

하이브리드 자동차용 2차전지의 지능형 용량 예측에 관한 연구

A Study on intelligent capacity's prediction of hybrid automobile

임근욱¹, 조장군¹, 조용철¹, 조현찬¹, 김광선²

¹ 충남 천안시 병천면 한국기술교육대학교 정보기술공학부

E-mail: geunwook@kut.ac.kr

² 충남 천안시 병천면 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

E-mail: kskim@kut.ac.kr

요 약

본 논문은 하이브리드용 자동차의 리튬 이온 전지의 사이클 라이프에 따른 용량의 감소를 예측하고 잔량을 예측하기 위한 지능형 스마트 모듈의 설계를 제안한다. 리튬 이온 전지는 충·방전 횟수에 따라 전하를 담을 수 있는 용량이 감소하고, 방전 전압이 비선형이므로 정확한 잔량 예측이 어렵다. 따라서, 지능형 스마트 모듈은 전압과 전류, 온도의 측정을 위한 데이터 수집 장치를 제작하고 퍼지 로직을 이용한 잔량 추정 알고리즘을 통해 정확도가 높은 리튬 이온 전지의 잔량을 예측하고, 충·방전 실험 값과 퍼지 로직을 이용한 결과 값의 비교를 통해 그 효용성을 보인다.

Key Words : Li-ion battery, fuzzy logic, cycle life

1. 서 론

리튬 이온 전지의 성능은, 사이클 라이프, 충방전 특성 곡선, 온도 특성, 자가방전 특성(전하 보존율) 및 용량 회복을 등이 있다. 리튬 이온 전지의 다양한 특성 중, 충·방전 횟수에 따른 사이클 라이프는 전지의 전하 저장 용량(FCC)을 감소시키고 또한, 전지의 방전 특성이 비선형적인 특성을 가지고 있다. 기존의 리튬 이온 전지의 잔량을 측정하기 위하여 전압을 주파수로 변환하여 주파수에 따라 전압을 모니터링 한다. 또다른 방법으로는 사이클 라이프의 카운트하고 전류를 가감하여 수치 연산을 통해 리튬이온전지의 잔량을 예측하고 있다. 이러한 방법들은 비선형적인 방전특성과 자가방전 특성, 이론값과 다른 사이클라이프의 용량감소를 반영하지 못하기 때문에 정확한 잔량의 모니터링이 어렵다.[1]

본 논문에서는, 이러한 문제점 등을 해결하기 위하여 퍼지제어를 이용한 지능형 스마트 모듈을 제안하고 실험을 통해 그 효용성을 검증하고자 한다.

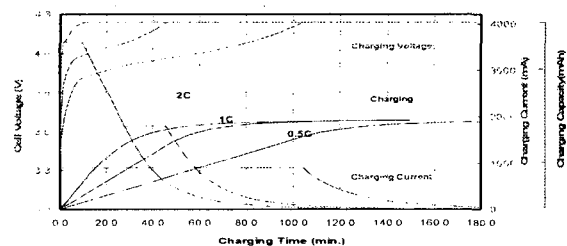
본 논문에서는 다음과 같은 절차로 실험을 하였다. 첫째로, 리튬 이온 전지의 전압과 전류 및 온도를 정확히 측정하기 위하여 데이터 수집 장치를 제작하여 충·방전 실험 데이터를 저

장하고, 둘째로 리튬 이온 전지의 비선형적인 방전 특성 곡선을 퍼지 로직을 이용하여 해결하며, 셋째로 퍼지 estimator를 이용하여 사이클 라이프와 온도 등에 의한 전지 용량의 감소를 계산하여 실험 값과 퍼지 로직에 의한 결과 값을 비교하여 본 시스템의 신뢰도 및 효용성을 검증하고자 한다.

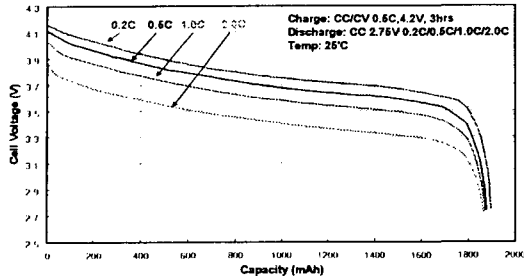
2. 리튬이온전지의 특성

리튬 이온 전지 ICR18650의 충·방전 특성, 온도 및 사이클 라이프 특성, 자가방전 특성(전하 보존율) 및 용량 회복을 등을 나타내었다.

