

모터구동 근거리 이동수단의 배터리성능에 관한 연구

고지운¹ · 고광수² · 박윤철[†]

(원고접수일 : 2012년 2월 14일, 원고수정일: 2012년 3월 21일, 심사완료일 : 2012년 3월 30일)

A Study on Battery Performance of a Motor Driven Local Transportation Vehicle

Ji-Woon Ko¹ · Gwang-Soo Ko² · Youn-Cheol Park[†]

요약 : 본 연구에서는 납축전지가 장착된 소형 전기자동차의 여러 가지 주행 특성에 따른 배터리의 전압강하를 실증실험을 통하여 측정하였다. 실험을 통하여 2인승의 소형전기자동차의 에너지 소비량을 평가하고 주행거리 등을 점검하기 위하여 속도별 주행특성과 주행 중에 난방장치를 가동하였을 경우에 감소하는 주행거리를 평가하였다. 전기자동차의 주행속도는 10km/h에서 20km/h씩 증가시키면서 히터의 가동유무에 따른 에너지 소비량을 측정하였다. 실험결과 본 실험용 소형 전기자동차의 에너지효율이 가장 높은 경제속도는 35km/h로 나타났으며, 일회 충전으로 경제속도로 주행할 경우에 약 75km의 거리를 주행할 수 있으며, 일반적인 주행의 경우에는 약 58km를 주행할 수 있다. 또한 난방장치를 최대로 가동할 경우에는 약 35%의 에너지 소비가 증가하는 것을 알 수 있다.

주제어 : 전기자동차, 주행성능, 납축전지, 배터리충전상태

Abstract: This study was conducted to measure battery's voltage drop in a compact electric vehicle to get driving performance in various driving situations. In the experiment, to evaluate the energy consumption and milage, system performance have measured with changing of the driving speed and the reduction of driving distance when the heater was operating. The battery of the car in this study is lead type storage battery. The driving velocity was changed from 10km/h to 50 km/h with 20km/h intervals and the operating step of the heating device. As results, the electronic consumption rate was maximum at 35 km/h of vehicle speed and if the driver turning the heater at maximum, capacity will lead to 35% of energy consumption increment.

Key words: Electric vehicle, Driving performance, Lead-acid battery, SOC (Stage of Charge)

1. 서 론

세계적으로 환경보호에 대한 관심이 날로 증가하고 있는 가운데 우리나라에서는 지구 온난화의 주범인 온실가스 배출을 줄이기 위하여 많은 노력을 기울이고 있으며, 화석 연료의 고갈에 대응하고, 에너지가격에 변동이 취약한 석유 의존경제에서 벗어나기 위하여 다양한 노력을 하고 있다. 이러한 노력의 일환으로 전기자동차, 하이브리드 자

동차 및 연료전지 자동차 등의 전기적 구동시스템을 기반으로 하는 차량이외에도 친환경차량의 개발이 다양하게 진행되고 있다.

최근에 들어서 본격적인 시장형성이 예측되는 하이브리드 전기자동차 및 연료전지 자동차가 단연 주목 받고 있다[1]. 하이브리드 자동차는 2개 이상의 에너지원을 가지고 있는 형태로 일본 도요타 (Toyota)는 세계 최초로 1997년 10월 양산형 하이

[†] 교신저자(제주대학교 기계공학과, E-mail : ycpark@jeju.ac.kr, Tel : 064-754-3626)

1 제주대학교 일반대학원 기계공학과

2 제주대학교 첨단기술연구소

브리드 자동차인 프리우스(Prius)를 생산하였다[2]. 현재는 국내에서도 주요 자동차 메이커에서 양산형 하이브리드 자동차를 속속 출시하고 있다.

하지만 하이브리드 자동차 역시 화석연료를 사용하고 이에 따른 배기가스를 발생하기 때문에 완벽한 친환경 자동차로서는 한계를 가지고 있는 반면에 전기자동차는 배터리 성능과 충전패턴을 고려하였을 때, 하이브리드 자동차보다 경제적이고, 친환경 자동차에 더 가까운 구동형태로 볼 수 있다.

