

하이브리드 차량의 변속 품질에 관한 연구

*오 창은¹⁾, 신 창우²⁾, 임 원식³⁾, **차 석원⁴⁾

The Study of Shift Quality of Hybrid Vehicles

*Chang Eun Oh, Chang Woo Shin, Won Sik Lim, **Suk-Won Cha

Key words : Hybrid vehicle(하이브리드 자동차), Shift quality(변속 품질), Mode conversion quality(모드 변환 품질)

Abstract : In this paper, several fields for improving shift quality and mode conversion quality are presented and considered. For a series type hybrid vehicle, improving mode conversion quality is important because it changes its speed with its own motors. A parallel type hybrid vehicle usually has AT or AMT, and its motor and engine can work independently. Therefore, improving both of two qualities is equally important in this case. For a power split type hybrid vehicle, improving mode conversion quality is more important due to the existence of planetary gears which change vehicle's speed.

subscripts

- AT : automatic transmission
- AMT : automated manual transmission
- CVT : continuously variable transmission
- THS : toyota hybrid system
- SOC : state of charge
- HCU : hybrid control unit

1. 서론

고유가로 인한 연료비 상승과 경기불안, 이산화탄소와 관련한 규제들로 인하여, 차량 구입 시 연비와 친환경성이 중요한 요소 중 하나로 자리 잡고 있다. 이에 따라 기존 가솔린 엔진을 사용한 차량에 비해 하이브리드 자동차에 대한 관심이 높아지고 있다. 하지만 연비가 아무리 좋아도 승차감이 떨어진다면 하이브리드 자동차 구입이 꺼려질 수 있다. 따라서 기존 차량들이 변속 품질을 개선하듯이, 하이브리드 자동차도 변속 품질과 모드 변환 품질을 개선하도록 노력해야 할 것이다. 이에 본 논문에서는 무엇을 개선해야 할 것인지 알아보고 그 적용 가능성을 생각해볼 것이다.

하이브리드 자동차는 하이브리드 동력 구조에 따라 크게 세 가지로 분류할 수 있다. Fig. 1에 나타난 직렬형(series type), 병렬형(parallel type), 동력분기형(power split type)이 그것으로, 각 구조마다 변속과 모드 변환 방식이 다를 수 있다.¹⁾ 따라

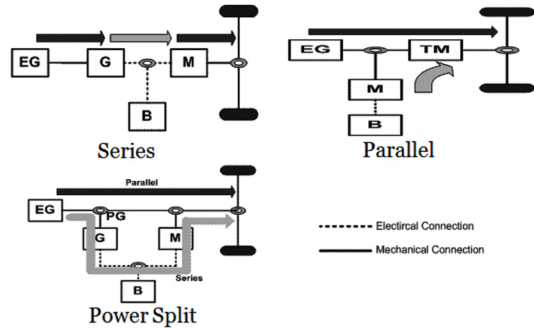


Fig. 1 Hybrid structures

서 본 논문에서는 세 가지 구조를 각각 구분해서 살펴보도록 하겠다.

- 1) 서울대학교 기계항공공학부
E-mail : create00@snu.ac.kr
Tel : (02)880-8050 Fax : (02)880-1696
- 2) 서울대학교 기계항공공학부
E-mail : shincw@snu.ac.kr
Tel : (02)880-8050 Fax : (02)880-1696
- 3) 서울산업대학교 자동차공학과
E-mail : limws@snut.ac.kr
Tel : (02)970-6392 Fax : (02)979-7032
- 4) 서울대학교 기계항공공학부
E-mail : swcha@snu.ac.kr
Tel : (02)880-1700

2. 구조별 분석

2.1 직렬형 (Series Type)

현재 직렬형 구조의 하이브리드 자동차는 자동차 업계의 관심에서 멀어져있다. 엔진은 단지 발전기를 돌릴 뿐이고 오직 모터만이 차량을 구동시켜야하는 관계로, 엔진은 상대적으로 작아질 수 있지만 배터리 팩과 전기 모터가 상대적으로 강하고 커야한다. 특히 고속주행에 불리하여 상용화의 가능성은 거의 없지만, 저속 주행과 정지를 반복하는 조건에서는 타 구조에 비해 탁월한 연비를 보여주므로 그 나름대로 장점을 가지고 있다고 할 수 있다.

