

# 신규과제 상세기획 보고서

“소형항공기용 국산 복합재료  
데이터베이스 구축 및 공유시스템 개발”

2012. 4.

항공안전기술개발사업단

총괄체계관리팀

# 목 차

## 제1장 과제 개요

|                      |   |
|----------------------|---|
| 1. 개요 .....          | 1 |
| 2. 사업목표 .....        | 1 |
| 3. 주요 연구개발 내용 .....  | 1 |
| 4. 활용계획 및 기대효과 ..... | 1 |

## 제2장 소형항공기용 국산 복합재료 데이터베이스 구축 및 공유시스템 개발 ..... 2

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 1. 연구의 개요 .....       | 2  |
| 2. 연구의 필요성 .....      | 5  |
| 3. 정부 지원의 타당성 .....   | 11 |
| 4. 국내·외 기술개발 동향 ..... | 14 |
| 5. 중복성 검토 .....       | 37 |
| 6. 세부 연구개발 내용 .....   | 38 |
| 7. 기술개발 효과 .....      | 48 |
| 8. 기술개발성과 활용방안 .....  | 50 |
| 9. 연구개발 추진전략 .....    | 51 |

## 제3장 과제업무분할도(WBS) 및 개발일정 로드맵 ..... 55

|                     |    |
|---------------------|----|
| 1. 과제업무분할도 .....    | 56 |
| 2. 개발일정 및 로드맵 ..... | 67 |

## 제4장 전문가 자문 결과 ..... 72

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 1. WBS 개발비용/일정/제안요구서 검토 ..... | 74 |
| 2. 전문가 검토의견 및 반영내역 .....      | 69 |

## 제5장 과제 제안요구서(안) ..... 79

|              |    |
|--------------|----|
| ※ 참고문헌 ..... | 86 |
|--------------|----|

## 1 과제 개요

### 1. 개요

- 과 제 명 : 소형항공기용 국산 복합재료 데이터베이스 구축 및 공유시스템 개발
- 사업기간 : 2012.6 - 2015.5 (3년)
- 총사업비 : 44.6억원

### 2. 사업목표

소형항공기의 구조에 사용가능한 인증용  
복합재료 특성 데이터베이스 구축 및 공유시스템 개발

### 3. 주요 연구개발 내용

- 복합재료규격, 공정규격 표준화 및 인증체계 확립
- 소형항공기용 국산 복합재료 특성시험
- 복합재료 데이터베이스 공유 및 관리체계 구축

### 4. 활용계획 및 기대효과

- 국산 복합재료 특성 데이터베이스의 국가 인프라 구축 및 통합관리로 비용 및 품질 경쟁력 확보
- 항공기용 복합재료 표준화 공정규격 개발을 통한 신뢰성 확보
- 독자적인 데이터베이스 확보로 동등성 시험이 가능하여 항공기에 복합재료 사용이 용이해짐

## 2 소형항공기용 국산 복합재료 데이터베이스 구축 및 공유시스템 개발

### 1. 연구의 개요

- 본 연구는 항공선진국의 인증체계와 합치하는 수준의 소형항공기용 국산 복합재료 특성 데이터베이스를 구축하고, 인증 및 관리 체계를 확립하는 것임
- 항공기에 사용하는 복합재료의 양은 점차 늘어나고 있으며, B787의 경우 50%이상이 복합재료로 제작되었으며, 소형항공기는 거의 대부분 복합재료로 제작하고 있음. Raytheon Premier, Lancair, Columbia 300, Glasair III, Cirrus SR20 등 엔진장착부 등을 제외한 전체 구조물이 복합재료임
- 항공기용 복합소재는 재료특성상 공정 중에 특성이 결정되므로, 설계에 필요한 데이터를 얻기 위하여, 생산업체별로 모든 시편시험을 실시해야 하므로 많은 노력과 시간이 요구됨. 이에, 미국에서는 AGATE(Advanced General Aviation Transport Experiment) 프로그램에 따라 복합재료의 소재 인증을 손쉽게 할 수 있는 방법을 제시하였으며, 최소한의 시험 절차를 거쳐 인증된 복합재료를 항공기에 적용할 수 있게 되었음
- 현재 국내 개발되고 있는 4인승 소형항공기의 기체 제작에 사용되고 있는 복합소재는 고가의 외국산 수입 고성능 복합소재로서 항공기 제작단가 상승의 원인으로 지적되고 있음. 본 연구에서는 국산 복합소재를 선정하여 항공기 기체구조 설계/해석에 사용할 수 있는 물성치 및 기계적 강도 허용값 등에 대한 데이터베이스를 구축함으로써 향후, 소형항공기 보급형 양산모델 및 2인승 경항공기 나아가 국내 동급의 유사 항공기 개발시에 복합재료 기체구조 설계/해석 DB로서 활용
- 복합소재는 강화섬유와 기지(matrix)로 구성되어 있으며, 이방성 소재를 여러 층을 적층하여, 항공기 복합재료 기체구조물을 제작하는데 항공기 스킨 및 스파 등의 구조에 대한 강도/강성 및 설계허용치를 결정하기

위해서는 적층각의 배열과 두께의 변화 등에 따른 많은 수의 시편시험 결과가 필요

- 많은 수의 시편시험이 필요한 이유는 아직 강화섬유와 기지의 두 가지 재료로 구성된 복잡한 복합재료 구조의 파손강도를 해석적으로 정확히 예측할 수 없기 때문인데, 복합재료 파손강도에 대한 해석을 정밀하게 수행할 수 있다면, 시편시험 수량을 줄일 수 있을 것이며, 최근 이에 대한 연구가 국내외에서 활발히 진행 중
- 현재는 강화섬유와 기지가 복합적으로 구성된 복합재료에 대하여 강화섬유와 기지의 기계적 특성이 균질하게 분포된 이방성이라고 가정하고, 응력/변형률 값을 계산하는 수준이며, 복합재료를 구성하는 각 섬유와 기지 및 인터페이스에 대한 미시적인 응력/변형률 분포까지 분석하고 있지는 않음
- 복합재료 DB의 해석적 구축을 위하여 복합재료의 파손강도를 정밀하게 해석하기 위해서는 최근에 활발히 연구되고 있는 미시역학적 파손해석/점진적 파손해석/확률론적 구조해석 기법에 대한 연구 필요
- 복합재료 미시역학적 파손이론 해석 경험을 보유한 국내 대학 등 연구기관과의 위탁/공동 연구 협력을 통하여 복합재료 파손강도 정밀해석 프로그램을 효율적으로 개발
- 국내 생산 복합재료 프리프레그 3종을 경항공기에 사용하고 있는 외국산 소재의 규격을 목표로 특성 데이터베이스를 확립하여, 설계변경없이 국산소재 사용 가능도록 함
- 항공선진국의 인증체계를 벤치마킹하여 동등한 수준의 Part 23급 항공기용 복합재료 데이터베이스 및 관리 체계를 확립
- 공정표준화, 재료설계값 등이 지속적으로 적용될 수 있는 관리체계를 구축하여 데이터베이스를 공유할 수 있는 인증체제가 일과성이 아니라, 계속 유지할 수 있도록 법적인 체제 확립 추진

- 국내 복합재료 프리프레그를 국내는 물론 해외의 항공기에 사용가능하도록 상호 인정 가능한 인증용 복합재료 데이터베이스 확립
- 복합재료 특성 데이터베이스가 항공기 제작에 사용될 수 있도록 항공기부품 제작사, 재료공급자, 인증기관 및 학계의 전문가로 구성된 전문가그룹 활용 체제 구축
- 확립한 데이터베이스를 국내 항공기 부품 제작사와 공유하여 활용할 수 있는 장기적인 데이터베이스 관리체제 구축
- 본 과제의 성격이 소형항공기용 국산복합소재의 특성을 결정하기 위한 국가 인프라를 구축하는 것이므로, 참여업체에서 복합재료 패널제작을 부담하고, 시편제작/가공을 담당
- 참여업체는 복합재 DB를 국토해양부에 인증신청하고, 획득하여야 한다.
- 시험평가기관은 국가공인 시험인증기관이어야한다
- 주관기관은 참여업체가 인증을 획득할 수 있도록, 지원 및 관리하여야한다.
- 본 과제의 참여업체와 시험평가기관은 사업단에서 공모를 통하여 선정한다
- 국토해양부소관 연구개발사업 운영규정 제 44조 ④항에 따라 연구개발 결과물은 공공의 이익을 목적으로 활용하기 위하여 국가의 소유로 함

## 2. 연구의 필요성

- 항공기에 사용하는 복합재료의 양은 점차 늘어나고 있음

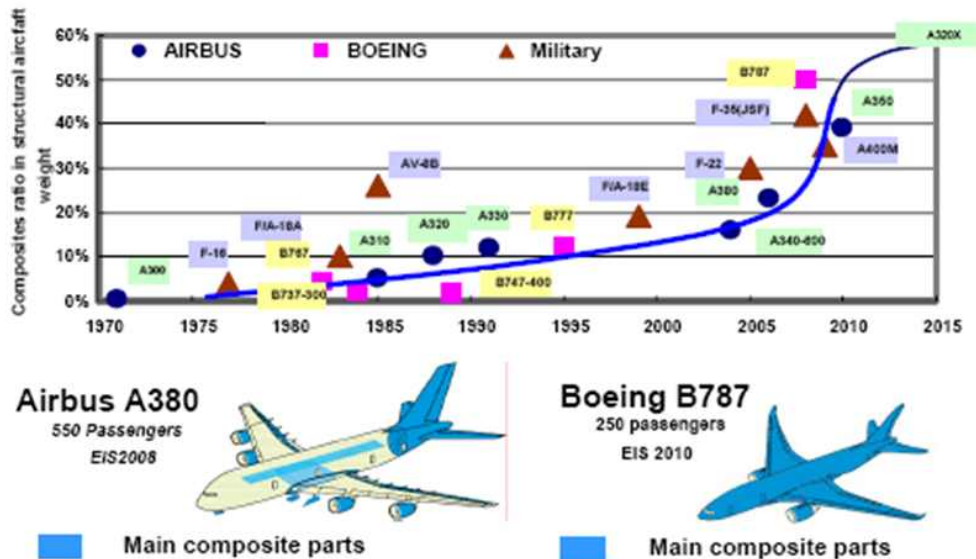


그림 2-1 연차별 복합재료의 적용 사례

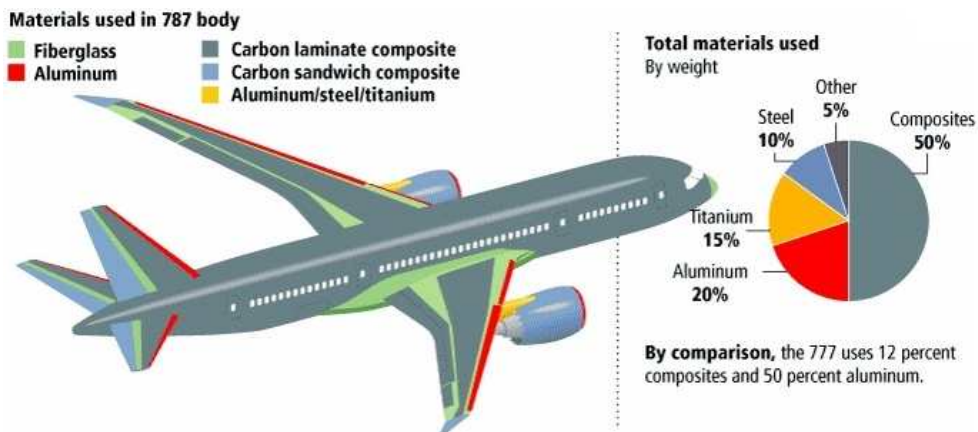


그림 2-2 B787 에 사용되는 복합재료의 무게

- 복합재료 항공기를 개발하기 위해서는 개발 초기 단계에 다양한 복합 소재 종류 중에서 기체 제작에 사용할 복합소재를 먼저 선정하여야 하며, 선정된 복합소재의 물적/기계적 특성 및 재료설계값 등에 대한 데이터베이스를 신속히 구축하여야 하고, 이 DB가 구축된 이후 비로소 항공기 구조설계에 착수할 수 있음

- Cirrus사의 SR20의 경우 엔진 장착부, 주 부품 결합 피팅, 그리고, 조종면을 제외한 모든 구조물을 탄소복합재료가 아닌 Glass/Epoxy 복합재료를 사용하여 비용 및 시간을 절감

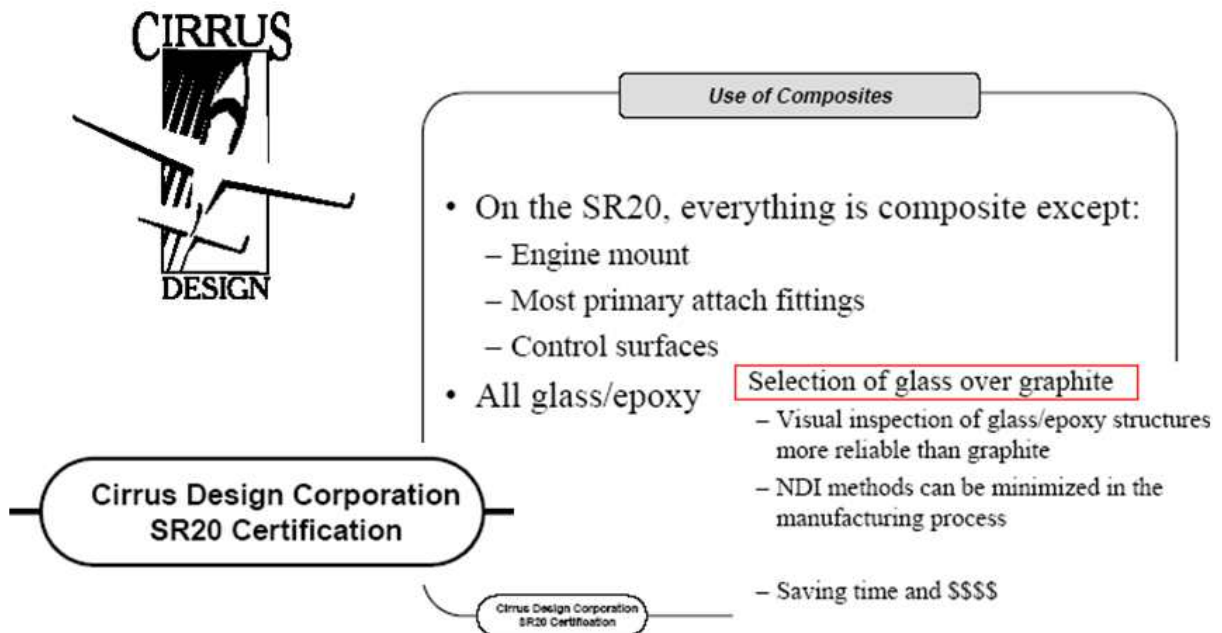


그림 2-3 SR20에 사용한 복합재료

### Major Certification References

- FAR 23 through Amdt. 46
- AFS-120-73-2 for Fatigue Spectrum
- AC 20-107A for general guidance on composites
- DOT/FAA/CT-86/39 for Vertical Stabilizer Fatigue

### Structural Summary

- E-Glass Prepreg
  - └ Fuselage Skins
  - └ Internal Bulkheads and Floors
  - └ Wing Skins
  - └ Spar Shear Web and Ribs
- Epoxy Wet Layup
  - └ Instrument Panel
  - └ Fairings

### Structural Summary

- Carbon Pre-preg
  - └ Control Surfaces, Flaps, Trim Tabs
    - Upper and Lower Skins co-cured without Secondary Bondlines
  - └ Cowling
- Carbon Uni
  - └ Spar Caps
  - └ Fuselage Longerons and Rollover Structure

### Structural Summary

- Polyester Wet Layup
  - └ Interior Side Panels
  - └ Non-Structural Covers
- Metal
  - └ Horizontal Stabilizer Tubes
  - └ Landing Gear
  - └ Engine Mount

그림 2-4 LC40의 복합재료 구조물

- 항공기용 복합소재 선정 및 DB 구축을 위하여 평균 1~2년 이상의 시간이 소요되는데, 항공기 개발사업의 착수가 결정된 이후에 이 복합소재 선정 및 DB를 구축하게 되면, 항공기 개발이 초기 단계에서 몇 년간 지연되는 문제가 발생함(금속재 항공기의 경우에는 이미 대부분의 소재에 대한 DB가 명확히 구축되어 있어 일정 지연의 문제가 전혀 없음)
- 항공기에 사용하는 복합재료의 양은 점차 늘고 있으나, 국내에서는 항공기 구조용으로 인증된 복합재료 소재가 없어서 전량 외국산을 사용해야 하는 실정

|               | KC100                 | 경항공기                             |
|---------------|-----------------------|----------------------------------|
| 프리프레그 생산자     | Toray America<br>(미국) | Park Electrochemical Co<br>(싱가폴) |
| 탄소섬유 단방향 Tape | T700-12K              | T700-24K                         |
| 탄소섬유 패브릭      | T700-12K              | T300-3K                          |
| 유리섬유 패브릭      | 7781 E-Glass 8HS      | 7781 E-Glass 8HS                 |

표 2-1 개발항공기에 사용 중인 외국산 복합재료 프리프레그

- AGATE 소재 등 외국산 소재를 일시적으로는 사용이 가능하나, 수입비용이 높고, 안정적인 수급이 어려우며, 원소재 수정시에 재인증 요구되어 다시 시험해야 하는 문제 발생
- 따라서, 차기 복합재료 항공기 개발사업이 예상되는 단계에서 대상항공기에 적합한 복합소재를 미리 선정하고, 특성 데이터베이스를 구축하는 작업을 미리 선행하게 되면, 실제 항공기 개발사업이 착수되었을 때, 일정 지연없이 바로 기체 구조 설계/해석 단계로 진입이 가능함
- 소형항공기의 저가형 복합소재 항공기 개발이 예상되는 현 시점에서 사용이 예상되는 복합소재에 대하여 미리 구조설계/해석용 DB를 구축하는 것은 매우 시기 적절하며, 반드시 필요한 연구개발이라 할 수 있음

- 항공기 구조물에 사용하는 복합소재의 특성 결정은 항공법상의 감항기준에 적합한 방법으로 수행되어야 함
- 복합소재의 특성상 많은 시험이 필요하므로, 상호 공유할 수 있는 체제를 확립하여 중복투자 방지 필요
- 개발 중인 소형항공기/경항공기의 세계시장 진출 시 안정된 수급을 위해 국산 복합재료 특성 데이터베이스 개발 필요
- 많은 비용이 요구되는 복합재료 특성 인증 데이터베이스를 공공목적으로 확립하고, 공유하여 신뢰성을 높이고 비용을 절감할 필요
- 항공기 복합재료 적층구조물을 구조적으로 안전하게 설계하기 위해서 현재는 구조물의 강도 안전성에 대한 해석적 평가 방법으로는 적층된 각 층의 평균응력/변형률 또는 적층판 전체에 작용되는 평균응력/변형률을 계산하고, 이를 본 연구에서 구축하는 것과 같은 복합재료 강도 DB의 설계기준값(시험으로부터 얻어진)과 비교하여 파손 발생여부를 사전에 평가하는 것임. 따라서, 이를 위해서는 적층각의 배열을 고려하여 미리 매우 많은 수의 시편에 대한 시험 결과 DB를 확보하고 있어야 함
- 위에서 적층 배열에 따라 많은 수의 시편 시험 결과 DB가 필요한 것은 아직 복합재료 강도에 대한 해석 방법의 정밀도가 높지 않기 때문에 이를 시험적으로 평가할 수 밖에 없기 때문이라 할 수 있음. 즉, 복합재료 파손강도에 대한 정확한 해석방법이 정립되어 있다면 시편 시험 회수를 상당히 절감할 수 있을 것임
- 최근 일반 Uni-Directional 프리프레그 적층 복합재료에 대해서 그림 2-5 와 같은 층 내부에서 강화섬유의 분포가 규칙적이고 반복적으로 나타난다고 가정하고, 한 개의 섬유를 포함하는 단위 영역을 모델링한 후 거시적인 외부응력/변형률 상태에 따른 단위 셀 내부 영역에서 응력/변형률 분포상태를 세밀하게 해석하고, 해당 미세영역의 파손 여부를 판단함으로써 복합재료 적층판 전체의 초기 파손 및 최종 파단 강도를 정밀하게 해석하고자 하는 복합재료

미시역학적 파손해석(Micro-Mechanical Failure Analysis)기법이 활발히 연구되고 있음

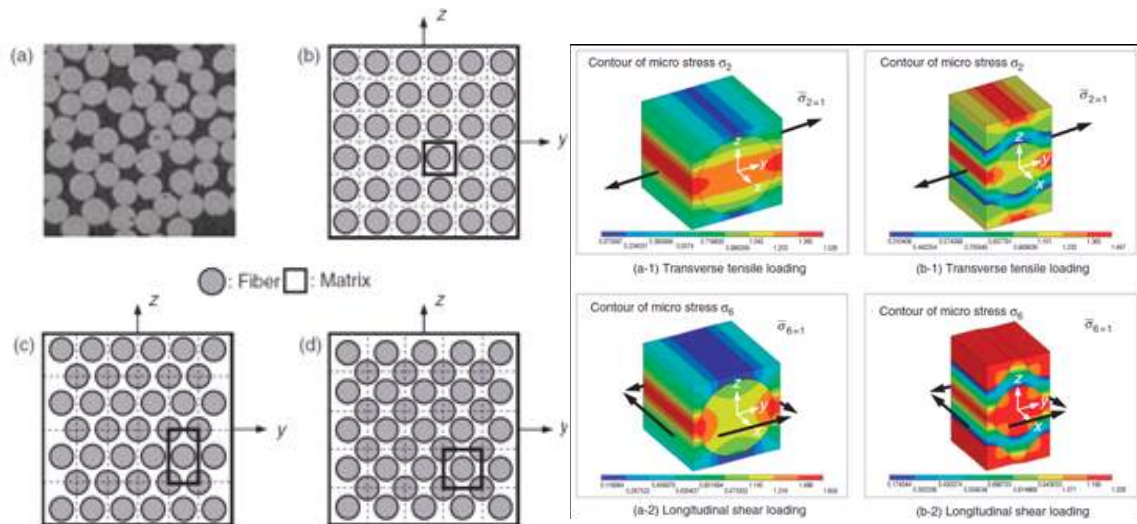


그림 2-5 Uni-Directional 복합재의 미시역학적 응력상태 해석을 위한 단위 셀 모델링

- 그림 2-6은 통상적인 유한요소 구조해석 결과로부터 미시역학적 파손이론을 적용하여 복합재료 구조물에 층간분리 파손 발생 여부를 해석하는 과정을 보여주고 있음

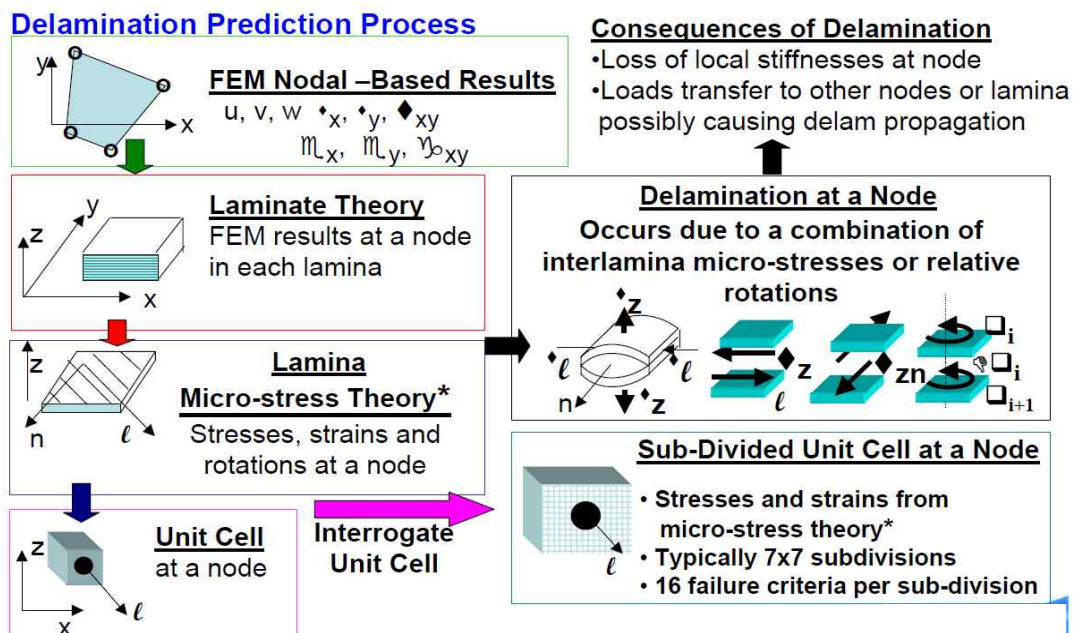


그림 2-6 복합재료 미시역학적 파손이론을 적용하여 층간분리 파손 발생을 해석하는 과정

- 복합재료 구조물의 강도를 정밀하게 해석하기 위해서는 복합소재의 미시역학적 파손 현상에 대한 물리적 의미를 정확히 이해하고, 이에 대한 파손기준식을 정립하여야 하며, 파손이 발생한 후에 해당 미세 구조물 영역의 강성을 얼마나 어떻게 저하시킬 것인가 하는 강성저하(Stiffness Reduction) 기준을 정립하는 것이 매우 중요함. 이와 같이 미세 파손의 발생여부를 판단하고, 해당 미세 구조물의 강성을 저하시키면서 전체 구조물의 최종 파단 발생시까지 하중을 증가시키면서 구조해석을 단계적으로 수행하는 것이 점진적 파손해석(Progressive Failure Analysis)기법임
- 상기와 같이 복합재료 파손강도 정밀해석을 위해서, 미시역학적 파손해석 기법 및 점진적 손상해석 기법을 개발하고, 최종적으로 복합재료 DB를 해석적인 방법으로 구축할 수 있는 가능성을 점검하는 것이 본 해석분야 연구의 목적임. 그런데, 통상적인 구조해석에서는 일반적으로 소재의 대표 물성치 값만을 적용하여 해석함으로써 구조물 강도에 대한 대표적인 해석결과 값을 얻게 됨. 그러나, 실제의 DB 구축을 위해서는 많은 수의 시편 시험을 통한 통계적인 시험 결과 분포가 필요하며 따라서, 해석적인 방법으로 복합재료 DB 구축을 시도하기 위해서는 기본 물성치의 통계적인 분포를 반영하여 해석된 다양한 파손 강도 통계값들이 계산되어야 함
- 즉, 이를 위해서는 확률론적인 구조해석(Probabilistic Structural Analysis) 방법을 적용하여, 소재 특성의 통계 분포를 반영한 해석결과를 구하여야 함. 먼저, 여러 가지 소재 특성에 대한 시험적 통계 분포 자료가 필요하며, 이 값들을 앞에서 살펴본 복합재료 파손강도 정밀해석에 적용하여, 소재 특성의 통계 분포 특성에 따라 많은 경우의 수에 대한 해석을 수행하여 복합재료 강도에 대한 통계적인 해석결과를 얻어야 함. 이 과정에서 많은 수의 해석을 효율적으로 수행하기 위한 확률론적 구조해석 방법을 연구하여야 함

