

## 전기자동차 배터리 트레이 내에서의 열전달 해석

임종수\*, 신동신\*\*

### Heat transfer analysis in the battery tray for electric vehicle

Jongsoo Lim\*, Dongshin shin\*\*

**Key Words :** Electric vehicle(전기자동차), Battery tray(배터리 트레이), CFD(전산유체역학)

#### Abstract

Study of electric vehicle is popular with automobile company. However, battery cooling problem has delayed development of electric vehicle. Lifetime of electric vehicle's battery depends on the cooling effect for the battery tray. One model was simulated by 3-D, steady state, incompressible, k-e turbulent model simulation. It is found that flow inlet, outlet and inlet position are very important design parameters.

#### 1. 서론

에너지 효율이 높은 전기자동차는 2차 에너지인 전기에너지를 다양화하여 수요가 높아지고 있으며, 배기가스가 없고 소음이 적어 청정한 환경을 조성하는데 크게 기여할 수 있는 차세대 자동차로서 부각되고 있다. 예를 들면 1998년부터 미국 캘리포니아주에서는 대기 보전법을 발효하여 무공해 차를 일정비율(2%)로 판매하며, 2001년에는 5%, 2010년부터는 10%로 확대할 것을 의무화하는 등 세계적으로 전기자동차의 수요는 늘어날 전망이다.

국내에서도 경제발전과 생활수준 향상으로 자동차의 보급대수가 급진적으로 증가하고 있고 이에 따른 환경문제(소음 및 대기 오염문제)도 점차 심각해지고 있으며 석유류 소비량도 약 1/3이상이 수송부문에 사용되고 있어 석유 해외 의존도가 높은 우리나라에서 에너지의 대체가 시급하며, 미국의 전기자동차 수출 확대와 새로운 시장 개척을 위해서는 국내 기술에 의한 전기자동차의 기술개발 및 대량생산이 절실히 필요한 상황이다. 그러나 전기자동차 기술은 전기, 기계, 전자, 화학, 재료 등의 복합기술로 지금까지 선진 각국이 기술을 보유하고 있고 기술개발 경쟁이 심화됨에 따라 주요 기술의 이전 기피 등 기술 정보의 차단의 벽은 높아지고 있다. 다행히 정부 지원 하에 전기자동차의 핵심요소기술을 집중 개발 중이며 배터리업체, 자동차 제조업체, 전기제조업체, 전력회사 등에서 적극적인 개발의욕을 보여 국내에서도 전기자동차의 대량생산 가능성은 높아지고 있다.

이러한 전기자동차의 핵심부품중의 하나인 배터리는 전기자동차에 있어서 최대 기술적 과제로서 현재까지의 배터리에 비하여 성능이 우수한 배터리가 최근 국내외에서 개발되었거나 개발 중이어서 전기자동차의 보급이 활발해질 것으로 예측되고 있다.

전기자동차에서 사용되는 배터리는 고온에서 성능이 저하되기 때문에 온도를 관리하기 위한 열관리 시스템이 필요하다. 배터리는 정상 작동 조건 하에서는 고효율을 유지하기 위하여 열손실을 최소화하여야 하며, 고출력을 내거나 충전 시에는 배터리 내에 고온의 지역이나 큰 온도 구배를 가지지 않도록 설계되어야 한다. 배터리의 냉각시스템의 필요성은 대량으로 방전 시 발생하는 열의 양, 배터리의 열 적 보유능력, 배터리의 최고작동온도, 충전 시 발생하는 열의 양 등에 의하여 결정된다. 현재 사용되거나 고려되어지고 있는 냉각 시스템은 대부분 공기를 사용하여 직접 및 간접적으로 냉각하는 열교환 시스템을 채택하고 있다. 이와 같은 배터리의 냉각시스템은 배터리를 장착하는 배터리 트레이에 포함되어지게 된다.

