

High-Frequency Analysis Modeling of Hybrid Vehicle Battery

이재중* · 이준상* · 김미로** · 권혁수** · 나완수†
 (Jae-Joong Lee · June-Sang Lee · Mi-Ro Kim · Hyck-Su Kweon · Wansoo Nah)

Abstract - In order to present that the electromagnetic compatibility standards following the frequency goes up which is based automotive electronics, in this paper, a hybrid/electric vehicle battery which reflects the frequency of the equivalent circuit model is introduced. By using this circuit modeling, the impedance characteristics can be analysed and an analyze of battery one cell is finished. Using this model, each different from the discharging situation, the discharge characteristic curve could be led. Basic theoretical approaches and measuring results through MATLAB and experimental validation of the EIS measurement equipment was used.

Key Words : High voltage, Hybrid electric vehicle, EMC, Conducted emission

1. 서 론

앞으로 사용하게 될 미래 자동차는 화석연료를 이용해 구동하는 내연기관(內燃機關 : Internal Combustion Engine)이 아닌 전기에너지를 이용해 모터를 구동하는 시스템(Motor Driving System)이다. 저탄소 녹색성장이라는 말이 나온 이후로 전기자동차(EV)와 하이브리드 자동차(HEV)는 더욱더 각광 받게 되었다. 이 분야에 관심이 많아지고 기술력이 나날이 향상됨에 따라 전기적으로 구동하는 시스템인 만큼 전자파 적합성(EMC : Electromagnetic Compatibility)에 대한 문제도 이 분야에서 큰 문제로 부상하기 시작했다.

이런 전자파 방해(EMI : Electromagnetic Interfere), 전자파 내성(EMS : Electromagnetic Susceptibility)등의 문제를 분석하기 위해서는 자동차의 모터 구동 시스템을 RC-회로로 모델링 하여 전기적 특성을 살펴봐야 한다. 이에 앞서 가장 중요한 전류 공급원인 배터리의 모델링에 초점을 맞춘다. 현재 하이브리드 자동차에서는 배터리의 긴 충전시간, 짧은 수명, 무게, 그리고 가격 등과 같은 내부적 문제와 대중화 되지 않은 배터리 충전 시스템과 같은 외부적 문제로 인해 상용화되기에는 아직 어려움이 많이 있다. 이런 어려움을 극복 하고자 국내/외에서 다양한 종류의 전기자동차 개발과 세미나를 통해 기술의 발전을 도모하고 있다.[1] 일반적인 자동차의 EMC관련 주파수 대역은 30MHz에서 1GHz까지 였으나, 앞으로 미래 자동차에 들어가는 전장품들은 1GHz 이상의 주파수를 이용하기 때문에 이런 고주파수

에 대한 신호 전달 특성 및 EMI문제에 관심을 가져야 한다.

배터리에서 전류를 일정하게 공급 해 주지 못하면, 그 전류를 받고 동작을 하는 다른 자동차 전장품들도 영향을 받을 수밖에 없다. 또한 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 사용한 인버터와 같은 on/off 스위칭 소자에서 발생하는 노이즈가 배터리와 연결되어있는 하네스(Harness)를 통해 전도성 방사(CE : Conducted Emission)를 일으켜 일정한 전류를 만드는데 방해할 수도 있다. 이런 여러 문제를 해결하기 위해서 배터리 등가회로 모델링이 최우선 과제로 꼽힌다.

하이브리드 자동차에서 가장 핵심 장치 중 하나인 배터리는 화학적 반응을 통해 전기에너지를 만드는 장치이다. 때문에 배터리의 구성은 두 개 이상의 화학적 셀로 이루어져 있으며, 이에 대한 전기적 문제를 해결 하려면 이 화학물질들에 대한 등가회로 모델링이 필요하다. 기존의 배터리 모델링은 직류 전압원(DC Voltage Source)과 내부 저항이 달려있는 단순한 형태로 모델링을 한다. 이 모델링에 따르면 직류전압은 이상적인 공급원이기 때문에 일정하게 전압을 인가 해 일정한 전류를 다른 장치로 내보내준다. 하지만 실제 배터리에서는 전류가 일정하게 공급되지 않는다. 충전상태(SOC: State Of Charge), 온도 및 주변 동작 환경에 의해 영향을 받기 때문이다.[2] 때문에 이를 반영 할 수 있는 배터리 모델링이 필요하며 기존에 나와 있는 개회로 전압(Open Circuit Voltage)뿐만 아니라 주파수 까지 반영 할 수 있는 RC-회로 모델링을 소개한다.

