HEV 배터리의 Lay-Out 변화에 의한 냉각 특성

정주훈*, 이동렬*
*대구가톨릭대학교 기계자동차공학부
e-mail:dlee@cu.ac.kr

Cooling Characteristics of HEV Battery with Different Lay-Outs

Ju-Hoon Jeong*, Dong-Ryul Lee*
*School of Mechanical and Automotive Engineering,
Catholic University of Daegu

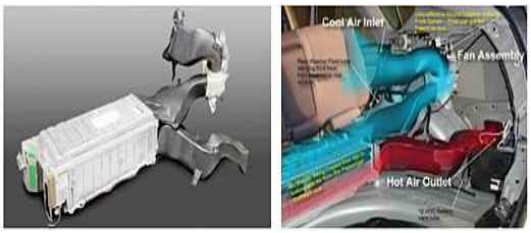
요 약

본 논문에서는 HEV배터리의 Lay-Out 변화의 형상 및 개수와 위치 변화에 따른 냉각 특성에 관하여 연구 하였다. Lay-Out의 형상과 위치 변화에 따른 온도, 압력, 속도를 분석 하였고, 1가지 기본 형상을 기준으로 2가지 형상 변화를 통하여 온도, 압력, 속도를 비교해 보았다. 사각형의 입, 출구의 위치의 개수 추가 했을 때 온도강하가 일어나는 것을 알 수 있었으며, 입구 형상을 원으로 하고 위치변화와 개수를 변화 하였을 때 사각형의 입구 보다 더 좋은 온도강하의 결과를 도출해 낼 수 있었다.

1. 서론

최근 IPCO (Intergovernmental Panel in Climate Change)의 보고서는 CO_2 배출의 안전한 수준 문제가 엄격히 규제되어있다. 전 세계 사람의 자동차 의존율을 변화시키기 어렵고 석유를 대체할 물질이 용이하지 않기 때문에 하이브리드 자동차 성능 이상의 획기적인 형태의 환경 친화적 자동차의 개발 및 보급을 위하여, 전기구동 자동차의 개발이 활발히 진행 중이다. 하이브리드 차량용 배터리 냉각 시스템 해석은 현재 일부 선진국에서 독자적으로 개발을 진행하고 있다[1]. 저속전기차(NEV)는 차체의 경량화 및 소형화를 통해 소모 전력을 줄여 근거리 운행을 목적으로 하고 있으며, 동력으로 배터리만을 사용한다[2]. 하이브리드 카의 판매 점유율 1위인 도요타의 프리우스 경우 배터리 냉각 시스템은 차량의 실내 공기를 활용한 냉, 난방 시스템으로 만들어져 있다[3]. 하이브리드 배터리에서 핵심 연구는 배터리에서 발생되는 열의 냉각 및 회수 기술은 전기구동 자동차의 수명 및 주행성능과 밀접한 관련이 있다. 최근 자동차 제작사와 배터리 공급사는 배터리 수명 및 보증을[4] 확보하기 위한 열 관리에 대한 연구 투자를 늘리고 있다. 하이브리드 카의 배터리는 고용량 배터리를 좁은 공간 내에서 서로 밀착되어 모듈의 중앙에 위치한 배터리의 온도가 타 배터리에 비해 과도하게 상승할 우려가 있다[5]. 이는 50℃ 이상에서 배터리의 열적 노화가 급격하게 시작되어 열적 내구성이 저하에 관련이 있게 된다[6].

본 연구는 상용 해석 프로그램인 Fluent 6.3.26를 사용하여 배터리 case 안에서의 유체의 유동 변화로 인해 배터리팩 표면에서의 온도편차를 줄이고, 배터리 Lay-Out에서의 압력변화를 측정하여, Lay-Out의 위치에 따른 열전달계수를 해석하여, 배터리팩에서의 발열을 제거하여 냉각성능을 증가시키는데에 목적을 두었다.

