

전기자동차용 Ni/MH Battery의 자기방전을 평가를 위한 컴퓨터 시뮬레이션의 활용

정도양[†] · 김명규 · 박성용 · 김선욱*

고등기술연구원 동력시스템연구실

*이주대학교 분자과학기술학과

(2000년 3월 2일 접수 : 2000년 5월 28일 채택)

The Use of Computer Simulation in the Selfdischarge Evaluation of Ni/MH Battery for Electric Vehicle

Do Yang Jung[†], Myung Gyu Kim, Seong Yong Park, Sun Wook Kim*

Institute for Advanced Engineering, Powertrain Technology Lab., Yongin P.O. Box 25, Kyunggi-do, 449-020, Korea

**Ajou University, Department of Molecular Science and Technology, San 5,*

Wonchon-dong, Paldal-gu, Suwon, Kyunggi-do, 442-749, Korea

(Received March 2, 2000 : Accepted May 28, 2000)

초 록

전기자동차 운용시 빈번히 발생하는 차량의 주정차시간에 축전지는 자기방전을 일으켜 용량의 손실이 발생하게 된다. 따라서 전기자동차의 잔존용량을 정확히 측정하기 위해서는 자기방전에 의한 용량손실을 고려하여야 한다. 이 논문에서는 전기자동차 운용시 빈번히 발생할 것으로 예상되는 주정차시간에 대해 포괄적으로 적용할 수 있는 Ni/MH Battery의 자기방전율을 나타내는 일반식을 전산모사 방법 중 하나인 실험계획법을 이용하여 구하였으며 이를 시험데이터와 비교하였다. 실험계획법을 위한 온도영역으로는 전기자동차가 운용되는 -20~30°C의 온도구간을 선정하였으며, 축전지의 방치시간으로는 자기방전이 상대적으로 크게 일어나며 빈번히 발생할 것으로 예상되는 영역인 1일~15일 범위를 선택하였다. 이와 같은 방법으로 실험계획법에 의해 구해진 축전지 자기방전율에 대한 일반식의 타당성을 검증하기 위해 축전지에 대한 자기방전시험을 수행하여 비교하였으며, 그 결과 실험계획법으로 예측한 축전지의 자기방전율은 시험데이터와 우수한 일치를 나타내었다.

Abstract : When an EV is parked for a long period time, the battery capacity naturally decreases due to selfdischarge. Therefore, this effect must be considered for the accurate measurement of the state of charge of EV battery. Battery selfdischarge simulations using the design of experiments among computer simulation methods are compared with experimental data for Ni/MH batteries for electric vehicles. The motivation is to predict the selfdischarge rate of the battery for electric vehicle at all temperature conditions and standing time when electric vehicle could be operated. We developed a general equation representing the selfdischarge rate of the electric vehicle battery using design of experiments, and the equation is determined by temperature and standing time of the battery. We selected Ni/MH battery, 12 V-95 Ah, for pure electric vehicle for this study. To develop the equation using design of experiments we selected temperature range of -20°C~30°C and standing time of 1 day~15 days. We conducted several selfdischarge tests of Ni/MH battery to verify the integrity of the equation. The results showed that the computation values were in good agreement with experimental data.

Key words : Ni/MH battery, Electric vehicle, Selfdischarge rate, Computer simulation, Design of experiment

1. 서 론

점차 심각해지는 도시지역에서의 대기오염을 방지하기 위한 하나의 방법은 대기오염의 주요 원인인 내연기관자동차를 축전

지로 구동되는 무공해 전기자동차로 대체하는 것이다. 그러나 이것의 성공여부는 전기자동차에 사용되는 고성능 축전지를 개발하고 이를 최상의 상태로 유지하는데 달려있다.¹⁾ 전기자동차의 운용시 축전지를 최상의 상태로 유지하기 위해서는 운전자에게 축전지 상태 정보를 실시간으로 제공해줄 수 있는 잔존용량계(SOC Meter)와 축전지관리시스템이 개발되어야 한다.

