

〈논 문〉 SAE NO. 97370054

플라이휠일 하이브리드 차량의 다경로 동력전달장치 연구

A Study on Multi Pass Transmission System for a Flywheel Hybrid Vehicle

송 한 림*, 김 현 수**
H. L. Song, H. S. Kim

ABSTRACT

In this paper, using MATLAB SIMULINK, a generalized design methodology was suggested for multi pass transmission(MPT) by classifying the vehicle power train as prime mover, MPT and vehicle dynamics. This approach enables a designer to investigate the influence of each transmission component by simple combination of system components without changes of overall program. Using the design methodology, a MPT consisting of CVT, 2, clutches and reduction gears was designed for a braking energy regenerative flywheel hybrid vehicle. The CVT is essential in order to connect the engine and flywheel speed with the vehicle speed. For the purpose of smooth clutch operation, control algorithm was suggested by introducing dead zone for the clutch engagement. Using the SIMULINK model, performance of the flywheel hybrid vehicle with MPT was investigated. It was observed from the simulation results that the MPT vehicle showed better fuel economy, 47% than that of AT vehicle, 27% than that of CVT vehicle for ECE-15 driving cycle. Especially distinct fuel efficiency improvement was obtained for city driving cycle requiring more frequent stop and start.

1. 서 론

차량의 동력전달 장치는 원동기(Power Plant)의 동력을 차량의 구동력으로 전환시켜 주는 장치로서 차량의 효율적인 운전을 위하여는 동력전달 장치의 적절한 설계가 필수적이다. 변속기(Trans-

mission)는 동력전달장치 중 핵심요소로서 지금까지 수동변속기(MT), 자동변속기(AT)가 개발되어 완성품으로서 널리 사용되고 있으며 무단변속기(CVT)가 실용화 단계에 있다. 이들 동력전달 장치의 메카니즘은 각각 다르지만 공통적인 특징은 원동기의 동력을 바퀴까지 오직 1개 경로(Single Pass)로 전달한다는 점이다.

최근 환경오염에 따른 배기가스 규제와 연비의 대폭적인 개선요구에 따라 전기자동차, 하이브리

* 성균관대학교 대학원

** 정회원, 성균관대학교 기계공학과

드(Hybrid) 자동차, 제동에너지 재생자동차 및 가스터빈 차량등에 대한 연구개발이 활발하게 이루어지고 있으며 이들 차량의 동력전달장치도 새로운 각도에서 연구되고 있다. 예를 들어 하이브리드 차량에서 IC 엔진과 전기모터가 동시에 작동하는 경우 동력전달장치는 2개 경로의 원동기 동력을 바꾸고 전달하여야 하며, 제동에너지 재생차량의 경우 바퀴의 제동에너지나 IC엔진의 동력을 에너지 재생장치로 전달해 주는 기능이 필요하다. 이와 같은 기능은 기존의 1개 경로만을 가진 동력전달장치로는 얻을 수 없으며 2개 이상의 경로를 가진 동력전달장치 즉 다경로 동력전달장치(multi pass transmission : MPT)가 요구된다.

대중량 궤도차량의 경우 정유압 변속기(hydrostatic transmission)와 몇 개의 유성치차열로 구성된 정유압기계식 변속장치(hydro mechanical transmission)가 이미 실용화되어 있으나¹⁾ 이것은 1개 원동기의 동력을 좌우 2개 궤도로 분리 전달하여 변속과 조향 기능을 얻고자 하는 MPT로서 앞서 설명한 동력전달장치의 기능과는 차이가 있다.

승용차의 경우 MPT는 CVT의 실용화에 따라 CVT와 조합한 동력전달 장치가 연구 중에 있다.^{2~6)} 이것은 1개 경로에 CVT를 설치함으로써 무단변속의 잇점을 얻을 수 있기 때문이다. Höhn^{3,4)}은 CVT의 변속범위를 확장하기 위하여 CVT와 2단의 MT 또는 AT를 결합한 구조를 제시하였고 변속비 확장으로 인한 연비 향상을 보고하였다. Beachley 등^{5,6)}은 가변용량형 정유압 펌프모터를 사용한 CVT와 MT를 조합한 플라이휠 하이브리드 차량 시차차를 개발하고 이의 관건이 동력전달장치임을 강조하였다.

전기-IC 엔진 하이브리드 또는 제동에너지 재생 플라이휠 하이브리드 차량의 동력전달장치는 운전모드와 조건에 따라 동력경로를 수시로 바꾸어야 하기 때문에 구조가 복잡해지고 제어가 필요하게 된다.^{7,8)} 따라서 사용목적에 적합하고 구조와 제어가 단순한 다경로 동력전달장치의 개발을 위하여는 조직적인 설계방법이 필요하나 이에 대한 연구는 발표된 것이 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 Matlab의 Simulink를 이용하여 다경로 동력전달시스템을 체계적으로 분리하여 각각의 특성을 쉽게 고찰할 수 있는 프로그램을 개발하고 이를 플라이휠 제동에너지 재생차량에 적용하여 일반적인 다경로 동력전달장치 시스템 연구에 대한 기본적인 설계기법을 제시하고자 한다.

