

착자를 고려한 Line Start Permanent Magnet Motor의 동특성 해석

이철규*, 권병일*

*한양대학교 대학원

Dynamic Analysis of Line Start Permanent Magnet Motor Considering Magnetization

C.G.Lee*, B.I.Kwon*

*Graduate School of Hanyang Univ.

Abstract - In this paper, we analyse the dynamic characteristic of 3-phase line start permanent magnet motor considering magnetization. Magnetization vector of NdFeB is obtained from the 2-D FEM magnetization analysis. And comparing the proposed analysis with conventional analysis method, we know that it is necessary to consider magnetization in dynamic analysis.

1. 서 론

Line Start Permanent magnet motor(LSPM)는 현재 산업체에서 활발히 개발 가운데 있으며, 조립후 착자시스템에 관하여 연구된 바 있다[1-2].

기존의 영구자석을 포함하는 전동기의 동특성 해석에서는 모든 영구자석 요소의 자화 방향과 크기가 일률적으로 같다는 방법을 이용하고 있다. 또한, 자화의 크기를 퍼리에급수를 이용한 함수를 이용하여 나타낸 방법과 이방성 영구자석의 경우는 자석 제조시 자화 방향과 전류자속밀도 측정치를 이용하여 전동기의 특성해석을 한 바 있다[3-4]. 그러나, 전동기에서 영구자석의 사용이 증가하고, 영구자석 자화의 방향도 착자 방법에 따라 일률적이지 않은 경우가 발생하므로 착자를 고려한 전동기의 특성해석이 필요하다.

본 논문에서는 위의 연구에서 얻어진 해석방법을 이용하여 회전자에 조립된 영구자석의 자화벡터를 구한다. 그리고, 이 자화벡터를 이용하여 LSPM의 동특성해석을 한다.

2. 착자 해석

본 논문에서 영구자석의 자화벡터를 구하기 위한 착자과정 해석은 콘덴서 방전형 펄스 착자기의 회로방정식과 결합된 2차원 유한요소해석을 사용하였다. 또한 영구자석의 모델링을 위하여 프라이자흐 모델을 사용하였다.

2.1 유한요소해석

유한요소해석에 사용된 지배방정식과 콘덴서방전형 임펄스 착자기의 회로방정식은 식(1)과 (2)와 같다[5].

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

여기서. A : 자기벡터 포텐셜(A)의 z축성분값

J_0 :권선의 전류밀도

J_m :자석에 의한 등가전류밀도

σ : 회전자바의 도전율

$$\frac{d\Phi(t)}{dt} + (R + R_c) \frac{dQ(t)}{dt} + L_0 \frac{d^2 Q(t)}{dt^2} + \frac{Q(t)}{C} - \frac{Q_0}{C} = 0 \quad (2)$$

여기서. ϕ	: 착자요오크 권선에 쇄교하는 자속
R, L_0	: 착자기 외부회로의 저항 및 누설인덕턴스
R_c	: 착자요오크의 권선의 저항
$Q(t)$: 캐패시터에서 방전되는 전하량
Q_0	: 캐패시터의 초기 충전전하량

Galerkin법을 이용하여 식(1)을 유한요소 정식화하고 착자기의 회로방정식 (2)를 결합하여 유한요소해석을 한다.

2.2 프라이자흐 모델

착자과정해석시 영구자석을 프라이자흐가 제안한 방법으로 모델링하여 착자원인후 영구자석 각 요소의 자화벡터 데이터를 구하였다. 프라이자흐 모델은 해석하고자 하는 자석의 1차 전이곡선 데이터를 이용하여 자석의 히스테리시스 곡선을 수학적으로 모델링하는 방법이다. 이 방법을 이용하여 착자과정 중의 자석 각 요소의 자화벡터량을 구할 수 있어 착자 후의 잔류 자속 밀도를 구할 수 있다. 그림1은 자석의 1차 전이곡선을 나타내며 그림2와 식(3)은 프라이자흐 모델링에 사용되는 에버렐함수를 설명한다[6].

