성능해석을 위한 터보프롭엔진의 EASY5® 모델링

최인수**, 기자영**, 공창덕*

EASY5® Modeling of Turboprop Engine for the Performance Analysis

C. D. Kong*, I. S. Choi**, J. Y. Ki**

초 록

본 연구에서는 터보프롭엔진의 성능해석 프로그램을 EASY5를 이용하여 최초로 시행하였다. 개발된 프로그램을 입증하기 위해 고도와 마하수를 고정한 상태에서 공기유량과 보기류 구동을 위한 출력손실의 변화에 따른 성능을 분석하였다. 해석 결과, Bleed 공기유량 손실과 보기류 구동을 위한 출력 손실에 의해 가용출력은 최대 6%의 손실을 보이나 비연료 소모율은 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 또한 EASY5 프로그램과 GASTURB 프로그램의 결과 비교에서도 최대 오차율 1.37% 이내에서 일치함을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

터보프롭 엔진은 가스터빈에서 얻은 동력으로 감속장치를 통해 프로펠러를 돌려서 추진력을 얻으며 동력터빈에서 나오는 여분의 에너지를 가진 가스를 노즐로 분사시켜 추가의 동력을 얻는 항공기용 엔진이다. 터보프롭 엔진은 저 아음속에서 낮은 비연료 소비율과 높은 추진효율을 가지는 잇점으로 소,중형 상업용 항공기나 초등훈련기 등으로 많이 이용되고 있다. 특히 국내에서도 최근 개발된 초등훈련기 KT-1의 추진기관으로써 터보프롭 엔진인 PT6A-62 엔진을 사용하고 있으며 이에 따라 터보프롭 엔진의 성능모사 프로그램의 필요성이 증대되었다.

선진국의 가스터빈 엔진의 성능모사에 관한 연구는 1970년대의 초 다양한 형태의 터보제트 엔진과 터보팬 엔진의 정상상태 및 천이상태 성능을 해석할 수 있는 DYNGEN 프로그램이 개발[1]된 이후 1982년에는 Palmer 등에 의해 가스터빈 엔진의 성능모사를 위한 프로그램 언어에 관한 연구가 있었으며, 1990년대에 들어 와서는 특히, 사용자들에게 편의를 제공하기 위해 GUI 기법을 이용한 상용프로그램인 GASTURB라는 프로그램이 개발되어 가스터빈엔진의 성능모사에 관한 연구가 더욱더 활발해지고 있는 실정이다.[4] 또한 GUI 기법인 SIMULINK®을 이용한 가스터빈엔진 성능모사 모델링 연구 또한 이루어지고 있다.[6]

국내에서는 1993년 부준홍 등은 DYNGEN 프로그램 및 DYGABCD 프로그램을 이용한 소형소모성 터보제트 엔진의 동적모사 및 선형모사에 관한 연구를 수행한 바 있으며 같은 엔진에 대해 1996년 공창덕 등은 천이상태 특성연구 및 실시간 선형화에 대한 연구를 수행하였다. 또한 1997년에는 산업용 터보축 엔진의 정상상태 및 동적거동 모사 프로그램을 개발하였으며 [2],[3] 1998년에는 중형항공기용 터보팬 엔진의 정상상태 및 천이상태 성능해석을 수행하였다.

그러나 이러한 연구들은 대부분이 외국프로그램이나 연구자들이 FORTRAN 코드로 제작

* 조선대학교 우주항공공학과 (Chosun University, Dept. of Aerospace Eng.)
** 조선대학교 대학원 항공우주공학과 (Chosun University, Graduate School. Dept. of Aerospace Eng.)

된 것으로 프로그램 제작자나 전문가가 아니면 이용이 매우 어려우며 특히 GUI기법을 이용한 터보프롭 엔진의 성능모사에 대한 국내의 연구는 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 GUI 기법을 이용한 EASY5®를 이용하여 항공기용 터보프롭 엔진을 모델링하고 성능해석을 수행하였다. EASY5 프로그램은 사용이 편리하고, 계산이 빠르며 모든 동력학적 모델을 FORTRAN 코드나 C 코드로 생성을 해 준다는 장점이 있다.[5]

프로그램의 검증을 위하여 마하수와 고도를 고정한 상태에서 공기유량과 보기류 구동을 위한 출력손실의 변화에 따른 성능을 정상상태 성능해석 프로그램인 GASTURB의 해석결과와 비교하였다.

2. 연구대상엔진

연구대상 엔진으로 축마력 1150 HP급인 PT6A-62 분리축 터보프롭 엔진을 선정하였다. 이 엔진은 감속 기어를 통하여 가변피치 프로펠러를 구동하며 프로펠러의 회전수는 2000 RPM으로 일정하게 유지된다. 동력터빈은 가스발생기부와 기계적으로 분리되어 있으며 연소기 및 압축기 터빈을 거친 연소 가스에 의해 구동된다. 압축기 터빈과 동력 터빈은 거의 엔진 중앙에 위치하며 서로 반대 방향으로 회전한다. 이 엔진의 개략도는 **Fig. 1**과 같다.

