

2상 전동기 변환을 이용한 단상 영구자석형 Line-Start 모터의 정상특성해석

이선권 · 강규홍 · 홍정표 · 김규탁  
 창원대학교 전기공학과

Steady State Characteristic Analysis of Single-Phase Permanent Magnet Type Line-Start Motor Using 2-Phase Motor Transformations

Sun-Kwon Lee · Gyu-Hong Kang · Jung-Pyo Hong · Gyu-Tak Kim  
 Department of Electrical Engineering, Changwon National University

**Abstract** - This paper presents steady state analysis of single-phase line-start motor. 2-phase motor transformation is performed to consider the different specifications between main and auxiliary windings. The symmetrical coordinates transformation is applied to solve the unbalanced magnetic field. The validity of analysis method is verified by comparing to experiments.

1. 서 론

현재 가전분야의 동력원인 전동기의 고효율에 대한 요구는 날로 증가하고 있다. 또한 가격경쟁이 치열해 비용을 줄일 수 있는 전동기의 연구가 진행중이다. 단상 유도기는 구조가 간단하고 견고하여 널리 이용되고 있지만 2차 손실의 발생으로 효율의 한계가 있다. 반면 단상 영구자석 유도형 동기전동기 (Single-Phase Line-Start Permanent Magnet Motor, LSPM)는 회전자에 영구자석이 매입되어 있어 단상 유도기에 비해 효율을 높일 수 있다. 또한 회전자에는 도체바가 삽입되어 별도의 구동회로 없이 기동이 가능하여 비용을 줄일 수 있어 현재 많은 부분에 적용이 검토되고 있다.[1]

그러나 LSPM의 고정자 구조는 단상 유도기와 동일하기 때문에 단상 불평형 자계가 발생하여 정상상태에서도 2차 손실 및 진동 소음이 발생하며 성능이 저하될 수 있고 해석 및 설계 또한 어렵다. 따라서 일반적인 전동기 해석법으로는 특성해석이 불가능하기 때문에 여러 가지 부가적인 방법이 요구된다.[2]

본 논문에서는 LSPM의 정상상태 해석을 위해 주권선과 보조권선의 비대칭 전동기를 이상적인 2상 전동기로 변환하였다. 기존의 방법은 권선비만을 고려하여 d-q축 전압 방정식의 유도과정에서 저항의 비대칭성을 고려하였다.[1] 따라서 방정식이 복잡해지고 추가로 고려할 사항이 발생할 경우 해석이 더욱 어려워지며 누설 인덕턴스 성분의 불평형을 고려하지 못했다. 따라서 본 논문에서는 이를 보완하기 위하여 권선 간의 임피던스 차를 보조권선에 외부임피던스를 추가하여 보정하였다. 이상적인 2상 전동기로 모델링 되었지만 전압의 입력은 회로정수에 따라 비대칭적이다. 본 논문에서는 이를 고려하기 위해 대칭좌표계법을 이용하여 불평형 성분을 정상분과 역상분으로 분리하여 2개의 독립적인 전동기로 분리하여 해석하였다. 매입형 영구자석 전동기의 비선형적인 인덕턴스 특성을 2차원 유한요소법을 이용하여 산정하였고, 정상특성 해석에 적용하였다. 제작된 전동기의 부하특성 실험결과와 해석결과를 비교하여 특성해석법의 타당성을 제시하였다.

2. 2상 전동기 변환 및 대칭좌표계법

LSPM의 회전자 구조와 고정자 회로를 그림 1의 (a)에 나타내었다. 해석 대상의 LSPM은 주권선과 보조권선이 공

간적으로 90°의 위상차를 가지고 있고 동일한 단상 입력을 이용하며, 보조권선에는 기자력의 시간적 위상차를 만들기 위해 캐패시터가 직렬 연결되어 있다.

그림 1의 (a)와 같이 해석 대상 전동기는 주권선과 보조권선으로 구성된 비대칭 2상 전동기이다. 주권선과 보조권선의 권선수가 다르기 때문에 식 (1)과 같은 주권선과 보조권선간의 권선비를 고려하여 주권선과 보조권선이 동일한 이상적인 2상 전동기로 변환해야 한다.

