

전기자동차용 유도전동기 슬롯 형상에 따른 고속운전 특성 연구

성기웅*, 황수진*, 김민규*, 류동석*, 황점평*, 김기찬*
국립 한밭대학교*

A study on the high speed characteristic according to slot shape of induction motor for electric vehicle

Ki-Young Sung*, Su-jin Hwang*, Min-Gyu Kim*, Dong-Seok Ryu*, Zhan-hong Huang*, Ki-Chan Kim*
Hanbat National University*

Abstract - 본 논문은 전기자동차 구동용 유도전동기의 고속영역에서의 특성에 관해 연구한 논문으로 전동기의 회전자 슬롯의 형상 변화를 통하여 전기장하와 자기장하에 변화를 주었을 때 변화된 파라미터가 고속영역에서 어떠한 영향을 주는지 2차원 유한요소 해석을 통해 특성을 분석하고자 한다.

1. 서 론

에너지 자원의 한계와 지속적인 유가상승은 물론 자동차의 배기가스로 인해서 환경오염이 심각해지고 있어 기존의 유류를 이용하는 자동차를 대체할 친환경 전기자동차에 대한 개발의 필요성이 강력히 요구되고 있으며, 전 세계적으로 전기 자동차에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되고 있다.

전기자동차 구동용 전동기는 고효율, 고토크 및 고풍출력 등의 요구사항을 만족해야 하며, 자동차 내부에 탑재 되어야 하므로 소형 및 고속의 조건을 만족하여야 한다. 이러한 조건을 만족시키는 구동용 전동기로 영구자석형 전동기와 유도전동기가 있으며 이에 대한 연구가 진행되고 있다.

영구자석형 전동기는 효율이 좋고 에너지 밀도가 높으며, 소형화에 유리하지만 자석의 가격에 따른 모터제작 비용이 높고 조립과정이 어려운 반면, 유도전동기는 모터 영구자석형 전동기보다 제작단가가 낮고 견고성과 신뢰성등 내구성이 높은 특징을 가지고 있다.

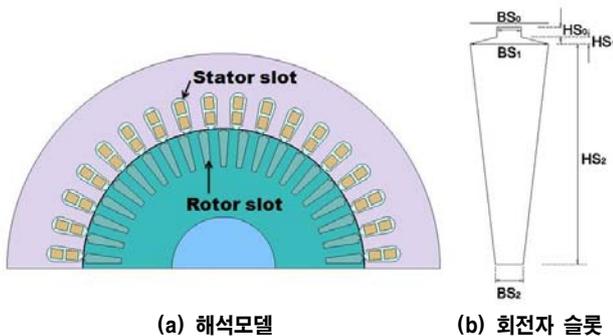
이러한 전기자동차를 구동하는 모터로 유도전동기가 많이 연구되어지고 있으며 사용되고 있다[1]. 유도전동기는 기존에 산업용으로도 많이 사용되었는데, 이를 전기자동차의 구동모터로 변경 사용 되려면 그에 따른 특성해석이 필요하다. 산업용으로 주로 사용되는 유도 전동기는 Base speed 영역에서의 약계자 제어를 통하여 정동 토크/ 정격토크의 최대화 설계를 했다면, 전기 자동차 구동용 유도 전동기는 정동토크 한계로 인한 제2약계자 제어가 필요하며 최대속도(고속영역)에서의 특성을 분석할 필요가 있다.

본 논문은 구동용 모터에서 중요시 되는 최대 속도에서의 특성을 장하분배를 통해 파라미터에 변화를 주어 그에 따라 달라지는 특성을 2차원 유한요소 해석을 통해 연구하고자 한다.

