

빅데이터 분석을 통한 전기차 파워트레인 도메인 전기전자 아키텍처 연구

김도곤* · 김우주**

〈목 차〉

I. 서론	3.5 기능 아키텍처 모델링
II. 선행 연구	3.6 아키텍처 컨셉 시나리오 평가
2.1 자동차 전기전자 아키텍처 연구	IV. 연구 결과
2.1.1 차량 배선	4.1 EV 전기전자 아키텍처 동향 연구
2.1.2 하드웨어 플랫폼	4.2 특허 토픽 모델링을 통한 기능 도출
2.1.3 소프트웨어 플랫폼	4.3 기능 Feature 리스트 정의
2.2 전기차 파워트레인 연구	4.4 전기전자 아키텍처 시나리오 연구
2.3 전기전자 아키텍처 평가 연구	4.5 기능 아키텍처 모델링
III. 연구 방법	4.6 아키텍처 컨셉 시나리오 평가
3.1 데이터 수집	V. 결 론
3.2 특허 토픽 모델링을 통한 기능 도출	참고문헌
3.3 기능 Feature 리스트 정의	<Abstract>
3.4 전기전자 아키텍처 시나리오 연구	

I. 서론

자동차는 기능과 부품들 간 관계가 복잡하고, 부품들 간의 연결 구조가 복잡한 통합형 아키텍처의 대명사로 알려져 왔다(이승규 등, 2008; Takeishi and Fujimoto, 2001). 그러나 1980년대 말부터 전 세계 자동차 산업의 공급과잉 문제에 따라 자동차 업체는 비용절감과 재고 해

결을 위한 방법이 필요하게 되었다(정명기, 2004; Takeishi, 2002). 이에 따라 GM과 폭스바겐을 시작으로 자동차의 모듈화 및 플랫폼 개발을 통해서 부품 원가 및 제조비 절감과 품질 개선 및 차량 개발기간 단축, 대량 고객을 대응하고 있음을 알 수 있다(강혜선, 이재혁, 2008; 박정규, 김민수, 2012; 임성규, 1999; 정명기, 2007). 현재 자동차에 탑재되는 신규 기

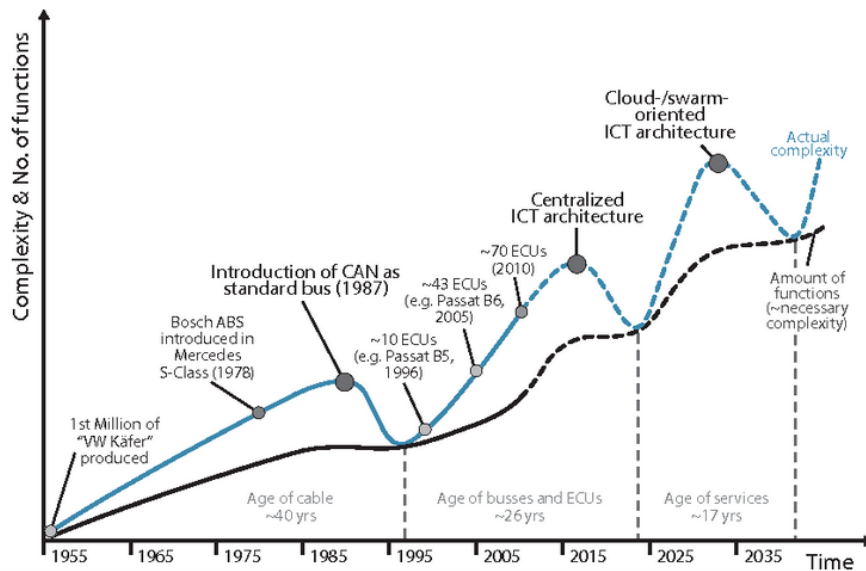
* 연세대학교 기술정책협동과정, wohaha07@naver.com(주저자)

** 연세대학교 산업공학과, wkim@yonsei.ac.kr(교신저자)

능의 80% 이상은 고성능 제어기를 기반으로 하고 있다고 알려져 있다. 그리고 이런 추세는 운전자의 편의와 안전을 극대화하기 위해서 전기자동차의 개발과 함께 더욱 두드러질 것으로 예상되고 있다(이재관, 2014). 전동화 시장은 '16~'25년 간 연평균 24~31% 성장이 예상되고 있다. 이렇게 급성장하는 사유로는 주요 지역들이 공통적으로 연비 규제를 년 4~5% 이상 지속적으로 강화할 예정이기 때문이다. 2025년 미국은 97, 유럽은 68~78, 중국은 93 (CO2 g/km)로 연비 규제가 강화될 예정이다. 그리고 프랑스 파리는 노후 경유차량 진입을 금지하고 있으며, 영국 런던에서는 플러그인 하이브리드 및 하이브리드 차량에 대한 혼잡세를 면제하고 있다. 향후 자율주행 및 커넥티비티 자동차가 확산되면 전력 소요량이 증가하여 전동화가 필수로 자리잡게 된다. 2021년 맥킨지에서 발표한 '아시아의 소비 트렌드 변화에 따른 자동차 시장 분석' 결과를 보면 중국에서는 전기자동차

를 구매할 의사가 있다고 답한 비율이 2017년 20%에서 2021년에는 63%로 급증했다. 2030년까지 중국 내 자동차 판매의 60~80%가 전기자동차 및 하이브리드 전기차일 것으로 예상하고 있다(Tonby et al., 2021). Buckl et al.(2012)은 미래 자동차 산업에 대해 <그림 1>과 같이 ECU 및 통신의 시대를 넘어서 2020년대부터 서비스의 시대로의 진입을 통해 소프트웨어 제품 시장 중심의 다양한 파트너십을 요구하는 형태로 변화가 예상된다고 하였다. 1980년대는 차량의 와이어링 복잡도 대응을 위해서 CAN 버스를 통한 와이어링 최적화를 진행한 시기이고 2010년대에는 ECU의 시대로 제어기 간의 네트워크 복잡도 대응을 위한 ECU 기반의 아키텍처 시기라 할 수 있다. 2025년 이후에는 S/W 산업 전환을 위한 차량 및 클라우드 기반의 중앙 집중형 아키텍처의 시기로 예상하고 있다.

미래 자동차 산업은 기능 요구사항의 증가에 따른 복잡도 해결이 필요하고 서비스 시대에



<그림 1> ICT 아키텍처의 복잡성 진화

대응을 위한 새로운 전기전자 아키텍처 개발이 요구되고 있으며, 고성능 기능 요구사항 증가에 따른 소프트웨어 복잡도 해결이 필요하다. 이에 대응하기 위해 자동차 선진사는 차량 레벨 집중형 아키텍처 개발을 진행해 왔다. 자동차 산업은 기존 하드웨어 제품시장에서 차량이 하나의 서비스로 인식되는 소프트웨어 제품시장으로 전환하고 있으며, 이를 위해 기능복잡도를 줄이고 소프트웨어 개발 자유도를 향상시킬 수 있도록 하드웨어 및 소프트웨어를 분리하여 상위 레벨 제어기에 차량의 주요 기능을 집중시키고 있다. 이러한 비즈니스 모델 및 전기전자 아키텍처의 변화 뿐만 아니라, 차량 레벨 소프트웨어 통합으로서의 자동차 회사 역할 변화와 조직구조의 변화까지 요구하고 있다.

연구의 주요 목적은 환경 변화에 대응하기 위해 전기자동차는 내연기관 자동차 대비해서 유일하게 차이점이 있는 파워트레인 도메인의 기능 로직들의 재분배를 통해서 미래 모빌리티 요구사항에 부합하는 전기전자 아키텍처 컨셉을 제안하는 것이다. 전기차 파워트레인 도메인 관련 기능 분석을 위해서 웹스온이라는 정보시스템을 활용하여 특허를 취득하였고 특허 빅데이터 분석을 위해서 파이썬을 활용하여 토픽 모델링을 진행하였다. 그리고, 빅데이터인 수많은 기능 로직들의 재분배를 위해서 IBM의 랩소디라는 정보시스템을 활용하여 아키텍처 모델링을 진행하였고 전기차 파워트레인 도메인의 기능 로직들에 대한 데이터베이스를 구축할 수 있었다. 마지막으로 구축된 데이터 베이스를 활용하여 전기차 파워트레인 도메인 전기전자 아키텍처 컨셉을 선정하였다.

II. 선행 연구

2.1 자동차 전기전자 아키텍처 연구

박지훈(2016)은 자동차 전기전자 아키텍처를 차량에서 요구되고 있는 기능과 기능과 부품 간의 매핑을 명확히 하고, ECU(Electronic Control Unit)에 따른 기능분배 및 통신과 전원 에 대한 와이어링 하네스의 설계라고 정의하였다. 현재의 자동차는 기능이 지속적으로 증가하면서 더 많은 제어가 사용되고 있고, 이에 따라서 ECU간에 중복된 기능이 탑재되거나 불필요한 기능이 계속해서 남아 있는 등 전기전자 설계에 문제점을 지니고 있다. 국내 및 해외 완성차를 포함하여 세계적인 글로벌 부품업체에서는 해당 문제점들을 해결하고 전기전자 아키텍처를 최적화하기 위한 연구를 우선적으로 진행하고 있다(Navale et al., 2015; Reinhardt et al., 2013; Lin et al., 2014). 현재의 차량 개발은 고객의 요구사항을 반영하고 차량 성능을 개선하기 위해서 계속해서 신규 차종을 개발하면서도 차량의 개발 기간을 단축하고 원가를 절감해야 하는 어려움에 직면해 있다. 이는 국내 자동차 업체와 부품업체들만의 문제가 아니며, 전 세계 자동차산업에서 해결해야하는 문제이다(박지훈, 2016). 차종별로 시스템과 부품을 공용화하는 방법을 통해서 자동차의 개발기간을 단축하고 원가를 절감시킬 수 있다. 이런 방법을 통해서 부품 개발을 최소화하여 비용을 시간을 아낄 수 있다. 차량의 플랫폼화를 통해서 여러 차종을 하나의 플랫폼을 가지고 생산할 수 있으며 차량 플랫폼을 재사용하거나 확장할 수 있는 솔루션을 제시할 수 있다. 현재까지는

부품 레벨의 최적화를 통해서 단일 부품의 하드웨어나 소프트웨어 단위를 공용화하는 플랫폼화가 진행이 되었다면 앞으로는 차량 전체를 최적화하기 위해서 시스템 레벨에서 공용화하는 방법이 중요해졌다.