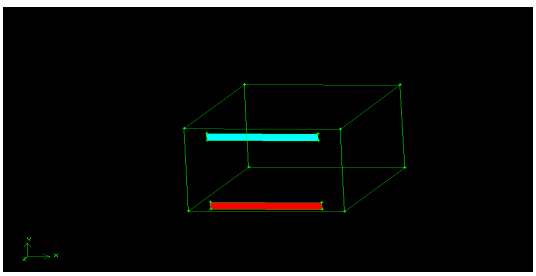


[Fig. 1] Prius HEV Battery Cooling System

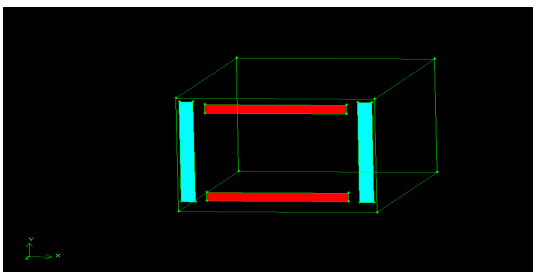
2. 설계 및 수치해석

설계 대상은 Fig. 1에서 보여 진 바와 같이 도요타 HEV 배터리를 모델링 하였다. 기본형상인 프리우스 배터리의 Lay-Out 변화와 형상 변경을 통하여 배터리의 속도장, 압력장, 온도장을 수치적으로 해석 하

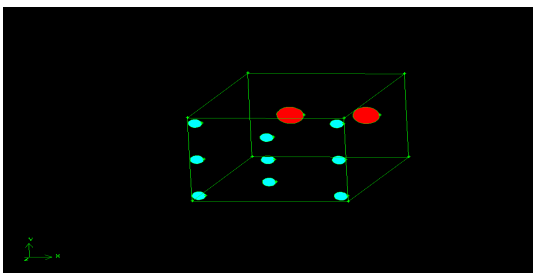
였다. Fig. 2에서는 배터리팩의 냉각정도를 해석하기 위하여 입구(하늘색)에 대기의 (온도:25℃) 공기를 Z 축으로 입력시켜주었다. 입구(하늘색) 와 출구(빨강색)에서는 입구에 입력된 공기가 출구에서 원활한 유동으로 빠져 나올 수 있도록 각각 다른 형상과 위치로 설계하였다. 설계 형상은 사각형과 원으로 설계를 하였으며 각각의 입구의 위치와 출구의 위치를 다르게 설계해 보았다. (a)는 case의 첫 번째 면에 대하여 입구가(가로축으로) 위쪽 한개 이고 출구가(가로축으로) 밑쪽 한 개인 기존 형상인 도요타 프리우스의 HEV 배터리의 Lay-Out의 위치와 형상으로 설계 하였으며, (b)는 case의 첫 번째 면에 대하여 입구가(세로축으로) 두개, 출구가(가로축으로) 두 개의 형상으로 설계를 하였고, (c)는 case의 첫 번째 면에 대하여 입구가(원) 아홉 개 입구와 대칭인 면에 출구(원)를 두개로 형상을 변형하여 배터리의 Lay-Out 변화에 대한 온도 변화를 알아보았다. 본 연구에서는 상용 해석 프로그램인 Fluent 6.3.26을 사용하였다.



(a) Horizontal Rectangle Inlet and Outlet Type (Case1)



(b) Vertical Rectangle Inlet and Horizontal Rectangle outlet Type (Case2)



(c) Circle Type (Case3)

[Fig. 2] HEV Battery with Different Lay-Outs

2.1 설계조건

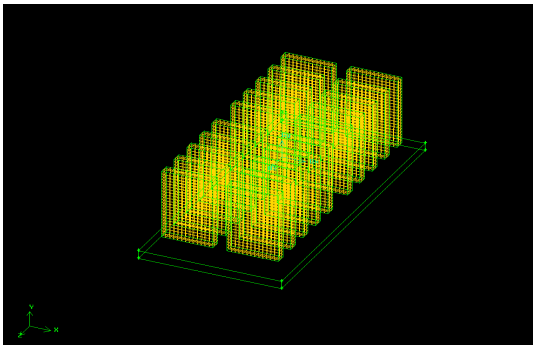
본 연구는 Turbulent 영역에 있다는 가정으로 해석하였고 내부 유동 해석을 위해 필요한 지배방정식은 비압축성 Navier-Stokes equation 과 Energy equaion을 사용 하였다. 배터리 case의 입구는 Velocity inlet으로 설정하였고, 속도는 8m/s, 유입되는 공기의 온도는300K, 재료의 Thermal Conductivity는 8 W/m·K로 설정하였고, 극군 에서 발열량은 400 W/m² 으로 설정하였고 배터리의 개수는 20개로 설정하였다.