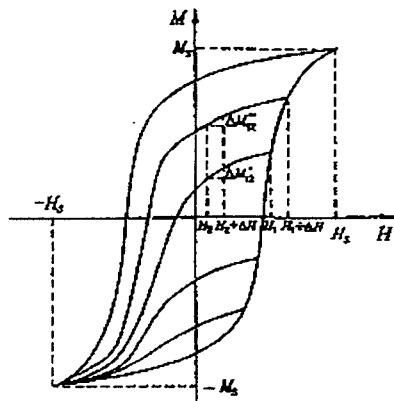


그림1. 자석의 1차 전이곡선

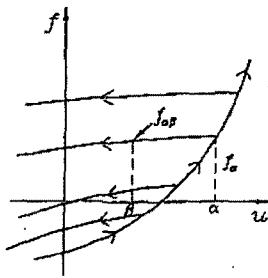


그림2. 에버렐 함수

$$E(\alpha, \beta) = \frac{1}{2}(f_\alpha - f_{\alpha\beta}) \quad (3)$$

본 논문에서 해석하고자 하는 자석은 NdFeB계열로 써, 자화용이축과 자화곤란축이 있으며 각 축에 대한 1차 전이곡선이 다르게 나타난다. 따라서, 본 논문에서는 자화용이축에 대한 에버렐함수와 자화곤란축에 대한 에버렐함수를 각각 다르게 구성하였다.

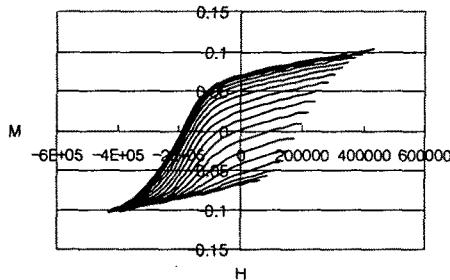


그림3. 실제 영구자석의 1차 전이곡선

그림3은 실제 영구자석의 1차 전이곡선의 측정치이다. 본 논문에서 해석하고자 하는 NdFeB자석에 대한 1차 전이곡선은 착자 자체의 세기가 매우 커서 얻기 어려우므로 대신 자화곡선을 이용하여 에버렐함수를 구하였다. 자화곤란축 방향의 에버렐함수는 자화가 거의 되지 않으므로 모든 영역에서 0으로 처리하였다.

3. 동특성해석

Line Start Permanent Magnet Motor의 동특성 해석을 위하여 본 논문에서는 운동방정식이 고려된 2D FEM을 사용하였다. FEM에 사용된 유한요소 지배방정식과 고정자 권선의 회로방정식은 식(5)와 식(6)과 같다. 그리고, 토오크 계산식 및 운동방정식은 각각 식(7)과 식(8)과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -J_0 - J_m + \sigma \frac{\partial A}{\partial t} \quad (5)$$

$$\frac{d\Phi(t)}{dt} + L_0 \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) = v(t) \quad (6)$$

여기서, L_0 : 고정자 권선의 누설자속

$$T(n) = \oint_s r \times \left\{ \frac{1}{\mu_0} (B(n) \cdot n) B \frac{(n)-1}{2\mu_0} |B(n)|^2 n \right\} ds \quad (7)$$

$$J_m \frac{d\omega_m}{dt} = T_{mt} - T_l \quad (8)$$

착자해석으로부터 얻은 자석의 자화벡터 데이터를 동특성 해석에 적용하기 위한 방법은 그림4와 같다.

