

## 42V 자동차 EHPS용 BLDC 모터 개발에 관한 연구

류세현, 김영균, 허 진, 성하경  
전자부품연구원

### A Study on the Development of the BLDC Motor for 42V Automotive EHPS

Se-hyun Rhyu, Young-kyoun Kim, Jin Hur, Ha-gyeong Sung  
Intelligent Mechatronics Research Center, KETI

**Abstract** - The increment of electric power demand causes interest on new higher power system such as 42V Power Net, and furthermore necessity for development of energy storage device is highlighted recently. Owing to high efficiency and easy speed control of brushless DC(BLDC) motor, the demand of BLDC motor that has high power and low noises are increasing. Especially demand of interior permanent magnet(IPM) type BLDC with high efficiency and high power in electric motion vehicle is increasing. This paper presents the design of the BLDC motor for EHPS(Electro-Hydraulic Power Steering) in 42V system and verified the characteristics by simulation and test results.

### 1. 서 론

자동차 산업은 안전성, 편리성, 승차감 등 소비자의 다양한 요구 및 저공해, 친 환경 등의 사회적 요구와 더불어 세계시장의 선점을 위한 새로운 기술 개발에 대한 필요성으로 빠른 발전을 이루고 있는 기술 집약형 산업으로, 최근의 각종 전력전자 및 전기시스템 기술의 발전은 42V 고전압체계의 기술개발을 유도하고 있다. 차량의 전원 시스템이 42V 체계로 전환되는 주된 원인은 친환경성을 바탕으로 한 안전 및 편리성의 향상을 위해 지속적으로 증가하는 전력수요에 있으며, 이러한 전력수요의 대부분은 차량 안전, 성능개선, 편의성 향상을 위한 차량 각 부분의 전동화로 인한 것이다. 특히, 편의성 및 환경성의 측면에서 전동화 되는 전장부하는 지속적으로 증가하여 14V전원의 한계를 가져와 공급전압의 상승을 통한 전력효율 및 전동부하의 효율증대를 통한 효과적인 이용을 목적으로 42V화 되어지고 있다.

특히, 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 요구 되고 있으며, 이러한 연비개선 효과 및 기존의 엔진에 연결된 모듈의 전동화에 따른 패키징 측면에서의 유리한 장점으로 해외에서는 이미 상용화되어 적용 중에 있다. 그림 1은 EHPS를 장착한 42V 차량의 사시모듈 간략도를 보인다. 소형차량에서는 MDPS가 주로 장착되고, 큰 토요코가 필요한 중, 대형 차량에서 EHPS 적용이 가속화 되고 있다. 따라서 국내 자동차 시장 확산 및 기술경쟁력 확보를 위하여 중, 대형 차량 EHPS 개발 필요성이 급진되고 있다.

표 1. 차량 전장부하 구성

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

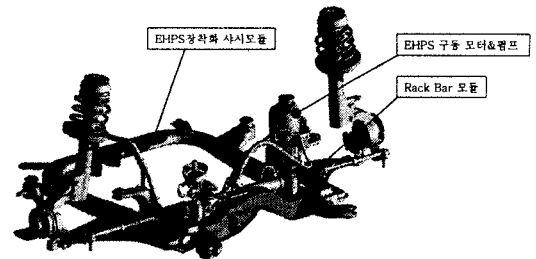


그림 1 EHPS 장착 사시모듈

차량운전 시 운전자에게 가장 적합한 조향력은 주행 조건에 따라 변화하여 정지상태(공회전)나 저속주행 중에는 가벼운 조향력이 공급되고, 고속영역에서는 안정성을 얻을 수 있는 적정히 무거운 조향력이 요구된다. 조향력 제어를 위해서 유압펌프를 이용하는 EHPS 시스템에 있어서, 유압특성을 전동모듈을 이용하여 차속에 따라 변화시켜 차속 및 조향 상태에 따르는 적절한 조향특성을 제공해야 함으로, 고정도의 전동모듈 개발기술이 매우 중요한 기술로 요구되고 있다.