[Table 1] 설계 입력조건

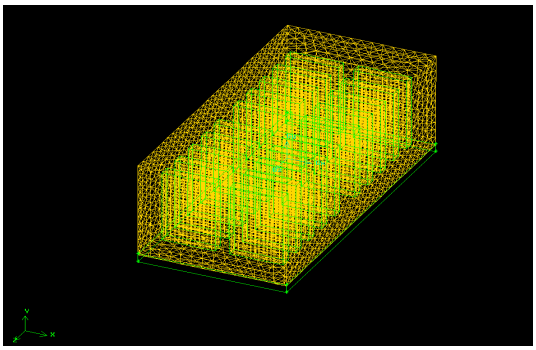
Inlet Velocity(m/s)		8
Air Temperature(K)		300
Thermal Conductivity of Battery Pack (W/m·K)		8
Heat flux of Battery Pack (w/m²)		400
Number of Battery Pack (EA)		20
Inlet	Horizontal Rectangle Inlet and Outlet Type Case1 (EA)	1
	Vertical Rectangle Inlet and Horizontal Rectangle Type Case2 (EA)	2
	Circle Type Case3 (EA)	9
Outlet	Horizontal Rectangle Inlet and Outlet Type Case1 (EA)	1
	Vertical Rectangle Inlet and Horizontal Rectangle Type Case2 (EA)	2
	Circle Type Case3 (EA)	2

2.2 격자 형성

본 연구는 수치해석을 위해 Gambit 2.4.6을 사용하였다. Fig. 3에 보인 바와 같이 배터리의 case와 배터리팩을 split volume을 사용하였고 (a) 에서 배터리의 격자는 T-Grid를 사용하였으며, 배터리 하나당 격자수는 900으로 구성 되어 있다.



(a) Grid of Battery



(b) Grid of Case

[Fig. 3] Grid of Battery and Case

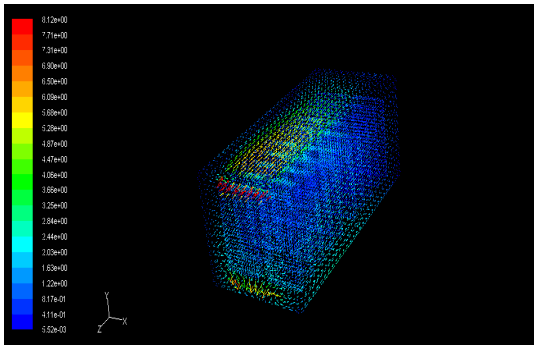
(b)에서 배터리 case의 격자는 형상이 복잡하여 Tet/Hybrid와 T-Grid를 함께 사용 하였다. Fig. 3의 총 격자수는 223986 개로 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

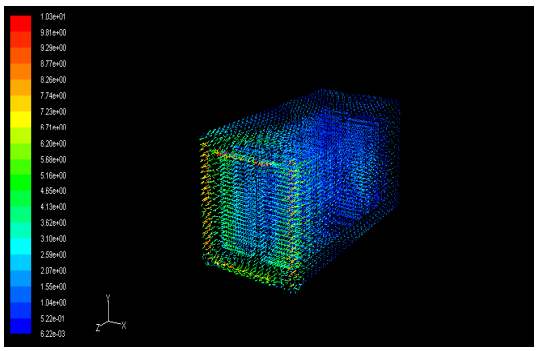
본 연구는 HEV 배터리 Lay-Out의 형상 및 위치를 변경하였으며, 형상과 위치 변경을 통하여 속도장, 압역장, 온도장 을 수치적으로 해석을 하였다.

Fig. 4는 그림에서 보이는 첫 번째 정사각형의 면을 입구와 출구로 생성하였으며. Inlet Velocity을 입력 시켜 준 상태의 배터리 case 주위의 속도 벡터이다.

