

CNN 기반 열 분포 영상을 이용한 배터리 SOC 추정 연구

권상욱*, 김재호*, 김용순*, 안정호*, 최어진*, 박진우**, 김종훈*
 충남대학교*, 보고넷**

CNN based battery SOC estimation using thermal distribution image

Sanguk Kwon*, Jaeho Kim*, Yongsoon Kim*, Jeongho Ahn*, Eojin Choi*, Jinu Pack**, Jonghoon Kim*
 Chungnam National University*, Bogonet**

ABSTRACT

본 논문은 ESS(Energy Storage System)의 과충전, 과방전으로 인한 열 폭주 현상을 방지하기 위한 사전 연구로 원통형 리튬이온 단일 셀의 충/방전에 따른 열 분포를 열화상 카메라로 촬영하여 분석하였다. 실험을 통한 열 분포 이미지를 학습 데이터로 구성하여, SOC(State of Charge)를 추정하는 CNN(Convolution Neural Network) 모델을 제안한다.

1. 서 론

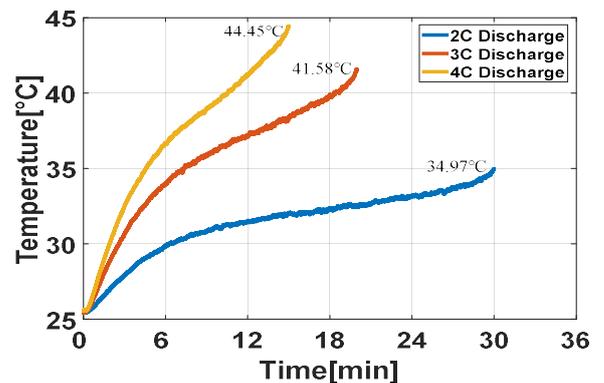
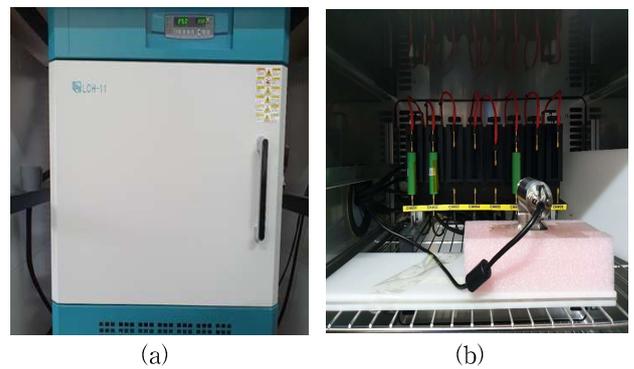
신재생에너지 시장의 확대에 따라 안정적인 전력 공급을 위한 에너지 저장시스템, ESS(Energy Storage System) 시장 또한 급격한 성장을 이루고 있다. 하지만 최근 연속적인 폭발 및 화재사고 발생으로 인해 ESS 시장의 확산이 지체되었다. 이로 인한 문제로 기업들의 경제적 손실이 크게 발생하고 있으며, 인명 피해로 이어질 가능성이 있다. 따라서 화재 원인 연구가 화두로 떠올랐으며, 사고의 주된 원인으로는 배터리 과충전, 과방전으로 인한 열 폭주 현상 발생, 배터리관리시스템(Battery Manage System)에 대한 명확한 기준의 부재, 배터리 손상으로 인한 결로, 누수 현상 발생 등이 지목되고 있다. 아직 문제의 원인으로 명확하게 밝혀진 것은 없으나, 배터리 과충전, 과방전으로 인한 열 폭주 현상이 주된 원인으로 지목되고 있다. 따라서 배터리의 내부 발열 분석 및 열 분포를 통한 정확한 SOC 추정으로 과충전, 과방전을 방지하는 연구가 필요하다.

본 논문에서는 CNN 모델을 활용한 리튬이온 배터리의 SOC 추정 모델을 제안한다. 충/방전 실험을 열화상 카메라로 촬영하여 열 분포 이미지를 생성하였으며, 이를 통해 제안된 CNN 모델에 학습하여 배터리 SOC를 추정하였다.

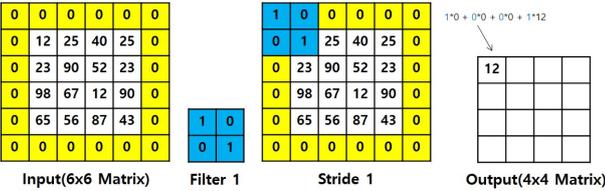
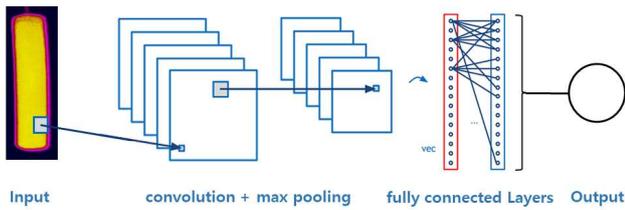
2. 18650 리튬이온 배터리의 발열 분석 및 실험

리튬이온 배터리의 총 발열량은 비가역 발열과 가역 발열의 합으로 표현 할 수 있다. 하지만 높은 C-rate에서는 비가역 발열이 가역발열보다 지배적이며, 가역발열은 무시할 수 있는 항이다. 비가역 발열은 식(1)과 같이 표현할 수 있으며, i 는 전류, R 은 셀의 SOC에 따라 변화하는 내부저항을 의미한다.^[1]

$$(1)$$



배터리 충/방전 실험은 25°C로 유지되는 그림 1의 항온 항습 챔버에서 열화상 카메라를 이용하여 열 분포 이미지를 촬영하였다. 그림 2는 다양한 C-rate로 방전했을 때의 배터리 온도 변화 그래프이다. 완전 방전 상태에서 셀 표면 온도는 각각 2C에서 34.97°C, 3C에서 41.58°C, 4C에서 44.45°C이며, 배터리의 발열량과 시간에 대한 온도 변화량은 4C-rate에서 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 따라서 온도 변화폭이 가장 큰 4C-rate 충/방전 열 분포 이미지로 학습 데이터를 구성하였다.



