

전기자동차용 축전지의 발열량 측정을 위한 열용량계 개발

양철남[†] · 박성용

고등기술연구원

(1999년 9월 7일 접수 : 1999년 10월 20일 채택)

Development of the Calorimeter to Measure Heat Rate Generated from Battery for EV & HEV

Cheol-Nam Yang[†] and Seong-Yong Park

Automotive Technology, Institute for Advanced Engineering

(Received September 7, 1999 : Accepted October 20, 1999)

초 록

EV & HEV의 성능은 다수의 축전지로 구성된 축전지팩의 성능에 좌우된다. 축전지의 열적 특성도 이러한 축전지팩의 성능을 좌우하는 많은 인자중의 하나이다. 특히 축전지의 열적 특성은 차량의 주행성능 및 축전지의 수명주기에 큰 영향을 주기 때문에, 축전지에서 발생되어 나오는 열량은 차량의 주행 모드를 모사한 다양한 조건하에서 가능한 정확히 측정되어야 한다. 또한 EV & HEV용 축전지팩의 열관리 시스템을 설계하기 위해서는 축전지팩내의 축전지에 대한 정확한 열특성 데이터를 필요로 하고 있다. 그러나 기존의 열량계로서는 EV용 축전지를 수용하여 열측정 시험을 하기엔 공동(Cavity) 크기가 너무 작다. 이에 EV용 축전지의 열적 특성을 시험하기 위한 열량계를 공동(Cavity)의 크기 120 mm×75 mm×200 mm로 개발하였다. 열량계의 보정은 0~200 W의 Heat Rate를 발생시킬 수 있는 가상셀(Dummy Cell)을 주문제작하여 행하였다. 실제 입력 열량에 대한 측정열량의 오차범위는 2% 이내였고, 측정에 따른 전위 안정성도 2.5 mV 이내였다.

Abstract : The performance of the Electric Vehicle and Hybrid Electric Vehicle depends on that of the battery pack composed of series connected batteries. And thermal property is one of the main factors which decide the performance of the battery pack. So heat generation rate from the battery under the various driving mode must be measured as precise as possible because thermal characteristics of the battery affect the driving performance and battery pack's life cycle. Besides, to design and develop the battery thermal management system for the EV and HEV, the measurements of the thermal properties of the batteries are needed. However, the established calorimeter is not adequate to test an EV's battery because its cavity is too small to accommodate the EV's battery. Therefore we developed the calorimeter to test the thermal property of the EV's battery. Its cavity size is 120 mm long, 75 mm wide and 200 mm high. The calorimeter is calibrated by the dummy cell which generates the heat rate from zero to 200 W. The measuring accuracy of the calorimeter is within 2% and its voltage stability is 2.5 mV in the constant temperature bath.

Key words : EV, HEV, Battery, Thermal management, Calorimeter

1. 서 론

전기자동차에서는 12 V 축전지를 대략 20~26개를 직렬로 연결하여 240 V~312 V의 시스템의 축전지팩을 구성한다. 전기자동차의 에너지원인 축전지는 열적 특성에 의해 성능변화가 크며 특히 축전지간의 열적 특성 차이로 인하여 수명이 크게 단축될 수 있다.¹⁾ 전기자동차에 사용되는 축전지의 경우 축전지의 온도가 축전지의 출력 및 전기자동차의 주행거리, 축전지 사용기간에 큰 영향을 미치기 때문에 축전지의 열적 특성을 고려하여 열관리를 하는 것은 매우 중요하다. 보통 전기자동차용으

