

Power Split Type HEV 차량 정속주행시 전기동력부품 성능특성

김 채 원*

전북대학교 기계항공시스템공학부

Performance Characteristics of Electric Powertrain Parts for Power Split Type HEV at Steady Speed

Chaiwon Kim*

Department of Mechanical & Aerospace system Engineering, Chonbuk National University, Jeonbuk 561-756, Korea
(Received 6 September 2006 / Accepted 18 December 2006)

Abstract : This paper studied performance characteristics of hybrid automotive to replace existing fossil fuel vehicles. Specially, about power split type HEV that is T-HEV's drive system when a vehicle drives at steady speed, monitored both output of each engine, motor and generator and battery SOC (state of charge) and analyzed performance characteristic of power transmission system and electricity power parts. This study shows those that acquired and analyzed information from signals between HCU and each controller of actual T- vehicle. From this study, it is confirmed that each conditions of EV and HEV drive can be a improvement with respect to the fuel efficiency of vehicles.

Key words : Power split type(유성기어 적용 속도가변형 무단변속시스템), HEV(하이브리드 전기자동차), EV(전기자동차), HCU(하이브리드 콘트롤 유닛), Battery SOC(State of Charge, 배터리 충전율)

1. 서 론

최근 국제사회에 악재가 겹쳐 국제유가가 연일 최고치를 경신하고 있으며, 이에 자동차산업을 비롯한 사회 대부분의 산업이 큰 타격을 받고 있다. 자동차산업은 70년대 석유파동을 전후로 자동차에 대한 연비 절감 및 배기가스 감소에 대한 요구가 증대되어 선진국에서는 화석연료의 사용을 줄이는 새로운 형태의 자동차를 선보이기 위해 노력해 왔다. 환경친화자동차, 대체연료자동차, 하이브리드 자동차, 연료전지자동차등의 연구가 활발히 진행되어 왔다.¹⁾

전기자동차는 배터리를 동력원으로 하여 전기모

터로 구동하는 방식으로 영국에서 처음 제작되었으며 내연기관을 장착한 기존차량에 비하여 성능이 현저하게 떨어져 그동안 사장되어 왔다. 그러나 최근 환경문제에 대한 사회적 요구와 기술의 진보에 따라서 다시 연구되기 시작하였으며 90년대에 전기자동차를 출시하였으나 배터리에 의한 주행거리의 한계와 에너지저장의 한계, 배터리의 과중한 무게라는 과제는 여전히 안고 있다.

향후 기존차량을 대체할 차량으로 무공해 연료전지자동차(FCV, Fuel Cell Vehicle)가 유력하다. 하지만 FCV는 막대한 개발비와 인프라 투자 때문에 아직 실용화는 어려운 실정이다. 이에 연료전지자동차로 가는 중간단계에 있는 하이브리드자동차(HEV, Hybrid Electric Vehicle)의 개발경쟁이 치열하다.

*Corresponding author, E-mail: cwkim@chonbuk.ac.kr

1997년 Toyota사는 Power Split Type의 하이브리드 시스템(THS)을 적용한 P 차량을 양산하였다. 기존 수동변속기 차량에 모터 및 배터리를 추가함으로써 MT-HEV 자동차를 구현할 수 있으며, 대표적 차량으로는 Honda의 I차를 들 수 있다. Honda는 Toyota 보다 2년 뒤인 1999년부터 HEV를 양산하였다. 이는 연비가 좋은 자동차로 선정되는 등 가능성이 있지만 편의성, 승차감, 운전자의 운전특성에 따른 회생제동량 차이등의 문제가 있어 CVT 모델로 전환되는 추세다. Toyota는 2004년에는 THS의 성능을 개선한 THS-II를 적용한 04년형 P 차량을 판매하였다. 전기동력 부품 측면에서 THS 대비 THS-II의 주요 개선 내용은 시스템 전압을 500V까지 승압할 수 있는 Boost 컨버터를 채택함으로써 모터의 출력 및 효율 향상을 도모하였다.²⁾

HEV는 직·병렬 그리고 다시 1축, 2축으로 나뉘어져 여러 방식이 존재하며 그중 T사가 처음 채택하여 사용한 유성기어(planetary gear) 방식의 HEV에 대해 활발히 연구되고 있다. 차량의 성능향상을 위한 기계적 장치 및 각종 로직의 개발, 그리고 배터리 관리 시스템 개발 등이 연구되고 있다.³⁻⁵⁾

본 연구는 유성기어 적용 속도가변형 무단변속 시스템인 Power Split Type HEV의 주행상태 제어에 대해 차량정속주행시 엔진, 모터, 발전기 각각의 출력(속도 및 토크) 및 배터리상태(SOC, Battery State of Charge)를 모니터링하여 동력전달시스템 및 전기동력부품의 성능특성을 분석하고자 하였다.

