

연축전지와 슈퍼커패시터를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어의 구현

이예빈, 이민행, 김지명, 한병길, 노대석*
한국기술교육대학교 전기공학과

Implementation of the Electric Wheelchair for Hybrid Type Using Lead-acid Battery and Super Capacitor

Ye-Bin Lee, Min-Haeng Lee, Ji-Myung Kim, Byeong-Gill Han, Dae-Seok Rho*
Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약 최근, 인구 고령화에 따른 교통 약자가 증가하고 있으며, 이에 따라 노약자 및 장애인의 이동의 편리성 향상을 위해 전동 휠체어의 보급이 가속화되고 있다. 일반적으로 전동 휠체어는 연축전지를 사용하는데, 순간적인 고출력, 시동 꺼짐, 방지턱 걸림, 등이 발생하는 경우, 전동 휠체어 이용자들의 안전성과 연축전지의 수명에 악영향을 미칠 가능성이 있다. 따라서, 본 논문에서는 상대적으로 경제적이고 안전성이 높은 연축전지와 출력 특성이 우수하고 수명이 반영구적인 슈퍼커패시터를 결합한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘을 제안하고, 저장장치부, 제어장치부, 부하장치부로 구성된 하이브리드형 전동 휠체어를 구현한다. 이를 바탕으로, 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 특성을 분석한 결과, 고출력을 필요로 하는 상황에서 출력 특성이 우수한 슈퍼커패시터로 하이브리드형 전동 휠체어를 동작시켜, 기존의 방식보다 높은 c-rate의 전류로 전동 휠체어를 운용할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 연축전지에서 높은 c-rate 전류의 방전을 방지할 수 있어, 연축전지의 수명 및 전동 휠체어 이용자의 안전성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

Abstract The commercialization of electric wheelchairs is now being accelerated with the aging of the population to improve the mobile convenience of the seniors and handicapped. On the other hand, the lifespan of the lead-acid battery, which is commonly adopted in electric wheelchairs, and the safety of users may be adversely affected when incidents, such as instantaneous high output power, unexpected engine breakdown, and stuck at speed bumps, occur. Therefore, this paper proposes an operation algorithm for a hybrid electric wheelchair, which is operated using a combination of an economical and safe lead-acid battery and supercapacitor, which has excellent output characteristics and a semi-permanent lifespan and implements a hybrid electric wheelchair composed of a battery, control, and load sections. The test results based on the proposed algorithm of the hybrid electric wheelchair showed that the proposed wheelchair could be operated with a higher c-rate current than the existing ones by discharging a supercapacitor when high output power is in demand. In addition, the lifespan of lead-acid battery and the safety of wheelchair users can be improved by preventing the discharging of the lead-acid battery with the high c-rate current.

Keywords : Hybrid Electric Wheelchair, Lead-acid Battery, Super Capacitor, Operation Algorithm, C-rate

본 논문은 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술연구원(2020G910100090, (PCS-EES 연계시스템 이상징후 사전 감지 및 위험요인 분석 핵심기술개발)과 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회 선형 융합연구사업(No. CPS22131-100)의 지원을 받아 수행되었습니다.

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

Received December 7, 2022

Revised January 2, 2023

Accepted March 3, 2023

Published March 31, 2023

1. 서론

최근, 인구 고령화로 노인 인구가 지속적으로 증가하고 있으며, 우리나라 노인의 비율은 2021년 16.7[%]에서 2030년 33.5[%]로 급격하게 증가할 전망이다. 이에 따라 노약자와 장애인의 이동 편리성이 주목받으면서 전동 휠체어의 보급이 지속적으로 증가하고 있다[1]. 일반적으로 전동 휠체어는 연축전지를 사용하는데, 순간적인 고출력, 시동 꺼짐, 방지턱 걸림, 등이 발생하는 경우, 전동 휠체어 사용자들의 안전성과 연축전지의 수명에 악영향을 미칠 가능성이 있다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 방안 중 하나로 수명과 출력 특성이 우수한 리튬이온전지가 주목받고 있다. 여기서, 리튬이온전지는 BMS를 사용해 화재의 위험성이 감소했지만 화재에 대한 안전성 기준이 미흡하여, 국민건강보험공단에서 지급하는 노약자 및 장애인 보조기기 급여 지원 제품 목록에서 화재 안전상의 이유로 제외되어 있고, 리튬이온전지를 사용한 전동 휠체어는 국내에서 생산되지 않는 실정이다[2-4].

따라서, 본 논문에서는 상대적으로 경제적이고 안전성이 높은 연축전지와 출력 특성이 우수하고 수명이 반영구적인 슈퍼커패시터를 결합한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘을 제안한다. 여기서, 제안한 알고리즘은 연축전지와 슈퍼커패시터의 전압이 휠체어 최소동작전압 이상인지 판단하고, 하이브리드 장치의 전류가 일정한 전류 이상인 경우, 슈퍼커패시터로 전동 휠체어를 절환하여 동작시키고, 슈퍼커패시터의 SOC(state of charge)가 최소동작전압 이하인 경우, 연축전지로 전동 휠체어를 동작시킨다.

