

# 엔진 시뮬레이션 프로그램 개발의 국제 동향

진상욱\* · 김귀순\*\* · 최정열\*\* · 안이기\*\*\* · 양수석\*\*\*

## International Activities for the Development of a Full Engine Simulation Program

Sangwook Jin\* · Kuisoon Kim\*\* · Jeong-Yeol Choi\*\* · Iee Ki Ahn\*\*\* · Soo Seok Yang\*\*\*

### ABSTRACT

The development of aircraft engine requires a lot of time and cost to estimate system attributes such as performance, reliability, stability and life. A virtual engine test based on "Numerical test cell" can extremely reduce the time and cost for the development of a hardware by coupling multidisciplinary analyses. This paper presents the development activities of full engine simulation programs in U.S.A. and Europe. NASA Glenn research center of U.S.A. leads the development efforts of NPSS(Numerical Propulsion System Simulation) by assembling the existing codes and improving their functions. VIVACE (Value Improvement through a Virtual Aeronautical Collaborative Enterprise), a consortium of universities, research centers and companies in Europe is developing the PROOSIS(PROPulsion Object Oriented Simulation Software) by integrating the various programs of the institutes. The capability for the domestic development is also estimated by surveying the current status.

### 초 록

항공기용 엔진은 설계 개발 단계에서 성능, 신뢰성, 안정성, 수명을 판단하는 시험에 엄청난 시간과 비용이 든다. 가상 엔진의 "Numerical Test Cell" 시험은 다분야 연계 해석을 통하여 하드웨어의 개발에 필요한 시간과 비용을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 미국과 유럽에서의 전체 엔진 시뮬레이션 프로그램의 개발 활동을 소개한다. 미국의 NASA Glenn 연구소는 기존의 코드들을 결합하고 기능을 개선하여 NPSS를 개발하는 연구를 이끌고 있으며, 유럽에서는 대학, 연구소, 기업체로 구성된 VIVACE 컨소시엄이 각 기관의 프로그램을 통합하여 PROOSIS를 개발하고 있다. 아울러 현재의 상황에 대한 고찰을 통하여 국내 개발의 가능성을 살펴보았다.

Key Words: Propulsion System(추진기관), Multidisciplinary(다분야), Gas turbine engines(가스 터빈 엔진), Computational fluid dynamics(전산유체역학), NPSS, PROOSIS

\* 학생회원, 부산대학교 항공우주공학과

\*\* 종신회원, 부산대학교 항공우주공학과

\*\*\* 종신회원, 한국항공우주연구원 항공사업단  
연락처, E-mail: aerochoi@pusan.ac.kr

### 1. 서 론

항공기의 엔진은 수많은 부품으로 이루어져

있고, 규모도 크기 때문에 설계 개발 단계에서 실물을 제작하여, 성능, 신뢰성, 안정성, 수명을 시험하는데 엄청난 시간과 비용이 든다. 요구조건을 만족하기 위한 반복적 시험이 뒤따르기 때문에 엔진 개발 과정은 대단히 어려운 것으로 인식된다.

전통적인 방법에 의한 엔진 설계 과정에서는 다분야(열전달, 연소, 구조, 재료, 제어, 공력탄성, 공력소음), 구성품(압축기, 연소기, 터빈) 간의 상호작용이 고려되지 않았다[1]. 그러나 실제에서는 다분야, 구성품 간의 강한 상호작용이 일어난다. 고압 압축기의 높은 압력은 엔진 내부의 온도 상승을 가져오고 블레이드로의 열전달량을 증가 시켜 열하중이 커지게 된다. 높은 압력과 온도는 구조적인 변형을 가져오므로, 압축기는 성능에 변화가 생기고, 압축기의 성능 변화는 연소기, 터빈의 성능에도 영향을 미친다. 이와 같은 경우를 부분적인 해석으로는 시스템의 정확한 성능을 분석할 수 없으므로 다분야, 구성품 간의 상호작용은 반드시 고려되어야 한다[2].

Numerical Test Cell에서 가상의 엔진을 통해 다분야, 구성품 간의 상호작용이 고려된 시험을 하면, 높은 정확도의 해석 결과를 얻을 수 있고, 반복적인 실물 제작 과정을 줄일 수 있어 그에 따른 개발 비용과 시간을 절약할 수 있다. 실제 엔진을 제작하면서 이와 같은 기술의 필요성을 먼저 인지한 엔진 선진국에서는 엔진 통합 설계/해석 프로그램을 개발하기 위한 프로젝트를 진행하고 있다. 이 논문에서는 미국과 유럽의 사례를 중심으로 개발 동향을 파악하고 국내 기술 현황과 그 가능성을 알아보고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 세계 주요 엔진 업체 현황

통합 엔진 설계 프로그램 개발의 궁극적인 목적은 실제 엔진 개발에 있으므로 세계적인 엔진 제작 업체의 동향에 관해 간단히 언급 하고자 한다.

