

전기자동차 파우치형 배터리 열관리 시스템의 냉각성능 향상에 대한 연구

A Study on the Cooling Performance Improvement of Pouch Battery Thermal Management System for Electric Vehicles

신정훈¹, 이준경^{2*}

Jeong-Hoon Shin¹, Jun-Kyoung Lee^{2*}

〈Abstract〉

In many electric vehicles, large-capacity pouch-type lithium-ion battery packs are mainly used to increase the mileage on a single charge. The lithium ion battery should be operated within the temperature range of 25°C to 40°C because the battery performance can be rapidly deteriorated due to an increase in internal temperature. Battery thermal management system (BTMS) can give the suitable temperature conditions to battery by water cooling method. In this research, the heat transfer characteristics (the battery temperature distributions and the water flow characteristics) were analyzed by CFD method to investigate the thermal performance of the cooling plate with 4-pass water flow structure. Moreover, the effect of the presence of fins between the battery cell was identified. The fins made smooth temperature distributions between the battery cells due to the heat spreading and lower the average battery cells temperature.

Keywords : Electric Vehicle, Lithium-Ion Battery, Battery Thermal Management System, Cooling Performance

1 정회원, 경남대학교 기계공학부

2* 정회원, 교신저자, 경남대학교 기계공학부

E-mail: jklee99@kyungnam.ac.kr

1 Department of Mechanical Engineering, Kyungnam UNIV, Korea

2* Corresponding Author, Department of Mechanical Engineering,

Kyungnam UNIV, Korea

1. 서론

교통부문에서 연료 소비와 온실 가스 배출량의 많은 부분을 차지하기 때문에, 기존의 화석연료를 사용하는 내연기관(ICEVs)과 다르게 배터리를 통해 전기에너지로 구동하는 친환경 자동차인 전기자동차(BEVs)는 에너지 활용 효율이 높고 오염 물질 배출이 적기 때문에 유망한 대안으로 널리 받아들여지고 있다[1].

리튬 이온 배터리(Lithium-ion battery(LIB))는 높은 전력 밀도, 긴 수명, 낮은 자가 방전율 등의 우수한 특성으로 일반적으로 전기 자동차의 에너지 저장 장치로 사용된다. 따라서 리튬 이온 배터리는 전기자동차의 구동에 필요한 전기에너지를 저장하고, 주행 시 전력을 공급하는 가장 중요한 부품 중의 하나로, 전기자동차의 수명 및 전연비향상에 큰 영향을 미친다. 그러나 리튬 이온 배터리의 수명, 사용 가능한 용량, 및 안전성은 작동 온도에 의해 크게 영향을 받는다[2].

배터리의 저온 작동 시, 낮은 전기 화학 반응 속도와 배터리 용량 감소를 유발하는 반면, 배터리의 과열은 용량 저하를 촉진 시키고 열 폭주(Thermal runaway)로 이어질 수도 있다. 이에 따른 배터리 열관리 시스템(Battery thermal management system, 이하 BTMS)이 필요하다[3]. 전기자동차용 배터리 열관리 시스템은 (1) 높은 냉각 성능, (2) 배터리 온도분포 균일성, (3) BTMS 크기 및 무게와 같은 조건을 충족해야한다. 전기자동차의 전연비 및 주행거리를 향상시키기 위해서, 대용량 배터리 셀의 기술개발이 이루어짐에 따라 배터리에서 발생하는 발열은 심각한 문제가 되고 있다. 배터리 과열을 관리하기 위해 여러 가지 냉각 방식을 사용하는데, 방열판과 배터리 셀 간격 사이에 금속 핀(Metal fin)을 설치하여 냉각면적을 높여 최대한 많은 열전달을 통해 빠르게 배터리를 냉각

시키는 방식인 간접 수냉식 배터리 열관리 시스템이 가장 널리 채택되고 있다. 이를 위해서 간접 냉각 방식의 BTMS 구조 설계를 최적화해야 한다.

본 연구에서는 전기자동차 배터리 열관리 분야에서 가장 널리 채택되고 있는 간접 수냉 냉각방식의 배터리 열관리 시스템 구조의 최적화를 목표로, 기본 냉각수 유로 구조에 대해 열전달 특성 파악 및 냉각수 질량유량, 냉각 핀의 영향을 ANSYS FLUENT[4]를 활용한 해석을 통해 파악하고자 한다.

2. 배터리 운용 온도 조건

전기자동차에 사용되는 리튬 이온 배터리는 내부 온도 상승으로 인해 배터리 성능이 급격히 저하 될 수 있기 때문에 25 °C ~ 40 °C의 온도 범위에서 작동해야 한다[5].

