

바이모달 트램의 추진장치 성능 모의

A Simulation Study of the Performance of a Propulsion Equipment for Bimodal Tram

배창한[†] · 목재균* · 장세기** · 이강원**

Chang Han Bae · Jai Kyun Mok · Seky Chang · Kang Won Lee

Abstract A bimodal low-floor tram is designed to provide the flexibility of bus and the punctuality of trains together to the passengers. The propulsion equipment of the bimodal tram is a series hybrid type using a set of CNG engine generator and Li-polymer battery. The present paper describes the specifications of the propulsion system in the bimodal tram which was drawn by a desirable driving cycle. In addition, it shows how the propulsion system of the bimodal tram can be controlled. With using a computer simulation tool of hybrid vehicles, ADVISOR, the performance of the bimodal tram was verified.

Keywords : bimodal tram, series hybrid propulsion equipment, CNG engine, li-polymer battery

요 지 바이모달 수송시스템 연구단에서 개발 중인 트램은 자동운전이 가능하고 일반도로와 전용구간을 주행할 수 있는 고무차륜방식의 저상굴절 바이모달 트램으로서, 압축천연가스 엔진과 리튬폴리머 배터리를 사용하는 직렬형 하이브리드 추진계로 구동된다. 본 논문에서는 바이모달 트램의 직렬형 하이브리드 추진장치의 요구사양을 제시하고 하이브리드 추진제어방식에 관해 설명한다. 하이브리드 차량 시뮬레이션 툴인 ADVISOR를 사용하여 기준 주행사이클과 일본의 10-15 mode에 대한 바이모달 트램의 주행을 모의하고, CNG 하이브리드 추진계에 대한 성능을 분석한다.

주요어 : 바이모달 트램, 직렬형 하이브리드 추진장치, CNG 엔진, 배터리

1. 서론

최근에 철도가 갖는 정시성의 운행체제와 버스가 갖는 접근성을 혼합한 바이모달 수송시스템이 전 세계적으로 선진 대중교통 수단으로 크게 대두하고 있다. 현재 한국철도기술연구원에서는 전기철도시스템의 경험과 기술을 바탕으로 버스의 접근성과 철도의 정시성을 동시에 구현할 수 있는 바이모달 저상굴절 트램을 개발하고 있다. 바이모달 저상굴절 트램은 기존의 일반도로와 전용도로를 주행할 수 있는 고무타이어 방식으로 자기적 주행궤도를 사용하는 자동운전방식을 채택하며, 직렬형 하이브리드 전기추진시스템, 전자료분배장치 등 최첨단의 차량기술을 트램에 적용한

획기적인 교통수단이다[1]. 바이모달 트램의 추진장치는 압축천연가스(Compressed Natural Gas, CNG) 엔진과 리튬폴리머 배터리를 사용하는 직렬형 하이브리드 전기추진장치 타입으로, 병렬형 하이브리드 타입에 비해 짧은 구간에 대해 빈번한 정차가 필요한 도심지 주행에 적합하고, 배출가스가 적은 하이브리드 추진시스템이다[2]. 또한, CNG 엔진을 사용함으로써 디젤엔진 보다 HC-90%, CO-30%, Nox-20% 정도로 유해배출가스를 현저히 감소시킬 수 있다[3].

본 논문에서는 바이모달 저상굴절 트램의 CNG 하이브리드 추진장치의 구성 및 동작방식에 관해 설명하고, 주행사이클에 기초한 추진장치 사양을 제시한다. 바이모달 트램의 성능사양과 기본주행사이클로부터 요구전력 및 제동력이 계산되고, 추진장치의 구성품들인, 엔진, 발전기, 배터리, 추진인버터, 보조전원장치 등의 요구사양을 결정한다. 또한 직렬형 하이브리드 추진장치의 엔진-발전기 셋과 배터리간의 전력분배 제어방식에 관해 설명하고, 바이모달

[†] 책임저자 : 정희원, 한국철도기술연구원, 바이모달수송시스템연구단
E-mail : chbae@krti.re.kr

TEL : (031)460-5417 FAX : (031)460-5024

* 한국철도기술연구원 바이모달수송시스템연구단 책임연구원

** 한국철도기술연구원 바이모달수송시스템연구단 선임연구원

트램의 추진장치 사양 및 특성곡선을 미국 NREL에서 개발한 하이브리드 차량 시뮬레이터인 ADVISOR(ADvanced Vehicle SimulatOR)에 적용하여 바이모달 트램의 주행을 모의하고 성능을 검토한다.

2. 바이모달 트램의 추진장치 개요

Fig. 1은 바이모달 트램의 하이브리드 추진장치의 전체 개략도를 나타낸다. 추진장치는 CNG 엔진-발전기 셋, 추진인버터 및 모터제어기, 리튬폴리머 배터리팩 및 BMS(Battery Management System), 감속기, 견인전동기, 추진제어 및 에너지관리를 수행하는 Traction PLC(Programmable Logic Controller), 차량의 기타 전장품의 구동과 제어전원을 위한 보조전원장치인 DC/AC 컨버터, DC/DC 컨버터로 구성된다.

