

논문 2022-17-11

전기자동차 시스템 모델링 및 주행 환경에 따른 배터리 응답 특성 연구

(Battery Response Characteristics According to System Modeling and Driving Environment of Electric Vehicles)

추용주, 박준영, 박광민, 이승엽*

(Yong-Ju Chu, Jun-Young Park, Gwang-Min Park, Seung-Yop Lee)

Abstract : Currently, various researches on electric vehicle battery systems have been conducted from the viewpoint of safety and performance for SoC, SoH, etc. However, it is difficult to build a precise electrical model of a battery system based on the chemical reaction and SoC prediction. Experimental measurements and predictions of the battery SoC were usually performed using dynamometers. In this paper, we construct a simulation model of an electric vehicle system using Matlab Simulink, and confirm the response characteristics based on the vehicle test driving profiles. In addition, we show that it is possible to derive the correlation between the SoC, voltage, and current of the battery according to the driving time of the electric vehicle in conjunction with the BMS model.

Keywords : Electric Vehicle, Battery, Battery Management System (BMS), Driving Profile

I. 서론

전세계적인 탄소중립정책으로 인해, 자동차 제조업의 생산 환경 및 판매 시장이 빠르게 변화하고 있다. 특히 현행 탄소중립정책은 내연기관의 퇴출을 앞당기고 있으며, 자동차 시장은 친환경 차량 중심으로 빠르게 재편되고 있다. 이에 따라서 전기자동차의 개발 수요가 빠르게 증가하고 있으며, 소비자의 고성능, 주행거리, 낮은 유지비에 대한 요구도 증가하고 있다. 특히, 전기자동차의 핵심 부품인 배터리는 사용 기간, 거리, 안전 등 기존 내연기관 자동차에 비해서 추가적으로 고려할 요소가 많은데, 배터리는 전기화학적 반응에 따른 전류, 전압, SoC 거동을 보이는 특성 때문에 용량, 수명, 출력 등에 대한 예측이 쉽지 않다.

기존에 학계에서 배터리에 관한 다양한 연구를 진행하였으나, 성능과 수명을 높은 정확도로 예측하는 것이 어려웠다 [1]. 이를 보완하기 위해 인공지능 기반의 알고리즘을 이용한 배터리 성능 및 수명 예측 연구도 진행된 바 있으나, 전기자동차와 같은 동적 시스템 환경에서는 고려되지 않았다 [2]. 배터리 관련 초기 연구는 대부분 태양광, 풍력 ESS 등과 같은 정적인 시스템에 대한 접근이었다 [3, 4].

전기자동차와 같은 동적 시스템이 적용되는 분야는 배터리의 잔존용량 (State of Charge, 이하 SoC로 칭함), 잔존수명

(State of Health, 이하 SoH로 칭함), 잔존사이클 (State of Life Cycle, 이하 SOL로 칭함)과 같은 예측을 위해서 다양한 영향 인자를 파악해야 하는데, 시스템의 접근난이도, 관심 인자의 상관관계, 소요 비용 및 시간 등에 따른 문제로 정확한 배터리 성능 예측이 이루어지기 위해 고려할 요소가 다양함에 따라 영향인자 파악이 쉽지 않다 [5].

따라서, 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하고자 Matlab Simulink를 활용하여 반복적인 시뮬레이션 환경에서 전기자동차 주행에 따른 배터리 충·방전 상태 및 전기적 거동을 살펴보았다. 또한, 배터리 SoC에 영향을 줄 수 있는 주행 프로파일과 전압, 전류, 감소율에 대해서, 자동차 시스템 모델과 BMS 중심의 관리 시스템에 대해서 고찰하였다.

II. 전기자동차 시스템 모델링

1. 전기자동차 파워트레인 모델

본 논문에서는 Matlab Simulink 기반으로 전기자동차에 대한 시스템 모델링을 수행하였다. 하기의 그림 1과 같이 전기자동차의 구성은 주행 프로파일, 모터, 배터리, 간소화 차량 세시 모델 및 열관리 시스템으로 구성하였다. 본 논문과 같이 물리 시스템 요소를 연결함으로써 멀티도메인 물리 시스템을 구성할 수 있고, 이를 통해 주행 프로파일에 따른 배터리 충·방전 거동을 시뮬레이션할 수 있다.

본 논문에서는 H사의 EV를 기준으로 시스템 모델을 하기의 표 1과 같은 최소한의 사양으로 구성하였다. 차량에 대한 상세한 사양을 반영하면 시뮬레이션의 높은 정확도를 얻을 수 있는 반면, 제어 파라미터가 높아짐으로써, 시스템 복잡도

*Corresponding Author (sylee@sogang.ac.kr)

Received: Jan. 10, 2022, Revised: Feb. 14, 2022, Accepted: Mar. 15, 2022.

Y.J. Chu: Shinhan University (Assoc. Prof.)

J.Y. Park: Sognag University (M.S. Student)

G.M. Park: Korea Automotive Technology Institute (Ph.D.)

S.Y. Lee: Sognag University (Prof.), Bluefocus Co. Ltd. (CEO)

* 본 논문은 한국교통안전공단 첨단자동차검사연구센터 첨단연구개발처, 및 신한대학교 학술연구비에서 지원하여 연구하였음.