실제 새로운 엔진의 개발은 정식으로 개발에

들어가기 이전에도 상당한 사전투자가 필요하고 또한 그 개발비는 새로운 기체 개발과 같은 정도의 금액이 소요된다. 종래의 군용엔진을 민간 용으로 전환하는 일도 군/민간에 요구되는 성능이 달라짐에 따라 어려워지고 있으며, 그 때문에 오늘날의 엔진 개발비는 1개의 업체 단독으로는 감당할 수 없는 액수이므로 공동개발이 주류를 이룬다. IAE(International Aero Engines)와 CFM(GE, General Electronic의 CF6과 Snecma의 M56의 합성어)이 대표적인 국제 공동 개발 업체인데, 이들은 공동 개발을 통해 기술과 자금, 리스크의 분산을 도모하고 있다. IAE는 1983년에 만들어졌는데, P&W(Pratt & Whitney)가 연소기와 고압터빈, RR(Rolls-Royce)가 고압 압축기, Japanese Aero Engines Corporation(Kawasaki Heavy Industries, Ishikawajima-Harima Heavy Industries, Mitsubishi Heavy Industries)이 팬과 중압 압축기, MTU(Motoren-und Turbien-Union) Aero Engines가 저압 압축기 개발을 분담하고 있으며, V2500시리즈의 엔진을 생산하고 있다. CFM은 CFM56(고 바이패스 터보팬 엔진)시리즈 엔진 개발이라는 단일 목적으로 위해 1982년에 결성되어, 미국의 GE Aviation이 압축기, 연소기, 고압 터빈을, 프랑스의 Snecma가 팬, 저압 터빈, 기어박스를 맡아 개발하고 있다.

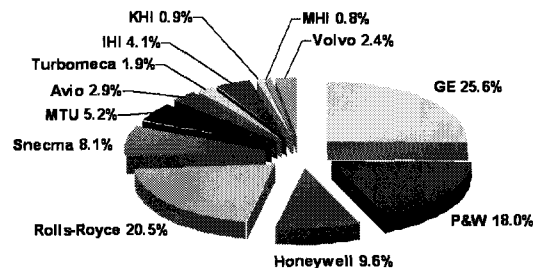


Fig. 1 세계 주요 엔진 제작업체의 매출액 비율(2003년)

매출액은 GE를 필두로 United Technology사 산하의 P&W와 Honeywell(구 Allied Signal) 등 미국 3개사가 전체의 약 53%를 차지하고 있다. 영국의 RR는 약 21%, 프랑스의 Snecma와

Turbomeca가 10%, 독일의 MTU가 5.2%, 이탈리아의 Avio가 2.9%, 일본의 이시가와지마하리마(石川島播磨)중공업(IHI), 미쯔비시(三養)중공업(MHI), 가와사키(川崎)중공업(KHI) 등이 5.1% 스웨덴의 Volvo가 2.4%를 차지하고 있다. 세계 3대 엔진 제작 업체로 알려져 있는 GE, P&W, RR는 전체의 약 64%를 점유하고 있는 것도 하나의 특징이다[3]. Fig. 1에 세계 주요 엔진 제작 업체의 매출액 비율이 잘 나타나 있다.

결국 이들 주요 업체들을 중심으로 개발 비용 축소 및 기간 단축을 위한 통합 엔진 설계 프로그램 개발 필요성이 대두 되었다고 볼 수 있고, 프로젝트에도 큰 역할을 담당하고 있다.

## 2.2 미국의 개발 현황

미국은 NPSS(Numerical Propulsion System Simulation)라는 프로젝트를 NASA Lewis 연구소(1999년 NASA Glenn 연구소로 명칭 변경)를 중심으로 대학, 기업, 정부기관이 공동으로 1987년부터 시작하여 지금까지 계속해서 진행하고 있다. 효율적인 비용으로 "하루밤 사이(overnight)" 항공기용 추진기관의 시뮬레이션이 가능하도록 하는 Numerical Test Cell을 만들어 항공기 시스템설계 시, 고속으로 높은 안정성을 유지하며, 저렴한 비용으로도 작업을 완료 할 수 있도록 일반적이면서 확장성이 뛰어난 프로그램을 만드는 것을 목표로 하고 있다.

