

온-라인 비중계를 이용한 전기자동차용 배터리 잔존용량계의 성능개선

Performance Improvement of SOC Indicator for Electric Vehicle Using Hydrometer

박중건, 임영철, °변성천, 박철수, 류영재

전남대학교 전기공학과(Tel:529-7294; Fax:529-7294)

Abstracts The conditions to be satisfied with SOC(State-of-Charge) indicator installed on the electric vehicle were that it should be used under frequent loading conditions and that it should enable the monitor to adjust to the aging effect. But, the state-of-charge test requires a lengthy stabilization period after discharge cycles and the ampere-hour test requires the knowledge of the battery capacity in terms of amp-hours. However, a monitoring technique combining the state-of-charge test to enable the monitor to adjust to the aging effect with the ampere-hour test to use under frequent loading condition is studied and implemented on a microcontroller-based circuit in this paper.

Specially, optical fiber is used to realize hydrometer which is immune to electromagnetic interference and toxic environment and makes it possible to be used in a wide temperature range.

Keywords State-of-Charge, Optic Fiber, Specific Gravity, Electric Vehicle, Battery

1. 서론

본 연구에서는 전기 자동차의 효율적인 운행과 갑작스런 운행 정지라는 상황을 막기 위해, 내연기관 자동차의 연료 게이지 기능에 대응하는 전기자동차용 배터리 잔존용량계를 개발하고 기존의 잔존용량계가 지니고 있는 문제점들을 개선하였다. 무부하시에는 비중을 측정하고, 부하시에는 전류를 측정하여 항상 잔존용량을 정확하게 알려주는 온라인 비중계를 이용한 배터리 잔존용량계에 대해 연구하였다.

온라인 비중계를 구현하기 위해 광섬유 기술을 이용하였다. 광섬유 센서는 넓은 온도 범위에 동작하고, 전자기 간섭(EMI)과 유독한 환경에 영향을 받지 않는다. 비중을 측정하는 광섬유 기술은 임계값이상으로 구부러진 섬유에서 방출된 광 손실을 이용한 것이다. 손실은 주변 매질의 굴절계수에 따라 변화하는데, 이 굴절계수는 매질의 비중에 비례한다. 그래서, 방출량을 측정함으로써, 비중값을 알 수 있다. 즉, 굴절계수는 산 밀도에 비례한다는 사실을 이용해, 납축배터리의 잔존용량을 결정한다.[4,5]

따라서 본 연구에서는 무부하시에는 온라인 비중계로 비중을 측정하여 정확한 잔존용량을 알아내는 비중계법과 부하시에는 전류를 측정하는 축전전류계법을 병합함으로써, 부하가 급변하는 상태에서도 정확하게 잔존용량을 추정하여 주행가능거리를 예측할 수 있는 온라인 비중계를 이용한 배터리 잔존용량계를 제안하였다.

2. 광학적 원리

이 센서는 광학 법칙으로 설명할 수 있다. 빛이 두 개의 광학 물질 경계면에 부딪힐 때, 파는 일반적으로 부분 반사를 하고, 부분적으로 2차 물질 속으로 투과한다. 입사, 반사와 굴절된 광선의 상대적인 강도는 입사각, 매질의 굴절계수와 경계면의 매끄러움에 의존한다. 굴절계수는 매질의 물질과 광선의 파장에 의존한다. 그리고, 임계값에 도달할 때까지 입사각의 증가에 따라, 반사되는 광선의 양도 증가한다. 임계값이상에서는, 전반사가 일어난다. 광선이 통과하는 물질의 굴절계수보다 입사되는 물질의 굴절계수가 적은 표면에 광선이 입사되었을 때, 이 현상은 단지 가능하다. 이 조건은 스넬법칙이다.

물질의 굴절 계수는 물질 내에서 빛의 속도와 관계한다. 빛은 항상 진공보다 물질 내에서 느리게 진행한다. 그리고, 이 두 속도의 비는 굴절계수와 같다. 그리고, 공기의 굴절계수는 1로 간주한다.

