

공급망 진화를 주도하는 차량 전기화

앰코테크놀로지, 오토모티브 제품 마케팅 수석, Ajay Sattu 박사

최근 막을 내린 CES® 2022 는 자동차 산업에 대한 소비자와 업계 전문가들의 관심을 다시금 확인할 수 있는 자리였습니다. 자동차 회사들은 신형 전기차 모델 도입, 변색 기술, 콘셉트 카 등 다양한 콘텐츠를 선보이며 단순 제조업체에서 기술 플랫폼 제공업체로 서서히 변화하고 있습니다. 주목받던 트렌드였던 전기차의 대중화는 이제 더욱 가속화되고 있습니다. 차량 디자인과 새로운 파워트레인의 선택은 여러 환경적, 경제적, 사회적 요인의 영향을 받습니다. 몇몇 선택과 그에 따른 기기 설계 및 제조 변화는 향후 공급망의 진화로 이어질 수 있습니다.

시장 동향

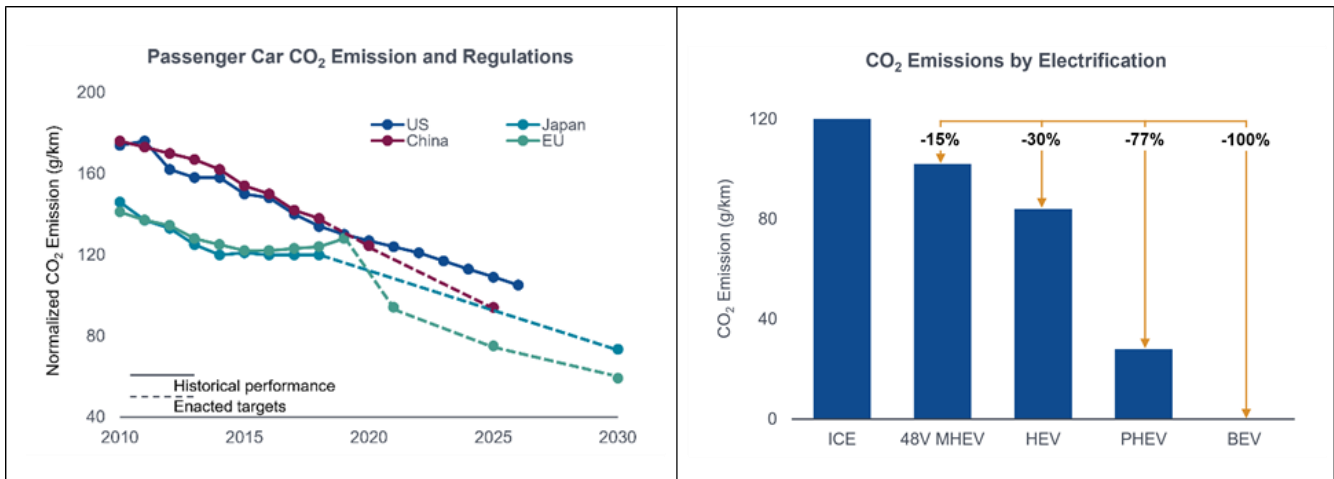


그림 1: 이산화탄소 배출량 표준 및 차량 전기화[4]

여러 규제 기관들이 이산화탄소 배출 관련 규정을 제정함에 따라, 전기차 수요가 성장하고 있습니다. 그림 1의 왼쪽 차트는 4 개국 자동차 시장 각각의 표준 이산화탄소 배출량을 나타내며, 오른쪽 차트는 다양한 수준의 전기화를 통한 이산화탄소 배출량 감소를 보여줍니다. 내연기관(ICE) 자동차의 탄소 배출량은 100%에 육박합니다. 반면 마일드 하이브리드 전기차(MHEV)는 소형 모터가 내연기관을 보조하기에 탄소 배출량을 15% 감축시킵니다. 배터리 전기차(BEV 또는 EV)는 DC 배터리와 모터만 사용하기 때문에 탄소를 배출하지 않습니다. 다양한 파워트레인 아키텍처의 개발과 확산을 통해, 향후 5 년 안에 전 세계에서 생산될 모든 자동차의 25%가

