

자동차 전력 시스템의 전기적 등가회로 모델 개발에 관한 연구

최대호*, 이재인*, 선우명호**
 한양대학교 전기공학과*, 한양대학교 자동차공학과**

A study on a Development of Electric Equivalent Circuit Models of Vehicle Electric Power System

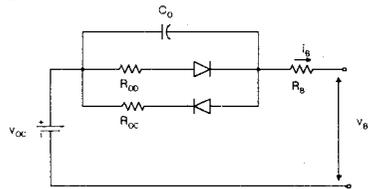
Daeho Choi*, Jaein Lee*, Myoungho Sunwoo**
 Dept. of Electrical Eng.* and Dept. of Automotive Eng.** , Hanyang Univ.

Abstract - Vehicle electric power system, which consists of two major components: an alternator and a battery, supplies electric power to vehicle electric and electronic systems. In recent years, bigger power supply is required for the rapid demand of the number of vehicle electric and electronic systems. It is important that vehicle power system should be analyzed exactly. For the simulation of vehicle electric power system, appropriate component model of vehicle electric power system should be chosen. In this paper, a simplified and accurate battery model is developed to obtain the battery parameters, and a Variable Alternator Terminal Voltage Model is introduced to described an alternator. The case study shows that simulation results using the suggested models are well agreed with the experiments.

자동차의 전기 시스템에서 쓰이는 부하는 각 부하의 on/off 상태에 따라 등가의 저항을 가지는 전기 부하로 볼 수 있으므로 간단히 모델링 할 수 있다. 하지만 배터리와 알터네이터의 경우 전기적으로 간단하지 않은 동작 특성을 나타내므로 단순하게 등가 회로로 모델링을 하기가 어렵다. 따라서 발전기와 배터리의 모델에 있어서는 여러 모델 중 간편하고 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있는 등가 회로 모델을 선택하고, 실험을 통해 등가 회로의 각 파라미터 값을 결정하는 방법을 사용한다.

2.1.1 배터리 모델

자동차 전력 시스템 모델에 사용되는 배터리 등가 회로 모델은 커패시턴스를 포함한 모델과 내부 저항만으로 표현되는 모델등이 소개되었다. [2][3][4][5]



- v = 배터리 개회로 전압
- C = Overvoltage Capacitance
- R₀ = 충전시의 Overvoltage Internal Resistance
- R_c = 방전시의 Overvoltage Internal Resistance
- R_b = 배터리의 내부 저항
- I_a = 배터리 전류

그림 2. 커패시턴스를 포함한 등가 회로 모델

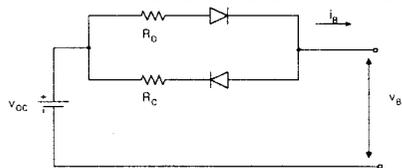


그림 3 내부 저항만을 가지는 등가 회로 모델

커패시턴스를 포함하는 배터리 모델은 초기에 배터리로 유입되는 많은 양의 전류를 고려하기 때문에 내부 저항만을 포함한 모델에 비해 정확하다. 그러나, 미지의 파라미터가 네개이고, 관련된 시정수를 구해야 하므로 충분한 긴 시간 동안 충·방전 실험을 실시하여야 한다. 따라서 배터리 충전 상태 변화를 최소화 하면서 실험하기 어려운 단점이 있고, 단일 종류의 배터리를 모델링 하는데 많은 시간이 요구된다.

그에 비해서 내부 저항만을 포함하는 배터리 모델은 충전 초기에 배터리로 유입되는 많은 양의 전류를 고려하지 않으므로 커패시턴스를 포함한 모델에 비해서 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 하지만 배터리 모델의 미지 파라미터가 두개로 줄어들고, 커패시턴스에 의한 시정수를 구할 필요가 없다. 따라서, 배터리 충전 상태 변화를 최소화 하면서 다양한 전류의 양으로 충·방전하는 실험 사이클을 쉽게 만들 수 있는 장점이 있으며 단일

1. 서 론

최근 자동차 산업에서는 자동차 전기·전자 시스템 증가로 인해 자동차에 요구되는 전력의 양이 증가함에 따라 정확한 자동차 전력 시스템의 해석이 요구되고 있다. [1][2] 또한 차세대 자동차 중 하나로 주목받고 있는 하이브리드 자동차 시스템 해석에 있어서 기존 자동차 전력 시스템의 해석은 중요하다. 따라서 정확한 자동차의 전기에너지 해석을 위하여 정확하고 간단한 자동차 전력 시스템의 등가 회로 모델 개발이 요구된다. 이 논문에서는 자동차 전력 시스템의 주요 부품인 배터리와 발전기 모델링 과정을 기술하고, 전체 자동차 전력 시스템의 모델 및 시뮬레이션에 이용된 알고리즘을 소개하며, 시뮬레이션과 실험 결과를 비교·분석하여 이 연구를 통하여 얻어진 모델의 정확도를 검증한다.

