

## 중대형 전기 상용차 배터리의 주행중 충전 특성 분석

송진근<sup>1)</sup> · 차준표<sup>2)\*</sup>

경북대학교 자동차공학부<sup>1)</sup> · 한국교통대학교 자동차공학과<sup>2)</sup>

### Analysis of Charge and Discharge Characteristics of Heavy Duty Electric Commercial Vehicle Batteries

Jingeun Song<sup>1)</sup> · Junepyo Cha<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>School of Automotive Engineering, Kyungpook National University, Kyeongsbuk 37224, Korea

<sup>2)</sup>Department of Automotive Engineering, Korea National University of Transportation, Chungnam 27469, Korea  
(Received 2021. 10. 26. / Accepted 2021. 11. 16.)

**Abstract** : These days, sales of battery electric vehicles have been rapidly increasing due to the strict CO<sub>2</sub> regulations. However, since it takes too long to measure the energy economy of electric vehicles, it has been required to improve the procedure of energy economy measurement. In order to improve this problem, the present study analyzed the battery charge/discharge pattern according to the changes in battery SOC (state of charge). In general, the energy economy test is started with a battery SOC charged to 100 %. However, it was identified that when the battery is fully charged, it can actually be charged over the 100 % (e.g., 100.5 %). This can induce errors in the energy economy measurement. Therefore, the present study recommends to start the test at SOC 99.9 %. The regenerative braking was partly restricted for the SOC over 90 %. This made it difficult to estimate the overall energy economy of the electric vehicle. However, it was identified that there was no change in the battery charge/discharge characteristics under the SOC 90 %. Therefore, the energy economy test can be shortened by predicting the overall energy economy through a short mileage test.

**Key words** : Energy economy (에너지 효율), Regenerative braking (회생제동), Battery State of Charge (배터리 충전상태), Electric vehicle (전기자동차)

## 1. 서론

자동차 시장에서 가장 중요한 이슈 두 가지는 대기 오염과 지구온난화이다. 특히 2015년 파리기후변화 협약 이후 온실가스 배출에 대한 규제가 크게 강화되어 오고 있으며, 친환경 자동차 판매량 할당이나 온실가스 배출 초과에 대한 페널티 부여 등 내연기관 자동차에 대하여 직간접적인 억제 정책이 실행되고 있다. 이에 따라 자동차 제조사는 온실가스를 배출하지 않는 전기자동차에 주목하고 있다.

전기자동차의 에너지 효율을 측정하는 방법으로는

시스템 교류 에너지 소비율, 시스템 직류 에너지 소비율, 그리고 차량 직류 에너지 소비율 측정방식이 있다<sup>1)</sup>. 시스템 교류 에너지 소비율 측정 방식은 배터리를 완전히 충전한 상태에서 주행을 시작하여 배터리를 완전히 소모할 때까지 주행하며 주행거리를 측정하고, 방전된 배터리를 다시 완전히 충전하는데 소모되는 전력량을 측정하여 에너지 효율을 산정하는 방식이다. 한편, 시스템 직류 에너지 소비율 및 차량 직류 에너지 소비율 측정 방식은 충전기에서 배터리로 공급되는 직류 에너지 및 배터리에서 공급되는 직류 에너지를 측정하여 에너지 효율을 산정하는 방식이다. 현재는 전기자동차의 에너지 효율을 평가하는 대표방식

\*Corresponding author, E-mail: chaj@ut.ac.kr

으로 시스템 교류 에너지 소비율 측정방식이 적용되고 있다.

이처럼 전기자동차의 에너지 효율을 평가하기 위해서는 배터리를 완전 방전할 때까지 긴 주행거리를 운전하며 시험해야 하므로 내연기관의 연비 측정 시험에 비하여 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 게다가, 최근에 출시되는 전기자동차들은 주행거리가 400 km 이상인 차종들이 다수 있으며, 심지어 내연기관 자동차와 비슷한 수준의 일충전 주행거리를 갖는 전기 자동차들도 있다. 이러한 전기자동차의 에너지 효율을 시험하고 평가하는 일은 이제 상당한 부담이 되고 있으므로 더 효율적인 에너지 효율 평가 방식이 요구되고 있다<sup>2,3)</sup>.

일정 구간만을 달려 연비를 평가하는 내연기관 자동차와 달리, 전기자동차 에너지 효율을 평가할 때 배터리 완전 충전에서부터 완전 방전까지 주행하여 평가하는 이유는 배터리 구간 별 에너지 소모율이 다르기 때문이다. 따라서, 전기자동차의 에너지 효율 평가 방식을 개선하기 위해서는 이러한 구간 별 충방전 특성을 세부적으로 분석할 필요가 있다. 이러한 목적에 따라 본 연구에서는 중대형 전기 상용차의 주행 중 충방전 특성을 분석하였다.