리튬 이온 배터리가 저온(15 °C이하)에서 작동시, 리튬이온 전극물질의 활성도가 낮아짐으로써 전지의 성능이 급격하게 저하되며, 극한 상황에서는 전해질의 동결로 인하여 가동이 불가능해 질 수도 있다. 또한 리튬-플레이팅(Lithium-plating)으로 인해 충전 용량이 상당히 저하될 수 있고, 덴드라이트(Dendrite)의 성장으로 분리막이 관통되면서 내부회로의 단락(Short circuit)이 발생할 수 있다. 리튬 이온 배터리 고온(55°C 이상)일 때, 저온에서 발생하는 현상과 유사하게 배터리 용량 감소(Capacity fade)와 전력 손실이 발생한다. 또한 고온 환경에서 전지 사용 시 연쇄 발열 반응으로 인해 발생하는 열폭주(Thermal runaway) 현상은 화재 및 폭발과 같은 심각한 안전사고를 유발할 수 있다[6].

위와 같이 온도에 따른 배터리 성능감소와 심각한 사고를 예방하기 위해서는 적절한 온도 범위(25 °C ~ 40 °C)내에서 작동되어야 한다. 리튬 이온 배터리의 사용 가능 온도는 0 °C ~ 60 °C이지만,

최적의 성능을 위해 운용 온도 범위 내에서 유지하는 것이 배터리의 수명 유지에 가장 적합하다[3].

3. 해석 전처리

3.1 모델링

본 연구에서는 파우치형 BTMS를 Fig. 1과 같이 설계하려 한다. 금속 핀과 냉각판을 통해 배터리와 냉각수가 열교환하는 냉각 방식으로, 배터리 시스템에서 단일 배터리 셀(③)을 여러 개 묶어서 배터리 모듈(②)을 만들고, 모듈이 직렬 또는 병렬로 연결되어 배터리 팩(①)형태로 탑재되어 있다.

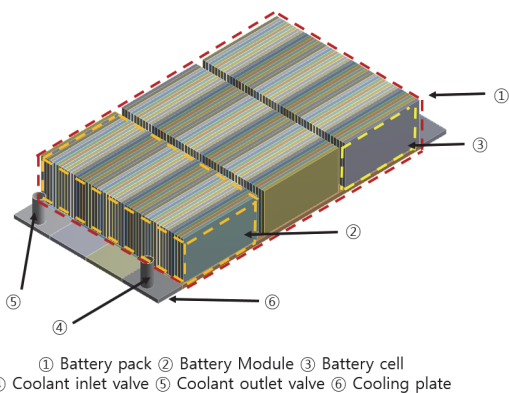


Fig. 1 Battery thermal management system (BTMS)

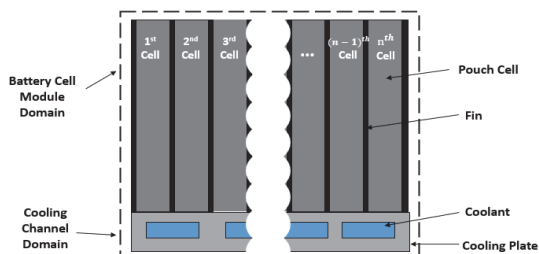


Fig. 2 Structure of BTMS with metal fins and cooling plate

배터리 열관리 시스템의 열원은 배터리 셀이며, 배터리에서 발생한 열은 입구 밸브(④)로 유입된 냉각수에 의해 배터리 팩 아래에 있는 냉각판(⑥)을 거쳐 출구밸브(⑤)를 통해 외부로 배출된다. Fig. 1의 전체 구조에 대해 보다 자세한 설명을 위해 BTMS 단면을 Fig. 2에 나타내었다. 모든 구성요소의 열적 물성치를 Table 1에 정리하여 나타내었다. 단일 배터리 셀 사이에는 금속 핀(Metal fin)을 설치하였고, 냉각판(Cooling plate)은 다수의 냉각수가 흐르는 채널이 설치되어 냉각면적을

Table 1. Thermal properties of the battery thermal management system[7]

Material	$\rho[kg/m^3]$	$C_p[J/kgK]$	$K[W/mK]$
Aluminum alloy	2700	893	170
Aluminum	2719	891	202.4
Battery cell	1780	1000	30

Table 2. Specifications of the battery thermal management system[7]

