

전기자동차용 수냉식 유도전동기 개발

이갑재*, 권종록, 김기찬, 이종인, 이준엽, 김진홍, 김윤조, 최금주

The development of forced fluid cooling induction motor for electric vehicle

K. J. Lee*, J. L. Kwon, K. C. Kim, J. I. Lee, J. Y. Lee, J. H. Kim, Y. J. Kim, G. J. Choi

Abstract - According to the importance of the earth environmental issues, the study of low emission vehicle is achieved actively throughout the world. It is studied for electric motor to be contented with the characteristics of electric and hybrid vehicles in this paper. It is represented for the result of design, analysis, manufacture and test of the motor for electric vehicles.

1. 서 론

지구 환경문제의 중요성이 커짐에 따라 수년전부터 무공해 및 저공해 자동차에 대한 연구가 진행되어져 왔으며, 최근에는 선진국에서의 대기 보전법 제정에 따라 무공해 및 저공해 자동차 보급이 의무화되어 시장 선점을 위한 실용화 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. 그리고 저공해 자동차 중에서 순수 전기자동차 및 하이브리드 자동차에 대해서도 선진국을 중심으로 상용화가 진행되고 있으며, 전기자동차용 차체 설계기술, 전지기술, 시스템 설계기술, 제어기 설계기술과 더불어 차량 시스템의 구동원인 전동기의 중요성은 날로 증대되고 있다. 따라서 내연기관을 대체할 수 있는 미래형 자동차의 구동장치인 전동기에 대한 설계기술은 전기자동차 및 하이브리드 자동차의 실용화를 위해 필수적인 기술이라 할 수 있겠다.

전기자동차용 전동기는 구동방식, 차량시스템 등의 특성에 따라 BLDC 전동기와 유도전동기가 주로 사용되고 있으며, 최근에는 SRM(Switched Reluctance Motor)에 대한 연구도 상당히 많이 진행되고 있다. 특히, 전기자동차용 전동기는 경제성 및 실용성을 감안하여 경량화, 고효율화, 고토크화 및 고효율화가 요구되고 있다. 본 논문에서 발표되는 전동기는 1-motor 구동방식의 순수 전기자동차용으로 개발된 유도전동기로서 저가격 및 기계적 견고함이 장점이며, 소형·경량화를 위하여 수냉식 냉각방식을 채택하였다.

본 논문에서는 전기자동차용 전동기 특성을 만족시키는 유도전동기의 설계, 제작 및 시험결과를 제시하고자 한다.

2. 전동기의 요구특성 및 개발사양

2.1 전기자동차용 전동기의 요구특성

전기자동차용 전동기는 차량내의 장착공간이 제한되어 있고 한정된 Battery 전원을 사용하여 광범위한 속도범위에서 자동차의 성능을 만족시켜야 하므로 다음과 같은 요구특성을 필요로 한다

- 1) 장착공간을 고려한 소형·경량화
- 2) Battery 전원에 상응하는 저전압 및 대전류 특성
- 3) 가속능력 향상을 위한 고효율화
- 4) 1충전 주행거리 증대를 위한 고효율화

- 5) 저속에서 고토크 특성
- 6) 고속 운전이 가능한 넓은 정출력 특성
- 7) 안정성확보를 위한 내구성 및 신뢰성 확보

2.2 전기자동차용 전동기 비교

전기자동차용 전동기로서는 토크성능 및 제어 성능의 우수성 면에서 직류전동기가 유리하나, 출력비(kW/Kg)가 낮고 부피가 크며 정류자와 브러시로 인해 보수·점검 등의 단점이 발생한다. 이러한 문제로 인하여 무보수화, 소형 경량화 등의 요구에 부응하여 교류전동기에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 개발 초기에는 전동기의 형식 및 구동 전동기의 수량에 대한 논의가 있었으며, 현재는 개발업체의 시스템구성에 따라 전동기 형식이 결정되는 실정이다. 표 1에 전기자동차용 전동기의 종류 및 특성에 관한 비교를 간단히 나타내었다.

표 1. 전기자동차용 전동기 특성비교

항 목	직류전동기	유도전동기	BLDC
가 격	높 음	낮 음	보 통
효 율	낮 음	보 통	높 음
유지보수	필 요	불필요	불필요
신 리 성	낮 음	높 음	높 음
수 명	낮 음	높 음	높 음
체 적	큼	보 통	소 형
출 력 비	적 음	보 통	큼
제 어 기	Chopper	Inverter	Inverter

2.3 전동기 개발사양

표 2는 출력비가 1 kW/Kg 이상인 전기자동차용 고효율 수냉식 유도전동기의 목표사양이다.

