

스마트 자동차 신기술과 자동차 효율 향상 방안(9)

박 만 재 | 서정대학교 스마트자동차과 교수
e-mail : pwrmj1@naver.com

※ 연재 순서

1. 스마트 자동차 개요와 적용 기술(62권 9호 게재)
2. 스마트 자동차 시장 변화와 자율주행차 적용을 위한 요소 기술(62권 10호 게재)
3. 커넥티드 카(62권 11호 게재)
4. X-바이 와이어 시장 동향과 적용 기술의 변화(62권 12호 게재)
5. 자동차 소프트웨어 적용 제어 기술과 소프트웨어 시스템 응용 메커니즘 이해(63권 1호 게재)
6. 친환경 자동차 배출 가스 규제 현황 및 적용 기술 발전 방향(클린 디젤 측면에서)(63권 2호 게재)
7. 그린 수소 기술과 자동차용 연료 전지 기술 현황(63권 3호 게재)
8. 전기 자동차용 배터리 시장 변화와 리튬 이온 배터리 전망 및 기술 현황(63권 4호 게재)

9. 전기 자동차용 제어 기술 동향과 제어 시스템 작동 원리

1) 전기 자동차 제어 기술 동향

전기 자동차 컨트롤러는 전기 자동차의 실현을 위한 핵심 부품으로서 최고 속도와 가속도의 최적 균형을 갖춘 고성능 전기 자동차를 실현하는 기준이 된다. 전기 차(EV)의 제어는 기본적으로 EV의 작동이 단순한 작업이 아니며 전기 자동차의 작동 매개 변수 및 도로 상태에 따라 다양한 변화에 적응하여야 하고 동적 및 안정적인 상태 성능 모두에서 시스템을 개선하는 적응형 시스템이다.

전기 자동차의 가장 중요한 부분 중 하나가 '에너지 관리'라는 것을 어느 누구도 부정할 수 없다. 전기 자동차는 배터리 충전당 짧은 주행 거리를 극복하고 제어하는 것 외에 차량의 성능으로 편안한 승차를 위한 부드러운 주행에 상당한 노력을 기울이고 있다.

전기 자동차의 전략은 첨단 컴퓨터 기능의 개발에 따라 DSP(Digital Signal Processor)와 같은 마이크로프로세서로 복잡한 작업을 수행하는 것이 가능하다. 최적

의 성능을 달성하기 위한 전기 차량의 제어는 필연적이며 기능을 활용하여 개별 차량의 성능과 안전성을 향상시킬 수 있다.

또한 전기차의 다양한 작동 상태로 일반적으로 효율성을 높이고 복잡한 작동 모드를 처리하는 데 지능형 또는 퍼지 제어를 적용하고 있는 추세이다. 전기 자동차 시장은 앞으로 가격 경쟁력을 통한 저가 자동차 생산을 위한 각 국가별, 제조사별 치열한 경쟁이 예상된다.

세계 전기차 산업 동향 보고서에 따르면 오는 2030년 글로벌 전기차 시장 규모는 2조 7,000억 달러(약 3,508조 원)에 이를 전망이다. 이는 지난해 예상 시장 규모인 5,438억 달러(약 706조 원)를 기준으로 연평균 성장률(CAGR) 21.6%를 적용한 수치이다.

최근에 전기 자동차 시장을 주도하는 테슬라는 2023년 상반기 현재, 자체 생산하는 전기 자동차를 반값으로 낮추어 경쟁하려는 체제를 준비하고 있으며 그에 따른 자동차 시장의 변화는 예상보다 빨라질 것으로 예측된다. 따라서 국내의 제조사의 경우도 전기 자동차를 저가 모델로 준비 중이며 향후 전기 자동차 시장은 예상보다 빠르게 국내 및 세계 시장에서 그 점유율이 높

아질 것으로 기대된다.

이와 같은 시도는 지구 온난화에 따른 기후 변화에 대응하기 위해 탄소 중립을 추구하는 현 시점과 잘 일치하며 전기 자동차 시장의 급성장을 기대할 수 있고 최상의 기회를 제공해 주고 있다.

국내 자동차 시장은 전기 자동차 시장 점유율을 높이기 위해 플랫폼 통합 선진화와 전기 자동차 생산 라인 로봇화 및 AI를 통한 자동화 공정을 수행하여야 한다.