직렬형 구조는 모터만으로 차량을 구동시키므로, 특별히 변속기나 클러치가 존재하지 않는다. 다만 급가속이나 급감속시 모터에 걸리는 토크에 의한 과도충격과, 엔진의 기동과 정지에 따른 토크와 진동에 의한 과도충격은 고려해야 할 것이다.

2.2 병렬형 (Parallel Type)

병렬형 구조는 현재 자동변속기 장착 차량에 집중하고 있는 자동차 업계의 기존 생산 설비 및 주요 부품들을 적용시키기 용이한 구조로, 여러 자동차 업체들이 상용화를 위해 연구를 계속하고 있다. 이 병렬형 구조는 주로 자동변속기(AT)나 자동화변속기(AMT)를 사용하는데, 이는 기존 가솔린 차량에 사용하던 변속 품질 측정 기준을 그대로 적용할 수 있는 근거가 된다. Fig. 2부터 Fig. 5까지에서 보이는 변속 과정에서 가속도의 변화량, 변화율, 안정도, 차량 견인력의 감소폭, 변속이 진행되는 데 걸리는 시간 등이 그 기준들이다.²⁾

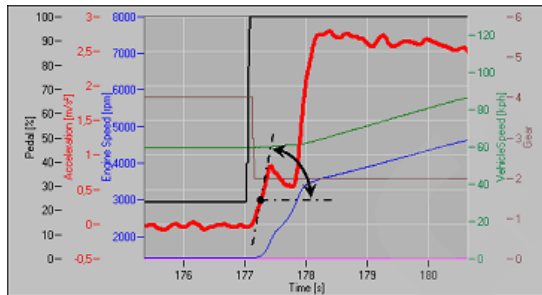


Fig. 2 Acceleration increase after downshift

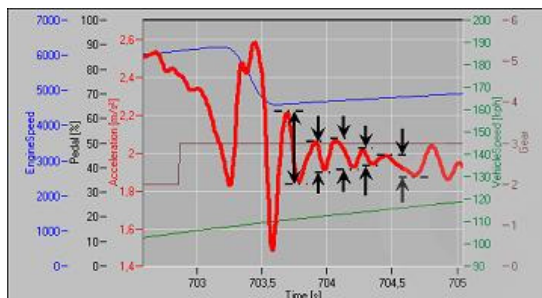


Fig. 3 Jerks after gear shift

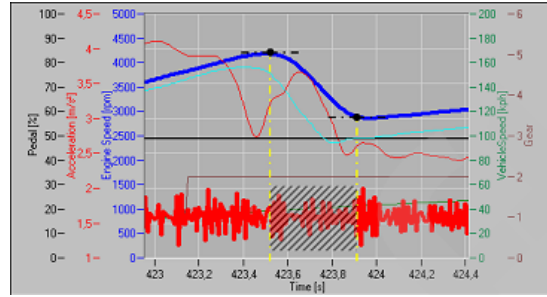


Fig. 4 Engagement steadiness during gear shift

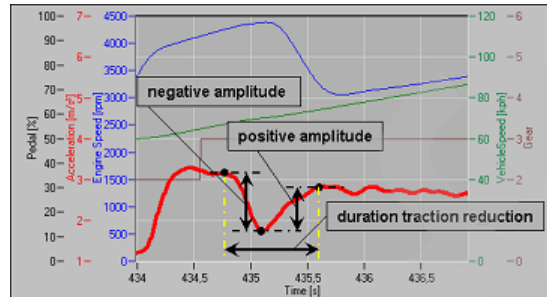


Fig. 5 Traction reduction during gear shift

병렬형 구조 역시 모터가 장착된 하이브리드 구조이므로 모드 변환시의 품질 역시 승차감에 영향을 줄 수 있을 것이다. 모드에 따른 동력원 변화시, 동력이 단절되었다 접촉되는 과정에서 토크 충격 및 과도 토크 등이 나타날 수 있다. 따라서 각 모드 변환시를 살펴볼 필요가 있는데, 이는 다음에 다룰 동력 분기형 구조에서 함께 살펴볼 것이다.