Component	Specification
Battery cell (1EA)	Width: 209 mm(W_{cell}) Height: 170 mm(H_{cell}) Thickness: 8(t_{cell})
Fin	Material: Aluminum alloy Width: 209 mm(W_F) Height: 170 mm(H_F) Thickness: 0.4 mm(t_F) Fin Number: 147
Cooling plate	Material: Aluminum Thickness: 6 Channel width: 20 Channel height: 6
BTMS	Cell Number: 144 Unit cell heat generation rate(W): 9.6 - quick charging condition with 2C-rate Total length: 815.4 mm(L_B) Total width: 408(W_B) Total height: 117(H_B)

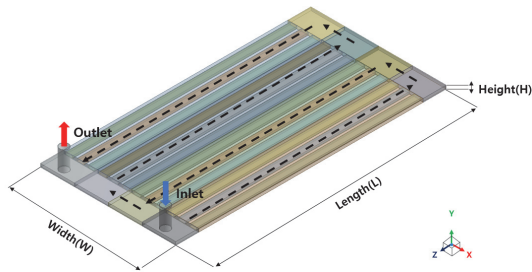


Fig. 3 Design of coolant water passage in the cooling plate

높이는 구조로 되어있다.

BTMS의 기하학적 사양을 요약하여 Table 2에 나타내었다. 배터리 열관리 시스템의 전체 크기는 $817.4\text{mm}(L_B) \times 408\text{mm}(W_B) \times 117\text{mm}(H_B)$ 이며, 파우치형 배터리 셀($209\text{mm}(W_{\text{Cell}}) \times 107\text{mm}(H_{\text{Cell}}) \times 8\text{mm}(t_{\text{Cell}})$, 16Ah)이 총 144개가 배터리 팩 형태로 탑재되어 있고, 용량은 9kWh이다. 배터리 셀 간격 사이에 얇은 냉각 핀($209\text{mm}(W_F) \times 107\text{mm}(H_F) \times 0.4\text{mm}(t_F)$)이 총 147개가 설치되어 있다. 배터리 팩 아래에 있는 냉각판($677\text{mm}(L_{CP}) \times 408\text{mm}(W_{CP}) \times 10\text{mm}(t_{CP})$) 내부에 냉각수 채널($20\text{mm}(W_C) \times 6\text{mm}(H_C)$)이 총 12개가 설치되어 있다.

냉각판 내부의 냉각수 유로 형상을 Fig. 3에 나타내었다. 입구(Inlet)부로 냉각수가 유입되고, 냉각판 내 냉각수 채널로 분할되어 헤더를 통해 병합되면서 출구(Outlet)부로 나갈 수 있도록 설정하였다. 냉각 유로의 경우 각 냉각판 내 3개 냉각수 채널(Channel)이 1개의 헤더로 구성되어 유동방향이 4개로 되어 있으며, 냉각수 유로의 입·출구는 균일한 유량이 흐를 수 있도록 헤더의 중앙에 설정하였다.

3.2 계산 모델 선정

배터리에서 발생한 열은 대부분 냉각 핀을 통해 소산되며, 셀에서 냉각 플레이트, 냉각 플레이트

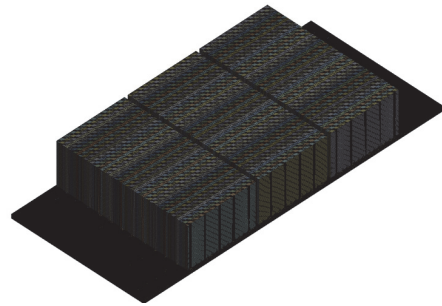


Fig. 4 Mesh generation

트에서 냉각수로 전달된다. 냉각수는 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 의 온도로 배터리 열관리 시스템 내 배터리 냉각부로 유입된다. 냉각부 내부 냉각수의 유동은 난류 유동이며, k-epsilon 모델을 적용하였다. 파우치형 NMC 리튬이온 배터리 셀의 열 발생률은 급속 충전 2C-rate 조건에서 발생하는 평균 발열량인 9.6 W를 기준으로 동일한 배터리의 열 발생률 값을 적용하였다[7].

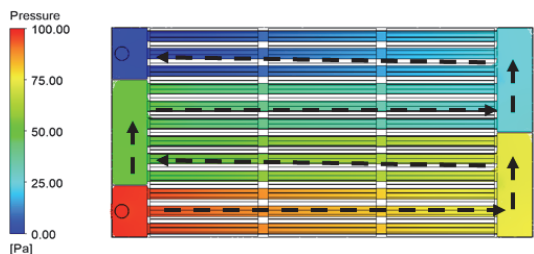
Fig. 4는 해석 대상인 배터리 열관리 시스템에 대해 Mesh 생성을 나타낸 그림이다. Element 개수는 36,248,502 개로 각 Parts가 접하는 부분에 대해 Mesh Node를 각각 접하게 하여 Mesh 개수를 증가시켜 계산의 정확도를 높였다.