배터리와 배터리 트레이에 적용되는 공조 및 냉각방법에는 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다. 우선 배터리의 셀 및 팩간의 온도 편차를 최소화시킬 수 있어야 하며 이를 위하여 각 모듈에서 냉각공기로의 열전달량(kcal/h)이 될 수 있는 한 같아지도록 유로를 형성하여야 한다. 배터리 모듈에 입체적인 유로가 형성될 수 있는 덕트 형태를 가져야 하며, 필요시에는 유로를 안내하는 가이드 베인이나 벽 등이 포함되어야 한다. 냉각방식은 공냉식 및 수냉식을 고려할 수 있으며 공냉식의 경우 배터리 모듈 및 전장품의 장착에 따른 공기의 흡입구와 배기구의 방향, 위치, 형상 등을 상호 조정하여 결정하여야 할 것이다. 공냉식의 강제대류를 이용하는 경우, 공기를 불어넣는 방식을 택할 것인지, 공기를 빼내는 방식을 택할 것인지에 대하여 고려해야 하고, 이 때 팬의 동력에 대한 온도변화를 알아야 하며, 또한 밀도 차에 의한 자연대류도 고려하여야 할 것이다.

배터리가 과열되지 않는 최적의 배터리 트레이 시스템을 설계하기 위하여는 배터리를 포함하는 배터리 트레이 내부의 열 및 유동에 대하여 이해를 하여야 하며 이를 위해 해석과 실험을 수행하여야 한다. 배터리의 내부 온도 분포를 계산하고 각 배터

\* 홍익대학교 기계공학과, slimjong@wow1.hongik.ac.kr

\*\* 홍익대학교 기계공학과, dsshin@wow.hongik.ac.kr

리 모듈을 통과하는 유량을 계산하며 냉각에 필요한 공기의 유량 등의 설계변수를 찾아내어 시작품을 제작하기 전에 예상성능을 예측함으로써 개발비용의 단축과 비용 절감 등을 얻을 수 있다. 배터리 트레이 내부의 냉각 성능은 배터리 내부의 팬의 동력과 배터리 팩의 이상적인 설치에 따른 유로의 형성 및 유출입구의 위치에 따라 좌우되므로 복잡한 3차원 형상을 가지는 배터리 트레이 내부의 냉각 등을 포함하는 열전달 및 유동현상을 이해하기 위하여는 3차원 열유동 현상을 고려한 정밀한 유체역학적 열유동 해석을 수행하여야 한다[1].

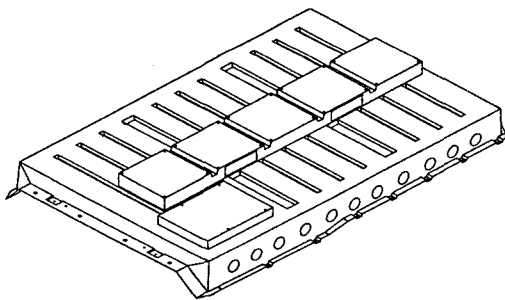
본 해석결과는 추후 최적의 배터리 트레이를 설계할 수 있는 설계변수를 도출하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

## 2. 수치해석방법

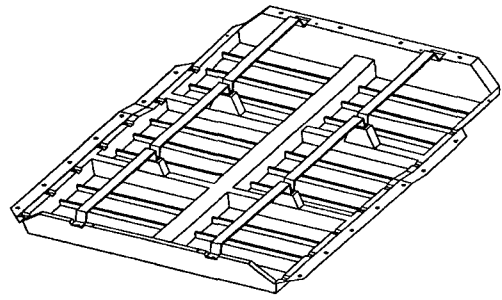
### 2.1 계산 모델링 및 경계조건

본 연구는 상용 CFD 코드인 STAR-CD를 이용하였으며[2], 3차원 정상상태, 비압축성으로 가정하였다. 배터리 트레이 내부 유동에 대한 Reynolds 수를 계산한 결과 약 34,000으로 난류 유동에 해당되므로, 표준  $k-\epsilon$  모델을 사용하여 계산하였으며, SIMPLE 알고리즘과 속도항에 대해서는 중심 차분방식을 사용하였다.

