

이종전지를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘에 관한 연구

김세진, 김지명, 최성문, 김경화, 노대석
한국기술교육대학교
e-mail:tpwls1578@koreatech.ac.kr

An Operation Algorithm of the Electric Wheelchair for Hybrid Type using Lead-acid Battery, Li-ion Battery and Super Capacitor

Se-jin Kim, Ji-Myung Kim, Sung-Moon Choi, Kyung-Hwa Kim, Dae-Seok Rho
Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약

일반적으로 전동 휠체어는 연속전지를 사용하기 때문에 초기 기동 시나 경사면 이동 시, 턱 걸림과 같이 고출력이 필요한 경우, 시동 꺼짐 등의 사고가 발생하여 전동 휠체어 이용자들의 안전성과 연속전지의 수명에 악영향을 미칠 가능성이 있다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 연속전지와 리튬이온전지, 슈퍼커패시터를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘을 제안한다. 여기서, 연속전지의 낮은 출력 특성은 리튬이온전지와 슈퍼커패시터를 통해 개선시키고, 슈퍼커패시터의 작은 용량으로 인한 짧은 구동 시간은 리튬이온전지를 통해 보완한다. 또한, 상기의 세가지 이종전지를 안전하고 효율적으로 운용하기 위한 하이브리드 BMS(battery management system)는 실시간 모니터링과 이상 상황에 대한 판정 및 제어를 수행한다. 상기에서 제안한 운용 알고리즘을 바탕으로 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 특성을 분석한 결과, 고출력을 필요로 하는 경우 본 논문에서 제안한 전동 휠체어는 기존 방식보다 45[%] 정도 증가된 고출력을 낼 수 있고, 시동 꺼짐 등이 발생하지 않기 때문에 연속전지의 수명 및 효율을 개선할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 온도가 상승하는 이상 상황이 발생하는 경우, 회로를 차단하여 동작을 정지해 이용자의 안전성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

1. 서론

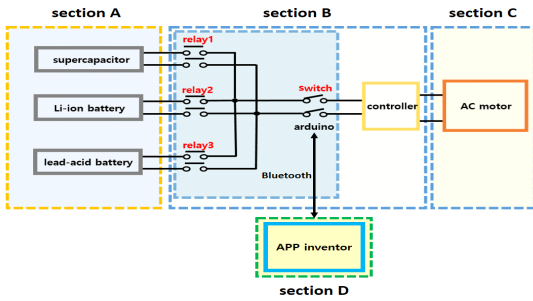
최근, 인구 고령화로 인해 노인 인구가 지속적으로 증가하고 있으며, 이에 따라 노약자의 편리한 이동 생활을 위한 전동 휠체어의 수요가 증가하고 있는 실정이다. 일반적으로 전동 휠체어는 연속전지를 사용하기 때문에 초기 기동 시나 경사면 이동 시, 턱 걸림과 같이 고출력이 필요한 경우, 시동 꺼짐 등의 사고가 발생하여 전동 휠체어 이용자들의 안전성과 연속전지의 수명에 악영향을 미칠 가능성이 있다[1]. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 연속전지와 리튬이온전지, 슈퍼커패시터를 결합한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘을 제안한다. 또한, 상기의 세가지 이종전지를 안전하고 효율적으로 운용하기 위하여, 하이브리드 BMS(battery management system)를 구현한다[2]. 한편, 하이브리드형 전동 휠체어는 연속전지와 리튬이온전지, 슈퍼커패시터로 구성된 저장장치부, Arduino S/W, 전압, 전류 및 온도센서, 릴레이, 다이오드, 블루투스 모듈 등으로 이루어진 계

측 및 제어부, DC/AC 인버터와 모터로 구성된 부하장치부, APP inventor S/W로 이루어진 모니터링 및 연산부로 구성된다. 이를 바탕으로 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 특성을 분석한 결과, 고출력을 필요로 하는 경우 본 논문에서 제안한 전동 휠체어는 연속전지의 수명 및 효율을 개선할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 과온도와 같은 이상 상황이 발생하는 경우, 제안한 전동 휠체어는 회로를 차단하여 동작을 정지해 이용자의 안전성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

