

하이브리드 전기저장장치를 이용한 전동 휠체어의 구현에 관한 연구

김세진, 이예빈, 이민행, 김지명, 최성문, 노대석*
한국기술교육대학교 전기공학과

Implementation of the Electric Wheelchair using Hybrid Energy Storage Devices

Se-Jin Kim, Ye-Bin Lee, Min-Haeng Lee, Ji-Myung Kim,
Sung-Moon Choi, Dae-Seok Rho*
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 이용자의 안전성과 연속전지의 수명에 악영향을 미칠 가능성이 있다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 하이브리드 전기저장장치를 이용한 전동 휠체어의 운용 알고리즘을 제안한다. 여기서, 연속전지의 낮은 출력 특성은 리튬이온전지와 슈퍼커패시터를 통해 개선시키고, 슈퍼커패시터의 작은 용량으로 인한 짧은 구동 시간은 리튬이온전지를 통해 보완하는 운용방안을 제시한다. 또한, 하이브리드 전기저장장치부, 계측 및 제어부, 모니터링 및 연산부, 부하장치부로 구성된 하이브리드 전동 휠체어를 구현하고, 실시간 모니터링과 이상 상황에 대한 판정 및 제어를 수행한다. 상기에서 제안한 운용 알고리즘을 바탕으로 하이브리드 전기저장장치를 이용한 전동 휠체어의 운용 특성을 분석한 결과, 고출력을 필요로 하는 경우 기존 방식보다 45% 정도 출력을 증가시킬 수 있고, 시동 꺼짐 현상 등을 방지할 수 있어, 전기저장장치의 수명 및 효율을 개선할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 제안한 전동 휠체어는 배터리의 SOC가 적정 운용 범위를 초과하는 경우, 다른 배터리로 전환하여 각 배터리를 효율적으로 운용할 수 있음을 알 수 있다.

Abstract Electric wheelchairs typically use lead-acid batteries. Hence, the shutdown of electric wheelchairs can occur when a high output is required, such as in the initial start-up stage and moving on steep slopes, which can affect the safety of users and the lifespan of the battery. Therefore, this paper proposes an operation algorithm for electric wheelchairs using hybrid energy storage devices to overcome these issues. The operation method can improve the low output characteristics of lead-acid batteries by combining Li-ion batteries and supercapacitors. The Li-ion batteries compensate for the short operating time because of the small capacity of supercapacitors. This paper implements a hybrid electric wheelchair composed of a hybrid energy storage devices section, measurement and control section, monitoring and processing section, and load device section to perform real-time monitoring and control abnormal operation conditions. The test results based on the proposed operation algorithm showed that the output of an electric wheelchair can increase by more than 45% compared to the conventional method when a high output is required, and the lifespan and efficiency of the energy storage devices can be improved by preventing phenomena such as shutdown. Furthermore, the proposed electric wheelchair can operate energy storage devices efficiently by switching to other batteries when the SOC of the battery exceeds the proper operation range.

Keywords : Hybrid Energy Storage Devices, Lead-acid Battery, Li-ion Battery, Super Capacitor, Operation Algorithm, C-rate

본 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술연구원(2022400000160, DC 그리드 에너지 혁신연구센터)과 2024년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원(RS-2024-00421994)을 받아 수행한 연구임.

*Corresponding Author : Dae-Seok Rho(Korea University of Technology and Education)
email: dsrho@koreatech.ac.kr

Received April 23, 2024

Revised June 5, 2024

Accepted June 7, 2024

Published June 30, 2024

1. 서론

최근, 인구 고령화로 노인 인구가 지속적으로 증가하고 있으며, 통계청에서 발표한 '2023 고령자 통계'에 따르면 우리나라 노인의 비율은 2023년 18.4[%]에서 2035년 30.1[%]로 급격하게 증가할 전망이다. 이에 따라 노약자와 장애인의 이동 편리성이 주목받으면서 전동 휠체어의 보급이 지속적으로 증가하고 있다[1]. 그러나, 전동 휠체어는 연축전지를 사용하기 때문에 초기 기동 시나 경사면 이동 시, 방지턱 걸림과 같이 고출력이 필요한 경우, 시동 꺼짐 등의 사고가 발생하여 전동 휠체어 이용자의 안전성과 연축전지의 수명에 악영향을 미칠 가능성이 있다[2,3]. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 수명과 출력 특성이 우수한 리튬이온전지가 주목받고 있다[4-6]. 하지만, 리튬이온전지는 화재에 대한 안전성 기준이 미흡하여, 국민건강보험공단에서 지급하는 노약자 및 장애인 보조기구에 대한 보험급여 지원 제품 목록에서 제외되어 있고, 리튬이온전지를 이용한 전동 휠체어는 아직 국내에서 보급되지 않고 있는 실정이다[7-10].

