

회생제동 전자제어 유압모듈을 이용한 하이브리드 차량의 에너지 회수 알고리즘 개발

Development of Energy Regeneration Algorithm using Electro-Hydraulic Braking Module for Hybrid Electric Vehicles

여훈 · 김현수 · 황성호*

H. Yeo, H. S. Kim and S. H. Hwang

Key Words : 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle), 회생제동(Regenerative Braking), 전자제어 제동모듈(Electro-Hydraulic Braking Module), HILS(Hardware-in-the-loop Simulation), 무단변속기(Continuous Variable Transmission)

Abstract: In this paper, an energy regeneration algorithm is proposed to make the maximum use of the regenerative braking energy for a parallel hybrid electric vehicle(HEV) equipped with a continuous variable transmission(CVT). The regenerative algorithm is developed by considering the battery state of charge(SOC), vehicle velocity and motor capacity. The hydraulic module consists of a reducing valve and a power unit to supply the front wheel brake pressure according to the control algorithm. In order to evaluate the performance of the regenerative braking algorithm and the hydraulic module, a hardware-in-the-loop simulation (HILS) is performed. In the HILS system, the brake system consists of four wheel brakes and the hydraulic module. Dynamic characteristics of the HEV are simulated using an HEV simulator. In the HEV simulator, each element of the HEV powertrain such as internal combustion engine, motor, battery and CVT is modelled using MATLAB/Simulink[®]. In the HILS, a driver operates the brake pedal with his or her foot while the vehicle speed is displayed on the monitor in real time. It is found from the HILS that the regenerative braking algorithm and the hydraulic module suggested in this paper provide a satisfactory braking performance in tracking the driving schedule and maintaining the battery state of charge.

1. 서 론

향후 자동차 기술은 점차 강화되는 저공해 규제와 에너지 절감 요구를 만족시키고 운전자의 의지와 주행환경에 능동적으로 대응할 수 있는 기술이 요구된다. 이와 같은 저연비·저배기가스 요구에 대응하는 대체 파워트레인(alternate powertrain) 기술로 H2엔진, CNG (compressed natural gas)엔진, EV (electric vehicle), HEV (hybrid electric vehicle) 및 FCHEV (fuel cell hybrid electric vehicle) 등이 연구 개발 되고 있으나 중·단기적인 관점에서는 기존 차

량에 별도의 투자비 부담이 적으면서 연비 및 배기가스 성능이 우수한 하이브리드 자동차(HEV)가 가장 현실적인 대안으로 부각되고 있다¹⁾.

회생제동(regenerative braking)은 제동시 마찰로 소모되는 차량의 운동에너지를 전기에너지로 변환시켜 이를 배터리, Ultra capacitor와 같은 에너지 저장장치에 저장하여 이를 구동시에 다시 이용할 수 있도록 하는 기술이다. 배터리를 에너지 저장장치로 사용하는 하이브리드 자동차에서 회생제동 기술은 연비개선의 핵심적인 기술로서 특히 가·감속을 반복하는 도심주행모드에서 차량의 효율을 향상시킬 수 있다. 따라서 기존차량에서 마찰열로 소산되는 제동에너지를 회수할 수 있는 회생제동 기술은 하이브리드 자동차의 연비향상에 가장 중요한 요소이다. 1997년 12월 Toyota가 세계 최초의 병렬형 하이브리드 자동차인 'Prius'를 시판한 이후 2003년에는

접수일 : 2008년 7월 1일

황성호(책임저자) : 성균관대학교 기계공학부

E-mail : hsh@me.skku.ac.kr, Tel : 031-290-7464

여훈 : 현대모비스

김현수 : 성균관대학교 기계공학부

'New Prius'를 개발하여 배터리 성능과 회생제동 효율 향상으로 기존의 'Prius'보다 더 높은 연비향상을 보였다. 'New Prius'의 에너지 효율 향상의 가장 큰 요인은 회생제동으로 전체 에너지 향상에 약 35%를 차지한다고 보고되었다²⁾.

Toyota가 세계적으로 처음 시판된 하이브리드 자동차 'Prius'에서 교묘하게 설계된 하이드로 부스터와 리니어 솔레노이드 밸브 2개 및 절환 솔레노이드 밸브 3개를 이용하여 회생제동 시스템을 개발하였다³⁾. Toyota는 2001년에 'Estima'를 출시하면서 전·후륜 독립모터 방식 4WD HEV에 회생제동 시스템을 적용하였으며 Brake by Wire와 결합하여 ABS 및 VDC를 동시에 구현하였다^{4,5)}. Honda는 10kW의 모터를 장착한 HEV 'Insight'를 개발하였다. 'Insight'는 차체경량화 35%, 엔진기술 35%, 모터 조력(assist) 30%의 효과로 인하여 Japan 10-15 모드에서 35km/L의 연비성능을 보였다. 회생제동 에너지를 최대한 증가시키기 위하여 엔진과 변속기의 운전을 최적화하였으며 회생제동시 엔진의 흡배기 밸브 제어와 엔진의 점화각을 지연시켜 엔진부하를 줄임으로서 이에 해당하는 회생제동량을 증가시켰으나 회생제동 유압모듈을 개발하지 않고 기존의 제동시스템을 그대로 사용하여 제동력과 차속에 따라 제한된 회생제동을 수행하였기 때문에 회생제동으로 인한 연비상승 효과는 크지 않았다⁶⁾.

