



2011 한국자동차공학회 부문종합 학술대회

기간 _ 2011. 5. 19(목) ~ 21(토)

장소 _ 라마다프라자 제주호텔



- 엔진 부문
- 배기 및 환경 부문
- 새시 및 차량동역학 부문
- 전기 & 전자시스템 · ITS 부문
- 차체 및 안전 부문
- 생산 및 재료 부문
- 전기 동력 자동차 부문
- 자동차 기술교육 및 스포츠 부문
- 철도차량 연구회
- 이륜차 연구회
- 표준화 위원회



사단법인 한국자동차공학회
The Korean Society of Automotive Engineers

2328 연료전지 스택 배열을 활용한 CO₂ 난방 시스템 성능 특성에 관한 실험적 연구

이호성*(자동차부품연구원), 원종필(자동차부품연구원), 조중원(자동차부품연구원),
이무연(자동차부품연구원), 정영철(자동차부품연구원), 모지환(자동차부품연구원),
김용찬(고려대학교)

2334 운전조건에 따른 고분자 전해질 연료전지의 성능 예측 모델링

지영광*(과학기술연합대학원대학교), 손영준(한국에너지기술연구원),
박구곤(한국에너지기술연구원), 김민진(한국에너지기술연구원)

2339 NEV구동용 영구자석 매입형 동기전동기 특성해석

김영균*(전자부품연구원), 이정중(전자부품연구원), 유세현(전자부품연구원),
정인성(전자부품연구원), 장정철(뉴모텍)

2342 농용 다목적 차량용 영구자석 전동기의 설계에 관한 연구

서정무*(전자부품연구원), 김정환(전자부품연구원), 김영균(전자부품연구원),
정인성(전자부품연구원), 정현교(서울대학교)

2347 온라인전기자동차 개발

신은경*(한국과학기술원), 양기선(한국과학기술원), 이준호(한국과학기술원),
서인수(한국과학기술원)

2351 전기 버스의 감속비 최적화를 위한 주행 성능 시뮬레이션 분석

신창우*(서울대학교), 정종렬(서울대학교), 임원식(서울과학기술대학교),
차석원(서울대학교), 이춘범(자동차부품연구원)

2355 EV 구동용 매입형 영구자석 전동기의 역기전력 개선 설계

이정중*(전자부품연구원), 유세현(전자부품연구원), 김영균(전자부품연구원),
정인성(전자부품연구원)

2358 HVAC System Power Consumption and Temperature Control Algorithm For OLEV[®] Application

정상훈*(한국과학기술원), 신은경(한국과학기술원), 이준호(한국과학기술원),
서인수(한국과학기술원)

2363 전기 자동차의 시뮬레이션 연구

정준화*(서울대학교), 신창우(서울대학교), 김규식(서울대학교), 이봉현(자동차부품연구원),
임원식(서울과학기술대학교), 강상욱(한성대학교)

2367 납축전지와 리튬전지에 의한 전기모터 출력특성 분석 연구

최재화*(자동차성능연구소), 이광범(자동차성능연구소), 최동석(자동차성능연구소),
김광일(자동차성능연구소), 용기중(자동차성능연구소)

2371 최적타이어 힘분배를 이용한 독립 조향 4륜구동 전기차량의 선회 운동 향상

최주영*(한양대학교), 김창준(한양대학교), 김동형(한양대학교), 김상호(한양대학교),
최민석(한양대학교), 한창수(한양대학교)

2378 토크 향상을 위한 매입형 영구자석 전동기 치와 요크의 형상최적설계

오세안*(한양대학교), 민승재(한양대학교), 홍정표(한양대학교)

토크 향상을 위한 매입형 영구자석 전동기 치와 요크의 형상최적설계

오세안^{*1)} · 민승재^{**1)} · 홍정표¹⁾

한양대학교 자동차공학과¹⁾ · 한양대학교 미래자동차공학과²⁾

Shape Optimization of Tooth and Yoke in Interior Permanent Magnet Motor for Maximizing Torque

Seahn Oh^{*1)} · Seungjae Min^{**2)} · Jung-Pyo Hong²⁾

¹⁾ Department of Automotive Engineering, Hanyang University, 17, Haengdang-dong, Sungdong-gu, Seoul 133-791, Korea

Abstract : Interior permanent magnet(IPM) motor has been widely used in the automotive industry and it needs high torque performance due to the limitation of the hybrid or electrical vehicle battery capacity. Torque can be improved by adjusting the tooth and yoke and it can be defined as shape optimization problem. Previous researches are restricted to the parametric optimization so that it cannot produce the innovative design. This paper proposes the optimal shape of tooth and yoke using level set-based optimization method since it provides flexibility to represent boundaries. The material properties of ferromagnetic material and coil current are defined by level set function with Heaviside function. The optimization problem is formulated to maximize the torque under the material usage constraint and the shape boundaries are moved by the normal velocity derived from the optimality condition. To validate the proposed method, it is applied to the traction motor design of the hybrid vehicle and produced the innovative configuration.

