

PSIM 기반의 THS-II 추진 시스템 모델링

배태석*, 최재호*, 임덕영**
충북대학교*, LS산전**

PSIM based Modeling of THS-II propulsion system

Taesusuk Bae*, Jaeho Choi*, Deokyoung Lim**
Chungbuk National University*, LSIS Co. Ltd.**

ABSTRACT

본 논문에서는 2세대 Toyota Prius의 파워트레인 구성요소의 모델링과 THS II의 추진 시스템 해석에 대하여 기술한다. 내연기관, 전동기, Energy Storage System(ESS)과 같은 구성요소들의 정격은 에너지 개념과 Electrical Peaking Hybrid (ELPH)를 이용하여 설계 하였다. PSIM을 사용하여 모델링 하였으며 시뮬레이션 결과를 통하여 설계된 시뮬레이터의 타당성을 입증하였다.

1. 서론

하이브리드 자동차는 자동차 추진에 두 개 이상의 에너지원을 사용함으로써 기존의 내연기관 자동차 대비 적은 배기가스와 높은 에너지 효율을 가질 수 있으며 전기자동차의 단점인 운행거리 제약을 극복할 수 있다.

1997년 세계 최초 사용화에 성공한 Toyota 하이브리드 자동차는 독특한 자신들만의 동력전달 구조(THS)를 개발하여 직병렬 복합형 하이브리드를 구현할 수 있도록 설계하였다. Toyota Prius에 장착한 THS는 유성기어의 각 축에 엔진, 발전기, 모터를 배치하여 무단 변속 및 구동 모드 전환이 가능하도록 하였다.^[1]

본 논문에서는 이러한 THS의 동력 전달 구조를 모델링하고 시스템의 동특성을 분석하였다. 동특성 분석을 위해 전력전자 분야에서 널리 사용되고 있는 시뮬레이션 툴인 PSIM을 사용하여 모델링 하였다.

2. 구성요소 모델링^[2]

2.1 내연기관 모델링

내연기관은 최대 57kW 6000RPM의 출력을 가지며 속도 파워 특성과 속도 토크 특성을 Look up table화 하여 시뮬레이션에 사용 하였다. PSIM에서 내연기관이 기본 라이브러리로 제공되지 않기 때문에 DC전동기를 사용하여 내연기관을 모델링 하였다.

2.2 발전기/컨버터

발전기(Generator)는 40kW 2Pole PMSG를 사용하였으며 발전기 축은 유성기어의 선 기어에 기계적으로 연결된다. 발전기

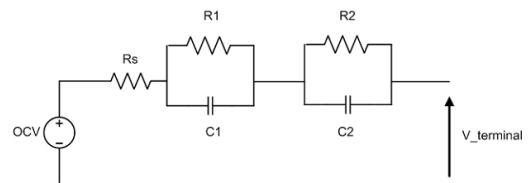


그림 1 배터리 모델
Fig. 1 Battery model

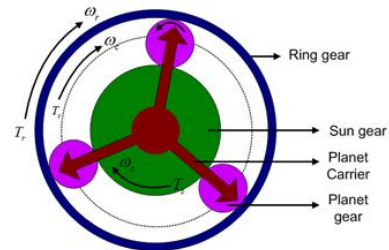


그림 2 유성기어 모델
Fig. 2 Planetary gear model

의 교류 전력을 직류단 (DC Link)로 전달하기 위해 발전기와 직류단 캐패시터 사이에 6개의 IGBT로 구성된 3상 PWM 컨버터가 사용 되었다.

2.3 배터리

배터리는 Enertech, SPB90210260V1 40Ah (Peak : 4.2V, Normal : 3.7V) 리튬 폴리머 배터리의 평균 모델을 사용하였다. 배터리 모델은 그림 1과 같이 하나의 직렬 저항과 두 개의 RC 네트워크를 가지며 각 파라미터 값들은 0.25C 충전 데이터와 0.5C 방전 데이터를 기준으로 추출하였다. 배터리 파라미터들은 충전과 방전 및 잔존용량(SOC)에 따라서 달라질 수 있지만 본 논문에서는 0.25C와 0.5C의 충전과 방전시에 배터리 잔존용량에 따른(0~100%) 각 파라미터 데이터들을 평균하여 일정하게 설정하였다.

2.4 전동기/인버터

하이브리드 자동차의 구동을 위한 전동기는 50kW 급의 영구자석 동기전동기를 사용하였다. 영구자석 동기전동기는 회전자 손실이 없어 효율이 좋으며 고출력 밀도를 가지고 있어 전동기 중량에 대한 토크 비가 크기 때문에 전동기의 경량화와

고출력을 필요로 하는 전기자동차 및 하이브리드 자동차 분야에서 사용이 증가되고 있다. 전동기 구동을 위한 인버터는 6개의 IGBT를 사용한 3상 모델을 사용하며 공간벡터 전압변조 방식으로 VVVV를 구현하였다.

2.5 유성기어

그림 2는 시뮬레이터에 사용된 유성기어 모델을 보여준다. 그림에 보여 지듯이 유성기어는 캐리어와 선 기어와 링 기어 및 유성 기어로 구성된다. 유성기어는 캐리어에 내연기관이 선 기어에 발전기가 링 기어에 전동기가 기계적으로 연결되어 내연기관의 출력 토크가 전동기와 발전기로 분배 되도록 함으로써 직병렬 혼합형 파워트레인 구성이 가능하도록 해준다.

유성기어 및 다른 파워트레인의 구조는 그림 3과 같다. 차량 구동을 위한 파워는 엔진 혹은 배터리의 출력을 거쳐 최종적으로 감속기어를 통해 구동축으로 전달된다.