국내 브레이크 전문 업체에서 EHB(electro-hydraulic brake)와 관련된 특허가 보고된바 있으나 HEV의 특성을 고려하여 실제적인 HEV에 적용된 사례는 없는 실정이다. 점점 환경규제가 강화되어 친환경 자동차에 대한 요구가 본격화되고 있는 2000년대 세계 자동차 시장에서 선진 자동차 메이커와의 기술 경쟁을 위해서는 회생제동 전자유압모듈 및 제어기술에 대한 많은 연구개발이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 하이브리드 자동차용 회생제동 전자제어 유압모듈을 설계 및 개발하고 개발된 회생제동 전자제어 유압모듈의 하드웨어를 직접 사용하고 하이브리드 차량 모델은 소프트웨어를 이용한 HILS(hardware-in-the-loop simulation) 환경을 구축하고 이를 이용하여 회생제동 전자제어 유압모듈의 특성과 제시된 회생제동 알고리즘의 성능을 고찰하였다.

2. 회생제동 전자제어 유압모듈 개발

Fig. 1은 본 연구에서 제안한 하이브리드 차량에

회생제동 시스템의 제동시 동력흐름을 나타낸 것이다. 차량이 제동시 후륜에서는 운전자의 답력에 따라 마스터 실린더에서 발생한 유압제동만을 수행하고 전륜에서는 별도의 전자제어 유압모듈에서 공급하는 유압제동과 모터에 의한 회생제동을 수행한다 이때 차량의 운동에너지가 모터를 구동함으로써 역기전력을 발생시켜 배터리를 충전한다.

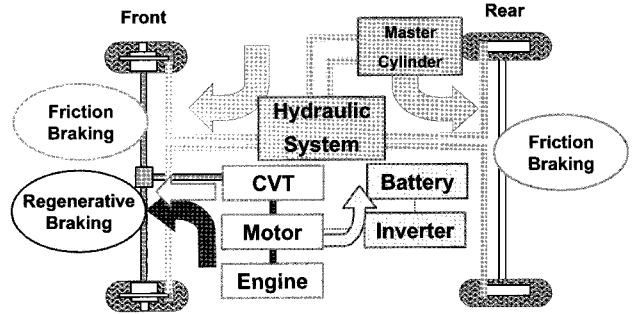


Fig. 1 Regenerative braking process

Fig. 2는 본 연구에서 개발한 회생제동 모듈의 구조도이다. 유압모듈은 펌프모터, 어큐뮬레이터, 릴리프밸브, 비례감압밸브로 구성되어 있다. 펌프모터는 압력스위치에서 측정된 압력이 설정압 이상일 때는 펌프모터를 정지시키고 설정압 이하로 떨어지면 다시 펌프모터를 구동하게 된다. 비례감압밸브는 유압제동과 회생제동이 동시에 작용하는 경우에는 회생제동에 해당하는 만큼의 압력을 감압하여 전륜 휠 실린더로 공급하고 유압 제동만 하는 경우에는 BCU(brake control unit)에서 계산된 전륜에 필요한 제동토크에 해당하는 압력을 전륜 휠 실린더에 전달한다.

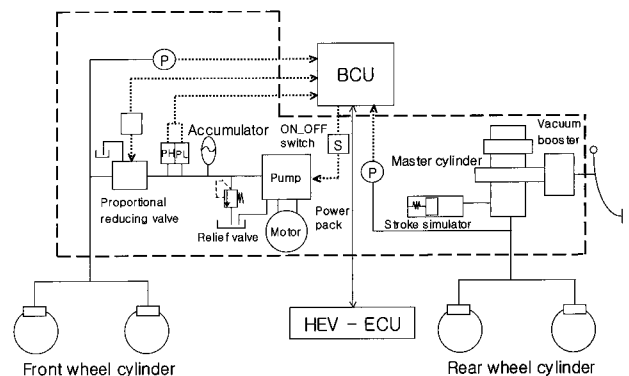


Fig. 2 Regenerative braking hydraulic module

회생제동 전자제어 유압모듈은 전륜에서는 별도의 유압 모듈에서 유압을 공급하고 후륜에서는 마스터

실린더에서 운전자의 제동페달 조작에 의한 유압을 공급한다. 기존 브레이크 장치는 마스터 실린더에서 전륜과 후륜의 유압을 모두 공급하기 때문에 회생제동시에는 전륜에 공급되어야 할 유량이 빠져나가지 않아 운전자는 기존 차량의 제동페달감과 다른 이질감을 느낄 수 있다. 스트로크 시뮬레이터는 전륜의 차단된 유량을 소비시켜 기존 제동페달감과 유사한 페달감을 제공하기 위해 장착하였다.

BCU는 배터리 충전량 SOC(state of charge), 변속비, 차량속도, 브레이크 신호, 휠 실린더의 압력 신호 등을 입력받아 회생 및 유압 제동 분배 알고리즘에 따라 회생제동 지령치를 모터제어장치(MCU)와 회생제동 유압모듈에 인가하게 된다. 압력센서는 운전자가 제동페달을 밟아 발생하는 마스터실린더의 압력신호로부터 요구제동력을 계산하여 운전자의 제동의지를 판단한다.

