

# 저속-고성능 10kW급 영구자석 동기 발전기 개발 Design of 10kW Permanent Magnet Synchronous Generator

\*심민석<sup>1</sup>, #천영덕<sup>2</sup>, 이상훈<sup>2</sup>

\*M. S. Sim(sms@seoltech.com)<sup>1</sup>, #Y. D. Chun<sup>2</sup>, S.H.Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>선택, <sup>2</sup>대구기계부품연구원 메카트로닉스부품산업화센터

Key words : Generator, Skew, Permanent magnet, Synchronous

## 1. 서론

국내·외적으로 환경에 대한 규제 구체화, 저탄소 녹색 성장 산업 정책 반영으로 신재생에너지 관련 기기 산업이 활성화 되고 있다.

또한 기후 변화 대응을 위한 국제사회의 요구가 증대되고 있으며, 새로운 투자기회와 일자리 창출을 위한 그린에너지산업 육성을 위하여 소수력, 풍력발전 확대보급의 필요성이 부각되고 있다.

본 논문에서는 코깅토크(Cogging Torque)를 최소화 하기 위해서 회전자(rotor)의 자석을 스큐(skew) 설계하였으며, 고정자의 제조 비용을 줄이기 위하여 5분할형 규소 강판 적층방식을 적용했다. 또한 과속운전 및 과 출력시 열에 의한 방열과 부식을 방지 하기 위하여 외함 재질은 알루미늄 프레임 방식으로 발전기를 제작하고 특성 시험을 하였다.

## 2. 본론

### 2.1 10kW 영구자석형 발전기 활용

본 논문의 직접구동형 발전기는 저속, 고효율 발전기 요소 설계에서 극수는 30극의 자석 스큐(skew), 아크-오프셋으로 제작하였으며, 요크(Yoke) 두께를 선정하고, 권선과 자석의 크기를 결정하였다.

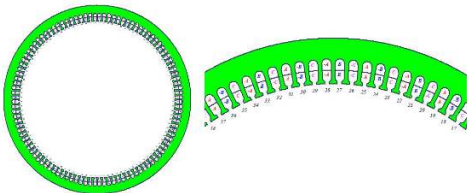


그림 1 3상 90 slot 발전기 구조

자체 권선 지그를 제작하여 코일의 권선을 최적화 하고 코어와 영구자석간의 유격을 일정하게

하여 발전효율을 높이고, 분할형 코어 조립 방식을 적용하여 제작비용을 절감 하였다. 소형 풍력, 소수력의 Blade Rotor와 회전축이 직접 연결되는 Inner Rotor PMG로 개발하여 기계적인 에너지손실을 막고 소음을 줄이며 유지비용과 제작비용을 줄여 경제성을 확보하였다.

### 2.2 분할형 적층코어

무방향성 전기강판(S18-0.5t)은 자성을 결정하는 Si 함량에 의하여 등급이 결정되지만 사용자들이 요구하는 품질 특성은 제품 종류에 따라 다르다. 철심이 교번되는 유도자기장을 형성시 발전기 고정자 코어에 와전류손 및 히스테리시스손 등과 같이 철심에서 발생하는 철손은 발전기내에서 열로 발생되게 된다. 이 열이 권선의 절연체를 통하여 공극으로 전달되어 발전기의 내부 온도를 상승시키게 된다. 그림2는 설계대상 발전기의 경우 철손을 줄이기 위해서 전기강판(S18-0.5t)을 적층해서 160mm 두께의 5분할 구조의 코어를 설계 하였다.



그림2. 5분할 적층코어 형상

분할된 코어의 조립을 위하여 코어 조립용 커버를 제작하였으며, 조립 부분의 위치 및 정밀도를 높이기 위하여 슬롯구조로 설계하였다.