2.1.1 차량 배선

차량의 전장품에 전원을 공급하고 신호를 송수신하는 목적으로 사용되는 자동차 배선은 상대적으로 설계비용이 높은 부품 중의 하나이다. 인체에 거미줄처럼 연결되어 있는 혈관이나 신경망처럼 차량 내의 모든 도메인에 걸쳐서 연결되어 있다. 차량용 와이어링 하네스 시장의 분석 자료에 따르면 2019년 기준으로 약 56조 원 규모이다(MarketandMarkets, 2021). 차량에는 와이어링 하네스를 통해서 대부분의 기계장치를 연결하고 있다. 만약 하나의 신규 전장품이 추가되는 경우, 또는 새로운 사양 적용을 위해서 ECU가 추가되는 경우 등을 생각해보면 와이어링 토폴로지에서도 고려해야 하는 경우가 수가 증가하게 된다. 현재까지는 제어기의 기능을 중심으로 차량에서 제어기 위치를 선정해왔고 선정된 위치를 기반으로 차량 배선을 설계해왔다. 하지만 와이어링 하네스가 복잡해지고 제조비용이 증가함에 따라서 차량 내 배선을 최적화해서 설계할 수 있도록 제어기의 수량 및 위치를 최적으로 선정하는 설계방식이 필요해지고 있다.

2.1.2 하드웨어 플랫폼

현재 자동차에 사용되고 있는 중앙처리장치는 대부분 대형 반도체 업체를 통해서 적용되

고 있으며, 주요 대형 반도체 업체는 NXP, Infineon, Renesas, Texas instruments 등이 있다. 차량 내에서 사용하는 MCU는 도메인별로 특화되어 있고 도메인별 기능과 단가 등을 고려해서 8bit급부터 32bit급까지 다양하게 사용되고 있다. 자동차는 계속해서 새로운 기술이 적용되고 있고 신규 기능을 담기 위해서 ECU의 사용이 증가하고 있고 고성능 MCU 사용이 필요하게 되었다. 따라서 차량 제어기의 개수를 최소화하기 위한 노력이 지속되고 있으며, 동일 시스템을 구축하기 위해 2개의 저성능 MCU를 사용하기보다는 1개의 고성능 MCU를 사용하는 것이 제어기 설계 및 비용 측면에서 유리할 수 있다. 그리고 회로들을 표준화시켜서 하나의 시스템으로 구성할 수 있다면 대량으로 양산하여 원가를 절감할 수 있다. 물론 IC 소자를 포함한 회로를 시스템으로 구성하는 것이 어려움이 있지만, 제어기별로 다시 사용할 수 있는 표준 회로를 구축하는 것은 설계의 편의성과 더불어 오류에 대한 발생 가능성을 낮추고 설계기간을 단축하는 등의 장점이 있다. 차량 제어기의 기능통합과 회로의 표준화를 통칭하여 전기전자 아키텍처 측면에서는 하드웨어 플랫폼 구축이라고 할 수 있다.

2.1.3 소프트웨어 플랫폼

차량 전장품에 고성능 ECU 적용으로 소프트웨어 플랫폼이 필요하게 되었다. 제어기의 기능통합으로 소프트웨어의 복잡성은 지속적으로 증가하고 있으며, 이는 기능 오동작과 같은 문제들이 소프트웨어 설계 문제로 발생하는 빈도가 증가하고 있다. 유럽의 선진 부품사에서는 이러한 소프트웨어 관련 오류 가능성을 줄이고,

기능 통합을 위한 소프트웨어의 장점을 가지기 위해서 AUTOSAR라는 소프트웨어 플랫폼을 개발하였다(전부선 등, 2012). AUTOSAR 플랫폼을 전장품 설계에 적용해 보면 하드웨어 및 소프트웨어 플랫폼은 반도체 제조업체와 톨 관련 전문업체에서 개발하고 완성차 설계 인력은 소프트웨어 로직 개발을 중심으로 개발하면 된다. 이런 AUTOSAR 플랫폼 구조를 통해서 제어기 설계자는 개발한 소프트웨어 기능로직을 다른 제어기에 재사용하기가 수월해진다. 과거에는 기능로직을 다른 제어기에 이식하기 위해서는 새로운 제어기의 자원이나 기능을 파악하고 하드웨어 구성에 적합하도록 설정하는 개발 과정을 거쳐야 했으나, AUTOSAR 플랫폼은 하드웨어 부분은 API가 표준화되어 있기 때문에 재사용성이 증가한다(박지훈, 2016).

기존 논문에서 제시한 자동차 전기전자 아키텍처 관련 분석은 주로 업체 동향 분석을 통해 진행하였다. 자율주행 전기전자 아키텍처는 ADAS 도메인에 대한 기술 동향을 분석하였고 바디 도메인은 해당 도메인 대한 아키텍처 동향 및 아키텍처 분석 방법을 제시하였다. 하지만 전기차에서 메인 도메인은 파워트레인 도메인으로 해당 도메인에 대한 아키텍처 예측이 필요하다.

2.2 전기차 파워트레인 연구

일반 내연기관차의 파워트레인은 엔진과 트랜스미션 등이 대표되는 부품이지만 하이브리드 자동차나 플러그인 하이브리드 자동차, 전기자동차와 같은 환경차는 구동모터와 인버터, 컨버터, 충전 관련 제어기 등이 중요한 파워트레

인 부품이 되고 있다. 특히 전기자동차는 내연기관 부품들이 적용되지 않고 환경차 파워트레인 부품들로만 구성이 되어 있다. 전기자동차 관련 주요 기술로는 구동모터 시스템, 고전압 전력변환 시스템, 충전 시스템, 배터리 관리 시스템, 소재 경량화 등의 기술이 있다. 전기자동차 파워트레인 도메인은 구동모터 시스템, 고전압 전장 부품, 배터리 관리시스템, 충전시스템 등을 포함하고 있다. 전기자동차 구동모터시스템은 내연기관을 구동모터로 대체하여 동력을 발생시키는 장치로서 일반적으로 구동모터, 인버터, 감속기로 구성되어 있다. 전기차의 구동모터시스템은 기존 엔진 대비 효율이 우수하며 친환경적이다. 고효율, 고회전 구동모터를 사용하여 연비를 향상시킬 수 있다. 배터리는 전기자동차의 동력원으로 전기를 생산하며 충전 및 방전이 가능한 부품으로 높은 출력과 안정성이 요구된다. BMS(Battery Management System)는 배터리 관리시스템으로 차량에 장착되는 배터리 시스템의 구성요소이다. BMS의 주요 기능으로는 SOC(State of Charge) 추정기능과 배터리 온도측정 및 냉각제어, 배터리 셀 진단기능, 배터리 수명예측, 주행 중 과방전 방지, 낮은 충전상태에서 배터리 고전력 소비를 방지하는 기능 등이 있다. 고전압 부품으로는 HDC(High voltage DC/DC Converter), LDC(Low voltage DC/DC Converter), PRA(Power Relay Assembly) 등이 있다. 충전과 관련된 시스템으로는 OBC(On Board Charger), VCMS(Vehicle Charging Management System), ICCU(Integrated Charging Control Unit) 등이 있다. 최근에는 전기차의 저속 충전기에서 충전 정보 전달을 위해 사용되는 OBC와 충전제어기

들을 통합하는 추세이다. 이를 반영하기 위해 나온 시스템이 VCMS이다. ICCU는 충전 관련 기능들과 컨버터 기능을 통합하여 만들어진 제어기이다. 이와 같이 전기자동차의 제어기들도 통합모듈화가 계속해서 진행되고 있다(손영욱, 허건수, 2017). 전기차 파워트레인 도메인에 대한 기능 및 제어기는 동향 분석을 통해서 예측하고 있다. 하지만 업체 동향 분석만으로 예측하다 보면 각 자동차 회사의 조직문화, 기술 역량, 생산기술 등의 특수성을 반영하지 못하고 획일화할 수 있다. 국내 자동차 회사의 차별화를 위해서 자체 전기전자 아키텍처를 가져가야 할 필요성이 있고 최적화된 아키텍처를 통해서 국내 부품회사와 상생할 수 있는 솔루션이 나올 수 있다.

2.3 전기전자 아키텍처 평가 연구

차량 전기전자 아키텍처 평가는 2.1에서 언급한 요소기술인 차량 배선, 하드웨어 플랫폼 및 소프트웨어 플랫폼을 적용하여 설계된 아키텍처 시나리오를 정량적으로 평가할 수 있는 평가지표를 제시하는 것을 목적으로 한다. 전기전자 아키텍처 주요 평가지표 중에 하나는 전자 부품원가이다. 다른 평가지표로는 재사용성이 될 수도 있다. 여러가지 평가지표가 나올 수 있기 때문에 사전에 평가지표를 정리할 필요가 있고 평가지표에 대한 우선 순위를 정할 필요가 있다. 전기전자 아키텍처 평가를 위해서는 평가할 다양한 평가지표들을 선정하고 평가지표에 대한 우선 순위를 정해야 한다. 차량 배선의 관점에서 평가하고자 하는 지표는 커넥터 수, 와이어링 무게, 전원감쇄량 등이 될 수 있

다. 하드웨어 플랫폼 관점에서 평가하고자 하는 지표는 ECU에 사용된 소자의 개수, 컴퓨팅 파워 등이 될 수 있다. 소프트웨어 플랫폼 관점에서는 보안성, 안정성 등의 정량적 지표와 재사용성 및 소프트웨어 업데이트 등 정성적인 지표가 평가의 지표로 활용할 수 있다. 평가할 때 중요한 것은 선정된 평가지표를 반영하여 평가 방법을 개발하고 시스템 측면에서 전략을 수립하여 아키텍처 시나리오를 평가하고 아키텍처 설계에 반영할 수 있는 모델을 정하는 것이다(박지훈, 2016). 고현희 등(2005)은 아키텍처 기반 설계 단계에 대한 평가 방식을 제안했는데 현실적으로 소규모의 개발 프로젝트에서 적용 가능한 방식으로 평가팀을 구성해서 조직간 협의를 통해 평가를 진행하는 방식에는 적용이 어렵다. 자동차 전기전자 아키텍처는 대규모 조직 간의 협력이 필요하고 이해 관계가 많이 다르기 때문에 정확한 지표를 가지고 평가하는 방법이 필요하다. 전기차의 파워트레인 도메인 아키텍처 구성을 위해서 명확한 지표 선정이 중요하고 해당 지표를 가지고 전문가들에 의한 평가가 필요하다.

