 설계가 중요하다. 특허 분석 결과, 이 방식들은 복합 집전체 제조에서 고분자층 역할과 용접 방식 최적화에 중요한 가능성을 제시하며, 향후 연구와 개선이 필요하다.

복합 집전체의 탭 연결에서 중요한 두 가지 요소는 용접 성능과 전기적 성능이다. Fig. 5(C)에서는 금속편 부착을 통해 용접 인장 강도를 확보할 수 있음을 확인하였다. 또한, 용접과 전기적 성능을 동시에 개선하기 위한 특허 기술들이 제안되었다. 금속층의 용융점을 단계적으로 증가시켜 접합 강도를 높이고, 외부 탭을 활용해 전기적 연결을 강화하는 기술이 개발되었다.

용접 인장 강도를 확보하기 위한 기술로 제시된 Fig. 6(A) 특허는 고분자 필름과 금속층 간 접합 특성을 개선하기 위해 고분자와의 거리 증가에 따라 금속층의 용융점을 점차적으로 증가시키는 설계를 도입하였다. 따라서, 2번 부분의 가장 바깥의 sublayer는 탭을 연결하는 금속층으로 용융점이 가장 높다. 이 설계는 접합 강도 향상, 층간 박리 방지, 용접 균일성 개선에 효과적이며, 복합 집전체의 전기적 성능과 기계적 안정성을 동시에 증진한다.

한편, 전기적 성능을 개선하기 위해 제안된 Fig. 6(B) 특허는 외부 탭을 활용한 기술로, 외부 탭과 복합 집전체 탭을 준비하고, 각 탭에 영역 탭을 설치 후 절곡하여 상하 도전층을 형성한다. 그 후 구부러진 집전체 극판을 적층하고, 3번 부분의 외부 탭을 이용

Table 5. Technological trends and strategic approaches in two sectors

	 Polymer	 Tab Connection
Current Technology	PET + Material modification	Ultrasound welding
Strategy	Addition of conductive filler & flame retardant material	Adjustment of metal layer melting point & use of external tap

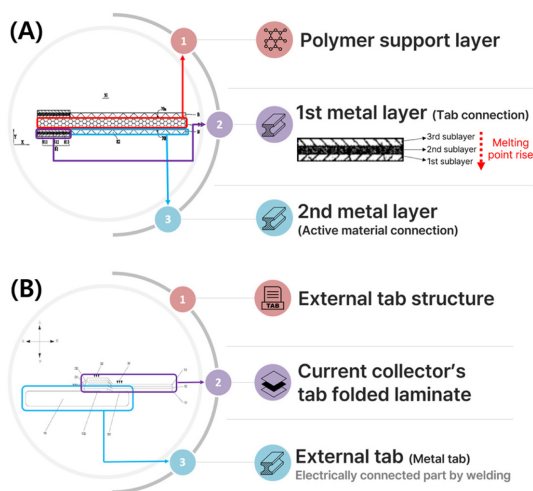


Fig. 6. Patent drawings about (A) gradual melting point design for enhanced bonding between polymer and metal layers⁴⁴⁾ and (B) improved electrical performance using external multi-layer tab connection.⁴⁵⁾

해 각 영역을 용접하여 전기적 연결을 강화한다. 이 방식은 각 탭이 밀착되어 전기적 연결의 안정성을 확보한다.

이러한 특허 기술들은 복합 집전체의 전기적 성능과 기계적 안정성을 개선하는 다양한 접근 방식을 제시하며, 고분자 필름과 금속층 접합 개선 및 외부 탭을 활용한 전기적 연결 강화는 복합 집전체의 활용 가능성을 확대하는 데 중요한 역할을 한다.

