

친환경 모빌리티의 무선 BMS 기술 적용을 위한 배터리팩 구성 방안 연구

나석진, 김범준, 조인호[†]

국립한국교통대학교 전력변환시스템연구실

Study on Battery-Pack Configuration Strategies for the Application of Wireless BMS Technology in Eco-Friendly Mobility

Seok-Jin Na, Beom-Jun Kim, In-Ho Cho[†]

Korea National University of Transportation, Power Conversion System Lab.

ABSTRACT

기존 배터리관리시스템(Battery Management System, BMS)은 유선으로 구성되기에 배터리 셀이 증가할수록 배선의 양과 무게가 증가하며, 통신선이 길어짐에 따라 통신속도 감소 및 통신 간 노이즈가 유발된다. 이에 따라, 기존 유선 BMS 방식에 무선통신 기술을 접목하여 유선 BMS의 한계를 극복하고, 배터리팩 설계와 고장 대처 및 유지보수에 용이한 무선 BMS의 필요성이 증대되고 있다. 모빌리티 분야에서도 무선 BMS 기술을 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다. 이에, 본 논문에서는 친환경 모빌리티용 BMS 및 무선통신 기술을 접목한 무선 BMS를 설계하고, 실제 BMS가 운용되는 환경과 유사한 환경에서의 실험을 통해 타당성을 검토한다.

1. 서 론

전 세계적으로 지구온난화가 점차 악화됨에 따라, 탄소 배출을 줄이기 위해 교통/수송 분야에서는 전기자동차(Electric Vehicle, EV), 철도차량, 도심 항공 모빌리티(Urban air Mobility, UAM) 등 친환경 모빌리티의 이용 확대를 추진하고 있다^[1]. 이에 따라, 동력 방식이 내연기관에서 이차전지를 기반으로 하는 전기 동력 방식으로 대체되고 있으며, 친환경 모빌리티는 주로 타 이차전지에 비해 우수한 성능을 보이는 리튬-이온 배터리를 바탕으로 배터리팩을 설계한다. 하지만 리튬-이온 배터리는 과충전 또는 과방전 시 안전성이 낮아지는 문제가 있으며, 이에 따른 배터리팩 화재 예방을 위해 배터리의 안전성과 성능, 수명을 향상시키기 위한 BMS가 필수적으로 사용된다. 기존 BMS는 유선으로 구성되어 배터리의 데이터를 수집하고 제어 신호를 주고받는다. 따라서 배터리 셀 개수가 증가할수록 관리에 필요한 배선의 양과 무게가 증가하며, 길어진 통신선에 의해 통신속도 감소 및 통신 간 노이즈가 발생하는 한계점이 존재한다.

이러한 유선 BMS의 한계점을 극복하기 위해, 기존 BMS 방식에 무선통신 기술을 접목한 무선 BMS의 필요성이 증대되고 모빌리티 분야에서도 무선 BMS 기술 적용을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 현재 대부분의 연구는 방법론에 그치며, 친환경 모빌리티별 배터리팩의 구성 방식과 운용 환경에 대한 고려가 미흡한 상황이다. 이에 따라, 본 논문에서는 친환경 모빌리티별 배터리팩 구성 방식과 운용 환경을 분석하고 적합한 무선통신 방식을 적용한 무선 BMS를 설계한다. 추가로

실제 무선 BMS가 운용되는 환경과 유사한 환경에서의 실험을 통해 친환경 모빌리티용 무선 BMS 배터리팩 구성 방안을 제안한다.

