

# 전기자동차용 경량모터 및 제어기 개발

하회두°, 박정우, 구대현, 이재봉, 김종무  
한국전기연구소 전기자동차개발사업팀

## The Development of a Electric Vehicle Motor and System Controller

Hoi-Doo Ha°, Jung-Woo Park, Dae-Hyun Koo,  
Jae-Bong Lee, Jong-Moo Kim  
KERI EV Dev. Team

### Abstract

The new power train system for electric vehicle is introduced in this paper. This system includes two light weighted and high-efficient motor, two space vector PWM inverter, one system controller using CAN controller and DSP320C50. These are developed by KERI cooperated with 5 major industry companies, 5 universities including 2 foreign universities.

The reliability and performance are proven by the test rig. The reference data will be collected for further researches.

### 1. 서론

기존 내연기관 시스템의 급속한 보급으로 말미암아 대기오염 및 소음 등의 환경적인 문제의 해결과 심야 시간대의 전력 수요 창출을 위하여 무공해 전기자동차에 대한 필요성이 인식되어 전세계적으로 관련 분야에 대한 연구개발이 추진되고 있으며, 국내에서도 신기술 확보 및 경쟁력 제고를 위해 차세대 교통기술 개발 과제의 일환으로 전기자동차용 모터 개발을 추진 중에 있다.

본 논문에서는 전기자동차용 경량모터 개발과 관련하여 진행한 연구 성과를 모터, 인버터, 시스템 제어기 분야로 분류하여 소개하고자 한다.

### 2. 2 Motor 구동형 EV 시스템 구성도 제원

본 연구에서 고려한 전기자동차 구동방식은 전동기 2대로 운용되는 2 Motor 시스템으로 설계 사양을 고려하여 전동기, 인버터 그리고 시스템 제어기로 구성되는 시스템을 설계 하였다. 전동기 한대로 운용되는 시스템은 종래의 엔진을 대체하여 짧은 시간 내에 실용화 시키기에는 적합한 장점을 가지지만 모터 용량이 커짐에 따라 지상고가 올라갈 수 있으며, 특히 모터나 인버터에서 오류 발생시 대책 방안이 없다는 단점이 있다. 그러나 2 Motor 시스템은 기존

의 차체 내에 탑재시 많은 공간을 차지하는 단점이 있을 수 있으나 한 조의 모터 + 인버터에서 오류가 발생하더라도 적정의 속도로 운용이 가능하므로 시스템의 신뢰성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 두 바퀴를 독립적으로 제어 가능하므로 제어의 자유도가 향상됨을 알 수 있으며 한 쪽 바퀴가 빠지더라도 쉽게 벗어날 수 있는 장점이 있다. 2 Motor 구동형 EV 시스템 구성도와 그에 대한 각각의 구성품에 대한 사양을 그림 1과 표 1에서 보이고 있다.

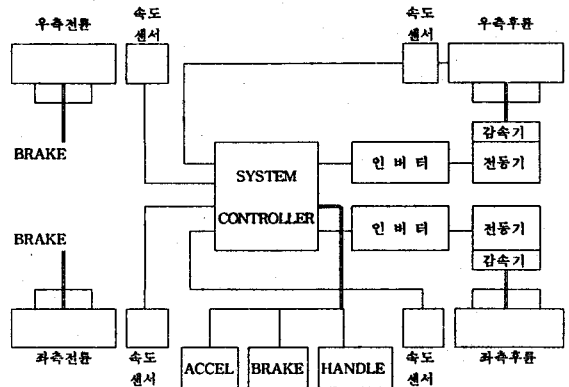


그림 1. 2 Motor 구동형 EV 시스템 구성도

항	목	최 중 목 표
AC 유도기	정 격 출 력	2 × 15 KW
	최 대 출 력	30 KW
	효 율	90 %
전동기 제어기 (인버터)	출 력 밀 도	0.3 (KW/kg) 이상
	출 력 비	0.6 (KW/kg) 이상
	효 율	95 % 이상
	Switching 주파수	10 KHz 이상
System 제어기	무 게 및 크 기	소형, 경량화
	2 Motor 구동 시스템 제어 장치	· 추진 제어 알고리즘 탑재 · CAN 방식 채택

표 1. 시스템 제원

### 3. 전동기 제어기

전동기 제어기 인버터는 전기자동차에 탑재를 전제로 하고 있기 때문에 산업용 유도 전동기를 구동하는 것과는 다음과 같은 점에서 차이가 있다.

