

Nickel / Metal Hydride 전지의 열관리기술 개발

김 준 범

울산대학교 화학공학과
(1997년 4월 24일 접수, 1997년 6월 9일 채택)

Thermal Management of a Nickel / Metal Hydride Battery

Junbom Kim

Department of Chemical Engineering, University of Ulsan, Kyungnam 680-749, Korea
(Received April 24, 1997, Accepted June 9, 1997)

요 약 : 고용량 Nickel / Metal hydride 전지의 온도 거동을 3차원 유한요소법 software인 NISA를 사용하여 해석하였다. 전지 내부의 열전도에는 미분형 에너지 수지식을, 외부 대기와의 접촉면은 대류 열전달 방식을 사용하였다. 전지 온도에 영향을 미치는 요소인 열발생량과 대류 열전달계수에 대한 실험을 행하였고, 이 결과로부터 일반식을 도출하였다. 금속 재질의 cooling fin을 사용하므로써 급속한 충전이나 방전시 야기될 수 있는 온도 상승을 상당 부분 방지할 수 있었다. 전지 외벽에 열전도도가 낮고 얇은 절연물질을 부착하여도 최고온도의 상승에 미치는 영향은 미미하였다.

Abstract : Thermal behavior of high capacity Nickel / Metal hydride battery is analyzed using the NISA software which is based on the three dimensional finite element method. Differential energy balance equation is used for the conduction heat transfer of the battery, while convective heat transfer equation is used for the interface between the battery and air. Heat generation rate and convective heat transfer coefficient are tested as variables to investigate thermal behavior, and the generalized equation for maximum temperature inside the battery is developed. The abrupt rise of the battery temperature due to the quick charge or discharge can be prevented from the use of metallic cooling fin. In addition, temperature augmentation of the battery is negligible when the low thermal conductive and thin insulating material is used outside of the battery case.

1. 서 론

공업화에 따른 에너지 소모량의 증가는 급격히 이루어지고 있다. 화석연료의 연소를 이용한 차량 등의 수송수단은 다량의 공해물질을 배출하게 되고 이에 따라 점차 심각해지는 부작용이 보고되고 있다. 대도시 공해의 주원인인 자동차 배기가스를 경감시키는 대안으로는 내연기관 차량의 비율을 줄이고 전기자동차의 사용을 증대시키는 방법이 있다. 국내 발전용량의 상당량을 담당하고 있는 원자력 발전은 부하 조절이 어렵다는 것을 감안하여 볼 때, 주로 심야에 에너지를 공급받는 전기자동차의 사용은 전력수급 면에서도 큰 이점이 있다고 할 수 있다.

전기 자동차에 사용되는 다량의 전지는 좁은 공간 안에 배열되어야 하므로 충전과 방전시에 발생하는 열의 분산이 문제시된다. 전지의 성능은 내부 온도에 영향을 받으며 온도구배가 허용치 이내의 값을 가질 경우 장수명을 보장할 수 있다[1-2]. Nickel / Metal hydride (Ni / MH) 전지 내부에서 물의 증발과 응축에 의한 전해질의 이동여부를 산정하기 위해서는 여러 농도의 Potassium hydroxide (KOH) 용액과 물의 온도에 대한 증

기압 자료가 필요하다. 여러 연구자들이 KOH 용액의 증기압을 실험적으로 측정하고 이를 수식화하였다[3-9]. J. Balej가 실험 자료를 근거로 하여 0°C에서 300°C의 온도 범위와 0 [$\frac{\text{mol}}{\text{kg}}$]에서 18 [$\frac{\text{mol}}{\text{kg}}$]의 농도 범위에서 절대온도와 molal 농도를 변수로 하여 KOH 용액에 대한 증기압을 수식화한 것을 다음의 식(1)에 나타내었다[10].

$$\begin{aligned} \log P_{W(\text{KOH})} &= -0.01508 m - 0.0016788 m^2 \\ &+ 2.25887 \times 10^{-5} m^3 + (1 - 0.0012062 m \\ &+ 5.6024 \times 10^{-4} m^2 - 7.8228 \times 10^{-6} m^3) \\ &\times (35.4462 - \frac{3343.93}{T} - 10.9 \log T + 0.0041645T) \end{aligned} \quad (1)$$

위의 식(1)에서 $P_{W(\text{KOH})}$ 는 bar를 단위로 사용한 KOH 용액의 증기압이고, m 은 $\frac{\text{mol}}{\text{kg}}$ 을 단위로 사용하는 molal 농도이고, T 는

K를 단위로 사용한 절대온도이다. 식(1)은 실험적으로 측정된 자료[5, 6]와 4%의 오차 범위 내로 일치한다. J. Kim의 논문 [11]에 있는 식 개발 방법에 따라 위의 식(1)을 기초자료로 하여 KOH용액을 전해질로 사용하는 전지 내부의 전해질 이동여부를 판별할 수 있는 식(2)를 개발하였다.

