논단 I

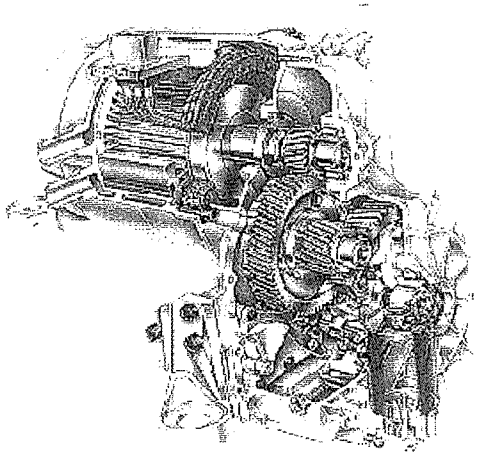
전기자동차용 유도전동기 개발

현대중공업(주) 전력기술연구실
책임연구원 권 중 록

1. 서 론

현재 인류가 해결해야 할 가장 큰 지상 과제는 지구상에 존재하고 있는 화석연료를 대체할 에너지원의 확보와 화석연료 사용에 따른 지구환경의 오염을 들 수 있다. 인류 문명의 발달로 화석연료의 사용은 날로 증대되고 있으며 화석연료를 연소시킬 때 발생되는 CO_2는 지구 대기오염의 주 요인이며 이는 자동차로부터 발생되는 매연이 원인의 하나로 되고 있음을 고려할 때 자동차의 공해발생 요소를 줄이는 것이야말로 가장 효과적 방법으로 지적되어져 왔다. 그러나 이미 발달된 인간의 기계문명인 자동차의 사용을 줄이는 것은 문명의 퇴보를 가져올 수 있으므로 자동차의 에너지원으로 화석연료를 대체할 에너지를 연구하였고 그 중 전기를 이용하는 구동시스템 개발이 가장 각광받게 되었으며 이를 전기자동차라 한다. 현재의 내연기관 자동차의 엔진을 전동기가, 화석연료인 가솔린을 대신해서는 축전지에서 공급되는 전기적 에너지를 각각 사용, 회전동력을 발생시켜 이를 차축에 전달, 타이어를 회전시켜 달리게 된다. 전기자동차는 가솔린 자동차 운전시 발생하는 매연이 전혀 없으므로 지구환경 보존은 물론 지구상에 존재하는 석유자원의 효율적 사용이라는 측면에서도 매우 유리하다.

그러나 아직까지는 내연기관자동차에 비하여 구입비용과 유지비의 高價, 일충전 주행거리의 감소 및 장시간의 충전시간 요구 등의 원인으로 인하여 내연기관차와 동등한 편리성을 유지하기 위한 많은 해결과제를 가지고 있으며 선진사들 또한 기술



(그림 1) 감속기가 부착된 1 UNIT 전동기 구동방식의 예

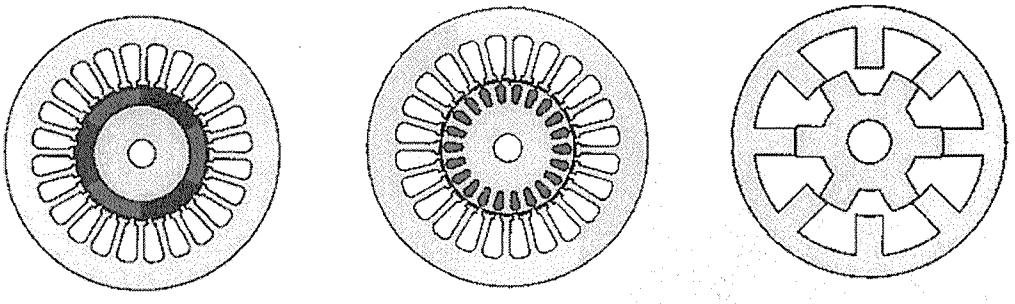
개발을 위한 상당한 투자를 아끼지 않고 있다. 미국 캘리포니아주의 경우에는 공기보존법을 제정, 일정비율 이상의 전기자동차 판매 실적이 없는 자동차 제작사의 자동차는 수입을 규제 받도록 하고 있어서 각국 자동차 제작사의 사활을 건 기술개발 경쟁이 심화됨에 따라 외부로부터 전기자동차 관련 기술도입은 거의 불가능한 상태이며 독자적인 기술확보만이 유일한 방법이라 할 수 있다.

