

단거리용 소형 전기자동차의 개발

김문환* 김순호* 김성수* 박중현* 이종무** 강민철***
 신라대학교* 한국전기연구원** Carro Motors***

Design of Neighborhood Electric Vehicle

M. Kim*, S.H. Kim*, S.S. Kim*, J.H. Park*, J.M.Lee**, M.C. Kang***
 Silla Univ.*, KERI**, Carro Motors***

Abstract - In this paper, the development of the prototype electric vehicle for golf car is described. A brushless dc (BLDC) motor is applied as a prime mover. The BLDC motor is coupled directly to the reduction and differential gear system. The output power of the motor is decided to 2.2KW at 3000 rpm, which is a general value of the golf car on the market today. The motor is driven by the microprocessor-based 3-phase PWM inverter system. We introduce the performance and functions of the BLDC motor and it's control system.

는 전동기 분야라고 할 수 있다. 본 연구에서도 골프카를 개발목표로 함에 따라 현재의 수입 골프카가 대부분 직류모터를 사용하고 있음에 착안, 우리나라 지형특성상 적절하다고 생각되는 BLDC 모터방식을 취하게 되었다. 채용할 BLDC 모터의 사양을 표 1에 나타낸다.

Table 1 The specification of the BLDC motor

supply voltage	dc 48 V
rating current	55 A
output power	2.2KW(3HP)
range of rotation speed	0~3000rpm

1. 서 론

본 연구에서 개발하고자 하는 전기자동차는 일반적인 자동차의 사양과 달리 평균 주행속도 시속 24Km/h 미만이며, 1회 충전의 주행거리도 100Km 부근인 소형 전기자동차를 개발목표로 하고 있다. 실용화의 구체적인 예로는 도심의 근거리 이동용 전기자동차, 혹은 골프카 등을 들 수 있다. 점차가중되어 가고 있는 도심의 교통환경문제는 전기자동차 이외에는 대안이 없어 보인다. 특히 언덕이 많은 우리의 도시지형으로는 근거리이동의 수단으로 자전거와 같이 인력에 의한 이동수단 보다, 동력장치를 부착한 이동수단에 의지하지 않을 수 없다. 대규모 행사장에서의 소형전기자동차의 필요성 또한 부각되고 있다. 한편, 보급이 일반화되어 가고 있는 골프의 경우를 보면, 비용절감의 면에서 각 골프장에 골프카의 도입이 가속화되고 있다. 우리 나라 고유의 지형특성상 대다수의 골프장이 지형의 기복이 심한 곳에 위치하고 있다. 이것은 같은 체적에서 가급적이면 고에너지 밀도를 낼 수 있는 동력장치를 필요로 하게 된다. 이러한 필요성에 의하여 본 연구에서는 종래의 직류 전동기에 비하여 단위 체적당 출력에너지 밀도가 높은 BLDC 모터를 전기자동차의 구동원으로 채용하였다. BLDC 모터의 제어 및 구동에는 마이크로프로세서 제어의 3상 pulse width modulation inverter system이 사용된다. 이번의 발표에는 최종 결정된 소형전기자동차에 사용될 BLDC 모터에 관한 소개와 기타 설계사양 그리고 마이크로프로세서를 사용한 제어기의 기능에 관하여 소개한다.

Fig. 1에 BLDC 모터의 단면도의 한예를 보인다. 그림에서 내부에 영구자석으로 된 4개의 극을 갖는 회전자(Stator)가 있다. 이 회전자가 계자의 역할을 한다. 외부에 위치한 고정자는 적층 구조로 구성되며 12개의 슬롯에 3상의 고정자 권선이 균형있게 배분되어 축방향으로 감겨있다. 고정자 권선에 3상의 교번전류를 흘리면 회전자의 영구자석은 고정자의 교번전류에 의하여 형성되는 회전자계에 반발하여 회전하게 된다. 고정자에 인가하는 교번전류의 주파수와 상순을 제어함으로써 BLDC 모터의 회전속도와 회전방향을 조정할 수 있다.

