



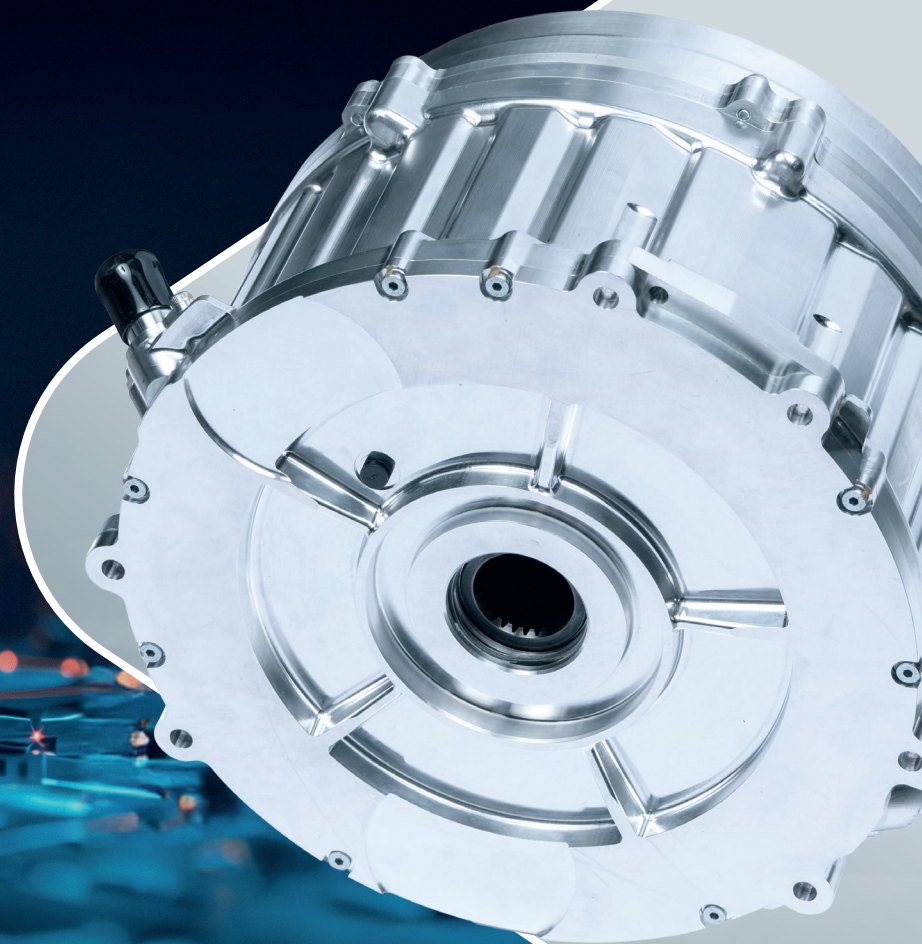
Electric Machines

전기 기계

Narrative Report

# 서술 보고서

2024



영국 자동차 위원회(Automotive Council UK)를 대신하여 영국 선진 추진 센터(Advanced Propulsion Centre UK)에서 제작 . 출판 당시 정확한 정보.

Produced by the Advanced Propulsion Centre UK on behalf of the Automotive Council UK. Information correct at time of publication.



## 목차

---

### 1.0 소개

1.1 2024년 로드맵 서문	3
1.2 2024년 로드맵의 목적	4
1.3 합의 도출	5
1.4 전기 기계 - 개요	7

### 2.0 교차 주제

2.1 정책 및 규정	8
2.2 에너지 및 인프라	10
2.3 소재 및 제조	11
2.4 디지털화	12

### 3.0 로드맵 배경 설명

3.1 전기 기계 - 기술 지표	13
3.2 전기 기계 - 기술 주제	15
용어집	31

# 1 소개

## 1.1 2024년 로드맵 서문



**Neville Jackson**

자동차 위원회 전략 그룹 의장  
(Automotive Council Strategy Group)



**Arun Srinivasan**

의장, 자동차 위원회 미래 기술 그룹 부의장, 영국 자동차 위원회  
(Automotive Council UK)

영국 자동차 위원회는 상용차와 오프로드 기계 및 관련 제품을 포함한 자동차 분야의 잠재적인 경로를 정의하는 강력하고 상세한 기술 로드맵을 제공하는 것으로 잘 알려져 있습니다. 이 로드맵은 영국의 환경 및 사회적 목표를 달성하기 위한 방안을 제시합니다. 로드맵은 현재 지식을 기반으로 하며, 새로운 아이디어와 기술이 등장함에 따라 정기적으로 갱신되어야 합니다. 영국 선진 추진 센터가 주도하는 이 작업을 통해 4세대 로드맵이 탄생했습니다.

많은 조직이 제품 기획 과정의 일환으로 로드맵을 개발하지만, 영국 자동차 위원회의 로드맵은 상용차 및 오프로드 기계를 포함한 자동차 부문의 합의된 견해를 제공한다는 점에서 차별성을 가집니다. 이를 통해 공통된 미래 과제를 정의하고

성공적이고 지속 가능한 탄소 중립 솔루션을 개발하기 위해 공동 연구 개발(R&D) 및 자금을 어디에 집중 투입할지 판단할 수 있습니다.

이러한 솔루션은 미래 소비자의 요구를 충족해야 하며 경험상의 문제나 운영상의 제한을 초래해서는 안 됩니다. 미래의 요구를 충족하기 위해 여러 가지 기술적 접근 방식이 실행 가능한 것으로 보이는 경우가 많습니다. 탄소 감축 목표 실현이 보다 시급한 만큼 이러한 모든 접근 방식을 탐색하고 시장에 도입하는 것이 중요합니다. 궁극적으로 한 가지 접근 방식이 우세해질 가능성은 있지만, 우리는 그 방식이 등장할 때까지 기다릴 여유가 없습니다.

## 1.2 | 2024년 로드맵의 목적

영국 자동차 위원회의 로드맵은 글로벌 자동차 산업의 주요 주제, 추세, 동인을 개략적으로 설명합니다. 이 서술 보고서는 로드맵의 주제를 설명하고 뒷받침하는 통찰력을 제공합니다. 이는 로드맵 내용 이면의 이유와 그것이 어떻게 사용되어야 하는지를 명확히 하는 데 도움이 됩니다.

이 보고서는 연구 개발(R&D), 혁신 및 부문 간 협업을 안내하는 것을 목표로 합니다. 업계, 학계, 정부가 이 정보를 어떻게 활용할 수 있는지에 대한 권고 사항 목록은 다음과 같습니다.



### 업계

- 기업 내부의 자체 연구 개발(R&D) 우선순위와 자동차 분야의 업계 동향 및 동인을 비교합니다.
- 공급망 위험을 평가하고 자동차 제품의 지속 가능하고 순환적인 비즈니스 모델을 위한 전략을 개발합니다.
- 스타트업들이 기술 집중, 투자 선택, 협업 계획을 안내하는 데 도움을 줍니다.



### 학계

- 해결해야 할 장기적인 연구 과제를 다룹니다.
- 자동차 산업의 요구에 맞춰 대학의 연구, 교육, 기술 개발을 조정합니다.
- 연구 결과를 실제 솔루션에 적용하기 위해 학계와 업계 간의 파트너십을 강화합니다.



### 정부와 정책 결정자

- 자동차 기술의 주요 주제와 추세를 이해합니다.
- 탄소 중립을 달성하기 위한 연구 개발(R&D) 우선순위와 혁신을 위해 정책 및 자금을 직접 지원합니다.
- 자동차 산업과 광범위한 산업 부문에 도움이 되는 부문 간 협업 및 무역 정책을 장려합니다.



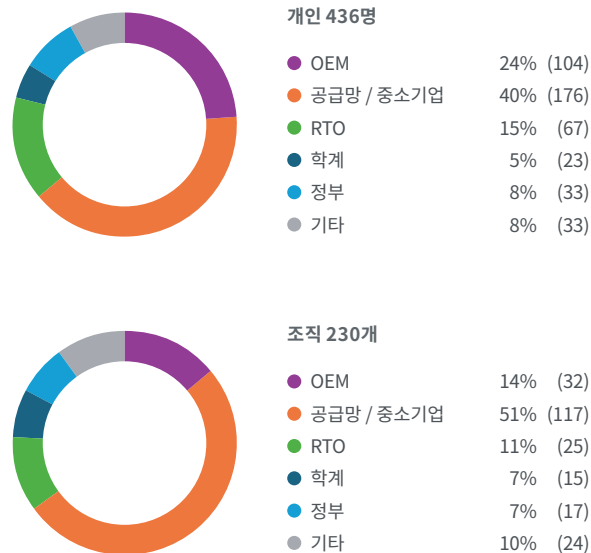
## 1.3 | 합의 도출

이 합의된 로드맵은 영국 선진 추진 센터(APC)의 지원을 받아 개발되었으며, 정부, 업계, 학계를 포함한 230개 조직을 대표하는 436명의 개인이 기여한 결과입니다.

2024년 로드맵에 필요한 정보 수집은 2023년 초부터 시작된 본 로드맵 준비 과정에 참여해 주신 분들의 폭넓은 기여와 소중한 피드백 덕분에 가능했습니다. APC는 다양한 웨비나, 워크숍, 설문조사에 참여하여 시간과 의견을 제공해 주신 모든 분들께 감사의 말씀을 드리고 싶습니다.

업계와 학계 전반에 걸친 협의 결과, 2024년 로드맵은 이전 버전을 기반으로 하여 자동차 부문과 이를 지원하는 산업 전반에 걸쳐 중대한 변화가 일어나고 있음을 보여줍니다.

그림 1: 개인 및 조직별 대표성





**Stefan Fuchss**

전기 구동 수석 엔지니어  
재규어 랜드로버  
(Jaguar Land Rover)

화석 연료 기반 추진 시스템의 탈탄소화는 기후 변화의 전반적인 영향을 줄이기 위한 핵심 엔지니어링 목표입니다. 하이브리드 구성과 배터리 또는 연료 전지 기반 에너지 저장 장치를 갖춘 완전 전기 시스템에서 eMachines의 활용도가 증가함에 따라 다음 두 가지 방법으로 탄소 배출 중립으로의 전환에 탄력을 받게 되었습니다. 첫째는 토크 및 전력 발전 과정에서 국지적 배출을 제거하는 것이고, 둘째, 필요한 에너지를 효율적으로 활용하는 것입니다. 특히

효율성 추구는 전기 추진 시스템의 경제성을 좌우할 것입니다. 에너지 저장 장치가 작아지면 비용과 무게가 감소하고 주행 거리를 회복하기 위한 충전 시간이 단축됩니다. 원자재, 부품 설계부터 조립 및 서비스까지 eMachine의 모든 측면에 집중함으로써 다양한 미래 사업 기회와 성장을 창출할 것입니다. 이것이 바로 JLR이 자체 eMachine 설계 및 제조에 막대한 투자를 한 이유 중 한 가지입니다.



**Markus Mueller 교수**

전기 발전 시스템 학과장  
영국 왕립 공학학회(RAEng) 신흥 기술 의장  
에든버러 대학교

자동차 산업은 2020년 영국 자동차 위원회의 마지막 로드맵 이후 전기 구동계에서 급속한 발전을 이루었습니다. 본 로드맵 업데이트는 제조 기술, 수명 주기 영향, 소재, 특히 주요 소재의 공급과 같은 여러 가지 교차 분야의 구현 요소를 제시합니다. 또한 전기 구동계의 통합적 측면을 강조하면서 전력 변환기 로드맵과 연결되는 소음, 진동 및 거칠음(NVH), 제어 및 열 관리의 중요한 측면에 대한 자세한 내용이 담겨 있습니다.

야심차고 현실적인 목표를 수립하고 국제적 리더십을 확보하기 위해 연구 개발(R&D) 및 기술 교육 분야에서 학계와 업계 간의 지속적인 협력을 장려합니다. 업데이트된 2020년 로드맵은 영국이 모든 자동차 부문에 있어 전력 전자, 기계 분야의 선두를 유지하고 모든 전기 에너지 혁명을 주도하도록 지원할 것입니다.

## 1.4 | 전기 기계 - 개요

전 세계적으로 전동 파워트레인을 필요로 하는 저배출 및 무공해 차량의 채택을 촉진하는 법률이 제정됨에 따라 전기 모터(e-모터)에 대한 수요가 꾸준히 증가하고 있습니다. 배터리 전기차(BEV), 연료 전지 전기차(FCEV), 하이브리드 자동차를 포함한 글로벌 경량 차량(LDV) xEV 생산량은 2030년까지 7,000만 대를 넘어서 것으로 예상됩니다<sup>1</sup>. 이러한 차량에는 각각 최소한 하나의 모터가 필요하며, 경우에 따라 바퀴당 모터가 하나씩 필요하기도 합니다.

