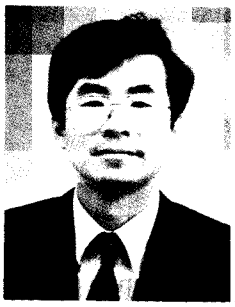
特別寄稿

Concurrent Engineering의 소개

-DICE 프로그램을 중심으로 한 사례 검토-



김 원 택

(삼성항공(주)
항공우주연구소 이사)

'73. 2 서울대학교 공과대학 기계공학과 졸업(학사)
'75 미국 Brown대 기계공학과 졸업(석사)
'78 미국 Michigan대 기계공학과 졸업(박사)
'78~'80 GE Large Steam Turbine(Engineer)
'80~'84 GE Corp. R&D Center(Engineer)
'85~'89 GE Aircraft Engines(Manager)
'89~ 현재 삼성항공(주) 항공우주연구소 이사

오 태 식

(삼성항공(주)
항공우주연구소 차장)

'79. 2 서울대학교 공과대학 기계공학과 졸업(학사)
'81. 2 한국과학기술원 항공공학과 졸업(석사)
'81~'84 한국과학기술원 기계공학부 연구원
'88. 3 미국 V.P.I&S.U. 항공공학과 졸업(박사)
'88~현재 삼성항공(주) 항공우주연구소 차장

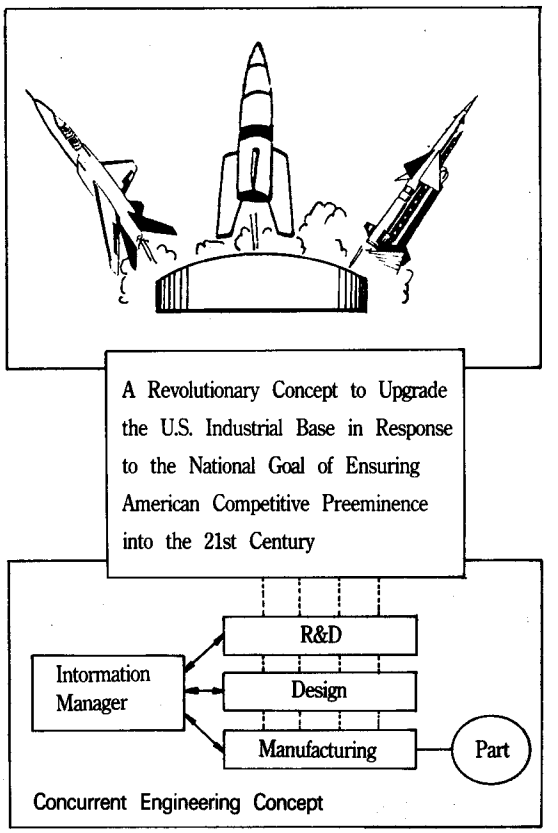
1. 서 론

2000년대를 향한 우리나라 정부의 기술개발에 관련된 활동은 과기처나 상공부 등을 통해 각종 동기를 부여받은 산·학·연을 통해 이루어져 왔다. 일반적으로 하나의 경쟁력있는 상품을 생산하기까지는 수많은 관련 기술개발이 요구되며, 이들 중 일부 애로기술을 확보한다 하더라도 막대한 투자와 시간이 소요된다. 현대와 같이 기술발전의 속도가 빠른 환경에서는, 실제 개발을 수행하고 있는 기간 중에도 사용기술의 일부가 이미 경쟁력을 상실하여, 최종 제품의 가치(품질, 가격 등)에 영향을 미치게 된다. 따라서 현재와 같이 정부에서 매년 적지 않은 연구개발비를 지원하여 개개의 기술분야의 발전을 촉진하는 것에서 더 나아가 실제로 경쟁력있는 상품을 개발하기 위한 관련기술들에 대한 동시적 고려가 이루어지지 않으면 안된다.

이러한 배경으로 본고에서는 1988년 미국의 DARPA(Defense Advanced Research Project Agency)에 의해서 제안된 DICE(DARPA Initiative in Concurrent Engineering) 프로그램의 내용을 바탕으로 Concurrent Engineering의 적용사례를 검토해 보고자 한다. 미국이 DICE 프로그램을 시작하게 된 동기는, 초기에는 국가안보측면에서 초현대적 고등전자기술을 이용한 무기체계를 보유하여 세계의 방위산업을 선도하려는 것이었다. 그러나 최근 들어서 정치환경이 많이 달라짐에 따라서 전쟁의 개념도 경제전으로 바뀌게 되었으며, 항공/우주를 포함한 일부 첨단산업분야를 제외한 대부분의 산업부문에서 외국(특히 일본)에

뒤지기 시작하였으므로, 소위 "국가안보"에 대한 개념을 달리하게 되었다. 이러한 관점에서 착안하게 된 것이 그동안 미국이 막대한 개발비를 들여 획득한 각종 무기체계의 기술들을 민간산업부문에 응용하고자 하는 것이었다. 실제로 군수기술이 민수기술로 전환되는데는 통상 5~15년이 걸리며, 또한 종래에 사용되었던 순차적(sequential) 과정(설계→제작→시험→재설계→…)은 많은 시간과 예산이 소요되는 시행착오과정이므로 무엇인가 새로운 효과적인 접근방법이 필요하게 되었다.

따라서 기개발되어 있는 각종 방위산업관련 첨단기술들을 가급적 동시적으로 민간업체에 이전시켜 상품화 과정을 신속히 촉진하고자 하는 목표가 자연스럽게 도출되었으며, 이것이 concurrent engineering을 이용한 DICE 프로그램의 주제이다. 이 프로그램의 수행조직들은 GEAE(General Electric Aircraft Engines)를 포함한 몇개의 산업체들과 WVU(West Virginia University)를 포함한 대학들로서 이들은 협의체(consortium)를 구성하여 각종 컴퓨터통신망을 통하여 업무를 수행하게 된다. 실제로 이 프로그램은 1988년 시작되어 현재 계속 수행중에 있으며, 그 내용 또한 초기의 제안서와는 많은 변화가 있다. 그럼에도 불구하고 초기에 작성된 각종 착상과 계획들은 concurrent engineering의 적용에 관한 많은 idea를 제시할 수 있을 것이다. 이러한 concurrent engineering의 수행과정은 현재 국가에서 추진중인 각종 국책과제 수행에도 응용될 수 있기를 바란다.



2. 프로그램의 개념

1988년 미국의 DARPA에 의해 제안된 DICE 프로그램은 21세기를 향한 미국의 제품 경쟁력 향상의 국가적 목표에 부응하는 산업수준의 향상을 위한 혁신적인 개념이다. 현재 수행되고 있는 정부/산업체 과제들은, 재료와 공정의 연구 개발을 마친 후에 설계를 수행하고, 다음에 부품의 가공으로 넘어가는, 이른바 순차적인(sequential) 과정을 따라 움직이고 있다. 이러한 과정은 중간에 새로운 기술을 도입하는데 심지어는 20년 이상의 긴 시간이 소요되는 결과를 초래하며, 아울러 대부분의 경우 최적 개념의 실현, 문제점의 조기발견, 높은 생산성의 달성등을 이루지 못한 채, 불충분한 설계 반복의 결과를 초래하기 쉽다.

새로운 재료, 공정, 그리고 부품개발은 첨단시스템의 성능요구를 만족시키기 위해서 필요하며, 특히 MMC(metal matrix composites) 부품같은 새로운 첨단재료에 대한 연구 결과의 상품화 과정으로의 신속한 전환은 현대 산업 사회에서의 생존을 위해서는 필수적이다. 제품설계시 제작, QC등 downstream의 업무를 동시에 수행하고자 하는 concurrent engineering 기법이 DICE 프로그램의 주제이다. 이 혁신적인 제품개발기법은 최적설계를 이룩하기 위한 신속한 여러가지의 선택조건들의 simulation을 허용하게 될 것이며, 관련된 모든 분야가 어떠한 변화에도 대처할 수 있도록 능동적인 향상을 가능케 할 것이며, 궁극적인 목표는 새로운 첨단제품 개발소요시간(Product Development Cycle Time)을 1/3 내지 1/2로 줄이는 것이다. DICE에서 제안하는 과제의 개념은 대학

/산업체간의 협의체(consortium)을 구성하여 concurrent engineering 관련 연구를 수행하고자 하는 것으로, 이 협의체는 GE(General Electric)의 과제 관리하에 다음 분야에 대한 concurrent engineering의 수단을 제시하게 될 것이다.

