

# 하이브리드 전기저장장치를 이용한 전동 휠체어의 운용 알고리즘에 관한 연구

이중선\*, 광춘근\*, 이나경\*, 김지명\*, 노대석\*

\*한국기술교육대학교

e-mail:wndjts19@koreatech.ac.kr

## Operation Algorithm of the Electric Wheelchair using Hybrid Energy Storage System

Joong-Seon Lee\*, Chung-Guen Kwak\*, Na-Kyung Lee\*,

Ji-Myung Kim\*, Dae-Seok Rho\*

\*Dept. Korea University of Technology and Education

### 요 약

일반적으로 전동 휠체어는 연축전지를 사용하는데, 초기 기동 시나 경사면 이동 시, 턱 걸림과 같이 고출력이 필요한 경우, 시동 꺼짐 등의 사고가 발생하여 전동 휠체어 이용자의 안전성과 연축전지의 수명에 악영향을 미칠 가능성이 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여, 연축전지의 낮은 출력 특성은 리튬이온전지와 슈퍼커패시터를 통해 개선시키고, 슈퍼커패시터의 작은 용량으로 인한 짧은 구동 시간은 리튬이온전지를 통해 보완하는 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘을 제안한다. 또한, 전기저장장치부, 계측 및 제어부, 부하장치부, 모니터링 및 연산부로 구성된 하이브리드형 전동 휠체어를 구현하고, 하이브리드 BMS(battery management system)를 통해 실시간 모니터링과 이상 상황에 대한 판정 및 제어를 수행한다. 상기에서 제안한 알고리즘을 바탕으로 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 특성을 분석한 결과, 고출력이 필요한 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.

## 1. 서 론

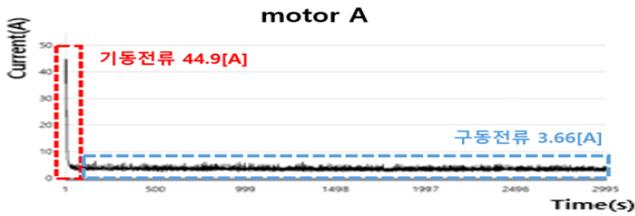
최근, 인구 고령화로 인해 노인 인구가 지속적으로 증가하고 있으며, 이에 따라 노약자의 편리한 이동 생활을 위한 전동 휠체어의 수요가 증가하고 있는 실정이다. 일반적으로 전동 휠체어는 연축전지를 사용하기 때문에 초기 기동 시나 경사면 이동 시, 턱 걸림과 같이 고출력이 필요한 경우, 시동 꺼짐 등의 사고가 발생하여 전동 휠체어 이용자의 안전성과 연축전지의 수명에 악영향을 미칠 가능성이 있다[1]. 한편, 상기의 문제점을 해결할 수 있는 방안으로 수명 및 효율이 좋은 리튬이온전지가 주목받고 있지만, 화재 및 안전상의 이유로 장애인 보조기기 급여 지원에서 제외되어, 대다수의 전동 휠체어는 연축전지를 사용하고 있는 실정이다[2]. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 연축전지와 리튬이온전지, 슈퍼커패시터를 결합한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘을 제안한다. 또한, 상기의 전기저장장치를 안전하고 효율적으로 운용하기 위하여, 하이브리드 BMS(battery management system)를 구현한다[3]. 한편, 하이브리드형 전동 휠체어는 연축전지와 리튬이온전지, 슈퍼커패시터로 구성된 전기저장장치부, Arduino S/W, 전압, 전류

및 온도센서, 릴레이, 다이오드, 블루투스 모듈 등으로 이루어진 계측 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 시동 꺼짐 등이 발생하지 않기 때문에 휠체어 이용자 안전성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한, 한 개의 배터리에 이상 상황이 발생한 경우, 2개의 전기저장장치를 이용해 전동 휠체어를 운용할 수 있어, 전기저장장치의 수명 및 효율을 개선할 수 있음을 알 수 있다.

