

42-volt ISG 차량의 성능 시뮬레이터를 이용한 연비성능 분석

김 정 민¹⁾ · 오 경 철¹⁾ · 이 재 호²⁾ · 김 현 수^{1)*}

성균관대학교 기계공학부¹⁾ · 서울대학교 전기·컴퓨터공학부²⁾

Analysis of Fuel Economy for a 42-volt ISG Vehicle Using Performance Simulator

Jeongmin Kim¹⁾ · Kyoungcheol Oh¹⁾ · Jaeho Lee²⁾ · Hyunsoo Kim^{1)*}

¹⁾School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Gyeonggi 440-746, Korea

²⁾School of Electrical Engineering & Computer Science, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea

(Received 21 April 2004 / Accepted 15 March 2005)

Abstract : In this paper, an operation algorithm and a performance simulator are developed for a 42-volt ISG vehicle which consists of 5 kW ISG, 2500cc IC engine, torque converter and 4 speed automatic transmission. Modular approach using MATLAB Simulink is used to construct a dynamic model of the vehicle powertrain which is obtained from each component such as engine, battery, ISG, torque converter, etc.. An operation strategy for a 42-volt ISG vehicle including the function such as engine idle stop and regenerative braking is proposed. Performance simulator is developed based on the dynamic models of the powertrain. It is found from the simulation results that fuel economy can be improved as much as 6 percent for FTP75 driving cycle mostly owing to the engine idle stop.

Key words : 42 volt system(42 볼트 시스템), ISG(아이에스지), Mild HEV(마일드 하이브리드 자동차), Operation algorithm(작동알고리즘)

1. 서 론

최근 차량의 성능 향상 및 안락함과 안전도의 개선을 위하여 차량에 사용되는 전기 시스템은 점차 증가하고 있으며, 전기 시스템의 증가에 따라 차량에 작용하는 전기 부하량은 매년 늘어나고 있다. 지난 20년의 경향을 보면 매년 4~5 % 씩 전기 부하량이 늘어날 것으로 예측되고 있으며,¹⁾ 이와 같은 전기용량증가 요구에 따라 현재의 차량에 사용되고 있는 14-volt 시스템 보다 높은 전압시스템에 대한 요구가 점차 증가 하고 있다. 높은 전압 시스템은 낮은 전압 시스템에 비해 큰 전기용량을 감당할 수 있

으며, 전기 시스템을 쉽게 제어할 수 있다.¹⁾ 또한 높은 전압시스템을 이용하면 기존의 유압식 또는 기계식으로 작동하는 시스템을 전자식으로 변환하여 차량의 효율 및 성능을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다.²⁾

유럽의 자동차 회사들은 지속적인 배기가스배출 감소를 위하여 2008년까지 배기가스 배출량을 25% 까지 감축하도록 합의하였다. 이에 유럽의 자동차 회사들은 여러 가지 기술개발을 시도하고 있는데, 공회전 제어기술은 배기가스 감소를 위한 가장 확실한 기술 중의 하나로 인정되고 있다.³⁾

이와 같은 높은 전압시스템과 공회전제어를 만족시키기 위한 방법 중의 하나가 42-volt ISG (integ-

*To whom correspondence should be addressed.
hskim@me.skku.ac.kr

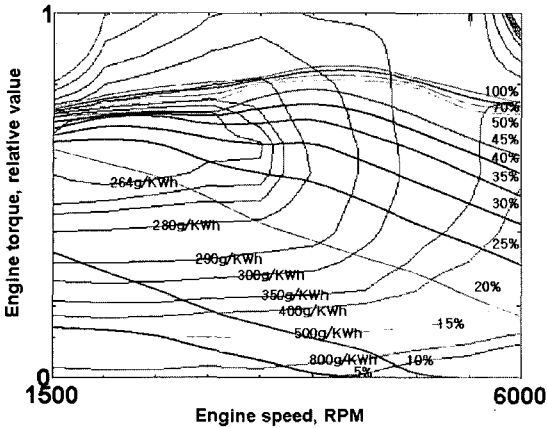


Fig. 2 Engine map

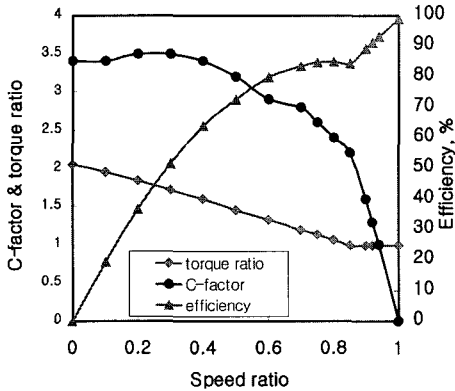


Fig. 3 Torque converter performance curve

$$T_{pump} = C_f \times \omega_{pump}^2 \quad (1)$$

$$T_{turbine} = T_r \times T_{pump} \quad (2)$$

여기서 T_{pump} 는 펌프축의 토크, C_f 는 C-factor, ω_{pump} 는 펌프축의 각속도, $T_{turbine}$ 은 터빈축 토크, T_r 은 토크비이다.