$$\Delta T = 3.896 - 0.3272W + 0.01538W^2 + (0.01384 - 0.0005092W + 5.665 \times 10^{-5}W^2)T_c \quad (2)$$

위의 식에서 ΔT 는 전지 내부의 허용 온도구배이고, W 는 KOH용액의 wt %이며, T_c 는 $^{\circ}C$ 를 단위로 사용한 전지중 가장 차가운 부분의 온도이다. 식(2)를 사용하여 0~36 $^{\circ}C$ 의 온도범위와 20~36 wt %의 KOH용액 농도범위 내에서 1.2% 이내의 오차로 허용 온도구배를 계산할 수 있다. 내부 온도가 비정상적으로 분포할 경우 증발과 응축에 의하여 온도가 높은 부분에서 낮은 부분으로 전해질 중에서 물의 이동이 발생한다[12]. 이러한 경우 단기적으로는 전극과 격리판의 건조에 의한 성능저하가 예측되고, 장기적으로는 전해질 농도의 상승에 따른 수명저하를 예측할 수 있다. 전지 내부에서 발생한 열의 양이 외부 대기로 방출되는 열의 양보다 많을 경우 온도가 상승하게 되며 이에 동반하여 압력도 상승하게 된다. 온도에 대한 압력의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 온도의 상승만으로도 압력의 상승을 초래하여 자가방전율이 커지며 case의 변형이 발생하는 등의 문제가 생길 수 있다. 또한 온도상승은 metal hydride 전극의 수소흡장능력도 저하시키므로 이에 대한 대책은 중요하다.

본 연구에서는 전기 자동차에 사용되는 전지에 대하여 열발생량 및 대류 열전달계수를 변수로 실험을 수행하여 전지 내부 및 case의 온도 거동을 관찰하였다. 이로부터 정상운전시의 온도에 대한 일반식을 산출하였다. 급속 충전시 비정상적인 온도상승을 방지하기 위한 방법을 제시하였고, cooling fin이 전지 내부 최고온도 강하에 미치는 영향에 대한 실험 결과를 나타내었다.

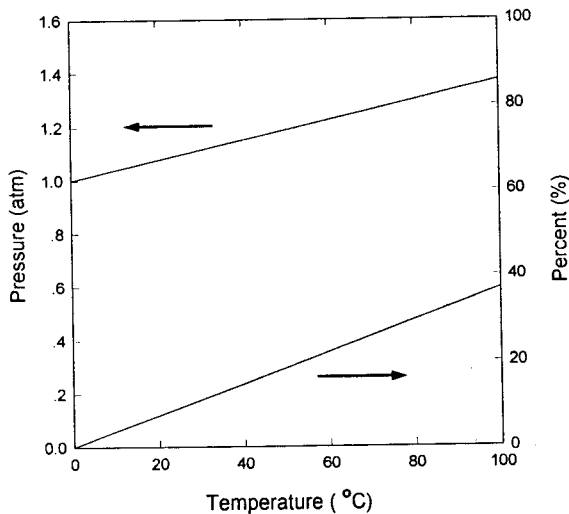


Fig. 1. Effect of battery temperature on pressure.

2. 실험

온도 실험에 사용된 Ni/MH 전지의 내부구조를 Fig. 2에 나타내었으며, 117 cm² 크기의 전극을 사용하였다. 전지 case의 내부 및 외부에 비닐층을 삽입하였으며 각 전극은 격리판 봉투에 넣어 조립하였다. 요구되는 전지의 용량에 따라 nickel 전극과 metal hydride 전극이 반복되는 구조로 위치하게 된다. 전지의 중심면은 열 대칭면이므로 이 면을 단열면으로 설정한 후 한쪽에 대해서 실험을 행하였다.

열전달 해석은 온도구배에 의한 열에너지의 이동과 흐름을 분석하는 것이다. 본 연구에서 사용한 방법은 전지 내부에서는 전도에 의한 열전달 방식을, 전지와 외부 대기와의 계면에서는 대류에 의한 열전달 방식을 채택하였다. 전도에 의한 열전달은 다음의 식(3)과 같은 미분형 에너지 수지식을 사용하여 해석할 수 있다.

$$\rho C_P \frac{\partial T_s}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T_s) + q \quad (3)$$

위의 식에서 ρ 는 밀도, C_P 는 비열, T_s 는 전지의 온도, t 는 시간, λ 는 열전도 계수이고, q 는 열발생량이다. 정상운전 조건하에서 실제 전지의 구조를 3차원적으로 해석하기 위하여 다음의 식(4)를 사용하였다.