Ⅲ. 연구 방법

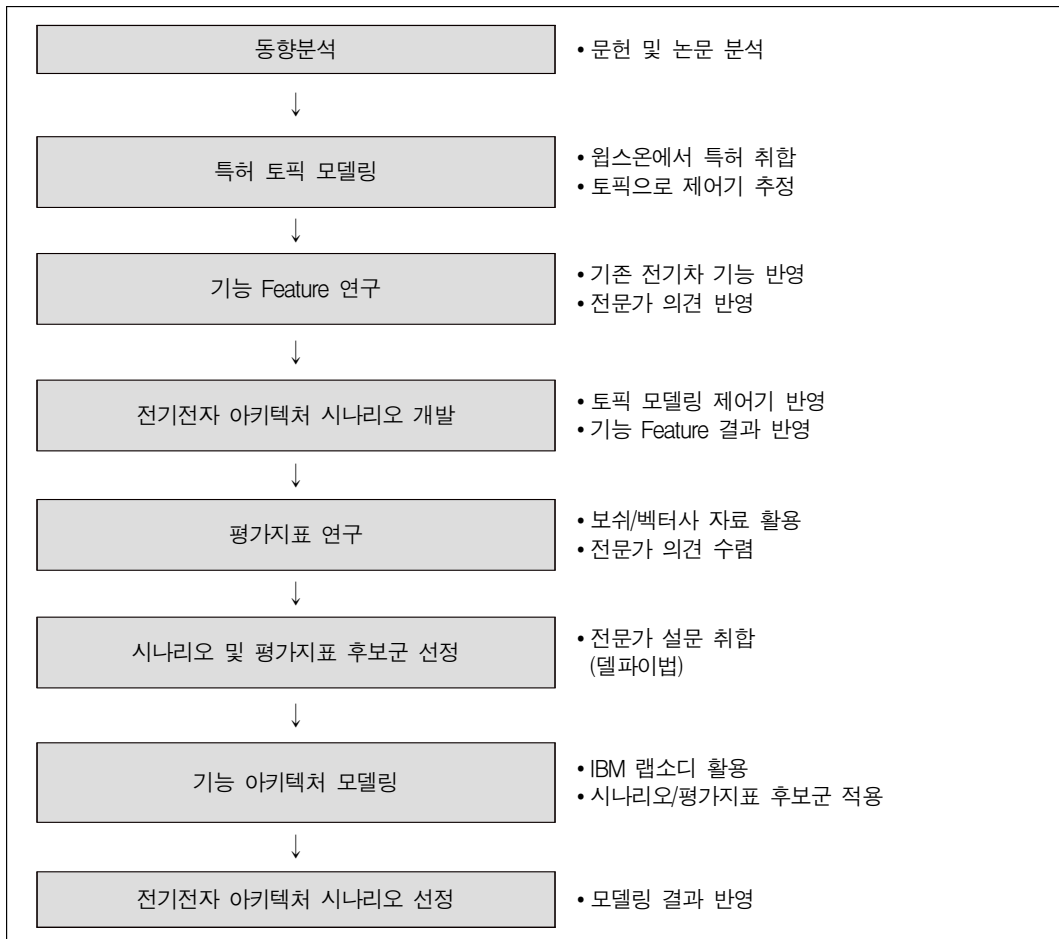
차세대 전기차 개발을 위한 파워트레인 도메인 전기전자 아키텍처 컨셉을 선정하기 위해서 우선적으로 관련 문헌 및 논문을 취합하여 전기차에 대한 전기전자 아키텍처 동향 분석을 진행하였다.

그리고 특히 토픽 모델링을 통해서 핵심 기능을 추정하여 관련 제어기를 도출하였다. 기존

양산 중인 전기차 기능 로직들과 함께 차세대 전기차에 적용될 신규 기능을 동향 분석 및 전문가 의견을 반영하여 기능 Feature 리스트를 정의하였다. 차세대 전기차에 들어갈 미래 기능에 대해서는 전문가 의견 및 동향 분석 자료를 활용하였다. 특히 토픽 모델링에서 도출된 제어기와 기능 Feature 리스트를 통해서 정의한 기능들을 가지고 전기전자 아키텍처 컨셉 시나리오를 개발하였다.

총 17개의 전기차 파워트레인 도메인 아키텍처 시나리오를 개발할 수 있었다. 전기전자 아

키텍처 평가를 위해서 평가지표를 정리할 필요성이 있었고 초기 평가지표들은 벡터사와 보쉬사의 외부 발표 및 소개 자료를 활용해서 취합할 수 있었다(Schäuffele, 2016). 전기차 파워트레인 도메인에 특화된 평가지표 도출을 위해 전문가 의견도 수렴하였다. 평가지표는 총 16개로 정리할 수 있었다. 효율적인 평가를 위해서 전기차 파워트레인 도메인 전기전자 아키텍처 시나리오 및 평가지표 후보군을 최소화하기로 하였고 델파이법을 활용해서 전문가들에게 설문을 통해서 전기전자 아키텍처 시나리오 4



<그림 2> 연구 모형

개와 평가지표 6개를 선정하였다. 평가지표에는 정량적인 평가 항목과 정성적인 평가 항목이 있으며 정량적인 평가를 위해 IBM사의 랩소디라는 정보시스템을 활용하여 파워트레인 도메인 기능에 대한 모델링을 진행하였다. 아키텍처 시나리오와 평가지표 후보군을 활용하여 각 파워트레인 도메인의 전기전자 아키텍처 시나리오를 평가하여 최종의 아키텍처 컨셉 시나리오를 선정하였다. 연구모형은 <그림 2>와 같다.

3.1 데이터 수집

차세대 전기차의 전기전자 아키텍처 동향 분석을 위해서 자동차 관련 업계 및 학계의 외부 발표 자료 및 논문 자료들을 수집하였다. 동향 분석을 위해 수집한 결과는 <표 1>과 같다.

전기자동차 파워트레인 도메인의 기능 조사를 위해서 특허 데이터 수집이 필요하였다. 특허 검색을 위해서 웹스온(<https://www.wipson.com>)을 활용하였고 ‘서지+요약+대표청구항’을 기본 검색 항목으로 지정하고 문구는 ‘Electric

and Vehicle and Controller’로 검색하였다. 검색구간 설정은 2017년 1월 19일부터 2022년 1월 19일까지 5년으로 하였다. 특허별 발명의 명칭, 요약, 대표청구항 3개 항목을 추출하였다. 추출된 특허 건수는 163,807건으로 미국 특허 18,710건, 중국 특허 134,493건, 독일 특허 7,798건, 영국 특허 772건, 프랑스 특허 2,034건이었다. 전기차가 대중화되어 있는 중국에서 전기차 특허가 상대적으로 많이 등록되고 있음을 확인할 수 있었다.

3.2 특허 토픽 모델링을 통한 기능 도출

토픽 모델링은 많은 문서에서 내포되어있는 주제를 찾아내는 솔루션으로 LDA(Latent Dirichlet Allocation)라는 토픽 모델링 방법이 많이 사용되고 있다. 문서 내에 있는 단어들을 기준으로 각 주제에 맞는 단어 할당과 각각의 문서에 어떤 주제를 포함할지에 관한 확률을 파라미터로 작성하고 모델링을 수행한다. 이런 파라미터의 설정 과정을 통해 주제들에 대응되

<표 1> 데이터 수집 현황

구분	데이터 수집
발표자료	1. 박정규, 김민수, “VW의 아키텍처 기반 플랫폼 전략”, 2012 2. 최병식, “차량 전기전자 아키텍처 설계 톨 개발 현황 및 향후 계획”, 2010
논문	3. 박지훈, “자율주행자동차를 위한 차세대 E/E(Electric/Electronic) 아키텍처 설계 동향”, 2016 4. 손영욱, 허건수, “국내의 전기자동차 기술 개발 동향 및 국내 전기자동차 핵심 부품 기술 개발 전략”, 2017 5. 이권, 도승선, 윤중호, “자동차용 이더넷 기술”, 2015 6. 이재관, “자율주행 자동차 개발현황 및 시사점”, 2014 7. 전부선, 이정환, 한태만, “지능형 자동차 서비스를 위한 차량 SW 플랫폼”, 2012 8. Jiang, S., “Vehicle E/E Architecture and Its Adaptation to New Technical Trends”, 2019 9. Navale, V., Williams, K., Lagospiris, A., Schaffert, M. et al., "Revolution of E/E Architectures", 2015 10. C. Buckl, A. Camek, G. Kainz, C. Simon, L. Mercep, H. Stahle, A. Knoll, "The Software Car: Building ICT Architectures for Future Electric Vehicles", 2012

는 단어들의 확률과 문서들이 각각의 주제에 속할 확률이 도출된다(Blei, 2012). LDA를 기반으로 하는 토픽 모델링은 주로 특정 분야에 대한 연구 주제를 파악하는데 활용되고 있다. 이선민 등(2021)은 트위터를 통해서 확보한 데이터를 기반으로 LDA 기반 토픽 모델링을 진행하여 빅데이터 분야를 다각도로 분석하였다. Priva and Austerweil(2015)은 인공지능학 관련 논문들을 수집하여 인공지능 분야의 주제를 분석하고 연도별로 주제가 어떻게 변화하는지를 파악하고 분석하였다. 서성훈(2015)은 핀테크 관련 기술 특허들을 수집하여 20여개의 핀테크 기술을 분류하고 기간별로 주요 기술을 도출한 후 연관 분석을 통해 핵심적인 역할을 하고 있는 기술을 추정하였다. Venugopalan and Rai (2015)는 각 특허의 토픽 분포를 도출하기 위해서 특허 토픽 모델링을 수행한 후 머신러닝을 활용하여 특허 분류를 시도하였다. 이처럼 토픽 모델링은 특허, 논문 혹은 웹 기사 등 다양한 매체를 통해서 이루어지고 있으며 해당 분야의 주제를 파악하고 분석하는데 많이 사용되었다. 박현과 이성원(2019)은 특허 분석을 통해서 인공지능에 대한 미래 기술을 예측하였다. 따라서 본 연구에서는 차세대 전기자동차의 파워트레인 도메인 기술 분석을 진행하기 위해서 특허 데이터를 수집하였고, 수집된 특허 데이터를 활용하여 토픽 모델링을 통해 중요 기능들이 토픽으로 도출되는지 확인하고 추출된 토픽을 가지고 관련 제어기 리스트를 도출하였다.

3.3 기능 Feature 리스트 정의

기술 동향 분석 및 특허 토픽 모델링을 통한

기능 자료, 그리고 전기차 기능 요구사항 자료를 활용해서 기능 Feature 리스트를 정의하였다. 현재 전기자동차에서 사용하고 있는 기능과 함께 향후 2025년 이후에 적용할 신규 기능을 추정하여 기능 Feature를 생성하였고 기능별로 카테고리화 하였다. 전기자동차 파워트레인 도메인의 기능 Feature 리스트는 해당 도메인의 청사진이라고 할 수 있다. 기능 정의를 통해서 해당 기능이 수행할 제어기를 선정하고 기능의 우선 순위를 매길 수 있다. 이 리스트는 연구 초기 단계에서 가장 중요한 문서이다. 기능 Feature 리스트는 매우 기본적이므로 프로젝트 빌드가 시작되기 전에 생성하는 것이 중요하다. 그리고 소비자의 요구사항이 다 반영되어 있는지 확인해야 하며 실제 구현 가능한 기능인지 판단하는 것도 중요하다. 기존 기능 외에 향후에 들어갈 기능을 판단하기 위해서는 기술 동향 파악이 중요하다. 주요 자동차 부품업체를 통한 기술 동향과 더불어 특허를 통한 기술 분석이 중요한 이유이다. 그리고 해당 기능 전문가들을 통해서 미래 기능 반영 및 구현이 가능한 기능인지 판단할 필요가 있다.

