

폐배터리를 활용한 배터리팩을 위한 Fuzzy Logic 기반 Cell Grading 기법 연구

한동호*, 권상욱*, 임철우**, 장민호***, 김종훈*

충남대학교*, 한국과학기술원 인공위성연구센터**, 한국항공우주연구원***

Cell Grading Technique Based on Fuzzy Logic for Battery Pack Using Wasted Li-ion Battery

Dongho Han*, Sanguk Kwon*, Cheolwoo Lim**, Minho Jang***, Jonghoon Kim*

Chungnam National University*, KAIST Satellite Technology Research Center**,

Korea Aerospace Research Institute***

ABSTRACT

리튬 이온 배터리가 전기 자동차 및 다양한 어플리케이션에 적용됨에 따라 폐배터리의 수요 또한 증가하고 있다. 내부 화학적 상태가 상이한 배터리의 전기적 특성실험을 통해 파라미터를 선정하였으며, 데이터의 분포에 적합한 Fuzzy Logic을 설계하였다. 설계된 Fuzzy Logic을 통한 Cell Grading으로 내부 화학적 특성이 유사한 셀을 선별하였다.

1. 서론

리튬이온 배터리는 최근 몇 년간 ESS(Energy Storage System), 전기 자동차(Electric Vehicle;EV) 등 대용량 어플리케이션의 가장 유망한 전원 중 하나로 사용되고 있다. 대용량 에너지 저장 장치는 여러 개의 리튬 이온 배터리로 구성되며, 최적의 성능을 위한 정밀한 배터리 팩의 설계가 필요하다.

수명이 다한 대용량 에너지 저장 장치에서 공급되는 폐배터리는 장시간의 노화에 따라 각기 다른 내부화학적 상태를 나타낸다. 각자 다른 배터리의 내부화학적 불균형을 해결하기 위해 패시브 밸런싱(Passive Balancing) 및 액티브 밸런싱(Active Balancing)등 여러 가지 기법들이 배터리 관리 시스템(Battery Management System)내에서 운용되고 있지만, 근본적인 문제 해결 방안으로써 내부화학적 상태가 가장 유사한 셀들을 선별하여 최적의 배터리팩을 제작하는 것이 필요하다.

리튬 이온 배터리의 내부화학적 상태는 여러 가지 특성 파라미터들로 대표되며, Fuzzy Logic을 통한 Cell Grading으로 특성 파라미터를 종합적으로 고려하여 유사한 셀을 선별할 수 있다.

2. 전기적 특성 실험 및 파라미터 선정

그림 1은 리튬이온 배터리의 각기 다른 내부 상태를 반영하기 위한 전기적 특성 실험을 나타낸다. 전체 1516개의 리튬 이온 셀에 일괄적으로 전기적 특성 실험을 진행하였으며, 전기적 특성 실험으로부터 리튬 이온 셀의 내부상태를 나타낼 수 있는 특성 파라미터를 선정하였다. 만충 및 만방이 반복되는 프로파일을 적용하였으며, 1C-rate의 전류를 인가하였다. 리튬 이온 셀의 내부 화학적 상태를 나타내는 파라미터로 방전용량과 SOC(State of Charge) 0%에서의 OCV(Open Circuit

Voltage)를 도출하였다. 방전용량은 전류 적산법을 사용하여 도출 하였으며 이를 식 (1)에 나타내었으며, SOC 0%에서의 OCV는 방전 이후 2시간의 휴지 기간을 통해 안정된 전압을 측정하여 파라미터로 선정하였다. 그림 2는 전체 1516개의 리

$$Discharge\ capacity = \int i_{discharge} dt \quad (1)$$

튬 이온 셀의 셀 넘버를 기준으로 도출된 방전용량을 나타내며 그림 3은 도출된 OCV를 나타낸다. 그림 2와 3에서 볼 수 있듯이 1516개의 리튬이온 셀은 각기 다른 내부 화학적 상태를 나타내며 두 개의 파라미터를 Fuzzy Logic의 입력으로 사용하여 내부 화학적 상태가 유사한 셀들을 선별하였다

