

자성유체 활용 매입자석 동기모터의 토크밀도 향상에 관한 연구

양인준*, 송시우**, 정민재**, 이승원**, 신동윤**, 김원호**
 한양대학교*, 가천대학교**

Improvement in Torque Density by Ferrofluid Injection into Interior Permanent Magnet Synchronous Motor

In-Jun Yang*, Si-Woo Song**, Min-Jae Jeong**, Seung-Won Lee**, Dong-Youn Shin**, Won-Ho Kim**
 Hanyang University*, Gachon University**

Abstract - 매입형 영구자석 동기모터는 일반적으로 영구자석과 자석 공차 사이의 진동을 방지하기 위하여 본드와 같은 접착제를 자석 공차에 주입한다. 이러한 경우에는 자석 공차는 성능에 기여를 못한다는 단점이 존재한다. 본 논문에서는 자석 공차를 활용하기 위하여 자성유체를 삽입하여 토크 밀도를 향상시키는 방법을 제안하였다. 자석 공차에 자성유체를 삽입 시에 기존의 접착제를 사용하지 않기 때문에 자석을 고정시키는 것이 중요하며 자성유체가 삽입 공간 내에서 누설경로로 작용하지 않는 것이 중요하다. 본 연구에서는 이러한 고려사항을 만족시키는 사출 플라스틱 배리어를 이용한 새로운 회전자 구성을 소개하였다. 유한요소 해석법을 통하여 해석을 진행하였으며 자성유체 주입을 통하여 최종 모델에서 무부하 역기전력이 증가하는 것을 확인 가능하였다.

1. 서론

매입형 영구자석 동기모터 (IPMSM)의 회전자 코어에 영구자석을 삽입할 시에 삽입 공간과 영구자석의 크기가 대응되는 것이 이상적이다. 삽입공간과 자석의 크기가 동일한 경우 자석의 삽입이 힘들기 때문에 자석 공차라는 회전자 코어와 자석 사이의 일종의 빈공간이 반드시 필요하다. 자석 공차의 크기를 크게 하면 전자기적인 성능이 저하되며 모터를 고속으로 운전할 시에 자석과 자석 공차 사이에 진동이 발생하여 자석이 깨지는 문제점이 존재한다. 자석과 자석 공차 사이의 진동을 방지하기 위해서 자석 공차에 접착제를 넣어서 자석을 고정시키는데 이 경우에 자석 공차는 성능 향상에 기여하지 못한다는 단점이 있다.

본 논문에서는 자석 공차를 활용하기 위하여 자성유체를 삽입하여 토크 밀도를 향상시키는 방법을 제안하였다. 자성유체는 자성을 가지는 액체로 초미립자 분말이 섞인 물이나 기름을 말한다 [1]-[4]. 자성유체는 자계가 존재하지 않을 때는 자성을 가지지 않지만 자석 등으로 외부 자계를 인가시키면 자성화된다는 [1]-[4]. 이러한 특성을 가진 물질은 초상자성체라 불린다. 자성유체의 투자율이 진공의 투자율 보다 훨씬 더 높다. 따라서 자성유체를 자석 공차에 주입 시에 회전자 코어의 역할을 대신하여 자석 공차 부분의 자기저항을 감소시키고 전자기 성능을 높일 수 있다.

