

선형 유도전동기의 1차측 치 형상에 따른 특성 고찰

이상건, 이병준, 조운현, 구대현
 동아대학교 전기공학과, 한국전기연구원

Study of Characteristics for Linear Induction Motor
 According to the Primary Tooth Structure

Sang-gun Lee, Byung-jun Lee, Yun-hyun Cho, Dae-hyun Koo
 Electrical engineering, Dong-a University

Abstract - 본 논문은 편측식 선형 유도전동기의 추력 및 효율 특성을 향상시키기 위한 설계 방법으로 1차측 이동자의 치 구조의 변화에 따른 편측식 선형 유도전동기의 전자계적 특성을 고찰하였다. 치 구조를 오픈슬롯의 형상과 슬롯의 오픈정도를 달리한 반폐슬롯 형상 4가지로 총 5가지 치 형상으로 나누어 편측식 선형 유도전동기의 슬립에 따른 추력, 수직력, 전류, 역률 및 효율 특성을 계산하였으며 그 결과를 비교·분석하였다.

조만을 변화시켜 각각의 해석을 수행 하였다. 전동기 해석 모델의 자세한 사안은 표 1에 나타내었다.

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 발전되어왔다.[1~3] 선형 전동기(Linear Motor)는 회전형 모터의 기본구조를 직선상으로 전개하여 전기에너지를 직접 직선운동에너지로 변환하는 기기로 직선운동이 요구되는 기기장치에서의 동력원으로 회전운동을 직선운동으로 변환시키는데 필요한 기어나 랙크 등의 보조 변환장치가 필요치 않아 구조가 단순하며 소음, 진동, 먼지 등을 발생시키지 않으며, 운전 속도에 제한을 받지 않는 장점을 가지고 있다.

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

전동기는 환경과 용도에 따라 다양한 형태로 제작되며 선형 유도전동기의 경우 2차측의 무한 길이 때문에 도체 형상이 주로 판형으로 제작되어 사용되고, 1차측은 치의 형상에 따라 오픈슬롯과 반폐슬롯으로 나누어 제작된다. 이에 본 논문에서는 유한요소법을 이용하여 1차측 치 형상을 오픈슬롯과 치 폭에 따른 네 가지 구조의 반폐슬롯으로 나누어 특성을 시뮬레이션하고 그 결과를 비교·분석하였다.

2. 본 론

2.1 선형 유도전동기 해석 모델

그림 1은 본 논문에서 해석된 선형 유도전동기의 모델을 나타내었다. 1차측 이동자의 코어재질은 S18 규소강판으로 B-H 특성커브를 사용하여 물성비선형 해석을 수행하였으며 2차측 도체는 알루미늄을 사용하였다. 그림 2는 치 형상에 따른 1차측 이동자의 5가지 구조를 나타내었으며 동일한 해석조건 하에서 그림과 같이 치의 구

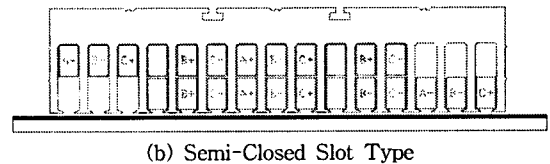
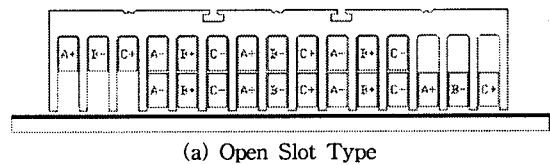


그림 1. 편측식 선형 유도전동기 해석 모델

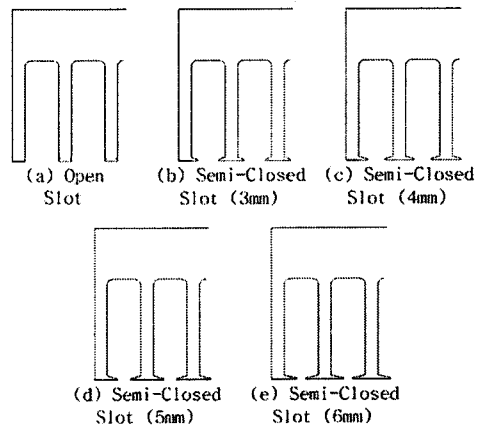


그림 2. 치 형상에 따른 1차측 이동자의 구조

표 1. 선형 유도전동기 해석모델의 제원

	Design specifications	Value
First (Mover)	Pole number	5 [Pole]
	Turns/phase/pole	256 [Turn]
	Stack length	80 [mm]
	Air gap	3 [mm]
Secondary (Stator)	Aluminum plate depth	2 [mm]
	Back iron plate depth	10 [mm]

