

소형 전기자동차 CAN 데이터 기반의 시뮬레이션 모델 개발

이흥진* · 차준표†

Development of a Simulation Model based on CAN Data for Small Electric Vehicle

Hongjin Lee and Junepyo Cha

Key Words: Controller area network(계측 제어기 통신망), State of charge(배터리 잔존 용량), Small electric vehicle (소형 전기자동차), Multi-cycle test(복합사이클 시험), Block diagram(블록선도)

Abstract

Recently, major developed countries have strengthened automobile fuel efficiency regulations and carbon dioxide emission allowance standards to curb climate change caused by global warming worldwide. Accordingly, research and manufacturing on electric vehicles that do not emit pollutants during actual driving on the road are being conducted. Several automobile companies are producing and testing electric vehicles to commercialize them, but it takes a lot of manpower and time to test and evaluate mass-produced electric vehicles with driving mileage of more than 300km on a per-charge. Therefore, in order to reduce this, a simulation model was developed in this study. This study used vehicle information and MCT speed profile of small electric vehicle as basic data. It was developed by applying Simulink, which models the system in a block diagram method using MATLAB software. Based on the vehicle dynamics, the simulation model consisted of major components of electric vehicles such as motor, battery, wheel/tire, brake, and acceleration. Through the development model, the amount of change in battery SOC and the mileage during driving were calculated. For verification, battery SOC data and vehicle speed data were compared and analyzed using CAN communication during the chassis dynamometer test. In addition, the reliability of the simulation model was confirmed through an analysis of the correlation between the result data and the data acquired through CAN communication.

1. 서 론

최근 전 세계적으로 자동차산업은 지구 온난화에 의하여 기후변화 억제를 위한 공감대가 형성되고 있는 가운데 주요 선진국들은 자동차 연비규정 및 이산화탄소 배출량 허용기준을 강화하면서 친환경자동차 생산을 장

려하고 있다. 이에 세계 각국의 정부는 2025~2040년에 내연기관 차량을 판매할 수 없도록 하는 계획을 공식화하고, 전기자동차 보급 및 인프라 구축을 다각도로 노력하고 있다. 국제 에너지 기구(IEA, International Energy Agency)의 「Global EV Outlook 2021」에 따르면 전 세계의 자동차 시장은 COVID-19 팬데믹으로 인하여 2020년 상반기 신차 등록이 2019년보다 약 1/3 감소했다고 발표하였다. 그러나 2020년 전 세계 전기자동차 재고는 1000만대를 돌파했으며, 이는 2019년보다 43% 증가한 수치라고 발표하였다.⁽¹⁾ 유럽연합 집행위원회(EC, European Commission)는 2030년까지 탄소배출량을 1990년 대비 최소 55% 감축하고자 패키지 「Fit for 55」를 발표

(Received: 29 Aug 2022, Received in revised form: 19 Sep 2022, Accepted: 21 Sep 2022)

*한국교통대학교 자동차공학과

†책임저자, 회원, 한국교통대학교 자동차공학과

E-mail : chaj@ut.ac.kr

TEL : (043)841-5283 FAX : (043)841-5280

하였다⁽²⁾. 이 중 수송부문이 유럽 전체 온실가스 배출의 약 1/4을 차지하며 배출이 지속적으로 증가하고 있는 유일한 부문으로, 온실가스 감축의 주요 사항으로 강조되었다. 이에 따라 2035년 이후 내연기관 승용차 및 승합차 부문의 탄소 배출 규제를 강화하고, 2035년 이후 내연기관 자동차 출시를 금지하기 위해 판매금지 정책을 추진하며 전기자동차 보급률을 확대하고 있다.

국내의 경우 정부는 기후 위기 대응에 적극 동참하고자 2050 탄소중립 시나리오를 수립하였다⁽³⁾. 수송 부문 주요 내용으로는 전기자동차 및 수소자동차 보급률을 97% 이상 추진 계획이 있으며, 일부 잔존하는 내연기관 차는 대체연료 활용을 추진 예정이라고 밝혔다. 또한 정부는 관계부처 합동으로 친환경 자동차의 보급을 촉진하기 위해 2005년부터 5년마다 보급 계획을 수립하여 운용해왔다. 이로 인해 국내 자동차 업계의 친환경 자동차의 생산이 지속적으로 증가하고 있으며 2020년 1월 ~ 10월 중 36만 대를 생산하였으며, 하이브리드 자동차 생산이 전체 생산의 56.1%, 배터리 전기자동차는 35.5%를 차지하였다. 이와 같이 급격하게 추진되고 있는 오염물질에 대한 배출량 규제의 강화와 전기자동차의 보급에 맞추어 연구와 제작이 활발히 수행되고 있다. 그러나 최근 양산되는 1회 충전 주행거리가 300 km가 넘는 전기자동차 시험평가에 있어서 인력 및 시간이 많이 소요된다. 따라서 이를 줄이기 위한 연구 및 개발이 필요하다.

