

단상 유도동기전동기의 기동 특성 개선을 위한 회전자 바 형상 설계

論 文
54B-8-4

The Design of Rotor Bars of Single-Phase Line-Start Permanent Magnet Motor for Improving Starting Characteristics

李喆圭[†] · 權純孝^{*} · 梁炳烈^{**} · 權丙一^{***}
(Chul-kyu Lee · Soon-hyo Kwon · Byoung-yull Yang · Byung-il Kwon)

Abstract - The single-phase induction motor is simple and durable, but the efficiency is low. Therefore, electric motors like BLDC and LSPM(line-start permanent magnet motor) that use the permanent magnet have been studied. The most advantages of single-phase LSPM is having the same stator as the stator of the single-phase induction motor and permanent magnets are just inserted in the squirrel cage rotor of the single-phase induction motor. But the characteristics of single-phase LSPM synchronous motor has very complex characteristics until the synchronization and if the design is not suitable, the single-phase LSPM synchronous motor cannot be synchronized. We designed a single-phase LSPM using the same stator and winding as the conventional single-phase induction motor, but newly designed the permanent magnets considering air gap magnetic flux density. The transient characteristics of the single-phase LSPM is not good because of a magnetic breaking torque, however, it can be improved by redesigning the rotor bars. We are proposed the design method of rotor bar for the single-phase LSPM to start softly and to make synchronization easily.

Key Words : Single-Phase Induction Motor, Single-Phase LSPM, Permanent Magnet, Rotor Bar, Design Method

1. 서 론

단상 유도전동기는 구조가 간단하고 제작이 용이하며, 별도의 전력변환장치 없이 기동이 가능하므로 가전분야에서 널리 이용되고 있다. 그러나 단상 불평형 자계에 의한 성능의 저하 및 2차 동손의 발생으로 효율이 떨어지는 단점이 있다. 이에 비해 단상 유도동기전동기(single-phase LSPM)는 영구자석을 사용하므로 출력 에너지 밀도가 높고, 정상상태에서 동기속도로 운전하므로 단상 유도전동기에 비해 효율이 높다. 또한, 구동회로 없이 기동 및 운전이 가능하여 비용 면에서도 우수한 경쟁력을 가진다[1,2].

그러나 단상 유도동기전동기는 회전자에 회전자 바와 영구자석을 포함하므로 기동 시에 회전자 바에 의한 특성과 영구자석에 의한 특성이 중첩되어 회전자 바에 의해 발생한 기동토크가 영구자석에 의해 발생한 브레이킹 토크의 방해를 받아 기동 특성이 나빠지고 기동 시간이 길어지는 단점이 있다[3]. 그러나 이러한 기동 특성 개선을 위한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 논문에서는 단상 유도동기전동기의 새로운 회전자 바 설계를 통해 기동 특성을 개선하고자 한다. 먼저 단상 유도

동기전동기의 초기 설계는 기존의 단상 유도전동기에 영구자석을 삽입하는 방법으로 설계한다. 기존의 유도전동기를 이용함으로써 설계비용과 제조비용을 절감할 수 있다. 단상 유도전동기는 회전자에 기동을 위한 회전자 바를 가지고 있으므로 새로이 영구자석을 설계하여 회전자에 삽입함으로써 동기속도로 운전하는 단상 유도동기전동기의 설계가 가능하다. 따라서 본 논문에서는 기존의 단상 유도전동기에 영구자석만 추가로 설치하여 단상 유도동기전동기를 설계하는 방법에 대하여 고찰하고 새로운 회전자 바 형상 설계를 통하여 기동 특성을 향상하는 방안에 대하여 연구한다.

2. 단상 유도전동기를 이용한 단상 유도동기전동기 설계

2.1 단상 유도전동기의 사양 및 특성

그림 1과 표 1은 설계에 사용된 단상 유도전동기의 구조와 사양을 나타낸다.

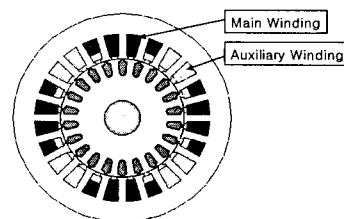


그림 1. 단상 유도전동기의 구조.

Fig. 1. The structure of the single phase induction motor.

[†] 교신저자, 正會員 : 漢陽大學校 에너지변환시스템 연구실
E-mail : lck6348@ihanyang.ac.kr

^{*} 正會員 : (주) 삼흥사 연구원

^{**} 正會員 : (주) 삼성전자 DA연구소 선임연구원

^{***} 正會員 : 漢陽大學校 전자컴퓨터공학부 교수

接受日字 : 2005年 5月 27日

最終完了 : 2005年 7月 15日

표 1. 단상 유도전동기 사양

Table 1. The specifications of the single-phase induction motor

항목	사양
정격 출력	100 [W]
극 수	4 [극]
기동 및 운전 커패시터	3 [μ F]
입력 전압	220 [V]
주파수	60 [Hz]
적층 길이	50 [mm]
효율	67 [%]

그림 2는 단상 유도동기전동기의 구조를 나타낸다. 고정자는 단상 유도전동기와 같이 주권선과 보조권선으로 이루어져 있고, 회전자는 유도전동기의 회전자에 영구자석이 포함된 구조를 갖고 있다. 본 논문에서 설계하고자 하는 단상 유도동기전동기의 고정자는 단상 유도전동기의 고정자를 그대로 사용하며 회전자는 영구자석을 설계하여 추가 설치하였다.