[†]E-mail: dyjung@ness.co.kr

따라서 전기자동차 개발에 있어 축전지의 잔존용량을 측정하는 것은 매우 중요한 영역 중에 하나이다.²⁾ 이를 위해서는 전기자동차가 운행되는 각종 환경과 조건에서의 축전지의 활용가능용량(available capacity), 충방전사이클에 따른 용량의 퇴화(aging effect), 그리고 차량의 주정차시에 발생하는 축전지의 자기방전(selfdischarge)에 의한 용량의 손실에 대한 조사가 필수적이다. 이와 같은 이유로 본 논문에서는 축전지의 자기방전에 대한 연구를 실시하였다.

자기방전은 충전된 축전지가 개회로(open circuit) 상태에서 방치될 때 일어나는 용량손실 현상이다. 이와 같은 축전지의 자기방전은 Ni/MH battery의 경우 셀 내부의 불안정 때문에 일어나는 음극과 양극의 미미한 분해와 니켈전극과 셀 내에 존재하는 수소의 반응에 의해 기인한다.³⁾ 축전지의 자기방전율은 방치된 온도와 시간에 따라 크게 변화된다. 즉, 축전지의 자기방전에 따른 축전지 용량의 손실량은 시간의 경과에 따라 증가되며, 방치된 온도가 높을수록 증가하는 현상을 보인다.⁴⁾

일반적으로 Ni/MH battery의 경우 충전된 상태이든 방전된 상태든 관계없이 장기간 개회로 상태로 방치함에 의해 영구적인 용량의 손실은 일어나지 않는다. 이 전지에 있어 자기방전에 기인한 용량의 손실은 가역적이며 재충전에 의해 만충전 상태로 회복된다.

일반적으로 Ni/MH battery의 경우 축전지의 자기방전은 전기자동차용으로 많이 사용되는 납축전지(lead acid battery)에 비해 매우 크다. 납축전지의 자기방전율은 1개월에 2~3%를 넘지 않으나 Ni/MH battery의 자기방전율은 15% 이상을 나타낸다. 또한, Ni/MH battery의 자기방전율은 개회로 상태로 방치한 초기에 급격히 증가하며, 그 증가율은 점차 감소하는 양상을 나타낸다.

본 논문에서는 전기자동차가 운용되는 조건에서 일어날 수 있는 전기자동차용 Ni/MH battery의 자기방전율을 나타내는 일반식을 실험계획법(design of experiments)을 이용하여 구하였다. 이 연구에는 일본 Panasonic EV Energy사에서 구입한 12 V-95 Ah 용량의 전기자동차용 Ni/MH battery를 선정하여 수행하였다. 실험계획법을 위한 온도영역으로는 전기자동차가 운용되는 -20~30°C의 온도구간을 선정하였으며, 축전지의 방치시간으로는 자기방전이 상대적으로 크게 일어나고 전기자동차의 주차빈도가 가장 많은 영역인 1일~15일 영역을 선정하였다.

이와 같은 방법으로 실험계획법에 의해 구해진 축전지 자기방전율에 대한 일반식들의 타당성을 검증하기 위해 축전지에 대한 자기방전시험을 수행하여 비교하였으며 그 결과 실험계획법으로 예측한 축전지의 자기방전율은 시험데이터와 우수한 일치성을 나타내었다.

2. 실험계획법을 이용한 축전지 자기방전을 예측

2.1. 실험계획법의 방법선택

많은 실험계획법 중에 실험인자와 목적함수와의 관계를 회귀모형함수로 나타내는 방법인 반응 표면분석법은 여러 개의 설명변수 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$ 가 복합적인 작용을 함으로써 어떤 반응변수 η 에 영향을 주고 있을 때, 이러한 반응의 변화가 이루는 반응표면에 대한 통계적인 분석방법을 말한다. 여기서 설명변수는 반응에 영향을 주는 독립변수 또는 인자를 말하고, 반응변수는 설명변수의 영향을 받아서 어떤 반응을 나타내는 종속변수를 말한다. 반응표면분석에서 다루는 내용은 실험계획법을 이용하여 통계적 모형을 만들고 η 와 ξ_k 간의 방정식을 표현해 주고자 하는 것인데 실제로 통계적인 접근방법은 인자들에 대한 적절한 실험계획을 통하여 η 에 관한 측정치 y_1, y_2, y_3 등을 얻