2. 전기자동차용 고효율 경량모터 개발

(1) 개발방향

전기자동차의 요소기술에는 에너지원인 축전지 외에 구동시스템을 구성하고 있는 전동기와 제어장치가 있다. 전동기의 구동에너지는 축전지의 화학적 반응에 의하여 생성되는 에너지를 주 에너지원으로 사용하며 축전지에 저장될 수 있는 전기적 에너지의 양은 축전지의 크기와 무게에 무관하지 않다. 그러므로 자동차의 성능향상을 위해서는 전기자동차 차체의 소형화·경량화는 물론 최소한의 축전지 무게와 최소한의 에너지를 사용하는 구동시스템 확보가 최대의 난제가 될 것이며 그러기 위해서는 축전지에너지의 주 소비처인 전동기를 고성능의 것으로 만드는 것이 매우 중요하다. 전기자동차의 엔진인 전동기의 고효율화, 고출력화를 위한 고도의 전기적·기계적설계기술과 사람의 생명과 유관된 장치임을 고려하여 강건하고도 뛰어난 제어성과 높은 신뢰성을 갖춘 품질이어야 한다.

이러한 목적을 바탕으로 한 전동기의 개발방향은 속도제어성은 우수하나 구조가 복잡하여 유지보수가 어려운 직류전동기기, 고효율과 소형화가 비교적 용이하나 고속회전에 부적절한 브러시레스 직류전동기(BLDC), 및 생산성이 좋고 유지보수가 필요 없으며 제어가 쉽지 않았던 유도전동기 등이 동시에 제안되어져 왔었으나 최근에는 대체로 모든 면을 만족시킬 수 있으면서도 전력소자의 발달과 제어기술이 급격하게 발전하게 됨에 따라 직류기와 동등한 속도제어가 가능하게 된 농형 유도전동기가 적합한 것으로 선택되었다. 또한 시스템의 운전효율 및 경제성을 고려 여러대의 전동기가 아닌 자동차의 엔진과 1대1 대응할 수 있는 1 unit 전동기 구동시스템이 가장 적절한 시스템으로 판단됨에 따라 수냉식 냉각방식을 채택한 농형



(a) 영구자석형 전동기 (b) 농형 유도전동기 (c) SRM

(그림 2) 전기자동차 구동용 전동기로 적용되고 있는 전동기의 형태

유도전동기가 주류를 이루게 되었으며 절연재의 발달과 냉각 해석기술의 발달로 소형·경량화 가 가능하게 되었다.

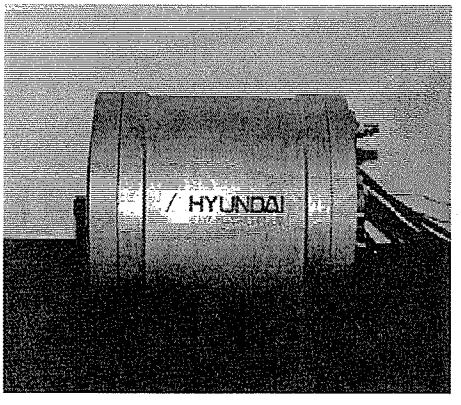
그러나 최근에는 SRM(Switched Reluctance Motor)을 이용한 구동시스템연구도 활발하게 진행되고 있어서 전기자동차로의 적용도 본격적으로 검토되고 있으며 일부 상품화 된 부분도 있기는 하지만 아직은 제어성의 어려움으로 계속 주목받고 있는 시스템이기도 하다.

기전연구소 전력기술연구실 회전기 팀에서는 지난 92년부터 중전기사업본부 산업전동기부와 공동으로 국내 최초로 전기자동차용 수냉식 유도전동기를 독자 기술로 개발하여 미국 Hughes사로부터 성능의 우수함을 인정받은 바 있으며 이후 현대자동차(주)와 지속적인 연구과제를 수행하면서 다양한 종류의 전기자동차용 수냉식 전동기를 개발 여러 종류의 Conversion Car(Accent, Grace, Atoz)에 탑재하여 성공적으로 운전해 온 바 있다.

