

영구자석형 발전기와 계통연계형 인버터의 성능실험

김형길* 김철호* 서영택**
(주)서영테크* 구미1대학**

Performance Testing of the Permanent Magnet Generator and Grid Inverter

Hyoung-Gil Kim* Chul-Ho Kim* Young-Taek Seo**
SEOYOUNG TECH Co., Ltd.* Kumi College**

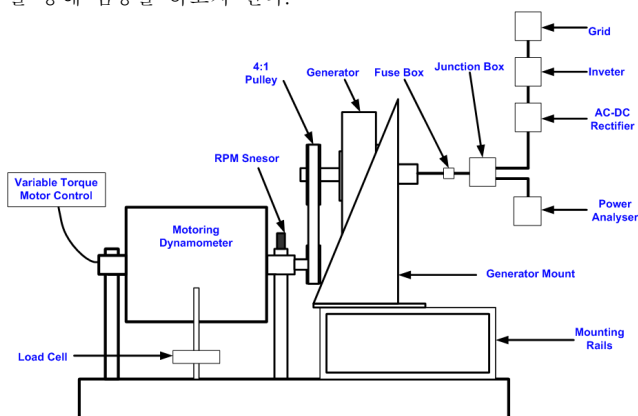
Abstract - Most of the small wind turbines are set as the stand alone type in the area where the access to the grid is difficult and compulsorily uses the battery. Depending on the volume of the battery, securing of the space necessary, and has the shortcoming of replacing the battery periodically due to it's limited working life span. Recently, setting up in the vicinity of the city area is increasing and the trend of using the Grid inverter instead of battery is also increasing.

This thesis is aiming mainly analyzing the characteristics of the output power of the Prototype Permanent Magnet Generator(PMG) and the Grid-Inverter and to verify through the theoretical study and tests. Tested the characteristics of the output power of the PMG through the stage 1-2 and at the stage 3 connected the output of the PMG to the Inverter and tested the characteristics of the Inverter. And at the stage 4, the maximum output power is confirmed by the continuous running test of the PMG.

1. 서 론

소형 풍력은 계통 접근이 불가능 지역에서 독립형(Stand-alone system)으로 많이 사용 되었다. 독립형 풍력발전기는 계통연계(Grid connected system)와 달리 에너지를 저장 할 수 있는 배터리(Battery)가 반드시 필요하며 주기적으로 보수 및 교체를 해야 하는 단점을 가지고 있다. 소형 풍력 시장의 흐름은 자국의 이산화 탄소 배출 억제 정책으로 계통연계형 소형 풍력발전기 설치를 권장하고 있으며 개인 사용자들이 계통에 직접 연결해서 사용함으로써 전력 비용을 줄이거나 발전사업 쪽으로 유도하는 쪽으로 지원을 하고 있다.

본 논문에서는 4.2kW PMG(Permanent Magnet Generator) 와 3.6kW Grid Inverter 출력 특성 해석을 중점적으로 다루고 실험을 통해 검증을 하고자 한다.



<Fig. 1> Schematic Diagram of the PMG Test Rig

<Fig.1>은 실험 장치를 나타내고 있다. 가변속 전동기는 회전 속도와 토크 제어를 통해서 다이내모메타에 연결 되어 있으며, 4:1 감속기를 사용하였다. 발전기 출력측에 3상 정류기를 연결하여 DC 측에 가변 부하 실험을 하여 PMG 특성 실험을 하였고, 인버터를 계통연계해서 실험을 하였다. <Table 1>은 Stage1-4 까지 측정 항목과 실험장치를 나타내고 있다. Stage 1-2를 통해

서 PM 발전기 출력특성을 실험을 수행 했으며, Stage 3에서는 발전기 출력을 Inverter로 연결해서 계통연계 실험을 하였다. 실험을 통해서 전체 System의 출력과 역율, 효율 등을 측정하였다. Stage 4에서는 PM 발전기의 최대 출력 특성을 확인하고자 연속 운전 실험을 하였다.

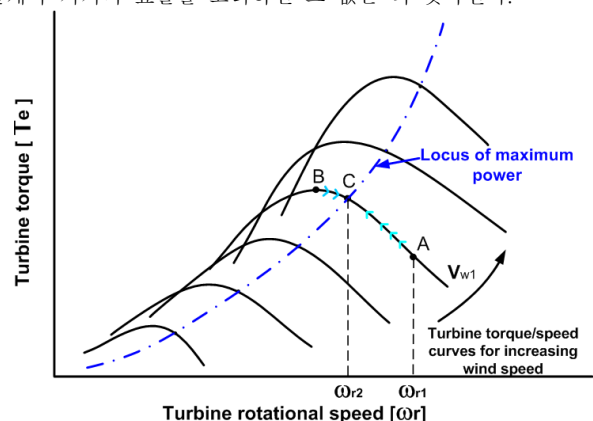
<TABLE 1> TEST CONFIGURATION AND MEASURED PARAMETERS FOR EACH TEST STAGE

TEST STAGE	Parameter	Measurement Location
Stage 1	Voltage, Current Power Power Facto	Generator
	Torque	Dynamometer
Stage 2	Voltage, Current Power Power Factor	Each Generator Phase Generator Sum
	Torque	Dynamometer
Stage 3	Voltage, Current Power Power Factor	Generator Phases 1&2 Generator Sum Inverter Output
	Torque	Dynamometer
Stage 4	Voltage, Current Power	
	Temperature	Generator Windings
	Torque	Dynamometer

