



2023년 1분기

자동차산업 인적자원개발위원회(ISC) 이슈리포트 (ISSUE REPORT)

– 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵 –



● ● ● 목 차 ● ● ●

- 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵 -

(요약)	1
I. 서론	2
1. 연구배경	2
2. 연구목적	3
II. 내연기관차에서 전기자동차로 전환의 산업적 의미	5
1. 전기자동차 핵심 부품군 기술 분석	5
2. 내연기관차에서 전기자동차 전환의 기술적 의미	11
3. 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵 범위	13
III. 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵	17
1. 전기자동차 전환을 위한 전기·전자 공통 기술	17
2. 전기자동차 고전압 배터리 시스템 기술	19
3. 전기자동차 전력변환 시스템 기술	20
4. 전기자동차 동력 발생 및 전달 시스템 기술	22
5. 전기자동차 통합 열관리 시스템 기술	23
6. 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵	25
IV. 결론 : 시사점 및 정책 제언	26

☐ 비상업 목적으로 본 보고서에 있는 내용을 인용 또는 전재할 경우 내용의 출처를 명시하면 자유롭게 인용할 수 있으며, 본 보고서 내용은 전기자동차 기술 컨설팅 특화기업 케이에이랩스 성시영 대표가 작성하였습니다.

☐ 보고서 내용에 대한 문의는 아래로 연락 주시기 바랍니다.

- 자동차산업 인적자원개발위원회 사무국(대표기관: 한국자동차연구원)

- 박수연 (041-559-3050, sypark3@katech.re.kr)

요 약

□ 가치사슬 기반 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵

본 이슈리포트는 국가의 핵심 전략 산업인 자동차 산업이 기존 내연기관 자동차에서 전기자동차로 전환하기 위해 필요한 핵심 인적자원개발분야가 무엇인지 살펴보고, 기존 '부품 단위 기술로 구성된 인적자원개발 로드맵'을 '가치사슬 기반 인적자원개발 로드맵'으로 전환할 수 있도록 제안하고자 함

전기자동차 산업기술 분야는 ① 전동 파워트레인 부품군, ② 열관리 부품군, ③ 새시 부품군, ④ 내외장 부품군 및 ⑤ 차체 부품군으로 구분할 수 있으며, 이 중에서 ③에서 ⑤ 부품군의 경우에는 내연기관자동차의 기술이 그대로 유지되는 유지군이며, 본 이슈리포트에서는 내연기관 소멸군에서 전기자동차 신생군으로 변경되는 ① 전동 파워트레인 부품군, ② 열관리 부품군에 대한 인적자원개발 로드맵을 구축함.

본 이슈리포트에서는 16종 이상의 전기동력자동차 부품의 기술 분석을 바탕으로 분석한 결과, 내연기관자동차의 엔진 및 변속기에 해당하는 소멸군 부품과 전기자동차의 신생군에 해당하는 전동 파워트레인 및 열관리 부품의 소재와 제조 공정 기술은 모두 동일하며, 차이점은 기존 내연기관 부품의 경우에는 기계적 특성 만족이 요구사항이었으나, 전기자동차 부품의 경우에는 기계적 특성을 기본적으로 만족하면서 전기·전자적 특성을 추가로 만족해야하는 차이점이 있는 것으로 분석됨. 이러한 차이점 해결을 위하여, 대부분 기계 분야로 구성된 내연기관 소멸군 부품 기업의 인적자원이 내연기관 대비 전기자동차 부품이 가치사슬의 관점에서 어떻게 다르며, 전기·전자적 요구 특성을 만족하기 위하여 필요한 기술이 무엇인지를 바탕으로 소멸군과 신생군의 간극을 메울 수 있는 전기자동차 산업기술 인적자원 로드맵이 필요함.

내연기관자동차 소멸군 부품기업에서 전기자동차 신생군 부품기업으로 전환하는 과정에서 국내 전기자동차 산업이 글로벌 경쟁력을 확보하고, 국내의 핵심 산업으로 고부가가치 창출과 지속가능한 성장의 원동력이 되기 위해서는 소멸군 기업이 보유하고 있는 소재 및 공정 기술에 대한 정확한 분석을 바탕으로, 기존의 자동차 부품 단위 기술로 특화된 교육과정이 아니라 전환을 위한 가치사슬 기반의 교육과정이 필요하며, 이를 교육하기 위한 세부 프로그램 개발과 강사 확보에 체계적인 지원과 전략적인 투자가 필요함.

1. 연구 배경

국내 자동차산업은 제조업 생산의 13.6%, 고용의 11.8% 및 부가가치의 12%를 차지하며, 평균 2만 개 이상의 부품으로 생산되는 전후방 산업의 연관 효과가 가장 큰 국가의 핵심 전략 산업임.

2023년 현재 글로벌 및 국내 자동차 산업 모두 내연기관자동차에서 전기자동차로 전환되고 있는 전환기로, 전기자동차의 점유율은 2022년 자동차 생산량의 10%를 달성하였으며, 최근 3년간 자동차산업 자체는 코로나19 및 반도체 공급 부족으로 마이너스 성장을 하고 있음에도 전기자동차는 3년 평균 75%의 급성장을 하고 있음. 이는 내연기관자동차에서 전기자동차로의 전환기의 시작에서 전기자동차 산업이 성장기로 도약하고 있는 것을 의미함.

<표 1> 최근 3년간 자동차 생산 및 성장률 통계

(단위: 대)

구분		합계	2019년	2020년	2021년	2022년
국내	자동차 생산	14,675,783	3,950,019	3,506,774	3,462,499	3,756,491
	증감율	-	▽2.0%	▽11.2%	▽1.3%	8.5%
	전기차 판매 ¹⁾	998,298	135,188	199,285	288,249	375,576
	증감율 ²⁾	-	9.2%	47.4%	44.6%	30.3%
글로벌	자동차 생산	335,067,194	92,183,011	77,711,725	80,154,988	85,017,470
	증감율	-	▽3.6%	▽15.7%	3.1%	6.1%
	전기차 판매	40,221,471	5,095,422	6,274,558	12,094,816	16,756,675
	증감율	-	8.3%	23.1%	92.8%	38.5%

* 출처 : 한국자동차산업협회(KAMA) 및 OCIA 등 자료를 재구성

1) 전기차는 판매량 중심으로 통계가 집계되며, BEV, HEV, PHEV 집계량임

2) 전년 대비 증감율

국내 자동차 산업이 글로벌 생산 점유율 5위 이상의 경쟁력을 지속해 유지하기 위하여서는, 자동차 부품산업과 인력 인프라가 내연기관자동차에서 전기자동차 산업으로 변화가 필요하며, 본 로드맵에서는 이러한 배경을 바탕으로 전기자동차 산업의 인적자원개발 로드맵을 구축하고자 함.

2. 연구 목적

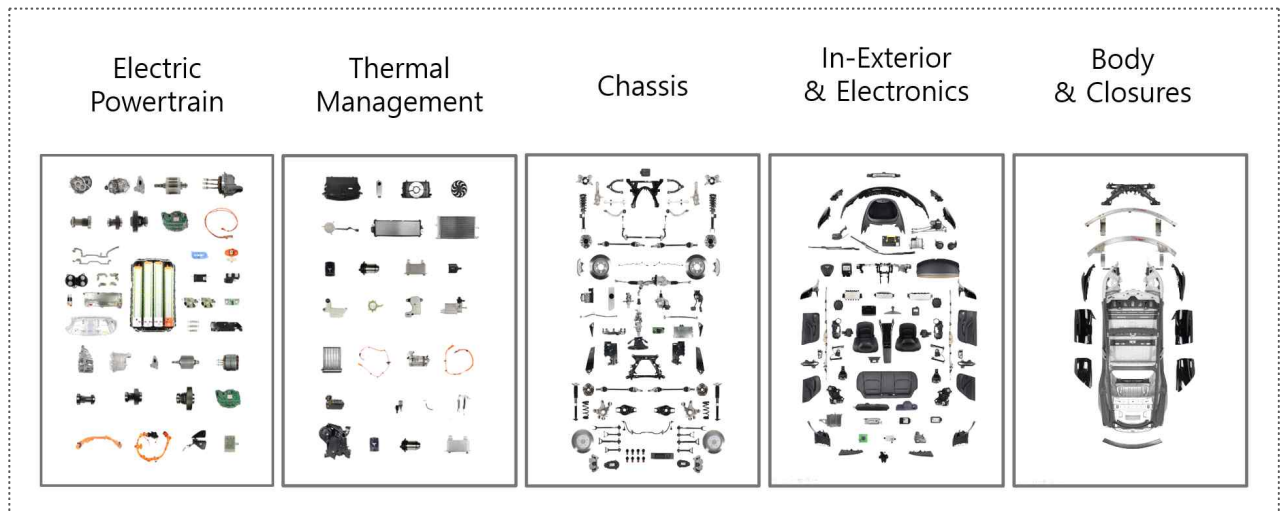
[그림 1] 전기자동차 산업기술 분석에 활용한 전기동력자동차 데이터 베이스



* 출처 : 케이에이랩스 자체 제작 자료

자동차를 이루고 있는 부품을 [그림 1]의 HEV (Hybrid Electric Vehicle)부터 PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle), FCEV(Fuel Cell Electric Vehicle) 및 BEV (Battery Electric Vehicle) 등의 다양한 전기동력자동차 16종의 핵심 부품에 대한 분류 및 분석 결과를 바탕으로 [그림 2]와 같이 전동 파워트레인, 열관리, 샤시, 내외장 및 차체 등의 5대 부품군으로 분류하여 본 로드맵 수립에 활용함.

[그림 2] 전기자동차 기술 분류를 위한 핵심 부품군



* 출처 : 케이에이랩스 자체 제작 자료

<표 2> 전기자동차 기준의 하위 개념

구분		핵심 부품군 분류	사업체수(%)	종사자수(%)
전환군	소멸군	내연기관 엔진	881 (21.2)	50,038 (21)
		동력 전달 변속기	755 (18.1)	42,466 (17.8)
	신생군	전동 파워트레인	387 (9.3)	28,292 (11.9)
		통합 열관리	90 (2.2)	4,349 (1.8)
유지군	개선군	새시	728 (17.5)	38,134 (16)
		내외장	315 (7.6)	15,898 (6.7)
		차체	1,008 (24.2)	59,477 (24.9)
합계			4,163 (100)	238,655 (100)

* 자료 : 2019년 통계청 자동차 신품 부품 제조업 (30300) 자료 재분류

본 이슈리포트에서는 [그림 1] 및 [그림 2]의 전기동력자동차 분류 기준 및 분석 데이터를 바탕으로 내연기관자동차에서 전기자동차로 전환되는 과정에서 부품군을 전환군과 유지군으로 구분하여 정의하였음. 전환군은 내연기관의 엔진과 동력 전달 변속기로 이루어진 소멸군과 전기자동차에서 새롭게 적용되는 전동 파워트레인 부품군과 고전압을 활용하는 통합 열관리 부품군으로 이루어진 신생군으로 구분하였음. 유지군의 경우에는 내연기관에서 전기자동차로 전환되어도 기본적인 부품의 기능을 유지하지만, 전기자동차에서 요구되는 경량화 및 차폐 특성 등의 성능 개선이 필요한 새시, 내외장 및 차체 부품군을 개선군으로 구분하여 정의하였음.