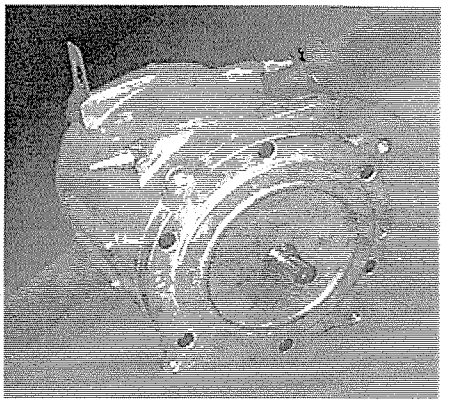
(2) 개발현황

〈표 1〉 전동기 개발사양

항 목	단 위	(a) 사 양	(b) 사 양	비 고
정격 / 최대출력	kW	15 / 50	20 / 60	연속/단시간
정격 / 최대속도	rpm	3600 / 9500	3600 / 9500	
효 율 / 역 율	%	93 / 89 ↑	93 / 89 ↑	@ 정격점
크 기	mm	Φ270 ×330	Φ270 × 300	
무 게	kg	60	55	
냉 각 방 식		수냉식	수냉식	
Battery 전압	Vdc	312	312	
적용차량 /년도		Accent / '92	Spotage / '99	



(a) 15/50kW 모델



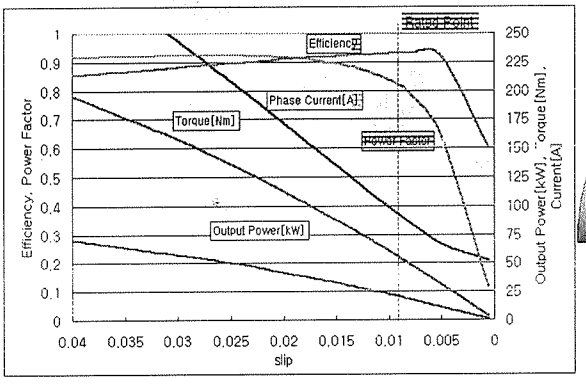
(b) 20/60kW 모델

(그림 3)

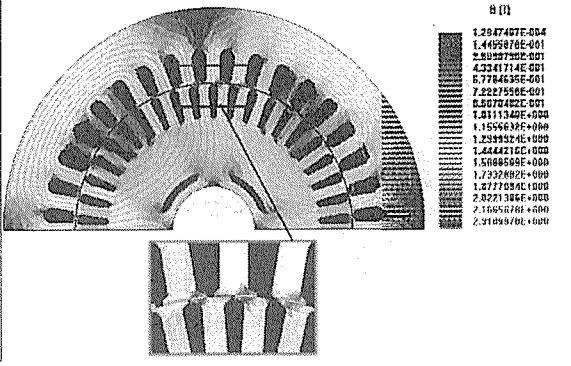
(3) 특성설계

- 전기적 특성설계

자동차의 부하는 회전수가 증가할수록 토크가 감소하는 특성을 가지며 전 속도 영역에서 일정한 과부하내량을 필요로 한다. 이것은 가속능력 향상과 고속운전을 위해서는 반드시 가져야 할 특성이며 일반산업용 전동기가 가지는 정동토크의 비율보다는 큰 정동토크(Brake down Torque)로 저속에서도 큰 토크 특성을 가진 전동기를 말한다. 또한 전동기의 공극자속밀도를 크게 하고 고정자 권선의 엔드턴 길이를 최소화하여 누설 인덕턴스를 최소화하며 두께가 얇은 저손실 규소강판을 사용함으로써 효율을 향상시켜 축전지의 1충전 주행거리를 최대화한다.