## 2. 시험 차량 및 시험 조건

### 2.1 시험 차량

본 연구에 사용된 시험 차량은 공차중량 11,640 kg의 시내전기버스이다. 한 팩 당 106 Ah 용량의 배터리 세 팩으로 구성되어 총 배터리 용량은 318 Ah이다. 모터의 최대토크는 1100 Nm이고, 정격 출력은 160 kW

Table 1 Specifications of a test vehicle

Vehicle	Curb Weight	11,640 kg
	Gear Ratio	1st. 2.6
		2nd. 1.0
		Final 6.143
Motor	Max Torque	1100 Nm
	Rated Power	160 kW
	Max RPM	4500 rpm
	Rated Voltage	380 V
Battery	Capacity	318 Ah
	Rated Voltage	642 V

이다. 시험 차량에 대한 자세한 정보는 Table 1에 제시되어있다. 데이터 분석에 활용되는 차속이나 전력소모, 배터리 SOC(state of charge)는 시험차량의 내부 통신데이터로부터 취득하였다.

### 2.2 시험 조건

다양한 운전조건에서의 배터리 충방전 특성을 분석하기 위하여 본 연구에서는 WHVC(World Harmonized Vehicle Cycle) 모드와 정속주행모드를 적용하였다. WHVC 모드는 대형 차량의 온실가스 측정을 위하여 유럽에서 적용되고 있는 주행모드이다. 총 주행거리는 20.07 km이고, 주행시간은 1800초이다. 정속주행모드는 전기버스의 에너지 효율 평가를 위해 적용되는 모드로, 72.96 km의 속도로 10 km씩 두 번 주행하는 모드이다. 가속과 감속을 고려하여 총 주행거리는 약 21.4 km이고, 주행시간은 1148초이다. 시험에 사용된 주행 모드에 대한 속도 프로파일은 Fig. 1에 나타나 있다.

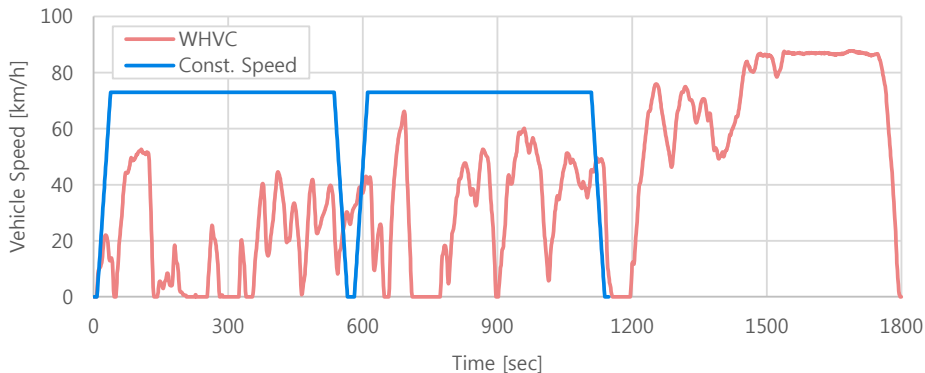
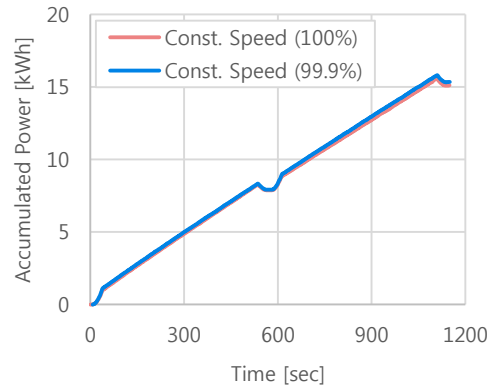


