

수소 연료전지 자동차용 초고속 동기전동기의 영구자석 오버행 결정

Overhang Determination of Ultra-high-speed Synchronous Motor for Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle

저자 (Authors)	이정민, 김재현, 김동민, 홍정표, 최규성, 양현섭, 조경석 Jeong-Min Lee, Jae-Hyun Kim, Dong-Min Kim, Jung-Pyo Hong, Kyu Sung Choi, Hyun Sup Yang, Kyung Seok Cho
출처 (Source)	한국자동차공학회 추계학술대회 및 전시회 , 2018.11, 1131-1134(4 pages)
발행처 (Publisher)	한국자동차공학회 The Korean Society Of Automotive Engineers
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07593408
APA Style	이정민, 김재현, 김동민, 홍정표, 최규성, 양현섭, 조경석 (2018). 수소 연료전지 자동차용 초고속 동기전동기의 영구 자석 오버행 결정. 한국자동차공학회 추계학술대회 및 전시회, 1131-1134
이용정보 (Accessed)	한양대학교 166.***.168.122 2019/05/22 10:31 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 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.

수소 연료전지 자동차용 초고속 동기전동기의 영구자석 오버행 결정

이 정 민¹⁾ · 김 재 현¹⁾ · 김 동 민¹⁾ · 홍 정 표^{*1)} · 최 규 성²⁾ · 양 현 섭²⁾ · 조 경 석²⁾한양대학교 미래자동차공학과¹⁾ · 한온시스템 선행부품개발팀²⁾

Overhang Determination of Ultra-high-speed Synchronous Motor for Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle

Jeong-Min Lee¹⁾ · Jae-Hyun Kim¹⁾ · Dong-Min Kim¹⁾ · Jung-Pyo Hong^{*1)}
Kyu Sung Choi²⁾ · Hyun Sup Yang²⁾ · Kyung Seok Cho²⁾¹⁾Department of Automotive Engineering, Hanyang University, 222, Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea²⁾Advanced Component Team, Hanon systems, 95, Sinilseo-ro, Daedeok-gu, Daejeon, Korea

Abstract : This study investigates overhang effect of ultra-high-speed motor for hydrogen fuel cell electric vehicle, and determines the final overhang length. The rotor shaft of ultra-high-speed motor is mainly made of stainless steel material which can be safe from high mechanical stress caused by high rotation speed. However, it is necessary to confirm characteristics of stainless material because it has different mechanical properties depending on the metal structure. In this paper, the rotor of the motor is surface permanent magnet synchronous motor (SPMSM) type, which is composed of shaft which is solid shaft type, permanent magnet and can. Material of the shaft is determined by SUS630, which is safe from the target rotation speed. However, SUS630 has a relatively high magnetic permeability. Therefore, it causes axial direction leakage in the shaft structure of the target model in which the shaft and the PM is attached in the axial direction. To overcome this problem, permanent magnet overhang effect according to changing the overhang length is applied to minimize the decreasing performance caused by the leakage magnetic flux, and is determined to satisfy the output.

Key words : Hydrogen fuel cell electric vehicle(수소 연료전기 자동차), Leakage flux(누설 자속), Overhang(오버행), SPMSM (표면부착형 영구자석 동기 전동기), Ultra-high-speed motor (초고속 전동기)

Nomenclature

s : stator

 F : Magneto-motive force : A L : length, m R : Reluctance, A/Wb

Subscripts

g : airgap

l : leakage

PM : permanent magnet

* 홍정표, E-mail: hongjp@hanyang.ac.kr

1. 서론

증가하는 환경오염 문제로 전 세계적인 배출가스 제약 및 자동차 업계들의 교통수단의 환경 청정화는 피할 수 없는 흐름이 되었다. 친환경 자동차 중 수소 연료전지 자동차(FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle)는 내연기관 대신 수소를 연료로 사용하며 주행 시 환경오염 물질 대신 물을 배출하고 소음이 작다는 장점 때문에 미래 자동차로써 각광받고 있다. FCEV의 고효율화 및 전장품 소형화를 위해서는 차량용 영구자석 동기전동기의 고속화 및 고출력화가 필수적이다. 그중 초고속 동기전동기는 작은 부피와 가벼운 무게를 가지면서도 큰 출력 밀도를 낼 수 있기 때문에 대량의 공기를 필요로 하며 소형화된 형상이 요구되는 차량용 공기 블로워용 전동기로 매우 적합하다.