로 사용되는 축전지는 충방전시 내부 저항으로 인하여 내부적으로 열량을 발생시킨다. 특히 내부저항이 크게 증가할 때, 충전말기나 방전말기에는 축전지 내부에서 발생한 Joule 열에 의한 급격한 축전지내의 온도상승으로 인하여 전해질이 감소할 수 있으며 이때 특히 축전지의 퇴화는 촉진된다. 특히 순수 전기자동차와 달리 hybrid 전기자동차에 사용되는 축전지는 에너지밀도는 상대적으로 순수 전기자동차에 비해 낮으나 고효율을 요구하므로 계속되는 급출발, 급가속, 회생제동 등 고부하가 축전지에 가해질 때 발생열량은 축전지내에 축적될 것이며 축전지팩내에서 온도 상승은 차량의 성능 및 수명에 악영향을 미칠 뿐만 아니라 최악의 경우 안전성에 치명적인 영향을 줄 지도 모른다. 따라서 이러한 축전지의 열적 특성에 의한 성능 감소현

[†]E-mail: y1394@iae.re.kr

상을 방지하고 축전지팩을 적절한 온도 범위내에서 제어하기 위한 축전지 시험이 요구되고 있다. 그러나 기존에 양산되어 판매되고 있는 열량계로는 전기자동차용 축전지를 수용할 수 있는 공동(cavity)을 가진 것이 없으므로 새로운 열량계 개발이 요구되었다. 열발생량은 단열 혹은 등온방법으로 구할 수 있다. 단열측정에서는 셀에 대한 단열이 확실시 되고 열전도도가 낮은로(furnace)에서 수행해야 하며 발생 열용량은 온도차이와 셀의 열용량에 의해 계산할 수 있다. 그러나 이 방법의 경우 셀을 불연속적으로 수행해야 한다는 것이다. 이는 측정시간이 매우 짧아야(수분 이내)하며 방전상태도 계단형(stepwise) 방법으로 수행하여야 한다. 한편 등온방법에서는 연속적인 시험이 가능하다. 등온방법은 일정온도에서 축전지 셀로부터 나오는 열속(heat flux)을 측정함으로써 가능하며 이 방법은 단열방법에 비해 상당히 정밀도가 높다.²⁾ 이 방법은 축전지와 같이 단일물질보다는 여러 복합적인 물질로 구성된 경우에 적합하며 장시간 충방전 사이클 시험을 수행하면서 연속적인 시험이 요구될 때 유용하다.

2. 시험 장치의 구성

시험장치는 Fig. 1과 같이 항온조내의 주문제작된 열량계 및 온도를 측정하기 위한 온도센서, 데이터 측정장치 및 데이터 처리를 위한 컴퓨터로 구성되어 있다. 축전지에서 발생한 열량은 측면과 바닥면으로만 열의 이동이 일어날 수 있도록 축전지 윗부분은 단열재를 사용하여 열이동이 없도록 설계하였으며, 축전지에서 발생된 열량이 heat sink로 이동될 때의 열속(heat flux)을 측정함으로써 축전지에서 발생하는 열량을 측정할 수 있도록 하였다. 특히 이 시험 장치는 축전지를 충방전 시험기를 이용하여 충방전하면서 장시간에 걸쳐 연속적으로 발생하는 열량을 측정할 수 있다.

2.1. Calorimeter의 사양

열량계의 공동의 크기(Cavity Size)는 가로 120 mm, 세로 75 mm, 높이 200 mm의 크기로 전기자동차용 축전지 셀을 수용할 수 있다. 항온조의 온도변화는 -30°C~80°C 범위내에서 조절가능하며 축전지의 시험환경에 맞게 조절하여 시험가능하다. 한편 열량계를 보정하기 위하여 축전지를 모사한 가상셀(Dummy Cell)을 축전지와 비슷한 크기(98 mm×39 mm×167 mm)로 제작하여 보정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 항온조내의 온도 안정성

항온조내의 온도는 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 설정 온도에서 ±0.1°C 이내에서 안정되게 유지되었고, 열량계에 열을 가하지 않은 상태에서 온도센서의 전위차는 약 2.5 mV 이내에서

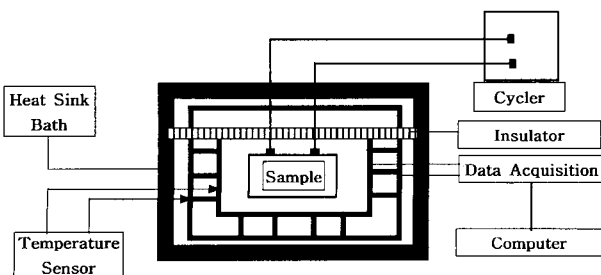


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental setup.