(그림 4) 슬립에 따른 전동기 특성



(그림 5) 치자속 및 공극자속밀도 분포도

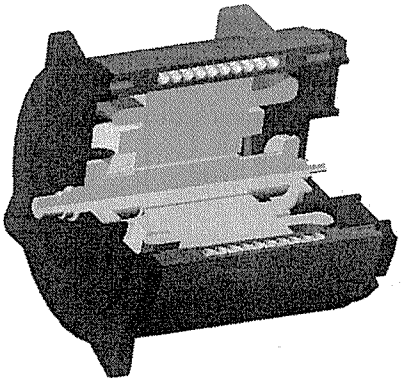
- 기계적 구조설계

주요 구조재의 재질을 알루미늄으로 채용하여 전동기의 무게를 최소화하였으며 회전자 또한 생산성 향상과 고속회전에 적합한 핀이 없는 농형으로 제작하기 위하여 알루미늄재질의 다이캐스팅 공법을 사용하였다. 열원의 분석과 온도상승해석에 따른 수냉자켓을 가진 프레임에 의한 냉각효과의 극대화와 내열 성능이 우수한 H종 절연재질을 사용하므로써 소형·경량화를 통한 고출력밀도화가 가능하였다. 또한 최저 -30℃에서 최고 +140℃의 고속 고온용 내열구리스가 함유된 C3P5급 고속 정밀베어링의 채용으로 저진동·저소음화로 신뢰성과 내구성향상을 꾀하였다.

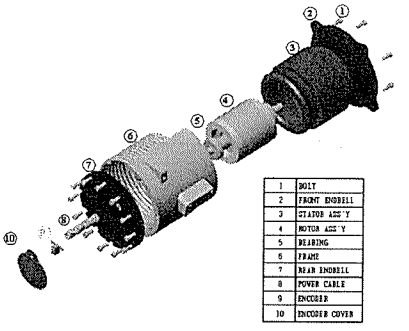
자동차 장착을 위한 비대칭적 기계적 구조를 가지면서도 고속회전 전동기임를 고려하여, 부품조립단 간섭을 최적화 또는 가공정도를 엄격히 규제하였으며 제어성능의 향상을 위하여 온도센서와 엔코더가 반부하측에 적절하게 설치되었다. 이러한 것들은 지금까지 여러모델을 개발하는 과정에서 습득된 설계 및 생산기술의 복합된 요소로써 이를 바탕으로 최근에는 기아자동차의 레져용 자동차인 Spotage를 전기자동차로 개조한 모델에 적용시키기 위하여 최대출력 60kW급 수냉식 유도전동기를 출력밀도가 최대출력을 기준으로 1.1 kW/kg

정도까지 고출력화 하는데 성공하였다. 이는 최초 개발당시의 0.8 kW/kg의 출력밀도에 비하여 상당히 개선된 사항으로써 전기적 특성시험은 물론 온도상승시험, 환경시험 및 내구성 시험을 통하여 이상 없음이 확인되었다.

지속적인 연구개발과정을 통하여 다양한 모델의 제작과 반복시험을 실시하였으며 시험결과에 따라 도출된 데이터를 활용한 H/W 및 S/W의 점진적 보완·개선작업이 우수한 연구결과물을 얻을 수 있게 되었고 향후 최상의 품질과 고객만족을 위한 노력은 계속 되리라 예상된다.