2. BLDC 모터

BLDC 모터란, 종래의 직류모터나 동기 교류전동기와 같이 브러시나 슬립 링과 같은 기계적 접촉부를 갖지 않는 구조를 하고 있다. 이는 유지보수의 측면에서 큰 장점이 될 수 있다. 성능 면에서도 직류모터와 같은 고속응성, 제어성, 효율성을 기대할 수 있는 모터이다. 현재, 산업현장에서 동력기 혹은 서보모터로 가장 많이 사용되고 있는 유도기에 대신 할 수 있는 새로운 방식의 모터라고 할 수 있다. 고자속밀도를 갖는 새로운 자성재료의 발달과 함께 시작된 BLDC 모터의 응용 분야는 컴퓨터의 FDD나 HDD 그리고 CD-Rom 드라이브와 같은 고속응, 고정밀성의 분야에 적용되기 시작하였고, 계자에 고자속밀도의 영구자석이 사용됨으로 동력기와 산업현장의 서보모터로 각광을 받기 시작하였다. 최근 가장 주목을 받고 있

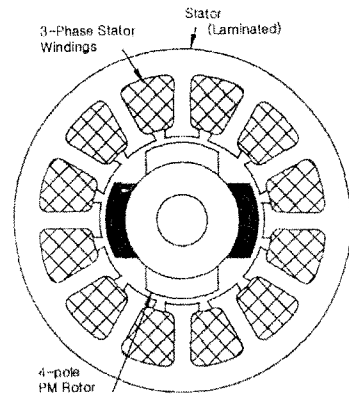
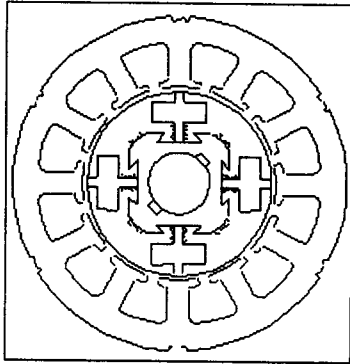


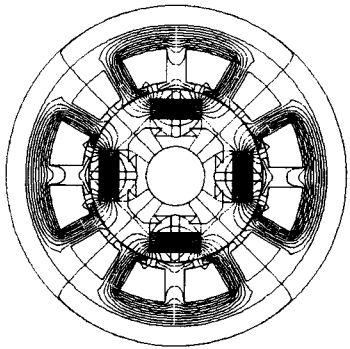
Fig. 1 Cross-section of brushless DC motor

다음 Fig. 2는 골프카에 사용할 목적으로 설계한 BLDC의 시제품의 설계결과를 나타낸다. (a)는 4극 12슬롯형의

BLDCM의 단면도를 나타내며, (b)에는 무한요소법에 의하여 시제품의 자력선 분포를 계산한 결과를 나타낸다.



(a) 4-pole 12-slot BLDCM



(b) Flux line

Fig. 2 Prototype BLDC motor design and Flux line

그 외, 결정된 주요설계 제원을 다음 표2에 나타낸다.

Table 2 The specification of the prototype BLDC motor

air gap	0.5 mm
efficiency	90 %
external diameters of stator	154 mm
internal diameters of stator	89 mm
permanent magnet thickness	25 mm
permanent magnet material	NdFeB

3. 제어시스템

Fig. 3 에 3상 inverter system으로 제어되는 제어시스템의 개략도를 나타낸다. 전원으로부터 직류가 공급되면, 3상 인버터시스템에서 스위칭 소자가 on-off하여 주어진 값의 전류가 모터의 고정자에 흐르도록 한다. 모터에 부착된 위치센서로부터 회전자의 각 극의 위치를 파악하여 그 위치에 맞추어서 스위칭소자가 적절히 회전자의 극의 위치에 맞추어 전류의 on-off주기와 상순을 동기시킬 수 있도록 Commutation Logic에서 제어한다. Tacho generator로부터의 속도 feedback과 속도 명령치와의 오차는 증폭되어 새로운 전류치의 명령 값이 되어 Commutation Logic에 입력된다. current regulator는 Commutation Logic으로부터의 새로운 전류 명령치와 전류센서로부터 feedback되는 실제의 전류치를 비교하여 pulse width modulation에 의하여 스위칭소자의 pulse duty를 조절하여 전류치를 제어한다. 한편 제어기 및 모터의 보호를 위하여 monitoring시스템에서는 모터의 온도, 인가전압, 제어기 heat sink의 온도, 회전속도를 감지하여 주어진 값을 넘지 않도록 감시한다. 전기자동차의 속도는 일반적인 골프카의 사양에 맞추어서 최고전진속도는 24Km/h, 최고 후진속도는 12Km/h로 하였다. 제어기의 사용온도 범위는 -30°C ~ +85°C을 넘지 않도록 한다. 전류의 제어방식은 PWM 방식을 취하나 Chopping noise를 피하기 위하여 작동주파수를 15 KHz이상으로 한다. 이 경우, 그림의 power transistor로는 구현하기 힘들므로 FET 혹은 IGBT와 같은 고속 스위칭소자로 구현한다.