Table 1. NPSS partner

협약	기관 및 업체 명
SAA 3-83 & NICE	<ul style="list-style-type: none"> <li>· NASA Glenn Research Center at Lewis Field</li> <li>· Honeywell</li> <li>· Rolls-Royce Corporation(RRC)</li> <li>· The Boeing Company</li> <li>· Arnold Engineering Development Center(AEDC)</li> <li>· Wright Patterson Air Force Base(WPAFB)</li> <li>· General Electric Aircraft Engines(GEAE)</li> <li>· Pratt &amp; Whitney(P&amp;W)</li> <li>· Teledyne Continental Motors-Turbine Engines</li> <li>· Williams International(WI)</li> </ul>
new SAA	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Lockheed</li> <li>· Aerojet</li> <li>· Rocketdyne</li> </ul>

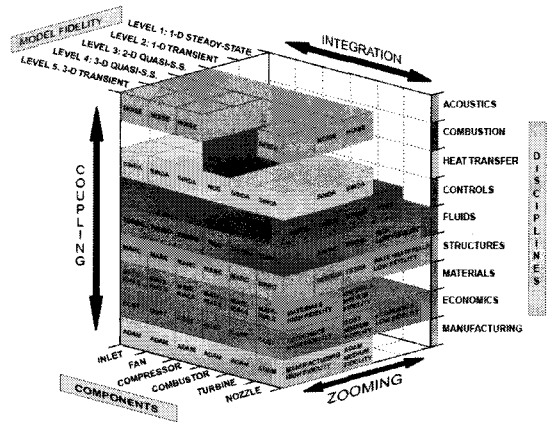


Fig. 2 복잡한 시스템 시뮬레이션의 3요소

NPSS는 기관과 산업체의 참여를 유도하고 활용도를 높이기 위하여 각종 협약을 체결하였는데, Space Act 협약(SAA 3-83)과 NICE(NASA Industry Cooperative Effort)을 통해 10개의 기관 및 업체가 파트너 관계를 가졌고, 추가적인 SAA(NPSS의 상업적 이용 목적 협약)를 통해 3개의 업체가 더해졌다. 해당 기관 및 업체의 목록은 다음 Table 1에 나타나 있다.

NPSS의 가장 큰 특징은 "Zooming"이라는 개념의 도입인데, NPSS는 Zooming을 통해 복잡하고 계산양이 많은 엔진 시스템 전체의 해석을 각각 다른 수준의 정확도로 해석한 다음, 집적화할 수 있었다[4]. NPSS에서 처음 도입된 이 방법은, 저해상도의 해석을 바탕으로 고해상도의 해석을 수행함으로써, 특정 구성품에서의 물리적 현상의 관찰을 효율적으로 만들었다. 엔진 0-D 사이클 해석 통해 필요한 성능 map을 구하고, 정확도를 높이기 위하여, 구성품에 3-D 유동해석을 추가하는 것과 같이 정확도 수준에 따른 계산이 가능하도록 하였다.

그 외 다른 분야와의 연계, 구성품간의 연계 등도 수준 별로 조절할 수 있도록 하여 계산 효율을 극대화 할 수 있도록 하였다. Fig. 2은 "Rubik's Cube"로 분야간 결합, 구성품간의 결합, Zooming의 단계들을 도식화 하여 보여주고 있다[5]. NPSS는 기존에 만들어진 코드를 최대한 활용하고 있는데, 각 구성품 별, 정확도 수준 별로 쓰인 코드들이 Fig. 3에 잘 나타나 있다.

Inlet/Ducts	Fan	Compr	Turbine	Combustor	Features	Fidelity
NPSS V1.0/Make					Thermodynamic, Engine System Weight, Controls, approximate flowpath	0-Dimensional
LAPIN	MODFAN	CMPGEN	TURBAN		Off-design, scaled map, flowpath, blades	1-Dimensional
CDP, UDO300, SAGEZ					Detailed design, blades & flowpath	2-Dimensional
ENG10/20					Engine systems, axis-symmetric aero	2-Dimensional
NPARC	APNASA, ADPAC, HAH3D, RVC3D	NCC			Aero, single/multi-blade row, viscous, combustor chemistry	3-Dimensional
NASTRAN, PATRAN, MARC, ANSYS					Structural, dynamics	3-Dimensional
NESSUS, NESTEM, CSTEM, IPACS					Probabilistic, Thermal, Structures	3-Dimensional
NPARC	MSU-TURBO, TURBO-AE, RVC3D	NCC			Aero-elastic, noise, transient, structural dynamics, unsteady, multi-blade row, aeroelastic	3-Dimensional