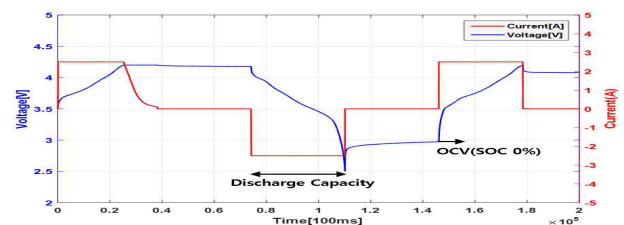


그림 1 전기적 특성 실험의 전류 및 전압 프로파일
Fig. 1 Current and voltage profile of electrical experiments

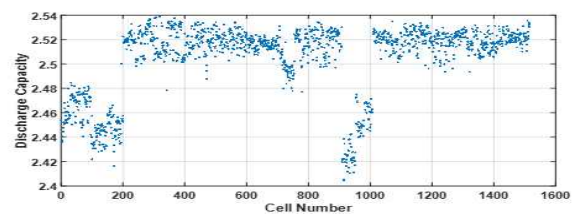


그림 2 셀 넘버에 따른 방전 용량
Fig. 2 Discharge capacity for cell number

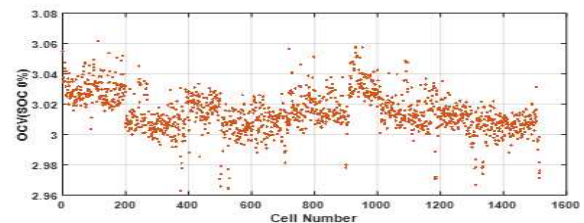


그림 3 셀 넘버에 따른 OCV(SOC 0%)
Fig. 3 OCV(SOC 0%) for cell number

3. Fuzzy Logic을 활용한 Cell Grading 기법

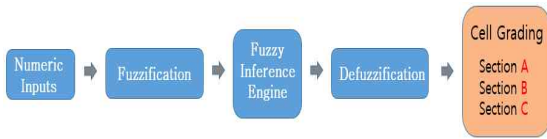


그림 4 퍼지 추론 시스템
Fig. 4 Fuzzy inference system

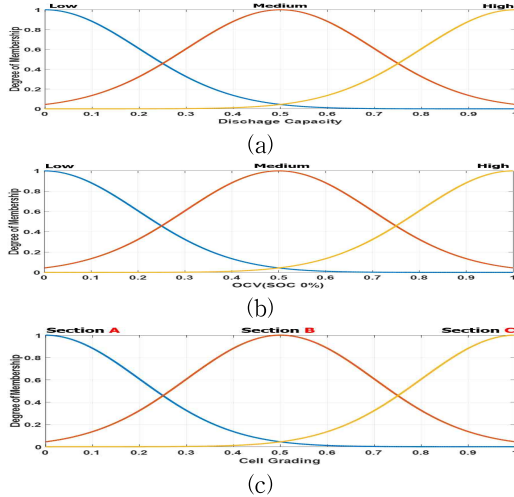


그림 5 (a) 방전용량의 멤버십 함수
(b) 내부저항의 멤버십 함수
(c) 결론 함수
Fig. 5 (a) Membership function of discharge capacity
(b) Membership function of resistance
(c) conclusion function

그림 4는 퍼지로직이 적용되는 순서도를 나타낸다. 방전 용량과 내부 저항이 각각의 멤버십 함수에 적용되어 퍼지화되며, 퍼지화된 각각의 입력값에 대해 사용자는 시스템에 적합하게 and 연산과 or 연산을 사용한다. 역퍼지화는 퍼지 출력값을 실제로 사용하기 위해 등가의 정확한 값(Crisp value)로 나타낸다. 퍼지 규칙을 적용하여 해당하는 값들이 연산되어 최종적으로 각각의 퍼지 집합에 해당하는 소속도(Membership value)에 관련된 수치값이 도출된다. 역퍼지화의 방법에는 무게중심법, 맘다니 추론법 등이 있으며 본 논문에서는 맘다니 추론법을 사용하여 최종 결과값을 도출하였다.

