

42V 차량 Cooling Fan용 BLDC 모터 드라이브 개발

최준혁*, 이종배, 허진, 성하경
전자부품연구원 지능메카트로닉스연구센터

Development of BLDC Motor Drives for Cooling Fan of 42V Automotive System

J.H. Choi*, J.B. Lee, J. Hur, H.G. Sung

Intelligent Mechatronics Research Center, Korea Electronics Technology Institute.

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 presents the design of the BLDC motor drive for Cooling Fan in 42V automotive system. Test results confirmed the feasibility of the proposed motor drive system design.



[그림 1] BLDC모터 사진

1. 서 론

최근 기간산업으로서의 자동차 산업은 안전성, 편리성, 승차감 등의 소비자의 다양한 요구 및 저공해, 친환경 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 고전압체계로의 기술개발을 유도하고 있으며, 친환경성을 바탕으로 한 안전 및 편리성의 향상을 위해 차량의 전원시스템이 42V 체계로 전환되는 시점이 점점 가까워지고 있다.

특히 기능적인 면에서의 시장 개척 및 수요확대를 위한 차량용 42V 고전압체계에서의 차세대 자동차에 요구되는 각 부품별 부하조건을 만족하는 핵심부품으로서 42V에 최적화된 Electric Motor와 그에 맞는 전용드라이브의 기술개발은 매우 중요한 부분이 된다.

한편, 현재 차량용 전기모터로서 차량에 적용되고 있는 Brush DC모터는 정류자와 브러시의 존재로 인해 고 효율화에 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 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 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. 따라서 고효율, 소형화로의 핵심부품 개발을 위하여 어떤 형태의 모터를 선택하고 어떻게 부하의 조건 등의 구동조건에 따라 구동장치를 구성할 것인가는 매우 중요한 부분이다.

Delphi, Visteon, Bosch, Valeo 등의 선진 주요 자동차 부품 업체들은 42V 체계를 위한 다양한 기술개발을 진행 중에 있으며, 이러한 주요 전기모터 부품 및 이를 이용한 새로운 전동시스템에 대한 기술연구에도 많은 노력을 기울이고 있어 이에 대한 기술개발은 매우 중요한 필요성을 갖는다. 현재는 대부분이 Brush 모터가 사용되고 있는 자동차용 모터의 경우 새로운 수요요구에 따라 Brushless모터로의 대체와 더불어 새로운 적용분야와 그 분야로의 적용을 위한 모터와 전용드라이브의 기술개발이 요구되고 있다.[2]

본 논문에서는 42V 고전압 체계에서 많은 수요전력을 가지는 대표적인 Electric Motor부품인 차량 냉각장치의 구성에 필수적인 Cooling Fan Motor의 전용드라이브를 설계 및 제작하여, 42V시스템의 실차 적용을 위한 단품 특성 평가 및 신뢰성 평가시험을 수행하여 그 가능성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 Cooling Fan용 Motor 드라이브의 사양

본 논문에서 사용한 모터는 전자부품연구원 지능메카트로닉스연구센터에서 설계, 제작한 개발품으로서, 12슬롯/10극의 정격출력 150W급 BLDC모터이다.

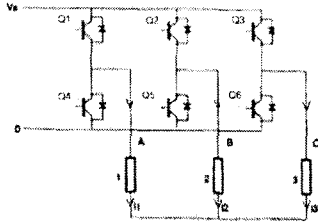
Cooling Fan용 Motor 드라이브의 개발사양은 다음 표 1과 같다.

[표 1] BLDC모터 드라이브 사양

항목	사양
Normal Operating Voltage	42 DCV
Operating Voltage Range	30-52 DCV
Input Signal Frequency	300Hz±5%
Input Signal Duty	10, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90
Motor Drive Frequency	20KHz

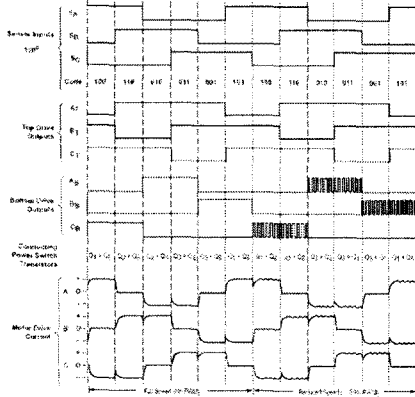
2.2 BLDC 모터의 구동방법[1,3]

