전기 에너지 저장 로드맵 2020

서술형 보고서

2021년 2월 | 버전 1.0

DISCLAIMER:
Translations of any materials into languages other than English are intended solely as a convenience to the non-English-reading public and are not legally binding. We have attempted to provide an accurate translation of the original material in English, but due to the nuances in translating to a foreign language, slight differences may exist. This translation is supplied to you on the understanding you have accepted this disclaimer and no liability is accepted by the APC for the use of the translation by you or any other party if the translation is found to contain inaccuracies.

면책고지
영어 이외의 언어로 번역된 모든 자료는 비영어권 일반 대중의 편의를 위한 것으로 법적 구속력이 없습니다. 당사는 영어 원문의 정확한 번역을 제공하기 위해 노력했지만 외국어로 번역할 때의 뉘앙스로 인해 약간의 차이가 있을 수 있습니다. 본 번역은 귀하가 이 면책고지를 수락했다는 조건하에 귀하에게 제공되며, 본 번역에 부정확한 내용이 포함된 것으로 밝혀질 경우에도 APC는 귀하 또는 기타 모든 당사자가 본 번역을 사용한 것에 대한 책임을 지지 않습니다.

automotive council UK

ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

개요: 전기 에너지 저장

리튬 이온 배터리는 자동차 시장 성숙도를 빠르게 따라잡고 있습니다. 배터리의 공격적인 원가 절감은 자동차 산업 역사에서 혁신적인 10년을 보여주었습니다. 이러한 성숙도는 배터리와 원재료의 지속 가능하고 윤리적인 공급과 비용 효과적인 배터리 재사용, 재활용 및 폐기 방법의 모색과 같이 업계 전문가가 가장 중시하는 주제에 반영되어 있습니다.

업계 전문가의 거의 80%는 2035년쯤에 또는 그 이전에 배터리 전기차의 생산 원가가 ICE(내연 기관) 자동차의 생산 원가와 동일해질 것이라고 믿고 있습니다. 이를 달성하기 위해, 양산 차량 제조사는 공급망에 팩 수준의 에너지 밀도를 유지하면서 원가를 더욱 절감할 것을 요구하고 있습니다. 최적의 배터리 전략이나 기술은 존재하지 않습니다. 각 차량 부문에서는 엔지니어에게 다양한 속성 간의 균형을 유지하고 적절한 절충점을 결정할 것을 요구합니다. 미래의 운송 애플리케이션을 위한 다양한 연구 및 제조 옵션을 제공하는 것이 중요합니다.

2020년 로드맵은 주로 대량의 원가 민감형 애플리케이션에 중점을 두고 있으며 배터리 셀(재료 및 제조)과 배터리 모듈 및 팩이라는 두 부분으로 나누어집니다. 그러나 로드맵에서 파악된 특정 기술 테마는 고전력 또는 고성능 애플리케이션에 더 적합합니다.

셀 재료 및 제조 로드맵

- 에너지 밀도를 높이기 위한 노력은 흑연 양극재의 추가적인 발전과 고전력 애플리케이션을 위한 실리콘 또는 완전히 새로운 재료의 사용 증가에 박차를 가할 가능성이 있습니다.
- 리튬-인산철(LFP)은 지난 몇 년 동안 저가형 음극재에 적합한 재료로 재부상했으며 니켈 고함량 배터리(예: NCA, NMC, eLNO)는 더 높은 에너지 밀도와 더 빠른 충전을 지원할 수 있습니다.
- 다른 재료의 경우:
  - 전해질은 계속 진화할 것이지만, 고체상 전해질은 복잡한 제조 문제에도 불구하고 리튬 금속 양극재와 결합하면 에너지 밀도와 안전성을 한 단계 더 향상시킵니다.
  - 셀 용량이 증가함에 따라 열 관리를 위해 향상된 분리막이 필요합니다.
  - 더 얇은 호일에 대한 수요로 인해 음극재와 양극재의 기능적 통합이 발생할 수 있을 것입니다.
- 지속 가능한 제조를 위한 노력은 용매와 결합제의 감소 및 제거, 희소 물질 및 유해 화학물질 사용의 단계적 제거, 에너지 집약적인 셀 제조 공정의 감소, 폐기물 최소화 및 재료 재사용/재활용 노력 등의 여러 분야에서 진행될 것입니다.
- 지구상에서 여섯 번째로 풍부한 원소 나트륨 이온이 공급 이점이 있는 초저가 배터리 화학물질로 부상하고 있습니다.

이 보고서의 끝에 전체 용어 해설이 나와 있습니다.

개요: 전기 에너지 저장

배터리 모듈 및 팩 로드맵

- 리튬 이온 셀의 확산으로 제조사는 다양한 셀 형식을 통합하고 있습니다. 원통형, 파우치형 및 각형과 같은 세 가지 주요 형식이 있습니다. 각각 고유한 장점이 있어 아직은 확실한 승자를 예측하기 어렵습니다. 새로운 화학물질에 최적화된 새로운 셀 형식도 등장할 가능성이 있습니다.
- 배전 시스템 내에서, 배터리 관리 시스템 소프트웨어는 더욱 정교해져 성능과 상태를 개선할 뿐만 아니라 배터리 재활용 결정을 최적화할 것입니다. 차량 아키텍처에 더 높은 전압이 채택됨에 따라, 버스 바 및 커넥터/컨택터를 개선할 필요가 있을 것입니다.
- 고전력 애플리케이션과 고속 충전으로 인해 열 관리가 더욱 중요해지고 있습니다. 새로운 수동 및 능동 냉각 전략을 포함하여 배터리를 최적의 작동 온도로 유지하는 새로운 방법이 필요합니다.
- 추가 경량화 및 셀 대 팩 비율 증가 외에도, 통합 열 관리 시스템을 사용하고 차량 전체에 분산될 수 있는 주요 구조 요소로서 배터리 팩과 차량의 나머지 부분 간의 통합이 증가할 것입니다.
- 넷제로(net-zero) CO_2 배출과 수명주기에 대한 법적 압력에 대응하려면 다음과 같은 다방면의 노력이 필요합니다.
  - 추적성 향상, 배터리 상태 모니터링 및 배터리 패스포트 생성으로 성능 향상 및 추가적인 재사용 기회 제공
  - 이차 수명을 가능하게 하는 배터리 팩 설계 - 특히 열화율의 더 완전한 이해 및 자동화 도구를 사용하여 배터리 셀을 팩에서 추출. 이는 폴리머 및 혼합 재료의 통합 및 사용의 증가로 인해 특히 어렵습니다.
  - 탈탄소 제조 – 모듈 및 팩 조립은 셀 제조에 비해 비교적 적은 에너지를 소비하는 공정이므로 넷제로의 초기 후보입니다.

서문 및 감사의 말

APC는 이 로드맵을 개발하고 발표하는 데 업계와 학계가 광범위한 지원을 제공한 것에 대해 감사를 드리고자 합니다.

제품 및 기술 로드맵의 갱신을 의뢰하고 지속적인 지원을 제공해주신 영국자동차협회에 감사드립니다.

이 작업은 BEIS(기업, 에너지 및 산업 전략부)로부터 상당한 지원을 받았습니다.

네빌 잭슨(Neville Jackson)
소속 기관:
영국자동차협회(UK Automotive Council)

첨단 추진 기관 센터(Advanced Propulsion Centre)가 업계와 긴밀히 협력하여 개발한 2020년 자동차 추진 기술 로드맵을 공유하게 되어 기쁩니다. 이러한 로드맵은 중요한 미래 목표를 정의하고, 미래에 탈탄소화되고 지속 가능성이 향상된 차량 사용을 달성하기 위한 가장 유망한 대안을 정의합니다. 이러한 로드맵은 특히 협업 혁신과 관련된 집중적 R&D 과제를 개발하는 데 필수적인 도구입니다.

로드맵은 영국자동차협회(UK Automotive Council)의 로드맵 원안에 기반해 있고 2017년 APC에 의해 더욱 발전되었습니다. 이들은 영국의 2050년 넷제로(net-zero) 달성 목표로 전환하는 것의 시급함을 반영하기 위해서 갱신되어 왔습니다. 추진 기술의 변화 속도는 최근 몇 년 동안 더욱 빨라졌습니다. 전기차가 늘어나고 배터리 가격이 이전에 예상했던 것보다 더 빨리 하락했으며, 연료 전지와 같은 대체 배출 제로 기술이 상당한 속도로 성숙하고 있어 수소를 포함한 연소용 청정 연료가 기존 화석 연료를 대체하기 위해 등장하고 있습니다.

그러나 변화 속도가 더 빨라져야 하므로 극복해야 할 문제가 상당히 많아, 더 집약적인 R&D가 필요하고 소비자에게 훨씬 더 매력적인 적절한 가격의 제품을 출시하는 상업화가 필요합니다. 2020년 기술 로드맵은 업계 전문가 설문조사 및 패널이 개발했으며 미래의 자동차 추진 목표, 기술 및 시간 척도에 대한 압축된 견해를 제공합니다.

이 보고서의 목표는 세계적 수준의 솔루션을 가속화하고 제공하기 위해 통찰력에 기반하고 공통 기술에 초점을 맞춰 자동차 부문을 지원하는 것입니다. 로드맵은 미래의 이동성 문제, 상품 운송 및 비포장도로용 차량의 연구 및 개발에 대응하기 위한 협업적 R&D 기회를 구축하는 데 중요한 정보 출처입니다.

데이빗 그린우드(David Greenwood) 교수

WMG,

WMG,

배터리 기술은 배터리 전기차에만 사용되든 엔진 또는 연료 전지와 함께 사용되든 운송의 탈탄소화의 핵심입니다. 또한 운송 전동화의 속도를 설정하는 독특한 구성 요소입니다. 지난 10년 동안 원가가 급격히 감소했고 에너지 밀도가 크게 증가함에 따라, 대부분의 차량 부문에서 전기차는 실용적이고 적절한 가격으로 구매할 수 있는 대안으로 자리잡았습니다.

동시에 영국은 배터리 개발에 훨씬 더 적극적이었고 기가 팩토리 규모의 생산 계획을 갖고 있으며, 공급망 업체는 중요 구성 부품 및 재료를 공급하기 위한 준비를 차근차근 진행하고 있습니다.

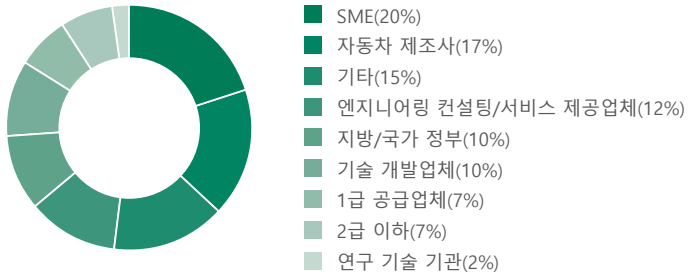
기술의 진보, 제조 혁신 및 규모의 경제를 통해 개선이 이루어졌습니다. 이러한 요소 모두는 빠르게 증가하고 있고 이전에 보았던 것보다 훨씬 더 복잡한 환경으로 이어지고 있습니다.

결과적으로, 2020 EES 기술 로드맵은 이러한 요구를 충족하고 목적에 적합한 원가 및 성능을 제공할 수 있는 운송 및 기술 솔루션을 위한 배터리 애플리케이션 수의 증가라는 고유한 요구 사항을 고려할 때 2017년 버전보다 훨씬 더 상세합니다. 이는 미래에 대한 더 복잡한 시각을 제공하지만 이전 로드맵보다 더 내실있을 뿐만 아니라 더 중요한 요소를 대상으로 합니다. 이 로드맵이 의사 결정자에게 더 큰 정확성을 제공하기를 바랍니다.

2020년 업계 전문가 온라인 설문조사에서 얻은 통찰

해결해야 하는 주요 과제는 아시아로부터의 원재료 공급에 대한 높은 의존도, 수명을 다한 배터리의 책임감 있는 생태학적 폐기, 급증하는 수요입니다.

다양한 업계 전문가가 2020년 9월에 실시한 온라인 기술 설문조사에 응답했습니다.