### 3. 정부지원의 타당성

- 강도 및 강성이 우수한 복합재료를 사용하여 항공기 및 기차 등의 경량화 구조물을 설계 개발하기 위해서는 해당 복합소재에 대한 물성치 및 기계적 재료설계값 등에 대한 DB가 필요함
- 특정 복합소재에 대하여 많은 수의 시편에 대한 시험을 거쳐 구조 설계/해석용 DB가 일단 구축된 이후에는 복합재 구조 제작 공정 확인 및 시편 물성치 확인을 위한 최소한의 수락시험만을 통하여 해당 복합소재 전체 DB를 이용하여 복합재료 구조물을 설계/해석 제작할 수 있음
- 미국 NASA는 1990년대 복합재료 파손강도 정밀해석 소프트웨어를 주관 개발하고, 2000년대 이를 상용화 보급하였으나, 세부 기술은 대외 미공개 하고 있음. 따라서, 국내에서도 정부 주도로 복합재료 DB를 구축하고, 복합재료 파손강도 정밀해석 기법의 개발을 추진하여 개발된 해석 기술을 국내 연구기관 및 산업체에 보급함으로써 복합재료 구조 설계/해석 개발에 대한 국내 산업의 경쟁력 향상을 지원할 필요가 있음
- 국내의 어느 한 기관에서 연구개발비를 선행 투입하여 일단 DB가 구축된 복합소재는 국내 다른 기관에서 해당 복합소재를 활용하고자 하는 경우에 DB 구축을 위한 중복 투자없이 공동으로 활용이 가능함. 복합소재 DB의 이러한 특성 때문에 복합재료 특성 데이터베이스 구축은 국가기관에서 주도적으로 수행하여 DB를 구축하고 관리할 필요가 있음
- 항공우주 복합소재 선진국인 미국, 일본 등에서도 복합재료 물성치 및 기계적 설계허용치 등에 대한 DB 구축 및 관리를 전문기관인 FAA/NASA 또는 JAXA에서 주도적으로 수행하고 있음
- 미국 FAA는 NASA와 함께 AGATE (Advanced General Aviation Transport Experiment) 프로그램을 통해서 복합재료 특성결정 및 인증방법을 개발하여 공표하였음(2002년, 미국 연방공시 Policy Number PS-ACE 100-2002-006)

| 순번 | 분 야                                          | %   |
|----|----------------------------------------------|-----|
| 1  | Program Management                           | 10  |
| 2  | Program Operation                            | 9   |
| 3  | Integration Platform                         | 15  |
| 4  | Icing Protection Systems                     | 5   |
| 5  | <u>Integrated Design &amp; Manufacturing</u> | 27  |
| 6  | Propulsion Sensors & Controls                | 7   |
| 7  | Flight Systems                               | 27  |
| 계  | NASA의 Seed Funding만 나타낸 것임                   | 100 |

그림 3-1 AGATE의 분야별 예산 배분률 (5번이 복합재료 설계 및 제작 분야)

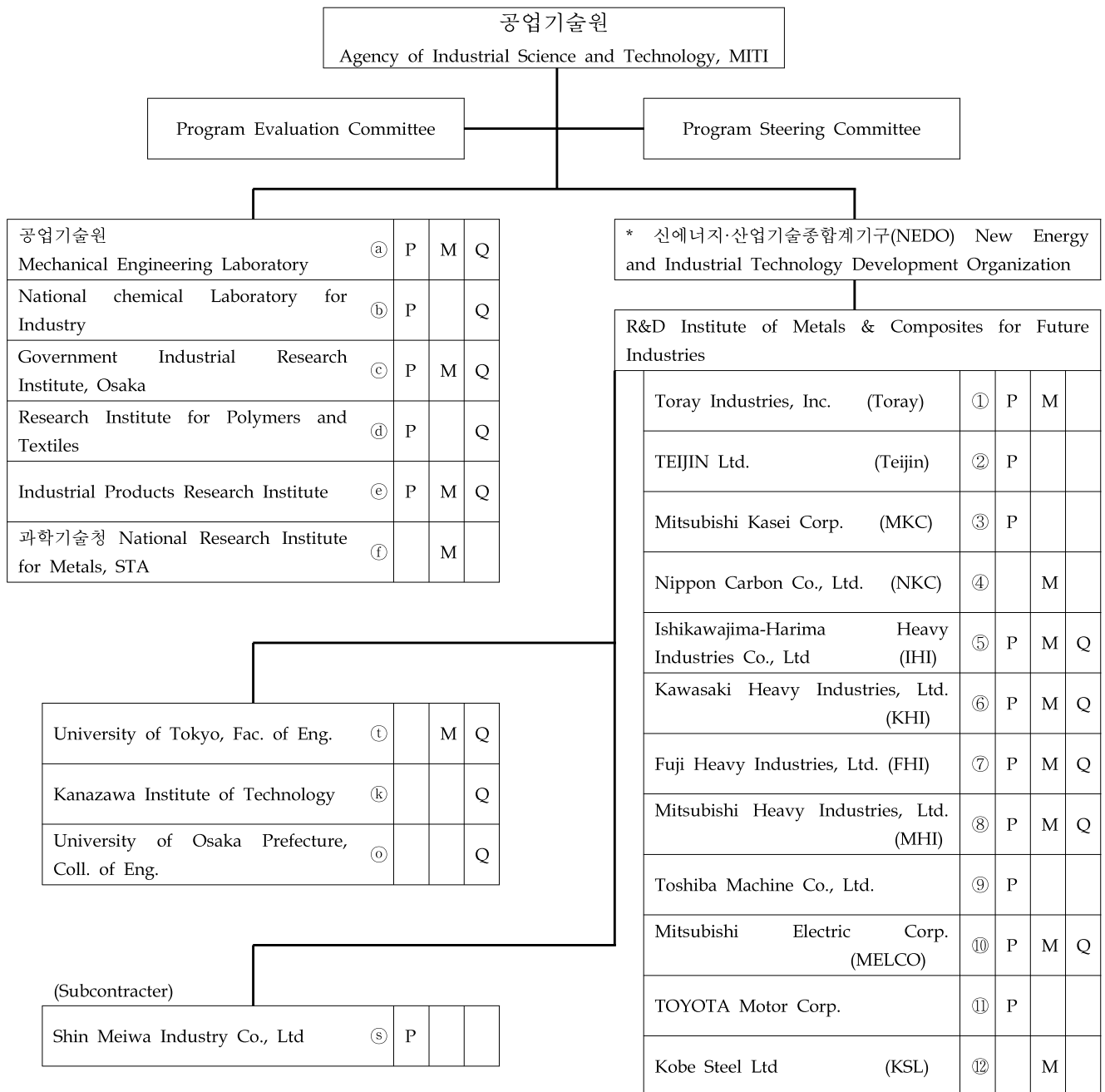
- Integrated Design & Manufacturing Work Package Mission의 참여업체는 다음과 같음

Cessna Aircraft Company, Cirrus Design Corporation, Global Aircraft Corp., Lancair International Incorp., Mod Works Incorporated, Raytheon Aircraft, Simula Government Products Incorp., Stoddard-Hamilton Aircraft Incorp, NIAR

- 일본 공업진흥원(MITI)에서 일본산 섬유를 강화재로하여 구조용 복합재료를 개발하기 위하여 비강성 비강도의 방향성의 적극적 활용, 일체화구조에 의한 생산성 및 신뢰성 향상등을 합한 “설계-소재-성형-품질-평가”에 이르는 일련의 연구를 1981년부터 8년 계획으로 진행하여 1989년에 종료하였음

산학연 공동연구체계 : 국립 시험연구소 6, 대학 3, 참여기업 12

※ 연구내용 : 에폭시수지의 내열성, 성형성, 일방향 탄소섬유(T400) 수지함침 테이프 복합재료 데이터베이스, 공정관리, 품질평가, 운영환경에 따른 정적 및 동적특성, 결함검출, 신뢰성해석, 시험방법개발, 그리고, 시험결과의 보존, 통계해석 및 공유 데이터베이스 구축



P: Polymer matrix composites

M: Metal Matrix composites

Q: Quality evaluation and design technology

\*: Beginning with October 1, 1988.

그림 3-2 차세대 복합재료의 연구개발 조직(1981-1989)

## 4. 국내·외 기술개발 동향

### 가. 관련 규정

#### (1) 국외 규정

##### (가) 미국 연방항공법

§ 23.601 General

§ 23.603 Materials and Workmanship

§ 23.605 Fabrication Methods

§ 23.613 Material Strength Properties and Design Values

##### (나) FAA의 관련 Advisory Circular (AC) 규정

AC 20-107B, Composite Aircraft Structure.

AC 21-26, Quality Control for the Manufacture of Composite Structures.

AC 21-31, "Quality Control for the Manufacture of Non-metallic  
Compartment Interior Component"

AC 23-20, "Acceptance Guidance on Material Procurement and Process  
Specifications for Polymer Matrix Composite Systems"

Federal Register, Vol. 65, No. 114(Policy State Number ACE-00-23.613-01),  
June 13, 2000.

PS-ACE 100-2002-006, "Material Qualification and Equivalency for Polymer  
Matrix Composite Material Systems", September 15, 2003.

##### (다) FAA의 관련 문서

DOT/FAA/AR-02/109, Guidelines and Recommended Criteria for the Development  
of a Material Specification for Carbon Fiber/Epoxy  
Unidirectional Prepregs, April 2003.

- DOT/FAA/AR-02/110, Development of Process Specifications, Instructions, and Controls for the Fabrication of Fiber-Reinforced Polymer Composites, April 2003.
- DOT/FAA/AR-03/19, "Material Qualification and Equivalence for Polymer Matrix Composite Material Systems: Updated Procedure" September 2003 (supercedes DOT/FAA/AR-00/47)
- DOT/FAA/AR-06/25, Preliminary Guidelines and Recommendations for the Development of Material and Process Specifications for Carbon Fiber-Reinforced Liquid Resin Molded Materials, March 2007.
- DOT/FAA/AR-07/03, Guidelines and Recommended Criteria for the Development of a Material Specification for Carbon Fiber/Epoxy Unidirectional Prepregs Update, March 2007.
- DOT/FAA/AR-06/10, Guidelines and Recommended Criteria for the Development of a Material Specification for Carbon Fiber/Epoxy Fabric Prepregs, May 2007.

## (2) 국내 규정

- 항공법 제 17조(형식증명)
  - 항공안전본부 고시 2008-36호
  - 항공안전본부 고시 2006-53호
- 항공법 시행규칙 제 31조-제 35조 [국토해양부령 제164호, 2009.9.10, 일부개정]
- 항공우주산업개발 촉진법 제 10조(성능검사 및 품질검사)
- 항공기 기술기준, KAS Part 23



그림 4-1 국내 항공관련 규정

## 나. 국외 기술개발 동향

### (1) 기술개발 동향

- 현재 전세계 탄소섬유 시장 점유율(2010년 기준)은 일본 도레이가 40%로 1위, 도호테낙스가 17%, 미쓰비시레이온이 13%로 일본 3개 업체가 70% 이상을 차지하고 있음. 이밖에 30% 가량은 미국, 대만, 독일, 영국, 프랑스 등 화학섬유 선진국과 중국이 소량 생산 중인 것으로 집계됐음
- 항공기 시장 즉, 폴리아크릴로니트릴(PAN)계만 한정할 경우, 일본 도레이가 60% 이상의 점유율을 차지
- 일본 공업진흥원(MITI)에서 1980년대부터 복합재료 데이터베이스시스템(PRODACOM)을 운영했으며, 기본 소프트웨어는 EPOACE를 사용했음
- 일본 JAXA에서 “선진복합재료역학특성데이터베이스”를 확립하여 운영하고 있으며, CMC-17(구 MIL-HDBK-17) 규격으로 구성되어 있음

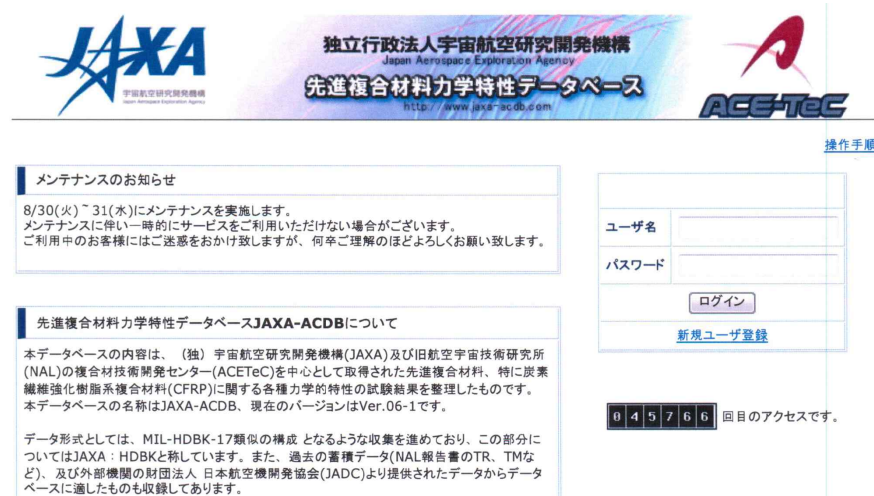


그림 4-2 일본 JAXA의 “선진복합재료역학특성데이터베이스” 홈페이지  
(www.jaxa-acdb.com)

- 복합재료를 사용하여 우주항공 부품을 설계할 때, 국내는 물론, 미국을 비롯한 우주항공선진국의 감항규정에서 민간과 군용 모두 통계적으로 산출된 값을 사용할 것을 요구하고 있음

(참고: 기존의 FAR §23.613 에는 A-basis, B-basis를 사용할 것과, MIL-HDBK-5 와 MIL-HDBK-17이 명시되었으나, 기존 군사규격의 민간 규격화로 바뀜에 따라 생략되었고, 대신 일반적인 표현으로 변경되었음)

#### • § 23.601 General

The suitability of each questionable design detail and part having an important bearing on safety in operations must be established by tests.

#### • § 23.603 Materials and Workmanship

- (a) The suitability and durability of materials used for parts, the failure of which could adversely affect safety, must –

- (1) Be established by experience or tests;
- (2) Meet approved specifications that ensure their having the strength and other properties assumed in the design data;
- (3) Take into account the effects of environmental conditions, such as temperature and humidity, expected in service.

- (b) Workmanship must be of a high standard.

## • § 23.605 Fabrication Methods

- (a) The methods of fabrication used must produce consistently sound structures. If a fabrication process (such as gluing, spot welding, or heat-treating) requires close control to reach this objective, the process must be performed under an approved process specification.
- (b) Each new aircraft fabrication method must be substantiated by a test program.

## • § 23.613 Material Strength Properties and Design Values

- (a) Material strength properties must be based on **enough tests of material** meeting specifications to establish design values on a statistical basis.
  - (b) Design values must be chosen to minimize the probability of structural failure due to material variability. Except as provided in paragraph (e) of this section, compliance with this paragraph must be shown by selecting design values that ensure material strength with the following probability:
    - (1) Where applied loads are eventually distributed through a single member within an assembly, the failure of which would result in loss of structural integrity of the component; 99 percent probability with 95 percent confidence.
    - (2) For redundant structure, in which the failure of individual elements would result in applied loads being safely distributed to other load carrying members; 90 percent probability with 95 percent confidence.
  - (c) The effects of temperature on allowable stresses used for design in an essential component or structure must be considered where thermal effects are significant under normal operating conditions.
  - (d) The design of the structure must minimize the probability of catastrophic fatigue failure, particularly at points of stress concentration.
  - (e) Design values greater than the guaranteed minimums required by this section may be used where only guaranteed minimum values are normally allowed if a “premium selection” of the material is made in which a specimen of each individual item is tested before use to determine that the actual strength properties of that particular item will equal or exceed those used in design.
- 본 보고서에서는 § 23.613 (b)의 Design values를 “재료설계값”으로 해석하였으며, 항공기 구조물의 설계 및 해석에 사용하는 재료특성의 최저값이며, 통계적으로 결정되어야 함

**A-Basis (A-Value):** A statistically-based material property; a 95% lower confidence bound on the first percentile of a specified population of measurements. Also a 95% lower tolerance bound for the upper 99% of a specified population (§ 23.613 (b)(1) 에 해당)

**B-Basis (B-Value) :** A statistically-based material property; a 95% lower confidence bound on the tenth percentile of a specified population of measurements. Also a 95% lower tolerance bound for the upper 90% of a specified population (§ 23.613 (b)(2) 에 해당)

- 이러한 통계조건을 만족하는 재료설계값을 얻기 위해 많은 시험이 필요하며, 예를 들면, 금속재료의 경우 MMPDS(Metallic Materials Properties Development and Standardization) Handbook에 따르면 §23.613(b) (1)에 해당하는 A-값을 얻기 위해 동일조건에서 300개의 시험, B-값의 경우 100개의 시험이 요구됨
- 복합재료의 경우 공정의 복잡성과 재료특성이 공정에 따라 변하고 방향성이 있으므로 많은 시험이 요구되고 있음(최소 5배치(batch) 요구)

| Mechanical Property    | Test Condition <sup>2</sup> and Number of Tests Per Batch <sup>3</sup> |        |               | Number of Tests |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------|---------------|-----------------|
|                        | Min. Temp Dry                                                          | RT Dry | Max. Temp Wet |                 |
| 0° Tension (warp)      | 6                                                                      | 6      | 6             | 90              |
| 90° Tension (fill)     | 6                                                                      | 6      | 6             | 90              |
| 0° Compression (warp)  | 6                                                                      | 6      | 6             | 90              |
| 90° Compression (fill) | 6                                                                      | 6      | 6             | 90              |
| In-plane Shear         | 6                                                                      | 6      | 6             | 90              |
| 0° Short Beam Shear    | -                                                                      | 6      | -             | 30              |
|                        |                                                                        |        |               | 480             |

표 4-1 경화된 라미나의 기계적 특성시험의 Test Matrix의 예  
(Composite Materials Handbook-17, Vol. 1, 도표 2.3.2.3(b))

- 복합재료 데이터베이스는 시간에 따른 재료특성의 일관성을 파악하기 위하여, 물리적·화학적·기계적인 특성을 정량화하고, 공정변수의 사용한계를 정하며, 환경조건에 대한 기계적 설계특성을 정량화 하여, 적절한 재료를 사용하기 위한 Building Block 정보를 제공해야 함

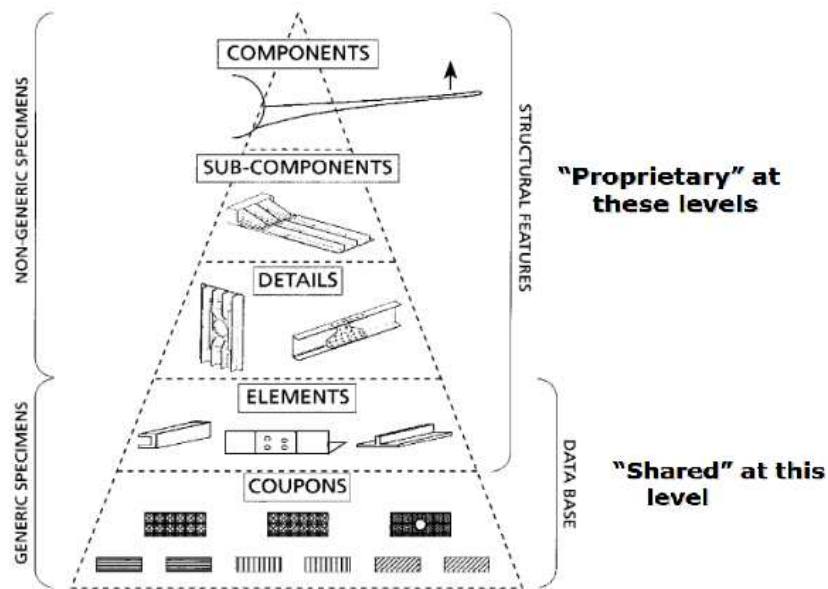


그림 4-3 Building Block Approach를 위한 데이터베이스  
(Composite Materials Handbook-17, Vol. 1, 그림 2.1.1(a))

- 이제까지 이러한 재료특성의 데이터베이스를 제작용체, 재료공급자, 그리고, 항공기 개발자가 서로 독자적인 데이터베이스를 확보하여 감항당국의 승인을 받아왔으므로 데이터개발이 중복되고 개발에 많은 비용과 시간이 드는 문제가 있었음
- AGATE의 11개 Work Package Missions 중 Integrated Design & Manufacturing 임무에서 항공기의 제작 비용과 무게를 줄이기 위하여 다음 4가지 분야를 담당함.

Low Cost Design & Manufacturing Methods

Non-Destructive Testing

Composite Material Properties

Crashworthiness

| WPN                                                                                                                                           | 세부임무분야                                                                                                                                         | 주관         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1                                                                                                                                             | Flight Systems<br>- 소형항공기에 전천후 비행능력 부여.<br>- 소형항공기 급에 적절한 가격의 MFD 등<br>- 해당 계통의 설계지침 및 인증기준                                                    | LaRC       |
| 2                                                                                                                                             | Propulsion Sensors & Controls<br>- 엔진의 전자제어 및 고장진단 등<br>- DOC 및 환경오염/소음 경감 등<br>- 해당 계통의 설계지침 및 인증기준                                           | GRC        |
| 3                                                                                                                                             | <u>Integrated Design &amp; Manufacturing</u><br>- 기체 및 프로펠러의 중량감소/가격인하<br>①저가의 설계 및 제작 방법<br>②비파괴 검사<br>③복합재료 물성치<br>④Crashworthiness          | LaRC       |
| 4                                                                                                                                             | Icing Protection Systems<br>- 종류/형에 적합한 새로운 방빙계통<br>- 기체 결빙 예측능력 향상<br>- 해당 계통의 설계지침 및 인증기준                                                    | GRC        |
| 5                                                                                                                                             | AGATE Integration Platform<br>- 시뮬레이션과 비행시험을 수행<br>- 기타 임부분야의 진도확인<br>- 관련기술 DB개발 과 설계지침 및 인증기준 개발을 위한 시험                                      | LaRC       |
| 6                                                                                                                                             | Flight Training Curricula<br>- 첨단 훈련 기술/기법의 개발 및 입증<br>- FAA FAR Part 141 관련<br>- IFR RATING 취득/유지에 소요되는 시간 및 비용 절감                            | FAA & LaRC |
| 7                                                                                                                                             | Airspace Systems Infrastructure, SATS 연계                                                                                                       | FAA & LaRC |
| 8                                                                                                                                             | Ground Systems Infrastructure, SATS 연계                                                                                                         |            |
| 9<br>10<br>11                                                                                                                                 | Program Assurance, Program Analysis, Systems Assurance<br>- AGATE로 확보되는 기술개발, 설계지침, 인증기준이 단발 소형항공기에 경제적으로 적합하도록 유도.<br>- 미국 GA산업의 단기간 내 부흥을 유도 | LaRC       |
| WPN = Work Package Number<br>LaRC = NASA Langley Research Center<br>GRC = NASA Glenn Research Center<br>FAA = Federal Aviation Administration |                                                                                                                                                |            |

표 4-2 AGATE의 11 개 Work Package Missions

- 전통적으로 복합재의 파손 여부를 판단하는 일반적인 파손이론은 lamina-base 또는 laminate-base 이론이었음. 즉, 복합재료 적층판의 한 층 또는 전체 적층판에 작용하는 평균 변형률/응력을 바탕으로 해당 층 또는 적층판 전체의 파손 여부를 판정하였음

- 최근에는 복합재료 한 층을 구성하는 강화섬유와 기지를 구분하여 각각의 변형률/응력 분포를 해석하고, 각각의 구성 성분에 적합한 파손기준식을 적용하는 미시역학적 파손이론(MMF, Micro-Mechanical Failure Theory)을 적용하여 복합재료 구조강도를 정밀하게 해석하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있음
- NASA는 1990년대 복합재료 미시역학적 파손이론을 적용한 복합재료 파손강도 정밀해석 소프트웨어를 개발하고, 2000년대 이를 상용화하였음  
그림 4-4는 복합재료 미시역학적 파손이론을 적용하여 항공우주 비행체 구조물의 구조 강도를 단계적으로 해석하는 일련의 흐름을 보여주고 있음

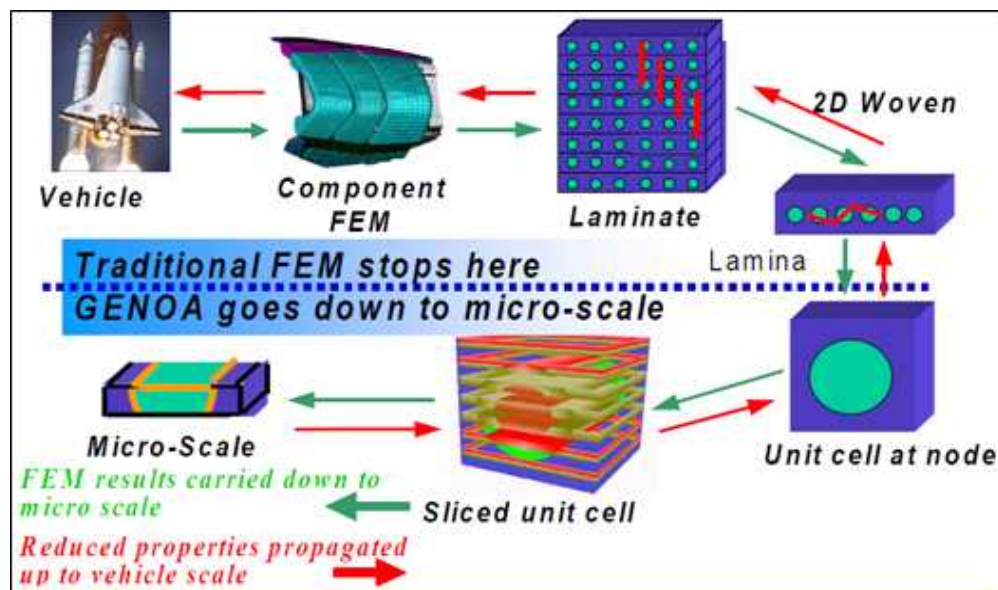


그림 4-4 복합재료 미시역학적 파손이론을 적용한 항공우주 비행체 구조 강도 해석 단계

- 상기 상용 소프트웨어는 그림 4-5과 같이 미시역학적 관점에서의 20개 이상의 파손기준식을 적용하고 있는데, 파손기준식에 대한 상세한 내용은 공개하지 않음으로써 자신들의 첨단해석 기법의 국외 유출을 막고 있음

