

## 일정 엔진출력/가변 전지 출력으로 구동되는 직렬형 HEV의 연계운전 방안

朴永洙, 許珉鎬, 安在榮, 姜信永, 金堯憲

### A driving scheme with a constant engine power and variable battery power in series HEV

Young-Su Park, Min-Ho Heo, Jae-Young Ahn, Sin-Young Kang, Kwang-Heon Kim

#### 요약

본 논문에서는 기존 HEV의 단점을 보완한 일정 엔진-발전기 출력/가변 전지 출력의 직렬형 HEV를 제안하고 직렬형 HEV 등가실험장치를 구성하였다. 제안된 연계운전방식은 엔진/발전기 출력을 일정하게 유지해서 전동기에서 요구하는 출력이 발전기를 출력보다 크면 전지에서 방전을 하고 전동기에서 요구하는 출력이 발전기 출력보다 작으면 전지에 충전을 하게된다. 내연기관 시뮬레이션과 로드 프로파일을 통한 실험결과로부터 적은 배기가스 방출량과 높은 에너지 효율을 갖는 직렬형 HEV 최적운전방식으로 이용될 수 있음을 증명하였다.

#### ABSTRACT

In this paper, proposed the series HEV have a constant engine-generator output/variable battery output for supplementation of demerits in conventional series HEV and made a equivalent series HEV system. In this a new driving control method, the engine/generator is driven at constant speed. So, if the required power of motor is larger than generator output power, the battery discharges, and if the power of motor is smaller than generator output power, the battery charges. Proposed driving control method is used to optimal driving method of series HEV have a low emission and high efficiency through the experimental results of ICE simulation and load profile.

**Key Words** : Series Hybrid Electric Vehicle, Ni-MH Battery, Low Emission, High Efficiency

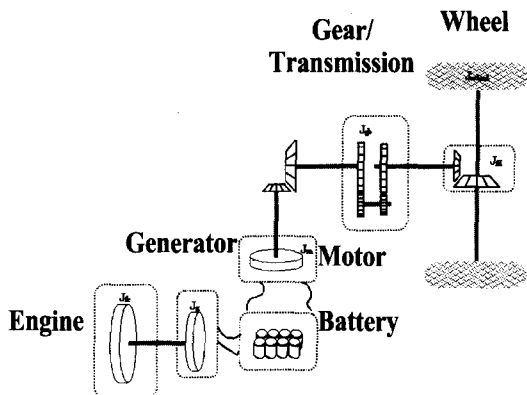
### 1. 서론

현재 선진국들을 비롯한 각국의 환경규제의 강화와 전지 관련 기술의 발달로 전기자동차(Electric Vehicle)에 대한 관심이 고조되고 전기에너지는 가솔린 자동차의 연료비에 대해 약 1/10정도로 매우 경제적으로, 에너지 측면뿐만 아니라 환경 친화적인 측면도 전기자동차를 보급해야 하는 중요한 이유가 된다<sup>[1]</sup>.

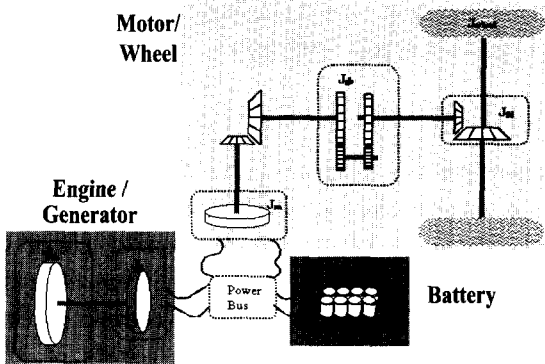
그러나, 현재의 전기자동차의 가장 큰 단점인 일회 충전 주행거리가 짧다는 단점을 보완하고 있다는 점에서 하이브리드 전기자동차(Hybrid Electric Vehicle)가 실용화 운행되기 시작하였다. HEV는 단순히 전기자동차의 일회충전 주행거리를 연장 할 수 있는 것 이외에

도 내연기관 자동차의 연비개선과 배기가스 저감등의 2가지 효과를 만족시킬 수 있다는 가능성을 고려하여 개발되고 있다. HEV는 파워 트레인(Power Train) 구성에 의해 여러 가지 형태로 분류되는데 크게는 직렬형과 병렬형으로 구분된다<sup>[2]</sup>. 엔진이 기동되거나 가감속시 효율이 나빠지고, CO와 NOx등의 공해물질이 증가하므로 엔진/발전기 출력을 일정하게 할 필요가 있다. 본 논문에서는 직렬형 HEV의 운전방식을 기존과 달리 엔진/발전기의 출력이 부하에서 요구되는 기저부하를 담당하게 하고 기저부하 이상에서는 전지전원이 필요에너지를 공급하도록 하는 연계운전 방식을 제안한다.

