

# 정상상태 특성 개선을 위한 단상 영구자석형 동기기의 자기회로 설계

論 文

52B-6-2

## Design of Magnetic Circuit of Line-start Permanent Magnet Synchronous Motor to Develop the Characteristics at the Steady State

吳 泳 璣\* · 南 赫\*\* · 鄭 承 奎\*\* · 洪 正 杓\*\*\* · 鄭 泰 旭<sup>§</sup> · 白 承 勉<sup>§§</sup>

(Young-Jin Oh · Hyuk Nam · Seung-Kyu Jung · Jung-Pyo Hong · Tae-Uk Jung · Seung-Myun Baek)

**Abstract** - This study investigates magnetic circuit design of the Single-phase Line-start Permanent Magnet Synchronous Motor (LSPM) to develop the characteristics in steady state. In this paper, the saliency ratio, that is the ratio of q-axis inductance to d-axis inductance, and the inductance difference between q-axis inductance and d-axis inductance are increased. Design factor is selected permanent magnet position and rotor diameter. The analysis method of the synchronous motor on d-/q- axis coordinates is used for the positive component and the equivalent circuit of the induction motor is applied for the negative component analysis. Back-emf and d-/q- axial inductance is analyzed by using 2 dimensional Finite Element Method (FEM). Characteristic analysis results with variation of design factor are reflected magnetic circuit design of LSPM. The characteristics of design model are compared with the characteristic of initial model.

**Key Words** : LSPM, Saliency ratio, Inductance difference, d-/q- axis coordinates, FEM

### 1. 서 론

가전 분야에 있어서 상용 전원을 이용하여 기동 및 구동이 가능한 단상 유도전동기는 경제적이고 기동특성이 우수하여 가전제품의 구동원으로 보편화되어 있으나 회전자의 도체바에서 발생하는 손실로 인하여 효율 향상에 한계가 있다. 이에 비해 단상 영구자석형 동기기(Line-start Permanent Magnet Synchronous Motor, LSPM)는 기존의 단상 유도전동기의 회전자에 영구자석을 삽입한 것으로서 단상 유도전동기와 마찬가지로 인버터와 같은 구동회로 없이 상용 전원을 직접 투입하여 기동 및 운전이 가능하므로 경제적인 측면에서 우수한 경쟁력을 가진다. 또한, 영구자석을 사용하므로 출력 에너지 밀도가 높고, 정상상태에서 동기속도로 운전하므로 불평형 자계로 인하여 발생하는 역상분 전류에 의한 2차측 동손을 저감시킬 수 있기 때문에 단상 유도기에 비해 효율이 높다. 따라서, 에너지 절약 및 전동기의 고효율화가 요구되고 있는 현재에 적합한 가정용 전동기가 될 수 있으므로 이에 대응하기 위하여 단상 영구자석형 동기기에 대한 정밀한 해석 및 성능 향상을 위한 설계가 요구되어지고 있다 [1]-[3].

본 논문에서는 영구자석이 회전자 내부에 매입된 단상 영구자석형 동기기를 대상으로 하여 등가회로를 이용한 전동기의 특성 해석 기법과 성능 향상을 위한 자기회로 설계를 수행하였다. 단상 영구자석형 동기기는 단상 유도기와 마찬가지로 주권선과 보조권선의 기자력 차에 의한 불평형 자계로 인하여 동기속도로 운전하는 정상상태에서도 정상분 뿐만 아니라 역상분이 같이 존재하기 때문에 등가회로를 이용한 해석 방법이 있어서 불평형 자계를 대칭좌표를 이용하여 2개의 독립적인 평형전동기로 분리하여 특성해석을 수행하는 대칭좌표계법을 이용하였다[1]-[4]. 그리고, 매입형 영구자석으로 인하여 d-축과 q-축의 인덕턴스 차가 발생하므로 대칭좌표 변환에 의해 분리된 정상분 특성은 d-/q- 변환 이론을 통하여 해석을 수행하였고, 역상분 특성은 슬립 2의 유도전동기 등가회로를 통하여 산정하였다. 이때, d-/q-축 인덕턴스는 자기회로의 포화 상태에 따라서 급격하게 변화하므로 정밀한 전동기 특성해석과 설계를 위해서는 정확한 d-/q-축 인덕턴스 산정이 요구되어 진다[5]. 따라서, 본 연구에서는 유한요소법으로부터 전류 위상각에 따른 인덕턴스를 산정한 후 특성 해석을 위한 등가회로에 반영하였다.

단상 영구자석형 동기기의 특성은 영구자석과 더불어 d-축 인덕턴스에 대한 q-축 인덕턴스의 비인 돌극비와 d-축에 대한 q-축의 인덕턴스 차이에 큰 영향을 받는다. 따라서, 동일한 고정자 권선과 영구자석에서 돌극비를 확보하여 전동기의 전류의 크기를 저감시키고 역률 향상을 통하여 전동기의 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 회전자에 매입된 영구자석의 위치에 따라서 d-축과 q-축의 인덕턴스를 산정하여 돌극비와 d-/q-축 인덕턴스 차의 변화 양상을 파악하고, 이를 반영한 특성해석

\* 準 會 員 : 昌 原 大 工 大 電 氣 工 學 科 碩 士 卒  
\*\* 正 會 員 : 昌 原 大 工 大 電 氣 工 學 科 博 士 課 程  
\*\*\* 正 會 員 : 昌 原 大 工 大 電 氣 工 學 科 副 教 授 · 工 博  
§ 正 會 員 : LG 電 子 (株) 責 任 研 究 員 · 工 博  
§§ 正 會 員 : LG 電 子 (株) 責 任 研 究 員 · 碩 士  
接 受 日 字 : 2002 年 10 月 16 日  
最 終 完 了 : 2003 年 5 月 7 日

을 수행하여 정적효율 및 최대토크를 계산하였다. 또한, q-축 인덕턴스 증가를 통한 돌극비 향상을 위하여 회전자 외경을 증가시켰다. 최종적으로, d-/q-축 인덕턴스, 돌극비 및 특성 해석 결과를 통하여 단상 영구자석형 동기기의 초기모델과 개선모델의 특성을 비교하였다.

