

# 원통형셀 기반 직렬배터리팩의 외형(정사/직사면체) 차이에 의한 내부 열분포 기초해석

김예은\*, 윤창오\*, 이평연\*, 김종훈\*, 유기수\*\*  
충남대학교 전기공학과\*, 영남대학교 기계공학부\*\*

## Inner Temperature Distribution by Two Appearances of Series-Cell Configured Battery Pack using Cylindrical Cells

Y. E. Kim\*, C. O. Yoon\*, P. Y. Lee\*, J. H. Kim\*, K. S. Yoo\*\*  
Department of Electrical Engineering, Chungnam National University\*,  
School of Mechanical Engineering, Yeungnam University\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는, 원통형셀의 직렬조합에 의한 직렬배터리팩 구성(16S1P) 시, 배터리팩의 외형(정사면체;4X4/직사면체;2X8) 차이에 의한 내부 열분포의 기초해석을 Comsol 프로그램을 통해 실시하였다. 동일한 전류프로파일을 적용하였을 때, 각 배터리팩 내부의 셀 간 열분포 및 외형의 차이에 의한 두 배터리팩의 열분포 비교 분석을 실시하였다. 기초해석 논문이므로, 실제 산업계에서 사용되는 원통형셀의 실험조건 대신에 Comsol 프로그램에서 제공하는 18650 타입의 원통형셀의 음극(anode)와 양극(cathode)의 시뮬레이션 조건을 적용하였다.

### 1. 서 론

고전압 및 고용량 전력구동용 어플리케이션의 증가로 리튬계열 배터리(원통형, 각형, 파우치형)는 직렬, 병렬 및 직병렬조합인 배터리팩의 형태로 사용된다[1]. 이러한 배터리팩의 충전 및 방전을 위한 기본 외기 온도 조건은 상온(25℃)으로서 배터리팩 내부의 셀의 전기화학적 상태가 안정되어 있음을 가정한다. 하지만, 사계절이 뚜렷한 우리나라의 기후 특성 상, 여름과 겨울에 배터리의 전기화학적 상태가 변하므로 이의 고려를 위한 배터리팩의 온도 관리(thermal management system; TMS)의 중요성이 더해지고 있다. 이는 곧, 배터리팩의 효율적인 충전/방전 운용 및 수명 모니터링 기술 확보를 위한 배터리관리시스템(battery management system; BMS)의 높은 신뢰성을 의미한다. 추가적으로, 전력구동용 어플리케이션의 배터리팩 장착을 위한 공간 확보 시, 공간의 상이함에 따라 배터리팩의 상이한 설계가 불가피하다. 예를 들어, 같은 직렬배터리팩이라 하더라도 외형(직사면체/정사면체)의 차이에 의해 내부의 차등적인 열분포가 예측된다(같은 배터리팩의 형태에서는 전류프로파일이 동일하게 적용됨). 그러므로, 배터리팩의 외형 차이에 의한 내부 열분포 해석이 반드시 요구되며, 배터리팩을 구성하는 내부 구성물질의 차이(고출력성 NCA, 고용량성 NMC)에 의한 열분포 추가 해석이 반드시 진행되어야 한다.

본 논문에서는 원통형셀의 직렬배터리팩(16S1P)의 두 외형(정사면체;4X4/직사면체;2X8) 차이에 의한 내부의 열분포 기초해석을 실시하였다. 전류프로파일을 동일하게 적용하였을 때, 각 배터리팩 내 셀 간 온도분포 해석 및 외형의 차이에 의한 비교 분석을 실시하였다. 배터리팩 내부 열분포의 기초해석 논문이므로, 실제 사용되는 18650 타입의 원통형셀 정보를 시뮬레이션에 적용하지 않고, Comsol 프로그램에서 제공하는 음극

(anode)과 양극(cathode)의 시뮬레이션 조건을 적용하였다. 각 배터리팩의 셀 간 온도 편차(온도가 가장 높은/낮은 셀) 비교를 통해 직사면체(2X8) 외형을 가지는 직렬배터리팩이 정사면체(4X4) 외형의 경우보다 내부의 열분포의 양호함을 제시하였다. 참고로, 기초해석을 위해 Comsol에서 제공하는 Multi cell model 보다는 single cell model을 적용하였다.

