

전기자동차용 전동기 구동시스템의 개발

최형목*, 설승기
서울대학교 전기공학과

A Novel Motor Drive System for Electric Vehicle

Hyung Mook Choi, Seung Ki Sul
Department of Electrical Engineering Seoul National University

ABSTRACT

This paper proposes a novel motor drive system for the electric vehicle. In this paper, four-wheel-direct-drive type electric vehicle system is designed and the theoretical and experimental analysis of the system is investigated. The concept of steering not with steering the wheels but with the difference of the motor torque gives the flexibility of the vehicle design and allows the omission of the differential gear, transmission gear, and drive axles. Thus the proposed system gives the space between wheels and improves the driver's steering performance.

1. 서론

최근 기존 석유자원의 고갈에 대한 우려와 환경에 대한 관심이 높아지면서 전기자동차의 개발에 대한 많은 노력이 있었다. 현재에는 전력전자의 급속한 발달과 고성능 축전지의 개발로 인해 기존의 자동차와 비슷한 성능을 갖출 수 있게 되었다. 그러나, 전기자동차는 축전지의 에너지밀도의 제한으로 인해 일충전 주행거리가 짧고 가속능력이 내연기관자동차에 비해 떨어진다는 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 차량의 효율적인 운전과 차량중량의 감소, 그리고 기계시스템의 구조를 단순화 할 수 있는 4륜 직접구동 전기자동차시스템을 제안한다.

앞으로 전기자동차가 기존의 자동차를 대체하기 위해서는 여러가지 측면에서 수요자의 요구를 만족시켜야 한다. 예를 들면 전기자동차의 안정성, 신뢰성, 고성능, 저가격, 유지보수의 용이성 등이 보장되어야 하고 저가의 충전장치등이 개발되어야 한다.[1] 이런 여러가지를 만족시키기 위해서는 전기자동차의 주행시스템을 모델링하고 그에 따른 주행특성의 분석이 필요하다. 본 논문에서는 기존의 자동차에서는 구조적으로 불가능하였던 4륜직접구동방식의 전기자동차 구동시스템에 대해 제안한다. 4륜직접구동방식의 전기자동차는 제어상이나 제작상 어려움, 그리고 비용의 증가 등의 문제점이 있으나 기존자동차에서 상당한 부피와 무게를 차지하던 차동기어와 변속기어, 그리고 조향장치를 제거할 수 있다는 장점이 있다. 그래서, 본 논문에서는 4륜 직접구동방식의 전기자동차 구동시스템을 설계하고 그 시스템의 특성에 대해 분석하고자 한다.

2. 본론

자동차의 운동시스템을 완벽하게 모델링하고 분석하는 것은 불가능하므로 단순화된 모델을 사용한다. 본 논문에서는 주행시의 모델을 구하고 이에 따라 실험을 하여 본 모델의 타당성을 입증한다.

2.1 자동차의 운동모델

자동차의 운동은 그림 2.1처럼 3차원의 비선형운동으로 표현된다. 제안된 주행모델에서는 롤링(Rolling), 피칭(Pitching) 등 그외의 운동은 해석상의 편리를 위해서 무시하고, 요잉(Yawing)만을 고려한다.

통상의 자동차가 회전할 때는 좌우바퀴의 조향각이 다르고, 좌우바퀴의 회전속도의 차이로 인해 토크의 배분이 달라지게 되며 차동기어에 의해 배분된다. 제안된 시스템에는 차동기어 및 변속기어가 없으므로 이 기어의 역할을 차량제어 시스템에서 직접 4개의 바퀴에 토크지령치를 생성해 줌으로서 대신한다. 그리고, 조향장치가 없으므로 바퀴는 항상 경면을 향하고 있게 된다. 핸들을 돌리면 그에 해당하는 조향각을 양쪽바퀴의 토크지령치를 다르게 생성하여 줌으로써 원하는 회전운동을 할 수 있다.