- \*LAPIN (the one-dimensional Large-Perturbation Inlet code)
- \*MODFAN (Parametric Modulating Flow Fan)
- \*CMPGEN (Parametric Compressor Generator)
- \*CDP (Computerized dynamic posturography)
- \*UDO300 (Code for streamline curvature analysis of fans, and high and low pressure compressors)
- \*ENG10/20 (a NASA developed axisymmetric engine simulation tool)
- \*NPARC (National Program for Application-Oriented Research in CFD)
- \*APNASA (the average-passage Navier-Stokes based viscous flow computer code)
- \*ADPAC (the Advanced Ducted Profan Analysis code)
- \*HAH3D (A solver for the full 3D, nonlinear, incompressible Navier - Stokes equations for turbo- machinery flows developed by Hah)
- \*RVC3D (Rotor Viscous Code 3-D, for turbomachinery)
- \*NCC (the National Combustion Code)
- \*NASTRAN (Nasa STRuctural ANalysis, a general purpose finite element analysis (FEA) program)
- \*PATRAN (a pre and post processing finite element package)
- \*ANSYS (general-purpose finite element analysis (FEA) software package)
- \*NESSUS (Numerical Evaluation of Stochastic Structures Under Stress, a modular computer software system for performing probabilistic analysis of structural/mechanical components and systems)
- \*CSTEM (Coupled Structural, Thermal and Electro-Magnetic Tailoring)
- \*NESTEM (a computer code that combines the heat transfer analysis capability of the EPM backbone computer code CSTEM with Lewis' in-house probabilistic structural analysis code NESSUS)
- \*IPACS (Integrated Power Attitude Control System)
- \*MSU TURBO (a graphical user interface for a set of codes called GUMBO(Graphical Unstructured MultiBlock Omnitool) and TURBO() used for analysis of unsteady flows in turbomachinery. MSU(Mississippi State University))
- \*TURBO-AE (an aeroelastic analysis code)

Fig. 3 NASA/Glenn Application Software

Figure 4에 나타난 것처럼 객체지향이라는 패러다임을 바탕으로 하고 있는 NPSS는 확장이 용이하고 유연한 구조를 가지고 있다. 그 결과 기존의 여러 가지 코드를 수용할 수 있게 되었고, 정부 기관, 대학, 산업체 등 다양한 분야에서 활용할 수 있었다. 비단 가스터빈뿐만 아니라 로켓, 극초음속 추진, 연료전지, 지상용 발전 분야 등에서도 항공

우주 산업을 지원하는 15개 이상의 연구소에 의해 이용되고 있다. 객체지향 언어의 특징(상속성, 다형성, 캡슐화)을 가지는 CORBA(Common Object Request Broker Architecture) 코드를 바탕으로 짜여진 NPSS 개발자 키트는 다양한 정확도 수준의 다분야 시뮬레이션이 가능하다. 컴퓨팅은 PC, Linux, HP, Sun, SGI 등을 활용할 수 있다[6].

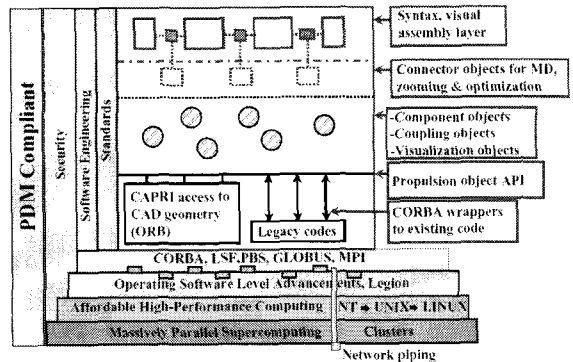


Fig. 4 NPSS Object-Oriented Architecture

Table 2. NPSS 개발 역사(2004년 발표)