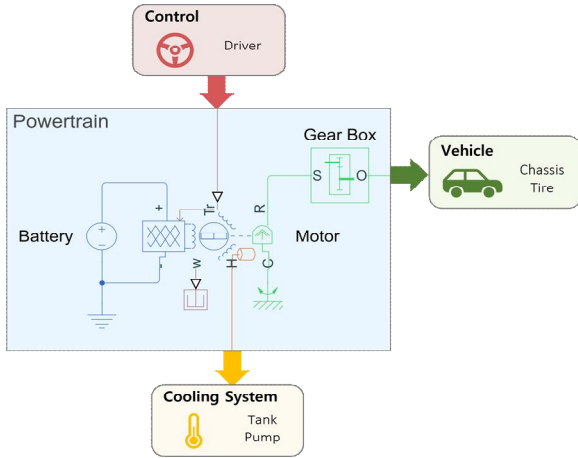


그림 1. 전기자동차 구성 모델
Fig. 1. Modified Electric Vehicle Model

표 1. 전기자동차 제원

Table 1. Applied Specification of Electric Vehicle

	EV(2021)
Mass(kg)	1,685
Tire Size(inch)	17
Battery Capacity(kWh)	64
Motor Max Power(kW)	150
Motor Max Torque(Nm)	395
Gear Ratio	7.981

가 높아져 오히려 정확도가 낮아지는 경향이 있다 [6].

따라서, 본 논문에서는 전기자동차의 기능 및 부하에 대한 모델을 중심으로 최소화하였다.

본 논문에서는 탑승자 2명을 포함한 1,800kg으로 설정하고, 모터와 배터리에 대해서는 싱글모드에 상수값으로 설정하였다. 차량의 부하 모드 프로파일은 FTP-72 (Federal Test Procedure-72), Highway (80kph 이상), FTP-75 (Federal Test Procedure-75), NYCC (New York City Cycle), US06 으로 5가지로 선정하였고, 이에 따른 SoC 상태 및 거동에 대한 결과를 비교 분석하였다.

차량의 주행 환경 구성 요소로 노면 마찰 및 노면 경사에 따른 중력을 포함하였다. 일반적으로 타이어 마찰력이 최대가 되는 슬립율은 노면 마찰 계수에 의해서 0.02 ~ 0.1까지 변화하며, 하중에 의해서는 0.02 ~ 0.2까지 변화한다. 본 논문에서는 일반도로에 해당하는 0.1로 상수를 설정하였다 [7].

이에 따라 노면과 차량 간 상대 속도의 영향으로 3가지 마찰 모델이 결합된 하기와 같은 식 (1)에 따라 차량에 인가 되는 항력은 하기와 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \sqrt{2e} (F_{brk} - F_C) \cdot \exp\left(-\left(\frac{v}{v_{st}}\right)^2\right) + F_C \cdot \tanh\left(\frac{v}{v_{Coul}}\right) + fv. \tag{1}$$

F : Friction Force
 F_C : Coulomb Friction,
 F_{brk} : Breakaway Friction,
 v_{brk} : Breakaway Friction Velocity,
 v_{st} : Stribeck Velocity Threshold,
 v_{Coul} : Coulomb Velocity Threshold,
 v : Relative Velocity,
 f : Viscous Friction Coefficient

2. 차량 주행 프로파일

본 논문에서 차량 주행에 따른 배터리의 전기적 거동을 살펴보기 위해서 반복적으로 인가할 주행 시나리오 정의가 필요하다. 본 논문에서는 Simulink 모델을 상기의 그림 2와 같이 정의하였으며, 현재 속도와의 오차를 산출해 PID제어를 통해 모터에 요구되는 토크 정보를 출력할 수 있도록 구성하였다.

3. 전기자동차 열관리 모델

본 논문에서는 전기자동차 배터리에 대한 열관리 모델을 포함하고 있다. 전기자동차 주행 관점에서 열관리 모델을 하나의 상수로 정의할 수 있다. 그러나 Simulink 모델을 구성함에 있어, 파워트레인 운용에 따른 열적 거동을 고려할 때, 간단한 피드백제어가 필요하다.

본 논문에서는 일반적으로 파이프와 펌프, 탱크로 구성된 열관리 모델로 간소화하였다. 이를 통해서 시뮬레이션 중에 열적 특성에 따른 열교환 열량이 산출되며, 경고 및 정지를 실현할 수 있다.