3.3 고찰

이차전지 복합 집전체 기술의 특허 출원은 2009년 일본에서 도전성 필러 관련 특허가 급증한 이후, 2018년부터 전 세계적으로 증가하여 2019년에 최고치를 기록하였다. 이후 2021년부터는 중국과 미국에서 꾸준한 증가세를 보이며, 국가별로는 일본(175건), 중국(119건), 미국(108건), 한국(74건), 유럽(67건) 순으로 나타났다. 특히, 2019년 이전에는 일본이 42%의 점유율을 보였으나, 2020년 이후 중국(34%)과 미국

(27%)의 비중이 증가하며 시장 주도권이 변화하고 있다. 주요 출원인으로는 중국의 CATL, 일본의 Nissan 및 Sanyo Chemical, 한국의 LG Chem 등이 두드러지며, 각국 기업들은 고분자 소재 개질, 탭 연결 기술 개선, 제조 공정 최적화 등을 중심으로 기술 경쟁력을 강화하고 있다.

고분자 소재 부분에서는 PET 개질이 주요 연구 방향으로 확인되었으며, Table 5에서 나타난 바와 같이 전도성 필러 및 난연 소재 첨가를 통해 기계적·전기적 특성 향상이 시도되고 있다. 또한, 탭 연결 방식에서는 초음파 용접이 가장 널리 활용되며, 높은 접합 효율성과 신뢰성을 갖춘 것으로 평가된다. 더불어, 금속층의 용점 조정 및 외부 탭 사용을 통한 접합 개선 전략이 적용되고 있어, 복합 집전체의 성능 및 제조 공정의 효율성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

4. 결론

본 연구에서는 내연기관 차량의 판매 금지와 탄소 중립 정책 추진에 따른 전동화 가속 및 전기차 시장 확대에 대응하여, 이차전지 핵심 부품인 집전체 기술의 발전 방향과 상용화 가능성을 고분자 복합 집전체 특허 동향 분석을 통해 면밀히 고찰하였다. 분석 결과, 복합 집전체는 기존 금속 집전체에 비해 원가 절감, 경량화, 에너지 밀도 증대, 안전성 향상 등에서 명확한 경쟁 우위를 보이며, 음극 및 양극박의 재료 사용 효율을 크게 개선함으로써 경제적 이점을 제공하는 것으로 확인되었다. 또한, 고분자의 낮은 밀도를 활용한 면적밀도 감소와, 화재 발생 시 고분자 필름의 용융으로 금속층을 차단하는 안전 메커니즘은 배터리 성능 및 안전성 측면에서 큰 장점을 나타낸다. 고분자 층으로 인해 이차전지 제조 공정에서 추가적인 비용 증가가 발생할 수 있으나, 이를 해결하기 위한 공정 단순화 연구는 지속적으로 진행되고 있으며 소재 자체의 원가 절감 효과가 두드러짐에 따라 고분자 복합 집전체는 더욱 주목받을 것으로 예상된다.

기술적 한계를 극복하기 위해 향후 연구에서는 다음과 같은 구체적인 개선 방향이 요구된다. 첫째, 고

분자 소재의 개질과 첨가제를 통한 전기적 성능 및 안전성 강화를 위한 연구가 필요하다. 고분자 소재의 전도성을 향상시키기 위해 카본 블랙이나 아세틸렌 블랙과 같은 도전성 필러를 첨가하는 방법이 연구되고 있다. 이와 함께, 난연 소재를 활용하여 화재 시 고분자 소재의 열적 안정성을 강화하고, 배터리의 안전성을 높일 수 있는 방안을 모색할 필요가 있다. 이러한 개선은 고분자 복합 집전체의 전반적인 성능을 향상시키는 데 중요한 역할을 하며, 특히 고온 환경에서도 안정성을 유지할 수 있도록 하는 기술적 토대를 마련할 수 있다.

둘째, 복합 집전체와 탭 연결에서 용접 성능과 전기적 성능을 동시에 개선하는 기술 개발이 필수적이다. 이를 위해 고분자 필름과 금속층 간의 접합 특성을 강화하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 금속층의 용융점을 점진적으로 증가시키는 설계가 중요한 기술로 부각되고 있다. 이러한 용융점 기울기 설계는 접합 강도를 향상시키는 데 효과적일 뿐만 아니라, 접합부의 균일성을 높여 용접 균일성을 개선하고, 층간 박리 문제를 방지하는 데 중요한 역할을 한다. 또한, 이 설계를 통해 복합 집전체의 기계적 안정성을 확보하면서도 전기적 성능을 높일 수 있는 기반을 마련할 수 있다.