본 전기자동차 산업 인적자원개발 로드맵은 전기자동차의 모든 부품군을 대상으로 활용할 수 있는 로드맵이지만, 현재까지 대한민국의 자동차 산업의 중추를 담당하며, 자동차 산업 기업체 및 종사자의 약 40% 정도에 해당하는 내연기관 엔진 및 동력 전달 변속기 부품에 해당하는 소멸군 기업과 종사 인력의 안정적인 전환을 위하여 해당 기업의 생산 기반 인프라와 인적자원을 신생군으로 전환할 수 있는 교육 로드맵을 구축하는 것이 본 이슈리포트 로드맵의 연구 목적임.

II

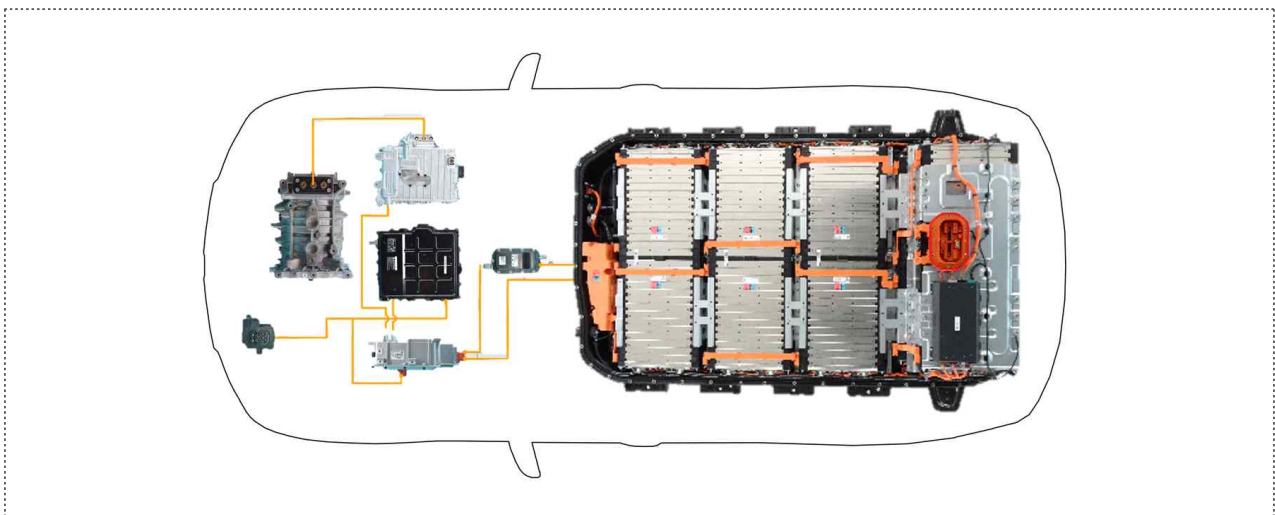
내연기관차에서 전기자동차로 전환의 의미

1. 전기자동차 핵심 부품군 기술 분석

내연기관자동차 부품의 소멸군에서 전기자동차 부품의 신생군으로 전환에 필요한 인적자원개발 로드맵 구축을 위해서는, 전기자동차의 핵심 5대 부품군이 기술적으로 어떻게 구성되어 있으며, 해당 부품군이 신생군인지 유지군인지를 파악하는 것이 필요함.

1) 전기자동차 전동 파워트레인 부품군

[그림 3] 전기자동차 전동 파워트레인 핵심 부품 구성도



* 출처 : 케이에이랩스 자체 제작 자료

전기자동차의 전동 파워트레인 부품군은 전기자동차의 에너지 충전 및 방전, 전력 변환과 동력 발생 및 전달이 가능하도록 하는 고전압 부품을 중심으로 구성되어 있으며, 고전압 케이블을 통하여 전력이 배분되는 기술적 특징을 가지고 있음. 전기자동차의 구동 및 각종 기능을 수행에 필요한 에너지원인 고전압 배터리 팩은 전기 에너지를 화학 에너지 형태로 전환해 저장했다가 필요한 상황에 전기 에너지를 방출 및 흡수하는 장치로 전기자동차의 핵심 고전압 파워트레인

부품으로 기계, 전기 및 전자 기술이 집약된 부품임.

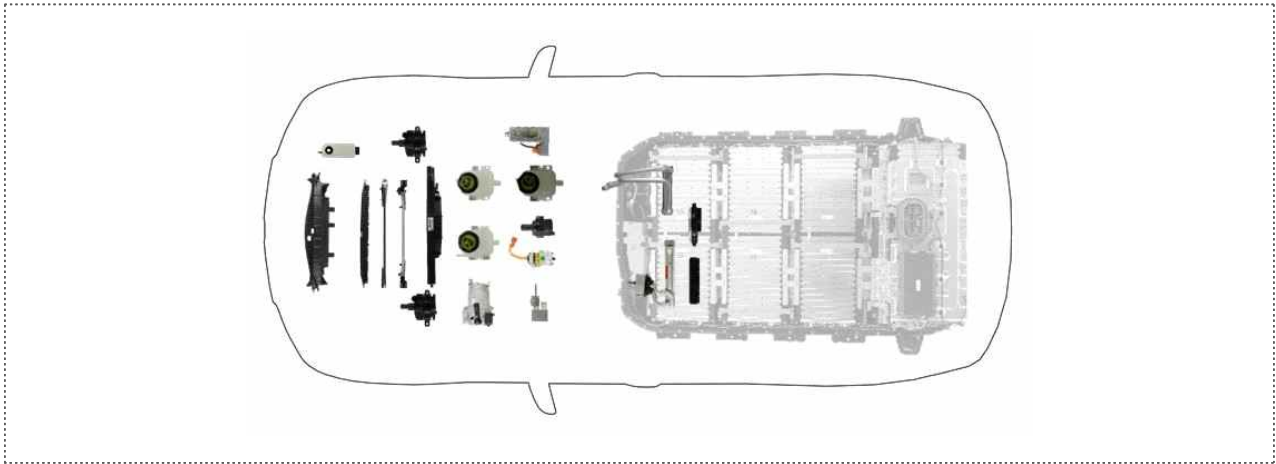
고전압 인버터는 전기자동차 배터리 팩의 직류(Direct Current, DC)를 3상의 교류(Alternating Current, AC)로 변환하여 전압과 주파수의 가변 제어로 주행 모터의 토크와 회전수를 제어하는 전력변환 장치 부품이며, AC로 변환된 전력을 사용하는 주행 모터는 크게 유도모터와 동기모터로 구분됨. 유도 모터의 경우에는 인버터에서 인가된 3상 AC 전원의 전압과 주파수를 이용하여, 회전자에 유도기전력을 생성하도록 고정자에 회전자계를 생성하고, 이에 반응하는 회전자 회전자계로 마그네틱 토크 생성으로 회전력을 발생하며, 부하의 경우에는 에너지를 소비하고, 무부하 및 회생 제동의 경우에는 에너지를 생성하는 역할을 하는 부품임. 동기모터는 인버터로 인가된 3상 AC 전원이 생성한 고정자 회전자계와 회전자의 영구자석 또는 권선 전자석의 회전자계가 슬립이 발생되지 않고 동일한 속도로 동기화 되어 마그네틱 토크와 릴렉턴스 토크의 조합으로 회전력을 만들어서, 부하시에는 에너지를 소비하며, 무부하 및 회생 제동시에는 에너지를 생성하는 역할을 하는 부품임.

OBC(On Board Charger)는 전기자동차 완속 충전시 단상 또는 3상 교류로 배터리 팩을 충전하기 위하여, AC를 DC로 인버팅하고 난 후에 배터리 충전에 적합한 400-800V 고전압으로 승압하는 컨버터로 구성된 충전 모듈 부품이며, 이 OBC는 충전 중 자동차 시스템 전압 공급을 위하여 대부분 저전압 DC-DC 컨버터와 연결되어 자동차의 전장에 사용하는 12V의 Voltage A Class, DC 전압을 생성하여 공급하는 구조임. 정션 박스(Junction Box)는 전기자동차의 고전압을 에너지저장 장치인 배터리와 이를 활용하는 고전압 부품으로 분배하는 역할을 하는 고전압 분배 장치로, 구성은 릴레이, 전압 및 전류 센서, 온도 센서, 및 퓨즈와 컨트롤러로 구성된 부품임.

고전압 케이블은 전기자동차의 고전압 전원을 송전하는 역할을 하는 케이블로, DC와 AC를 송전하는 케이블로 구분되며, AC의 경우에는 케이블 내부에서 발생하는 표피효과와 근접효과를 고려한 소재와 구성을 적용해야 하는 부품으로 전동 파워트레인 부품은 신생군에 해당함.

2) 전기자동차 열관리 부품군

[그림 4] 전기자동차 열관리 핵심 부품 구성도



* 출처 : 케이에이랩스 자체 제작 자료

전기자동차의 열관리 부품군은 내연기관자동차에서는 열관리 부품이 아니라 공조 부품으로 분류되었으며, 전기자동차에서도 유지되는 부품군으로 판단될 수 있으나, 공조 부품의 경우에도 기존의 내연기관의 폐열 또는 벨트 구동이 아니라 전동으로 구동되는 차별성이 있으며, 고전압 파워트레인 부품의 열관리를 위하여 전동 컴프레서, 히터 및 워터펌프 등의 부품으로 대체가 되는 신생군으로 구분하는 것이 적함함.

전기자동차의 냉각에서 핵심인 전동 컴프레서는 기존의 벨트로 구동되는 사판 디스크 방식의 낮은 효율을 극복하기 위하여, 스크롤 방식으로 전동 모터에 의하여 냉매를 압축하며, 히트 펌프 시스템에서는 냉각만이 아니라 예열의 역할도 담당하는 부품임.

전기자동차의 공조에서 히터 및 고전압 배터리의 혹한기 예열을 담당하는 것이 PTC(Positive Temperature Coefficient) 히터로, 발열 소자의 종류는 동일하며, 공조 난방시 자동차 메이커에 따라서 건식과 습식 방식을 선택하고 있으며, 배터리 혹한기 예열의 경우에는 대부분 습식 방식을 선택하고 있는 부품임.