전기화 될 것이고, 2030 년 말엔 이 수치가 약 50% 정도까지 증가할 전망입니다.[1] 이와 같은 엄청난 성장은 예상 수요 증가, DC 배터리 가격 인하, 그리고 충전 인프라 성장 기대에서 비롯됩니다.

따라서 EV 파워트레인 시스템에 사용되는 전력 반도체는 급격히 성장할 것입니다. 이에 대한 이해도를 높이기 위해, EV 파워트레인의 개요도를 살펴보겠습니다(그림 2). 주요 기능을 작동시키는 핵심 블록은 탑재형 충전기(OBC), DC/DC 변환기, 메인 인버터입니다. 그리고 각 회로를 작동시키는 핵심 부품은 스위칭 소자로 사용되는 전력 장치입니다. 시스템 수준에서 EV 를 설계할 때에는 이 모든 회로의 효율을 극대화해서 배터리 충전 한 번으로 주행할 수 있는 거리를 늘리는 데 주력해야 합니다. 시스템 요구사항 증가에 따라 전력전자의 전력 밀도(kW/l)와 비용(\$/kW)에 관한 요건도 늘고 있습니다. 현재 비용 목표는 대략 5\$/kW 이며, 전력 밀도 목표는 12kW/l 정도입니다. 2035 년에는 이 수치가 각각 3\$/kW, 60kW/l 까지 늘어날 전망입니다.[2] 이 목표를 달성하기 위해 반도체 공급업체들은 탄화규소(SiC)와 질화갈륨(GaN) 장치 등 새로운 전력 기술이 포함된 우수한 솔루션을 제시하고, 비용 효율적인 전력 모듈 패키지를 사용해야 합니다.