고, 이들을 분석함으로써 독립변수에 대한 종속변수의 함수관계를 추정하게 되는데, 여기서 이용되는 실험계획법이 바로 중심합성계획법이다.⁵⁾ 반응표면 모형의 설정에서 모형에 대한 함수의 관계를 독립변수 $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_k$ 와 종속변수 η 간의 미지의 함수 f 로 나타내면

$$\eta = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k) \quad (1)$$

가 된다. 이와 같은 반응함수(Response Function)로서 간편하고 실용적인 반응표면 모델은 설계 변수에 종속적인 목적함수 값의 변화를 설명하기 위하여 k 개의 설계변수가 사용되며, 각 설계 변수의 주어진 범위에서 목적 함수와의 관계를 표현하는 중회귀모형(Multiple Regression Model)을 구해내는 것이다. 그리고 회귀모형함수는 1차, 2차, 3차의 회귀모형함수로 나타낼 수 있는데, 만약, x_i 들의 홍미영역에서 η 와 x_1, x_2, \dots, x_k 간에 어떠한 함수관계

$$\eta = g(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (2)$$

가 있고 함수 g 의 반응표면이 곡면으로 표현될 것이라고 믿어진다면 다음의 회귀모형을 사용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 즉 반응이 비선형적일때는 2차 회귀모형을 사용하는 것이 바람직하며, 그 표면은

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i \leq j}^k \beta_{ij} x_i x_j \quad (3)$$

으로 표현될 수 있다. 이 2차 회귀모형은 적은 횟수의 실험으로 변수의 변화에 따라 발생하는 반응량의 곡면적인 변화를 추정하기 위하여 중심점(Center Points)과 축점(Axial Points)을 2^k 요인실험에 추가시킨 실험계획인 중심합성계획법(Center Composite Design Method)을 이용한다.

2.2. 회귀 모형 함수의 추정

일반적으로 대부분의 현상을 설명하는데 어떤 종속변수의 변화는 두 개 이상의 독립변수에 의하여 영향을 받는다. 이처럼 설계변수에 종속적인 목적함수 값의 변화를 설명하기 위하여 k 개의 설계변수를 가지고 각 설계변수의 주어진 범위 내에서 목적함수와의 관계로 표현하는 것을 중회귀 모형이라 한다. 이 모형은 n 개의 데이터에 대하여 아래와 같이 표현된다.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1j} + \beta_2 x_{2j} + \beta_3 x_{3j} + \dots + \beta_k x_{kj} + \varepsilon_i \quad (4)$$

$$i' = 1, 2, \dots, n$$

위의 식을 행렬식으로 정의하면 다음과 같다.

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (5)$$

여기서 Y 는 실험 결과치, β 는 미지수, ε 는 에러항이다. 그러나 일반적인 문제에 접근할 때에는 설계변수 k 가 여러 개 존재하므로 식 (4)의 직선보다는 곡선관계로 적합시키는 것이 적절하다고 판단된다. 그러므로 $k \geq 2$ 차 곡선회귀모형으로 적합시키는 것이 바람직하다.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_{1j} + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_k x^k + \varepsilon \quad (6)$$

여기서 ε 는 $N(0, \sigma^2)$ 이고, 상호간 독립적으로 분포하고 있다

고 가정한다. 보통 차수는 $k=2$ 나 $k=3$ 을 많이 사용된다. 이와 같은 모형에서의 미지의 모수 β_i 들의 추정방법은 중회귀모형으로 다음과 같이 바꾸어 생각해 주면 대단히 간편하다.

$$\begin{bmatrix} x = x_1 \\ x = x_2 \\ \vdots \\ x^k = x_k \end{bmatrix} \quad (7)$$

즉 식 (7)에 의하여 식 (6)의 식은 다음과 같이 바뀌어진다.

$$\begin{aligned} y_i &= \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_k x^k + \varepsilon \\ &= \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon \\ i &= 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (8)$$

그러나 회귀모형이 다차항의 곡선으로 표현된다고 믿어지더라도 일반적으로는 2차의 회귀모형을 사용하며, 3차 이상은 실제적으로 거의 쓰이지 않는다. 따라서 식 (7)은 다음의 식 (9)와 같이 된다.

