

선형 유도전동기의 2차측 도체 형상에 따른 동특성 해석

이병준, 김도선, 조운현, 구대현, 강대욱, 이기창
 동아대학교 전기공학과, 한국전기연구원

Analysis of Dynamic Characteristics for Linear Induction Motor
 According to the Secondary Conductor Structure

Byung-jun Lee, Do-sun Kim, Yun-hyun Cho, Dae-hyun Koo, Dae-wook Kang, Ki-chang Lee
 Electrical engineering, Dong-a University

Abstract - 본 논문에서는 편축식 선형 유도전동기의 2차측 도체의 구조에 따른 동특성 해석을 유한요소법을 사용하여 수행하였고 결과를 비교·분석하였다. 2차측 구조를 주로 사용되는 판 형태와 능형 그리고 이중능형의 구조로 나누어 해석을 수행하였으며 추력, 수직력, 추력리플, 수직력 리플, 주파수 및 슬립에 따른 특성 등을 비교·분석하였다.

1. 서 론

선형 유도전동기(Linear Induction Motor; LIM)는 1950년 Eric Laithwaite가 이에 대한 이론 해석을 논문으로 발표한 이래, 주로 이론에 의한 연구 대상으로서 특성해석 및 기초실험을 다룬 논문들에 의하여 꾸준히 발전되어 왔다.[1~3] 선형 전동기(Linear Motor)는 회전형모터의 기본구조를 직선상으로 전개하여 전기에너지를 직접 직선운동에너지로 변환하는 기기로 회전운동을 직선운동으로 변환시키는데 필요한 기어나 랭크 등의 보조 변환장치가 필요치 않아 구조가 단순하며 소음, 진동 또는 먼지를 발생시키지 않으며, 운전속도에 제한을 받지 않는 장점을 가지고 있다.

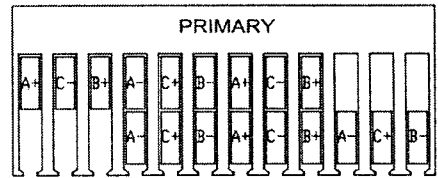
선형 전동기의 종류로는 회전기의 종류만큼 다양한 형태를 가질 수 있으며, 그 중에서 편축식 선형 유도전동기(Single-sided LIM)는 회전형 유도전동기의 고정자를 잘라 펼쳐 놓은 구조로 슬롯된 규소강판 코어에 코일이 감겨져 있다. 그리고 2차측(The secondary)은 회전자를 잘라 무한 길게 펼쳐 놓은 구조로 기본 동작 원리는 회전형 유도전동기와 동일하다.

전동기는 환경과 용도에 따라 다양한 형태로 제작되며 유도전동기의 경우 회전자 슬롯 치수와 형태에 따라 각기 다른 특성이 나타난다. 이에 본 논문에서는 유한요소법을 사용하여 2차측의 도체형상을 주로 사용되는 판형과 회전형 유도전동기에서 많이 사용되는 네 가지 구조로 나누어 특성을 비교·분석하였다. 이때 2차측 도체의 형상만을 전동기 특성에 고려하기 위해 2차측 도체의 전체 저항성분의 값이 같도록 단위 면적당 도체가 차지하는 비율을 일정하게 함으로써 해석의 정확성을 높였다.

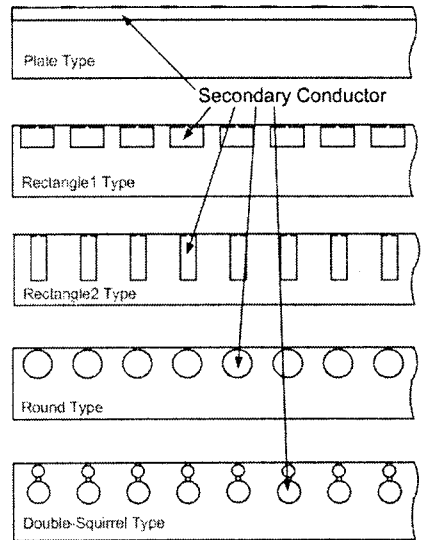
2. 본 론

2.1 선형 유도전동기 해석 모델

그림 1은 본 논문에서 해석된 선형 유도전동기의 모델을 나타내었다. 코어재질은 5mm 두께의 PN760 규소강판을 사용하였으며 2차측 도체는 알루미늄을 사용하였다. 그림에서와 같이 다섯 가지 구조로 나누어 해석을 수행 하였으며 능형의 경우 3/4 구조를 가지도록 하였다. 자세한 전동기 사양은 표 1에 나타내었다.