2. 정상상태 특성해석 이론

2.1 단상 영구자석형 동기기의 구조

그림 1은 단상 영구자석형 동기기의 회전자 구조 및 고정자 권선 회로도도를 나타낸다. 일반적으로 영구자석을 매입한 구조를 많이 사용하고, 유도 기동토크를 얻기 위해 농형 도체바가 회전자에 삽입되어 있으며 영구자석의 측면 부분은 철심으로의 누설을 방지하기 위한 자속 장벽이 존재한다. 그림 1(b)에서 고정자 권선은 기존의 단상 유도전동기와 동일하게 주권선과 커패시터가 직렬로 연결된 보조권선으로 구성되어 있다. 여기서,  $V_s, I_s$ 는 각각 전동기 입력 전압과 전류,  $V_{main}, I_{main}$ 는 주권선측의 전압과 전류,  $V_{aux}, I_{aux}$ 는 보조권선측의 전압과 전류를 나타내며  $C_r$ 은 운전커패시터,  $V_c$ 는 커패시터 전압을 나타낸다.

2.2 대칭좌표계법

단상 영구자석형 동기기의 고정자 권선에 의한 자계는 평형 3상유도기와는 달리 불평형 자계를 발생시킨다. 따라서 본 논문에서는 대칭좌표계법을 이용하여 2개의 독립적인 평형전동기로 고려하여 해석하였다.

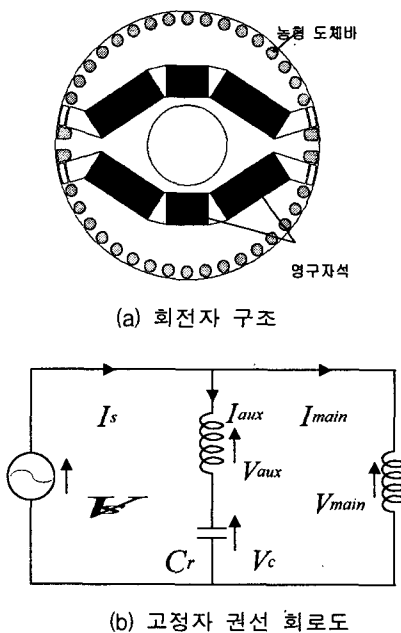


그림 1 단상 영구자석형 동기기의 회전자 구조 및 고정자 권선 결선도

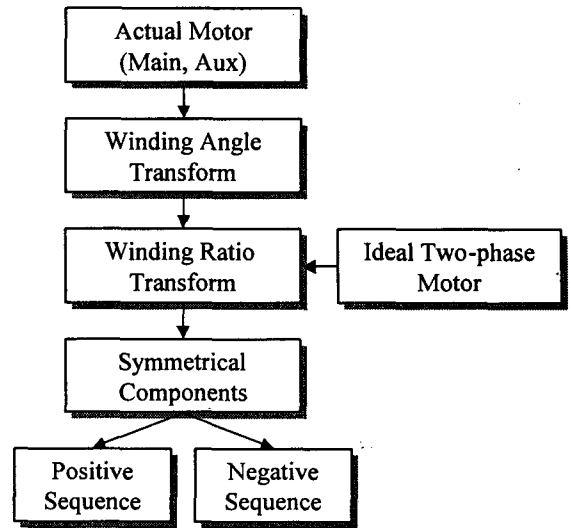
Fig. 1 Rotor structure and stator winding connection of the LSPM

먼저 주권선과 보조권선을 가진 단상전동기를 권선 계수와 권선비를 이용하여 동일한 권선수와 임피던스를 가진 2상 전동기로 변환한다. 변환된 2상 전동기의 상전압 및 전류를 대칭좌표변환을 통해 정상분과 역상분의 대칭성분으로 분리하여 특성해석을 수행하였다. 그림 2는 대칭좌표변환 순서도와 벡터도를 나타낸다.

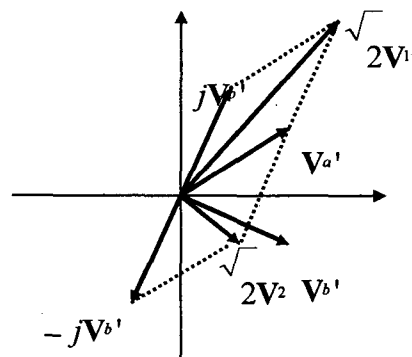
2.3 전압방정식 유도

그림 3은 2상 전동기의 상 성분과 d-/q-축 성분과의 관계를 나타낸 것이다 [2]. 단상 영구자석형 동기기는 주권선과 보조권선이 공간적으로 90°의 위상차를 가지고, 보조권선의 커패시터에 의해 시간적인 위상차가 발생하므로 2상 전동기로 생각할 수 있다. 이러한 벡터 관계로부터 고정자 상의 d-/q-축 성분은 식(1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v'_a \\ v'_b \end{bmatrix} \quad (1)$$



