

병렬형 하이브리드 전기자동차의 운전전략과 회생제동

Operation Algorithm and Regenerative Braking for Parallel Hybrid Electric Vehicle

오 경 철, 여 훈 · 성균관대학교 대학원
Kyoungcheol Oh, Hoon Yeo · Sungkyunkwan University

김 현 수 · 성균관대학교 교수
Hyunsoo Kim · Sungkyunkwan University

1. 서론

범세계적으로 날로 강화되는 환경 오염과 연비 규제에 대응하여 자동차 선진 각국은 대체 연료, 경량화, 지능화 등 신기술 개발에 막대한 연구 개발 투자를 기울이고 있다.

미국 캘리포니아 주에서 2003년부터 시행되는 무공해 자동차 의무 판매규정 (ZEV 4%이상, Partial ZEV 6%이상) 과 지구 온난화 방지를 위한 1997년 교토 의정서에 따른 CO₂ 배출량 삭감 목표에 따라 앞으로 자동차 기술 개발은 저연비·저공해 차량으로 더욱 집중될 것으로 예상된다. 연비를 50% 개선했을 경우 CO₂는 33% 줄어드는 것으로 보고되고 있으며, 이에 따라 유럽은 3 l Car (3 l Car/100km), 미국은 Super Car 프로그램에 박차를 가하고 있다.

이 글에서는 저연비·저공해 자동차 기술에 대하여 간단히 살펴보고 하이브리드 전기자동차(HEV)를 중심으로 이의 운전전략과 회생제동기술에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 대체 연료 구동계

저연비·저공해 기준을 만족하기 위한 대체 연료 자동차로서는 H₂/CNG, 전기자동차(EV), 하이브리드 전기 자동차(HEV), 연료 전지 자동차(FCEV) 등이 이미 실용화 되었거나 활발한 연구개발이 진행 중에 있다.

대체 연료로 엔진을 구동하는 예로서 수소(H₂)나 압축천연가스(CNG)를 들 수 있다. 이 방법은 엔진에 맑거나(H₂) 약간의 (CNG) 수정을 가해 연료를 가솔린 엔진에 직접 사용할 수 있다는 장점 외에 매우 낮은 배기가스와 높은 압축비에 의한 약간의 효율 향상이라는 장점이 있다. CNG차량은 추가되는 비용이 낮은 연료 가격과 상쇄될 수 있으나 H₂ 차량은 비용 상승 외에도 가스(Gas) 상태 연료의 저장용이 액체만큼 용이하지 않고 따라서 더 크고 무거운 저장용기를 필요로 한다는 단점이 있다. 모든 주유소에서 이들 연료의 판매를 위하여는 연료공급 산업기반에

큰 폭의 변화를 요구하기 때문에, 택시나 버스와 같이 매일 일정한 장소로 돌아오는 업체가 가장 유력한 대상이라고 생각된다.

EV는 Zero-Emission 과 낮은 소음에 의한 안락성의 장점이 있으나 배터리의 에너지 저장 용량이 항상 문제로 지적되어 왔으며 가장 최신의 배터리도 크고 무겁다는 지적이 있다. 이것은 소비자의 요구를 제한하며 뿐만 아니라 배터리 가격이 여전히 고가이고 수명이 짧다는 단점이 있다. 따라서 EV는 도심 근거리 무공해 주행의 틈새 시장용으로 기대된다.

HEV는 기존의 엔진 구동 차량과 EV의 혼합으로서 대개 내연기관과 전기모터, 연료탱크와 배터리를 장착하고 있다. HEV는 엔진과 모터의 지능 제어에 의해 연료소비와 배기가스를 줄이면서 기존 차량과 같은 주행거리를 제공할 수 있으나 모터와 배터리의 추가에 의한 비용 상승이 단점이다. HEV는 기존 차량과 같이 소비자의 요구를 만족시킬 수 있고 추가 비용은 연비와 배기가스 성능 향상으로 상쇄시킬 수 있기 때문에 보다 많은 수요자에 의해 받아들여 질 것으로 예측된다.

FCEV는 앞으로 가장 기대되는 대체연료기술이다. 수소나 메탄올로 작동되는 연료전지에서 발생하는 전기 에너지가 EV와 같은 구동계를 구동한다. 수소를 사용할 때에는 Zero-Emission이 가능하고 메탄올을 사용하는 경우에는 보다 용이한 연료주입이 가능하다. FCEV는 발전 초기 단계에 있으며, 기존 차량과 같은 성능과 가격을 맞추는 것이 해결해야 할 과제이다.

〈그림 1〉에 대체연료 차량의 각 영역에서 장점과

단점이 비교되어 있다.

H₂는 인프라 구축이 전혀 되어 있지 않다는 제한이 있으며 EV는 짧은 주행거리 때문에 틈새 시장용으로 생각되고, FCEV는 장기적인 관점에서는 가장 유망하나 양산이 가능한 시점에야 경쟁력이 있을 것으로 판단된다.

따라서 단기 또는 중기적 관점에서는 HEV가 최소한의 추가비용으로 연비개선과 배기가스 감축을 달성할 수 있는 점에서 최선의 선택으로 생각된다.