이에 본 연구에서는 차량의 정보 및 차량동역학을 기반으로 한 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 시뮬레이션으로 계산된 결과 값을 차대동력계 MCT 시험 모드 결과 값과 비교하였으며, 발생한 오차에 대하여 분석 및 고찰하였다.

2. 연구 방법

본 연구는 소형 전기자동차 1대를 대상으로 삼았으며, 차량동역학을 기반으로 하여 Matlab 소프트웨어의 Simulink를 사용하여 모델링을 하였다. Simulink는 블록선도(Block diagram) 방식으로, Matlab을 이용하여 생성된 Input 값을 각각의 파트에 대입하여 하나의 고리처럼 순환하는 시스템이다. Input 값은 차량 정보와 MCT 모드의 속도 프로파일을 기본 데이터로 입력하였다.

2.1 Driver Model 및 Powertrain Model

Driver Model은 운전자의 주행을 가장 사실적으로 구

Table 1 Vehicle specification

Data	Specification	
Motor	Max. torque	265 Nm
	Motor efficiency map	
Battery	Capacity	118 Ah
	Voltage (SOC)	275~381V (0~100%)
Vehicle	Weight	1,644.3 kg
	Wheel radius	0.316 m
	Gear ratio	7.4
	Rolling resistance	53.905 N
	Friction resistance	0.21857 N/km/h
	Drag resistance	0.029304 N/(km/h) ²

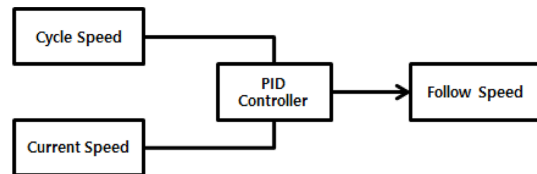


Fig. 1 Follow speed calculation

현하는 것이 중요하다. 그러나 운전자의 주행은 운전자의 신체조건 및 주관적인 요인에 따라 항상 다르기 때문에 모델링하기에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 MCT 모드의 속도 프로파일과 모델링 차량 속도(Current Speed) 사이의 오차를 최소화하는 단순한 주행 형식으로 모델링 하였다. 아래 Fig. 1과 같이 속도 프로파일과 모델링 차량 속도의 차를 PID 제어 블록을 통하여 추종 속도를 계산하였다⁽⁴⁾. PID 제어는 비례(Proportional), 적분(Integral), 미분(Differential) 제어로, 제어하고자 하는 속력과 기준이 되는 속력의 차를 오차로 설정하여 이 오차를 줄여가며 수렴하도록 하게 해주는 제어 기법이다.

PID 제어를 통하여 계산된 추종 속도는 -100 ~ 100%로 나누어지며, 0을 기준으로 양수 값은 Accelerator, 음수 값은 Brake로 나누어진다. 또한, 본 연구에서는 모터 RPM 값에 따른 모터 토크 값을 산출하여 나누어진 Accelerator과 Brake 값을 대입해 시뮬레이션 모델의 모터 토크 값을 산출하였다. 추가적으로 Brake 값과 회생제동 값을 통해 Brake Force 값을 산출하였다.