## Damage Failure Criteria

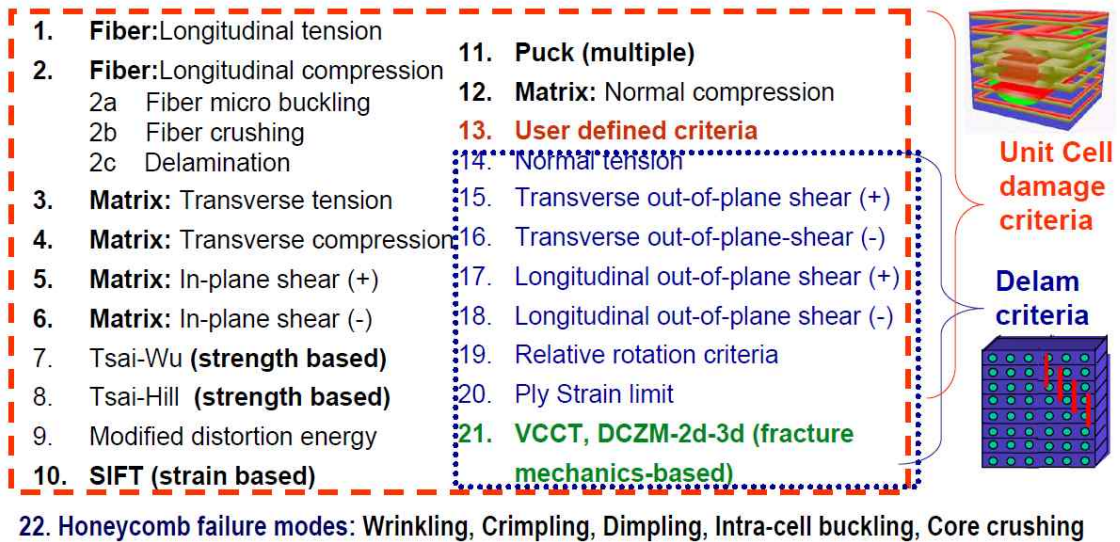


그림 4-5 20여개의 파손기준식을 적용하여 미시역학적 파손 발생여부 판단 해석

- 또한, 상기의 파손기준식 뿐만 아니라 파손 발생 후 강성을 저하시키는 과정에 대해서도 상세한 기술 내용을 공개하지 않고 있으며, 복합재료 파손강도 정밀해석 첨단 기법에 대한 국외 유출을 막고 있음
- 현재 상기의 상용 소프트웨어를 활용한 해석결과가 FAA의 항공기 구조 설계 인증을 위한 해석 데이터로서 인정을 받고 있지 않지만, 미국 NASA, 보잉 등 여러 항공기 제작 기관에서 복합재료 구조물의 설계 개발 단계에서 파손 강도를 사전에 예측하기 위한 내부 연구용으로는 활발히 사용 중인 것으로 알려져 있으며, 일본의 JAXA 등 많은 해외 연구기관에서 이를 확보하여 연구에 활용 중인 것으로 알려져 있음
- 이외 보잉이나 Stanford 대학의 실험실에서 복합재료 미시역학적 파손이론에 대한 기본 연구를 매우 활발히 진행하고 있는 것으로 알려져 있으나, 그들의 연구 성과와 NASA에서 개발한 소프트웨어와의 기술적인 관계 등에 대해서는 아직 정확히 파악되지 않고 있으며, 향후, 본 과제 진행과 더불어 더 세밀하게 국외 연구 동향 파악을 추진할 필요가 있음
- FAA의 복합재료 특성 데이터베이스 구축을 위한 활동이 그림4-6에 요약 되어 있음

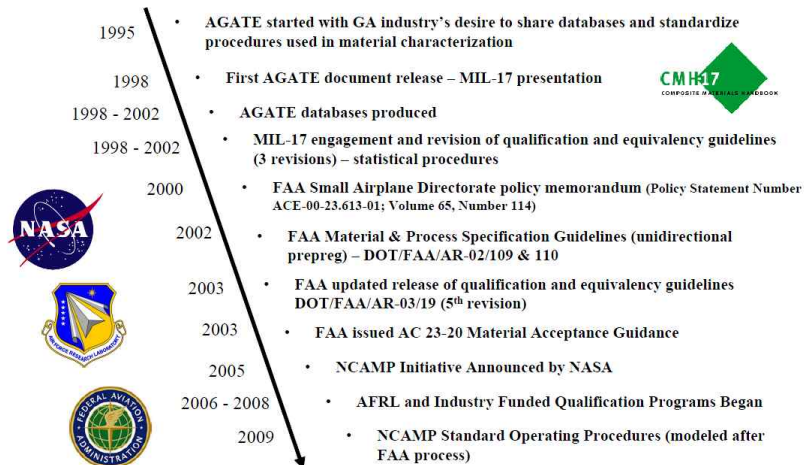


그림 4-6 복합재료 데이터베이스관련 미국 FAA 의 활동  
(55th PMC 회의, Nov. 16, 2009, Atlanta, GA., U.S.A.)

## (2) 기술 및 운영 현황

- 미국 FAA에서 시험 개수를 줄이면서 동시에 통계적 기준을 만족할 수 있는 새로운 복합재료 인증방법을 NASA와 함께 AGATE (Advanced General Aviation Transport Experiment) 프로그램을 통해서 개발하여 공표하였음(2002년, Policy Number PS-ACE 100-2002-006)
- 새로운 방법과 기존 방법의 차이는 다음 표에 나와 있음. 기존에는 이미 인증을 받은 재료-X를 다른 항공기에 사용할 경우, 다시 감항당국의 인증절차를 거쳐야 재료 설계값을 사용할 수 있었으나, 새로운 방법에서는 복합재료 데이터베이스를 감항당국에서 관리하여, 다른 사업에서 사용할 경우, Re-Qualification 절차만 거치면 사용할 수 있도록 간소화 하였음

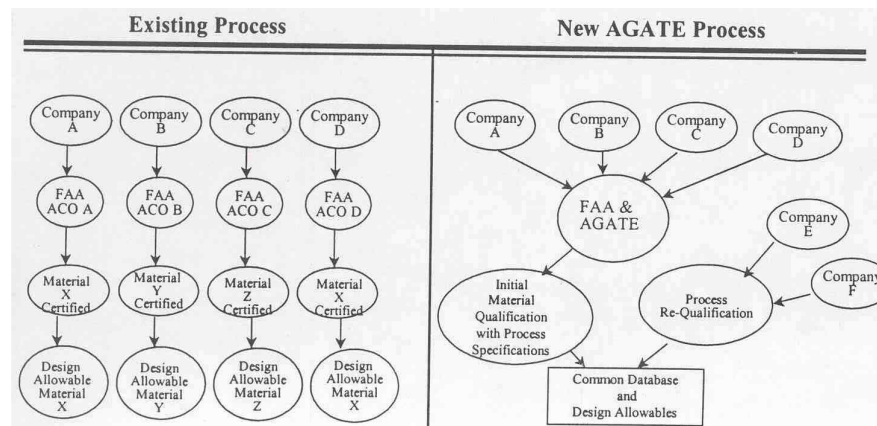


그림 4-7 AGATE 프로그램에서 제안한 복합재료 데이터베이스 활용  
(40th PMC 회의, Oct. 25, 1999, Andover, MA, U.S.A.)

- 새로운 방법은 안정된 재료특성과 공정에 대한 데이터베이스를 감항당국에서 제공하며, 재료의 변동성을 정량화 관리하고, 항공기용 재료의 인증시에 개발된 여러 배치의 데이터베이스에 기초한 수락기준을 포함한 재료 및 공정규격서를 결정함
- 복합재료를 설계 및 구조에 사용하기 위한 절차는 다음과 같음

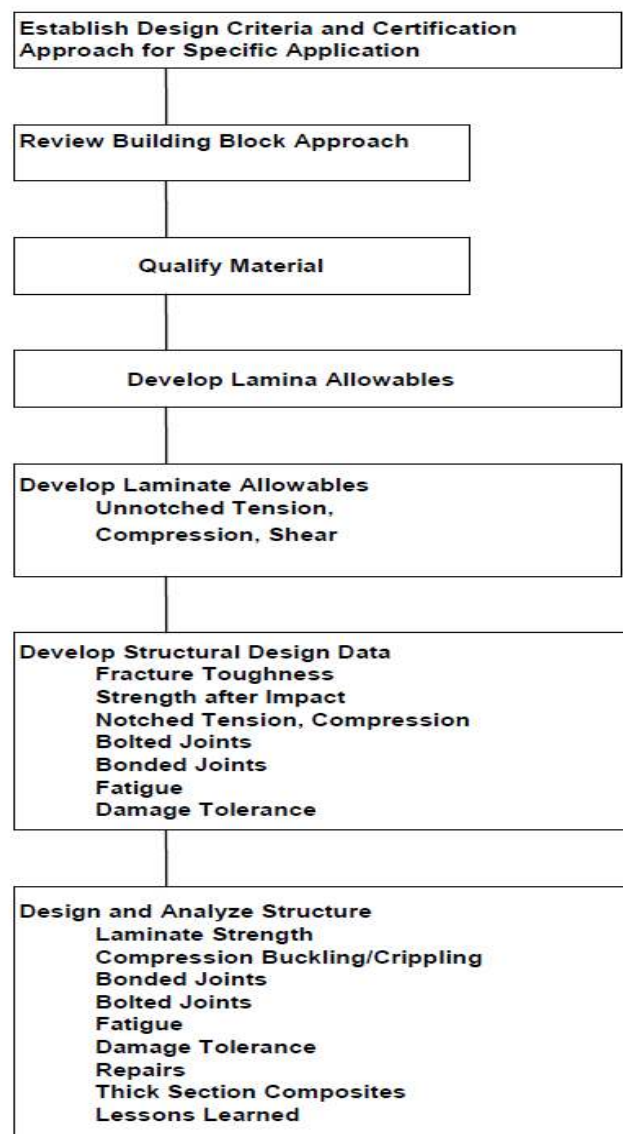


그림 4-8 Roadmap-Use of New Material in Design and Structural Substantiation  
(Composite Materials Handbook-17, Vol. 1)

- 항공기용 복합재료 데이터베이스와 관련한 승인 활동은 재료인증(Material Qualification), 재료동등성(Material Equivalence), 그리고 수락시험(Acceptance Test)으로 구성되어 있음

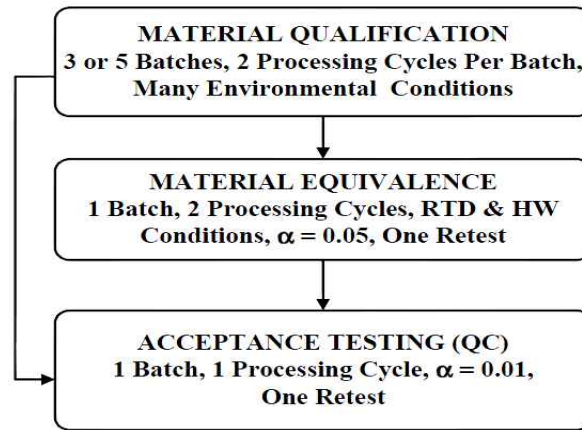


그림 4-9 복합재료 데이터베이스와 활용  
(Composite Materials Handbook-17, Vol. 1)

- 복합재료 특성 데이터베이스는 형식증명에 필요한 구조입증(Structural Qualification)의 일부분임

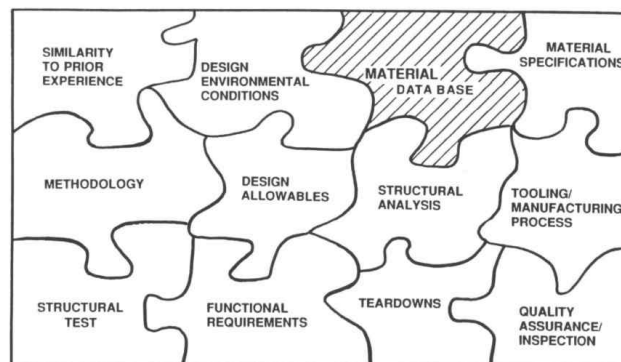


그림 4-10 형식증명과 복합재료 데이터베이스의 관계

- 재료인증 (Material Qualification) 절차는 항공기에 사용하고자하는 재료 특성/공정이 그 재료로 구성된 부품의 설계 안정성 및 운용범위에 벗어나지 않는다는 것을 시험으로 보여주는 것이며, 이때에 파괴나 손상이 단지 통계적 무작위로만 발생이 가능하다고 가정함

- 원천 규격 요구값(original specification requirement values)을 확립
  - 통계적인 방법으로 재료승인, 동등성, 품질관리, 설계값 등을 확립하기 위한 주요 재료특성의 정량적인 평가
  - 표본요구조건, 통계결정방법, 시험방법, 파괴모드, 그리고, 데이터 문서화
- 재료동등성 (Material Equivalence) 시험은 이미 승인된 복합재료를 다른 제작사가 사용하거나, 같은 제작사의 다른 장소에서 부품을 제작할 때 사용할 수 있음. 이때에 기존에 승인 받은 원천 데이터베이스와 통합하여 사용할 수 있음

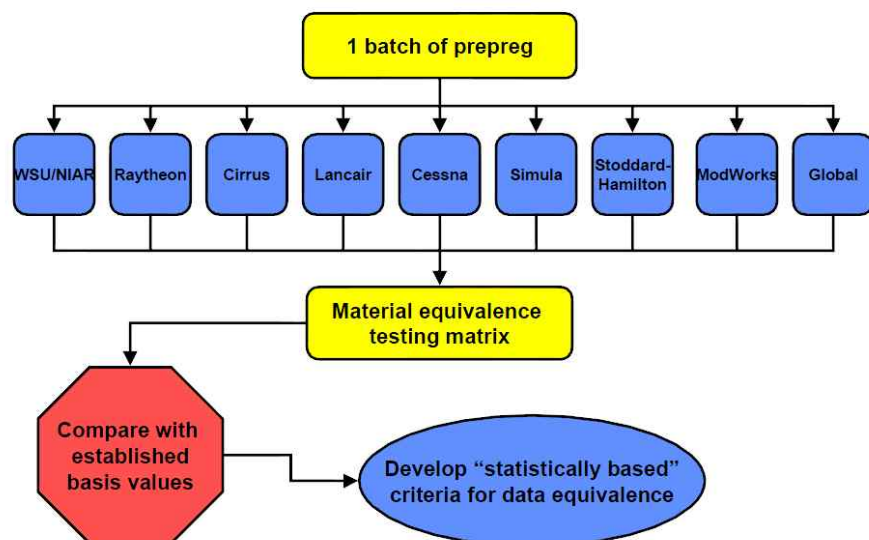


그림 4-11. 재료동등성 절차를 활용한 데이터베이스 개발

(40th PMC 회의, Oct. 25, 1999, Andover, MA, U.S.A.)

- 재료 동등성 과정은 다음의 경우에만 적용가능 :
- (a) 동일한 제조공정을 사용하는 동일한 제조자가 동일한 재료를 다른 장소에서 제조할 경우
  - (b) 동일한 재료를 다른 제조자가 “Original” 공정과 동등한 공정을 사용하여 제조할 경우

- (c) 동일한 재료를 다른 제조자가 "Original" 공정과 약간 다른 공정을 사용하여 제조할 경우
- (d) 프리프레그 성분 및 성분 제조공정에서 약간의 차이가 있는 경우
- (e) 위의 경우가 중첩될 경우
  - 위에서 언급한 변화들은 다음의 제한이 있음
    - ① 모든 Critical 프리프레그 성분 및 성분 제조공정은 변화가 없어야 함
    - ② Original 재료와 시험할 재료 시스템을 제작하는데 사용되는 공정 설명서에 나와 있는 모든 Critical step들은 동등해야 함
    - ③ 시험할 재료의 제작은 다음의 CFR의 조건을 포함해야 한다.
      - §23.603 (a) and (b)
      - §23.605 (a) and (b)
- 다음은 중요한 재료 변화의 유형으로, 재료 동등성에서 다루지 않음
  - (a) Fiber의 변화 (예, AS4에서 T300 Fiber로의 변화)
  - (b) Resin의 변화 (예, 3501-6에서 E7K8 Resin으로의 변화)
  - (c) Fabric weave style (예, 8-Harness 수직직에서 평직으로의 변화)
  - (d) Tow size of fabric (예, 6K에서 3K로의 변화)
- 사소한 재료 및 공정 변화의 유형은 다음과 같음
  - (a) 시험공정의 경화 압력 또는 진공 수준의 증대. 이것은 Oven curing (Vacuum only)에서 Autoclave curing으로의 변화를 포함. 시험공정의 압력 또는 진공 수준의 감소는 일반적으로 허용되지 않음
  - (b) 프리프레그의 Resin 함량, Normalization 과정은 Fabric material보다는 일축 재료에 더 유용
  - (c) Dwell time, 가열속도와 같은 변수
  - (d) 프리프레그 Tackiness

- 수락시험(Acceptance test)은 재료입수검사(Material receiving inspection) 또는 원소재 품질관리 시험(Raw material quality control testing)로서 입수한 프리프레그 로트(lot)의 대규모 변화나 예외적으로 높거나 낮은 특성들을 찾아내기 위한 목적의 시험임
  - 본 시험은 재료나 제작공정의 어떠한 변화도 허용하지 않으므로, 재료와 제작공정은 “Original” Qualification에 사용된 것과 동일해야 하고, 또는 재료 동등성이 증명되었을 경우 재료 동등성 시험에 사용된 것도 동일해야 함
- 그동안 수행했던 AGATE (NASA Advanced General Aviation Transport Experiment) 프로그램의 결과를 바탕으로, 미국 NIAR(National Institute for Aviation Research)내의 NCAMP(National Center for Advanced Materials Performance)를 활용하여 데이터베이스를 공유하고 있음

#### - NCAMP의 역할

- 재료인증(Material Qualification) 및 특성데이터 확립
- 부품제작자를 위한 재료동등성 (Equivalency Process)
- 공유 데이터베이스의 관리
- 데이터베이스의 질을 유지하기 위한 절차

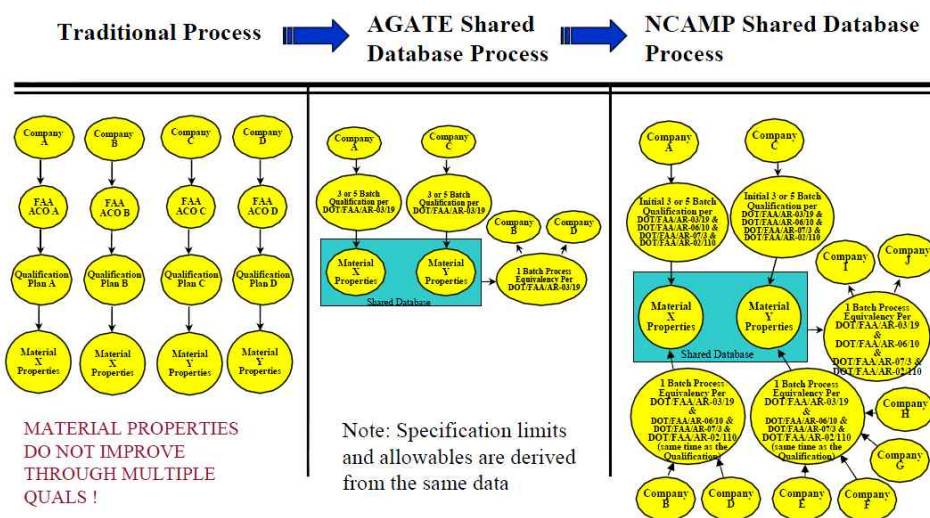


그림 4-12. 재료동등성절차를 활용한 데이터베이스 개발

(56th PMC 회의, July. 19, 2010, Costa Mesa, CA, U.S.A.)

- 이탈리아도 AGATE과 비슷한 PRAGI program (Programma di rilancio dell'Aviazione generale italiana, or the relaunch of General Aviation in Italy) 을 정부예산으로 진행중이며 JAA와 FAA와 밀접한 관계를 가지며, 산업체, 정부기관, 대학등과 협력하여 수행중임(ENAC-civil aviation authority 지원)
- 미국 NCAMP(National Center for Advanced Materials Performance) 에서 수행중인 복합재료 데이터베이스 인증 프로그램

#### <100% Industry Funded Programs>

- Tencate TC250 (265°F oven cure)
  - HTS40 F13 150gsm/TC250 uni-directional prepreg
  - 12 k HTS40 F13 SFP OSI (193 gsm)/TC250 prepreg
- Newport NCT4708 (265°F oven cure)
  - NCT4708 MR60H 300gsm Tape
- Nelcote E-752 (350°F oven cure)
  - 193 gsm 3k PW G30-500 E752 Fabric
  - 145 gsm AS7 E752 Unidirectional Tape

#### <Government Co-Funded>

- NASA Funded Cytec Cycom 5215
  - T40-800 12K Unitape Gr 145 RC 33%
  - 6K 5HS fabric with T650-36% RC, CPT approx. 14.9 mils
  - 3K70PW fabric with T650-38% RC, CPT approx. 8.0 mils

- NASA Funded Cytec Cycom 5250-5
  - T650 6K Unitape Gr 145 RC 32%
  - 6K 5HS fabric with T650-35% RC, CPT approx. 14.6 mils
  - 3K70PW fabric with T650-36% RC, CPT approx. 7.8 mils
- NASA Funded Hexcel 8552
  - AS4 12K tape at 190 gsm 35% RC, CPT approx. 7.4 mils
  - IM7 12K tape at 190 gsm 35% RC, CPT approx. 7.3 mils
  - AS4 plain weave fabric at 193 gsm 38% RC, CPT 7.95 mils
- NASA Funded ACG MTM 45-1
  - G30-500 193 gsm 3K plain weave fabric 36% RC
  - HTS 5631 12K 145 gsm uni 32% RC
  - 6781 S-2 glass 35% RC
- AFRL Funded Renegade MVK-14 FreeForm Polyimide Qualification
  - T650 3K 8HS 370 gsm Fabric 36% Resin Content
- AFRL Funded Cytec 5320-1 (2 product forms)
  - T650 3K PW at 193 gsm, 36% RC
  - T650 Tape at 145 gsm, 33% RC
- AFRL Funded Cytec 5276-1 (2 product forms)

## ○ 각국의 경량항공기 기술기준 비교

| 구 분      | 일반항공기                                    | FAA-Primary | 유럽<br>CS-VLA | FAA-LSA             | 한국-<br>경량항공기  | FAA-<br>Experimental |
|----------|------------------------------------------|-------------|--------------|---------------------|---------------|----------------------|
| 기술표준     | FAR-23,<br>CS-23,<br>KAS-23 등<br>각국 항공규정 | FAR         | CS-VLA       | ASTM                | 경량항공기<br>기술기준 | FAR                  |
| 형식증명(TC) | ○                                        | ○           | ○            | -                   | -             | -                    |
| 제작증명(PC) | ○                                        | -           | ○            | -                   | -<br>(준인증)    | -                    |
| 감항증명(AC) | 표준감항                                     | 특별감항        | 표준감항         | 특별감항                | 안전성인증         | 특별감항                 |
| 엔진       | TSO                                      | FAA TSO     | CS-ETSO      | ASTM                | 경량항공기<br>기술기준 | -                    |
| 운용제한     | 없음<br>(조종사 제한)                           | 여압불가        | Day/VFR      | Day/VFR<br>(IFR 가능) | Day/VFR       | Day/VFR              |

## 다. 국내 기술개발 동향

## (1) 기술개발 동향

- 지식경제부에 따르면, 2010년 기준 세계 탄소섬유 생산량은 5만4천t으로 집계되고, 2007년과 비교하면 2만5천t에서 2배 이상 증가한 수치임
- 같은 기간 국내 수요는 8천t 규모로 역시 2007년 대비 2천500t에서 3년 만에 3배 이상 늘어났음
- 이에 따라, 지식경제부는 국내 탄소섬유 시장이 연간 11%이상 급성장, 2020년에는 약 50억달러 규모로 성장할 것으로 예상하고 있음
- 1991년 (주)한국화이바에서 국내최초로 미국 MD사 DMS 2288 Material Qualification 획득
- 1991년 (주)한국화이바에서 미국 Boeing사의 BMS 8-79 Raw Material Qualification 획득

- 1993년 11월부터 3년간 한국항공우주(연)에서 “항공우주용 복합재료의 인증 절차개발” 과제관련, 미국 Sikorsky항공사와 국제공동연구 수행하여 국내 최초로 250°F C/Ep 복합재료의 데이터베이스를 확립했음
  - 시험조건 : CTD (Cold Temperature Dry), RTD (Room Temperature Dry), RTW (Room Temperature Wet), ETW(Elevated Temperature Wet), ETD(Elevated Temperature Dry)의 5가지 환경조건
  - 뱃취수 : 3 뱃취, 뱃취당 시편수 : 5
- 1996년부터 MIL-HDBK-17 Coordination Meeting(현 CMH-17)에 참가하여 AGATE 프로그램관련 세부기술 확보 및 상호 신뢰성 구축
- 국내 복합재료 생산 현황
  - (주)한국화이바 생산 (항공우주용)
    - 121℃ 경화 Glass/Epoxy 복합재료 : HG1581
    - 121℃ 경화 탄소/Epoxy 복합재료 : HPW193, HG181, HG120
  - (주)SK케미칼 생산
    - 121℃ 경화 탄소/Epoxy 복합재료 : WSN3K (스마트무인기에 사용)
  - 태광산업
    - 1988년 탄소섬유 생산설비 구축, 2005년 포기
    - 2012년 프리커서 생산 예정
  - (주)효성
    - 2013년까지 2천500억원 투자하여 연산 2,000톤규모 탄소섬유 공장 신설
    - 2014년 생산 목표
  - 도레이 첨단소재
    - 630억원 투자해서 2011년 탄소섬유공장 착공
    - 2013년부터 연 2,200톤 규모 생산계획

- 미국 및 일본의 예를 보면, 복합재료의 특성이 일정 시간후에 안정화 되는 경향을 보이므로, 생산 개시후 일정시간 경과하여 공정이 안정된 이후에 항공기에 적용이 가능함

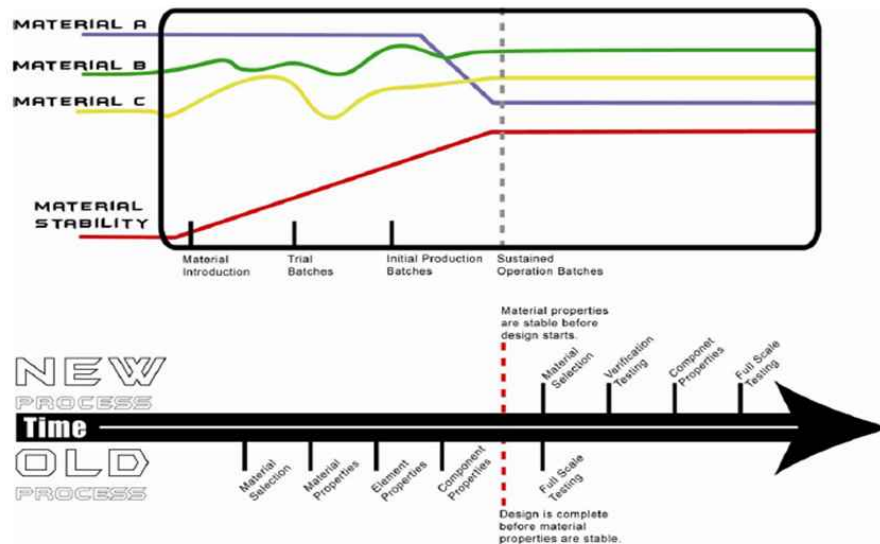


그림 4-13. Material Stability 현황  
(56th PMC 회의, July. 19, 2010, Costa Mesa, CA, U.S.A.)

