

가솔린 차량용 가변 밸브 DC 모터 및 제어기 개발

박준성*, 구본관*, 정인성*, 최준혁***, 원충연**
전자부품연구원*, 성균관대학교**

Development of DC motor and Driving Controller for VVA Module of Gasoline Vehicle

Joon Sung Park*, Bon-Gwan Gu*, In-Soung Jung*,
Jun-Hyuk Choi***, and Chung-Yuen Won**

Korea Electronics Technology Institute* Sungkyunkwan University**

ABSTRACT

VVA(Variable Valve Actuation) 기술은 엔진의 흡기 밸브 작동 모드를 가변하여, 엔진의 연비와 성능을 향상시키는 차세대 엔진 기술이다. 흡기캠에 의해 밸브가 직접 작동되는 일반 엔진과 달리 VVA 엔진은 흡기캠, VVA기구, 모터, 제어기 등에 의해 밸브 작동 모드가 정밀하게 제어되므로, 엔진에서 발생하는 손실을 줄여 연비가 크게 향상되고 엔진의 최고 성능이 향상된다. 또한 VVA 엔진을 장착한 차량은 차량의 발진 응답성이 향상되고, 배기가스 배출량을 줄일 수 있어 친환경 저연비 차량을 실현하는데 핵심 차장부품기술이다. 본 논문에서는 이와 같은 VVA 기구의 적용을 위한 DC모터 및 제어기를 개발하였다.

1. 서 론

최근 환경 문제로 인하여 세계 각국의 자동차 연비 관련 규제가 강화되고 있으며, 저연비 차량에 대한 시장의 요구가 증가하고 있다. 이에 따라 완성차 업계에서는 엔진 연비를 향상시키기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 엔진의 연비를 향상시키기 위해서는 엔진에서 발생하는 손실을 줄이거나, 엔진의 효율을 개선할 필요가 있으며, VVA(가변 밸브 작동)기술은 엔진 흡기 유동강화, 펌핑 손실 저감, 기계적 마찰 손실 저감 등을 통하여 엔진의 연비를 향상시킬 수 있다. 또한 VVA기술은 엔진의 저속운전과 고속운전에 각각 적합한 밸브 리프트를 구현하여, 전 운전 영역에서 엔진 성능을 향상시킬 수 있다. 이로 인하여 차량 기어비를 최적화하여 차량 연비를 향상시킬 수 있다. 아울러 VVA기술은 엔진 시동 초기에 촉매 활성화 시간을 단축하여 배기가스 배출량을 저감할 수 있고, 운전 중 엔진실 압축비를 낮춰 질소 산화물 배출량을 줄일 수 있다.

모터와 제어기가 위치하는 곳은 엔진주위로써 사용환경온도는 $-40\sim 125[^\circ\text{C}]$ 로 매우 높으며 엔진의 밸브를 직접 제어함으로써 고신뢰성이 요구된다. 이를 위해 본 논문에서는 고신뢰성 소자를 선정하여 제어기를 설계하였으며, 특히 양산성 확보를 위하여 8bit 프로세서를 선정하였다.

2. 본 론

가솔린 차량용 VVA용 DC모터는 4극 12슬롯 구조를 기본형

상으로 세그먼트 타입의 Ferrite 영구자석을 고정자에 적용하였다. 적용된 영구자석은 9BE로써, 기존 DC모터에 일반적으로 사용되는 페라이트 영구자석과 비교하여 잔류자속밀도가 높고 보자력이 크며, 온도특성은 동등한 수준이다. 최근, 일부 자동차용 모터를 대상으로 Nd계열의 N35또 영구자석(사용온도 범위 : 200°C 이하)이 사용되기도 하지만, 제조 단가의 상승에 따른 부담으로 고가 및 고성능 모델에 한정하여 적용되고 있다.

