

## 가스터빈 시험장치를 이용한 구성품 성능선도 축척기법에 관한 연구

공창덕\* · 고성희\*\* · 기자영\*

### Study on Component Map Scaling Technique Using a Gas Turbine Test Unit

Chang-Duk Kong\* · Seong-Hee Kho\*\* · Ja-Young Ki\*

#### ABSTRACT

A new scaling method for the prediction of gas turbine components characteristics using experimental data of gas turbine test unit has been proposed. In order to minimize the analyzed performance error in the this study, firstly component maps were constructed by real experimental performance data at some operating conditions and a polynomial obtained from scaling factors at given conditions, and then the simulated performance using the identified maps was compared with the performance result using the currently used traditional scaling method. In comparison, the performance analysis result by the currently used traditional scaling method was met well agreed with the real engine performance at most off-design points except for the design point. However the performance analysis result using the newly proposed scaling method had good agreement with the experimental results within maximum 5% error.

#### 초 록

가스터빈 시험장치의 실험 데이터로부터 얻어진 일부 성능 데이터를 이용하여 구성품 성능선도(component characteristic)를 축척(scaling)하는 새로운 방법을 제안하였다. 성능해석의 오차를 최소화하기 위하여 실제 실험 데이터로부터 몇 개의 작동점들에 일치하는 일련의 구성품 성능선도들을 구하고 다항식(polynomial)을 이용하여 새롭게 성능선도를 구성하는 축척방법을 제안하였으며, 이때 얻어진 성능선도를 이용하여 탈설계점 성능해석을 수행하였다. 해석 결과 기존의 축척방법으로 얻어진 성능선도를 이용한 경우 설계점을 제외한 대부분의 탈설계점에서의 성능은 실제 엔진 성능과 잘 일치하지 않았다. 그러나 새로운 축척방법에 의해 얻어진 성능선도를 이용한 경우에는 최대 5% 이내의 오차율을 보였다.

\* 조선대학교 항공우주공학과(Chosun University, Dept. of Aerospace Engineering)

\*\* 조선대학교 대학원 항공우주공학과(Chosun University, Dept. of Aerospace Engineering)

## 1. 서 론

가스터빈 엔진의 성능모사 및 상태 진단을 위해서는 구성품의 특성을 나타내는 성능선도가 매우 중요하다. 그러나, 실제 엔진의 구성품 성능선도는 엔진 제작사를 제외하고는 획득하기가 매우 어렵기 때문에 일반 구매자나 가스터빈 엔진의 성능을 연구하는 사람들은 일부 공개된 성능선도를 축척하여 이용하고 있다.

축척방법에는 여러 가지가 있으나 그 대부분이 성능선도의 설계점 데이터를 새로운 엔진의 설계점 데이터에 맞도록 축척값(*scaling factor*)을 구하여 구성품 성능선도의 각각의 데이터에 곱하는 방법을 사용한다[1]. 그러나 이 방법은 기존의 엔진과 새로운 엔진의 성능이 비슷하여 축척값이 1.0에서 크게 벗어나지 않는 경우에만 유효하며 설계점 이외에서는 실제 엔진의 성능과 잘 맞지 않는 단점이 있다[2]. 또한 연구대상 엔진의 구성품의 특성과 비교적 잘 일치하는 성능선도를 얻는다는 것도 매우 어려운 일이다.

이에 본 연구에서는 실제 실험을 하여 얻어진 몇 가지 운용조건에서의 성능 데이터를 이용하여 각 조건에서 주어진 성능을 만족하도록 축척값을 구하고 그 값으로 다항식(*polynomial*)을 구성하여 새롭게 성능선도를 구성하는 방법을 적용하였다.

## 2. 시험장치 개요

새로운 축척기법이 적용된 본 시험장치는 영국 **CUSSONS TECHNOLOGY**에서 제작된 **P9005** 2축 가스터빈 시험장치로서 Fig. 1이 본 연구에 쓰인 실제 시험장치이고, Fig. 2는 시험장치의 작동 개념도이다.

본 시험장치는 열대지방에서도 사용되어지고 있으며 일반적으로 상온에서부터 40℃까지, 상온에서 80% 습도까지 사용 가능하다.

본 시험장치는 가스발생기(압축기, 연소실, 압축기터빈), 동력터빈, 부하장치(*loading system*),

시동계통, 점화계통, 윤활계통, 계측장비, 연동장치(안전장치) 등으로 구성되어 있다.

