주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 항공안전기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

15ATRP-C088136-02

항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발

최종보고서

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

국토교통 R&D Report

보안 과제( ), 일반 과제(√) / 공개(√), 비공개( )

항공안전기술개발 사업 제2차연도 최종보고서

발 간 등 록 번 호
11-B552071-000282-01

R&D / 15ATRP-C088136-02

항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발 최종보고서

2017. 01. 13.

주관연구기관 / 한국교통연구원
공동연구기관 / 한국과학기술원
세종대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발’(연구개발 기간 : 2014.10.30~ 2016.12.14) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2017. 01. 13.

주관연구기관명 :	한국교통연구원	(대표자)	이 창 운
공동연구기관명 :	한국과학기술원	(대표자)	강 성 모
	세종대학교	(대표자)	이 내 성
참여기관명 :	솔루티스	(대표자)	황 태 연
	한국항공대학교	(대표자)	황 재 혁

주관연구기관책임자:	한 재 현
공동연구기관책임자:	백 승 욱
	황 호 연
참여기관책임자:	강 지 훈
	유 광 의
	김 원 규

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	15ATRP-C088 136-02	해당 단계 연구 기간	2차년도	단계구분	(2단계)/ (4단계)
연구사업명	중사업명	항공안전기술개발사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발			
	세부과제명				
연구책임자	한 재 현	해당단계 참여 연구원 수	총: 45 명 내부: 12 명 외부: 33 명	해당단계 연구개발비	정부: 40,000 천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계: 40,000 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 45 명 내부: 12 명 외부: 33 명	총 연구개발비	정부: 1.001,000 천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계: 1,001,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국교통연구원 항공교통본부 한국과학기술원 세종대학교			참여기업명 : 해당사항 없음	
국제공동연구	상대국명: 해당사항 없음			상대국 연구기관명: 해당사항 없음	
위탁연구	연구기관명: 솔루티스, 한국항공대학교			연구책임자: 강지훈, 유광의(1차년도 3세부), 김원규(2차년도 기획타당성 재검토)	

1차년도 : 항공부문의 온실가스 감축주체들이 간단하고 편리하게 사용할 수 있는 온실가스 감축효과 분석모형 및 지원시스템의 개발과 보급을 통하여 항공부문의 효과적인 온실가스 감축수단 개발과 이행을 촉진하고, 이를 통하여 항공부문 온실가스 감축에 기여하는 시스템을 개발하기 위해 개념설계 도출

- 요구사항 분석을 통해 기획된 시스템 구조 및 기능에 대해 화면 기초 설계를 수행하고, 향후 구현될 주요 기능에 대해 사전평가 및 차년도 사례/구현 기반 구축

- 항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사
- 항공 온실가스 기초데이터 요구도 분석
- 시스템 아키텍처 기획

- 온실가스 배출량 산정 알고리즘에 대한 요구도 도출
- 지상조업장비 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개념설계 및 DB 요구조건 도출
- 온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증 개념설계
- 항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개념설계

2차년도 : '항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발' 기획타당성 재검토

- 기존의 연구내용 등 검토 및 분석
- 제시된 연구 내용에 대한 경제적·기술적 타당성 분석
- 시스템 운용에 필요한 데이터 확보 가능성 검토
- 연구개발 추진 타당성 종합분석 및 평가

〈 국문 요약문 〉

<table>
<tr><td>연구의
목적 및 내용</td><td colspan="5">항공 부문의 온실가스 배출량을 정교하게 산정, 국내외 배출가스 규제에 효과적으로 대응 가능한 항공 온실가스 산정 시스템과 개발도상국에 지원할 수 있는 보급형 프로그램에 필요한 Tier 3b급 항공온실가스 배출량 산정 알고리즘의 개념설계
○ 항공 온실가스 보고포털 개념설계
- 항공 온실가스 인벤토리 관리 통합데이터베이스 시스템(현 항공통계/정책대응/기준정보/레포팅 모듈) 및 항공 온실가스 배출량 산정 및 예측 모듈 지원 기초자료 데이터베이스 시스템 개념설계
○ 항공온실가스 산정 모듈 개념설계
- 항공 부문의 온실가스 배출량을 정교하게 산정, 국내외 배출가스 규제에 효과적으로 대응 가능한 항공 온실가스 산정 시스템과 개발도상국에 지원할 수 있는 보급형 프로그램에 필요한 Tier 3b급 항공온실가스 배출량 산정 모듈 개념설계
○ 항공온실가스 감축량 예측 모듈 개념설계
- 선진국 수준의 항공온실가스 감축량 예측 시스템 개발을 통해 항공분야 국내외 온실가스 배출규제에 효과적 대응 및 저감 잠재량 및 국가온실가스 감축 이행계획 수립을 위한 항공 온실가스 감축량 예측 모듈 개념설계
○ 온실가스 감축수단 별 경제성 분석 및 의사결정 지원모듈 개념설계
- 감축수단별 효과를 적용하여 감축수단별 정책효과 변화 및 비용/온실가스 감축량에 대한 분석을 통하여 정부 또는 항공사의 정책 수립에 대한 의사결정을 돕는 모듈 개념설계
○ 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발’ 기획 타당성 재검토
- 감사원의 ‘항공안전 기술개발 및 시스템 구축 실태’ 감사결과에 따른 기획연구 타당성 재검토 연구를 통해 국·내외 기술개발 현황과 향후 사업화시 필요성 여부 등을 판단하여 현시점에서 연구개발 타당성 분석을 통해 추진여부 검토하여 제시</td></tr>
<tr><td>연구개발성과</td><td colspan="5">○ 항공 온실가스 데이터 분석 관리시스템 개념설계서
○ 항공 온실가스 배출량 산정 및 예측 모듈 개념설계서
○ 항공 온실가스 산정 및 예측시스템 상용 툴 개념설계서
○ 항공 온실가스 산정 및 예측시스템 국제 학술지 연구발표
○ 항공 온실가스 산정 및 예측시스템 관련 국내외 논문개재
○ 항공 온실가스 산정 및 예측 프로그램 개념설계서
○ 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발’ 기획 타당성 재검토(진흥원 별도관리)</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의
활용계획
(기대효과)</td><td colspan="5">○ ICAO 기후변화 정책 대응 국내 항공부문 온실가스 저감 정책
○ 국내 항공분야 온실가스 산정 및 예측프로그램 개발 시 활용 가능
- 연간 온실가스 산정을 통한 성과지표 및 목표 설정
○ 온실가스 데이터베이스를 통한 체계적인 배출량 산정 프로그램 개발 시 활용가능</td></tr>
<tr><td>핵심어
(5개 이내)</td><td>온실가스
데이터베이스
개념설계</td><td>온실가스
배출량 산정
개념설계</td><td>온실가스
감축량 예측
개념설계</td><td>온실가스
감축기술
개념설계</td><td>온실가스 정책
분석
개념설계</td></tr>
</table>

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	To develop a system for evaluation greenhouse gas emissions in the aviation field in order to meet domestic and overseas regulations concerning such emissions, in addition to development of an algorithm pursuant to the evaluation of Tier 3b class aviation greenhouse gas emissions required for entry-level programs being used to support developing countries.				
Results	○ For supporting management system for data analysis of aviation greenhouse gas emissions ○ Module concept design for evaluation of aviation greenhouse gas emissions ○ Module concept design for forecasting reduction of aviation greenhouse gas emissions ○ Evaluation tool for aviation greenhouse gas emissions for commercial use ○ Papers on the evaluation for aviation greenhouse gas emissions use in academic journals				
Expected Contribution	○ Support to ICAO's climate policies and domestic policies for reduction of aviation greenhouse gas emissions				
Keywords	Concept design of Emissions DB	Concept design of Emissions Evaluation	Concept design of GHG Reduction forecasting	Concept design of GHG Reduction Technology	Concept design of GHG Policy Planning

〈 Contents 〉

Ch.1 Introduction of R&D project ····· 1
1. Purpose ····· 1
2. Necessity ····· 2
3. Scope ····· 3
Ch.2 Status of domestic and overseas technology development ····· 23
Ch.3 Research content and achievements ····· 50
Ch.4 Achievement of goal and contribution to related field ····· 189
1. Achievement of goal ····· 189
2. Contribution to related field ····· 194
Ch.5 Plan to utilize R&D achievements ····· 196
Ch.6 Information on overseas technology obtained in the period of research ····· 200
Ch.7 Representative Research Achievements of R&D project ····· 202
Ch.8 Other matters ····· 203
Ch.9 overall opinion ····· 205
Ch.10 References ····· 207

Apendix 1 ····· 208

〈 목 차 〉

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 1
1.연구개발 목적 ····· 1
2.연구개발의 필요성 ····· 2
3.연구개발 범위 ····· 3
제2장 국내외 기술 개발 현황 ····· 23
제3장 연구 수행 내용 및 성과 ····· 50
제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 189
1.목표 달성도 ····· 189
2.관련 분야 기여도 ····· 194
제5장 연구개발성과의 활용 계획 ····· 196
제6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 200
제7장 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 202
제8장 기타 사항 ····· 203
제9장 연구개발성과에 따른 종합의견 ····· 205
제10장 참고 문헌 ····· 207

부록 1 한국항공대학교 최종보고서 ····· 208

제1장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

가. 연구개발 목적

○ 항공부문의 온실가스 감축주체들이 간단하고 편리하게 사용할 수 있는 온실가스 감축효과 분석모형 및 지원시스템의 개발과 보급을 통하여 항공부문의 효과적인 온실가스 감축수단 개발과 이행을 촉진하고, 이를 통하여 항공부문 온실가스 감축에 기하고자 함

○ 또한 국내적으로 항공기의 경제적 운항과 항공분야 온실가스 배출량 최소화에 기여하고 국내·외 배출 규제에 효과적으로 대응 가능한 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템을 개념설계 함

- 항공 온실가스 데이터 플랫폼 개념설계
  - 온실가스에 관련된 데이터 산출 및 온실가스 산정 및 예측 프로그램의 기본데이터 제공에 관한 데이터베이스 개념설계
- 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개념설계
  - 운항환경, 항공기 성능, 기상, 출도착 공항의 영향에 따른 온실가스 배출량 산정 모델 개념설계
- 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개념설계
  - 온실가스 감축기술 선정 및 감축수단별 산출방법을 고려하여 실제 감축 효과분석과 정확한 예측 프로그램 개념설계

나. 연구개발 중요성

○ 항공부문 주요 온실가스 감축수단별 감축효과 분석 및 예측모형을 개념설계

- 국내 현실을 감안한 정부와 항공사, 공항 등 주요 주체의 정책수단별 효과분석 모형을 개념설계
- 특히 국내 저가항공사의 운영방식을 감안하여 현장에서 활용하기 쉬운 분석 툴을 개념설계

○ 이행계획 수립 지원시스템을 개념설계

- 주요 활동주체가 편리하게 사용할 수 있도록 자료의 생산과 입력을 지원하고 다른 주

체가 생산한 자료를 자동으로 활용할 수 있도록 연결해 주는 지원시스템을 개념설계

○ 항공기 교체의 온실가스 감축효과 분석모형을 개념설계

- 실제 항공부문 온실가스 감축량의 대부분을 차지하는 항공기 교체에 의한 감축효과를 추정할 수 있는 신뢰성 있는 모형을 개념설계함

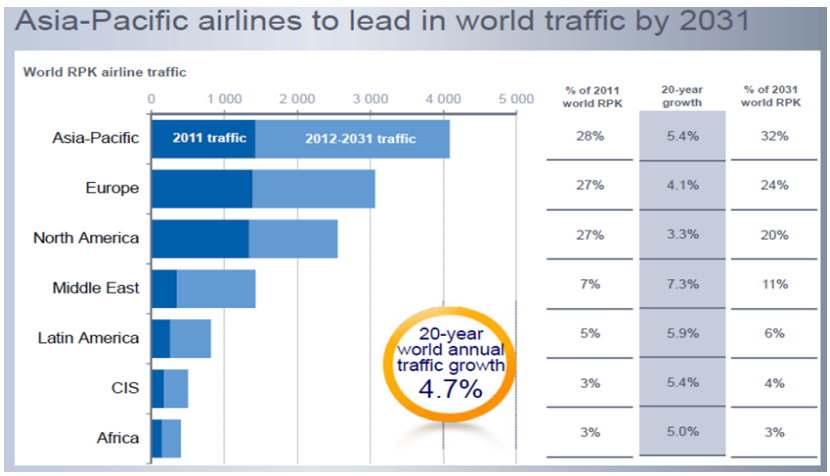
2. 연구개발의 필요성

○ 국제민간항공기구(ICAO[1])는 CAEP[2] 위원회를 통하여 현재 NOx를 비롯한 대기오염물질을 항공기 엔진 인증(Certification)을 통하여 규제하고 있으며, 2016년 도입을 목표로 2010년부터 항공기 이산화탄소 인증기준(Aircraft CO2 Certification Standard)을 개발하고 있음

- 항공기 이산화탄소 인증기준은 항공기의 연료효율과 직결되기 때문에 항공 산업과 관련된 모든 제조업체, 항공사, 환경 단체, 항공 관련 각국의 정부 부처 등이 자신의 이해관계를 국제 기준에 반영하기 위해 기술 전문가를 적극적으로 파견하여 인증기준 마련에 참여시키고 있음

○ ICAO는 항공기 제조업체(OEM)를 규제하는 항공기 이산화탄소 인증 기준 이외에도 항공사(Airline)의 연간 온실가스 배출량을 규제하기 위한 탄소배출권 거래제의 국제적인 기준을 2020년 도입을 목표로 개발 중에 있음

- 탄소배출권 거래제는 상대적으로 급격히 성장하고 있는 아시아 태평양 노선을 운항하는 항공사들에게 더 큰 부담이 될 수 있으므로 선제적인 대비가 필요함



<그림 1> 세계 항공 교통량 증가 전망치

출처: Airbus, "Global Market Forecast 2012-2013 “

1) ICAO : International Civil Aviation Organization
2) CAEP : Committee on Aviation Environmental Protection

○ 우리나라가 항공기 국제기준 마련에 참여하여 기술적인 의견을 내기 위해서는 항공 운항으로 인한 환경 효과를 정량화할 수 있는 기술 확보가 필수적임

○ 또한 항공부문의 온실가스 감축을 촉진하기 위하여 ICAO는 회원국들에게 매 3년마다 항공부문 온실가스 감축을 위한 국가이행계획을 제출할 것을 요구하고 있음

○ 국가이행계획서에는 항공부문의 온실가스 배출실적과 전망, 주요 감축정책 및 그 예상효과 등을 수록함으로써 이를 토대로 ICAO가 전 세계의 국제항공부문 온실가스 배출량 전망 및 감축수준을 집계할 수 있도록 하고 있음

○ 그러나 항공부문 주요 감축수단들의 효과 분석이 계량적으로 이루어지기 어려운 관계로, 대부분의 국가가 구체적인 장래 예상 감축치를 제시하지 못하고 있는 상태임

○ 우리나라는 2012년 이행계획에서 여러 합리적인 가정과 활용 가능한 제한적인 데이터의 논리적 연산 및 과거 감축추세를 감안하여, 이를 추정하였으나 신뢰성이 높은 예측치라고 하기는 어려운 상태이며, 특히 저비용 항공사의 경우 필요한 데이터의 확보 등, 여러 가지 여건이 부족한 상태여서 어려움이 가중되고 있음

○ 또한 2016년 10월 39차 ICAO 총회에서 국제항공사들의 탄소배출량을2020년 수준으로 동결하는 내용의 협정을 채택함에 따라, 항공사는 2020년 이후 규정된 배출한도를 초과할 경우 배출권을 구매하는 방식으로 초과분을 상쇄하여야 하며, 2021~2026년 자율 시행 후2027년부터 의무 이행으로 전환됨

○ 이러한 국제동향에 발맞춰, 우리나라의 경우 이미 국토부와 국내 항공사들이2010년부터 '항공분야 온실가스 자발적 감축협약'을 체결해 온실가스 배출량 거래제 등 온실가스 배출규제에 노력해야 함

○ 항공부문의 효과적인 온실가스 감축수단 개발을 지원하고, 항공사와 정부, 공항 등 주요 감축활동 주체의 적극적인 감축활동을 촉진하는 등 실효성 있는 국가이행계획의 수립과 이행을 위해서는 감축효과 분석 및 이를 전체적으로 지원할 수 있는 지원시스템의 개발이 필요함

3. 연구개발 범위

가. 연구개발 최종 목표

(1) 기존 연구개발 최종목표(총 4차년도 연구 진행 시)

○ 항공 부문의 온실가스 배출량을 정확히 산정, 국내외 배출가스 규제에 효과적으로 대응 가능한 항공 온실가스 산정 시스템과 개발도상국에 지원할 수 있는 보급형 프로그램에 필요한 Tier 3b급 항공온실가스 배출량 산정 알고리즘의 개발

○ 항공분야 온실가스 감축량 최대화에 기여하고 국내외 배출규제에 효과적으로 대응할 수 있는 항공온실가스 산정 및 감축량 예측프로그램 개발

- 항공 온실가스 데이터 플랫폼 개발(현 항공 온실가스 보고 포털 개발)
  - 항공 온실가스 인벤토리 관리 통합데이터베이스 시스템(현 항공통계/정책대응/기준정보/레포팅 모듈) 및 항공 온실가스 배출량 산정 및 예측 모듈 지원 기초자료 데이터베이스 시스템(현 항공사 온실가스 인벤토리 프로그램) 개발
- 고정밀 항공온실가스 배출량 산정 및 감축량 예측 시스템 개발을 통한 항공온실가스 관리 및 감축기술 선진화
- 선진국 수준의 항공온실가스 배출량 산정 및 감축량 예측 시스템 개발을 통해 항공분야 국내외 온실가스 배출규제에 효과적 대응 및 저감 잠재량 및 국가 온실가스 감축 이행계획 수립을 위한 항공 온실가스 배출량 산정 및 감축량 예측 프로그램 개발

(2) 최종목표 달성을 위한 중점 추진 분야(총 4차년도 연구 진행 시)

○ 항공 온실가스 데이터플랫폼 개발

- 항공 온실가스 인벤토리 관리 통합데이터베이스 시스템(현 항공통계/정책대응/기준정보/레포팅 모듈) 및 항공 온실가스 배출량 산정 및 예측 모듈 지원 기초자료 데이터베이스 시스템(현 항공사 온실가스 인벤토리 프로그램) 개발

○ 항공온실가스 산정 모듈개발

- 항공 부문의 온실가스 배출량을 정확히 산정, 국내외 배출가스 규제에 효과적으로 대응 가능한 항공 온실가스 산정 시스템과 개발도상국에 지원할 수 있는 보급형 프로그램에 필요한 Tier 3b급 항공온실가스 배출량 산정 모듈 개발

○ 항공온실가스 감축량 예측 모듈 개발

- 선진국 수준의 항공온실가스 감축량 예측 시스템 개발을 통해 항공분야 국내외 온실가스 배출규제에 효과적 대응 및 저감 잠재량 및 국가 온실가스 감축 이행계획 수립을 위한 항공 온실가스 감축량 예측 모듈 개발

○ 온실가스 감축수단 별 경제성 분석 및 의사결정 지원모듈 개발

- 감축수단별 효과를 적용하여 감축수단별 정책효과 변화 및 비용/온실가스 감축량에 대한 분석을 통하여 정부 또는 항공사의 정책 수립에 대한 의사결정을 돕는 모듈을 개발

(3) 감사원 감사결과로 인해 중단되어 실제 수행된 업무 목표

○ 본과제 1차년도 과업 종료 이후. 1차년도 과제평가결과 과제 보완을 수행하던 중 감사원의 감사(2015.8.24.~10.14)를 받게 되었으며, 항공안전 기술개발 및 시스템 구축실태조사" 에 따라 2016년 2월 감사원 감사결과를 아래와 같이 통보받음

○ 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원은 국내외 항공온실가스 배출규제에 효과적으로 대응하기 위해 '기후변화 대응 항공 온실가스 감축 기술개발 기획연구[3)]' 를 추진하였으며. 항공 온실가스 기획과제가 기술적·경제적 타당성이 있다는 보고서를 제출하여 국토부와 진흥원에서는 이를 근거로 본과제인 '항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개발' 과제를 진행하였음.

구분	내용
과제명	항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개발(주관: 한국교통연구원)
기간	2014.10.31~2018.4.30 (1차년도 2014.10.31~2015.5.30)
연구비	70억 원(1차년도 집행금액 9.6억원)

○ 기획과제 주관기관인 교통연구원은 교통안전공단에서 배출량 산정 프로그램의 개발비용 추정이 어렵다는 이유로 경제적 타당성 분석을 생략하거나 배출량 예측 프로그램의 편익을 부풀려 산정하였는데도 이를 제대로 검토하지 않은 채 진흥원에 그대로 제출하였으며, 국토부의 항공온실가스 시스템 과제담당관과 진흥원의 업무담당자는 위와 같이 타당성이 떨어지는 기획보고서를 그대로 믿고 개발을 추진하였음

○ 기획보고서의 구체적인 문제점은 다음과 같음

– 개발비용 추정이 어렵다는 이유로 경제적 타당성 분석 미실시

- 배출량 산정 프로그램을 개발하고자 할 때에는 기존 상용 프로그램의 활용 가능성이나 가격 및 성능에 대한 조사를 바탕으로 개발비용 및 편익 등을 비교·분석한 후 신규 개발이 타당한 경우에 한해 개발을 추진하고, 기존 상용 프로그램과의 차별점이나 개선목표 등을 명확히 하여야 함에도 불구하고, 기획과제를 수행하면서 기존상용 프로그램에 대한 실태조사도 하지 않은 채 개발비용 추정이 어렵다는 것을 이유로 개발비용 및 편익 비교와 같은 경제적 타당성조차 분석하지 않았음

- 제외된 감축수단을 포함하거나 내용연수를 잘못 적용, 편익 과다 산출

  - 경제적 타당성을 분석할 때에는 배출량 예측 프로그램의 적용이 가능한 감축기술을 편익항목으로 선정하고 선정된 편익항목에 소프트웨어의 내용연수(5년)를 적용함과 아울러 개발비용은 합리적으로 추정하여야함에도 불구하고, 유의미성· 계량화 가능성을 종합적으로 판단하여 기획보고서에서 편익이 과다 측정하였음 또한 소프트웨어의 내용연수는 5년이 아닌 항공기의 내용연수 12년을 적용하여 편익발생 기간을 과다 산정하여 계산오류가 있었음
  - 그러나 국토부 및 진흥원은 기획보고서의 과다 산정된 경제적 타당성 분석을 근거로 사업을 추진하였음

- 배출량 산정 및 예측에 필요한 데이터 확보방안 미흡

  - 항공온실가스 시스템 기획보고서에서 Tier 3 수준의 항공 데이터가 확보되지않을 경우 시스템이 충분히 활용되지 못할 가능성이 있다고 작성되어 있어, 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발이 완료된다 하더라도 배출량 산정 및 예측에 필요한 데이터의 확보되지 않아 당초 목표대로 활용되지못할 우려가 있음

○ 감사원 감사 결론

- 배출량 예측 프로그램은 경제적 타당성이 낮을 뿐만 아니라 배출량 산정 및 예측에 필요한 데이터의 확보가 어려운 점을 고려하여 배출량 산정 프로그램은 상용 프로그램(AEDT 등)을 구매하는 것이 보다 효율적으로 보임.

- 따라서 본과제인 “항공온실가스 산정 및 예측 시스템” 연구개발과제의 추진여부를 재검토하는 방안이 필요함

○ 감사원 감사결과에 따라 국토부는 “항공온실가스 연구개발 과제의 개발 타당성에 대한 재검토” 용역 실시를 요청하였으며 이를 위해 국토교통과학기술진흥원은 본원에 항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발” 기획 연구 타당성 재검토 추진을 위한 계획을 송부하고, “항공온실가스 산정 예측시스템 개발” 과제의 2차년도 협약변경을 요청하여, “항공온실가스 산정 및 예측 시스템 개발 타당성 분석” 이라는 위탁연구를 진행하였음

3) 연구기관 : 한국교통연구원, 연구기간: 2012.12.24~2.13.10.23, 연구비 : 9600만원

○ “항공온실가스 산정 및 예측 시스템 개발 타당성 분석” 최종평가를 통해 기획보고서의 경제성 등 기타 미흡한 사항으로 본 과제 중단 타당 판정을 받음에 따라 본 과제 연구는 1차년도에서 중단되었으며 실제 수행된 업무 목표는 다음과 같음

○ 항공 부문의 온실가스 배출량을 정교하게 산정, 국내외 배출가스 규제에 효과적으로 대응 가능한 항공 온실가스 산정 시스템과 개발도상국에 지원할 수 있는 보급형 프로그램에 필요한 Tier 3b급 항공온실가스 배출량 산정 알고리즘의 개념설계

- 항공 온실가스 보고포털 개념설계
  - 항공 온실가스 인벤토리 관리 통합데이터베이스 시스템(현 항공통계/정책대응/기준정보/레포팅 모듈) 및 항공 온실가스 배출량 산정 및 예측 모듈 지원 기초자료 데이터베이스 시스템 개념설계
- 항공온실가스 산정 모듈 개념설계
  - 항공 부문의 온실가스 배출량을 정교하게 산정, 국내외 배출가스 규제에 효과적으로 대응 가능한 항공 온실가스 산정 시스템과 개발도상국에 지원할 수 있는 보급형 프로그램에 필요한 Tier 3b급 항공온실가스 배출량 산정 모듈 개념설계
- 항공온실가스 감축량 예측 모듈 개념설계
  - 선진국 수준의 항공온실가스 감축량 예측 시스템 개발을 통해 항공분야 국내외 온실가스 배출규제에 효과적 대응 및 저감 잠재량 및 국가온실가스 감축 이행계획 수립을 위한 항공 온실가스 감축량 예측 모듈 개념설계
- 온실가스 감축수단 별 경제성 분석 및 의사결정 지원모듈 개념설계
  - 감축수단별 효과를 적용하여 감축수단별 정책효과 변화 및 비용/온실가스 감축량에 대한 분석을 통하여 정부 또는 항공사의 정책 수립에 대한 의사결정을 돕는 모듈 개념설계
- 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발’ 기획 타당성 재검토
  - 감사원의 ‘항공안전 기술개발 및 시스템 구축 실태’ 감사결과에 따른 기획연구 타당성 재검토 연구를 통해 국·내외 기술개발 현황과 향후 사업화 시 필요성 여부 등을 판단하여 현시점에서 연구개발 타당성 분석을 통해 추진여부 검토하여 제시

(4) 연구개발 중단의 추진 경위

① “기후변화 대응 항공 온실가스 감축 기술 개발 기획 연구” 추진

- 수행기관 : 한국교통연구원(박진서), 교통안전공단, 한국과학기술원
- 기간/예산 : 총 연구기간 ’12.12.~’13.10. (정부 9.6억)
- 기획연구 결과에 따라 본과제인 ‘항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발’ 추진

② 본과제 “항공온실가스 산정 및 예측 시스템 개발(교통연 한재현)” 연구수행 착수

- 기간/예산 : 총 연구기간 ’14.10.~’17.11, (정부 70억)

◇ 1차년도(’14년) 협약 : ’14.10~’15.05. (정부 9.61억)

◇ 1차년도(’14년) 연차평가 : ’15.05, “계속지원” 판정

◇ 감사원 “항공안전 기술개발 및 시스템 구축실태” 수감 : '15.08.~10.

※ “항공온실가스 산정 및 예측 시스템 개발” 예산 집행 중지 조치

◇ 2차년도(’15년) 협약 : ’15.12~’16.12. (정부 13.46억)

※ 감사원 감사에 따른 2차년도 협약 지연

③ 감사원 감사결과 통보('16.02.)

◇ 기획연구에서 개발비용 추정이 어렵다는 이유로 경제성 타당성 분석 미실시 지적

◇ 기획연구에서 제외된 감축수단을 포함하거나 내용연수를 잘못적용하여 편익을 과다 산출한것에 대한 지적

◇ 본과제의 데이터 확보방안 미흡 지적

☞ (조치할 사항) “항공온실가스 산정 및 예측 시스템(교통연, 한재현)” 과제의 추진여부 재검토 방안 마련

④ 국토부의 “항공온실가스 연구개발 과제의 개발 타당성에 대한 재검토 용역 실시 요청” ('16.02.)

◇ 항공온실가스 산정 및 예측 시스템 개발)의 사업범위에 따른 개발 타당성에 대한 객관적인 검토·분석 등을 위한 용역 실시를 요청하오니 용역 실시 후 그 결과(동 R&D 추진여부 및 방향 제안 포함)를 회신

⑤ “항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발” 기획 연구 타당성 재검토” 위탁연구 실시

◇ (공고 및 선정) 객관성 확보를 위해 진흥원에서 수행기관을 공모 및 선정하고, 주관기관에 선정결과를 통보하여 협약체결

◇ (공고)「국토교통부 소관 연구개발사업 운영규정」등의 공고 절차 준용

◇ (선정평가) 선정평가는 진흥원에서 주관하여 운영규정 제23조 및 관리지침 제15조에 의한 선정평가 절차에 따라 추진

- 수행기관 : 한국항공대학교(김원규)

- 기간/예산 : 총 연구기간 ’ 16.7.~10. (정부 0.4억)

※ 상기 기획연구의 타당성 재검토 위탁연구는 국토교통과학기술진흥원에서 별도로 추진한 후 주관기관(교통연)에게 통보하였음

⑥ “항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발” 기획 연구 타당성 재검토 “ 위탁연구 최종평가 실시('16.10)

주요 절차	내 용
최종평가 자료 제출 (주관연구기관)	• 최종보고서 등 평가자료 제출
⇩	
최종평가 계획수립 (전문기관)	• 최종평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
⇩	
사전검토 (전문기관)	• 과제담당자 사전검토 - 연구성과 질적·양적 달성도 - 당초 연구개발계획 대비 수행여부 - 연구성과 활용계획의 적정성 등
⇩	
연구과제 평가단 구성 (전문기관)	• 전문가 중심 연구과제 평가단 구성 - 이해관계인 제척
⇩	
최종평가 실시 (연구과제 평가단)	•연구개발 목표 달성여부, 연구성과 우수성 등에 대한 평가
⇩	
최종평가 결과 보고 및 통보 (전문기관)	• 최종평가결과 국토부 보고 • 최종평가결과 주관기관 통보 및 보완요청
⇩	
최종보고서 발간·배포 (주관연구기관)	• 최종보고서 보완본 필수배포처 배포(필요 시)

※ 상기 표에 주관연구기관은 진흥원에서 선정한 위탁연구기관임

“항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발” 기획 연구 타당성 재검토 “ 최종평가위원회의 종합의견에 따라 “항공온실가스 산정 및 예측 시스템 개발” 과제 중단 및 후속조치

⑦ “항공온실가스 산정 및 예측 시스템 개발” 협약 해약 및 2차년도 정부출연금 환수('16.12)

- 연구개발을 계속할 필요성이 없어지거나 계속 진행함이 불필요한 것으로 판단되는 사항으로 운영규정 제28조(협약의 해약)을 준용하여 협약해지
- 2차년도 정부출연금 1,346백만원 중 타당성 분석 소요 위탁연구비 40백만원을 제외한 1,306백만원 환수

나. 당해 연도 연구개발 목표 및 결과

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도	항공 온실가스 보고 포털 개발 (KOTI/솔루티스)	항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석	▪ 요구사항 분석을 통해 기획된 시스템 구조 및 기능에 대해 화면 기초 설계를 수행하고, 향후 구현될 주요 기능에 대해 사전평가 및 차년도 사례/구현 기반 구축 ▪ 항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 ▪ 항공 온실가스 기초데이터 요구도 분석 ▪ 시스템 아키텍처 기획	- 항공 온실가스 기초 데이터 요구도 조사 및 분석 결과 제시 - 시스템 아키텍처 기획(안) 제시 - 시스템 요구사항 정의 및 분석 - 시스템 구조 및 기능 정의 - 시스템 기초 설계 - 프로토타입 개발
	항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발 (한국과학기술원)	온실가스 배출량 및 감축량 산정 알고리즘에 대한 요구도 도출	▪ 온실가스 배출량 산정 알고리즘에 대한 요구도 도출	- 사용자 시스템 요구사항(SSRS)을 반영하여 알고리즘 세부 요구사항 도출 - AEDT 및 SAGE 온실가스 배출량 산정 알고리즘 조사/분석 완료 - MATLAB Simulink을 통한 온실가스 배출량 산정 알고리즘 구조도 완성 - 알고리즘 모듈의 입력, 출력, 제어 상수 흐름도 완성(PPT) - 운용개념기술서(OCD), 사용자 요구사항 명세서(SSRS) 작성
			▪ 지상조업장비 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개념설계 및 DB 요구조건 도출	- 지상조업장비 배출량 산정 관련 유사 알고리즘 조사/분석 - 지상조업장비 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개념 설계 및 흐름도 작성 - 지상조업장비 배출량 산정을 위한 핵심 DB 요구조건 도출 및 입출력 변수 정의
	항공 온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증 (세종대학교)	항공 온실가스 배출량 산정 시스템 개념 설계	▪ 온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증 개념설계	- 온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증 개념설계 · 시스템 개요 · 시스템 분석

				· 시스템 개발 범위 및 목표 · 목표시스템 운영 시나리오 · 목표시스템 구축에 의한 변경사항 · 목표시스템 분석
			▪ 배출량 산정 프로그램 및 예측 프로그램 구동에 필요한 DB 조사 및 sample DB 구축	- BADA3 계수 DB 추가 구축 및 항공기-엔진 모델 Mapping · AEDT2a Mapping · AEIC Mapping - 데이터플랫폼 DB 검색/추출/관리 입출력 변수 정의 및 요구사항 도출 - 항공 DB 조사 및 확보 (Aviation Database Overview) · 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템에 필요한 DB 조사 · 2010년 OAG Data 구매
		해외 유사 프로그램 조사 및 도입, AEDT2a 기능 분석	▪ AEDT2a 기능분석 보고서	- 해외 온실가스 배출량 산정 프로그램 Technical Manual 분석 · AEDT2a 매뉴얼 분석 · AEIC 매뉴얼 분석 · AERO2k 분석
			▪ 해외 프로그램을 사용한 항공 온실가스 산정(국내 공항 및 항공사 위주)	- 검증에 사용할 국내 상황에 맞는 대표적인 Study 구성, 해석, 온실가스 산정 결과 도출 · AEIC를 사용한 LTO(Landing and Take-Off) 분석 · AEIC를 사용한 Non-LTO 분석 · AEIC 배출량 산정 결과 검증 · PIANO-X (Aero2k)를 사용한 온실가스 배출량 민감도 해석
	항공 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정	감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원(제3세부) 모듈 개념설계	▪ 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개념설계	- 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개념설계

	지원 (세종대학교)			· 개요 · 시스템 분석 · 시스템 개발 범위 및 목표 · 목표시스템 운영 시나리오 · 목표시스템 구축에 의한 변경사항 · 목표시스템 분석
			▪ 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 sample DB 구축 및 요구조건 분석	- 항공사 운항비 DB 구축 - 경제성분석/의사결정 모듈 사용자 요구조건 분석 · 항공사 운항비 BTS Form 41 Schedule P5.2 DATA 분석 등
	항공온실가스 감축량 예측 프로그램 개발 (KOT/항공대)	항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개념설계	▪ 항공온실가스 개발 문서 작성 및 검증 지원	- 체계종합에서 운용개념 기술서, 시스템요구사항명세서, 소프트웨어 개발계획서, 시험계획서 작성 - 기관별 개발 문서 취합 및 주관기관 사전 검토 - 전문기관 SRR 검증 의뢰 및 결과 수정
			▪ 목표시스템 개념 정립	- 정부 및 항공사 관점에서 시스템 개념 정립 - 해외 유사시스템 분석에 따른 목표시스템 개념 및 시나리오 정립
			▪ 국제세미나 개최	- 개념설계에 대한 프로토타입 화면 구성
			▪ 항공온실가스 국가 감축 이행계획 수립 연구	- 감축수단별 온실가스 저감효과 - 산출 알고리즘 및 모듈 개념설계
2차 연도	‘항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발’ 타당성 분석/타당성 재검토 (항공대학교)	‘항공 온실가스 산정 및 예측시스템’의 연구개발 추진 타당성 분석	- 기존의 연구내용 등 검토 및 분석 - 제시된 연구 내용에 대한 경제적, 기술적 타당성 분석 - 시스템 운용에 필요한 데이터 확보 가능성 검토 - 연구개발 추진 타당성 종합분석 · 평가	- 경제성 등의 미흡한 사항으로 본 과제 중단 타당 판정

다. 실제 수행된 연차별 주요연구내용

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용
1차 년도 ('14.10.31. ~ '15.04.30)	항공 온실가스 보고 포털 개발 (KOTI/솔루티스)	항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석	- 항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 - 항공 온실가스 기초데이터 요구도 분석 - 항공 온실가스 보고 포털 시스템 아키텍처 기획
		항공 온실가스 데이터플랫폼 (제1세부)개발 지원	- 데이터플랫폼 DB 검색/추출/관리 입출력 변수 정의 및 요구사항 도출 - 배출량 산정 프로그램 요구조건 도출
		웹기반 시스템 아키텍처 기획	- 항공 온실가스 기초 데이터 목록에 근거한 인벤토리 수집·저장 계획 수립 - 항공 온실가스 산정 및 예측 알고리즘 개발 시 필수 기초데이터 접근이 가능한 시스템 아키텍처 기획
	항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발 (한국과학기술원)	온실가스 배출량 및 감축량 산정 알고리즘에 대한 요구도 도출	- 사용자 시스템 요구사항을 반영한 알고리즘 세부 요구사항 도출 - 기존 온실가스 배출량 산정 알고리즘 조사/분석 - 알고리즘 운영에 필요 핵심 DB 조사 및 인수계획 수립 - 사용자 요구사항과 기존 시스템 구조분석을 반영하여 알고리즘 핵심개념 설계 - 전체 및 모듈별 기능 할당과 입/출력 결정 과정 참여
	항공 온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증 (세종대학교)	항공 온실가스 배출량 산정 시스템 개념 설계	- 데이터플랫폼 DB 검색/추출/관리 입출력 변수 정의 및 요구사항 도출 - 배출량 산정 프로그램 요구조건 도출 - 배출량 산정 프로그램 알고리즘 기능 분석 - 배출량 산정 프로그램 개발 환경 구축 - 시스템 유지, 보수, 관리 표준 선정
		해외 유사 프로그램 조사 및 도입, AEDT2a 기능 분석	- 해외 유사 프로그램 도입 및 테스트 - 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램의 검증 절차를 위한 해외 유사 소프트웨어를 도입 및 분석 실시 - 온실가스 기초DB와 연동한 온실 가스 배출량 분석 실시 - AEDT2b 출시 전 AEDT2a 구매 기능 분석을 통한 본 과제 배출량 산정 프로그램 개념설계 요구조건 도출 - 검증에 사용할 국내 상황에 맞는 대표적인 Study 구성, 해석, 결과 도출(표준 항적 및 국내 항공사 레이더 궤적 사용)
	항공 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 (세종대학교)	감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원(제3세부) 모듈 개념설계	- 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 요구조건 도출 및 개념설계

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용
	항공온실가스 감축량 예측 프로그램 개발 (KOTI)	항공온실가스 감축기술 선정	- 항공 온실가스 감축기술 선정 - 감축 기술별 저감 효과 분석 - 국내외 사례조사 및 정책 분석 - 관련 정책 및 기술개발 현황/ 동향 분석
		개념설계	- 온실가스 저감잠재량 알고리즘 분석 - 항공 온실가스 감축수단 별 저감효과 분석 프로그램 설계 - 국가 이행계획 지원
	항공온실가스 감축기술개발 및 검증 (항공대학교)	항공기 운항관리 분야 연료 효율성 개선 기여 요인 파악	- 항공분야 온실가스 감축 방안 문헌조사 - 실무 현장 자료 조사 - 외국항공사 사례 조사 - 관련 문헌 조사 - 항공기 기종별 중량 구성 분석 - 항공사 중량관리 기법 조사 - 정부(관제 포함), 항공사, 공항, 승객 등 고려대상 항공산업 이해관계자의 의사결정 고려변수 및 목적함수 개략분석
		Macro-Level 의사결정 지원 모형의 요구조건 분석 및 모형구축 범위설정	- Macro-Level 의사결정 지원모형구축에 필요한 온실가스 감축대안별 특성 (적용대상, 적용기간, 적용비용, 작용효과 등) 개략분석 - Macro-Level 의사결정 지원 모형의 요구사항 분석: 최종 Output 요구사항 분석 - Macro-Level 의사결정 지원 모형구축 범위 설정
2차 년도 ('15.12 ~ '16.12)	'항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발' 기획연구 타당성 분석/타당성 재검토 (항공대학교)	'항공 온실가스 산정 및 예측시스템'의 기획연구에 의거 연구개발 추진 타당성 분석	- 기획연구 등 검토 및 분석 - 기획연구 내용에 대한 경제적, 기술적 타당성 분석 - 시스템 운용에 필요한 데이터 확보 가능성 검토 - 연구개발 추진 타당성 종합분석·평가

라. 기존 연차별 주요연구내용(총 4차년도 연구 진행 시)

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용
1차 년도 ('14.10.31. ~ '15.04.30)	항공 온실가스 보고 포털 개발 (KOTI/솔루티스)	항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석	- 항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 - 항공 온실가스 기초데이터 요구도 분석 - 항공 온실가스 보고 포털 시스템 아키텍처 기획
		항공 온실가스 데이터플랫폼 (제1세부)개발 지원	- 데이터플랫폼 DB 검색/추출/관리 입출력 변수 정의 및 요구사항 도출 - 배출량 산정 프로그램 요구조건 도출
		웹기반 시스템 아키텍처 기획	- 항공 온실가스 기초 데이터 목록에 근거한 인벤토리 수집·저장 계획 수립

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용
			- 항공 온실가스 산정 및 예측 알고리즘 개발 시 필수 기초데이터 접근이 가능한 시스템 아키텍처 기획
	항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발 (한국과학기술원)	온실가스 배출량 및 감축량 산정 알고리즘에 대한 요구도 도출	- 사용자 시스템 요구사항을 반영한 알고리즘 세부 요구사항 도출 - 기존 온실가스 배출량 산정 알고리즘 조사/분석 - 알고리즘 운영에 필요 핵심 DB 조사 및 인수계획 수립 - 사용자 요구사항과 기존 시스템 구조분석을 반영하여 알고리즘 핵심개념 설계 - 전체 및 모듈별 기능 할당과 입/출력 결정 과정 참여
	항공 온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증 (세종대학교)	항공 온실가스 배출량 산정 시스템 개념 설계	- 데이터플랫폼 DB 검색/추출/관리 입출력 변수 정의 및 요구사항 도출 - 배출량 산정 프로그램 요구조건 도출 - 배출량 산정 프로그램 알고리즘 기능 분석 - 배출량 산정 프로그램 개발 환경 구축 - 시스템 유지, 보수, 관리 표준 선정
		해외 유사 프로그램 조사 및 도입, AEDT2a 기능 분석	- 해외 유사 프로그램 도입 및 테스트 - 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램의 검증 절차를 위한 해외 유사 소프트웨어를 도입 및 분석 실시 - 온실가스 기초DB와 연동한 온실 가스 배출량 분석 실시 - AEDT2b 출시 전 AEDT2a 구매 기능 분석을 통한 본 과제 배출량 산정 프로그램 개념설계 요구조건 도출 - 검증에 사용할 국내 상황에 맞는 대표적인 Study 구성, 해석, 결과 도출(표준 항적 및 국내 항공사 레이더 궤적 사용)
	항공 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 (세종대학교)	감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원(제3세부) 모듈 개념설계	- 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 요구조건 도출 및 개념설계
	항공온실가스 감축량 예측 프로그램 개발 (KOTI)	항공온실가스 감축기술 선정	- 항공 온실가스 감축기술 선정 - 감축 기술별 저감 효과 분석 - 국내외 사례조사 및 정책 분석 - 관련 정책 및 기술개발 현황/ 동향 분석
		개념설계	- 온실가스 저감잠재량 알고리즘 분석 - 항공 온실가스 감축수단 별 저감효과 분석 프로그램 설계 - 국가 이행계획 지원
	항공온실가스 감축기술개발 및 검증	항공기 운항관리 분야 연료 효율성 개선 기여 요인 파	- 항공분야 온실가스 감축 방안 문헌조사 - 실무 현장 자료 조사

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용
	(항공대학교)	악	- 외국항공사 사례 조사 - 관련 문헌 조사 - 항공기 기종별 중량 구성 분석 - 항공사 중량관리 기법 조사 - 정부(관제 포함), 항공사, 공항, 승객 등 고려대상 항공산업 이해관계자의 의사결정 고려변수 및 목적함수 개략분석
		Macro-Level 의사결정 지원 모형의 요구조건 분석 및 모형구축 범위설정	- Macro-Level 의사결정 지원모형구축에 필요한 온실가스 감축대안별 특성 (적용대상, 적용기간, 적용비용, 작용효과 등) 개략분석 - Macro-Level 의사결정 지원 모형의 요구사항 분석: 최종 Output 요구사항 분석 - Macro-Level 의사결정 지원 모형구축 범위 설정
2차 년도 ('15.12 ~ '16.12)	'항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발' 기획연구 타당성 분석/타당성 재검토 (항공대학교)	'항공 온실가스 산정 및 예측시스템'의 기획연구에 의거 연구개발 추진 타당성 분석	- 기획연구 등 검토 및 분석 - 기획연구 내용에 대한 경제적, 기술적 타당성 분석 - 시스템 운용에 필요한 데이터 확보 가능성 검토 - 연구개발 추진 타당성 종합분석·평가
	항공 온실가스 보고 포털 개발 (KOTI/솔루티스)	항공 온실가스 보고 포털 모듈 개발	- 항공통계/정책대응/기준정보/레포팅 모듈 상세설계 및 개발소시
		항공 온실가스 보고 포털 구축	- 항공통계/정책대응/기준정보/레포팅 모듈 구축 - 항공사용 온실가스 인벤토리 프로그램 상세설계 및 구축 - GUI를 통한 분석 및 조회 가능한 통합 플랫폼 포함, 포털시스템 구축 - 항공 온실가스 보고포털시각화 구축(안) 제시 - 시스템 장비 스펙 결정 및 관련 장비 구축(안) 제시
	항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발 (한국과학기술원)	운항 환경에 따른 온실가스 배출량 추정 알고리즘 개발	- 모델링을 위한 온실가스영향 인자 결정 - 출/도착지, 기종 (Airframe) 및 장착 엔진, 운항 절차, 계절/기상 등에 관련된 데이터를 이용하여 온실가스 배출량을 산출할 수 있는 기초 데이터 제공 - 인자들을 고려한 비행 중 온실가스 배출량 추정 알고리즘 개발 완료 - 온실가스를 산정하기 위한 모델인 SAGE 및 항공기 엔진, 기체에 대한 데이터베이스인 BADA, INM 등을 이용한 온실가스 배출량 산정 알고리즘 상세설계 및 개발
		단일 비행에 대한 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘의 개발	- 단일 비행 배출량 산정 알고리즘의 상세 설계 - 표준 비행 온실가스 배출량 알고리즘 개발 - 항적자료 이용 온실가스 배출량 알고리즘 개

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용
			발 - 지상조업장비 및 수송차량에 의한 온실가스 배출량 알고리즘 개발 - 개발된 단일 비행 온실가스 배출 산정 알고리즘의 검증 및 수정/보완
		단위별(국가, 지역, 항공사, 항공기 등) 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 고도화	- 단위별 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발 완료 - 분석시 의미를 가지는 배출량 산정 단위 도출 - 단위별 온실가스 산정을 위한 배출량 aggregation 알고리즘 고도화 - 개발된 단위별 배출 산정 알고리즘의 검증 및 수정/보완
	항공 온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증 (세종대학교)	배출량 산정 모듈 및 예측/경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 구동에 필요한 sample DB 구축	- OAG, BTS, BADA3 등 2세부/3세부과제에 필요한 sample DB 구축 - BADA3.1.2(일부 항공사만 제출, 일부 항공기 기종만 존재) 계수 DB 보강 - BADA에 없는 항공기-엔진 모델 매핑(Mapping) - AEDT2b, AEIC 등에 사용되는 OAG(Official Airline Guide) DB mapping - 실 항적데이터를 이용한 사용 연료량 및 온실가스 배출량과 해외 유사 프로그램과의 분석 실시
		해외 유사 프로그램을 사용한 온실가스 산정 및 본 과제 알고리즘과 비교분석을 통한 검증	- 검증을 위한 국내외 대표적인 Study 및 시나리오 작성 - AEDT2b를 사용한 온실가스 산정 및 산정 결과 분석 - AEIC를 사용한 온실가스 산정 및 산정 결과 분석 - PIANO-X를 사용한 온실가스 산정 및 산정 결과 분석 - 상기 결과들을 과학원 알고리즘(MATLAB)과 비교 검토하여 수정사항 제시
	항공 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 (세종대학교)	감축수단별 경제성 분석 모듈 상세설계	- 항공사 운항비용 sample DB 구축(국적항공사 미포함) - 항공사 및 정부기관 기능요구와 경제성 분석 모듈 기능 Mapping - 감축수단별 경제성 분석지원 모듈 상세설계(알고리즘 개발) - 경제성 분석 Coding (MATLAB 사용)
		온실가스 관련 정책 의사결정 지원 모듈 상세설계	- 온실가스 관련 정책 의사결정 지원 모듈 상세설계(알고리즘 개발) - 의사결정 지원 Coding (MATLAB 사용) - 의사결정 지원을 위한 국내 항공사 DB 일부 구축(국내 항공사 제공 시에만)
		미래 운항 DB 구축을 위한	- 미래 운항 DB 자료조사