	Conventional Drive Trains	Alternative Drive Trains			
		Hydrogen	EV	HEV	FCEV
Performance	+	+	0	+	0
Range	+	0	-	+	+
Comfort	0	(0)	+	0	+
Consumption	-	0	0	+	+
Emissions	-	+	+	0	+
Costs	+	+	-	0	-
Infrastructure	+	-	0	+	0
Availability	+	+	0	0	-

〈그림 1〉 Comparison of Different Alternative Drive Trains

3. HEV

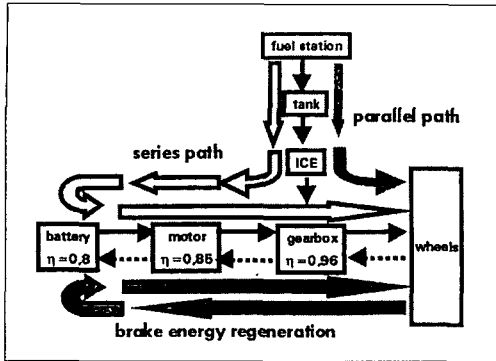
HEV는 직렬형(Series)와 병렬형(Parallel)이 있다. 이론적으로 각각의 하이브리드 구조를 비교하기 위하여는 에너지 흐름을 비교하는 것이 가장 빠른 방법이다. 개개 구성요소의 기본적인 효율은 다음과 같다.

Electric motor	0.85
Generator	0.80
Battery	0.80
Gearbox	0.96

회생제동 효과가 동일하다고 가정하면 〈그림 2〉에 나와 있는 것처럼 배터리에 저장되어 있는 에너지를 사용하는 직렬형이 가장 비효율적이다.

〈그림 3〉은 하이브리드 구조에 따른 성능을 비교 도시한 것이다. 직렬형 HEV는 배기가스와 승차감

특집 동력전달시스템



〈그림 2〉 Energy Flow Paths in a Parallel Hybrid

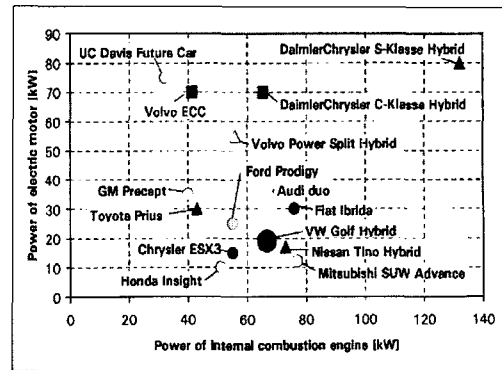
의 장점이 있으나 가격과 무게의 단점이 있다. 파워스플릿(Power Split)형은 병렬형과 직렬형의 장단점이 조합되어 있으며 가격과 무게가 증가하면 보다 높은 연비 향상을 얻을 수 있다. 병렬형은 무게와 가격면에서 최소한의 증가로 소비자의 요구를 만족시킬 수 있기 때문에 현재로서는 승용차용으로 가장 유망하다고 판단된다.

	Hybrids		
	Series	Parallel	Power Split
Performance	+	++	++
Consumption	-	++	+
Emissions	+ (+)	0	+
Weight	--	0	0
Costs	--	0	-
Comfort	++	+	++

〈그림 3〉 Comparison of Hybrid Configuration

〈그림 4〉에 현재 시판 및 개발중인 HEV의 모터와 내연기관의 용량이 도시되어있다. 미국은 정부 주도하에 3대 메이커(Big Three)가 공동 참여하는 PNGV(Partnership for New Generation of Vehicle) 프로그램에 따라 4인승 중형차 기준으로 80mpg, 즉 33km/l의 연비를 갖는 차세대 저공해·저연비 자동차를 개발 중에 있으며 GM의 Precept, Ford의 Prodigy 등 병렬형 HEV 시작차를 발표하였다. 일본은 1997년 이미 병렬형 HEV

인 Toyota의 Prius를 시판하였으며, Honda의 Insight가 1999년 12월부터 미국에서 판매되기 시작하였다. 이밖에 Nissan의 병렬형 HEV 'Tino'가 시판을 앞두고 있다.



〈그림 4〉 Competition in Hybrids

4. 병렬형 HEV의 운전전략

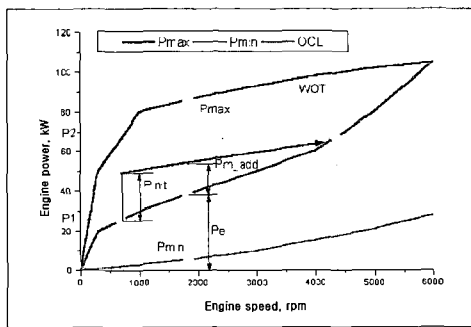
병렬형 HEV의 운전전략은 연비 향상에 직접 영향을 미친다. HEV의 운전전략에는 주행모드에 대하여 모터의 사용량을 목적함수를 두어 사용 가중치에 따라 동력을 보조하는 방법, 파워어시스트 전략, 로드레벨링 전략, 등가 연료 개념에 의한 연비 최소화 방법, 동력분배 방법 등 여러 가지 전략들이 연구되고 있다. 이 글에서는 파워어시스트 주행전략과 로드레벨링 주행전략에 대하여 간단히 소개한다.