### 2. 제안된 직렬형 HEV



(a) 기존의 직렬형 HEV  
(a) Conventional series HEV



(b) 제안된 직렬형 HEV  
(b) Proposed series HEV

그림 1 기존의 직렬형 HEV와 제안된 HEV  
Fig. 1 Conventional series HEV and proposed series HEV

### 2.1 (엔진-발전기)/전지-전동기 연계운전의 새로운 직렬형 HEV

병렬형 HEV는 엔진과 전지로부터 동시에 전동기 구동력을 얻을 수 있는 방식으로 엔진과 모터가 소형화되고 자동차 제조사에서 쉽게 응용할 수 있지만 구동력을 전달하기 위한 별도의 구조가 필요하게 되고 무공해의 장점을 얻기가 어렵다.

그림 1(a)는 직렬형 HEV의 일반적인 구조를 나타낸다. 직렬형 HEV는 병렬형 HEV에 비해 순수 EV에 훨씬 근접한 구조로서 엔진-발전기/전지-모터의 효율적인 운전제어가 가능하며 전동기의 속도와 토크를 제

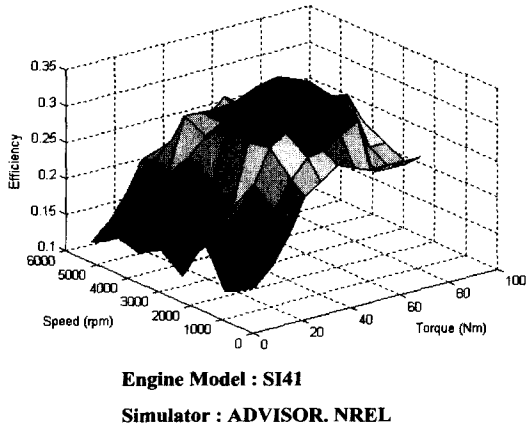
어함으로써 편리한 운전성 및 저공해성의 이점을 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나, 그림 (a)와 같이 직렬형 HEV의 구조상 엔진-발전기는 항상 전지를 충전시키고 전지의 출력이 모든 부하를 담당하는 구조이므로 전지 출력만으로 전동기를 구동하기 위해서는 전지 용량이 상대적으로 커야 하고, 차령구조에 제약은 받는다. 또한, 부하변동에 따라 전지의 충전전 전류가 불규칙하게 되고, 운전조건에 따라서는 전지에 과전류가 흘러 전지를 손상시키는 원인이 되고 있다<sup>[3][4]</sup>.

그림 (b)는 본 논문에서 제안하는 직렬형 HEV의 구조를 보여주고 있다. 엔진/발전기만으로도 전동기를 구동시킬 수 있으며, 전지와도 연계하여 전동기를 구동시킬 수 있는 구조로 되어 있다. 전지 전원 시스템과 엔진-발전기 시스템이 연계운전 되는 경우에는 엔진-발전기의 출력을 일정하게 하여 부하의 기저부분을 담당하게 되고, 기저부하 이상의 과부하를 전지가 담당하게 하는 방식이다. 엔진이 기동되거나 가속시에 엔진의 에너지 전달효율이 나빠지고, 기동시 총 배기가스의 80~90%를 발생한다는 측면에서 보면 엔진/발전기 출력을 일정하게 하는 것이 기존 직렬형 HEV 운전방식보다 유리하다. 기존의 방식에서는 엔진-발전기의 출력이 항상 전지를 충전시키는 상태에서 전지가 전동기의 모든 부하를 담당함으로써 충전전류가 동시에 일어나게 되나 제안된 방식에서는 각 운전 모드별로 충전상태와 방전상태가 구분되므로 충전전류가 동시에 일어나지 않게 되므로 충전전 제어에 필요한 OCV(Open Circuit Voltage), SOC(State of Charge) 및 충전전 전류의 정밀한 검출이 가능해지고 제어회로가 충전전 상태를 독립적으로 담당함으로써 회로가 비교적 간단해진다.