이 논문 본론 2.1장에서는 배터리 등가회로 모델링에 대한 기본지식을 소개한다. 그 후 기존에 소개된 개회로 전압의 결과와 측정치의 비교가 2.2장에 그래프와 함께 기술되어 있다. 2.3장에서는 교류(AC)를 반영 할 수 있는 RC-회로를 제시하며 측정결과와 곡선적합(Curve fitting)결과를 보여주며 2.4장에서 이 결과를 뒷받침 할 수 있는 수식적 접

* 준 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정
 ** 비 회 원 : (주) 현대모비스 기술연구소
 † 교신저자, 시니어회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수
 E-mail : wsnah@skku.edu
 접수일자 : 2011년 9월 23일
 최종완료 : 2011년 12월 19일

근과정을 제시하며, 임피던스 스펙트럼 측정치와 비교하며 결론 3장에서 앞으로의 응용 범위 및 최종 결론으로 논문을 마무리 짓는다.

2. 본 론

현대 사회에서 에너지의 저장은 매우 중요하다. 특히 핸드폰, MP3, 태블릿 PC, 등의 사용량의 증가로 인해 배터리의 용량, 효율, 안정성 문제는 더욱 더 중요한 문제로 자리잡게 되었다. 이러한 에너지 저장에 관한 문제는 비단 모바일 기기나 전자제품에 국한 되어 있지 않다. 이제는 전자제품 뿐만 아니라 하이브리드 전기 자동차에서도 관심이 집중되어 있다. 전자제품에 비해 전기 자동차는 제품의 신뢰성 문제가 더욱 더 중요하다. 제품의 결함이 사용자의 불편으로 연결되는 전자기기에 비해 전기 자동차의 경우는 생명에 직결되어 있기 때문이다.

잘 설계(Design)된 배터리 등가회로 모델링을 사용하여 배터리에서 나오는 복사성 방사와 배터리에 연결된 전장품에서 역으로 유기되는 전도성 방사, 또한 통합적으로 발생하는 전자파 방해 등을 확인 및 예측 할 수 있다면 설계 단계에서부터 이러한 문제점들을 예방 할 수 있을 것이다. 또한 실제적으로 아직 전기 자동차에 대한 전도성 방사, 복사성 방사 및 전자파 방해등에 관한 규격이 정확하게 규격화 되어 있지 않다. 본 논문을 활용한 이론적인 면과 AMN(Artificial Mains Network)중의 하나인 LISN(Line Impedance Stabilization Network)를 이용해 전도성 방사를 측정해서 비교한다면 신뢰할 수 있는 기준을 제시 할 수 있다.[3]

2.1 배터리 등가회로 모델링

기본적으로 배터리는 화학적 물질이 반응을 하여 반응에너지를 전기에너지로 바꾸는 장치이다. 이러한 이유 때문에 배터리는 전적으로 전기적인 장치도 아니고 화학적인 장치도 아닌 전기-화학적인 요소를 모두 생각해야 하는 장치이다. 화학물질로 이루어져 있는 배터리는 배터리 내의 두 물질의 화학 반응에 따라 전하 캐리어가 전자를 부하(Load)에 전달한다. 납 배터리의 경우 수소와 산소(H⁺, O₂⁻)이 전자를 전달하며, 니켈 기반(Nickel-based)의 배터리에서는 수산화이온(OH⁻)이, 나트륨 기반(Sodium-based)의 배터리에서는 염소이온(Cl⁻), 그리고 리튬 배터리에서는 리튬이온(Li⁻)이 그 역할을 수행한다. 리튬이온 배터리의 경우 리튬이온은 반응물이면서 동시에 전해질을 통과하는 이동이온(mobile ion)이기도 하다.

이렇게 캐리어에 의해 전달된 전자는 부하에 일정한 전류를 제공한다. 이를 등가회로로 모델링을 한다면 이상적인 전압 원(Voltage Source)과 저항을 통해 표현 할 수 있다. 이상적인 전압 원을 통해 일정한 전류가 공급되기 때문이다. 하지만 실제 배터리에서는 배터리의 충전 상태(SOC)나 방전상태(DOD: Depth Of Discharge)에 따라 부하에 걸리는

