전기 자동차 성능 평가를 위한 도심 주행 모드 개발 Part I: 주행 모드 개발

양 성 모¹⁾ · 정 낙 탁¹⁾ · 김 광 섭¹⁾ · 최 수 빈¹⁾ · Wang Maosen¹⁾ · 김 현 수²⁾ · 서 명 원^{*2)}

성균관대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 성균관대학교 기계공학과²⁾

Development of Urban Driving Cycle for Performance Evaluation of Electric Vehicles Part I: Development of Driving Cycle

Seong-Mo Yang¹⁾ · Nak-Tak Jeong¹⁾ · Kwang-Seup Kim¹⁾ · Su-Bin Choi¹⁾ · Maosen Wang¹⁾ ·
Hyun-Soo Kim²⁾ · Myung-Won Suh^{*2)}

¹⁾Graduate School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi 440-746, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi 440-746, Korea

(Received 12 May 2014 / Revised 20 June 2014 / Accepted 31 July 2014)

Abstract : Recently, due to various environmental problems such as global warming, increasing of international oil prices and exhaustion of resource, a paradigm of world automobile market is rapidly changing from vehicles using internal combustion engine to eco-friendly vehicles using electric power such as EV (Electric Vehicle), HEV (Hybrid Electric Vehicle), PHEV (Plug-in Hybrid electric Vehicle) and FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle). There are many driving cycles for performance evaluation of conventional vehicles. However there is a lack of researches on driving cycle for EV. This study is composed of part 1 and part 2. In this paper part 1, in order to develop urban driving cycle for performance evaluation of electric vehicles, Gwacheon-city patrol route of police patrol car was selected. Actual driving test was performed using EV. The driving data such as velocity, time, GPS information etc. were recorded. GUDC-EV (Gwacheon-city Urban Driving Cycle for Electric Vehicles) including road gradient was developed through the results of analyzing recorded data. Reliability of the driving cycle development method was substantiated through comparison of electricity performance. In the second part of this study, the developed driving cycle was compared to simulation result of the existing urban driving cycle. Verification of the developed driving cycle for EV performance evaluation was described.

Key words : Electric vehicle(전기 자동차), Driving cycle(주행 모드), Driving test(주행 시험), Chronological table (통계적 연표), Grade resistance(경사 부하), Electricity performance (연비)

1. 서 론

최근 유가 상승, 다양한 환경 문제, 자원 고갈 등의 이유로 세계 자동차 시장의 패러다임이 내연기관 자동차에서 전기 동력을 사용하는 전기 자동차(EV, Electric Vehicle), 하이브리드 자동차(HEV, Hybrid

Electric Vehicle), 플러그인 하이브리드 자동차(PHEV, Plug-in Hybrid electric Vehicle), 연료전지 자동차(FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle) 등의 친환경 자동차로 변하고 있다.¹⁾

이에 친환경 자동차에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있고, 세계 각국의 자동차 업체에서도 전기 자동차 및 하이브리드 자동차를 잇따라 출시하

*Corresponding author, E-mail: suhmw@skku.edu

고 있으며, 친환경 자동차에 대한 소비자들의 수요와 관심도 점점 증가하고 있다.²⁾

그러나 전기 자동차의 성능을 적절하게 평가하기 위한 주행 모드(Driving cycle)에 대한 연구가 부족한 실정이다. 1970년대부터 FTP-75(Federal Test Procedure-75), NEDC(New European Driving Cycle), Japan 10-15 mode 등의 도심 주행 모드와 US 06, HWFET(HighWay Fuel Economy Test) 등의 고속도로 주행 모드 등을 개발하여 차량 개발에 이용하고 있지만,³⁾ 기존의 주행 모드들은 내연기관 자동차의 성능 평가를 위해 개발되었으므로 차량 특성이 다른 전기 자동차의 성능 평가에는 적합하지 않다. 전기 자동차는 정지 상태에서부터 최대 토크를 낼 수 있기 때문에 저속에서의 가속 특성이 내연기관 자동차와 차이가 있다. 따라서 저속에서의 가속 및 감속 구간, 정지 구간이 많은 도심 주행 모드에서는 전기 자동차의 특성이 반드시 반영되어야 한다. 그러므로 전기 자동차의 주행 데이터를 이용한 도심 주행 모드의 개발은 매우 중요하다.