2. 대상차량의 구동 및 시험

2.1 Power Split Type HEV

Power Split Type HEV 시스템은 그림 1과 같이 유성기어를 이용하여 차량의 속도를 가변할 수 있는 무단변속 시스템으로 유성기어의 캐리어 축에 엔진 크랭크샤프트가 연결되어 있으며, 선 기어에 발전기(generator, MG1), 그리고 링 기어에 모터가 연결되어 있으며, 최종적으로 링기어에 결합된 종감속기(차동기어 포함)에 의해 구동에 필요한 토크(엔진 및 모터에서 발생)가 드라이브 샤프트에 전달하게 된다.

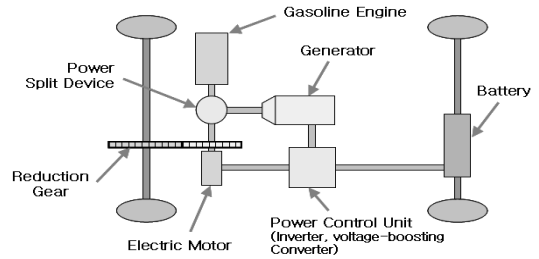


Fig. 1 Hybrid system of T(THS-II) powertrain¹⁾

일반적으로 정상상태에서의 각 유성기어 요소(선기어, 링기어, 캐리어)의 속도관계식과 토크관계는 식 (1), (2)와 같으며 그림 2에 개략도를 나타내었다.

$$(1 + \rho)\omega_{carrier} - \rho\omega_{sun} - \omega_{ring} = 0 \quad (1)$$

$$T_{carrier} = (1 + \rho) \cdot T_{ring} \quad (2)$$

$$T_{sun} = \rho \cdot T_{ring}$$

여기서, ρ 는 유성기어비(선기어잇수/링기어잇수)이다.

속도관계식에서 알 수 있듯이 유성기어의 3요소 중 2가지 요소를 컨트롤하여 모터 속도를 제어할 수 있다. 즉 모터(링기어)와 종감속기에 연결된 드라이브 샤프트속도(차속)를 변속할 수 있는 구조이므로 Power Split Type에서는 이러한 유성기어의 원리에 의해 그림 3과 같이 엔진이 정지된 상태에서 모터에서 발생하는 토크만으로 차량을 구동하는 EV구동이 가능하다.

일반적으로 HEV 모드 운전시(엔진 ON상태)에서는 주행조건은 Normal Energy Flow, Energy Recirculation으로 시스템이 동작하게 된다.

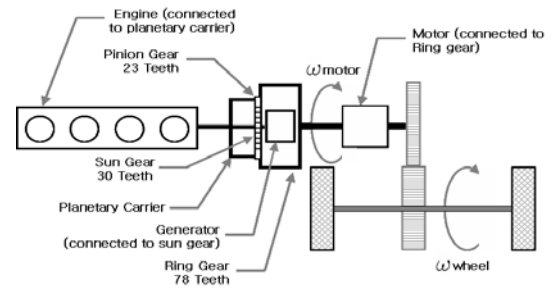
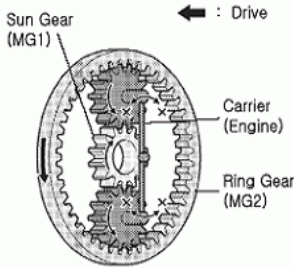
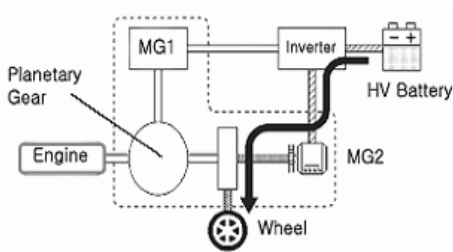


Fig. 2 An alternate view of the THS-II powertrain



Nomographic Chart of Planetary Gear Unit

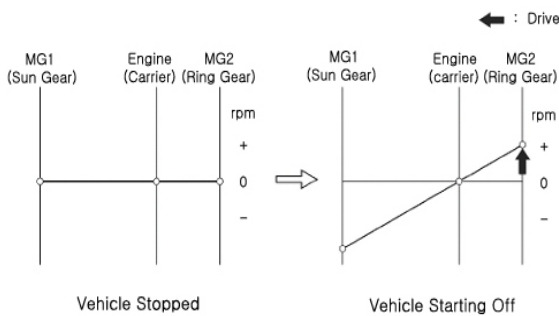


Fig. 3 Energy flow of EV driving

Normal Energy Flow 모드에서는 엔진에서 생성되는 기계에너지(토크)중 약 28%가 선기어에 전달되고 선기어에 연결된 발전기에 의해 전달된 기계에너지를 전기에너지로 변환시킨다. 다시 전기에너지를 모터가 기계에너지로 변환하여 차량을 구동시키게 된다.

