

Electric Battery Sensor를 이용한 Battery의 상태 예측 알고리즘 개발

노희진*, 이세원*, 고국원*
*선문대학교 정보통신 공학과
kuks2309@sunmoon.ac.kr

Algorithm of Battery's Status Prediction using Electric Battery Sensor.

Hee Jin Nho*, Se Won Lee*, Kuk Won Ko*
*Dept of Information and Communication Engineering , Sunmoon University

요 약

지속적인 충/방전에 의하여 표준 수명 보다 더 빠른 노화 현상을 일으키는 배터리의 효율적인 관리를 위하여, 배터리의 내부 상태를 모니터링 하였다. 정확한 배터리 모니터링을 위해서 해당하는 배터리의 잔존 용량 및 잔존 수명을 정확히 예측할 수 있어야 하며, 이를 위해 Open Voltage를 사용한 실험, 에너지 보존 법칙에 의한 충전 전류 측정법, 시동 시 최대 전류와 내부 저항의 변화량을 알아내는 실험을 하였다. Open Voltage 실험 결과, SOC수치에 따른 특정 전압의 범위를 알 수 있었고, 이 전압은 온도에 의해 변동된다는 것을 확인할 수 있었다. 충전 그래프를 그려본 결과 충전횟수와 완충에 걸리는 시간은 반비례하며, 배터리 내부에 충전되는 총 전류의 양과도 관계가 있었다. 시동 실험에서는 최저 전압 드롭 값과 최대 공급 전류의 범위를 알 수 있었으며, 특정 SOC 구간 내 내부 저항의 값을 차이를 알 수 있었다. 이 값들은 각 SOC의 수치에 비례한 결과를 보였다. 이 결과들을 정리하여, 배터리 내부 상태를 예측하는 방법을 제안하고자 한다.

1. 서론

현대의 배터리는 산업과 경제의 발전으로 차량 내 전기 소모량이 많아짐에 따라, 주 에너지원인 석유 자원의 소비를 줄이기 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

배터리는 차량 알터네이터에 의한 충전과 차량 시동에 필요한 전력의 공급을 위한 방전을 겪게 된다. 이러한 지속적인 충/방전이 되풀이되며, 충전이 완료되었더라도 차량 알터네이터의 지속적인 충전으로 인해 배터리는 계속 부하를 받게 된다. 이 과정에서, 결국, 배터리는 표준 수명보다 더 빠른 노화현상을 보이게 된다. 우리는 배터리 모니터링 시스템으로 배터리를 좀 더 효율적으로 관리해야 한다는 결론에 다다르게 되었다.

배터리 모니터링 시스템의 핵심은 배터리의 전류량을 직/간접적으로 측정하여 배터리의 잔존 용량(SOC, State of Charge)과 잔존 수명(SOH, State of Health)을 정확히 예측하는 것이다. 이 측정을 위해서 본 연구에는 배터리 센서를 이용한 Open voltage 실험 및 실험 차량을 시동하고 그에 따른

배터리의 내부 변수들을 측정하는 실험을 진행하였으며, 이 변수들을 이용하여 배터리의 상태를 나타내는 중요 인자인 SOC와 SOH를 구하는 실험을 진행하였다.

2. SOC, SOH에 대하여

SOC를 측정하는 가장 기본적인 방법은 시간을 기준으로 배터리 내부 전류를 측정하는 방법이다. 배터리는 전류를 보관하는 저장소이므로, 전류의 충전량과 소모량을 사용 시간에 따라 계산할 경우 기본적인 SOC의 예측이 가능하다. 전류를 기반으로 SOC를 구하는 공식은 식 1과 같다.

$$SOC(t) = \sum_{i=0}^t [I(t) / \Delta t] / [\text{Max Battery Capacitor}] \quad (\text{단위 \%}) \quad (\text{식 1})$$

Δt 는 sampling time 이다. $I(t)$ 는 샘플링 시간을 기준으로 Battery Sensor에서 측정된 전류량이며, 충전시에는 +값을, 방전시에는 -값을 나타낸다. Max Battery Capacitor는 사용한 배터리의 용량을 나타낸다.

