

하이브리드 시스템용 모터 및 제어기 개발

하회두, 박정우^o, 김종무
한국전기연구소 전기자동차개발사업팀

The Development of a Motor and Controller for Hybrid System

Hoi-Doo H, Jung-Woo Park^o, Jong-Moo Kim
KERI EV Dev. Team

Abstract

The new hybrid scheme for electric bus is presented in this paper. This system is composed of a three-phase AC induction motor, one inveter and one system controller. The motor can be acted as starter, motor itself, alternator, generator and retarder. Various functions are simulated. The design stage has been finished. And the various experimental tests are undertaken now.

1. 서 론

석유 에너지를 이용하고 있는 자동차의 급증으로 배기가스가 환경오염원으로 대두되면서, 배기가스로 부터 지구환경을 보존코자 배기가스 저감을 중용하는 배기가스에 대한 규제 강화와 저공해 자동차의 의무 판매 규제 법안을 마련하고 있는 추세가 확산되고 있는 실정이며, 이에 대응코자 국내에서도 자동차 메이커를 중심으로 저공해 차량 개발에 주력하고 있으며, 당국에서도 기존의 시내 버스 차량에서 사용하고 있는 엔진 시스템에서 배출되는 배기가스를 줄이고자 엔진과 모터가 협조·운용되는 하이브리드 시스템을 개발하고자 연구를 진행중에 있다.

시내 버스를용 하이브리드 시스템은 Flywheel 및 Flywheel Housing부에 초박형 삼상 유도전동기를 장착하여 가속시에는 모터로서 엔진을 보조하고, 감속 또는 제동시에는 소실되는 에너지를 이용하여 발전함으로써, 엔진 Modification을 최소화하면서도 배출 가스 저감은 물론, 에너지 소비효율의 향상 및 고출력화를 이룰 수 있도록 하는 하이브리드 시스템에 관하여 소개하고 이를 위한 박형 유도기 제작, 시스템 제어기 제작, 그리고 시스템 운용 체제에 관하여 논하고자 한다.

2. 시스템 구성 및 사양

하이브리드 시스템은 엔진, 모터, 인버터, 그리고 전지로 구성된 버스 차량으로 구성도는 그림 1과 같으며, 시스템 사양은 하이브리드 차량의 실용화 시점을 고려하여 '98년

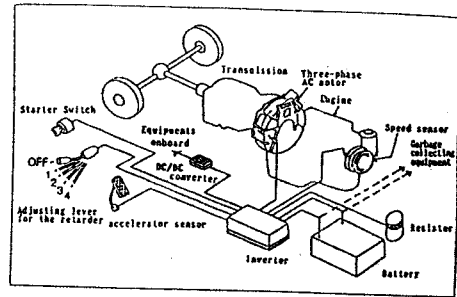


그림 1. HIMR 시스템 구성도

도 배출가스 규제를 만족할 수 있도록 배출가스 목표를 근거로 하였으며, 시스템의 안정성을 고려하여 THC, CO, NOx 및 PM을 '98년 배출가스 규제치의 80% 수준으로 설정하였고, Smoke는 10% 이하로 낮추었다. 표 1은 본 연구 과제의 배출가스 목표를 나타낸다.

구 분	'98배출규제	개발목표	STD E/G	비 고
PM	0.5	0.4	1.2	KOREA D 13 MODE [g/kWh]
NOx	9.0	7.2	8.3	
CO	4.9	3.9	2.4	
THC	1.2	0.96	0.7	
SMOKE	35	10	33	3 MODE [%]

표 1. 배출가스 목표

HIMR용 엔진과 유도전동기 성능의 목표는 표 2와 그림 2에 나타나 있으며, HIMR용 전동기 시작품의 고정자, 회전자 슬롯 형상과 제원은 표 2와 같다.

항목	목표값	
Engine	최대 출력 (PS/RPM)	230/2300
	최대 Torque (Kg·m/RPM)	86/1300
Motor	최대 출력 (PS/RPM)	45/2300
	최대 Torque (Kg·m/RPM)	29/1300

표 2. HIMR용 엔진과 유도기 성능 목표

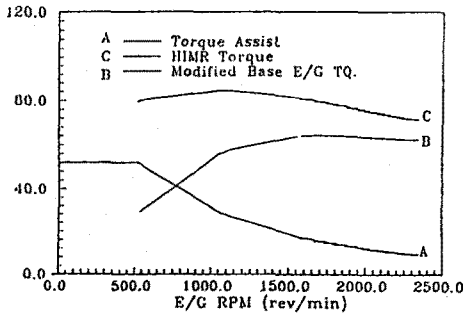


그림 2. 모터와 엔진이 필요한 Torque

3. 하이브리드 시스템용 제어기 개발

3.1 제어기의 구성

박형 유도전동기의 제어장치인 시스템 제어기의 회로구성은 그림 3과 같다. 제어회로에는 운전조작과 엔진회전수로부터 시동, 보조구동, 발전의 제어모드를 정하는 기능 판별부와 인버터의 직류전압, 전류 검출부, 제어모드로 검출된 직류전압, 전류에 대하여 발전전동기가 목적 기능을 부과하도록 인버터를 제어하는 인버터 제어부로 구성되어 있다.

