

직렬형 하이브리드 전기 트럭 구동용 견인전동기 제어 시스템

이재현* 이지명* 양이우* 박래관* 장서건* 이진주** 김상민**

*(주)에이디티 중앙연구소, **삼성테크윈

Control System of Traction Motor for a Series Hybrid Electric Truck

Jae-Hyun Lee*, Ji-Myoung Lee*, Yi-Woo Yang*, Rae-Kwan Park*, Seo-Geon Chang*,

Jin-Ju Lee**, Sang-Min Kim**

*ADT Co., Ltd., **Samsung Techwin

ABSTRACT

본 논문에서는 직렬형 디젤 하이브리드 전기 트럭 구동을 위한 견인 전동기 제어 시스템 개발에 대해 소개한다. 높은 출력 밀도를 요구하는 복합형 전기 차량의 특성을 고려하여 매입형 영구자석 동기전동기를 선정하고, 대전류 고효율 시스템 구성을 위해 수랭식 MCU(Motor Control Unit)를 개발 하였다. 또한 빠른 토크 응답 특성과 넓은 영역의 속도 운전을 위한 약자속 제어 기법을 적용하였으며, 전체 시스템 효율을 향상시키기 위해 단위 전류당 최대 토크 제어 기법(MTPA)이 사용 되었다. 개발 된 제어 시스템 및 제어 기법을 실험을 통해 검증 하였다.

1. 서 론

1990년대 CO2 배출량 저감, 연비 향상을 목적으로 하이브리드 자동차의 개념이 정립된 이후 내연 엔진에 전동력 추진체계를 접목한 하이브리드 자동차가 널리 확산되고 있다.^[1] 1997년 일본의 토요타가 최초로 복합형 전기 승용차의 판매를 시작한 이래 혼다, GM등 여러 자동차회사들이 승용차 또는 SUV, VAN등 승용하이브리드 자동차를 상용화 하여 시판하고 있다. 반면에, 승용차에 비해 차량 구동을 위해 큰 전류를 필요로 하는 상용차부분의 트럭이나 버스등 Heavy Duty Vehicle에 있어서 하이브리드 개발과 상용화는 승용차에 비해 상대적으로 뒤진 감이 있다.^[2]

본 논문에서는 직렬형 하이브리드 전기 트럭의 중량을 최소화 하고 출력 밀도를 높이기 위해 선정된 매입형 영구자석 동기전동기를 대상으로, 개발된 제어 시스템을 구성하고 실험을 통해 성능을 검증 하였다.

2. 제어 시스템의 구성

하이브리드 전기 차량은 시스템의 구성에 따라 직렬형 하이브리드 시스템과 병렬형 하이브리드 시스템으로 구분 된다. 그림 1은 직렬형 하이브리드 시스템을 나타낸다. 직렬형 하이브리드 전기 자동차(Series Hybrid Electric Vehicle)는 배터리와 전동기에 의해 바퀴를 구동하는 전기자동차가 배터리 용량에 따라 한번 충전으로 주행 가능한 거리가 제한되는 문제를 해결하기 위해 발전기를 추가한 시스템을 말한다.^[2]

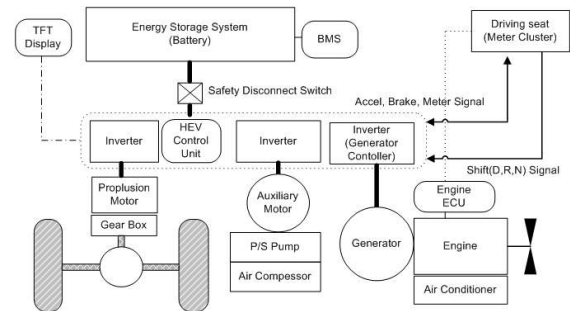


그림 1 직렬형 하이브리드 시스템

Fig. 1 A series hybrid system

2.1 견인전동기

상용차의 경우 차량의 연비의 향상을 위해 차량의 차체 중량을 줄이고 출력 밀도를 높일 수 있는 전동기의 선정이 필수적이다. 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM: Interior Permanent Magnet Synchronous Machine)는 비교적 높은 효율과 단위 체적 당 높은 토크를 얻을 수 있기 때문에 견인 전동기 구동 분야에 적합한 특성을 가진다.^[3] 표 1은 선정된 매입형 영구자석 동기전동기의 제정수를 나타낸다.

표 1 매입형 영구자석 동기전동기의 제정수

Table 1 The Parameters of IPMSM

| 정격출력 | 65kW | 정격토크 | 224Nm |
|----------|--------|----------|---------|
| 극수 | 8 | 고정자 저항 | 0.0075Ω |
| 자속축 인덕턴스 | 0.28mH | 토크축 인덕턴스 | 0.44mH |

2.2 모터 제어기(MCU: Motor Control Unit)

그림 2는 선정된 견인 전동기를 대상으로 하는 모터 제어기(MCU: Motor Control Unit)의 구성을 나타낸다. MCU의 파워부는 상위 제어기로부터 수신한 토크 지령을 전동기에 인가하는 2-Level 전압형 인버터를 기반으로 입출력 직류단의 필름 커패시터부, 병렬 3상 풀-브리지 IGBT 모듈부로 구성된다. TMS320F28335 DSC(Digital Signal Controller)를 기반으로 하는 제어부는 MCU의 전압과 전류 제어 및 고장상태의 판단, 상위제어기와의 통신 등을 담당한다. 표 2는 개발된 모터 제어기의 사양을 나타낸다.