셋째, 집전체의 탭 연결 방식에서도 전기적 성능을 극대화하기 위한 기술 개발이 요구된다. 이를 위해 외부 탭(외접 다층 탭)을 활용하는 방식이 제안되었으며, 각 탭에 영역 탭을 설치하고 이를 절곡하여 다층 도전층을 형성하는 기술이 개발되었다. 이 구조는 전기적 연결을 강화하는 데 중요한 역할을 하며, 상·하부 도전층이 밀착됨으로써 전기적 연결의 안정성이 크게 향상된다. 또한, 이러한 다층 구조를 통해 전류 전달 경로의 최적화가 이루어져 전반적인 전기적 성능이 극대화된다. 이 방식은 복합 집전체의 효율성과 안정성을 높이는 데 중요한 기술적 기여를 할 수 있으며, 상용화 가능성을 높일 것이다.

결론적으로, 복합 집전체의 기술적 한계를 극복하기 위한 연구는 전기적 성능과 안전성을 동시에 개선하는 방향으로 진행되어야 한다. 이와 같은 연구들은 복합 집전체의 신뢰성을 높이는 핵심 기술로 자리 잡고 있으며, 향후 이차전지 산업에서의 적용 가능성을 더욱 확대할 것으로 기대된다. 특히, 고분자 필름과 금속층 간의 접합 특성 개선, 외부 탭을 활용한 전기적 연결 강화 등의 기술적 접근은 복합 집전체의 성능을 최적화하는 중요한 요소로 작용할 것이다. 따라서, 복합 집전체 기술의 실용화를 위해서는 용접 방식의 최적화 및 전기적 연결 안정성을 확보하는 지속적인 연구개발이 필수적이며, 이를 통해 차세대 고성능 이차전지 개발을 위한 기반을 마련할 수 있을 것이다.

Acknowledgments

본 논문은 특허청이 주최한 ‘2024캠퍼스 특허 유니버시아드’ 특허전략 부문에 제출한 보고서를 재구성하였음.

References

1. P. Mock and S. Diaz, Pathways to decarbonization: the European passenger car market in the years 2021–2035, *Communications*, **49**, 847129–848102 (2021).
2. S. W. Ahn, EU's climate change responses for transport sector: Policies on electric vehicles, *J. Int. Area Stud.*, **24**(4), 209–234 (2020).
3. A. Chapman, E. Ertekin, M. Kubota, A. Nagao, K. Bertsch, A. Macadre, T. Tsuchiyama, T. Masamura, S. Takaki, R. Komoda, (...), and P. Sofronis, Achieving a carbon neutral future through advanced functional materials and technologies, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **95**(1), 73–103 (2022).
4. Y. Wang, K. Tang, K. Lai, T. Chen, and X. Wu, Optimal planning of charging stations for an electric vehicle fleet in car-sharing business, *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, **31**(11), e13098 (2021).
5. Samil PwC, *EV market 'Chasm', K-Battery Crisis and Response Strategy*, Samil PwC Management Research Institute, Seoul, Korea (2024).
6. Samil KPMG, *The electric vehicle chasm: Challenges and strategies for the automotive industry in 2024*, Samil KPMG, Seoul, Korea (2024).
7. M. Guzek, J. Jackowski, R. S. Jurecki, E. M. Szumska, P. Zdanowicz, and M. Żmuda, Electric vehicles—an overview of current issues—part 2—infrastructure and road safety, *Energies*, **17**(2), 495 (2024).
8. X. Dun, M. Wang, H. Shi, J. Xie, M. Wei, L. Dai, and S. Jiao, Composite copper foil current collectors with sandwich structure for high-energy density and safe lithium-ion batteries, *Energy Storage Mater.*, **74**, 103936 (2025).
9. S. B. Kuk, M. C. Jang, S. I. Yoon, C. H. Park, J. H. Choi, and D. H. Kang, *Sodium negative electrode and sodium secondary battery comprising the same*, KR Patent 10-2148505 B1 (2020).
10. A. Giambattista, *College Physics*, 5th ed., p. 158, Cheongmungak, Seoul (2022).
11. O. Olabisi and K. Adewale, *Handbook of Thermoplastics*, p. 453, CRC Press, Boca Raton, FL (1997).
12. L. Ying, X. Jingying, D. Yingjie, Y. Liqin, G. Rui, Y. Cheng, and Lv Taolin, Light flame-retardant current collector, preparation method thereof, electrode and battery, *CN Patent 114156486 B* (2024).
13. X. Yu, W. Liang, J. Cao, and D. Wu, Mixed rigid and flexible component design for high-performance polyimide films, *Polymers*, **9**(9), 451 (2017).
14. H. Y. Jeong, J. M. Park, and C. J. Park, Analysis of