또한, 최근에 출시되는 차량의 공인연비와 실제 도로에서의 연비가 차이가 나고, 기존 주행 모드에서 측정한 연비가 실제 연비보다 낮다는 연구들이 보고되고 있다.^{4,5)} 이런 연비문제는 전기자동차에겐 더 민감한 문제이다. 배터리의 한계 때문에 주행거리가 제한적이기 때문이다. 따라서 정확한 연비계산이 중요하며, 이는 소비자 구매에 중요한 영향을 미치게 된다.

기존 주행 모드가 주행 여건을 충분히 반영하지 못하는 것과⁵⁾ 주행 모드 개발 시 경사 부하(Grade resistance)의 영향을 고려하지 않은 것이 연비 차이의 주요 원인으로 꼽히고 있다.⁶⁾ 그리고 국외의 주행 모드는 교통 현실 및 법규 등의 교통적 특성이 국내의 상황과 다르고, 나라마다 지형적 특성도 다르기 때문에 국내의 교통적/지형적 특성을 반영한 주행 모드 개발이 요구된다.⁷⁾

본 연구는 두 파트로 구성되어 있다.⁸⁾ Part I에서는 전기자동차용 도심 주행 모드의 개발방법을 제안 위해 시험 주행 코스를 선정하고, 전기자동차를 이용한 주행 시험을 통해 주행 데이터를 수집하였다. 또한, 내연기관 자동차와 전기 자동차의 주행 특

성을 비교하기 위해 내연기관 자동차의 주행 시험도 함께 수행하였다. 그리고 수집한 데이터의 속도 및 가속도 특성을 구간 별로 분석하여 모든 데이터를 대표할 수 있는 하나의 속도 프로파일로 합성하고, 경사 부하를 반영하기 위해 경사도가 적용된 전기자동차용 도심주행모드와 내연 기관 자동차용 도심 주행 모드를 개발하였다. 그리고 도심 주행 모드 개발방법에 대한 신뢰성을 검증하여 전기자동차용 도심 주행 모드 개발 방법을 제시하였다.

다음으로 Part II 논문에서는 Part I에서 개발한 도심 주행 모드를 검증하기 위해 기존 도심 주행 모드와 시뮬레이션 결과 비교를 하였고, 전기 자동차 성능 평가를 위한 도심 주행 모드 개발의 당위성 검증에 대해 기술하였다.⁸⁾

2. 주행 데이터 수집

전기자동차 성능 평가를 위한 도심 주행 모드를 개발하기 위해서는 통행량과 교통 상황 등을 고려하여 대표적인 주행 코스를 선정해야 한다.²⁾ 시험 주행 코스는 첨두 시간(Peak time)과 비첨두 시간(Non-peak time)의 통행량을 적절히 반영해야 한다. 본 연구에서 선정한 시험 주행 코스는 경기도 과천시내이며, 과천 시내를 실제 전기자동차와 가솔린 자동차를 이용하여 주행하면서 주행 패턴을 조사하고, 데이터를 수집하였다.

2.1 시험 코스 선정

본 연구에서는 국내 대표 도심지 중의 하나인 경기도 과천시를 시험 주행 코스로 선정하였다. 국내 대표 위성 도시 중 하나인 과천시는 서울로 출퇴근하는 인원이 많고, 시내 안에 정부 청사와 여러 대기업 사옥들이 상주해 있기 때문에 출퇴근 시간대의 혼잡한 교통 상황(Traffic jam)과 오후 시간대의 한적한 교통 상황을 모두 반영할 수 있어 국내의 교통적 특성이 반영된 도심 주행 모드를 개발하기에 적합한 도로이다.