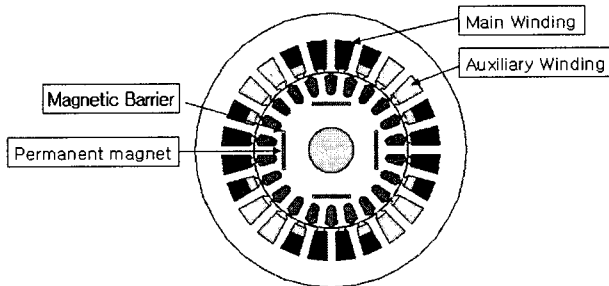


그림 2. 단상 유도동기전동기의 구조.
Fig. 2. The structure of a single-phase LSPM.

2.2 단상 유도동기전동기의 영구자석 설계

단상 유도전동기에 영구자석을 삽입하여 동기속도로 운전하는 단상 유도동기전동기를 설계하기 위해 회전자에 삽입될 영구자석을 설계하였다. 회전자에 삽입되는 영구자석은 기동과 동기속도 진입을 결정하는 중요한 설계 변수이며 단상 유도동기전동기의 특성 및 효율에도 큰 영향을 주기 때문에 영구자석의 설계는 매우 중요하다. 그러므로 기동과 동기화를 고려한 영구자석의 크기를 설계하였다[4].

영구자석의 대략적인 크기를 결정하기 위한 식은 식 (1)과 식 (2)와 같다[5]. 식 (1)을 이용하여 영구자석의 단면적을 계산하고 식 (2)를 이용하여 영구자석의 길이를 계산하였다.

$$B_m A_m = K_l B_g A_g \tag{1}$$

$$H_m l_m = H_g l_g + V_{mi} \tag{2}$$

여기서, B_m , B_g , A_m 및 A_g 는 각각 자석의 자속밀도, 공극의 자속밀도, 자석의 단면적 및 공극의 단면적을 나타내며, K_l 은 누설 계수이다. 또한 H_m ,

H_g , l_m 및 l_g 는 각각 자석의 자계 세기, 공극의 자계 세기, 자석의 길이 및 공극의 길이이며, V_{mi} 는 코어의 기자력 강하로서 코어의 투자율을 무한대로 가정하여 기자력 강하는 0으로 하였다.

영구자석의 설계 순서도는 그림 3과 같다. 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 공극에서 필요한 자속밀도를 발생하는 영구자석의 단면적과 두께를 결정한다. 그리고 자속의 누설을 방지하기 위한 자속 장벽(magnetic barrier)을 설계하고 유한 요소 해석을 통하여 영구자석의 위치를 결정한다. 위치를 결정한 후 공극 자속밀도를 만족하면 전동기의 기동 중에 영구자석이 감자되는 지를 해석한다. 단상 유도동기전동기는 기동 시 권선에 최대 전류가 흘러 영구자석에 역자계가 크게 발생하므로 감자의 위험이 있다. 따라서 전동기 기동 시의 유한 요소 과도특성 해석을 통하여 영구자석에 발생하는 자계를 해석함으로써 영구자석이 감자될 지를 확인할 수 있다. 감자가 되지 않으면 설계를 완료하고 감자가 되면 영구자석의 두께를 증가시켜 감자를 방지해야 한다.

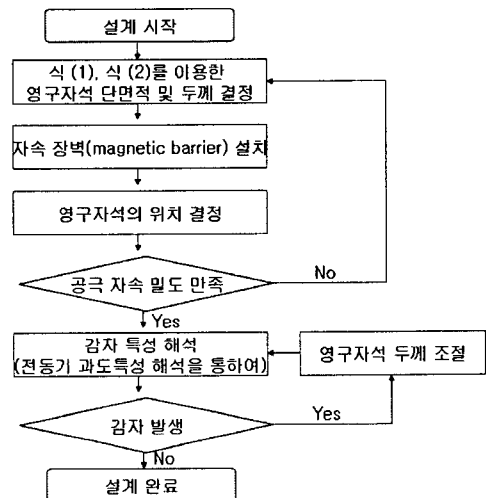


그림 3. 영구자석 설계 순서도.
Fig. 3. Flow chart of permanent magnet design.

단상 유도동기전동기를 설계하기 위해 사용된 영구자석은 높은 보자력과 잔류 자속 밀도를 갖는 Nd-Fe-B를 사용하였다. 일반 동기전동기의 경우 영구자석에 의한 평균 공극 자속밀도는 소형의 경우 0.6~0.8[T]이다[7]. 그러나, 유도동기전동기의 경우에는 회전자 바에 의한 자속도 발생하므로 일반 동기전동기 보다 낮은 0.15[T]로 선정하였다. 또한 고정자 치부분 철심의 포화가 일어나지 않아야 하기 때문에 영구자석에 의한 공극 자속밀도 최대치가 0.5[T]를 넘지 않도록 영구자석의 크기를 설계하였다.