SOH는 시동시의 배터리 전압 강하에 따른 내부

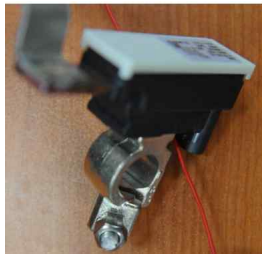
저항의 변화량으로 측정할 수 있으며, 내부 저항을 구하는 공식은 식 2와 같다

$$R_{\text{external}} = \Delta V / \Delta I \quad (\text{식 2})$$

내부에서 화학 반응을 일으켜 에너지를 발생시켜야 하는 배터리의 내부에 침전물이 발생한다는 것은 그만큼 화학 반응에 방해가 받는다는 것이고, 이것은 곧, 배터리를 얼마나 더 사용할 수 있는가를 알 수 있는 지표이다. 즉, 수명 문제와 직결되는 중요한 사항이다.

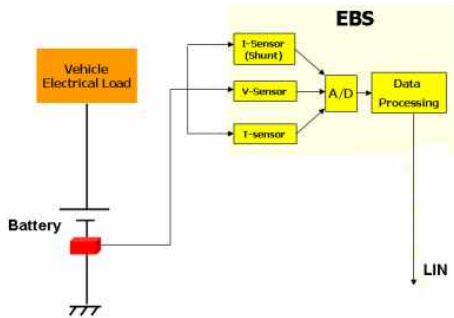
3. 실험 장비의 구성

본 연구에서는, 그림 1과 같은 쌍용 자동차의 제어판에 사용되는 Bosch사의 Battery Sensor를 사용하여 SOC 및 SOH의 예측에 중요 인자가 되는 전류, 전압 및 온도를 측정한다.



[그림 1] Bosch Battery Sensor

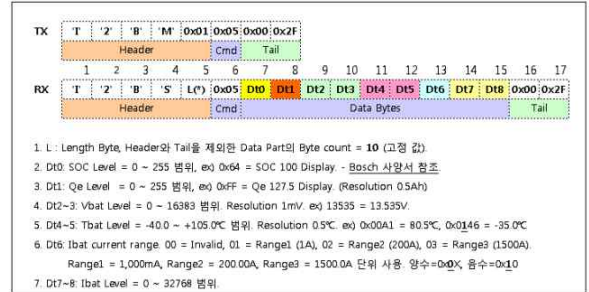
측정된 내부 변수들은 그림 2에 표시된 바와 같이, Battery Sensor의 Lin통신을 통하여 Lin board에 전송된다



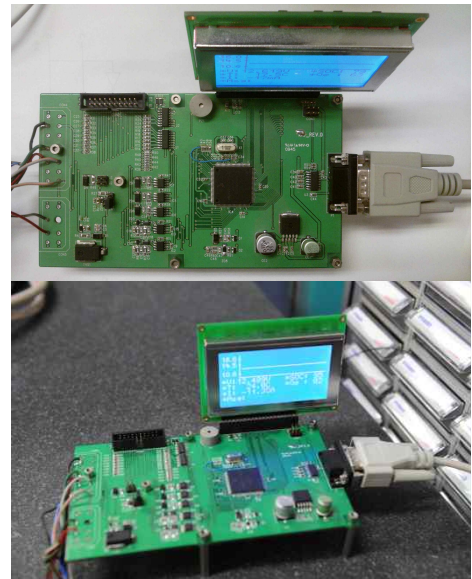
[그림 2] Schematics of Bosch Battery Sensor

이 정보들은 다시 RS232C 통신을 통해 컴퓨터에 전송되며, 실시간으로 제공된 정보는 로그 형식으로 기록된다. 이 정보들 중 주요 3가지 정보(전압, 전류, 온도)를 이용하여 배터리의 SOC 및 SOH의 예측에 사용할 수 있다. 아래의 표 1은 Bosch사의 통신 규약이다.