2.3 동력 분기형 (Power Split Type)

유성기어(planetary gear)를 동력 분기장치로 사용하는 동력 분기형 하이브리드 자동차는 현재 성공적으로 상용화가 진행된 도요타 사의 프리우스(Prius)가 채택한 구조로 유명하다. 이 프리우스는 동력 분기형의 일종인 THS II를 사용하고 있는데, 이 THS II 시스템은 별도의 클러치가 존재하지 않으며 변속기로는 CVT를 사용한다. 현재 유일하게 상업적으로 성공한 시스템이면서 클러치 없이 부드러운 엔진 기동/정지 제어가 가능하고 전체 시스템 효율이 높은 등 가장 우수한 구조로 평가받으므로, 동력 분기형 구조에서 모드 변환은 이 시스템을 기준으로 살펴보기로 하겠다.

2.3.1 정지 중 충전

배터리의 SOC가 일정 수준 이하로 떨어질 경우 HCU는 엔진을 정속으로 동작시켜 그 동력으로 배터리를 충전하게 된다. 이때 제너레이터는 스타트 모터로 동작하여 엔진을 기동시키기 위해 짧은 시간동안 강한 토크를 발생시키게 된다. 이 출력 토크는 차체에 과도충격을 가하여 탑승자의 승차감에 영향을 끼치게 된다. 관련 시뮬레이션 결과도 다르지 않았다. 정지상태이므로 전후방 가속도 발생은 없으나 Fig. 6에서 모터 토크 출력을 확인할 수 있었다.³⁾

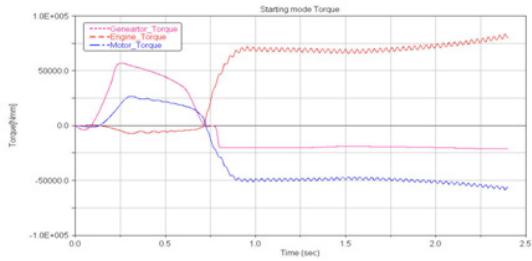


Fig. 6 Torque of the HEV powertrain in starting mode

2.3.2 모터 모드 중 엔진 기동

모터만으로 주행하는 EV모드에서 일정 속도 이상의 영역에서 차량이 운행하거나 배터리 SOC가 일정 수준 이하로 떨어졌을 경우 HCU는 제너레이터를 제어하여 엔진을 기동시키게 된다. 이 과정에서 엔진의 속도를 점화 속도까지 증가시키기 위해서는 제너레이터에서 큰 역토크를 출력해야 하며 이 때 과도충격이 발생하게 된다. 또한 엔진 기동 이후 엔진 속도 제어과정에서 제너레이터의 속도를 제어할 필요가 있는데, 이때에도 역시 과도충격이 발생하게 된다. Fig. 7과 Fig. 8에 나타낸 관련 시뮬레이션 결과에서 엔진 기동을 위한 제너레이터의 급격한 역토크의 출력과 역방향 회전으로 인하여 짧은 시간동안 큰 가속도 변화가 나타나는 것을 관찰할 수 있었다.

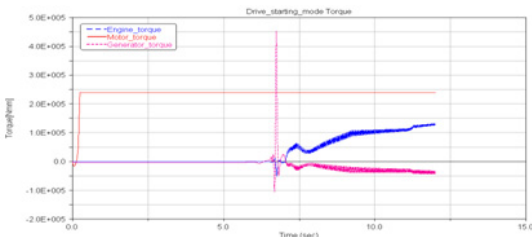


Fig. 7 Torque of the HEV powertrain in engine starting

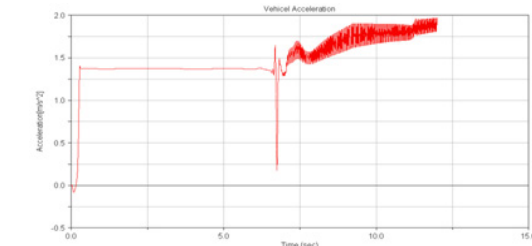


Fig. 8 Acceleration of the vehicle in engine starting

2.3.3 하이브리드 모드

고속주행이나 급경사 등판, 급가속시와 같이 높은 출력이 요구될 경우 배터리에 저장된 전기 에너지로 모터를 구동시켜 엔진을 보조하게 하는데, 이때 모터는 짧은 시간 안에 필요한 출력을 보조하기 위하여 큰 토크를 발생키며, 이로 인해