해석은 전기자동차에 장착되는 실제 배터리 트레이들의 내부에 대하여 수행하였다. Fig. 1은 본 연구에서 고려한 자동차 A사의 배터리 트레이를 나타낸 것이다. 배터리 트레이에 배터리가 총 24개 놓이게 되며, 배터리 트레이는 자동차의 아래에 설치되어진다. 공기는 배터리 트레이의 커버에 놓여지는 다섯 개의 블로워에 의하여 트레이의 양옆에 있는 11개의 공기 구멍으로 들어오게 된다. 계산 영역은 대칭성으로 고려하여 전체 모델의 1/4만 고려하였으며, 본 해석에는 트레이 내부의 전장품은 무시하였고, 세부적인 배터리의 복잡한 형태는 고려하지 않아 직사각형으로 단순화하였다. 격자 수는 총 251,766개를 사용하였으며, 격자의 구체적인 형태를 Fig. 2에 나타내었다. 배터리 내부의 열 발생량은 김준범 논문 등으로부터  $0.012 \text{ W/cm}^3$ 의 값을 사용하였으며[2][3], 해석에 있어서 입구 유속은 트레이에 설치되는 블로워의 정격 용량과 양옆의 공기 구멍의 면적으로부터 계산하여  $5.028 \text{ m/s}$ 로 일정하게 유지하였고, 입구 유동의 온도는  $298 \text{ K}$ 로 설정하였다. 문제를 단순화시키기 위하여 트레이에 대하여는  $298 \text{ K}$ 의 일정온도조건을 적용하였고, 속도는 벽면에서 모두 0이 되도록 하였다. 계산 시간은 DEC Alpha 533MHz 워크스테이션에서 약 70시간이 소요되었다.

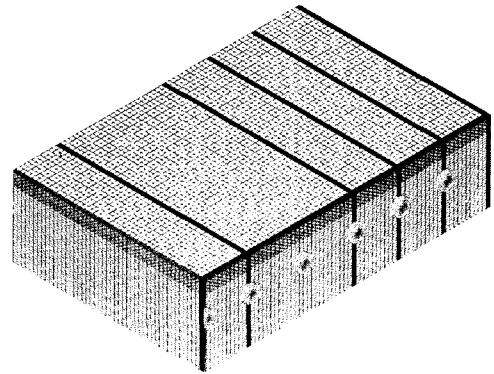


(a) battery tray cover

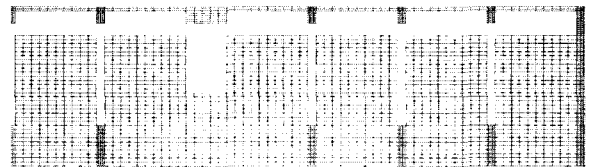


(b) battery tray

Fig. 1 Electric vehicle battery tray



(a) 3 dimensional view



(b) 2 dimensional view

Fig. 2 Computational grids

### 2.2 배터리의 물성치

배터리는 Table 1, 2에서와 같이 여러 물질로 구성되어 있다 [3][4]. 하지만 복잡한 화학반응을 통해 열이 발생하므로 배터리 전체를 하나의 물질로 가정하였다.

Material	Volume [ $\text{cm}^3$ ]	Thermal conductivity[W/mk]
Ni electrode	174.43	2.028
MH electrode	78.60	1.634
Separator	149.90	0.532
Vinyl	5.88	0.329
Case	23.00	16.300
Tab	4.88	78.310
Hydrogen	135.66	0.172

Table 1. Thermal conductivity of battery component

Table 1에서 보는 바와 같이 배터리의 주 구성물질은 Ni

리 모듈을 통과하는 유량을 계산하며 냉각에 필요한 공기의 유량 등의 설계변수를 찾아내어 시작품을 제작하기 전에 예상성능을 예측함으로써 개발비용의 단축과 비용 절감 등을 얻을 수 있다. 배터리 트레이 내부의 냉각 성능은 배터리 내부의 팬의 동력과 배터리 팩의 이상적인 설치에 따른 유로의 형성 및 유출입구의 위치에 따라 좌우되므로 복잡한 3차원 형상을 가지는 배터리 트레이 내부의 냉각 등을 포함하는 열전달 및 유동현상을 이해하기 위하여는 3차원 열유동 현상을 고려한 정밀한 유체역학적 열유동 해석을 수행하여야 한다[1].

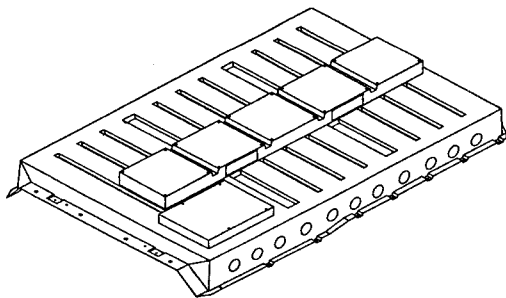
본 해석결과는 추후 최적의 배터리 트레이를 설계할 수 있는 설계변수를 도출하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