전기자동차는 1873년 가솔린 자동차보다 먼저 제작되었으나, 배터리의 무거운 중량, 충전에 걸리는 시간 등의 문제 때문에 실용화되지 못하다가 공해 문제가 심각해지면서 1990년대부터 다시 연구 개발이 시작되었다. 양산형 전기자동차 1호는 미국 캘리포니아 지역에서 시판되었으며, 이후에 많은 차량 제조사들이 양산형 전기자동차를 개발하고 있으나, 아직도 충전시간 및 주행거리가 짧아 실용성이 약한 부속한 실정이다.

하이브리드 전기자동차는 충전방식에 따라 외부 충전방식과 내부충전방식으로 구분할 수 있다[3]. 외부충전 방식은 하이브리드 전기자동차에 장착된 배터리를 단독 구동의 전기자동차에서와 같이 외부 전원을 이용하여 충전할 수 있는 방식이며, 내부충전 방식은 외부로부터의 충전을 허용하지 않고 배터리의 충전을 내부적으로 해결하는 방식이다. 내부충전 방식에서는 배터리 SOC(Stage of Charge)가 낮아지게 되면 엔진을 통한 발전으로 자체적으로 배터리를 충전한다[4].

외부충전 방식의 하이브리드 자동차는 일반 전기자동차에 가까우며, 도심지의 단거리 주행 또는 출퇴근과 같이 일상적인 주행에서는 전기모터를 주로 사용하고 있다. 반면에 엔진을 사용한 경우에는 장거리 주행 혹은 SOC가 매우 낮아 전기모터의 사용이 가능하지 못한 비상조건의 경우에 이용하고자 하는 목적을 가지고 있다[5]. 외부충전방식은 일반적인 내연기관 자동차의 기본 인프라인 주유소 같은 시설이 없어 국내에서는 내부충전방식에 비해 아직은 사용이 불편하다. 그러나 환경적인 측면에서는 외부충전 방식이 내부충전방식에 비해 연비 및 배기가스 배출 면에서 우수하다는 여러 가

지 연구결과가 있다[6,7].

하이브리드 자동차가 엔진과 전기모터의 구동에 의해 주행되는 반면에, 전기자동차는 차량에 탑재된 배터리를 에너지원으로 사용하기 때문에 배출가스가 발생하지 않는 장점이 있다[8]. 그러나 전기 에너지를 공급하는 시설이 부족하고 긴 충전시간과 높은 가격, 짧은 배터리수명 등의 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 전기자동차의 주행중에 배터리성능변화에 관한 연구를 통하여 전기자동차의 효율 향상 및 모터제어를 통한 주행거리의 향상 등에 대한 연구가 진행되었다[9].

본 연구에서는 2인승 소형전기자동차의 주행특성에 따른 배터리 전압변화량과 난방장치를 가동할 경우에 배터리 전압변화량을 측정하였다. 난방장치의 가동은 자동차 주행거리의 감소를 가져오며, 자동차 운전자의 운전패턴에 따라서도 전기자동차의 에너지 소비와 주행거리가 달라진다. 본 연구에서는 위와 같은 운전조건에 따라서 전기자동차의 효율개선방안의 도출하고자 근거리 이동용 납축전지를 사용한 전기자동차의 성능을 실증운전을 통하여 평가하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 연구의 전기자동차는 최고속도 60km/h, 최대 등판각도 22°, 모터의 회전수는 최대 2,460rpm의 속도로 회전한다. Figure 1은 본 연구의 전기자동차의 개략도이며, 제원은 Table 1과 같다. 실험용 차량은 12V 납축전지 6개를 직렬로 연결하여 모터에 72V의 전압이 공급되어 구동된다. 난방장치는 없고 난방장치로는 최대 난방 시 4.3A 및 최소 난방 시 3.7A의 용량을 갖는 PTC 히터를 사용하고 있다.

본 연구에서 사용된 자료처리 시스템은 주행 중에 데이터를 수집하기 위하여 이동식 자료수집시스템을 사용하였으며, 온도, 전압 및 주파수를 측정센서로부터 신호를 전송받아 보정과정을 거친 후 Data logger에 입력된 후 저장 된다. 주행 속도는 모터의 구동 측에 rpm센서를 설치하여 바퀴의 회전수를 측정 후 바퀴의 외경을 기준으로 주행거리를 계산하였다. 주행속도 변화에 따른 배터리의 전압변화량은 6개의 납축전지의 전압을 개별적

으로 측정하여 평균하였다. 자료 저장장치 및 각종 센서는 차량배터리에 영향을 미치지 않도록 별도로 제작된 배터리 기반의 전원을 사용하였다.

