

전기자동차 배터리 팩 고밀도화 기술

| 저자 | 이백행 전기수소차PD / KEIT
고윤기 센터장 / 한국자동차연구원

SUMMARY

/// 전기자동차 배터리 팩의 고밀도화 기술 개발 배경 및 필요성

- ★ 자동차 온실가스 배출 규제에 대응하여 전기자동차의 보급 확대를 위한 고도화 기술 개발 필요성 증대
- ★ 자동차 사용자의 운용 편의성 제고 필요성에 따라 1회 충전 주행거리 확장을 위한 에너지 탑재량 증대 요구 대응 배터리 팩의 에너지 고밀도화 필요성 대두
- ★ 전기차 배터리 팩의 고밀도화를 위해 배터리 셀의 에너지 특성 개선, 구성부품의 경량화 및 기능 통합, 냉각 및 열관리 고도화 등의 기술 필요

/// 시사점 및 정책제안

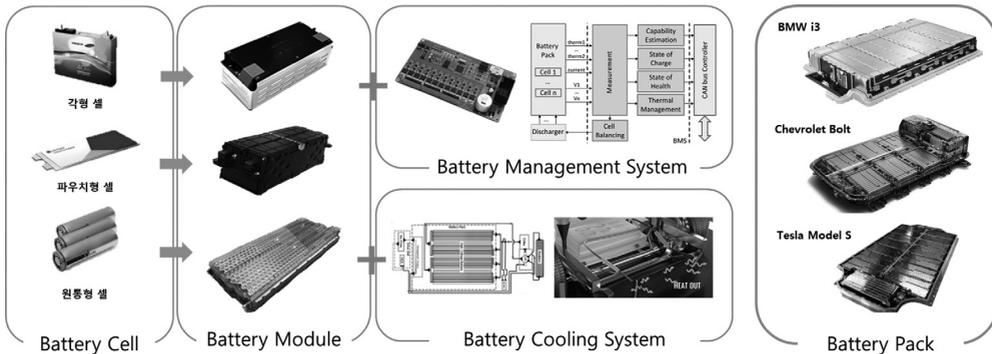
- ★ 전기자동차 배터리 팩의 구조는 배터리 기술의 급격한 발전으로 인해 표준화된 형태없이 응용분야의 요구에 따라 다양한 구조와 형상으로 적용
- ★ 전기자동차의 배터리 팩/시스템은 주행거리에 직접적인 영향을 미치는 중요한 요소로, 국내 전기차의 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위해 지속적인 기술 개발이 필요
- ★ 전기차의 배터리 팩의 에너지 밀도 향상 기술은 시스템의 구조 강성, 구조 효율성 및 열·전기적 특성을 동시에 고려한 통합적인 기술 개발이 필요

1. 전기자동차 배터리 팩 고밀도화 기술 개요

전기자동차 배터리 팩의 개요

★ 배터리 팩은 전기자동차에서 필요한 전기동력을 공급하기 위해 전기에너지를 저장하는 장치로, 배터리 셀, 모듈, 배터리관리장치(BMS, Battery Management System), 냉각장치 및 케이스 등으로 구성

- 배터리 셀 : 양극판, 음극판, 전해액, 분리막 등으로 구성되어 전기에너지를 저장 또는 공급하는 최소 단위
 - ※ 배터리 셀 구조에 따라 원통형, 각형, 파우치 형으로 구분됨
- 배터리 모듈 : 직렬 또는 병렬로 연결된 다수의 셀로 구성되어 외부 충격, 열, 진동으로부터 배터리 셀을 보호하기 프레임에 넣은 조립체
 - ※ 시스템에 따라 전기부, 냉각 시스템, 전압 및 온도센서, 셀 밸런싱 시스템 등 제어 기능 포함
- 배터리 관리장치 : 배터리 셀의 전압, 전류 및 온도를 모니터링하여 최적의 상태로 유지 및 관리하고 배터리 문제를 사전에 발견하는 등의 역할을 하는 제어장치
- 배터리 냉각장치 : 전기차 충·방전 시 배터리 셀 자체에서 발생하는 열을 외부로 방출하여 배터리의 안전성 및 최적 효율을 유지하도록 하는 장치
- 배터리 팩 케이스 : 외부의 물리적, 화학적 충격으로부터 배터리 팩 내의 모듈, 배터리관리장치 및 냉각장치 등을 보호하는 기구부