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i \leq j} \beta_{ij} x_i x_j \quad (9)$$

식 (9)에 의하여 나타낼 수 있는 X의 일반적 표현은 다음과 같다.

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & x_{31} & x_{11}^2 & x_{21}^2 & x_{31}^2 & x_{11}x_{21} & x_{11}x_{31} & x_{21}x_{31} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & x_{32} & x_{12}^2 & x_{22}^2 & x_{32}^2 & x_{12}x_{22} & x_{12}x_{32} & x_{22}x_{32} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & x_{3n} & x_{1n}^2 & x_{2n}^2 & x_{3n}^2 & x_{1n}x_{2n} & x_{1n}x_{3n} & x_{2n}x_{3n} \end{bmatrix} \quad (10)$$

여기서 $Y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ 는 출력값, 즉 측정치이다. 그러면 회귀모형의 계수 β 는 아래의 식 (11)과 같이 최소제곱법에 의하여 구할 수 있다.

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (11)$$

예를 들어 실험인자 수가 $k=2$ 일 경우에 대한 중심합성 계획법에 의한 실험표는 Table 1과 같다. Table 1에 의하여 X, y를 구할 수 있다.

2.3. 회귀모형 함수 신뢰성 및 정확성 검증

위에서 구한 회귀모형 함수가 설계변수와 목적함수와의 관계를 어느 정도 잘 표현하였는가를 확인하는 과정이 필요하다. 그 이유는 모형 함수가 의미가 있는 경우에 한하여 올바른 최적설계를 할 수 있기 때문이다. 또한 회귀모형 함수의 올바른 판단을 위하여 분산분석표(ANalysis Of VAriance Table)를 사용한다. 분산분석표를 작성하기 위해서는 하나의 측정값 y_i 와 y_i 들의 평균 \bar{y} 와의 차이를 총편차(Total deviation)라 하면 다음과

Table 1. Central composite designs

실험횟수	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	1
3	-1	1	-1
4	-1	1	1
5	1	-1	-1
6	1	-1	1
7	1	1	-1
8	1	1	1
9	0	0	0
10	$-\alpha$	0	0
11	α	0	0
12	0	$-\alpha$	0
13	0	α	0
14	0	0	$-\alpha$
15	0	0	α

같은 두 개의 편차의 합으로 나타낼 수 있다.

$$(y_i - \bar{y}) = (y_i - \hat{y}_i) + (\hat{y}_i - \bar{y}) \quad (12)$$

식 양변을 제곱하고 모든 $i=1, 2, \dots, n$ 에 대하여 합하면 다음과 같이 된다.

$$\sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 + \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + 2 \sum (y_i - \hat{y}_i)(\hat{y}_i - \bar{y}) \quad (13)$$

식 (9)의 오른쪽의 마지막 항은 잔차들의 회귀함수의 각 변수들에 의한 가중치의 합이므로 0의 값을 갖는다. 또한 좌변항을 총변동이라고 하며, SST(Total Sum of Squares)라 표기하며, 식 (14)의 관계가 성립한다.

$$SST = SSE + SSR \quad (14)$$

여기서 잔차의 제곱합은 SSE(Sum of Squares)이며, 주어진 설계변수 값에서 목적함수 값의 변동을 나타내는 것으로서 회귀모형 함수에 의하여 설명이 안되는 변동을 뜻하고 회귀 제곱합은 SSR(Regression Sum of Squares)이다. 이는 회귀모형 함수에 의해 설명되는 변동을 나타낸다. 여기서 각 제곱합의 계산은 다음과 같이 한다.

$$\begin{aligned} SST &= Y^T Y - n(\bar{Y})^2 \\ SSR &= \beta^T X^T Y - n(\bar{Y})^2 \\ SSE &= SST - SSR \end{aligned} \quad (15)$$

이를 종합하여 분산분석표를 작성하면 Table 2와 같다.

여기서 MSR(Regression Mean Squares)는 SSR을 k로 나눈 값으로 회귀평균제곱이고 MSE(Residual Mean Squares)는 SSE를 $n-k-1$ 로 나눈 값으로 잔차 평균 제곱이다.