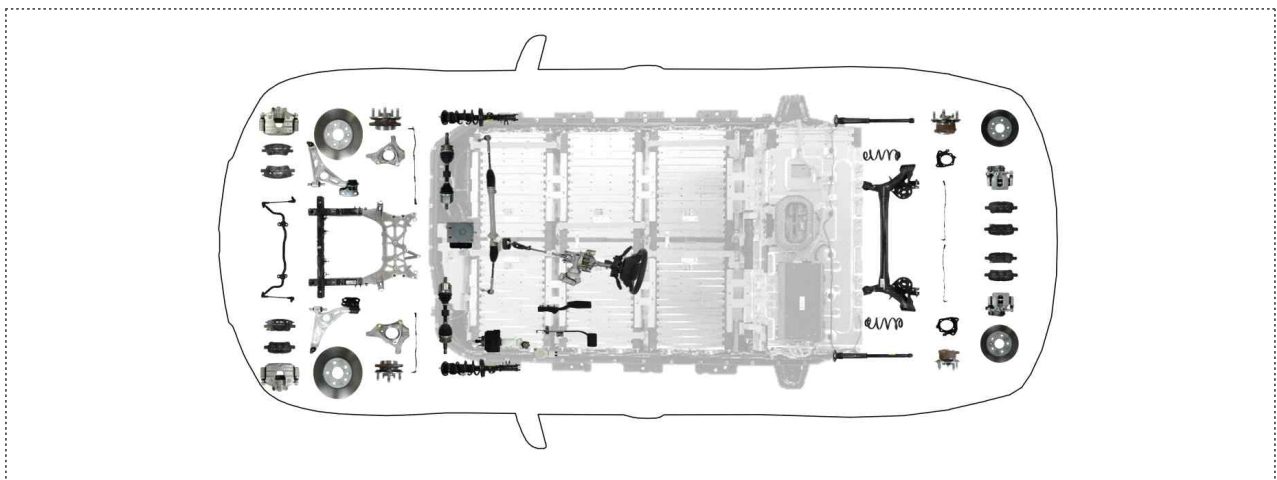
전동 워터펌프는 기존의 내연기관 엔진 구동시 벨트로 구동되는 기계식이 아니라 대부분 고효율의 BLDC(Brushless DC) 모터를 적용하여 냉각 및 예열을 위

한 냉매의 순환을 담당하는 부품임. Multi Way 밸브는 전기자동차의 열관리를 요구하는 부품의 수가 증가하고, 구동 조건에 따라서 냉각 및 예열을 변화시키는 요구사항이 늘어남에 따라서, 전동 워터펌프를 모든 조건에 따라서 장착해야 하는 문제점을 해결하기 위하여 냉매의 흐름을 직렬 및 병렬 조합으로 제어하는 부품임.

전동 팽창 밸브는 전동 에어컨에서 압축된 고온 고압의 냉매를 기화시키는 팽창 밸브를 기존의 공조에서만 아니라 배터리 및 파워트레인 부품에서도 추가적인 냉각이 필요한 혹서기에 선택적으로 활용하기 위한 제어 부품임.

3) 전기자동차 새시 부품군

[그림 5] 전기자동차 새시 핵심 부품 구성도



* 출처 : 케이에이랩스 자체 제작 자료

전기자동차에서 새시 부품군은 차량의 조향, 현가 및 제동을 담당하는 부품으로 구성되어 있으며, 이는 내연기관자동차에서도 동일하게 요구되는 기본 성능이기 때문에 내연기관자동차와 전기자동차에서 동일하게 활용되는 유지군이며, 자율주행 레벨에 맞추어서 전동화 및 무선 기술이 적용되는 특징을 가지고 있는 부품군으로 유지 부품군임.

전기자동차의 조향 부품은 스티어링 휠, Intermediate Shaft, 랙 앤 피니언 기어, 전동 파워 스티어링 모듈 등으로 구성되어 있으며, 전동 파워스티어링 모듈

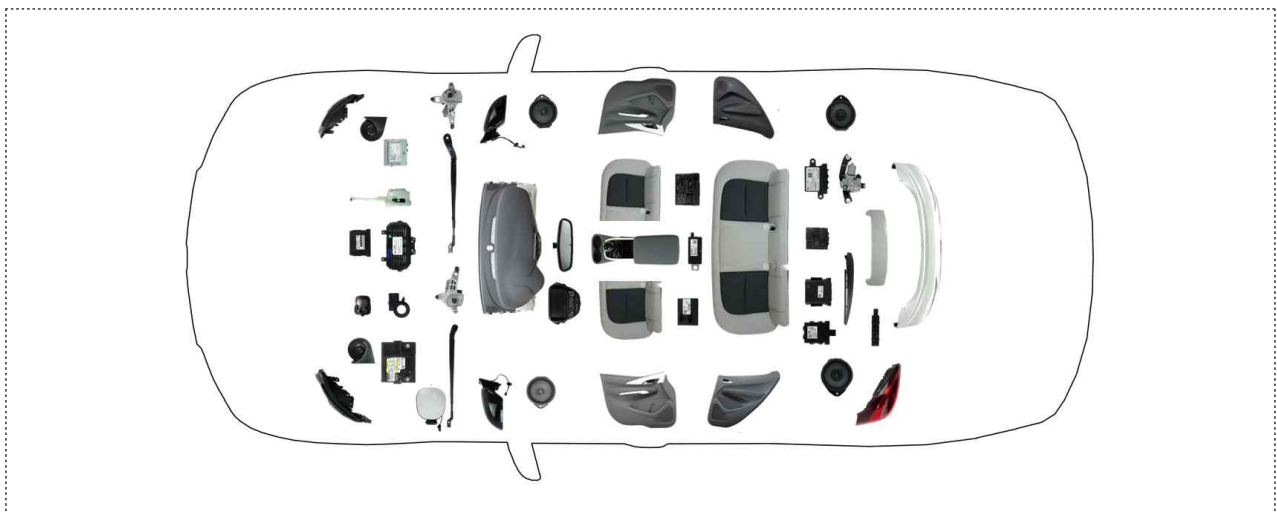
은 내연기관에서도 ADAS(Advanced Driver Assistance System) 기능 구현에 따라서 유압에서 전동식으로 변경되고 있어서, 전기자동차에서도 동일한 성능의 부품이 적용되고 있음.

전기자동차의 현가 부품은 서브프레임, 로어암, 업퍼암, 속업쇼버, 스테빌라이저, 너클 등으로 구성되어 있으며, 전기자동차의 현가 부품은 내연기관 대비 캐빈 바닥에 위치하는 배터리 팩으로 무게 중심의 변화, 전동 구동 모터의 낮은 토크 리플 등에 대응하기 위하여 감쇠력 조정 등의 기능이 필요하며, 기술적인 수준은 내연기관자동차와 동일하여 유지군 부품에 해당함.

전기자동차의 제동 부품은 브레이크 페달, 전동화 유압 생성 마스터 실린더, ABS 제어 모듈, 브레이크 오일 라인, 브레이크 캘리퍼, 패드, 디스크 및 ADAS 제동을 위하여 필요한 라이다, 카메라 및 초음파 센서 등으로 구성됨. 내연기관에서도 ADAS를 위하여 엔진의 진공을 활용하는 유압 시스템을 전동화 유압 생성 마스터 실린더로 변경되는 추세로 전기자동차 전용으로 변경되는 부품은 없으며, 다만 제어 로직으로 회생제동시 브레이크 제동만이 아니라 모터의 발전 부하를 활용하는 것에서 개선이 필요한 유지 개선군에 해당함.

4) 전기자동차 내외장 및 전장 부품군

[그림 6] 전기자동차 내외장 및 전장 핵심 부품 구성도



* 출처 : 케이에이랩스 자체 제작 자료

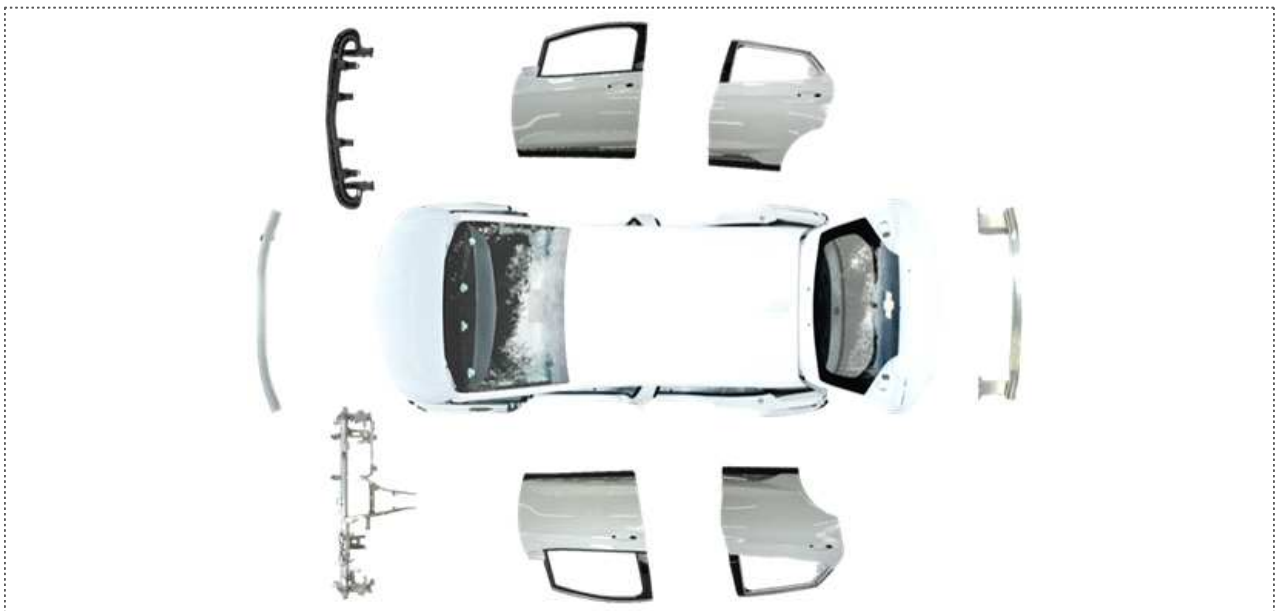
전기자동차에서 내외장 및 전장부품은 새시 부품군과 유사하게, 내연기관자동차에서 전기자동차로 전환됨에 따라서 기존 부품의 소멸이나 전용 부품의 신생이 없는 유지군임.

전기자동차 내·외장재의 경우에는 전동화되는 특징을 반영하는 것보다는 새시의 주요 부품군과 유사하게, 차량의 등급 또는 자율주행 레벨에 따라서 전자제어와 관련된 전자 부품의 장착 여부 정도만 차이가 발생하는 특징이 있음.

전장 부품의 경우에도 메이커별 특성에 따라서 제어를 위한 컨트롤 유닛을 각각의 모듈에 맞추어서 개별 설치하고 CAN(Controller Area Network) 통신으로 네트워크를 진행하는 방식과 OTA (Over The Air) 방식으로 전장 부품의 업데이트가 가능하도록 중앙 집중화하는 방식의 차이가 있으며, 내연기관 자동차와 전기자동차의 차이점이 발생하지 않는 유지군의 특징이 있음.

