NEV용 스마트 Off-Board 충전시스템 설계

박성일* · 이정기**

Design of Smart Off-Board Charge System for Neighborhood Electric Vehicle

Sung-Il Park* · Jeong-Gi Lee**

요 약

급격한 원유가격 상승과 환경 친화적 차량에 대한 수요가 증가하면서 전기자동차에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있으며, 특히 근거리 전기자동차(NEV)는 양산 가능성이 매우 높은 무공해 차량으로 관련 기술에 대한 개발이 시급히 요구되는 시점이다. 본 논문에서 연구하고자 하는 중대형 2차전지 On-Board 충전기는 우주항공 및 일반 산업 분야에서도 충분히 응용가능한 요소 기술이고, Off-Board 스탠드형 충전기는 향후 활성화될 충전 인프라 구축 사업에 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

ABSTRACT

As oil price and demand for environment friendly vehicle rapidly increase, research on electric car is being widely carried out. Especially, NEV(Neighborhood Electric Vehicle) is a pollution-free vehicle that can be mass-produced which the time of development for related technologies is urgently needed. In this paper the On-Board charger for mid- and large- sized secondary cell is applicable in aerospace and other general industries, and the Off-Board standing charger is expected to be employed in creating charging infrastructure.

키워드

Lithium Battery, Off-Board, Smart Charge System
리튬 배터리, 오프보드, 스마트 충전시스템

1. 서 론

전기차는 본래 내연기관 보다 먼저 개발되었지만 기술적인 면에서 뒤처지면서 실용화되지 못했다. 하지만 최근 기후변화 대응 등, 환경과 에너지 문제 등으로 저탄소 녹색성장의 기대주로 새롭게 주목되면서 세계적인 개발 경쟁이 본격화하고 있다.

이에 전기차 시장의 중요한 선결 과제로 떠오르고 있는 것이 충전 인프라 분야이다. 전기차 보급에 따른

충전 인프라 관련 비즈니스를 둘러싼 경쟁도 빠르게 전개되고 있으며, 일본 후지키메라는 전기자동차나 플러그 인 하이브리드 차를 겨냥한 충전 인프라의 2020년 세계시장을 2010년 대비 53.8배 급성장한 2,043억 엔 규모에 이를 것으로 전망한 바 있다. 전기차 충전 인프라는 아직 세계적인 표준화가 이루어지지 않고 있어, 표준화 선점이 향후 시장 주도권 확보의 근간이 되리라는 판단하에 국가 간 경쟁의 양상을 보이고 있다. 이에 전기차 충전인프라는 실용화 기술개발 및 실

* (재)광주과학기술교류협력센터 책임연구원(etoto@hanmail.net)

** 교신저자(corresponding author) : KETI 책임연구원(jklee@keti.re.kr)

접수일자 : 2013. 08. 23

심사(수정)일자 : 2013. 09. 23

게재확정일자 : 2013. 10. 23

용 시제품의 개발완료와 표준화를 선점하고 유관산업으로의 시너지 효과를 극대화한다는 점에서 전기자동차 충전기개발은 의미가 크다고 할 수 있다[1][2].

국내에서는 전기자동차 충전기 전문 개발 업체들은 일본, 유럽 및 미국 시장에 제품을 수출할 정도로 기술력을 확보하고 있다. On-Board 충전기 및 Off Board 충전기, 충전 인터페이스 부품, 충전 충전기 등 충전 인프라 구축을 위한 핵심 요소 기술은 주요 선진국과 대등한 수준이지만 요금 부과시스템 등 ICT 연계 서비스 기술은 선진국에 비해 다소 늦은 상황이다. 또한 국내에서는 현대자동차 등 자동차 메이저메이커를 중심으로 차량 및 전체 시스템에 대한 제품화 및 사업화는 어느 정도 진행되고 있으며 CT&T, 탑알앤디 등의 중소기업체 충전 차량기술 개발의 정상궤도에 올려 놓은 상태에서 충전관련 기술을 전기 업체와 협력하여 개발중에 있다.

