하이브리드 자동차의 연비 성능 극대화를 위한 최근 연구동향

The Recent Studies for Maximizing Fuel Economy on Hybrid Vehicle

조 성 태, 전 순 일 · 서울대학교 박사과정
Sung Tae Cho, Soon Il Jeon · Seoul National University

이 장 무 · 서울대학교 교수
Jang Moo Lee · Seoul National University

차량의 하이브리드화를 통한 연비 성능 향상

1800년대에 최초로 개발이 시작된 내연기관 자동차는 20세기 중반에 접어들면서 급속한 발전을 거듭하였으며 전 세계적으로 자동차 산업의 규모가 커짐에 따라 이로 인한 석유 연료의 소비량 및 배기가스 배출도 급격히 증가하고 있다.

따라서 최근의 자동차 기술은 차량의 연비 향상과 대체 에너지 개발에 집중되고 있다. 차량의 연비를 극대화 하기위한 연구의 방향은 크게 다음의 두가지로 분류될 수 있다. 첫째는 기존의 동력 전달계의 구성 부품에 대한 개량이나 제어 알고리듬의 개선을 통해서 차량의 연비 성능을 향상 시키는 방법이다. 1999년에 발표된 일본 혼다사의 간접분사식 희박연소엔진과 독일 지멘스사의 가열식 촉매장치, 2000년대에 발표된 박진호의 H-V 변속 알고리듬 등이 이러한 범주에 속한다.[1], [2]

둘째는 기존의 동력 전달계의 구조를 변경함으로써 차량의 성능을 향상시키는 방법이다. 이러한 경우에 해당되는 것이 전기자동차, 하이브리드 자동차, 연료전지 자동차 등이다.

전기 자동차의 경우 복잡한 변속장치가 필요 없고 저소음이며 배기가스가 전혀 없는 등 내연기관 차량에 비해 많은 장점을 가지고 있으나, 운행거리가 짧으며 충전효율이 낮고 대용량의 배터리로 인한 고가격화와 폐기 배터리로 인한 환경 오염 등의 문제점이 있다. 또한 에너지원인 전기는 결국 발전소에서 생산되므로 오염원을 개개의 자동차에서 발전소를 옮긴 것 뿐이라는 평가도 있다. 전기자동차의 동력원으로 쓰이는 배터리는 그 동력밀도 및 에너지 밀도가 가솔린 등의 화석 연료에 비하여 매우 낮기 때문에 충분한 가속 성능 및 주행거리의 확보는 근본적으로 어려운 실정이다.[3]

연료전지 자동차는 전기자동차의 단점을 획기적으로 보완한 것으로 고 용량의 배터리 대신에 석유, 알코올 등 동력밀도가 높은 연료를 전기로 변환할 수 있는 연료전지를 장착하여 전기자동차에 비하여 주행거리를 크게 늘릴 수 있고 배기가스 또한 거의 생성되지 않는다는 장점이 있다. 그러나 현재의 연료전지 기술로는 내연기관 정도의 용량을 가지는 고효율의 연료전지를 개발하기는 어려우며 그 비용도 아주 고가라는 단점이 있다.

하이브리드 자동차는 기존의 내연기관차량에 전동기를 부가하여 두 동력원이 서로의 고 효율 영역에서 작동하도록 하며 엔진의 불완전 연소 구간에서는 전동기를 이용하여 구동함으로써 연비 향상과 배기가스 저감을 실현한 자동차이다. 주 연료로 가솔린을 사용하고 엔진의 여유 동력을 이용하여 배터리를 충전하는 것이 가능하므로 외부 충전이 필요 없어 전기자동차의 가장 큰 문제인 짧은 운행거리 및 배터리 중량이 커지는 문제를 해결할 수 있다. 또한 이미 3종의 양산 차량이 판매가 되고 있을 정도로 기술적으로도 실용화 단계에 있으므로 연료 전지 자동차가 본격적으로 실용화되기까지는 저공해 자동차의 주류를 이룰 것으로 전망된다.