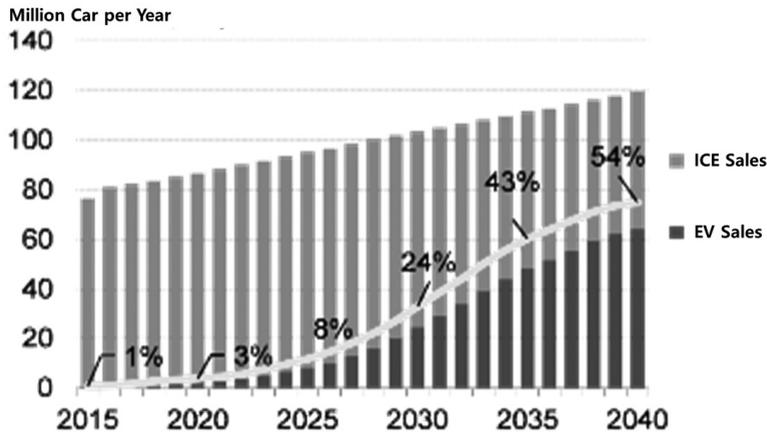
| 그림 1. 전기차 배터리팩 시스템 구성 |

★ 배터리 팩은 전기차의 주행 성능 및 효율을 결정하는 핵심 요소로서 배터리 셀의 고용량화, 배터리 관리 및 냉각 시스템의 효율성 향상, 경량 패키징 등 에너지 저장 효율 향상을 위한 다양한 연구 진행 중

// 배터리 팩 고밀도화 필요성

★ 새로운 글로벌 기후체제 출범에 따른 친환경 자동차로의 자동차 산업의 패러다임 전환 가속화

- 국내 2050년 탄소중립에 대응한 2030년 1820만 톤의 온실가스 감축을 목표로 자동차 온실가스 평균 배출량 기준 강화 ('20년 97g/km → '30년 70g/km)
- '19년 기준 국내 19개 자동차 제작업체 중 12개 업체가 온실가스 평균 배출 기준 미달성으로 해당 업체의 미달성분에 대한 판매 차량에 대한 과징금 적용 예정
 - ※ 미달성분 1g/km 초과 시, '20년 기준 대당 5만원 과징금 추징(매출액의 1% 상한)
- 환경규제 만족을 위한 전기구동 기반의 친환경 자동차의 생산 및 판매 비중은 지속적인 증가 추세
- 정부의 대기 환경 개선과 자동차 제작사의 환경 규제 충족을 위한 친환경 자동차의 시장 확대를 목표로 다양한 지원 정책과 사용자의 운용 편의성 향상을 위한 기술개발 진행 중