시험 분야에 있어서도 기존의 차량 시험 방법인 일반 LAB 시험에서 가상 시험 기술(virtual testing lab)을 통해 차량의 피로 내구 수명 해석 기법상의 정확도를 높이고 도로 부하 시험(road load data)을 입력하여 VTL 모델에 대한 검증 수준을 높여나가야 할 것이다. 전기 자동차 시장을 지배하는 주요 기술은 배터리를 통한 에너지 밀도 향상 기술과 자동차 주행 속도에 따른 고성능 모터 개발 및 이 두 가지 기능을 최적 제어할 수 있는 제어 기술이라 할 수 있다.

배터리 및 모터 제어 기술에 있어서 극복해야 할 문제점은 발화 지연으로 인한 화재 발생 위험인데, 근본적으로 이를 해소할 수 있는 대책이 필요하며, 그 대안으로 배터리 기술의 안정성과 BMS(배터리 관리 시스템) 기술의 안정성을 확보하여야 한다. 특히 전기 자동차의 경우 충돌 시 배터리셀이 받는 충격 에너지와 셀의 과열로 인한 폭발로 화재의 위험을 극복하기 위한 기술 개발이 선행되어야 할 것이다. 배터리셀의 과열을 방지할 수 있는 기술 및 제어를 통해 과열된 셀을 냉각하거나 전기적으로 고립시킬 수 있는 기술 및 충격 에너지를 흡수할 수 있는 장치 등을 개발하여야 할 것이다.

현재 국내 리튬 이온 배터리 기술의 경쟁력을 보면 코발트 저감형 하이니켈 양극 소재 개발(Ni 90%, Co 3% 이하)과 고온 신뢰성 제고를 위한 표면 처리 기술·장비 개발을 하고 있고 실리콘 음극 소재(Si 10% 이상), 대량 합성·연속 공정 장비 개발 및 고성능 이차 전지 실리콘계 음극 소재 및 제조 장비 개발을 진행하고 있다.

배터리의 지능형 제어 기술 확보를 통해 발화 지연을

넘어 자가 진단·치유 가능한 이차 전지 제조 기술 개발을 수행하는 것도 시급한 과제이다.

2) 제어 시스템 작동 원리

전기 자동차 제어 기구는 MCU, BMS, LDC, OBC, 회생 제동용 액티브 유압 부스터 브레이크 시스템(AHB: Active Hydraulic Booster), 계기판(cluster), 전자동 온도 조절 장치(FATC: Full Automatic Temperature Control) 등과 협조 제어를 통해 최적의 성능을 유지할 수 있도록 제어하는 기능을 수행한다.

탑재된 고전압 배터리의 전기 에너지로부터 감속기가 장착되어 있고 VCU는 모든 제어기를 종합적으로 제어하는 최상위 마스터 컴퓨터이다.

EV 컨트롤러는 EV의 잦은 가속/감속 및 상승/하강으로 인해 자체 진단 및 고장으로부터의 복구 확장 가능, 그리고 과열 보호, 과전압 및 저전압 보호, 과전류 보호, 단락 보호를 포함한 포괄적인 보호 기능 및 모터 잠금 보호, 제어 장치, 메인 스위치 및 보안 등에 대한 보호를 하고 배터리의 에너지를 절약하기 위해 재생 제어 기능 및 충전당 주행 범위 개선 등을 포함하고 있다. 또한 모터의 속도를 제어하고 에너지를 구현하기 위한 배터리의 출력을 최적화하며 모터의 전압, 전류 및 속도 신호가 감지되면 다음으로 전송된다.

(1) 차량용 제어 유닛(VCU: Vehicle Control Unit)의 주요 기능

VCU의 주요 기능은 구동 모터 토크를 제어하며, 배터리 가용 파워, 모터 가용 파워, 운전자 요구(APS, brake SW, shift lever)를 고려한 모터 토크 지령을 계산한다. 또한 회생 제동을 위한 모터 충전 토크 지령 연산, 회생 제동 실행량을 연산하며 배터리 정보 및 FATC(Full Auto Air/Con) 요청 파워를 이용하여 최종 FATC 허용 파워를 전송하고 배터리 정보 및 차량 상태에 따른 LDC on/off 및 동작 모드를 결정한다.

Cluster 표시로서 구동 파워, 에너지 flow, ECO level, power down, shift lever position, service lamp 및 ready lamp 점등 및 배터리 가용 에너지, 과

거 주행 연비를 기반으로 차량의 주행 가능 거리 표시, center·스마트폰을 원격 제어, 운전자의 작동 시각 설정을 통한 예약 기능을 수행한다.