전 세계적으로 충전인프라 개발 및 구축은 초기 단계로서 충전기 인터페이스 등 관련 표준은 확립되지 않은 상황이며 일본 50kW급, 미국 200kW급, 유럽의 일부 국가에서는 30kW급 급속 충전기가 개발중에 있다. 또한 전기자동차의 보급에 빠뜨릴 수 없는 충전인프라의 정비를 위해서 자동차 메이커와 전력회사가 서로의 기술 정보 등으로 효율적인 인프라 구축을 목표로 제휴하고 있는중이다. 미츠비시 자동차등이 올여름부터 EV의 대량판매를 시작하고 있어 관련 기업의 제휴로 EV보급을 지원할 것으로 예상된다.

본 논문에서는 NEV용 스마트 Off-Board를 직접 설계하여 충전시스템을 개발하여 검증하고자 한다.

II. 스마트 충전기 성능시험 기준

리튬배터리를 채용한 전기자동차의 On-Off Board 충전기의 성능 시험기준을 마련하기 위해서는 On-Off Board 충전기의 효율, 역률, 충전 전압, 전류, 충전시간 등의 전기적 특성뿐만 아니라, 탑재에 따른 내진동, 내온습도 등의 내환경성, 배터리 보호성능, 온도검출 성능, SOC추정 정밀도 및 원격 모니터링/제어, 과금 체계의 편의성 등 다양한 성능시험기준이 필요하다[3].

본 논문에서는 기존의 전기적/기계적 성능 및 내환

경제적 특성 이외에 배터리 보호성능, SOC 추정성능 등과 같이 On-Off Board 충전기와 전기자동차 시스템의 전체적인 성능인자에 영향을 미치는 요소에 대하여 기준을 마련하고자 하였다. 본 On-Off Board 충전기의 성능 시험기준 확립을 위한 주요 항목은 다음과 같다[4].

- On-Off Board 충전기 성능 시험 기준 확립
- Smart 융합 관리 장치 성능 시험 기준 확립

그림 1. 스마트 충전기 성능시험 기준 확립 구성도
Fig. 1 Configuration of smart charger performance standard test

그림 2. 스마트 충전기 구성도
Fig. 2 Configuration of smart charger

2.1 On-Off Board 충전기 성능 시험 기준 확립

▪ **탑재형 충전장치 내구성능 평가 항목** : 기존의 자동차 탑재장치의 성능 평가 항목과 유사하나 주로 온도 등이 주요한 요소이다.

- 차량 내진동/내충격 특성

- 온습도/과전압 및 EMC 수명열화 특성
- 주요 열화 특성
- 내구성명 저해요인 개선안
- 고장예방 및 수명 증대

▪ 과방전 보호 : 전지를 일정전압 이하로 방전하게 되면 음극의 집전체인 구리가 전해액 내부로 용해되기 시작하여 전지의 성능이 저하된다. 따라서 전지 팩에는 과저전압 보호 회로가 반드시 필요하다[5][6].

▪ 과방전 금지 기능 : 일반적인 리튬이온 배터리는 보호 회로는 전지당 $2.3 \pm 0.15V$ 이하로 방전되는 것을 방지한다. 또한 전지 전압이 전지당 $2.3 \pm 0.15V$ 로 올라가게 되면 다시 방전이 가능하게끔 한다.

▪ 과충전 전압보호 : 일반적으로 리튬 이온 전지가 4.5V 이상으로 충전되면 전지 내부의 전해액이 분해되어 기체를 형성하게 된다. 형성된 기체는 전지 내부 압력을 증가시키게 되고 내부압을 해소하기 위한 안전밸브가 작동을 하게 되고 이는 전해액의 누출을 수반할 수 있다. 어느 전압 이상(일반적으로 4.35V)으로 충전하지 않도록 해야 한다.

그림 3. 리튬이온 배터리의 SOC 특성
Fig. 3 SOC characteristic of lithium battery

▪ 과충전 방지 기능 : 보호 회로는 전지 한 개당 $4.35 \pm 0.05V$ 이상으로 충전되는 것을 방지하고 전지의 전압이 $4.0 \pm 0.15V$ 이하로 떨어지게 되면 다시 충전이 가능하게끔 해야 한다.