3.4 전기전자 아키텍처 시나리오 연구

기능 Feature 리스트에서 나온 기능과 기술 동향 및 특허 분석으로 나온 제어기를 대상으로 2025년 이후 출시할 전기자동차에 대한 전기차 파워트레인 도메인의 전기전자 아키텍처에 대한 컨셉 시나리오를 작성하였다. 제어기 리스트 및 기능 Feature 리스트를 통해서 시나리오를 특정하였고 나올 수 있는 시나리오는 모두 17개를 선정하였다. 해당 시나리오를 가

지고 모두 평가하기에는 시간과 노력이 많이 들어가기 때문에 전문가들을 대상으로 설문을 통해서 시나리오를 평가할 수 있는 평가지표와 전기전자 아키텍처 시나리오 후보군을 선정하기로 하였다. 자동차 전기전자 아키텍처를 평가하는 지표도 모든 지표를 평가하기에는 많은 시간과 노력이 들어간다. 그래서 전문가들을 대상으로 최소한의 평가지표를 선정하였다. 평가 지표와 시나리오 후보군 선정을 위해서 전문가 설문을 활용하였다.

자동차 제조사 엔지니어 중에서 전기자동차 파워트레인 관련 부품을 연구하는 엔지니어 10명과 글로벌 자동차 부품업체의 전기차 파워트레인 전문 엔지니어 10명을 선정해서 설문을 진행하였다. 전기차 파워트레인 도메인에 특화된 평가지표이기 때문에 전문가 의견을 평가지표 후보군에 반영하였다. 전문가들한테 0점부터 5점까지 점수를 부여해 달라고 했으며 점수

가 높았던 6개를 평가지표로 선정하기로 하였다. <표 2>는 자동차 전기전자 아키텍처를 평가할 때 사용하는 지표를 나타낸다. 평가할 수 있는 지표는 모두 16개이고 최소한의 평가를 위해서 전문가들한테 해당 지표를 보내고 점수화를 요청하였다. 평가한 결과를 가지고 최종 6개의 평가지표를 선정하게 되었다. 전기차 파워트레인 도메인 아키텍처 시나리오도 총 17개를 작성하였고 평가지표 선정과 동일한 방법으로 4개의 시나리오를 선정하였다.

3.5 기능 아키텍처 모델링

자동차 전기전자 아키텍처 방법론 중에서 기능 모듈을 모델링하는 방법을 활용하였다 (Mielke et al., 2015). 기능을 모델링 하는 툴은 Vector, Ansys, IBM 등 많은 회사에서 기능 모듈 모델링을 할 수 있는 솔루션을 제공하고 있

<표 2> 아키텍처 시나리오 평가지표

평가지표	설명
Electronic cost	전자부품원가
Safety	안전 요구사항 처리 효율성
Variant handling	다양한 차종을 포괄하는 효율성
HW dependability	특정 하드웨어에 종속된 기능
Security	보안 요구사항을 처리할 수 있는 효율성
Development cost	개발 비용, 즉 제어 장치, 소프트웨어 개발비 등
Integration & migration possibility	새로운 SW 기능을 기존 전기전자 Architecture에 통합할 가능성
Expandability / Updatability	미래 확장 및 미래 SW 업데이트를 포괄하는 효율성
Validation effort	SiL, HiL, 테스트 벤치 및 선택된 시나리오에 대한 차량 유효성 검사에 대한 노력의 정성적 평가
Maintenance effort	버그 수정 및 결함 부품 교환 가능성과 관련된 유지관리 노력
Communication effort	선택된 시나리오에 대한 결정된 기능 할당을 통한 커뮤니케이션 노력의 평가
Hardware demand	시나리오 내의 각 제어 장치에 대한 RAM/ROM 크기 및 컴퓨팅 파워에 대한 수요
Number of distributed features	다양한 ECU에 배포되는 기능
Number of ECUs active in charging process	충전하는 동안에 동작하는 ECU 개수
Number of Pins	제어 장치에 할당되는 핀 수
Organizational	책임에 관한 조직의 제한

는데 이번 연구는 호환성이 좋은 IBM사의 랩 소디 툴을 활용하여 기능 모듈을 모델링하였다. 기능 모듈을 모델링 하는 이유는 Feature 리스트에서 정의한 전기자동차 파워트레인 도메인의 기능을 기능 간의 연결 구조를 만들고 2025년 이후에 있을 거라고 예측되는 제어기들에 기능들을 매칭시켜서 앞에서 정의한 평가지표를 가지고 기능 모듈을 모델링한 데이터를 가지고 평가하기 위해서이다. 최종 선정된 평가지표에 필요한 데이터를 기능 모듈에 파라미터 값을 입력하고 각 기능 모듈을 선정된 4개의 파워트레인 도메인 아키텍처 시나리오에 매핑한다.

3.6 아키텍처 컨셉 시나리오 평가

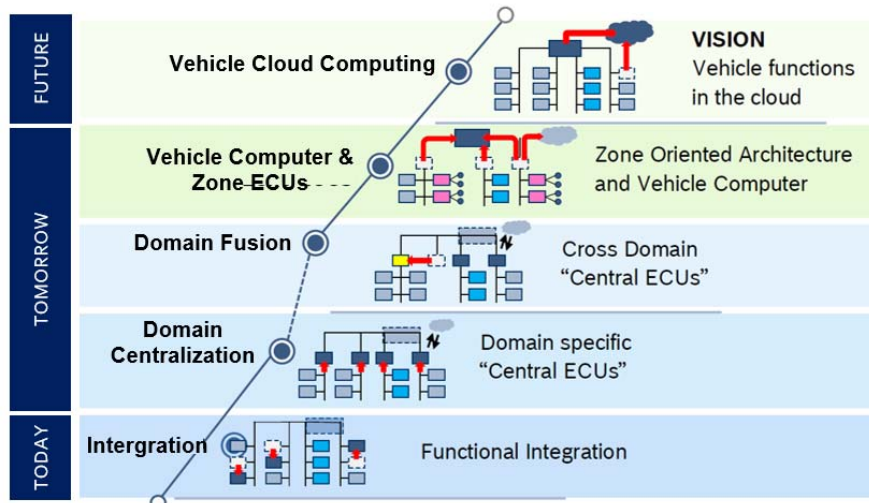
전기자동차 아키텍처 컨셉 시나리오를 델파이 기법을 활용하여 17개의 시나리오 중에서 4개의 컨셉 시나리오를 선정하고 4개의 시나리오를 기준으로 기능 모듈 모델링을 수행하여 시나리오별로 정성적, 정량적으로 평가할 수 있

다. 정량적인 평가를 위해서 Rhapsody 툴에서 입력한 파라미터값을 활용하여 계산하고 평가할 수 있다. 4개의 컨셉 시나리오를 가지고 평가지표를 점수화해서 최고 점수를 획득한 시나리오를 최종 아키텍처 시나리오로 선정한다.

IV. 연구 결과

4.1 전기자동차 전기전자 아키텍처 동향 연구

자동차의 개별 기능을 통제하는 제어기의 수량이 증가하고 있고 제어기 간의 인터페이스가 복잡해지면서 이와 관련된 하드웨어와 소프트웨어의 설계 및 양산 비용이 증가하고 있다. 전기차 분야에서는 1회 충전 주행거리와 차량 안전성 등이 핵심 지표로 자리 잡으면서 그와 관련된 주요 기술인 구동모터 제어, 고전압 전력 변환, 배터리 관리, 공조 관리 등이 중요해지고



<그림 3> 차량 전기전자 아키텍처 동향

있고 통합 제어를 통해서 최적화의 필요성이 대두되고 있다.

미래 자동차에 대한 전기전자 아키텍처 트렌드 및 로드맵을 조사한 결과, <그림 3>과 같이 도메인 집중화 구조에서 도메인 퓨전 구조를 지나서 향후 차량 컴퓨터 구조로 적용이 확대될 예정이다. 중앙 집중형 전기전자 아키텍처는 분산형 아키텍처보다 와이어링 무게 감소에 따른 경량화, 차량 공간 절약 및 차량 소프트웨어 업데이트를 위한 OTA(Over The Air) 등 기능 구현 등에서 유리한 측면이 있다. 중앙 집중형 전기전자 아키텍처로의 설계 변화와 함께 소프트웨어 관점에서는 통합형 OS의 개발이 진행되고 있다(Jiang, 2019). 전기자동차의 경우, 현재 도메인 집중화 구조로 개발 및 양산을 진행하는 완성차 업체가 다수이며 신생 전기자동차 업체의 경우, 도메인 퓨전 구조로 신규 개발을 진행 중이다. 전기자동차 파워트레인 도메인의 제어기 간 기능 분배를 통한 최적화된 아키텍처 컨셉 개발이 필요한 시점이다. 동향 분석을 통해서 기존 분산형 아키텍처에서 통합형 아키텍처로의 기능 재분배가 필요함을 알 수 있다.

4.2 특허 토픽 모델링을 통한 기능 도출

웹스온 사이트에서 찾은 특허를 텍스트 파일로 추출하여 토픽 모델링을 수행하였다. 특허 데이터를 활용하여 파이썬으로 토픽 모델링을 진행하였다. 토픽 모델링을 통해서 토픽별 상위 단어를 표기하였고, 전체 문서의 토픽별 확률합을 계산하고 이름의 데이터프레임으로 각 문서의 토픽별 확률합 컬럼을 병합하였다. 그리고 각 문서의 토픽별 확률 비중을 구하고 레이블

을 달아서 토픽별 확률 분포 및 상위빈도 단어를 표기하였다. 토픽별 상위 단어는 트리맵으로 출력하여 분석을 진행하였다.

<그림 4>는 파이썬에서 전체 문서의 토픽별 확률합 계산 및 토픽별 확률 비중을 구한 방법을 나타내고 있다. 기존의 전기전자 아키텍처 방법론은 단순히 동향 분석을 통해서 미래 기능을 추정하였지만, 특허 토픽 모델링을 통해서 미래 기능을 추정하고 도출하는 방법을 새롭게 제시하였다.

