

논문 2007-44SC-1-9

충방전 Balance Simulator 개발

(Development of a Charging/Discharging Balance Simulator)

박 동 균*, 조 상 복**

(Dong Kyun Park and Sang Bock Cho)

요 약

본 연구에서는 특정 자동차에 대한 Charging 시스템의 적합성 여부를 판별할 수 있는 충방전 Balance 시뮬레이터의 Prototype을 개발 하였다. 차량운전 환경요건에 따른 운전 패턴 등, 시뮬레이터의 구성을 위해 각종 전기부하와 이와 관련된 배터리 모델링을 하였고 실차실험을 행하여 그 데이터를 분석 정리하였다. 제안하는 모델과 분석된 데이터를 바탕으로 충방전 시뮬레이터를 개발하였고, 개발된 시뮬레이터는 정해진 차종으로 임의의 주행환경으로 운전할 때 차량의 전기에너지 공급 문제를 실차실험을 한 것과 같이 분석할 수 있다

Abstract

Prototype of an electric charge/discharge balance simulator was developed for evaluation of matching charging/discharging balance between real system and simulation results for specific vehicle in this research. Battery modeling and other electric modeling were done and real car experiments were performed. Then, We developed a balance simulator on the basis of proposed model and experiment results. Also, we can analyze charging/discharging balance for specific new car as real experiments.

Keywords : 충방전 시뮬레이터, 배터리 모델링, Balance Simulator

I. 서 론

특정 자동차에 적합한 Charging 시스템의 선택 및 실차테스트를 대치할 수 있는 충방전 Balance Simulator를 개발하였다. 충방전 Balance Simulator는 선진국의 몇몇 자동차 관련 회사나 연구소에서 개발한 적이 있으나, 국내에서는 이에 대한 연구가 거의 없는 형편이다.^[1-3] 그만큼 모델링과 알고리즘의 개발이 어렵고 그에 대한 검증은 더욱 어렵다.

시뮬레이터를 개발하기 위한 기본 연구내용은 크게 3

파트로 나눌 수 있다. 첫째가 운전자의 습관에 따른 엔진 RPM의 변화 Data인 Tranmast Data와 도로나 교통 상황 등 차량운전 환경요건에 따른 운전패턴인 Driving Schedule 등 시뮬레이터 구성에 필요한 Data를 구하고 분석하는 부분이다. 두 번째는 Regulator와 Alternator (이하 ALT)의 성능 및 특성, 에어컨이나 Fan 등 각종 전기부하, 이와 관련된 Battery(이하 BATT) 특성 등을 해석하고 모델링하는 전기적인 파트이다. 세 번째는 Battery의 본질적 특성 및 충방전에 따른 전체적인 수명 등을 조사하는 Battery파트이다. 이 세 파트는 각각 독립적으로 실험 및 연구를 진행하였으며 이를 종합하여 전체적인 모델링과 알고리즘을 제안하였다. 제안한 모델링과 알고리즘을 MATLAB을 이용하여 시뮬레이터의 프로토타입을 제작하였고 실차실험한 결과와 비교하여 제안한 시뮬레이터를 검증하였다.

* 학생회원, ** 정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템 공학부

(Department of electrical engineering, University of ulsan)

※ 본 논문은 2005년도 울산대학교 연구비에 의해 지원 되었습니다.

접수일자: 2006년7월24일, 수정완료일: 2006년12월25일

II. 모델링과 시뮬레이터

1. 모델링

부하실험과 ALT 출력 특성 실험에서 수집한 Data로부터 ALT, BATT와 각종 전기부하들을 모델링하였다.

가. 회로 형태

본 연구의 대상 차량의 전기회로를 ALT, BATT, 전기부하 및 선저항(r_A, r_B)으로 그림 1과 같이 간략히 표현할 수 있다.

