

백요크리스 자기 베어링 구조를 통한 회전자 일체형 모터

A study on the design of an all-in-one motor through a back-yokeless magnetic bearing structure

저자 (Authors)	양인준, 이승원, 신동윤, 박지현, 김원호 In-Jun Yang, Seung-Won Lee, Dong-Yoon Shin, 박지현, Won-Ho Kim
출처 (Source)	대한전기학회 학술대회 논문집 , 2021.7, 1176-1177 (2 pages)
발행처 (Publisher)	대한전기학회 The Korean Institute of Electrical Engineers
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10610120
APA Style	양인준, 이승원, 신동윤, 박지현, 김원호 (2021). 백요크리스 자기 베어링 구조를 통한 회전자 일체형 모터. 대한전기학회 학술대회 논문집, 1176-1177.
이용정보 (Accessed)	가천대학교 203.249.127.*** 2021/11/30 15:57 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독 계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

백요크리스 자기 베어링 구조를 통한 회전자 일체형 모터

양인준*, 이승원**, 신동윤**, 박지현**, 김원호**
한양대*, 가천대**

A study on the design of an all-in-one motor through a back-yokeless magnetic bearing structure

In-Jun Yang*, Seung-Won Lee**, Dong-Yoon Shin**, Won-Ho Kim**
Hanyang University*, Gachon University**

Abstract - 기존 자기 베어링을 모터에 결합하는 경우, 회전자 외측에서 샤프트를 제어하는 분리형 구조로 모터의 사이즈를 비약적으로 증가시킨다. 본 논문에서는 할바 배열을 통해 기존의 자기 베어링을 회전자 코어의 내부에 삽입하여 전체 시스템의 사이즈 상승을 최소화시키는 방법이 제안된다. 할바 배열은 회전자 내측의 자기회로를 제거하는 것이 가능하므로 회전자 백요크를 제거하는 것이 가능하다. 기존의 샤프트 및 백요크는 중공형 샤프트로 단순화 시키는 것이 가능하며 회전자 내부공간의 확보를 통해 분리형 자기 베어링을 회전자 코어 내측에 삽입할 수 있다. 삽입된 자기베어링은 회전자의 내측에서 코어를 자기 부상시키며 기존 분리형 자기 베어링 구조를 회전자 일체형 구조로 만드는 것이 가능하다. 16극24슬롯의 하이브리드 트랙션 모터를 분석모델로 선정하였다. 유한요소해석법을 통해 해석기법의 타당성을 검증하였으며 회전자 일체형 모터의 설계를 통해 자기 베어링의 장점은 활용하며 전체 시스템의 사이즈를 최소화시키는 것을 확인 가능하였다.

에서 샤프트를 자기 부상시키는 회전자 일체형 모터가 제안된다. 할바 배열은 각각의 서로 다른 착자방향을 가진 영구자석이 결합된 구조를 의미한다. 할바 배열은 일측의 자계는 증대시키며 반대편의 자계를 제거시킨다. 따라서 할바 배열을 적용한 회전자의 경우, 영구자석 내측의 자계는 서로 상쇄되어 없어지며 회전자 백요크가 제거될 수 있다. 회전자 백요크를 제거하고 중공형 샤프트를 이용하면 회전자 내부 공간 확보가 가능해지며 기존 분리형 자기 베어링을 회전자 내측에 삽입하는 것이 가능하다. 회전자 일체형 모터는 회전자 외부에 베어링 구조를 포함하지 않아도 되므로 모터의 소형화 및 비용저감이 가능하다.

분석 모델은 16극 24슬롯의 하이브리드 트랙션 모터로 선정하였다. 유한요소 해석법을 통해 목표사양을 만족하는 회전자 변수를 선정하여 제안 모델을 선정하였다. 그리고 자기 베어링을 모터와 결합시에 성능을 추가적으로 분석하여 최종 모델을 선정하였다.

2. 본 론

1. 서 론

다양한 산업 분야에서 시스템 전장화가 진행됨에 따라 전동기에 대한 고출력 및 고효율화, 소형 및 경량화, 초고속화, 저소음 및 저진동 등에 대한 기술적 요구가 고도화되고 있다. 초고속 영구자속 전동기는 고도화되는 기술적 요구를 충족시킬 수 있는 핵심 요인으로 꼽히고 있다. 모터의 초고속화를 위해서는 전자계 설계 기술뿐만 아니라 구조적 안정성을 확보하는 것이 중요하다. 따라서 기구부의 마찰을 줄이며 효율을 높이기 위해 베어링에 관한 연구가 활발하게 진행되어 오고 있다 [1], [2].

