

철도차량용 리튬폴리머 배터리 보호동작 신뢰성 확보를 위한 이중화 방안

A Study on the Redundancy for reliable protection of rolling stock Li-Po battery

한동훈*[†], 이태규*, 박승묵*, 조상재*

Donghun Han^{*†}, Taekyu Lee*, Seungmook Park*, Sangjae Cho*

Abstract Rolling stock has the battery system to supply power to a lot of loads in case of the car starting-up or no power supplying due to unstable condition of the catenary power and the auxiliary power supply. Generally Nickel Cadmium (Ni-Cd) battery have been applied on rolling stock, recently Lithium-Polymer (Li-Po) battery has been also applied like smart phones and electric vehicles (car, bus, motorcycle, etc). Li-Po battery has a lot of advantages such as small size, light weight, high energy efficiency and long life cycle of charging /discharging but also disadvantage such as burning accident probability on over-charging condition than legacy battery system like Ni-Cd. Therefore, the protection of Li-Po battery is one of the key factors for the safety. This paper describes the redundancy solution for reliable protection of Li-Po battery to prevent a burning accident.

Keywords : Li-Po, battery, redundancy, protection, BMS

초 록 철도차량에는 초기 기동 시 혹은 가선전원 공급이 불안정하여 보조전원장치가 차량전원을 정상 공급하기 어려울 경우, 배터리를 활용하여 부하에 안정적인 전원을 공급하고 있다. 기존 차량에는 니켈 카드뮴 배터리가 주로 사용되었으나, 최근 배터리 기술발달로 인해 스마트폰, 전기차에 적용되는 리튬폴리머 배터리가 철도차량에도 적용되고 있다. 리튬폴리머 배터리는 기존 니켈카드뮴 배터리와 비교해서 소량화, 경량화, 높은 에너지밀도와 향상된 충방전 수명을 가지고 있지만 과충전에 의한 소손 가능성을 내재하고 있다. 따라서 보호동작 기능은 리튬폴리머 배터리 적용을 위한 핵심기술 중 하나이다. 본 논문에서는 리튬폴리머 배터리의 소손을 방지하기 위해서 신뢰성있는 이중화 보호동작에 대한 연구결과를 기술하였다.

주요어 : 리튬폴리머, 배터리, 이중화, 보호동작, BMS

1. 서론

철도차량에는 운행 전 초기 기동 시 혹은 운행 중 전원이 공급되지 않는 사구간 진입에

† 교신저자: 현대로템 철차선행품질팀 (donghunn.han@hyundai-rotem.co.kr)

* 현대로템 철차선행품질팀

따른 가선전원 공급이 불안정하여 보조전원장치가 차량 부하에 정상 전원을 공급하기 어려울 경우, 배터리가 차량 부하에 안정적인 전원을 공급하도록 설계되어 있다.

기존 철도차량에는 주로 니켈카드뮴 배터리가 적용되고 있었으나 배터리 기술발달에 따라 스마트폰, 전기차량에 적용되고 있는 리튬폴리머 배터리가 철도차량에도 적용되고 있는 추세이다. 리튬폴리머 배터리는 니켈카드뮴 배터리보다 소량화, 경량화, 높은 에너지밀도 및 향상된 충방전 수명 등의 장점을 가지고 있지만 과충전 발생 시 소손 가능성을 내재하고 있다. 따라서 배터리 소손을 회피하기 위한 배터리 보호동작에 대한 신뢰성이 강조되고 있다. 보호동작은 배터리 관리시스템(Battery Management System, 이하 BMS)에서 셀단위로 모니터링하여 과충전/과방전 시 차단동작하는 것을 기본으로하고 이를 보완하기 위해서 팩단위로 모니터링하여 차단 동작하는 것으로 이중화 방안을 적용하여야 한다.

본 논문에서는 안정적인 리튬폴리머 배터리 운용을 위해서 이중화 보호동작에 대한 최적의 로직 및 회로 구성에 대해서 논하고자 한다.