회생제동 시스템에서 제동페달을 밟는 답력은 진공 배력장치에서 부스팅된다. 진공배력장치는 엔진의 흡입 부압과 대기 압력의 차이에 의하여 페달 답력을 증가시켜 마스터 실린더에 전달하는 역할을 한다. 따라서 하이브리드 전기 자동차에서 엔진은 정지시(idle stop)를 제외하고는 항상 운전되어야 배력장치에서 부스팅이 가능하기 때문에 본 연구에서는 엔진의 부압을 모사하는 별도의 진공펌프를 사용하였다. Fig. 3은 본 연구에서 개발된 회생제동 전자제어 유압모듈과 브레이크 시스템의 사진이다

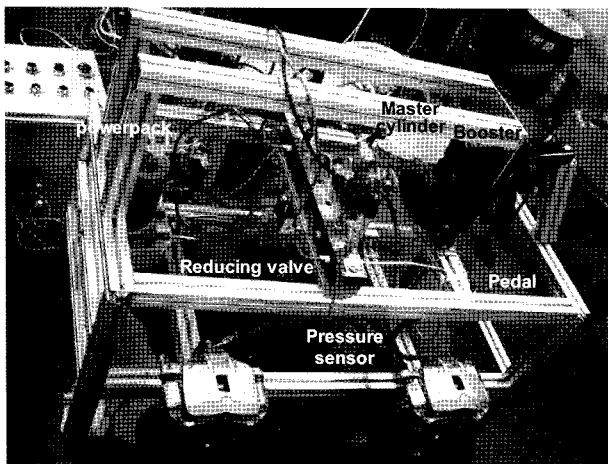


Fig. 3 Regenerative braking system

3. 회생제동 알고리즘

Fig. 4는 본 연구에서 채택한 병렬형 하이브리드 자동차의 구조를 나타낸 그림이다. 연구대상 하이브

리드 자동차는 엔진과 모터를 직결시킨 1축 구조를 채택하고 있으며 주동력원으로 엔진을 사용하고 12kW급 모터를 사용하여 동력을 보조한다. 변속기로는 엔진을 최적 운전시키기 위하여 CVT (continuously variable transmission)를 사용하였다. 차량이 제동시 후륜에서는 운전자의 답력에 따라 마스터 실린더에서 발생한 유압에 의한 유압제동만을 수행하고 전륜에서는 회생제동 전자제어 유압모듈에서 공급하는 유압제동과 모터에 의한 회생제동을 동시에 수행한다.

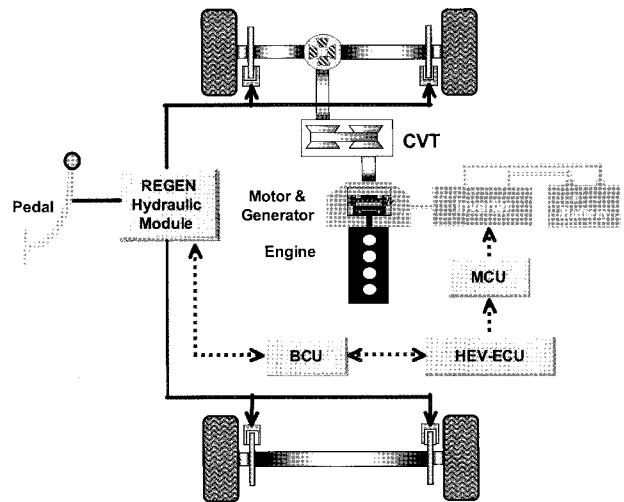


Fig. 4 Schematic diagram of parallel HEV

회생제동 알고리즘은 제동시 전·후륜의 록업(lockup)방지를 위하여 전·후륜의 제동력을 적절히 분배하여야 하며 차량의 주행상태 및 운전자의 제동 의지에 따라 회생제동량을 결정하고 또 모터와 배터리의 상태에 따라 회생제동을 제한할 필요도 있다. 본 연구에서는 연구대상 하이브리드 차량에 대하여 운전자의 제동의지와 차량의 주행상태에 따라 회생제동 실시여부와 회생제동토크의 크기를 결정하는 회생제동 제어로직을 제시하였다.

3.1 제동력 결정

차량 주행시 노면상태가 계속 변하고 이를 인지할 수 없기 때문에 제동시 이상제동력 곡선을 정확히 추종하기는 불가능하다. 만약 제동력이 타이어와 지면과의 마찰한계를 넘어서게 되면 록이 발생하게 된다. 이때 후륜에 먼저 록이 발생되면 후륜의 횡력이 거의 없어지기 때문에 요잉으로 인하여 전륜에서 록이 먼저 발생하는 경우보다 차량이 더 불안정하게 된다. 따라서 실제 제동력 분배는 차량의 안정성을

위하여 전륜에 먼저 록이 발생되도록 해야 한다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 5와 같은 실제제동력 분배 선도를 사용하였다. 실제제동력 분배선도는 선형적인 특성을 보이며 후륜에 먼저 록이 일어나는 것을 방지하기 위하여 이상제동력 선도보다 후륜제동력을 작게 설정하였다.