### 개요: 전기 기계

#### 기술의 발전

최근 몇 년 동안 전기차용 모터는 더 높은 효율성, 안정성, 지속 가능성에 대한 필요성에 따라 발전과 변화를 겪었습니다. 이러한 모터는 토크, 가속, 전반적인 성능을 개선하여 운전 경험을 향상시킵니다.

차량의 출력이 향상되면서 비용, 효율성, 주행 역학에 더 많은 관심이 쏠리고 있습니다. 이는 통합을 지향하는 추세와 소음, 진동 및 거칠음(NVH)에 대한 관심에서 확인할 수 있습니다. 설계 단계에서 NVH를 고려하는 것은 편안한 주행 경험을 제공하기 위한 것이지만, 고성능 차량의 경우 주행에 개성을 부여하기 위한 것일 수도 있습니다. 전력 전자 장치와 같은 다른 하위 시스템과의 추가 통합과 소프트웨어 제어 시스템을 통해 안전성, 수명 및 성능을 향상시키는 새로운 기능을 제공합니다.

#### 소재 및 경량화

제조업체들은 모터 무게를 줄이기 위해 더 가벼운 소재를 연구하고 있습니다. 가벼운 차량 전기 모터는 차량의 효율성, 주행 거리, 핸들링을 향상시키는 데 도움이 됩니다. 모터를 차체에 통합함으로써 공간을 절약하고 더욱 유연한 설계 옵션을 구현할 수 있습니다.

현재 네오디뮴 기반 자석(영구 자석) 기술이 시장을 지배하고 있으며, 희토류 공급망에 대한 의존도를 줄이기 위한 대체 소재에 대한 혁신도 함께 이루어지고 있습니다. 철 페라이트, 철 질화물과 같은 소재가 유망해 보입니다. 특히 사륜구동(AWD) 차량의 보조 구동 장치로 자석이 없는 모터를 통합하는 경향이 증가하고 있습니다.

EV 모터 공급망에서 희토류 원소가 주요 관심사인 반면, 구리 공급에 대한 위협이 커지고 있습니다. 에너지 전환과 현재 권선 설계가 주로 구리에 의존함에 따라 구리에 대한 수요가 증가하고 있습니다. 가격 상승과 잠재적인 부족, 또는 공급의 공백으로 인해 알루미늄과 같은 대체 소재나 혁신적인 권선 설계의 인기가 높아질 것입니다.

#### 디지털 기술의 부상

디지털 기술은 설계부터 제조 및 제어에 이르기까지 전기 기계 로드맵에서 중요한 역할을 하고 있습니다. 인공지능(AI)과 데이터가 핵심 역할을 할 것임은 분명합니다.

설계와 통합 수준이 달라 분해와 재활용이 어렵기 때문에 지속 가능성을 개선하는 것은 까다롭습니다. 특히 용량이 증가하고 포함된 소재의 가치가 상승함에 따라 소재를 추출하는 새로운 방법이 필요합니다.



이는 2024년 로드맵의 새로운 섹션으로, 차량 시스템과 기술을 넘어선 문제와 동인에 대한 포괄적 맥락을 제공하는 것을 목표로 합니다.

기술 로드맵의 모든 측면에 영향을 미치는 4가지 포괄적인 주제 또는 미시적 수준의 동인이 언급되었습니다. 파악한 동인은 다각적이며, 글로벌 규모에서 지역 규모까지 다양합니다. 글로벌 동인은 국가의 경계를 넘어서는 변화와 과제를 포괄하며 영국 공급업체의 직접적인 영향을 넘어서는 경우도 많습니다. 국가적 동인은 영국의 사회 경제적 및 규제 환경에서 고유한 요소이며, 지역적 동인은 영국 내 특정 지역이나 커뮤니티에 영향을 미칩니다. 이러한 교차적 주제와 동인 간의 상호 작용은 예측된 기술 솔루션의 진화와 발전에 영향을 미칩니다. 이러한 동인들은 서로 상호 작용하고 기술 로드맵과도 상호 작용하여 특정 기술의 발전을 촉진하는 동시에 다른 기술의 변화를 필요로 합니다. 이 섹션에서는 기술과 혁신의 지형을 재편하는 네 가지 핵심 동인을 자세히 살펴봅니다.

- 1 정책 및 규정: 입법 체계가 기술 발전에 미치는 영향을 살펴봅니다.
- 2 에너지 및 인프라: 혁신을 추진하는 데 있어 에너지 가용성과 인프라 지원의 역할을 평가합니다.
- 3 재료 및 제조: 제조 역량 및 제약이 기술 개발에 미치는 영향 이해.
- 4 디지털화: 자동차 부문 전반에 걸쳐 디지털 기술의 혁신적 잠재력을 탐구합니다.

## 2 | 교차 주제

### 2.1 | 정책 및 규정

자석, 구리, 전기강 등의 소재 추출, 사용 및 재활용에 영향을 미칠 수 있는 주요 규정과 의무가 전 세계적으로 시행되고 있습니다.

#### EU의 핵심 원자재법<sup>2</sup>

유럽연합(EU)의 핵심 원자재법은 에너지 전환 기술에 사용되는 핵심 원자재에 대한 탄력적인 공급망을 구축하는 것을 목표로 합니다. EU의 핵심 원자재법은 2023년 기준 34개의 핵심 원자재를 목록화했으며, 그 중 10개 이상이 전기차 공급망과 관련이 있습니다. 이 법률은 2030년까지 전략 원자재에 대해 달성해야 할 목표치를 제시하고 있습니다.

- EU 연간 소비량의 최소 10%를 역내 채굴
- EU 연간 소비량의 최소 40%를 역내 가공
- EU 연간 소비량의 최소 15%를 역내 재활용
- 각 전략적 원자재의 가공 단계에서 제3의 단일 국가로부터의 수입 비중이 65%를 초과하지 않아야 합니다.

총 34가지 원자재를 나열한 주요 원자재법은 유럽 OEM 공급업체에게 위협이자 기회로 작용할 수 있습니다. 이 법안은 제3국으로부터 핵심 전략 원자재를 조달하는 데 따르는 새로운 규제 및 장벽을 초래하는 위협이 될 수 있지만, 유럽 대륙 내 전기 공급망의 투자와 개선이라는 기회가 될 수 있습니다.

#### 영국 핵심 광물 전략

영국은 에너지 안보를 강화하고 전략적으로 중요한 자원에 대한 국내 산업의 대응력을 향상시키기 위해 2022년 7월에 핵심 광물 전략을 발표했습니다. 이 전략은 영국의 핵심 광물에 대한 국내 성장 역량을 향상시키는 방향으로 추진되고 있습니다. 이 전략은 잠재적으로 새로운 채굴(광산) 개발을 장려하고 영국 내의 광물 생산 능력을 강화할 것입니다.

위에서 설명한 자석과 관련된 핵심 재료의 발전은 공급망의 변동성과 불확실성을 줄이기 위해 자석이 없는 모터를 설계하고 생산하는 형태로 자동차 산업에 영향을 미칠 것입니다.

<sup>2</sup> [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en)

## 세계적 배출량 감축 목표

전기차의 대중화를 앞당기고 내연 기관(ICE) 차량에 대한 생산 금지 조치를 추진하려는 글로벌 의무화 규정(그림 2 참조)은 전기 모터에 대한 직접적인 수요 증가로 이어질 것입니다. 영국 선진 추진 센터(APC)의 2024년 1분기 수요 보고서<sup>3</sup>에 따르면 유럽에서 2,300만 개의 전기 모터가 필요할 것으로 예상되며, 이를 위해 모터 사용 및 응용 분야에 25kt의 자석이 필요할 것으로 나타났습니다. 또한 2035년까지 영국에서 약 200만 개의 전기 모터가 필요할 것이며, 이에 따라 전체적으로 자석 수요가 2.4kt에 달할 것으로 예상됩니다.

그림 2:  
무공해 차량 판매 약속

	2025년	2030년	2035년	2040년
EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>차량 전체에서 CO<sub>2</sub> 배출량 15% 감축</li> <li>HDV 차량에서 CO<sub>2</sub> 배출량 15% 감축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>차량 전체에서 55% CO<sub>2</sub> 배출량 감축(LCV의 경우 50%)</li> <li>HDV 차량에서 CO<sub>2</sub> 배출량 45% 감축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전체 신규 차량 CO<sub>2</sub> 배출량 제로</li> <li>HDV 65% 차량 CO<sub>2</sub> 배출량 감축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>HDV 90% 차량 CO<sub>2</sub> 배출량 감축</li> </ul>
영국	<ul style="list-style-type: none"> <li>ZEV 목표 판매량 승용차 22% 및 밴 10%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ZEV 목표 판매량 승용차 80% 및 밴 70%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ZEV 승용차 및 밴 전체 판매량</li> <li>전체 26톤 미만 HDV, ZEV로 전환</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전체 HDV, ZEV로 전환</li> </ul>
나머지 국가	<ul style="list-style-type: none"> <li>캐나다 소형 및 대형 판매 차량 20%, ZEV로 전환 (2026년)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>미국 판매 차량 50%, 전기차로 전환</li> <li>중국 판매 차량 60%, NEV로 전환</li> <li>일본 판매 승용차 20%, BEV 및 PHEV로 전환</li> <li>인도 판매 차량 30%, ZEV로 전환, 상용차 70% 및 이륜/삼륜차 80%</li> <li>호주 LDV 판매 30%, ZEV로 전환</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>캐나다 소형 및 대형 차량 판매 100%, ZEV로 전환</li> <li>일본 승용차 판매 100%, EV로 전환</li> <li>호주 LDV 판매 100%, ZEV로 전환</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>중국 소형 및 대형 차량 판매 100% NEV로 전환</li> </ul>

발행 시점의 정확한 날짜

3 [https://www.apcuk.co.uk/wp-content/uploads/2024/07/APC\\_xEV\\_Demand\\_Q12024\\_FINAL.pdf](https://www.apcuk.co.uk/wp-content/uploads/2024/07/APC_xEV_Demand_Q12024_FINAL.pdf)

## 2.2 | 에너지 및 인프라

높은 인플레이션 환경과 높아진 지정학적 위험으로 인해 BEV를 포함한 새로운 기술 가치 사슬이 붕괴되었습니다. 이러한 현상으로 인해 전기차 산업의 초점이 성능 중심 기술에서 비용 중심 혁신으로 변화하게 되었습니다.

비용을 절감하고 차량의 효율성을 높이기 위해서는 파워트레인 효율성이 전체 시스템의 핵심 요소로 고려됩니다. 전기 모터는 파워트레인 내의 에너지 소비에 직접적인 영향을 미치며, 800V 시스템 아키텍처로 발전함으로써 소재 사용량을 줄이면서 효율성을 높일 수 있습니다.

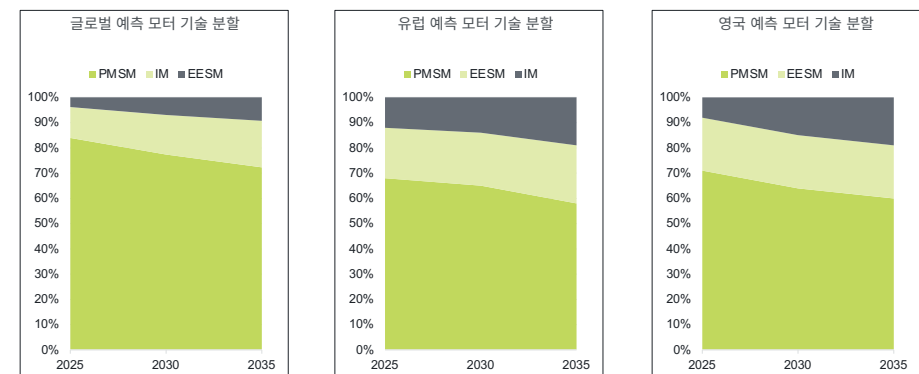
현재의 전기 모터는 주로 영구 자석 동기 모터(PMSM)이며, 희토류 원소(REE)로 만든 자석을 사용합니다. 질화철과 같은 후보 물질은 희토류 원소를 원료로 하는 영구 자석의 대체재로 연구되고 있습니다. APC의 2024년 전기 모터 가치 사슬

보고서<sup>4</sup>에 따르면, 자석 비용이 전기 모터의 전체 제조 비용에서 상당 부분을 차지한다고 합니다.