▪ 안전 보호 설계 : 충전기나 사용 기기에 이상이 발생하여도 전지팩이 안전할 수 있도록 보호 회로가 전지팩을 보호할 수 있어야 한다[7][8]

그림 4. 리튬배터리의 보호 특성
Fig. 4 Characteristic of lithium battery protect

단자의 단락 보호 단자(output terminals)에서 단락이 일어나게 될 경우 보호 회로는 전지의 방전을 방지한다. 전지가 정상이 되면 보호 회로는 자동적으로 다시 전지의 방전이 가능하게끔 한다.

III. 근거리 전기자동차 급속 충전 가능한 Off-Board 충전기 설계

근거리 전기자동차 외부에서 급속충전이 가능한 Off-Board 충전기 설계 회로는 다음과 같다.

- 급속충전 시간은 SOC 80%까지 2C rate로 충전할 때 30분 이내에 가능하도록 설계한다.
- 입력전압은 정격의 $\pm 10\%$, 전류는 100A, 전력량 측정 오차는 $\pm 1\%$ 를 만족하는 전력 제어기를 설계한다.

▪ 전기차 사용자를 위해 전압 및 주파수, 전류 모니터링기능 SOC 추정 및 최적 충방전 모니터링 기능, 충전금액 및 주행가능거리 모니터링 기능, 단상 및 삼상 컨트롤 기능을 사용할 수 있는 전기자동차용 충전기의 충방전을 위한 원격 모니터링 소프트웨어를 개발한다.

그림 5. 충전기 메인보드 회로도
Fig. 5 Circuit of charger main board

▪ 전기자동차용 리튬 수소, 리튬 이온 배터리에 연결하여 완속 충방전을 원격으로 모니터링 하고 start, stop 등을 컨트롤 할 수 있다.

그림 6. 충전기 모니터링 시스템 구동모습
Fig. 6 Charger monitoring system drive

3.1 충전기 효율 및 충전기 역률 시험

배터리의 SOC는 중요한 요소 중 하나이다. 일반적으로 SOC는 배터리 전압에 의한 방법, 전류적산에 의한 방법, 배터리 내부저항에 의한 방법 등 다양한 방법이 있으나 이들 각각의 방법은 조건에 따른 오차의 범위가 커질 수 있으며, 특히 전압 및 내부저항에 의한 방식의 경우 충방전의 크기 및 지속시간에 따라

분극현상의 해소까지 많은 시간이 소요되며, 기준 SOC 부근에서는 미소한 전압 및 내부저항 해체가 발생된다고 SOC는 많은 차이를 보이게 된다. 초기 SOC에서 충방전을 실시하여 SOC가 따라왔을 때를 기준으로 경과시간별 OCV(Open Circuit Voltage)를 측정하면 시간이 경과함에 따라 기준이 점차 감소하여 안정화됨을 볼 수 있다. 하지만 일정전압에 도달하는데 장시간이 소요된다.

내부 저항에 의한 SOC경우 출방법은 DC 측정법에 의해 계산될 수 있다. 이 방식의 경우 전류가 변화시 내부저항에 따른 전압강하분과의 관계를 통해 배터리의 내부저항을 측정하는 방식으로 HEV의 경우처럼 충방전 전류가 빈번히 교번되는 시스템에서는 적용하기가 어려우며, 충방전 전류의 크기에 따른 내부저항의 값도 변화하게 된다.

본 논문에서는 전류적산법을 토대로 하고, 오차율 α 에 대해 배터리 전압을 근거로 하여 보정하는 방법을 택하였다. 전압에 의한 보정시점은 전압오차에 의한 SOC의 오차범위가 작은 시점에서 실시하며, 보정에 필요한 전압은 각각의 전류 및 온도별로 미리 시험을 실시하고 이를 테이블로 수정하였으며, 동일조건에서 상하한 전압에 도달시 SOC를 보정하도록 구성하였다. 보정시점의 결정은 기준 SOC 부근에서는 그 그래프의 기울기가 완만하여 미소한 전압오차에도 SOC의 변동폭이 커지게 되며, 반면 상하한 제한 SOC 부근에서는 그래프의 기울기가 비교적 커지게 되어 오차의 발생을 줄이고 배터리의 과충전 및 과방전을 방지하기 위한 배터리 동력공급차단 시점을 정확히 검출한다.