2. 친환경 모빌리티 배터리팩 분석 및 무선통신 기술을 접목한 무선 BMS 배터리팩 구성 방안

2.1 모빌리티별 배터리팩 구성 방식 및 사양 분석

친환경 모빌리티 배터리팩에 무선 BMS 기술 적용을 위해 국내·외 출시된 친환경 모빌리티별 배터리팩 구성 방식과 사양을 분석하였으며, 이를 표 1에 나타내었다. 표 1에서 M은 직렬로 연결된 배터리 모듈(Module), S는 직렬(Series)로 연결된 배터리, P는 병렬(Parallel)로 연결된 배터리 모듈 또는 배터리 셀(Cell)을 의미한다. 구성 방식이 비공개된 모빌리티를 제외하면, 다수의 모빌리티가 배터리팩 내부 모듈 구성 시 4개의 배터리를 직렬 구성하는 것을 확인할 수 있다. 이를 바탕으로, 본 논문에서 설계하고 실험에 사용되는 무선 BMS의 배터리 구성 방식을 4S1P로 선정하였다.

표 1 친환경 모빌리티별 배터리팩 구성 방식 및 사양

Table 1 Battery pack configuration method and specifications for each eco-friendly mobility

Classification	EV	Railway vehicle	UAM
[Manufacturer]	[Genesis]	[Hyundai Rotem]	[EHang]
Product	G80e	Tram	EH216-S
Battery type	Li-polymer	Li-polymer	Li-polymer
Pack configuration	32M1P	48M2P	12M1P
Pack energy	87.2kWh	195.8kWh	17kWh
Module configuration	4S3P	4S3P	Private
Module energy	2.725kWh	2.04kWh	1.417kWh

2.2 무선 BMS에 적합한 무선통신 방식 분석

무선 BMS는 주로 900MHz~2.4GHz 주파수 대역의 무선통신을 기반으로 설계되며, 적합한 무선통신 방식 선정 시에는 통신속도, 통신거리, 소모 전력, 지연율(Latency) 등을 고려해야 한다^[2]. 이에 따라, 친환경 모빌리티 배터리팩의 무선 BMS 기술 적용에 활용할 수 있는 무선통신 방식과 사양을 표 2에

나타내었다. 표 2의 내용과 앞서 언급한 고려사항을 비교해 보았을 때, 타 무선통신 방식에 비해 저전력 블루투스(Bluetooth Low Energy, BLE) 통신 방식이 비교적 준수한 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다. 따라서 BLE 통신 방식을 활용하는 것이 적합하다고 생각하며, 이를 바탕으로 본 논문에서 설계하고 실험에 사용되는 무선 BMS의 무선통신 방식을 BLE 통신으로 선정하였다.

표 2 무선 BMS용 무선통신 방식별 사양

Table 2 Specifications for each wireless communication method for wireless BMS

Classification	Z-Wave	Zigbee	BLE	Wi-fi
Frequency	900MHz	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz/5GHz
Speed	40kbps	250kbps	2Mbps	600Mbps
Range	30m	10m	40m	50m
Power consumption	2mW	1mW	3mW	100mW
Latency	40ms	15ms	3ms	3ms

2.3 무선 BMS 하드웨어 설계

2.1과 2.2에서 선정한 설계 조건을 바탕으로 4S1P의 배터리 구성과 BLE 통신을 기반으로 하는 무선 BMS 하드웨어(Hardware, H/W)를 설계하였으며, 설계한 무선 BMS H/W의 모식도를 그림 1에 나타내었다. 이에 더해, H/W 구성에 사용된 요소를 표 3에 정리하였으며, 표 3에서 RF module은 BLE 통신을 기반으로 하는 무선통신 모듈을 의미한다.