2. 본 론

2.1 자동차 전력 시스템 구성 요소의 모델

자동차 전력 시스템은 구성 요소들인 배터리와 발전기가 정확하게 모델 되어야 전체 충·방전 시스템의 정확도를 보장받을 수 있다.

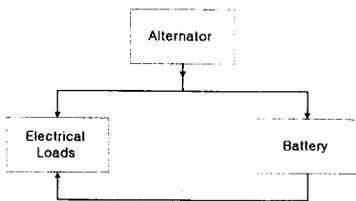


그림 1. 전기에너지 흐름도

종류의 배터리 모델을 단시간에 개발할 수 있다.

자동차 전기에너지 시뮬레이션은 단시간에 다양한 종류의 배터리 모델을 보유하고, 적용시킬 수 있어야 한다. 그러므로 커패시턴스가 전체 충·방전 시스템 특히 배터리 충전율에 미치는 영향이 작다면 자동차 전기에너지 시뮬레이션에 쓰이는 배터리 모델로는 내부 저항만을 포함하는 전기적 등가 회로 모델이 적절하다.

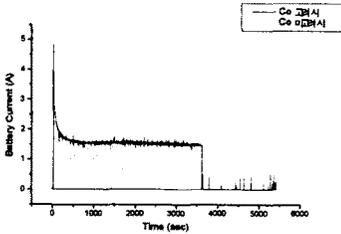


그림 4. 12.55V 정전압 충전 시 배터리 전류

그림 4는 12.55V 정전압으로 정격 용량이 90Ah인 배터리를 충전하였을 때 충전 전류를 나타낸 것이다. 빗금 친 부분이 커패시턴스가 충전 전류에 영향을 미치지 않는 부분이므로 빗금 치지 않은 부분은 커패시턴스를 고려하지 않은 경우에 비해 커패시턴스를 고려한 경우 추가적으로 충전되는 전류의 양이다. 커패시턴스의 영향으로 인해 배터리에 추가 유입된 전류의 양은 0.0499Ah로 배터리 정격 용량 90Ah의 0.0544%이다. 즉, 커패시턴스의 영향은 전체 충·방전 시스템에서 무시할 수 있다. 따라서, 다양한 배터리의 모델링 시간을 단축하면서도 비교적 정확한 배터리 내부 저항만을 포함하는 전기적 등가 회로 모델을 이 연구의 자동차 전기에너지 시뮬레이션 소프트웨어의 배터리 모델로 도입한다.

실험에 의해서 구해지는 충전 저항과 방전 저항은 배터리 충전율 (State of Charge: SOC)의 함수로 표현된다.

2.1.2 얼터네이터 모델

자동차 전기에너지 충·방전 시뮬레이션에 사용되는 얼터네이터 모델은 고정 전압 충·방전 모델과 이번 연구에서 새롭게 제시하는 변동 전압 충·방전 모델이 있다. [6] [7]

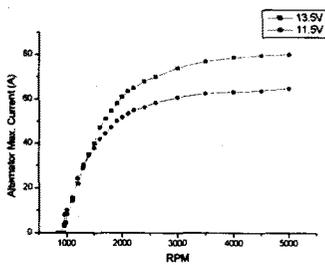


그림 5. 얼터네이터 동작 특성 곡선

그림 5에서 보듯이, 발전기 최대 출력 전류는 발전기 회전 속도뿐만 아니라 단자 전압에 큰 영향을 받는다. 따라서, 발전기 등가회로 모델을 그림 6과 같이 나타낼 수 있다.