(2) 구동 모터 제어(MCU: Motor Control Unit)

MCU는 VCU에 필요한 토크 정보를 제공하고 모터의 토크 지령을 인버터를 통해 펄스 폭 변조(PWM: Pulse Width Modulation) 신호로 모터를 구동한다.

BMS는 고전압 배터리의 전압, 전류, 온도, 배터리의 가용 에너지율(SOC: State Of Charge) 값으로 현재의 고전압 배터리 가용 파워를 VCU에게 전달하고, VCU는 BMS에서 받은 정보를 기본으로 하여 운전자의 요구(brake S/W, shift lever)에 적합한 모터의 명령 및 토크를 계산한다.

MCU는 모터가 사용하고 있는 토크와 사용 가능한 토크를 연산하여 VCU에 제공하며, VCU는 전기 자동차의 컴퓨터로서 최종적으로 BMS와 MCU에서 받은 정보를 종합하여 구동 모터에 토크를 명령한다.

그림 1에서와 같이 VCU는 배터리 가용 파워, 모터 가용 토크, 운전자 요구(APS, brake SW, shift lever)를 고려한 모터 토크의 지령을 계산하여 컨트롤러를 제한하며, 배터리 관리 제어(BMC: Battery Menagement Control)는 VCU가 모터 토크의 SOC 정보를 제공받아 고전압 배터리를 관리하고, VCU가 모터 토크의 지령을 계산하기 위한 모터 가용 토크를 MCU에 제공한다.

MCU는 VCU로부터 수신한 모터 토크의 지령을 구현하기 위해 인버터(inverter)에 PWM 신호를 생성하여 모터를 최적으로 구동하는 것을 전제로 한다.

(3) 회생 제동 제어

AHB(Active Hydraulic Booster) 시스템은 운전자의 요구 제동량을 BPS(Brake Pedal Sensor)로부터 받아 연산하여 이를 유압 제동량과 회생 제동 요청량으로 분배하며, VCU는 각각의 컴퓨터, 즉 AHB, MCU,

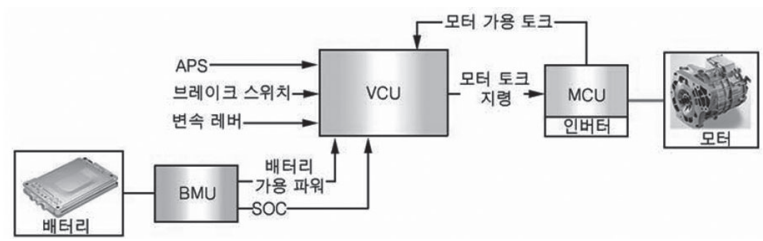


그림 1 구동 모터 제어

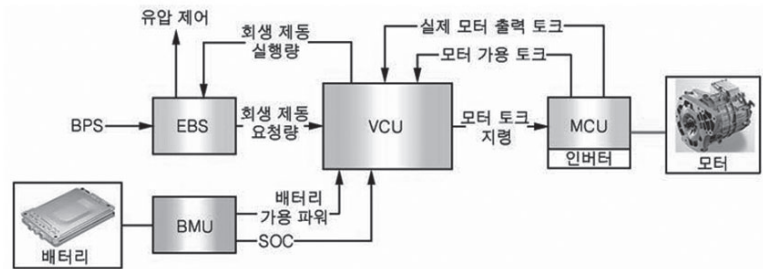


그림 2 회생 제동 제어

BMU와 정보 교환을 통해 모터의 회생 제동 실행량을 연산하여 MCU를 이용하여 최종적으로 모터 토크를 제어한다. AHB 시스템은 회생 제동 실행량을 VCU로부터 받아 유압 제동량을 결정하고 유압을 제어한다.

회생 제동 제어 원리를 살펴보면, 배터리로부터 BMS(배터리 관리 시스템)를 거쳐 VCU(차량 제어 유닛)로 배터리 가용 파워 및 SOC(충전 상태)를 VCU(차량 컨트롤 유닛)로 보내어 모터에 토크 지령을 내리면 모터와 인버터는 모터 가용 토크와 실제 모터 출력을 VCU로 보내 적정 토크로 모터가 제어할 수 있게 한다(그림 2). 또한 VCU는 EBS(전자 브레이크 시스템)로부터 회생 제동 요청량의 입력 신호를 받아 회생 제동 실행량을 전자 브레이크에서 유압을 통해 실행하도록 하고 일부 에너지는 모터로 보내 전기 에너지를 충전할 수 있도록 한다. AHB, VCU, BMS, MCU의 기능을 요약하면 다음과 같다.