과도충격이 발생하게 된다. 실제 급격한 모터토크 출력 증가와, 엔진속도 제어를 위한 제너레이터의 토크 출력이 차량이 급격한 가속도 변화를 발생시키는 것을 Fig. 9와 Fig. 10에 나타낸 관련 시뮬레이션 결과에서 확인할 수 있었다.

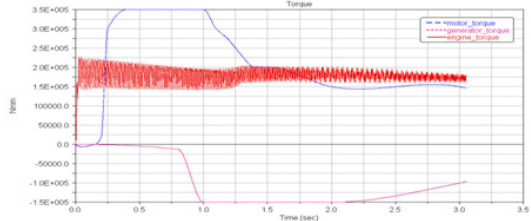


Fig. 9 Torque of the HEV powertrain in hybrid mode

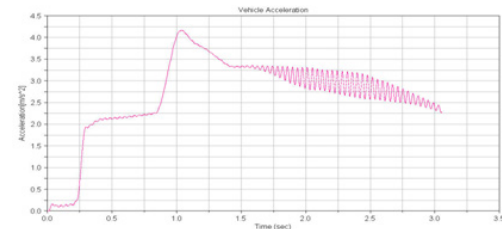


Fig. 10 Acceleration of the vehicle in engine starting

2.3.4 모터 모드

차량이 정지상태에서 출발할 때, 혹은 저속 주행할 때 엔진은 정지하게 된다. 정지상태에서 출발할 때 강한 모터토크가 구동축에 전달되어 과도충격이 발생하게 된다. 또한 주행중 차량의 감속으로 인해 엔진이 정지하게 될 경우, 차량의 저속 주행 상태를 유지시키기 위해 모터가 짧은 시간 안에 강한 토크를 출력하게 되어 역시 과도충격이 발생하게 된다. Fig. 11과 Fig. 12의 관련 시뮬레이션 결과에서 역시 모터 토크 출력으로 인한 차량 가속도의 급격한 변화를 관찰할 수 있었다.

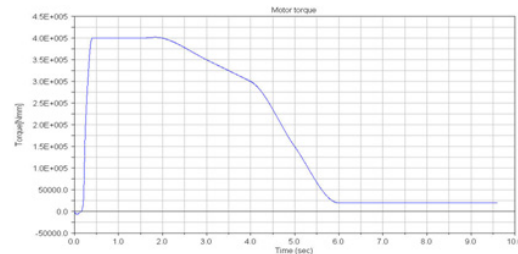


Fig. 11 Torque of the HEV powertrain in motor mode

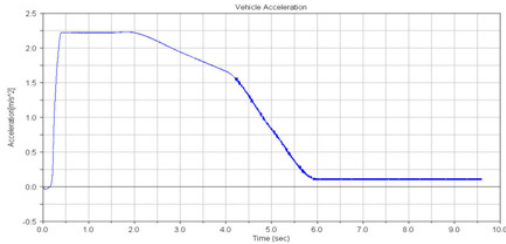


Fig. 12 Acceleration of the vehicle in motor starting

2.3.5 희생제동 모드

희생제동은 차량이 감속할 때나 내리막길 주행시와 같이 음의 출력 토크가 요구될 때 모터를 사용하여 제동에너지를 흡수하는 것을 뜻한다. 이 때 최대한 많은 에너지를 흡수하기 위해서는 관성에 의한 에너지 소비를 줄일 필요가 있는데, 클러치가 있는 차량에서는 클러치를 해제함으로써 엔진을 출력축으로부터 분리한다. 이 과정에서 과도충격이 발생하게 된다.