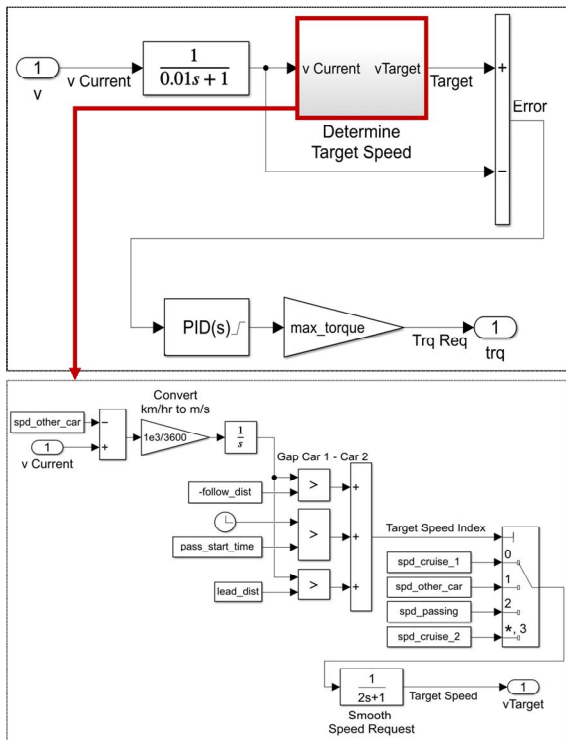


그림 2. 주행 시나리오 블록 선도
Fig. 2. Block Diagram of Driving Scenario

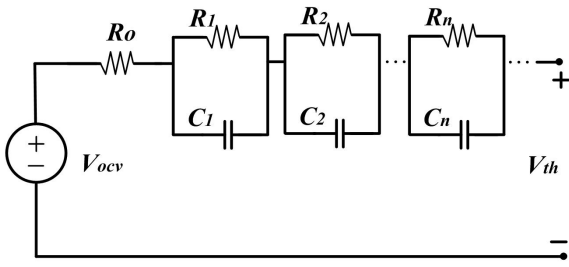


그림 3. 배터리의 전기등가회로
Fig. 3. Electric Equivalent Circuit in Electric Vehicle

III. BMS를 모사한 배터리 시스템

1. 배터리 등가회로 모델

앞서 설명한 바와 같이 배터리는 화학반응으로 작동하고 비선형특성을 가지고 있어, 간단한 모델로 접근이 어렵다. 따라서 이에 대한 다양한 모델이 있으나, 본 논문에서는 가장 일반적인 전기적 등가회로 모델 (ECM)을 적용하였다. 그림 3과 같이 등가회로 모델은 배터리의 입·출력 특성에 대한 모델이며, 간단한 구성으로 변화를 줄 수 있는 모델이다. 그림 3에서 개방 전압 (Open Circuit Voltage, 이하 ‘OCV’라 칭함), 내부저항, 등가 저항, 캐패시터로 구성하고, 다음과 같은 식 (2)으로 나타낼 수 있다 [8].

$$OCV(i(t)) = v(t) + v_c(t) + R_0 i(t). \quad (2)$$

상기 그림 3의 등가회로에서 $i(t)$ 는 일정함으로, 배터리에 인가되는 전류는 $i(t)$ 식 (3)으로 나타낼 수 있으며, 배터리의 동적 거동에 해당하는 $v_c(t)$ 는 식 (4)으로 표현할 수 있다.

$$i(t) = \frac{1}{R_1} v_c(t) + C_1 \frac{d}{dt} v_c(t), \quad (3)$$

$$v_c(t) \frac{d}{dt} = -\frac{1}{R_1 C_1} v_c(t) + C_1 i(t). \quad (4)$$

2. 배터리 팩 모델

일반적으로 배터리 팩은 여러 배터리 셀이 직렬로 연결되어 있는 구조로, 낮은 전압의 개별 셀들의 직렬 연결을 통해 전기자동차 구동에 필요한 고전압을 생성한다.

본 논문에서 하기의 그림 4와 같이 Matlab社에서 제공하는 배터리 팩 모델을 사용하였다. Matlab社에서 제공하는 배터리 팩은 16개의 배터리 모듈을 결합한 모델이며, 실제 배터리의 용량, 전압, 내부저항, 최대 허용전류, 허용전압과 같은 값들에 대한 한계치를 입력할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 시뮬레이션을 위해서 H社 EV에 장착된 배터리의 사양 (OCV, 용량, 개수 등)을 파라미터로 입력하였다.

이와 같이 구성한 이유는 차량 주행 프로파일의 배터리의 충·방전 성능에 대한 영향도를 살펴보기 위함이다. 따라서, 보다 정확한 예측을 위해서 배터리 제원을 반영할 수 있으며, 현실적인 파라미터 입력을 통해 배터리 BMS와 온도, 전류,

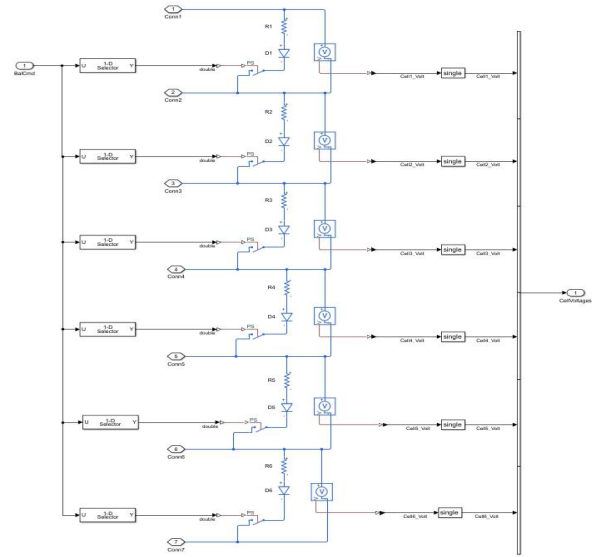


그림 4. 매트랩 시뮬링크 배터리 팩 모델
Fig. 4. Battery Pack Model by Matlab Simulink

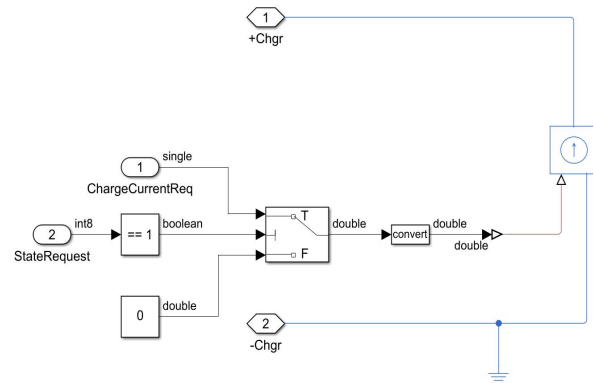


그림 5. 배터리 충전 모듈 회로
Fig. 5. Charge Module Circuit in Battery

전압 변화와 같은 내부적인 요소에 대해서 확인할 수 있다.

즉, 배터리의 개수, 용량, 전압 등과 같은 상세 사양에 관한 정보를 반영하여, 본 차량 주행에 따른 SoC, 전압, 전류 변화를 확인하는데, 최소한의 파라미터로 동적 거동을 확인할 수 있도록 모델을 구성하였다.