따라서, 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 급여 지원이 가능한 연축전지와 우수한 출력 특성을 가진 리튬이온전지, 반영구적인 수명을 가진 슈퍼커패시터로 구성된 하이브리드 전기저장장치를 제안하고, 이 장치를 이용한 전동 휠체어를 구현한다. 또한, 상기의 하이브리드 배터리를 안전하고 효율적으로 운용하기 위하여, Arduino S/W와 앱 인벤터 S/W의 블루투스를 이용한 양방향 통신을 통해 배터리의 전압, 전류, 온도, SOC의 실시간 모니터링과 이상 상황에 대한 판정 및 제어를 수행한다.

한편, 하이브리드 전기저장장치를 이용한 전동 휠체어는 연축전지와 리튬이온전지, 슈퍼커패시터로 구성된 하이브리드 전기저장장치부, Arduino S/W와 전압, 전류 및 온도를 측정하는 센서, 양방향 통신을 위한 블루투스 모듈, 릴레이, 다이오드 등을 이용한 계측 및 제어장치부, APP inventor S/W를 이용한 모니터링 및 연산장치부, DC 모터 등으로 이루어진 부하장치부로 구성된다.

이를 바탕으로, 하이브리드 전기저장장치를 이용한 전동 휠체어의 운용 특성을 분석한 결과, 고출력이 필요한 경우 출력 특성이 우수한 리튬이온전지와 슈퍼커패시터로 전동 휠체어를 동작시켜, 연축전지에서 높은 C-rate의 전류 방전을 방지할 수 있어, 배터리의 수명을 향상시킬 수 있고, 배터리의 교체 주기를 지연시킬 수 있음을

알 수 있다. 또한, 제한한 전동 휠체어는 기존 방식보다 45[%] 정도 개선된 출력을 공급할 수 있고, 시동 꺼짐 등의 현상이 발생하지 않기 때문에 이용자의 편리성과 안전성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 한편, 배터리의 SOC가 적정 운용 범위를 초과하는 경우, 다른 배터리로 전환하여 각 배터리를 효율적으로 운용할 수 있음을 알 수 있다.

2. 하이브리드 전기저장장치를 이용한 전동 휠체어의 운용 알고리즘

2.1 전동 휠체어의 운용 방안

제안한 전동 휠체어의 구성도는 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. 먼저, Fig. 1의 section A는 연축전지와 리튬이온전지, 슈퍼커패시터를 병렬 구조로 구성한 전기저장장치부이고, section B는 Arduino S/W와 전압, 전류, 온도센서, 블루투스 모듈, 릴레이 및 controller로 이루어진 제어장치부이며, section C는 앱 인벤터(App inventor) S/W로 구성된 모니터링 및 연산장치부이고, section D는 DC 모터 등으로 구성된 부하장치부이다. 여기서, 제어장치부는 센서를 통해 측정된 각 배터리의 전압, 전류, 온도를 Arduino S/W에서 처리하고, 동작모드 전환전류와 부하전류를 비교해, 각 동작모드별로 릴레이를 제어하여 배터리의 전환을 수행한다. 즉, 제안한 전동 휠체어는 일반적인 출력이 필요한 경우 K번 릴레이를 통해 연축전지를 사용하여 구동하고, 경사면 이동 등과 같은 중간 부하 시에는 M번 릴레이를 통해 리튬이온전지를 사용하며, 초기 기동 시나 급변성 부하 시와 같이 고출력이 필요한 경우 N번 릴레이를 통해 슈퍼커패시터를 사용하여 구동한다.

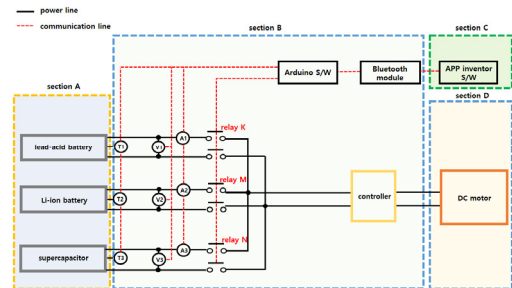


Fig. 1. Configuration of electric wheelchair using hybrid energy storage devices

한편, 모니터링 및 연산장치부는 앱 인벤터 S/W를 이용해 SOC를 산정하고, 전압, 전류, 온도 및 SOC의 실시간 모니터링을 수행한다. 또한, Arduino S/W와 앱 인벤터 S/W의 블루투스를 통한 양방향 통신을 이용하여 배터리의 전압, 온도, SOC가 적정 운용 범위를 초과하는지 판단하고, 정상 상태인 배터리로 전환한다.

2.2 전동 휠체어의 운용 알고리즘

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

[Step 1] 초기조건으로 동작모드 전환전류(I_{LL} , I_{LS})와 전압, 온도, 하이브리드 배터리의 SOC의 적정 운용 범위를 상정한다.

[Step 2] 부하전류 측정 및 SOC 산정을 위하여, 운용 시간대 t 를 초기 값으로 설정한다.

