

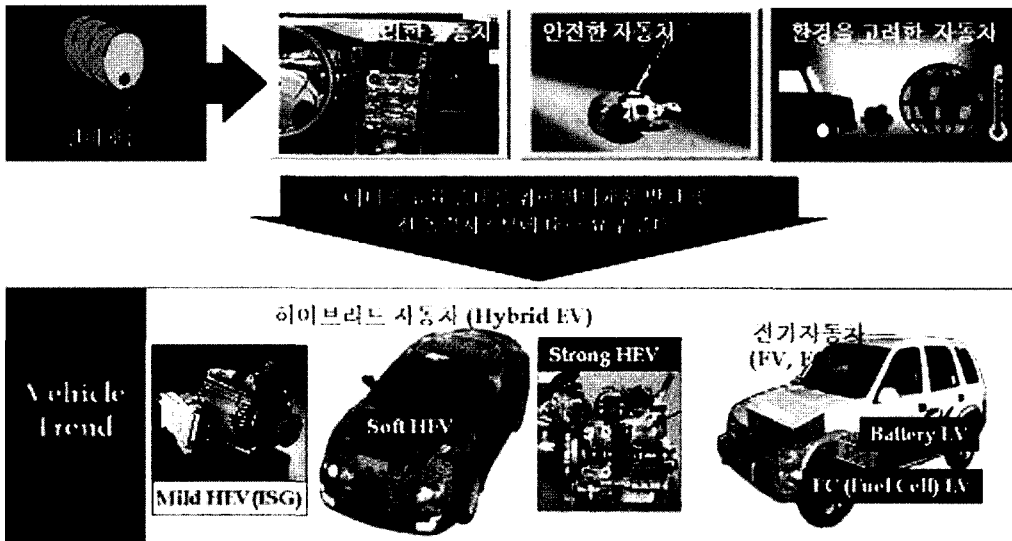
42V 고전압 시스템용 모터 개발

허진 · 류세현 · 최준혁(전자부품연구원, 지능메카트로닉스연구센터)

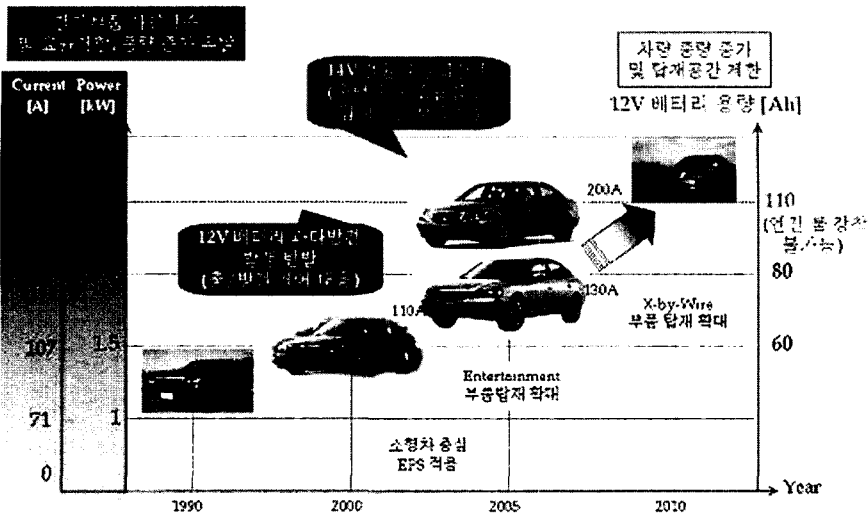
1. 42V 고전압 시스템용 모터 개요

기간산업으로서의 자동차 산업은 저공해, 친 환경 등의 사회적 요구와 더불어 안전성, 편리성, 승차감 등의 소비자의 다양한 요구에 따른 새로운 기술 개발에 대한 필요성으로 빠

른 발전을 이루고 있는 기술 집약형 산업이며, 최근에 하이브리드자동차 및 연료전지 자동차로 정의되는 친환경 미래형 자동차에 대한 관심이 매우 높아지고 있고 그에 따른 연구/개발이 매우 활발하게 진행되고 있는 산업분야이다.