충전은 정전류(Constant Current : CC)로 충전하다가 정전압(Constant Voltage : CV)으로 충전하며, 방전은 방전전압은 일정하게 안정되어 있지 않다. 그림 1은 리튬이온전지의 충·방전 특성을 나타낸다.[1][2]



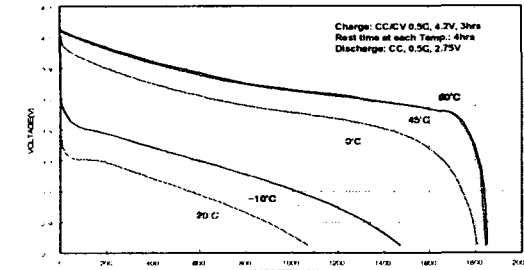
(a) 충전특성



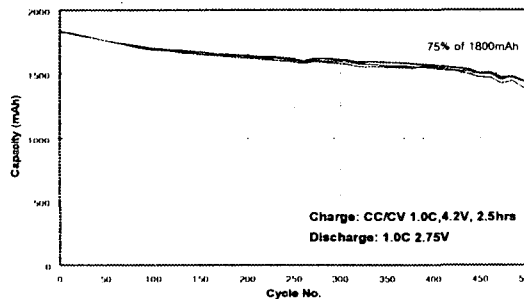
(b) 방전 특성

그림 1. 리튬 이온 전지의 충·방전 특성

전지는 근본적으로 온도가 올라갈 수록 용량은 증대되지만, 사이클 라이프[Cycle life]는 급격히 떨어진다. 2차 전지는 충·방전을 계속하면서 용량이 줄어든다. 사이클 라이프[Cycle Life]는 초기용량의 80[%] 용량으로 용량이 줄어들었을 때까지의 충 방전 회수로 정의한다. 그림 2는 리튬이온전지의 온도 특성 및 사이클 라이프를 나타낸다.



(a) 온도 특성[0.5C]



(b) 사이클 라이프

그림 2. 리튬이온전지의 온도 특성 및 사이클 라이프 특성

리튬이온전지의 화학반응에 의하여 용량이 줄어드는 현상을 자가방전(Self-discharge)이라고 하며, "Retention Capacity 또는 Charge Retention"와 "Recovered Capacity"가 평가 항목으로 장시간 방치 후 어느 정도의 용량이 없어지고 어느 정도의 용량이 남아있나를 표시하는 항목이다. 그림 3은 리튬 이온 전지를 충전 후 자가 방전 특성을 기록한 특성 곡선을 나타내며 다시 재충전하였을 때 초기용량 대비 사용가능 용량을 나타내는 Recovery의 특성 곡선이다.[2]

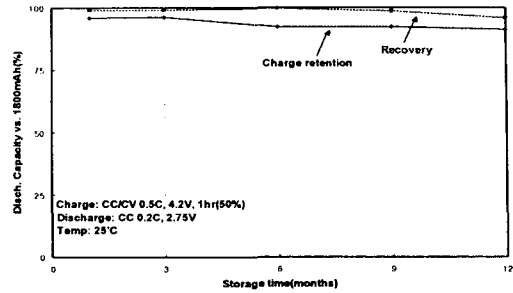


그림 3. 전하 보존율 및 용량 회복율

3. 지능형 스마트 모듈설계

3.1 데이터 수집 보드 및 실험장치

본 연구에서는 데이터 수집 장치(Data Acquisition Board)를 직접 제작하여 사용하였다. 리튬 이온 전지는 4.2×1/10,000[V]의 미세한 전압을 검출해야 하며, 급격한 전압의 변화가 없기 때문에 속도에는 여유가 있으므로 저속이면서 고 분해능을 가지는 AD변환기를 선정하였다. 그림 4는 데이터 수집 장치(Data Acquisition Board)를 나타낸다.