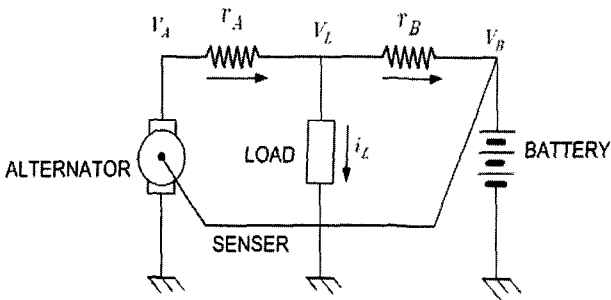


그림 1. 전기회로 개요도
Fig. 1. The electric circuit of an objective.

나. 선저항 측정

그림 1에서 ALT 전압, 부하전압, BATT 전압과의 관계식은 식 (1)과 같다.

$$v_L = v_A - r_A \cdot i_A = v_B + r_B \cdot i_B \quad (1)$$

따라서 선저항 r_A, r_B 은 다음의 식(2)를 만족하여야 한다.

$$(v_A - r_A \cdot i_A) - (v_B + r_B \cdot i_B) = 0 \quad (2)$$

식(2)를 만족하나 선저항을 구하기 위하여 시험데이터를 이용하였고 구하는 과정은 다음과 같다.

- 1) $i_B=0$ 인 측정점에서 식(2)가 만족되도록 r_A 를 구한다.
- 2) 전체구간에서 식(2)가 만족되도록 r_B 를 구한다.
- 3) 전체구간에서 식(2)가 만족되도록 r_A 및 r_B 를 정밀 조정한다.

상기과정을 각 시험데이터에 적용하여 선 저항을 측정한 결과는 표 1과 같다. 시험에 따라 측정된 선 저항 값이 약간씩 차이를 보이고 있으나 대체로 유사하며, 이는 그림에서 측정된 $r_A=0.0069\Omega$ 및 $r_B=0.0050\Omega$ 을 사용하였다.

표 1. 선저항 측정결과

Table 1. Line resistance measurement result.

	부하실험1	실차실험1	부하실험2	ALT실험
r_A	0.0048	0.0067	0.0065	0.0065
r_B	0.0042	0.0050	0.0045	0.0045

다. 전기부하

부하 모델링은 하나의 저항과 독립전류원으로 구성하였고, 선간저항 및 다른 저항성분은 무시하였다. 각각 부하들의 저항 특성들은 정적 저항으로 가정하였다.

개별 전기부하는 그림 2와 같이 저항(부하 배선 저항 포함)과 전류원으로 근사적으로 모델링할 수 있고 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$i_i = g_i v_L + I_n \quad (3)$$

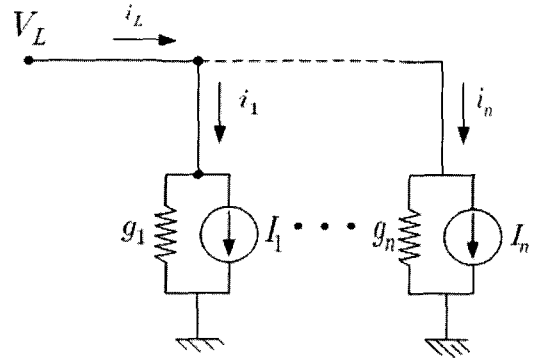


그림 2. 부하 모델
Fig. 2. Load model.

부하모델 계수 값은 최소자승 알고리즘을 이용하여 부하실험 데이터로부터 구할 수 있다. 최소자승법은 전압과 전류 데이터들이 그림 3과 분포하고 있을 때, 전압과 전류의 근사식을 유도해 내는 방법이다.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = a_L \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} + b_L \quad (4)$$

따라서 부하의 상태가 주어졌을 때 전체 부하 전류는 각각의 부하전류를 더해줌으로써 얻을 수 있고 다음 식(5)와 같은 형태로 표현할 수 있다.

$$i_L = \sum_{k=1}^n i_k = a_L v_L + b_L \quad (5)$$

여기서 a_L, b_L : 부하 모델 계수

다. Battery 특성

Battery는 응답 특성이 느리고 충방전 시스템의 주요 역할을 담당하므로 과도상태가 중요하다. 이를 위하여 그림 4와 같이 1차 미분 회로로 모델링하였고 이에 대한 이산형 방정식을 식 (6)과 같이 유도하였다.