〈그림 1〉 차량개발 추세



〈그림 2〉 차량 전원공급

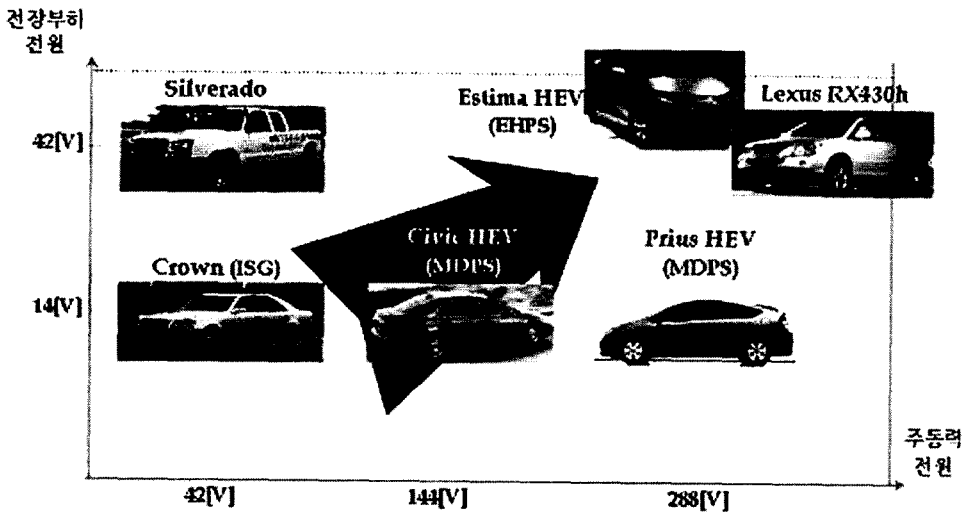
미래형 자동차의 주된 장점은 구동부 (Traction part)의 전동화에 따른 연비개선 및 공해저감이나, 이와 병행되어 안정성 및 편의성과 연결되는 차량의 전장화 및 전자정보화는 요구는 보다 많은 차량용 모터의 수요를 필요로 하고 있다. 이는 그림 2에서와 같이 차량의 전력수요를 지속적으로 증가시켜 현재의 14V 전원체계의 한계를 가져와 차량 전원시스템이 42V체계로 전환되는 주요 요인이 되고 있다.

이러한 전력수요의 대부분은 차량 안전, 성능개선, 편의성 향상을 위한 차량 각 부분의 전동화로 인한 것이다. 즉 연료 소비효율의 향상 및 배기가스 저감을 위한 Electromagnetic Valve, 차량의 성능개선을 위한 Electric Motor로 구동되는 Power Steering, Electric Water Pump, Brake-by-Wire, Throttle-by-Wire, 성능개선 및 편의성 향상을 위한 Electric Air-conditioner, Motorized

Active Suspension System 등이 차량 전동화 기술로 필연적으로 개발 및 장착요구에 따른 것이다.

따라서 차량의 동력부에 따른 개발추세와 병행하여 차량의 안전 및 편의장치를 위한 차량 전장부하는 42V 전원체계가 새로운 대안으로 제시되고 있으며, 현재의 개발된 하이브리드 자동차에 일부 적용되고 있으며, 이러한 적용 추세는 점차 증가할 것이다. 따라서 향후 차량의 전원시스템이 42V화가 되면 기존 Electric Motor의 42V화와 더불어 차량안전 및 성능개선 등을 위한 신 개념의 각종 최첨단 전동부품 및 전동화 모듈의 장착이 가속화 될 것이며, 이로 인하여 전력소요의 대부분을 차지하는 Electric Motor의 성능 및 전력소모량의 수준이 최종적인 자동차의 성능경쟁 및 기술경쟁에서 큰 비중을 차지하게 될 것으로 예측된다.

차량 전동부하를 위한 42[V]구동 전동모터



〈그림 3〉 차량의 주동력 및 전장전원 개발 추세

의 장점은 현재 약 30개에서 100여개까지 적용되고 있는 전동모터의 고효율화를 통한 차량 수요전력의 저감을 꾀할 수 있으며, 이를 바탕으로 기존의 DC모터에 의한 단순 ON/OFF구동에서 정류자와 브러시의 존재로 인한 고효율화의 한계와 큰 소음 및 내구성의 한계를 극복하기 위한 Brushless화를 통한 모터제어의 부가로 보다 높은 고성능화를 가져올 수 있다.

표 1은 현재 및 미래의 차량에서 전장부하의 대표적인 예를 나타내고 있다. 표에서 보는 바와 같이 대용량의 전동부하의 개발을 위해서는 자동차에 요구되는 각 부품별 부하조건을 만족하는 핵심부품으로서 42V에 최적화된 Electric Motor의 기술개발은 매우 중요한 부분이 된다.

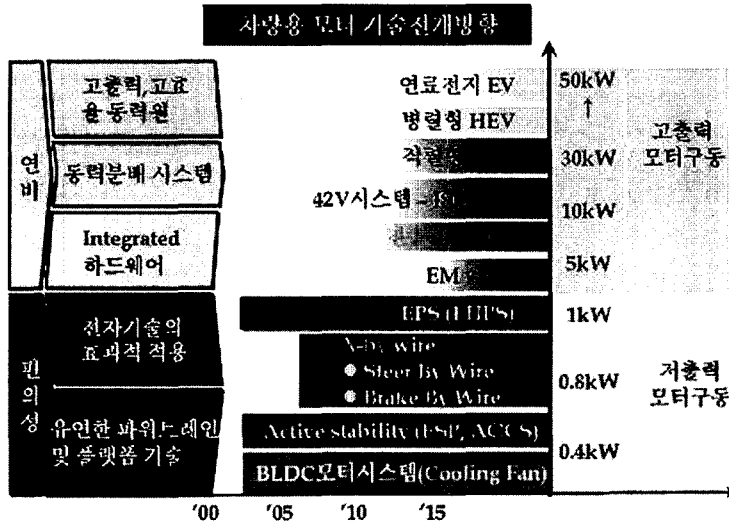
또한, 고효율, 저소음, 내구성 등의 장점에도 불구하고 고효율이 가능한 Brushless type PM

모터가 현재의 차량에 적용되지 못한 주된 원인은 14V 저전압 체계에서 모터 전류가 상당히 크기 때문에 Brushless DC 모터에서는 필수적인 전력용 반도체 소자의 전류용량의 증가로 인한 Cost 증가에 그 주된 원인이 있었다.