변속 및 토크컨버터의 록업 : 차량이 효율적으로 주행 할 수 있는 적절한 변속 시점 및 토크컨버터의 효율 향상을 위한 댐퍼 클러치의 록업 시점을 록업 테이블 화하여 사용 하였다. 이를 Fig. 4에 도시하였다.

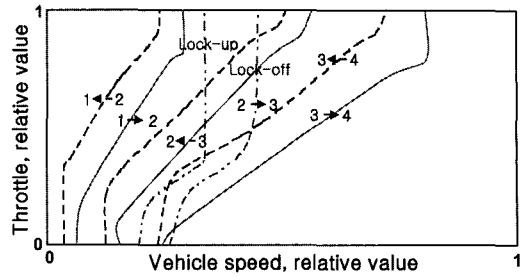


Fig. 4 Gear shift and torque converter lockup map

ISG : ISG는 42-volt ISG 시스템의 핵심요소이나 본 연구에서는 개발중인 ISG의 측정 효율 맵을 사용하여 다음과 같이 1차 시스템으로 모델링하였다.

$$\frac{T_{ISG\ output}}{T_{ISG\ target}} = \frac{1}{1 + \tau_{ISG} S} \quad (3)$$

여기서 τ_{ISG} 는 ISG의 시상수이다. ISG 구동 시에는 (+) 토크가 발생하며, 발전 시에는 (-) 토크가 발생하며 ISG의 운전점에 따라 ISG 특성곡선의 효율을 고려하였다. Fig. 5는 ISG의 특성곡선이다. ISG의 토크 특성은 온도에 따라 달라지나 본 연구에서는 온도가 일정하다고 가정하였다.

배터리 : 배터리 모델은 내부저항 모델(Fig. 6)을 사용하였다. ISG를 구동하는데 요구되는 토크는 배터리에서의 요구 파워로 변환되고, 각 모듈의 내부저항값과 기전력을 배터리 SOC(state of charge)에 대한 실험 데이터를 통해 구한 뒤 배터리에서 흐르는 전류를 다음과 같은 식을 이용하여 계산할 수 있다.

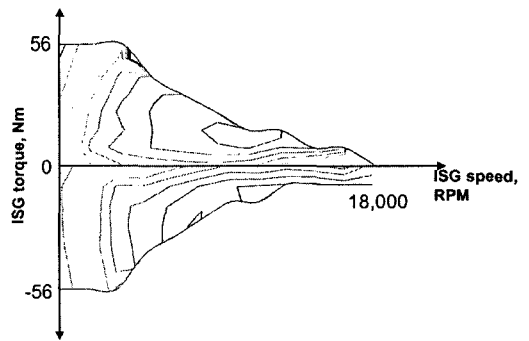


Fig. 5 ISG efficiency curve

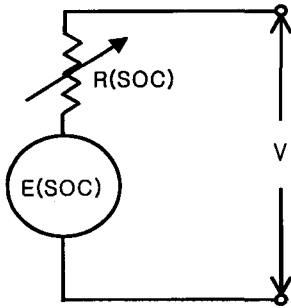


Fig. 6 Lead-acid battery model

$$\begin{aligned} V &= E(SOC) - I \times R(SOC) \\ P &= I \times E(SOC) - I^2 \times R(SOC) : \text{discharge} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} V &= E(SOC) + I \times R(SOC) \\ P &= I \times E(SOC) + I^2 \times R(SOC) : \text{charge} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $E(SOC)$ 는 기전력, $R(SOC)$ 은 내부저항, V 와 I 는 배터리에서 출력되는 전압과 전류를 의미하며, P 는 전기 부하에 의해 소비되는 파워이다. 배터리의 SOC는 전류적산방법을 사용하였으며 계산하는 식은 다음과 같다.

$$SOC(i) = SOC(i-1) - SOC_{Charge} \quad (6)$$

$$SOC_{Charge} = P_{Battery} \times \Delta T / E_{Battery} \quad (7)$$

여기서 $P_{Battery}$ 는 배터리 요구파워, ΔT 는 시뮬레이션 샘플링타임, $SOC(i)$ 는 현재의 SOC, $SOC(i-1)$ 는 한 샘플링타임 전의 SOC를 의미한다. 배터리의 기전력 및 내부저항 값은 SOC이외에도, 온도 등에 의해 영향을 받지만 온도는 일정하다고 가정하였다.