(a) 순서도



(b) 벡터도

그림 2 대칭좌표변환 순서도 및 벡터도

Fig. 2 Procedure and vector diagram of symmetrical component theory

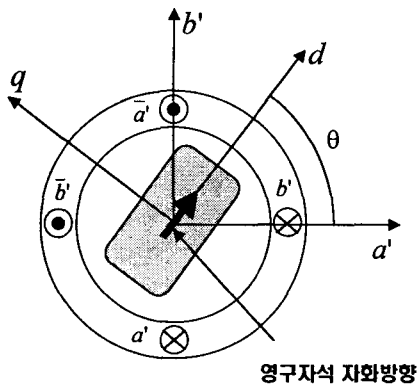


그림 3 고정자의 d/q-축 성분  
Fig. 3 d-/q-axis component of stator

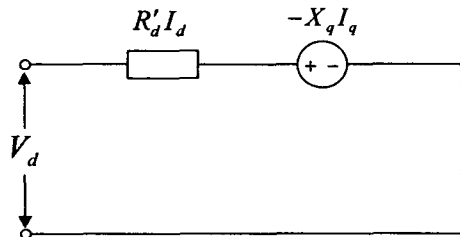
여기서  $\theta$ 는 2상으로 변환된 고정자  $a'$ 상의 기자력과 회전자의 d-축이 전기적으로 이루는 각을 나타낸다. 식 (1)의 행렬로부터 2상 전동기 전압방정식을 식 (2)와 같이 d-/q-축 형태로 변환하여 정상분 전압방정식을 구성하였다. 식 (3)은 d-/q-축 변환에 의한 저항을 나타내며, 그림 4는 정상 성분의 d-/q-축 등가회로를 나타낸다. 여기서  $\theta = \omega t - \delta$ 로 시간 항이 있지만, 정상상태에서는 시간을 고려하지 않아도 되기 때문에 부하각 만을 고려하였다. 그림 5는 정상 성분 계산과정을 나타낸다.

$$V_d = R'_d I_d - X'_q I_q \quad (2)$$

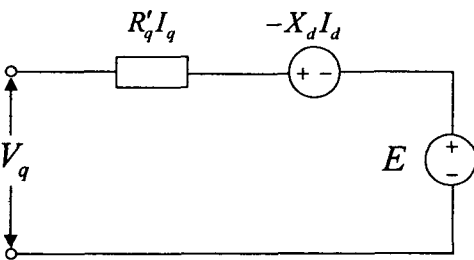
$$V_q = R'_q I_q + X'_d I_d + E$$

$$R'_d = R_a' \cos^2 \theta + R_b' \sin^2 \theta \quad (3)$$

$$R'_q = R_a' \sin^2 \theta + R_b' \cos^2 \theta$$



(a) d-축 성분의 등가회로



(b) q-축 성분의 등가회로

그림 4 정상분 등가회로  
Fig. 4 Equivalent circuit of positive component

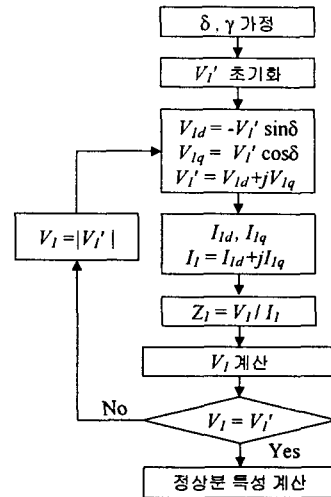


그림 5 정상상태 특성 해석 과정  
Fig. 5 Analysis process on steady-state performance

역상분의 경우 정상 운전 시 정상분과 반대방향의 회전자 계가 발생하므로 슬립이 2인 유도전동기로 생각할 수 있다. 따라서 역상분 등가회로는 그림 6과 같이 표현할 수 있다. 등가회로의 임피던스를 d-/q-축으로 분리해서 정리하면 식 (4)와 같고, 역상분 임피던스는 식 (5)와 같이 등가회로의 d-/q-축 임피던스의 평균값으로 한다. 식 (4)에서 첨자  $r$ 은 회전자측을,  $s$ 는 고정자측을,  $l$ 은 누설성분을 의미하고,  $X_{md}, X_{mq}$ 는 각각 d-/q-축의 자화리액턴스이다. 따라서 역상분 전류는 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$Z_d = \frac{(R_d/2 + jX_{rd})jX_{md}}{R_d/2 + j(X_{md} + X_{rd})} + (R + jX_{sl}) \quad (4)$$

$$Z_q = \frac{(R_q/2 + jX_{rd})jX_{mq}}{R_q/2 + j(X_{mq} + X_{rd})} + (R + jX_{sl})$$

$$Z_2 = (Z_d + Z_q)/2 \quad (5)$$

$$I_2 = V_2/Z_2 \quad (6)$$

정상분과 역상분 전류가 구해지면 정상분과 역상분의 출력과 이를 합성한 전기적 출력은 식 (7) ~ (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_1 = (Re(V_1 I_1^*) - R I_1^2) \quad (7)$$