2. 이종전지를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어의 구성

이종전지를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어의 구성도를 나타내면 그림 1과 같다. 여기서, 그림 1의 section A는 연속전지와 리튬이온전지, 슈퍼커패시터를 병렬 구조로 구성한 저장장치부이고, section B는 Arduino S/W와 릴레이 및 controller로 이루어진 제어장치부이며, section C는 AC motor 등으로 구성된 부하장치부, section D는 Arduino S/W

와 APP inventor S/W의 블루투스 양방향 통신을 이용한 하이브리드 BMS 장치부이다. 먼저, 저장장치부는 연속전지의 낮은 출력 특성을 보완하기 위하여, 출력 특성이 우수한 리튬이온전지와 슈퍼커패시터를 결합해 구성한다. 또한, 제어장치부는 Arduino S/W를 이용하여 기준전류를 설정하고, 이를 방전전류와 비교해 각 상황에 맞게 릴레이를 제어하여 이중전지에 대한 전환을 수행한다. 즉, 하이브리드형 전동 휠체어는 일반적인 출력이 필요한 경우 relay 1을 통해 연속전지를 사용하여 구동하고, 완만한 경사 이동 등과 같은 중간 부하 시에는 relay 2를 통해 리튬이온전지를 사용하며, 초기 기동 시나 급변성 부하 시와 같이 고출력이 필요한 경우 relay 3을 통해 슈퍼커패시터를 사용하여 구동한다. 한편, 하이브리드 BMS 장치부는 APP inventor S/W를 이용해 전압, 전류, 온도를 실시간으로 모니터링할 수 있고, 과전압, 낮은 SOC(state of charge), 과온도 등의 이상 상황에 대한 판별 및 제어를 수행할 수 있다.



[그림 1] 하이브리드형 전동 휠체어 구성도

3. 이중전지를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘

상기의 구성도를 바탕으로 제안한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘을 구체적으로 나타내면 다음과 같다.

[Step 1] 초기조건으로 과전압 및 SOC 판별을 위하여, 휠체어 최소 동작 전압과 최대 동작 전압을 상정한다. 또한, 이중전지 전환을 위한 두 가지 기준전류($I_{ref1}(t)$, $I_{ref2}(t)$) 및 과온도 판별을 위한 기준 온도를 상정하고, 운용 시간대 t 를 초기 값으로 설정한다.

[Step 2] t 시간대에 대하여, 연속전지, 리튬이온전지와 슈퍼커패시터의 전압 및 온도를 측정한다.

[Step 3] 각 이중전지에 대하여 과온도가 발생하지 않은 경우, [step 4]로 진행한다. 한편, 이중전지 중 하나라도 과온도가 발생한 경우, [Step 8]로 진행한다.

[Step 4] t 시간대에 대하여, 모든 이중전지에 과전압 및 낮

은 SOC가 발생하지 않은 경우, 슈퍼커패시터를 사용해 구동하며 [step 6]으로 진행한다. 한편, 이중전지에 이상 상황이 발생한 경우, [step 5]로 진행한다.

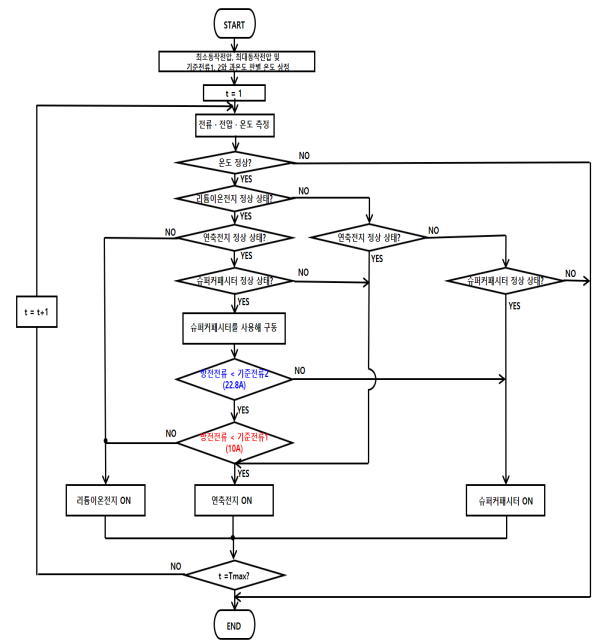
[Step 5] 연속전지에 이상 상황이 발생한 경우, 리튬이온전지로 전환하여 구동한다. 또한, 리튬이온전지와 슈퍼커패시터에 이상 상황이 발생한 경우, 연속전지로 전환하여 구동한다.