5) 전기자동차 차체 부품군

[그림 7] 전기자동차 차체 핵심 부품 구성도



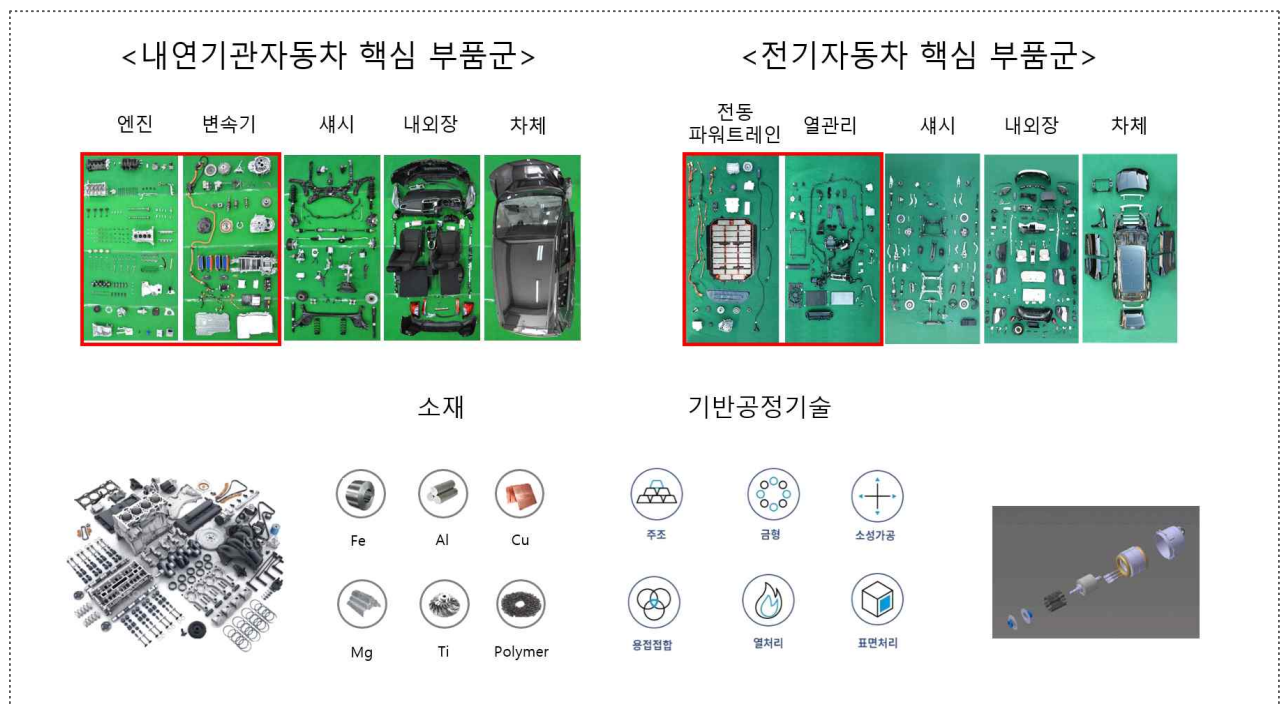
* 출처 : 케이에이랩스 차체 제작 자료

전기자동차의 차체 부품군도 새시, 내외장 및 전장과 유사하게 내연기관자동차에서 전기자동차로 전환되어도 부품이 그대로 유지되는 유지군에 해당하며, 소재의 변화는 완성차 메이커가 차량의 가격 등급에 맞추어서 진행하는 특징을 가지는 부품군임.

다만 경량화 소재의 적용이 내연기관자동차에서는 고성능의 고가 차량을 중심으로 진행되었으나, 전기자동차에서는 차체의 경량화가 구동 모터의 견인 토크 대역을 결정하는 핵심 요소가 될 수 있기 때문에, 내연기관자동차 대비 경량화 필요성이 증대되어 경량화 기술은 개선이 필요한 유지군으로 분류할 수 있음.

2. 내연기관에서 전기자동차 전환의 산업적 의미

[그림 8] 내연기관자동차 소멸군, 전기자동차 신생군 부품의 소재 및 공정 기술 비교



* 출처 : 케이에이랩스 자체 제작 자료

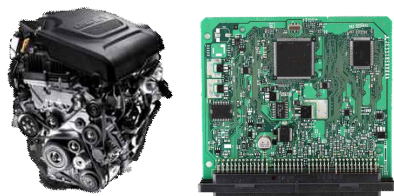
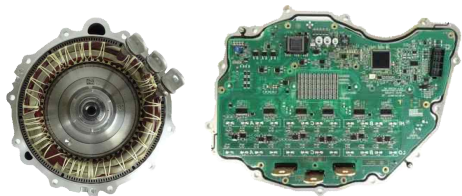
현재 자동차산업에서 가장 큰 화두는 내연기관자동차에서 전기자동차로의 전환이라고 할 수 있으며, 이러한 변화에 능동적으로 대응하기 위해서는 단순히 엔진이 모터로, 화석 연료가 배터리로 대체되는 것으로 아니라, 내연기관과 전기

자동차의 모터의 구동 메커니즘의 차이를 기술적으로 이해하는 것이 필요함.

내연기관과 전기자동차에서 소멸군에 해당하는 부품이 신생군으로 대체되는 것으로 기술적인 이해를 하게 되면, 업종의 전환이 불가능하여 소멸군 부품을 생산하는 기업은 내연기관과 함께 소멸되며, 신생군에 해당하는 전동 파워트레인 및 열관리 부품 기업은 모두 신생 기업으로 대체 되어야 함.

내연기관과 전기자동차의 기술적 차이점을 부품 대체가 아니라 구동 메커니즘의 변화에 따른 시스템의 변화로 이해하고, 이에 대하여 구동 메커니즘 변화에 따른 토크 변화, 비출력 밀도, 효율 및 최고 회전 속도와 같은 기계적 특성과 새롭게 추가되는 전기·전자적 요구사항을 만족해야 하는 것으로 이해해야, 내연기관에서 전기자동차 부품 기업으로 업종 전환 및 인적자원개발이 가능함.

<표 3> 내연기관자동차 소멸군, 전기자동차 신생군 부품의 소재 및 공법 비교

구분	내연기관 소멸군 핵심 부품	전기자동차 신생군 핵심 부품
부품	 엔진 ECU	 모터 inverter module
적용 소재	-알루미늄, 스틸, 구리, 마그네슘 등 금속 소재 -실리콘 PA-GF, PBT, PP계열 고분자 -Pb Free 솔더, 다이오드, 인덕터, 캐피시터, MLCC 및 페라이트 코어 등 전기전자 소재 -시스템 및 통신용 Si 반도체 -엔진 및 변속기 냉각수, 윤활유 소재	-알루미늄, 스틸, 구리, 마그네슘 등 금속 소재 -실리콘, PA-GF, PBT, PP 계열 고분자 -Pb Free 솔더, 다이오드, 인덕터, 캐피시터, MLCC 및 페라이트 코어 등 전기전자 소재 -시스템 및 통신용 Si 반도체 -모터 냉각수, 윤활유 소재
제조 공법	-다이캐스팅, 금형, 사형 주조 등의 정형가공 -압연, 압출, 단조, 프레스 등의 소성가공 -용접, 마찰접합 및 본딩 등의 접합 -T6 및 T4 열처리, 고주파 열처리 -세라믹 및 윤활소재 코팅 -PCB SMT(Surface Mounted Technology)	-다이캐스팅, 금형, 사형 주조 등의 정형가공 -압연, 압출, 단조, 프레스 등의 소성가공 -용접, 마찰접합 및 본딩 등의 접합 -고주파 열처리 -세라믹 및 윤활소재 코팅 -PCB SMT(Surface Mounted Technology)

* 출처 : 케이에이랩스 자체 데이터 활용 기술 분석 자료

내연기관자동차에서 전기자동차로 전환시 엔진이 모터로, 제어 ECU는 인버터로, 연료 시스템은 배터리 시스템으로 변경되는 것이지만, 내연기관 소멸군과 전기자동차 신생군 부품에 적용된 소재와 제조 공법 자체만을 놓고 비교하면 <표 3>와 같이 적용 소재와 제조 공법이 서로 동일한 것으로 분석됨.

내연기관자동차의 소멸군과 전기자동차의 신생군 부품 차이의 핵심은 ISO 21498-1 (Electrically propelled road vehicles)에서 정의하고 구분하고 있는 전압을 기준으로 내연기관 소멸군은 DC 60V, AC 30V_{rms}에 해당하는 voltage class A의 특성을 가지며, 전기자동차의 신생 부품군은 DC 60-1,500V, AC 30-1,000V_{rms} 범위의 Voltage Class B의 특성이 있어서 부품 구동시 만족해야 할 전기·전자적 요구사항이 다른 것이 핵심임.

3. 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵 범위

내연기관에서 전기자동차로 전환의 산업적 의미에서 소멸군과 신생군의 적용 소재와 제조 공법 자체에는 큰 차이가 없으나, 소멸군과 신생군에서 요구되는 전기·전자적 특성과 구동 메커니즘에서 차이가 발생하는 것과 단순 부품이 아닌 가치사슬을 고려한 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵을 구축하는 것이 필요함.

1) 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵 기술 구분

[그림 1]의 전기동력자동차 16 차종에 대한 기술 분석을 바탕으로 내연기관자동차의 소멸군과 전기자동차의 신생군을 구분하였으며, 내연기관자동차 부품의 소멸군에 해당하는 기업의 인력이 전기자동차 부품의 신생군으로 전환되기 위하여 필요한 기술 교육 분야를 크게 5가지로 구분하였음.

전기자동차 산업기술 로드맵에서 구분하는 5가지의 기술 분야는 내연기관 소멸군 기업의 인적자원만이 신생군으로 전환하는 데 활용하는 것만이 아니라, 신생군과 개선군의 인력이 전기자동차 부품의 경쟁력 확보를 위하여 활용할 수 있

는 Voltage Class B의 핵심 기술로 선정하였음.

① 전기자동차 전환을 위한 전기·전자 공통 기술

내연기관 소멸군 부품 기업의 현장에서 가장 큰 애로 사항이 내연기관자동차와 전기자동차가 무엇이 어떻게 다른지에 대한 정확한 정보가 없다는 것이며, 단순히 부품이 바뀐다는 정도의 이해에 그치기 때문에 실질적인 전환 준비가 어려운 것이 현실임.

전기자동차 전환을 위한 전기·전자 공통기술에서는 내연기관 소멸군 부품 기업의 현장에서 가장 필요로 하는 내연기관자동차와 전기자동차의 구동 시스템이 어떻게 다르며, 이러한 차이가 만들어 내는 가치사슬 관점의 기술적 차이점에 대한 이해와 이를 극복하기 위하여 필요한 소재 및 전기·전자적 기술 설명 과정이 필요함.

② 전기자동차 고전압 배터리 시스템 기술

전기자동차 신생군의 전동 파워트레인의 핵심 중의 하나인 고전압 배터리 시스템은, 배터리의 종류에 따른 패키지 구성의 방법의 기계적 요구 사항과 충전 및 방전 과정의 전기 화학적 반응에 대한 이해를 바탕으로 모듈화 및 패키징화에 적용할 수 있는 가치사슬 관점의 기술 이해 과정이 요구됨.