하이브리드 차량은 동력원의 구동 방식에 따라 크게 직렬형, 병렬형, 복합형으로 나뉘어지는데 이 중 직렬 방식은 차량의 구동은 전기자동차와 마찬가지로 전동기가 담당하고 소모되는 전력은 주행 중 엔진을 이용하여 발전하여 사용함으로써 전기자동차의 단점인 고 용량의 배터리에 대한 필요성과 주행거리 문제를 해결하였으나, 가솔린/전기에너지의 빈번한 변환으로 인한 손실이 크다는 단점이 있다. 그러나 직렬 방식의 하이브리드 차량의 경우 주행시의 속도/토크 요구조건과 엔진의 작동 역을 완전히 분리시킬 수 있다는 장점이 있으며, 기존 전기 자동차 개발 기술을 적극적으로 활용할 수 있고 또한 직렬형 하이브리드 개발에서 얻어진 기술 또한 연료 전지 자동차의 개발에 그대로 적용될 수 있다는 장점이 있다. 병렬 방식은 차량의 구동은 일반 내연기관 차량과 마찬가지로 주로 엔진의 동력을 이용하여 행하여지나 일정 동력을 전동기가 보조해주는 방식으로 직렬형에 비하여 제어 방법과 구조가 복잡하고 유단 변속기를 사용할 경우 주행시의 속도 요구조건에 엔진의 작동 역이 연동이 되므로 엔진의 최고 효율 점에서 작동시키기 어렵다는 단점이 있다. 그러나 에너지 변환으로 인한 손실이 직렬형에 비하여 상대적으로 적고, 기존 내연기관 차량의 구조에 큰 변화를 주지 않고도 적용이 가능하며, 저 성능의 전동기와 소용량의 배터리로도 충분한 가속성능을 얻을 수 있다는 장점 때문에 현재 출시되었거나 개발 중인 하이브리드 자동차는 대부분 이 형식을 따르고 있다.

또한 무단 변속기구를 병렬형 하이브리드 자동차에 장착한다면 엔진과 주행 시 속도 요구량과의 연성까지 없앨 수 있으므로 주행 상황과는 무관하게 엔진을 고 효율 영역에서 작동시키는 것이 가능해지므로 차량 전체의 연비 향상과 배기가스 저감이 가능해 진다. 현재 시판 중인 도요다사의 프리우스(Prius), 혼다 사의 인사이트(Insight), 닛산의 티노(Tino) 등은 모두 무단 변속기구를 채용하고 있다.

차량의 하이브리드화로 인한 연비 향상은 다음 세 가지 방향의 연구가 진행되고 있다. 하나는 일반 내연 기관 차량의 경우와 같이 동력 전달계의 엔진, 전동기, 변속기 등의 구성 요소의 자체에 대한 효율을 향상 시키기 위한 노력이다. 일본의 도요다, 혼다 등의 하이브리드 승용차의 양산 및 시판을 개시한 회사들에서는 단순한 차량의 하이브리드화로는 점점 엄격해지는 각종 연비, 배기가스 규제치를 만족 시키기 어렵다는 결론을 내리고 차량의 경량화[1,4], 하이브리드용 고 효율 엔진의 개발[2,5], 고 효율 전동기 및 배터리의 개발[3] 등에 연구를 집중하고 있다.

두번째로는 차량의 최적의 주행 제어 알고리듬의 개발에 관한 것이다. 내연 기관 차량에서의 최적 변속 알고리듬의 개발과 마찬가지로 하이브리드 차량에서의 주행 제어 알고리듬의 개발은 큰 의미를 가지게 된다. 일반 내연기관 차량의 변속 제어 알고리듬

1 일본 혼다 사의 인사이트의 경우 차량의 질량을 경량화를 통해 900kg대로 일반 내연기관 차량보다도 가볍다.
2 일본 도요다 사의 프리우스는 열효율을 향상시킨 밀러 사이클을 채용한 하이브리드 전용 1.5L I4엔진을 장착하고 있다.
3 도요다 프리우스에 장착된 NiMH 배터리와 닛산 티노에 장착된 Lithium Ion 배터리는 기존 전기 자동차 용으로 개발된 것에 비해 2배 이상의 동력밀도(W/kg)를 가진다.

