

시뮬레이션을 위한 자동차 충전 시스템의 등가 회로 모델 개발

*박 현진, 선우 명호, 이 재인
 한양대학교 전기공학과 대학원, 한양대학교 자동차공학과, 한양대학교 전기공학과

Development of An Electric Circuit Model of Vehicle Charging-discharging System for Simulation

Hyunjin Park, Myoungcho Sunwoo, Jaein Lee
 Hanyang University

Abstract - An equivalent circuit model of vehicle charging-discharging system for simulation is developed. The vehicle electric power system consists of alternator and battery. The alternator must have adequate capacity for providing electric energy to all loads, and the battery supports the alternator by offering insufficient energy when the alternator output energy is not enough. The alternator model is simplified for the use of characteristic curve, which was provided by its manufacturer, and the battery model is separated in charging mode and discharging mode because of its complex characteristics. Developed circuit model is validated by comparing the simulation data and real experimental data.

의 부분은 전기적 등가회로로 모델링 된다.

전기 부하는 각 부하의 on/off 상태에 따라 등가의 저항으로 단순화 시켜 모델링 할 수 있다. 하지만 얼터네이터와 배터리의 경우 전기적으로 복잡한 동적 특성을 보이므로 단순하게 모델링 될 수 없다. 따라서 얼터네이터와 배터리의 모델링에 있어서는 여러 방법 중 간편하고 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있는 등가 회로 모델을 이용하여 실험을 통하여 등가 회로의 파라미터의 값을 얻는다.

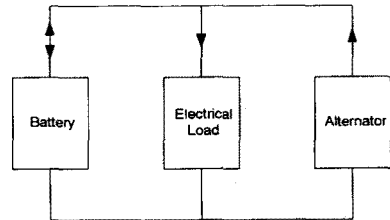


그림 1 전기에너지의 흐름

1. 서 론

자동차의 엔진이 동작중일 때는 얼터네이터에서 생성한 전기에너지가 전기부하에 전원을 공급하고, 엔진이 동작하지 않을 때에는 배터리에 저장된 에너지가 이용된다. 적절한 용량의 충전·방전 시스템 선정에 의해 발생할 수 있는 문제인 차량의 중량 증가, 엔진 출력의 감소, 자동차의 생산 단가 상승, 배터리 방전으로 인한 시동 불량 등을 방지하기 위해서는 자동차 충전·방전 시스템의 적절한 용량을 결정할 수 있는 시뮬레이션 프로그램이 필요하다.

얼터네이터와 배터리의 용량을 적절히 선정하기 위해서는 차종, 주행조건, 기후 조건, 도로 조건, 전기부하 등의 여러 조건들이 고려되어야 한다. 실제의 주행 조건에서는 주행 중 엔진 RPM의 변화에 따라 얼터네이터의 최대 출력전류의 양이 변한다. 마찬가지로 날씨나 도로 조건에 따라 사용되는 전기 부하의 양도 변하게 된다. 이번 연구에서는 이러한 여러 조건들을 고려하여 전기 에너지의 충전·방전 상황을 분석하고 시뮬레이션 할 수 있는 프로그램(VEPS, Vehicle Electric Power Simulator)을 개발하였다.

본 논문에서는 먼저 충전·방전 시스템 각 요소의 모델링 과정 및 시뮬레이션에 이용된 알고리즘을 기술하고, 시뮬레이션 프로그램인 VEPS의 자세한 정보와 충전·방전 시스템의 분석에 어떻게 사용될 수 있는지를 살펴본 후, 마지막으로 시뮬레이션 결과를 이용하여 주행모드와 사용 부품의 변화가 주행 결과에 어떤 영향을 미치는가 알아본다.