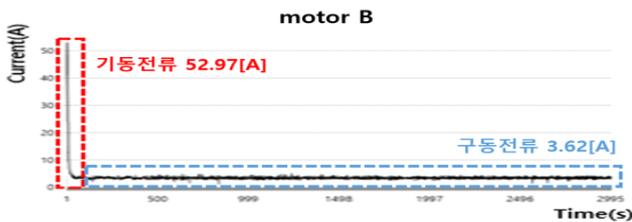
## 2. 전동 휠체어의 운용 특성

전동 휠체어 운용 시에 발생하는 전류는 그림 1과 같이 기동전류와 구동전류로 구성된다. 여기서, A 모터의 기동전류는 그림 1의 (a)와 같이 44.9[A]로 측정되며 평균 구동전류 3.66[A]보다 12배 크고, B 모터의 기동전류는 그림 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, 경사면, 등의 상황뿐만 아니라 전동 휠체어

초기 기동 시에도 요구되어, 연축전지의 효율과 수명에 악영향을 미칠 가능성이 있다. 따라서, 이를 방지하는 경우, 전동 휠체어의 전지 교체 주기가 단축되어 이용자의 편리성 및 안전성에 문제가 발생할 가능성이 있다.



(a) 모터 A



(b) 모터 B

[그림 1] 전동 휠체어의 전류 특성

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 연축전지를 사용하고 있는 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 전기저장장치를 효율적으로 운용하기 위하여 하이브리드형 전동 휠체어를 제안한다.

### 3. 전기저장장치를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘

제안한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘을 구체적으로 나타내면 다음과 같다.

[Step 1] 초기조건으로 전지 전환을 위한 두 가지 기준전류 ( $I_{ref1}(t)$ ,  $I_{ref2}(t)$ )와 전압, 온도, SOC의 적정 운용 범위를 상정한다.

[Step 2] 부하전류 측정 및 SOC 산정을 위하여, 슈퍼커패시터를 사용해 전동 휠체어를 기동시키며, 운용 시간대  $t$ 를 초기 값으로 설정한다.

[Step 3]  $t$  시간대에 대하여, 각 전지의 전압, 온도와 부하전류를 측정하여 SOC를 산정하고, 전압, 온도, SOC가 적정 운용 범위 이내인지 판단한다. 여기서, 모든 전지가 적정 운용 범위를 초과한 경우, [step 9]로 진행한다.

[Step 4]  $t$  시간대에 대하여, 계측된 전동 휠체어의 부하전류

가 전환기준전류 1보다 작은 경우에는 [step 5]로, 전환기준전류 1보다 크고 2보다 작은 경우에는 [step 6]으로, 전환기준전류 2보다 큰 경우에는 [step 7]로 진행한다.

[Step 5] 연축전지를 사용해 전동 휠체어를 운용하며 운용 중 연축전지의 전압, 온도, SOC가 적정 운용 범위를 초과하는 경우 [step 6]으로, 적정 운용 범위 이내인 경우 [step 8]로 이동한다.

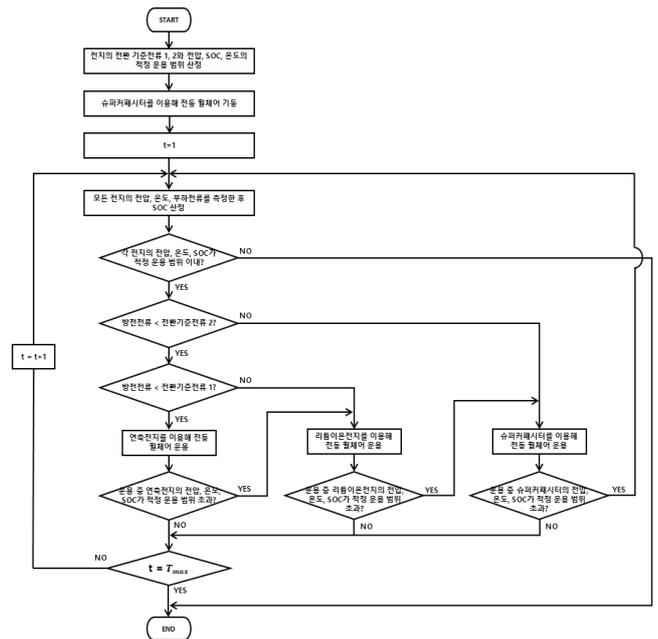
[Step 6] 리튬이온전지를 사용해 전동 휠체어를 운용하며 운용 중 리튬이온전지의 전압, 온도, SOC가 적정 운용 범위를 초과하는 경우 [step 7]로, 적정 운용 범위 이내인 경우 [step 8]로 진행한다.