4. 해석 결과

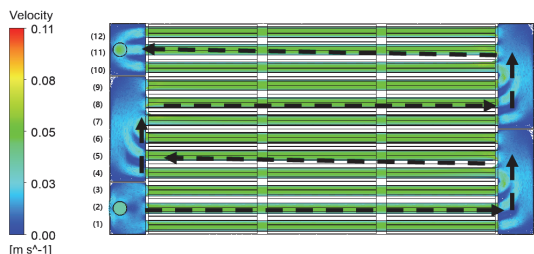
4.1 배터리 열관리 시스템 해석 결과

4.1.1 냉각수 유동 및 온도 결과

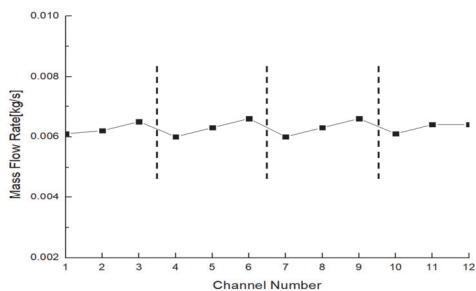
Fig. 5는 질량유량(\dot{m})이 0.019 kg/s 조건에 대해 배터리 열관리 시스템의 냉각부 내 냉각수 유동 및 온도 결과를 정리하여 나타낸 그림이다. 냉각수의 전체 압력 분포를 Fig. 5(a)에 나타내었고, 속도 분포를 Fig. 5(b)에 나타내었다. 이때, 총 12



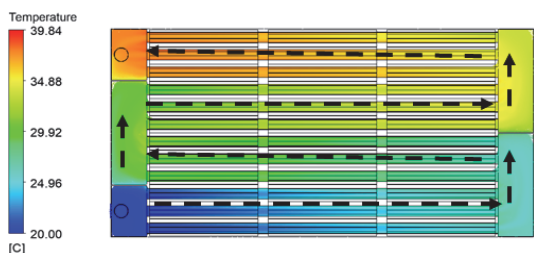
(a) Pressure contour



(b) Velocity vector contour



(c) Mass flow rate distribution of each coolant channel



(d) Temperature contour

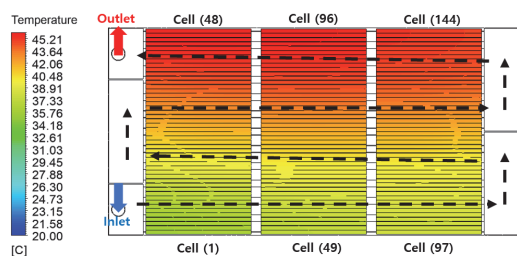
Fig. 5 Analysis results for coolant

개의 냉각수 채널에 대해 번호를 각각 부여(아래부터 #1, Fig. 5(b))하였으며, 각 냉각수 채널의 질량 유량 분포를 Fig. 5(c)에 그래프로 나타내었고, 냉각수 온도분포를 Fig. 5(d)에 나타내었다. 압력 분

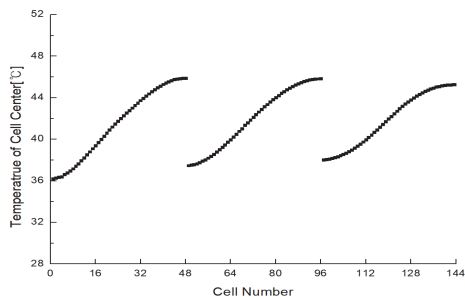
포(Fig. 5(a))의 경우 냉각수 입·출구의 전체 압력 강하가 약 100 Pa이었고, 각 채널에서 대부분의 압력강하가 발생함을 알 수 있다. 속도 분포(Fig. 5(b))의 경우 헤더 내에서 급격한 속도의 전환이 발생함을 볼 수 있다. 즉, 채널 1~6 사이에 대해서, 채널 1~3은 오른쪽 방향으로의 유동, 채널 4~6은 왼쪽 방향으로의 유동, 그리고 그 채널들을 연결하는 헤더 내에서는 급격한 유동의 전환이 관찰된다. 그러한 속도 분포에 대해 각 채널을 흐르는 유량 분포결과(Fig. 5(c))를 분석해 보면, 채널 3, 4와 같이 속도는 반대이지만 가까운 채널의 경우는 유체의 관성에 의해 큰 속도의 전환이 힘들므로 채널 4로의 유체 유입이 어려워 채널을 흐르는 유량이 작게 된다. 반면에 채널 6번과 같이 채널 3과 멀리 떨어진 채널의 경우는 속도의 전환이 상대적으로 쉬워 채널을 흐르는 유량이 커지게 된다. 그와 같은 경향이 나머지 채널들에서도 유사하게 나타남(채널 7, 10은 유량이 상대적으로 작은 반면, 채널 9, 12가 유량이 상대적으로 큼)을 확인할 수 있다. 냉각수 온도분포(Fig. 5(d))의 경우 20 °C의 온도로 유입된 냉각수가 냉각관을 통해 배터리와 열교환을 하며 출구부로 배출되면서 냉각수의 평균온도가 점차 증가하는 것을 확인할 수가 있으며, 냉각수 출구부 온도는 37.40 °C로 나타났다.