- patent trends of electrolytic copper foil technology for secondary batteries - Focusing on additive technology of major applicants, *J. Korea Acad.-Ind. Coop. Soc.*, **25**(4), 29–40 (2024).
15. Zion Market Research, Composite current collector market size, share, trends, growth and forecast 2032, *Zion Market Research* (2024).
 16. Y.-H. Kwon, J.-Y. Kim, K.-T. Kim, H.-C. Shin, H.-M. Cho, and H.-R. Jung, Metal-coated high molecular weight current collector for cable-type secondary battery, *JP Patent 6027165 B2* (2016).
 17. J. W. Shon, S. H. Jang, W. H. Kim, N. J. Lee, S. S. Yoon, and J. H. Leen, Current collector including polymer film and method for manufacturing same, *KR Patent 10-2022-0151898 A* (2022).
 18. H. Eom, S. Lee, S. Choi, and D.-U. Han, Lithium secondary battery, *CN Patent 110622344 B* (2023).
 19. Y. Kusachi, Y. Osawa, H. Sato, H. Akama, H. Horie, T. Mori, T. Nakagawa, K. Nakano, Y. Mizuno, and Y. Emori, Lithium ion secondary battery, *JP Patent 7153463 B2* (2022).
 20. Li Jing, Li Wei, Xue Qingrui, Zhang Zige, Zhang Yang, Wang Pengxiang, Lu Yang, Positive pole piece and electrochemical device, *CN Patent 110943223 B* (2021).
 21. M. Kang, T. Park, C. Kim, and J. Kim, Laser welding characteristics of aluminum and copper sheets for lithium-ion batteries, *J. Korean Weld. Join. Soc.*, **31**(6), 58–64 (2013).
 22. H. Larsson, A. Chamberlain, S. Walin, S. Schouri, L. Nilsson, E. Myrsell, and D. Vasquez, *Welding methods for electrical connections in battery systems*, Uppsala University, Uppsala, Sweden (2019).
 23. K. J. Kim, S. H. Choi, and Y. H. Jin, Current collector for anode electrodes, *KR Patent 10-2021-0081548* (2021).
 24. S. Baazouzi, N. Feistel, J. Wanner, I. Landwehr, A. Fill, and K. P. Birke, Design, properties, and manufacturing of cylindrical Li-ion battery cells—A generic overview, *Batteries*, **9**(6), 309 (2023).
 25. J. Kurfürer, M. Westermeier, C. Tammer, and G. Reinhart, Production of large-area lithium-ion cells – Preconditioning, cell stacking and quality assurance, *CIRP Ann. Manuf. Technol.*, **61**(1), 1–4 (2012).
 26. T. B. Schön, J. Störmer, and P. Lund, Analyzing bending stresses on lithium-ion battery cathodes induced by the assembly process, *Energy Technol.*, **4**(12), 1314–1322 (2016).
 27. LG Energy Solution Battery LAB, A Better Life with Batteries – How to Make a Battery Step.2 Cell Assembly: Pouch Battery 2, *Battery Inside*, (2022).
 28. J. S. Choi, J. H. Kim, and J. H. Lee, Stack-folding type electrode assembly and method for manufacturing the same, *KR Patent 10-1710060 B1* (2017).
 29. J. Bistline, G. Blanford, M. Brown, D. Burtraw, M. Domesheck, J. Farbes, A. Fawcett, A. Hamilton, J. Jenkins, R. Jones, (...), and A. Zhao, Emissions and energy impacts of the inflation reduction act, *Science*, **380**, 1324–1327 (2023).