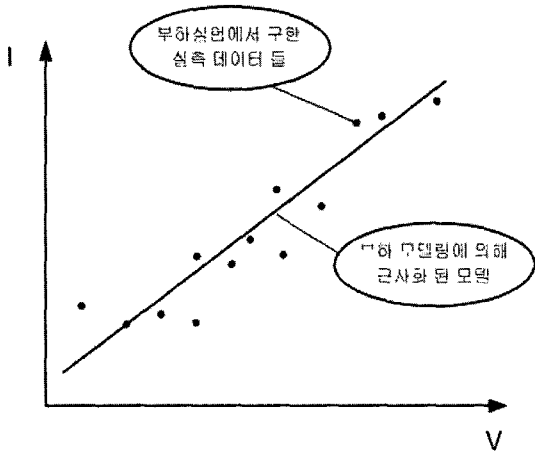


그림 3. 전압 전류 데이터 분포와 근사 방정식
Fig. 3. The relationship of current & voltage will be calculated using a least square method.

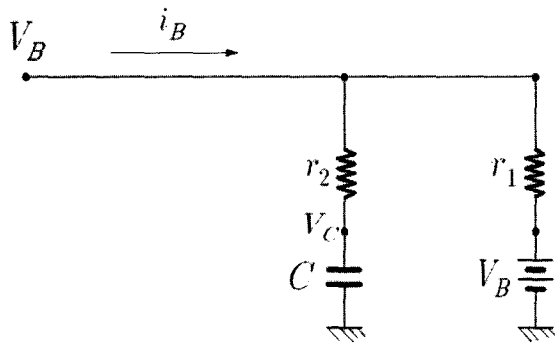


그림 4. Battery 모델
Fig. 4. Battery model.

$$i_B(k+1) = (1-a)i_B(k) + (b+c)v_B(k+1) - (1-a)(b+c) - acv_B(k) - abd$$

$$= \theta_1 i_B(k-1) + \theta_2 v_B(k) + \theta_3 v_B(k-1) - \theta_4$$

(6)

여기서

$$a = \frac{\tau}{r_c C}, b = \frac{1}{r_1}, c = \frac{1}{r_2}, d = V_B$$

τ : sampling rate

식(6)의 매개변수는 최소자승 알고리즘을 이용하여

표 2. Battery 모델계수 측정결과

Table 2. The result of battery model factor measurement.

	출근모드	점심모드	퇴근모드	약조건
$r_1 [\Omega]$	1.011	0.055	0.108	0.035
$r_2 [\Omega]$	0.211	0.017	0.040	0.026
C [F]	0.896	0.287	0.644	0.628
$V_B [V]$	13.12	13.06	13.11	12.96

시험 데이터로부터 구할 수 있다. 각 모드별 대표적인 실차실험 데이터를 기준으로 모델계수를 측정된 결과는 표 2와 같다.

BATT 전류와 부하전압과의 관계식을 유도하기 위하여,

$$v_B(k) = v_L(k) - r_A i_B(k) \tag{7}$$

을 식(6)에 대입하면 BATT 전류는 다음과 같이 표현 된다.

$$i_B(k) = a_B v_L(k) + b_B \tag{8}$$

where

$$a_B = \theta_2 / (1 + r_B \theta_2)$$

$$b_B = (\theta_1 - r_B \theta_3) i_B(k-1) + \theta_3 v_L(k-1) + \theta_4 / (1 + r_B \theta_2)$$

(9)

한편 BATT의 충전상태 변화는 BATT전류에 따른 전하의 이동 관계로 모델링 할 수 있고 다음 식 (10)과 같다.

$$Q_B(K) = \frac{\tau}{36Q} i_B(k) + q_B(k-1)$$

$$= a_Q i_B + b_Q \tag{10}$$

where

q_B : BATT상태[%]

Q : BATT 용량[AH]

