

전기버스용 초저상 액슬 일체형 휠모터 구동시스템 개발

조상준, 윤영득
현대로템(주) 기술연구소

Development of the wheel motor drive system integrated into low-floor axle for the electric bus

Sang-Joon Cho, Young-Deuk Yoon
Hyundai Rotem

ABSTRACT

교통 약자 승객의 편의성 증대, 도심의 매연 감소 및 온실가스 저감 등 대중 교통 선진화를 위해 친환경 초저상 전기버스의 개발이 필요하다. 초저상 전기버스는 초저상 액슬 일체형 휠모터 구동시스템을 탑재한 형태로 구현이 가능하며, 초저상 액슬 일체형 휠모터 구동시스템은 구동 모터를 액슬 허브에 일체화 시킴으로써 기존 구동시스템 대비 무게 및 사이즈가 대폭 줄어들고, 동력 전달 매커니즘을 획기적으로 개선하여 효율 향상 및 차량 연비 개선이 가능하다. 특히 바퀴 중심과 액슬 출력 중심에 단차를 뒀으로써 차량의 전방 바닥 뿐만 아니라 후방 바닥을 평평하게 유지할 수 있어 실내 공간이 획기적으로 개선되어 교통 약자를 포함한 승객의 편의성을 향상시킬 수 있다. 또한, 액슬 일체형 휠모터 구동시스템은 각 휠의 분산 구동이 가능하므로 동특성 및 구동제어성이 뛰어나고, ESP(Electronic Stability Program), VDC(Vehicle Dynamic Control) 등과 연계하여 통합적인 지능형 시스템을 구현할 수 있다. 액슬 일체형 휠모터 구동시스템은 휠모터와 감속기 및 휠모터제어기 등으로 구성되며, 본 논문에서는 초저상 액슬 일체형 구동시스템용 120kW급 휠모터 및 휠모터제어기의 개발 및 다이노모 환경에서 T-N 특성 및 최대 출력 시험, 효율 시험을 통해 전기버스 등 대형 차량(Heavy Duty Vehicle)에 적용 가능한 전기동력시스템의 성능을 확인하였다.

1. 서론

차량 바닥의 높이를 낮추고, 전후방의 바닥 높이를 동일하게 유지할 수 있는 초저상 전기버스는 교통 약자를 포함한 승객의 편의성을 증대시킬 수 있으며, 도심의 공해 물질 저감에 큰 효과가 있는 친환경 차량으로, 초저상 액슬 일체형 휠모터 구동시스템을 적용하면 좌우 바퀴의 분산 구동을 통해 동특성 및 구동 제어성을 높일 수 있고, ESP, VDC 등과 연계하여 향상된 주행 성능을 확보할 수 있다.

2. 초저상 액슬 일체형 휠모터 구동시스템

2.1 초저상 액슬 일체형 휠모터 구동시스템 구성

전기버스용 초저상 액슬 일체형 휠모터 구동시스템은 그림 1과 같이, 좌우 바퀴에 휠모터와 감속기가 설치되며, 좌우 휠모터를 각각 제어하기 위해 휠모터제어기(MCU : Motor Control

Unit)가 2세트 구성된다. 차량의 최고 속도, 등판 성능, 가속 성능 등을 만족시키기 위해 휠모터 구동시스템은 240kW, 21,000N·m의 구동 성능이 요구된다.

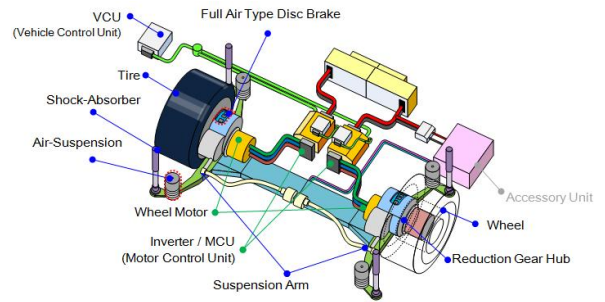


그림 1. 초저상 액슬 일체형 휠모터 구동시스템 개념도
Fig. 1 Wheel motor drive system integrated into low-floor axle

2.2 전기동력시스템 동력 사양

휠모터 구동시스템의 최적 효율을 고려하여 감속비를 선정하며, 감속비를 제외한 전기동력시스템(휠모터 및 휠모터제어기)의 동력 사양은 그림 2와 같다.

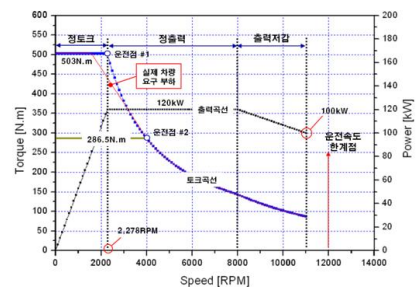


그림 2. 전기동력시스템 동력 사양
Fig. 2 Wheel motor drive system spec

3. 전기동력시스템 개발

협소 공간에서 차량의 동력성능을 만족시키기 위해, 휠모터는 출력 밀도가 높은 매입형 영구자석 모터(IPMSM : Interior Permanent Magnet Synchronous Motor) 형태로 개발하였다.