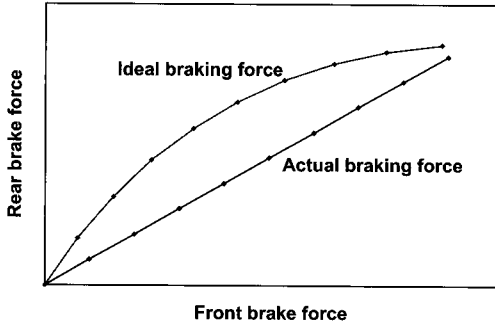


Fig. 5 Actual braking force

3.2 회생제동량 결정

전·후륜의 제동력이 결정되면 운전자의 요구제동력과 현재 차속으로부터 전륜의 회생제동량을 결정하여야 한다. 회생제동량 결정로직은 차량의 주행상태와 운전자의 제동의지에 따라 모터의 발전 효율특성을 고려하여 결정하여야 한다. 또한 운전자의 요구제동력보다 더 큰 회생제동력이 발생하지 않도록 회생제동 토크를 제한시키는 알고리즘이 요구된다. 운전자가 가속페달을 놓는 정속 주행시에도 재가속시 차량의 가속성을 저하시키지 않는 범위내에서 회생제동을 수행해야 한다. 회생제동량은 모터의 제너레이팅 효율을 고려하여 최대한 회생제동이 가능하도록 한다. 회생제동 토크는 다음 식으로 표시된다.

$$T_{REGEN} = T_{m\,desired} \eta_{gen} \quad (1)$$

여기서 $T_{m\,desired}$ 는 요구된 모터의 공칭토크이며 η_{gen} 은 모터의 제너레이팅 효율이다.

회생제동토크 T_{REGEN} 을 최대화하기 위해서는 주어진 모터속도에서 제너레이터 효율 η_{gen} 이 최대인 영역에서 회생제동이 이루어져야 한다. Fig. 6에 본 연구에 사용된 모터의 제너레이터 효율 특성을 도시하였다. 모터의 제너레이터 효율 특성은 2500~4000rpm 사이의 고토크 영역에서 가장 효율이 높은 특성을 가지고 있다. 또한 일정속도에 대해서 고토크 영역으로 갈수록 더 높은 효율 특성을 보이고 있

기 때문에 최적의 회생제동량은 다음과 같이 결정된다. 예를 들어 Fig. 7에서와 같이 운전자의 요구 감속도에 따른 전륜의 제동토크가 A라면 현재 주어진 모터속도 ω_A 에서 요구회생제동 토크와 교차하는 지점 B에서 회생제동토크가 결정된다. 만약 요구회생제동 토크가 C라면 C는 모터의 최대 회생제동토크 D보다 크기 때문에 회생제동 토크는 D로 결정된다. 따라서 요구된 제동토크를 넘지 않도록 최대 회생제동 토크를 결정하면 에너지 회수를 극대화 할 수 있다.

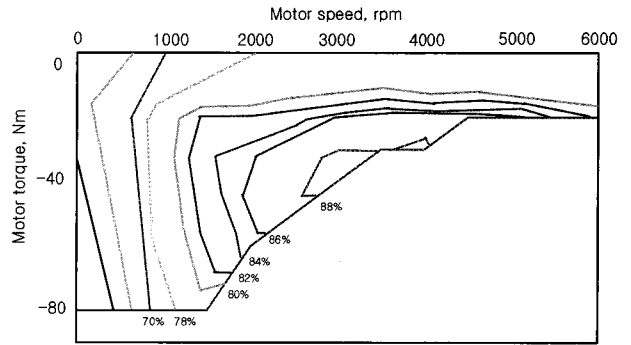


Fig. 6 Efficiency map of motor

Fig. 7에서 모터의 회생제동 토크는 요구제동력과 현재 변속비로 계산되며, 모터속도와 효율을 고려하여 다음과 같이 구해진다.

$$T_m = \frac{F_{bf\,desired} \times R_t}{N_d \times i} \quad (2)$$

여기서, T_m 은 모터 토크, $F_{bf\,desired}$ 는 전륜 요구 제동력, R_t 는 타이어반경, N_d 는 종감속기어비, i 는 CVT 변속비이다.

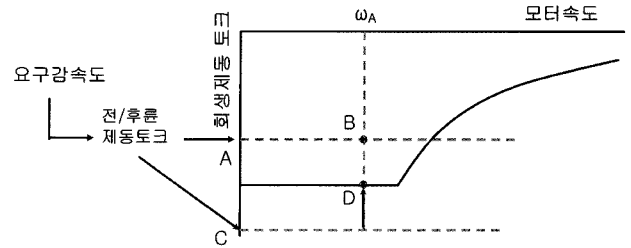


Fig. 7 Regenerative torque

3.3 회생제동 제한로직

회생제동으로 인하여 배터리가 과충전이 되면 배터리의 수명을 단축하게 된다. 따라서 배터리의 보

호를 위하여 SOC에 따른 회생제동토크에 가중합수 (weight factor)를 적용하여 회생제동을 제한하였다. Fig. 8에 SOC에 따른 회생제동토크의 가중합수를 도시하였다. 배터리 SOC에 대한 가중합수(WF1)은 SOC가 0%에서 SOC_high_limit(80%)까지는 1의 값을 가져 가능한 최대 회생제동토크를 사용하고 SOC_max_limit (90%)까지 선형적으로 감소하다가 SOC가 90% 이상에서는 회생제동을 하지 않도록 제한하였다.

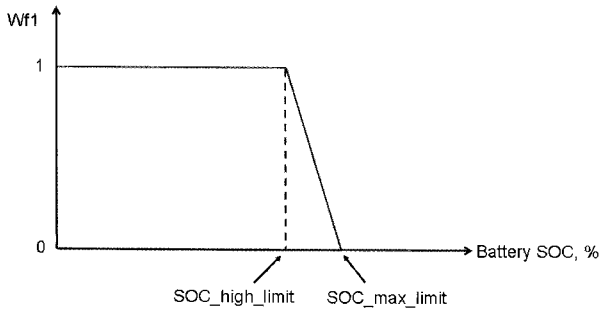


Fig. 8 Weight factor for battery SOC

이 연구에서 사용된 모터는 엔진과 직결되어 있어 엔진과 모터는 같은 속도로 운전된다. 회생제동시 회생제동토크로 인하여 엔진속도가 아이들속도 이하로 떨어져 엔진이 정지하는 상황을 방지하기 위하여 엔진 속도에 따른 가중합수(WF2)를 Fig. 9와 같이 설정하였다. Engine_spd_min(900rpm) 미만에서는 회생제동을 금지하고 가중합수를 증가시켜 Engine_spd_low(1000rpm)에서는 가중합수를 1로 설정하였다.