Key words : Level Set Based Shape Optimization(레벨셋기반 형상최적설계), IPM Motor(매입형 영구자석전동기), Yoke(요크), Tooth(치), Torque(토크)

1. 서 론

IPM(interior permanent magnet) 전동기는 릴럭턴스(reluctance) 토크와 마그네틱(magnetic) 토크를 동시에 이용하여 다른 전동기에 비해 효율과 토크 밀도가 높고 약계자 제어를 통해 넓은 속도 영역을 제공하기 때문에 다양한 산업기기의 구동용 전동기로 사용하고 있다. 특히, 하이브리드(hybrid) 자동차나 전기(electrical) 자동차에 사용되는 전동기는 제한된 배터리의 용량 하에서 최

대한의 주행거리를 확보해야 하기 때문에, 토크 성능을 높이기 위한 연구가 필요하다.^{1),2)}

전동기의 토크는 초기 설계단계에서 결정할 수 있는데 설계 시 치와 요크의 형상을 결정하는 것은 자속의 흐름을 균일하게 하여 최대의 토크를 확보하는데 중요한 역할을 한다. 따라서 선행 연구에서는 등가 자기 회로를 이용한 파라메트릭(parametric) 최적화 문제로 치와 요크의 치수를 설계하는 연구를 수행하였다.^{3),4)}

그러나 파라메트릭 최적설계는 치수만을 고려하기 때문에 혁신적인 최적 형상을 도출하기에는 한계가 있다. 레벨셋법은 높은 자유도의 형상을 표현할 수 있는 장점이 있으므로 파라메트릭 최적 설계

* 발표자: long770@naver.com

** 교신저자: seungjae@hanyang.ac.kr

와는 달리 다양한 형상을 설계할 수 있다. 본 논문에서는 IPM 전동기의 토크를 향상시키기 위해 레벨셋법을 이용하여 최적 형상을 설계하는 방법을 제안한다.

2. 최적설계 문제 정식화

레벨셋 기반 형상최적화에서는 음함수로 정의되는 레벨셋 함수(ϕ)를 부호화된 거리함수로 정의하여 물질 영역을 구분하고 히비사이드(Heaviside, H) 함수를 이용하면 코일의 전류밀도(\mathbf{J})와 강자성체의 비투자율(μ_r)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{J}(\phi(\mathbf{x})) = \mathbf{J} \cdot H(\phi(\mathbf{x})) \quad (1)$$

$$\mu_r(\phi(\mathbf{x})) = (\mu_r - 1)H(\phi(\mathbf{x})) + 1 \quad (2)$$

IPM 전동기 회전자를 이동시켜 정자계 유한요소 해석을 수행하면 다음과 같이 정의된 맥스웰 응력 텐서(Maxwell stress tensor)를 이용하여 위치별로 토크를 계산할 수 있다.

$$\mathbf{T}(\phi(\mathbf{x})) = \int_s \left(\mathbf{r} \times \frac{1}{\mu_0 \mu_r(\phi(\mathbf{x}))} \left((\mathbf{B} \cdot \mathbf{n}) \mathbf{B} - \frac{1}{2} B^2 \mathbf{n} \right) \right) \cdot \mathbf{n} dS \quad (3)$$

여기서 s 는 회전자의 표면, μ_0 는 공기의 투자율, \mathbf{r} 은 회전자의 반지름, \mathbf{B} 는 자속 밀도, 그리고 \mathbf{n} 은 회전자 표면의 단위 법선벡터를 의미한다.

계산된 토크(T)를 목적함수로 설정하고 재료량 제한조건을 추가하여 다음과 같이 최적설계 문제를 정식화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} &\text{Find} \quad \{\mathbf{x}(t) | \phi(\mathbf{x}(t), t) = 0\} \text{ to} \\ &\text{maximize} \quad T(\phi(\mathbf{x})) \\ &\text{subject to} \quad \int_{\Omega} H(\phi(\mathbf{x})) d\Omega - g_c \leq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 g_c 는 사용하는 재료량을 의미한다.

