

전기버스의 구동성능 최적화 및 모터 소음진동 분석

Optimization for driving performance and analysis for noise and vibration of motor in an electric bus

신창우† · 임원식* · 김규식** · 이봉현** · 차석원***

Chang Woo Shin, Wonsik Lim, Kyu-Sik Kim, Bong-Hyun Lee, Sukwon Cha

1. 서 론

최근 들어 전기 자동차에 대한 관심과 정책적 지원 속에 전기 자동차 개발을 위한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 전기 자동차의 구성요소는 구동 시스템, 전자 장치 시스템, 에너지 저장 시스템 및 보조 부하 시스템과 같이 크게 4 가지로 분류할 수 있다. 이 중에서 구동 시스템은 전기 차량의 기계적 구동에 관여하는 감속 기어와 모터로 구성된다. 본 연구에서는 모터, 배터리, 중감속 기어의 구조로 이루어진 전기 버스의 구동 성능을 최적화하기 위해 차량 목표성능에 대한 단품 성능을 분석하는 연구를 수행하였다. 모터의 성능 곡선을 기준으로 주행 사이클에 따른 최적 기어비 도출 방안을 제시하고, UDSS 주행 사이클에 대한 최적 감속비를 도출하였다. 또한 모터의 소음, 진동 분석을 통해 전기 버스 적용 가능성을 검토하였다.

2. 전기버스의 구동성능 최적화

개발할 전기 버스의 목표 성능을 최고 순항속도 90km/h, 15% 경사로를 25km/h의 속도로 등판주행으로 선정하였다.

2.1 최고 순항 속도 분석

대상 전기 버스에 적용할 모터의 최대 파워가 200

kW, 정격 파워가 120 kW일 때 최대 순항 속도를 위한 요구파워를 식 (1)과 같이 계산하였다. 이 때 적용한 차량의 세부 사양은 Table 1과 같다.

$$P_{required} = \frac{1}{\eta_{reduction}} \cdot F_{veh} \times v_{veh}$$

$$= \frac{1}{\eta_{reduction}} (F_{aero} + F_{rolling} + F_{grade} + F_{acc}) \times v_{veh} \quad (1)$$

식 (1)과 같이 요구파워($P_{required}$)는 감속기 효율($\eta_{reduction}$), 주행 저항(F_{veh}), 차량 속도(v_{veh})로 계산할 수 있다. 최고 순항 속도에 대한 요구파워를 계산한 결과 Fig. 1과 같이 모터의 정격파워 120 kW일 때 전기 버스의 최고 순항속도는 111.5 km/h이다. 따라서 차량의 목표 성능을 만족하는 것을 확인할 수 있다.

Table 1 Target vehicle parameter

차량 파라미터	파라미터 값
차량 전면적, A_f (m ²)	7.5
공기저항계수 C_d (-)	0.6
구름저항계수	0.00667
증력가속도, g (m/s ²)	9.81
차량 무게 (kg)	11250
타이어 반경 (m)	0.507

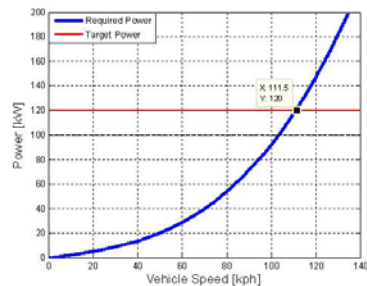


Fig. 1 Required power for maximum speed

† 교신저자; 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : shincw@snu.ac.kr

Tel : 02-880-8050 , Fax : 02-880-1695

* 서울과학기술대학교 자동차공학과

** 자동차부품연구원

*** 서울대학교 기계항공공학부

2.2 등판 성능 분석

식(1)을 이용하여 등판 성능을 위한 최대 요구과워를 계산한 결과 모터 최대 파워인 200 kW에서 15% 경사 등판 시 37.2 km/h의 속도로 주행할 수 있음을 확인하였다. 이는 차량 목표 성능인 25 km/h를 충족시키는 것을 볼 수 있다.

