

전기자동차를 위한 컨프레샤용 BLDC Motor 구동드라이브에 관한 연구

정경수*, 전장건*, 최형래*, 우도*, 이동현*, 이상훈*, 박성준*, 정태욱*
 전남대학교* 한국생산기술연구원**

A study of the BLDC motor drive for automobile air compressor

K-S Jeong*, J-G Jeon*, H-L Choi*, Yu Tao*, D-H Lee*, S-H Lee*, S-J Park*, T-U Jung**
 Chonnam National University*, Korea Institute of Industrial Technology**

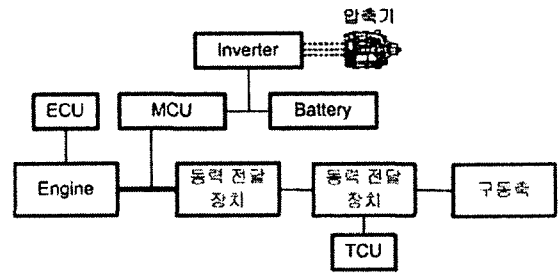
Abstract - The research is being made on the oncoming generation hybrid EV and FECV in view of energy efficiency and environment. In the future the research will be addressed on the automobile electromotive compression motor and driver which have important competitive points. In this paper, a new method that can presume location of the BLDC Motor rotor of electromotive compressor was proposed, the driver of BLDC motor was made and the possibility that it can be used in the air compressor of EV was proved.

반면 전동식 압축기는 주 동력원과 독립된 전동식 압축기로 여기에는 싱글 형 전동식 압축기와 하이브리드 형 전동식 압축기의 2종류가 있다. 싱글 형 전동식 압축기는 압축기 구동을 위한 별도의 모터를 장착한 구조로서 엔진과는 완전히 별개이기 때문에 하이브리드 자동차가 정차중인 경우에도 만족스러운 냉방이 가능하다.

1. 서론

차세대 자동차의 기본 개념은 전기에너지의 효율적인 활용으로 에너지 효율을 높이고 공해를 방지하는 것으로서, 이를 위해서는 동력의 기반이 되는 전기 모터의 활용기술이 매우 중요한 기술적 과제이다[1]. 이러한 차세대 차량을 위한 중요 모터 개발 기술로서는 구동용 Main traction motor system, 전동식 파워스티어링(EPS), 전동식 브레이크(EHB), 전동식 압축기, 기타 전장 모터 등을 들 수 있다. 이 중에서 엔진과 같은 개념의 구동용 모터 드라이브 시스템은 핵심 부품기술로서 자동차 메이커에서 외부 노출을 자제하고 독자적으로 기술을 개발하고 있다. 이러한 상황으로 비자동차 메이커에서 구동용 모터시스템을 개발한다고 해도 양산 적용 및 사업화 측면에서 여러 가지 난항이 예상된다. 또한 전동식 파워스티어링은 현재 양산 차량에도 적용되고 있어 기술을 개발한다 하더라도 경쟁력을 갖기 어려울 것으로 예상된다. 따라서 타 기술에 비해 아직까지 많은 연구가 진행되지 않고 있는 전동식 압축기용 모터 드라이브 시스템 개발은 향후 중요한 경쟁 포인트가 될 것이다.

본 논문에서는 전동식 압축기용 BLDC Motor의 회전자 위치추정을 위한 새로운 기법을 제안한다. 또한 실제 구동드라이브를 제작하여 전기자동차를 위한 압축기로서의 적용 가능성을 검토하고자 한다.

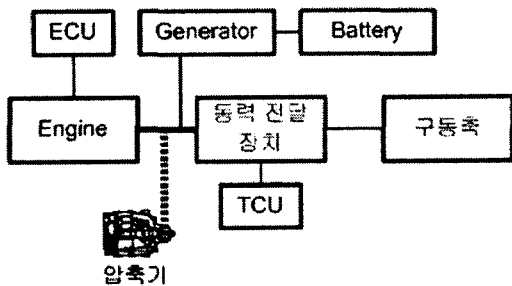


<그림 2> 전동식 압축시스템

또한 엔진과 별도로 엔진룸의 어떤 위치에도 설치할 수 있기 때문에 공간 활용 설계도가 높다. 하이브리드 형 전동식 압축기는 기존의 기계식 압축기 시스템에 연결하여 정차 중에 엔진이 정지했을 때만 압축기를 구동시키는 보조 소형 모터를 탑재한 구조이다. 이 타입은 배터리의 부하부담이 상대적으로 적어 모터가 경량화 되지만 정차 중에는 최소한의 냉방만 가능하다는 제약 사항도 있다. 따라서 본 논문에서는 전동식 압축기 중 싱글 형 압축기에 대한 연구를 수행하였다.