따라서 차량전원의 42V화는 동일 출력의 모터를 기준으로 하는 경우, 인가 전류치를

〈표 1〉 Electric Load of Current and Future Vehicles, Texas A&M

Load	Peak power [W]
Electro-mechanical valve	2,400
Engine cooling fan	800
Water pump	300
Power steering	1,000
Heated windshield	2,500
Catalytic converter	3,000
Active suspension	12,000
Communication/Navigator/Entertainment	100
Total	22,300



(그림 4) 차량용 모터의 기술전개방향

1/3 수준으로 낮출 수 있으며, 이는 전력용 소자의 Cost down으로 연결되게 되어 향후 42V 전력시스템에서는 기존 Brush 타입 DC 모터의 Brushless화가 점차적으로 진행되고, 기존 유압 또는 다른 방법에 의해 구현되던 부품들도 Brushless type의 전기모터를 이용한 새로운 부품 및 시스템으로 교체될 수 있는 여건이 주어지게 된다.

42V 승압 차량용 Electric Motor 제반 특성 분석 및 설계 연구를 위해서는 다음의 것들이 요구된다.

- ① 현재 12V 시스템에서 42V 시스템으로 변환될 때, 운전특성에 따른 Electric Motor의 부하조건을 부하산정 및 권선 등의 변화에 따른 설계변수의 변화를 고려하여야 한다.
- ② 자동차에 사용되는 Electric Motor는 경

박?단소화 뿐만 아니라 고성능, 고효율에 초점을 두고 개발되고 있는 바, 이러한 추세에 맞추어 기존의 직류직권전동기의 사용에 따른 계자권선을 에너지밀도가 높은 영구자석으로 대체하여 사용함으로써 권선에 의한 공간과 무게를 줄일 수 있으며 계자권선 전류에 기인한 발열과 손실을 저감함으로써 단위체적당 출력을 증대시켜야 한다.

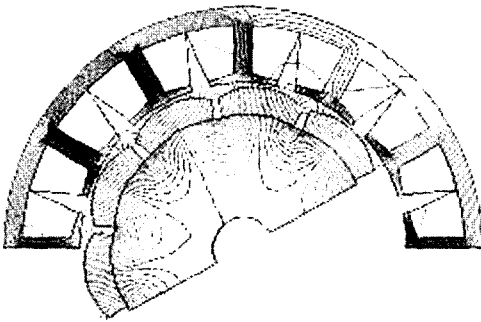
- ③ 뿐만 아니라 에너지 저장장치의 수명/충전상태에 따른 전압변동을 고려한 Electric Motor의 적용 및 설계연구가 시행되어야 한다.
- ④ 또한, 많은 사용빈도에 따른 많은 전력소비를 고려한 고효율 및 내구성을 고려한 설계가 요구될 뿐만 아니라 부하의 변화에 따라서 가변속 제어 특성 및 제어가 용이한 모터의 설계가 요구된다.

II. 42V 고전압 시스템용 모터 개발 사례

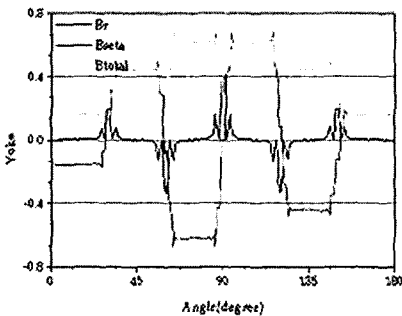
본 절에서는 기존의 14V로 구동되는 전동 부하 중 사용빈도가 가장 큰 Cooling Fan Motor의 42V모터로의 대체개발 사례와 현재 사용되는 전장부하 중 전력소모량이 큰 EHPS(Electro-Hydraulic Power Steering) 시스템의 42V 개발사례를 통해 42V 전원체계용 고전압 모터의 장단점을 비교하고자 한다.

1. Cooling Fan Motor

본 절에서는 기존의 14V로 구동되는 Radiator & Condenser 일체형 Cooling Fan용 Brush DC 모터의 효율적 구동을 위한 구동모터의 효율