Table 2는 전기자동차의 성능실험 조건이며, 주행속도를 10, 30 및 50km/h로 고정하여 30분 동안 주행 후 배터리 전압 감소량을 측정 하였다. 또한 난방장치가동시의 배터리 전압 감소량은 주행속도를 10km/h로 고정하고 난방장치의 송풍조절 스위치의 단수를 1, 2, 3 및 4단으로 변화시켜 각각에 대하여 배터리 전압변화를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 배터리의 충·방전 특성

배터리의 특성을 파악하기 위하여 배터리를 충전할 때 전압의 변화를 살펴보았다. 방전된 상태에서 플러그를 통해 충전이 시작되면 Figure 2에 나타난 바와 같이 전압이 순간적으로 급격하게 12.5V까지 상승 한 후 시간이 흐름에 따라 선형적으로 상승하다가 충전이 거의 끝나갈 시점에는 2차식의 형태로 증가한다.

배터리가 완충되면 배터리 전압은 15V 전후가 되며, 충전시간은 약 8시간이 소요된다. 완충 이후에도 충전이 계속 진행되면 각 배터리간이 전압변화가 달라지는 랜덤구간이 발생하는데 이는 각 배터리의 성능이 일정하지 않기 때문이라고 판단된다. 이후에도 충전을 지속하면 일정시간이 지나서 충전전원이 자동으로 차단되고, 6개의 배터리 모두가 충전전압인 12.9V로 수렴한다.

Figure 3은 배터리 방전특성을 나타내고 있다. 실험은 실험용 차량을 차량용 전용 리프트를 이용하여 지면에서 이격 시킨 후 무 부하 상태에 가속페달의 제어를 통하여 일정속도(최대속도 59km/h)로 운전될 수 있도록 하였다. 주행이 시작되면 완충상태에서 급격히 전압이 떨어지고 어느 정도 시간이 지난 후에는 시간에 따라 선형적으로 감소한다.

실험을 통하여 배터리를 충전할 때 전압변화와 차량운행으로 인하여 감소하는 방전 시 전압변화는 서로 차이가 있음을 알 수 있었다. 또한 6개의 배터리 중에서 각 배터리를 충전할 때 전압의 변화는 같은 경향을 나타내지만 충전이 완료된 이후에

각 배터리는 충전이 중단될 때까지 각기 다른 전압변화를 나타내고 있다.

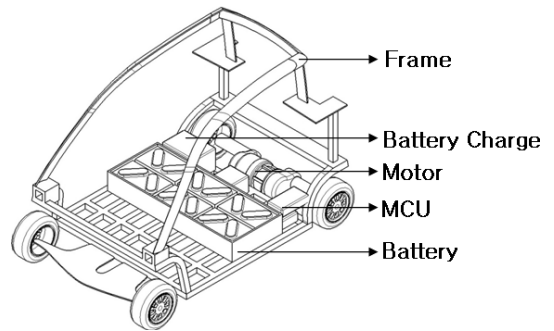


Figure 1: Schematic of electric vehicle

Table 1: Specification of electric vehicle

Size(LxWxH)(mm)	2665x1440x1540	
Weight(kg)	620	
Motor(kW)	7(Single Type)	
Battery(V)	72	
Max. Speed(Km/h)	60	
Max. Torque(ps)	24.1	
Motor RPM	2,460	
Battery	12V, 20HR	
PTC heater	Min op.	3.7A, 275W
	Max op.	4.3A, 340W

Table 2: Experimental conditions

Velocity (km/h)	Heater (step)	Measurement Interval (Min)
10	off	30
30		30
50		30
10	1	10
	2	
	3	
	4	

