

보조극을 가지는 자동차 시동용 전동기의 특성분석

하재평, 하경호, 홍정표, 조재옥, *김진구, **송재홍
 창원대학교 전기공학과, * (주)카스코, ** (주)삼성테크윈

Characteristic Analysis of Automotive Starter Motor with auxiliary Pole Core

Jae-Pyeong Ha, Kyeong-ho Ha, Joung-Pyo Hong, Jae-Ok Jo,
 *Jin-Gu Kim, **Jae-Hong Song
 Department of Electrical Engineering, Changwon National University,
 *Korea Automotive System Co.,LTD, **Samsung Techwin Co.,LTD

Abstract - This paper presents the characteristic analysis by changing the shape and position of auxiliary pole core for Automotive stater motor. The brush contact resistance and mechanical loss calculated from the experimental data are used in characteristic analysis. The Finite Element Analysis Method(FEM) and 3D Equivalent Magnet Circuit Network(EMCN) are used for analysis. The validity of the proposed methods are verified by comparison of analysis results and experimental ones.

1. 서 론

자동차 시동용 전동기(Starter Motor)에 있어서 기존의 계자권선형 전동기를 영구자석 계자형으로 대체할 뿐만 아니라 보조극을 채택하여 유효자속량을 더욱 증가시켜 성능 향상에 기여함으로써 단위체적당 출력을 증대시켜 소형 경량화를 실현하고 있다.[1] 그러나, 지금까지 보조극이 자기회로에 미치는 영향에 대한 정확한 연구가 미흡하여 시행착오적인 제작으로 보조극을 설계하고 있다. 그러므로, 자동차 시동을 위한 부하 사양을 만족하는 우수한 전동기를 설계하기 위해서는 정확한 해석 기법을 바탕으로 한 보조극의 설계가 필요하다.

본 논문에서는 자동차 시동을 위한 구동원으로 보조극을 가지는 0.9[kW] 영구자석 계자형 직류전동기를 대상으로 보조극의 파라미터 변화가 전동기의 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

본 전동기의 구조는 3차원 전자계 해석이 요구되지만 구조적 특성을 반영한 효율적인 2차원 해석기법을 이용하여 특성해석을 수행하였으며 양산품의 실험치와 비교분석 함으로써 해석기법의 타당성을 검증하고 신뢰성을 확보하였다. 해석모델에서 계자요크는 포화현상을 고려하여 등가단면적으로 보정하였으며, 영구자석의 길이와 전기자 축방향의 길이가 다름으로써 나타나는 오버행 효과(Overhang effect)는 3차원 등가자기회로망법(3D Equivalent Magnetic Circuit Network : 3D EMCN)을 통해 오버행 계수를 산정하여 2차원 유한요소해석을 보정하였다.[2]

본 해석 기법으로 보조극이 전동기의 전자기 현상에 미치는 영향을 분석하였으며 보조극의 파라미터 변화에 따른 특성 해석으로부터 성능을 향상시키기 위한 보조극의 위치와 치수를 제시하였다.

2. 본 론

2.1 해석모델 및 사양

본 해석대상은 6극 30슬롯을 가지는 0.9[kW] 영구자석 계자형 직류전동기로 그림 1과 같이 보조극이 각 영구자석의 측면에 위치하고 있으며, 영구자석, 계자요크 및 전기자의 축방향 길이가 각각 다른 구조이다.

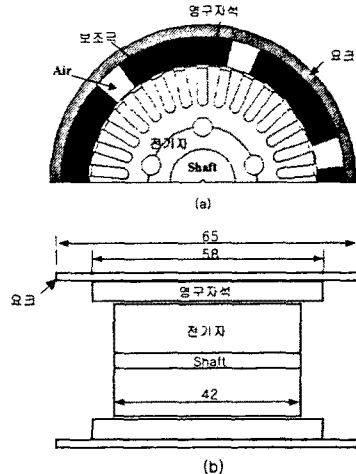


그림 1. 시동용 직류 전동기의 형상
 Fig 1. Configuration of Starter Motor

2.2 파라미터의 추출

브러시 취부형 직류 전동기에 대한 브러시 접촉저항 및 손실을 추출하기 위한 과정을 그림 2와 그림 3에 나타내었다.[3]