이들 위에서 언급된 원리가 논의중인 센서에 적용하는 방법이 그림 1에 잘 묘사하였다. 섬유의 굴절계수가 주변 매질의 굴절계수 보다 크고, 입사각이 아래 (1)식으로 결정되는 임계값보다 클 때, 전반사가 일어난다.[2,4,5]

$$\sin \varphi_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

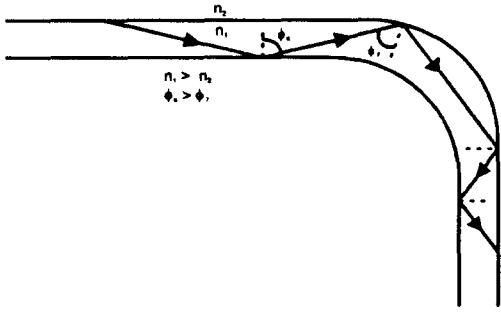


그림 1. 구부러진 파이버에서 입사각의 감소
Fig 1. Reducing the angle of incidence by bending the fiber

섬유를 구부러, 결과적으로, 입사각을 위에 정의한 임계값보다 낮은 값으로 줄임으로써, 굴절은 일어나고, 손실은 생긴다. 다른 모든 언급된 인자들이 상수로 가정되었을 때, 이들 손실은 섬유를 둘러싸고 있는 매질의 굴절계수의 함수이다.

3. 용량의 정의

배터리 계측기의 기능은 자동차의 연료계의 기능과 유사하다. 그런데, 여러 가지의 요소가 배터리 계측기를 연료계와 다르게 한다. 자동차의 경우에는, 중량의 차이에 의한 무시할만한 영향을 제외하고는, 성능은 남아있는 연료의 양에 의존하지 않는다. 그리고, 평균적인 연료 소비율은 이용할 수 있는 전체적인 연료량에 영향을 주지 못한다. 또한, 연료가 완전히 고갈되었다는 것은 자동차가 전혀 운행할 수 없는 것으로 정확하게 정의할 수 있다.

이에 반하여, 전하량이 감소함에 따라 배터리의 동작 전압은 감소한다. 그래서, 결과적으로 배터리는 모터에 방전전보다 적은 전력을 공급한다. 방전율은 배터리의 이용 가능한 용량에 중요한 영향을 끼친다. 이 중에서 가장 중요한 것은, 배터리가 완전히 방전되었다는 정확한 정의가 없다는 것이다. 위에서 지적한 이유 때문에, 배터리의 용어를 정의하는 것은 필수적이다. 이론적인 용량, 사용 가능한 용량과 잔존용량 등을 정의하는 여러 가지 방법들이 있다.

이론적인 용량은 어떤 환경에서 배터리로부터 얻을 수 있는 최대 출력이다. 이 값은 셀 안의 활물질의 양으로 계산할 수 있다. 이론적인 용량은 여러 가지 이유 때문에 실용적이지 못하다. 첫째, 전해질의 느린 확산 반응은 극판에 도달하는 산의 양을 제한한다. 이런 상황은 고율 방전에서 더욱 심하게 나타난다. 여기서, 산은 더 높은 비율로 소비된다. 둘째로, 충전레벨이 감소함에 따라, 셀의 내부저항은 증가한다. 마침내, 배터리를 0V까지 방전시키는 것은 셀에 손상을 입힌다.