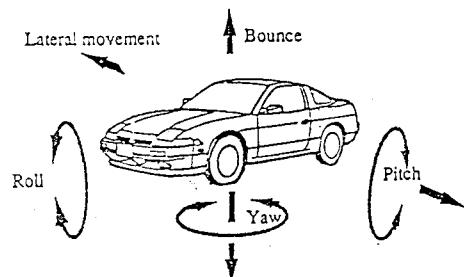


그림 2-1 자동차 운동모델

2.1.1 자동차의 주행모델

일반적으로는 그림 2.2에 도시한것과 같이 전륜과 후륜의 바퀴 4개를 전륜 1개와 후륜 1개인 단순화된 선형 등가선회 모델로 설계한다. 그림 2.3은 전륜과 후륜의 조향각으로 조향하는 모델의 회전운동의 불러도이다.[2]

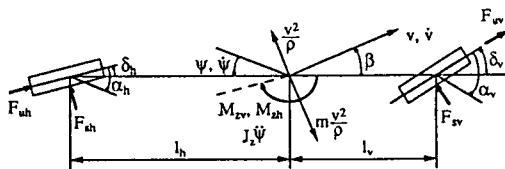


그림 2-2 자동차 선형등가선화모델

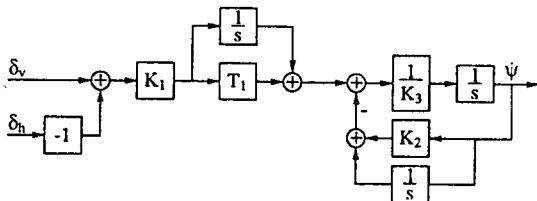


그림 2-3 자동차 조향시스템 불력도(1)

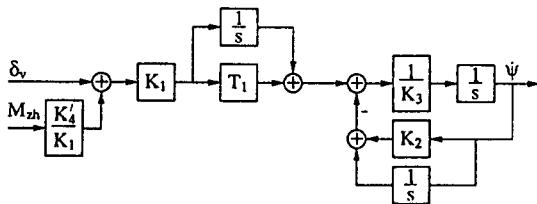


그림 2-4 자동차 조향시스템 불력도(2)

그림 2.4는 전륜은 바퀴의 조향각으로 후륜은 좌,우륜의 토크의 차이로서 조향하는 모델의 불력도이다. [2]

2.2 제안된 4륜직접구동방식

그림 2.5는 제안된 시스템의 조향모델의 불력도이다. 제안된 4륜직접구동방식은 헌들의 회전각에 따라 좌우의 토크분배를 함으로써 회전을 하도록 되어 있다. 그러나, 안정된 회전을 위해서는 속도에 따라 전륜과 후륜의 조향각의 비율조절하는 것이 필요하다.[3] 제안된 시스템에서는 안정된 회전을 위해 속도에 따라 전륜과 후륜의 토크분배가 조절된다.

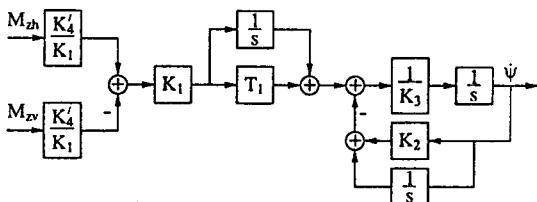


그림 2-5 제안된 자동차 조향시스템 불력도

2.2.1 제안된 4륜직접구동방식 전기자동차의 특징

제안된 4륜직접구동방식의 전기자동차의 장점은

- ① 기존자동차의 조향장치와 차동기어, 변속기어등을 제거함으로써 구조적으로 단순해지고 중량이 감소된다.
- ② 대형전동기를 1개 쓰는 것보다 소형전동기 4개를 사용함에 따라 더욱 효율적인 운전이 가능하다.
- ③ 기계적으로 이루어지던 ABS Brake(Anti Brake lock System)이나 ASR(Anti Slip control)등을 별도의 기계적인 장치없이 소프트웨어로써 구현가능하다.
- ④ 자동차의 설계시 유연성을 준다.
- ⑤ 자동차의 신뢰성이 향상된다.

단점은,

- ① 전동기의 설치상 어려움이 있다.(Direct Drive 방식)
- ② 센서와 전동기의 갯수가 많아지므로 비용이 상승한다..
- ③ 전기적인 시스템이 복잡해진다.
- ④ 제어하기가 어렵다.

이다.

3. 실험장치의 제작과 구성

3.1 실험차의 설계

자동차의 중량은 약 270Kg이며 그 구성은 아래와 같다.

