

4륜구동 하이브리드 자동차

4 Wheel Drive Hybrid Vehicle

김동현, 오경철 / 성균관대학교 대학원
Donghyeon Kim, Kyoungcheol Oh / Sungkyunkwan University

김 현 수 / 성균관대학교 교수
Hyunsoo Kim / Sungkyunkwan University

1. 서론

에너지와 지구 환경 보존에 대한 관심이 날로 증가됨에 따라 각국에서는 이에 대한 규제를 강화하고 있다. 미국 캘리포니아 주정부는 2003년 이후부터 캘리포니아 내에서 판매되는 차량 전체의 10% 이상을 무공해 자동차로 의무 판매하는 규정을 추진중이며, 또한 1997년 교토 협약에 따라 CO₂감축을 위한 많은 노력을 기울이고 있다. 연비를 50% 개선했을 경우 CO₂는 33%가 줄어든다고 보고되고 있으며, 최근의 유럽 기준인 Euro 4에서는 1994년 Euro 2 기준과 비교하여 CO₂는 2/3수준, NMOG와 NO_x는 3/4 수준으로 배기가스 배출 감축을 요구하고 있다. 이러한 자원 보존과 환경 규제는 환경 친화적이고 사회 인프라에 적합한 새로운 파워트레인 기술의 개발을 요구하고 있으며, 선진 자동차 각국은 저연비·저배기 성능을 갖는 차세대 자동차 개발에 박차를 가하고 있다. 현재 이러한 저연비·저배기 성능을 갖는 차세대 자동차로 H₂, CNG(Compressed Natural Gas), HEV(Hybrid

Electric Vehicle), EV(Electric Vehicle) 및 FCEV(Fuel Cell Electric Vehicle) 등 많은 기술이 연구되고 있으나 H₂, CNG 자동차는 인프라 구축에 제한이 있고, EV는 장거리 주행이 어렵다는 점, FCEV는 장기적으로는 매우 유망하지만 대량 생산을 위하여는 많은 시간이 필요하다는 단점이 있다. 따라서 중·단기적인 관점에서는 기존 차량에 별도의 투자비 부담이 적으면서 연비 및 배기가스 성능이 우수한 HEV가 가장 현실적인 대안으로 부각되고 있다.

한편 최근 자동차 판매 상황을 살펴보면 RV (Recreation Vehicle) 및 SUV(Sports Utility vehicle) 자동차의 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. 미국 자동차 시장의 경우 지난해 9.11 테러 이후 자동차 판매량이 감소함에도 불구하고 SUV, 픽업트럭, 미니밴을 포함한 경트럭의 판매량은 오히려 증가하여 승용차와 경트럭의 판매 비중이 50.4%:49.6%에 달하고 있다. 이에 따라 전세계 선진 자동차 회사들은 차량 성능과 경제성이 뛰어난 4WD 차량의 개발에 박차를 가하고 있다. 그러나 경트럭의 판매가 큰 폭으로 증가하면서 최근 미국의 전차종 평균 연비가 20년만에 최



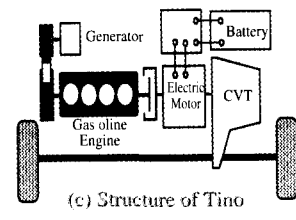
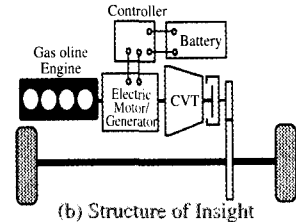
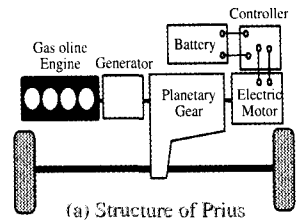
하이브리드자동차

저치를 기록하자 미 의회는 연비·배기가스기준을 대폭 강화할 움직임을 보이고 있다. 이 글에서는 저연비·저배기 자동차인 HEV와 연비·배기 기준이 강화되고 있는 4WD 자동차에 대하여 간단히 살펴보고, 위의 두가지를 접목시켜 큰 효과를 거둘 수 있는 4WD HEV에 대하여 알아보기로 한다.

2. HEV

HEV는 하나의 자동차에 내연기관 및 모터와 배터리를 동시에 탑재하여 구동하는 동력전달장치를 가지고 있으며, 그 장치들은 파워소스의 형태에 따라 직렬(Series)과 병렬(Parallel)로 구분된다. 병렬형 하이브리드 동력전달장치는 자동차를 구동시키는 두개의 동력원이 병렬형태로 작용하며, 전형적으로 전기모터와 내연기관으로부터 나오는 동력이 차량의 요구동력을 만족하도록 조합된다. 직렬형 HEV 동력전달장치는 단지 전기모터만이 휠(Wheel)에 기계적으로 직결되어 있으며, 보조동력원은 주로 내연기관을 사용하여 연료를 전기동력으로 변환시킨다.