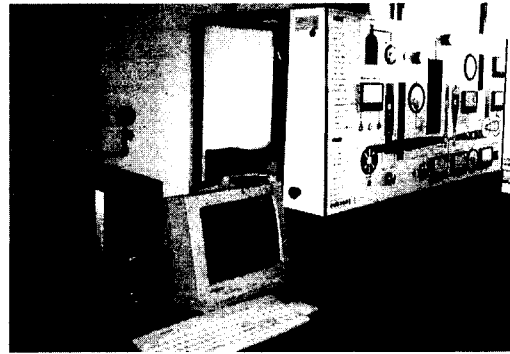


Fig. 1 Gas turbine test unit (P9005) and data acquisition system

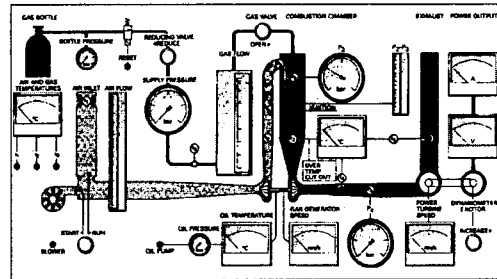


Fig. 2 Schematic of the gas turbine test unit

주요 구성품을 살펴보면 압축기는 단면 원심 압축기이며 다중 블레이드 알루미늄 합금 임펠러, 블레이드 없는 디퓨저, 소용돌이형 케이스로 구성되어 있고 접선 방향으로 압축공기를 배출한다. 연소실은 한 개의 수직 캔형으로서 일체형의 화염 튜브이고, 시동하기 위한 점화기와 압축기로부터 블리드 공기를 받기 위한 공기밸브가 연소실 바깥 케이스에 장착되어 있다. 압축기터빈은 1단의 원심형으로 소용돌이형 케이스이다. 동력터빈은 자동차용 과급기로서 발동기 구동 위해 벨트로 연결되어 있다. 동력터빈을 이용한 부하장치는 동력터빈이 각각 여기된 3상 교류발전기를 구동하고, 톱니 기어 벨트를 통해 4.5:1로 감속된다. Fig. 3은 시험장치의 간단한 구성도이고, Table 1은 시험장치의 제원을 나타내었다.

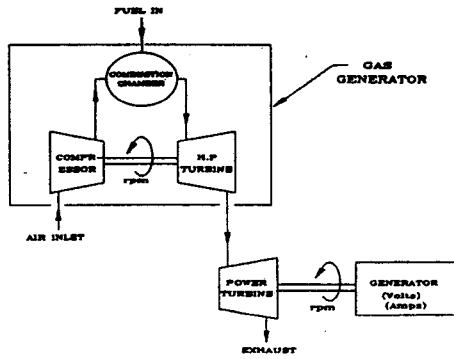


Fig. 3 Thermodynamic schematic diagram of the test unit

Table 1. Description of the test unit

Type	Two-shaft gas turbine
Compressor	Single sided centrifugal compressor(compr. ratio 2:1)
Compressor turbine	Single inward flow radial turbine(36000~120000rpm)
Power turbine	Single inward flow radial turbine(10200~36000rpm)
Combustor	Single vertical can type
Max power	4kW
Manufacturer	CUSSONS TECHNOLOGY

### 3. 실험 데이터를 이용한 성능선도 구성

#### 3.1 계산 절차

실험 데이터를 이용한 구성품 성능선도 축척을 위한 계산 절차는 Fig. 4와 같다. 먼저, 각 구성품 축척인자들을 결정하기 위해 시험장치의 실험으로부터 각 RPM 성능 데이터인 공기유량, 연료유량, 출력을 사용하여 압력비, 유량함수, 효율을 계산한다[3]. Table 2에 4가지 조건에서 식(1), (2), (3)을 사용하여 계산한 축척인자 값들을 나타내었다.