그림 4는 일반적인 영구자석의 2상한 B-H 곡선이다. 영구자석에 자계를 가할 때 B-H 곡선 상의 굴곡 시작점 H_{n2} 를 기준으로 H_{n2} 의 절대값 보다 크게 역자계를 가하면 잔류자속 밀도가 B_{r1} 에서 B_{r2} 로 감소함을 알 수 있다. 즉, 역자계가 B-H 곡선의 굴곡 시작점보다 더 크게 가해지면 영구자석이 감자됨을 알 수 있다. 그러므로 기동 시 고정자 측에 큰 전류가 흘러 B-H 곡선의 굴곡 시작점보다 큰 역자계가 발생하지 않도록 하여야 한다. 고정자 측의 전류에 의해 발생하는

역자계의 세기는 영구자석의 두께에 반비례한다. 따라서 고정자 전류의 최대치가 흐를 때 영구자석에 발생하는 자계의 세기가 H_{n2} 를 넘지 않도록 영구자석의 두께를 충분히 크게 함으로써 감자를 방지할 수 있다.

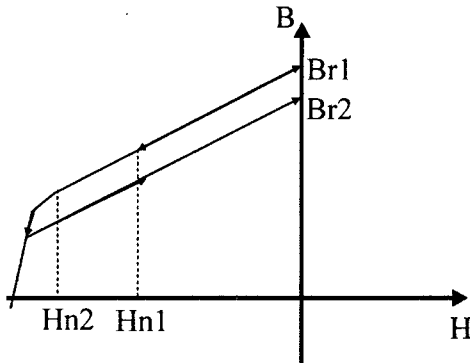


그림 4. 영구자석의 2상한 B-H곡선.
Fig. 4. The B-H curve in second quadrant.

2.3 영구자석 설계 결과

사용된 영구자석은 Nd-Fe-B 자석이며 잔류 자속밀도는 약 1.2[T]이다. 수식에 의해 설계된 영구자석의 크기는 표 2와 같으며 공극 자속밀도를 유한 요소법으로 확인하여 영구자석의 위치를 결정하였다. 그림 5는 유한 요소법으로 해석한 공극 자속밀도를 나타내며 그림 6은 영구자석의 위치를 나타낸다. 4극 전동기이므로 4개의 영구자석을 방사형으로 설치하였다.

표 2. 설계된 영구자석 사양

Table 2. The specifications of designed permanent magnet

B_r (잔류 자속밀도)	1.2 [T]
H_c (보자력)	836 [kA/m]
B_g (평균 공극 자속밀도)	0.15 [T]
B_{gmax} (최대 공극 자속밀도)	0.5 [T]
A_m (영구자석의 단면적)	500 [mm ²]
l_m (영구자석의 길이)	0.8 [mm]

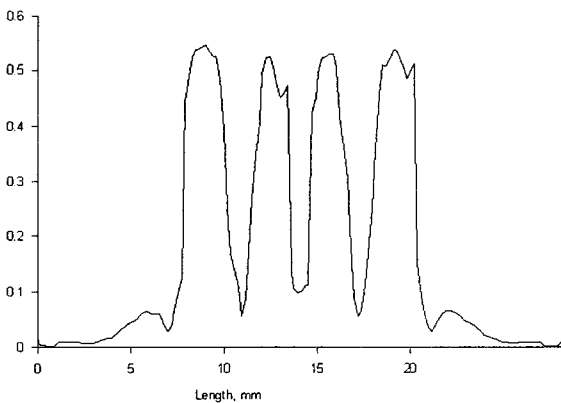


그림 5. 영구자석에 의한 공극 자속 밀도
Fig. 5. Air gap flux density by the permanent magnet.

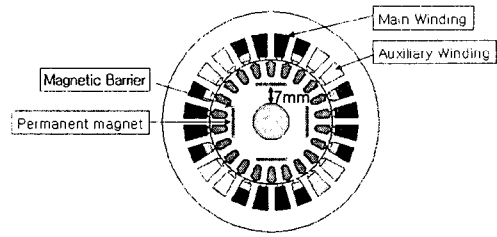


그림 6. 영구자석 위치.
Fig. 6. The position of permanent magnet.

그림 7은 사용한 Nd-Fe-B 영구자석의 2상한 B-H곡선이며, 그림 중 곡선의 굴곡점은 주변 온도에 따라 다르지만 140[°C]를 기준으로 약 1200[kA/m]이다. 그림 8은 전동기의 기동 시 최대전류가 흐를 때 영구자석에 발생하는 역자계의 크기를 나타낸다. 영구자석의 잔류 자화량에 의한 영향을 배제하고 순수하게 고정자 권선에 의해 발생하는 역자계를 해석하기 위해 영구자석을 공기로 가정하고 유한 요소 해석하였으며, 역자계의 크기는 약 500[kA/m]이다. 따라서 그림 7과 그림 8로부터 영구자석에 감자가 발생하지 않음을 알 수 있다.