③ 전기자동차 전력변환 시스템 기술

내연기관자동차와 전기자동차의 전압 시스템에서 가장 큰 차이점은 전압의 범위만 Voltage Class A와 B로 다른 것이 아니라, 고전압 시스템이 유기적으로 연계되어 있으며, DC와 AC의 전력변환 과정에서 손실과 노이즈 및 고장까지 유발할 수 있는 부하가 발생하는 것에 대한 기술의 이해 과정이 필요함.

④ 전기자동차 동력발생 및 전달 시스템 기술

내연기관자동차와 전기자동차의 구동 메커니즘에서 가장 큰 차이점을 만들어

내는 전기자동차 모터의 구동 전인력 특성, 전압과 주파수를 제어하여 토크 및 회전수를 구현하는 기술적 특성과 이 과정에서 요구되는 고전압의 전기적 특성을 가치사슬의 관점으로 기술 이해 과정이 필요함.

⑤ 전기자동차 통합 열관리 시스템 기술

전기자동차의 핵심 고전압 부품인 배터리, 인버터 및 구동 모터의 효율과 기술적 특성의 차이는 대소동이 하지만, 전기자동차로 구성되어 실제 구동시 일충전 주행거리 및 상품성에 가장 큰 영향을 주는 것이 열관리 기술이며, 특히 히트 펌프와 같이 통합 열관리 기술이 전기자동차의 성능 구현의 핵심이 되는 것에 대한 기술 이해 과정이 필요함.

2) 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵 과정 구분

본 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵의 최우선 대상 기업은 현재 자동차 부품기업 중에서 39.3%, 종사자 중에서 38.8%를 차지하는 내연기관자동차의 소멸군에 해당하는 기업이며, 대상 기업과 인력이 내연기관 부품에 적용하는 소재와 제조 공정을 최대한 활용하면서, 전기자동차 신생군 부품기업으로 전환하는 것이 가능한 교육을 목표로 크게 기초과정, 심화과정 및 프로젝트 과정으로 구분하여 정의함.

① 전기자동차 인적자원개발 기초과정

전기자동차 교육의 기초과정은 전과정에 대한 소개 및 이해 과정으로 내연기관자동차와 전기자동차의 구동 방식 및 기술적 구성의 차이점을 현재까지 개발된 다양한 메이커 전기자동차의 기술적 특징과 차이점에 대하여 이해하는 과정을 기초과정으로 정의함.

② 전기자동차 인적자원개발 심화과정

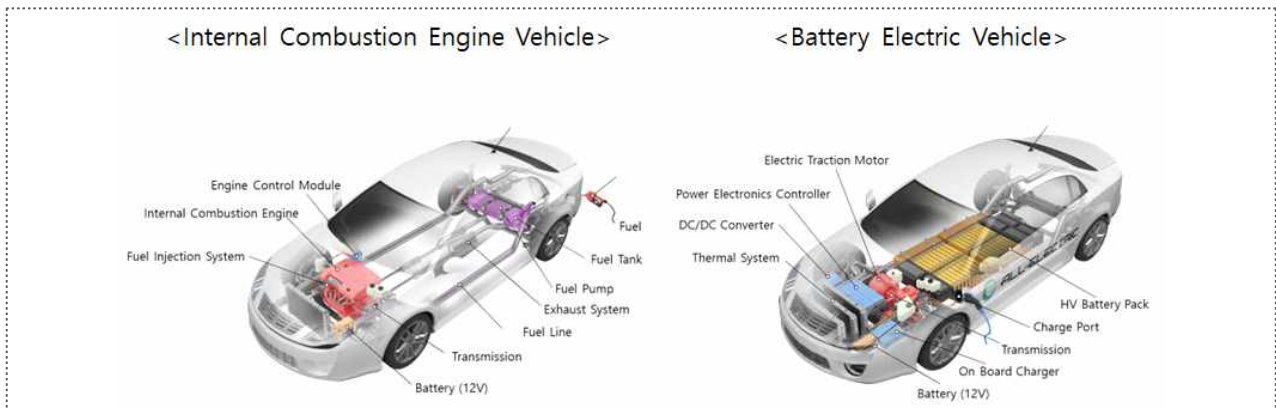
내연기관자동차의 소멸군에 해당하는 기업과 인력에서 전기자동차 신생군 부품으로 전환하는데 기술적인 가장 큰 어려움이 현재 부품화에 활용하고 있는 소재 및 적용 공법이 전기자동차 부품에서 어떻게 적용될 수 있으며, 전기·전자적으로 어떠한 요구 특성을 만족해야 하는지를 모르는 것으로, 심화과정은 전기자동차 전환을 위한 전기·전자 및 소재의 요구 특성에 대하여 이해하는 과정으로 정의함.

③ 전기자동차 인적자원개발 프로젝트 과정

내연기관자동차 소멸군에서 전기자동차 신생군으로 전환하기 위하여 필요한 전기·전자 및 소재적인 이해를 바탕으로, 현재 보유하고 있는 적용 소재와 제조공정을 활용하여 실제로 전환이 가능한 부품이 무엇인지를 파악하여 매칭하고, 해당 부품을 가치사슬 관점에서 실제로 개발 및 양산되기 위하여 필요한 검증 과정이 무엇인지를 숙지하는 핵심 수행 과정을 프로젝트 과정으로 정의함.

1. 전기자동차 전환을 위한 전기·전자 공통 기술 교육 과정

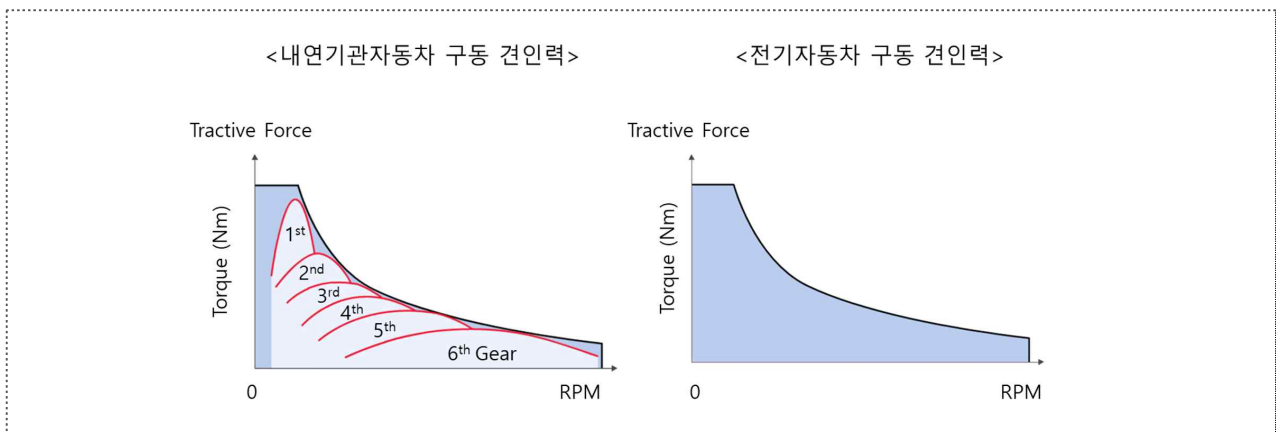
[그림 9] 내연기관자동차 대비 전기자동차 주요 핵심 부품 비교



자료 : U.S. Department of Energy, Alternative Fuels Data Center, <https://afdc.energy.gov>

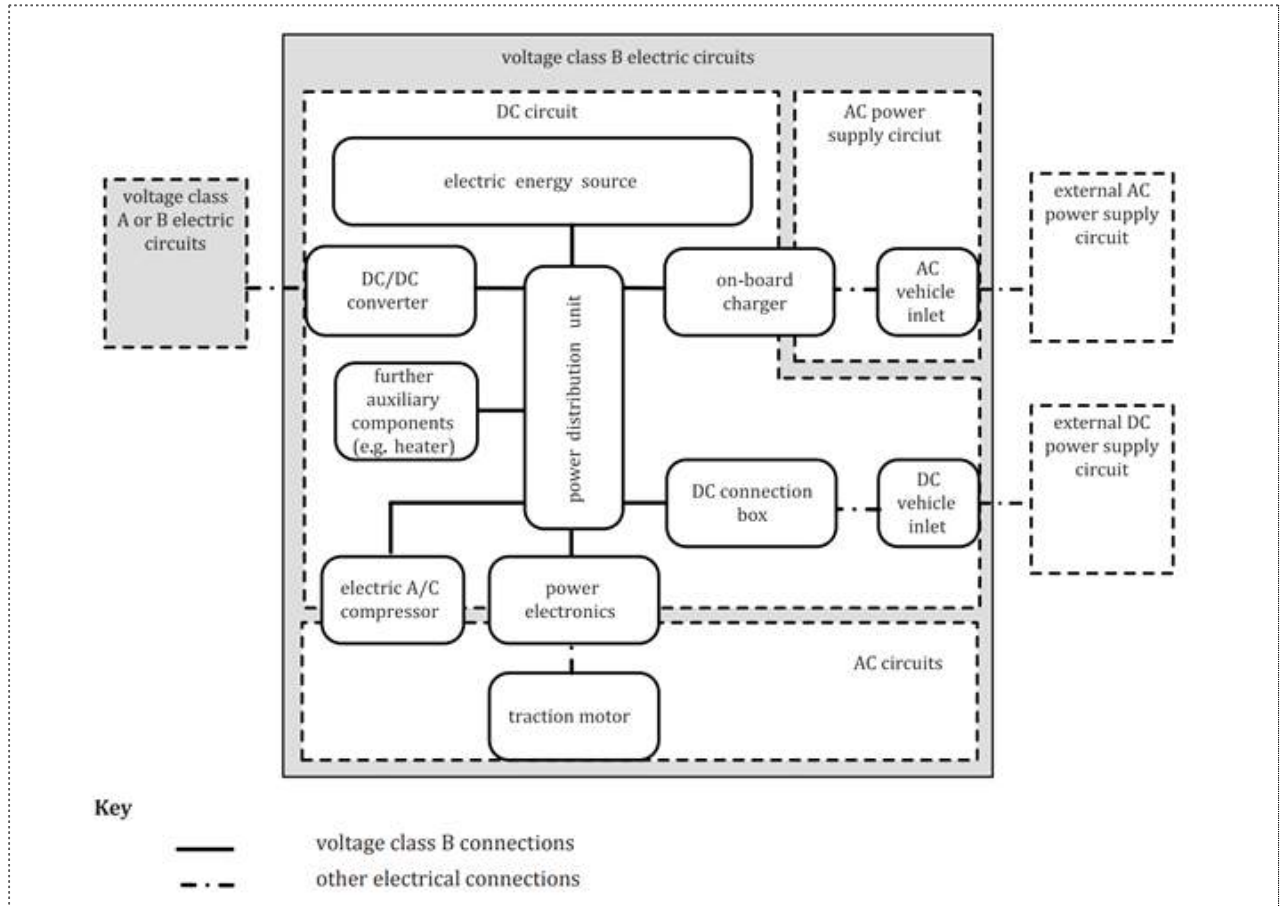
전기자동차 신생군으로 전환을 위한 인적자원개발 과정에서 가장 먼저 진행해야 할 것이 내연기관자동차와 전기자동차가 [그림 9]와 같이 주요 부품이 단순히 대체되는 것이 아니라 구동 메커니즘의 차원에서 차이를 바탕으로, 구동 견인력, 변속기 필요 유무, 고전압 배터리 전압 대역 변화, 전력변환 반도체 소자의 스위칭 주파수 변화, 통합 열관리 및 경량화 필요성을 파악하고, 이를 업종 전환에 활용할 수 있음.