본 논문의 초고속 전동기 회전자는 중실 축(Solid shaft)을 가지며 구조는 샤프트, 영구자석, 캔으로 구성된 표면 부착형 영구자석 동기전동기(SPM SM: Surface Permanent Magnet Synchronous Motor) 타입이다. 초고속 SPM SM 타입 회전자는 높은 회전속도에 의해 큰 원심력이 발생하여 비산할 가능성이 크므로 주로 기계적 특성이 좋은 스테인레스 철심 재질 SUS를 사용한다. 하지만 스테인레스 철심 재질은 Table 1과 같이 금속조직상에 따라 다른 기계적, 자기적 특성을 가지며, 이에 해당 어플리케이션에 적합한 재질을 사용하여야 한다. 본 논문의 대상 모델 샤프트 재질은 목표 최대 회전속도로부터 안전한 SUS630으로 결정하였다. 그러나 SUS630은 자속이 흐를 수 있는 투자율을 가지는 특성이 있어, 샤프트가 영구자석 축방향에 붙어있는 대상 모델 구조의 경우 축 방향 누설이 발생하게 된다. 이에 회전자에 영구자석 오버행을 적용하여 축방향 누설 자속에 의한 성능 감소를 보완하고, 출력을 만족시킬 수 있는 오버행 길이를 산정한다. Fig 1은 본 논문의 대상모델과 오버행 적용 효과를 보여주며, 축 방향 누설을 설명한다.

Table 1 Stainless steel characteristic

	Yield strength (Mpa)	Relative permeability	Metal structure
SUS410	195	700-1000	마르텐사이트계
SUS430	205	600-1100	페라이트계
SUS304	205	1.02	오스테나이트계
SUS630	1175	133-180	석출경화형

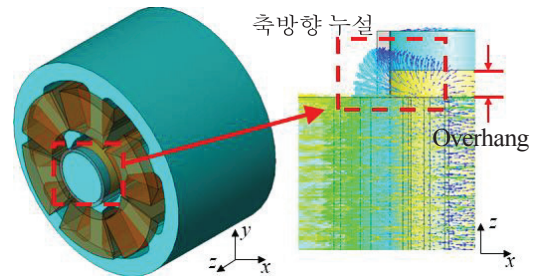


Fig. 1 Overhang effect of initial model and leakage flux path

2. 초기 모델

본 논문에서 다룬 영구자석형 초고속 전동기는 18kW의 출력을 가지며, 최대속도 125krpm의 속도를 가진다. 또한 회전자의 영구자석과 샤프트가 축 방향으로 연결된 대상 모델은 자속의 축방향 누설이 발생한다.

2.1 기존 모델 분석

2.1.1 축방향 누설을 고려한 무부하 해석

대상 모델의 축방향 누설에 의한 영향을 알아보기 위하여 축방향 누설을 고려되지 않는 2D 모델과 축방향 누설이 고려된 3D 모델을 유한요소해석(FEA: Finite Element Analysis)을 통하여 역기전력을 산정한다. 이때, 축방향 누설 고려 여부에 따른 상의 역기전력 그래프는 Fig. 2와 같고, 축 방향 누설에 의한 역기전력 최대 값은 7.70% 감소하게 된다.

2.1.2 축방향 누설을 고려한 부하 해석

Fig. 3은 무부하 해석과 같은 방법을 통한 부하 해석의 출력 결과이다. 축방향 누설 발생 시, 평균 토크가 6.98% 감소함을 확인하였다.