[Step 3] t 시간대에 대하여, 각 배터리의 전압, 온도와 부하전류(I_{load})를 측정하여 SOC를 산정하고, 전압, 온도, SOC가 적정 운용 범위 이내인지 판단한다. 여기서, 모든 배터리가 적정 운용 범위를 초과한 경우, [step 9]로 진행한다.

[Step 4] t 시간대에 대하여, 계속된 전동 휠체어의 I_{load} 가 연속전지에서 리튬이온전지로 절체하는 동작모드 전환전류(I_{LL})보다 작은 경우에는 [step 5]로, I_{LL} 보다 크고 리튬이온전지에서 슈퍼커패시터로 절체하는 동작모드 전환전류(I_{LS})보다 작은 경우에는 [step 6]으로, I_{LS} 보다 큰 경우에는 [step 7]로 진행한다.

[Step 5] 연속전지를 사용해 전동 휠체어를 운용하며, 운용 중 연속전지의 SOC가 적정 운용 범위를 초과하는 경우 [step 6]으로, 적정 운용 범위 이내이면 [step 8]로 진행한다.

[Step 6] 리튬이온전지를 사용해 전동 휠체어를 운용하며, 운용 중 리튬이온전지의 SOC가 적정 운용 범위를 초과하는 경우 [step 7]로, 적정 운용 범위 이내이면 [step 8]로 진행한다.

[Step 7] 슈퍼커패시터를 사용해 전동 휠체어를 운용하며, 운용 중 슈퍼커패시터의 SOC가 적정 운용 범위를 초과하는 경우 [step 9]로 진행하며, 적정 운용 범위 이내이면 [step 8]로 진행한다.

[Step 8] 운용 시간대 t 가 t_{max} 보다 작은 경우, [step 3]으로 돌아가 해당과정을 반복하고, t_{max} 보다 큰 경우 [step 9]로 진행한다.

[Step 9] 전동 휠체어의 작동을 정지시킨다.

따라서, 상기의 알고리즘을 플로우 차트로 나타내면 Fig. 2와 같다.

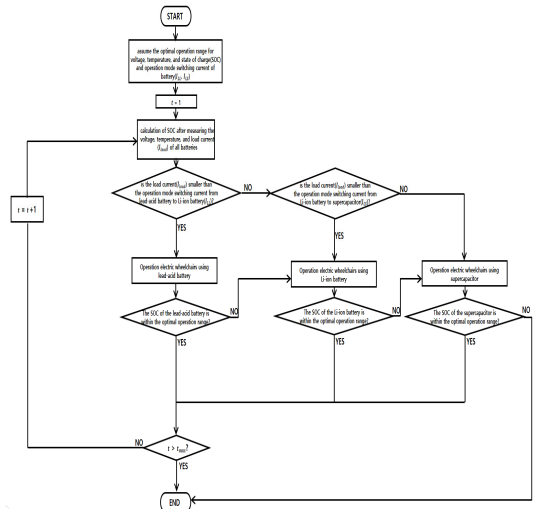


Fig. 2. Operation algorithm of electric wheelchair using hybrid energy storage devices

3. 하이브리드 전기저장장치를 이용한 전동 휠체어의 구현

3.1 H/W 장치부

하이브리드 전기저장장치를 이용한 전동 휠체어는 H/W 장치부와 S/W 장치부로 구성된다. 여기서, H/W 장치부는 Fig. 3과 같이 하이브리드 전기저장장치부, 계측 및 제어장치부, 모니터링 및 연산장치부, 충전부와 부하장치부로 나타낼 수 있다. 먼저, Fig. 3의 section A는 연속전지와 리튬이온전지, 슈퍼커패시터로 이루어진 하이브리드 전기저장장치부이고, section B는 Arduino S/W와 전압, 전류, 온도를 측정하는 센서, 양방향 통신을 위한 블루투스 모듈, 릴레이, 다이오드 등으로 구성된 계측 및 제어장치부이며, section C는 앱 인벤터 S/W를 이용한 모니터링 및 연산장치부이다. 여기서, Arduino S/W, 블루투스 모듈, 릴레이와 앱 인벤터 S/W는 하이브리드 BMS 기능을 대체하고, 다이오드는 배터리 전환 동작 시에 의도하지 않은 과도상태를 방지한다. 또한, Fig. 3의 section D는 배터리를 충전하는 파워 서플라이로

구성된 충전부이며, section E는 DC 모터 등으로 구성된 부하장치부이다. 이를 바탕으로 구현한 전동 휠체어의 외관은 Fig. 4와 같다.