2. 본 론

2.1 충전 시스템의 모델링

그림 1에서 알 수 있듯이 충전·방전 시스템은 세 부분(배터리, 얼터네이터, 전기 부하)으로 나누어지며, 각각

2.1.1 얼터네이터 모델링

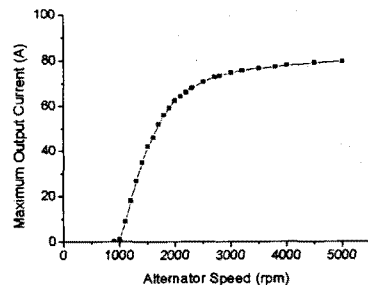


그림 2 얼터네이터의 동작 특성 곡선

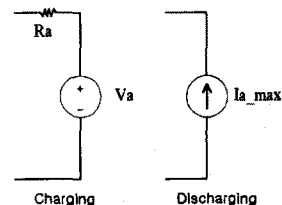


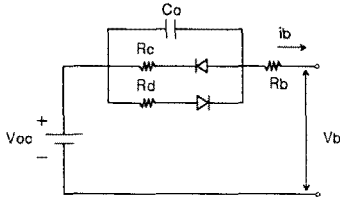
그림 3 얼터네이터 모델

그림 2는 회전 속도에 따른 얼터네이터의 최대 출력 전류의 특성을 보여준다. 얼터네이터의 최대 출력이 전기 부하에 의해 요구되는 전류량보다 클 때에는 얼터네

이터를 정전압원으로 볼 수 있으며, 반대의 경우, 즉 얼터네이터의 최대 출력이 부하 전류보다 작을 경우에는 얼터네이터를 이때의 최대 출력을 내는 정전류원으로 볼 수 있다.

2.1.2 배터리 모델링

일반적으로 자동차에서는 납축전지가 이용된다. 배터리의 특성은 내부의 화학적 반응에 의해 결정되며, 이러한 화학 반응은 주변 온도, 배터리 충전상태, 충·방전 전류의 양, 충·방전 히스토리 등에 의해 영향을 받는다.



Voc = 배터리 개회로 전압
Co = Overvoltage Capacitance
Rc = 충전시의 Overvoltage Internal Resistance
Rd = 방전시의 Overvoltage Internal Resistance
Rb = 배터리 내부 저항
Vb = 배터리 단자 전압
ib = 배터리 전류

그림 4 배터리 등가회로 모델

이러한 배터리의 특성은 그림 4의 등가회로로 나타낼 수 있다. 그림에서 Voc는 배터리 전해액 비중에 대한 함수이며, 충전초기의 큰 전류는 Co에 의해 나타난다. 배터리의 충전 상태에 따라 충·방전 전류의 양이 달라지므로 Rc와 Rd는 충전율(State-of-charge; SOC)의 함수가 된다.

2.1.3 시뮬레이션 알고리즘

배터리의 충전상태와 엔진 RPM, 부하에 의해 배터리 전류가 결정되고 배터리 전류의 양과 이전의 배터리 충전상태에 따라 현재의 배터리 충전상태가 결정된다. 먼저 얼터네이터가 부하에서 필요로 하는 전류를 충분히 공급하지 못할 때, 배터리는 부족한 양만큼의 전류를 방전하게 된다.

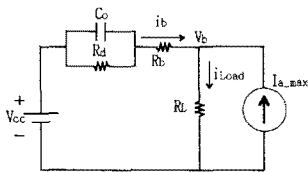


그림 5 방전시의 충·방전 시스템 등가회로

$$i_b = i_{Load} - I_{a,max} \quad (1)$$

반면에 얼터네이터가 부하에 공급할 만큼의 충분한 전류를 생성할 때에는 여분의 전기 에너지는 배터리에 충전된다. 이 때, 충전전류의 양은 배터리의 충전상태에 따라 얼터네이터의 최대출력전류와 부하 전류의 차, 또는 배터리 내부 저항에 의해 정해진다.