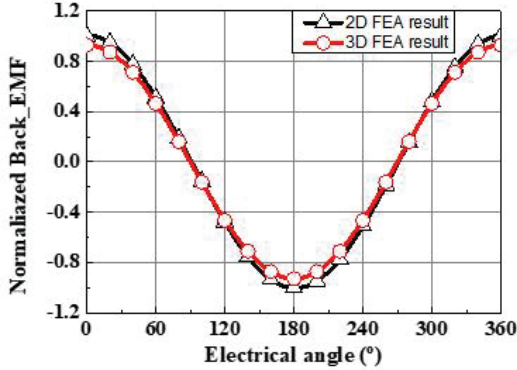


Fig. 2 Back EMF by 2D & 3D FEM

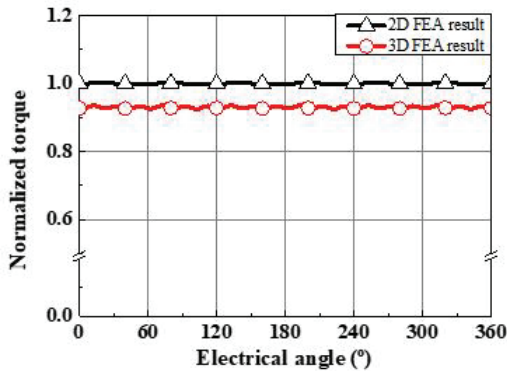


Fig. 3 Torque by 2D & 3D FEM

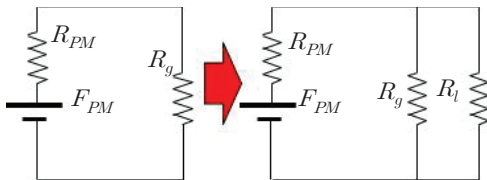


Fig. 4 2D(left) & 3D(right) Equivalent magnetic circuit

3. 오버행 적용

오버행이란 회전자와 고정자 적층길이를 다르게 적용하여 설계하는 방법을 말한다. 대상 모델은 회전자 구조에 의하여 축 방향 누설이 발생하기 때문에 자석 축방향 길이를 고정자 적층 길이보다 길게 설계하여 코일에 채교하는 자속을 증가시키고 누설에 의한 영향을 보완한다.

3.1 오버행 길이 결정

Fig. 4은 대상 모델의 등가 자기회로이고 철심 저항 성분은 무시한다. 대상 모델의 2D 등가 자기회로는 Fig. 4(왼쪽)으로 표현할 수 있으나, 축방향 누설을 고려한 3D 모델은 Fig. 4(오른쪽)와 같이 축방향 누설 경로가 포함된다. 이에 출력을 만족하지 못하게 되므로, 본 논문에서는 이를 보완하기 위해 오버행을 적용한다.

Fig. 5는 영구자석 오버행을 적용하였을 때, 역기전력이 증가하는 경향을 보여준다. Fig. 5에서 대상 모델의 축방향 누설이 발생하지 않았을 때와 역기전력이 동일한 오버행 비율은 1.09이고, 이를 오버행 적용 비율로 결정한다.

3.2 오버행 적용 결과

Fig. 6는 축방향 누설이 고려되지 않은 2D 모델과 축방향 누설이 고려된 3D 모델 그리고 결정된 오버행 비율을 적용한 3D 모델의 역기전력 그래프이다. 이때, 축방향 누설이 발생하더라도 오버행을 적용한다면, 역기전력 최대 값의 오차는 7.70%에서 0.09%로 감소한다. 동일한 모델들을 부하해석을 통해 출력을 검토했을 때 그래프는 Fig. 7과 같으며, 평균토크의 오차는 6.98%에서 0.05%로 감소한다.

