

유전자 알고리즘과 스케일링 기법을 이용한 가스터빈 엔진 구성품 성능선도 개선에 관한 연구

고성희* · 공창덕**

Component Map Generation of a Gas Turbine Engine Using Genetic Algorithms and Scaling Method

Seonghee Kho* · Changduk Kong**

ABSTRACT

In the present study, in order to improve precision of the component characteristic maps generated by the scaling method, a map generation method which can produce a compressor map from some experimental performance data using GAs(Genetic Algorithms) was proposed. However, in case of the proposed map generation method only using GAs, because it has a drawback for estimating correctly the surge points and the choke points of the compressor map, a modified GAs method was additionally proposed through complementally use of the scaling method to determine obviously those points of the compressor map.

초 록

본 연구에서는 축척방법에 의한 구성품 성능선도의 부정확성을 개선하기 위해 실험을 통하여 획득한 데이터를 유전자 알고리즘(Genetic Algorithms)으로 압축기 성능선도를 생성하는 방법을 제안하였고, 유전자 알고리즘만 이용할 경우 압축기 성능선도 생성 시 서지점들과 초크점들을 예측하는데 불분명한 단점이 있어 기존의 구성품 성능선도 생성에 널리 사용하는 스케일링 기법을 보완적으로 이용하여 보다 정확한 구성품 성능선도의 예측을 시도하였다.

Key Words: Genetic Algorithms(유전자 알고리즘), Component Map(구성품 성능선도), Gas Turbine Engine(가스터빈 엔진), Scaling Method(스케일링 기법)

1. 서 론

가스터빈 엔진의 성능모사를 위해서는 각 구성품의 성능은 구성품 성능선도를 따라야 하는 조건 때문에 구성품의 특성을 나타내는 성능선도가 매우 중요하다. 구성품 성능선도는 다양한

* 한국항공우주연구원 항공추진그룹
** 조선대학교 항공우주공학과
연락처, E-mail: habari@kari.re.kr

조건에서의 성능시험을 통해 얻는 것이 당연하나 실제 엔진의 구성품 성능선도는 엔진 제작사를 제외하고는 획득하기가 매우 어렵기 때문에 일반 구매자나 가스터빈 엔진의 성능을 연구하는 사람들은 일부 공개된 성능선도를 축척하여 이용하고 있다[1].

구성품의 성능을 효과적으로 표현하기 위한 많은 연구 결과가 제시되었는데 Kurzke(2000)등은 많은 압축기 성능선도를 통계적으로 해석하고 각 성능선도에서 효율이 최고인 영역, 유량-속도의 관계, 속도 선도의 형상 등을 정의하여 새로운 성능선도를 구성하는 방법을 제시하였다[2]. 그러나 이 방법은 성능선도에 대한 방대한 자료가 요구됨으로 보유하고 있는 성능 데이터 자료가 적은 경우에는 이용하기 어려운 단점이 있다. 공창덕(2002)등은 제작사에서 주어진 몇 가지 운용조건에서의 성능 데이터나 실험 데이터를 이용하여 각 조건에서 주어진 성능을 만족하도록 축척 값을 구하고 그 값으로 다항식을 구성하여 새롭게 성능선도를 구성하는 방법을 제안하였다[3].

최근에는 엔진의 성능을 해석하는데 있어 구성품 성능선도에서 오는 오차를 줄이기 위해 성능선도를 사용하지 않고 인공지능 기법을 이용하여 확률, 통계학적으로 해석하는 방법도 제시된 바 있으나 이를 위해서도 연구대상 엔진의 많은 성능 데이터나 실험 데이터가 요구된다.

2. 연구대상 엔진

2.1 엔진 구성품

본 연구에 사용된 가스터빈 시험장치는 최대 출력 4kW 급의 소형 분리축 방식 터보축 엔진으로 가스 발생기(압축기, 연소기, 압축기 터빈), 동력 터빈, 부하장치, 시동계통, 점화계통, 윤활계통, 계측장치, 안전장치 등으로 구성되어 있다[4].

2.2 데이터 획득 장치

본 연구에 사용된 가스터빈 시험장치는 제어판(Control Panel)에서 직접 아날로그 데이터를 육안으로 판독하여 기록할 수도 있지만 정확한 데이터 획득을 위해 P9008 데이터 기록(Data Logging) 장치를 이용하여 센서로부터 아날로그 신호를 받아 컴퓨터에 장착된 PC26AT 아날로그/디지털 변환기(A/D Converter)를 거쳐 데이터를 저장하였다.