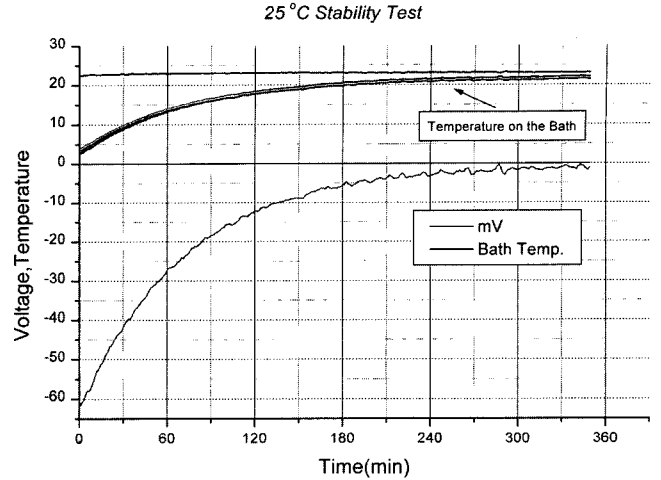


Fig. 2. Temperature stability test.

안정하였다. 항온조내에서 열량계 주위의 수직 및 수평배열된 온도센서에서 측정된 온도 범위는 Fig. 2와 같이 평균온도에서 ±1°C 이내 범위에서 유지되었다. 이는 열량계의 크기에 비해 외부로 유출되는 열손실이 거의 없음을 나타낸다.

3.2. 보정곡선

제작된 가상셀(dummy cell)을 이용하여 열량계내에 알고 있는 열을 전기적으로 가할 때 나타나는 온도변화를 측정함으로써 열량계를 보정할 수 있다. 아래 Fig. 3에서는 보정곡선을 이용하여 열량변화에 대한 온도차이를 나타낸 보정 곡선이다. 온도차이에 대해 열량의 변화는 직선 관계를 나타내고 있다. 따라서 아래와 같은 식으로 열량 vs 온도차이의 관계를 나타낼 수 있다.

$$Q = A + B(T - T_0) \quad (1)$$

여기서 Q는 열량, T는 chamber내의 공동의 온도, T₀는 항온조의 온도, A와 B는 각각 임의의 상수를 나타낸다. 즉 열입력에 따른 온도차이를 그래프로 나타냄으로써 간단히 식 1과 같이 표현할 수 있다.

3.2. 계단형 열입력에 대한 열량계의 반응

열량계에 단계적으로 열량을 가했을 때 반응성을 Fig. 4에 나

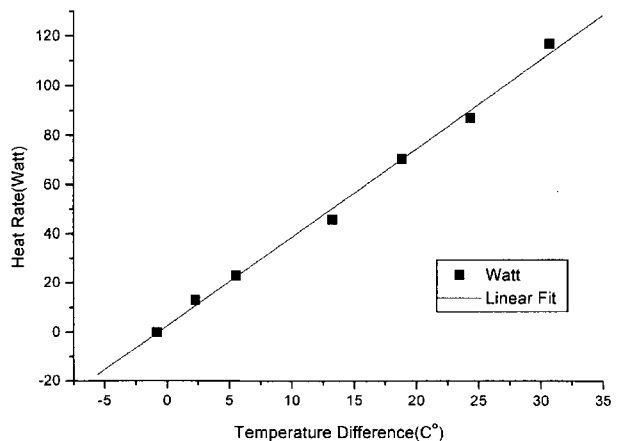


Fig. 3. Calibration curve for the temperature difference.