이 연료 소모를 최소화 하도록 기어 비를 정하여 엔진의 작동 영역을 정하는 것처럼 하이브리드 차량에서 주행 제어 알고리듬은 연료 소모를 최소화 하도록 엔진과 전동기의 작동 영역을 결정하는 것이다. 즉, 엔진과 전동기가 최적의 영역에서 작동 되도록 변속장치의 기어 비와 엔진과 전동기의 동력 분배 비를 결정하여야 한다 또한 이에 관련된 제어 변수의 개수 또한 내연 기관 차량의 그 것보다는 많다. 또한 하이브리드 차량의 경우는 엔진과 전동기라는 두 가지의 동력원을 사용하므로 내연기관 차량에서처럼 단순히 엔진의 연료 소모량을 최소화 하는 것 만으로는 전기 시스템의 에너지 소모량을 나타낼 수 없기 때문에 차량의 연비 성능을 극대화 할 수 없다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 1990년대 후반부터는 엔진의 연료 소모량과 전기 시스템에서의 전기에너지 소모량을 하나의 지수로 표현하여 단일 목적함수 최적화 문제(Single Objective Optimization Problem)을 풀려는 노력이 행해지고 있다.

그러나 엔진의 연료 소모량과 전기 시스템의 에너지 소모량은 근본적으로 다른 물리량 이므로 이들을 하나로 표현할 수 있는 객관적인 성능 지수는 존재하지 않는다. 따라서 이 들을 보다 논리적으로 하나의 지수로 표현하려는 연구들이 1980년대 후반부터 계속 되어 왔다.

J.S.Bumby[6], 조한상[7] 등은 엔진의 연료 소모량과 전동기의 효율을 단순히 정규화 하여 일정한 가중치를 주어서 이를 단일 성능 지수로 표현하고, 이를 최소화하는 알고리듬을 개발하였다. 하지만 이러한 방법은 정규화 된 각각의 목적함수에 가중치를 어떻게 결정하는가 하는 문제가 또 다른 최적화 문제가 되어 결국 복합 최적화(Compound Optimization) 문제 또는 다목적함수 최적화(Multi-Objective Optimization) 문제를 풀어야 한다. 그러나 이러한 문제를 풀기에는 상당한 어려움이 있으므로 이들은 각각의 가중치를 경험적으로 지정하거나, 단순히 1로 지정하는 방식 등을 사용하였다. 이 경우 엔진의 연료 소모량과 전동기의 에너지 소모량과의 관계가 명확히 정의되지 않으므로 실질적으로 최적의 알고리듬을 구성하였다고 보기 어렵고, 또한 전기 시스템의 에너지 잔량을 전혀 고려하지 않았으므로 강제 충전 알고리듬을 따로 개발하여 적용하여야 한다는 문제점이 있다.

Schroeder, U.Zoelch[8] 등은 엔진의 연료 소모량만을 목적함수로 정하고 차량의 배터리 수준을 주행 시작과 주행 종료 시가 동일하도록 제한 조건을 두어 목적함수를 최소화하도록 동적 최적화 기법(Dynamic Optimization Method)을 적용하여 하이브리드 차량의 제어 알고리듬을 작성하였다. 이 경우 전기 시스템의 에너지 잔량을 주행 전후 동일하게 유지하므로 별다른 충전 알고리듬을 적용할 필요가 없고, 엔진의 연료 소모를 최소화 하는 것 만으로 최적의 알고리듬을 구성할 수 있다는 장점이 있으나, 동적 최적화 기법의 특성상 미리 지정된 시간에 따라 정의된 주행 도로를 정확히 주행하는 경우에만 적용이 가능하므로 임의의 도로를 주행하는 승용차에는 적용할 수 없다는 단점이 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위해서 Chan-Chiao Lin, Huei Peng[9] 등은 동적 최적화 기법으로 구해진 최적 제어 알고리듬으로 주행 된 결과를 분석하여 법칙에 기반 한 (Rule Based) 새로운 주행제어 알고리듬을 작성하는 방법 등을 제시하였다.