2.3 압축기, 압축기 터빈 및 동력 터빈 성능선도

본 연구의 정상상태 성능해석에 이용한 GASTURB에서는 설계점 성능해석 후 축척할 각 구성품의 성능선도를 지정하여 주면 프로그램 내부적으로 계산된 설계점에 따라 성능선도를 축척한다[5]. 본 논문에서는 압축기의 경우 제작사에서 제공된 압축기 성능선도를 스캐너를 사용하여 그림파일로 저장한 후 GASTURB의 Smooth-C를 이용하여 각 라인의 데이터를 읽어 GASTURB에서 인식가능 하도록 변환하였고, 재구성한 압축기 성능선도를 Fig. 1에 나타내었다.

압축기 터빈 및 동력 터빈의 경우에는 제작사에서 제공된 성능선도가 없는 관계로 GASTURB에 내장된 radtur.map을 이용하여 축척하였다.

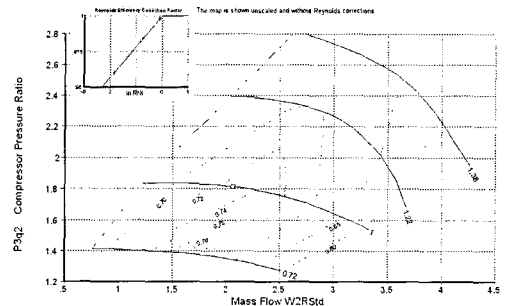


Fig. 1 Original compressor map using Smooth-C

3. 유전자 알고리즘을 이용한 압축기 성능선도 생성

3.1 유전자 알고리즘의 적용

압축기 성능선도의 회전수(N), 압력비(PR), 유량함수(MFP), 효율(EFF)의 함수관계를 다음과

같이 정의 하였다.

먼저 유량함수는 압력비와 회전수의 함수이며 Eq. 1과 같다.

$$MFP_N = a \cdot PR^3 + b \cdot PR^2 + c \cdot PR + d \quad (1)$$

또한 효율은 유량함수와 회전수의 함수로 Eq. 2와 같다.

$$EFF_N = a' \cdot MFP^3 + b' \cdot MFP^2 + c' \cdot MFP + d' \quad (2)$$

여기에서, 압축기 회전수는 65000, 70000, 75000, 80000, 85000, 90000 RPM의 6개 회전수들이 선택되었다.

Equation 1과 2에서 미계수 a, b, c, d(또는 a', b', c', d') 값을 알면 회전수에 따른 각각의 값을 구할 수 있고 구성품 성능선도를 생성할 수 있게 된다. 따라서 본 연구에서는 미계수 a, b, c, d(또는 a', b', c', d') 값을 구하기 위해 단순 유전자 알고리즘을 적용하여 가스터빈의 구성품 중 성능해석 시 가장 큰 영향을 주는 압축기 성능선도를 생성하였다.

Figure 2는 본 연구에 사용된 단순 유전자 알고리즘의 순서도를 보여주고 있다.

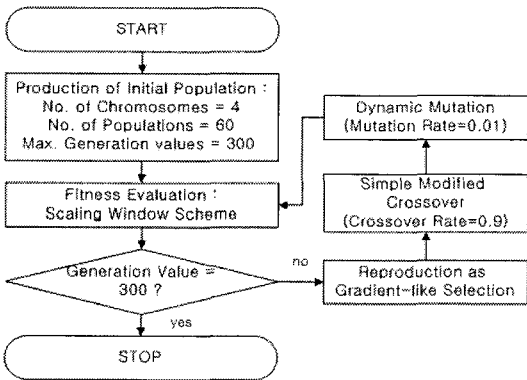


Fig. 2 Flowchart of simple genetic algorithms

3.2 압축기 성능선도

유전자 알고리즘으로 구한 각 엔진회전수의 미계수 a, b, c, d(또는 a', b', c', d')를 최소자승법에 의하여 n 차 다항식을 구하고 각 엔진회전수의 유량함수-압력비, 유량함수-효율 곡선으로 나타낸 후 상용 성능해석 프로그램인 GASTURB의 Smooth-C로 Fig. 3과 같은 압축기 성능선도를

생성하였다. 그러나 Fig. 3의 압축기 성능선도를 살펴보면 서지라인이 불분명하고 75000 RPM의 성능선도가 없는데 이는 75000 RPM의 미계수를 구할 때 사용한 실험데이터의 부족 때문인 것으로 사료된다. 따라서 추가적으로 실험데이터를 보강하고 제작사에서 제공된 Fig. 1의 서지점 값들을 축척하여 서지라인이 포함된 Fig. 4와 같은 압축기 성능선도를 새로이 생성하였다.