2. 회전자 슬롯형상에 따른 2D FEM 해석

2.1 해석모델

그림1 (a)는 전기자동차 구동용 3상 유도전동기로 4극 25kW 모델로 회전자 슬롯수는 36슬롯이고, 고정자 슬롯수는 42슬롯이다. 그림1 (b)는 유도전동기의 회전자 슬롯을 나타낸 것이다. 모델 설계는 장하분배법을 이용하여 고정자 설계 및 회전자설계를 하여 FEM 전자장 해석을 통해 검증한 모델이다[2][3].

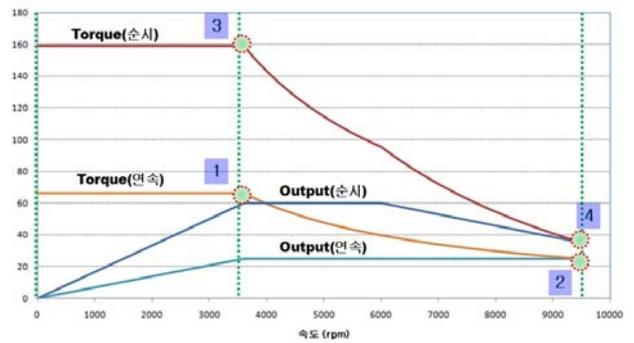


<그림 1> 해석 모델 및 회전자 슬롯 형상

2.2 해석모델 분석

구동모터의 순시 운전과 연속 운전에 따른 저속과 고속에서의 특성을 분석한 것으로 각각의 분석 포인트는 그림 2에서 나타내었다.

그림 2에서 1번과 2번의 분석 포인트는 연속 운전시 저속과 고속에서의 분석 포인트를 나타낸 것이고 3번과 4번은 순시 운전시의 저속과 고속의 분석 포인트를 나타낸 것이다. 순시운전에서 4번 포인트는 출력에 따른 제2 약계자 제어를 통하여 최대속도(고속영역)에서의 특성을 분석하였다.



<그림 2> 해석 모델의 분석 포인트

2.3 장하분배법에 따른 특성 분석

회전자 슬롯 형상에 변화를 주어 전기장하와 자기장하의 변화에 따른 고속영역에서의 영향을 보고자 한다. 전기장하의 변화를 주기위해 회전자 바 길이에 변화를 주었고, 자기장하의 변화를 주기위해 회전자 티스 폭에 변화를 주었다. 회전자 바 길이는 5mm를 변수로 주었고, 회전자 티스 폭은 1mm를 변수로 주어 고속영역에서의 변화를 확인하였다. 회전자 슬롯 형상에 관한 제시는 그림 1에 (b) 회전자 슬롯으로 나타내었고, 회전자 슬롯 변화에 대한 변수는 표 1에서 나타내었다.

<표 1> 회전자 슬롯 변수

Rotor Bar Depth			
설계변수	기본모델	모델A	모델B
Hs2	18.6mm	13.6mm	23.6mm
Rotor Teeth Width			
설계변수	기본모델	모델A	모델B
Bs1	5.6mm	4.6mm	6.6mm
Bs2	2.8mm	1.8mm	3.8mm
Hs2	18.6mm	24.4mm	15mm

2.3.1 회전자 바 길이 변화에 따른 2D FEM 해석

표 1와 같이 회전자 바의 길이의 Hs2를 18.6mm의 모델을 기본 모델로 회전자 바 길이를 5mm의 크고 작은 변수를 주어 모델 A와 모델 B에 대해 전기장하 측면에서 변화에 따른 저속과 고속의 특성을 분석하였다. 표 2는 회전자 바 길이 변화에 따른 특성을 2차원 유한요소 해석을 통해 분석한 것이고, 표 2의 수치를 그림 3에서 그래프로 표현 하였다.