APC의 분기별 수요 분석(그림 3 참조)에서 예측한 대로, 자기(magnetic) 기술에 대한 대체 접근 방식에 대한 노력이 증가하고 있습니다. 여기에는 EESM과 유도 전동기가 포함됩니다. 그러나 영구 자석 모터에 비해 자석이 없는 모터에는 안정성과 성능에 대한 우려가 존재합니다.

다른 소재에 대한 민감도는 알루미늄, 구리, 전기강판 가격과 관련이 있습니다. 자석을 사용하지 않게 되면 전기강판, 구리, 알루미늄의 가격이 눈에 띄게 상승했습니다. 따라서 주요 국가와 정부는 이러한 핵심 원자재를 채굴하고 유통하기 위한 전반적인 인프라와 공급망을 개선해야 한다는 절박한 필요성을 느끼고 있습니다.

그림 3: 자동차 응용 분야에 분할된 전기 모터 기술(APC 분석)



출처: <https://www.apcuk.co.uk/knowledge-base/resource/e-motors-value-chain/>

4 <https://www.apcuk.co.uk/knowledge-base/resource/e-motors-value-chain/>



## 2.3 | 소재 및 제조

### 가격 동인

전기 모터의 비용 절감과 출시 기간 단축에 초점을 맞추기 위해서는 혁신과 새로운 제조 방법이 필요합니다.

기존의 전기 모터 구성은 스테이터 권선 및 코어 적층과 같은 특수 가공을 필요로 하는 방사형에서 축방향 및 횡방향 자속 모터로 전환되면서 도전을 받고 있습니다. 전기 모터의 제조 비용은 전체 생산 비용의 5분의 1을 차지하는데, 이는 공정의 노동 집약적 특성 때문입니다. 자동화와 로봇 기술은 전기 모터 생산 라인의 효율을 관리하고 개선하는 데 중요한 역할을 합니다.

### 새로운 규정과 신소재

재활용 및 지속 가능성 이니셔티브에 대한 규정이 채택됨에 따라 전기 모터 제조에 있어 핵심 재료의 채굴(추출)과 재사용이 중요해질 것입니다.

조립, 분해 및 재사용(수명 주기 영향)을 고려하여 모터와 그 구성 요소를 설계하는 데 다시 중점을 둘 것입니다. 풍력 터빈이나 현재

전기차와 같은 다양한 기존 에너지 전환 기술에서 재활용된 자석을 통합하는 기술은 가까운 미래에 주목 받게 될 것입니다.

중국이 공급망과 재료 가공을 모두 장악하고 있는 희토류(REE)는 주요 관심사입니다. 공급 위험을 다각화하기 위해 전 세계의 다른 국가들은 각자의 핵심 자재 공급망을 구축하기 시작했습니다. 희토류가 모터의 자재 명세서에서 우위를 점하고 있지만 구리도 그 뒤를 바짝 쫓고 있습니다. 구리 가격은 지난 12년 동안 3배가 올랐고 에너지 전환 기술에 대한 수요가 증가함에 따라 계속 상승하고 있습니다. 새로운 공급의 속도는 수요를 따라잡지 못할 것으로 보이며, 이로 인해 일부 응용 분야는 알루미늄과 같은 대체재로 전환될 것입니다.

전 세계적으로 원산지 규정에 대한 새로운 규정(현재 영국과 EU에서 시행 중)으로 인해 현재의 소재 여권 추적 시스템의 범위가 확대될 것입니다. 자재 원산지 추적을 통해 순환 여권 발급 방식이 활성화되어 지속 가능성과 탄소 중립 제조를 향한 노력을 더욱 강화할 수 있습니다. 디지털 혁신과 아키텍처를 개발하면 여권 시스템의 전반적인 기능을 개선할 수 있습니다.

## 2.4 | 디지털화

디지털화는 자동차 산업과 가치 사슬 내에서 전기 모터 개발을 가능하게 하는 핵심 요소입니다. 이는 세 가지 주요 부문으로 구성됩니다.

- 설계 및 최적화
- 제조
- 측정 및 모니터링

전자 모터의 설계는 AI와 고급 시뮬레이션 기술 등의 신기술로 인해 점차 활성화되고 있습니다. 초고속 컴퓨팅 성능과 대규모 언어 모델(LLM)의 부상으로 고객 및 운영 요구 사항을 충족하기 위해 다양한 잠재적 설계의 빠른 시뮬레이션과 반복이 가능해졌습니다.

### 소음, 진동 및 거칠음

소음, 진동 및 거칠음(NVH)은 첨단 디지털 기술의 혜택을 누릴 수 있는 부문입니다. NVH는 운전자 경험을 개선하고 차량의 안정성을 높이는 데 중요합니다. AI 기반 설계, 시뮬레이션 및 모델링을 결합하면 최적의 NVH 성능을 위한 최적의 경로를 제공하는 데 도움이 될 수 있습니다.

### 제조업의 미래

미래의 제조 조립 라인에는 디지털 트윈, 로봇 공학, 자동화와 같은 기술의 혜택을 누릴 수 있습니다.

디지털 트윈은 물리적 조립 단위를 효율적으로 표현하고 낭비를 제거하여 운영의 안전성을 향상시킵니다. 이 기술은 작업의 실시간 모니터링을 가능하게 하고, 잠재적으로 오작동이 치명적인 문제로 이어지기 전에 개입할 수 있도록 도와줍니다.

일반적으로 3D 프린팅이라고 불리는 적층 제조는 전기 모터 생산에서 비용을 절감하고 혁신적인 설계를 가능하게 합니다. 적층 제조는 컴퓨터 지원 설계 파일을 통해 전기 모터와 같은 물리적 개체를 생산함으로써 구현됩니다. 적층 제조는 무게를 줄이고 전반적인 성능을 개선할 수 있는 잠재력을 가지고 있습니다.

실시간 모니터링과 사전 오류 감지를 통해 전기 구동 장치(EDU)의 운영 탄력성을 향상시킬 수 있습니다. 센서를 내장하고 사물인터넷(IoT) 기술을 확산함으로써 전기차의 차량 관리자는 예측 및 예방적 유지 보수를 수행할 수 있습니다. 또한 안정성이 높아지면 고객에게 더 나은 재판매 가격과 보험료를 제안할 수 있습니다.

IoT 모니터링을 클라우드 기반 분석과 결합하면 전기 모터의 실시간 열 관리가 가능합니다. 또한 지능형 소프트웨어 제어 방법을 통해 에너지 절감 메커니즘을 구현할 수도 있습니다.

## 3 | 로드맵 배경 설명

### 3.1 | 전기 기계 - 기술 지표

이 기술 지표는 전력 밀도가 증가하고 비용이 감소하고 있음을 보여줍니다. 이는 로드맵에 포함된 새로운 기술의 실현과 디지털화를 통한 제조 비용 절감을 통해 달성될 것으로 예상됩니다.

#### 대량 생산

이러한 제품의 경우 저비용으로 규모의 경제를 달성하는 것이 가장 중요합니다. 해당되는 응용 분야로는 대량 생산 승용차와 배달용 밴이 포함됩니다.

규모의 경제를 통해 상당한 비용 절감이 가능합니다. 여기 제시된 목표를 달성하기 위해서는 전기차의 보급을 촉진하기 위해 비용을 절감하는 것이 중요합니다. 전력 밀도는 무게를 최소화하고 패키징 공간을 확보하는 데 중요합니다. 대량 생산에는 모터의 능동 및 수동 부품만 포함됩니다.

#### 고성능

고전력 밀도가 필요하며 원가는 크게 결정적인 요소가 아닙니다. 응용 분야로는 고성능 승용차, 버스 및 일부 중형 차량(일반적으로 800V)이 포함됩니다.

	2025년	2035년	2040년
체적 전력 밀도(kW/l)	25	35	40
중량 전력 밀도(kW/kg)	8	12	16
최대 출력(kW)*	120~250	>250	>250
연속 출력(kW)*	50~150	150	≥150

	2025년	2035년	2040년
체적 전력 밀도(kW/l)	35	50	65
중량 전력 밀도(kW/kg)	10	15	23
최대 출력(kW)*	>500	500~800	>800
연속 출력(kW)*	450	650	>650

#### 기술 지표

	2025년	2035년	2040년
체적 전력 밀도(kW/l)	25	35	40
중량 전력 밀도(kW/kg)	8	12	16
최대 출력(kW)*	120~250	>250	>250
연속 출력(kW)*	50~150	150	≥150

	2025년	2035년	2040년
체적 전력 밀도(kW/l)	35	50	65
중량 전력 밀도(kW/kg)	10	15	23
최대 출력(kW)*	>500	500~800	>800
연속 출력(kW)*	450	650	>650

	2025년	2035년	2040년
체적 전력 밀도(kW/l)	35	50	65
중량 전력 밀도(kW/kg)	10	15	23
최대 출력(kW)*	>500	500~800	>800
연속 출력(kW)*	450	650	>650

#### 2025년 기술 로드맵 전기 기계

	2025년	2035년	2040년
체적 전력 밀도(kW/l)	5	10	14
중량 전력 밀도(kW/kg)	4	6	8
최대 출력(kW)*	200~500	300~500	400~500+
연속 출력(kW)*	150~350	180~350	250~350+
연속 토크(Nm)	400~800	800~1200	1000~1200+
최대 토크(Nm)	800~1500	1500~2000	2000+

	2025년	2035년	2040년
체적 전력 밀도(kW/l)	5	10	14
중량 전력 밀도(kW/kg)	4	6	8
최대 출력(kW)*	<100	<150	<150
연속 출력(kW)*	<75	<75	<75
연속 토크(Nm)	400~800	800~1200	1000~1200+
최대 토크(Nm)	800~1500	1500~2000	2000+

\*이러한 목표는 현재 기술로 달성할 수 있는  
가장 높은 성능을 나타내며, 이는 기술의 발전에 따라 달라질 수 있습니다.  
이러한 목표는 현재 기술로 달성할 수 있는 가장 높은 성능을 나타내며, 이는 기술의 발전에 따라 달라질 수 있습니다.

이러한 목표는 현재 기술로 달성할 수 있는 가장 높은 성능을 나타내며, 이는 기술의 발전에 따라 달라질 수 있습니다.

이러한 목표는 현재 기술로 달성할 수 있는 가장 높은 성능을 나타내며, 이는 기술의 발전에 따라 달라질 수 있습니다.

이러한 목표는 현재 기술로 달성할 수 있는 가장 높은 성능을 나타내며, 이는 기술의 발전에 따라 달라질 수 있습니다.

이러한 목표는 현재 기술로 달성할 수 있는 가장 높은 성능을 나타내며, 이는 기술의 발전에 따라 달라질 수 있습니다.

이러한 목표는 현재 기술로 달성할 수 있는 가장 높은 성능을 나타내며, 이는 기술의 발전에 따라 달라질 수 있습니다.



이러한 응용 분야에는 더 높은 전력 밀도와 신뢰성이 필요하지만, 에너지 사용을 극대화하기 위한 열쇠는 효율입니다. 응용 분야로는 44톤 트럭과 대형 비포장도로용 차량이 있습니다. 토크는 피크 출력보다 더 중요하므로 대형 차량 및 비포장도로용 응용 분야에 포함됩니다.

## 비도로 이동식 장비

일반적으로 비도로 이동식 장비(NRMM)는 보조 동력을 위해 더 많은 모터를 필요로 합니다. 보조 동력은 이 로드맵에서 명시적으로 다루지 않습니다. NRMM은 더 작고 가벼우며 분산된 모터를 필요로 하며, 전력 요구량은 낮지만 높은 연속 속도와 토크를 필요로 합니다.