또한, 하이브리드형 전동 휠체어는 연축전지와 슈퍼커패시터, 차단기 등으로 구성된 저장장치부, 아두이노, 전압 및 전류센서, 릴레이, 다이오드 등의 감시제어장치부, DC/AC 인버터와 모터 등으로 이루어진 부하장치부로 구현한다. 이를 바탕으로, 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 특성을 분석한 결과, 고출력을 필요로 하는 상황에서 출력 특성이 우수한 슈퍼커패시터로 하이브리드형 전동 휠체어를 동작시켜, 기존의 방식보다 높은 c-rate의 전류로 전동 휠체어를 동작시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한, 연축전지에서 높은 c-rate 전류의 방전을 방지할 수 있어, 연축전지의 수명 및 전동 휠체어 이용자의 편리성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

2. 전동 휠체어의 사고 사례 및 운용 특성

2.1 사고 사례 및 원인 분석

한국소비자원이 2015년에 조사한 전동 휠체어의 사고 사례를 나타내면 Table 1과 같다[5,6]. 여기서, Table 1의 (a)는 전동 휠체어의 운용 시 발생한 사고 사례이며, 장애물 등에 의한 걸림 사고가 41.2[%]로 가장 많은 것을 알 수 있다. 또한, Table 1의 (b)는 지면 상태에 따른 사고이며, 경사면이 41.2[%]로 가장 많은 것을 알 수 있다. 따라서, 전동 휠체어의 사고는 걸림, 경사면과 고르지 못한 지형, 등과 같이 고출력이 필요한 상황에서 발생하는 것을 알 수 있으며, 이로 인해 전동 휠체어 운전자의 상해, 휠체어 파손, 등의 피해가 발생한다.

Table 1. Accident cases of electric wheelchair

(a) cases while driving		
item	respondents	percentage[%]
stucking	42	41.2
collision with external obstacles	37	36.3
stop while driving	33	32.4
vehicle crash	25	24.5
pedestrian collision	23	22.5
loss of balance	13	12.7
jammed	11	10.8
malfunction and fire	9	8.8
etc.	4	3.9
total	102	-
(b) cases due to ground conditions		
item	respondents	percentage[%]
incline	70	41.2
slippery terrain	36	21.2
rough terrain	32	18.8
height	27	15.9
etc.	5	2.9
total	170	-

2.2 전동 휠체어의 운용 특성 분석

전동 휠체어 운용 시에 발생하는 전류는 Fig. 1과 같이 기동전류와 구동전류로 구성된다[7]. 여기서, A 모터의 기동전류는 Fig. 1의 (a)와 같이 44.9[A]로 측정되며 평균 구동전류 3.66[A]보다 12배 크고, B 모터의 기동전류는 Fig. 1의 (b)와 같이 52.97[A]로 평균 구동전류 3.62[A]보다 14배 큰 것을 알 수 있다. 즉, 전동 휠체어의 고출력이 요구되는 경우는 상기에서 제시한 걸림, 경

사면, 등의 상황뿐만 아니라 전동 휠체어 초기 기동 시에도 요구되어, 연속전지의 효율과 수명에 악영향을 미칠 가능성이 있다[8]. 따라서, 이를 방지하는 경우, 전동 휠체어의 전지 교체 주기가 단축되어 이용자의 편리성 및 안전성에 문제가 발생할 가능성이 있다.

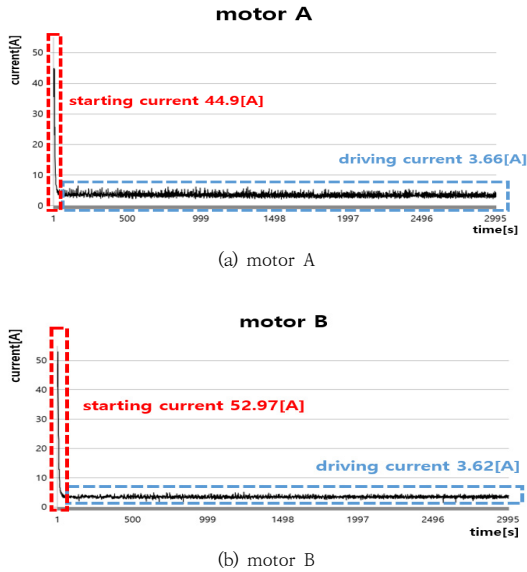


Fig. 1. Current profiles of motor in electric wheelchair

한편, 상기의 문제점을 해결할 수 있는 방안으로 수명 및 효율이 좋은 리튬이온전지가 주목받고 있지만, 화재 및 안전상의 이유로 장애인 보조기기 급여 지원에서 제외되어, 대다수의 전동 휠체어는 연속전지를 사용하고 있는 실정이다[2]. 따라서 본 논문에서는 상대적으로 경제성과 안전성이 좋은 연속전지와 수명과 출력 특성이 우수한 슈퍼커패시터를 결합한 하이브리드형 전동 휠체어를 구현한다.