사용 가능한 용량은 일정한 비율로 방전할 때, 이용 가능한 전류-시간의 양으로 정의된다. 사용 가능한 용량을 얻기 위해서, 중지전압을 선택하는 것은 필수적이다. 중지전압은 셀이 고갈되었다고 생각되어지는 가장 낮은 동작 전압이다. 셀이 방전됨에 따라, 셀의 증가하는 내부저항과 극판 주위의 낮은 산의 밀도 때문에, 부하 전압은 끊임없이 감소한다. 전압이 더욱 급격하게 감소하는 고갈 근처에 이르기까지, 셀의 전압은 거의 선형적으로 대부분의 시간동안 감소한다. 중지 전압은 곡선의 급격하게 구부러진 부분으로 보통 정의한다. 셀은 그 점 이상으로 방전될 수

있다. 그러나, 곡선의 급격하게 구부러진 부분에 도달한 후, 낮은 퍼센트의 이론적인 용량만 얻을 수 있다. 방전율이 높을수록, 중지전압은 더 낮다. 사용 가능한 용량은 전해질의 확산율에 의해 주로 제한 받기 때문에, 고율 방전에서는 사용 가능한 용량은 더 낮다. 방전사이에 간헐적인 휴식시간을 준다면, 전해질은 극판 쪽으로 확산되어갈 더 많은 시간을 갖는다. 사용 가능한 용량을 제한하는 주된 요소는 전해질의 제한된 확산율이기 때문에, 휴식 시간을 가지면서, 방전 중지 전압에 도달하기 전에, 셀이 더 많이 에너지를 공급할 수 있다. 그래서, 사용 가능한 용량은 이론적인 용량에 대한 실제적인 대안이고, 대부분의 상용적으로 이용 가능한 배터리 계측기는 사용 가능한 용량값을 나타낸다.

잔존용량은 이런 의미에서 사용 가능한 용량과 다르다. 즉, 잔존용량은 셀로부터 이용 가능한 전류-시간의 양을 정의하기보다는, 셀의 상태를 가리키는 것이다. 즉, 전해질에서 산의 밀도를 가리키는 것이다. 배터리의 크기를 증가시키거나 방전율을 낮추는 것은 같은 잔존용량에서 조차 사용 가능한 용량을 늘리는 것과 같다는 것을 주지하여야.[1,3,6]

4. 계측 기술

배터리를 계측 하는데 여러 가지 실용 가능한 기술이 있다 : 1)비중 2)개방전압 3)부하 전압 4) 전류량 측정법.

비중은 납축배터리의 전해질의 밀도를 나타낸다. 그것은 전해질의 산의 밀도를 보여주기 때문에, 비중은 잔존용량의 직접적인 지시이다. 비중계를 가지고 측정하는 배터리 계측 기술이 가장 보편적으로 사용된다. 가장 보편적으로 사용되는 형태의 비중계는 주사기와 부표로 구성된다. 부표는 액체의 비중보다 약간 높은 밀도의 물질로 만들어진 균일한 구슬이다. 그리고, 전해액에 담겨진 부분의 길이를 가리키는 표시를 가지고 있다. 전해액을 주사기안으로 투입하고, 부표의 표시가 전해액의 표면에 있는 가를 관찰하므로써, 비중을 측정한다. 이 기술은 연속적인 사용에 비실용적이다. 전해질의 느린 확산율 때문에, 비중은 충전과 방전사이클후 긴 안정한 기간을 필요로 한다

셀의 개방전압은 산 밀도의 함수이다. 완전히 안정화된 개방전압은 온도와 셀의 사용에 거의 영향을 받지 않는 잔존용량계의 정확한 지시계이다.

사용 가능한 비중의 범위에서는 선형적인 관계이다. 완전 충전된, 완전 방전된 비중의 값을 결정하기 위해, 부분적으로, 배터리가 사용목적에 따라 다른 범위의 비중을 가지고 있다는 사실 때문에, 널리 받아들여지는 기준은 없다. 완전히 충전되었을 때, 전형적인 배터리의 비중은 1.28이다. 방전 중지시기에 일반적으로 요구되는 값은 1.080이다. 고갈에서 완전 충전까지의 비중의 범위는 1.080에서 1.280으로 결정되었다.