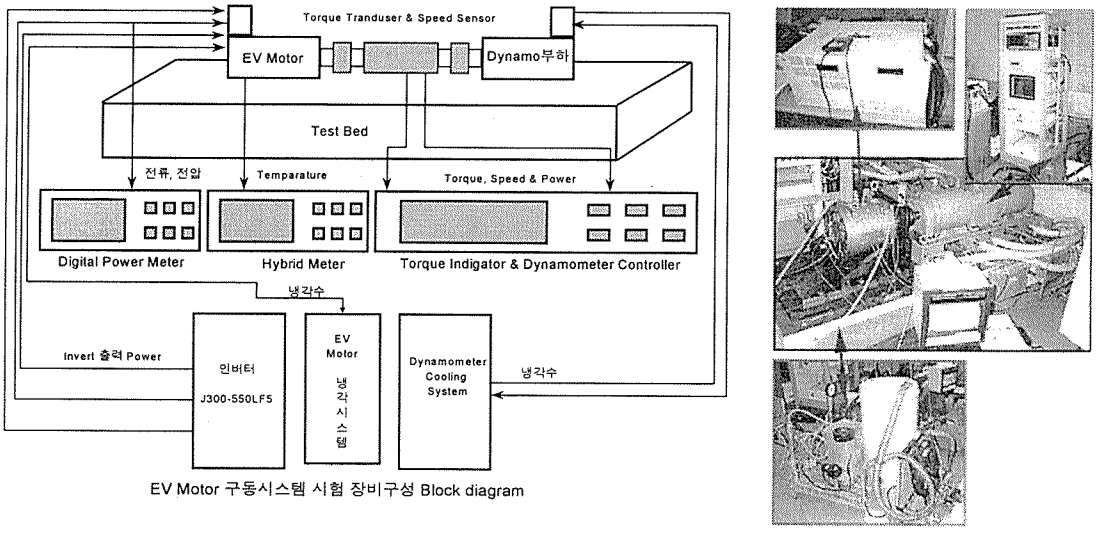


(그림 6) 조립성 확인을 위한 절단면도



(그림 7) 주요 부품구성도

(4) 성능시험



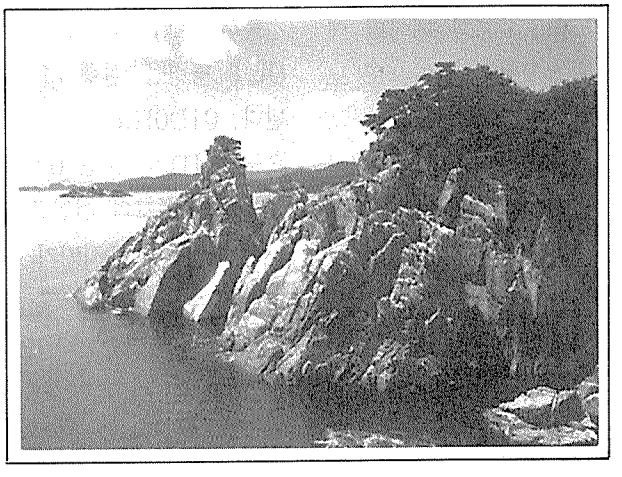
(그림 7) 전동기 부하시험장치 Block Diagram 및 사진

산업용 유도전동기의 특성시험은 대부분 상용전원을 이용한 부하기를 이용하고 있으나 개발품과 같이 인버터에 의하여 구동되는 특수전동기는 속도에 따른 전압변동과 고속까지의 회전이 가능한 부하기일 경우에만 정확한 특성시험이 가능하다.

따라서 상기 그림에서와 같이 다소 복잡한 시험장치가 필요하며 만약 이것이 갖추어져 있지 않을 경우에는 전동기가 설계된 정격 또는 측정하고자 하는 특성점의 전류 및 자속조건을 만족하는 별도의 대용 시험규격을 마련하여 일정회전수에서의 특성을 측정할 수는 있다.

그러나 이때의 시험결과는 전동기 특성에 대한 경향을 추정할 수 있는 자료로써만 사용이 가능하고 효율, 역율 등 실제적인 것은 반드시 동일한 구동 시스템 조건에서 실시된 것으로 확인하여야 한다.

3. 결 론

전기자동차는 21세기의 주요 교통수단으로써 지구온난화 방지와 에너지 보존에 크게 기여하리라 예상되고 있으나 완전 무공해차량인 축전지의 전원으로만 구동되는 전기자동차(Battery only Electric vehicle ; BEV)는 축전지의 소형화 및 축전지 관리를 위한 기술개발의 어려움 때문에 당분간 상용화에는 다소 기일이 소요될 것으로 판단되나 축전지가 아닌 연료전지(Fuel Cell) 혹은 수소전지 등을 이용한 전기자동차가 상용화 되고 있으며 또한 가솔린엔진과 전동기를 동시에 탑재시켜 고속과 저속에서의 에너지의 효율을 각각 최대화함으로써 기솔린으로부터 발생되는 공해를 최소화하려는 저공해차량 즉 하이브리드 전기자동차(Hybrid Electric vehicle ; HEV)의 경우 이미 여러 세계자동차 제작사에서 상품화되고 있어서 향후 일정기간 동안에는 이것이 BEV를 대신할 것으로 판단된다.

현재 가솔린차량에 비하여 아직 보완되어야 할 요소 기술들은 많이 있으나 당사의 경우 BEV의 주요 구동요소인 유도전동기는 이미 양산을 위한 시제품 일정수량을 현대자동차에 납품된 바 있어서 향후 일련의 공개된 시험과 검정을 거쳐 양산되리라 예상되며 HEV를 위한 전동기 기술개발에도 적절한 투자와 함께 연구개발이 필요하므로 항상 국내·외의 기술발전 동향을 예의 주시할 필요가 있다.