주행 시험을 수행할 때는 과천시 경찰의 순찰 코스 중 하나를 선택하여 주행하였다. 순찰차는 도심과 도시 외곽 지역을 모두 순찰하므로 특정지역으로 편중되지 않은 교통 상황을 효과적으로 반영할

Fig. 1 Gwacheon-city patrol route of the patrol car

수 있다. 과천 순찰차 코스의 길이는 약 5.6km이며 주행 코스는 Fig. 1과 같다.

2.2 주행 데이터 수집

전기 자동차의 주행 데이터를 수집하기 위하여 기아자동차(주)의 전기 자동차 레이 EV(Ray EV)를 시험 차량으로 선정하였다. 또한, 내연 기관 자동차의 주행 데이터와 전기 자동차의 주행 데이터 사이에 차이가 있는지 비교하기 위해 출력 및 무게 등을 고려하여 가솔린 차량의 주행 시험도 함께 수행하였다. 시험 차량은 출력 및 무게 등을 고려하여 한국 GM(주)의 New 마티즈(New Matiz)로 선정하였다. 각 시험 차량은 Fig. 2와 같으며, 각 차량의 제원은 Table 1과 Table 2와 같다.

또한, 각 시험 차량에 GPS 정보 및 속도 등 차량 정보의 계측이 가능한 블랙박스 폰터스 HDR1300를 설치하여 주행 시험을 수행하였다. 이 장비는 속도는 100Hz, GPS정보는 1Hz까지 데이터 계측이 가능하기 때문에 정밀한 주행 데이터를 얻을 수 있다.

차량 주행 데이터는 운전자의 운전 습관에 따라 각기 다른 특성을 보이므로 운전 습관을 배제하기 위해 공격적인 운전자와 방어적인 운전자 2인이 교대로 시험 차량을 운전하였다. 승차 인원은 운전자 포함 2인이고, 주행 시험 중 전기 자동차의 배터리 충전은 Fig. 3과 같이 과천 시청내의 충전 인프라를 이용하였다.

Fig. 2 Test cars : Ray EV & New Matiz

Table 1 Vehicle specifications of the New Matiz

New Matiz	Item	Specifications
Engine	Max. Output (kW)	38
	Max. Torque (Nm)	72
	Engine displacement (cc)	796
Vehicle	Max. Speed (km/h)	145
	Weight (kg)	795

Table 2 Vehicle specifications of the Ray EV

Ray EV	Item	Specifications
Motor	Max. Output (kW)	50
	Max. Torque (Nm)	167
Battery	Type	Lithium-ion
	Capacity (kWh)	16.4
Vehicle	Max. Speed (km/h)	130
	Drive range (km)	91
	Weight (kg)	1185

Fig. 3 EV charger

Fig. 4 Driving test

각 시험 차량의 주행 방법은 교통의 흐름을 따라 주행하는 것을 대원칙으로 하였다.⁹⁾ 또한, 교통 신호를 지키고, 편도 1차로에서는 60km/h, 편도 2차로 이상에서는 80km/h 이내의 제한 속도를 준수하는 등 교통 법규를 준수하면서 주행 시험을 수행하였다.¹⁰⁾ 각 시험 차량은 앞선 차량을 따라다니지 않고, 순차 코스를 따라 자율적으로 주행하였다.

주행 시험을 통한 주행 데이터 수집은 11월과 12월 2회에 걸쳐 실시하였다. 첨두 시간과 비첨두 시간의 교통 상황을 모두 반영하기 위하여 오전 5회, 오후 6회, 저녁 7회의 주행을 실시하였다. 오전 주행은 7시~9시 사이에 수행하였으며, 오후 주행은 14~16시, 저녁 주행은 17시 30분~20시 사이에 실시하였다. 오후 시간대는 모두 비첨두 시간이고, 오전과 저녁은 첨두 시간과 비첨두 시간이 섞여 있으므로 각각 다른 횟수로 주행하여 첨두 시간과 비첨두 시간의 데이터의 균형을 맞추었다.