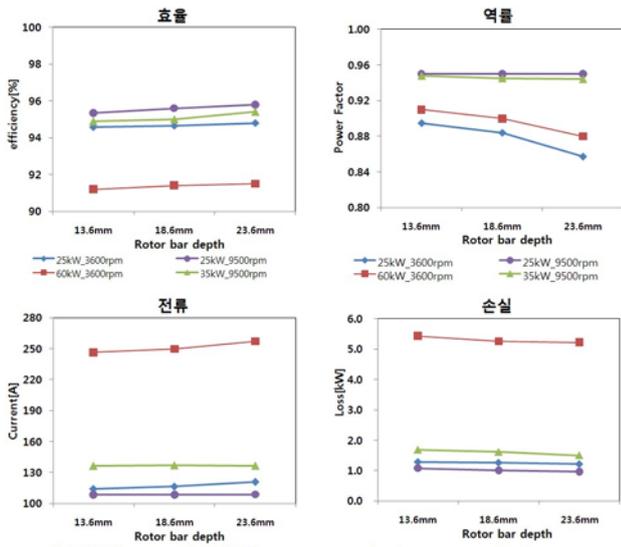
저속에서는 회전자 바 길이가 증가함에 따라 역률은 수치 변화가 최대 4% 감소하는 것을 볼 수 있고 전류의 수치의 변화는 최대 5% 증가를 나타내어 차이를 보이는 반면 고속에서는 0.5% 내로 일정한 것을 볼 수 있다. 효율은 회전자 바 길이가 클수록 저속과 고속에서 0.5% 내로

일정한 것을 볼 수 있고, 손실은 저속에서 최대 11% 감소하는 것을 볼 수 고속에서 5% 내로 일정한 것을 볼 수 있다.

이렇듯 회전자 슬롯 깊이에 따른 전기장하 성분의 변화는 저속일 때 역률의 변화에 영향을 주지만 고속일 때는 미비한 변화를 보였다.

<표 2> Rotor Bar Depth 변화에 따른 특성 분석

항 목		연속운전						단위
출력		25						kW
속도		3600			9500			rpm
설계변수	기본모델	모델A	모델B	기본모델	모델A	모델B		
전류	116.5	114.5	120.9	108.3	108.3	108.4	A	
효율	94.6	94.5	94.8	95.6	95.4	95.8	%	
역률	0.88	0.89	0.85	0.95	0.95	0.95		
손실	1.27	1.29	1.22	1.005	1.08	0.96	kW	
항 목		순시운전						단위
출력		60			35			kW
속도		3600			9500			rpm
설계변수	기본모델	모델A	모델B	기본모델	모델A	모델B		
전류	250	247	257	136.4	136.4	136.5	A	
효율	91.4	91.2	91.5	95	94.8	95.4	%	
역률	0.9	0.91	0.88	0.945	0.946	0.944		
손실	5.26	5.4	5.2	1.6	1.7	1.5	kW	



<그림 3> Rotor Bar Depth 변화에 따른 특성 파형

2.3.2 회전자 티스 폭 변화에 따른 2D FEM 해석

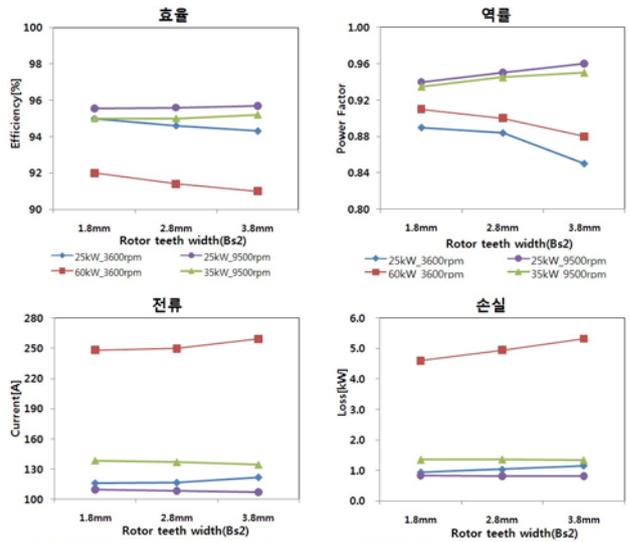
자기장하에 대한 변화를 보기 위해 회전자의 티스 폭에 변화를 주어 공극 자속밀도의 변화에 따른 고속영역에서의 달라지는 특성을 분석하였다. 분석에 있어 티스 폭을 1mm의 크고 작은 변화를 주었고 자기장하의 변화에 따른 특성을 확인 하였다. 회전자 슬롯의 전체 면적을 같게 하기 위해 슬롯의 설계 변수 Bs1, Bs2, Hs2에 크기에 변화를 주어 고속영역에서의 특성을 분석하였다. 모델 A는 기본 모델보다 티스 폭 1mm 큰 모델이고, 모델 B는 1mm 작은 모델이다. 회전자 티스 폭 변화에 따른 특성 분석은 표 3과 그림 4의 그래프에서 볼 수 있다.