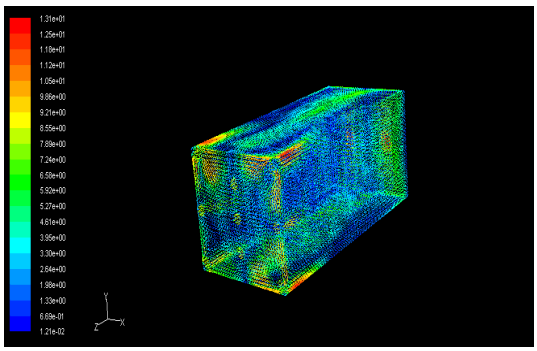
각기 다른 입구의 형상에 동일한 입력조건을 적용 하였을 때 (a), (b), (c)의 입구를 통과한 직후의 출구에서의 유체의 속도가 증가 하는 것을 알 수 있었다. 입구를 통과한 직후 출구에서의 유체의 속도를 평균 적으로 계산해 보았다. (a)는 정사각형의 위(가로축)가 입구이고 밑(가로축)이 출구이다. 입구(가로축) case1은 Inlet Velocity의 조건 8m/s 보다 입구를 통과한 직후 출구 속도가 1.5% 증가하였다. (b) 의 그림에서는 정사각형의 양옆이 입구(세로축), 위(가로축) 와 아래(가로축)가 출구이다. Inlet Velocity의 조건 8m/s 보다 입구를 통과한 직후출구의 속도가 0.25%가 증가하였다. (c) 는 그림에서의 첫 번째의 정사각형 면이 입구(원)이고 대칭 되



(a) Horizontal Rectangle Inlet and Outlet Type (Case1)



(b) Vertical Rectangle Inlet and Horizontal Rectangle outlet Type (Case2)



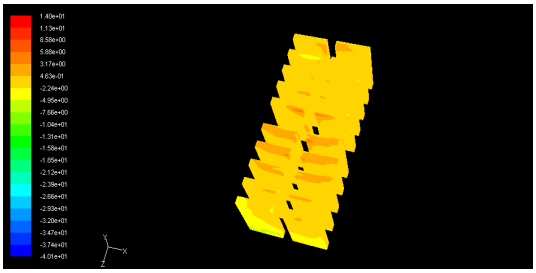
(c) Circle Type (Case3)

[Fig. 4] Velocity Vectors Around Battery Case

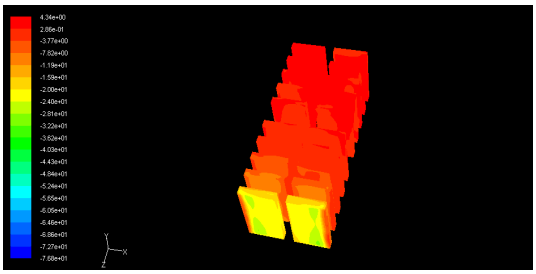
는 면이 출구(원) 이다. Inlet Velocity의 조건 8m/s 보다 입구를 통과한 직후출구의 속도가 5.55%가 증가 하였다.

Fig. 5는 각 배터리에 대한 압력분포 이다. (a)에서는 배터리팩의 6번째에서의 압력이 가장 높은 것을 볼 수 있다. (b)에서는 배터리팩의 부분인 10번째에서의 압력이 가장 높았고, (c)에서도 배터리팩의 10번째에서의 압력이 가장 높은 것을 보았다.

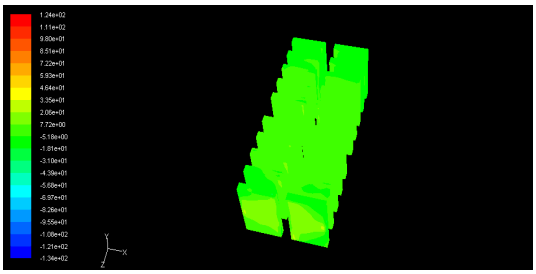
Fig. 6은 case 1, case 2, case 3의 배터리의 온도 분포이다. 입구에서 멀어 질수록 냉각의 효율성이 더 낮은 것을 확인 할 수 있다. 또한 형상 및 위치에 따라 온도 강하되는 부분이 달라지는 것을 알 수 있다.



(a) Horizontal Rectangle Inlet and Outlet Type (Case1)

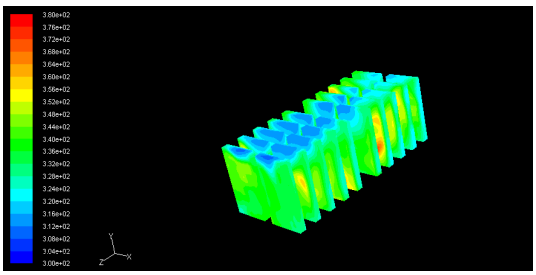


(b) Vertical Rectangle Inlet and Horizontal Rectangle outlet Type (Case2)