2. 차량 구동계의 그래픽 모듈화

Fig.1은 일반적인 차량 구동계 모델을 도시한 것으로 차량구동계를 원동기, MPT, 차량동역학계로 구분하였다. Fig.1에서 원동기는 IC 엔진, 배터리와 전기 모터, 가스 터빈, 플라이휠 등 1개 또는 2개 이상으로 구성될 수 있으며, MPT는 MT, AT, CVT, 유성기어 또는 이들의 조합과 클러치 등으로 이루어진다. Fig.1의 차량계에서 원동기와 MPT, MPT와 차량동역학계 사이의 동력은 다경로로 전달된다. 이와 같은 시스템의 MPT는 여러 가지 변속기와 클러치 및

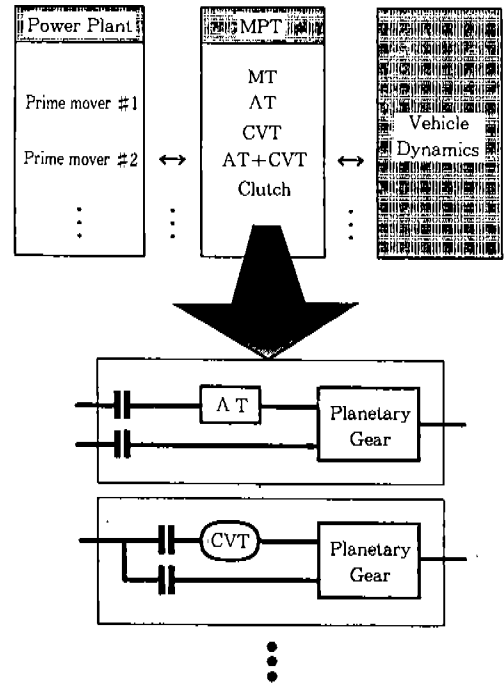


Fig.1 General Classification of Vehicle System

기어의 조합으로 구성될 수 있으며 설계를 위하여는 각각의 경우 주요 설계 파라미터의 변화 또는 구성 요소 조합의 변경이 차량전체에 미치는 영향을 검토할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 Matlab Simulink를 이용하여 Fig.1의 차량 구동계 모델을 요소별로 그래픽 모듈화 모델링을 시도하고 전산 시뮬레이션 시 구성요소 모듈별 이식성 및 확장성, 그리고 사용자의 편리성을 도모하였다. 이와 같이 Simulink를 이용한 그래픽 모듈화는 모듈화된 블록의 교환만으로, 서로 다른 구성요소를 갖는 차량의 주행 성능, 연비 및 그 밖의 주요 작동 파라미터들의 변화에 대한 전체 차량계의 성능 해석을 쉽게 수행할 수 있기 때문에 MPT 설계 및 해석이 용이하다는 장점이 있다.

3. 제동에너지 재생 플라이휠일 차량 동력 전달장치 설계

차량의 제동시 브레이크 마찰로 소모되는 에너지를 다시 이용한다는 생각은 오래전부터 자동차 엔지니어의 꿈이었으나 적당한 에너지 저장 장치의 개발과 동력흐름을 조정할 수 있는 제어시스템의 개발이 관건이었다.⁶⁾ 에너지 저장장치로는 기계적인 운동에너지를 이용하는 플라이휠일이 가장 널리 연구되어져 왔으나 근래에 이르러 제동시 전동기/발전기로부터 얻는 전기를 배터리에 저장하거나 유압 모터/펌프로부터 가압된 오일로 스프링을 압축시켜 출발시 그 에너지를 사용하는 등 다양한 방법이 연구되고 있다.

본 연구에서는 에너지 재생 차량의 에너지 저장장치보다는 MPT설계에 중점을 두고 에너지 저장장치로는 플라이휠일을 사용하였다.

3.1 MPT 모델

MPT는 동력전달 방향에 따라 다음 3가지의 경우를 고려하여 설계하여야 한다.

- (1) 엔진이 차량을 구동하는 경우
- (2) 플라이휠일이 차량을 구동하는 경우
- (3) 제동시 플라이휠일로 에너지가 저장되는 경우

위 (1)~(3)의 동력전달 상태를 고려하여 MPT는 CVT와 2개의 클러치 및 감속기로 설계하였다. Fig.2에 MPT의 구조가 도시되어 있다. 앞서 제시한 구분방법에 따라 원동기로는 IC 엔진과 플라이휠일이 사용된다.

변속기로 CVT가 필요한 이유는 다음과 같다.

- (1) 최소연비운전을 위하여는 엔진이 최소연비곡선 상에서 운전되어야 하며, 모든 운전조건에서 엔진속도와 차량속도를 연결하려면 변속비의 연속적인 변화가 필요하다.
- (2) 플라이휠일에서 엔진, 또는 엔진에서 플라이휠일로 동력이 바뀌어 전달될 때 최소연비 곡선상의 엔진속도 또는 플라이휠일 속도를 주어진 차량속도와 연결하려면 임의의 변속비가 요구된다.

Fig.2에서 클러치 A는 동력전달 상태 (1)의 경우에 접속되며 이때 클러치 B는 해방된다. 클러치 B는 동력전달 상태 (2), (3)의 경우에 접속되며 이때 클러치 A는 해방된다. 클러치의 적절한 조작은 차량의 성능에 직접 관련이 있으므로 이의 정확한 동적 모델과 제어가 요구된다.