또한 하이브리드 차량의 연비/배기가스 성능 예측 시뮬레이션 프로그램인 Advisor에서는 연료의 열당량을 고려하여 엔진의 BSFC(Brake Specific Fuel Consumption)을 효율로 환산하고 이를 전동기의 효율과 결합하여 단일 목적함수를 구성하고 이를 최소화 하도록 주행제어 알고리듬을 구성하는 방법을 사용하고 있다.[10] 이러한 방법의 문제점은 두 에너지량의 물리적인 변환을 생각하지 못했다는 점이다.

하이브리드 차량에 외부 충전포트가 없거나 비상 시 외에는 외부 충전이 불가능하다면 이러한 알고리듬의 경우, 별도의 비상 충전 알고리듬을 도입하지 않는다면 배터리의 에너지 충전수준(SOC : State Of Charge)이 위험수준 이하로 내려갈 가능성이 생기게 된다. 따라서 이런 알고리듬의 경우 적절한 충전 알고리듬을 따로 개발하여야 하며, 이러한 강제 충전 알고리듬과 주행제어 알고리듬과의 연결에 대한 연구가 이루어져야 한다. 기아자동차의 김천호 등은[11], [12] 엔진의 연료 소모량과 전기 시스템의 에너지 소비의 물리적인 관계를 수학적으로 표현하여 등가 성능지수를 개발하였으나 이 역시 현재 배터리의 전기 에너지 잔량을 고려하지 못하였고, 특정 주행 모드를 주행한 후에야 등가 성능지수에 사용되는 계수들을 구할 수 있다는 단점으로 실제로 적용하기에는 문제가 있었다.

마지막으로는 하이브리드 차량 동력 전달계의 각 구성 요소들의 용량 매칭에 관한 연구이다. 일반 내연기관 차량의 경우 가변 하는 도로의 동력 요구 사항을 모두 충족시키기 위하여 일반적인 주행상황에서의 평균 요구 동력량의 3-4배를 낼 수 있는 용량의 엔진을 장착하게 되는데 이로 인하여 일반적인 순항 시에는 엔진이 불완전 연소 구간에서 작동하게 되어 연비가 저하되고 배기가스 발생이 심하다는 단점이 있다. 따라서 전동기를 부가적인 동력원으로 장착하여 차량을 하이브리드화 함으로써 엔진의 용량을 줄이고, 고동력이 요구되거나 엔진의 배기가스 발생이 심한 영역에서는 전동기의 동력을 사용하고 순항 시에는 엔진의 동력을 사용하여 주행하거나 충전함으로써 차량 전체의 효율을 높이고 배기가스를 저감하는 것이 가능하다. 그러나 엔진과 전동기, 배터리의 용량 결정 시 차량의 가속성능, 연비/배기가스 성능을 충분히 고려하지 못한다면 비록 우수한 주행 제어 알고리듬이 적용된다 하여도 기존 내연 기관 차량보다도 낮은 성능을 보이게 될 가능성도 있다.

이러한 하이브리드 차량의 최적의 용량 매칭을 위해서 J.S.Bumby[6], 조한상[7] 등은 차량의 가속 성능 기준을 기존 내연기관 차량의 것으로 정하고 이를 만족하는 엔진과 전동기의 용량을 선정하는 방법을 사용하였다. 또한 조성태[13] 등은 엔진과 전동기, 배터리의 용량을 간단한 파라메트릭 스터디(Parametric Study)를 통하여 최적의 연비 성능을 갖도록 설정하는 방법을 개발하였다. 그러나 이러한 방법들은 엔진, 전동기, 배터리의 각 용량의 변화가 다른 인자들에 주는 영향 도를 전혀 평가하지 못하고 각 인자들의 적절한 한계 값 또한 제시하지 못했다는 단점이 있다.