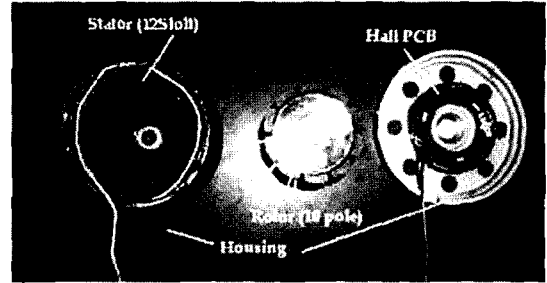


(a) 자속분포도

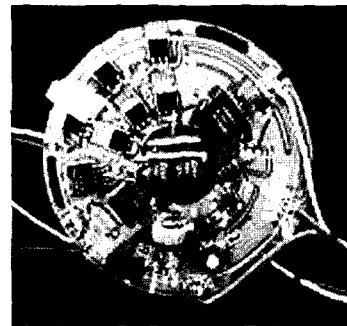


(b) 고정자 요크에서의 자속밀도

<그림 5> 개발된 모터의 자속분포도



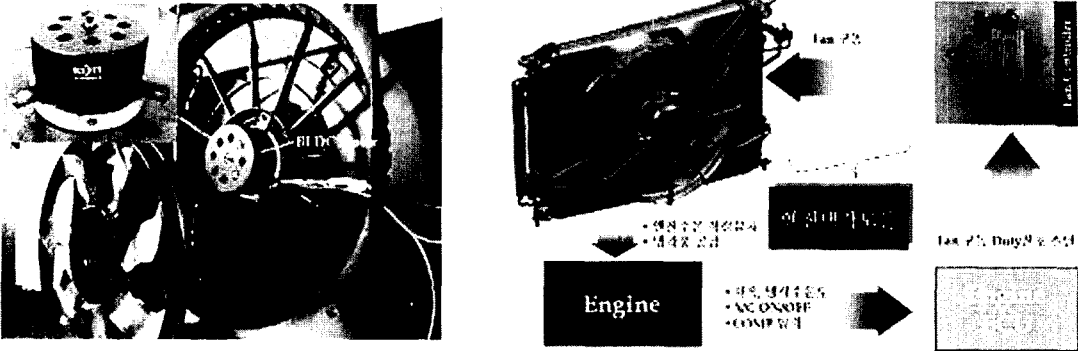
(a) 모터 Ass'y



(b) 내장형 Controller

<그림 6> 개발된 Fan Motor 최종 시제품 및 내장형 Controller

화를 통한 소형·고출력화 개발을 위하여 넓은 운전범위에서 높은 효율을 유지하는 장점을 가진 42V Brushless DC모터 개발로 본 기술개발에서는 최적의 모터의 선정을 위하여 회전자와 고정자에 대해서 전질 집중권과 돌극 집중권 및 리플저감을 위한 고정자 형상설계, 회전자의 마그네트 형상설계를 시행하여, 수치해석기법 및 최적설계 알고리즘을 적용하여 검증하였다. 그림 5는 개발된 모터의 자속분포도이며, 그림 6은 실제 제작된 개발된 모터를 보여 주고 있다. 그림에서 보는바와 같이 Cooling Fan모터의 사용시간 및 취부공간에 따른 열 특성 등을 고려하여 고정자 자속밀도를 선정하였으며, 실제 실장에서의 효율성 확보를 위하여 현재의 분리형으로 개발된 모



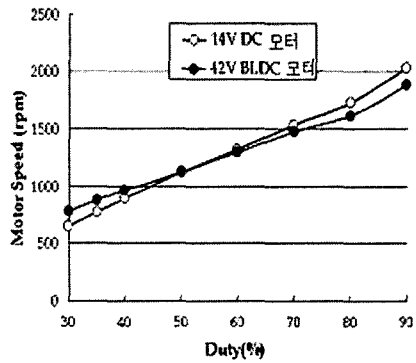
〈그림 7〉 개발된 Cooling Fan Module 및 냉각시스템 구성도

터와 구동 드라이버를 내장형으로 하여 일체화 개발하였다.

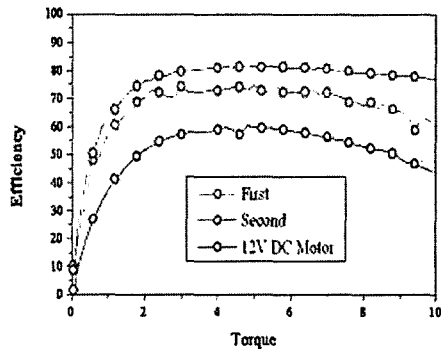
그림 7은 개발된 Cooling Fan Module 및 냉각시스템 구성도이다. 그림에서와 같이 엔진에 대한 정보 즉 차속, 냉각수 온도, 에어컨의 동작유무, Compressor 압력 등의 정보를 엔진 ECU에서 입력받아 적절한 모터 회전속도의 명령정보를 팬 컨트롤러에 보내게 되고, 컨트롤러에서 이를 입력받아 엔진냉각모듈의 모터를 적절히 운전시킴으로써 엔진을 최대의 효율을 유지하도록 구성되어 있다.

Fan controller는 자동차의 ECU에서 출력되는 12V, 300Hz 제어펄스를 입력받는 인터페이스부와 모터의 홀 신호 Ha, Hb, Hc를 입력받아 3상의 스위칭 신호를 출력하는 스위칭로직부, 마이크로 컨트롤러부, 구동 로직신호를 입력받아 6개의 스위칭 파워소자를 구동하게 하는 자동차용 파워 MOSFET 컨트롤러부, 인버터 파워부로 이루어져 있다.