3. 주행 데이터 분석

여러 개의 주행 데이터를 합성하여 주행 모드를 만들기 위해서는 데이터를 구간 별로 나누고, 그 구간의 주행 특성을 분석해야 한다.

주행 모드 개발에는 일반적으로 4-모드 분석, 속도 분석, 가속도 분석 및 속도-가속도 연계 분석 등의 데이터 분석 방법이 이용된다.¹¹⁾ 본 연구에서는 속도와 가속도의 구간 분류를 통한 주행 경향을 분석하는 속도-가속도 연계 분석 방법을 이용하여 데이터를 분석하였다. 주행 데이터 분석 과정은 전기 자동차와 가솔린 자동차에 동일하게 적용하였다.

3.1 주행 데이터 분류

블랙박스에서 얻은 시간 별 속도 데이터의 분류를 위해 데이터를 미분/적분하여 가속도 및 거리를 계산하였다. 보통의 경우 주행 데이터 분류 시 합성의 용이성을 위해 정지구간을 기준으로 구간을 나눈다. 기존의 방식과 달리 본 연구에서는 시험 차량이 일정한 순차 코스를 주행하기 때문에 일정한 거리 간격으로 구간을 나누는 방식을 선택하였다. 또한, 보다 자연스러운 합성을 위해 처음과 끝 구간을 따로 분리를 하였다. 총 36개의 주행 데이터를 각각 처음과 끝 구간만 100m로 나누고, 나머지는 500m로 구간을 나누어 분류하였다. 각각의 주행 데이터는 13개의 구간으로 구성되어 있다.

3.2 주행 데이터 특성 분석

주행 데이터의 특성을 분석하기 위해 계산되어야 하는 파라미터 값들은 평균 속도, 정지 시간, 주행 속도, 평균 가속도, 처음 속도 및 끝 속도이다. 총 6 종류의 파라미터 값들을 각 구간 별로 계산하고, 계산된 파라미터 값들을 바탕으로 각 구간을 5가지의 class로 분류하였다. 1차적으로, 평균 속도를 이용하여 congested urban과 free-flow urban으로 분류를 하였다. 그 다음으로 congested urban의 경우 정지 시간을 기준으로 high stop duration 및 urban dense, low steady speeds의 3종류로 분류를 하였다. 또한, Free-flow urban의 경우 평균 가속도를 이용하여 free-flowing, free-flowing unsteady 2종류로 분류를 하였다.

3.3 주행 데이터 분포 비교

전기 자동차와 가솔린 자동차 주행 데이터 class의 분포를 정리 하였다. 우선 5종류의 class가 어느 비율로 존재하는지 파악하였다. 동일한 주행환경의 코스를 주행을 하였기에 class 별 비율은 전기 자동차와 가솔린 자동차 서로 비슷하게 나왔다.

일반적으로 도심 주행은 고속도로 주행과 달리 속도변화와 정지구간이 빈번하게 발생한다. 이는 class 별 비율에 영향을 끼친다. 따라서 Free-flow urban의 경우 Free-flowing unsteady가 Free-flowing보다 높은 비율을 가진다. 그리고 Congested urban의 경우 정지시간이 적은 class인 Low steady speeds보다 High stop duration과 Urban dense가 빈번하게 발생한 것을 볼 수 있다. 각 class의 비율은 아래 Table 3과 Table 4와 같다.