HEV에 관하여는 그동안 많은 연구개발이 이루어져 왔으나 주로 상용차용 직렬형 HEV에 관한 연구가 주축을 이루었다. 승용차용으로는 상대적으로 작은 배터리, 모터를 사용할 수 있다는 점에서 병렬형 HEV가 적합하다고 알려져 왔으나 병렬형 HEV는 엔진의 속도가 차속과 연동되어 있어 엔진의 효율면에서 불리하다는 단점이 있다. 그러나 이와같은 단점은 CVT를 사용하여 엔진의 속도와 차속을 독립적으로 분리시킴으로써 극복할 수 있다. 병렬형 HEV에서 CVT는 엔진의 속도를 차속과 분리시켜 엔진의 운전점을 차속과 관계없이 최저연비 영역에서 운전시킬 수 있기 때문에 HEV의 연비를 대폭 향상시킬 수 있다. 따라서 Toyota "Prius", Honda "Insight", Nissan "Tino" 등 기 개발된 병렬형 HEV는 변속장치로서 모두 CVT를 채택하고 있다 <그림 1>. 한편 병렬형 HEV는 직렬형에 비하여 동력변환 과정이 적어 구동

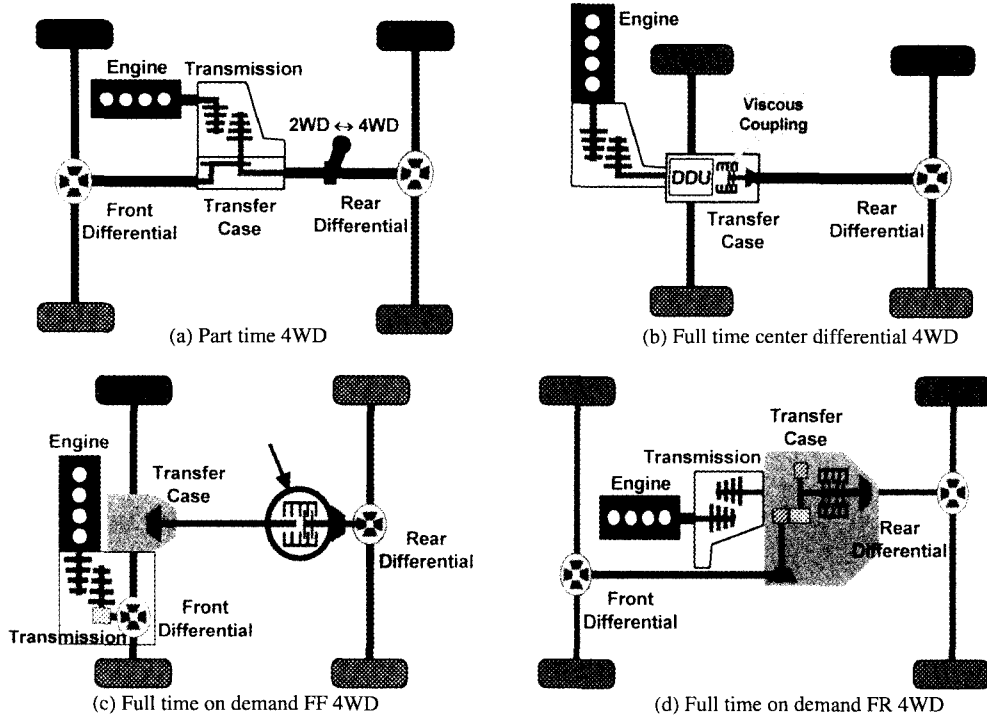


<그림 1> Structure of HEVs

계 전체의 효율이 우수하고 다양한 구조를 가질 수 있어 기존차량에 적용하기 쉽다는 장점이 있으나 구조와 제어가 복잡하다. 병렬형 HEV의 제어 대상 중 운전 전략은 HEV의 성능과 직접 관련이 있다. HEV의 가장 큰 목표인 연비 최소화를 위하여는 기존의 연비 향상 방안인 엔진의 개량, 차체의 경량화, 주행 저항 최소화 등의 방법과 더불어, 보다 효율이 높은 HEV 동력전달계의 설계와 운전전략 개발에 연구의 관심이 모여지고 있다.

3. 4WD

4륜구동이라는 용어는 최근에는 매우 일반화되어 있으나, 1940년대 초 미군용 Jeep이 민간인에게 소개되기 이전에는 그리 잘 알려진 용어가 아니었다. 4륜구동은 Jeep과 같이 비포장로, 산악로와 같은 험로를 주행하는 Off-road 차량에만 적용되는 것으로 인식되



〈그림 2〉 Various Types of 4WD

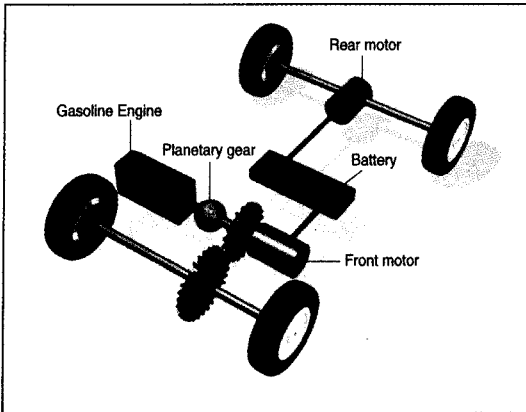
어 왔으나, 1980년대 Audi가 4륜구동 승용차를 개발한 이후 각종 자동차에 4륜구동 시스템을 장착하는 비율이 증가하고 있다. 세계적으로 4륜구동 자동차의 시장규모는 연간 약 500만대 정도이며 계속 증가추세에 있다. 주요 시장으로는 미국, 유럽, 일본, 한국 등이 있다. 현재 여러 형태의 4륜구동 자동차는 앞으로 SUV 등의 형태로 집약될 것으로 예측되고 있다.