[표 1] Protocol of Bosch Battery Sensor

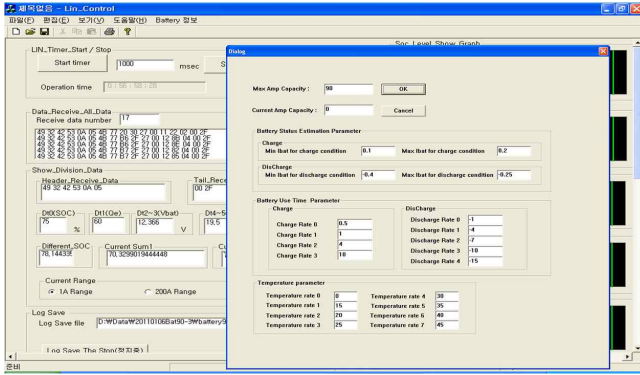


배터리 센서로부터 얻은 정보를 PC로 전송하기 위한 Interface board는 그림 3과 같으며, 전송 방식은 RS232C를 이용하였다. 또한 LCD 표시판을 부착하여, 주변에 PC가 없더라도 배터리의 현재 상태를 모니터링 가능하다.



[그림 3] Lin Interface Board

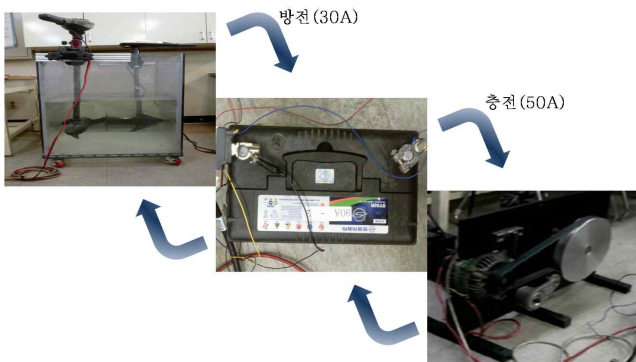
Interface Board의 RS232C 통신을 통하여 PC로 전송된 정보는 Visual Studio 6.0의 MFC 그래픽 유저 인터페이스에 표시된다. 이 그래픽 유저 인터페이스에는 데이터의 저장을 위한 Sampling time 조절, Lin Message 표시 기능, 각 온도에 따른 전류 값 측정 및 배터리의 과다 충전/방전을 방지하기 위한 보호 로직, 배터리 내부에 총 공급된 전류, 현재 배터리에 걸리는 전압, 배터리의 내부 온도, 그리고 배터리의 전류 및 전압 스펙트럼이 포함되어 있다. 그래픽 유저 인터페이스는 그림 4와 같이 구성되어 있다.



[그림 4] PC Graphic User Interface for Experiment of Battery

4. 실험 방법

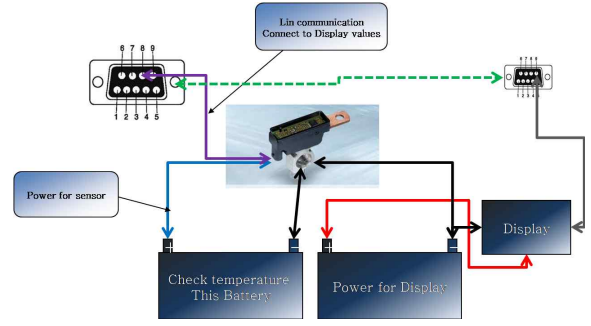
본 연구에서는 그림 5와 같이, 방전에는 시간 당 최대 30A의 소비 전류를 가지는 수중 모터를 이용하였으며, 충전에는 시간 당 최대 50 A의 충전이 가능한 실 차량 알터네이터를 사용하였다. 배터리는 쌍용 자동차의 SY90R 모델을 사용하였으며, 배터리의 총 용량은 90A이다.



[그림 5] Setting for Experiment of Battery

위에 나열된 실험 장비들을 이용하여 실험을 하였으며, 배터리의 충전 횟수와 수명의 관련성을 알아보기 위해 충/방전 실험을 진행하였다. 배터리의 충방전이 진행될수록 배터리 내부에는 불순물이 축적되는데, 이는 배터리의 수명, 즉 SOH와 관련이 있을 것이라는 추측을 하게 되었다. 이에 충전 횟수와 충전 시간을 기준으로 배터리의 내부 변수를 모니터링 하는 실험을 진행하였다.

비 시동중의 SOC는 배터리 내부 전류와 상관관계를 가지는 전압을 측정하여 예측하였다. 전압을 측정하기 위하여 Open Voltage 실험을 진행하였으며, 그림 6과 같이 세팅하였다.