아래 Fig. 6과 Fig. 8을 보면 평균속도가 낮은 곳에서 정지시간에 따라 크게 3가지로 분류되었음을 확인할 수 있다. 그리고 Fig. 5와 Fig. 7에서 가속도의 크기 분포를 보면 가속도 $0.8m/s^2$ 이상의 segment들이 가솔린 자동차에 비해 전기 자동차가 상대적으로 많은 것을 볼 수가 있다. 이는 도심 주행 시 저속 구간에서 높은 토크를 낼 수 있는 전기 자동차의 모터 특성이 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

Table 3 Percentage of EV class

Class		Percentage
Free-flow urban	Free-flowing	10.26%
	Free-flowing unsteady	27.35%
Congested urban	High stop duration	21.79%
	Low steady speeds	12.82%
	Urban dense	26.50%

Table 4 Percentage of CV class

Class		Percentage
Free-flow urban	Free-flowing	10.26%
	Free-flowing unsteady	24.36%
Congested urban	High stop duration	25.64%
	Low steady speeds	11.54%
	Urban dense	21.79%

Fig. 5 Distribution of segment for EV's running speed and average acceleration

Fig. 6 Distribution of segment for EV's average speed and stop duration

Fig. 7 Distribution of segment for CV's running speed and average acceleration

Fig. 8 Distribution of segment for CV's average speed and stop duration

4. 주행 모드 개발

본 장에서는 3장에서 분석한 데이터의 합리적인 조합 순서를 정하기 위해 Chronological table을 작성하고 분류한 5종류의 class를 대표하는 구간을 선정하여 합성하였다.¹²⁾

4.1 속도 프로파일 합성

본 절에서는 주행 데이터의 합성을 위해 Table 5와 Table 6과 같이 Chronological table을 작성하였다. Chronological table은 특정 class에서 다른 class로 가는 빈도를 나타낸 표이다. 이 표를 이용하여 각 구간 사이의 연결 흐름을 통계적으로 파악할 수 있다.

Chronological table를 바탕으로 class의 빈도수, 연결 흐름을 고려하고 거리를 맞추어 13개의 class를 선택하여 합성하였다. 최종적으로 합성한 class의 순서는 Table 7, Table 8과 같다.

각 class의 대푯값은 주행 속도와 평균 가속도를 이용하여 선정하였다. 우선 분류한 class 별로 주행 속도와 평균 가속도의 평균값을 계산하고, 각 class의 구간의 값과 평균값의 차이를 계산하여 평균값에 가장 가까운 값 3가지를 선택하였다. 각 구간을 연결할 때 불연속적인 속도 변화를 최소화하기 위해 복수의 대푯값을 선정하였다.

Table 7 Class flow of GUDC-EV

Segment	Class
1 (First)	Low steady speeds
2	High stop duration
3	Free-flowing
4	Urban dense
5	Free-flowing unsteady
6	High stop duration
7	Free-flowing unsteady
8	Free-flowing unsteady
9	Urban dense
10	High stop duration
11	Urban dense
12	Free-flowing
13 (Final)	Low steady speeds

Table 8 Class flow of GUDC-CV

Segment	Class
1 (First)	Low steady speeds
2	High stop duration
3	Free-flowing unsteady
4	Urban dense
5	High stop duration
6	Free-flowing unsteady
7	Free-flowing unsteady
8	Low steady speeds
9	Free-flowing
10	High stop duration
11	Urban dense
12	Urban dense
13 (Final)	Free-flowing unsteady

Table 5 Chronological table of EV driving data

	End	High stop duration	Urban dense	Low steady speeds	Free-flowing	Free-flowing unsteady	Total
Start		50.0	11.1	38.9	0	0	100
High stop duration	2.0	13.7	21.6	5.9	15.7	41.2	100
Urban dense	4.7	17.2	21.9	6.3	14.1	35.9	100
Low steady speeds	25.8	19.4	16.1	19.4	3.2	16.1	100
Free-flowing	0	20.8	37.5	25.0	0	16.7	100
Free-flowing unsteady	9.4	20.3	35.9	7.8	9.4	17.2	100

Table 6 Chronological table of CV driving data

	End	High stop duration	Urban dense	Low steady speeds	Free-flowing	Free-flowing unsteady	Total
Start		0	33.3	66.7	0	0	100
High stop duration	4.8	9.5	14.3	9.5	19.1	42.9	100
Urban dense	0	38.9	33.3	5.6	5.6	16.7	100
Low steady speeds	9.1	45.5	9.1	0	18.2	18.2	100
Free-flowing	0	50.0	12.5	12.5	0	25.0	100
Free-flowing unsteady	20.0	15.0	25.0	15.0	5.0	20.0	100

Fig. 9 GUDC-EV & GUDC-CV

다음으로 Chronological table을 통해 도출한 class의 순서로 대푯값들을 합성하였다. 각 class 별로 선정된 대푯값들 중에서 이전 구간의 끝 속도와 다음 구간의 처음 속도의 차이가 가장 작은 대푯값을 선택하고, 각 구간 사이를 연결하여 최종 속도 프로파일을 도출하였다.

