

# 전기 에너지 저장 및 관리 시스템

- 윤길영 | 현대자동차 선행개발센터, 선임연구원  
e-mail : kyyoun@hyundai-motor.com
- 박선순 | 현대자동차 선행개발센터, 연구원
- 김철수 | 현대자동차 선행개발센터, 수석연구원

이 글에서는 환경친화적인 차량인 순수 및 하이브리드 전기자동차에 필수적인 구성품인 전지와 그 성능을 최적화시켜 주는 전지 관리 시스템의 기술 현황을 소개하고자 한다.

급속한 산업화가 진행됨에 따라 토지의 사막화, 산림의 감소, 지구 온난화 등 환경 파괴에 대한 문제가 점점 더 심각하게 대두되면서, 환경보존에 대한 경각심이 높아져 세계 각국에서는 특별법 제정 등과 같이 환경보존을 위한 여러 가지 노력이 구체적으로 진행되어 왔다. 이에 세계 주요 자동차 제조회사들은 이러한 환경적인 문제와 에너지 저감을 동시에 만족하는 저연비 및 저공해 환경 친화적인 자동차를 양산하기 위한 연구 노력을 활발히 진행하여 왔다.

자동차 제조업체는 지속적인 유가 인상과 CO<sub>2</sub>협약 등의 환경론의 대두됨에 따라 연비 향상 및 공해 저감에 대한 필요성을 인식하여 기술개발에 박차를 가하는 기회로서 활용하였고 또한 해마다 강화되고 있는 배기가스 규제 법안 및 그 발효 시기가 임박해짐에 따라 저공해 차량개발에 대한 환경적 압력에 직면해 있기

하다. 이러한 배경에 발 맞추어 내연기관은 눈부신 연비 향상 및 공해저감을 이루었다. 그러나 이제는 친환경적인 요구 및 유지비용의 증대로 기술개발의 한계에 이르렀고, 이러한 시대적 요구에 만족코자 전기자동차, 하이브리드전기자동차, 연료전기자동차 등과 같은 다양한 저공해 및 무공해 자동차에 관한 연구를 진행하고 있다. 이 글에서는 전기자동차의 주 동력원으로 그 기본 구성요소인 전지 및 그 응용기술에 대해 설명하고자 한다.

## 전 지

인류에게 전지는 2000년전 단순한 향아리전지(뜸밥+황산) 형태로 나타나기 시작하여, 1800년 최초 볼타전지가 대중화의 기초를 제공한 후, 현재 각 가정에 50개 이상의 전지가 리모컨, 시계, 전등, 게임기 등속에서 자연스럽게 장착되어 사용되고 있다.

그림 1은 현재 가장 많이 사용되고 있는 전지 중에 하나인 Ni-MH전지(Nickel Metal-Hydride battery)의 충전·방전 동작 원리를 나타낸 것으로서 저장된 내부의 화학에너지를 산화-환원 반응에 의해 전기에너지로 변환하는 시스템을 보여준다. 그 구성요소를 보면, 외부 도선으로부터 전자를 받아 활물질이 환원되는 전극인 양극과, 활물질이 산화되어 도선으로 전자를 방출하는 전극인 음극, 활물질의 환원-산화반응이 유기적인 화학적 조화를 이룰 수 있도록 물질의 이동을 돕는 매체

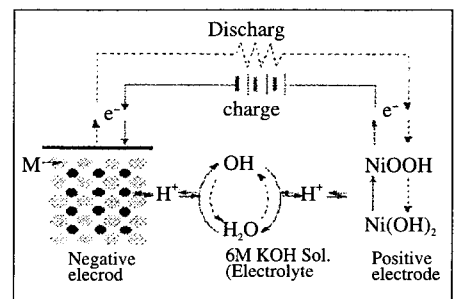


그림 1 Ni-MH전지 동작원리

인 전해질 등으로 구성되어 있다. 전지의 종류는 다음과 같다.

(1) Lead-Acid : 1860년대에 실용적으로 개발되어, 자동차 및 공업용으로 가장 많이 사용되고 있으며, 비교적 안정적이기 때문에 초기 전기자동차에 많이 사용되었으나, 부피, 무게 대비 에너지가 다른 종류의 전지에 비해 낮은 단점이 있다.

(2) Ni-Cd : 1899년에 발명되어 2차대전후 급속히 기술이 발전하였고, 현재 산업/군사용으로 사용되고 있지만, 주요 구성요소인 Cd의 중금속 오염문제의 대두로 감소 추세이다.

(3) Ni-MH : 1990년대 본격적으로 상용화되어, 전자/통신장비에 사용되고 있다. 소용량전지는 리튬전지의 등장으로 감소 추세이나, 전기자동차에는 널리 적용되어 있다.