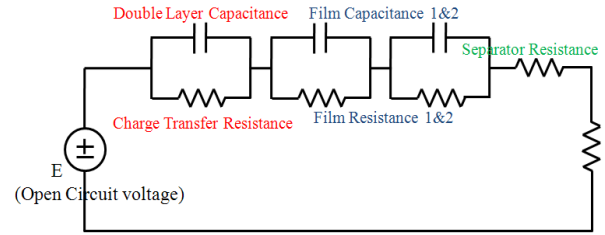


그림 1 배터리 요소를 반영한 등가회로 모델

Fig. 1 Battery equivalent circuit model including its elements

전압이 변화하며, 온도, 배터리의 사용 횟수, 부하로부터 전달되는 SSN(Simultaneous Switching Noise)등에 의해서도 전압이 변화한다. 때문에 단순한 “전압 원 저항”의 등가회로는 실제 동작 특성을 모의 할 수 없다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 배터리 내부구조에 따른 적절한 등가회로 모델링이 필요하다.[4] 배터리는 음극(Cathode)과 양극(Anode)이 있고 그 사이를 다공성 분리막(Porous separator)이 분리하고 있다. 양극과 음극은 저항과 커패시터의 병렬연결로 모델링하며, 양극과 음극 사이의 분리 막은 저항으로 모델링한다. 이때, 양극과 음극을 모델링한 회로에서의 저항을 전하 전달 저항(Charge transfer resistance)라 부르고, 커패시터를 이중층 커패시터(Double layer capacitance)라고 부르며, 분리 막을 모델링한 저항을 용해 저항(Solution resistance)라 한다. 마지막으로 음극/양극과 분리 막 사이에 표면 막(Surface films)이 생기는데 전하가 충/방전을 하는 과정에서 생기는 막이다. 이 역시 저항과 커패시터의 병렬연결로 모델링하며, 이를 표면 막 저항(Surface film resistance)과 표면 막 커패시턴스(Surface film capacitance)라 부른다. 그림 1에서 이를 모델링 한 회로를 보여주고 있다.

또한 내부 모델링에 이어 부하에 전달되는 전압 강하를 살펴봐야 한다. 이는 측정치를 토대로 함수를 유도하며 방전 상태에 따라 변화하는 구간을 적절히 나누어 비선형항을 생성함으로써 수식을 완성한다. 이 실험에서는 리튬이온 폴리머 배터리(Lithium ion polymer battery)를 이용하여 측정 하였고 본 연구에 사용된 배터리의 사양은 표 1과 같다.

표 1 리튬이온 폴리머 배터리 사양

Table 1 Lithium ion polymer battery spec

Item	Rating	Note
Nominal Capacity	4000mAh	Discharge : 0.2C
Cut off Voltage	2.75V	
Nominal Voltage	3.7V	
Charge Current	Standard	0.2CmA
	Rapid	0.5CmA
Charge Voltage	4.2V	Cut off current: 0.05CmA
Maximum Charge Voltage	4.25V	

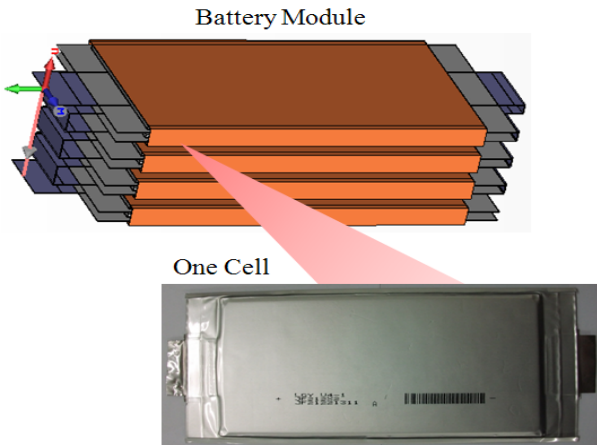


그림 2 전형적인 배터리 모듈과 셀의 모습
 Fig. 2 Typical Battery Module and One Cell

2.2 개회로 전압(Open Circuit Voltage)모델링

기존의 배터리 모델링은 이상적인 전압 원과 저항의 연결로 표현되는 간단한 모델이다. 이 모델은 충/방전 특성을 반영하지 못하므로 충전상태(SOC)를 기반으로 한 비선형적(Non-linear)인 항이 추가적으로 필요 하다. 개회로 전압(OCV : Open Circuit Voltage)은 다음과 같이 정의 할 수 있다.[5]

$$E = E_0 - k \frac{Q}{Q - \int_0^t i(\tau) d\tau} + Ae^{B \int_0^t i(\tau) d\tau} \quad (1)$$

$$DOD(t) = \frac{\int_0^t i(\tau) d\tau}{Q}$$

- E_0 : Battery constant voltage(V)
- Q : Battery capacity(Ah)
- k : Polarization voltage(V)
- A : exponential zone amplitude(V)
- B : exponential zone time constant inverse (Ah)⁻¹

이 방정식은 비선형 항인 $k \frac{Q}{Q - \int_0^t i(\tau) d\tau}$ 항이 전류 크기에 따른 비선형적인 전압강하와 실제 배터리의 전하량(잔량)을 반영한다.

전형적인 방전 특성에서 나오는 곡선은 지수 함수 항이 지배적인 지수함수 영역(Exponential Zone)과 배터리가 주로 사용되는 영역인 공칭 영역(Nominal Zone)이 있다. 이 영역의 끝 지점의 전압을 이용해서 위에 제시된 수식의 상수를 결정짓는다.