첫째로 일반용 산업용 인버터는 무한대 용량의 전원으로부터 에너지를 공급받으므로 효율에는 중점을 기울이지 않는 반면 전기자동차용 전동기 제어기는 전지 개수가 정해지면 입력 전압과 정해진 전류 용량이 정해지므로 효율에 중점을 기울여야 하며, 한정된 DC Link 전압으로 최대의 선간 전압을 출력하는 제어 방법을 사용해야 한다는 것이다. 다음으로는 회생되는 에너지의 이용률 증대 방안이 고려되어야 하고, 진동이 심하고 동작 주위 온도 범위가 넓기 때문에 스위칭 소자의 발열을 효율적으로 발산시키는 방안이 요구된다는 점이다. 이러한 제한 조건을 만족시키기 위하여 구동 알고리즘은 1024 pulse/rev.의 Encoder를 사용하는 간접 Vector 제어 방식을 채택하였고, 전류 제어는 Space Vector PWM 방법을 사용하였으며 온도 변화에 따른 전동기 파라미터 변동을 고려하기 위하여 NTC 저항을 사용하여 보상하였다.

#### 3.1 온도 상승 실험

인버터의 온도 상승 실험은 각 부하와 운전 패턴에 따라 행하였고 이를 통하여 방열판 용량 선정이 합당한지 여부와 사용 부품들이 온도 정격 내에서 동작하는지를 확인하기 위해서 시행된 것으로, SAE J227-a 시험 패턴에 근거하여, 200% 부하에서 30초, 100% 부하에서 60초, 무부하에서 30초를 운전하는 Duty Cycle 운전시 온도 상승 결과를 표 2에 보이고 있다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 60°C 이내에서 인버터가 운용되고 있음을 알 수 있으며, 60°C가 넘으면 내부적으로 경고가 발생하도록 되어 있다.

	T(°C)	Delta T(°C)
Heatsink 상단	52.7	24.2
Heatsink 중단	57.8	29.3
Heatsink 하단	56.5	28.0
SPS Transformer	51.0	22.5
DC Link Capacitor	55.0	26.5
Internal Temperature	44.1	15.6
Ambient Temperature	28.5	

표 2. Duty Cycle 운전시 각 부품들의 온도 상승 결과

#### 3.2 인버터 효율 실험

전지에서 전동기로 에너지를 전달하는 인버터의 효율을 각 부하 조건과 각 rpm에서 측정 실험하였다. 표 3에는 1800 rpm에서의 각 부하에 따른 인버터 효율을 보이고 있다. 전체적으로 50% 이상의 부하에서는 95% 이상의 효율을 얻

을 수 있었다.

부하(%)	입력전압 (V)	입력전류 (A)	입력전력 (W)	출력전력 (W)	효율 (%)
0	294.4	3.6	1069.84	988.4	93.26
50	289.9	18.9	54799.11	5195.0	94.81
100	284.7	36.4	10363.08	9930.0	95.82
150	280.2	55.7	15607.14	14961.0	95.86
200	275.4	77.9	21453.66	20650.0	96.25

표 3. 1800 rpm에서 부하별 인버터 효율 측정

### 4. 시스템 제어기

시스템 제어기는 각종 센서로 부터 들어오는 각종 신호와 운전자 조작 명령을 받아 들여서 여러 부시스템에 전달하고 각 부시스템의 관계를 최적의 상태로 정합 시키고 배터리의 한정된 에너지를 효율적으로 차체 바퀴에 전달시키기 위하여 최적의 가감속 제어와 에너지 배분을 고려한 추진 제어를 수행하고 운전자에게 각종 차량 정보를 전달하는 기능을 갖도록 개발되었다. 시스템 제어기와 인버터 사이의 데이터 수수는 CAN 컨트롤러를 이용하여 수행하였으며, CAN 컨트롤러를 통해 모니터 CPU, 인버터와 정보를 주고 받으며 host 컴퓨터에서는 CAN 버스를 통해 전기자동차의 전체 상태를 모니터링 할 수도 있다. 시스템 제어기, 모니터 CPU, host 컴퓨터인 IBM PC에서는 CAN 컨트롤러를 직접 인터페이스 하여 CAN 네트워크를 구성하였으며 인버터에서는 CAN 컨트롤러를 내장하고 있는 8 bit 마이크로컨트롤러와 dual port RAM을 사용하여 CAN 네트워크를 구성하였다.

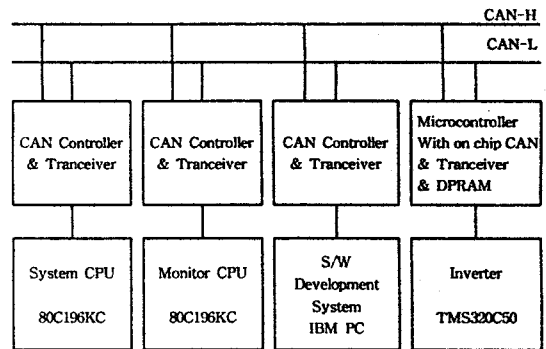


그림 4. 전체 통신 시스템의 구성

### 5. 전동기 제작 및 특성 실험

#### 5.1 온도상승 실험

전동기와 전동기 제어기를 결합한 상태로 동작하여 온도 상승 시험을 수행하였다. 전동기 부착시 온도 상승 시험의 목적은 여러 운전 조건하에서 전동기 절연 계급인 H종 절연의 안전 영역 내에서 전동기의 온도가 포화되는가를 확인하고 과부하시 열 용량이 몇 초인가를 측정하기 위해서