4.1.2 배터리 온도 분포

전술한 배터리 발열 조건과 유로 설계에 대해 유동 및 온도 조건에 대하여 열·유동 해석을 수행하여 얻은 결과를 Fig. 6에 정리하여 나타내었다. 각 셀에 대한 온도분포를 Fig. 6(a)에 나타내었고, 총 144개의 배터리 셀에 대해 번호를 각각 부여(Fig. 6(a))했으며, 각각 배터리 셀의 중앙부에서의 온도를 Fig. 6(b)에 그래프로 나타내었다. 배터리 셀의 온도가 36 ~ 45 °C 정도로 형성됨을 확인할 수 있으며(Fig. 6(a)), 배터리 셀 간의 최고 및

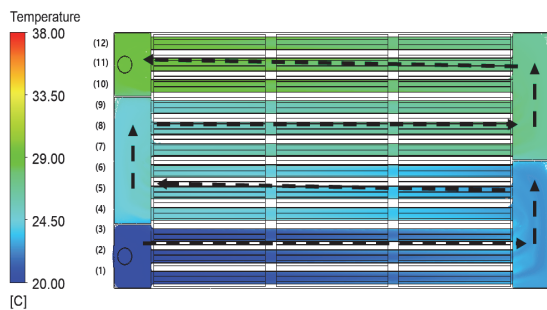


(a) Temperature distribution of cells

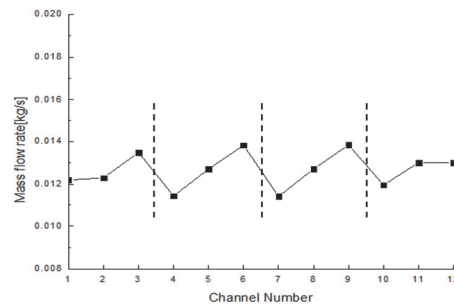


(b) Temperature distribution of each cell center

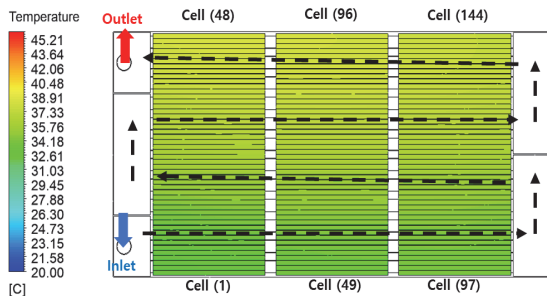
Fig. 6 Temperature distribution of cells



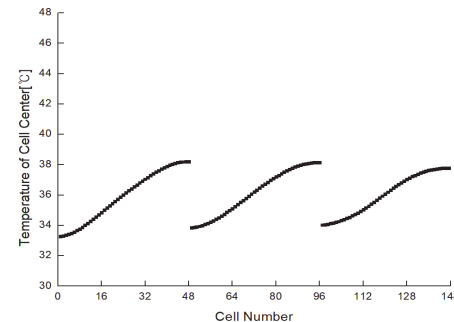
(a) Temperature distribution of coolant



(b) Mass flow rate distribution of each coolant channel



(c) Temperature distribution of cells



(d) Temperature distribution of each cell center

Fig. 7 Analysis results for large coolant flow rate ($\dot{m} = 0.038 \text{ kg/s}$)

최저 온도 차이는 약 11.31 °C로 나타났다. 냉각수 이외의 방열은 모델에서 고려되지 않기 때문에 계단 모양의 불균일한 온도분포(Fig. 6(b))의 경우 냉각수의 유동 흐름과 온도변화에 의한 효과로 판단된다. 냉각수 출구부 배터리 셀 영역의 온도분포가 냉각수 입구부 배터리 셀 영역에 비해 상대적으로 높게 형성되는 것을 확인할 수 있다. 이는 냉각부로 유입된 냉각수가 냉각판을 통해 배터리와 열교환을 하며 순환을 통해 출구부로 배출되면서 냉각수의 평균온도가 올라가고, 그에 의해 냉각성능이 감소함에 따라 배터리 셀 간의 온도 편차 및 평균온도도 더불어 증가하여 각 셀에 대한 온도분포를 불균일하게 만드는 요소가 된다.

