

자기부상열차 추진성능 분석 및 추진제어장치 개발

A study of propuusion performance and propulsion system design for urban MAGLEV

김명한† 한정수* 정은성* 권일동*
Myong-Han Kim Jeong-Soo Han Eun-Sung Chung Il-Dong Kwon

ABSTRACT

This paper presents the performance and test results of propulsion system which is met the requirements of urban MAGLEV. The design of propulsion system should be considered the effect of attractive force by the magnetic levitation and train running resistance. In this paper, the tractive and braking thrust are calculated and the train performance is simulated for the service track. Finally the test results of complete car are shown to verify the performance.

1. 서 론

자기부상열차는 부상 상태에서 운행하여 레일과의 기계적 마찰은 없으나 모터의 2차측에 해당하는 리액션 플레이트, 부상시스템, 집전장치 등에 의한 전기적, 기계적 영향이 존재한다. 이러한 자기부상열차의 특성으로 인해 주행저항의 재해석이 필요하며 부상시스템과의 영향 및 가감속도 등을 고려한 추력, 흡인력의 분석이 선행되어야 한다.

본 논문에서는 도시형자기부상열차 실용화사업에 적용되는 추진제어장치의 성능을 분석하고 영업노선에서의 모의운전 시뮬레이션(TPS)을 통해 성능을 기술하였으며 분석된 성능을 만족하도록 제작된 추진 제어장치를 완성차에 적용하여 그 시험 결과를 기술한다.

2. 추력 시뮬레이션

자기부상열차의 주행저항은 아래 식 (1)~(5)에 의해 구할 수 있으며, 구배가 없는 직선 평탄 선로 조건에서의 속도별 주행저항 값은 그림 1과 같다.

$$\text{열차주행저항}(R[N]) = \text{집전장치 저항}(R_c) + \text{자기저항}(R_m) + \text{공기저항}(R_a) + \text{구배저항}(R_g) \quad (1)$$

$$\text{- 집전장치저항 : } 1.68 \times n \text{ [N]} \quad (2)$$

- 자기저항

$$V < 20.0[\text{km/h}] : 3.354 \times \times (n \times W) \text{ [N]}$$

† (주)현대로템 기술연구소, 전장품개발팀, 비회원
E-mail : hans@hyundai-rotem.co.kr

* (주)현대로템 기술연구소 전장품개발팀

$$V \geq 20.0[\text{km/h}] : 18.221 + 0.0741 \times (n \times W) [\text{N}] \quad (3)$$

$$\text{- 공기저항} : (1.6522 + 0.552 \times n) \times (V) [\text{N}] \quad (4)$$

$$\text{- 구배저항} : n \times (W \times g) \times \sin(\theta) [\text{N}] \quad (5)$$

여기서, n : 차량 수량
 W : 1량 중량
 V : 속도[m/s]
 g : 중력가속도

$R_g = \pm n[\text{N/톤}]$ (단, 구배 : $n[\%]$, '+'는 오름구배, '-'는 내림구배)

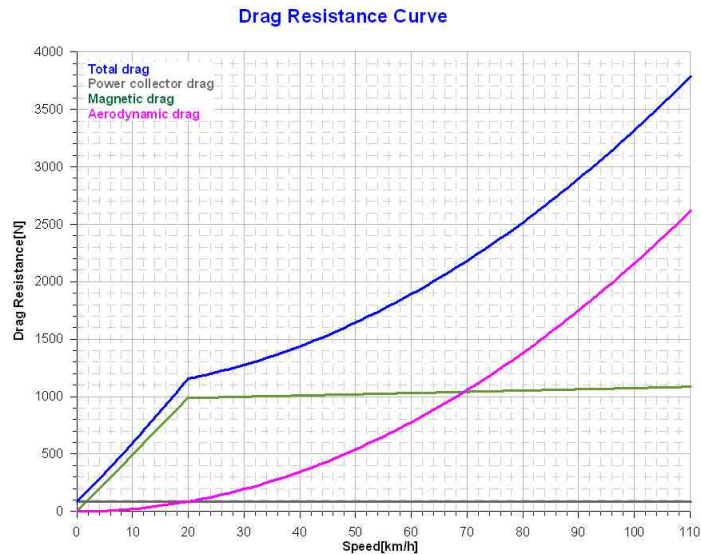


그림 1. 속도에 따른 주행저항

위 식 (1)을 이용하여 45km/h까지 4km/h/s의 가속도 조건을 만족하기 위한 추력은 아래와 같이 계산되어 진다.

$$\begin{aligned} \text{편성 추력[N]} &= \text{차량중량} \times \text{가속도} + (R_c + R_m + R_a) \\ &= 53000[\text{kg}] \times 1.11[\text{m/s}^2] + (1015 + 83 + 437)[\text{N}] \\ &= 60365[\text{N}] \end{aligned} \quad (6)$$

단, 차량 조건은 만차시 26.5톤/량, 가속도 4.0 km/h/s

동력차에는 전체 8대의 선형유도전동기(LIM)가 설치되어 1대의 인버터에 의해 4직렬 2병렬로 구동되므로 가속조건을 만족하기 위한 모터당 추력은 약 3775[N]이 된다.