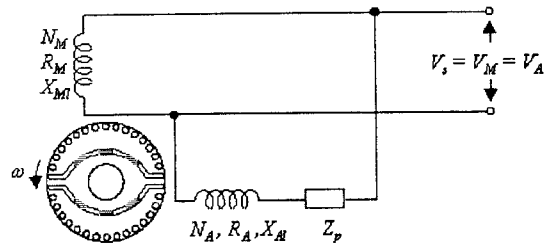
$$a = \frac{k_{wA}N_A}{k_{wM}N_M} \tag{1}$$

여기서,  $k_{wM}$ ,  $k_{wA}$ 는 각각 주권선과 보조권선의 권선계수이다. 식 (1)의 권선비를 이용하여 주권선을 기준으로 보조권선을 치환하면 다음과 같다.

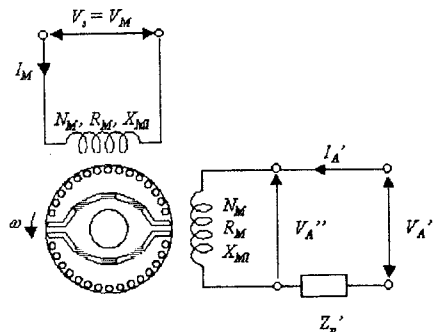
$$R_A' = \frac{R_A}{a^2}, X_{A1}' = \frac{X_{A1}}{a^2}, Z_p'' = \frac{Z_p}{a^2} \tag{2}$$

$$V_A' = \frac{V_A}{a}, I_A' = aI_A \tag{3}$$

여기서,  $M$ 은 주권선,  $A$ 는 보조권선,  $l$ 은 누설을 나타내며, 외부 임피던스에는 운전 캐패시턴스가 포함되어 있다.



(a) LSPM의 회전자 구조 및 고정자 회로구성



(b) 변환된 2상 전동기의 회로도

그림 1. LSPM의 회전자 구조 및 고정자 회로구성



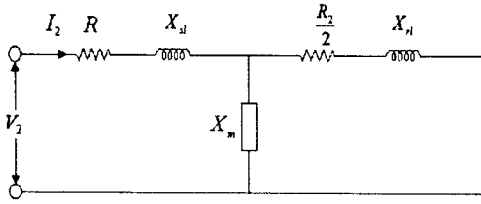


그림 5. 역상분 등가회로

#### 4. 특성해석 결과

해석대상 LSPM의 정상상태 특성해석의 입력 조건은 다음 표와 같다. 무부하 역기전력의 실효치는 2차원 유한요소법을 이용하여 산정하였고, 입력 전압 및 전류, 역기전력은 모두 정현파라고 가정하였다.

표 1. 해석조건

항 목	수 치	항 목	수 치
전 압 (V)	115	주파수 (Hz)	60
d축 인덕턴스(mH)	107	q축 인덕턴스(mH)	370
BEMF (Vrms)	58	Cr (μf)	12

등가회로의 회로정수인 d-q축 인덕턴스를 2차원 유한요소법을 이용하여 산정하였다. 매입형 영구자석이므로 전류의 위상각과 크기에 따라 링크부의 포화정도가 달라져 회전자와 고정자 극의 상대위치를 고정자 전류의 크기에 따른 비선형 인덕턴스 특성을 가진다. 이러한 전류 위상각과 크기에 따른 비선형 인덕턴스 특성을 그림 6에 나타내었다. 인덕턴스 산정은 운전상태를 고려하기 위해 영구자석과 고정자 전류를 여자한 상태에서 비선형 해석을 수행하고, 이때 각 요소의 부자울을 저장한 상태에서 주권선만 여자한 상태에서 선형해석을 통한 자기 저장에너지로부터 인덕턴스를 계산하였다.

정격 160[W]출력에서의 정상상태 특성의 해석치와 실험치를 비교하면 다음 표와 같다.