### 2. 연구결과 및 분석

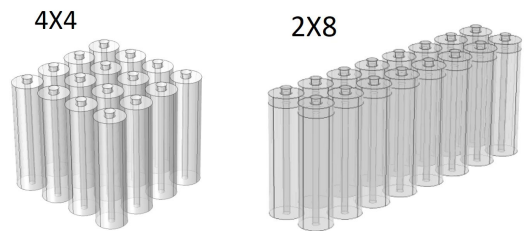


그림 1 직렬배터리팩(16S1P) 외형 geometry  
(왼쪽; 정사면체(4X4), 오른쪽; 직사면체(2X8))

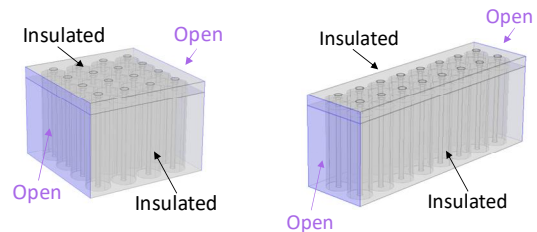


그림 2 직렬배터리팩(16S1P) 외형 thermal boundary  
(왼쪽; 정사면체(4X4), 오른쪽; 직사면체(2X8))

그림 1은 직렬배터리팩(16S1P)의 외형(정사면체;4X4/직사면체;2X8)의 각 geometry를 나타내었다. 직렬배터리팩의 thermal boundary 조건에서의 직렬배터리팩 형태를 그림 2에 나타내었는데, 이는 16개 원통형셀의 직렬결합 시 양쪽은 open 조건, 나머지는 열적으로 모두 insulation 되었다고 가정하였다. 이는 Comsol 프로그램에서 제공하는 single cell model을 바탕으로 하였으며, 배터리팩 내부의 셀 간 전압 혹은 충전상태의 불균형이 없음을 가정하였다.

직렬배터리팩의 외형을 구성한 뒤, 동일한 실험조건을 적용하여 각 외형에서의 내부 열분포 해석 및 이의 비교분석을 실시하였다. 표 1과 2는 Comsol 프로그램을 이용한 열해석 시 시뮬레이션 및 부하조건을 각각 나타내었다. 음극의 경우  $\text{Li}_x\text{C}$ ,

표 1 Comsol 프로그램을 이용한 열해석 시 시뮬레이션 조건

Cell Data	Material	Volume Fraction	Thickness	Initial SOC
Anode	Li <sub>x</sub> C	0.384	55 [ $\mu$ m]	0.07
Cathode	LMO	0.43	55 [ $\mu$ m]	0.915

표 2 Comsol 프로그램을 이용한 열해석 시 부하 조건

Current Density (for 1C-rate)	Cycles	C-rate	Cooling
13.2 [A/m <sup>2</sup> ] (Cathode Base)	3 times (charge -> discharge)	5 C	Natural cooling

양극의 경우 LMO 물질을 적용하였는데, 추후 이러한 물질은 고출력성(NCA) 및 고용량성(NMC)로 확대할 예정이다. 충전 및 방전에 따른 배터리팩 내부의 열분포 해석 시 사이클링 회수에 따른 추가 영향을 확인하기 위하여 3번의 사이클링을 실시하였고 강제 쿨링이 아닌 자연 쿨링을 가정하였다.

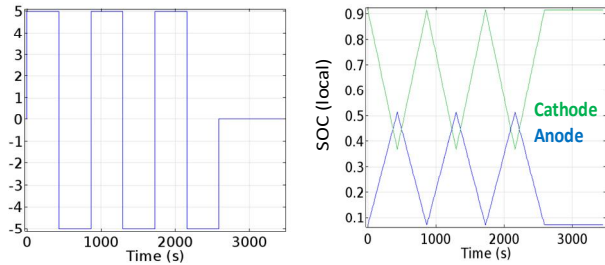


그림 3 직렬배터리팩(16S1P)의 전류프로파일(왼쪽), 양극/음극에서의 SOC(오른쪽)

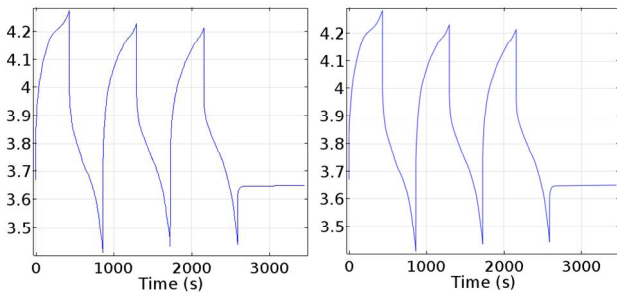


그림 4 직렬배터리팩(16S1P)의 평균전압  
(왼쪽:정사면체(4X4), 오른쪽:직사면체(2X8))