4륜구동 시스템의 여러 가지 형태를 〈그림 2〉에 도시하였다. 4륜 구동 시스템은 Part Time 4WD와 Full Time 4WD로 구분할 수 있다. Part Time 방식은 그림 2(a)와 같이 2륜구동과 4륜구동을 운전자의 의지에 의하여 레버로 조작하는 시스템이고, Full Time 방식은 그림 2(b), (c), (d)와 같이 운전자의 구동변환 조작없이 차량의 상태에 따라 4륜구동과 2륜구동을 스스로 수행하는 시스템이다. 그림 2(b)는 중앙부에 Differential을 장착하여 전·후륜의 구동력을 일정한 비율로 분할하는 Full Time Center

Differential 4WD이다. 그림 2(c)는 평상시에는 전륜으로만 차량을 구동하다가 타이어, 축 등에 장착되어 있는 Sensor에 의하여 타이어의 슬립 발생 또는 구동력 증감이 감지되면 4륜구동을 하게되는 전륜구동형 전자 제어 Full Time on Demand 4WD를 도시한 것이다. 여기서 4륜구동은 전륜부에 있는 트랜스퍼 케이스(Transfer Case)가 Sensor에 의한 4륜구동 요청에 따라 후륜으로 동력을 전달함으로써 이루어진다. 중앙부에 있는 전자 제어 커플링은 Part Time 4WD에서 발생하는 Tight Cornering 현상을 제거하기 위한 장치이다. 그림 2(d)는 (c)와 같은 형태의 후륜구동형 전자 제어 Full Time On Demand 4WD를 나타낸다. 현재의 4륜구동의 단점은 어느 형태의 4WD 차량이든 차량 전륜부에 있는 엔진의 동력을 후륜으로 전달하기 위하여 트랜스퍼 케이스와 같은 별도의 동력전달장치가 필요하게 되는데, 이는 자동차의 무게 증가와 동력전달과정에서 손실 등으로 연비 저하의 문제점



하이브리드자동차



〈그림 3〉 Structure of Estima 4WD HEV

을 일으킨다. 이로 인해 실질적인 사륜구동은 초기 발진시나 저마찰 도로에서 사용된다. 이를 해결하기 위하여 후륜으로의 동력전달장치를 제거하고 후륜에 별도의 모터를 장착하여 HEV로서 구동한다면, 동력전달 손실을 줄이고 자동차 발진시에 보다 좋은 성능을 얻을 수 있을 것이다. 또한 현재 생산 초기에 있는 승용 하이브리드 자동차의 판매로 인한 수익보다는 상대적으로 고가인 RV 및 SUV의 하이브리드 자동차 판매에 의한 수익이 훨씬 높다는 점은 자동차 회사들의 개발 의지를 높이고 있다. 이 점에 주목한 Toyota는 THS(Toyota Hybrid System) Project에 의해 개발된 "Prius"에서의 HEV 기술을 4WD 차량에 적용시켜 최근 4WD HEV인 "Estima"를 개발하여 시판을 시작하였다. 〈그림 3〉에 도시한 바와 같이 "Estima"는 고효율 엔진, 전·후륜 모터, CVT 등을 이용하여 기존 4WD에 비하여 2배의 연비개선과 배기가스 저감을 이루는 등 뛰어난 기술력을 앞세워 일본 시장내에서 판매를 및 선호도 1위를 차지하고 있다. 그러나 전륜과 후륜의 모터 용량 선정과 동력 분배, 운전 전략 등 핵심 제어기술은 공개가 제한되어 있다.

이와같은 RV 및 SUV에 대한 국내 및 세계 자동차 시장의 급속한 확대에 따라 국내에서도 보다 뛰어난 국제 경쟁력을 갖춘 저연비, 저배기, 고성능을 갖춘 4WD HEV의 연구가 진행되고 있다. 4WD HEV의 국내 개발을 위하여는 주행 목적에 적합한 엔진, 모터

의 용량 선정과 배터리, CVT 등의 제어 알고리즘 및 연료 소비 최소화를 위한 운전 전략 개발이 필수적으로 요구된다.

4. 4WD HEV의 모터 용량 선정

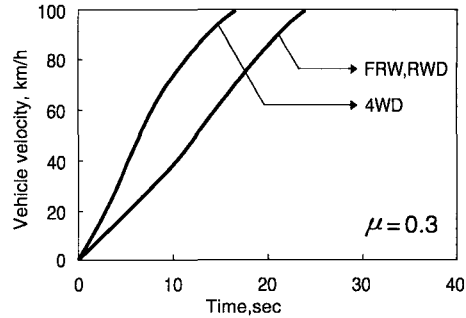
HEV는 동력원으로 엔진과 모터를 사용하는 차량으로서 동력 사용에 있어서 엔진만을 사용하는 ICE(Internal Combustion Engine) 차량에 비하여 유연성을 갖는 장점이 있다. 하지만 엔진과 모터 두가지 동력원에 대한 적절한 동력분배가 수반되지 않으면 오히려 ICE 차량보다 성능이 저하될 수 있다. 이런 이유로 현재 세계 각국에서는 엔진과 모터의 최적 동력분배 알고리즘에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. HEV의 동력분배는 동력원의 용량에 따라 달라지게 되므로 우선적으로 엔진과 모터의 용량 결정이 우선적으로 선행되어야 한다.

이 글에서는 회생제동 에너지와 가속시 ZEV 구동에 필요한 에너지, 등판 성능 등을 고려한 4WD HEV에서의 모터의 용량 선정 방법을 설명하기로 한다.