ANOVA Table에서 검정 통계량인 F_0 가 $F_0 > F(\alpha)$ 이면 유의수준 α 에서 귀무가설이 기각되며, 이는 추정된 모형함수가 유

Table 2. ANOVA Table

Source	S	ϕ	V	F_0	$F(\alpha)$
Regression	SSR	k	MSR	MSR/MSE	F-distribution
Residual	SSE	$n-k-1$	MSE		
Sum	SST	$n-1$			

의 하다고 볼 수 있다. 또한 F_0 의 값이 크면 클수록 회귀 모형 함수가 정확하다고 할 수 있다.

2.4. 중심합성법에 의한 모형함수의 추정

축전지의 자기방전에 영향을 미치는 인자로는 방치된 온도와 경과시간이다. 따라서 모형함수를 추정하기 위한 실험인자로 축전지의 방치온도와 시간을 선택하였다. 실험인자와 실험범위에 대해서는 Table 3과 같다.

실험인자가 선정되면 실험표를 선택하여야 한다. 본 실험에서는 Table 3에서 보는 것과 같이 실험인자를 2개로 선정하였으므로 앞에서 예시한 Table 1과 같은 실험표를 이용하여 실험을 하였으며, 그 결과는 Table 4에서 보는 것과 같다.

그리고 X 행렬은 식 (10)와 같이 구하고, 식 (11)을 이용하여 미지의 모수 β 를 구할 수 있으며, 그 결과는 식 (16)과 같다.

$$\beta = [4.2222, 2.8833, 1.85, 0.8967, -1.1033, 1.075]^T \quad (16)$$

결과적으로 실험에 의하여 추정된 회귀 모형 함수는 식 (17)과 같다.

$$\begin{aligned} y &= f(x_1, x_2) \\ &= 4.222 + 2.883x_1 + 1.85x_2 + 0.897x_1^2 \\ &\quad - 1.103x_2^2 + 1.075x_1x_2 \end{aligned} \quad (17)$$

위에서 추정한 회귀모형 식 (17)의 신뢰성을 검증하기 위하여 Table 2의 ANOVA Table을 이용하였다. Table 5는 위의 회귀 모형 함수의 검증결과이다.

F-분포표에서 $F(0.05)$ 값보다 F_0 가 크기 때문에 식 (17)의 회귀 모형함수는 5% 미만의 오차를 가진다고 볼 수 있다.

위와 같이 실험계획법을 이용하여 전기자동차의 주차차지 빈도가 높은 환경에서 포괄적으로 적용할 수 있는 자기방전율을 나타내는 일반식을 구하였다. 축전지의 방치온도와 경과시간에 따른 자기방전율의 변화를 반응표면법으로 Fig. 1에 나타내었다.

Table 3. Experimental factors and experimental ranges

Experimental factors	Initial test data	Experimental ranges
Standing Temperature(°C)	5°C	±25°C
Standing Time(Day)	8days	±7days

Table 4. Central composite design and the experimental results of battery

No. of Exp.	x_1	x_2	Measurements
1	5	15	5.00
2	-20	8	1.90
3	5	1	1.00
4	30	1	4.00
5	-20	15	2.00
6	30	8	8.10
7	30	15	9.70
8	5	8	4.46
9	-20	1	0.60

Table 5. ANOVA table for regression model

Factor	S	ϕ	V	F_0	$F(0.05)$
SSR	79.082	2	39.541	707.055	4.46
SSE	0.336	6	0.0559		
SST	79.417	8			

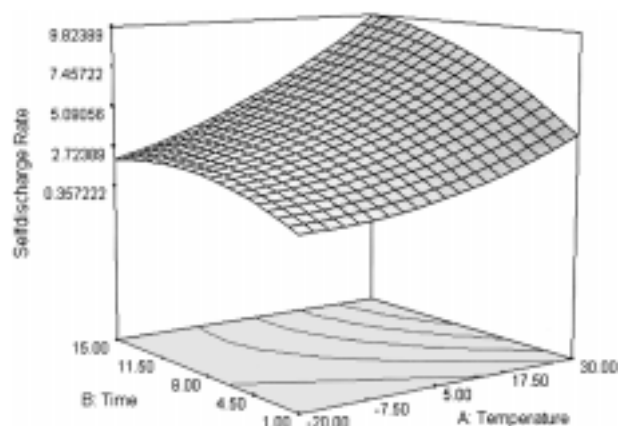


Fig. 1. Simulated selfdischarge rate surface of Ni/MH battery using design of experiments.