전문가의 3개 주요 주제

1 지속 가능하고 윤리적이며 상업적으로 경쟁력있는 배터리 공급

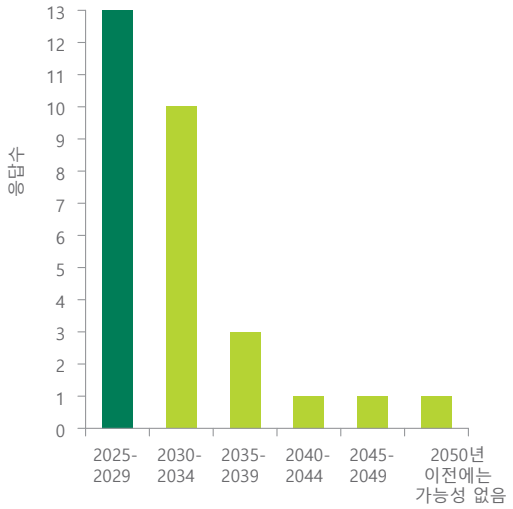
2 재사용 애플리케이션 증가, 효율적인 재활용 및 수명 종료 배터리의 생태학적으로 책임있는 폐기

3 환경 친화적이고 LCA에 초점을 맞춘 원재료 추출 및 정제

언제 BEV와 ICE 차량 간의 코스트 패리티에 도달할까요?

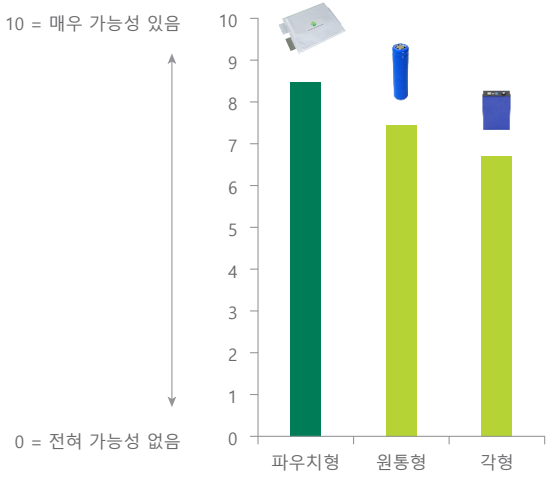
전문가의 거의 80%는 2035년쯤에 배터리 전기차의 생산 원가가 ICE(내연 기관) 자동차의 생산 원가와 동일해질 것이라고 믿고 있습니다.

주의: 2025년까지 배터리 팩 원가가 $100/kWh에 도달할 것으로 예상됨에 따라, BEV와 ICE 차량 간의 코스트 패리티가 훨씬 더 일찍 달성될 수 있을 것입니다.



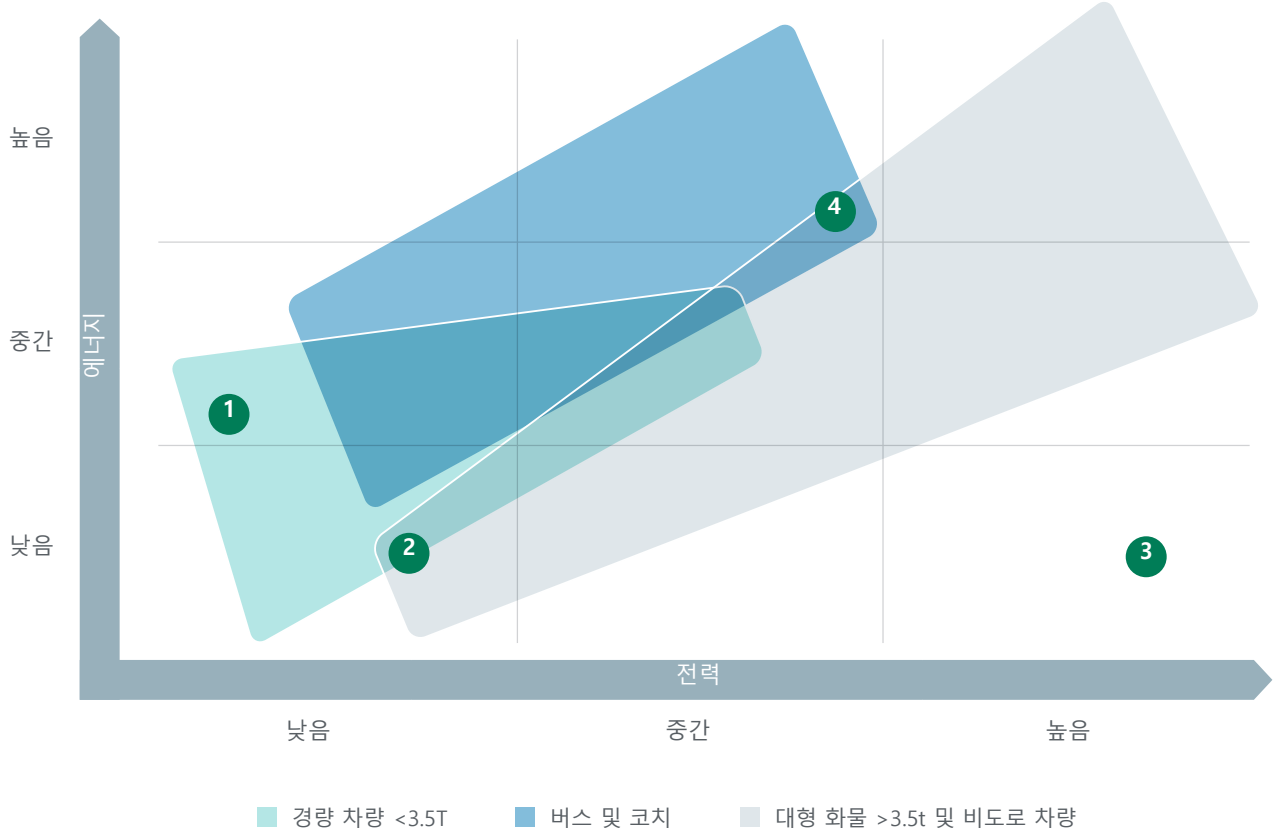
장기적으로, 어떤 셀 형식이 EV 배터리 시장을 장악할까요?

각각의 강점과 이점 및 관련 공급망 의존성이 있기 때문에 셀 형식 분야의 확실한 승자는 없습니다.



애플리케이션 전반의 에너지 전력 스펙트럼

추진 시스템은 사용 사례 및 듀티 사이클에 따라 특정 전력 및 에너지 요구사항에 맞게 조정됩니다.
아래 그래프는 주요 대량 시장 제품의 개요를 보여줍니다.



2020 로드맵은 (1) 에너지 중심적 원가 민감형 지표에 대한 값을 제공합니다. 다른 값은 KTN 교차 부문 배터리 시스템 혁신 네트워크 (KTN Cross-sector Battery Systems(CSBS) Innovation Network)에서 제공한 값입니다.

1 에너지 중심형 원가 민감형
핵심 전략 동인은 에너지 밀도 수준을 유지하거나 개선하면서 팩 수준 원가를 낮추고 연속적 충전 수입성을 개선하는 것입니다. 속성 요구사항을 충족하려면 대용량과 더 빠른 충전이 필요하기 때문입니다.

2 전력 중심형 원가 민감형
이 클러스터의 핵심 전략 동인은 과도 전력을 적은 비용으로 처리하는 것입니다. 해당 애플리케이션은 추가로 비용을 들이지 않고 전력 및 에너지 밀도 증가의 이점을 얻을 수 있을 것입니다.

3 전력 중심형 중량 민감형
이 클러스터의 핵심 전략 동인은 중량 영향을 최소화하고 다양한 에너지 밀도 요구사항을 충족하는 전력 처리입니다. 원가는 양산 자동차보다 더 적게 고려됩니다.

4 에너지 중심형, 중량 및 전력 민감형
핵심 전략 동인은 중량 측정 에너지 밀도를 향상시키고, 주행 가능 거리 증가 또는 차량 중량 감소를 통한 반복성 향상 성능을 위해 향상된 연속 방전 전력 밀도를 달성하는 것입니다.

automotive council UK
ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

에너지 중심형 원가 민감형 애플리케이션의 기술 지표

대량 시장의 경쟁 환경에서 산업이 달성할 가능성이 있는 기술 지표. 모든 원가 및 성능 지표는 그 규모가 매우 크지만 동일한 기술과 관련되어 있습니다.

		2020	2025	2030	2035
셀 지표	과도 방전 전력 밀도(W/kg)	1100	1180	1260	1340
	중량 측정 셀 에너지 밀도(Wh/kg)	280	300	320	340
	체적 측정 셀 에너지 밀도(Wh/l)	720	770	850	900
	셀 원가($/kWh)	85	70	58	48

		2020	2025	2030	2035
팩 지표	과도 방전 전력 밀도(W/kg)	715	825	945	1070
	충전 수입성(연속 방전율)	1.5	2.5	3.5	4
	중량 측정 팩 에너지 밀도(Wh/kg)	185	210	240	275
	체적 측정 팩 에너지 밀도(Wh/l)	470	540	640	720
	팩 원가($/kWh)	125	97	77	63

참고:

- 셀 및 팩 혁신 모두에 동일한 가중치를 부여하는 두 개의 로드맵을 작성했습니다. 이는 미래 성과 지표를 달성하기 위해 두 가지 모두의 발전이 필요하다는 것을 반영합니다.
- 이 지표는 워윅 제조 그룹(Warwick Manufacturing Group: WMG)과 KTN 교차 부문 배터리 시스템 혁신 네트워크(KTN Cross-sector Battery Systems(CSBS) Innovation Network)의 일부인 패러데이 배터리 챌린지(Faraday Battery Challenge)가 개발한[1] **에너지 중심형 원가 민감형** 범주와 연계되어 있습니다.
- CSBS 혁신 네트워크 목표의 최저 원가가 이 로드맵용으로 채택되었습니다. 이는 이 기술이 낮은 원가에 우선순위를 둔다는 것을 강조하기 위한 것입니다.
- 에너지 및 전력 밀도의 추정 셀 대 팩 비율은 다음과 같습니다. 2020년 65%, 2025년 70%, 2030년 75%, 2035년 80%.
- 방전율(C-rate)은 특히 비용 효과적인 화학 물질이 향후 더 빠른 충전 속도를 수용할 것으로 예상된다는 것을 반영하기 위해 올해 추가되었습니다.
- 특정 제품 애플리케이션의 경우, 에너지 전력 맵의 1페이지를 참조하고 KTN CSBS 혁신 네트워크 목표에 대한 관련 지표를 찾아야 합니다.

기술 지표

2020년에는 기술 지표가 로드맵의 목표를 대체하여 전진 방향과 이 기술에 대한 동급 최고의 성능을 측정하는 접근 방식을 제공합니다.

기술 지표는 원가 및 성능의 모든 분야에서 동일한 기술을 가리킵니다.

에너지 중심형 원가 민감형 애플리케이션의 기술 지표

대량 시장의 경쟁 환경에서 산업이 달성할 가능성이 있는 기술 지표. 모든 원가 및 성능 지표는 그 규모가 매우 크지만 동일한 기술과 관련되어 있습니다.

		2020	2025	2030	2035
셀 지표	과도 방전 전력 밀도(W/kg)	1100	1180	1260	1340
	중량 측정 셀 에너지 밀도 (Wh/kg)	280	300	320	340
	체적 측정 셀 에너지 밀도 (Wh/l)	720	770	850	900
	셀 원가($/kWh)	85	70	58	48

		2020	2025	2030	2035
팩 지표	과도 방전 전력 밀도(W/kg)	715	825	945	1070
	충전 수입성(연속 방전율)	1.5	2.5	3.5	4
	중량 측정 팩 에너지 밀도 (Wh/kg)	185	210	240	275
	체적 측정 팩 에너지 밀도 (Wh/l)	470	540	640	720
	팩 원가($/kWh)	125	97	77	63

과도 전력 밀도는 셀이 끌어낼 수 있는 최대 전력을 나타냅니다. 이 로드맵의 목적상 '과도'는 <10초 25°C 및 50% SoC로 정의됩니다.

방전율은 배터리 팩의 충방전 속도의 척도입니다. 2035의 4C 레이팅은 배터리 팩이 15분 안에 완전히 충전될 것으로 예상된다는 것을 의미합니다.

에너지 밀도는 셀과 팩 모두에 적용되며 체적 및 중량으로 측정됩니다. 에너지 밀도는 배터리 팩이 차지하는 공간과 배터리 팩의 중량을 결정합니다.

이러한 목표를 달성하기 위한 **원가**는 셀 및 팩의 OEM 구입 가격을 나타냅니다. 에너지 중심의 원가 민감형 애플리케이션의 경우 원가가 매우 중요합니다.