바이모달 트램의 견인력 및 제동력 토크지령은 비상시를 제외하고는 항상 자동운전장치로부터 발생되는데, 수동운전 시에는 가속 및 제동페달로부터 생성된 지령값이 자동운전장치(Auto Guidance System)를 거쳐 Traction PLC로 전달되고, 자동운전 시에는 자동운전장치 내부에서 계산된 토크지령이 Traction PLC로 전달된다. 단, 비상모드 시에는 가속페달 및 제동페달로부터 직접 견인력과 제동력을 전달할 수 있도록 하였다.

Traction PLC는 엔진-발전기 셋과 배터리간의 전력분담을 제어하고, 추진장치 구성품들의 상태정보를 자동운전장치와 차량제어장치로 전송하는 역할을 수행한다. 다른 추진장치 구성품들과 달리 Traction PLC는 트램의 운전석에 설치되며, 엔진룸 및 루프상에 설치된 구성품들과의 통신을 위해 MVB(Multifunction Vehicle Bus) 방식의 Remote IO를 사용한다. 엔진-발전기 셋, 엔진과 발전기와 견인모터용 냉각 장치, 배터리 박스는 엔진룸에 설치되고, 추진인버

터 및 모터제어기, 보조전원장치, 냉각펌프 등은 차량 지붕 위에 설치된다.

CNG 엔진은 Euro V 배출가스 기준을 만족시킬 수 있는 Cummins사의 230HP CNG엔진을 사용하며, 최대 출력용량은 172kW@2800rpm이고 최대토크는 678Nm@1600rpm이다[4]. CNG 엔진축에 직결된 발전기는 3상 영구자석형 동기발전기타입으로, 95%의 효율로 최대 150kW의 전력을 생산할 수 있다.

바이모달 트램의 리튬폴리머 배터리팩은 80Ah, 52 kWh 용량, 전력 및 에너지 출력밀도는 2900W/kg, 120 Wh/kg이며, 기존 NiMh(Nickel Metal hydride) 배터리보다 전력 및 에너지 밀도가 높아 중량 및 사이즈를 최소화시켰다. 배터리팩은 배터리모듈들과 BMS로 구성되고, 80Ah의 리튬폴리머 전지 8셀을 묶어 1개의 모듈로 구성하였고 총 22개의 모듈로 배터리 팩을 만들었다. 과전압에 민감한 특성을 갖는 리튬폴리머 배터리의 보호와 회생제동시 회생전력으로 인한 직류링컨단 전압의 과도한 상승방지를 위해 제동초퍼 및 저항기를 설치하였다. 배터리 박스는 엔진룸 하부에 장착되며, 배터리의 과온을 방지하기 위해 CNG 엔진과 배터리간에 보호막과 냉각팬을 설치하였다.

견인전동기는 수냉각 방식의 유도전동기로서 소형-경량화를 위해서 감속기와 일체형으로 제작하였고, 2축과 3축 구동을 위해 4개의 견인전동기가 4개의 추진인버터로 구동된다.

보조전원으로는 각종 컴프레서와 펌프구동을 위한 AC 400V 전원과 차량제어전원인 DC 24V 전원으로 구성되며, 이들을 위한 20kW SIV(Static Inverter)와 6kW DC/DC 컨버터가 개발되었다. 이들 보조전원은 엔진냉각을 위한 인터쿨러, 조향/제동/레벨링을 위한 컴프레서, 발전기 및 견인전동기 냉각용 펌프 구동에 필요한 전력을 담당한다.

바이모달 트램의 추진장치는 하이브리드운행, 배터리단독운행, 엔진단독운행의 3가지의 운전모드를 제공한다. 하이브리드 모드에서는 견인모터가 CNG 엔진-발전기와 배터리로부터 전력을 공급받게 되고, 배터리 운행모드에서는 배터리팩 전력만으로 운행된다. CNG 엔진-발전기 셋이 정상동작을 하지 못하는 경우나 터널 및 소음제한구역을 운행시에는 운전자가 배터리 운행모드 스위치를 작동시켜 배터리단독운행모드로 주행되고, 3km 이하의 제한적인 거리를 zero emission으로 운행이 가능하다. 엔진단독 운행모드는 배터리가 정상 동작되지 않을 경우 동작되는데, 엔진-발전기의 출력만을 사용하기 때문에 바이모달 트램의 견인력은 제한적이다.

