

Mild Hybrid차량의 전동에어컨용 고효율 BLDC Motor개발

허진, 정인성, 류세현, 김주한, 성하경, 강규홍
전자부품연구원, 창원대학교

Development of High efficient BLDC Motor for Electric Air Conditioner of Mild Hybrid Vehicle

Hur Jin, Jung In-Soung, Ryu Se-Hyun, Kim Joo-Han, Sung Ha-Gyeong and Kang Gyu-Hong
Korea Electronic Technology Institute (KETI), Changwon National Univ.

Abstract - A lot of conventional automotive components driven by mechanical power source are being replaced with electrical ones to comply with the demands of market and customer, therefore the amount of electric energy used in a vehicle will be increased continuously. 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. This paper present the design of the BLDC motor for electric air-conditioner in 42V system and compare with the characteristics of several type BLDC motor.

1. 서론

차량의 전원 시스템이 42V 체계로 전환되는 주된 원인은 친환경성을 바탕으로 한 성능개선, 안전 및 편리성의 향상을 위해 지속적으로 증가하는 전력수요에 있으며, 이는 차량 각 부분의 전동화로 인한 것이다. 즉 연료 소비효율의 향상 및 배기가스 저감을 위한 새로운 개념의 일체형 시동 및 전원공급 장치 (ISG), Electromagnetic valve, 차량의 성능개선을 위한 전기모터로 구동되는 power steering, electric water pump, brake-by-wire, throttle-by-wire, 성능개선 및 편의성 향상을 위한 electric air-conditioner 등의 차량전동화에 방점을 두고 있다. 이러한, 42V 고전압 체계에서의 차량용 전동식 에어컨을 위한 compressor는 많은 수요전력을 가지는 부품으로서 최적화 개발을 통한 고효율화 및 저체적화가 요구되는 중요 차량전동부품이다. 초기의 42V 고전압 체계의 구성에서는 차량용 전동식 에어컨 compressor가 미래의 전기부하로서 제안되었으나 ISG시스템의 출현으로 idling stop시에도 에어컨이 동작해야 하므로 현재는 반드시 요구되는 중요한 전기부하로 분류되고 있다. 이러한 에어컨의 기계식으로부터 전동식으로의 변환의 또 다른 주요 장점은 fan belt에 의존하는 system을 제거함으로써, packing flexibility가 확보되어 차체설계에서 중요한 자유도를 갖게 한다는 것이다. 그러나 요구되는 에너지가 상대적으로 매우 커서 엔진의 정지 시에 에너지 저장장치에 의해서만 구동될 때 심각한 정도로 구동효율 저감을 하게 되고, 따라서 그 변환의 정당성마저 초기에 불분명할 것으로 고려되었으므로 이에 대한 전력부하특성을 고려하여 설계되어야 한다. 이러한 차량용 에어컨 compressor의 조건으로는 빠르게 차 안을 냉각시켜야 하므로 고효율 운전이 가능한 모터이어야 하며 작고, 가벼우며 가능한 낮은 fuel-consuming의 조건을 만족해야 한다. 뿐만 아니라 에어컨 compressor는 열 교환을 많이 할수록 부하가 크게 되므로 부하matching이 가장 중요하다. 따라서 현재 일반적으로 적용되어 사용되고 있는 자동차용 fan모터와 달리 air condition용 모터는 부하조건이 크게 다르므로 운전특성을 고려한 부하산정 및 적용 대상에 따른 부하특성을 파악하여야 한다. 뿐만 아니라 에너지 저장장치의 수명/충전상태에 따른 전압변동을 고려한 모터적용 및 설계연구가 시행되어야 한다. 또한 현

재의 차량용 전기모터로서 차량에 적용되고 있는 brush DC모터가 정류자와 브러시의 존재로 인해 고효율화에 한계가 있으며, 소음이 크며 내구성의 한계 및 전자기적 잡음이 문제가 되나 이러한 단점들에도 불구하고 좀더 성능이 좋은 brushless DC 모터 등으로의 대체가 이루어지지 못하는 것은 14V 저전압 체계에서는 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 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 구원되던 부품들도 brushless type의 전기모터를 이용한 새로운 부품 및 시스템으로 교체될 수 있는 여건이 주어지게 된다. 따라서 본 논문에서는 차량용 에어컨의 고효율구동을 위한 brushless motor를 설계하고 그 특성을 분석하고자 한다.