그림 1은 유한요소 해석의 결과이며, 기본 설계된 DC모터의 자속선도 및 자속밀도 분포도를 나타내고 있다. 해석 결과를 통해 각 미소 부위별 자속 특성 및 포화특성 등을 예측함으로써, 설계 모델의 타당성 여부를 확인할 수 있다. 그림에서와 같이 정격 부하시 고정자 코어의 요크, 회전자 코어의 치에서의 자속밀도 값은 최대 1.6T 이하로 평가되었으며, 이를 통하여 각 세부의 형상 및 치수가 영구자석의 특성을 기반으로 무리없이 설계되었음을 확인할 수 있다.

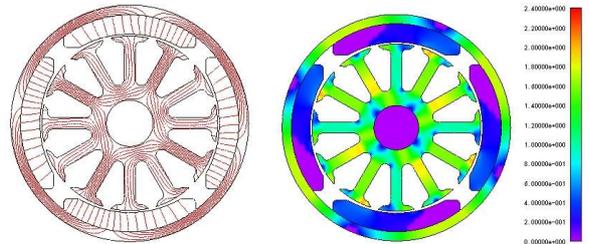


그림 1 표면자속 밀도 분포 및 자속선도

그림 2 (a)는 설계된 DC모터의 코깅토크 특성을 나타낸다. 4극 12슬롯의 모터 형태에 따라 12주기의 파형을 보이며 40[mNm]의 크기를 갖는다. 그림 2 (b)는 제작된 모터의 실측된 코깅토크 파형으로, 해석치와 같은 12주기로 65[mNm] 정도의 크기를 갖는 것을 확인할 수 있다. 이는 실제 코깅토크 측정시 정류자편과 브러시 사이의 마찰에 의하여 토크가 다소 증가한 것으로 판단된다.

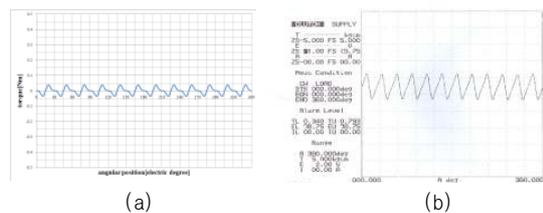


그림 2 코깅토크 특성 해석 및 실측데이터

그림 3 (a)는 DC 12[V]를 모터의 입력 조건으로 인가하여 해석한 토크 특성 결과를 나타낸다. 해당 전압을 인가한 후 5000[rpm]으로 동작시켰을 때의 해석 결과로서, 약 0.5[Nm]의 평균 출력 토크를 확인할 수 있다. 이러한 부하토크에서의 전류파형은 그림 3 (b)에 나타내었으며, 약 25[A]정도의 정격전류를 예측할 수 있다.

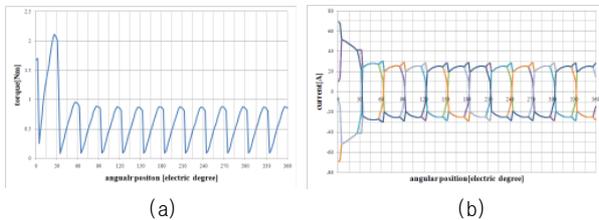


그림 3 정격토크 특성 해석 및 정격 전류 특성 해석

본 논문에서 적용하는 VVA용 DC모터 드라이브는 기존의 일반적인 산업용 드라이브와 비교하여 고밀도, 고효율의 사양이 요구된다. 이를 위하여 각 부품소자를 3D로 설계하여 이를 바탕으로 부품을 배치하고 하드웨어를 설계하였다. 방열판을 포함한 출력밀도는 1.34[kW/l]로 소형 고효율을 달성하였다.