	2025년	2035년	2040년	
HDV	제적 전력 밀도(kW/l)	6	10	14
	중량 전력 밀도(kW/kg)	4	6	8
	최대 출력(kW)*	250~500	300~500	400~500+
	연속 출력(kW)*	150~350	180~350	250~350+
	연속 토크(Nm)	480~800	800~1200	1000~1200+
	최대 토크(Nm)	800~1500	1500~2000	2000+

	2025년	2035년	2040년	
오프하이웨이 (NRMM 포함) 차량**	제적 전력 밀도(kW/l)	6	10	14
	중량 전력 밀도(kW/kg)	4	6	8
	최대 출력(kW)*	<100	<150	<150
	연속 출력(kW)*	<55	<75	<75
	연속 토크(Nm)	480~800	800~1200	1000~1200+
	최대 토크(Nm)	800~1500	1500~2000	2000+

기술 지표

2024년 기술 목표

전기 기계

Automotive Council UK

Advanced Propulsion Centre UK

	2025년	2035년	2040년	
대형 생산 기술	배터리 전력 밀도(MWh/kg)	25	35	40
	충전 전력 밀도(MWh/kg)	8	12	16
	회전 출력(kW/hl*)	120~230	>250	>250
	연속 출력(kW/hl*)	50~150	150	>150
혁신의 기술	배터리 전력 밀도(MWh/kg)	35	50	60
	충전 전력 밀도(MWh/kg)	8	14	18
	회전 출력(kW/hl*)	350	900	>900
	연속 출력(kW/hl*)	230	400	>400
고성능 기술	배터리 전력 밀도(MWh/kg)	35	50	65
	충전 전력 밀도(MWh/kg)	35	15	23
	회전 출력(kW/hl*)	>600	500~800	>800
	연속 출력(kW/hl*)	450	650	>650

2025년

2035년

2040년

H2V

배터리 전력 밀도(MWh/kg)	6	10	14
충전 전력 밀도(MWh/kg)	4	6	8
회전 출력(kW/hl*)	250~500	300~500	400~500+
연속 출력(kW/hl*)	150~350	180~500	250~350+
연속 토크(Nm)	480~800	800~1200	1000~1200+
최대 토크(Nm)	800~1500	1500~2000	2000+

오트 로비(별칭)  
(Nishiki 로blem)  
차량\*\*

배터리 전력 밀도(MWh/kg)	6	10	14
충전 전력 밀도(MWh/kg)	4	6	8
회전 출력(kW/hl*)	>100	>150	>150
연속 출력(kW/hl*)	<55	<75	<75
연속 토크(Nm)	480~800	800~1200	1000~1200+
최대 토크(Nm)	800~1500	1500~2000	2000+

\*kW/hl은 단위 무게당 출력 밀도를 나타내며, kW는 전력, hl은 회전력 단위를 나타냅니다.

\*\*이 차량은 현재 개발 중인 차종이며, 구체적인 사양은 향후 발표될 예정입니다.

출처: 본 센터의 연구 결과에 기반하며, 일부 데이터는 관련 기관에서 제공된 자료에 기초합니다.

기술 지표

2024년 기술 목표

전기 기계

Automotive Council UK

Advanced Propulsion Centre UK

## 3.2 | 전기 기계 - 기술 주제

본 보고서의 다음 몇 페이지에서는 전기 기계 로드맵의 각 섹션을 심층적으로 살펴보겠습니다. 해당 문서를 준비해 두는 것을 추천합니다. 하지만 참고하기 편리하도록 관련 페이지가 그림에 나와 있습니다.

### 로드맵 기술 주제

(밑줄이 있는 링크를 클릭하면 해당 섹션으로 이동합니다)

#### 차량용 아키텍처

기계 아키텍처는 전기 기계의 자기적, 기계적 설계의 혁신과 이 설계가 더 넓은 범위의 파워트레인 시스템에 어떻게 통합되는지를 보여줍니다.

#### 열 관리

열 관리 기술은 열을 효율적으로 방출하고 최적의 작동 온도를 유지함으로써 전기 기계의 성능, 효율, 비용 효율을 개선하는 것을 목표로 합니다. 이 목표는 여기에 자세히 설명된 다양한 냉각 전략과 소재 개발을 통해 실현할 수 있습니다.

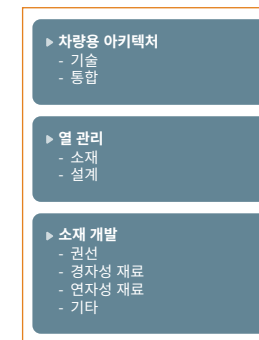
#### 소재 개발

권선: 전기 기계의 핵심 부품으로, 소재 개발은 이러한 부품 성능을 향상시키는 것을 목표로 합니다.

경자성 소재: 대부분의 전기차(EV) 차량 전기 모터에서 가장 큰 비용을 차지하므로 소재, 공급망 및 제조 혁신을 통해 비용을 줄이는 것이 필수적입니다. 자동차 산업의 1차 희토류 소재에 대한 의존도를 줄이고 소결 네오디뮴 철 붕소(NdFeB) 자석에서 탈피하는 것은 잠재적인 혁신 분야입니다.

연자성 재료: 전기 기계의 핵심 부분에 사용됩니다. 이 섹션에서는 전기관판과 연자성 복합재에 대한 소재 혁신을 강조합니다.

기타: 전기 모터의 다른 부분에 사용되는 소재 개발을 포함합니다.



기술 로드맵

	2024년	2025년	2026년	2027년
차량용 아키텍처 기술 통합	<a href="#">기술 통합 로드맵</a>			
열 관리 소재, 설계	<a href="#">소재, 설계 로드맵</a>			
소재 개발 권선, 경자성 재료, 연자성 재료, 기타	<a href="#">소재 개발 로드맵</a>			
기타	<a href="#">기타 로드맵</a>			

본 로드맵은 2024년 1월 1일부터 2027년 12월 31일까지의 기간을 다룹니다. 로드맵은 현재 진행 중인 프로젝트와 미래에 계획 중인 프로젝트를 포함합니다. 로드맵은 정기적으로 검토되고 업데이트될 것입니다. 로드맵은 2024년 1월 1일부터 2027년 12월 31일까지의 기간을 다룹니다. 로드맵은 현재 진행 중인 프로젝트와 미래에 계획 중인 프로젝트를 포함합니다. 로드맵은 정기적으로 검토되고 업데이트될 것입니다.

## 제조 및 공정

제조 혁신과 제조 공정 최적화는 전기 기계 생산의 효율성, 비용 효과성 및 지속 가능성을 향상시킵니다. 이 섹션에서는 새로운 권선 기술, 고급 자성체 제조 방법 및 모터 조립 시 습식 공정에 대한 의존도를 줄이는 방법에 대해 설명합니다.

## 소음, 진동 및 거칠음(NVH)

NVH, 효율성, 성능의 균형을 맞추는 것은 전기 기계 개발의 핵심 고려 사항입니다. 이 섹션에서는 전기 기계 설계, 시스템 수준 설계, 대책 및 구축된 시스템 제어의 조합에 대해 자세히 설명합니다.

## 소프트웨어 및 드라이브 제어

소프트웨어 및 드라이브 제어는 전기 기계 및 전력 전자 장치와 함께 작동하여 전기 구동 장치(EDU)/전기 축(E-Axle)을 제어합니다. 이 섹션에서는 성능과 안전을 고려한 해당 분야의 발전에 대해 다룹니다.

## 수명 주기

수명 주기 영향에는 탄소 집약도, 환경 영향, 자원 소비, 전기 기계 및 공급망의 재활용 가능성 등이 포함됩니다.

이러한 모든 요소를 개선해야만 전기 기계가 진정으로 지속 가능한 솔루션이 될 수 있습니다.

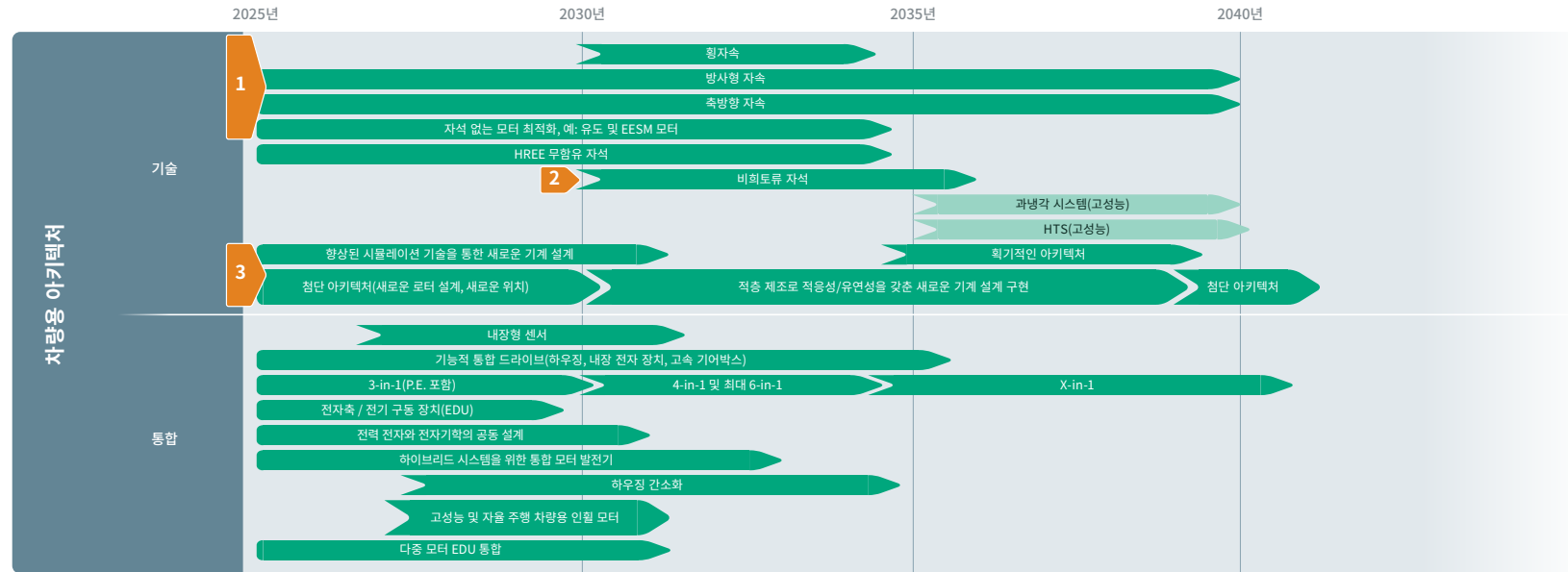
소재 회수 부분에서는 전자 기계에서 소재를 회수하고 재활용하는 방법에 대한 개발 내용을 자세히 살펴보겠습니다.

▶ 제조 및 공정
- 하우징
- 권선
- 스테이터/로터
- 기타
▶ 소음, 진동 및 거칠음(NVH)
▶ 소프트웨어 및 드라이브 제어
▶ 수명 주기
- 수명 주기 영향
- 소재 회수

기술 로드맵				
	2024년	2025년	2026년	2027년
▶ 제조 및 공정	▶ 하우징			
▶ 권선				
▶ 스테이터/로터				
▶ 기타				
▶ 소음, 진동 및 거칠음(NVH)				
▶ 소프트웨어 및 드라이브 제어				
▶ 수명 주기				
- 수명 주기 영향				
- 소재 회수				



이 섹션에서는 전기 기계 로드맵의 항목별 현황에 대해 자세히 살펴봅니다. 해당 숫자는 본 보고서에서 자세히 다루고 있는 항목으로 안내합니다.



## 차량용 아키텍처

**1** 가까운 미래에 여러 가지 새로운 모터 설계가 개발되고 개선될 것으로 예상됩니다.

**축방향 자속 모터:** 이 모터는 방사형 자속 모터에 비해 더 높은 중량대 전력비를 제공하므로 고성능 전기차(EV)에 적합합니다. 이 모터는 크기가 작고 제한된 공간에 맞출 수 있도록 설계할 수 있으며, 높은 효율을 제공합니다.

**방사형 자속 모터:** 이 모터는 예전부터 많은 전기차에 사용되어 왔으며 성능, 효율, 제조 가능성 간의 적절한 균형을 제공합니다. 소재와 설계의 지속적인 발전으로 인해 전력 밀도와 열 관리 측면에서 경쟁력이 더욱 강화되고 있습니다.