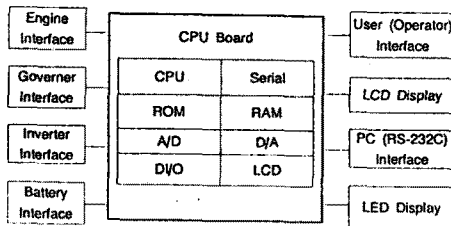


그림 3. 제어장치의 회로 구성

3.2 각 모드별 기능과 Flow Chart

시스템의 각 모드는 차량의 상태와 운전자의 조작에 따라 표 3과 같이 정해지며 각 모드의 기능과 처리과정을 설명한다.

Mode	전동기 역할	System기능	기대효과
시동	Motor	전동기로 Engine을 Cranking	Start Motor가 불필요
Idle/정속	발전기	Battery의 충전량이 부족할 시 발전하여 충전	Alternator 불필요
가속	Motor	가속시 엔진의 보족 동력분을 충당	배기가스 감소 엔진수명연장 소음저감
감속 (발전제동)	발전기	차량의 완만한 감속시 제동력을 전기에너지로 변환하여 충전	에너지 효율 향상
감속 (저항제동)	발전기	급감속시 발전기로 동작하여 Battery에 충전하고 남은 에너지를 저항기를 통하여 소비시킴	Brake부품 수명연장 안정성 향상

표 3. 시스템의 기능 분류

가. 시동모드

엔진을 시동하는 Mode로서 시동 스위치의 신호를 받아 전동기가 엔진을 시동시킨다. 이때 전동기는 시동 모터로써 작동하기 때문에 시동 모터는 필요치 않다.

- ① 시스템 제어기는 Key Switch의 "Start" 신호를 받아 시동 Mode임을 인지하고,
- ② E/G rpm Sensor의 신호를 읽어 기 입력된 최소 Idle rpm에 "X"값과 비교한 후,
- ③ Battery의 전력을 받아 유도전동기 Motor로 작동하며, E/G을 Cranking한다.
- ④ 시동이 완료되면 Idle, 또는 주행 Mode로 변경된다.

나. Idle/정속 모드

차량이 상시 소비하고 있는 전력이 많은 경우에 감속시의 발전 에너지만으로는 Battery의 에너지가 부족한 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우 Battery의 부족한 에너지를 보충하기 위해 Idle 및 정속 주행시 유도전동기를 발전기로 동작시켜 Battery의 부족분을 충전하여 가속시를 대비해 에너지를 비축한다. 따라서 유도전동기를 발전기로 사용함으로써 기존의 Alternator가 없어도 된다.

- ① 시동 완료 후 Inverter는 Clutch Switch, Neutral Switch의 신호를 받아 Idle 상태임을 판단하고,
- ② E/G rpm Sensor를 check하여 E/G rpm이 미리 정해진 구간($X_1 \sim X_2$)내에 있으며, Battery 충전량이 일정치(β) 이하이면,
- ③ 유도기에 여자전류를 통전하여 E/G rpm보다 유도기의 주파수를 낮게 조정하여 발전을 이룬다. 발전된 전력은 Inverter에서 교류→직류로 변환되어 Battery 충전 및 차량 전장품에 전력공급이 이루어진다.

다. 가속모드

일반 디젤 차량에서는 가속시에 고 Torque를 얻기 위해 악셀 페달을 최대한 밟아 엔진에 대량의 연료를 보내 준다. 이 때 불완전 연소된 연료의 일부가 흑연으로 배출된다. 본 연구 System에서는 고 Torque가 요구 될때 디젤

엔진과 전동기가 Torque를 분담하기 때문에 악셀페달을 최대한 밟을지라도 엔진에 보내주는 연료는 배기가스 특성에 따라 정해진 Torque분 이상은 증가하지 않고 그 이상은 전동기의 정해진 torque분으로서 분담한다. 이에 따라 가속시의 폭연을 효과적으로 감소시키고, 보조구동에 의한 엔진의 연소온도가 낮아짐에 따라 NOx의 감소가 이루어지며 엔진 전체의 연료량 감소에 따른 연료소비를 향상도 이루어진다.

- ① Inverter는 Clutch Switch, Neutral Switch, E/G rpm Sensor, Accel Sensor의 신호를 받아 가속상태임을 판단하고,
- ② 현재의 Battery 충전량이 일정치(α) 이상이면,
- ③ 유도기에 E/G rpm과 동일한 교류 전력을 공급하여 Torque 보조를 이룬다.