파워어시스트 (Power Assist) 주행제어 전략

파워어시스트 주행제어전략은 엔진이 주 동력원이고 모터는 발진·가속시 엔진을 보조하는 제어 알고리즘이다.

파워어시스트 전략의 주요 알고리즘은 다음과 같다. 먼저 운전자의 의지, 즉 가속페달량에 따라 차량 요구동력을 계산한다. 계산된 차량 요구동력에 대하여 파워어시스트 개념에 의하여 HCU(Hybrid Control Unit)에서 모터의 보조동력을 결정하여

MCU(Motor Control Unit)에 의하여 모터토크를 제어하고, 엔진의 운전점을 엔진이 최저 연비를 위한 최적운전곡선(OOL : Optimal Operating Line)에서 운전되도록 제어한다. 이때의 엔진의 동력은 ETC(Electronic Throttle Control)를 이용하여 ECU(Engine Control Unit)가 제어한다.



〈그림 5〉 Power Assist Algorithm

〈그림 5〉는 파워어시스트 전략의 개념을 도시한 그림이다. 여기서 P1은 제어 초기상태에서의 엔진 출력을 나타내며, P2는 제어 종료 시점에서의 목표 엔진 출력이다. 차량의 가속성을 향상시키기 위하여는 엔진의 운전점이 엔진 성능 곡선 상에서 운전자의 의지에 대응하여 P1에서 P2로 작동점이 빠르게 이동하여야 한다. 이를 위하여 파워어시스트 주행전략은 모터가 $P_{m,add}$ 만큼의 동력을 출력하여 가속성을 향상시키고, 엔진은 CVT 변속제어에 의하여 OOL상에서 P2로 이동하도록 하여 연비를 향상시키는 것이 주목적이다. 가속시 모터 동력보조량 $P_{m,add}$ 는 다음과 같이 운전자의 가속 페달량과 현재 차량의 속도에 따른 모터 사용 가중치를 두어 결정한다.

차량이 등속 혹은 가벼운 가속/감속 주행을 원할 경우에는 엔진의 동력만을 이용하여 차량을 구동하도록 하고, 차량이 일정 크기 이상 가속을 하고자 할 때에는 모터에 의한 파워어시스트가 적용된다. 가속시 차량은 요구동력이 급상승하며 엔진의 운전점이 급하게 이동하게 된다. 이때에 CVT를 장착한 차량은 변속제어 전략에 따라 운전자의 요구(가속페달

량)와 현재 차량 조건에 대응하여 엔진 운전점이 OOL상에 따라 운전되도록 변속비 제어를 한다.

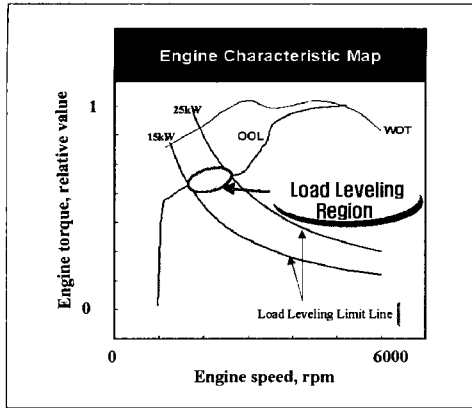
일반적으로 전기모터는 85%이상의 높은 효율을 가지고 있기 때문에 병렬형 하이브리드 차량의 효율 저하의 큰 원인은 엔진으로부터 발생된다. 엔진의 효율저하를 방지하기 위한 방법의 하나가 로드레벨링이다. 로드레벨링은 엔진을 효율이 좋은 특정영역에서만 운전시킴으로써 엔진의 연비 효율을 증가시키고 따라서 차량전체의 효율을 증가시킬 수 있다. 엔진의 로드레벨링을 위하여는 CVT 변속비가 엔진의 최적운전영역에서 운전되도록 제어되어야 한다.

엔진이 특정영역에서 운전될 경우 엔진의 출력은 크기가 제한된다. 급 가속시와 같이 엔진에서 발생하는 동력만으로 충분한 가속력을 얻기 어려운 경우 전기모터가 전동기로 작동되어 차량을 가속시키기 위한 동력을 출력시킨다. 반대로 차량이 정상 주행하는 경우에는 엔진에서 출력된 동력이 주행에 필요한 동력보다 크기 때문에 이와 같은 경우에는 모터가 제너레이터로 작동되어 엔진의 여유동력을 배터리를 충전시키는데 사용한다.

〈그림 6〉은 로드레벨링 주행전략의 한 예를 도시한 그림이다. 로드레벨링 영역을 엔진의 BSFC가 가장 낮은 점을 기준으로 정한다. 엔진은 CVT 변속비 제어에 의해 최대한 OOL상에서 운전된다고 가정하고, 차량의 요구동력이 25kW 이상일 경우, 모터의 정격 출력을 뺀 나머지 동력을 엔진이 출력하고, 모터는 정격 출력을 출력한다. 차량의 요구동력이 15kW 이하일 경우, 엔진은 정격출력하여 로드레벨링 영역에서 운전하고, 엔진에 의해 더 출력되는 동력은 모터를 통해 배터리에 충전된다.