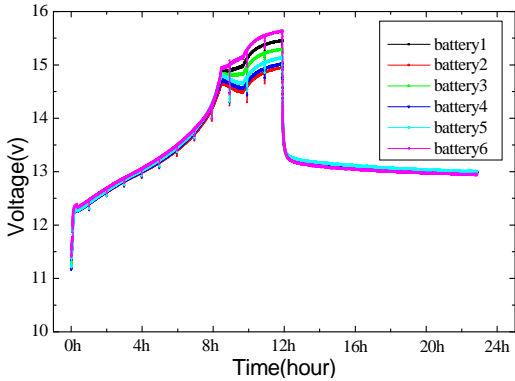


Figure 2: Voltage variation at charging mode

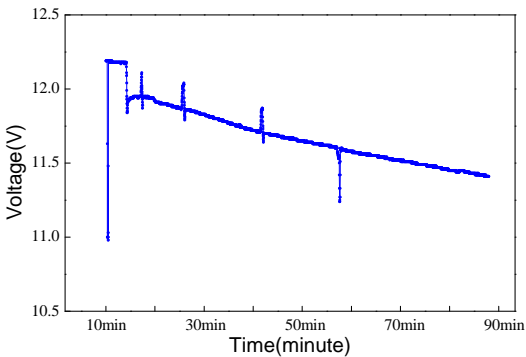


Figure 3: Voltage variation at a discharge operation

3.2 주행중 배터리의 성능평가

Figure 4는 차량의 등판각도의 변화에 따른 배터리 전압변화를 나타낸 것으로 평지주행의 경우와 20% 내리막길을 주행할 경우를 비교하였다. 내리막길을 주행할 경우에 평지주행에 비하여 배터리 전압변화폭이 크게 증가하였으며, 이것은 배터리가 차량제동 시 혹은 가속을 하지 않는 경우의 약간의 역 충전이 발생한 것으로 판단된다. 자동차 시동 후 주행이 시작되면 배터리의 전압이 불규칙적으로 크게 변화는 랜덤변화구간에 들어가며, 차량이 멈춘 후에는 서서히 전압이 회복하여 일정한 전압으로 수렴하는 것을 알 수 있다. 하지만 수렴한 전압은 초기 시동 전 전압보다 떨어지며, 초기전압과 정지후 전압차가 이동중에 소비된 에너지이다. 등판각도에 따른 전압변화를 살펴보면 Figure 5와 같다. Figure 5는 Table 2의 실험조건 중에서 10km/h의 속도로 30분간 주행하였을 때 배터리 전압변화

량을 나타낸 것이다. 주행이 시작되면 일정하게 전압이 감소한 후, 주행이 계속 진행 될수록 전압의 변화가 급격하게 진행된다. 이때 주행 종료 후에는 서서히 전압이 회복하여 일정한 전압으로 수렴하는 것을 알 수 있으며, 시동 전 초기전압 12.5V가 주행 후에는 0.2V로 감소하였다.

Figure 6과 Figure 7은 각각 30km/h와 50km/h로 주행 하였을 경우에 대한 결과로써 10km/h의 경우와 동일한 경향을 보이고 있으며, 배터리의 전압변화량을 각각 30km/h일 때 0.3V, 50km/h일 때 0.6V로 감소하였다. 10km/h로 주행 시 0.2V의 배터리 감소량에 비해 50km/h주행 시 0.6V의 감소량과 비교 할 때 3배의 배터리 소비량이 증가함을 알 수 있다.

주행속도에 따른 배터리 전압의 감소량을 나타내면 Figure 8과 같으며, 주행속도가 증가할수록 배터리의 전압감소량도 증가하는 것을 볼 수 있다. 주행속도에 따른 전압강하는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$dV = 0.003v^2 - 0.005v + 0.225 \tag{1}$$

여기서 v 는 속도(km/h)이며, dV 는 전압강하량 (Volts)이다.

주행속도별 전압강하를 이용하여 단위 전압강하를 통하여 주행할 수 있는 거리를 주행속도에 대하여 나타내면 Figure 9와 같다. 주행거리의 주행속도가 증가하면 어느 속도까지는 주행거리가 증가하지만 일정한 주행속도를 초과할 경우는 반대로 주행속도 증가에 대하여 주행할 수 있는 거리는 감소하며 속도에 따른 단위 전압강하를 통하여 주행할 수 있는 거리는 식 (2)와 같다.

$$dL = -0.0412v^2 + 2.9v + 0.125 \tag{2}$$

여기서 v 는 속도(km/h)이며, dL 는 단위 전압당 이동거리(km/volts)이다.