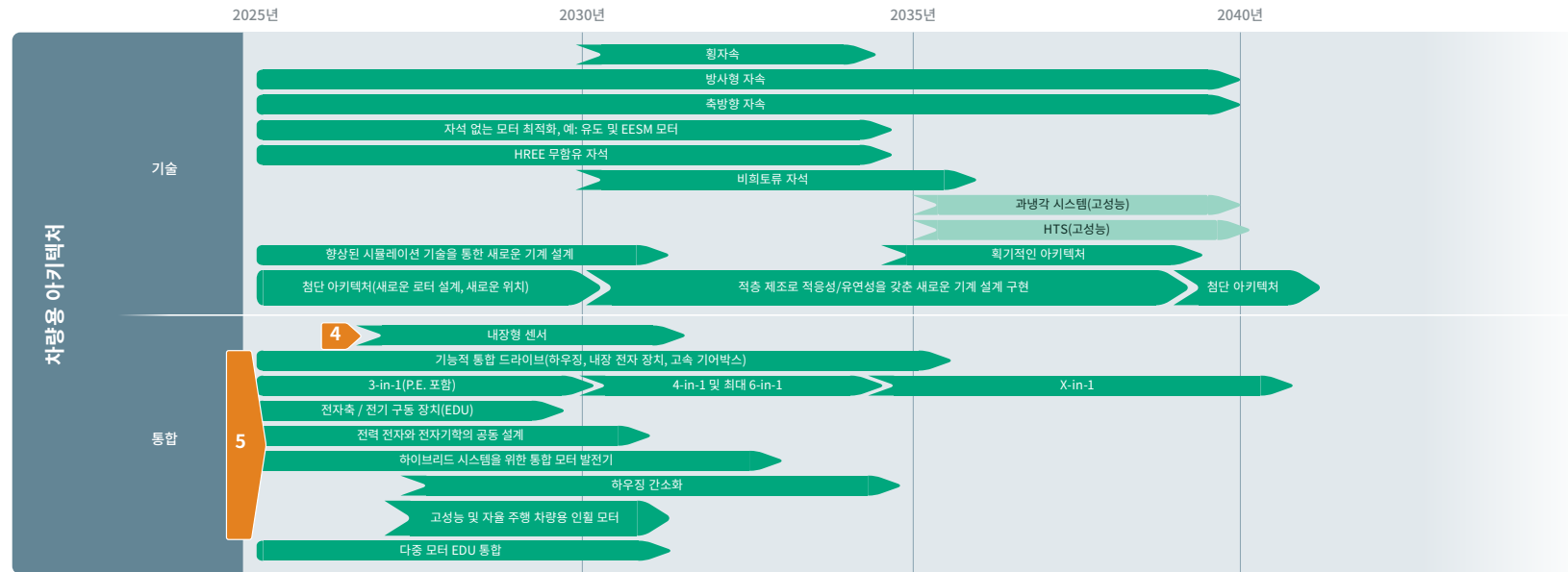
**유도 전동기:** 이 모터는 견고하며 희토류 기반 자석에 의존하지 않으므로 비용 효율적이고 지속 가능합니다. 또한 높은 안정성과 열 성능을 갖추고 있어 고성능 전기차(EV) 응용 분야에 특히 적합합니다.

**EESM:** 영구 자석 대신 전자자석을 사용하여 희토류 재료에 대한 의존성 없이 비슷한 성능 이점을 제공합니다. 이러한 기술은 고속 주행 시 자기장 세기가 약화되어 효율 측면에서 강점을 가지고 있습니다.

**회전자속 모터:** 이 모터는 저속에서 높은 토크를 제공하므로 전기차에 이상적입니다. 회전자의 이동 방향과 회방향인 자속 경로를 사용하여 효율성과 전력 밀도를 향상시킵니다.

**2** 환경 문제와 공급망의 취약성으로 인해 중희토류(REE) 사용이 감소하고 있습니다. 이로 인해 희토류가 포함되지 않은 자석이 더욱 보편적으로 채택될 가능성이 높습니다.

**3** 전자기장과 열적거동을 정밀하게 모델링할 수 있는 첨단 시뮬레이션 도구를 사용하여 새로운 모터 설계를 개발할 예정이며, 실제로 프로토타입 제품을 제작하기 전에 모터 설계를 더욱 최적화할 수 있습니다.



## 차량용 아키텍처(계속)

4 모터 아키텍처 내에 센서를 장착하면 온도, 진동, 자기장 세기 등 다양한 매개변수를 실시간으로 모니터링할 수 있습니다. 이를 통해 예측 유지 보수 및 적응형 제어 전략이 가능해져 모터의 성능, 안전성 및 신뢰성을 향상 수 있습니다.

5 다양한 기능과 구성 요소를 모터, EDU 또는 전기 축(E-Axle)에 통합하는 것이 최근의 발전 추세입니다.

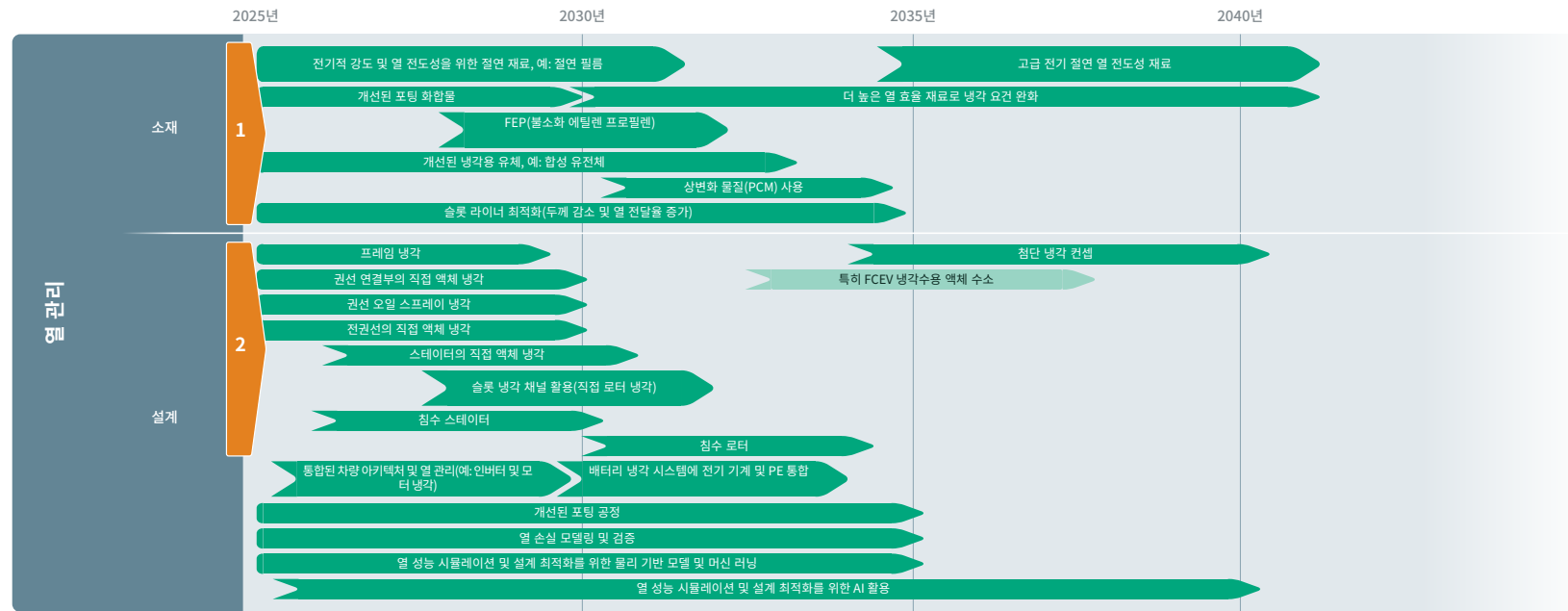
하우징 내장 전자 장치: 전력 전자 장치를 모터 하우징에 직접 통합하면 공간과 냉각 요건이 줄어들고, 더 경량의 효율적인 설계가 가능해집니다.

고속 기어박스 통합: 모터와 고속 기어박스를 하나의 하우징에 결합함으로써 더 높은 전력 밀도와 더 나은 열 관리에 도움이 됩니다.

전력 전자 장치와 전자석을 함께 설계하면 최적의 성능과 효율이 보장됩니다. 이러한 총체적인 접근 방식을 통해 전체 시스템 손실을 줄이고 모터와 차량의 전력 관리 시스템의 통합을 개선할 수 있습니다.

인휠 모터(In-Wheel Motor): 모터를 자동차 바퀴에 직접 배치하면 구동계의 기계적 손실을 없애 효율을 높이고, 각 바퀴를 독립적으로 제어할 수 있으며 차량 핸들링과 안정성을 향상시킬 수 있습니다.

하이브리드 모터: 하이브리드 내연 기관(ICE) 변속기와 전기 모터-발전기 시스템을 통합하는 데 지속적인 발전이 이루어질 것입니다.



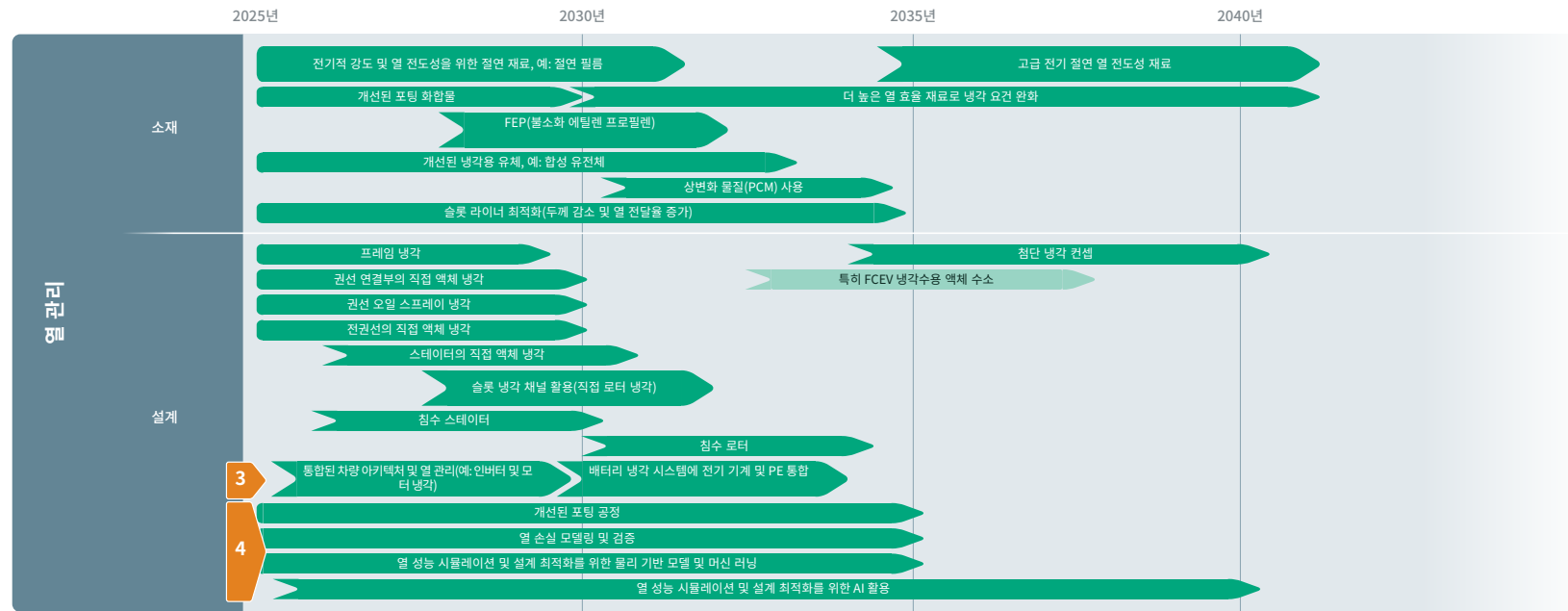
## 열 관리

**1 소재 발전:** 불소화 에틸렌 프로필렌(FEP) 및 상변화 물질(PCM)과 같은 소재 개발은 필요한 전기 절연성을 제공하는 동시에 열전도성을 향상시킵니다. 이러한 소재는 전기적 성능을 저하시키지 않으면서도 모터의 중요한 구성 요소로부터 보다 나은 열 전달을 가능하게 합니다.

탄소 섬유나 그래핀 기반 재료와 같이 높은 열전도성과 구조적 강도를 결합한 복합재를 사용하면 전반적인 열 관리 시스템을 개선할 수 있습니다. 이러한 복합재는 모터 하우징 및 기타 구성 요소에 사용되어 방열 효과를 향상시킬 수 있습니다.

**2 고급 냉각 콘셉트 - 직접 액체 냉각:** 권선, 스테이터 및 로터 구성 요소에 직접 액체 냉각 기술을 적용하면 방열 효과가 크게 개선됩니다. 이러한 접근 방식은 최적의 작동 온도를 유지하는데 도움이 되어 모터의 효율과 수명을 향상시킵니다. 직접 액체 냉각 시스템은 모터 내의 특정 고온 부분을 냉각하도록 설계되어, 필요한 부분을 지정하여 열 관리를 할 수 있습니다.

