

# PMSM을 적용한 2.5KW급 스크롤 전동식 컴프레서 특성실험에 대한연구

홍성렬, 한만승, 박성준  
전남대학교

## Research of 2.5KW Electric Scroll Compressor Using PMSM

S.Y Hong, M. S. Han, S. J. Park  
Chonnam National University

### ABSTRACT

본 논문은 최근 친환경 차량인 EV & HEV의 전장품에 운전 효율 및 연비를 극대화하기 위해 브러시리스 직류 (Brushless DC) 전동기 및 Sensorless Drive를 적용시키는 사례가 증가하고 있다. 특히 전 세계적으로 환경오염의 주범이 되고 있는 차량의 이산화 탄소 배출량 규제, 계속된 유가상승 등에 따라 가장 밀접하게 연관되어 있는 자동차 전장품에 전동화를 통한 연비향상을 적극적으로 추진하고 있다.

본 논문에서는 차량의 전장 제품으로 다양하게 적용되고 있는 에어컨 압축기로 냉방용 컴프레서에 브러시리스 직류전동기 및 Sensorless 제어를 적용 에어컨 컴프레서를 개발 하여 20CC 전동식 스크롤 컴프레서에 적용하여 실험하였다. 이러한 실험으로 제품의 운전 효율 증대시킴은 물론 우월한 압축 성능을 가져 오으로써 차량용 에어컨 컴프레서의 고효율 전동화를 유도 시킬 수 있음을 확인 할 수 있었다.

### 1. 서 론

브러시리스 직류 전동기는 가 변속 제어가 용이하고, 운전 영역 변화에 따른 효율 변화가 적은 특징을 가지고 있다. 이로 인해 고효율, 가변속을 필요로 하는 전동식 에어컨 압축기 같은 제품에 급격히 적용되고 있으며, 향후에도 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. EV & HEV 제품에 브러시리스 직류전동기가 적용되고 있는 대표적 사례로서 전동식 압축기를 꼽을 수 있다. 우리가 알고 있는 대부분이 가정용 냉장고 압축기, 차량용 에어컨 압축기등 주로 압축기용으로 내부는 고온, 고압의 환경이기 때문에 압축기에 사용되는 브러시리스 직류전동기는 위치 센서를 사용하지 않는 Sensorless 제어 방식으로 구동된다. 최근에 연비향상 요구가 증대됨에 따라 효율에 관한 관심이 증가하면서 자연스럽게 연비를 향상시킬 수 있는 방법에 관한 연구가 다양한 분야에 활발히 진행되고 있다.



그림 1 HEV 차량 및 E-Compressor제품

차량에 쓰이고 있는 에어컨 압축기는 대부분 엔진에서 동력을 전달받아 움직이는 벨트형으로 대부분의 차량에 적용되고 있으며, 사회적 필요에 따라 HEV & EV용으로 고효율 BLDC MOTOR & 제어가 적용된 전동식 에어컨 컴프레서가 적용 초기 단계에 접어들고 있다. 특히 차량에서의 에어컨 컴프레서는 기계식 압축기를 사용하고 있는 실정으로 지속적인 친환경 부품 개발에 따른 요구를 만족하는 고효율 모터 적용 에어컨 컴프레서가 요구되고 있는 실정이다. BLDC Motor는 회전자에 권선을 감는 대신 영구자석을 장착하여 일반적인 DC Motor에 비해 관성

대 토크 비율이 높으며, 브러시가 없으므로 유지, 보수가 용이하고 DC 모터처럼 가청잡음이 없어 사용 환경에 제약을 받지 않는 장점을 가지고 있다. 그림 1 은 현재 전동식 컴프레서가 적용되는 HEV 차량과 전동식 컴프레서를 보여주고 있으며 현재 차량용 전장품의 방향은 친환경화, 프리미엄화 그리고 고연비화에 중점을 두고 있다.

