

선형 유도전동기의 2차측 리액션 플레이트에 따른 추력특성 연구

정재훈*, 최장영*, 임재원**, 성소영***
 충남대학교*, KIMM**, KRISO***

A Study on the Thrust Characteristic Analysis of Linear Induction Motor according to Secondary Reaction Plate

Jae-Hoon Jeong*, Jang-Young Choi*, Jaewon Lim**, So-Young Sung***
 Chungnam National University*, KIMM**, KRISO***

Abstract - This paper presents the analysis of the analysis of thrust characteristics of linear induction motors(LIMs) according to secondary reaction plate. LIMs are well known as high speed transport systems, which can obtain thrust directly without gears and links, or auxiliary mechanisms. A simple structure, easy maintenance, and less environmental pollution are advantages of LIMs. In transport systems using LIMs, the secondary reaction plate is an important design factor, because it has considerable impact on the cost of the railway as well as the performance of the LIMs.

1. 서 론

최근 산업사회의 고도화에 따라 직선운동을 필요로 하는 시스템의 수요가 날로 증가하고 있다. 그러나 이들 시스템을 구동하는 동력장치는 대부분 회전형 전동기를 이용하고 있다. 회전 운동을 직선운동으로 변환하는 부수적인 동력변환장치가 필요하므로 시스템 구성이 복잡하게 된다. 또한 기계적인 변환장치에 의한 손실, 소음, 진동 등이 발생하여 효율이 낮아지게 된다.

선형 유도전동기의 구동원리는 일반 회전형 유도전동기와 같으나 구조적으로 공극이 비교적 크며 단부효과가 있기 때문에 추력 분포의 왜형은 물론 역률의 저하 등이 필연적으로 수반된다. 그러나 기계적인 변환장치 없이 직접 직선구동이 가능하고 자기부상 시에는 비접촉 및 저소음 운전이 가능할 뿐만 아니라 직선운동을 하는 시스템에서는 크랭크, 기어 등의 기계적인 변환장치를 필요로 하지 않기 때문에 시스템의 전체적인 효율이 좋아지므로 로프리스 엘리베이션 등의 구동장치로써 더욱 활발히 응용될 전망이다 [1][2].

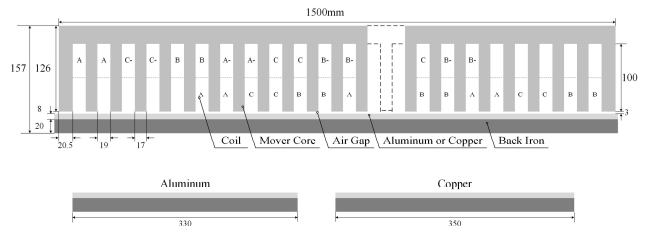
선형 유도전동기는 회전형 유도전동기를 중심축을 포함한 평면을 잘라 직선상으로 전개한 구조 형태로 되어 있다. 1차측 권선에 흐르는 전류에 의하여 만들어지는 직선 이동자계와 2차측 도체 판에 유도된 와전류 사이에 추력이 발생시키는 원리로 구동이 이루어진다. 따라서 2차측 도체 판의 전자기적 특성에 따라 전동기의 성능이 크게 달라지게 된다. 대부분의 레일 시스템에 적용되는 선형 유도전동기의 경우 2차측 반작용 판으로 가격이 저렴한 알루미늄을 많이 사용한다. 하지만 알루미늄은 도전율이 구리에 비하여 작기 때문에 높은 효율을 기대하기 어렵다. 구리의 경우 알루미늄에 비하여 도전율은 최대 2배 높기 때문에 전기적으로 높은 효율을 기대할 수 있다. 하지만 기준 kg에 대하여 가격이 5배 정도 되기 때문에 무조건 구리를 사용하기에는 비용적 측면에서 효과적이지 못하다. 응용처에 따라 적당한 재질을 선정하여 사용하는 것이 가장 효과적이므로 이를 위해서는 각각 구리와 알루미늄을 적용한 선형 유도전동기의 전자기적 특성을 파악 하는 것이 중요하다.