이 기술의 주요 결점은 충전과 방전사이클후, 비중 측정시의 긴 안정화 시간과 유사하게 개방전압에 관계하는 긴 안정화 시간이다. 부하가 빈번하게 변화하는 전기 자동차와 같은 환경에서, 이 방법은 잔존용량을 연속적으로 나타내지 못한다.

부하 전류가 일정하다면, 개방회로 전압과 같이, 부하전압은 비중과 거의 선형관계를 가지고 있다. 전기 자동차를 포함하는 대부분의 장치들은 변동하는 부하 전류를 가진다. 그것은 배터리의 부하전압을 변화시킨다. 이 상황은 연속적으로 부하전압을 계측하는 것을 비실용화시킨다. 그러나, 평균 전압에 근거한 여러 계측기들은 이용할 수 있다.

측정전류계법은 전류-시간 항으로 배터리에서 소비된 용량을 감산하는 과정이다. 실제적인 용량은 와트-시간이다. 그렇지만, 상대적으로 일정한 배터리 전압 때문에, 전류-시간은 보편적으로

사용된다. 급변하는 부하조건에서, 이 방법은 유용한 기술이다. 그러나, 전류-시간으로 환산하여 배터리의 용량을 알아야 한다. 이 기술은 잔존용량의 상대적으로 단기간이고 연속적인 지시를 제공한다. 그렇지만, 긴 기간에 걸친 에러의 축적은 단독으로 사용할 수 없게 하였다.[6]

5. 적용적인 배터리 계측 기술

위에 서술한 각각의 기술들은 결점을 가지고 있다. 그렇지만, 비중계법과 축적전류계법을 병합함으로써, 양쪽 기술의 결점을 보상하여, 정확한 계측 기술을 만들었다.

비중계를 온라인화 하기위해서 광 섬유를 이용하였다. 광 섬유를 이용함으로써 전자기 간섭과 유독한 환경에서도 동작하게 하였다. 광섬유를 이용한 온라인 비중계의 블록도를 그림2에 나타냈다. 정전류원은 일정한 전류를 적외선 다이오드에 공급하고, 이 다이오드는 적외선원으로 동작한다. 수광소자로서는 포토 트랜지스터를 사용하였다.

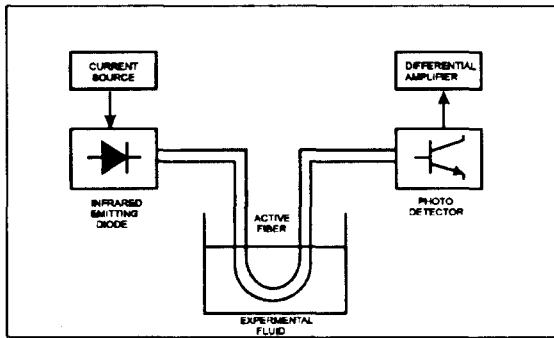


그림 2. 기구의 블록도
Fig 2. A block diagram of the instrument

축적전류계법은 단기간 동작에 사용되고, 에러의 축적은 무시될 수 있다. 축적전류계법으로 축적된 에러들은 비중계법에 의한 비중값을 읽어들이면, 보정될 수 있다. 비중계법은 배터리가 충분히 정지되었을 때마다 읽혀진다. 게다가, 적용적인 특징은 전류 측정 기술로 결합시켰다. 이 전류 측정 기술은 계측기가 에이징효과 뿐만 아니라 다른 사이즈의 배터리에 적용시킨다. 이 방법은 납축배터리의 잔존용량을 계측하는 정확한 방법이다. 그것은 배터리의 크기와 방전율에 의존하지 않는다는 면에서 유효적이다.