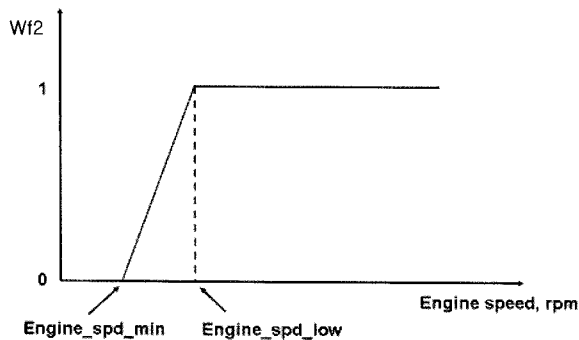


Fig. 9 Weight factor for engine speed

3.4 유압모듈 특성을 고려한 회생제동 제어로직

회생제동시 회생제동 제한로직에 의하여 회생제동이 제한되면 유압제동력은 총 요구제동력에 맞추어 증가되어야 한다(Fig. 10). 이때 회생제동력을 급격

히 감소시킬 경우, 모터 응답속도보다 유압제동력의 응답성능이 늦기 때문에 차량의 총 제동력이 요구 제동력보다 작아져 이질적인 제동감이 발생할 수 있다. 따라서 모터의 응답성능을 유압모듈의 응답성능과 유사하게 제어하여 제동감 저하를 최소화 할 필요가 있다.

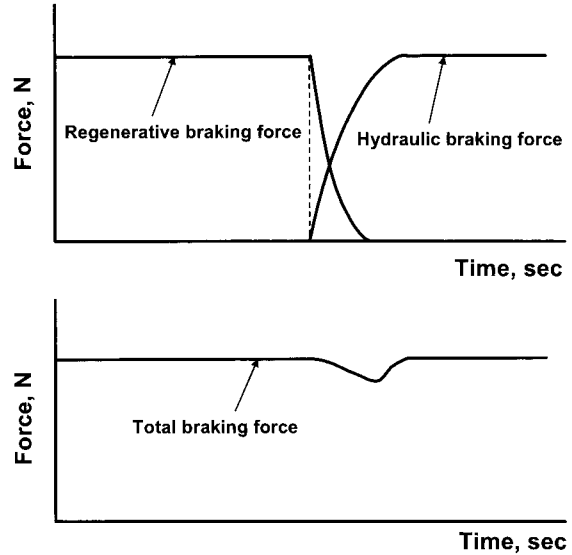


Fig. 10 Response characteristics of regenerative braking and hydraulic braking force

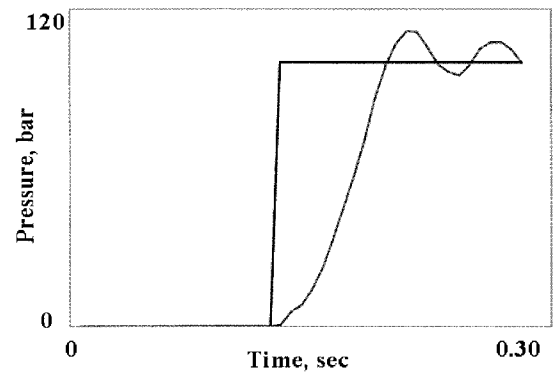


Fig. 11 Response characteristics of electro-hydraulic brake module

Fig. 11은 회생제동 전자제어 유압모듈의 압력특성에 대한 실험결과이다. Fig. 11에서 볼 수 있듯이 0~100bar의 계단입력에 대한 회생제동 모듈의 제어 압력 응답은 2차 시스템으로 다음과 같이 모델링할 수 있다.

$$\frac{P_b}{P_{b\text{desired}}} = \frac{\omega_n^2}{S^2 + 2\zeta\omega_n S + \omega_n^2} \quad (3)$$

($\zeta = 0.567$, $\omega_n = 45.404$)

Fig. 12에 회생제동 유압모듈의 응답성능을 고려한 회생제동력의 응답지연 보상 알고리즘의 블록선도를 도시하였다. 회생제동토크의 변동량이 크면 모터의 응답성능을 유압모듈의 응답특성과 유사하게 2차 시스템으로 보상하여 제어한다.

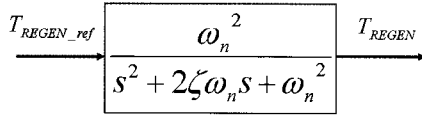


Fig. 12 Block diagram of the motor response compensation

Fig. 13에 본 연구에서 제시한 회생제동 제어로직의 순서도를 도시하였다.