※ Bloomberg, New Energy Finance, 2017. 7

| 그림 2. 친환경 자동차 시장 현황 및 예측 |

★ 전기구동 기반 친환경 자동차의 시장 확대를 위한 중요한 목표 중 하나는 1회 충전 후 주행 거리 향상

- 전기차의 기술 개발은 1회 충전 후 주행 가능 거리의 증대에 따라 큰 변화를 이루어 왔으며 그에 따른 기술적으로 세대를 구분하기도 함



| 그림 3. 전기차의 세대 구분 |

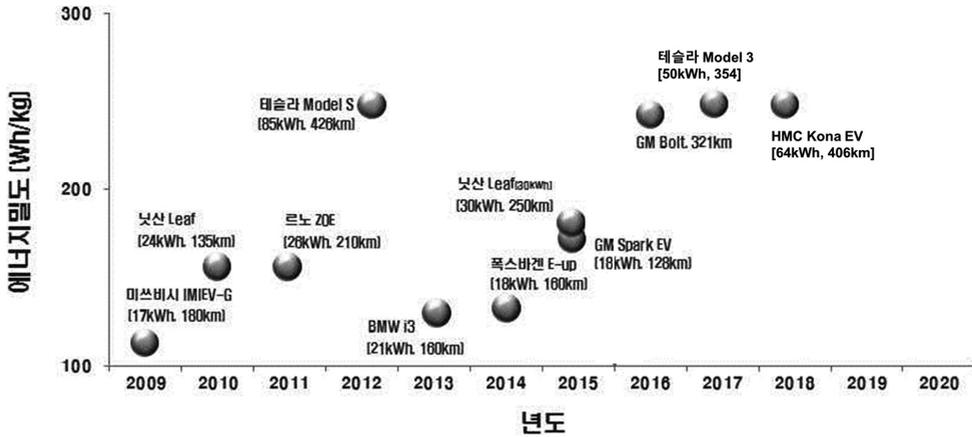
| 표 1. 전기차 세대 구분 예 |

| 차량 | 1세대 | | | |
|----------------|---------|-------|----------|----------|
| | Leaf | i3 | SM3 Z.E. | Ioniq EV |
| 배터리 용량(Kwh) | 24.1 | 21.3 | 25.9 | 28 |
| 셀 타입 | 파우치형 | 각형 | 각형 | 파우치형 |
| 에너지밀도(팩) | 88.5 | 85.2 | 92.6 | 111.2 |
| 1회 충전 주행거리(km) | 145 | 160 | 135 | 105.3 |
| 출시년도 | 2010 | 2014 | 2013 | 2016 |
| 차량 | 2세대 | | | |
| | Model 3 | BOLT | Kona EV | Niro EV |
| 배터리 용량(Kwh) | 50 | 60 | 64 | 64 |
| 셀 타입 | 원통형 | 파우치형 | 파우치형 | 파우치형 |
| 에너지밀도(팩) | 110.4 | 137.6 | 141.3 | 141.3 |
| 1회 충전 주행거리(km) | 354 | 383 | 406 | 380 |
| 출시년도 | 2017 | 2017 | 2018 | 2018 |

- 1회 충전 주행거리는 고용량의 배터리 탑재가 적용된 2세대 전기차의 보급으로 개선되었으나, 여전히 내연기관 차량에 익숙한 소비자의 니즈 충족은 어려운 상황임

- 주행거리 확장을 위해서는 더 많은 용량의 배터리를 탑재하는 등 주어진 차량 공간 내에서 배터리 팩의 단위 무게 당 에너지 저장용량, 즉 에너지 밀도를 극대화시킬 수 있는 배터리 셀-시스템과 연계된 기술적 해결책 확보가 필수임

※ 배터리 팩 에너지밀도(wh/kg) : 에너지 용량(Wh) ÷ 배터리 팩 중량(kg)