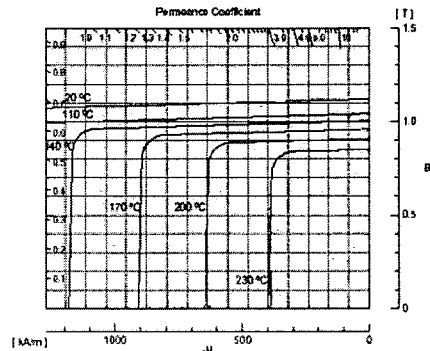


그림 7. 사용한 Nd-Fe-B 영구자석의 2상한 B-H곡선.
Fig. 7. 2-quadrant B-H curves of the Nd-Fe-B permanent magnet used.

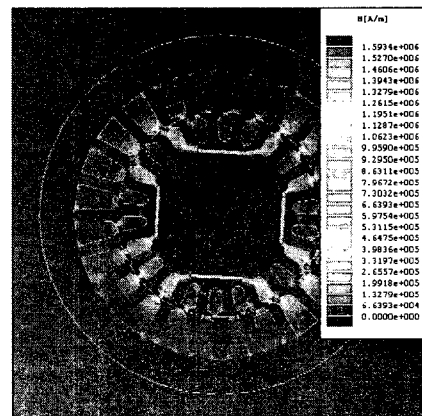
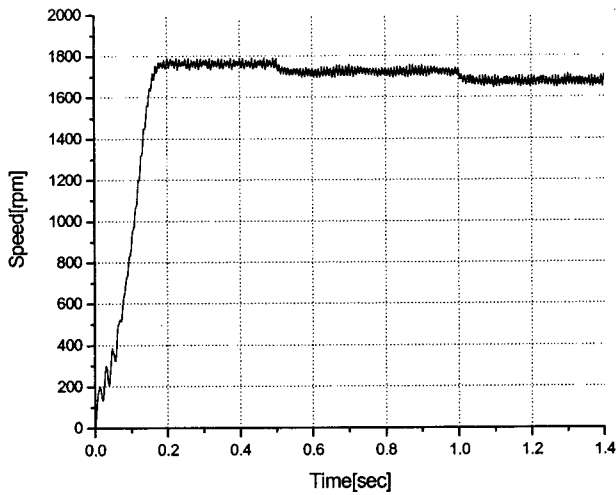


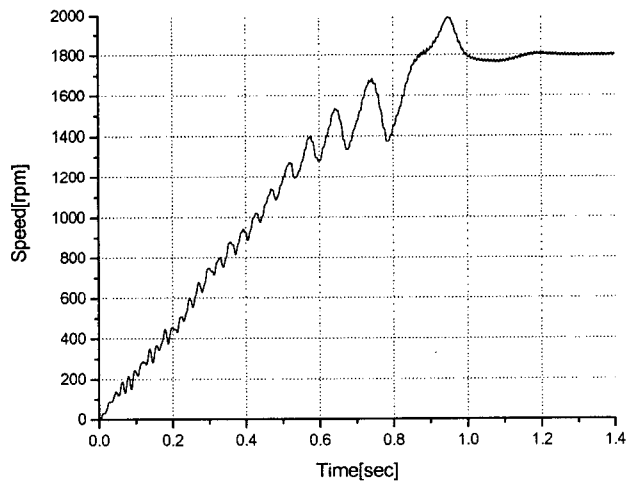
그림 8. 기동 시 최대 전류 인가 시의 영구자석 영역의 자계의 세기.
Fig. 8. The magnetic field intensity in a magnet region at the maximum starting current.

2.4 설계된 단상 유도동기전동기의 특성

단상 유도전동기에 영구자석을 삽입하여 설계한 단상 유도동기전동기의 특성을 유한 요소법을 이용하여 해석하였다. 그림 9는 기존 단상 유도전동기와 설계된 단상 유도동기전동기의 속도 특성 해석결과를 나타낸다. 기동 시 0.1 [Nm]의 부하 토크를 인가하여 기동하였다. 기동 시간을 기동 후 동기속도 1,800[rpm]으로 안정되는데 걸리는 시간으로 정의하였으며 이때, 유도동기전동기는 기동 시간이 약 1.2초로 단상 유도전동기 보다 많이 지연되었다. 또한 영구자석의 영향으로 속도의 맥동이 크게 발생하였다.