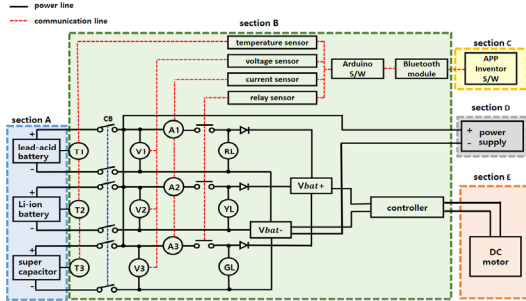


Fig. 3. Circuit diagram of electric wheelchair using hybrid energy storage devices

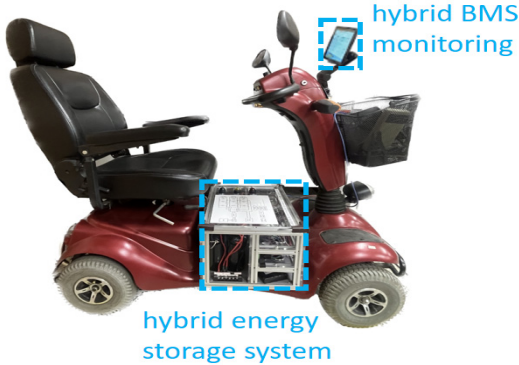


Fig. 4. Outline of electric wheelchair using hybrid energy storage devices

3.2 S/W 장치부

전동 휠체어의 BMS 기능을 대체하기 위하여, S/W 장치부는 Fig. 5와 같이 Arduino S/W와 앱 인벤터 S/W의 양방향 통신을 이용해 구현한다. 여기서, Arduino S/W는 센서를 통해 측정된 전압, 전류, 온도 데이터를 앱 인벤터 S/W로 송신하고, 앱 인벤터는 수신한 데이터를 바탕으로 SOC를 산정하여, 배터리의 전압, 온도, SOC가 적정 운용 범위를 판단한 후, Arduino S/W로 배터리 제어 신호를 송신한다. 즉, 적정 운용 범위를 초과한 경우, 제한한 전동 휠체어는 Arduino S/W에서 수신한 제어 신호를 이용해 릴레이를 제어하여 운용한다. 또한, 모든 배터리에 대하여 정상 상태의 제어는 Arduino S/W를 이용해 구현하며, 측정된 부하전류와 동작모드 전환전류(I_{LL} , I_{LS})를 비교하여 동작 전환 릴레이를 구동시킨다. 한편, Fig. 6과 같이, 앱 인벤터를 이용

한 모니터링은 전압, 전류, 온도, SOC와 방전 중인 배터리를 실시간으로 확인할 수 있다.

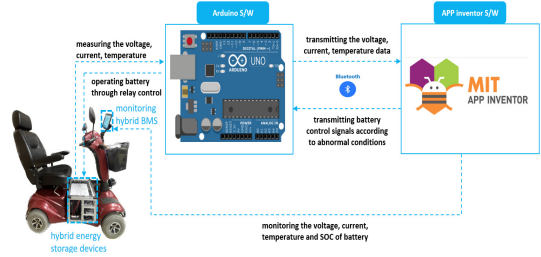


Fig. 5. S/W concept of electric wheelchair using hybrid energy storage devices

Bluetooth

hybrid battery monitoring system			
	lead- acid battery	Li-ion battery	supercapacitor
voltage [V]	26.49	25.82	25.64
current [A]	2.53	0.00	0.00
temperature [°C]	27.00	27.50	24.75
SOC [%]	70.83	58.33	74.97

Fig. 6. Menu of hybrid battery monitoring system

4. 시험결과 및 분석

4.1 시험 조건

연축전지와 리튬이온전지, 슈퍼커패시터의 C-rate별 방전 특성 및 전동 휠체어의 운용 특성 시험 조건은 Table 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 전동 휠체어의 모터 정격전압은 제조사에서 제공하는 사양에 의하여 24[V]로 상정한다. 따라서, 모터의 정격전압을 고려하여, 연축전지는 2s1p 구성으로 정격전압은 24[V], 정격용량 및 전력량은 각각 50[Ah], 1,200[Wh]이고, 리튬이온전지는 7s4p로 정격전압은 25.9[V], 정격용량 및 전력량은 각각 11.4[Ah], 295.26[Wh]이며, 슈퍼커패시터는 1s1p로 정격전압은 32.4[V], 정격용량 및 전력량은 1.123[Ah], 35.49[Wh]이다. 또한, 배터리 방전 특성 시험은 제조사에서 제공한 종지전압까지 배터리를 방전시키며, 연축전지는 0.2, 0.5C-rate, 리튬이온전지와 슈퍼커패시터는 0.5, 1, 2C-rate의 조건으로 방전 시험을 수행한다.