3. 연속전지와 슈퍼커패시터를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘

3.1 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 방안

연속전지 사용 시 나타나는 전동 휠체어의 문제점들을 해결하기 위하여, 본 논문에서는 연속전지와 슈퍼커패시터를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어를 구현한다. 제안하는 연속전지와 슈퍼커패시터를 이용한 하이브리드

운용 시스템은 Fig. 2와 같이 저장장치부, 제어장치부, 부하장치부로 구성된다. 먼저, Section A는 연속전지와 슈퍼커패시터를 병렬 구조로 구성한 저장장치부이고, Section B는 아두이노 및 controller로 이루어진 제어장치부이며, Section C는 AC motor 등으로 구성된 부하장치부이다. 또한, 일반적인 출력이 발생하는 경우, 하이브리드형 전동 휠체어는 relay 2에 의해 연속전지가 방전되며, 고출력이 필요한 상황에서는 relay 1에 의해 슈퍼커패시터가 방전된다. 이때, relay 1과 relay 2는 아두이노 S/W에 의한 인터록 동작으로 동시에 동작하지 않도록 구성한다.

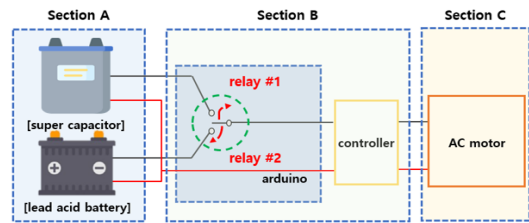


Fig. 2. Configuration of hybrid electric wheelchair

3.2 OCV법과 Ph counting법을 이용한 하이브리드 SOC 산정 알고리즘

OCV(open circuit voltage)를 이용한 SOC 산정 식은 하이브리드 저장장치(연속전지, 슈퍼커패시터)의 최소 및 최대 전압의 범위에서 현재 OCV를 등분함으로써, Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다[9,10].

$$SOC_{OCV}(\%) = \frac{V_{(t)} - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \times 100 \quad (1)$$

where, $V_{(t)}$: voltage of hybrid storage device, V_{max} : maximum voltage of hybrid storage device, V_{min} : minimum voltage of hybrid storage device

또한, 전력사용량을 바탕으로 한 Ph(power hour) counting 법을 이용한 SOC 산정 식은 하이브리드 저장장치의 총 방전된 용량에 대하여 정격용량을 등분함으로써, Eq. (2)와 같이 나타낼 수 있다[11,12].

$$SOC_{Ph}(\%) = \left[1 - \frac{Ph_{(t)}}{Ph_{rating}} \right] \times 100 \quad (2)$$

where, $Ph_{(t)}$: amount of charging and discharging until time interval t, Ph_{rating} : rated capacity by Ph counting method

본 논문에서는 상기의 두 가지 SOC 산정 식을 바탕으로 하이브리드 저장장치의 SOC를 보다 정확하게 평가하기 위하여, Fig. 3과 같이 초기 SOC를 OCV법으로 산정한 후, Ph counting법으로 SOC를 누적시켜 산정하는 하이브리드 방식을 제안한다.

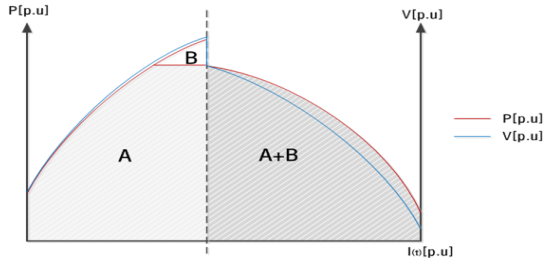


Fig. 3. Hybrid estimation algorithm of SOC with OCV and Ph counting method

즉, OCV법과 Ph counting법을 이용한 하이브리드 SOC 산정 식은 Eq. (1)과 Eq. (2)를 조합하여, SOC의 백분율 형태로 Eq. (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$SOC_{Hybrid}(\%) = SOC_{OCV}(\%) + SOC_{Ph}(\%) \quad (3)$$

where, SOC_{Hybrid} : total SOC(%) of hybrid storage device, SOC_{OCV} : initial SOC(%) by OCV method, SOC_{Ph} : cumulative SOC(%) by Ph counting method

3.3 하이브리드 시스템의 운용 알고리즘

본 논문에서 제안한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘을 구체적으로 나타내면 다음과 같다.

