

전기자동차의 구동바퀴 차동 제어를 위한 독립 모터제어 시스템 개발

유현욱*, 정준홍*, 이동식**, 김영춘***
 *공주대학교 기계공학과
 **공주대학교 산업디자인공학부
 ***공주대학교 기계자동차공학부
 e-mail:yckim59@kongju.ac.kr

Development of Independent Motor Control System for Differential Control of Driving Wheels of Electric Vehicles

Hyeon-Wook Yoo*, Jun-Hong Jung*, Dong-Seok Lee**, Young-Choon Kim***
 *Dept. of Mechanical Engineering, Kongju University
 **Dept. of Industrial Design Engineering, Kongju University
 ***Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju University

요약

배출가스 규제가 강화되며 전기자동차의 생산이 늘어나고 있고, 이에 따라 전기자동차의 연구 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 본 논문에서는 동력 시스템의 무게를 줄이고 성능을 개선하기 위해 두 개의 구동 모터를 사용하여 구동 바퀴를 직접 제어하는 연구를 진행하였다. 기존에 사용해왔던 차동기어로 동력을 분배하는 시스템은 무겁고 동력을 분배하는 과정에서 많은 동력손실이 발생하기 때문에 이를 대체할 수 있는 독립 모터제어를 위한 전체적인 시스템을 설계하고, 실험 장치를 제작하여 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 후륜구동형 자동차의 모델을 만들고 각 구동 바퀴의 속도를 계산하여 차량의 속도 및 조향에 따른 모터의 회전을 직접 제어할 수 있는지 확인하였다.

1. 서론

최근 배출가스 규제가 강화되고 있어 대부분의 자동차 제조사들은 내연기관 자동차의 생산량을 줄이고 전기자동차의 생산량을 늘리고 있다. 전기자동차는 주 동력원인 모터로 주행하게 되는데 차동기어를 통해 동력을 분배하여 구동용 바퀴로 전달하게 된다. 하지만 차동기어는 상당히 무겁고, 내부의 기어가 맞물려 돌아가면서 동력이 손실된다. 이러한 단점을 개선하기 위해 전기자동차의 모터를 구동용 바퀴에 각각 장착하여 독립적으로 제어하면 차동기어의 기능을 수행하면서 구동손실을 줄일 수 있다.

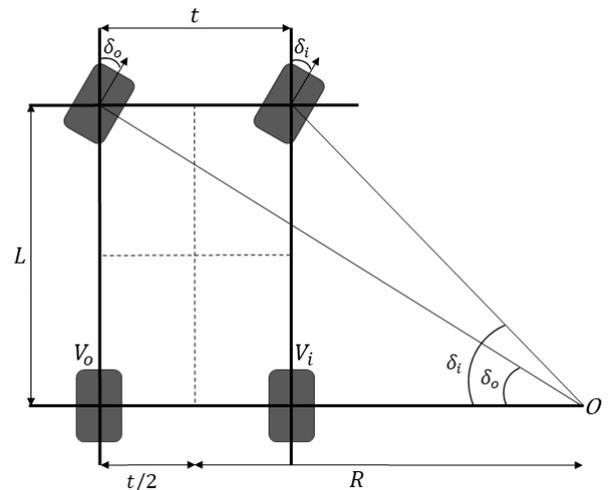
전기자동차의 조향각과 바퀴의 회전속도에 따라 바퀴를 구동하는 두 모터의 속도를 독립적으로 제어할 수 있는 실험 장치를 설계, 제작하고 실험을 진행하였다.

2. 실험장치 및 결과

2.1 차량 모델링

실험에 사용된 차량은 후륜구동형 자동차로 후륜의 두 바퀴로 노면에 동력을 전달한다. 실험에 사용된 차량은 선회시

완전한 원을 그리는 주행을 하고, 회전 반경은 휠베이스보다 크다고 가정하였다. 또한 조향각 δ 는 좌측과 우측 조향각의 평균으로 가정하였다.