DC/DC 컨버터 : 본 연구에서는 DC/DC 컨버터의 상세한 특성 해석 보다는 42-volt ISG 차량의 파워트레인에 기반한 운전전략과 연비성능 해석에 중점을 두고 DC/DC 컨버터의 입력 파워에 대한 출력파워 특성을 1차 시스템으로 모델링하였다.

$$\frac{P_{DC/DC \text{ output}}}{P_{DC/DC \text{ input}}} = \frac{1}{1 + \tau_{DC/DC} S} \quad (8)$$

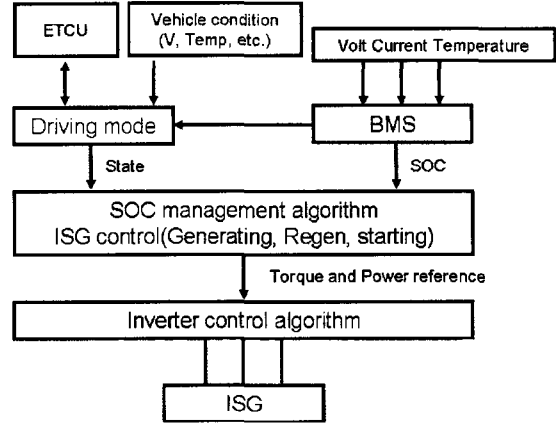


Fig. 7 42-volt mild hybrid logic base system

3. 42-volt ISG 차량 운전 모드

본 연구대상 42-volt ISG 차량의 운전을 위하여 9개의 운전모드를 설계하였다. ECU, TCU 및 각종 센서 등에 의해 측정된 신호를 바탕으로 차량의 상태에 따라 운전모드를 결정하고 그 모드에 맞게 ISG 및 배터리 제어가 수행된다. 이를 Fig. 7에 도시하였다.

- 1) STOP MODE : 차량의 모든 장치들이 정지되어 있다.
- 2) INITIAL CRANKING MODE : 운전자가 시동을 거는 시점으로, ISG가 엔진의 시동을 걸기위하여 작동한다.
- 3) IDLING MODE : 엔진이 아이들링을 하기 위하여 드로틀 제어가 이루어진다. ISG는 배터리 SOC에 따라 충전을 하기도 한다.
- 4) NORMAL DRIVING MODE : 운전자가 가속페달을 밟아 차량이 가속하게 되는 모드이다. ISG는 배터리 SOC에 따라 충전을 하기도 한다.
- 5) ACCELERATE DRIVING MODE : 운전자가 급한 가속을 요구하는 모드이다. 차량의 동력성능을 위해 ISG의 충전을 제한하기도 한다.
- 6) HYDRAULIC BRAKING MODE : 차속, 배터리 SOC, 제동 페달값 등에 따라 회생제동을 할 수 없는 경우 유압브레이크만으로 차량을 제동한다.
- 7) REGENERATIVE BRAKING MODE : 차량의 효율을 높이기 위해 ISG의 발전부하를 이용하여 차

량을 제동하는 모드이다. ISG의 용량이 작아 유압제동이 함께 이루어진다.

8) IDLE STOP MODE : 차량이 정차한뒤 운전자의 가속의지가 없지만 차량의 시동이 걸려 있는 경우 차량은 엔진 아이들링을 하게 된다. 이때 차량의 엔진을 정지시키는 모드로서, 아이들링시 소모되는 연료소모량을 제거 하여 차량의 효율 증가를 도모한다.

9) RESTART MODE : IDLE STOP MODE에서 운전자가 가속의지를 보이거나 다시 엔진을 작동 시켜야 하는 경우 ISG를 이용하여 엔진을 크랭킹 하는 모드이다. 운전자가 가속페달을 밟아 차량을 가속해야 하는 경우 엔진 크랭킹 전까지 ISG만으로 차량이 작동할 수 있도록 한다. 이 모드에서 IDLING MODE 또는 NORMAL DRIVING MODE로 전이 되게 된다.

운전모드는 차량의 상태에 따라 결정되며, 결정된 운전모드는 MCU, BMS, ETCU 등에 전달되어 엔진, 변속기, 배터리, ISG 등이 제어된다.