그 외, 승차감과 안전을 위한 제어기의 기능을 다음에 소개한다.

1) Soft start: 정지상태에서 액셀이 급격히 최대로 눌러졌을 때 차량의 속도를 서서히 증가시킴으로 승차감을 좋게 한다.

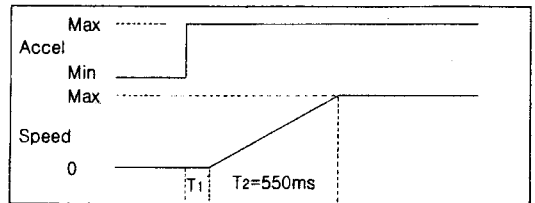


Fig. 4 Function of Soft start

2) Plug Braking: 차량운행시 전진방향에서 운전자의 실수로 변속 Lever가 후진으로 변환되었을 때 또는 후진에서 전진으로 바뀌었을 경우, 승객의 안전을 위하여 속도를 서서히 감속한 후(시속 5 Km/h 이내) Lever방향으로 진행한다.

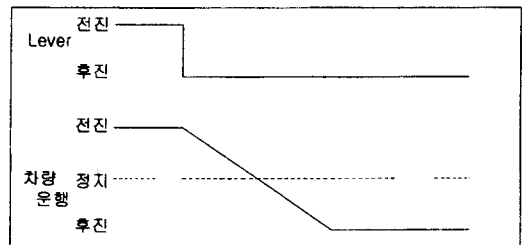


Fig. 5 Function of Plug Braking

3) Thermal Protection: 제어시스템의 보호를 위하여 heat sink의 온도를 감지하여 80°C이상의 경우 모터의 구동전류를 한정치 이하로 제한한다.

