

영구자석매입형 유도 동기전동기 특성해석

\*양병렬, \*이철규, \*권병일, \*\*한문규  
\*한양대학교 대학원, \*\* (주)효성

Analysis of the Characteristic in the Synchronous Induction Motor

\*B.Y. Yang, \*C.G. Lee, \*B.I. Kwon, \*\*M.K. Han  
\*Graduate school of Hanyang Univ, \*\*Hyosung Co. LTD

**Abstract** - There are two kinds of the synchronous motor, one is an induction type motor started without a driving system, the other is the one started with an external driving system. but, both are complicated. Nowadays, in order to devoid for the synchronous motor being complicated in design, line start permanent magnet(LSPM) motors are being developed. The LSPM motor is composed of the rotor that has interior permanent magnet and aluminum bar instead of general rotor. In this paper, we analyzed the characteristics of the LSPM motor which has both characteristics of an induction motor and a synchronous motor, and we compared the the LSPM motor characteristics with the induction motor

**Key Words** - line start permanent magnet motor, synchronous motor.

1. 서 론

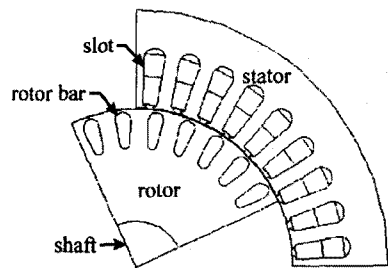
영구자석은 자기에너지 밀도가 높아 단위 전류당 발생 토오크가 크고 효율이 높기 때문에 동기전동기 및 직류 전동기 등 전기기기 분야에 많이 이용되고 있으며, 이중 영구자석형 동기전동기는 서보성능이 우수하므로, 활발한 연구가 진행되고 있다. 동기전동기는 기동 토오크가 존재하지 않으므로 외부회로가 필요하다. 가장 일반적인 방법은 유도 기동형으로, 기동할 때 회전자 표면에 제동권선(damper winding)을 감아 유도전동기로 이용하여, 전동기가 동기속도에 근접하게 되면 전류를 인가함으로써 동작시키고, 동기속도 부근에서 회전자에 전류를 투입함으로써 동기속도에 진입하는 방법과, 인버터와 같은 외부 구동시스템에 의한 기동방식으로 기동하는 방법이 있다. 그러나 동기전동기의 구동 시스템이 복잡해 진다는 단점이 있어 이와 같은 단점을 보완하기 위하여 회전자에 알루미늄 바와 영구자석을 삽입한 영구자석매입형 유도 동기전동기가 개발 연구되어지고 있다[1]-[5]. 영구자석매입형 유도전동기는 기동시 알루미늄 바에 의해 발생하는 유도전동기의 특성과 영구자석에 의해 발생하는 동기전동기의 특성을 복합적으로 나타내므로 전동기의 정확한 동작특성의 예측이 어렵다.

따라서, 본 논문은 유한요소해석법을 이용하여 유도기와 동기기의 특성을 가지는 영구자석매입형 유도 동기전동기와 범용 유도전동기의 동작특성, 코깅 토오크 및 역기전력을 비교 검토하였다.