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_s}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2} \right) + q = 0 \quad (4)$$

위의 식에서 x, y, z 는 Cartesian coordinate의 축이다. 경계 조건에 대해서는 다음 식(5)의 대류 열전달 식을 사용하였다.

$$q = h(T_s - T_f) \quad (5)$$

위의 식에서 h 는 대류 열전달계수이고, T_f 는 전지 외부 대기의 온도이며 본 실험에서는 25 $^{\circ}C$ 를 기본 조건으로 사용하였다. 대류 열전달계수 h 의 값이 0.0005~0.005 [$\frac{W}{cm^2 \cdot K}$]의 범위에서는 일반적으로 공기의 자연대류에 의한 열전달이 일어나며, h 의

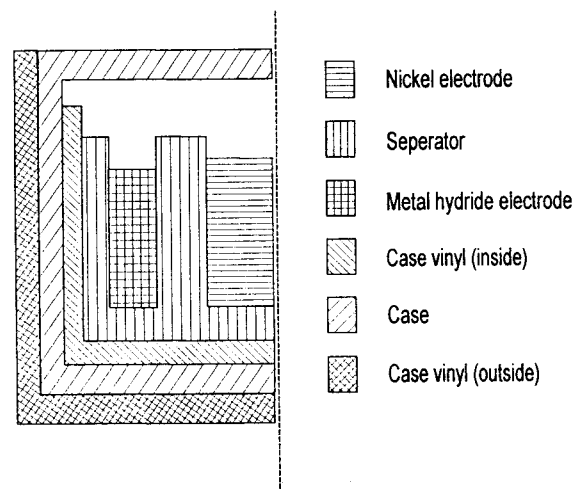


Fig. 2. Schematic representation of the nickel/metal hydride cell.

값이 $0.0025 \sim 0.025 \left[\frac{W}{cm^2 \cdot K} \right]$ 인 범위에서는 일반적으로 공기의 강제 순환대류에 의한 열전달이 발생한다[13].

실험에 사용되는 전지 구성 요소의 물성치를 Table 1에 나타내었다. 다공성 요소인 nickel전극, metal hydride전극, 그리고 separator에 대해서는 porosity(다공도)와 다음의 식(6)을 사용하여 계산한 값을 취하였으며, 그 결과는 Table 2에 나타내었다.

$$\lambda_i = \lambda_m(1-\varepsilon) + \lambda_f \varepsilon \quad (6)$$

위의 식에서 ε 는 다공도를 나타내고, 아래첨자 m 은 전지를 구성하는 고체요소의 값을 나타내며, f 는 고체요소의 pore를 채우는 유체의 값을 나타내고, i 는 평균하여 계산한 값을 나타낸다. 다공도가 전지 내부의 온도분포에 미치는 영향은 크지 않으며, 이는 J. Kim에 의해서 검증된 바 있다[23].

수소 기체의 비열과 열전도도는 1~5 기압의 범위 내에서 1% 미만의 변화를[14] 보이므로 1기압의 값을 사용하였다. 또한 전지 내부에서 발생된 열의 대부분은 열전도도가 높은 전극 탭을 통하여 이동하므로, 압력에 의한 수소 기체의 밀도 변화가 열전달에 미치는 영향을 무시할 수 있다.

상기의 실험을 수행하는데 있어 유한요소법을 사용하기 위한 구조 설계와 기본자료의 입력은 full screen-editor로서 pre- and post-processor 역할을 하며, automatic mesh generation 기능과 온도분포 결과를 3차원으로 표현할 수 있는 Display III를 사용하였다. Solver로는 wavefront(frontal) 방법으로 선형 열전달식의 온도분포 결과를 산출할 수 있는 NISA program을 사용하여 전지의 3차원 구조에 대한 실제적인 해석을 행하였다. 신뢰도 있는 일정한 결과를 얻기 위하여 hexa-

hedron 8 nodes 방식의 요소 36,000개를 이용하여 전체구조를 세분화하였다. 각 구성요소의 물리적 및 열전달 성질은 방향축에 무관하다고 가정하고 isotropic material model을 사용하였다. 전지 내부의 온도구배는 발생되는 열의 위치(음극 또는 양극)에는 거의 무관하므로[23], 본 연구에서는 nickel 전극에서 열이 발생한다고 산정하였다.

3. 결 과

3.1. 내부 허용 온도구배

전지 외부대기의 온도 $0 \sim 36^\circ\text{C}$ 의 범위와 KOH용액의 농도 $20 \sim 36 \text{ wt} \%$ 의 범위에서 식(2)를 사용하여 계산한 전지 내부 허용 온도구배의 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 전지 내부의 가장 뜨거운 부분(주로 중심부)과 가장 차가운 부분(주로 case 내벽)의 온도구배가 이 수치보다 적을 경우 열에너지에 의한 전해질의 이동은 발생하지 않는다. 본 연구에 사용되는 Ni/MH 전지는 $30 \text{ wt} \%$ KOH용액을 전해질로 사용하였다. 전지가 25°C 의 대기 중에 있을 때 식(2)로부터 계산한 내부 허용 온도구배는 9.16°C 이다. 외부 대기의 온도를 높이거나 KOH용액의 농도를 높이면 내부 허용 온도구배의 수치는 높아진다. 그러나 KOH용액의 농도가 높아질 경우 단기적인 성능은 향상되지만, 지속적인 충전과 방전시 γ -phase nickeloxyhydroxide가 축적되고 전극에 crack이 발생하는 등의 단점으로 인하여 장기적인 수명을 보장할 수 없게 된다.