- 국내 항공우주분야 전문연구기관인 한국항공우주연구원에서는 지난 2007~2009년에 ‘고효율 경량화 날개설계기술 연구’를 수행하면서, 당시 국내에 처음 소개된 복합재료 파손 정밀해석 상용 소프트웨어인 ‘GENOA’를 임차 활용하여 복합재료 저속 충격 손상해석 및 충격 후 압축강도 해석을 수행한 바 있음. 이후, 국방과학연구소에서 국내 최초로 상기 소프트웨어를 구입하여 현재 활용중임
- ‘GENOA’는 복합재료 파손해석 및 특성 분석을 위한 매우 다양한 최신 기술을 포함하고 있으나, 그 세부 기술 내용을 공개하지 않고 있어 해석 결과에 대한 실질적인 이해가 곤란하며, 관련 해석기술의 국내 흡수가 곤란함. 따라서, 이러한 첨단 해석 기법에 대해서는 국내 독자적인 기술 확보 노력이 매우 필요한 실정임

- 이외, 국내 일부 대학에서 복합재료 미시역학적 파손이론을 활용하여 복합재료 파손강도를 정밀하게 해석하고자 하는 연구가 연구실 차원에서 지난 수년 간 진행되어 왔음. 하지만 이들의 해석 기술 개발은 아직까지 단편적으로 진행되어 왔으며, 앞의 ‘1. 연구의 개요’ 절에서 밝힌 세 가지 해석기술 중에서 주로 ‘미시역학적 파손해석’ 기술 개발에 한정되어 온 것으로 보임
- 즉, 복합재료 파손강도의 정밀한 해석기술을 개발하기 위해서는 ‘미시역학적 파손이론’ 기술뿐만 아니라, ‘점진적 파손해석’ 기술도 심도있게 개발되어야 하는데, 아직 이에 대한 연구 수준은 깊지 않은 것으로 판단됨. 한 예로서, 적층복합재료만의 독특한 파손 특성중의 하나인 ‘층간분리’ 파손 판정을 위한 다양한 파손기준식의 개발, 파손 판정에 따른 해당 미세 구조물에 대한 강성저하 관계 등에 대한 심도 있는 연구등은 아직 매우 미흡한 수준임

## (2) 기술 및 운영 현황

- 미국 Sikorsky사와 국제공동연구 수행하여 Sikorsky사와 동등한 복합재료 데이터베이스 확립체제 구축
- 쌍발 복합재료항공기 개발로 복합재료 전기체 구조제작 및 시험 기술 확보
- 선미익기개발로 경항공기 수출모델 개발기술 확보
- KC-100 항공기용 복합재료의 동등성 시험 및 Element 시험 수행
  - AGATE에서 사용한 복합재료 선정하여 동등성 시험(외국에서 수행)

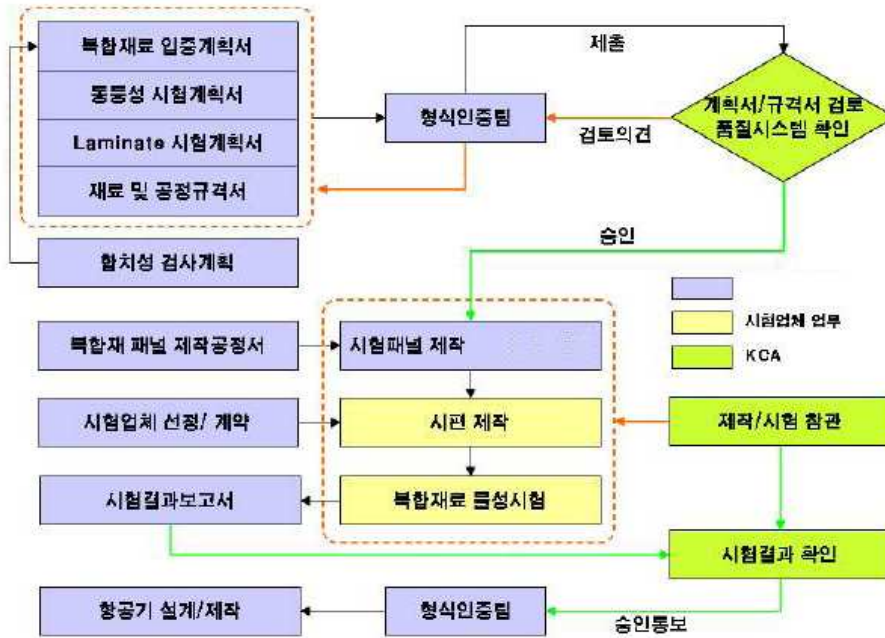


그림 4-14. 국내 복합재료 인증 절차

- 미국 NASA에서 개발되어 상용화된 복합재료 파손강도 정밀해석 상용 소프트웨어를 확보하고, 그들이 미공개로 활용하고 있는 해석기법을 최대한 분석하고 유추하여야 함. 이를 위하여 DB 구축 시험결과에 대한 해석적 Simulation을 수행하여 그 결과와 시험결과와의 차이를 분석해야 할 뿐만 아니라, 또한 해석 변수를 변화시켜가면서 해석을 수행하여 상기 소프트웨어의 구성 원리 및 해석기법을 파악하여야 함
- 나아가 단순하고 기본적인 해석 모델을 선정하여 해석 변수를 변화시키면서 그 해석결과를 분석 추리함으로써 그들의 해석이론 및 해석 기법을 최대한 추정하여야 함. 한편으로는 이렇게 파악된 해석기법의 내용을 자체 해석을 위한 프로그래밍 구성에 반영하여 선진해석 기술의 국내 자립화를 추구하여야 함

## 5. 중복성 검토 결과

- 국가과학기술지식정보서비스(www.ntis.go.kr)에 아래와 같은 키워드로 검색한 결과는 아래와 같음(2012년 3월 13일 기준)

검색어 조합 : 항공기 국산 복합재료 데이터베이스 공유시스템 구축 파손해석

| 검색어                    | 검색<br>결과 | 연구개발명                                       | 내<br>용                                   | 사업중복성                           |
|------------------------|----------|---------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|
| 항공기 + 복합재료<br>+ 데이터베이스 | 1건       | 항 공 기 복 합 재<br>부품시험생산기반<br>(Pilot plant) 구축 | 섬유자동적층기술을<br>이용한 복합재 부품(구<br>조물)시험생산기반확립 | Pilot plant<br>사 업 으 로<br>중복성없음 |
| 복합재료+ 공유               | 없음       | -                                           | -                                        | -                               |
| 복합재료 +<br>데이터베이스       | 없음       | -                                           | -                                        | -                               |
| 국산 + 복합재료              | 없음       | -                                           | -                                        | -                               |
| 복합재 + 미시역학적<br>+ 파손해석  | 없음       | -                                           | -                                        | -                               |
| 복합재 + 점진적<br>+ 파손해석    | 없음       | -                                           | -                                        | -                               |

## 6. 세부 연구 개발 내용

### 가. 비전과 목표

#### (1) 최종목표

소형항공기의 구조에 사용가능한 인증용  
복합재료 특성 데이터베이스 구축 및 공유시스템 개발

#### (2) 연구개발 항목

- 복합재료규격, 공정규격 표준화 및 인증체계 확립
- 소형항공기용 국산 복합재료 특성시험
- 복합재료 데이터베이스 공유 및 관리체계 구축

### 나. 연구개발 내용

#### (1) 복합재료규격, 공정규격 표준화 및 인증체계 확립

- 복합재료 공정규격 (Process Specifications) 표준화
  - 공정규격서 표준화
  - 작업자 관리, 재료 관리, 장비 관리, 작업장 관리, 치구 관리, 패널 제작, 재료준비, 레이업 절차, 경화 절차
  - 검사 및 공정 관리
  - PCD(Process Control Documents) 확인
  - Producibility Validation
  - 제작자 인증

## ○ 복합재료 인증 및 인증시스템 구축

- 본 사업의 인증체계가 일과성이 아니라 계속 체계를 유지할 수 있도록 법적인 인증체제 확립 추진
- 복합재료 인증요구조건 및 인증시스템 수립
- 재료 공급자 인증
- 패널제작 공정 인증
- 시험계획서 검토
- 시험실 인증 검토
- 합치성 검사 기준 확립
- 패널제작 공정 검사/시편제작 검사/기계적 특성시험 입회/물성시험 입회  
/화학분석시험 입회/열분석시험 입회
- Carbon/Epoxy Prepreg Tape 데이터베이스 합치성 검토
- Carbon/Epoxy Prepreg Fabric 데이터베이스 합치성 검토
- Glass/Epoxy Prepreg Fabric 데이터베이스 합치성 검토

## (2) 소형항공기용 국산 복합재료 특성시험

## ○ 탄소섬유 테이프 복합재료 데이터베이스

- DOT/FAA/AR-03/19 의 절차에 따라 시험(단, 제시된 시험 매트릭스는 최소조건이므로 변경될 수 있음)
- 감항성 입증을 위한 재료데이터베이스 확립
- 복합재료 프리프레그 제조 및 공정 표준화
- 121~137℃ 경화 고인성 에폭시 프리프레그
  - 탄소섬유 UD 복합재료
    - 섬유 면중량 (gsm) : 150 ± 15
    - 원사 : 탄소 T700급 24k

- 시험 패널 제작 및 시편 가공
- 국내 생산 프리프레그 대상으로 데이터베이스 구축
- 재료 시험 계획서 및 보고서 작성
- 물성 특성시험
- 시험 시편의 비파괴검사
- 시편 패널제작/시험시편 제작 및 가공
- 시편 수락 기준 확립
- 국가공인 시험인증기관을 통한 기계적 특성 시험(라미나 및 라미네이트)

|   | Test<br>(*Strain gages or extensometers)          | Method<br>Reference        | No, of Specimens Per Test<br>Condition<br>(# of Batch x 시편수) |                  |                  |                  |
|---|---------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
|   |                                                   |                            | CTD <sup>1</sup>                                             | RTD <sup>2</sup> | ETW <sup>3</sup> | ETD <sup>4</sup> |
| 1 | 0° Tensile Modulus, Strength and Poisson's Ratio* | ASTM D 3039                | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 2 | 90° Tensile Modulus and Strength*                 | ASTM D 3039                | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 3 | 0° Compressive Strength                           | ASTM D 6641<br>SACMA SRM 1 | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 4 | 0° Compressive Modulus*                           | ASTM D 6641<br>SACMA SRM 1 | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 5 | 90° Compressive Strength                          | ASTM D 6641<br>SACMA SRM 1 | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 6 | 90° Compressive Modulus*                          | ASTM D 6641<br>SACMA SRM 1 | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 7 | In-Plane Shear Modulus and Strength*              | ASTM D 5379<br>ASTM D 3518 | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 8 | Short-Beam Shear                                  | ASTM D 2344                | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |

그림 6-1 탄소섬유 테이프 복합재료 라미나 기계적 특성 시험

| (%0° / %±45° / %90°)<br>Actual Test Type | Test Type and Layup                                                      | Number of Batches x Number of<br>Panels x Number of Test<br>Specimens |       |       |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------|-------|
|                                          |                                                                          | Test Temperature/Moisture<br>Condition                                |       |       |
|                                          |                                                                          | CTD                                                                   | RTD   | ETW   |
| (25/50/25-QI)<br>OHT1                    | ASTM D5766 Open Hole Tension<br>[45/0/-45/90]2S                          | 3x2x3                                                                 | 3x2x3 | 3x2x3 |
| (10/80/10)<br>OHT2                       | ASTM D5766 Open Hole Tension<br>[45/-45/0/45/-45/90/45/-45/45/-45]S      | 3x2x3                                                                 | 3x2x3 | 3x2x3 |
| (50/40/10)<br>OHT3                       | ASTM D5766 Open Hole Tension<br>[0/45/0/90/0/-45/0/45/0/-45]S            | 3x2x3                                                                 | 3x2x3 | 3x2x3 |
| (25/50/25-QI)<br>FHT1                    | ASTM D6742 Filled Hole Tension<br>[45/0/-45/90]2S                        | 3x2x3                                                                 | 3x2x3 | 3x2x3 |
| (10/80/10)<br>FHT2                       | ASTM D6742 Filled Hole Tension<br>[45/-45/0/45/-45/90/45/-45/45/-45]S    | 3x2x3                                                                 | 3x2x3 | 3x2x3 |
| (50/40/10)<br>FHT3                       | ASTM D6742 Filled Hole Tension<br>[0/45/0/90/0/-45/0/45/0/-45]S          | 3x2x3                                                                 | 3x2x3 | 3x2x3 |
| (25/50/25-QI)<br>OHC1                    | ASTM D6484 Open Hole Compression<br>[45/0/-45/90]4S                      |                                                                       | 3x2x3 | 3x2x3 |
| (10/80/10)<br>OHC2                       | ASTM D6484 Open Hole Compression<br>[45/-45/0/45/-45/90/45/-45/45/-45]2S |                                                                       | 3x2x3 | 3x2x3 |
| (50/40/10)<br>OHC3                       | ASTM D6484 Open Hole Compression<br>[0/45/0/90/0/-45/0/45/0/-45]2S       |                                                                       | 3x2x3 | 3x2x3 |

그림 6-2 탄소섬유 테이프 복합재료 라미네이트 기계적 특성 시험

## ○ 탄소섬유 패브릭 복합재료 데이터베이스

- DOT/FAA/AR-03/19 의 절차에 따라 시험(단, 제시된 시험 매트릭스는 최소조건이므로 변경될 수 있음)
- 감항성 입증을 위한 재료데이터베이스 확립
- 복합재료 프리프레그 제조 및 공정 표준화
- 121~137℃ 경화 고인성 에폭시 프리프레그
  - 탄소섬유 패브릭 복합재료

섬유 면중량 (gsm) : 193 ± 15

원사 : 경사, 위사 탄소 T300급 3k

조직 : 평직

- 시험 패널 제작 및 시편 가공
- 국내 생산 프리프레그 대상으로 데이터베이스 구축
- 재료 시험 계획서 및 보고서 작성
- 물성 특성시험
- 시험 시편의 비파괴검사
- 시편 패널제작/시험시편 제작 및 가공
- 시편 수락 기준 확립
- 국가공인 시험인증기관을 통한 기계적 특성 시험

|   | Test                                                     | Method Reference           | No, of Specimens Per Test Condition<br>(# of Batch x 시편수) |                  |                  |                  |
|---|----------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
|   |                                                          |                            | CTD <sup>1</sup>                                          | RTD <sup>2</sup> | ETW <sup>3</sup> | ETD <sup>4</sup> |
| 1 | 0° (warp) Tensile Modulus, Strength and Poisson's Ratio* | ASTM D 3039                | 3 x 6                                                     | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 2 | 90° (fill) Tensile Modulus and Strength*                 | ASTM D 3039                | 3 x 6                                                     | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 3 | 0° (warp) Compressive Strength                           | ASTM D 6641<br>SACMA SRM 1 | 3 x 6                                                     | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 4 | 0° (warp) Compressive Modulus*                           | ASTM D 6641<br>SACMA SRM 1 | 3 x 6                                                     | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 5 | 90° (warp) Compressive Strength                          | ASTM D 6641<br>SACMA SRM 1 | 3 x 6                                                     | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 6 | 90° (warp) Compressive Modulus*                          | ASTM D 6641<br>SACMA SRM 1 | 3 x 6                                                     | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 7 | In-Plane Shear Modulus and Strength*                     | ASTM D 5379<br>ASTM D 3518 | 3 x 6                                                     | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 8 | Short-Beam Shear                                         | ASTM D 2344                | 3 x 6                                                     | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |

그림 6-3 탄소섬유 패브릭 복합재료 라미나 기계적 특성 시험

## ○ 유리섬유 패브릭 복합재료 데이터베이스

- DOT/FAA/AR-03/19 의 절차에 따라 시험(단, 제시된 시험 매트릭스는 최소조건이므로 변경될 수 있음)
- 감항성 입증을 위한 재료데이터베이스 확립
- 복합재료 프리프레그 제조 및 공정 표준화

- 121~137℃ 경화 고인성 에폭시 프리프레그
  - 유리섬유 패브릭 복합재료
    - 섬유 면중량 (gsm) :  $303 \pm 15$
    - 원사 : E-Glass 경사, 원사 ECDE 75 1/0
    - 조직 : 8매 주자직
- 시험 패널 제작 및 시편 가공
- 국내 생산 프리프레그 대상으로 데이터베이스 구축
- 재료 시험 계획서 및 보고서 작성
- 물성 특성시험
- 시험 시편의 비파괴검사
- 시편 패널제작/시험시편 제작 및 가공
- 시편 수락 기준 확립
- 국가공인 시험인증기관을 통한 기계적 특성 시험

|   | Test                                                        | Method<br>Reference        | No, of Specimens Per Test<br>Condition<br>(# of Batch x 시편수) |                  |                  |                  |
|---|-------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
|   |                                                             |                            | CTD <sup>1</sup>                                             | RTD <sup>2</sup> | ETW <sup>3</sup> | ETD <sup>4</sup> |
| 1 | 0° (warp) Tensile Modulus,<br>Strength and Poisson's Ratio* | ASTM D 3039                | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 2 | 90° (fill) Tensile Modulus and<br>Strength*                 | ASTM D 3039                | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 3 | 0° (warp) Compressive Strength                              | ASTM D 6641<br>SACMA SRM 1 | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 4 | 0° (warp) Compressive Modulus*                              | ASTM D 6641<br>SACMA SRM 1 | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 5 | 90° (warp) Compressive Strength                             | ASTM D 6641<br>SACMA SRM 1 | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 6 | 90° (warp) Compressive<br>Modulus*                          | ASTM D 6641<br>SACMA SRM 1 | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 7 | In-Plane Shear Modulus and<br>Strength*                     | ASTM D 5379<br>ASTM D 3518 | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |
| 8 | Short-Beam Shear                                            | ASTM D 2344                | 3 x 6                                                        | 3 x 6            | 3 x 6            | 3 x 6            |

그림 6-4 유리섬유 패브릭 복합재료 라미나 기계적 특성 시험

## (3) 복합재료 데이터베이스 공유 및 관리체계 구축

## ○ 사업총괄 및 공유시스템 개발

- 항공선진국의 인증체계를 벤치마킹하여 동등한 수준의 복합재료 데이터베이스 및 관리 체계를 확립
- 경항공기에 사용하고 있는 외국산 소재의 규격을 목표로 국산 복합재료 데이터베이스를 확립하여, 설계수정없이 국산소재 사용 가능
- 복합재료 특성 데이터베이스 확보와 더불어 공정표준화, 인증관리 등 지속적으로 적용될 수 있는 관리체계 구축
- 복합재료 특성 데이터베이스가 항공기 제작에 활용될 수 있도록 항공기 부품 제작사와 재료 공급자로 구성된 전문가그룹을 통해 협조할 수 있는 체제 구축 (전문가그룹 운영 : 소재분야 WG, 공정분야 WG, 해석분야 WG)
- 확립한 데이터베이스를 국내 항공기 부품 제작사와 공유하여 활용할 수 있는 장기적인 데이터베이스 관리체계 구축(운용계획 포함)

## ○ 재료 재료설계값 관리체제 확립

- 뱃취, 제작 및 시험 등 여러 Variability를 검토하여 확인
- 데이터 노말라이제이션
- 통합데이터 분포도 검토
- 구조해석을 고려한 재료재료설계값 결정
- 통계 분석 및 이상점 처리
- Date management and databases
- Specification Acceptance Values 결정

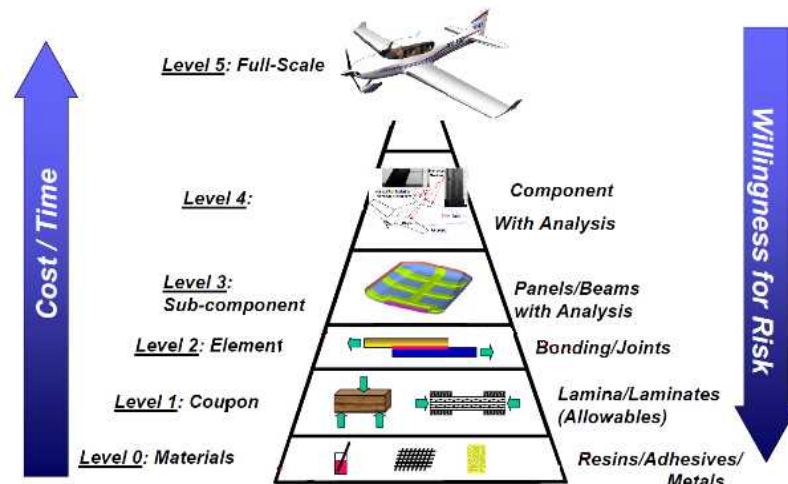


그림 6-1 BBA에 따른 복합재료 공유 데이터베이스

- 복합재료 파손강도 정밀해석 연구
  - 복합재 파손강도 정밀해석 기법 분석 연구
  - 복합재 파손강도 정밀해석 프로그램 개발 연구
  - Laminate/Open Hole 파손강도 확률분포 해석
  - 복합재 파손강도 정밀해석 프로그램 성능향상 연구

### 소재 선정

- 3차에 걸친 전문가 자문위원회 개최 결과
  - 소형항공기에 사용하고 있는 외국산 소재의 규격을 목표로 할 것
  - 수급성 및 경제성을 고려하여 국내에서 생산한 프리프레그 대상으로 할 것
  - 향후 설계수정 없이 국산소재 사용 가능도록 할 것
  - 대상 소재의 규격 및 공정을 RFP에 명시 할 것

대상소재 : 국내 기술을 고려하여 2차 구조물에 적용 가능한 소재를 대상으로, 진공백/오븐 경화 공정이 가능한 121~137℃ 경화 강인성 에폭시 프리프레그 복합재료로 선정

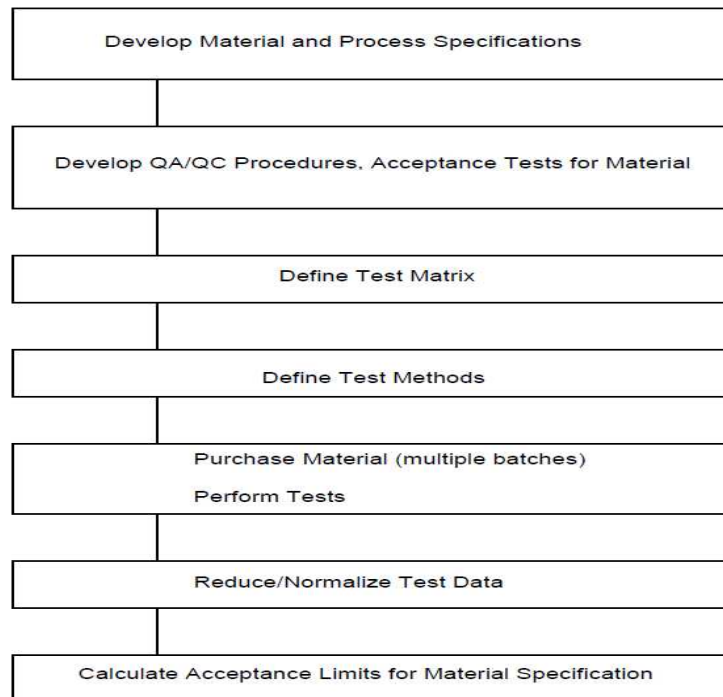


그림 6-1. Roadmap-Qualification of New Material (Composite Materials Handbook-17, Vol. 1)

## 다. 연차별 연구개발 내용

### (1) 1차년도

- AGATE/NCAMP 절차 분석 및 시험 계획 수립
  - 사업관리계획서 작성
  - 데이터베이스 개발 계획서 작성
  - 데이터베이스 요구조건 확립
- 특성 데이터베이스 확립 Work flow 작성
  - 전문가그룹 운영 (소재분야, 공정분야, 해석분야 WG)
- 재료설계값 통계분석 방법론 수립
- 복합재료 프리프레그 제조/패널 제작/시편가공
  - 복합재료 패널제작 (Carbon/Epoxy Tape, Glass/Epoxy Fabric)

- 물성시험 및 국가공인 시험인증기관을 통한 기계적 특성시험 수행
  - 환경시험 계획 및 시험시작
- 복합재료 공정규격 관리
  - Quality System Certification 확인
  - 복합재료 프리프레그 제조 및 재료 공급자 인증
  - 합치성 검사 기준 확립
- 복합재료 미시역학적 파손해석 기법 분석 및 프로그래밍
- Fiber/Matrix 미시 응력/변형률 특성 해석기법 분석 연구

## (2) 2차년도

- 패널제작/시편 가공 및 공정 표준화
  - 공정규격서 표준화
  - 복합재료 패널제작 공정 인증 및 시험 시편 가공
  - 작업자 관리, 재료 관리, 장비 관리, 작업장 관리, 치구 관리, 패널 제작, 재료 준비, 레이업 절차, 경화 절차
  - 복합재료 패널제작 및 시험 수행 (Carbon/Epoxy Prepreg Fabric)
  - 패널제작 공정 검사/시편제작 검사/기계적 특성시험 입회/물성시험 입회/화학분석시험 입회/열분석시험 입회
- 데이터베이스용 프로그램 수립
- 물성시험, 국가공인 시험인증기관을 통한 기계적 특성시험 및 환경시험 수행
  - 기계적 특성 시험 (Carbon/Epoxy Tape, Glass/Epoxy Fabric) 완료
  - 시험계획서 검토/시험실 인증
- Acceptance 값 결정
- 복합재료 강도 정밀해석 상용 프로그램 해석기법 분석
- 점진적 파손해석 기법 분석 및 프로그래밍

## (3) 3차년도

- 국가공인 시험인증기관을 통한 기계적 특성시험 및 환경시험 완료
- 데이터베이스 구축 및 검토
  - 감항성 입증을 위한 재료데이터베이스 공유 프로그램 구축
- 시험 결과 보고서 작성
- 재료설계값 결정
  - 통합데이터 분포도 검토
  - 재료 재료설계값 결정을 위한 데이터 노말라이제이션
  - 통계 분석 및 이상점 처리 및 재료설계값 결정
- Laminate/Open Hole 파손강도 확률분포 해석
- 복합재료 파손강도 정밀해석 프로그램 성능향상 연구
- 복합재료 인증시스템 수립
  - Carbon/Epoxy Prepreg Tape 데이터베이스 인증
  - Carbon/Epoxy Prepreg Fabric 데이터베이스 인증
  - Glass/Epoxy Prepreg Fabric 데이터베이스 인증