토픽별 상위 단어는 트리맵 구조를 활용하여 어떤 단어들이 많이 나오는지 확인할 수 있었다. 트리맵 구조에서 기능 관련 단어를 확인해 보면 motor, vehicle, power, battery, energy, charging 등이 주요 토픽으로 나와 있음을 확인할 수 있다. 해당 단어들은 전기차 파워트레인 도메인에서 주요 기능을 담당하는 단어들로 구성되어 있었고, motor는 전기차의 구동을 위한 핵심 부품이고 vehicle은 차량 레벨의 기능을 조정해야 하는 역할을 수행하고 있으며 power는 전력변환을 통해서 적절한 전원을 공급하는 기능을 수행한다. battery는 전기차에서 핵심 부품으로 배터리를 활용하여 친환경 자동차를 구현할 수 있다. energy는 전기자동차에서 에너지 관리를 통해 배터리를 오래 사용할 수 있도록 하는 중요한 기능으로 추정할 수 있었고 charging은 배터리를 충전하는 기능이 꼭 필요한 기능임을 확인할 수 있었다. 트리맵 구조는 <그림 5>와 같다.

특허 토픽 모델링을 통해서 상위빈도 단어에 대해서 분석하였다. 상위빈도 단어는 <그림 6>과 같이 control, vehicle, management, power, system 등이 주요 단어로 추출되었다. 전기자동차

```
total_topic = []
total_score = []

for i in range(len mdl.docs):
    for topic, score in mdl.docs[i].get_topics(top_n=mdl.k):
        total_topic.append(topic)
        total_score.append(score)

#전체 문서의 토픽별 확률값 계산
total_doc = pd.DataFrame(data= {'topic': total_topic, 'total_score': total_score})
total_doc.sort_values(by=['topic'], axis=0, inplace=True)
total_value = total_doc.groupby(by=['topic']).sum().groupby(level=[0]).cumsum()
total_value.reset_index(inplace=True)

#topic_doc 이름의 데이터프레임으로 각 문서의 토픽별 확률값 출력 병합

topic_doc = total_value

#각 문서의 토픽별 확률 비중 구하기
topic_doc['total_topic_prob'] = total_value['total_score']

#각 토픽에 레이블 달기
topic_label = []
for k in range(mdl.k):
    # 토픽의 라벨 정보 표기
    labels = ', '.join(label for label, score in labeler.get_topic_labels(k, top_n=10))
    topic = str("topic") + str(k+1) + str(" : ") + labels

    # 토픽 별 상위 단어 표기
    # labels = ', '.join(word[0] for word in mdl.get_topic_words(k,20))
    # topic = str("topic") + str(k+1) + str(" : ") + labels

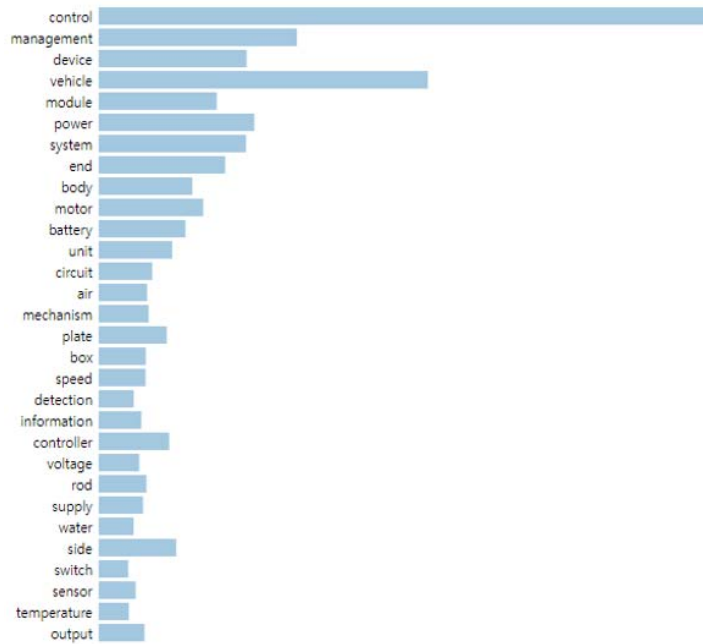
    topic_label.append(topic)

topic_doc['topic'] = topic_label
```

<그림 4> 파이썬을 활용한 토픽 모델링



<그림 5> 트리맵 구조



<그림 6> 상위빈도 단어

<표 3> 전기차 파워트레인 기능 관련 토픽

토픽	상위단어 (주요단어)
vehicle control	vehicle , control , system, power, battery, engine, torque, unit , motor, speed, energy, signal, wheel, voltage
motor control	motor , device, power, unit , value, engine, control , vehicle, state, system, voltage, DC, mode, converter
battery management	battery , vehicle, end, side, control, power, plate, body, box, energy, device, management , information, driving
power control	power , control , module, system, motor, unit, device, voltage, circuit, switch, speed, signal, DC , communication
charging control	charging , device, vehicle, control , motor, unit, drive, brake, element, voltage, circuit, combustion, machine

차에 사용되는 제어기의 기능과 연관성이 있는 단어를 나열해 보면 vehicle, control, motor, power, body, supply, air, energy, battery 등이 있다. 트리맵 분석 결과와 같이 vehicle 토픽의 상위단어를 통해서 차량 레벨 제어하는 기능이 특허로 많이 등록됨을 추정할 수 있었다. 마찬가지로 motor 토픽은 엔진을 대체하는 기능에

대한 특허가 많음을 알 수 있었고, power 토픽은 전원 관련 제어하는 기술이 중요함을 알 수 있었다. 그리고 energy 토픽은 전기차의 디바이스 및 제어 관련 특허들이 등록되고 있음을 추정할 수 있었다. 마지막으로 battery 토픽은 배터리 관련 매커니즘, 제어 관련 특허 등록이 많다고 추정할 수 있었다.

전기차 파워트레인 기능 관련 토픽을 분석해보면 <표 3>과 같이 vehicle control, motor control, battery management, power control, charging control과 같이 토픽들을 추출할 수 있었다. 각각의 토픽들은 전기차의 파워트레인 도메인에서 차량의 주요 기능으로 차량 제어, 모터 제어, 배터리 관리, 전력변환 제어, 충전 제어를 나타낼 수 있다. 특히 토픽 모델링을 통해서 주요 기능에 대한 토픽을 추출할 수 있음을 확인할 수 있었다.

특히 토픽 모델링을 통해서 나온 주요 토픽 및 주요단어를 가지고 현재 전기자동차에서 사용되고 있는 제어기 혹은 향후 개발된 가능성이 있는 제어기에 매칭을 진행하였다. 각 토픽에 매칭되는 전기자동차 파워트레인 도메인 제어기들을 <표 4>와 같이 분류하였다. 차량(vehicle) 제어를 위한 제어기로는 VCU(Vehicle Control Unit) 혹은 DCU(Domain Control Unit)가 있으며 모터(motor) 제어를 위한 제어기로는 MCU(Motor Control Unit)가 있고, 배터리(battery)를 관리하기 위한 제어기는 BMS(Battery Management System)가 있으며, 파워(power)와 에너지(energy)를 제어하기 위

한 시스템은 ICCU(Integrated Charging Control Unit) 혹은 VCMS(Vehicle Charging Management System)가 있다. 특히 토픽 모델링을 통해서 기능 관련 토픽을 확인하였고 토픽과 주요 단어를 통해서 토픽별 제어기를 추정할 수 있었다.

<표 4> 토픽별 제어기

토픽	관련 제어기
vehicle	VCU or DCU
motor	MCU
battery	BMS
power	ICCU or VCMS
energy	ICCU or VCMS

4.3 기능 Feature 리스트 정의

2025년 이후 양산할 전기자동차 파워트레인 도메인 기능 Feature 리스트를 <표 5>와 같이 정의하였다. 해당 기능은 기존 양산 중인 전기차의 기능을 기반으로 하였다. 기능 Feature로 Vehicle speed control 등 35개 항목을 정의하였고 담당 전문가들과 협의하여 31건 기능 Feature를 반영하기로 결정하였다.

<표 5> 기능 Feature 리스트 정의

Subsystem	Feature 반영 여부	전문가 의견
Driver Demand Detection	(반영)Vehicle speed control 등 5건	파워트레인 Feature 반영 필요
Vehicle Data Determination	(반영)Board Computer 등 2건	
Torque coordination	(반영)All Wheel Drive 등 3건	
Transmission	(반영)Parking lock 등 1건	
Charging	(반영)On board charging 등 4건	
Electric Energy Management	(반영)Cell Balancing 등 10건	미반영 건은 타 도메인 기능
Thermal Management	(반영)Auxiliary heating 등 3건 (미반영)Electric coolant pump 등 1건	
Electric Drivetrain	(반영)E-creep 등 3건 (미반영)Sound imitation 등 1건	
Anti Theft Protection	(미반영) GPS anti theft 등 2건	

<표 6> 제어기별 이동 가능한 기능 분류

Function	이동 가능 여부	전문가 의견
Thermal Management	(가능)Thermal Demand 등 6건	열관리 기능 이동 가능
Electric supply	(가능)Electrical Energy Charging, Electrical Energy Management 등 6건 (불가)Battery Data Dectection 등 9건	이동 불가 항목은 BMS/컨버터 고유 기능
Vehicle functionalities	(가능)Torque coordination, Mode coordination, Anti Surge Damper, Vehicle function(GW) 등 13건 (불가)Drive Mode Dectection 등 5건	이동 불가 항목은 VCU 고유 기능
Electric drive	(불가)Electric drive data 등 7건	이동 불가 항목은 인버터 고유 기능

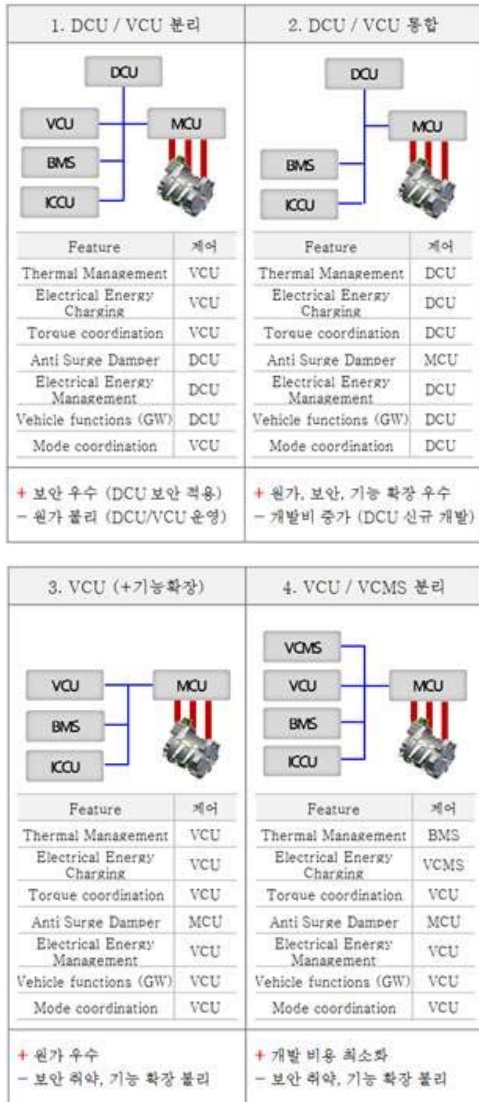
그리고 기능 Feature를 기반으로 기능 아키텍처 모델링을 하기 위한 기능 모듈 46개를 정의하였고 46개 중에서 파워트레인 도메인에 대한 중앙 집중형 제어기가 생긴다면 상위 혹은 하위 제어기로 이동 가능한 기능 모듈을 선정하였다. 26개 기능은 상위 제어기인 중앙 집중형 제어기에 이동 가능한 모듈이고 나머지 22개 기능은 제어기 본연의 기능으로 하위 제어기로 남는 것으로 결정하였다. 이동 가능한 기능 로직을 분류한 결과는 <표 6>과 같다.