### 2.2 내연기관의 효율 및 배기가스량

그림 2(a)는 ADVISOR simulator를 이용한 일반적인 내연기관의 엔진속도와 토크에 대한 효율분포도를 나타내고 있다. 속도가 2500~3500[rpm], 토크는 50~60[Nm]의 범위에서 효율이 가장 좋게 나타나고 있다.

그림 2(b)에서 내연기관의 엔진속도가 2500~3500[rpm]에서 HC, CO와 NOx 배출량 모두 비교적 적다는 것을 볼 수 있다. 즉 엔진효율이 좋고, 배기가스 배출량이 적은 구간이 존재하므로 이 구간에서 엔진-발전기가 일정하게 운전되도록 하고 이에 해당하는 부하를 담당하도록 직렬형 HEV를 구성함으로써, 기존 직렬형 HEV의 단점들을 보완할 수 있을 것으로 생각한다.



(a) 엔진속도와 토크에 대한 효율  
(a) Efficiency for speed and torque in engine

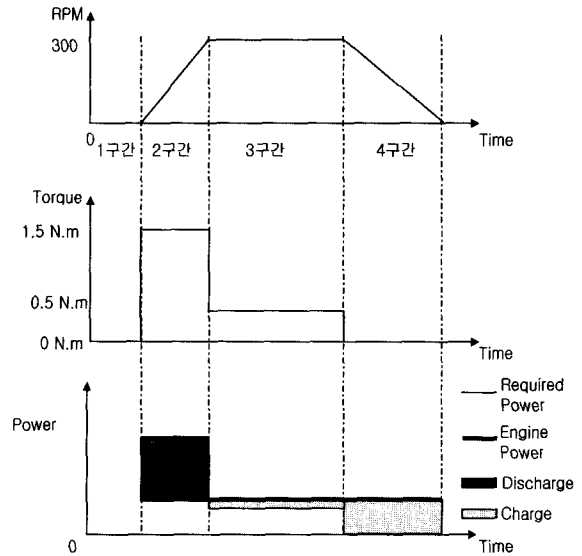
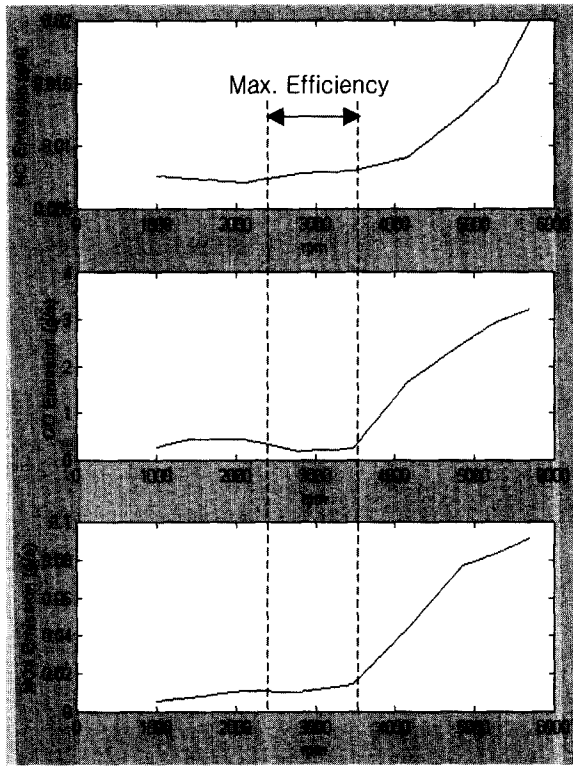


그림 3 4모드 프로파일에 의한 제안된 직렬형 HEV의 운전방식

Fig. 3 Driving method of proposed series HEV in Four mode profile



(b) SI41 엔진 속도에 대한 HC, CO, NOx 배출량  
(b) HC, CO and NOx emission with SI41 engine speed

그림 2 내연기관의 일반적인 효율과 배기가스량  
Fig. 2 General efficiency and emission of engine

### 2.3 직렬형 HEV 연계운전

4모드법의 운전 프로파일의 예를 그림 3에 나타낸다. 4모드법은 4개의 모드(정지, 가속, 정속, 감속)의 운전모드를 갖고 있다<sup>[3]</sup>. 제 2구간은 엔진-발전기와 전지로부터 동시에 에너지가 출력되는 구간이다. 3구간은 엔진-발전기의 출력 에너지만으로 전동기를 구동시키거나 남은 에너지를 전지로 충전을 한다. 제 4구간은 엔진-발전기의 모든 출력 에너지가 전지를 충전하는 구간이다.