## 2. 수치해석방법

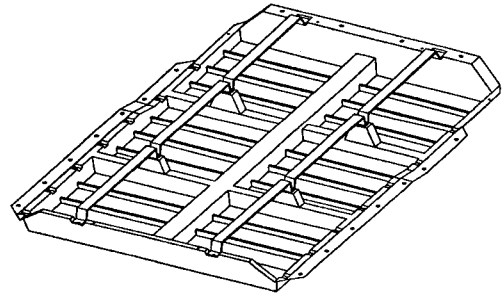
### 2.1 계산 모델링 및 경계조건

본 연구는 상용 CFD 코드인 STAR-CD를 이용하였으며[2], 3차원 정상상태, 비압축성으로 가정하였다. 배터리 트레이 내부 유동에 대한 Reynolds 수를 계산한 결과 약 34,000으로 난류 유동에 해당되므로, 표준  $k-\epsilon$  모델을 사용하여 계산하였으며, SIMPLE 알고리즘과 속도항에 대해서는 중심 차분방식을 사용하였다.

해석은 전기자동차에 장착되는 실제 배터리 트레이들의 내부에 대하여 수행하였다. Fig. 1은 본 연구에서 고려한 자동차 A사의 배터리 트레이를 나타낸 것이다. 배터리 트레이에 배터리가 총 24개 놓이게 되며, 배터리 트레이는 자동차의 아래에 설치되어진다. 공기는 배터리 트레이의 커버에 놓여지는 다섯 개의 블로워에 의하여 트레이의 양옆에 있는 11개의 공기 구멍으로 들어오게 된다. 계산 영역은 대칭성으로 고려하여 전체 모델의 1/4만 고려하였으며, 본 해석에는 트레이 내부의 전장품은 무시하였고, 세부적인 배터리의 복잡한 형태는 고려하지 않아 직사각형으로 단순화하였다. 격자 수는 총 251,766개를 사용하였으며, 격자의 구체적인 형태를 Fig. 2에 나타내었다. 배터리 내부의 열 발생량은 김준범 논문 등으로부터  $0.012 \text{ W/cm}^3$ 의 값을 사용하였으며[2][3], 해석에 있어서 입구 유속은 트레이에 설치되는 블로워의 정격 용량과 양옆의 공기 구멍의 면적으로부터 계산하여  $5.028 \text{ m/s}$ 로 일정하게 유지하였고, 입구 유동의 온도는  $298 \text{ K}$ 로 설정하였다. 문체를 단순화시키기 위하여 트레이에 대하여는  $298 \text{ K}$ 의 일정온도조건을 적용하였고, 속도는 벽면에서 모두 0이 되도록 하였다. 계산 시간은 DEC Alpha 533MHz 워크스테이션에서 약 70시간이 소요되었다.

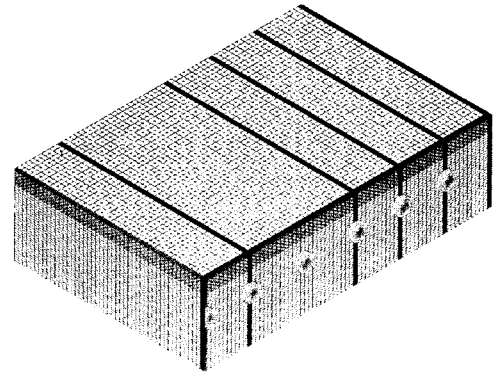


(a) battery tray cover

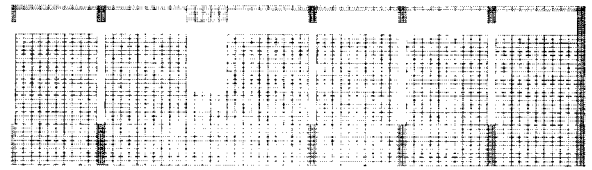


(b) battery tray

Fig. 1 Electric vehicle battery tray



(a) 3 dimensional view



(b) 2 dimensional view

Fig. 2 Computational grids

### 2.2 배터리의 물성치

배터리는 Table 1, 2에서와 같이 여러 물질로 구성되어 있다 [3][4]. 하지만 복잡한 화학반응을 통해 열이 발생하므로 배터리 전체를 하나의 물질로 가정하였다.