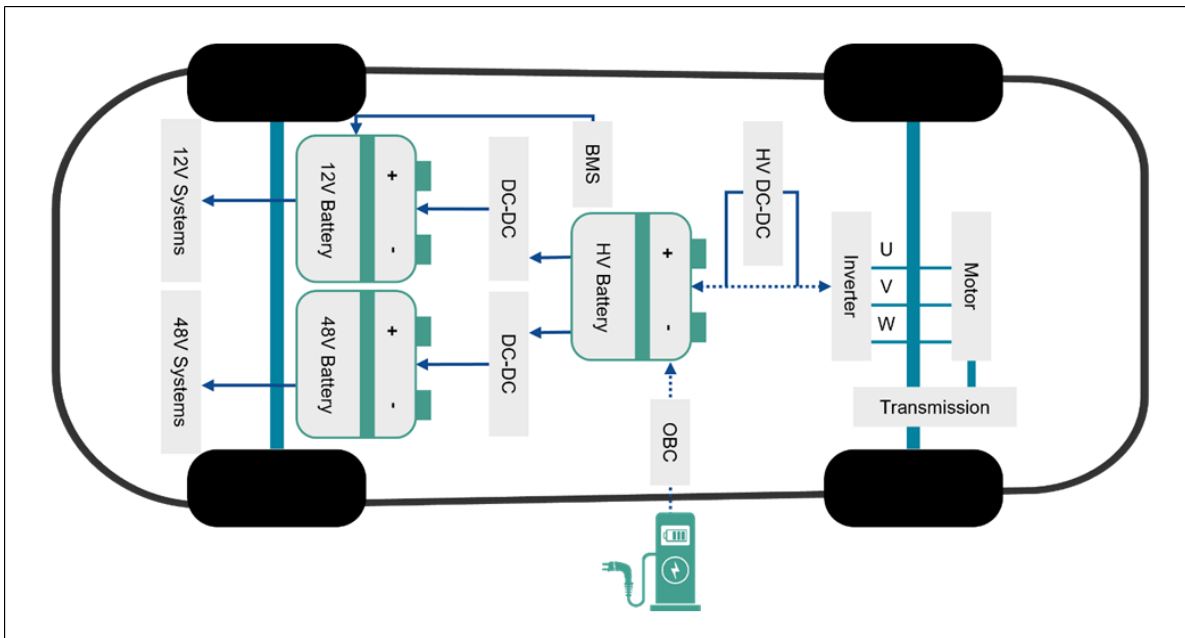


그림 2: EV 파워트레인 개요도

전력 모듈 패키징

주요 인버터 애플리케이션에서 전력 모듈은 열적, 전기적, 기계적 제약 속에서 성능 및 신뢰성 기준을 충족해야 합니다. 전기적 성능의 대부분은 반도체 소자에 달려 있는 반면, 열 및 기계적 목표 달성에는 전력 모듈 패키징이 핵심 역할을 합니다. 하지만 패키지의 기생 저항(R)과 부유 용량(Ls)을 줄여서 전기적 성능을 개선하는 방법도

있습니다. 서브스트레이트 금속 부품, 와이어 본드, 리드프레임/버스 바에서 유발되는 전력 모듈의 부유 용량은 스위칭 과정에서 오버슈트 전압을 낮출 때 특히 중요합니다. 이러한 손실을 최소화하는 방법 중 하나는 전류 루프의 기하학적 길이와 면적을 줄이는 것입니다. 부유 용량 감소에 더 효과적인 해결책은 양면 납땜, 세라믹 기판의 소결 등 와이어 본드를 사용하지 않는 것입니다. 이런 솔루션 중 하나인 양면 냉각(DSC, Double-Sided Cooling) 성형 모듈이 그림 3a 에 나와 있습니다. 이는 와이어 본드가 절연 게이트 양극성 트랜지스터(IGBT, Insulated Gate Bipolar Transistor) 스위치의 컬렉터와 에미터 사이 전류 경로의 소결(Sintering)로 대체된 것을 보여줍니다. DSC 모듈 구조는 기판을 통해 패키지 상단과 하단의 열을 제거함으로써 전기 기생을 낮출 뿐만 아니라 열효율도 높여줍니다.

파워 사이클링을 수행하고 주위 온도를 높이면 전력 모듈의 온도 이탈이 심해집니다. 그래서 시스템 설계를 복잡하게 만들지 않고, 비용을 높이지 않는 냉각 시스템의 중요성이 대두되고 있습니다.. 이러한 문제를 해결하는 한 가지 방법은 모터 또는 엔진에 사용되는 냉각 시스템을 공유하는 핀-핀(Pin-Fin) 방식으로 전력 모듈을 설계하는 것입니다. (그림 3b) 안정성을 높이려면 열을 효과적으로 분산시켜야 하며, 이를 위한 유일한 방법은 열저항이 낮은 소재를 사용하는 것입니다. 질화알루미늄(AIN), 질화규소(Si3N4), 구리(Cu) 등 열전도율이 더 높은 세라믹에 직접 냉각 구조를 함께 사용하면 전반적인 열저항을 줄일 수 있습니다. DSC 모듈처럼 베이스플레이트를 사용하지 않는 솔루션이든, 핀 흰 전력 모듈이든 관계없이, 패키징 업계는 차세대 전력 모듈을 위한 여러 기술에 대해 고민해야 합니다. 이러한 첨단 상호 연결 기술에는 굵은(5 mil 이상) 구리 와이어, 구리 클립, 활성 금속 브레이징(AMB)을 사용한 Si3N4 같은 첨단 서브스트레이트, 은(Ag)이나 구리 소결을 사용한 다이 어태치와 서브스트레이트 어태치, 구리 또는 AISiC 베이스플레이트, 실리콘 겔 또는 에폭시 수지 캡슐화 등이 있습니다.