식 (6)에 의해 구해진 추력과 주행저항 식(1)에 의해 평탄 및 구배선로 조건에서의 성능을 분석한 결과는 아래 그림 2와 같으며 직선 평탄 선로에서는 최대속도 110km/h이상 운전가능하고 70% 구배 조건에서의 균형속도는 약 60km/h인 것을 알 수 있다.

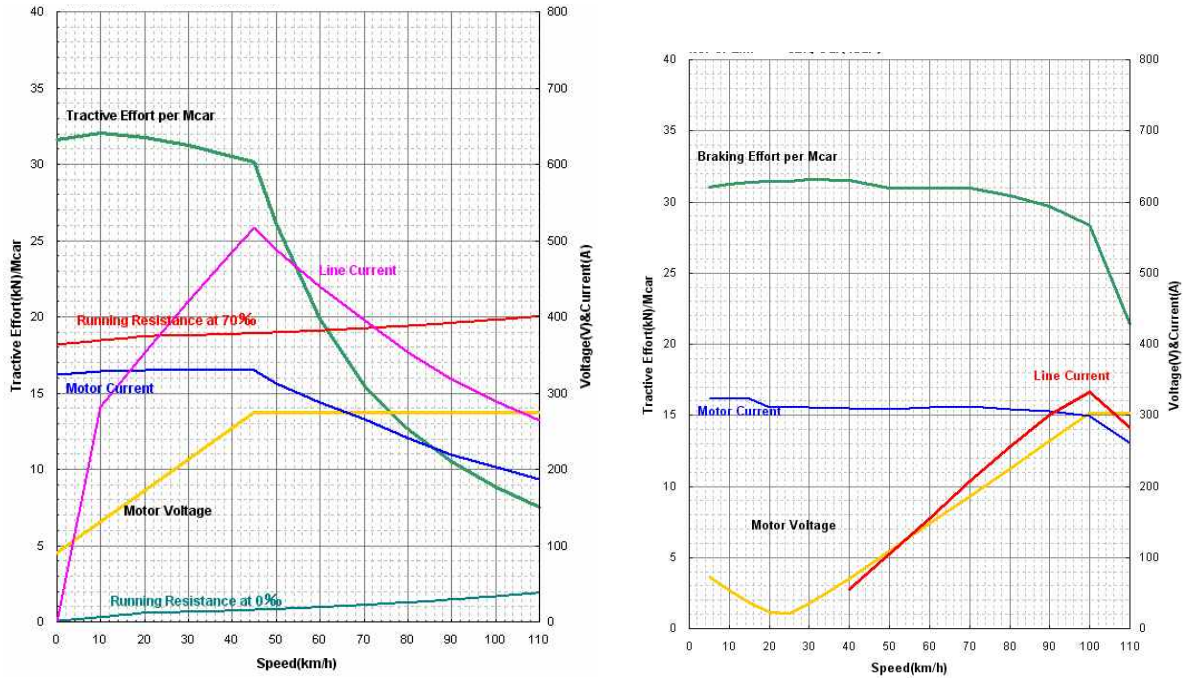


그림 2. 추진-제동 추력곡선

3. 모의운전 시뮬레이션(TPS)

표 1과 그림 3은 해석된 성능계산 결과를 반영하여 인천국제공항 실제노선 조건에서의 모의운전 시뮬레이션 결과이며 시뮬레이션 조건은 아래와 같다.

- 열차 편성 : Mc1-Mc2(2량)
- 역사 : 101역 ~ 106역(총 6개 역사)
- 총 주행거리 : 5.737km
- 역 정차시간 20초
- 회생 100% 수용 조건
- 표정속도 35km/h

시뮬레이션 결과는 상행(101역 출발, 106역 도착) 및 하행(106역 출발, 101역 도착)에서의 운전모드 별 주행시간, 속도, 에너지를 보이고 있으며 표정속도 35km/h 조건에서 상하행 모두 회복 여유율(make up)은 약 10%인 것을 알 수 있다.

