

전기 자동차의 안전성 확보를 위한 배터리 관리 시스템의 절연 설계

박정환, 차한주
SK배터리시스템즈, 충남대학교

Insulation design of battery management system for safety of electric vehicle

Junghwan Park, Hanju Cha
SK Battery Systems, Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문에서는 국제 규정에서 요구되는 고전압에 대한 전기적 안전성 확보를 위한 설계 기준 및 배터리 관리 시스템의 절연 설계 방법에 대해서 살펴보았다. 아울러 고전압 안전성 상태를 감시하는 지락과피 감시기능의 동작 해석에 대한 연구를 진행하였으며, 실험을 통하여 그에 대한 타당성을 검증하였다.

1. 서론

전기 자동차의 에너지원으로 사용되고 있는 리튬이온전지는 단위 질량, 부피당 갖는 에너지 밀도가 높고 원하는 형태로 만들수 있는 유연성으로 인하여 적용 가능한 새로운 에너지원으로 주목받고 있다. 자동차 운행 중에 배터리 내부에서는 지속적인 충전과 방전 동작이 수행되는데 의도치 않은 원인에 의해 배터리에 과전압이 인가되거나 과전류가 흐르게 되는 상황이 지속될 경우 발화 및 폭발의 위험성이 있다. 또한 배터리내의 셀들의 전압 및 온도가 일정하게 유지되지 않는다면 배터리의 수명 및 성능을 저하시키는 원인으로도 작용한다. 배터리 관리 시스템(Battery Management System; 이하 BMS)은 이러한 문제점을 방지하기 위해서 전기 자동차 시스템 내부에서 배터리의 에너지 사용을 최적화하고, 배터리의 위험성을 최소화시키기 위한 다수의 기능을 수행하고 있다. 본 논문은 배터리 관리 시스템의 절연 설계 방법에 대해서 살펴보고, 고전압 안전성 상태를 감시하는 기능인 지락과피 감시기능에 대한 동작 해석 및 검증을 진행하였다[1].

2. 배터리 관리 시스템의 절연 설계

2.1 고전압 시스템 안전 기준

고전압 시스템은 국제 규격인 ISO6469에 따르면 직류 60V 또는 교류 30V 이상의 동작 전압을 사용하는 시스템으로 정의된다. 일반적으로 전기 자동차 배터리는 직류 60V이상의 전압을 가지므로 고전압 시스템에 해당된다. 고전압 시스템에 사람이 직접적으로 접촉하면 통전전류의 크기와 시간에 따라 인체에 큰 충격을 주며, 최악의 경우 심정지에 이를 수도 있다. 간접접촉의 경우 고전압 시스템의 절연성능이 일정기준 값 이하로 파괴되면 직접 접촉과 동일하게 인체에 심각한 전기적 충격을 줄 수 있다. 간접 접촉에 의한 전기적 충격을 방지하기 위한 고전압 시스템의 절연성능에 대한 기준은 최소 직류 전압 기준 100 Ω/V 이상의 값을 가지도록 규정하고 있다[2].

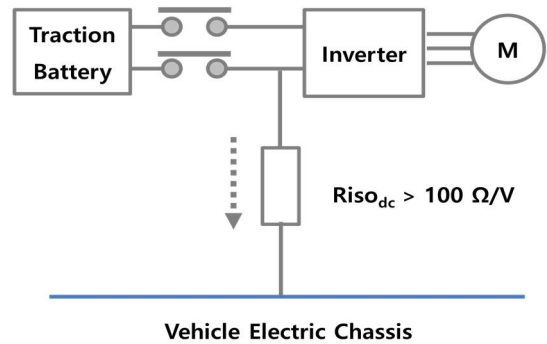


그림 1 고전압 시스템의 절연성능 기준

2.2 절연 설계

전기 자동차의 배터리 팩 내에 위치하는 배터리 관리 시스템은 고장 진단을 위하여 배터리의 고전압 버스과 연결되어 있기 때문에, 고전압 안전 규정을 준수해야 한다. 또한 고전압에 대한 절연 성능 확보를 위하여 배터리 관리 시스템 내부의 고전압 회로 영역과 저전압 회로 영역은 이격 설계 되어져야 한다. IEC 60664 국제 규정에서는 고전압 시스템의 동작 전압에 따른 절연 성능을 만족시키기 위한 이격 거리 설계 기준에 대해서 정의하고 있다. 내전압 3600Vdc가 인가되는 고전압 시스템일 경우, 고전압 영역과 저전압 영역 사이를 약 3mm 정도의 이격거리를 유지하여 설계하여야 한다[3].