로드레벨링 전략은 엔진의 운전영역이 제한되기 때문에 모터의 역할이 상당히 중요하다. 모터의 용량이 작으면 차량의 급가속과 같이 고 출력을 원할 경

특집 동력전달시스템



〈그림 6〉 Load Leveling Algorithm

우 가속성을 저하시킬수 있기 때문에 충분한 용량을 선정하여야 한다. 또한 로드레벨링 전략은 엔진 또는 모터의 단독 운전이 필요하기 때문에 엔진과 모터 사이에 클러치가 장착된 2축 병렬형 HEV에 적합하다고 판단된다.

5. HEV 성능시뮬레이터

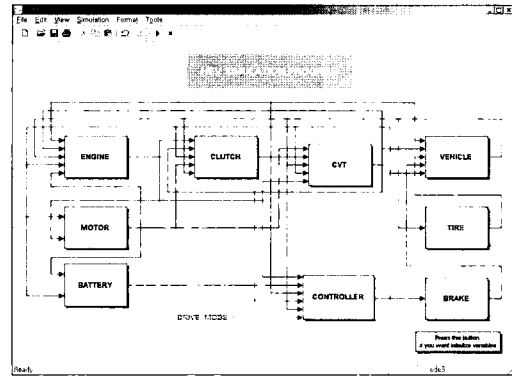
성능시뮬레이터

병렬형 HEV는 동력변환과정이 적어 구동계 전체의 효율이 직렬형에 비해 우수하고 다양한 구조를 가질 수 있으며 기존차량에 적용하기 쉽다는 장점이 있으나 구조와 제어가 복잡하다. 따라서 병렬형 HEV의 성능을 예측하고 적절한 제어를 설계하기 위해서는 구성요소의 종류 및 사양과 제어전략에 따른 HEV의 성능을 해석할 수 있는 체계적인 방법이 필요하다.

HEV 성능 시뮬레이터로는 ADVISOR가 공개되어 있으나 계산시간이 1 sec로 구성요소의 정확한 특성을 파악하기가 어렵다. 여기서는 저자들에 의해 개발된 HEV 전용 성능시뮬레이터에 대하여 소개하고 이에 의한 성능해석 결과를 고찰하기로 한다.

〈그림 7〉은 HEV 성능 시뮬레이터의 SIMULINK 모델을 도시한 것이다. 차량의 구동요소를 각각 모듈

화 하여 추후 구동요소의 변동이 있을 때 모듈의 입출력만 맞추어 주면 다른 모듈로 교체가 용이하도록 하였다. 〈그림 7〉에 나타난 것처럼 각 모듈 사이에는 신호선으로 연결하여 모듈에서 모듈로 신호를 전달하게 되어 있다.



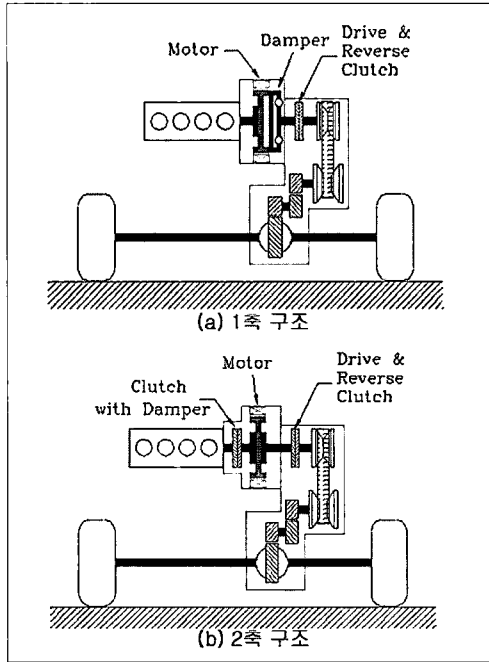
〈그림 7〉 Simulator of HEV

성능시뮬레이션

〈그림 8〉에 시뮬레이션 대상인 1축 및 2축 병렬형 HEV의 구조가 나와 있다.

1축 HEV는 엔진과 모터의 독립적인 운전이 불가능하고 회생제동시 엔진브레이킹 토크를 제거하기가 불가능해 회생제동에너지 향상에 제약이 있어서 연비면에서 불리하지만, 동력 제어알고리즘이 상대적으로 간단하고 구조가 간단하여 커다란 구조 변경없이 현재 상용화된 차량에 탑재가 용이하다. 엔진과 모터 사이에 클러치가 들어가는 2축 구조는 클러치와 두 동력원을 제어하는 알고리즘이 복잡해지고 구조가 1축에 비해 복잡하다는 단점은 있으나 엔진 브레이킹 토크를 제거할 수 있으므로 회생제동에너지를 극대화 할 수 있어서 1축에 비해 연비향상을 기대할 수 있는 장점이 있다.