3. 배터리 충·방전 모듈

일반적으로 전기자동차 배터리 충전기와 배터리팩에 전력 인가를 위한 인버터 회로가 배터리 충·방전 모듈에 구성되어 있다. 본 모델에서는 이를 모사하기 위해 임의로 충·방전 모듈을 구성하였다. 배터리 구동 상황에 따라 구동 상태 정보가 충·방전 모듈로 전달되어 충전 또는 방전 모듈만이 활성화되는 스위칭 방식으로 작동한다. 이에 따라, ECU 시스템의 최대 전력 제한 모듈에서 출력된 충방전 제한 전류 정보에 기반해 이를 초과하는 전류가 발생할 때 마다, 제한 전류 수준으로 감소시킨다.

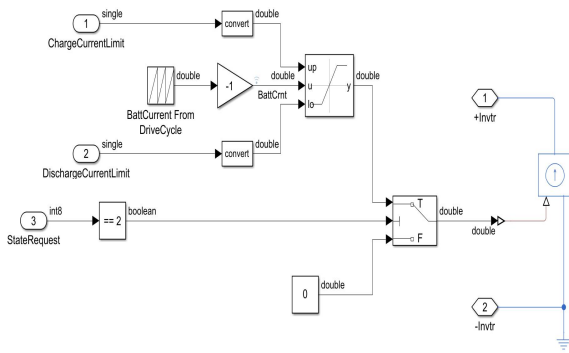


그림 6. 배터리 방전 모듈

Fig. 6. Discharge Module Circuit in Battery

본 논문에서는 그림 5와 같이 충전 모듈에 대한 회로를 구성하였다. 전기자동차가 충전 상황일 때, 배터리 상태, 충전 요구 전류 정보만을 입력받는 단순화된 시스템이다.

배터리 방전 모듈은 전기자동차가 운행될 때 활성화된다. 배터리 방전 모듈은 상기의 그림 6과 같이 충전 모듈과 구조가 동일하나, 배터리 부하 전류 주기가 정의된 시계열 데이터가 내부 구성요소로 포함되어 있다.

본 논문에서는 전류 부하에 대한 시계열 데이터로 표준도로 주행 프로파일인 FTP-72를 사용하여 구현하였다. 여기에서 FTP-72는 24°C 환경에서 평균속력 32kph, 최고 속력 91kph의 속도 프로파일로 정의된다.

IV. 전기자동차 시뮬레이션 통합 모델링

1. 전기자동차와 배터리 BMS 통합 플랫폼

일반적으로 배터리 성능 예측 모델 및 전기자동차 물리 모델을 통해 배터리 성능 예측 및 전기자동차 거동에 대한 분석은 가능하나, 각각의 독립된 형태로 구동되기 때문에 정확한 예측 범위에 한계가 있다. 배터리 성능 예측 모델의 경우, 주행 시나리오를 부하로 볼 때, 부하 변이, 노면 기울기 조건 등 차량의 변칙적인 주행 환경이 고려되지 않기 때문에 현실성이 떨어지는 경향이 있다. 또한, 전기자동차 물리 모델의 경우, 배터리의 모델이 단순한 전력 공급 차원의 1차원 또는 상수로 모델링 되기 때문에 BMS와 같은 부분이 고려되지 않는다 [9]. 따라서 전기자동차 주행 시나리오 및 환경에 따른 모터, 배터리 동적 모델을 반영할 수 있는 전기자동차 배터리 통합 성능 예측 모델 구축이 필요하다.

본 논문에서는 하기의 그림 7과 같이 BMS 시뮬레이션 배터리 모델이 구성되고, 전류·전압 서브시스템을 전기자동차 물리 모델의 주행에 따른 모델과 연동함으로써, 복합 환경 예측 모델을 구성하였다. 이와 같은 통합 모델은 전기자동차 및 배터리 제원에 대한 입력을 통해 실차 모델 성능 확인 및 주행 환경 정의에 따른 실제 주행 환경에 대한 BMS 성능을 예측할 수 있다.

그림 7과 같이 BMS 모델에서 전달되는 배터리 상태, 충·

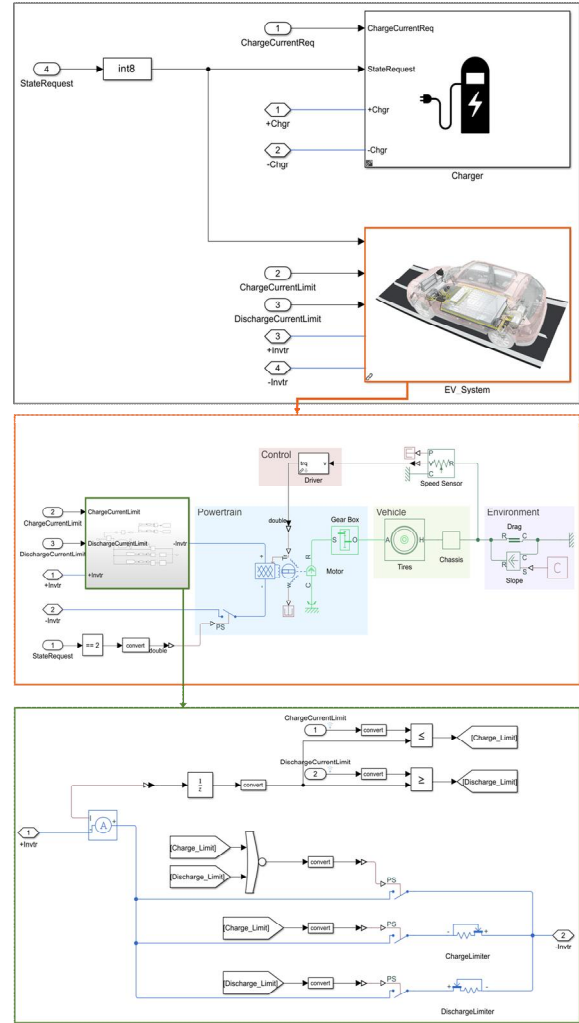


그림 7. 전기자동차 및 배터리 BMS 통합 모델 시스템

Fig. 7. Electric Vehicle & Battery Integrated Model System

방전 전류 제한 정보 등은 기존 단일 모델과 동일하다. 차량 주행에 따른 방전 모듈은 전기자동차 물리 모델로 적용함으로써 전기적 신호 변화와 연동을 할 수 있다.