침수형 로터/스테이터 기술: 냉각수에 로터 및/또는 스테이터를 담그면 열 교환을 위한 표면적이 증가하여 냉각 효과가 더 커집니다. 이 방법은 고출력 밀도 모터와 관련된 높은 열 부하를 관리하는데 도움이 되며, 까다로운 주행 조건에서도 안정적인 성능을 보장합니다.



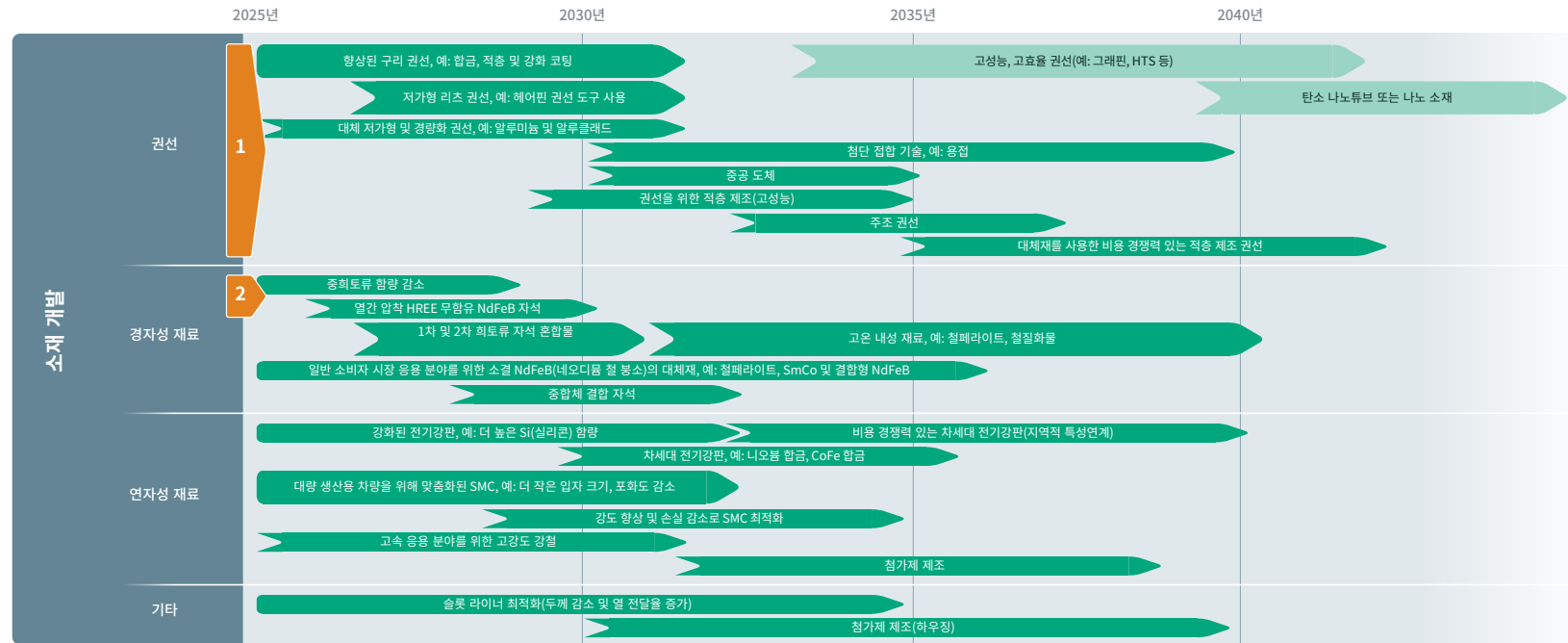
## 열 관리(계속)

**3 차량 시스템과의 통합 – 혼합 냉각 시스템:** 전기 기계 냉각 시스템을 차량의 기존 배터리 냉각 인프라와 통합하면 보다 효율적인 열 관리가 가능합니다. 공유 냉각 루프를 사용하면 전체 시스템의 복잡성과 무게를 줄일 수 있어 차량의 성능과 주행 가능 거리에 모두 도움이 됩니다.

전력 전자 장치를 위한 열 관리: 전력 전자 장치는 작동 중에 상당한 열을 발생하므로 효과적인 냉각 솔루션이 매우 중요합니다. 전력 전자 장치의 냉각을 모터 냉각 시스템과 통합하면 구동계 전체에 대한 포괄적인 열 관리가 가능합니다.

**4 시뮬레이션 및 설계 최적화:** AI는 열 성능을 시뮬레이션하고 냉각 시스템 설계를 최적화하는 데 사용됩니다. AI 알고리즘은 방대한 양의 데이터를 분석하여 열 거동을 예측하고 냉각 효율을 높이는 개선된 설계를 제안할 수 있습니다. 그 결과, 특정 전기차 모터 구성에 적합한 더 안정적이고 효율적인 열 관리 시스템이 탄생했습니다.





## 소재 개발

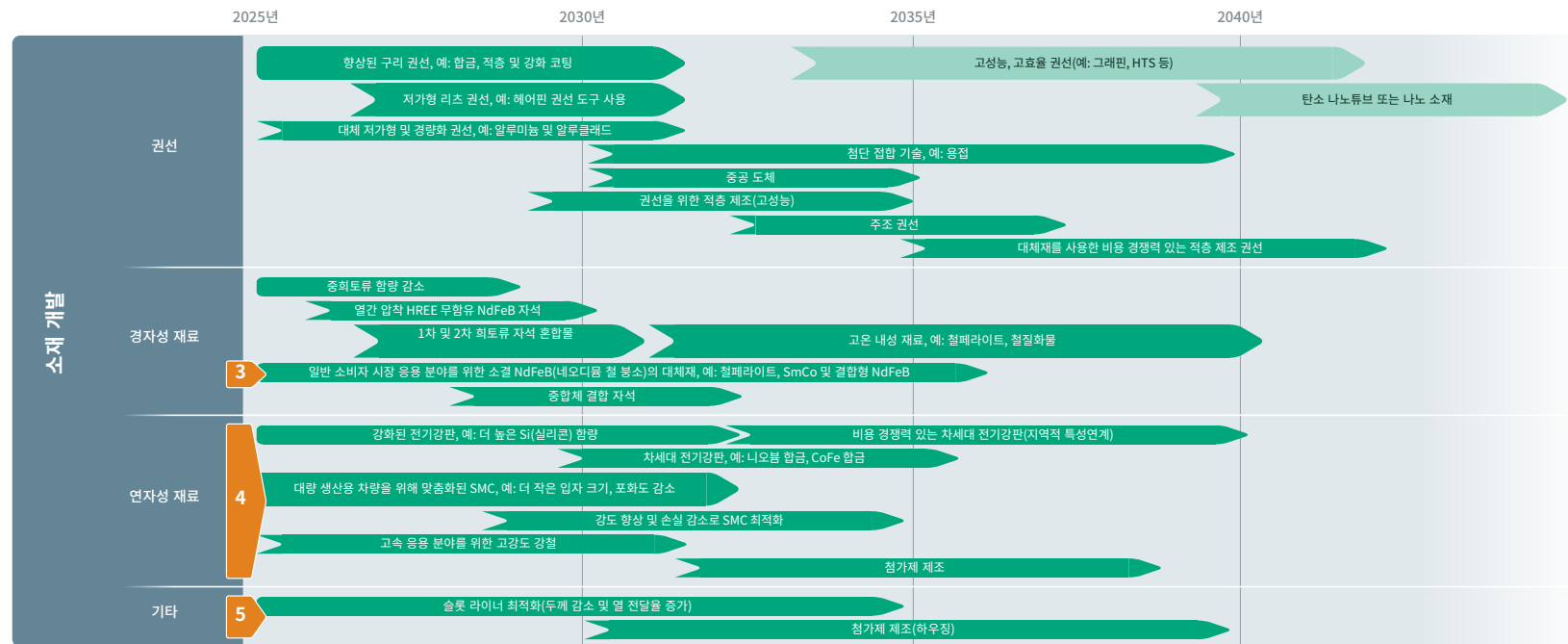
**1 구리 권선:** 구리는 뛰어난 전기 전도성으로 인해 권선에 매우 보편적으로 사용되는 소재입니다. 헤어핀 권선과 같은 권선 기술의 발전으로 충전율이 향상되고 저항이 줄어들어 모터 효율을 높여줍니다.

적층 제조: 권선에 적층 가공을 적용하면 더 복잡한 설계가 가능하며 권선 배치를 최적화할 수 있습니다. 이를 통해 열 관리가 향상되고 소재 낭비를 줄일 수 있습니다.

대체 소재: 그래핀이나 고온 초전도체(HTS)와 같은 소재를 권선에 사용하면 전도성과 효율을 크게 향상시킬 수 있는 잠재력이 있지만, 현재 이러한 기술은 아직 연구 단계에 있습니다.

**2 중희토류 원소 감소:** 자석에서 중희토류 원소(디스프로슘, 테르븀 등)를 줄이거나 탈피하려는 노력은 비용 절감과 이러한 핵심 소재에 대한 의존도를 낮추는 것을 목표로 합니다. 이러한 노력에는 성능을 유지하면서 이러한 원소를 적게 사용하는 자석을 개발하는 것도 포함됩니다.

1차 및 2차 혼합 희토류 자석: 1차 희토류와 재활용 재료를 결합하여 환경 영향을 줄이고 지속 가능성을 개선하는 자석을 만듭니다. 이러한 접근 방식은 희토류와 관련된 공급망 위험을 관리하는 데에도 도움을 줍니다.



## 소재 개발(계속)

**3 철 페라이트:** 비용 효율적이고 풍부하게 존재하는 철 페라이트는 소결 NdFeB 자석의 대안으로서 연구되고 있습니다. 자성이 낮기는 하지만, 이 물질을 사용하면 회토류에 대한 의존도를 낮출 수 있어 비용이 중요한 요소인 일반 소비자 시장용 전기차 응용 분야에 적합합니다.

사마륨코발트(SmCo): 사마륨코발트(SmCo) 자석은 높은 열 안정성과 자기소거에 대한 저항성이 높아 고성능 전기차 응용 분야에 적합한 대안입니다. NdFeB보다 가격이 비싸지만 고온 환경에서 더 나은 성능을 제공합니다.

**4 고함량 실리콘:** 전기강판의 실리콘 함량을 높이면 자성이 향상되고 코어 손실이 감소하여 모터 효율을 향상시킬 수 있습니다. 이러한 고급 강철은 더 높은 효율과 더 나은 성능을 갖춘 모터를 개발하는 데 필수적입니다.

차세대 연성 자석: 전기차를 더 저렴하게 만드는 데 비용과 성능의 균형을 이루는 새로운 등급의 전기강판과 연성 자석 복합재(SMC)를 개발하는 것은 필수적입니다. 이러한 소재는 더 높은 자성 투과율과 더 낮은 손실을 제공하는 것을 목표로 합니다.

**5 그 외 소재의 혁신**으로는 열 전달을 높여 궁극적으로 모터 효율을 높이기 위한 슬롯 라이닝 개선과 하우징의 적층 제조에 적합한 소재 개발이 있습니다.



## 제조 및 공정

**1** 하우징은 특정 성능 목표에 맞게 고도로 최적화할 수 있습니다. 이런 추세는 점차 머신 러닝(ML)과 AI에 의해 주도되고 있습니다. 적층 제조(3D 프린팅)를 사용하면 기존 제조 방식으로는 만들기 어렵거나 불가능했던 복잡한 모터 부품을 생산할 수 있습니다. 여기에는 복잡한 냉각 채널, 무게를 줄이기 위한 최적화된 기하학적 구조, 통합 기능이 포함됩니다.

**2** 권선 기술과 설계의 효율에 초점을 맞추고 있습니다. 헤어핀 권선이나 집중 권선과 같은 기술은 더 높은 충전율을 구현할 수 있게 해줍니다. 즉, 스테이터 슬롯에 더 많은 도체 소재를 넣을 수 있다는 의미입니다. 이렇게 하면 전기 저항이 감소하고 모터 효율이 향상됩니다. 높은 충전율을 가진 권선은 효율과 전력 밀도가 중요한 고성능 전기차(EV) 모터에 특히 유용합니다.

고급 권선 기술은 제조 과정에서 소재 낭비를 최소화하는 것을 목표로 합니다. 이를 통해 비용이 절감될 뿐만 아니라, 보다 지속 가능한 제조 관행을 구축하는 데에도 도움이 됩니다.