Energy Re-Circulation Flow에서는 Normal Energy Flow와 달리 모터와 발전기의 역할을 반대로 행하므로서 모터에서 발전을 하고 발전기에서 구동토크를 보조하게 된다.

2.2 시험방법

실제 P 차량의 HCU(Hybrid Control Unit)와 각 제

어기(모터인버터, 엔진제어기, 배터리 제어기)로 지령되는 디지털 신호인 CAN(Controller Area Network)데이터를 분석하고 엔진/모터/발전기 각각에 대한 속도 및 토크 그리고 배터리 제어기로부터 HCU로 전달되는 배터리 SOC 정보를 취득하여 사용하였다. 배터리 출력은 배터리 파워케이블에 전류/전압센서를 장착 후 디지털 파워미터를 이용하여 데이터를 수집하였다.

SOC데이터는 현재 배터리가 보유하고 있는 저장 에너지(Ah:암페어×시간)를 정확히 계산하는 것이다. 이를 위하여 전류센서 자체의 정밀도에 의한 측정오차 누적, 충·방전시 배터리 효율에 의한 에너지 손실발생, 사용환경(온도 등)에 따른 배터리 자체의 용량특성 변화 등을 고려한 특허시스템⁶⁾을 이용하였다.

데이터 분석방법은 엔진, 모터 그리고 발전기는 속도와 토크 정보를 받아 출력을 계산하였으며, 배터리 출력은 전류와 전압으로 계산하였다. 정속주행 시험조건은 차속을 16km/h ~ 96km/h의 범위에서 16km/h(10MP H)씩 변화시켰고 등판각도는 0~8%까지 2%씩 증가시켜 시험하였다.

3. 전기동력부품의 성능특성

Power Split Type 하이브리드시스템에서 차량 주행시 상기와 같이 주행조건에 따라 HEV시스템(엔진+모터+발전기) 효율이 최대가 되도록 주행 제어 전략을 수행하고 있으며, 본 시험에서는 차량 정속주행시의 엔진, 모터, 발전기 각각의 출력(속도 및 토크) 및 배터리 상태를 모니터링하여 주행제어전략에 대해 검토하였다.

정속 주행시 Power Split Type 하이브리드 차량은 배터리 SOC에 따라 에너지를 배터리로 하여 모터 동력만으로 주행하는 EV 주행 및 엔진과 모터동력을 이용하는 HEV 주행을 반복하게 된다.

표 1과 2는 각각 평탄지와 6% 등판각을 갖는 조건에서의 등판각도별 정속주행시 각 동력부품의 토크 변화와 속도별 주행모드 및 SOC 변화를 나타내고 표 3은 본 실험 조건하의 속도와 등판각도별 주행모드를 보기 쉽게 정리하였다.

Table 1 Steady speed driving on the flat

		16 km/h		32 km/h		48 km/h		64 km/h		80 km/h	
		EV Mode	HEV Mode	EV	HEV	EV	HEV	EV	HEV	EV	HEV
		dis-charge	charge	dis-charge	charge	dis-charge	charge	dis-charge	charge	dis-charge	charge
the number of revolution (rpm)	engine	0	1260	0	1420	0	1230	0	1900	1070 → 1200	1295
	motor	580	580	1160	1160	1740	1740	2320	2320	2900	2900
torque (Nm)	generator	-1510	3030	-3020	2090	-4550	-120	-6060	-1380	-3690 → -3220	-2880
	motor	8	-30	6.3	-26	8	-38	13.5	-32	26 → -16	-28
power (kW)	generator	0	-14	0	-12	0	-19.5	0	-18	0 → -13	-18.5
	motor	0.5	-1.9	0.8	-3.3	1.4	-6.5	3	-7.8	6.1 → -4.8	-8.6
Holding time(sec)	generator	0	-4.3	0	-2.6	0	0.2	0	2.5	0 → 4.4	5.5
	battery	0.8	-5.4	1.2	-5	2.6	-5.4	4.8	-3.5	7.7 → 1.4	-1.4
SOC change (%)		43 ↔ 53		45 ↔ 53		46 ↔ 58		50 ↔ 74		63 ↔ 74	