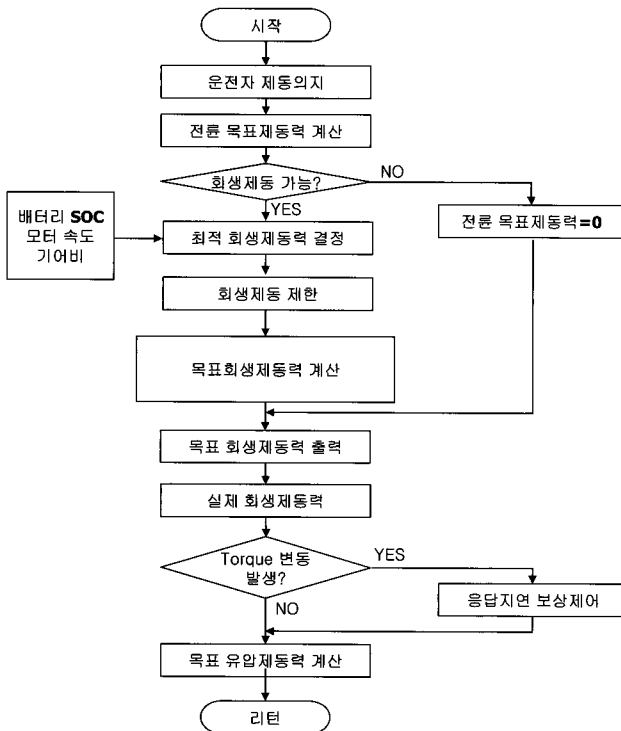


Fig. 13 Flow chart of regenerative braking control algorithm

회생제동 제어로직은 먼저 운전자의 제동의지를 감지하여 전·후륜 제동력 분배곡선으로 전·후륜의 요구제동력을 계산한다. 요구제동력이 결정되면 액셀페달, 브레이크페달, 클러치상태, 엔진속도, 변속비, Fail 신호에 따라 회생제동 수행여부를 결정하게 된다. 회생제동이 가능한 조건이면 배터리 SOC, 모터속도, 변속비로부터 최적의 회생제동력을 결정하고 회생제동 제한로직을 거쳐 목표회생제동력을 계산하게 된다. 또한 회생제동력의 변동으로 인하여

토크 변동이 발생할 경우 전·후륜 모터의 응답시간 지연 보상제어를 통하여 요구제동력의 변동을 최소화 시켜준다. 회생제동력이 결정되면 차량의 요구제동력에서 회생제동력을 제외한 나머지는 유압제동력을 공급한다.

4. HILS를 이용한 회생제동 성능해석

4.1 HILS의 구성

HILS 시스템은 하드웨어와 소프트웨어의 2개의 구성요소로 나눌 수 있다. HILS 시스템의 하드웨어는 브레이크 시스템, 전자제어 유압모듈, 컨트롤 박스, DSP 보드, Expansion box로 구성 되어있다. 시뮬레이션에 의해 디스플레이 되는 차속을 보며 운전자가 직접 브레이크 페달을 밟으면 부스터와 마스터실린더를 통해 후륜 휠 실린더에 압력이 발생한다. 전륜은 마스터 실린더에서 발생한 유압을 차단하고 별도의 유압모듈에서 제어되는 압력을 공급한다 전륜에서 차단된 유량을 소비하기 위하여 스트로크 시뮬레이터를 장착하였고 엔진의 부압을 모사하기 위하여 진공펌프를 사용하였다. Fig. 2의 회생제동 유압모듈은 펌프모터, 비례감압밸브, 릴리프밸브, 어큐뮬레이터로 구성되며 BCU에서 계산되는 회생제동량 만큼의 압력을 감압하여 전륜에 공급한다 감압제어는 BCU 신호에 따라 비례감압밸브에서 구현하였다. 별도의 프로세서가 장착된 Expansion box는 MATLAB/Simulink[®]로 구성된 HEV 성능 시뮬레이터 프로그램이 실시간 시뮬레이션이 가능하도록 컴파일된 파일을 받아 실시간 시뮬레이션을 수행한다. DSP보드에서는 A/D converter, D/A converter가 내장되어 있어 압력신호를 받아 실시간 시뮬레이터에 인가하면 계산된 회생제동토크에 해당하는 압력을 감압하여 해당하는 전압을 비례감압밸브에 인가하는 인터페이스 역할을 수행한다.

HILS 시스템의 소프트웨어는 HEV 회생제동 시스템의 HILS를 수행하기 위하여 HEV 파워트레인을 모델링하고 회생제동 시스템의 시뮬레이터를 개발하였다. Fig. 15에 HEV 회생제동 시뮬레이터를 도시하였다. Control Desk라는 프로그램에서 Code generation 되면 DSP 보드에서 실시간 시뮬레이션을 통해 데이터 획득하여 시뮬레이션의 파라미터 변화 및 응답 결과를 고찰하게 된다.

Fig. 14는 회생제동 HILS 시스템의 개략도이다. 시험장치는 브레이크 시스템과 회생제동 전자제어

유압모듈, 회생제동시스템을 제어하고 인터페이스하기 위한 DSP보드와 Expansion box, 시뮬레이션 결과를 보여주기 위한 Control Desk와 Host PC 및 HEV 회생제동 시뮬레이터로 구성되어 있다. Table 1은 HILS에 사용된 차량데이터이다.

이다. 실제차속(a)는 기준차속을 잘 추종하고 있으며 감속구간에서 속도의 차이를 보이는 것은 운전자가 직접 브레이크 페달을 작동시켜 생기는 오차이다.