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용
		자료조사 및 알고리즘 연구	
	항공온실가스 감축량 예측 프로그램 개발 (KOTI)	상세설계 및 구축	- 감축수단 범주별 저감효과 분석 위한 감축기술 선정 - 국적항공사 적용 감축활동 조사 - 항공사 별 산출방법 비교분석 - 항공사 실제 데이터 활용 산출식 검증 - 감축수단별 온실가스 저감효과 산출 알고리즘 및 모듈 개발 - 감축수단 별 연료절감 분석용 프로그램 개발 - 기종별 연료절감 분석용 프로그램 개발 - 시나리오 분석 및 연료절감 데이터베이스 구축 - 연료절감 DB와 연계 분석시스템 알고리즘 설계 - 감축량 예측 분석시스템 구축 - 국가 온실가스 감축 이행계획 활용방안 제시
	항공온실가스 산정 및 예측시스템 상용툴 구현 (솔루티스)	항공 온실가스 산정 및 예측시스템 상세 설계	- Tier3b 배출량 산정 모듈, 감축량 예측, 의사결정/경제성 분석 기능 기초 설계 - 세부기능 정의 및 기초설계 - 세부기능에 대한 해외유사프로그램 비교 - 샘플데이터 입수 및 알고리즘 분석 - 기초 데이터 입수 및 취득방안 정의 - 모듈 프로세스 및 화면 설계 - 모듈 기능별 프로세스 설계 - 입력 및 출력기능 단위별 UI 설계 - 모듈 DB 상세 설계 - 데이터 연계구조 상세설계 - DB 및 인터페이스 설계
		항공 온실가스 산정 및 예측시스템 통합설계	- Tier3b 배출량 산정 및 예측 프로그램 통합설계 - 통계/분석 요구 기능 정의 - 통합 데이터 상세설계 - 통합 프로세스 설계 - 통합 기능별 화면설계 - 결과보고서 작성 - 통합설계보고서 및 수정보완
3차 년도 ('16.12 ~ '17.12)	항공 온실가스 보고 포털 개발 (KOTI/솔루티스)	항공 온실가스 보고 포털 인터페이스 구축	- 항공통계/정책대응/기준정보/레포팅 모듈 및 항공사용 온실가스 인벤토리 프로그램 모듈 통합 - 항공 온실가스 보고 포털과 2/3세부 표출 데이터 통합
		항공 온실가스 산정 및 예측 모듈 지원 기초 DB 시스템 구축	- 항공 온실가스 산정 및 예측 모듈 지원 기초 DB 시스템 시각화 구축(안) 제시 - 시스템 장비 스펙 결정 및 관련 장비 구축(안) 제시
		항공 온실가스 인벤토리 관리 통합 DB 플랫폼 시범 운	- 모듈 안전화 및 기능 고도화를 위한 보완/업데이트

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용
		영(안) 제시	- 항공 온실가스 인벤토리 관리 시스템 시범 운영 계획 수립 - 사용자에 따른 기능 접근성 차별화를 도입한 버전 제공
	항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발 (한국과학기술원)	(선택된 감축전략에 대해) 통합 시스템을 이용한 감축량 산정 알고리즘 고도화	- 통합 시스템 이용한 감축량 산정 알고리즘 개발 및 검증 - (KAIST-KOTI coordination 하에) 도출된 감축 방식 중 선택된 부분에 대한 감축량 산정 알고리즘 고도화 - 통합 시스템 하에서의 감축 시나리오 실행을 통한 검증 및 수정/보완
	항공 온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증 (세종대학교)	온실가스 산정 프로그램 검증	- 시스템 통합 지원 - 고도화된 과학원 알고리즘 AEDT와 비교 재검증 - 세부과제 1에서 개발한 운항 DB를 해외 유사 프로그램에 입력하여 Fleet Level 온실가스 배출량 계산(추후에 통합된 해석 툴 검증에 쓰임) - 대표적인 항공기와 노선들을 선정하여 단일 비행에서 항공사 데이터와 비교 - 대표적인 항공기와 노선들을 선정하여 단일 비행에서 AEDT와 비교 - 대표적인 항공기와 노선들을 선정하여 단일 비행에서 항공사 데이터와 비교 - Fleet Level(예: 일정 기간 단일 혹은 여러 국적 항공사의 모든 국내선/국제선 운항) 해석을 수행하여 항공사 데이터와 비교
	항공 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 (세종대학교)	감축수단별 경제성 분석 모듈 고도화	- 시스템 통합 지원 - 감축수단별 경제성 분석 모듈 수정/보완 - 항공사 운항비 DB를 사용한 온실가스 감축수단별 경제성 분석
		의사결정 지원 모듈 고도화	- 시스템 통합 지원 - 의사결정 지원 모듈 수정/보완 - 구축된 DB를 사용한 중장기 온실가스 정책 의사결정 분석
		미래 운항 DB 구축	- 미래 운항 DB 구축 알고리즘 연구 - 미래 운항 DB 구축 - 미래 운항 DB를 사용한 의사결정지원 연구
	항공온실가스 감축량 예측 프로그램 개발 (KOTI)	항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 통합 및 검증	- 모듈단위 상세설계 문서 통합 및 검증 - 모듈단위 성과물의 시스템 통합 지원 - 사용자(정부 및 항공사) 검증을 통한 기능 요구조건 검증
	항공온실가스 산정 및 예측시스템 상용툴 구현 (솔루티스)	Tier3 배출량 산정 및 예측 프로그램 통합 개발	- Tier3b 배출량 산정 및 예측 프로그램 GUI 개발 - 기준정보 모듈개발 - 배출량 산정 모듈개발 - 감축량 예측 모듈개발

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용
			- 경제성 분석 및 의사결정 모듈개발 - Tier3b 배출량 산정 및 예측 프로그램 알고리즘 연계 - 배출량 산정, 감축량예측, 경제성분석 및 의사결정 모듈 알고리즘 임베디드 - Tier3b 배출량 산정 및 예측 프로그램 테스트 및 인증 - 레포팅 기능 개발 - GIS 기능 개발 - 운영기능개발(BADA DB 업로드 등)
		Tier3b 배출량 산정 및 예측 프로그램 테스트	- 기준정보 모듈단위 테스트 - 배출량 산정 모듈단위 테스트 - 감축량 예측 모듈단위 테스트 - 경제성 분석 및 의사결정 모듈단위 테스트 - Tier3b 배출량 산정 및 예측 프로그램 통합 테스트 - 통합테스트 - 테스트 결과 보완
4차 년도 ('17.12 ~ '18.11)	항공 온실가스 보고 포털 개발 (KOTI/솔루티스)	사용 매뉴얼 및 운영 계획 수립	- 운영자 및 사용자 매뉴얼 작성 - 항공 온실가스 플랫폼 관리 운영 계획 수립 - 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 관리 운영계획 수립
		인증 지원	- 항공 온실가스 산정 및 예측 프로그램을 개발하여, 인증에 대한 사항들을 지원함 - 항공 온실가스 산정 및 예측을 통합 구축하여, 인증에 대한 사항들을 지원함
	항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발 (한국과학기술원)	알고리즘 검증 및 수정/보완	- 통합 시스템 하에서의 알고리즘 검증 및 수정/보완
		운영 및 유지보수 전략 수립	- 매뉴얼 제작 - 시스템 운영 및 유지/보수 전략 수립
		시험운용	- 항공온실가스 감축량 산정 및 예측 시스템 시범운용
	항공 온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증 (세종대학교)	온실가스 산정 프로그램 검증	- 통합시스템 시범운영 지원 - GS 인증 지원 - 통합시스템을 사용한 온실가스 산정 - 논문 작성 및 발표
	항공 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 (세종대학교)	감축수단별 경제성 분석 모듈 및 의사결정 지원 모듈 운영 및 유지보수 전략 수립	- GS 인증 지원 - 매뉴얼 제작 - 항공온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정지원 모듈 시범운영 - 통합시스템을 사용한 경제성 분석 및 의사결정 - 논문 작성 및 발표
		미래 운항 DB 구축 보완	- 미래 운항 DB 수정/보완 - 보완된 미래 운항 DB를 사용한 의사결정지원 연구
	항공온실가스 감축량	항공 온실가스 산정 및 예	- 사용자 매뉴얼 작성

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용
	예측 프로그램 개발 (KOTI)	측 통합 시스템 GS 인증	- 시스템 운영 및 유지/보수 전략 수립 - 항공온실가스 감축량 산정 및 예측 시스템 시범운영 - 사용자(정부 및 항공사) 시범운용 - GS 인증 획득(모듈별 인증)
	항공온실가스 산정 및 예측시스템 상용툴 구현 (솔루티스)	통합시스템 시범운영	- 항공온실가스 시스템 시범운영
		GS 인증 지원	- GS 인증 및 보완 - 개발문서 통합 정리 및 보완

제2장 국내외 기술 개발 현황

1. 국가 연구개발사업 유사연구 실적

가. 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

○ 본 기술개발 과제의 중복방지를 위해 국토교통부 소관 연구개발사업 및 타 부처 연구개발사업으로 기 수행되었거나 수행 중인 유사과제와의 중복 여부에 대하여 조사 및 검토함

- 국가과학기술지식정보서비스[4]를 통해 키워드 중심으로 종합적인 조사 및 검토를 수행함

- 항공온실가스 산정 및 예측시스템과 관련하여 다음과 같은 키워드 의해 유사연구 실적을 조사함

  - 온실가스
  - 온실가스 배출
  - 데이터베이스

- 키워드에 의해 검색된 총 유사연구 실적 중 중복이 우려되는 연구과제를 추출하여 다음과 같은 규칙에 의해 중복성을 분석함

  - 연구개발 목표
  - 연구개발 방법
  - 연구수행 내용
  - 연구수행 결과(실적)

- 연구개발 목표 및 결과가 동일하거나 대부분 유사한 경우 '중복'으로 판단하며, 연구개발 방법 및 내용이 동일하거나 대부분 유사한 경우

<표 13> 키워드 조사에 따른 과제 현황

키워드	총 검색 과제 건수	중복 조사 대상 과제 건수
온실가스	846	3
온실가스 배출	50	1
데이터베이스	1,878	1

4) 국가과학기술지식정보서비스 : www.ntis.go.kr

<표 14> 주요 유사과제 검토 현황

(단위 : 천원)

부처명	사업명	과제명	예산	비 고
미래창조과학부	한국과학기술원 연구운영비지원	항공교통산업 온실가스 배출 모델링 및 지속가능전략 연구	50,000	종료
국토교통부	교통체계효율화사업	교통부문 온실가스 저감 및 통합관리기술 개발	2,034,000	종료
국토교통부	정책연구비	기후변화협약 대비 교통부문 온실가스 저감정책의 효과분석(2단계) 연구	68,000	종료
교육과학기술부	일반연구자지원	항공기 온실가스 배출 시뮬레이션 모델 개발	60,000	종료
환경부	차세대에코이노베이션기술개발	온실가스 배출 전망 및 감축잠재량 예측 분석 평가 기술 개발	780,000	종료
국토교통부	항공선진화사업	항공기 비행절차 및 공역 효율성 툴 개발연구(PEAT)	450,000	종료

○ 본 과제와 유사성이 있는 과제는 총 6개가 있지만 직접적으로 프로그램 개발과 유사한 프로그램을 개발하거나 알고리즘을 사용한 기관이 거의 없음

○ 항공교통산업 온실가스 배출 모델링 및 지속가능전략 연구

- 연구의 주 내용으로 항공 온실가스 감축을 위한 수단 중 하나로 항공 연료를 Bio-fuel 로 대체하게 된다면 이에 발생하는 효과에 대한 단기 과제의 형식이므로 본 기술개발 과제와의 중복성은 매우 미미함

○ 교통부문 온실가스 저감 및 통합관리기술 개발

- 교통안전공단에서 수행한 '교통부문 온실가스 저감 및 통합관리기술 개발'은 도로, 철도, 항공, 해운 등 개별수단 별 온실가스 배출계수 및 활동도자료 수집을 통한 교통부문 온실가스 인벤토리 개발하고 통합관리하는 시스템으로 크게 온실가스 배출량 정보시스템, 온실가스 목표관리 지원시스템, 온실가스 저감효과평가시스템으로 구성되며 하위에 도로, 철도, 항공, 해운 등 각 교통수단별 서브시스템이 위치하여 정부의 온실가스 저감 효과를 분석할 수 있는 시스템 개발을 목적으로 하였음

- 그러나 이는 교통 전분야(도로, 철도, 항공, 해운 등)를 망라하여 시스템을 구축하여 항공부문의 온실가스 저감효과를 미시적으로 접근하는데 한계가 있으며 또한 '교통부문 온실가스 저감 및 통합관리기술 개발'의 경우 교통부문을 총괄하는 기초연구단계였음

- 따라서 교통부문 중 항공분야에 구체적인 국내외 배출가스 규제에 효과적으로 대응가능한 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발을 진행하는 본 기술개발과제와의 중복성은 없으며 연계관계도 미미함

<그림 2> 교통부문 온실가스 통합관리시스템(KOTEMS)체계도

○ 기후변화협약 대비 교통부문 온실가스 저감정책의 효과분석(2단계) 연구

– 항공교통을 포함한 교통부문의 전반적인 내용을 다루고 있으나, 항공기 연료에 국한된 연구분석만 이루어져 있으므로 본 과제와 참고자료로 사용이 가능하지만 중복성은 없음

○ 항공기 온실가스 배출 시뮬레이션 모델 개발

– 항공기의 실제 엔진에서 발생되는 온실가스에 대한 모형을 분석한 시뮬레이션 분석이지만, 본 용역은 온실가스 산정 및 예측 시스템까지 구축하므로 해당연구과제와 현재 시스템 개발과 차이가 있으므로 본 기술개발 과제와의 중복성은 없으며 연계관계도 불필요함.

○ 온실가스 배출 전망 및 감축잠재량 예측 분석 평가 기술 개발

– 온실가스 데이터베이스를 구축하여 분석하는 건 동일하지만, 전 분야에 대한 온실가스 감축 기술 및 산정 모델을 개발한 연구이므로, 현재 연구 방향의 심도있는 분석과는 차이가 있음

– 특히 항공분야에 대한 LTO 분석, 항공기 엔진별/감축기술별/항적데이터에 따른 세부적인 분석이 없으므로, 본 기술개발 과제와의 중복성이 없음

○ 항공기 비행절차 및 공역 효율성 평가 툴 개발 연구

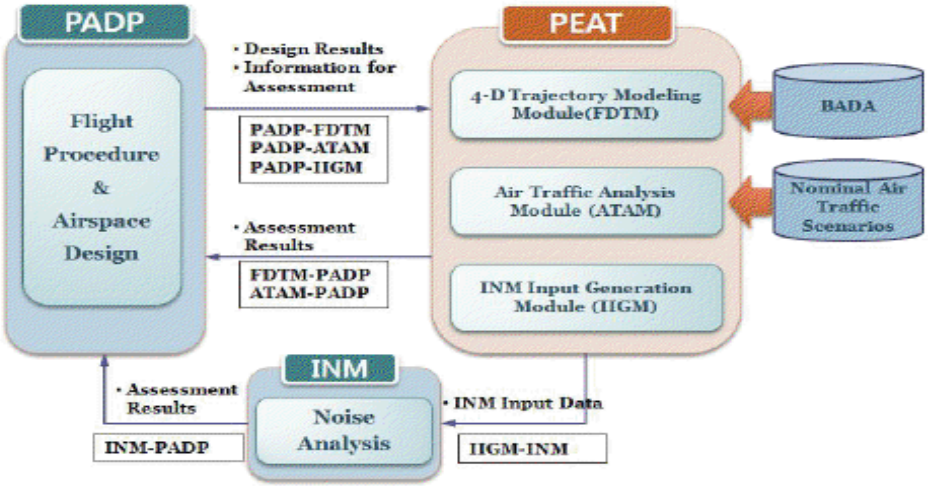
– 항공기 비행절차 및 공역설계 프로그램에서 모듈로 설계된 '항공기 비행절차 및 공역

효율성 평가 툴 개발 연구'는 프로그램내에서 비행절차가 설계된 후 항공기를 시뮬레이션하여 연료 소모량의 정도를 분석할 수 있는 프로그램임

- 이 프로그램의 연료 소모량은 BADA, INM 등의 데이터베이스를 사용하므로 추후 개발되는 프로그램과 분석하는 기초적인 데이터베이스는 동일하게 적용이 됨

- 다만, Engine Data, Boring method 2 등의 추가적인 데이터를 사용하여 실질적인 연료 소모량을 분석하는 방법을 채택하였으며, 구체적인 연료 소모데이터량 및 온실가스 배출량을 측정하기 위하여 비행 단계별로 구분하였음

- 따라서 연료의 소모량을 분석하여 온실가스 데이터 측정을 하는 방법은 유사하지만, 구체적인 사용 연료 산정 방법 및 프로그램의 목적성이 다르므로 본 기술개발 과제와의 중복성은 없음



<그림 3> PEAT 도구의 구성도

나. 연구개발과제의 차별화 방안

○ 중복성 검사에서 검출된 유사한 과제들과 차이점은 항공분야에서 발생되는 온실가스량 산정 및 예측을 하기 위하여 구체적인 알고리즘을 분석하는 방법으로 해당 과제의 최종 목적은 우리나라의 온실가스량을 체계적으로 관리하고, 감축 예측량을 제시함으로 국제회의에서 우리나라 항공부문의 온실가스에 대한 실적 및 전망을 분석하기 위함임

○ 따라서 프로그램에 포함되어있는 모듈 및 기초 데이터베이스 사용에 대한 내용에서 유사과제들이 존재하지만, 실제로 적용되는 알고리즘 및 분석방법에서는 관련 영향이 없다고 할 수 있음

2. 국내외 관련 기술 특허 동향

가. 국내 관련 특허 동향

○ 공항주변 온실가스 모니터링 관리기술 관련 국외 논문자료는 기본적인 공항대기질 관리부터 시작하여 공항의 배출물질 및 그 주변 도시의 대기질 평가, 공항 규모에 따른 대기질 모니터링 및 평가, 오염물질 배출원 별 모니터링 및 배출원에 따른 대기질 평가, 더 나아가 공항 배출물질이 공항 주변 거주자들의 건강에 미치는 영향에 대한 연구 등 다양한 연구가 활발히 진행 중임.

○ 아래 표는 주요 특허현황 및 내용을 정리한 자료임.

<표 15> 국내 주요 특허현황

출원인	특허명	내용
인천공항공사(2006)	항공기 소음을 이용한 온실가스 배출량 산출 장치 및 방법	온실가스 및 기타 대기오염물질의 영향을 소음측정 자료를 이용하여 실제적인 온실가스 및 대기오염물질의 배출량을 산출하도록 한 항공기 소음을 이용한 온실가스 배출량 산출 장치 및 방법 제시
한국건설기술연구원	온실가스 배출량을 줄일 수 있는 교통 경로 제공 방법	차량 내비게이션 시스템에서 온실가스 배출량을 기준으로 하는 교통 경로 제공을 위한 각 경로별 온실가스 배출량 계산
전자부품연구원	물류 프로세스 중심의 온실가스 배출량 관리 방법 및 시스템	물류 프로세스 중심의 온실가스 배출량 관리 방법 및 시스템 제공
주식회사 에코시안	온실가스 배출량 산정 방법 및 시스템	온실가스 배출량을 산정하는 방법 및 시스템으로 온실가스 배출량을 산정하는 산정부를 포함하는 온실가스 배출량 산정 시스템 제공
주식회사 에코시안	온실가스 감축 잠재량 평가 방법 및 시스템	온실가스 감축 잠재량을 평가하는 방법 및 시스템
이앤에이치씨(주)	온실 가스 통합 관리 시스템	온실 가스 통합 관리 시스템은 아래 단계를 를 포함하는 방식으로 정보 처리 구분하여 분석 (A) 온실 가스 발생량의 산정을 위한 입력 데이터를 입수 받는 단계 (B) 상기 (A) 단계에서 입수한 정보로 적어도 하나 이상의 관점별 온실 가스 감축 잠재량을 산정하는 단계 (C) 상기 산정된 관점별 온실 가스 감축 잠재량을 출력하는 단계

재단법인 포항산업과학연구원	온실가스 인벤토리 관리 방법 및 시스템	온실가스 인벤토리 관리 방법 및 시스템 제공
경원대학교 산학협력단	온실 가스 관리 시스템 및 방법	온실 가스 관리 시스템 및 온실 가스 배출 정보에 기초하여 식별자에 해당하는 온실 가스 배출량 산출 표시 제공
한국전자통신연구원	온실가스 모니터링 시스템 및 방법	온실가스 모니터링 시스템은 온실가스에 대한 정보를 수집하고, 수집한 온실가스에 대한 정보를 이용하여 온실가스 배출량 분포 분석
교통안전공단	교통수단별 온실가스 및 대기오염물질 저감효과 분석 시스템	교통수단별 배출하는 온실가스 및 대기오염물질의 저감 효과 분석 시스템

나. 국외 관련 특허 동향

○ 최근 국외의 연구에서는 에너지 저감정책을 통합적으로 집행하고 관리하기 위해서 관련 부처 간 통합적인 연구가 진행되고 있으며 관련 부처가 공동으로 에너지 및 온실가스 저감정책을 관리하는 시스템을 구성하고 있음

○ 또한 항공 온실가스 측정 및 관리 기술은 항공 온실가스 배출량 산정 및 감축량 예측모델, 항공기 소음 예측 모델, 공항주변 대기질 관리 모델 등으로 구분되며, 주로 미국, 유럽에서 특허 및 개발이 이루어지고 있음.

- 미국은 2025년까지 안전 · 저탄소 지향의 차세대 항공교통시스템(Next Generation Air Transportation System, NextGen) 계획을 미국 연방항공청(Federal Aviation Administration, FAA) 추진

- 유럽(유럽항공 ATM연구조사(SESAR[5)]))은 향후 30년간 유럽 전역의 항공교통 안전과 효율성을 보장하는 차세대 ATM 시스템의 개발

- 캐나다는 칸쿤(Cancun) 협의에 따라 2020년에 이르러 2005년 수준대비 17%의 국가 온실가스 감축목표를 가지고 있으며, 항공산업과 정부는 2005년 이래로 항공운송 분야의 국내선과 국제선 운항에서 발생하는 온실가스 배출량을 줄이 기 위해 상호협력

○ 현재 Aero2k, SAGE/AEDT, FAST 등의 여러 항공 온실가스 추정 시스템이 선진국에서 운영되고 있으나, 미국의 SAGE/AEDT 모델이 가장 주도적인 기술 수준 및 특허 보유

○ 호주 UNSW 대학에서는 SAGE, Aero2k 등의 최신 모델의 약점들을 보강하기 위한 선도적인 연구가 진행 중이며 학술적인 시범으로 아직 호주 항공관제에 사용되고 있지는 않으나 향후 항공관리 시스템에 병합될 전망임

5) SESAR : Single European Sky ATM Research

3. 국내외 시장분석 및 산업동향

가. 국내외 시장동향

(1) 국내 시장 현황

○ 우리나라 항공 산업의 지속가능성을 위한 IPCC Tier 3b 급 항공기 에너지소모 및 온실가스 배출 데이터베이스 연구는 현재까지 추진된 바가 없으나 아래의 유사한 연구가 활용되어 왔음

○ 교통부문 온실가스 통합관리시스템 (한국교통연구원, 2010)

- 교통부문의 온실가스 인벤토리 관리하기 위해 설립된 시스템
- 국가 및 국가 내 국제부문 배출량 산정
- 간접배출량 포함
- IPCC Tier 1급 산정

○ 교통시설 투자평가 지침 개정안 (국토교통부, 2009)

- 차종별 속도별 교통량을 활용해 Tier 3급으로 도로/철도부문 CO2 배출량 계산
- 도로부문의 경우 2006년 대한교통학회의 "철도투자평가체계 개선방향" 산정식 활용
- 철도부문의 경우 관련 문헌 검토
- 탄소의 사회적 가치를 유럽 5개국들의 평균치를 사용해 온실가스 절감편익 계산

○ 그리고 항공부문의 온실가스 감축량을 위한 국내의 연구는 항공분야 기후변화 대응 방안(2008), 항공교통 부문 온실가스 배출규모 추정 및 관리방안(2008), 항공수요에 따른 항공부문 온실가스 예측(2010)등 관련 연구들이 토대로 항공온실가스 추정 및 저감효과 시뮬레이션 모델 개발을 진행하였음

○ 2014년 교통안전공단에서 IPCC Tier 3A 급의 인벤토리 구축 연구, 한국과학기술원(KAIST)에서 항공교통 온실가스 배출 모델링을 위한 데이터 구축 연구를 진행 중에 있으며, 현재 정부의 항공부문의 온실가스 저감 국가 이행계획 수립을 통해 여러 저감 수단이 연구 되고 있으며, 이에 따른 항공 온실가스 추정 및 저감효과분석 시뮬레이션 모델 개발 시급함

- Tier 3A 급의 인벤토리 구축 연구에 필요한 사항으로 항공사들이 사용하고 있는 항공기 엔진 종류 및 국내외 공항의 이착륙 비행 스케줄을 파악하여 정확한 온실가스 산출량을 분석함
- ‘IPCC Tier 3A 급의 인벤토리 구축 연구’ 의 최종 목표는 항공교통 운용 시나리오

의 온실가스 배출 영향 산정 및 여러 가지 항공기 운용에 따른 변화량을 비교분석하여 최소 저감하는 방식을 찾는 방식임

○ 항공기의 온실가스 산정 모델 연구와 더불어 '공항주변의 온실가스 모니터링 관리 기술개발 기획' 도 진행되었으며, 주 연구내용은 공항내 이동체를 대상으로 발생되는 온실가스량을 산출하기 위하여 산정 모델을 개발하는 방식으로 진행되었음

- 항공기를 지원하는 이동체는 매우 다양하며, 대표적으로 Towing car, Ramp Bus 등이 있으며, 항공기가 지상에 있는 동안 운용되는 GPU, ACU 등이 있음

(2) 국외 시장 현황

(가) FAA Environmental Tool Suite

○ 미 연방항공청(FAA)는 항공운항으로 소음, 대기오염, 기후변화 등의 환경영향을 종합적으로 평가하기 위한 통합적인 시뮬레이션 모델개발의 필요성을 절감하여 2004년 FAA Environmental Tool Suite 개발에 착수하여 2014년 현재도 개발이 진행중임

○ FAA Environmental Tool Suite은 크게 4개의 주요 소프트웨어로 구성이 되며 <그림 6>, 이들 4개의 주요 소프트웨어가 통합적으로 운영되어 궁극적으로 FAA의 항공환경정책이 사회에 미치는 비용 및 효과를 추정함

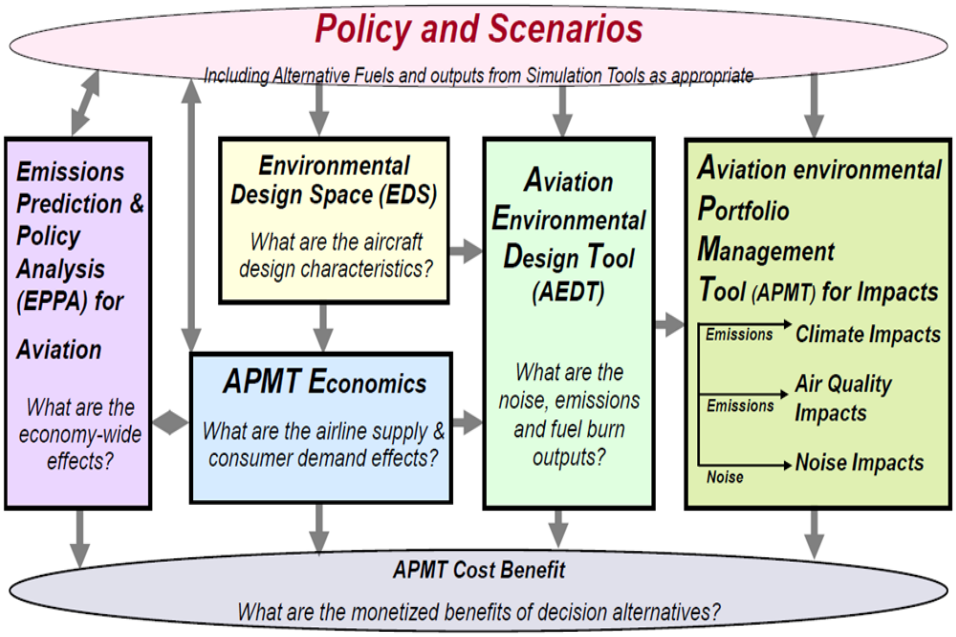
- EDS(Environmental Design Space) : 항공기 설계 및 성능해석 프로그램으로 미래의 신기술 항공기를 모델링하여 AEDT의 항공기/엔진 DB로 입력

- APMT-E(Aviation Portfolio Management Tool for Economics) : 항공정책이나 신기술도입이 미래의 항공사에 미치는 경제적 영향을 분석하며 신형 항공기의 시장 진입과 미래 항공운항 스케쥴을 도출함

- AEDT(Aviation Environmental Design Tool) : APMT-E에서 도출한 미래의 항공운항 스케쥴에 따라 항공운항 시뮬레이션을 수행하여 공항주변 소음, 대기오염 물질 배출, 및 온실가스 배출량 계산

- APMT-I(Aviation Portfolio Management Tool for Impacts) : AEDT에서 계산된 소음, 대기오염물질, 온실가스 배출량 사회복지비용(social welfare)으로 환산함

○ FAA Environmental Tool Suite은 국제민간항공기구의 항공기 소음인증 규제(ICAO Aircraft Noise Certification Standard) 및 항공기엔진 질소산화물 인증 규제기준(ICAO Aircraft Engine NOx Certification Standard) 마련에 사용됨



<그림 4> FAA Environmental Tool Suite

(나) AEDT(Aviation Environmental Design Tool)

○ FAA Environmental Tool Suite의 일부로 개발된 AEDT는 항공기 운항으로 인한 공항주변소음(INM/MAGENT), 대기오염(EDMS), 온실가스(SAGE) 배출량을 측정하는 개별적인 소프트웨어 들을 통합하여 개발함

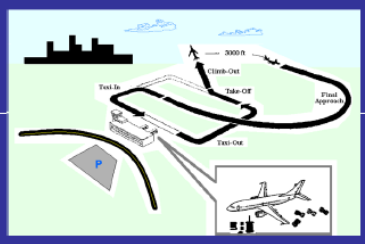
○ AEDT는 항공운항으로 인한 각종 환경효과를 개별적으로 추정하던 기존의 방식에서 벗어나 통합적으로 해석을 수행함으로써 공항주변 소음, 대기오염, 기후변화 등 서로 다른 환경영향간의 상호작용(interdependency) 모델링을 가능하게 함

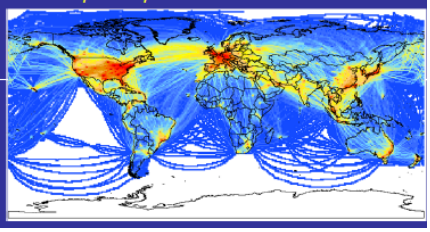
○ AEDT는 Windows PC에서 동작하는 GUI 환경을 통해 사용자가 지정한 연구범위에 따라 공항 DB, 항공기/엔진 소음 및 배기가스 DB, 운항 DB로부터 필요한 정보를 SQL server를 통해서 수집하여 소음, 대기오염물질, 연료사용량을 계산하며, 단일비행부터 월별/연간 단위의 거시적인 해석도 수행이 가능함

○ AEDT는 지리정보시스템(GIS)과 통합되어 항공기 운항 궤적, 공항주변소음분포 및 배기가스 배출위치를 지도위에 겹쳐서 보여줌

2004 FAA Environmental Tools

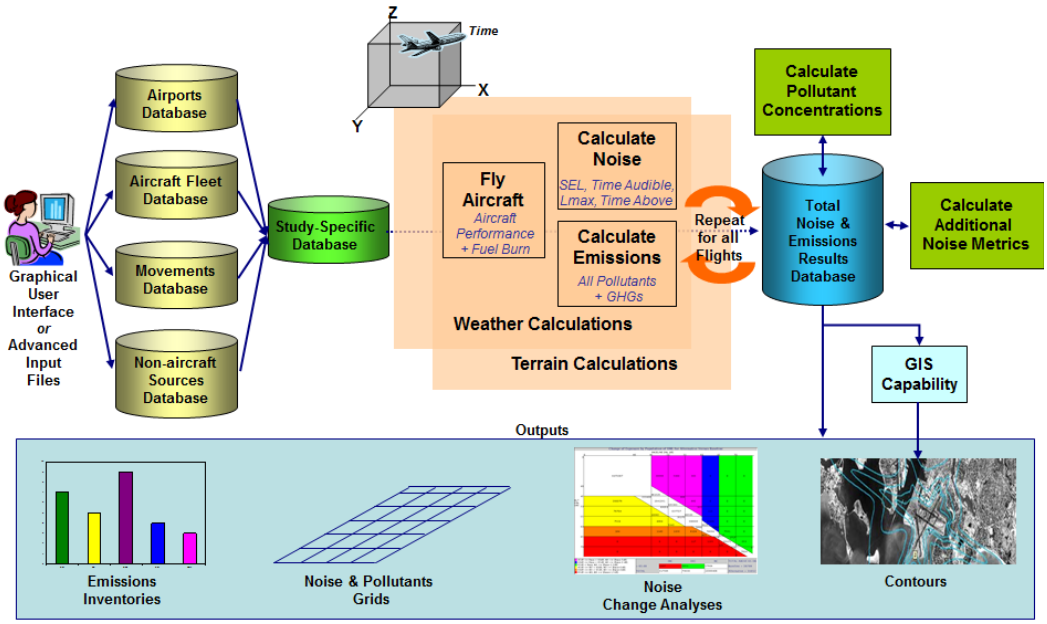
Tools	Environmental Consequence
Emissions Dispersion Modeling System	Individual Airport Emissions Inventories / Pollutant Concentrations
Integrated Noise Model	Individual Airport Noise Contours
Noise Integrated Routing System	Regional Noise Impacts from changes to Airports + Airspace
MAGENTA	*Model for Assessing Global Exposure to Noise from Transport Airplanes* U.S. Flight Plan Inventories Global Noise Exposure
System for Assessing Aviation Global Emissions	Global Emissions Inventories





<그림 5> AEDT를 구성하는 주요 모듈의 기능

출처 : Aviation Environmental Tools Colloquium, 2010



<그림 6> AEDT 정보 흐름도

출처 : Roof, C.J.,"Overview of the FAA's AEDT", US DOT Volpe Center, 2008

(다) GREAT(Global Regional Environmental Aviation Tradeoff)

○ 미국의 조지아공대(Georgia Institute of Technology)는 FAA의 PARTNER Project14 Environmental Design Space의 일환으로 AEDT의 short version인 GREAT 프로그램을 개발함

○ GREAT는 Microsoft .NET Framework를 기반으로 프로그래밍 되어있으며 MS EXCEL을 통해서 GUI를 구축하였기 때문에 AEDT에 비해 사용이 아주 간단함

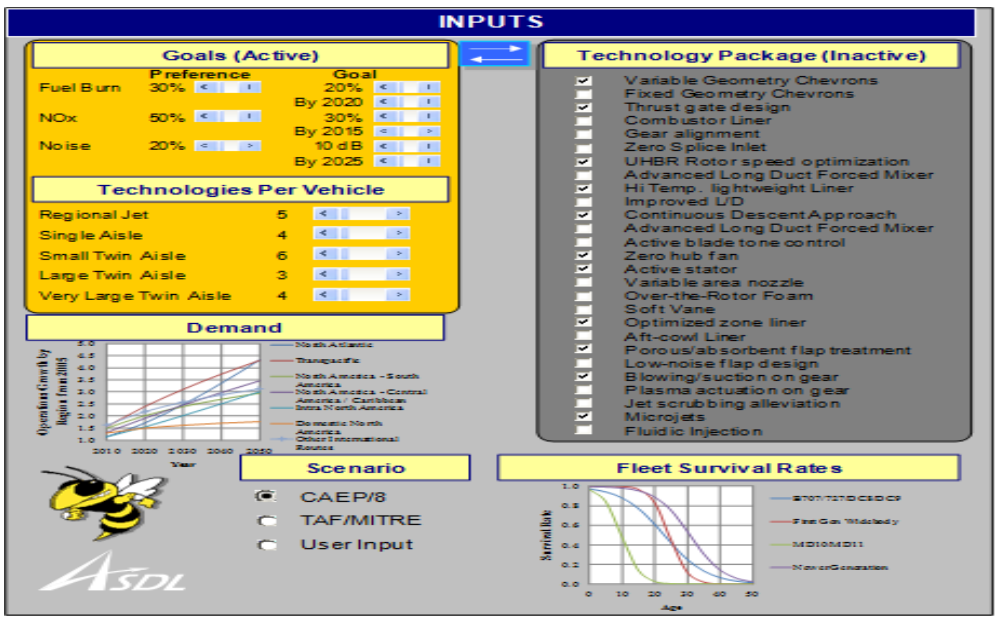
○ GREAT는 조지아공대에서 개발한 또 다른 FAA의 프로그램인 EDS와 간단히 연동이 되어 미래의 새 항공기에 의한 Fleet Level 온실가스 분석이 가능함

○ GREAT는 APMT-E가 수행하는 기능인 미래항공운항 스케쥴을 자체적으로 생성할 수 있기 때문에 항공환경관련 정책이나 신기술에 대한 Fleet Level의 장기적(일반적으로 2010부터 2050년까지)이고 거시적(미국전체 혹은 전세계 항공운항)인 효과를 수분 안에 계산할 수 있음

○ GREAT는 2014년 현재 거시적인 연료사용량 및 공항소음 계산기능이 들어가 있으며 향후 경제성 분석 모듈도 추가될 예정임

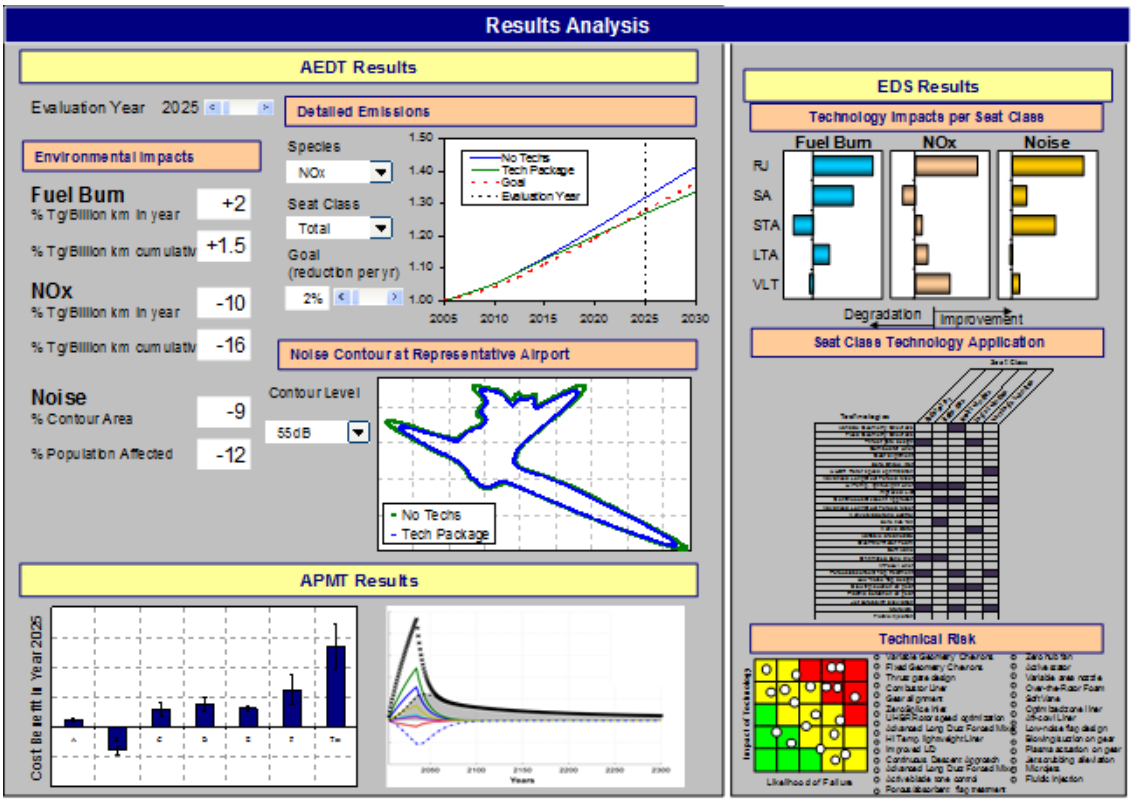
○ <그림 7>은 MS EXCEL 환경에서 구현된 GREAT의 사용자 INPUT GUI 개념도로 온실가스감축 목표 설정, 온실가스감축 목표 기술 옵션 선택, 미래의 항공운항 증감 시나리오 설정, 노후 항공기 퇴역 시나리오 설정이 가능 함

○ <그림 8>은 MS EXCEL 환경에서 구현된 GREAT의 사용자 INPUT GUI 개념도로 사용자가 선택한 항공기 신기술의 효과를 기준년도로부터 향후 20~40년간 계산하여 도식화 함



<그림 7> GREAT의 INPUT GUI

출처 : Kirby, M.R., Becker, K., Isley, S., Burdette, G., Mavris, D., "Development of an Interactive Capability to Trade Off New Technologies and Future Aircraft to Reduce Aviation Environmental Impacts," ICAS 2010-4.10.2-645, 2010



<그림 8> GREAT의 OUTPUT GUI

출처 : Kirby, M.R., Becker, K., Isley, S., Burdette, G., Mavris, D., "Development of an Interactive Capability to Trade Off New Technologies and Future Aircraft to Reduce Aviation Environmental Impacts," ICAS 2010-4.10.2-645, 2010

(라) AERO-MS[6)]

○ 네덜란드 민간 항공우주연구소(NLR)는 AERO(항공 배기 가스 및 감축 옵션 평가)라는 프로젝트를 통해 항공기 엔진에 의한 대기 오염 관련 문제를 평가하고 항공 운송이 대기에 미치는 영향을 감소시키기 위한 조치를 분석하는 동시에 그와 같은 조치가 가져올 환경적 이득과 경제적 영향에 대해 검토하였음

○ 이러한 목적을 달성하기 위해 광범위한 전 지구적 정보 수집과 AERO 모델링 시스템(AERO-MS)이라고 명명된 모델링 시스템이 개발됨

○ AERO-MS는 항공 수송 수요 발생과 이에 대한 설명부터 항공기 엔진 배기 가스의 환경적, 경제적 영향 평가까지 포함하면서 관련 경제, 상업, 기술, 환경적 요소를 포괄적으로 통합하여 제공하고 있으며 미래 항공 운송산업의 예측, 온실가스 환경 및 경제적 결과를 평가할 수 있음

○ AERO-MS는 순항 고도에서 항공기 엔진에서 배출된 온실가스가 전 지구적 환경에 미치는 영향을 검토하도록 설계되었으며, 전세계적 관점 및 국소지역과 규모의 배출이 발생되는 지점에서도 평가가 가능함

○ 또한 항공 운송 수요와 공급의 기술적, 경제적 특징에 대한 상세 설명을 포함하기

6) Aviation Emissions and Evaluation of Reduction Options(AER0) Main Report Part 1.

때문에 다른 환경 요인 평가를 위해 중요한 기준을 잠재적으로 공급함 하지만 현재 AERO-MS의 모델 적용은 전 항공기 엔진 배기 가스와 관련된 전 지구적 문제에 초점을 맞추고 있음

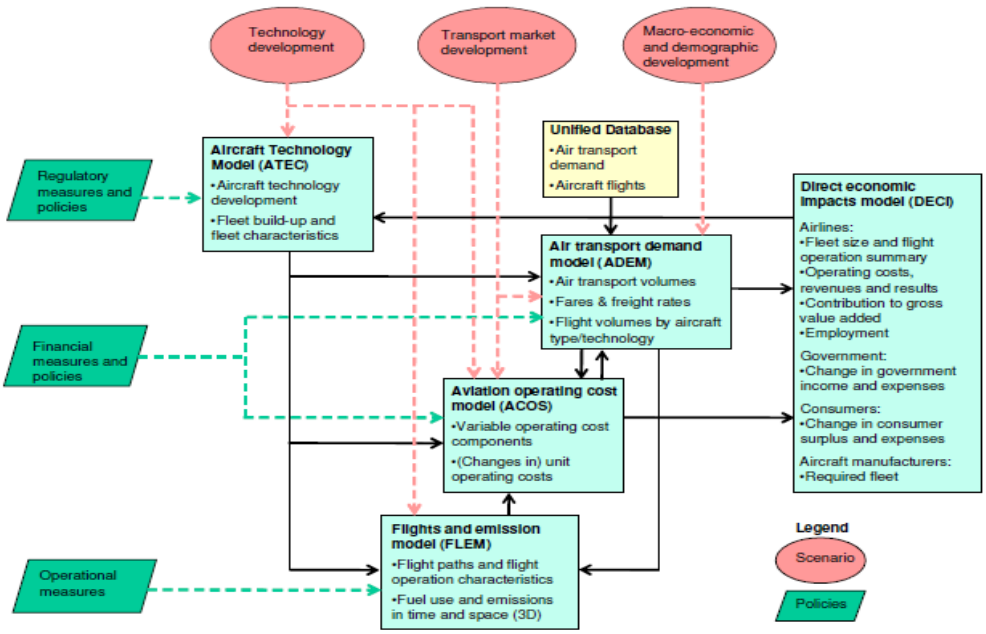
○ AERO 모델링 시스템은 <그림 4>와 같이 총 5개의 모델로 구성이 되며 이는 아래와 같다.