[Step 6] t 시간대에 대하여, 예측된 전동 휠체어의 부하전류($I_{load}(t)$)가 $I_{ref2}(t)$ 보다 큰 경우에는 슈퍼커패시터를, $I_{ref2}(t)$ 미만이고 $I_{ref1}(t)$ 이상이면 리튬이온전지를 사용해 구동하며, $I_{load}(t)$ 가 $I_{ref1}(t)$ 미만이면 연속전지를 사용해 구동한다.

[Step 7] 운용 시간대 t 가 최대값(T_{max})이면 [Step 8]로 진행하고, T_{max} 보다 작으면 [Step 2]로 돌아가 해당 과정을 반복한다.

[Step 8] 전동 휠체어의 작동을 정지시킨다.

따라서, 상기의 알고리즘을 플로우 차트로 나타내면 그림 2와 같다.



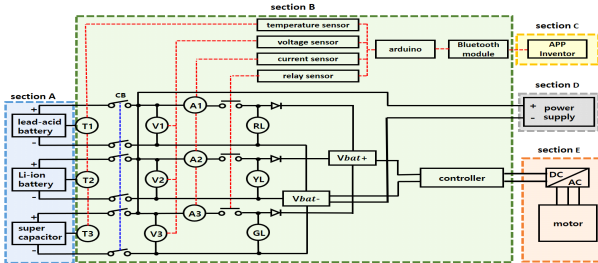
[그림 2] 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘

4. 이중전지를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어의 구현

4.1 H/W 장치부

이중전지를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어는 H/W 장

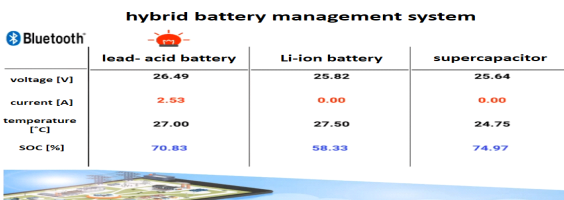
치부와 S/W 장치부로 구성된다. 먼저, H/W 장치부는 그림 3과 같이 에너지 저장장치부, 계측 및 제어장치부, 모니터링 및 연산장치부, 충전부와 부하장치부로 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 3의 section A는 연축전지와 리튬이온전지, 슈퍼커패시터로 이루어진 에너지 저장장치부이다. 또한, 그림 3의 section B는 arduino S/W와 전압, 전류, 온도를 측정하는 센서, 양방향 통신을 위한 블루투스 모듈, 릴레이, 다이오드 등으로 구성된 계측 및 제어장치부이고, section C는 APP inventor S/W를 이용한 모니터링 및 연산장치부이다. 여기서, arduino S/W, 블루투스 모듈, 릴레이와 APP inventor S/W는 하이브리드 BMS 및 이종전지 제어 기능을 수행하고, 다이오드는 이종전지 전환 시에 의도하지 않은 에너지 교환을 방지한다.



[그림 3] 하이브리드형 전동 휠체어의 회로도

4.2 S/W 장치부

S/W 장치부는 arduino S/W와 APP inventor S/W의 블루투스를 통한 양방향 통신을 이용해 구현한다. 즉, arduino S/W는 센서를 통해 측정된 전압, 전류, 온도 데이터를 APP inventor S/W로 송신하고, APP inventor S/W는 수신한 데이터를 이용해 SOC를 산정하여 과전압, 과온도, 낮은 SOC 등의 이상 상황 발생 여부를 판별한 후, arduino S/W로 상황별 신호를 송신한다. 따라서, 이상 상황에 대한 이종전지의 운용 전환은 arduino S/W에서 수신한 신호 값을 이용해 릴레이를 제어하여 이루어진다. 이를 바탕으로 구현한 하이브리드 BMS의 모니터링은 그림 4와 같다. 여기서, 그림 4 (a)는 정상 상태 시 모니터링 화면으로 전류, 전압, 온도 및 SOC와 방전 중인 이종전지를 실시간으로 확인할 수 있다. 또한, 그림 4 (b)는 이상 상황 발생 시 모니터링 화면이며 경고등을 통하여 이용자에게 알려줄 수 있다.