2. 자동차용 압축기 개요

자동차용 압축기는 압축기로 전달되는 동력원에 따라 크게 기계식 압축 시스템과 전동식 압축 시스템으로 분류된다.



<그림 1> 기계식 압축시스템

기계식 압축기는 엔진의 구동축과 벨트로 연결되어 있어 엔진의 동력으로 압축기가 작동이 되며, 차량의 운행 상태에 따른 엔진의 회전수의 변화에 따라 압축기의 부하와 능력이 변한다. 또한 증발기의 적상을 방지하기 위해 클러치 제어를 통해 단순운전을 하게 된다. 이러한 단순 운전에 의해 FULL AUTO 에어컨에서도 쾌적한 온도 조절이 쉽지 않으며 운행 중에 에어컨을 턴-온하면 압축기의 수명 및 성능저하의 문제도 발생된다. 또한 하이브리드 자동차의 구동 모드 특성상 차량 정지 중에는 엔진이 정지하여 아이들 구동에 따른 연료소비를 최소화하고 있어 에어컨 압축기의 작동이 제한적이다. 따라서 기존의 양산 하이브리드 자동차는 에어컨 작동 시 아이들 스톱 기능을 적용하지 못해 연료 저감효과가 크게 떨어졌다.

3. 자동차용 압축기

자동차용 전기, 전자 장치에 사용되는 전원체계는 적용 대상에 따라 다르다. 통상 12V-24V의 전원이 사용되고 있으며, 자동차의 성능 향상을 위해 기계적 방식의 장치를 전기 방식으로 전환하면 모터를 비롯한 여타의 일반 장치들 또한 고전압화가 요구될 것으로 전망되며, 향후 12V 전원 공급 장치의 42V 고전압 시스템화가 불가피할 것으로 예상된다. 따라서 압축기에 사용될 모터와 인버터의 사양 결정에 있어 현재 거론되고 있는 42V 전압체계를 기반으로 한 압축기용 모터의 선정과 인버터 설계가 필요하다.

3.1 압축기에 대한 사양결정

하이브리드 자동차의 고전압 시스템화에 따라 압축기용 모터에 사용되는 배터리 전압은 42[V]로 결정하였으며, 전동기는 기구적으로 강인한 매립형 영구자석 동기 전동기(IPM)를 사용하였다. 실험에 사용된 모터의 출력은 2[kW]로 결정하였지만, 실제 사용될 시스템의 1500-2000cc급 자동차를 위한 출력 사양을 재검증하여 이에 대한 성능 평가를 실시할 계획이므로 정격 출력 및 최대 출력은 변경될 수 있다.

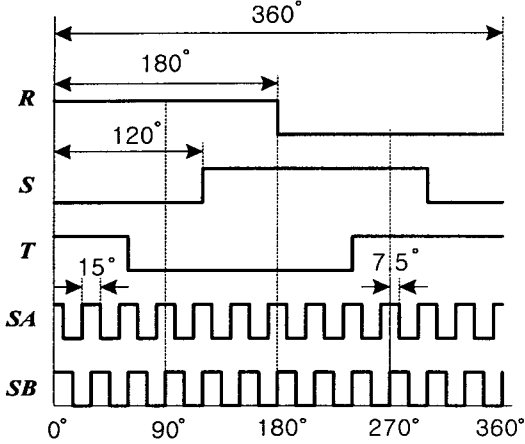
표 1은 연구 개발에 사용된 압축기용 모터의 주요 사양이다.