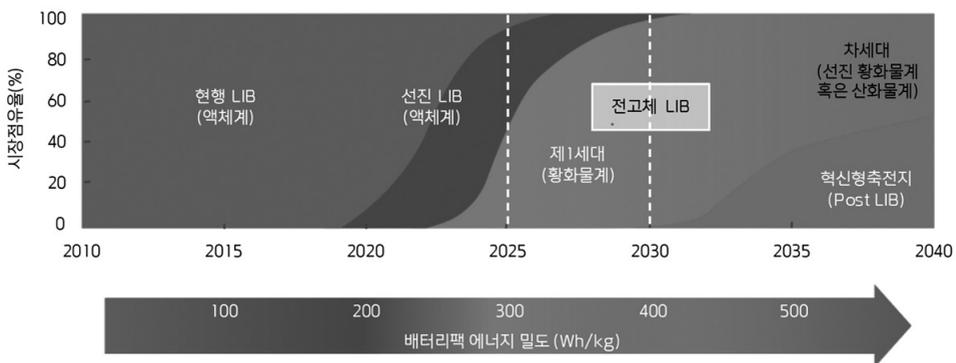


| 그림 4. 전기차용 배터리 셀 에너지 밀도 변화 추이 |

// 배터리 팩 에너지 고밀도화 기술

★ 전기차 배터리 팩의 에너지밀도 향상은 배터리 셀의 성능 향상과 배터리 팩 시스템의 성능 개선을 통하여 달성 가능

- 현행 전기차에 적용되는 배터리는 리튬이온 전지로서, 전지 내 4대 소재(양극재, 음극재, 전해질, 분리막)의 성능 개량과 리튬메탈, 리튬황 등 차세대 이차전지의 상용화 개발을 통하여 이차전지 자체의 에너지 밀도 향상 가능



| 그림 5. 전기차 배터리 소재 기술 추이 및 시장 전망 |

- 현재 리튬이온전지의 에너지 밀도는 무게 기준 약 260Wh/kg, 부피 기준 550Wh/L 수준으로 향후 350Wh/kg, 800Wh/L까지 증대될 전망이나, 기술적 한계 극복을 위한 차세대 이차전지의 개발 필요성이 대두되고 있는 상황

★ 현행 이차전지 효율 개선의 기술적 한계에 따라 배터리 팩 시스템의 성능 개선을 통한 에너지 고밀도화 기술의 중요성 증대

- 배터리 팩 시스템 구조의 경량화를 통한 에너지 밀도 향상, 차량의 한정된 공간 내에서 구조 최적화를 통한 탑재 가능한 배터리 용량의 극대화와 탑재된 배터리의 효율적인 냉각 시스템 적용을 통한 배터리 운용 안정성 향상 등의 시스템 개선을 통한 배터리 팩의 에너지 밀도 향상 가능
- 높은 에너지 밀도를 갖는 배터리 팩을 탑재한 전기차의 신속한 시장 반영을 위해서는 배터리 팩 시스템의 성능 개선에 접근한 기술 개발이 필요



| 그림 6. 전기차 배터리 팩 에너지 효율 향상 방안 |

2. 국내·외 배터리 팩 고밀도화 기술 동향

// 금속 대체 고분자 복합소재에 기반한 배터리 팩의 경량화 기술

★ 전기차에서 배터리 팩은 가장 높은 무게 비중을 차지하는 부품으로 경량화를 통해 1회 충전 주행거리 개선 가능

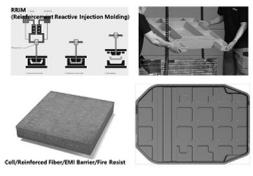
- 전기자동차 배터리 팩은 차량 공차중량의 약 25~29% 수준으로 알려져 있으며, 배터리 모듈(BMA)을 제외하면 배터리 팩 내 케이스 부품이 가장 높은 무게 비중을 차지

※ Tesla Model S의 경우 배터리 팩 비중이 공차중량의 약 29% 수준

★ 전기차 배터리의 용량 증대에 따른 배터리 모듈의 중량 증가로 인하여 배터리 팩의 구조 강성 확보를 위한 금속 기반의 배터리 팩 케이스가 적용되어 왔으나, 복합소재를 적용한 다양한 경량화 기술이 시도되고 있음