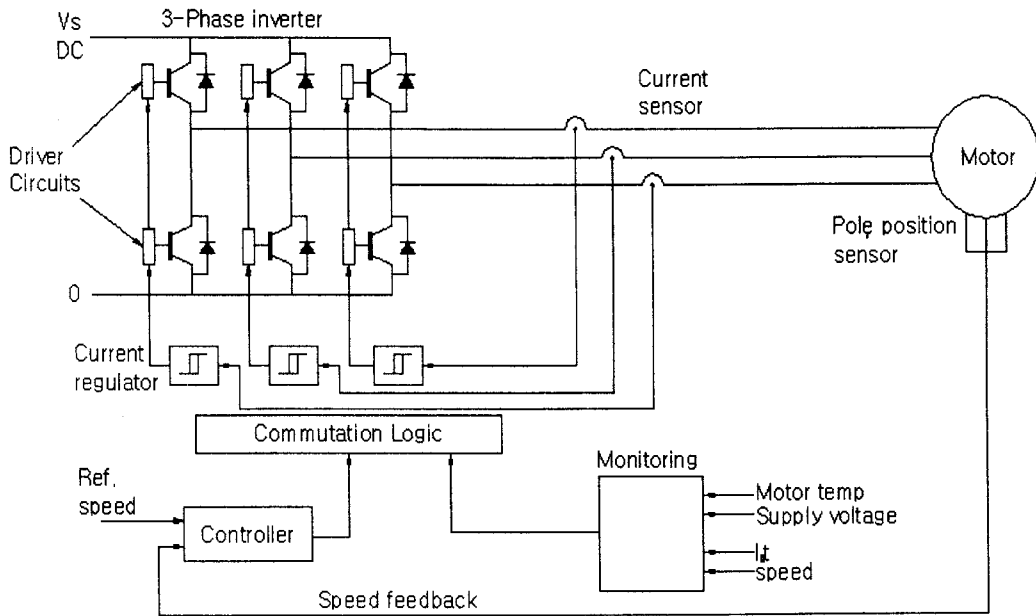


Fig. 3 Control system block diagram for brushless DC motor

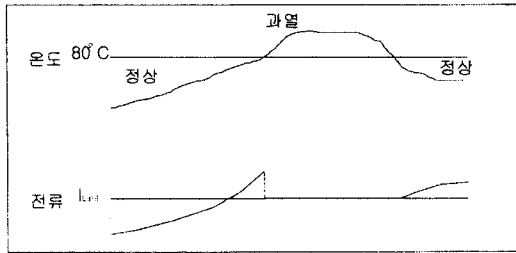


Fig. 6 Function of Thermal Protection

4) Runaway Protection: 액셀의 이상으로 기준 값 보다 높은 전압이 인가될 때 차량의 운동을 중단한다.

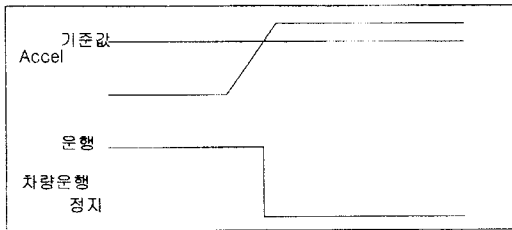


Fig. 7 Function of Runaway Protection

5) Anti-Roll Back: 경사진 곳에서 차량이 정지상태에서 출발 시 Plug Mode로 들어가지 않고 바로 출발할 수 있게 하여 차량이 뒤로 밀리지 않게 한다.

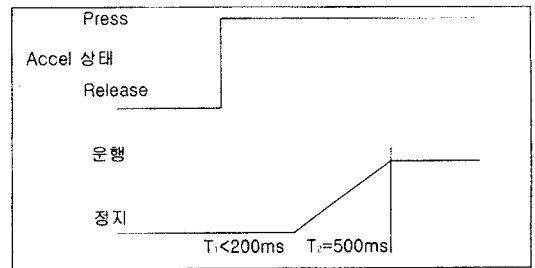


Fig. 8 Function of Anti-Roll Back

6) Under Voltage Protection: Battery가 방전되어 기준 전압 이하로 될 경우, Controller의 이상동작 및 Battery회로 보호를 위하여 출력제한 및 경고음 발생

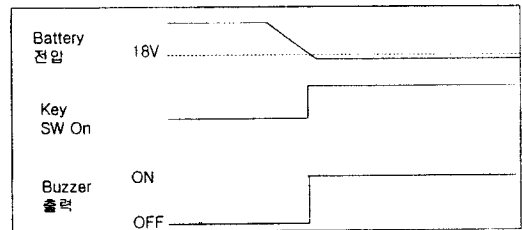


Fig. 9 Function of Under Voltage Protection

7) Current Limiting: Motor 과부하 및 전기배선의 단락으로 인하여 과다 출력 발생 시 차량 및 전기배선의 손상을 막기 위하여 최대 전류치를 제한

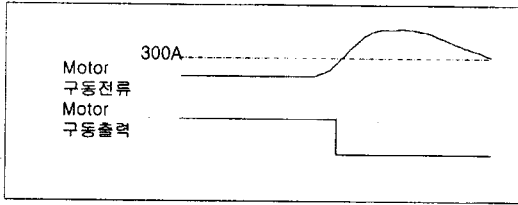


Fig. 10 Function of Current Limiting

8) Zero-speed detection Function: 경사진 곳을 운행할 때, 정지 후 Brake Pedal을 밟지 않아도 차량이 급격히 밀리지 않고 서서히 밀리면서 경보음 발생