최종 속도 프로파일 도출 후 전기 자동차용으로 개발된 주행 모드를 GUDC-EV(Gwacheon Urban Driving cycle for Electric Vehicles), 내연기관 자동차용 주행 모드는 GUDC-CV(Gwacheon Urban Driving cycle for Conventional Vehicles)라고 명명하였다. 각 주행 모드의 속도 프로파일은 Fig. 9와 같다.

4.2 경사도 도출

차량 동역학적으로 경사도는 차량의 주행 저항(Road-load)중 경사 부하(Grade resistance)에 영향을 미치고, 이는 차량의 연비에도 영향을 미치게 된다. 따라서 정확한 연비 측정을 위해서는 주행 모드 개발 시 경사도가 고려되어야 한다.⁵⁾

본 연구에서는 블랙박스를 통해 측정된 GPS 정보와 Google Earth를 이용하여 과천 순찰차 코스의 경사도를 도출하였다. 도출된 경사도 데이터는 거리에 따른 경사도이므로 이를 GUDC-EV에 적용시키기 위해서는 시간에 따른 경사도 데이터로 변환시켜야 한다. 이를 위해 속도 프로파일을 적분하여 시간에 따른 거리 데이터를 구하고, 거리에 맞게 경사도를 입력하여 시간에 따른 경사도를 도출하였다. 경사도 프로파일은 Fig. 10과 같으며, 그 특성은 Table 9와 같다.

Fig. 10 Road gradient profile of GUDC

Table 9 Characteristics of GUDC-EV

Average road gradient (%)	0.317
Maximum road gradient (%) (Uphill)	11.4
Maximum road gradient (%) (Downhill)	-21.6

4.3 주행 모드 특성 분석

본 절에서는 개발된 주행 모드 GUDC-EV와 GUDC-CV의 특성을 분석하여 Table 10과 Table 11에 표시하였다. 두 시험 차량 모두 같은 코스를 주행했기 때문에 주행 시간, 주행 거리, 평균 속도 등의 파라미터는 거의 비슷한 값이 나왔다. 그러나 가속시의 평균 가속도 분석 결과, GUDC-EV가 GUDC-CV보다 월등히 큰 값이 나와 저속에서의 가속 성능이 더 높은 전기 자동차의 차량의 특성이 반영된 것을 알 수 있었다.

Table 10 Characteristics of GUDC-EV

Time (sec)	1144
Distance (m)	5777
Average velocity (km/h)	18.16
Average velocity without stop duration (km/h)	31.13
Max. velocity (km/h)	62.99
Stop duration fraction (%)	41.70
Average acceleration (m/s^2)	0.578

Table 11 Characteristics of GUDC-CV

Time (sec)	1157
Distance (m)	5781
Average velocity (km/h)	17.97
Average velocity without stop duration (km/h)	30.74
Max. velocity (km/h)	55.50
Stop duration fraction (%)	41.57
Average acceleration (m/s^2)	0.454

4.4 주행 모드 합성 방법 검증

본 절에서는 GUDC-EV 및 GUDC-CV의 합성 방법에 대한 신뢰성 검증을 위하여 성균관대학교에서 개발한 가상주행 시뮬레이터 S/W e-Vsim을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.¹³⁾ 먼저, Fig. 11과 같이 MATLAB/SIMULINK 기반으로 2대의 전기 자동차 가상주행플랫폼을 구성하였다. 각 차량의 제원은 Table 12와 Table 13과 같다. 다음으로 개발한 GUDC를 플랫폼에 삽입하여 시뮬레이션을 수행하고, 이를 18개의 실 주행 데이터에서의 연비(Electricity Performace, EP) 결과와 비교하였다. 각 주행 모드의 시뮬레이션 결과는 Table 14 ~ Table 17과 같다.