[Step 1] 초기조건으로 휠체어 최소동작전압 ($V_{min}(t)$)과 하이브리드장치 전환기준전류($I_{switch}(t)$)를 상정하고, 운용 시간대 t 를 초기 값으로 설정한다.

[Step 2] t 시간대에 대하여, 연속전지의 전압($V_{acid}(t)$)과 슈퍼커패시터의 전압($V_{scap}(t)$)을 측정하고, $V_{min}(t)$ 이상인지 판단한다.

[Step 3] [Step 2]에서 $V_{acid}(t)$ 와 $V_{scap}(t)$ 이 모두 $V_{min}(t)$ 이상인 경우, 연속전지를 사용해 전동 휠체어를 작동시키며, [step 4]로 진행한다. 한편, $V_{acid}(t)$ 와 $V_{scap}(t)$ 이 모두 $V_{min}(t)$ 보다 작은 경우, [Step 8]로 진행한다.

[Step 4] t 시간대에 대하여, 계속된 전동 휠체어의 부하전류($I_{load}(t)$)가 $I_{switch}(t)$ 보다 작은 경우에는 [Step

5]로, $I_{load}(t)$ 가 $I_{switch}(t)$ 이상인 경우에는 [Step 6]으로 이동한다.

[Step 5] 연속전지를 사용해 전동 휠체어를 작동시키며, 운용 시간대 t 가 최대값(t_{max})이면 [Step 8]로 진행하고, t_{max} 보다 작으면 [Step 2]로 돌아가 해당 과정을 반복한다.

[Step 6] Eq. (3)에 의하여 산정된 슈퍼커패시터의 SOC($SOC_{scap}(t)$)에 해당하는 슈퍼커패시터의 전압($V_{soc}(t)$)가 $V_{min}(t)$ 보다 높으면 [Step 7]로 진행한다. 한편, $V_{soc}(t)$ 가 $V_{min}(t)$ 보다 낮은 경우, [Step 5]로 이동한다.

[Step 7] 슈퍼커패시터를 사용해 전동 휠체어를 작동시키며, 운용 시간대 t 가 최대값(t_{max})이면 [Step 8]로 진행하고, t_{max} 보다 작은 경우, [Step 4]로 돌아가 해당 과정을 반복한다.

[Step 8] 전동 휠체어의 작동을 정지시킨다.

따라서, 상기의 알고리즘을 플로우 차트로 나타내면 Fig. 4와 같다.

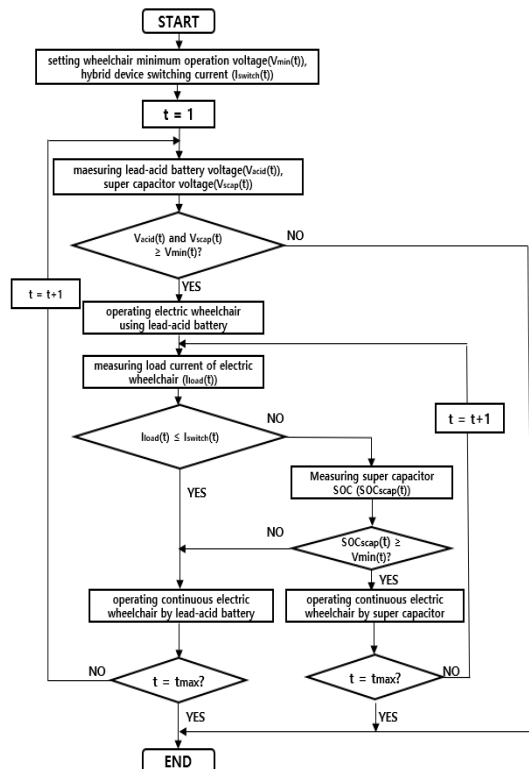


Fig. 4. Operation algorithm of hybrid electric wheelchair

4. 연속전지와 슈퍼커패시터를 이용한 전동 휠체어의 구현

4.1 H/W 장치 구현

연속전지와 슈퍼커패시터를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어는 H/W와 S/W로 구성되는데, 먼저 H/W 장치는 Fig. 5와 같이 저장장치부, 제어장치부, 부하장치부로 나타낼 수 있다. 먼저, Section A는 연속전지 및 슈퍼커패시터, 비상 상황 시에 회로를 차단할 수 있는 차단기 등으로 구성된 저장장치부이고, Section B는 아두이노 메가, 전류센서, 전압센서, 릴레이, 다이오드, controller 등으로 구성된 제어장치부이다. 여기서, 아두이노 메가는 전압, 전류센서에 의해 측정된 전동 휠체어의 전압, 전류값을 비교한 후 신호를 릴레이에 송신하고, 릴레이는 전압 및 전류 상황에 따라 연속전지와 슈퍼커패시터의 동작을 전환시킨다. 또한, 다이오드는 연속전지와 슈퍼커패시터를 순간적으로 전환시킬 경우, 의도하지 않은 에너지 흐름을 방지하기 위하여 사용한다. 한편, Section C는 DC/AC 인버터와 모터 등으로 구성된 부하장치부를 나타내며, 상기의 회로도를 바탕으로 제작된 연속전지와 슈퍼커패시터를 결합한 하이브리드형 전동 휠체어의 외관은 Fig. 6과 같다.