한 정의된 전류 프로파일에 따라 전류 부하를 생성하고, BMS 알고리즘에 따라 방전 전류를 제한하던 기존 방전 모듈의 기능을 재현하기 위해서 전류 제한 회로를 구성하였다.

그리고 BMS 모델의 ECU 시스템으로부터 충방·전 전류 제한값을 전달받아 한계치를 확인하고, NOR게이트 및 릴레이를 활용하여 전류 제한 블록 (Current Limiter Block)을 활용해 전류 제한을 제어할 수 있도록 구성하였다.

2. 전기자동차 거동 예측을 위한 주행 프로파일

본 논문에서는 하기의 그림 8과 같이 전기자동차 주행 상황에 대한 제어는 부분은 전기자동차 시스템 모델에서 제어하고, 배터리 부분은 기존의 BMS 모델과 연동했다.

전기자동차 주행 프로파일은 앞절에서 언급한바와 같이 FTP-72, HWFET 프로파일을 적용하였다. 따라서, 주행 프로파일을 적용할 수 있도록 주행 시나리오에 프로파일을

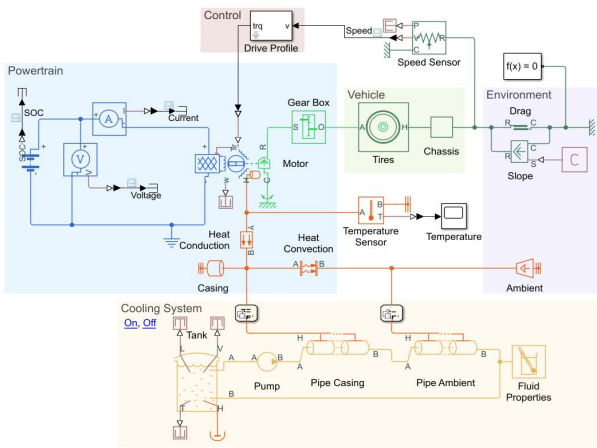


그림 8. 전기자동차 제어 플랫폼
Fig. 8. Electric Vehicle Control Platform

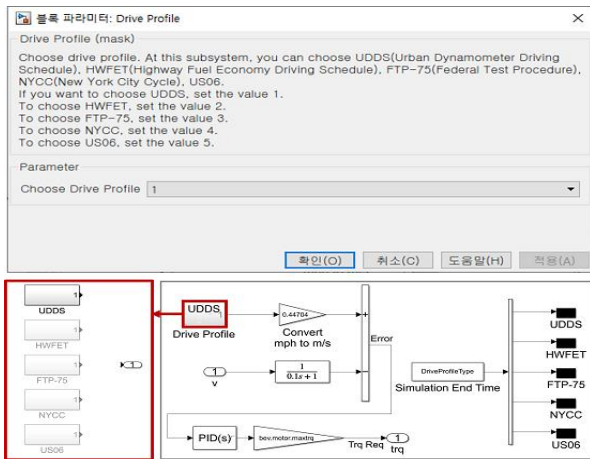


그림 9. 주행 시나리오 입력부
Fig. 9. Driving Scenario Input Part

입력할 수 있도록 상기의 그림 9과 같이 구성하였으며, 해당 주행 프로파일에 있어서 요구되는 속도값과 현재 속도의 오차에 대한 PID제어를 통해 모터에 요구되는 토크가 출력될 수 있도록 하였다.

V. 주행 프로파일에 따른 결과

본 논문에서는 표 2와 같이 일반적으로 주행 적용하는 주행 프로파일 FTP-72, 고속도로 주행 상황을 가정한 HWFET, FTP-72의 변형 프로파일인 차량 예열 후, 출발하는 상황을 가정한 FTP-75, 뉴욕과 같은 도심 시가지 상황을 가정한 NYCC, FTP-75의 급격한 속도 변동에 의한 공격적인 주행을 가정한 US06이다 [10]. 본 논문에서 사용하는 주행 거동을 확인할 때, 사용하는 프로파일은 일반적인 자동차 주행에서 도심, 고속도로까지 주행 환경에 대한 시간에 따른 전류, 전압, SoC 거동을 확인하여, 전기자동차 BMS, 배터리 SoC 동적 거동에 대해서 고찰하였다.

표 2. 시뮬레이션 적용 주행 프로파일
Table 2. Driving Profiles Applied in Simulation

Profile	Average Speed (kph)	Maximum Speed (kph)	Distance (km)	Driving Environment
FTP-72	31.5	91.25	12.07	Downtown
HWFET	77.7	96.6	16.45	Highway
FTP-75	34.12	91.25	17.77	Variations of FTP 72
NYCC	11.4	44.6	1.89	New York City
US06	77.9	129.2	12.8	Variations of FTP 75

