

배터리 구동 모터제어시스템에 관한 연구

김홍건*, 강영우+, 유기현**

A Study on the Motor Control System Driven by Battery

H. G. Kim, Y. W. Kang and G. H. Yu

Abstract

An electric vehicle uses the system to a power source whether it limps a high efficiency, without environmental pollution. It coincides the best at the 21th century environmental regulation and energy frugality. The motor control system using DC-DC converter is carried out in this study. The present control system is structured the better condition than that of the AC-DC converter with DC-AC inverter. Further, a vehicle dynamics analysis is performed for the case of Mini-Baja. It is found that the analysis dynamic system for the Mini-Baja gives a good design parameters.

Key Words: Electric vehicle(전기자동차), DC-DC Converter(DC컨버터), Motor Control (모터 제어), Battery(배터리), Driven System(구동 시스템)

1. 서론

전기 자동차는 19세기말에 개발되었으나 축전 성능 및 운행거리의 한계, 화석연료엔진에 비교하여 주행성능의 저하, 전기저항 제어 기술의 미숙하여 가속 때 차의 운행성능 저하 등 여러 가지 요건이 가솔린 엔진 자동차에 비교하여 나쁜 관계로 점차 사람들의 기억에서 사라져 갔다.

그러나, 화석연료의 고갈과 대기오염으로

인한 지구 온난화 현상, 생태계 파괴 등으로 인해 환경 친화적인 자동차의 개발에 많은 관심이 쏠리고 있다. 그 중 태양열 자동차를 제외하고는 가장 실용 단계에 있는 자동차는 전기자동차라 할 수 있을 것이다. 물론 전기를 얻기 위해 다른 자원을 활용해야 한다는 점에서 100% 무공해 차량이라는 할 수 없을 것이다. 현 시점에서 전기 자동차는 휘발유 엔진 차에 비해 그 열효율이 높지 않다. 하지만 곧 그 효율이 2~3배 가량 커질 것이다. 그러나 열 효율만 해결된다고 해서 전기 자동차를 상용화할 수 있는 것은 아니다. 우선 전기 자동차의 무게가 있다. 휘발유 엔진

* 전주대학교공학부(기계공학전공)교수
(hkim@jeonju.ac.kr)

+ 전북대학교 대학원 기계공학과

** 전북지방중소기업청

차와 같은 성능을 내기 위한 경우 전기 자동차는 약 300 ~ 400 Kg 정도 무겁게 나갈 것이다. 생산단가가 비싸다는 것도 문제가 된다. 지금의 기술로는 동력장치만 비교해도 전기 자동차가 휘발유 엔진 차의 2배 이상의 생산비가 필요하다. 미래형 자동차⁽¹⁾로 필요충분조건을 갖춘 전기자동차는 90년대 중반 이후 연구가 활발하게 진행되고 있다. 벤츠는 이미 94년에 「NECAR 1」이라는 이름의 전기자동차를 발표한 후 계속 업그레이드 모델을 내놓고 있다. 포드도 캐나다 연료전지 업체인 발라드 파워 시스템과 텍사코, 애틀랜틱 리치필드, 셀 등 3개 석유회사와 협력해 수소연료전지 자동차 개발에 나섰다. 이들은 2000~2003년에 수소연료전지를 동력원으로 하는 승용차 45대를 미국 캘리포니아주에서 시험 운행할 계획이다. 또 2004년까지는 전기자동차의 상업적 생산 시스템을 갖출 예정이다.