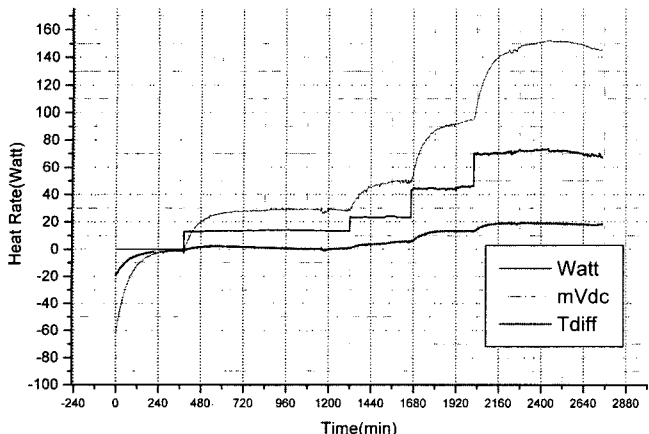


Fig. 4. The response of the calorimeter with stepwise change in heat input.

타내었다. 열량이 가해지지 않은 상태에서 반응안정성(baseline stability)은 ± 2.5 mV 이내에서 유지되었고, 일정 열량을 가했을 때의 반응성은 3분 이내로 매우 빠르게 나타났다. 그러나 정상상태로 안정되는데 요구시간은 상대적으로 매우 길게 나타났다. 그러나 이는 전도성을 향상시킴으로써 어느 정도 조절할 수 있을 것으로 사료된다.^{3,4)}

보정 곡선을 이용하여 열량과 온도차에 대한 관계식을 얻음으로써 전기자동차의 주행모드에 따른 축전지에 가해지는 충방전 부하에 대한 열량 곡선을 얻을 수 있다. 이때 열량곡선을 시간에 대해 적분하면 충방전시 축전지셀과 항온조 사이에 이동된 총열량을 구할 수 있다. 아래의 Table 1에서 일정열량을 입력한 것과 그에 대한 측정 열량을 비교함으로써 열량계의 오차범위를 측정할 수 있다. Fig. 5는 일정열량(10 W)을 가했을 때 측정된 열량을 나타내 주고 있다. 이 경우 긴시간(약 13시간)에 걸쳐 일정 열량을 가했을 때 측정치는 약 1.23% 이내에서 측정되고 있음을 나타낸다. 이는 전기자동차용 축전지를 밤새 충전하거나 긴

Table 1. Calorimeter test data for the dummy heater

Heat Input (J)	Heat Output (J, measured)	Error (%)
10 W (752 min), 462040.7	467717.538	+1.23
5 W (30 min), 9041	9215.1	+1.9

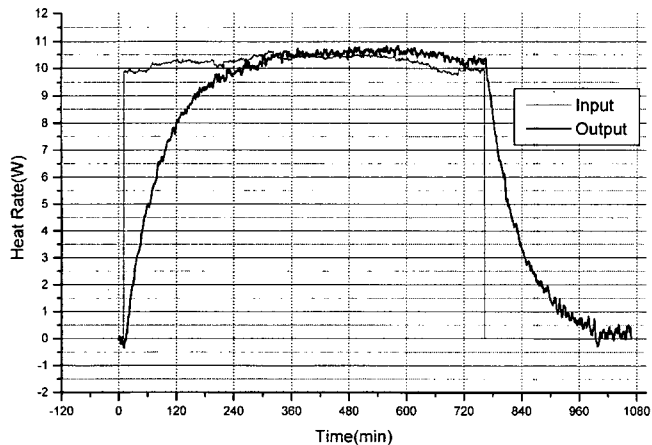


Fig. 5. Heat measurement test (10 W, 752 min).