(a) 정상 상태 시



(b) 이상 상황 발생 시
[그림 4] 하이브리드 BMS 모니터링

5. 시험 결과 및 분석

5.1 시험 조건

본 논문에서 제안한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 특성을 분석하기 위한 시험 조건은 표 1과 같다. 여기서, 전동 휠체어의 모터 정격 전압이 24[V]이므로, 연축전지, 리튬이온전지는 각각 2s1p, 7s4p로 하고, 슈퍼커패시터의 구성은 1s1p로 구성한다. 또한, 전동 휠체어의 이상 상황 발생에 대한 시험은 이용자의 안전성에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 과온도 발생을 모의한다. 한편, 과온도 판별을 위한 기준온도는 제조사에서 제공하는 허용 온도 범위에 의하여 60[°C]로 산정하고, 온도상승률은 2[°C/sec]로 산정한다.

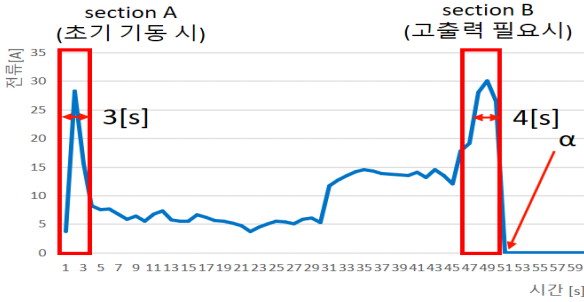
[표 1] 시험 조건

항목	내역			
이종전지 사양	연축전지	정격전압[V]	12	
		중지전압[V]	10.5	
		정격용량[Ah]	50	
	리튬이온전지	정격전압[V]	12	
		중지전압[V]	10.5	
		정격용량[Ah]	50	
	슈퍼커패시터	정격전압[V]	12	
		중지전압[V]	10.5	
		정격용량[Ah]	50	
이종전지 방전 시험 조건	연축전지	방전중지전압[V]	10.5	
		방전 c-rate	0.2 0.5	
		방전중지전압[V]	3.0	
	리튬이온전지	방전 c-rate	0.5 1 2	
		방전중지전압[V]	0.8	
		방전 c-rate	0.5 1 2	
	전동 휠체어 운용 특성 시험	정격전압[V]	24	
		전환 기준전류[A]	10, 22.8	
		이종전지의 구성	연축전지	2s1p
리튬이온전지			7s4p	
슈퍼커패시터	1s1p			
전동 휠체어 이상 상태 운용 특성 시험	허용 온도 범위[°C]	-20 ~ 60		
	온도상승률[°C/sec]	2		

5.2 기존 전동 휠체어 운용 특성

기존 전동 휠체어의 운용 특성을 나타내면 그림 5와 같다. 여기서, 그림 5의 section A는 초기 기동 시 전류를 나타낸 것으로 최대 28.3[A]이고, section B는 고출력 시 전류를 나타낸 것으로 최대 30.1[A]임을 알 수 있다. 또한, 그림 5의 a 지점은

경사면 이동 중 턱에 걸린 경우를 나타낸 것으로, 전동 휠체어의 시동 꺼짐 현상을 확인할 수 있다. 따라서, 기존의 방식대로 전동 휠체어를 운용하는 경우, 연속전지에서 높은 c-rate의 전류를 방전하고, 운용 중 턱 걸림과 같은 고출력 필요 시 시동 꺼짐 등의 문제점이 발생하여 연속전지의 수명 및 효율에 악영향을 끼칠 가능성이 있다.