그림 8은 기존의 12[V] DC모터와 개발된 42V BLDC모터의 입력 Duty 대비 모터속도



(a) 입력 Duty 대비 모터속도



(b)모터 효율

〈그림 8〉 기존모터와 개발된 모터의 성능특성 비교

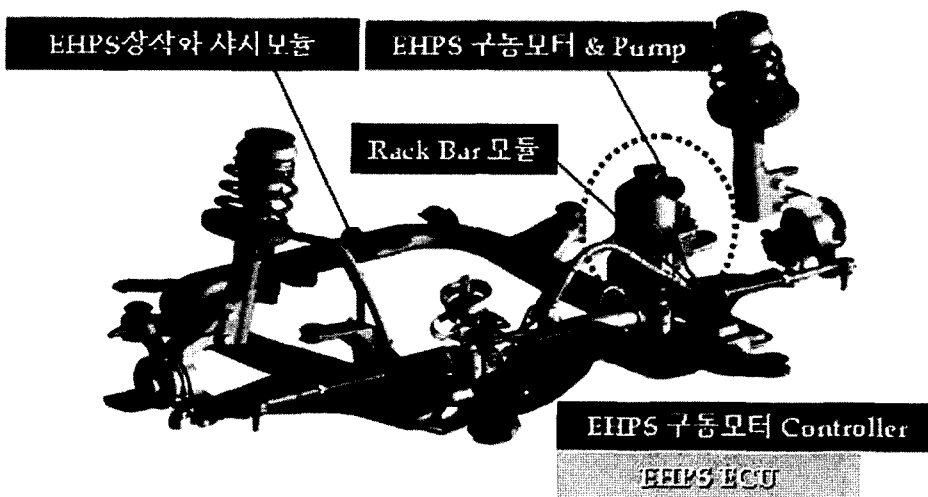
(a)와 모터 효율(b)을 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 최종 제작된 2차 모델은 기존의 12V 모터와의 특성에서 동등 이상의 특성을 가질 뿐만 아니라 정격점에서 모터 효율이 20%정도 향상됨으로서 동일 출력을 위한 소비전력이 상대적으로 감소함을 볼 수 있다. 이는, 차량의 상시부하로 큰 전기부하인 Cooling Fan의 소비전력의 저감으로 차량 성능 향상 및 설계의 자유도에 유리할 것으로 판단된다.

2. EHPS(Electro-Hydraulic Power Steering)시스템 구동 Motor

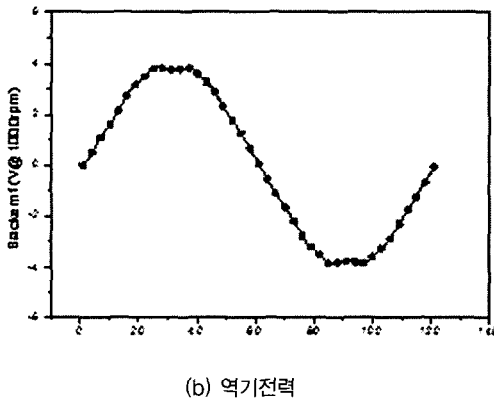
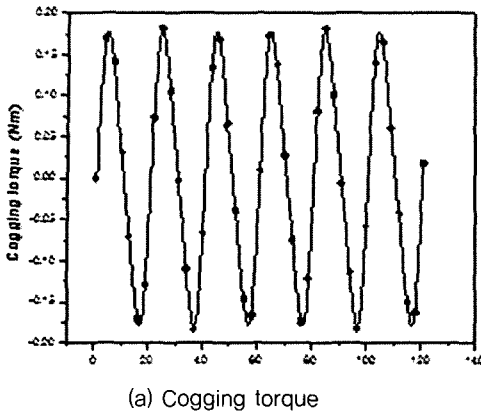
전동부하 메커니즘의 하나인 조향 시스템 분야는 고 연비증감 기술증진의 수요로 표 1에서와 같이 소비되는 소비전력이 커서 전동화에 따른 차량 성능개선의 효과가 커서 새로운 최우선 차량 전동부하로 나타나고 있다.

즉, 기존의 유압식 조향 시스템은 엔진에 장착되어 구동되므로 차량의 연비를 많이 저하시킨다. 이에 따라, 차량의 연비 저하를 최소화하는 EHPS(Electro-Hydraulic Power Steering), MDPS(Motor Driven Power Steering)등의 개발이 요구되고 있으며, 이러한 연비개선 효과 및 기존의 엔진에 연결된 모듈의 전동화에 따른 Packaging 측면에서의 유리한 장점으로 해외에서는 이미 상용화되어 적용 중에 있다. 그림 9는 EHPS를 장착한 42V 차량의 샤시모듈 간략도를 보인다. 소형차량에서는 MDPS가 주로 장착되고, 큰 토크가 필요한 중, 대형 차량에서 EHPS 적용이 가속화 되고 있다.