▶ 회생제동 에너지를 고려한 모터 용량 선정 : 현재 ICE 차량은 제동시 소요되는 제동 에너지를 브레이크의 마찰 에너지로 소모하지만 HEV 자동차는 회생제동을 이용하여 제동 에너지를 회수 할 수 있는 장점이 있다. 회생제동 에너지란 제동시 자동차의 운동에너지를 전기에너지로 변환시켜 배터리에 저장하고, 저장된 전기에너지로 모터를 구동하는 것으로 여분의 연료 소비없이 무상으로 얻는 에너지이다. 따라서 HEV에 있어서 회생제동 시스템은 연비향상에 필수적이라 할 수 있다. 현재 HEV의 ICE 자동차 대비 전체 연비 개선량의 약 40%가 회생제동 시스템에 의한 것으로 보고되고 있다. 따라서 HEV의 모터 용량은 제동에너지를 충분히 흡수하여 회생제동 효과를 극대화시킬 수 있는 크기로 선정되어야 한다.

이를 위한 방법은 자동차의 주행 목적에 적합한 주

행 모드를 선정하고 그때의 제동 동력 분포를 분석하여 최대 유효 회생 제동 동력을 계산하는 것이다. 모터의 용량은 앞서 계산된 최대 유효 제동 동력에 모터 충전 효율을 고려한 값보다 크게 선정되어야 제동 에너지를 충분히 흡수하여 회생 제동 이득을 극대화 할 수 있다. 다시 말해, 감속시 최대 유효 제동 동력 이하의 범위에서는 회생 제동만으로 제동하여 회생 제동 효과를 극대화시키고 최대 유효 제동 동력보다 큰 제동 동력이 필요할 때에는 추가로 유압 제동을 수행하여 요구 제동 동력을 만족시키도록 해야 한다.



〈그림 4〉 Performance at Slippery Road

▶ 발전시 ZEV를 구현하기 위한 모터 용량 선정 : 기존의 ICE 자동차는 정지상태에서 출발할 때 엔진의 작동점이 비효율적인 구간에서 운전되기 때문에 많은 연료 소모와 배기가스의 과다 발생 등의 문제점을 갖고 있다. 그러나 4WD HEV는 엔진과 모터를 동력원으로 사용하기 때문에 초기 발전시 비효율적인 엔진의 사용을 억제하고 상대적으로 효율이 좋은 전기모터를 구동하여 전체적인 4WD HEV의 연비 향상 효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 발전시 엔진의 유해 가스 배출을 제거하여 배기가스 문제를 상당 부분 감소시킬 수 있다. 따라서 발전시 자동차를 일정 속도까지 충분히 ZEV Mode로 구동할 수 있는 모터의 용량 선정이 요구된다.

▶ 4WD 자동차의 전후륜 동력분배 : 지금까지 회생제동 에너지 사용의 극대화와 발전시 자동차의 연비 및 배기성능을 향상시키기 위한 ZEV 구동 조건을 만족시키는 모터의 용량선정 방법을 검토하였다. 모터 용량이 결정되면 기존 자동차의 가속 성능을 충족시키는 엔진의 용량을 선정할 수 있다. 이렇게 엔진과 모터의 용량이 결정되면 4WD HEV의 전·후륜 동력분배를 결정하여야 한다. 일반적인 평지 주행에서 전륜구동과 후륜구동 및 4WD 구동 성능의 차이가 크지 않다고 한다면, 4WD의 성능을 직접 느낄 수 있는 부분은 등판 성능, 저마찰 노면에서의 주행 성능 및 안정성, 코너링 성능 등이다. 이 글에서는 등판 성능, 저마찰 노면에서의 주행 성능, 회생제동 성능 등을 고려하여 엔

진과 모터의 전·후륜 동력분배를 결정하도록 한다.

〈그림 4〉에서 알 수 있듯이 등판시·저마찰시의 동력성능은 전륜 구동보다는 후륜 구동이 후륜 구동보다는 사륜 구동이 우수하다. 따라서 등판시·저마찰시의 동력 성능만을 고려한다면 후륜에만 모터를 사용하여야 할 것이다. 그러나 4WD HEV는 HEV 특성을 고려하여 전·후륜 모터 용량을 배분하여야 한다. 이때 고려하여야 할 사항은 회생제동 이득과 그에 따른 배터리 SOC(State of Charge) 증가량이다.

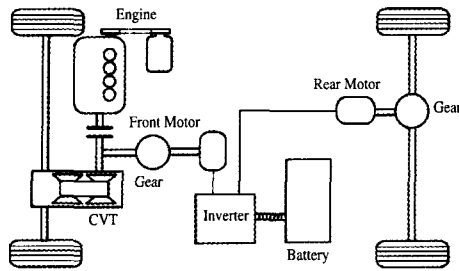
이를 위하여는 다양한 전·후륜 모터 동력의 조합에 대하여 동일한 회생제동 알고리즘을 적용한 후 시뮬레이션을 통하여 회생제동 이득을 회생제동 에너지의 흡수량과 SOC 향상도를 기준으로 평가한 후 회생제동 성능이 가장 좋은 전·후륜 모터의 조합을 선택해야 할 것이다.

5. 4WD HEV의 운전전략

HEV의 성능 개선은 엔진, 모터, 배터리 등의 하드웨어 성능 향상에 의한 것뿐만 아니라, 주행 목적에 맞는 운전전략의 최적화를 통하여도 이룰 수 있다. 본 장에서는 먼저 연구대상 4WD HEV의 운전모드에 대하여 정의하고, 성능 개선을 위한 여러가지 운전전략에 대하여 고찰하였다.