- 차세대 항공기용 엔진에 필수적인 첨단재료로 제작되는 주요 부품들
- 첨단 전기기계(electromechanical) 조립체들

3. 목표 및 기대효과

DICE 프로그램의 목표와 기대효과는 다음의 세가지로 요약될 수 있다.

① 설계시 제품의 수명가격(LCC, Life Cycle Cost)을 동시에 고려하고, 소재와 설계의 선택사양을 가능한한 오랫동안 융통성있게 검토함으로써, 수명가격을 낮추고자 하는 것임.

② 연구실에서 생산현장으로의 첨단소재의 도입을, 신속한 시제품 제작과 공정개발을 통하여, 종래에는 20년 이상 걸리던 것을 10년 이내로 줄여서 가속화하고자 하는 것임.

③ 계측제어기술과 공정간 품질보증을 적극 적용함과 함께 첨단소재의 품질과 수율(yield)을 향상시킴으로써, 정확한 초품을 얻도록 하는 것임.

최근의 미국산업에 대한 어느 연구결과는 제품의 수명가격의 70%~90%가 설계단계에서 확정되고 있음을 시사하고 있다(그림 1 참조). 따라서 개발과정 중의 각 변화에 대응하는 탄력성의 부족은 가격의 상승 및 개발기간의 연장을 초래하게 된다. 연구, 개발, 설계와 제작의 동시성(concurrency)은 병렬 정보처리 컴퓨터 개념에 기반을 둔 혁신적인 소프트웨어 구성에 의해 가능해질 것이며, 이 프로그램을 통한 concurrent engineering의 실현이 궁극적인 효과가 될 것이다.

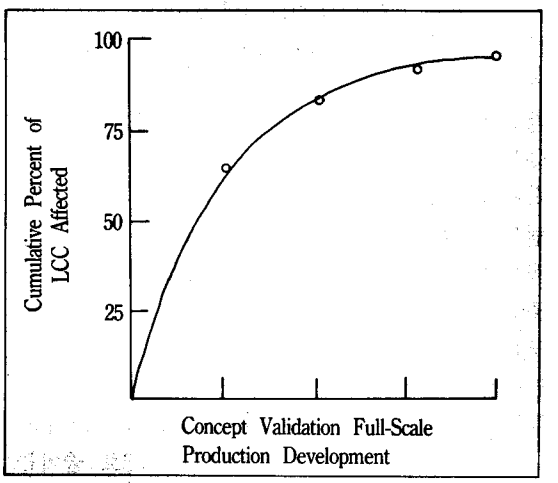


그림 1) Today's Life Cycle Phases

4. 제안된 프로그램의 구성

DICE에서 제안된 프로그램의 활동내용들은 표 1과 표 2에 주어져 있다.

제안된 프로그램의 네가지 주요 과제들은 다음과 같다.

- 과제 1.0－Center for Concurrent Engineering Research
- 과제 2.0－Architecture
- 과제 3.0－Design Tools
- 과제 4.0－Manufacturing

전체 프로그램은 5년 계획으로 구성되어 있으며, 여기 소개되는 내용은 첫 해의 활동에 대한 것으로 DICE Architecture와 Design Tools의 일부를 제시, XD™ 블레이드 주물의 초품제시, 그리고 전자기판 조립체의 제시 등 구체적인 내용들이 포함되어 있다.

4.1. 과제 1.0 CCER(Center for Concurrent Engineering Research)

GE의 지원을 받아 WVU는 CCER을 WVU 내에 설치할 것이며, 이 조직은 대학, 연구소, 산업체 사이의 협동연구를 촉진하게 된다. 새로운 기술형태로의 연구결과는 CCER에 전시되고 산업체 협동프로그램(IAP, Industrial Associate Program)을 통하여 산업체로 이전될 것이다.

CCER의 설립배경은 첨단제작기술의 개발과 미국 산업체들이 이러한 기술들을 실용적으로 사용하도록 지원하는데 있다. CCER는 WVU의 교무담당 사무관에게 직접 보고하는 혼합(interdis-

표 1) DICE 프로그램의 활동 내용

①	-Select Part and Material(Preliminary) -Generate Preliminary Design -Interact Through DICE Network with Materials Development, Manufacturing, Test Planning
②	-Generate Preliminary Material Specifications -Generate Material Data -Interact Through DICE Network with Design, Manufacturing, Test
③	-Initiate Tool Design -Interact with Part Design, Manufacturing, Test Planning Through DICE Network -Order Tooling, Test, Install and Use
④	-Specify Equipment (Including Computers, NDE Equipment) -Order, Test, Install, Retest
⑤	-Preliminary Layout of Ultimate "Factory" Facilities and University Lab Facilities -Preliminary Layout of Ultimate Equipment
⑥	-Identify Processes -Initiate "Rapid Prototyping" to Generate Prototype Model -Interact Through DICE Network with Design, Manufacturing, Test -Select Processes -Preliminary Demonstration of XD™ Blade Component -Preliminary Demonstration of Subscale RSPD MMC Disk -Ramp-Up to "Full Production" Capability -Final Demonstration of XD™ Blades -Final Demonstration of Full-Scale RSPD MMC Disks
⑦	-Identify Quality Parameters and Statistical Limits -Interact Through DICE Architecture with Part Design, Manufacturing, Test -Establish Plan for In-Process Quality Assurance
⑧	-Identify All Process Sensors; Define Specifications -Procure Prototype Sensors and Test -Interact Through DICE architecture with Design, Manufacturing, Test -Incorporate Final Sensor Requirements into Equipment Ordered
⑨	-Define NDE Requirements and Defect Specimens -Fabricate Prototype Defect Specimens -Test Prototypes -Finalize NDE Requirements and Specimens -Interact Through DICE Architecture with Design, Manufacturing, Test
⑩	-Finalize Initial Plan(As Proposed) -Integrate All Subplans into Master Plan -Finalize Master Plan -Interact Through DICE Architecture with All Participants
⑪	-Generate Initial Computer Hardware Specifications -Obtain Quotations-Modify Specifications -Place Computer Hardware Orders -Manufacture, Test, Install, Retest -Install DICE Architecture -Modify DICE Architecture as Required by Program Activities
⑫ ⑬	-Secure and Initiate Funding of Prime and Subcontractors -Formalize Bussiness Plans -Define Alternative Approaches and Backups for Each Phase of Program

표 2) DICE 프로그램의 활동내용

⑭
- Initiate WVU Activity on Center for Current Engineering Research
- Interact with Administration, Faculty, Curriculum, Students, Oversight Committees, Industrial Associate Program
- Establish Lab, Facilities and Equipment
- Install DICE Architecture and Workstations
- Interact with All Program Participants Through DICE Architecture

⑮
- Develop and Integrate IPM Components Not Now Under Development by DARPA
- Install in "Mock-Up" of Factory/Facility; Test
- Integrate Results Through DICE Architecture with Materials, Design, Manufacturing, and Test

⑯ ⑰
- Define Specifications for "Design-for-Assembly" Component
- Establish Preliminary Plan for Key Demonstrations; Define Milestones
- Iterate with Design, Manufacturing, and Test Using DICE Architecture
- Conduct Interim Demonstration
- Define Final Hardware and Assembly System Configuration, Specifications
- Conduct Final Demonstration
- Develop Design for Assembly Guidelines