본 연구개발에서는 EHPS의 구동모듈로서 영구자석 매입형(IPM type: Interior Permanent Magnet type) BLDC(Brushless DC) 모터를 설계하고 그 특성을 검토하였다. 구동방식은 180° 정현파 구동방식을 고려하였으며, 운전 영역은 차량 정지시 최대부하 조건을 고려하



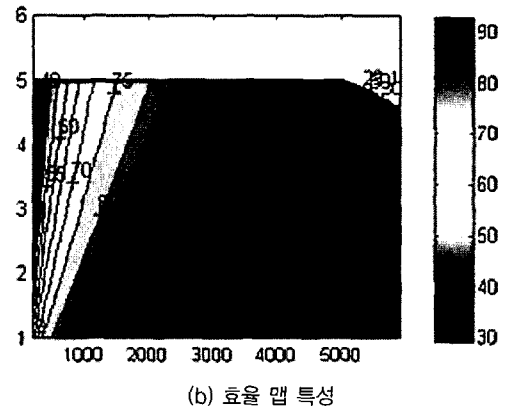
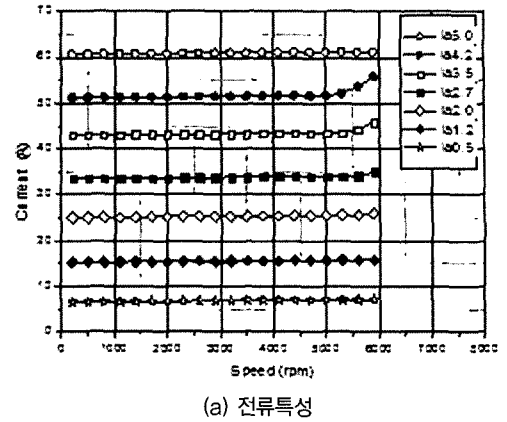
〈그림 9〉 EHPS 장착 샤시모듈



〈그림 10〉 초기 설계된 IPM모터의 Cogging Torque 및 역기전력 해석결과

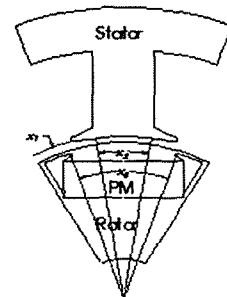
여 2.0[kW]의 출력을 낼 수 있도록 하였다. 그림 10은 초기 설계된 IPM모터의 Cogging Torque 및 역기전력 특성을 나타내고 있다. 또한 그림 11은 부하가변에 따른 전류 및 효율 맵 특성을 보인다.

초기 설계된 IPM모터로부터 출력특성을 확인하였으나, EHPS시스템에 적용되었을 때의 조향성능 향상을 위하여 Cogging Torque최소화를 위한 최적화 설계를 수행하였다. 최적화 기법으로는 반응표면법(RSM: Response Surface Method)을 사용하였으며, 그림 12는



〈그림 11〉 부하가변에 따른 전류 및 효율 맵 해석결과

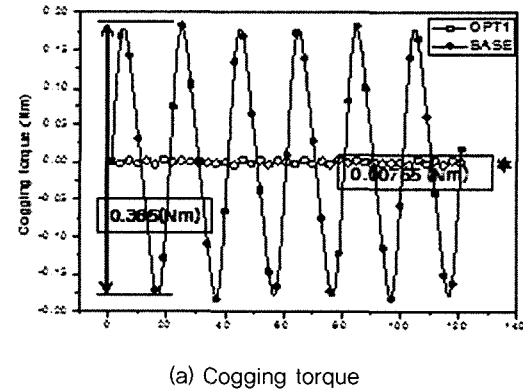
최적화를 위한 BLDC 모터의 단면 및 설계변수를 나타내고 있다. 그림에서 보이듯이 중요



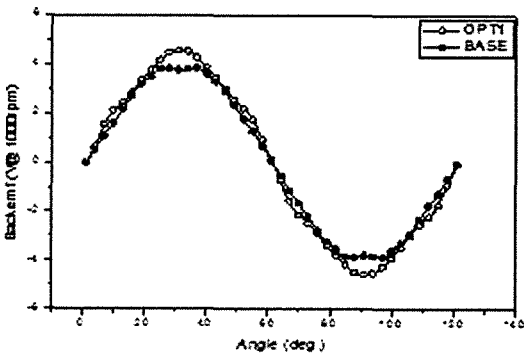
〈그림 12〉 최적화 설계변수

설계변수로써, 고정자 치 형상 및 회전자 형상을 결정하는 요소를 설정하였다.

그림 13은 최적화된 모델의 cogging torque 및 역기전력 특성해석 결과를 기본모델에 비하여 나타낸 결과이다. 최적화 모델의 코깅토크가 기본모델에 비하여 약 2%의 크기로 감소되었음을 알 수 있으며, 역기전력의 크기는 약 4.5[V]로 기본모델에 비하여 15.4% 증가하였으며, 파형 또한 정현파에 가까움을 확인할 수 있다.