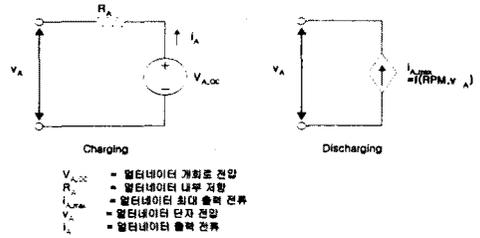


그림 6. 얼터네이터 등가 회로 모델

얼터네이터 모델을 위한 실험은 내부 저항 실험과 얼터네이터 최대 출력 전류 실험이 있다. 실험에 의해서 구해지는 얼터네이터 내부 저항과 개회로 전압은 얼터네이터 동작 영역 2000rpm이상에서 일정하게 나왔으며, 최대 출력 전류는 단자 전압과 rpm의 함수로 주어진다.

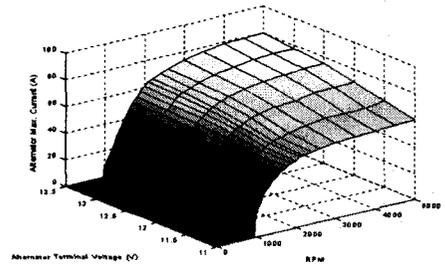


그림 7. 단자전압과 회전속도에 대한 최대 출력 전류

2.2 충·방전 시스템의 모델

자동차 전기에너지 충·방전 시스템 모델 시에는 그림 3과 그림 6의 모델과 함께 각 구성 요소들을 연결하고 전기적 부하 요구 사항에 적합하게 배터리의 충전과 방전 상태를 결정하여 각 상태에 맞는 모델을 만든다.

2.2.1 충전 시스템 모델

얼터네이터의 출력 전류가 부하가 요구하는 전류의 양보다 클 경우에는 배터리에 여분의 전류만큼 충전이 되며, 이는 그림 17과 같은 전기적 등가 회로로 나타낼 수 있다. 얼터네이터의 최대 출력 전류와 부하의 요구 전류의 차가 배터리에서 받아들일 수 있는 전류의 양보다 적을 경우, 배터리에 충전되는 전류의 양은 얼터네이터의 최대 출력 전류와 부하의 요구 전류의 차가 되며 얼터네이터는 정전류원으로 작동하게 된다. 반대의 경우에는 배터리의 충전 상태에 따른 내부 저항에 의해 충전 전류의 양이 결정된다.

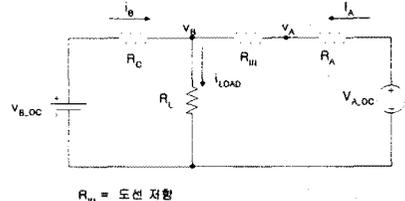


그림 8. 충전 시 충·방전 시스템의 등가 회로

$$i_B = \max(i_{LOAD} - i_{A_max}, \frac{V_{B_OC} - V_B}{R_C}) \quad (1)$$

2.2.2 방전 시스템 모델

알터네이터의 최대 출력 전류가 부하에 전류를 충분히 공급하지 못할 때, 배터리는 방전하여 부하에 부족한 전류를 공급하게 되고, 이 때 배터리의 전류는 식 (2)와 같다.

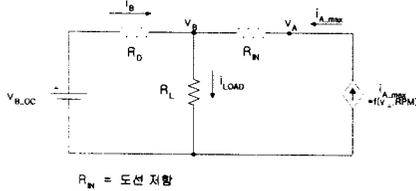


그림 9. 방전 시 충·방전 시스템의 등가 회로

$$i_B = i_{LOAD} - i_{A,max} \quad (2)$$

2.2.3 시뮬레이션 알고리즘 및 구조

배터리 전류가 결정되면 배터리의 상태에 따라 방전 및 충전 각각의 경우에 대하여 배터리 충전율의 변화를 구할 수 있다.

충전의 경우, 배터리 내부의 저항 요소에 의해서 충전 전류 전체가 배터리 충전율에 기여하지 못하고 열에너지 등으로 에너지 변환이 일어나므로 배터리 충전율의 변화를 결정할 때에는 충전 효율을 고려한다.

$$\Delta C_D = \frac{I_i \Delta t}{3600} \eta \quad ; \quad \eta : \text{충전 효율} \quad (3)$$

$$\Delta SOC_k = \frac{\Delta C_D}{C_{D,k-1}} (1 - SOC_{k-1}) \quad (4)$$

방전의 경우, 식 (5)의 Peukert's Equation에 의해 배터리 충전율의 변화가 계산된다. [5]

$$I_i^{n-1} t_{ci} = K \quad (\text{constant}) \quad (5)$$

$$\Delta SOC_k = -\frac{I_i \Delta t}{3600 C_{20}} \left(\frac{I_i}{I_{20}}\right)^{n-1} \quad (6)$$

C_{20} : 배터리 20시간을 용량

I_{20} : 배터리 20시간을 방전전류

n : Peukert 상수

자동차 전기에너지 충·방전 시스템 모델의 시뮬레이션은 MATLAB/SIMULINK를 이용하여 수행한다.