셀 재료 및 제조 로드맵

2020-2035년의 기술 지표는 2페이지에 나와 있습니다.

automotive council UK

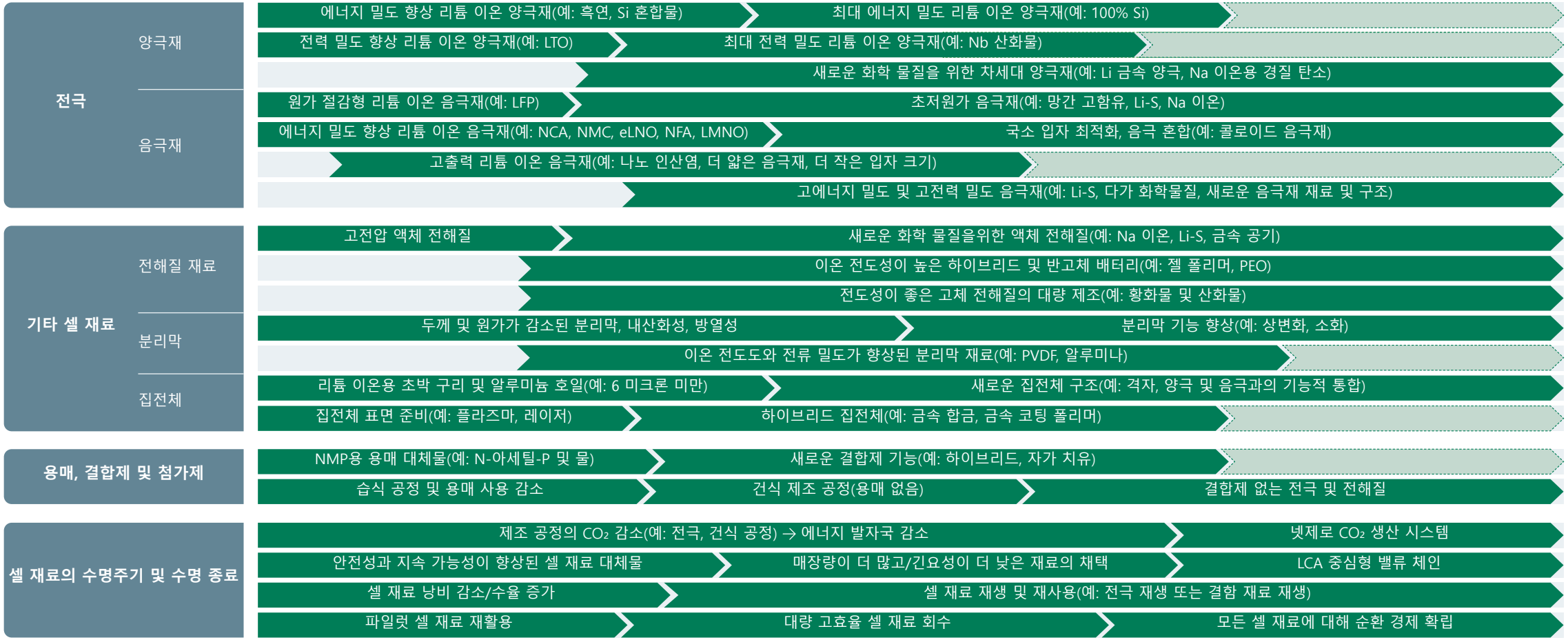
ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

이 로드맵은 대량 시장에 채택될 것으로 예상되는 글로벌 자동차 산업 추진 기술을 시간순으로 요약한 것입니다. 특정 애플리케이션 맞춤형 기술은 지역마다 다를 것입니다.

진한 막대: 기술이 대량 시장에 적용되어 있습니다. 이 기간 동안 상당한 혁신이 예상됩니다.

전환: 전환은 시장에서 단계적으로 퇴출되는 것을 뜻하는 것이 아니라 R&D 강조점의 변화를 뜻합니다.

점선 막대: 시장 성숙 – 기술이 성숙 단계에 도달했습니다. 대체되는 분야에서 점차 사라질 때까지 대중 시장에 남아 있을 가능성이 있습니다.



기본적 기술 테마

전극
- 양극재
- 음극재

전극

고에너지 및 고전력 애플리케이션용 리튬 이온 기반 **양극재**는 이 섹션에서 자세히 설명합니다. 중기적으로, 새로운 화학물질용 양극재와 고성능 전이 금속 양극재가 시장에 출시될 것으로 예상됩니다.

음극재는 배터리 셀에서 가장 높은 원가를 차지하고 있어 R&D는 이에 중점을 맞춰 왔습니다. 저비용, 고에너지 및 고전력 리튬 이온 음극재를 위한 혁신 경로와 리튬 이온을 뛰어 넘는 차세대 음극재가 이 보고서에서 자세히 설명되어 있습니다.

기타 셀 재료
- 전해질 재료
- 분리막
- 집전체

기타 셀 재료

전해질은 리튬 이온을 전극 간을 왕복하도록 하기 위해 필요합니다. 액체 전해질은 향상된 리튬 이온 화학물질과 함께 작용하도록 점진적으로 개선되고 있습니다. 리튬 금속 양극재와 결합하면 에너지 밀도와 안전성을 모두 향상시키지만 복잡한 제조 문제를 제기하는 고체 및 반고체 전해질 분야에서도 한 단계 높은 혁신이 이루어지고 있습니다.

분리막은 전기 전도성이없는 우수한 절연체여야 합니다. 분리막이 점점 더 얇아지고 더 높은 전류 밀도를 처리함에 따라 새로운 분리막 재료와 코팅이 필요합니다.

집전체는 일반적으로 알루미늄 또는 구리 호일로 만듭니다. 새로운 제조 공정이 등장하고 전극과 집전체 사이의 기능적 통합이 진행됨에 따라 셀 제조사는 더 얇은 호일을 요구하고 있습니다.

용매, 결합제 및 첨가제

용매, 결합제 및 첨가제는 활성 물질의 전도성 또는 접착 특성을 향상시킵니다. 용매, 결합제 및 첨가제의 사용이 감소하여 배터리의 원가와 환경적 성능이 모두 향상될 것으로 예상됩니다.

셀 재료의 수명주기 및 수명 종료

수명주기에는 배터리 셀 및 재료 공급망의 탄소 집약도, 환경 영향, 자원 소비 및 재활용 가능성이 포함됩니다. 이러한 모든 요소를 개선해야만 전기차가 진정으로 지속 가능한 솔루션이 될 수 있습니다.

전극 개발

흑연이 추가적으로 발전될 여지는 있지만, 셀 에너지 밀도를 높이기 위해 실리콘이 점점 더 많이 통합될 것으로 예상됩니다. 최고 전력 애플리케이션을 위한 몇 가지 유망한 새로운 양극재 재료가 있습니다.

- 전극
  - 양극재
  - 음극재
- 기타 셀 재료
  - 전해질 재료
  - 분리막
  - 집전체
- 용매, 결합제 및 첨가제
- 셀 재료의 수명주기 및 수명 종료

1. 에너지 밀도 향상 리튬 이온 양극재(예: 흑연, Si 혼합물) → 최대 에너지 밀도 리튬 이온 양극재(예: 100% Si)
2. 전력 밀도 향상 리튬 이온 양극재(예: LTO) → 최대 전력 밀도 리튬 이온 양극재(예: Nb 산화물)
3. 새로운 화학 물질을 위한 차세대 양극재(예: Li 금속 양극, Na 이온용 경질 탄소)

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

1 셀 에너지 밀도 향상

비용 효과적이고 에너지 밀도가 높은 셀의 경우, 안정성과 낮은 원가로 인해 흑연이 지배적인 양극재 재료로 남을 것입니다. 현재 추세는 수명과 안정성을 향상시키기 위해 더 많은 합성 흑연과 천연 흑연을 혼합하는 것입니다. 기타 제조 혁신에는 입자 크기를 줄이고 구리 호일에 입자를 균일하게 분산시켜 셀 용량을 늘리는 것이 포함됩니다.

에너지 밀도를 높이는 또 다른 방법은 흑연과 함께 실리콘을 도입하는 것입니다. 3~5% 실리콘 양극재는 이미 보편적으로 사용되고, 30% 실리콘 양극재가 향후 5년 내에 시장에 출시될 것으로 예상됩니다.

장기적으로, 기존 리튬 이온 셀의 에너지 밀도를 극대화하기 위해 100% 실리콘 양극재가 상용화될 수 있을 것입니다. 지금까지 실리콘 사용의 문제는 충전 시 실리콘 크기가 최대 3배로 팽창되어 배터리 셀이 부풀어 오르고 용량이 줄어들 수 있다는 것입니다. 이를 방지하기 위해 업계에서 많은 방법을 시도하고 있습니다. 예를 들어 ' 그래픽 쉘"을 사용해 실리콘 입자를 감쌉니다. 이것은 팽창을 최소화하고 사이클링을 개선하지만 원가를 높일 수 있습니다. 따라서 이 접근 방식은 높은 에너지 밀도가 최우선순위인 애플리케이션에 적합할 수 있습니다.

2 전력 밀도 증가

흑연의 지배적 사용과 실리콘 기반 양극재의 출현에도 불구하고, 고전력 애플리케이션은 일반적으로 버스, 모터 스포츠 및 일부 고전력 하이브리드 차량에서 사용되는 리튬 티탄 산화물(LTO)을 포함한 다양한 양극재 재료를 여전히 사용합니다. LTO의 이점은 고속 충방전 기능, 향상된 온도 성능 및 향상된 안전성입니다.

중기적으로, 다른 유망한 고전력 양극재 재료에는 니오븀 기반 양극재가 있습니다. 니오븀 기반 양극재는 원가를 크게 높이지 않고 더 높은 전압과 전력 밀도를 제공할 수 있을 것입니다. 니오븀 기반 양극재는 현재 개발 후기 단계에 있고 많은 기업이 상용화에 근접해 있습니다.

3 차세대 양극재 재료

차세대 양극재에는 새로운 음극재 재료 및 전해질과 함께 작용하도록 개발된 새로운 개념과 양극재 모두가 포함될 수 있습니다. 이러한 양극재는 향후 7~10년 내에 시장에 본격적으로 출시될 것입니다.

한 가지 새로운 양극재는 리튬 금속으로, 용량과 셀 구조를 한 단계 더 향상시킵니다. 그러나 리튬 금속을 비용 효과적으로 생산하고 적절한 배터리 수명을 보장하기 위해 수지상 성장을 줄이는 것이 중요한 해결 과제입니다.

다른 가능한 대안은 새로운 셀 화학물질을 가능하게 하는 양극재 재료입니다. 예를 들어, 나트륨 이온 배터리는 자동차 산업에서 경쟁력을 갖추기 위해 경질 탄소나 안티몬과 같은 새로운 양극재 기술이 필요합니다.

전극

고전력 음극재는 새로운 셀 설계를 통해 구현할 수 있고, LFP 음극재의 조성 변경 및 새로운 재료가 원가 절감에 도움이 될 것입니다.

로드맵 2020

셀 재료 및 제조 로드맵

전극

- 양극재
- 음극재

1 원가 절감형 리튬 이온 음극재(예: LFP) → 초저원가 음극재(예: 망간 고함유, Li-S, Na 이온)

2 에너지 밀도 향장 리튬 이온 음극재(예: NCA, NMC, eLNO, NFA, LMNO) → 국소 입자 최적화, 음극 혼합(예: 콜로이드 음극재)

고출력 리튬 이온 음극재(예: 나노 인산염, 더 얇은 음극재, 더 작은 입자 크기)

고에너지 밀도 및 고전력 밀도 음극재(예: Li-S, 다가 화학물질, 새로운 음극재 재료 및 구조)

기타 셀 재료

- 전해질 재료
- 분리막
- 집전체

용매, 결합제 및 첨가제

셀 재료의 수명주기 및 수명 종료

2020 2025 2030 2035 2040 ...

1

저비용 음극재

일부 대량 자동차 애플리케이션의 경우 고순도 니켈 및 코발트를 제거하여 음극재 원가를 줄이는 것이 유망한 대안으로 간주됩니다. 현재 LFP와 같은 음극재가 사용되고 있고, 향후 2~3년 내에 일부 셀 제조사는 LFP에 망간을 추가하여 원가를 높이지 않고도 에너지 밀도를 높일 것입니다.