(a) 단상 유도전동기



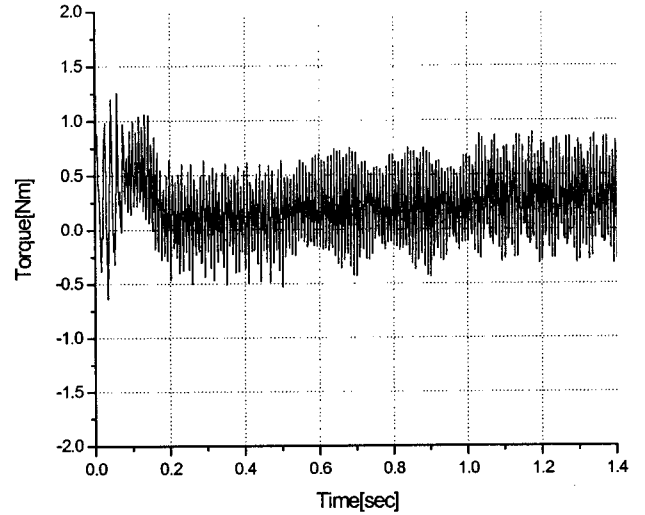
(b) 단상 유도동기전동기

그림 9. 기존 단상 유도전동기와 설계된 단상 유도동기전동기의 속도 특성 해석결과.

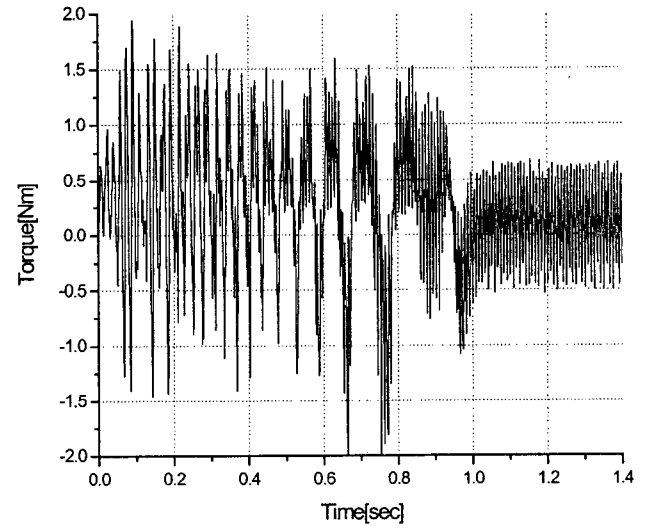
Fig. 9. Simulation results of speed characteristics of conventional single-phase induction motor and developed single-phase LSPM.

그림 10 (a)는 기존 단상 유도전동기의 토크 특성 해석결과를 나타내고 그림 10 (b)는 단상 유도동기전동기의 토크 특성 해석결과를 나타낸다. 그림 10으로부터 단상 유도동기전동기는 단상 유도전동기의 토크 특성과 달리 기동하는 동

안 영구자석에 의해 브레이킹(Breaking) 토크가 크게 나타남을 알 수 있다. 이 브레이킹(Breaking) 토크는 전동기의 기동을 방해하여, 단상 유도전동기는 토크가 기동 후 약 0.2초 후에 안정되는데, 단상 유도동기전동기는 기동 후 약 1.2초 후에야 안정됨을 알 수 있다.



(a) 단상 유도전동기



(b) 단상 유도동기전동기

그림 10. 기존 단상 유도전동기와 설계된 단상 유도동기전동기의 토크 특성 해석결과.

Fig. 10. Simulation results of torque characteristics of conventional single-phase induction motor and developed single-phase LSPM.

그림 11은 기동 후 부하 토크를 점차 증가시키며 동기속도를 이탈하는 최대 부하 토크를 유한 요소 해석하여 추정하는 것이다. 추정 방법은 전동기가 정상상태로 안정된 후 초기 부하 토크로부터 부하 토크를 조금씩 증가시켜 동기속도를 이탈하는 부하 토크를 찾는 방법을 사용하였다. 기동 후 2.0초부터 0.25초 간격으로 0.05[Nm]씩 부하 토크를 증가시켰다. 이때, 초기 부하 토크는 0.1[Nm]이다. 0.55[Nm]의 부하 토크

에서 100[W] 출력을 만족하였고 0.6[Nm]의 부하 토크에서 동기속도를 유지하지 못하였다. 그리고 0.55[Nm] 부하토크에서 효율은 72[%]를 나타내었다. 단상 유도동기전동기는 동기화한 후 동기전동기로 운전하므로 부하 토크가 커짐에 따라 부하각이 커지게 되어 최대 토크를 넘는 부하 토크에서 동기속도를 유지하지 못한다.

그림 10과 그림 11로부터 기존의 단상 유도전동기의 고정자 철심, 권선, 회전자 바를 그대로 사용하고 영구자석만 설치하여 단상 유도동기전동기를 설계한 결과 기동 시간이 너무 길어 기동 특성이 좋지 않음을 알 수 있었다. 따라서 단상 유도동기전동기의 기동 특성 향상을 위한 설계 방안이 필요하며 본 논문에서는 회전자 바 형상을 재설계하여 기동 특성을 향상시키는 방안에 대하여 연구하였다.