Table 1. Test conditions

item	contents		
specifications of battery	lead-acid battery	nominal voltage[V]	12
		cut-off voltage[V]	10.5
		rated capacity[Ah]	50
		rated power[Wh]	600
	Li-ion battery	nominal voltage[V]	3.7
		cut-off voltage[V]	2.5
		rated capacity[Ah]	2.85
		rated power[Wh]	10.55
	supercapacitor	nominal voltage[V]	32.4
		cut-off voltage[V]	0.8
		rated capacity[Ah]	1.124
		rated power[Wh]	36.4
discharging test in battery	lead-acid battery	discharging cut-off voltage[V]	10.5
		discharging C-rate	0.2 0.5
	Li-ion battery	discharging cut-off voltage[V]	3.0
		discharging C-rate	0.5
			1 2
	supercapacitor	discharging cut-off voltage[V]	0.8
		discharging C-rate	0.5
			1
			2
	operation test in electric wheelchair	nominal voltage of motor[V]	24
switching mode current		I_{LL} [A]	10
		I_{LS} [A]	22.8
configuration of battery		lead-acid battery	2s1p
		Li-ion battery	7s4p
	supercapacitor	1s1p	

4.2 동작모드 전환전류 산정을 위한 배터리 방전 특성

상기에서 제시한 4.1절의 시험 조건을 바탕으로 연속 전지의 C-rate 별 방전전류와 방전전력 특성을 나타내면 각각 Fig. 7의 (a), (b)와 같다. 여기서, 연속전지를 0.2C-rate로 방전하는 경우, 방전용량은 38.60[Ah]이고, 방전전력량은 932.57[Wh]이며, 0.5C-rate인 경우, 방전용량 및 전력량은 각각 33.47[Ah], 791.23[Wh]임을 알 수 있다. 즉, C-rate별로 방전전력량의 효율을 산정하면, Table 2와 같이 연속전지의 방전 효율은 C-rate가 0.2에서 0.5로 증가함에 따라 77.6[%]에서 65.9[%]로 감소하는 것을 알 수 있다.

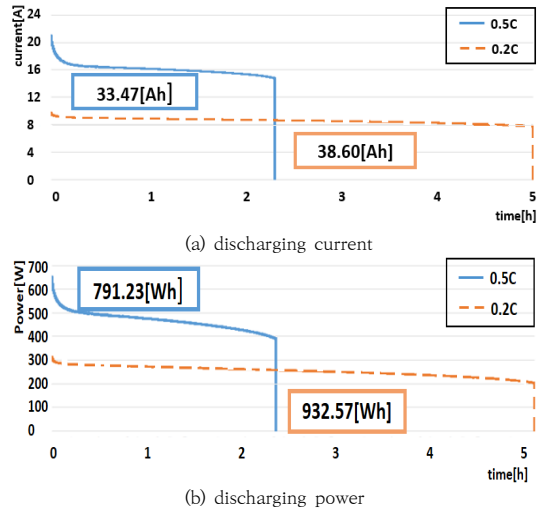
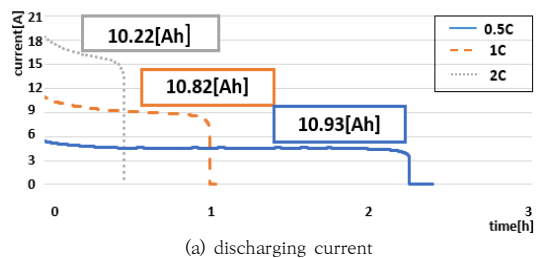


Fig. 7. Discharging characteristics by C-rate in lead-acid battery

Table 2. Discharging power efficiency in lead-acid battery by C-rate

C-rate	discharging capacity[Ah]	discharging power[Wh]	power efficiency[%]
0.2	38.60	932.57	77.6
0.5	33.47	791.23	65.9

한편, 4.1절의 시험 조건을 바탕으로 리튬이온전지의 C-rate 별 방전전류와 방전전력 특성을 나타내면 각각 Fig. 8의 (a), (b)와 같다. 여기서, 리튬이온전지를 0.5C-rate로 방전하는 경우, 방전용량은 10.93[Ah]이고, 방전전력량은 284.19[Wh]이며, 1C-rate인 경우, 방전용량 및 전력량은 각각 10.82[Ah], 282.11[Wh]임을 알 수 있다. 또한, 2C-rate로 방전하는 경우, 방전용량 및 전력량은 각각 10.22[Ah], 264.85[Wh]임을 알 수 있다. 즉, C-rate별로 방전전력량의 효율을 산정하면, Table 3과 같이 리튬이온전지의 방전 효율은 C-rate가 1에서 2로 증가함에 따라 95.6[%]에서 89.7[%]로 감소하여, 2C-rate 이상에서 효율이 급격하게 저하됨을 알 수 있다.