위의 과정을 통해 최종적으로 시뮬레이션 모델의 견

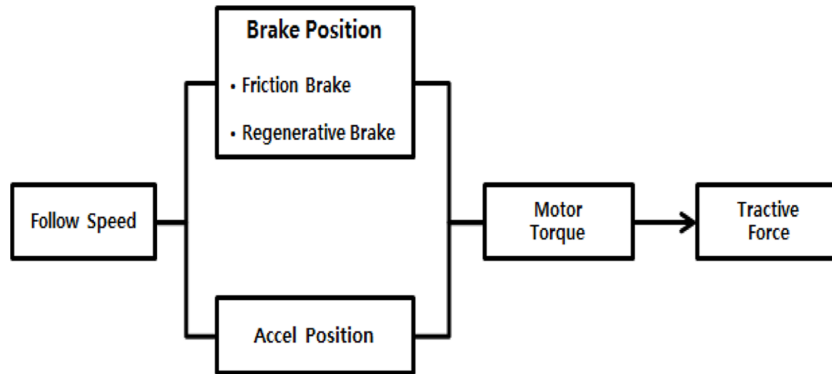


Fig. 2 Driver and Powertrain model

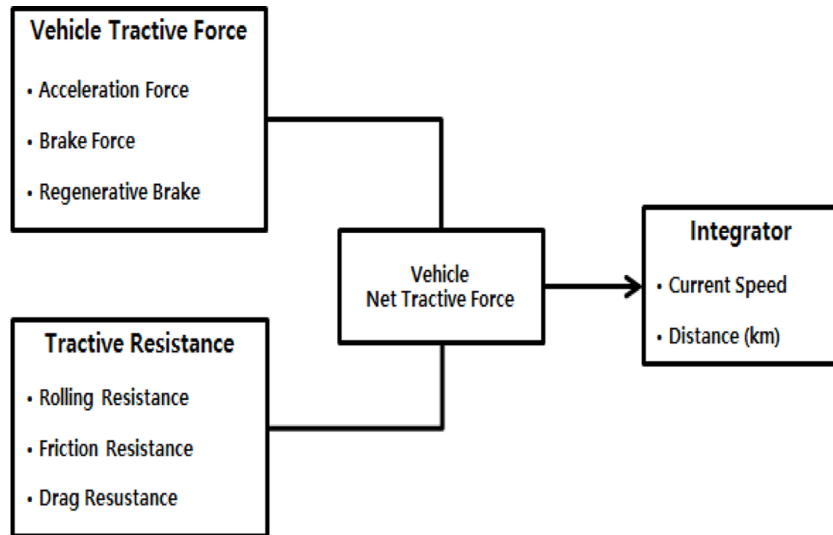


Fig. 3 Net tractive force calculation

인력(Tractive Force)을 계산하였다. 차량 정보의 중 감 속도, 바퀴 반지름 값을 데이터로 입력하였고, 모델 구성은 Fig. 2와 같다.

2.2 주행저항

차량 주행 시 속도에 따른 구름저항(Rolling Resistance), 마찰저항(Friction Resistance), 공기저항(Drag Resistance) 등이 복합적으로 반영된 주행 저항력의 영향을 받는다. 이에 본 연구에서는 주행저항 값을 주행저항 식 (1)을 대입하여 시뮬레이션 모델에 반영하였다⁽⁵⁾.

$$Driving\ resistance = F_0 + F_1 \times v + F_2 \times v^2 \quad (1)$$

where Driving resistance [N]
 F0 : rolling resistance [N]

F1 : friction resistance [N/km/h]
 F2 : drag resistance [N/(km/h)²]
 v : vehicle speed [km/h]

이를 사용하여 차량의 실제 견인력(Net Tractive Force) 값을 산출하였다.

2.3 모터 출력 및 전력

모터 토크와 모터 RPM 및 모터 효율은 차량의 에너지소비효율에 영향을 미치기 때문에 모델링에 고려되어야 한다. 따라서 앞서 모델링 한 모터 토크와 모터 RPM을 통하여 모터 출력을 모델링 하였다. 모터 출력 식은 RPM 대신 RPS가 쓰이므로 단위 변환을 해주어 대입하였다. 모터 출력 식은 식 (2)와 같다.

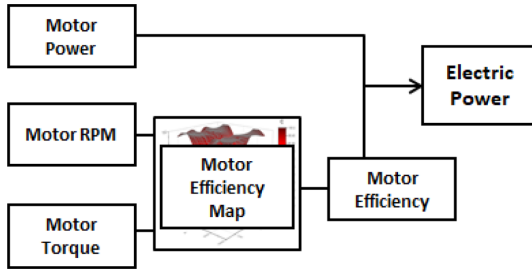


Fig. 4 Electric power calculation

$$Motor\ power = Torque \times Angular\ speed \quad (2)$$

where Motor power [W]
 Torque [N·m]
 Angular speed [RPS]

또한, 모터 효율 맵에 시뮬레이션 모델의 모터 토크와 모터 RPM을 대입하여 이에 따른 모터 효율 값을 산출하였다. 모터 효율 값은 모터 출력과 전력(Electric Power)에 관계가 있으며, 식 (3)을 통해 전력을 모델링하였다.