- 항공기 기술 모델(ATEC) : 시간에 따른 모델링에 기반하여(연료 소모, 배출 계수, 새 항공기 구매 가격 등을 포함하는) 항공기 형태 및 기술 단계의 연산하는 모델

- 항공 운송 수요와 공급 모델(ADEM) : 항공 운송 측면의 수요 및 공급을 고려한 수요 공급모델

- 항공 운용 비용 모델(ACOS) : 항공기 기종, 기술수준, 항공 운송의 모든 관련 가변 비용 구성 요소와 단위 비용을 연산하는 모델

- 항공편 및 온실가스 모델(FLEM) : 실제 비행 프로파일에 대한 상세한 설명 및 3차원 그리드 상에서 연료 소모와 온실가스(CO2, NOx, SO2, CxHy, CO, H2O 포함) 배출량을 계산하는 모델



<그림 9> AERO-MS 시스템 구조

출처 : Aviation Emissions and Evaluation of Reduction Options(AERO) Main Report

(마) FAST(Future Aviation Scenario Tool)[7]

○ FAST는 O3와 CH4, 항공 NOx 등의 배출량의 영향을 평가하기 위해 영국 무역산업부(DTI)에서 개발하였으며, 항공기 이동자료는 AERO2K의 데이터베이스 및 OAG데이터를 사용하여 60여종의 항공기의 연료사용량 특성을 산정하는 툴임

○ FAST는 AEDT같은 대규모의 시스템을 구축하는 것이 아닌 소규모의 다양한 모델을 개발하여 분석하기 위한 목적으로 각 모델간 결과물 적용이 용이

(바) AEM(Advanced Emission Model)[8]

○ AEM은 EUROControl에서 개발한 모형으로서 항공기의 연료소모량과 특정 기체 및 배출가스를 대응하기 위해 만들어졌으며, CO2, H2O, SOx, NOx, HC, CO, 벤젠, VOC, TOG 등의 질량을 추정하여 배출량을 산정할 수 있음

○ AEM은 항공기 기종, 엔진타입 뿐아니라 4D 궤적을 포함한 프로파일세트로서 연료연소비율, 배출율 자료 외에 콜 사인, 출발시간, 출발 도착공항, 기종 등을 포함한 전반적인 비행 및 일정자료, 비행고도, 대지속도, 상승/하강비율 등 비행자료를 포함

(사) FAA Tool Suite의 국제민간항공기구 항공기 Noise, NOx, CO2 인증 규제 개발 적용 사례

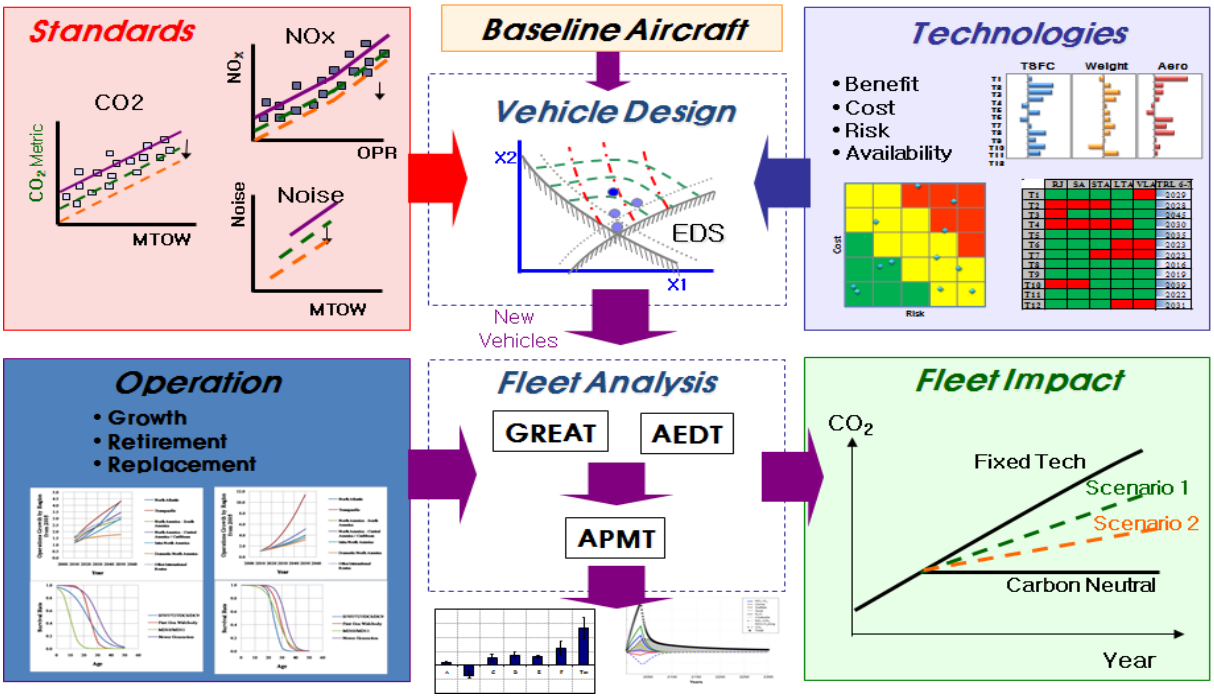
○ 위에서 소개한 EDS, AEDT, GREAT는 현재 국제항공기구(ICAO)에서 2016년 도입을 목표로 2010년부터 개발 중인 항공기 이산화탄소배출 인증 기준을 개발하는데 사용 되고 있음

○ 그림 12는 각각의 프로그램들이 어떻게 서로 유기적으로 동작하여 ICAO가 제정하는 항공기 환경규제의 비용 및 효과를 계산하는지 보여줌

○ ICAO의 항공기 소음 인증 규제, 항공기 엔진 NOx 인증 규제, 항공기 CO2 인증 규제는 일반적으로 한번 도입된 후 6년을 주기로 규제 기준을 강화하며, 더 강화 되는 기준을 정할 때마다 FAA가 개발한 EDS, APMT, AEDT, GREAT 등의 프로그램들을 사용함

○ 항공기의 환경영향해석이 가능한 프로그램들을 보유한 국가가 국제항공기환경규제의 제정과정에서 주요 역할을 담당하게 되기 때문에, 유럽연합, 영국, 일본 등 관련 선진국들도 자체적으로 소프트웨어를 개발하여 ICAO의 공식적인 전문가 검토를 통한 검증을 거치고 있음

7) 항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발 기획보고서(2013)
8) https://www.eurocontrol.int/services/advanced-emission-model-aem



<그림 10> 국제민간항공기구 항공기 이산화탄소 인증규제정책 효과 분석 흐름도

출처 : Michelle Kirby, Dongwook Lim, Taewoo Nam, et al., "Assessment of Notional CO_2 Certification Standard Applicability Requirements for Future Commercial Aircraft" AIAA ATIO Conference, August 2013

○ 미국연방항공청[9] 과 유럽연합위원회[10]에서 진행하는 AIRE[11] 프로그램은 미국의 NEXTGEN 프로젝트와 유럽의 SESAR 프로젝트의 병합

- 미국과 유럽 사이 항공로들의 온실가스 배출량을 현존하는 항공 교통 관리 시 스템으로 절감하는 것이 목적이며 40개의 항공사, 공항관리국과 산업체 등의 여러 유럽 측 관련 기관들이 AIRE 에 참여하였음

- 2007년에 시작한 이 프로그램은 현재까지 1000번 이상의 실험 결과를 통해서 새로 도입할 온실가스 절감 해결책들을 개발하는데 많은 성과를 거둠

- AIRE 프로그램은 AEDT 코드를 사용하여 엔진에서 사용하는 연료량과 배출 되는 가스양을 신뢰 있게 계산하여 온실가스 감축기술 및 정책의 유효성 확증 에 결정적인 역할을 함

9) 미국연방항공청(FAA) : Federal Aviation Administration
10) 유럽연합위원회(EC) : European Commission
11) AIRE : Atlantic Interoperability Initiative to Reduce Emissions

4. 국내외 정책동향

가. 국내 정책동향

<표 16> 국내 온실가스 정책동향

주요규정	내용	주요 관련 조항
저탄소 녹색성장 기본법	- 온실가스를 획기적으로 감축하기 위하여 온실가스 배출 중장기 감축 목표 설정 및 부문별·단계별 대책, 에너지 수요관리 및 안정적 확보대책 등을 포함한 「기후변화 대응 기본계획」과「에너지 기본 계획」을 수립·시행 - 국제기구에서 제정하거나 도입하려는 EU-ETS와 같은 저탄소 녹색성장과 관련된 제도·정책에 관한 지원체제를 구축	- (제9조) 저탄소 녹색성장 국가 전략 수립 - (제23조) 녹색경제, 녹색산업의 육성 및 지원 - (제26조) 녹색기술의 연구개발 및 사업화 등의 촉진 - (제37조) 국제규범 대응 - (제38조～제42조) 기후변화 대응 - (제43조～제46조) 온실가스 감축 및 종합정보관리체계 구축 - (제47조) 교통부문 온실가스 관리 - (제55조) 저탄소 교통체계 구축
지속가능 교통물류 발전법	- 지속가능 항공기술개발을 통한 교통보문 온실가스 감축 등 정책과제를 효율적으로 추진	- (제14조～제15조)지속가능교통지표 개발 및 관리 - (제16조) 기호변화협의 대응 - (제27조～제29조) 녹색교통기술개발사업 - (제28조) 에코드라이빙, 친환경 교통(대중교통, 철도) 활성화 - (제33조, 제35조) 비동력, 무탄소 교통수단 개발

○ 저탄소 녹색성장 기본법 제2조 제3호[12)]에 따르면 현재 녹색기술 연구개발 종합 대책의 27대 중점육성기술 중 기후변화 예측 및 모델링개발 기술이 1번으로 제일 중요한 위치에 있음

○ 또한 우리나라 국가 이행계획 및 항공정책기본계획, 목표관리제 등을 통해 온실가스 감축을 위한 의지를 표명하였음

12) 저탄소 녹색성장 기본법 제 2조(정의) : 3. "녹색기술"이란 온실가스 감축기술, 에너지 이용 효율화 기술, 청정생산기술, 청정에너지 기술, 자원순환 및 친환경 기술(관련 융합기술을 포함한다) 등 사회·경제 활동의 전 과정에 걸쳐 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스 및 오염물질의 배출을 최소화하는 기술을 말한다.

<표 17> 국내 온실가스 주요 계획 동향

주요 규정	내용
우리나라 국가이행계획 (State's Action Plan)	- 저탄소 녹색성장 기본법에 의거한 녹색성장 5개년 계획 수립·시행 • 우리나라는 온실가스 비의무감축국임에도 불구하고 '20년까지 온실가스 배출전망치(BAU) 대비 30% 감축을 국가 중기 목표로 설정 - 우리나라는 교통부문 온실가스 감축 계획(지속가능국가교통물류발전계획)을 수립하여 온실가스 감축 목표를 설정하고, 세부적인 온실가스 감축 방안 마련 • 2020년 국가 전체의 온실가스를 BAU 대비 30% 감축할 예정이며, 특히 교통부문은 부문별 감축목표 중 가장 높은 34.3%를 감축할 예정
제1차 항공정책기본계획 (2010-2014)	- 항공부문 저탄소 녹색성장 추진 • 항공분야 저탄소 녹색성장 중장기 계획 수립 • 항공부문 온실가스 배출량 관리시스템 구축 • 항공부문 온실가스 자발적 배출량 감축협약 추진 - 한국공항공사, 인천국제공항공사 배출량 관리: 공항시설의 온실가스 배출은 건물부문으로 포함되어 감축목표 설정 및 관리
목표관리제	- 목표관리제는 환경부가 총괄기관으로서 종합적인 지침 및 기준을 수립하고,정부 4개 부처(환경부·지경부·국토부·농식품부)가 협력하여 소관 부문별 관리업체에 대한 목표설정, 이행지원, 실적평가 등 직접적 관리를 맡는 것으로 부처의 역할을 명확히 하였으며 국토교통부는 항공을 포함한 도로, 철도 및 건물부문을 관장
자발적 협약	- 국적항공사를 대상으로 온실가스 자발적 감축활동을 촉진하기 위하여 정부는 "항공 온실가스 감축 자발적 협약 운영에 관한 지침"을 제정하고 항공운송사 업자와 온실가스 감축이행을 위한 자발적 협약 제도 운영

○ 본 연구가 제시하는 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템은 저탄소 녹색성장 기본법에서 정의된 기후변화 모델과 밀접한 관계를 가져야 할 것이며, 본 연구 모델의 결과물이 기후변화 모델의 입력 데이터로 사용될 수 있음

나. 국외 정책동향

○ IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)

- IPCC는 세계기상기구(WMO)와 · 유엔환경계획(UNEP)이 공동으로 설립('88)한 정부/기구간의 협의체로서 인간의 사회·경제활동으로 인하여 발생되는 기후변화에 대한 위험성의 이해와 관련된 과학적, 기술적, 사회·경제적인 정보의 평가 및 정책결정자들에게 제공하는 기구임

- IPCC는 기후변화에 대한 과학적 근거를 제공하기 위해 5-6년 간격으로 기후변화 현황과 미래기후를 예측한 보고서를 발간

- 또한 유엔기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)은 각 국가는 2-3년 주기로 당사총회로 국가 보고서가 제출되도록 하고 있음[13].

- 온실가스 배출량 산정을 위해 IPCC는 유엔기후변화협약에 보고하기 위해 온실가스 인벤토리를 작성할 때 각 국가에서 통용할 국제적으로 합의된 방법론으로 가이드라인을 만들었음

- IPCC 가이드라인은 수집에서 보고까지 인벤토리 작성의 전 과정에 있어 품질을 확보하는데 필요한 지침을 제공하며 또한 전체 인벤토리의 취득에 유리하며 지속적으로 인벤토리를 향상시킬 수 있는 지역의 배출원에 집중할 수 있는 수단을 제공하여 투명성, 완전성, 일관성, 비교가능성 및 정확성을 지표로 함

- 국제 항공온실가스 배출 규제 기준은 여러 국제기관에서 아직도 논의되고 있는 이슈임. UNFCCC의 1996년도 SBSTA에서는 8가지 규제 기준이 제시되었고, 이중 4가지 기준이 아직 고려되고 있음
  - 연료 주입(판매)지 기준
  - 항공사 국적 기준
  - 항공기 출/도착 기준 (출/도착 중 한 곳이 부담하거나, 나누어 부담)
  - 항공기에 탑승한 승객이나 화물 국적 기준

13) 저비용 항공사 온실가스 관리 표준모델 개발 연구(2011)

○ ICAO(International Civil Aviation Organization)

- 현재 국제항공부문의 온실가스 감축 규제는 ICAO를 중심으로 추진되고 있음

- ICAO는 UN 기후변화 협의체의 요청에 따라 항공 온실가스 감축에 대한 목 표, 이행 방안에 관한 사항 의결(제37차 총회, 2010.10, 몬트리올), 체약국 감축 이행계획 제출의무 부여

  - 국제선 유상하중(Revenue Tone Kilo, RTK), 연료소비량 및 이산화탄소 배출 예측량(2050년 권고)을 포함하는 감축 계획, 비용편익(Cost/Benefit) 및 위험 관리(Risk Management) 분석을 포함하는 이산화탄소 감축수단 목록, 감축활동을 이행하지 아니할 경우에 발생할 것으로 예상되는 이산화탄소 배출기준량(Baseline) 등 작성

- 2010년 37차 총회 결의안을 통해 국제항공온실가스에 대한 지구적 규제방안의 기본 원칙에 합의하였으며 이는 다음과 같다.

  - 첫째, 2020년까지 매년 평균 1.5%의 연료효율성 향상
  - 둘째, 2020년까지 탄소중립을 바탕으로 한 성장
  - 셋째, 2050년까지 2005년 대비 온실가스 50% 감축

- 이에 따라 운송실적이 최소한도에 못 미치는 국가를 제외한 모든 체약국은 2012년부터 3년 주기로 국가이행계획을 제출해야 하며, 우리나라는 2012년 6월 1차 국가이행계획을 제출하였으며, 2015년 6월 2차 국가이행계획 제출을 앞두고 있다.

- ICAO는 국가이행계획을 위해 "Guidance on the Development of States' Action Plans on CO2 Emissions Reduction Activities(2013)"라는 이행계획지침을 발간하여 체약국이 필요정보의 내용, 형태 및 제공시기, 요구사항 등을 매뉴얼로 제시하였다.

- 국가 이행계획에는 국제항공부문의 유상수송량(RTK), 연료소비량, 온실가스 배출량 및 감축계획, 비용편익분석, 위험관리분석 등 포괄적인 내용을 수록하여야 한다.

  - 국가 이행계획의 범위
  - 국내, 지역, 양자 및 다자합의에 의한 대책을 모두 포함
  - 국가이행계획에 의한 국제선의 영향은 동시편익으로 간주
  - 공항과 지상장비에 의한 배출은 국내 배출로 간주

- 국가이행계획 주요내용

  - 국제항공의 과거(가능시 미래예측 포함)연료소비량과 CO2배출량
  - 2010년, 2020년 2050년은 반드시 포함
  - 모든 활용가능한 데이터 사용
  - 기준연도나 기준선을 포함한 감축목표에 대해 국가 자발적 기여도 포함

- 국제항공의 CO2 감축을 위한 감축정책 리스트
- 이미 시행중인 것과 시행 고려중인 것으로 구분하여 작성

○ IATA

- IATA는 항공 온실가스로 인한 기후변화에 적극적으로 대응하고, 온실가스 배출량을 감축하기 위해 항공업계를 지원하고 있음 항공온실가스 배출은 연료사용과 밀접한 관계를 맺고 있는데, IATA가 직접 연료가격에 영향을 줄 수는 없지만 연료 소비량을 줄이기 위해 항공업계를 대변할 수 있는 관세, 수수료 및 세금을 줄이는 등 시장상황을 개선하고 있음

- IATA는 항공부분 탄소중립을 바탕으로한 성장으로 기술개발, 운용개선 등 추진을 통해 연료소비를 2005년 대비 2020년까지 20%저감 목표 및 이를 위해 2009년부터 2020년까지 매년 평균 1.5%의 연료효율성을 향상을 제시

- 특히 2005년부터 항공업계의 온실가스 배출량을 줄이기 위해 항공사 내 연료효율지원 및 구현을 지원하고자 'Green Team' 을 운영하고 있으며, 이는 잠재적인 연료효율성과 온실가스 배출 감축을 연구함

- 항공업계에서 지속적으로 축적된 데이터를 기반으로 Green Team은 CO2 저감운용방안을 시행 및 검증하고 'Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environmental Management'보고서를 발간하여 항공사들이 실질적으로 적용 가능한 방안을 제시함으로서 항공사 및 여러 국가가 사용할 수 있도록 하였음

- 항공사의 연료관리 모범사례를 벤치마킹하여 운항관리, 운항, 정비 및 유지보수, 지상중량관리 등 5가지로 구분하고 부문별 감축수단을 소개하여 해당 항공사가 실제 적용할 수 있도록 지원

- 항공 온실가스 저감효과 분석을 통한 감축기술 로드맵 수립

- IATA의 기술 로드맵에 따르면 항공기당 20~35%의 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있는 미래기술로 정의
  - 항공기, 엔진 및 시스템 기술 등이 연료 연소와 탄소배출을 감소시키는데 기여하는 항공기, 엔진 및 시스템 기술 등의 개요를 제공
  - 현재 기술(윙렛, 항력감소 등)을 활용한 개조 및 1조원의 투자를 통해 2020년까지 전체 배출량의 1%를 상회하는 감축을 이룰 수 있음. 그러나 로드맵에서 정의하고 있는 신기술을 적용한다면 20~35% 정도의 훨씬 큰 배출량 감축이 가능

5. 국내외 기술동향

가. 국내 기술 현황

○ 국내에는 항공기 연료소모율 도출 가능한 비행절차 및 공역 효율성 평가 툴(PEAT)이 개발되었으나 항공 온실가스 전 방위적인 추정 및 예측을 위한 모델 개발은 이루어지고 있지 않음

– 현재 우리나라 항공부문의 지구온난화 대응은 장기적인 계획이나 체계적인 대응 계획이 시작단계에 있음

– 미래의 국제 환경규제 변화에 대응할 수 있는 우리나라 항공 산업의 지속가능한 기술 도입 및 운항법 개선을 위한 분석이 절실한 시점임

○ 현재 국토교통과학기술진흥원의 비행절차 및 공역 효율성 평가 툴(PEAT) 개발 연구가 설계 완료

– 이 툴은 비행절차 및 공역 설계프로그램을 이용하여 설계된 비행절차와 공역의 효율성을 평가하는 프로그램이며, 본 연구의 핵심 역량이기도 한 연료소모 도출 가능

○ 현재 정부의 항공부문 온실가스 저감 국가이행계획 수립을 통해 여러 저감 수단이 연구되고 있으며, 이에 따른 항공 온실가스 추정 및 저감효과분석 시뮬레이션 모델 개발 시급

– 성능기반항행(PBN) 도입, 단축항로 사용 등 항공기 운항 시 온실가스 저감을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있음

나. 국외 기술 현황

(1) 국외기술현황

<표 18> 국외 기술현황

구분	모델	내용
항공 온실가스 추정(평가) 시뮬레이션 모델	SAGE (System for assessing Aviation's Global Emissions)	- 미국 FAA에서 개발한 모형으로서, 항공기의 연료 소모량과 CO, HC, NOx, CO2, H2O, SO2 등의 배출량 산정 - 입력 자료는 획득 가능한 수준에 따라 지역별로 상세 정도에 차이가 있음 • 북 중미와 유럽을 운항하는 항공기의 경우 모든 일정, 궤도, taxi 타임 등 상세자료가 입력되는 반면 나머지 지역은 일정 자료만 입력됨
	AEM (Advanced Emission	- EUROControl에서 개발한 모형으로서 항공기의 연료소모량과 CO2, H2O, SOx, NOx, HC, CO, 벤젠, VOC, TOG 등의 배

	Model)	출량 산정 - 입력 자료는 항공기, 엔진, 연료연소비율, 배출율 자료 외에 콜 사인, 출발시간, 출발 도착공항, 기종 등을 포함한 전반적인 비행 및 일정자료, 비행고도, 대지속도, 상승/하강비율 등 비행자료임
	AERO2K	- QinetiQ(민간기업)이 DLG(독일), 맨체스터대, 네덜란드 국립항공우주연구소(NLR), 영국무역산업부, 에어버스사, 유로콘트롤 등과 함께 개발
	FAST (Future Aviation Scenario Tool)	- 영국 무역산업부에서 개발하였으며, 입력 자료는 항공기 이동자료(AERO2K의 데이터베이스 사용), 60종의 항공기의 연료사용량 특성 등 - 출력자료는 3D 그리드 상에 나타나며, GCM, CTMs과 같은 다른 모형을 이용하여 대류권의 오존 증가, 비행운에 의한 복사강제력 등을 산정하는데 사용
	INM (Integrated Noise Model)	- SAE AIR 1845표준 알고리즘 및 프레임워크를 기반으로 개발되었으며, 오랜기간의 측정을 통해서 구성한 NPD(Noise-Power-Distance) 데이터베이스92)를 바탕으로 항공기의 운항경로를 결합하여 공항주변의 소음지도를 예측함
	AEDT (Aviation Environment Design Tool)	- 공간과 시간영역에서 항공기 성능을 모델링하는데 사용되는 소프트웨어(연료연소, 배기가스, 소음 계산) - 단일 항공편으로부터 지역, 국가, 전 세계적 시나리오 레벨에 대한 완전한 게이트-게이트 해석 가능 - 현재 항공기와 관련된 연료연소, 소음, 배기가스의 상호 연관성을 분석하기 위해 FAA에서 사용
항공 온실가스 저감효과 분석 시스템	멕시코 볼리라스 항공의 연료절감 프로그램	- 연료절감 프로그램을 통해 볼라리스 항공은 항공기 내 음료 탑재를 40%이상 크게 줄이고 연료효율 분석 등 중량감소로 배출량을 줄여 ISO14001 표준을 취득
	독일의 연료관리(Fuel Plus) 프로그램	- 이 프로그램은 독일의 Fuel Plus software GmbH에서 개발하였고, 자동화, 최적화 및 전체 연료관리 프로세스를 모니터링하는 프로그램으로 항공산업을 지원하기 위해 주요 항공사들과 공동으로 개발한 통합 연료관리시스템이며, 일본 공수항공(ANA)등 세계 30여개 항공사와 파트너십을 맺음
	Engine Wash Optimization (Optimized System and Solutions, OSYS)	- 모든 엔진을 운항을 거듭할수록 이전에 비해 성능이 떨어지기 마련으로 감소된 성능을 다시 향상시키기 위한 방법으로 엔진세척의 정확한 기준점 설정 및 기종별 엔진세척 후의 정확한 성능 향상 효과 가능성 제공
	연료효율 향상 프로그램 (Fuel Efficiency)	- Aviaso 회사에서 개발한 연료효율 프로그램은 매 항공기 운항 데이터를 활용한 목표설정 대비 정밀 비교 및 분석 툴 제공

○ 미국이나 EU 등이 개발하여 활용 중인 지구단위의 모형에는 지나치게 방대한 양의 자료가 필요하여 구축과 자료수집에 큰 비용이 소요되는 반면 정책적 활용도는

Emission Inventory (연료소비량 및 온실가스 배출량) 계산에 국한되어 있고 ATM(자동항로관리), 항로 변경, 신기종 도입 등 상세한 분석에는 활용이 제한적임

○ 또한 Cargo Flight, Regional Aircraft 등에 대한 시뮬레이션 모델은 국제적으로 개발되어 있지 않아 우리나라와 같이 단거리 비행에 대형 항공기가 쓰이는 경우, 도시간 소형 항공기 운항이 필요한 경우, 대형 화물항공사의 온실가스 배출량 할당이 국제적으로 이루어질 경우 그에 대한 데이터베이스나 검증된 결과를 절실히 필요함

○ 국내 기관에서 보유하고 있는 항적, 기상 자료들과의 일치성과 타 국내 환경 분석 시스템과의 연동성 및 향후 확장성을 고려하면 외국 프로그램(Aero2K, AEDT등)의 사용은 제한적임

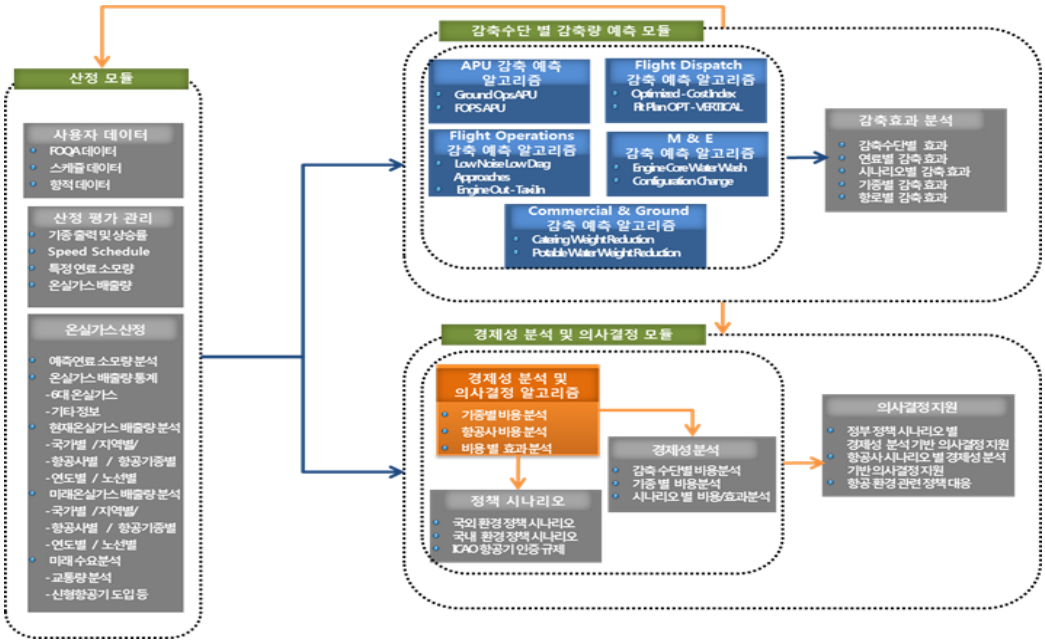
(2) 상용 AEDT 2a와 개발 시스템간 차별성

(가) 시스템 구조

○ AEDT 프로그램은 미국에서 개발된 공항 주변의 대기질을 분석할 수 있는 툴인 EDMS와 항공기 및 공항주변 지역의 소음을 평가할 수 있는 툴인 INM, NIRS 그리고 항공온실가스를 산정할 수 있는 툴인 SAGE가 합쳐진 프로그램임. (<그림 5> 참조)

○ AEDT프로그램에서 항공온실가스 배출량을 산정하기 위해서 사용하는 툴은 SAGE(System for Assessing Aviation's Global Emissions)가 유일하며, SAGE를 이용한 결과는 항공기의 단계별 항공온실가스 발생량을 산정할 수 있음

○ 개발 시스템은 항공온실가스 산정 및 예측 시스템을 목표이며, 산정을 포함한 다양한 항공온실가스 정책을 마련할 수 있도록 각각의 시나리오에 걸맞도록 시스템을 운영할 수 있음



<그림 11> 개발시스템 구성도

○ 개발시스템의 감축량 예측모듈은 국내외에서 개발된 감축기술을 적용하여 항공기에서 항공온실가스 감축량을 시간의 흐름에 따라 어느 정도 감축할 수 있는지를 확인함. 또한, 정부 및 항공사에서는 경제성분석 및 의사결정모듈을 이용하여 항공기 도입시기와 정책들을 결정하는데 지원할 수 있는 시스템임

(나) 항공온실가스 산정시 INPUT 설정 방법

○ AEDT 프로그램을 운용하기 위한 입력파일은 항공기가 운항하는 데 발생하는 다양한 데이터들이 필요함. AEDT 프로그램은 ASIF 파일을 이용하여 INPUT 파일을 별도로 작성하여 AEDT 메인프로그램이 읽어오는 방식이지만, ASIF 파일에는 비행기 기종, 출/도착 공항 정보만 단순히 입력하는 것이 아니라, 사용되는 공항의 고도, 분석 범위 좌표 등 아래의 모든ASIF 요소들을 각각 직접 설정에 맞게 작성해야함

<그림 12> ASIF 파일을 작성하기 위해 필요한 입력 파라미터(예시)

○ 항공기의 특성상 변경되는 사항이 발생시 모든 성능 파라미터의 입력 값이 매번 직접 변경해야하는 사항이 발생하며, 파라미터 입력 범위는 항공기 운항에 필요한 데이터와 항공기 소음, 대기질 등에 관련된 파라미터도 같이 입력해야 프로그램이 원활하게 운용할 수 있음

○ 예를들어 AEDT에서 제공하는 예시파일인 “ASIF-small”의 경우 시카고 공항 위주로 1500편의 비행을 분석하는 사례임

- 이를 위해 구성된 ASIF 파일은 86,000줄 정도 되어, 직접 작성은 현실적으로 불가함
- 미국의 경우 NIRS 툴을 사용해 ASIF 파일을 생성하는 것으로 알려져 있으나, NIRS는 상용 AEDT를 제외한 타 environmental tools suite처럼 구매가 불가함
- 만약 국내 김포공항에 적용한다면, 2014년 기준 운항편수가 29만대이므로, 단순계산으로 한다면 16,266,000줄 정도 작성해야함

○ 따라서, AEDT 프로그램 운용하기 위한 ASIF 파일 작성방법 및 항공기의 특성을 모두 이해하는 개발자 및 개발에 관련된 특정 인원만 운용을 할 수 있음

- 위 분석의 스케줄 정보 (출/도착, 항공기 기종)를 가지고 관련된 모든 항공기 기종의 특성, 공항 특성 (runway start/end 좌표), 항로 특성 들을 사용자가 이해하고 전문 개발자가 수행하는 코딩 수준의 입력 작성이 요구됨

○ 개발시스템은 항공온실가스 산정을 위하여 별도 파일을 작성하지 않아도, 프로그램 상에서 기준항공로와 고도, 속도 등을 항공기 성능에 따라 자동으로 설정되며, 사용자가 별도로 시스템 상에서 임의 지정이 가능함

○ 이는 항공온실가스 산정 모듈을 이용하기 전 산정 모듈의 사전 프로세싱을 연동하여 프로그램내에서 항공온실가스 산정을 위한 모든 파라미터를 지정 또는 자동으로 선택할 수 있도록 개발함

(다) 시스템(프로그램) 유지보수

○ AEDT 프로그램 개발은 미국 FAA 관리/감독하에 Volpe 회사에서 개발 및 유지보수를 담당하고 있으며, AEDT 프로그램 운용상에서 발생하는 오류에 대한 수정을 새로운 버전을 제시할 때 반영하는 형식임. AEDT 프로그램의 수정 및 문의 사항은 aedt.faa.gov 홈페이지에서 지속적으로 수집 및 답변을 제시하고 있지만, 프로그램의 오류, 성능 또는 프로그램 수정 문의에 대한 답변을 받기는 어려운 실정임

○ AEDT 프로그램에서 10,000ft 의 항공온실가스 산정에 관한 오류가 발생하여 이에 대한 공식 홈페이지에 문의메일을 송부하였지만, 답변을 받지 못하였음

○ 개발시스템의 경우 국내 연구진이 알고리즘 개발 및 시스템을 구축하였으므로, 프로그램 오류 및 성능, 프로그램 수정 문의에 대한 답변이 가능하며 마이너한 프로그램 오류의 경우 즉시 수정하여 배포가 가능함

(라) 항공온실가스 배출량 예측 방안

○ AEDT는 기본적으로 항공온실가스 배출량을 예측할 수 있는 기능이 없음.

○ 개발시스템은 과거의 항공온실가스 발생량을 기준으로 미래의 항공온실가스 발생량인 BAU(Business As Usual)를 예측하고, 감축량을 적용하는 시점에서 지정시간까지 감축량을 확인할 수 있음

○ BAU의 경우 유가, 환율, GDP, 인구, 교통량 등을 고려하여 설정되며, BAU 라인으로 Best, Normal, Worst, 기타 비율 조정 등을 선택하여 최종 선택함

○ 항공온실가스 감축을 위한 방법은 단기적인 감축수단과 중장기적인 감축수단을 적용할 수 있으며, 감축수단에 따른 구분은 아래와 같음

감축수단	대분류	소분류	감축수단 시나리오	산정모듈 연동여부
단기적 감축수단	1. 항공 정책반영	1.1 load factor 조정 (ex: 10%미만 제한 등)	시나리오 1 시나리오 2 ⋮	X
		1.2 항공 운임 조정 (ex: 탄소배출료 할증)	시나리오 1 시나리오 2 ⋮	
	2. 항공기 기단 조정	2.1 항공기 교체 2.2 항공기 퇴역 2.3 항공기 도입	시나리오 1 시나리오 2 ⋮	0
	3. 기존 감축수단	3.1 GPU/AC-GPS 사용 권장 3.2 CI 개선 3.3 고도별 비행계획 최적화 3.4 추가연료 (운항관리사) 3.5 대체공항 최적화 운영 3.6 체공연료 최적화 3.7 영연료중량 정확도 3.8 연료 바이어스 산정 3.9 지상활주연료 표준 산정 3.10 저소음 저항력 절차 3.11 단일엔진 택싱 아웃 3.12 엔진 코어 세척 3.13 케이터링 무게 감소 3.14 탑재수 무게 감소 ⋮	시나리오 1 시나리오 2 ⋮	0
장기적 감축수단	1. 대체연료	1.1 바이오연료 ⋮	시나리오 1 시나리오 2 ⋮	X
	2. 신기술항공기 도입	3.1 엔진 3.2 태양 에너지 3.3 전기에너지	시나리오 1 시나리오 2 ⋮	X

○ 항공온실가스 경제성분석 및 의사결정지원 방안을 통하여 수립할 수 있는 범위는 다음과 같음

- 항공 온실가스 감축수단별 온실가스 배출량 및 비용분석을 통한 감축 계획 수립
- 정책 시나리오별, 감축 수단별 항공사에 미치는 비용 분석
- 항공 온실가스 예측 모듈에서 찾아낸 최적의 감축 수단 조합 선정
- 국내 항공 환경 정책 목표 시나리오 설정
- 감축수단을 적용하지 않은 현 상태(BAU)에 미치는 영향 분석
- 미래 운항 수요 증가 모델 설정 및 경제 변수 가정 설정

- 미래 가상 친환경 항공기 성능 설정 및 신형 항공기 도입
- 기존 항공기 퇴역 범위 및 스케줄 설정
- 국/내외 정책이 항공사에 미치는 경제성 영향 분석
- 항공사 cashflow 분석을 통한 총 수입과 지출 계산
- 항공사별 discount rate을 사용하여 NPV 계산
- 신형항공기 시장 점유율 분석을 통한 미래에 발생하는 항공기 도입 수요 계산
- 항공권 가격과 항공교통 수요 간의 상관관계 분석

(마) 상용 AEDT가 개발시스템으로 사용가능(대체) 여부

○ FAA Environmental Tool Suite은 크게 4개의 주요 소프트웨어로 구성이 되며, 이들 4개의 주요 소프트웨어가 통합적으로 운영되어 궁극적으로 FAA의 항공환경정책이 사회에 미치는 비용 및 효과를 추정

- EDS: 항공기 설계 및 성능해석
- APMT-E: 항공정책이나 신기술도입이 미래의 항공사에 미치는 경제적 영향 분석
- AEDT: 항공운항 시뮬레이션을 수행하여 공항주변 소음, 대기오염 물질 배출, 및 온실가스 배출량 계산
- APMT-I: AEDT에서 계산된 소음, 대기오염물질, 온실가스 배출량 사회복지비용으로 환산

○ FAA Environmental Tool Suite은 4개의 소프트웨어가 유기적으로 운영되고 있어 현재 상용AEDT만 단독으로 사용하기에는 한계가 있음

- 접근권한이 없는 기존 프로그램(FAA Environmental Tool Suite)체제에 종속되어 사용목적이나 정밀성 요구사항의 구별 없이 모든 성능 파라미터 입력 값이 계산 시 매번 요구
- 제어 변수 구성에 있어서 불필요한 구속 조건 및 구현 불가능 조건들이 발생
- 방대한 ASIF 파일의 수동적 조작요구로 인해 실용성 제한

제3장 연구 수행 내용 및 성과

1. 1차년도 주요 연구성과

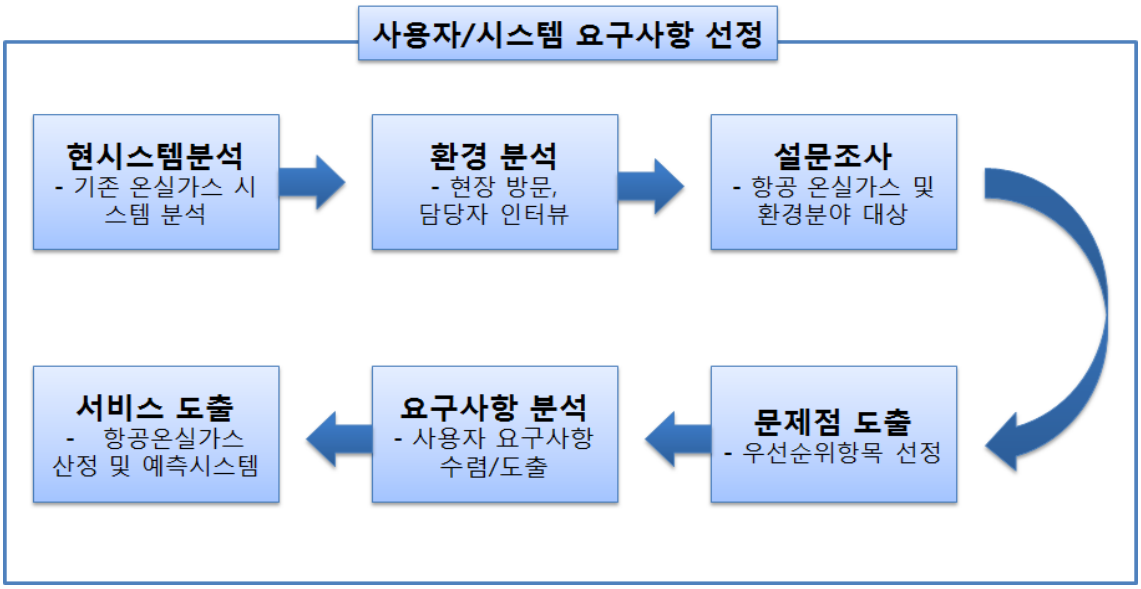
가. KOTI(총괄)

1. 사용자 요구사항 분석

○ 사용자 및 시스템 요구분석은 시스템의 목표를 확립하는 과정으로 시스템이 만족시켜야 할 요구사항, 모델링을 통해 명세화하는 과정으로, 본 과제에서 사용자 및 시스템 요구사항 분석을 위해 다음 그림과 같이 항공온실가스관련 시스템 특성에 대한 분석을 토대로 현장방문, 담당자 인터뷰 등을 통한 환경 분석을 거쳤음

○ 이후 항공 온실가스 분야 종사자들을 대상으로 면담조사를 실시하여 도출된 문제점으로부터 우선순위 항목을 선정하였음

○ 선정된 항목을 통해 '항공 온실가스 산정 및 예측시스템'의 요구사항을 도출하고, 각 세부 기술마다의 사용자 및 시스템 요구사항을 선정하였음.



<그림 1 > 사용자/시스템 요구사항 선정 절차

2. 요구사항 수행절차

(1)현 시스템 분석

○ 현재 항공운송부문의 온실가스 배출량 자료로는 교통안전공단의 '배출량 조사사업'과 KOTEMS, 통합항공안전정보시스템(NARMI)이 있음

○ '배출량조사사업'과 'NARMI' 시스템의 경우 온실가스 통계 DB수준이며, KOTEMS의 경우 온실가스 배출 데이터 활용을 통해 자발적 감축 등을 지원하는 인벤토리임

① 통합항공안전정보시스템(NARMI)

○ 통합항공안전정보시스템의 '배출가스 분석'의 경우 단순 국제선을 취항하는 유상운송용 항공기의 연료 소모량 및 이산화탄소 배출량 관리하는 Tier 2 수준의 통계 DB에 불과하여 이를 통해 사전에 온실가스를 감축하기 위한 정책적, 기술적 분석을 하기는 어려움

<표 1 > NARMI 시스템의 주요기능

구분	시스템 명	개 요
안전관리	항공안전의무 · 자율보고 관리	항공분야 안전장애 발생 현황을 분야별, 원인별로 분석하여 항공안전 위험요소를 색출·개선·관리
	안전감독관리	항공사·공항·관제기관·위험물에 대한 안전감독 계획·결과 등의 정보를 DB화하여 체계적으로 관리
	운항자격심사관리	조종사 운항자격심사 계획·실적관련 자료 등을 DB화하고, 심사결과 분석정보 공유
	운항 및 비행정보	공항별 항공기 출·도착 정보, 비행계획, 기상정보 등 운항관련 제반정보를 종합 관리
항공기	항공기 등록/인증이력관리	항공기 등록에서 말소까지의 소유권·임차권 등 권리 변동 이력 및 인증이력 관리
	항공기술정보	항공기 형식 및 감항증명 등에 관한 기술자료 등 항공기에 관한 기술자료 관리
	초경량비행장치	초경량 비행장치 신고 현황 및 제원 관리
	배출가스분석	국제선을 취항하는 유상운송용 항공기의 연료 소모량 및 이산화탄소 배출량 관리
항행 시스템	비행검사관리	항행시설/장비에 대한 비행검사 계획 및 검사결과 관리
	항행시설성능분석	우리나라에 설치된 항행안전시설에 대한 점검·수리 등에 관한 이력, 비행검사자료 등을 관리
	항공정보	비행정보 및 항공정보간행물 등의 개정 관리 및 정보제공
인적자원	교육훈련관리	교육훈련 계획수립, 신청 및 수료결과에 대한 등록과 처리, 교육자료 등록·갱신 등 제반교육 정보관리
	항공직공무원 이력관리	항공안전공무원의 인적사항 및 인사정보, 자격관리 등 각종 이력관리
	항공종사자 신체검사관리	항공전문의사가 실시한 신체검사결과를 Web방식으로 데이터베이스화하여 항공종사자 신체검사 이력 자료를 공유
	항행전문가 네트워크	항행분야 국내외 전문가의 인적정보, 자격 등에 관한 각종 인적정보 및 관련 기술정보 관리
통계분석	항공통계분석시스템	항공기 운항실적, 관제량, 배출가스 통계 및 분석 관리

출처 : 통합항공안전정보시스템 홈페이지(https://www.esky.go.kr/)

② KOTEMS

○ 지속가능 교통물류발전 기본계획에 따라 도로, 철도, 항공, 해운 등 전 교통수단의 온실가스 배출량 및 저감량을 관리할 수 있는 시스템으로서 전 교통부문에서 발생하는 온실가스를 체계적으로 관리하고자 개발되었으며 다음과 같은 세 가지 시스템으로 구성되어 있음

<표 2 > KOTEMS의 주요기능

구 분	주요 기능
온실가스 인벤토리를 관리하는 배출정보시스템	국내/외 온실가스 정보 제공
	에너지 소비량, 온실가스 배출량, 온실가스 원단위 정보 제공
	국내 교통부문 온실가스 정보제공
자발적 협약에 의한 교통부문 기업 온실가스 배출현황을 관리하는 목표관리시스템	총괄적인 목표관리 및 이의신청 기능 제공 등
	배출량 산정, 적정 목표 설정 및 이행관리
온실가스 변화를 예측하고 평가하는 저감효과평가시스템	온실가스 감축전략별 교통수요분석(억제, 전환), 기술개선(연비향상) 등 정책변수의 변화에 따른 온실가스 저감효과 평가

○ 배출정보시스템의 주요기능

- 국제항공부문의 온실가스 정보의 경우 국가별 교통(도로, 철도, 항공, 해운 등) 및 산업 전반의 배출현황을 알려주고 있어 국제 항공부문의 배출량을 별도로 산출할 수 없음

- 국내 온실가스 정보의 경우 국가 인벤토리보고서, 항공부분의 연료소모량, 에너지 소비량, 온실가스 배출량 등 통계 DB를 간략히 나타내고 있음

- 항공부문 온실가스에 국한하여 볼 경우는 기종별, 연료별, LTO 횟수 등을 통해 항공 온실가스 배출량을 산정(Tier 2급)하며 항공사별 구분이 되어있지 않음[14)]

○ 목표관리 지원시스템의 주요기능

- 온실가스/에너지목표관리제(NA, Negotiated Agreement)는 현재 환경부 국가온실가스종합관리시스템(NGMS)에서 지원하고 있으나 KOTEMS의 경우 NGMS에서 지원하지 않는 부분을 발굴하여 지원하고 있음

- 총괄적 목표관리 및 이의신청 기능 제공

- 자발적 온실가스/에너지목표관리제(VA)참여업체의 온실가스, 에너지 목표관리 지원

- 항공부문의 경우 목표관리지원시스템을 통해 온실가스 배출량 산정, 적정 목표설정 및 이행관리 자발적 협약 이행실적관리를 유상수송량(RTK)에 기반하여 실시

○ 저감효과 평가시스템의 주요기능

- 교통부문(도로, 철도, 해운, 항공 등)의 온실가스 저감정책 및 사업효과를 평가하기 위한 방법론 개발 및 제시하는 것이며, 다른 교통부문의 경우 온실가스 감축잠재량을 계

산하는 방법 및 간단한 계산방법이 공개되어 있으나 항공부문의 경우 아직 지원되지 않음

- 교통부문 온실가스 관리시스템(KOTEMS)에서는 인벤토리를 통해 교통부문 배출현황을 파악하여 통계 정보 관리 시스템으로서 항공부문에 특화된 산정방법론 적용에 따른 배출량 관리가 이루어지지 않고 있음

- 또한 교통부문 온실가스 관리시스템(KOTEMS)은 전 분야(도로, 철도, 항공, 해운 등)를 망라하여 시스템이 구축되어 항공부문의 온실가스 산정 및 예측효과를 미시적으로 접근하는데 한계가 있음

- 따라서 실질적으로 온실가스 배출 현황을 통해 미래 온실가스 배출량을 예측이 필요하며, 항공사 및 국가 항공부문 온실가스 규제 및 협약 등이 증가되고 있어 이에 따른 온실가스 관리 범위의 확대가 요구되어야 함

3. 소결론

○ 아래<표 3>은 기존에 존재하는 시스템과 '항공 온실가스 산정 및 예측시스템'을 비교분석한 것임

<표 3 > NARMI, KOTEMS, 본 연구개발과제 비교분석표

구분	NARMI		KOTEMS		본 연구개발과제	
	국내항공	국제항공	국내항공	국제항공	국내항공	국제항공
Tier 1	X	X	X	X	X	X
Tier 2	0	0	0	X	X	X
Tier 3	X	X	X	X	0	0

○ 기존에 존재하는 시스템의 경우 Tier 2를 제공하고 있으나, 이는 전반적인 정밀도가 떨어지며 분석 또한 계량적으로 이루어지기 어렵기 때문에 구체적인 장래 예측치를 파악하기가 어려움

○ 따라서 항공부문의 효과적인 온실가스 감축수단 개발을 지원하고, 항공사와 정부, 공항 등 주요 감축활동 주체의 적극적인 감축활동을 촉진하는 등 실효성 있는 국가이행계획의 수립과 이행을 위해 감축효과 분석 및 이를 전체적으로 지원할 수 있는 지원시스템의 개발이 필요성이 인식되고 있음

○ 또한 항공부문 온실가스 규제, 협약 대응을 위한 Tier 3b 급 온실가스 산정 정보의 제공이 절실히 필요한 시점임

4. 사용자 요구사항 분석을 위한 조사

(1) 개요

○ 사용자 요구사항 분석을 위하여 면담, 인터뷰 및 워크숍 등을 통해 의견을 수집하였음 이는 '항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개발'의 연구내용에 기초하여 사용자

계층의 요구사항과 우선순위를 평가함으로써 국가연구개발 사업의 실효성을 제고하려는 목적에서 진행되었음

- 2015년 1월 15일 항공 온실가스 관련 사용자 요구사항 회의 진행
  - 정부, 항공사, 정부지원기관 대상 전문가
  - 항공사 별 온실가스 관리 현황 파악
  - 항공 온실가스 예측 및 산정시스템에 대한 실수요자 파악
  - 항공 온실가스 예측 및 산정시스템 구체적인 최종목표 제시 필요

- 2015년 2월 3일 사용자 요구사항 회의 진행
  - 대한항공, 진에어 대상 전문가
  - 항공사 온실가스 관리 현황 파악
  - 항공 온실가스 예측 및 산정시스템 개발시 사용자 편익 및 효율성에 대한 구체적인 제시 필요
  - 네트워크 연동시 항공사 데이터 보안에 대한 구체적인 방안제시 필요