$$P_2 = (Re(V_2 I_2^*) - R I_2^2) \quad (8)$$

$$P_{out} = P_1 - P_2 \quad (9)$$

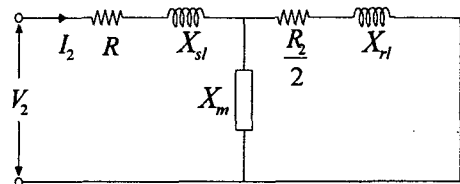


그림 6 역상분의 등가회로  
Fig. 6 Equivalent circuit of negative-sequence

### 3. 릴럭턴스 토크 확보를 위한 자기회로 설계

#### 3.1 인덕턴스 변화에 따른 전동기 특성

그림 7은 인덕턴스 변화에 따른 전류변화를 벡터도로 나타낸 것이다. 벡터도에서 저항에 의한 전압강하는 무시하였고 부하각은 90°로 인덕턴스의 변화와 무관하게 일정하다고 가정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 전동기의 돌극비는 q 축 인덕턴스를 증가시키거나 d축 인덕턴스를 감소시켜 증대시킬 수 있다. 먼저, 그림 7(b)의 초기 상태에서 그림 7(c)와 같이 d-축 인덕턴스는 동일하고 q-축 인덕턴스가 200(%)로 증가하여 돌극비가 증가하는 경우 q-축 전류는 1/2로 감소하여 권선의 전류는 감소하게 되고 역률은 증가하게 된다. 반면에 그림 7(d)와 같이 d-축 인덕턴스가 감소하여 돌극비가 증가하는 경우에는 q-축 전류는 2배로 증가하게 되어 역률은 증가하지만 권선 전류가 증가하게 된다. 이 결과로부터 두 경우의 돌극비가 2배로 증가하였다고 할 때, 전자의 경우는 전동기의 특성이 향상되었으나 후자의 경우에는 오히려 전동기의 특성이 나쁘게 평가될 수도 있다. 따라서, 단상 영구자석형 동기기의 특성 향상을 위해서는 돌극비의 증가도 중요하지만 d-/q-축의 인덕턴스 차도 증가시켜야 함을 보여주고 있다.

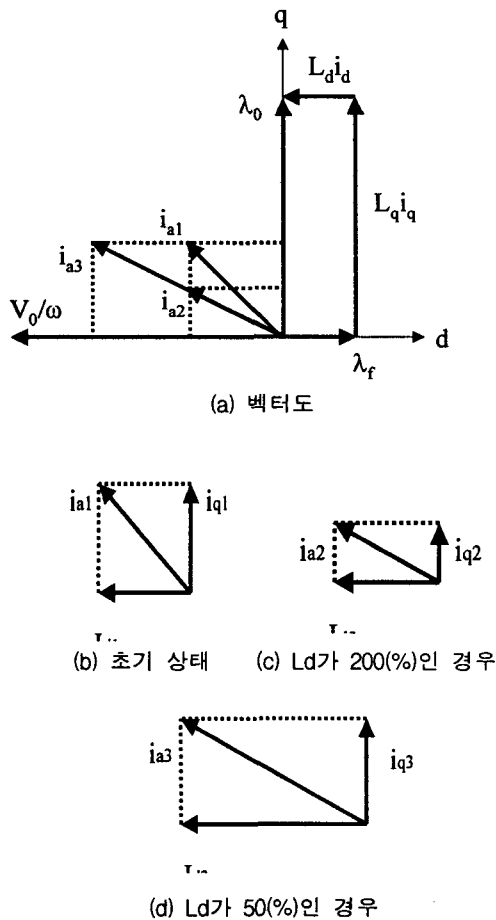


그림 7 인덕턴스에 따른 전류 특성  
Fig. 7 Current characteristic according to inductance

#### 3.2 초기모델의 인덕턴스 특성해석 결과

그림 8은 본 논문에서 다루고 있는 단상 영구자석형 동기기의 초기모델에 대한 형상을 나타낸다.

그림에서 A부분과 B부분은 q-축 자속이 통과하는 단면적을 나타낸다. 그리고,  $\omega$ 는 영구자석의 위치 이동에 따른 변위를 나타내며 초기모델에서의 영구자석 위치를 0으로 본다. 먼저 전류의 크기에 따른 각 부분의 자속량을 산정하여 포화 정도를 예측하여 영구자석의 이동방향을 결정하고, 이동거리에 따른 인덕턴스 특성을 계산하여 영구자석의 위치를 결정하였다.

그림 9는 초기모델을 대상으로 전류 위상각 0°일 때 전류 크기에 따라 회전자 요크에서의 자속량과 q-축 인덕턴스를 산정한 결과이다. 이 결과에서 B부분에 비해 A부분을 통과하는 자속량이 더 많으므로 많은 양의 자속이 A부분으로 흐르고 있음을 알 수 있다. 또한, 전류의 크기가 증가함에 따라 A부분의 자속량은 거의 증가하지 않고 q-축 인덕턴스의 감소폭도 커 이미 포화되었음을 알 수 있다. 따라서, 동일한 전류에서 보다 많은 자속량을 확보하고 포화의 영향을 저감시키기 위하여 자기회로 설계 시 A부분의 면적을 확보하는 방향으로 영구자석의 이동방향을 결정하였다.

그림 10은 전류 위상각이 0°일 때 영구자석의 위치에 따른 d-/q-축 인덕턴스와 돌극비 및 d-/q-축 인덕턴스 차이를 나타낸다. 영구자석의 위치는 초기모델의 영구자석과 축 사이의 거리를 기준으로 하여  $\omega$ 를 0.5(mm) 씩 감소시키며 인덕턴스를 계산하였다.

그림에서 볼 때,  $\omega$ 를 감소시킬수록 q-축 인덕턴스는 증가하고 d-축 인덕턴스는 감소하여 돌극비와 d-/q-축 인덕턴스 차이가 증가함을 알 수 있다. 그러나,  $\omega$ 를 계속 증가시킬 경우 회전자의 기계적 강도가 감소하여 축에 회전자를 취부할 수 없게 된다. 따라서 자기회로 설계 시 기계적 강도를 고려하여 설계하였다.

그림 11은 초기모델을 대상으로 영구자석 위치 변화에 따른 최대 토크 및 정격 효율을 나타낸다.