유럽 및 기타 시장에서는 LFP/LFMP와 함께 기타 초저가 양극재 재료가 시장에 진입할 것으로 예상됩니다. 이러한 재료에는 코발트를 제거하고 니켈 함량을 대폭 감소시키며 망간이 풍부한 NMC가 포함됩니다

중기적으로는 Li-S 및 나트륨 이온 기반 음극재와 같은 다른 비용 효과적인 음극재 재료가 채택될 가능성이 있습니다. 나트륨이 리튬보다 저렴하고 구리 대신에 알루미늄 집전체를 양극재에 사용할 수 있기 때문에 나트륨은 고속 충전 능력을 갖춘 유망한 저비용 양극재 재료 중 하나입니다.

그러나 원가 절감을 위해서는 성능 보완이 필요합니다. 현재 나트륨 이온 배터리는 기존 리튬 이온 배터리보다 3배 더 무겁고 수명이 짧습니다. 그러나 고정형 에너지 저장 장치 부문에서, 나트륨 이온 배터리는 이미 납산 배터리와 경쟁하고 있습니다. 나트륨 이온 배터리는 주행 가능 거리가 제한적이고 더 빠른 충전 속도가 필요한 더 작은 도시형 차량에 먼저 채택될 가능성이 있습니다.

2

고에너지 음극재

NMC와 NCA는 자동차 산업에서 주로 사용되는 에너지 밀도가 높은 리튬 이온 양극재 재료입니다. 두 음극재 화학물질과 관련하여 니켈 고함량 혼합물로 전환하여 에너지 밀도를 높이는 추세입니다.

NMC의 경우 NMC811 또는 NMC9.5.5로 전환되는 추세입니다. 마찬가지로 NCA는 7% 코발트에서 3% 코발트로 전화하고 있고, 파나소닉(Panasonic)은 2025년까지 코발트 없는 음극재로 전환하는 것을 목표로 하고 있습니다. 다른 고에너지 밀도 음극재도 향후 몇 년 내의 상업적 출시를 목표로 개발되고 있습니다. 예를 들어 존슨 매티(Johnson Matthey)는 eLNO 공급 계획을 가속화했고 닛산(Nissan)은 Ni-Fe-Al 음극재를 연구하고 있습니다.

에너지 밀도가 높은 리튬 이온 음극재의 개선을 지속하려면 재료의 성능을 향상시키기 위한 혁신적인 구조와 제조 방법이 필요합니다. 국부적인 입자 최적화 및 다양한 음극재 재료의 혼합으로 에너지 밀도를 크게 향상시킬 수 있을 것입니다.

전극

많은 기업들이 에너지 밀도가 높은 양극재 재료를 개발하고, 혼합물을 조정하고, 새로운 재료를 평가하고 있습니다. 리튬 황은 에너지 밀도를 한 단계 더 향상시키고 장기적으로 점점 더 많이 사용될 것입니다.

로드맵 2020

셀 재료 및 제조 로드맵

전극

양극재

음극재

- 원가 절감형 리튬 이온 음극재(예: LFP) → 초저원가 음극재(예: 망간 고함유, Li-S, Na 이온)
- 에너지 밀도 향장 리튬 이온 음극재(예: NCA, NMC, eLNO, NFA, LMNO) → 국소 입자 최적화, 음극 혼합(예: 콜로이드 음극재)
- 3 고출력 리튬 이온 음극재(예: 나노 인산염, 더 얇은 음극재, 더 작은 입자 크기)
- 4 고에너지 밀도 및 고전력 밀도 음극재(예: Li-S, 다가 화학물질, 새로운 음극재 재료 및 구조)

기타 셀 재료

전해질 재료

분리막

집전체

용매, 결합제 및 첨가제

셀 재료의 수명주기 및 수명 종료

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

3

고전력 음극재

전력 밀도가 높은 리튬 이온 음극재는 에너지 밀도가 높은 음극재와 동일한 재료를 사용하지만 셀 설계에 더 많이 중점을 둡니다. 코팅 중량을 낮추고, 면적 용량을 줄이고, 활성 입자 크기를 줄이고 음극재 다공성을 높여 전력 밀도를 높일 수 있습니다. 고전력 음극재는 에너지 밀도가 높은 음극에 비해 심하게 캘린더링되는 경향이 있습니다.

나노 인산염으로 알려진 향상된 유형의 LFP는 열 안정성을 향상시키고 배터리 수명을 연장시키며 최대 35C를 달성하도록 맞춤화되었습니다. 이러한 유형의 화학물질은 높은 방전율을 중시하는 버스 시장과 모터 스포츠 부문에서 시장을 발견했습니다.

4

차세대 음극재

더 높은 전력 밀도와 더 높은 에너지 밀도를 모두 달성하려면 새로운 음극재가 필요합니다. Li-S 배터리는 원가를 낮추고 에너지 밀도를 한 단계 더 향상시킬 수 있는 잠재력을 제공합니다. 초기에는 소형 우주 항공 애플리케이션에서 사용되고 나중에는 자동차 애플리케이션으로 전환할 것입니다. Li-S는 초기에 경량 및 고에너지 밀도가 필수적인 고성능 승용차, 이층 버스 및 대형화물 차량 등의 차종에 채택될 수 있을 것입니다.

다른 유망한 차세대 음극재에는 다가 배터리(예: Mg 및 Ca 이온), 황 및 불소인산염 기반 음극재가 포함됩니다. 이러한 재료는 에너지 밀도, 수명 및 전력 밀도를 크게 향상시킵니다. 이러한 화학물질이 자동차 애플리케이션 용도로 상용화될지 확실하지 않지만, 재료 과학 및 파일럿 제조 분야에서 지속적인 R&D가 이루어질 가능성은 충분합니다.

기타 셀 재료

기존 전해질은 리튬 이온 화학물질용으로 계속 점진적으로 진화하는 반면, 새로운 전해질은 다른 셀 화학물질용으로 맞춤화되어야 합니다. 고체 및 반고체 전해질은 에너지 밀도와 안전성 모두를 한 단계 더 향상시키지만 복잡한 제조 문제를 제기합니다.

로드맵 2020

셀 재료 및 제조 로드맵

전극

양극재

음극재

1 액체 전해질

화학적 조성의 점진적인 개선을 통해 액체 전해질은 양극재 재료 및 음극재 재료의 개선과 함께 진화할 수 있었습니다. 더 높은 전압을 견딜 수 있고 에너지 밀도가 높은 전극의 빠른 충전을 견딜 수 있는 전해질이 주요 연구 대상이었습니다. 최근의 혁신은 이온 전도도를 개선하고 전극의 고체 전해질 계면의 두께를 줄이는 리튬염, 용매 및 첨가제를 결합하는 데 초점을 맞추 었습니다.

NMC 및 NCA 기반 음극재의 니켈 함량이 높아지고 양극재의 실리콘 함량이 높아질수록 기존 전해질 용액이 더 빨리 열화될 수 있습니다. 솔베이(Solvay)와 같은 업체에서 제공하는 잠재적 솔루션은 더 높은 전압에서 작용할 수 있고 수명이 더 길어진 불화 액체 전해질입니다. 더 높은 원가로 인해, 불화 전해질이 더 높은 셀 원가를 견딜 수 있는 애플리케이션에 도입될 가능성이 높습니다. 나트륨 이온, Li-S, 다가 화학물질 및 금속-공기 배터리를 위한 새로운 전극 재료는 모두 특성에 맞는 전해질을 필요로 합니다.

기타 셀 재료

전해질 재료

분리막

집전체

용매, 결합제 및 첨가제

셀 재료의 수명주기 및 수명 종료

1 고전압 액체 전해질 — 새로운 화학 물질을위한 액체 전해질(예: Na 이온, Li-S, 금속 공기)

2 이온 전도성이 높은 하이브리드 및 반고체 배터리(예: 젤 폴리머, PEO)

3 전도성이 좋은 고체 전해질의 대량 제조(예: 황화물 및 산화물)

2 하이브리드 고체 전해질

하이브리드 고체 전해질은 고체 및 액체 물질을 모두 포함하고 있고, 액체 전해질에 비해 셀 성능을 향상시키면서 안전성이 향상된 배터리를 제공할 수도 있는 실용적인 절충안을 제공합니다. 일반적으로는 폴리머 및 무기 전해질을 통합하거나 고체 다공성 쉘에 액체 전해질을 넣는 방법이 사용됩니다.

하이브리드 고체 배터리는 결합제 및 기타 비활성 물질의 사용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 건조, 용매 회수, 캘린더링 및 전해질 충전과 같은 다른 고비용 공정 단계를 제거하거나 대폭 줄일 수 있습니다.

3 고체 전해질

액체 전해질와 비교하여 고체 전해질은 향상된 안전성, 향상된 에너지 밀도 및 더 빠른 충전 기능을 제공합니다. 분리막의 필요성을 제거하고 열 폭주의 주요 원인인 수지상 성장 가능성을 줄입니다.

고체 전해질의 두 가지 주요 유형은 황화물과 산화물로, 둘 다 고유한 장단점이 있습니다. 산화물은 더 친환경적이고 더 높은 전압에서 더 큰 안정성을 제공하지만 고온 소결 또는 기타 복잡한 제조 공정을 필요로 합니다. 황화물은 더 높은 이온 전도도를 제공하지만 화학적 공정에서 더 위험한 물질을 포함합니다. 그러나 두 유형 모두 고성능 및 고에너지 밀도 애플리케이션에 사용하기에 충분히 적합해지려면 상당한 공정 개선이 필요합니다.

2020 2025 2030 2035 2040 ...

기타 셀 재료

고급 열 관리를 제공하려면 기능이 향상된 분리막이 필요합니다. 분리막이 점점 더 얇아지고 더 높은 전류 밀도를 처리하기 때문에, 새로운 분리막 재료와 코팅이 필요할 것입니다.

로드맵 2020

셀 재료 및 제조 로드맵

전극

양극재

음극재

기타 셀 재료

전해질 재료

분리막

집전체

용매, 결합제 및 첨가제

셀 재료의 수명주기 및 수명 종료

1 기존 분리막의 기능 향상

리튬 이온 배터리의 분리막은 일반적으로 폴리에틸렌(PE)으로 만듭니다. 그러나 PP/PE/PP 3층 분리막은 외부 폴리 프로필렌(PP) 층 사이에 중간 층의 PE를 끼워 넣은 것이 일반적입니다. 현재 셀의 Ah가 증가하는 추세이므로, 내부적인 열 확산 가능성을 줄이기 위해 열을 차단하는 견고한 분리막이 필요합니다. 더 높은 전류 밀도에서 용량을 유지하는 것도 고전력 셀을 상용화하는 데 필수적입니다.

중장기적으로, 향상된 기능에는 고급 열 관리(상변화 재료) 또는 내화 재료를 사용하는 분리막, 향상된 감지를 통해 고장을 사전에 예방하거나 열 폭주 발생을 줄이기 위해 자가 치유할 수 있는 분리막 등이 포함될 수 있습니다.

1 두께 및 원가가 감소된 분리막, 내산화성, 방열성 → 분리막 기능 향상(예: 상변화, 소화)

2 이온 전도도와 전류 밀도가 향상된 분리막 재료(예: PVDF, 알루미나)

2 고급 분리막을 위한 신소재

분리막 코팅재와 멤브레인 소재 모두를 위한 새로운 소재가 개발되고 있습니다. 유망한 분리막 재료 중 하나는 폴리비닐리덴 플루오라이드(PVDF)로, 폴리에틸렌 및 폴리프로필렌과 비교하여 성능을 한 단계 더 향상시킵니다. PVDF 분리막은 더 나은 열 성능을 보여주는 경향이 있고, 고온에서 최소 수축을 보여줍니다. 또한 PVDF 분리막은 전해질이 멤브레인을 열화하지 않는 상태에서 이온을 통과시켜 증가된 다공성을 보여줍니다.

고전력 충전 및 방전 이벤트로 인해 세라믹 재료로 분리막을 코팅하는 것이 점점 더 보편화되고 있습니다. 현재 널리 사용되는 것은 고온에서 작동할 수 있는 고순도 산화 알루미늄입니다.

2020 2025 2030 2035 2040 ...

기타 셀 재료

새로운 제조 공정이 등장하고 전극과 집전체 사이의 기능적 통합이 진행됨에 따라 셀 제조사는 더 얇은 호일을 요구하고 있습니다.