- 2015년 3월 19일 항공 전문 기관별 사용자 요구사항 및 시스템 요구사항 회의 진행
  - 티웨이항공, 진에어. 이스타항공 대상 전문가
  - 항공사 온실가스 관리 현황 파악
  - 항공 온실가스 감축기술 및 보유 기술 파악
  - 항공 온실가스 감축기술별 항공사 적용 가능여부 논의

- 2015년 3월 20일 항공 전문 기관별 사용자 요구사항 및 시스템 요구사항 회의 진행
  - 제주항공 대상 전문가
  - 항공사 온실가스 관리 현황 파악
  - 항공 온실가스 감축기술 및 보유 기술 파악
  - 항공 온실가스 감축기술별 항공사 적용 가능여부 논의

- 2015년 3월 23일-27일 사용자 요구사항 서면 검토 진행
  - 티웨이항공, 진에어. 이스타항공 대상 전문가
  - 항공 온실가스 산정 및 예측시스템 사용자 요구사항 검토

- 3월 24일 항공 전문 기관별 사용자 요구사항 및 시스템 요구사항 회의 진행
  - 아시아나항공, 에어부산 대상 전문가
  - 항공사 온실가스 관리 현황 파악

- 항공 온실가스 감축기술 및 보유 기술 파악
- 항공 온실가스 감축기술별 항공사 적용 가능여부 논의

- 3월 26일 항공 전문 기관별 사용자 요구사항 및 시스템 요구사항 회의 진행

- 대한항공 대상 전문가
- 항공사 온실가스 관리 현황 파악
- 항공 온실가스 감축기술 및 보유 기술 파악
- 항공 온실가스 감축기술별 항공사 적용 가능여부 논의

- 2015년 4월 13일-15일 NLR 국제세미나 진행(사용자 요구사항 의견 수렴)

- 국토교통부 항공기술과 및 학연 대상 전문가
- 항공 온실가스 시스템 개념설계 구체화 마련
- 항공 온실가스 시스템 관련 국제 협력방안 논의

(2) 조사 내용

○ 사용자 요구사항 분석을 위하여 면담, 인터뷰 및 워크숍 등을 통해 <표 5> 의 내용을 조사하였음 항공온실가스 관련 업무 수행에 있어 문제점을 통해 '항공 온실가스 산정 및 예측 시스템' 의 차별화된 요구사항을 수렴하고자 하였으며, 각 기관별 업무 수행현황을 통하여 업무의 효율성을 증대시킬 수 있는 방안을 조사하였음

○ 시스템 요구사항 분석을 위하여 항공온실가스 산정 및 예측 시스템을 이용할 수 있는 대상자를 선정하여, 개발 시스템에 포함될 수 있는 감축기술의 타당성 및 실제 국내 적용방안에 대해 논의하였음

○ 또한 현재 기존 시스템과의 비교를 통하여 추가적인 요구사항 및 해결방안 논의를 통하여 사업의 실효성을 제고하고자 함

<표 4 > 사용자 요구사항 분석 조사

구분	기관	비고
온실가스 관련 업무 수행에 있어서 이슈사항 또는 문제점	정부, 항공사, 정부지원기관	
현재 각 기관별 관련업무 수행현황	항공사, 정부지원기관	
온실가스 관련 업무수행에 있어 개발시스템 반영 요청사항	항공사, 정부지원기관	
상기 이슈사항 또는 문제점 해결을 위한 방안	항공사, 정부지원기관	
추가적인 요구사항	정부, 항공사, 정부지원기관	
감축기술 적용방안	정부, 항공사	
감축기술 선정안	정부, 항공사	

(3) 문제점 도출

○ 기존 시스템의 한계

- 현재 우리나라의 경우 IPCC 가이드라인의 Tier 2b 급 방법을 사용하여 항공 부분의 온실가스 배출량을 추정해 왔기 때문에 전반적인 정밀도가 미흡하며 항공기/엔진 기술의 개발의 효과, 항공기 운항 궤적 변경의 효과 등을 산출할 수 없는 한계가 있음

- 단거리 비행이 많은 국내 운항에는 실제 연료사용량과 비교하여 오차가 더 큰 이유로 정밀한 산정 방법론이 요구됨

- KOTEMS에서도 항공부문에 특화된 산정방법론 적용에 따른 배출량 관리가 이루어지지 않고 있으며, 도로 부분의 경우 Tier 3 기반의 온실가스 배출량 및 감축량 산정도 가능하여 지자체 및 정부기관의 정책 결정 및 의사결정시 판단 기준을 제공하나, 항공부분 온실가스 배출량 산정 시 Tier2의 방법을 사용하여, Tier 3b의 산정방법론으로 온실가스 통계 관리 체계 구축이 되어있지 않음

○ 항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개발의 필요성

- 항공사의 다양한 감축활동을 통한 연료소비량(온실가스 배출량) 감축실적을 정확히 계산하고 평가하는 프로그램(툴)이 부재하여 정확한 수치 산정이 어려움

- 온실가스 산정등급에서의 문제가 아닌 연료사용량 산정에 있어서의 어려움이 존재(급유량 오입력, 비중값 미입력 등)함

- 연료절감량 산정 시 관리를 하고 안하고 했을 때 시점에서의 상대적 수치만 가능하고, 운항 시 여러 절감기술이 행해지고 여러 외부조건이 작용하기 때문에 절대적 연료 절감량 수치를 산정하기 어려움

- 따라서 정확한 배출량 산정 및 감축업무 수행에 따른 감축량 선정을 위한 시스템 구축이 가장 큰 현안임

- 또한 항공사의 온실가스 관련 데이터 입력이 없어도 항공기의 온실가스 배출량 산정이 가능하도록 하여 온실가스 데이터의 신뢰성 확보가 필요함

- 항공사 및 정부측면에서 항공온실가스 산정뿐만 아니라 감축수단별 감축량 예측이 가능해야 하며, 특히 감축수단 적용시 적용에 따른 비용과 편익분석을 통해 사용자의 의사결정을 지원할 수 있어야 함

○ 항공 온실가스 감축 기술 적용할 수 있는 시스템 개발의 필요성

- 항공사 감축실적 및 이를 예측할 수 있는 평가 툴 개발이 부재하여 정확한 수치 산정이 어려움

- 감축수단별 감축량을 계산하는 프로그램 개발을 통해 항공사가 제시하는 감축량의 적절성 평가에 활용될 수 있도록 해야 함

- 항공연료 실제 구매량과 운항관리시스템에 의한 연료사용 실적 사이에 오차가 있으므로, APU 사용량을 포함한 연료사용량을 측정할 수 있는 기능필요

○ 항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개발의 신뢰성

- 항공 온실가스 저감효과 분석시스템 개발 시, 감축기술에 대한 표준화된 산정기준을 개발하고 감축수단별 저감효과에 대한 데이터 검증 필요함

- 실비행 데이터와의 비교가 필수적이나, 중간단계로 시뮬레이터를 활용한 검증도 가능함으로 신뢰성 있는 데이터가 필요함

- Tier 3b 급의 경우 모든 항공기를 대상으로 분석을 실시하는 것을 원칙으로 분석이 되어야 하며, Tier 3b급의 결과값을 토대로 통계적인 결과 값으로 도출한다면 표준화되고 신뢰성있는 값이 도출되어야 함

4. 사용자 요구사항 분석

(1) 사용자 그룹의 정의

○ ‘항공 온실가스 산정 및 예측시스템’에 대한 사용자는 <표 6>과 같이 정부, 항공사, 정부지원기관, 기타로 구분되며, 사용자 그룹은 ‘항공 온실가스 산정 및 예측시스템’을 통해 아래와 같은 업무를 수행하고자 함

<표 5 > 사용자 그룹 정의

사용자	내용	비고
정부	온실가스 감축 관련 정책업무 수립 및 이행을 위한 분석 등을 위해 본 시스템을 사용한다.	
항공사	온실가스 감축 관련 정책업무 대응 및 실제 적용하기 위한 시뮬레이션 분석 등을 위해 본 시스템을 사용한다.	
정부지원기관	온실가스 감축 관련 정부 정책업무 수립지원 및 적절성 평가를 위한 분석 등을 위해 본 시스템을 사용한다.	
기타	항공온실가스 감축 관련 환경적 영향분석 및 의사결정 지원 분석연구 등을 위해 본 시스템을 사용한다.	

(2) 사용자 및 시스템 요구사항 도출 과정

○ 사용자 및 시스템 요구사항을 도출하기 위하여 항공 온실가스 대상 전문가(정부, 항공사, 정부지원기관 등)에게 요구사항 및 의견을 수렴함

○ 전문가에게 수렴된 요구사항은 주요 요구사항을 우선적으로 도출하였으며, 우선요구사항을 통해 산출된 상세요구사항을 통해 사용자 및 시스템 요구사항을 전체적으로 수렴 및 분석함

○ 수렴된 사용자 요구사항은 기능과 비기능으로 식별하였으며 기능으로 식별된 요구사

항을 통해 시스템 요구사항을 도출함

– 기능 : 기능요구사항은 반드시 구현되어야 할 필수적인 작업과 동작 등을 통해 어떤 기능이 구현되어야 하는지 설명

– 비기능 : 특정기능보다는 전체 시스템의 동작을 평가하는 척도로 사용

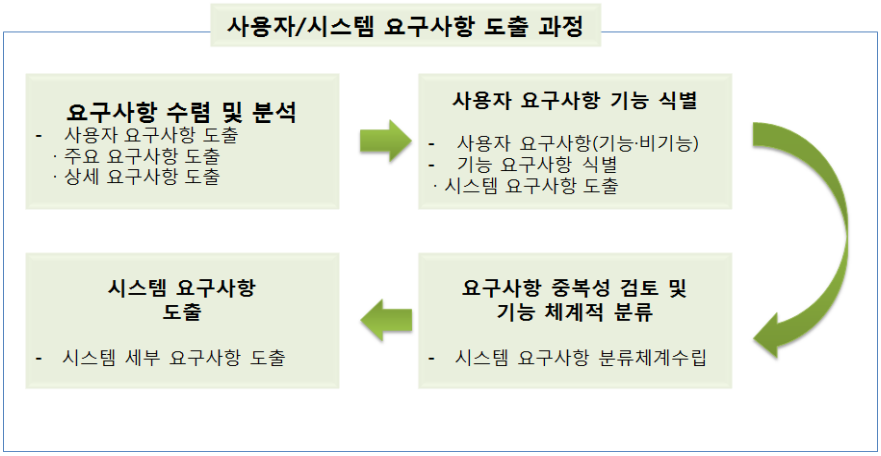
○ 기능과 비기능으로 분류된 시스템 요구사항 중 중복성검토를 통하여 실제적으로 필요한 기능을 확인 및 중복성 검토를 끝낸 기능을 체계적으로 분류하여 시스템의 세부 요구사항을 도출함

(3) 요구사항 수렴 및 분석

가) 주요 요구사항 도출

○ '항공 온실가스 산정 및 예측시스템' 에 대한 사용자 요구사항 중 주요 요구사항을 도출한 결과 15개의 요구사항이 도출됨

○ '15개 요구사항은 ' 항공 온실가스 산정 및 예측시스템 '에 공통으로 들어가는 2개 항목,' 항공 온실가스 보고포털 '에 한정되는 1개 항목,' 항공온실가스 산정 '에 한정되는 7개 항목,' 항공온실가스 감축량 예측 '에 한정되는 2개 항목,' 항공온실가스 경제성분석 및 의사결정 지원 '에 한정되는 3개 항목으로 구성되어 있음



<그림 2 > 사용자/시스템 요구사항 도출과정

○ 공통

– 사용자 입력 및 편의기능이 제공되어야 한다.

– 시스템간 데이터 호환이 가능해야 한다.

○ 항공 온실가스 보고포털

– 목표관리제 보고, 항공부문 온실가스 인벤토리 보고서(NIR), 항공부문 국가이행계획, 항공사 자발적 협약 보고, 배출권거래제 보고, ICAO 시장기반체제 등 온실가스 관련

서비스가 제공되어야 한다.

○ 항공 온실가스 산정

- 항공 온실가스 산정의 신뢰성이 확보되어야 한다.
- 온실가스 산정시 기준값 입력 및 표준 데이터 이용이 가능해야 한다.
- 항공기 지상운용, 최적 연료량 산정 등 다양한 산정 업무를 제공해야 한다.
- GIS 맵상에 데이터가 표시되어야 한다.
- 미래 항공교통 수요 시나리오 및 DB 생성이 가능해야 한다.
- 감축수단별 적용시 미래 온실가스 산정이 가능해야 한다.
- 목표관리제 보고, 항공부문 온실가스 인벤토리 보고서(NIR), 항공부문 국가이행계획, 항공사 자발적 협약 보고, 배출권거래제 보고, ICAO 시장기반체제 등 온실가스 관련 데이터가 제공되어야 한다.

○ 항공 온실가스 감축량 예측

- 감축 수단별 항공 온실가스 감축량이 예측되어야 하며, 2개 이상의 감축 수단의 중복 적용에 대해 종합적인 감축량 예측이 가능해야 한다.
- 온실가스 감축수단의 결과 데이터의 신뢰성이 확보되어야 한다.

○ 경제성 분석 및 의사결정 지원

- 감축활동 모니터링 리포트, 배출권거래제 및 자발적 협약 등 다양한 의사결정 지원 데이터가 제공되어야 한다.
- 온실가스 감축수단 적용시 경제성 분석이 가능해야 한다.
- 정부 혹은 항공사의 의사결정에 대한 구체적인 지원이 가능해야 한다.

나) 상세 요구사항 도출

○ 15개로 도출된 주요 요구사항을 세분화하여 79개의 상세 요구사항을 도출하였으며 이는 <표 7>과 같음

- 15개 요구사항을 세분화하여 상세 요구사항을 도출하였으며, ’ 항공 온실가스 산정 및 예측시스템 ‘에 공통지원으로 들어가는 항목 17개,’ 항공 온실가스 보고포털 ‘에 한정되는 13개 항목,’ 항공온실가스 산정 ‘에 한정되는 24개 항목,’ 항공온실가스 감축량 예측 ‘에 한정되는 11개 항목,’ 항공온실가스 경제성분석 및 의사결정 지원 ‘에 한정되는 14개 항목으로 총 79개의 항목으로 구성되었음

<표 6 > 상세 요구사항 도출

구분	사용자 요구사항	비고
공통 지원	검증 Report가 출력되어야 한다.	
	감축기술에 대한 표준화된 산정기준이 제시되어야 한다.	
	감축수단별 저감효과에 대한 데이터 검증 및 이에 대한 결과서가 제공되어야 한다.	
	범위 지정에 따른 Reporting이 이루어져야 한다. (날짜, 항로 구간, 고도 등)	
	그래프의 종류는 막대, 원형, 선형, 누적그래프 등 여러 그래프로 표시되어야 한다.	
	두개 이상의 감축수단 적용 결과 값은 한 그래프에 중복되어 표시될 수 있어야 하며, 이는 사용자가 보기에 이해하기 쉬워야 한다.	
	한 그래프에 두개이상의 감축수단 결과 값이 표시되었을 시, 이를 동시에 적용 하였을때의 결과 값도 독립적으로 표시되어야 한다.	
	그래프가 한 화면에 두개 이상 표시되어야 한다.	
	그래프의 X축, Y축은 사용자가 지정하여 표시되어야 한다.	
	결과보고서에 표시되는 감축량의 단위는 "kg, %, tons, second, min, hour, kg/hr, t/hr, kg/yr, $, 원화" 등으로 표시되어야 한다.	
	감축수단별 저감효과에 대한 데이터 검증 및 이에 대한 결과서가 제공되어야 한다.	
	결과보고서는 사용자가 선택한 감축수단에 대해 개별적으로 제공되어야 한다.	
	항공사의 감축결과보고서 양식이 제공되어 보고 시 간단명료하게 입력이 가능하도록 하여야 한다.	
	결과보고서에 표시되는 감축수단 적용 결과 나열방식은 가장 큰 값부터 또는 가장 작은 값부터로 선택할 수 있어야 한다.	
	결과보고서에 사용자가 그래프를 선택 할 수 있어야 한다.	
	결과보고서는 다양한 형식(PDF, DOC, TXT, HWP 등)으로 저장이 되어야 한다.	
	항공사결과보고서는 "항공기 운항수(연간/월간), 감축수단(적용/미적용), 감축량(t), 감축률(%), 비용($/원화)" 가 포함되어야 한다.	
보고포털	회사별 내부 시스템과 데이터 호환이 가능하여야 한다.	
	온실가스 목표관리제 업무를 포함하여야 한다.	
	항공 온실가스 자발적 감축협약 업무를 포함하여야 한다.	
	항공 온실가스 자발적 감축협약 업무 검증 및 평가가 가능해야 한다.	
	배출권거래제 할당업체(항공부문) 배출량 적절성 평가가 이루어져야 한다.	
	온실가스 보고서가 편리하게 UPLOADING이 가능 할 수 있도록 해야 한다.	
	국문/영문 지원이 가능해야 한다.	
	UI가 간단명료하게 표시되어야 한다.	
	항공사별 온실가스 감축 활동을 통한 연료소비량 감축실적을 사용자가 입력 또는 up-load할 수 있어야 한다.	
	항공사의 연료 외에 에너지까지 관리 할 수 있어야 한다.	
	네트워크 기반인 경우 VPN 등 시스템 정보가 보호되어야 한다.	
	네트워크 기반인 경우 항공사에서 입력한 정보의 암호화가 이루어져야 한다.	
	항공사에서 제공하는 DATA는 타 기관은 볼 수 없으며, 정부는 이 DATA를 감시 목적으로 사용해서는 안된다.	
온실가스 산정	항로에 따른 최적 연료량 산정이 가능해야 한다.	
	항공 온실가스 산정을 위해 실제 풍속, 기상 등 운항에 미치는 영향을 고려하	

구분	사용자 요구사항	비고
	여야 한다.	
	온실가스 DB에서 가지고 올 수 없는 경우 기준 값을 입력할 수 있어야 한다.	
	연료 사용량과 알고리즘 산출값간 오차가 최소화 되어야 한다. (정비, 자연발화 등에 대한 고려 필요)	
	APU, Taxi 등 항공기의 지상에서 소모되는 연료에 대한 산정이 이루어져야 한다.	
	비행 단계별 연료 소모량 및 온실가스 배출량이 산정되어야 한다.	
	온실가스 산정시 국내 및 국제선을 구분하여 산정이 가능하여야 한다.	
	항공기별 표준괘적 운항시 연료사용량, 온실가스 배출량 산정이 되어야 한다.(IPCC Tier 3a)	
	실제 기상데이터/항적 데이터를 사용하여 온실가스 산정이 가능하여야 한다.(IPCC Tier 3b)	
	국적 항공사에서 운항하는 노선 외 외국 항공사의 운항 노선에 대한 온실가스 산정이 되어야 한다.	
	온실가스 산정치는 신뢰할 수 있도록 해야한다. (산정 기준 제시)	
	공항 주변(항공기 지상운용, 항공기 이착륙, 공항내 이동차량) 대기오염물질 및 온실가스 배출량 제시가 가능해야 한다.	
	온실가스 배출량을 공항별/항로/섹터/국가/기간 별 산정이 가능해야 하며 이를 GIS 맵 상에 표시되어야 한다.	
	실제 데이터 없이 표준 DB에서 항공 및 지상 온실가스가 산출 가능하여야 한다.	
	항공기 운항에 따른 온실가스 및 대기오염에 미치는 물질의 배출량이 추가적으로 산정되어야 한다.	
	미래 항공교통 수요 시나리오 생성이 가능해야 한다. 이는 사용자가 up-load 또는 GUI상 직접입력 모두 가능해야 한다.	
	미래 운항스케쥴, 미래 항공기 성능 및 항공기별 퇴역시기/신규 항공기 도입 등 미래 항공교통 운항 DB 생성이 가능해야 한다. 이는 사용자가 up-load 또는 GUI상 직접입력 모두 가능해야 한다.	
	Flight plan과 연동되어 계획대비 연료 사용량이 한눈에 통계치를 확인할 수 있는 자료를 제공하여야 한다.	
	감축수단 적용시 미래온실가스를 산정할 수 있어야 하며, 이는 현재비용가치로 변환이 가능해야 한다.	
	감축수단의 단일 비행별 또는 운항 구간별 감축수단의 효과를 사용자가 변경할 수 있어야 한다	
	감축수단 적용, 미적용에 따른 출도착 공항 간 비교가 가능하여야 한다.	
	감축수단별 미래 온실가스 예측에 대한 정확한 데이터 산출이 가능하여야 한다.	
	국내 항공사에서 운행하는 노선 외 해외 여러 노선에 대한 감축량 예측이 되어야 한다.	
	온실가스 감축량 예측치에 대해 항로 별/기간 별 GIS 맵 상에 표시되어야 한다.	
감축량 예측 지원	온실가스 및 연료량 절감을 위해 감축수단을 고려하여야 한다	
	감축수단별 오차가 최소화 되어야 한다	
	운항 구간 별(비행 단계별) 감축수단 결과값이 표시되어야 한다.	
	감축량예측을 하기위해선 항공사별로 발생된 배출가스량을 온실가스DB에서 가지고 와야 한다.	
	온실가스 DB에서 가지고 올 수 없는 경우 기준 값을 입력할 수 있어야 한다.	

구분	사용자 요구사항	비고
	감축수단 결과로는 그래프, 결과값이 도출되어야 한다.	
	감축수단의 적용여부는 마우스클릭으로 간단하게 켜고 끌 수 있어야 한다.	
	감축수단별 적용 비율은 프로그램 사용자가 조절할 수 있어야 한다.	
	온실가스 감축수단 산정기준이 명확해야 한다.	
	연료 절감을 위한 운항 감축수단 적용 중 실제 풍속, 기상 등 운항에 미치는 영향 고려하여 산출하여야 한다.	
	운항 후 잔여 연료 최소화를 위한 감축 수단이 제공되어야 할 것이다.	
의사결정 지원	감축활동 모니터링을 위한 통계 Report가 제공되어야 한다.	
	배출권거래제, 자발적 협약, 배출량 상쇄 등에 대한 비용 산정, 경제성 분석 등이 자동적으로 계산되어 최적의 감축기술 등을 제시할 수 있어야 한다.	
	각 항공사의 자발적 감축량 및 목표관리제의 목표를 제시하고 실행방안에 대한 구체적인 의사결정을 제시할 수 있어야 한다.	
	시나리오별(배출권구매, 자발적 협약사항, 목표관리제 사항) 최적의 경제성 분석 결과를 제시하여야 한다.	
	시나리오별(배출권구매, 자발적 협약사항, 목표관리제 사항)의 시나리오 기준은 사용자에 의해 선택할 수 있어야 한다.	
	항공사별 direct Operation Cost DB를 사용하여 감축수단별 항공사에 미치는 비용 증감 계산이 가능해야 한다.	
	배출권 거래제에 대한 결과 및 구매비용 산출이 가능하여야 한다.	
	배출권 거래제를 고려한 의사결정 정보가 지원되어야 한다.	
	항공사별 항공기(기체 및 엔진 포함)의 퇴역시기 및 신규 항공기 도입 수요에 대한 계산이 가능해야 한다.	
	여러 감축수단을 적용 시 최적의 감축수단이 무엇인지 우선순위 선정이 가능하여야 한다.	
	온실가스 목표관리제 업무 지원을 위한 경제성 분석 및 의사결정 데이터를 제공하여야 한다.	
	항공 온실가스 자발적 감축협약 업무 지원을 위한 경제성 분석 및 의사결정 데이터를 제공하여야 한다.	
	항공 온실가스 자발적 감축협약 업무 검증 및 평가가 가능해야 한다.	
	배출권거래제 할당업체(항공부문) 배출량 적절성 평가가 이루어져야 한다.	

5. 사용자 요구사항 기능 식별

○ 수렴된 사용자 요구사항은 기능과 비기능으로 식별하였으며 기능으로 식별된 요구사항을 통해 시스템 요구사항을 도출함

- 79개의 상세요구사항을 실제 반드시 구현되어야 하는 기능과, 특정기능이 아닌 시스템을 평가하는 척도인 비기능으로 분류하여 식별함

(1) 기능 요구사항

○ 상세 요구사항에서 기능 요구사항으로 식별된 항목은 72개 항목으로 '항공 온실가스 산정 및 예측시스템'에 공통지원으로 들어가는 항목 17개,' 항공 온실가스 보고 포털'에 한정되는 8개 항목,' 항공온실가스 산정'에 한정되는 23개 항목,' 항공온실가스 감축량 예측'에 한정되는 10개 항목,' 항공온실가스 경제성분석 및 의사결정 지원'에 한정되는 14개 항목으로 총 72개의 항목으로 구성되었음

<표 7 > 상세 요구사항 중 기능 요구사항 도출

구분	사용자 요구사항	기능 식별
공통 지원	검증 Report가 출력되어야 한다.	기능
	감축기술에 대한 표준화된 산정기준이 제시되어야 한다.	기능
	감축수단별 저감효과에 대한 데이터 검증 및 이에 대한 결과서가 제공되어야 한다.	기능
	범위 지정에 따른 Reporting이 이루어져야 한다. (날짜, 항로 구간, 고도 등)	기능
	그래프의 종류는 막대, 원형, 선형, 누적그래프 등 여러 그래프로 표시되어야 한다.	기능
	두개 이상의 감축수단 적용 결과 값은 한 그래프에 중복되어 표시될 수 있어야 하며, 이는 사용자가 보기에 이해하기 쉬워야 한다.	기능
	한 그래프에 두개이상의 감축수단 결과값이 표시되었을 시, 이를 동시에 적용하였을때의 결과값도 독립적으로 표시되어야 한다.	기능
	그래프가 한 화면에 두개 이상 표시되어야 한다.	기능
	그래프의 X축,Y축은 사용자가 지정하여 표시되어야 한다.	기능
	결과보고서에 표시되는 감축량의 단위는 "kg, %, tons, second, min, hour, kg/hr, t/hr, kg/yr, $, 원화" 등으로 표시되어야 한다.	기능
	감축수단별 저감효과에 대한 데이터 검증 및 이에 대한 결과서가 제공되어야 한다.	기능
	결과보고서는 사용자가 선택한 감축수단에 대해 개별적으로 제공되어야 한다.	기능
	항공사의 감축결과보고서 양식이 제공되어 보고 시 간단명료하게 입력이 가능하도록 하여야 한다.	기능
	결과보고서에 표시되는 감축수단 적용 결과 나열방식은 가장 큰 값부터 또는 가장 작은 값부터로 선택할 수 있어야 한다.	기능
	결과보고서에 사용자가 그래프를 선택할 수 있어야 한다.	기능
	결과보고서는 다양한 형식(PDF, DOC, TXT,HWP 등)으로 저장이 되어야 한다.	기능
	항공사결과보고서는 "항공기 운항수(연간/월간), 감축수단(적용/미적용), 감축량(t), 감축률(%), 비용($/원화)" 가 포함되어야 한다.	기능
보고포털	온실가스 목표관리제 업무를 포함하여야 한다.	기능
	항공 온실가스 자발적 감축협약 업무를 포함하여야 한다.	기능
	항공 온실가스 자발적 감축협약 업무 검증 및 평가가 가능해야 한다.	기능
	배출권거래제 할당업체(항공부문) 배출량 적절성 평가가 이루어져야 한다.	기능
	온실가스 보고서가 편리하게 UPLOADING이 가능 할 수 있도록 해야 한다.	기능
	국문/영문지원이 가능해야 한다.	기능
	항공사별 온실가스 감축 활동을 통한 연료소비량 감축실적을 사용자가 입력 또는 up-load할 수 있어야 한다.	기능
	항공사의 연료 외에 에너지까지 관리 할 수 있어야 한다.	기능
온실가스 산정	항로에 따른 최적 연료량 산정이 가능해야 한다.	기능
	항공 온실가스 산정을 위해 실제 풍속, 기상 등 운항에 미치는 영향을 고려하여야 한다.	기능
	온실가스 DB에서 가지고 올 수 없는 경우 기준 값을 입력할 수 있어야 한다.	기능
	연료 사용량과 알고리즘 산출값간 오차가 최소화 되어야 한다. (정비, 자연발화 등에 대한 고려 필요)	기능
	APU, Taxi 등 항공기의 지상에서 소모되는 연료에 대한 산정이 이루어져야 한	기능

	다.	
	비행 단계별 연료 소모량 및 온실가스 배출량이 산정되어야 한다.	기능
	온실가스 산정시 국내 및 국제선을 구분하여 산정이 가능하여야 한다.	기능
	항공기별 표준괘적 운항시 연료사용량, 온실가스 배출량 산정이 되어야 한다.(IPCC Tier 3a)	기능
	실제 기상데이터/항적 데이터를 사용하여 온실가스 산정이 가능하여야 한다.(IPCC Tier 3b)	기능
	국적 항공사에서 운항하는 노선 외 외국 항공사의 운항 노선에 대한 온실가스 산정이 되어야 한다.	기능
	공항 주변(항공기 지상운용, 항공기 이착륙, 공항내 이동차량) 대기오염물질 및 온실가스 배출량 제시가 가능해야 한다.	기능
	온실가스 배출량을 공항별/항로/섹터/국가/기간 별 산정이 가능해야 하며 이를 GIS 맵 상에 표시되어야 한다.	기능
	실제 데이터 없이 표준 DB에서 항공 및 지상 온실가스가 산출 가능하여야 한다.	기능
	항공기 운항에 따른 온실가스 및 대기오염에 미치는 물질의 배출량이 추가적으로 산정되어야 한다.	기능
	미래 항공교통 수요 시나리오 생성이 가능해야 한다. 이는 사용자가 up-load 또는 GUI상 직접입력 모두 가능해야 한다.	기능
	미래 운항스케줄, 미래 항공기 성능 및 항공기별 퇴역시기/신규 항공기 도입 등 미래 항공교통 운항 DB 생성이 가능해야 한다. 이는 사용자가 up-load 또는 GUI상 직접입력 모두 가능해야 한다.	기능
	Flight plan과 연동되어 계획대비 연료 사용량이 한눈에 통계치를 확인 할 수 있는 자료를 제공하여야 한다.	기능
	감축수단 적용시 미래온실가스를 산정할 수 있어야하며, 이는 현재비용가치로 변환이 가능해야한다.	기능
	감축수단의 단일 비행별 또는 운항 구간별 감축수단의 효과를 사용자가 변경할 수 있어야 한다	기능
	감축수단 적용, 미적용에 따른 출도착 공항 간 비교가 가능하여야 한다.	기능
	감축수단별 미래 온실가스 예측에 대한 정확한 데이터 산출이 가능하여야 한다.	기능
	국내 항공사에서 운행하는 노선 외 해외 여러 노선에 대한 감축량 예측이 되어야 한다.	기능
	온실가스 감축량 예측치에 대해 항로 별/기간 별 GIS 맵 상에 표시되어야 한다.	기능
감축량 예측 지원	감축수단별 오차가 최소화 되어야 한다	기능
	운항 구간별(비행 단계별) 감축수단 결과 값이 표시되어야 한다.	기능
	감축량 예측을 하기위해선 항공사별로 발생된 배출가스량을 온실가스DB에서 가지고 와야 한다.	기능
	온실가스 DB에서 가지고 올 수 없는 경우 기준 값을 입력할 수 있어야 한다.	기능
	감축수단 결과로는 그래프, 결과값이 도출되어야 한다.	기능
	감축수단의 적용여부는 마우스클릭으로 간단하게 켜고 끌 수 있어야 한다.	기능
	감축수단별 적용 비율은 프로그램 사용자가 조절할 수 있어야 한다.	기능
	온실가스 감축수단 산정기준이 명확해야 한다.	기능
	연료 절감을 위한 운항 감축수단 적용 중 실제 풍속, 기상 등 운항에 미치는 영향 고려하여 산출하여야 한다.	기능
	운항 후 잔여 연료 최소화를 위한 감축 수단이 제공되어야 할 것이다.	기능
의사결정 지원	감축활동 모니터링을 위한 통계 Report가 제공되어야 한다.	기능
	배출권거래제, 자발적 협약, 배출량 상쇄 등에 대한 비용 산정, 경제성 분석	기능

	등이 자동적으로 계산되어 최적의 감축기술 등을 제시할 수 있어야 한다.	
	각 항공사의 자발적 감축량 및 목표관리제의 목표를 제시하고 실행방안에 대한 구체적인 의사결정을 제시할 수 있어야 한다.	기능
	시나리오별(배출권구매, 자발적 협약사항, 목표관리제 사항) 최적의 경제성 분석 결과를 제시하여야 한다.	기능
	배출권구매, 자발적 협약사항, 목표관리제 사항의 시나리오 기준은 사용자에 의해 선택할 수 있어야 한다.	기능
	항공사별 direct Operation Cost DB를 사용하여 감축수단별 항공사에 미치는 비용 증감 계산이 가능해야 한다.	기능
	배출권 거래제에 대한 결과 및 구매비용 산출이 가능하여야 한다.	기능
	배출권 거래제를 고려한 의사결정 정보가 지원되어야 한다.	기능
	항공사별 항공기(기체 및 엔진 포함)의 퇴역시기 및 신규 항공기 도입 수요에 대한 계산이 가능해야 한다.	기능
	여러 감축수단을 적용 시 최적의 감축수단이 무엇인지 우선순위 선정이 가능하여야 한다.	기능
	온실가스 목표관리제 업무 지원을 위한 경제성 분석 및 의사결정 데이터를 제공하여야 한다.	기능
	항공 온실가스 자발적 감축협약 업무 지원을 위한 경제성 분석 및 의사결정 데이터를 제공하여야 한다.	기능
	항공 온실가스 자발적 감축협약 업무 검증 및 평가가 가능해야 한다.	기능
	배출권거래제 할당업체(항공부문) 배출량 적절성 평가가 이루어져야 한다.	기능

(2) 비기능 요구사항

○ 상세요구사항에서 비기능 요구사항으로 식별된 항목은 7개 항목으로 '항공 온실가스 보고포털'에 한정되는 5개 항목, '항공온실가스 산정'에 한정되는 1개 항목, '항공온실가스 감축량 예측'에 한정되는 1개 항목으로 총 7개임

<표 8 > 상세 요구사항 중 비기능 요구사항 도출

구분	사용자 요구사항	기능 식별
보고포털	회사별 내부 시스템과 데이터 호환이 가능하여야 한다.	비기능
	UI가 간단명료하게 표시되어야 한다.	비기능
	네트워크 기반인 경우 VPN 등 시스템 정보가 보호되어야 한다.	비기능
	네트워크 기반인 경우 항공사에서 입력한 정보의 암호화가 이루어져야 한다.	비기능
	항공사에서 제공하는 DATA는 타 기관은 볼 수 없으며, 정부는 이 DATA를 감시 목적으로 사용해서는 안된다.	비기능
온실가스 산정	온실가스 산정치는 신뢰할 수 있도록 해야한다. (산정 기준 제시)	비기능
감축량 예측	온실가스 및 연료량 절감을 위해 감축수단을 고려하여야 한다	비기능

(3) 요구사항 중복성 검토 및 기능 체계적 분류

○ 사용자 요구사항 식별을 통해 기능과 비기능으로 구분된 요구사항 중 중복성검토를

통하여 요구사항이 유사하거나 연관성이 있는 항목을 하나로 합산함. 따라서 79개의 상세 요구사항은 총 44개로 도출되었으며 이는 <표 10>과 같음

○ 사용자 요구도 조사에 따른 요구사항 명세를 기반으로 요구사항 목록을 구체화하여 요구사항 분석의 상세화를 통해 체계적으로 분류하였음

○ 이는 시스템 구성, 기능, 성능, 인터페이스, 데이터, 테스트, 보안, 품질, 제약사항, 프로젝트 관리, 프로젝트 지원 요구사항 등 11개로 분류되었으며 요구사항 분류기준 항목 각각에 대해 정의하였음 15)

<표 9 > 시스템 요구사항 체계적 분류

분류기준	세부 내용	요구 사항 수
시스템 요구사항 (SYR, System Requirement)	- 목표시스템의 구성을 위해 필요한 HW, SW, NW 등 장비 내역 및 필수 요구사항(기능요건), 구성요건에 대해 기술함	3
기능 요구사항 (FUR, Function Requirement)	- 목표시스템이 반드시 수행하여야 하거나 목표시스템을 이용하여 사용자가 반드시 수행할 수 있어야하는 기능(동작)에 대하여 기술함 - 단, 개별 기능요구사항은 전체시스템의 계층적 구조분석을 통해 단위 업무별 기능구조를 도출한 후, 이에 대한 세부기능별 상세 요구사항을 작성하는 것을 원칙으로 하며, 기능 수행을 위한 데이터 요구사항과 연계를 고려하여 기술함	17
성능 요구사항 (PER, Performance Requirement)	- 목표 시스템의 처리속도 및 시간, 처리량, 동적·정적용량, 가용성 등 성능에 대한 요구사항을 기술함	8
보안 요구사항 (SER, Security Requirement)	- 정보 자산의 기밀성과 무결성을 확보하기 위해 목표 시스템의 데이터 및 기능, 운영 접근을 통제하기 위한 요구사항을 기술함	5
품질 요구사항 (QUR, Quality Requirement)	- 목표 과제의 원활한 수행 및 운영을 위해 관리가 필요한 품질 항목, 품질 평가 대상 및 목표에 대한 요구사항을 기술함 - 신뢰성, 사용성, 유지관리성, 이식성, 보안성으로 구분하여 기술함	5
인터페이스 요구사항 (Interface Requirement)	- 목표시스템과 외부를 연결하는 시스템 인터페이스와 사용자 인터페이스에 대한 요구사항을 기술한 것으로 타 소프트웨어, 하드웨어 및 통신 인터페이스, 타 시스템들과의 정보교환에 이용되는 프로토콜과의 연계도 포함하여 기술함 - 단, 인터페이스 요구사항의 경우 사용자 편의성, 사용자 경험 등의 사용자 중심의 요구사항을 기술함	2
데이터 요구사항 (DAR, Data Requirement)	- 목표 시스템의 서비스에 필요한 초기자료 구축 및 데이터 변환을 위한 대상, 방법, 보안이 필요한 데이터 등 데이터를 구축하기 위해 필요한 요구사항을 기술함	3
프로젝트 관리 요구사항 (PMR, Project Management Requirement)	- 과제의 원활한 수행을 위한 관리 방법 및 추진 단계별 수행방안에 대한 요구사항을 기술함	4
제약사항 (COR, Constraints)	- 목표시스템 설계, 구축, 운영과 관련하여 사전에 파악된 기술·표준·업무·법제도 등 제약조건 등을 파악하여 기술함	6
프로젝트 지원 요구사항 (PSR, Project Support Requirement)	- 과제의 원활한 수행을 위해 필요한 지원 사항 및 방안에 대한 요구사항을 기술함 - 시스템/서비스 안정화 및 운영, 교육훈련 및 기술지원, 하자보수 또는 유지관리 요구사항 등을 기술함	3
테스트 요구사항 (TER, Test Requirement)	- 도입되는 장비의 성능 테스트(BMT) 또는 구축된 시스템이 목표 대비 제대로 운영되는가를 테스트하고, 점검하기 위한 테스트 요구사항을 기술함	1
계		44

6. 시스템 요구사항 도출

○ 최종적으로 도출된 요구사항을 구체적으로 정의하여 도출하였음

○ 이는 사용자 간 충돌이 발생하지 않기위하여 중복성검토 및 체계적으로 분류하여 작성되었으며 목표시스템의 기능, 비기능의 기술을 고려하였음

○ 또한 기능요구사항은 데이터요구사항과 관련성이 높기 때문에 기능요구사항과 데이터 요구사항 사이의 연관관계의 추적성을 높였음 16)

<표 10 > 시스템 요구사항 도출

구분	번호	요구사항 명		비고
시스템 요구사항	SYS-001	클라이언트 개발 장비구성		
	SYS-002	클라이언트 프로그램 S/W 환경		
	SYS-003	S/W 개발 요구사항		
기능 요구사항	FUR-CM-001	항공온실가스 산정 및 예측 시스템 공통	보고서	
	FUR-CM-002		그래프	
	FUR-CM-003		GIS 맵 기능	
	FUR-PS-001	항공온실가스 보고포털	데이터 호환	
	FUR-PS-002		보고포털 업무	
	FUR-PS-003		사용자 기능	
	FUR-PS-004		네트워크 정보보호	
	FUR-PS-005		항공부문 통계관리	
	FUR-PS-006		배출량 산정 관리	
	FUR-E1-001	항공온실가스 배출량 산정	배출량 산정 업무	
	FUR-E2-001	항공온실가스 감축량 예측	감축량 예측 업무	
	FUR-E2-002		감축수단에 기준 제시	
	FUR-E2-003		감축수단 적용시 산정	
	FUR-E3-001	경제성 분석 및 의사결정	의사결정 제시	
	FUR-E3-002		의사결정 업무	
	FUR-E3-003		미래 항공 교통 산정	
	FUR-E4-001	온실가스 산정 DB	표준데이터 이용	
성능 요구사항	PER-001	느린 작업에 대한 진행 표시		
	PER-002	Windows 플랫폼 지원		
	PER-003	SQL 튜닝		
	PER-004	질의응답 시간		
	PER-005	웹페이지 디스플레이 시간		
	PER-006	데이터 형식 오류 시간		
	PER-007	메모리(디스크) 자원 효율성		
	PER-008	CPU 효율성		
보안 요구사항	SER-001	데이터 암복호화		
	SER-002	보안 취약성 점검 및 조치		
	SER-003	시스템 권한관리		
	SER-004	응용 및 DB보안		

	SER-005	항공보고포털 응용시스템 보안 요건	
품질 요구사항	QUR-001	기능 구현 정확성	
	QUR-002	사용성	
	QUR-003	구분성	
	QUR-004	설치 및 제거 용이성	
	QUR-005	정보 제공	
인터페이스 요구사항	SIR-001	사용자 인터페이스	
	SIR-002	외부 시스템 연계 인터페이스	
데이터 요구사항	DAR-001	데이터 표준화	
	DAR-002	데이터 구축	
	DAR-003	관련 데이터	
프로젝트 관리 요구사항	PMR-001	일정관리	
	PMR-002	산출물 관리	
	PMR-003	프로젝트 참여인력 관리	
	PMR-004	매뉴얼	
제약 사항	COR-001	개발 제약 사항	
	COR-002	형상관리	
	COR-003	개발언어	
	COR-004	DBMS	
	COR-005	저작권 준수	
	COR-006	전자정부 표준프레임워크 준수	
프로젝트 지원 요구사항	PSR-001	과제 수행 일반	
	PSR-002	교육지원	
	PSR-003	기타 프로젝트 지원 요구사항	
시험 요구사항	TER-001	시험	

7. 목표 시스템

(1)목표

○ ‘항공 온실가스 산정 및 예측 시스템’은 사용자 요구사항 및 시스템 요구사항을 반영하여 고정밀(Tier 3b급)의 항공 온실가스 배출량을 산정하고 감축량을 예측하는 시스템으로서 신뢰성있는 국가이행계획을 수립할 수 있도록 정책지원이 가능한 시스템을 목표로 함

○ 감축주체가 자발적으로 참여 할 수 있도록 감축효과를 예측할 수 있는 신뢰성있는 데이터를 제공하며, 탄소배출권 거래제 등 국제항공정책에 능동적으로 대처할 수 있는 국익지원정책을 제공하고, 저개발국 보급을 통한 국제항공정책영향력을 강화하는 시스템을 개발함

14) 항공 온실가스 산정 및 예측시스템 기획보고서(2013)
15) 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템의 시스템 요구사항 명세서의 풀버전은 성과물(C-1-②)에 상세히 기술됨
16) 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템의 시스템 요구사항 명세서의 풀버전은 성과물(C-1-②)에 상세히 기술됨

<표 11 > 항공온실가스 산정 및 예측 시스템 목표

추진 목표	고정밀(Tier 3b급) 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발 및 보급

정책 지원	고정밀 온실가스 배출량 산정/예측을 통한 신뢰성있는 국가 이행계획 수립
신뢰성 지원	온실가스 감축주체(항공사 등)들의 자발적 참여를 통한 감축효과 극대화
국익 지원	탄소배출권거래제 등 국제항공정책에 능동적 대처 - 국익 우선 정책 제시
저개발국 지원	Short Version 저개발국 보급을 통한 국제항공정책 영향력 강화

(2)목표 정립 근거

○ 항공선진국인 미국, 유럽은 2000년 초반에 이미 Tier 3급의 AEDT, AERO-MS를 개발하여 보유하고 있으며, 이 프로그램들을 이용하여 ICAO CAEP 회의에서 항공분야의 배출가스에 대한 주요 사안들을 결정하거나, 회의를 이끌고 있음

○ 국내 항공온실가스 관련 프로그램을 조사한 결과 나르미 및 KOTEMS는 Tier 2 급으로 항공온실가스를 산정할 수 있는 시스템이며, 우리나라를 비롯한 대부분의 국가들은 Tier 2급으로 항공온실가스 배출량을 산정함

- Tier 1/2/3a/3b 급의 산정기준은 범정부간기후변화패널(IPCC, Intergovernmental Panel of Climate Change)에서 제시한 기준이며, 아래 표의 기준에 따라서 분류됨

<표 12 > 항공 온실가스 배출량 산정 기준 및 방법

구 분	산정 방법	비 고
Tier 1	온실가스 배출량 = 연료 사용량 * 배출 지수	-
Tier 2	3,000피트 이하(이착륙)과 이상(순항)으로 구분 총 온실가스 배출량 = LTO 횟수 × LTO 배출계수 + (총 연료사용량 - LTO연료사용량) × 순항배출계수	NARMI. KOTEMS 수준
Tier 3a	출 · 도착지 공항간 자료 이용 총 온실가스 배출량 = CO2 배출량(항공유 탄소함량x비행단계별 연료사용량) + 기타 배출량(CH4, N2O)	Detailed CORINAIR Methodology (공개 자료)
Tier 3b	총 비행궤도 정보(총 비행항로 정보) 이용 → 항공기, 엔진성능, 항적 등 고려하여 정책집행 및 이행이 가능한 모형 (SAGE, AERO2K 등)	미국 FAA 등 일부 선진국

○ 항공교통분야는 Tier 3b급에 대한 국외 연구는 이미 상당한 수준의 연구가 진행되어 목표 시스템과 유사한 항공온실가스 산정 및 예측 시스템이 개발되어 일부 선진 국가

의 항공온실가스 정책에 사용되고 있지만, 국내연구는 기초연구조차 이루어지지 않았음

○ 국외에서 기 개발된 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템은 오직 국가정책이나 자국의 항공사들에게 이익을 발생하기 위한 방법으로 사용되며, 타국을 대상으로 판매하거나 배포하지 않음

- 다만, 미국에서 개발한 AEDT 프로그램의 경우 자국에서 사용하는 버전과 상용버전을 개발하여 상용버전만 판매하며, 국가의 항공온실가스 배출량 및 경제성분석을 위한 호환 프로그램인 APMT-E 및 APMT 프로그램을 판매하지 않아 국가 정책지원 및 항공사의 경제성분석에 사용할 수 없음

○ 2015년부터 국내에서 항공교통분야를 포함한 교통분야가 온실가스 규제 대상으로 포함되었으나, 항공사의 경우 Tier 1/2급을 엑셀 프로그램이나, 수기로 작성하는 기관이 대부분으로, 개발 완료시 항공사의 활용도 또한 매우 높은 시스템임

(3)목표 정립 과정

○ 신뢰성 있는 데이터 부재 및 환경효과를 구체적으로 제시하지 못하여 항공부문의 효과적인 온실가스 감축수단 개발을 지원하고, 항공사와 정부, 공항 등 주요 감축활동 주체의 적극적인 감축활동을 촉진하는 등 실효성 있는 국가이행계획의 수립과 이행을 위해 감축효과 분석 및 이를 전체적으로 지원할 수 있는 지원시스템의 개발이 필요성이 인식되었음

○ 기존에 존재하는 시스템의 경우 Tier 1, 또는 2를 제공하고 있으나, 이는 전반적인 정밀도가 떨어지며 분석 또한 계량적으로 이루어지기 어렵기 때문에 구체적인 장래 예측치를 파악하기가 어려운 단점이 존재함

○ 따라서 사용자 요구사항 분석을 위하여 면담, 인터뷰 및 워크숍 등을 통하여 항공온실가스 관련 업무 수행에 있어 어려운점을 도출하였으며, 각 기관별 업무 수행현황을 통하여 업무의 효율성을 증대시킬 수 있는 방안을 조사하였음

○ 사용자 및 시스템 요구사항을 도출하기 위하여 항공 온실가스 대상 전문가(정부, 항공사, 정부지원기관 등)에게 요구사항 및 의견을 수렴하였으며, 각 기관별 업무 수행현황을 통하여 업무의 효율성을 증대시킬 수 있는 방안을 조사함

○ 전문가에게 수렴된 요구사항은 주요 요구사항을 우선적으로 도출하였으며, 우선요구사항을 통해 산출된 상세 요구사항을 통해 사용자 및 시스템 요구사항을 전체적으로 수렴 및 분석함

○ 도출된 사용자 요구사항 분석은 중복성검토를 통하여 실제적으로 필요한 기능을 확인하였으며, 중복성검토를 끝낸 기능을 체계적으로 분류하였으며, 이를 통해 시스템의 세부 요구사항을 도출

○ 사용자 요구도 조사에 따른 요구사항 명세를 기반으로 요구사항 목록을 구체화하여 요구사항 분석의 상세화를 통해 체계적으로 분류함

○ 또한 전문인증기관에게 시스템요구사항을 검증받고, 시스템 요구사항검토회의를 통해 요구사항 확정하는 과정을 거쳐 목표시스템의 요구사항을 최종적으로 정립함

<표 13 > 항공온실가스 산정 및 예측 시스템 목표 정립

구분		목표 정립과정		세부내용	비고
1	↓	필요성 인식	➔	시스템 개발의 필요성 인식 1. 항공온실가스 감축 및 예측치에 대한 신뢰성있는 자료 부재 2. 국가 항공온실가스 정책을 지원할 수 있는 정책지원시스템 부재	
2	↓	현 시스템 분석	➔	기존 온실가스 시스템 분석 1. KOTEMS 및 NARMI 등 기존 시스템 분석 2. 기존 시스템 분석을 통한 문제점 도출	
3	↓	환경분석 및 자문	➔	현장방문 및 전문가 대상 자문 1. 현장방문 통한 온실가스 관리 현황 파악 2. 대상별 온실가스 감축기술 및 보유 기술 파악 3. 현시스템 문제점을 통한 개선의견 도출	
4	↓	사용자 요구사항 수렴	➔	사용자 요구사항 수렴 및 분석 1. 사용자 요구사항 수렴 및 도출 · 주요 요구사항 도출 · 상세 요구사항 도출	
5	↓	시스템 요구사항 도출	➔	사용자 요구사항 기능 식별 1. 사용자 요구사항 중 기능·비기능 식별을 통한 시스템 요구사항 도출 · 기능 요구사항 식별 · 시스템 요구사항 도출	
6	↓	요구사항 중복성 검토		요구사항 중복성 검토 및 기능 체계 분류 1. 요구사항 중복성 검토를 통하여 유사하거나 연관성있는 항목 통합 2. 요구사항 기능 체계적으로 분류 실시	
7	↓	목표시스템 정립	➔	목표시스템 정립 1. 사용자/시스템 요구사항 반영을 통한 목표시스템 개념 정립 2. 시스템 요구사항 검토회의 진행을 통한 요구사항 확정 3. 전문기관 검토를 통한 검증 실시	

(4) 개념설계 도출

○ 항공온실가스 산정 및 예측 시스템의 사용자 요구사항을 수립하였으며, 요구사항은 현시스템 분석-> 환경 분석-> 설문조사-> 문제점 도출-> 요구사항 분석-> 서비스 도출로서 단계별로 요구사항 수립 및 확정함

○ 현시스템 분석에서는 기존에 사용하고 있는 국내의 NARMI, KOTEMS 프로그램의 기능을 분석함 NARMI는 항공사에서 사용하고 있는 운항자격 심사관리, 운항 및 비행정보, 항공기 등록/이력관리 등의 기능에 Tier 2급의 항공온실가스 배출량에 대

한 통계제공 기능을 추가한 것이며, KOTEMS는 교통부문의 온실가스 배출량 산정을 하기 위하여 개발한 시스템으로 항공교통분야의 Tier 1과 Tier2의 국내 항공온실가스 배출량을 산정하는 배출정보 시스템으로 자발적 온실가스/에너지 목표 관리제 등을 위한 목표관리 지원시스템, 저감효과 평가시스템 등을 담당함

○ 환경분석 및 설문조사는 항공사내에서 자체적으로 구축한 프로그램을 조사하였고, 관련 담당자들을 만나서 면담, 인터뷰 및 워크숍 등을 통하여 실시함. 총 8번에 설문조사를 실시하여 사용자 및 시스템 요구사항을 수립하였으며, 요구사항은 개발 시스템의 사용자인 정부, 항공사, 연구기관 등을 대상으로함

○ 문제점 도출은 기존에 개발되어 있는 시스템의 Tier 1/2급 산정의 한계와 단거리 비행시 이착륙구간에서 발생하는 오차에 대한 정확성여부가 큰 문제였으며, 이를 위해서 항공기 운항단계별로 산정이 가능한 Tier 3b급의 항공온실가스 산정시스템이 필요하고, 항공온실가스 감축을 위한 감축기술 또는 경제적분석이 필요함

○ 요구사항 도출은 설문조사 대상을 사용자 그룹별로 구분하여 정부, 항공사, 정부지원기관, 기타로 정리하였으며, 정부는 국가정책으로 많은 요구사항이 도출되었고, 항공사는 항공사에서 대응하는 거래제 및 국내외 감축기술들의 산정과 적용방법들이 주요 요구사항이고 정부지원기관은 국가를 지원하기 위한 학술적인 측면에서 도출함.. 총 도출된 요구사항은 79개의 요구사항이 도출되었고, 기능별로 기능/비기능별 식별하여 최종 14개 항목의 72개의 세부기능 요구사항을 도출함

○ 목표 시스템의 요구사항 결과는 개발문서 시스템요구사항명세서에 명시되어있음

※ 자세한 사항은 한국교통연구원으로 문의부탁드립니다.