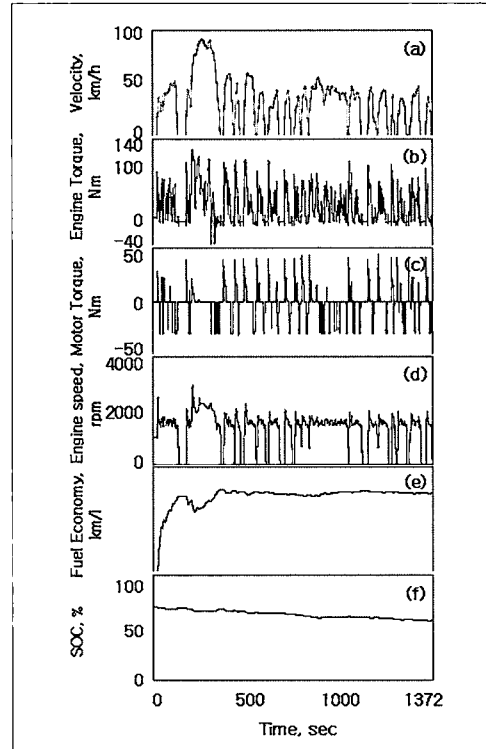
〈그림 9〉는 파워어시스트 전략을 사용하였을 때 〈그림 8〉의 1축 구조 HEV의 FUDS 주행모드에 대한 시뮬레이션 결과의 일부분을 도시한 것이다. 차량 출발시 배터리의 초기 충전량은 70%로 선정하였다.



〈그림 8〉 Structure of Parallel HEV

(a)는 FUDS 주행시 차량의 속도를 도시한 것이다. (b), (c), (d)는 각각 엔진 토크, 모터 토크, 엔진과 모터의 회전속도를 도시한 것이다. 엔진과 모터가 1속으로 직결되어 있기 때문에 엔진과 모터의 회전속도는 항상 동일하다. 모터 토크(c)의 (-)함은 모터에 의해 회생제동이 되고 있는 것을 보여준다. 연비(e)는 약 500초 이후 일정하게 유지되며, 배터리 SOC(f)는 지속적으로 감소하는 것을 알 수 있다.

〈그림 10〉은 로드레벨링 전략을 이용하여 〈그림 8〉의 2속 구조 HEV의 ECE-15 주행모드에 대한 시뮬레이션 결과의 일부분을 도시한 것이다. 차량 출발시 배터리의 초기 충전량은 80%이며 ZEV와 HEV 모드전환을 위한 배터리의 SOC는 70%로 선정하였다. 차속(a)은 주행모드를 잘 추종하고 있다. (b), (c), (d)는 각각 엔진의 드로틀 개도, 엔진토크, 엔진속도를 도시한 것이다. 가속·정속·감속이 반복되는 주행구간 중 3번째 구간의 가속시에 엔진이 사용되고 있음을 알 수 있다. 이 구간에서는 배터리



〈그림 9〉 Simulation Results for Power Assist Algorithm

의 충전량이 70%이하로 떨어졌기 때문에 배터리 충전을 위하여 차량이 ZEV에서 HEV로 운전된다. CVT 변속비(e)는 엔진이 작동하는 구간에서는 엔진의 최적운전을 위하여 변속비가 제어되고 모터만으로 차량이 운전되는 경우에는 모터가 최대효율점에서 운전되도록 제어되고 있다. (f)와 (g)는 각각 전기모터의 전류와 전압을 도시한 것으로 전류가 (+)값을 가지는 경우는 모터가 전동기로 작동되는 경우이며 (-)값을 가지는 경우는 모터가 제네레이터로 작동되어 배터리를 충전시키는 경우이다. (h)는 배터리의 충전상태를 도시한 것으로 SOC가 70%이하로 감소하자 차량이 HEV로 운전되어 충전이 이루어지고 있다. (i), (j)는 모터토크와 속도, (k)는 클러치의 접촉상태를 도시한 것이다. (l)은 엔진운전점을 엔진특성곡선상에 도시한 것으로 엔진의 운전점은 로드레벨링 운전전략에 의해 최적운전영역에서

특집 동력전달시스템

운전되고 있다.

6. 회생제동

HEV의 회생 제동 시스템(Regenerative Braking System)은 제동시 차량의 운동에너지를 전기에너지로 변환시켜 이를 배터리에 저장하고 저장된 에너지로 모터를 구동하여 차량의 구동에 다시 사용할 수 있기 때문에 연비 개선효과를 제공하며 HEV의 전체 연비 개선량에 약 40%를 차지하는 것으로 보고되고 있다.

회생제동을 함으로써 얻을 수 있는 가장 큰 장점은 배터리 SOC(State of Charge)의 증가로 인한 연비 상승 효과를 얻을 수 있다는 것이다. 또한 회생 제동을 함으로써 기계적인 제동량을 줄일 수 있어 브레이크의 디스크 패드, 라이닝의 수명을 연장시킬 수 있다. 따라서 회생제동장치는 FCEV, EV와 같이 제동 에너지를 전기에너지로 변환시킬 수 있는 차량의 연비개선 기술 및 잦은 브레이크 교환을 필요로 하는 대형차의 차세대 제동장치로서 주목받고 있다.