Fig. 1 Speed profiles of WHVC and constant speed driving modes

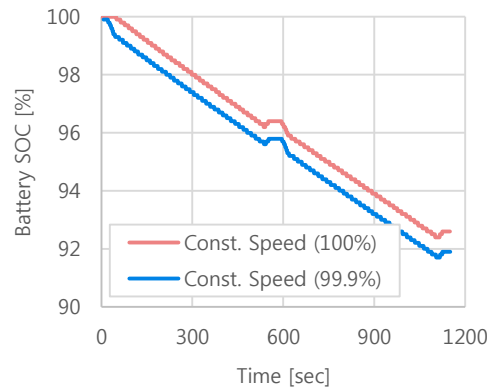
### 3. 결과 분석

전기자동차의 에너지 효율 평가 시험은 배터리가 완전히 충전(SOC 100%)된 상태에서 시작된다. Fig. 2는 SOC 100% 상태에서 시험을 시작하여 정속주행 모드를 주행하는 동안 발생하는 배터리 전력 소모와 배터리 SOC 변화 경향을 보여준다. 주행모드가 단순하기 때문에 가감속 구간을 제외하고는 전력소모가 선형적으로 증가하고, 제동중에는 회생제동에 의하여 배터리 소모가 역으로 감소하는 경향이 뚜렷하게 관찰된다. 가속 중 약 1 kWh의 전력이 소모되고, 10 km를 정속주행하는 동안에는 7.1 kWh의 전력이 소모되었으며, 제동중에는 약 0.4 kWh의 전력이 충전되었다. 자동차의 중량이 11,640 kg이고, 72.96 km/h의 속도로 정속주행하는 동안 차량의 운동에너지는 약 0.664 kWh임을 고려했을 때, 가속하는 동안 주행저항 등으로 소실되는 에너지는 약 0.336 kWh, 회생제동하는 동안 소실되는 에너지는 약 0.264 kWh 수준이라고 볼 수 있다. Fig. 2(b)의 배터리 SOC 그래프에서도 동일한 경향이 관찰되었다. 정속구간에서는 SOC가 선형적으로 감소하였다. 시험시간 600초 부근이 정지 후 다시 가속을 시작하는 구간이며, 이 기간동안 배터리가 충전되었다가 다시 급격하게 감소하는 경향이 관찰되었다. 여기에서 주목할 점은, 시험 시작 직후 가속구간에 돌입하면 배터리 SOC가 급격하게 감소해야 하지만, 실제로는 시험 시작 후 약 50초 동안 SOC가 100%상태에서 머물러있다는 것이다. 두 번째 가속구간인 시험시간 600초에서 배터리 SOC가 약 0.5%p 감소한 것을 감안하면 시험 시작시점에서 배터리 SOC는 100%가 아닌 100.5% 수준으로 충전되었던 것으로 보인다.

이러한 현상을 확인하기 위하여 본 연구에서는 시험 시작 시점에 배터리를 100%가 아닌 99.9%까지 충전한 뒤 동일한 시험을 진행했다. Fig. 2에는 이러한 결과가 비교되어 있다. 우선, 배터리 전력소모는 앞선 SOC 100% 조건과 거의 차이가 없었다. 앞선 시험에서 총 배터리 전력소모가 15.3 kWh였었고, 동일한 조건에서 배터리 충전량만을 변경하여 반복시험한 케이스에서는 총 배터리 전력소모가 15.1 kWh로 거의 동일한 수준의 전력소모가 관찰되었다. 이는 합리적인 결과이며, 이를 통해 시험의 재현성 또한 우수하다고 판단할 수 있다. 반면, 배터리 SOC의 경우 두 시험 간 차이가 상당히 크게 발생했다. SOC 100% 조건에서는 시



a) Battery Power Consumption



b) Battery SOC Change

Fig. 2 Comparison of (a) battery power consumption and (2) battery SOC changes for SOC 100% and 99.9% conditions under the Constant Speed driving mode

험 시작 후 가속구간에 진입해도 SOC에 변화가 없었던데 반해, SOC 99.9% 조건에서는 첫 번째 가속구간과 두 번째 가속구간 모두 약 0.5%p의 SOC 감소를 보였다. 그 이후에는 두 조건 모두 동일한 감소경향을 보였다. 이처럼 배터리를 100% 충전한 상태에서 에너지 효율을 평가하는 경우에는 배터리의 실제 충전량이 100% 이상이 될 수 있다는 것을 고려해야 한다.

배터리 충전상태가 변화함에 따라 회생제동 패턴 또한 변화한다는 것이 확인되었다. Fig. 3(a)는 배터리 SOC 99.9%에서 시험을 시작하여 WHVC 사이클을 2회 반복하는 동안 발생하는 회생제동 전력을 나타낸다. WHVC 모드는 정속주행 모드에 비하여 가감속이 잦기 때문에 회생제동 또한 높은 빈도로 발생하며, Fig. 3에는 회생제동 과정 중 발생한 전력이 관찰된다.