나. KOTI · 솔루티스

1. 국내외 항공 환경 모델 관련 기술개발 현황

(1)국외 항공 환경 모델 관련 기술개발 현황

가) Centre for Aviation Transport and the Environment[17]에서 개발 · 운영되고 있는 항공 환경 모델

○ CATE는 지속가능한 항공 개발 및 항공 운송 시스템의 환경적 연구를 진행하기 위해 설립됨

- Global Climate Change group, Local Air Quality group, Noise and Community Impacts group 등 3개 그룹으로 연구를 진행 중에 있으며, 약 30명 정도의 연구원이 상주

- UK 정부 및 European Commission, 미국 FAA, 그 외 공항, 항공사, 항공기 제조사 및 각 항공부문의 연구자들과 긴밀하게 협력 및 지원 연구 진행

○ (주요 업무) UK 정부의 정책 지원, 국제회의의 advisor 지원, ICAO CAEP 지원(데이터 관련 연구) 등의 업무를 진행 중

- Global Climate change group은 주로 항공기에서 방출되는 비행운의 범위 및 영향, 글로벌 항공 온실가스 배출량 산정 및 시나리오 제시 등 기후변화 관련 모델 적용 연구를 진행하고 있으며, 영국정부 및 항공 관련 국제기구(ICAO CAEP)를 지원

○ FAST(Future Aviation Scenario Software Tool)

- Prof.David Lee가 주도하는 Global Climate change group에서 개발하여 연구 진행 중

- 1999년 기후변화의 영향 분석을 위해 FAST 모델 개발

- 현재 FAST 모델을 통해 시나리오 적용을 위한 ICAO CAEP 데이터 관련 연구 진행

- (input 데이터) Aircraft movements, PINO fuel usage for different aircraft types, mission distances and cruise altitude 등

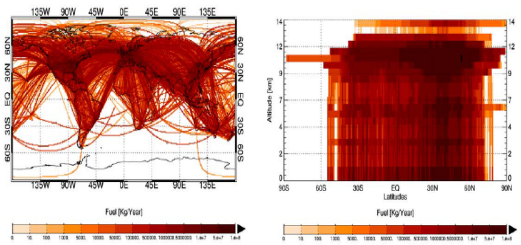
- (output 데이터) CO2, Fuel NOx, CO, Particles, Soot and Distance Flown

- (시스템 구성) Microsoft Acess DB, Visual C+을 통한 시스템 구현

- AEDT 모델은 서버에서 운영되며, 복잡한 산정 모듈을 가지고 있으나, FAST 모델은 간단한 산정 모듈을 통해 산정시간이 AEDT와 비교하여 매우 짧음

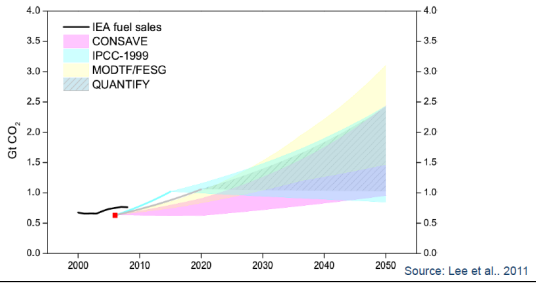
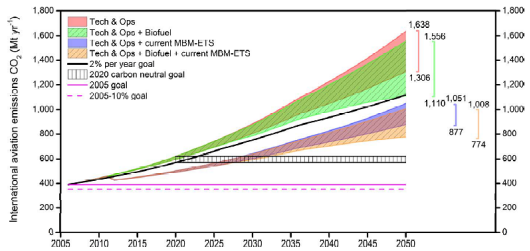
17) www.cate.mmu.ac.uk
18) www.eurocontrol.int/services/advanced-emission-model-aem
19) www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/SEE_alaqs.html
20) http://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/proj_STAPES.html
21) www.eurocontrol.int/services/impact
22) 웹기반으로 개발 중인 IMPACT ermtoolset.eurocontrol.int/login
23) 국토교통부, 교통부문 온실가스 관리시스템(KOTEMS), 2012
24) 2012년 6월 1차 온실가스 감축 이행계획을 제출하였으며, 2015년 6월 2차 온실가스 감축 이행계획을 제출 예정

<표 14> FAST 모델

FAST(2006) 산정 결과	FAST/ AEDT/ AEM 산정 결과 비교
	Current emission models and results (2006 estimates):

Inventory	Fuel (Tg)	CO_2 (Tg)	NO_x (Tg NO_2)	Distance (billion km)
FAST	178.3	562.2	2.33	38.9
AEDT/SAGE	187.0 (+4.9)	589.6 (+4.9)	2.72 (+16.7)	38.9
AEM	189.8 (+6.4)	598.4 (+6.4)	2.79 (+19.7)	
Aero2K	170.0 (-4.7)	536.0 (-4.7)		

* Number in brackets denote % difference compared to FAST
[Source: CAEP/MDG working group]

FAST future scenarios	FAST future scenarios(감축수단 사용)
	

출처: CATE-KOTI 항공 환경 모델 관련 회의 자료(2015.03.31)

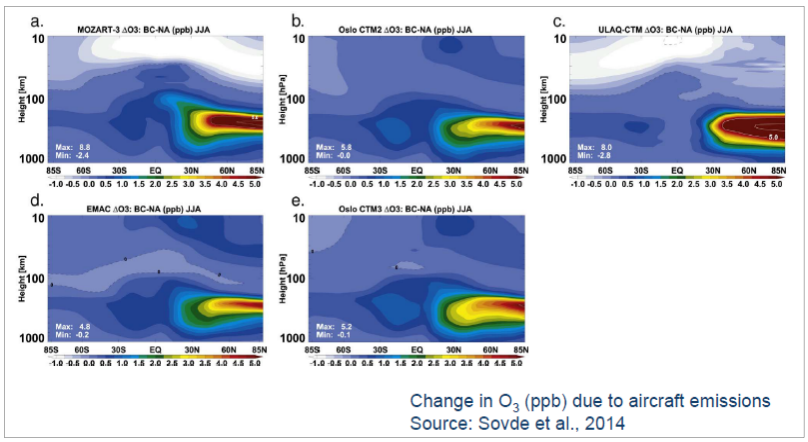
- FAST 모델의 결과물을 통해 소규모의 다양한 모델 사용 가능

○ CTM(Chemical Transport Models) MOZART(Model for Ozone and Related chemical Tracers)

- (목적) 3D 글로벌 화학 확산 모델로서 대기 조성의 화학 및 운송 과정을 시뮬레이션 할 수 있음. 비행 시 가장 높은 고도에서 발생하는 화학 성분 추적이 가능함

- (input 데이터) Standard meteorological fields, anthropogenic emissions, aviation and shipping emissions

- (output 데이터) Extensive chemical scheme: CO, NOx, OH, CH4, NMHCs 등



<그림 3> CTE 모델 분석 결과

출처: CATE-KOTI 항공 환경 모델 관련 회의 자료(2015.03.31)

○ CTM(Chemical Transport Models) TROPOS

- (목적) 계산 효율적인 2D 글로벌 화학 확산 모델로서 빠른 시간 내 대기 조성 추정치를 제공할 수 있음. NOx와 관련된 항공 영향 조사에 유용함

- (input 데이터) Standard meteorological fields, anthropogenic and aviation emissions

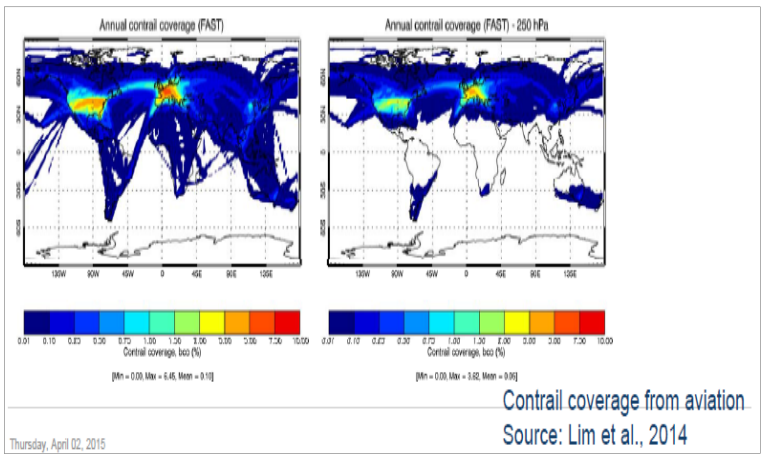
- (output 데이터) Extensive chemical scheme: CO, NOx, OH, CH4, NMHCs 등

○ Contrail Coverage model COMA(Offline Contrail Modelling and Analysis tool)

- (목적) 항공기 운항(movement)에 따른 비행운의 범위 계산

- (input 데이터) ECMWF/NCEP met. data, aircraft movements, propulsion efficiency, satellite observations of contrail coverage

- (output 데이터) Natural cirrus clouds, potential contrail coverage and contrail coverage



<그림 4> COMA 모델 분석 결과

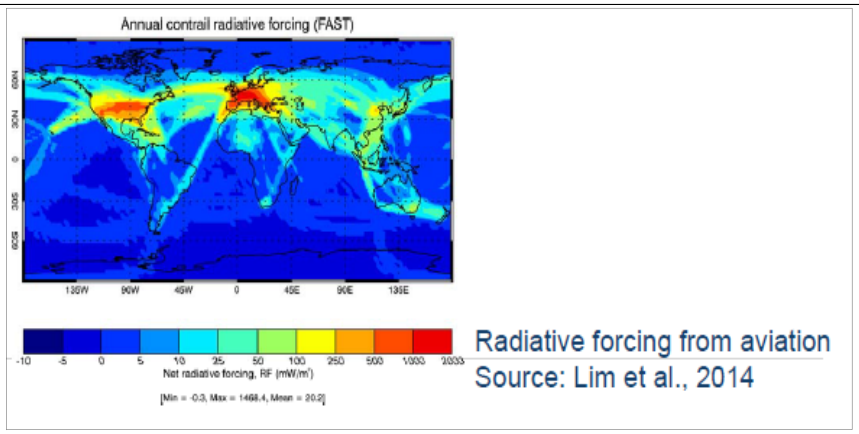
출처: CATE-KOTI 항공 환경 모델 관련 회의 자료(2015.03.31)

○ RTM(Radioactive Transfer Model) E-S Code(Edward-Slingo radiative transfer model)

- (목적) UK 기상청에서 복사 열 전달 코드 구현을 위한 모델로서 기상청의 기후 모델과 권운에 대한 E-S 모델의 구현 및 테스트

- (input 데이터) Atmospheric composition, land cover, cloud fields, albedo, meteorology

- (output 데이터) Radiative transfer over ''columns'' of the atmosphere



<그림 5 > E-S code 모델 분석 결과

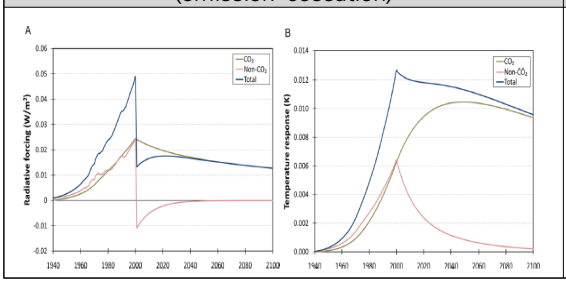
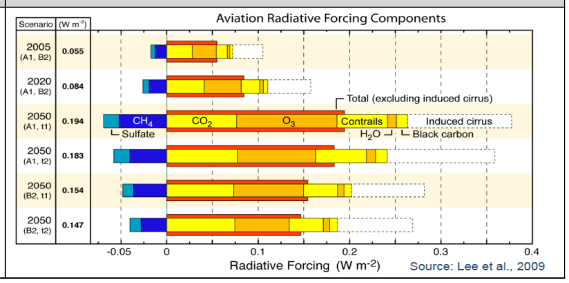
출처: CATE-KOTI 항공 환경 모델 관련 회의 자료(2015.03.31.)

- SCM(Simple Climate model) MAGICC(Model for the Assessment of Greenhouse-gas induced Climate Change)
- (목적) 시간에 따른 영향도 평가를 위한 단순 기후 모델로서 총 인위적 발생 원인을 위한 기후 통계 체계로서 사용 가능
- (input 데이터) Emissions scenarios
- (output 데이터) Calculates time-dependent concentrations, radiative forcing, temperature response and sea-level rise from different perturbations

○ SCM(Simple Climate model) LinClim(Linear Climate response model)

- (목적) 시간에 따른 영향도 평가를 위한 단순 기후 모델로서 총 인위적 발생 원인을 위한 기후 통계 체계로서 사용 가능. 항공 및 해운부문에 대한 지표책정과 GTP 등의 기후 통계의 불확실성을 조사함.
  특정 시나리오에 따른 세계적 복사 강제력과 온도 대응 측면에서 가장 최저의 환경적 손해 결과를 가져올 수 있는 기술 개발 기준을 제시 할 수 있음
- (input 데이터) Aircraft fuel, shipping emissions, emission indices, reference radiative forcing from GCM, tuning parameters from GCM
- (output 데이터) Calculates time-dependent radiative forcing and temperature response from different perturbations (CO2, O3/CH4 (from NOx), sulphate, black carbon and contrails)

<표 15 > LinClim 분석 결과

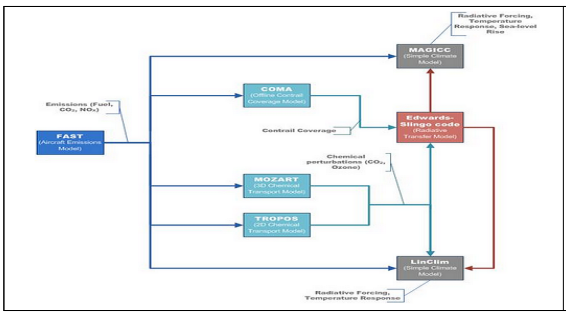
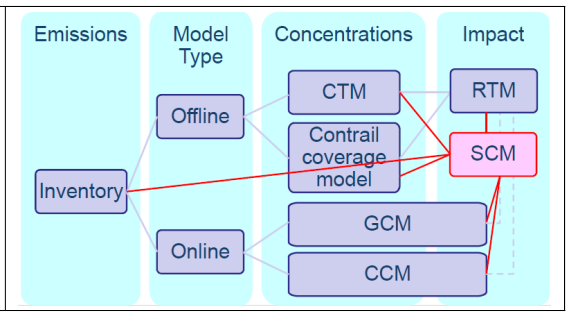
short/long-term responses RF & temperature (emission cessation)	future radiative forcing
	

출처: CATE-KOTI 항공 환경 모델 관련 회의 자료(2015.03.31)

○ 시사점

- AEDT와 비교하면 base DB 사이즈가 작으며, 산정 시간이 매우 짧음
- 목적별 소규모 사이즈의 모델과 연계하여 활용하고 있음
- 산정방식은 base inventory에 항공기 fleet 변경, 수요 증가, 항공 운영적 개선 등의 변수 적용을 통해 미래 시나리오 도출 가능
- 이미 항공 온실가스 인벤토리를 구축하고 있으며, 현재는 다양한 시나리오 적용 연구가 진행 중임
- 정부 및 국제기구 환경 정책 지원 모델로서 공개하고 있지 않으나 본 과제 모델 개발 후 비교 검증 연구 진행 가능
- 이러한 다양한 미래 시나리오 도출을 통한 ICAO CAEP 지원 활동을 하고 있음
- 온실가스 뿐만 아니라 기후변화 영향 추정을 위해 위에서 제시한 다양한 모델을 활용

<표 16 > CATE가 활용 중인 항공 환경 모델

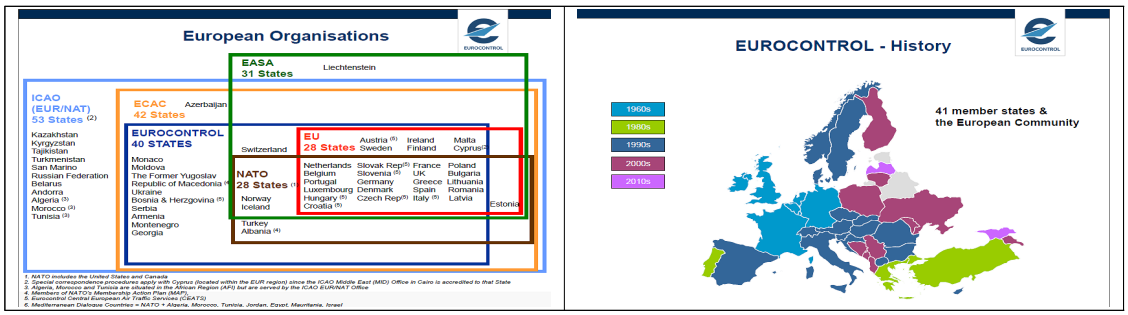
출처: CATE-KOTI 항공 환경 모델 관련 회의 자료(2015.03.31)

나) EUROCONTROL에서 개발·운영되고 있는 항공 환경 모델

○ (목표) 체약국의 안전하고, 효율적이며, 환경친화적인 유럽 지역 내 항공 운항 지원

○ 2015년 4월 3일 현재 40개국이 체약국으로 등록(2015.06 41개국 예정)

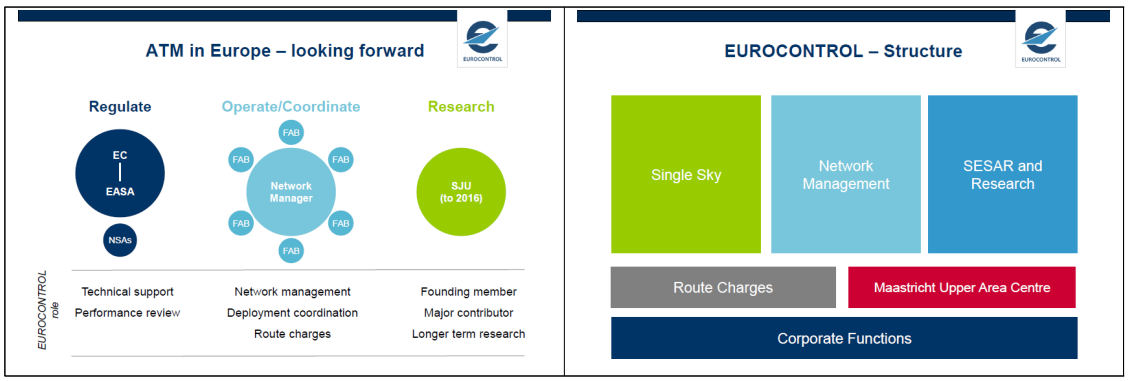
<표 17 > EUROCONTROL 체약국 현황



출처: EUROCONTROL-KOTI 항공 환경 모델 관련 세미나 자료(2015.04.03)

○ (주요업무) ① European Commission 및 EASA(European Aviation Safety Agency) 기술적 지원 및 성과 검토, ② FAB(Functional Airspace Block)운영을 위한 네트워크 관리 및 협력, 노선 요금 책정, ③ SJU(SESAR Joint Undertaking)을 통한 유럽의 ATM 관련 장기적 R&D 연구 진행

<표 18 > EUROCONTROL 주요업무



출처: EUROCONTROL-KOTI 항공 환경 모델 관련 세미나 자료(2015.04.03)

○ AEM(Advanced Emission Model)[18]

- 모델 개발 기간은 약 1년 6개월, European Commission에서 예산 지원
- EUROCONTROL에서 개발한 모델로서 항공기의 연료소모량과 CO2, H2O, SOx, NOx, HC, CO, 벤젠, VOC, TOG 등의 배출량 산정
- 입력 자료는 항공기, 엔진, 연료연소비율, 배출율 자료 외에 콜 사인, 출발시간, 출발·도착공항, 기종 등을 포함한 전반적인 비행 및 일정자료, 비행고도, 대지속도, 상승/하강비율 등 비행자료임
- 연료소비량은 3,000 피트 이하에서는 ICAO의 엔진모드별 이착륙 시 연료소비량 자료(ICAO Engine Exhaust Emission Data Bank)의 자료를 사용하며, 3,000 피트 이상에 대해서는 BADA의 자료를 사용함
- CO2와 H2O, SOx 배출량은 연료연소량으로부터 산정하고, VOC와 TOG (Total

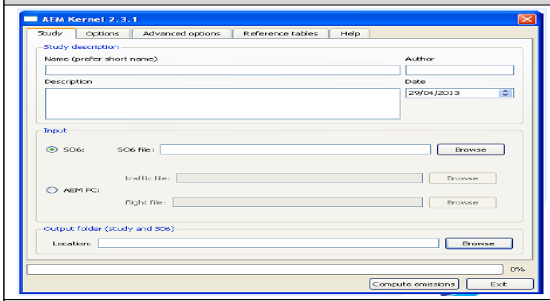
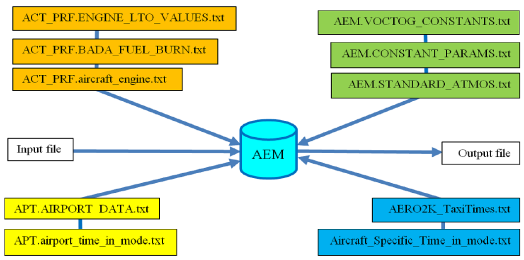
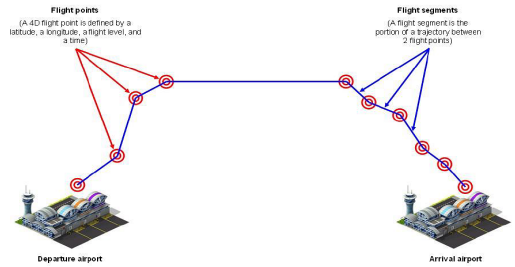
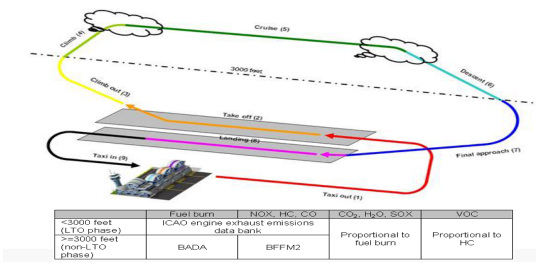
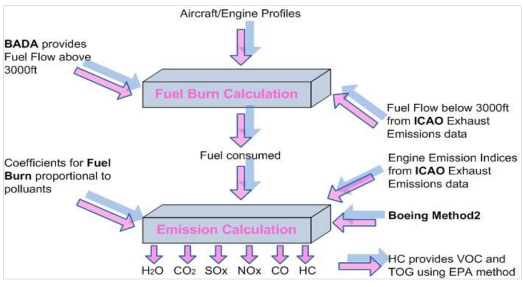
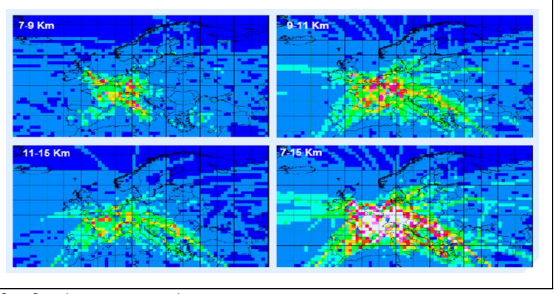
Organic Gases)는 EPA의 방법론에 의해 산정된 HC 배출량 자료를 사용하여 산정하며, NOx, HC, CO 배출량은 3,000 피트 이하에 대해서는 ICAO의 Engine Exhaust Emission Data Bank, 3,000피트 이상에 대해서는 ICAO 자료 및 보잉사의 Boeing Method 2 배출계수를 사용함

- ICAO의 인증을 받은 모델로서 ICAO CAEP 및 EUROPEAN Commission의 환경정책 지원 역할 수행

- 2005년부터 1년씩 온실가스 인벤토리 구축 및 보유

- AEM 모델 개발 시 ALAQS와 STAPES 모델이 같이 개발됨

<표 19 > AEM 분석 결과

AEM-Kernel	AEM input data
	
AEM 모델의 산정 (1)	AEM 모델의 산정 (2)
	
AEM 모델의 산정 (3)	AEM 산정 결과(grid별 결과 시각화)
	

출처: EUROCONTROL-KOTI 항공 환경 모델 관련 세미나 자료(2015.04.03)

○ WISDOM(World Interconnected Sources Database of Operational Movements)

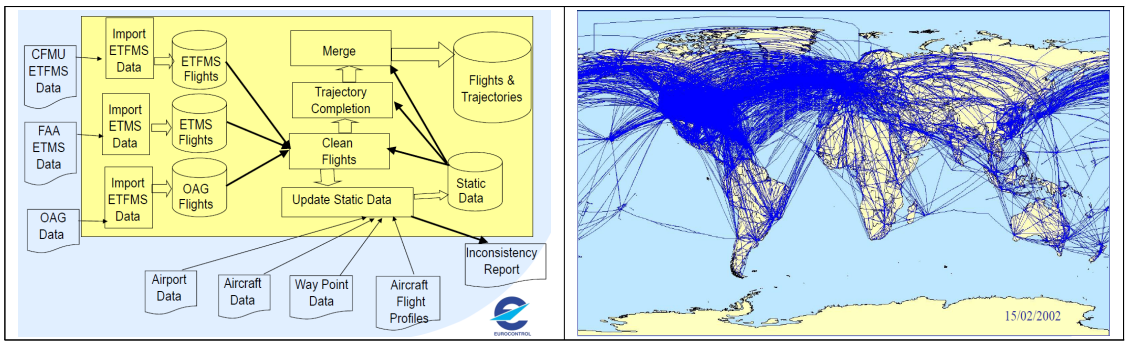
- 전 세계의 항공기 운항 움직임(movements) 및 궤적(Trajectories)에 대한 데이터를 구축

- 6개의 선택된 대표적 주(2월, 4월, 6월 9월, 10월 12월)의 궤적

- 한 해의 항공기 운항 움직임 포함

- AEM과 연계되어 있어 연료 소모 및 온실가스 배출량을 산정하며, ICAO CAEP의 환경 평가에 사용됨

<표 20 > WISDOM 산정과정 및 분석결과

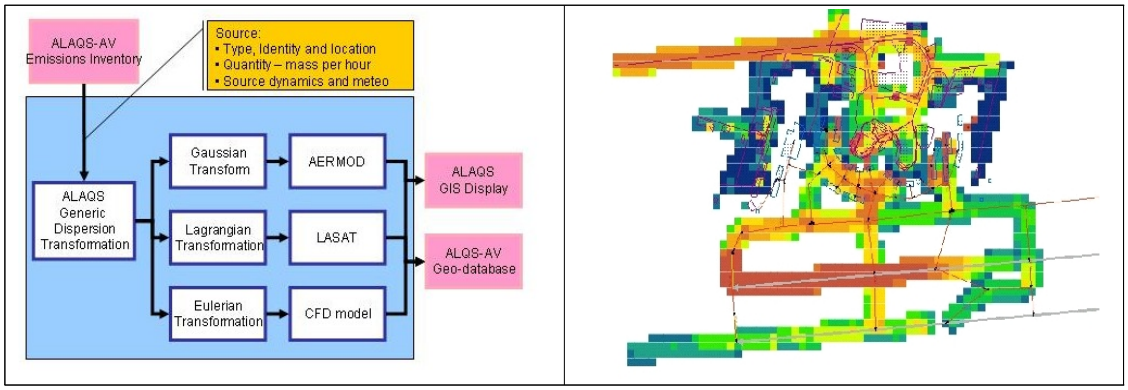


출처: EUROCONTROL-KOTI 항공 환경 모델 관련 세미나 자료(2015.04.03)

○ ALAQS(Airport Local Air Quality Studies)[19]

- European 환경 정책과 ICAO CAEP를 지원하기 위해 개발 된 모델로서 공항의 대기질과 관련된 테스트베드 모델임

<표 21 > ALAQS 산정과정 및 분석결과



출처: EUROCONTROL-KOTI 항공 환경 모델 관련 세미나 자료(2015.04.03)

○ STAPES(the System for AirPort noise Exposure Studies)[20]

- 유럽의 환경 정책 및 ICAO CAEP를 지원하기 위해 개발된 모델로서 다양한 공항 소음 모델임

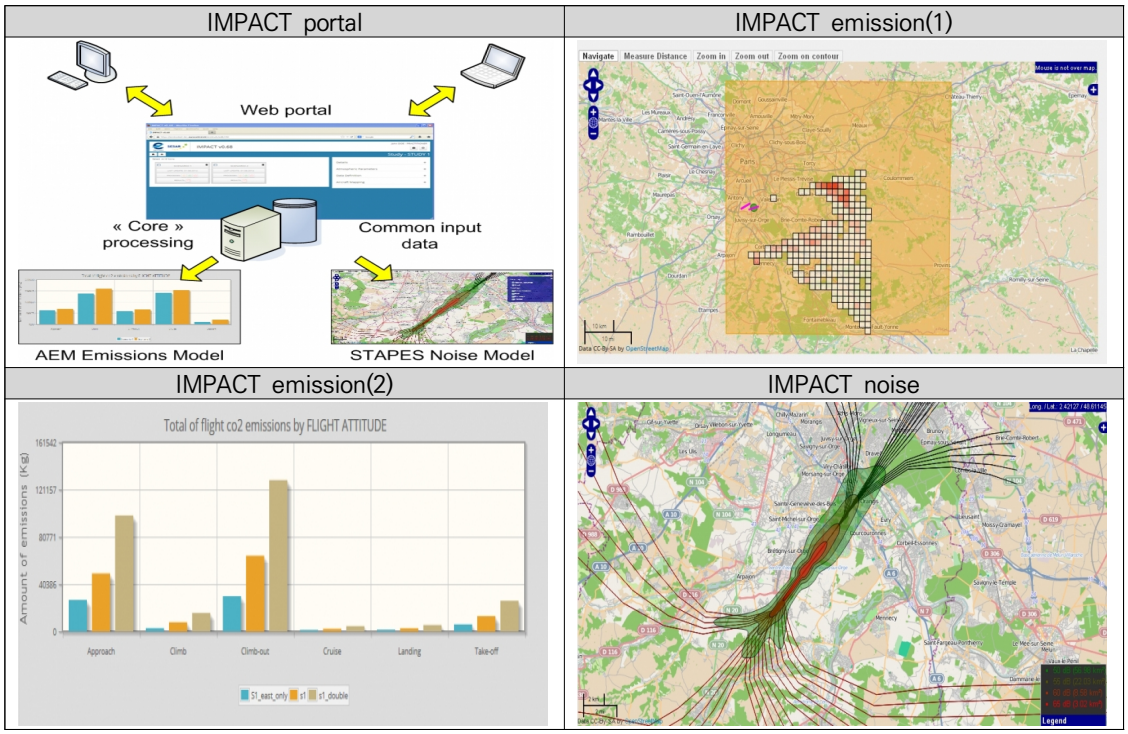
○ IMPACT(Impact assessments for noise, gas and particle emissions and local air quality) 모델[21][22]

- 모델 개발 기간은 약 3년, European Commission에서 예산 지원(현재 개발 진행 중)

- IMPACT 모델의 주요 목적은 SESAR project 지원

- IMPACT의 배출량 평가는 AEM 모델링 기반
- 온실가스 영향 평가는 연료소모량 및 항공기 운항 궤적에 따른 온실가스 배출량, 산정(확산 모형은 미 포함), 소음 측정
- IMPACT는 사용자가 구획별로 지정하여 시나리오별, 항공기 기종별, 고도별 등 다양한 비교 분석을 통한 결과 도출 가능
- 현재 기존 프로그램 기반이던 IMPACT를 웹기반으로 개발 진행 중(2016년 개발 완료 예정)
- My-SQL Database와 JAVA 프로그래밍 사용

<표 22 > IMPACT 분석결과



출처: EUROCONTROL-KOTI 항공 환경 모델 관련 세미나 자료(2015.04.03)

○ Forecasting 팀이 별도로 운영되어 AEM, IMPACT 모델을 통한 산정 결과를 통해 별도의 예측 연구 진행

○ 시사점

- AEDT와 같이 AEM을 개선하여 소음 및 대기질 영향도 측정이 가능하나, 그와 비교하여 짧은 산정시간이 걸림
- 현재의 항공기 운항에 관한 연료 소모 및 온실가스 배출량 산정이 가능하며, 미래 예측은 불가능(Forecasting 팀이 별도로 운영되고 있음)
- 2005년부터 2012년까지의 항공 온실가스 인벤토리를 구축(1년 단위)하고 있으며, 매년 산정방법 개선을 통한 인벤토리 개선 연구를 진행하고 있음

- 소규모 온실가스 배출량 산정 모델 개발 후 소음 및 대기질 영향 평가 관련 모델을 개발하고 있음

- 정부 및 국제기구 환경 정책 지원 모델로서 공개하고 있지 않으나 본 과제 모델 개발 후 비교 검증 연구 진행 가능

(2)국내 항공 환경 모델 관련 기술개발 현황

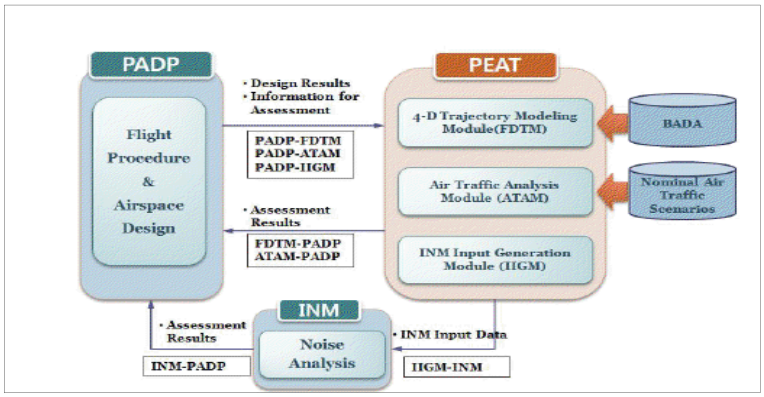
○ 항공기 비행절차 및 공역 효율성 평가 툴 개발 연구

- 항공기 비행절차 및 공역설계 프로그램에서 모듈로 설계된 '항공기 비행절차 및 공역 효율성 평가 툴 개발 연구'는 프로그램내에서 비행절차가 설계된 후 항공기를 시뮬레이션하여 연료 소모량의 정도를 분석할 수 있는 프로그램임

- 이 프로그램의 연료 소모량은 BADA, INM 등의 데이터베이스를 사용하므로 추후 개발되는 프로그램과 분석하는 기초적인 데이터베이스는 동일하게 적용이 됨

- 다만, Engine Data, Boring method 2 등의 추가적인 데이터를 사용하여 실질적인 연료 소모량을 분석하는 방법을 채택하였으며, 구체적인 연료 소모데이터량 및 온실가스 배출량을 측정하기 위하여 비행 단계별로 구분하였음

- 따라서 연료의 소모량을 분석하여 온실가스 데이터 측정을 하는 방법은 유사하지만, 구체적인 사용 연료 산정 방법 및 프로그램의 목적성이 다르므로 본 기술개발 과제와의 중복성은 없음



<그림 6 > PEAT 도구의 구성도

○ 교통부문 온실가스 관리시스템(KOTEMS)[23]에서는 인벤토리를 통해 교통부문 배출 현황을 파악하여 통계 정보 관리 시스템으로서 항공부문에 특화된 산정방법론 적용에 따른 배출량 관리가 이루어지지 않고 있으며, 특히, 도로 부분의 경우 Tier 3 기반의 온실가스 배출량 및 감축량 산정도 가능하여 지자체 및 정부기관의 정책 결정 및 의사결정시 판단 기준을 제공하나, 항공부분 온실가스 배출량 산정 시 Tier2의 방법을 사용하여, Tier1, 또는 Tier 3b의 산정방법론으로 온실가스 통계 관리 체계 구축이 되어있지 않음

○ 또한 교통부문 온실가스 관리시스템(KOTMES)은 전 분야(도로, 철도, 항공, 해운 등)를 망라하여 시스템이 구축되어 항공부문의 온실가스 산정 및 예측효과를 미시적으로 접근하는데 한계가 있음

○ 통합안전정보시스템(National Aviation Resource Management Information, NARMI)는 항공 안전 정보 인벤토리 수집 목적의 시스템이나 항공 온실가스 배출량 인벤토리 기능이 일부 존재함

○ 따라서 실질적으로 온실가스 배출 현황을 통해 미래 온실가스 배출량을 예측이 필요하며, 항공사 및 국가 항공부문 온실가스 규제 및 협약 등이 증가되고 있어 이에 따른 온실가스 관리 범위의 확대가 요구됨

2. 연구수행 전략 및 방법론

○ 항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석을 위해 국내외 항공 환경 정책 및 모델 관련 사례조사 및 문헌 고찰을 통해 시사점 도출

- 사용자(항공사, 정부 등)면담, 관련 기관 방문, 설문조사, 자문회의 등 다양한 형태의 요구도 수집 및 조사 실시
- 국외 항공 환경 모델 선행연구 검토를 위해 문헌조사 및 국제세미나 등 실시
- 면담, 설문조사, 국내외 전문가 의견 등을 기반으로 정보요구도 우선순위 분석 실시
- 항공 온실가스 보고 포털 구축 시 고려 사항 및 연계사항 분석

○ 항공 온실가스 보고 포털 기초 데이터 목록 구축

- 기초데이터 요구도 조사 및 분석 결과를 기반으로 항공 온실가스 보고 포털 서브 모듈 구성(안) 제시
- 항공 온실가스 보고 포털 개발 시 서브 모듈에 따른 필수 기초 데이터 목록 구성(안) 제시

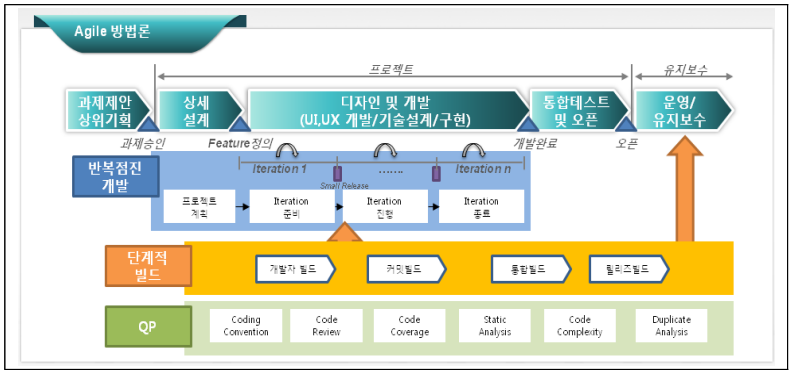
○ 항공 온실가스 기초 데이터 검증 방안 제시

- 다양한 상관분석을 통한 검증계획(안) 제시
- 항공 온실가스 기초 데이터 목록에 근거한 인벤토리 수집 · 저장 계획 수립

○ 시스템 아키텍처 기획(안) 제시

- 브레인스토밍을 통한 항공 온실가스 보고 포털 시스템 아키텍처 기획(안) 수립
- 사용자 요구도 조사를 기반으로 Web/PC 기반 시스템 옵션 제시

○ 본 시스템 개발에 적용하고자 하는 개발 방법론은 Agile 방법론으로 이는 반복적이고 점진적인 개발 진행을 통해 개발자와 개발팀이 협업을 최적화하여 SW의 품질을 확보할 수 있는 현장 중심의 방법론임. 이를 통해 개발과정에서의 시스템 변경사항을 유연하고 기민하게 대응할 수 있음



<그림 7 >시스템 개발 방법론

3. 연구수행과정 및 내용

(1)항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사

가) 국내외 항공 온실가스 모델 관련 사례조사 및 문헌 고찰

○ 국외 항공 온실가스 모델 현황 조사

- 유럽 CATE의 FAST: 주로 GDP 변수에 따른 Simple scenario approach 가능 항공 온실가스 산정 모델
- 유럽 EUROCONTROL의 AEM: 현 항공기 기종(BADA, Base of Aircraft data)에 따른 온실가스 배출량 산정 가능 모델
- 미국 FAA의 AEDT/APMT-E: 대용량의 input data를 통한 detailed approach 가능 항공 온실가스 산정모델
- 유럽 NLR의 AERO-MS: 항공 온실가스 산정, 미래예측, 시나리오, 정책적 감축 수단 분석, 대기질 분석 가능 모델

○ 국내 항공 온실가스 관련 시스템 현황 조사

- 통합항공안전정보시스템(National Aviation Resource Management Information, NARMI): 운항·관제·기술·자격관리·공항·항행시설 등 항공안전에 관련된 18개 시스템 내 항공 온실가스 관리 모듈이 있으며, 온실가스 배출량 데이터 분류는 항공사별, 기종별, 연도별로 구분하여 총배출량, 연료소비량, 수송실적을 구현하고 있음
- 교통부문 온실가스 통합관리시스템(Korea Transport Emission Management System, KOTEMS): 국가 차원의 교통부문(도로·철도·항공·해운) 온실가스 인벤토리 관리, 교통부문 온실가스 배출 주체별 감축목표의 수립 및 검증, 교통정책 및 교통사업의 온실가스 배출 평가 등을 운영하고 있음
- 항공기 비행절차 및 공역 효율성 평가 툴 개발 연구: 항공기 비행절차 및 공 역설계 프로그램에서 모듈로 설계된 '항공기 비행절차 및 공역 효율성 평가 툴 개발 연구'는 프로그램 내에서 비행절차가 설계된 후 항공기를 시뮬레이션하여 연료 소모량의 정도를 분석할 수 있는 프로그램

○ 데이터 요구도 조사

- 항공사 및 국가 항공부문 온실가스 규제 및 협약 등이 증가되고 있으며 이에 따른 온실가스 관리의 범위 역시 확대되고 있음
- 현재 항공사 온실가스 관리 범위를 관리규제에 따라 항공사별 Tier 적용 수준으로

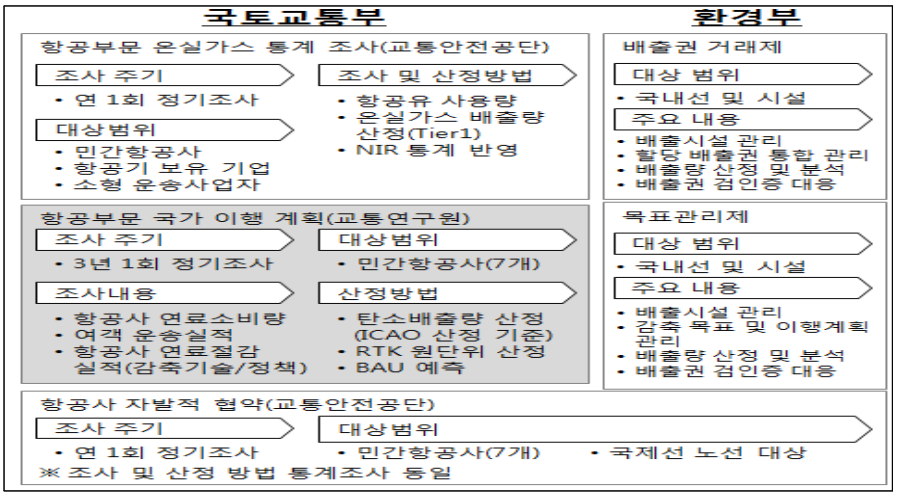
구분하면 다음과 같음

- 대한항공과 아시아나, 제주항공은 국내선 및 시설에 대해 온실가스 배출권거래제에 참여기업에 해당되어 Tier 1과 Tier 2 수준으로 배출량을 관리함
- 진에어, 에어부산, 이스타 및 티웨이는 국내선 및 시설에 대해 에너지/온실가스 목표관리제 해당 업체이며 대부분 Tier 1 수준으로 배출량을 관리함
- 국내 온실가스 제도는 매년 3월 명세서 검증 및 제출이 필요하며, 매년 12월에는 이행계획서를 제출해야함
- EU-ETS는 대한항공과 아시아나 항공에서 대응하였으나, 현재 본 제도가 진행되지 않고 있어 보류 중에 있음