[Step 7] 슈퍼커패시터를 사용해 전동 휠체어를 운용하며, 운용 중 슈퍼커패시터의 전압, 온도, SOC가 적정 운용 범위를 초과하는 경우 [step 3]으로 돌아가며, 적정 운용 범위 이내인 경우 [step 8]로 진행한다.

[Step 8] 운용 시간대  $t$ 가 최대 값보다 작은 경우, [step 3]으로 돌아가 해당 과정을 반복한다.

[Step 9] 전동 휠체어의 작동을 정지시킨다.

따라서, 상기의 알고리즘을 플로우 차트로 나타내면 그림 2과 같다.



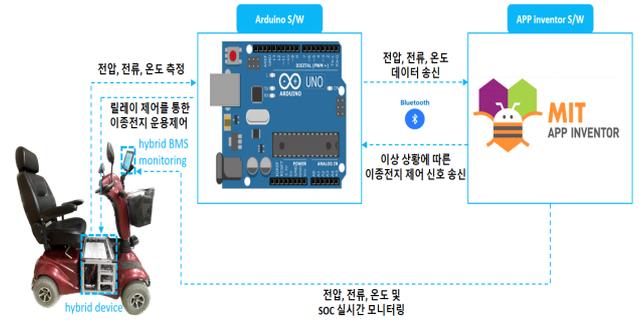
[그림 2] 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 알고리즘

### 4. 전기저장장치를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어의 구현

#### 4.1 H/W 장치부

전기저장장치를 이용한 하이브리드형 전동 휠체어의 구성도를 나타내면 그림 3과 같고, H/W 장치부와 S/W 장치부로 구성된다. 먼저, H/W 장치부는 그림 4와 같이 전기저장장치부, 계측 및 제어장치부, 모니터링 및 연산장치부, 충전부와 부하장치부로 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 4의 section A는 연축전지와 리튬이온전지, 슈퍼커패시터로 이루어진 전기저장장치부이다. 또한, 그림 4의 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 전기저장장치의 제어 기능을 수행하고, 다이오드는 전기저장장치 전환시에 의도하지 않은 에너지 교환을 방지한다.

운용은 Arduino S/W에서 수신한 제어 신호를 이용해 릴레이를 제어하여 이루어진다. 한편, 모든 전기저장장치가 정상 상태인 경우의 제어는 Arduino S/W를 이용해 구현하며, 측정된 방전전류와 산정한 두 가지 전환기준전류를 비교한 후, 릴레이를 제어하여 이루어진다.



[그림 5] 하이브리드 전동 휠체어의 S/W 개념도

## 5. 시험 결과 및 분석

### 5.1 시험 조건

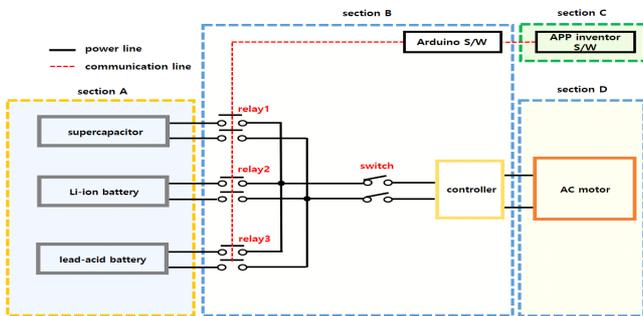
본 논문에서 제안한 하이브리드형 전동 휠체어의 운용특성을 분석하기 위한 시험 조건은 표 1과 같다. 여기서, 전동 휠체어의 모터 정격 전압이 24[V]이므로, 연축전지, 리튬이온전지, 슈퍼커패시터는 각각 2s1p, 7s4p, 1s1p로 구성한다.