[그림 1] 차량 회전 반경에 대한 모델링

- 차량의 회전반경은 다음과 같다.

$$R = L \cdot \cot \delta \quad (1)$$

- 차량의 선속도는 다음과 같이 가정하였다.

$$V = R \times \omega \quad (2)$$

- 이때 외측과 내측 바퀴의 회전반경에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$V_o = V \times \left(1 + \frac{t}{2L \cdot \cos\delta}\right) \quad (3)$$

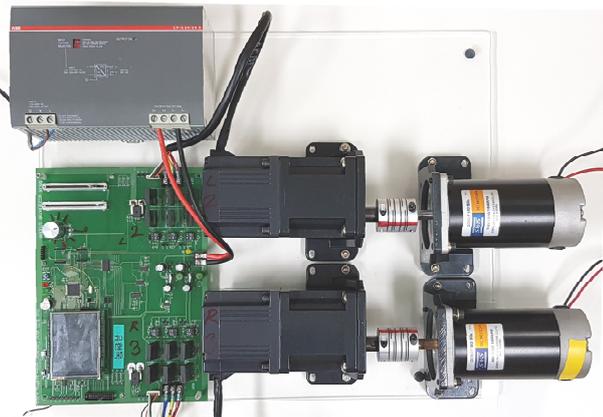
$$V_i = V \times \left(1 - \frac{t}{2L \cdot \cos\delta}\right) \quad (4)$$

[표 1] 기호 설명

R	회전반경
L	휠베이스
δ	조향각
V	선속도
ω	각속도
t	윤거

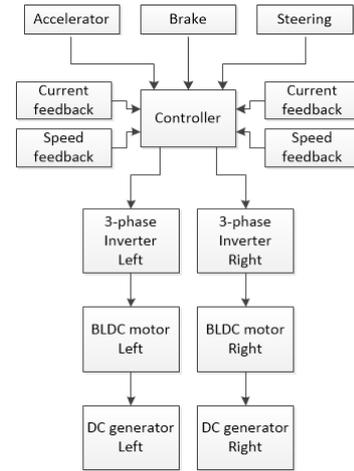
2.2 실험 장치

전기자동차의 구동용 모터 두 개와 이들을 제어할 수 있는 컨트롤 보드로 실험 장치를 구성하였다. 컨트롤 보드의 사진은 그림 2와 같다.



[그림 2] 실험 장치의 구성 사진

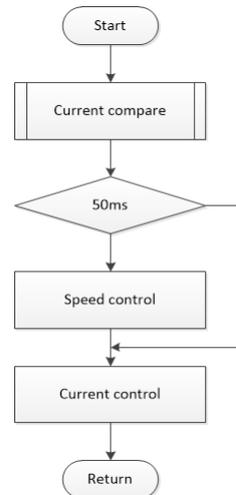
컨트롤 보드는 두 개의 고성능 타이머, 카운터가 탑재된 Cortex-M7 계열의 STM32F767VGT6 프로세서를 사용하여 두 개의 전력변환장치를 구동할 수 있도록 하였고, 가변저항을 사용하여 전기자동차의 가속, 제동, 조향 지령을 입력하였다. 컨트롤 보드의 블록선도는 그림 3과 같다.



[그림 3] 컨트롤 보드의 구성 블록도

2.3 제어 프로그램

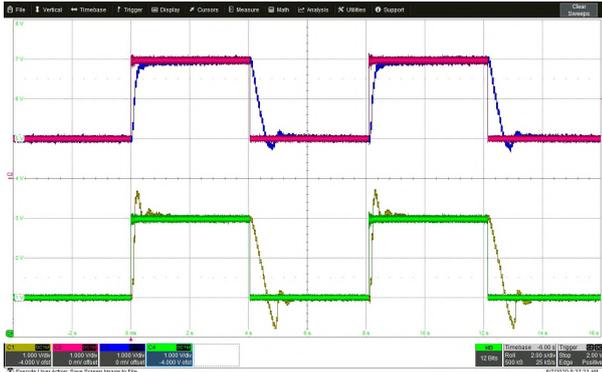
실험 장치의 가변저항으로 지령을 입력하면 프로세서에서 차량의 속도, 조향각을 식 (3), (4)에 대입하여 기준 값을 계산한다. 계산된 기준 값으로 모터 제어 루틴에서 두 모터를 제어하게 된다. 각 모터의 전류는 50us마다 제어되고, 속도는 50ms마다 제어된다.



[그림 4] 모터 제어 블록도

2.4 실험 결과

두 개의 모터를 제어할 수 있는 실험 장치를 설계, 제작하여 진진 실험, 선회실험으로 나누어 실험을 진행하였다. 그림 5와 그림 6은 차량이 전진하며 가속, 감속하는 실험 결과이다. 그림 7은 차량의 진행 방향이 $\pm 30^\circ$ 범위에서 10° 의 간격으로 변할 때 두 바퀴의 속도 제어 실험 결과이다.