하이브리드자동차



〈그림 5〉 Structure of 4WD HEV

5.1 4WD HEV 운전모드

〈그림 5〉는 이 글에서 살펴볼 4WD HEV의 구조를 도시한 것이다. 동력원으로는 전륜에 엔진과 전륜모터, 후륜에는 별도의 후륜 모터가 사용되었고, 변속기는 CVT가 사용된다. ZEV 구동을 위하여 엔진과 CVT 사이에는 클러치가 장착되었다.

〈그림 5〉의 연구대상 4WD HEV의 운전 모드는 발진 모드, 가속 모드, 정속 모드, 감속 모드, 엔진 정지 모드의 5가지 모드로 정의하였으며 차량의 Controller에서는 현재 자동차의 상태와 운전자의 의지를 판단하여 적합한 운전 모드를 결정하고, 이에 해당하는 요구 값을 계산하여 각 요소에 전달하게 된다. 각 모드의 기본적인 정의와 역할은 다음과 같다.

▶ 발진 모드 (Starting Mode)

발진 모드는 정지상태에 있는 자동차의 초기 출발시 적용되는 운전모드이다. 엔진만을 사용하는 기존 ICE 자동차는 일반적으로 초기 출발시 엔진의 작동이 효율이 좋지않은 영역에서 운전되어 연비 저하와 배기가스 배출 증가의 문제점을 갖는다. 이를 해결하기 위하여 4WD HEV의 발진모드에서는 출발시 엔진의 운전을 제한하고, 전·후륜의 모터를 사용하여 자동차를 구동시키는 ZEV 모드 운전을 수행하여 연비 향상을 구현할 수 있다. 그러나 발진모드에서 항상 ZEV 모드가 적용되는 것은 아니다. 이때 ZEV 모드 적용을 제한하는 인자로서 배터리 SOC와 차량의 요구 동력 등을 고

려할 수 있다. 배터리 SOC를 유지하기 위하여 모터의 사용을 제한하게 되면, 발진모드에서는 더 이상 ZEV 구동을 할 수 없게 되므로 엔진으로 차량을 구동하여야만 한다. 다음으로 자동차의 요구 동력의 크기가 모터가 제공할 수 있는 동력보다 크게 되면, 모터만을 구동하여 목표 속도에 맞게 충분히 자동차를 구동할 수 없게 되므로 엔진이 추가로 사용되어야 한다. 따라서 자동차의 요구 동력이 모터의 용량보다 크게되면 더 이상 ZEV 구동을 할 수 없고, 엔진과 모터를 함께 사용하는 HEV 구동을 하게 된다.

▶ 정속 모드 (Constant Mode)

정속 모드는 자동차가 등속 또는 가벼운 가·감속 주행을 할 때 적용되는 모드이다. 정속 모드에서의 모터 사용은 배터리 SOC에 의하여 결정할 수 있다. 즉, 배터리 SOC가 충분할 때 요구 동력이 작으면 ZEV 모드로, 요구 동력이 크면 HEV모드로 구동한다. 그러나 배터리 SOC가 충분하지 않으면 모터 사용을 중단하고 엔진으로만 구동한다.

▶ 가속 모드 (Acceleration Mode)

가속 모드는 자동차의 요구동력이 큰 경우에 사용된다. 가속모드에서의 모터 사용 역시 배터리 SOC의 상태에 따라 결정될 수 있다. 배터리 SOC가 충분할 경우 자동차의 요구동력에서 모터 동력을 최대한 사용하고 부족한 동력은 엔진에서 제공한다. 이는 엔진의 고 파워 영역에서의 연료 소모를 줄이는 역할을 한다. 그러나 정속 모드와 마찬가지로 배터리 SOC가 충분치 않을 경우 엔진만으로 차량을 구동한다.

▶ 감속 모드 (Deceleration Mode)

감속 모드는 자동차가 감속할 때 적용되는 모드이다. 하이브리드 자동차에서 외부 충진이 없는 상태로 배터리를 사용하기 위해서는 회생 제동이 필수적이다. 회생 제동이란 제동시 마찰로 소모되는 자동차의 에너지를 모터를 이용하여 에너지를 회수하는 시스템이다. 4WD HEV에서는 모터 용량이 상대적으로 커지므로 회생 제동에 따른 제동 효과가 크므로, 회생 제동을 극

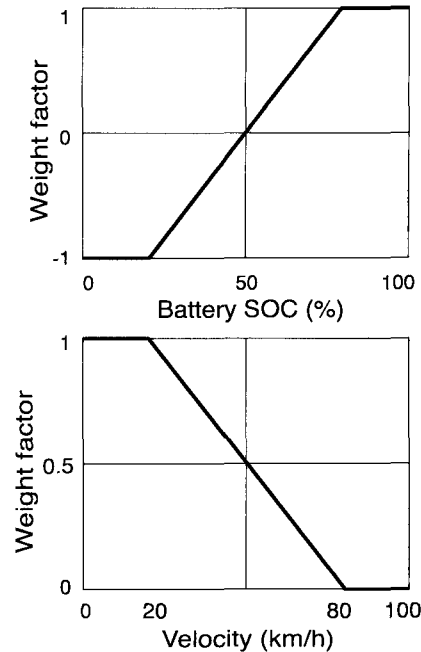
대화하였을 경우 제동감의 저하를 예측할 수 있다. 따라서 제동감 저하가 발생되지 않도록 요구 제동력과 회생 제동력을 비교하여 요구 제동력 이상의 회생 제동력이 발생하지 않도록 하는 회생 제동 알고리즘이 필요하다. 이와같은 회생 제동 알고리즘이란, 회생 제동으로만 제동이 가능한 경우에는 요구 제동력 이상의 회생 제동력이 발생하지 않도록 회생 제동량을 제한하고, 회생 제동력 이상의 제동력 요구시 별도의 유압공급장치에서 요구 제동력에 회생 제동력을 뺀 나머지에 해당하는 유압을 발생시켜 제동하는 방법을 말한다. 이때 저속 영역에서 모터, 배터리의 효율을 고려할 때, 회생 제동에 의한 에너지 이득보다는 손실이 더 크므로 회생 제동을 적용하지 않는 것이 유리하다.