먼저 지수함수 파트의 $(Ae^{B \int_0^t i(\tau) d\tau})$ 상수는 다음과 같이 결정한다.

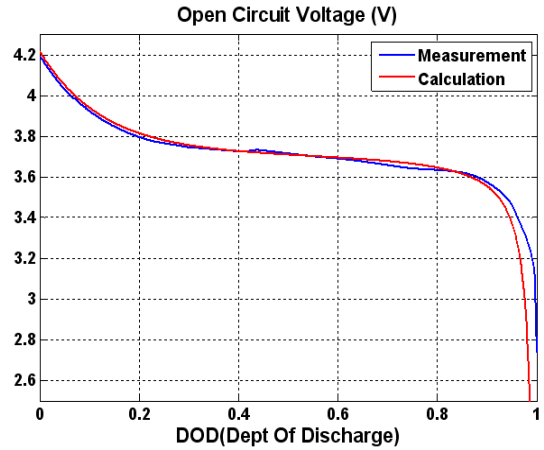


그림 3 방전 상태에 따른 개회로 전압 그래프
 Fig. 3 Open circuit voltage graph according to DOD

- A : Voltage drop during the exponential zone (V)
- $A = E_{full} - E_{exp} = 4.2 - 3.7 = 0.5$
- $3/B$: Charge at the end of exponential zone (Ah)
- $B = 3/Q_{exp} = \frac{3}{4 \times 0.3} = 2.5$

상수 k 는 완충 상태의 전압과 공칭 영역의 전압, 전하로써 유도할 수 있다.

$$k = \frac{(E_{full} - E_{nom} + Ae^{(-B \times Q_{nom}) - 1})(Q - Q_{nom})}{Q_{nom}}$$

$$= \frac{(4.2 - 3.627 + 0.5e^{(-2.5 \times 3.2) - 1})(4 - 3.2)}{3.2}$$

$$= 0.0183$$

마지막으로 배터리의 일정 전압은

$$E_0 = E_{full} + k + Ri - A$$

$$= 4.2 + 0.0183 + 0.1025 \times 0.2 - 0.5 = 3.7388$$

위의 수치를 수식(1)에 대입하여 MATLAB으로 계산한 결과는 그림 3과 같다.

2.3 교류 임피던스(AC Impedance) 모델링

배터리는 반응을 통해 외부에 부하가 걸릴 때 그 부하에 일정하게 전류를 공급해 주는 역할을 한다. 따라서 전하를 보관하는 커패시터적인 역할이 필요하며, 그 사이는 이온화 물질로 채워져 있기 때문에 저항적 역할도 역시 필요하다. 배터리 내부의 이온화 손실 저항 등을 고려한 모델링이 그림 1의 회로와 같다.[6] 이때의 전하전달 저항, 이중층 커패시터, 표면 막 저항, 표면 막 커패시터, 용해 저항($R_{ct}, C_{dl}, R_{fn}, C_{fn}, R_s$)값들은 AC 임피던스 분석법(AC Impedance Spectrum)에 의해 추출 할 수 있다. 2.2절에서 제시한 수식으로 개회로 전압을 DOD에 따라 도출할 수 있었다. 추출한 RC값과 수식을 통합하여 화학반응에 의한 전기적 특성을