- 한화솔루션사는 불포화 폴리에스터 수지와 유리섬유 강화제를 적용한 SMC 공법으로 기존 스틸 상부 커버 대비 약 15~20% 경량화 가능한 기술을 확보한 것으로 알려짐
- SGL사는 다층 탄소섬유 패브릭을 갖는 샌드위치 패널의 열간 압축 성형을 통하여 알루미늄 대비 40% 경량화된 배터리 팩 상부 커버 개발하고, 낮은 열전도 특성에 따른 열변형 및 내화학 특성 향상시킨 것으로 발표
- BASF사는 RIM(Reactive Injection Molding) 공정을 통하여 발포 폴리우레탄 기반의 유리섬유 복합소재를 적용하여 50% 경량화된 배터리 상부 커버 개발 기술 확보함

| 표 2. 배터리 팩 상부 커버 경량화 사례 |

| 개발업체 | 한화솔루션社 | SGL社 | BASF社 |
|-------|---|---|--|
| 형상 |  |  |  |
| 적용 소재 | Glass Fiber/Polyester | Carbon Fiber/Epoxy | Glass Fiber/PU |
| 적용 공법 | SMC | Compression Molding | R-RIM |
| 경량화율 | 15~20% | 40% | 50% |

- 국내 LG Hausys사는 16kWh 용량의 스틸 기반의 배터리 팩 하부 케이스를 열가소성 탄소섬유 복합소재를 적용한 D-LFT 공법을 이용하여 30% 경량화 및 부품수 90% 통합화한 복합소재 하부 케이스를 개발한 것으로 발표

- CSP(Continental Structural Plastics)社は 유리섬유가 적용된 비닐 에스터 소재를 기반으로 한 SMC(Sheet Molding Compounding) 공정을 통하여 기존 스틸 기반의 배터리 팩 케이스 대비 15% 경량화된 케이스 개발 발표
- Audi社は Fraunhofer社와 공동으로 35kWh 용량의 배터리 팩 하부 케이스를 하이브리드 복합구조를 적용하여 기존 케이스 중량 대비 42% 저감된 일체형 차체 일체형 배터리 팩 케이스 개발 진행 중인 것으로 알려짐.

| 표 3. 배터리 팩 하부 케이스 경량화 사례 |

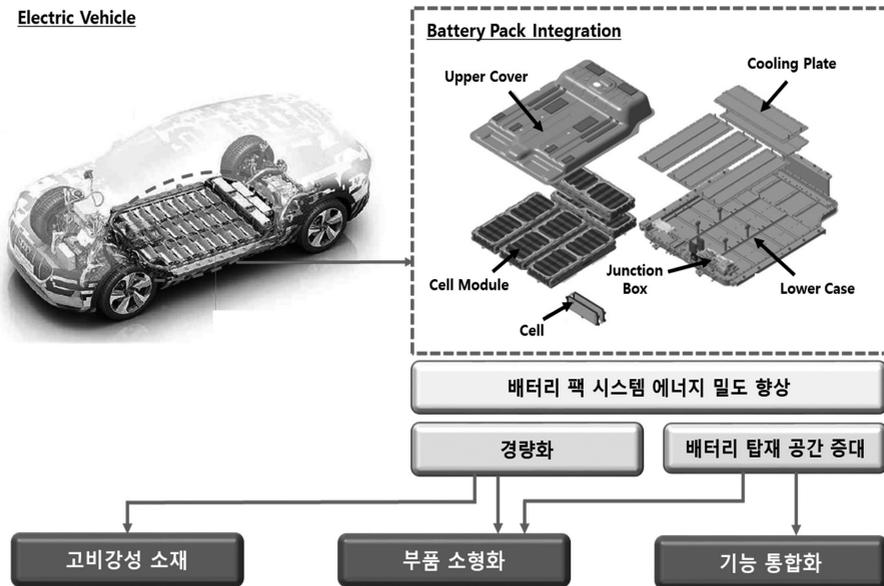
| 개발업체 | LG Hausys社 | CSP社 | Audi-Fraunhofer社 |
|-------|---|---|--|
| 형상 |  |  |  |
| 적용 소재 | Carbon Fiber/PA | Glass Fiber/Vinyl ester | CF/GF/PA/Aluminum |
| 적용 공법 | D-LFT | SMC | D-LFT/Compression·Insert Molding |
| 경량화율 | 30% | 15% | 42% |