[표 1] 시험 조건

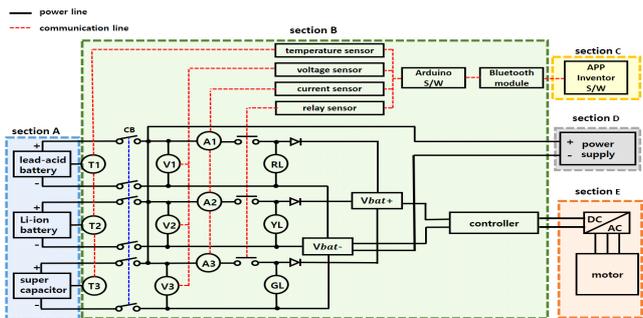
| 항목           | 내역     |           |       |
|--------------|--------|-----------|-------|
| 전기저장장치 사양    | 연축전지   | 정격전압[V]   | 12    |
|              |        | 총지전압[V]   | 10.5  |
|              |        | 정격용량[Ah]  | 50    |
|              | 리튬이온전지 | 정격전압[V]   | 3.7   |
|              |        | 총지전압[V]   | 2.5   |
|              |        | 정격용량[Ah]  | 2.85  |
|              | 슈퍼커패시터 | 정격전압[V]   | 32.4  |
|              |        | 총지전압[V]   | 0.8   |
|              |        | 정격용량[Ah]  | 1.124 |
| 전기저장장치 방전 시험 | 연축전지   | 방전총지전압[V] | 10.5  |
|              |        | 방전c-rate  | 0.2   |
|              |        | 방전총지전압[V] | 0.5   |
|              | 리튬이온전지 | 방전총지전압[V] | 3.0   |
|              |        | 방전c-rate  | 0.5   |
|              |        | 방전c-rate  | 1/2   |
|              | 슈퍼커패시터 | 방전총지전압[V] | 0.8   |
|              |        | 방전c-rate  | 0.5   |
|              |        | 방전c-rate  | 1/2   |

### 5.2 전환기준전류 산정을 위한 전기저장장치의 방전 특성

전기저장장치의 c-rate별 방전 특성은 표 2와 같다. 여기서, 연축전지의 방전 효율은 c-rate가 증가함에 따라 76.5%에서 65.2%로 감소하는 것을 알 수 있고, 리튬이온전지의 효율은 c-rate가 증가함에 따라 효율이 96.5%에서 89.3%로 감소하는



[그림 3] 하이브리드형 전동 휠체어의 구성도



[그림 4] 하이브리드형 전동 휠체어의 회로도

### 4.2 S/W 장치부

하이브리드형 전동 휠체어의 BMS 기능을 수행하기 위하여, S/W 장치부는 그림 5와 같이 Arduino S/W와 APP inventor S/W의 양방향 통신을 이용해 구현한다. 여기서, Arduino S/W는 센서를 통해 측정된 전압, 전류, 온도 데이터를 APP inventor S/W로 송신하고, APP inventor S/W는 수신한 데이터를 이용해 SOC를 산정하여 전기저장장치의 전압, 온도, SOC가 적정 운용 범위를 초과했는지 판단한 후, Arduino S/W로 전기저장장치의 제어 신호를 송신한다. 즉, 적정 운용 범위를 초과한 경우, 하이브리드형 전동 휠체어의

것을 알 수 있다. 한편, 슈퍼커패시터의 효율은 c-rate의 증가에 따른 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다. 따라서, 전동 휠체어 운용 특성 시험에서 연속전지에서 리튬이온전지로 전환되는 전환기준전류 1은 연속전지의 표준방전율인 0.2c-rate(10A)를 기준으로 산정하고, 리튬이온전지에서 슈퍼커패시터로 전환되는 전환기준전류 2는 리튬이온전지 효율저하지점인 2c-rate(22.8A)를 기준으로 산정한다.