최대토크는 증가하였지만 정격효율은 감소하였음을 알 수 있다. 이것은 전류위상각의 변화에 따른 인덕턴스 프로파일의 양상의 차이에서 발생하는 것으로 분석된다. 즉, 전류위상각 0°에서는 돌극비의 차이가 발생하더라도 정격에서 운전하고 있을 때의 전류위상각에서의 돌극비는 감소할 수 있다는 것을 의미한다.

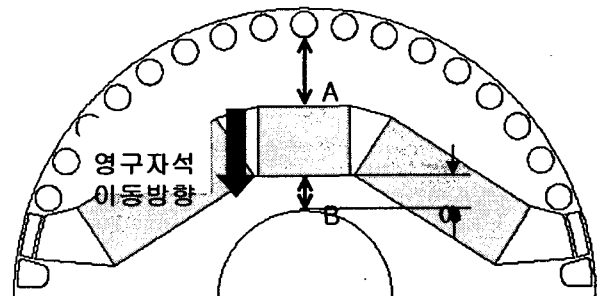
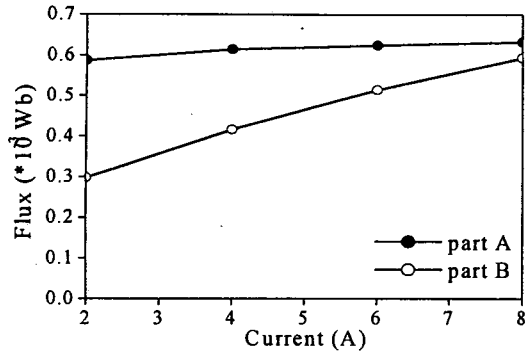
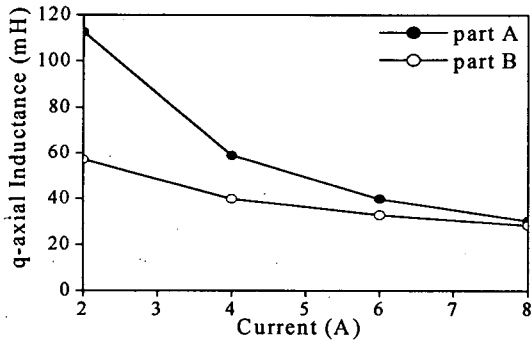