[그림 5] 직진하는 경우 속도 추종 실험 결과

차량이 속도변화를 급격하게 하는 경우 두 모터의 동작특성을 확인하기 위해 스텝으로 속도를 변경하였다. 실험 결과 두 모터 모두 스텝으로 변하는 기준 값을 추종하는 모습을 확인할 수 있다.



[그림 6] 직진하는 경우 속도 및 전류 추종 실험 결과

차량이 속도변화를 급격하게 하는 경우 두 모터의 동작특성을 확인하기 위해 스텝으로 속도를 변경하였다. 실험 결과 모터의 기준 속도가 변경되는 순간 전류 기준 값이 크게 변동하지만 속도가 정상상태에 돌입하면서 전류도 안정화 되는 것을 확인할 수 있다.



[그림 7] 선회하는 경우 속도 제어 실험 결과

차량이 방향을 전환하는 경우를 가정하여 실험을 진행한 결과이다. 차량의 구동바퀴인 후륜을 제어하는 두 모터의 속

도를 직접 제어하였다. 먼저 우회전을 10°간격으로 30° 까지 진행하였고, 이어서 같은 방식으로 좌회전을 진행하였다. 양측 모터의 회전속도는 앞서 실험한 속도 추종 실험결과와 마찬가지로 조향각을 스텝으로 변경하였을 때 기준 속도를 1초 이내에 추종하는 것을 확인할 수 있다.

3. 결론 및 고찰

두 개의 구동용 모터를 제어할 수 있는 컨트롤 보드를 설계하고, 실험 장치를 제작하여 전기자동차의 구동 바퀴 독립 제어 실험을 진행하였다. 두 개의 모터는 전기자동차의 주행 상황에 따라 본문에서 설명한 수식을 기반으로 각 모터의 속도를 제어된다. 직진, 선회 두 가지 상황을 가정하고 실험을 진행하였는데 직진하는 경우에는 컨트롤러에서 좌, 우 양측의 바퀴가 같은 거리를 이동하도록 모터의 속도를 일정하게 유지하며 제어하였다. 직진 중 급격하게 속도를 변경하는 경우 기준속도를 급격하게 증가 및 감소시켜 약 1초 이내로 추종하도록 하였고 이를 통해 실제 급가속 및 급제동시 모터의 응답속도를 확인하였다. 선회하는 경우 식(3)과 식(4)를 적용하여 10°의 간격으로 조향했을 때 두 모터의 속도가 제어되는 것을 확인하였다.

전기자동차의 동력원인 모터를 두 바퀴에 직접 연결할 수 있도록 두 개 설치하고, 직접 제어함으로써 추가적인 동력분배장치를 없앨 수 있어 경량화에 큰 이점을 가지고, 직접 구동 바퀴를 제어하기 때문에 기존의 동력 분배장치에 비해 빠른 제어 응답속도를 기대할 수 있을 것이다.

후기

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.
(No.2018R1D1A3B07050288)

이 논문은 2019년 중소벤처기업부의 기업연계형 연구개발 인력양성사업(S2755803)의 지원을 받아 수행된 연구임

참고문헌

- [1] 박치만. "인휠 獨立驅動 플랫폼 전기 자동차의 姿勢制御를 위한 모터 制御 알고리즘 開發" 성균관대학교, 2008.
- [2] 김동훈. "다중 모터를 이용한 전기자동차 구동용 인휠 구동시스템에 관한 연구" 경일대학교, 2012.
- [3] 신슬기. "후륜 인휠모터 전기자동차의 독립구동 및 반능동 현가시스템 협조 제어" 군산대학교, 2014.
- [4] 고성연. "차량 속도 및 노면 마찰계수 추정을 통한 인휠(in-wheel) 전기자동차 자세제어 알고리즘 개발" 성균관대학교, 2012.

- [5] 송현우. "4륵구동 인휠 전기자동차의 에너지효율 및 선회 성능 향상에 대한 연구" 성균관대학교, 2013.
- [6] 김학선. "독립동력원을 갖는 전기자동차의 조향시스템에 관한 연구" 울산대학교, 2011.
- [7] 윤덕용, BLDC 모터 제어 기술, Ohm사, 2015.