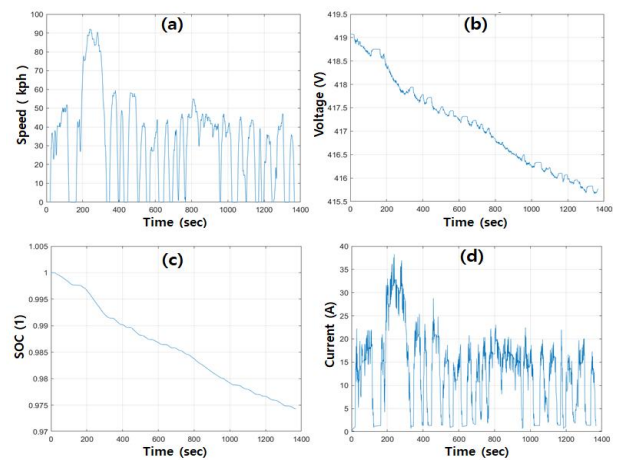


그림 10. FTP-72에 따른 시뮬레이션 결과.
(a) 입력 프로파일, (b) 전압, (c) SoC, (d) 전류
Fig. 10. Simulation Results According to FTP-72.
(a) Input Profile, (b) Voltage, (c) SoC, (d) Current

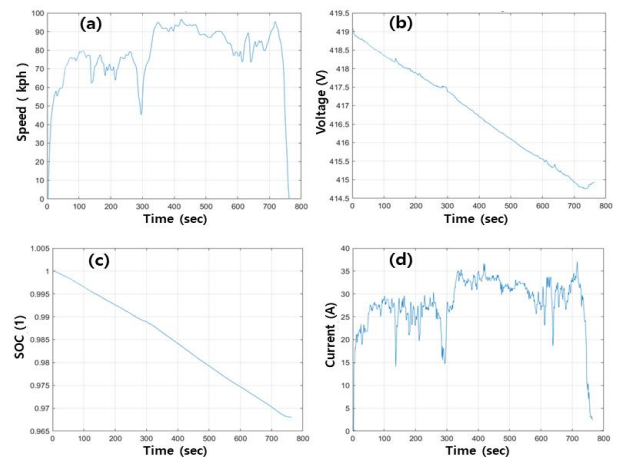


그림 11. HWFET에 따른 시뮬레이션 결과.
(a) 입력 프로파일, (b) 전압, (c) SoC, (d) 전류
Fig. 11. Simulation Results According to FTP-72.
(a) Input Profile, (b) Voltage, (c) SoC, (d) Current

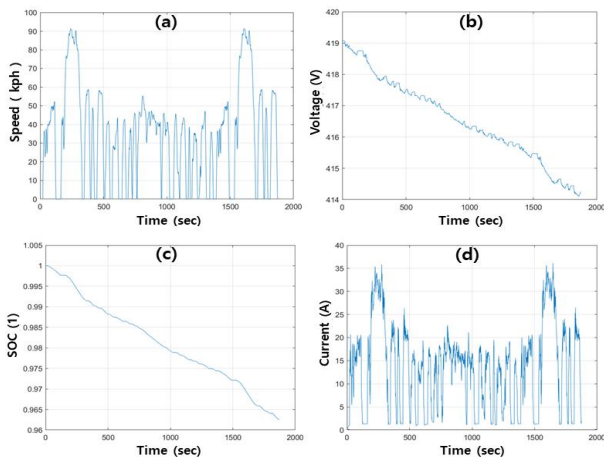


그림 12. FTP-75에 따른 시뮬레이션 결과.
 (a) 입력 프로파일, (b) 전압, (c) SoC, (d) 전류
 Fig. 12. Simulation Results According to FTP-72.
 (a) Input Profile, (b) Voltage, (c) SoC, (d) Current

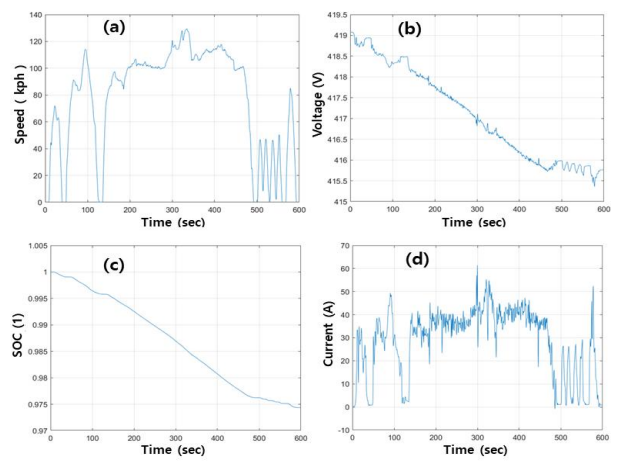


그림 14. US06에 따른 시뮬레이션 결과.
 (a) 입력 프로파일, (b) 전압, (c) SoC, (d) 전류
 Fig. 14. Simulation Results According to FTP-72.
 (a) Input Profile, (b) Voltage, (c) SoC, (d) Current

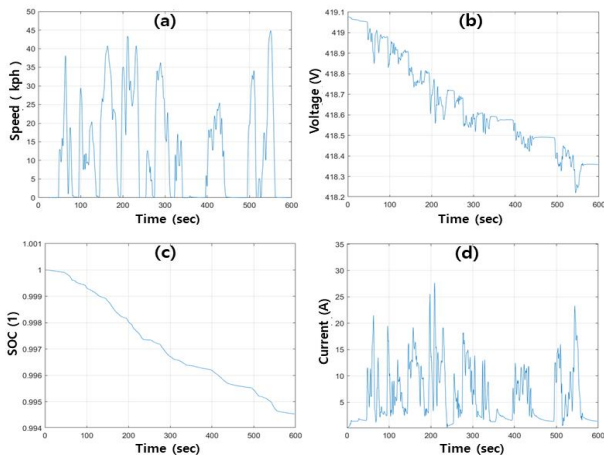


그림 13. NYCC에 따른 시뮬레이션 결과.
 (a) 입력 프로파일, (b) 전압, (c) SoC, (d) 전류
 Fig. 13. Simulation Results According to FTP-72.
 (a) Input Profile, (b) Voltage, (c) SoC, (d) Current

본 논문에서는 각각의 프로파일에 따른 거동은 하기의 그림 10~14와 같이 경사도 5% 기준의 주행 특성을 포함하는 거동을 확인할 수 있다.