▶ 엔진 정지 모드 (Engine-off Mode)

엔진 정지 모드는 주행시 엔진 사용이 불필요할 때 엔진을 정지시키는 모드이다. 이는 엔진 운전이 요구되지 않을 때 엔진이 아이들링(Idleing) 상태로 운전되는 것을 완전히 정지시키는 것으로써, 아이들링에 따른 엔진의 불필요한 연료 소모를 제거하여 연비 향상에 기여하게 된다. 일반적으로 아이들링 상태에서 엔진 정지로 인한 연비 향상 효과는 HEV 시스템으로 연계 되는 전체 이득의 27%를 차지하는 것으로 보고되고 있는 바, 4WD HEV에서 필수적으로 적용되어야 하는 모드이다.

5.2 모터 구동 전략

4WD HEV의 에너지원은 엔진의 연료와 배터리의 전기이다. 기존 ICE 차량에서의 연비 성능은 주행거리 대비 연료의 소모량을 통하여 계산되지만, HEV의 연비 성능은 동력원이 2가지이므로 연료의 소모량과 전기의 소모량을 함께 고려하여야 할 것이다. 이러한 연비 성능을 나타내는 인자로는 연비(Fuel Economy)와 배터리 SOC가 있다. 일반적으로 HEV의 연비 성능을 평가하는 방법으로는 시작 SOC를 높은 경우와 낮은 경우에 대하여 시뮬레이션 한 뒤 보간법을 사용하여 SOC와 연비를 평가하는 방법, 많은 회수의 시뮬레이션을 통하여 SOC가 일정 수준으로 유지되는지를 평가



(그림 6) Example of Motor Weight Factors

하고 각 경우에서의 연비를 평균하는 방법, 초기 SOC와 최종 SOC가 일정 수준의 범위에서 일치하도록 하여 전기 에너지를 연비 평가 인자로 고려하지 않고, 그때의 ICE의 연비를 전체 HEV 시스템의 연비로 간주하는 방법 등이 있다. 이 글에서는 일정 범위 내에서 초기 SOC와 최종 SOC가 일치하도록 하여 ICE의 연비를 HEV의 연비로 간주하는 세번째 방법에 의하여 4WD HEV의 연비성능을 평가하였다. 병렬형 HEV의 특성상 배터리의 외부 충전이 없다고 가정하면, 배터리의 전기 에너지는 결국 엔진과 회생 제동에 의하여 공급받는다. 따라서 초기 SOC와 최종 SOC가 일치하도록 한다면 엔진에 의한 충전이 비효율적임을 고려할 때, 모터의 사용 가능량은 회생 제동에 의하여 얻는 전기 에너지량에 의하여 제한된다. 그러므로 4WD HEV의 연비를 최소화하기 위하여는 제한된 모터의 사용량을 최적 분배하는 운전 전략이 요구된다.

연비 최소화를 위하여 모터는 엔진이 비효율적인 구간에서 운전될 때, 다시 말해 자동차의 초기 출발시·



급가속시 등의 상황에서 엔진의 사용을 억제하고 모터 동력이 사용되어야 할 것이다. 이때 배터리 SOC는 일정 수준을 유지하여야 한다. 이를 위하여 모터의 사용은 절대적으로 현재 배터리 SOC 상태에 따라 결정된다고 할 수 있다.

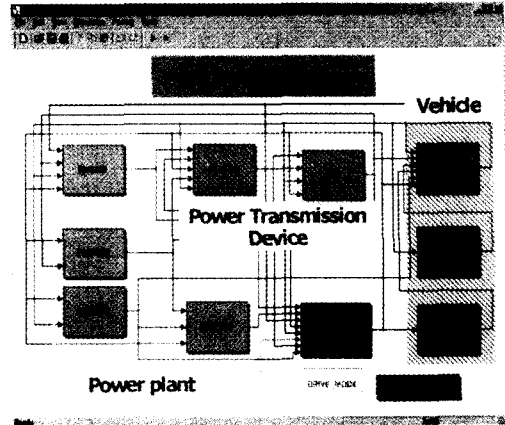
이와같은 사실을 염두에 두고, 모터를 효율적으로 사용하기 위한 방법으로는 여러가지 모터 사용에 관여하는 인자들에 대한 정교한 가중치(Weight Factor)를 사용하여 모터의 사용량을 조절함으로써 배터리 SOC를 일정 수준으로 유지하는 방법이 있다. 이러한 방법을 사용할 때, 실제 모터 파워는 전·후륜의 요구 모터 파워와 가중치들의 곱으로 계산될 수 있다. 이때 전·후륜 모터의 요구 파워는 각각 차량의 주행에 필요한 총 요구파워에 대한 전륜과 후륜의 모터 용량비로 결정할 수 있다. <그림 6>은 이러한 가중치들의 예이다.