Table 12 Characteristics of GUDC-EV

EV#1	Item	Specifications
Motor	Max. Output (kW)	50
	Max. Torque (Nm)	164.6
Battery	Type	Lithium-ion
	Capacity (kWh)	16.4
Vehicle	Max. Speed (km/h)	130
	Drive range (km)	140
	Weight (kg)	1247

Table 13 Characteristics of GUDC-EV

EV#2	Item	Specifications
Motor	Max. Output (kW)	80
	Max. Torque (Nm)	280
Battery	Type	Lithium-ion
	Capacity (kWh)	24
Vehicle	Max. Speed (km/h)	145
	Drive range (km)	160
	Weight (kg)	1520

Table 14 Simulation results of EV#1 on GUDC-EV & Actual driving data

EV#1 (EP, km/kWh)			
GUDC-EV		Actual driving data (Average)	
With road gradient	Without road gradient	With road gradient	Without road gradient
8.17	8.17	8.21	8.21

Table 15 Simulation results of EV#2 on GUDC-EV & Actual driving data

EV#2 (EP, km/kWh)			
GUDC-EV		Actual driving data (Average)	
With road gradient	Without road gradient	With road gradient	Without road gradient
5.94	5.94	5.96	5.96

Table 16 Simulation results of EV#1 on GUDC-CV & Actual driving data

EV#1 (EP, km/kWh)			
GUDC-CV		Actual driving data (Average)	
With road gradient	Without road gradient	With road gradient	Without road gradient
8.47	8.48	8.46	8.47

Table 17 Simulation results of EV#2 on GUDC-CV & Actual driving data

EV#2 (EP, km/kWh)			
GUDC-CV		Actual driving data (Average)	
With road gradient	Without road gradient	With road gradient	Without road gradient
6.25	6.25	6.23	6.24

Fig. 11 Virtual EV platform

GUDC-EV와 실 주행 데이터의 EP 비교 결과, EV#1은 0.5%, EV#2는 0.3%의 오차를 보였고, GUDC-CV의 경우에는 각각 0.12%와 0.16%의 오차를 보여 주행 모드 개발 방법을 충분히 신뢰할 수 있음을 알 수 있었다.

경사도 유무에 따른 연비 비교 결과, 경사도가 있는 경우와 없는 경우의 EP의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 경사도의 변화폭이 크지 않고, 평균 경사도가 0.317° (0.182°)로 매우 작은 과천 순찰차 코스는 오르막과 내리막 구간의 비율이 거의 같다. 따라서 오르막에서는 경사 부하의 영향으로 배터리 소모가 증가하나 내리막에서는 회생 제동을 통해 배터리가 충전되기 때문에 이와 같은 결과가 도출되었다고 판단할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 전기 자동차의 성능 평가를 위한 도심 주행 모드 개발 방법을 제시하기 위하여 다음과 같은 연구를 수행하였다.

- 1) 국내의 대표 도심지 중 하나인 과천 시내를 시험 코스로 선정하고, 순찰차 코스를 따라 실차 주행 시험을 수행하였다.
- 2) 주행 시험을 통해 얻어진 속도, GPS 정보 등의 데이터를 분류/분석하여 하나의 속도 프로파일로 합성하고, 도로의 경사도가 적용된 도심 주행 모드 GUDC-EV를 개발하였다. 또한, 내연기관 자동차와의 특성을 비교하기 위하여 가솔린 자동차용 주행 모드인 GUDC-CV도 함께 개발하였다.
- 3) 개발한 주행 모드를 전기 자동차 가상주행플랫폼에 삽입하여 시뮬레이션을 수행하고, 실 주행 데이터에서의 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 결과 비교를 통해, 본 연구의 주행 모드 개발 방법의 타당성을 검증할 수 있었다.
- 4) 경사도 유무에 따른 연비 비교 결과, 경사도의 변화폭이 크지 않고, 평균 경사도가 낮은 값을 보여 과천 순찰차 코스에서는 경사도가 연비에 미치는 영향이 작음을 알 수 있었다.
- 5) 전기자동차 주행 모드 개발에 대한 방법을 제시하였다. 차후 연구에는 더 많은 전기자동차 데이터를 이용하여 보다 다양한 차종을 포함하는 주