그림 8 단상 영구자석형 동기기의 초기모델  
Fig. 8 Initial model of the LSPM



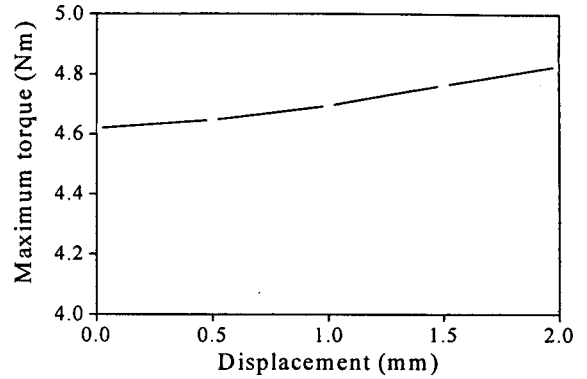
(a) A와 B에서의 자속량



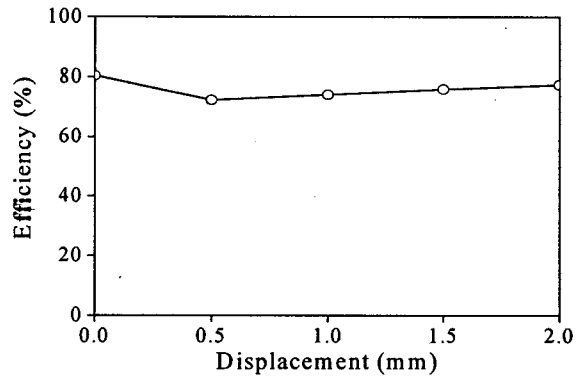
(b) A와 B에서의 q-축 인덕턴스

그림 9 초기모델의 전류 크기에 따른 인덕턴스

Fig. 9 Inductance according to current of the initial model



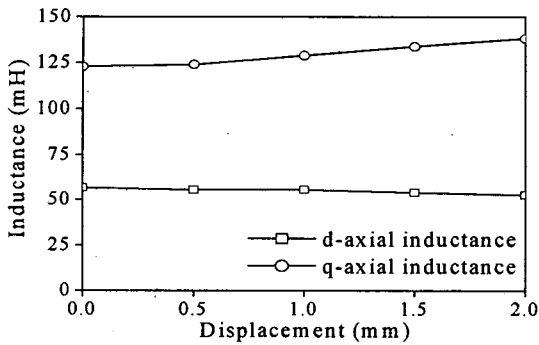
(a) 최대 토크



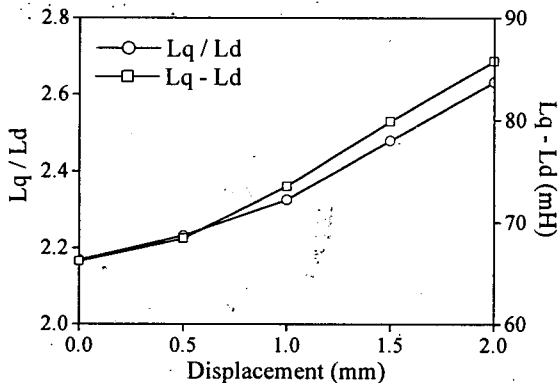
(b) 정격 효율

그림 11 초기모델의 영구자석 위치에 따른 특성

Fig. 11 Characteristics with PM position of the initial model



(a) d-/q-축 인덕턴스



(b) 돌극비 및 E d-/q-축 인덕턴스 차

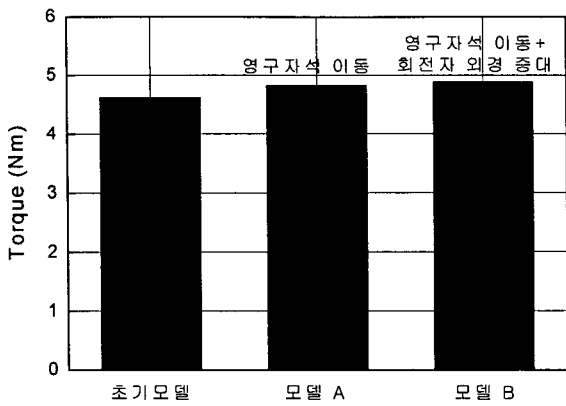
그림 10 초기모델의 영구자석 위치에 따른 인덕턴스

Fig. 10 Inductance with PM position of the initial model

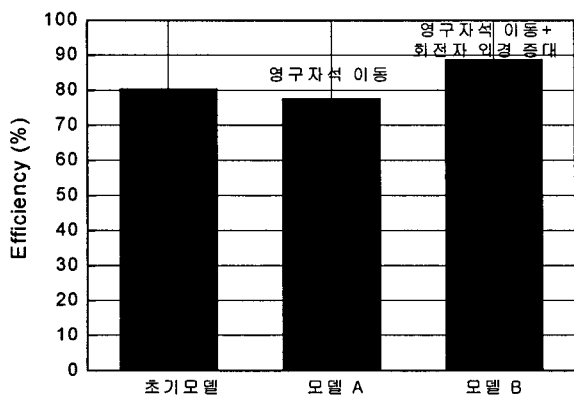
그림 12는 초기모델 및 영구자석 위치만 이동시킨 경우와 회전자 외경을 같이 증가시킨 경우 각각에 대한 특성을 나타낸다. 특성해석 결과 영구자석의 위치 이동과 회전자 외경을 같이 증가시킨 경우 최대토크 및 정격효율이 모두 증가함을 알 수 있다. 따라서, 이러한 특성해석 결과를 고려하여 최종 개선모델을 결정하고 정격에서의 특성해석을 수행하여 초기모델과 비교하였다.

### 3.3 개선모델의 정상상태 특성해석 결과

표 1은 초기모델과 개선모델의 설계 변수를 비교한 것이다. 회전자의 외경은 60.0(mm)에서 65.0(mm)로,  $\omega$ 는 4.35(mm)에서 1.85(mm)로 하여 초기모델보다 높은 돌극비 확보를 위한 자기회로를 설계하였다. 매입형 영구자석 전동기는 무부하 상태에서도 d-/q-축 자기저항 차에 의해 회전자 위치에 따라 인덕턴스 차가 발생하며 전류 인가 시, 철심 각 영역의 자기포화상태가 달라져 인덕턴스의 변화가 발생한다. 이러한 특성은 동기전동기의 부하각이 변하는 경우에도 철심의 비투자율과 인덕턴스의 변화를 유발하므로 부하각 변화에 따른 d-/q-축 인덕턴스 특성을 부하전류의 크기와 전류 위상각에 따라 산정하여 특성해석에 반영하였다. 그림 13 및 14는 각각 인덕턴스 산정 시 d-/q-축 전류에 의한 자속 분포와 회전자 외경 증가 시 전류위상각에 따른 d-/q-축 인덕턴스 산정 결과이다. 회전자 외경을 증가시키면 모든 전류위상각에서 돌극비가 증가함을 알 수 있다.



(a) 최대 토크



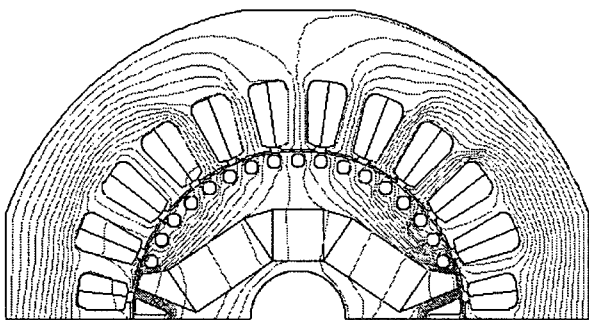
(b) 정격 효율

그림 12 영구자석 이동 및 회전자 외경 증가에 따른 특성  
 Fig. 12 Characteristics according to the displacement of PM and the increasement of the rotor outer diameter

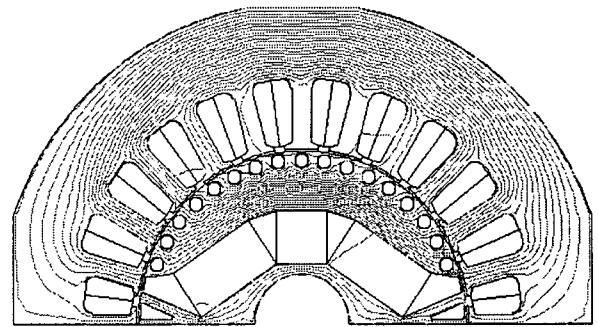
표 1 초기모델과 개선모델의 설계변수 비교

Table 1 Comparison of design variables between the initial model and the design model

| 설계 변수         | 초기모델 | 개선모델 |
|---------------|------|------|
| 회전자 외경 (mm)   | 60.0 | 65.0 |
| $\omega$ (mm) | 4.35 | 1.85 |



