

토크 최대화를 위한 유도모터의 도체바 형상 최적화

이 거 레¹⁾ · 민 승 재^{*2)} · 홍 정 표²⁾

한양대학교 대학원 자동차공학과¹⁾ · 한양대학교 기계공학부/자동차공학과²⁾

Shape Optimization of Conductor in Induction Motor For Torque Maximization

Gyeorye Lee¹⁾ · Seungjae Min^{*2)} · Jungpyo Hong^{*2)}

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

^{*2)} School of Mechanical Engineering/Department of Automotive Engineering, Hanyang University, 17 Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea

Abstract : Motors using permanent magnet widely used for a power source of hybrid vehicle but nowadays lack of supplying of rare earth resources occurs cost increasing problem. Thus there are many efforts to substitute non-permanent magnet motor with permanent magnet motors and most of all squirrel cage type induction motor is announced for an alternative. A conventional approach for induction motor optimization problem is changing rotor conducting bar's shape based on parameter optimization. However, with this technique, shape change and motor performance between initial and optimized model is not large different. Using Level-set method boundary of shape moves by sensitivity of objective function thus the optimized shape is different than parameter optimization result. In this paper, Level-set method applied to Squirrel Cage Induction Motor's conducting bar for a power source of hybrid vehicle to maximize torque at operating region. To validate proposed method, compare the flux density at each angle of rotor, mean flux density at air gap and torque between optimized model and initial model.

Key words : Induction Motor(유도모터), Shape Optimization(형상 최적화), Rotor(회전자), Conducting Bar(도체바), Torque(토크)

1. 서 론

차량 구동용 모터에는 소형화가 가능하고 크기대비 출력이 높고 효율이 좋은 영구자석형 모터가 광범위하게 사용되고 있지만, 최근 희토류 금속의 수급문제로 제조원가 상승이 예상된다. 이에 반해 유도모터와 같은 비영구자석형 모터를 이용하여 제조원가를 낮추고 크기를 줄이면서 요구출력을 만족시키는 연구가 지속되어 왔다.

유도모터는 크게 농형 유도모터와 권선형 유도모터로 나뉘는데 농형 유도모터의 경우 권선형 유도모터에 비해 유지 및 보수에 유리해 더 많이 사용한다.

따라서 농형 유도모터의 회전자 또는 고정자의 형상 설계를 이용하여 출력을 높이는 연구가 진행되어 왔지만 그 중에서도 회전자 도체바의 형상 변화를 이용하여 설계하는 방법이 가장 용이하여 이와 관련된 연구가 많이 이루어졌다. 하지만 앞선 연구^{1), 2)}들은 대체로 매개변수를 이용하여 도체바의 형상을 최적화 하였기 때문에 기존에 설계된 형상과 큰 차이점이 없었다.

따라서 본 논문에서는 레벨셋 함수를 설계변수로 하는 레벨셋 모델을 도체바 형상 설계에 적용하여 매개변수를 이용한 최적화 기법에 비해 형상 변화가 큰 회전자 도체바의 형상을 제안하였다.

2. 문제 정식화

* 이거레, E-mail: grlee@hanyang.ac.kr

2.1 레벨 셋 모델

회전자의 도체바와 강자성체의 분포를 표현하기 위해 레벨셋 함수를 이용하여 도체바(Ω_{Al}) 영역과 강자성체(Ω_{Fe}) 영역으로 구분하였다.³⁾

$$\begin{cases} \phi(x) > 0 & x \in \Omega_{Al} \\ \phi(x) = 0 & x \in \partial\Omega \\ \phi(x) < 0 & x \in \Omega_{Fe} \end{cases} \quad (1)$$

비선형 강자성체의 물성을 나타내기 위해 비투자율을 사용하였으며 아래와 같이 나타내었다.³⁾

$$\mu(\phi, B) = \mu_{Al} H(\phi) + \mu_{Fe} (B)(1 - H(\phi)) \quad (2)$$

여기서 μ_{Al} 는 알루미늄 도체바의 저항률이고, μ_{Fe} 는 강자성체의 저항률이다.

2.2 정식화

최적화 대상인 하이브리드 자동차 구동용 50kW급 농형 유도모터의 구동영역 slip=0.032 에서의 토크를 최대화 하기 위해 다음의 지배방정식에서 slip을 고정하였다.

$$\nabla \times \left[\frac{1}{\mu_0} (\nabla \times \vec{A}) \right] + j\omega \sigma \vec{A} = \frac{\sigma \Delta V}{d} \quad (3)$$

위의 식에서 μ_0 는 진공상 상태에서 투자율을 뜻하고 \vec{A} 는 벡터 포텐셜을 ω 는 인가된 전원의 주파수에 따른 각속도를 σ 는 도체바의 도전율을 그리고 ΔV 는 도체바에 유도된 포텐셜 차이를 뜻한다.

평균토크를 최대화 하는 목적 함수와 도체바 사용량을 제한하는 최적화 문제를 정식화 하였다.

$$\begin{aligned} & \text{Find } \{x(t) | \phi(x(t), t) = 0\} \text{ to} \\ & \text{maximize mean Torque} \\ & \text{subject to } g = \int_{\Omega} H((\phi)) d\Omega \leq V_0 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 V_0 는 목표 재료 량을 뜻한다.