첫 번째 사이클이 진행되는 1800초까지 배터리 SOC는 99.9%에서 91.9%로 8%p 감소했다. 이 과정에서 소모된 전력은 17.82 kWh이고, 회생제동으로 충전된 전력은 2.48 kWh로, 총 15.34 kWh가 소모되었다. 첫 번째 사이클이 끝난 직후 바로 두 번째 사이클이 진행되었으며, 이 과정에서 배터리 SOC는 91.9%에서 84.3%로 7.6%p 감소했다. 첫 번째 사이클에 비하여 배터리 소모량이 약 0.4%p 감소한 결과이다. 이러한 차이가 발생하는 이유는 회생제동의 차이로 보여진다. 두 번째 사이클 동안 소모된 전력은 17.42 kWh로 첫 번째 사이클과 약 2.2% 수준의 차이밖에 나지 않았다. 반면, 회생제동으로 충전된 전력은 3.17 kWh로 첫 번째 사이클에 비하여 약 28% 증가한 수치를 보였다. 회생제동량이 증가함에 따라 두 번째 사이클동안 소모된 총 전력은 14.25 kWh로 첫 번째 사이클보다 약 7.12% 감소하였다. 이처럼 회생제동의 패턴이 변화하는 이유는

배터리 SOC가 90% 이상으로 높은 조건에서 회생제동을 제한하기 때문인 것으로 보인다. Fig. 3에서도 볼 수 있듯이 첫 번째 사이클에서 마지막 감속을 제외하고 회생제동으로 인해 발생하는 최대 전력은 80 kW 수준이다. 반면, 두 번째 사이클에서 회생제동으로 인해 발생하는 최대 전력은 160 kW 수준이다. 배터리가 어느 정도 소모된 상태에서는 회생제동을 최대로 하여 배터리를 충전할 수 있지만, 배터리가 90% 이상 충전된 상태에서는 그만큼 빠르게 충전할 수 없기 때문에 회생제동량에 제약을 두며, 그에 따라 배터리 SOC 상태 변화에 따라 회생제동 패턴에 변화가 관찰되었다.

한편, Fig. 3(b)는 배터리 SOC 50.4%에서 시험을 시작하여 정속주행모드를 5회 반복하는 동안 발생하는 회생제동 전력을 나타낸다. 시험 종료 후 배터리 잔량은 10.3%였다. 이 시험조건에서는 배터리 SOC를 90% 미만으로 줄이고 시험했기 때문에 각 시험 별 회생제

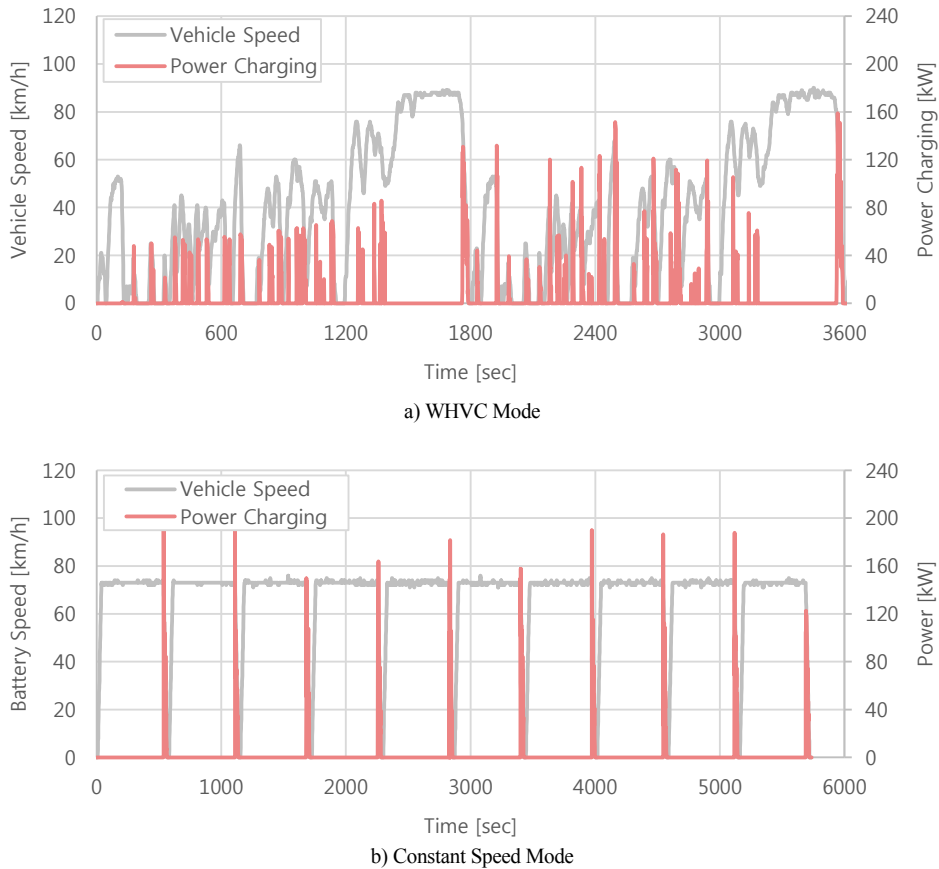


Fig. 3 Changed regenerative braking pattern while driving in the (a) WHVC and (b) Const. Speed modes