4. 희생제동

희생제동(regenerative braking)은 제동시 마찰로 소모되는 운동에너지를 배터리, 울트라 캐패시터(ultra capacitor)와 같은 에너지 저장장치에 저장하여 차량의 효율을 향상시키는 기술이다. 일반적으로 제동시 희생제동만으로는 요구되는 제동성능을 만족시킬 수 없기 때문에 희생제동은 유압제동과 함께 실시되며, 이 때문에 운전자에게 기존 차량과 다른 제동감을 줄 수 있다. 이에 희생제동시 운전자의 이질적인 제동감을 방지하기 위하여 전자유압제어모듈을 사용하기도 하나,^{8,9)} 본 연구에서는 ISG의 용량이 비교적 작기 때문에 ISG의 희생제동 파워를 3.5 kW로 제한하고 별도의 희생제동 유압장치 없이 기존의 브레이크 시스템을 사용하였다. 이때 제동감과 제동성능을 보장하기 위하여 희생제동을 제한할 필요가 있다. 제한조건을 찾기 위하여 제동성능 시뮬레이션을 수행하고 희생제동시와 유압제동시에 브레이크 페달량의 차이가 발생하는 다음의 조건에 대하여 희생제동을 제한하였다.

1) Fig. 8은 차량을 0.5g와 0.1g의 감속도로 제동

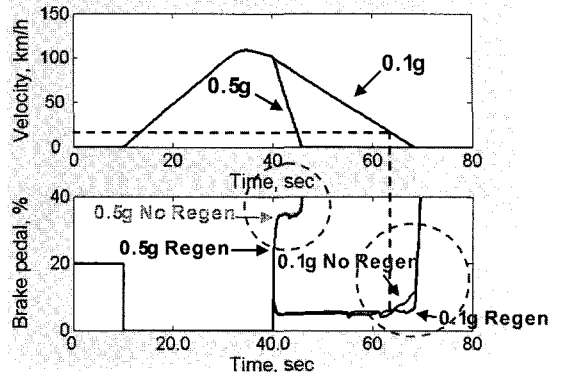


Fig. 8 Regenerative braking simulation results

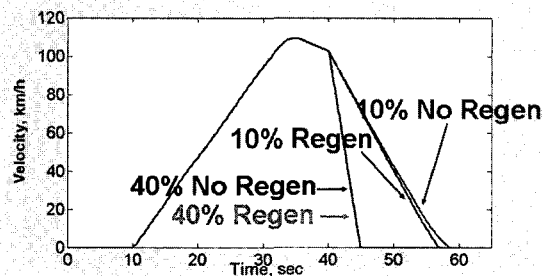


Fig. 9 Regenerative braking simulation results

할 때 희생제동(Regen)시와 유압제동(No Regen)시의 제동페달 값의 차이를 도시한 것이다. 차속이 일정값 이하에서 희생제동시와 유압제동시의 제동페달값에 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 차속이 일정값(15km/h) 이하에서는 희생제동을 금지한다.

2) Fig. 9는 차속 100km/h에서 제동시에 제동페달 값 10%와 40%인 경우를 도시한 것이다. 제동 페달 값이 10%처럼 작은 경우 희생 제동과 유압 제동이 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이에 제동 페달 일정값에 따라 가중함수(weight factor)를 주어 희생제동을 제한한다.

3) Fig. 10은 36-volt 납산 배터리의 SOC에 따른 파워값을 도시한 것으로 SOC값이 클수록 배터리에서 충전할 수 있는 파워의 값이 작아지는 것을 볼 수 있다. 이에 배터리 SOC값에 따른 가중함수를 주어 희생제동을 제한한다.

본 연구에서 사용한 가중함수를 Fig. 11에 도시하였다.

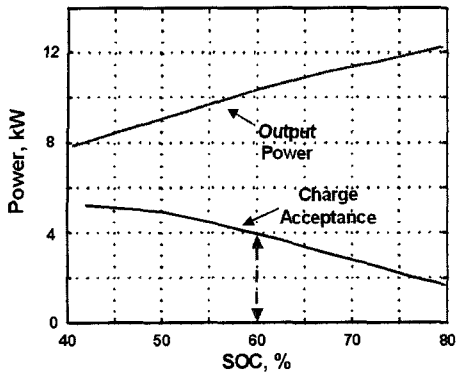


Fig. 10 36-volt Lead-acid battery performance curve

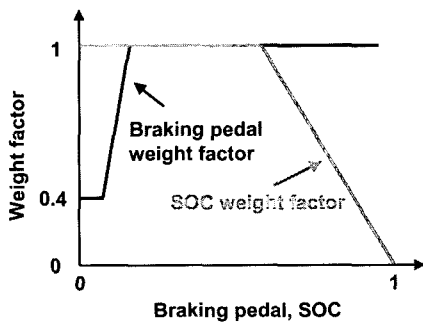


Fig. 11 Regenerative braking weight factor

5. 차량 시뮬레이션

차량 모델링을 기반으로 MATLAB Simulink를 이용하여 차량시뮬레이터를 개발하였다(Fig. 12). 시뮬레이터에서 controller 모듈 내부의 운전자 모델은

주어진 주행모드의 목표 차속을 주행하기 위하여 실제 차량의 속도가 목표로 하는 차량의 속도보다 작을 때에는 가속페달을 밟고, 제동시에는 브레이크 페달을 밟아 목표 차속을 추종하도록 제어를 수행한다. 시뮬레이터를 개발하기 위해 사용된 차량 데이터를 Table 1에 표시 하였다.