 30. N. Mirza, B. Naqvi, S. K. A. Rizvi, and M. Umar, Fiscal or monetary? Efficacy of regulatory regimes and energy trilemma of the inflation reduction act (IRA), *Int. Rev. Financ. Anal.*, **90**, 102821 (2023).
 31. W. Yao, Z. Zheng, G. Zhong, Y. Lin, D. Liu, J. Song, and Y. Zhu, Polyethylene terephthalate-based cathode current collectors coated by ultrathin aluminum metal layers for commercial lithium-ion batteries with high security and long-term cycling stability, *J. Alloys Compd.*, **941**, 168937 (2023).
 32. Y. Peng, X. Feng, J. Xia, Z. You, F. Zhang, Y. Chen, C. Fan, J. Hua, Y. Lian, Z. Shan, and M. Ouyang, Polymer based multi-layer Al composite current collector improves battery safety, *Chem. Eng. J.*, **491**, 151474 (2024).
 33. Mike, PET (Polyethylene Terephthalate) price index, *Business Analytiq.*, (2025).
 34. C. H. Lee, Low-cost backsheet materials with excellent resistance to chemical degradation for photovoltaic modules, *J. Korean Membr. Soc.*, **25**(3), 287–294 (2015).
 35. Y. Ye, L.-Y. Chou, Y. Liu, H. Wang, H. K. Lee, W. Huang, J. Wan, K. Liu, G. Zhou, Y. Yang, A. Yang, X. Xiao, X. Gao, D. T. Boyle, H. Chen, W. Zhang, S. C. Kim, and Y. Cui, Ultralight and fire-extinguishing current collectors for high-energy and high-safety lithium-ion batteries, *Nat. Energy*, **5**(10), 786–793 (2020).
 36. N. Li, J. Zhao, Z. Long, R. Song, Y. Cui, J. Lin, H. Xu, and Y. Huang, Metalized plastic current collectors incorporated with halloysite nanotubes toward highly safe lithium-ion batteries, *Adv. Funct. Mater.*, **34**(4), 2316582 (2024).
 37. H. Eom, T. S. Lee, S. Choi, and D.-U. Han, Lithium secondary battery, *KR Patent 10-2368088* (2022).
 38. K. J. Kim, S. H. Choi, and Y. H. Jin, Current collector for cathode electrodes, *KR Patent 10-2267393* (2021).
 39. H. Arima, Non-aqueous secondary battery, *JP Patent 5693982 B2* (2015).
 40. H. Gruhn, T. Krüger, M. Mund, M. W. Kandula, and K. Dilger, Challenges in contacting metal–polymer current collectors in pouch cells, *J. Manuf. Mater. Process.*, **7**(6), 219 (2023).
 41. L. Zhang, X. Wang, F. Wei, H. Yang, Y. Zhou, and J. Xie, A composite current collector and its preparation method and battery, *CN Patent 112234210 A* (2021).
 42. K. Kim and S. Choi, Current collector for electrode, *KR Patent 10-2158737 B1* (2020).
 43. T. Saito, Y. Takayanagi, and A. Miyakawa, Method for manufacturing collector, program, manufacturing system, collector, and battery, *JP Patent 2024-009909 A* (2024).
 44. Y. Chen, Z. Liu, and J. Wang, Positive electrode current collector, secondary battery, and power usage device, *JP Patent 7472390 B2* (2024).
 45. X. Hou, P. Sheng, R. Guo, and W. Li, Composite current collector tab welding structure, welding method and battery, *CN Patent 113708018 B* (2023).