미시간 대학의 Automotive Research Center에서는 엔진, 전동기, 배터리의 용량을 각각의 상관관계를 고려하여 엔진의 연료 소모를 최소화하는 각각의 용량을 선정하는 방법을 개발하였으나 단순히 엔진의 연료 소모를 최소화하는 것으로는 전기 시스템의 에너지 소모를 평가할 수 없으므로 최적의 용량 선정 법으로 보기에는 어렵다.

이러한 주행 제어 알고리듬 및 엔진, 전동기, 배터리 간의 적절한 용량 매칭 기법을 개발하기 위해서는 제어 알고리듬의 성능 지수에 영향을 주는 각 제어 변수 및 각 용량 변화에 대한 영향 도를 모두 평가하여야 한다. 그러나 이를 실제의 실험으로 평가하는 것은 차량의 개발비를 크게 상승시키며 개발 기한 또한 길어 지게 되므로 실제적으로는 불가능한 일이다. 따라서 엔진, 전동기 등의 동력 전달계 구성 요소들을 각각의 단 품 실험을 통해서 연비 평가 시뮬레이션을 위한 성능 모델을 만들고 일정한 횟수의 실험을 통하여 검증된 연비 평가 시뮬레이션 프로그램을 이용해서 차량의 제어 알고리듬 및 용량을 결정하고 이에 따라 제작된 차량으로 수행한 실험으로 최종적인 제어 알고리듬의 개선 및 용량 결정 후에 차량의 양산을 하는 과정이 요구된다.