이 엔진의 설계점 성능은 **Table 1**과 같다.

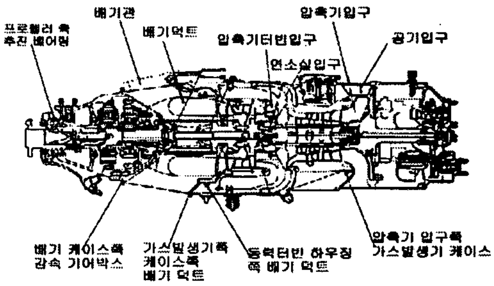


Fig. 1 Study Engine Layout

Table 1. 연구대상 엔진의 주요 성능

설계변수	PT6A-62
공기유량 (kg/s)	3.81
압축기 압력비	8.4
Bleed Air (%)	0
연료유량 (kg/s)	0.0718
노즐면적 (m2)	0.058
S.H.P (HP)	1150 *(950)
SFC (kg/kw hr)	0.3014

* 실제출력은 950 HP 로 제한됨

3. EASY5

본 연구에서는 Boeing 사에서 개발한 EASY5® 프로그램을 이용하여 성능해석을 수행하였다. EASY5®는 동역학 시스템을 모델링 하고 해석하는 프로그램이다.[5]

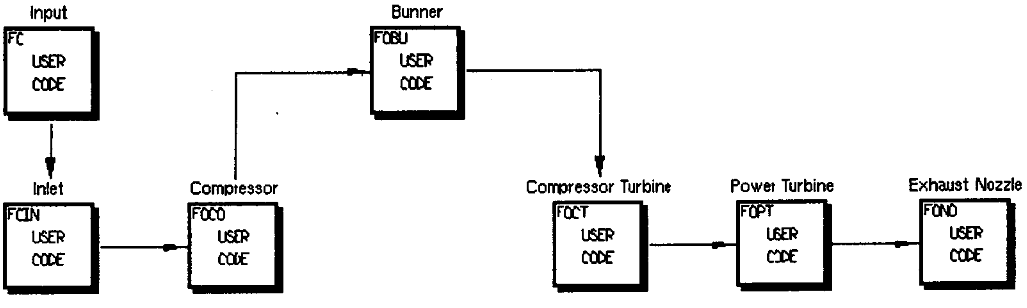


Fig 2 EASY5 모델링

EASY5®는 주어진 블록 다이아그램을 이용하여 동적 시스템의 모델링이 쉬우며, Steady-State

Solver를 이용하여 정적평형상태를 빠른 시간에 찾을 수 있어 초기값을 쉽고 빠르게 얻을 수 있다. 이렇게 얻어진 초기값을 Operating Point로 이용하여 빠른 해석을 수행할 수 있다.[5]

EASY5®는 모든 동역학 모델을 FORTRAN 코드 또는 C 코드로 만든 후, 실행 파일을 만든 후에 해석을 함으로써 더 빠르게 해석을 수행할 수 있으며 블록 다이아그램을 이용하기 힘든 모델은 사용자 정의 코드를 만들어 쉽고 빠르게 모델링을 할 수가 있다. EASY5®는 대표적인 제어기 설계 소프트웨어인 Matlab, MatrixX 등과 호환이 가능하여 시스템 모델링 후 제어기 설계도 쉽게 수행할 수 있다.[5]

본 연구에서는 이러한 EASY5®의 장점을 이용하여 터보프롭 엔진을 모델링하였다. 모델링은 각 구성품별로 사용자 정의 코드를 이용하여 작성하였으며 엔진 전체의 모델링은 **Fig 2.**와 같다.

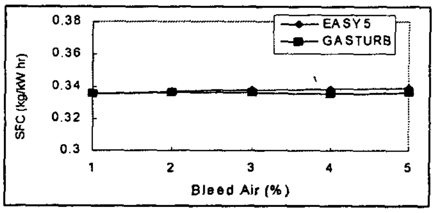
4. 엔진 모델링

EASY5 프로그램을 이용하여 블리드 공기유량 1%~5%, 보기류 구동을 위한 출력 손실이 각각 0, 5, 10 15, 20 hp 일때의 성능을 해석하였다. 해석결과는 이미 그 성능이 입증된 정상상태 성능해석 프로그램인 GASTURB의 해석결과와 비교하였다.

이때 구성품 효율은 **Table 2.**와 같이 가정하였으며 EASY5 프로그램과 GASTURB 프로그램의 해석결과의 비교는 **Table 3. 및 4., Fig. 3 및 4**와 같다.