$$\eta = \frac{Output}{Input} \quad (3)$$

where η : efficiency
 Input : electric power [W]
 Output : motor power [W]

2.4 배터리SOC

본 연구에서는 배터리를 모델링하기 위하여 가장 많이 사용되고 있는 전류적산법(Coulomb Counting Method)을 사용하였다. 전류적산법은 전류를 적산하여 계산하기 때문에 구현에 있어서 쉽다는 장점이 존재하므로 이 방법을 사용하였다. 전류적산법을 이용한 SOC(State of Charge)의 정의는 식 (4)와 같다.

$$SOC(t) = SOC(t_0) - \frac{1}{C_n} \int_{t_0}^t I_t dt \quad (4)$$

where SOC(t) : SOC at time (t) [%]
 SOC(t₀) : initial SOC [%]
 C_n : battery capacity [Ah]
 I_t : current [A]

2.5 에너지소비효율 계산

본 연구에서 사용한 MCT 모드의 속도 프로파일은 4

개의 UDDS(Urban Dynamometer Driving Schedule)모드, 2개의 HWFET(Highway Fuel Economy Test Cycle)모드 그리고 2개의 CSC(Constant Speed Cycle)모드로 총 8개의 상세 모드로 이루어져 있다. UDDS 모드는 도심주행, HWFET 모드는 고속주행이며, CSC 모드는 등속주행 모드이다. MCT 모드는 UDDS1 - HWFET - UDDS2 - CSC 구성을 1개의 사이클로 하여 총 2회 반복 구성으로 이루어져 있다. 시뮬레이션을 통하여 계산된 결과 값을 MCT 모드에 사용되는 에너지소비효율 측정 및 1회 충전주행거리 산정방법에 대입하였다⁽⁶⁾.

$$\begin{aligned} & \text{복합 에너지소비효율 및 연료소비율 (km/kWh)} \\ & = \frac{1}{\frac{0.55}{\text{도심주행 에너지소비효율 및 연료소비율}} + \frac{0.45}{\text{고속도로주행 에너지소비효율 및 연료소비율}}} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \text{도심 및 고속도로주행 1회 충전주행거리 (km)} \\ & = \frac{\text{주행 시 소모된 전기에너지의 직류전류 방전량 (kWh)}}{ECdc[cycle](kWh/km)} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \text{복합모드 1회 충전주행거리 (km)} \\ & = (0.55 \times \text{도심주행 1회 충전주행거리}) + (0.45 \times \text{고속도로주행 1회 충전주행거리}) \end{aligned} \quad (7)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 데이터 상관성 분석