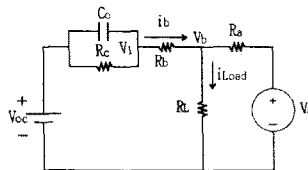


그림 6 충전시의 충·방전 시스템 등가회로

$$i_b = \max(i_{Load} - I_{a,max}, \frac{V_{oc} - V_b}{R_c} - C_o \dot{V}_b) \quad (2)$$

배터리 전류가 결정되면 다음 식 (3)의 Peukert's Equation에 의해 식 (4)로써 배터리 충전율의 변화를 계산한다.

$$I_i^n t_{ci} = K \quad (\text{constant}) \quad (3)$$

$$\Delta SOC_k = -\frac{I_i \Delta t}{3600 C_{20}} \left(\frac{I_i}{I_{20}}\right)^{n-1} \quad (4)$$

C₂₀ : 배터리 20시간을 용량
I₂₀ : 배터리 20시간을 방전전류
n : Peukert 상수

충전의 경우, 배터리 내부의 저항요소에 의해 충전전류 전제가 배터리 충전율에 기여하지 못하므로 충전효율을 고려하여 충전율을 결정한다.

$$\Delta C_D = \frac{I_i \Delta t}{3600} \eta \quad (5)$$

η : 충전 효율

$$\Delta SOC_k = \frac{\Delta C_D}{C_{D,k-1}} (1 - SOC_{k-1}) \quad (6)$$

2.1.4 모델 검증

설정된 등가 모델을 검증하기 위하여 실제 실험한 데이터와 비교하였다. 실험은 두 개의 납축전지를 직렬로 연결하여 충전과 방전을 교대로 반복하여 실시하게 된다. 충전 시 충전전압은 26.5V로 설정하고, 방전 시 10A의 일정부하로 방전한다. 배터리의 초기 충전율을 약 74%이다. 그림 7과 그림 8에서, 측정된 데이터와 시뮬레이션 결과가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

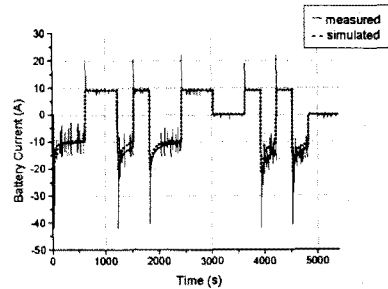


그림 7 배터리 전류

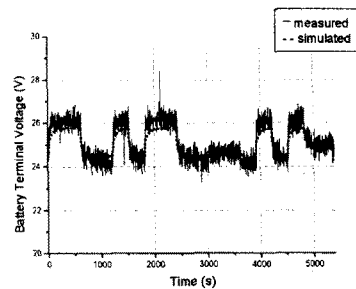


그림 8 배터리 단자전압

2.2 Vehicle Electric Power Simulator의 개발

VEPS는 편리한 사용 환경과 데이터의 관리를 위해서 Microsoft사의 Excel을 이용하였다. 얼터네이터와 배터리, 기타 전기 부하에 대한 데이터는 Excel의 Sheet로 관리되고, 시뮬레이션 알고리즘은 Excel과 Visual Basic 함수로 구현되었다.

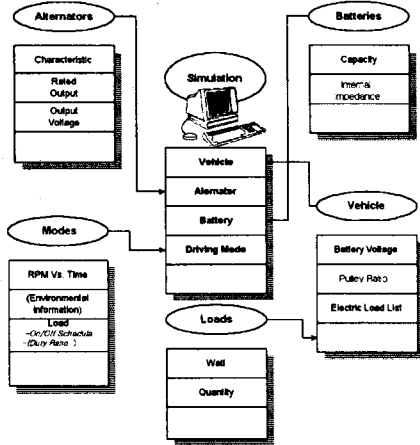


그림 9 VEPS의 데이터 구조

각 부품의 데이터는 Component file로 관리되고, Component file에는 차량, 얼터네이터, 배터리, 그리고 전기 부하에 대한 데이터가 포함된다. 주행 Mode file은 주행중의 RPM profile과 부하의 on/off 스케줄과 같은 주행 데이터를 가진다.

2.3 시뮬레이션

실제 주행 시험에 의해 얻어진 RPM과 차속의 데이터를 이용하여 VEPS로 시뮬레이션을 수행하여 보았다. 첫 번째로, 주행 모드에 따른 결과를 알아보기 위해 같은 초기 조건으로 다양한 주행 모드에서 시뮬레이션을 수행하였고, 두 번째로, 얼터네이터의 용량과 Pulley 비가 결과에 미치는 영향을 확인하였다.

