

하이브리드 차량을 위한 하이브리드 전동식 압축기 모터 드라이브 시스템 개발

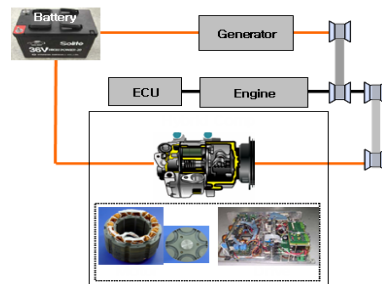
정태욱*, 박성준**, 김성일***, 홍정표***, 윤철호*, 차현록*, 김형모*
 *한국생산기술연구원, **전남대학교, ***한양대학교

Motor Drive System Development of Hybrid Electric Air-con Compressor for HEV

Tae-Uk Jung*, Sung-Jun Park**, Sung-Il Kim***, Jung-Pyo Hong***, Cheol-Ho Yun*, Hyun-Rok Cha*, Hyung-Mo Kim*
 *Korea Institute of Industrial Technology, **Chonnam Nat'l University, ***Hanyang University

Abstract - The HEV (Hybrid Electrical Vehicle) becomes commercialized recently because of high fuel efficiency and low air pollution. The highest output power system except the traction motor is an air conditioner compressor in HEV system. The full or hybrid electric compressor is applied for HEV. The general HEC (Hybrid Electric Compressor) requires the half power motor and drive system of the full electric compressor because the rated output power of motor drive system is designed to charge the minimum cooling capacity at the time of idle stop. Therefore, this hybrid electric is more economical and practical solution. In this paper, we studied about the motor drive system of hybrid electric compressor for HEV. The applied voltage specification is 42 V, an IPMSM (Interior Permanent Magnet Synchronous Motor) is designed and applied as the compressor drive motor.

전동식 압축부가 분담하는 구조로 구성된다. 이 때 주행모드에서는 엔진 동력과 전동력을 동시에 활용하여 에어컨 압축기가 동작되고, 아이들링 스톱 구간동안엔 전동식 압축부가 동작하여 냉기를 공급하게 되어 실내 온도 제어가 용이해진다.



〈그림 1〉 하이브리드 전동식 압축기 시스템의 구성

1. 서 론

최근 고유가와 환경오염 등의 이유로 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle, HEV)가 급격히 빨리 상용화되고 있으며, 2010년경에는 전 세계 신차 시장의 7%를 하이브리드 자동차가 차지할 것으로 예상되고 있다.

하이브리드 자동차의 경우 정차시 엔진이 아이들링 스톱(idling stop)이 되어 불필요한 엔진 공회전이 제거되어 연비 향상과 환경 오염물질의 배출을 최소화 할 수 있다.

하이브리드 자동차에서 엔진과 주행용 구동모터 외에 가장 출력이 큰 부품이 에어컨용 압축기이다. 기존의 기계식 에어컨 시스템을 하이브리드 자동차에 적용시 여름철 고온의 조건에서 아이들링 스톱 구간에는 엔진을 오프하기 때문에 에어컨의 냉방이 불가능하다. 그러므로 전동식 에어컨 시스템이 필요하며 이를 위해서는 전동기로 동작되는 전동식 압축기가 요구된다[1-3].

현재 전동식 압축기는 Full 전동식과 하이브리드 전동식으로 구분된다. Full 전동식은 기존의 에어컨 벨트 없이 완전히 모터의 전동력에 의해서만 동작되는 타입으로서 배터리 전력 부담이 크고 모터의 사이즈가 커지기 때문에 하이브리드 자동차보다는 전기자동차에 주로 적용될 수 있는 기술안이다. 반면에, 하이브리드 전동식은 엔진주행 중에는 엔진 동력과 전동력을 병렬로 해서 압축기가 동작되고, 아이들링 스톱 구간에서는 전동력으로 1/2 정도의 냉력 부하를 전동력으로 담당하는 구조이다[4-5].

본 논문에서는 하이브리드 전동식 압축기의 모터와 드라이브 시스템을 설계하고, 동작 특성에 대해 고찰하였다. 전동식 압축부의 구성을 위해 매입형 영구자석 전동기(IPMSM)를 설계하고 이의 구동 및 제어를 위한 Motor Control Unit(MCU)를 구현하였다.