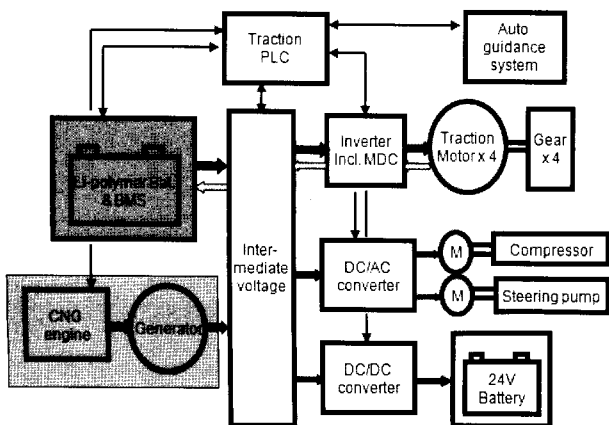


Fig. 1. Schemes of hybrid propulsion system

3. 바이모달 트램의 추진장치 성능

3.1 기준 주행사이클

바이모달 트램의 직렬형 하이브리드 추진장치의 운행 성능을 결정하고 사양 결정을 위해 기준 주행사이클 선정이 필요하다. 바이모달 트램은 all-out 형태로 주행시 평균속도가 30km/h 이상을 유지하는 것을 목표로 기준 설계 주행사이클을 선정하였으며 Fig. 2와 같다. 이것은 유럽의 도심지에서 운행되는 트램의 운행패턴을 고려해 만들어진 주행사이클을 참조하여 만든 것이다. 기준 주행사이클의 평균속도는 30.9km/h, 최고속도는 53.4km/h, 주행거리는 500m, 주행시간은 58초이다.

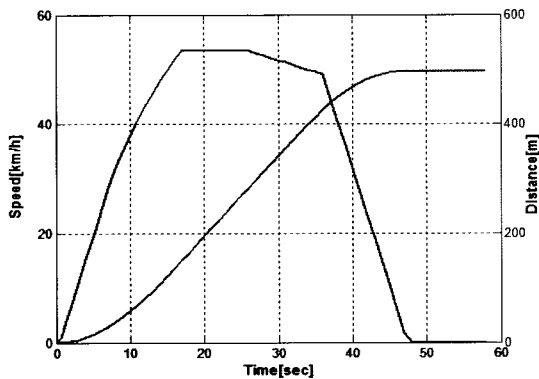


Fig. 2. Speed and distance of design drive cycle

3.2 견인력 및 제동력

하이브리드 추진장치의 기본사양 설계를 위해서는 차량의 최고속도, 가감속비, 무게, 기어비, 저항계수 등을 고려하여 요구속도를 만족시키기 위한 견인전동기의 최대토크 및 전력을 계산한다. 가속시에 요구되는 추진전력은 추진제어장치의 전력분배 알고리즘에 따라, 엔진-발전기 셋과 배터리로부터 나누어 공급된다. 감속시에는 견인전동기가 발전기로 동작하여 회생에너지를 만들고 추진 인버터를 거쳐 배터리에 저장되며, 배터리 SOC(State Of Charge)를 높인다. 바이모달 트램은 2 또는 3량으로 구성이 가능하며, 2량 편성 바이모달 트램의 주요사양은 Table 1과 같다.

바이모달 트램의 기본 성능사양으로 승객정원의 50% 부하의 경우를 성능조건으로 선정하였고, 하이브리드 전기추진장치의 사양을 결정하였다. Table 1의 조건을 만족하는 바이모달 트램의 견인력 및 제동력을 Table 2를 사용하여 계산하였다. 여기서, F 는 바이모달 트램의 요구 견인력, P_{aero} 는 공기저항 전력, P_{roll} 는 주행저항 전력, P_{wh} 는 휠의 요구전력, P_{tr} 는 견인전력, P_{br} 는 제동전력, v_r 는 가속시 정토크

Table 1. Vehicle parameters.

Empty weight	17,600kg
50% loaded weight	21,340kg
Max. permissible weight	24,950kg (116 people)
Front area (A)	8m ³
Transmission ratio (G)	14.42
Aerodynamic drag coefficient (C_d)	0.6
Rolling resistance coefficient (C_f)	0.01
Tire radius (r)	1.042m
Air density (ρ)	1.202kg/m ²
Max. acceleration (0 → 25km/h)	1.2m/s ²
Max. deceleration (38km/h → 0)	1.2m/s ²
Max. gradient	9%

구간의 종단속도, v_{br} 는 제동시 정토크구간의 종단속도를 의미한다. Fig. 3은 가속 및 감속시에 대한 추진장치의 견인력, 1개 견인전동기의 입력단 교류 전압 및 전류의 실효치 곡선과 출력곡선을 나타낸다.