⑱
- Develop Physical Models
- Interact with Materials, Design, Manufacturing, and Test Through DICE Architecture
- Incorporate Models into Testing and Demonstrations

⑲
- Develop Designer Cost Models
- Test, Modify, and Integrate Cost Models
- Interact with Materials, Design, Manufacturing, and Test Through DICE Architecture

⑳
- Develop Engineering Analysis Models
- Test, Modify, and Integrate Analysis Models
- Interact with Materials, Design, Manufacturing, and Test Through DICE Architecture

㉑
- Identify All Human Issues
- Secure Commitment and Agreement of Responsibilities
- Assure Adequate Recognition for All Project Achievements
- Interact Through DICE Architecture

㉒
- Concept Validation Testing
- Interact and Feedback Through DICE Architecuture

㉓
- Begin Planning for Phase II of DARPA DICE Project
- Interact with Materials, Design, Manufacturing, and Test Through DICE Architecture

ciplinary) 연구소의 형태로 운영되고 있다. 이 연구소는 각 과로부터의 정식교수, 연구교수와 기타 연구인력들에 의해 운영된다. 연구소는 제안된 연구를 수행하기 위한 방대한 컴퓨터 설비를 유지하게 될 것이며, 통신망은 ARPANET에 연결됨은 물론 WVNET(West Virginia주 전역에 걸쳐 설치되어 있는 컴퓨터 통신망)에 연결되어 이 계약에 참여하고 있는 모든 조직과 연락하게 된다.

과제 1.0의 WBS(Work Breakdown Structure)는 다음과 같다.

- 주요설비
  - 컴퓨터 시스템
  - 조립공간
  - 재료특성묘사 연구실
- 연구조정과 센터행정
- 교과 과정
- 교수/대학원생
- 장비관리와 지원 기능

- 컴퓨터 시스템 종합 및 보수 유지
- 과제관리 및 연구 종합
- 과제조정 및 기술활용계획의 수립
- concurrent engineering분야의 산업체/대학 협력체제 구축
- CCER에 대한 행정 지원

• 감독위원회(Oversight Committee)
- Strategic Committee(DARPA, GE, WVU, NSF, Air Force)
- Implementation Committe(각 그룹의 연구 책임자)

4.2. 과제 2.0 Architecture

정보의 내용과 흐름은 다음과 같이 정의된다.

• 설계에의 응용내용은 개념설계, 상세모델 생성 및 설계 입증을 포함한 광범위한 범위의 설계기능을 포함한다.
• 부품들의 전자공학적 정의는 직접 기하학적 모델을 통하여, 또는 이러한 목적으로 생성된 기하학적 entity에 기반을 두어 주어질 수 있다.
• 기하학적 모델러의 종합적인 부분은 질량 특성분석(mass property analysis)으로서, 설계기간 동안 많은 응용기능을 갖고 있다.
• 유한요소 모델링의 응용은 유한요소해석자료의 전처리(preprocessing) 및 후처리(postprocessing)를 포함한다.
• 생산가능성 분석은 모델의 기하학적 정의를 분석하고, 제작상의 문제점이 발생할 가능성을 검토하며, 제작비용을 절감하고 제품의 품질을 향상할 수 있도록 설계변경을 권고하는 것등이 그 내용이다. 이 분석은 설계공차, 표면처리 요구, 치공구 요구, 조립상의 제약, 수명가격 등을 포함한다.
• 공정계획은 제작단계, 각 단계의 치공구에 의한 상세한 설명, 추정되는 공정시간, 공정의 도식적 표현, 그리고 일반적인 주의사항들로 구성된다.
• 검사계획은 부품검사에의 응용과 검사계획을 확인하는 과정을 포함한다.

과제 2.0의 WBS는 다음과 같다.

• 자료표현(Data Representation)
- Design Knowledge Representation
- Constraint-Based Models
- Information Management Data Base
- Graphics Interface와 X-Windows Standard
- I-Bus Architecture Definition and Prototype Implementation

• Information Architecture Prototype
- VMS Thread Component Elements
- UNIX Thread Component Elements
- Workstation Node Prototype
- Fileserver Node Prototype
- Information Manager Node Prototype
- Local Architecture and Designer's Workstation
- File/Data Base Translator Generator
- Knowledge Server and Interface to I-Bus
- Information Modeling

• Hardware
• Integration and Implementation
- Center for Concurrent Engineering Research
- GE Aircraft Engines
- Integration and Implementation of PaLS
- User Interface and Graphics Support Systems
- Operating System Interfaces

• Validation

4.3. 과제 3.0 Design Tools

복잡한 복합구조물과 조립체에 대한 시뮬레이션과 해석에 필요한 진보된 모델과 설계수단을 개발하려는 대학/산업체의 공동노력이 주요 내용이며, 과제 3.0의 WBS는 다음과 같다.

• 향상된 CAD Tools
- Process Planning Advisor
- Geometric Modeling

• 물리적 모델

- −Fracture Testing
- −Fatigue Testing
- −Creep/Creep Rupture Testing
- −Physical Model Architecture
  (Material Behavior Simulator의 개발, 그림 2와 3 참조)

• 거시적 모델(표 3과 4 참조)
• 미시적/미시역학적 모델
• 재료특성
  −XD™ 재료
  −RSPD 재료
  −재료특성 추정
  −재료특성 묘사
• 설계방법
  −항공기 엔진용 첨단 복합재료 블레이드를 예로한 설계시의 고려사항들이 표 5와 6에 주어져 있다.