(a) 1차측 이동자



(b) 도체형상에 따른 2차측 고정자
 그림 1. 선형 유도전동기 해석 모델

표 1. 선형 유도전동기 해석모델의 제원

		Design specifications	Value
First (Mover)	Pole number		4 [Pole]
	Turns/phase/pole/slot		420 [Turn]
	Stack length		80 [mm]
	Air Gap		3 [mm]
Secondary (Stator)	Unit conductor area		
	Plate		33.75 [mm ²]
	Rectangle 1		33.75 [mm ²]
	Rectangle 2		33.75 [mm ²]
	Round		33.79 [mm ²]
	Double-Squirrel		33.77 [mm ²]

2.2 2차원 유한요소 해석

전자계 현상에 대한 수치 해석기법을 수행하기 위한 기본 방정식은 아래와 같은 전자계 지배방정식인 맥스웰 방정식으로 표현된다.

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_0 + \vec{J}_e \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (3)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (4)$$

여기서 \vec{H} 는 자계의 세기[A/m], \vec{J}_0 는 입력전류밀도 [A/m²], \vec{J}_e 는 고정자 철심에 유기되는 와전류밀도 [A/m²], \vec{B} 는 자속밀도[wb/m²] 그리고 μ 는 철심의 투자율을 나타낸다.

식 (3)으로부터 \vec{B} 를 자기벡터포텐셜 \vec{A} 로 표현하면 다음과 같다.

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A} \quad (5)$$

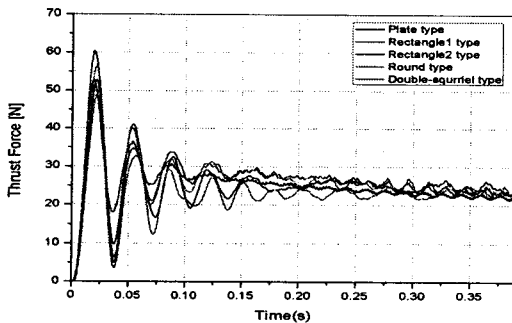
식 (4), (5)를 이용하여 식 (1)을 정리하면 식(6)과 같이 특성해석을 위한 지배방정식이 구해진다.

$$\frac{1}{\mu} \nabla \times (\nabla \times \vec{A}) = \vec{J}_0 + \vec{J}_e \quad (6)$$

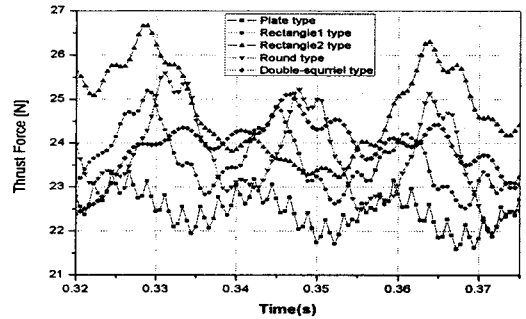
2.3 특성해석 결과의 비교 및 분석

선형 유도전동기의 기동시에 대한 순시추력 및 수직력 특성을 상용 유한요소 프로그램인 Flux2D를 사용하여 해석한 시뮬레이션 결과를 다음과 같이 나타내었다.