[그림 10] 내연기관자동차 대비 전기자동차 주요 핵심 부품 비교



* 출처 : 케이에이랩스 자체 제작 자료

[그림 11] 전기자동차 고전압 Voltage B 등급 구성 고전압 흐름도



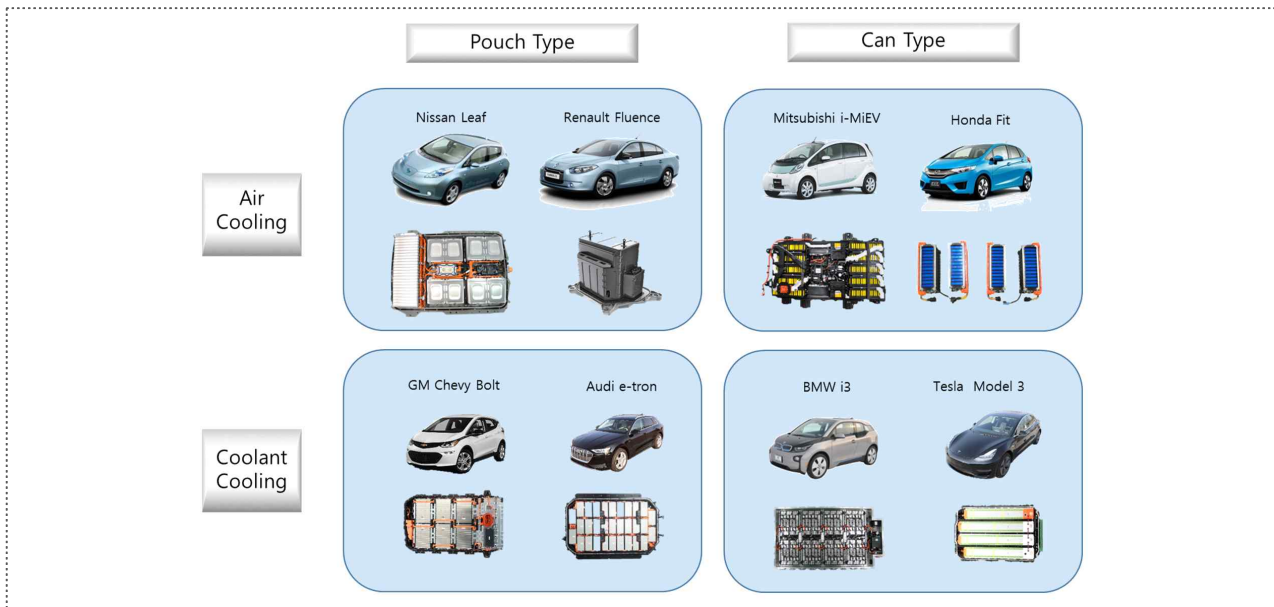
* 출처 : ISO 21498-1, Electrically propelled road vehicles – Electrical specifications and tests for voltage class B systems and components – Part 1: Voltage sub-classes and characteristics

자동차부품을 생산하는 데 필요한 소재 및 공정 기술 자체는 내연기관자동차와 전기자동차의 부품에서 큰 차이가 없지만, 내연기관의 경우에는 Voltage Class A 등급에 해당하는 부품으로 기계 및 구조적 특성이 더 중요한 부품이고, 전기자동차의 경우에는 Voltage Class B 등급으로 기계 및 구조적 특성을 기본적으로 만족하고 기능적 특성과 절연 등의 전기적 특성과 [그림 11]의 고전압이 서로 연계되고 부하를 주고받는 관계를 이해하는 교육 과정이 필요함.

전기자동차 신생군으로 전환하는 과정에서 파워트레인 고전압 부품을 설계, 개발 및 양산하기 위하여서는 핵심 고전압 부품에 대한 가치사슬의 변화와 전기·전자적 이해가 필요함. 이를 위해 전기·전자 소재의 물리적 특성이 구현되는 원리와 이를 바탕으로 구성된 등가회로를 이해할 수 있는 능력을 구비해야 업종 전환이 가능하기 때문에 이러한 심화과정이 필요함.

2. 전기자동차 고전압 배터리 시스템 기술 교육 과정

[그림 12] 전기자동차 적용 배터리 팩의 셀 종류 및 냉각 방식에 따른 분류



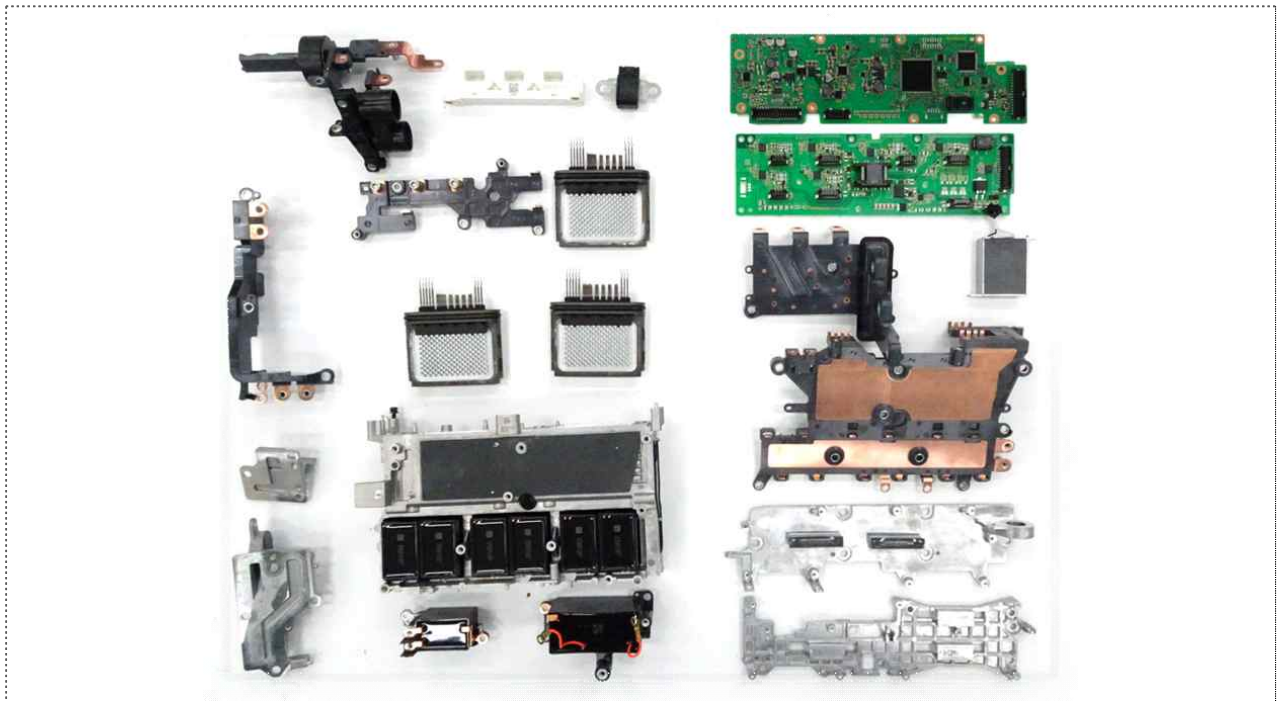
* 출처 : 케이에이랩스 자체 제작 자료

전기자동차 에너지 충·방전 시스템을 구성하는 핵심 부품인 고전압 배터리 팩은 내연기관자동차에서 전원을 저장하여 공급하는 단순한 에너지 저장 부품이 아니라, Li-ion 배터리 셀부터 시작하여 모듈, 팩, BMS, 버스바, 파워 릴레이, 전압 및 전류 센서, 열관리 및 차체 구조물로의 역할까지 모두 요구되는 부품으로, 구조적 강건성과 더불어서 열관리, 전기·전자적 절연 및 전자파 차폐의 기능성까지 만족해야 하는 에너지 저장 시스템임을 이해할 수 있는 교육 과정 필요.

전기자동차의 상징이라고 할 수 있는 고전압 배터리 팩으로 대변되는 에너지 충·방전 시스템은 주조, 금형, 소성가공, 용접접합, 열처리 및 표면처리 등의 기반공정 기술과 소재다원화 공정기술인 사출·프레스, 정밀가공, 적층제조, 산업용 필름 및 지류 공정 그리고 지능화 공정기술인 로봇, 센서, 산업지능형 소프트웨어 및 엔지니어링 설계가 집약된 부품으로, 고전압 시스템의 전기·전자적 특성에 대한 이해를 바탕으로 기존의 내연기관자동차 부품 기술이 접목될 수 있는 분야이기에 전기자동차 전환기업의 인적자원개발에 필요한 기술 분야로 선정함.

3. 전기자동차 전력변환 시스템 기술 교육 과정

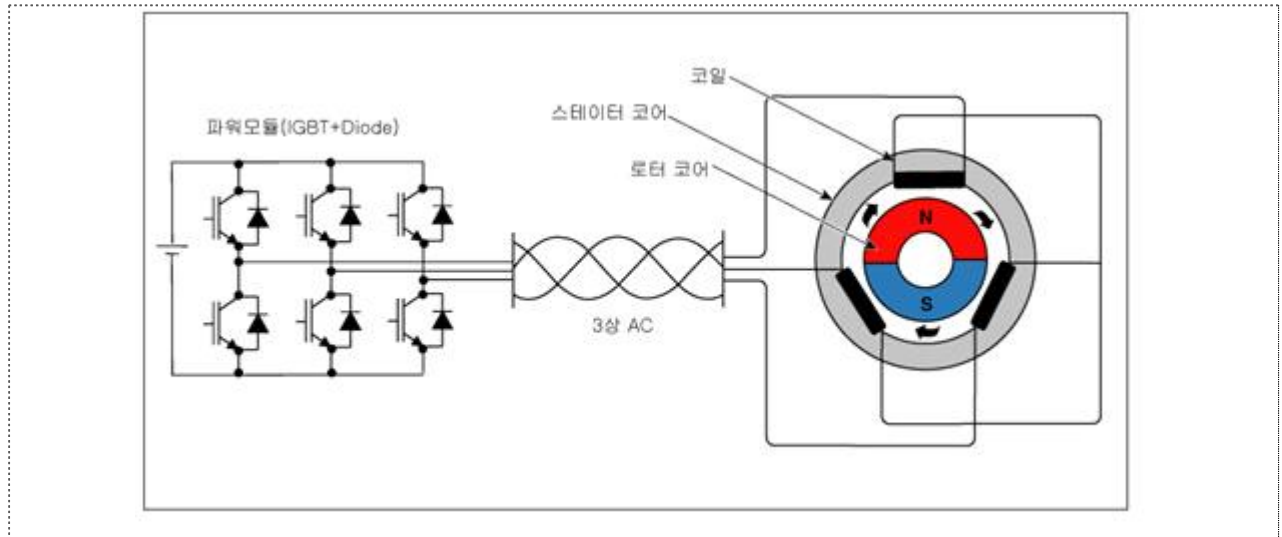
[그림 13] 전기자동차 전력변환 인버터 구성 부품 분해도



* 출처 : 케이에이랩스 자체 제작 자료

전기자동차의 전력변환 시스템은 기존 내연기관자동차의 벨트 구동 발전기를 통한 배터리 충전, 점화 플러그 작동 및 12V 전장 시스템 전력 분배의 수준이 아니라, 고전압 배터리의 충·방전을 위하여 400V 이상 DC의 경우에는 배터리 충전으로 바로 전달하고, AC의 경우에는 DC로 인버팅하고, 배터리 충전에 적합한 DC로 승압하는 컨버팅 과정을 거치게 되며, 고전압 배터리의 DC 전원을 동력발생을 위한 구동 모터 작동을 위해 AC 3상으로 인버팅하는 과정과 고전압 열관리 부품을 구동하기 위한 고전압 DC-DC 컨버터 및 12V DC 전원을 공급하기 위한 저전압 DC-DC 컨버터 등의 전력변환과 분배 과정이 필요함. 이와 관련된 부품에서 요구되는 기계적, 전기적 특성과 기능성에 대한 이해가 내연기관자동차에서 전기자동차로 전환하는 기업에 꼭 필요한 분야이기에 기술 교육 분야로 선정하였음.