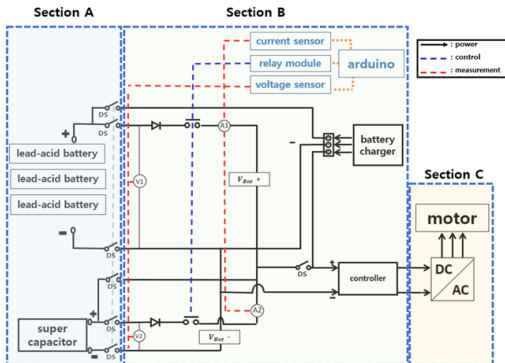


Fig. 5. Detailed configuration of hybrid electric wheelchair

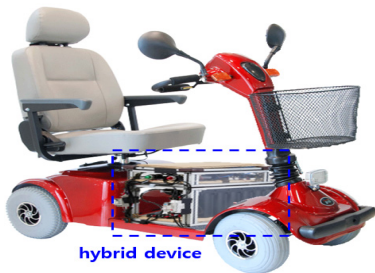


Fig. 6. Implementation of hybrid electric wheelchair

4.2 S/W 장치 구현

하이브리드형 저장장치를 이용한 제어 기능을 수행하기 위하여, 전동 휠체어의 S/W 장치는 Fig. 7과 같이 아두이노를 이용하여 구현한다. 구체적으로, 연속전지와 슈퍼커패시터의 전압을 측정하여, 휠체어 최소동작전압 이상인지 평가하고, 최소동작전압 이하인 경우에는 전동 휠체어의 동작을 정지시킨다. 또한, 전동 휠체어의 부하장치부가 고출력을 필요로 하는 경우에는 연속전지에서 슈퍼커패시터로 전환하여 전동 휠체어를 동작시키며, 3.2절에서 제안한 방안 에 따라 SOC를 평가하여 운용하도록 한다.

```

// 연속전지의 전압센서 사용코드
voltageval1 = analogRead(A0);
float vout1 = (voltageval1 * 5.0) / 1024.0;
float vin1 = (vout1 / (R2/(R1+R2))) * 40/25;
sum1 = vin1;
Serial.print("Vb_01 V = ");
Serial.println(sum1,2);

// 슈퍼커패시터의 전압센서 사용코드
voltageval2 = analogRead(A2);
float vout2 = (voltageval2 * 5.0) / 1024.0;
float vin2 = (vout2 / (R2/(R1+R2))) * 40/25;
sum2 = vin2;
Serial.print("Vb_02 V = ");
Serial.println(sum2,2);

// 연속전지용 측정용 전류센서 사용코드
currentval1 = analogRead(A4);
amp1 = (((currentval1 - 511) * 5.0) / (1024 - 0.04)) * 10;
Serial.print("Ia_01 a = ");
Serial.println(amp1);

// 슈퍼커패시터용 측정용 전류센서 사용코드
currentval2 = analogRead(A7);
amp2 = (((currentval2 - 511) * 5.0) / (1024 - 0.04)) * 10;
Serial.print("Ia_02 a = ");
Serial.println(amp2);
Serial.println("A");

amp3 = amp1 + amp2;

writeToFile();
{
    digitalWrite(relayOutPin1, HIGH);
    digitalWrite(relayOutPin3, HIGH);
    delay(200);
    digitalWrite(relayOutPin2, LOW);
    digitalWrite(relayOutPin4, LOW);
    delay(200);
}

if(amp3 > 4.8 && amp1 > 4.8)
{
    digitalWrite(relayOutPin1, LOW);
    digitalWrite(relayOutPin3, LOW);
    delay(200);
    digitalWrite(relayOutPin2, HIGH);
    digitalWrite(relayOutPin4, HIGH);
    delay(200);
}
    
```