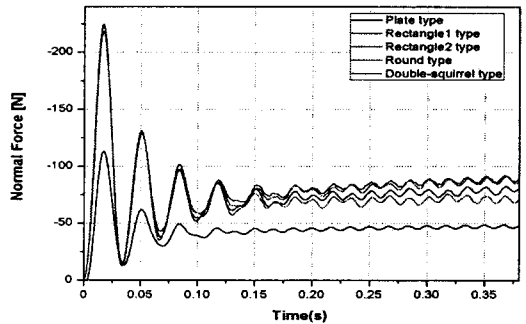
그림 2(a)는 3상 42.5[V], 30[Hz]의 전원에서 20[N]의 부하를 걸고 과도해석을 수행한 결과를 나타내었다. 사각형 농형 타입인 Rectangle 1의 경우 기동 추력이 60[N]으로 가장 크게 나타났으며 다음으로 원형 농형 타입이 57[N]으로 크게 나타난 것으로 보아 기동시엔 판형 보다 슬롯을 가지는 농형의 경우가 기동추력이 큼을 알 수 있다. 그림 2(b)는 정상상태에서 추력리플 특성 나타내었다. 슬롯을 가지 않는 판형 타입의 추력리플이 약 1.5[N]으로 가장 작은 것을 볼 수 있다. 그림 2(c)는 수직력 특성 나타낸 것으로 농형 타입에 비해 판형 타입이 현저히 작은 것을 볼 수 있다. 이러한 특성은 설계시에 고려해야할 요소로 작용 할 수 있다. 천정형으로 사용될 경우 수직력은 이점으로 작용 될 수 있다. 수직력 리플 또한 추력리플과 마찬가지로 판형에서 가장 작게 발생하는 것을 그림 2(d)에서 볼 수 있다.



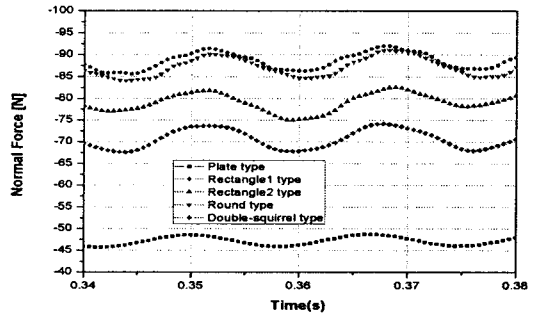
(a) 추력 특성 곡선



(b) 추력리플 특성 곡선



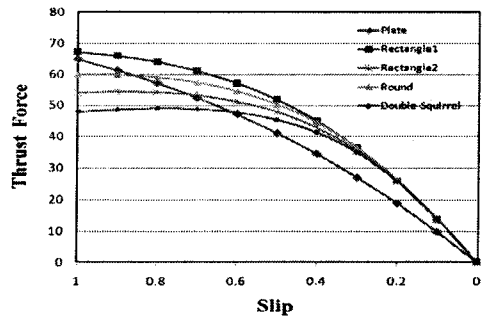
(c) 수직력 특성 곡선



(d) 수직력 리플 특성 곡선

그림 2. 시간에 따른 선형 유도전동기의 동특성

유도전동기의 경우 속도가 동기속도까지 상승하지 못하는 슬립특성이 나타나며 설계시에 고려해야할 중요한 요소로 작용된다. 그림 3은 슬립에 따른 추력특성과 수직력 특성을 나타내었다. 농형의 경우 특성 곡선의 추이가 비슷한 반면 판형의 경우 슬립에 따른 추력의 기울기가 크다는 것을 알 수 있다.



(a) 슬립에 따른 추력 특성 곡선

3. 결 론

본 논문에서는 2차원 유한요소법을 사용하여 2차측의 도체형상을 주로 사용되는 판형과 회전형 유도전동기에서 많이 사용되는 네 가지 구조로 나누어 선형 유도전동기의 2차측 도체 형상에 따른 동특성을 비교·분석하였다.

농형의 경우에 비해 판형의 경우 슬립에 따른 추력특성 곡선의 기울기가 크며 수직력이 떨어짐을 알 수 있었고 추력리플 및 수직력 리플이 적음을 알 수 있었다. 또한 과도상태시에 기동 추력 및 수직력이 작은 것을 확인할 수 있었다. 그리고 농형의 형상에 따라서도 특성이 충분히 분석되어 졌다.