Material	Volume [ $\text{cm}^3$ ]	Thermal conductivity[W/mk]
Ni electrode	174.43	2.028
MH electrode	78.60	1.634
Separator	149.90	0.532
Vinyl	5.88	0.329
Case	23.00	16.300
Tab	4.88	78.310
Hydrogen	135.66	0.172

Table 1. Thermal conductivity of battery component

Table 1에서 보는 바와 같이 배터리의 주 구성물질은 Ni

#### 4. 결론

배터리를 포함하는 배터리 트레이 내부의 열유동 해석을 STAR-CD를 사용하여 수행하였다. 해석결과 배터리 트레이 모듈 사이에 흡입구가 위치하지 못하여 냉각공기의 흐름을 방해하여 배터리 모듈에서 온도편차가 크게 나타나므로 유입구의 위치의 조정이 필요하였다.

상단에 위치한 블로위에 의해 흡입구에서 유입된 공기가 바로 상단의 배출구로 배출되므로 한 모듈에 있어서 셀 간의 온도 편차가 상당히 크게 됨을 보였다. 따라서 냉각 성능을 향상시키기 위하여 모듈의 하부까지 냉각공기가 충분히 도달할 수 있도록 설계하여야 할 것으로 생각되어, 배터리를 트레이에 밀착시키지 않고 어느 정도 간격으로 띄워서 하단에도 냉각 공기의 흐름을 유도하고 유입구의 위치를 배터리 하단쪽으로 더 내려서 유입된 공기가 배터리 하단을 지나 배터리 전체를 골고루 냉각 시킨 후 배출될 수 있는 설계의 변화가 필요하다.

또한 현재 해석에는 전장품 등을 고려하지 않았으나 실제로 전장품이 배치되는 경우 전체적인 온도 편차는 더욱 커질 것으로 예상되므로 현재의 트레이는 냉각을 고려할 때 그다지 효과적이지 못한 구조로 생각된다.

#### 참고문헌

- [1] 신동신, "전기자동차 배터리에 대한 냉각해석", (2001) STAR\_CD Users' conference, Korea
- [2] STAR-CD Version 3.1 manual, CD-adapco
- [3] 김준범, "Nickel/Metal Hydride 전지의 열관리기술 개발", J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry, Vol8, No.4, August (1977) pp. 667-672
- [4] 김준범, "전기자동차용 Ni/MH 전지 Module의 열관리기술", J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry, Vol.8, No.6, December (1997), pp.1034-1040

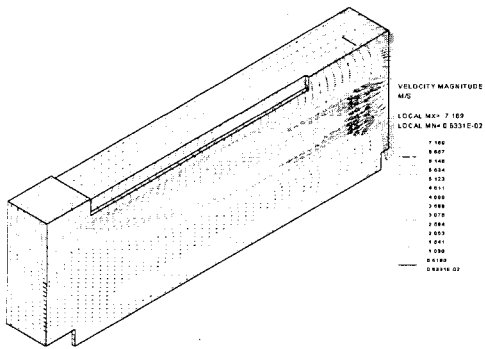


Fig. 6 Velocity vector plot between battery modules

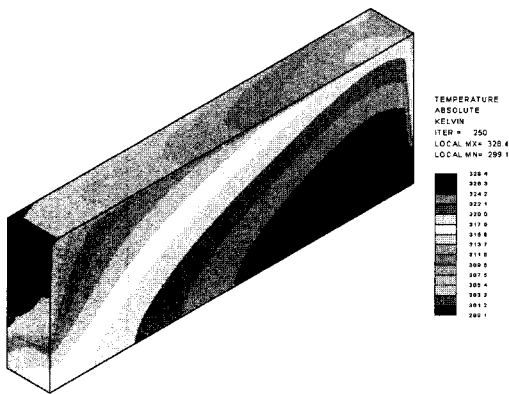


Fig. 7 Temperature distribution in a battery module

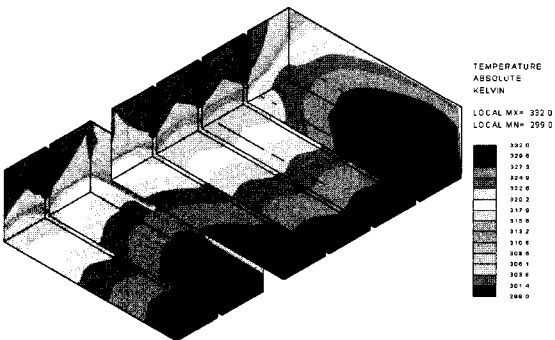


Fig. 8 Temperature distributions under battery modules