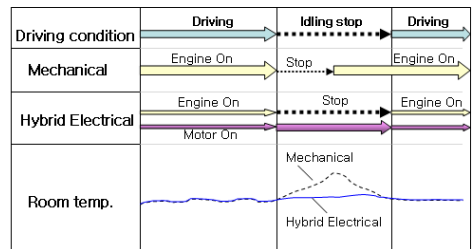
2. 하이브리드 전동식 압축기용 모터 드라이브 설계 및 특성 평가

2.1 하이브리드 전동식 압축기

하이브리드 전동식 시스템은 그림 1과 같이 구성된다. 그림 1에서 압축기의 오른쪽은 엔진의 기계적 동력을 활용하는 기계식 압축부이며, 왼쪽은 모터 전동력을 활용하는 전동식 압축부이다.

이러한 하이브리드 전동식 압축기는 그림 2와 같은 동작 모드로 운전된다. 기존의 기계식 에어컨 시스템이 하이브리드 자동차에 적용된 경우, 엔진이 아이들링 스톱 했을 때 압축기 구동이 불가능하기 때문에 증발기의 잠열을 가지고 냉력을 공급할 수 밖에 없다. 이 때 임의의 시간 이후 차내 실내온도가 올라가게 되어 실내 온도 제정성을 위해 엔진을 가동시켜야 하는 문제점이 발생된다. 그러므로 더운 여름에는 하이브리드 자동차의 연비 향상은 매우 제한적으로 된다.

반면, 하이브리드 전동식 압축기는 전체 냉력 부하를 기계식 압축부와



〈그림 2〉 하이브리드 전동식 압축기 시스템의 동작모드

2.2 하이브리드 전동식 압축기용 모터 설계

본 연구에서는 전동식 압축기용 모터로서 영구자석 매입형 동기전동기를 적용하였다. 전동기의 주요 요구사항은 표 1과 같다. 통상 자동차용 압축기의 요구 출력은 4~5kw 범위이며, 본 연구에서는 하이브리드 전동식 압축기이므로 전동력 부담 출력 사양을 2kW로 설정하였다.

〈표 1〉 주요 설계 사양

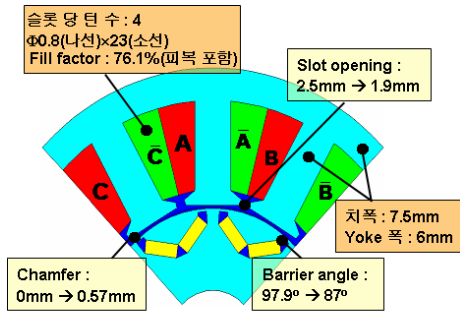
Item	Unit	Specification
System voltage	V	42
Rated output	W	2,000
Rated speed	rpm	3,500
Rated torque	Nm	5.7
Operating speed range	rpm	500~7,500

표 1에 주요사양에 대해 설계된 시작전동기의 형상은 그림 3과 같으며, 최적화 설계를 위해 6sigma의 기법 중 하나인 실험계획법과 반응표면법(Response Surface Method)을 활용하였다.

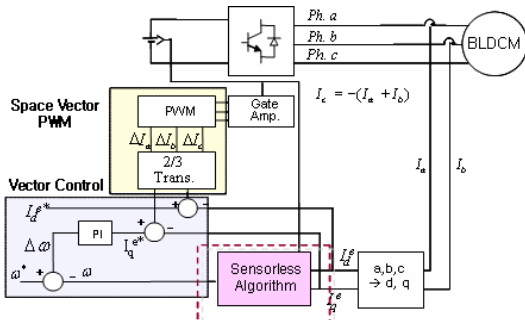
2.3 Motor Control Unit(MCU) 설계

MCU의 설계에서 가장 중요한 사항은 저전압 고전류를 통전 조건에 대한 하드웨어 신뢰성 확보이다. 본 연구에서 개발된 MCU의 시스템 구성은 그림 4와 같다. 회로 구성의 경제성과 안정성을 고려하여 디스크리트 소자를 이용한 원보드 병렬형 Power Module을 설계 및 제작하였다. PWM 주파수를 4kHz로 설정하고 고속 스위칭에 적합한 MOSFET 소

자를 선정하였으며, 구동전류 범위인 50~100[A] 정도의 고전류 사양을 만족시키기 위해 한 브릿지의 스위치를 병렬로 구성하여 하드웨어의 신뢰성을 확보하였다.



<그림 3> 설계된 시작전동기

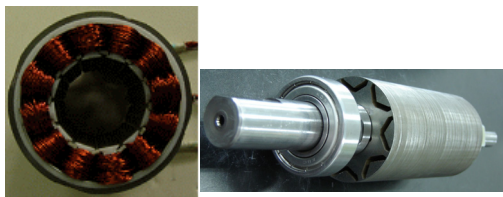


<그림 4> MCU의 시스템 구성

MCU의 프로세서로서는 모터의 회전자 위치센서리스 연산을 감안하여 TI사의 TMS320F를 채택하고 주변회로를 설계 제작하였다. 모터 구동 특성의 제어에 있어 속응성 있는 단위 전류당 최대 토크 출력 제어를 위해 전류-토크간의비선형 관계식을 *Allometric 1 Curve Fitting* 방법을 통해 간략화 하였다. 또한 이와 더불어 전류제어기의 속응성 개선을 위한 역기전력의 고조파 성분 보상 기법을 적용하였다.