2. BLDC모터의 설계

영구자석을 이용한 brushless motor는 자기회로를 구성하는 영구자석과 회전자의 형태에 따라 표면 부착형 영구자석 전동기(Surface mounted permanent magnet motor: SPM)와 매입형 영구자석 전동기로 분류된다. 매입형 영구자석 전동기는 자기회로 구성에 따라 IPM(Interior Permanent magnet Motor) type 전동기와 Spoke type 전동기로 분류된다. SPM 전동기와 IPM 전동기의 구조를 그림 1에 나타내었다. Interior type는 영구자석에 의한 자속이 고정자측과 쇄교하기 위해서 회전자에 Flux barrier를 구성하고 있다. Interior type 전동기의 영구자석에 의한 자속 특성을 그림 2에 나타내었다.

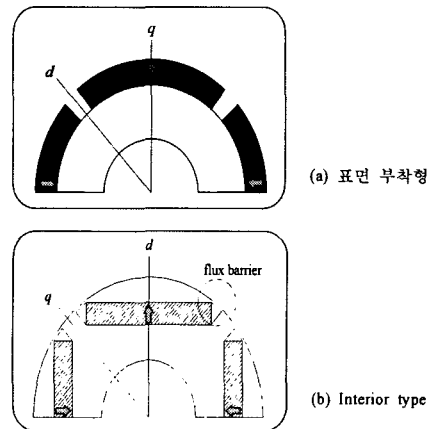


그림 1 영구자석 전동기의 구조

본 연구에서는 고효율 전동어컨 Compressor용 motor의 설계를 위하여 세 가지 type brushless motor에 대하여 설계를 수행하였다. 설계된 세 가지의 brushless모터의 비교 분석을 통하여 효율적인 자기회로 설계 및 특성해석에 대한 요소기술을 확보하고 제안된 개발 목표 사양을 만족하도록 자기회로의 최적설계를 수행함으로써 동일 체적을 갖는 모터에 대하여 고 출력밀도를 구현함으로써 손실을 줄이고 소형 경량화된 모터를 설계하였다.

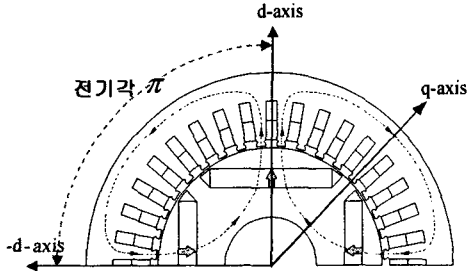
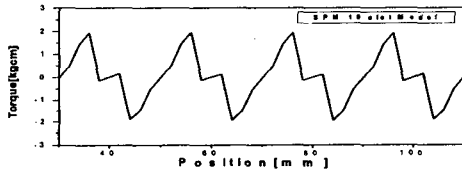


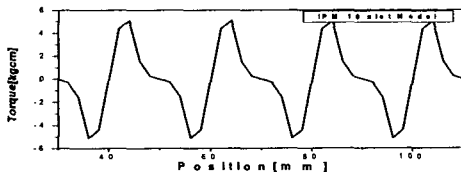
그림 2 Interior type 전동기의 영구자석에 의한 자속 특성

3. 포화를 고려한 설계 및 특성해석

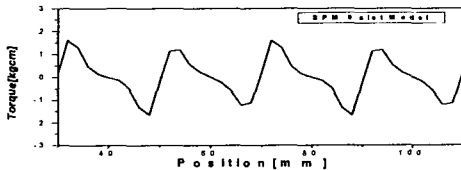
초기설계에서 전동기 특성은 요구사항을 만족하나 치의 포화에 의한 철손의 증가로부터 효율 감소 및 전동기 온도상승의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 회전자 및 권선의 제원은 동일하게 두고 치 폭을 증가시켜 치 자속을 감소하도록 고정자의 수정 설계가 요구된다. 본 장에서는 치 자속밀도는 1.5[T], 고정자 요크 자속밀도는 1.2[T], 권선 점적률은 제작을 고려하여 35[%]가 되도록 치 폭 및 슬롯 단면적을 변경하여 설계하였다.