6. 4WD HEV 성능시뮬레이터

4WD HEV의 성능을 평가하기 위하여는 4WD HEV 구성 요소의 성능과 운전전략 및 제어 알고리즘을 평가할 수 있는 성능 시뮬레이터가 필수적이다. 이 글에서는 본 연구실에서 개발된 MATLAB SIMULINK를 이용한 4WD HEV 성능 시뮬레이터를 이용하여 그 성능을 살펴 보았다.

<그림 5>의 4WD HEV는 앞서 설명한 바와 같이 동력원으로 엔진과 모터 2개를 사용하는 구조로서 전륜은 엔진과 모터가 클러치로 분리되어 2축 구조를 갖는 병렬형 HEV 타입이다. 후륜에는 모터가 장착되어 기존의 후륜으로 동력을 전달하는 트랜스터 케이스와 같은 동력 전달장치없이 단독으로 후륜을 구동하여 4WD HEV를 구현하게 된다.

<그림 7>은 4WD HEV 성능 시뮬레이터의 SIMULINK 모델을 도시한 것이다. SIMULINK 모델은 차량의 구동요소를 각 단위별로 모듈화 모델링하였다. 각 모듈들은 입력과 출력을 갖게 되는데, 모듈과 모듈사이의 실선은 각 모듈들의 입력값과 출력값의



<그림 7> 4WD HEV Performance Simulator

흐름을 나타낸다.

<표 1>은 시뮬레이션에 사용된 4WD HEV의 차량 제원을 나타낸 것이다.

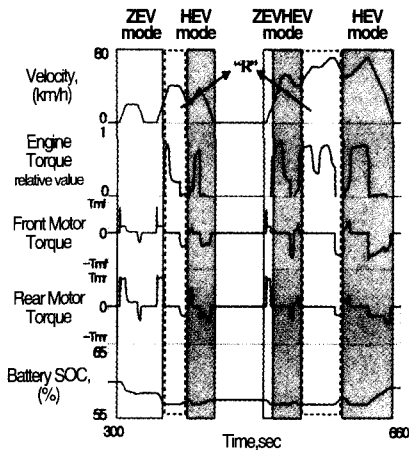
<표 1> Vehicle Specification

Vehicle Mass	1800 kg
Engine	1600 cc
Front Motor	10 kW
Rear Motor	20 kW
CVT Ratio	0.455~2.470
Battery	6.5 Ah

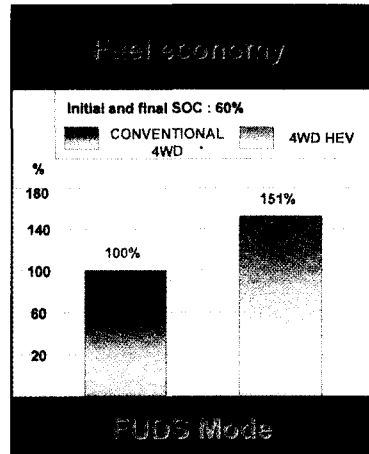
<그림 8>은 4WD HEV 성능 시뮬레이터를 이용하여 Japan 10-15 mode에서 시뮬레이션한 결과를 나타낸 것이다. 운전전략에 따라 ZEV mode와 HEV mode가 적용되는 것을 볼 수 있다. 4WD HEV는 배터리 SOC가 충분할 경우 기준 차속까지 모터로만 구동되는 ZEV mode가 적용되고 이때 엔진은 정지하게 된다.

전·후륜 토크는 모터의 용량에 비례하여 분배된다. HEV mode에서는 모터 사용 가중치에 따라 요구 파워에 대하여 엔진과 모터가 동시에 사용된다.

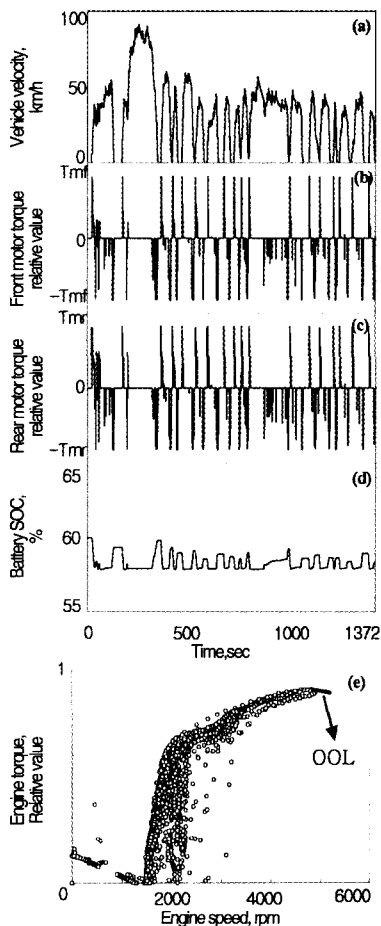
운전영역 "R"은 떨어진 배터리 SOC를 유지하기 위하여 가중치에 따라 모터를 사용하지 않고 엔진만을



〈그림 8〉 Simulation Result for Part of Japan 10~15 Mode



〈그림 10〉 Comparison of Fuel Economy



〈그림 9〉 Simulation Result for FUDS

사용하는 구간을 나타낸다. 배터리 SOC는 감속구간에서 회생제동에 의하여 증가하며, 배터리 SOC를 증가시키기 위한 별도의 엔진에 의한 충전은 그 효율이 낮은 관계로 적용하지 않는다.