- ① AHB: BPS(Brake Pedal Sensor)로부터 받은 운전자의 요구 제동 연산값으로 유압 제동량과 회생 제동 요청량으로 분배하고 VCU로부터 회생 제동 실행량을 모니터링하여 유압 제동량을 보정한다.
- ② VCU: AHB의 회생 제동 요청량, BMU의 배터리

가용 파워 및 모터 가용 토크를 고려하여 회생 제동 실행한다.

③ BMS: 배터리 가용 파워 및 SOC 정보를 제공한다.

④ MCU: 모터 가용 토크, 실제 모터의 출력 토크와 VCU로부터 수신한 모터 토크 지령을 구현하기 위해 인버터 PWM 신호를 생성하여 모터를 제어한다.

(4) 고전압 배터리 제어 시스템(BMS)

고전압 배터리 컨트롤 시스템은 컨트롤 모듈인 BMS와 파워 릴레이 어셈블리(PRA: Power Relay Assembly)로 구성되며, 고전압 배터리의 SOC(State Of Charge), 출력, 고장 진단, 배터리 셀밸런싱(cell balancing), 시스템 냉각, 전원 공급 및 차단을 제어한다. 파워 릴레이 어셈블리는 메인 릴레이(+, -), 프리차지 릴레이, 프리차지 레지스터, 배터리 전류 센서, 고전압 배터리 히터 릴레이로 구성되어 있으며, 부스바(busbar)를 통해서 배터리 팩과 연결된다.

SOC(배터리 충전율)은 배터리의 사용 가능한 에너지를 표시하고 $SOC = (\text{방전 가능한 전류량} \div \text{배터리 정격 용량}) \times 100\%$ 로 평가한다. 고전압 배터리 제어 시스템(BMU)에서 셀 모니터링 유닛(CMU: Cell Monitoring Unit)은 각 고전압 배터리 모듈의 측면에 장착하고, 각 고전압 배터리 모듈의 온도, 전압, 화학적 상태(VDP: Voronoi-Dirichlet Partitioning)를 측정하여 BMU(Battery Management Unit)에 전달하는 기능을 한다.

(5) 고전압 배터리팩 어셈블리의 기능

고전압 배터리팩 어셈블리는 크게 배터리와 안전 플러그 및 BMS로 구성되며 안전 플러그는 기계적 분리를 통해 내부의 회로 연결을 차단하여 긴급 상황에 대처할 수 있도록 하고 있다.

고전압 배터리는 수십 개의 셀이 직렬로 연결되어 있으며, BMS 내부에서 배터리셀 전압을 센싱하여 BMS가 셀 균형을 안전하게 유지하도록 만들어 준다. 또한 BMS는 전원 회로와 급속 충전제 회로, 완속 충전 제어 회로 및 CAN 통신을 포함하고 있으며, 전원 회로는 모

터를 퓨즈와 릴레이 박스로 이그니션, 배터리 및 접지 전원으로 연결되어 있다.

BMS의 급속 충전 제어 시스템은 급속 충전 단자와 연결되고 완속 충전 제어 시스템은 완속 충전기와 연결되어 있으며 BMS에는 캔(CAN: Controller Area Network) 통신망이 접속되어 있다.

배터리는 BMS와 밀접한 관계를 가지며 각 배터리에 온도 센서를 부착하여 배터리 온도를 저온이나 고온으로부터 적정 온도를 유지할 수 있도록 BMS를 통해 제어한다. BMS에 속해 있는 냉각판 제어는 냉각판을 통해 배터리 온도를 정상으로 유지하기 위해 쿨링팬과 쿨링팬 릴레이와 함께 연결되어 있다.

또한 BMS 내부의 급속 충전 릴레이 제어는 고전압 조인트 박스의 고전압 릴레이와 연결하여 고전압을 제어하며, 파워릴레이 어셈블리의 고전압 릴레이와 연결되어 파워 릴레이를 제어하고 전류 센서 및 승온 히터 릴레이와 결합되어 전류 센싱 및 승온 히터 릴레이 제어를 한다.

고전압 배터리팩 어셈블리의 배터리 충전율(SOC) 제어는 그 목적이 전압·전류·온도 측정을 통해 SOC를 계산하여 SOC 영역으로 제어하는 데 있다. 배터리 출력 제어는 그 목적이 시스템 상태에 따른 입·출력 에너지 값을 산출하여 배터리 보호, 가용 파워 예측, 과충전·과방전 방지, 내구 확보 및 충·방전 에너지를 극대화하는 데 있다.