로드맵 2020

셀 재료 및 제조 로드맵

전극
- 양극재
- 음극재

기타 셀 재료
- 전해질 재료
- 분리막
- 집전체

용매, 결합제 및 첨가제

셀 재료의 수명주기 및 수명 종료

1 기존 집전체 최적화

배터리 셀 제조사는 무게와 비용을 줄이기 위해 더 얇은 구리 및 알루미늄 호일을 요구하고 있습니다. 대량 애플리케이션에 적합한 비용 효과적인 호일의 두께는 6–10μm입니다.

고성능 애플리케이션에 적용하려면, 두께를 6μm 이하로 줄이는 것이 바람직하지만 이는 기존의 압연, 어닐링 또는 전착 공정에 의해 제한될 것으로 예상됩니다. 따라서 6μm 미만의 호일을 생산하려면 개선된 어닐링 공정 또는 새로운 집전체 설계(예: 나노와이어 호일)를 개발해야 합니다.

장기적으로 음극재와 양극재는 격자 구조를 통해 집전체와 기능적으로 통합될 수 있을 것입니다. 이러한 격자 구조에서 음극재 재료는 호일 위에 코팅되지 않고 호일에 매립됩니다.

2 새로운 공정 및 집전체 개념

음극 및 양극 슬러리를 호일에 접착하는 것은 다양한 표면 처리 기술(예: 호일의 거칠기 및 표면 장력 변경)을 사용하여 향상될 수 있습니다. 잠재적 처리 방법은 플라즈마 처리, UV 방사선 또는 기계적 및 열역학적 접착을 지원하기 위한 레이저 구조화입니다. 이를 통해 슬러리 내의 결합제 감소를 촉진하여 활성 물질을 증가시킬 수 있을 것입니다.

표면 처리 외에도 새로운 다중 재료 하이브리드 집전체가 개발 진행 단계에 있습니다. 한 가지 혁신 방법은 맞춤형 금속 합금을 사용하여 전도도와 인장 강도를 향상시키는 것입니다. 다른 방법으로는 폴리머 또는 그래핀이 구리 또는 알루미늄으로 둘러싸인 '샌드위치' 재료가 있습니다.

1 리튬 이온용 초박 구리 및 알루미늄 호일(예: 6 미크론 미만) → 새로운 집전체 구조(예: 격자, 양극 및 음극과의 기능적 통합)

2 집전체 표면 준비(예: 플라즈마, 레이저) → 하이브리드 집전체(예: 금속 합금, 금속 코팅 폴리머)

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

용매, 결합제 및 첨가제

'습식' 제조 공정에 대한 의존도를 줄이면 성능이 향상되고 원가가 절감될 뿐만 아니라 안전성이 향상되고 환경 영향이 감소할 수 있습니다.

로드맵 2020

셀 재료 및 제조 로드맵

전극
- 양극재
- 음극재

기타 셀 재료
- 전해질 재료
- 분리막
- 집전체

용매, 결합제 및 첨가제

셀 재료의 수명주기 및 수명 종료

1

유해한 용매 대체

용매 N-메틸-2-피롤리돈(NMP)을 제거하면 제조 원가가 감소하고 독성 및 가연성이 제거되어 안전성이 향상됩니다. 잠재적 대체물은 N-아세틸-P와 물입니다.

결합제 기능 향상

결합제는 비활성 물질로 분류되지만, 전극 슬러리의 기능을 향상시키는 물질로 사용될 수 있을 것입니다. 매력적인 특성에는 실리콘과 같은 양극재 재료의 팽창을 수용할 수 있는 자가 치유 폴리머 또는 결합제가 포함됩니다.

2

용매 및 결합제의 사용 감소 및 제거

1990년대부터 리튬 이온 배터리는 '습식' 공정을 사용하여 제조되었습니다. 액체 슬러리가 일괄적으로 혼합되고 집전체 호일에 코팅됩니다. 용매의 양을 줄이고 필요한 경우에만 결합제와 첨가제를 사용하는 것은 에너지 밀도 및 전력 밀도를 향상시키는 활성 물질의 비율을 높이기 위한 첫 번째 단계입니다.

그러나 장기적으로는 배터리 셀 제조 방식을 완전히 변경할 기회가 있습니다. 많은 연구 기관이 용매와 결합제가 필요하지 않은 완전한 '건식' 제조 공정을 연구하고 있습니다. 완전한 건식 공정은 제조 원가가 비싼 유해 화학물질을 제거하고 셀 조립 공정의 안전성을 향상시킬 것입니다. 이를 달성하기 위한 잠재적 혁신 방법에는 호일에 양극재 및 음극재 재료를 분말 코팅하거나 유연한 전극 필름을 사용하는 것이 포함됩니다.

1. NMP용 용매 대체물(예: N-아세틸-P 및 물) → 새로운 결합제 기능(예: 하이브리드, 자가 치유) → [illegible]
2. 습식 공정 및 용매 사용 감소 → 건식 제조 공정(용매 없음) → 결합제 없는 전극 및 전해질

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

수명주기

윤리적이고 안전하며 지속 가능한 배터리 공급망을 구축하려면 재료 사용 및 제조의 모든 측면에 걸친 개선이 필요합니다.

로드맵 2020

셀 재료 및 제조 로드맵

전극
- 양극재
- 음극재

기타 셀 재료
- 전해질 재료
- 분리막
- 집전체

용매, 결합제 및 첨가제

1

CO_2 및 셀 제조 및 재료의 LCA 영향

넷제로 CO_2 배출과 수명주기에 따른 차량 규제라는 이중의 부담은 셀 제조와 그 밸류 체인에 점점 더 많은 압박을 가하고 있습니다. 단기적으로는 에너지 효율형 제조 공정이나 저탄소 에너지 원을 통해 셀 조립 및 음극재 생산의 CO_2 집약도를 줄이는 데 초점이 맞춰져 있습니다.

장기적으로는 셀 및 화학물질 공급망이 환경에 미치는 전체적인 영향에 대해 추가적인 조사가 이루어질 것입니다. 양극재, 음극재, 전해질 및 분리막 생산의 에너지 집약도뿐만 아니라 VOC 및 물 소비와 같은 환경 영향이 함께 조사될 것입니다. 이는 배터리 화학물질을 제조하는 새로운 에너지 효율적 및 자원 효율적 방법의 상용화를 자극할 수 있을 것입니다.

2

안전성과 지속 가능성이 향상된 배터리 소재

배터리 제조에 사용되는 재료 및 화학물질은 전략적으로 중요할 뿐만 아니라 인체 건강에 해로울 수 있고 윤리적 문제를 일으킬 수 있습니다.

코발트와 니켈은 향후 몇 년 안에 공급 부족에 직면할 것으로 예상됩니다. 화학 정제업체들은 향후 3~5년 내에 고순도 니켈, 코발트 및 리튬에 대한 수요가 공급을 능가할 것으로 예상하고 있습니다. 망간, 철, 알루미늄 및 나트륨과 같이 매장량이 더 풍부한 재료를 사용하면 핵심 재료에 대한 과도한 의존의 위험을 줄일 수 있을 것입니다.

기존 셀 제조 방법은 많은 유해 및 발암성 화학물질을 사용합니다. 이러한 유해 및 발암성 물질의 감소는 취급 및 제조 원가를 낮출 뿐만 아니라 수명 종료 시에도 도움이 됩니다. 예를 들어, 배터리 재활용은 전해질 용매에서 휘발성 가연성 화합물을 방출하고 전해질에서 불화수소(HF)를 생성합니다.

마지막으로 배터리 재료를 둘러싼 윤리적 우려가 있습니다. 전 세계 코발트의 대부분은 아동 노동이 여전히 사용되는 콩고 민주 공화국에서 채굴됩니다. 남미의 리튬 매장지는 물 부족 지역에 있습니다. 이러한 우려를 이해하고 완화하는 것은 안전성과 지속 가능성이 향상된 배터리 공급망을 만드는 데 필수적입니다.

셀 재료의 수명주기 및 수명 종료

1. 제조 공정의 CO_2 감소(예: 전극, 건식 공정) → 에너지 발자국 감소 → 넷제로 CO_2 생산 시스템
2. 안전성과 지속 가능성이 향상된 셀 재료 대체물 → 매장량이 더 많고/긴요성이 더 낮은 재료의 채택 → LCA 중심형 밸류 체인
- 셀 재료 낭비 감소/수율 증가 → 셀 재료 재생 및 재사용(예: 전극 재생 또는 결함 재료 재생)
- 파일럿 셀 재료 재활용 → 대량 고효율 셀 재료 회수 → 모든 셀 재료에 대해 순환 경제 확립

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

수명주기

생산이 증가하고 재활용에 대한 규제 압력이 증가함에 따라, 수율을 높이고 재료를 더 효과적으로 재사용하고 궁극적으로 완전한 순환 경제를 구축하는 것이 훨씬 더 중요해질 것입니다.

전극
- 양극재
- 음극재

기타 셀 재료
- 전해질 재료
- 분리막
- 집전체

용매, 결합제 및 첨가제

3

셀 재료의 효율 극대화

기가팩토리의 수율을 높이는 것이 최우선 과제이지만, 결함 있는 셀을 줄이고 공장 폐기물 관리를 개선하는 문제를 해결해야 합니다. 장기적으로는, 현장 재활용 시설을 만들어서 결함 있는 셀을 가져와서 생산 원료를 만드는 것이 하나의 잠재적인 대안으로 간주됩니다.

모색 중인 또 다른 대안은 기존 배터리 셀을 재생하여 자산을 극대화하는 것입니다. 아르곤 국립 연구소(Argonne National Lab)는 성능을 이차 수명으로 연장하는 데 도움이 되는 재생 전극 재료를 연구하고 있습니다.

4

재활용과 순환 경제

차량이 점점 더 전동화함에 따라, 배터리 셀 및 재료의 재활용을 위한 대량 솔루션이 필요합니다. EU 법률에서는 제조되거나 EU로 수입되는 배터리 셀에서 재활용 니켈, 코발트 및 리튬이 차지하는 비중을 높일 것을 요구합니다. 이것은 순환 경제의 발전을 장려하는 첫 번째 단계입니다.

다양한 애플리케이션에 적합한 다양한 셀 화학물질이 증가함에 따라 순환 경제 실현의 어려움이 커지고 있습니다. 현재, 회수율이 낮은 대량 셀 애그노스틱 재활용 방법 또는 비용 프리미엄을 받고 회수율이 높은 특화된 재활용 방법이 사용되고 있습니다.

현재의 습식 제련 및 제련 공정은 향후 5~7년 동안 예상되는 수요에 비해 여전히 상대적으로 생산량이 적습니다. 따라서 이러한 공정의 사용이 확대되면, 환경 영향을 최소화하고(유해 화학물질이나 에너지 집약적 공정을 사용하지 않음) 중요 재료와 중요하지 않은 재료 모두의 회수율이 높아야 합니다. 문제는 이를 경제적으로 실행 가능한 방식으로 달성하는 것입니다.

이상적인 해결책은 모든 유형의 셀을 수용할 수 있는 대량 셀 애그노스틱 재활용 시스템을 통해 셀 제조사 또는 기타 산업에 재공급할 수 있는 다양한 고순도 배터리 등급 화학물질을 생산하는 것입니다. 이를 통해 일정 수준의 주요 핵심 자료의 자원 독립성을 갖는 완전한 순경 경제를 구축할 수 있을 것입니다.

셀 재료의 수명주기 및 수명 종료

- 제조 공정의 CO_2 감소(예: 전극, 건식 공정) → 에너지 발자국 감소 → 넷제로 CO_2 생산 시스템
- 안전성과 지속 가능성이 향상된 셀 재료 대체물 → 매장량이 더 많고/긴요성이 더 낮은 재료의 채택 → LCA 중심형 밸류 체인
- 3 셀 재료 낭비 감소/수율 증가 → 셀 재료 재생 및 재사용(예: 전극 재생 또는 결함 재료 재생)
- 4 파일럿 셀 재료 재활용 → 대량 고효율 셀 재료 회수 → 모든 셀 재료에 대해 순환 경제 확립

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

로드맵 2020

전기 에너지 저장

모듈 및 팩 로드맵

2020-2035년의 기술 지표는 2페이지에 나와 있습니다.

automotive council UK

ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

이 로드맵은 대량 시장에 채택될 것으로 예상되는 글로벌 자동차 산업 추진 기술을 시간순으로 요약한 것입니다. 특정 애플리케이션 맞춤형 기술은 지역마다 다를 것입니다.

진한 막대: 기술이 대량 시장에 적용되어 있습니다. 이 기간 동안 상당한 혁신이 예상됩니다.