3.2 클러치 모델과 제어 알고리즘

클러치는 유한시간 동안에 미끄럼(slippage)을 갖는 클러치 모델을 사용하였으며 클러치 판의 마찰계수 μ 는 Fig.3과 같이 상대속도의 함수로 고려하였다. 여기서 정마찰계수로서 $\mu=0.4$, 동마찰계수 $\mu_k=0.27$ 을 사용하였다.

플라이휠일 클러치 : Fig.4에 플라이휠일 클러치 A가 도시되어 있다. 클러치의 접속 및 해방 시점은 3.1절에서 언급된 3가지의 동력전달 상태와 차속, 가속도 등 차량의 주요 작동 파라메

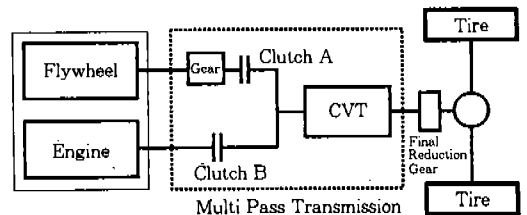


Fig.2 Schematic Model of Regenerative Braking Flywheel Hybrid Vehicle

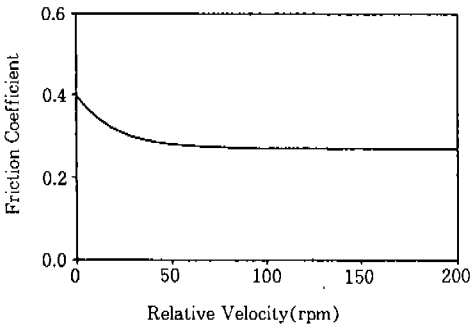


Fig.3 Friction Coefficient vs. Relative Velocity

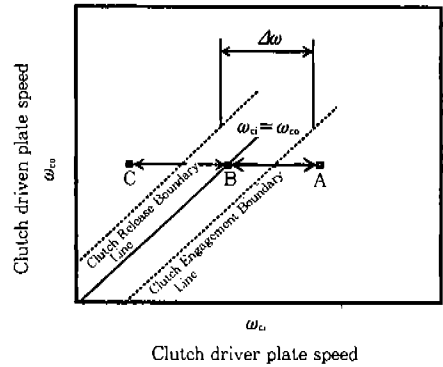


Fig.5 Deadband for Clutch Operation

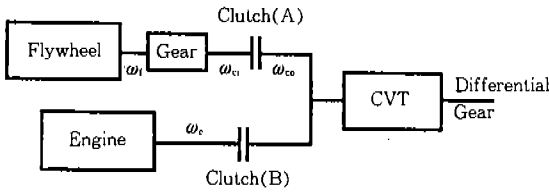


Fig.4 Clutch of Flywheel Hybrid Vehicle

타들로부터 결정될 수 있다. Fig.4에서 플라이휠 일 클러치 접속 조건은 다음과 같다.

- ① 차량의 증속이 요구되어 플라이휠의 동력이 CVT로 전달되며 $\omega_{ci} > \omega_{cd}$ 인 경우
- ② 차량의 감속이 요구되어 제동에너지가 플라이휠로 전달되며 $\omega_{ci} < \omega_{cd}$ 인 경우

그러나 차속이 감소해도 ω_{ci} 가 ω_{ci-max} 보다 크면 접속하지 않는다. 여기서 ω_{ci-max} 는 플라이휠 클러치판의 최대 회전수이다. 플라이휠의 최대 회전수는 원심력에 의한 허용응력, 베어링 설계등을 고려하여 최대 제한속도를 31,920rpm으로 설정하였다.⁹⁾

엔진 클러치 : 엔진 클러치의 접속 조건은 다음과 같다.

- ① 요구되는 차속이 0보다 클 때
 - ② 요구되는 차량 가속도가 0과 같거나 클 때
- 그러나 플라이휠 클러치 회전수 ω_{ci} 가 ω_{cd} 보다 크면 접속하지 않는다.

플라이휠 클러치 A와 엔진클러치 B의 해방 조건은 앞의 접속조건에 대하여 클러치 A, B가 서로 동시에 작동하지 않는다는 것이다.

한편, 클러치 전·후의 축 회전수가 거의 같은 값을 가질 때 즉, 위의 클러치 접속 및 해방 조건 경계값의 근처에서 클러치가 작동되고 있다면 클러치는 미세한 속도차이에 대해서도 자주 접속 및 해방 동작을 하게 되며 이것은 클러치 판의 마모에 따른 클러치의 수명저하, 엔진 클러치의 잦은 단속에 의한 엔진의 시동 및 정지, 잇달은 동력 전달 단속에 의한 충격으로 승차감의 저하가 우려된다. 따라서 클러치의 접속 및 해방시 불감대 (dead band)를 설정하여 경계값 근처에서의 연속적인 클러치 접속/해방을 방지하였다. Fig.5에 클러치 접속-해방 시의 불감대가 도시되어 있다. Fig.5에서 클러치가 접속되는 이론적인 조건은 $\omega_{ci} = \omega_{cd}$ 아래 영역이다. 만약 클러치 전후 회전속도가 A에 있으면 클러치는 접속한다. 회전속도가 B 상태가 되면 클러치는 단속 경계조건에 있으나 설정된 불감대 내에 있으므로 해방되지 않고 연결상태를 유지한다. 이 상태에서 클러치 해방 경계선에 이를 때까지 클러치는 약간의 미끄럼을 가지며 연결되어 있고 해방 경계선 좌측으로 운전점이 이동하면 클러치는 비로소 해방된다. 해방시는 경계선 좌측영역(C점)에서 시작하여 B점을 지나 클러치 접속 경계선에 이를 때까지 해방되어 있다가 경계선을 지나면 접속이 된다. 불감대의 해방 및 접속 경계선은 클러치 전후 축의 속도차이 $\Delta\omega$ 를 불감대 폭으로 설정하였다.