(4) Li-ion : 1912년 처음 등장하여, 1970년대 초에 상용화되었고, 현재 전자/통신장비에 널리 사용되고 있으며, 계속적인 증가 추세이다. 휴대폰 같은 소형이면서 무게가 작고 용량이 상대적으로 높은 전지가 요구되는 부분에 많이 사용되고 있다. 무게 및 부피 대비 에너지가 현재 가장 높은 전지로 고 에너지를 요구하는 전기자동차용으로의 적용이 활발하게 진행 중에 있다.

### 차량동력원으로의 전지응용

전지는 내연기관 차량에서는 보조 전원으로 널리 사용되고 있지만, 전기자동차에 있어서는 주 에너지원으로써 가속성능 및 일

충전 주행거리를 결정하는 주요한 인자가 된다. 또한 저공해/저연비를 추구하는 하이브리드전기자동차에 있어서는 내연기관이 최적 동작 영역에서 운영될 수 있도록 도와주고, 제동시 차량에서 버려지는 기계적인 관성에너지를 전기에너지로 변환하여 보관하는 주요한 역할을 한다.

환경친화자동차는 자동차 추진에 필요한 에너지를 기준으로 크게 전기자동차와 하이브리드 전기자동차로 나눌 수 있는데, 전기자동차는 다시 순수전기자동차(pure electric vehicle)와 연료전지전기자동차(fuel cell electric vehicle)로 나눌 수 있다. 또한 하이브리드 전기자동차는 그 에너지원을 무엇으로 사용하느냐에 따라 전지와 기름을 사용하는 가솔린 하이브리드 전기자동차(gasoline hybrid electric vehicle), 전지와 연료전지를 이용하는 연료전지 하이브리드 전기자동차(fuel cell hybrid electric vehicle), 가스터빈과 전지를 이용하는 가스터빈 하이브리드 전기자동차(gas turbine hybrid electric vehicle) 등으로 분류된다. 여기서는 전지를 주 에너지원으로 사용되는 순수 전기자동차용 전지 및 그 주변장치 대해 주로 설명하려고 한다.

전지는 그 적용분야에 따라 각기 다른 특성이 요구되는데, 전기자동차의 경우 크게 고출력밀도(W/kg), 고에너지 밀도(Wh/kg), 장수명(cycle) 등의 특성이 요구된다.

(1) 수명 : 2차 전지는 충방전을 계속하면 용량이 감소하는 특

성이 있다. 초기 100Ah이었던 용량이 몇 백 번 충방전을 진행하면 70, 60, 50Ah로 줄어든다. 차량의 보수 유지비에 막대한 영향을 줄 수 있으므로 기본적으로 차량의 내구 연한과 동일해야 한다. 일반적으로 수명은 초기 용량의 80% 정도 줄어들었을 때까지의 충방전 회수로 정의한다.

(2) 에너지밀도 : Wh/kg (specific energy), Wh/l (energy density)로 표시하며, 에너지량을 경량으로 얼마나 작게 만들 수 있는가를 결정하는 척도이다. 이 요소는 전기자동차의 경우 차량의 일충전 주행거리와 밀접한 관계를 갖는다.

(3) 출력밀도 : W/kg (specific power), W/l (power density)로 표시되며, 고출력을 얼마나 가볍게, 적은 공간을 이용해서 만들 수 있는가에 대한 척도이다. 전기 및 하이브리드 전기자동차에서 차량의 가속성능에 큰 영향을 미치며, 특히 하이브리드의 경우 고출력이 요구되므로 전기자동차의 5배 이상의 성능이 요구된다.

(5) 자기 방전 : 전지는 내부에 화학 물질로 구성되어 그냥 방치하고 있어도 내부화학반응에 의하여 서서히 그 용량이 줄어든다. 이런 현상을 자기방전(self-discharge)이라고 하고, 온도가 높을수록 자기방전 속도가 급격히 증가하므로, 열대 지방이나 여름에는 세심한 주의가 필요하다.

### 전지관리시스템

전지관리시스템은 주 동력원인 배터리의 입출력에너지를 제어하

고, 타제어기와의 통신을 통하여 전지의 정확한 상태를 제시하며, 또한 전지에 최적의 환경을 제공하는 것을 목적으로 한다. 즉 차량 주행시 구동에너지를 제공하고, 제동시 회생에너지를 저장하며, 전지의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 냉각 성능을 제어하고, 차량제어에 필요한 전지의 충전상태, 최대 충/방전 출력, 각종 경고 및 결함에 대한 정보를 차량제어기에 보냄으로써 차량 및 전지의 최적 동작 환경을 조성하여 주는 시스템이다.

차량적용을 위한 전지 시스템의 구성, 주요기술, 충전방법 등에 관해서 알아보면, 전지 시스템은 그림 2와 같이 크게 전지와 전지 관리 시스템으로 나뉘어져 있다. 그 구성요소를 목적 별로 분류하면 다음과 같다.