클러치가 없고 유성기어를 사용하는 시스템에서는 엔진 관성에 의한 에너지 손실을 줄이기 위해 엔진속도를 0이 되도록 제어한다. 제동 에너지가 요구될 경우 제너레이터 속도 제어에 의해 엔진속도가 감속되고, 아이들 속도 이하로 속도가 낮아졌을 때 연료공급이 중단되어 최종적으로 엔진속도가 0이 된다. 희생제동이 끝나면 제너레이터에 의해 엔진 속도가 높아지고 다시 엔진이 켜진다. 이때 엔진 정지와 기동 과정에서 과도충격이 발생하게 된다. Fig. 13과 Fig. 14에 나타난 관련 시뮬레이션 결과에서 엔진을 정지시키기 위한 제너레이터의 급격한 회전 증가와 모터의 역토크 입력에 의하여 짧은 시간동안의 급격한 가속도 변화가 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

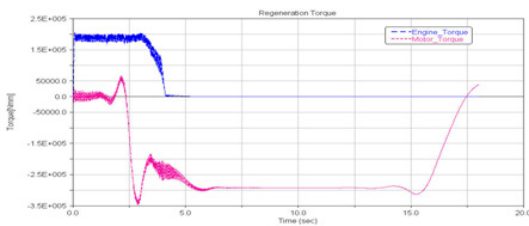


Fig. 13 Torque of the HEV powertrain in regeneration mode

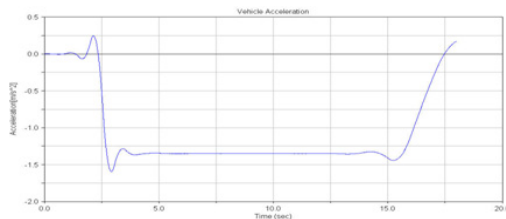


Fig. 14 Acceleration of the vehicle

3. 결론

본 논문에서는 하이브리드 자동차의 승차감과 관련하여 변속 품질과 모드 변환 품질을 개선하기 위해 무엇을 살펴보아야 하는지를 고찰하였다. 이로부터 우리는 탑승자가 느끼는 승차감 개선 방안들을 생각해낼 수 있다.

1) 직렬형 하이브리드 자동차는 변속을 모터가 담당하므로 변속 품질은 다른 구조에 비해 양호할 수 있다. 따라서 엔진 기동과 정지에 따르는 과도충격을 줄이는 방향으로 나아가야 한다.

2) 병렬형 하이브리드 자동차는 일반적인 가솔린 자동차와 유사한 구조를 가지므로 기존의 변속 품질 개선을 위한 방안들을 마찬가지로 적용시킬 수 있다. 다만 모터가 추가되면서 모드 변환이 생기므로 각 모드 변환시의 과도충격도 줄여야 하겠다.

3) 동력 분기형 하이브리드 자동차는 변속을 유성 기어가 담당하여 CVT와 유사한 효과를 내므로, 변속 품질보다는 상대적으로 모드 변환 품질을 개선하여 과도충격을 줄이도록 노력해야 하겠다.

References

- [1] M. Ehsani, Y. Gao, S. E. Gay, A. Emadi, 2005, "Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles", CRC PRESS
- [2] AVL, 2007, "AVL-DRIVE Advanced Function Description", AVL
- [3] D. H. Lee, H. R. Yang, Y. I. Park, S. W. Cha, 2007, "Dynamic analysis of planetary gear hybrid powertrain with changing of mode", KSAE
- [4] J. H. Kong, J. H. Park, J. Y. Kim, W. S. Lim, Y. I. Park, J. M. Lee, 2004, "Analysis of the shifting transients from the passenger car with an automatic transmission considering the vehicle model", KSAE
- [5] J. K. Ahn, D. H. Kim, K. H. Jung, H. B. Jin, B. Y. Koo, H. S. Kim, S. H. Hwang, 2006, "Response characteristics of hybrid vehicles with respect to transmission type at changing mode", KSAE