다. 발전기 특성

ALT는 계자제어형 3상 교류발전기와 정류기로 구성되어 있고 계자전류와 ALT-RPM에 의하여 단자전압이 결정된다. Regulator는 그림 5와 같이 BATT 단자전압이 일정하게 V_Q 로 유지되도록 계자전류를 제어한다. 그러나 부하전류가 ALT 한계전류보다 크면 BATT는 방전

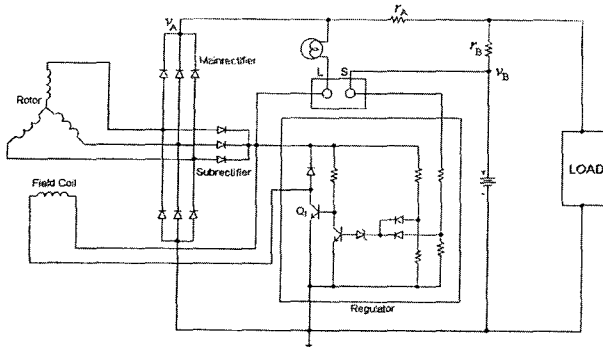


그림 5. ALT 및 Regulator 개략도
Fig. 5. Electric circuit of alternator and regulator.

표 3. ALT 전압 모델 계수의 측정 결과
Table 3. Measurement result of ALT voltage model.

	출근모드	점심모드	퇴근모드	약조건
a_A	1.011	0.055	0.108	0.035
b_A	0.211	0.017	0.040	0.026

상태가 되고 Regulator의 전압 제어 능력은 상실된다.
Q1/ON 조건:

$$v_B < V_Q = 14.4^{\pm 0.3} - (\text{Regulator 온도} - 20^\circ\text{C}) \times 0.01 [V]$$

$$v_A < 15.6 [V]$$

그러나 실차실험을 분석한 결과 ALT 한계전류보다 적은 경우 ALT 전압이 일정하게 유지된다고 가정하는 것이 모델링측면에서 적절한 것으로 판정되었다. 따라서 ALT 전압은 다음 식(11)과 같이 ALT 온도의 함수로 표현할 수 있고 실차 실험 테스트를 이용하여 계수를 측정 한 결과는 표 3과 같다.

$$V_q = 14.4 - a_t t_A + b_A \tag{11}$$

여기서 t_A : ALT 온도
 a_A, b_A : ALT 전압 모델링 계수

2. 충방전 시뮬레이터

가. 충방전 시스템 상태 결정

이상의 부하 모델, BATT 모델, ALT 및 Regulator의 특성을 고려한 충방전 시스템의 동작점은 그림 6과 같이 결정되고 각종 상태를 결정하는 알고리즘은 다음과 같다.

- $v_A = V_Q$
 $v_L = (v_A/r_A - b_B - b_L)/(1/r_A + a_L + b_L)$
 $i_A = (v_A - v_L)/r_A$

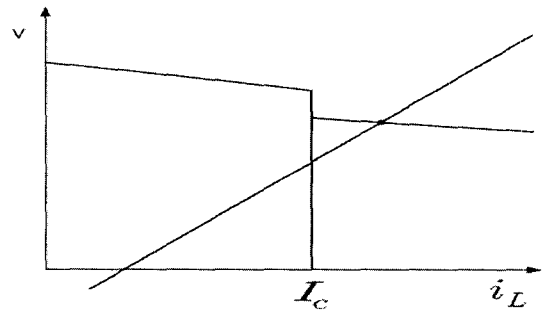


그림 6. Battery 방전 시 부하전류 및 전압결정
Fig. 6. Load current and voltage decision at battery discharge.

- if ($i_A \geq I_C$)
 $i_A = I_C$
 $v_L = (i_A - b_B - b_L)/(a_B + b_L)$
 $v_A = v_L + r_A i_A$
- $i_L = a_L v_L + b_L$
 $i_B = a_B v_B + b_B$
 $v_B = v_L - r_B i_B$
- $q = a_Q i_B + b_Q$

나. 시뮬레이터 구조

본 논문에서 개발된 충방전 시뮬레이터의 프로그램 구조는 그림 7과 같다.