3. 컨볼루션 뉴럴 네트워크(CNN)

CNN 알고리즘의 전체 구조는 그림 3과 같이 표현된다. Convolution Layer를 통해 입력 받은 이미지의 특징을 추출하고, 추출된 특징을 기반으로 다층 퍼셉트론 구조의 인공신경망을 이용하여 분류를 한다.

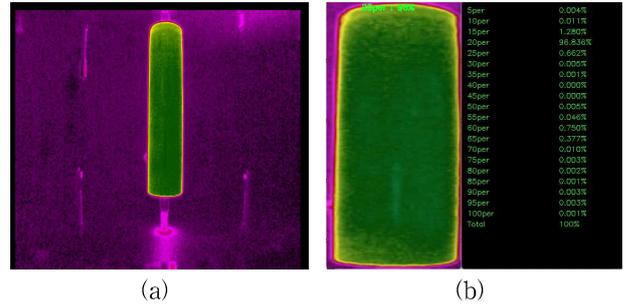
Convolution Layer는 특징을 추출하는 필터와 추출된 값을 비선형 값으로 바꾸어 주는 활성화 함수로 구성된다. Convolution Layer는 그림 4에 나타내었으며, 입력받은 데이터가 특징이 많을수록 필터를 통과한 결과 값이 큰 값을 갖게 된다. 입력 데이터의 특징에 따라 다중 필터를 적용하게 되고, 필터를 적용해서 얻어낸 결과를 Feature map이라고 정의한다. 또한 필터를 통해 생성된 Feature map의 행렬의 크기를 줄이거나 특징을 강조하기 위하여 Pooling 기법을 적용하며, CNN에서는 주로 Feature map의 구간을 나누어 구간 내에 가장 큰 값을 추출하여 행렬을 재구성하는 Max Pooling 기법을 사용한다. Convolution Layer가 길어질수록 행렬의 크기가 작아지며 특징이 유실되는 문제점이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위한 방법으로 입력 값 주위로 0 값을 넣어서 입력 값 행렬의 크기를 인위적으로 키우는 Padding 기법을 적용하여 결과 값 행렬의 크기가 작아지는 것을 방지한다.

최종적으로 도출된 Convolution Layer의 결과 값을 다층 퍼셉트론 구조의 인공신경망의 입력 값으로 넣어 Softmax 활성화 함수를 통해 이미지 분류를 진행한다^[2].

4. CNN기반 SOC 추정 및 결과

리튬이온 배터리의 4C-rate 충/방전 실험 동안 열화상 카메라를 사용하여 촬영된 충전단의 열 분포 영상을 1초마다 이미지로 캡처하여 총 900장의 그림 5(a)와 같은 열 분포 이미지를 생성하였다. SOC 추정 모델의 학습 데이터 셋을 구성하기 위하여 SOC 0% - 100%까지 SOC 5% 단위로 20개의 구간으로 나누었으며, 각 구간마다 해당되는 45장의 열 분포 이미지를 입력 값으로 SOC를 추정하는 학습 데이터 셋을 구성하였다.

또한 CNN 모델의 검증에 위해 추가적으로 동일 조건의 실험을 통해 검증 데이터 셋을 구성하였다.



학습 데이터 셋을 통해 CNN 모델을 학습하였으며, 검증 데이터 셋으로 CNN 모델의 SOC 추정 성능을 확인하였다. 그림 5(b)는 학습시킨 CNN 모델의 추정 결과를 나타내는 GUI다. 오른쪽 수치는 CNN 모델이 판단하는 SOC 구간별 확률을 나타내며, 가장 높은 확률을 갖는 SOC를 최종값으로 표시한다. 전체 오차는 39% 높은 오차를 보였으나, 온도 변화폭이 상대적으로 크게 나타나는 높은 SOC(85%-100%) 영역과 낮은 SOC(0%-15%) 영역에서의 오차는 14.8%로 비교적 낮게 나타났다. 따라서 과충전과 과방전의 위험이 있는 높은 SOC 영역과 낮은 SOC 영역에서 중간 SOC 영역에 비해 상대적으로 높은 추정 성능을 확인하였다.

3. 결 론

본 논문은 ESS 화재를 방지를 위한 사진 연구로 열화상 카메라를 활용한 열 분포 이미지를 통한 단일 셀의 SOC 추정 기법을 제안하였다. 다양한 C-rate로 배터리 충/방전 실험을 진행하였으며, 온도의 변화폭이 가장 큰 4C-rate의 열 분포 이미지를 학습 데이터로 선정하여 CNN 모델을 학습하였다. 제안된 CNN기반 SOC 추정 모델은 과충전과 과방전의 위험이 있는 높은 SOC 영역과 낮은 SOC 영역에서 정확도는 85.2%로 추정 성능을 검증하였다.

이 논문은 2018년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2018R1C1B6004482)

참 고 문 헌

[1] D. Bernardi, "A General Energy Balance for Battery Systems", Journal of the Electrochemical Society, 1985
 [2] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner. Gradient-based learning applied to document recognition. Proceedings of the IEEE, november 1998.