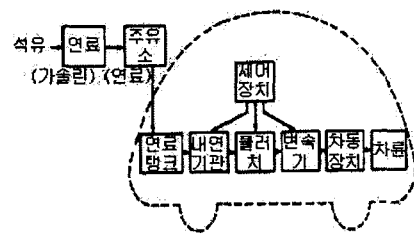
현존의 화석에너지를 이용한 내연기관으로 인한 문제점이 부각되고 있으며 차세대 에너지를 이용한 동력발생분야는 개발을 지나 발전 단계에 다다랐다. 이에 본 연구에서는 현 추세에 맞추어 대체 에너지인 수소에너지의 활용에 앞서 전기에너지를 이용한 모터의 구동과 이를 제어함으로써 효과적인 동력전달시스템을 구축하고자 한다. 기존의 내연기관을 이용한 MINI-BAJA를 개선하여 모터 구동 제어시스템에 맞게 설계 및 제작하였다.

2. 전기자동차 구동시스템의 개요

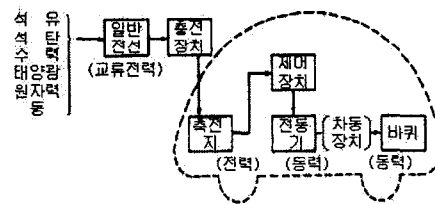
2.1 일반적인 전기 자동차의 개요

전기 자동차는 전기를 에너지원으로 하여 전동기를 구동하여 주행하는 차량이다. 따라서 전기자동차는 축전지, 제어장치, 전동기의

세 가지 주요부로 구성되므로 가솔린 자동차에 비하여 구조가 매우 간단하다. 전기 자동차는 내연 기관 자동차의 연료 대신에 전기를 사용하고, 기관 대신에 전동기와 제어장치를 사용하는 것이므로 축전지의 성능은 전기 자동차의 성능에 영향을 미치는 주된 인자가 된다. 전기 자동차의 구조를 가솔린 자동차와 비교하면 Fig. 1과 같다.



(a) Gasoline vehicle



(b) Electric vehicle

Fig. 1 The comparison of the gasoline and electric vehicle

전기자동차의 파워시스템은 전지(battery), 컨트롤러, 전기모터로 구성된다. 전기자동차는 차에 탑재한 전지의 에너지만으로 주행하므로, 전지의 용량 및 성능이 전기자동차의 성능향상과 밀접한 관계가 있다. 충전지는 교류를 직류로 변환하고 전원전압은 배터리를 사

용하기 때문에 적정히 제어한다. 제어기는 엑셀레이터의 조작에 의하여 전기모터의 전류나 전압을 제어한다. 전기모터는 전기에너지를 구동력으로 변환한다⁽²⁾. Fig. 2는 일반적인 전기자동차 시스템을 모델링한 그림이다.

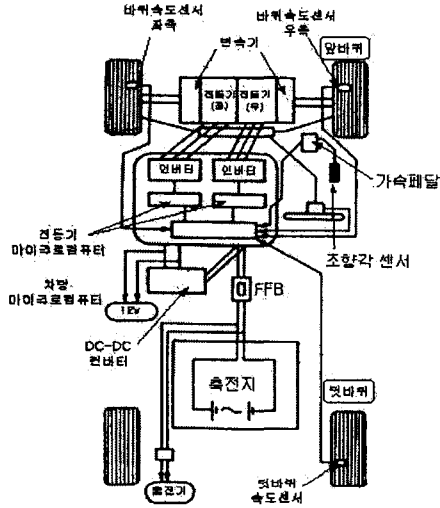


Fig. 2 Electric vehicle system modeling

2.2 전기 자동차의 모터

전기자동차는 모터가 차량의 구동에 가장 큰 핵심요소이다. 모터의 종류로는 직류 전원인 전지를 에너지원으로 하여 직류(DC)를 그대로 사용하는 DC모터와 직류를 일단 교류(AC)로 변환하여 사용하는 AC모터의 두 가지의 종류가 있다. 직류 모터는 회전하는 전기자 코일, 이것에 자계를 형성하는 계자코일, 브래킷 등으로 구성된다. 직류 직권 모터는 기동 토크가 크고 회전 속도가 증가하면 토크는 감소하는 특징을 가지고 있다. AC 유도모터는 1차 권선을 감은 고정자와 회전자, 출력축, 브래킷, 냉각 장치 등으로 구성된다. 한편 AC 동기 모터는 고정 자계를 만드는 고정자와 회전 철심과 영구 자석으로 구성된 회전자로 구성된다.