표 1 퍼지 로직 적용을 위한 룰 설정
Table 1 Rule matrix for Fuzzy logic

Rules for fuzzy logic		
Discharge Capacity	OCV	Section
Low	Low	A
Low	Medium	A
Low	High	B
Medium	Low	A
Medium	Medium	B
Medium	High	C
High	Low	B
High	Medium	C
High	High	C

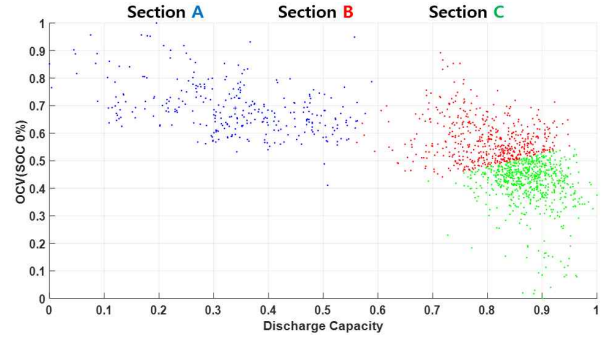


그림 6 퍼지 로직을 활용한 Cell Grading
Fig. 6 Cell Grading using Fuzzy Logic

그림 5는 Fuzzy Logic에 사용된 각각의 멤버십 함수와 결론 함수를 나타낸다. 퍼지 이론을 적용하기 전에 사용자는 전체 데이터의 분포도를 파악하고 이를 기반으로 멤버십 함수와 결론 함수를 구성해야 한다. 본 논문에서는 파라미터의 상이함을 더욱 정밀하게 반영하기 위해 Hedge를 사용하였으며, 이를 통해 파라미터를 종합적으로 정량화 하였다. 역퍼지화 된 값은 결론 함수의 Fuzzy Rule에 의해 3개의 영역으로 Cell Grading 된다. 그림 6은 Fuzzy Logic을 사용한 최종적인 Cell grading을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이, 1516개의 셀은 3개의 영역으로 구분되며 세밀한 데이터 분석과 다양한 Fuzzy Rule 적용을 통하여 더욱 정밀한 Cell Grading이 가능하다.

4. 결론

본 논문은 1516개의 리튬 이온 배터리에서 전기적 특성 실험을 통하여 내부화학적 상태를 나타내는 파라미터로 방전 용량과 내부 저항을 선정하였다. 선정된 두 개의 파라미터를 Fuzzy Logic의 입력으로 사용하였으며, 사용자가 지정한 Fuzzy Rule을 통하여 내부화학적 상태가 유사한 셀을 선별하였다. 내부 상태가 각각 상이한 폐배터리를 사용하여 배터리팩을 제작함에 있어서, 측정되는 각기 다른 파라미터를 종합적으로 정량화함으로써 Cell Grading을 진행할 수 있으며, 제작된 배터리팩의 성능 향상 및 사고 예방이 가능하다.

이 논문은 2017년 한국연구재단의 우주핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.
(NRF-2017M1A3A3A03016056)

참 고 문 헌

- [1] Z. Ullah, B. Burford, S. Dillip, "Fast intelligent battery charging: neural-fuzzy approach", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Volume 11, p. 26-34, 1996
- [2] Neerparaj Rai, Bijay Rai, "Control of fuzzy logic based PV-battexry hybrid system for stand-alone DC applications", Journal of Electrical Systems and Information Technology, Volume 5, p. 135-143, Sep 2018