따라서, 본 논문에서는 선형 유도전동기의 2차측 반작용 도체 판으로 알루미늄과 구리를 각각 고려하여 전자기적 특성을 유한요소로 해석하여 비교 제시 하였다. 각각의 알루미늄과 구리 적용 모델의 슬립에 따른 추력과 효율을 도출하여 비교 제시 하였다. 또한 부하에 따른 속도와 전류 효율을 도출하여 비교하였다.

2. 본 론

2.1 해석 모델

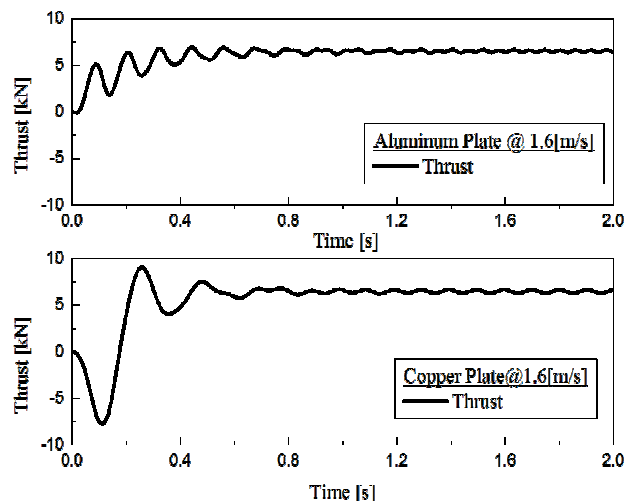
그림 1은 6극 44슬롯을 갖는 선형 유도전동기의 해석 모델 도면이다. 2차측 리액션 플레이트는 8[mm]로 본 논문에서는 알루미늄과 구리를 각각 적용하여 특성을 해석 하였다. 해석 기준은 정격 속도 1.6[m/s]에서 6.5[kN]이 되는 10.4[kW]로 하였고 이에 대한 설계 사양 및 정격 해석 결과는 표 1에 제시 하였다. 정격 기준을 동일하게 하기 위하여 적층 길이가 상이하게 되었고 알루미늄 모델은 330[mm], 구리 모델은 350[mm]이다. 입력 주파수는 슬립에 따른 효율 특성을 분석하여 최대값을 갖는 운전점을 선택 하였다.



<그림 1> 선형 유도전동기 해석 모델

<표 1> 설계 사양 및 정격 해석 결과

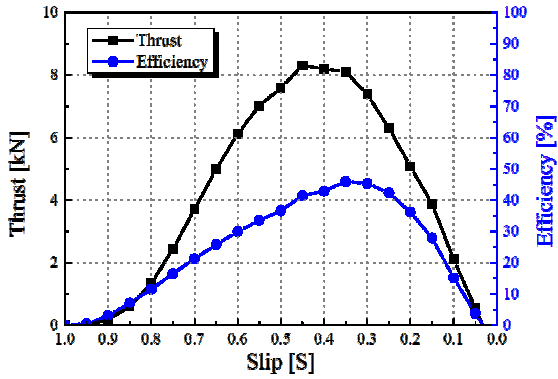
	Aluminum	Copper
극수	6	6
슬롯수	44	44
입력 전압	390[Vmax]	390[Vmax]
정격 속도	1.6[m/s]	1.6[m/s]
정격 추력	6.5[kN]	6.5[kN]
입력 주파수	8.8[Hz]	4.9[Hz]
슬립	0.58	0.25
턴수	30[turn]	42[turn]
전류 밀도	3.18[A/mm ²]	3.09[A/mm ²]
적층 길이	330[mm]	350[mm]