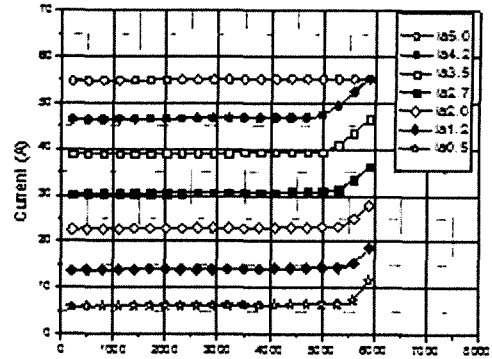


(a) Cogging torque

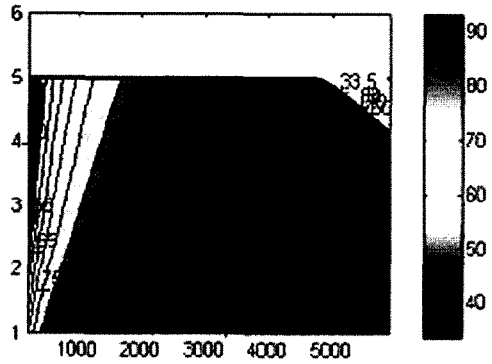


(b) 역기 전력

〈그림 13〉 최적화 모델의 Cogging torque 및 역기 전력 해석결과



(a) 전류특성

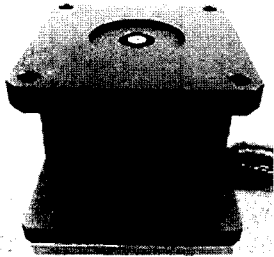


(b) 효율 맵 특성

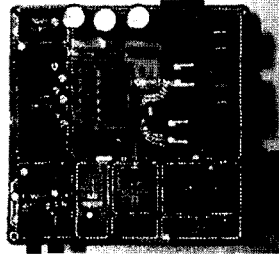
〈그림 14〉 부하가변에 따른 전류 및 효율 맵 해석결과

이러한 결과로 인한 부하가변에 따른 상전류 및 효율 맵 특성은 그림 14와 같다. 부하 4.2Nm시 약 4,700rpm까지 정토크 운전이 가능함을 보이고 있으나 전류 51A의 기본모델에 비하여 약 92% 수준인 47A의 전류가 감소됨을 확인할 수 있다. 또한, 출력 2.0kW, 속도 4,000rpm 제어시 약 91% 정도의 효율을 가짐을 알 수 있다.

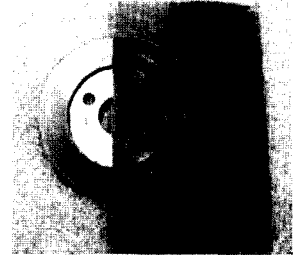
그림 15는 제작된 IPM모터와 Controller의 시작품을 나타내고 있다. 본 개발에서는 개발 대상 모터의 소형, 고출력화를 위하여 스위칭



(a) 모터 조립도

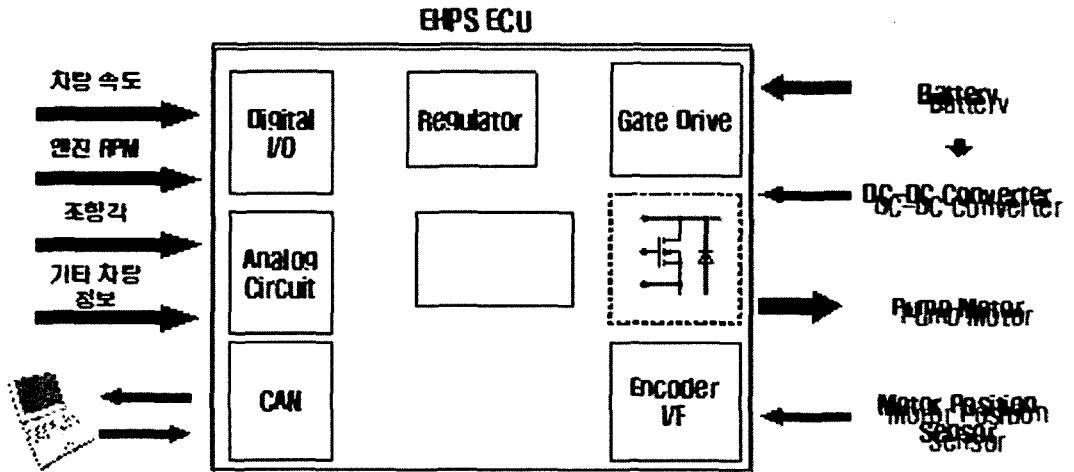


(b) 컨트롤러 조립도



(c) 다극 Magnetic센서

〈그림 15〉 시작품 사진



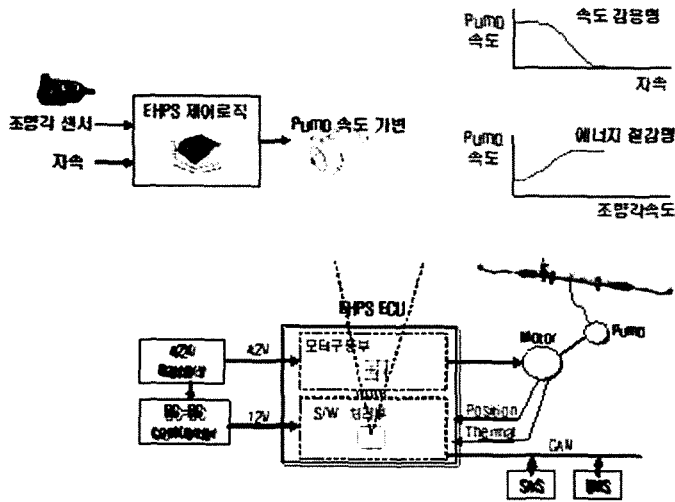
〈그림 16〉 ECU Block Diagram 기본도

및 회전속도 검출을 위한 다극 Slim형 Magnetic 센서가 병행하여 개발되었다.