일반적인 운전 조건의 경우 Fig. 3의 허용온도구배를 상회하고 있다. 이러한 경우 열에너지에 의해 뜨거운 부분에서 차가운 부분으로 전해질의 이동이 발생하며 이에 따라 전극의 일부분이 건조하게 되어 전지반응에 참여하지 못하게 되고 다른 부분에는 과부하가 걸리게 된다. 이동된 전해질이 case와 내부 비닐 사이의 틈새 공간에서 응축될 경우 회수가 어려워지며 이에 따른 성능저하 및 수명단축을 완화시키는 방법으로는 다음과 같은 것이 있다. 전지 설계시에 case 내부 비닐을 제거하고 대신 case 내벽을 절연물질로 coating 함으로써 전해질의 이동에 의한 영향을 최소화할 수 있다. 또는 case 내부 비닐에 액체를 한쪽 방향으로만 이동시킬 수 있는 창을 만들어 전해질을 회수하는 방법도 있다.

3.2. 전지 내부 온도

전지 case 외부 비닐이 내부 온도구배에 미치는 영향을 계산하여 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 실험은 전지 1개를 사용하였고, 각 경우의 온도차이를 극대화하기 위하여 열발생량은 $0.4 \left[\frac{W}{cm^2} \right]$ 이고, 공기의 순환은 자연대류에 근접한 수치인 $5 \times 10^{-3} \left[\frac{W}{cm^2 \cdot K} \right]$ 의 대류 열전달계수를 사용한 가혹한 조건으로 실험하였다. 전지 case 만 있는 경우와 옆면·밑면에 비닐이 있는 경우에서 최고온도의 차이는 1.25°C 이었고, 외부 대기의 온도인 25°C 를 감안해도 그 차이는 1.8%에 불과하였다. 따라서 전지 case 외부 비닐이 온도구배에 미치는 영향은 미미하다는 결론을 얻을 수 있다. 전지의 옆면과 밑면에 비닐이 있는 경우를 향후 실험의 기본구조로 정하였다. 외부에 비닐이 있는 경우에 최저 온도가 더 낮은 것은 전지 모서리 부분까지

Table 1. Physical and Thermal Properties

	$\rho \left[\frac{g}{cm^3} \right]$	$C_p \left[\frac{J}{g \cdot K} \right]$	$\lambda \left[\frac{W}{cm \cdot K} \right]$	References
Ni(OH) ₂	4.3	0.419	3.003×10^{-2}	15,16,17,18,19
Metal hydride	6.0	0.423	2.000×10^{-2}	19,20
Separator	0.9	1.925	1.384×10^{-3}	15,18,19,20,21
Electrode tab	8.91	0.4605	7.831×10^{-1}	19,20
Case vinyl (inside)	0.93	2.301	3.287×10^{-3}	19,20
Case vinyl (outside)	1.35	1.674	2.077×10^{-3}	19
Case	8.027	0.502	1.630×10^{-1}	19,20
KOH (30wt%)	1.2932	3.268	5.665×10^{-3}	15,19,20
H ₂ (1atm)	8.987×10^{-5}	14.304	1.722×10^{-3}	14,19,20,22

Table 2. Averaged Thermal Conductivity Values

	ε	$\lambda \left[\frac{W}{cm \cdot K} \right]$
Nickel electrode	0.4	2.028×10^{-2}
Metal hydride electrode	0.2	1.634×10^{-2}
Separator	0.92	5.323×10^{-3}

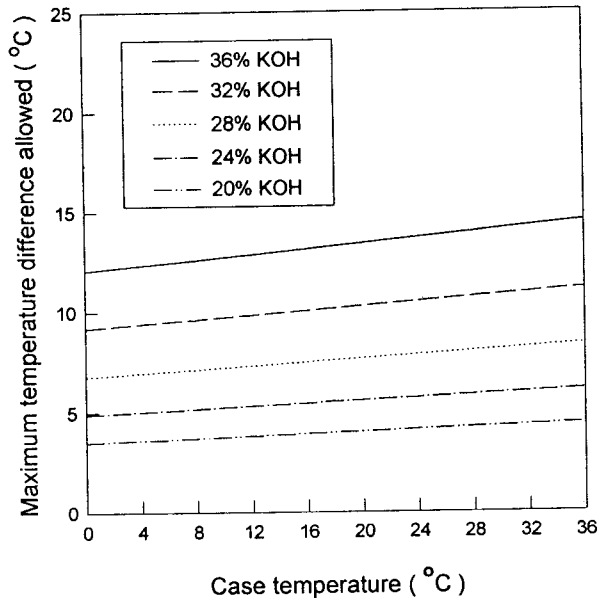


Fig. 3. The maximum temperature difference allowed in the nickel/metal hydride battery.