전환: 전환은 시장에서 단계적으로 퇴출되는 것을 뜻하는 것이 아니라 R&D 강조점의 변화를 뜻합니다.

점선 막대: 시장 성숙 – 기술이 성숙 단계에 도달했습니다. 대체되는 분야에서 점차 사라질 때까지 대중 시장에 남아 있을 가능성이 있습니다.

셀 형식 및 설계	대량 제조를 위한 통합 셀 형식		
	새로운 셀 형식 및 특성(예: 탭리스, 현장 계측, 열 유량 및 접합 개선)		
배전 시스템 (BMS 하드웨어 및 소프트웨어 포함)	400V 아키텍처	800V 아키텍처의 광범위한 채택	새로운 1200V 아키텍처
	과거의 데이터를 이용한 BMS 업그레이드	물리학 기반 SoH 및 SoC 셀 추적이 가능한 BMS	자가 업데이트 알고리즘, 현장 데이터를 사용하는 AI 지원 BMS
	원격 측정 지원 BMS 아키텍처. 차량 오프라인 업데이트 및 실시간 모니터링		
	차세대 컨택터/커넥터(예: 솔리드 스테이트)		
	원가 및 중량 감소 버스 바	전도도가 향상된 정형 다중 재료 버스 바	
열 (즉, 열 전파를 포함한 냉각, 가열 및 열 재료)	능동적 열 관리(통합된 비용 효과적 시스템)	대량용 수중 냉각	
	다중 재료 냉각 플레이트	고전력 셀을 위한 새로운 열 제거 재료 및 수동 냉각 방법	
	추운 기후에서의 에너지 사용 절약 방법	추운 기후에서 배터리 온도를 유지하기 위한 열 에너지 저장	
	기존 열 인터페이스/접합 재료의 최적화	열 재료의 합리화 및 통합	
	화재 전파를 감지, 예방 및 억제하는 방법/격리하는 방법		
기계적 (예: 구조)	경량 배터리 캐리어	경량 다중 재료 팩 구조(폴리머 포함)	
	대량 셀/모듈 접합 기술	새로운 전기 연결	
팩 통합 및 제조	CTP(cell-to-pack) 배터리(예: 모듈 삭제)	CTC(cell-to-chassis) 배터리	구조형 배터리(예: 차체 구조의 일부)
	팩을 전체 차량 열 관리에 통합		
	실시간 인라인 테스트 및 검증	대량 시장을 위한 가속화된 테스트 및 검증	
모듈 및 팩의 수명주기 및 수명 종료	셀과 모듈에 헬스 패스포트 통합(예: RFID)	회복력을 갖는 배터리 모듈 및 팩, 고장 감소	
	모듈 및 팩 조립의 CO 배출 감소, 에너지 효율적인 생산	넷제로 CO_2 생산 시스템	
	수명 종료 관리 및 유연한 이차 수명 사용을 지원하는 팩 설계	LCA 중심형 모듈/팩 밸류 체인	
	분해 고려 설계	재료 회수 기술(예: 기계적 분해, 가공)	모듈 및 팩에 대해 순환 경제 확립

기본적 기술 테마

로드맵 2020
전기 에너지 저장

모듈 및 팩 로드맵

셀 형식 및 설계

셀 형식 및 설계는 규모의 경제를 지원하기 위해 점점 더 표준화되거나 다양한 차량 요구사항을 충족하도록 특화될 것입니다.

배전 시스템
(BMS 하드웨어 및 소프트웨어 포함)

배전 시스템은 배터리 셀 및 모듈의 전력이 손실을 최소화하면서 지능적으로 분배되도록 합니다. 이는 향상된 배터리 관리 시스템, 버스 바 및 커넥터/컨택터를 통해 달성할 수 있습니다.

열
(즉, 열 전파를 포함한 냉각, 가열 및 열 재료)

열 관리 시스템은 배터리 팩의 상태를 유지하는 데 필수적입니다. 열을 관리하고 저온의 영향을 완화할 수 있도록 배터리 셀을 향상된 능동 냉각 시스템 또는 향상된 재료를 통해 가열 및 냉각할 수 있습니다.

기계적
(예: 구조)

기계적 요소에는 모듈 및 팩의 무결성에 기여하는 하우징 및 접합 기술이 포함됩니다. 배터리 케이스와 구조는 무게를 줄일 수 있는 중요한 기회를 제공하는 반면, 새로운 접합 공정은 셀 간의 견고한 접촉을 보장합니다.

팩 통합 및 제조

팩 통합 및 제조는 에너지 저장 및 관리를 차량에 통합하는 새로운 방법을 모색합니다. 더 넓은 차량 구조에 에너지 저장 장치를 내장하고 열 관리 시스템을 통합하는 것이 이 섹션의 핵심 주제입니다.

모듈 및 팩의 수명주기 및 수명 종료

수명주기에는 배터리 모듈 및 팩의 탄소 집약도, 환경 영향, 자원 소비 및 재활용 가능성이 포함됩니다. 이러한 모든 요소를 개선해야만 전기차가 진정으로 지속 가능한 솔루션이 될 수 있습니다.

2020 2025 2030 2035 2040 ...

셀 형식 및 설계

업계는 대량 응용을 위해 여러 셀 형식을 통합하고 있지만, 새로운 형식과 추가 기능의 통합이 장기적으로 성능을 향상시킬 것입니다.

셀 형식 및 설계

1. 대량 제조를 위한 통합 셀 형식
2. 새로운 셀 형식 및 특성(예: 탭리스, 현장 계측, 열 유량 및 접합 개선)

배전 시스템
(BMS 하드웨어 및 소프트웨어 포함)

열
(즉, 열 전파를 포함한 냉각, 가열 및 열 재료)

기계적
(예: 구조)

팩 통합 및 제조

모듈 및 팩의 수명주기 및 수명 종료

1

셀 형식의 통합

자동차용 리튬 이온 셀이 확산됨에 따라, OEM은 특히 대량 애플리케이션에 대해 특정 셀 형식으로 집중할 가능성이 높습니다. 파우치형, 원통형 및 각형의 세 가지 광범위한 셀 유형이 사용됩니다.

파우치형 셀은 가장 높은 에너지 밀도를 제공하고 호일 케이싱으로 인해 상대적으로 가볍습니다. EV 애플리케이션에 대한 독창성을 고려할 때, 경제성을 갖추려면 대량으로 필요합니다. 높은 에너지 밀도는 파우치의 균일한 냉각과 관련된 문제로 인해 악화되는 안전 문제를 제기할 수 있습니다. 업계는 셀 양쪽 끝에 탭을 배치하면서 VDA 크기 기준으로 전환하고 있습니다.

원통형 셀은 가장 발전된 셀이며 가전 제품에서 광범위하게 사용되기 때문에 이미 고도로 표준화되었습니다. 결과적으로, 원가 경쟁력이 있고 이에 따라 자동차 산업이 21700 셀로 전환하고 있습니다. 원형이기 때문에 모듈에서 잘 테셀레이션되지 않습니다. 이로 인해 셀 대 팩 비율이 낮아지지만 그 사이에 냉각 채널을 배치하기가 더 쉽습니다.

각형 셀은 원통형 셀과 파우치형 셀 사이의 절충형입니다. 패키징 밀도는 모양 때문에 더 높지만 체적 및 중량 에너지 밀도는 파우치형 셀보다 더 적습니다. 파우치형 셀과 마찬가지로 자동차 애플리케이션용으로 맞춤 제조되므로 경제성을 갖추려면 대량이 필요하므로 가격 프리미엄을 갖습니다. 파우치형 셀의 경우, OEM에서 VDA BEV2 및 PHEV2 규격을 점점 더 많이 채택하고 있습니다.

2

새로운 셀 설계 및 내장 기능

셀 화학물질이 진화함에 따라, 새로운 셀 형식을 개발하여 화학물질의 성능을 향상시킬 수 있을 것입니다. 테슬라의 탭리스 4680 셀 발표는 제조 효율 향상(탭을 부착하기 위해 생산 라인을 중단하지 않음), 에너지 및 전력 밀도 향상, 안전성 향상을 보여줍니다. 스트링 셀 및 롤 리본 배터리와 같은 다른 새로운 개념도 개발 중이지만 아직은 초기 단계에 있습니다.

그러나 셀 형식은 향상된 설계의 한 요소일 뿐입니다. OEM도 향상된 기능을 추구하고 있습니다. 현장 계측 및 모니터링은 상태 관리 및 BMS 개발을 한 단계 더 향상시킬 것입니다. 셀 전체의 스트레스에 대한 열 성능을 향상시키기 위해 최적화된 설계는 셀 안전성도 높이고 냉각 시스템의 부담도 줄여줄 것입니다.

2020 2025 2030 2035 2040 ...

배전 시스템

BMS 소프트웨어는 자체 최적화, AI와 실시간 모니터링 및 소프트웨어 업데이트를 사용하여 배터리의 성능, 상태, 유지관리 및 재활용을 개선하여 더욱 정교해질 것입니다.

로드맵 2020
전기 에너지 저장

모듈 및 팩 로드맵

셀 형식 및 설계

배전 시스템
(BMS 하드웨어 및 소프트웨어 포함)

1 400V 아키텍처 → 800V 아키텍처의 광범위한 채택 → 새로운 1200V 아키텍처

2 사용자의 데이터를 이용한 BMS 업그레이드 → 물리학 기반 SoH 및 SoC 셀 추적이 가능한 BMS → 자가 업데이트 알고리즘, 현장 데이터를 사용하는 AI 지원 BMS

원격 측정 지원 BMS 아키텍처. 차량 오프라인 업데이트 및 실시간 모니터링

차세대 컨택터/커넥터(예: 솔리드 스테이트)

원가 및 중량 감소 버스 바 → 전도도가 향상된 정형 다중 재료 버스 바

열
(즉, 열 전파를 포함한 냉각, 가열 및 열 재료)

기계적
(예: 구조)

팩 통합 및 제조

모듈 및 팩의 수명주기 및 수명 종료

1

고전압 차량 아키텍처

400V 아키텍처가 BEV에 일반적으로 사용되어 왔고 앞으로도 에너지 집약적이고 비용 효과적인 애플리케이션에 계속 사용될 것입니다. 승용차 부문의 800V 아키텍처 도입은 전략의 변화를 의미합니다. 고전압의 이점에는 케이블의 두께와 무게 감소, 모터의 크기 감소 및 효율 향상, 시스템 무게 감소, 충전 속도 향상 및 전력 처리량 증가가 포함됩니다.

800V는 처음에는 고성능 부문(예: GM의 허머(Hummer) EV)에 채택될 것이지만 결국은 대량 시장 제품으로 적용이 확대될 것입니다. 예를 들어 기아차는 첫 번째 전용 EV 플랫폼에 800V 종류를 도입할 것이라고 밝혔습니다.

800V 및 훨씬 더 높은 전압의 채택 범위는 현재 700–800V에서 작동하는 HGV 및 비포장도로 장비의 전동화로 인해 더 확장될 것입니다. 고속 충전 요구사항과 테더링 및 전차선 차량의 잠재력을 고려할 때, 이러한 응용 분야에 1200V를 도입할 수 있을 것입니다.

2

BMS 소프트웨어의 정교화

기존 BMS의 개선은 충전 상태 및 상태 정보를 향상시키고 배터리 수명과 성능의 관리를 개선할 것입니다. BMS 모델의 단기적 혁신은 차세대 모델에 정보를 제공할 정확한 실성능 데이터를 통해 향상될 것입니다.

장기적으로는 자체 최적화하는 더 정교한 다중 물리 배터리 모델이 더 널리 보급될 것입니다. AI가 당면한 작동 조건(예: GPS, 차량 대 그리드, 고속 충전)을 기반으로 배터리 모델을 자동 업데이트하고 파라미터화할 수 있을 것입니다.

셀에 내장된 센서의 잠재력은 분산형 BMS가 개별 셀을 모니터링하고 제어할 수 있는 기회를 제공합니다. 모듈의 상태는 종종 가장 약한 셀에 의해 결정됩니다. 고급 BMS는 상태에 따라 하나의 셀을 격리하거나 특정 셀에서 전력을 끌어올 수 있어 어느 정도의 자가 치유와 셀 수명 연장을 가능하게 할 수 있을 것입니다.

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

배전 시스템

특히 더 높은 전압을 사용하는 차량 아키텍처로 전환하는 것의 이점을 실현하기 위해 컨택터, 커넥터 및 버스 바의 발전이 필요할 것입니다.