이다. 유도 전동기는 상용 전원으로 운전할 때 보다 인버터로 운전할 때 발열량이 조금 증가하는데 이는 상용 전원보다 고조파 성분이 많이 포함되어 있기 때문이다. 따라서 인버터 구동 유도 전동기는 반드시 제어기와 결합하여 온도 상승 시험을 행하여야 한다. 그림 5는 입력전압 170V, 주파수 100Hz, 속도 3000rpm에서 100% 부하를 걸어 전동기 온도 상승 시험을 한 그림이다. 전동기 온도 측정은 K-type Thermo couple를 이용하였으며, 온도 측정점은 슬롯 내부의 권선온도(①)와 전동기 case(②), 전동기 베어링 부분(③) 및 대기(④)를 측정하였다. 이 그림의 X축 한 눈금은 12분으로, 총 실험 시간은 약 2시간 30분이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 권선의 온도는 약 107°C에서 포화가 되었으며, 이 때의 대기온도는 약 30°C 가량으로 나타나 전동기의 온도상승인  $\Delta T$ 는 약 77°C가 되었다. 그러므로 이 전동기의 절연계급인 H종의 절연 [180°C]에 대하여 안전영역에서 운전되고 있음을 알 수 있었다.

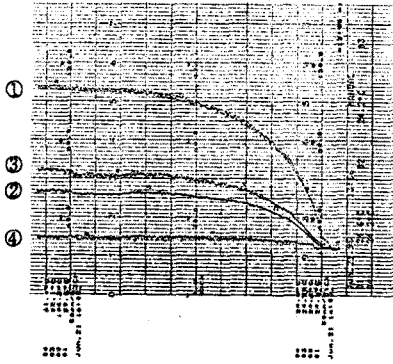


표 4. 전동기 온도 상승 곡선

## 5.2 전동기 효율 측정

전기 자동차의 에너지 흐름은 Battery의 직류 전압이 전동기 제어기에 인가된 후 이를 3상 교류로 변환하여 전동기에 인가되고 전동기가 이를 기계적 Energy로 변환시키게

속도 (RPM)	전압 (V)	전류 (A)	입력 (W)	역률 (%)	효율 (%)	토크 (N·M)
1502(고조)	107.11	69.90	8.719	67.2	86.8	48.1
1502(기본)	84.37	70.05	8.667			
3002(고조)	182.70	70.03	16.671	75.2	90.7	48.1
3002(기본)	165.00	70.12	16.621			
4502(고조)	184.37	64.81	16.728	80.8	89.6	31.8
4502(기본)	166.78	64.89	16.693			
6001(고조)	187.58	65.32	17.239	81.2	86.4	23.7
6001(기본)	170.27	65.26	17.150			
7501(고조)	190.87	66.23	17.558	80.1	83.7	18.7
7501(기본)	173.11	65.78	17.303			

표 5. 전동기 효율 (100% Load)

된다. 따라서 전동기 효율은 모터 성능 평가 지수로 매우 중요하며, 100% 부하 조건에서 각각의 rpm에 따른 효율 실험 결과를 표 5에서 보이고 있다.

## 6. 결론

2 Motor 구동형 전기자동차 개발을 위하여 출력밀도가 0.3 KW/kg이고, 효율이 90%인 15KW 경량모터와 출력비가 0.6KW/kg이고, 효율이 95%인 인버터를 개발하였으며, 특성 실험을 통하여 시스템 사양을 만족함을 확인하였다.

## 참고문헌

- [1] A. B. Plunkett and G. B. Kliman, "Electric Vehicle AC Drive Development", Society of Automotive Engineers, inc., pp. 424-436, 1981
- [2] M. P. Kazmierkowski, M. A. Dzieniakowski, W. Sulkowski, "Novel space vector based current controllers for pwm-inverters", IEEE/IAS Conf. Records, pp. 657-664, 1989
- [3] Xingyi Xu, Donald W. Novotny, "Selecting the flux reference for induction machine drives in the field weakening region", IEEE/IAS Conf. Records, pp. 321-327, 1991
- [4] Colin Schauder, "Adaptive speed identification for vector control of induction motors without rotational transducers", IEEE Trans Industry Applications, vol 28, no 5, pp. 1054-1061, Sep/Oct, 1992
- [5] K. Rajashekara, "Evaluation of Power Devices For Electric Propulsion Systems", Proc. of Power Electronics in Transportation, Dearborn Michigan Oct. 1992
- [6] D. Reister and K. Regar, "From conversion of Production Car to Purpose Design-BMW's Development Line for Electric Vehicles, Proc. of 11th International electric vehicle Symposium, Florence Italy, Nov. 1992