표 2. 유도전동기 목표사양

항 목	단 위	목 표 사 양	비 고
최대출력	kW	60	단시간
출력비	kW/Kg	1.0 이상(최대)	
최대/정격속도	rpm	9,500/3,600	
크 기	mm	φ270×L300 이하	
효 율	%	90 이상	
냉각방식		수 냉 식	
Battery전압	Vdc	270~405	

3. 전동기의 설계 및 해석

3.1 전동기 설계결과

전기자동차용 전동기는 인버터에 의해 가변속 운전특성을 가지므로 설계 관점에서 산업용 유도전동기와 구별된다. 또한 자동차 엔진룸에 장착되어 Battery 전원으로 구동되므로, Battery 전원 특성에 부합하여 소형화 및 전압특성과 관련된 정출력 영역의 확보와 견인전동기로서의 역할인 가속력 및 등판능력을 확보해야 한다. 이러한 점을 고려하여 설계된 유도전동기의 설계결과를 요약하면 다음의 표 3과 같다.

표 3 전동기 설계결과

극수 / 상수	4극/3상	상저항(20℃)[Ω]	0.02
Silicon Steel	RM 8	결선방식	Y
적층길이 [mm]	113	AL 도전을 [%]	55
고정자외경 [mm]	220	중량 [kg]	55

3.2 전동기 전자장 해석결과

고출력, 고효율, 소형, 경량화가 요구되는 전기자동차용 전동기는 철심의 포화현상, 2차 도체의 표피효과, 슬롯형상 등으로 인하여 전기 특성에 영향을 크게 주므로, 등가회로 해석 방법은 내부 계수처리의 보정이 필요하다. 따라서, 유한요소법으로 전동기 특성을 해석하여 보다 정밀하게 전동기를 분석하였다.

그림 1은 유한요소법으로 정격점 근처 슬립에 대하여 전동기 특성, 즉 전류, 토크, 출력, 효율 및 역률값을 정량적으로 나타낸 것이며, 연속 20kW 출력이 발생되는 정격슬립의 특성값을 표 4에 제시하였다. 그림에서 무부하 전류가 50A 정도로 자속 통로 역할을 하는 철심을 최대한 이용하도록 설계하였음을 알 수 있다.

그림 2와 3의 자속 및 자속밀도 분포는 설계모델 각 파트의 포화도와 누설정도를 분석하여 보완설계를 할 수 있는 토대가 된다. 경량화 측면에서 고정자 요크 폭을 감소시킴으로 인하여 고정자 및 회전자 요크의 최대 자속밀도가 각각 1.54(T), 1.14(T)로 고정자 요크 부분 자속밀도가 크나 이에 대한 특성 영향은 미소하다. 또한, 철손이 적은 고급강판을 채용하여 치 자속밀도가 최대가 되는 폭을 선정하고 슬롯면적을 증가시켜 권선설계에 여유를 주었다.

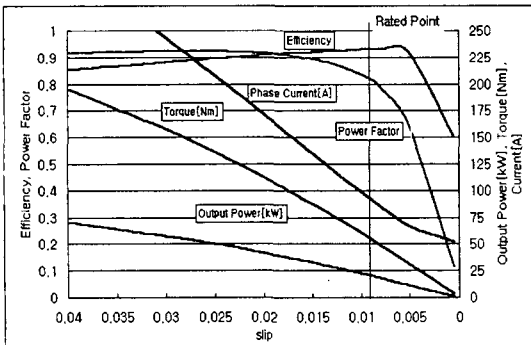


그림 1. 슬립에 대한 전동기 특성 곡선(유한요소법)

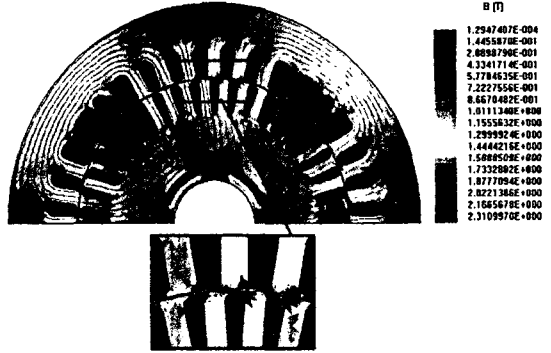


그림 2. 자속 및 자속밀도 분포도

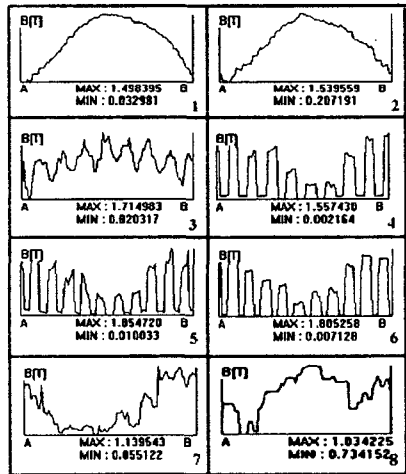
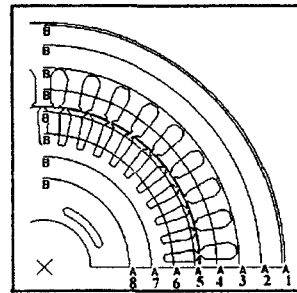


그림 3. 반경방향에 따른 자속밀도 분포

3.3 전동기 열해석 및 온도상승 예측

전동기의 출력특성은 온도상승과 밀접한 관계를 가지고 있으므로 당사의 경험계수를 적용한 열등가회로법을 적용하여 시뮬레이션에 의한 온도상승을 예측하였다. 실험특성과 비교하기 위하여 상용전원구동(60Hz), 정격출력점(120Hz) 및 순시최대특성(60kW)에 대한 해석을 진행하였으며 결과를 그림 4에 나타내었다.

