

철도차량용 LIM의 회전형 축소모델의 특성 해석

Characteristic Analysis of a rotary small-scale model of a linear induction motor used for an urban railway transit

양원진* 박찬배** 이형우** 권삼영** 박현준** 원충연***
Yang, Won-Jin Park, Chan-Bae Lee, Hyung-Woo Kwon, Sam-Young Park, Hyun-June Won, Chung-Yeun

ABSTRACT

A linear induction motor for urban railway transit is accompanied with the end-effect and large air-gap comparing with a rotary induction motor. These cause amount of difference between simulation results and experiments. In order to figure out the difference, experiments based on a real-scale test bed are indispensable, however building a test-line and a test vehicle is so difficult that authors are going to make a small-scale model and simulate it for comparison. In this paper, A rotary-type small-scale model of a linear induction motor is designed. Thrust and normal force of the model have been analyzed with the variation of frequency and speed by using a Finite Element Method(FEM).

1. 서 론

리니어 모터는 18세기 중반에 개발되어 방적기로 사용된 이후 직선 추력을 필요로 하는 전철, 공작기계, 로봇, 사무기기 등 사회전반에 널리 이용되고 있다. 최근 도심의 혼잡한 교통난 및 짧은 역간거리를 고려한 경량전철에 대한 관심의 증가로 철도차량용 선형유도전동기(Linear Induction Motor, LIM)의 국□내외 수요가 증가하고 있는 추세이다. 경량전철에 사용되는 선형유도전동기는 기존의 도시철도나 고속철도에서 이용하던 회전형 모터의 점착구동방식이 아닌 전자기력(이동자계에 의한 추력)을 이용하기 때문에 차륜의 바퀴에 연결하는 기계적인 벨트나 기어, 축 등이 필요하지 않아 구조가 간단하고 차량의 높이를 낮출 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 경량전철에 필수적인 가□감속능력과 복잡한 도심에 적합한 급커브나 급구배 등판이 가능하다. 현재 캐나다, 일본, 미국, 말레이시아에서 LIM방식의 추진 시스템이 개발되어 경량전철이 상용 운행 중에 있으며, 국내에는 캐나다의 Bombardier사가 개발한 경량전철이 용인시에 도입되어 상용화될 예정이다. 본 논문은 철도차량 추진용으로 사용하는 LIM의 실모델 제작에 앞서 회전형 LIM 축소모델을 제작하여 그 특성을 분석하고자 한다[1-3]. 회전형 LIM 축소모델을 설계하고 범용 S/W TOOL(MAXWELL 2D)을 이용한 FEM(Finite Element Method)해석을 바탕으로 LIM 축소모델의 운전주파수 및 속도 변화에 따른 추력과 수직력의 특성을 고찰하였다[2].

2. 본 문

2.1 회전형 LIM 축소모델

LIM은 지상에 1차측과 2차측을 모두 펼쳐 놓은 모양이기 때문에 중력이나 흡인력, 충돌 등을 고려, 회전형 모터보다 공극이 크다. 철도차량용 리니어 모터의 경우, 약 9~12[mm]로 회전형에 비해 10배 이상 크다. 그림 1은 LIM 회전형 축소모델을 나타낸다. 그림에서와 같이 2차측을 지름 1[m] 회전형으로