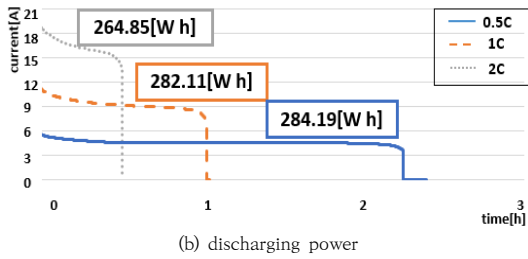


Fig. 8. Discharging characteristics by C-rate in Li-ion battery

Table 3. Discharging power efficiency in Li-ion battery by C-rate

C-rate	discharging capacity[Ah]	discharging power[Wh]	power efficiency[%]
0.5	10.93	284.19	96.3
1	10.82	282.11	95.6
2	10.22	264.85	89.7

한편, 4.1절의 시험 조건을 바탕으로 슈퍼커패시터의 C-rate별 방전전류와 방전전력 특성을 나타내면 Fig. 9의 (a), (b)와 같다. 여기서, 0.5C-rate로 슈퍼커패시터를 방전하는 경우, 방전용량 및 방전전력량은 각각 1.123[Ah], 35.49[Wh]이고, 2C-rate인 경우, 방전용량 및 전력량은 각각 1.119[Ah], 35.26[Wh]임을 알 수 있다. 즉, C-rate별로 방전전력량의 효율을 산정하면, Table 4와 같이 슈퍼커패시터의 방전 효율은 방전 C-rate가 0.5에서 2로 증가함에 따라 97.5[%]에서 96.9[%]로 거의 감소하지 않는 것을 알 수 있다.

따라서, 연축전지는 C-rate의 변화에 따른 효율의 변화가 크고, 리튬이온전지는 2C-rate 이상에서 효율이 급격하게 저하하는 것을 알 수 있어, 연축전지에서 리튬이온전지로 절체하는 동작모드 전환전류(I_{L1})는 연축전지의 표준 방전율인 0.2C-rate(10[A])로 산정하고, 리튬이온전지에서 슈퍼커패시터로 절체하는 동작모드 전환전류(I_{L2})는 리튬이온전지의 효율이 저하하는 2C-rate(22.8[A])로 산정한다. 즉, 전동 휠체어의 부하전류가 10[A] 미만이면 연축전지로 운용하고, 10[A] ~ 22.8[A]이면 리튬이온전지로, 22.8[A] 이상이면 슈퍼커패시터로 전환하여 전동 휠체어를 운용한다.

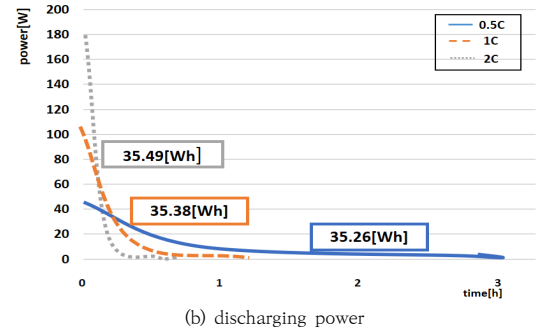
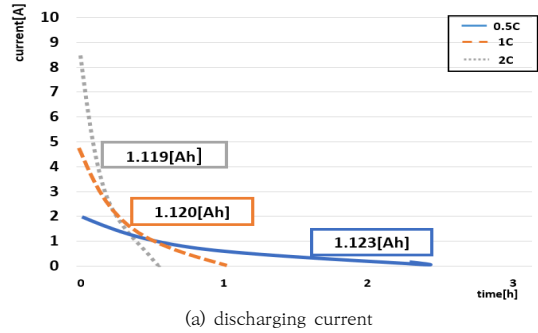


Fig. 9. Discharging characteristics by C-rate in supercapacitor

Table 4. Discharging power efficiency in supercapacitor by C-rate

C-rate	discharging capacity[Ah]	discharging power[Wh]	power efficiency[%]
0.5	1.123	35.49	97.5
1	1.120	35.38	97.2
2	1.119	35.26	96.9

4.3 기존 전동 휠체어의 운용 특성

기존 전동 휠체어의 운용 특성을 나타내면 Fig. 10과 같다. 여기서, Fig. 10의 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, Fig. 10의 section C는 경사면 이동 시 전류를 나타낸 것으로, α 지점은 경사면 이동 중 턱에 걸려, 전동 휠체어의 시동 꺼짐 현상이 발생함을 알 수 있다. 따라서, 기존 방식의 전동 휠체어에서는 연축전지가 높은 C-rate의 전류를 방전하고, 운용 중 턱 걸림과 같은 고출력 시 시동 꺼짐 등의 문제점이 발생하여, 연축전지의 수명과 이용자의 편리성 및 안전성에 악영향을 끼칠 가능성이 있음을 알 수 있다.