**3** 특히 여러 규격을 사용할 수 있는 와이어 연결부를 견고하게 유지하면서 연결로 인한 손실을 최소화하기 위해 와이어 연결부의 고급 접합 기술이 개발되고 있습니다.

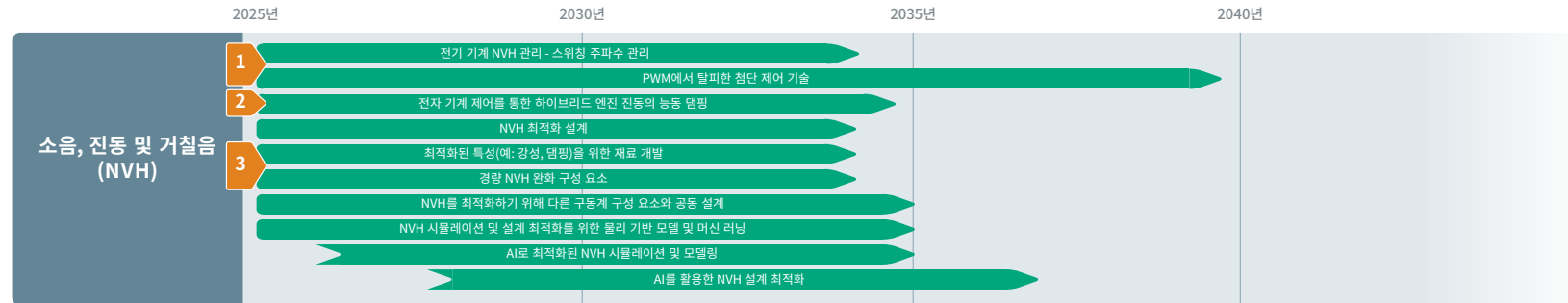


## 제조 및 공정(계속)

- 4** 설계 및 개선된 제조 기술을 통해 스테이터 및 로터를 포함한 여러 부품의 폐기물을 줄이는 데 관심이 집중되고 있습니다. 이를 통해 비용이 절감되고, 사용되는 소재의 양이 감소하여 수명 주기에 미치는 영향을 줄일 수 있습니다.
- 5** 침수형 로터 냉각은 매우 효과적인 냉각 기술이 될 수 있는 잠재력을 가지고 있지만, 몇 가지 해결해야 할 과제가 있습니다. 그 중 일부는 침수 냉각 방식에 적합한 로터를 제조하는 데 있습니다. 침수형 로터 냉각의 잠재력을 최대한 활용하기 위해서는 이러한 문제를 극복해야 합니다.

- 6** 습식 공정을 제거하고 접착제와 포팅 재료의 사용을 줄일 필요가 있습니다. 전통적인 습식 공정(바니시 함침 등)에서 건식 공정으로 전환하면 제조 공정이 간소화되고 환경에 미치는 영향을 줄일 수 있습니다. 건식 공정은 일반적으로 작업이 더 빠르고 노동 집약도가 낮은 경향이 있습니다. 접착제와 포팅 재료를 사용하면 전자 기계의 재활용에 방해가 됩니다. 이러한 구조 소재의 사용을 줄이는 것은 재활용성을 높이는 데 도움이 됩니다.

- 7** AI는 다양한 제조 공정을 최적화하는 데 사용됩니다. AI 알고리즘은 생산 데이터를 분석하여 비효율성을 파악하고 개선 사항을 제안함으로써 생산 시간을 단축하고 비용을 절감하며 제품의 품질을 높여줍니다. AI 기반 측정 시스템을 도입하면 제조 공정을 실시간으로 모니터링하고 제어할 수 있습니다. 이를 통해 각 구성 요소가 요구되는 사양을 충족하는지 확인할 수 있어 재작업의 필요성을 줄이고 전반적인 제품 품질이 향상됩니다.



## 소음, 진동 및 거칠음(NVH)

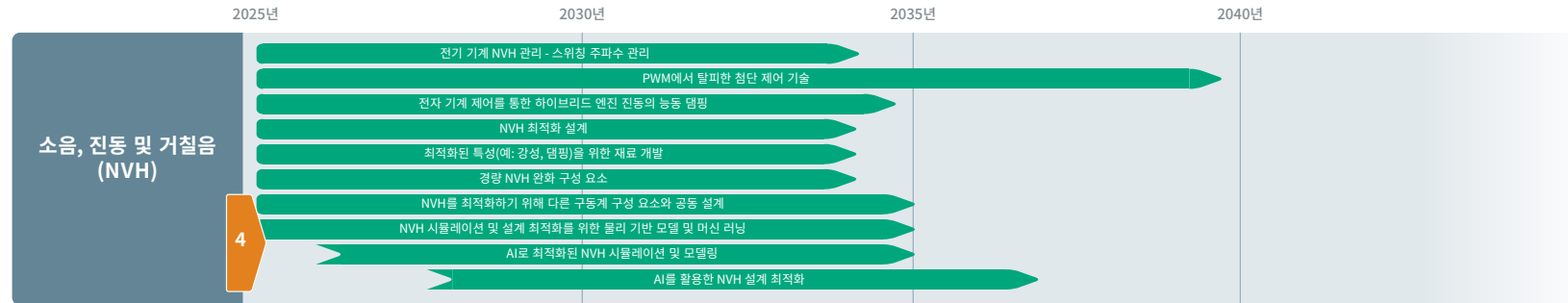
- 1 기동 토크 조정, 위상 변환과 같은 고급 모터 제어 전략을 활용함으로써 능동 댐핑(Active Damping) 방법을 통해 NVH 수준을 효과적으로 줄일 수 있습니다. 이는 특히 전기차의 편안한 실내를 유지하는 데 중요합니다.
- 2 능동 댐핑은 전자 제어 시스템을 사용하여 모터에서 발생하는 진동을 상쇄하는 기술입니다. 하이브리드 엔진에서는 이러한 시스템이 모터 매개변수를 실시간으로 조정하여 진동을 완화하고 더 부드럽고 편안한 승차감을 제공합니다.

- 3 최적화된 강성과 댐핑 특성을 가진 소재를 개발하면 진동을 흡수하고 줄이는 데 도움이 됩니다. 이러한 소재는 마운트, 하우징, 인클로저 등 다양한 모터 구성 요소에 사용되어 진동을 차단하고 차량 실내로의 소음 전달을 최소화합니다.

높은 강도, 뛰어난 댐핑 특성 등 다양한 특성을 결합한 복합재를 사용하면 NVH 성능을 더욱 향상시킬 수 있습니다. 이러한 소재는 모터 설계에서 특정 NVH 문제를 해결하기 위해 적용될 수 있습니다.

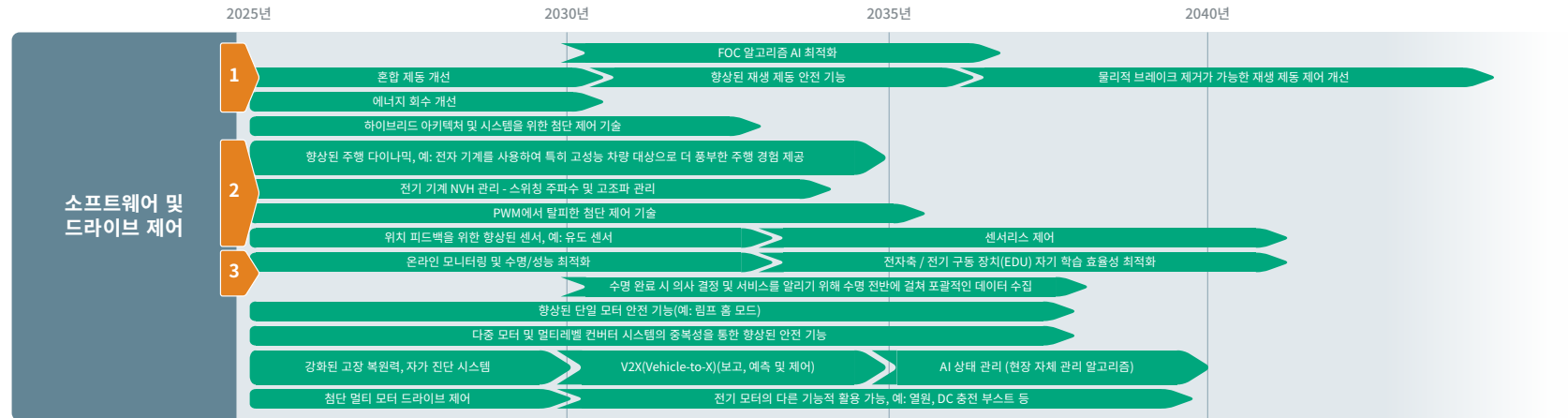
경량 소재와 혁신적인 설계 방식을 사용하여 차량에 상당한 무게를 추가하지 않으면서 NVH를 완화하는 부품을 만들 수 있습니다. 방음 패널과 진동 차단 장치와 같은 구성 요소는 NVH 특성을 개선하는 동시에 전반적인 차량 효율을 유지하는 데 중요한 역할을 합니다. NVH 완화용 구성 요소를 별도의 부품으로 추가하는 대신, 모터 설계 자체에 통합하면 더 작고 효율적인 솔루션을 구현하는 데 도움이 됩니다. 이러한 통합은 모터 시스템의 전반적인 복잡성과 비용을 줄여줍니다.





## 소음, 진동 및 거칠음(NVH)(계속)

4 인공지능(AI) 기반의 첨단 시뮬레이션 도구는 전기차 모터의 소음, 진동 및 거칠음 특성을 정밀하게 모델링할 수 있으며 전체 파워트레인 또는 차량 시스템도 모델링할 수 있습니다. 이러한 도구는 엔지니어가 다양한 모터 설계와 재료의 작동 방식을 예측하는 데 도움이 되며, 실제 프로토타입을 제작하기 전에 최적화가 가능하게 도와줍니다. 이로 인해 모터 작동이 더 조용하고 부드러워집니다. AI 알고리즘은 시뮬레이션 데이터를 분석하여 NVH를 줄이는 설계로 변경할 것을 제안할 수 있습니다. 이러한 반복적인 최적화 과정을 통해 최종 모터 설계에서 원치 않는 소음과 진동이 최소화되므로 운전 경험이 향상됩니다.



## 소프트웨어 및 드라이브 제어

**1** 혼합 제동과 에너지 회수가 개선되면 차량 효율성이 향상됩니다. 재생 제동 기술이 향상됨에 따라 입자 배출원의 하나로 간주되는 물리적 브레이크의 제거가 가능해집니다.

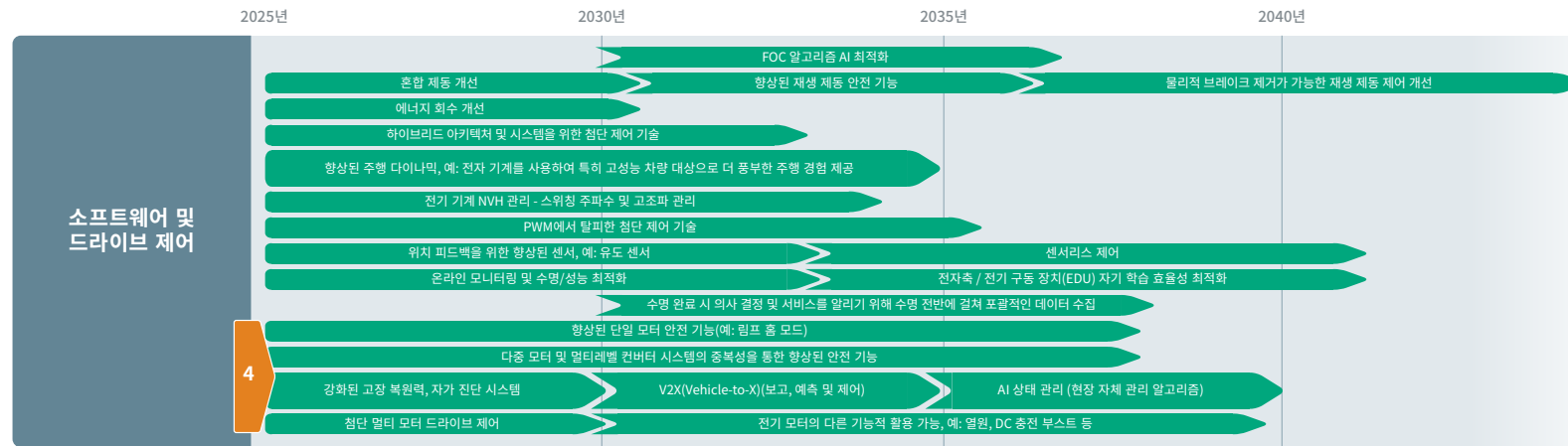
필드 지향 제어(FOC) 알고리즘은 자기 플럭스와 토크의 제어를 분리하여 이 두 매개변수를 정밀하고 독립적으로 제어할 수 있도록 합니다. 이를 통해 특히 다양한 부하 조건에서 모터가 더 부드럽고 효율적으로 작동합니다.