* 학생회원, 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정

E-mail : wjyang@krri.re.kr

TEL : (031)460-5729 FAX : (031)460-5459

** 정회원, 한국철도기술연구원, 전기신호연구본부

*** 정회원, 성균관대학교, 정보통신공학부 교수

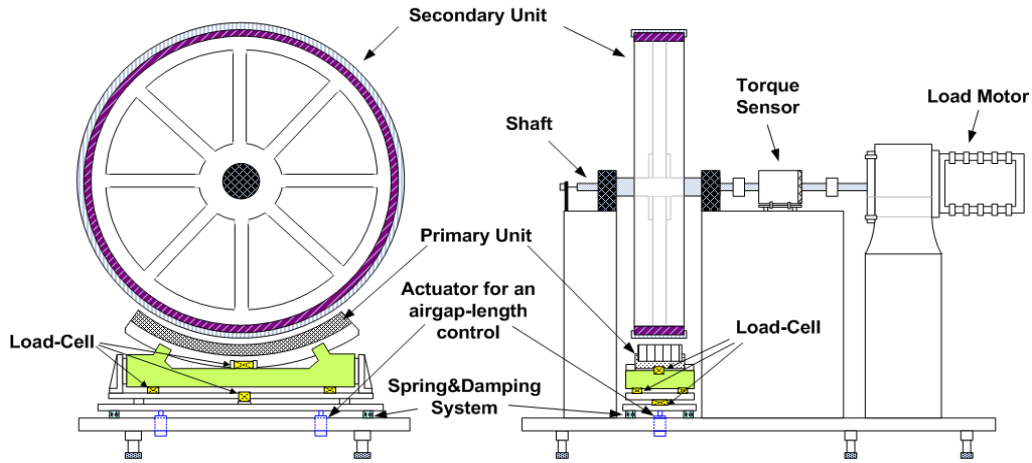


그림 1. LIM 회전형 축소모델

설계하였고, 공극은 5[mm]로 산정하였다. LIM의 극수는 리니어 모터의 특성상 단부효과에 큰 영향을 미치므로 일반적으로 그 효과가 10%이하가 되도록 설정해야 한다. 실모델의 경우 여러 사항을 검토하여 8극을 선정하였지만 본 논문의 대상인 축소모델의 경우 Primary Unit의 길이를 고려하여 4극을 선정하였다.

리액션 플레이트는 직선형 모터의 2차측 도체로서 1차측에서 이동자계를 받아 도체판에 와전류를 유기시키는 것으로 LIM의 추력에 큰 영향을 미친다. LIM의 2차측은 도전율이 좋은 알루미늄과 투자율이 높은 철의 2가지 금속으로 구성된다. 모터의 효율을 고려하여 알루미늄을 5[mm], 철을 22[mm]로 산정하였다. 그 외의 설계사양 또한 효율과 실용성 등에 의해 고려되었다.

표 1. 세부설계 사양

항목	단위	결과	항목	단위	결과
정격용량	kW	10	극수		4
DC입력전압	V	445	1차측 무게	kg	56
정격주파수	Hz	37	매극매상당 슬롯수		4
정격속도	m/s	8.52	기계적공극	mm	5
정격슬립		0.2	Aluminium두께	mm	5

2.2 유한요소법 (FEM)를 이용한 LIM 특성해석

일반적으로 2차원 운동자계를 포함한 와전류 문제에서는 다음과 같은 가정을 전제로 한다.

- 1) 모든 전류는 z방향으로만 존재한다.
- 2) 변위전류를 무시한 준정상상태이다.
- 3) 1차측 철심의 도전율은 0이다.
- 4) 1차측 철심과 2차측 Back iron의 투자율은 일정하다.
- 5) 1차측의 운동은 x방향성분만 존재한다.

변위전류를 무시한 2차원 해석모델에 대한 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} \right) = -J_0 + \sigma \left(\frac{\partial A}{\partial t} + v_x \frac{\partial A}{\partial t} \right) \quad (1)$$

여기서 A는 z방향 자기벡터 포텐셜을 나타내고, J_0 는 여자전류밀도, σ 는 도전율, μ 는 투자율, v_x 는 선형유도전동기의 x 방향으로의 이동속도이다.