[그림 14] 전기자동차 인버터의 전력변환 시스템 개략도



* 출처 : <https://gsw.hyundai.com/>

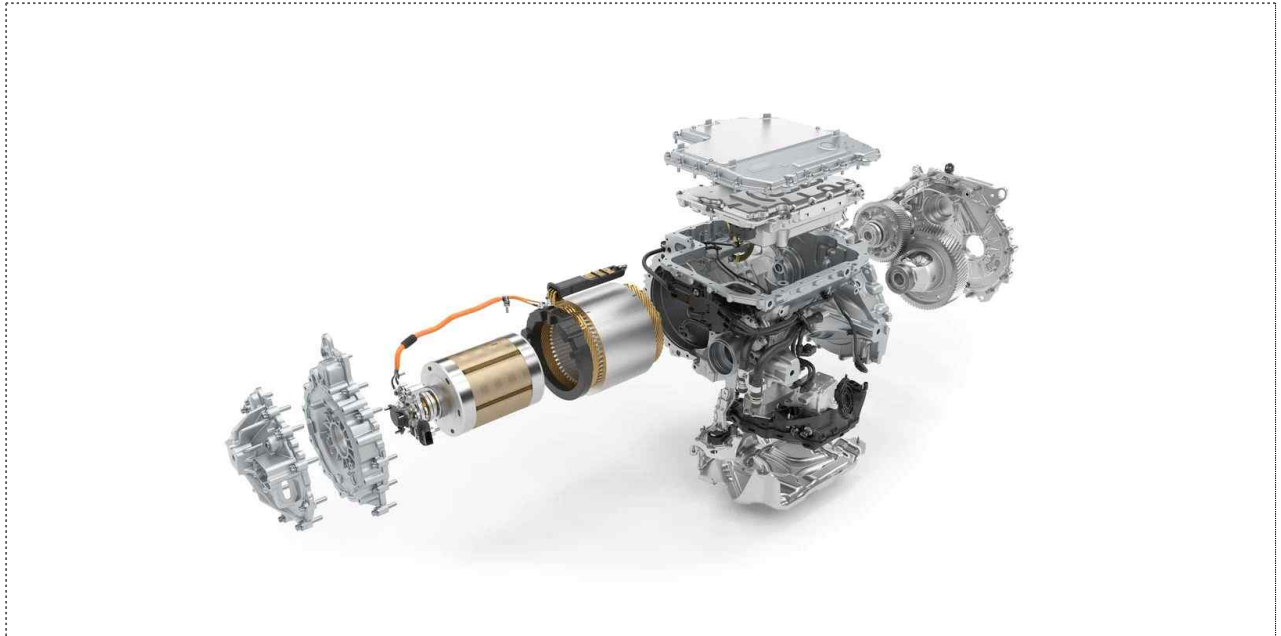
전기자동차 전력변환의 핵심은 전력변환 반도체 소자와 이를 활용한 스위칭 속도 제어로, 전기자동차 구동 모터의 출력 및 효율 향상을 위하여 최대 회전수가 20,000 rpm 이상으로 높아지는 기술적 추세에 맞추어서, 전력변환 반도체 소자는 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)에서 SiC-MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)로 변경되는 기술적 변화의 이유에 대하여 기술적인 이해가 필요함.

또한 이러한 변화에 맞추어서 필요한 전기적 특성과 열관리 특성만이 아니라, 연계된 수동 소자의 성능 향상을 위한 기술개발이 진행되는 기술적 특성을 이해해야만 내연기관자동차 부품기업이 전기자동차 부품으로 전환 시 기술 경쟁력을 확보할 수 있음.

전기자동차 전력변환 시스템의 변화 및 기술적 요구 특성에 대한 이해가 내연기관자동차 부품기업에서 전기자동차로 전환되는데 필요하며, 또한 전력배분 과정에서 반드시 필요한 고전압 케이블 및 버스바의 경우에도 전기적 특성만이 아니라 고장 전류에 대한 대책까지도 꼭 필요하여 본 로드맵의 핵심 교육 과정으로 선정함.

4. 전기자동차 동력 발생 및 전달 시스템 기술 교육 과정

[그림 15] 전기자동차 전동 파워트레인 구동 모터 및 감속기

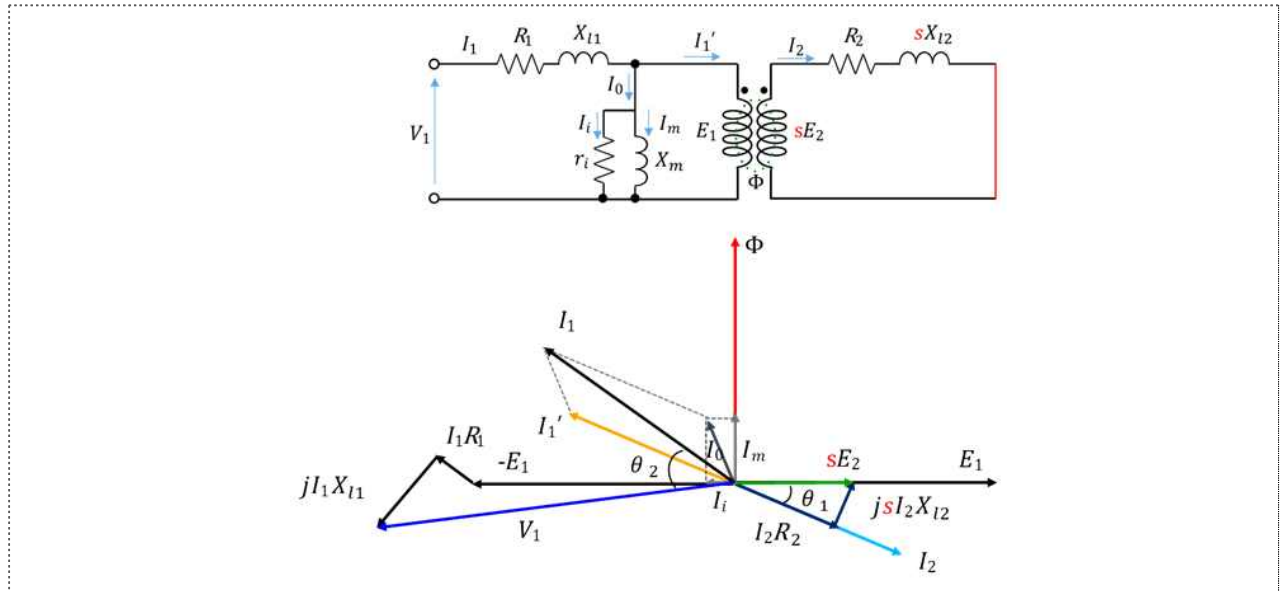


* 출처 : <https://www.caranddriver.com/features/a39493798/ev-motors-explained>

전기자동차 전동 파워트레인에서 동력 발생 및 전달의 핵심 부품인 구동 모터와 감속기는 고전압, 대전류 및 자기적 특성을 고려한 기술이 부품 생산에 필요함. 내연기관의 엔진 및 변속기를 제조하기 위해 기존의 알루미늄, 철강 및 구리 등의 소재와 주조, 압출, 단조 및 프레스 성형 등의 생산 기술 적용이 필요한 부품이기 때문에, 내연기관자동차 부품을 제조하던 기업에서 기계적 특성만이 아니라 전자기적 특성과 절연 성능 등 요구되는 기능성에 대한 이해가 바탕이 되어야 전환이 가능하여 기술 교육 과정으로 선정함.

모든 교육과정이 전기자동차 전환을 위한 전기·전자 공통 기술 교육 과정을 바탕으로 진행되어야 하지만, 동력 발생 및 전달 시스템의 경우에는 동기 및 유도 모터 등가회로의 의미와 더불어서 등가회로의 페이저도에서 부품을 담당하는 기업에서 해당 부품의 특성이 전체 모터의 효율 및 특성에 미치는 영향에 대한 전기·전자 기술이해가 전기자동차 부품기업으로 전환하는 과정에 필요함.