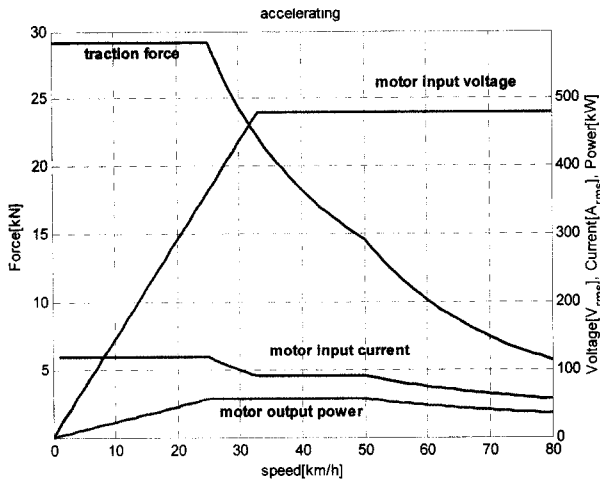
Table 2. Powering and braking power calculation

Accelerating
$P_{aero} = 0.5 \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v_r^3$
$P_{roll} = C_f \cdot M \cdot g \cdot v_r$
$P_{wh} = F \cdot v_r + P_{aero} + P_{roll}$
$P_{tr} = P_{wh} / \eta_{rg} / \eta_m / \eta_{inv}$
Braking
$P_{aero} = 0.5 \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v_{br}^3$
$P_{roll} = C_f \cdot M \cdot g \cdot v_{br}$
$P_{wh} = -F \cdot v_{br} + P_{aero} + P_{roll}$
$P_{br} = P_{wh} \cdot \eta_{rg} \cdot \eta_m \cdot \eta_{inv}$

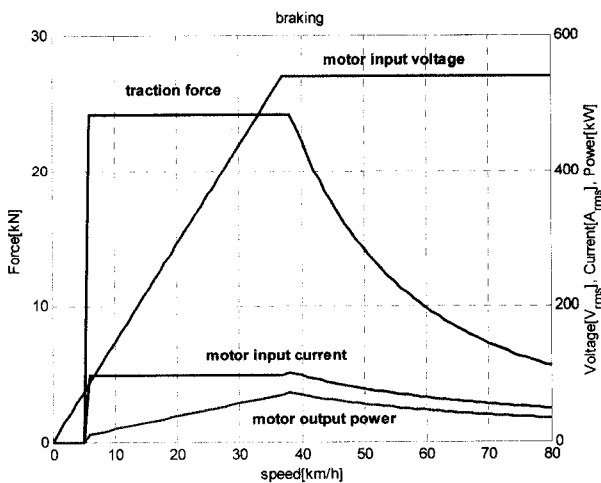
바이모달 트램은 전용선로와 일반도로를 주행하므로 바이모달 트램의 구배능력 검토를 위해 국토해양부에서 규정한 BRT 설계지침을 참조하였다. 바이모달 트램의 설계속도 80km/h이고 운행조건은 주간선도로로 선정하면, BRT 설계지침에 의거하여 바이모달 트램이 운행되는 노선의 종단경사는 평지에서는 4%이고 산지에서는 7% 이하가 된다 [5].

Fig. 4는 바이모달 트램의 등판능력을 검토하기 위해 구배저항을 포함한 주행저항곡선 및 견인력곡선을 나타낸다. 그림에서 보듯이 7% 구배조건에서도 42km/h까지 주행이 가능하며, 12% 구배조건에서 27km/h까지 주행이 가능함을 확인할 수 있다. Fig. 5는 평탄도로일 때와 9%의 구배조건 도로일 때, 바이모달 트램의 주행거리에 따른 속도 및

시간을 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 9% 구배 조건에서는 약 36km/h까지 주행가능하며, 이때 53초의 가



(a) accelerating



(b) braking

Fig. 3. Accelerating & braking performance of bimodal tram.