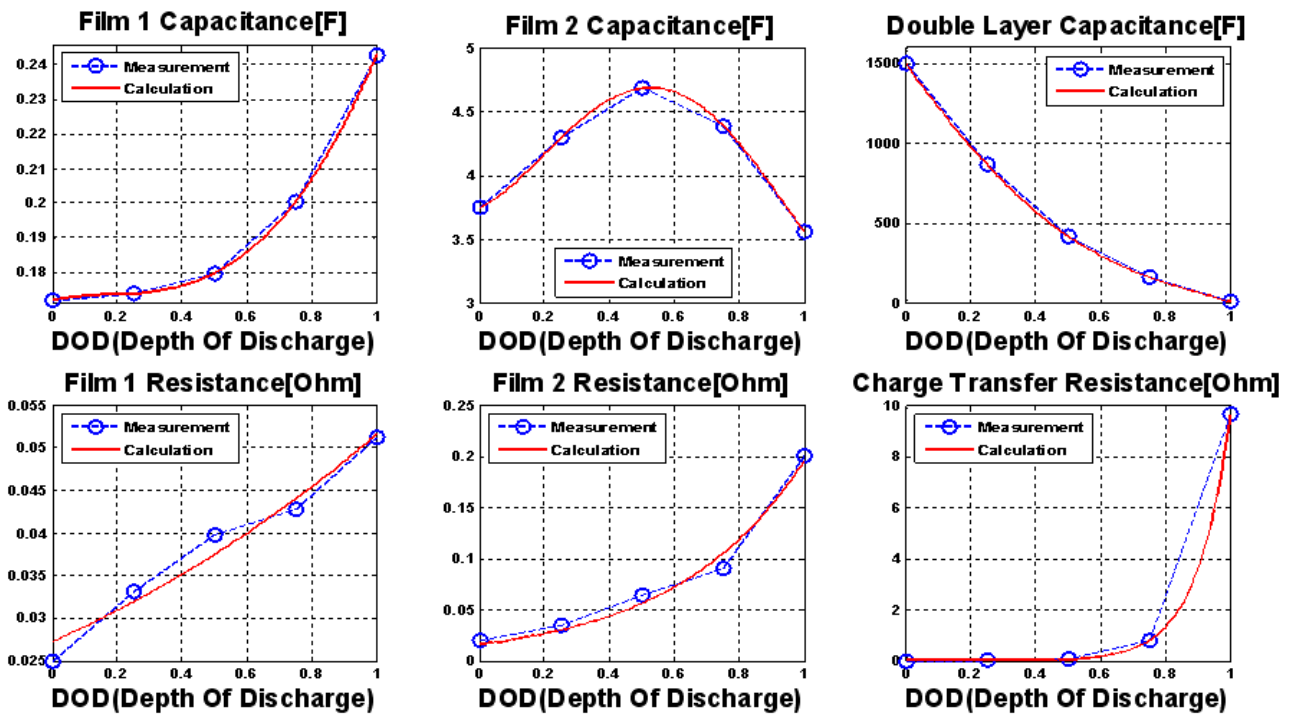


그림 4 방전 상태에 따른 배터리 RC파라미터 측정 및 결과
 Fig. 4 Battery RC-parameter Measurement and Result versus DOD

회로해석으로써 풀 수 있게 되었으며, 이에 따라 고주파 상태에서도 해석이 가능하게 된다.

임피던스 측정은 충전상태(SOC)가 0%일 때, 즉 차단 전압(Cutoff Voltage : 2.75V)와 25%, 50%, 그리고 75%에서 3회씩 측정된 결과를 이용했고, 이 네 가지 결과를 이용하여 곡선 적합 결과를 유도 할 수 있다. 이 데이터는 실험적 데이터로 거의 정확한 결과이기 때문에 회기분석법과 보간법을 적절히 사용하여 적합 시키도록 한다. 하지만 보간법의 특성 상 양 끝 경계조건이 완성 되었을 때 보다 더 정확한 적합을 할 수 있는 점을 감안하여 충전상태(SOC)가 100%일 때의 값을 곡선의 경향성에 따라 설정 해 준다.

비교적 변화가 단순하지만 비선형적인 저항의 경우는 비선형 모델 중 지수모델(exponential model)을 통해 회기 분석을 하였고, 곡선의 변화가 큰 커패시턴스의 경우는 다항식 보간법을 사용하여 적합했으며, 이 경우 5개의 데이터를 가지고 있기 때문에 4차 함수로써 적합 시켰다. 이때 뉴턴 제차분 보간 다항식(Newton divide difference interpolation polynomial equation) 을 이용한다. 이에 따른 결과는 식 (2)와 같다. [7]

$$\begin{aligned}
 DOD &= x \\
 C_{dl}(x) &= -956.9x^4 + 1444x^3 + 841.3x^2 \\
 &\quad - 2821x + 1500 \\
 C_{f1}(x) &= -0.04587x^4 + 0.1861x^3 - 0.08833x^2 \\
 &\quad + 0.01877x + 0.1720 \\
 C_{f2}(x) &= 7.317x^4 - 16.69x^3 + 8.119x^2 \\
 &\quad + 1.067x + 3.75
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

저항들의 경우는 경향성 자체가 지수함수 이므로 간단한 지수함수 모델을 사용하여 적합 한다. 이 경우 2차 함수로 근사 시켜도 무관하며 이로 인한 오차는 5%내외로 매우 작다. 이 결과는 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned}
 DOD &= x \\
 R_{ct}(x) &= 0.000457e^{9.958x} \\
 R_{f1}(x) &= 0.02721e^{0.6401x} \\
 R_{f2}(x) &= 0.01618e^{2.492x}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

초기 값(SOC=100% <=> DOD=0%)을 반영한 결과 수식이 곡선적합을 만족시키는 것을 확인 할 수 있으며 보간법과 회기분석을 통한 초기 값 및 최종 값을 반영한 곡선 적합이 완성되었음을 확인 할 수 있다. 이 결과는 그림 4에서 확인 할 수 있다.