Table 1 Vehicle data

Engine	Stroke volume	1600cc
	Maximum torque	140Nm
Motor	12kW motor torque at base rpm	50Nm
Vehicle	Final reduction gear ratio	5.763
	CVT ratio range	0.455-2.47
	Vehicle mass	1380kg
	Drag coefficient	0.346
	Tire radius	0.279

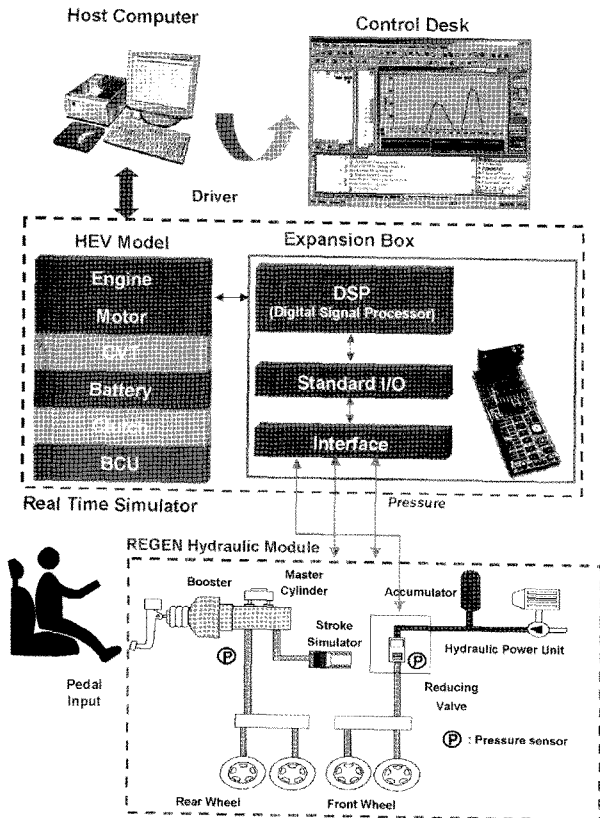


Fig. 14 HEV regenerative braking HILS system

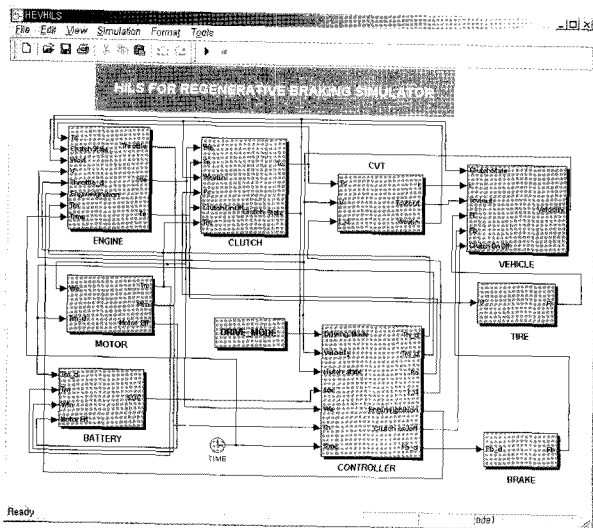


Fig. 15 MATLAB model of HEV powertrain

4.2 HILS를 이용한 회생제동 성능해석

Fig. 16은 회생제동 성능해석을 위한 HILS 결과

이다. 모터토크(b)는 가속구간에서 차량을 구동하여 양의 값을 보이며 감속구간에서는 회생제동으로 음의 값을 보인다. 배터리 충전량(c)은 모터구동시 감소하며 회생제동시에는 배터리를 충전하여 증가하는 것을 볼 수 있다. 전·후륜의 제동압력(d)은 감속구간에서 운전자가 브레이크 페달을 작동함에 따라 발생하게 된다. 회생제동시 전륜의 제동압력은 회생제동량만큼 감압되어 전륜에 인가되고 있음을 볼 수 있다. 본 연구에서는 전·후륜의 제동력 분배비를 1:1로 가정하였기 때문에 회생제동을 하지 않을 경우에는 전·후륜에 압력이 동일하게 형성되며 전·후륜의 압력차가 회생제동량이 된다. CVT 변속비(e)는 차속이 증가할 때 상향 변속하며 차속이 감소할 때는 하향 변속하는 것을 볼 수 있다. HILS 결과로부터 본 연구에서 개발한 회생제동 알고리즘과 전자제어 유압모듈이 만족한 성능을 보이는 것을 확인하였다.

Fig. 17은 회생제동 전자제어 유압모듈을 장착하여 회생제동 알고리즘을 적용한 경우와 기존의 브레이크를 그대로 사용하여 회생제동 알고리즘을 적용할 경우에 대한 연비 성능을 비교한 결과이다. 회생제동 전자제어 유압모듈을 장착하지 않을 경우에는 운전자의 요구제동력이 그대로 발생하고 추가적인 회생제동토크로 인하여 제동감의 저하를 발생시킬 수 있다. 따라서 요구제동력의 20%이하로 회생제동력을 제한하여 HILS를 수행하였으며 최종 SOC는 초기 SOC에서 $\pm 0.2\%$ 이하의 오차를 유지하였다. Fig. 17에서 볼 수 있듯이 회생제동 전자제어 유압모듈을 장착한 경우 회생제동량을 증가시킬 수 있기 때문에 3.5% 연비향상을 보였다. 이는 기존 제동시스템을 그대로 사용하여 회생제동 알고리즘을 적용

한 경우에는 제동감의 유지를 위하여 회생제동량을 제한하였기 때문이다. 또한 배터리 과충전시 회생제동력의 급변으로 제동력의 이질감이 발생할 수 있기 때문에 회생제동 전자제어 유압모듈을 장착함으로써 제동력의 이질감을 방지하고 회생제동량을 극대화할 수 있다. 이 연구에서 사용된 모터는 12kW의 작은 용량으로 만약 모터의 용량을 증가시킨다면 더 높은 연비향상을 보일 것으로 기대된다.