4. 실험 방법

실제 전자자동차에 탑재가능하기 위해서는 소형, 경량화에 적절한 원칩 마이크로컨트롤러가 요구된다. 80196KC는 컨트롤러로써의 기본기능인 디지털 입출력기능과 직렬포트, A/D변환기, 그리고 고속 I/O 서브시스템으로 구성되어 있는 컨트롤러이다. 이러한 80196KC은 전자자동차에 탑재하기에 적합하므로 이를 이용하여 잔존용량계를 개발하였다. 배터리 잔존용량 개발 시스템 블록도는 그림3과 같다. 원칩 마이크로컨트롤러를 이용하여 잔존용량을 표시해 주고 주행가능거리를 예측해 줄수 있다. 배터리의 전압, 전류와 비중을 80196KC의 A/D입력 단자에 입력하고 용량의 값을 2-digit LED 표시장치에 표시한다. 무부하시 비중계

을 사용하여 잔존용량을 계측하고 부하시에는 축적전류계법을 사용하여 배터리의 남은 잔존용량을 구하였다. 그리고, 배터리의 보호를 위하여 방전 중지 전압을 항상 계측하였다.

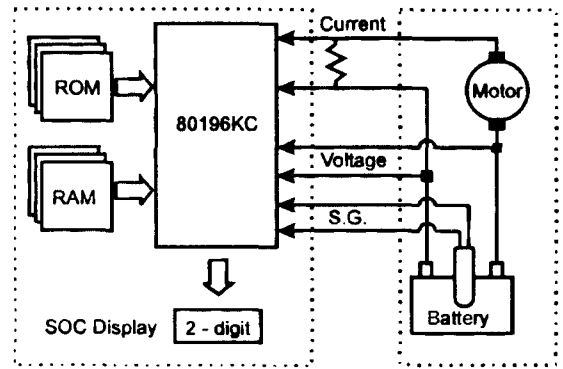


그림 3. 하드웨어의 블록도
Fig 3. A block diagram of the hardware

먼저, 무부하시에 광섬유를 이용한 비중계를 이용하여 초기의 잔존용량의 값을 계측하고 모든 A/D 단자의 계인, 포트 설정과 샘플링 간격 등을 초기화시킨다.

샘플링 간격(T)으로 전압(v)과 전류(i)를 배터리로부터 읽고 초기용량에서 전류량을 감산하므로써 남은 잔존용량을 계측하여, 2 digit LED로 표시한다.

5. 결과 및 고찰

개발한 비중계의 정확도를 검증하기 위해서 상업화된 비중계를 검증하였다. 상업화된 비중계로 비중을 낸 황산수용액을 다시 개발한 비중계로 전압을 측정하였다. 측정된 결과가 그림 4와 같다. 측정당시의 온도는 27 °이었다. 결과는 5%이하의 에러를 가지고 선형적으로 비례하는 곡선을 나타냈다.

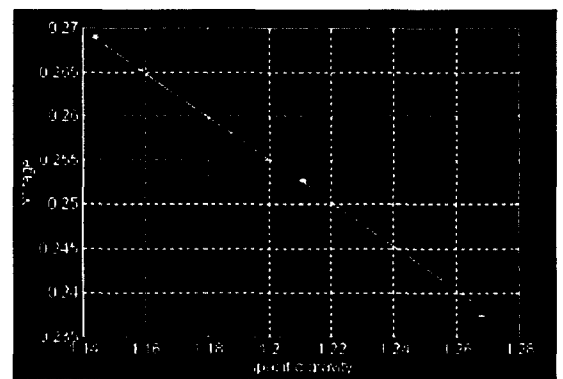


그림 4. 기구의 출력대 비중값
Fig 4. Instrument output versus specific gravity

개발한 비중계의 정확성을 테스트하고나서, 축전지를 방전시키면서 실험을 하였다. 축전지를 5A의 전류로 30분간 방전시키고, 1시간 30분동안 휴식기간을 두었다. 이런 과정을 몇 회 반복

하면서 실험을 하였다. 5A로 방전시킬 때, 축적전류계법을 사용하여 잔존용량에 대한 비중을 변화시켜나가고, 1시간 30분동안의 안정화 시간을 두고 나서는, 개발한 비중계를 사용하여 비중을 측정하였다. 그리고나서, 축적전류계법을 사용하여 추정된 비중 값을 보정하였다. 이 실험을 그림5과 그림6에 나타냈다.