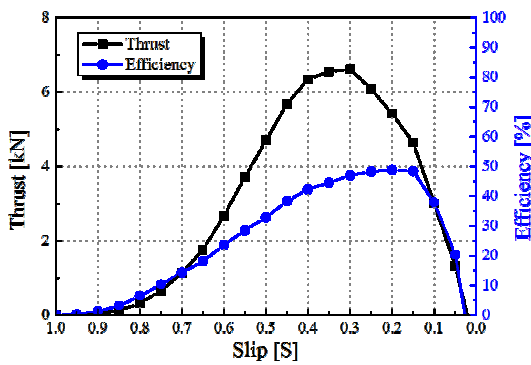
<그림 2> 2차측 알루미늄 플레이트와 구리 플레이트를 갖는 선형 유도전동기의 추력 특성

2.2 슬립에 따른 추력 및 효율 특성 해석

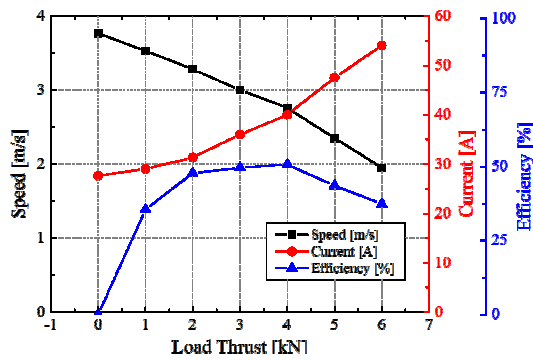
표 2는 그림 1의 설계모델의 극간격에 따른 구동 주파수를 보여준다. 선형 유도전동기의 2차측 반작용 판에 유가되는 전압은 이동자계에 대한 이동자의 상대적 운동속도에 따라 다르다. 선형 유도전동기의 동작은 2차측 반작용 판의 전압과 전류에 달려있기 때문에 이 상대속도에 대한



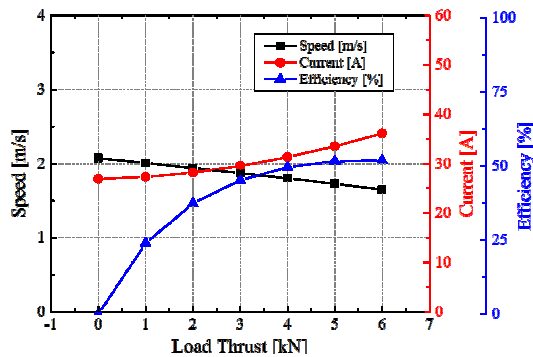
<그림 3> 2차축 알루미늄 모델의 슬립에 따른 추력 및 효율 특성



<그림 4> 2차축 구리 모델의 슬립에 따른 추력 및 효율 특성



<그림 5> 2차축 알루미늄 모델의 부하 추력에 따른 속도-전류-효율 커브



<그림 6> 2차축 구리 모델의 부하 추력에 따른 속도-전류-효율 커브

<표 2> 슬립에 따른 선형 유도전동기의 운전주파수

슬립	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
운전주파수 (Hz)	37	18.5	12.3	9.3	7.4
슬립	0.4	0.3	0.2	0.1	0
운전주파수 (Hz)	6.2	5.3	4.6	4.1	3.7

특성을 이해하고 해석을 진행해야 한다. 여기에서 이동자계와 이동자의 상대운동을 정의하는 용어가 슬립이고 슬립은 $S=(N_s-N)/N_s$ 로 표현된다. N_s 는 이동자계의 속도이고, N 은 이동자의 속도이다.

그림 3은 2차축 반작용 판으로 알루미늄을 사용한 모델의 슬립에 따른 추력-효율 그래프 이고, 그림 4는 구리를 사용한 모델의 슬립에 따른 추력-효율 그래프 이다. 해석 모델의 정격 추력 요구 사양은 6.25[kN]이다. 알루미늄 모델의 경우 정격 추력에서의 효율은 40[%] 정도 이다. 구리 모델은 정격 추력에서 효율이 49[%]로 알루미늄 보다는 정격 추력이 높은 결과를 보였다. 슬립에 따른 추력 및 효율 그래프를 통해 최적 운전 점을 선정 할 수 있는데 알루미늄 모델의 경우 슬립 0.3, 구리 모델의 경우 슬립 0.15가 최적 운전 포인트로 적당하다는 판단을 내릴 수 있다. 2차축 반작용 판의 전자기적 특성이 다르기 때문에 슬립에 따른 해석 결과도 차이가 많이 나는 것을 확인할 수 있다.