2. 본 론

2.1 리튬폴리머 배터리 구성

철도차량용 리튬폴리머 배터리는 배터리, BMS, 컨택터 등으로 구성되고 구성도는 Fig.1과 같다. 철도차량에 따라 요구하는 전원, 부하 용량 등을 고려해서 배터리 셀 개수 및 직/병렬 구조가 결정된다. 아울러 BMS는 Master BMS와 Slave BMS로 구분할 수 있고, Master BMS는 여러 Slave BMS와 연동하여 모든 셀에 대한 정보를 모니터링하면서 보호동작 기능을 수행하고 차량과 연동하여 배터리 상태정보를 전송한다. Slave BMS는 배터리 모듈별로 하나씩 설치되고, 모듈 내에 있는 셀 개별 정보를 모니터링하면서 그 정보를 Master BMS로 전송하는 역할을 수행한다.

2.2 1차 보호동작

리튬폴리머 배터리는 BMS에 의해서 셀 전압 및 전류 등을 실시간 모니터링하여 1개의 셀이라도 문제가 발생하면 컨택터를 Open 시켜 보호동작을 수행한다. 보호동작에 대한 차단 동작 설정값은 셀 특성 및 부하 용량 등을 고려하여 결정한다. (table 1 참조) 보호동작에 대한 기

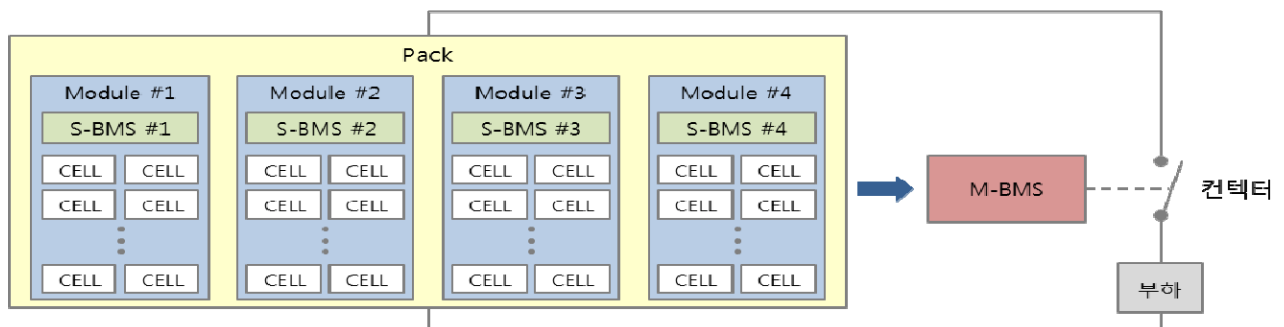


Fig. 1 리튬폴리머 배터리 구성도

Table 1 1차 보호동작 설정값 (코레일 전동차 기준)

항목	차단동작	비고
과충전 전압차단	4.25V 초과 시	셀 기준
과방전 전압차단	2.9V 미만 시	셀 기준
충전 과전류차단	115A 초과 시	셀전압 3.5V 이상 시
	150A 초과 시	셀전압 3.5V 미만 시
방전 과전류차단	230A 초과 시	

특은 Event Log로 별도 보관이 되고 보호동작 상태 및 배터리에 대한 주요 정보에 대해서는 차량과 통신을 통해서 운전자에게 전달 할 수 있다.

2.3 2차 보호동작

2.3.1 목적 및 구현 방안

1차 보호동작은 BMS의 정상 동작을 전제로 하기 때문에 BMS 불능 상태에 빠지는 경우 보호 동작을 더 이상 수행할 수 없어 문제가 발생할 수 있다. 이를 보완하기 위해서 아날로그 회로