Table 2 6% Grade driving

		16 km/h		32 km/h		48 km/h		64 km/h		80 km/h		96 km/h	
		EV Mode	HEV Mode	EV	HEV	EV	HEV	EV	HEV	EV	HEV	EV	HEV
		dis-charge	charge	charge	charge	charge	charge	charge	charge	charge	charge	charge	charge
the number of revolution (rpm)	engine	0	1200	1350	2320 → 1790	2010	2600 → 2490	3190 → 3130					
	motor	580	580	1160	1740	2320	2900	3480					
torque (Nm)	generator	-1510	2810	1840	3820 → 1920	1200	1820 → 1420	2430 → 2220					
	engine	0	70 → 48.8	76.5	95 → 84	97	113	114					
power (kW)	motor	72	25 → 43	20	16	9	9	12.5					
	generator	0	-18 → -13	-20	-26 → -23	-27	-30	-30					
Holding time(sec)	engine	0	8.5 → 6.2	11	23 → 15.7	20.5	31 → 29	38 → 37					
	motor	4.4	1.5 → 2.3	2.4	2.9	2.2	2.8	4.5					
SOC change (%)	generator	0	-5.3 → -3.4	-3.7	-10 → -4.5	-3.3	-5.7 → -4.3	-8.1 → -7.4					
	battery	5.4	-2.4 → 0	0	-4.8 → -0.4	0.1	-1.4 → 0	-2 → 0					

Table 3 Existing area of EV mode during steady speed driving

	18 km/h	32 km/h	48 km/h	64 km/h	80 km/h	96 km/h
0% grade	EV + HEV	EV + HEV	EV + HEV	EV + HEV	HEV	HEV
2% grade	EV + HEV	EV + HEV	HEV	HEV	HEV	HEV
4% grade	EV + HEV	HEV	HEV	HEV	HEV	HEV
6% grade	EV + HEV	HEV	HEV	HEV	HEV	HEV
8% grade	EV + HEV	HEV	HEV	HEV	HEV	HEV

그림 4는 32km/h, 평탄로 정속주행조건에서 엔진, 모터, 발전기의 출력과 배터리 SOC 그리고 주행 특성간의 관계를 나타낸 그래프로 배터리 SOC가 일정 수준 이상(차량 시험 결과 약 53~70%)에서는 EV 주행을 지속하게 되며 이후 배터리는 방전 상태이므로 SOC가 낮아져 SOC가 약 45%에 도달하면 엔진을 크랭킹하여 차량은 HEV 주행상태가 되고 엔진 동력에 의해 정속주행이 지속됨을 알 수 있다. 엔진 동력중 주행에 소요되고 남은 동력을 이용하여 모터 또는 발전기에 의해 엔진 동력을 전기에너지로 변환하여 배터리를 SOC가 일정 수준에 도달

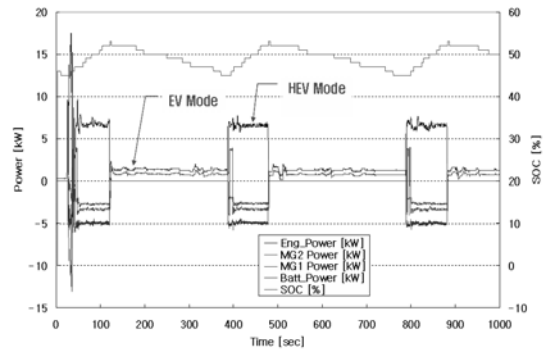


Fig. 4 Power of parts during steady speed driving(engine, motor, generator)

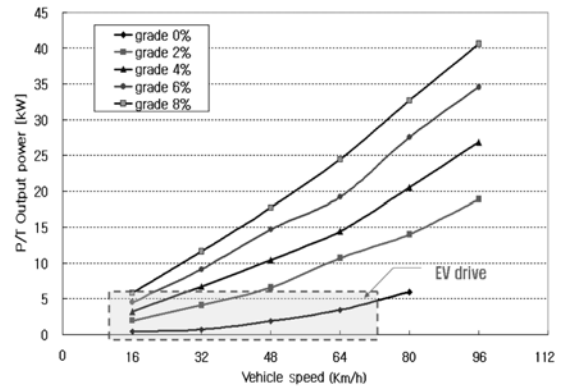


Fig. 5 Powertrain output power during steady speed driving

할 때까지 충전하게 되며 이것은 주행상태에 따른 시스템 효율에 의해 결정된다.

또 SOC외에 파워트레인 시스템의 출력과 차량속도, 등판각도와와의 관계를 정리한 그림 5에서 출력이 6kW이하 인 영역에서 EV주행모드로 전환됨을 알 수 있었으며 여기서 파워트레인 시스템의 출력은 식 (1), (2)의 관계를 사용하여 엔진토크, 발전기토크, 모터토크와 모터속도로부터 얻었다.

