

Magnetization Analysis of Line-Start Permanent Magnet Motor

Myung-Hwan Yoon*, Ki-Deok Lee, and Jeong-Jong Lee

Intelligent Mechatronics Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Bucheon 14502, Korea

(Received 20 June 2021, Received in final form 29 June 2021, Accepted 29 June 2021)

The LSPM (line-start permanent magnet synchronous motor) is an alternative to increase the efficiency and power factor of induction motors. Magnetization of permanent magnet in LSPM is the most important issue for manufacturing process. The manufacturing process can be improved as the magnetization of the permanent magnet is conducted after the rotor assembly. Circuit of LSPM magnetization after the assembly is introduced and finite element analysis is conducted. Finally, magnetizing yoke is manufactured and the magnetization is conducted. Flux density in the permanent magnet of LSPM rotor is checked. The result is presented for the verification of the magnetizing analysis.

Keywords : line-start, permanent magnet, motor, magnetization

LSPM 모터의 회전자 착자 해석 기술

윤명환* · 이기덕 · 이정종

한국전자기술연구원 지능메카트로닉스연구센터, 경기 부천시 원미구 송내대로 388, 14502

(2021년 6월 20일 받음, 2021년 6월 29일 최종수정본 받음, 2021년 6월 29일 게재확정)

LSPM 전동기는 기존 유도전동기의 효율 및 역률을 향상 시킬수 있는 좋은 대안의 전동기다. LSPM의 영구자석 착자과정은 제작 공정에 있어서 중요한 프로세스이다. 회전자 조립 후 영구자석 착자가 가능하면 제작 공정이 개선되기 때문이다. LSPM 영구자석의 후착자 해석을 위한 착자기 회로를 구성하였고 유한요소해석을 진행하였다. 착자 요크를 제작하여 시험하였으며 영구자석의 내부 자속밀도를 확인하였고 결과를 제시하여 검증하였다.

주제어 : line-start, 영구자석, 전동기, 착자

I. 서 론

전 세계의 연간 에너지 소비량은 수십 년 동안 증가하는 추세이고 대부분의 에너지는 화석 연료인 석유, 천연가스와 석탄에서 나오게 된다. 이러한 에너지의 과도한 소비는 자원의 심각한 축소를 야기했고 대기 오염, 지구 온난화에 큰 영향을 끼쳤다. 따라서 에너지 절약은 인류에 있어서 가장 중요한 관심사이다. 최근에는 에너지 절감뿐만 아니라 에너지 사용의 효율화에도 관심이 모아지고 있다. 특히 시스템의 자동화가 급속히 이루어짐에 따라 전동기가 많이 사용되고 있고 이는 가정 및 산업 전반에서 에너지 효율을 높이기 위해서 전동기 효율을 개선하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있

다. 유도전동기는 전력 에너지 소비의 60% 이상을 차지하는 국가적 에너지 소비의 핵심 주체이며, 가전기기를 포함한 대부분의 산업 분야에서 주도적으로 사용되고 있다. 제조가 간단하고 내구성이 뛰어나며 가격이 저렴하지만 효율이 떨어지는 단점이 있어 이를 대체하는 전동기 개발이 요구되어 왔다. 높은 고효율 전동기 개발을 위하여 영구자석을 활용하는 영구자석형 동기전동기와 기존 유도전동기의 회전자에 영구자석을 삽입하는 LSPM(Line Start Permanent Magnet) 전동기가 대표적인 대체할 수 있는 타입의 전동기이다. 영구자석형 동기전동기는 넓은 운전 영역의 장점이 있지만 제어기를 추가로 설치가 필요하여 경제성 측면에서 단가 상승의 단점이 있다. LSPM 전동기의 경우 기동 시에는 유도전동기의 원리로 동작을 하며 동기화가 된 후에는 동기전동기로 운전되므로 일반 상용 전원을 직접 연결하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 다시말해 LSPM 전동기는 기존 유도전동기 구조에