전기자동차의 모터는 넓은 범위의 토크-속도 특성을 가지며, 효율이 높고 손실이 적으며 유지 보수가 필요 없고 강인하여야 한다. 이런 측면에서 브러시가 없는 종류가 바람직하다. 아래 표 1에서는 전기 자동차에서 사용되는 모터를 비교하였다.

Table 1 A motor comparison which is used at the electric vehicle

항목	DC직권	DC분권	AC 유도기	Brushless DC
기동토크	○	×	△	○
출력밀도	×	×	○	○
가격	○	○	△	×
효율	×	×	△	○
정비성	×	×	○	△
최고회전 속도	×	×	○	○

모터의 모델은 회전자 초퍼 모드나 약전계자 모드로 운전되는 분리된 여자 직류모터에서 예측한다. 형태는 모터의 기본속도와 같거나 적은 모터 출력속도에 의해 특성화되었다. 모터의 기본 입력은 축전지에서 공급되는 전류량으로써 구동 토크를 생성한다. 직류모터의 입출력 특성에 의한 계통식은 보통 다음과 같은 식으로 나타내고 있다.

$$\frac{di_a(t)}{dt} = \frac{1}{L_a} e_a(t) - \frac{R_a}{L_a} i_a(t) - \frac{1}{L_a} e_b(t) \quad (1)$$

$$T_m(t) = K_i i_a(t) \quad (2)$$

$$e_b(t) = K_b \frac{d\theta_m(t)}{dt} = K_b \omega_m(t) \quad (3)$$

$$J_m \frac{d^2 \theta_m(t)}{dt^2} = \frac{1}{J_m} T_m(t) - \frac{1}{J_m} T_L(t) - \frac{B_m}{J_m} d\theta_m(t) \quad (4)$$

여기서

$i_a(t)$ = 전기자전류, R_a = 전기자저항
 $T_L(t)$ = 부하토크, $T_m(t)$ = 모터 토크
 K_i = 토크정수, K_b = 역기전력 정수
 L_a = 전기자인덕턴스, J_m = 회전자관성
 B_m = 점성-마찰계수, $e_b(t)$ = 역기전력
 $\theta_m(t)$ = 회전자 변위, $e_a(t)$ = 전기자 전압
 $\omega_m(t)$ = 회전자 각속도

모터의 회전자 전류와 회전자 전압을 위한 회전자 초퍼모드에서의 방정식은 회전자 전류와 전압과 축전지 출력 전압이 모터의 출력 속도와 토크에 일치된 값에 수렴하도록 반복해서 풀어야 한다.

2.3 전기자동차 Battery의 종류와 고려사항

전기 자동차에서 사용되는 Battery는 양극과 음극이 모드 동일한 원소(화합물)를 포함하지만 서로 다른 특징을 지닌 Lead-acid type의 납축전지와 가장 최근에 상업화에 성공한 전지로 NI-MH type의 니켈수소전지, 리튬전지가 동력원으로 사용된다. Battery의 성능특성은 전기자동차의 성능에 직접적인 영향을 주므로 아래와 같은 필수적인 사항들이 고려되어야 한다.⁽³⁾

- ▷ 가속시와 토크가 많이 요구되는 등판시에 적절하게 에너지를 공급해 줄 수 있는 Peck specific power(W/kg).
- ▷ 사용자가 요구되는 주행거리를 공급할 수 있는 pecific energy(Wh/kg).
- ▷ Life-cycle의 가격을 결정하는 배터리의 가격과 수명.
- ▷ SOC(State of Charge)가 80% 또는 그 이상일 때 일정한 방전상태와 급격한 방전상태에서의 높은 내성.
- ▷ 배터리 내부저항이 DOD(Depth of Discharge)

일 때 최소의 변화를 보여야 한다.