## 3. 제안된 직렬형 HEV의 시뮬레이터 구성 및 실험결과

### 3.1 시뮬레이터 구성

그림 4는 본 논문에서 제안하는 일정 엔진-발전기 출력/가변 전지 출력의 직렬형 HEV에 대한 실험장치로, 크게 엔진-발전기, 전지, 전동기의 3부분으로 구성되어 있다. 이 논문에서는 내연기관의 엔진 대신 영구자석형 AC 서보전동기를 사용하였으며, 이와 기계적으로 연결된 발전기는 BLDC 발전기를 사용하였다. 전동기의 정격은 500[W], 2500[rpm], 1.9[N.m]이고, BLDCM

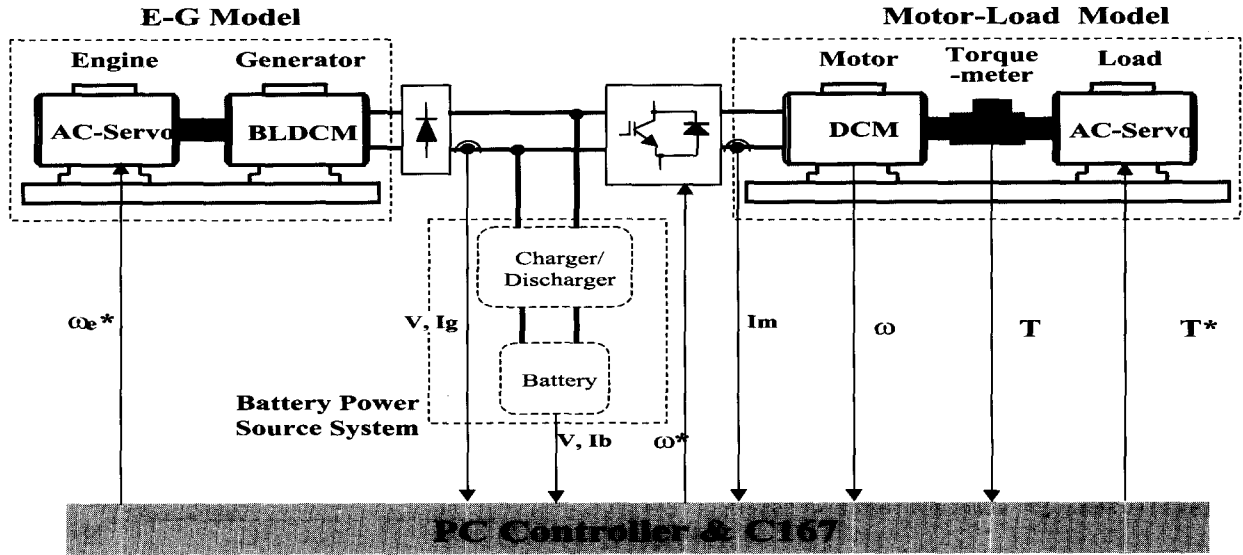


그림 4 제안된 직렬형 HEV의 시뮬레이터 구성  
 Fig. 4 Simulator configuration of the proposed series HEV

의 정격은 300[W], 2000[rpm], 111[V]이지만 전지전압을 고려하여 전동기는 최대 180[W], 1.5[N.m], 300[rpm]에서 BLDCM은 최대 72[W], 850[rpm], 24[V] 조건에서 실험하였다. Ni-MH 전지의 용량은 10.5[Ah]이고 단자전압은 12[V]이다. 실제 운전되는 HEV 시스템과는 발전기의 경우 277:1, 전지는 200:1, 전동기는 300:1의 관계를 가지고 있다.