3.3 차량 모델

Fig.6은 3.1절에서 언급한 제동에너지 재생 플라이휠 차량 동력전달 시스템의 동력 전달 각 경우에 대한 본드그래프 모델이다. Fig.6의 본드 그래프 모델에서 CVT는 기본 기능이 MT 및 AT의 각 변속단과 같이 변속비 변화에 의하여 토크와 속도를 변화시키는 역할을 하므로 무한대의 연속적인 변속단을 갖는 변환기 MTF(modulated transformer)로 고려하였다.

Fig.6의 모델로부터 차량 구동계의 각 경우에 대하여 다음과 같은 상태방정식을 구할 수 있다.

(I) 엔진 → CVT → 차량(Fig.6(a))

$$\dot{v}_v = \frac{T_{ci}N_dN_w - J_c v_v i N_d^2 N_w^2 \frac{di}{dt} - F_r - T_b N_w}{M_v + J_c i^2 N_d^2 N_w^2} \quad (1)$$

(II) 플라이휠 → CVT → 차량(Fig.6(b))

$$\dot{v}_v = \frac{T_{ci}N_dN_w - F_r - T_b N_w}{M_v} \quad (2)$$

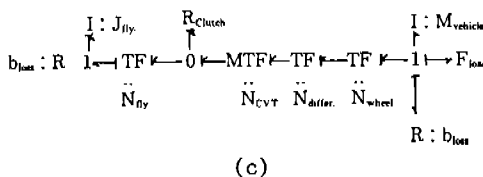
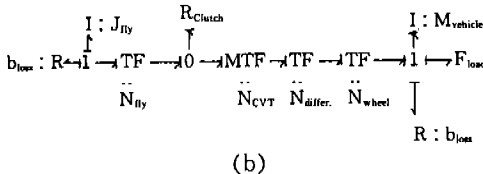
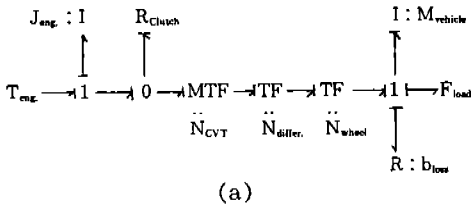


Fig.6 Bondgraph Model of Flywheel Hybrid Vehicle

$$\dot{\omega}_f = \frac{-T_{fc} - T_{loss}}{J_f N_f}$$

(II) 플라이휠 → CVT → 차량(Fig.6(b))

$$\dot{v}_v = \frac{T_{ci}N_dN_w - F_r - T_b N_w}{M_v} \quad (2)$$

$$\dot{\omega}_f = \frac{-T_{fc} - T_{loss}}{J_f N_f}$$

(III) 차량 → CVT → 플라이휠(Fig.6(c))

$$\dot{v}_v = \frac{-T_{ci}N_dN_w - F_r - T_b N_w}{M_v} \quad (3)$$

$$\dot{\omega}_f = \frac{T_{fc} - T_{loss}}{J_f N_f}$$

여기서 v_v 는 차량 속도, ω_f 는 플라이휠 회전 수, T_e 는 엔진토크, T_{fc} 는 플라이휠 클러치 전달 토크, J_e 는 엔진의 관성 모멘트, J_f 는 플라이휠의 관성 모멘트, M_v 은 차량의 질량, i 는 CVT 변속비, N_f 는 플라이휠 감속 기어비, N_d 은 차동기어비, N_w 은 차량바퀴 반경의 역수, F_r 은 주행저항, T_{loss} 은 손실 토크 그리고 T_b 는 브레이크 토크이다. 식 (2)와 (3)은 클러치의 미끄럼이 존재하는 경우이며 클러치의 관성 모멘트는 무시하였다.

3.4 엔진 모델

엔진은 드로틀을 개도, 엔진 회전수와 출력토크의 관계, 공연 혼합비, 점화 진각 시기 등에 따라 다양하고 복잡한 특성을 지니고 있지만 여기서서는 엔진 성능곡선을 사용하여 주어진 드로틀 개도와 엔진 회전수로부터 출력 토크를 결정하였다. 이때 엔진의 동특성은 드로틀 개도 동력학에 포함시켜 다음과 같이 1차 함수로 생각하였다.

$$\frac{\theta}{\theta_{desired}} = \frac{1}{1 + \tau s} \quad (4)$$

여기서, θ 는 도로를 개도, $\theta_{desired}$ 는 요구되는 도로를 개도이며, r 는 도로를 개도변화에 대한 실제 엔진토크 변화를 고려한 시상수이다. Fig.7은 본 연구에 사용된 1300cc급 엔진의 성능곡선이다.

본 연구에서는 구동계 각 요소의 손실을 무시하였으며 이밖에 냉각팬 구동, 전원을 발생시키는 발전기 구동 및 차량의 각종 보조장치 구동에 의한 외부 동력손실도 고려하지 않았다.