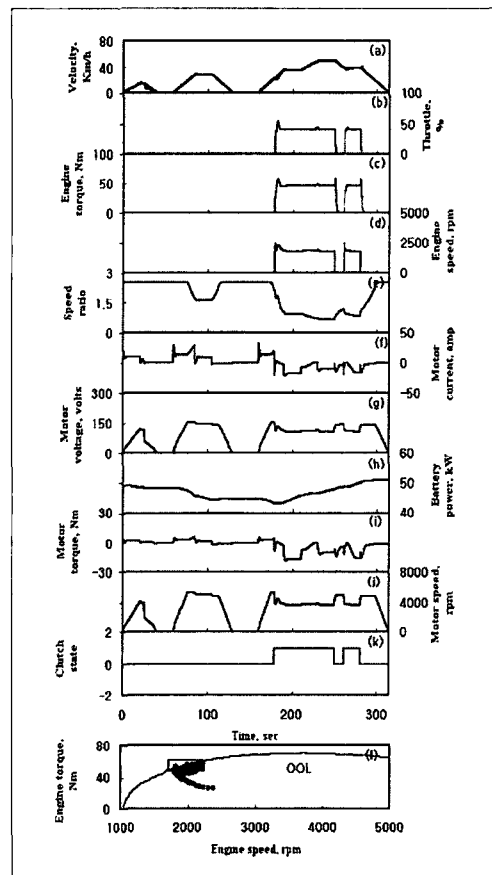
그러나 회생제동으로 인한 제동토크가 발생함에 따라 운전자는 기존 차량의 제동감과 다른 제동감을 느끼게 된다. 기존의 제동장치에서는 운전자의 브레이크 페달 조작량에 대응하는 만큼 유압 제동력이 발생하지만 회생 제동시에는 회생 제동량을 제외한 유압제동이 작용하여 유량의 크기, 즉 페달량이 달라지기 때문이다. 따라서 HEV 회생제동시스템의 설계는 모터의 용량, 운전모드, 배터리의 충전 특성 등을 고려하여 최적의 배터리의 수명과 운동에너지 회수를 가능하게 하는 것 외에 회생제동과 유압제동의 분배 알고리즘과 이에 따른 제동성능 및 운전자의 제동감을 충족시키는 것이 요구된다. 이를 위해서는 운전자의 제동의지와 차량의 주행 환경에 따라 회생 제동과 유압제동을 적절하게 분배할 수 있는 제어 알고리즘과 함께 운전자의 페달감 저하를 방지하는 유량 소

비수단이 요구된다.

이절에서는 회생제동 알고리즘과 구체적인 적용방법 및 HEV 성능 시뮬레이터를 이용한 회생제동 효과에 대하여 간단히 소개하기로 한다.

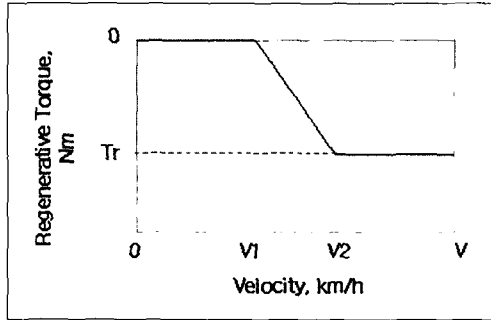
회생제동 알고리즘

회생제동 알고리즘은 HEV의 모터 용량과 관계가 있다. 모터의 용량이 작은 경우 회생제동 토크가 크지 않기 때문에 별도의 회생 제동 전용시스템의 설치가 필요없고 회생제동시 모터에 의한 제동토크와 유압에 의한 마찰제동 토크를 동시에 사용할 수 있다. 이 방법은 Honda의 병렬형 HEV 'Insight'에 채택되고 있으며 별도의 전용장치가 필요없다는 장점이



◁ 그림 10) Simulation Results for Load Leveling Algorithm

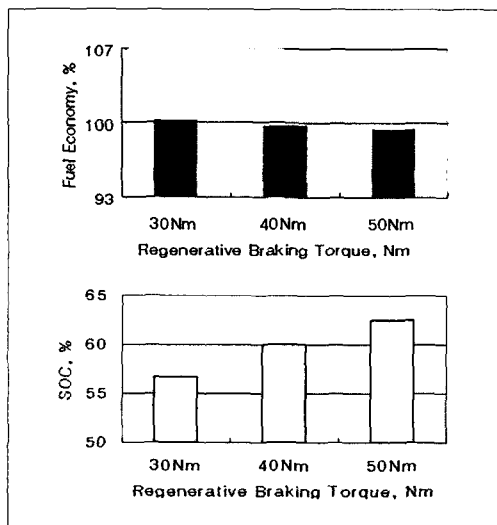
있으나 회생제동에 의한 에너지 회수가 낮고 약간의 제동페달 이질감을 피할 수 없다. 이와같은 회생제동 알고리즘이 <그림 11>에 도시되어 있다.



<그림 11> Regenerative Braking Torque

주행시 운전자에 의한 가속페달 신호가 없거나 브레이크 페달 신호가 들어오면 감속 혹은 제동 신호로 간주하여 회생제동이 시작된다. 회생제동 토크 T_r 은 차량속도에 따라 V_1 이하에서는 0 V_2 에서는 T_r 의 토크가 작용한다. V_1 , V_2 및 T_r 의 크기는 차량 및 운전상태에 따라 적절히 선정된다.