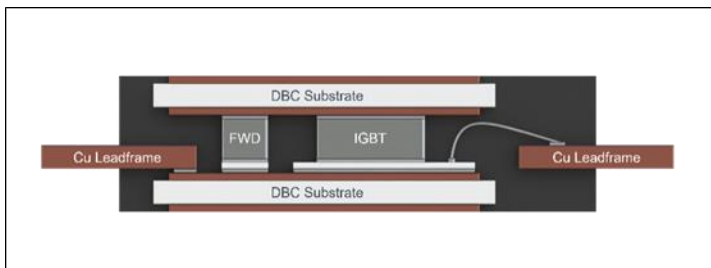


그림 3a: 양면 냉각 모듈 모듈 단면도



그림 3b: 직접 냉각용 핀-흰형 전력 모듈

공급망의 발전

전력 모듈 패키징 시장은 오랫동안 세분화되고 역동적인 시장으로 받아들여졌습니다. 그림 4a 모듈 비용 분석을 살펴보면, 제조 및 원자재 비용이 전체 모듈 비용의 55% 가량을 차지합니다[3]. 반면, 파워 디스크리트 패키지에서 해당 비용들이 전체 비용에서 차지하는 비중은 20% 미만에 불과합니다. 그간 전력 모듈 제조업체는

산업, 철도, 재생 에너지 등 상대적으로 물량이 적고 단가가 높은 시장에 제품을 공급해 왔습니다. 그러나 차량 전기화로 인한 전력 모듈 시장의 성장(그림 4b)[3]을 고려했을 때, 해당 모듈의 공급망에도 몇 가지 변화가 생길 전망입니다. 예를 들어, 자동차에 대한 경험 없이 전력 모듈에 대한 전문성만 갖춘 공급사도 기존 자동차 공급업체와의 기술 협력 및 라이선스 공유를 통해 자동차 시장에 진출할 수 있을 것입니다. 지정학적으로 고립된 산업 생태계가 존재하는 기존 상황에서, 일부 공급사들은 사업 또는 지역적 포트폴리오를 다각화하기 시작했습니다. 기판, 다이 어태치, 캡슐화 등 기존의 패키징 기술의 강점을 활용하기 위한 지리적 확장이 늘어났습니다.

자동차 산업은 오랫동안 저가 대량 생산을 추구해왔습니다. 전력 모듈 시장이 성장함에 따라 경쟁은 더욱 치열해지고 가격 압박으로 인해 비용 절감과 시장 진입 간소화를 위한 파트너십이 증가할 것입니다. 긍정적인 점은 모듈 기술에 대한 이해도가 높고, 공급업체들은 성능과 신뢰성이 뛰어난 제품을 출시할 역량이 있다는 것입니다. OSAT 업체와 같은 비전력 모듈 제조업체에게 전력 모듈 시장 진출은 매력적인 선택지가 될 수 있습니다. 이들은 검증된 신뢰성과 매력적인 비용 구조로 제품을 대량 생산하는데 현재 전문 지식을 쉽게 활용할 수 있기 때문입니다. OSAT 업체에게 유리한 마지막 요인은, 자동차 제조업체들이 경쟁사와의 차별화 및 비용 관리를 위해 인버터 모듈 설계를 위한 공급망 진출에 의지를 높이고 있다는 점입니다.