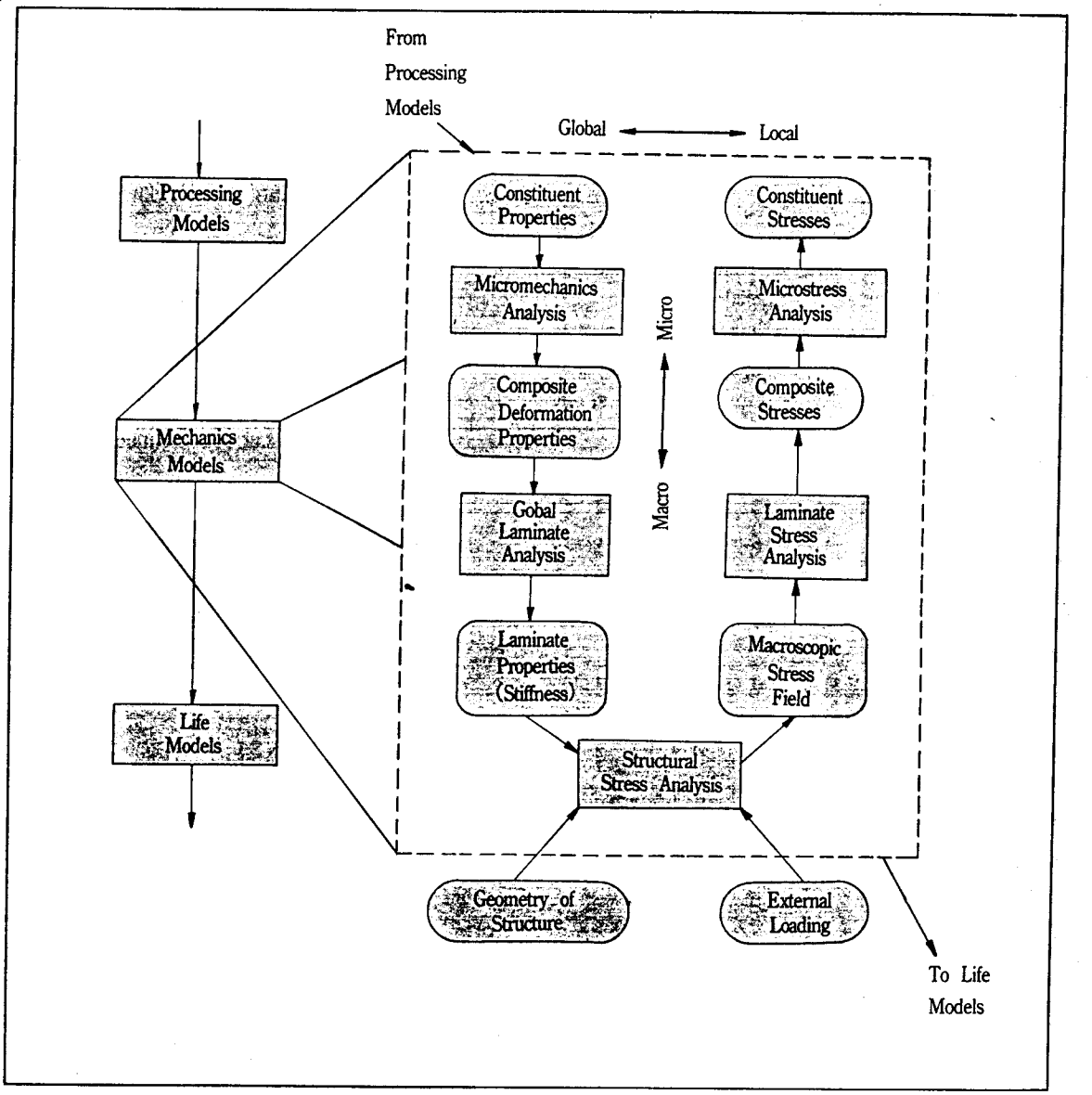


그림 2) Detailed View of Mechanical Behavior Modeling Task.

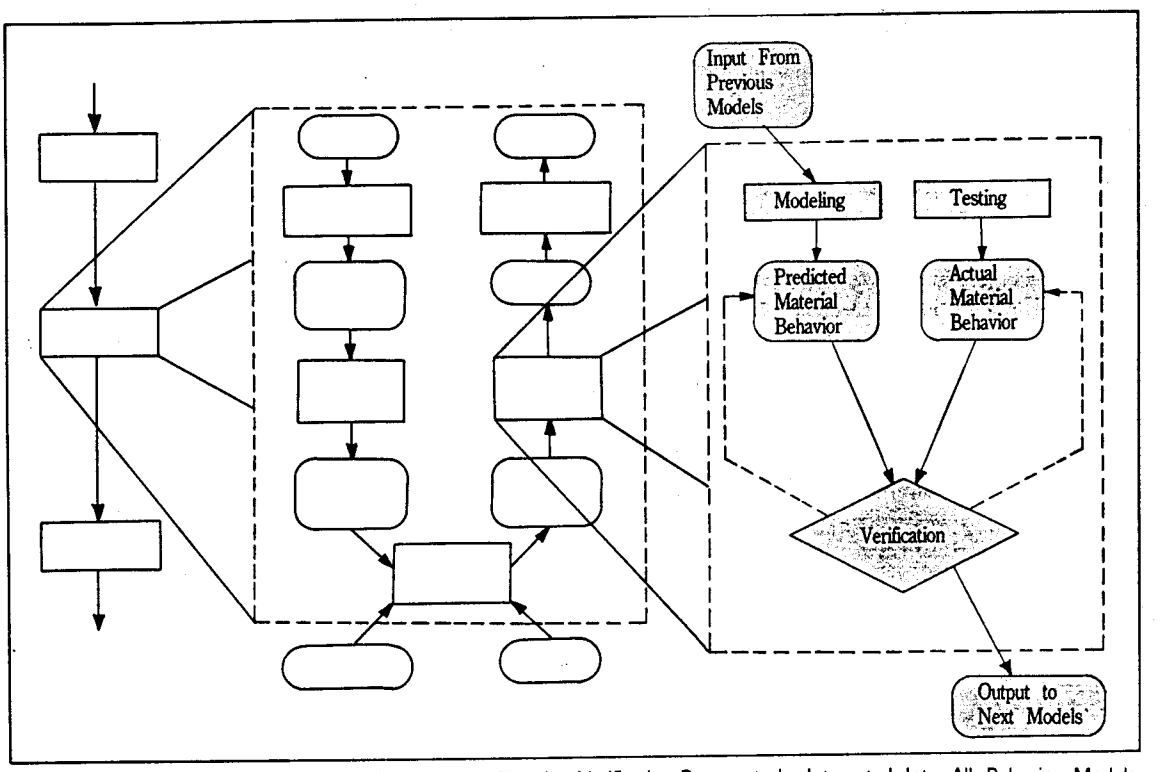


그림 3) Schematic Showing Verification Process to be Integrated Into All Behavior Models.

표 3) Composite Design Analysis Codes

Code Name	Function	Features
DCAP	· Analyzes C-C Composites	· Models Orthogonal 3D Composites · Accounts for Microcracks · Permits Nonlinear Behavior
NSANDS	· Simulates Randomly Oriented Composite	· Models Advanced Weaves and Multidirectional Braids
GCOMP	· Analyzes Ceramic Composites	· Models Voids,"Weak" Fiber Matrix Interface · Predict Yield Stress and UTS
GENLAM	· Analyzes Laminates	· Point Stress, In-Plane Loads, and Out-of-Plane Moments
GELAM	· Analyzes 3D Laminates	· 3D Anisotropic Plates · Include Shear Deformation
SS8	· Anisotropic Curved Panel Analysis	· Curved Panels Under Lateral Loads · Predicts Bucking, Mode Shapes, and Frequencies
BJSFM	· Models Bolted Joint Stresses	· Computes In-Plane Stress, Strain, and Displacement Distributions
JOINT	· Composite Joint Design	· Analyzes Bolted and Bonded Joints

Code Name	Function	Features
ESDU	· Composite Materials Structure	· Analyzes Composite Materials and Structures
WEIBULL	· Statistical Analysis Program	· Maximum Likelihood Method for Variance Analysis
ICAN	· Integrated Composites Analysis	· Micromechanical Analysis of Composited Structures
SCARE	· Reliability Evaluation	· Fast Fracture Reliability of Monolitic Ceramic Composites
MSC/NASTRAN ANSYS	· Finite Element Modeling	· 2D and 3D · Stresses, Mode Shape, Frequencies
SCAMP	· Composite Airfoil Material Property Simulation	· Determines Proper Ply Layup · Input to NASTRAN/ANSYS · Uses Blade Geometry and Laminate Data
LCAP	· Layered Composite Analysis	· 3D Laminate Finite Element · Pre/Postprocessor for NASTRAN · Models Multi-Ply Layups
PSIZ	· Parametric Orthotropic Sandwich Structure Optimization	· Simple, User-Friendly Preliminary Design Aid

표 4) Summary of Other GEAE Major Analytical Tools

Code Name	Function	Features
	Aerodynamic Design	
TAYLOR	· Provides Automatic Blade Definition	· Good Tool for Transonic and Supersonic Blade Design
TRIAD 2D	· Solves 2D Euler Equations	· Adaptive Triangular Mesh for Excellent Resolution · Good Transonic Prediction Capability
DREL/V GILES	· Provides Simultaneous Solution of 2D Euler and Boundary Layer Equations	· Approximates Shock/Boundary Layer Interaction · Calculates Losses
EYLER 3D	· Solves 3D Euler equations	· Good Transonic Prediction Capability · Relatively Inexpensive
HAH	· Solves Elliptic 3D Navier-Stokes Equations · Models Sophisticated Turbulence	· Pinpoints Regions of High Loss · Can Calculate Separated Flow Regions
	Heat Transfer	
THTD	· Analyzes Thermal Finite-Difference Models	· Allows Steady State or Transient Analyses, Gray-Body Radiation, Surface Flux, Internal Generation, and Mass Transfer
HOTWIND	· Calculates Hot Stress and Average	· Allows Input of Radial Work Extraction Profile Gas Temperatures · Allows for Gas Dilution by Cooling Air
YTAWH	· Accumulates Film Temperatures for Multiple Rows of Film Holes	· Accounts for Different Coolant Exit Temperatures · Normalized Results to Initial Relative Blade Temperature
CALIDE	· Calculates Flow and Heat Transfer in Airfoil Serpentine Passages	· Accounts for Pumping and Leading Edge Cold-Bridge Effects · Calculates Coolant Exit Temperature