Table 1 Vehicle data

| | |
|--------------------------------|----------------------|
| Vehicle mass | 1800 Kg |
| Rolling resistance coefficient | 0.013 |
| Aerodynamic drag coefficient | 0.36 |
| Front area of vehicle | 2.727 m ² |
| 4-gear transmission | |
| 1st gear | 2.842 |
| 2nd gear | 1.529 |
| 3rd gear | 1 |
| 4th gear | 0.712 |
| Final reduction gear | 4.024 |

5.1 시뮬레이터 검증

개발된 시뮬레이터의 검증을 위하여 ISG가 없는 일반 14-volt 차량에 대한 성능 시뮬레이션을 수행하고 이를 측정결과와 비교 하였다. 차량에 작용하는 전기 부하는 항상 700W로 가정 하였으며, 발전기의 효율을 고려하여 1kW의 발전이 이루어져 배터리의 SOC가 유지 되도록 하였다. FTP 75 모드(Fig. 13)를 주행한 결과를 Table 2에 도시 하였다.

Table 2의 연비 측정결과(measurement)는 전문 드

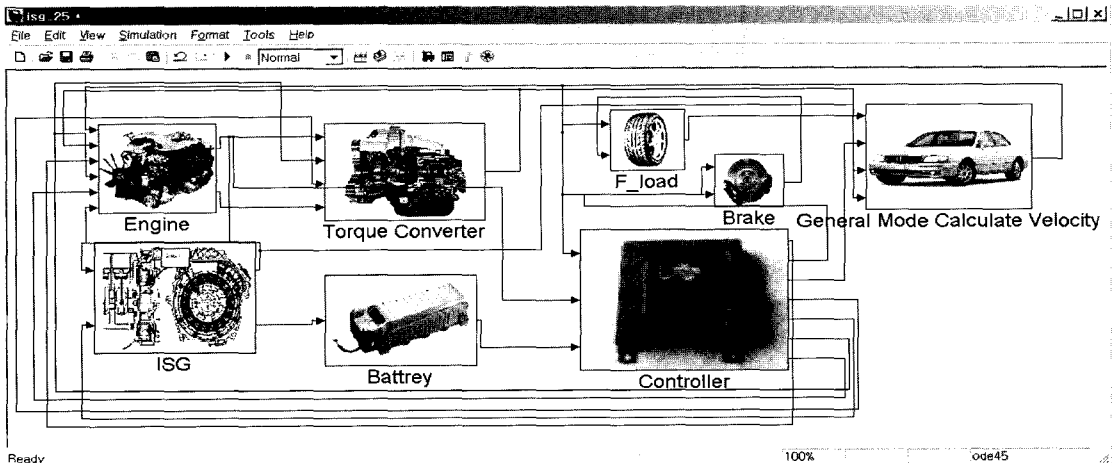


Fig. 12 42-volt ISG vehicle simulator

라이버가 연구대상 차량을 주행하여 얻은 실험 결과이며, FTP75모드 주행실험을 다수 수행하여 평균 값을 표시하였다. 위의 연비, 가속성능 비교에서 볼 수 있듯이 실제 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 거의 유사하여 개발된 시뮬레이터의 타당성을 검증할 수 있다.

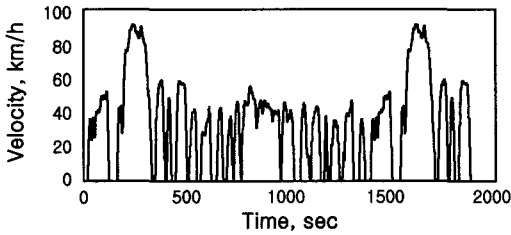


Fig. 13 FTP 75 mode

Table 2 Comparison of vehicle performance

| | Measurement | Simulation | Error |
|-----------------|------------------------|--------------------------|----------|
| Fuel efficiency | 8.6 km/l | 8.64 km/l | + 0.46 % |
| 0-100 km/h | 11 sec | 10.95 sec | - 0.45 % |
| Max speed | 194 km/h (4625 RPM) | 189.6 km/h (4517 RPM) | - 2.27 % |