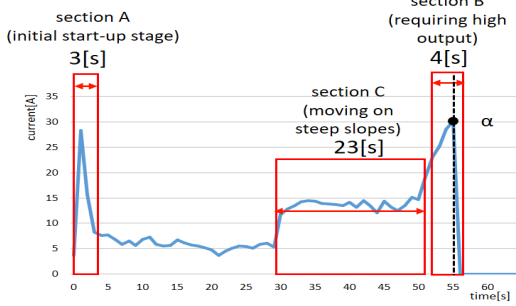


Fig. 10. Operation characteristics of existing electric wheelchair using lead-acid battery

4.4 하이브리드 전기저장장치를 이용한 전동 휠체어의 운용 특성

4.1절에서 제시한 시험 조건을 바탕으로, 하이브리드 전기저장장치를 이용한 전동 휠체어의 정상 상태 시 운용 특성을 나타내면 Fig. 11과 같다. 여기서, Fig. 11의 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, Fig. 11의 section C는 경사면 이동 시 전류를 나타낸 것으로 방전 전류가 동작모드 전환전류(I_{LL})보다 크고 동작모드 전환 전류(I_{Ls})보다 작기 때문에 리튬이온전지를 이용하여 전동 휠체어를 운용하는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안한 전동 휠체어는 고출력이 필요한 경우, 기존 방식보다 45[%] 정도 개선된 출력을 공급할 수 있고, 시동 꺼짐 등의 현상이 발생하지 않기 때문에 이용자의 편리성과 안전성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

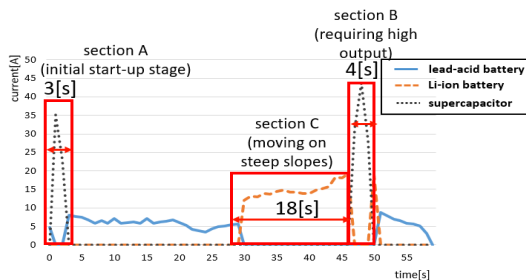


Fig. 11. Operation characteristics of proposed electric wheelchair in normal operation condition

한편, 제안한 전동 휠체어의 실계통 운용 시 전류 특성은 Fig. 12와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 연속전지

는 전동 휠체어 전체 운용 시간의 60[%] 정도를 담당하며, 리튬이온전지는 경사면을 이동하는 경우를 포함하여 전체 운용 시간의 30[%] 정도를 담당한다. 또한, 순간적으로 고출력이 필요한 경우, 슈퍼커패시터로 전환되어, 전체 운용 시간의 10[%] 정도를 담당하는 것을 알 수 있다. 따라서, 제안한 전동 휠체어는 연속전지에서 높은 C-rate의 전류 방전을 방지할 수 있어, 배터리의 수명을 향상시킬 수 있고, 배터리의 교체 주기를 지연시킬 수 있음을 알 수 있다.

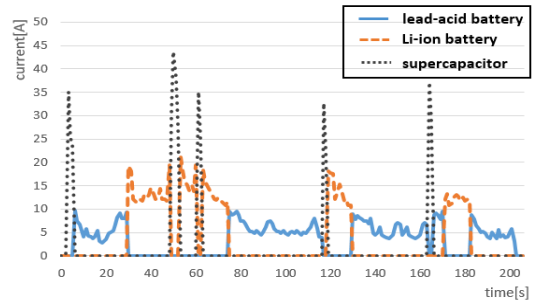


Fig. 12. Current characteristics of proposed electric wheelchair in normal operation condition

한편, 배터리의 SOC가 적정 운용 범위를 초과하는 경우, 제안한 전동 휠체어의 운용 특성을 나타내면 Fig. 13과 같다. 여기서, Fig. 13은 리튬이온전지가 적정 운용 범위를 초과한 경우로, 제안한 알고리즘에 따라 전동 휠체어의 부하전류와 동작모드 전환전류 (I_{LL})을 비교하여, 연속전지와 슈퍼커패시터를 전환하여 전동 휠체어를 운용하는 것을 알 수 있다. 따라서, 제안한 전동 휠체어는 배터리의 SOC가 적정 운용 범위를 초과하는 경우, 다른 배터리로 전환하여 각 배터리를 효율적으로 운용할 수 있음을 알 수 있다.

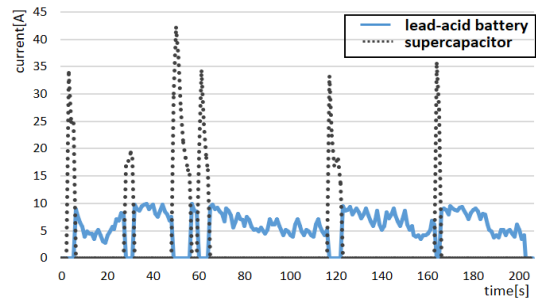


Fig. 13. Operation characteristics of proposed electric wheelchair in emergency condition