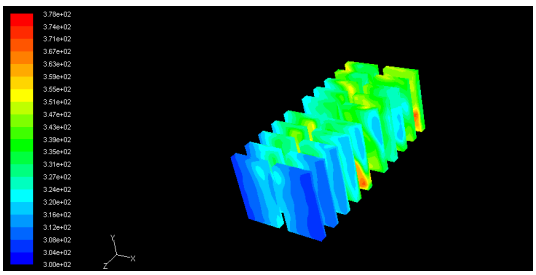


(c) Circle Type (Case3)

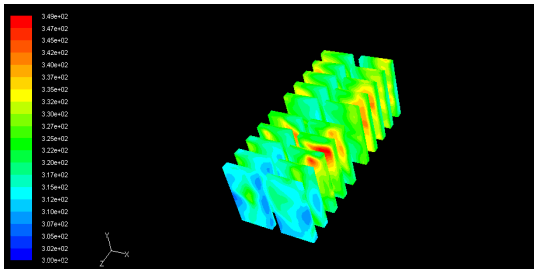
[Fig. 5] Pressure Distribution in Battery



(a) Horizontal Rectangle Inlet and Outlet Type (Case1)



(b) Vertical Rectangle Inlet and Horizontal Rectangle outlet Type (Case2)



(c) Circle Type (Case3)

[Fig. 6] Temperature Distributions in Battery

(a). Case1 (Maximum Temperature = 380K)

(b). Case2 (Maximum Temperature = 378K)

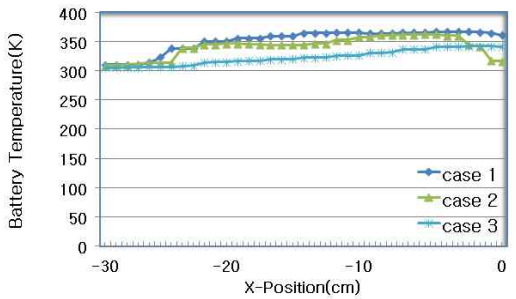
(c). Case3 (Maximum Temperature = 349K)

Fig 7은 배터리팩의 가혹조건은 각 case의 유체의 유동이 원활하지 않아 배터리팩 표면에 온도강하가 가장 원활하게 일어나지 않는 것을 말한다. 가혹조건에 대한 X-Position(배터리 팩의 가로 폭) Y-Position(배터리 팩의 세로 폭)에 대한 case 1 과 case 2 와 case 3의 온도 변화를 보여준다. Fig. 6로 가혹조건의 배터리팩을 설명 하겠다. (a) 에서 +Z축 방향으로 좌측 열의 10번째 있는 배터리팩이 case 1, (b)에서 +Z축 방향으로 좌측 열의 4번째 있는 배터리팩이 case2, (c)에서 +Z축 방향으로 좌측 열의 5번째 배터리팩이 case3 정하였다.

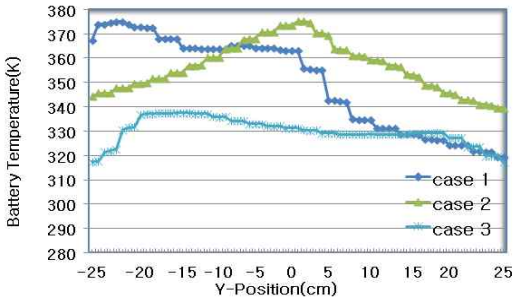
(a)는 case 1과 case 2, case 3의 X-Position(배터리팩의 가로 폭)의 온도 분포이다. 각 case에 따른 온도 분포의 평균 온도는 case 1은 347K, case 2는 341K, case 3 325K 의 온도가 해석 되었으며, case 3 의 Circle Type 의 형상이 2가지의 다른 형상보다 냉각 정도가 더 좋았고, case 3의 형상이 case 1 형상보다 1.48% 온도강하가 되었고, case 3의 case 2 형상 보다는 2.96% 많은 온도강하가 되었다. (b)는 case 1과 case 2, case 3의 Y-Position(배터리팩의 세로 폭)의 온도 분포이다. case 1은 -20cm에서 온도강하가 일어나지 않았음을 알 수 있고, case 2는 배터리팩의 중간 -15cm 지점 에서 온도강하가 잘되지 않았다. case 3의 경우에서는 전체 적으로 온도강하가 잘 이루어 졌음을 알 수 있다.