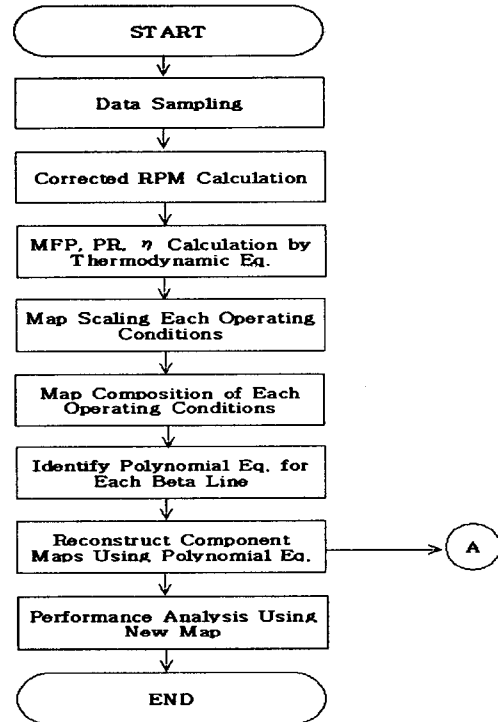


Fig. 4 Flow chart for component maps scaling by system identification

Table 2. The scaling factor using new scaling method

	RPM	65000	70000	75000	80000
Compressor	PR	0.74688	0.71196	0.66658	0.60286
	MFP	1.00028	1.00343	0.99288	1.00346
	$\eta$	0.81648	0.82772	0.83928	0.85117
Compressor turbine	PR	0.81222	0.77858	0.74048	0.71680
	MFP	0.99176	1.01250	0.99933	0.99638
	$\eta$	1.23809	1.23809	1.23809	1.23809
Power turbine	PR	0.94215	0.92984	0.90463	0.85579
	MFP	1.00266	1.07679	1.12508	1.17382
	$\eta$	1.23809	1.23809	1.23809	1.23809

$$PR = \frac{PR_{(design)} - 1}{PR_{(map\ design)} - 1} \cdot (PR_{(map)} - 1) + 1 \quad (1)$$

$$MFP = \frac{MFP_{(design)}}{MFP_{(map\ design)}} \cdot MFP_{(map)} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{\eta_{(design)}}{\eta_{(map\ design)}} \cdot \eta_{(map)} \quad (3)$$

두 번째로, 4가지 조건에서 얻어진 각 축척인자들을 사용하여 4세트의 구성품 성능선도를 얻는다. 여기서 압력비, 유량함수, 효율은 각  $\beta$ -line에서 보정 회전수들에 대해 다음과 같은 선형함수를 갖는다고 가정한다.

$$y = ax + b \quad (4)$$

여기서  $y$ 는 압력비, 유량함수, 효율이고  $x$ 는 보정 회전수이다. 다항식의 계수들인  $a$ 와  $b$ 는 상용 프로그램인 MATLAB에 내장된 polyfit 함수를 사용하여 계산하였으며 polyval 함수를 사용하여 각  $\beta$ -line으로부터 다항식을 유도하였다[4]. 그러나, 구성품 효율은 4가지 조건에서 거의 일정하므로 계산상의 편의를 위해 이에 대한 축척인자들은 설계점 값으로 고정하였다.

마지막으로, 유도된 다항식들을 사용하여 각 구성품 성능선도를 재구성 하였다. Fig. 5는 새롭게 제안된 방법으로 얻은 구성품 성능선도와 기존의 방법으로 구한 성능선도이다.

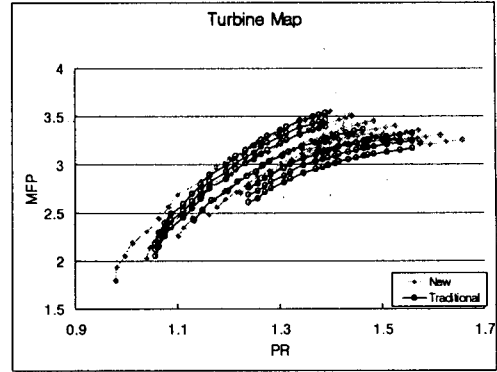
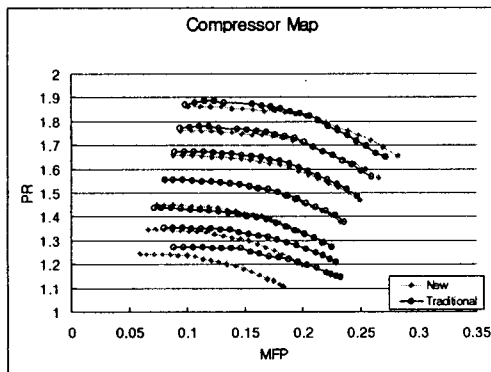
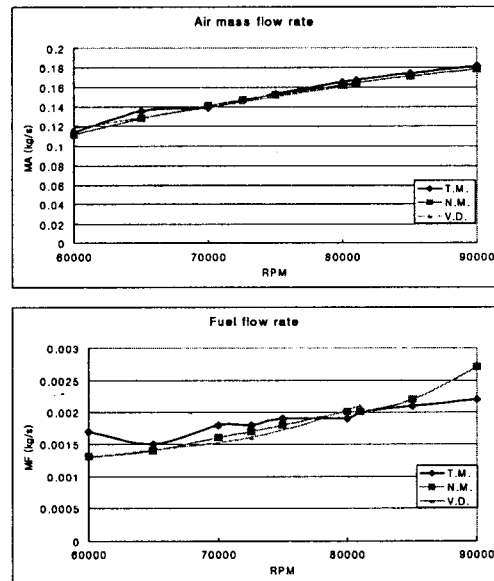