- (1) 전지는 차량의 주동력원으로 사용된다.
- (2) 전지시스템의 차량 장착, 보수 유지 및 열관리를 위한 트레이가 필요하다.
- (3) 전류센서는 전지의 동작 전류를 측정한다.
- (4) 메인 릴레이는 모터제어기에 의해서 배터리와 인버터간의 동력을 절연하는 역할 및 접속 초기 흐르는 전류를 제어하여 고전압의 돌입전류로부터 회로를 보호하는 역할을 한다.
- (5) 또한 안전 스위치는 전지 시스템의 보수/유지 시 고전압으로부터 작업자의 안전을 확보하는 역할을 하며, 전지 전압을 최대한으로 낮출 수 있는 중간 지점에 고전압 퓨즈와 함께 장착된다.
- (6) 전지 제어기는 전지의 상

태를 계측하여 차량제어기에 필요한 명령 및 전지 관리에 필요한 인자들을 생성하여, 차량제어기의 제어변수를 전달하는 역할을 한다.

그림 3은 기술적인 측면에서 전지시스템을 구성하는 전지성능, 전지제어, 열관리, 급속충전 등의 주요기술들이 적용됨을 보여 준다.

전기자동차용 전지는 차량의 동력성능에 지대한 영향을 미치므로 주로 주행거리와 밀접한 관련을 가지는 에너지 밀도가 중요하다. 현재 Ni-MH 전지가 주로 사용되며, 향후 Li-Ion 전지로 대체될 전망이다.

전지제어기술은 전기자동차가 직렬로 전지를 사용함에 따라 차량 안전 및 신뢰성 증대를 목적으로 전지상태예측에 대한 요구가 증가되어, 점차 그 중요성이 강조되어 왔다.

Li-Ion전지의 경우 현재 cell controller와 module controller로 구분되어, 외국자동차 회사에서 적용한 전기자동차의 경우 다섯 개 제어기가 전지시스템에만 탑재되는 상황이다. 그림 4는 전지 제어기의 기본적인 제어 흐름도로 전지 제어기는 전지로부터 지속적으로 전압, 전류, 온도 등을 입력 받아 충전상태, 가용 충방전 출력을 산출하고, 전지 상태에 대한 정보를 바탕으로 전지의 이상유무를 검출하여 차량

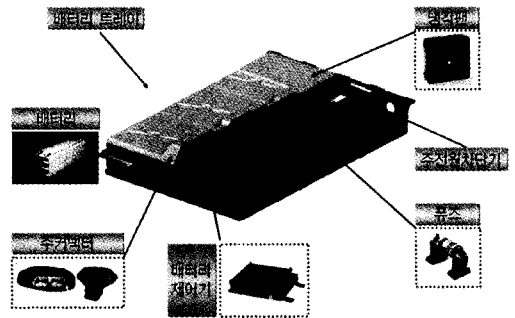


그림 2 전지시스템의 구성

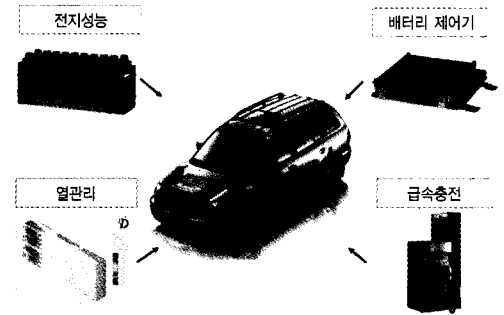


그림 3 배터리 시스템 주요기술

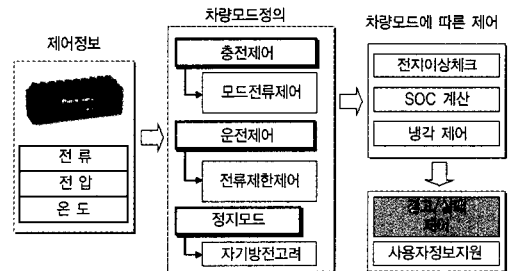


그림 4 전지 제어 모드

제어기에 경고 및 충방전 제한/정지 등의 정보를 송부하여 전지를 보호한다.