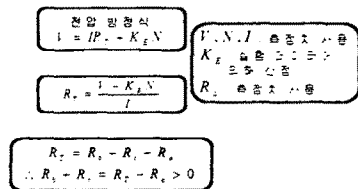


그림 2. 브러시 접촉저항 산정
 Fig 2. Calculation of brush contact resistance

$$P_m = P_{out} - P_{cst} - P_{mech} \quad P_{in} = VI, \quad P_{cst} = \omega_r T_{cst}$$

$$T = J \frac{d\omega_r}{dt} - \omega_r D + T_{cst} \quad J \frac{d\omega_r}{dt} = 0 \text{ 정상상태인 회전자 속도 변화 없음}$$

$$P_{cst} - P_{out} = P_{cst} - P_{out} \quad T_{cst} \quad \omega_r \text{ 회전자 속도}$$

$$P_{cst} = I^2 R_b \quad T \quad \text{전동기 손실}$$

$$P_{cst} = \omega_r T - \omega_r T_{cst} = \omega_r^2 D$$

$$\omega_r^2 D + I^2 R_b = \Delta P = P_m - P_{cst}$$

그림 3. 손실 파라미터의 산정
 Fig 3. Calculation of loss parameters

그림 4는 시험 전동기를 다이내모미터로 측정한 특성 곡선을 나타낸다. 이 특성곡선을 근거로 토크상수와 역기전력상수를 산정하여 브러시의 접촉저항, 기계손실 등 같은 제반 파라미터를 추출하게 된다. 표 1에서 나타난 결과와 같이 실험치에 의해 계산된 토크상수는 유한요소해석으로 구한 결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 이 토크상수는 영구자석 여자에 기인한 발생토크와 보조극의 배치에 따른 유효자속의 증가로 발생하는 토크성분을 포함하고 있으므로 역기전력상수와와의 변환관계가 성립하지 않는다. 따라서, 역기전력상수는 유한요소 해석으로부터 계산된 수치를 이용하여 파라미터를 추출하였다.

그림 5는 역기전력상수로부터 추출된 브러시 및 전기자 전체저항에서 속도에 상관없이 항상 일정한 값을 가지는 전기자 저항 $9.579 [m\Omega]$ 을 뺀 브러시 저항의 변화와 전기자 저항에 의한 동손의 변화를 도기한 것이다.

그림 6은 부하의 변화에 따른 역기전력과 저항(브러시 + 전기자)의 전압강하를 계산한 것으로 두 성분을 합산한 것이 입력전압과 동일함을 알 수 있다.

그림 7은 유한요소해석으로부터 산정된 토크에 그림 3에서 추출된 기계적 손실을 반영하여 유효토크 성분을 실험치와 비교한 것으로 거의 유사한 토크특성을 얻을 수 있었다. 이의 결과로부터 본 논문에서 제시된 3차원 현상을 고려한 2차원 유한요소해석의 타당성을 검증하였다.

표 1. 토크 및 역기전력 상수
Table 1. Torque and back EMF constant

실험치	이론치	
토크상수 (N·m/A)	토크상수 (N·m/A)	역기전력상수 (V/rpm)
0.02881	0.02881	0.01543

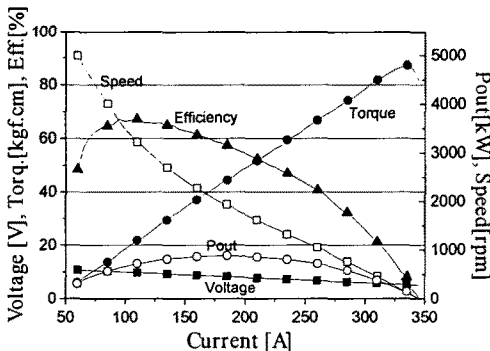


그림 4. 출력 특성 곡선(실험치)
Fig 4. Output characteristics curve (experimental value)

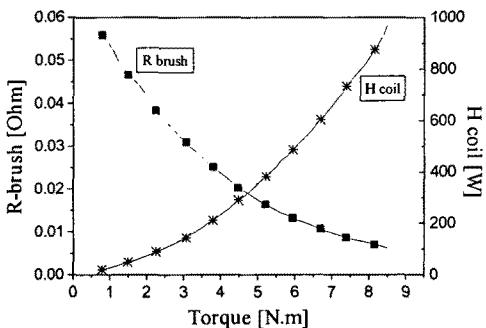


그림 5. 브러시 접촉저항 및 전기자 저항 손실
Fig 5. Brush contact resistance and armature resistance loss