2.3.1 주행모드 변화

주행시험을 통하여 각 주행 코스(A, B)별로 세 개(Fast, Moderate, Slow)의 주행 데이터를 선정하였다. 전기 부하는 여름철 비오는 날 밤의 상황을 가정하였고 각 부품은 실제 차량의 데이터가 사용되었다.

표 1에 각 주행 모드에서의 평균 부하 전류, 공회전 비율, 평균 엔진 RPM, 충전시간 비율, 충전을 변화, 1시간 주행시간으로 표준화한 충전율의 변화를 보인다.

표 1 시뮬레이션 결과

	평균 부하 전류 (A)	공회전 비율 (%)	평균 엔진 속도 (RPM)	충전 시간 비율 (%)	Δ SOC (%)	Normalized Δ SOC (%)
A-fast	50.5	34	1286	74	+2.58	+6.67
B-mod.	49.7	46	1043	63	+1.55	+2.87
C-slow	48.6	52	1030	54	+1.50	+2.38

주행중의 엔진 속도는 공회전 시의 엔진 속도보다 높기 때문에, 공회전의 비율이 낮다면 배터리는 충전될 수 있다. 시뮬레이션 결과에서 주행 코스 A가 이러한 상황을 나타낸다. 모드 'A-fast'가 공회전의 비율이 가장 낮

고, 주행중의 평균 엔진 속도가 가장 높기 때문에 배터리 충전율의 변화도 가장 크게 나타난다.

2.3.2 얼터네이터 Pulley비의 변화

VEPS를 이용하여 얼터네이터의 최대 출력 전류와 Pulley 비가 결과에 미치는 영향을 알아보았다. 30분 정도 주행한 실제의 주행 RPM profile을 이용하였고 높은 부하 사용율을 가정하였다.

배터리의 용량은 90(Ah)로 설정하였고, 얼터네이터 용량과 Pulley 비를 변화시켰다. 시뮬레이션 결과는 배터리가 약간 충전된 상태를 보이고 있는, 얼터네이터 최대 출력이 70Ah, Pulley 비는 2.025일 때가 적절한 것임을 보이고 있다.

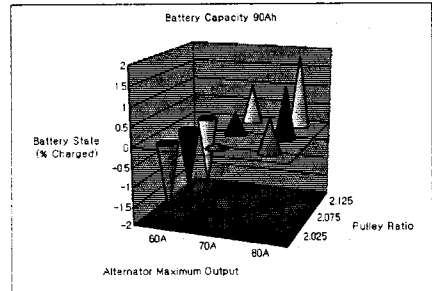


그림 10 시뮬레이션 결과 비교

3. 결 론

- 1) 시뮬레이션을 위한 자동차 충·방전 시스템의 수학적 모델을 제시하였다. 이 모델은 얼터네이터와 배터리, 기타 전기 부하 등을 포함하며, 자동차 충·방전 시스템의 동적 상황을 적절히 나타낸다.
- 2) 제시된 모델을 이용하여 자동차 충·방전 시뮬레이션 프로그램인 VEPS(Vehicle Electric Power Simulator)를 개발하였다. VEPS는 차량의 초기 설계 시에 얼터네이터와 배터리 등 부품의 적절한 용량을 선정하는데 유용하게 이용될 수 있다.
- 3) 엔진 RPM과 전기 부하의 사용상황 등의 실제 주행 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 수행할 경우, VEPS를 이용하면 배터리 충전율 등의 유용한 정보를 얻을 수 있으므로, 실제의 주행시험을 대체할 수 있는 이점이 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] G.A. Williams, M.J. Holt, "The Future of Vehicle Electrical Power Systems and Their Impact on System Design", SAE911653
- [2] 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.
- [3] 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
- [4] B.K.Powell, K.E.Bailey, S.R.Cikanek, "Dynamic Modeling and Control of Hybrid Electric Vehicle Powertrain Systems", IEEE Control Systems, October 1998