(a) d-축 전류에 의한 자계 분포



(b) q-축 전류에 따른 자계 분포

그림 13 d-/q-축 전류에 따른 등포텐셜 분포

Fig. 13 Equi-potential distributions according to d-/q-axis current

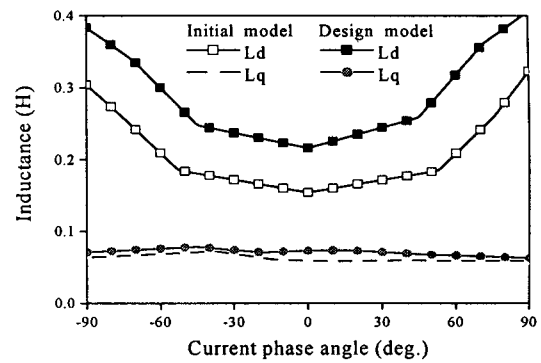


그림 14 초기모델과 개선모델의 전류위상각에 따른 d-/q-축 인덕턴스

Fig. 14 d-/q-axis inductance according to current phase angle of the initial model and the design model

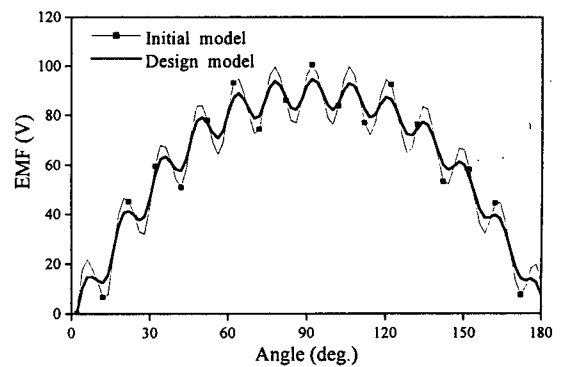


그림 15 초기모델과 개선모델의 다른 역기전력 특성

Fig. 15 Back EMF of the initial and the design models

그림 15는 초기모델과 설계된 개선모델의 역기전력을 비교한 것이다. 개선모델에 대한 역기전력 실효는 초기모델에 비해 회전자 외경이 증가하여 2(%) 정도 낮은 값을 나타내었다.

표 2 정격에서의 특성해석 결과

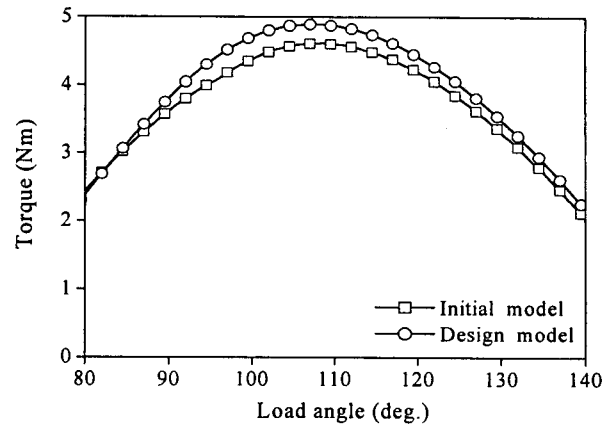
Table 2 Characteristic analysis results at the rated state

| 특성       | 초기모델   | 개선모델   |
|----------|--------|--------|
| 선전류(A)   | 6.25   | 5.26   |
| 돌극비      | 2.94   | 3.77   |
| 입력(W)    | 1241.4 | 1136.7 |
| 출력(W)    | 1000.3 | 1009.9 |
| 최대토크(Nm) | 4.63   | 4.89   |
| 효율(%)    | 80.63  | 88.84  |
| 역률(%)    | 90.26  | 99.04  |

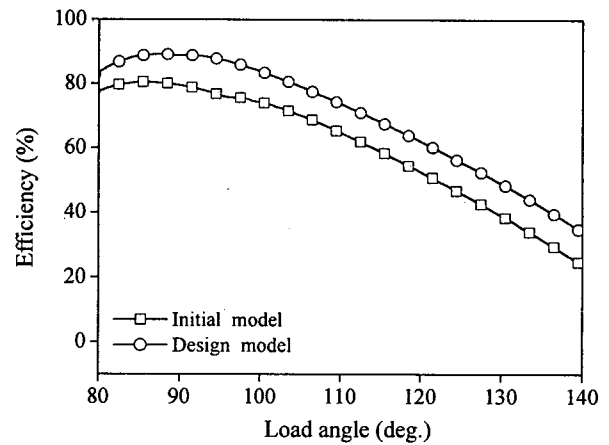
표 2의 초기모델과 개선모델의 정격 시 정상상태 특성해석 결과에서 돌극비가 초기모델에 비해 28(%) 정도 증가하였음을 알 수 있다. 그림 16은 초기모델과 개선모델의 부하각에 따른 토크, 효율 및 전류 특성을 비교한 것이다. 그림 16(a)에서 전동기의 최대 토크는 초기모델에 비해 증가하였음을 알 수 있는데 이것은 2(%) 정도의 역기전력 감소로 마그네틱 성분이 감소하였지만, 돌극비의 증가로 릴럭턴스 성분이 증가하여 최대토크 부분에서 합성토크 값이 증가한 것으로 분석된다. 그림 16(b)에서 전동기의 효율은 정격에서뿐만 아니라 전 부하각에서 높게 나타났다. 그림 16(c)의 부하각에 따른 전류 특성에서 알 수 있듯이 입력되는 전류의 값이 작아졌기 때문에 1차측 입력이 줄어든 결과이다. 전류 특성을 보면 보조권선 전류의 경우 커패시터의 영향으로 크기가 거의 변하지 않지만, 주권선 전류의 경우는 개선모델이 초기모델보다 높은 돌극비를 가지기 때문에 전 부하각에서 전류값이 낮게 나타난다. 이는 자기회로 설계에 따라 전동기의 에너지 변환 효율이 높아져서 고정자 권선에 의한 자속량이 적더라도 실제 회전자를 통해 흐르는 자속량은 동일하게 가져갈 수 있기 때문에 동일한 출력에서 작은 전류가 흐르게 되는 것으로 분석된다.