5.2 42-volt ISG 차량 시뮬레이션

앞에서 검증된 시뮬레이터를 이용하여 ISG 시스템모델을 추가하고 성능 시뮬레이션을 수행 하였다. 이를 위하여 실차테스트를 통해 검증된 14-volt 시스템 기본 차량 시뮬레이터를 기반으로, 실제 단품의 실험데이터를 이용하여 모델링한 ISG, 배터리 등의 모델을 추가하여 42-volt ISG 차량 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이션은 700 W의 전기부하가 항상 작용하는 것으로 가정하고, ISG를 이용한 발전을 통하여 36-volt 배터리SOC가 60%를 유지하도록 제어 하였다. 36-volt 배터리의 SOC를 60%로 유지하기 위해 다음과 같은 식을 이용하여 발전파워를 결정하였다.

$$\bar{P} = \frac{\int P_{consumption} dt}{\Delta t_{gen} \eta_{gen}} + K_p(60 - SOC) + K_I \int (60 - SOC) \quad (9)$$

여기서 \bar{P} 는 ISG에 요구되는 발전파워, $P_{consumption}$ 은 차량의 전기부하와 엔진기동에 의해 소비되는 파워, Δt_{gen} 은 ISG에 의해 충전이 이루어

지는 시간, $\bar{\eta}_{gen}$ 은 ISG 발전시의 평균 효율, K_p 및 K_I 는 비례 및 적분제어 게인, SOC는 현재의 SOC값이다.

42-volt ISG 차량의 무게는 비교대상차량에 비해 약 80Kgf 이 증가한 것으로 가정하였다.

Fig. 14에 성능 시뮬레이션 결과를 도시하였다. 차량이 정지해 있다가 초기시동후 아이들링을 거친 후 주행 조건에 따라 normal driving mode 및 acceleration driving mode를 거쳐 주행이 이루어진다. 감속시에는 회생제동과 유압제동이 작용하며, 차량이 정차한후 3초뒤에 idle stop이 수행된다. idle stop 후 차량을 움직이기 위하여 restart mode(EV mode)를 통해 엔진 시동과 차량주행이 동시에 수행 된다. Fig. 14에서 볼 수 있듯이 42-volt ISG 차량은 설계된 운전전략에 따라 주행이 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