Code Name	Function	Features
KEPH	· Performs a 2D Boundary Layer Analysis Using the Two-Equation (k-e) Turbulence Model	· Shows Realistic Sensitivity to Freestream Turbulence · Indicated Potential Flow Separation on Airfoil
	Mechanical Design	
SIESTA	· Acts as a Uniformly Integrated Pre- and Postprocessor Operating System	· Linked to FINITE, MASS, CYANIDE, DISK, and BUCKET CREEP III Programs
MASS		· Large Space Structure Analysis Capability
TAMP/MASS	· Performs 2D and 3D Finite Element Mechanical Analysis of Space Structures	· Allows 8-Node isoparametric Elements with Orthotropic Material Properties · Laminated Plate Capability
CLASS/MASS		· Accurate Shell of Revolution Program
2D and 3D CYANIDE	· Performs Elastic and Inelastic Stress Analysis	· Efficient · Nonlinear Capability
BUCKET CREEP III	· Determine Blade/Vane Stress and Strain Histories While Under Variable Mechanical Loads	· Efficient · Nonlinear Capability
FINITE	· Performs Two-Dimensional Finite Element Analyses	· Simple, Accurate Program

표 5) Metal Matrix Composite Blade Design Factors

Material Factors

- Heterogeneous
- Anisotropic
- "Brittle"-Joint and Attachment Critical
- Variable Properties
- Design and Fabrication Intimately Related
- High Axial Strength and Modulus(Fiber Dependent)
- Generally High Wear Resistance
- Relatively High Transverse and Through the Thickness Strength and Modulus
  - Relative to Polymer Composites
  - Transverse Tensile and Shear Strengths Lower Than Metals
  - Matrix Dependent
- Generally Higher Temperature Capability
- Not Moisture Sensitive(Except for Corrosion)
- Generally Lower Coefficient of Thermal Expansion
- Tailorable Thermal Conductivity
- Engineerable Properties
  - Fiber Volume Percent
  - Fiber Array in Matrix
  - Orientation
- Generally Elastic Behavior(Elastic-Plastic for Metals)
- Fiber/Matrix Interaction and Thermal Stress a Concern for Large Temperature Cycles

- Fracture Toughness a Concern
- Process Dependent
  - Properly Consolidated
  - Fiber Placement
  - Broken Fibers
  - Intermal Contaminates

Mechanical and Physical Factors

Blade Fixity	Blade/Stator Interaction(Number of
Blade Containment	Blades Versus Number of Stators)
Dovetail Design	Interaction of Blade and Casing
Acoustic Requirements	Blade Hollow and Locations
Disk Interaction(Blade Disk Coupling)	Fiber Orientation
Thermal Environment	Reinforcement Locations
Erosion Characteristics	Leading Edge Treatment
Frequency Behavior(Cambell Diagram)	Platform Design
Tip Treatment	Blade/Platform Interaction

표 6) Metal Matrix Composite Blade Design Factors

Design Requirements for Blade

Design Mechanical Speeds

- Maximum Operation(100% Design-Point Rotor Speed, Na)
- Design (1.05 Na)
- Design Burst(1.22 Na)
- Design Tip Speed

Design Life and Cycles

- Operating Life
- Operating Cycles at 105% Operating Speed
- Vibratory Cycles

Special Conditions

- Maximum Blade Root Temperature
- Maximum Blade Tip Temperature
- Temperatures Selected to Meet Extremely Short-Term Dash Conditions
- High-Flexural-Stiffness Blade Design that Operates at 15% Above 2/rev at Na
- High-Torsional-Stiffness Design
- Stresses within Allowable-Stress-Range Diagram and Having Sufficient Vibratory Margin
- Type Airfoil Configuration
- Disk Slots to Retain Blade with Adjacent Blade Out
- Foreign Object Damage Requirement

Blade Aero Design Parameters	
Tip Speed	Tip Diameter
Radius Ratio	Number of Blades
Number of Blades	Aspect Ratio
Tip Chord	Root Chord
$T_{m/c}$ Root	$T_{m/c}$ Tip
Root Camber	Total Twist
Shroud(% Span or None)	

- 조립을 위한 설계
  - 고밀도 PCB(Printed Circuit Board)
  - Assembly Advisor 설계
- 가격 모델
  - LCC 분석
  - 가격 모델러
- 최적화 방법
  - "Engineous" 소프트웨어
  - 복합재료의 최적화
- 정비성(선택사양)

4.4. 과제 4.0 Manufacturing

GE는 concurrent engineering의 사용을 통하여 혁신적인 기술들이 산업생산에 이전되는 것이 가속화 됨을 입증하게 될 것이다. 여기서 선정된 부품들은 XD™ 공정을 사용한 particulate reinforced titanium aluminide로 제작되는 항공기용 엔진 블레이드와 RSDP 공정을 사용한 연속섬유강화 titanium aluminide로 제작되는 항공기용 엔진 디스크, 그리고 전자회로판 조립체이다. 현재 후보로 고려되고 있는 부품들은 집적 복합재료 정적 구조물, 복합재료 blisk, 소형 수퍼컴퓨터 조립체 등이다.

과제 4.0의 WBS는 다음과 같다.

- 지능을 갖춘 재료관련 공정(선택 사양)
  - 용고모델
  - 공정모델
  - 계측기
  - 제어기
  - 전문가시스템
- 제작설비(선택사양)
- 공정설비(선택사양)
- 부품제작의 예시
  - XD™익형 제작(그림 4, 5 및 6 참조)
  - Plasma Spray를 이용한 디스크 제작
- 조립의 예시
  - 전시용 조립설비 설계
  - 전시용 조립설비 개발과 시제제작
- 조립시험

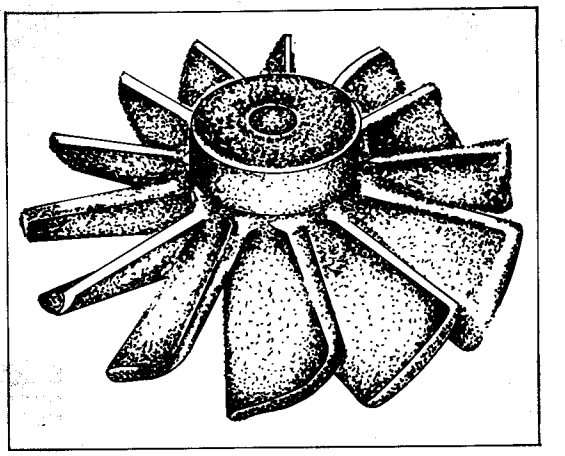


그림 4) Static Cast Ti-45Al+7V% TiB_2 XD™ Impeller with Oversized Airfoil.