4. 결 론

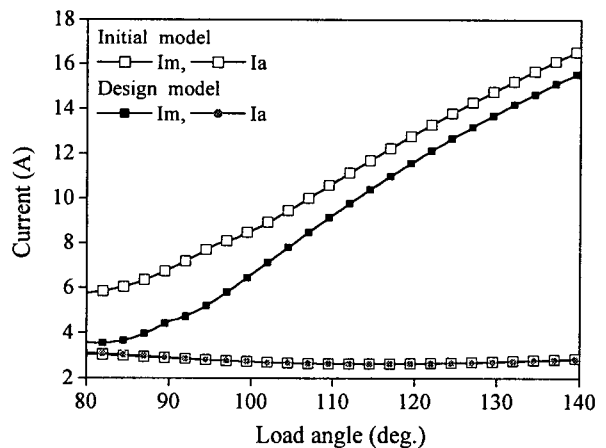
본 논문에서는 단상 영구자석형 동기기의 최대토크 확보 및 효율 향상을 위한 자기회로를 설계하였고 대칭좌표계법과 d-/q-축 전압방정식을 결합하여 특성해석을 수행하였다. 설계를 위하여 회전자에 삽입된 영구자석의 이동 변위와 회전자의 외경을 설계 변수로 하였다. 해석 결과 동일한 회전자 외경에서 영구자석을 축 쪽으로 이동시킬수록 q-축의 인덕턴스를 증가하였으며 많은 부분의 q-축 자속이 영구자석과 축 사이의 단면적 보다는 도체바와 영구자석 사이의 단면적으로 통과하고 있음을 알 수 있었으며, 이 부분의 단면적 확보를 통하여 동일한 기자력에 대하여 자기 저항의 감소를 통한 보다 많은 자속량을 확보할 수 있음을 알 수 있었다. 그러므로, 단상 영구자석형 동기기의 영구자석을 축 쪽으로 이동시키고, 회전자 외경을 8.3(%) 증가시킨 결과, 초기모델과 비교하여 돌극비는 28(%), 최대 토크는 6(%) 증가하였다. 또한, 정격에서 효율은 7.77(%), 역률은 8.78(%) 증가하였다. 따라서, 돌극비의 증가를 통하여 전동기의 최대 토크, 역률, 효율 등과 같은 전동기의 일반적인 특성이 향상됨을 보였다.



(a) 토크



(b) 효율



(c) 권선 전류

그림 16 초기모델과 개선모델의 부하각에 따른 해석결과  
Fig. 16 Analysis results according to load angle of the initial and the design models

참 고 문 헌

- [1] Timothy J. E. Miller, "Single-Phase Permanent Magnet Motor Analysis", IEEE Trans. Industry Application, no. 4, pp. 651-658, 1985.
- [2] 강규홍, 홍정표, "단상 직립기동 영구자석 동기전동기의 기동특성 해석", 대한전기학회 논문지 vol. 50, no. 12, pp. 592-600, 2001. 12
- [3] I. Boldea, S. A. Nasar, "Unified Analysis of 1-Phase AC Motors Having Capacitors in Auxiliary Windings", IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 14, no. 3, pp. 577-582, 1999.
- [4] 강규홍, 홍정표의 3인, "등가회로법과 수치해석의 결합에 의한 콘덴서 구동형 단상 유도전동기의 회로정수 산정 및 특성해석", 대한전기학회 논문지 vol. 49, no. 11, pp. 720-728, 2000. 11

저 자 소 개



**오 영 진 (吳 泳 璡)**

1975년 11월 21일생. 2001년 창원대 전기공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).

Tel : 055-262-5966

Fax : 055-263-9956

E-mail : haeggee@korea.com



**남 혁 (南 赫)**

1972년 5월 24일생. 1999년 창원대 전공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기전자제어공학과 졸업(석사). 2001년~현재 동 대학원 박사과정

Tel : 055-262-5966, Fax : 055-263-9956

E-mail : haeggee@korea.com



**정 승 규 (鄭 承 奎)**

1964년 4월 27일생. 1988년 부산대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 기계공학과 졸업(석사). 2001년~현재 동 대학원 박사과정

Tel : 055-262-5966, Fax : 055-263-9956

E-mail : haeggee@korea.com



**홍 정 표 (洪 正 杓)**

1959년 4월 17일생. 1983년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년~1990년 LG정밀(주) 중앙연구소 주임연구원. 1990년 ~ 1992년 삼성전기(주) 종합연구소 선임연구원. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사).

1996년~1996년 한양대 산업 과학연구소 선임연구원. 현재 창원대 공대 전기공학과 부교수

Tel : 055-279-7517, Fax : 055-263-9956

E-mail : jphong@sarim.changwon.ac.kr



**정 태 옥 (鄭 泰 旭)**

1970년 5월 16일생. 1993년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년~현재 LG전자(주) 책임연구원

Tel : 055-260-3826, Fax : 055-260-3507

E-mail : tujung@lge.com



**백 승 면 (白 承 勉)**

1960년생. 1984년 경북대 공대 전자공학과 졸업. 1998년 부산대 대학원 지능기계공학과 졸업(석사). 1984년~현재 LG전자(주) 책임연구원

Tel : 055-260-3834, Fax : 055-260-3507

E-mail : smbak@lge.com