연도	주요 개발사
1987-1995	Conceptual, Prototypes
1996	NDA, NICE-1, Formal Requirements Definition
1997.6	Space Act Agreement 3-83
1997.7	NCP Beta Release
1998.8	Initial NPSS Release(NCP Version 1)
2000.3	NPSS Version 1 - Full 0-D Functionality
2002.3	NPSS Version 1.5 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Initial Zooming,</li> <li>• Code Coupling,</li> <li>• Visual Based Syntax(VBS, the GUI),</li> <li>• Space Components</li> </ul>
2003.7	Space Act Agreement for Commercialization of NPSS V1.X
2003.9	NPSS Version 1.6 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enhanced Functionality (Based on user feedback) VBS 1.6</li> <li>• Enhanced Capabilities (based on user feedback) CCDK Version 1.0</li> <li>• CORBA Component Developer's Kit (Multi-Fidelity, Multi-Structural Distributed Objects)</li> </ul>

Table 2는 NPSS의 주요 개발사[6]를 나타내고 있다. 이런 과정을 거쳐 개발된 프로그램은 Joint Strike Fighter Program의 F135엔진(GE, P&W, Lockheed-Martin, Rolls-Royce Corp, WPAFB, Edwards AFB 참여), Airbus A380의 GP 7000엔진(GE, P&W 합작 투자), Advanced Rocket 개념(Williams-International, P&W에 의한 CORBA 검증), Hypersonics(DARPA/ONR HyFly 프로그램을 위한 Aerojet의 엔진 성능 모델), 지상용 발진 시스템(GE Power Systems), 연료전지(CA Irvine 대학, Boeing, Florida Turbine Technology), 핵발전(JIMO 모델), 설비 테스트 시뮬레이션(AEDC) 등에 광범위하게 활용되고 있다. 또한 GE90 엔진에서 다양한 수준의 정확도에 대한 시뮬레이션을 실시하였다.

### 2.3 유럽의 개발 현황

PROOSIS(Propulsion Object Oriented Simulation Software)는 VIVACE(Value Improvement through a Virtual Aeronautical Collaborative Enterprise)라는 유럽 전역에 걸친 항공기 관련 산업의 모든 분야를 엮는 시도를 위한 모임이라 할 수 있는 컨소시엄을 통해 진행 되고 있는 프로젝트의 일부로 유럽 국가 연합의 연구 기관, 기업, 대학(Snecma, Avio, ITP, MTU, Turbomeca, Techspace Aero, Volvo Aero, EAI, IberEspacio, Airbus, Cenaero, NLR, Athens, Cranfield and Stuttgart Universities.)들이 참여 하여 개발하고 있는 엔진 해석 프로그램이다. Table 3은 VIVACE의 참여 기관들이다[20].

VIVACE를 소개하는 글에서는 항공 협업 설계 환경의 정의를 처리, 모델, 방법의 세 가지 요소를 결합한 것이라고 하고 있는데[21], 이러한 환경은 전체로써의 항공기와 엔진을 설계하는 것과 확장된 형태의 회사와 제품의 수명 주기의 각 단계에서 필요한 기능과 구성품의 가상적 제품을 공급하는 것을 돕는 것이라고 말하고 있다. 설계와 계획단계에서 필요한 정보와 실제 운용 중에 필요한 정보들을 통합한 하나의 가상적인 비행기를 만들고, 다른 조직의 다른 지역의 구성원들이 정보의 제공, 접근, 변경, 확장 등이 자유롭게 이

루어 질 수 있는 가상의 회사를 만드는 것을 목표로 하고 있다. 크게는 항공기와 엔진 두 영역의 연구가 이루어지고 있는데, PROOSIS는 그 중 엔진에 해당 되는 연구이다.

Table 3. VIVACE Partnership

Aero Companies (20)	Vendors (10)	Research Centres (5)	Universities (14)
Airbus	Dassault Systemes	CERFACS (F)	Cranfield University
Ajion	Eurostep Group	DLR (D)	Imperial College, London
Alenia	Engineous	EADS CCR (F), EADS D	Lulea Univ. of Technology
Avio S.p.A	EPM Technology	NLR (NL)	Univ. of Manchester Institute of Science and Technology
BAE SYSTEMS	Hewlett-Packard	ONERA (F)	Nottingham University
CEVAERO	I-Sight Software		National Tech. Univ. of Athens
Dassault Aviation	Leuven Measure and Syst.		Politecnico di Milano
Eurocopter	MSC Software		Politecnico di Torino
Hydro-Control	Santech		Queen's University, Belfast
Ind. de Turbopropulsores	Xerox		Stuttgart University
Messier-Dowty			Tech. Univ. of Hamburg
MTU Aero Engines			UNINOVA, Lisbon
Operator			Warwick University
Rolls-Royce			
Snecma Moteurs			
Techspace Aero			
Thales Avionics			
Thales Avionics ES			
Turbomeca			
Volvo Aero Corporation			