2.2 2차원 유한요소 해석

전기기기의 전자기 현상에 대한 수치 해석기법을 수행하기 위한 기본 방정식은 아래와 같은 전자기 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 와전류 밀도[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

선형 유도전동기의 슬립에 따른 추력, 수직력, 전류, 역률 및 효율 특성을 상용 유한요소 프로그램인 Flux2D를 사용하여 시뮬레이션한 결과를 다음과 같이 나타내었다.

해석은 동일한 조건하에서 이동자 치 수에 따른 특성만을 고려하기 위하여 3상 138.6[V], 22[Hz]의 동일한 입력 조건하에서 시행되었으며, 각각의 특성 그래프에서 Type 1은 오픈슬롯이며, Type 2 ~ Type 5는 치 수의 폭이 각각 3mm ~ 6mm의 길이 일 때의 특성을 나타낸다.

그림 3에서 추력의 특성은 오픈슬롯인 Type 1이 슬립에 따른 추력의 감소폭이 다소 크게 나타났다. 반면에 Type 2 ~ Type 5는 Type 1보다 슬립에 따른 추력의 감소폭이 적게 나타났으며, 슈의 폭이 증가함에 따라 추력 특성이 나빠짐을 볼 수 있다. 그러나 그 차이는 그렇게 크지 않음을 알 수 있다.

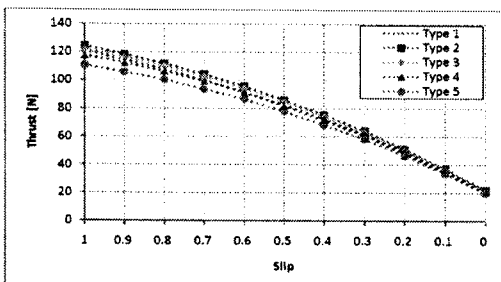


그림 3. 추력 특성

그림 4에서 수직력의 특성은 Type 2가 가장 크게 나타나고, Type 5가 가장 작게 나타나는 것을 볼 수 있다. 수직력의 증가는 일반적으로 추력과 효율을 감소시키는 요인이 되나 천정형 자기부상시스템에서 사용되는 전동기의 경우 큰 수직력은 부상력을 보충해주는 이점으로 작용될 수 있다.

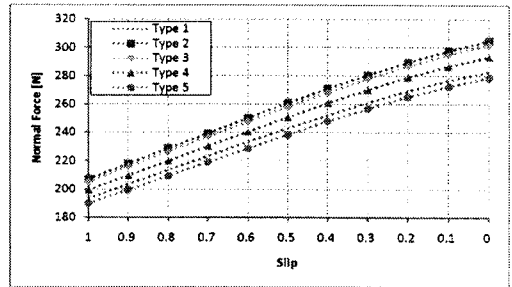


그림 4. 수직력 특성

그림 5는 슬립에 따른 전류의 특성을 나타낸 것으로 Type 1이 가장 큰 전류가 흐름을 알 수 있고, Type 5가 가장 적은 전류가 흐름을 알 수 있다. 추력의 특성과 함께 비교하면 Type 1은 전류 당 추력비가 많이 낮을 수 있으며, 슈의 폭이 증가함에 따라 전류와 추력이 함께 감소하는 특성을 보이고 있다. 수직력 또한 함께 감소하고 있으므로, 3가지 특성을 모두 고려하면 슈의 폭이 증가할수록 효율 특성이 개선되는 것을 알 수 있다.