3.5 CVT 변속 알고리즘

CVT는 주행시 차량의 외부 주행조건, 운전자의 의도에 대하여 엔진이 최적 운전 상태를 유지할 수 있도록 변속시점과 변속비를 구현해 주어야 한다. 엔진의 최적운전 곡선은 엔진 출력을 우선적으로 고려할 경우는 엔진 최대동력곡선이 되며, 연료 효율을 우선적으로 고려할 경우 엔진 최소연비곡선이 된다. 엔진의 최적 운전을 위한 CVT의 최적 변속비는 엔진의 연료 효율 및 출력 곡선을 기반으로 도출된다.

본 연구에서는 플라이휠 이용에 따른 연비절감 효과를 고찰하기 위하여 최소연비곡선(Best Fuel Economy Line : ECL)을 최적운전곡선으로 선택하였다. Fig.7에 시뮬레이션에 사용된 ECL이 도시되어 있다. 모든 운전조건에서 엔진이 항상 ECL상에서 작동한다면 엔진은 최소 연비상태를 유지할 수 있다. 따라서 엔진의 최소연

비 운전을 위해 CVT의 변속비는 각 도로를 개도에 대하여 엔진이 ECL에 머물러 있도록 제어되어야 한다.

주어진 도로를 개도에 대하여 최소 연료소비를 위한 엔진속도는 ECL이 각 도로를 개도와 교차하는 점에서 하나만 존재하게 되고, 차량속도에 대하여 이 엔진속도에서 엔진이 작동하는데 필요한 변속비도 하나만이 존재함을 알 수 있다. 그러므로 Fig.8과 같이 차속과 도로를개도에 대하여 최소 연료소비를 위한 CVT 변속비를 3차원 변속비 선도로서 도시할 수 있다. CVT 변속 제어기는 TCU(transmission control unit)에 이같은 변속비 선도를 내장하고 임의의 차속과 도로를 개도에 대하여 CVT 변속비를 구현하게 된다.

4. 제동에너지 재생 플라이휠 차량의 Simulink 모델

Fig.9에 앞장에서 모델링된 제동 에너지 재생 플라이휠 차량의 Simulink 모델이 도시되어 있다. MPT는 앞서 설계된 CVT와 클러치 2개로 구성되어 있으며 클러치를 제어하기 위한 제어기(알고리즘)가 포함되었다. 각각의 구성 요소는 그래픽 모듈화되어 있으며 각 블록의 입출력은 실선으로 표시되어 있다. 원동기는 IC 엔진과 플라이휠 외의 엔진 조작을 위한 도로를 동