4.4 전기전자 아키텍처 시나리오 연구

미래 모빌리티 대응을 위해서 DCU, VCU 기반의 시나리오를 도출하였다. 정의된 기능 Feature 리스트 기반으로 2025년 이후에 양산될 전기자동차의 파워트레인 도메인 전기전자 아키텍처 시나리오를 개발하였다. 총 17개의 시나리오를 도출하였고 전기차 파워트레인 도메인 설계 담당자들 및 글로벌 부품업체 아키텍처 담당자들과 실제 적용 가능한 4개 시나리오를 설문을 통해서 선정하였다. 선정된 4개의 시나리오 결과는 <그림 7>과 같다. 4개의 시나

리오에서 중앙 집중 제어를 할 수 있는 DCU 기반의 시나리오 2개와 DCU가 없는 시나리오 2개로 구분할 수 있다. DCU가 있는 시나리오에서는 기존 VCU 제어기 적용 유무로 나눌 수 있다. DCU가 없는 시나리오는 VCU의 기능을 확장하거나 충전 관련 제어기를 추가하는 시나리오로 구분하였다. VCU는 현재 전기전자 아키텍처에서 사용되는 차량 제어 장치들을 나타낸다. VCU는 다양한 기능을 구현하는 여러 동력 장치 기능을 제공한다. 그러나 리소스(컴퓨팅 능력/RAM/ROM)의 제한으로 인해 VCU는 많은 추가 기능을 통합할 리소스가 없다. 반면, DCU는 통합 플랫폼으로 간주된다. 즉, DCU를 사용하여 많은 추가 기능을 통합할 수 있으므로 DCU에는 VCU보다 훨씬 많은 HW 리소스가 있다. 따라서 통합 플랫폼을 통해 차량에 새로운 기능을 제공할 수 있다. 통합 플랫폼의 기본 원칙은 새롭고 혁신적인 기능을 통합 플랫폼에 쉽게 통합할 수 있어야 한다는 것이다. 이로부터 통합 플랫폼은 업데이트가 빈번하지만 기본 제어 장치는 안정적이고 업데이트 빈도가 훨씬 낮다. 이렇게 하면 하나의 제어 장치만 자주 업데이트하면 되므로 개발 비용을 최소화할

수 있다.



<그림 7> 차세대 전기차 전기전자 아키텍처 시나리오 후보군

앞서 언급한 측면 외에도 DCU는 해당 영역에 대한 추가적인 게이트웨이 역할을 한다. 즉, 모든 영역 내부 통신이 DCU에서 종료되며 차량의 나머지 부분과의 모든 통신은 이 게이트

웨이를 통과해야 한다. 두 가지 이점은 첫 번째는 추가적인 보안 계층에 있고 두 번째는 OTA 마스터의 기능에 있다. OTA 마스터는 고속 통신을 통해 새 SW를 자동으로 수신하며, 동력장치 영역 내에서 느린 CAN 통신을 통해 언제든 편리한 시간에 새로운 SW를 구현할 수 있다. 통신 네트워크에 DCU가 논리적으로 통합되어 있기 때문에 그것은 이른바 크로스 도메인 기능을 제공하기 위한 목적을 가진다. 이러한 크로스 도메인 기능은 이미 존재하는 센서 신호를 사용하여 다른 영역의 작동을 활성화하는 기능이다. 그 예로는 낮은 전압(12V 배터리 센서 데이터, 고전력 소모 장치의 전원 정보)의 정보와 고전압 전원망 정보(추진에 사용되는 전력, DC/DC 전력 요청)를 결합하여 차체 영역의 편의 기능을 저하시키는 ‘전기 에너지 관리’가 있다. 또 다른 예는 차량 내 공기 조절 요청으로부터 입력을 받아 동력장치 영역에서 고전압 부품의 냉각 요구를 관리해야 하는 ‘열 관리’이다. 선제적으로 미래 모빌리티 요구사항에 대응하기 위한 전기전자 아키텍처가 선정되어야 한다. 전기전자 아키텍처 시나리오를 최종적으로 선정하기 위해서 15개의 평가지표를 가지고 전문가들의 설문에 의해서 6개의 평가지표를 선정할 수 있었다. ‘Electronic cost, Safety / Security, Validation effort, Hardware demand, Expandability / Updatibility’ 등 5개 지표는 일반 자동차의 평가지표에서도 활용되고 있다. ‘Number of ECUs active in charging process’는 전기자동차에 특화된 평가지표이다. 해당 평가지표는 전기자동차 설계 전문가들의 의견을 반영하여 16개의 평가지표에 반영하였고 전문가들의 설문을 통해서 6개의 평가지표를 선정

하였다. 6개의 평가지표는 정량적 분석을 위해서 기능 모듈을 모델링할 때 파라미터값을 입력하여 시나리오별로 비교할 수 있도록 하였다. 설문을 통한 결과는 아래 <표 7>과 같다. 자동차 제조사 10명의 전문가와 자동차 부품사 10명의 전문가를 대상으로 평가지표 후보군을 선정하였다. 전문가 20명을 대상으로 5점 만점으로 평가지표에 대한 중요도에 대한 점수를 받아서 정리하였고 6개의 평가지표가 60점 이상으로 최종 평가지표로 선정하였다.

4.5 기능 아키텍처 모델링

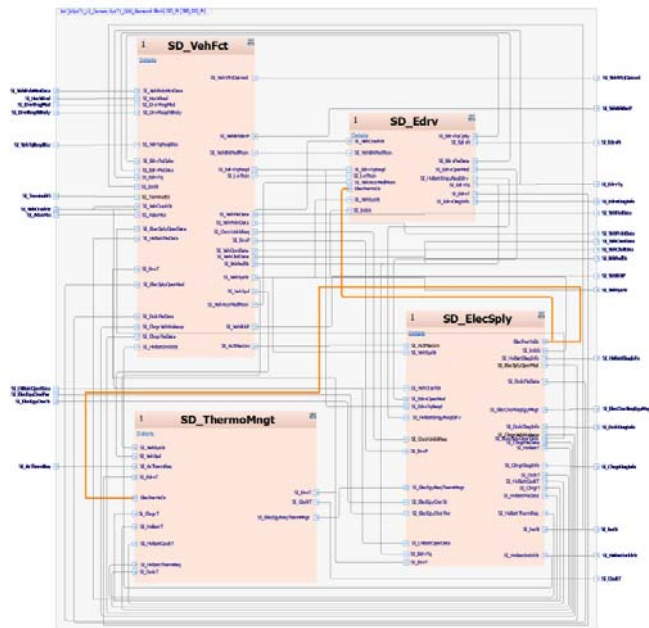
4개 전기전자 아키텍처 시나리오에 대한 정량적/정성적 평가를 위해 IBM사의 랩소디 툴

을 활용하여 기능 모듈 모델링을 진행하였다.

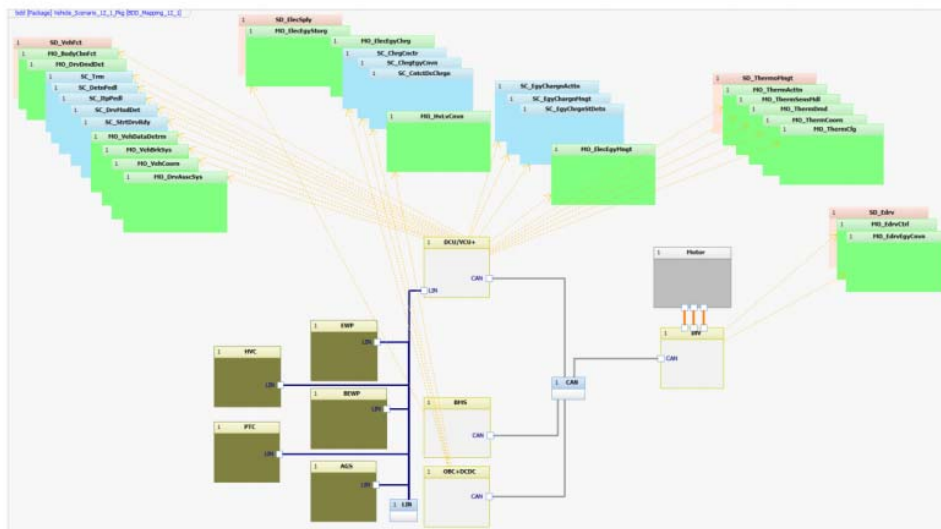
26개 기능 모듈을 모델링 하였고 기능 모듈 내에는 평가지표로 활용할 수 있는 ASIL 레벨, 연산부하, RAM 및 ROM 사이즈, 충전 중 동작 여부에 대한 속성을 부여하였다. 이 기능 모듈을 기반으로 각 기능 Feature 별로 상위 및 하위 기능에 대한 구분을 진행하였다. 기능 Feature 리스트에 정의된 기능을 가지고 <그림 8>과 같이 기능 모듈을 모델링하였고 <그림 9>와 같이 시나리오별로 특허 토픽 모델링을 통해서 추정된 제어기에 기능 모듈을 매핑하는 작업을 진행하였다. 총 4개의 전기전자 아키텍처 시나리오를 후보군으로 선정했기 때문에 4개의 시나리오별로 기능 모듈 매핑을 진행하였다.