[그림 6] Setting for Experiment of Open Voltage

겨울철, 시동이 제대로 걸리지 않는 차량과 배터리의 관계를 알아보기 위하여, 그림 7과 같이 야외에서 온도에 따른 전압의 변화를 알아보는 실험을 진행하였다. 그리고, SOC의 크기를 20%씩 총 5 구간, 즉 100%, 80%, 60%, 40%, 20%로 나누어 각각의 상태에서의 전압을 측정하였다.



[그림 7] Experiment of Open Voltage(Outside)

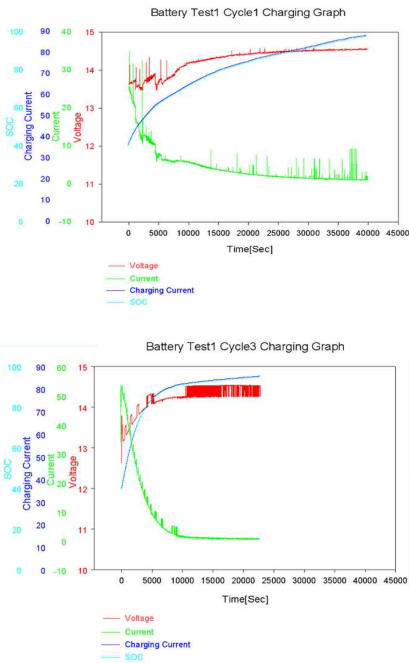
실험차량에 연결된 배터리는 차량에 시동이 걸리면서, 차량 알터네이터에서 발생한 전류가 공급되기 시작한다. 이 때, 전압의 감소가 일어나게 되며, 내부 저항에 변화가 생기게 된다. 배터리의 내부 저항은 배터리의 내부 수명, 즉 SOH와 직결되는 수치이므로, 배터리의 내부 저항 및 주요 변수에 대해 알아보기 위해 Starting Engine 실험을 진행하게 되었다. Starting Engine 실험은 그림 8과 같이 세팅하였다.



[그림 8] Setting for Experiment of Starting Engine

5. 실험 결과

충전 횟수에 따른 배터리 공급 전류와 배터리가 완충되는 데에 걸리는 시간의 관계를 알아보는 실험의 결과는 그림 9와 같다. 충전 횟수가 증가할수록, 배터리의 최소 공급 전류에 도달하는 시간이 짧아지는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 9] Graph of Charging Battery

실내와 야외에서 실시한 Open voltage 실험은 표 2와 같은 결과를 얻을 수 있었으며, SOC의 수치와 Voltage의 크기는 비례한다는 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 온도와 Voltage의 비례 관계를 확인할 수 있었다.

[표 2] Result of Open Voltage Test

| | Bat 90-1 | Bat 90-2 | Error | | Bat 90-1 | Bat 90-2 | Error |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 100% 21C | 13.494 | 13.329 | 1.237902 | 100% 18C | 13.206 | 13.308 | 0.766456 |
| 2C | 13.464 | 13.32 | 1.081081 | 3C | 13.167 | 13.237 | 0.528821 |
| 80% 18C | 12.939 | 12.85 | 0.692607 | 80% 18C | 12.731 | 12.722 | 0.070744 |
| 2C | 12.912 | 12.84 | 0.560748 | 1C | 12.723 | 12.715 | 0.062918 |
| 60% 21C | 12.559 | 12.534 | 0.199457 | 60% 18C | 12.461 | 12.401 | 0.483832 |
| 2C | 12.537 | 12.515 | 0.175789 | 7C | 12.452 | 12.391 | 0.492293 |
| 40% 18C | 12.323 | 12.25 | 0.595918 | 40% 18C | 12.199 | 12.157 | 0.34548 |
| 1C | 12.31 | 12.17 | 1.15037 | 2C | 12.193 | 12.147 | 0.379694 |
| 20% 18C | 12.036 | 11.995 | 0.341809 | 20% 18C | 11.95 | 11.921 | 0.243268 |
| 3C | 12.029 | 11.967 | 0.518009 | 5C | 11.939 | 11.909 | 0.25191 |

시동 시 변수의 변화를 알아보고, 이것을 근거로 내부 저항을 구하는 실험의 결과는 표 3과 같으며, SOC, 외부 온도에 따른 V peak, I peak 의 차이를 확인할 수 있었다.

