

# 바이모달 저상굴절차량용 견인전동기 성능 개선 및 평가

## A improvement performance and test result of traction motor for Bimodal low floor vehicle

최열준\*      박영호\*      김철호\*      최종묵\*\*      배창한\*\*\*      목재균\*\*\*  
Choi, Yeol Jun   Park, Yeong Ho   Kim, Chul Ho   Choi, Jong Mook   Bae, Chang Han   Mok, Jai Kyun

---

### ABSTRACT

This paper deal with the improvement performance and test result of traction motor for Bimodal low floor vehicles that are CNG(Compressed Natural Gas) hybrid bus. The improvement performance concept of the traction motor is studied in terms of electrical characteristics and mechanical construction.

Finally, this paper introduces the result of the traction motor test for low floor vehicles, and mentioned the detail design concept of traction motor.

---

### 1. 서론

저상굴절차량의 개발에 있어 견인전동기는 기존 자동차의 엔진 역할을 하는 핵심 요소 기술로 저상굴절차량의 성능 및 안정성을 좌우하게 되므로 최적의 설계로 효율을 최대화하고 안정적인 시스템의 개발이 절실한 실정이다.

저상굴절차량 적용을 위한 최적의 견인전동기를 개발하기 위해 기 개발한 연구 성과를 바탕으로 성능이 향상된 견인전동기를 설계하고자 하였다. 1차 개발된 견인전동기 설계에 대한 분석을 위하여 성능 시험을 실시하였으며, 이를 바탕으로 견인전동기 성능 향상을 위한 설계 개념을 정립하였다.

2차 개발한 견인전동기는 1차 개발한 견인전동기 대비하여 용량이 증가되었으며, 견인전동기의 토크 특성 및 효율 개선을 위하여 전기적인 설계 변경에 대하여 검토하였다.

본 논문에서는 저상굴절차량용 1차 견인전동기 시제품과 성능을 향상시킨 2차 시제품의 특성을 성능 시험을 통해 비교 분석하였다. 또한, 견인전동기 특성을 향상시키기 위하여 견인전동기의 전기적 설계에 대하여 분석 및 개선 사항을 언급하였다.

### 2. 저상굴절차량용 견인전동기 사양 비교

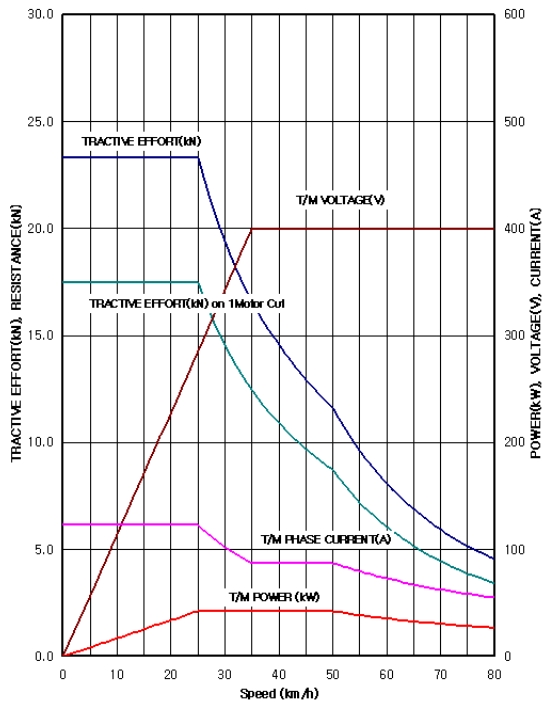
그림 1의 (a)는 견인전동기가 4대 장착되어 있는 18m급 저상굴절차량의 1차 시제품 견인전동기 역행 곡선을 나타내었다. 18m급 저상굴절차량의 공차중량은 14 ton, 부하중량은 3.1 ton으로 산정하였으며, 시속 25km/h까지 약 4.6km/h/s의 가속도로 견인전동기 최대출력은 42.5 kW로 산정되었다.