〈그림 9〉는 FUDS 에서의 시뮬레이션 결과이다. 〈그림 9〉(a)에서 보듯이 목표 차속을 잘 추종하는 것을 볼 수 있다. 전륜(b)과 후륜(c)의 모터 토크는 운전전략에 따라 제어되고 있으며, 모터 토크가 (+)인 경우, 즉 모터를 사용할 때에는 배터리 SOC(d)가 떨어지고, 모터 토크가 (-)인 경우 즉 회생 제동을 할 때에는 배터리 SOC가 증가하는 것을 알 수 있다. 전반적인 배터리 SOC는 초기 SOC 수준을 잘 유지하고 있다.

〈그림 10〉은 FUDS 에서의 4WD HEV와 일반 4WD 자동차의 연비를 비교 도시한 것이다. 동일한 파워를 갖는 두 자동차를 비교하였을 때, 일반 4WD 자동차보다 4WD HEV의 연비가 약 51% 향상된 것을 알 수 있다.

7. 맺는 말

끊임없는 차세대 자동차 개발에 대한 연구에 있어서 가장 중요한 이슈는 에너지와 배기가스 문제일 것



하이브리드자동차

이다. 이에 대응하여 여러가지 형태의 차세대 자동차에 대한 많은 연구가 진행되어, 세계 선진 자동차 회사에서는 기초 모델이지만 양산 자동차가 개발되어 판매되는 등 조금씩 그 성과가 나타나기 시작하고 있다. 현재 중·단기적 관점에서 기존 자동차의 성능을 만족하며, 요구되는 배기가스와 연비 규제를 만족시키기 위한 대안으로 HEV가 가장 유망한 해결책으로 기대되고 있다.

이 글에서는 자동차 시장에서 급격히 그 판매 비중이 높아지고 있는 RV 및 SUV와 같은 4WD 자동차에 HEV기술을 접목한 4WD HEV에 대하여 살펴보고, 특히 4WD HEV 연비 성능에 직접적인 영향을 미치

는 운전 전략과 회생 제동에 대하여 고찰하였다.

4WD HEV의 성능을 향상시키기 위하여는 보다 정교한 운전전략 개발 더불어 차체의 경량화, 엔진의 성능 향상, 배터리 수명 향상, 차량 시스템 통합 제어 등 다양한 연구 개발이 필요할 것으로 생각된다.

국내에서의 차세대 자동차 개발에 대한 연구도 많이 진행되고 있지만, 미국·일본·유럽 등의 나라에서 이루어지고 있는 국가, 기업, 대학, 연구소 등의 기관들이 유기적으로 연결되어 조직적이고 체계적인 연구가 진행되고 있는 것에 비추어 볼 때, 범 국가적인 조직적인 연구가 절실히 요구된다.

(김현수 편집위원 : hskim@skku.ac.kr)

참고문헌

- 1) Mueller, F., Lueck, P., Koehle, S., "Hybrid Electric Vehicles - Discussion of Different Configurations, Advanced Propulsion & Emission Technology", GPC 2000, pp. 54 ~ 63, 2000.
- 2) Rimaux, S., Delhom, M., Combes, E., Rault, A., "Hybrid Vehicle Powertrain : Modeling and Control", Advanced Propulsion System, pp. 55~66, GPC 1998.
- 3) Williams R.C., "4WD Market Trends in Vehicles & the Adaptations of New Technology in the International Automotive Community", SAE 1999-01-1264, 1999
- 4) 오경철, 이희라, 김현수, 김달철, 김철수, "하이브리드 차량의 성능시뮬레이터 개발과 운전 전략", 한국자동차공학회 춘계 학술대회 논문집, pp.629~634, 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) 김동현, 오경철, 여훈, 김현수, "4WD HEV의 모터 용량 선정과 운전전략 개발", 한국자동차공학회 춘계 학술대회 논문집, pp.1255~1260, 2002
- 7) "차세대 하이브리드 동력시스템용 CVT 제어기법과 TMS 개발", 성균관대학교 기계기술연구소, 2001.
- 8) Mehrdad, E., "Propulsion System Design of Electric and Hybrid Vehicles", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 44, No. 1, 1997
- 9) Taniai, T., Inagaki, U., "Brake System Unit for Electric Vehicle", NEC 技報 Vol. 51 No.2, 1998.
- 10) Yaegashi, T., Sasaki, S., Abe, T., "Toyota Hybrid System : It's Concept and Technologies", Electric and Hybrid Vehicle Engineering Division Toyota Motor Corporation, F98TP095, FISITA 1998.
- 11) 이항구, "미국 자동차시장, 주문양산시대로 진입", 자동차회보 3월호, 2002.
- 12) La Plante, J., Anderson, C. J., Auld, J., "Development of a Hybrid Electric Vehicle for the US Marine Corps", 1995.
- 13) Gillespie, T. D., "Fundamentals of Vehicle dynamics", SAE, Inc. pp. 11~20
- 14) Sakai, S., Sado, H., Hori, Y., "Dynamic Driving/Braking Force Distribution in Electric Vehicles with Independently driven Four Wheels", Electrical Engineering in Japan, Vol.138, No. 1, 2002.
- 15) "Clean Fuel Vehicles Market Report", Transportation POWERSHIFT, 2001.
- 16) "Pathways to Future Vehicles", Energy SAVING Trust, 2002.
- 17) "The Swedish Electric and Hybrid Vehicle R,D&D Program", KGF, 1998.
- 18) Yacobucci, B.D., "Advanced Vehicle Technologies: Energy, Environment, and Development Issues", Congressional Research Service, 2001.