2.3 주행사이클 분석

버스와 같이 일정한 주행 사이클을 갖는 경우 해당 주행 사이클에 대한 분석이 매우 중요하다. 본 연구에서는 상용 차량의 사시 다이내모미터 시험을 위해 개발된 UDSS 주행 사이클을 적용하였다. UDSS 주행 사이클은 주행거리 8.88 km, 평균속도 30.14km/h, 최고속도 92.8 km/h이며 Fig. 2와 같다.

2.4 최적 감속비 도출

주어진 주행 사이클에서 최적의 구동성능을 구현하기 위해서는 차량 시스템에 맞는 감속비의 기어비가 선정되어야 한다. 최적 감속비를 도출하기 위해 다음과 같은 절차를 진행하였다. 우선, 목표 주행사이클에 대한 요구 에너지를 산출하고 모터 출력 및 효율을 이용한 사용에너지를 산출한다. 요구에너지와 사용에너지를 이용하여 기어비에 따른 효율선도를 Fig. 3과 같이 도출할 수 있다. 이처럼 다양한 기어비에 대한 반복 계산을 통해 UDSS 주행 사이클에서의 최적 감속비를 9.01로 도출하였다.

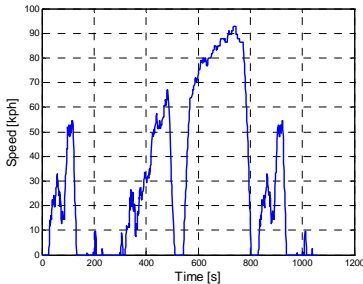


Fig. 2 UDSS driving cycle

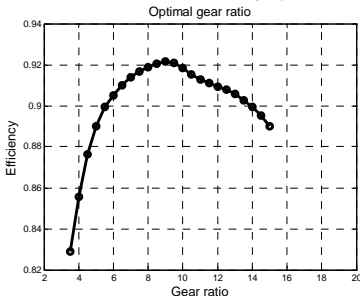


Fig. 3 Optimal reduction gear ratio

3. 모터의 소음진동 분석

3.1 전동기 모드 해석

본 연구에서는 전기버스용 구동계로써 영구자석 매입형 동기 전동기를 채택하였으며, 전동기의 진동 특성을 확인하기 위해 Nastran 을 이용하여 회전자 및 고정자의 모드 해석을 수행하였으며 그 결과는 아래 Table 2와 같다. 해석 수행 결과 개발 모터의 고유 진동수가 전동기 운전영역을 회피하여 공진 가능성이 없음을 확인하였다.

Table 2 Natural Frequency

구분	고유진동수 (Hz)	
	회전자	고정자
1 차	1452	1707
2 차	2793	1710
3 차	4360	1761

3.2 전동기 방사 소음 해석

모터의 소음 특성을 확인하기 위해 BEM(LMS Virtual.Lab)을 이용하여 모터 프레임의 방사 소음을 예측하였다. 모터 회전자와 고정자 사이의 베어링부에 구동 가진력을 인가하였으며 그 결과는 아래 Fig. 4와 같다.

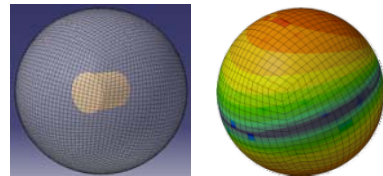


Fig. 4 Motor BEM model and simulation result

4. 결 론

본 연구는 전기버스의 구동성능 최적화에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위해 최대파워 200 kW, 정격파워 120 kW인 모터를 대상으로 차량의 최고 순항속도와 등판 성능 속도를 분석하였다. 또한 최적 감속비 도출 방법을 이용하여 최적 기어비 9.01을 산출하였다. 또한, 본 전기버스에 사용되는 모터의 모드 해석 및 방사 소음 해석을 분석하였다.

후 기

이 연구는 지식경제부에서 주관하는 온라인전기자동차 단기수송 시스템 기술 개발 사업의 지원하에 수행되었습니다.