최종적으로 개발하고자 하는 시뮬레이터는 임의의 차종으로 임의의 주행환경(시간, 장소, 부하조건, 주행 속도, 온도 등)으로 운전할 때 차량의 전기에너지 공급 문제를 분석할 수 있으며 다음 그림 8과 같은 구조를 갖는다.

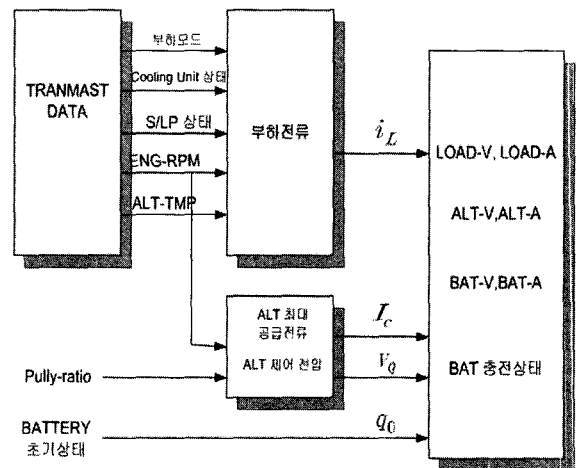


그림 7. 시뮬레이터 구조(1)
Fig. 7. Simulator structure(1).

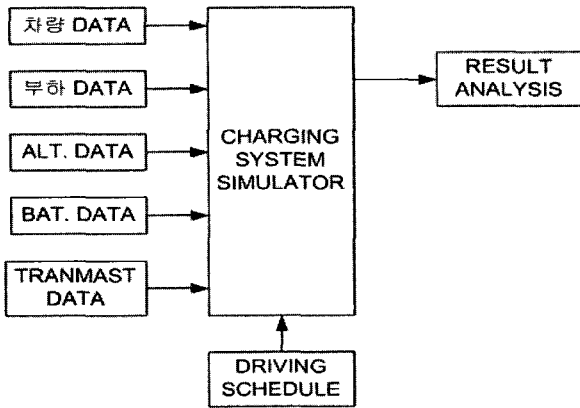


그림 8. 시뮬레이터 구조(2)
Fig. 8. Simulator structure(2).

III. 실험 및 검증

Regulator, Alternator의 성능 및 특성, Battery 특성, Cooling System과 에어컨 등 각종 전기부하를 해석하고 모델링을 하기 위한 데이터 수집을 위해 부하실험과 ALT 출력특성실험이 반드시 필요하다.

1. 실험방법

가. 부하 실험

부하실험은 공급전압에 따른 각 부하의 특성을 조사하는 것으로서 ENG-RPM 변화에 따른 ALT의 전류공급능력 및 공급변화 조사를 조사한다.

-다음의 부하모드에 대해 각각 측정

- 무 부하 : AUDIO
- 출근모드: A/CON 2단, AUDIO
- 점심모드: A/CON 4단, AUDIO
- 퇴근모드: A/CON 2단, AUDIO, H/LP
- 약조건 : A/CON 4단, AUDIO, H/LP, S/LP

나. Alternator 특성 실험

RPM에 따른 출력시험(ALT-RPM에 따라 공급할 수 있는 최대전류)으로서 부하 전압(13.0V) 및 온도를 일정하게 한 상태에서 RPM 변화에 따른 ALT 전류 및 ALT전압을 기록한다.

온도 및 RPM을 일정하게 한 상태에서 부하전류 변화에 따른 ALT전압, ALT전류, BATT전류를 기록하고 부하전류 변경구간은 30A에서 BATT 방전전류가 10A가 될 때까지이고, 증가분은 2A, 구간은 1000~6000이고 증가분은 100rpm으로 실험하였다.