제안된 운전전략을 바탕으로 FTP 75 모드 주행시 시뮬레이션 결과 1900sec중 150~450sec 구간을 Fig. 15

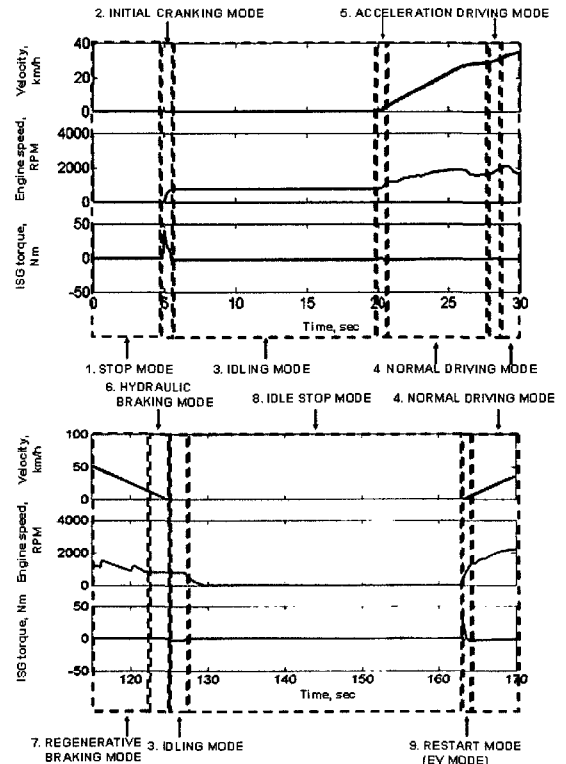


Fig. 14 42-volt ISG vehicle simulation results

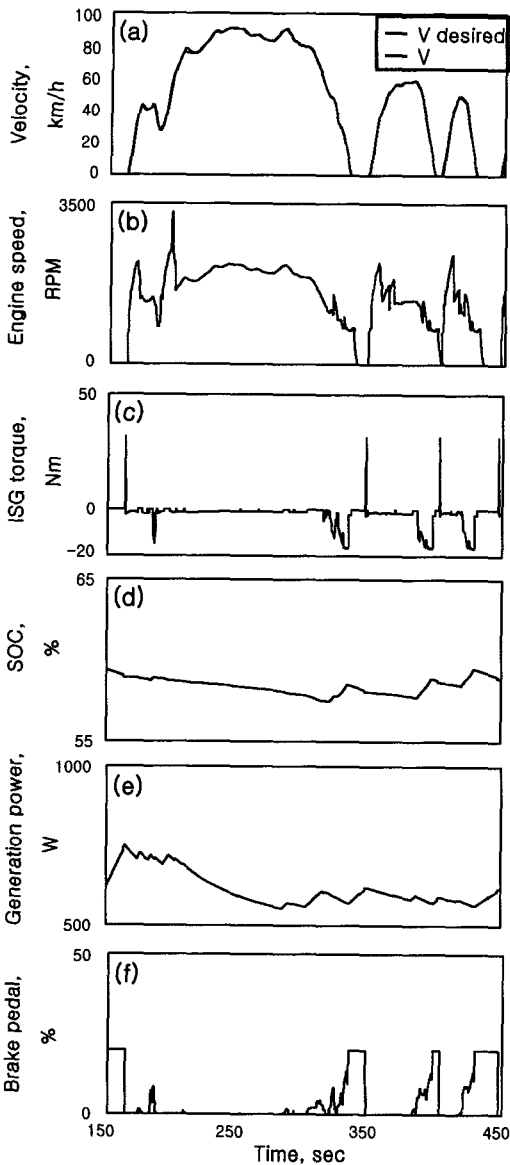


Fig. 15 42-volt ISG vehicle simulation results (FTP 75 mode)

에 도시 하였다. 주행모드의 요구 차속이 0 km/h일 경우 시뮬레이터의 운전자 모델은 제동페달을 밟아 차량을 정지시키며, 차량이 완전히 정지한 뒤 3초 뒤에 엔진이 정지하여 idle stop이 이루어진다(b). idle stop은 총 시뮬레이션 주행시간 1900sec 중 299.5sec의 구간에서 발생하였다. idle stop 모드에서 재시동 시에는 (+)의 ISG토크가 발생하여 차량을 움직이는 동시에 엔진을 기동시킨다(c). 이때 ISG는

시동을 위하여 방전하고 30Nm의 토크가 발생한다. 운전자가 제동페달(f)을 밟으면 회생제동이 이루어져 ISG 토크(-)의 값을 보인다. 회생제동시 최대 -20Nm의 제동토크가 ISG를 통해 발생되며, 전기에너지가 배터리에 충전되어 배터리 SOC(d)가 증가하는 것을 볼 수 있다. ISG의 Generation power(e)는 전기부하를 담당하기 위한 배터리 SOC 유지를 위하여 적절한 발전이 이루어져 배터리 SOC(c)가 60%를 유지하는 것을 확인 할 수 있다. 이 발전중에는 ISG는 약 -1.5Nm의 토크를 발생한다. 배터리는 ISG가 (-) 토크를 보일때 충전이 되지만 700W의 전기부하가 계속 작용하고 있기 때문에 충전시 배터리 SOC가 꼭 증가하는 것은 아니다. 회생제동시에는 많은양의 전기에너지가 충전이 되어 SOC가 증가한다. 시뮬레이션결과 제안된 운전전략에 따라 차량이 적절히 주행되는 것을 확인 할 수 있다.

Table 3 42-volt ISG vehicle simulation results

| Driving cycle | Base vehicle | 42-volt ISG vehicle | Idle stop time | Fuel economy improvement |
|-----------------------|--------------|---------------------|--------------------|--------------------------|
| FTP 75 (1900 sec) | 8.64 km/L | 9.18 km/L | 299.5 sec (15.76%) | 6.25 % |
| Japan 10-15 (660 sec) | 7.46 km/L | 8.39 km/L | 133.4 sec (20.21%) | 12.47 % |

연구대상 42-volt ISG 차량의 운전모드에 대한 연비개선 효과를 Table 3에 표시하였다. 42-volt ISG 차량의 FTP75모드 연비는 9.18km/L로서, 기존 차량 8.64km/L 대비 6.25%의 연비가 개선되며, Japan 10-15 모드 연비는 7.46km/L에서 8.39km/L로 12.47% 향상된다.

Fig. 16은 연비향상 효과를 분석한 그림이다. ISG 시스템 장착에 따른 차량 무게 증가에 따라 연비가 1.86% 감소하고, ISG에 의한 발전효율 향상에 의해 연비가 0.35%증가한다. 또한 회생제동과 idle stop에 의해 총 8.11% 연비향상이 이루어져, 최종적으로 6.25%의 연비향상 효과를 얻었다.

