

바이모달 저상굴절차량용 견인전동기 설계에 관한 고찰

A study of traction motor for Bimodal low floor vehicle

최열준* 박영호* 최종목** 목재균***
Choi, Yeol Jun Park, Yeong Ho Choi, Jong Mook Mok, Jai Kyun

ABSTRACT

This paper deal with the design concept of traction motor for Bimodal low floor vehicles that are CNG(Compressed Natural Gas) hybrid bus and Fuel-cell bus. The design concept of the traction motor is studied in terms of electrical characteristics and mechanical construction. Finally, this paper introduces the characteristic of the traction motor for low floor vehicles which are applied in the world, and mentioned the detail design concept of traction motor.

1. 서론

현재 해외 대도시에서는 환경 친화적인 대중교통 수단으로 하이브리드 저상굴절차량이 운영되고 있으며, 점점 그 수요가 증가하고 있는 추세이다. 저상굴절차량은 18m 또는 23m로 각각 2량, 3량으로 구성되어 기존 버스보다 많은 승객을 수송할 수 있도록 제작 및 운영 되고 있으며, 하이브리드 또는 연료전지 시스템을 적용하여 연비 향상 및 대기 오염 물질의 방출을 저감할 수 있는 장점이 있어 미래 대중교통 시스템으로 세계적으로 개발이 진행 중에 있다. 또한 저상 굴절 차량은 버스, 전차 및 지하철 등과 같은 다른 대중교통 수단과 연계하여 다양한 장점을 취할 수 있다.

저상굴절차량의 연료전지 구동시스템은 엔진을 대신하여 견인전동기의 기계적 출력을 이용하여 차량을 구동하며, 인버터를 통해 차량의 속도를 조절할 수 있다. 차량 엔진에서 발생하는 대기 오염 물질을 줄일 수 있어 환경적 측면에서 뛰어난 장점을 가지고 있다.

해외에서 운행되고 있는 저상 굴절 차량용 견인전동기는 소형·경량화, 친환경적인 특성을 요구하는 시대적인 흐름에 따라 개선 모델 개발이 지속적으로 이루어지고 있다.

본 논문에서는 각 국가마다 적용된 저상굴절차량용 견인전동기의 특성을 비교 분석하였다. 또한, 소형·경량화를 요구하는 저상굴절차량의 견인전동기 특성을 감안하여 각륜 제어방식의 감속기 일체형 견인전동기의 전기적 특성 및 기계적 구조 설계에 대하여 검토하고자 하였다.

2. 저상굴절차량용 견인전동기 적용 사례

아래 표1에서 보는 바와 같이 각 국가에서 운행되고 있는 저상굴절차량용 견인전동기는 유도전동기 방식이 주로 사용되고 있다.

저상굴절차량용 견인전동기의 주류를 이루고 있는 유도전동기의 특징은 고정자에 AC전원으로 회전하는 자계를 만들면, 회전자에 전압을 유도함에 따라 회전자 바에 전류가 생성되어 회전하는 구조로, 유도전동기의 가장 큰 이점은 전기적인 접촉(contact)을 없앴으로서 단순하고 강인한 구조를 가진다는 데 있다.

* (주)로템 기술연구소, 비회원
** (주)로템 기술연구소, 정회원
*** 한국철도기술연구원, 정회원

표1. 저상굴절차량용 견인전동기 적용 사례

구 분	ATPS	BAE System	GM (EP-40)	ISE [SIEMENS]	ENOVA Systems
형 식	유도전동기	유도전동기	유도전동기	유도전동기	유도전동기
냉각방식	수냉식	유냉식	유냉식	수냉식	수냉식
정 격	39kW×4	186.5kW	186.5kW	85kW×2	150kW

국내 저상굴절차량용 견인전동기는 개발 초기 단계에 있으며, 저상굴절차량에 적용될 구동용 견인전동기 형식을 선정하기 위하여 위 표1에서 보이는 바와 같이 각국에 적용된 저상굴절차량용 견인전동기의 주요 특징에 대해서 검토하여 향후 국내에 적용될 구동용 견인전동기 기술에 대한 방향을 제시하였다.