또한 FCC에 대한 정보를 얻기 위해 새 전지와 현 전지를 이용하여 정전류로 충전을 하면서, 전압값을 실시간으로 PC에 저장하고 이 PC에 저장된 값을 퍼지 estimator를 이용하여 리튬이온전지의 탱크 용량의 감소된 결과를 알아내었다. 그림 5는 리튬 이온 전지의 충·방전 실험 보드를 나타낸다.[8]

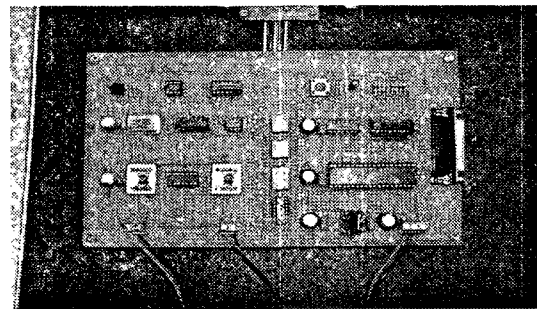


그림 4. 데이터 수집 보드 및 실험장치

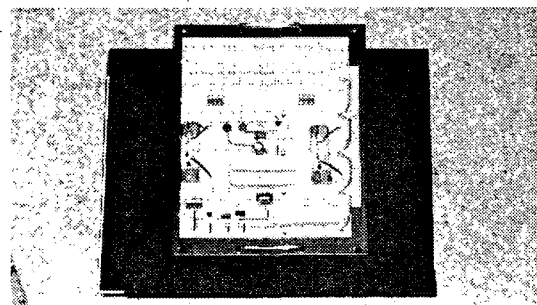


그림 5. 충·방전 실험 보드

3.2 퍼지 알고리즘

그림 6은 리튬 이온 전지의 잔량을 측정하기 위한 퍼지 알고리즘의 블록도이다.

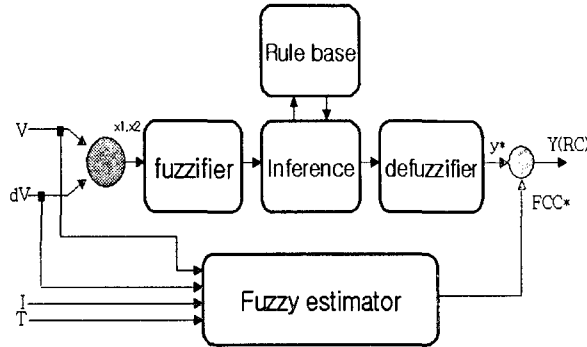


그림 6. 퍼지 알고리즘 블록도

절차 1. 퍼지화기(Fuzzifier)

퍼지 알고리즘을 적용하기 위하여 알맞은 언어적 변수로 크리슘 입력을 변환 하고 2개의 입력과 1개의 출력으로서, V, dV는 입력이고 RC는 출력이다.[3] 각 입력과 출력의 소속 함수는 그림 7과 그림 8, 그림 9로 나타낸다.

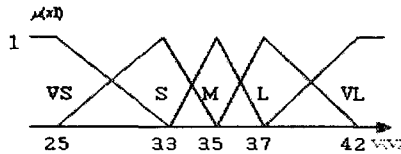


그림 7. V의 소속 함수

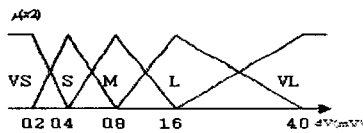


그림 8. dV의 소속 함수

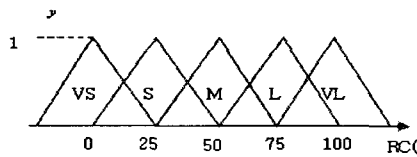


그림 9. RC의 소속 함수

그림 7, 그림 8, 그림 9의 언어적 변수는 표 1로 정의한다.