	중량	갯수	총중량
전동기	11 Kg	4	44 Kg
인버터	1.5 Kg	4	6 Kg
밧데리	7 Kg	7	49 Kg
차체	80 Kg		80 Kg
운전자	70 Kg		70 Kg
기타	20 Kg		20 Kg
총중량			269Kg

3.1.1 자동차 주행시의 힘 계산

자동차의 주행시에는 공기저항력(Aerodynamic force), 노면의 상태와 관계있는 구름저항력(Rolling resistance force), 가속시 필요한 가속력(Acceleration force)등의 힘들의 영향을 받게된다.[4]

- ① 공기저항력:공기저항계수와 전면의 투영면적, 그리고 자동차의 속도의 곱으로 표시된다.

$$\text{공기저항력} = 0.04731 \cdot (\text{전면투영면적}) \cdot (\text{공기저항계수}) \cdot (\text{속도}) = 54.5 [\text{nt}]$$

단,전면투영면적: 0.8 (m^2), 공기저항계수: 0.4, 속도: 60 (Km^2) 이다.

- ② 구름저항력:노면의 상태와 차량의 중량의 곱으로 표시된다.

$$\text{구름저항력} = (\text{노면계수}) \cdot (\text{자동차의 중량}) = 40 [\text{nt}]$$

단, 노면계수: 0.148, 자동차의 중량: 270Kg이다.

- ③ 가속력:자동차의 가속성능에 관계있으며 가장 큰 비중을 차지한다.

$$\text{가속력} = (\text{자동차의 중량}) \cdot (\text{가속도}) = 300 [\text{nt}]$$

단, 가속도 = $60*1000/3600/15$

정지에서 60Km까지 가속하여 주행하는 경우에는 위의 세 힘의 합인 394.5 [nt] 필요하다. 60Km 정속주행이라면 ①,②의 합인 94.5 [nt]이 필요하다. 바퀴의 지름이 45cm일 때 전동기의 회전수는 707rpm에서 60Km가 된다.

3.2 실험장치의 구성도

그림 3.1은 제안된 시스템의 구성도이다. 시험차의 제어시스템은 각 바퀴에 장착된 전동기를 독립된 인버터와 제어시스템으로서 전동기를 벡터제어하는 하위시스템이 있고, 그 상위에 4개의 독립된 제어시스템을 통괄하는 차량제어시스템이 차량전체의 동작을 제어하고, 필요한 정보는 1:4 통신으로서 교환하게된다. 상위 차량 제어시스템에서 하위전동기 제어시스템으로 전달하는 정보는 토크지령치와 동작시작과 동작정지등이며, 하위 전동기 제어시스템에서 상위 차량 제

어시스템으로 보내는 정보는 전동기의 속도와 고장신호이다.

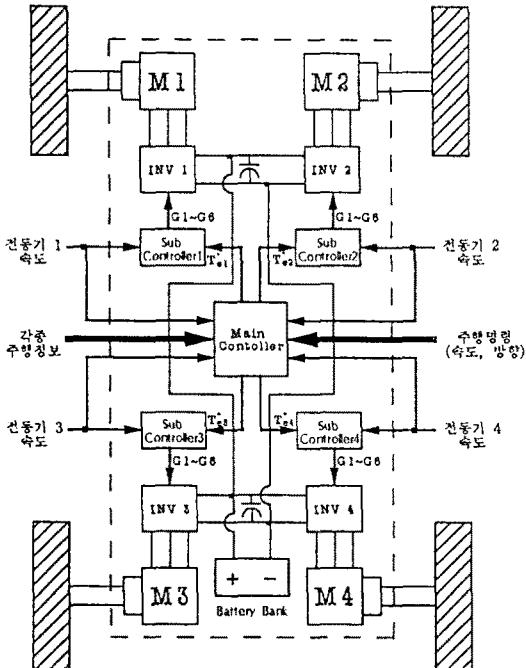


그림 3-1 제안된 전기자동차 구동시스템

3.2.1 전력변환회로

- 2상한 초퍼 (2 Quadrant Chopper) 시스템

본 실험에 사용된 시험차는 총 무게가 270Kg정도로 설계가 되어있다. 축전지를 많이 탑재하는 것은 무게가 중량이 불가능하므로, 축전지를 7개를 탑재하여 84Volt를 얻고 이 전압을 초퍼회로를 사용하여 300Volt로 승압하여, 인버터의 입력직류전압을 얻는다.

입력직류전압이 전압 최대설정치보다 높아지게 되면 그 에너지를 축전지로 회생하도록 되어있다. 이 실험에 사용된 스위칭소자는 미쓰비시사의 600Volt, 300A용량의 IPM을 (Intelligent Power Module) 사용하였으며, 스위칭 주파수는 10KHz이다. 인덕턴스의 용량은 200 μ H이며 커퍼시티의 용량은 4700 μ F이다.