### 2.3 영구자석 설계 및 회전자 설계

로터(rotor)는 회전자(shaft)와 영구자석 접촉 자로 부분으로 구성되며, 회전자는 블레이드 및 전자 브레이크가 장착 될 수 있도록 양측으로 설계하였다. 영구 자석 부착면은 일정 간격 유지와 밀림 방지를 위하여 스페이스바(space bar)가 조립 될 수 있도록 M3 탭 가공을 하였다.



그림3. 발전기 회전자

또한 영구자석 30도로 스큐(skew) 및 폴 아크-오프셋을 주어 코깅 토크를 최소화 하였다.

### 2.4 실험 및 결과

영구자석형 발전기의 특성시험을 위하여 표1와 같은 사양으로 Prototype 10kW급 PM 발전기를 제작하였다. 그림5는 실험을 위해 제작된 영구자석형 발전기 실제형상을 보여준다..

	Symbol	units	
Output power	Po	kW	12
Rated speed	w	rpm	120
Output Voltage	E	V	3phase, 360(Line-Line)
Max. Efficiency	h	%	92
Rotor			Permanent magnet
Number of Pole	-	-	30
Speed Constant	KE	Vdc/rpm	4.6
Resistance at 20 °C(Line-Line)	Br	W	1.79
Inductance ( Line-Line)	L	mH	24.9
Rotor Inertia	J	Kg-m <sup>2</sup>	1.47
Maximum Temperature	CMax	°C	150
Winding			Wye
Starting Torque		Nm	< 10
Shaft Play-Axial		mm	< 0.2
Gen. Weight	Wg	Kg	210

표1 Prototype PM 발전기의 사양

가변 속도에 대한 부하 실험을 통하여 발전기의 출력 특성을 측정하였다. 또한 연속 정격 출력 실험을 통하여 발전기의 내부 온도 특성을 알 수 있었다. 실내에서 발전기 12kW-120rpm시 연속 정격 실험으로써 고정자 코일 온도는 최대 120 °C로 측정

되었다. 저항 부하시 Prototype 발전기는 120rpm에서 12kW 출력시 효율이 92%로 측정되었다.

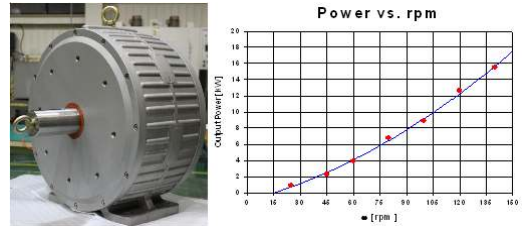


그림5. 10kW PM 발전기 및 무부하시험

계통연계 실험에서 인버터를 계통에 연결하여 가변속 운전시 PM 발전기의 출력 특성은 150rpm에서 최대 출력 17kW이며 효율은 운전 영역에서 85~92% 측정 되었고, 운전 구간 60~150rpm정격 범위의 속도에서는 인버터 효율은 80~95%이다. 전체적인 시스템, 발전기와 인버터의 최종 효율은 정격 범위의 속도에서 70~90%로 확인 되었다.

### 3. 결론

본 논문에서는 소형풍력, 소수력용에 적합한 10kW급 영구자석형 발전기를 설계하고 이를 유한 요소법을 적용하여 자석의 크기 및 공극 자석 분포 해석을 수행하였다. Prototype 발전기를 제작하였고, 특성 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 고에너지 밀도를 가지는 영구자석을 적용하여 소형화, 경량화된 직접구동형 PM 발전기 제작 및 영구자석 스큐(skew) 구조이므로 코깅(Cogging)토크를 최소화 하였다.
- 2) 저항 부하 실험 결과 prototype 10kW PM 발전기는 120rpm에서 12KW 출력시 효율이 92%로 양호한 특성을 확인하였다.

앞으로 본 연구 결과를 보완하여 신재생에너지 관련 소형풍력, 피코수력 시스템에 적용하고자 한다.

### 참고문헌

1. Y. S. Chen, Z. Q. Zhu, and D. Howe, "Slotless brushless permanent magnet machines: Influence of design parameters," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 14, no. 3, pp.686-691, Mar. 1999.