로드맵 2020
전기 에너지 저장

모듈 및 팩 로드맵

셀 형식 및 설계

배전 시스템
(BMS 하드웨어 및 소프트웨어 포함)

- 400V 아키텍처 → 800V 아키텍처의 광범위한 채택 → 새로운 1200V 아키텍처
- 고객의 데이터를 이용한 BMS 업그레이드 → 물리학 기반 SoH 및 SoC 셀 추적이 가능한 BMS → 자가 업데이트 알고리즘, 현장 데이터를 사용하는 AI 지원 BMS
- 3 원격 측정 지원 BMS 아키텍처. 차량 오프라인 업데이트 및 실시간 모니터링
- 4 차세대 컨택터/커넥터(예: 솔리드 스테이트)
- 5 원가 및 중량 감소 버스 바 → 전도도가 향상된 정형 다중 재료 버스 바

열
(즉, 열 전파를 포함한 냉각, 가열 및 열 재료)

기계적
(예: 구조)

팩 통합 및 제조

모듈 및 팩의 수명주기 및 수명 종료

3

원격 측정 지원 BMS

원격 측정은 차량 고장 없이 실시간 모니터링 및 라이브 소프트웨어 업데이트를 제공합니다. 무선 데이터 전송은 시스템 지식이 증가함에 따라 높은 레벨의 기능을 수정하고 BMS 파라미터를 조정하는 데 도움이 됩니다. 배터리 작동 데이터는 결함의 조기 감지와 예방적 유지보수로 이어질 수 있습니다.

양방향 통신은 빅데이터 분석을 지원하여 배터리 수명과 성능을 향상시킬 수 있습니다. 새로운 알고리즘이 개발됨에 따라, 양방향 통신은 배터리 상태를 개선하고 배터리 하드웨어 변경을 예약하는 데 도움이 될 수 있습니다.

배터리 상태 데이터의 이차적 이점은 이차 수명 사용 및 활용을 개선하는 것입니다. 배터리의 사용 기록, 상태 및 충전 상태에 대한 지식이 부족하면 배터리를 재활용하는 데 시간과 비용이 많이 들 수 있습니다. 애그노스틱 배터리 공급망을 기반으로하는 새로운 애플리케이션이 이러한 데이터와 함께 성장할 가능성이 있습니다.

4

향상된 컨택터 및 커넥터

컨택터와 커넥터는 고전압 회로를 켜고 끄는 데 사용되는 전기 스위칭 장치입니다. 이러한 스위칭 장치는 높은 전류 전달 용량이 관련된 EV 애플리케이션에서 일반적입니다. 접점은 고부하를 처리할 수 있도록 빠르게 열리고 닫히지만 진동 및 피로 문제에 취약할 수 있습니다. 컨택터의 품질과 신뢰성을 개선하고 유연한 전압 아키텍처를 구현하려면, 새로운 컨택터 유형과 개념이 필요합니다.

5

비용 효과적 및 공간 효율적 버스바

저 인덕턴스 버스바는 EV의 배터리 팩의 전력을 전기 구동 시스템으로 분배하도록 돕습니다. 단기적 혁신에는 구리 버스바의 니켈 도금을 최소화하고 양극재 재료에도 사용되는 고가의 니켈 분말량을 감소시키는 것이 포함됩니다. 알루미늄 버스바를 도입하면 무게를 줄이고 원가를 낮출 수 있지만, 알루미늄은 구리에 비해 열전도율과 팽창률이 낮기 때문에 고전력 애플리케이션에 덜 적합할 수 있습니다. 하이브리드 구리 및 알루미늄 버스바는 원가와 성능 간의 타협을 가능하게 할 수 있을 것입니다. 그래핀 코팅과 같은 더 고급의 재료를 사용하여 전도성을 더욱 향상시킬 수 있을 것입니다.

고전류와 결합된 고유한 배터리 프로파일에는 고급 버스바 재료 및 형상이 필요합니다. 접합을 최소화하는 버스바의 정형 공정은 복잡성을 줄일 수 있습니다. 장기적으로 버스바는 전해 커패시터 및 표면 실장 기술 구성부품(예: 노이즈 감소를 위한 EMI/RFI 필터)을 포함한 주요 전력 전자장치 구성부품을 통합할 수 있을 것입니다.

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

열

고전력 애플리케이션에 대응하려면 새로운 재활용 가능 다기능 재료와 능동 냉각 전략이 필요합니다.

로드맵 2020
전기 에너지 저장

모듈 및 팩 로드맵

셀 형식 및 설계

배전 시스템
(BMS 하드웨어 및 소프트웨어 포함)

열
(즉, 열 전파를 포함한 냉각, 가열 및 열 재료)

기계적
(예: 구조)

팩 통합 및 제조

모듈 및 팩의 수명주기 및 수명 종료

1 능동적 열 관리(통합된 비용 효과적 시스템) → 대량용 수중 냉각

2 다중 재료 냉각 플레이트 → 고전력 셀을 위한 새로운 열 제거 재료 및 수동 냉각 방법

추운 기후에서의 에너지 사용 절약 방법 → 추운 기후에서 배터리 온도를 유지하기 위한 열 에너지 저장

기존 열 인터페이스/접합 재료의 최적화 → 열 재료의 합리화 및 통합

화재 전파를 감지, 예방 및 억제하는 방법/격리하는 방법

2020 2025 2030 2035 2040 ...

1 능동 냉각 전략

강제 공기 또는 수동 냉각은 저방전율 배터리 팩에 적합하지만 고전력 애플리케이션이나 고속 충전에는 충분하지 않습니다. 고에너지 및 고전력 배터리 팩의 경우 냉각 플레이트를 사용하는 물/글리콜 냉각수 시스템으로 전환하는 추세입니다. 가장 두드러진 열 문제는 열 방출을 통해 상당량의 에너지를 낭비하는 150kW 이상의 급속 충전 시 발생할 것으로 예상됩니다. 잠재적인 전략은 배터리 사전 냉각, 추가 냉각 파이프 및 팬 또는 냉각 수요 최소화를 위한 충전 전력 감소입니다.

장기적으로 모터 스포츠 애플리케이션에서 사용되는 수중 냉각 개념이 자동차 부문으로 전환될 수 있을 것입니다. 수중(또는 침지) 냉각은 셀과 버스바를 직접 냉각하는 유전체 냉각 액체로 구성됩니다. 이를 통해 버스바의 두께와 무게를 줄이고 셀을 균일하게 냉각시킬 수 있습니다. 그러나 냉각 루프의 무게 및 복잡성과 유전체 재료 원가 때문에 이 접근 방식은 고성능 차량에 더 적합합니다.

2 수동 냉각 활성화

수동 냉각은 배터리를 최적의 온도로 유지하기 위해 히트 싱크, 히트 스프레더, 히트 파이프 또는 열 인터페이스 재료에 의존하는 에너지 효율적인 솔루션입니다. 향상된 금속 매트릭스 복합 재료는 알루미늄 및 구리 냉각 플레이트와 비교하여 향상된 열전도율을 제공할 수 있습니다. 고방전율 배터리 팩이 시장에 진입함에 따라, 열을 즉시 방출할 수 있는 새로운 냉각 플레이트 재료가 필요합니다. 위성 및 항공 우주 부문의 냉각 기술이 고성능 애플리케이션으로 이전될 수 있지만, 자동차 부문에 적합하려면 제조 개선이 필요합니다.

열

배터리를 최적의 온도로 유지하려면 배터리를 더 효율적으로 가열하고 열을 효과적으로 관리 및 분산하기 위한 새로운 재료와 방법이 필요합니다.

셀 형식 및 설계

배전 시스템
(BMS 하드웨어 및 소프트웨어 포함)

열
(즉, 열 전파를 포함한 냉각, 가열 및 열 재료)

기계적
(예: 구조)

팩 통합 및 제조

모듈 및 팩의 수명주기 및 수명 종료

3 배터리 가열

추운 기후에서 작동하는 배터리는 상당한 열화를 겪고, 특히 BEV 버스와 같은 애플리케이션의 경우 HVAC 시스템의 추가 요구사항을 통해 상당한 스트레스를 받습니다. 또한 배터리 팩을 최적의 온도로 가열하는 데 사용되는 에너지는 배터리 자체에서 발생하므로 열 관리 시스템의 에너지 사용량을 줄이는 것이 우선입니다. 장기적으로 상변화 재료는 차량의 배터리 또는 다른 부품의 과도한 사용으로 인해 발생하는 열을 저장한 다음 배터리 가열 또는 HVAC 시스템에 사용할 기회를 제공합니다.

4 열, 접착 및 접합 재료 합리화

배터리 모듈 및 팩에는 온도 및 구조적 무결성을 유지하기 위해 많은 열, 접착 및 밀봉 재료가 포함되어 있습니다. 접착 및 열 관리 특성을 제공할 수 있는 다기능 재료는 배터리 팩 내부의 습식 공정량을 줄이는 데 중요할 것입니다. 이러한 새로운 수지와 재료는 수명 종료 규정을 준수하기 위해 재활용이 가능해야 합니다.

- 능동적 열 관리(통합된 비용 효과적 시스템) → 대량용 수중 냉각
- 다중 재료 냉각 플레이트 → 고전력 셀을 위한 새로운 열 제거 재료 및 수동 냉각 방법
- 3 추운 기후에서의 에너지 사용 절약 방법 → 추운 기후에서 배터리 온도를 유지하기 위한 열 에너지 저장
- 4 기존 열 인터페이스/접합 재료의 최적화 → 열 재료의 합리화 및 통합
- 5 화재 전파를 감지, 예방 및 억제하는 방법/격리하는 방법

5 열 폭주 감지 및 방지

리튬 이온 및 기타 배터리 화학물질의 화재 위험을 이해하는 것은 차량 내의 안전한 사용과 제조, 보관 및 운송을 위해 필수적입니다. 열 폭주는 압력 증가, 가스 및 미립자 배출, 화재 또는 최악의 경우 폭발을 유발합니다. 빠른 속도로 실행할 수 있는 향상된 테스트 및 검증을 통해 예방 및 억제 전략을 개발할 수 있습니다. 열 폭주를 저지하거나 확산할 수 있는 새로운 재료 및 설계 기능에 대한 추가적 연구는 크게 도움이 될 수 있습니다.

2020 2025 2030 2035 2040 ...

기계적

구조적 통합과 함께 폴리머 및 복합재를 더 많이 사용하면 배터리 팩 무게를 줄일 수 있습니다. 더 강력한 접합 기술을 생산에 적용하기 위한 작업이 필요합니다.

셀 형식 및 설계

배전 시스템
(BMS 하드웨어 및 소프트웨어 포함)

열
(즉, 열 전파를 포함한 냉각, 가열 및 열 재료)

기계적
(예: 구조)

팩 통합 및 제조

모듈 및 팩의 수명주기 및 수명 종료

1 경량 배터리 캐리어

대부분의 배터리 케이싱과 내부 지지 구조물은 금속입니다. 폴리머 및 복합재는 부품 통합과 기능 통합을 위한 수단을 제공합니다. 그러나 폴리머는 툴링 비용을 줄이기 위해 더 많은 양이 필요한 반면, 복합재는 더 많은 양을 달성하기 위해 공정 개발이 필요합니다.

장기적으로 배터리는 일차적 구조 요소 등으로 차량에 더 쉽게 통합될 것으로 예상됩니다.

2 더 강력한 셀 접합 기술

원가 절감을 위해 배터리 팩 내에서 대체 재료와 혼합 재료를 사용할 수밖에 없지만, 이종 재료를 빠른 속도로 견고하게 접합하는 것은 성능과 내구성을 위해 필수적입니다. 대량 생산을 가능하게 하려면 새로운 접합 기술을 생산 검증 방법과 동시에 개발해야 합니다. 실시간 폐쇄형 생산 테스트는 고가의 스크랩 비용을 최소화하고 결함을 포착하기 위한 최종 테스트에 대한 의존도를 없애는 데 도움이 될 수 있습니다.

택트 시간, 고정밀 장비에 대한 의존성 및 고장 모드 수를 줄이는 새로운 전기 연결 기술은 배터리 QA 프로토콜에 상당한 이점을 제공할 것입니다. 새로운 접합 기술에 사용되는 재료는 쉽게 분해할 수 있어야 하고, 재활용이 용이해야 하며 에너지 효율적인 폐기 단계 재활용을 촉진해야 합니다.