표 1 BLDC Motor 특성

항목	BLDC Motor
기본 구조	회전자계형
회전자검출	위치 검출 소자
정류 방법	반도체 소자를 이용한 전자적 스위치
역회전방법	스위치 순서의 변경
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>장기간 사용가능</li> <li>보수 불필요</li> <li>잡음 없음</li> <li>고속운전가능</li> <li>박형화 소형화 가능</li> <li>비교적 가격이 높음</li> <li>냉각 용이</li> </ul>

### 2. 컴프레서용 PMSM Motor 제작

#### 2.1 MSM Motor 구조 및 제한

일렬 코어를 이용한 PMSM Motor의 제한 및 2D 형상은 표 2 및 그림 2와 같다. 이 모터의 구조는 9개의 Stator Slots와 Rotor에 6개의 극으로 구성되어 있으며 Magnet는 IPM TYPE으로 고속 회전시 신뢰성 보증을 위한 구조로 구성되어 있다. 또한 고효율 유도를 위한 코어 재질을 POSCO S18 0.35T를 적용제작을 하고, 마그네트는 고회력 고자속 유지를 위한 Nd 소결 Magnet를 사용하였다. 특히 마그네트의 고자속도 중요하지만 컴프레서에 조립되는 사양의 마그네트 제품은 환경적으로 대단히 취약한 조건으로 고온특성에 강해야 하고, 방청에 또한 강해야 하며, 진동에 의한 마그네트 내성 또한 강해야 한다.

2.5KW급 스크롤 컴프레서에 적용 될 코어의 기본 형상을 그림 2와 같이 구성하고, 표 2와 같이 구조적 사양으로 설계 및 제작하여 모터의 특성을 측정하였다.

,Balance Weighter를 조립하고 마지막으로 컴프레서를 조립하기 위한 샤프트를 조립한 제품을 보여주고 있다.

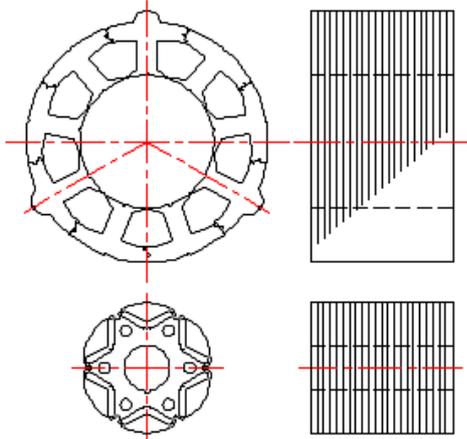


그림 2 PMSM Motor의 CORE 형상

표 2 PMSM Motor의 제원

구분	항 목	적용 SPEC'
사양	정격 출력 [KW]	2.5
	정격 전압 [Vdc]	310
	정격속도 [rpm]	5500
고정자	외경 [mm]	85
	내경 [mm]	47
	슬롯수	9
	재질	S18 0.35T
회전자	공극 [mm]	0.5
	외경 [mm]	46
	Magnet	Nd 42UH
	극수	6
	적층 길이[mm]	50

### 2.2 Core 설계 및 제작

PMSM Motor의 효율 및 출력 밀도를 높이기 위하여 기존의 제품대비 전기자 권선량 높이는 방법중에 분할코어, 일렬코어 2가지 방법이 대표적이다. 본 제품에서는 일렬 코어로 제작하였다.

그림 3은 일렬 코어로 제작 적층된 형상을 나타낸 것이다. 9개의 슬롯을 일렬로 타발하여 일렬로 적층이 되어 배열되는 것이 특징이다. 회전자는 동일한 재질에 단발 코어로 제작 되었으며, 최종 컴프레서 조립시 Balance Weight의 조립을 위하여 6개의 Hall 부분을 가공제작하였다. 또한 마그네트를 IPM 타입으로 적용하기 위한 코어 구조를 가져 왔으며, 마그네트는 각 극당 2개씩 쌍을 이뤄 6 극을 형성하게 된다.

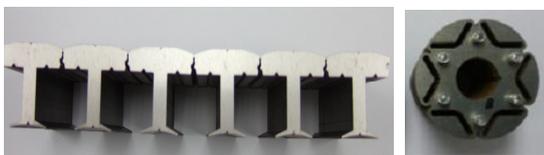


그림 3 Stator 분할 코어 제품

일렬코어로 제작된 Stator에 전기자 권선을 하기가 유리할 뿐만 아니라 더 많은 권선을 할 수 있도록 유리하게 제작하였으며, Rotor는 Magnet를 내측에 삽입하여 조립할 수 있는 구조로 제작되었다.