[표 3] Result of Test

| SOC | Trial 1 | | | | | | Trial 2 | | | | | |
|-----|---------|--------|-------|-------|---------|------|---------|--------|-------|-------|---------|------|
| | Vpeak | Ipeak | Tpeak | Vavg | Iavg | Tavg | Vpeak | Ipeak | Tpeak | Vavg | Iavg | Tavg |
| 100 | 10.76 | -354.6 | 2 | | | | 10.92 | -326.2 | 6 | | | |
| | 10.75 | -344.6 | 2 | 10.74 | -347.47 | 1.83 | 10.88 | -325.7 | 5 | 10.89 | -325.1 | 4.83 |
| | 10.71 | -343.2 | 1.5 | | | | 10.86 | -323.4 | 3.5 | | | |
| 80 | 10.57 | -340.7 | 6 | | | | 10.63 | -327.7 | 10 | | | |
| | 10.56 | -339.9 | 6.5 | 10.56 | -339.93 | 6.67 | 10.62 | -305.3 | 8 | 10.62 | -311.27 | 8.67 |
| | 10.53 | -339.2 | 7.5 | | | | 10.60 | -300.8 | 8 | | | |
| 60 | 10.33 | -329.7 | 10.5 | | | | 10.14 | -305.2 | 9 | | | |
| | 10.33 | -329.3 | 9.5 | 10.33 | -326.77 | 9.33 | 10.12 | -303.9 | 8.5 | 10.12 | -302.8 | 7.83 |
| | 10.33 | -321.3 | 8 | | | | 10.11 | -299.3 | 6 | | | |
| 40 | 9.65 | -331 | 9 | | | | 9.40 | -282.1 | 8.5 | | | |
| | 9.62 | -329.9 | 9 | 9.62 | -325.33 | 9.00 | 9.37 | -281.7 | 8 | 9.38 | -281.33 | 7.50 |
| | 9.59 | -315.1 | 9 | | | | 9.36 | -280.2 | 6 | | | |

6. 결론

본 연구에서는 배터리의 상태를 예측하는 알고리즘을 개발하기 위한 실험을 진행하였다. Open Voltage 실험 결과, SOC수치에 따른 특정 전압의 범위를 알 수 있었고, 이 전압은 온도에 비례한 값을 나타내어, 외부온도가 상대적으로 낮은 겨울철에 시동 고장 사고가 잦은 현상을 설명할 수 있었다. 배터리의 충전 그래프를 그려본 결과, 충전 횟수가 증가할수록 완충에 걸리는 시간이 줄어들게 되고, 배터리 최대 공급 전류의 양도 줄어들게 된다. 이는 SOH의 감소를 의미하며, 잦은 배터리의 충전은 배터리의 수명을 감소시킨다는 결과를 보여주었다. 시동 시 공급전류는 SOC의 수치와 반비례한 값을 보여주어, 배터리의 잔존 용량이 낮을수록 공급 전류가 증가하는 현상과 그 범위를 확인할 수 있었다. 시동 시 공급 전류와 전압 드롭을 이용하여 내부 저항의 변동을 확인할 수 있었다. 각 SOC 구간에 따른 내부 저항의 차이 또한 알 수 있었다. 향후 다양한 SOC와 SOH를 가진 중고 배터리를 다량 구매 및 실험을 하여 표본제작 및 배터리 상태 예측 알고리즘의 범위를 점차 늘려 나가고자 한다.

후기

본 연구는 교육 과학 기술부와 한국 산업 기술 재단이 지원하는 기업 혁신 사업의 지원으로 진행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 서철식, 문종현, 박재욱, 김금수, 김동희, “UPS용 납축전지를 위한 배터리관리시스템”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers vol.22, No.6, p127~133,2008
- [2] 노희진, 고국원, “Electric Battery Sensor를 이용한 Battery의 충전량(SOC)과 수명(SOC)예측 알고리즘 개발”, 정보 및 제어 심포지엄, p127~128, 2011