---

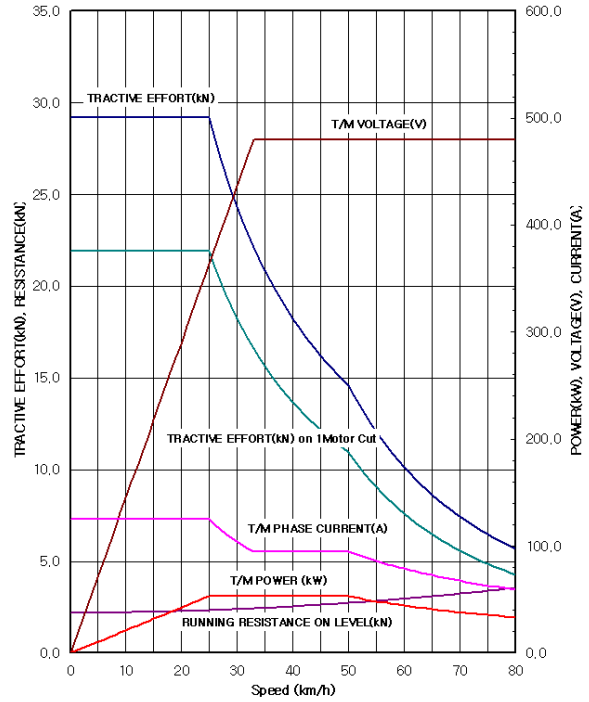
\* 현대로템 기술연구소, 비회원

\*\* 현대로템 기술연구소, 정회원

\*\*\* 한국철도기술연구원, 정회원



(a) 1차 시작품 견인전동기 역행 곡선



(b) 2차 시작품 견인전동기 역행 곡선

그림 1. 저상굴절차량(18m급) 역행 곡선

그림 1의 (b)는 견인전동기가 동일하게 4대 장착되어 있는 18m급 저상굴절차량의 2차 시작품 견인전동기 역행 곡선을 나타내었다. 2차 18m급 저상굴절차량의 공차 중량은 17.6ton, 부하중량은 3.7 ton으로 산정하였으며, 시속 25km/h까지 4.32km/h/s의 가속도로 견인전동기 최대출력은 53.2 kW로 산정되었다.

상기와 같은 역행 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 사양을 다음 표1과 같이 각각 선정하였다.

표1. 견인전동기 사양

구 분	1차 시작품	2차 시작품	비 고
형 식	3상, 6극, 유도전동기	3상, 6극, 유도전동기	
절연등급	H 중	H 중	
정격출력 [kW]	39	45	연속정격
전압(V)/ 전류 (A)	400 / 82.7	480 / 80	
토크 [kgm]	12.9	14.9	
정격 주파수 (Hz)	150	150	
정격 회전수 (rpm)	2,970	2,965	
최대 회전수 (rpm)	6,000	6,000	
효율 (%)	89.0	89.0	

### 3. 견인전동기 1차 및 2차 시작품 제원 및 설계 비교

저상굴절차량용 견인전동기는 전폐형으로 견인전동기-감속기 일체형 구조로 구성되어 있다. 또한, 견인전동기는 내부 공기가 외부 공기와 접촉되지 못하는 밀폐형 구조에 견인전동기 프레임에 냉각수를 투입하여 냉각시키는 수냉식 및 내부 공기를 순환시키기 위한 팬을 적용하여 냉각시키는 공랭식이 함께 적용되었다.

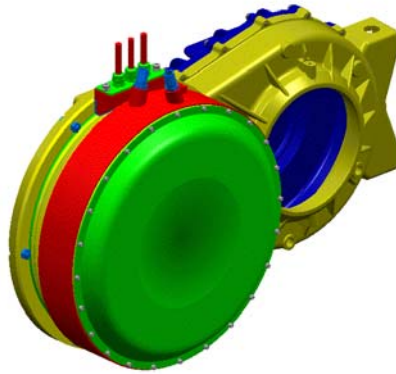


그림 2. 견인전동기-감속기 일체형 구조

견인전동기 1차 시작품 대비 2차 시작품은 입력 전압이 80V 증가하고, 용량이 6 kW 증가함에 따라 이를 만족하기 위하여 견인전동기 크기 증가가 요구되었다. 그러나, 차량 장착 공간이 협소함에 따라 견인전동기 크기는 외경으로 10mm 이상 증가될 수 없는 구조적인 한계를 가지고 있다.

이에 따라 견인전동기 크기 증가는 최소화 하면서, 견인전동기 용량 증가, 효율 개선을 위하여 견인전동기 권선의 coil pitch 와 turn 수, 고정자 slot 형상이 변경되었으며, 회전자 Bar 및 Endring 크기도 변경되었다.

표 2. 1차 및 2차 견인전동기 시작품 제원

구 분		1차 시작품	2차 시작품	비 고
중량	회전자	53.7 kg	55.7 kg	
	고정자	82.6 kg	88.6 kg	
Size		177mm × Ø 500mm	177mm × Ø 510mm	
Coil pitch		6	7	

따라서, 표2 에서 보는 바와 같이 견인전동기 중량은 1차 시작품 대비 2차 시작품이 약 8kg 정도 증가되었음을 알 수 있다.

#### 4. 시작품 제작

견인전동기 고정자는 54 Slot에 2층권 권선 방식을 적용하여 Fill factor는 1차 시작품 55%로, 2차 시작품은 52%로 설계되었다. 각각의 시작품은 동일한 3.5 mm 두께의 규소 강판을 적층하여 철손을 최소화 하였으며, H중 절연 시스템을 적용하였다. 회전자에는 44개의 크롬-동 Rotor Bar 및 크롬-지르코늄-동 Endring을 적용하여 고효율화를 도모하였다.



(a) 견인전동기 회전자



(b) 견인전동기 고정자

그림 3. 견인전동기 시작품

## 5. 견인전동기 성능 시험 및 평가

1차 및 2차 견인전동기 시작품의 성능을 평가하기 위하여 그림 4와 같이 200kW급 모터 다이내모 시험기에 지그를 사용하여 견인전동기 회전자 및 고정자를 장착하였다.