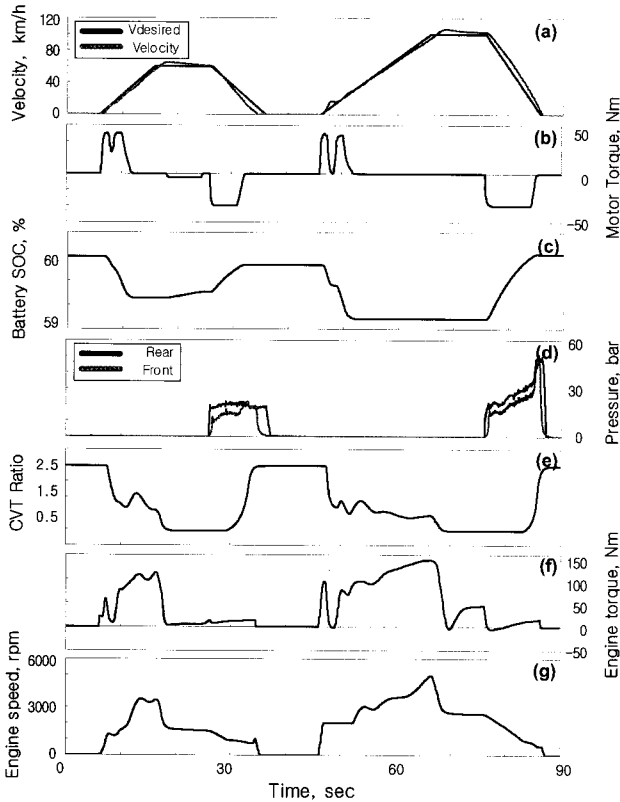


Fig. 16 HILS results

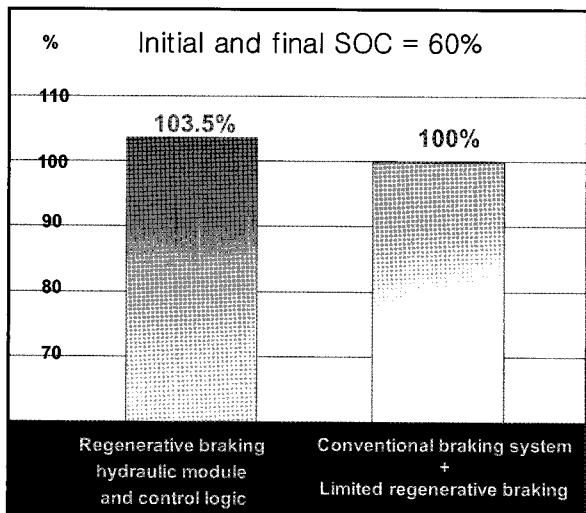


Fig. 17 Comparison of fuel economy for FUDS

5. 결 론

본 논문에서는 하이브리드 차량의 회생제동 알고리즘과 회생제동 전자제어 유압모듈을 개발하였다. 회생제동 알고리즘은 모터속도, 배터리 SOC, 변속비 등 차량상태와 운전자의 제동의지에 따라 회생제동량과 유압제동량을 결정하게 된다. 회생제동 알고리즘을 검증하기 위하여 프로토타입의 회생제동 전자제어 유압모듈을 개발하였다. 회생제동모듈은 비례감압밸브, 어큐뮬레이터, 파워팩, 스트로크 시뮬레이터로 구성하였다. HILS 시스템을 구축하여 개발된 회생제동 모듈과 회생제동 알고리즘의 성능평가를 수행하였다. HILS 결과 회생제동 알고리즘과 회생제동 전자제어 유압모듈의 만족한 성능을 확인하였으며 기존의 브레이크 시스템에 회생제동 알고리즘을 적용한 경우보다 3.5%의 연비향상을 보였다.

후 기

이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (KRF-2005-205-D00021)

참고 문헌

- 1) F. Mueller, P. Lueck and S. Koehle, "Hybrid Electric Vehicle - Discussion of Different Configurations", GPC 2000, pp.54~63, 2000.
- 2) K. Muta, M. Yamazaki and J. Tokieda, "Development of Next-Generation Hybrid System THS II-Drastic Improvement of Power Performance and Fuel Economy", SAE 2004-01-0064, 2004.
- 3) T. Yaegashi, S. Sasaki, T. Abe, "TOYOTA HYBRID SYSTEM : It's Concept and Technologies", FISITA 98, F98TP095, 1998.
- 4) E. Nakamura, M. Soga, A. Sakai, A. Otomo and T. Kobayashi, "Development of Electronically Controlled Brake System for Hybrid Vehicle", SAE 2002-01-0300, 2002.
- 5) M. Soga, M. Shimada, J. Sakamoto and A. Otomo, "Development of Vehicle Dynamics Management System for Hybrid Vehicle : ECB System for Improved Environmental and Vehicle Dynamic Performance", JSAE Review,

Vol. 23, pp.459~464, 2002.

- 6) K. Fukuo, A. Fujimura, M. Saito, K. Tsunoda and S. Takiguchi, "Development of the Ultra Low Fuel Consumption Hybrid Car - INSIGHT", JSAE Review, Vol. 22, pp. 95~103, 2001.