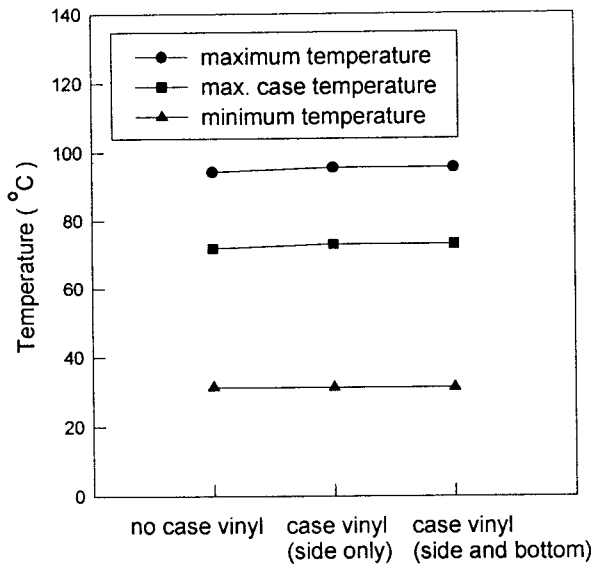


Fig. 4. Effect of case vinyl(outside) on battery temperature.

의 열전달이 더 어려워진 때문으로 사료된다.

기본구조에 대한 실험의 조건은 열발생량이 $0.1 \left[\frac{W}{cm^3} \right]$ 이고, 대류 열전달계수는 $1 \times 10^{-2} \left[\frac{W}{cm^2 \cdot K} \right]$ 이며, 외부대기의 온도는 25°C를 사용하였고, 이에 대한 결과를 온도 등고선을 사용하여 Fig. 5에 나타내었다. 전면에 보이는 쪽이 전지의 대칭면이므로 이 면에 대하여 좌측과 우측의 온도는 대칭이 된다. 이 그림으로부터 전지 상층부에서는 전극 탭을 통하여 다량의 열이 외부로 방출되고, 중심부의 온도가 가장 높다는 것을 확인할 수 있다.

전지의 온도거동에 영향을 미치는 요소 중에 자체 열발생량

(q)과 대류 열전달계수(h)에 대하여 실험을 행하였다. 전지 case의 외곽 요소에 경계면을 고려한 대류 열전달계수를 삽입하고 1개 전지만을 사용하여 계산한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 대류 열전달계수가 일정할 때 내부 최고 온도는 열발생량에 대하여 직선적으로 비례 증가하는 경향을 보이므로 Fig. 6의 결과는 식(7)을 이용하여 표현할 수 있다.

$$T_{max} = a + bq \tag{7}$$

여기에서 T_{max} 는 전지 내부의 최고 온도이고, a 는 Fig. 6에 나타난 직선의 절편이며, 그리고 b 는 기울기를 나타낸다. 각 직선을 열발생량이 없는 지점, 즉 x 축상의 값이 0인 지점까지 연장하면 온도가 25°C인 지점에서 교차하는 것을 알 수 있다. 이 결과를 일반화하기 위하여 각 직선에 대한 기울기를 linear regression 방법을 사용하여 구하고 그 결과를 Fig. 7의 하부에 나타내었다. 기울기(b)는 대류 열전달계수에 대하여 2차 함수적인 거동을 보이므로 이에 대한 계수를 구하여 식(8)의 형태로 나타내었다.

$$b = 2.615 \times 10^5 h^2 - 1.148 \times 10^4 h + 2.216 \times 10^2 \tag{8}$$

각 직선에 대한 절편(a)의 값은 25로 모두 동일하므로 식(7)과 (8)을 결합하여 다음 식(9)를 얻을 수 있다.

$$T_{max} = 25 + (2.615 \times 10^5 h^2 - 1.148 \times 10^4 h + 2.216 \times 10^2) \times q \tag{9}$$

전지 내부의 최고온도를 식(9)를 사용하여 계산할 경우 외부 대기의 온도인 25°C를 감안하여도 그 오차는 3.3% 미만이었다. 이와 같은 수식화 방식을 사용할 경우 광범위한 범위의 자체 열발생량(q)과 대류 열전달계수(h)에 대한 전지 내부 최고 온도를 즉시 산정할 수 있다. 즉 특정 시스템에 대한 공식이 확립되면 기본 설계시에 유한요소법에 의한 계산 없이도 내부 최고온도를 산정하여 그 거동을 관찰할 수 있다는 장점이 있다.