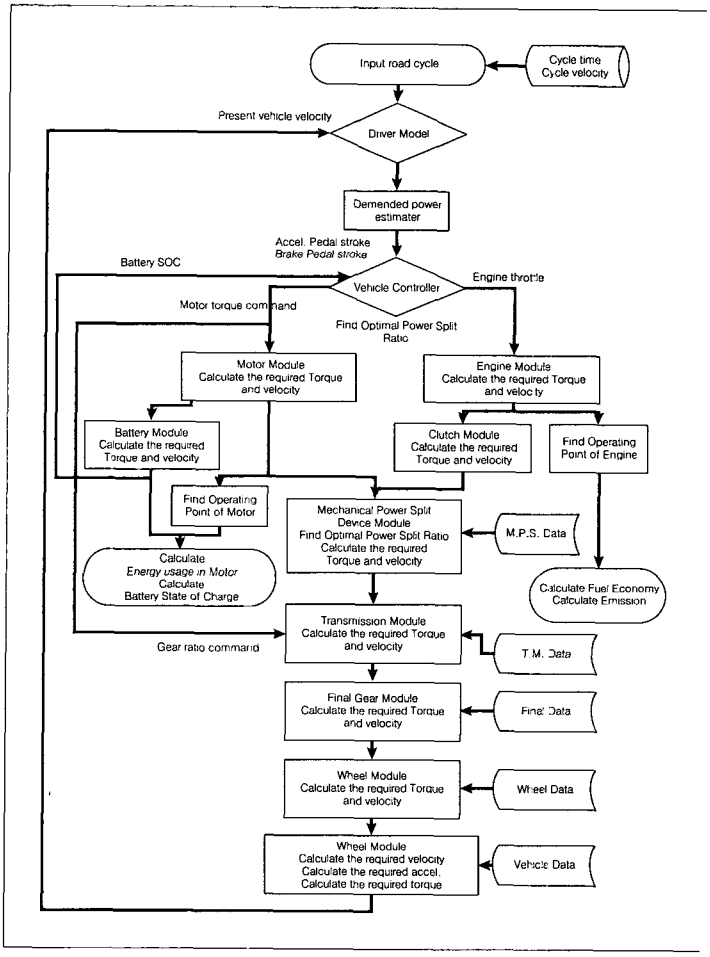
이러한 차량의 사용되는 연비 평가 프로그램은 크

게 전 방향 해석 방법(Forward Method)과 후 방향 해석 방법(Backward Method)으로 나뉜다. 전 방향 해석 방법은 실제 차량의 주행과 유사한 방식으로 차량의 목표 속도와 현재 속도를 입력 받아 가속 페달 및 제동 페달 값을 출력하는 운전자 모델을 비례 미적분 제어기(PID Controller)나 퍼지로직 제어기(Fuzzy Logic Controller)로 제작하고 동력원에서 나오는 출력 동력으로 차량을 구동한 후의 결과로 연비 성능을 평가하는 방법이다. 전 방향 해석 법은 실제 차량의 주행을 그대로 모사할 수 있다는 장점이 있는 반면 운전자 모델을 제대로 만들지 못하면 목표 주행 속도와 실 주행속도와의 차이가 크게 발생할 수 있으며, 제어기가 포함되므로 시뮬레이션 시간이 후 방향 해석 법에 비해서 크게 증가하는 단점이 있다. 이 중 시뮬레이션 실행 시간의 단점은 치명적인 것으로 수십에서 수백번의 시뮬레이션을 수행하여야 하는 주행 알고리듬의 최적화나 차량의 용량 매칭 등에는 전 방향 해석 법을 적용하기 어렵다. 따라서 전 방향 해석 방법은 주로 주행 알고리듬의 정성적인 평가나 차량의 가속 성능 평가에 주로 사용되어 진다.

후 방향 해석 법은 시간의 함수로 주어진 주행 속도를 입력 받아 이 것을 주행하기 위해 각 동력 전달계에 요구되는 속도와 토크 값을 계산하고 최종적으로 동력원의 작동 점을 결정하여 소모되는 연료 및 에너지량을 계산하는 방식이다. 이 방법은 운전자 모델이 필요하지 않으므로 시뮬레이션 시간이 크게 줄어든다는 장점이 있으나 실제로 차량이 그러한 주행이 가능한가를 검사해 보기 위해서는 별도의 검사 알고리듬이 필요하게 된다. 후 방향 해석 법은 그 수행 시간이 짧다는 장점으로 인해서 주행 알고리듬의 개발에 주로 사용되어 지나 가속 성능이 제한 조건으로 포함되면 이를 검사하기 위해서는 Iteration Method가 필요하므로 많은 수행 시간이 걸리게 된다.

〈그림 1〉과 〈그림 2〉는 각각 전 방향 해석법과 후 방향 해석법의 알고리듬을 순서도로 표현한 것이다.