3상 BLDC모터의 구조를 살펴보면 회전자의 위치를 검출하기 위한 홀센서는 120° 간격으로 부착을 하고 그 신호를 로직회로의 입력으로 받아들이는다. 그리고 그 신호에 동기 맞추어서 드라이버 회로에 있는 6개의 스위칭소자에 입력신호로 주어 모터의 A, B, C(U, V, W)상에 전류를 흘림으로써 모터를 회전시키게 된다. 드라이브 회로에서 스위칭소자의 양단에 사용되어지는 다이오드는 '환류다이오드'라고 불리우는데, 모터의 역기전력에 의한 스위칭소자의 파괴를 방지하는 역할로 사용되어진다. 로직 회로에서는 3개의 홀센서 신호를 받아서 6개의 구동신호를 주는 역할을 하게 되는데 제어 신호(정·역회전, 속도)에 따라서 여러 가지의 구동 로직을 가지게 된다.



[그림 2] 3상 결선도 및 스위칭 회로도(Y결선)

그림 3에 회전방향 CW에 120°동전방식의 홀소자 출력과 구동패턴의 관계를 나타내었다. 홀소자의 신호코드가 "101"일 경우 상단 스위치의 Q1이 ON, 나머지는 OFF이고 하단 스위치의 Q5가 ON이고 나머지는 OFF이므로 전류는 A상에서 B상으로 흐르게 된다. 그러면 A상은 S극 B상은 N극이 되어 회전자는 시계방향으로 힘을 받는다. 그리고 하단의 펄스열로 표시되어 있는 구동 패턴은 PWM파형으로 이 펄스의 Duty Ratio의 변화에 따른 평균전압의 가변으로 모터의 속도를 제어한다.

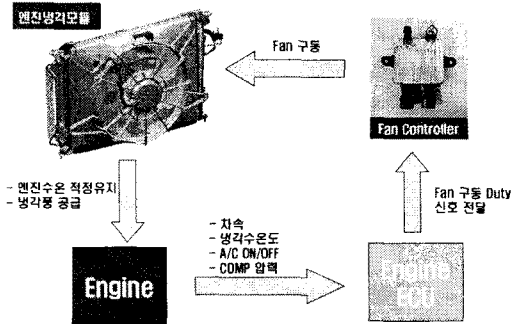


[그림 3] 3상, 6스텝, Full Wave Commutation 파형

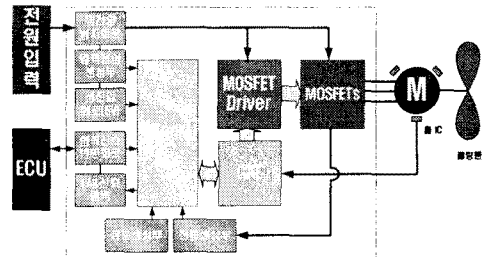
2.3 Cooling Fan용 Motor 드라이브 설계

아래 그림 4는 자동차 엔진 냉각시스템의 전체 구성도를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 엔진에 대한 정보 즉 차속, 냉각수 온도, 에어컨의 동작유무, 컴프레사 압력 등의 정보를 엔진 ECU에서 입력받아 적절한 모터 회전속도의 명령정보를 팬 컨트롤러에 보내게 되고, 컨트롤러에서 이를 입력받아 엔진냉각모터의 모터를 적절히 운전시킴으로써 엔진을 최대의 효율을 유지하도록 구성되어 있다.

그림 5는 본 연구에서 자동차용 Cooling Fan을 작동시키기 위하여 개발한 3상 BLDC모터의 구동을 위해서 전체 시스템 구성을 아래 그림과 같이 구성한 것을 나타