Table 2 Power consumed and charged for the five constant speed driving tests

No.	Power Consumed [kWh]	Power Charged [kWh]
1	14.804	0.934
2	14.734	0.918
3	14.781	0.918
4	14.638	0.930
5	14.580	0.962

동의 차이가 없을 것이라 예상되었으며, 시험 데이터 또한 이에 부합하는 결과를 보여주었다. 정속주행모드에서는 각 시험마다 2번 씩 총 10번의 제동만 있기 때문에 그래프를 통해 상대적인 크기를 비교하기는 어렵다. 따라서 각 시험 별 충전량과 방전량을 Table 2에 정리하였다. 결과에서 확인할 수 있듯이 시험 간 전력소모량과 충전량의 차이가 거의 없었다. 전력소모량의 경우 최대와 최소의 차이가 약 1.5% 수준이었고, 충전량의 경우 최대와 최소의 차이가 약 4.6% 수준으로 작은 편이었다. 이러한 결과를 바탕으로, 배터리 소모경향이 달라지는 부분은 배터리 SOC 90% 이상인 경우이며, SOC 90% 이하의 범위에서는 동일한 배터리 소모 경향을 보인다는 것을 알 수 있다. 따라서, 전기자동차의 에너지 효율을 평가하기 위하여 배터리를 100% 소진할 필요 없이 일부만 테스트하여도 전체 에너지 효율을 예측할 수 있을 것이라 생각된다.

#### 4. 결론

최근 세계 자동차 시장에서는 전기자동차의 판매량이 눈에 띄게 증가하고 있다. 하지만 배기 및 연비 측정 방식과 장비가 확립되어있는 내연기관 자동차와 달리, 전기자동차에 대한 정책과 시험방식들은 아직 개선해야 할 부분이 많이 존재한다. 본 연구에서 주목한 에너지 효율 평가 방식 또한 전기자동차의 일충전 주행거리가 짧았던 지금까지는 적용 가능한 방법이었

지만, 주행거리가 점차 증가하는 현시점에 이르러서는 개선이 요구되고 있다. 이러한 목적에 따라 본 연구에서는 배터리 SOC 구간 별 배터리 충방전 특성을 분석하였다. 일반적인 전기차 에너지 효율 평가 시험에서는 배터리 SOC를 100% 충전한 상태로 시험을 시작하지만, 배터리의 실제 충전량은 100% 이상으로 충전되어 있을 가능성이 있다. 이러한 오차를 최대한 줄이기 위한 방법으로 본 연구에서는 배터리를 100%가 아닌 99.9%까지 충전하는 방법을 사용하였다. 또한, 배터리 SOC가 90% 이상인 조건에서는 회생제동이 제한된다는 것을 확인하였다. 따라서 SOC 90% 이상인 조건에서의 에너지 효율은 다른 조건에 비하여 낮았다. 반면, SOC 90% 이하의 조건에서는 배터리 충방전 특성에 큰 차이가 관찰되지 않았다. 따라서, 전기자동차의 에너지 효율을 평가하기 위한 시험에서 배터리를 일부만 소진하더라도 전체 에너지 효율을 예측할 수 있을 것이라 판단된다.

#### Acknowledgement

본 연구는 2021년 한국교통대학교의 지원을 받아 수행하였음

#### References

- 1) 국가표준인증 표준번호 KS R 1135 전기 자동차 에너지 소비율 및 일 충전 주행거리 시험 방법
- 2) J. Lim, H. Lee, C. Kim, Y. Sin, and Y. Park, "A Study of Energy Consumption Test Method for Electric Vehicles, The Korean Society of Automotive Engineers, 2629-2639, 2011.
- 3) J. Kim, J. Jung, and K. Rho, "Validity Study on Revision of Constant Speed Cycle on Electric Vehicle Energy Efficiency Test Procedure in Korea, The Korean Society of Automotive Engineers, 839-843, 2020.