전지를 옆으로 계속 연이어 배치한 경우, 즉 module화 한 경우에 대한 최고온도의 결과는 Fig. 8에 나타내었으며 각 직선에 대한 기울기를 구하여 Fig. 7의 상부에 나타내었다. 1개 전지만을 사용하였을 경우의 최고온도를 수식화한 방법과 동일한 방식을 사용하여 module화 한 전지에 대하여 구한 일반식(10)은 다음과 같다.

$$T_{max} = 25 + (5.815 \times 10^5 h^2 - 2.534 \times 10^4 h + 5.920 \times 10^2) \times q \tag{10}$$

급속 충전과 방전시 전지 내부 온도의 급격한 상승을 방지하기 위하여 cooling fin에 대한 실험을 행하였다. 전지 내부에 들어가는 fin은 내부식성이 강하고 전지 내부에 존재하는 물질인 nickel을 사용하였고, 외부 fin도 비교를 위하여 동일한 물질을 사용하였다. 내부에 fin을 넣을 경우에는 전지 중심부에 극판의 면과 평행으로 삽입하였으며, 외부의 경우는 동일한 방향으로 case 외부 비닐과 접촉하게 배치하였다. 전지 module을 대상으로 하였고 실험 조건은 기본조건인 대류 열전달계수 $1 \times 10^{-2} \left[\frac{W}{cm^2 \cdot K} \right]$, 열발생량 $0.1 \left[\frac{W}{cm^3} \right]$, 그리고 외부 대기의 온

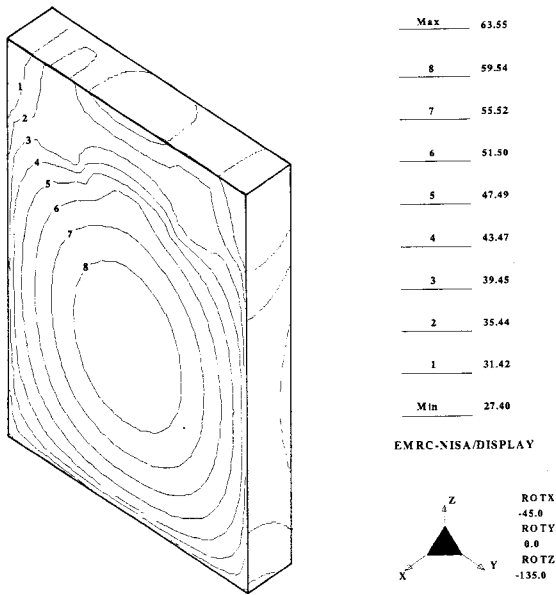


Fig. 5. Temperature contour plot of the battery.

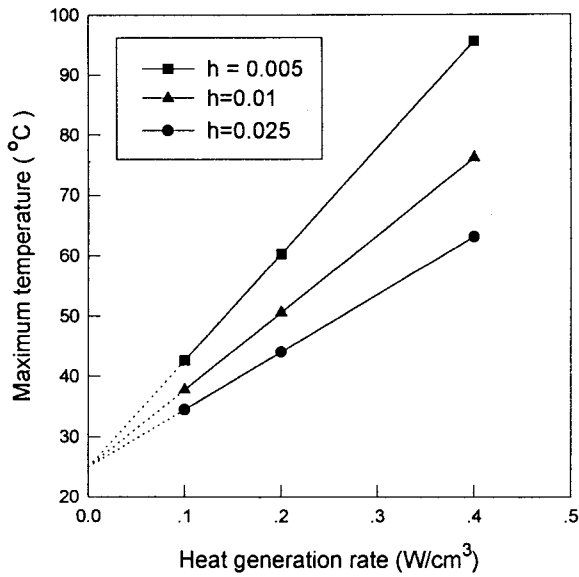


Fig. 6. Comparison of maximum battery temperature with different convective heat transfer coefficient (one battery).

도 25°C를 사용하였다. Cooling fin의 두께와 위치를 변화시켰을 때 전지 내부 최고온도의 변화를 Fig. 9에 나타내었다. Fin이 없을 경우의 최고온도는 63.6°C이었다. 0.04 cm 두께의 얇은 fin을 사용하였을 경우에도 6~12°C의 온도 강하 효과를 얻을 수 있었다. Fig. 9에서 볼 수 있는 바와 같이 0.04~0.16 cm 두께의 fin을 사용했을 때 내부 fin의 경우가 외부 fin의 경우보다 2°C 정도 온도 강하 효과가 더 있었다. 내부 fin의 경우 동등한 질량으로 더 많은 온도 강하 효과를 얻을 수 있으므로 전체 시스템 조립시 에너지 밀도를 증가시킬 수 있으며, 압력