2.3 절연 성능 실험

표 1은 절연 설계 기준에 따라 제작된 배터리 관리 시스템 제품의 절연 성능을 평가하기 위하여 진행한 내전압 시험 결과이다. 시험조건 및 절차는 배터리 팩의 양극 단자와 샤시단, 음극 단자와 샤시단에 시험규정 내전압을 60초 동안 지속적으로 인가를 하고, 시험 도중 및 시험 후에 절연 파괴 혹은 섬락 발생 여부로 절연 성능을 판단한다. 시험 결과 장비 및 시험 환경의 오차를 고려하여 내전압 3700Vdc 인가하였을 때 장비에서 측정된 고전압단과 샤시단 간의 누설 전류는 최대 660uA이며, 이 수치는 국제 규정인 절연 성능 기준 100 Ω/V의 전류치인 10mA 보다 적기 때문에 제작된 배터리 관리 시스템은 절연 성능을 만족하는 설계임이 확인되었다.

표 1 평가 결과

Case	Test Result
------	-------------

① Pack(+) to VGND	0.66mA
② Pack(-) to VGND	0.66mA

3. 배터리 관리 시스템의 지락파괴 감시기능

3.1 기능 해석

고전압 시스템에 대한 안정성 확보를 위해서, 시스템의 절연 성능에 대하여 감시가 필요하다. 이를 위해 배터리 관리 시스템은 전기 자동차의 배터리의 양극단과 샤시 또는 음극단과 샤시 간의 절연 파괴 여부를 실시간으로 감시한다. 그림 2는 배터리의 음극단과 샤시 간의 절연이 파괴되었을 때, 그림 3은 배터리의 양극단과 샤시 간의 절연이 파괴되었을 때 배터리 관리 시스템의 절연 성능 값 측정 회로에 대한 블록도이다.

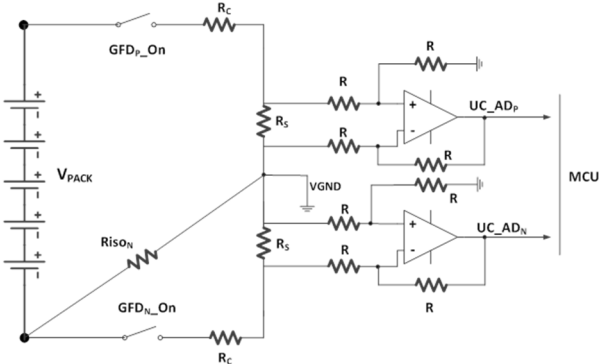


그림 2 배터리 음극단과 샤시 간의 절연파괴 측정 블록도

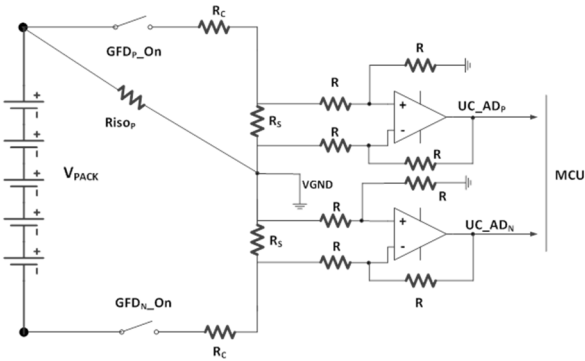


그림 3 배터리 양극단과 샤시 간의 절연파괴 측정 블록도

이때 산출 되어 지는 절연성능 저항 값은 아래와 같다.

$$R_{iso_P} = (V_{PACK} \div UC_AD_N - 1) \times R_{in_N} - R_C \quad (1)$$

(※ $R_{in_N} = R_s \parallel R$)

$$R_{iso_N} = (V_{PACK} \div UC_AD_P - 1) \times R_{in_P} - R_C \quad (2)$$

(※ $R_{in_P} = R_s \parallel 2R$)