- \*GESTPAN (General Stationary & Transient Propulsion ANalysis)
- \*RRAP (Rolls - Royce steady-state performance simulation model)
- \*MARS (Modular Aerothermal Rolls Royce Simulation)
- \*PYTHIA (Generalized Gas Path Analysis computer program)
- \*GSP (Gas Turbine Simulation Program)
- \*GASTURB (GAS TURBine performance simulation program)
- \*MOPS (MODular Performance Synthesis)
- \*MOPEDS (MODular Performance and Engine Design System)
- \*TEACHES (Turbine Engine Advanced Calculation and Health assessment Educational Software)
- \*CASSET(Codigo. de Analisis y Sintesis Estacionario y Transitorio, ITP performance code)

Fig. 5 유럽 각국의 엔진 성능 분석 프로그램 분포

유럽 각국의 엔진 성능 분석, 개발 프로그램은 Fig. 5에 잘 나타나 있는데, 스웨덴 KTH(Royal Institute of Technology)와 Volvo Aero에 의해 개발된 GESTPAN[22], 영국 Rolls-Royce사의 RRAP/MARS[23], Cranfield 대학의 PYTHIA[24], 네덜란드 구가 연구 기관인 NLR(National Aerospace Laboratory)의 GSP[25], 독일 MTU Aero Engines에 종사했던 Joachim Kurzke에 의해 개발된 GASTURB[26]와 MTU Aero Engines의 MOD/MOPEDS[27], 프랑스의 JANUS, 스페인의 CASET, 이탈리아의 MATLAB, 그리스의 TEACHES[28] 등 특정 목적을 위해 만들어진 많은 종류의 엔진 해석 프로그램이 있다. 제각기 다른 환경에서 개발되어 협업 환경에서는 비효율적인 면이 많아 새로운 형태의 프로그램의 필요성이 대두 되었고, 그 대안으로 개발되고 있는 프로그램이 PROOSIS이다. PROOSIS는 기존의 유럽 전역에 산재해 있는 프로그램들과 마찬가지로 사이클 해석을 위한 프로그램이다. 하지만 기존의 프로그램들과는 달리 유럽 전역의 산업체, 연구기관, 대학에서 사용할 수 있도록 모듈화된 모델링, 표준화된 구성품 라이브러리 및 인터페이스를 제공하고 있으며, NPSS에서 추구하고 있는 것과 같이 분산된 구조, 다분야 해석, Zooming 등이 가능하도록 하는 향상된 기능을 제공한다[21].

PROOSIS는 라이브러리, 엔진 모델, 데이터 관리 영역으로 구성되어 있는데, Flight envelope에 따른 엔진 성능을 분석 비교한 데이터를 보여주는 기능과 성능 map 제작, 성능 최적화 등의 기능이 있다. Zooming을 통해 고압 압축기와 터빈에서의 다분야의 연계된 계산이 가능하도록 하고, 완성된 성능 map을 바탕으로 만들어진 엔진 설계 표를 만들 수 있도록 한다. 기존의 CAD 프로그램인 CATIA(Computer Aided Three dimensional Interactive Application)를 이용하여 Parametric model을 만들고, Mesh, 경계조건, 하중은 PATRAN을 통해 지정한 다음, MARC를 통해 Thermo-mechanics 해석이 수행되도록 하는 과정을 설계 조건을 만족할 때까지 반복하도록 되어 있다.

미국에 비해 프로젝트 시작이 많이 뒤쳐진 유

럽의 경우, 2005년 4월 기준 정식 Version 1.6.3이 출시된 NPSS와 달리 2005년 12월에 PROOSIS의 시험판이 나왔으며, 초기 구성품 라이브러리는 2006년 3월이 되어서야 완성되었다.