★ 배터리 하부 케이스의 경우, 배터리 용량 증대에 따른 구조 안전성 확보를 위하여 단일 복합소재 적용 대신 금속 구조체와 복합소재의 융합화를 통한 하이브리드 구조의 개발이 이루어지고 있으며, 이에 따른 높은 생산성을 갖는 이종소재 접합 기술과 일체 성형 공정 기술에 대한 개발 요구가 확대되고 있음

구조 및 전장 부품 기능 통합화를 통한 배터리 팩 최적화 기술

★ 배터리 셀의 성능 개선 한계로 차량의 한정된 공간에 배터리 탑재 용량의 증대와 전장부품의 경량화를 통한 에너지 고밀도화 필요성 확대

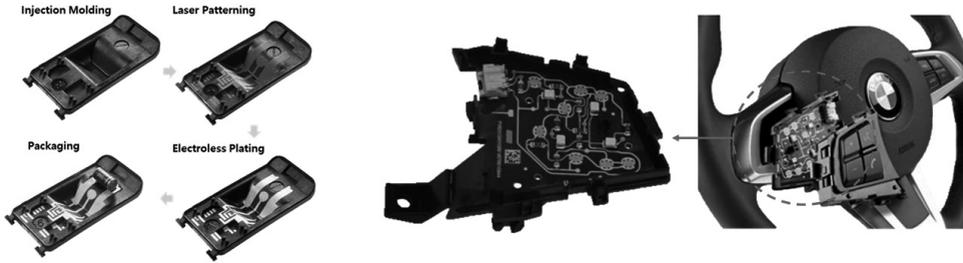
- 배터리 시스템을 구성하는 부품의 경량화 및 소형화를 통한 배터리 팩의 에너지 밀도 향상 필요
- 배터리 시스템의 전장부품의 기능 통합화 및 일체화를 통한 부품 수 저감과 단순화하여 배터리 탑재 공간의 확대



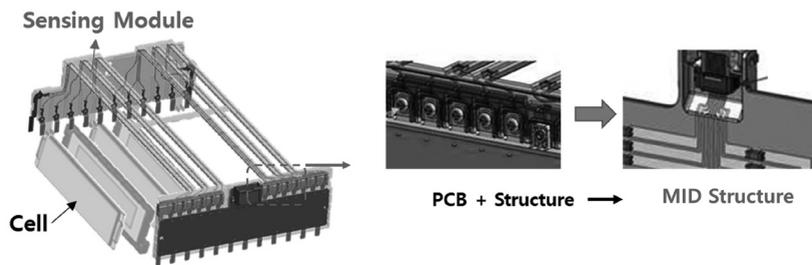
| 그림 7. 배터리 시스템 내 에너지 밀도 향상 기술 전략 |

★ 전기차 배터리 팩 내 저전압 전장 부품에 대응하여 3차원 MID(Mold Interconnect Device) 공법을 적용한 회로 일체형 구조화 기술 적용 확대 중

- 구조물 3차원 표면에 도금 공정을 통하여 회로를 성형하는 기술로서 기존의 회로 기판 삭제를 통한 경량화 및 공간 확대 효과
- 무전해 도금 공정을 통한 회로 성형으로 회로 두께는 약 15~20 μ m 수준으로 저전압 전장 부품에 적합하여 배터리 모듈 내에서 배터리의 상태를 측정하는 배터리 센싱 모듈 등 신호 전달 회로에 적용 중