- 비파괴검사/품질보증(NDE/QA)
  - USQP(Unified Systematic Quality Planning)의 적용
  - SPC(Statistical Process Control) 기법의 적용

5. 일정계획

DICE 프로그램의 일정계획(그림 7 참조)은 회

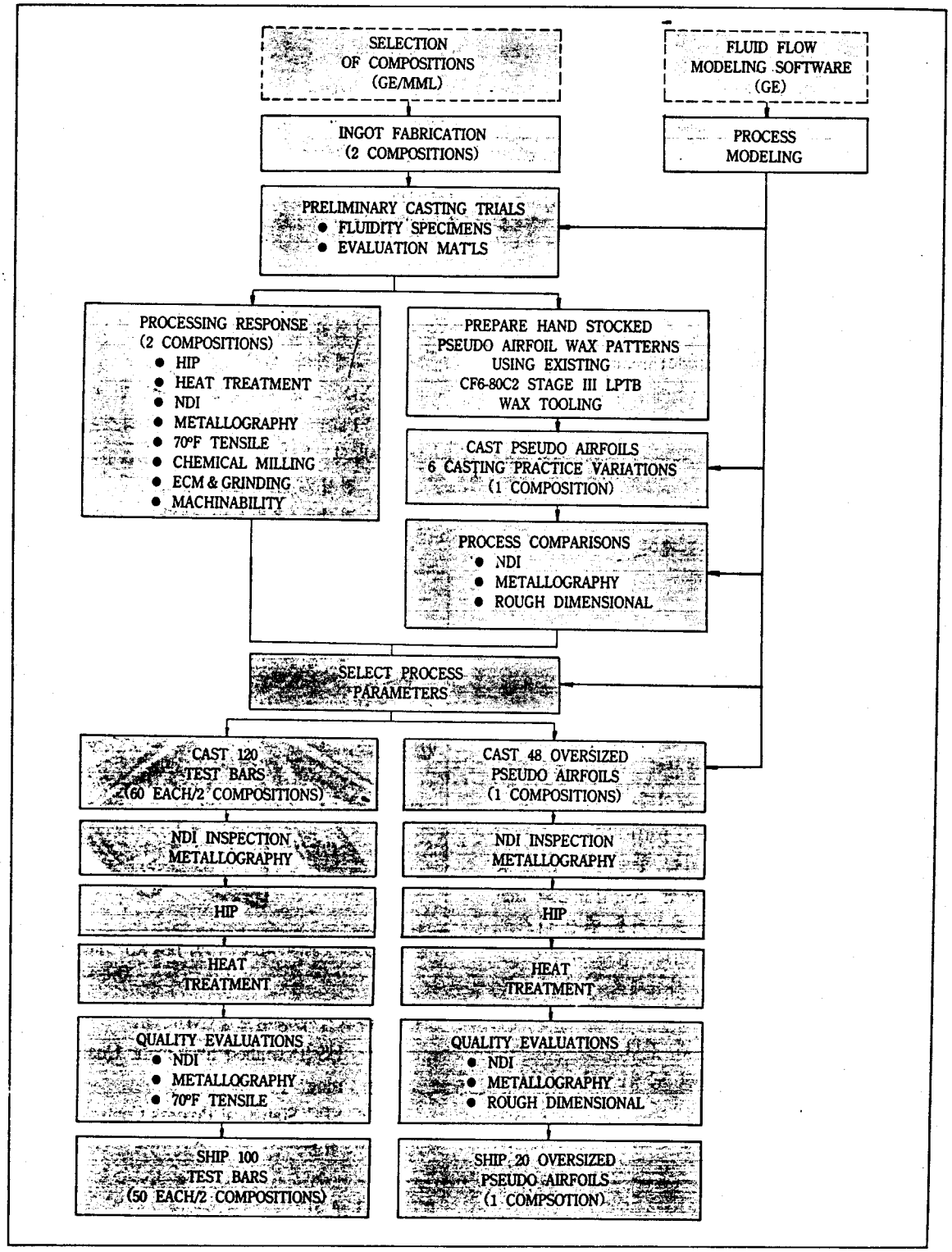


그림 5) Proposed XD™ Airfoil Program (Phase I and Phase II)

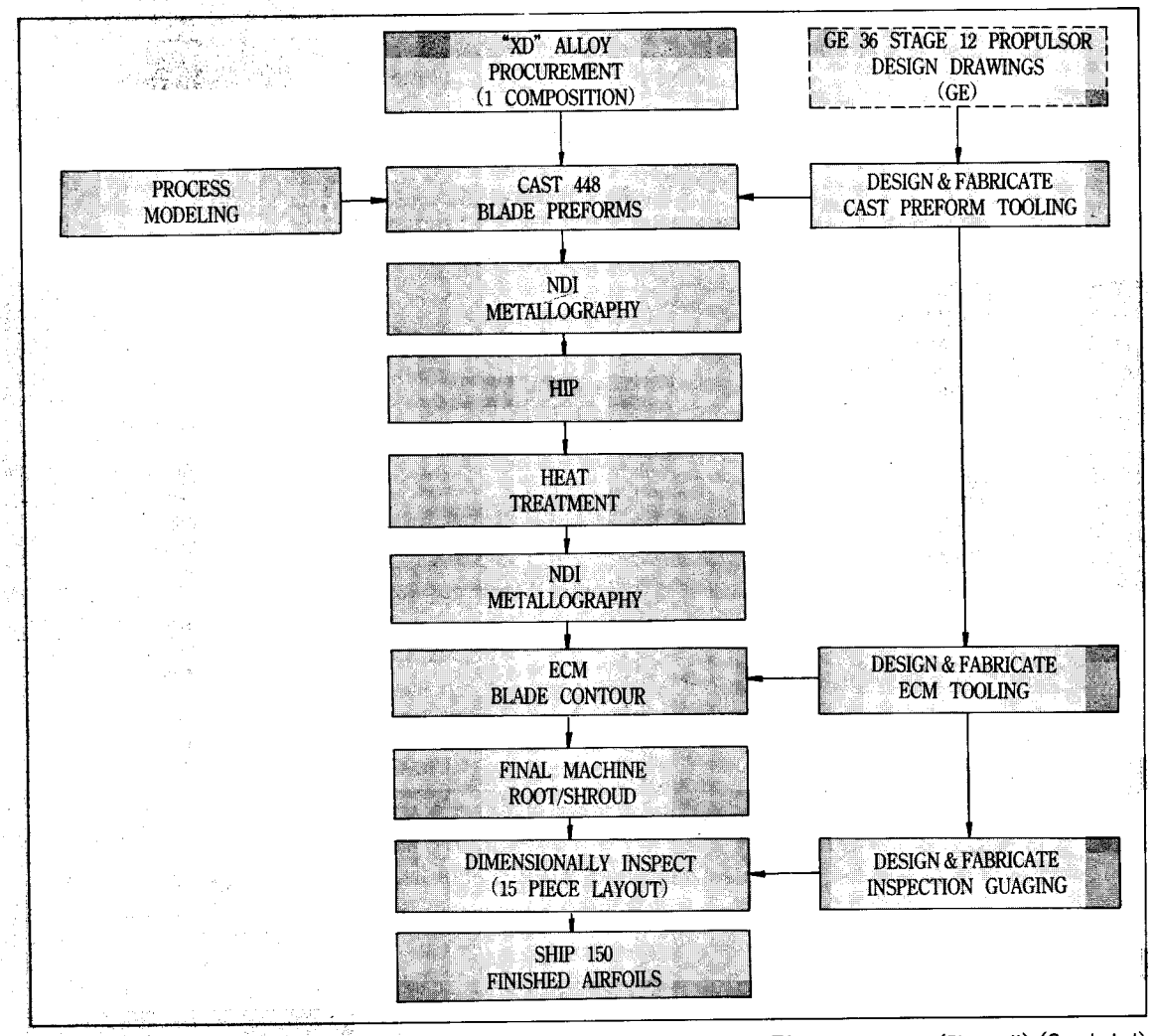


그림 6) Proposed XD™ Airfoil Program(Phase II) (Concluded)

계년도(FY) 1992년까지 계속 된다는 가정하에 작성되었다. GEAE(General Electric Aircraft Engines)로 부터의 제안서는 1988년 6월 1일경부터 시작하여 13개월간 소요될 FY 1988에 대한 첫 해의 활동을 다루고 있다.

6. 조직과 관리

6.1. GEAE 조직

GEAE는 GE의 9개 운영조직 중의 하나로 지난 30여년동안 항공기용 추진기관 분야의 기반을 바탕으로 GE의 항공/우주 및 방위산업 활동에 핵심적인 역할을 담당하여 왔다. GEAE내의 운영조직들은 5개로 구성되었으며 상용 및 군용 항공기, 해상용 및 산업용 가스 터빈엔진의 설계·개발·제작·지원을 담당해 왔다. 이들 5개 조직들은 각각 기능별 그리고 사업관리별 활동을 포함하고 있다. 이러한 관리체제는 각각의 조직이 주어진 업무를 수행하는데 필요한 모든 활동에 대해 직접 통제가 가능하도록 되어 있다.