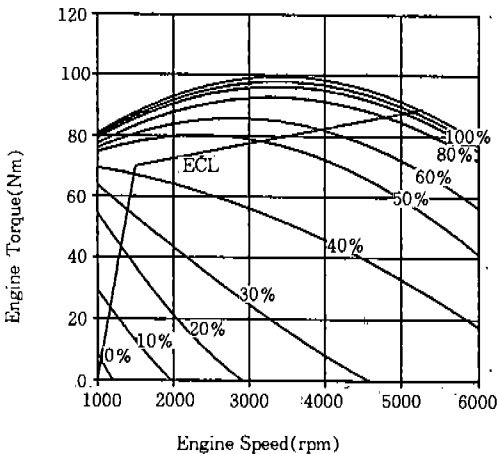


Fig.7 Engine Performance Curve and ECL

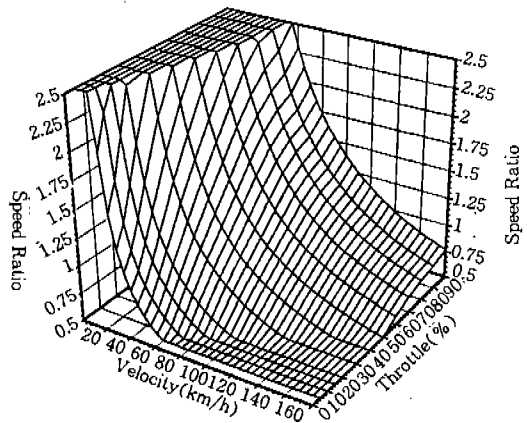


Fig.8 CVT Speed Ratio Map

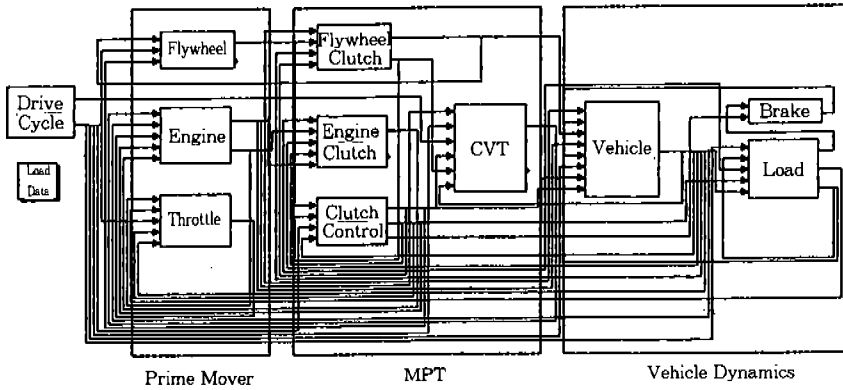


Fig.9 Simulink model of flywheel hybrid vehicle

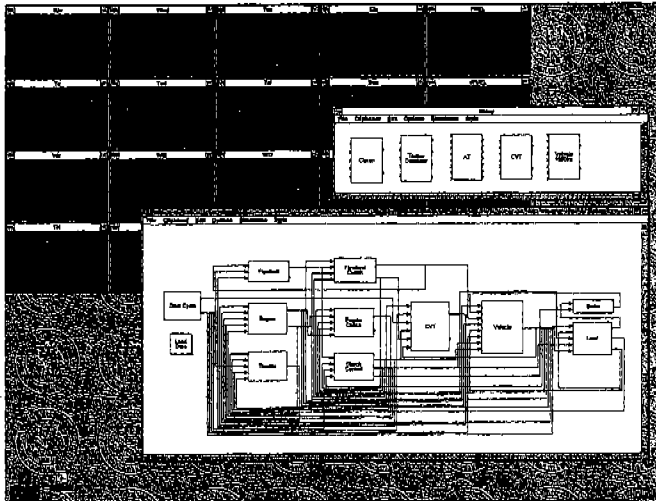


Fig.10 MPT Vehicle Simulink Model Environment

Table 1 Vehicle Data

기호	데이터	단위	비고
M_v	1000	kg	vehicle mass
J_e	0.023	kg m ²	engine inertia
J_f	0.32	kg m ²	flywheel inertia
N_f	9.12		flywheel gear ratio
N_d	5.8		final reduction gear ratio
R_w	0.286	m	vehicle wheel radius
C_d	0.32		drag coefficient
C_r	0.0		coeff. of rolling resistance
A	1.735	m ²	front area

력학이 추가되었다. 차량 동력학계는 차량 동력학과 주행부하 및 브레이크로 구성되어 있다.

MPT의 구성요소나 조합이 달라질 경우 Simulink 상에서 그래픽 블록의 교환만으로 시뮬레이션이 가능하며 따라서 다양한 경우의 설계를 시도해 볼 수 있다.

시뮬레이션은 주어진 주행곡선(driving cycle)에 대하여 수행하였다. 시뮬레이션에 사용된 차량의 제원은 Table 1에 나와있다. 제동에너지 재생 플라이휠 차량의 성능비교를 위하여 제동에너지 재생장치가 없는 AT 및 CVT 차량의 시뮬레이션도 수행하였다. 이 때 AT 및 CVT 차량

은 Simulink 상에서 블록 교환만으로 전산 시뮬레이션이 가능하다.

Fig.10은 Fig.9의 MS-Windows 상에서 시뮬레이션 작업 환경을 도시한 것이다.

5. 시뮬레이션 결과 및 고찰

5.1 플라이휠 차량의 응답 특성

Fig.11(a)에 시뮬레이션에 사용한 운전주행곡선이 도시되어 있다. 주행곡선은 90sec동안 가속, 정속 및 감속구간으로 이루어져 있다.

Fig.11(b)~(h)에 90sec간의 주행 시뮬레이션 결과 즉, 플라이휠 차량의 엔진회전수(b), 엔진토크(c), 플라이휠 회전수(d), 플라이휠의 전달 토크(e), 엔진 클러치(f) 및 플라이휠 클러치 접속/해방 시점(g), 그리고 CVT 변속비(h)가 도시되어 있다. 제동 동력 재생 플라이휠 차량의 초기조건으로 플라이휠에 제동 에너지가 저장되어 21,300rpm의 플라이휠 초기 회전수를 갖고 있다고 가정하였다. 플라이휠로 차량 구동시에 엔진은 정지되어 있고 따라서 엔진 회전수, 엔진 출력 토크는 플라이휠이 구동원으로 작동되는 구간에서는 그 크기가 0이다(b, c). 플라이휠에 저장된 에너지로 차량이 출발하다가 플라이휠만으로 운전모드에 적합한 차량속도를 구현할 수 없을 때, 차량은 엔진 구동으로 전환되고 플라이휠은 클러치가 해방되어 자유회전운동을 시작한다(d). 이때 플라이휠은 자유회전시 공기마찰 저항 및 베어링 마찰 손실에 의해 회전수가 감소한다. 차량 제동시에는 엔진 클러치가 해방되고 플라이휠 클러치가 접속되어 제동 에너지가 플라이휠에 전달됨에 따라 플라이휠의 회전수가 증가하고 차속은 감소한다. 그러나 플라이휠로 보내지는 제동 에너지가 주행모드에서 요구되는 감속에너지 보다 작은 경우에는 차속이 주행모드에서 요구되는 크기로 감속되지 않는다. 이 경우 브레이크가 작동되고 주행곡선에 적합하도록 차량속도를 감속시킨다. 이때 플라이휠이 최대허용 회전수에 도달하면 플라이휠 클러치가 해방된다. 엔진 구동으로 차량 주행시 CVT는 항상 엔진이 최소 연비로 운전될 수 있도록 변속비 제어가 이루어지고 있다(h).