본 논문의 그림 10~14까지 확인할 수 있듯이 전압과 SoC의 동적 거동이 동일한 경향성을 보이는 것을 확인할 수 있으며, 주행 모드에 따른 전류 변화도 동일한 패턴을 보이는 것을 확인할 수 있다. 또한, 표 3에서 확인할 수 있듯이 FTP-72와 같이 차량의 운행에 있어서 가장 많은 시간을 차지하는 도심주행과 경사도 상관관계에서 SoC의 감소경향을 반영하고 있음을 확인할 수 있다.

본 통합 모델 시뮬레이션 결과가 실차 주행 결과를 추종할 수 있는지에 대한 검증은 진행하였다. 이를 위해 H社의

표 3. FTP-72에서의 경사도에 따른 평균 부하 전류 및 최종 SoC
 Table 3. Average Load Current and Final SoC as a Function of Slope in FTP-72

Slope (%)	Average Current (A)	SoC (%)
0	40	99.2
10	20.9	96.0
20	44.6	91.3
30	74.6	85.3
40	110.6	78.0
50	149.8	69.6

EV를 세시 동력계 (AVL社의 ZOLLNER)에서 FTP-72 주행 프로파일을 적용하여 구동시킴으로써 실차 주행 결과를 확보하였으며, 주행 시간에 따른 배터리 팩의 전압, 전류, SoC 정보를 OBD (On-Board Diagnostics, 온보드 진단기)를 통해 획득하였다. 실차 주행 결과를 활용하여 그림 15와 같이 비교하였다.

하기의 그림 15와 같이 시뮬레이션 결과와 실차 주행 결과 간 차이가 존재함을 확인할 수 있으며, 해당 오차는 회생 제동 기능의 부재로 판단된다. 즉, SoC에서 확인할 수 있듯이 시뮬레이션 데이터가 실차 주행 데이터와 유사한 경향성으로 감소하나, 속도가 감소하는 구간에서 회생 제동에 의해 배터리가 충전되지 않아 SoC 오차가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 배터리 팩 부하 전류에 있어서 회생 제동 기능의 부재에 따라, 배터리 팩으로 전류가 유입됨을 의미하는 마이너스 부호의 전류가 생성되지 않는 것을 확인할 수 있다. 따라서 실차 주행에서 발생하는 배터리 팩 부하 전압의 큰 변동성이 통합 모델 시뮬레이션 결과에선 나타나지 않아, SoC 감소에 따라 전압이 완만하게 감소하는 양상이 드러났다.

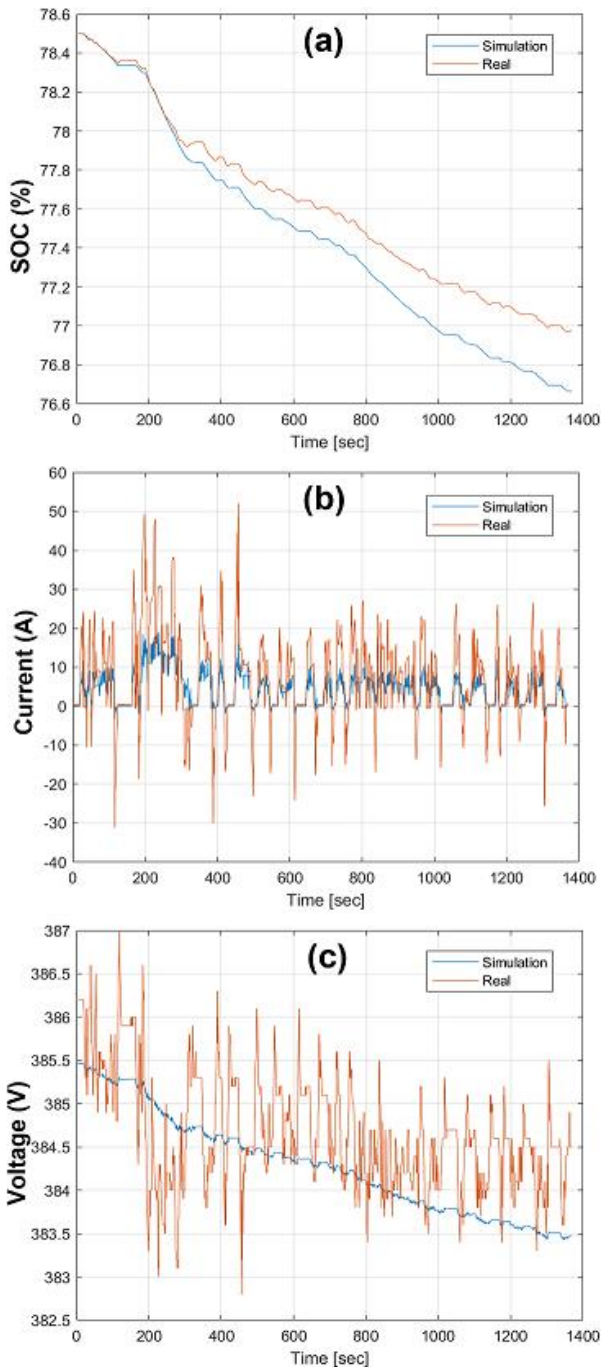


그림 15. FTP-72에 따른 시뮬레이션 및 실차 데이터 비교.
(a) SoC, (b) 전류, (c) 전압

Fig. 15. Comparing Simulation and Real Data According to FTP-72 Profile.