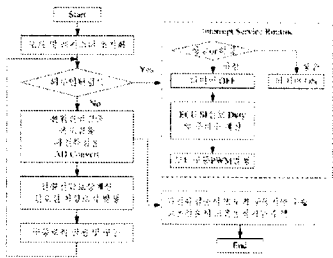
[그림 4] 엔진냉각시스템 전체 구성도



[그림 5] 드라이브 전체 구성도

낸다. 구성도를 살펴보면 자동차의 ECU에서 출력되는 12V, 300Hz 제어펄스를 입력받는 인터페이스부와 모터의 홀 신호 HA, HB, HC를 입력받아 3상의 스위칭 신호를 출력하는 스위칭로직부, 마이크로 컨트롤러부, 구동로직신호를 입력받아 6개의 스위칭 파워소자를 구동하게 하는 자동차용 파워 MOSFET 컨트롤러부, 인버터 파워부로 이루어져 있다. 모터의 속도제어는 ECU로부터 출력되는 300Hz 제어펄스를 마이크로 컨트롤러의 외부 인터럽트 단자를 통해 입력받아 주파수 20kHz로 변환한 뒤 이 PWM신호와 구동로직의 상단스위치 신호를 AND 연산하여 나오는 최종 PWM파형으로 인버터부의 상단 스위치를 구동시키고, 구동로직의 하단스위치 신호는 그대로 인버터부의 하단스위치를 구동시키게 된다. 최종 PWM 펄스는 ECU의 제어펄스 Duty Ratio가 변화하면 그 펄스에 동기하여 변화하게 된다. 즉, ECU의 제어펄스의 변화에 따라 모터의 속도를 제어할 수 있게 설계 및 제작하였다.

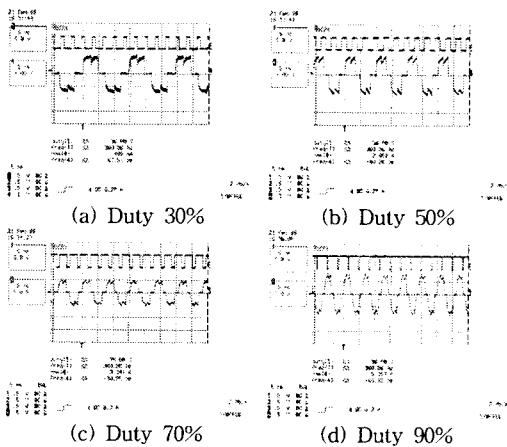
본 연구에서 개발된 모터구동 알고리즘은 아래 그림 6과 같다. 먼저 각 포트 및 레지스터를 초기화 시킨 후에 ECU 속도 명령인 외부 인터럽트를 판단한다. ECU에서는 300Hz의 구형파 형태로 입력되어진다. 외부인터럽트를 상승에지 및 하강에지 모두 발생할 수 있게 설정하고 외부인터럽트가 발생하면 먼저 상승인지 하강인지를 판단한다. 상승인 경우는 타이머를 ON시키고 하강 에지일 때는 타이머를 OFF시킨 후에 ECU의 카운터 데이터를 이용하여 속도 신호의 Duty 및 주파수를 계산한다. 그리고 계산된 Duty와 함께 모터를 구동할 수 있는 PWM신호로 변환 시킨다. 또한, AD컨버터를 이용하여 과전류, 전원전압, 컨트롤러 내부 온도, 신호선 이상 등을 모니터링 하고 전원전압이 변화될 때에는 이에 맞게 구동 PWM Duty를 적절히 보상해준다. 신호선 이상이 발생하면 구동 PWM을 최대로 설정하여 구동 시킨다. 홀 IC 신호를 입력받고 이전에 결정된 구동 PWM을 이용하여 모터 구동 로직을 발생하고 모터를 구동 시킨다. 과전류가 검출되어질 때에는 정해진 별도의 패턴으로 모터를 구동시켜주고, 고온이 감지될 경우에는 모터를 Full 구동시켜준다.



[그림 6] S/W 순서도

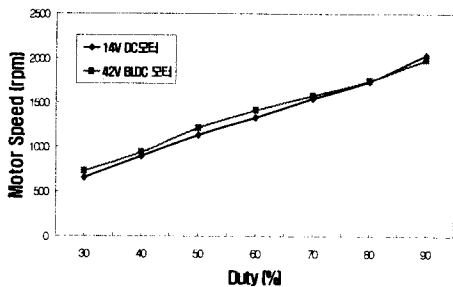
2.5 실험결과

그림 8은 42V BLDC 모터의 입력 Duty별 모터 상전류 파형을 보여준다. 실제 자동차 ECU에서 출력되는 신호는 10%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%이므로 각각의 경우 모두 파형을 측정하였다. 입력듀티 10%일 경우에는 모터가 구동되지 않으므로 입력듀티 30%부터 파형을 측정하였다.