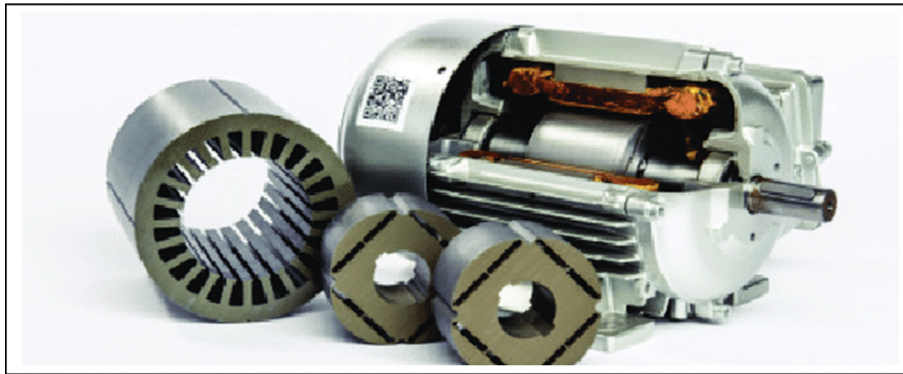


Fig. 1. (Color online) LSPM 전동기 구조.

영구자석이 삽입된 구조로 유도전동기의 특징을 유지하면서 효율이 보완된 전동기이다. 이 논문에서는 위의 LSPM 전동기의 설계 및 착자해석 기술에 대해 다룬다.

II. LSPM 전동기 특징

기존에 많은 분야에 사용되는 유도전동기는 구조가 견고하고 제작성이 좋으며 별도 제어장치 없이 구동 가능한 특징을 지니고 있다. LSPM 전동기는 일반 농형 유도전동기와 같은 농형바를 가지는 회전자 내부에 영구자석을 매입한 구조이다. 유도전동기와 마찬가지로 상용 전원의 공급만으로도 기동이 가능하고 운전이 가능하다. 유도전동기와 달리 영구자석을 사용함으로써 기존 유도전동기에서 발생하는 2차측 동손을 줄일 수 있으므로 고효율 운전이 가능하다. LSPM 전동기의 고정자는 영구자석형 동기전동기와 동일하며 회전자가 유도전동기와 동기전동기의 합쳐진 구조를 가짐에 따라 유도전동기와 영구자석형 동기전동기의 혼합된 출력 특성을 갖는다. 자기저항 차에 의한 릴럭턴스 토크가 발생하고 과도 상태에서는 유도전동기의 특성을 지니고 동기 속도 후에는 동기전동기 특성을 나타낸다. 기동 시 과도한 전류가 흐르기 때문에 감자 문제가 발생할 수 있고 영구자석에 의한 영향으로 기동에 실패하는 경우가 발생할 수 있다. Fig. 1에서는 LSPM 전동기의 기본 형상을 제시하였다. 좌측에는 LSPM 전동기의 고정자이고 중간에는 회전자, 우측에는 LSPM 전동기 전체를 나타낸다. 위에서 언급한대로 고정자 형상은 동기전동기와 동일하며 회전자 형상에서는 영구자석이 삽입될 공간을 확인할 수 있다. 유도전동기와 영구자석으로 구성된 LSPM의 개념은 Fig. 2에서 나타냈다. 예시 모델은 4극 LSPM 전동기 회전자로써 기존 농형 유도 전동기 구조에 영구자석이 4개가 삽입되어 있고 알루미늄 도체바가 삽입되며 영구자석에 의해서 발생하는 자속의 누설을 최소화하기 위해 자속 배리어도 구조상 배치된다.

- Hybrid motor: induction + permanent magnet + reluctance

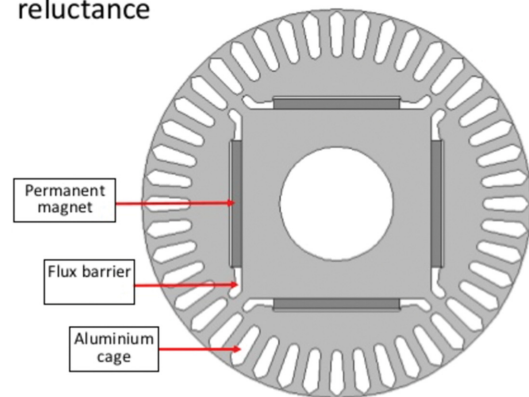


Fig. 2. (Color online) 회전자 개념(유도전동기 + 동기전동기).