역률은 저속에서 티스 폭이 클수록 최대 3% 감소하는 것을 볼 수 있고 고속에서는 최대 2% 증가하는 것을 볼 수 있다. 전류는 저속에서 최대 4% 증가하는 것을 볼 수 있고, 고속에서 최대 3% 감소하는 것을 볼 수 있다. 효율은 티스 폭이 클수록 저속에서 최대 1% 감소하고 손실은 최대 20% 증가하는 것을 볼 수 있고, 고속에서는 일정한 것을 볼 수 있다.

이렇듯 회전자 티스 폭의 변화는 공극자속밀도에 영향을 미쳐 자기장하 성분을 변화시킨다. 저속일 때는 효율과 역률의 변화를 주지만 고속일 때는 역률에만 변화를 주는 것을 볼 수 있다.

<표 3> Rotor Teeth Width 변화에 따른 특성 분석

항 목		연속운전						단위
출력		25						kW
속도		3600			9500			rpm
설계변수	기본모델	모델A	모델B	기본모델	모델A	모델B		
전류	116.5	116	121.7	108.3	109.8	107.4	A	
효율	94.6	95	94.3	95.6	95.5	95.7	%	
역률	0.88	0.89	0.85	0.95	0.94	0.96		
손실	1.04	0.95	1.2	0.82	0.84	0.8	kW	
항 목		순시운전						단위
출력		60			35			kW
속도		3600			9500			rpm
설계변수	기본모델	모델A	모델B	기본모델	모델A	모델B		
전류	250	248	259	136.4	138.6	134.3	A	
효율	91.4	92	91	95	95	95.2	%	
역률	0.9	0.9	0.88	0.945	0.935	0.95		
손실	4.9	4.6	5.3	1.36	1.35	1.34	kW	



<그림 4> Rotor Teeth Width 변화에 따른 특성 파형

3. 결 론

본 논문은 2차원 유한요소 해석을 이용해 전기자동차 구동용 유도전동기의 고속영역에서 파라미터 변화를 통해 특성을 분석해보고자 하였다. 회전자 슬롯 형상에 따른 전기장하와 자기장하 성분의 변화를 주었고 고속영역에서 효율과 역률 특성이 저속에서의 특성과 다른 성향을 보이고 있다는 것을 확인하였다. 이렇듯 전기자동차 구동용 유도전동기의 설계시 고속영역의 특성 또한 중요시 되어야 하며 더 많은 연구가 필요함을 알 수 있다.

[감사의 글]

“이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.20110013272).”

[참 고 문 헌]

[1] Z. Zhang, F. Profumo, A. Tenconi, "Improved design for electric vehicle induction motors using an optimisation procedure", Electric Power Applications, 410-416, 1996
 [2] Ion Boldea, Syed A. Nasar " The Induction Machines Design Handbook, Second Edition " 2nd Edition, CRC Press, 2009
 [3] Cyril G.Veinott " Theory and Design of Small Induction Motors" McGRAW-Hill Book, 1959