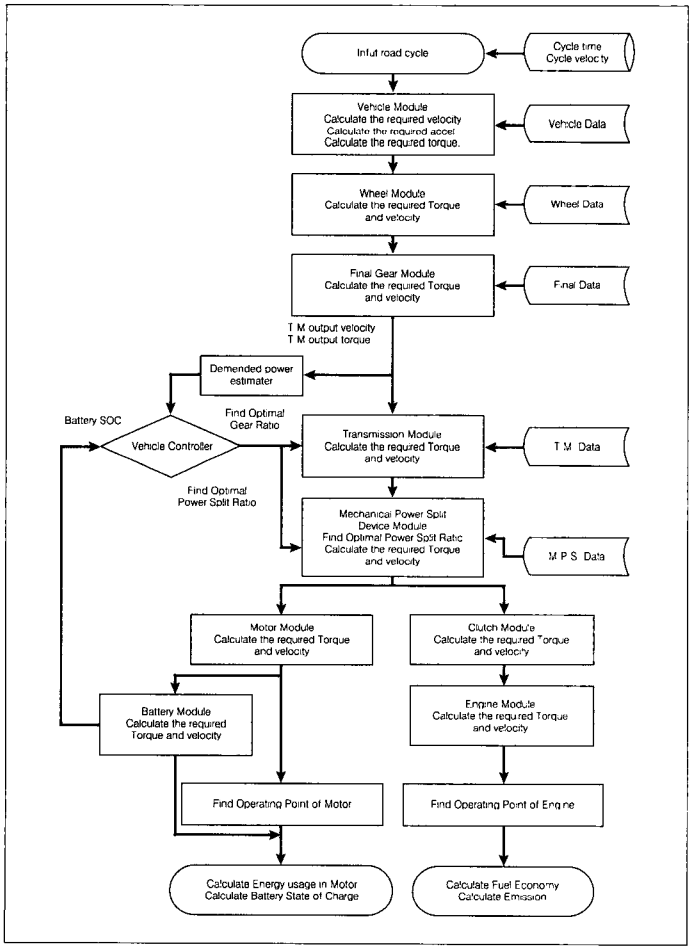
이러한 두 해석 방법의 단점들을 극복하기 위해서 후 방향 해석 법으로 얻어진 동력원들의 요구 동력 값을 입력하여 다시 한번 차량을 전 방향 해석 법으로 주행 시킨 후 그 결과를 최종적인 차량의 주행 상



〈그림 1〉 Flow Chart of Forward Method

태로 결정하는 방법들이 최근의 연구 결과에서 발표되고 있다.[10]

차량의 연비 성능 해석을 위한 프로그램 개발에 있어 모든 동력 전달계의 요소들의 정확한 동적 모델(Dynamic Model)을 얻는 것은 매우 어려운 작업이고 이런 모델이 시뮬레이션은 그 수행 시간이 매우 길어지므로 Post 등은 차량의 주행 상황을 계산하는 매 시간 간격(Time Step)마다 준 평형 상태(Qusai-Static)를 가정하고 평형 상태에서 얻어진 각 동력원들의 실험데이터를 맵 형태의 자료로 만들어 이를 이용하여 연비를 계산하는 방식을 제시하였다.[14] 또한 이러한 기법들은 하이브리드 자동차의 연비 평가 프로그램에도 적용되어 G.H. Cole은 맵 자료를 기초로 후 처리해석을 하는 하이브리드 자동차용 연비 해석 프로그램인 SIMPLEV를 발표하였고[15], Aaron Brooker 등은 NREL(National Renewable Energy Laboratory)의 지원을 받아 후 처리 해석을 기본으로 하고 전 처리 해석으로 검증을 하는 복합 해석 법을 적용한 Advisor를 발표하였다.[10] 그러나 이러한 프로그램들은 단지 내장된 알고리듬에 정의된 법칙(Rule)들의 변경만을 허용할 뿐이어서 새로운 형태의 주행 제어 알고리듬을 평가할 수는 없다는 단점이 있다.



〈그림 2〉 Flow Chart of Backward Method

일반 내연 기관 차량에서의 주행제어 알고리듬-주로 변속 맵과는 하이브리드 차량에서의 주행 제어 알고리듬은 그 제어 변수의 수가 많고 표준으로 정해진 형식이 없으므로 이러한 상용 해석 프로그램들은 프로그램 자체적으로 정한 법칙 기반(Rule Base)의 주행 제어 알고리듬의 평가 만이 가능하다는 단점이 있다.

기존 연비 평가 프로그램의 이러한 문제 점 때문에 서울대학교 기계역학 실험실에서는 차량의 동력 전달계 해석 및 변속 맵을 포함하는 주행 제어 알고리듬 개발을 위해서 POTAS(Power/Transmission Analysis Software)라는 이름으로 일련의 해석 프로그램을 개발, 발표하여 왔는데 이 중 POTAS-VPS/Hybrid는 하이브리드 차량 및 전기 자동차 연비 성능을 평가하기 위해서 개발된 프로그램이다.