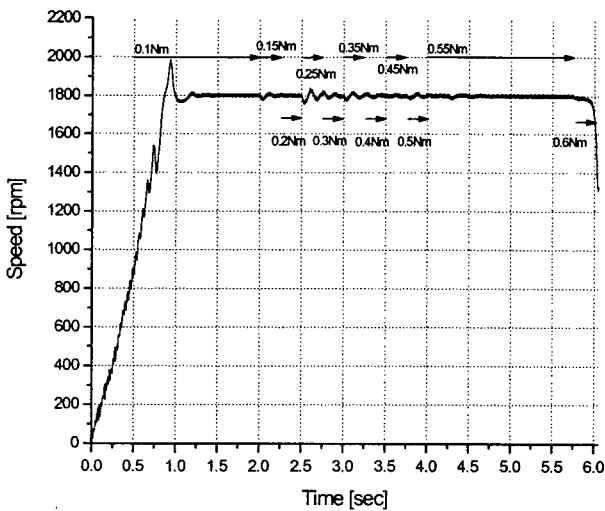


그림 11. 부하에 따른 속도 특성.
Fig. 11. Speed characteristics according to the load torque.

3. 기동 특성 개선을 위한 회전자 바의 형상 설계

단상 유도동기전동기의 회전자 바는 기동 시 유도 기전력에 의하여 기동 토크가 발생하는 부분이고 영구자석의 자속에 영향을 미치는 부분도 회전자 바이다. 그러므로 단상 유도동기전동기의 기동 특성을 개선하기 위해 기동 특성을 고려한 회전자 바의 설계가 필요하다.

3.1 회전자 바의 형상 설계

단상 유도동기전동기는 기동 시 영구자석의 브레이킹 토크가 존재하기 때문에 부하 토크와 자석 토크보다 큰 기동 토크를 확보해야 기동 및 가속이 가능하다. 또한 온도에 민감한 Nd계열의 영구자석은 높은 기동 전류가 흐르는 기동 시간이 길면 온도에 의해 감자를 일으킬 수 있다. 그러므로 기동 시간은 가능하면 줄이는 것이 유리하다. 단상 유도전동기에 영구자석을 삽입하여 설계한 유도동기전동기는 영구자석에 의해 속도의 맥동이 크고 기동 시간이 길어 파도 상태 특성이 좋지 않다. 이러한 기동 특성을 개선하기 위해 회전자 바를 재설계하였다.

일반적으로 단상 유도전동기는 기동 시 토크를 높이고자

할 때 회전자 바를 작게 설계하며, 운전 시 토크를 높이고자 할 때 회전자 바를 크게 설계한다. 마찬가지로 단상 유도동기전동기도 회전자 바의 크기를 작게 설계하여 기동 토크를 높일 수 있으며, 회전자 바의 크기를 크게 설계하여 운전 토크를 높일 수 있다. 그리고 작은 회전자 바와 큰 회전자 바를 혼합하여 사용하면 기동 토크와 운전 토크를 동시에 크게 할 수 있다[6]. 따라서, 작은 회전자 바와 큰 회전자 바를 혼합하여 사용하였다.

또한, 영구자석에 의한 공극 자속밀도가 정현적으로 발생하도록 회전자 바의 크기가 정현적 분포가 되도록 설계하였다. 공극 자속밀도가 정현적 분포가 되면 토크 리플이 감소하기 때문이다[5]. 그리고 직축에 큰 회전자 바를 배치하여 직축의 밀력토크를 증가시킴으로써 밀력토크 토크도 증가시켰다.

식 (5)는 회전자 바의 면적이 정현적 분포가 되기 위한 각 회전자 바 면적을 나타낸다.

$$k = A \times \sin \delta \tag{5}$$

여기서, k 는 회전자 바의 면적, A 는 기존 단상유도동기전동기의 회전자 바 한개의 면적, δ 는 회전자 바가 위치한 각도이다.

그림 12는 회전자 바의 크기를 재설계한 단상 유도동기전동기의 구조이다. Bar1은 기존 단상 유도동기전동기의 회전자 바와 같은 크기이고 Bar3은 Bar1과 45° 간격에 위치하고 있다. 그러므로 식 (5)에 따라 계산하여 Bar3의 크기를 Bar1 면적의 70[%]로 하였다. Bar2는 계산에 따라 Bar1의 약 80 [%]의 면적이다. 또한 큰 회전자 바를 직축에 배치하여 밀력토크 토크를 증가시켰다.

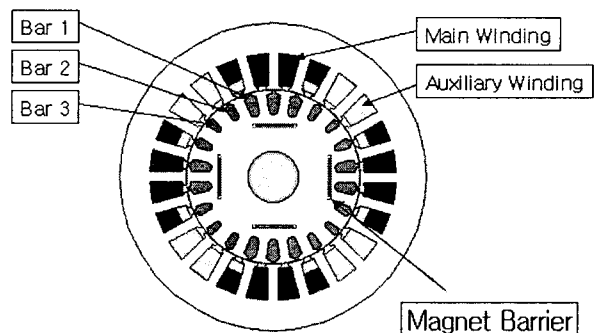


그림 12. 회전자 바의 크기 및 분포.
Fig. 12. Dimension and placing of the rotor bars.