<표 23 > 항공사 온실가스 관리 범위

항공사	Tier 수준	국내 온실가스 제도	항공 자발적 협약
대한항공	Tier 1& Tier 2	온실가스 배출권거래제 (국내선 및 시설)	국제선 노선에 대한 연료효율(RTK) 및 감축활동
아시아나			
제주항공			
진에어	Tier 1	에너지/온실가스 목표관리제 (국내선 및 시설)	
에어부산	Tier 1		
이스타	Tier 1		
티웨이	Tier 1		

○ 또한 국가 항공부문 온실가스 규제 및 협약에 따른 데이터 관리 범위 및 현황을 보면 국토교통부와 환경부가 담당하여 진행하고 있으며 이에 따라 제도별로 각 기관에서 조사를 진행하고 있음. 조사주기 및 조사내용 및 산정방법은 다음과 같음



<그림 8 > 국가 항공부문 온실가스 규제 및 협약 관리범위

○ 항공부문의 배출량 산정 방법은 IPCC와 ICAO에서 제시한 방법을 사용하고 있으며 각각의 배출량 산정방법론은 다음과 같음

IPCC	Tier1	**국내 운항 온실가스 배출량 = 국내 운항 LTO 배출량(LTO당 배출계수 x 국내운항 LTO 횟수) + 국내 운항 Cruise 배출량(배출계수 x 국내운항 Cruise 연료 사용량)**
	Tier2	**국내운항 온실가스 배출량 = 국내운항 LTO 배출량(∑ [항공기종 별 LTO 당 배출계수 × 항공기종 별 국내운항 LTO 횟수]) + 국내운항 Cruise 배출량(배출계수 × 국내운항 Cruise 연료 사용량)**

ICAO

구분	Year	Total RTKs	Inter -national RTKs	Total fuel (litres) Bio fuel(0%)	International fuel(litres) Bio fuel(0%)	Total CO_2 emissions (kg)	International CO_2 emissions (kg)
데이터 출처	-	한국항공진흥협회, 항공통계		우리나라 국적항공사 실제 연료 사용량		-	
산정 방식	-	-		-		국적사 연료사용량 × 3.157kg/kg fuel	

<그림 9 > 항공부문 온실가스 배출량 산정 방법론

나) 시사점

○ 국제 항공 온실가스에 대한 관심이 높아지면서, ICAO는 제37차 총회에서 항공 온실가스 감축 목표 및 이행방안 마련 등을 결의함

– 매년 연료효율 개선 2% 목표, 2013년까지 글로벌 온실가스 규제방안 마련 및 국가별 온실가스 감축 국가이행계획(State's Action Plans)[24] 제출 등 요구

○ 국외 항공 온실가스 관련 모델은 주로 각 국가의 정부 및 국제기구(ICAO CAEP)를 지원하기 위해 개발되어 운영 중에 있음

– 항공기 연료 소모량 및 항공 온실가스 배출량 산정뿐만 아니라, 미래 예측 시나리오 분석, 항공기 소음 예측, 공항 주변 대기질 관리 등의 모델 역시 개발·운영 중에 있음

– 현재 유럽에서는 약 10년 정도의 항공 온실가스 인벤토리를 기 구축하고 있으며, 이를 기반으로 다양한 온실가스 감축 시나리오 분석 연구를 진행하고 있음

○ 국내 항공 온실가스 관련 시스템은 교통부문 전반의 온실가스 배출현황을 파악하는 통계 정보 관리 시스템으로서, 항공부문에 특화된 산정방법론 적용에 따른 온실가스 관리 및 저감 수단에 따른 감축량 산정 등에 대해서는 관리하고 있지 않음

– 사용자 면담, 설문조사, 워크숍 등 다양한 형태의 자료로부터 본 과제 시스템 및 사용자 요구도 수집 · 조사

– 정부, 국내 항공사 등을 대상으로 사용자 면담 및 설문조사 실시

- 정부의 요구도: 국내 정책 수립 및 관리, 국외 정책 대응 활용
- 항공사의 요구도: 자발적 협약, 목표관리제, 배출권 거래제 등 국내외 정책 대응 및 항공 온실가스 관련 업무 대응

(2) 항공 온실가스 기초데이터 요구도 분석

가) 사용자 요구도 수집 및 조사를 통한 정보요구 개별사항 분석을 통한 시스템 반영

○ 항공 온실가스 통계(인벤토리) 구축

○ 국가이행계획: 항공 온실가스 배출량 산정, 온실가스 규제 방안 마련 및 저감 수단 수립 등 지원

○ 항공 자발적 협약: 각 항공사의 온실가스 배출량 산정, 저감수단별 저감량 예측, 관련 보고서 제출 등 지원

○ 국내외 배출권 거래제: 온실가스 배출량 산정, 저감수단별 저감량 예측, 추가 배출권 산정 등 지원

○ 목표관리제: 각 항공사의 온실가스 배출량 산정, 저감수단별 저감량 예측, 관련 보고서 제출 등 지원

- 2세부의 항공 온실가스 산정을 통한 인벤토리 구축 및 3세부 각 저감수단별 저감량 예측 부분과의 연계 필요

○ 항공 온실가스 기초데이터 목록 제시

- 사용자 요구도 분석을 통한 항공 온실가스 기초 데이터 목록 구축
  - 항공통계모듈: 국내/외 항공수송실적, 공항별·항공사별·국가별 항공 통계, 온실가스 배출량 통계
  - 정책지원모듈: 항공유 사용량(국적항공사의 국내선/국제선), 에너지 사용량(시설 에너지 사용량), 수송량(국내선/국제선, 여객/화물), NA 정보(배출권 할당량, 국가 NA 온실가스 배출량), 국제배출권 거래제 정보
  - 기본정보: 배출계수, 항공정보(공항, 항공기, 표준무게, 대권 거리 등), 에너지(단위환산계수, 국가발열량계수, 연료정보, 항공유비중관리 등)

○ 시스템 아키텍처 기획

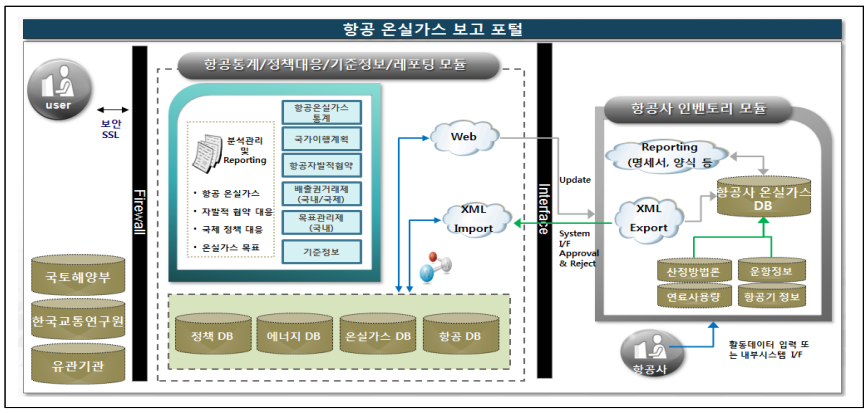
- 항공 온실가스 보고 포털은 각종 항공 온실가스 규제 및 정보를 관리하는 웹기반의 '항공통계, 정책대응, 기준정보, 레포팅 모듈과 항공사별 배출량 산정 및 보고를 지원하는 '항공사용 인벤토리 프로그램 모듈'의 서브 모듈로 구성
- 항공통계/정책대응/기준정보/레포팅 모듈
  - 국가인벤토리보고서(NIR)에 활용될 수 있는 항공유 및 국제벙커링 소비량을 연단위로 관리하며 이를 통해 Tier 1 배출량 산정
  - 각종 항공통계 데이터와 연계를 통한 맞춤형 정보 제공
- 항공사 인벤토리 관리 프로그램
  - 항공사 온실가스 관리체계 구축을 지원하고, 항공자발적협약 및 국내/국제 배출권거래제와 관련된 효율적 대응 업무 수행 지원
  - 에너지 DB 구축을 통해 배출권 할당에서 인증 및 제출까지의 배출권거래제 요구 지침을 만족하고, 에너지 관리 및 온실가스 배출량 산정, 감축사업 등 관련 업무관리 지원
- 시스템 개발을 위해 기능 정의, 기능확정, 개발, 테스트의 과정을 수행함
  - 세부 시스템에 대한 기능 및 모듈설계가 완료된 후, 기능 정의가 선행되고 개발팀의 검토 및 보완 작성 후 협의하여 확정함
  - 기능 정의에는 시스템 기능 정의, 기능 간의 데이터 및 사용자 작업 연계 흐름

설계를 진행하고 각 기능별 상세설계를 수행하는 화면설계 및 데이터 분류체계 정의를 통한 화면 컨텐츠 정의, 프로세스 및 계산식 정의가 포함됨

- 기능별 요구사항과 데이터 정의에 기반하여 화면에 표출되어야 하는 구체적 기능을 설계하고, 주요 기능을 중심으로 화면의 구성설계를 진행하고 시스템의 모습을 예측할 수 있는 프로토타입 개발 및 확정 후 실제 개발을 진행함
  - 프로토타입의 화면을 바탕으로 DB 설계
  - 실제 화면과 DB 프로시저 개발 수행
- 세부 시스템의 개발에 따라 단위 테스트 및 통합 테스트를 통해 시스템의 오류 및 수정사항을 확인하고 이를 보완함

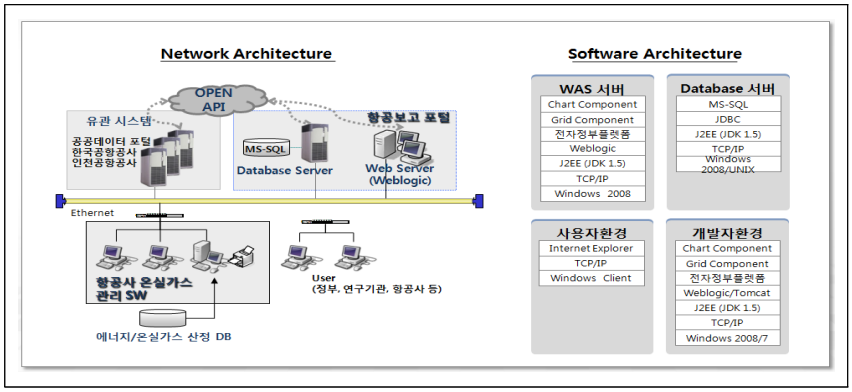
○ 기본 개념 설계

- 항공 온실가스 보고 포털은 각종 항공 온실가스 규제 및 정보를 관리하는 웹기반의 '항공통계, 정책대응, 기준정보, 레포팅 모듈과 항공사별 배출량 산정 및 보고를 지원하는 '항공사 인벤토리 모듈'의 서브 모듈로 구성되며, 당해연도에서는 목표시스템 구성안 기획을 통해 시스템의 구조 및 기능을 정의함
- 시스템 구축 환경은 개발될 시스템과 관련된 DB 시스템을 포함하고 있으며, 운용환경의 구성도는 다음과 같음



<그림 10 > 목표시스템 구성도

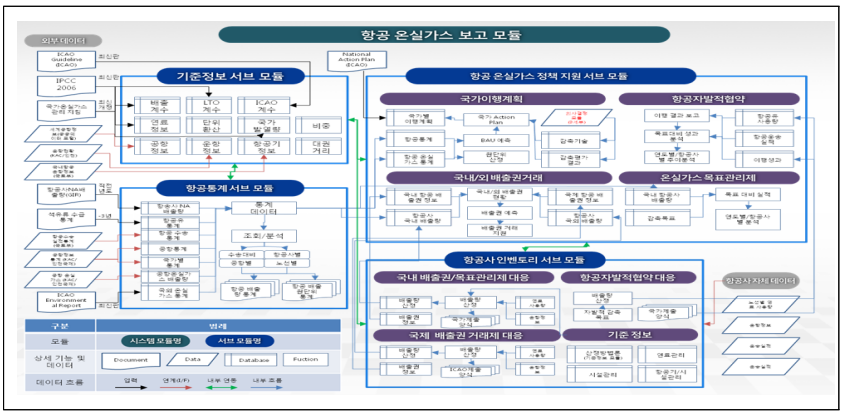
- 전자정부 플랫폼을 반영, 공공데이터 포털의 유기적 연계 및 표준 온실가스 산정 방법론을 적용하여 각종 항공 온실가스 규제 및 정보관리가 용이한 최신의 아키텍처로 구성



<그림 11 > 목표시스템 아키텍처

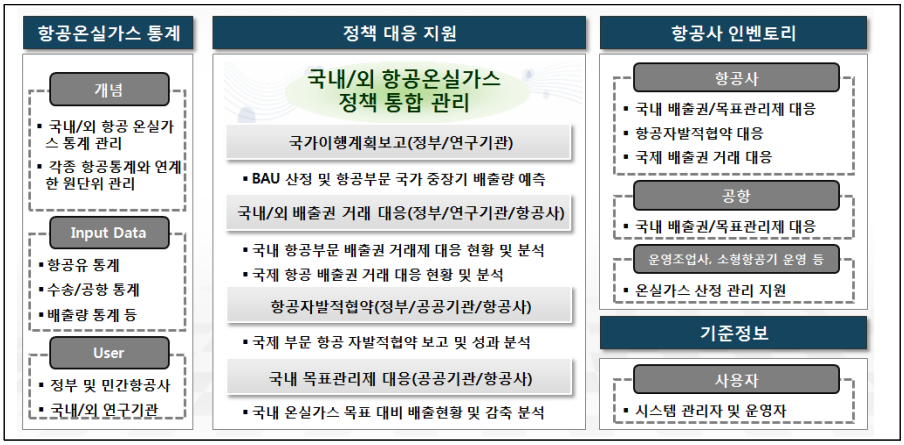
○ 기능 구조 설계

- 항공온실가스 보고포털은 각종 국내/외 관련 규제 정보 및 산정방법론에 대해 활동자료(연료량, 운항정보 등)을 통해 배출량, 감축목표 등에 대해 통합적으로 관리될 수 있도록 구현함
- 이는 항공통계/정책대응/기준정보/레포팅 모듈(기준정보 서브 모듈, 항통통계 서브 모듈, 항공 온실가스 정책지원 서브 모듈)과 항공사 인벤토리 모듈로 구성됨
- 항공 온실가스 보고 모듈은 각 서브모듈간 유기적인 연계와 내부 연동이 필요하며, 각종 외부 데이터와 항공사 자체 데이터, 배출량 산정 방법론, 배출계수 등의 다양한 문서들이 사용됨



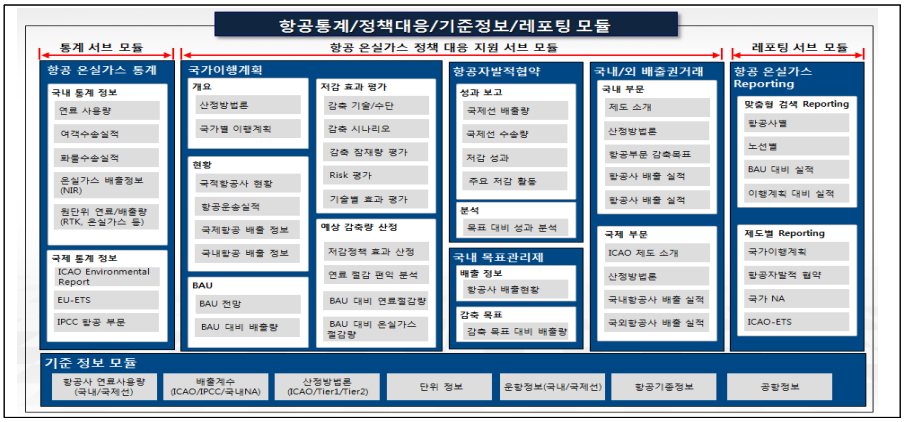
<그림 12 > 목표 시스템 데이터 연계 구조 정의

- 각 서브 모듈은 국내/외 항공부문 온실가스 정책 대응 및 수립을 위한 정보가 관리되며, 이에 따라 정부, 연구기관, 공공기관, 항공사 등의 다양한 분야에서 사용할 것으로 기대됨



<그림 13 > 서브 모듈별 개념 및 구조

– 항공통계/정책대응/기준정보/레포팅 모듈은 다시 항공온실가스 통계 서브 모듈, 항공온실가스 정책 대응 지원 서브 모듈, 레포팅 서브 모듈과 기준정보 서브 모듈로 구성됨



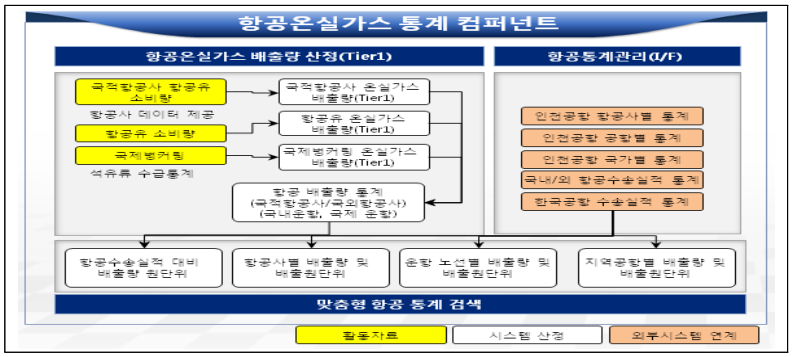
<그림 14 > 항공통계/정책대응/기준정보/레포팅 서브 모듈 설계 화면

○ 항공온실가스 통계 서브 모듈

– 국가인벤토리보고서(NIR)에 활용될 수 있는 항공유 및 국제벙커링 소비량을 연단위로 관리하며, 이를 통해 Tier 1 배출량 산정을 수행하고 각종 항공 통계 데이터와 연계를 통한 맞춤형 정보 제공 기능 개발로 핵심 기능은 다음과 같음

- 항공온실가스 배출량 산정(Tier 1) : 국적항공사의 항공유 소비량 및 항공유, 국제벙커링의 연간 관리 및 Tier 1 산정방법론 통한 온실가스 배출량 자동 산정
- 항공통계관리(I/F) : 공공데이터 Open API를 통한 Link or Rest 유형의 XML/Jason 연계로 대상 시스템은 국토교통부, 한국공항공사, 인천국제공항공사 등임
- 맞춤형 통계 검색 : Tier 1 온실가스 배출량을 각종 항공통계를 활용하여 배출원단위 및 배출량을 검색하고 검색항목 및 조건에 따라 조회가 가능한 사용자

중심의 편의성 고려한 UI 설계

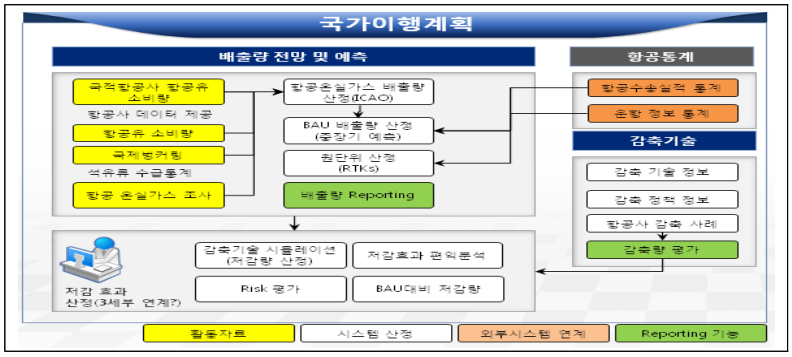


<그림 15 > 항공온실가스 통계 기능

○ 정책대응지원 서브 모듈

– (국가이행계획) 3년마다 보고하는 ICAO Action Plan의 대응을 위해서 ICAO 산정 방법론 적용을 통한 온실가스 배출량 산정 및 BAU 전망/예측과 각종 항공 감축 기술 및 정책에 대한 저감량 평가 기능 개발로 핵심 기능은 다음과 같음

- 배출량 전망 및 예측 : 항공온실가스 통계 정보 및 각종 항공통계 정보 연계 기능 구현 및 ICAO 산정방법론 적용, BAU 전망 예측 산정 기능 구현, 항공통계를 통해 배출량 및 RTKs 원단위 산정과 배출량 Reporting 기능 구현
- 감축기술 및 감축정책 관리 : 항공부분 감축기술 및 감축 수단을 DB화 하여 관리하며 자발적 협약 연계를 위해 항공사 절감 사례에 대한 등록 및 관리 기능 개발, 추후 3세부 모듈 연계를 가정한 감축량 평가 시뮬레이션 기능 구현



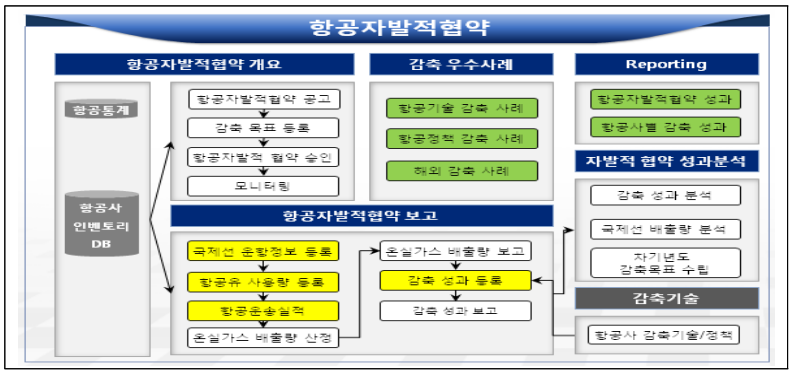
<그림 16 > 국가이행계획 기능

– (항공자발적협약) 국토교통부에서 시행하는 국제선의 온실가스 감축을 위한 항공자발적협약제도 운영 전반을 지원하는 기능을 구현하며, 보고 및 산정을 통한 성과분석 기능 개발로 핵심 기능은 다음과 같음

- 개요 : 항공자발적협약에 대한 제도 소개 및 제도에 대한 운영을 위한 기능 구현, 각종 언론 및 공지사항에 대한 자료 공유 기능 구현(커뮤니케이션)
- 보고 : 국제선에 대한 운항정보, 항공유 사용량, 운송실적 등 활동도 등록 기능 구현과 이를 통한 온실가스 배출량 및 RTKs 원단위 시스템 자동 산정, 감축성

과에 대해 감축기술과 연계한 정보 등록 및 관리 기능 구현

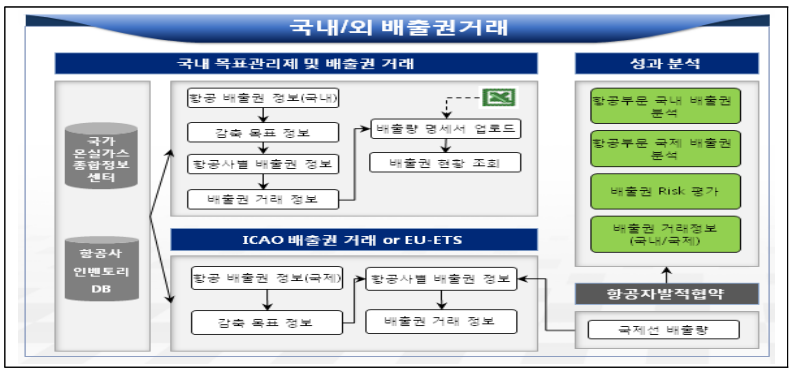
- 성과분석 : 항공자발적협약에 대한 목표 대비 감축성과 등에 대한 분석 기능
- 감축 우수사례 : 국내외 항공기술/정책 감축사례 관리



<그림 17 > 항공자발적협약 기능

– (국내외 배출권 거래제) 국내에서 시행중인 배출권 거래 및 ICAO(또는 EU-ETS)에서 시행 예정인 배출권거래제에 대한 국적항공사의 피해 및 손실을 최소화하기 위한 정책적 대응 마련을 위한 정보관리 기능 구현으로 핵심 기능은 다음과 같음

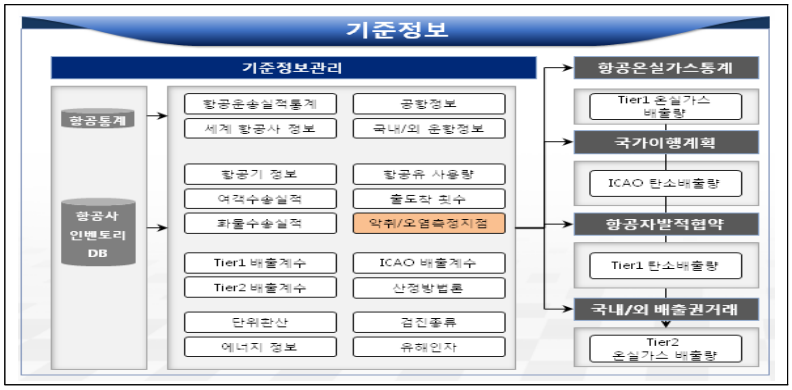
- 국내 목표관리제 및 배출권 거래 : 국적항공사 온실가스 할당 배출권 및 감축목표 정보관리와 항공사별 연도별 배출실적 등록 및 관리, 기별 배출권 인증량 및 항공사 배출권 거래 정보 관리
- ICAO 배출권 거래(또는 EU-ETS) : ICAO 또는 EU-ETS에서 시행 예정인 국제항공부문 배출권 거래제도 대응을 위한 기능 구현과 '16년 이후 제공되는 제도운영 지침에 따른 기능 구현
- 성과 분석 : 국내/외 배출권에 대한 통합정보 관리 및 Risk 평가 기능 구현



<그림 18 > 국내/외 배출권거래 기능

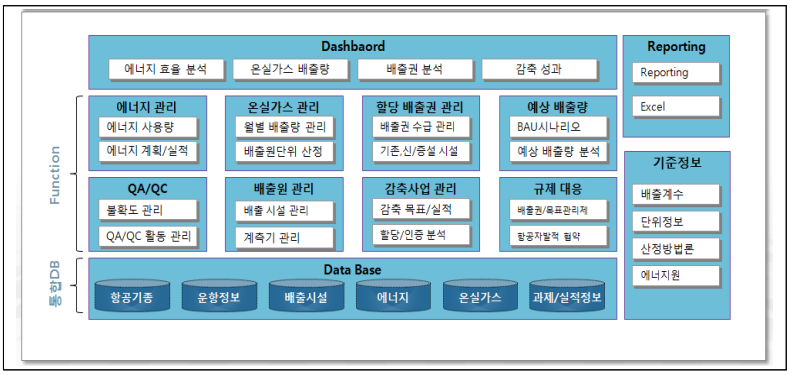
○ 기준정보 모듈

– 각 모듈별 시스템을 지원할 수 있는 기준정보 관리 모듈을 통합적으로 관리



<그림 19 > 기준정보 기능

- 항공사 인벤토리 서브 모듈은 항공사 온실가스 관리체계 구축을 지원하고 항공자발적협약 및 국내/국제 배출권거래제와 관련된 효율적 대응 업무를 수행하도록 프로그램을 개발함



V

<그림 20> 항공 온실가스 인벤토리 서브 모듈 화면 설계

○ 에너지/온실가스 DB 구축의 운용 시나리오는 다음과 같음
- 1단계 : 연료 모니터링 및 연료소비(연료소비 분석, 연료효율 분석, 연료계획 대비 실적 분석) 분석
- 2단계 : 활동량(월별 활동량 등록현황 및 월별 활동량 실적) 관리
- 3단계 : 배출량(월별 온실가스 배출량) 관리 및 배출량 분석, QA/QC
- 4단계 : 성과 관리(목표 및 실적) 및 보고관리, 기록관리

○ 항공사 배출권 거래 및 목표관리제 대응을 위한 운용 시나리오는 다음과 같음
- 1단계 : 할당 배출권 관리
- 2단계 : 에너지/온실가스 DB의 활동량 관리를 통한 배출권 수급(기존 시설 할당, 신증설 할당, 추가 할당)관리 및 감축사업(감축사업 현황, 모니터링 계획, 산정방법론) 관리
- 3단계 : 예상 배출량(BAU 시나리오, 중장기 배출 예측) 산정
- 4단계 : 규제대응(배출권 인증/제출) 및 배출권 거래(시장정보 및 매매관리)
- 5단계 : 기록관리 및 보고관리(배출권 및 감축사업)

(3) 연구성과

○ 당해연도는 항공 온실가스 배출정보 관리 시스템 개발을 위한 요구도 조사 및 분석이 주요 연구 내용으로 이를 위해 항공배출정보 Data 현황을 조사하고, 항공배출정보시스템 기본 개념을 설계하고 이를 바탕으로 기능 구조를 설계함. 또한 기획된 시스템 구조 및 기능에 대해 화면 기초 설계를 수행하고, 프로토타입 개발을 통해 향후 구현될 주요 기능에 대한 사전 평가 및 차년도 설계와 구현의 기반을 구축함

○ 본 시스템 개발을 위해 사전 시스템 요구사항을 정리하면 다음과 같으며, 본 요구사항을 시스템 개발에 반영하여 개발에 착수함

- 항공 온실가스 관련 업무(배출권거래제, 목표관리제 등) 보고서 제공
- 항공 온실가스 산정 관련 그래프 제시
- 시스템 간 데이터 호환 가능
- 온실가스 보고포털에 대해 항공 온실가스 관련 업무(배출권거래제, 목표관리제 등) 포함
- 온실가스 보고포털의 사용자 입력 및 편의기능의 제공
- 온실가스 보고포털의 네트워크 기반 정보보호
- 온실가스 산정시 기준값 입력 및 표준 데이터 이용 가능

○ 향후 시스템 개발이 완료되면 국가 항공온실가스 배출정보의 통합 관리체계가 구축되어, 국가의 각종 규제 및 협약에 본 시스템을 이용한 대응이 가능함

○ 또한 정확한 배출정보 산정에 따라 사용자의 각종 정책 수립, 집행, 효과분석 등의 근거자료로 활용이 가능해짐

- 항공온실가스 배출량 예측의 근거자료로 정부 관리주체인 국토교통부 담당자들이 성과지표와 목표를 설정하여 계획을 수립하는데 활용할 수 있음
- 배출시설 관리 및 감축목표, 이행계획 관리와 배출량 산정 및 분석을 통해 목표관리제 및 배출권 거래제 등의 온실가스 규제 대응을 위한 근거자료로 활용 가능함

※ 자세한 사항은 한국교통연구원으로 문의부탁드립니다.

다. 한국과학기술원(KAIST)

1. 관련분야의 국내외 기술개발 현황

○ 현재 국내에는 항공운송부문의 온실가스 배출량 산정을 위한 알고리즘이 없으며, 온실가스 정보 제공을 위해서는 교통안전공단의 '배출량 조사사업'과 '교통부문 온실가스 관리시스템 (Korea Transport Emission Management System, KOTEMS)', 국토교통부의 '항공안전종합정보시스템 (National Aviation Resource Management Information, NARMI)'이 사용되고 있음

가) SAGE (System for assessing Aviation's Global Emissions)

○ 온실가스 미국 FAA에서 개발한 모형으로서, 항공기의 연료 소모량과 CO, HC, NOx, CO2, H2O, SO2 등의 배출량을 산정함. 입력 자료는 획득 가능한 수준에 따라 지역별로 상세 정도에 차이가 있는데, 북중미와 유럽을 운항하는 항공기의 경우 모든 일정함. 궤도, taxi 타임 등 상세자료가 입력되는 반면 나머지 지역은 일정 자료만 입력됨

나) AEM (Advanced Emission Model)

○ EUROControl에서 개발한 모형으로서 항공기의 연료소모량과 CO2, H2O, SOx, NOx, HC, CO, 벤젠, VOC, TOG 등의 배출량을 산정함. 입력 자료는 항공기, 엔진, 연료연소비율, 배출률 자료 외에 콜 사인, 출발시간, 출발 도착공항, 기종 등을 포함한 전반적인 비행 및 일정자료, 비행고도, 대지속도, 상승/하강비율 등 비행자료임

다) AERO2K

○ QinetiQ(민간기업)이 DLG(독일), 맨체스터대, 네덜란드 국립항공우주연구소(NLR), 영국무역산업부, 에어버스사, 유로콘트롤 등과 함께 개발함

라) FAST (Future Aviation Scenario Tool)

○ 영국 무역산업부에서 개발하였으며, 입력 자료는 항공기 이동자료(AERO2K의 데이터베이스 사용), 60종의 항공기의 연료사용량 특성 등임 출력자료는 3D 그리드 상에 나타나며, GCM, CTMs과 같은 다른 모형을 이용하여 대류권의 오존 증가, 비행운에 의한 복사강제력 등을 산정하는데 사용됨

마) INM (Integrated Noise Model)

○ SAE AIR 1845 표준 알고리즘 및 프레임워크를 기반으로 개발되었으며, 오랜기간의 측정을 통해서 구성한 NPD(Noise-Power-Distance) 데이터베이스92)를 바탕으로 항공기의 운항경로를 결합하여 공항주변의 소음지도를 예측함

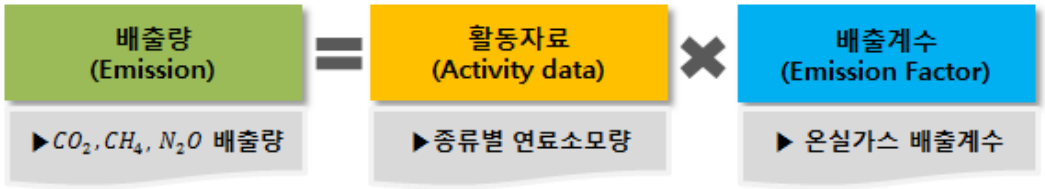
바) AEDT (Aviation Environment Design Tool)

○ 공간과 시간영역에서 항공기 성능을 모델링하는데 사용되는 소프트웨어이며 연료연소, 배기가스, 소음 계산 등을 수행함. 단일 항공편으로부터 지역, 국가, 전 세계적 시

나리오 레벨에 대한 완전한 게이트-게이트 해석이 가능함. 현재 항공기와 관련된 연료연소, 소음, 배기가스의 상호연관성을 분석하기 위해 FAA에서 사용 중임

사) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 가이드라인

○ IPCC 가이드라인의 온실가스 배출량 산정 방법론에서는 필요 활동자료 및 배출계수의 특성에 근거한 복잡성에 따라 크게 Tier 1, 2,3로 구분하며, 기본적으로 온실가스 배출량은 활동자료와 배출계수의 곱으로 산정함



<그림 21> IPCC 가이드라인 내 기본 배출량 산정 방법론

○ 지상조업장비와 같은 비도로 수송부분 배출원에 대한 IPCC 가이드라인의 배출량 산정방법은 아래 표와 같이 분류할 수 있음

<표 24> IPCC Tier 수준별 비도로 수송부분 배출량 산정방법과 주요변수

등급	주요변수	특징	평가
Tier 1	연료 종류별 배출계수 (IPCC default 값)	계산이 쉬움 연료소모량만으로 산출가능	국가별 배출 특성 반영이 어려움
Tier 2	장비별 연료별 국가 고유배출계수	차종별 배출특성 반영	차종별 연료소모량과 배출계수 확보 필요
Tier 3	장비별 마력별 배출계수 장비별 가동시간 장비별 마력수, 부하율	정확한 배출량 산출가능 장비별 상세배출계수 및 운행자료 필요	Emission model 필요 (예) US EPA NONROAD

* 출처 : 온실가스물질과 배출량 산출방법론, 수원대, 장영기

가) 미국 FAA EDMS (Emission and Dispersion Modeling System)

○ EDMS는 공항시설과 항공기의 대기오염물질 배출량 산정을 위한 시뮬레이션 모델로써 미국 FAA(연방항공청)에서 항공기, APU, 지상지원장비, 지상접근차량 등에 대하여 공항과 그 대기질을 평가하고, 항공 산업을 감독하는 도구로 사용되고 있음

○ EDMS 내 지상조업장비에 대한 배출량은 조업장비 별 평균출력, 부하율, 배출계수, 가동시간, 열화계수 등의 장비특성 입력변수를 적용하여 산정됨 하지만 배출량 산정 시에 일반적으로 EDMS 내 Default 값이 사용되며 이는 대부분 각 항목별 평균값이므로 실제 결과와 상이할 수 있음

○ EDMS에서 지상조업장비에 대한 배출량 산정에 필요한 자료는 미국 EPA (Environmental Protection Agency) NONROAD model의 배출량 산정방법과 배출계수를 활용하며 사용자에 의해 정의 및 수정이 가능함

나) 항공운송 업종 온실가스 배출량 산정 Good Practice (에너지관리공단)

○ 이동연소 배출원에서의 배출량은 연료원 별 배출계수를 이용하여 CO2, CH4, N2O에 대해 산정하며 수송수단 별 연료 사용량의 활동자료 관리 여부에 따라 Simple과 Advance Method로 구분됨

○ 연료원 별 단위 연료당 온실가스 배출량을 나타내는 배출계수를 이용하여 배출량을 산정함. 이 때 CO2는 국가 배출계수를 사용하며 CH4와 N2O는 국가 배출계수가 존재하지 않으므로 IPCC 2006 가이드라인의 Default값을 사용함

다) 온실가스 · 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침 (환경부)

○ 지상조업장비와 같은 비도로 차량에 의한 온실가스 배출량은 별도의 구분 없이 지침 내 이동연소(도로) 부문의 산정방법에 의해 정해지며 CO2, CH4, N2O에 대해 배출량을 산정함

○ Tier 1 ~ 3 별 이동연소(도로)의 배출량 세부산정 방법론이 제시됨

① Tier 1: IPCC 가이드라인 기본 배출계수 + 연료종류별 소모량

② Tier 2: 국가 고유 배출계수 + 연료종류별, 차종별, 제어기술별 연료소모량

③ Tier 3: 차종별, 연료별, 배출제어 기술별 고유 배출계수 + 차량주행거리

1) 현 알고리즘의 한계점

○ 미국이나 EU 등이 개발하여 활용 중인 지구단위의 모형에는 지나치게 방대한 양의 자료가 필요하여 구축과 자료수집에 큰 비용이 소요되는 반면 정책적 활용도는 Emission Inventory (연료소비량 및 온실가스 배출량) 계산에 국한되어 있고 ATM (자동항로관리), 항로 변경, 신기종 도입 등 상세한 분석에는 활용이 제한적임

○ 또한 Cargo Flight, Regional Aircraft 등에 대한 시뮬레이션 모델은 국제적으로 개발되어 있지 않아 우리나라와 같이 단거리 비행에 대형 항공기가 쓰이는 경우, 도시간 소형 항공기 운항이 필요한 경우, 대형 화물항공사의 온실가스 배출량 할당이 국제적으로 이루어질 경우 그에 대한 데이터베이스나 검증된 결과를 절실히 필요함 국내 기관에서 보유하고 있는 항적, 기상 자료들과의 일치성과 타 국내 환경 분석 시스템과의 연동성 및 향후 확장성을 고려하면 외국 프로그램 (Aero2K, AEDT 등)의 사용은 제한적임

○ 지상조업장비에 의한 배출량 산정은 대부분 이동연소 내 비도로 부문으로 분류되어 산정되어 있으며, 실제 적용되는 방법론은 전체 연료소모량과 배출계수의 곱을 이용한 Tier 1급 산정방식이 대부분임. 따라서 본 과제 내에서 달성하고자 하는 지상조업장비의 배출량 산정 방법으로는 적합하지 않음. 일반도로 이동차량에 대한 온실가스 배출량 산정 알고리즘은 기존에 여러 국내외 관련 문건들에서 제시되었지만, 지상조업장비에 초점이 맞추진 배출량 산정은 거의 시도된 바가 없음 또한 EDMS 내에서는 지상조업장비 별 평균출력, 부하율, 배출계수, 가동시간 등의 장비특성별 입력변수를 고려해서 배출량이 산정되지만, 이는 대부분 EDMS 내 Default 값을 사용하며 배출량 산정을 위한 요소항목들의 평균값을 적용하기 때문에 그 결과가 실제와 상이

할 수 있음

2. 알고리즘 세부 요구사항 정의

○ 주 수요자인 항공사들의 시스템 기능 요구사항(SSRS)을 파악하고, 이를 알고리즘 내에서 어떻게 실현화할지를 정의하는 세부 알고리즘 요구사항은 아래와 같음

○ 핵심(core) 요구사항

- 비행 궤도 정보를 사용하여 높은 정확도를 가진 IPCC Tier 3b급 배출량 산정 기능과, 기종점 자료를 활용하여 신속한 거시적 분석이 가능한 Tier 3a급 기능을 둘 다 구현해야함
- 온실가스 배출량 산정의 정밀도 향상을 위해 항공기와 엔진 기종의 공기역학적 성능 정보 및 대기조건 정보가 배출량 산출에 활용되어야힘
- 지상조업장비 배출량의 경우 항공기종 별 장비 별 연료소모량 DB 구성이 선행된 후, 각 단일비행의 배출량 산정 시 상응하는 기종점 공항 및 항공기종에 대한 투입 조업장비의 연료소모량을 DB에서 호출하여 계산하는 방식으로 처리되어야함

○ 성능 요구사항

- Tier 3a 기능에서 구현되는 표준궤적은 실제 비행궤도의 unbiased estimator (불편추정량)이여야함
- Tier 3b 기능에서 구현되는 연료사용량 계산은 일치한 조건에서의 실제 연료사용량과의 편차가 최소화되어야함
- 기능 요구사항
- 알고리즘은 단일비행 분석에서의 출력자료가 시간별, 운항단계별, 위치별로 분류 가능해야함
- 알고리즘은 다수비행 분석에서의 출력자료가 기종별, 항공사별, 날짜별, 기종점별로 분류 및 합계가 가능해야함

○ 구조 요구사항

- 알고리즘은 각 기능이 명확하게 분리되어 있고 관리, 확장이 쉽게 가능한 모듈형 구조로 설계되어야함

○ 위와 같이 사용자 요구사항과 기존 시스템들의 구조분석을 통해 알고리즘의 세부 요구사항을 확정하였으며, 이를 바탕으로 알고리즘의 핵심개념 및 구조가 설계되었음

3. 알고리즘 개발 범위 및 목표

○ IPCC Tier 3급 고정밀 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발하는 것이 본 과제의 목표이며, Tier 3 방법론은 비행기와 엔진 특성 공기역학적 성능 정보를 이용하여, 각 비행 구획의 총 궤도를 통해 배출량과 연료 연소를 계산하는 고정밀 배출량 산정 방식을 일컬음. Tier 3는 기종점 자료, Tier 3b는 총 비행 궤도 정보를 사용하며, 본 알고리즘은 이 두 가지를 모두 수행하게 됨

구 분	산정 방법	비고
Tier 1	온실가스 배출량 = 연료 사용량 * 배출 지수	간단/단순
Tier 2	3,000피트 이하(이착륙)과 이상(순항)으로 구분 총 온실가스 배출량 = LTO 횟수 × LTO 배출계수 + (총 연료사용량 - LTO연료사용량) × 순항배출계수	현재 국가 항공부문 온실가스 배출량 통계 수준(KOTEMS)* → ICAO 규제수준 대응 불가
Tier 3a	출·도착지 공항간 자료 이용 총 온실가스 배출량 = CO2 배출량(항공유 탄소함량x 비행단계별 연료사용량) + 기타 배출량(CH4, N2O)	Detailed CORINAIR Methodology (공개 자료)
Tier 3b	총 비행궤도 정보(총 비행항로 정보) 이용 → 항공기, 엔진성능, 항적 등 고려하여 정책집행 및 이행이 가능한 모형 (SAGE, AERO2K 등)	미국 FAA 등 일부 선진국

*KOTEMS(교통부분 온실가스 관리시스템, Korea Transport Emission Management System)

<그림 22> IPCC의 온실가스 산정 등급

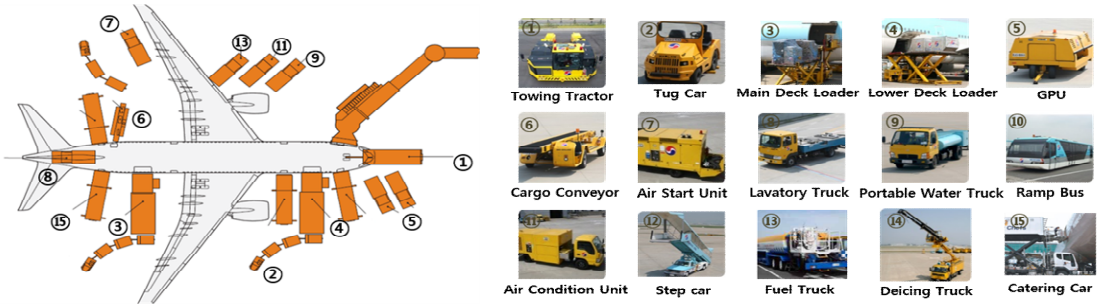
○ 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘은 상호 간에 영향을 미치는 공기역학적 요인들을 고려하여 하위 Tier보다 더 정확한 연료 소모량 및 온실가스 배출량을 산정함. 연료사용량 자료에 의존하는 top-down 방식의 Tier 1,2에 비해 실제 비행기 운행 자료를 활용하는 bottom-up 방식의 Tier 3b 알고리즘은 항공 교통 변화, 항공장비 교체, 혹은 다른 가변 입력 시나리오를 고려한 입력 자료를 사용해 다이내믹한 미래 예측 및 시나리오 분석을 가능케 함. 단일 비행의 경도, 위도, 고도와 시간에 따른 구간별 온실가스 배출량 산정이 핵심 기능임. 활주로-활주로 구간의 표준화된 항로 또는 입력받은 레이더 항적 데이터를 이용하여 단일 비행 시 각 비행 단계를 구분하고, 비행 성능, 연료 연소량, 각 온실가스 배출량을 산정함. 또한, 사용 중인 DB 상에서 정의할 수 있는 단위 비행 조건에 대하여, 해당 단위 비행을 구성하는 단일 비행별 결과를 취합하여 비행기, 엔진, 공항, 지역과 세계적 총량의 항으로 출력을 지정할 수 있음

○ 지상조업 개념 및 정의

- 지상조업이란 항공기가 공항에 착륙한 이후 이륙할 때까지 항공기 운항을 위해 제공하는 제반 지원업무를 의미함
- 지상조업을 세부적으로 살펴보면, 1) 항공기가 주기장까지 도착할 수 있도록 유도하는 업무와 2) 항공기가 주기하는 동안의 점검, 여객의 탑승 및 하기, 화물의 상·하역, 항공기 출발을 위한 급유 및 동력지원, 항공기 청소, 기내식 및 식수 공급 업무가 있음

<그림 23> 지상조업업무 및 순서도

– 항공기 입출항에 필요한 지상조업업무를 수행하기 위해서는 그림 2와 같이 각 서비스별로 여러 조업장비들이 필요하며 항공기종, 규모 등에 따라 투입되는 종류가 다양함. 예를 들어 여객기의 경우, 화물기에 비해 화물 상·하역을 위한 조업장비 수와 작업소요시간이 적은 반면에 승객탑승. 기내식 및 식수 공급을 위한 장비는 추가적으로 투입되며 작업시간이 길어짐



①	Towing Tractor	견인 또는 Push back
②	Tug Car	탑재용기 이동
③	Main Deck Loader	대형화물 탑재 및 하기
④	Lower Deck Loader	화물 탑재 및 하기
⑤	Ground Power Unit	항공기 전원 공급

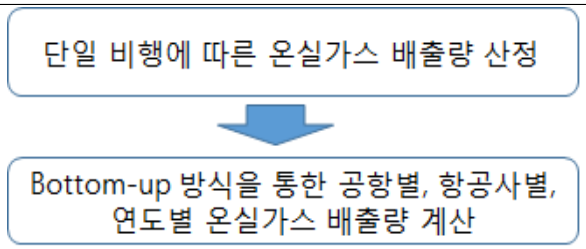
⑥	Cargo Conveyor	Bulk 화물 상하역
⑦	Air Start Unit	엔진 시동지원
⑧	Lavatory Truck	기내오물 처리
⑨	Portable Water Truck	기내 음용수 공급
⑩	Ramp Bus	승객 이동

⑪	Air Condition Unit	항공기 난방 지원
⑫	Step car	승객 탑승 및 하기
⑬	Fuel Truck	항공기 급유
⑭	Deicing Truck	항공기 제빙
⑮	Catering Car	기내식 공급

<그림 24> 지상조업 장비 목록 및 해당 지원업무

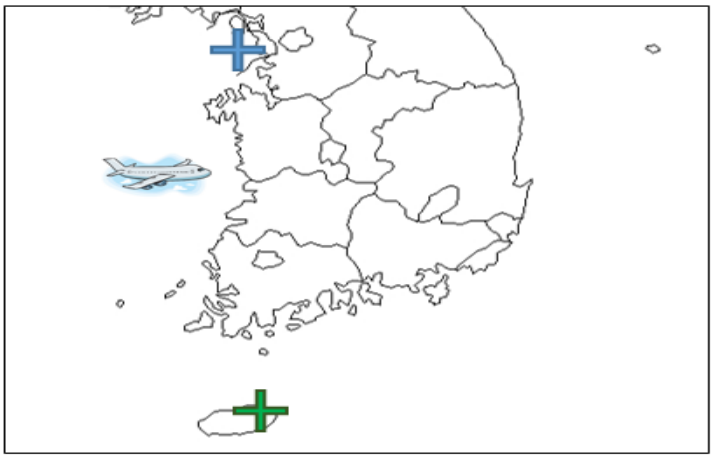
1) 알고리즘 운용

○ 단일 비행에 대한 온실가스 배출량 산정을 기본으로 공항별, 항공기별, 연도별 온실가스 배출량 계산하는 Bottom-up 방식임. 가장 중요한 것은 비행단계별 연료 사용량을 가능한 정확하게 계산하는 것임. 단일 비행에서 이 비행단계별 연료 사용량을 구하되, 총 비행궤적 정보가 있다면 이를 통해 비행단계를 나누어 계산 하게됨. 공항별, 항공사별, 연도별 온실가스 배출량은 모든 단일 비행의 온실가스 배출량의 합으로써 나타탐.