5. 결론

본 논문에서는 전동 휠체어 이용자의 편리성과 안전성을 향상시키기 위하여 하이브리드 저장장치를 이용한 전동 휠체어의 운용 알고리즘을 제안하고, 이를 바탕으로 하이브리드형 전동 휠체어의 운용특성을 제시한다. 상기의 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 연축전지의 방전전력량 효율은 C-rate가 0.2에서 0.5로 증가함에 따라 77.6[%]에서 65.9[%]로 감소하고, 리튬이온전지의 방전전력량 효율은 C-rate가 1에서 2로 증가함에 따라 95.6[%]에서 89.7[%]로 감소하여, 2C-rate 이상에서 효율이 급격하게 저하됨을 알 수 있다. 또한, 슈퍼커패시터의 방전전력량 효율은 C-rate가 0.5에서 2로 증가함에 따라 97.5[%]에서 96.9[%]로 거의 감소하지 않는 것을 알 수 있다.
- (2) 본 논문에서 제안한 전동 휠체어는 고출력이 필요한 경우, 기존 방식보다 45[%] 정도 개선된 출력을 공급할 수 있고, 시동 꺼짐 등의 현상이 발생하지 않기 때문에 이용자의 편리성과 안전성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.
- (3) 하이브리드 저장장치를 이용한 전동 휠체어를 운용하는 경우, 연축전지에서 높은 C-rate의 전류방전을 방지할 수 있어, 배터리의 수명 향상과 교체 주기를 지연시킬 수 있음을 알 수 있다.
- (4) 제안한 전동 휠체어는 배터리의 SOC가 적정 운용범위를 초과하는 경우, 다른 배터리로 전환하여 각 배터리를 효율적으로 운용할 수 있음을 알 수 있다.

References

- [1] Korea Institute for Health and Affairs, Current status of need and possession of major assistive devices for the disabled, 2020 Handicapped Survey, Korea, p.289-292.
- [2] S. J. Jeong, K. M. Rhee, "Providing Assistive Technology Service of Mobility device using lead-acid batteries Regenerator", *Rehabilitation Engineering And Assistive Technology Society of Korea Technical Conference 2013*, pp. 130-132, 2013.
- [3] Y. P. Kim, H. J. Ham, S. H. Hong, S. C. Ko, "Comparison of Battery Performance According to Indoor Electric Wheelchair Driving Scenario", *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol.34, No.2, pp.19-29, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.5207/JIEIE.2020.34.2.019>

- [4] S. T. Oh, B. G. Kim, J. B. Park, D. S. Rho, "Development of Hybrid BMS(Battery Management System) Algorithm for Lead-acid and Lithium-ion battery", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.16, No.5, pp.3391-3398, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.5.3391>
- [5] J. M. Kim, H. D. Lee, D. H. Tae, Marito Ferreira, J. H. Park, D. S. Rho, "Implementation of Battery Management System for Li-ion Battery Considering Self-energy Balancing", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, No.3, pp.585-593, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.3.585>
- [6] J. Shen, H. D. Lee, J. M. Kim, H. S. Choi, D. S. Rho, "A Study on Implementation of Battery Management System for Enhancing Safety of Sharing Electric Kickboard", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.22, No.10, pp.775-783, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.10.775>
- [7] National Health Insurance Service, Announcement of benefit products and decision price for assistive devices for the disabled, 2021.
- [8] K. Y. Kim, H. D. Lee, D. H. Tae, D. S. Rho, "Algorithm of Detecting Ground Fault by Using Insulation Monitoring Device(IMD) in Ungrounded DC System", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, No.9, pp.528-535, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.9.528>
- [9] S. J. Ahn, I. H. Moon, "International standard Trends of lithium-ion batteries for powered wheelchairs", *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology*, Vol.17, No.4, pp.275-280, 2023.
DOI: <https://doi.org/10.21288/resko.2023.17.4.275>
- [10] S. K. Kim, S. G. Choi, S. Y. Jin, S. S. Bang, "An Experimental Study on Fire Risks Due to Overcharge and External Heat of ESS Lithium Battery", *Fire Sci. Eng.*, Vol.33, No.4, pp.59-69, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2019.33.4.059>

김 세 진(Se-Jin Kim)

[준회원]



- 2024년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2024년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 석사과정 재학 중

<관심분야>

전력 및 배전계통, 전기저장장치, 신재생에너지

김 지 명(Ji-Myung Kim)

[정회원]



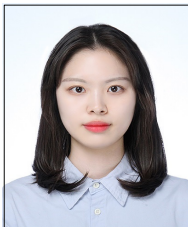
- 2020년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2022년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2022년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

전력 및 배전계통, 신재생에너지, 전기저장장치

이 예 빈(Ye-Bin Lee)

[준회원]



- 2023년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 석사과정 재학 중

<관심분야>

전력 및 배전계통, 전기저장장치, 신재생에너지

최 성 문(Sung-Moon Choi)

[정회원]



- 2020년 2월 : 호원대학교 전기공학과 (공학사)
- 2022년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2022년 2월~현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, ESS, 마이크로그리드, 신재생에너지

이 민 행(Min-Haeng Lee)

[준회원]



- 2023년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 석사과정 재학 중

<관심분야>

전기저장장치, 전력 및 배전계통, 신재생에너지

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[종신회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국 전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석