표 2. 정격특성 해석결과

항 목	해석치	실험치	오차(%)
부하출력 [W]	160	160	0
주권선 전류 [A]	1.17	1.29	9
보조권선 전류 [A]	0.76	0.76	0
선 전류 [A]	1.52	1.66	8.4
입 력 [W]	172	182.58	5.8
역 률 (%)	98.72	98.65	0.07
효 율 (%)	93.58	87.6	6

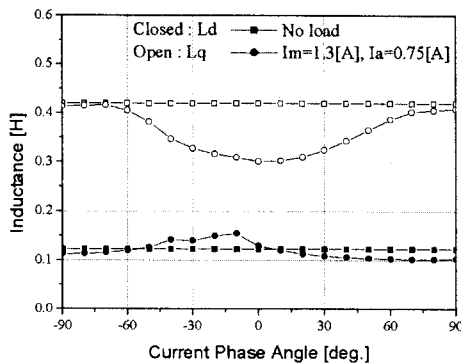


그림 6. 인덕턴스 산정결과

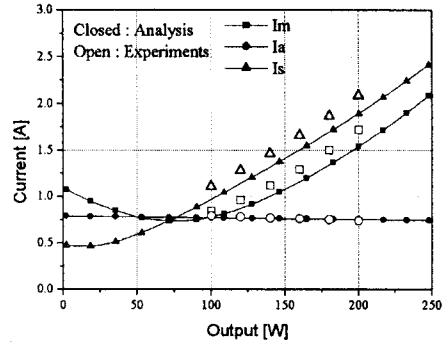


그림 7. 출력에 따른 전류특성

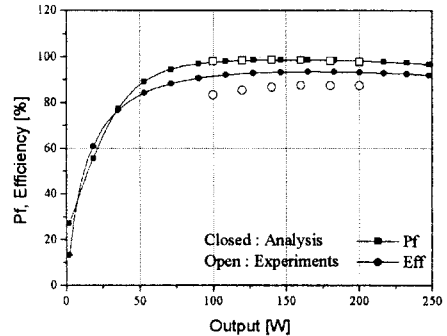


그림 8. 출력에 따른 역률 및 효율특성

고정 인덕턴스를 이용하여 계산한 출력에 따른 전동기 특성 해석 결과를 그림 7, 그림 8에 나타내었다. 그림 7의 부하 출력에 따른 전류특성에서 다소 오차가 발생함을 알 수 있다. 오차의 주된 원인은 철손을 고려하지 않았기 때문에 나타났다.

전기자 반작용 리액턴스가 다소 크고, 전류의 크기에 따라 인덕턴스가 현저하게 변하기 때문에 운전상태의 전류나 부하가, 전류위상각에 따른 인덕턴스를 정밀하게 고려해야 정확한 해석결과를 얻을 수 있다.

#### 5. 결 론

본 논문에서는 단상 영구자석형 유도동기기의 정상상태 특성해석을 수행하였다. 권선비를 고려한 치환과, 보조권선의 외부 임피던스를 통한 보정을 통해 사양이 서로 다른 주권선과 보조권선으로 구성된 고정자를 이상적인 2상 전동기의 권선으로 변환하였다. 또한 불평형 2상 입력을 대칭좌표계법을 이용하여 해석하였다. 매입형 동기 전동기 특성을 해석하기 위해 d-q 변환을 수행하였고, 회로정수는 2차원 유한요소법을 이용하여 정밀하게 산정하였다.

해석결과를 실험결과와 비교하여 타당성과 문제점을 제시하였다. 정격에서 입력전류는 8.4(%)의 오차를, 효율은 6(%)의 오차가 발생하였다. 철손을 고려하면 오차를 더욱 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 이선권, 강규홍, 홍정표, 김규탁, "단상 영구자석형 유도동기기의 특성해석", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 춘계학술대회 논문집, pp. 144-146, 2001
- [2] Timothy J. E. Miller, "Single-Phase Permanent Magnet Motor Analysis", IEEE Trans. Industry Application, no. 4, pp. 651-658, 1985.
- [3] E. F. Fuchs, A. J. Vandepu, J. Holl, J. C. White, "Design Analysis of Capacitor-start Capacitor-run Single-Phase Induction Motors", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 5, No. 2, June 1990