발전기에서 발생된 3상 교류 또는 3상 AC 전력모선의 교류를 정류기를 통해 직류로 만들고 충전기를 거쳐 전지로, 초퍼를 거쳐 DC전동기로 전력을 공급하게 된다. DC전동기는 토크미터와 기계적으로 연결시켜 바퀴와 전동기에 걸리는 부하를 C167을 사용하여 제어하였고, 엔진-발전기 출력과 전지 전원시스템의 출력과 전체적인 연계운전 제어는 PC를 사용하였다. SAB C167CR 마이크로컨트롤러는 SIMENSE사의 C16X 패밀리의 하나로 고기능 CMOS 16비트 마이크로컨트롤러로서 16bit RISC 구조이고, 동작주파수는 20[MHz]이다.

전동기부의 시스템 구성도를 그림 5에 나타내었다. 속도명령은 엔코더를 통하여 피드백된 현재 전동기의 속도와 비교되어 속도 오차 E와 속도 오차의 변화량  $\Delta E$ 를 만들어낸다. 두 값은 피지로직으로 입력되고, 이미 작성되어 있는 룩업테이블에서 속도오차와 속도 오차의 변화량에 대응하는 속도지령 전압 명령의 변화량  $\Delta V$ 가 출력된다. 이것은 현재의 전압 명령과 합산

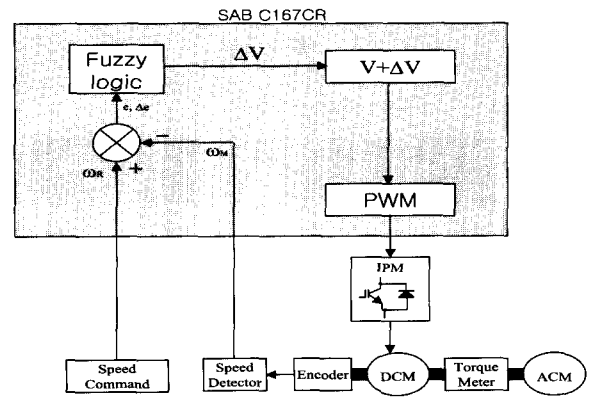


그림 5 전동기 제어 시스템 블럭도  
 Fig. 5 Control system block diagram of the motor

되어 실제 전동기를 구동시킬 속도 지령 전압 V가 된다. 전압 명령에 해당하는 PWM파형의 듀티비가 계산되어 저장된 룩업테이블에서 이 속도 지령 전압 V에 해당하는 듀티비를 선택하게 된다[5]. 이 선택된 듀티비는 PWM 포트를 이용하여 스위칭 신호로 출력된다. 마이크로컨트롤러에서 출력된 PWM 신호는 포토커플러를 거쳐 절연된 후 IPM으로 입력되고 IPM에서는 PWM에 따른 전력을 전동기에 공급한다.

그림 6은 제안된 직렬형 HEV의 연계운전 제어 순서도를 나타내고 있다. 먼저 전지의 사용 가능한 용량

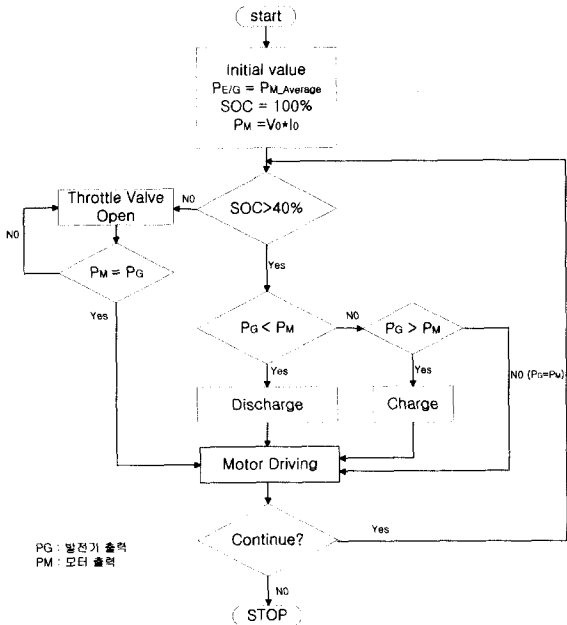
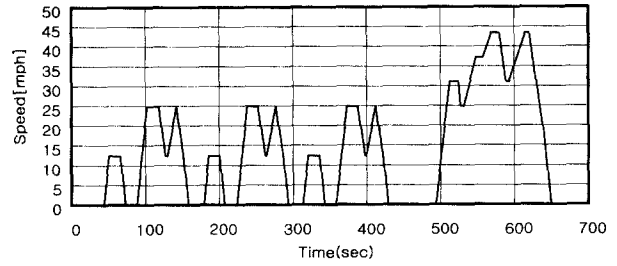