3. 제어시스템 회로 구성 결과 및 고찰

구동시스템은 모터와 DC/DC 컨버터 및 제어기로 구성되어 있다. 구동시스템에서 고려해야 할 사항은 첫째, 단일 또는 다중 모터 사용에 관한 결정. 둘째, 시스템 전압 결정. 셋째, 모터 종류, 컨버터, 제어기, 전압과 전류 수용능력 결정. 넷째, 속도-토크 특성에 의한 운전영역과 최대 토크와 속도 수용능력 결정이다.

3.1 전기자동차의 동역학적 모델링

자동차의 모델링은 근본적으로 주어진 자동차와 도로의 요건에 명백하게 종속적인 주어진 자동차 가속을 위해 필요한 견인력을 표현하였다. Fig 3은 정상상태에서 본 연구에서 개발하고있는 자동차 MINI-BAJA의 동적 역학 다이어그램이다⁽⁴⁾. 수학적 모델을 자동차가 계획된 길을 따라 주행할 때, 가속되는 상태에서 필요한 동력을 구하도록 하였다. 동역학 해석을 위한 뉴턴의 제 2법칙에 의해 표현되는 가장 간단한 형태는 아래 식과 같다.

$$FT = PRL + EMAXX(J) \times A \quad (5)$$

여기서,

FT = 견인력, PRL=도로 부하
 A = 자동차가속, EMAXX= 유효차량중량

$$PRL = (f + \frac{G}{100}) \times (WC + WPL) + \rho \times CD \times A \times \frac{V^2}{2} \quad (6)$$

전체 자동차 무게 W는 자동차의 전비 중량(비품, 연료, 오일 포함)WC와 자동차 유효 하중 WPL의 합이다. 회전 저항은 회전저항 f의 계수와 전체 자동차 무게의 곱이다. 경사 저항은 $\frac{G}{100} \times W$ 이고

G는 도로의 경사 또는 경사 백분율이다.

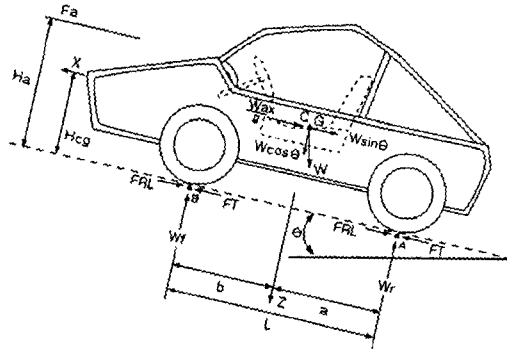


Fig 3. A dynamic mechanics diagram of the MINI-BAJA

3.2 전기자동차(MINI-BAJA) 구동제어시스템의 구성

본 연구에서 제작하는 전기자동차에 맞는 설정을 위해 MINI-BAJA차체의 변화는 필수적이었다. 기존의 동력원인 내연기관과 기타 주변기기들의 제거가 우선시 되었고, 모터와 배터리의 공간 확보, 중량을 감안하여 차체의 경량화, 그리고 모든 중량을 지지할 수 있는 충격 흡수장치 등 시스템에 맞는 제작을 하였다. Fig. 4는 본 연구에서 제작한 MINI-BAJA의 설계 개략도를 보여주고 있다.