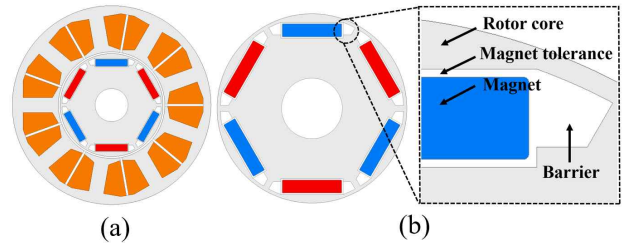
2. 본론

자성유체 주입을 통한 성능 향상을 확인하기 위하여 본문에서는 최대의 무부하 역기전력을 가지는 모델을 유한요소해석 (FEA)을 통해 도출한다. 자성유체를 영구자석의 크기 대비 자석 공차가 큰 소형모터에 적용하기 위해서 분석 모델은 4극구동 유압제어 시스템을 위한 고정자 직경이 56mm인 IPMSM으로 선정하였다. 분석 모델의 사양을 <표 1>에 나타내었으며 회전자 단면의 단면을 각각 <그림 1>에 나타내었다. 일반적으로 자석 공차는 0.1mm정도로 설계하지만 본 논문에서는 자성유체에 대한

성능 변화를 뚜렷하게 확인하기 위하여 0.2mm로 설계하였다.

<표 1> 분석 모터 제원

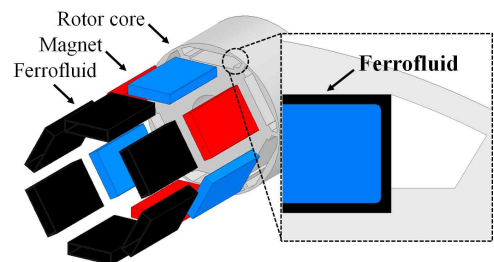
Parameter	Value	Parameter	Value
극/슬롯	6/9	공극 길이	0.5 mm
전류	50 Apeak	적층 길이	38 mm
운전속도	4,000 rpm	자석 공차	0.2 mm
고정자 외경/내경	56/30 mm	자석 길이/폭	9.1/2 mm
회전자 외경/내경	29/9.28 mm	자석 재질	N40SH
코어 재질	50PN470	한 치당 턴수	6



<그림 1> 분석 모델 단면 (a) 전체 모델 (b) 회전자

2.1 자성유체 주입을 통한 무부하 역기전력 비교

<그림 1(b)>는 자성유체를 주입하지 않은 기존 모델을 나타낸다. <그림 2>은 자석 공차에 자성유체가 주입된 기존 모델의 회전자 형상을 나타낸다. 여기서 <그림 2>의 회전자 형상은 배리어 부분으로 자성유체가 누설되며 영구자석이 고정되어 있지 않기 때문에 실제로 제작 가능한 형상은 아니다.

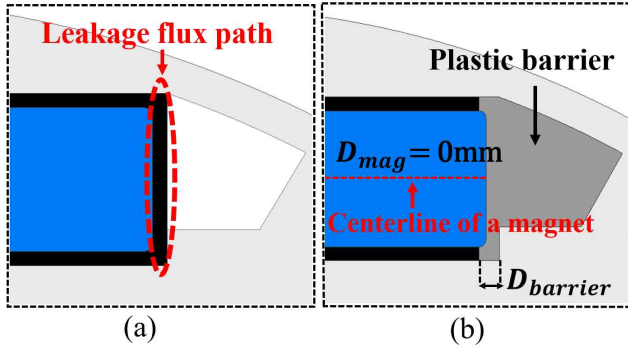


<그림 2> 자성유체가 주입된 기존 모델

<그림 2>에 나타난 것과 같이 자성유체가 기존 모델의 자석 공차에 주입될 시에, <그림 3(a)>에 나타나듯이 자성유체가 누설 자속경로로 작용하는 부분이 생기며 영구자석을 고정시킬 수가 없다는 단점이 존재한다.

<그림 3(b)>는 회전자 변수를 나타낸다. <그림 3(b)>에 나타난 것처럼 배리어의 길이 $D_{barrier}$ 를 설계 변수로 설정하는 것을 통하여 배리어가 영구자석을 양측에서 고정하는 형상으로 만들 수 있다. 배리어에 플라스틱 같은 비자성체를 주입하면 영구자석을 고정시키고 <그림 3(a)>에 나타난 누설자속경로를 최소화시키는 것이 가능하다. 플라스틱 배리어를 통해 영구자석을 고정함에

따라서 방사 방향에 따른 영구자석의 위치, D_{mag} 를 변수로 선정하여 최대 무부하 역기전력을 가지는 모델을 선정하는 것이 가능해진다.