(a) 견인전동기 성능시험 (회전자 장착)



(b) 견인전동기 성능시험

그림 4. 견인전동기 시작품 성능시험

DC 입력 전원으로부터 PWM 인버터를 통해 견인전동기에 3상 전원을 투입하였으며, 견인전동기 입력 전압을 맞추기 위하여 DC Link 입력 전압을 변경하면서, 각각 무부하 특성시험, 부하특성 및 온도상승시험을 실시하였다. 견인전동기 무부하 특성시험 결과는 표 3과 같다.

표 3. 견인전동기 시작품 무부하 특성 시험

구 분	1차 시작품	2차 시작품	비 고
선간전압(Vrms)	403.5	482.7	
선전류 (Arms)	24.11	36.15	
입 력 (kW)	1.19	1.85	
주파수 (Hz)	150	150	

또한, 각각의 견인전동기에 정격 전압, 정격 주파수를 인가한 후 부하를 투입하여 전류, 토크, 회전수, 슬립, 효율 등을 측정하였으며, 부하 특성 시험 결과는 표 4와 같다.

표 4. 견인전동기 시작품 부하특성 시험

구 분	1차 시작품	2차 시작품	비 고
선간전압(Vrms)	400.2	477.8	
선전류(Arms)	91.65	84.5	
입 력(kW)	43.23	48.48	
출 력(kW)	38.65	45.02	
토크(Kg-m)	12.85	14.79	
회전수(rpm)	2929	2965	
슬 립(%)	2.37	1.16	
효 율(%)	89.4	92.9	

견인전동기는 구동시 손실로 열을 발생시키며, 이에 따라 냉각이 충분히 이루어져야만 견인전동기의 성능이 유지 될 수 있다. 견인전동기 열적 특성을 확인하여 위하여 연속 정격에 대한 온도상승시험을 실시하였으며 그 결과는 표 5와 같다.

표 5. 견인전동기 시작용 온도상승시험

구 분	1차 시작용	2차 시작용	비 고
고정자 권선	132.3 K	98.0 K	저항법
프레임	83.3 K	65.1 K	

견인전동기 권선의 저항법에 따른 온도상승치와 비교하기 위하여 권선 내부에 열전대를 장착하여 실시간으로 온도 변화를 측정된 그래프는 그림 5와 같다.

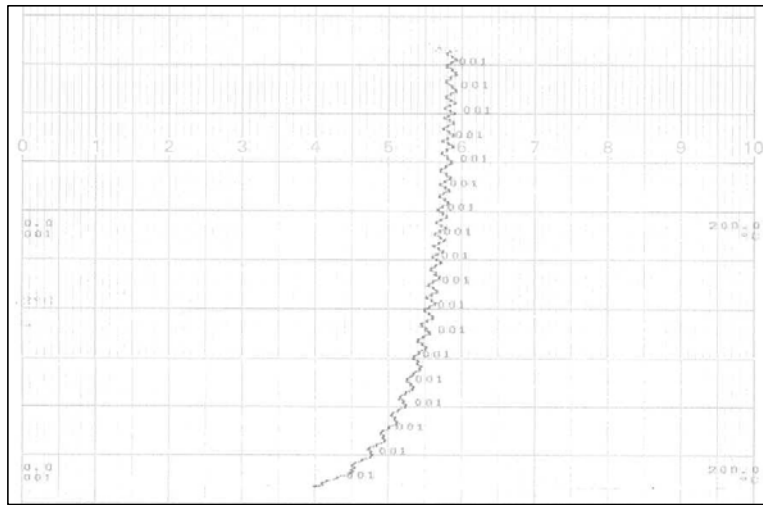


그림 5. 견인전동기 온도상승시험

부하특성 시험 결과를 보면 1차 시작용 대비 2차 시작용은 입력 전압이 증가하고 용량 증가가 요구됨에 따라, 1차 시작용 대비 견인전동기의 토크 특성이 높아졌음을 알 수 있으며, 견인전동기 slip이 감소되었으며, 효율이 증가되었음을 알 수 있다. 또한, 견인전동기 온도상승 시험 결과도 개선되었음을 알 수 있다.

## 6. 결론

저상굴절차량용 견인전동기는 소형□경량화, 높은 안정성과 신뢰성 등이 요구되고 있다. 이러한 조건을 만족시키기 위하여 시뮬레이션을 통해 견인전동기 성능을 검토하였으며, 1차 시작용 성능 시험을 실시하여 견인전동기 설계 Parameter 산정을 위한 data를 확보하였다.

2차 견인전동기 시작용은 1차 시작용 성능 시험 결과를 토대로 설계 parameter 가 재산정 되었으며, 시작용 성능 시험을 통해 그 성능을 입증하였다.

향후 저상굴절차량용 견인전동기를 차량에 장착한 후 실제 운행조건에서의 성능 특성 시험, 기계적 시험 및 열 특성 시험을 통해 견인전동기 성능 검토가 이루어 질 수 있을 것이며, 실제 운행시험을 통해 축적된 정보를 활용하여 견인전동기 특성을 개선하고자 한다.

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