표 1. 퍼지 로직에 사용한 언어적 변수 정의

변수	VS	S	M	L	VL
정의	Very Small	Small	Medium	Large	Very Large

절차 2. 퍼지 룰 및 퍼지 추론

표 2는 출력 RC에 대한 퍼지 룰을 나타낸다. 퍼지 근사 추론(Fuzzy Approximate Reasoning)은 맘다니의 최소-최대 연산법(Mamdani's Max-min compositional rule)을 사용하여 퍼지 로직 알고리즘을 적용하였다.[4][5]

표 2. 퍼지 룰

RC	V					
	VS	S	M	L	VL	
dV	VS	S	M	L	VL	VL
	S	VS	S	M	L	VL
	M	VS	S	M	L	L
	L	VS	S	M	L	L
	VL	VS	S	S	M	L

절차 3. 비퍼지화(defuzzifier) 및 퍼지 Estimator

비퍼지화를 이용하여 잔량(Remain Capacity) 출력을 얻기 위하여, 다음과 같이 단순 무게 중심법(Simplified Center Of Gravity)을 사용하였다.[6]

$$y^{*COG} = \frac{\sum_{i=1}^5 \mu(y_i) \times y_i}{\sum_{i=1}^5 \mu(y_i)} \quad (1)$$

퍼지 estimator는 리튬이온전지의 노후정도를 판단하는 장치로서, PGU를 이용한 퍼지 estimator는 전류에 대한 전압의 변화율과 그 상태의 전압을 이용하여 리튬 이온 전지의 사이클라이프와 자가방전특성에 의해 변화된 충전 전하를 담을 수 있는 탱크의 용량을 산출하며, 그림 10과, 그림 11은 비례이득장치(Proportional Gain Unit)와 퍼지 estimator이다.[7]

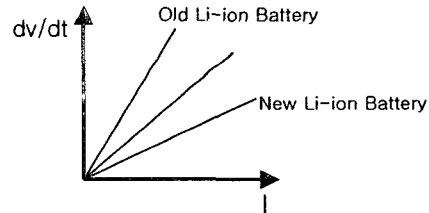


그림 10. 리튬 이온 전지의 전류와 시간에 대한 전압의 변화율

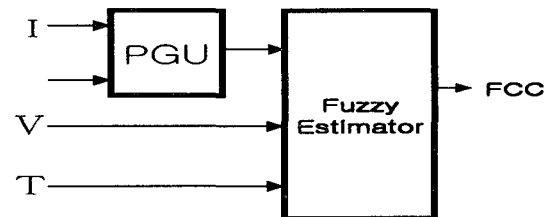


그림 11. 퍼지 Estimator

4. 시뮬레이션 및 결과 고찰

리튬 이온 전지의 잔량 측정에 대한 유효성을 입증하기 위해서 컴퓨터 상에서 충방전 실험의 데이터를 저장하고 퍼지 알고리즘과 퍼지 estimator를 가진 퍼지 알고리즘의 결과값을 비교한다. 그림 12는 실험값의 PC 모니터링을 나타낸다.

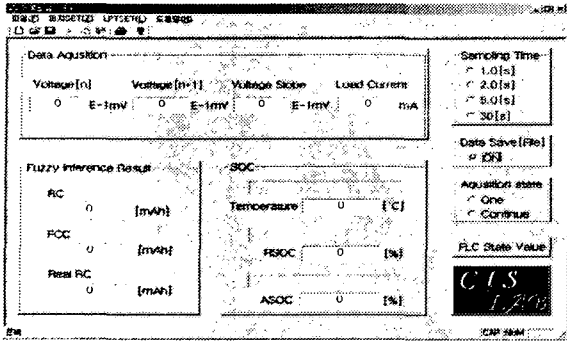


그림 12. PC 모니터링

4.1 퍼지 알고리즘에 의한 결과

다음은 퍼지estimator를 적용하지 않은 퍼지 알고리즘에 의한 실험 결과이다. 새 전지에 대한 결과에서는, 충방전 실험값을 기준으로 퍼지 알고리즘에 의한 결과값이 충방전 실험값의 2% 오차를 나타내었으며 현 전지에 대한 결과에서는, 충방전 실험값을 기준으로 퍼지 알고리즘을 적용후 결과는 현 전지의 3.1%의 오차를 나타내었다. 그러나, 새 전지와 현 전지의 탱크 용량을 비교하면 현 전지가 새 전지에 비교하여 4%의 탱크 용량이 감소 하였기 때문에, 탱크 용량을 고려하여 새 전지를 기준으로 현 전지의 용량을 비교하면 7.1%의 오차를 가지고 있다. 현 전지의 경우에, 7.1%의 오차는 탱크의 용량감소와 퍼지알고리즘의 오차에 의하여 발생한 것으로 현 전지의 노후정도가 클수록 그 오차는 증가함을 알 수 있다. 그림 13은 퍼지 알고리즘에 의한 결과이다.