Fig. 7. Program coding of electric wheelchair using arduino S/W

5. 시험결과 및 분석

5.1 시험 조건

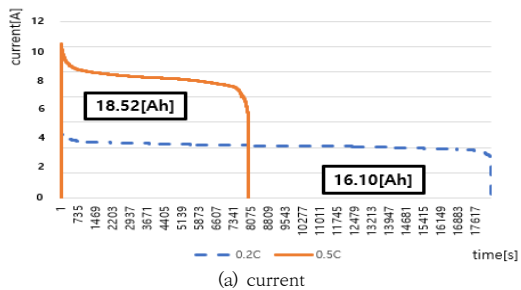
연속전지와 슈퍼커패시터의 c-rate별 방전 특성 시험 및 하이브리드형 전동 휠체어의 특성시험의 조건은 Table 2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 시험에서 사용한 연속전지의 정격전압은 12[V], 정격용량은 24[Ah]이고, 슈퍼커패시터의 정격전압은 32.4[V], 정격용량은 1.124[Ah]이다. 먼저, 저장장치 방전 특성 시험은 제조사에서 제공한 종지전압까지 배터리를 방전시키며, 연속전지는 0.2, 0.5[c-rate], 슈퍼커패시터는 0.5, 1, 2[c-rate]의 조건으로 방전 시험을 수행한다. 한편, 하이브리드형 전동 휠체어의 전환 기준전류는 4.8[A]이며, 연속전지 및 슈퍼커패시터는 각각 3s1p, 1s1p로 결선한다.

Table 2. Test conditions

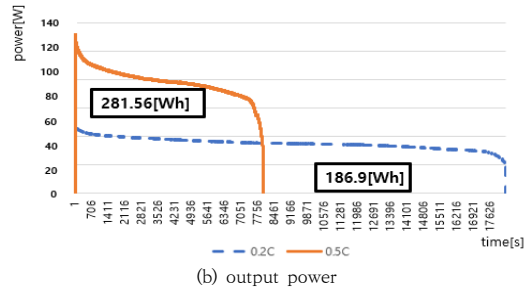
item	contents		
specifications of storage device	lead-acid battery	nominal voltage[V]	12
		cut-off voltage[V]	10.5
		rated capacity[Ah]	24
	super capacitor	rated power[Wh]	288
		nominal voltage[V]	32.4
		cut-off voltage[V]	0.8
	rated capacity[Ah]	1.12	
		4	
	rated power[Wh]	36.5	
test conditions of discharging in storage devices	lead-acid battery	discharging cut-off voltage[V]	10.5
		discharging c-rate	0.2
			0.5
	super capacitor	discharging cut-off voltage[V]	0.8
		discharging c-rate	0.5
			1
		2	
test conditions of operation in electric wheelchair	switching reference current of hybrid device [A]	4.8	
	configuration of storage device	lead-acid battery	3s1p
		super capacitor	1s1p

5.2 연속전지와 슈퍼커패시터의 c-rate별 방전 특성

상기에서 제시한 5.1절의 시험 조건을 바탕으로 연속전지의 방전 특성을 분석하면 Fig. 8과 같다. 여기서, Fig. 8의 (a)는 연속전지의 c-rate 별 방전전류 특성이고, Fig. 8의 (b)는 c-rate 별 방전전력 특성을 나타낸다. 먼저, 0.2[c-rate]로 연속전지를 방전할 경우, 방전용량 및 방전전력량은 각각 18.52[Ah], 218.56[Wh]이고 0.5[c-rate]로 방전할 경우, 방전용량 및 방전전력량은 각각 16.10[Ah], 186.9[Wh]임을 알 수 있다. 즉, Table 3과 같이 연속전지의 효율은 c-rate가 0.2에서 0.5로 증가함에 따라 77.3[%]에서 66.1[%]로 감소하여, c-rate가 증가할수록 연속전지의 효율이 급격하게 감소함을 알 수 있다.



(a) current



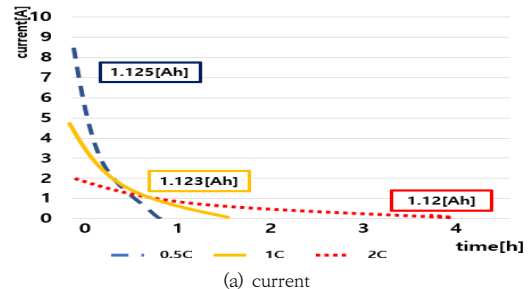
(b) output power

Fig. 8. Discharging characteristics by c-rate of lead-acid battery

Table 3. Discharging capacity and efficiency of lead-acid battery by c-rate

c-rate	discharging capacity[Ah]	discharging power[Wh]	power efficiency[%]
0.2	18.52	218.56	77.3
0.5	16.10	186.9	66.1

한편, 슈퍼커패시터의 방전 특성을 나타내면 Fig. 9와 같다. 여기서, Fig. 9의 (a)는 슈퍼커패시터의 c-rate 별 방전전류 특성이고, Fig. 9의 (b)는 c-rate 별 방전전력 특성을 나타낸 것이다. 먼저, 0.2[c-rate]로 슈퍼커패시터를 방전할 경우, 방전용량 및 방전전력량은 각각 1.125[Ah], 38.48[Wh]이고 2[c-rate]로 방전할 경우, 방전용량 및 방전전력량은 각각 1.12[Ah], 38.3[Wh]임을 알 수 있다. 즉, Table 4와 같이 슈퍼커패시터의 효율은 99.73[%]에서 99.13[%]로 감소하여, 방전전류의 c-rate가 증가해도 효율의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다. 따라서, 연속전지는 c-rate의 변화에 따른 저장장치 효율의 변화가 큰 것을 알 수 있어, 하이브리드장치 전환기준전류는 연속전지의 전류를 기준으로 표준 방전율인 0.2[c-rate]로 상정하여, 연속전지의 전류가 4.8[A] 이상인 경우, 슈퍼커패시터로 전환하여 전동 휠체어를 운용한다.