### 2.3 모터 제작 및 조립

일렬 코어 형태로 제작 되어진 코어는 각 슬롯을 권선 하기위하여 각 코어의 고정 및 조립을 위한 인슐레이터를 제작하여 Coil Winding 작업을 하였다. 또한 로터에는 Nd 소결 Magnet를 6 Pole로 조립하였다. 제작 되어진 Stator 와 로터는 Housing Jig에 넣어 모터 특성을 측정 하였으며, 그림 4는 권선 작업을 마친 Stator 코어 모습이다. 또한 그림 5는 회전자에 Magnet를 삽입후



그림 4 Stator 조립후 제품



그림 5 마그네트 조립후 제품

그림 6 은 PMSM Motor를 구동하기 위한 구동 제어기이며 용량은 정격 2.5KW급으로 제작되었다. 운전방식은 센서리스 제어방식을 적용하고 있으며, HEV&EV용 컴프레서를 구동하기 위한 최적의 크기로 제작되었다. 세부적 사양은 표 3과 같다.

적용될 컴프레서는 대표적인 HEV&EV용 스크롤 압축기로서 저속 ~ 고속운전이 가능한 제품군으로 세부적 사양은 표3 과 같다.

표 3 제어기 & 컴프레서 사양

구분	항 목	적용 SPEC'
제어기 사양	정격 출력 [KW]	2.5
	운전 전압 [Vdc]	280~420
	정격속도 [rpm]	5500
	운전 방식[구동방식]	센서리스
컴프레서 사양	최대 출력[KW]	3.4
	정격출력[KW]	2.5
	컴프레서 종류	스크롤 압축기
	정격속도 [rpm]	5500
	적용 냉매	R134a
	적용 CC	20cc

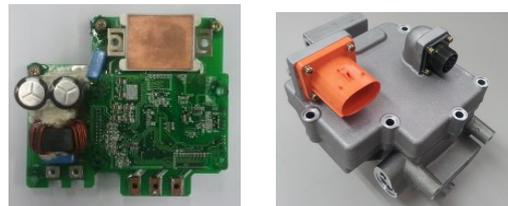


그림 6 적용된 Sensorless Inverter Drive

### 2.4 컴프레서 제작

제작 되어진 Stator 와 Rotor는 스크롤 컴프레서에 조립하여 컴프레서 성능 특성을 측정 하였다. 스크롤 컴프레서 기구에 ,현재 운용되고 있는 HEV & EV 전기적 조건을 적용하여 측정하게 되었으며 , 또한 이때 PMSM Motor 구동/제어기는 표 3과 같은 사양으로 차량에 적용하기 위해 자체 개발된 3상 Sensorless Inverter Drive 가 사용되었다. 그림 7 은 상기와 같이 조립된 컴프레서를 칼로리미터에 장착된 모습이며 , 그림 8 은 컴프레서의 성능 테스트를 위한 칼로리미터에 조립된 모습이 다.