## 7. 기술 개발 효과

### (1) 경제적 파급 효과(수입대체 효과)

- 최근의 금융위기에 따른 세계적 경기 침체와 국제 유가의 상승은 세계 항공기 시장에 부정적인 영향이지만, 위축된 항공기 수요는 2009년 하반기 세계 항공물류 및 승객 수송의 회복으로 다시 반등
- 국산 소형항공기의 국내 수요 창출과 해외 수출을 위하여 저가의 인증된 소재의 공급이 절실히 필요한 실정. 현재 국내에서 복합소재는 자체 DB의 구축없이 외국의 재료물성 데이터베이스를 기초로 하여 회사별로 각각 설계에 적용하다 보니 시간적/비용적으로 상당히 불리한 상황
- 최근 KC-100이나 스포츠급 경항공기나 무인기에 저가의 유리섬유 복합소재 적용 필요성 제기
- 본 사업이 제대로 마무리되면, 소재 분야의 인증기술 확보와 국산 소재의 등장으로 제작 비용 감소와 더불어 수입 대체 효과가 있을 것으로 예상됨. 본 복합소재 DB 구축을 통하여 세계 시장 진입도 가능하며, 향후, 국가 성장 동력으로 발전이 기대됨
- 국내 부품 및 소재 사용으로 국내 항공산업 활성화에 기여하고, 전문 중소기업의 육성 효과가 기대됨
- 2020년 항공우주산업에서 소재분야의 국제적 수준으로 도약하기 위한 국내 산업기반 형성의 토대와 역량을 마련함
- 시장 창출을 위한 산/학/연/관의 유기적 관계 형성과 유사 분야 기술 보유 업체들의 항공산업 참여의 계기를 마련함
- 항공산업 뿐만 아니라 자동차산업등에도 적용이 예상됨

## (2) 기술적 파급 효과

- 국내 개발 민간 4인승 소형항공기를 포함한 동급 또는 2인승 경항공기 사용하여 국제 경쟁력 강화
- 복합소재는 항공부품 등과 같이 다품종 소량 생산이 요구되는 부가가치가 높은 항공 산업을 중심으로 발전되어왔으나, 최근 Euro 5 Emission Standard 등 규제에 따라 경량화를 통하여 무게감소를 위하여 자동차부품의 성형에 사용되고 있으므로 타산업과의 융합 및 파급효과가 큼
- 복합재료 파손강도 정밀해석 기술을 확보함으로써 복합재료 구조시편 시험 및 설계개발시험의 회수를 축소하여 개발비용을 절감할 수 있음
- 국가간 상호 인정이 가능하고 지속적인 발전을 할 수 있는 인프라 활용의 계기를 마련함
- 향후, 개발이 진행될 중형기와 민수형헬기 등의 항공기 개발 시에 구조용 소재로 활용이 가능함

## (3) 사회·문화적 파급 효과

- 국민 소득의 증가 및 레저 산업의 발전으로 소형항공기의 수요는 계속 증가할 것으로 예측됨
- 복합재료의 표준화된 DB를 사용자에게 제공함에 따라 사용자는 간편하게 복합소재를 설계와 생산에 적용이 가능하므로 시간, 노력, 비용을 줄여 대외 경쟁력 강화에 도움이 될 것임
- 복합재료의 안정된 특성 데이터베이스 보유로 스포츠 산업등 고부가가치 산업 확장

## 8. 기술개발성과 활용방안

- 항공기급 BASA 시범 사업과 연계가 가능하며, 신뢰성 인증을 획득하고, 국내 개발 소형항공기의 양산시 본 복합재료 DB를 적용이 가능하며, 소형항공기의 가격 경쟁력을 강화시킴
- 국내 항공기 소재 기술의 향상을 도모하고, 향후 추진되는 2인승 스포츠급 항공기, 중형기, 민수헬기 등 국내 항공기 개발 사업에 활용하여 기술 국산화율을 높일 수 있음
- 국내의 소재 국산화 기술을 개발하고, 이를 통한 가격 및 품질의 경쟁력 확보로 수입대체 및 해외 수출을 추진함
- 향후, 효성, 태광등에서 생산하는 국산 복합재료에 적용하여 데이터베이스 공유를 통한 가격 및 품질 경쟁력 확보
- 독자적인 데이터베이스 확보로 동등성 시험이 가능하여 항공기에 복합재료 사용이 용이해짐
- 복합재료 구조강도 정밀해석 기술을 사용하여 항공우주 비행체 뿐만 아니라 자동차, 고속전철등 일반 수송기계분야 복합재료 구조물에 대해서도 구조중량 경량화를 달성할 수 있음
- 경항공기 개발에 사용하고 있는 외국산 소재의 규격과 동등한 특성의 국산 복합재료 프리프레그 데이터베이스를 확립하여, 설계수정없이 국산소재 사용 가능
- 향후 데이터베이스 개발이 필요한 복합재료의 예
  - Cytec Cycom 5215 급(T40-800 uni tape, 6K 5HS, 3K70PW)
  - Cytec Cycom 5250-5 급(T650 uni tape, 6K 5HS, 3K70PW)
  - Hexcel 8552 급(AS4 tape, IM7 tape, AS4 plain weave fabric)
  - ACG MTM 45-1 급(G30-500, HTS 5631, 6781 S-2 glass)

## 9. 연구개발 추진전략

### 가. 과제 성격

- 본 과제는 항공기 구조물에 사용하는 복합소재의 특성을 결정하기 위한 국가 인프라를 구축하는 것이 주요 목적이므로, 항공법상의 감항기준에 적합한 방법으로 수행되어야 함
- 항공기 구조와 복합재료의 상관관계에 대한 전문지식이 요구됨
- 수출 가능성을 감안하여 국내 생산 복합재료 프리프레그의 데이터베이스 확립절차가 항공선진국의 절차와 일치 또는 부합해야 함
- 항공분야의 특성상 항공기 운용, 제작, 형식증명 및 수리 등을 고려해야 하므로 복합적이며 수준 높은 지식이 필요
- 개발한 복합재료 데이터베이스는 타 사업에도 적용이 가능하도록 상호 공유할 수 있으므로 국가사업을 중복투자 없이 수행할 수 있음
- 향후, 추진되는 무인기, 민수헬기, 중형항공기 개발에서 구조물에 적용하여 활용하여 기술 국산화율을 높이고, 가격 및 품질 경쟁력 확보로 수입 대체 및 해외 수출을 추진함
- 복합소재 DB 구축사업을 통하여 확립한 소재평가 기술을 산업체에 전파하고, 소재의 추가 분야를 발굴하여 항공기술 향상에 기여함
- 국내 대학 등 연구기관에서 확보하고 있는 복합재료 미시역학적 파손 이론을 적용한 복합재료 파손강도 정밀해석 기술을 취합 활용하고, 해석결과와 DB 구축을 위한 시험결과와 상호 비교 분석함
- 산학연 다방면에 걸쳐 분야별 전문가의 자문 및 연구가 효율적으로 진행될 수 있도록 유기적인 조직체계 구성 필요

## 나. 수행 방법

- 항공선진국의 인증체계를 벤치마킹하여 동등한 수준의 Part 23급 항공기용 복합재료 데이터베이스 및 관리 체계를 확립
- 국제적으로 상호 인정이 가능한 인증용 복합재료 데이터베이스 확립 (NCAMP 등과 협력 추진)
- 복합재료 특성 데이터베이스 확보와 더불어 공정표준화, 인증관리 등이 지속적으로 적용될 수 있는 관리체계 구축
- 복합재료 미시역학적 파손이론 해석경험을 보유한 국내 대학 등 연구기관과의 위탁/공동연구 협력을 통하여 복합재료 파손강도 정밀해석 프로그램을 효율적으로 개발
- 복합재료 특성 데이터베이스가 항공기 제작에 활용될 수 있도록 항공기 부품 제작사, 재료공급자, 인증담당자로 구성된 전문가그룹을 통해 협조할 수 있는 체제 구축
- 본 사업의 인증체계가 일과성이 아니라 계속 유지 관리 할 수 있도록 법적인 체제 확립 추진
- 확립한 데이터베이스를 국내 항공기 부품 제작사와 공유하여 활용할 수 있는 장기적인 데이터베이스 관리체계 구축
- 해당 복합재료 데이터의 인증을 위하여 국토해양부는 Part 23 항공기의 인증 제도에 따른 전문검사기관이 시험계획서 검토와 승인, 시험보고서의 검토와 승인, 공정, 시험시편 및 시험셋업의 합치성 검사 수행과 시험입회 등을 수행하도록 함.
- 경항공기에 사용하고 있는 외국산 소재의 규격을 목표로, 국내에서 생산한 복합재료 프리프레그 데이터베이스를 확립하여, 향후 설계수정 없이 국산소재 사용 가능도록 함

대상소재 : 국내 기술을 고려하여 2차 구조물에 적용 가능한 소재를 대상으로 진공백/오븐 경화 공정이 가능한 121~137℃ 경화 강인성에 폭시 프리프레그 복합재료로 선정

(원사는 외산 가능하나 수지를 포함. 프리프레그는 국내에서 제작하여 외산보다 단가가 낮아야 함)

① 탄소섬유 일방향 복합재료(T700-24K)

② 탄소섬유 패브릭 복합재료(T300-3K)

③ E-Glass 패브릭 복합재료(7781 E-Glass 8HS)

- 탄소섬유 테이프 복합재료 패널제작, 탄소섬유 패브릭 복합재료 패널제작, 유리섬유 패브릭 복합재료 패널제작을 참여업체에서 부담하고, 시편 제작/가공을 담당
- 참여업체는 복합재 DB를 국토해양부에 인증신청하고, 획득하여야 한다.
- 시험평가기관은 국가공인 시험인증기관이어야한다
- 주관기관은 참여업체가 인증을 획득할 수 있도록, 지원 및 관리하여야한다.
- 본 과제의 참여업체와 시험평가기관은 사업단에서 공모를 통하여 선정한다
- 국토해양부소관 연구개발사업 운영규정 제 44조 ④항에 따라 연구개발결과물은 공공의 이익을 목적으로 활용하기 위하여 국가의 소유로 함

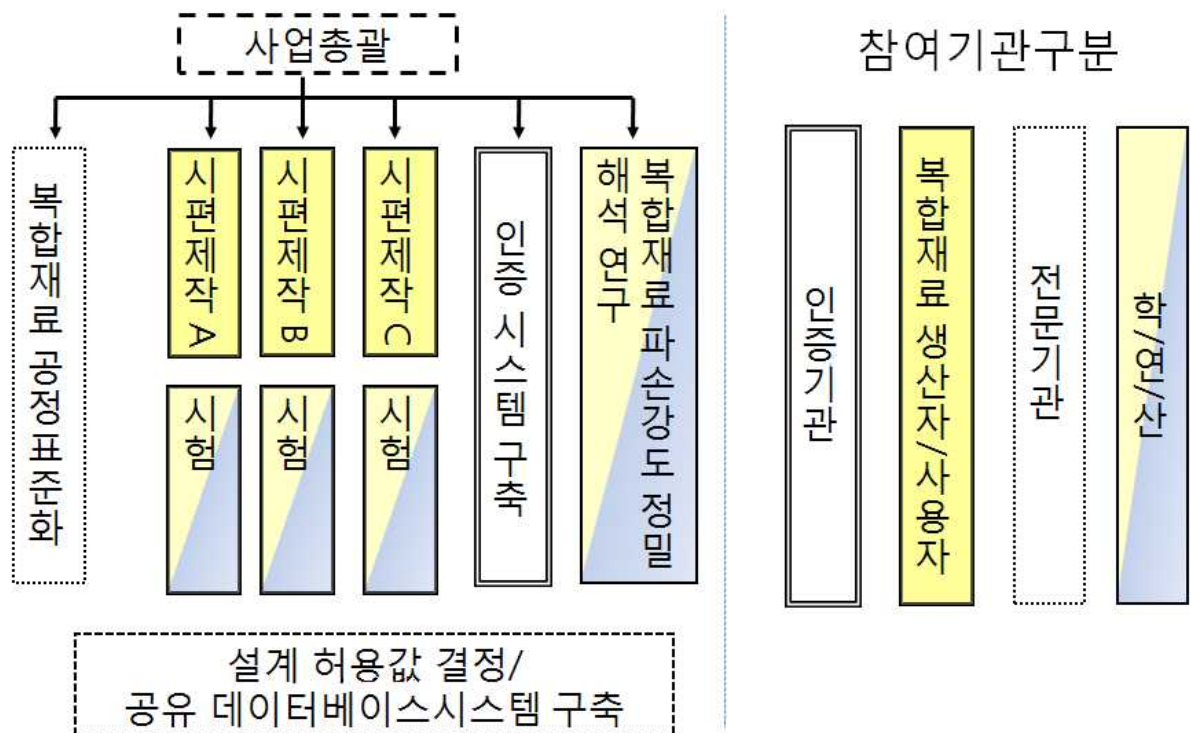


그림 9-1 각 참여기관 별 역할

### 3 과제업무분할도(WBS) 및 개발일정 로드맵

#### 1. 과제업무분할도

\*단위:백만원

| LV.1 | LV.2                          | LV.3                 | 작업기간(월) | 투입인력(명) | 작업 총비용 |
|------|-------------------------------|----------------------|---------|---------|--------|
|      | 복합재료규격, 공정규격<br>표준화 및 인증체계 확립 | 재료규격, 공정규격 표준화       | 12      | 21      | ₩350   |
|      |                               | 복합재료 인증 및 인증시스템 구축   | 33      | 58      | ₩450   |
|      |                               | 합계                   | 45      | 79      | ₩800   |
|      | 소형항공기용 국산 복합<br>재 료 특 성 시 험   | 탄소섬유 테이프 복합재료 데이터베이스 | 20      | 37      | ₩762   |
|      |                               | 탄소섬유 패브릭 복합재료 데이터베이스 | 18      | 34      | ₩576   |
|      |                               | 유리섬유 패브릭 복합재료 데이터베이스 | 18      | 34      | ₩628   |
|      |                               | 합계                   | 56      | 105     | ₩1,966 |
|      | 복합재료 데이터 베이스<br>공유 및 관리체계 구축  | 사업총괄 및 공유 시스템 개발     | 25      | 49      | ₩595   |
|      |                               | 재료설계값 관리체계 확립        | 31      | 56      | ₩599   |
|      |                               | 복합재 파손강도 정밀해석 연구     | 72      | 27      | ₩500   |
|      |                               | 합계                   | 128     | 132     | ₩1,694 |
|      | *단위:백만원                       |                      | 총 합     | 229     | 316    |

## ○ WBS 상세내역

| WBS Code |    |     |    |   | WBS                                 | 인건비           |                 |                       | 직접비                       |                | 간접비         | 작업<br>총비용<br>(백만원) |
|----------|----|-----|----|---|-------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|----------------|-------------|--------------------|
| I        | II | III | IV | V |                                     | 평균<br>작업<br>일 | 투입<br>인력<br>(명) | 소요<br>비용<br>(백만원<br>) | 소요<br>비용<br>(백<br>만<br>원) | 직접비 주요내용       | (5%)<br>백만원 |                    |
| ○        |    |     |    |   | 소형항공기용 국산 복합재료 데이터베이스 구축 및 공유시스템 개발 |               |                 |                       |                           |                |             | ₩4,460.0           |
|          | ○  |     |    |   | 복합재료규격, 공정규격 표준화 및 인증체계 확립          |               |                 |                       |                           |                |             | ₩800               |
|          |    | ○   |    |   | 재료규격, 공정규격 표준화                      |               |                 |                       |                           |                |             | (350 )             |
|          |    |     | ○  |   | 작업지침서 관리                            |               |                 |                       |                           |                |             |                    |
|          |    |     |    | ○ | 작업자 관리                              | 20            | 1               | 4                     | 3                         | 문서출력, 회의비, 출장비 | 0.35        | ₩7.4               |
|          |    |     |    | ○ | 재료 관리                               | 20            | 1               | 4                     | 3                         | 문서출력, 회의비, 출장비 | 0.35        | ₩7.4               |
|          |    |     |    | ○ | 장비 관리                               | 30            | 1               | 6                     | 3                         | 문서출력, 회의비, 출장비 | 0.45        | ₩8.6               |
|          |    |     |    | ○ | 작업장 관리                              | 20            | 1               | 4                     | 3                         | 문서출력, 회의비, 출장비 | 0.35        | ₩7.4               |
|          |    |     |    | ○ | 치구관리                                | 20            | 1               | 4                     | 5                         | 문서출력, 회의비, 출장비 | 0.45        | ₩9.5               |
|          |    |     | ○  |   | 시험패널 제작                             |               |                 |                       |                           |                |             |                    |
|          |    |     |    | ○ | 재료준비                                | 20            | 1               | 4                     | 60                        | 재료구매비          | 3.2         | ₩67.2              |
|          |    |     |    | ○ | 레이업 절차                              | 20            | 3               | 12                    | 40                        | 시편제작비          | 2.6         | ₩54.6              |
|          |    |     |    | ○ | 경화 절차                               | 20            | 3               | 12                    | 20                        | 진공백 성형 가공비     | 1.6         | ₩33.6              |
|          |    |     |    | ○ | 시편제작 및 가공                           | 30            | 3               | 18                    | 30                        | 장비사용비          | 2.4         | ₩50.4              |
|          |    |     |    | ○ | 검사 및 공정 관리                          | 30            | 3               | 18                    | 20                        | 시험평가비          | 1.9         | ₩39.9              |
|          |    |     |    | ○ | Acceptance Test                     | 50            | 1               | 10                    | 20                        | 시험비            | 1.5         | ₩31.5              |

|  |  |   |   |   |                               |    |   |    |    |                 |       |        |
|--|--|---|---|---|-------------------------------|----|---|----|----|-----------------|-------|--------|
|  |  |   |   | ○ | Producibility Validation      | 20 | 1 | 4  | 10 | 현장검토, 출장비       | 0.7   | ₩14.7  |
|  |  |   |   | ○ | 제작자 공정 인증                     | 30 | 1 | 6  | 10 | 문서출력, 회의비, 출장비  | 0.8   | ₩16.8  |
|  |  | ○ |   |   | 복합재료 인증 및 인증시스템 구축            |    |   |    |    |                 | (21 ) | (450 ) |
|  |  |   | ○ |   | 복합재료 인증시스템 구축                 |    |   |    |    |                 |       |        |
|  |  |   |   | ○ | 복합재료 인증시스템 법적 근거 수립           | 30 | 1 | 6  | 5  | 자료수집, 문서출력, 출장비 | 0.55  | ₩11.6  |
|  |  |   |   | ○ | 항공선진국 복합재료 인증시스템 분석           | 30 | 1 | 6  | 5  | 자료수집, 문서출력, 출장비 | 0.55  | ₩11.6  |
|  |  |   | ○ |   | 복합재료 인증요구조건 수립                |    |   |    |    |                 |       |        |
|  |  |   |   | ○ | 공정관리문서 요구조건 수립                | 20 | 1 | 4  | 3  | 자료수집, 문서출력, 회의비 | 0.35  | ₩7.4   |
|  |  |   |   | ○ | 시험계획서 요구조건 수립                 | 30 | 1 | 6  | 3  | 자료수집, 문서출력, 회의비 | 0.45  | ₩9.5   |
|  |  |   |   | ○ | 재료규격서 및 공정규격서 요구조건 수립         | 35 | 2 | 14 | 3  | 자료수집, 문서출력, 회의비 | 0.85  | ₩17.9  |
|  |  |   |   | ○ | 시험입회 기준 및 합치성 검사 수행기준 수립      | 30 | 1 | 6  | 3  | 자료수집, 문서출력, 회의비 | 0.45  | ₩9.5   |
|  |  |   |   | ○ | 시험실 인증(Qualification) 요구조건 수립 | 35 | 2 | 14 | 2  | 자료수집, 문서출력, 회의비 | 0.8   | ₩16.8  |
|  |  |   |   | ○ | 품질시스템 요구조건                    | 30 | 1 | 6  | 3  | 자료수집, 문서출력, 회의비 | 0.45  | ₩9.5   |
|  |  |   | ○ |   | 복합재료 인증 활동                    |    |   |    |    |                 |       |        |
|  |  |   |   | ○ | 복합재료 제조사 인증(Qualification)    |    |   |    |    |                 |       |        |
|  |  |   |   | ○ | 품질시스템 확인                      | 35 | 3 | 21 | 3  | 출장비, 회의비, 기술평가  | 1.2   | ₩25.2  |
|  |  |   |   | ○ | 공정관리문서 검증                     | 20 | 1 | 4  | 3  | 출장비, 회의비, 기술평가  | 0.35  | ₩7.4   |
|  |  |   | ○ |   | 패널 제조사 인증(Qualification)      |    |   |    |    |                 |       |        |
|  |  |   |   | ○ | 품질시스템 확인                      | 35 | 3 | 21 | 3  | 출장비, 회의비, 기술평가  | 1.2   | ₩25.2  |
|  |  |   |   | ○ | 시험계획서 검토                      | 30 | 3 | 18 | 2  | 출장비, 회의비, 기술평가  | 1     | ₩21.0  |
|  |  |   |   | ○ | 재료규격서 및 공정규격서 검토              | 35 | 2 | 14 | 3  | 출장비, 회의비, 기술평가  | 0.85  | ₩17.9  |

|  |   |   |  |   |                                                                   |    |   |     |    |                 |       |               |
|--|---|---|--|---|-------------------------------------------------------------------|----|---|-----|----|-----------------|-------|---------------|
|  |   |   |  | ○ | 패널제작 공정 인증(Qualification)                                         | 35 | 3 | 21  | 3  | 출장비, 회의비, 기술평가  | 1.2   | ₩25.2         |
|  |   |   |  | ○ | 패널제작 검사 검증                                                        | 45 | 3 | 27  | 3  | 현장검토, 출장비, 기술평가 | 1.5   | ₩31.5         |
|  |   |   |  | ○ | 시험실 인증(Qualification)                                             |    |   |     |    |                 |       |               |
|  |   |   |  | ○ | 품질시스템 확인                                                          | 35 | 3 | 21  | 3  | 출장비, 회의비, 기술평가  | 1.2   | ₩25.2         |
|  |   |   |  | ○ | 시편제작 공정 Qualification                                             | 35 | 3 | 21  | 4  | 현장검토, 출장비, 기술평가 | 1.25  | ₩26.3         |
|  |   |   |  | ○ | 시편제작 검사 검증                                                        | 50 | 3 | 30  | 4  | 현장검토, 출장비, 기술평가 | 1.7   | ₩35.7         |
|  |   |   |  | ○ | 기계적 특성시험셋업 합치성 검사 및 시험 입회                                         | 45 | 3 | 27  | 4  | 현장검토, 출장비, 기술평가 | 1.55  | ₩32.6         |
|  |   |   |  | ○ | 물성시험 셋업 합치성 검사 및 시험 입회                                            | 20 | 2 | 8   | 2  | 현장검토, 출장비, 기술평가 | 0.5   | ₩10.5         |
|  |   |   |  | ○ | 화학분석 시험 셋업 합치성 검사 및 시험 입회                                         | 20 | 2 | 8   | 2  | 현장검토, 출장비, 기술평가 | 0.5   | ₩10.5         |
|  |   |   |  | ○ | 데이터베이스 적합성 검증                                                     |    |   |     |    |                 |       |               |
|  |   |   |  | ○ | 탄소섬유 패브릭 복합재료 데이터베이스                                              | 40 | 2 | 16  | 4  | 출장비, 회의비, 기술평가  | 1     | ₩21.0         |
|  |   |   |  | ○ | 탄소섬유 패브릭 복합재료 데이터베이스                                              | 40 | 2 | 16  | 4  | 출장비, 회의비, 기술평가  | 1     | ₩21.0         |
|  |   |   |  | ○ | 유리섬유 패브릭 복합재료 데이터베이스                                              | 40 | 2 | 16  | 4  | 출장비, 회의비, 기술평가  | 1     | ₩21.0         |
|  | ○ |   |  |   | <b>소형항공기용 국산 복합재료 특성시험</b>                                        |    |   |     |    |                 |       | <b>₩1,966</b> |
|  |   | ○ |  |   | 탄소섬유 테이프 복합재료 데이터베이스                                              |    |   |     |    |                 | (36 ) | (762 )        |
|  |   |   |  | ○ | Test Plan / 시험보고서 작성                                              | 10 | 1 | 2   | 10 | 자료수집, 문서출력,출장비  | 0.6   | ₩12.6         |
|  |   |   |  | ○ | 품질보증 활동                                                           | 10 | 2 | 4   | 10 | 자료수집, 문서출력,출장비  | 0.7   | ₩14.7         |
|  |   |   |  | ○ | 비경화 물성 특성시험 계획서 작성                                                | 2  | 1 | 0.4 | 5  | 자료수집, 문서출력,출장비  | 0.27  | ₩5.7          |
|  |   |   |  | ○ | Flow 및 gel time/volatile content/Resin content/Fiber areal weight | 2  | 1 | 0.4 | 10 | 장비사용료,문서출력,     | 0.52  | ₩10.9         |
|  |   |   |  | ○ | Shop handling properties (Out time and storage life 결정)           | 2  | 1 | 0.4 | 5  | 자료수집, 회의비, 출장비  | 0.27  | ₩5.7          |
|  |   |   |  | ○ | 열물성 및 성분 시험 (DSC, RDS, HPLC, FTIR)                                | 5  | 1 | 1   | 10 | 장비사용료,문서출력,     | 0.55  | ₩11.6         |