토크와 자속을 정밀하게 제어할 수 있는 능력은 모터의 동적 반응을 개선하여 가속 및 감속 시 성능을 향상시킵니다. 이는 반응이 빠르고 몰입감 있는 매력적인 전기차 주행 경험을 제공하는 데 중요합니다. 필드 지향 제어(FOC) 알고리즘을 통해 재생 제동을 효율적으로 관리하면 전기차는 손실될 수 있는 에너지를 회수하여 재사용할 수 있습니다.

**2** 모터 제어를 차량 전체 제어 시스템과 통합하면 다양한 차량 하위 시스템 간의 조정이 향상됩니다. 여기에는 성능과 효율성을 최적화하기 위한 배터리 관리 시스템(BMS), 재생 제동, 열 관리 시스템과의 조정이 포함됩니다. 모터와 다른 차량 구성 요소 간의 상호 작용을 최적화함으로써 통합 차량 제어는 에너지 효율을 크게 향상시킬 수 있습니다. 이로 인해 주행 거리가 늘어나고 배터리 용량을 활용하는 능력이 향상됩니다.

**3** 내장된 센서는 모터 성능을 모니터링하고 모델 예측 제어(MPC) 기술에 피드백을 제공하는 데 사용할 수 있습니다. MPC는 모터와 차량의 동적 모델을 사용하여 미래의 상태를 예측하고 제어 입력을 최적화합니다. 이를 통해 모터 제어가 더욱 정확하고 효율적으로 이루어져 성능이 향상되고 에너지 소비가 감소합니다.

MPC는 실시간으로 변화하는 주행 조건에 적응하여 다양한 시나리오에서 최적의 모터 성능을 보장합니다. 여기에는 다양한 하중, 속도 및 도로 상황에 맞게 조정하여 전반적인 운전 경험을 개선하는 것이 포함됩니다. 이러한 데이터는 또한 모터의 수명 모델에 반영되어 서비스 및 수명 완료 시점의 의사 결정에 도움이 됩니다.



## 소프트웨어 및 드라이브 제어(계속)

**4** 드라이브 제어 시스템에 페일세이프(fail-safe) 메커니즘과 중복성을 통합하면 제어 시스템에 오류가 발생하더라도 모터가 계속해서 안전하게 작동할 수 있습니다. 이는 차량의 안전과 신뢰성을 유지하는 데 매우 중요합니다.

AI를 사용하여 모터 제어 시스템의 이상 징후를 감지하고 잠재적인 문제를 진단할 수 있습니다. 결함을 조기에 감지하면 적시에 유지 보수를 수행할 수 있고 예상치 못한 고장의 위험이 줄어듭니다.



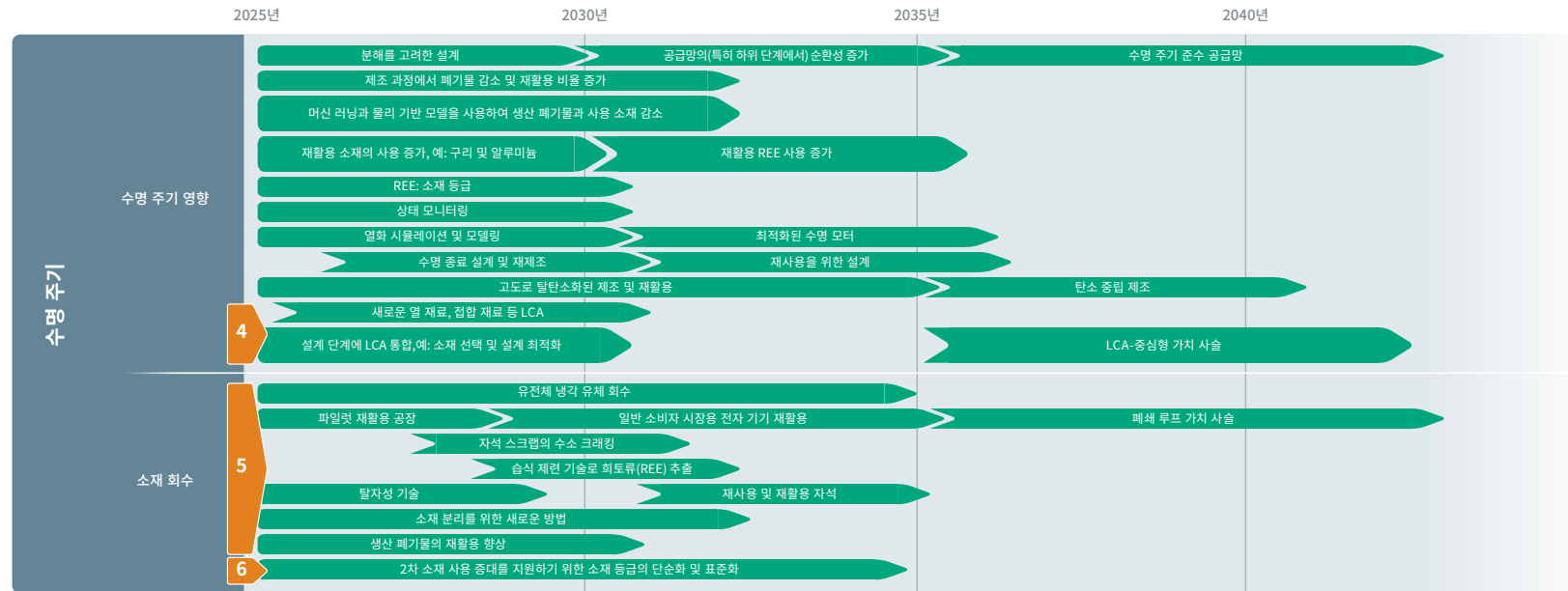
## 수명 주기

**1** 순환성을 개선하기 위해서는 생산 폐기물을 줄이고, 더 많은 재활용 소재를 생산 단계에 통합해야 합니다. 재활용 가능한 소재의 사용량을 늘리려면 분해를 고려한 설계가 필요합니다. 일부 설계에서는 다른 차량 구성 요소와 높은 수준으로 통합되어 있어 이는 도전 과제가 될 수 있습니다. 배터리의 핵심 광물 재활용 효율성과 재활용된 소재를 규제하는 것과 마찬가지로, 희토류 자석에 대한 재활용 함량을 규제하는 규정이 도입될 가능성이 큼니다.

생산 설계 단계에서 머신 러닝과 AI를 활용하여 폐기물을 줄이고 재활용 경로에서 나오는 다양한 소재 등급에 대한 허용 오차를 테스트하고 있습니다.

**2** 모터의 상태 모니터링과 수명 저하 시뮬레이션의 개선으로 수명을 늘리고 구성 요소의 재사용이 가능한 최적화된 설계가 가능합니다. 실제 모니터링과 시뮬레이션을 통해 더 나은 이해를 바탕으로 설계를 개선하여 재사용 및 재제조 가능성을 높일 수 있습니다.

**3** 지역 발전과 마이크로 그리드를 활용하여 제조 및 재활용이 탈탄소화될 것으로 기대됩니다. CO<sub>2</sub> 배출을 줄이는 진정한 탄소 중립 제조는 공급망 전체의 탈탄소화를 요구하므로 다소 어려움이 있지만, 이 로드맵이 적용되는 기간 내에 일부 지역에서는 이것이 가능할 것으로 예상됩니다.



## 수명 주기(계속)

**4** 수명 주기 분석(LCA)은 선택에 대한 정보를 제공하고 소재 사용을 최적화하기 위해 설계 단계에서 사용되고 있습니다. 신소재가 도입되면 수명 주기를 평가해야 합니다. 현재는 주로 부품 제조에 중점을 두고 있지만, 앞으로는 LCA 범위가 사용, 재사용, 재제조 및 재활용을 포함한 전체 가치 사슬을 포괄하도록 범위가 확대될 것입니다.

**5** 폐쇄형 루프 가치 사슬을 달성하기 위해서는 전기 모터 제조에 사용되는 재활용 재료에 대한 많은 개발이 필요합니다. 특히 자석은 고부가가치 부품이기 때문에 많은 주목을 받고 있습니다. 그러나 자석 소재를 분리할 뿐만 아니라 강철과 알루미늄 분리와 함께 고급 구리도 분리하여 재사용할 수 있도록 하는 새로운 소재 분리 방법이 개발되고 있습니다.

**6** 재활용 소재의 활용도를 높이기 위해서는 모든 소재의 소재 등급을 단순화해야 합니다. 각 제조업체는 자체 소재 카드나 고유한 설계를 가지고 있는 경향이 있는데, 이는 특히 자석이 그렇습니다. 차량을 분해하여 부품을 재활용 허브로 보내는 허브 앤 스포크(Hub and Spoke) 모델을 통해 재활용이 이루어질 경우, 서로 다른 조성이나 소재 등급이 섞여 추가 가공 없이 새로운 제품으로 사용할 수 없게 됩니다. 재활용 업체들이 해당 소재 등급을 대규모로 생산할 수 있도록 등급을 단순화하면 재활용 및 재활용 소재 사용의 경제적 효율성이 향상될 것입니다.

## 용어집

APC	영국 선진 추진 센터	LLM	대규모 언어 모델
AI	인공지능	LCA	수명 주기 분석
BEV	배터리 전기차	LDV	경량 차량
BMS	배터리 관리 시스템	ML	머신러닝
CO2	이산화탄소	MPC	모델 예측 제어
CO <sub>2</sub> -eq	이산화탄소 환산 온실 효과	NEV	신에너지차
EDU	전기 구동 장치	NdFeB	네오디뮴 철 붕소
EESM	전기 여자식 동기모터	NRMM	비도로 이동식 장비
EV	전기차	NVH	소음, 진동 및 거칠음
EU	유럽연합	OEM	주문자 상표 부착 생산
FOC	필드 지향 제어	R&D	연구 개발
FEP	불소화 에틸렌 프로필렌	REE	희토류 원소
FCEV	연료 전지 전기차	SMC	연자성 복합재료
HDV	대형 차량	SmCo	사마륨코발트
HTS	고온 초전도체	xEV	전기차
ICE	내연 기관	ZEV	무공해 차량
IoT	사물 인터넷		



## System-Level Roadmaps

### 시스템 수준 로드맵



Mobility of People  
사람의 이동 수단



Mobility of Goods  
상품의 이동성

## Technology Roadmaps

### 기술 로드맵



Electric Machines  
전기 기계



Power Electronics  
전력 전자



Electrical Energy Storage  
전기 에너지 저장



Lightweight Vehicle and  
Powertrain Structures  
경량 차량 및 파워트레인 구조



Internal Combustion  
Engines  
내연 기관



Hydrogen Fuel Cell  
System and Storage  
수소 연료 전지 시스템 및 저장

Find all the roadmaps at

모든 로드맵은 다음에서 확인할 수 있습니다.

[www.apcuk.co.uk/technology-roadmaps](http://www.apcuk.co.uk/technology-roadmaps)



Established in 2013, the Advanced Propulsion Centre UK (APC), with the backing of the UK Government's Department for Business and Trade (DBT), has facilitated funding for 304 low-carbon and zero-emission projects involving 538 partners. Working with companies of all sizes, this funding is estimated to have helped to create or safeguard over 59,000 jobs in the UK. The technologies and products that result from these projects are projected to save over 425 million tonnes of CO<sub>2</sub>. The APC would like to acknowledge the extensive support provided by industry and academia in developing and publishing the roadmaps.

2013년 설립된 영국 선진 추진 센터(APC)는 영국 정부 산업통상부(DBT)의 지원을 받아 538개 파트너가 참여하는 304개의 저탄소 및 무공해 프로젝트에 대한 자금 지원을 추진했습니다. 모든 규모의 기업들과 협력하여 이 자금 지원은 영국에서 59,000개 이상의 일자리를 창출하거나 유지하는 데 기여한 것으로 추정됩니다. 이 프로젝트를 통해 개발된 기술과 제품은 4억 2,500만 톤 이상의 CO<sub>2</sub>를 감축할 것으로 예상됩니다. APC는 로드맵을 개발하고 발표하는 데 있어 업계와 학계에서 보여준 적극적인 지원에 감사를 표하고 싶습니다.