표 1. 모의운전 시뮬레이션 결과

항목	상행		하행	
	전속운전모드 (All out mode)	타행운전모드 (Coasting)	전속운전모드 (All out mode)	타행운전모드 (Coasting)
주행시간(Journey time)[분]	8.91	9.83	8.89	9.83
속도[km/h]	38.6	35.0	38.7	35.0
역행 에너지[kWh]	49.2	36.8	51.0	34.7
회생 에너지[kWh]	8.3	5.1	9.3	4.7

그림 3은 노선의 고도, 구배, 곡선 및 제한 속도 정보를 보여주고 있으며, 전속운전, 타행운전 모드를 별 속도와 전류의 시뮬레이션 결과를 볼 수 있다.

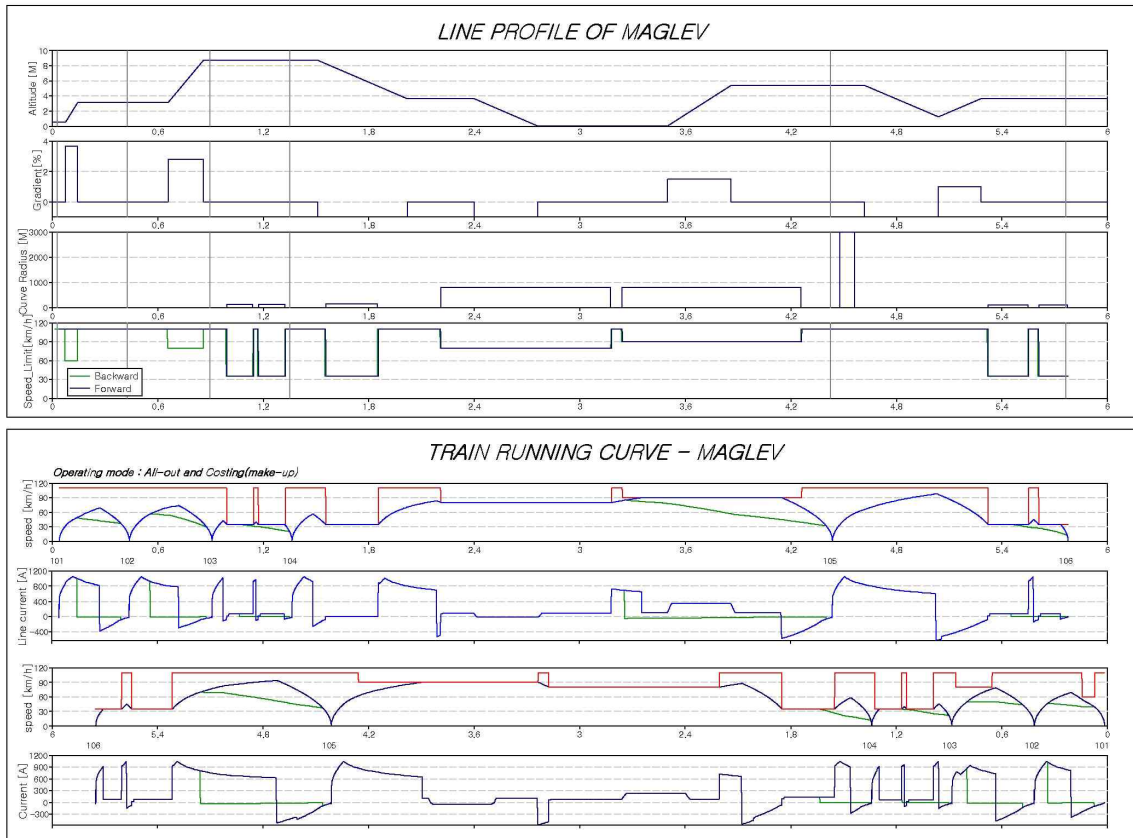


그림 3. 모의운전 시뮬레이션 결과

4. 완성차 시험

성능해석 결과의 검증을 위해 시험선에서 완성차 시험을 수행하였으며 제어방법은 추력의 최적제어 및 부상장치와의 간섭을 최소화하기 위해 슬립주파수를 역행시 12.5Hz, 제동시 13.2Hz로 설정하였다. 표 2는 정토크 영역에서의 주요 항목에 대한 측정결과를 보이고 있다. 그림 4는 가속속도의 결과 파형을 보이고 있으며 시험결과 추진제어장치의 설계치와 유사한 측정값에서 성능을 만족하는 것을 알 수 있다. 차량의 감속은 기계 제동은 동작하지 않고 순수 전기제동에 의해서만 감속하게 된다. 전기 제동시 발생하는 회생 에너지는 지상 부하에 의해 소모되어진다.