열관리기술은 전지가 열에 매우 민감한 특성을 가지는 것과 직렬로 전지를 사용하는 경우 최악의 전지에 전체 전지의 성능이 좌우되는 문제를 개선코자 대두된 신기술이다. 그림 5는 전기자동차에 적용된 전지 냉각 시스템 구조로 크게 두 가지 측면을 고려해야 한다. 첫 번째로 전지 냉각시



그림 5 전지 냉각시스템 구조

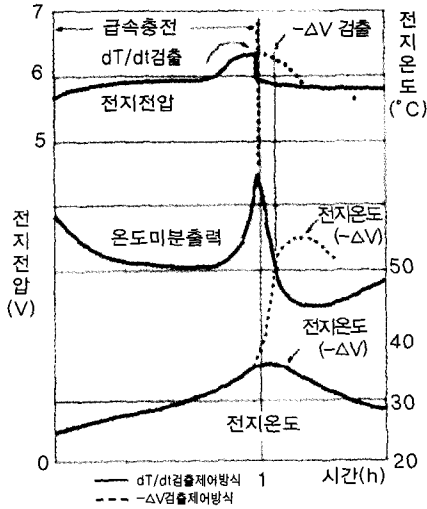


그림 6 전지 만충전 감지방법

시스템은 충방전시 전지의 내부저항에 의해 발생된 열을 동일하게 방출토록 구성되어야 한다. 직렬로 연결된 전지의 서로 다른 냉각 효과는 온도편차를 발생하며, 이는 전지성능감소의 커다란 원인을 제공한다. 두 번째 중요한 요소는 전지의 최적운동을 위하여 작동온도를 일정한 영역에서 작동토록 냉각시스템을 구성하는 것으로서 주로 하이브리드 전기자동차에서 실내 공기를 전지시스템으로 흡입하여 전지의 최적 온도를 유지하는 방법으로 사용된다. 순간적으로 전지의 용량에 20~30배의 전류를 공급해야 하는 하이브리드 전기자동차의 특성상 전지를 최적의 상태로 유지하는 것은 필수적이다.

전지제어기의 또 다른 주요한 기능은 전지상태에 맞는 충전제

어 알고리즘을 수행하는 것이다. 전지제어기는 지속적인 배터리의 전압, 작동전류, 온도를 입력 받아 충전 상태를 예측하고, 배터리 시스템의 전반적인 상태를 감시하여, 충전 Profile을 수행한다. 일반적인 전지 충전 방법들과 같다.

- (1) 일정한 전류로 충전 : 정확한 충전량을 알 수 있는 장점이 있으나, 정확한 만충전 감지가 필요하다.
- (2) 일정한 전압으로 충전 : 전지전압의 변동에 따라 전류 값이 감소하므로 정확한 전압 설정시 만충전 감지가 불필요하다.
- (3) 일정한 전류와 전압을 혼합한 충전 : 충전 초기 일정 전류로 충전 말기 일정 전압으로 충전하는 방법으로 초기 전기자동차에 많이 적용되었다.

(4) 일정 전력으로 충전 : 일정 전류와 전압 충전의 중간 단계 충전 방법

(5) 테이퍼 충전 : 충전기의 출력 전류-전압에 일정한 패턴을 주어 충전하는 방법

(6) 플로트 충전 방식 : 주로 만충전 후 보충전에 많이 사용하며, 일정전압 충전과 유사

(7) 트리클 충전 : 주로 만충전후 보충전에 많이 사용하며, 일정 전류 충전과 유사

(8) 펄스 충전 : 주로 만 충전후 보충전 또는 급속충전 시에 적용되는 방법으로 아직 개발단계이다.

그림 6은 전지 충전의 주요 제어요소인 만충전 감지 방법을 나

타낸 것이다

(1) - ΔV검출 방식 : 니켈-수소전지, 니켈-카드뮴전지는 충전시 만충전에 가까게 되면 전압의 하강(-ΔV)이 나타난다. 이 전압 하강을 검출하여 충전 전류를 제어하는 방식.

(2) 온도 미분 검출 방식 (dT/dt) : 시간에 따른 온도의 변화율로 검출하는 방식으로 만충전에 가까워지면, 전지의 전기적/화학적 내부저항이 급속이 증가하여 온도 상승이 급속이 증가하는 원리를 이용한 것이다. .

(3) 온도제어방식 : Thermal Cut Off (TCO)방식은 전지온도가 설정값에 도달하면 충전을 완료하는 방식.

(4) 시간 또는 충전량 제어 방식 : 총 충전시간 또는 충전량을 이용하여 제어하는 방식으로 현재의 충전량을 정확히 판단이 가능할 때 사용 가능하다. 주로 전지시험시 사용한다.

맺음말

기존 가정용 또는 산업용 전지와는 달리 차량용 전지는 그 응용분야의 특수성을 감안한 시스템적인 기술 접근이 필요하다. 전지성능뿐만 아니라 최적의 상태를 유지해 주는 제어기, 열관리 및 충전기술이 그것이다. 또한 각 기술은 차량 및 차량제어기와 연동하여 전기적, 기계적인 요구조건, 성능 등이 충족되므로 개발초기부터 상호 보완적인 설계 및 개발이 필요하다. 향후 과제로는 차세대 전지인 리튬을 이용한 신뢰성 있는 전지시스템의 개발이 필요하다.