|  |  |  |   |   |                                                                   |    |   |     |     |                 |      |        |
|--|--|--|---|---|-------------------------------------------------------------------|----|---|-----|-----|-----------------|------|--------|
|  |  |  |   | ○ | 경화후 물성시험                                                          | 10 | 1 | 2   | 5   | 장비사용료,문서출력,     | 0.35 | ₩7.4   |
|  |  |  |   | ○ | 밀도 및 ply 두께/fiber volume fraction/ 유리천이온도                         | 2  | 1 | 0.4 | 5   | 장비사용료,문서출력,     | 0.27 | ₩5.7   |
|  |  |  |   | ○ | 최대 운용조건 결정 (dry and wet)                                          | 2  | 1 | 0.4 | 5   | 장비사용료,문서출력,     | 0.27 | ₩5.7   |
|  |  |  |   | ○ | Moisture diffusivity 및 Equilibrium moisture content               | 20 | 1 | 4   | 5   | 장비사용료,문서출력,     | 0.45 | ₩9.5   |
|  |  |  |   | ○ | Coupon accept/reject 기준 확립                                        | 5  | 1 | 1   | 10  | 재료비, 시편가공비      | 0.55 | ₩11.6  |
|  |  |  |   | ○ | 시험기관 선정을 위한 Round Robin Test 추진                                   | 10 | 1 | 2   | 140 | 재료비, 시편가공비      | 7.1  | ₩149.1 |
|  |  |  | ○ |   | 시편제작및시험                                                           |    |   |     |     |                 |      |        |
|  |  |  |   | ○ | 시편용 패널 제작                                                         |    |   |     |     | 재료비, 장비사용료,패널제작 | 0    | ₩0.0   |
|  |  |  |   | ○ | Control of voids and resin content (breathing, bleeding, bagging) | 3  | 1 | 0.6 | 5   | 장비사용료,문서출력,     | 0.28 | ₩5.9   |
|  |  |  |   | ○ | 경화주기 파라미터 결정                                                      | 5  | 1 | 1   | 5   | 장비사용료,문서출력,회의비  | 0.3  | ₩6.3   |
|  |  |  |   | ○ | Laminate/coupon traceability                                      | 2  | 1 | 0.4 | 5   | 장비사용료,문서출력,     | 0.27 | ₩5.7   |
|  |  |  |   | ○ | Laminate secondary operations                                     | 5  | 1 | 1   | 5   | 장비사용료,문서출력,     | 0.3  | ₩6.3   |
|  |  |  |   | ○ | Tab (doubler) construction and bonding                            | 5  | 1 | 1   | 5   | 장비사용료,문서출력,재료비  | 0.3  | ₩6.3   |
|  |  |  |   | ○ | 비파괴검사 (NDI)                                                       | 30 | 1 | 6   | 50  | 장비사용료,문서출력,     | 2.8  | ₩58.8  |
|  |  |  |   | ○ | 시험시편 가공                                                           | 50 | 2 | 20  | 90  | 장비사용료,문서출력,     | 5.5  | ₩115.5 |
|  |  |  | ○ |   | 경화후 기계적 특성 시험                                                     |    |   |     |     |                 |      |        |
|  |  |  |   | ○ | 기계적 시험을 위한 Environmental conditioning                             | 60 | 1 | 12  | 14  | 장비사용료,문서출력,     | 1.3  | ₩27.3  |
|  |  |  |   | ○ | "Dry" / "Wet" coupon conditioning                                 | 60 | 1 | 12  | 14  | 장비사용료,문서출력      | 1.3  | ₩27.3  |
|  |  |  |   | ○ | Strain gaging                                                     | 20 | 1 | 4   | 20  | 장비사용료, 재료비      | 1.2  | ₩25.2  |
|  |  |  |   | ○ | 시험절차서 및 결과보고서                                                     | 10 | 1 | 2   | 20  | 장비사용료,문서출력      | 1.1  | ₩23.1  |
|  |  |  |   | ○ | 시험중의 Environmental conditioning                                   | 10 | 1 | 2   | 5   | 장비사용료,문서출력      | 0.35 | ₩7.4   |

|  |  |   |   |   |                                                                   |    |   |     |    |                |       |        |
|--|--|---|---|---|-------------------------------------------------------------------|----|---|-----|----|----------------|-------|--------|
|  |  |   |   | ○ | 0° tensileproperties                                              | 10 | 1 | 2   | 10 | 장비사용료,시험료      | 0.6   | ₩12.6  |
|  |  |   |   | ○ | 90° tensileproperties                                             | 10 | 1 | 2   | 10 | 장비사용료,시험료      | 0.6   | ₩12.6  |
|  |  |   |   | ○ | 0° compression strength                                           | 10 | 1 | 2   | 10 | 장비사용료,시험료      | 0.6   | ₩12.6  |
|  |  |   |   | ○ | 0° compression modulus                                            | 10 | 1 | 2   | 10 | 장비사용료,시험료      | 0.6   | ₩12.6  |
|  |  |   |   | ○ | 90° compression strength                                          | 10 | 1 | 2   | 10 | 장비사용료,시험료      | 0.6   | ₩12.6  |
|  |  |   |   | ○ | 90° compression modulus                                           | 10 | 1 | 2   | 10 | 장비사용료,시험료      | 0.6   | ₩12.6  |
|  |  |   |   | ○ | In-plane shear properties                                         | 10 | 1 | 2   | 20 | 장비사용료,시험료      | 1.1   | ₩23.1  |
|  |  |   |   | ○ | Short beam shear properties                                       | 10 | 1 | 2   | 20 | 장비사용료,시험료      | 1.1   | ₩23.1  |
|  |  |   |   | ○ | Open hole tension properties                                      | 20 | 1 | 4   | 20 | 장비사용료,시험료      | 1.2   | ₩25.2  |
|  |  |   |   | ○ | Filled hole tension properties                                    | 20 | 1 | 4   | 20 | 장비사용료,시험료      | 1.2   | ₩25.2  |
|  |  |   |   | ○ | Open hole compression properties                                  | 20 | 1 | 4   | 20 | 장비사용료,시험료      | 1.2   | ₩25.2  |
|  |  | ○ |   |   | 탄소섬유 패브릭 복합재료 데이터베이스                                              |    |   |     |    |                | (24 ) | (576 ) |
|  |  |   | ○ |   | Test Plan / 시험보고서 작성                                              | 5  | 1 | 1   | 20 | 자료수집, 문서출력,출장비 | 1.05  | ₩22.1  |
|  |  |   |   | ○ | 품질보증 활동                                                           | 10 | 2 | 4   | 20 | 자료수집, 문서출력,출장비 | 1.2   | ₩25.2  |
|  |  |   |   | ○ | 비경화 물성 특성시험 계획서 작성                                                | 2  | 1 | 0.4 | 5  | 자료수집, 문서출력,출장비 | 0.27  | ₩5.7   |
|  |  |   |   | ○ | Flow 및 gel time/volatile content/Resin content/Fiber areal weight | 2  | 1 | 0.4 | 5  | 장비사용료,문서출력,    | 0.27  | ₩5.7   |
|  |  |   |   | ○ | Shop handling properties (Out time and storage life 결정)           | 2  | 1 | 0.4 | 5  | 자료수집, 회의비, 출장비 | 0.27  | ₩5.7   |
|  |  |   |   | ○ | 열물성 및 성분 시험 (DSC, RDS, HPLC, FTIR)                                | 5  | 1 | 1   | 10 | 장비사용료,문서출력,    | 0.55  | ₩11.6  |
|  |  |   |   | ○ | 경화후 물성시험                                                          | 10 | 1 | 2   | 5  | 장비사용료,문서출력,    | 0.35  | ₩7.4   |
|  |  |   |   | ○ | 밀도 및 Ply 두께/Fiber volume fraction/유리전이온도                          | 2  | 1 | 0.4 | 5  | 장비사용료,문서출력,    | 0.27  | ₩5.7   |
|  |  |   |   | ○ | 최대 운용조건 결정 (Dry and wet)                                          | 2  | 1 | 0.4 | 3  | 장비사용료,문서출력,    | 0.17  | ₩3.6   |

|  |  |  |   |   |                                                                   |    |   |     |     |                 |      |        |
|--|--|--|---|---|-------------------------------------------------------------------|----|---|-----|-----|-----------------|------|--------|
|  |  |  |   | ○ | Moisture diffusivity 및 Equilibrium moisture content               | 20 | 1 | 4   | 10  | 장비사용료,문서출력,     | 0.7  | ₩14.7  |
|  |  |  |   | ○ | Coupon accept/reject 기준 확립                                        | 5  | 1 | 1   | 10  | 재료비, 시편가공비      | 0.55 | ₩11.6  |
|  |  |  |   | ○ | 시험기관 선정을 위한 Round Robin Test 추진                                   | 10 | 1 | 2   | 20  | 재료비, 시편가공비      | 1.1  | ₩23.1  |
|  |  |  | ○ |   | 시편제작및시험                                                           |    |   |     |     |                 |      |        |
|  |  |  |   | ○ | 시편용 패널 제작                                                         |    |   |     |     | 재료비, 장비사용료,패널제작 | 0    | ₩0.0   |
|  |  |  |   | ○ | Control of voids and resin content (breathing, bleeding, bagging) | 3  | 1 | 0.6 | 5   | 장비사용료,문서출력,     | 0.28 | ₩5.9   |
|  |  |  |   | ○ | 경화주기 파라미터 결정                                                      | 5  | 1 | 1   | 5   | 장비사용료,문서출력,회의비  | 0.3  | ₩6.3   |
|  |  |  |   | ○ | Laminate/coupon traceability                                      | 2  | 1 | 0.4 | 5   | 장비사용료,문서출력,     | 0.27 | ₩5.7   |
|  |  |  |   | ○ | Laminate secondary operations                                     | 5  | 1 | 1   | 5   | 장비사용료,문서출력,     | 0.3  | ₩6.3   |
|  |  |  |   | ○ | Tab (doubler) construction and bonding                            | 5  | 1 | 1   | 10  | 장비사용료,문서출력,재료비  | 0.55 | ₩11.6  |
|  |  |  |   | ○ | 비파괴검사 (NDI)                                                       | 30 | 1 | 6   | 56  | 장비사용료,문서출력,     | 3.1  | ₩65.1  |
|  |  |  |   | ○ | 시험 시편 가공                                                          | 50 | 2 | 20  | 100 | 장비사용료,문서출력,     | 6    | ₩126.0 |
|  |  |  | ○ |   | 경화후 기계적 특성 시험                                                     |    |   |     |     |                 |      |        |
|  |  |  |   | ○ | 기계적 시험을 위한 Environmental conditioning                             | 60 | 1 | 12  | 10  | 장비사용료,문서출력,     | 1.1  | ₩23.1  |
|  |  |  |   | ○ | "Dry" / "Wet" coupon conditioning                                 | 60 | 1 | 12  | 10  | 장비사용료,문서출력      | 1.1  | ₩23.1  |
|  |  |  |   | ○ | Strain gaging                                                     | 20 | 1 | 4   | 20  | 장비사용료, 재료비      | 1.2  | ₩25.2  |
|  |  |  |   | ○ | 시험절차서 및 결과보고서                                                     | 10 | 1 | 2   | 5   | 장비사용료,문서출력      | 0.35 | ₩7.4   |
|  |  |  |   | ○ | 시험중의 Environmental conditioning                                   | 10 | 1 | 2   | 5   | 장비사용료,문서출력      | 0.35 | ₩7.4   |
|  |  |  |   | ○ | 0° tensileproperties                                              | 10 | 1 | 2   | 10  | 장비사용료           | 0.6  | ₩12.6  |
|  |  |  |   | ○ | 90° tensileproperties                                             | 10 | 1 | 2   | 10  | 장비사용료           | 0.6  | ₩12.6  |
|  |  |  |   | ○ | 0° compression strength                                           | 10 | 1 | 2   | 10  | 장비사용료           | 0.6  | ₩12.6  |

|  |  |   |   |   |                                                                   |    |   |     |    |                 |      |        |
|--|--|---|---|---|-------------------------------------------------------------------|----|---|-----|----|-----------------|------|--------|
|  |  |   |   | ○ | 0° compression modulus                                            | 10 | 1 | 2   | 10 | 장비사용료           | 0.6  | ₩12.6  |
|  |  |   |   | ○ | 90° compression strength                                          | 10 | 1 | 2   | 10 | 장비사용료           | 0.6  | ₩12.6  |
|  |  |   |   | ○ | 90° compression modulus                                           | 10 | 1 | 2   | 10 | 장비사용료           | 0.6  | ₩12.6  |
|  |  |   |   | ○ | In-plane shear properties                                         | 10 | 1 | 2   | 20 | 장비사용료           | 1.1  | ₩23.1  |
|  |  |   |   | ○ | Short beam shear properties                                       | 10 | 1 | 2   | 20 | 장비사용료           | 1.1  | ₩23.1  |
|  |  | ○ |   |   | 유리섬유 패브릭 복합재료 데이터베이스                                              |    |   |     |    |                 | (30) | (628 ) |
|  |  |   | ○ |   | Test Plan / 시험보고서 작성                                              | 5  | 1 | 1   | 20 | 자료수집, 문서출력,출장비  | 1.05 | ₩22.1  |
|  |  |   |   | ○ | 품질보증 활동                                                           | 10 | 2 | 4   | 20 | 자료수집, 문서출력,출장비  | 1.2  | ₩25.2  |
|  |  |   |   | ○ | 비경화 물성 특성시험 계획서 작성                                                | 2  | 1 | 0.4 | 10 | 자료수집, 문서출력,출장비  | 0.52 | ₩10.9  |
|  |  |   |   | ○ | Flow 및 gel time/volatile content/Resin content/Fiber areal weight | 2  | 1 | 0.4 | 8  | 장비사용료,문서출력,     | 0.42 | ₩8.8   |
|  |  |   |   | ○ | Shop handling properties (out time and storage life 결정)           | 2  | 1 | 0.4 | 5  | 자료수집, 회의비, 출장비  | 0.27 | ₩5.7   |
|  |  |   |   | ○ | 열물성 및 성분 시험 (DSC, RDS, HPLC, FTIR)                                | 5  | 1 | 1   | 10 | 장비사용료,문서출력,     | 0.55 | ₩11.6  |
|  |  |   |   | ○ | 경화후 물성시험                                                          | 10 | 1 | 2   | 10 | 장비사용료,문서출력,     | 0.6  | ₩12.6  |
|  |  |   |   | ○ | 밀도 및 ply 두께/fiber volume fraction/ 유리천이온도                         | 2  | 1 | 0.4 | 10 | 장비사용료,문서출력,     | 0.52 | ₩10.9  |
|  |  |   |   | ○ | 최대 운용조건 결정 (dry and wet)                                          | 2  | 1 | 0.4 | 10 | 장비사용료,문서출력,     | 0.52 | ₩10.9  |
|  |  |   |   | ○ | Moisture diffusivity 및 Equilibrium moisture content               | 20 | 1 | 4   | 10 | 장비사용료,문서출력,     | 0.7  | ₩14.7  |
|  |  |   |   | ○ | Coupon accept/reject 기준 확립                                        | 5  | 1 | 1   | 10 | 재료비, 시편가공비      | 0.55 | ₩11.6  |
|  |  |   |   | ○ | 시험기관 선정을 위한 Round Robin Test 추진                                   | 10 | 1 | 2   | 20 | 재료비, 시편가공비      | 1.1  | ₩23.1  |
|  |  |   | ○ |   | 시편제작 및 시험                                                         |    |   |     |    |                 |      |        |
|  |  |   |   | ○ | 시편용 패널 제작                                                         |    |   |     |    | 재료비, 장비사용료,패널제작 | 0    | ₩0.0   |
|  |  |   |   | ○ | Control of voids and resin content (breathing, bleeding, bagging) | 3  | 1 | 0.6 | 10 | 장비사용료,문서출력,     | 0.53 | ₩11.1  |

|  |   |  |   |   |                                        |    |   |     |     |                |      |        |
|--|---|--|---|---|----------------------------------------|----|---|-----|-----|----------------|------|--------|
|  |   |  |   | ○ | 경화주기 파라미터 결정                           | 5  | 1 | 1   | 10  | 장비사용료,문서출력,회의비 | 0.55 | ₩11.6  |
|  |   |  |   | ○ | Laminate/coupon traceability           | 2  | 1 | 0.4 | 10  | 장비사용료,문서출력,    | 0.52 | ₩10.9  |
|  |   |  |   | ○ | Laminate secondary operations          | 5  | 1 | 1   | 10  | 장비사용료,문서출력,    | 0.55 | ₩11.6  |
|  |   |  |   | ○ | Tab (doubler) construction and bonding | 5  | 1 | 1   | 10  | 장비사용료,문서출력,재료비 | 0.55 | ₩11.6  |
|  |   |  |   | ○ | 비파괴검사 (NDI)                            | 30 | 1 | 6   | 60  | 장비사용료,문서출력,    | 3.3  | ₩69.3  |
|  |   |  |   | ○ | 시험 시편 가공                               | 50 | 2 | 20  | 100 | 장비사용료,문서출력,    | 6    | ₩126.0 |
|  |   |  | ○ |   | 경화후 기계적 특성 시험                          |    |   |     |     |                |      |        |
|  |   |  |   | ○ | 기계적 시험을 위한 Environmental conditioning  | 60 | 1 | 12  | 10  | 장비사용료,문서출력,    | 1.1  | ₩23.1  |
|  |   |  |   | ○ | "Dry" / "Wet" coupon conditioning      | 60 | 1 | 12  | 10  | 장비사용료,문서출력     | 1.1  | ₩23.1  |
|  |   |  |   | ○ | Strain gaging                          | 20 | 1 | 4   | 20  | 장비사용료, 재료비     | 1.2  | ₩25.2  |
|  |   |  |   | ○ | 시험절차서 및 결과보고서                          | 10 | 1 | 2   | 5   | 장비사용료,문서출력     | 0.35 | ₩7.4   |
|  |   |  |   | ○ | 시험중의 Environmental conditioning        | 10 | 1 | 2   | 5   | 장비사용료,문서출력     | 0.35 | ₩7.4   |
|  |   |  |   | ○ | 0° tensileproperties                   | 10 | 1 | 2   | 10  | 장비사용료          | 0.6  | ₩12.6  |
|  |   |  |   | ○ | 90° tensileproperties                  | 10 | 1 | 2   | 10  | 장비사용료          | 0.6  | ₩12.6  |
|  |   |  |   | ○ | 0° compression strength                | 10 | 1 | 2   | 10  | 장비사용료          | 0.6  | ₩12.6  |
|  |   |  |   | ○ | 0° compression modulus                 | 10 | 1 | 2   | 10  | 장비사용료          | 0.6  | ₩12.6  |
|  |   |  |   | ○ | 90° compression strength               | 10 | 1 | 2   | 10  | 장비사용료          | 0.6  | ₩12.6  |
|  |   |  |   | ○ | 90° compression modulus                | 10 | 1 | 2   | 10  | 장비사용료          | 0.6  | ₩12.6  |
|  |   |  |   | ○ | In-plane shear properties              | 10 | 1 | 2   | 20  | 장비사용료          | 1.1  | ₩23.1  |
|  |   |  |   | ○ | Short beam shear properties            | 10 | 1 | 2   | 20  | 장비사용료          | 1.1  | ₩23.1  |
|  | ○ |  |   |   | 복합재료 데이터베이스 공유 및 관리체계 구축               |    |   |     |     |                |      | ₩1,694 |

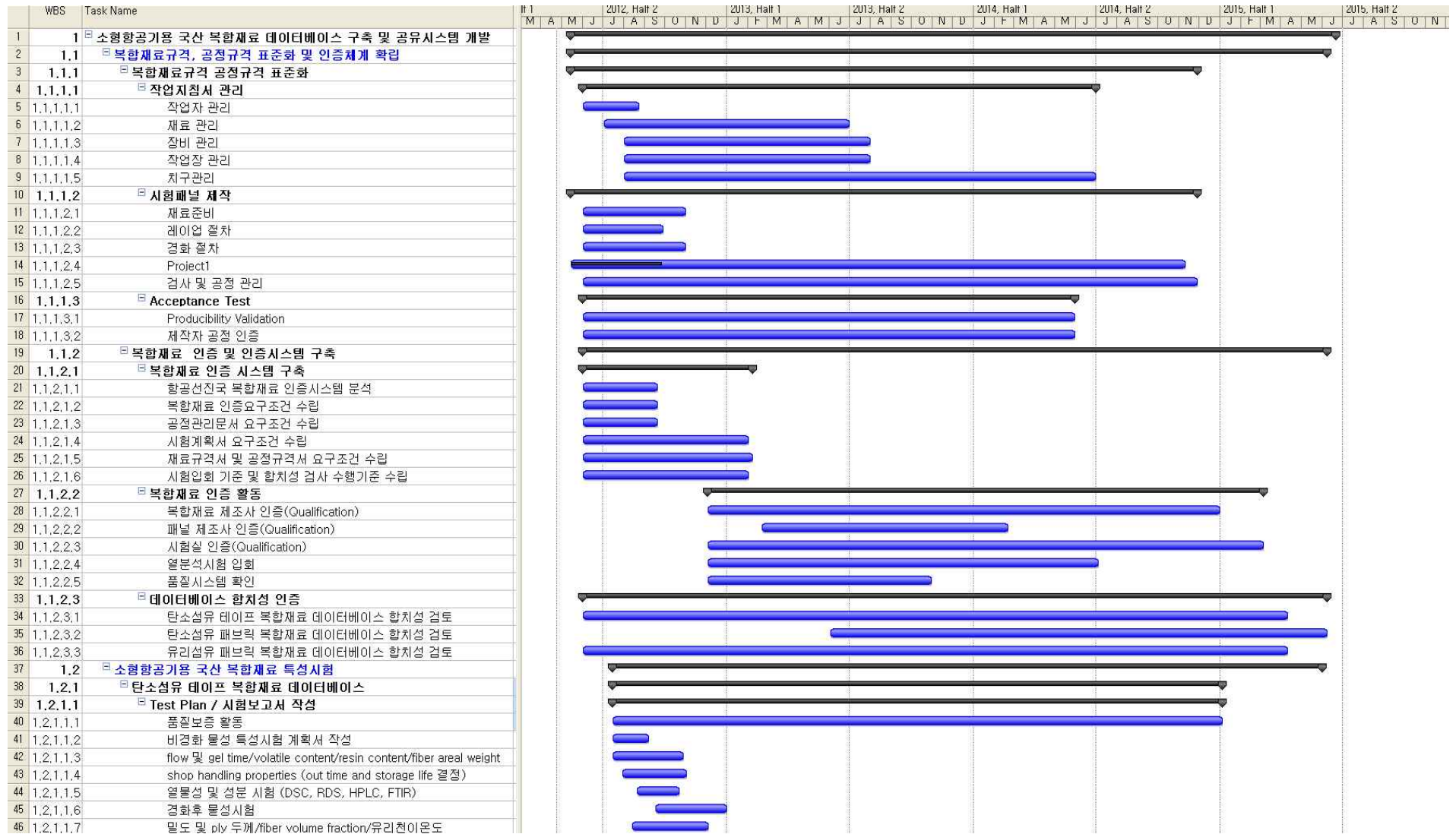
|  |  |   |   |                                                                        |     |   |    |    |                 |       |        |
|--|--|---|---|------------------------------------------------------------------------|-----|---|----|----|-----------------|-------|--------|
|  |  | ○ |   | 사업총괄 및 공유 시스템 개발                                                       |     |   |    |    |                 | (28 ) | (595 ) |
|  |  |   | ○ | 데이터베이스 관리                                                              |     |   |    |    |                 |       |        |
|  |  |   |   | ○ 사업관리계획서 작성                                                           | 20  | 3 | 12 | 20 | 자료수집, 문서관리시스템확립 | 1.6   | ₩33.6  |
|  |  |   |   | ○ 데이터베이스 개발 계획서 작성                                                     | 30  | 2 | 12 | 5  | 자료수집, 문서관리시스템확립 | 0.85  | ₩17.9  |
|  |  |   |   | ○ 표준업무절차서 개발                                                           | 100 | 3 | 60 | 5  | 문서출력, 회의비, 출장비  | 3.25  | ₩68.3  |
|  |  |   |   | ○ 데이터베이스 확립 work flow 작성                                               | 50  | 3 | 20 | 10 | 문서출력, 회의비, 출장비  | 1.5   | ₩31.5  |
|  |  |   |   | ○ 데이터베이스 요구조건 확립                                                       | 10  | 3 | 4  | 2  | 문서출력, 회의비, 출장비  | 0.3   | ₩6.3   |
|  |  |   |   | ○ Requirements Check Sheet 작성                                          | 50  | 3 | 30 | 10 | 자료수집, 회의비, 출장비  | 2     | ₩42.0  |
|  |  |   |   | ○ 각 요구조건을 만족하기 위한 시험 및 해석 계획서 작성                                       | 50  | 3 | 30 | 5  | 자료수집, 회의비, 출장비  | 1.75  | ₩36.8  |
|  |  |   |   | ○ Requirements분류                                                       | 10  | 3 | 6  | 5  | 자료수집, 회의비, 출장비  | 0.55  | ₩11.6  |
|  |  |   |   | ○ 재료공급자데이터검토                                                           | 30  | 3 | 18 | 20 | 자료수집, 회의비, 출장비  | 1.9   | ₩39.9  |
|  |  |   |   | ○ Round Robin Test 계획서 작성                                              | 10  | 2 | 4  | 2  | 자료수집, 회의비, 출장비  | 0.3   | ₩6.3   |
|  |  |   |   | ○ 제조공정 검토                                                              | 60  | 3 | 36 | 50 | 자료수집, 회의비, 출장비  | 4.3   | ₩90.3  |
|  |  |   |   | ○ Critical, specific "show-stopper" tests (most critical requirements) | 10  | 1 | 2  | 5  | 자료수집, 회의비, 출장비  | 0.35  | ₩7.4   |
|  |  |   |   | ○ Screening matrices 확정                                                | 20  | 1 | 4  | 1  | 자료수집, 회의비, 출장비  | 0.25  | ₩5.3   |
|  |  |   |   | ○ 재료 선정서 작성                                                            | 20  | 1 | 4  | 1  | 자료수집, 회의비, 출장비  | 0.25  | ₩5.3   |
|  |  |   |   | ○ Qualification matrices 확정 (Three-벡취)                                 | 20  | 1 | 4  | 4  | 문서출력, 회의비, 출장비  | 0.4   | ₩8.4   |
|  |  |   |   | ○ 데이터베이스관리용 소프트웨어 개발                                                   | 40  | 3 | 24 | 40 | 장비사용, 회의비, 출장비  | 3.2   | ₩67.2  |
|  |  |   | ○ | 전문가그룹 운영                                                               |     |   |    |    |                 |       |        |
|  |  |   |   | ○ 소재분야 WG                                                              | 30  | 3 | 18 | 40 | 문서출력, 회의비, 자문비  | 2.9   | ₩60.9  |
|  |  |   |   | ○ 공정분야 WG                                                              | 20  | 3 | 12 | 20 | 문서출력, 회의비, 자문비  | 1.6   | ₩33.6  |