Fig.11(d)에서 볼 수 있듯이 플라이휠의 속도는 20,000~30,000rpm의 범위에서 회전하고 있다. 이와 같이 높은 회전 속도는 플라이휠에

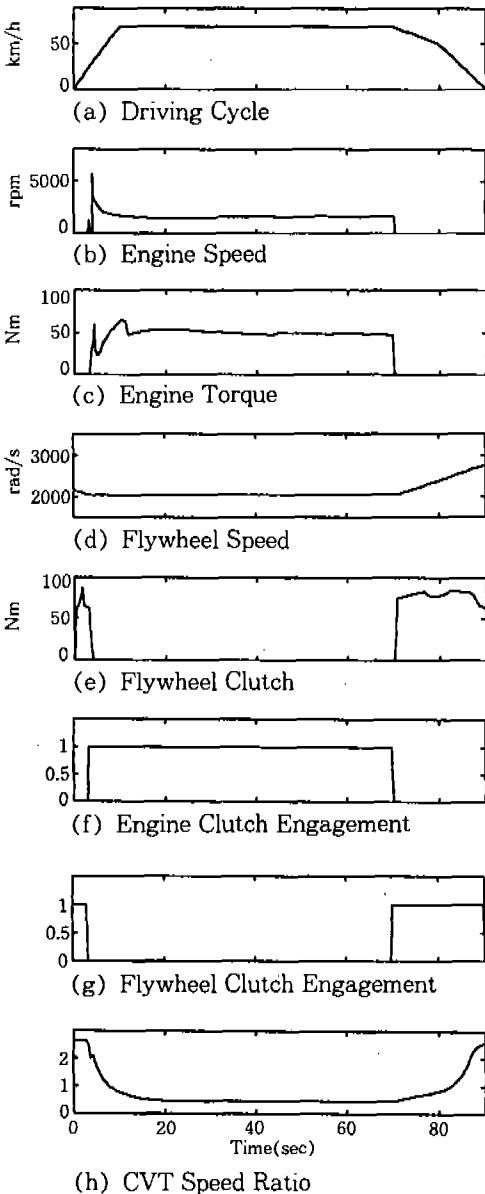


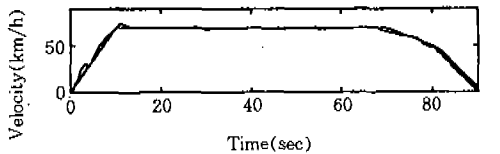
Fig.11 Simulation Results of Flywheel Hybrid Vehicle

저장되는 운동에너지를 크게하고 상대적으로 회전 관성을 작게 유지하기 위하여 필수적이지만, 베어링 마찰 손실 및 이에 따르는 베어링 수명 감소, 고속회전에 의한 동적 불안정성 등이 실용화를 위하여 해결되어야 할 문제이다. 따라서, 최근에는 마그네틱 베어링 사용, 관성체 회전공간의 진공화 등 여러 가지 연구가 진행 중이다.

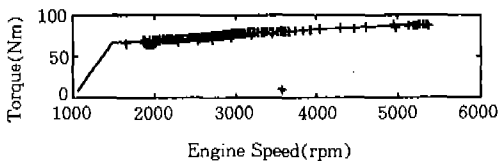
Fig.12(a), (b)는 Fig.11(a)의 주행곡선운전 시 제동 동력 재생 플라이휠 차량의 속도 추종 성능과 엔진 운전점을 도시한 것이다. Fig.12(a)에서 플라이휠 차량은 전체적인 주행곡선을 양호하게 추종하고 있으나 플라이휠 구동에서 엔진 구동으로 전환되는 5sec부근에 차속이 다소 주행곡선을 벗어나 운전되고 있으며 이때보다 적절한 드로틀 개도의 제어가 요구된다. Fig.12(b)는 엔진운전점을 ECL과 비교 도시한 그림이다. Fig.12(b)에서 알 수 있듯이 CVT의 적절한 변속비 제어로써 엔진은 ECL 선상에서 거의 작동되고 있으며 따라서 엔진이 최소 연료 상태로 운전되고 있음을 보여준다.

5.2 ECE-15 운전 주행사이클 시뮬레이션 및 연비평가

제동 동력 재생 플라이휠 차량은 정지와 출



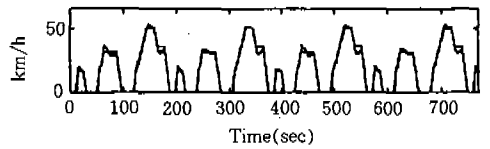
(a) Driving Cycle and Vehicle Velocity Response



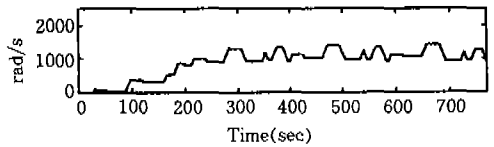
(b) ECL and Engine Performance

Fig.12 Simulation Results of Flywheel Hybrid Vehicle

발이 잦은 도심형 주행 모드에서 플라이휠의 기능을 더 발휘할 수 있다. 여기서는 ECE-15 표준 사이클 모드(ECE-15 Standard Driving Cycle Mode)를 사용하여 주행 해석을 시도하였다. ECE-15 표준 운전 사이클은 감속구간이 18%, 차량 정지 구간이 30%로 구성된 도심형 주행곡선이다. ECE-15 표준 운전 사이클을 사용한 시뮬레이션에서 초기조건을 차량의 주행시작 시 플라이휠에 저장된 에너지가 없다고 설정하였다.