그림 3(왼쪽)은 직렬배터리팩에 적용한 전류프로파일로서, 외형의 차이에 상관없이 동일하게 적용되되, 전류의 크기와 지속시간은 Comsol 프로그램에서 임의의 조절이 가능하다. 전류프로파일에 의한 양극과 음극에서의 SOC도 유사함을 보임을 확인하였다(그림 3(오른쪽) 참고). 그림 4의 정사면체(왼쪽) 및 직사면체(오른쪽) 형태의 직렬배터리팩 평균전압도 거의 유사함을 확인하였다. 그림 3과 4의 전류프로파일 및 이의 출력전압이 거의 유사한 상황에서 외형의 차이에 의한 배터리팩 내부의 열분포 및 이의 비교분석을 실시하였다. 그림 5는 직렬배터리팩 내부의 열분포 해석 결과를 나타낸다. 직렬배터리팩이므로 각 원통형셀의 충전 및 방전이 동일하게 진행되는 만큼 원통형셀 주변의 온도 분포가 그 외의 지역과는 차이가 있음을 확인할 수 있다. Comsol 프로그램에서 온도 분포에 의한 상이함을 보이기 위해 붉은색으로 갈수록 고온, 푸른색으로 갈수록 저온을 의미한다. 그림 5의 경우 직렬배터리팩의 외형에 의한 내부 열분포의 차이의 구분이 쉽지 않으므로, 배터리팩 내부의 셀 간

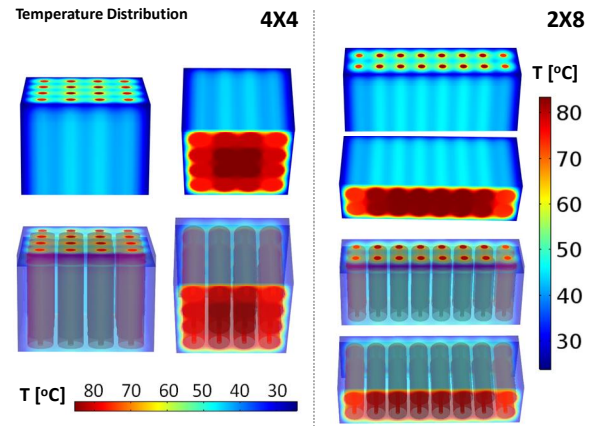


그림 5 직렬배터리팩의 내부 열분포 해석  
(왼쪽: 정사면체(4X4), 오른쪽:직사면체(2X8))

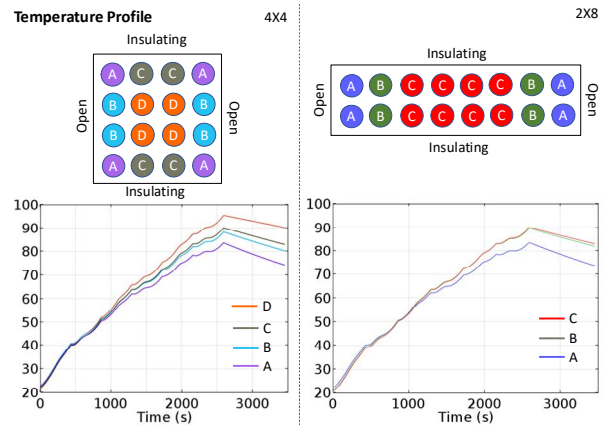


그림 6 각 직렬배터리팩(16S1P) 내부의 원통형셀 온도 비교  
(왼쪽: 정사면체(4X4), 오른쪽:직사면체(2X8))

온도의 구분을 그림 6에 나타내었다. 정사면체 형태의 경우, 배터리팩 내부 온도 분포를 네 곳(A D), 직사면체 형태의 경우 세 곳(A C)로 구분할 수 있다. A의 경우 배터리팩 내부의 셀 온도가 낮음을 의미하며, 알파벳이 증가할수록 내부의 온도가 높음을 의미한다. 배터리팩의 외형과 상관없이 팩 내부일수록 원통형셀의 온도가 높음을 확인할 수 있다. 다만, 그림 6에서 볼 수 있듯이, 동일한 전류프로파일에 따른 원통형셀의 최대값과 최소값의 온도 편차 비교 시, 직사면체 형태의 배터리팩 내부의 셀 간 온도 편차가 작음을 확인할 수 있으며, 이는 향후 배터리관리시스템의 중요 정보로 사용될 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는, 원통형셀의 직렬조합에 의한 직렬배터리팩 구성(16S1P) 시, 배터리팩의 외형(정사면체;4X4/직사면체;2X8) 차이에 의한 내부 열분포의 기초해석을 Comsol 프로그램을 통해 실시하였다.

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

#### 참 고 문 헌

- [1] M. Coleman, C. H. Lee, C. Zhu, and W. G. Hurley, "State-of-Charge Determination From Voltage Estimation: Using Impedance, Terminal Voltage and Current for Lead-Acid and Lithium-ion Batteries,"