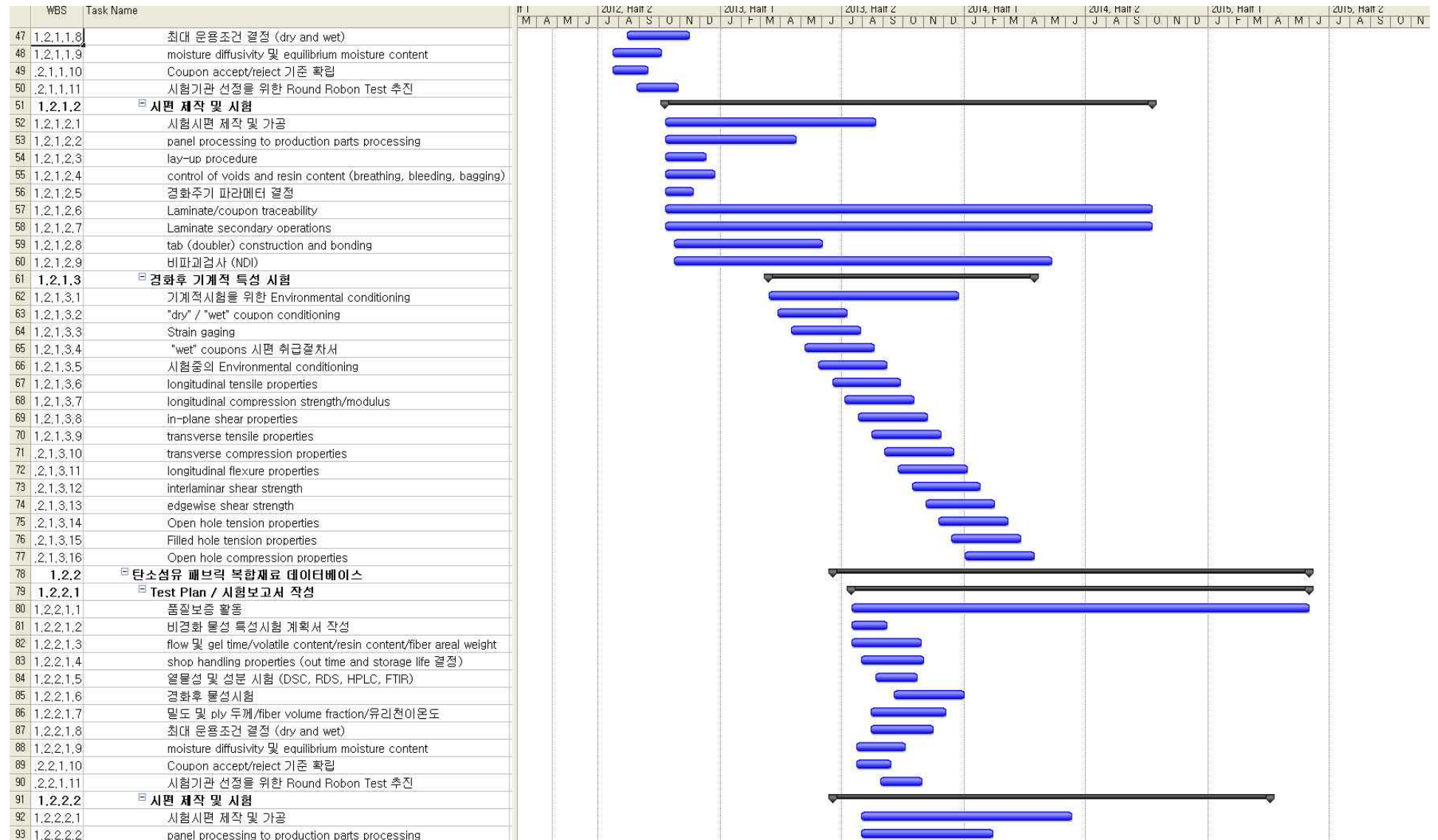
|  |  |  |  |   |                                          |     |   |    |    |                |       |        |
|--|--|--|--|---|------------------------------------------|-----|---|----|----|----------------|-------|--------|
|  |  |  |  | ○ | 해석분야 WG                                  | 20  | 3 | 12 | 10 | 문서출력, 회의비, 자문비 | 1.1   | ₩23.1  |
|  |  |  |  | ○ | 재료설계값 관리체제 확립                            |     |   |    |    |                | (29 ) | (599 ) |
|  |  |  |  |   | Sources of variability 확인                |     |   |    |    |                |       |        |
|  |  |  |  | ○ | "batch" variability                      | 40  | 3 | 24 | 4  | 문서출력, 기술검토,출장비 | 1.4   | ₩29.4  |
|  |  |  |  | ○ | Panel/coupon fabrication variability     | 20  | 3 | 12 | 10 | 문서출력, 기술검토,출장비 | 1.1   | ₩23.1  |
|  |  |  |  | ○ | Preconditioning variability              | 20  | 2 | 8  | 4  | 문서출력, 기술검토,출장비 | 0.6   | ₩12.6  |
|  |  |  |  | ○ | Testing variability                      | 20  | 3 | 12 | 10 | 문서출력, 기술검토,출장비 | 1.1   | ₩23.1  |
|  |  |  |  | ○ | Data normalization - composite laminates | 40  | 2 | 16 | 5  | 문서출력, 기술검토,출장비 | 1.05  | ₩22.1  |
|  |  |  |  | ○ | Methodology                              | 40  | 2 | 16 | 5  | 문서출력, 기술검토,출장비 | 1.05  | ₩22.1  |
|  |  |  |  | ○ | Structural analysis implications         | 50  | 3 | 30 | 20 | 자료수집, 해석툴      | 2.5   | ₩52.5  |
|  |  |  |  | ○ | 설계허용값(material allowables) 산출            |     |   |    |    |                |       |        |
|  |  |  |  | ○ | Allowables from a single data set        | 30  | 1 | 6  | 2  | 문서출력, 자문비, 해석툴 | 0.4   | ₩8.4   |
|  |  |  |  | ○ | Distributional form                      | 40  | 3 | 24 | 20 | 문서출력, 자문비, 해석툴 | 2.2   | ₩46.2  |
|  |  |  |  | ○ | Allowables calculations                  | 100 | 3 | 60 | 20 | 문서출력, 자문비, 해석툴 | 4     | ₩84.0  |
|  |  |  |  | ○ | 통계적 검토                                   | 20  | 2 | 8  | 5  | 문서출력, 자문비, 해석툴 | 0.65  | ₩13.7  |
|  |  |  |  | ○ | Variability 취급 및 평가                      | 20  | 2 | 8  | 5  | 문서출력, 자문비, 해석툴 | 0.65  | ₩13.7  |
|  |  |  |  | ○ | 이상점 평가(outlier data)                     | 50  | 3 | 20 | 10 | 문서출력, 자문비, 해석툴 | 1.5   | ₩31.5  |
|  |  |  |  | ○ | Batch and data set variability           | 20  | 3 | 12 | 5  | 문서출력, 회의비, 출장비 | 0.85  | ₩17.9  |
|  |  |  |  | ○ | Calculations after normalization         | 40  | 3 | 24 | 5  | 문서출력, 회의비, 출장비 | 1.45  | ₩30.5  |
|  |  |  |  | ○ | Data normalization - core materials      | 15  | 1 | 3  | 5  | 문서출력, 회의비, 출장비 | 0.4   | ₩8.4   |
|  |  |  |  | ○ | Data management and databases 공유시스템      | 100 | 3 | 60 | 25 | 문서출력, 회의비, 출장비 | 4.25  | ₩89.3  |

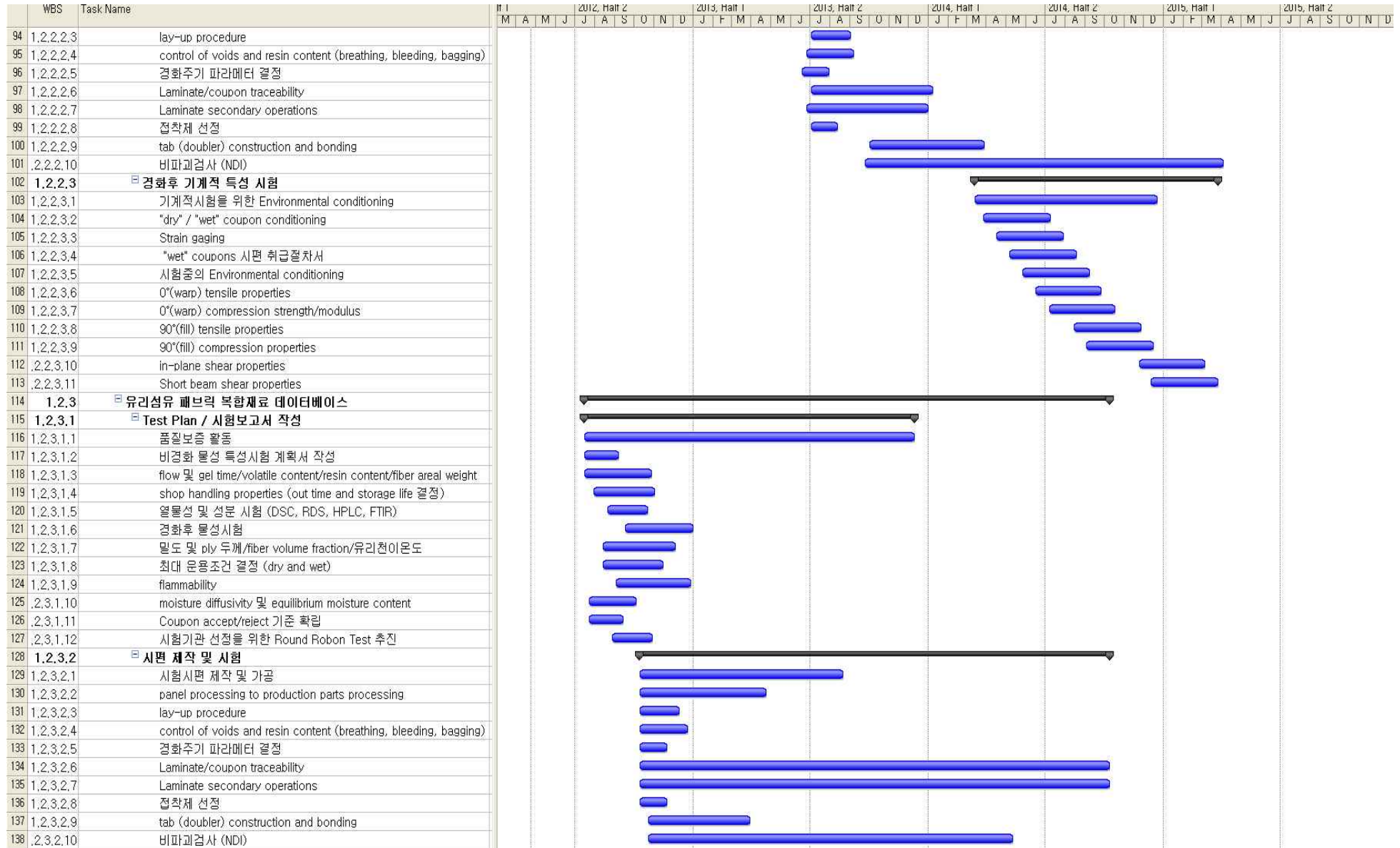
|  |   |   |   |   |                                                             |    |   |    |     |                 |       |        |
|--|---|---|---|---|-------------------------------------------------------------|----|---|----|-----|-----------------|-------|--------|
|  |   |   |   | ○ | Setting Specification Acceptance Values                     | 10 | 2 | 4  | 5   | 문서출력, 회의비, 출장비  | 0.45  | ₩9.5   |
|  |   |   |   | ○ | Physical properties - relationship to production processing | 40 | 3 | 24 | 5   | 문서출력, 회의비, 출장비  | 1.45  | ₩30.5  |
|  |   |   |   | ○ | Mechanical properties - relationship to allowables          | 40 | 3 | 24 | 5   | 문서출력, 회의비, 출장비  | 1.45  | ₩30.5  |
|  | ○ |   |   |   | 복합재 파손강도 정밀해석 연구                                            |    |   |    |     |                 | (33 ) | (500 ) |
|  |   | ○ |   |   | 복합재 파손강도 정밀해석 이론 연구                                         |    |   |    |     |                 |       |        |
|  |   |   | ○ |   | 복합재 미시역학적 파손이론 해석기법 현황 연구                                   | 60 | 1 | 15 | 1   | 자료수집, 회의비, 출장비  | 0.85  | ₩16.8  |
|  |   |   | ○ |   | 복합재 정밀해석 해외 상용프로그램 구매                                       | 20 | 1 | 5  | 110 | 자료수집, 해석프로그램 구매 | 5.75  | ₩120.8 |
|  |   |   | ○ |   | Fiber/Matrix Young's modulus/Poisson's ratio/Strength 측정시험  | 40 | 1 | 10 | 6   | 자료수집, 시험용역비     | 0.8   | ₩16.8  |
|  |   |   | ○ |   | Fiber/Matrix/Void volume fraction ratio 측정시험                | 40 | 1 | 10 | 5   | 자료수집, 시험용역비     | 0.75  | ₩15.8  |
|  |   |   | ○ |   | Fiber/Matrix 물성치 해석기법 분석 연구                                 | 60 | 1 | 15 | 1   | 문서출력, 출장비       | 0.8   | ₩16.8  |
|  |   | ○ |   |   | 복합재 파손강도 정밀해석 기법 분석 연구                                      |    |   |    |     |                 |       |        |
|  |   |   | ○ |   | Laminate Initial/Final failure strength 해석기법 분석 연구          | 40 | 1 | 10 | 1   | 문서출력, 회의비, 출장비  | 0.55  | ₩11.6  |
|  |   |   | ○ |   | Open hole 시편 강도 다양한 파손기준식 원리 분석 연구                          | 60 | 1 | 15 | 1   | 자료수집, 출장비       | 0.8   | ₩16.8  |
|  |   |   | ○ |   | Open hole 시편 강도 국부 파손에 의한 강도저하 기법 분석 연구                     | 60 | 1 | 15 | 1   | 자료수집, 출장비       | 0.8   | ₩16.8  |
|  |   |   | ○ |   | Open hole 시편 강도 Final failure strength 해석결과 분석              | 40 | 1 | 10 | 1   | 자료수집, 출장비       | 0.55  | ₩11.6  |
|  |   |   | ○ |   | 기본물성치 통계분포 고려 Open hole 시편 강도 B값 해석기법 분석                    | 60 | 1 | 15 | 1   | 문서출력, 출장비       | 0.8   | ₩16.8  |
|  |   |   | ○ |   | Laminate 강도 해석결과/시험결과 비교 분석                                 | 20 | 1 | 5  | 1   | 문서출력, 회의비, 출장비  | 0.3   | ₩6.3   |
|  |   |   | ○ |   | Open hole 강도 해석결과/시험결과 비교 분석                                | 20 | 1 | 5  | 1   | 문서출력, 회의비, 출장비  | 0.3   | ₩6.3   |
|  |   |   | ○ |   | 복합재 파손강도 정밀해석 프로그램 개발 연구                                    | 40 | 1 | 10 | 130 | 위탁연구 수행비        | 7     | ₩147.0 |
|  |   | ○ |   |   | 복합재 파손강도 정밀해석 프로그램 성능향상 연구                                  |    |   |    |     |                 |       |        |
|  |   |   | ○ |   | Open hole 강도 자작 프로그램 해석결과/시험결과 비교 분석                        | 40 | 1 | 10 | 1   | 문서출력, 회의비, 출장비  | 0.55  | ₩11.6  |

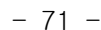
|     |  |  |   |                                               |      |     |    |   |           |          |       |
|-----|--|--|---|-----------------------------------------------|------|-----|----|---|-----------|----------|-------|
|     |  |  | ○ | 자작 프로그램 해석기법 장단점 분석 연구                        | 40   | 1   | 10 | 1 | 문서출력, 출장비 | 0.55     | ₩11.6 |
|     |  |  | ○ | Open hole 강도 자작 프로그램/상용 프로그램 해석결과 상호 비교 분석 연구 | 40   | 1   | 10 | 1 | 문서출력, 출장비 | 0.55     | ₩11.6 |
|     |  |  | ○ | 자작 프로그램/상용 프로그램 해석기법 비교 분석 연구                 | 40   | 1   | 10 | 1 | 문서출력, 출장비 | 0.55     | ₩11.6 |
|     |  |  | ○ | 미시역학적 파손 기준식 자작 프로그램 기법 성능향상 방안 연구            | 60   | 1   | 15 | 1 | 자료수집, 출장비 | 0.8      | ₩16.8 |
|     |  |  | ○ | 점진적 파손해석 기법 자작 프로그램 성능향상 방안 연구                | 60   | 1   | 15 | 1 | 자료수집, 출장비 | 0.8      | ₩16.8 |
| 소 계 |  |  |   |                                               | 5525 | 316 |    |   |           | ₩4,460.0 |       |

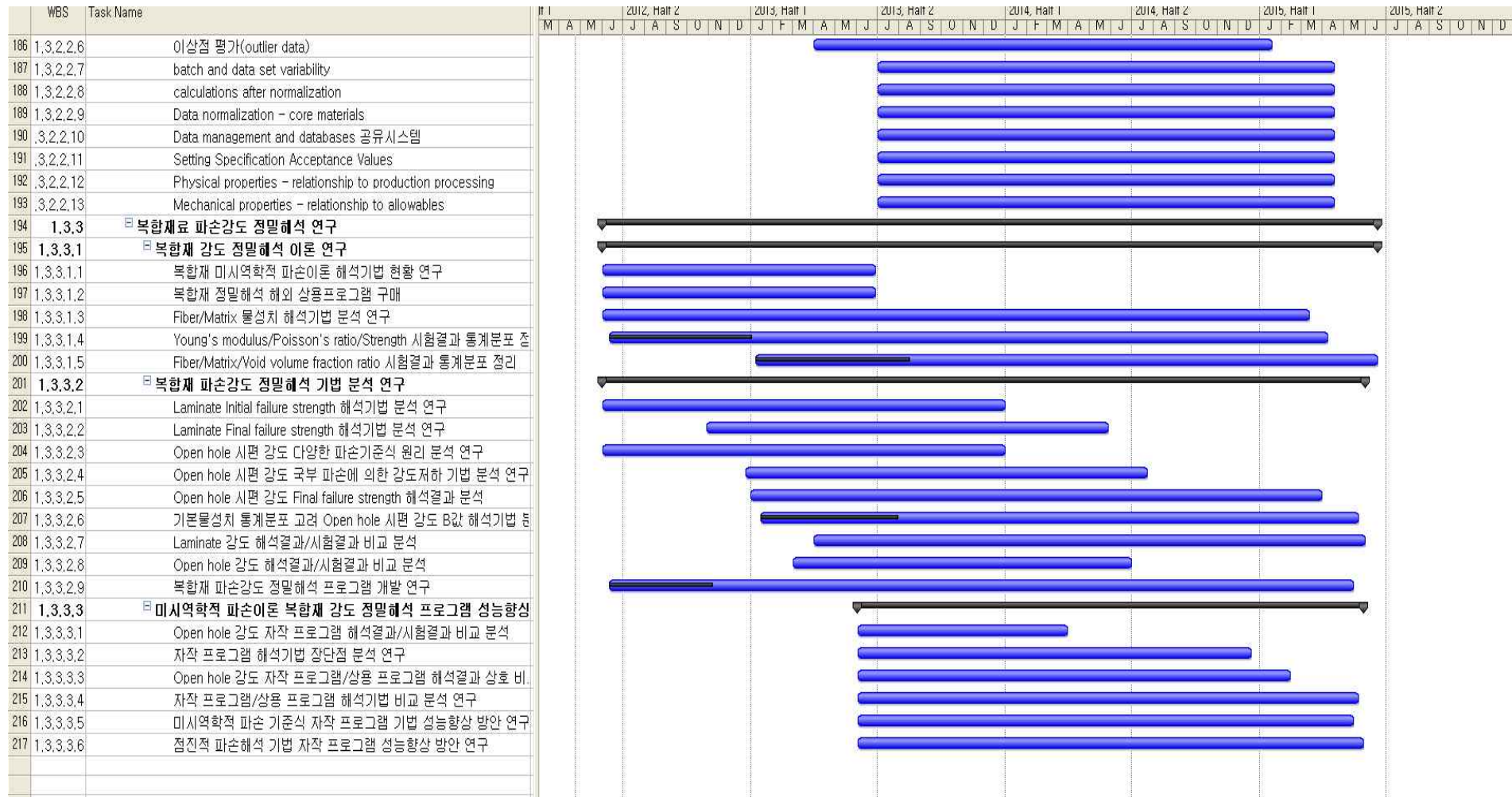
## 2. 개발일정 및 로드맵











## 4 전문가 자문 결과

### 1. 전문가 자문위원회 개최 결과

소형 항공기용 국산 복합재료 특성 데이터베이스 공유시스템 구축 신규과제 관련 전문가 자문을 3회에 걸쳐 수행

#### 가. 1 차 자문위원회 개요

- 일 시 : 2012년 3월 6일 (화) 3:00PM
- 장 소 : 한국항공우주연구원 항공안전기술개발사업단 2층 회의실
- 자문위원 : 총 9 명

| 전문가 자문 위원        |       |
|------------------|-------|
| 기 관              | 성 명   |
| KAI              | 송민환책임 |
| 한국화이바            | 안치운이사 |
| SK 케미칼           | 정훈희부장 |
| 대한항공             | 최홍섭부장 |
| 산업기술시험원          | 김병로팀장 |
| 충남대학교            | 김인걸교수 |
| 재료연구소            | 이상관박사 |
| 항공우주연구원          | 이호성팀장 |
| 항우(연) 항공우주안전인증센터 | 이승윤박사 |

#### 나. 2 차 자문위원회 개요

- 복합소재 선정과 경항공기 개발 현황 회의
- 일 시 : 2012년 3월 19일 (월) 5:00PM
- 장 소 : 한국항공우주연구원 항공안전기술개발사업단 1층 회의실
- 참석위원 : 데크항공 우종웅이사외 1인; 항우(연) 이호성팀장, 최익현박사(4명)

### 다. 3 차 자문위원회 개요

- 복합재료 DB 구축사업의 복합 소재 선정을 위한 기술검토 회의
- 일 시 : 2012년 3월 20일 (화) 10:00AM
- 장 소 : 한국항공우주연구원 항공안전기술개발사업단 2층 회의실
- 참석위원 : 한국항공 송민환책임, 대한항공 최홍섭부장, 항우(연) 이호성팀장, SK케미칼 이훈희부장, 한국화이바 안치운이사(5명)

### 라. 자문위원 검토 의견

| ○ 목표 및 내용 검토 의견 |                                                                                                                                                                                                                                   | 반영내역                                                                                                             |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 자문위원-A          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 안정적 공급 가능한 소재를 선정하여 DB 구축을 목표로 진행하였으면 합니다.</li> <li>○ 차후 항공용 소재에 국한하지 않고 복합재료의 DB구축까지 진행하였으면 합니다.</li> </ul>                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 생산소재 조사하여 결정</li> <li>○ 대상은 소형항공기/경항공기용이지만 다른 분야에 적용가능</li> </ul>    |
| 자문위원-B          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 소형항공기에서 요구하는 복합소재의 기계적 성능과 현재 생산 가능한 국산 복합소재의 기계적 성능의 차이를 고려하여 대상시편 선정</li> <li>○ 표준시편 결정이 필요<br/>(Carbon Fabric, Glass Prepreg)</li> <li>○ 재료선정 및 공정결정(표준화) (Autoclave 공정 등)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 반영하여 대상 소재 결정</li> <li>○ 표준시편 결정</li> <li>○ 현재 적용하고 있는 공정 결정</li> </ul> |
| 자문위원-C          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본 사업내 수행 가능한 인증체계 확립 범위 재검토 필요<br/>(동등성 시험 규격 및 항공선진국과의 상호인증체계 확립 포함 여부 등)</li> </ul>                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 향후 상호인증 가능하도록 추진</li> </ul>                                             |
| 자문위원-D          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구목표의 명확화가 요구됨.</li> <li>- 인증, 시험평가, 해석 등 여러 가지로 분산되어 있는 것처럼 보임</li> <li>- 연구비 대비 목표가 너무 광범위함</li> </ul>                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구목표 조정</li> <li>○ 연구비 고려 목표 조정</li> </ul>                              |
| 자문위원-E          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 사업효과 보충요망: KC100 등 수출계획에 따른 예상 매출액 수치</li> <li>○ 1차년도 연구목표 추가: 프리프레그 품질 인증시스템 구축(규격 설정)</li> </ul>                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ KC100 진행중이므로 미포함</li> <li>○ 1차년도에 규격설정 포함</li> </ul>                    |
| 자문위원-F          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 인증용 물성 DB 구축을 위한 목적 및 방향과 선행 연구 개념의 과제 및 프로그램을 구분하여 목표 수립하는 것이 필요함</li> <li>○ DB 공유하는 system이 목표로 선정될 필요가 있음</li> </ul>                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 목표에 따라 구분하여 추진 체계 수립</li> <li>○ 목표에 포함</li> </ul>                       |