3. 설계 예

해석 모델은 Fig. 1과 같이 주기적 경계조건을 적용한 절반 모델을 사용하였고, 알루미늄 도체바의

전도율은 엔드링의 저항을 고려하여 산정하였으며, 고정자 권선 부분에 상당 전압 100V를 3상으

로 입력⁴⁾하고 상당직렬 턴수를 고려한 실제 저항을 산정하여 도전율을 수정하였다.

기존 모델에서 회전자 아랫쪽 부분에 국부적으로 자속이 포화되는 구간이 존재하여 이를 막기 위해 도체바의 사용량을 기존 모델의 60%로 설정한 후 최적화를 진행하였으며, 그 결과는 Fig. 2(b)와 같이 원형의 도체바가 로터의 브릿지 부분에 접하면서 브릿지 근처 모서리부분에서 모따기 형상이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이런 형상은 고속영역에서 자속이 로터 내부에서 국부적으로 포화가 일어나지 않게 하여 자속이 골고루 분포하게 하며 또한 공극 자속 밀도를 높인다.

Fig. 3은 초기설계(Fig. 2(a))와 최적형상의 회전각에 따른 자속밀도 값을 비교한 결과로 최적화된 형상이 공극에서 대체로 높은 자속밀도 값을 나타내는 것을 알 수 있으며, 공극영역에서의 평균 자속 밀도와 평균 토크는 Table 1에 정리하였다.

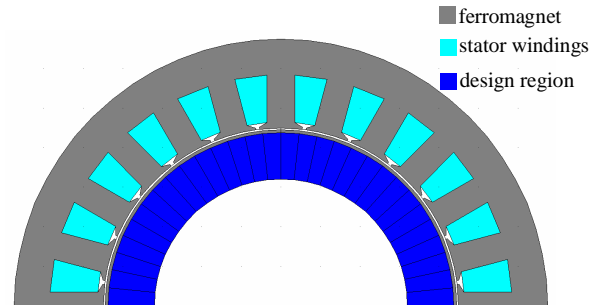


Fig. 1 Design region

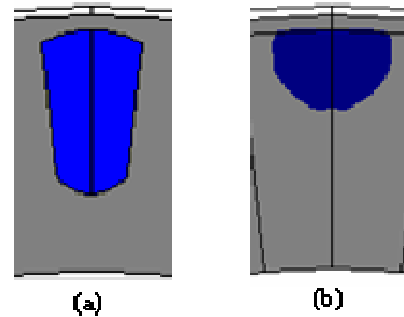


Fig. 2 Conductor bar design : (a) initial, (b) optimal

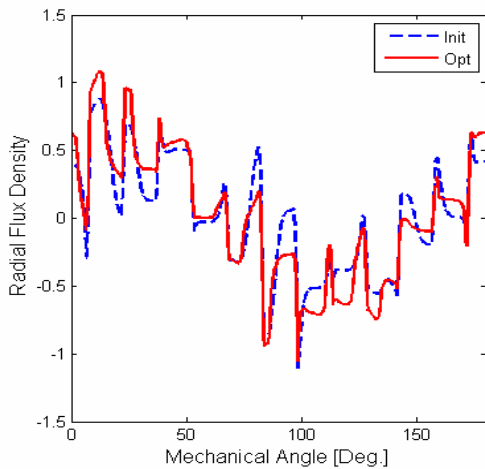


Fig. 3 Magnetic flux density at each degree

Table 1 Result Comparison

| | Mean Flux Density in Air Gap[Wb/m] | Mean Torque [Nm] |
|----------------|------------------------------------|------------------|
| Initial Design | 0.5488 | 124.893 |
| Optimal Design | 0.6340 | 164.403 |

4. 결 론

레벨셋 함수를 이용하여 유도모터의 토크를 최대화 할 수 있는 도체바의 형상 최적설계를 수행하였다. 기존 설계에 비해 알루미늄의 사용량을 40% 줄이면서도 최대토크를 32% 증가시키는 다른 형태의 도체바 형상을 찾아 목적함수에 부합하는 것을 확인하였으며 제안한 설계 기법이 농형 유도모터의 도체바 형상 설계에 적용이 가능하다는 것을 확인하였다.

References

- 1)S. Williamson and C. I. McClay. "Optimization of the Geometry of Closed Rotor Slots for Cage Induction Motors", IEEE Transactions on Industry Applications, vol.32, no.3,pp.560-568,1996
- 2)T-B. Kim and B.-I. Kim "Shape Optimization of Cage

Rotor Slot for Inverter-Fed 2-Phase Induction Motor", The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers B, 50B(11), 539-545, 2001

- 3)J. Kwack, S. Min and J.-P. Hong, "Optimal Stator Design of Interior Permanent Magnet Motor to Reduce Torque Ripple Using the Level Set Method", Magnetics, IEEE Transactions on, 46,6,2010
- 4)Williamson, S. and Ralph,J.W, "Finite-Element Analysis of an Induction Motor Fed from a Constant-Voltage Source", Electric Power Applications, IEE Proceedings B, vol.130,no.1,pp18-24,1983