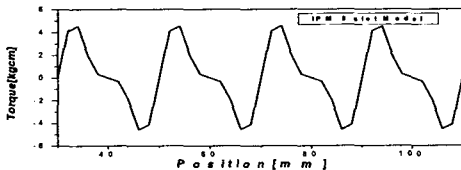
(a) SPM-18 slot cogging torque 특성



(b) IPM-18 slot cogging torque 특성



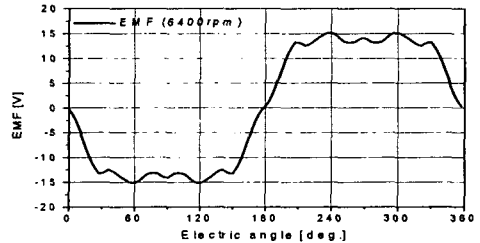
(c) SPM-9 slot cogging torque 특성



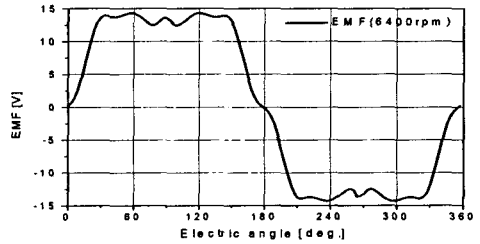
(b) IPM-9 slot cogging torque 특성

그림 3. cogging torque 특성

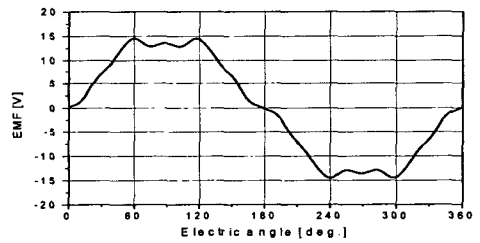
또한 특성 개선을 위해 권선 분포를 전절집중권과 들극 집중권 두 모델을 설계하였다. 설계된 전동기의 특성을 각 type별로 비교하여 아래 그림에 나타내었다. 그림 3에 나타난 Cogging torque 해석결과 IPM type이 SPM에 비해 다소 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 또한, 각 전동기 type별 EMF 특성을 그림 4에 나타내었다. 이때 회전속도는 6,400[rpm]을 동일하게 적용하였다. 또한, 각 전동기 type별 commutation torque 특성을 그림 5에 나타내었으며 motor type별 평균 토크 특성을 표 1에 나타내었다.



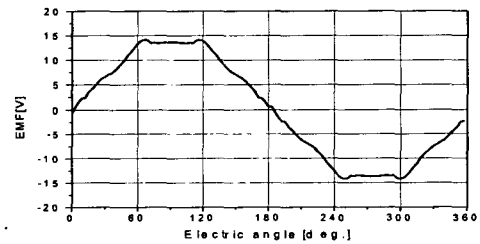
(a) SPM-18 slot의 EMF 특성



(a) IPM-18 slot EMF 특성



(c) SPM-9 slot EMF 특성

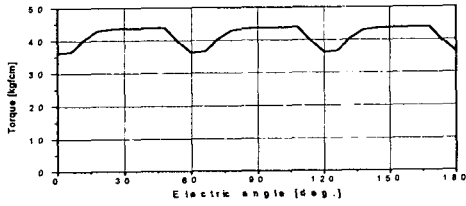


(d) IPM-9 slot EMF 특성

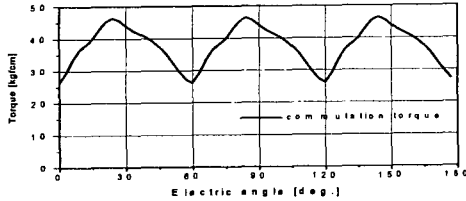
그림 4. EMF 특성

표 1 commutation torque 비교

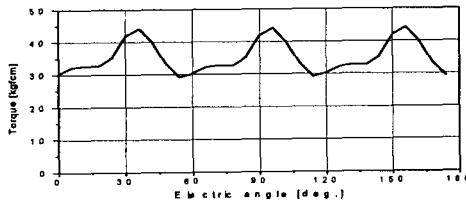
Motor type	Average torque
SPM-18 slot	41.25 [kgfcm]
IPM-18 slot	37.65 [kgfcm]
SPM-9 slot	35.15 [kgfcm]
IPM-18 slot	34.83 [kgfcm]