(6) 클러스터 제어

램프 점등 제어를 하며 VCU는 하위 제어기로부터 받은 모든 정보를 종합적으로 판단하여 운전자가 쉽게 알 수 있도록 클러스터 램프 점등을 제어하고 시동키를 on하면 차량 주행 가능 상황을 판단하여 'ready' 램프를 점등하도록 클러스터에 명령을 내린다. 시스템은 운전자의 요구 제동량을 BPS(Brake Pedal Sensor)로부터 받아 연산하여 이를 유압 제동량과 회생 제동 요청량으로 분배한다.

가) 클러스터 제어 원리

주행 가능 거리(DTE: Distance To Empty) 연산 제어

- ① VCU: 배터리 가용에너지 및 도로 정보를 고려하여 DTE를 연산
- ② BMU: 배터리 가용 에너지 정보를 이용
- ③ AVN: 목적지까지의 도로 정보를 제공하며, DTE를 표시
- ④ Cluster: DTE를 표시

나) 클러스터 연산 제어

그림 3 에서 클러스터 제어는 BMS가 배터리 가용 에너지 정보를 주행 거리 연산(DTE: Distance To Empty) 제어에 제공하면 DTE는 연비 예측 기능을 수행하여 잔존 거리를 클러스터와 AVN 화면에 나타나도록 한다.

또한 FATC(자동 온도 조절 장치)도 공조기를 통해 온도 정보를 DTE에 보내 클러스터와 AVN 화면에 나타나도록 한다. AVN이란 고성능 멀티미디어 시스템으로서 경로 정보를 DTE에 보내 잔존 주행 거리를 클러스터와 AVN 화면에서 나타나도록 한다.

3) 맺음말

전기 자동차 제어 기술은 전기 자동차의 성능과 에너지 효율을 향상하고 주행 중 위험 요소를 제거하여 안전성을 확보하기 위해 가장 필요한 요소이다. 제어 기술을 통해 전기 자동차의 주요 문제점인 배터리 열화 문제, 주행 패턴 문제 해결 및 자율주행에 필요한 요소들을 신속히 보유할 수 있고 다양한 기술을 접목하여 차량 시스템의 안정화를 추구할 수 있다. 통신 및 첨단 안전 기술의 적용 및 셀모니터링 기술의 선진화, AI 기술을 도입한 자율주행 시스템, 차량의 고장 진단 분석 능력 확보, 배터리의 에너지를 절약하기 위한 재생 제

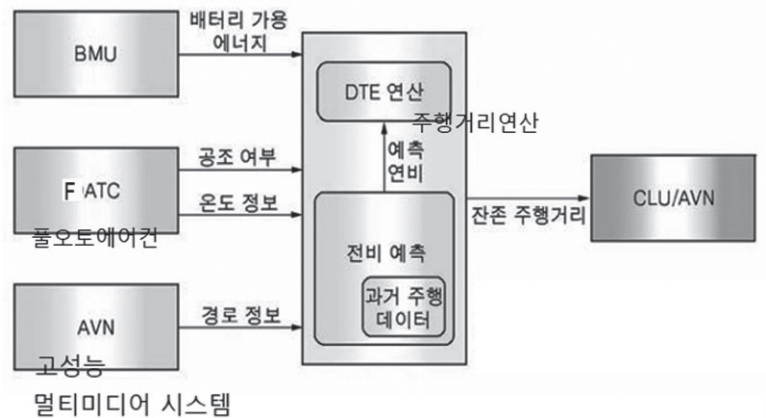


그림 3 주행 가능 거리 연산 제어

어 기능 및 충전당 주행 범위의 개선 등의 장점을 추구할 수 있다.

특히 현재의 전기 차량 기술에서 BMS 기술은 배터리 과열 문제를 해결하기 위한 우선 과제라 할 수 있고 이러한 문제를 해소하기 위한 첨단 BMS 제어 기술을 연구 개발하여야 한다.

현재의 모터 기술은 고속 운행 시 매우 높은 전류에 의해 발생하는 열에 의해 출력 감소, 효율 저하 및 수명 감소를 야기하며, 배터리의 경우 겨울철 낮은 온도에 에너지 효율이 급격하게 감소하는 문제를 개선하기 위해 제어를 통한 온도 조건 개선 등이 전기 자동차의 취약점을 개선할 수 있는 방법이라 할 수 있다.

전기 자동차의 전압, 전류, 온도 및 모터의 속도 문제를 최적화시키는 기술은 각 요소에 적합한 지능형, 또는 퍼지 제어를 통해 입력 요소와 출력 요소를 충분히 고려하여야 할 것이다.