3. 저상굴절차량용 견인전동기 전기 설계 검토 및 성능

그림 1은 견인전동기가 4대 장착되어 있는 18m급 저상굴절차량의 견인전동기 역행 곡선을 나타내었다. 18m급 저상굴절차량의 공차중량은 14ton, 부하중량은 3.1ton으로 산정하였으며, 시속 25km/h까지 약 4.6km/h/s의 가속도로 견인전동기 최대출력은 42.5kW로 계산되었다.

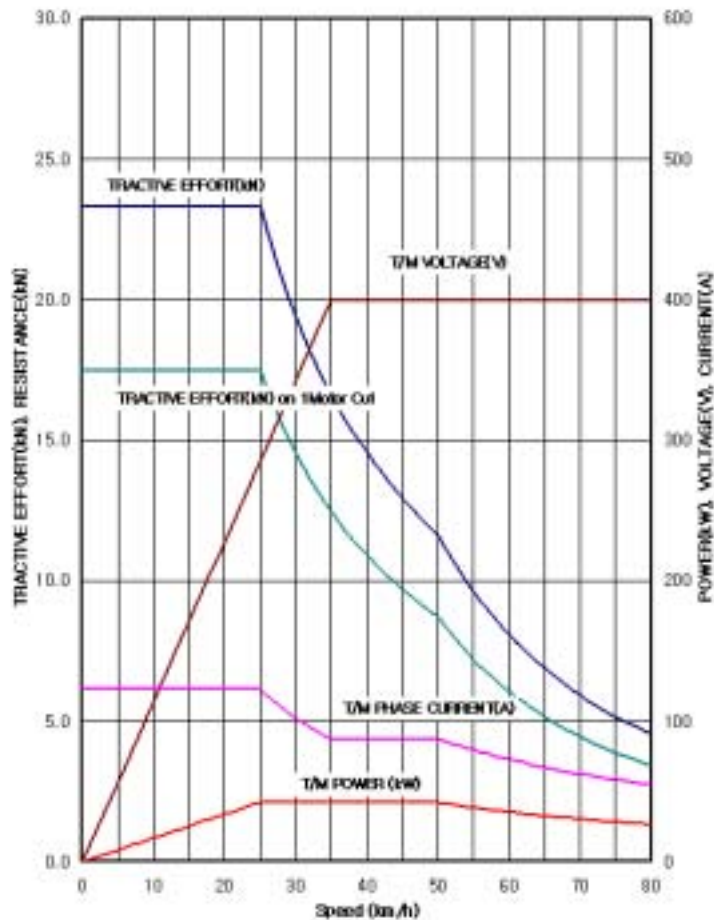


그림1. 저상굴절차량(18m급) 역행 곡선

그림 2는 18m급 저상굴절차량의 견인전동기 제동 곡선을 나타내었다. 차량 중량은 역행시와 동일하며, 시속 5km/h까지 약 3.6km/h/s의 감속도로 견인전동기 최대 회생 전력은 27.3kW로 계산되었다.