본 연구의 실험차량은 주행속도가 약 35km/h의 속도에서 최대 주행거리를 보이며, 이후에는 감소하여 본 연구의 최대 경제속도는 35km/h임을 알 수 있다.

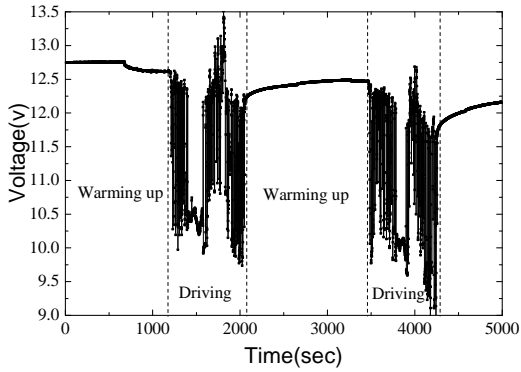


Figure 4: Voltage variation with various driving mode

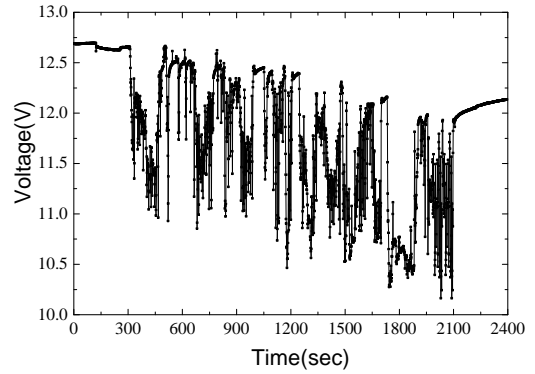


Figure 7: Voltage variation at a constant speed of the vehicle(50km/h)

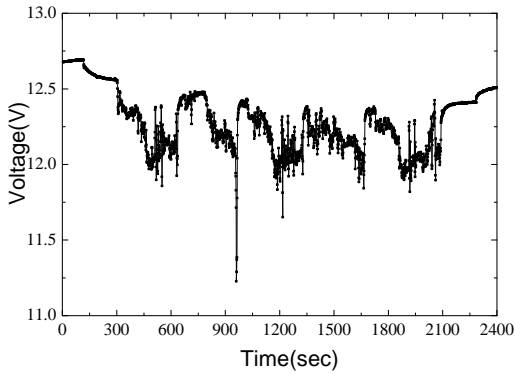


Figure 5: Voltage variation at a constant speed of the vehicle(10km/h)

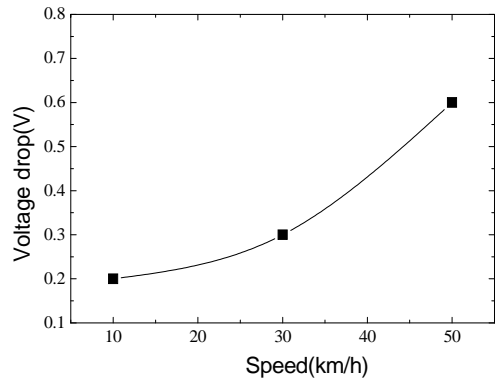


Figure 8: Voltage drop with variation of the vehicle speed

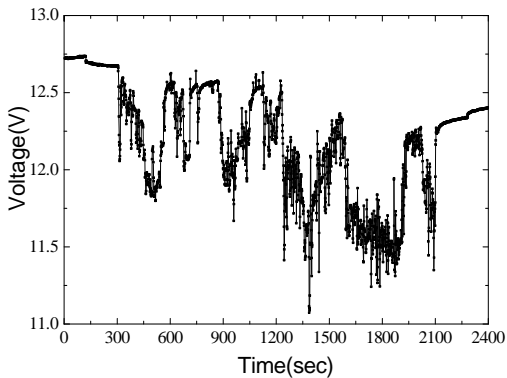


Figure 6: Voltage variation at a constant speed of the vehicle(30km/h)