III. LSPM 전동기 착자해석

유도전동기의 낮은 효율을 보완한 LSPM 전동기는 제작 시 기존 유도전동기 제작 공정에 비해 영구자석을 삽입하고 착자를 해야하는 공정이 추가된다. 착자 된 영구자석을 삽입하는 방법과 무착자 영구자석을 삽입 후 착자를 하는 공정으로 분류될 수 있고 후착자 방식이 공정 측면에서 유리하다. 본 논문에서는 공정에서 유리한 조립 후 착자하는 방식을 확인하기 위하여 LSPM 전동기의 회전자 착자 해석에 대해 살펴 보았다. 착자 해석을 위해 상용 해석 프로그램인 JMAG가 사용되었다. Fig. 3에는 LSPM 전동기 조립 후 착자 해석에 대한 개념도를 나타내었고 대상 모델은 LSPM 2.2 kW 2극 전동기로 선정하였다. 착자 해석의 개념은 Fig. 3과 같이 입력되는 전압, 스위치, 캐패시터, LSPM 전동기로 구성된다. 착자기 회로에서 S1을 on 상태, S2가 off 인 상태로 만들어 주고 전압을 입력하면 C가 충전이 된다. 충전이 완료된 후 S1을 off 상태, S2를 on 상태가 되면 C의 방전 전류에 의해 착자기 코일에 기자력이 발생하고 영구자석을 착자하게 된다.

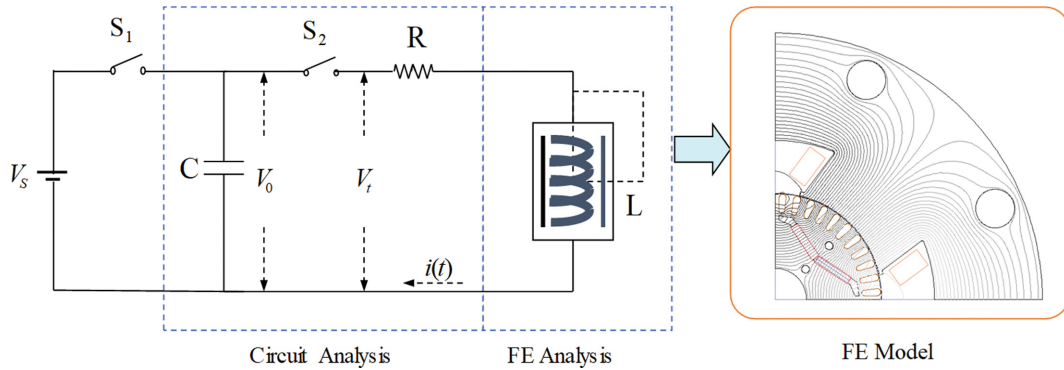


Fig. 3. (Color online) 조립 후 착자 해석 개념도.

Table I. 착자기 제원.

항목	값	단위
입력 전압	3000	Vdc
캐패시터	0.003	μF

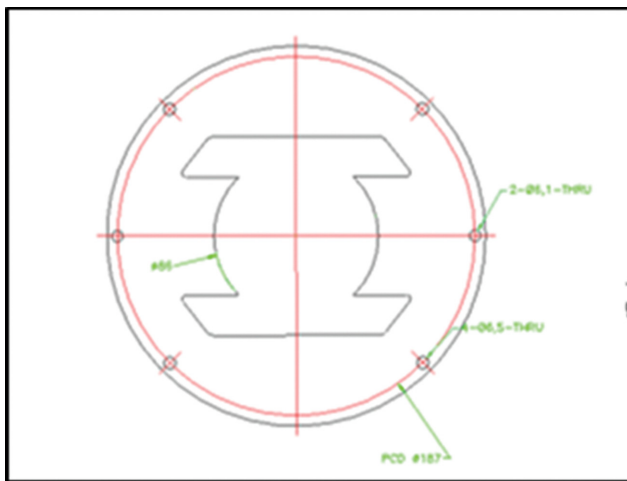


Fig. 4. (Color online) LSPM 2극 모델 착자요크.