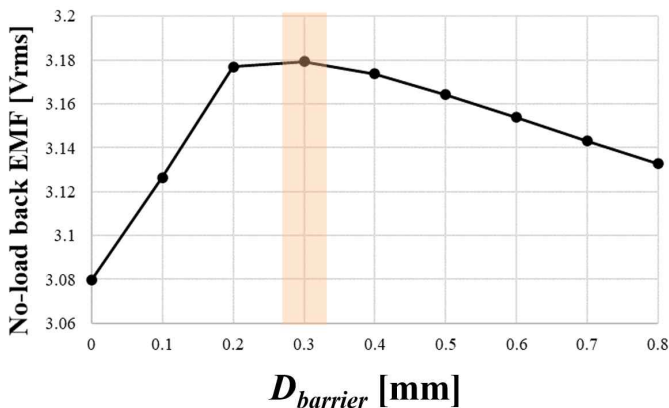


<그림 3> 변수 설정 (a) 누설자속 경로 (b) 회전자 변수

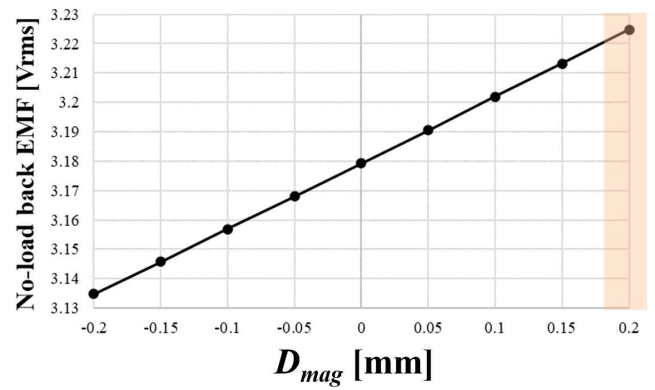
<그림 4>은 $D_{barrier}$ 에 따른 무부하 역기전력의 분석 결과를 나타낸다. $D_{barrier}$ 의 값이 증가함에 따라서 누설자속이 감소하며 무부하 역기전력이 증가한다. $D_{barrier}$ 가 0.3mm 보다 커지게 되면 누설자속경로는 최소화시킨 상태이기 때문에 자성유체의 사용량만 줄어들게 된다. 자성유체의 사용량이 줄어들게 되면 무부하 역기전력이 감소하기 때문에 $D_{barrier}$ 의 길이를 누설 자속 경로를 막을 수 있는 최소한의 길이로 선정하는 것이 중요하다.

<그림 5>은 최대의 무부하 역기전력을 가지는 $D_{barrier}$ 0.3mm 모델에서 D_{mag} 에 따른 무부하 역기전력을 나타낸다. <그림 5>에서 D_{mag} 값이 0mm는 회전자 코어의 삽입공간 내에서 영구자석이 중심에 위치하는 것을 의미한다. D_{mag} 값이 음의 방향으로 증가하는 것은 영구자석이 삽입공간 내에서 중심에서 회전자 중심 방향으로 움직이는 것을 의미한다. D_{mag} 값이 양의 방향으로 증가하는 것은 영구자석이 삽입 공간 내에서 중심에서 공극방향으로 움직이는 것을 의미한다. 분석 모델의 자석 공차는 0.2mm이기 때문에 <그림 5>의 x축 범위는 -0.2mm부터 0.2mm까지인 것을 확인할 수 있다. 무부하 역기전력은 영구자석이 공극에 최대한 가까이 위치할수록 값이 커지기 때문에 최대의 값으로 선정하는 것이 중요하다.