본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 취득한 데이터를

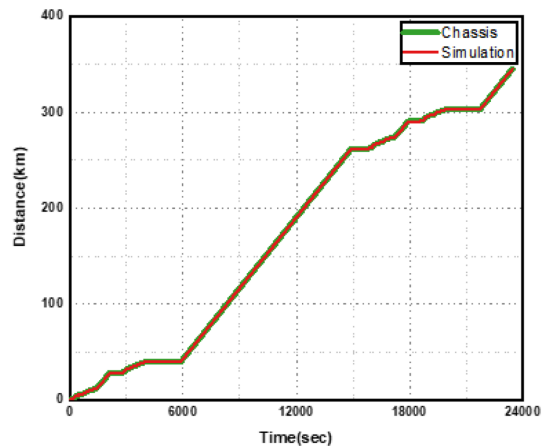


Fig. 5 Correlation of Distance

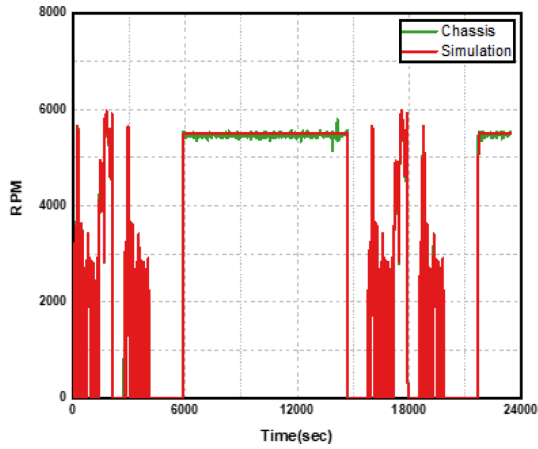


Fig. 6 Correlation of RPM

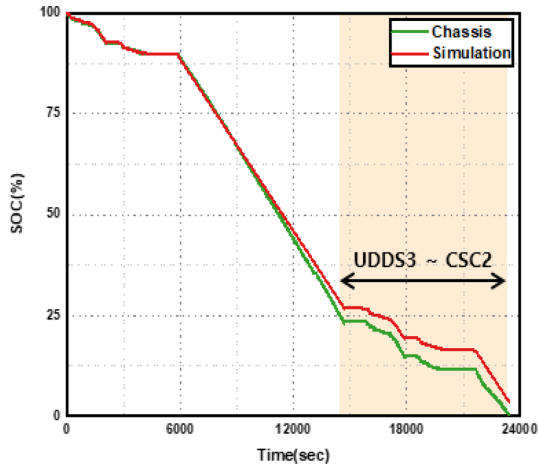


Fig. 7 Correlation of Battery SOC

Table 2 Simulation and chassis data

Mode	Chassis data		Simulation data	
	SOC (%)	km/kWh	SOC (%)	km/kWh
UDDS1	97	10.8	97	12.1
HWFET1	92	9.1	92	11.2
UDDS2	90	10.9	90	12.1
CSC1	23	8.6	25	10.6
UDDS3	20	11	24	12.1
HWFET2	15	9.2	19	11.2
UDDS4	11	11.1	16	12.1
CSC2	0	8.6	3	10.2

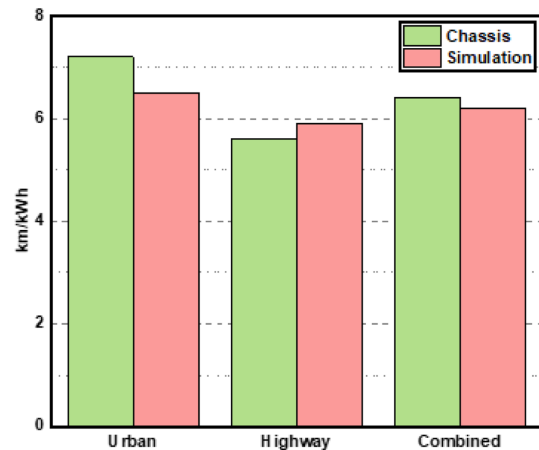


Fig. 8 Energy Consumption Efficiency by Mode

차대동력계 데이터와 상관성 분석을 진행 하였다. Fig. 5 는 시뮬레이션으로 산출된 모델링 차량 속도(Current Speed)로 주행거리를 계산하였으며, Fig. 6은 산출된 모터 RPM값을 나타내었다.

Figure 7은 산출된 배터리 SOC값을 나타내었으며, Table 2는 모드별 배터리 SOC의 잔량과 에너지소비효율을 나타낸 것이다. 차대동력계 데이터 기준으로 시뮬레이션 데이터에서 UDSS3 모드부터 배터리 SOC의 오차가 커지는 것을 확인하였고, CSC2 모드 종료 시점에서 시뮬레이션의 배터리 SOC가 약 3%까지 떨어지는 것을 보였다. 또한, 앞서 계산된 에너지소비효율 측정 및 1회 충전 주행거리 결과 값을 차대동력계 MCT 시험 모드 결과 값과 주행 모드별로 비교 분석하였다. 5-cycle 보정식을 사용하여 산출한 도심, 고속도로, 복합 에너지

Table 3 Per-charge range

Mode	Chassis (km)	Simulation (km)
Urban	432	390
Highway	334	360
Combined	388	376

소비효율은 Fig. 8에 나타내었다. 에너지소비효율은 도심이 고속도로 구간 보다 높게 나왔으며, 차대동력계 데이터와 같은 양상을 보였다. 복합 에너지소비효율은 차대동력계 기준 약 3%의 차이를 보였다.

1회 충전 주행거리(km)의 결과 값은 Table 3에 나타내었다. 시뮬레이션의 도심 주행거리는 차대동력계보다

약 10%, 고속도로는 약 8%, 복합 주행거리는 약 3%의 차이를 보였다.

3.2 오차 분석

시뮬레이션 데이터의 배터리 SOC 값이 차대동력계 데이터 대비 UDSS3 모드부터 오차가 커지며, 1회 충전 주행거리는 도심 구간에서 약 10%, 고속도로 구간에서 약 8%, 복합 주행거리는 약 3%의 차이를 보였다. 이는 차대동력계 데이터는 BMS (Battery management system), 인버터, 컨버터와 같은 에너지소비효율 및 1회 충전 주행거리에 영향을 미치는 요소들이 고려된 데이터이지만, 시뮬레이션 모델은 차량동역학을 기반으로 구성된 간단한 모델이므로 이와 같은 오차들이 발생한 것으로 판단된다. 따라서 향후 모델에 개선사항들을 분석해 보았다.