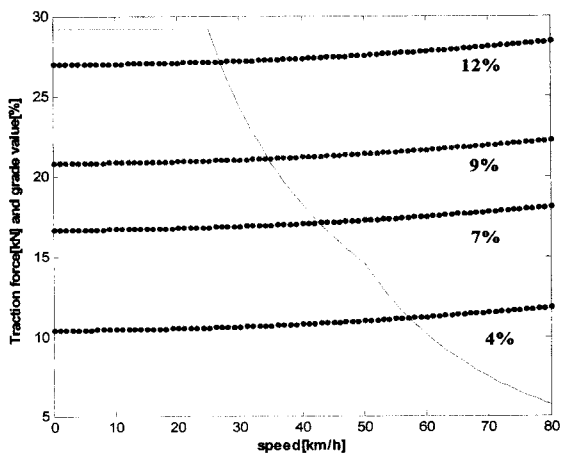


Fig. 4. Traction force and gradeability

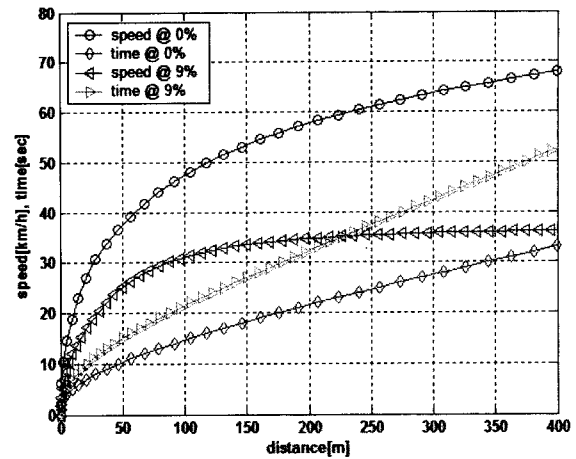


Fig. 5. Speed and time duration on conditions of 0% and 9% gradeability

속시간이 소요된다. 평탄도로에서는 최고속도까지 운행이 가능하고 68km/h까지 주행하는데 34초의 시간이 소요됨을 확인할 수 있다.

Fig. 6는 바이모달 트램이 하이브리드 모드로 동작할 경우, 각 구성품들에서 요구되는 최대전력을 나타낸다. 추진 장치의 정출력영역의 최대 출력인 249kW로부터 각 구성품들의 효율을 고려하여 순시 입력전력을 계산한 것이다. CNG 엔진은 2000RPM에서 동작되고 139kW의 출력을 발생시키며, 에어컨 동작시 기계식 에어컨 컴프레서로 전달되는 17kW를 제외한 전력은 발전기로 전달되고, 보조전력용량 18kW를 제외한 254kW의 전력은 바이모달 트램 추진에 사용된다. 리튬폴리머 배터리팩은 에어컨 동작 시에는 159kW의 전력을 바이모달 트램 견인전력으로 제공하고, 반면 에어컨 미동작시에는 엔진의 모든 출력은 발전기로 전달되므로 배터리 팩에서 담당하는 전력은 에어컨 컴프레서 소비전력만큼 감소된다.

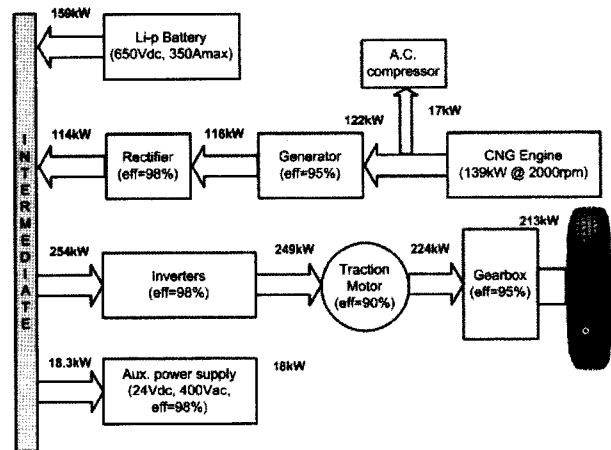


Fig. 6. Power distribution of propulsion system

3.3 전력분배방식

Fig. 7은 바이모달 트램이 기준노선을 운행시 직렬형 하이브리드 추진장치의 전력분배 방법을 보여준다. 속도과형에서 보듯이 운행모드는 가속/정속/타행/제동/정차의 5단계로 구분할 수 있다.

가속시에는 요구 전력값이 엔진-발전기셋의 출력전력값에 도달할 때까지는 배터리 전력만을 사용하며, 요구전력이 엔진-발전기 출력전력값까지 도달하면 엔진-발전기셋은 일정 출력을 공급하고 배터리는 부족분만을 담당한다. 배터리 SOC 하한치에 도달할 때까지 배터리 전력만을 사용하는 기존 직렬형 하이브리드 추진장치 제어방식과 비교하여, 초기 배터리의 방전전류 피크값을 낮추는 효과가 있다. 즉, 방전전류의 피크값을 낮춤으로서 배터리의 내부저항으로 인한 직류단 전압강하를 줄일 수 있고 배터리 팩의 유효수명을 연장시키는 효과가 있다. 일반적으로 직렬형 하이브리드 추진장치는 대용량의 배터리 팩을 사용하기 때문에 배터리의 유효수명 연장은 전체 차량의 운용 및 유지보수에 큰 이득을 줄 수 있다. 하지만, 엔진-발전기 셋의 기준 출력 이상으로 요구출력이 발생할 때마다 엔진이 동작되므로, 연비개선효과는 낮아지는 단점을 갖는다.

정속모드 시에 엔진-발전기 셋으로부터 발생된 전력으로 배터리팩은 충전을 지속하고, 배터리 SOC 값이 기준 하한치에 다다르면, 엔진-발전기셋을 동작시켜 배터리의 SOC가 상한치에 다다를 때까지 지속적으로 배터리팩을 충전한다.