본 논문에서는 EHPS의 구동모듈로서 영구자석 매입형(IPM type: Interior Permanent Magnet type) BLDC(Brushless DC) 모터를 설계하고 그 특성을 검토하였다. 구동방식은 180° 정현파 구동방식을 고려하였으며, 운전영역은 차량 정지시 최대부하 조건을 고려하여 2.0[kW]의 출력을 낼 수 있도록 하였다.

### 2. EHPS 시스템용 BLDC모터 기본설계

그림 2는 42[V] 자동차용 EHPS 구동을 BLDC모터의 설계순서도를 나타낸다. 본 설계에서는 내구성 등을 고려하여 IPM type을 선정하였으며, 기본설계 및 코깁도 크 최소화화를 위한 자기회로 최적설계를 수행하고 그 특성을 검토하였다. 최적설계 기법으로는 반응표면법

(Response Surface Method)을 사용하였으며, 설계 순서도는 그림 2와 같다.

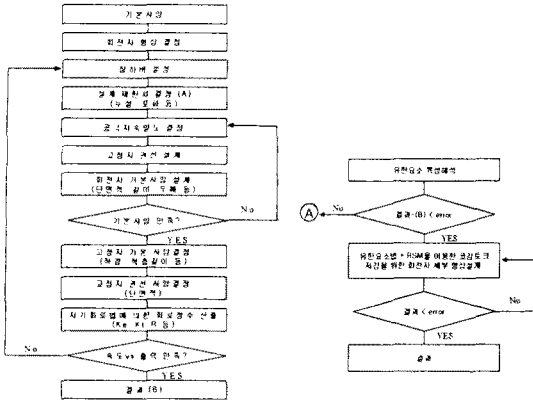


그림 2 BLDC모터 설계 순서도

표 2는 설계된 모터의 제원을 나타낸다. 영구자석의 종류는 Nd 소결을 선정하였으며, 권선방법은 설계된 코일의 경우 고려하여 병렬회로수 3을 고려하였다.

표 2. 설계된 모터의 제원

항목	Value	항목	Value
슬롯수	9slots	직렬턴수/상	24turns
극 수	6poles	권선선양	2.3mm
고정자 외경	100mm	적층폭	40mm
고정자 내경	56mm	코어 재질	S18
슬롯 폭	3.0mm	영구자석 재질	Nd소결 (Br=1.2T)
공극길이	1.0mm	영구자석 크기	19x6.3mm

설계된 기본모델을 대상으로 D-Q 등가회로법 및 2차원 유한요소법을 이용한 특성해석을 행하였다.