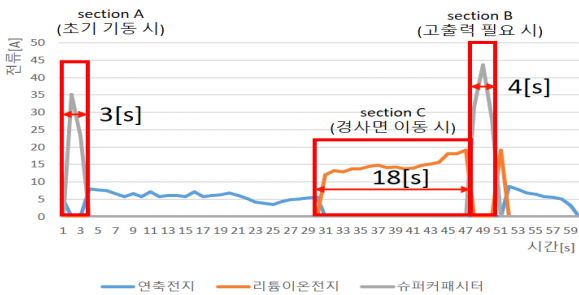


[그림 5] 기존 전동 휠체어의 운용 특성

5.3 하이브리드형 전동 휠체어 운용 특성

5.3.1 정상 상태 시 운용 특성

5.1절에서 제시한 시험 조건을 바탕으로, 하이브리드형 전동 휠체어의 정상 상태 시 운용 특성을 나타내면 그림 6과 같다. 여기서, 그림 6의 section A는 초기 기동 시 전류를 나타낸 것으로 최대 35.2[A]이고, section B는 고출력 시 전류를 나타낸 것으로 최대 43.7[A]이며, 슈퍼커패시터를 통해 전동 휠체어를 운용하는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 6의 section C는 경사면 이동 시 전류를 나타낸 것으로 방전전류가 기준 전류 1보다 크고 기준전류 2보다 작기 때문에 리튬이온전지를 통해 전동 휠체어를 운용하는 것을 알 수 있다. 따라서, 고출력을 필요로 하는 경우 본 논문에서 제안한 전동 휠체어는 기존 방식보다 45[%] 정도 증가된 출력을 낼 수 있고, 시동 꺼짐 등의 현상이 발생하지 않기 때문에 연속전지의 수명 및 효율을 개선할 수 있음을 알 수 있다.

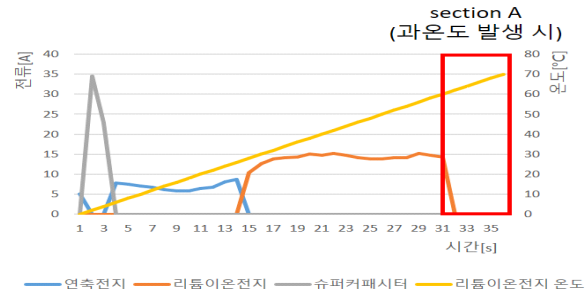


[그림 6] 정상 상태 시 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 특성

5.3.2 과온도 발생 시 운용 특성

5.1절에서 제시한 시험 조건을 바탕으로, 하이브리드형 전동 휠체어의 과온도 발생 시 운용 특성을 나타내면 그림 7과

같다. 여기서, 그림 7의 section A와 같이, 전동 휠체어 운용 중 이중전지의 온도가 과온도 판별을 위한 기준온도를 초과하면 회로를 차단하여 동작을 정지하는 것을 알 수 있다. 따라서, 운용 중 과온도와 같은 이상 상황이 발생하는 경우, 제안한 전동 휠체어는 회로를 차단하여 동작을 정지해 이용자의 안전성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.



[그림 7] 과온도 발생 시 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 특성

6. 결 론

본 논문에서는 연속전지와 리튬이온전지, 슈퍼커패시터를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘을 제안하고, 이를 바탕으로 하이브리드형 전동 휠체어를 구현한다. 또한, 하이브리드 BMS를 이용해 이중전지의 전압, 전류, 온도, SOC를 실시간으로 모니터링하고, 과온도 등의 이상 상황에 대한 판별 및 제어를 수행한다. 이를 바탕으로 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 특성을 분석한 결과, 고출력을 필요로 하는 경우 본 논문에서 제안한 전동 휠체어는 기존 방식보다 45[%] 정도 증가된 출력을 낼 수 있고, 시동 꺼짐 등이 발생하지 않기 때문에 연속전지의 수명 및 효율을 개선할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 과온도와 같은 이상 상황이 발생하는 경우, 제안한 전동 휠체어는 회로를 차단하여 동작을 정지해 이용자의 안전성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] 김영필, 함현주, 홍성희, 고석철, “실내용 전동 휠체어 구동 시나리오에 따른 배터리 성능 비교 분석”, 조명·전기설비학회논문지, 34(2), 19-26, 2020
- [2] 김지명, 이후동, 태동현, 페레이라 마리토, 박지현, 노대석, “셀프에너지 밸런싱을 고려한 리튬이온전지의 Battery Management System 구현”, 한국산학기술학회 논문지, 21(3), 585-593, 2020년