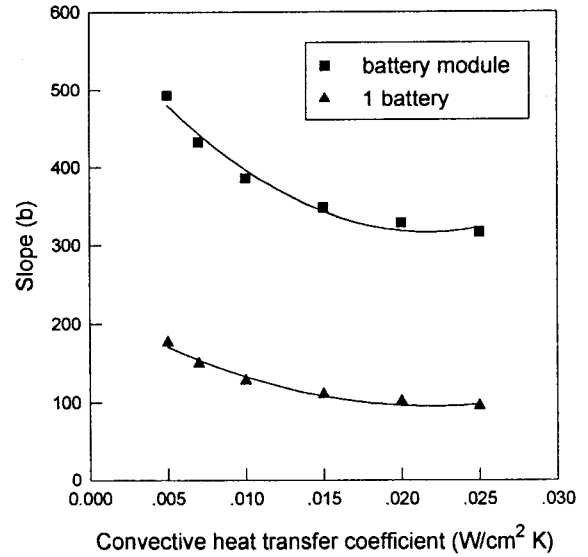


Fig. 7. Coefficient b in Eq. (7) versus convective heat transfer coefficient.

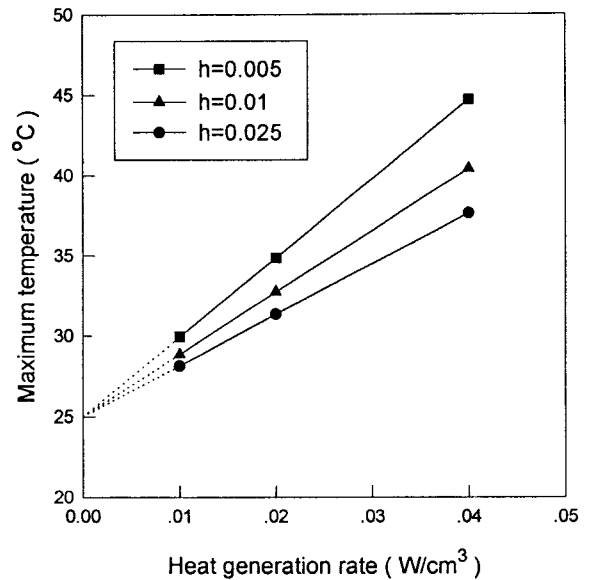


Fig. 8. Comparison of maximum battery temperature with different convective heat transfer coefficient (battery module).

에 의한 전지 case의 변형시에도 열발산 성능을 일정하게 유지할 수 있다는 장점이 있다. 외부 fin의 경우에는 위의 사항이 단점으로 작용하지만, 전지 조립후 module 조립시 fin을 삽입하면 되므로 공정이 간단하고, fin의 구성물질이 전지 화학 반응에 영향을 받지 않으므로 내부식성은 떨어져도 열전도도가 높은 물질인 aluminum이나 copper등을 사용할 수 있다는 장점이 있다. 특히 aluminum은 열전도도가 높아 전지내부 발생 열의 발산에 유리할 뿐만 아니라, 무게가 가벼워 전체 시스템의 에너지밀도 개선에도 기여할 수 있으므로 향후 외부 cooling fin에 사용되는 물질로서 집중적으로 연구되어야 할 대상이다.

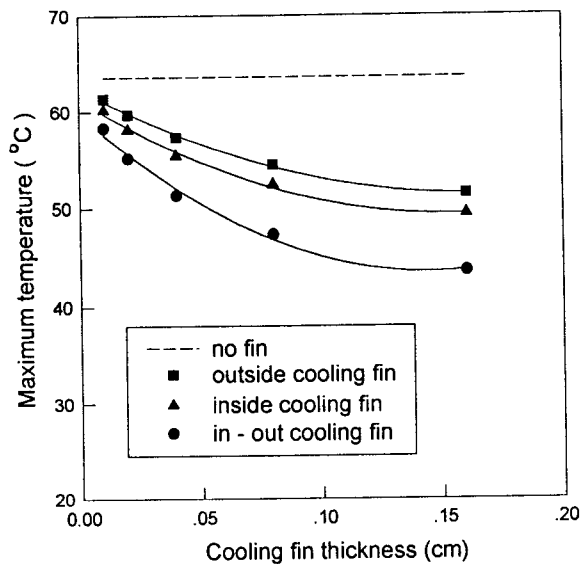


Fig. 9. Maximum temperatures for different heat fin location and thickness.