2.4 시작기 제작 및 실험 결과

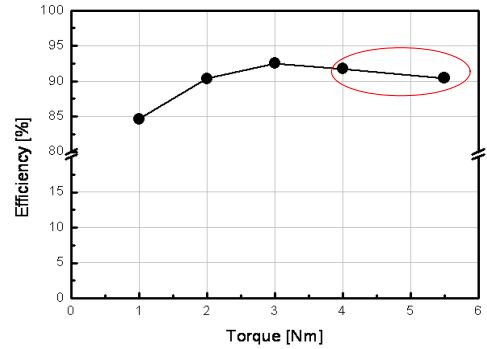
본 연구를 통해 제작된 모터와 MCU를 그림 5에서 보여주고 있다.



<그림 5> 시작전동기(a) 와 MCU(b)

위의 시작기 시스템의 구동 특성 측정을 다이내모 시스템에서 행하였다. 출력 토크에 따른 구동 효율 특성은 그림 을 측정 분석하였다. 그 결과는 그림 6과 같다. 그림 6에서 운전속도는 3500rpm이며, 이 때 실 운전영역인 4~6 Nm 범위에서 90% 이상의 고효율 특성을 보여주고 있

다.



<그림 6> 출력 토크에 따른 구동 효율 특성(3500rpm)

<표 2> 모터 구동 특성

Item	Unit	Value
Pole numbers		S/T: 8, R/T: 12
BEMF (phase) @3500rpm	V	13.44
Cogging torque(p-p)	Nm	0.08
Copper loss	W	62.1
Core loss	W	102.1
Mechanical loss	W	61.3
Efficiency	%	90.03
Power factor	%	89.92
Inductance	mH	Ld: 0.096, Lq: 0.143
Terminal Voltage	V	26.7
Current	A _{rms}	52.35
Phase angle of current	deg.	14.6
Torque	Nm	5.74 (@50.2A _{rms})

그리고, 표 2는 정격 운전점에서의 시작전동기의 상세 설계정수와 구동특성을 보여주고 있다. 본 연구의 42V 저전압 시스템에서는 최대속도 확보를 위해 권선 턴수가 작아져 일반적인 전동기에 비해 인덕턴스 값이 매우 작으며 이는 모터의 구동 효율을 저하시키는 원인이 되고 있다. 전반적인 시스템의 경제성과 추가 효율 향상을 위해서는 고전압 사양로의 변경이 요구된다.

3. 결 론

본 연구에서는 하이브리드 자동차를 위한 하이브리드 전동식 압축기용 모터 드라이브 시스템에 대해 고찰하였다. 그 결과 상대적으로 저전압 인 42V 전원 시스템에서 90% 이상의 효율 특성과 요구 출력특성을 만족시킬 수 있었다. 향후의 연구방향으로서 180V급 고전압용 압축기 모터 드라이브 시스템을 연구하고자 한다. 현재 외국 업체들은 구동 효율과 시스템의 원가절감을 위해 150V 이상의 고전압 시스템을 개발하고 있는 것으로 파악되고 있으며, 고전압 시스템으로 사양을 변경시 효율 개선과 전반적인 시스템 가격이 감소할 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

[1] M. Naidu, R. Henry, and N. Boules, "A 3.4 kW, 42 V, high efficiency automotive power generation system," in Proc. SAE-FTT 2000 Conf., Aug. 20, 2000.

[2] H. Murakami, H. Kataoka, and Y. Honda, "Highly efficient brushless motor design for an air-conditioner of the next generation 42 V vehicle," in Proc. IEEE Industry Applications Society Annu. Meeting Chicago, pp. 461-466, 2001.

[3] P.J. McCleer, "Electric drives for pump, fan and compressor loads in automotive applications," in Proc. Industry Applications Society Annu. Meeting, pp. 80-85, 1995

[4] J.L. Oldenkemp and D.M. Erdman, "Automotive electrically driven air-conditioning system," Automotive Power Electron., pp. 71-72, Aug. 1989.

[5] J. Kiekmann and D. Mallory, Variable speed compressor HFC-134A based air conditioning system for electric vehicles, SAE Paper 920444, 1992.