다. Battery 중부하 실험

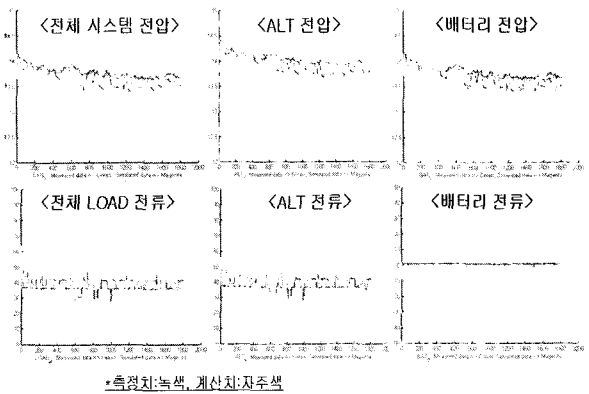
자동차의 시동, 점등, 점화 등에 사용되는 Lead Acid Battery의 성능에 대한 데이터를 수집한다.

라. 실차 실험

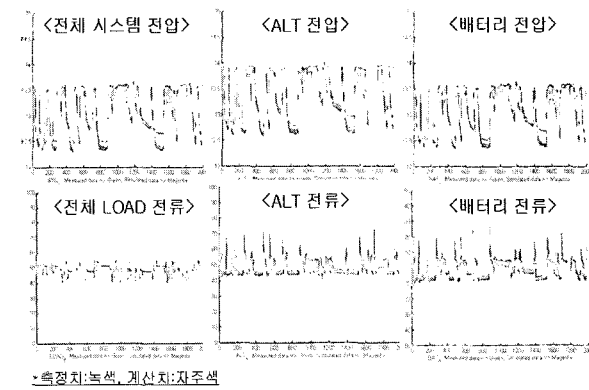
도심지 여건에서 운행 중 ENG RPM, Vehicle Speed, Vehicle Acceleration 등의 변화에 따른 기초자료를 수집한다.

2. 시뮬레이션과 측정치

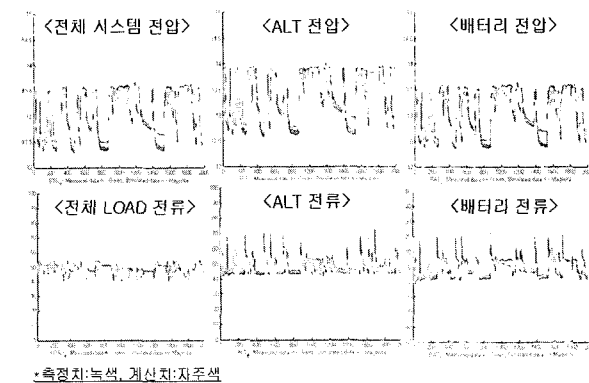
가. 출근 모드



나. 점심 모드



다. 퇴근모드



라. 약조건 모드

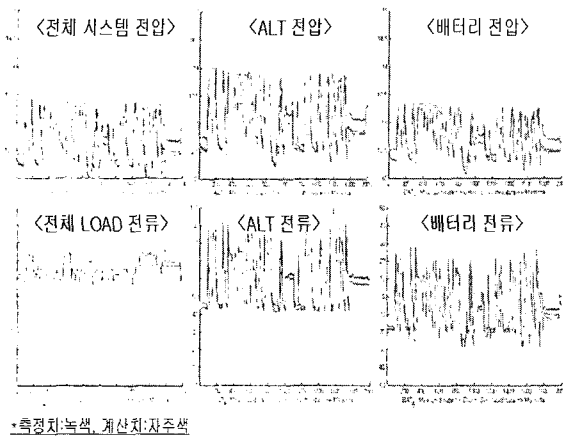


표 4. 측정치와 계산치의 표준편차

Table 4. A standard deviation of a measurement value and calculated value.

	출근	점심	퇴근	약조건
ALT-V [V]	0.1240	0.1653	0.1441	0.1734
LOAD-V[V]	0.1247	0.1506	0.1347	0.1576
BAT-V [V]	0.1195	0.1548	0.1276	0.1484
ALT-A [A]	1.6026	3.6597	2.7271	3.6689
LOAD-A[A]	1.6527	1.5517	1.6228	2.0746
BAT-A [A]	0.0318	0.9568	0.1214	1.1005

각 모드별 실차실험에 측정치와 시뮬레이션에 의한 계산치와의 표준편차는 표 4와 같다.

