한국소음진동공학회 2013년 추계학술대회논문집, pp. 477~478

전기자동차용 초소형 가스터빈 파워팩의 부하토크에 따른 성능 최적화 실험장치 설계

Test Rig Design for Performance Measurements of Ultra-Small Gas Turbine Power Pack with Variable Torque Loads for Use in Electric Vehicles

심규호† · 박지수*

Kyuho Sim, Ji-Su Park

1. 서 론

전기자동차는 배터리를 주 전원으로 사용하여 친환경적이지만 짧은 주행거리와 주기적인 충전이 필요하며, 배터리의 가격이 비싸고 무거운 단점이 있다. 반면, 초소형 파워팩을 장착한 전기자동차는 주행 중 지속적으로 배터리를 충전하므로 긴 주행거리를 확보할 수 있고 배터리의 크기 및 비용을 줄일 수 있다. 초소형 파워팩은 전기에너지를 생산하는 발전기와 발전을 위한 동력을 발생시키는 동력원, 전기에너지를 저장하는 소형 배터리로 구성된다. 특히 가스터빈 파워팩은 기존의 내연기관 파워팩에 비하여 친환경적, 다양한 연료, 단순 구조, 고속화를 토한 소형화가 가능하다.

심규호 등[(1)]은 초소형 가스터빈 파워팩이 다른 내연기관 파워팩에 비하여 1.5~4 배의 출력밀도를 가지지만, 과도하게 높은 전기적 부하로 인하여 가스터빈 출력에 비해 현저히 낮은 발전기 출력을 보여준다. 박철훈 등[(2)]은 초소형 가스터빈 파워팩의 손실을 측정 및 계산하여 전동발전기의 요구동력 및 효율을 선정하였고, 고성훈 등[(3)]은 초소형 가스터빈의 추력 측정을 위한 성능 실험 장치를 개발하였다. 하지만, 기존 연구는 발전기의 전기적 부하와 파워팩의 효율 및 출력의 인과관계를 규명하는 연구가 부족하다.

본 논문에서는 초소형 가스터빈 파워팩의 부하 토크에 따른 효율 및 출력의 측정 및 분석을 통하여 최적 운전점을 찾기 위한 실험장치를 설계하였다. 부하토크는 기계적 부하 장치를 통하여 가스터빈에 부여되는데, 이는 발전기의 전기적 부하를 모사한다.

† 교신저자; 정회원,
서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과
E-mail : khsim@seoultech.ac.kr
Tel : 02-970-7195
* 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

2. 실험 장치

Figure 1 은 7.5 kW 급 파워터빈 형태의 초소형 가스터빈의 구성과 개념도이다. 참고문헌(1)의 초소형 가스터빈은 최대 170 krpm 으로 회전하면서 약 710℃의 고온 배기가스를 발생시킨다. 파워터빈은 코어터빈의 고온, 고압 연소가스를 이용하여 동력을 생산한다.

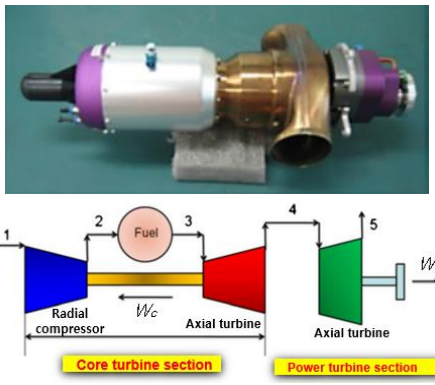

Fig.1 Configuration of 7.5 kW Micro Gas Turbine and its cycle schematic.

초소형 가스터빈의 효율 및 출력은 식(1-6)에 주어진 사이클 해석을 통하여 예측된다(변수명 생략)[(4)].

$$T_2 - T_1 = \frac{T_1}{\eta_c}[(\frac{P_2}{P_2})^{\frac{\gamma_a - 1}{\gamma_a}} - 1] \quad (1)$$

$$W_{tc} = c_{p.g}(T_3 - T_4) = c_{p.g}(T_2 - T_1)/\eta_m \quad (2)$$

$$T_3 - T_4 = \eta_{tc} T_3[1 - (\frac{1}{p_3/p_4})^{\frac{\gamma_g - 1}{\gamma_g}}] \quad (3)$$

$$T_4 - T_5 = \eta_{tp} T_4[1 - (\frac{1}{p_4/p_5})^{\frac{\gamma_g - 1}{\gamma_g}}] \quad (4)$$

$$W_{tp} = c_{p.g}(T_4 - T_5)\eta_m \quad (5)$$

$$\eta = W_{tp}/(Q_{net.p} f/\eta_b) \quad (6)$$

코어터빈은 파워터빈의 동력축에 부하 토크가 가해질 때 파워터빈과 독립되어 있으므로 부하토크에 영향

을 받지 않고 일정한 고온, 고압의 연소가스를 공급한다. 식 (7)은 파워터빈의 출력과 부하토크(T_{load}), 파워터빈 동력축 회전속도(Ω)의 상호관계를 보여준다.