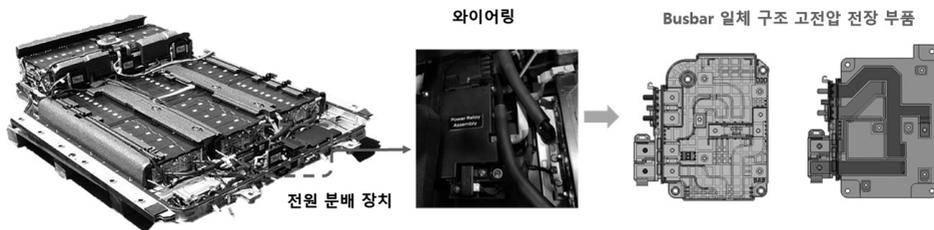
| 그림 8. 3차원 MID 기술을 적용한 전장 부품 예시(TRW, BMW) |



| 그림 9. 전기차 배터리 모듈 내 배터리 셀 센싱 모듈 적용 |

★ 배터리 팩 내 고전압 전장 부품의 소형 및 경량화에 대응한 인서트 일체 사출을 통한 구조화 기술 수요 증대

- 배터리 팩 시스템 내 대전압 전장 부품 간의 와이어링 최소화를 위하여 대전력 Busbar를 전장 부품 성형 시 인서트 오버몰딩 성형을 통한 일체화 → 부품 수 저감, 경량화 및 조립 공정 생산성 향상 가능



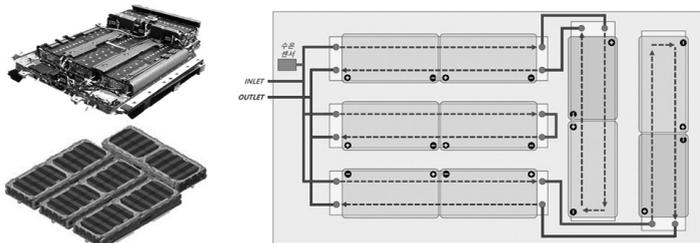
| 그림 10. 고전압 Busbar 일체형 전장 부품 |

- 전장 부품 간 직렬연결을 위한 배터리 팩 내 고전압 Busbar의 Clad Metal(금속 한면 또는 양면에 이중 금속을 접합) 기술을 통하여 형상 제어 자유도를 높인 경량 Busbar 적용

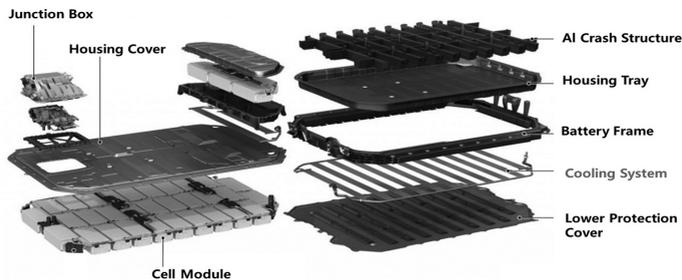


| 그림 11. 플렉서블 경량 고전압 버스바 |

- ★ 배터리 셀 냉각 시스템의 구조 최적화를 통한 냉각 효율 향상 및 시스템 단순화·통합화 기술 확대 적용 → 경량화 및 공간 확보를 통한 배터리 에너지 밀도 향상
 - 기존 배터리 모듈 기반의 배터리 셀 냉각 시스템을 구조 단순화 및 냉각 효율 향상을 위하여 배터리 팩 시스템 전체의 냉각 구조로 통합화 확대
 - 배터리 모듈/팩 내 냉각 채널과 하부 케이스의 일체화를 통한 구조 단순화 및 통합화 구조 채용 연구 진행 중



| 그림 12. 국내 사 배터리팩 냉각 구조 (HMC社 Kona EV, 분리형 구조) |



| 그림 13. 해외 사 배터리 팩 구조 (Audi社 E-tron, 일체형 냉각 구조) |

- ★ 배터리 팩의 구조는 배터리 셀의 종류와 특성 및 차량 내 가용 공간에 따라 다양한 형태를 나타내고 있음에 따라 구조 일체화와 기능 통합화 측면에서 구조 강성, 구조 효율성, 열·전기적 특성을 동시에 고려한 통합적인 기술 개발 필요