2.4 교류 임피던스의 수식적 접근

앞에서 배터리 등가회로 모델과 개회로 전압, 그리고 방전상태(DOD)에 따라 변화하는 저항 값과 커패시턴스의 값을 수식으로 구할 수 있었다. 이젠 이 모델이 갖는 임피던스를 수식적으로 계산하여 분석 해 본다. 임피던스를 실수부 대 허수부로 도식하는 나이퀴스트 플롯(Nyquist plot)을 통해 배터리의 결함 여부를 파악 할 수 있는 자료가 된다.

먼저 그림 1에서 부하와 전압 원을 제외한 부분의 임피던스를생각한다. 이 부분을 Z_i 라고 하고 기본적인 회로 이론을 토대로 임피던스를 구하게 되면 다음과 같은 수식을 얻

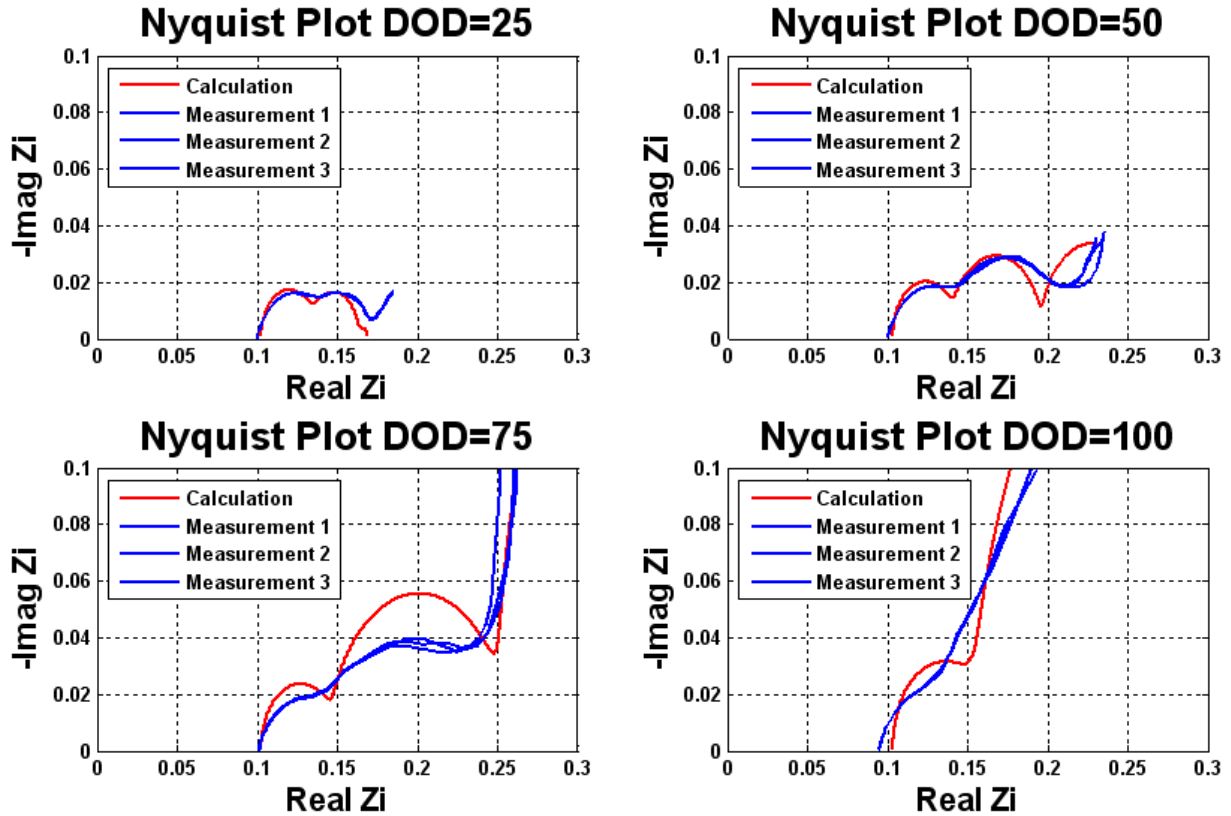


그림 5 방전 상태에 따른 임피던스의 나이퀴스트 플롯
Fig. 5 Nyquist plot of Impedance versus DOD

을 수 있다.n

$$\begin{aligned}
 Z_i &= \frac{1}{\frac{1}{R_a} + j\omega C_{dl}} + \frac{1}{\frac{1}{R_{f1}} + j\omega C_{f1}} + \frac{1}{\frac{1}{R_{f2}} + j\omega C_{f2}} + R_s \quad (5) \\
 &= \frac{R_a}{1 + j\omega R_a C_{dl}} + \frac{R_{f1}}{1 + j\omega R_{f1} C_{f1}} + \frac{R_{f2}}{1 + j\omega R_{f2} C_{f2}} + R_s \\
 &= \frac{R_a}{1 + \omega^2 R_a^2 C_{dl}^2} + \frac{R_{f1}}{1 + \omega^2 R_{f1}^2 C_{f1}^2} + \frac{R_{f2}}{1 + \omega^2 R_{f2}^2 C_{f2}^2} + R_s \\
 &\quad - j \left(\frac{\omega R_a^2 C_{dl}}{1 + \omega^2 R_a^2 C_{dl}^2} + \frac{\omega R_{f1}^2 C_{f1}}{1 + \omega^2 R_{f1}^2 C_{f1}^2} + \frac{\omega R_{f2}^2 C_{f2}}{1 + \omega^2 R_{f2}^2 C_{f2}^2} \right)
 \end{aligned}$$