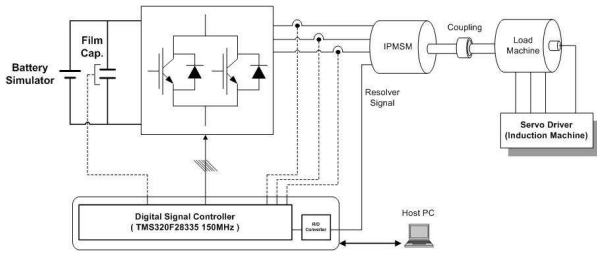


그림 2 모터 제어기의 구성
Fig. 2 Configuration of MCU

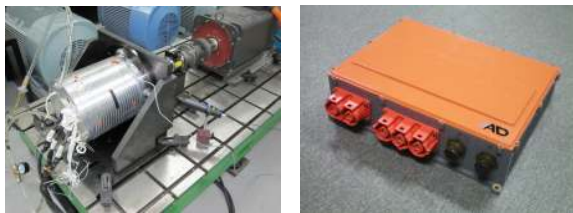
표 2 모터 제어기의 사양
Table 2 The specification of MCU

| | |
|----------|--------------|
| 입력전압 | 450 ~ 680Vdc |
| 최대출력 | 120kW, 1min |
| 최대운전 주파수 | 666Hz |
| 스위칭 주파수 | 10kHz |
| 위치 검출 | Resolver |

3. 실험 결과

3.1 실험 세트 구성

그림 3에서 나타낸 것과 같이 제작된 전동기를 대상으로 개발된 제어 시스템의 성능 검증을 위해 무부하 및 부하 시험을 수행하였다.



(a) 제작된 전동기 (b) 제작된 모터 제어기

그림 3 실험세트
Fig. 3 Experimental set

3.2 실험 결과

그림 4는 전동기의 역기전력 상수를 얻기 위해 부하용 유도 전동기를 기저속도로 일정하게 운전하게하고, 개발된 전동기의 상전압을 측정하는 것이다.

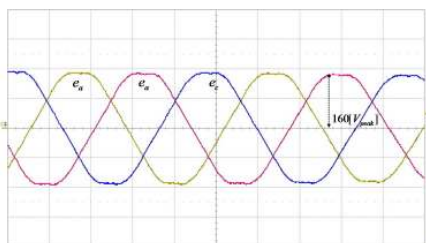


그림 4 2,843r/min 에서의 전동기 a상 역기전력 파형
Fig. 4 Back EMF waveform at 2,843r/min

그림 5는 모터 제어기의 성능 검증을 위한 무부하 실험 파형이다. 인가된 속도 목표 지령에 대해 25초 동안 일정한 기율기를 가지는 속도 지령을 추종한 실제 속도 파형과 전 운전 영역에서의 d축, q축 전류 파형이다. 본 논문에서는 역기전력을

전향 보상한 동기좌표계 PI제어기가 사용되었으며, 고속운전 및 실제 차량에 장착 시에 빠른 토크 응답 특성과 손실을 최소화하기 위한 전류 참조표를 사용하였다.

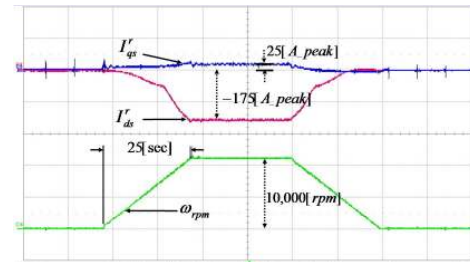


그림 5 무부하 시험 파형
Fig. 5 No-load Experimental waveform

그림 6은 기저속도와 부하 전동기가 가능한 최대 속도에서 정격 토크를 인가한 시험 파형을 나타낸다.

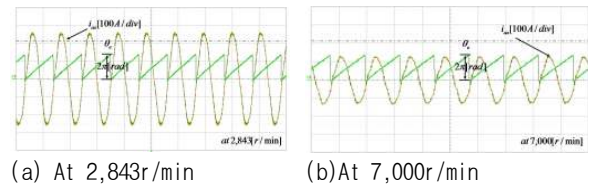


그림 6 정격부하 시험 파형
Fig. 6 Rated load Experimental waveform

3. 결론

본 논문에서는 직렬형 하이브리드 전기 트럭 구동용 건인 전동기 제어 시스템 개발에 대해 소개하였다. 높은 출력 밀도를 요구하는 상용차의 시스템 구성의 특성상 제작된 매입형 영구자석 동기 전동기를 대상으로 대전류 출력 특성을 고려한 수랭식 모터 제어기를 개발 하였다. 넓은 구간 운전을 가능하게 하기 위한 약자속 제어 알고리즘을 적용하고 빠른 토크 응답 특성과 손실을 최소화하기 위해 전류 참조표를 이용하였다. 개발된 제어 시스템과 제어 기법은 무부하 시험과 부하 시험을 통해 성능을 검증 하였다. 향후에는 전원 설비 및 부하 시험 장치의 확충을 통해 최대 정격시험을 수행할 예정이다.

본 연구는 방위사업청/민군겸용기술센터의 민군겸용 기술 개발사업의 일환으로 수행하였음.[09-DU-EN-02. 특수임무 차량용 고기동 하이브리드 추진시스템 개발]

참고 문헌

- [1] 이지명, 이재용, 박래관, 장서건, 최경수, "하이브리드 전기 자동차 구동용 전력변환장치", 전력전자학회 논문지, 제13 권 제6호 pp. 420~429, 2008. 12.
- [2] 최옥돈, "Heavy duty(버스, 트럭) 하이브리드 전기자동차 차량의 기술동향", 전력전자학회지 제12권 제5호, pp. 24~30, 2007.10.
- [3] N. Bianchi, and T. M. Jahns, Design, Analysis, and Control of Interior PM Synchronous Machines, Tutorial course notes of IAS2004, 2004.