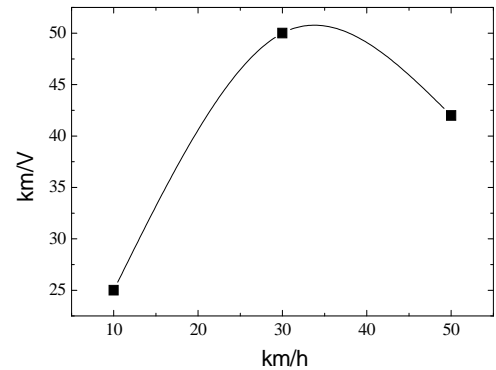


Figure 9: Unit voltage for 1 km distance with change of vehicle speed

본 연구의 실험용 전기자동차는 완전히 충전된 상태일 때 배터리 전압은 12.9V이며, 완전방전은 아니나 배터리의 안전을 위하여 차량이 멈추는 배터리 전압은 11.5V이므로 30km/h로 30분 주행 시 0.3V의 감소를 나타낸다. 따라서 배터리 최대용량인 1.4V전압강하를 통하여 운전할 수 있는 시간은 약 2시간 20분 정도이다. 주행시간을 거리로 환산 하였을 때 본 실험차량이 최대경제속도인 30-35 km/h의 속도로 운전할 경우에는 약 75km의 거리를 이동할 수 있다. 도로의 상황과 운전자의 습관 등 여러 가지 요인으로 인하여 일반적으로 경제속도가 아닌 속도로 운전할 경우에는 약 58km를 주행할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 난방장치의 가동에 따른 성능평가

전기자동차를 10km/h의 속도로 운전하면서 난방 장치의 가동에 따른 전압강하를 측정하였다. 난방 장치의 송풍단계를 1단으로 설정하였을 때 배터리의 전압변화는 Figure 10과 같으며, 전압변화는 12.65V에서 주행 후 12.63V로 0.02V로 감소하였다. 같은 조건에서 송풍단계를 2단, 3단 및 4단으로 증가하였을 경우에 배터리 전압 강하량은 Figure 11에 나타낸 바와 같이 각각 0.07V, 0.07V 및 0.09V로 나타났다. 이로부터 실험용 전기자동차의 운전자에 의하여 조절되는 송풍기의 2단과 3단은 같은 출력으로 송풍되고 있음을 알 수 있으며, 운전절환 스위치는 실제적으로는 3단계의 제어를 하는 것을 알 수 있다.

전압강하를 살펴보면 1단의 송풍단계에서는 0.02V의 감소를 보인 반면에 최대풍속인 4단의 송풍단계 일 때는 0.09V감소량을 나타내며 약 4배 이상의 배터리소비를 동반하고 있음을 알 수 있다. 이것은 난방 장치를 가동하지 않고 10km/h의 속도로 0.066V의 전압강하를 가져오므로 난방장치를 4단으로 가동하였을 경우에 시험차량은 0.09V의 전압강하를 가져와 히터를 가동하지 않을 경우와 비교하였을 때 약 35%정도의 에너지 소비가 증가한다.

4. 결 론

현재 시판중인 전기자동차의 여러 가지 운전패

턴의변화에 따른 배터리의 전압강하를 실험을 통하여 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

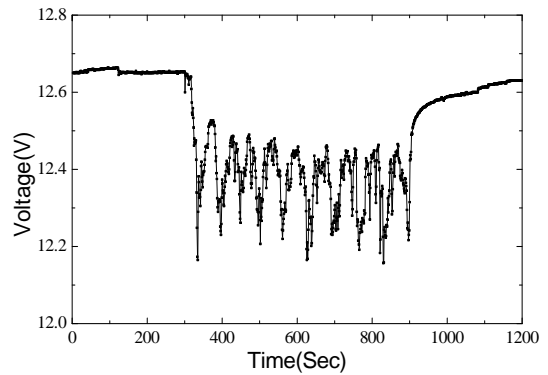


Figure 10: Voltage variation at a constant speed with operation of the PTC heater operation(1st step)

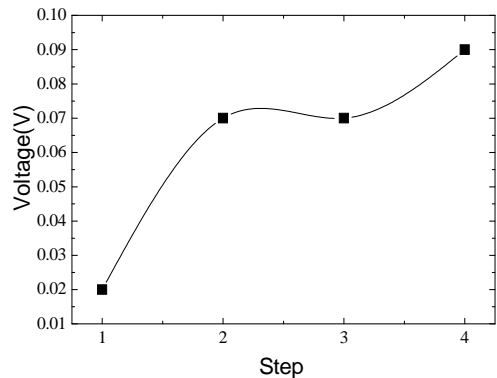


Figure 11: Voltage drop with changing of the PTC heater step at the 10km/h of vehicle speed.