회생제동토크의 영향을 고찰하기 위하여 <그림 11>의 T_r 을 -30Nm, -40Nm, -50Nm로 각각 증가시켜 파워어시스트 전력을 이용하여 시뮬레이션한



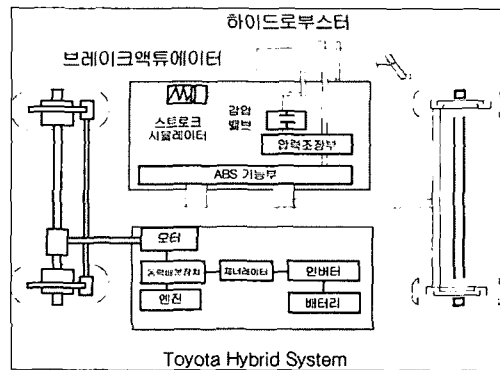
<그림 12> Simulation Results for Regeneration

결과가 <그림 12>에 나와 있다. 최종 SOC는 각각 60%, 62.4%로 상승하였으나, 연비는 약간 감소하였다. 이것은 회생제동토크가 일정하게 증가할 경우 회생제동력의 증가로 인하여 정속 주행시 운전자가 엑셀페달에서 발을 뗄 경우 차량의 감속도가 더 커지게 되므로 재 가속시 엑셀 페달량이 더 많이 요구된다. 이로 인하여 연료소모량이 증가하고 연비는 약간 감소한다. 그러므로 주행상황에 맞는 정교한 회생제동 알고리즘의 설계가 요구된다.

모터의 용량이 커지면 회생제동시 제동 페달은 밟아도 유압작동에 의한 마찰제동없이 회생제동만 수행되기 때문에 제동페달의 이질감이 발생한다. Toyota는 「Prius」에서 이를 극복하기 위한 별도의 회생제동 시스템을 개발하였다. <그림 13>은 Toyota의 회생제동 전용시스템이다.

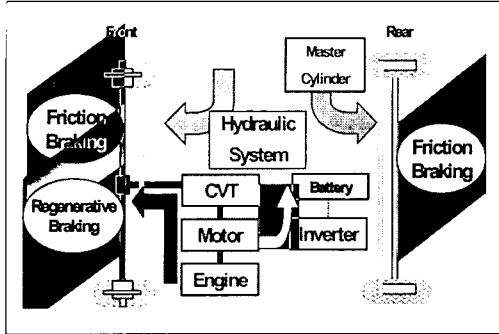
<그림 14>는 저자들이 개발한 회생제동 전용 시스템의 에너지 흐름도이다.

차량의 제동시 후륜에서는 운전자의 답력에 따라 마스터 실린더에서 발생한 유압 제동만을 수행하고 전륜에서는 별도의 유압공급장치에서 공급하는 유압 제동과 모터에 의한 회생제동을 수행한다. 이때 차량의 운동에너지가 모터를 구동함으로써 역기전력을 발생시켜 배터리를 충전한다.

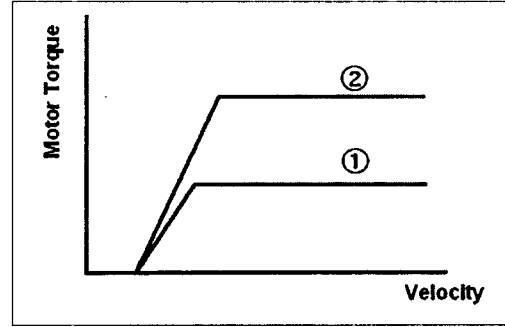


<그림 13> Toyota Regenerative System

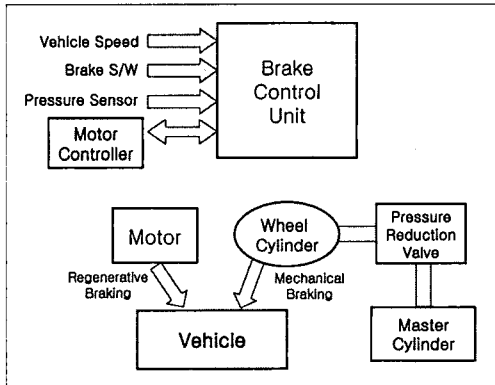
특집 동력전달시스템



〈그림 14〉 Regenerative Braking Process



〈그림 16〉 Weight Factor for Regenerative Braking

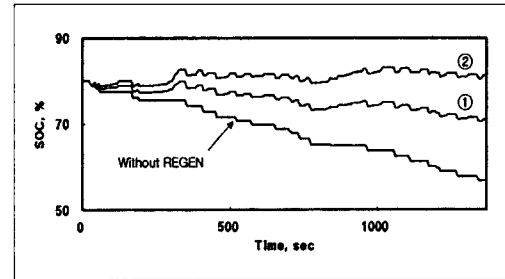


〈그림 15〉 Regenerative Control

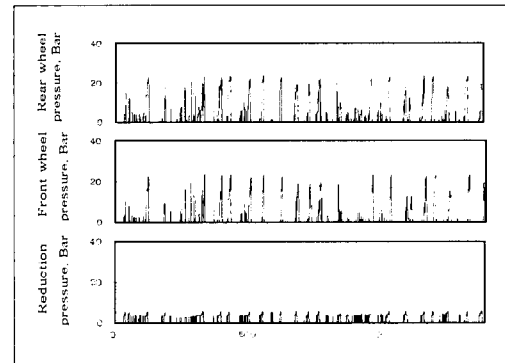
회생제동 시스템은 유압공급장치, 압력제어밸브, 브레이크 시스템, BCU(Brake Control Unit), 스트로크 시뮬레이터로 구성되어 있다. BCU는 변속비, SOC, 차속, 브레이크 페달량, 휠 실린더의 압력 신호 등을 입력받아서 회생 및 유압 제동 분배 알고리즘에 따라 회생제동지령을 압력제어밸브, MCU(Motor Control Unit)에 인가하게 된다. 〈그림 15〉에 BCU의 신호 흐름을 도시하였다.