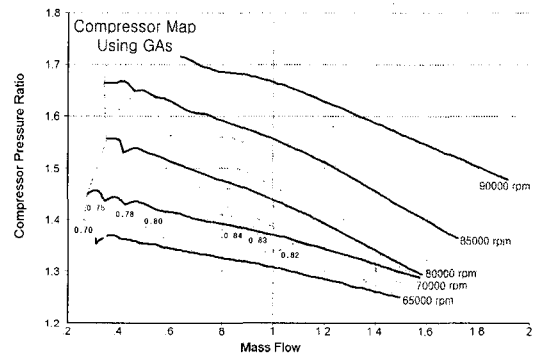


Fig. 3 Compressor map generated by GAs

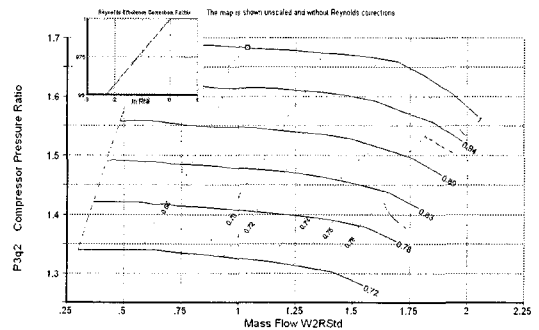


Fig. 4 Compressor map generated by new GAs

4. 정상상태 성능해석

4.1 검증 실험 데이터

본 연구의 검증을 위해 여러 번 실시한 실험 데이터 중 임의로 하나의 경우를 검증 데이터로 선정하였다. 선정된 실험 데이터의 대기온도를 입력조건으로 하여 기존의 축척방법과 유전자

알고리즘으로 구한 압축기 성능선도를 사용하여 GASTURB로 성능해석을 수행하고 그 결과를 비교하였다.

4.2 설계점 데이터로 축척한 구성품 성능선도를 이용한 정상상태 성능해석

기존의 축척방법으로 축척한 압축기 성능선도 및 압축기터빈, 동력터빈 성능선도를 이용하여 상용 성능해석 프로그램인 GASTURB로 정상상태 성능해석을 수행하였다. 연구대상 엔진인 소형 터보축 가스터빈 엔진이 지상에서 운용되기 때문에 기본 대기 조건은 검증 실험 데이터를 얻은 대기 온도인 23°C로 하였으며, 압축기 회전수는 65000~90000 RPM 사이를 5000 RPM 간격으로 하여 정상상태 성능해석을 수행하였다.

4.3 유전자 알고리즘으로 생성한 구성품 성능선도를 이용한 정상상태 성능해석

유전자 알고리즘으로 생성한 압축기 성능선도를 이용한 경우와 실험데이터를 추가하고 서지라인 예측에 기존의 스케일링 기법을 보완적으로 이용한 경우를 가지고 같은 조건에서 정상상태 성능해석을 수행하였다.

4.4 비교 및 분석

선정된 검증 실험 데이터와 세 가지 방법으로 얻은 압축기 성능선도를 이용한 성능해석 결과가 Fig. 5~7과 같다.

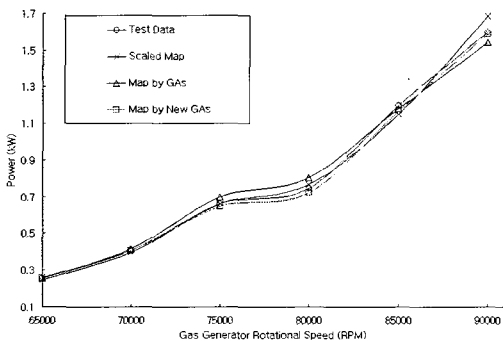


Fig. 5 Comparison power as to RPM

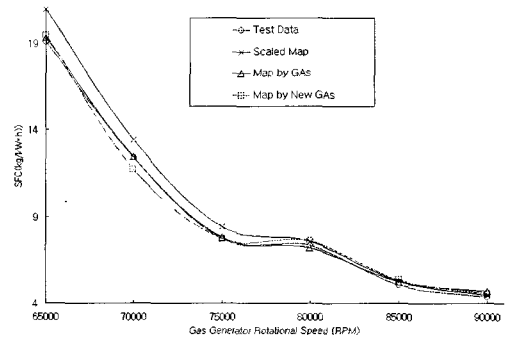


Fig. 6 Comparison SFC as to RPM

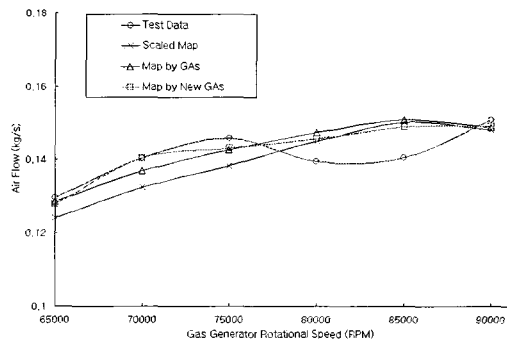


Fig. 7 Comparison air flow as to RPM

실험 데이터와의 오차율은 Table 1에 나타나 있다. 여기에서, S.M.은 Scaled map을 G.M.은 GAs map을 N.G.M.은 실험데이터를 추가하여 새로이 생성한 GAs map을 의미한다.