Fig 8은 X-Position(배터리 팩의 가로 폭) Y-Position(배터리 팩의 세로 폭)에 대한 case 1, case 2, case 3의 열전달계수 값을 나타낸다. 이 그래프는 냉각이 잘되는 배터리팩의 일수록 열전달계수가 높다는 것은 보여주고 있다. (a)의 그래프에서 case 3가 열전달계수가 높은 것을 볼 수 있다. case 3 최고점의 열전달계수 75W/m^2·K 비해 최고점 case 1과 case 2의 열전달계수가 각각 30W/m^2·K 낮았다. (b)의 그래프에서도 case 3의 열전달계수가 높은 것을 볼 수 있다.

case 3 최고점의 열전달계수 23W/m²·K 비해 최고점의 case 1 과 case 2의 열전달계수가 case 1은 3W/m²·K, case 2는 13 W/m²·K 더 낮았다.

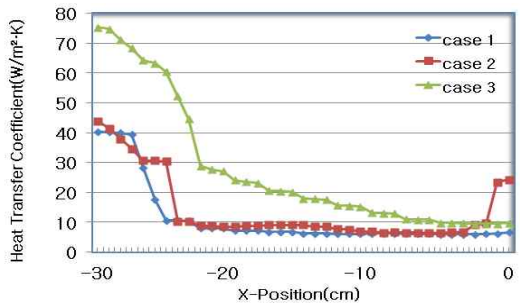


(a)

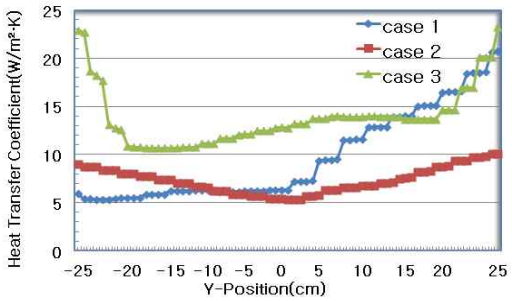


(b)

[Fig. 7] (a) Battery Temperature versus X Position
(b) Battery Temperature versus Y Position



(a)



(b)

[Fig. 8] (a) Convection Heat Transfer Coefficient vs. X Position of Battery
(b) Convection Heat Transfer Coefficient vs. Y Position of Battery

4. 결론

(1) 사각형 Lay-out 형태 보다 원형 Lay-out 형태에서 냉각의 효과가 뛰어 났으며, 이는 입구에서의 유체의 속도 증가로 인하여 배터리 전체의 냉각효과를 높인 것으로 보였다.

(2) case 1과 case 2의 온도 변화가 크지 않은 것으로 보았을 때 사각형 Lay-out 은 입구와 출구 개수에 상관이 없음을 보였다.

(3) 본 연구에서는 배터리 pack 내부 냉각에 공기의 유동성을 원활 하게 만들어 냉각의 효율성 을 높이기 위해 Lay-out 변화에 의한 냉각 성능을 높였다.

(4) 본 연구에서는 배터리팩의 압력분포를 해석 하였다. 배터리팩에서의 압력은 Lay-Out 변화에 의해압력분포가 다른 것을 확인 수 있었다.

(5) case 3의 형상이 case 1과 case 2의 Lay-Out의 형상보다 열전달 계수가 더 높은 것을 확인 하였다. case 3의 Lay-Out형상은 기존의 HEV 배터리의 Lay-Out 형상보다 더 나은 최적설계를 하였다.

참고문헌

[1] 원종필, 이호성, 2011.12, "전기구동 자동차용 열관리시스템 기술 개발 필요성", 페이지, 22-24.

[2] 김 현수, 한 병윤, 박형구, "전기자동차용 배터리 팩 주위의 유동장 해석", 한국전산유체공학회, pp. 135.

[3] 박종홍 , 이 재헌, "전자장비 캐비닛의 냉각특성에 관한 실험적 연구", 대한기계학회논문집, 제B권, 제 20권, 제7호, pp. 324-336, 7월, 1996.

[4] 정도양, "하이브리드 자동차용 리튬 이온 전지의 기술 개발 동향", 전력전자학회지제, 11권, 제 3호, pp. 20~21, 6월, 2006년.

[5] 장인형, 최준호, 박재영, 설승윤 ,"HEV 배터리 Module 의 Case 에 따른 강제 냉각 해석". 대한기계학회 유체공학부문 춘계학술대회 논문집, KSME, 10FE91, pp. 252~257, 2010년.

[6] 이정수, 양기영, 국종영, 박종찬, "하이브리드 배터리 냉각성능 검토를 위한 해석적 접근", 한국자동차공학회 학술대회 및 전시회, pp. 1~3026 11월, 2011년.