3.2 감시 기능 성능 실험

고전압단과 샤시 간의 절연성능 측정기능에 대한 동작 유효성을 판단하고자 실험세트를 구성하여, 절연파괴 저항 값을 가변시키면서 배터리 관리 시스템이 센싱하는 값을 확인하였다. 그림 3 은 배터리 음극단과 샤시 간 300kΩ의 절연성능 값으로 파괴가 되었을 경우, 그림 4 는 배터리 양극단과 샤시 간 300kΩ의 절연성능 값으로 파괴가 되었을 경우의 회로 내 제어단자와 센싱출력 단자의 신호 측정파형이다. 배터리의 고전압단과 샤시 간의 절연상태가 지속적으로 모니터링되고

있음을 알 수 있다. 그림 5 는 고전압단과 샤시 간의 절연성능 저항 값을 가변했을 때 설계된 배터리 관리 시스템이 감지하는 정확도 오차에 대한 실험 결과이다. 최대 10kΩ 미만의 오차 값으로 센싱하고 있음을 확인하였다.

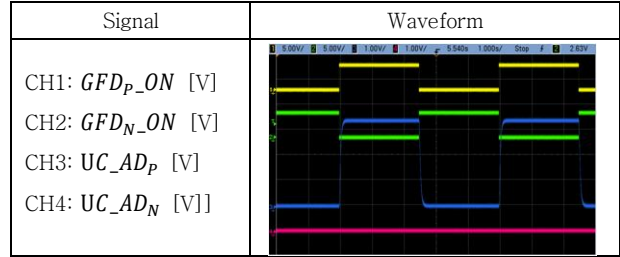


그림 3 배터리 음극단과 샤시 간 절연파괴 시 측정 파형

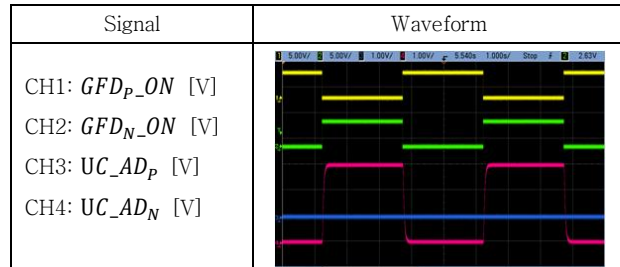


그림 4 배터리 양극단과 샤시 간 절연파괴 시 측정 파형

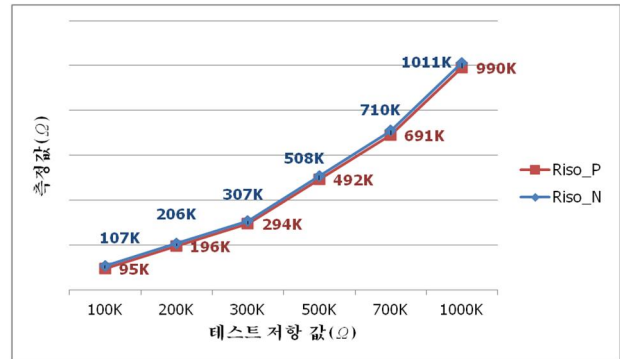


그림 5 배터리 양극 및 음극단과 샤시 간 절연파괴 측정 오차

3. 결론

본 논문은 고전압에 대한 전기적 안전성 확보를 위한 배터리 관리 시스템의 절연 설계 기준에 대한 타당성을 내전압 실험을 통하여 검증하였고, 고전압 안전성 상태를 감시하기 위한 지락파괴 감시기능에 대한 동작 해석 대한 연구를 진행하였으며, 설계 전략에 따라 제작된 배터리 관리 시스템에 대한 실험을 진행하여 그에 대한 유효성을 입증하였다.

참고 문헌

- [1] J. H. Lee, C. H. Park, G. E. Yang, G. K. Shin, C. M. Bae, "Development and Performance of BMS Modules for Urban ElectricCar Using Life Prediction Method", KSAE Vol21, No. 6, pp.147-154, 2013.
- [2] International Standard 6469 : Electrically propelled road vehicles — Safety specifications, ISO, 2011.
- [3] International Standard 60664 : Insulation coordination for equipment within low-voltage systems, IEC, 2007.