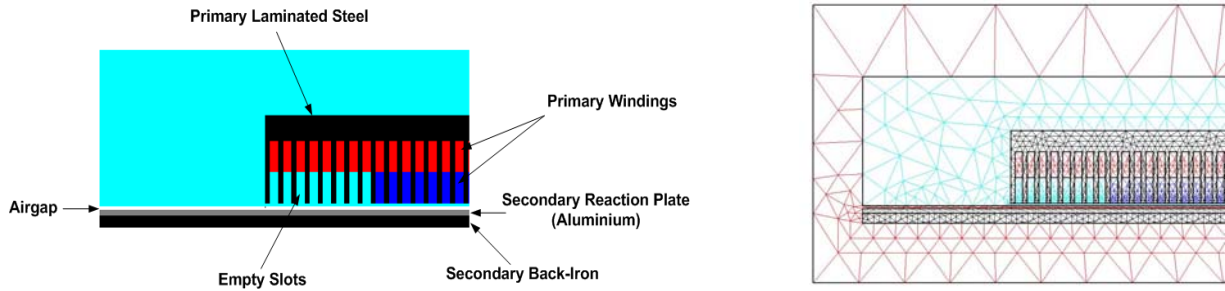
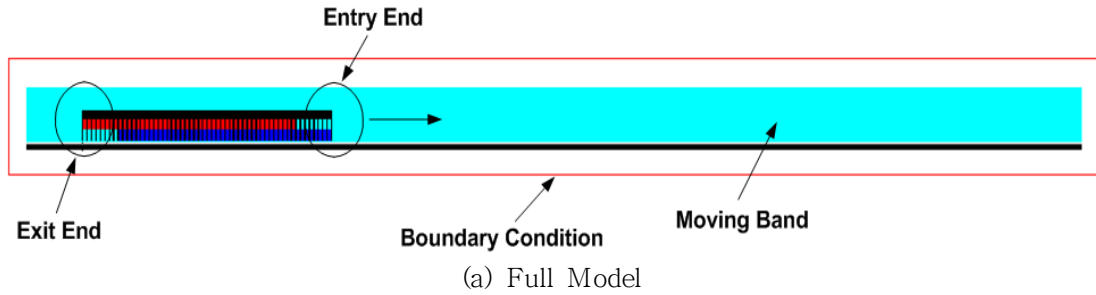
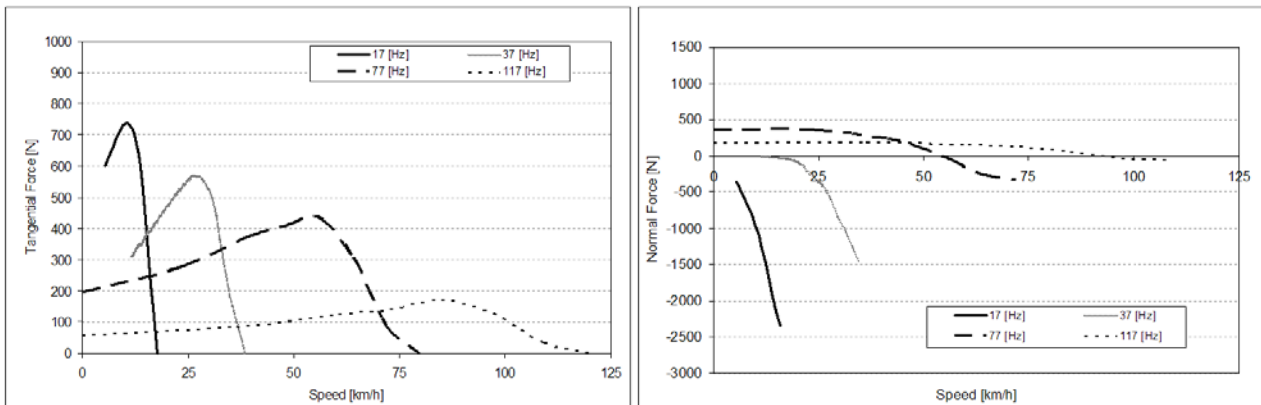


그림 2. 2차원 LIM 해석 모델

회전형 성능시험기의 특성해석을 위해서 상용 자계해석 프로그램인 Maxwell 2D를 이용하였다. 2차측 리액션 플레이트의 경우, Semi-cap 형을 사용하였으나, 2D의 특성상 모델링이 불가능하므로, Maxwell 3D를 이용하여 보정계수를 산출하고, 등가도전율을 구하여 본 2D 해석에 이용하였다.

공극을 5[mm]로 유지하고 주파수를 변화시킨 경우의 추력과 수직력의 특성을 그림 3에 나타내었다. 정전류 구간에서는 주파수의 변화와 상관없이 거의 일정한 추력이 발생했고, 정격속도 이상의 정전압 구간에서는 주파수가 증가할수록 최대추력은 감소하였다. 수직력은 주파수가 증가할수록 0에 가까워지는 것을 확인할 수 있었다.



(a) 추력

(b) 수직력

그림 3. LIM의 추력 및 수직력 특성

3. 결 론

본 논문에서는 주파수에 따른 추력과 수직력의 특성을 분석하기 위하여 자계해석 프로그램인 Maxwell 2D를 이용하여 FEM을 수행하였다. FEM 해석을 통하여 얻은 결론은 기존의 등가회로법을 이용한 추력-속도 곡선과 정성적으로 변화추이가 같음을 알 수 있었으며, 향후 축소모델의 제작 후 로드 셀을 이용하여 추력과 수직력을 측정하여 본 논문의 해석방법과 실제 값의 오차를 확인하고자 한다.

참고문헌

1. 박승찬, 이원민, 김경민, 김정철, 박영호, 김국진 (2007), "도시형 자기부상열차용 선형유도전동기의 경량화 설계", 한국철도학회 추계학술대회논문집, pp.1454-1459
2. 박찬배, 이형우, 한경희, 이병송, 권삼영, 박현준 (2007), "뿔돌이 자속의 영향을 고려한 철도차량용 선형유도전동기의 추력 특성 연구", 한국철도학회 추계학술대회논문집, pp.1599-1603
3. 장석명, 이성호, 장건우, 정상섭 (2001), "유도형 리니어모터 성능의 온□라인 모니터링을 위한 가상 계측시스템 구현", 대한전기학회논문지, pp.205-213