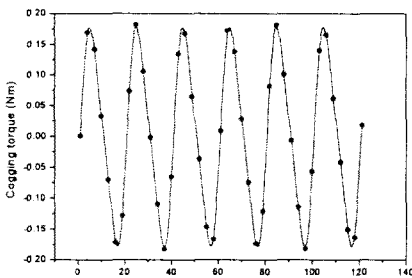


그림 3 코깅토크 해석결과

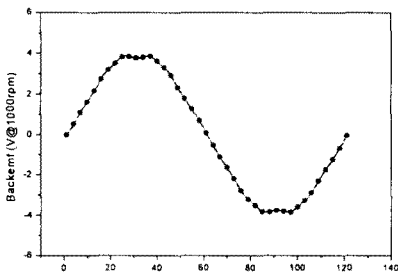


그림 4 Back-EMF 해석결과

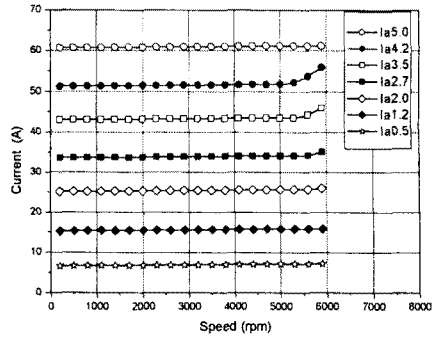


그림 5 부하가변에 따른 전류특성 해석결과

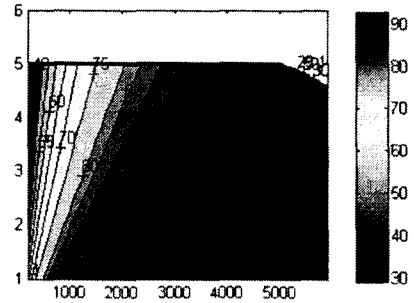


그림 6 효율 맵 해석결과

그림 3과 4는 코깅토크 및 속도 1,000rpm에서의 back-EMF 특성의 유한요소해석 결과이다. 코깅토크의 크기는 0.365[Nm], back-EMF의 크기는 약 3.9[V]를 가짐을 알 수 있다. 또한, 그림 5와 6은 D-Q 등가회로 해석을 이용한 부하가변에 따른 상전류 및 효율 맵 특성을 나타낸다. 부하 4.2[Nm]시 약 5,000[rpm]까지 정토크 운전이 가능함을 보이고 있으며, 또한 출력 2.0[kW], 속도 4,000[rpm] 제어시 약 88[%] 정도의 효율을 가짐을 알 수 있다.

### 3. 코깅토크 저감화 최적설계

본 연구에서는 설계된 기본모델을 대상으로 성능향상을 위하여 코깅토크 저감화 최적설계를 행하였다. 최적화 기법으로는 RSM을 사용하였다[1]. 그림 7은 최적화 설계변수를 나타낸다.

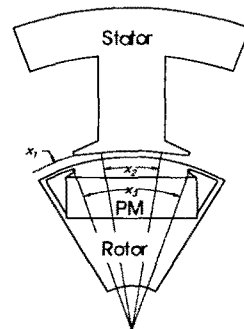


그림 7 최적화 설계변수

다음의 그림 8과 9는 유한요소 해석을 이용하여 코깅토크를 저감시키기 위하여 최적 설계된 모델의 코깅토크 및 back-EMF 해석결과를 보인다.

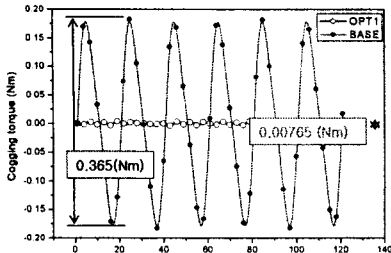


그림. 8 코깅토크 해석결과

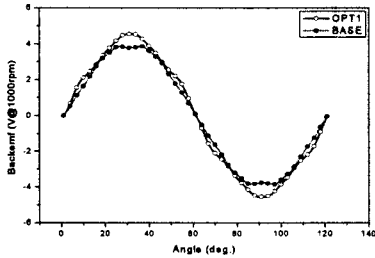


그림. 9 역기전압 해석결과

최적화 모델의 코깅토크가 기본모델에 비하여 약 2%의 크기로 감소되었음을 알 수 있으며, back-EMF 크기는 약 4.5[V]로 기본모델에 비하여 15.4% 증가하였으며, 파형 또한 정현파에 가까움을 확인 할 수 있다. 그림 10과 11은 부하가변에 따른 상전류 및 효율 맵 특성을 나타낸다. 부하 4.2[Nm]시 약 4,700[rpm]까지 정토크 운전이 가능함을 보이고 있으나 전류 51[A]의 기본모델에 비하여 약 92[%] 수준인 47[A]의 전류가 감소됨을 확인할 수 있다. 또한, 출력 2.0[kW], 속도 4,000[rpm] 제어시 약 91[%] 정도의 효율을 가짐을 알 수 있다.