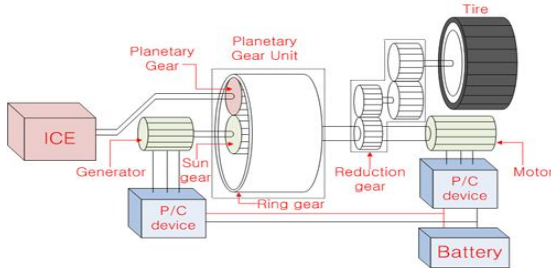


그림 3 THS-II 추진시스템

Fig. 3 THS-II propulsion system

3. 시뮬레이션 결과

그림 4의 (a), (b), (c)는 유성기어의 결과 그래프를 보여준다. 시뮬레이션은 총 32초간 진행되며 25초까지는 가속, 25-30초는 감속(회생제동)되며 그 후 최종적으로 정지된다. 운전전략은 0-2.1초는 EV모드, 2.1-9.8초까지는 엔진 모드, 9.8-25초까지는 HEV모드, 그리고 25-30초까지는 회생제동 모드로 동작한다. EV모드에서는 배터리파워를 이용한 전동기의 출력만으로 필요한 구동력을 얻는다. 자동차에서 요구되는 구동력이 12kW가 넘는 지점(2.1초)부터 전동기의 구동력만으로는 부족하므로 선 기어 속도제어에 의해 캐리어가 회전하기 시작하며 이때 엔진이 투입되고, 배터리에서는 더 이상 출력을 하지 않는다(엔진 모드). 약 9.8초 부근부터 엔진의 회전속도는 최고속도에 도달하여 정격 파워에 도달하기 때문에 배터리가 투입되며, 링 기어의 속도 증가에 따른 속도관계식으로 부터 선 기어의 속도는 감소하기 시작한다. 25초부터 회생제동이 시작되며, 선 기어의 속도제어에 의해 캐리어가 서서히 정지되어 지고, 30초부터 차량이 완전히 정지하게 된다.

그림 5는 구동력과 엔진 출력을 보여준다. 그림에 보이듯이 EV모드와 회생제동 구간에서는 엔진은 동작하지 않고 엔진모드와 하이브리드 모드 구간에서만 동작하는 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 구동력과 배터리 출력을 보여준다. 그림에 보이듯이 EV모드와 하이브리드 모드에서만 배터리는 방전을 하며 엔진 모드에서는 동작하지 않는 것을 확인할 수 있다. 회생제동 구간에서는 배터리 출력과위의 극성이 반대가 되면서 배터리를 충전하는 것을 확인할 수 있다.

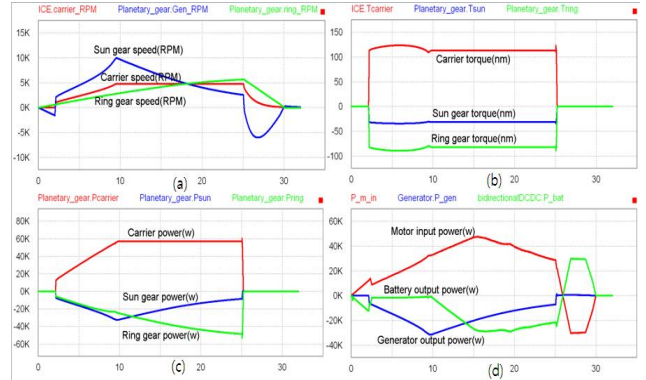


그림 4 유성기어의 (a)속도, (b)토크, (c)파워, (d)전동기 입력전력과 발전기 출력전력 및 배터리팩 출력전력
Fig. 4 Planetary gear unit (a)speed, (b)torque, (c)power, (d)motor input power, generator and battery output power

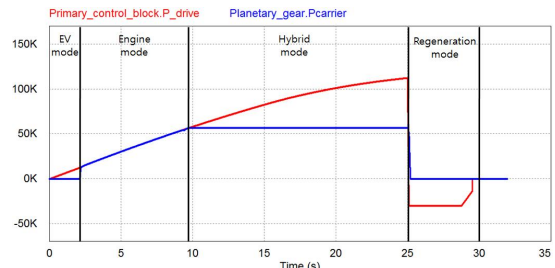


그림 5 구동력과 엔진 출력

Fig. 5 Propulsion power and engine power

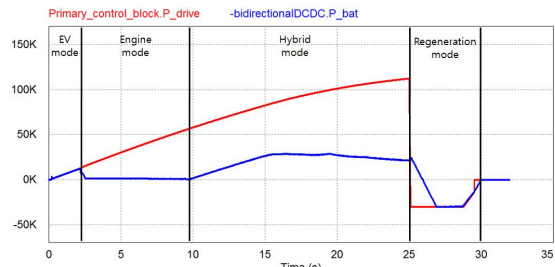


그림 6 구동력과 배터리 출력

Fig. 6 Propulsion power and battery power

4. 결론

본 논문에서는 도요타 프리우스의 THS II 추진 시스템을 모델링하고 시뮬레이터를 구성하여 파워트레인의 동작 특성을 파악하였다. 실제 차량에 사용되는 각 모델들의 정격 값을 바탕으로 PSIM 시뮬레이터를 구성하였으며 시뮬레이션 결과를 통하여 설계된 시뮬레이터의 타당성을 검증 하였다.

참고 문헌

[1] 윤원석, 조성태, 임원식, 박영일, 이장무, "도요타 하이브리드 시스템의 동력 성능 해석", 한국자동차공학회 2004년 추계학술 대회 논문집 Vol. III, pp. 1244-1249, 10 2004.
[2] Deokyoung Lim, Novie Ayub Windarko, Jaeho Choi, "PSIM based dynamic simulator for analysis of SPHEV operation", Power Electronics and Applications(EPE 2011), pp. 1-11, September 2011.