[그림 8] 입력 Duty에 따른 모터 상전류

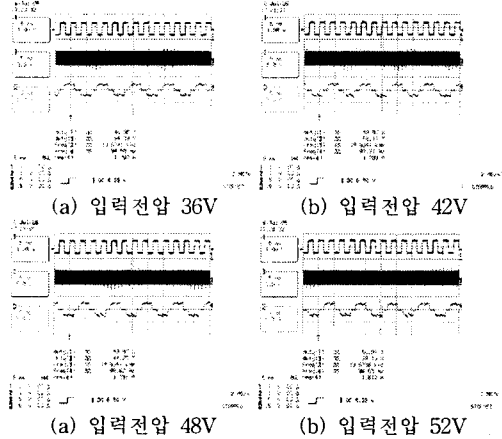
그림 9는 Function Generator에서 입력받는 Duty에 따른 기존 자동차에 적용된 14V DC모터의 회전수와 42V BLDC모터의 회전수를 비교한 것이다. 실험결과 14V DC모터의 입력 듀티 대비 모터회전수의 10% 오차 범위 내에서 모터가 동작됨을 확인할 수 있었으며, 이상의 실험결과 입력듀티의 변화에 따라 모터의 회전수 제어가 잘 이루어짐을 확인할 수 있었다.



[그림 9] 입력 Duty 대비 모터속도 비교

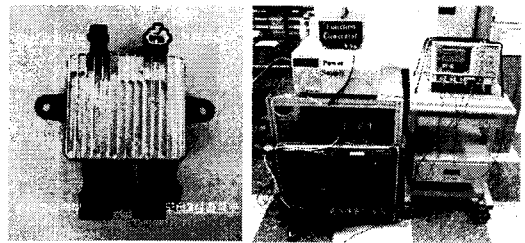
다음은 전원전압이 변화하였을 경우 전원전압 보상기능이 정상적으로 동작하는지를 확인하기 위하여 그림 10과 같은 파형을 측정하여 이를 확인하였다. 전원전압 36V, 42V, 48V, 52V가 입력될 때 각각의 입력듀티에 대

한 마이크로프로세서에서 계산되어 출력되는 PWM신호와 그 때의 모터 한상의 전류를 측정하였다. 여기서는 각각의 입력전압 대비 입력듀티를 50% 경우에 대한 파형을 실어 이를 증명하였다.



[그림 10] 전원전압보상기능 (1번:입력듀티, 3번:인버터 스위칭 PWM신호, 4번:모터 상전류)

실험 결과 정격전압 42V를 기준으로 입력전압이 낮아질수록 인버터 스위치에 입력되는 PWM신호의 듀티가 점점 높아져 모터에 인가되는 전압을 높여줌으로써 전원전압을 보상하는 동작을 수행함을 확인하였고 이에 반해 입력전압이 높아지면 인버터 스위치에 입력되는 PWM신호의 듀티가 점점 낮아져 모터에 인가되는 전압을 낮추어줌으로써 엔진의 과냉각을 피할 수 있음을 비추어 짐작할 수 있었다.



[그림 11] 드라이브 시제품 및 실험장면

3. 결 론

본 논문은 향후 자동차의 전장시스템에서 중요 전기부하로 예상되는 Cooling Fan용 42V BLDC motor 드라이브의 설계 및 제작에 관한 것이다. 차량실장을 위한 차량 인터페이스 및 최적의 Cooling을 위한 전용컨트롤러를 개발하여, 기존의 모터 제어기와의 성능비교 평가를 통해 그 우수성을 검증하였으며, 드라이브의 고온/저온 특성 시험 및 상용화실장을 위한 내구성과 신뢰성 시험을 통해 실차적용의 가능성을 확인하였다.

감사의 글
본 연구는 산업자원부에서 지원하는 중기저점과제인 "42V 자동차용 핵심응용부품개발" 사업에 의하여 이루어진 연구로서, 관계 부처에 감사드립니다.

[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 Companies, Inc., 1998
- [3] R. Krishnan, "Electric Motor Drives." Prentice Hall, Inc. 2001