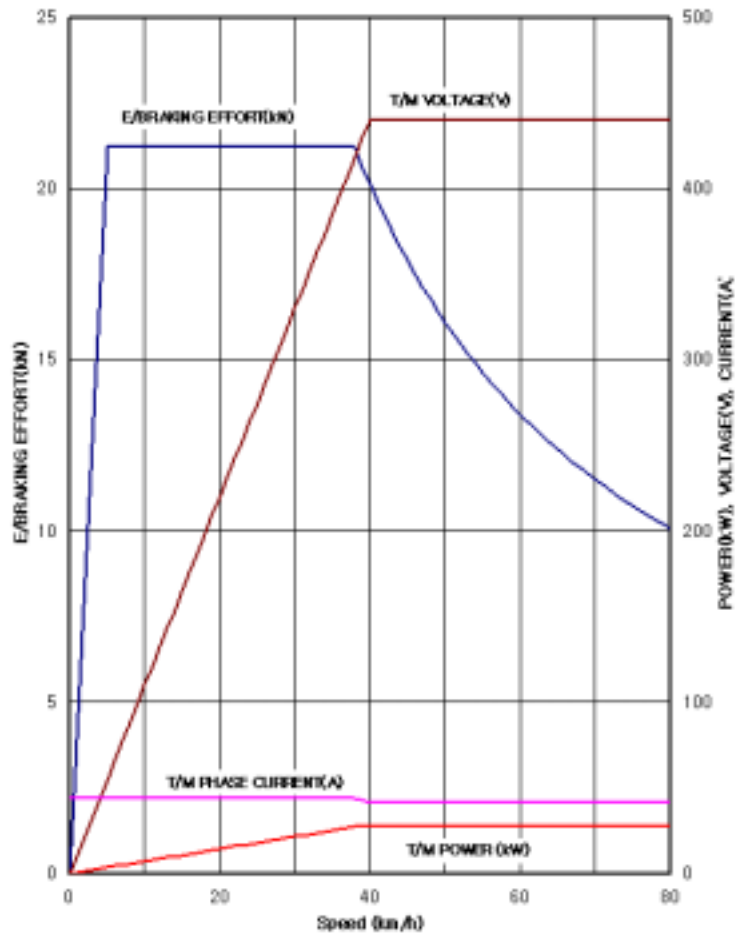


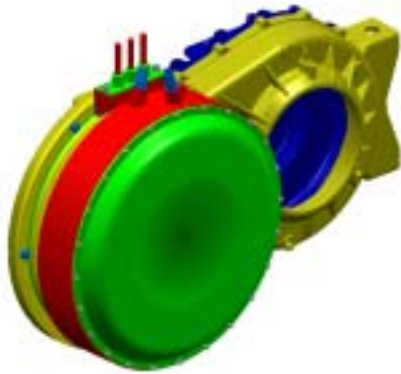
그림 2. 저상굴절차량(18m급) 제동 곡선

상기와 같은 역행 및 제동 성능을 만족하기 위해 견인전동기는 총 4대를 차량의 구동축에 설치하여 각 바퀴별 구동력 및 조향을 제어하는 각륜 구동 방식을 적용하고 있다. 따라서 상기 조건을 만족하는 견인전동기 주요 제원을 다음 표2와 같이 선정하였다. 전동기 형식은 견고한 구조의 농형 유도전동기를 적용하였으며, 연속정격 출력은 39kW, 최대 회전수는 6,000rpm이다.

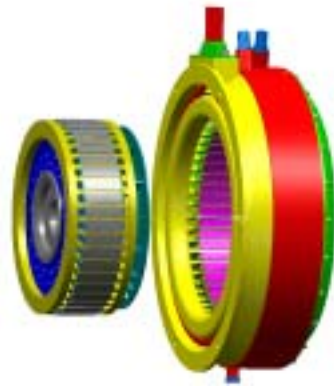
표2. 견인전동기 제원

구 분	모터 사양	비 고
형 식	3상, 6극, 농형 유도전동기	
절연등급	H 중	
정격출력 [kW]	39	연속정격
전압(V)/ 전류 (A)	400 / 82.7	
토크 [kgm]	12.9	
정격 주파수 (Hz)	150	
정격 회전수 (rpm)	2,960	
최대 회전수 (rpm)	6,000	
효율 (%) / 역률 (%)	89.0 / 76.0	

또한, 저상굴절차량의 견인전동기는 소형·경량화를 요구하는 특성을 만족시키기 위하여 모터-감속기 일체형으로 설계되었다. 견인전동기-감속기 일체형 모델은 그림 3 (a)와 같으며, 견인전동기 고정자가 감속기 하우징에 직접 취부되는 구조로 설계하여 최소 공간을 점유하도록 하였다. 또한 견인전동기 고정자와 회전자는 그림 3 (b)에서와 같이 외경에 비해 폭이 좁은 구조로 설계하였다.