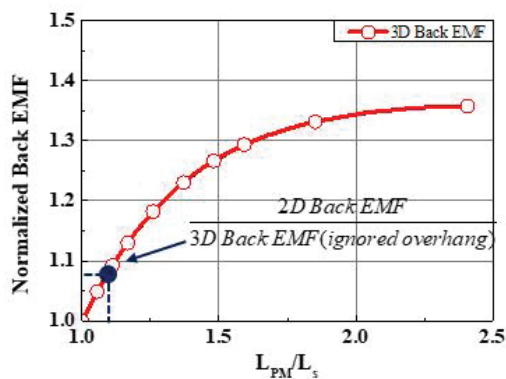


Fig. 5 Normalized Back EMF according to overhang

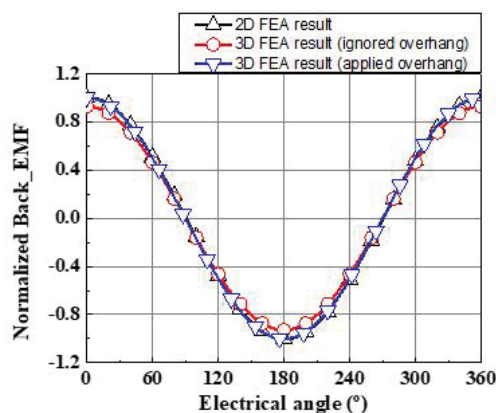


Fig. 6 Back EMF of 2D & 3D & equivalent 3D by overhang

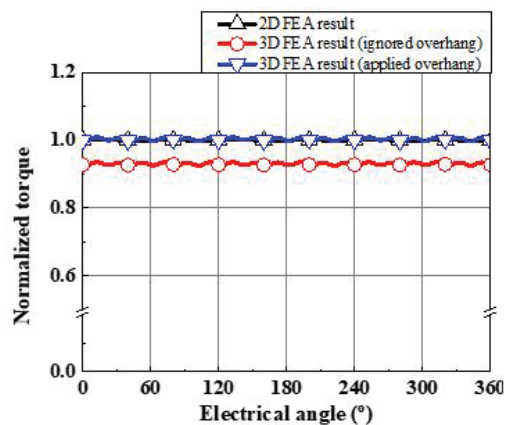


Fig. 7 Torque of 2D & 3D & equivalent 3D by overhang

4. 결론

본 논문의 대상 전동기는 초고속 동기전동기로 높은 회전속도에 의하여 발생하는 큰 기계적 응력을 받는다. 이에 기계적 응력을 보완할 수 있는 스테인레스 재질을 사용하였으나, 상대적으로 높은 투자율을 가진다. 본 논문의 회전자 구조는 영구자석이 축방향에 붙어 있어 누설이 발생하므로 출력을 만족시키기 위하여 오버행을 적용하였다. 본 논문에서 2D 모델과 3D 모델의 유한요소해석을 통하여 역기전력을 산정하였으며, 이를 지표로서 오버행 길이를 결정하였다. 대상 모델의 축방향 누설을 보완할 수 있는 고정자 대비 영구자석 오버행 비율은 1.09이며, 이를 오버행 비율로 결정하였다. 오버행 적용 시, 역기전력 최대 값의 오차는 7.70%에서 0.09%로 감소하였으며, 부하 시 평균토크의 오차는 6.98%에서 0.05%로 감소하였다.

Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “수소연료전지차 부품실용화 및 산업기반육성사업” (과제번호 R0006468) 으로 수행된 연구결과입니다.

References

- 1) Jaewoo Jung, Hyungil Park, Jaeseop Yoon, Hamin Jung, Hoon Yeo, Jung-Pyo Hong, “Design of Surface Mounted Permanent Magnet Synchronous Motor using 2-Dimensional FEA considering Axial Leakage Flux“, KSAE Conf., 1172-1179, 2017.
- 2) Sang-Ho Lee, Ji-Young Lee, Hyuk Nam, Jung-Pyo Hong, Jin Hur, Ha-Kyung sung “3-D Core Loss Calculation in BLDC Motor having Overhang made of SMC Material“, KIEE conf., 1043-1045, 2004
- 3) Jae-Woo Jung, Hyung-il Park, Jung-Pyo Hong, Byeong-Hwa Lee, “A Novel Approach for Electromagnetic Field Analysis of Surface-mounted Permanent Synchronous Motor taking into Account Axial End Leakage Flux“, KIEE conf., 675-676, 2017.
- 4) Pranshu Upadhayay, K.R. Rajagopal, “Permanent Magnet Overhang Effect in PM BLDC motor using 2D & 3D Finite Element Analysis“, NUiCON, 2012.