<그림 25> 온실가스 배출량 산정 방식

○ 단일 비행에 따른 온실가스 배출량 산정을 위한 최소 필요조건은 다음과 같음. 단일 비행에 따른 온실가스 배출량 산정을 위해서는 비행조건(출발 공항, 도착 공항, 항공기 종류 등)을 구체적으로 지정해야함. 또한 지정된 비행조건을 정의할 수 있는 DB(공항 관련, 항공기 특성 등)와, 해당 비행에서 배출될 온실가스를 산정할 수 있는 DB(각 온실가스의 단위 배출량 계수 등)가 존재해야힘



<그림 26> 김포, 제주 공항의 알고리즘 운용 예

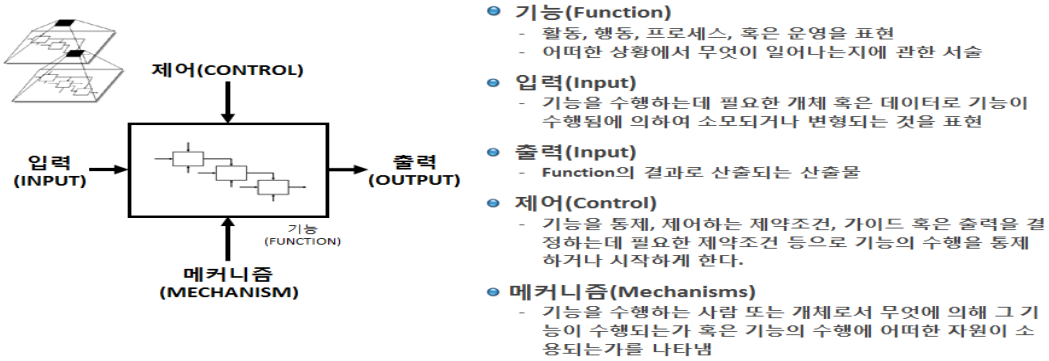
○ 알고리즘 운용 예를 구성하면 다음과 같음

- 단일 비행 예제의 경우, 김포 출발, 제주 도착, 보잉 737-800기를 이용한 온실가스 배출량 산정하는 과정을 들 수 있음. 사용자가 김포 공항, 제주 공항, 보잉 737-800을 입력하면 온실가스 배출량 산정 알고리즘은 김포-제주 간의 표준 항적을 설정하고, 각 비행 단계를 나눈 뒤, 공력 특성, 추진력, 항력, 날씨 등을 고려하여 비행 성능, 연료 소모량, 온실가스 배출량을 계산하게됨
- 레이더 항적 데이터가 주어진 경우에 대해, 인천 출발, 제주 도착, 보잉 737-800기를 이용한 온실가스 배출량 산정 알고리즘은 주어진 항적 데이터를 반영하여 각 비행 단계를 나눈 뒤, 비행 성능, 연료 소모량, 온실가스 배출량을 계산하게됨
- A항공사의 국내선 항공기들의 온실가스 배출량 산정하는 예제임 사용자가 국내선 스케줄에 따른 출발 공항/도착 공항/항공기 종류/항적 데이터 등을 입력함 온실가스 배출량 산정 알고리즘은 각각의 단일 비행에 따른 온실가스 계산 후, 그들을 모두 더하여 제공함

2) 알고리즘 구성

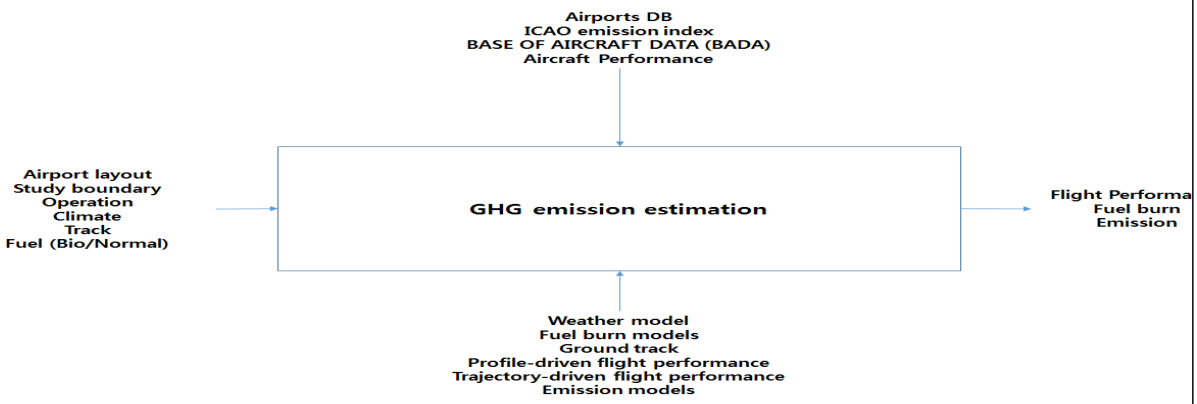
○ 본 알고리즘의 구성을 표현하기 위해 'IDEF0' 라는 방법론을 사용하였으며, 이해를

돕기 위하여 아래에 간략히 설명함. IDEF0는 시스템의 의사결정, 행동, 활동을 모델링 할 수 있도록 디자인된 방법으로 계층적인 분해를 통한 다양한 레벨의 기능에 관한 설명을 지원함. 또한, 도형적인 표현방법을 통해 활동의 수행과 관련된 입력과 출력, 제약조건과 활동 수행의 주체를 직관적으로 파악하게 하는 장점이 있음



<그림 27> IDEF0의 표현방법과 의미

○ AEDT의 Technical manual, User manual, ASIF reference guide 조사/분석 및 SAGE manual을 통하여 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘이 기본적으로 갖춰야 할 입출력/제어 상수 등을 정리하고, 알고리즘의 블록 다이어그램을 설정함. 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘은 다음과 같은 입/출력, 제어 상수 및 DB로 이루어져 있음.



<그림 28> 온실가스 배출량 산정 모듈의 입출력 흐름

○ 항공 온실가스 배출량 산정을 위해 다양한 입력들을 필요로 함

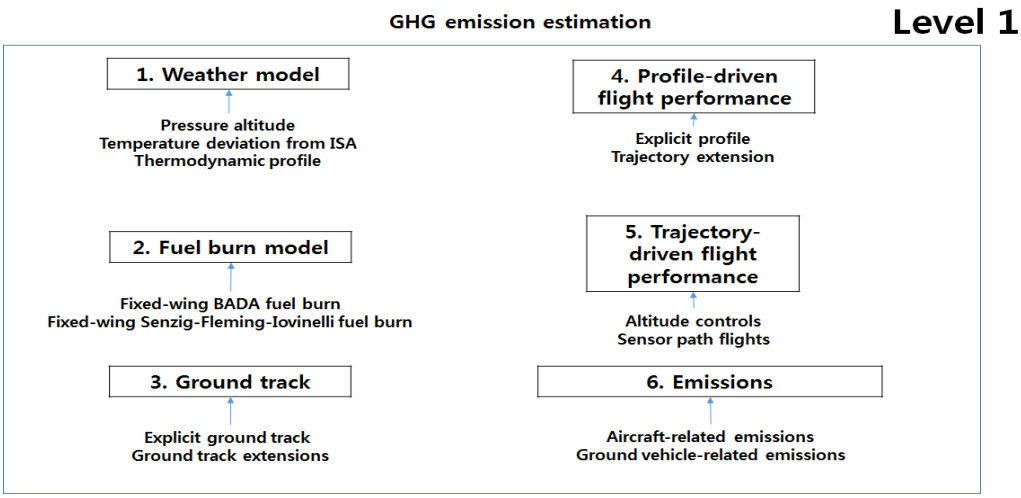
- Airport layout: 출발/도착 공항의 정보. 전체 항적의 시작 및 끝 부분의 연결에 영향을 미침 이착륙 단계에서의 기상 특성, 지리 특성 등을 결정하는 중요한 정보임
- Study boundary: 조사하고자 하는 범위를 지정하여 관심 영역에 대한 온실가스 배출량 산정이 가능함
- Operation: 출발/도착 공항의 모든 항공기들의 운항 스케줄을 포함함. 이는 출발/도착 시간 및 활주로 등의 정보를 포함함
- Climate: 기상 모델로써 항공기 운항에서 공력 및 연료 소모 계산에 영향을 주는 특성 및 인자들을 포함함

- Track: 출발/도착 공항 및 항적에 대한 구체적인 정보로써 프로파일 기반 데이터 생성 또는 항적 기반 데이터를 포함하며 이/착륙 및 순항 단계에서의 비행 성능 계산을 위한 필수 정보임
- Fuel: 바이오 연료와 같은 다른 특성의 연료 성분을 입력 받아 연료 소모량 계산에 필요한 정보임

○ 항공 온실가스 배출량 산정 결과는 다음과 같음
- Flight performance: 각 항공기가 스케줄에 맞춰 운항하는 과정을 시뮬레이션하고, 위도, 경도, 속도, 고도, 중량, 추진력 등의 결과를 산출함
- Fuel burn: 비행 성능 정보를 이용하여 연료 소모량을 계산함
- Emission: 연료 소모량 및 온실가스 인자를 바탕으로 온실가스 배출량을 산정함

○ 항공 온실가스 배출량 산정을 위해 필요한 DB 및 제어 상수들은 다음과 같음
- Airports DB: 전 세계에 존재하는 공항의 자세한 정보를 담고있음
- Base of Aircraft Data: 순항 구간에서의 비행 동력학 및 모델링 계수 등의 정보를 담고 있음
- Aircraft Noise and Performance: 1845/Doc29 정보를 이용하여 공항 주위 이착륙과 관련된 비행 동력학 및 모델링 계수 정보를 담고 있음
- ICAO Emission index: 소모 연료 당 각 온실가스의 배출량 정보를 담고 있음

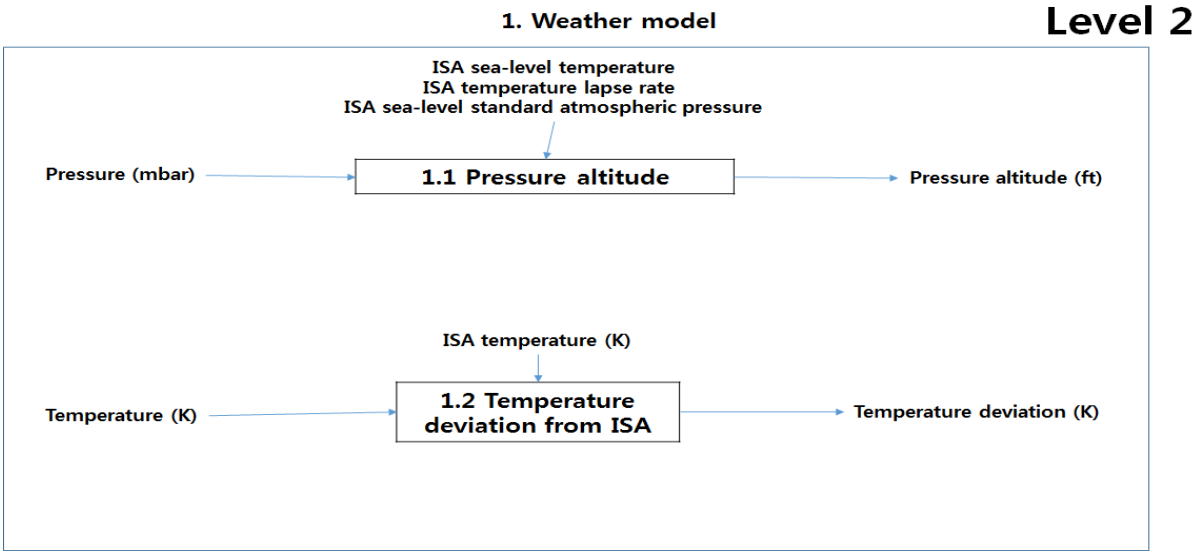
○ 항공 온실가스 배출량 산정을 위해 크게 날씨 모듈, 연료 연소 모듈, 지적선 모듈, 프로파일 기반 비행 성능 모듈, 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈, 온실가스 모듈로 나누어짐. 운항 경로, 추진력, 연료 소모량 등 공항 근방 및 활주로-활주로 간 운항에 따른 비행 성능 정보를 계산함. 이 성능은 온실가스 배출량 산정에 이용됨



<그림 29> 온실가스 배출량 산정 모듈

가) 날씨 모듈

○ 주어진 지역 혹은 고도에서 측정 가능한 온도, 압력 등의 열역학적인 특성을 이용하여 항공기의 고도나 또 다른 열역학적인 특성 값을 구하는 모듈임 열역학적인 특성의 물리학적인 성질과 RUC13, RUC20, GEOS data, NCAR data 등의 기존에 축적된 데이터베이스를 활용하여 항공기의 고도와 압력, 온도 등을 계산할 수 있음



<그림 30> 날씨 모듈 (Level 2)

○ Pressure altitude : 높이가 증가됨에 따라 기압이 감소하는 원리를 이용하여 주어진 기압에 해당하는 고도를 계산하는 방법으로, 항공기 비행 고도의 압력(혹은 압력비)과 ISA의 대기특성과 비교하여 압력 고도를 계산함

○ Temperature deviation from ISA : 주어진 조건(Location, Time)에서의 실제 온도와 ISA 온도와의 차이로써 항공기의 비행 성능을 계산하는데 사용됨

○ Thermodynamic profile : 특정 고도가 주어졌을 때, 기존에 가지고 있는 데이터 세트와 비교하여 온도와 압력을 구할 수 있음

○ 위와 같은 모듈을 통해 항공기의 열역학적 특성 및 고도 등을 계산할 수 있으며 이는 추후 항공기의 성능을 계산하는데 활용됨

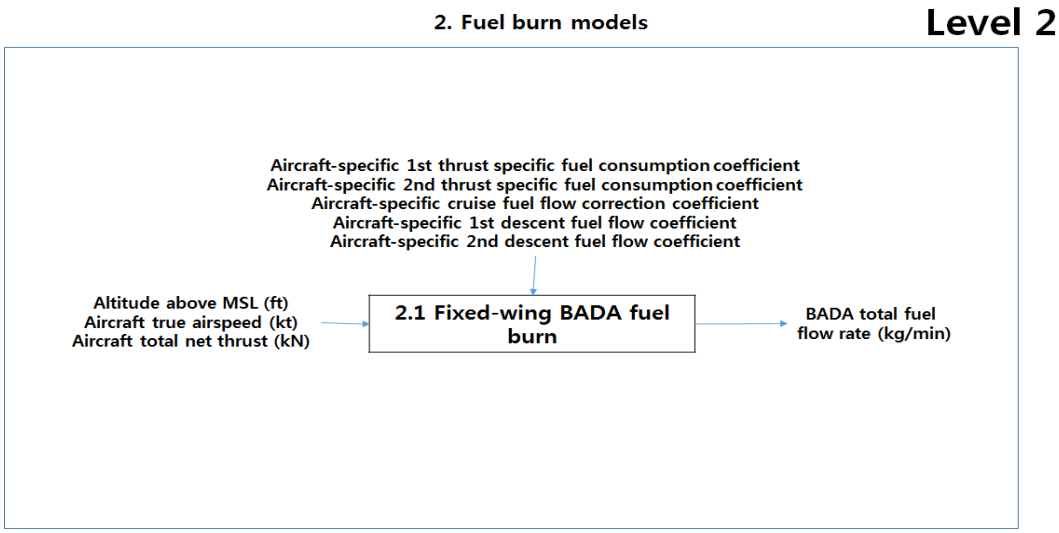
나) 연료 연소 모듈

○ 연료 연소 모듈은 비행경로의 각 부분별 연소 연료량을 계산하는 모듈임 소모되는 연료량은 각 비행구간 별 연료 연소율(fuel flow rate)과 엔진의 개수의 곱으로 계산되어지며 연료 연소율은 다음과 같이 두 개의 방법을 이용하여 계산 될 수있음

○ Fixed-wing BADA fuel burn : BADA 연료 소비 모델은 명시적인 연료 연소율의 수식을 제공함. 이를 통해 엔진의 타입(jet, turboprop, piston)에 따라 순항 상태(cruise phase)일 경우와 유휴 상태(idle state)일 경우의 연료 연소율을 계산할 수 있음

○ Fixed-wing Senzing-Fleming-Iovinelli fuel burn : Terminal area(공항의 관제

를 받는 공항 근처의 지역)에서의 연료 연소율을 계산하는 방법임



<그림 31> 연료 연소 모듈 (Level 2)

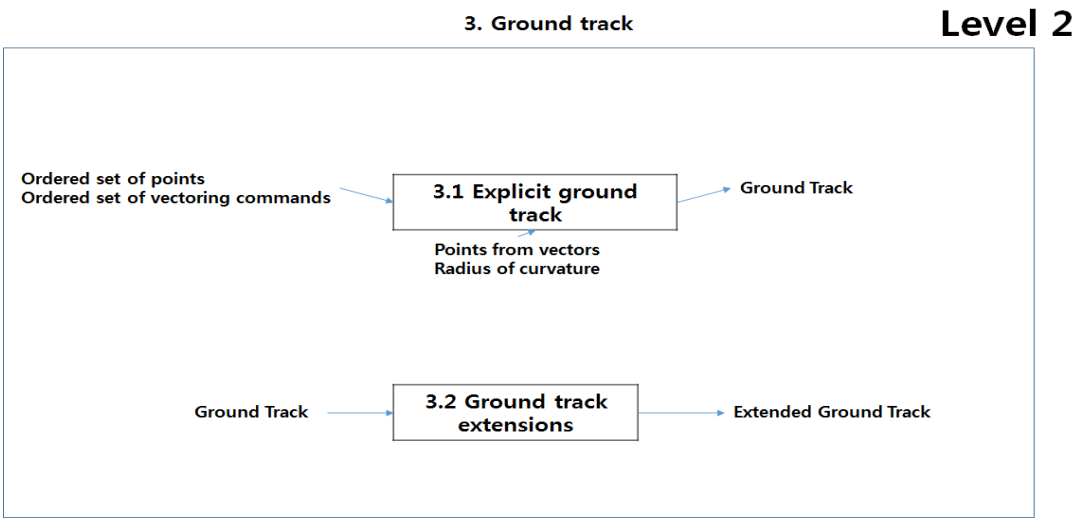
다) 지적선 모듈

○ 지상 트랙 모듈은 항공기가 생성한 3차원 상의 경로 중 지면에서의 성분을 결정함.

○ 지면에서의 성분은 연속된 점들에 의해 표현 되는데, 각각의 점들은 다음 두 가지 방법으로 나타내 질 수 있음

- 지면의 성분을 지구의 위도와 경도로 나타내는 Geographic coordinates
- 관련된 공항에서부터의 동쪽, 북쪽의 거리를 Euclidean x, y 값으로 나타내는 Projected Coordinates

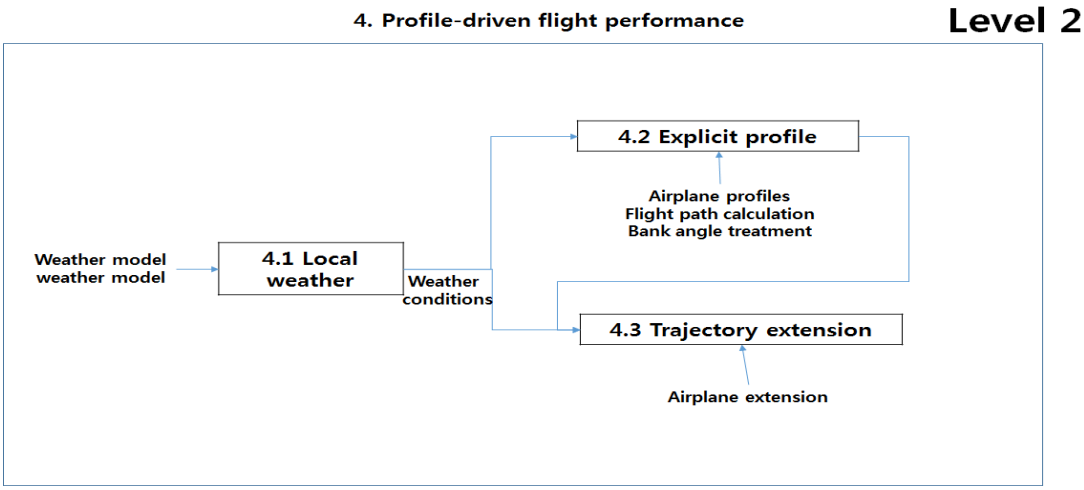
○ 지상 트랙 모듈은 사용자에 의해 정의되는 부분과, 프로그램 내에서 추가적으로 계산되는 부분으로 구성됨



<그림 32> 지적선 모듈 (Level 2)

라) 프로파일 기반 비행 성능 모듈

○ 항공기의 성능을 연산하는 모듈은 프로파일 기반 비행 성능 모듈과 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈이 있음. 프로파일 기반 비행 성능 모듈은 고도, 속도, 플랩 설정, 추력과 같은 항공기의 상태 및 특징들을 이용하여 항공기의 운동을 기술하는 방법으로 항공기 성능을 연산함



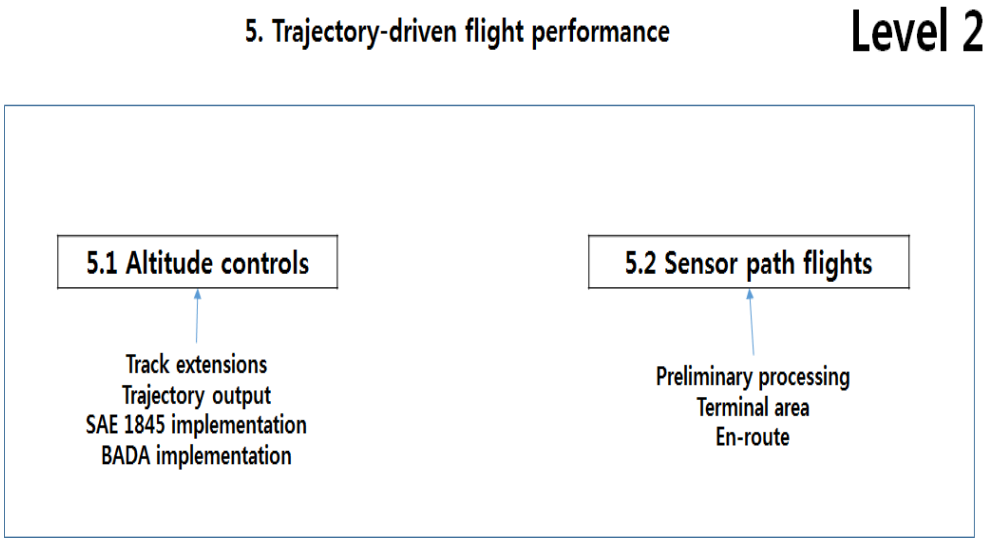
<그림 33> 프로파일 기반 비행 성능 모듈 (Level 2)

- Explicit profile : 표준화된 프로파일을 연산하는 모듈임 항공기 운동 상태특징들을 연산하고 이들의 시퀀스로 구성되는 표준항로를 결정함
- Trajectory extension : 관심영역에 대하여 경로를 확장시키는 모듈임

○ 항공기의 성능을 연산할 때 필요한 기상변수들이 정의될 수 있음 또한, 비행 성능 계산을 위해서는 기종별 엔진의 특성과 관련된 DB 및 공력특성에 관한 DB정보가 필수적임

마) 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈

○ 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈은 표준 프로파일에서의 편차를 허용하고, 항공기가 다양한 비행 방법을 선택할 수 있도록 하는 모듈로써, 기존에 생성된 표준 프로파일이 항공기의 실제 궤도를 정확하게 표현하지 못하는 상황에서 항공기의 비행 성능 정보를 계산하기 위한 모델링에 유용함. 항적 데이터 기반 성능 모듈은 주어진 항적 데이터를 기반으로 하여 각 비행 단계에 대해, ‘고도, 거리, 속력, 추력’에 해당하는 출력 값을 산출할 수 있음 이를 위해 각 기체의 특성 및 항적 데이터에 해당하는 정보가 반드시 필요함



<그림 34> 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈 (Level 2)

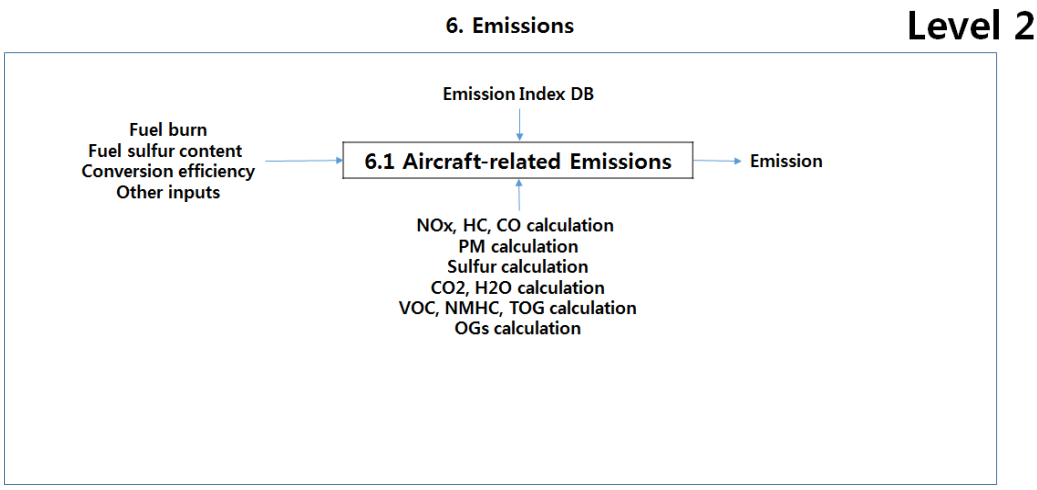
- Altitude control : Terminal area에서의 고도에 대한 정보를 필터링하여 정확성을 높임
- Sensor path flights : 주어진 항적 데이터를 이용해 전체 궤적을 복원함

바) 온실가스 계산 모듈

○ 온실가스 계산 모듈은 연료 소모량 및 특성 관련 입력을 받아 온실가스 인덱스 데이터베이스로부터 각 온실가스 인자들을 호출하여 최종적으로 온실가스 배출량을 산출함. 항공 온실가스와 지상 조업차량으로부터의 온실가스를 계산하게됨. 항공 온실가스의 경우, 출발/도착 활주로 간 모든 운행 단계가 온실가스 계산에 포함되며, 크게 10000 ft 이상 구간에서의 "en-route" 단계와 10000ft 이하의 "terminal" 단계로 나누고, 각 항적의 모드에 따라 나누어져 계산이 이루어짐.

○ 산출할 수 있는 온실가스의 종류는 다음과 같음
- 질소산화물, 탄화수소, 일산화탄소
- 부유성 고형물
- 황산화물
- 이산화탄소, 물
- 휘발성 유기화합물, 비메탄계 탄화수소, 총 유기 가스

○ 이 온실가스들을 구하기 위해 고려할 모델은 다음과 같음



<그림 35> 항공 온실가스 계산 모듈 (Level 2)

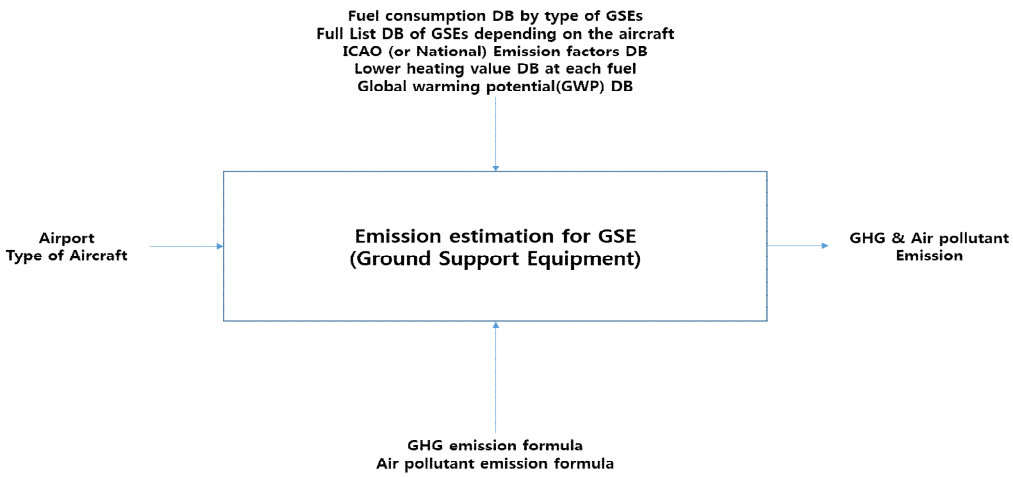
<표 25> 온실가스 별 사용 모델

Model	Pollutants
The Boeing Fuel Flow Method 2 (BFFM2)	NOx, HC, CO
A First Order Approximation (FOA)	PM
Fuel composition-based factors	CO2, H2O, SOx, PM
Derivative factors	NMHC, VOC, TOG, OG

○ 이를 위해 각 기체의 특성 및 연료 사용량으로부터 구하기 위한 인덱스 DB 정보가 반드시 필요함

○ 지상조업장비 온실가스 계산 모듈에서는 다음과 같이 온실가스 계산을 수행함

나) 지상조업장비 배출량 계산



<그림 36> 지상조업장비 배출량 산정 알고리즘 전체 입출력 개념도

○ 지상조업장비 배출량 산정 및 알고리즘 전체 입출력 정의

– 지상조업장비 배출량 산정 알고리즘 전체 입출력 과정은 그림 16와 같으며, 단일비

행 기준 배출량 산정을 위해 항공기 배출량 산정에 입력되는 공항 및 항공기종을 동일하게 입력데이터로 사용함

- 지상조업장비의 배출량 산정은 항공기 배출량 산정을 위한 입력 데이터(공항 및 항공기종)를 기반으로 배출량 산정에 필요한 DB를 호출하고, 이를 배출량 산정식에 대입한 후에 운항횟수를 곱하여 전체 배출량을 산정함

○ 지상조업장비 배출량 산정을 위한 필수 DB 및 입출력 값은 아래 표 3와 같음

<표 26> 지상조업장비 배출량 산정 알고리즘 입출력 세부사항

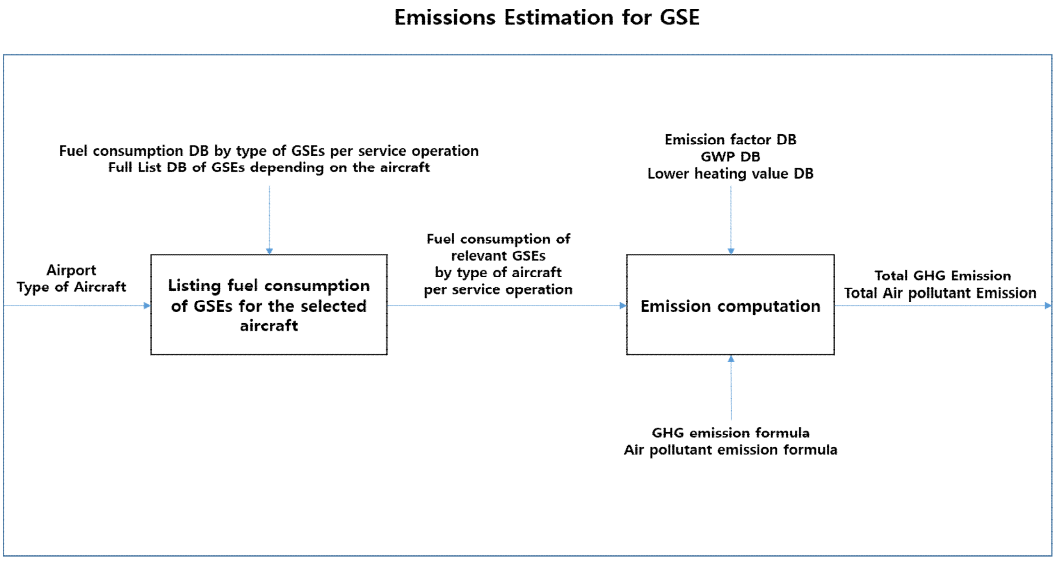
<table>
<tr><th>구분</th><th>단계별 내용</th><th colspan="2">세부 내용</th></tr>
<tr><td>1</td><td>입력데이터</td><td colspan="2">항공기종, 출발공항</td></tr>
<tr><td rowspan="6">2</td><td rowspan="6">필요 DB</td><td rowspan="3">지상
조업
장비
관련</td><td>▸지상조업장비 별 연료소모량</td></tr>
<tr><td>▸지상조업장비 별 조업횟수</td></tr>
<tr><td>▸항공기종 별 투입조업장비 목록</td></tr>
<tr><td rowspan="3">연료
종류
관련</td><td>▸연료종류 별 저위발열량</td></tr>
<tr><td>▸연료소모량에 따른 배출계수</td></tr>
<tr><td>▸지구온난화지수</td></tr>
<tr><td>3</td><td>매커니즘</td><td colspan="2">항공기종 별 조업장비 별 연료소모량 기준 배출량 산정 모델</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">출력데이터</td><td>온실가스 배출량</td><td>대기오염물질 배출량</td></tr>
<tr><td>▸이산화탄소(CO2)
▸메탄(CH4)
▸아산화질소(N2O)</td><td>▸일산화탄소(CO),탄화수소(HC)
▸질소산화물(NOx),
▸황산화물(SOx)
▸미세먼지(PM)</td></tr>
</table>

- 지상조업장비 배출량 산정을 위해서는 공항 별 지상조업장비 별 연료소모량 및 항공기종 별 투입조업장비 목록 DB가 필수적이며, 이를 기반으로 각 조업장비 별 배출량 산정을 수행함 또한 연료 소모량으로부터 배출가스 종류 별 배출량 산정을 위해서 배출계수 DB는 반드시 확보되어야함

○ 지상조업장비에서 배출되는 가스 종류는 아래와 같으며, 메탄과 아산화질소의 경우에 지구온난화지수(GWP, Global Warming Potential)을 곱하여 이산화탄소 환산량으로 변환이 가능함

- 이산화탄소, 메탄, 아산화질소
- 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물, 황산화물
- 부유성 고형물, 휘발성 유기화합물

○ 지상조업 항공기종 별 지상조업장비 배출량 세부 산정방법론



<그림 37> 지상조업장비 배출량 세부산정 방법론

– 배출량을 산정하고자 하는 항공기종이 정해졌을 시에 해당 기종의 투입지상조업장비를 선택하고, 해당 지상조업장비에 대한 연료소모량을 기반으로 계산된 장비별 온실가스 산출량을 모두 더하여 산출량을 계산함

< 항공기종 별 지상조업장비 온실가스 배출량 산정식 > (예시)

$$E_j = \sum_{l}^{N_1}(FC_{k,i,l} \times EC_i \times EF_{ij} \times 10^{-3})$$	
E_j	항공기종 별 온실가스(j)의 배출량 [kgGHG]
$FC_{k,i,l}$	조업 당 공항별(k), 조업장비별(l), 연료종류(i)별 연료소모량 [kL]
EC_i	연료종류(i)별 저위발열량 [MJ/L]
EF_{ij}	연료종류(i)에 대한 온실가스(j)의 배출계수 [kgGHG/TJ]
N_1	입력 항공기종에 따른 총 투입지상조업장비 수

< 항공기종 별 지상조업장비 대기오염물질 배출량 산정식 > (예시)

$$E_j = \sum_{l}^{N_1}(FC_{k,i,l} \times EF_{ij})$$	
E_j	항공기종 별 소모량에 따른 대기오염물질(j)의 배출량 [g]
$FC_{k,i,l}$	조업 당 공항별(k), 조업장비별(l), 연료종류(i)별 연료소모량 [kg]
EF_{ij}	연료종류(i)에 대한 대기오염물질(j)의 배출계수 [g/kg]
N_1	입력 항공기종에 따른 총 투입지상조업장비 수

- 항공기종 별 지상조업장비 배출량 산정이 이루어진 후에는 항공기종 별 운항횟수를 곱하여 각 온실가스 및 대기오염물질 전체 배출량을 계산함
- 위 산정 식에서 지상조업 1회 운행 당 공항별 장비별 연료소모량은 항공기종에 상관없이 같은 공항 내 동일 장비들에 대해서는 모두 일정하다고 가정함
- 공항 별 지상조업장비 별 연료소모량 DB와 해당 지상조업장비가 투입된 항공기 운항횟수 정보를 이용해서 지상조업 1회 운행 당 공항별 장비별 연료소모량($FC_{k,l}$)을 아래와 같이 계산함

$$FC_{k,l} = \frac{\text{공항별}(k)\text{조업장비}(l)\text{별 연료소모량}}{\sum_{m}(\text{조업장비}(l)\text{가 투입된 항공기의 수}(m))}$$

○ 지상조업장비 배출량 산정을 위한 필수 데이터는 지상조업장비 연료소모량 및 온실가스 배출계수 DB와 단일비행에 대한 배출량 산정을 위한 항공기종별 투입지상조업장비 목록이며, 이를 확보하기 위한 준비는 아래와 같음

○ 지상조업장비 연료소모량 DB 보유가능성이 높은 예상후보기관 리스트를 작성하였으며, 추후 주관기관인 KOTI와 협조하여 관련 데이터를 요청할 예정임

- 한국석유공사, 교통안전공단, 한국공항공사
- 국내 주요지상조업사 (한국공항, 아스공항, 샤프, 동보공항서비스)

○ 지상조업장비 관련 온실가스 배출계수 DB는 아래의 문서를 검토할 예정임

- 1996/2006 IPCC 비도로 수송부문 DB
- 미 항공연방청(FAA) EDMS (Emission and Dispersion Modeling System) 내 지상조업장비 관련 배출계수 DB

○ 항공기종별 투입지상조업장비 목록 DB는 아래의 문서를 검토할 예정임

- 미 항공연방청(FAA) EDMS (Emission and Dispersion Modeling System)
  ACRP(Airport Cooperative Research Program) Reports
  항공기제작업체의 Ground Operation Manual 및 지상조업관련 국내/외 학술지

※ 자세한 사항은 한국교통연구원으로 문의부탁드립니다.

라. 세종대학교

1. 연구개발 주요내용

○ 온실가스 배출 국가 이행계획 수립과 탄소 배출권 거래제 실시에 대응하기 위한 국제적인 수준의 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발 및 검증을 위한 해외 온실가스 배출량 산정 프로그램을 확보하여 구동에 필요한 sample DB를 구축하여 우리나라 항공 온실가스 배출량 중 일부를 산정함

○ 또한 해외 경제성 분석 및 의사결정 지원 프로그램을 조사하였고 경제성 분석 및 의사결정 지원 사용자 요구사항을 분석하여 정리하였고 항공사 운영비 DB를 구축한 후 시범적인 경제성 분석의 예를 작성함

(1) 온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증 개념설계

○ 배출량 산정 프로그램 개념설계 보고서는 과학원과 나누어 작성되어 과학원에서는 "항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 운영 개념 기술서"를 작성하였고 세종대에서는 "온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증 운영 개념 기술서"를 작성함. 따라서 본 연구개발 수행 내용과 결과는 운영 개념 기술서와 중복되는 부분이 많으나 운영 개념 기술서보다 좀 더 자세하게 연차실적 계획서에 형식에 맞추어 기술함

○ 온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증의 개념설계를 아래와 같이 개요, 시스템 분석, 시스템 개발 범위 및 목표, 목표시스템 운영 시나리오, 목표시스템 구축에 의한 변경사항, 목표시스템 분석 순으로 정리함

2. AEDT2a 기능분석 보고서

○ 1차년도 연구계획서에서는 AEDT2a 기능분석을 수행하기로 되어있었으나 더 많은 해외 유사프로그램 기능 분석을 위해 AEDT2a 이외에 AEIC, Aero2k, Piano-X 프로그램의 기능분석도 수행함

(가) 해외 온실가스 배출량 산정 프로그램 Technical Manual 분석

○ 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램의 검증 절차를 위해 먼저, 국제적으로 인정받는 해외 유사 소프트웨어인 미국 FAA의 AEDT2a, 미국 MIT의 AEIC, 영국의 AERO2k의 Technical Manual을 분석함

㉠ AEDT2a 매뉴얼 분석

(1) AEDT2a Overview

○ AEDT2a는 FAA-AEE에서 개발하고 있는 대표적인 항공 온실가스 배출량 산정 tool임. AEDT는 공간상에서 동력학적으로 설계된 항공기 성능 모델을 사용하여 연료소모량, 배기가스 배출 그리고 소음을 시간에 따라 계산하는 소프트웨어이며 지역, 국가 그리고 세계적인 수준에 대한 전체 비행의 분석과 각 공항간 단일비행에 대해서도 계산이 가능함.

○ AEDT 2a는 항공 공역 그리고 비행 절차를 위한 항공기 소음, 배기가스, 연료소모 등을 모델링하는 공식적인 FAA tool인 NIRS (Noise Integrated Routing System)

를 대신함 현재 개발중에 있는 AEDT2b가 공개되면, 현재 사용하는 공기의 질과 소음을 분석하는 툴인 INM(Integrated Noise Model-단일공항 소음분석)과 EDMS(Emissions and Dispersion Modeling System-단일공항 주변지역의 배기가스 배출 분석)을 대신할 것임

(2) AEDT2a System Architecture

○ AEDT 2a는 Microsoft.NET 프레임을 기반으로 하고 Windows XP Professional, Windows 7 그리고 Window 서버로 운용되는 시스템에서 사용할 수 있음 그리고 이 프로그램은 공항, 공역 그리고 fleet 정보에 관한 광범위한 시스템 데이터의 지원을 받음

○ 모든 정보는 다른 응용프로그램들과 호환되며 4D 궤적, Fleet 정보 그리고 event assignments에 대한 광범위한 DB의 입력을 받는 ASIF (XML-based AEDT Standard Input File)과 같은 최신 기술은 AEDT의 능력을 강화시켜줌

○ AEDT 2a의 output은 fleet mix, receptor sets, 비행성능, 소음, contours, 연료소모, 지역의 공기 질 그리고 온실가스 배출에 대해 설명하는 리포트와 그래프 그리고 테이블을 포함함

(3) AEDT2a Databases

○ AEDT 2a의 모든 데이터는 Microsoft SQL Server 2008 R2 databases에 저장되고 이 데이타베이스는 전 세계의 공항, 공역, Fleet 정보를 포함하고있음

○ AEDT2a는 시스템 데이터베이스에 대해서 다음과 같은 set을 따라감

○ STUDT_ROOT: 존재하는 연구를 위한 구조 설정

○ STUDY: 새로운 연구를 위한 기초 서식

- AIRPORT: FAA, ICAO, IATA 기준을 사용한 공항 데이터에 대한 글로벌 set.
- FLEET : 모든 항공기 모델에 이용할 수 있는 데이터

(4) AEDT2a의 Aircraft Performance

○ AEDT 2a는 공항 터미널과 비행경로, 추력단계, 연료소모 등의 항공기 성능 정보를 계산해줌 이렇게 계산된 정보는 소음과 배기가스 배출 계산의 주요 입력값을 제공함

○ AEDT 2a는 추력, 연료소모, 배기가스 배출모드 뿐만 아니라 완벽한 4차원의 각 부분별 비행경로에 대한 계산을 수행함 항공기의 위치에 대한 변화가 포함되어있기 때문에 trajectory라 부름Performance Model

- AEDT2a의 성능모델은 ECAC(European Civil Aviation Conference) Doc 29와 EUROCONTROL의 Base of Aircraft Data (BADA) 사용자 매뉴얼을 근거로 하고 있음 첫번째 설명서는 공항 터미널 지역 내에서만 사용 가능하고 두 번째 설명서는 성능 계산을 할 때 사용함 BADA의 비행 동역학 식과 모델링 계수들은 모든 비행구간에 대해 정의되어있지만, AEDT2a에서는 주로 en-route구간에 대해서만 사용함 각 설명서는 대기모델 그리고 비행역학, 표준 플랩(flap)형상에 대한 공기역학 계산식과 표준 동력 세팅을 위한 추력식을 제공함

- BADA 설명서는 BADA 데이터베이스를 포함하고 있고, 1845/Doc20 설명서는 Aircraft Noise and Performance (ANP) 데이터베이스를 포함하고 있음 BADA와 ANP 데이터베이스로부터의 데이터는 AEDT 2a Fleet 데이터베이스에 저장되고 장비결합(기체, 엔진 모델 그리고 엔진의 개량) 세트에 대한 모델링 데이터를 보유하고 있음

(가) Weather Model

○ Weather field는 공간과 시간의 주어진 영역을 넘어 바람 그리고 열역학적 변화로 구성되어있음 1845/Doc29 성능 모델은 ISA (국제 표준 대기) 날씨 모델로 분류되지만, AEDT 2a는 사용자 요청에 따라 정확성이 높은 날씨 데이터 또는 공항 평균 날씨 데이터를 모두 허용하는 모델을 사용함 날씨 데이터 자료의 체계는 모든 지역과 시간에 적용할 수 있음 AEDT 2a는 지역과 시간이 명시되었을 때, 그 요구조건에 RUC13 데이터를 이용할 수 있는지 없는지를 먼저 체크함 만약 이용 가능하다면, 그 지역과 시간에 대한 날씨는 그 dataset로부터 가져옴 만약 이용할 수 없다면, 같은 방법으로 RUC20 데이터를 사용할 수 있는지 검토함 이러한 사이클은 GEOS 데이터, NCAR 데이터 그리고 마지막으로 AIRPORT데이터까지 계속됨 만약에 가지고 있는 데이터 소스를 이용할 수 없는 지역과 시간이라면, ISA 날씨 데이터를 이용함

(나) Fuel Burn Model

○ AEDT2a는 고정익 항공기의 각 비행구간에 대해 두가지방법으로 연료소모량을 계산함 BADA User Manual과 Senzig-Fleming-Lovinelli 방법임

○ BADA 연료 소모 모델에서 항공기가 순항비행을 하지 않고 Idle thrust setting에서 운용되지 않는 경우, nominal total rate of fuel flow f_{nom} (kg/min)식을 이용함

① $$f_{nom} = \begin{cases} \left(1+\dfrac{V_T}{C_{f_2}}\right)c_{f_1}F\ ,(jet) \\ \left(1-\dfrac{V_T}{C_{f_2}}\right)\dfrac{C_{f_1}}{1000}V_TF\ ,(turboprop) \\ C_{f_1}\ ,(\pi ston) \end{cases}$$

여기서

V_T 항공기 실제 속도(kt);

C_{f_1} aircraft-specific 첫 번째 추력 연료 소모 계수(kg/min/kN for jet, kg/min/kN/kt for turboprop, kg/min for piston);

C_{f_2} aircraft-specific 두 번째 추력 연료 소모 계수(kt);

F 항공기 전체 추력 (kN).

○ 항공기가 순항상태 일 때, BADA 전체 연료 흐름율, f_{CR} (kg/min)은 다음과 같이 계산되어짐

$$f_{CR} = C_{f_{CR}} f_{nom} \quad \text{Eq 3-5}$$

여기서

$C_{f_{CR}}$ aircraft-specific 순항 연료흐름 계수(무차원);

f_{nom} nominal total rate of fuel flow (kg/min).