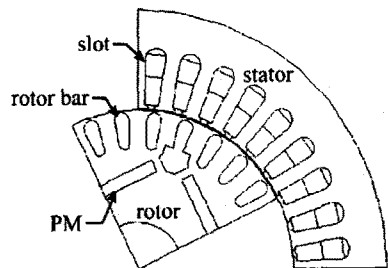
2. 해석모델 및 특성해석

2.1 해석모델

그림 1(a)는 범용 유도전동기의 형상을 나타내고, 그림 1(b)는 영구자석매입형 유도동기전동기 형상을 나타낸다. 그림 1(b)에서 영구자석매입형 유도동기전동기의 고정자는 그림 1(a) 범용유도전동기와 크기 및 사양이 같고, 회전자는 범용유도전동기의 회전자에 영구자석(NdFeB)을 삽입한 형상이다. 그림 1(b)를 보면 회전자에 알루미늄 바가 있으므로, 전동기 기동시 유도전동기의 동작특성을 보임으로써 유도기동하고, 동기속도에 도달하면, 슬롯이 zero가 되어 회전자 바의 2차측 전류가 흐르지 않게 된다. 따라서, 고정자의 1차측 전류와 영구자석만의 자기 회로를 구성하며, 동기속도로 운전하게 된다. 범용 유도전동기와 영구자석 매입형 유도성 기동 동기전동기의 설계 사양은 표. 1과 같다. 고정자 슬롯의 1차측 권선방법은 2층권, 회전자 슬롯은 알루미늄 바를 삽입하였고, 영구자석의 잔류자속밀도 Br은 1.1 [T]이다.



(a) 범용유도전동기



(b) 영구자석매입형 유도동기전동기

그림 1. 해석 모델

표. 1 전동기 사양

	항 목	값
고정자	슬롯수	36 개
	극 수	4 극
	1상당 코일저항	0.064 Ω (25 °C)
	코일 turn 수	36 turn
	적층 길이 철심 재질	110 mm S 23
회전자	공 극	0.3 mm
	알루미늄 바	28 개
	영구자석	NdFeB
	외 경	58 mm
	적층 길이 철심 재질	110 mm S 23
특 성	인가 전압 부 하	3φ 220 V 50 [N·m]

## 2.2 특성해석 결과

### 2.2.1 Cogging torque 특성

그림 2는 영구자석매입형 유도동기전동기가 1800 [rpm]으로 회전할 때 영구자석에 의한 자속선도이고, 자속은 영구자석을 지나 공극과 고정자를 흐르며 토오크를 발생시킨다. 그림 3은 이때 발생하는 역기전력 파형이고, 그림 4는 코깅 토오크 파형이다. 그림 2의 영역 A는 영구자석과 알루미늄 바 사이 철심으로 회전할 때 영구자석을 고정시키는 역할을 하고 있다. 그러나, 영구자석에 의한 자속의 많은 양이 영역 A로 흐르기 때문에 영구자석과 알루미늄 바 설계시 많은 고려가 필요할 것이다. 그림 3을 보면 역기전력 파형의 최대 값 부근에서 큰 리플이 존재하는데 이는 회전자 알루미늄 바에 의하여 자속이 불균일하게 흐르기 때문이며, 최대 역기전력은 43.5[V]이다.

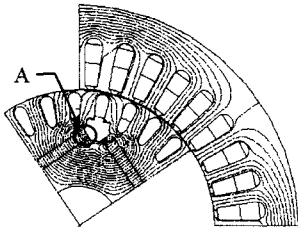


그림 2 영구자석에 의한 자속

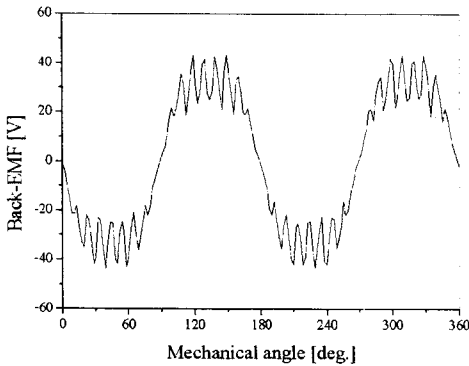


그림 3 역기전력 파형

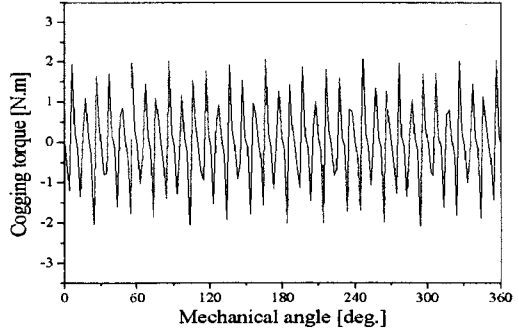
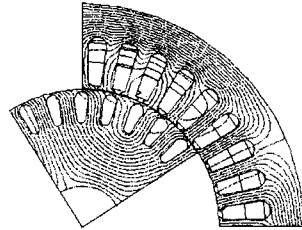