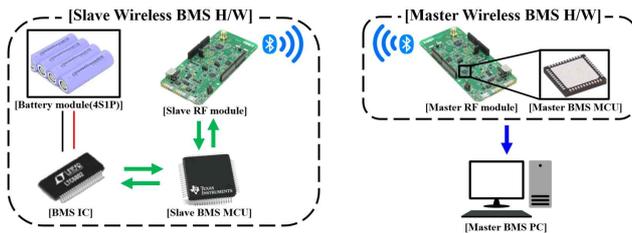


그림 1 무선 BMS H/W 모식도
Fig. 1 Wireless BMS H/W schematic diagram

표 3 무선 BMS H/W 구성 요소

Table 3 Wireless BMS H/W components

Classification	[Manufacturer] Product
Battery	[Samsung SDI] INR21700-40T
Slave BMS IC	[Analog devices] LTC6802-1
Slave BMS MCU	[Texas instruments] TMS320F28377D
Master BMS MCU	[NXP semiconductors] MKW36Z512VHT4
RF module	[NXP semiconductors] FRDM-KW36

2.4 친환경 모빌리티의 배터리팩 운용 환경 분석

배터리팩 케이스는 배터리팩 내·외부에서 발생하는 충격이나 진동, 열에 의한 화재나 폭발과 같은 위험에 노출되어 있을 때, 이로부터 보호할 수 있는 소재로 설계된다. 따라서 배터리팩 케이스는 일반적으로 금속 계열 소재로 설계되며, 그중에서도 알루미늄은 강철에 비해 가벼운 무게를 바탕으로 배터리팩 케이스 제작에 주로 사용된다. 하지만 알루미늄 케이스를 사용할 경우, 알루미늄의 전파차폐 효과로 인해 무선통신 과정에서 발생한 전파가 케이스에 흡수되거나 반사되어 무선통신

시 영향을 미칠 수 있다^[3]. 따라서 기존 배터리팩에 무선 BMS 기술을 적용하기 위해서는, 무선통신이 원활하게 이루어질 수 있도록 적절한 배터리팩 케이스의 재설계가 필요하다. 이를 바탕으로 본 논문에서는 무선 BMS의 운용 환경과 배터리팩 케이스의 영향을 확인하기 위해 다양한 방식과 소재로 케이스를 제작해 실험에 적용하였으며, 이를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 좌측부터 순서대로 플라스틱 케이스(a), 알루미늄 케이스(b), 무선 BMS 기술 적용을 위해 제안하는 케이스(c)이다. 제안하는 케이스는 알루미늄 케이스에서 전파가 투과할 수 있도록 가로, 세로 50mm×10mm 면적을 플라스틱으로 제작하였다.

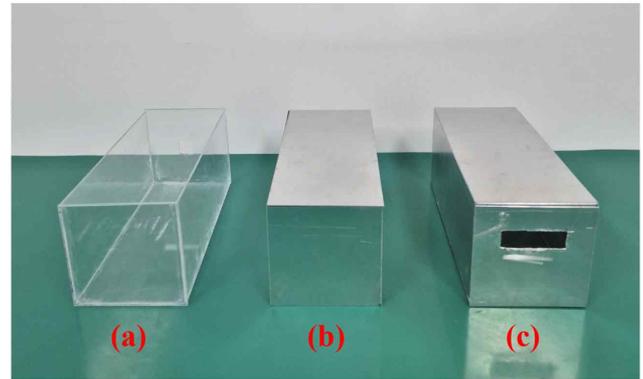


그림 2 운용 환경 및 배터리팩 케이스의 영향을 확인하기 위한 케이스. (a)플라스틱 케이스, (b)알루미늄 케이스, (c)무선 BMS 기술 적용을 위해 제안하는 케이스

Fig. 2 Case to check the impact of operating environment and battery pack case. (a)plastic case, (b)aluminum case, (c)case proposed for application of wireless BMS technology

3. 친환경 배터리팩 무선 BMS 배터리팩 실험

3.1 무선 BMS 데이터 수신율 및 수신감도

실험 조건은 다음과 같다. Master BMS H/W는 공기 중에, Slave BMS H/W는 공기 중(Case 1), 플라스틱 케이스 내부(Case 2), 알루미늄 케이스 내부(Case 3), 제안하는 케이스 내부(Case 4)에 위치시킨 후 각 경우에 대해 진행하였으며, H/W 간 1m를 이격한 환경에서 실험하였다.