- (1) 차량의 주행속도에 따른 배터리 감소량은 10km/h로 주행할 경우 보다 50km/h로 주행하였을 때 약 3배의 배터리 소비량이 증가한다.
- (2) 본 연구에 사용된 차량의 최대 경제속도는 35km/h이며, 경제속도로 주행할 경우 일회 충전으로 약 75km의 거리를 운행할 수 있으며, 일반적인 운전방법으로는 약 58km를 주행할 수 있다.
- (3) 난방장치의 송풍단계를 4단으로 하였을 경우에 1단으로 하였을 경우에 비하여 약 4배의 에너지 소비가 증가함을 알 수 있다.
- (4) 차량을 10km/h의 속도로 운전할 때 난방장치

를 가동하지 않았을 때보다 송풍단계가 4단인 최대 난방운전을 하였을 경우에 약 35%정도에 에너지 소비가 증가한다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 (과제번호 : 2011 - 0012326)의 지원을 받아 수행된 것임.

참고문헌

- [1] T. Markel, M. Zolot, K. B. Wipke and A.A. Pesaran, "Energy storage system requirements for hybrid fuel cell vehicles," Advanced Automotive Battery Conference, pp. 10-13, 2003.
- [2] K. David Huang and S. C. Tzeng, "Development of hybrid pneumatic-power vehicle," Applied Energy, Vol. 80, pp. 47-59, 2005.
- [3] F. G. Willis and R. R. Radtke, Hybrid Vehicle System Analysis, SAE 850225, 1985.
- [4] 최득환, 김현수, "외부충전 방식 하이브리드 전기 자동차의 연비 시뮬레이션," 한국자동차 공학회 논문집, 제10권, 제5호, pp. 121-128, 2002.
- [5] A. A. Frank, "The use of a CVT in a parallel hybrid electric vehicle for super fuel efficiency and high performance," Proc. of International Congress on Continuously Variable Power Transmission, pp. 202-208, 1999.
- [6] A. Kalberlah, Electric Hybrid Drive Systems for Passenger Cars and Taxis, SAE 910247, 1991.
- [7] C.H. Kim, E. Namgoong, S.C. Lee, T.C. Kim and H.S. Kim, "Fuel economy optimization for parallel hybrid vehicles with CVT," SAE 1999-01-1148, 1999.
- [8] 길범수, 조종표, 표영덕, 김강출, "도심 주행 패턴에 따른 소형 전기자동차 최적화 전략," 한국자동차공학회 논문집, 제18권, 제3호, pp. 53-59, 2010.
- [9] 최육돈, 박영우, 김연준, 이종찬, "전동기의 최대 효율제어에 의한 전기자동차의 주행거리증

대," 전력전자학회 2002년 학술대회논문집, pp. 19-22, 2000.

저 자 소 개



고지운(高智云)

2011년 제주대학교 기계공학과 (공학사), 현재 제주대학교 에너지응용시스템학부 기계공학전공 석사과정. 관심분야 : 냉동공조



고광수(高光秀)

2005년 제주대학교 기계공학과 (공학사), 2007년 제주대학교 에너지응용시스템학부 기계공학전공 (공학석사), 2007년 - 2008년 GS ENG 설계파트, 2008년 - 2010년 경인기계 냉각탑 연구소 연구원, 현재 제주대학교 첨단과학기술 연구소 특별연구원. 관심분야 : 냉동공조, 에너지변환



박윤철(朴潤鐵)

1990년 고려대학교 기계공학과 (공학사), 1992년 고려대학교 기계공학과(공학석사), 1997년 고려대학교 기계공학과(공학박사), 1997년 - 1998년 UIUC Post Doc., 2000년 - 2002년 삼성전자주 책임연구원, 2007년 - 2008년 UIUC 방문연구원, 2002 - 현재 제주대학교 기계공학과(교수). 관심분야 : 냉동공조, 에너지변환