3.2 재 설계된 전동기의 특성

그림 13은 개선 전 모델과 개선 후 모델의 속도 특성 해석 결과를 나타낸다. 개선 전 모델은 기동 후 동기화되기까지의 기동 시간이 약 1.2초이고 속도의 맥동이 매우 크게 나타났다. 반면 개선 후 모델은 개선 전 모델 보다 기동 시간이 약 0.2초 단축된 1초이고 속도의 맥동도 개선 전 모델보다 감소하였다.

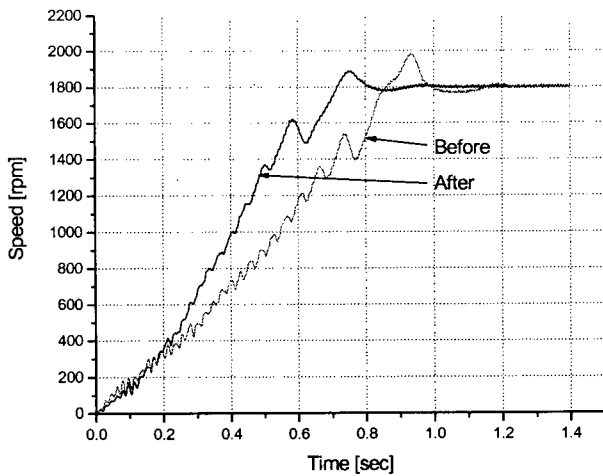
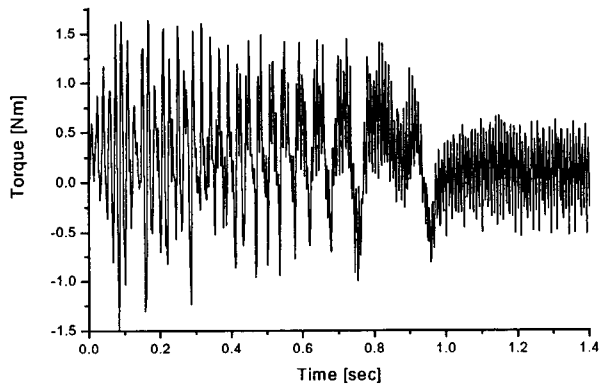


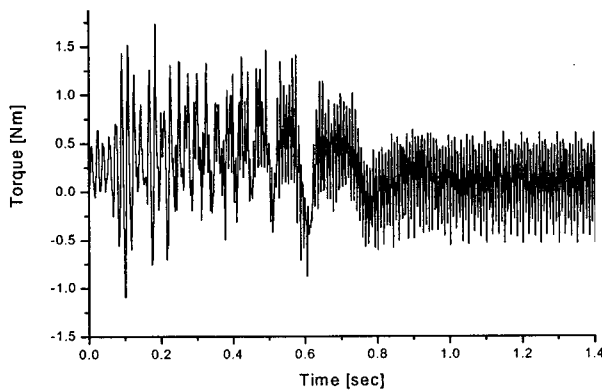
그림 13. 속도 특성 비교.

Fig. 13. Comparison of speed characteristics.

그림 14는 개선 전 모델의 토크 특성과 개선 후 모델의 토크 특성 해석결과를 나타낸다. 개선 후 모델이 토크가 더 빨리 안정됨을 알 수 있다.



(a) 개선 전 모델의 토크 특성



(b) 개선 후 모델의 토크 특성

그림 14. 개선 전과 개선 후 모델의 토크 특성 해석결과.

Fig. 14. Simulation results of torque characteristics of the conventional model and the improved model.

그림 15는 기동 특성 개선 전 모델과 개선 후 모델의 부하 토크에 따른 속도 특성 해석결과를 비교한 것이다. 두 모델

을 0.1[Nm]의 부하 토크로 기동한 후 0.25초 간격으로 0.05[Nm]씩 증가시켰다. 두 모델 모두 0.55[Nm]의 부하 토크에서 정격 출력 100[W]를 만족하였고 0.6[Nm]의 부하 토크에서 동기속도를 유지하지 못하였다. 기존 단상 유도전동기, 단상 유도동기전동기의 회전자 바 개선 전 모델, 그리고 개선 후 모델의 효율과 기동 시간을 표 3에 나타내었다. 그림 15와 표 3으로부터 개선 후 모델은 부하 특성 및 효율이 개선 전 모델과 유사하고 기동 시간은 개선 됨을 알 수 있다.

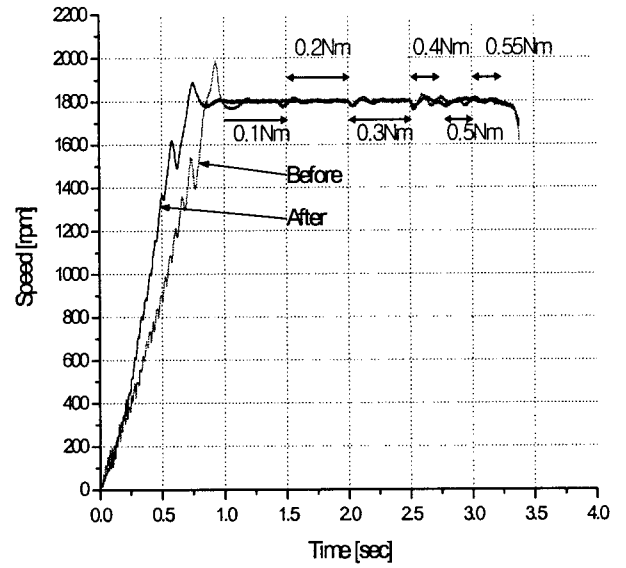


그림 15. 부하에 따른 속도 특성 해석결과 비교.