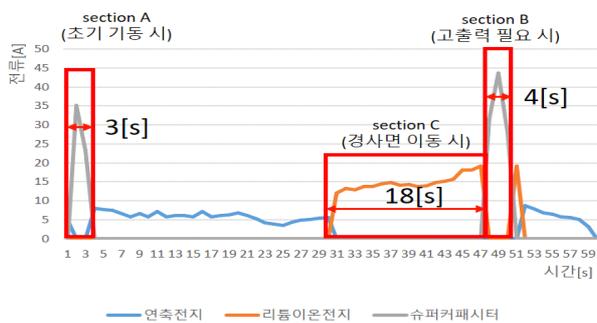
[표 2] 전기저장장치의 c-rate별 방전 특성

| 전기저장장치 종류 | 연속전지   |      | 리튬이온전지 |      |      | 슈퍼커패시터 |      |      |
|-----------|--------|------|--------|------|------|--------|------|------|
|           | c-rate | 0.2  | 0.5    | 1    | 2    | 0.5    | 1    | 2    |
| 효율[%]     | 76.5   | 65.2 | 96.5   | 95.7 | 89.3 | 99.9   | 99.6 | 99.1 |

### 5.3 하이브리드형 전동 휠체어의 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 전환기준전류 1보다 크고 전환기준전류 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 전기저장장치의 수명 및 효율을 개선할 수 있음을 알 수 있다.

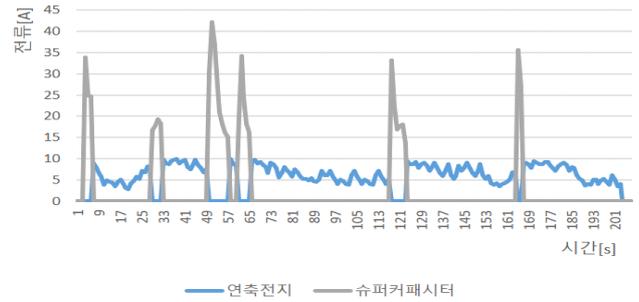


[그림 6] 하이브리드형 전동 휠체어의 정상 상태 시 운용 특성

#### 5.3.2 이상 상황 발생 시 운용 특성

한편, 전기저장장치의 전압, 온도, SOC가 적정 운용 범위를 초과하는 경우, 하이브리드형 전동 휠체어의 운용 특성을 나타내면 그림 7과 같다. 여기서, 그림 7은 리튬이온전지가 적정 운용 범위를 초과한 경우로, 제안한 알고리즘에 따라 전동 휠체어 모터의 부하전류와 전환기준전류 1을 비교하여, 연속전

지와 슈퍼커패시터를 전환하여 전동 휠체어를 운용하는 것을 알 수 있다. 따라서, 전동 휠체어의 운용 중 전기저장장치의 전압 또는 SOC에 대한 이상 상황이 발생하는 경우, 제안한 휠체어는 정상 상태인 전기저장장치로 전환하여 운용하므로, 전기저장장치를 효율적으로 사용할 수 있음을 알 수 있다.



[그림 7] 이상 상황 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 전기저장장치의 전압, 전류, 온도, SOC를 실시간으로 모니터링하고, 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 휠체어 이용자 안전성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한, 배터리 1개의 SOC가 낮은 경우, 2개의 전기저장장치를 이용해 전동 휠체어를 운용할 수 있어, 전기저장장치를 효율적으로 사용할 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] National Health Insurance Service, Announcement of benefit products and decision price for assistive devices for the disabled, 2021
- [3] 김지명, 이후동, 태동현, 페레이라 마리토, 박지현, 노대석, “셀프에너지 밸런싱을 고려한 리튬이온전지의 Battery Management System 구현”, 한국산학기술학회 논문지, 21(3), 585-593, 2020