2. 본 론

2.1 풍력발전의 개요

바람을 이용하는 풍력발전은 풍속에 의해 발생된 풍력에너지를 1차적으로 풍력터빈의 회전날개에 의해 기계적 에너지로 변환하고, 이 변환된 기계적 에너지를 이용하여 발전기의 회전자를 구동시켜 최종적으로 전기에너지를 출력시킨다. 풍력발전 시스템에서 단위 면적당 공기 역학적 출력과 이로부터 회전자속에 얻어지는 이상적인 기계적 출력은 바람의 운동에너지 중에서 Betz 상수인 59%까지 전기에너지로 변환 될 수 있지만, 풍력발전기 날개와 기기의 효율을 고려하면 그 값은 더 낮아진다.



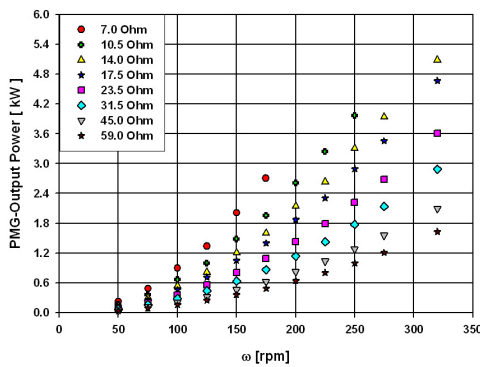
<Fig.2> Fixed-pitch wind turbine torque vs. rpm

<Fig.2>는 가변 풍속시 로터 회전에 대한 토오크 특성이며, 특정 풍속 V_{W1} 에서 회전 속도가 ω_{r1} 에서 속도가 줄어들면 토오크는 증가되고 최대 출력 B로 이동 하게 된다. 최대 출력 곡선은 특정 풍속에서 로터 회전수에 따라서 최적의 풍력의 얻기 위해 가변 되는 것을 나타내고 있다. 출력 곡선은 특정 풍속에서 로터의 회전수는 공기역학적으로 최적의 효율을 얻기 위해서 최대 출력 곡선 C로 이동해야 한다. 풍력발전시스템의 토오크-로터 회전수 특성에서 출력은 $P_o = K\omega_r^3$ 식으로 나타낼 수 있다.

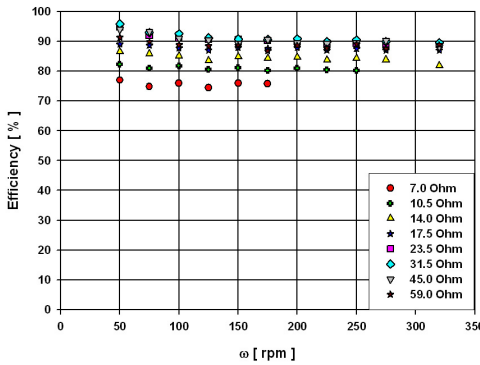
2.2 영구자석형 발전기

소형 풍력발전용 4.2kW AFPM(Axial Flux Permanent Magnet) 발전기는 회전자와 고정자가 Disc형태로 되어 공극에서 자속 방향이 발전기의 기계축과 평행하게 형성되어 단위 무게당 출력이 크고 고에너지 밀도를 갖도록 설계 할 수 있다. 또한 코어리스(Coreless)의 장점은 권선의 체적 밀도를 상대적으로 높게 설계할 수 있으며, 코깅 토크(cogging torque)에 의해 발생되어지는 손실을 줄여 낮은 풍속에서도 기동이 용이하다. Stage 1은 발전기 부하실험으로 가변부하는 7~59Ω 범위에서 실험을 하였다.

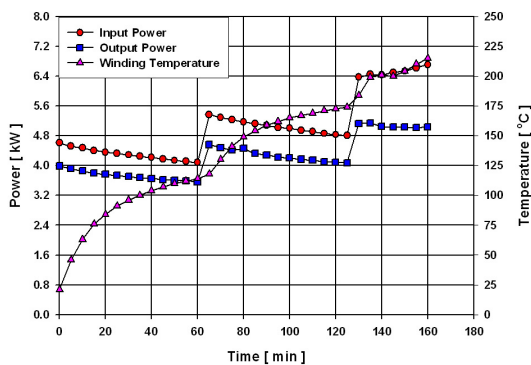
각각의 회전수에 따른 PM 발전기 부하 실험을 통해서 출력, 효율, 역률 등을 측정 하였으며 가변 부하 실험에서 최대효율은 2.9kW에서 91%이다. <Fig.3>은 가변 부하에 따른 발전기 출력이며, <Fig.4>는 발전기 효율을 나타내고 있다. 정격 4.2kW에서 운전시 효율은 부하 17.5~23.5Ω 범위에서 87~89%측정 되었다.