3. 실험

3.1. 축전지의 제원 및 사양

이 연구에 사용한 Panasonic사에서 전기자동차용으로 개발한 Ni/MH Battery의 주요 제원 및 사양은 다음과 같다.

- Type : Sealed Ni/MH Battery
- Nominal Voltage : 12 V
- Rated Capacity(1/C₃) : 95 Ah
- Dimension(L × W × H) : 388 × 116 × 175 mm
- Weight : 18.7 kg
- Specific Energy : 65 Wh/kg
- Specific Power(at 80%DOD) : 200 W/kg
- Cycle Life : 1,000 cycle

3.2. 자기방전을 시험

3.2.1. 시험방법

자기방전시험을 위해서는 두 단계의 충방전시험이 요구되며 첫 번째 단계의 시험은 축전지의 기준용량을 측정하기 위한 시험이고 두 번째는 축전지가 개회로 상태에서 자기방전 된 후 손실된 용량을 측정하기 위한 시험으로 이루어진다.

25°C로 유지된 항온조에 Ni/MH battery module을 위치시키고 충방전시험기를 이용하여 축전지를 만충전시킨 후 3시간을 전류로 방전종지전압(end voltage of discharge)까지 방전을 실시하여 방전용량을 측정한다. 이와 같은 충방전시험을 3회 실시하여 축전지의 기준용량(C_r, reference capacity)을 구한다.

축전지의 기준용량을 구한 후 동일한 축전지를 다시 만충전한 후 목표한 온도로 설정된 항온조에 축전지를 개회로 상태로 목표한 시간동안 방치한다. 목표한 방치시간이 경과하면 이 축전지 모듈을 다시 25°C로 유지된 항온조로 옮긴 후 3시간을 전류로 방전종지전압까지 방전을 실시하여 방전용량(C_d)을 측정한다. 이와 같은 방법으로 측정된 데이터를 이용하여 자기방전율은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{Selfdischarge Rate(\%)} = \{(C_r - C_d)/C_r\} \times 100 \quad (18)$$

3.2.2. 시험장치

자기방전시험을 위해 사용한 충방전시험기는 미국 Bitrode사의 LCN5-12-50을 사용하였으며 이 장비의 전류 및 전압 오차는 각각 ±0.1%이다. 이 충방전시험기는 전기자동차용 축전지의 개발 혹은 전기자동차를 개발하는 회사에서 널리 사용되

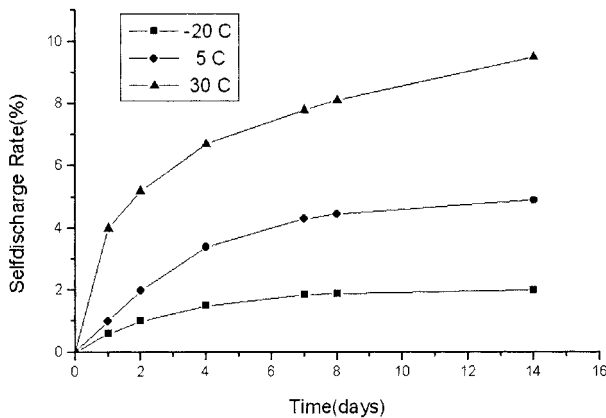


Fig. 2. Selfdischarge characteristics of Ni/MH battery.

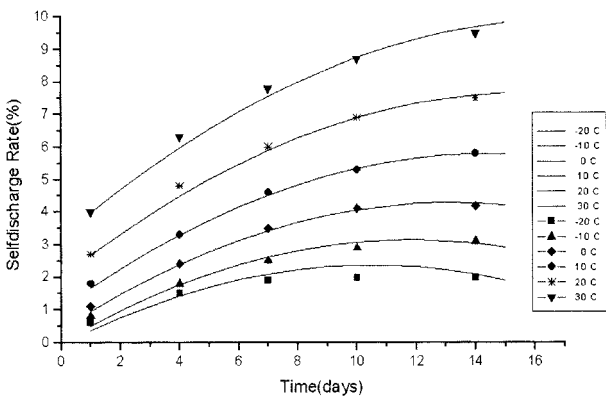


Fig. 3. Simulated curves and experimental selfdischarge rate data for Ni/MH battery.