휠모터제어기의 핵심 구성품인 파워모듈은 고전압 배터리의 최대 전압 및 모터 상전류 최대치를 고려하여, 세미크론사의 automotive급 1,200V급/300A 모듈을 3병렬로 구성하였다.

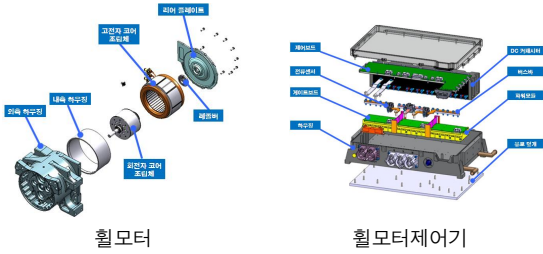


그림 3 전기동력시스템 전개도
Fig. 3 Wheel motor drive system development

표 1 전기동력시스템 주요 제원
Table 1 Wheel Motor and MCU spec

항목	단위	사양
고정자 직경	mm	320
위치 센서		레졸버(× 4)
방식		3상 PWM 인버터
고전압	Vdc	550 ~ 774
상전류 최대치	Apk	650
스위칭 주파수	kHz	8
최대 대역폭	Hz	733@11,000rpm
냉각 방식		수냉식

휠모터로 사용하는 IPMSM은 식(1)에서 본 바와 같이 전류와 토크의 관계가 비선형적이며, 속도에 따라 변화하는 전압과 전류의 제한 관계를 갖는다.

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} [\lambda_{pm} I_q + (L_d - L_q) I_d \cdot I_q] \quad (1)$$

레졸버를 이용하여 휠모터의 회전속도를 계산하며, 발생토크는 시험을 통해 생성된 속도별 d-q축 전류맵을 이용한다. 토크 지령에 대한 d-q축 전류지령을 전류맵으로부터 추출한 후, 휠모터로 출력되는 상전류로부터 변환된 d-q축 전류와 전류지령의 오차를 PI 제어를 통해 보상하여 추출된 전류지령을 추종하도록 제어한다.

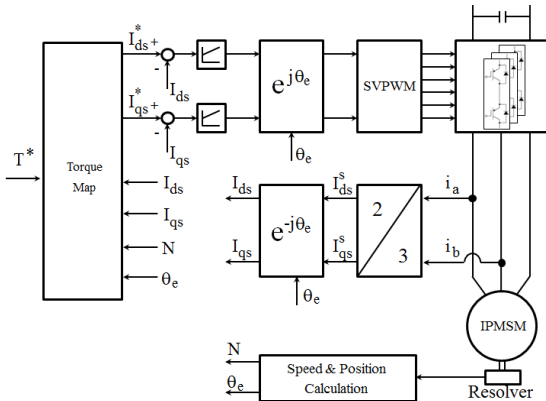


그림 4 MCU 제어 블록도
Fig. 4 Block diagram of MCU

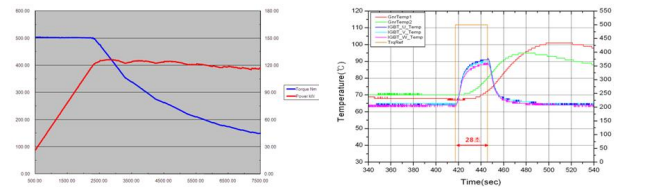
4. 다이노모 성능 시험

휠모터와 휠모터제어기의 성능을 확인하기 위하여 그림 5와 같이 다이노모 환경의 시험을 수행하였다.



그림 5 다이노모 성능 시험
Fig. 5 Performance test using Dynamometer

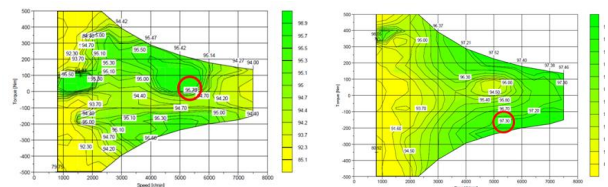
개발된 휠모터와 휠모터제어기는 최대 토크 503N·m 및 120kW 출력을 만족하며, 단시간 정격시험시 허용 온도 범위 내에서 정상 동작함을 확인하였다.



T-N 및 출력 특성 단시간 정격

그림 6 T-N 특성 및 단시간 정격
Fig. 6 T-N graph and rated power test

휠모터 최고 효율은 95%이고, 휠모터제어기의 최고 효율은 97%로 우수한 성능을 보이고 있다.



모터 효율 휠모터제어기 효율

그림 7 휠모터 및 휠모터제어기 효율
Fig. 7 Efficiency of the wheel motor and MCU

5. 결론

본 논문에서는 초저상 전기버스에 적용하기 위한 액슬 일체형 휠모터 구동시스템의 휠모터 및 휠모터제어기를 개발하였고, 다이노모 성능시험을 통해 토크, 출력, 정격 및 효율 등의 전기동력시스템의 요구 사양을 만족함을 확인하였다.

향후 7,500rpm ~ 11,000rpm 영역의 동력 성능을 확인할 계획이다.

본 논문은 지식경제부의 지원으로 수행한 그린카 등 수소 시스템산업원천기술개발사업(자동차)의 연구 결과입니다.
(과제번호 : 10035413)