

# 스크루 압축기용 고효율 30hp BLDC MOTOR 설계

이준호, 김기선, 이율재\*, 김광현, 박성준  
전남대학교, (주)신옥테크\*

## Development of High Efficiency 30hp BLDC Motor for Screw Compressor

Jun-Ho Lee, Ki-Seon Kim, Yool-Jae Lee\*, Kwang-Heon Kim, and Sung-Jun Park  
Chonnam National University, Sinoktech Co., Ltd\*

### ABSTRACT

Compressor의 개발 동향은 높은 에너지 효율과 넓은 운전영역의 특성을 갖는 방향으로 성장해 왔다. 특히 기존의 AC Motor를 DC Motor로 대체함으로써 더 높은 효율을 얻을 수 있게 되었다. 본 논문은 압축기의 핵심 부품인 30hp급 용량에 92%의 효율과 3800RPM 가변속 운전이 가능한 BLDC Motor를 맥스웰을 이용하여 시뮬레이션하고 실제 제작을 통해 효율과 가변속 운전을 실험하였다.

### 1. 서 론

스크루 압축기는 고효율, 저진동, 유지관리비용 등의 장점으로 인해 다른 형식의 압축기를 급속히 대체해 나가고 있으며 정밀가공기술의 발전과 함께 적용 범위가 확대되고 있다. 이에 따라 압축공기의 절대 사용량의 증가와 함께 대용량 및 가변용량형 압축기들의 출현이 요구되고 있다. 기존 AC Motor 방식 스크루 압축기의 경우 그 자체로는 전력소비량이 크지 않지만 전체 시스템 효율에 미치는 효과는 매우 크기 때문에 본 논문에서는 압축기의 고효율 가변속 운전이 가능한 BLDC Motor를 연구 개발하고자 한다. 이는 용도에 따른 다양한 압축기 시스템을 BLDC Motor로 구성할 경우 기존 시스템과는 달리 부하에 대한 대응효율이 높아야 하며, 넓은 운전영역에서 고효율 특성을 갖는 모터가 필수적이기 때문이다.

### 2. 본 론

#### 2.1 BLDC Motor 설계 및 F.E.M 해석

##### 2.1.1 6극 9슬롯 BLDC Motor 모델

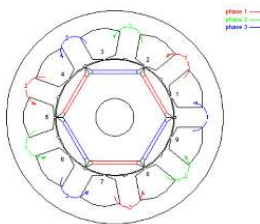


그림 1 6극 9슬롯 BLDC Motor 단면도  
Fig. 1 Cross-section of 6-pole 9-slot BLDC Motor

본 논문에서 제안하고자 하는 6극 9슬롯 BLDC Motor 단면도를 그림 1에 나타내었다. 코일은 집중권, 결선방식은 Y결선을 취하였으며 병렬 5선식으로 총 9슬롯에 감겨있다.

모터의 고효율화를 위해 회전자와 고정자의 재료는 S18T35(0.35T, s18)을 선정하였으며 Magnet은 ND38SH를 사용하였으며 자속은 1.3[T]이다. Rotor 정격속도는 3600rpm으로 설정하였으며, 초기 위치는 0도에서 시작하였다.

##### 2.1.2 Flux-2D IPM Motor

모터 설계를 위해 맥스웰을 이용하였다. 해석시간과 결과의 정확성을 위하여 Mesh를 1/6으로 나누어 시뮬레이션을 수행한 결과를 그림 2에서 나타내었다.

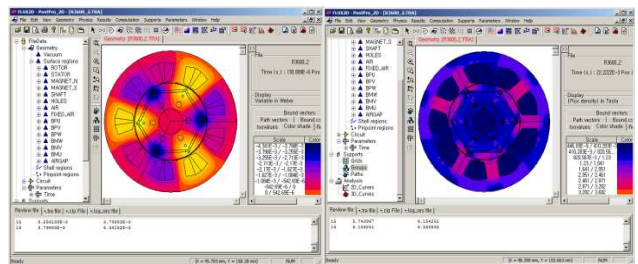
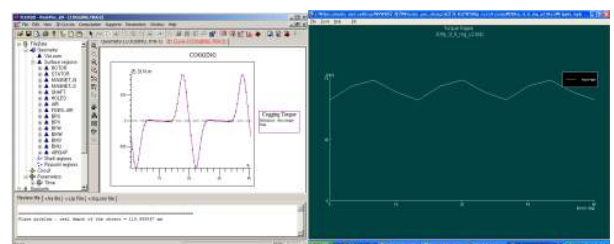


그림 2 모터 내부의 자속변화 시뮬레이션  
Fig. 2 Magnet Vector Potential & Flux Density

일반적으로 BLDC Motor 내부 자속밀도는 2.5[T]를 넘으면 포화로 분석되는데 시뮬레이션 한 결과 자속분포 수치에서는 2.5[T]를 넘는 부분이 없음을 그림 2에서 확인할 수 있다.