최적 형상을 도출하기 위한 경계의 이동 방향과 속도는 목적함수와 제한조건의 설계민감도를 이용하여 법선 방향으로 정의하기 때문에 레벨셋 함수의 경계는 최적 조건을 만족하는 방향으로 진전된다.

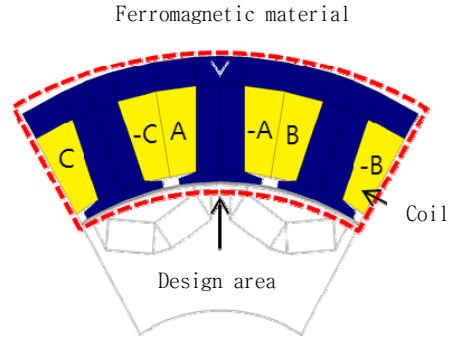


Fig. 1 Reference design

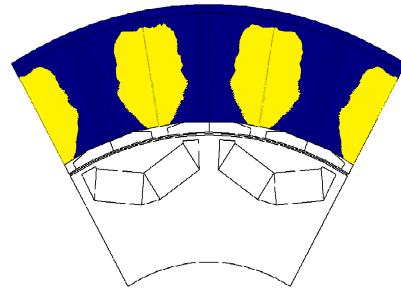


Fig. 2 Optimal design

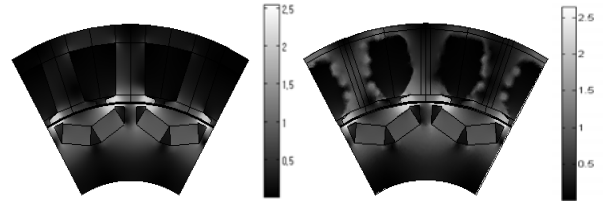


Fig. 3 Magnetic flux plot: (a)Reference design
(b)Optimal design

3. 설계 예제

설계 대상은 12극 18슬롯의 20 kW 급 IPM 전동기로 초기 형상은 Fig. 1 과 같고 설계 영역으로 치끝부분을 제외한 고정자 부분을 설정하였다. 해석 모델은 전체모델의 1/6을 사용하였고 최적설계 문제의 재료 사용량은 기존 모델의 강자성체 면적과 동일한 값으로 고정하여 동일한 코일 면적이 유지되도록 설정하였다.

최적설계의 결과 고정자의 형상은 Fig. 2 와 같으며 요크는 두께에 비해 자속의 흐름이 적어 두께가 얇아졌고, 치는 두께에 비해 자속의 흐름이 많아

두꺼워진 것으로 판단할 수 있다.

그 결과 Fig. 3 과 같이 기존 모델은 치의 끝 부분에 많은 자속이 집중되어 분포하는 반면 최적화된 형상에서는 치와 요크에 상대적으로 균일한 자속이 분포하는 것을 확인하였다.

4. 결 론

토크 향상을 위해 IPM 전동기의 치와 요크의 형상 최적설계를 레벨셋법을 이용하여 수행하였고 최적설계의 결과로 토크를 향상시키는 형상을 도출할 수 있었다. 최적화된 모델의 평균 토크는 77.2 Nm 로 기존 모델의 토크인 62 Nm 보다 약 24.5% 향상되었다.

References

- 1) J. Kwack, and S. Min, “Structural Optimization of Interior Permanent Magnet Motor for Torque Ripple Reduction Considering Speed Range” , KSAE 2009 Annual Conference, KSAE09-A0512, 2009
- 2) S. Park, S. Min, and J. P. Hong, “Optimal Flux Barrier Design of Interior Permanent Magnet Motor for Torque Ripple Reduction considering Magnetic Force” , KSME 2010 Annual Conference, pp.872-874, 2010
- 3) H. J. Kim, S. O. Kwon, J. G. Lee, T. Sun, and J. P. Hong, “Optimal design for tooth and yoke width of distributed winding motor for maximum output” , KIEE 2009 Annual Conference, pp.816-817, 2009
- 4) D. J. Kim, S. O. Kwon, J. P. Hong, and H. Nam, “Optimal Design of Tooth and Yoke Width Using Equivalent Magnetic Circuit in Concentrated Winding Motor” , KIEE 2009 Annual Conference, pp. 869-870, 2009