그림 4 코깅 토오크

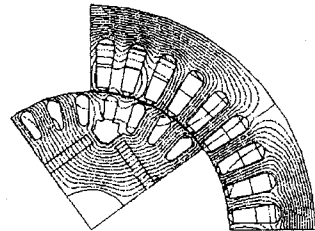
그림 4의 영구자석에 의한 코깅 토오크는 전동기 토오크 특성, 진동 및 소음과 매우 밀접한 관계가 있어 코깅 토오크에 의해 진동과 소음이 발생하므로, 영구자석에 의한 코깅 토오크 분석은 매우 중요하다고 사료된다.

### 2.2.2 Torque 특성

그림 5(a)는 유도전동기가 부하 50 [N·m], 1787 [rpm]으로 회전할 때 자속을 나타내고, (b)는 영구자석매입형 유도성 기동 동기전동기가 부하 50 [N·m], 1800 [rpm]으로 회전할 때 자속을 나타내고 있다.



(a) 유도전동기 (1787 rpm)



(b) 영구자석매입형 유도동기전동기 (1800 rpm)  
그림 5 자속선도

그림 6은 자기등가회로법을 이용한 유도전동기의 속도-토오크 곡선이며, 그림 7은 정상상태에서의 전류특성 곡선이다. 유도전동기의 전류특성이 영구자석매입형 유도동기전동기 보다 작은 전류가 흐르고 있는데, 이는 영구자석매입형 유도동기전동기는 1800 [rpm]으로 기동하고, 유도전동기는 1787 [rpm]으로 기동함에 따라 전동기 출력이 다르기 때문이다. 그림 8은 전동기의 속도 특성이다. 기동시 영구자석매입형 유도동기전동기는 유도전동기 보다 급한 속도 상승률을 나타내고 있으며, 정상상태 도달시간은 비슷하다는 것을 알 수 있다.

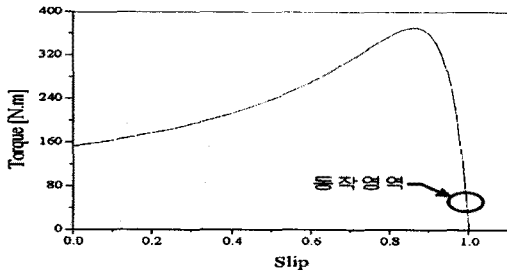


그림 6 속도-토크 특성

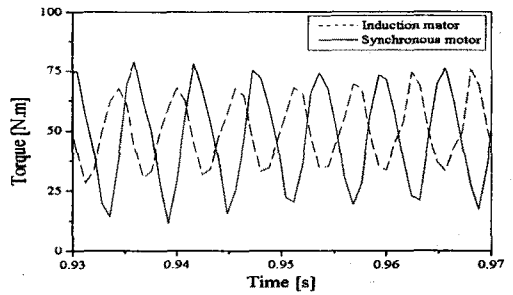


그림 10 정상상태의 토크 특성 (영역 B)