Fig.16에서 보는 바와 같이 ISG를 이용한 42-volt ISG 차량의 연비개선 효과는 주로 idle stop에 의해 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 추가적인 연비향상을 위해서는 early fuel cut off, deceleration fuel cut off 등⁶⁾처럼 ISG를 이용하여 엔진에 연료가 분사되는

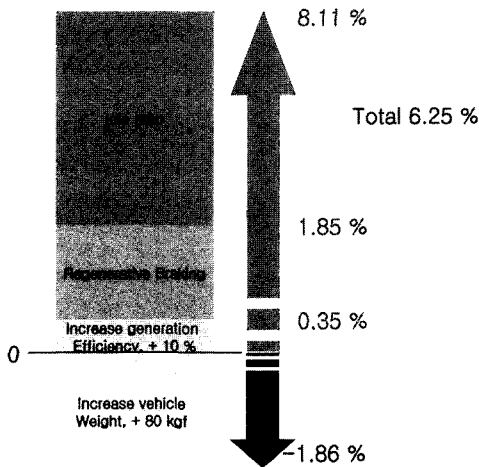


Fig. 16 Fuel economy improvement by 42-volt ISG system (FTP 75 mode)

시간을 줄이는 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 예상된다. 또한 기존 하이브리드 차량에 비하여 회생제동에 의한 연비향상 효과가 적은 것을 볼 수 있는데, 이는 ISG와 배터리의 용량이 작고, 회생제동량에 제한을 두었기 때문이다. 회생제동량을 늘리기 위해서는 기존 배터리 대신에 울트라 캐패시터와 같이 큰 파워를 감당할 수 있는 에너지 저장장치의 사용을 검토할 필요가 있다.

6. 결론

42-volt ISG 시스템을 장착한 차량의 동력전달계 각 요소에 대한 모델링을 수행하고 운전제어 전략을 제시 하였다. 42-volt ISG 차량 동력전달계의 모델을 이용하여 차량성능해석 시뮬레이터를 개발하고 성능시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 운전전략에 의해 연구대상 차량의 ISG가 구동 및 발전을 수행하고, 회생제동이 이루어짐을 확인 할 수 있었다. 일반 14-volt 기준차량에 비하여 42-volt ISG 차량은 idle stop과 회생제동에 의하여 FTP 75모드는 6.25%, Japan 10-15모드는 12.47%의 연비향상을 보인다. 연비 분석결과 42-volt ISG 차량의 연비개선은 주로 idle stop에 의하여 이루어지며, 추가적인 연비향상을 위해서는 idle stop처럼 ISG를 이용하여 엔진의 연료 분사시간을 줄이고 회생제동 에너지를 증가시키는 것이 필요하다. 개발된 시뮬레이터는 42-volt ISG 차량의 다양한 운전전략개발

과 추가적인 효율향상을 위한 설계에 사용될 수 있을 것으로 기대 된다.

후 기

이 논문은 2004 년도 두뇌한국 21 사업과 (주) NGV에 의하여 지원되었으며 이에 감사드립니다.

References

- 1) P. Nicasstri and H. Huang, "42V PowerNet: Providing the Vehicle Electrical Power for the 21st Century," SAE 2000-01-3050, 2000.
- 2) M. Chosen and R. Smith, "Application of Distributed Power Modules on 42 Volt Systems," GPC, 2002.
- 3) D. Jeong, "Idling-stop System to Meet Challenges of European Marketplace," Journal of KSAE, Vol.26, No.1, pp.46-48, 2004.
- 4) T. Teratani, K. Kuramochi, H. Nakao, T. Tachibana, K. Yagi and S. Abou, "Development of Toyota Mild Hybrid System (THS-M) with 42V PowerNet," Proc. of IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC'03), Vol.1, pp.3-10, June 2003.
- 5) Y. Gao and M. Ehsani, "A Mild Hybrid Drive Train for 42 V Automotive Power System-Design, Control and Simulation," SAE 2002-01-1082, 2000.
- 6) H. Husted and E. Schneider, "Fuel Economy Improvements in a Hybrid Vehicle with the 42V Energen-10 System," GPC, 2002.
- 7) Y. Shida, M. Kanda, K. Ohta, S. Furuta and J. Ishii, "Development of Inverter and Power Capacitors for Mild Hybrid Vehicle (MHV)-TOYOTA "CROWN,"" Int. J. Automotive Technology, Vol.4, No.1, pp.41-45, 2003.
- 8) H. Yeo and H. Kim, "Hardware in the Loop Simulation of Regenerative Braking for a Hybrid Electric Vehicle," Proc. Instn. Mech. Engrs, Vol.216, Part D: J. Automobile Engineering, pp.855-864, 2002.
- 9) H. Yeo and H. Kim, "Development of Regenerative Braking Control Algorithm and Electro-Hydraulic Module for a Hybrid Electric Vehicle," EVS 20, 2003.