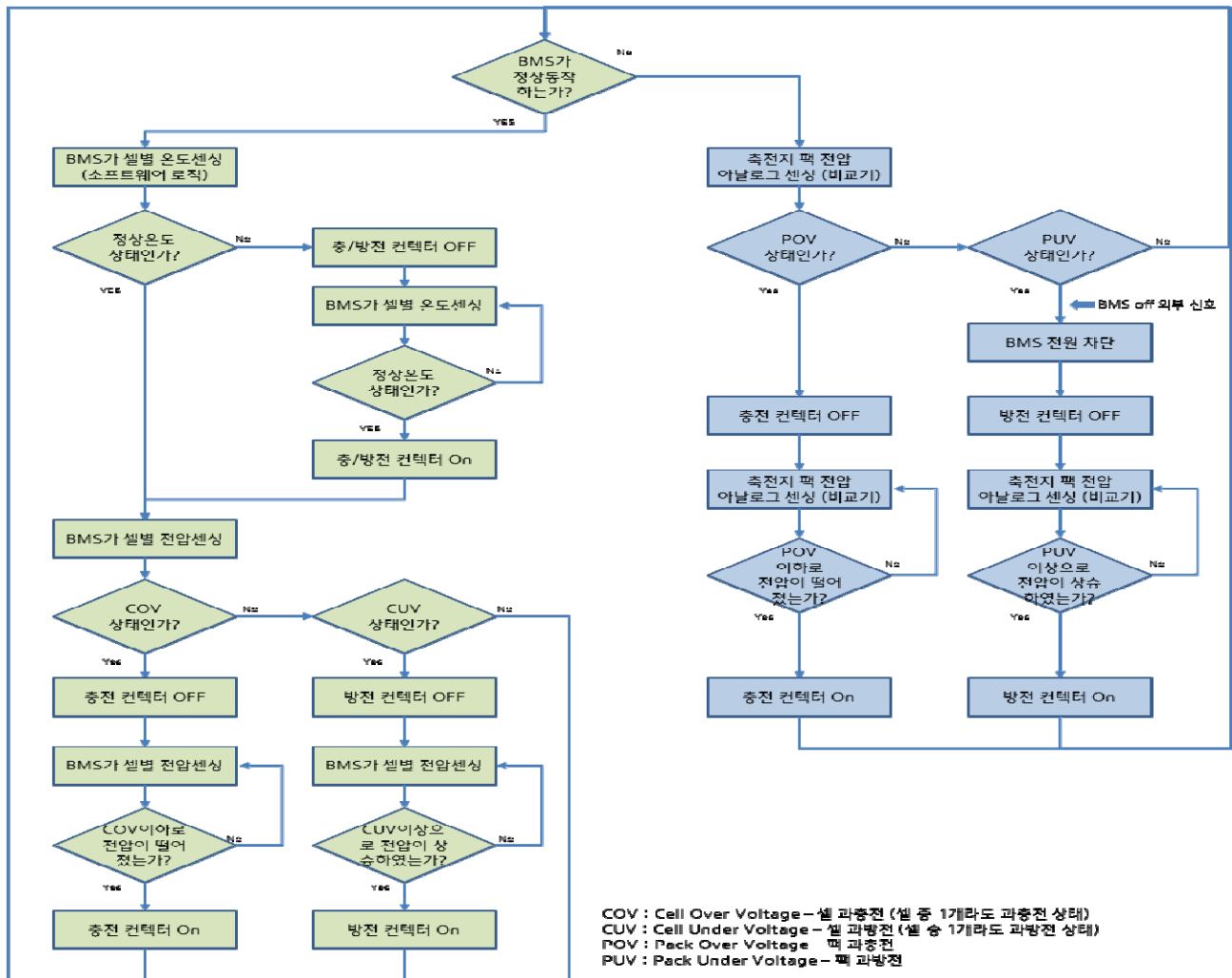


Fig. 2 보호동작 개념 순서도

(비교기, AND gate 등)를 추가하여 BMS 불능 시에도 팩전압을 검지하여 보호동작이 수행 될 수 있도록 한다. BMS 가 불능상태가 되면 셀전압을 검지할 수 없기 때문에 회로상 검지할 수 있는 팩전압을 2차 보호동작의 기준으로 설정한다. 1차 보호동작 및 2차 보호동작 개념에 대한 순서도는 Fig. 2 를 참조한다.

2.3.2 과충전 회로 구성

비교기(OP-AMP)의 두개 입력 중 (-) 입력에는 팩전압 센싱값, (+) 입력에는 설정값(Reference)가 입력되도록 회로를 설계하여, 팩전압 센싱값이 설정값 보다 높을 경우 과충전 검지를 의미하는 “0”를 출력한다. 비교기의 출력값은 BMS 출력값과 AND 연산을 통해 최종 출력값이 “0”일 경우 컨택터가 Open 되도록 한다. 결국 BMS나 비교기 중 어느 하나라도 과충전을 검지하면 컨택터는 Open되는 구조이다. 비교기 설정값의 범위는 1차 보호동작 범위보다 넓게 설정하여 1차 보호동작 전에 2차 보호동작이 작동하지 않도록 한다.