행 모드를 개발하고자 한다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부에서 시행한 산업융합 기반구축사업 ‘그린카 부품 상용화지원을 위한 가상개발환경(VIDE) 개발’(과제번호: 10035209)의 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

- 1) J. H. Park, C. M. Jeong, C. O. Ma, M. W. Suh, H. S. Kim and S. H. Hwang, "Development of Real-time Simulation Environment for Performance Analysis of Eco-friendly Vehicle," KSME Spring Conference Proceedings, pp.47-53, 2012.
- 2) H. S. Kim, K. K. Jeon and S. J. Choi, "A Study on City Driving Cycle for Performance Evaluation of Electric Corner Module of Compact EV," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.2305-2309, 2012.
- 3) N. W. Choi, D. S. Han, S. W. Cho, S. L. Cho, J. S. Yang, K. S. Kim, Y. J. Chang and C. H. Jeon, "Development of a Vehicle Driving Cycle in a Military Operation Area Based on the Driving Pattern," Transactions of KSAE, Vol.20, No.4, pp.60-67, 2012.
- 4) M. André, R. Joumard, R. Vidon, P. Tassel and P. Perret, "Real-world European Driving Cycles, for Measuring Pollutant Emissions from High- and Low-powered Cars," Atmospheric Environment, Vol.40, Issue 31, pp.5944-5953, 2006.
- 5) M. S. Choi, J. O. Bae, D. S. Han, J. H. Park, S. L. Cho and C. H. Jeon, "Development of a Driving Cycle in a Military Operational Area with Unpaved Roads," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.19-22, 2012.
- 6) J. H. Park, J. H. Kong, H. S. Jo, Y. G. Park and J. M. Lee, "A Study on the Prediction of the Real Driving Fuel Consumption Rate of a Vehicle," KSAE Fall Conference Proceedings, pp.755-762, 1999.
- 7) N. W. Choi and C. H. Jeon, "The Necessity of Driving Mode Developing for Hybrid Electric

- Vehicle,” KSAE11-Y0001, KSAE, p.1, 2009.
- 8) N. T. Jeong, S. M. Yang, K. S. Kim, S. B. Choi, M. Wang and M. W. Suh, “Development of Urban Driving Cycle for Performance Evaluation of Electric Vehicles Part II : Verification of Driving Cycle,” Transactions of KSAE, 2014 (Submitted).
- 9) C. H. Kwon and S. Park, “Development of the Urban Driving Cycle,” Transactions of KSAE, Vol.9, No.1, pp.57-68, 1987.
- 10) Enforcement Regulations of the Road Traffic Law in Republic of Korea, No. 19 Article, 2014.
- 11) K. T. Lee, S. G. Kim, Y. C. Kim, S. H. Cho, N. S. Mun and Y. S. Ro, “The Study of Novel Urban Driving Cycle Mode for Local City Bus,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.691-696, 2011.
- 12) M. André, “The ARTEMIS European Driving Cycles for Measuring Car Pollutant Emissions,” Science of the Total Environment, Vol.334-335, Issue 1, pp.73-84, 2004.
- 13) B. S. Kim, M. Y. Suh, K. H. Park, S. S. Kim and S. H. Lee, “Development of Virtual Integrated Development Environment(VIDE) for Commercialization Supporting of Green Car, KATECH, The 4th Year Report, 2014.