그림 6 제안된 직렬형 HEV의 플로우차트  
Fig. 6 Flow chart of proposed series HEV

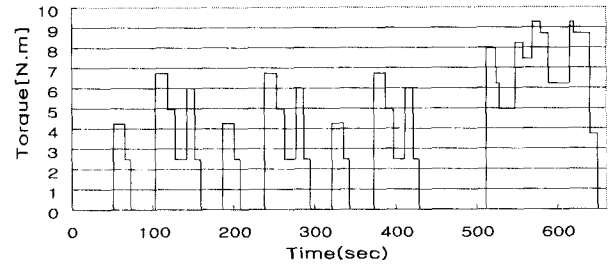
을 나타내는 SOC(잔존용량)를 단자전압과 전류를 통해 검출하고 전지의 잔존용량이 40%이상이고 전동기에서 요구하는 출력이 엔진-발전기 출력보다 크게 되면 전지는 방전을 하게되고 작게 되면 충전을 하게된다. 만일 잔존용량이 40% 미만일 때는 엔진-발전기 출력에너지를 일시적으로 증가시켜서 전동기에서 요구하는 출력에너지를 담당하게 된다. 이때 DC link 전압이 상승하게 되지만 전지 충전은 이루어지지 않고 전동기만 구동하게 된다. 즉, 엔진-발전기의 출력에너지는 부하에서 필요로 하는 에너지의 일부분을 담당하고 전지 잔존용량이 40% 이상일 경우에 전동기에서 요구하는 출력과 엔진-발전기 출력의 차만큼 전지의 충·방전이 일어나게 된다.

### 3.2 실험결과

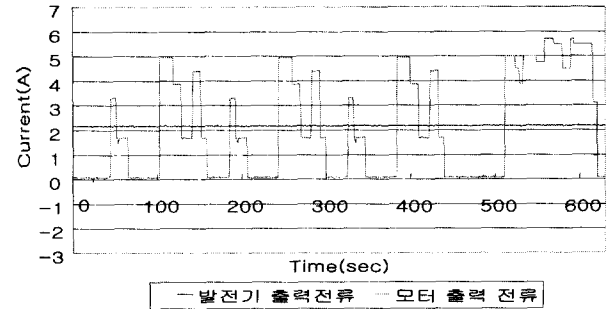
이 논문에서 제안하는 직렬형 HEV의 연계운전 타당성을 실험하기 위해 그림 7(a)와 같은 10-15모드 운전 프로파일을 이용하였다. 10-15모드 운전 프로파일은 일본에서 가감속이 빈번한 일반적인 도심주행시 EV의 운전특성평가를 위해 사용하고 있는 운전테스트 모드로서 전체는 10모드와 15모드로 구성되어있고 가속, 정속, 감속 등의 운전구간을 가지고 있다. 따라서 본 논문은 HEV의 도심주행시 발전기, 전지, 전동기의 연계운전 특성을 평가하기 위해서 이 모드를 사용



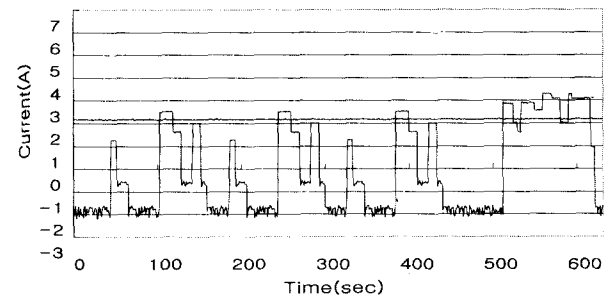
(a) 속도 프로파일  
(a) Speed profile



(b) 토크 프로파일  
(b) Torque profile



(c) 발전기와 전동기 출력 전류  
(c) Generator and motor current



(d) 전지 출력 전류  
(d) Battery output current

그림 7 10-15모드 연계운전 제어 특성  
Fig. 7 Driving control characteristics for 10-15 mode

하였다. 그림 7(b)의 토크 프로파일은 다음과 같은 식에 의해 구하였다.