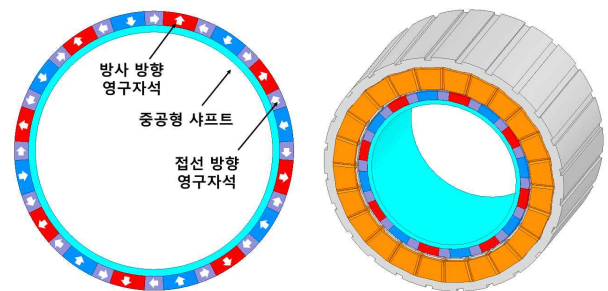
고속용 베어링에는 고 정밀도, 고속화 능력, 최소 변위 및 저 마찰과 같은 특성이 요구되며 구름 베어링 및 자기 베어링이 많이 사용된다. 구름 베어링은 축과 베어링 사이에 볼이나 롤러같은 회전체가 들어있어서 회전체가 점 접촉 또는 선 접촉을 하기 때문에 마찰 저항을 줄이는 것이 가능하다. 하지만 구름 베어링은 윤활시스템이 필요하며 접촉식 베어링이기 때문에 기계적인 손실을 완전히 제거시킬 수 없으며 베어링의 마모와 유지 비용이 발생한다는 점에서 한계점을 지닌다. 자기 베어링은 자기 부상의 원리를 이용한 비 접촉식 베어링으로서 마찰과 마모가 없으므로 구름 베어링의 단점은 보완될 수 있다. 비 접촉의 장점 덕분에 자기 베어링은 구름 베어링에 비해 훨씬 더 높은 속도로 운전할 수 있으며 모터의 수명을 증가시킬 수 있다. 또한 전기적인 제어를 통하여 회전축의 정밀도 및 정강성을 높일 수 있다는 장점이 존재한다 [3].

자기 베어링의 장점에도 불구하고 자기 베어링을 상업화 시키는 데는 어려움이 많다. 사이즈 및 비용의 상승은 자기 베어링의 사용에 있어서 가장 큰 어려움이다. 모터 설계에서 기존 자기 베어링을 포함하는 경우, 자기 베어링은 회전자 외측에서 샤프트를 자기 부상시키는 분리형 구조로 모터의 사이즈를 비약적으로 증가시킨다. 모터 사이즈의 증가에 따라 기구적인 한계 및 제작 비용에 대한 문제가 발생하므로 상업적으로 자기 베어링을 사용하는 것은 한정적인 산업 분야에서만 가능하다.

본 논문에서 할바 배열을 통하여 자기 베어링이 회전자 내측

2.1 제안한 일체형 모터의 설계

모터 내부에 자기 베어링을 삽입하기 위하여 비교적 사이즈가 큰 고정자 직경 280mm의 16극 24슬롯 하이브리드 트랙션 모터로 선정하였다. 그림 1은 기본 모델을 나타낸다. 표 1은 기본모델의 사양을 나타낸다. 그림 1에서 할바 배열 자석의 착자 방향을 확인할 수 있으며 회전자 백요크를 얇은 중공형 샤프트로 대체한 것을 확인할 수 있다.



〈그림 1〉 분석모델 회전자 2D 단면(좌) 3D 단면(우)

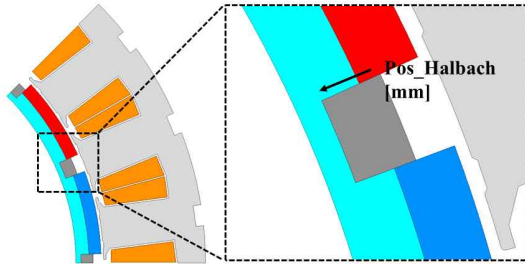
〈표 1〉 분석모델의 사양

변수	값	단위
극 수	16	-
슬롯 수	24	-
전류	240	A_{rms}
회전 속도	1,770	rpm
고정자 외경/내경	280/201.8	mm
회전자 외경/내경	200/174.66	mm
코어 재질	35PN230	-
공극 길이	0.9	mm
적층 길이	50	mm

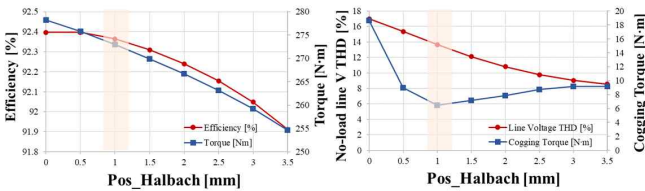
영구자석 두께	4.67	mm
영구자석 재질	N42UH	-
치당 턴 수	69	-

2.2 접선방향 자석 삽입에 따른 성능 분석

법선방향 자석은 공극 축의 자계를 증가시켜 코깅토크 및 상·선간 전압 THD를 증가시킨다. 그림 2는 법선방향 자석의 위치에 따른 변수를 나타내며 Pos_Halbach의 길이가 증가할수록 법선방향 자석이 회전자 중심방향으로 들어간다. 그림3에서 목표 사양에 제일 근접한 변수 1mm를 선택한 것을 확인 가능하다.