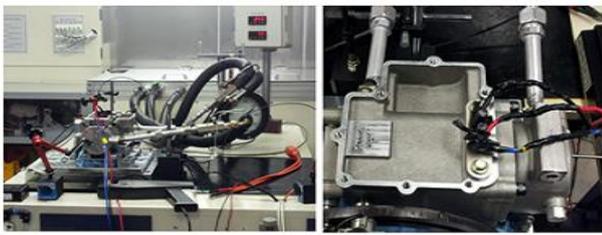


그림 7 컴프레서 칼로리 TEST

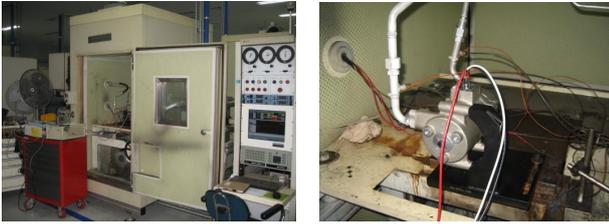


그림 8 컴프레서 성능 TEST

### 2.5 모터 및 컴프레서 성능측정 및 고찰

제작되어진 PMSM Motor의 성능을 테스트 하기 위하여 Torque 특성을 측정하였다. NT curve 특성을 통해서 PMSM Motor의 성능을 가늠할 수 있기 때문에 NT Curve를 측정 하였다. 측정 되어진 NT Curve는 그림 9 와 같다. 여기서 입력전류, 입력, 출력, 효율, 회전수를 측정 하였으며, 성능측정은 정격 회전수인 5500 [rpm]을 측정 하였다. 각 Torque값이 상승함에 따라 RPM이 안정화되는 시간이 필요하며 이 원인으로 curve에 변곡점이 생기게 되며, 컴프레서의 운전대역이 3.6[N.m]의 부하 대역인 점을 감안, 효율 포인트를 3.6[N.m]대역을 기준으로 하여 PMSM Motor 및 컴프레서 성능 측정을 하였다. 컴프레서의 칼로리 측정을 통해서 컴프레서의 능력을 가늠할 수 있기 때문이며, 측정된 결과는 표4와 같다.

그림 9 처럼 PMSM Motor의 단품 측정결과 부하 3.6[N.m]대역에서 효율의 최대점이 유지 되는 것을 알 수 있으며, 컴프레서의 운용대역 또한 3.0~4.5[N.m]대역에서 운용하는 것이 효율적인 점을 알 수 있다. 표 4 는 컴프레서의 대표적인 운용대역인 5,500[RPM]으로 설정한 것이 적절하게 설계 되었다는 것을 확인하였다.

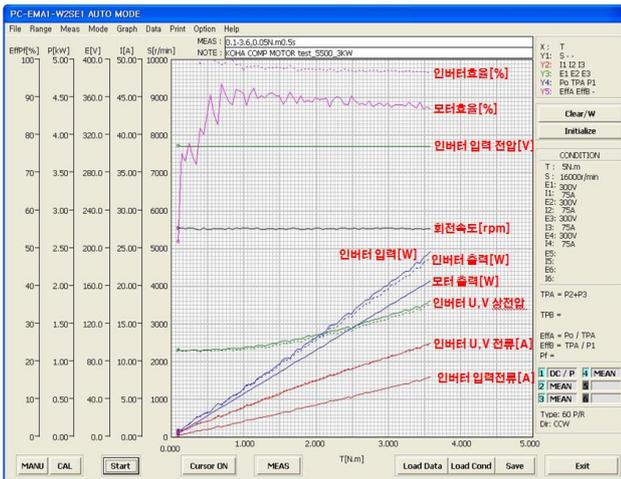
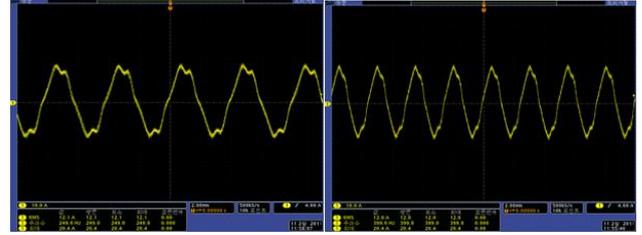


그림 9 PMSM Motor Test 5500[RPM]

표 4 PMSM Motor Test 결과

구동 회전수	인버터부				모터부	
	전압 [Vdc]	출력 [KW]	전류 [A]	효율 [%]	출력 [KW]	효율 [%]
5,500	310	2.4	8.0	95	2.2	89
8,600	310	3.5	11.0	96	3.0	90

그림 10 은 적용 조립된 자동차용 컴프레서의 운전범위인 정격 5,000 RPM과 8,600 RPM 대역에서의 전류 파형을 보여주고 있으며 전형적이면서 안정된 정형파로 제어되고 있음을 보여주고 있다. 전류의 왜곡이 보이지 않으며 높은 압력조건에서도 원활한 운전을 보여주고 있다.