Fig. 5 Comparison of component maps obtained by the newly proposed scaling method and the traditional scaling method

#### 4. 성능해석 결과

Fig. 6에 60000~90000 RPM 범위에서 새로운 축척방법(N.M.)과 기존의 축척방법(T.M.)으로 얻어진 성능선도를 이용한 성능해석 수행 결과를 나타내었고, 공기유량, 연료유량, 출력, 압축기터빈 입구온도를 검증 데이터(V.D.)와 비교하였다.



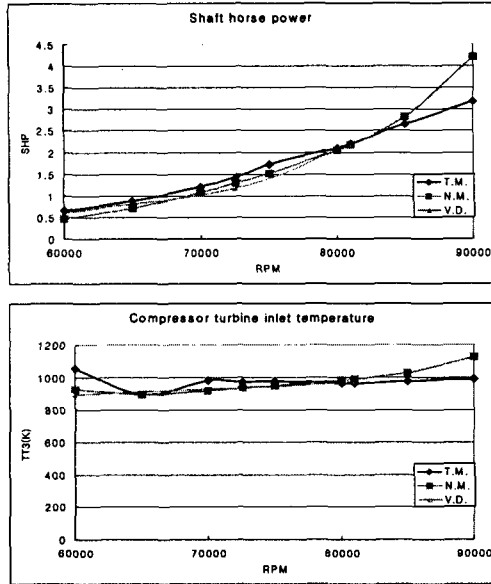


Fig. 6 Results of performance analysis with RPM variation

해석 결과를 살펴보면, 기존의 축척방법을 사용한 경우 실험 데이터와 큰 오차를 보이지만 새로운 방법을 사용한 경우에는 해석 결과가 전체 작동영역에서 5% 이내의 오차를 보였다. 따라서 새롭게 제안된 축척방법이 기존의 방법보다 더 효과적인 결과를 나타냄을 알 수 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 기존의 축척방법을 사용하여 성능해석을 수행하였을 때의 오차를 줄이기 위해서, 가스터빈 시험장치의 실험 데이터를 이용하여 구성품 성능선도를 축척하는 새로운 방법이 적용되었다. 새롭게 적용된 축척방법의 계산 절차는, 먼저 몇 개의 작동점에서 알고 있는 성능 데이터들로부터 구한 축척인자들을 사용하여 각각의 조건에서 성능선도를 얻은 후에, 축척인자 값을 입력 변수로 압력비, 유량함수, 효율 등을 출력 변수로 하는 수치적 모델을 다항식 (polynomial)을 이용하여 구한 후 새로운 성능

선도를 구성한다.

본 연구에서는 새롭게 적용된 방법의 검증을 위해 가스터빈 시험장치의 탈설계점 성능해석을 수행하였다. 새롭게 생성된 성능선도를 가지고 60000~90000 RPM 사이의 성능해석을 수행한 결과와 기존의 축척방법으로 얻은 성능선도를 이용한 결과들과 비교하였다.

해석결과 기존의 축척방법을 이용하여 구한 성능선도를 가지고 해석을 수행한 경우 설계점에서는 실제 엔진의 성능과 매우 잘 일치하나 탈설계점에서는 매우 큰 오차를 보임을 확인할 수 있었다. 반면 새로운 방법으로 구한 성능선도를 가지고 해석한 경우 전 운용 영역에서 5% 내외의 오차율로 가스터빈 시험장치의 실험 데이터와 유사한 결과를 보여 본 연구에서 적용한 축척방법의 유용성을 확인할 수 있었다.

### 참고 문헌

1. Sellers J.F. and Daniele C.J., "DYNGEN-A Program for Calculating Steady State and Transient Performance of Turbojet and Turbofan Engines," NASA TN D-7901, 1975
2. P. Pilidis, "Cranfield University Lecture Note," 1996
3. 나재정, "PT6A-62 엔진 장착 성능 해석 연구," 국방과학연구소, 1996
4. "MATLAB User Guide," Mathworks Co., 2002