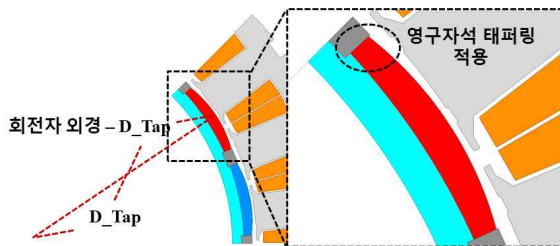
〈그림 2〉 회전자 변수 - 접선방향 영구자석



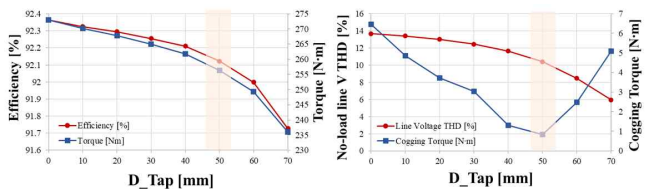
〈그림 3〉 목표사양 분석 - 접선방향 영구자석

2.3 방사방향 자석 태퍼링 적용에 따른 성능 분석

방사방향 영구자석에 태퍼링을 적용하면 릴럭턴스의 변화를 줄이는 것이 가능하여 코깅토크를 저감하는 것이 가능하다. 그림 4는 방사방향 영구자석에 태퍼링을 적용하기 위한 변수를 나타낸다. 회전자 중심과 이격거리 D_Tap을 증가시킴에 따라서 영구자석 외경에 태퍼링이 크게 적용된다. 그림 5에서 목표사양을 만족시키는 변수 50mm를 선택한 것을 확인 가능하다.



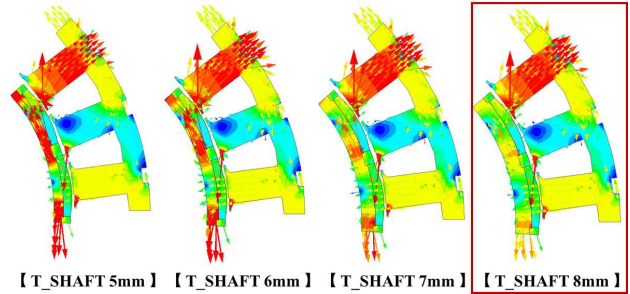
〈그림 4〉 회전자 변수 - 방사방향 영구자석



〈그림 5〉 목표사양 분석 - 방사방향 영구자석

2.4 샤프트 두께에 따른 B-Plot 분석

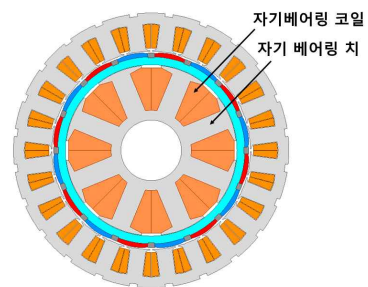
회전자의 샤프트가 포화된다면 고정자의 전류 및 영구자석에 의한 자속이 자기 베어링의 자속에 영향을 미칠 수도 있으므로 샤프트가 포화되지 않는 것이 중요하다. 그림 6은 샤프트의 두께에 따른 자속밀도 분포를 나타내며 샤프트의 자속밀도 포화가 풀리는 8mm의 변수를 선택한 것을 확인 가능하다.



〈그림 6〉 샤프트 두께에 따른 B-Plot 분석

2.5 목표 사양 및 최종 모델 사양 비교

그림 7은 회전자 일체형 모터의 최종 단면을 나타낸다. 중공형 샤프트 내측에 자기베어링을 삽입한 것을 확인 가능하다. 표 2는 목표 사양 및 베어링을 포함한 최종 모델의 사양을 나타낸다.



〈그림 7〉 회전자 일체형 모터 최종 단면

〈표 2〉 목표 사양 및 최종모델의 사양

변수	목표 사양	기존 모델	베어링 결합 최종 모델	단위
토크	247.7	270.27	252.24	N·m
효율	최대	92.21	92.20	%
코깅토크	2	18.67	1.549	N·m
무부하 선간전압 THD	최저	16.99	10.87	%

3. 결 론

본 논문에서는 할바배열을 통하여 자기 베어링이 회전자 내측에서 자기부상을 시키는 회전자 일체형 모터가 제안되었다. 회전자와 자기 베어링 구조의 일체화를 통하여 전체 시스템의 사이즈 상승을 최소화하는 것이 가능하며 광범위한 분야에서 자기 베어링을 사용할 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020R1A4A4079837).

[참 고 문 헌]

- [1] A. Jones, H. Mitterhofer, W. Gruber, and W. Amrhein, "On the high speed capacity of bearingless drives," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 6, pp. 3119 - 3126, Jun. 2014.
- [2] S. Silber, J. Sloupensky, P. Dimberger, M. Moravec, W. Amrhein, and M. Reisinger, "High-speed drive for textile rotor spinning applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 6, pp. 2990 - 2997, Jun. 2014.
- [3] Y. Le, J. Sun, & B. Han, "Modeling and Design of 3-DOF Magnetic Bearing for High-Speed Motor Including Eddy-Current Effects and Leakage Effects," *IEEE Trans on Ind. Electron.*, vol. 63, no. 6, pp. 3656 - 3665, Jun. 2016.