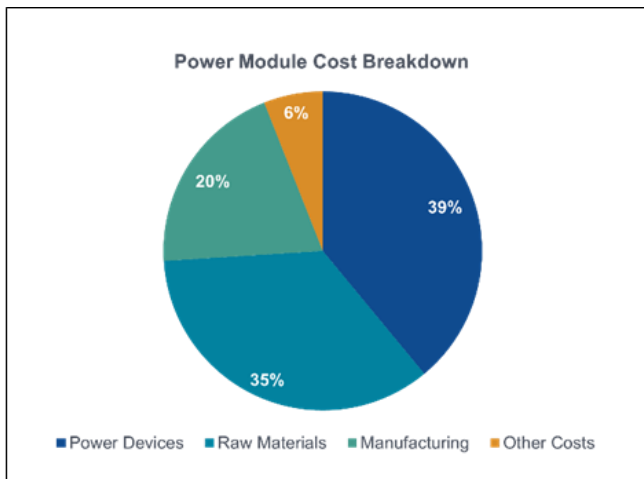


그림 4a: 전력 모듈 비용 세부 사항[3]

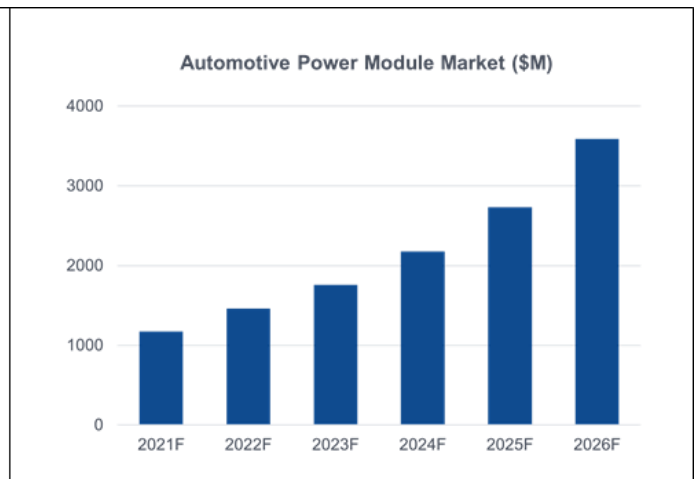


그림 4b: 자동차 전력 모듈 시장(백만 달러 단위)[3]

결론

전기차의 거침없는 발전 추세에 힘입어, 자동차 전력 모듈 시장은 2021년부터 2026년까지 25%의 연평균 성장률(CAGR)을 보일 것으로 예상됩니다.[3] 성능과 신뢰성이 뛰어난 반도체 기술이 이미 갖춰진 만큼, 자동차 제조업체와 Tier1 공급업체에게는 전력 모듈 설계와 비용이 차별화 요인이 될 것입니다. 또한 두 그룹 모두 짧고

투명한 공급망 구축 의지가 강하고, 시장 출시 시간 단축과 지속적인 수익 창출을 위해 OSAT 업체와의 공동 개발 및 파트너십 구축에 주력할 것입니다.

참고 자료:

- [1]. Credit Suisse, "Automotive Semis: Powering the EV Megatrend," 2021 년 3 월 22 일
- [2]. Automotive Council UK, "The Roadmap Report | Towards 2040: A Guide to Automotive Propulsion Technologies," 2018 년
- [3]. Yole Développement, "Status of the Power Module Packaging Industry Report YINTR21196," 2021 년 11 월
- [4]. Infineon Technologies AG, "Company Presentation", 2021 년 11 월
- [5]. SystemPlus Consulting, "Power Electronics Electronic Catalogue," 2021 년 11 월

© 2022, Amkor Technology, Inc. All rights reserved.

약력



Ajay Sattu 는 앰코테크놀로지 오토모티브 제품 마케팅 수석이며, 자동차 전기화, 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS), 인포테인먼트 제품 마케팅 및 전략에 중점을 두고 있습니다. 앰코 입사 전 인피니언에서 광대역 갭 반도체 기술 및 제품 개발을 담당했습니다. 상호 심사 논문 여러 편을 출간하고 업계 회의에서 발표하기도 하였습니다. UCLA 전기공학 박사학위와 UCLA Anderson 의 MBA 학위를 취득하였습니다. 이메일 주소는 ajay.Sattu@amkor.com 입니다.