(a) SPM-18 slot의 torque 특성



(b) IPM-18 slot commutation torque 특성



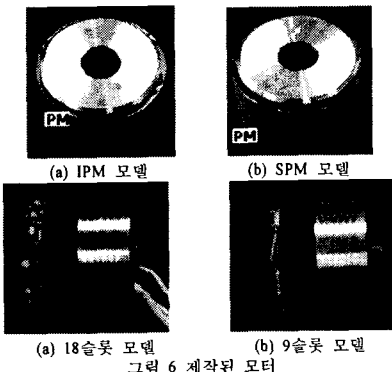
(c) SPM-9 slot commutation torque 특성



(d) IPM-9 slot commutation torque 특성

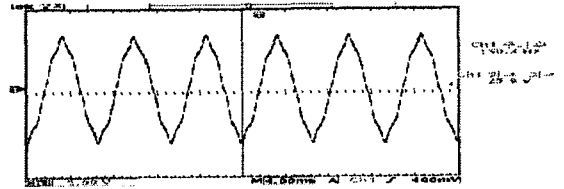
그림 5. Torque 특성

그림 6은 설계된 두 가지 형태의 회전자구조와 두 가지 형태의 고정자에 대해 제작된 모델을 나타내고 있다.

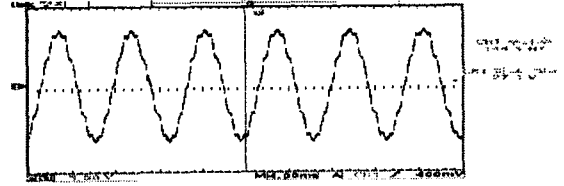


(a) 18슬롯 모델 (b) 9슬롯 모델
그림 6 제작된 모터

또한, 그림 7은 제작된 모터의 각각 3000[rpm]에서의 역기전력을 나타내고 있다. 측정결과로부터 제작된 모터는 설계치와 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 8은 제작된 9슬롯 IPM모터의 출력특성을 나타내고 있다. 실험결과에서 나타난 바와 같이 효율 92% 및 설계된 모터의 특성이 잘 만족되고 있음을 볼 수 있다.



(a) 9Slot SPM 모델(3,000rpm), 선간전압



(b) 18Slot IPM 모델(3,000rpm), 선간전압

그림 7. 제작된 모터의 역기전력 특성

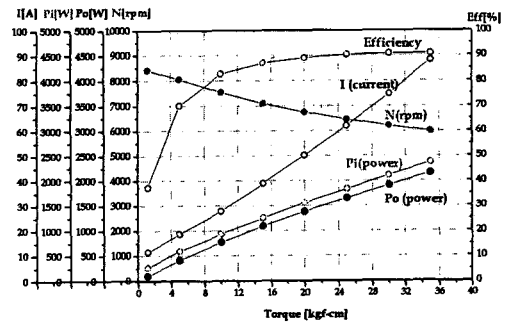


그림 8. 제작된 모터의 실험특성

3. 결 론

본 논문에서는 향후 자동차의 전장시스템에서 중요 전기부하로 예상되는 자동차 전동 에어컨 compressor 구동 BLDC motor의 설계 및 특성해석을 수행하였다. 전동기의 회전자는 영구자석 표면 부착형 rotor(SPM)와 매입형 영구자석 rotor(IPM) 두개 type을, 고정자는 전철 집중권과 돌극 집중권을 각각 조합하여 설계 및 특성해석을 수행하였다. 설계된 모터는 실험을 통하여 그 설계의 타당성을 검증하였다. 설계 및 측정결과로부터 고속으로 구동되는 전동에어컨 compressor용 모터로는 9슬롯의 IPM 모터가 최적의 특성을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 본 연구결과로 바탕으로 향후 compressor와의 결합된 구동특성 및 제작을 통한 연구가 추가되어야 할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1]. G. H. Kang, J. Hur and J. P. Hong, "Comparison of Irreversible Demagnetization Characteristics by Rotor structure in Permanent Magnet type Brushless DC Motors," (To be published on *IEEE Trans. on Magnetics*)
- [2]. G. H. Kang, J. Hur and J. P. Hong, "Analysis of Irreversible Magnet Demagnetization in Line-Start Motors based on Finite Element Method", *IEEE Trans. on Magnetic*. Vol. 39, No. 3, pp. 1488-1491, May 2003.
- [3]. Hiroshi Murakami and et al, "Performance Comparison of SPMSM, IPMSM and SynRM in Use as Air Conditioning Compressor", *Proceedings of IEEE Industry Applications Conference*, Vol. 2, pp. 840-845, 2000