실험 방법은 다음과 같다. Slave BMS H/W가 1,000개의 패킷 데이터를 발생시키고 Master BMS H/W에서 수신되는 패킷 데이터를 바탕으로 수신율과 수신 감도를 기록하였으며, 총 5회에 걸쳐 반복 실험하였다. 실험에 따른 무선통신 성능을 비교하기 위해 관련 지표를 그림 3에 나타내었으며, 실험 환경은 그림 4에 나타내었다^[4]. 데이터 수신율의 경우, Case 1에서 실험한 결과가 이상적인 상황이라고 가정하고 비교하였다.

[Range and meaning of each reception sensitivity]

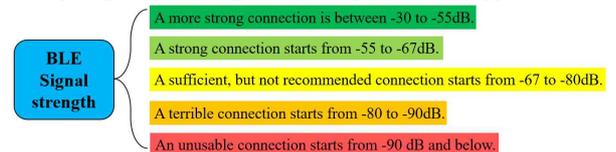


그림 3 BLE 통신의 수신 감도별 범위 및 의미
Fig. 3 Range and meaning of each reception sensitivity of BLE communication

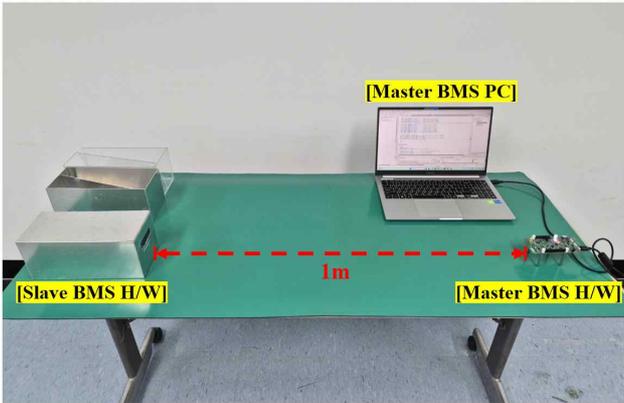


그림 4 실험 환경 및 구성
Fig. 4 Experiment environment and configuration

3.2 실험 결과

그림 5와 그림 6에 각각 배터리팩 케이스별 데이터 수신율과 수신 감도 실험 결과에 대해 나타내었다. Case 3을 제외하면 모두 90% 이상의 데이터 수신율을 보여주며, 유사한 성능을 지니고 있음을 확인할 수 있다. Case 4에서 수신 감도가 -55dB로 Case 1과 Case 2에 비해 -5dB 가량 감소되었으나, 그림 4를 토대로 여전히 안정적인 연결 상태를 알 수 있다. Case 3의 경우, 알루미늄의 전자파 차폐 효과로 인해 전파가 투과되지 못하여 수신율이 평균 20% 수준에 머무르며, 수신 감도 또한 -80dB 미만으로 저조한 성능과 매우 불안정한 상태를 확인할 수 있었다.

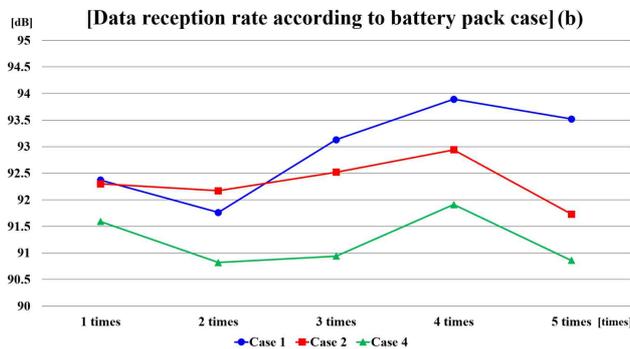
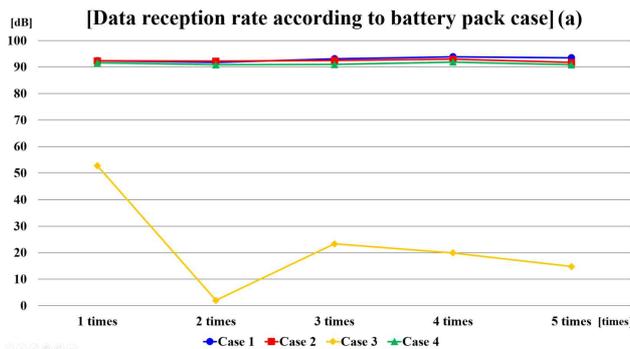