(a) ECE-15 Driving Cycle & Vehicle Velocity Response



(b) Flywheel Speed

Fig.13 Simulation Results for ECE-15 Driving Cycle

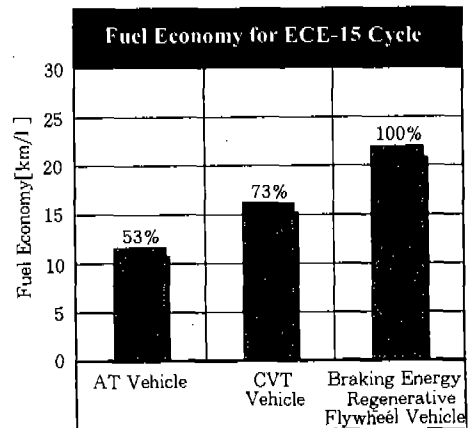


Fig.14 Comparison of Fuel Economy for ECE-15 Driving Cycle

Fig.13(a)는 전체 운전 시간을 700sec로 설정한 ECE-15 운전 사이클과 제동 동력 재생 플라이휠 차량의 차속응답을 도시한 것이다. 차량의 제동시 마다 그 제동에너지를 저장하고 출발시에 차량 구동 에너지로 사용하고 있음을 알 수 있다.

Fig.14는 ECE-15 Cycle에 대한 제동 동력 재생 플라이휠 차량과 일반 AT 및 CVT 차량과의 연비를 비교 도시한 것이다. 제동 동력 재생 플라이휠 차량연비가 21.9km/l, 일반 AT 및 CVT 차량의 연비가 각각 11.6km/l, 16.1km/l로서 플라이휠 차량이 일반 AT보다 약 47%, CVT 차량보다 약 27% 이상의 연비 향상을 나타낸다. Fig.14의 결과에서 정지 구간과 제동/출발 구간이 많은 ECE-15 사이클에서 제동 동력재생 플라이휠 차량이 제동 에너지의 회수와 이용으로 일반 AT, CVT 차량에 비해 연비 소모율이 크게 감소됨을 알 수 있다.

6. 결 론

- 1) 다경로 동력전달 시스템 설계 일반화를 위하여 Matlab Simulink를 이용하여 차량구동계를 원동기, 다경로 동력전달 장치(MPT), 차량동력학계로 구분하고 MPT의 각 구성요소를 그래픽 모듈화하여 구성요소 조합변경에 대한 영향을 전체 프로그램 변경없이 간단히 처리할 수 있는 기법을 제시하였다.
- 2) 이를 이용하여 제동 에너지 재생 플라이휠 차량의 MPT를 설계하였다. MPT는 CVT와 2개의 클러치 및 감속기어로 구성하였다. CVT는 모든 운전조건에서 엔진이 최소연비곡선에서 운전되도록 하고 플라이휠과 엔진사이에 동력원이 바뀔 때 임의의 변속비를 공급하기 위하여 필수적이다. 클러치의 제어를 위하여 클러치 접속/해방시점을 클러치 전후 전동축 회전수, 차속 및 차량 가속도를 기준으로 결정되는 알고리즘을 제시하고 클러치 단속시 불감대를 설정하여 클러치의 잦은 접속 및 해방으로

인한 엔진의 시동 및 정지와 클러치 단속에 의한 충격 감소를 시도하였다.

- 3) Simulink 모델을 이용하여 제동 에너지 재생 플라이휠 차량 성능을 고찰하였다. ECE-15 주행 사이클 시뮬레이션 결과 플라이휠 차량은 출발시 플라이휠에 저장된 에너지를 이용하므로 AT 차량에 비하여 47%, CVT 차량에 비하여 27% 이상의 연비가 향상되며 정지 및 출발 회수가 많은 도심형 운전 사이클에서 뚜렷한 연비 향상 효과를 보였다.

후 기

이 연구는 한국과학재단 지원 터보·동력기계 연구센터(TPMRC)의 지원을 받아 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. R. G. Reppert, "Modern Transmission for Tanks", Military Technology, pp. 4~21, Apr, 1987.
2. 김현수, 성덕환, "토크 분배방식 다경로 CVT의 변속 알고리즘과 응답특성", 대한기계학회 논문집, Vol. 18, No. 11, pp. 2817~2824, 1994.
3. B. R. Höhn, "The Potential and Advantages of Continuously Variable Transmission for Automotive Application", SAE 885063, 1988.
4. B. R. Höhn, "Transmission Engineering for Passenger Cars", International Conference on Motion and Power Transmissions, pp. 474~479, Japan, 1991.
5. A. A. Frank, N. H. Beachley, "Evaluation of the Flywheel Drive Concept for Passenger Vehicles", SAE 790049, 1979.
6. F. S. Jamzadeh, A. A. Frank, "Optimal Control for Maximum Mileage of a Flywheel Energy-Storage Vehicle", Passenger

- Car Meeting, SAE 820747, pp. 81~87, Troy, Michigan, June, 1982.
7. A. Wolthuis, "A Hybrid Drive Line With Energy Storage Incorporating Continuously Variable Transmission", Proc. of the 8th Int. Pacific Conference, SAE 945142, pp. 270-275, 1994.
 8. A. Schmid, P. Dietrich, S. Ginsburg and H. Geering, "Controlling a CVT-Equipped Hybrid Car", SAE 950492, 1995.
 9. Y. Kemper, L. E. Elfes and E. G. Trachman, "Feasibility Study of a CVT System for an Internal-Combustion Engine/Flywheel-Drive Vehicle", Vadetec Corporation, Lawrence Livermore Laboratory Advanced Component Technology MEST Project, Livermore, California 94550, October, 1980.