2.3.3 과방전 회로 구성

과충전 회로와 유사한 구조로 설계하여, 팩전압 센싱값이 설정값 보다 낮을 경우 과방전 검지를 의미하는 “0”을 출력한다. 비교기의 출력값은 외부 신호 (BMS off) 출력값과 AND 연산을 통해서 최종 출력값이 “0” 일 경우 BMS가 전원 차단되도록 하고 BMS 전원 차단에 의해 컨택터가 Open되도록 한다. 이때 AND 연산의 최종 출력으로 컨택터를 Open 시키지 않고 BMS 전원을 차단에 의한 컨택터 Open 하는 이유는 배터리 셀 관점에서는 BMS도 하나의 부하이기 때문에 자연방전 이외의 모든 방전 요소를 제거하여 셀 완전 방전(보통 2V 이하)을 방지하기 위함이다. 리튬폴리머 배터리 셀이 완전 방전이 발생하면 셀 자체 손상이 발생할 수 있다. 이런 손상된 셀은 충전 기능을 상실하여 정상 셀들의 과충전을 야기할 수 있기 때문에 과방전에 대한 보호동작도 반드시 신뢰성을 갖춰야 한다. 비교기 설정값의 범위는 과충전 회로와 동일하게 1차 보호동작 범위보다 넓게 설정한다.

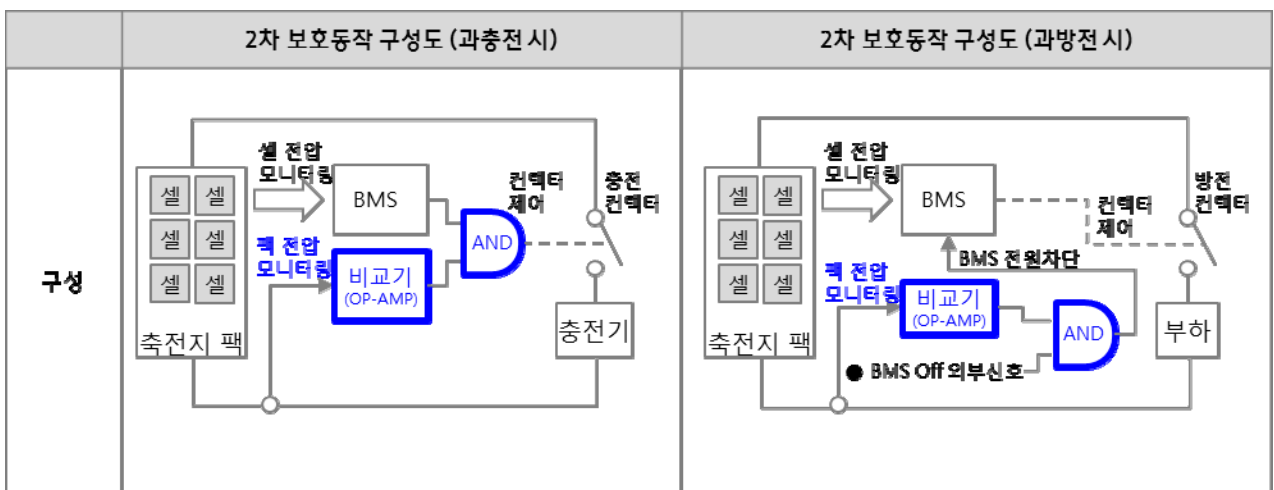


Fig. 3 2차 보호동작 구성도 (과충전, 과방전)

3. 결 론

리튬폴리머 배터리는 과거 철도차량용에 적용되었던 배터리 타입보다 사이즈, 중량, 에너지 밀도 등의 관점에서는 비교우위에 있지만, 소손 발생 가능성이 취약점으로 꼽을 수 있다. 영업 운행 차량에 배터리 소손이 발생하면 대형 사고로 이어지기 때문에 이를 방지하기 위한 신뢰성 있는 보호동작 구현이 필수이다.

BMS는 S/W 로직에 의해 동작하는 제어기이기 때문에 시퀀스 오류나 내부 통신 충돌, S/W 부하 급증 등에 따라 의도하지 않게 불능상태에 빠질 경우를 대비하여, BMS에 의한 1차 보호동작뿐만 아니라 아날로그 회로에 의한 2차 보호동작 기능도 반드시 필요할 것으로 판단된다. 따라서 아날로그 회로의 최적 설정값을 선정하고 면밀한 검증을 통해서 보호동작의 신뢰성이 확보된다면 최신 배터리 기술이 철도차량에 안전하게 적용 및 운용될 것으로 기대한다.