1 경량 배터리 캐리어 → 경량 다중 재료 팩 구조(폴리머 포함)

2 대량 셀/모듈 접합 기술 → 새로운 전기 연결

2020 2025 2030 2035 2040 ...

팩 통합 및 제조

배터리 팩과 그 열 관리는 전체 차량 구조 및 시스템에 더 많이 통합될 것입니다.

로드맵 2020
전기 에너지 저장

모듈 및 팩 로드맵

셀 형식 및 설계

배전 시스템
(BMS 하드웨어 및 소프트웨어 포함)

열
(즉, 열 전파를 포함한 냉각, 가열 및 열 재료)

기계적
(예: 구조)

팩 통합 및 제조

모듈 및 팩의 수명주기 및 수명 종료

1 셀 대 팩 비율 증가

BYD의 블레이드(Blade)는 모듈 삭제 및 일부 하우징 구조의 제거를 통해 높은 셀 대 팩 비율을 달성합니다. CATL은 한 단계 더 나아가 배터리가 섀시의 일부가 되는 CTC(cell-to-chassis) 배터리를 발표했습니다. 장기적으로 에너지 저장 장치를 회생 제동을 통해 또는 루프 또는 밀폐부에 배치된 태양광 발전 장치를 통해 전력을 저장하는 전도성 구조를 통해 차체 구조 전체에 배치할 수 있을 것입니다.

2 열 관리 시스템의 통합

배터리 열 관리 시스템은 종종 모터 및 전력 전자장치와 분리되어 있습니다. 무게를 줄이기 위해서 EDU를 결합하면, 단일 냉각 루프로 차량 수준의 효율을 향상시킵니다. 상 변화 물질을 사용하면 추운 기후에서는 반도체와 전기 모터의 열이 배터리를 사전 조정하도록 할 수 있을 것입니다.

3 현장 모듈 및 팩 검증

인라인 셀 및 모듈 테스트는 제조 실패를 줄이고 상당한 시간이 소요될 수 있는 최종 테스트를 제거하는 데 도움이 될 수 있습니다. 인라인 테스트는 배터리가 완전히 조립되었을 때 테스트가 불가능한 영역을 테스트하고 검사할 기회를 제공합니다. 셀과 모듈의 상태를 테스트하고 정확한 데이터로 더 빠른 속도를 달성하려면 머신 툴을 최적화해야 합니다.

1 CTP(cell-to-pack) 배터리(예: 모듈 삭제) → CTC(cell-to-chassis) 배터리 → 구조형 배터리(예: 차체 구조의 일부)

2 팩을 전체 차량 열 관리에 통합

3 실시간 인라인 테스트 및 검증 → 대량 시장을 위한 가속화된 테스트 및 검증

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

수명주기

장기적으로 지속 가능한 솔루션을 제공하려면 제조용 저탄소 에너지와 함께 향상된 추적성 및 모니터링이 필요합니다.

로드맵 2020
전기 에너지 저장

모듈 및 팩 로드맵

셀 형식 및 설계

배전 시스템
(BMS 하드웨어 및 소프트웨어 포함)

열
(즉, 열 전파를 포함한 냉각, 가열 및 열 재료)

기계적
(예: 구조)

팩 통합 및 제조

1

수명 전체에 걸친 추적 및 모니터링

신뢰할 수 있는 데이터를 보장하기 위해, 무선 주파수 식별(RFID)은 BMS가 보유한 상태 데이터를 보완하는 하나의 방법입니다. BMS에는 일정 수준의 중복이 있지만 RFID는 생산 및 생산지에 대한 추가 데이터를 보유할 수 있습니다. 또한 재활용 시 BMS의 데이터에 결함이 있을 수 있으므로 일정 수준의 중복성을 제공합니다.

2

탄소 집약도와 환경 영향

넷제로 CO_2 배출과 수명주기에 따른 차량 규제라는 이중의 압박으로 인해 팩 및 모듈 조립업체는 제조 공정을 탈탄소화해야 할 것입니다. 팩 및 모듈 조립업체는 배터리 셀 공급망에 비해 에너지를 적게 사용하지만, 레이저 용접 및 기타 셀 접합 및 경화 기술과 같은 에너지 집약적인 공정에는 저탄소 에너지 원이 필요할 것입니다. 팩 및 모듈 조립업체는 넷제로 규격을 우선적으로 준수할 후보입니다.

모듈 및 팩의 수명주기 및 수명 종료

- 1: 셀과 모듈에 헬스 패스포트 통합(예: RFID) → 회복력을 갖는 배터리 모듈 및 팩, 고장 감소
- 2: 모듈 및 팩 조립의 CO 배출 감소, 에너지 효율적인 생산 → 넷제로 CO_2 생산 시스템
- 수명 종료 관리 및 유연한 이차 수명 사용을 지원하는 팩 설계 → LCA 중심형 모듈/팩 밸류 체인
- 분해 고려 설계 → 재료 회수 기술(예: 기계적 분해, 가공) → 모듈 및 팩에 대해 순환 경제 확립

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

수명주기

배터리가 언제 이차 수명을 가질 준비가 되었는지 이해하고 전환을 단순화하도록 설계되었는지 확인하기 위한 접근 방식이 필요합니다.

로드맵 2020
전기 에너지 저장

모듈 및 팩 로드맵

셀 형식 및 설계

배전 시스템
(BMS 하드웨어 및 소프트웨어 포함)

열
(즉, 열 전파를 포함한 냉각, 가열 및 열 재료)

기계적
(예: 구조)

팩 통합 및 제조

3

이차 수명을 가능하게 하는 배터리 팩 설계

주택, 그리드 밸런싱 및 상업용 건물용 배터리 저장에 대한 수요가 있고 배터리 재활용 과정이 초기 단계라는 점을 감안할 때, EV 배터리의 재활용은 매력적인 옵션이 되었습니다.

개선된 모델링을 통해 배터리 성능 저하에 대한 이해가 향상되면 OEM에 시간 경과에 따른 성능 저하율에 대해 알릴 수 있습니다. 이를 통해 배터리가 EV에서 이차 수명 애플리케이션으로 전환될 수 있는 시기를 더 잘 알려주고 설계 공정에 영향을 미칠 수 있습니다. 배터리 팩의 기계식 설계를 단순화하면 재사용 가능한 모듈과 셀을 쉽게 추출할 수 있습니다. 이를 통해 재처리 비용을 줄이고 채택 가능성을 높일 수 있습니다. 마지막으로 전압, 전류 및 배터리 상태를 정확하게 기록하고 시간 경과에 따라 성능을 수집할 수 있는 표준화되고 투명하고 충실도가 높은 BMS 데이터도 필요할 것입니다.

EV 배터리의 이차 수명 애플리케이션의 최대 장애물은 기술적 장애물보다는 상업적 장애물입니다. 7~10년이 될 수도 있는 이차 수명 셀은 더 저렴하고 에너지 밀도가 더 높은 새로운 셀과 경쟁해야 합니다. 그러나 LCA 법률 전환함에 따라 지속적으로 새로운 셀을 만드는 것보다 셀을 재사용하는 것이 더 매력적인 대안이 될 수 있습니다.

4

배터리 셀 추출 실현

구형 EV 배터리가 이차 수명용으로 성공적으로 상용화되는지 여부에 관계없이 배터리는 결국 재활용해야 합니다. 배터리 팩은 일반적으로 사용 단계에 맞게 설계됩니다. 씰런트, 접착제 및 기계적 구조는 주행 가능 거리, 성능 및 안전성을 극대화하도록 맞춤화됩니다. 배터리를 효과적으로 재활용하려면, 복잡성을 줄이는 배터리 팩을 설계하고, 재활용 불가능한 접착제와 씰런트를 제거하며 간단한 자동화 공구(인간 노동이 아닌)를 사용하여 배터리 팩의 기계적 분해를 가능하게 하는 것이 최우선 과제입니다.

단기적으로는 대부분의 배터리 하우징과 밀폐부는 쉽게 재활용할 수 있는 알루미늄 또는 강철로 제조될 것입니다. 그러나 무게를 줄이기 위해, 특히 주행 가능 거리가 중요한 경상용차 및 버스에서 주행 가능 거리를 연장하거나 배터리 크기를 줄이기 위해 폴리머 및 혼합 재료 구조가 연구되고 있습니다. 이것은 팩 및 모듈 구조를 감지, 분류 및 분해하기 더 어려워지게 합니다. 플라스틱과 금속은 재활용 방법이 다양하고 복잡하기 때문에 이러한 변화에 맞춰 분해 과정을 조정하면 상당한 비용이 추가될 것입니다.

모듈 및 팩의 수명주기 및 수명 종료

- 셀과 모듈에 헬스 패스포트 통합(예: RFID) → 회복력을 갖는 배터리 모듈 및 팩, 고장 감소
- 모듈 및 팩 조립의 CO 배출 감소, 에너지 효율적인 생산 → 넷제로 CO_2 생산 시스템
- 3 수명 종료 관리 및 유연한 이차 수명 사용을 지원하는 팩 설계 → LCA 중심형 모듈/팩 밸류 체인
- 4 분해 고려 설계 → 재료 회수 기술(예: 기계적 분해, 가공) → 모듈 및 팩에 대해 순환 경제 확립

2020 2025 2030 2035 2040 ...

용어 해설

약어	설명
Ah	암페어시. 배터리가 1시간 동안 제공할 수 있는 전류(전류량)입니다.
AI	인공 지능. 일반적으로 인간의 지능이 필요한 작업을 수행할 수 있는 스마트 머신 및 알고리즘.
BMS	배터리 관리 시스템. 배터리의 상태를 모니터링 및 관리하고 전압, 온도, 전류, 성능 상태, 충전 상태 및 방전 심도와 같은 항목을 측정합니다.
CATL	Contemporary Amperex Technology Co., Limited. 리튬 이온 배터리를 개발 및 제조하는 중국 회사.
EDU	전기 구동 장치. 전력 전자장치, 변속기 및 전기 모터로 구성된 통합 장치.
HF	불화수소
HGV	대형 화물차량
HVAC	난방, 환기 및 공조
LCA	수명주기 평가. 제품 수명주기의 모든 단계(예: 원료 추출에서 가공, 제조, 사용 및 궁극적으로 재활용/폐기에 이르는)에 대한 환경 영향 평가.
LTO, LFP, LFMP, NMC, NCA, LMO, eLNO	자동차 애플리케이션에 사용되는 다양한 리튬 이온 음극재 및 양극재 재료의 예.
Li-S	리튬 황 배터리는 리튬 이온 배터리에 비해 에너지 밀도가 높고 원가를 절감합니다.
NMP	NMP(N-Methyl Pyrrolidone)는 배터리 셀 생산에 필요한 고가의 용매 물질이지만 최종 장치에는 포함되어 있지 않습니다. 또한 NMP는 가연성 증기를 배출하며 독성이 높습니다.
PE, PP, PVDF	폴리에틸렌, 폴리프로필렌 및 폴리비닐리덴 플루오라이드는 유용한 화학적, 열적 및 전기적 특성을 제공하는 열가소성 중합체입니다.
QA	품질 확인
SOC	충전 상태는 배터리 팩의 연료 게이지와 동일합니다. SOC의 단위는 일반적으로 백분율 포인트로 표시됩니다 (0% = 비어 있음, 100% = 가득 참).
VDA	Verband der Automobilindustrie eV는 리튬 이온 배터리 시스템에 대한 일련의 표준 및 권고 사항을 발표한 독일 자동차 산업을 지원하는 독일 이익 단체입니다.
VOC	휘발성 유기 화합물은 다양한 화학 물질로, 일부는 인체 건강에 장기적인 영향을 미칠 수 있습니다.

이 보고서를 구상하고 작성하는 데 도움을 제공한 스펠 크리에이티브(Spell Creative) 및 마인드래프트(Mindraft), 그리고 APC를 대신하여 로드맵 산업 설문 조사를 수행하고 지원한 BMG 리서치(BMG Research)에 특별히 감사드립니다.

이것은 APC에 의해서 가능해진 업계 합의 로드맵입니다.

2020 로드맵 업데이트 기간 중의 기업 참여 요약

업데이트에 참여한 기업의 증가

109개의 산업 조직이 워크샵 및 인터뷰에 참여했습니다.

38개의 산업 조직이 온라인 설문 조사를 통해 참여했습니다.

총 147개 산업 조직 참여

국제적 참여를 통한 국제적 관점

오스트리아	싱가포르
벨기에	스웨덴
영국	스위스
독일	미국
네덜란드	웨일스
스코틀랜드	일본