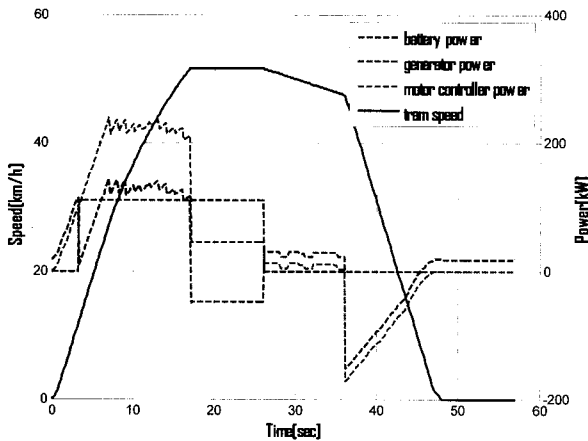


Fig. 7. Power sharing between battery pack and engine-generator set

타행 및 제동 시는 견인전동기로부터 발생된 회생전력이 인버터를 통해 배터리로 전달되고 배터리 SOC를 상승시킨다.

CNG 엔진의 ECM(Engine Control Module)은 Traction PLC로부터 최적 효율 동작 속도지령을 전달 받고, 트로틀 제어와 속도 제어를 수행한다. 특히, 트로틀제어를 통해 출력전력의 작은 요구량 변화에 대응하는 방식으로 동작된다. Fig. 6에서와 같이 엔진은 2000RPM 동작속도로 동작되고, 엔진제어기의 트로틀 제어를 통해 엔진의 최대효율 영역 안에서 동작하도록 제어될 수 있다.

4. 성능모의

바이모달 트램의 직렬형 하이브리드 추진장치의 성능을 검증하기 위해 Matlab/simulink 기반에서 동작하는 ADVISOR를 사용하였다. 이 프로그램은 미국의 NREL에서 다양한 타입의 하이브리드 차량 개발을 목적으로 제작된 하이브리드 차량 주행 소프트웨어로서 현재는 상용화 되어 AVL에서 공급하고 있다[6]. 본 논문에서는 ADVISOR에서 제공되는 직렬형 하이브리드 차량 기본모델에 바이모달 트램의 차량 제원을 적용한 후, 시뮬레이션 하였다. Table 2는 바이모달 트램의 추진장치의 구성품들의 기본 사양을 나타낸다.

Table 2. Summary of component parameters of hybrid propulsion system

components	rated specification
CNG Engine	type : 5.9L, 230HP, max. power : 172kW@2800rpm, max. torque : 678Nm@1600rpm
generator	type : permanent magnetic, output power rating : 150kW efficiency : 98%
battery	Li-polymer, 80Ah nominal voltage 650V
electric motor	type : asyn. induction motor power rating : 45kW, 62kWpeak efficiency : 90%
reduction gear	helical gear ratio 14.42 efficiency : 95%

배터리의 SOC 계산은 ADVISOR에서 제공하는 적산전류에 의한 SOC 계산방법을 사용하였다. 직렬형 하이브리드 추진장치에서 배터리의 유효수명은 가장 중요하게 고려되어야 할 사항으로, 리튬폴리머 배터리의 최대수명을 보장받기 위해서는 SOC 동작범위를 작게 설정할 필요가 있다. 일반적으로 하이브리드 차량이 제동시 발생하는 회생전력을 흡수 하기 위해서 배터리의 동작 SOC 범위를 50~70% 범위 내에서 선정한다[7]. 바이모달 트램의 리튬폴리머 배터리 공급사로부터 제안된 SOC 동작 범위는 30~70%이고, 본 시

플레이션에서는 배터리 SOC 초기값은 70%로 설정하였으며, 주행 중에는 65~70% 범위를 유지하도록 설정하였다.

기준 주행사이클과 일본의 1015-mode 사이클에 대하여 바이모달 트램의 주행을 모의하였다. 일본의 10-15Mode 사이클은 ISO 23274에서 제안된 하이브리드 차량에 대한 배출가스 및 연비 측정모드 중 한 종류로서, 도심지의 운행을 모의하는 10-mode와 도외지 운행을 모의하는 15-mode 두 가지로 조합되어 있다. Fig. 8은 일본의 1015 mode 사이클의 주행속도 및 주행거리를 나타내며, 한 사이클의 총 주행 거리는 4.16km이고 주행시간은 660초이다[8].