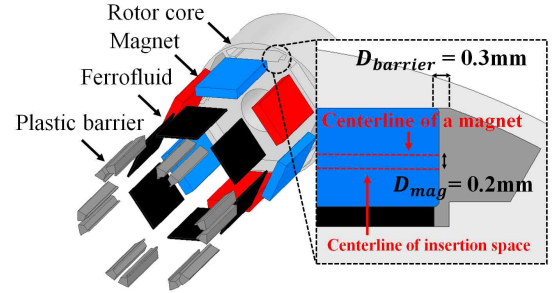
$D_{barrier}$ 0.3mm and D_{mag} 0.2mm 모델이 최대의 무부하 역기전력을 가지는 것을 확인하였으며 이를 제안 모델로 선정하였다. <그림 6>은 제안 모델의 회전자 형상을 나타낸다. 제안 모델은 영구자석이 회전자 코어의 삽입 공간 내에서 한 방향에 붙어있기 때문에 제작성 측면에서 유리하다는 이점이 존재한다. <그림 7>은 기존 모델과 제안 모델의 무부하역기전력 파형을 나타낸다. 기존 모델과 비교하여 제안 모델의 무부하 역기전력 값은 1.795% 증가한 것을 확인하였다.



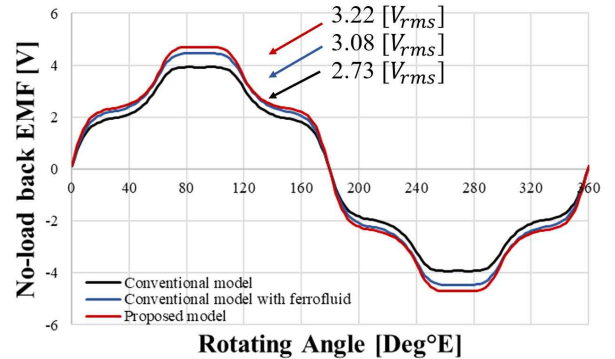
<그림 4> $D_{barrier}$ 에 따른 무부하 역기전력



<그림 5> D_{mag} 에 따른 무부하 역기전력



<그림 6> 제안 모델의 회전자 형상



<그림 7> 무부하 역기전력 비교

3. 결 론

본 연구에서 제안한 자성유체를 통한 토크밀도의 향상 방법은 기존 연구대비 큰 비용을 들이지 않고 성능의 향상을 기대할 수 있다. 기존 연구는 공극에 자성유체를 주입하는데 초점을 맞췄지만 이러한 경우에는 자성유체의 사용량이 많이 비용적인 문제가 발생하며 자성유체의 점성에 따라 성능이 달라지고 밀봉이 힘들기 때문에 제작성의 측면에서도 불리하다. 본 연구의 형상 설계는 기존 연구들의 단점을 보완하여 무부하 역기전력을 향상시키는 것이 가능하다. 본 연구에서 제시한 회전자 형상은 로봇, 항공 및 의료 분야 등의 고성능, 고효율을 요구하는 분야에서 유용하게 쓰일 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2019년도 과학기술정보통신부의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다. (No. 1711088967)

[참고문헌]

- [1] A. O. Ivanov and O. B. Kuznetsova, "Magnetic properties of dense ferrofluids," J. Magn. Magn. Mater., vol. 252, pp. 135-137, 2002.
- [2] N. Gautam, G. Thirupathi, and R. Singh, "Magnetoviscosity of paraffin-based barium ferrite ferrofluid," IEEE Trans. Magn., vol. 52, no. 7, pp. 0-3, Jul. 2016.
- [3] G. Thirupathi and R. Singh, "Study of magnetoviscosity of ferromagnetic MnZn-ferrite ferrofluid," IEEE Trans. Magn., vol. 51, no. 11, pp. 3-6, Nov. 2015.
- [4] N. A. Clark, "Ferromagnetic ferrofluids," Nature, vol. 504, no. 7479, pp. 229-230, Dec. 2013.