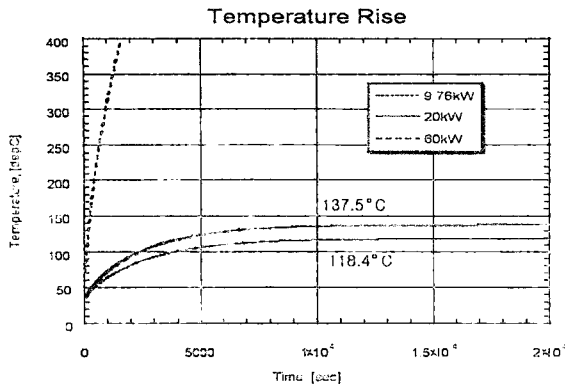


그림 4. 온도상승 시뮬레이션 결과

4. 전동기 제작 및 성능시험

4.1 전동기 제작

전기자동차용 전동기를 제작하는데 있어서 고려한 점으로써는 소형, 경량화를 위한 알루미늄 프레임 채용, 고속력화를 위한 이중집전 및 수냉식 냉각방식 사용, 지손실 구조상관 사용 및 고속베어링의 선정 등을 들 수 있다. 제작이 완료된 전동기의 사진을 그림 5에 나타내었다.

4.2 전동기 성능시험 결과

4.2.1 시험시스템 구성

특성시험을 위하여 구성된 시스템은 Motor-Inverter 및 수냉식 냉각시스템(현차시험 조건), Dynamometer & Controller, 계측시스템(전력측정, 온도상승측정, 소음측정, 진동측정, 동식도 측정) 등으로 구성되었으며, 그림 6에 시험장치를 사진으로 나타내었다.

4.2.2 설계치와 시험치 비교

표 4 설계치 및 시험치 비교

항 목	단위	설계치		시험치
		등가회로	FEM	
전 압	V	166	166	166.6
주 파 수	Hz	120	120	120
슬 럽	%	1.169	0.9	1.64
출 력	kW	20	20	19.8
전 류	A	88.6	90.8	88.4
토크	N.m	53.7	54.1	53.3
역률	%	84.7	82.6	85.2
효 율	%	92.7	93	91.0
권선온도	°C	130	130	145.5
진동계급	μm	15이내		Max 6.5

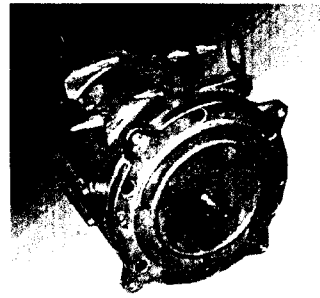


그림 5. 전기자동차용 전동기

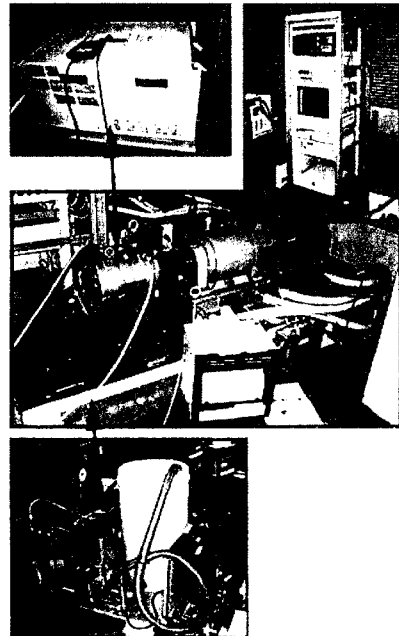


그림 6 전동기 특성시험

3. 결 론

전기자동차용 수냉식 유도전동기 개발을 위해 당사에서 개발된 프로그램을 이용하여 전동기 설계 및 특성해석과 온도상승 해석을 진행하였으며, 전자장 수치해석을 통하여 설계 및 해석결과를 비교하고 시험치와 비교, 검토하여 설계능력을 검증하였다. 현재는 미래형 교통수단인 전기자동차의 상용화에 대비하여 제품의 신뢰성확보를 위한 환경시험 및 내구성 시험을 진행하고 있으며, Hybrid 자동차의 상용화에 대비한 전동기의 시리즈화 개발에도 대비하고 있어 향후 좋은 결과가 예상된다.

(참 고 문 헌)

- (1) Cyril G. Veinott, "Theory and Design of Small Induction Motors", 1959
- (2) kuhlmann, "Design of Electrical Apparatus",
- (3) 최옥돈 외 "전기자동차용 경량모터 및 제어기 개발" Nov. 1998 년차보고서
- (4) 임달호, "전기계의 유한요소법", 1986
- (5) 北森, 片岡, '全閉外扇形誘導電動機の 溫度上昇推定法', National Technical Report vol.17, No. 4, pp. 350-355, Aug. 1971