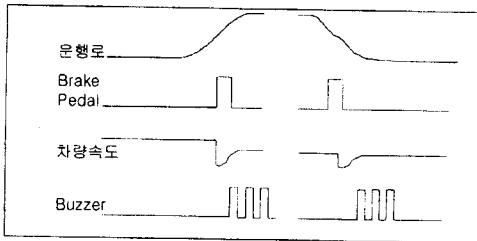


Fig. 11 Function of Zero-speed detection Function

9) 진단코드출력: Error발생 시 Error code를 출력하여 차량상태 확인 및 유지보수작업을 수월케 함

10) Regeneration Braking: 그 외, 회생제동기능의 부가

3. 디자인

그림 12에 battery를 장착한 전기자동차의 구조도를 보인다. 그림에서 1은 랙 & 피니언 2는 스티어링 샤프트를, 3은 가속과 제동 장치를, 4는 battery, 5는 BLDC 모터, 6은 휠을 나타낸다.

다음 그림 13에 소형전기자동차의 외형을 보인다.

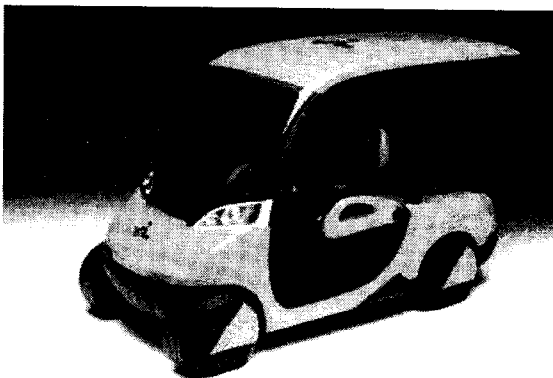


Fig. 13 designed small electric vehicle

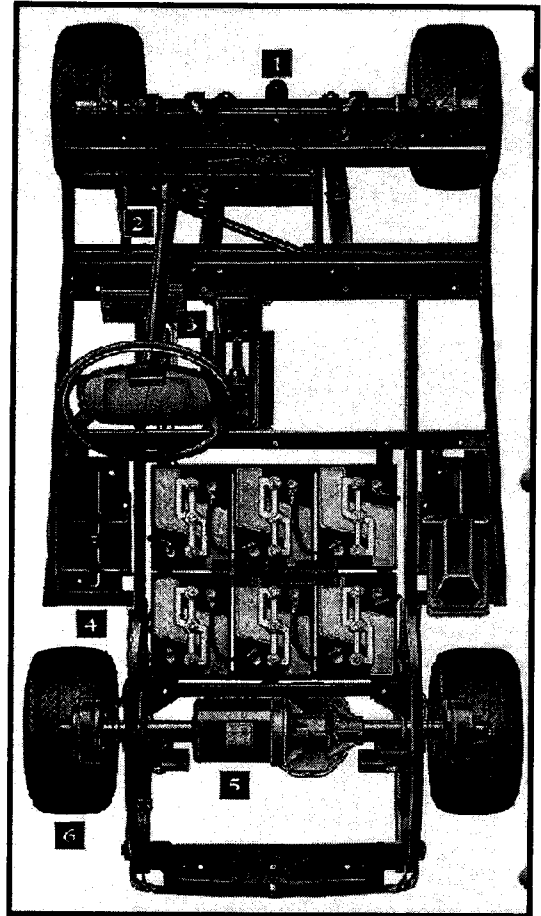


Fig. 12 the structure of electric vehicle

4. 결 론

골프카라는 구체적인 실용화를 목표로 소형전기자동차를 설계하였다. 최근 산업현장의 동력용 및 제어용 전기모터로 각광을 받고 있는 BLDC 모터를 사용하여 현재 국내에서 사용되고 있는 골프카의 사양이상의 성능을 갖도록 설계하였다. 수입골프카의 경우, 구동용 모터로 직류전동기를 사용하고 있는데 반하여 BLDC 모터로 기술적인 면에서 차별을 두었으며 상품화구현시 브러시의 교환이 필요 없다는 유지보수의 측면에서 큰 부가가치를 얻을 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 강민철, "Challenge to- Ultra-small Eco-vehicle", 부산경남 자동차 테크노센터 워크샵, 부산경남 자동차 테크노센터, 2000. 2
2. J.R.Hendedshot Jp and Tje Miller, "Design of brushless permanent- magnet motors", Magna Physics Publications, 1994