<표 1> 개발된 전동기의 사양

item	Specification
Rated Power	2 [kW]
Max power	5 [kW]
Speed Range	1500-7200 [rpm]
Resistance per phase	Max 28 [mΩ]
Inductance per phase	Max 62 [mH]
Back-EMF Constant	Min 3.214 [Vrms/krpm]
Rotor inertia	Max 0.5 [g.m ²]

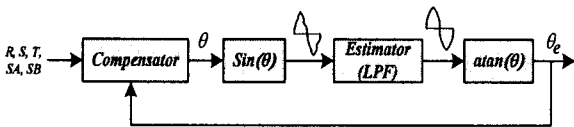
3.2 BLDC Motor 제어

BLDC를 구동하기 위해서는 회전자 위치정보가 필수적이다. 이러한 회전자 위치정보를 취득하기 위해서는 엔코더나 120° 상차를 갖는 3개의 홀센서를 사용하는 것이 일반적이다. 정현파 구동용 BLDC는 엔코더를 사용하여 정밀한 위치정보를 얻어 상 신호를 제어하나, 이 경우 경제성의 문제가 따르게 된다. 3개의 홀센서를 사용하는 경우 경제적 부담은 적으나, 정밀한 위치정보를 얻기 위해서는 제어기(마이컴)에서 위치 추정 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 3개의 홀센서와 전기자동차의 인터페이스용 속도신호를 이용하여 고정도 위치 정보를 얻는다. 본 연구에서 제작한 3개의 홀센서의 출력 및 속도신호는 그림 3에 나타나 있다.



〈그림 3〉 3개의 홀센서의 출력 및 속도신호

3개의 위치검출용 홀센서(R,S,T)는 전기각 120° 변위로 위치해 있으며, 인터페이스용 속도정보신호(SA,SB)는 전기각 30° 주기로 설계하였으며, 두 신호의 변위는 90°로 설정하여 3개의 홀 신호의 에지에 일치하게 하였다. 120° 변위를 갖는 홀신호에 의해 초기 기동을 행하며, 속도추정 및 보상은 위치신호와 속도신호를 이용하여 전기각 30° 단위로 수정보상하게 된다. 전기각 30° 사이의 위치정보는 추정기에 의해 수행된다. Low-pass filter를 사용한 일반적인 위치 추정기의문제점은 각도 360°에서 0°로 변하는 부분으로 초기치로 해결하고 있으나, 이 경우 필터의 특성이 과도상태에서 설계하여야 함으로 설계의 어려움이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서는 각도 정보를 정현파 정보로 변환 후 Low-pass filter타입의 추정기를 통과 후 다시 각도정보를 변환을 행한다. 이렇게 함으로서 기존의 초기치 문제를 해결함과 동시에 필터의 설계가 용이한 장점을 가진다. 이러한 추정기의 블록도는 그림 4에 나타나 있다.



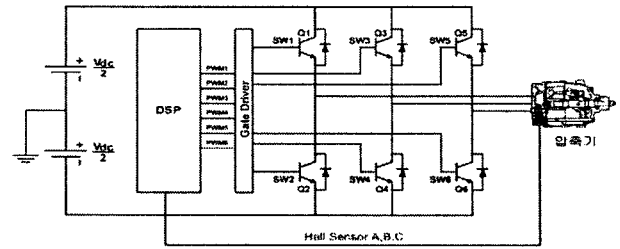
〈그림 4〉 제안된 속도 추정기

제어에 사용된 BLDC 모터의 역기전력 출력은 정현파 형태의 전압이다. 이것은 BLDC 모터의 토크 식에 따라 정현파 형태의 상전류가 입력될 때 토크리플이 최소가 됨을 알 수 있다. 따라서 토크리플을 최소화함으로써 발생하는 소음과 진동을 최소화하기 위한 인버터 제어 방법으로 정현파 구동을 채택하였다. 또한 3상 전압형 인버터의 PWM기법에는 크게 최적 전압 변조 방식, 삼각파 비교 전압 변조 방식, 공간 벡터 전압 변조 방식 등으로 구분할 수 있는데, 이중 공간 벡터 전압 변조 방식은 직류단 전압에서 가장 큰 교류 전압을 얻을 수 있고, 출력 상전류의 고조파 함유율에서 다른 전압 변조 방식보다 우수하여 에너지 효율적인 측면에서 공간 벡터 전압 변조 방식을 사용하였다.