이렇게 구한 임피던스의 나이퀴스트 플롯(Nyquist Plot)을 방전상태(DOD)에 따라서 도시한 것과 측정된 결과를 함께 비교한 그래프가 그림 5에 있다. 그래프와 잘 안 맞는 부분은 화학적인 특성 때문에 나타나는 현상으로 전기적인 특성만을 모의한 점을 생각하면 비교적 잘 맞는다는 것을 알 수 있다. 그래프 상의 저 주파수와 고 주파수에서 보이는 반원모양의 그래프는 전하전달 특성과 전기화학 반응에 의한 확산과정에 의해 나타나는 특성이다.[8]

이 임피던스의 실수부와 허수부의 크기를 비교한 그래프가 그림 6에 나타나 있다. 그래프를 보면 알 수 있듯이, 용해 저항 때문에 모든 주파수에서 실수부분의 크기가 허수부분의 임피던스보다 큰 것을 알 수 있다. 임피던스의 리액턴스(Reactance) 값이 작다는 것은 교류성분의 전압강하보

다 직류성분의 전압강하가 우세하다는 것을 의미한다. 그렇기 때문에 배터리의 개회로 전압 모델과 임피던스를 통합하는 회로를 구현하는데 있어 임피던스의 실수부분만인 저항성분(Resistance)을 이용해 근사 할 수 있을 것이라 예상 된다.

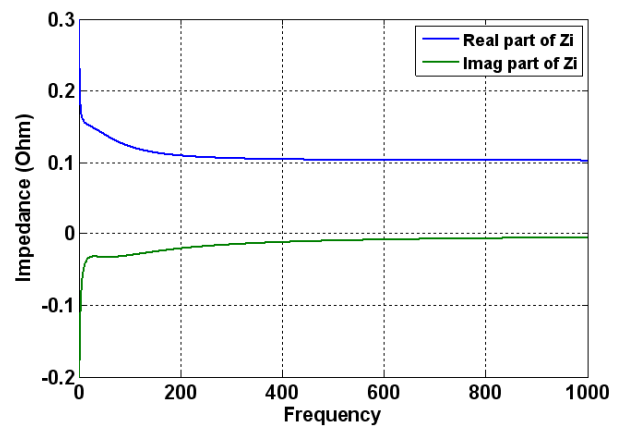


그림 6 주파수에 따른 저항과 리액턴스
Fig. 6 Resistance and reactance versus frequency

이로써 방전 상태(DOD)에 의존하는 배터리 등가회로 모델링을 구현 할 수 있고, 우리가 원하는 특정 방전상태에서 고주파수 해석이 가능하다. 임의의 DOD에서 개회로 전압을

구하고, 그때의 회로 소자 값을 추출할 수 있으며, 그 회로에 부하를 연결하여 교류해석을 하는 방법으로, 단순한 직류전원인 배터리에 유기되어 주파수 특성을 보이는 전도성 방사 해석을 가능케 한다.

3. 결 론

일반적인 소자와는 달리 자동차에서의 전자파 적합성문제는 인간의 목숨과 직결되어 있기 때문에 신뢰성의 문제가 더욱 더 크다. 더욱이 고전압, 고주파로 동작하는 자동차 전장품들이 많아지면서 이에 대한 전자파 적합성 및 전자파 방해 문제는 절대 간과 할 수 없을 만큼 중요한 문제가 되어가고 있다. 본 논문에서 소개한 모델링은 주파수에 따른 임피던스와 방전 상태(DOD)에 따른 전압을 예측 할 수 있으며 이 최적화된 배터리의 정확한 분석을 통해 추후 배터리와 연결되어있는 인버터, 자동차의 핸들, 모터구동 냉각 시스템(Motor Driven Cooling System)과 같은 전장품들과의 EMI문제를 기초 단계에서부터 해결 할 수 있다. 또한 임피던스 스펙트럼을 통해 배터리의 사용량과 임피던스의 관계를 알 수 있으며 이는 배터리의 성능을 판단 할 수 있는 척도로써 이용 할 수 있다.