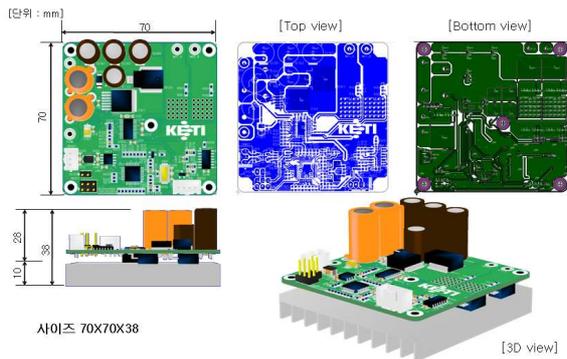


그림 4 드라이브 3D설계도면 및 PCB도면

그림 5는 전반적인 제어알고리즘의 구성을 보여주고 있다. 속도지령은 CAN통신을 통하여 입력되며, 제어기의 전류, 전압 등은 CAN에 의해 사용자에게 보여지도록 하였다. 밸브의 위치 정보를 알기위하여 위치센서를 사용하였으며, 이를 바탕으로 식(1)과 같은 PI제어기를 구성하여 위치제어를 하도록 하였다.

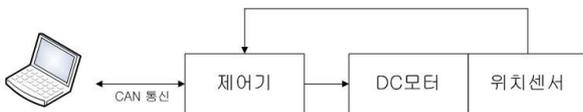


그림 5 제어알고리즘의 구성

$$D = (k_p + K_i \frac{1}{p})(\omega_m^* - \omega_m) \quad (1)$$



그림 6 개발된 DC모터 및 드라이브

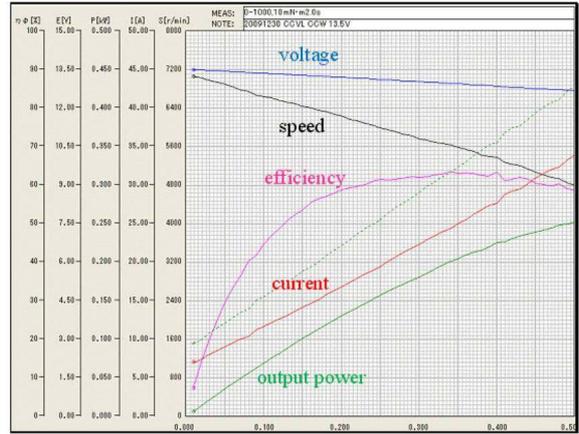


그림 7 모터 및 제어기의 NTI그래프

그림 6은 개발된 DC모터 및 제어기 사진이다. 제어기의 사이즈는 방열판을 포함하여 70X70X38mm이며, 주위환경온도를 고려하여 125[°C]급 소자를 이용하여 설계되었다. 개발된 DC모터는 브라켓을 장착하고 900[g]으로 0.153[W/g]의 출력밀도를 가진다. 그림 7은 DC모터 및 제어기 시료를 정격전압인 13.5[V]를 입력하여 무부하에서 0.5[Nm]까지 연속으로 측정된 결과이다. 최대효율은 64[%]로 측정되었다.

3. 결론

본 논문은 가솔린 차량에 적용되는 VVA 기구의 DC모터 및 제어기 개발에 관한 것으로서 사용환경온도인 -40~125[°C]를 고려하여 설계하였다. 양산성을 고려하여 모터는 Ferrite를 이용하였으며, 제어기는 8bit 프로세서를 적용하였다. 차량에 적용하기 위해서 소형 고효율 모터 및 드라이브를 실현하였으며, 부하시험을 통하여 성능을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] T.J.E. Miller, and Hendershot, Design of Brushless Permanent-Magnet Motors, Magna Physics Publishing and Clarendon Press, Oxford, 1994.
- [2] Richard Valentine, Motor Control Electronics Handbook, McGraw-Hill Handbook, 1998.
- [3] R. Krishnan, Electric Motor Drive, Prentice Hall, Inc, 2001.
- [4] Iqbal Husain, Electric and Hybrid Vehicles, CRC Press, 2003.
- [5] John M. Miller, Propulsion System for Hybrid Vehicles, IEE Power & Energy Series, 2004.