제안된 프로그램에 대한 사업 및 기술관리 조직은 Aircraft Engine Engineering Division(AEED) 내에 설치될 예정이다. AEED는 모든 GEAE 생

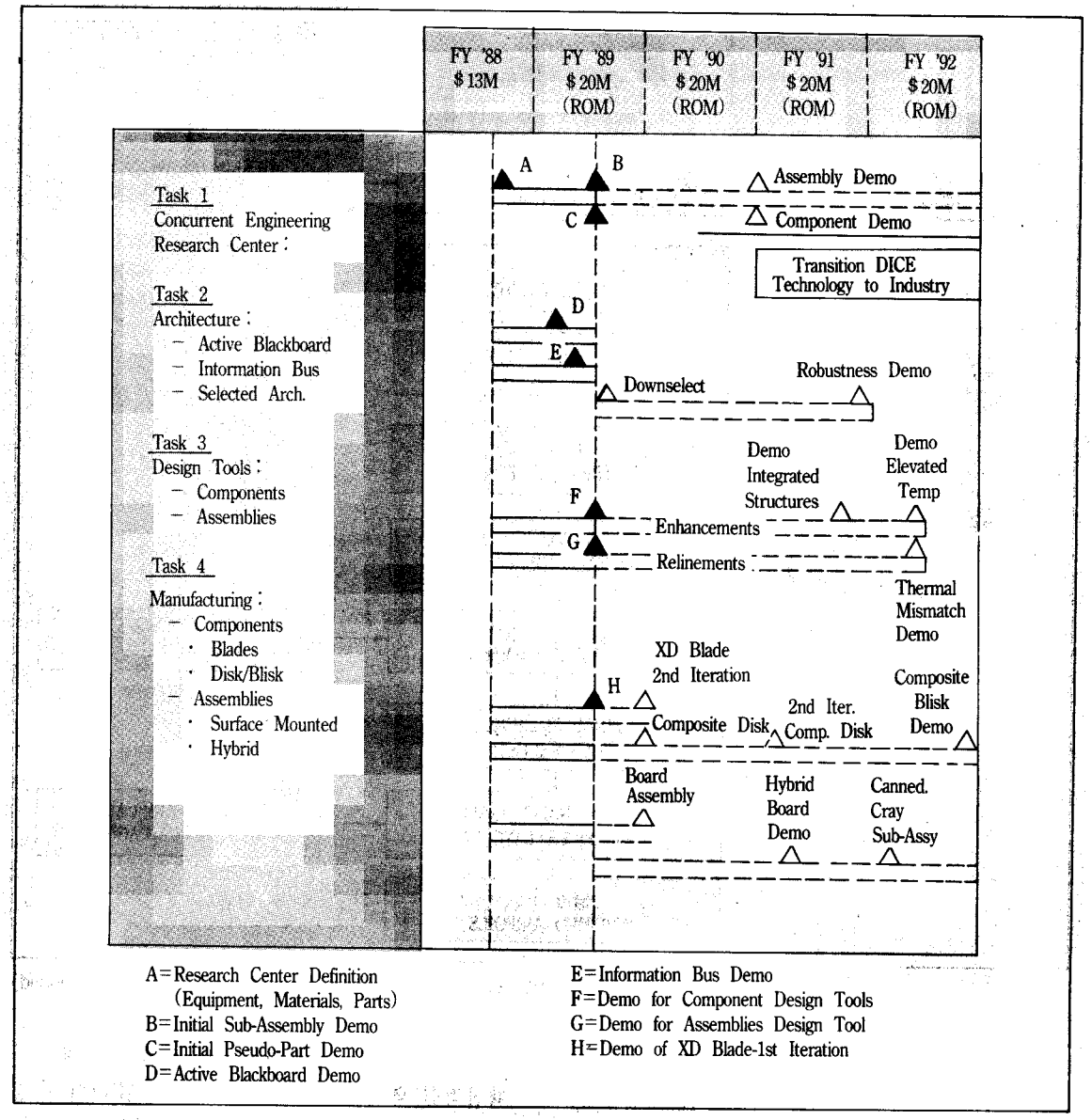


그림 7) Overall Schedule-5-year Program

산라인에 소요되는 첨단기술의 개발을 담당하고 있다. 이 조직의 구성원은 대부분 숙련된 기술자들과 고급과학자들이다.

AEED는 자체의 방대한 연구개발 프로그램을 관리하기 위해 행렬조직(matrix organization)을 사용하고 있다. 기술적으로 분류된 기본 조직에 속한 인원은, 과제관리자에 의해 인정된 기술적 요구를 만족시키는데 필요한 특정한 기술적 능력을 갖추었다고 판단되는 경우, 관련 과제를 위해 일을 하도록 배정된다. 어느 과제에서 임무가 끝나게 되면, 이들 기술인력들은 다른 과제활동을 지원하도록 재배치된다. 이러한 융통성과 행렬개념의 다른 특징들은 다음의 사항들을 포함하는 여러가지 중요한 혜택을 부여하게 된다.

- 배치된 기술인력은 과제에 그 자신 개인의 기술 뿐만 아니라 그가 속한 기본조직이

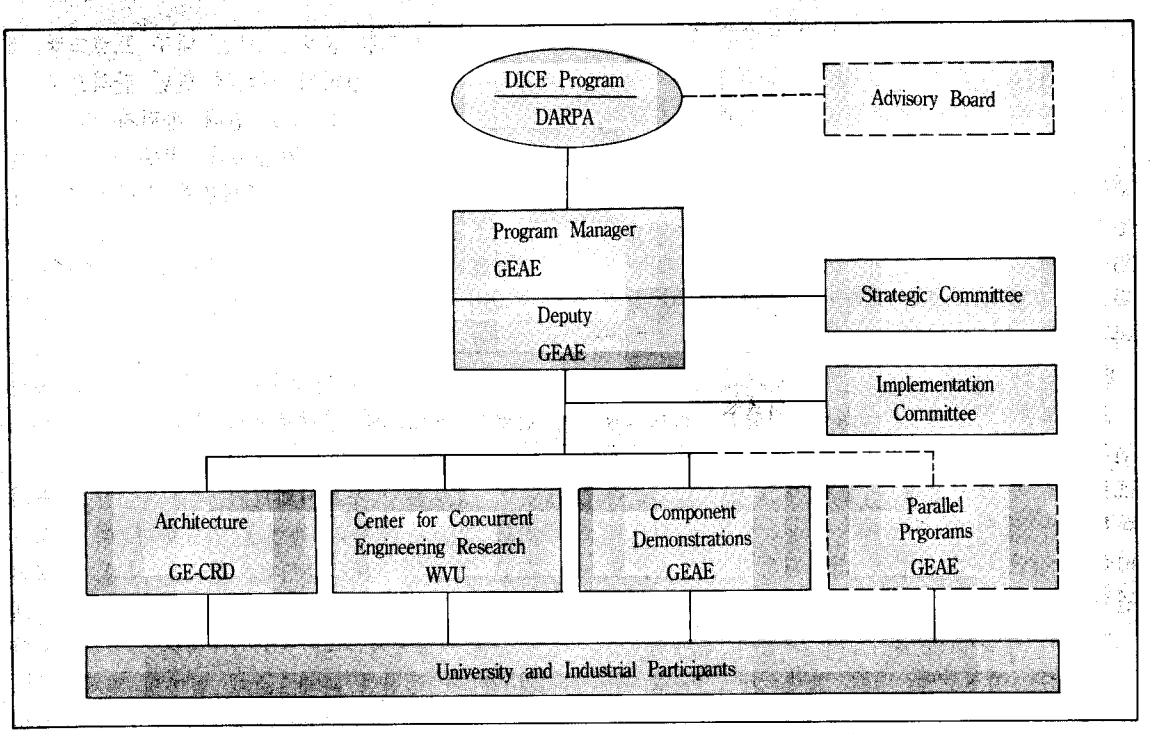


그림 8) Functional DICE Organization

갖는 기술적 전문성까지도 도입하게 된다.