(a) current

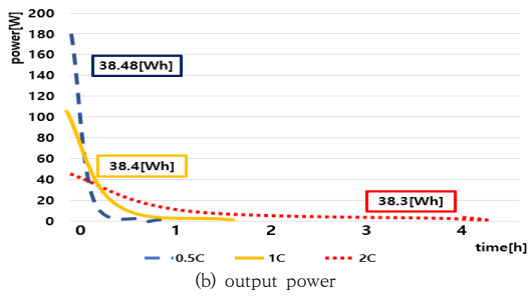


Fig. 9. Discharging characteristics by c-rate of super capacitor

Table 4. Discharging capacity and efficiency of super capacitor by c-rate

c-rate	discharging capacity[Ah]	discharging power[Wh]	power efficiency[%]
0.5	1.125	38.48	99.63
1	1.123	38.4	99.30
2	1.12	38.3	99.13

5.3 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 특성

5.3.1 기존의 전동 휠체어 운용 특성

기존의 연축전지를 사용한 전동 휠체어의 전류 특성을 나타내면 Fig. 10과 같다. 여기서, Fig. 10의 Section A는 초기 기동 시 전류를 측정한 것으로, 기동전류는 6.2[A]임을 알 수 있고, Fig. 10의 Section B는 고출력 시에 전류를 측정한 것으로 평균 5.2[A]의 전류가 방전 되는 것을 알 수 있다. 따라서, 기존의 방식대로 전동 휠체어를 운용하는 경우, 높은 c-rate의 전류에 의해 연축전지의 수명이 단축되며, 전동 휠체어 운행 및 경사면 이동 시 정지 등의 문제점이 발생하여 이용자에게 불편을 끼칠 가능성이 있다.

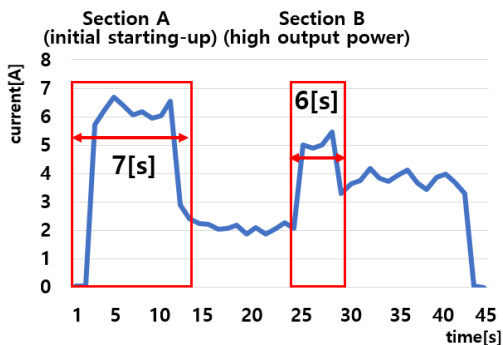


Fig. 10. Operation characteristics of electric wheelchair using lead-acid battery

5.3.2 제안한 전동 휠체어 운용 특성

5.1절에서 제시한 시험 조건을 바탕으로, 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 특성을 나타내면 Fig. 11과 같다. 여기서, Fig. 11의 Section A는 전동 휠체어 초기 구동 시를 나타낸 것으로, 6.7[A]의 기동전류가 발생함을 알 수 있고, 슈퍼커패시터를 통해서 전동 휠체어가 운용되는 것을 알 수 있다. 또한, Fig. 11의 Section B는 전동 휠체어에서 고출력이 발생한 경우를 나타내며, 슈퍼커패시터에서 최대 7.6[A]의 전류가 발생하며, 전동 휠체어의 하이브리드 저장장치가 연축전지에서 슈퍼커패시터로 전환되는 것을 알 수 있다. 즉, 고출력을 필요로 하는 경우 본 논문에서 제안한 전동 휠체어가 동일한 환경에서 기존 방식보다 46[%] 증가된 고출력을 낼 수 있어, 사용자들의 편리성을 높일 수 있음을 알 수 있다.

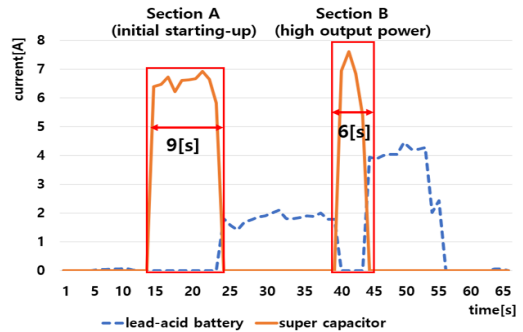


Fig. 11. Operation characteristics of storage device in hybrid electric wheelchair