$$W_{tp} = c_{p.g}(T_4 - T_5)\eta_m = T_{load}\Omega \qquad (7)$$

부하토크에 따른 가스터빈의 성능 해석을 참고문헌 (1)의 운전속도 150 krpm 에서 주어진 가스터빈 데이터를 바탕으로 수행하였다. Figure 2 은 파워터빈 동력축의 다양한 회전속도에 대하여 부하토크를 증가시키면서 파워터빈 출구온도, 출력, 효율의 경향을 보여준다. 일정한 회전속도에서 부하토크의 증가는 파워터빈 출구 온도의 감소와 출력 및 효율의 증가를 유발한다. 전체적으로 회전속도가 감소함에 따라 출구온도는 상승하고, 출력 및 효율도 감소하는 추세이다. 또한, 회전속도가 높을수록 부하토크에 따른 온도, 출력, 효율의 변화 기울기가 크다.

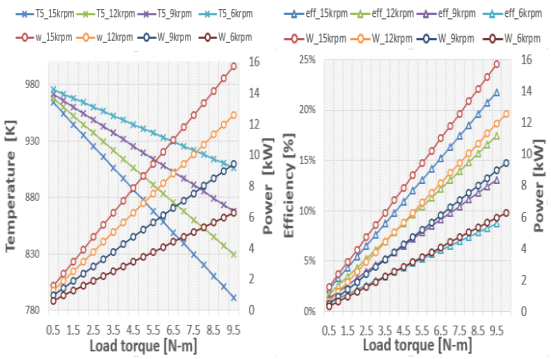

Fig. 2 Output power, exit temperature, efficiency of Micro Gas Turbine under fixed conditions of mass flow rate and temperature of combustion gas.

위의 해석결과는 파워터빈 출력 선정 가이드라인으로 활용 가능하다. 즉, 원하는 출력을 기준으로 그래프에 가로선을 그으면 출력선과 만나는 점의 x 좌표를 통해 다양한 지점의 부하토크와 회전수를 예측할 수 있고, 이를 통하여 파워터빈 출구 배기 가스 온도와 가스터빈 효율을 예측할 수 있다. 예를 들면 5 kW 의 경우, 부하토크가 약 3.5 Nm 일때 회전속도는 약 12 krpm 이고, 이 운전조건에서 터빈 출구 온도는 910 °, 효율은 약 8% 이다.

2.3 실험 장치 설계

Figure 3 은 초소형 가스터빈과 부하장치로 구성된 실험장치의 개념도이다. 온도센서는 출구 가스 온도를 측정하고, 토크센서는 파워터빈 동력축의 토크를 측정한다. 발전기의 전기적 부하는 기계적 부하로 모사한다. 부하장치는 스크류의 회전으로 브레이크 패드의 직선운동으로 변환한 후 직접 마찰을 통하여 부하토크를 가한다. 센서를 통해 취득되는 데이터는 파워터빈 출구온도, 공기 속도, 연료 유량, 파워터빈 토크, 부하장치에 가하는 힘이고, ECU 를 통하여 코어터빈과 파워터빈 회전 속도, 코어터빈 출구온도를 획득한다.

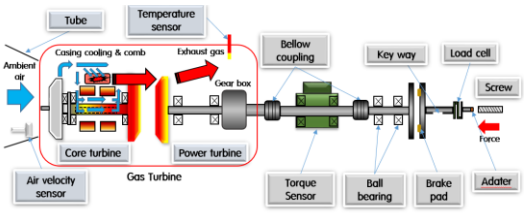

Fig. 3 Test Rig Diagram for Micro Gas Turbine power-pack.

3. 결 론

본 논문에서는 전기자동차용 초소형 가스터빈 파워팩의 부하토크에 따른 성능 최적화를 위하여 가스터빈 사이클 해석을 통하여 실험장치를 설계하였다. 향후 실험을 통하여 부하토크에 따른 파워터빈 동력축 회전속도, 가스터빈 효율, 파워터빈 출구 배기가스온도, 파워터빈 출력의 상호 인과관계를 예측결과와 비교하여 규명할 계획이다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비(일부)지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

(1) Kyuho Sim, Bonjin Koo, Chang Ho Kim, Tae Ho Kim, " Development and performance measurement of micro-power pack using micro-gas turbine driven automotive alternators" Applied Energy, 102, pp. 309-319, 2012.

(2) 박철훈, 최상규, 함상용, " 손실을 고려한 500W급 마이크로 가스터빈 발전기용 전동발전기의 요구동력 및 요구효율 선정" , 유체기계저널, 제 14권, pp24~30, 2011.

(3) 고성희, 기자영, 박미영, 공창덕, 이경재, " 교육용 마이크로 가스터빈 엔진 성능 시험장치 개발" , 한국추진공학회, 추계학술대회 논문집, pp. 31~35, 2008.

(4) Saravanamuttoo HIH, Rogers GFC, Cogen H. Gas turbine theory. 4th ed. Longman, 1996, ch. 2.