#### 2.4 국내 개발 현황

1988~1992년에 걸쳐 특정 연구 및 러시아와의 국제 공동 연구를 통해 소형 가스 터빈 설계시스템 개발이 KARI(Korea Aerospace Research Institute)에 의해 이루어졌고[31], 이 연구를 통해 항공기 엔진의 시스템 설계 및 성능실험 기법, CAD/CAM 기술 등을 습득 하였다. KIMM(Korea Institute of Machinery & Metals)에서는 소형 가스터빈 부품 설계 및 중형 가스터빈 설계 기술을 통해, 원심 압축기, 무급유 압축기 성능 시험용 연소기 설계를 수행하였다. 이외에 산업계에서는 삼성항공(현 삼성테크윈)의 1.2MW 산업용 가스터빈 엔진 개발이 러시아 기술진의 협조로 이루어지고 있으며 한라중공업(현 현대삼호중공업)은 러시아의 클리모프사와 협력하여 대형 건물 비상발전용 1.8MW 개조형 가스터빈을 생산한 것으로 알려졌으며, 쌍용중공업(현 STX 엔진)은 독일 MTU와 제휴하여 0.3~30MW 전차용 터보 차저 등을 조립, 생산하였다[32]. 최근에는 뉴로스가 산업자원부의 지원을 받아 UAV용 초소형 터보샤프트 엔진을 개발 하였다[33].

이상에서 보고한바 이외에도 지난 십여 년간 국내의 연구 기관 및 기업체에서는 가스터빈 엔진 개발 노력을 지속적으로 진행하고 있으며, 대학에서도 압축기, 터빈 및 연소기의 설계 및 해석 기술을 발전 축적하여 오고 있다.

현재까지 국내의 가스터빈 엔진 관련 사업들은 국내외적인 여건 상 지속적이지 못하여 확보된 기술의 활용도가 떨어지고 있으며, 제작업체의 설비를 지속적으로 가동할 수 있을 만큼의 물량이 충분치 않은 상황이다. 그렇지만 민군 수요를 통틀어 많지는 않지만 지속적인 개발 수요가 제기되고 있으므로 통합 설계 해석 프로그램의 개발을 통한 개발 비용의 절감이 절실히 요구되고 있으며, 그동안의 대학, 연구소 및 기업체 등에 의해 수행된 개별적인 연구를 아우른다

면 통합 프로그램의 개발을 위한 기본적인 조건은 갖추어져 있다고 여겨진다.

### 3. 결 론

엔진 개발의 수요가 많은 국가에서는 통합 설계/해석 프로그램의 필요성에 대해 인식하고 설계 개발 시간과 비용을 줄이기 위한 프로젝트를 진행한 미국의 경우 NPSS를 통해 1990년대 말부터 GE90 엔진의 3D full engine 시뮬레이션에 성공과 같은 큰 성과를 내고 있다. 이에 반해 항공기용 엔진 개발이 어려움이 많고 선진국에 의한 시장 독점으로 기술, 경쟁력 확보에 후발 주자로서 불리한 점이 많다. 하지만, 미약하나마 국내에서도 엔진 관련 연구가 있었고, 대학, 연구소, 기업 등에서 개발된 기존의 프로그램들을 체계적으로 관리, 통합할 수 있는 정책과 기관을 만들어 기술 축적과 발전에 노력을 쏟는다면, 국내의 통합 엔진 설계 프로그램의 개발도 가능할 것으로 보인다. 아울러 이렇게 확보된 기술을 적극 활용한다면 국내 항공 산업의 기술 수준을 한 차원 더 높이는 계기가 될 수 있을 것이다.

### 후 기

동 연구는 산업자원부 한국형헬기 민군겸용구성 품개발사업(KARI주관) 위탁연구결과 중 일부임.

### 참 고 문 헌

1. Claus, R. W., Evans, A. L., Lytle, J. K., and Nichols, L. D., "Numerical Propulsion System Simulation," *Computing Systems in Engineering*, Vol. 2, No. 4, pp.357-364, 1991.
2. Evans, A. L., Follen, G., Naiman, C. and Lopez, I., "Numerical Propulsion System Simulation's National Cycle Program," AIAA-98-3113, 1998.