그림 6은 정속주행에서 HEV 운전시 파워트레인 시스템은 엔진의 요구 동력을 만족하면서 연료소비를 최소화 하는 엔진의 basic operation line 및 배터리 SOC 상태를 고려하여 Normal Energy Flow 또는 Energy Re-Circulation 모드로 동작함을 나타내고 있다. 또한 본 연구에서 측정된 데이터가 Toyota사의 SAE보고서의²⁾ 데이터와도 일치함을 알 수 있다. 그림 3에서와 같이 0~4% 등판각도내에서 주행할 경우 Energy Re-Circulation 구동(MG2-발전, MG1-구동)

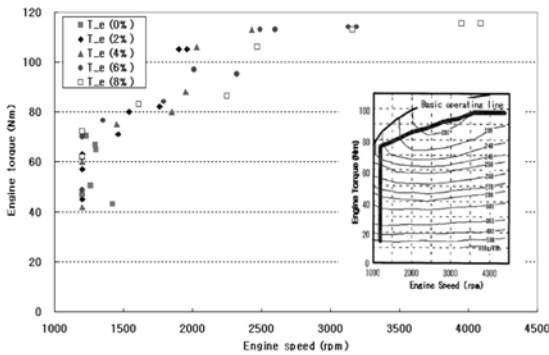


Fig. 6 Powertrain system control

을, 6~8% 등판각에서는 Normal Energy Flow 모드로 구동(MG1-발전, MG2-구동)함을 보여주고 있다.

위의 시험결과들에서 배터리시스템 관점으로 보면 HEV 차량의 연비를 향상시키기 위해서 EV 주행 및 HEV 주행을 반복하게 되는데 이를 결정하는 인자중의 중요한 요소가 배터리 상태(SOC) 이므로 배터리시스템의 상태를 SOC가 얼마나 정확히 추종할 수 있는지가 관건이다.

4. 결론

본 연구는 HEV시스템 효율의 최적화를 도모하기 위한 것으로 실제 P 차량에 대한 HEV시스템 주행제어 방법을 확인하기 위해 Power Split HEV 차량의 정속주행시 엔진, 모터, 발전기 각각의 출력 및 배터리 상태를 모니터링 하여 P/T시스템 및 전기동력부품 성능특성에 대한 정보와 함께 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 정속주행시 P/T시스템의 출력이 6kW이하이면서 배터리 SOC상태가 45% 이상인 조건에서 EV 주행이 이루어졌다.
- 2) 정속주행에서 HEV 운전시 P/T 시스템은 엔진의 basic operation line 및 배터리 SOC 상태를 고려하였을때 등판각도 0~4% grade에서는 Energy Recirculation 모드로, 6~8% grade에서는 Normal

Energy Flow 모드로 동작하였다.

- 3) HEV 차량의 연비 향상을 위해서는 배터리 고용량화를 통한 EV 주행영역(엔진 off 영역)의 확대 및 시스템을 최적 운전점으로 제어하기 위해 배터리 상태를 정확하게 추종 가능한 SOC 예측 알고리즘 개발이 중요하다.

후 기

본 연구는 전북대학교 NURI사업단 산학연 공동 기술개발사업의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- 1) N. J. Woo, "Trend of 2005 Environmental Technology Vehicle in Japan," Journal of KSAE, Vol.28, No.1, pp.54-57, 2006.
- 2) K. Muta, M. Yamazaki and J. Tokieda, "Development of New-Generation Hybrid System THS II Drastic Important of Power Performance and Fuel Economy," SAE 2004-01-0064, 2004.
- 3) J. H. Nam, J. H. Chio, S. J. Kim, H. S. Hwang and J. W. Kim, "A Study on SOC Algorithm and Design of Battery ECU for Hybrid Electric Vehicle," KIPE, Vol.9, No.4, pp.319-325, 2004.
- 4) S. M. Lee, K. C. Oh, J. M. Kim and H. S. Kim, "Development of HEV Power Mixing Unit Using Planetary Gear," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.1443-1448, 2005.
- 5) J. G. Ahn, D. H. Kim, H. Yeo, G. H. Jung, S. B. Kim, H. S. Kim and S. H. Hwang, "Development of Regenerative Braking Control Algorithm for Hybrid Electric Vehicles with Planetary Gear," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.1424-1430, 2005.
- 6) SANYO Patent(2002-84666) and POWER-LOGICS Patent(10-2004-0110029).