<표 7> 평가지표 설문 결과

평가지표	제조사 10명	부품사 10명	Total
Electronic cost	47	45	92
Expandability / Updatability	44	43	87
Hardware demand	40	41	81
Safety / Security	38	40	78
Validation effort	33	35	68
Number of ECUs active in charging process	32	33	65
Number of Pins	29	25	54
Variant handling	25	22	47
HW dependability	24	22	46
Development cost	21	24	45
Number of distributed features	21	16	37
Organizational	18	19	37
Maintenance effort	16	19	35
Integration & migration possibility	18	13	31
Communication effort	12	15	27



<그림 8> 기능 모듈 데이터



<그림 9> 시나리오별 기능 모듈 매핑

4.6 아키텍처 컨셉 시나리오 평가

앞서 전기전자 아키텍처 시나리오 평가를 위

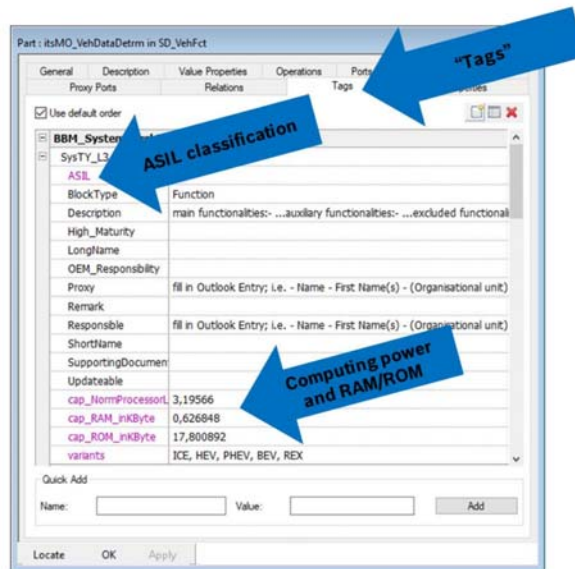
해서 주요 평가지표 6개를 선정하였다. 선정 기준은 2025년 이후 전기자동차에 적용할 파워트레인 도메인이었고 선정된 지표는 Electronic

cost(원가), Safety(안전 요구사항 대응 용이성), Expandability / Updatability(확장성/업데이트 용이성), Validation effort(검증 공수), Hardware demand(하드웨어 요구사항), Number of ECUs active in charging process(충전 중 깨어나는 ECU 개수) 이다. 시나리오 평가를 위해서 평가 지표 관련 속성을 정의했는데 안전 요구사항으로 ASIL 레벨을 정의하였고, 하드웨어 요구사항으로 연산부하, RAM/ROM 사이즈, 특정 프로세서(Golden Oak - NXP MPC555) 를 기준으로 노멀라이즈하여 연산부하를 측정하였다. 평가의 기본은 랩소디 모델에 포함된 정보로 하였고 기능 요소와 그의 인터페이스 외에도 랩소디 모델의 각 기능 요소에 추가적인 특성이 첨부되었다. 랩소디 모델의 기능 요소와 관련된 "태그"를 보여주는 랩소디 도구에 대한 태그에는 ASIL 분류(기능 안전), 필요한 프로세서 로드 및 해당 기능 요소의 RAM/ROM 크기

에 대한 정보가 포함된다. 태그에 부여한 속성 정보는 아래 <그림 10>과 같다.

전기차 파워트레인 도메인에 대한 전기전자 아키텍처 선정을 위해서 각 평가지표별로 가중치를 전문가들 설문을 통해서 적용하였다. 평가별 가중치는 원가 40%, 확장성/업데이트 용이성 30%, 안전 및 보안 요구사항 대응 용이성 10%, 검증 공수 5%, 하드웨어 요구사항 10%, 충전 중 깨어나는 ECU 개수 5% 로 결정하였다. 전기차 파워트레인 도메인 설계팀 및 전기전자 아키텍처 개발 담당자들과 글로벌 부품업체 아키텍처 전문가들과 아키텍처 평가를 진행하였다. 최종 평가 결과는 아래 <표 8>과 같다.

‘원가’의 경우, VCU / VCMS(Vehicle Charging Management System) 분리형이 최상으로 평가되었다. 추가적인 HW가 필요하지 않기 때문에 따라서 다른 시나리오들에 비해 추가적인 개발 비용도 불필요한 시나리오였다.



<그림 10> 기능 모듈 정량적 평가 속성

<표 8> 아키텍처 컨셉 시나리오 평가

Scenario		DCU/VCU 분리형	VCU 확장형	DCU/VCU 통합형	VCU/VCMS 분리형
Criteria evaluated accoring to reference scenario	Rough explanation	DCU combined with VCU	VCU	DCU	VCU Funtions distributed
Criteria category	Weight of criteria				
Electronic cost	40 %	0.10	0.70	0.54	0.80
Expendability / Updateability	30 %	1.20	0.60	1.05	0.60
Safety / Security	10 %	0.30	0.20	0.30	0.20
Validation effort	5 %	0.01	0.06	0.06	0.10
Hardware demand	10 %	0.15	0.15	0.25	0.20
ECU active while charging	5 %	0.05	0.10	0.10	0.10
Overall rating	100 %	1.81	1.81	2.30	2.00

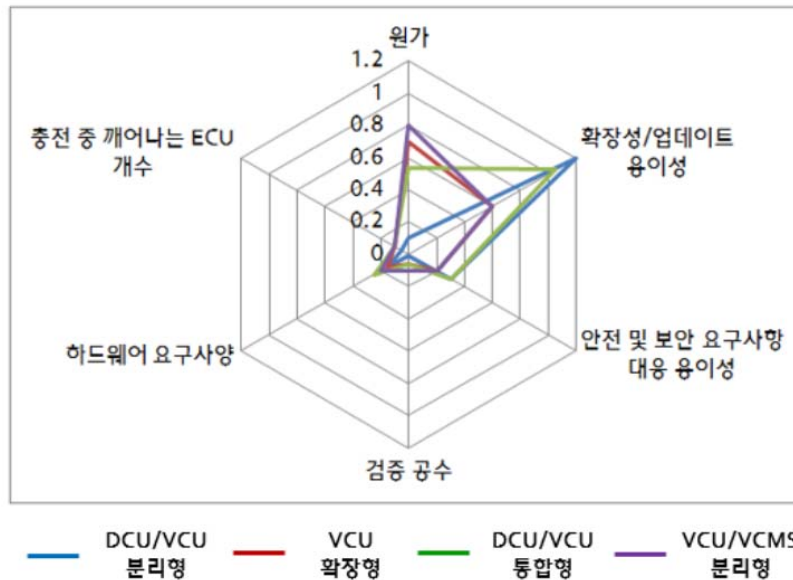
‘확장성/업데이트 용이성’ 기준에 대해서는 VCU 및 DCU를 모두 포함하는 DCU / VCU 분리형 시나리오가 기능 할당 유연성이 높기 때문에 가장 높은 등급을 가졌다. DCU / VCU 통합형도 새로운 기능을 유연하게 도입하고 업데이트할 수 있다고 판단하였고 VCU만 사용하는 두 시나리오는 확장성 및 업데이트 가능성이 낮은 ECU 사용으로 인해 낮게 평가되었다. ‘보안’에서도 시나리오 DCU / VCU 통합형 및 DCU / VCU 분리형은 DCU의 강력한 보안 기능으로 인해 등급이 높았다. ‘안전’은 다양한 기능의 분포에 따라 달라졌다. 4개의 시나리오 중에서 VCU 확장형 및 DCU / VCU 통합형의 등급이 우수하였다. ‘검증 공수’는 루프 시험에서 하드웨어에 대한 요구사항으로 ECU 수에 따라 증가한다. DCU / VCU 분리형 시나리오는 다른 시나리오에 비해 ECU 수가 많기 때문에 단점이 있다. VCU / VCMS 분리형 시나리오가 ECU 인터페이스 수가 낮기 때문에 가장

잘 평가되었다. DCU / VCU 분리형 시나리오는 ECU 수가 많고 하부 제어 장치에 대한 추가 인터페이스를 생성하는 중앙 집중화 경향으로 인해 가장 좋지 못한 평가를 받았다. ‘하드웨어 요구사항’에 대한 프로세서 부하의 경우, 기능을 통해서 RAM 및 ROM 크기 및 해당 비율의 부하를 고려해야 한다. DCU / VCU 분리형 시나리오에서 HW 사용량은 동일한 SW 양에 대한 추가 제어 장치가 하나이기 때문에 낮은 편이었다. VCU 확장형 시나리오에서는 제한된 HW 리소스로 인해 VCU에 대한 추가 부하가 문제될 수 있었다. 이로 인해 VCU에 새로운 개발이 필요한 새로운 HW 구성 요소가 필요한 경우가 생긴다. 하부 제어 장치의 변경은 관련이 없으며 변경 사항이 없을 것으로 예상된다. DCU / VCU 통합형 시나리오의 경우, 충분한 HW 성능을 사용할 수 있기 때문에 DCU 기능의 양은 관련이 없었다. 하부 제어 장치의 변경은 중요하지 않으므로 좋은 평가 결

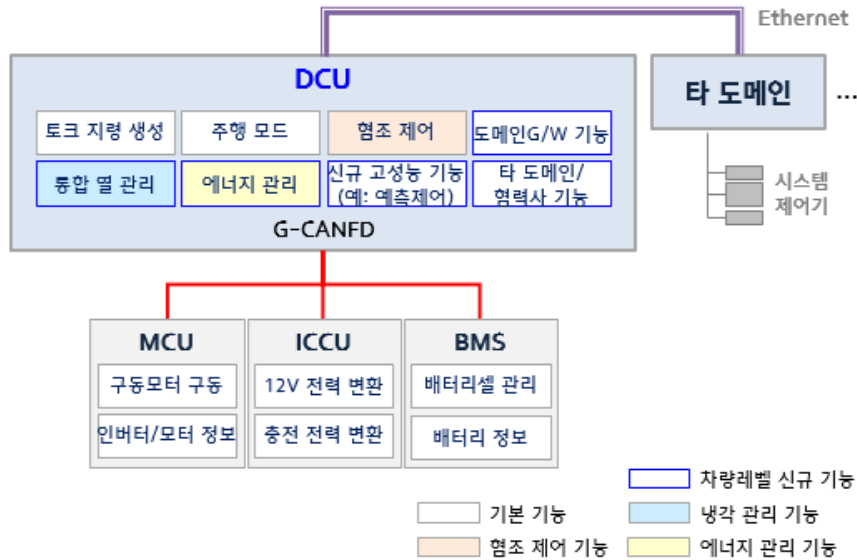
과를 받았다. 파워트레인 도메인만 고려하는 경우, ‘충전 중 활성화되는 ECU 수’는 실제로 관련이 없었다. DCU에서 실행 중인 충전에 대한 관련 기능이 있기 때문이었다. 이 기준으로 전체 차량 전기전자 아키텍처 연구를 살펴보는 것이 흥미로운 것으로 생각되었다.