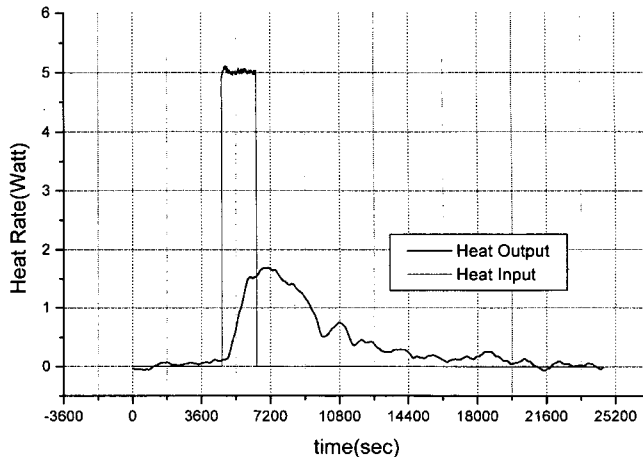


Fig. 6. Heat measurement test (5 W, 30 min).

시간에 걸쳐 정전류방전 시험을 할 경우에도 해도 상당히 정확하게 열량을 측정할 수 있음을 의미한다. Fig. 6은 10 W로 30분간 입력했을 때의 반응성을 나타내는 것으로 열량계의 초기 반응성은 매우 빠르게 나타나고 있으나 열량을 가하지 않은 초기 상태로 안정화되는데는 많은 시간이 소요되고 있다. 그러나 입력된 열량과 측정된 열량을 비교하였을 때의 측정오차는 약 +2% 이내로 비교적 오차율이 낮았다. 향후 항온조의 온도 정밀도를 향상시키고 온도센서의 정밀도를 높인다면 미소하게 변화하는 낮은 열량에서도 열량측정이 가능할 것으로 예측된다.

4. 결론 및 향후 계획

전기자동차용 축전지에 실주행시 발생하는 열량을 측정할 수 있는 열량계를 개발하였다. 열량계 보정시험을 통하여 열량(watt)과 온도차이에 대한 상관관계를 구할 수 있었다. 항온조내에서 열입력에 대한 반응안정성(baseline stability)도 매우 안정적이었고 열발생에 대한 응답 시간이 매우 빠른 장점을 가졌다. 반면에 열량계내의 온도안정화하는데 걸린 시간은 5~6시간 정도로 다소 길었다. 안정화하는데 요구시간은 공동(cavity)과 항온조의 열전도를 빠르게 조절함으로써 단축할 수 있을 것으로 사료된다. 열량 측정 시험에서 보정시험 결과에서 얻어진 열량과 온도차와의 관계식으로부터 계산된 총열량은 입력열량과 2% 오차범위내에서 측정할 수 있었다. 향후 이 보정시험 결과를 이용하여 실제 전기자동차용 축전지에 가해지는 부하를 충방전 시험기를 이용한 주행모드 모사시험에서 축전지에 사이클링하면서 그에 따른 발생 열량을 실시간적으로 측정할 수 있을 것이다. 이를 토대로 전체 축전지팩내의 발생열량이 어느 정도인지를 가능할 수 있을 것이며 그에 따른 냉각장치의 사양을 적절히 선정할 수 있을 것이다. 또한 축전지의 허용 온도 범위 및 주행 안정성을 고려한 회생제동한계 등 주행에 따른 축전지의 열관리를 위한 시험을 계획하고 있다.

참고문헌

1. A. F. Burke, SAE Technical Paper Series, 951951.
2. R. Knoedler, *J. Electrochem. Soc.*, **131**, 4 (1984).
3. O. A. Velev and R. C. Kainthla, *Cold Fusion*, **18**, 351 (1990).
4. A. A. Pesaran, D. J. Russell, J. W. Crawford, R. Rehn and E. A. Lewis, Proceedings of the 14th International Electric Vehicle Symposium (1997).