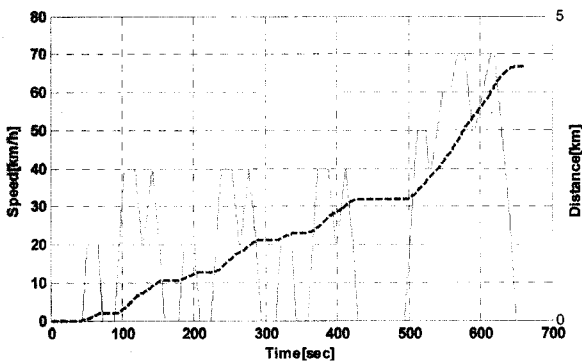


Fig. 8. Japan 10-15 mode drive cycle

Fig. 9와 10은 바이모달 트램이 기준 주행사이클과 Japan 1015 mode로 운행한 경우를 모의한 결과이다. (a)는 바이모달 트램의 주행속도, (b)는 추진장치의 요구출력, (c)는 배터리 팩과 엔진-발전기 셋의 출력전력, (d)는 배터리팩의 SOC, (e)는 배터리의 충방전 전류를 나타낸다. 그림에서 보듯이 바이모달 트램은 기준속도를 오차없이 추종하였고, 트램이 출발 시에 제시된 전력분배방식에 따라 배터리팩과 엔진-발전기셋이 동작함을 확인할 수 있다. 또한, Traction PLC는 배터리 팩의 SOC 값이 하한치인 65%에 다다르면, 엔진-발전기셋을 동작시켜 SOC 값이 70%에 다다를 때까지 충전전력을 발생시키도록 엔진을 동작시킨다. 기준 주행사이클의 경우, Fig. 9와 10(e)에서 보듯이, 배터리 충방전 최대 전류값은 충전시 2.6C와 방전시 3.8C로 나타났으며, 이 값은 리튬폴리머 배터리의 제작사에서 제시한 동작사양을 만족시킨다. 일본의 10-15 mode 사이클을 주행할 경우에도, 배터리 SOC가 동작영역에서 유지되며 오차없이 기준속도를 따라 운행됨을 확인할 수 있다. 이때 배터리의 충방전 최대전류값은 충전시 2.8C와 방전시 3.1C로 나타났다.

4. 결론

본 논문에서는 바이모달 트램의 요구성능조건을 만족시

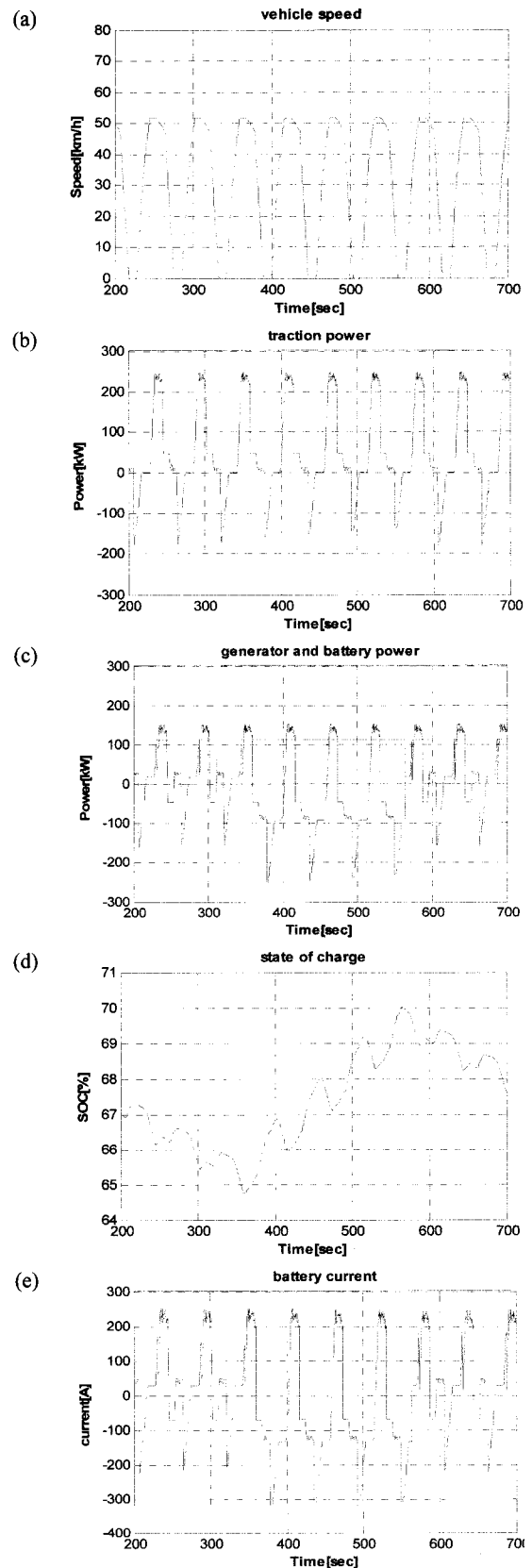


Fig. 9. (a) vehicle speed, (b) traction power, (c) battery and generator power, (d) battery SOC, (e) battery current waveforms in the case of the design cycle