한편, 실제 운용하면서 측정된 하이브리드형 전동 휠체어의 전류 특성은 Fig. 12와 같이 나타낼 수 있다. 이 그림에서와 같이, 연축전지는 전동 휠체어 운용 시간의 90[%] 정도를 담당하며, 순간적으로 고출력이 발생하는



Fig. 12. Current characteristics of hybrid electric wheelchair

경우, 아두이노의 동작에 의해 슈퍼커패시터로 전환되어, 전체 운용 시간의 10[%] 정도 담당하는 것을 알 수 있다. 따라서, 출력 특성이 우수한 슈퍼커패시터와 연축전지를 결합한 하이브리드형 전동 휠체어를 운용하는 경우, 연축전지에서 높은 c-rate의 전류가 방전되는 것을 방지할 수 있어, 연축전지의 수명을 향상시킬 수 있고, 전동 휠체어의 배터리 교체 주기를 지연시킬 수 있음을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 전동 휠체어 사용자들의 편리성과 안전성을 향상시키기 위하여 연축전지와 슈퍼커패시터를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘을 제안하고, 이를 바탕으로 하이브리드형 전동 휠체어의 운용특성을 제시한다. 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 연축전지의 효율은 c-rate가 0.2에서 0.5로 증가함에 따라 77.3[%]에서 66.1[%]로 감소하여, c-rate가 증가할수록 연축전지의 효율이 급격하게 감소함을 알 수 있고, 슈퍼커패시터의 효율은 99.73[%]에서 99.13[%]로 감소하여, 방전전류의 c-rate가 증가해도 효율의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있었다.
- (2) 기동 시나 과부하 등의 고출력을 필요로 하는 경우, 본 논문에서 제안한 하이브리드형 전동 휠체어가 동일한 환경에서 연축전지를 사용한 전동 휠체어보다 46[%] 증가된 고출력을 낼 수 있어, 편리성과 안전성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.
- (3) 기존의 연축전지에 출력 특성이 우수한 슈퍼커패시터를 결합한 하이브리드형 전동 휠체어를 운용하는 경우, 연축전지에서 높은 c-rate의 전류가 방전되는 것을 방지할 수 있어, 연축전지의 수명을 향상시킬 수 있고, 전동 휠체어의 배터리 교체 주기를 지연시킬 수 있음을 알 수 있었다.

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] National Health Insurance Service, Announcement of benefit products and decision price for assistive devices for the disabled, 2021.
- [3] 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>
- [4] H. J. Jang, T. S. Song, J. Y. Kim, S. J. Kim, T. H. Jang, "Study on Analysis of Fire Factor and Development Direction of Standard/safety Requirement to Keep Safety for Energy Storage System (ESS)", *Journal of Standards, Certification and Safety*, Vol.9, No.3, pp.25-49, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.34139/JSCS.2019.9.3.25>
- [5] Korea Consumer Agency, A survey on the use of electric assistive devices (electric wheelchairs and electric scooters), 2015.11, Korea, pp.29-30.
- [6] J. Y. Kong, "The Safety Incidents Survey of Mobility Assistive Device Users", *Journal of Special Education & Rehabilitation Science*, Vol.52, No.2, pp1-16, 2013.
- [7] Y. P. Kim, et al. "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>
- [8] 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>
- [9] 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>
- [10] J. B. Park, B. G. Kim, S. H. Song, D. S. Rho, "Development of State of Charge and Life Cycle Evaluation Algorithm for Secondary Battery", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.14, No.1, pp.369-377, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.1.369>
- [11] S. Susanna, B. R. Dewangga, O. Wahyungoro, A. I. Cahyadi, "Comparison of Simple Battery Model and Thevenin Battery Model for SOC Estimation Based on OCV Method", *2019 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, Yogyakarta, Indonesia, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICOIACT46704.2019.8938495>
- [12] S. Y. Park, S. W. Ryu, J. B. Park, B. G. Kim, M. Y. Kim, D. S. Rho, "A Study on Estimation Method for Optimal Composition Rate of Hybrid ESS Using Lead-acid and Lithium-ion Batteries", *The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol.65, No.6,

pp.962-968, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.6.962>

이 예 빈(Ye-Bin Lee)

[준회원]



- 2018년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)

<관심분야>

전력 및 배전계통, 전기저장장치, 신재생에너지

이 민 행(Min-Haeng Lee)

[준회원]



- 2020년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)

<관심분야>

전기저장장치, 마이크로그리드, 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

한 병 길(Byeong-Gill Han)

[정회원]



- 2016년 2월 : 한밭대학교 전자제어공학과 (공학사)
- 2018년 8월 : 서울과학기술대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2018년 8월 ~ 2020년 4월 : 한국화학융합시험연구원 연구원

- 2020년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

전력변환기, ESS, 신재생에너지, 마이크로그리드

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[중신회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국전기연구소 연구원/선임연구원

- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전계통, 분산전원연계, 전력품질해석