- 현안 특정한 과제에 대해 많은 분야로부터의 기술적 전문성의 집중을 가능케 할 잠재적인 융통성이 존재한다.
- 자원의 분배에 보다 융통성이 있으므로 경제적인 결과를 기대할 수 있다. 인원의 배치는 단지 과제의 특정한 임무를 수행하기에 적당한 정도로 이루어지며, 이것 또한 계속 변하는 과제의 필요에 맞추기 위해 지속적인 재평가하에서 이루어진다.
- 의사결정이 기능적인 행렬조직에서는 보다 직접적이며, 동시에 효과적인 억제와 균형(check and balance) 시스템의 존재가 가능해진다.

6.2. 과제관리

6.2.1. 프로젝트팀

프로젝트팀의 GE 관리에 대한 기능적인 조직도는 그림 8과 같다.

GEAE DICE팀은 5개 주요 대학과 4개 산업체를 포함하고 있다(GEAE와 GE Corporate Research Development 외에). GEAE는 각각의 참여조직과 직접 또는 하청 계약 형태로 계약적인 관계를 가지게 될 것이며, 그림 8의 기능조직 구성원들은 개발 업무의 모든 사항을 보고할 의무를 가지게 될 것이다.

6.2.2. 관리의 통제와 기법

기술과제의 효율적인 수행을 위해서는 통제력을 가진, 대단히 숙련된 관리팀이 핵심적인 역할을 해야 한다. 잘 통합되고 조정된 프로그램을 이룩하기 위해서는, 모든 팀구성원들이 예정된 방문과 현황보고 외에도 매일 비공식적인 의견 교환을 유지하는 것이 필수적이다. 프로그램의 조정과 모든 검토의 관리가 과제 관리자의 의무이다.

6.2.2.1. 인력관리

기능적 행렬조직은 기술능력이 보다 효과적으로 배치되는 것을 가능케 한다. 선택된 기술인력을 기본조직에서 분리시켜 과제에 참여케 함으로써

지원기능이 과제요구에 보다 잘 부합될 수 있으며, 과제예산의 효율적인 집행이 가능해진다. 각각의 기술인력의 업무는 과제관리자에 의해 평가되며, 과제 관리자는 그 인력의 과제에 대한 기여도를 판단하고, 기본조직 관리자는 활용가능한 기술이 얼마나 충실하게 탐구되었는가, 그 분야에 연관된 업무와 얼마나 일관성이 있는가, 그리고 기술인력의 특정한 전문성이 과제의 요구가 변해도 계속 바람직할 것인가 등을 평가하게 된다.

6.2.2.2. 과제 기획

프로그램 본부의 기본적인 서류는 프로그램 전체계획(master plan)이다. 이 내부서류는 초기에 프로그램 목표와 범위, 어떻게 주요 구성요소들이 이루어질 것인가, 어떻게 행사들이 시간적으로 배치될 것인가(이 부분은 장비계획에 근본적으로 필요함).

그리고 어떻게 작업시간과 예산이 분배될 것인가 등의 사항들에 대해 상세하게 기술할 수 있도록 준비되어야 한다.

초기전체계획은 Contract Statement of Work, 일정, 그리고 인정된 자금지원에 기초하여 작성된다. 이것이 프로젝트 그룹과 기술인력이 속해있는 기본조직으로 배포된다. 다음에 각각의 수행조직은 주어진 역할을 수행할 방법을 기술하고 소요인력과 자금에 대해 추정을 함으로써 상세한 프로그램 계획을 작성한다. 프로그램 본부는 이러한 초기의 과제계획을 초기전체계획과 비교하여 상세계획들이 master plan과 일관성있게 발전할 때까지 그 차이를 조정해 간다. 초기전체계획은 자금지원계획과 모든 다른 계약조건과 일관성이 있는 범위내에서 바뀌어질 수 있다. 일련의 계획서가 이러한 절충을 거쳐 구체화된다. 이러한 서류들은 필요하다면 고객의 승인을 위한 업무계획의 기반을 제공하게 된다. 이러한 절충이 완성되면, 전체계획과 그 부속계획들은 관리체계에 의해 승인되며, 내부 통보기준이 된다. 일단 승인되면, 이들은 업무계획의 실행을 인정하게 된다.

기술기획에 있어서 기술의 심도와 융통성 사이의 조화를 이루는 것이 필수적이다. 경험에 의하면 과제계획은 그 구조가 유용하기 위해서는 정기적으로 검토되어야 한다는 것이 알려져 있다. 따라서 프로그램 본부는 모든 내부 프로그램 계획을 적당히 개선하기 위해서 한달 간격으로 검토한다. 전체계획이 그로 인해 바뀌지 않는다면 한달 주기로 조정이 가능하다. 내부 전체계획의 변경은 보다 상위자의 관리체계의 승인을 요하며, 필요한 고객의 자문을 요구하게 될지도 모른다. 과제계획과 기획과정 자체는 지속적으로 검토하에 있으며, 따라서 움직이는 서류라고 할 수 있다.

6.2.2.3. 예산 배분

전체계획과 세부과제계획의 결정에 따라, 예산집행은 프로그램 본부로부터 Work Authorization (WA) Form의 방법으로 인정된다.

이 양식은 세부과제계획과 적용가능한 특수지시를 참고로 업무의 특성을 기술한다. 이 양식은 또한 특정한 업무 분담을 책임질 사람, 인정된 예산금액, 그리고 예산관리에 필요한 적당한 계수들을 지정하게 된다. WA의 승인은 과제관리자의 의무이다. 특정한 과제요소에 얼마의 과제예산이 부여되는가는 그 요소의 특성에 달려 있다. 예산이 현재 과제계획과 부합되는 경우, 이 양식은 과제기획 전문가를 거쳐 재정담당자에게 전달된다. 이들의 승인에 따라 WA는 비로소 그 효력을 발생한다. 승인된 계획 범위를 초과하는 예산은 전술한 바와 같은 사전 재계획을 요구한다.

따라서 프로그램 본부는 가능한 자원들을 기술기획제약범위 내에서 관리해야 한다. 외부조직이 연관되는 경우, 같은 절차를 밟게 되나, 획득관례(procurement practice)에 맞도록 변형된다. 외부에서 행해지는 일은 내부의 경우와 동시적으로 계획되어야 한다.

7. 결 언

지금까지 DICE 프로그램의 제안서를 토대로 현재 미국에서 수행되고 있는 concurrent engineering의 실제 적용사례의 일부를 살펴 보았다. 제품의 전 개발과정에 걸쳐서 동시성을 이룩하기 위하여 엄청난 양의 지식(knowledge)이 방대한 컴퓨터 통신망을 통하여 교환되고, 첨단재료에 대한 신속한 시험이 수행되며, 제작공정의 최적화 과정이 끊임없이 시도되는 것이 부각되고 있다.

또한, 이러한 행위들을 촉진하기 위한 산·학·연의 협의체의 운영 및 관련 관리기법들도 우리로서는 주목할 부분으로서, 향후 대형 정부지원 개발사업 수행시 시도해 보는 것이 바람직하다고 판단된다. 실제로 우리나라 기술개발에 투자하려는 액수는 동일기간내 미국의 큰 회사 하나나 둘 정도의 개발비 수준에 머무르고 있는 것은 사실이나, 우리나라 기술수준의 현주소를 제대로 파악하고 국내 실정에 맞는 concurrent engineering을 지금부터라도 시도하려는 노력이 있다면 정부의 기술개발투자는 더욱 효과적으로 결실을 맺을 것으로 생각된다.