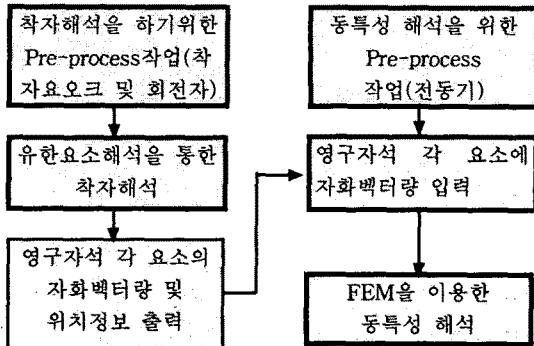
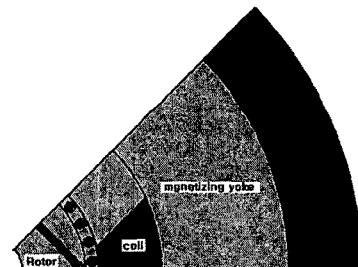


그림4. 동특성 해석 시 자화벡터 데이터의 입력

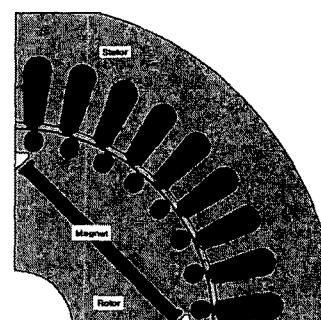
LSPM의 동특성 해석시 영구자석 각 요소에 자화벡터 데이터를 입력하는 방법은 착자해석에서 영구자석요소의 자화벡터량 및 위치정보를 출력하게 하고 이 출력된 정보를 이용하여 동특성 해석모델의 영구자석 각 요소에 입력하였다.

4. 해석결과

본 논문에서 해석하고자 하는 LSPM의 착자해석모델과 동특성해석 모델은 그림5와 같다.



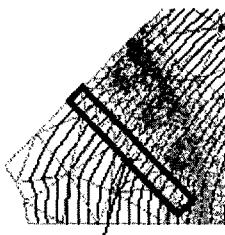
(a) 착자 해석모델



(b) 동특성 해석모델

그림5. 해석모델

착자시 그림6과 같이 영구자석의 자속분포가 나타나며 이 자속분포와 같이 실제 영구자석의 자화벡터는 끝단 부분으로 갈수록 자화방향이 오른쪽으로 휘어짐을 알 수 있다.

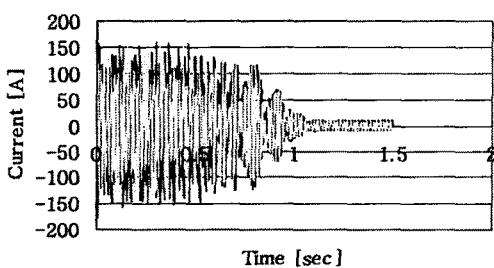


Magnet

그림6. 착자시 자석의 자속분포

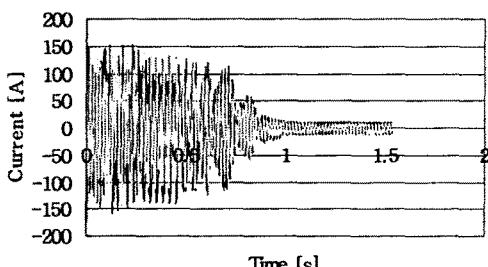
그림7은 일률적으로 자화값을 입력하는 방법으로 해석하였을 때와 영구자석의 착자를 고려하여 해석하였을 때의 동특성 해석결과이다. 해석결과로부터 영구자석의 착자를 고려했을 때와 고려하지 않았을 때 전류, 토오크, 속도특성 등이 변함을 알 수 있다. 따라서, 영구자석의 착자방향이 일률적인 방향과 많은 차이가 있는 경우는 해석결과에 더욱 큰 차이가 발생하리라 본다.