일반적으로 DCU / VCU 통합형 시나리오는 실제 도메인 제어 장치, 즉 파워트레인 도메인에서 마스터 역할을 포함하는 전기전자 아키텍처를 반영한다. 파워트레인 도메인에서 타 도메인을 연결하는 게이트웨이 역할을 하며 파워트레인 도메인의 모든 조정 기능을 포함한다. 즉, DCU가 도메인 수준에서 동력장치의 모든 관련 기능을 제어하고 차량을 향한 동력장치 영역을 나타낸다. 이 시나리오에서는 DCU가 BMS (Battery Management System), MCU(Motor Control Unit) 및 ICCU(Integrated Charging Control Unit)와 같은 기존 제어 장치 외에 새롭

게 구현해야 하는 고성능의 제어 장치이기 때문에 비용 상의 단점이 있지만 반면에 DCU는 통합 플랫폼 역할을 하고 이를 통해 새로운 기능과 특성을 쉽게 통합할 수 있다. 또한 파워트레인 도메인에서 OTA 마스터 역할을 할 수 있으며 해당 도메인에 대한 보안 조치를 통합할 수 있다. 그리고 하위 제어기들은 표준화 및 플랫폼화를 통한 원가 절감이 가능하다. <그림 11>과 같이 컨셉 시나리오 평가 비교를 통해서 DCU / VCU 통합형 시나리오가 가장 우수한 컨셉으로 선정되었다. 제어기 기준으로 원가는 상승하나 확장성, 업데이트 용이성, 안전 및 보안 요구사항 대응이 우수한 결과를 얻었다. 향후 <그림 12>와 같이 선정된 파워트레인 도메인 전기전자 아키텍처 컨셉을 기반으로 타 도메인 기능을 포함한 차량 레벨 전기전자 아키텍처를 구성할 예정이다.



<그림 11> 시나리오 평가 비교



<그림 12> 전기차 파워트레인 도메인 아키텍처 컨셉

V. 결론

본 연구에서는 다음과 같은 효과를 얻을 수 있는 것으로 기대한다.

(1) 기능 모듈 모델링을 통해서 제어 기능에 대한 집중형 아키텍처를 구현할 수 있으며, 전기차 전용 파워트레인 도메인 아키텍처는 융복합 기능 확장, 무선 S/W 업데이트 및 업그레이드, 보안 및 ICT 연계 기능 대응 등과 같은 미래 기술에 대한 요구사항을 효과적으로 대응할 수 있다.

(2) DCU (Domain Control Unit) 제어기 중심의 원격 제어, 원격 진단, 음성 제어, ICT 연계 기능 대응 등의 신기능 대응으로 차량 레벨의 개발 비용 절감 및 개발 일정 축소가 가능하다. 또한 기존의 하위 레벨의 제어기인 시스템 제어기는 H/W 기반의 표준화 및 플랫폼화를 통한 원가 최적 설계가 가능하다.

(3) 전기차 파워트레인 도메인에 대한 기능 아키텍처는 현 기능 사양과 매칭성이 우수하고 신기능 중심의 DCU 기능 재분배를 통해 양산 개발 품질을 조기 확보할 수 있다.

마지막으로 연구의 의의는 ICT가 원활하게 연계 가능한 아키텍처를 구성할 수 있게 전기차 파워트레인 도메인의 기능 분배를 최적화하여 전기전자 아키텍처 컨셉 시나리오를 선정하여 미래 요구사항에 부합하도록 함에 있다.

참고문헌

- 강혜선, 이재혁, “현대모비스의 새로운 선택 - 모듈화 선택,” Korea Business Review, 제11권 제2호, 2008, pp. 29-50.
- 고현희, 공상환, 박재년, “소프트웨어 아키텍처

- 설계 단계에서 아키텍처 접근법 선정을 위한 평가 방법,” 정보처리학회 Vol.12D, No.100, 2005, pp.617-626.
- 곽현, 이성원, “특허분석을 통한 인공지능 기술 분야 경쟁력 분석: 특허 시장성과 기술력 질적 분석을 중심으로” 정보시스템연구, 제28권 제3호, 2019, pp. 141-158.
- 박정규, 김민수, “VW의 아키텍처 기반 플랫폼 전략,” 현대자동차 자동차경제 제450호, 2012.
- 박지훈, “자율주행자동차를 위한 차세대 E/E (Electric/Electronic) 아키텍처 설계 동향,” 한국통신학회지, Vol.33, No.4, 2016, pp.17-26.
- 서성훈, “BM 특허 토픽 모델링을 이용한 핀테크 기술 동향 분석,” 서울과학기술대학교 석사 학위 논문, 2015.
- 선원웅, “폭스바겐그룹의 공용모듈 플랫폼 전략,” 현대자동차 자동차경제 제339호, 2003.
- 손영욱, 허건수, “국내의 전기자동차 기술 개발 동향 및 국내 전기자동차 핵심 부품 기술 개발 전략,” The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 22, No. 5, 2017.
- 이선민, 천세진, 박상연, 이태욱, 김우주, “동적 토픽 모델링과 감식 분석을 이용한 COVID-19 구간별 비대면 근무 부정요인 검출에 관한 연구,” 정보시스템연구, 제20권 제4호, 2021, pp. 277-301.
- 이승규, 박태훈, 김경태, “제품 아키텍처의 진화와 경쟁전략: 한·중 상용차 산업을 중심으로,” 한국경영과학회 추계학술대회, 2008.
- 이재관, “자율주행 자동차 개발현황 및 시사점,” 대한전자공학회지 제 41권 제 1호, 2014, pp. 22-29.
- 임성규, “모듈부품조달을 확대하는 유럽메이커,” 현대자동차 자동차경제 제238호, 1999.
- 전부선, 이정환, 한태만, “지능형 자동차 서비스를 위한 차량 SW 플랫폼,” 한국통신학회지(정보와 통신), 제 29권, 제 9호, 2012, pp. 30-37.
- 정명기, “모듈생산에 따른 부품조달체계에 관한 연구: 현대자동차 아산공장을 중심으로,” 경상논총, 제25권 제3호, 2007, pp. 35-54.
- 정명기, “모듈생산에 따른 생산방식 변화에 관한 연구: 현대자동차 아산공장을 중심으로,” 『산업노동연구』, 제10권 제1호, 2004, pp. 223-247.
- 조형제, 김철식, “모듈화를 통한 부품업체 관계의 전환: 현대자동차의 사례,” 한국사회학, 제47권 제1호, 2013, pp. 149-184.
- 한태만, 조진희, “자동차 전자제어 장치용 소프트웨어 기술 및 표준화 동향,” 전자통신동향분석 제25권 제4호, 2010, pp. 69-82.
- Blei, D. M., “Probabilistic Topic Models,” *Communications of the ACM*, 55(4), 2012, pp. 77-84.
- Buckl, C., Camek, A., Kainz, G., Simon, C., Mercep, L., Stahle, H., and Knoll, A., “The Software Car: Building ICT Architectures for Future Electric

- Vehicles,” *IEEE International Electric Vehicle Conference*, 2012.
- Drytkiewicz, W., “The Impact of Architecture on Quality of Electronic Control Systems: The Cost of Architectural Complexity,” *Technische Universitat Munchen*, 2012.
- Jiang, S., “Vehicle E/E Architecture and Its Adaptation to New Technical Trends,” *SAE Technical Paper*, 2019-01-0862, 2019.
- Lin, C., Rao, L., D'Ambrosio, J., and Sangiovanni-Vincentelli, A., “Electrical Architecture Optimization and Selection - Cost Minimization via Wire Routing and Wire Sizing,” *SAE Int. J. Passeng. Cars-Electron. Electr. Syst. Vol.7, No.2*, 2014, pp. 502-509.
- MarketandMarkets, “Automotive Wiring Harness Market-Global Forecast To 2030,” 2021.
- Mielke, T., Negrean, M., Lu, W., Rox, J., and Gacnik, J., “Managing Distributed Systems Development through Model-Based E/E-Architecture Design,” *SAE Technical Paper*, 2015-26-0012, 2015.
- Navale, V., Williams, K., Lagospiris, A., and Schaffert, M., “Revolution of E/E Architectures,” *SAE Int. J. Passeng. Cars -Electron. Electr. Syst. Vol. 8, No.2*, 2015, pp. 282-288.
- Priva, U. C., and Austerweil, J. L., “Analyzing the History of Cognition using Topic Models,” *Cognition*, 135, 2015, pp. 4-9.
- Reinhardt, D., Kaule, D., and Kucera, M., “Achieving a Scalable E/E-Architecture Using AUTOSAR and Virtualization,” *SAE Int. J. Passeng. Cars -Electron. Electr. Syst. Vol. 6, No. 2*, 2013, pp. 489-497.
- Schäuffele, J., “Design and Optimization of E/E Architectures: PREEvision as Model-Based Tool for the Next Generation,” *Translation of a German publication in Automobil Elektronik*, issue, 2016, pp. 11-12.
- Takeishi, A., and Fujimoto, T., “Modularization in the Auto Industry: Interlinked Multiple Hierarchies of Product, Production, and Supplier Systems,” *International Journal of Automotive Technology and Management*, 1, 2001, pp. 379-396.
- Tonby, O., Woetzel, J., Razdan, R., Choi, W., Yamakawa N., Seong, J., and Devesa, T., “The Future of Asia : The Trailblazing Consumers in Asia Propelling Growth,” *Mckinsey Global Institute*, 2021.
- Venugopalan, S., and Rai, V., “Topic based Classification and Pattern Identification in Patents,” *Technological Forecasting and Social Change*, 94, 2015, pp. 236-250.
- <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/mobility-topics/ee-architecture>

김도곤 (Kim, Do Kon)



연세대학교 전기전자공학 석사를 취득하였다. 현재 연세대학교 기술정책 박사과정에 있다. 주요 관심분야는 빅데이터 분석, 텍스트 마이닝, 차량 전기전자 아키텍처, 특허 분석 등이다.

김우주 (Kim, Woo Ju)



연세대학교 BBA 과정 학사를 취득하고, KAIST 경영과학 석사, 박사를 취득하였으며, 현재 연세대학교 산업공학과 교수로 재직 중이다. 관심분야는 딥러닝, 온톨로지, 텍스트 마이닝, 이상 탐지, 이미지 분석 등이다.

<Abstract>

A Study on the Electrical and Electronic Architecture of Electric Vehicle Powertrain Domain through Big Data Analysis

Kim, Do Kon · Kim, Woo Ju

Purpose

The purpose of this study is to select the electronic architecture concept of the powertrain domain of the electronic platform to be applied to electric vehicles after 2025. Previously, the automotive electrical and electronic architecture was determined only by trend analysis, but the purpose was to determine the scenario based on the data and select it with clear evaluation indicators.

Design/methodology/approach

This study identified the function to be applied to the powertrain domain of next-generation electric vehicle, estimated the controller, defined the function feature list, organized the scenario candidates with the controller list and function feature list, and selected the final architecture scenario.

Findings

According to the research results, the powertrain domain of electric vehicles was selected as the architectural concept to apply the DCU (Domain Control Unit) and VCU (Vehicle Control Unit) integrated architecture to next-generation electric vehicles. Although it is disadvantageous or equivalent in terms of cost, it was found to be excellent in most indicators such as stability, security, and hardware demand.

Keyword: Centralized Architecture, Function Module, Domain Control Unit, Vehicle Control Unit, Electric Vehicle, Topic Modeling

* 이 논문은 2022년 8월 30일 접수, 2022년 9월 16일 1차 심사, 2022년 11월 11일 2차 심사, 2022년 12월 9일 게재 확정되었습니다.