회생제동 시뮬레이션

HEV 회생제동 시뮬레이터를 이용하여 회생제동 전용시스템 장착 HEV의 성능 시뮬레이션을 수행하였다. 먼저 회생제동을 하지 않은 경우와 〈그림 16〉과 같이 속도에 따라 회생제동량을 달리 하였을 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 주행모드는 회



〈그림 17〉 Simulation Results



〈그림 18〉 Simulation Results

생제동 효과가 큰 도심주행 모드인 FUDS (Federal Urban Driving Schedule)에서 시뮬레이션을 수행하였다. 초기 SOC는 80%로 설정하였다. 〈그림 17〉에서 볼 수 있듯이 주행모드를 마쳤을 때 회생제동을 하지 않은 경우보다 회생제동을 한 경우의 SOC가 더 높게 유지되었고 회생제동량을 더 크게 한 경우 SOC의 상승효과를 볼 수 있었다.

〈그림 18〉에 전·후륜의 제동압력을 도시하였다.

후륜 휠 실린더의 압력을 요구제동으로 판단하여 회생토크만큼의 압력을 감압하여 전륜 휠 실린더에 전달한다. 전륜의 압력은 요구제동이 회생제동보다 작은 경우는 회생제동으로만 제동을 하기 때문에 요구제동이 적은 영역에서는 전륜 휠 실린더의 압력이 발생하지 않고 요구제동이 회생제동보다 큰 경우는 회생제동토크에 상당하는 압력 ΔP 만큼 감압되어 전륜 휠 실린더에 작용하고 있음을 알 수 있다.

7. 맺는말

배기가스 감소와 연비 개선은 차세대 자동차의 가장 중요한 대상이다. 현재의 중형급 승용차의 성능을 만족하며 요구되는 배기가스와 연비 규제를 만족시키기 위한 대안으로는 단기 내지 중기적 관점에서 병렬형 하이브리드(HEV)가 가장 유망한 해결책으로 기대되고 있다.

이 글에서는 HEV 연비에 직접 영향을 미치는 운전전략과 회생제동에 대하여 고찰하였다. 이 밖에도 병렬형 HEV의 연비개선과 배기가스 감소를 위하여는 경량화, 엔진의 성능향상, 엔진-모터-CVT 통합 제어 등 다양한 연구개발이 필요하다고 생각된다.

〈참고문헌〉

- 1) Clark G. Hochgraf, Michael J. Ryan, and Herman L. Wiegman "Engine Control Strategy for Series Hybrid Electric Vehicle Incorporating Load Leveling and Computer Controlled Energy Management", SAE 960230, 1996.
- 2) Stéphane Rimaux, Michel Delhom, Emmanuel Combes, André Rault, "Hybrid Vehicle Powertrain : Modeling and Control", Advanced Propulsion System, pp. 55~66, GPC 1998.
- 3) Matthew Cuddy, "A Comparison of Modeled and Measured Energy Use in Hybrid Electric Vehicles"

- 950959
- 4) Aymeric Rousseau and Robert Larsen, "Simulation and Validation of Hybrid Electric Vehicles", SAE, 2000.
- 5) Talchol Kim, Heera Lee, Hyunsoo Kim, "SIMULINK modeling of Parallel Hybrid CVT Vehicle and Performance Analysis", Advanced Propulsion System, pp. 1~6, GPC 1998.
- 6) 오경철, 이희라, 김현수, 김달철, 김철수, "하이브리드 차량의 성능시뮬레이터 개발과 운전전략", 한국자동차 공학회 추계 학술대회 논문집, pp. 629~634, 2000.
- 7) "차세대 하이브리드 동력시스템용 CVT 제어기법과 TMS 개발", 성균관대학교 기계기술연구소, 2001.
- 8) Floyd A. Wyczalek. Tsih C. Wang, Regenerative Braking Concepts for Electric Vehicle - A Primer, SAE 920648.
- 9) Toshio Taniai, Uasuo Inagaki, Brake System Unit for Electric Vehicle, NEC 技報 Vol. 51 No.2/1998.
- 10) T. Yaegashi, S. Sasaki, T. Abe "Toyota Hybrid System : It's Concept and Technologies", Electric and Hybrid Vehicle Engineering Division Toyota Motor Corporation, F98TP095, FISITA 1998.
- 11) Gregory W. Davis and Frank C. Madeka, The Effect of Regenerative Braking on the Performance and Range of the AMPhibian II Hybrid Electric Vehicle, SAE 950957.
- 12) Michael Panagiotidis, Development and Use of a Regenerative Braking Model for a Parallel Hybrid Electric Vehicle, SAE 2000.
- 13) Sungwook Jang, Hoon Yeo, Hyunsoo Kim, "A Study on Regenerative Braking for a Parallel Hybrid Electric Vehicle", KSME 2001(In Process).
- 14) Toyota, 1997, Prius Manual.

〈김현수 편집위원 : hskim@me.skku.ac.kr〉