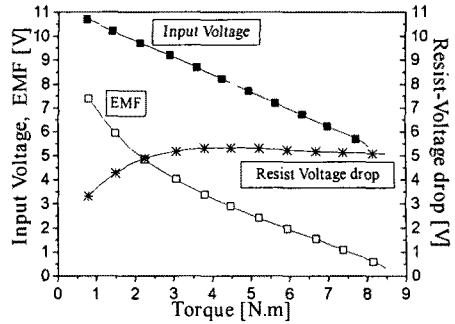


그림 6. 역기전력 및 전압강하
Fig 6. Back EMF and voltage drop

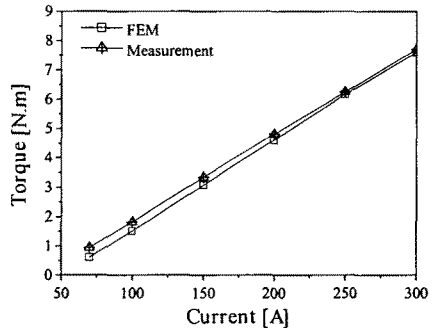


그림 7. 실험치와 해석치의 토크 비교
Fig 7. Torque comparison of experiment and analysis results

2.3 보조극에 따른 특성 변화

2.3.1 보조극의 유무에 따른 특성 변화

전기자에 흐르는 전류가 지면으로 들어가는 -z축 방향이고 영구자석의 자화방향이 y축일 때 전기자는 시계방향으로 회전하게 된다. 이때 고정자의 영구자석 측면에 부착된 보조극이 전동기의 특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다음과 같은 세 가지 경우에 대해 분석해 보았다.

- 가. 보조극이 전기자 회전방향에 놓인 경우 (Pole position left, CW)
- 나. 보조극이 전기자 회전방향의 반대방향에 놓인 경우 (Pole position right, CCW)
- 다. 보조극이 없는 경우(Without pole)

그림 8은 각 경우에 대한 자속밀도의 Normal 성분을 비교한 것으로 보조극이 회전방향에 놓인 경우 영구자석에 의한 자속의 방향과 전기자 전류에 의하여 생성된 자속의 방향이 동일한 방향 성분을 가진다. 그러나, 보조극이 회전방향의 반대에 위치하는 경우 보조극을 차로 통과하는 자속의 방향이 반대가 됨으로써 전자의 경우에 비하여 평균자속밀도는 감소하게 된다.

그림 9는 각 경우에 대하여 전류 변화에 따른 토크 특성 변화를 비교한 것으로 보조극이 회전방향에 놓인 경우 가장 큰 토크가 발생하며 보조극이 회전 방향의 반대에 위치한 경우 토크를 감소시키고, 특히 전류가 증가할수록 보조극에 기인한 발생토크는 현저히 감소한다.

그림 10은 보조극이 회전방향에 놓인 경우 전류의 증가에 따른 공극자속밀도의 변화를 비교한 것으로 전류가 증가할수록 철심의 포화 때문에 보조극을 통과하는 자속량이 비선형적으로 증가함을 보인다.

따라서, 보조극은 전기자 전류에 의하여 생성된 자속의 차를 역할을 함으로써 유효 자속을 증가시켜 구동토크를 증가시킬 뿐만 아니라 기동시 전기자 전류의 증가

에 따른 자로의 경로를 제공함으로써 영구자석의 감자를 방지하는 역할도 겸하고 있다.

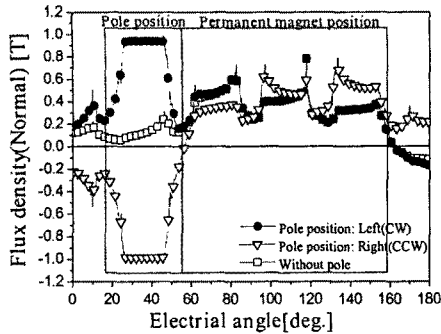


그림 8. 보조극의 유무에 따른 공극자속밀도 비교(Bn)
Fig 8. Airgap flux density for pole core position