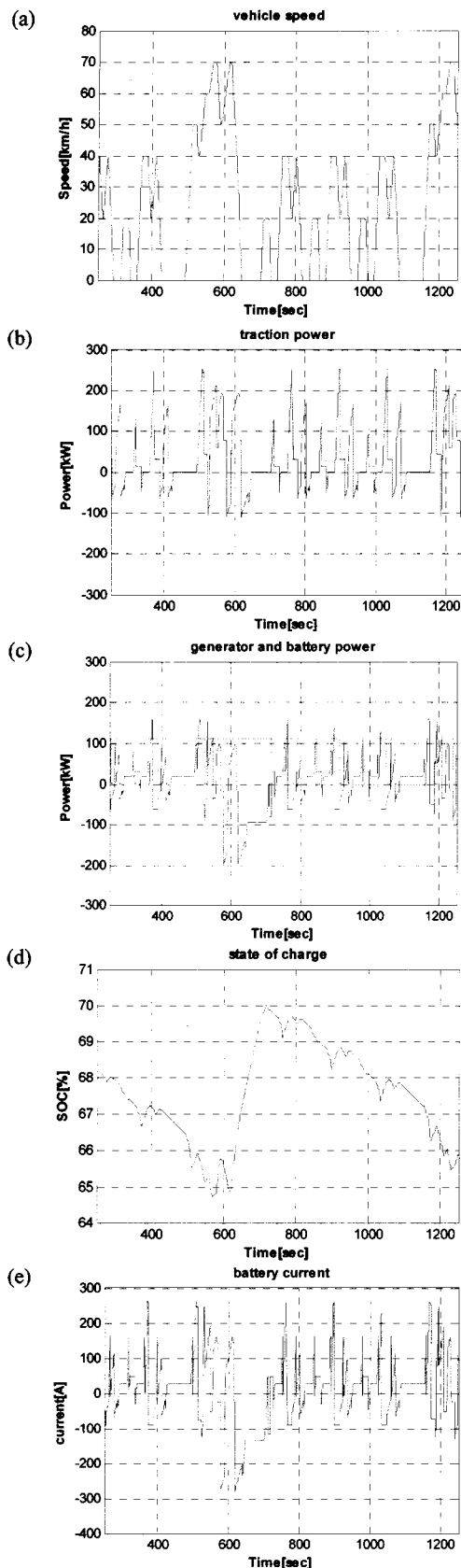


Fig. 10. (a) vehicle speed, (b) traction power, (c) battery and generator power, (d) battery SOC, (e) battery current waveforms in the case of Japan 10-15 Mode

키는 직렬형 하이브리드 추진장치의 요구사양을 제시하였으며, 하이브리드 차량용 시뮬레이션 툴을 이용하여 바이모달 트램의 추진장치 성능을 모의한 결과를 제시하였다. 기존 주행사이클로부터 바이모달 트램의 추진 및 제동전력을 계산하였고, 바이모달 트램의 속도-토크특성곡선을 작성하였다. 또한 직렬형 하이브리드 추진장치에서 충분한 추진계 동력을 제공할 수 있는 CNG-엔진과 배터리의 전력용량을 선정하였고, 엔진발전기 셋과 배터리간의 전력 분배방식에 대해 설명하였다. 바이모달 트램 사양을 하이브리드 차량시뮬레이터 ADVISOR에 적용하고, 기존 주행사이클과 일본의 10-15mode에 대하여 바이모달 트램의 운영을 모의하고, 엔진발전기 셋과 배터리간의 전력분배를 모의하였다. 배터리의 SOC 동작범위를 유지하고, 3.8C와 충전시 2.8C 전류용량이 필요한 것으로 확인되었다.

앞으로, 엔진-발전기 셋의 최적 출력조건선정 하기 위해, 다양한 조건에서 엔진의 연료소비량과 배터리 SOC변화를 고려한 성능모의와 능동부하기를 이용한 실험을 실시할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부의 교통체계효율화사업의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 국토해양부(2007), “신에너지 바이모달 저상굴절차량 개발” 4차년도 연차보고서.
2. John G.W.(1999), “Propulsion systems for hybrid electric vehicles”, Electrical Machine Design for All-Electric and Hybrid-Electric Vehicles (Ref. No. 1999/196), IEE Colloquium on.
3. Kyuhoon(2000), “Development of a CNG engine for a heavy-duty commercial vehicles”, proceeding of 8th next generation vehicle workshop, KATI.
4. Cummins West Inc.. <http://www.cumminswestport.com/products/bgasplus.php>.
5. 국토해양부(2006), “간선급행버스체계(BRT) 설계 지침”.
6. The ADVISOR Code and Manual, <http://www.cts.nrel.gov/analysis>
7. Donald W. Corson(2002), “High power battery systems for hybrid vehicles”, Journal of Power Sources, Vol.105, Iss.2, pp. 110~113, March.
8. ISO 23274:2007(E), “Hybrid-electric road vehicle -Exhaust emissions and fuel consumption measurements-Non-externally chargeable vehilces”, 2007.

접수일(2008년 8월 1일), 수정일(2009년 1월 9일), 게재확정일(2009년 2월 4일)