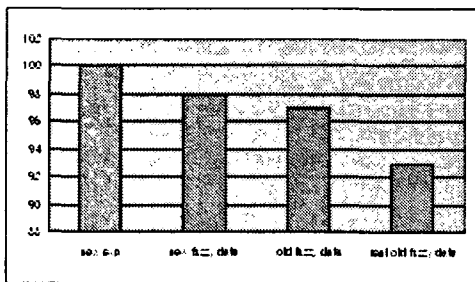


그림 13. 퍼지 알고리즘에 의한 결과

4.2 퍼지 estimator를 가진 퍼지 알고리즘에 의한 결과

다음은 퍼지estimator를 추가한 퍼지 알고리즘의 실험 결과이다. 새 전지의 경우에, 전지 노후가 없기 때문에 FCC가 1이다. 그리고 충방전 실험값과 퍼지 estimator를 가진 퍼지 알고리즘에 의한 결과값이 1.1%의 낮은 오차를 나타내었다. 현 전지의 경우에 전지 노후가 작게 있으며 FCC는 0.963의 결과가 나왔다. 그리고 퍼지 알고리즘에 의한 결과값은 충방전 실험값과 비교하여 1.5%의 오차를 가지고 있다.

그러므로, 퍼지 estimator를 사용하지 않은 실험에서는 FCC의 값을 알 수 없기 때문에 오차가 크게 나왔지만 퍼지 estimator를 적용한 퍼지 알고리즘에서는 감소된 탱크의 용량을 고려하기 때문에 낮은 오차를 나타내어 그 효용성을 검증할 수 있다. 그림-12는 퍼지 estimator를 가진 퍼지 알고리즘에 의한 결과이다.

5. 결론

본 논문에서는 하이브리드 자동차용 리튬이온전지가 가지고 있는 비 선형적인 방전 특성과 충방전을 통한 사용횟수의 증가와 자가방전 특성에 의해서 리튬이온전지의 전하 축적 공간이 감소하여 실제 전지가 가지고 있는 용량을 제대로 표시할 수 없었다. 이러한 문제점을 고분해능을 갖는 데이터 수집장치를 제작하고 퍼지 estimator를 가지고 있는 퍼지 알고리즘을 적용하여 지능형 스마트 모듈을 설계하였다. 지능형 스마트 모듈에서 단독적으로 퍼지 estimator를 적용하지 않고 오직 퍼지 알고리즘을 적용하여 충방전 실험 값과 비교하여 새 전지에서는 좋은 결과를 나타내어 그 효용성을 검증하였고, 또한, 현 전지에 대해 생기는 용량의 오차는 퍼지 estimator를 가지는 퍼지알고리즘을 적용하여 좋은 결과를 나타내어 그 효용성을 검증하였다. 본 논문에서는 정전류 부하를 사용하여 일정한 특성 곡선을 나타내는 연구의 제한점이 있고 다소 발생된 오차에 대해서 보다 정확도가 높은 시스템을 위한 실험을 반복적으로 시행하고 있으며, 정전류 부하가 아닌 실제 변화되는 부하를 사용하여 반복적인 실험을 통해 구체적인 적용이 연구되고 있다.

참 고 문 헌

- [1] H.J. Zimmermann, Fuzzy Set Theory and It's Applications, Kluwer-Kijhoff, 1986.
- [2] Korea A.N.D, Load-cell Tech Book, A.N.D,1997.
- [3] CAS, Indicator System Tech Book, CAS, 1997.
- [4] Japan Automatic Tech, Sensor-Technology, Sehwa , 1990,8,1.
- [5] Tompkins & Park, IBM-PC Sensor-Interface, Dae Young, 1992, 3, 1.
- [6] G.J.Klier and T. T. Folgr, Fuzzy Set, Uncertainty and Information, Prentice Hall, 1998.
- [7] Mohammad Jamshidi, Fuzzy Logic Control, Prentice Hall, 1993.
- [8] Valluru B. Rao and Hayagriva V.Rao, C++ neural networks and Fuzzy Logic. MIS press,1993.