EHPS의 유량제어를 위해서는 최소의 맥동을 갖는 최적제어가 필요하다. 본 연구개발에서는 EHPS의 설계 사양을 토대로 ECU(Electrical Circuit Unit)의 상세 입출력을 정의하였으며 그림 16과 같이 Block Diagram

으로 도시하였다.

필요한 A/D 채널 및 I/O 개수, CAN 통신기능, 처리 속도, 메모리 Size등을 고려하여 핵심 칩인 MCU가 선정되었으며, 그림 17과 같이 시스템 제어로직을 구성하여 특성실험을 수행하였다.



〈그림 17〉 EHPS 제어로직 구성도

IV. 결론

차량의 전동화는 현재 기계, 전자, 통신, 제어를 기초분야로 하여 차량의 안전성과 편의성을 획기적으로 향상시킴으로써 안전하고 쾌적한 교통 환경을 확보하고 교통사고로 인한 사회적인 인적/물적 손실을 최소화하도록 하기 위하여 여러 가지 안전 및 편리장치를 중심으로 많은 기술개발이 이뤄지고 있다. 특히 이러한 전동화 장치는 기존의 전력수요의 한계로 인하여 적용이 미루어 오던 많은 전동시스템들이 하이브리드자동차와 연료전지 자동차의 출현에 따라 그 적용가능성이 점차 증대되고 있으며, 이는 42V 구동 전동모터의 개발과 그에 따른 부하를 고려한 시스템의 개발에 많은 노력을 요구하고 있다.

따라서 이러한 차량용 전동시스템의 개발 분야에 있어, 구동모터 및 드라이버와 같은 핵

심적 구동부품 분야는 선진국에 비해 많은 기술격차를 가지고 있는 만큼 보다 많은 관심과 이에 필요한 전문인력의 양성이 무엇보다 중요하다 할 수 있다.

참고문헌

- [1] 성하경외, “42V 전동식 에어컨 시스템용 모터 개발, (기획시리즈, 차세대 자동차 전장품 기술개발 소개)” 대한전기학회지(전기의 세계), vol 52, no. 10 pp.42-48, October 2003.
- [2] Jin Hur 외, “ Determination of Parameters Considering Magnetic Nonlinearity in an Interior Permanent Magnet Synchronous Motor,” IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 42, No. 4, pp 1303-1306, April, 2006.
- [3] J. Hur외, “Development of BLDC Motor using Metal Powdered Core for 42V Fan Application of



Hybrid Electric Vehicle,” WSAES Transaction on Circuit and Systems, Vol. 4, No. 7, July 2005

- [4] G. H. Kang, B. K. Lee and J. Hur, “Rotor Shape Design of Interior Type Permanent Magnet Motor Considering Irreversible Demagnetization,” Proc. of IEEE CEFC2004, Seoul, KOREA, June 200
- [5] 권병일 외, “영구자석 형상비를 고려한 영구자석 매입형 BLDC 전동기 설계 및 특성해석” 대한전기학회 논문지, 55B-1-1, pp.1-8, 2006.

저자소개



류 세 현

2003년~2006년 공학박사, 한양대(전자전기제어계측공학)
 1999년~현재 책임연구원, 전자부품연구원
 2006년~현재 겸임교수, 한양대학교
 Technical Committee ICEMS(International Conference on Electric Machines and Systems) 2007

저자소개



허 진

1999년 공학박사, 한양대(전기공학)
 1999년~2000년 Postdoctoral Research Associate, Texas A&M Univ.
 2000년~2001년 연구교수, 한양대
 2002년~현재 책임연구원, 전자부품연구원
 2004년~2006년 겸임교수, 한국산업기술대
 2006년~현재 겸임교수, 성균관대
 2004년~현재 IEEE Senior member
 2003년~Reviewer for IEEE Trans. on Energy conversion,
 IEEE Trans. on Vehicular Technology,
 IEEE Trans. on Power Electronics.
 Technical Committee ICEMS(International Conference on Electric Machines and Systems) 2004, ICEMS 2005,
 General Secretary ICEMS 2007
 Special Session Organizer, IEEE VPPC(Vehicle Propulsion and Power System Conference) 2007
 편집이사, 대한전기학회 B부문(전기기기 및 에너지변환 시스템부문회)
 학술위원, 홍보위원, 대한전기학회



최 준 혁

2001년~2003년 공학석사, 성균관대(전기공학)
 2003년~현재 선임연구원, 전자부품연구원