는 우수한 신뢰성을 가진 장비이다. 축전지의 온도 조절을 위해 사용한 항온조의 작동온도범위는 $-30^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 이며, 오차범위는 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 이다.

3.2.3. 자기방전 시험

시험계획법에 의한 전산모사에 입력되는 시험데이터를 얻기 위해 몇몇 조건에서 자기방전율을 조사하기 위한 시험을 실시하였으며 그 결과의 일부를 Fig. 2에 그래프로 나타내었다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 방치시간에 따른 Ni/MH battery의 자기방전율 증가형태는 방치초기에는 급격히 증가되나 시간이 경과될수록 거의 직선 형태로 증가하는 양상을 띠고 있다.

4. 결과 및 고찰

실험계획법중 중심합성법에 의해 구한 전기자동차용 Ni/MH battery의 자기방전율을 나타내는 일반식에 대한 신뢰성을 검증

하였다. 이를 위해 전기자동차가 운용될 수 있는 각종 환경에서 축전지의 자기방전 시험을 수행하였다. 검증에 위해 사용한 대표적인 온도로는 $-20, -10, 0, 10, 20, 30^{\circ}\text{C}$ 를 선정하였으며 축전지의 방치시간으로는 1, 4, 7, 10, 14일을 선정하였다. 온도와 축전지 방치시간이 결합된 각각의 시험조건에서 축전지 자기방전 시험을 수행하여 그 결과를 전산모사에 의해 얻은 일반식으로 계산된 자기방전율과 비교하여 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 전산모사방법 중 실험계획법으로 예측한 축전지의 자기방전율은 시험데이터와 우수한 일치를 나타내었다.

5. 결 론

전기자동차에 있어 축전지 팩의 잔존용량을 정확히 평가하는 것은 무엇보다 중요하다. 전기자동차의 잔존용량을 정확히 측정하기 위해서는 차량의 주차차시에 발생하는 자기방전에 의한 용량손실이 고려되어야 한다. 그런데 축전지의 자기방전율은 축전지를 사용하는 온도와 방치시간에 큰 변화를 나타낸다. 따라서 전기자동차에 적용된 축전지의 자기방전율을 정확히 평가하기 위해서는 매우 많은 시험이 요구되며 이는 많은 비용과 시간의 소모를 초래한다. 이를 개선하기 위한 하나의 방안으로 전기자동차가 운용될 수 있는 모든 환경에서 적용될 수 있는 축전지의 자기방전율을 포괄적으로 나타내는 일반식을 구하였으며 전산모사 방법 중에 실험계획법을 사용하였다. 전산모사를 통해 얻은 자기방전율에 관한 일반식을 검증하기 위해 축전지에 대한 자기방전시험을 수행하였다. 그 결과 실험계획법으로 예측한 축전지의 자기방전율은 차량이 운용될 수 있는 모든 환경에서 훌륭한 일치를 나타내었다. 따라서 실험계획법을 사용할 경우 각종 환경에서 전기자동차용 축전지의 자기방전율을 평가하는데 있어 적은 횟수의 시험만을 시행함에 의해 많은 시간과 비용을 줄일 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 차세대자동차개발 프로그램에 지원을 받았으므로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. W. B. Gu, C. Y. Wang and B. Y. Liaw, *J. Power Sources*, **75**, 151 (1998).
2. Jinchun Peng, Yaobin Chen, Russ Eberhart, and Heng Hock Lee, "Adaptive Battery State of Charge Estimation Using Neural Networks" USA, EVS-17, (2000).
3. Gowri S. Nagarajan and J.W. Van Zee, *J. Power Sources*, **70**, 173 (1998).
4. David Linden, "Handbook of Batteries", 33.16, McGRAW-HILL, Inc., USA (1993).
5. 박성현, 현대실험계획법, 600, 민영사 (1992)