3.2.2 차량제어시스템

차량제어시스템의 기능은 기동시 시스템의 초기화, 승압회로의 동작을 제어하고 하위시스템으로 기동신호를 전달한다. 그리고 주행시에는 헌들의 회전각도와 차속에 따라 토크저령치를 생성하여 4개의 전동기제어시스템에 전달하는 일과 전동기제어기들로부터 고장신호를 입력받아서 그 고장에 대응을 한다.[5] 헌들의 회전각도는 가변저항으로서 측정하였으며 제동장치로는 기존 오토바이에 채용된 마찰식 브레이크를 사용하였다. 차량제어시스템은 안전성이나 신뢰성을 보장할 수 있어야 하고 여러가지 사고에 대처하는 기능을 가지고 있어야 한다. 그리고, 전체 차량의 성능과 직접 연결이 되는 부분이므로 우수한 성능의 전기자동차를 만들기 위해서는 이 시스템에 대한 많은 연구가 있어야 할것이다. 차량제어시스템에 사용된 제어보드의 CPU는 TI사의 DSP CHIP (TMS320C31)을 사용하였다. 제어보드의 A/D 컨버터로는 초퍼의 인덕턴스에 흐르는 전류 I_{ind} , 입력직류전압

V_{dc} , 인버터의 입력전류 I_{inv} 을 입력받아서 전력변환회로의 제어를 수행한다. 모든 입력에 대해 프로그램상의 보호뿐 아니라 하드웨어적으로도 보호장치가 되어 있어서, 전력변환회로에 인덕터에 흐르는 전류나 과전압, 인버터의 입력전류가 과도할 때에 제한을 하여 전체 제어기를 보호한다. 그리고, 전력변환회로와 하위시스템의 고장신호를 입력받아서 보호하는 역할을 한다.

전원공급장치로는 고주파공진을 이용한 전원공급장치를 사용하였다.

3.2.3 전동기제어시스템

전동기제어보드의 CPU는 TI사의 DSP CHIP을 사용하였다. 제어보드의 A/D 컨버터로는 인버터의 입력전류 I_{inv} 와 전동기의 상전류 I_a, I_b 를 입력받아서 전동기의 벡터제어를 제어를 수행한다. 모든 입력에 대해 프로그램상의 보호뿐 아니라 하드웨어적으로도 보호장치가 되어 있어서, 인버터의 상전류가 과도할 때나 전압이 과도할 때에 전체 제어기를 보호한다. 그리고, 상위와 하위시스템간의 정보교환은 Altera사의 EPDL(Erasable Programmable Logic Device)를 이용하여 하드웨어적으로 구현하였다.

그리고, 이 상위와 하위시스템간의 정보교환은 Altera사의 EPDL(Erasable Programmable Logic Device)를 이용하여 하드웨어적으로 구현하였다.

4. 결론

본 논문에서는 내연기관 자동차에서는 구현할 수 없었으나 전기자동차에서는 구현 가능한 4륜직접구동방식의 전동기제어시스템에 관해 제안하였다. 제안된 시스템은 전기자동차의 무게의 감소와 기계적인 구조의 단순화를 실현함으로써 설계의 유연성과 전동기의 효율적인 운전이 가능하게 된다. 앞으로 2륜독립구동형이나 4륜조향형의 전기자동차시스템이 개발된다면 위에서 제안한 모델과 비교하여 전기자동차에 가장 적합한 구동시스템을 결정하는데 지표가 될 수 있을 것이다. 앞으로는 계산이나 계측의 난점으로 사용할 수 없었던 파라미터를 고려한 모델과 모델의 단순화로 생긴 오차를 고려한 연구가 계속되어야 할 것이다.

기호 및 약어설명

1. M_h, M_s ; 회전 모멘트

2. $\dot{\psi}$; 요킹각속도(Yawing angular velocity)

5. 참고문헌

- [1] 이상준, 설승기, "전기자동차 축전지의 충전장치에 관한 연구"; 1992, 전기공학과 석사논문
- [2] Langheim, J., Fetz, J., "Driving Behavior of a Vehicle with two Induction Motors for the Rear Wheels"; EVS 11 Symposium proc., 1992
- [3] Shinsub Jung, Dennis A. Guenther, "An Examination of the Maneuverability of an All Wheel Steer Vehicle at Low Speed"; SAE Paper 910241
- [4] L.E. Unnewehr, S.A.Nasar, "Electric Vehicle Technology"; John Wiley & Sons, 1982, Chap2
- [5] Fetz, J., Langheim, J., "Concept of an Electric Citybus with two Induction Motors"; EVS 10 Symposium proc., 1990