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 선정된 자재의 당위성(가격, 제조공정 포함)이 RFP에 포함되는 것이 필요함</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 제조공정 포함, 가격은 조달 사업이 아니므로 비포함</li> </ul>                                                                                                                                                      |
| 자문위원-G | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국산복합재료의 정의 및 범위에 대하여 구체적으로 명시요망</li> <li>○ 표준시편 규격 및 제조방안에 대한 연구 내용을 1차년도에 추가할 것을 권장함</li> <li>○ Round Robin Test Plan도 검토 요망</li> <li>○ 복합재료는 공정에 따라 물성이 달라지므로 DB구축전에 소형항공기에 적합한 공정을 결정할 것을 권장함</li> <li>○ DB관련 인프라 구축(상호 협력 네트워크 구축)</li> <li>○ 제목 변경 요망</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ RFP에 구체적으로 명시</li> <li>○ 표준시편 규격 및 제조 내용 포함</li> <li>○ Round Robin Test Plan을 각 소재 시험계획에 포함</li> <li>○ 제조공정 명시</li> <li>○ DB공유 체계 포함</li> <li>○ 제목에 “소형항공기”, “국산”, “DB공유” 포함하여 변경</li> </ul> |
| 자문위원-H | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 50억으로 수행하기에 연구내용이 너무 많음</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구내용 재조정</li> </ul>                                                                                                                                                                          |
| 자문위원-I | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 과제제목이 포괄적이다. 중복성 평가에 대비하여 좀 더 구체화할 필요성이 높음</li> <li>○ 본 과제 종료후 개발 DB 및 SW를 국내 업체에 공개해주면 정부지원과제로서 지원 타당성이 크다고 판단됨</li> <li>○ 표준양식(공정서, 시험계획서, 시험결과 평가 통계 처리, 표준시편)을 적극 제시하면 큰 도움이 됨</li> </ul>                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 과제 제목 변경</li> <li>○ DB 공유내용 포함</li> <li>○ 표준화 내용 포함</li> </ul>                                                                                                                               |

| ○ 예산 및 기간의 적정성 |                                                                                                                                                                  | 반영내역                                                                                                       |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 자문위원-A         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 50억의 자금으로는 한정된 소재의 DB구축만 가능합니다.</li> <li>○ 개발 자재와 상응한 자재의 기준값을 마련할 경우 자재선정X2의 비용이 발생하오니 한정적으로 선정할 수 밖에 없습니다.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 예산 고려 연구내용 수정</li> <li>○ 소재 개발보다는 현재 생산하고 있는 국산소재로 한정</li> </ul>  |
| 자문위원-B         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구내용에 비하여 예산이 부족하고 기간이 부족하다고 생각합니다.</li> <li>- 주요 연구 내용 우선순위 고려하여 정리</li> </ul>                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구내용 재조정</li> </ul>                                               |
| 자문위원-C         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 사업 범위 고려하여 수정</li> </ul>                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구내용 재조정</li> </ul>                                               |
| 자문위원-D         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시편의 종류 및 Round Robin Test 여부 그리고, 해외자재와의 비교평가 등이 모두 고려되어야 한다면 시편의 종류는 2종이하로 하는 편이 좋을 것 같다.</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ “복합재료 DB 구축사업의 복합 소재 선정을 위한 기술검토 회의” 결과 국산소재 3 종으로 재조정</li> </ul> |
| 자문위원-F         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ R&amp;R(Role &amp; Responsibility)을 정립 후 예산편성을 하여 적절히 구분/배분하는 것이 필요함</li> <li>○ 선행연구과제의 예산이 전체예산 대비과다함</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구편성 재조정 및 역할 정립</li> <li>○ 선행연구 예산 재조정</li> </ul>                |

|        |                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 자문위원-G | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 일본의 사례를 들면 1970년부터 지금까지 꾸준히 국가적인 측면에서 DB를 구축하고 있음. 장기구축 수립 로드맵 작정을 권장함.</li> <li>○ 3년사업이 종료되더라도 구축 DB가 사장되지 않고 계속하여 활용할 수 있는 체계 구축이 필요</li> </ul>                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 계속적으로 사용 가능한 공유 시스템 구축내용 포함</li> </ul>                                                |
| 자문위원-H | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 예산이 너무 세분화 되어있음(WBS상)</li> </ul>                                                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 예산 재정리</li> </ul>                                                                     |
| 자문위원-I | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 3년 50억 예산에 비해 년도별 WBS에 나오는 연구업무 내용이 광범위하고 업무량이 과다할 수 있다고 사료되어 핵심 Target을 선정하여 진행할 필요성이 있다고 판단됩니다. 3년 단발성 과제 보다는 현재 탄소 섬유 T700 개발(효성, 생산준비중)에 따른 신소재도 곧 나올 예정이므로 보다 장기간에 걸쳐 DB가 구축되어야 실효성있는 사업이 될 것으로 봅니다.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 소재 생산시에 안정된 공정을 확립할 때까지 장시간 소요되므로 향후 사업에 포함될 때 사용할 수 있도록 DB공유 시스템 확립 내용 포함</li> </ul> |

| ○ 제안요구서 검토 의견 |                                                                                                                                                                                                                                        | 반영내역                                                                                                                                                                                                |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 자문위원-A        | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 원자재의 안정적 공급</li> <li>○ 설계 기준치가 먼저 선행되어야 그에 상응하는 자재가 검토될 수 있습니다.</li> <li>○ 인증에 따른 기술도입도 검토하였으면 합니다.</li> <li>○ 인증 절차와 시험편 허용치, Test 범위에 따른 금액이 차이가 심하게 발생하므로 인증 시험편 선정에도 주의를 요합니다.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 원소재의 안정적 공급 고려하여 대상 재료 선정</li> <li>○ 국산 복합재료의 재료설계값을 산출하기 위한 사업임</li> <li>○ 국내 인증체제 확립을 위하여 CMH-17을 통한 기술도입/협력 포함</li> <li>○ 인증 시험편 고려하여 예산 재정리</li> </ul> |
| 자문위원-B        | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 제목: 소형항공기용 국산 복합재료 DB (구축) 및 공유시스템 구축</li> </ul>                                                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ “소형항공기용 국산 복합재료 데이터베이스 공유시스템 구축”으로 제목 변경</li> </ul>                                                                                                        |
| 자문위원-C        | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본 사업 종료 이후까지 포함한 장기적인 복합재료 DB 구축 사업 로드맵 제시할 필요가 있다고 판단됨</li> <li>○ 사업 이후 복합재료 DB 관리 주체 및 비용 부담 문제 명시할 필요가 있다고 판단됨</li> </ul>                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 향후 기대효과에 포함</li> <li>○ DB관리 주체는 정부기관</li> </ul>                                                                                                            |
| 자문위원-D        | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Test Matrix에 대한 명확화 요구</li> <li>○ 인증 Process까지의 과정 및 인증 비용에 대한 검토</li> <li>○ 참여기관의 역할들에 대한 명확화 필요 (조직도 명확히)</li> </ul>                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시험 matrix 기준은 NCAMP 기준으로 명시</li> <li>○ 인증 Process 및 예산 결정</li> <li>○ 업무 분장 내용 포함</li> </ul>                                                                |

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                              |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 자문위원-E | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국산 복합재료의 항공용 품질 인증 체계 구축은 국내 현실을 반영한 체계 고려 필요함 (해외 BMS등 축소 운영고려)</li> <li>○ 국산 복합재료의 '정의(범위)'에 설정 필요 EX) 국내 생산 프리프레그</li> <li>○ 재료의 품질인증기관은 'KARI'에서 운영 요망</li> </ul>                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국산 복합재료를 사용하기 위한 국내 인증체계</li> <li>○ 수급가능을 고려하여 국내 생산 프리프레그로 범위 결정</li> <li>○ 법적인 기관으로 명시</li> </ul> |
| 자문위원-F | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 총괄기관의 업무정의, 참여업체 및 기관의 역할이 명확히 정의되어야 할 필요성이 있음</li> <li>○ DB구축을 위한 BBA의 경우 선정된 복합재료와 Compatible한 접착제를 고려하여 연구가 필요함</li> <li>○ Oven cure, Autoclave, Wet log up 등 공정에 대한 결정이 RFP 이전에 결정되어야 함. 경화온도 포함하여 결정요망</li> </ul>                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 각 기관의 업무 분장 내용 포함</li> <li>○ BBA는 사업지향적이라는 의견에 따라 삭제</li> <li>○ 공정 파라미터 포함</li> </ul>               |
| 자문위원-G | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해석부분의 내용이 너무 많음. 간단하게 요약하여 재정리요망</li> <li>○ 연구내용 부분을 일목요연하게<br/>예) Test plan→시편제작(비파괴)/1년<br/>→ 물리적→기계적→환경</li> <li>○ 시험 시편의 비파괴 검사→패널의 비파괴 검사</li> <li>○ 접착제 기계적 특성 부분 삭제 접착부 특성 시험으로 수정</li> <li>○ 1차년도 내용<br/>Material Selection, 표준시편/규격 등의 내용 추가 요망</li> <li>○ 연차내용 해석부 칸 항목으로</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 검토하여 그룹으로 재정리</li> <li>○ 연구내용 명확하게 정리</li> <li>○ 재료선정 및 표준시편내용 포함</li> <li>○ 해석부 항목 수정</li> </ul>   |
| 자문위원-H | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ RFP에 정량화 필요</li> <li>○ 평가시에 평가가능한 기준 제시</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 정량화 하여 포함</li> <li>○ 정량 기준 제시</li> </ul>                                                            |
| 자문위원-I | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 과제 내용 열거가 중복되거나 장황한 느낌이 있어 좀더 간단 명료하고 체계적으로 눈에 띄도록 작성(표, 그림 등 활용)하면 좋을듯합니다.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 과제 내용 재정리</li> </ul>                                                                                |

| ○ 대상 복합소재 선정 의견 |                                                                                                                                            | 반영내역                                                                                                                 |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 자문위원-A          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기존에 인증 받았던 재료를 기준으로 진행 했으면 합니다.</li> <li>○ 최종 선정된 항공기에 적용가능한 소재를 선정해야 하는 게 우선이라 생각합니다.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ “복합재료 DB 구축사업의 복합소재 선정을 위한 기술검토 회의”에서 결정</li> <li>○ 적용가능한 소재로 선정</li> </ul> |
| 자문위원-B          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 소형 항공기용으로 사용할 경우 국내 복합재료 Prepreg 제조업체 및 생산품을 고려하여 1차 구조물에 적용한 것보다</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ “복합재료 DB 구축사업의 복합소재 선정을 위한 기술검토 회의”에서 2차 구조물에 사용가능한 국산제품을 선정</li> </ul>     |

|        |                                                                                                                                                                           |                                                                                       |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|        | 2차구조물에 사용가능한 국산제품을 선정 하였으면 합니다.<br>ex) Glass/Epoxy(fabric), Carbon/Epoxy (fabric)                                                                                         |                                                                                       |
| 자문위원-C | ○ 기술 난이도 및 활용범위 고려하여 선정 할 필요 있음                                                                                                                                           | ○ “복합재료 DB 구축사업의 복합 소재 선정을 위한 기술검토 회의”에서 고려                                           |
| 자문위원-D | - Candidate Material에 대해 보다 명확하게 설정 필요<br>- 국내외 상황을 고려하여 적절한 소재 선정 필요하지만 이에 대한 guideline이 요청됨                                                                             | ○ “복합재료 DB 구축사업의 복합 소재 선정을 위한 기술검토 회의”에서 대상 복합재료 결정 및 규격 명시                           |
| 자문위원-E | ○ KAI, 대한항공 등 복합소재 사용(적용) 경험이 많은 기관이 Target 제품을 선정하길 추천함<br>○ 편조섬유 선정(조달 문제)에 주의요망                                                                                        | ○ “복합재료 DB 구축사업의 복합 소재 선정을 위한 기술검토 회의”에서 KAI, 대한항공의 의견반영하여 결정<br>○ 조달 문제 고려하여 반영      |
| 자문위원-F | ○ 국내 재료업체가 제안을 우선적으로 하고 End user 및 총괄기관이 재료선정에 참여 필요함<br>○ 과제 수행 전 대상복합재료 선정이 완료되어야 함<br>○ Glass/Ep 1순위, Carbon/Ep Fabric 2순위, Carbon Tape/Ep가 3순위가 되도록 함이 필요함            | ○ “복합재료 DB 구축사업의 복합 소재 선정을 위한 기술검토 회의” 개최 및 재료 선정<br><br>○ 반영되었음                      |
| 자문위원-G | ○ 국산 복합소재 범위 결정<br>○ 1차년도 Material Selection 혹은 RFP상에 결정 (예: Carbon Fabric/epoxy, Glass Fabric/epoxy)<br>○ 복합재료 제조 공정을 결정할 것 (Autoclave/Vacuum Bagging)                   | ○ “복합재료 DB 구축사업의 복합 소재 선정을 위한 기술검토 회의”에서 재료 및 제조공정 선정<br><br>○ RFP에 공정방법 명시           |
| 자문위원-H | ○ Glass/Fabric 우선적으로 선정<br>○ Carbon/Fabric 3K 선정<br>○ 기체 제작사와 상의해서 규격 결정할것                                                                                                | ○ “복합재료 DB 구축사업의 복합 소재 선정을 위한 기술검토 회의”에서 재료 선정                                        |
| 자문위원-I | ○ 국내에서 생산되고 있는 복합소재 (Fabric tape/CFRP, GFRP Prepreg)에 대해 해당 Product중 경쟁력이 있다고 생산업체에 의한 판단 의견을 받아 진행할 필요성이 있으며, DB 구축시 해외 경쟁 소재에 대해서도 소규모(시험수)로 비교 평가하여 결과를 제시하면 좋을 듯 합니다. | ○ “복합재료 DB 구축사업의 복합 소재 선정을 위한 기술검토 회의”에서 재료 선정했으며, 해외 경쟁 소재에 대해서는 타 사업에서 시험중이므로 비교 가능 |

| ○ 기타 의견 |                                                                                                                                                                                                                                                 | 반영내역                                                                                                                                                                       |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 자문위원-A  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해외 수출을 고려할 경우 국내 Carbon Fiber 생산이 안정화 될 때까지는 DB구축이 어렵다고 생각합니다.</li> <li>○ DB 구축에서 더 나아가 양산에 적용 가능한 소재의 선정이 우선되었으면 합니다.</li> <li>○ 인증은 해외 항공 기준으로 RFP가 적용되어야 수출 및 해외 설계자와 혼용이 가능할 것으로 생각합니다.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내에서 생산한 복합재료 프리프레그로 범위 결정</li> <li>○ 양산 고려하여 “복합재료 DB 구축사업의 복합 소재 선정을 위한 기술검토 회의” 에서 재료 선정</li> <li>○ 수출 고려하여 인증체계 확립</li> </ul> |
| 자문위원-F  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 총괄기관의 역할이 명확히 되고 업무기준이 성과목표물에 포함되어 향후에도 사용될 수 있도록 함이 필요함</li> </ul>                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 업무분장 내용 포함</li> </ul>                                                                                                             |
| 자문위원-H  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ ‘소형항공기’로 명시</li> <li>○ ‘소형항공기 국산 복합재료 DB 공유시스템 구축’ 제목</li> </ul>                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 제목에 반영</li> </ul>                                                                                                                 |
| 자문위원-I  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 소재 생산업체와 항공기 생산시 소재의 End user 등의 의견이 과제동안 지속적으로 반영되면 과제 종료후에도 과제지원의 타당성이 높을 듯 합니다.</li> </ul>                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 소재업체와 End user 및 시험기관의 자문을 위하여 Working Group운영</li> </ul>                                                                         |

## 5 과제 제안요구서(안)

| 과제명              | 소형항공기용 국산 복합재료 데이터베이스 구축 및 공유시스템 개발                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 연구 목표         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 개발 소형항공기 및 경항공기의 구조에 사용가능한 인증용 복합재료 특성 데이터베이스 구축 및 공유시스템 개발</li> <li>○ 주요개발목표 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 복합재료규격, 공정규격 표준화 및 인증체계 확립</li> <li>- 소형항공기용 국산 복합재료 특성시험</li> <li>- 복합재료 데이터베이스 공유 및 관리체계 구축</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 2. 연구 필요성 및 기술동향 | <div> <input type="checkbox"/> 연구의 필요성 </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 항공기에 사용하는 복합재료의 양은 점차 늘고 있으나, 국내에서는 항공기 구조용으로 인증된 복합재료 소재가 없어서 전량 외국산을 사용해야 하는 실정</li> <li>○ 외국산 사용은 일시적으로 가능하나, 수입비용이 높고 안정적인 공급이 어려우며, 원소재 수정시에 재인증 요구되어 다시 시험해야 하는 문제 발생</li> <li>○ 항공기 구조물에 사용하는 복합소재의 특성 결정은 항공법 상의 감항기준에 적합한 방법으로 수행되어야 함</li> <li>○ 복합소재의 특성상 많은 시험이 필요하므로, 상호 공유할 수 있는 체제를 확립하여 중복투자 방지 필요</li> <li>○ 복합재료 파손강도를 정밀하게 해석할 수 있는 기술을 개발함으로써 복합재료 DB의 해석적 구축 가능성을 점검하고, 복합재료 구조의 파손강도를 정밀하게 해석할 수 있는 기술을 확보함으로써 향후 복합재료 구조시험의 회수를 축소하여 시험비용을 절감할 수 있음</li> <li>○ 개발중인 소형항공기/경항공기의 세계시장 진출시 안정된 공급을 위해 국산 복합재료의 데이터베이스 개발 필요</li> <li>○ 국산 복합재료 특성의 통합관리로 비용 및 품질 경쟁력 확보 요구</li> <li>○ 많은 비용이 요구되는 복합재료 인증 데이터베이스를 공공목적으로 확립하고, 공유하여 신뢰성을 높이고 비용을 절감할 필요</li> </ul> |

## □ 기술동향 &lt; 국 외 &gt;

- 복합재료를 사용하여 우주항공 부품을 설계할 때 국내는 물론, 미국을 비롯한 우주항공선진국의 감항규정에서 민간과 군용 모두 통계적으로 산출된 값을 사용할 것을 요구하고 있음
- 일본 JAXA에서 “선진복합재료역학특성데이터베이스”를 확립하여 운영하고 있으며, CMC-17(구 MIL-HDBK-17) 규격으로 구성되어 있음
- 미국FAA에서 시험 개수를 줄이면서 동시에 통계적 기준을 만족할 수 있는 새로운 복합재료 인증방법을 NASA 와 함께, AGATE(Advanced General Aviation Transport Experiment) 프로그램을 통해서 개발하여 공표하였음 (2002년, Policy Number PS-ACE 100-2002-006)
- 기존에는 이미 인증을 받은 재료를 다른 항공기에 사용할 경우, 다시, 감항당국의 인증절차를 거쳐야 재료설계값을 사용할 수 있었으나, 새로운 방법에서는 복합재료 데이터베이스를 감항당국에서 관리하여, 다른 사업에서 사용할 경우 동등성시험 절차만 거치면 사용하게끔 간소화 하였음
- AGATE 프로그램의 결과를 바탕으로, 미국 NCAMP(National Center for Advanced Materials Performance)를 활용하여 데이터베이스를 공유하고 있음
- 미국 NASA에서는 1990년대 미시역학적 파손이론을 적용한 복합재료 파손강도 정밀해석 소프트웨어를 개발하고, 2000년대 이를 상용화하였으나, 세부해석이론에 대하여 공개하지 않고 있어 이를 국내기술화 하는데 한계가 있음. 따라서, 이들 해석기술에 대한 분석 및 국내 확보가 필요함

## &lt; 국 내 &gt;

- 1991년 국내업체에서 국내최초로 미국 MD사 DMS 2288 Material Qualification 획득
- 1991년 국내업체에서 미국 Boeing사의 BMS 8-79 Raw Material Qualification 획득
- 1993년 11월부터 3년간, 과기부 국제공동연구를 통해서 미국 Sikorsky사와 협력하여 국내최초로 250°F C/Ep 복합재료의 데이터베이스를 확립했음.
- 쌍발복합재료항공기 개발로 복합재전기체구조 제작 및 시험기술 확보
- 선미익기개발로 경항공기 수출모델 개발기술 확보
- KC-100 항공기용 복합재료의 동등성 시험 및 Element 시험 수행  
AGATE에서 사용한 복합재료 선정하여 동등성 시험(외국에서 수행)

|                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3. 연구 내용                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <input type="checkbox"/> 연구내용      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 복합재료규격, 공정규격 표준화 및 인증체계 확립 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 복합재료 인증 요구조건 수립</li> <li>- 복합재료 재료 및 공정규격서, 시험계획서, 시험보고서 및 DB 승인 체계 수립</li> <li>- 제작공정/시험제작/특성시험 검증</li> </ul> </li> <li>○ 소형항공기용 국산 복합재료 특성시험 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 생산 복합재료 프리프레그 3종 대상으로 특성시험 수행 (121~137℃ 경화 고인성 에폭시 프리프레그) <ul style="list-style-type: none"> <li>● 탄소섬유 일방향 복합재료</li> <li>● 탄소섬유 패브릭 복합재료</li> <li>● 유리섬유 패브릭 복합재료</li> </ul> </li> <li>- 재료시험계획서, 절차서</li> <li>- 국가공인 시험인증기관을 통한 재료특성시험 및 결과보고서</li> </ul> </li> <li>○ 복합재료 데이터베이스 공유 및 관리체계 구축 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 복합재료 국가데이터베이스 요구조건(미국 NCAMP 참조) 수립</li> <li>- 재료 재료설계값 결정 및 관리 체계 확립</li> <li>- 데이터베이스의 공유화를 위한 관리체계 개발(운용계획포함)</li> <li>- 재료 및 공정규격 기준서 작성</li> <li>- 미시역학적 파손해석/점진적 파손해석 프로그램 개발 (해석정밀도 : 복합재 전용 상용해석 코드 수준)</li> </ul> </li> </ul> |
| <input type="checkbox"/> 보고서<br>제출 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연차 보고서: 연차별 협약 종료 시점</li> <li>○ 최종 보고서: 협약 종료 시점</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4. 연구개발 추진방법                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <input type="checkbox"/> 추진전략 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 항공 선진국의 인증체계를 벤치마킹하여 동등한 수준의 소형항공기용 복합재료 데이터베이스 및 관리 체계 확립</li> <li>○ 소형항공기에 사용하고 있는 외국산 소재의 규격을 목표로 국산 복합재료 데이터베이스를 확립하여, 소재 국산화 추진</li> <li>○ 복합재료 특성 데이터베이스 확보와 더불어 공정표준화, 인증관리등이 지속적으로 적용될 수 있는 관리체계 구축</li> <li>○ 복합재료 특성 데이터베이스가 항공기 제작에 활용될 수 있도록 항공기 부품 제작사와 재료공급자로 구성된 전문가그룹을 통해 협조할 수 있는 체제 구축</li> <li>○ 본 사업의 인증체계가 일과성이 아니라 계속 체계를 유지할 수 있도록 법적인 인증체제 확립 추진</li> <li>○ 확립한 데이터베이스를 국내 항공기 부품 제작사와 공동으로 활용할 수 있는 장기적인 데이터베이스 공유 관리체계 구축</li> </ul> |

- 복합재료 미시역학적 파손이론 해석 경험 및 프로그래밍 능력을 보유한 연구기관과 공동 연구 협력을 통하여 복합재료 파손강도 정밀해석 기법 국내개발 확보
- 물성치 데이터베이스 구축에 필요한 시험패널은 참여업체에서 부담하며, 시편제작과 가공을 책임진다.
- 참여업체는 복합재 DB를 국토부에 인증신청하고, 획득하여야 한다.
- 시험평가기관은 국가공인 인증시험기관이어야 한다.
- 주관기관은 참여업체가 인증을 획득할 수 있도록, 지원 및 관리하여야한다.
- 본 사업의 참여업체와 시험평가기관은 사업단에서 공모를 통하여 선정

## 5. 최종 성과물

□ 주요  
최종성과물

| 구 분                                            | 종 류                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 수 량 |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 복 합 재 료 규 격,<br>공 정 규 격 표 준 화<br>및 인 증 체 계 확 립 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 항공용 복합재료 인증 관련 문서 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 인증/관리 계획서, 요구조건 명세서, 시험계획서, 시험절차서, 시험보고서 등</li> </ul> </li> <li>- 제작공정 인증 관련 문서 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 공정 인증/관리 계획서, 요구조건 명세서, 시험계획서, 시험절차서, 시험보고서 등</li> </ul> </li> </ul> | 각1조 |
| 소 형 항 공 기 용<br>국 산 복 합 재 료<br>특 성 시 험          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 복합재료별 특성시험 계획서</li> <li>- 복합재료별 특성시험 절차서</li> <li>- 복합재료별 특성시험 보고서</li> </ul>                                                                                                                                                                            | 각1종 |
| 복합재료 데이터<br>베이스 공유 및<br>관 리 체 계 구 축            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국산 복합재료 특성 데이터베이스 관리 메뉴얼</li> <li>- 웹기반 DB운용 소프트웨어</li> <li>- 복합재료 파손강도 정밀해석 프로그램 (실행파일) 및 사용설명서</li> </ul>                                                                                                                                              | 각1종 |

- 국토해양부소관 연구개발사업 운영규정 제 44조 ④항에 따라 연구개발 결과물은 공공의 이익을 목적으로 활용하기 위하여 국가의 소유로 함

## 6. 연구기간 및 지원예산

- 총 연구 기간 및 총 연구비
  - 총 연구기간 : 2012년 6월 ~ 2015년 5월 (3년)
  - 총 연구비 : 44.6억원이내(정부출연금 기준)
  - 당해연도 연구비 : 14.2억원

## 참고문헌

### 국내 법규

항공법 제 17조(형식증명)

- 항공안전본부 고시 2008-36호
- 항공안전본부 고시 2006-53호

항공법 시행규칙 제 31조 - 제 35조 [국토해양부령 제164호, 2009.9.10, 일부개정]

항공우주산업개발 촉진법 제 10조(성능검사 및 품질검사)

항공기 기술기준, KAS Part 23

### FAA 법규 및 규정

FAA Code of Federal Regulations (CFR) 14: Aeronautics and Space

FAA Advisory Circular AC 20-107B Composite Aircraft Structure.

FAA Advisory Circular AC 21-26 Quality Control for the Manufacture of Composite Structures.

FAA Advisory Circular AC 21-31, "Quality Control for the Manufacture of Non-metallic Compartment Interior Component"

FAA Advisory Circular AC 23-20, "Acceptance Guidance on Material Procurement and Process Specifications for Polymer Matrix Composite Systems"

FAA Advisory Circular AC 23-20B, "Supplier Surveillance Procedures"

Federal Register, Vol. 65, No. 114(Policy State Number ACE-00-23.613-01), June 13, 2000.

FAA PS-ACE 100-2002-006, "Material Qualification and Equivalency for Polymer Matrix Composite Material Systems", September 15, 2003.

## FAA 문서

DOT/FAA/AR-02/109, Guidelines and Recommended Criteria for the Development of a Material Specification for Carbon Fiber/Epoxy Unidirectional Prepregs, April 2003.

DOT/FAA/AR-02/110, Development of Process Specifications, Instructions, and Controls for the Fabrication of Fiber-Reinforced Polymer Composites, April 2003.

DOT/FAA/AR-03/19, "Material Qualification and Equivalence for Polymer Matrix Composite Material Systems: Updated Procedure", September 2003 (supercedes DOT/FAA/AR-00/47).

DOT/FAA/AR-06/25, Preliminary Guidelines and Recommendations for the Development of Material and Process Specifications for Carbon Fiber-Reinforced Liquid Resin Molded Materials, March 2007.

DOT/FAA/AR-07/3 Guidelines and Recommended Criteria for the Development of a Material Specification for Carbon Fiber/Epoxy Unidirectional Prepregs Update, March 2007.

DOT/FAA/AR-06/10 Guidelines and Recommended Criteria for the Development of a Material Specification for Carbon Fiber/Epoxy Fabric Prepregs, May 2007.

## ASTM STANDARDS

ASTM D695 Compressive Properties of Rigid Plastics

ASTM D792 Specific Gravity (Relative Density) and Density of Plastics by Displacement

ASTM D2344 Apparent Interlaminar Shear Strength of Parallel Fiber Composites by Short - Beam Method

ASTM D2734 Void Content of Reinforced Plastics

ASTM D3039 Tensile Properties of Polymeric Matrix Composite Materials

ASTM D3171 Fiber Content of Resin-Matrix Composites by Matrix Digestion

ASTM D3530 Volatiles Content of Epoxy Matrix Prepreg

ASTM D3532 Gel Time of Carbon Fiber-Epoxy Prepreg

ASTM E168 General Techniques of Infrared Quantitative Analysis

ASTM E1252 Standard Practice for General Techniques for Quantitative infrared Analysis

## **SACMA STANDARDS**

SACMA SRM 1R-94 Compressive Properties of Oriented Fiber-Resin Composites

SACMA SRM 18R-94 Glass Transition Temperature (T<sub>g</sub>) Determination by DMA of Oriented Fiber - Resin Composites

SACMA SRM 20R-94 High Performance Liquid Chromatography of Thermoset Resins

SACMA SRM 22R-94 Resin Flow of Preimpregnated “B” Staged Material

SACMA SRM 23R-94 Resin Content and Fiber Area Weight of Thermoset Prepreg with Destructive Technique

SACMA SRM 25R-94 Onset Temperature and Peak Temperature for Composite System Resins Using Differential Scanning Calorimetry (DSC)