5,000 RPM 실부하 파형 8,600 RPM 실부하 파형

그림 10 실부하 Test / 압력조건 25kg/cm<sup>2</sup>

표 5 실부하 Test / 압력조건 25kg/cm<sup>2</sup>

회전수	입력 전류 (RMS)	압력기준 [kg/cm <sup>2</sup> ]	적용 Compressor	냉매
4,000	12.9	25	Scroll 20CC	R134A
5,000	12.1	25	Scroll 20CC	R134A
6,000	12.3	25	Scroll 20CC	R134A
7,000	12.2	25	Scroll 20CC	R134A
8,000	12.0	25	Scroll 20CC	R134A

표 5와 같이 실부하 TEST 결과 HEV, EV용 SCROLL 압축기에 조립 적용 TEST 하였으며 25[kg/cm<sup>2</sup>] 높은 압력조건에서도 운전이 가능케 하였다. 이때 적용된 냉매는 R134a이며, 적용용량은 스크롤 컴프레서 20cc급으로 4000 rpm ~ 8000rpm까지 측정하였다. 결과 안정된 전류로 제어가 되는 것을 확인 하였다.

표 6 Compressor 측정결과

회전수	전류 [A]	Suction pressure [kgf]	power consumption [KW]	Eva out Temperature [KW]
4,000	5.0	2.5	1.00	7.5
5,000	5.9	2.5	1.50	9.3
6,000	6.7	2.5	1.50	9.3
7,000	7.9	2.5	2.20	7.6
8,000	9.4	2.5	2.48	6.8

표 6과 같이 실부하 TEST 결과 HEV, EV용 SCROLL 압축기에 조립 Suction pressure를 2.5[kgf] 로 유지 하여 각 회전대별 4,000~8,000까지 측정을 하였다. 측정결과 열량은 10.~2.48까지 적정한 출력을 보여주고 있으며, 압축기 실부하 측정결과 EVA온도의 안정적 온도 유지로 높은 성능을 보여주고 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 최근에 주목받고 있는 전동기 조립 방법 중에 하나인 일렬코어 형식을 취하였으며 또한 HEV & EV용 에어컨 컴프레서의 PMSM Motor & 제어기 적용 개발 형식을 취하였으며, PMSM Motor & 제어기의 단품 성능뿐만 아니라 에어컨 컴프레서 실 제품에 적용 특성을 비교 분석 하였다.

브러시리스 직류전동기에 의해 운전하는 HEV & EV용 에어컨 프레스에 PMSM Motor 및 Sensorless 제어를 적용해 제품의 효율 향상 및 에어 충전 시간을 획기적으로 단축 할 수 있는 방안을 찾았다. 또한 제품 테스트 결과에서 보여주듯이 상대적으로 고압(25kg/cm)에서도 우수한 성능을 검증하였다. 이로 인한 HEV & EV등 광범위한 차량에 적용에 도움이 될 것으로 확신한다. 본 연구로 개발된 제품은 HEV & EV의 차량에만 국한된 것이 아닌 다양한 부분의 제품으로 시장성이 높을 것으로 판단된다.

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로  
한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아  
수행한 연구과제입니다.

**[참 고 문 헌]**

- [1] Electric Power Research Institute, "Electric Motors; Markets, Trends, and Application," Tech. Rep. TR 100423, Jun. 1992.
- [2] K Y Cho, S B Yang, H W Kim and J C Kim, "Improving sound quality of reciprocating compressor using random PWM" IEE Power Electronics and Variable Speed Drives, pp. 431 436, Sep. 2000.
- [3] Dae Kyong Kim, Kwang Woon Lee, Byung Il Kwon, "Commutation torque ripple reduction in a position sensorless brushless DC Motor drive," IEEE Trans. On Power Electronics, vol. 21, NO. 6, pp. 1762 1768, Nov. 2006.
- [4] Dae Kyong Kim, Kwang Woon Lee, Byung Taek Kim, Byung Il Kwon, "A Novel Starting Method of the SPM type BLDC Motors without Position Sensor for Reciprocating compressor", Conf. of IEEE IAS, 2006.
- [5] M. M. Bech, J. K. Pedersen and F. Blaabjerg, "Random modulation techniques width fixed switching frequency for three phase power converters", IEEE Trans. Power Electron., vol.15, no.4, pp.753 761, 2000.
- [6] Y.G. Jung, S.H. Na, Y.C. Lim and H.G. Kim, "Implementation of a DSP controlled random switching frequency PWM inverter for industrial drives", in Proc. ICEE(Korea),2002,pp.575 580.
- [7] M.M. Bech, J.K. Pedersen, and F. Blaabjerg, "Field oriented control of an induction Motor using random pulse width modulation", in Proc. IEEE APEC '00, 2000, pp. 924~931.