(a) SoC, (b) Current, (c) Voltage

그러나 SoC 및 부하 전류의 변동 경향성이 실 차 주행과 유사하며, 본 시스템의 시뮬레이션 오차는 회생 제동 기능을 구현함으로써 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

VI. 결론

향후, 전기자동차 수요는 빠르게 증가할 것으로 예상된다. 하지만, 내연기관과 같은 엔진 중심의 주행 성능 평가 기법을 적용하기에는 어려움이 있다.

특히, 전기자동차 배터리는 빠르게 세대가 진화하고 있는 핵심 부품이면서 동시에, 에너지를 담당하는 부품이다. 따라서, 배터리와 전기자동차 시스템 관점에서 동력계(Dynamo system)와 같은 고가의 장비를 이용하여 동특성을 파악하기에는 시간, 비용, 경쟁사 대응 등과 같은 빠른 대처가 불가능하다.

따라서, 본 논문과 같이 전기자동차 시스템과 배터리의 상관관계, 경향성을 파악할 수 있는 시뮬레이션 시스템을 구성 및 구현함으로써, 적용 가능성을 확인하였다. 또한 본 시스템에 도심주행 및 고속도로 주행 프로파일을 적용하여, 차량 주행에 따른 배터리 SoC, 전압, 전류 관계에 대한 패턴을 확인했다.

또한, 실차 주행 결과와 시뮬레이션 결과를 비교함으로써 본 시스템의 개선 요소를 도출하였다. 본 시스템에 회생 제동 기능을 적용함으로써 실차 주행 데이터를 추종할 수 있을 것으로 예측된다.

향후, 본 시스템을 활용할 수 있는 방향은 다음과 같다. 본 논문에서는 FTP-72와 같은 도심주행과 경사도를 중심으로 시뮬레이션을 시행했다. 이와 같이 다른 주행프로파일을 활용하여 전기자동차 배터리 SoC 경향성 및 패턴 분석에 활용할 수 있다.

또한, 전기자동차의 핵심부품인 배터리, 모터, 인버터와 같은 부품으로 시스템을 확장하여, VILS (Vehicle in the loop system)로 활용이 가능하다. 아울러, 전기자동차 핵심부품들 사이의 전력소비 및 운행 패턴과 SoC 상관관계 도출이 가능하다.

References

- [1] H. Ham, K. Han, H. Lee, "Battery System Modeling for Military Hybrid Electric Vehicle with Fault Simulation," *Energies*, Vol. 6, pp. 5168-5181. 2013
- [2] S. J. Jung and J. W. Hur. "Deep Learning Approaches to RUL Prediction of Lithium-Ion Batteries." *The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. The Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 19, No. 12, pp. 21-27, 2020 (in Korean).
- [3] T. H. Kwon, J. W. Lee, D. M. Ahn, J. K. Ji, "Design of Battery Management Systems by Modelling," *The Korean Institute of Power Electronics Conference*, pp. 101-102, 2021 (in Korean).
- [4] B. JIANG, "Active Cell Balancing Algorithms in Lithium-ion Battery," Thesis in Science, Chalmers University of Technology, 2020.

- [5] I. S. Kim, "The Research on the Modeling and Parameter Optimization of the EV Battery," The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 25, No. 3, pp. 227-234, 2020 (in Korean).
- [6] G. M. Park, S. H. Lee, S. H. Jin, S. H. Kwak, "Modeling and Dynamic Analysis for Electric Vehicle Powertrain Systems," The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 48, No. 6, pp. 71-81, 2011 (in Korean).
- [7] J. S. Kim, "ABS Sliding Mode Control considering Optimum Road Friction Force of Tyre," Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 21, No. 1, pp. 78-85, 2013 (in Korean).
- [8] H. S. Yun, J. H. Lee, B. H. Cho, "Modeling of 36V Lead Acid Battery for the 42V Automotive System Simulation," Proceedings of the Korean Institute of Power Electronics, pp. 205-208, 2004.
- [9] C. Piao, Q. Yu, C. Duan, L. Su, Y. Zhang, "Virtual Environment Modeling for Battery Management System," Vol. 9, No. 5, pp. 1729-1738, 2014.
- [10] <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>

Yong-Ju Chu (추 용 주)



2007 Mechanical Engineering from Korea University (M.S.)

2019 Mechanical Engineering from Sogang University (Ph.D)

Career:

2011~2019 Korea Automotive Technology Institute

2019~2022 Korea Transportation Safety Authority

2022~Professor, Shinhan University

Field of Interests: Electric vehicle and Battery, Robotics, AI

Email: yongju.chu@o.shinhan.ac.kr

Gwang-Min Park (박 광 민)



2007 Mechanical Engineering from Gwangju Institute of Science and Technology (M.S.)

2021 Energy engineering from Kyungpook National University (Ph.D)

Career:

2007~2012 Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology

2012~Korea Automotive Technology Institute

Field of Interests: Control and AI, Robotics, Power Electronics

Email: gmpark@katech.re.kr

Jun-Yeong Park (박 준 영)



2021 Mechanical Engineering from Sogang University (B.S.)

2021~ Mechanical Engineering from Sogang University (M.S.)

Field of Interests: Vehicle Suspension NVH Analysis, Battery System Modeling

Email: pjy1628@sogang.ac.kr

Seung-Yop Lee (이 승 엽)



1990 Mechanical Engineering from University of California at Berkeley (M.S.)

1995 Mechanical Engineering from University of California at Berkeley (Ph.D)

Career:

1997~Professor, Sogang University

2006~CEO, Bluefocus Co. Ltd.

Field of Interests: Vehicle Dynamics, Smart Actuators

Email: sylee@sogang.ac.kr