현재 국내/외에는 하이브리드 전기자동차의 RE/CE (Radiated Emission/Conducted Emission)에 대한 가이드라인이 명확히 제시되어 있지 않은 상태이다. 이러한 관점에서 본 논문의 모델링은 경계조건을 만족하며 주파수를 반영 할 수 있는 회로와 측정값과의 비교를 통해 유효성을 확보 하였고 이 정확한 분석 결과가 앞으로 복사성 방사/전도성 방사(RE/CE)의 기준 척도를 제시하는데 도움이 될 것이다.

최근 미국 핵물리학 연구소인 아르곤 국립연구소에서도 고성능 배터리를 위한 모델링을 소개했다. 전기화학적 수준에서 리튬이온 배터리에 특별히 집중해 진보된 배터리 기술을 개발하기 위한 노력이다. 이런 화학적인 부분에서의 연구와 전기적인 부분에서의 연구가 함께 진행된다면 기존의 모델링보다 훨씬 더 실제와 비슷한 전기-화학적 (Electro-chemical)인 배터리 모델링을 구현해 낼 수 있으리라고 생각한다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20104010100630-11-1-000)

참 고 문 헌

[1] 이준상, 김종민, 남기훈, 배현주, 성진태, 나완수, “하이브리드/전기 자동차용 고전압 커넥터의 전자기 해석”, 전기학회논문지, 60, 131-137, 2011
 [2] Xiao Hu, Shaohua Lin, Scott Stanton, “A Novel Thermal Model for HEV/EV Battery Modeling Based on CFD Calculation”, ECCE, 2010 IEEE, 893-900, Sept. 2010

[3] H. Haeberlin, “New DC-LISN for EMC - Measurements on the DC side of PV Systems: Realisation and first Measurements at Inverters”, 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich, Germany, Oct, 2011
 [4] Gregory L. Plett, “Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs Part 2. Modeling and identification”, Journal of Power Sources, Vol. 134-2, 262-276, Aug. 2004.
 [5] Olivier Tremblay, Louis-A. Dessaint, Abdel-Ilhah Dekkiche, “A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles,” Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC. 2007. IEEE, Vol.9-12 pp. 284- 289, Sept. 2007
 [6] Marc Doyle, Thomas F. Fuller, John Newman, “Modeling of Galvanostatic Charge and Discharge of the Lithium/Polymer/Insertion Cell,” Electrochem. Soc., Vol. 140, 1526-1533, 1993.
 [7] Steven C. Chapra and Raymond P. Canale, “Numerical Methods for Engineers,” 5th Edition, McGraw-Hill, 338-424, 2007
 [8] Masaru Yao, Kazuki Okuno, Tsutomu Iwaki, Masahiro Kato, Shigeo Tanase, Katsuji Emra, Tetsuo Sakai, “LiFePO4-based electrode using micro-porous current collector for high power lithium ion battery”, Journal of Power Sources, Vol. 173, 545-549, 2007
 [9] Ravishankar Rao, Daler N. Rakhmatov, “Battery Modeling for Energy - Aware System Design,” IEEE Computer Society, Vol. 36, 77-87, 20

저 자 소 개



이 재 중 (李 載 中)

1988년 1월 13일생. 2010년 동국대 반도체과학과 졸업. 2011년 ~ 현재 성균관대 정보통신공학부 석사과정
 Tel : 031-290-7172
 Fax : 031-296-4622
 E-mail : jhallucination@gmail.com



이 준 상 (李 準 相)

1985년 1월 4일생. 2010년 명지대 전자공학과 졸업. 2010년~현재 성균관대 정보통신공학부 석사과정
 Tel : 031-290-7172
 Fax : 031-296-4622
 E-mail : sincereljs@gmail.com



김 미 로 (金美路)

1969년 12월 21일생. 1994년 중앙대 기계공학과 졸업. 1996년 동 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1996~2003년 대우 고등기술연구원 2004~현재 현대모비스 공학해석팀 근무

Tel : 031-288-3535

Fax : 031-280-3047

E-mail : mkrim@mobis.co.kr



권 혁 수 (權赫洙)

1976년 1월 3일생. 2002년 건국대 물리학과 졸업. 2004년 동 대학원 물리학과 졸업(석사). 2004~2004년 삼성 ENG 근무. 2005~2006년 CMS. 2006년~현재 현대모비스 공학해석팀 근무

Tel : 031-288-5239

Fax : 02-2173-5111

E-mail : k2kweon@mobis.co.kr



나 완 수 (羅浣洙)

1962년 6월 14일생. 1984년 서울대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년~1993년 SSCL Guest Collaborator. 1993년~1995년 한국전기연구원 선임연구원. 1995년~현재 성균관대 정보통신공학부 교수

Tel : 031-290-7172

Fax : 031-296-4622

E-mail : wsnah@skku.edu