Table 1. Relative error for scaled method, GAS method, and new GAS method to experimental data

RPM	Power (kW)			SFC ((kg/(kW*h))			MA (kg/s)		
	S.M (%)	G.M (%)	N.G.M. (%)	S.M (%)	G.M (%)	N.G.M. (%)	S.M (%)	G.M (%)	N.G.M. (%)
65000	4.22	1.11	1.02	9.98	1.34	2.11	4.30	0.85	1.28
70000	2.47	2.51	0.29	8.33	0.28	5.50	5.55	2.45	0.09
75000	0.16	5.71	2.18	8.81	0.77	0.24	5.18	2.22	1.92
80000	2.68	7.61	3.19	2.70	2.00	3.51	3.96	5.63	4.42
85000	4.21	1.46	2.73	4.41	3.29	5.86	6.98	7.41	6.04
90000	5.44	3.45	0.51	1.98	7.65	4.99	1.79	1.37	1.06

성능해석 후 축마력, 비연료소모율, 공기유량을 각각 비교한 결과 기존의 축척방법을 이용하여 성능해석한 결과의 전체 평균오차가 3.2%, 6%, 4.2% 이고, 유전자 알고리즘을 이용하여 성능해석한 결과의 전체 평균오차가 3.6%, 2.5%, 3.3% 이며, 실험데이터를 추가하고 유전자 알고리즘을 이용하여 성능해석한 결과의 전체 평균오차가 1.6%, 3.7%, 2.4% 이다. 따라서 Fig. 5~7과 Table 1에서와 같이 대체적으로 유전자 알고리즘을 이용한 방법이 기존의 축척방법에 비해 오차가 적음을 알 수 있고, 실험데이터를 추가하여 새로이 생성한 압축기 성능선도를 이용한 성능해석 결과의 오차가 훨씬 적음을 알 수 있다. 특히 설계점에서 멀어지는 저 RPM에서의 오차가 유전자 알고리즘을 이용한 경우 훨씬 적게 나타나고 있으며, 비선형적인 엔진 성능 특성을 더 잘 추적하고 있다. 그러나 비연료소모율 비교 결과에서와 같이 실험데이터를 추가한 경우의 오차가 다소 큰 경우도 있기 때문에 새로이 생성된 압축기 성능선도와 실험데이터를 추가하기 전의 압축기 성능선도들 사이의 상호 보완적 이용으로 오차를 줄여나가는 방안을 좀더 연구해야 할 것으로 보인다.

5. 결 론

본 연구에서는 실험데이터를 가지고 유전자 알고리즘을 이용하여 압축기 성능선도를 생성할 수 있는 방법을 제시하였다.

본 연구에서 제안한 유전자 알고리즘을 이용하여 생성한 압축기 성능선도와 기존의 축척방법으로 생성한 압축기 성능선도를 상용프로그램인 GASTURB로 정상상태 성능해석을 수행한 후 검증 데이터와 비교 검토하였다. 비교결과 유전자 알고리즘을 이용하여 생성한 압축기 성능선도가 비교적 오차가 적었으며, 실험데이터를

추가하여 유전자 알고리즘으로 새로이 생성한 압축기 성능선도의 오차가 훨씬 적음을 확인할 수 있었다. 이는 축척할 기존의 성능선도 없이 대략적인 실험 데이터만으로도 간단하게 구성품 성능선도를 생성할 수 있음을 보여주었다. 또한 새로이 생성된 압축기 성능선도와 실험데이터를 추가하기 전의 압축기 성능선도들 사이의 상호 보완적 이용으로 오차를 줄여나가는 방안을 좀더 연구해야 할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. Sellers, J. F. and Daniele, C. J.. "DYNGEN - A Program for Calculating Steady-state and Transient Performance of Turbojet and Turbofan Engines", Technical Report TN-D-7901, NASA Lewis Research Center, 1975
2. Kurzke, J. and Riegler, C.. "A New Compressor Map Scaling Procedure for Preliminary Conceptual Design of Gas Turbines," ASME Paper 2000-GT-0006, 2000
3. Kong, C. D., Ki, J. Y. and Kang, M. C.. "A New Scaling Method for Component Maps Gas Turbine using System Identification," ASME Turbo Expo, GT-2002-30150, 2002
4. Andrew Wynne, "The Commissioning & Development of a Gas Turbine Power Plant," The Bachelor of Mechanical Engineering Honours Degree Thesis, Liverpool John Moores University, 1994
5. Kurzke, J.. "Manual GASTURB 8.0 for Windows - A Program to Calculate Design and Off-design Performance of Gas Turbines," Technical Report, 1998