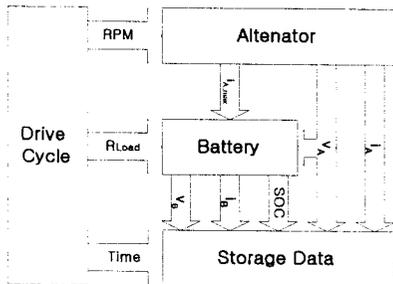


그림 10. 자동차 충·방전 시뮬레이션 블록 다이어그램

자동차 전력 시스템의 주요 구성 요소인 배터리, 알터네이터와 주행 사이클을 각각 하나의 SIMULINK 서브 시스템으로 제작하고, 배터리, 알터네이터, 그리고 차량에 대한 파라미터들을 MATLAB M파일로 저장하여 다양한 모델의 구성요소들을 보유 및 관리한다.

2.3 시뮬레이션 및 실험 결과

이 실험에서는 Solite CMP60 배터리와 정격 전압 13.5V, 정격 출력 전류 75A인 알터네이터를 사용하였다. 알터네이터 회전 속도 3000RPM에서 충·방전 하였을 때 시뮬레이션과 실험 결과를 비교한 그래프가 그림 11과 그림 12이다.

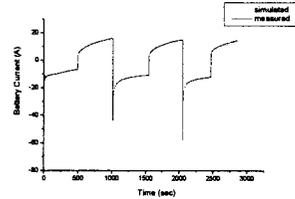


그림 11. 배터리 전류

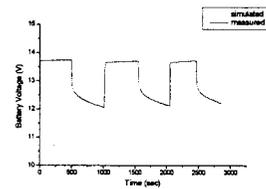


그림 12. 배터리 전압

3. 결 론

차량 전력 시스템 해석을 위한 자동차 전력 시스템의 전기적 등가회로 모델을 제시하였다. 배터리 등가회로 모델은 내부저항만을 가지는 모델을 개발하여 모델링 시간을 단축하였으며, 이 시뮬레이션 결과에서와 같이 적절하게 실험값을 따라가고 있다. 알터네이터 모델로서 실제 차량 주행 패턴을 적용한 변동 전압 충·방전 모델을 개발하였다. 그리고, MATLAB/SIMULINK로 충·방전 시스템 시뮬레이션을 제작하고 이를 통해 차량 전력 시스템의 해석이 가능하게 하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 박현진, 선우명호, 이재인, "시뮬레이션을 위한 자동차 충·방전 시스템의 등가 회로 모델 개발", 대한전기학회 추계학술대회 논문집 Vol. B, pp. 570-572, 1999
- [2] Keith B.Wipke, Matthew R. Cuddy, Steven D. Burch, "ADVISOR 2.1:A User-Friendly Advanced Powertrain Simulation Using a Combined Backward/Forward Approach", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol 48, No.6, November 1999
- [3] J.R. Bumby, "Computer modelling of the automotive energy requirements for internal combustion engine and battery electric-powered vehicles", IEE proceedings, Vol.132, Pt.A, No.5, Sep. 1985.
- [4] Z.M.Salameh, M.A.Casacca, W.A.Lynch, "A Mathematical Model for Lead-Acid Batteries", IEEE Energy Conversion Vol.7 No.1, March 1992
- [5] D.Baert, A.Vervaet, "Lea-acid battery model for the derivation of Peukert's law", Eletrochimica Acta, March 1999
- [6] Takeshi Ochiai, "Battery Electrical Needs for the Next Generation of Cars", Journal of Power Sources, 33 1991
- [7] B.K.Powell, K.E.Bailey, S.R.Cikanek, "Dynamic Modeling and Control of Hybrid Electric Vehicle Powertrain Systems", IEEE Control Systems, October 1998