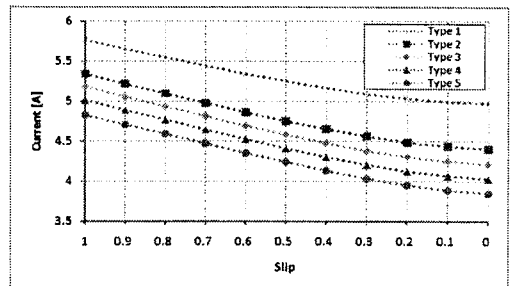


그림 5. 전류 특성

그림 6에서 슬립에 따른 역률 특성을 나타낸 것으로 Type 1의 경우 높은 슬립구간에서 다소 낮지만 슬립이 감소하여 동기속도에 가까워짐에 따라 역률의 감소율 또한 감소하는 특성을 알 수 있다. 반면 반폐슬롯의 구조를 가지는 4가지 타입에서는 슈의 폭이 증가함에 따라 슬립 전체 영역에 걸쳐 역률이 감소하는 현상이 나타났다.

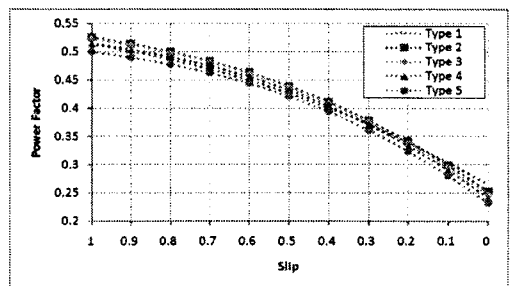


그림 6. 역률 특성

그림 7은 전기기기의 중요한 특성 중에 하나인 효율특성을 나타낸 그래프이다. 그림에서와 같이 오픈슬롯의 효율은 앞서 살펴본 전류, 추력특성에서 예측할 수 있듯이 가장 낮게 계산되었다. 그리고 가장 긴 치 슈의 형상을 가지는 반폐슬롯 Type 5의 효율 특성이 가장 좋게 나타나고 있음을 확인 할 수 있었다.

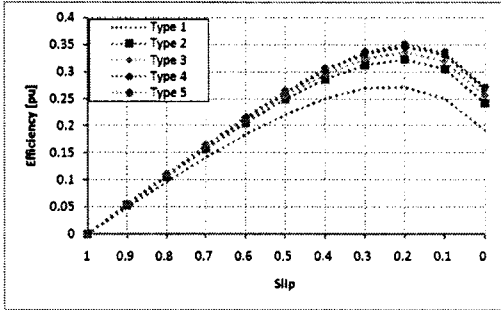


그림 7. 효율 특성

3. 결 론

본 논문에서는 2차원 유한 요소법을 사용하여 1차측 이동자의 치 구조를 오픈슬롯의 형상과 슬롯의 오픈정도를 달리한 반폐슬롯 형상 4가지로 총 5가지 치 형상으로 나누어 편축식 선형 유도전동기의 1차측 치 구조 형상에 따른 전자계적 특성을 비교·분석 하였다.

오픈슬롯 치 구조를 가지는 선형 전동기의 경우 반폐슬롯 구조에 비해 추력특성 곡선의 기울기가 크며 수직력이 감소함을 알 수 있었다. 또한 반폐슬롯 형태의 경우 치 슈의 폭이 증가함에 따라 추력, 수직력, 전류 및 역률 특성은 반비례 하는 특성을 보였으며, 효율은 비례 하는 특성을 보임을 알 수 있었다.

이상의 비교·분석에서 슈의 폭을 증가시키면 효율이 높은 전동기를 제작 할 수 있겠으나, 증가시킬 수 있는 슈의 폭이 제한되어 있을 뿐만 아니라 슈의 폭의 증가는 추력 및 역률을 감소시키며, 권선작업등의 제작상의 어려움을 발생 시킨다.

따라서, 위와 같은 모든 특성들을 고려하였을 때 본 논문에서는 충분한 추력과 효율 그리고 제작상의 용이성 등을 고려하여 Type 3 가 가장 최상의 성능을 나타내는 것으로 분석이 되었다. 향후의 연구에서는 슈의 폭 뿐만 아니라 슈의 두께 그리고 모양 등을 달리한 해석을 통하여 각각의 구조적 특징이 전동기의 성능에 미치는 영향을 분석하여 적합한 수학적 이론을 정립하고, 반응표면 분석법등의 최적화 기법을 적용한 전동기의 최적 설계에 대하여 더 연구가 진행 되어져야 할 것으로 보여진다.

감사의 글

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

[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 설계고찰", 대한전기학회논문지, 제9권 3호, 73-79, 1995
- [4] 이철직, "편축식 선형유도전동기를 구동원으로 한 반송설비 시스템", 대한전기학회논문지, 제11권 5호, 53-61, 1997