POTAS-VPS/Hybrid는 후 방향 해석 법을 주 해석 법으로 사용하고 이를 통해 얻어진 동력원의 작동 점을 기준으

로 다시 전 방향 해석을 적용하여 후 방향 해석의 결과를 검증하는 방식을 사용하고 있다. 이러한 시뮬레이션 프로그램의 정확성을 검증해 보기 위해서는 실차 실험 결과와의 비교가 필요하지만 하이브리드 차량의 해석용으로 주로 사용되는 시뮬레이션 프로그램인 Advisor의 해석 결과와 비교해보면 POTAS-VPS/Hybrid는 6%정도의 차이만을 보임을 알 수 있다.

POTAS-VPS/Hybrid는 매트랩 기반의 시뮬링크(Simul-Link)를 이용하여 작성되었으며 데이터의 입력 및 결과 출력은 GUI(Graphic User Interface)를 이용하므로 손쉽게 사용할 수 있는 장점이 있다.

〈표 1〉 Comparison of Fuel Economy Results

	POTAS-VPS/Hybrid	Advisor
Fuel Economy(km/l)	16.6548	15.625
Error(%)	6.18	-

〈참 고 문 헌〉

1) Automotive Engineering 4월호
2) 박진호, "도로경사도와 차량 가속도를 고려한 자동변속기 변속 알고리듬", 서울대학교 공학박사 학위논문, 2000.8.
3) U.S. Department of Energy, "Hybrid Electric Vehicle Program", http://www.ott.doe.gov/hev, 2001
4) Jeffrey E. Chottiner, "Cranktrain Design for Ford's HEV Di Disiel Engine", SAE 981915, SAE, 1998
5) J. Bayer, M.Koplin, J.Butcher, K.Frieddrich, T.Roebke, H.Wiegman, G.R.Bower, "Optimizing the University of Wisconsin's Parallel Hybrid-Electric Aluminum Intensive Vehicle", SAE 981915, SAE, 1998
6) I. Forster and J.R. Bumby, "Optimization and Control of a Hybrid Electric Car", IEEE Proceedings, Vol. 134, No. 6, 1987, pp.373-387
7) 조한상, "하이브리드 차량 동력전달계의 설계와 주행 제어 알고리듬 개발", 서울대학교 공학 박사 학위 논문, 1998.2.
8) U.Zoelch and D.Schroeder, "Dynamic optimization method for design and rating of the components of a hybrid vehicle", Int. J. of Vehicle Design, Vol. 19, No. 1, pp.1-13
9) Chan-Chiao Lin, Jun-Mo, Kang, J.W.Grizzle, and Huei Peng, "Energy Manegement Strategy for a Parallel Hybrid Electric Truck"
10) Advisor 3.1 Advanced Vehicle Simulator, U.S Department of Energy, NREL, 2001
11) 김천호, "CVT를 갖는 병렬형 HEV의 연비 최적화 알고리듬", 기아보고서
12) C.H. Kim E. Namgoong, S.C. Lee, T.C. Kim, H.S. Kim, "Fuel Economy Optimization for Parallel Hybrid Vehicles with CVT", SAE 1999-01-1148, 1999
13) 조성태, 전순일, 조한상, 박영일, 이장무, "병렬형 하이브리드 동력 전달계의 성능 민감도 해석", 한국자동차공학회 논문집 제 8권 제 1호, pp.72~84
14) Post, K., Kent, J.H., Tomlin, J. and Carruthers, N.(1985) "Vehicle Characterization and fuel consumption prediction using maps and power demand models", Int. J. of Vehicle Design, vol. 6. no.1, pp. 72-92, 1985
15) G. H. Cole, "SIMPLEV : A Simple Electric Vehicle Simulation Program Version 2.0", DOE/ID-10293-2, Idaho National Engineering Laboratory, Idaho Falls, Idaho, 1993

〈이장무 교수 : leejm@gong.snu.ac.kr〉