$$T = J \frac{d\omega}{dt} \quad (3-1)$$

그림 7(c)는 토크 프로파일에 따른 발전기, 전동기 출력 전류이고, 그림 7(d)는 전지 충·방전 출력 전류이다. 엔진/발전기 출력은 일정 출력으로 구동하고, 전동기에서 요구하는 출력이 발전기의 출력보다 크면, 전지에서 방전을 하고, 전동기에서 요구하는 출력이 발전기 출력보다 작으면 전지에 충전을 하게된다. 전지에 충·방전 전류값은 전동기 출력 전류에서 발전기 출력을 뺀 전류값 만큼 충방전을 하게 된다.

#### 4. 결 론

기존의 직렬형 HEV는 엔진이 기동되거나 가감속시에 엔진의 에너지 효율이 떨어지고, 공해물질이 많이 발생한다는 단점을 보완하기 위해서 일정 엔진-발전기 출력/가변 전지 출력의 직렬형 HEV를 제안하였다. 일반적으로 내연기관의 엔진 시뮬레이션 결과 2500~3500[rpm]의 운전범위에서 효율이 좋고 배기가스 역시 적게 나타난 것을 알 수 있었다. 제안한 직렬형 HEV의 등가실험장치를 구성해서 전지 잔존용량이 40% 이상일 때는 전동기 출력에너지가 엔진-발전기 출력에너지보다 크면 전지에서 방전, 작으면 충전을 하게 된다. 타당성을 검증하기 위해 10-15모드 운전 프로파일에서 연계운전 한 결과 일정한 엔진-발전기 출력/가변 전지 출력으로써 운전이 되었다. 이 논문의 결과는 EV의 기술과 기존의 내연기관 자동차 기술을 접목시키는 관련 기술의 축적에 매우 중요한 의미를 갖을 수 있을 것으로 생각된다. 또한 HEV의 일반화를 위한 엔진의 개발과 HEV의 엔진-발전기/전지-전동기를 최적효율 범위에서 운전할 수 있는 제어기술도 활용이 예상된다.

본 연구는 한국과학재단 핵심전문연구과제 연구비 지원에 의하여 연구되었음(과제번호 : 981-0905-019-2)

#### 참 고 문 헌

[1] 한승호, 최병윤, 이학주, 권성철, "국내의 전기자동차 인프라 구축동향", 1999년 수요관리기술 워크샵, 419-430, 1999.  
 [2] Victor Wouk. "HYBRIDS: THEN AND NOW", IEEE SPECTRUM, 16-21, JULY, 1995.  
 [3] Kozo Yamaguchi and Yoshinori Mitaishi, "Dual

System-Newly Developed Hyvrid System", Symposium Procdceedings 13th International Electric Power System, 603-610. 1997.

[4] L. Pelkmans, P. Coenen, F. vermeulm, "Design and Implementation of a Power Controller for a Hybrid Vchicle Drive" EPE 97.  
 [5] Katsuhiko IZUMI, Mineko TSUJI, Jun OYAMA and Eiji YAMADA, "Improvement of Fuzzy Auto-Tuning Method of DC Chopper System Using Manipulated Value" 224-229, IEEE. 1993.  
 [6] Stephen T. Hung, Douglas C. Hodins. and Charles R. Mosling. "Extension of battery life via charge equalization control." Transactions on Industries Electronics of IEEE, Vol. 4, No. 1, pp.96-104, February, 1993.

#### 저 자 소 개



##### 박영수(朴永洙)

1972년 4월 3일생. 1998년 목포대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 순창제일고등학교 교사.



##### 허민호(許珉鎬)

1971년 7월 22일생. 1997년 전남대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 전남대 대학원 전기공학과 박사과정.



##### 안재영(安在榮)

1969년 3월 23일생. 1990년 조선대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 전남대 대학원 박사과정 수료.



##### 강신영(姜信永)

1967년 2월 13일생. 1993년 전남대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 전남대 대학원 박사과정 수료.



##### 김광현(金坑憲)

1960년 12월 27일생. 1983년 전남대 계측제어공학과 졸업. 1986년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 전남대 전기공학과 부교수 및 지역협력센터.