4.2 질량유량 변화에 대한 냉각 효과

배터리 열관리 시스템은 배터리 셀의 운용 조건

에 맞는 온도(25~40 °C)를 제공해야 한다. 더불어 온도분포를 균일하게 하여 셀 간 온도 편차를 줄여주는 것이 중요하며, 이로 인해 배터리의 성능 및 수명을 향상시킬 수 있다. 앞에서 제안한 배터리 열관리 시스템 모델 냉각수 출구부 배터리 셀 영역의 온도분포가 셀 운용 조건을 충족하지 못하였기 때문에 이를 해결하기 위하여, 제안한 BTMS 모델을 기초로 하여 배터리 발열 조건과 유로 설계에 대해 동일한 조건에서 냉각판으로 유입되는 냉각수의 질량유량을 2배로 증가($\dot{m} = 0.038 \text{ kg/s}$)시켜 질량유량 변화에 따른 냉각 효과를 파악하기 위해 열·유동 해석을 수행하여 그 결과를 정리하여 Fig. 7에 나타내었다. 냉각수 온도분포를 Fig. 7(a)에 나타내었으며, 각 냉각수 채널의 질량유량 분포를 Fig. 7(b)에 그래프로 나타내었다. 그리고 각 배터리 셀에 대한 온도분포를 Fig. 7(c)에 나타내었고, 각각의 배터리 셀의 중앙부에서의 온도를 Fig. 7(d)에 그래프로 나타내었다.

냉각수 유량이 2배 증가함에 따라 출구부로 배출되는 냉각수의 온도가 약 8.70 °C 정도로 감소되었다(Fig. 7(a)). 이는 증가된 냉각수 유량에 비례하여 냉각수의 용적 열용량이 커지기 때문이다. 유량 분포(Fig. 7(b))의 경우, 증가된 유량에 의해 유동저항이 증가되어 비교적 균일하지 않은 유량 분포가 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 배터리

셀 온도(Fig. 7(c))의 경우, 33~38 °C 정도로 상대적으로 낮음을 알 수 있고, 배터리 셀 간의 최고 및 최저 온도 차이는 약 6.39 °C로 나타났으며, 배터리 셀의 불균일한 온도분포가 완만해져 개선되어 나아진 결과를 확인할 수 있었다(Fig. 7(d)).

배터리 온도분포 결과를 통해 질량유량 변화에 따른 냉각 효과를 어느 정도 판단할 수 있지만, 보다 정확하게 정량적으로 파악하기 위하여, 각 질량유량에 대한 냉각수 압력강하, 냉각수 입·출구 온도차 및 배터리 셀 간 최고 온도차와 배터리 셀 평균온도를 모두 정리하여 Table 3에 나타내었다.

냉각부 내 전체 압력강하가 $\dot{m} = 0.019 \text{ kg/s}$ 경우 98.05 Pa, $\dot{m} = 0.038 \text{ kg/s}$ 경우 226.79 Pa로 냉각수의 질량유량이 2배 증가된 경우가 약 231% 정도로 압력강하가 증가하였다. 유량이 2배 (0.038 kg/s) 증가되어 냉각부 내 출구부로 배출되는 냉각수 온도는 28.70 °C로 나타났고, 배터리 셀 간의 최고 및 최저 온도 차이가 6.39 °C 정도 감소하였으며, 배터리 셀 전체 평균온도가 약 33.31 °C로 배터리 열관리 시스템의 냉각성능이 14.5 %로 증가하는 이점을 얻을 수 있었다. 냉각수 유량이 증가함에 따라 배터리 셀 간 온도편차 및 셀 전체 평균온도 감소폭이 줄어들지만, 압력강하는 전기자동차 냉각 시스템의 펌프 소모동력을 증가시켜 차량의 주행거리를 감소시킨다. 따라서 적절한 냉각수 유량을 선정 해야한다.