2.3 부하추력에 따른 속도-전류-효율 특성

본 논문에서 설계된 선형 유도전동기는 정격 추력이 6.5[kN]이다. 따라서 부하추력에 대한 해석은 0~6[kN]까지 진행 하였고 해석 결과는 그림 5와 6의 그래프를 통해 제시하였다. 그림 5는 2차축 반작용 판으로 알루미늄을 사용한 모델의 해석 결과이고 그림 6은 구리를 사용한 모델의 해석 결과 이다. 두 모델 다 정격추력은 6.5[kN]으로 동일한 해석 값을 가지는 구동 지점에서 부하 해석을 진행 하였다. 알루미늄 모델의 경우 무 부하에서의 최대 속도는 3.8[m/s] 이고 6[kN]의 부하에서는 1.9[m/s]이다. 최대 효율은 4[kN]의 부하 지점이고 이때의 전류는 40[A]이다. 구리 모델의 경우 무 부하에서의 최대 속도는 2.1[m/s]이고 6[kN]의 부하에서는 1.6[m/s]이다. 알루미늄 모델과 구리모델을 비교해 볼 때 최대 속도와 정격 속도의 격차가 구리모델이 현저하게 작다. 입력 전류의 경우에도 알루미늄 모델은 27~54[A]로 격차가 꽤 큰 반면에 구리 모델은 27~36[A]로 그 차이가 알루미늄 보다는 크지 않다. 가장 쟁점이 될 수 있는 효율 특성의 경우 구리 모델은 정격 점에서 최대 효율을 갖는 반면에 알루미늄 모델은 4[kN]에서 최대 효율을 갖고, 점차 효율이 감소하는 특성을 보이고 있다. 알루미늄과 구리의 전자기적 특성에 따라 부하 특성 또한 매우 다른 해석 결과를 보였고 응용처에 따라 적합한 모델을 선정해서 설계를 진행하는 것이 바람직하겠다.

3. 결 론

본 논문에서는 선형 유도전동기의 2차축 반작용 판의 재질에 따른 전자기적 특성을 해석하여 비교하였다. 2차축 반작용 판으로 알루미늄과 구리를 적용하여 슬립에 따른 추력-효율 그래프를 도출하고 부하 추력에 따른 특성을 해석하여 제시하였다. 2차축 반작용 판으로 알루미늄과 구리를 사용할 경우 운전 특성의 경향이 다르게 도출 되었다. 두 재질의 성능의 좋고 나쁨으로 판단하는 것은 오류가 있는 것으로 판단된다. 본 논문에서 제시한 해석 결과는 선형 유도 전동기의 운전 특성의 관점에서 두 재질의 차이를 명확하게 인지하고 응용처에 맞게 설계에 반영할 수 있는 연구 결과로 사료 된다.

본 연구결과는 국토해양부의 “U-기반 해운물류 안전·보안 시스템 개발” 과제에서 수행된 연구결과 중 일부분을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] I. Boldea and S. A. Nasar, “Linear motion electromagnetic devices,” Taylor & Francis, 2001.
- [2] Michel Poloujamff, “The theory of linear induction machinery,” Oxford Univ, press, 1980.
- [3] T. A. Lipo and T. A. Nondahl, “Pole-by-pole d-q model of a linear induction machine,” IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, No. 2, 1979.
- [4] D. H. Im, and C. E. Kim, “Finite element force calculation of a linear induction motor taking account of the movement,” IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 30, No. 5, pp. 3495-3498, 1994.