표 4에서 보는 바와 같이 시뮬레이션 결과와 실측치는 전압은 0.2V 이내, 전류는 4A 이내, BATT 충전상태는 약 1% 정도의 오차를 발생하고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 특정 자동차에 대한 Charging 시스템의 적합성 여부를 판별할 수 있는 충방전 Balance 시뮬레이터를 개발하고 구현하여 검증하였다.

Regulator와 Alternator의 성능 및 특성, 에어컨이나 FAN 등 각종 전기부하, 이와 관련된 Battery 특성 등을 해석하고 모델링 하였다. 또한 실차실험, 부하실험, ALT 출력실험, BATT 특성실험 등을 하고 여러 가지 그래프데이터를 분석 정리하였고, 여기서 얻은 데이터와 실차실험 데이터 등을 이용하여 각종 전기부하를 모델링하였다. 여기에는 각종 전기부하 회로도 및 최소 자승법등 여러 가지 수학적 모델링 방법이 동원되었다.

시뮬레이터는 MATLAB을 이용하여 구성되었고, 여러 가지 데이터 분석과 모델링을 바탕으로 모델 정립 및 수식화를 행하여 전체적인 시뮬레이터를 구성하였다.

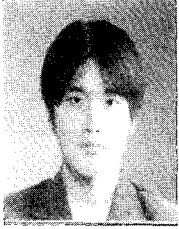
이 시뮬레이터는 RPM Data, Pulley Ratio, ALT 특성, 부하모드, Cooling Unit 상태 등만 주어지면 시뮬레이션을 행할 수 있다.

신차종에 대해 몇 가지의 데이터만 주어지면 실차실험을 하지 않고도 운행 상태를 예측할 수 있다. 그러나 약간의 오차가 생기는 원인을 제거해야 하고 전체적인 시뮬레이션 과정을 일반화하여 시뮬레이터의 사용이 용이하도록 그래픽 사용자 인터페이스를 강화하는 일이 앞으로의 과제이다.

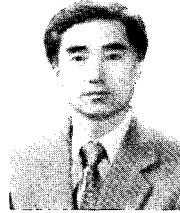
참 고 문 헌

- [1] W.R.Cawthorne, "Development of a Linear Alternator-Engine for Hybrid Electrical Vehicle Application," IEEE Tran. on Vehicular Technology, Vol. 48, No. 6, pp 1797-1802, Nov. 1999.
- [2] K. L. Butler, M. Ehsani, P. Kamath, "A Matlab-Based Modeling and Simulation Package for Electric and Hybrid Electric Vehicle Design," IEEE Tran. on Vehicular Technology, Vol. 48, No. 6, pp 1770-1778, Nov. 1999.
- [3] J. M. Miller, A. R. Gale and V. A. Sankaran, "Electric Drive Subsystem for a Low-Storage Requirement Hybrid Electric Vehicle," IEEE Tran. on Vehicular Technology, Vol. 48, No. 6, pp 1788-1796, Nov. 1999.

저 자 소 개



박 동 균(학생회원)
 2006년 울산대학교 전기전자
 공학부 학사 졸업.
 2006년 울산대학교 전기전자
 공학부 석사과정 입학.
 <주관심분야 : 자동차 전장설계,
 영상처리 회로 설계 및 제
 작, SoC 설계>



조 상 복(정회원)
 1979년 한양대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1981년 한양대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 1985년 한양대학교 전자공학과
 박사 졸업.
 1994년~1995년 Univ. of Texas, Austin
 교환교수
 2003년~2004년 Univ. of California, San Diego
 교환교수
 2000년~2001년 울산대학교
 자동차전자연구센터장
 2006년 현재 울산대학교 e-Vehicle 연구
 인력양성사업단장
 (2단계 BK21 정보기술사업단)
 <주관심분야 : SoC/VLSI 설계 및 테스트, 자동차
 전장시스템 설계, 영상처리 회로 설계 및 제작, 머
 신비전 시스템 개발, 초고집적 메모리 설계>