표 2. 완성차 시험결과

항목	설계치	측정치
추력[N]	3084	3100
모터 전류/LIM[A]	290	270
가속도[km/h/s]	4.0	4.4
감속도[km/h/s]	4.0	4.4

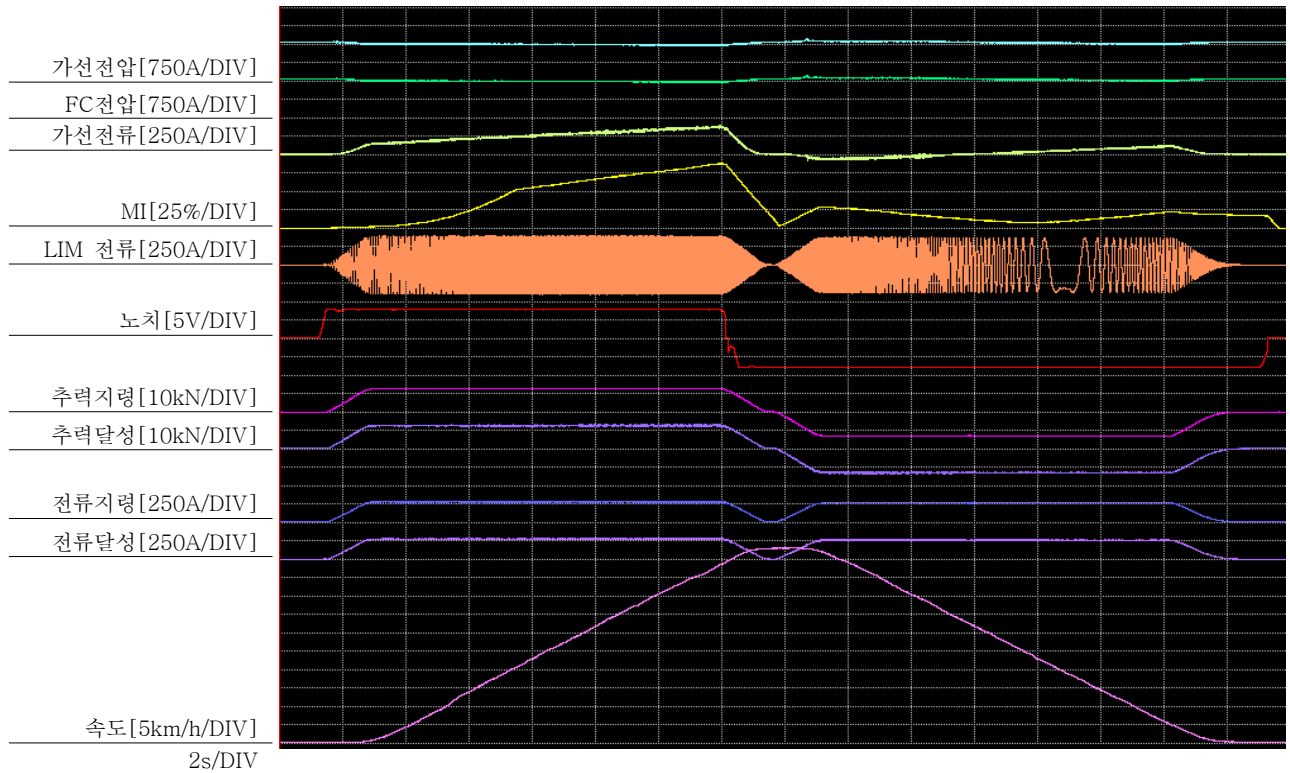


그림 4. 완성차 가감속 파형

5. 결 론

본 논문에서는 도시형자기부상열차에 적용되는 추진시스템의 성능을 분석하고 완성차에서의 성능시험 결과에 대해 기술하였다. 시험결과 설계치와 유사한 추력, 전류값에서 가감속 요구조건을 충족하는 것을 확인하였으며 시험 노선 최대구배인 60%에서 개방 운전시에도 정상 기동을 확인하였다. 또한, 만차 조건에서도 추진, 제동 성능을 만족함을 확인하였다.

참고문헌

1. 박승찬(Park Seung-Chan), 이원민(Lee Won Min), 김경민(Kim Kyung-Min), 김정철(Kim Jung-Cheol), 박영호(Park Yeong-Ho), 김국진(Kim Kuk-Jin), “도시형 자기부상열차용 선형유도전 동기의 경량화 설계” 한국 철도학회 2007년도 추계학술대회논문집 pp.1454~1459