해석 결과, Bleed 공기유량 손실과 보기류 구동을 위한 출력 손실에 의해 가용출력은 최대 6%의 손실을 보이나 비연료 소모율은 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

또한 EASY5 프로그램과 GASTURB 프로그램의 결과 비교에서도 최대 오차율 1.37% 이내에서 일치함을 확인할 수 있었다.



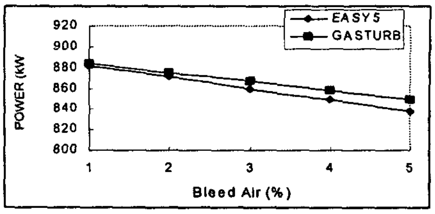


Fig. 3. 블리드 손실에 따른 출력 및 SFC

Table 2. 연구대상 엔진의 구성품 효율

구성품 효율	PT6A-62
압축기효율	0.88
연소기 효율	0.97
압축기터빈효율	0.92
동력터빈효율	0.91
가스발생기 축 기계효율	0.97
프로펠러 축 기계효율	0.96

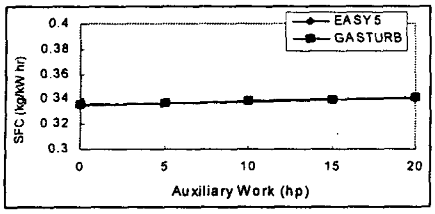
Table 3. Bleed 공기유량 변화에 따른 출력 및 비연료소모율의 변화량

Bleed 유량	변수명	EASY5	GASTURB	오차율 (%)
0%	SFC	0.3352	0.3357	0.14
	U.P.(kw)	892.02	893.13	0.12
1%	SFC	0.33575	0.335741	0.02
	U.P(Kw)	881.56	884.41	0.32
2%	SFC	0.33651	0.335753	0.22
	U.P(Kw)	870.68	875.69	0.57
3%	SFC	0.33730	0.335754	0.46
	U.P(Kw)	859.80	866.97	0.82
4%	SFC	0.33810	0.335751	0.70
	U.P(Kw)	848.90	858.25	1.1
5%	SFC	0.33893	0.33576	0.94
	U.P(Kw)	838.01	849.52	1.37

※ U.P. : Useful Power

Table 4. 출력손실에 따른 비연료소모율 및 출력의 변화량

출력 손실	변수명	EASY5	GASTURB	오차율 (%)
0(hp)	SFC	0.3352	0.3357	0.14
	U.P.(kw)	892.02	893.13	0.12
5(hp)	SFC	0.3364	0.3371	0.20
	U.P.(kw)	888.54	889.44	0.10
10(hp)	SFC	0.3378	0.3385	0.20
	U.P.(kw)	884.87	885.75	0.09
15(hp)	SFC	0.3392	0.3399	0.20
	U.P.(kw)	881.41	882.06	0.07
20(hp)	SFC	0.3405	0.3413	0.23
	U.P.(kw)	877.97	878.37	0.04



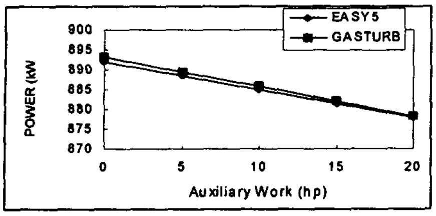


Fig. 4. 출력 손실에 따른 출력 및 SFC

5. 결 론

동적 시스템 모델링 프로그램인 EASY5®를 이용하여 터보프롭 엔진의 모델링을 최초로 시도하였다.

이 프로그램을 이용하여 공기 유량변화와 보기류 구동을 위한 출력 손실에 따른 성능을 해석한 후 상용 프로그램인 GASTURB와 비교하였다. 비교 결과 최대오차율 1.37% 이내로 본 프로그램의 타당성을 검증할 수 있었다. Bleed 공기유량 손실과 보기류 구동을 위한 출력 손실에 의해 가용출력은 최대 6%의 손실을 보이나 비연료 소모율은 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

추후 EASY5®에서 제공하는 블록 다이아그램을 이용하여 엔진 계통 전반의 모델링과 정상상태 및 천이상태 성능해석이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 논문은 2001년도 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Sellers, J. F., and Daniele, C. J., 1975 "DYNGEN - A Program for calculating Steady-State and Transient Performance of Turbojet and Turbofan Engines", NASA TN D-7901

2. Changduk Kong, Jayoung Ki, Kwangwoong Koh, 1999, Steady-state and Transient Performance Simulation of a Turboshaft Engine with Free Power Turbine, ASME Turbo Expo 99 Conference

3. 공창덕, 기자영, 고광웅, 1998. 4., "CMF 기법을 이용한 소형 분리축 방식 터보축 엔진의 동적모사", 한국추진공학회지

4. Kurzke. J., "GASTURB 8.0:User's Manual", 1998

5. Boeing Company "EASY5 User's Manual", 1996

6. Sog-kyun Kim, "Gas Turbine Simulation Using SIMULINK", MSc THSIS, Cranfield University