<Fig. 3> Variation of Generator output power



<Fig. 4> Influence of load on efficiency generator

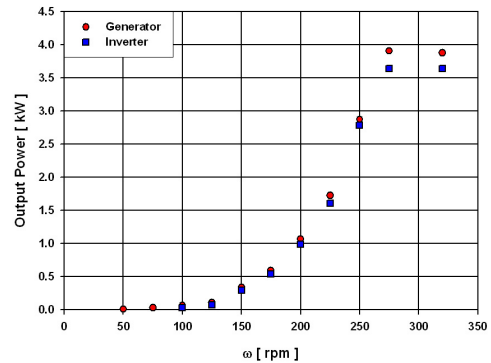


<Fig. 5> Generator output and input power with change in winding temperature

Stage 4에서는 PM 발전기의 연속운전을 통해서 설계되어진 PM 발전기 한계 출력과 권선의 내부 온도를 측정 하였다. <Fig.5>는 발전기 연속운전 실험 결과이며, 60분씩 단계적으로 4kW, 4.5kW 출력을 증가하며 실험을 했으며 최대 5.1kW에서 권선 내부의 온도는 215°C까지 실험을 하였다.

2.3 발전기와 계통연계형 인버터 특성 실험

계통연계형 인버터는 블레이드(Blade)의 공력 및 실증실험 결과에 의해서 PM 발전기의 가변 로터 회전속도에서 최대 출력 제어 가능하게 수정 하였다. Stage 2-3 실험에서 인버터를 계통에 연결하여 가변속 운전시 PM 발전기의 출력 특성은 275rpm에서 최대 출력 3.9kW이며 효율은 운전 영역에서 60~90% 측정 되었고, 발전기와 인버터를 계통 연결시 인버터 출력 특성 실험을 하였다. <Fig.6>은 계통연계 실험에서 발전기 출력과 인버터 출력을 나타내고 있다. Cut-in은 100rpm이상이며, 저속 100~150rpm에서의 효율은 50~88% 측정 되었으며 정격 범위의 속도에서는 인버터 효율은 90~94%이다. 전체적인 시스템, 발전기와 인버터의 최종 효율은 정격 범위의 속도에서 75~82%로 확인 되었다.



<Fig. 6> Generator and inverter output power

3. 결 론

본 연구는 계통연계형 소형 풍력 발전 시스템에 관한 특성 실험으로 블레이드(Blade)의 출력 특성에 적합한 4.2kW PM 발전기를 설계하고 이를 바탕으로 풍력용으로 최적 제어가 가능한 3.6kW 계통형 인버터의 특성을 분석하여 소형 풍력의 계통연계에 적합성을 평가 하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) PM 발전기 부하 실험을 통해서 정격 4.2kW에서 운전시 효율은 부하 17.5~23.5Ω 범위에서 87%이상으로 측정 되었으며, 계통연계시 발전기의 출력은 275~320rpm에서 3.9kW이며 효율은 83~86%이다. 발전기 한계 출력과 권선의 내부 온도 특성에서 최대 5.1kW에서도 발전기가 정상운전이 가능하다는 것을 실험을 통해서 확인 하였다.

2) 인버터의 출력은 최대3.6kW이고 효율은 93~94%이며 발전기와 계통형 인버터의 실험 결과 전체 System 효율은 150rpm 이상에서 75~82%로 양호한 특성을 확인하였다..

앞으로 본 연구 결과를 보완하여 4kW 소형 풍력발전 시스템에 적용하고자 한다.

[참 고 문 헌]

[1] R. David Richardson, Gerald M. Mcnerney, "Wind Energy Systems," Proceedings of the IEEE, Vol. 81, No. 3, pp.378~388, March 1993.
 [2] E. Muljadi, H.E. McKenna, "Power quality issues in a hybrid power system", Industry Applications, IEEE Transactions on, Volume 38, Issue 3, pp. 803-809 May 2002.
 [3] Bechly, M.E., Gutierrez, H., Streiner, S., Wood, D.H "Modelling the Yaw Behaviour of Small Wind Turbines", Wind Engineering, 26, 4, pp. 223-239.(2002)
 [4] B.J. Chalmers, E. Spooner, "An axial-flux permanent-magnet generator for a gearless wind energy system", Energy Conversion, IEEE Transactions on, Volume 14, Issue 2, pp. 251 -257 Jun 1999.