##### 2.1.3 Cogging 토크와 역기전력

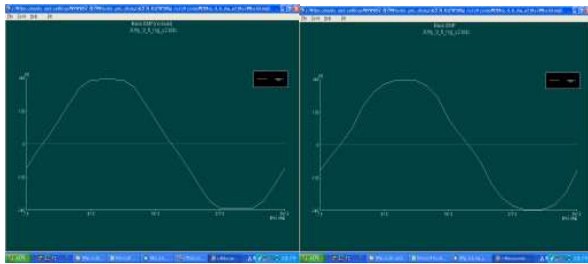


(a)코깅토크 (b)토크리플  
그림 3 모터의 코깅토크와 토크리플 파형  
Fig. 3 Motor's Cogging Torque & Torque Ripple

코깅 토크는 각 고정자의 피치와 피치 사이를 넘어 갈 때 발생하는 토크로서 각 오픈 슬롯에서 발생하며, 토크 리플은 회전자에서 발생하는 토크로서 N극에서 S극으로 변화할 때 발생하는 토크이다. 설계된 모터의 코깅토크의 최대 값은 약 1[Nm]이고 토크리플은 최대 값이 72[Nm]로 설계된 값을 보여 준다.

### 2.1.4 BLDC Motor의 역기전력

본 설계에서는 제어의 편리성과 모터의 효율적인 측면을 갖는 Semi-sinusoidal 형태의 역기전력을 발생하도록 설계하였다.



(a) 무부하시 (b) 전부하시

그림 4 무부하시 역기전력과 전부하시 역기전력 파형  
Fig. 4 BEMF at no load & load

그림 4에서 무부하시 역기전력은 설계하고자 하는 Semi-Sinusoidal 형태를 취하고 있으나, 전부하에서 약간의 왜곡이 발생함을 보이고 있다. 하지만 왜곡율이 전체적인 효율에 크게 영향을 미칠 만큼 벗어나지 않아 설계가 적당함을 보이고 있다.

## 2.2 실험 및 결과

### 2.2.1 실험 구성

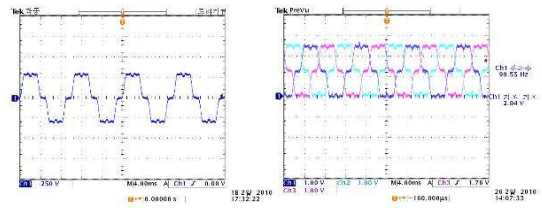
설계된 모터의 특성 실험을 위해 DC Servo Motor를 이용하였다. DC Servo Motor의 지령속도는 최고 2,000rpm으로 설정하였다.



그림 5 모터 특성 실험을 위한 시험 지그  
Fig. 5 A Jig for Motor Characteristic test

### 2.2.2 실험 결과

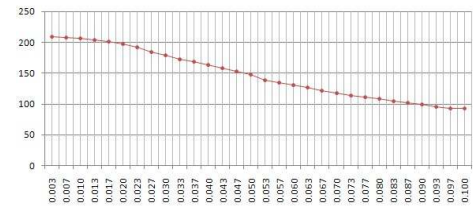
그림 6은 실험을 통해 얻어진 역기전력과 필터를 거친 후의 파형인데, 시뮬레이션과 동일한 형태의 역기전력을 보이고 있다. 그림 7은 부하변화에 따른 역기전력의 변화와 출력 전력의 결과를 보여준다. 실험 여건상 2000rpm에서 실험한 출력결과로 정격 속도에서의 결과를 유추해 볼 때 역기전력은 약 210[V]로 정상적인 결과를 얻었다. 그러나 출력 전력이 다소 부족함을 보이고 있다.



(a) 역기전력 (b) 필터링 출력

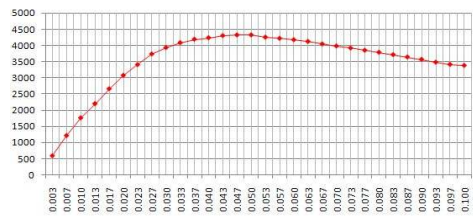
그림 6 역기전력 파형과 전압센서의 필터링 출력  
Fig. 6 BEMF at 2000rpm & filtered output

### 전압-컨덕턴스



(a) 부하변동에 따른 역기전력

### 전력-컨덕턴스



(b) 부하변동에 따른 출력 전력

그림 7 부하변화에 따른 역기전력과 출력 전력 결과  
Fig. 7 BEMF & power with load variations

## 3. 결론

본 논문의 목표는 스크루 압축기의 성능향상을 위하여 30hp급 용량에 92%의 효율을 갖는 가변속 운전형 BLDC Motor를 설계 제작하는 것이다. 제안한 BLDC Motor의 시뮬레이션과 실제 실험 결과를 비교한 결과, 코깅토크와 역기전력 등의 부문에서 유사한 값을 얻었으나 용량과 효율에서 목표한 바에 조금 못 미치는 결과를 얻었다. 원인은 권선기법에서 기인된 것으로 유추된다. 차후 BLDC Motor 제작 및 정격속도를 제공할 수 있는 실험 장비 구축과 정밀한 계측과 토크 리플을 저감할 수 있는 구조 변화가 필요할 것으로 보인다.

## 참고 문헌

- [1] D. C. Hanselman, Brushless Permanent-Magnet Motor Design, McGraw-Hill, 1994.
- [2] P. Pillay, and R. Krishnan, "Modeling, Simulation, and Analysis of Permanent-Magnet Motor Drives, Part II: The Brushless DC Motor Drive," IEEE Transactions on Industry Applications, vol.25, No. 2, pp. 274-279, 1989.
- [3] T. Kenjo, and S. Nagamori, Permanent-Magnet and Brushless DC Motors, Clarendon Press, Oxford, 1985.