그림 5 배터리팩 케이스에 따른 데이터 수신율 (a) 모든 케이스 수신율, (b) 알루미늄 케이스를 제외한 경우
Fig. 5 Data reception rate according to battery pack case (a) all cases, (b) Excluding aluminum case

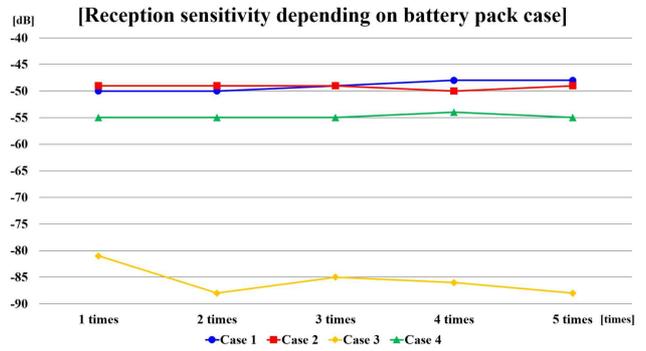


그림 6 배터리팩 케이스에 따른 수신 감도
Fig. 6 Reception sensitivity depending on battery pack case

4. 결론

친환경 모빌리티의 무선 BMS 기술 적용을 위한 배터리팩을 구성하기 위해서는 친환경 모빌리티별 배터리팩의 구성 방식과 운용 환경, 적합한 무선통신 방식 선정 등 다양한 고려사항이 존재한다. 본 논문에서는 이러한 고려사항을 바탕으로, 친환경 모빌리티에 적합한 무선 BMS H/W를 설계하였으며, 배터리팩 운용 환경에 따른 영향을 분석하기 위해 다양한 방식과 소재로 배터리팩 케이스를 제작하여 실험하였다.

본 논문에서 제안하는 케이스를 바탕으로 무선 BMS 기술을 배터리팩에 적용한다면 배터리팩의 안전성과 무선통신의 이점을 모두 포함할 수 있다고 생각한다. 또한 친환경 모빌리티 특성상 여러 개의 배터리 모듈이 사용되는 만큼, 다중 모듈에서의 성능 실험 및 제안하는 케이스의 전파 투과율 면적 크기에 따른 성능 실험 등 추가적인 실험을 통해 더 효율적이고 다양한 어플리케이션에 적용 가능한 무선 BMS 배터리팩을 설계할 수 있을 것이라 기대한다.

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00210755)

참고 문헌

- [1] FedExKorea, "Growth of the eco-friendly mobility market for carbon reduction", business know-how, April. 2024. [Online]. Available: <https://post.naver.com/viewer/postView.naver?volumeNo=33777882&memberNo=40955917>
- [2] Akash Samanta and Sheldon S. Williamson, "A Survey of Wireless Battery Management System: Topology, Emerging Trends, and Challenges", Journal of Electronics, Vol. 26, No. 18, 9 2021.
- [3] Seok-Jin Na, Beom-Jun Kim, Do-Hun Kwon and In-Ho Cho, "Research on Wireless BMS Battery-Pack Design Technology for Railway Vehicles," Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 26, No. 10, pp. 740-747, 10 2023.
- [4] Matthew Li, "Understanding the Measures of Bluetooth RSSI", MOKOBLUE, April. 2024. [Online] Available: <https://www.mokoblue.com/measures-of-bluetooth-rssi/>