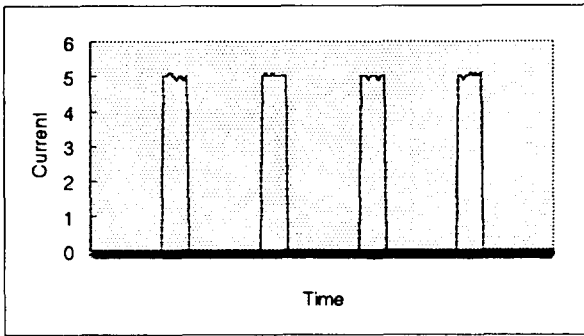


그림 5. 전류 곡선
Fig 5. Current curve

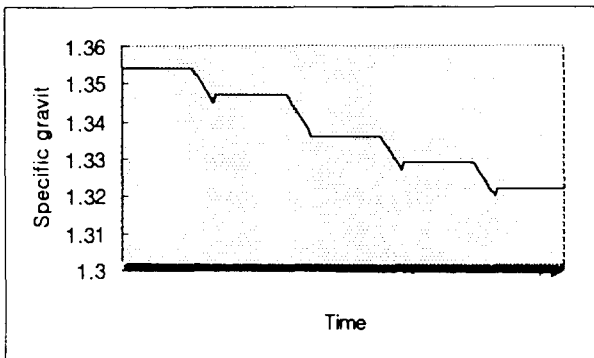


그림 6. 비중 곡선
Fig 6. Specific gravity curve

무부하시 비중계를 사용하여 잔존용량을 계측하고 부하시에 축적전류계법을 사용하여 배터리의 잔존용량을 구하는 방법을 제시하였다. 기존의 두 방법을 보완함으로써 정확한 잔존용량 계를 구현하였고, 실험을 통하여 잔존용량계의 타당성을 입증하였다.

6. 결론

본 연구에서는 전기자동차용 배터리 잔존용량계에 대한 새로운 접근 방법을 제안했다. 배터리의 잔존용량을 추정하기 위하여 납축배터리의 방전 특성 데이터를 확보하고, 온라인 비중계를 이용하여 배터리의 비중을 계측하므로써 배터리의 잔존용량을 알도록 하였다. 실제 전기자동차에 탑재 가능한 마이크로 콘트롤러를 이용하여 소형 경량화된 장치를 구현하였다.

참고문헌

[1] C.Armenta, J.Doria, M.C.De Andres, J.Urrutia, J.Fullea, F.Grana, "A New Method of Establishing the State of

Charge of Lead-Acid," *J. Power Sources (Switzerland)*, vol.27, No.3, pp.189-200, 1989

- [2] E.Hampartsoumian et al., "Principles and Applications of Fiber Optic Sensors for Process Instrumentation and Control," *Journal of the Institute of Eney*, pp. 159-168, Dec. 1985
- [3] E.Ofry and S.Singer, "Measurement of The State of Battery Charge Using an Improved Loaded Voltmeter Test Method," *IEEE Trans. Instru Meas.*, vol.31, pp.686-689, Sep. 1982.
- [4] G.P.Hancke, "A Fiber Optic Density Sensor for Minitoring The State-of-Charge of A Lead Aacid Battery," *IEEE Trans. Instru Meas.*, vol.39, pp.247-250, Feb. 1990.
- [5] G.P.Hancke, "The Measurement of Te Relative Density of Homogeneous Fluids by Means of An Optical Technique," *IEEE Trans. Instru Meas.*, vol.41, pp.1053-1056, Feb. 1992.
- [6] J.H. Aylor et al., " A Battery State-of-Charge Indicator for Electric Wheelchairs," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol.39, pp.398-409, Oct. 1992.