3.3 BLDC Motor 구동드라이버

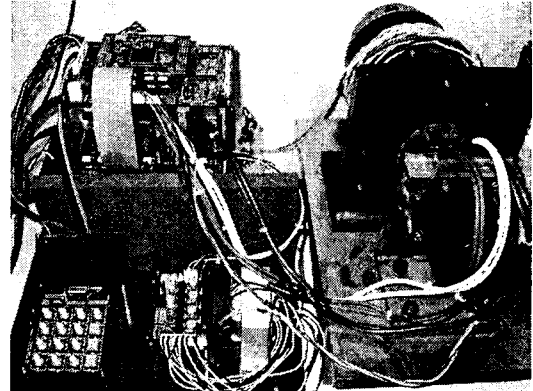
초기 기동을 위한 회전자 위치 추정 방법으로 출력되는 홀센서 신호를 바탕으로 고정자 단자에 특별하게 프로그램 된 3상을 인가하여 구형파제어를 시작하고, 전동기가 어느 정도 이상의 회전수로 회전할 때 정현파 제어로 전환 시켰다. 전류제어기 샘플링 시간은 70us로 하였으며, 매 주기마다 인버터의 3상 출력 전압을 계산하였다. 설계된 인버터는 회로가 비교적 간단하고, 효율이 높은 3상 전압형 인버터로 구성하였으며, 제어기로는 TMS320F2812 DSP

(Digital Signal Processor)를 사용하였다.

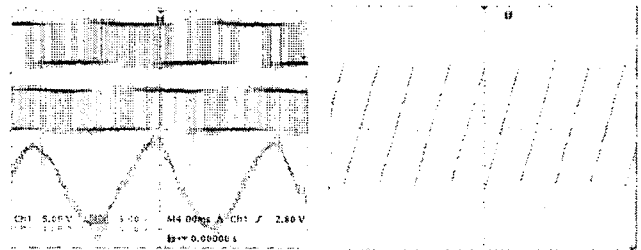


〈그림 5〉 BLDC 구동드라이브 블록도

그림 5는 제작된 전동기 드라이브의 블록도를 보여주고 있으며 그림 6은 제작된 제어부와 게이트 앰프, 스위칭 소자들로 구성된 인버터 회로구성을 보여주고 있다. 구성된 BLDC 모터제어는 홀센서의 출력을 받아 각 상의 전기각을 계산하여 3상을 출력하는 제어방식을 사용하고 있다.



〈그림 6〉 제작된 BLDC시스템 사진



(a) 출력전압, 전류 (b) 추정된 위치각

〈그림 7〉 추정된 위치각과 출력전압, 전류

그림 7은 모터 구동시 추정된 위치각과 출력전압, 전류파형을 나타낸 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 전동식 압축기용 BLDC Motor의 회전자 위치추정을 위한 새로운 기법을 제안하고, 현재 실제 제작된 컴프레서용 BLDC모터와 드라이버는 한국 생산기술원에서 성능 테스트 중에 있다. 본 연구는 개발의 초기단계로 앞으로 계속적인 연구가 필요하며 BLDC 모터의 구동 드라이브에 대한 신뢰성 확보, 고효율 고성능 모터 제어 알고리즘 개발, 저가화 등 차후 과제가 남아 있는 상태이다.

[참 고 문 헌]

- [1] S. K. Safi and P. P. Acarmley and A. G. Jack "Analysis and Simulation of The High-Speed Torque Performance of Brushless DC Motor Drives," IEEE. Proc. Electron. Power Applcat, Vol. 142, No 3, pp.192-200, May 1995.
- [2] R. Carlson M. Lajoie-Mazenc, and J. Eagundes, "Analysis of Torque Ripple Due to Phase Commutation in Brushless DC Machines", IEEE Trans. Ind. Applcat. Vol.28. No. 3, pp.632-638 May/June 1992
- [3] T. J. E. Miller, "Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motro Drives" Clarendon Press, Oxford 1989
- [4] T. M. Jahns and W. L. Soong, "Permanent Magnet AC Motor Drives-A Review," IEEE Trans. Ind. Electron. Vol. 43. No. 2, pp.321-330, April 1996.