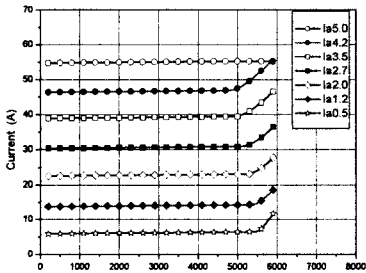


그림. 10 부하가변에 따른 전류특성 해석결과

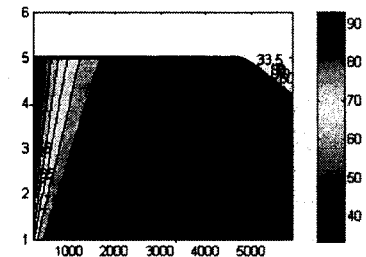
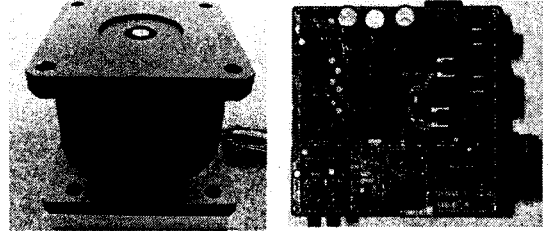


그림. 11 효율 맵 해석결과

#### 4. 특성평가

그림 12는 제작된 EHPS 시스템 구동용 BLDC 모터 및 컨트롤러를 나타낸다. 전체 외경은 104[mm], 길이는 95[mm]다. 그림 13과 14는 기본모델의 부하가변에 따른

속도 2,000[rpm]과 4,000[rpm]에서의 상전류 및 상전압 특성에 대한 실험치를 보인다. 그림 5의 해석치와 비교하여 볼 때, 유사한 값을 보임을 알 수 있다. 기본모델의 해석치와 실험치로부터 최적화된 모델의 특성은 기본모델에 비하여 양호한 특성을 가질 것으로 기대된다. 이는 코깅토크 감소 및 릴럭턴스 유효 토크분의 증가에 따른 것으로 보인다.



(a) 모터 조립도 (b) 컨트롤러 조립도  
그림. 12 시작품 사진

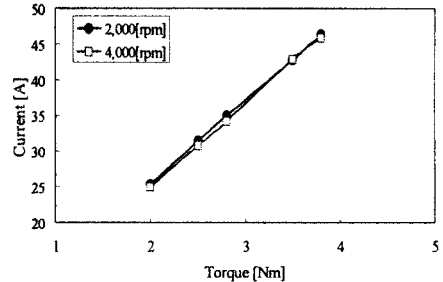


그림. 13 부하가변에 따른 상전류 특성

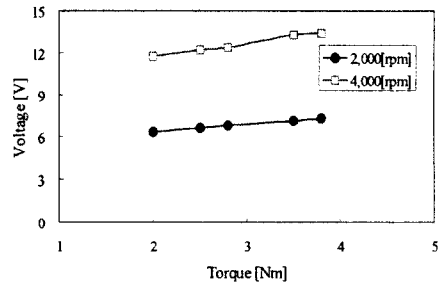


그림. 14 부하가변에 따른 상전압 특성

#### 5. 결 론

본 논문에서는 42V 차량용 EHPS 시스템 구동용 BLDC 모터를 설계하고 특성을 분석하였다. 기본모델을 대상으로 유한요소법 및 D-Q 등가회로 해석을 통하여 코깅토크, 부하가변에 따른 전류특성 및 효율 맵을 분석하였다. 또한, RSM을 이용하여 코깅토크 저감을 위한 모델을 최적 설계하였다. 해석결과로부터 기본모델에 비하여 최적화 모델이 전류 특성 및 효율 특성이 향상되었음을 확인하였다. 실제로 기본모델의 실험을 통하여 해석치와 유사한 특성을 가짐을 보였다. 차후, 최적화된 모델의 제작 및 실험을 통하여 특성 확인이 필요하다.

#### [참 고 문 헌]

[1] 김사무엘, 정승호, 류세현, 권병일, "BLDC 전동기의 정현적 공극자속밀도 구현에 의한 코깅 토크 저감", 대한전기학회 논문지, 56-1-9, pp.57-65, 2007