3. 맺음말

/// 글로벌 환경 규제 강화로 인한 전력 기반 자동차의 시장 확대 요구에 따라 전기차의 운용 편의성 확보를 위한 기술 개발 필요성 부각

- ★ 자동차 제작사 기업 평균 온실가스 배출 규제 충족을 위한 자동차 산업의 패러다임이 친환경으로 전환되고 있으며, 전기차의 보급 확대를 위한 기술 개발 필요성 증대
- ★ 현 내연기관 자동차 수준의 운용 편의성 확보를 위한 1회 충전 주행거리를 600km 이상으로 증대시키기 위한 배터리 팩의 에너지 고밀도화 기술 요구
- ★ 전기차 배터리 팩의 고밀도화는 장기적으로 차세대 배터리 셀의 등장으로 충족될 것으로 판단되나 단기 시장 반영을 위한 시스템 경량화, 배터리 탑재 공간 확보 등 배터리 시스템의 에너지 밀도 증대를 위한 기술 개발 필요

/// 전기차 시장 확대에 대응한 배터리 팩의 에너지 고밀도화 기술 경쟁력 확보를 위한 지속적인 R&D 투자 필요

- ★ 전기자동차 배터리 팩의 구조는 배터리 기술의 급격한 발전으로 인해 표준화된 형태없이 응용분야의 요구에 따라 다양한 구조와 형상으로 적용
- ★ 전기자동차의 배터리 팩/시스템은 주행거리에 직접적인 영향을 미치는 중요한 요소로, 국내 전기차의 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위해 지속적인 기술 개발이 필요
- ★ 전기차의 배터리 팩의 에너지 밀도 향상 기술은 시스템의 구조 강성, 구조 효율성 및 열·전기적 특성을 동시에 고려한 통합적인 기술 개발이 필요

[참고문헌]

1. “2050년 탄소중립 위한 ‘2030년 자동차 온실가스기준’ 확정”, 환경부, 2021.02.15., 대한민국 정책 브리핑
2. “차세대 배터리, 미래를 담을 기술”, 키움증권, 2019.04.22.
3. “리튬 이차전지 시장 및 기술동향 분석과 대응 방향”, KDI 미래전략연구소, 2019.05.
4. “xEV 배터리 하우징 사업 동향”, 이동원, 2016.11.30., 한국과학기술정보연구원
5. “Application of Robust Design Methodology to Battery Packs of Electric Vehicles: Identification of Critical Technical Requirements for Modular Architecture”, Shashank Arora et al, 2018.06, MDPI
6. “A review of Battery Technology for Automotive Applications”, 2014. 05.19, ACEA(European Automotive Manufacturing Association)
7. “The Supply Chain for Electric Vehicle Batteries” David et al, 2018.12., Journal of International Commerce and Economics.

[국내외 주요 기술개발 현황]

| 연구기관명 | 프로젝트명 | 개요 | 연구기간 |
|----------------|---|---|-----------------|
| 인지컨트롤스 | ○ 배터리팩 고도화를 위한 부품 경량 소형화 및 시스템 기능 통합 기술 개발 | ○ 배터리 팩의 에너지 고밀도화를 위한 경량 배터리 팩 하우징 및 기능 통합 일체형 전장 부품 개발 | 2020.4 - 2022.2 |
| 덕양산업 | ○ 고효율 방열단열 열관리 소재 및 부품 적용 배터리 팩 시스템 개발 | ○ 배터리 팩 열관리 효율 향상을 위한 경량 배터리 팩 냉각 시스템 부품 개발 | 2020.4 - 2022.2 |
| Fraunhofer ICT | ○ System Integrative Multi-Material Lightweight Design for E-mobility | ○ 배터리 팩 에너지 고밀도 화를 위한 다중 소재 적용 차체 일체형 경량 배터리 팩 기술 개발 | 2014.9 - 2018.2 |