Table 3. Analysis results for BTMS with mass flow rate variation

\dot{m} [kg/s]	0.019 kg/s	0.038kg/s
$\Delta P_{coolant}$ [Pa]	98.05	226.79
$\Delta T_{coolant}$ [°C]	17.40	8.70
$\dot{Q}_{coolant}$ [W]	1382.40 (= $\dot{Q}_{Battery}$)	
Max. ΔT_{cell}	11.31	4.92
\overline{T}_{cell} [°C] (Total cell average temp.)	38.98	33.31

4.3 Fin 냉각 효과

배터리 과열을 관리하기 위해 널리 채택되고 있는 배터리 셀 간격 사이에 금속 핀(Metal fin)을 설치함으로써 냉각면적이 증가되어 최대한 많은 열전달을 통해 빠르게 배터리를 냉각시키는 방식

인 간접 핀 냉각 방식이 있다. Fin의 냉각 효과를 파악하기 위해 전술한 배터리 발열 조건과 유로 설계에 대해 동일한 조건으로 열·유동 해석을 추가적으로 수행하여 얻은 결과를 Fig. 8에 정리하여 나타내었다. 그리고 그 결과를 정량적으로 파악하기 위하여, 각 배터리 열관리 시스템 중량, 냉각수 입·출구 온도차 및 배터리 셀 간 최고 온도차와 배터리 셀 전체 평균온도를 모두 정리하여 Table 4에 정리하였다.

Table 4. Analysis results without fin and with fins

Type	Without Fin	With Fins
BTMS Weight[kg]	50.48	54.63
$\Delta T_{coolant}$ [°C]	17.40	17.40
Max. ΔT_{cell}	16.09	11.31
\overline{T}_{cell} [°C] (Total cell average temp.)	43.38	38.98

핀이 없는 모델(Without Fin)에 대해 BTMS 단면에 대한 정보를 (a.1)에 나타내었고, 각 셀에 대한 온도분포를 (a.2)에 나타내었다. 이때, 총 144개의 배터리 셀에 대한 번호를 각각 부여(a.2)했으며, 각각 배터리 셀의 중앙부에서의 온도를 (a.3)에 그래프로 나타내었다. 핀이 없는 경우, 배터리 셀의 온도가 31 ~ 50 °C 정도로 상대적으로 높게 나타났으며(a.2), 배터리 전체 평균온도가 43.38 °C 정도로 나타났다. 더불어 배터리 셀 간 온도분포가 불규칙하게 형성됨을 확인할 수 있으며(a.3), 냉각수 유입부의 배터리 셀 영역과 출구부 셀 영역의 최고 온도 차이가 약 16.09 °C로 형성됨을 확인할 수 있다.

핀이 각 배터리 셀 사이에 존재하는 모델(With Fins, b.1)의 경우 핀이 없는 모델(a.1)과 온도분포가 유사한 경향을 가지지만, 셀 간 최고 온도 차이가 약 11.31 °C로 핀이 없는 모델에 비해 개선

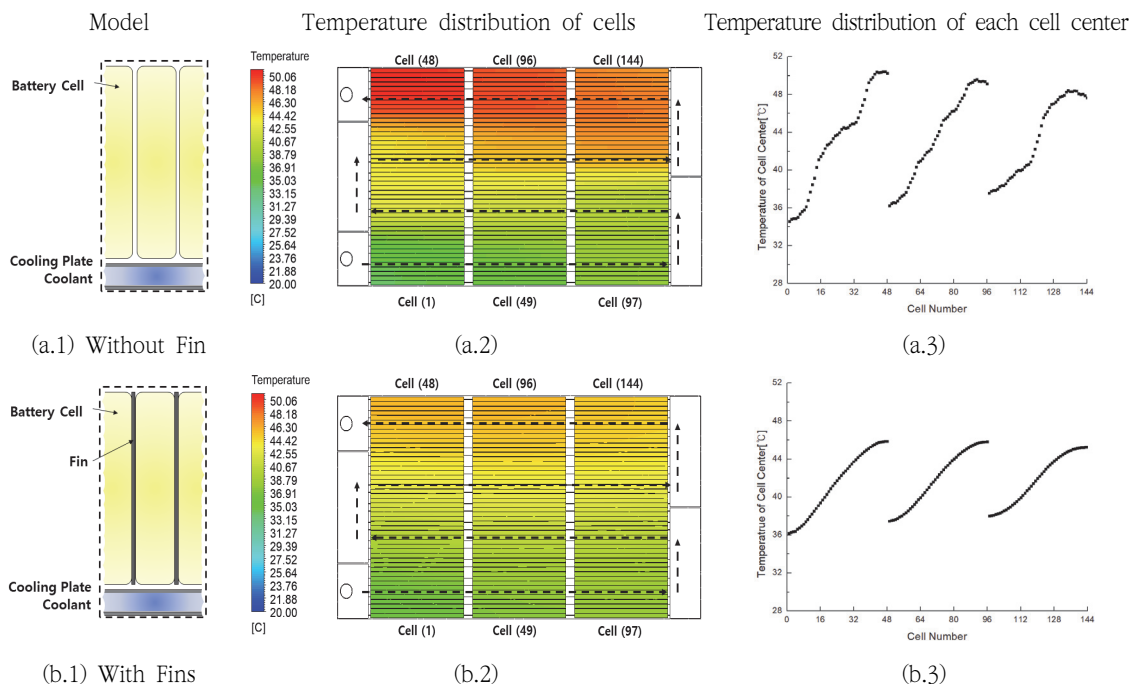


Fig. 8 Temperature distributions of battery cells for the cases without fin and with fins ($\dot{m}_n = 0.019$ kg/s)