(a) 견인전동기-감속기 구조



(b) 견인전동기 고정자-회전자 구조

그림 3. 견인전동기-감속기 모델

4. 견인전동기 냉각 구조 및 기계적 구조 검토

그림 4에서 보는 바와 같이 견인전동기는 전폐형으로 내부 공기가 외부 공기와 접촉되지 못하는 밀폐형 구조를 적용하였다. 회전자와 고정자 모두 구동 시 손실로 열을 발생시키며, 냉각이 충분히 이루어져야만 전동기의 성능이 유지 될 수 있다. 따라서 고정자 냉각을 위해 프레임에 냉각수 유로를 형성하였으며, 냉각수의 접촉 면적을 최대화하기 위해 유로에 굴곡 형상을 구현하였다. 또, 전동기 내부 공기를 위해 회전자 코어에는 이중 통풍 홀을 적용하여 보다 많은 유로 면적을 확보하였으며, 프레임의 내측 부분 중 일부를 제거하여 순환공기의 통로 역할을 하도록 제작하였다. 순환 공기의 유로 역할을 고려하여 설계된 유선형 팬이 전동기 내부 공기를 순환시키면 내부의 뜨거운 공기는 냉각된 프레임 통로를 지나면서 온도가 내려가게 된다. 즉, 수냉식을 기본으로 하고, 내부 공기의 순환을 이용한 공랭식을 조합한 이중 냉각 방식을 채택함으로써 냉각 성능의 최적화를 도모하였다.

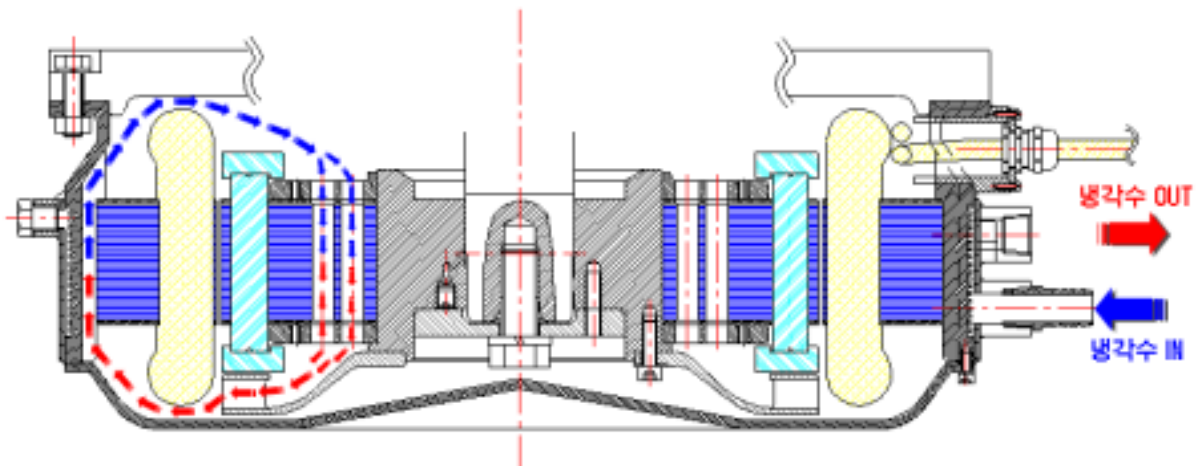


그림 4. 견인전동기 냉각 계통도

또한, 견인전동기 회전자는 감속기 샤프트에 압입되는 구조로 견인전동기 회전 시 차량 진동 및 자체 회전 진동에 의한 회전자의 이탈 현상이 발생될 수 있고, 이를 예방하기 위하여 회전자를 감속기 샤프트에 조립한 후 End Cap을 설치하였다.

5. 결론

저상굴절차량용 견인전동기는 소형·경량화, 높은 안정성과 신뢰성, 운전비 저감, 유지 보수비의 경감 등이 요구되고 있다.

이러한 요구조건을 충족시킬 수 있는 견인전동기의 개발은 차량 전체 시스템의 관점에서 구성되어야 하며, 특히 전력변환 장치와의 연계 개발이 중요하다.

또한, 저상굴절차량용 견인전동기를 개발하기 위한 주요 기술적인 요구사항은 차량시스템과 전력변환 장치와의 상호관계에 입각한 기구적 특성 및 용량·정격 특성의 최적 결정, 고효율화, 경량화, 신뢰성 확보의 관점에서의 기술 개발, 견인전동기의 시험 및 평가 기술 구축 등이 요구된다.

향후 저상굴절차량용 견인전동기를 실제 제작하여 전기적인 특성 시험, 기계적 시험 및 열 특성 시험을 통해 최적 설계가 이루어 질 수 있도록 개발하고자 한다.

“본 연구는 국가교통핵심기술개발사업에서 지원된 신에너지 저상굴절차량개발 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.”