3. 日本航空宇宙工業會, *세계의 항공우주산업*, 서울, 2005.
4. Reed, J. A., Afjeh, A. A., "Development of a Prototype Simulation Executive with Zooming in the Numerical Propulsion System Simulation," NASA-CR-200613, 1995.
5. Lytle, J. K., "The Numerical Propulsion System Simulation: A Multidisciplinary Design System for Aerospace Vehicles," NASA/TM-1999-209194, 1999.
6. Naiman, C. G., "Numerical Propulsion System Simulation Architecture," AIAA/ASME/SAE/ASEE 40th Joint Propulsion Conference, 2004. 6.
7. Follen, G., Naiman, C., "2000 Numerical Propulsion System Simulation Review", NASA/CP-2001-210673, 2000.
8. NASA Lewis Research Center, *Research & Technology 1995*, NASA/TM-107111,1995
9. Tai, J., Denney, R., "Task 2.1.1:Formulation, Development & Creation of VISSTA/VIPER- CAT Environment," 2004 NASA/DoD UAPT Program Annual Review, 2004.
10. Converse, G. L., Giffin, R. G. "Extended parametric representation of compressor fans and turbines. Volume 1 CMGEN user's manual," NASA/CR-174645, 1984. 3.
11. Converse, G. L., "Extended parametric representation of compressor fans and turbines. Volume 2 Part user's manual (parametric turbine)," NASA/CR-174646, 1984. 3.
12. Miller, M. J., "Small Engine Technology (SET) - Task 14 Axisymmetric Engine Simulation Environment Draft Final Report," NASA/CR-1999-208673, 1999.
13. Yoder, D. A., Georgiadis, N. J., Orkwis, Paul D., "Implementation of a Two-Equation k-omega Turbulence Model in NPARC," AIAA-96-0383, 1996. 1.
14. <http://www.grc.nasa.gov/>
15. Notti, J. E., Cormack, A., III, Schmill, W. C.,

- Klein, W. J., "Integrated Power Attitude Control System (IPACS) study. Volume 2 Conceptual designs," NASA/CR-2384, 1974. 1.
16. Lytle, J. K., Follen, G., Naiman, C., Evans, A. L., "Numerical Propulsion System Simulation (NPSS) 1999 Industry Review," NASA/TM-200-209795, 2000.
  17. Veres, J. P., "Overview of High-Fidelity Modeling Activities in the Numerical Propulsion System Simulations (NPSS) Project," NASA/TM-2002-211351, 2002.
  18. Li, Y. G., Pilidis, P., Newby, M. A., "An Adaptation Approach for Gas Turbine Design-Point Performance Simulation," *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 128, pp. 789-795, 2006. 10.
  19. Turner, M. G., Reed, J. A., Ryder, R., Veres, J. P., "Multi-Fidelity Simulation of a Turbofan Engine With Results Zoomed Into Mini-Maps for Zero-D Cycle Simulation," NASA/TM-2004-213076, 2004. 11.
  20. Philip, "VIVACE: Overview", VIVACE Forum, MOMSI, 2005. 9.
  21. <http://www.vivaceproject.com/>
  22. Tomas Gronstedt, "Development of methods for analysis and optimization of complex jet engine systems," Ph.D. Thesis, Chalmers University of Technology, Sweden, 2000.
  23. Ashleman, R. H., Lavelle, T., Parsons, F., "The National Cycle Program - A flexible system modeling architecture," AIAA-1998-3114, AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, 1998.
  24. <http://www.cranfield.ac.uk/>
  25. <http://www.gspteam.com/>
  26. <http://www.gasturb.de/>
  27. Jeschke, P., Kurzke, J., Schaber, R., Riegler, C., "Preliminary Gas Turbine Design Using the Multidisciplinary Design System MOPEDS," *Transaction of the ASME*, Vol. 126, pp. 256-264, 2004. 4.
  28. Mathioudakis, K., Stamatis, A., Tsalavoutas, A., Aretakis, N., "Instructing The Principles Of Gas Turbine Performance Monitoring And Diagnostics By Means Of Interactive Computer Models," ASME Paper No. 2000-GT-584, 2000.
  29. 특허청, 2002 신기술동향조사 보고서: 가스터빈엔진, 특허청 원동기계 심사담당관실, 2002
  30. 김귀순 외, 터보샤프트 엔진의 Full-Engine 시스템 모사에 관한 기술개발, 항공우주연구원, 2007. 1.
  31. 최동환 외, 개스터어빈 엔진 시스템 개발, 항공우주연구원, 1992. 6.
  32. 김수용, 박무룡, "산업용 가스터빈 엔진 (FT4000계열)의 개발 현황," *기계와 재료*, Vol. 7, No. 3, pp. 18-27, 1995.
  33. 이시우 외, UAV용 초소형 터보샤프트 엔진 개발, 산업자원부, 2006. 4
  34. 김수용, Kovalevsky, V. P., "21세기 가스터빈 기술 및 적용 전망," *기계와 기술*, Vol. 14, No. 2, pp. 94-107, 2002.
  35. 최승주, "두산중공업의 소형가스터빈 개발," *Journal of KSME*, Vol. 46, No. 10, pp. 41-47, 2006. 10.