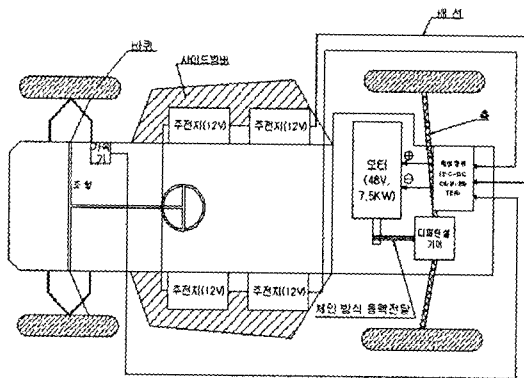


Fig 4. MINI-BAJA design outline diagram

또한 본 연구의 특징으로는 배터리 구동 모터 제어시스템으로 DC-AC Converter 와 AC-DC Converter의 2단계 사용을 축소한 DC-DC Converter를 사용한다는 것과 모터를 동력원으로 사용한다는 점에서 전압 게이지와 전류 게이지를 사용함으로써 속도를 유추해 낼 수 있다는 특징도 내포하고 있다. DC-DC Converter내에 커패시터가 부착되어 있어서 급출발을 사전에 제어 할 수 있다는 큰 장점을 가지고 있다. Fig. 5, 6은 각각 본 연구에서 제작한 DC-DC Converter의 회로도와 실제 사용된 Converter의 모습과 DC 모터(7.5kw)를 나타내었다.

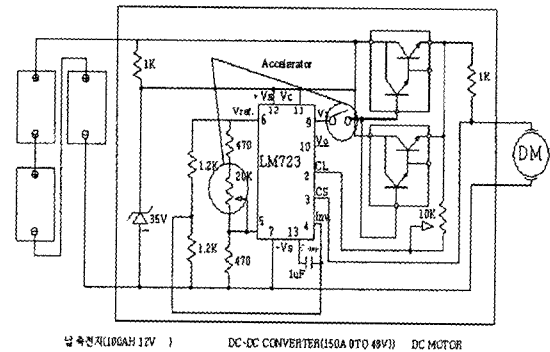


Fig 5. A DC-DC converter circuit



Fig 6. A DC-DC converter and DC motor

모터의 최대 회전 속도는 2000rpm으로 바

퀴 1회전시 이동거리를 1.57m로 계산하면 분당 $1.57m \times 2000rpm = 3.14km$ 이다. 이것을 시속으로 환산하면 188.4Km/h이다.

본 연구에서 MINI-BAJA를 제어하고자 하는 속도를 50Km/h로 하면 필요한 감쇠비는 약 4:1의 비가 나온다.

4. 결론

전기 자동차는 고효율 무공해인 연료전지 시스템을 동력원으로 사용하는 전기자동차로 21세기 환경 규제와 에너지 절약에 가장 잘 부합한다. 이와 같은 장점을 지닌 전기 자동차의 구동제어 시스템의 개발은 매우 혁신적이라고 사료된다. 본 연구에서는 전기자동차(MINI-BAJA)의 동역학적 모델 해석을 통하여 차세대 연료자동차의 설계에 많은 기여를 할 것으로 사료된다. 구동모터제어는 DC-DC Converter를 이용하여 Battery 구동 제어를 실시함으로써 기존 Inverter까지 사용한 차량들 보다 쉽게 제어가 가능하고 차량에 Inverter가 없어 경량화가 가능할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

5. 감사의 글

본 연구의 일부는 2003년도 지역전략산업 석.박사 연구인력 양성사업 연구과제의 일부이며 이에 저자들은 심심한 감사를 표합니다.

참고문헌

- (1) Yang W.C., 2000, "Fuel Cell Electric Vehicles : Recent Advances and Challenges-Review", KSAE, Vol. 1, Number. 1, pp 9-16.
- (2) 김재휘, "자동차 전기·전자", pp. 296-313
- (3) W.A.O'Brien, R.B.Stickel, G.J.May, 1997, "Advancing electric vehicle development with pure-lead-tin battery technology", Journal of Sources 67 pp. 151-155
- (4) J.T.Bear, A.A.Frank, 1993, "Vehicle design optimization for minimization operating cost of electric vehicles", Electric vehicle power system Hybrids Batteries Fuel cells, pp. 25