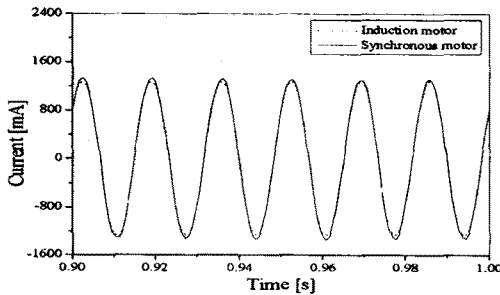


그림 7 전류 특성

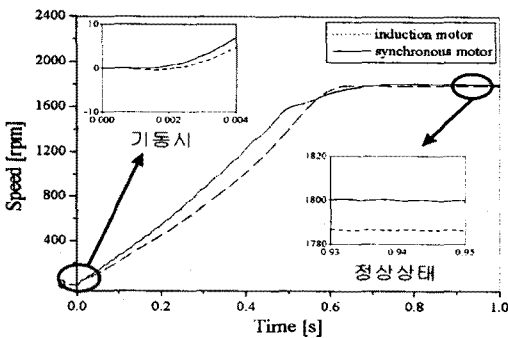


그림 8 속도 특성

그림 9와 그림 10은 토크 특성이다. 토크 특성을 보면 영구자석매입형 유도동기전동기가 유도전동기와 비교하여 기동에서 동기속도 도달시간 까지 토크 리플이 크다. 토크 리플 발생원인은 영구자석이 비동기 속도에 있으므로 속도와 관계없이 토크 리플만 발생시키고 있기 때문이다. 정상상태 구간에서 영구자석매입형 유도동기전동기는 토크 리플이 유도전동기 보다 조금 크게 나타나는데, 이는 영구자석에 의해 발생하는 코깅 토크 영향에 의한 것이다.

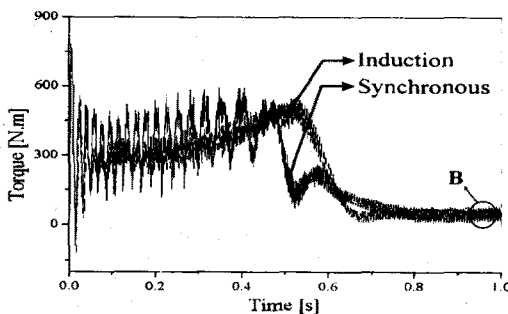


그림 9 토크 특성

### 3. 결 론

본 논문에서 기존 동기전동기의 단점인 자기기동을 가능하게 하는 영구자석매입형 유도동기전동기의 특성에 대하여 고찰하였다. 영구자석매입형 유도동기전동기는 기동할 때 속도 상승률이 범용유도전동기에 비해 빠르지만 영구자석에 의한 토크 리플이 크고, 정상 상태에서 코깅 토크 크기만큼 토크 리플이 크다는 단점이 있다.

향후 영구자석에 의한 자속이 회전자 내부에서 분포하는 현상을 감소시키고 모든 자속이 공극을 통과하도록 하기 위하여 영구자석의 형상과 알루미늄 바의 정확한 설계와 코깅 토크 저감을 위한 연구가 필요하다고 사료된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 大天光吉, 永久磁石磁氣回路の設計・特性計算法, 綜合電子リサーチ, 昭和62年
- [2] E.S.Hamdi, *Design of small electrical machines*, John Wiley & Sons, 1994
- [3] 한문규, "영구자석 유도동기전동기의 특성해석 및 시제품에의 응용" 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A권, pp324-326, 1999
- [4] E.Richter, T.W.Neumann, "Line start permanent magnet motors with different materials", *IEEE Trans. on Magnetic*, Vol.MAG20, No.5, pp1762-1764, September, 1984
- [5] S.Yamamoto, T.Ara, S.Oda, K.Matsuse, "Prediction of Starting Performance of PM Motor by DC Decay Testing Method" *IEEE Trans. on industry application*, Vol.36, No.4, pp1053-1060, July/August, 2000

본 논문은 산업 자원부에서 지원하는 에너지절약 기술개발 사업인 3.7(Kw)급 유도성 기동 영구자석 매입형 동기전동기 개발(과제번호: 2000-E-EL-01-2-51)과제의 일부로 수행되었습니다. 이에 관계자께 위계 감사드립니다.