라. 감속모드

대형자동차에서는 자체중량이 무겁기 때문에 강한 제동력을 필요로 하고 이에 따라 엔진 브레이크와 배기 브레이크가 병행해서 사용되고 있으며, 더욱 제동력을 향상시키기 위해 전기 제동장치를 선택적으로 사용하고 있다.

본 시스템에서는 감속시 발생하는 제동에너지를 전기에너지로 변환시키기 위해 유도전동기를 발전기로 동작시켜 발전을 행하며, 이 때 발생한 전기에너지를 Battery에 충전한다. 그리고, 발전량이 많거나 충전량이 충분할 때는 저항기를 통하여 에너지의 일부를 소비시켜 제동력을 향상시킨다.

- ① Inverter는 Clutch Switch, Neutral Switch, E/G rpm Sensor, Brake Sensor, 신호를 받아 감속상태임을 판단하고,
- ② Brake Sensor와 Retarder Lever Switch(4단)의 신호를 비교하여 제동 Torq.가 높은 쪽의 신호를 우선하여,
- ③ 유도기에 여자전류를 통전하여 E/G rpm보다 유도기의 주파수를 낮게 조정하여 발전을 이룬다.
- ④ 발전된 전력은 Inverter에서 교류→직류로 변환된 후 Battery 충전량이 일정치(β) 이하이면 Battery에 충전되며, 충전량이 일정치(β)에 도달하면 저항기에 의해 발전 전력이 소비된다.(이유는 발전전력은 제동 Torq.이므로 계속적인 제동력을 유지하기 위함)

4. 모터 설계 및 제작

그림 4는 발전기 영역을 제외한 모터영역에서의 Torque 성분만을 나타낸 그림이다. 모터를 인버터로 구동시 모터 최대 Torque 성분은 모터 입력 주파수의 제곱에 반비례하며 기본 주파수는 100[Hz]이므로 그림과 같이 나타낼 수가 있다. 앞의 그림 2에서 나타난 Torque 값을 참조해 보면 1300[rpm]에서 최대 Torque 값이 약 24[Kg·m](235N·m), 2300[rpm]에서 10[Kg·m](98N·m)가 필요함을 알 수 있다. 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 1300[rpm]과 2300[rpm]에서 앞의 최대 Torque 값들에 대하여 만족할만한 성능을

나타내고 있다. 하지만 표 2에서 나타난 것과 같이 1300[rpm]에서 최대 Torque 값이 284[N·m], 2300[rpm]에서 139[N·m]가 필요할 경우에 있어서는 그림 4에 나타난 것과 같이 1300[rpm]에서 최대 Torque 값 284[N·m]은 거의 만족함을 알 수 있으나, 2300[rpm]에서는 약 100[N·m]가 나와 목표치에 약 40[N·m]가 부족함을 알 수 있다. 하지만 모터의 정격부분은 최대치의 약 2/3 부분에서 동작을 하며, 보통 IHMR용 모터인 경우 최대 영역인 2300[rpm]까지는 거의 구동을 하지 않으므로 사용에는 큰 문제가 없으리라고 판단된다.

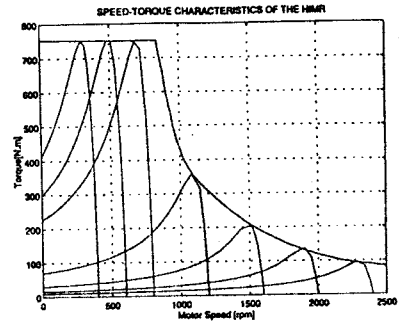


그림 4. 속도 대 모터 Torque 특성 (모터영역)

5. 결론

엔진에 삼상 유도기를 직결하여 구성한 하이브리드 시스템은 E.C.U의 제어신호에 따라 시동시에는 시동 Motor로, 가속시는 동력 보조기능을, 감속 및 제동시에는 낭비되는 에너지를 이용하여 발전을 행함으로써 고에너지 효율과 저공해 차량을 목표로 하는 박형유도기 제작 및 시스템 제어를 제작 하였으며, 시뮬레이션을 통하여 체원에 만족함을 확인하였고, 이로써 기존의 엔진구조를 최소화 하면서도 계속 강화하고 있는 디젤 차량의 배출가스 규제에 원활히 대응할 수 있게 되었다.

참고문헌

- [1] Floyd A Wyezalek & tsih C Wang, "Programmable Regenerative Braking for Electric Vehicle", EVS-11
- [2] Sekiya, T. & Hybrid, "Inverter Controlled Motor & Retarder System to dust Gathering Vehicles", EVS-11
- [3] Dieter Hanauer, "Drift Electric Vehicle-Enhanced Drift Traction Bolck", EVS-12
- [4] Carlo kopf, "Adaptive Control of An EV Drive System to Account For Time-Varying Battery Parameters", EVS-12
- [5] Gray L. Stecklein-Drivetrain Microcomputer-Based Control System", 1987, SAE 870431
- [6] Gehard Johns, "Modeling Diesel Engine Performance", 1987, SEA 871615