배터리 모델링에 사용된 전류 적산법은 배터리 동작 시간이 누적됨에 따라 오차가 적산이 되는데, 적산오차를 최소화 할 수 있는 배터리 SOC 값 계산 알고리즘을 모델링하여 시뮬레이션에 대입하고, 추가적으로 전기 자동차의 운전 제어, 에너지 관리 시스템 등 보조 장치에 쓰이는 전력 값도 고려하면 오차가 줄어들 것으로 판단된다.

또한, 배터리는 충·방전 하는 과정에서 열이 발생하게 되는데, 이 열을 제어해 주는 것 또한 배터리 성능에 있어서 중요한 요소이다⁽⁷⁾. 따라서 저온, 상온, 고온 등 온도 조건 및 SOC 상태에 따른 충·방전 효율 변화를 고려한 모델과 BMS, 인버터, 컨버터 등 에너지소비효율에 영향을 미치는 모델을 추가하여 개선할 필요성이 있다고 보여 진다.

4. 결 론

본 연구에서는 소형 전기자동차 1대를 대상으로 차량 정보와 차대동력계 MCT 모드의 속도 프로파일을 기본 데이터로 하였다. 시뮬레이션 모델링은 차량동역학을 기반으로 하여 Matlab 소프트웨어의 Simulink를 사용하였다. 이후 시뮬레이션을 통하여 산출된 결과 값을 차대동력계 MCT 시험 모드 결과 값과 상관성 분석을 진행하였다. 또한, MCT 시험 모드에 사용되는 에너지소비효율 측정 및 1회 충전 주행거리 산정 방법에 대입하여 산출된 값을 차대동력계 데이터와 비교 분석하였다. 본 연구는 추후 오차를 보완하여 재 모델링을 통해 정확도를 개선할 예정이며, 본 연구의 결론을 다음과 같이 요약하였다.

(1) 차대동력계 데이터와 시뮬레이션 데이터를 비교

분석한 결과 5-cycle 보정식을 사용하여 산출한 도심, 고속도로, 복합 에너지소비효율 값은 차대동력계 데이터와 같은 양상을 보였으며, 복합 에너지소비효율은 차대동력계 데이터 기준 약 3%의 오차를 보였다.

(2) 1회 충전 주행거리(km) 결과 값은 고속도로 주행거리가 차대동력계 데이터 보다 높게 나왔으며, 복합 주행거리는 차대동력계 데이터 기준 약 3%의 오차를 보였다.

(3) UDSS3 모드부터 발생된 배터리 SOC의 오차는 전류 적산법의 동작 시간이 누적됨에 따른 오차 적산, 차량의 보조 장치에 쓰이는 전력 값과 배터리 충·방전 하는 과정에서 발생하는 열과 같은 차량의 배터리 상태와 성능에 영향을 끼칠 수 있는 요소들 사이에서 발생했다고 추정된다.

후 기

본 연구는 한국연구재단(NRF-2019R111A3A01062771)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) International Energy Agency, "Global EV Outlook", 2021.
- (2) European Commission, "Fit for 55: delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality", 2021.
- (3) Joint Ministry Concerned, "2050 Carbon Neutral Scenario Agenda", 2021.
- (4) Ilyès Miri, Abbas Fotouhi and Nathan Ewin, "Electric vehicle energy consumption modeling and estimation-A case study", Special Issue : Smart Energy Technologies, Vol. 45, No. 1, 2021, pp. 501~520.
- (5) H. J. Jung, M. S. Noh and K. W. Rho, "Analysis Study of Passenger Vehicle Fuel Economy according to Different Driving Resistances", KSAE Annual Conference Proceedings, 2020, pp. 150~154.
- (6) Ministry of Trade, Industry and Energy of Korea, "Public Notice on Energy Consumption Efficiency and Fuel Consumption Rate Test Methods of Vehicles", 2022.
- (7) S. G. Hong, D. H. Kang, S. Y. Park, P. Y. Lee, S. Y. Han and J. H. Kim, "Methodology Study of Temperature Imbalance Detection of Parallel battery Packs", Transactions of KSAE, Vol. 30, No. 2, 2022, pp. 115~122.