내부와 외부 fin을 동시에 사용하였을 경우가 내부 fin만 사용했을 경우보다 50% 정도의 온도강하 효과를 더 얻을 수 있었다. 내부와 외부에 0.16 cm 두께의 fin을 동시에 사용하였을 경우에는 20°C에 다다른 온도를 강하시킬 수 있었으며, 이러한 결과는 전지의 성능에 큰 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

1) 정상운전의 경우에도 전지 내부 전해질의 이동이 발생하므로 이에 따른 성능저하 및 수명단축이 예상된다. Case 내부 비닐을 제거하고 전지 내벽을 절연물질로 coating하는 방법을 사용함으로써 전해질 이동에 의한 성능저하 및 수명단축의 영향을 완화시킬 수 있다.

2) 전지 제작시 case 외부에 열전도도가 낮고 얇은 절연물질을 부착하여도 내부 최고온도의 상승은 2% 이하로 매우 미미하였다.

3) 전지 내부 최고온도에 영향을 미치는 열발생량과 대류 열전달계수에 대한 실험을 하였으며, 그 결과를 일반화하여 식 (9)와 (10)으로 나타내었다. 이 식을 사용할 경우 광범위한 범위의 열발생 조건과 대류 열전달계수에 대한 전지 내부 최고온도를 즉시 산정하여 설계에 반영할 수 있다.

4) 금속 재질의 cooling fin이 최고온도에 미치는 영향에 대하여 실험하였으며, 내부 fin의 경우가 외부 fin의 경우보다 온도 강하 효과가 우수하다는 결과를 얻었다. 니켈 재질로 된 0.16 cm 두께의 fin을 내부와 외부에 동시에 사용하였을 경우에는 20°C에 다다른 온도 강하 효과를 산출할 수 있었다. Fin 물질을 열전도도가 높은 aluminum이나 copper와 같은 금속으로 대체할 경우 더욱 향상된 효과를 기대할 수 있고, module 제작시 전지 사이마다의 fin 두께를 조절하여 module 내 전지간 온도 편차를 극소화시킬 수 있을 것으로 사료된다.

감 사

본 연구는 통상산업부에서 시행한 G7 차세대자동차 기술개발 사업비지원에 의해 수행된 결과이며, 자동차부품연구원과 현대자동차 중앙연구소에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. M. C. H. McKubre and D. D. MacDonald, *J. of Energy*, 5, 368(1981).
2. E. C. Gay, J. D. Arntzen, D. R. Fredrickson, and N. P. Yao, Abstract 39, P 55, The Electrochemical Society Extended Abstracts, 84-2, New Orleans, LA (1984).
3. P. Bro and H. Y. Kang, *J. of the Electrochem. Soc.*, 118, 1430(1971).
4. G. Akerlof and P. Bender, *J. of the American Chem. Soc.*, 63, 1085(1941).
5. E. Washborn, "International Critical Tables of Numerical Data, Physics, Chemistry and Technology", McGraw-Hill, New York (1928).
6. V. P. Mashovets, B. S. Krungal's, I. A. Dibrov and R. P. Matveeva, *J. of Appl. Chem. of the USSR*, 38, 2294(1965).
7. V. M. Anisimov, *Russian J. of Phy. Chem.*, 47, 601 (1973).
8. R. J. Konings and E. H. Cordfunke, *J. of Chem. Therm.*, 20, 103(1988).
9. R. L. LeRoy, and C. T. Bowen, *J. of the Electrochem. Soc.*, 127, 1954(1980).
10. J. Balej, *International J. of Hydrogen Energy*, 10, 233 (1985).
11. Junbom Kim, T. V. Nguyen, and R. E. White, *J. of the Electrochem. Soc.*, 141, 333(1994).
12. O. D. Gonzalez-Sanabria, *IECEC*, 6, 68(1991).
13. J. R. Welty, R. E. Wilson and C. E. Wicks, "Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer", John Wiley and Sons, Inc., New York (1976).
14. R. C. Reid, J. M. Prausnitz and B. E. Poling, "The Properties of Gases and Liquids", 4th ed., McGraw-Hill, New York(1987).
15. S. U. Falk and A. J. Salkind, "Alkaline Storage Batteries", John Wiley and Sons, Inc., New York (1969).
16. J. Fellner, Personal communication, Wrightpeterson Airforce Base, Dayton, Ohio.
17. J. P. Zagrodnik, Personal communication, Johnson Controls Advanced Battery Group, Inc., Butler, Wisconsin.
18. H. S. Lim, Personal communication, Hughes Aircraft Co., Los Angeles, California.
19. R. H. Perry and C. H. Chilton, "Chemical Engineers Handbook", 5th ed., McGraw-Hill, New York (1973).
20. J. A. Dean, "Lange's Handbook of Chemistry", 13th ed., McGraw-Hill, New York (1985).
21. R. C. Weast, "CRC Handbook of Chemistry and Physics", 1st student ed., CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida (1988).
22. C. A. Schaffer, *I & EC*, 50, 1585 (1958).
23. Junbom Kim, T. V. Nguyen and R. E. White, *J. of the Electrochem. Soc.*, 139, 2781 (1992).