된 온도분포 결과를 얻을 수 있었다(b.2). 이는 배터리 셀 간격에 존재하는 냉각 핀에 의해 냉각면적이 늘어났기 때문이다. 그리고 핀이 없는 모델에 비해 온도의 평탄화 (Heat spreading)에 의해 부드러운 온도분포를 보이고 있다.(b.3).

냉각 핀 유무에 상관없이 배터리 온도분포가 불균일하게 형성되는데, 이는 냉각수의 평균온도 변화에 의해 냉각성능이 감소되어 나타나는 경향으로 판단하였다. 핀이 없는 경우 배터리 셀 간 온도분포가 불규칙하게 형성되는 것을 크게 만드는 요소가 된다. 모든 조건이 동일한 경우, 핀이 있는 경우가 없는 경우보다 배터리 열관리 시스템의 중량이 4.15kg 정도 증가하지만, 핀이 있음으로 인해 배터리 전체 평균 온도를 낮추는 효과와 더불어 배터리의 온도분포를 부드럽게 만들어주는 개선된 결과를 얻을 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 전기자동차 파우치형 배터리 열관리 시스템의 냉각성능 향상을 위해 열·유동 해석을 수행하였고, 그 결과는 다음과 같다.

냉각수 유로 구조와 유동의 흐름으로 인해 배터리 온도분포가 불균일하게 형성됨을 확인하였고, 그 원인을 파악할 수 있었다.

제안한 배터리 열관리 시스템 기준모델을 기초로 하여, 냉각수의 질량유량을 2배로 증가시켜 질량유량 변화에 따른 냉각 효과를 살펴보았다. 냉각수 유량이 증가함에 따라 압력강하가 약 231% 정도로 증가하였지만, 배터리 셀 전체 평균온도가 33.31 °C 정도로 감소하여 배터리 열관리 시스템의 냉각성능이 14.5 %로 증가하는 이점을 얻을 수 있었다.

냉각 핀의 냉각 효과를 살펴보았다. 냉각 핀에

의해 배터리 열관리 시스템의 중량은 4.15 kg 정도 증가하였지만, 열 확산 효과로 인해 배터리의 온도분포를 부드럽게 만들어주는 개선된 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 유로 구조 설계가 정해진 상태에서 배터리 열관리 시스템 냉각 효과 향상을 위한 연구를 수행하였다. 향후에는 실제 운용조건(동일한 펌프일 경우, 입구 및 출구의 압력차가 같음)에 대하여 다양한 냉각수 유로 구조에 따른 배터리 열관리 시스템의 냉각성능이 어떻게 변화될지 연구가 필요하다.

사 사

본 과제(결과물)는 2021년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다(2021RIS-003).

참고문헌

- [1] J. Li, Z. ZHU, "Battery thermal management systems of electric vehicles", Masger's Thesis in Automotive Engineering, pp. 5-32. (2014).
- [2] R. Zhao, S. Zhang, J. Liu and J. Gu, "A review of thermal performance improving methods of lithium ion battery: electrode modification and thermal management system", Power Sources vol. 299, pp. 557-577. (2015).
- [3] J. Jagemont, L. Boulon and Y. Dube, "A comprehensive review of lithium-ion batteries used in hybrid and electric vehicles at cold temperature", Applied Energy, vol. 164, pp. 99-114. (2016).
- [4] ANSYS FLUENT User's Guide, ANSYS Inc., (2021).

- [5] S. Arora., “Selection of thermal management system of modular battery packs of electric vehicles: A review of existing and emerging technologies”, *Journal of Power Sources*, Vol. 400, pp. 621-640. (2018).
- [6] W. Fang, O. J. Kwon, and C. Y. Wang., “Electrochemical-thermal modeling of automotive Li-ion batteries and experimental validation using a three-electrode cell”, *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH*, Vol. 34 pp. 107-115. (2010).
- [7] Y. Chung and M. S. Kim., “Thermal analysis and pack level design of battery thermal management system with liquid cooling ofr electric vehicles”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 196, pp. 105-116. (2019).

(접수: 2022.07.12. 수정: 2022.08.02. 게재확정: 2022.08.12.)