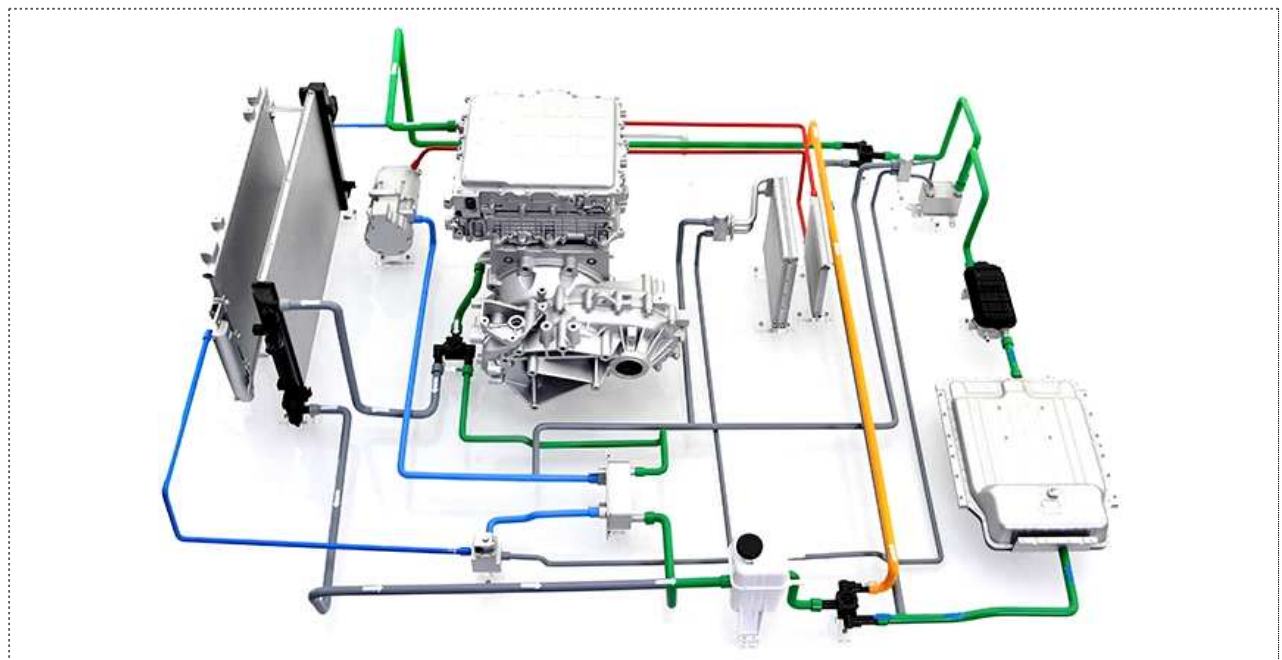
[그림 16] 전기자동차 유도 모터의 등가회로 및 페이저도



* 출처 : 케이에이랩스 자체 제작 자료

5. 전기자동차 통합 열관리 시스템 기술 교육 과정

[그림 17] 전기자동차 히트펌프 적용 통합 열관리 시스템 구성도



* 출처 : <https://tech.hyundaimotorgroup.com/kr/article/hyundai-and-kias-ev-heat-pumps-a-benchmark-for-other-brands>

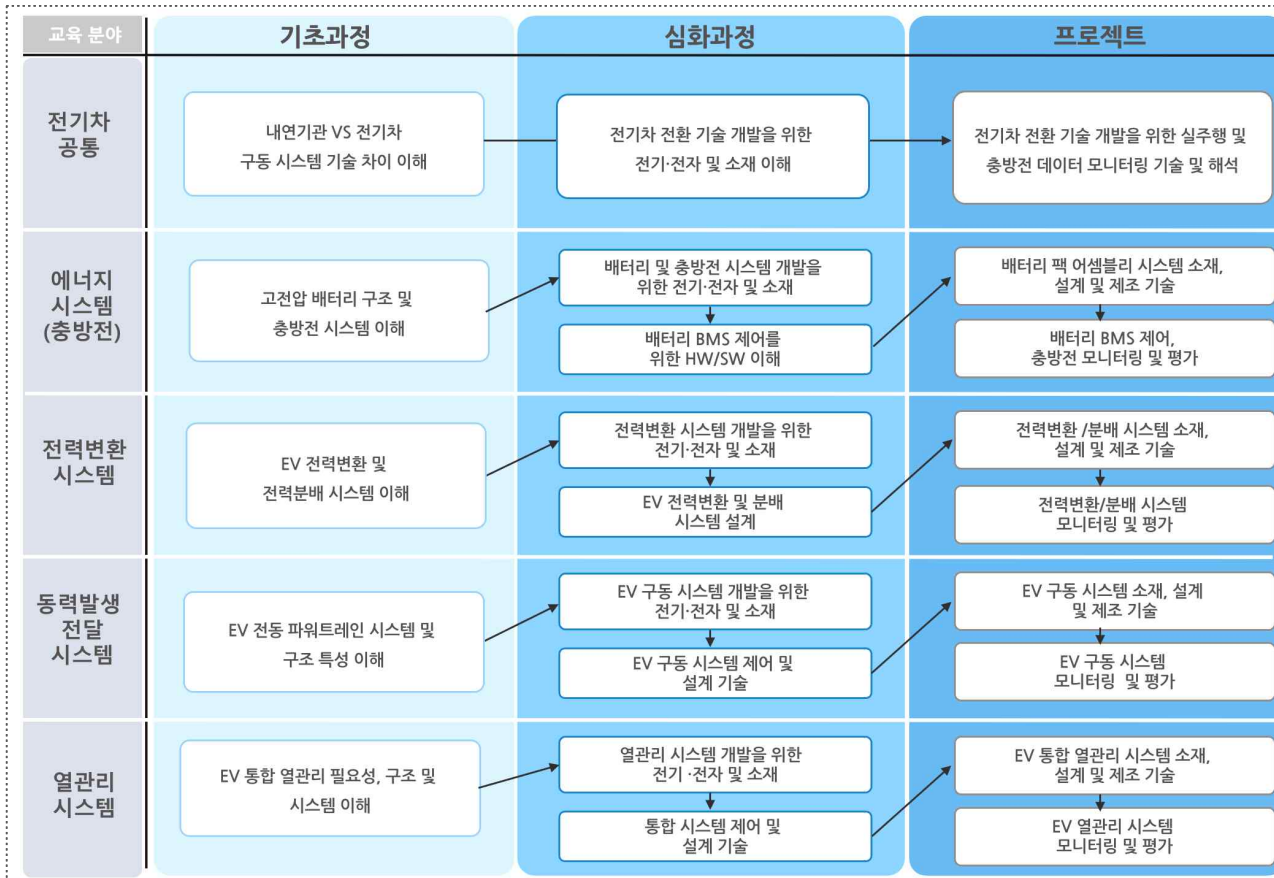
전기자동차의 전동 파워트레인 핵심 부품인 고전압 배터리 팩, 구동 모터 및 인버터의 성능은 완성차 메이커별로 최대 3% 이내로 대동소이한 기술적인 수준을 보이고 있지만, 완성차 메이커별로 전기자동차의 일충전 주행거리 및 상품성에서는 큰 차이를 보이고 있는데, 이러한 차이에 가장 큰 요인이 열관리 기술로 분석되고 있어 전기자동차에서 중요한 시스템 분야임.

내연기관자동차의 공조 기능은 전기자동차에서도 모두 필요로 하지만, 내연기관에 적용하는 공조 시스템이 아니라, 고전압 구동이 필요한 히트펌프, 전동 컴프레서 및 히터 등을 적용하기 때문에 기계적 구조도 변경될 뿐만 아니라 필요로 하는 전기적 특성과 기능성 차이의 이해가 필요한 분야로, 내연기관 부품 기업에서 전기자동차 부품 기업으로 전환 시 반드시 확보해야 할 기술이 열관리 시스템이기 때문에 기술 교육 과정으로 선정함.

전기자동차의 통합 열관리의 핵심은 열관리 부품을 통합하는 것이 아니라, 전기자동차에서 발생하는 열을 에너지의 개념으로 접근하여, 고전압 부품에서 발생하는 각종 폐열을 활용해 냉각 및 예열에 활용하는 히트펌프 개념까지 포함하여 통합하는 열관리 시스템의 적용이 증가하고 있으며, 히트펌프 시스템에서도 열효율을 증가시키기 위한 부품 및 시스템 개발을 기존 내연기관자동차 부품을 생산하는 소재 및 공정 기술을 활용할 수 있는 기술 교육 과정이 필요함.

6. 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵

[그림 18] 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵



[그림 1]의 16대 차종 전기동력자동차의 teardown 벤치마크 및 주행 모니터링 DB의 분석과 자동차 부품을 생산하기 위한 소재 및 공정 기술에 대한 분석을 바탕으로 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵을 구축하였음.

내연기관자동차에서 전기자동차로 전환하는 것이 단순히 엔진이 모터로, 연료가 배터리로 대체되는 것이 아니라, 자동차의 본질인 구동 시스템 관점에서 기술적인 차이가 무엇인지에 대한 정확한 이해가 필요함. 그것을 바탕으로 전기자동차 전동 파워트레인의 핵심인 에너지 충방전 시스템, 전력변환 시스템, 동력 발생 및 전달 시스템과 열관리 시스템이 내연기관과 다른 기구적, 전기적 그리고 기능적 차이를 이해하는 교육과정을 통하여, 현재 양산 및 기술 개발하는 부품의 소재와 공정 기술을 전기자동차 부품으로 전환 시 요구되는 사항에 맞추어서 전환할 수 있는 인적자원 역량 강화 교육 과정 로드맵을 제시함.

V 결론 : 시사점 및 정책제언

전기자동차 산업의 인적자원개발 로드맵을 구축하는 과정에서 내연기관에서 전기자동차로 전환에 필요한 교육은 [그림 19]와 같이 기존의 부품 단위 특화 기술 교육보다는 전환 대상 부품의 역할과 성능, 그 부품을 이루고 있는 소재의 구성과 적용 이유, 그리고 정확한 생산 공정 기술에 대한 이해, 마지막으로 해당 부품의 성능 평가 및 검증에 대하여 가치사슬 기반으로 기술 교육을 진행할 수 있는 유기적이고 체계적인 지원이 뒷받침되어야 실질적인 전기자동차 산업으로 전환이 가능함.

[그림 19] 가치사슬 기반 전기자동차 산업기술 인적자원개발 로드맵 핵심 구성



* 출처 : 케이에이랩스 자체 제작 자료

현재 국내의 전기자동차 산업의 인적자원개발 프로그램은 크게 완성차 메이커 및 유관 기관을 통하여 진행되고 있으나, 기술 교육이 내연기관에서 전기자동차로 전환을 지원하는 것보다는 전동화에 특화된 기업의 인적자원을 대상으로 진행하고 있는 교육이 많은 부분을 차지하고 있으며, 현재 미래형자동차 사업재편 준비 대응역량강화 프로그램의 일환으로 진행되는 기술 교육에서도 기존 전동화

특화 기술 교육 프로그램을 활용하고 있음. 따라서 내연기관자동차 부품 기업에서 전기자동차 부품으로 전환하는 기업들을 대상으로 자동차 변화에 따른 기술적 메커니즘을 이해할 수 있도록 기초적인 내용에서부터 심층적인 부분까지 포함된 보완적인 기술교육이 제공되어야 할 필요성이 있음.

본 전기자동차 산업기술 로드맵 작성 과정의 기술 분석 데이터에서 확인할 수 있듯이, 국내 자동차 부품산업에서 약 40%에 해당하는 내연기관자동차 부품 소멸군 기업에서 보유한 설비 인프라 및 적용 소재를 전기자동차부품 신생군으로 전환하는 것이 가능함.

내연기관자동차 소멸군 부품기업에서 전기자동차 신생군 부품기업으로 전환하는 과정에서 국내 전기자동차 산업이 글로벌 경쟁력을 확보하고, 국내의 핵심 산업으로 고부가가치 창출과 지속 가능한 성장의 원동력이 되기 위해서는 소멸군 기업이 보유하고 있는 소재 및 공정 기술에 대한 정확한 분석으로 바탕으로, 기존의 자동차 부품 단위 기술로 특화된 교육과정에, 전환을 위한 가치사슬 기반의 교육과정을 추가하는 상호 보완적인 교육 방식이 필요하며, 이를 교육하기 위한 세부 프로그램 개발과 강사 확보에 체계적인 지원과 전략적인 투자가 필요함.