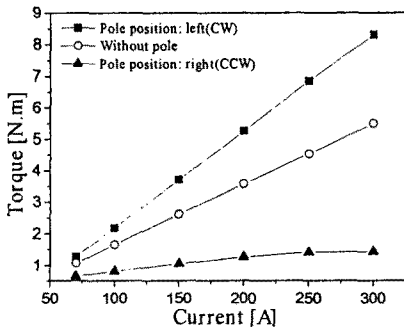


그림 9. 전류의 변화에 의한 구동토크특성의 비교
Fig 9. Torque variation vs. the variation of current

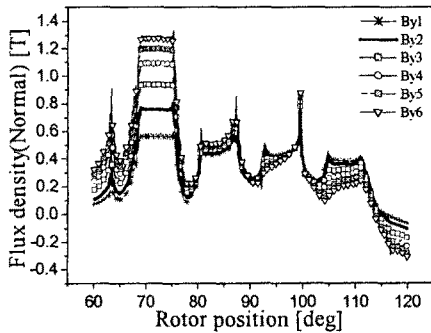


그림 10. 전류변화에 의한 공극자속밀도의 비교(Bn)
Fig 10. Comparison of airgap flux density

2.2.2 보조극의 치수변화에 따른 특성변화

본 절에서는 검증된 해석기법을 이용하여 보조극의 폭과 높이의 변화에 따른 구동특성의 변화를 해석하였다. 기준모델에서 보조극의 두께는 영구자석의 자화방향 두께와 동일한 7[mm]이며 보조극의 폭은 12[deg.]로서 이를 기준으로하여 수치를 변화시켜 해석을 수행하였다.

그림 11은 보조극의 두께가 7[mm]에서 5[mm]까지 변화할 때 토크특성의 양상을 도시한 결과로 보조극의 두께가 작을수록 토크가 선형적으로 감소함을 보인다. 이는 자기적 공극의 증가에 의해 보조극을 통과하는 전기자 전류에 의한 유효자속이 감소하였기 때문이다.

그림 12는 보조극의 폭의 변화에 따른 토크 특성을 도시한 것으로 전류가 낮은 영역에서는 토크의 변화가 거의 없으나 전류가 상승할 경우에는 보조극의 폭이 작을수록 토크가 향상됨을 보이고 있다. 이는 전기자 전류

에 의한 유효자속이 보조극을 통과할 경우 Tangential 성분이 증가하기 때문이다.

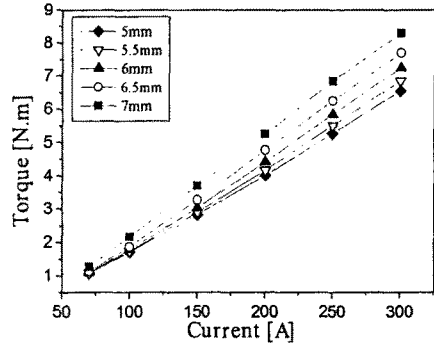


그림 11. 보조극의 두께 변화에 따른 토크특성 비교
Fig 11. Torque characteristic with pole core depth

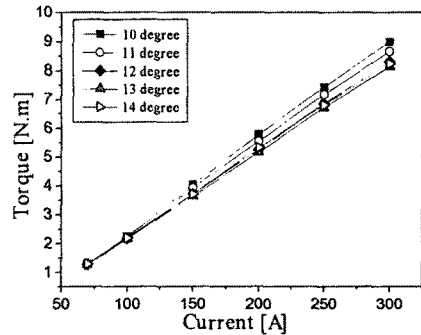


그림 12. 보조극의 폭 변화에 따른 토크특성 비교
Fig 12. Torque characteristic with pole core width

3. 결 론

본 논문에서는 비교적 낮은 전압과 대용량에 적합한 자동차 엔진 시동용 보조극을 가지는 영구자석 계자형 직류전동기를 대상으로 3차원 등가회로방법과 2차원 유한요소법을 이용하여 구동특성 해석하고 보조극에 따른 특성 변화를 예측하였다. 시스템의 요구 사양에 적합한 신뢰성 있는 전동기를 설계하거나 특성을 예측하기 위한 전 단계로 효율적인 2차원 유한요소해석 기법을 제시하여 해석방법의 타당성을 검증하였으며, 양산품에 대한 전동기의 특성곡선으로부터 브러시의 저항, 무부하손실 토크와 같은 제반 파라미터의 변화를 추출하여 이론적 해석결과에 반영하였다. 또한, 전동기의 정략적·정성적 분석으로부터 보조극이 전동기의 구동특성에 미치는 영향을 알아보았으며, 보조극의 치수, 위치 및 형상의 변화에 따라 특성변화 해석으로부터 전동기의 성능을 향상시키기 위한 방향을 제시하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 홍정표 외 3인, "영구자석계자형 직류전동기의 특성 해석 기법에 관한 연구," 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp. 81-83, 2001
- [2] J.Hur, I.S.Jung and D.S.Hyun, "Lateral Characteristic Analysis of PMLSM Considering Overhang Effect by 3 Dimensional Equivalent Magnetic Circuit Network Method," IEEE Trans. on Magn., Vol. 34, No. 5, pp.3528-3531, 1998
- [3] 홍정표 외 4인, "설계 파라메타 추출에 의한 직류 직권전동기의 설계," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 738-740, 2000