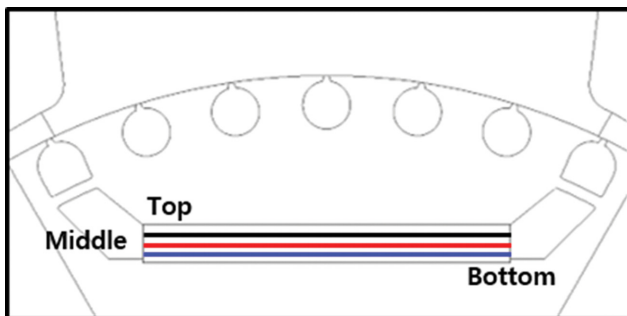


Fig. 5. (Color online) 영구자석 자속밀도 측정위치.

Table I에는 착자기 회로의 입력 전압 및 캐패시터의 제원을 제시하였다. 3000 Vdc가 인가 되고 0.003 μF 의 캐패시터가 사용되었다. 착자에 사용된 2극 전동기 모델의 착자 요크

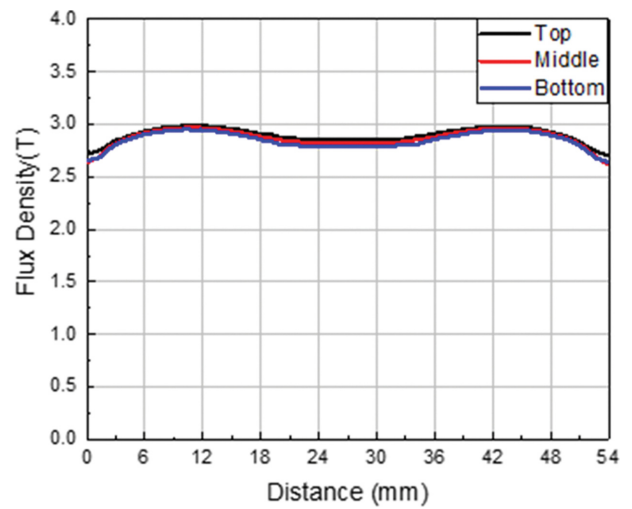


Fig. 6. (Color online) 영구자석 내부자속밀도.

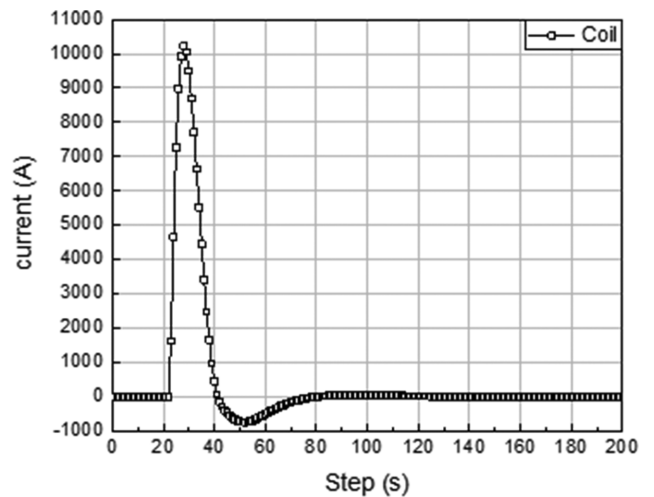


Fig. 7. 착자해석 시 전류.

는 Fig. 4에 나타내었고 착자 해석 후 영구자석 내부 자속밀도를 확인하기 위하여 영구자석 측정 위치를 Fig. 5에 나타내었다. 영구자석의 위, 아래, 중간 위치에서 확인을 진행하

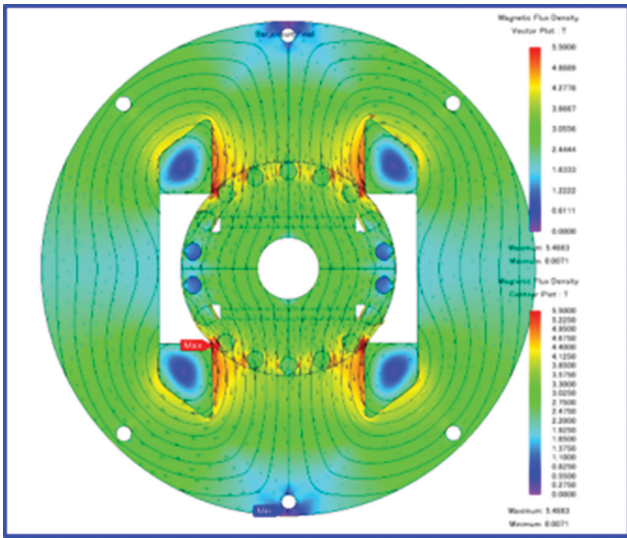


Fig. 8. (Color online) 자속밀도 분포.