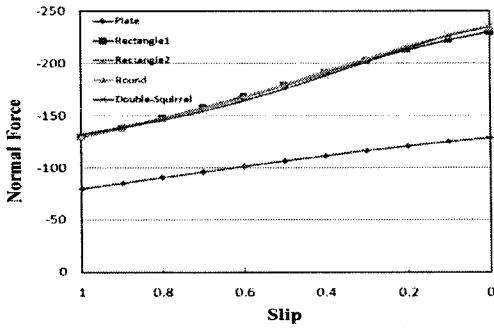
따라서 본 논문은 선형 유도전동기를 이용한 시스템의 응용과 개발 및 연구에 기초자료로 사용될 수 있을 것이며, 최적화된 성능을 요구하는 선형 유도전동기의 설계에 있어서 이러한 요소들을 고려함으로써 다양한 환경과 용도에 알맞은 최적설계가 가능해 질 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 한국전력공사의 한국 에너지 자원기술 기획평가원(KETEP)에서 지원한 전력변환 시스템 신기술 연구센터(과제번호 2007-0192)의 사업으로 수행되었습니다.

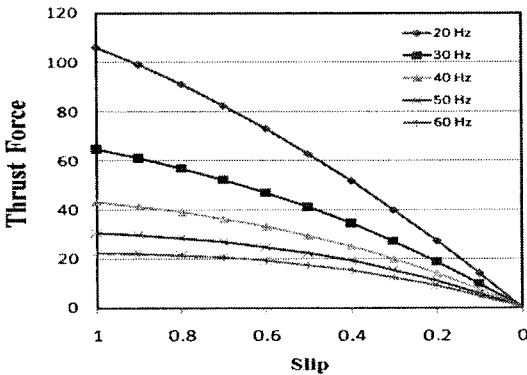
[참 고 문 헌]

- [1] I. Boldea and Syed A. Nasar, "Linear electric actuators and generators", Cambridge university press, 1997
- [2] I. Boldea and Syed A. Nasar, "Linear Motion electromagnetic systems", John Wiley and Sons, 1985
- [3] 이철직, "반송장치용 선형유도전동기의 특성해석 및 설계 고찰", 대한전기학회논문지, 제9권 3호, 73-79, 1995
- [4] 이철직, "편측식 선형유도전동기를 구동원으로 한 반송설비시스템", 대한전기학회논문지, 제11권 5호, 53-61, 1997

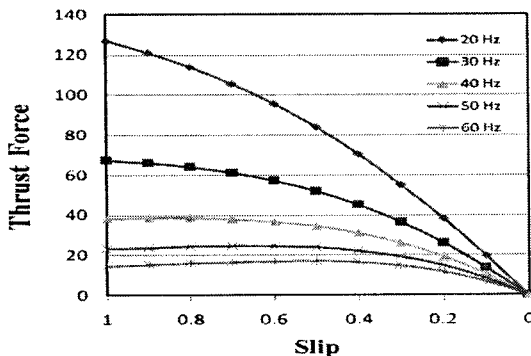


(b) 슬립에 따른 추력 특성 곡선
그림 3. 슬립에 따른 선형 유도전동기의 동특성

주파수 변화는 속도와 표피효과에 따라 입력전류에 영향을 미치며 속도와 전류는 추력에 영향을 미친다. 사용 목적에 따라 설계시에 슬립과 주파수를 적절히 고려해 줌으로써 최대의 효율을 얻을 수 있다. 그림 4는 주파수 변화에 따른 판형의 추력 특성과 농형을 대표하여 Rectangle 1 타입의 추력 특성을 비교하였다. 주파수가 20Hz일 때 기동추력이 약 20[N]가량 차이가 남을 볼 수 있으며 주파수가 증가 할수록 판형 타입에 비해 농형 타입의 추력이 큰 차이로 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 주파수 증가에 추력은 반비례 관계에 있으며 20[Hz]에서 30[Hz]로의 감소폭은 50[Hz]에서 60[Hz]에서의 감소폭보다 더 크게 감소하는 것으로 보아 낮은 주파수 영역 주파수는 추력에 더 큰 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.



(a) Plate type LIM



(b) Rectangle 1 type LIM

그림 4. 주파수 변화에 따른 추력 특성 곡선