충전기 역률은 최종 목표치인 On Board 일 경우 98%, Off Board일 경우 97%를 기준으로 시험을 실시 시험 데이터 값에 따라 충전기의 역률은 On Board 일 경우 98%, Off Board일 경우 98.1%의 결과 값이 나오며 개발목표치를 상회한다는 걸 알 수가 있다.

충전기 효율은 최종 목표치인 On Board 일 경우 93%, Off Board일 경우 91%를 기준으로 시험을 실시하였다.

시험 데이터 값에 따라 충전기의 효율은 On Board 일 경우 96.059%, Off Board일 경우 96.065%의 결과 값이 나오는 걸 실험을 통해 알 수가 있다.

※ 역률, 효율 측정 Raw Data.

그림 7. 역률 효율 Raw Data 측정

Fig. 7 Measured of raw data inversed efficiency

IV. 결론

중대형 2차전지 On-Board 충전기는 우주항공 및 일반 산업 분야에서도 충분히 응용가능한 요소 기술이고, Off-Board 스탠드형 충전기는 향후 활성화될 충전 인프라 구축 사업에 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

소형 전기자동차뿐만 아니라, NEV, HEV 및 대형 전기차 분야의 제품 개발의 기반 마련. 소형에서 대형에 이르는 전기자동차 충전기 및 통합관리 시스템의 시험 지원 등을 추진하여 표준 및 인증기술 선도로 관련 제품 신규시장 창출을 기여할 수 있다.

충전기 역률은 최종 목표치인 On Board 일 경우 98%, Off Board일 경우 97%을 기준으로 시험을 실시 시험 데이터 값에 따라 충전기의 역률은 On Board 일 경우 98%, Off Board일 경우 98.1%의 결과 값이 나오며 개발목표를 상회한다는 걸 알 수가 있다. 향후 필드 실험과 신뢰성 시험에 관한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] C. Zheng, Y.-I. Park, W. S. Lim and S. W. Cha, "A Simulation Study for the Performance of Electric Vehicles", The 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition, 2010.
- [2] S. Y. Tseng, T. C. Shin, S. Y. Fan, and G. K. Chang, "Design and implementation of lithium-ion/lithiumpolymer atttery charger with impedance compensation", IEEE International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS) 2009, pp. 866-870, 2009, November
- [3] A. John, R. Peter, "Electric Communication Development", Communications of the ACM, 40, pp. 71-79, May, 1997.
- [4] Y. C. Chiang, Y. L. Ke, H. S. Chuang, and H. K. hen, "Implementation and analysis of an improved series-loaded resonant dc/dc converter operating above resonance for battery chargers", IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (ICPS) 2008, pp. 1-8, May, 2008.
- [5] N. H. Yu, "Development of smart pedestal system using IT convergence technology", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 7, pp. 1-7, 2012.
- [6] S. H. Yun, H. B. Son, Y. C. Rhee, "A Study Head up Display System for Next Generation Vehicle", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 3, pp. 439-444, 2011.
- [7] Y. S. Moon, Y. C. Bae, H. R. Cha, S. H. Roh, J. K. Park, "The Development of Ecobot Root for Fridently Environment Smart Home Appliance Application System", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, 2010, Vol. 5, No. 4, pp. 480-485, 2010.
- [8] Y. Jho, "Physical Layer Issues in Vehicular Communication", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 5, pp. 1229-1234, 2012.

저자 소개

박성일(Sung-II PARK)

2002년 동신대학교 정보통신공학과
졸업(공학사)

2004년 동신대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사)

2010년 전남대학교 대학원 전자정보통신공학과 졸업
(공학박사)

2006년~2010년 동신대학교 정보통신공학과 전임강사

2012년~현재 GJSTEC 책임연구원

※ 관심분야 : RF 부품설계, 소형안테나 설계, 초고
주파 회로 설계, EMI/EMC

이정기(Jeong-Gi Lee)

2004년 조선대학교 대학원 컴퓨터
공학과(공학석사)

2004년 조선대학교 대학원 컴퓨터
공학과(공학박사)

2016년~현재 전자부품연구원 책임연구원

※ 관심분야 : 임베디드 시스템, 스마트 그리드 보안,
U-헬스케어 등