Fig. 15. Comparison of simulation results of speed characteristics according to the load torque.

표 3. 개선 전 모델과 개선 후 모델의 특성 비교

Table 3. Comparison of designed models

항 목	단상	개선	개선
	유도전동기	전 모델	후 모델
효율	67 [%]	72 [%]	72 [%]
정격 출력	100 [W]	100 [W]	100 [W]
기동 시간	0.2 [sec]	1.2 [sec]	1.0 [sec]

4. 결 론

본 논문에서는 단상 유도전동기를 이용하여 정상 상태에서 동기속도로 운전하는 단상 유도동기전동기를 설계하였다. 단상 유도전동기에 영구자석만 삽입하는 방식으로 단상 유도동기전동기를 설계하였으며 영구자석은 공극 자속밀도를 고려하여 영구자석의 크기 및 위치를 설계하였다. 설계한 단상 유도동기전동기는 유한 요소법을 이용하여 특성을 해석하였으며 해석 결과 기동과 동기화가 가능하였다. 기동 후 0.55[Nm]의 부하 토크에서 정격 속도를 유지하였고 정격 출력은 100[W]를 만족하였으며 효율은 72[%]이었다.

그러나, 설계된 단상 유도동기전동기는 기동 후 1.2초 후에 동기속도로 진입하여 기동 특성이 나빠며 기동 특성을 개선하기 위해 회전자 바의 크기가 정현적 분포가 되도록 회전자

바를 재 설계하였다. 정현적 분포로 회전자 바를 재 설계하면 공극 자속밀도 분포가 정현적인 분포가 되므로 전동기의 토크 리플이 감소하였다. 또한 면적이 큰 회전자 바와 작은 회전자 바를 혼용하여 사용함으로써 기동 성능과 동기화 성능을 동시에 향상시킬 수 있었다. 재설계 된 모델의 특성 해석 결과 전 모델보다 기동 시간이 0.2초 단축되었으며 동기화 과정에서 속도의 맥동도 작음을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2002-041-V01036)

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] Juliette Soulard, H-Peter Nee "Study of the Synchronization of Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motors" Industry Applications Conference, Vol. 1, pp. 424-431, 2000.
- [3] Knight, A. M, Salmon, ; J. C. "Modeling the Dynamic Behaviour of Single-phase Line Start Permanent Magnet Motors" Industry Applications Conference, Thirty-Fourth IAS Annual Meeting. Conference, Vol. 1, pp. 2582-2588, 1999.
- [4] E. S. Hamdi, *Design of Small Electrical Machines*, JOHN WILEY & SONS, 1994.
- [5] P. C. Sen, *Principles of Electric Machines And Power Electronics*, JOHN WILEY & SONS, 1997.
- [6] 오시덕 외, "3.7kW급 유도성 기동 영구자석 매입형 동기전동기 기술개발에 관한 연구 최종보고서", 산업자원부, 2002.10.
- [7] 원종수 역, *전기 설계학*, 동일 출판사, 1994.

저 자 소 개



이 철 규(李喆圭)

1973년 1월 4일 생. 1995년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1999년~2001년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~2004년 동 대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(박사). 2004년~현재 한양대학교 에너지변환시스템 연구실 박사후 과정
 Tel : 031-409-1277, Fax : 031-409-1277
 E-mail : lck6348@ihanyang.ac.kr



권 순 효(權純孝)

1974년 5월 30일생. 2000년 명지대 전기공학과 졸업. 2004년 한양대 대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(석사), 2004년~현재 (주)삼흥사 연구원
 Tel : 02-3282-5461
 E-mail : sunyo@unitel.co.kr



양 병 렬(梁炳烈)

1973년 6월 21일생. 1999년 한양대 전기공학과 졸업. 2001년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2001년~현재 동 대학원 전자전기제어계측공학과 박사과정, 2001년~현재 (주)삼성전자 DA연구소 선임연구원
 Tel : 031-218-5243
 E-mail : yangcom@hanmail.net



권 병 일(權丙一)

1955년 5월 12일 생. 1981년 한양대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 동경대 대학원 졸업(공박). 1990년 도시바(주) 시스템 소프트웨어 연구소 연구원. 1991년 한국기계연구소 자기 부상 열차 사업단 선임연구원. 2001년 University of Wisconsin-Madison 객원교수, 1991년~현재 한양 대학교 전자 컴퓨터 공학부 교수.
 Tel : 031-400-5165, Fax : 031-406-5073
 E-mail : bikwon@hanyang.ac.kr