— CUR(A) — CUR(B) CUR(C)



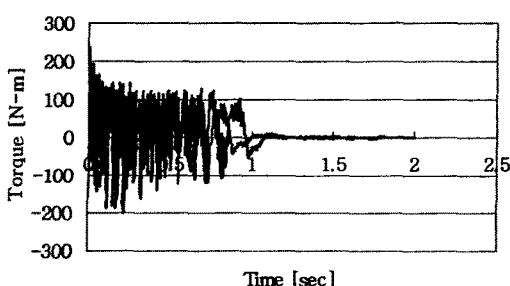
(a) 전류특성(기존방법)

— CUR(A) — CUR(B) CUR(C)



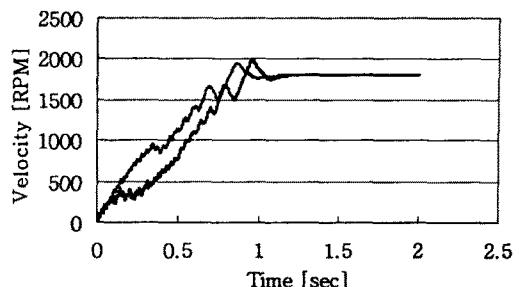
(b) 전류특성(착자고려시)

— 착자고려 — 기존방법



(b) 토오크 특성

— 착자고려 — 기존방법



(c) 속도특성

그림7. 기존방법과 착자고려시 동특성 해석결과

5. 결론

본 논문에서는 착자를 고려한 Line Start Permanent Magnet Motor의 동특성 해석을 하였다. 착자를 고려하기 위하여 자석의 자화값을 입력하는 방법에 대하여 연구하였다. 자화벡터량은 착자 해석 시 영구자석을 프라이자호가 제안한 방법으로 모델링 함으로써 구할 수 있었으며, 해석하고자 하는 자석이 이방성이므로 자화용이축과 자화관련축에 대한 에버렐함수를 다르게 구성하였다.

동특성 해석시 기존의 해석방법은 영구자석의 착자방향을 일률적으로 한 방향으로 주는 방법이었으나, 본 논문에서는 착자해석을 통하여 얻은 착자후의 영구자석 자화벡터량을 이용함으로써 전동기 특성해석시 자석에 의한 영향을 정확히 고려할 수 있었다.

본 논문에서 연구된 방법을 통하여 착자 후 영구자석의 자화벡터를 구함으로써, 착자방향이 일정치 않은 영구자석 전동기 정확한 특성해석을 할 수 있으리라 사료된다.

본 논문은 산업자원부에서 지원하는 에너지기술개발사업인 '3.7kW급 유도성 기동 영구자석 매입형 동기전동기 개발'(주)효성 주관, 과제번호: 2000-E-EL-01-E-51)과제의 일부로 수행되었습니다. 이에 관계자 제위께 감사드립니다.

(참고문현)

- [1] 이철규, 권병일 "유한요소해석을 이용한 영구자석매입형 유도성기동 동기전동기의 조립후 착자시스템 설계", 2001년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 춘계학술대회 논문집, pp404-406, 2001
- [2] 이철규, 권병일, "영구자석 매입형 유도성 기동 동기전동기의 조립후 착자에 대한 연구, 대한 전기학회 전기기기 및 에너지 변환시스템학회 추계 학술대회 논문집, pp. 27-29, 2001. 10. 26
- [3] 권병일, 임태빈, 강영규, 박승찬, "영구자석의 자화분포를 고려한 구형과 전압 구동 BLDC 전동기의 특성해석", 대한전기학회논문지, Vol.47, No.4 pp 441-449, 1998.4
- [4] 장홍순, 정인성, 백수현, "회전자 철심이 없는 내전형 BLDC 모터의 유한요소 해석", 대한전기학회 논문지 제 49권 10호, pp. 652-658, 2000.10
- [5] 고창섭, 윤희수, 한송엽, "프라이자호 모델을 이용한 커페시린스 방전 필스 착자기의 특성해석", 대한전기학회논문지, 제47권 제10호, pp. 1627-1634, 1998
- [6] 홍선기, "동방성 자성재료에서의 일반화된 벡터 히스테리시스 모델링", 공학박사학위논문, 서울대학교, 1993.