Table II. LSPM 착자결과 비교.

항목	값	단위
기존 단품 착자 모델	174	mWb
착자 후 모델	170	mWb

였고 해석 후 자속밀도 분포는 Fig. 6에 나타내었다. 해석에 사용된 영구자석의 grade는 N35EH이고 잔류자속밀도는 1.2T 이다.

해석 결과 N35EH 영구자석의 잔류자속밀도 1.2T 보다 2 배 이상의 자속밀도가 형성 된 것을 확인하였다. 이때 착자 해석에 인가된 전류는 Fig. 7과 같다. 전체 자속밀도 분포는 Fig. 8에 나타내었고 제시한 해석방법을 검증하기 위해 해석에 적용된 착자요크를 Fig. 9와 같이 제작하였고 착자 시험



Fig. 9. (Color online) 착자기 및 착자요크.

을 수행하여 기존에 단품 착자 된 회전자와 자속량 비교를 하였다. 결과는 다음 Table II와 같고 후착자 시 97.7% 착자율로 본 논문에서의 착자 해석 방법을 검증하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 산업용으로 주로 사용되는 유도전동기의 장점을 유지하면서 단점인 낮은 효율을 보완할 수 있는 LSPM 전동기에 대해 살펴보았다. 농형 유도전동기 회전자 구조에 자석이 삽입 되어있는 구조로 제작 시 영구자석 삽입 및 착자의 공정이 추가된다. 무착자 자석을 회전자에 삽입하여 조립 후 착자를 하는 방법이 착자된 자석을 삽입하는 공정보다 유리하다. 논문에서는 LSPM 전동기의 공정 개선을 위한 조립후 후착자 해석방법을 보여주었다. 착자기 회로를 구성하였고 유한요소해석을 수행하여 영구자석의 내부 자속밀도를 확인하였다. 사용된 영구자석의 잔류자속밀도에 비해 2배 이상의 내부자속밀도가 생성되었고 제작 및 실험을 통하여 단품 착자 모델과 후착자 모델의 자속량을 비교하였을 때 97.7% 착자율을 확인하였다.

사 사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20192010106780).

References

[1] A. D. Aliabad, M. Mirsalim, and N. F. Ershad, IEEE Trans.

- Magn. **46**, 4066 (2010).
- [2] A. H. Isfahani and S. Vaez-Zadeh, Elsevier, Energy **34**, 1755 (2009).
- [3] J. Shen, P. Li, M. Jin, and G. Yang, IEEE Trans. Magn. **49**, 4068 (2013).
- [4] B. Yan, X. Wang, and Y. Yang, IEEE Trans. Magn. **54**, 7400504 (2018).
- [5] M. Lin, D. Li, Y. Zhao, X. Ren, and R. Qu, IEEE Trans. Ind. Appl. **56**, 2441 (2020).
- [6] R. T. Ugale and B. N. Chaudhari, IEEE Trans. Ind. Electron. **64**, 138 (2017).
- [7] D. S. B. Fonseca, C. M. C. Santos, and A. J. M. Cardoso, IEEE Trans. Ind. Appl. **56**, 2590 (2020).
- [8] F. Ghoroghchian, A. D. Aliabad, and E. Amiri, IEEE Trans. Energy Conversion **35**, 854 (2020).
- [9] D. Mingardi and N. Bianchi, IEEE Trans. Ind. Electron. **64**, 9739 (2017).
- [10] B. Yan, Y. Yang, and X. Wang, IEEE Trans Ind. Electron. **68**, 6662 (2021).
- [11] D. Mingardi and N. Bianchi, IEEE Trans. Ind. Electron. **53**, 4360 (2017).
- [12] A. Waheed and J. S. Ro, IEEE Access **8**, 145672 (2020).