○ 공회전 상태에서의 항공기에 대한 BADA 전체 연료 흐름율, $f_{\min}$(kg/min)은 다음과 같은 식으로 주어짐

$$f_{\min} = \begin{cases} (1-\frac{h}{C_{f_4}})C_{f_3}, (jet \text{ or } turboprop) \\ C_{f_3}, (pston) \end{cases} \quad \text{Eq. 3-6}$$

여기서,

h 고도 (ft);

C_{f_3} aircraft-specific 첫 번째 하강 연료흐름 계수(kg/min);

C_{f_4} aircraft-specific 두 번째 하강 연료흐름 계수

㉡ AEIC(Aviation Emissions Inventory Code) 매뉴얼 분석

○ AEIC는 MATLAB으로 coding되어 있어 과학원에서 개발하는 알고리즘과 구조적으로는 가장 유사하다고 할 수 있음 그러나 과학원에서 개발하는 알고리즘과는 다른 간단한 방법들을 사용하여 계산시간을 줄이고 있음

(5) AEIC의 목적

○ AEIC는 배기가스 배출과 이륙과 착륙에 관련한 불확실성을 정량화하기 위해 개발되었음 2005년에 비행 예정된 세계의 민간 항공기가 전체 비행시간 동안 배출하는 배기가스의 양을 정량화할 수 있도록 모델링 영역을 확장하고, Monte Carlo simulation을 통해 불확실성을 정량화를 가능하게 하면서 연간 세계 배기가스 배출의 빠른 시뮬레이션을 적은양의 계산으로 수행하기 위해 여러 가지 가정을 통해 모델링의 복잡성을 줄임. 공개적으로 사용가능한 항공기 배기가스 배출 목록(지난 10년간의 배출량)만을 만들고, 전체 민간 항공기 배출에서 불확실성의 평가를 위한 최초의 "상향식(bottom-up)" 방식을 사용함

(6) AEIC 사용 방법

○ AEIC는 추정에 필요한 동역학 특성을 적절히 사용하면서 효율적인 가정을 사용하여 계산강도를 줄임. 항공기 운항은 이륙 및 착륙(LTO)운항과 비 이착륙(non-LTO)운항으로 나눠짐. LTO 배출은 접근 방식이 0~3000ft 사이에 발생하는 것으로 정의되고 본 연구에서 개발방법론의 주요 초점은 순항이며, 3000ft 이상에서의 운항을 포함함 여기서 언급되는 방법론은 LTO 사이클의 개요와 비행 일정, 항공기 연로 소모, 배출량 계산, 시스템 운영의 비효율성에 대한 수정, 그리고 불확실성 정량화로 구성되어 있음

(가) LTO 사이클

○ LTO 사이클은 사이클의 여러 다른 부분에 대해 'times-in-mode'를 사용하여 정의됨. ICAO는 LTO 디폴트 값 사이클을 이륙, 상승, 접근 그리고 taxing/ground(각 부분에 대한 지정 추력 수준과 시간에 대한)로 정의함(IOAC,2008).

○ ICAO 기본주기는 통상적으로 실제 운영이 아니므로 TIMs와 taxiout, taxiway acceleration, hold, 이륙, 초기 상승, 급상승, 접근, 착륙 활주 거리, 역 추진, 그리고 taxi in으로 구성된 더 대표적인 사이클을 사용함

(나) 비행 스케쥴

○ AEIC는 2005년 비행 스케줄을 생성하기 위해 Official Airline Guide(OAG) (OAG aviation, 2005)를 사용함 OAG는 민간 항공 교통 스케줄만을 다루고 있으며, 비정규 노선과 항공편 취소에 대한 결과 출력은 이루어지지 않음. OAG 데이터는 특정 항공기와 공항의 한 쌍에 대해 계산하고, 각각의 쌍이 정해진 기간 동안 비행한 회수를 계산하기 위해 사용됨.

(다) 항공기 연료소모율

○ OAG 데이터에서 각각의 고유한 항공기 공항 방향 쌍에 대한 비행 트랙은 연료 소모와 온실가스 배출량의 계산과 추적을 위해 생성됨 모든 항공기는 출발하고 도착하는 공항 사이의 큰 원형 경로(great circle path)를 따라간다고 가정하고, 이 가정을 사용함으로써 발생하는 절대 오차는 측면 비효율 지표(lateral inefficiency metrics)를 사용하여 줄일 수 있음

(라) 항공기 performance

○ EUROCONTROL의 BADA (Base of Aircraft Data) 버전 3.9 (Eurocontrol Experimetal Center, 2011)를 사용하여 항공기의 성능을 계산함

○ BADA는 338개 전체 항공기에 대한 데이터가 포함되어 있고 17개의 경우 성능 및 운영 특성이 BADA에 세부적으로 모델링되어 있음 나머지 221개 항공기의 경우는 EUROCONTROL의 결정에 의해 다른 모델과 유사하게 지원됨

○ Stettler(2011)의 접근법을 이용하여 다른 유사한 항공기로 모델링하여 EUROCONTROL의 BADA에 의해 명시되지 않은 항공기의 성능을 추정할 수 있음

○ 계산하는데 비용이 많이 드는 물리적 기반의 항공기 성능 모델과 반대로 계산을 최적화하기 위해 미리 정의된 look-up table을 사용함 TAS, 연료 흐름율, 그리고 여러 비행 조건과 항공기 무게에 따른 상승/하강률을 포함하는 각각 BADA의 특정 look-up table이 있음 이 방법으로 각 비행 코드의 look-up table을 사용하여 연료 소모 및 속도가 계산될 수 있음

○ 계산을 더 효율적으로 수행하기 위해 각각의 특정 항공기와 공항의 한 쌍의 시뮬레

이션을 한 번만 함 주어진 구간의 총 연료 소모량은 해당 비행 구간에서 한 번의 시뮬레이션 비행 연료 소모량에 해당 비행 구간에서 운항 횟수를 곱하여 계산함 이를 통해 연간 27,000,000 이상의 항공편 배출량을 추정할 수 있음

○ 항공기 이륙 중량 및 순항 고도에 대한 가정은 FDR(flight data recorder) 때문에 필요하나 레이더 트랙 정보는 모델로 사용되지 않음

○ Eyers(2004) 논문으로부터 이륙 중량을 가정하는데, 기체의 공허중량(empty weight), 최대 유상하중의 60.9%, 목적지까지 가는 데 사용되는 연료 탑재중량, 예비연료 5%로 구성됨 비행시간이 3시간 이하일 때를 단거리 비행, 3시간 초과일 때를 장거리 비행으로 정의함 항공기의 순항고도는 보통 BADA에 지정된 값인 7000ft(ISA pressure altitude)을 사용함

(마) AEIC의 배출량 산정

○ 항공기 성능 계산과 특정 항공기에서 방출되는 배기가스를 기반으로 모든 항공기에 대한 배출량을 계산함

○ 배출량 계산을 위해 Boeing fuel flow method 2 (BFFM2, Baughcum,1996)에 따라 질소 산화물, 탄화수소, 일산화탄소의 경우 ICAO Engine Emissions Databank(CAA.200 9)에서 EIs를 활용함 ICAO databank는 배기가스 배출과 연료 흐름을 7% 30% 85% 100%의 4가지 추력 수준으로 구분함

○ ICAO 데이터는 해수면과 엔진 미장착을 기준으로 하고 있으며 주어진 추력과 고도에서 연료 흐름을 증가시키는 엔진 설치 효과를 고려하여 조정함

○ BFFM2는 databank의 추력점 사이 값들을 계산하는 내삽법/외삽법(interpolate/extrapolate)을 제공하고 해수면으로부터 특정 고도까지의 외삽법도 제공함 내삽법은 질소 산화물의 log-log linear fit와 탄화수소 및 일산화탄소의 log-log bilinear fit로 구성되어 있음 고도에 따른 배출지수를 보정하는 것은 BADA의 연료흐름과 ICAO databank EIs 모두의 교정을 필요로 함

○ 연료 흐름의 보정은 주위 압력과 온도, 비행 마하수에 따라 달라짐 보정 결과는 ICAO databank EIs와 해수면, 정적, 표준 날짜로 변환된 연료 인자로 나타나게 됨 탄화수소와 일산화탄소의 EIs는 주변 온도와 압력에 의해 보정되는 반면, 질산화 수소의 EIs는 주변 온도와 압력, 습도 수준에 의해 보정되는데, 다른 연구들과 동일하게 전체 비행에 대해 60%로 상대습도를 가정함

○ AEIC의 2005년 Inventory Results

(바) Worldwide totals

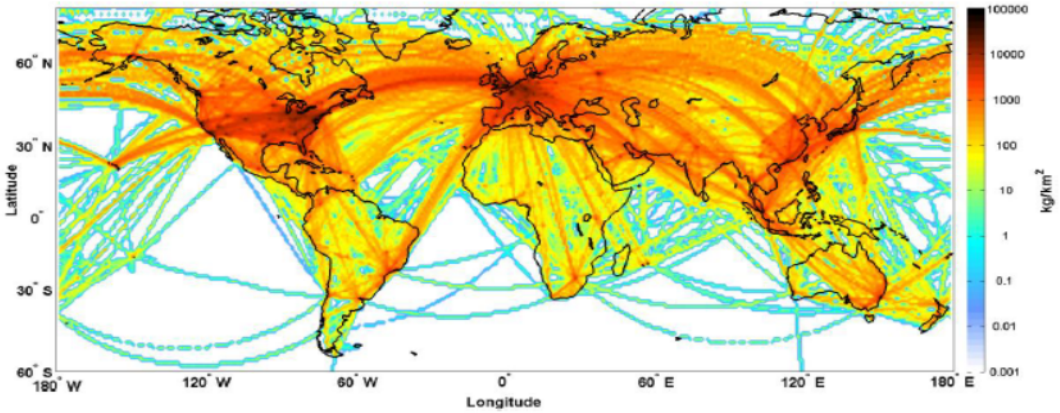
○ 아래 그림은 전체 온실가스 배출량 결과를 요약한 것임 불확실성이 가장 큰 온실 가스는 탄화수소로, 저 추력에서 불확실성의 원인이 되고 여러 방사 목록 연구 중에서 가장 큰 변화를 보여줌(Olsen,2012; Kim,2007). 바람의 영향을 고려하지 않은 경우, 결과 값이 바람을 고려한 경우보다 0.6% 감소함

Emission	Nominal (Tg)	Mean (Tg)	Median (Tg)	Coefficient of Variation	90% Confidence Interval (Tg)
Fuel Burn	180.6	180.9	178.5	16.7%	136.1-232.9
CO_2 as C	155.6	155.8	153.7	16.8%	117.3-200.7
SO_X as S	0.108	0.108	0.107	17.9%	0.080-0.142
NO_x as NO_2	2.689	2.631	2.535	23.7%	1.761-3.804
CO	0.749	0.760	0.749	28.8%	0.422-1.145
HC as CH_4	0.201	0.203	0.196	42.6%	0.072-0.362

<그림 38> 전체 온실가스 배출량

(사) Global

○ 아래 그림은 2005년 예정된 전 세계 비행 민간 항공기 연료소모의 공간적 분포를 나타냄. 전체 지구의 44.5%는 연간 연소 소모량의 합이 단위 면적당(1㎢) 1㎏ 미만임 트랙이 밀집해 있는 경우, 트랙이 더 넓게 분산되어 있는 경우보다 온실가스 배출량이 더 집중 분포됨 실제 비행에서는 서로 다른 요구사항이나 날씨 등의 영향으로 기준 항로에서 조금 벗어난 항로로 운항하지만 각 항공기가 공항 간에 같은 경로로 비행한다고 가정함



<그림 39> 민간항공기 온실가스 배출량의 column sum(2005년)

㉢ AERO2k 분석

○ AERO2k는 QinetiQ(민간기업)사가 DLG(독일), 맨체스터대, 네덜란드 국립항공우주연구소(NLR), 영국무역산업부, 에어버스사, Eurocontrol 등과 함께 개발함

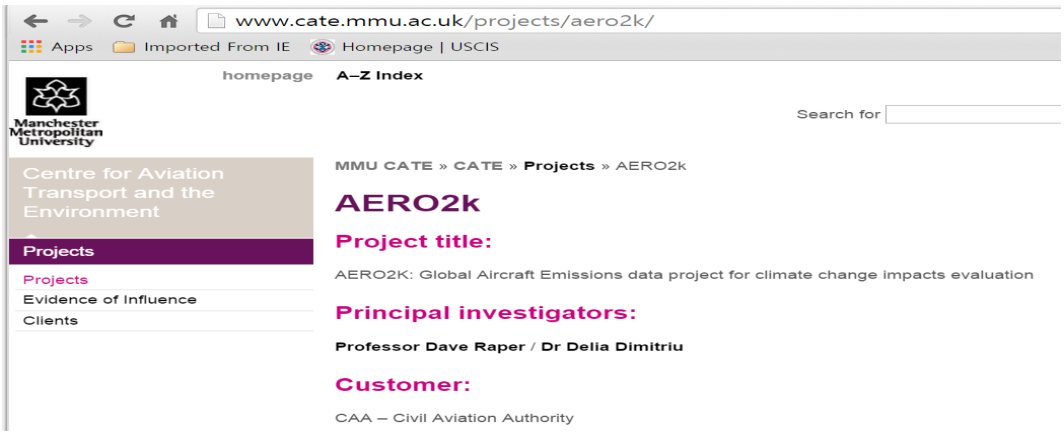
(7) AERO2k 소개

○ 항공기 온실가스 배출은 복사강제력(radiative forcing)과 지구 온난화를 통해 지구기후에 점점 더 큰 영향을 미침. 항공기 온실가스 배출과 관련된 복사강제력은 인위적 강제력(anthropogenic forcing)의 3.5%를 차지하고, 2050년까지 3~7%정도로 증가될 것이다[IPCC, 1999]. 최근 여러 국가들은 복사강제력에 영향을 미치는 항공요소들을 엄격하게 제한하고, AERO2K와 같은 연구 tool을 개발하여 사용하고 있음 AERO2K는 지난 10년 동안의 항공기 관련 데이터들을 개선하여 항공기의 연료 사

용량과 온실가스 배출량을 계산하도록 개발되었음

(8) AERO2k의 Description of the Inventory

○ AERO2K framework 5는 다양한 방법으로 gridded data를 표현할 수 있고, World-Wide Web에서 사용가능하도록 만들 수 있음



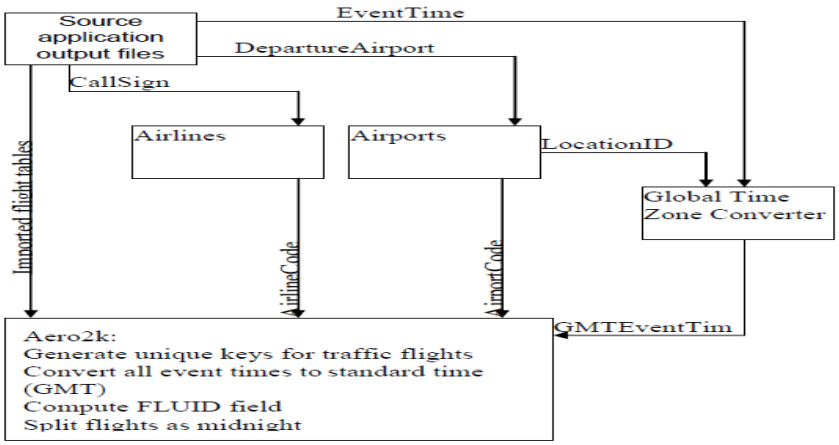
<그림 40> AERO2k web site

- 민간항공기
- 2002년도 월별 연료 소모량과 온실가스 배출량 및 비행거리
- 2025년도 월별 연료 소모량과 온실가스 배출량 및 비행거리
- 일별 변화 중 6시간 마다 온실 가스 배출량 표기
- 군용항공기
- 연간 연료 소모량 및 배출량

○ 2002 Civil Aviation Inventory에서 계산되는 온실가스는 Carbon dioxide(CO2), Water (Vapor)(H2O), Oxides of nitrogen(NOx), Unburnt hydrocarbons(HC), Carbon Monoxide(CO), Particulate(soot) mass, Particulate number 임

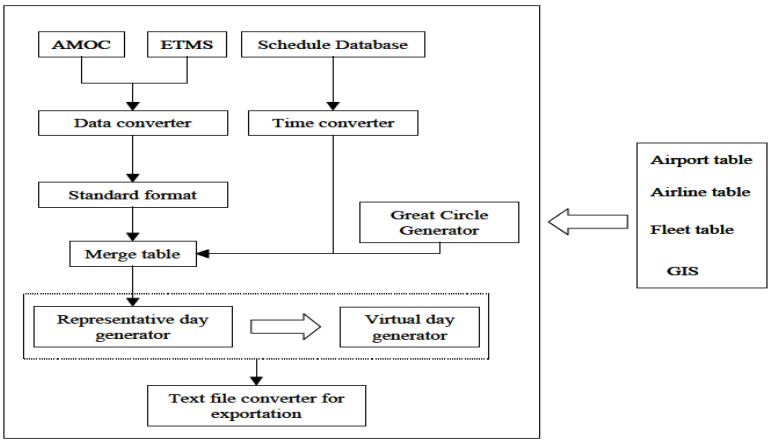
○ Civil Air Traffic Movements Database의 2002년도 항공 교통 DB는 4차원 비행 궤도(위도, 경도, 고도, 시간)를 포함하고 있음 북미와 유럽의 2002년도 항공 교통 DB는 일간, 주간, 계절 변동을 고려하여 대표적으로 선택된 6주 동안의 자료임

○ AERO2k prototype flight movement tool은 초기에 AMOC와 ETMS는 sample data를 사용하여 비행 데이터를 가져오는 과정을 개발함 이 과정이 개발되면서 전달된 형식, 필요한 데이터의 일부와 원하는 형식의 데이터를 가져올 수 있고, 데이터를 필요에 맞게 변환하고 처리할 수 있게 되었음



<그림 41> AERO2k flight movement tool로 요구되는 데이터를 가져오는 응용 프로그램들 간의 관계도

○ AERO2k는 AMOC와 ETMS를 기준 형식으로 바꾸는 것처럼 filght movement 데이터를 가져오거나 변환할 수 있고, 여러 자료들의 flight movement data를 단일 테이블로 합침. 비행관련 테이블은 여러 나라들의 정기 비행 데이터들로 구성되고, 정기 데이터들은 GMT(Greenwich Mean Time)로 시간 변환과 궤도 생성이 요구됨

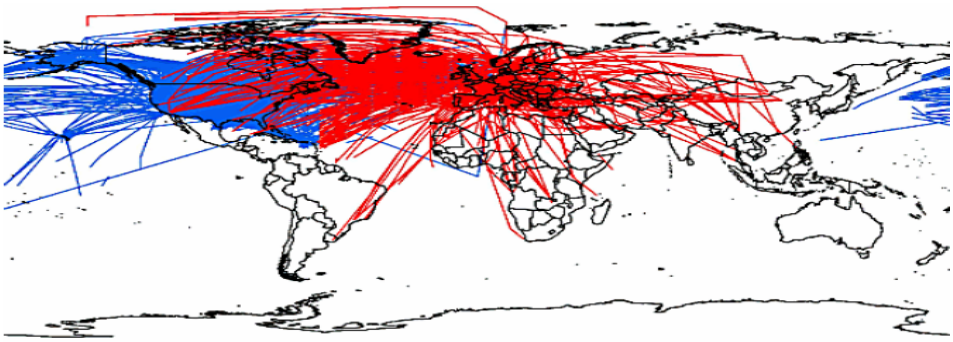


<그림 42> AEORO2k flight movement tool 개요

○ AMOC 와 ETMS의 비행궤도 데이터는 위도와 경도 값을 포함함 데이터 값들을 가시화하기 위해 VBA(Vaisual Basic for application)기반의 GIS 응용 프로그램을 개발함 GIS 응용 프로그램은 Access DB에서 데이터를 직접 읽을 수 있고, 비행경로를 궤도상의 위도와 경도로 변환해줌. 이 응용프로그램은 아래와 같은 경우에 사용됨

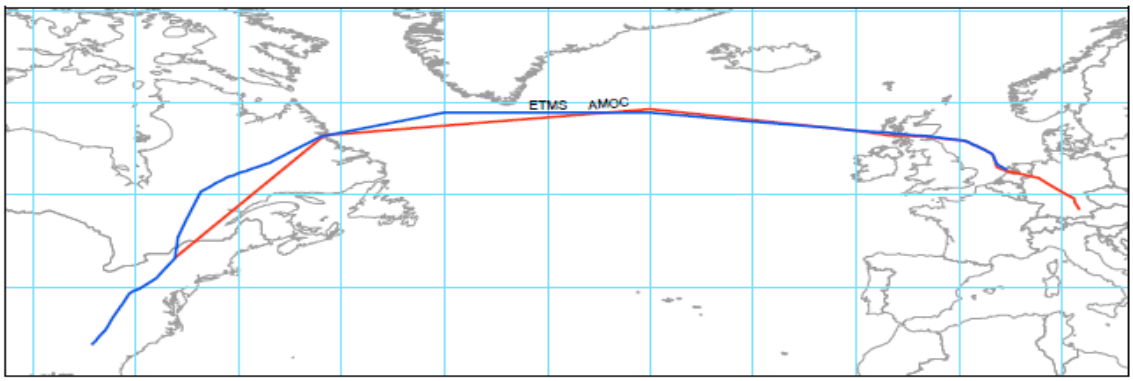
- AMOC와 ETMS의 데이터 범위 평가
- 정의된 비행경로와 비행 계획 트랙이 정확히 일치하면서 레이더 트랙이 분산되어 있을 때
- 항공편의 선택 및 데이터 품질 체크
- 비행 궤도의 병합 확인

○ 다음은 AERO2k의 결과 값을 나타낸 그림임

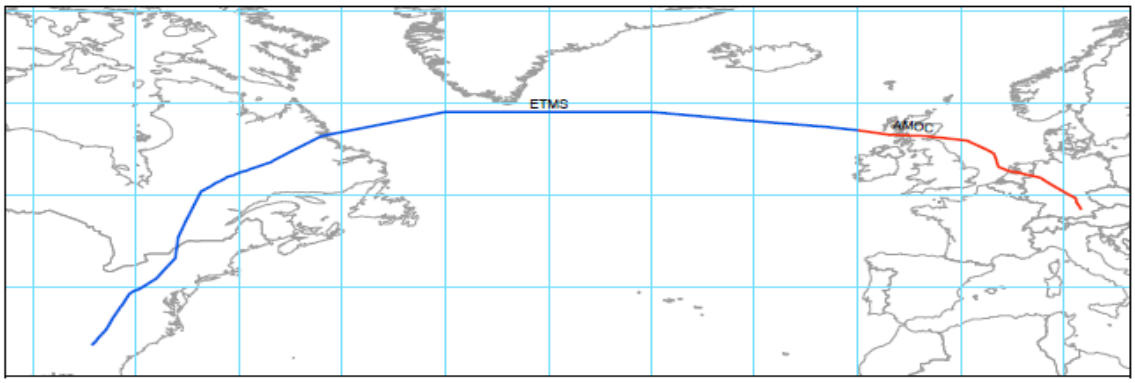


<그림 43> 미국의 레이더 데이터(ETMS - 파란색)와 유럽의 비행 계획 데이터 (AMOC - 빨간색)의 차이를 나타내는 그림(4-5-6/10/2000)

○ 아래 그림들은 ETMS와 AMOC의 같은 항공편을 비교한 그림임 ETMS 비행은 유럽 지역에서 불완전하고, AMOC 비행은 미국지역에서 불완전하기 때문에 긴 궤적을 다루기 위해서 여러 항공편을 구분하고, 단일 궤적 또는 병합궤적을 선택하는 방법을 개발함 아래 그림들은 ETMS와 AMOC의 비행을 병합한 후 완전한 궤적을 보여줌



<그림 44> ETMS와 AMOC의 동일 항공편도(ETMS - 파란색, AMOC - 빨간색)



<그림 45> ETMS와 AMOC의 비행 궤적 병합 후의 비행 궤적

(9) AERO2k의 Fuel Profiling Prediction

○ 연료 프로파일링과 예측은 AERO2k Data Integration Tool에서 실행됨

- 이륙: 최대 탑재중량의 60.9%를 사용하여 임무 거리를 비행하는 동안의 이륙 중량 추정, emissions databank와 airport specific departure time-in-mode LUT의 지상 활주, 이륙, 상승(3000ft 까지) 데이터
- 상승(>3000ft): 프로파일 데이터에서 초기 순항 고도를 결정하여 상승 데이터 테이

블에서 상승하는 동안 사용되는 연료량과 최대 상승 지점에서의 항공기 연료 소모량, 운항거리 계산

- 순항 : 순항 데이터 테이블에서 각 순항 구간에서 고도, 마하수, 항공기 중량에 따라 적합한 순항 연료 흐름 선택
- step-climb이나 mid-cruise 구간에서 적합하면 cruise step을 유지
- 하강(3000ft 까지): 하강 데이터 테이블의 최종 순항 고도로부터 고도3000ft 까지 하강하는 동안 소모되는 하강 연료 데이터
- 착륙 : emission databank와 airport-specific arrival time-in-mode LUT의 데이터

(10) Aircraft performance assumptions

○ 항공기 운항 데이터는 항공기 종류, 공간 위치(위도, 경도, 고도), 비행시간 간격으로 세분화됨 다양한 데이터 분석은 항공기 성능 모델링과 연료 소모량에 영향을 미침. 아래는 위의 내용에 대해 요구되는 가정임

○ The Landing and Take-Off(LTO) cycle (고도 3000ft 이하에서의 운항 포함)

- 배출량 데이터 검증에 사용되는 emission databank의 연료 및 배출량 데이터는 인벤토리 작업을 사용하는데 충분한 정밀도가 확보되어야 함
- 3000ft 부근에서 교차하는 첫 비행 지점과 마지막 비행 지점이 공항 상공에 있다고 가정함
- 모든 공항은 해수면에 위치함

○ AERO2k의 LTO 배출량은 지역별 대기 질 평가에 대한 사용을 위해 공항 별로 정확한 데이터 기준을 제공하지는 않음

(가) Payload

- 항공기 중량은 성능과 연료소모에 영향을 주는 지배인자임 탑재중량과 연료 무게는 유상하중(승객, 화물)에 따라 달라지고, 탑재중량 운송 능력은 항공기 종류와 내부 배치의 영향을 받음. 필요 연료량은 임무 거리와 항공기 무게에 대한 함수임
- AERO2k에서는 ICAO의 정기 항공사별 항공 교통 데이터를 사용한다(최대 탑재 중량의 60.9%의 평균 탑재중량 데이터 제공) [ICAO,2002].

(나) Reserves

- 예비 연료량은 일반적으로 임무 거리, 임무 연료량의 함수이고 항공편이 국제선인지 국내선이지, 또는 장거리 운항 구간인지 단거리 운항 구간인지에 따라 달라짐
- AERO2k에서는 장거리 운항 구간에서 임무 비행을 완수하기 위해 필요한 연료의 5%와 200nm의 우회, 30분 동안 낮은 고도로 유지할 수 있는 연료량을 추가함 단거리 운항 구간에서는 임무 완수 연료의 5%에 100nm 우회, 45분 동안 저 고도 비행을 위한 연료량을 추가함

(다) Flight speeds

- 항공기의 비행 속도는 고도, 앞바람(역풍, head winds), 항공사 practice에 따라 달라짐. 항공사 practice는 일반적으로 최대 SAR(specific air range)의 99% 지점의

MRC (maximum range cruise) 속도보다 빠른 비행으로 구성되고, LRC (long-range cruise) 속도라고도 함

- AERO2k에서는 최대 SAR의 99% 지점의 속도를 사용함

(11) Emissions Parameterization for Civil Aviation

○ 온실가스 배출량은 배출지수를 사용하여 계산함 배출지수는 공개적으로 사용가능한 엔진 데이터에 근거함 특히, 배출량 계산에 있어서 AERO2k 내에서 입자수와 질량의 추정을 포함하는 것을 주목해야 함

(가) CO_2 와 H_2O

- 이산화탄소와 물은 탄화수소 연료 연소의 주된 구성요소임 탄화수소의 배출량은 이산화탄소와 물 배출량의 1% 미만이고, 수소량과 탄소량의 비는 알 수 없음. CO_2 배출에서 CO를 추출하기 위해 각각의 몰 질량을 고려함

$$EICO_2 = EICO_{2,ideal} - 44/28 \times EICO$$

(나) NOx

○ 이론적인 계산법은 실제 엔진의 압력이나 온도 등의 데이터를 요구하는데, 엔진 정보는 공개된 자료가 별로 없어 연료 흐름에서 EI NOx와의 연관성을 이용한 방법을 사용함

(2) 배출량 산정 프로그램 및 예측 프로그램 구동에 필요한 DB 조사 및 sample DB 구축

○ 연구계획서에서는 본 연구 부분이 "(1) 배출량 산정 프로그램 개념설계 보고서" 부분에 포함되어 있었으나 개념설계와는 다른 내용이어서 별도의 연구결과로 sample DB 조사 및 구축부분을 정리함

○ 여러 항공기와 엔진 DB를 AEDT2a의 입력 파일인 ASIF(AEDT Standard Input File)과 AEIC 입력 파일 형식에 맞도록 서로 Mapping하고 정리함

나) BADA3 계수 DB 추가 구축 및 항공기-엔진 모델 Mapping

(1) AEDT2a Mapping

○ 여러 항공기와 엔진 DB를 AEDT2a의 입력 파일인 ASIF(AEDT Standard Input File)에 맞도록 서로 Mapping하여 정리함

[FLEET].[dbo].[FLT_ACTYPES]	
# Entry	2615
ACTYPE	SOURCE
0	IATA
100	IATA
141	IATA
142	IATA
143	IATA
146	IATA
14F	IATA
310	IATA
312	IATA
313	IATA
318	IATA
319	IATA
31F	IATA
31Y	IATA
320	IATA
321	IATA
32S	IATA
330	IATA
332	IATA
333	IATA
340	IATA
342	IATA
343	IATA
345	IATA
346	IATA
380	IATA
38F	IATA
707	IATA
70F	IATA
717	IATA
721	IATA
722	IATA
727	IATA

[FLEET].[dbo].[FLT_AIRFRAME_ACTYPE_MAP]		
# Entry	2556	
ACTYPE	AIRFRAME_ID	SOURCE
A10	4876	ICAO
A109	4523	ICAO
A124	4557	ICAO
A140	4558	ICAO
A3	4877	ICAO
A306	4530	ICAO
A306	4532	ICAO
A306	4534	ICAO
A30B	4525	ICAO
A30B	4526	ICAO
A30B	4528	ICAO
A30B	4529	ICAO
A30B	4531	ICAO
A30B	4533	ICAO
A310	4536	ICAO
A310	4537	ICAO
A318	4538	ICAO
A319	4539	ICAO
A319	4540	ICAO
A320	4541	ICAO
A320	4542	ICAO
A321	4543	ICAO
A321	4544	ICAO
A332	4545	ICAO
A333	4546	ICAO
A342	4547	ICAO
A343	4548	ICAO
A345	4549	ICAO
A346	4550	ICAO
A388	4553	ICAO
A3ST	4535	ICAO
A4	4878	ICAO
A4	4879	ICAO

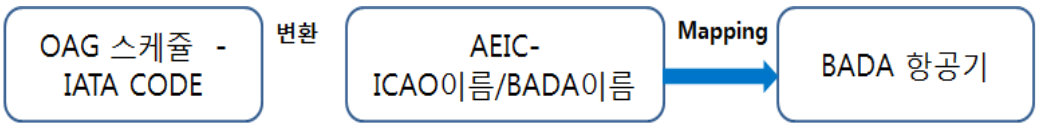
[FLEET].[dbo].[FLT_ACTYPE_CORRECTION]	
# Entry	180
FROM_AC	TO_AC
A300	A306
A36	PA36
AA5A	AA5
AA5B	AA5
AC12	AC11
AC14	AC11
AC21	AC11
AC69	AC90
AC6T	AC80
AJ25	ASTR
AN4	AN12
AT38	T38
AT42	AT43
AV8	HAR
B109	B190
B19	B190
B200	BE20
B206	B06
B32	JS32
B58	BE58
B58P	BE58
B707	B703
B717	B712
B727	B722
B72Q	B722
B73A	B731
B73B	B732
B73C	B733
B73F	B735
B73J	B737
B73Q	B737
B73S	B737
B747	B744

[FLEET].[dbo].[FLT_REF_IATA_ACTYPES]	
# Entry	243
IATA_ACTYPE	MFG_AND_MODEL
100	FOKKER 100
141	BAE 146-100 PASSENGER
142	BAE 146-200 PASSENGER
143	BAE 146-300 PASSENGER
146	BAE 146 PASSENGER
14F	BAE 146 (FREIGHTER)
310	AIRBUS A310 PASSENGER
312	AIRBUS A310-200 PASSENGER
313	AIRBUS A310-300 PASSENGER
318	AIRBUS A318
319	AIRBUS A319
31F	AIRBUS A310 FREIGHTER
31Y	AIRBUS A310-300 FREIGHTER
320	AIRBUS A320
321	AIRBUS A321
32S	AIRBUS A318 /319 /320 /321
330	AIRBUS A330
332	AIRBUS A330-200
333	AIRBUS A330-300
340	AIRBUS A340
342	AIRBUS A340-200
343	AIRBUS A340-300
345	AIRBUS A340-500
346	AIRBUS A340-600
380	AIRBUS A380 PAX
38F	AIRBUS A380 FREIGHTER
707	BOEING 707 /720 PASSENGER
70F	BOEING 707-320B /320C (FREIGHTER
717	BOEING 717-200
721	BOEING 727-100 (PASSENGER)
722	BOEING 727-200 PASSENGER
727	BOEING 727 (PASSENGER)
72A	BOEING 727-200 ADVANCED

<그림 46> AEDT2a의 Fleet DB의 여러 항공기와 엔진 Mapping

(2) AEIC Mapping

○ OAG 운항 스케쥴에 있는 IATA CODE를 AEIC의 ICAO와 BADA 이름과 매핑하여 AEIC의 BADA 항공기 모델에 사용할 수 있도록 함



Aircraft in OAG Schedule to BADA Aircraft Mapping				
Souce: AEIC v 2.1₩AircraftCodes.txt				
IATA Code	AEIC #	ICAO/BADA CODE	Manufacturer	Aircraft Type / Model
100	1	F100	Fokker	100
141	2	B461	BAe	146-100
142	3	B462	BAe	146-200
143	4	B463	BAe	146-300
146	5	B462	BAe	146
14F	6	B462	BAe	146
14X	7	B461	BAe	146
14Y	8	B462	BAe	146
14Z	9	B463	BAe	146
310	10	A310	Airbus	A310
312	11	A310	Airbus	A310-200
313	12	A310	Airbus	A310-300
318	13	A318	Airbus	A318
319	14	A319	Airbus	A319
31F	15	A310	Airbus	A310
31X	16	A310	Airbus	A310-200
31Y	17	A310	Airbus	A310-300
320	18	A320	Airbus	A320-100/200
321	19	A321	Airbus	A321-100/200
32S	20	A320	Airbus	A318/319/320/321
330	21	A332	Airbus	A330
332	22	A332	Airbus	A330-200
333	23	A333	Airbus	A330-300
340	24	A343	Airbus	A340
342	25	A342	Airbus	A340-200
343	26	A343	Airbus	A340-300
345	27	A345	Airbus	A340-500
346	28	A346	Airbus	A340-600
380	29	A388	Airbus	A380
38F	30	A388	Airbus	A380
703	31	B703	Boeing	707-300
707	32	B720	Boeing	707/720
70F	33	B703	Boeing	707

<그림 47> IATA CODE 별로 ICAO Engine Emission Data Bank의 엔진과 Mapping

다) 데이터플랫폼 DB 검색/추출/관리 입출력 변수 및 요구사항 도출

○ 항공 온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증 과제에서 요구되는 Tier3b급의 정밀도를 구현하기 위해 항공사에 요청할 DB를 정리함 또한 이들 데이터를 상세 field로 분류하여 아래에 표로 표시함

<표 27> Airline Fleet Data

Airline Fleet Data	
항공사 보유 각 항공기별로 다음과 같은 데이터가 필요함	
Data Type	Remark
Tail Number	Tail number가 아니고 임의 식별 번호도 괜찮음. 단 Operation Data의 Tail number와 Consistent해야 함
Aircraft Type	
Engine Type	
Engine UID	
Year of Delivery	
Number of seats	
Role	

<표 28> Airline Fleet Data example

Tail Number	Aircraft Type	Engine Type	Engine UID	Year of Delivery	Number of seats	Role
HL7XXX	737-900	CFM56-7B24	3CM032	2004	190	Passenger

<표 29> Operation Data

Operation Data	
각 항공사의 2010년도의 모든 Revenue Operation에 대해서 다음과 같은 데이터가 필요함	
Data Type	Remark
Tail Number	Tail number가 아니고 임의 식별 번호도 괜찮음. 단 Airline Fleet Data의 Tail number와 일관성이 있어야함
Origin Airport	
Destination Airport	
Departuretime	
Arrival time	

<표 30> Operation Data example

Tail Number	Origin Airport	Destination Airport	Departure time	Arrival time
HL7XXX	GMP	CJU	13:00	14:00

<표 31> Detailed Mission Data

Detailed Mission Data	
검증을위해각기종별,몇개의샘플운항(단거리노선,장거리노선)에대한FDR데이터가필요함.	
Data Type	Remark
Ramp Mass	게이트출발시항공기 총 중량
BlockFuel	Gate-to-gate연료총사용량
Duration	총 운항 시간
Track Distance	총 운항 거리
Time	데이터 포이트가 생성된 시각 (혹은 임무시작 부터의 시점)

Coordinates	
Heading	
Altitude	
True Air Speed	
Mach	
Ground Speed	
Air Temperature	
Gear Up/Down	
Flap	
Engine Thrust (if available)	
Fuel Flow	

<표 32> Detailed Mission Data example (1)

Ramp Mass	BlockFuel	Duration	Track Distance	Time	Coordinates	Coordinates
[kg]	[kg]	[min]	[km]	[sec]	[Latitude, deg]	[Longitude, deg]
68,033	5723	110	1572	0	…	…
				…	…	…
				…	…	…
				…	…	…
				1800	46.263	-71.225
				…	…	…
				…	…	…
				…	…	…

<표 33> Detailed Mission Data example (2)

Heading	Altitude	True Air Speed	Mach	Ground Speed	Air Temperature
[deg]	[ft]	[km/hour]		[km/hour]	[degree, Celsius]
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
57.86	35000	948.224	0.78	925.33	-58.3
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…

<표 34> Detailed Mission Data example (3)

Gear Up/Down	Flap	Engine Thrust (if available)	Fuel Flow
		[Newton]	[kg/hour]
…	…	…	…
…	…	…	…
…	…	…	…
…	…	…	…
Up	Cruise	3291.684	2400
…	…	…	…
…	…	…	…
…	…	…	…

<표 35> Statistic Data (1)

Statistic Data	
다음과 같은 항공사별 통계자료가 필요	
Data Type	Remark
Averageloadfactor	노선별, 기종별
Average or Histogram of Difference between Ground Track Distance and Great Circle Distance	노선별, 기종별
Average Taxi-Out time	출발공항별, 기종별
Average Taxi-In time	도착공항별, 기종별
Average Maintenance Cost per hour	노선별, 기종별
Average Flight Crew Cost per hour	노선별, 기종별
Average Cabin Crew Cost per hour	노선별, 기종별
Average Fees (route fees, landing fees, etc.)	노선별, 기종별
Average Fees (route fees, landing fees, etc.)	노선별, 기종별

<표 36> Statistic Data (2)

Statistic Data		
Data Type	Example	Remark
Averageloadfactor	70%	Annual average of load factor or payload (if possible for each route)
Average or Histogram of Difference between Ground Track Distance and Great Circle Distance	20%	
Taxi-Out time	30	Annual average of taxi-out and taxi-in time (if possible for each route)
Taxi-In time	15	Annual average of taxi-out and taxi-intime (if possible for each route)
Average Maintenance Cost per hour	70 만원	
Average Flight Crew Cost per hour	65 만원	
Average Cabin Crew Cost per hour	48 만원	
Average Fees (route fees, landing fees, etc.)	13 만원	

<표 37> Additional Questions

Additional Questions	
Tankering	How often does the airline do tankering for each route? What is the average of extra fuel amount for tankering per each route?

라) 항공 DB 조사 및 확보(Aviation Database Overview)

○ 항공온실가스 배출량 산정 프로그램의 개발 및 검증을 수행하기 위해 필요한 DB들을 모두 조사하여 정리한 후 확보 가능한 DB를 구매하거나 무상 라인센스 계약 또는 인터넷에서 무상으로 다운로드를 통해 확보함

- 무상 라인센스 계약을 통한 확보 : BADA 3.1.2(Eurocontrol과 계약)
- 무료로 확보 가능한 데이터 확보 : BTS 등

- OAG 데이터 구매(2010년 데이터, 세종대 교육용 라이센스 $1,400, 2014년 데이터도 구매 가능하나 타 데이터와의 비교를 위해 2010년 데이터를 구매함, 학교이외에 교통연구원 등에서 구매할 경우 5배 이상의 비용이 필요할 것으로 판단됨)

<표 38> 2010 Flight Schedules of flights of 7 named Korean carriers World-World(1)

Carrier1	Carrier1Name	FlightNo1	DepAirport	DepAirportName	ArrAirport
7C	Jeju Airlines	100	CJU	Jeju International	GMP
7C	Jeju Airlines	100	CJU	Jeju International	GMP
7C	Jeju Airlines	100	CJU	Jeju International	GMP
7C	Jeju Airlines	100	CJU	Jeju International	GMP
7C	Jeju Airlines	100	CJU	Jeju International	GMP
7C	Jeju Airlines	100	CJU	Jeju International	GMP
7C	Jeju Airlines	100	CJU	Jeju International	GMP

<표 39> 2010 Flight Schedules of flights of 7 named Korean carriers World-World(2)

ArrAirportName	Local DepTime	Local ArrTime	SpecificAcftName
Seoul Gimpo International Airport	0710	0820	De Havilland DHC-8 Dash 8-400 Dash 8q
Seoul Gimpo International Airport	0710	0820	De Havilland DHC-8 Dash 8-400 Dash 8q
Seoul Gimpo International Airport	0710	0820	De Havilland DHC-8 Dash 8-400 Dash 8q
Seoul Gimpo International Airport	0710	0820	De Havilland DHC-8 Dash 8-400 Dash 8q
Seoul Gimpo International Airport	0710	0820	De Havilland DHC-8 Dash 8-400 Dash 8q
Seoul Gimpo International Airport	0710	0820	De Havilland DHC-8 Dash 8-400 Dash 8q
Seoul Gimpo International Airport	0710	0820	De Havilland DHC-8 Dash 8-400 Dash 8q

<표 40> 2010 Flight Schedules of flights of 7 named Korean carriers World-World(3)

SpecificAcft	MaxTakeOff Weight	DistKm	DepIATACtry	ArrIATACtry	Frequency	TimeSeries
DH4	29	451	KR	KR	1	2010-02-21
DH4	29	451	KR	KR	1	2010-02-27
DH4	29	451	KR	KR	1	2010-04-20
DH4	29	451	KR	KR	1	2010-06-17
DH4	29	451	KR	KR	1	2010-06-20
DH4	29	451	KR	KR	1	2010-06-26
DH4	29	451	KR	KR	1	2010-08-17

(1) 2010 Flight Schedules of all flights (minus 7 named Korean carriers) in/out of Korea (78,799줄의 방대한 데이터임)

<표 41> 2010 Flight Schedules of all flights(1)

Carrier1	Carrier1Name	FlightNo1	DepAirport	DepAirportName	ArrAirport
SQ	Singapore Airlines	16	ICN	Seoul Incheon International Airport	SFO
DL	Delta Air Lines	158	ICN	Seoul Incheon International Airport	DTW
AF	Air France	264	CDG	Paris Charles de Gaulle Apt	ICN
NH	All Nippon Airways	1161	HND	Tokyo Haneda Apt	GMP
5J	Cebu Pacific Air	195	ICN	Seoul Incheon International Airport	MNL
MU	China Eastern Airlines	5058	MWX	Muan	PVG
XT	Skystar Airways	611	ICN	Seoul Incheon International Airport	HKT

<표 42> 2010 Flight Schedules of all flights(2)

ArrAirportName	LocalDepTime	LocalArrTime	SpecificAcftName	SpecificAcft
San Francisco International Apt	1740	1110	Boeing 777-300ER Passenger	77W
Detroit Wayne County	1735	1800	Boeing 777 Passenger	777
Seoul Incheon International Airport	1330	0710	Boeing 777 Passenger	777
Seoul Gimpo International Airport	0855	1125	Boeing 777 Passenger	777
Manila Ninoy Aquino International Apt	2135	0030	Airbus A320	320
Shanghai Pudong International Apt	1220	1240	Airbus A320	320
Phuket	2220	0240	Boeing 767-200 Passenger	762

<표 43> 2010 Flight Schedules of all flights(3)

MaxTakeOffWeight	DistKm	DeplATACtry	ArrlATACtry	Frequency	TimeSeries
352	9080	KR	US	1	2010-11-19
298	10651	KR	US	1	2010-06-03
298	8924	FR	KR	1	2010-10-09
298	1178	JP	KR	1	2010-12-21
77	2607	KR	PH	1	2010-05-08
77	602	KR	CN	1	2010-05-05
179	4319	KR	TH	1	2010-02-07

(2) AEIC에 포함된 2005 OAG 데이터를 사용한 분류

인천출발					
출발	도착	기종	회수	누적 회수	누적 %
ICN	ANC	74Y	1711	1711	2.185827
ICN	ANC	74F	1179	2890	3.692017
ICN	KIX	333	1176	4066	5.194374
ICN	NRT	767	1167	5233	6.685233
ICN	NRT	777	1111	6344	8.104552
ICN	NRT	744	1075	7419	9.47788
ICN	NGO	767	1013	8432	10.772
ICN	HKG	74E	938	9370	11.97031
ICN	KIX	767	820	10190	13.01787
ICN	SIN	772	785	10975	14.02072
ICN	PVG	AB6	775	11750	15.01079
ICN	LAX	744	768	12518	15.99193
ICN	HKG	773	738	13256	16.93473
ICN	PUS	739	663	13919	17.78172
ICN	SFO	772	626	14545	18.58145
ICN	FUK	767	620	15165	19.37351
ICN	TAO	333	605	15770	20.1464
ICN	BKK	777	583	16353	20.89119
ICN	HKG	777	552	16905	21.59638

인천도착					
도착	출발	기종	회수	누적 회수	누적 %
ICN	KIX	333	1180	1180	1.509086
ICN	NRT	767	1166	2346	3.000269
ICN	NRT	777	1110	3456	4.419833
ICN	NRT	744	1071	4527	5.789521
ICN	NGO	767	1013	5540	7.085033
ICN	HKG	74E	933	6473	8.278235
ICN	KIX	767	819	7292	9.325643
ICN	ANC	74Y	806	8098	10.35643
ICN	SIN	772	786	8884	11.36163
ICN	PVG	AB6	775	9659	12.35277
ICN	LAX	744	768	10427	13.33495
ICN	HKG	773	757	11184	14.30307
ICN	BKK	777	711	11895	15.21236
ICN	PUS	739	665	12560	16.06282
ICN	SFO	772	626	13186	16.8634
ICN	FUK	767	620	13806	17.65631
ICN	TAO	333	608	14414	18.43388
ICN	FUK	AB6	548	14962	19.13471
ICN	PVG	74E	523	15485	19.80356

<그림 48> 인천공항 상위 20개 출/도착 노선 (2005년)

(3) 해외 프로그램을 사용한 항공 온실가스 배출량 산정

○ AEDT2a는 구매하여 설치하였으나(copy당 미화 $600, 3 copy 구매) 과학원에서 AEDT2a를 사용하여 일부 계산을 수행하였고 AEDT2b가 5월 29일에 출시될 예정이며 AEDT2b는 AEDT2a에 GUI 뿐만 아니라 input file인 ASIF(AEDT Standard Input File)의 작성법 등도 달라서 AEDT2a를 사용한 기능 분석은 개념설계 보고서 부분에 AEDT2a Technical Manual 기능 분석 내용으로 대체하고 착수회의 때 지적받은 AEDT2a 이외의 다른 소프트웨어와의 비교분석을 위해서 AEIC와 Piano-X를 확보하여 온실가스를 산정함

(가) 검증에 사용할 국내 상황에 맞는 대표적인 Study 구성, 해석, 온실가스 산정 결과 도출

○ 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램의 검증 절차를 위해서는 국제적으로 인정받는 해외 유사 소프트웨어를 도입하여 국내 상황에 맞게 Study를 구성하여 국적항공사 운항에 따른 온실 가스 배출량 산정이 필요하여 계산을 수행함

㉠ AEIC를 사용한 LTO(Landing and Take-Off) 분석

○ AEIC는 미국 MIT 대학 항공환경 실험실에서 개발(Aviation Emissions Inventory Code)

○ LTO 운항은 3000ft이하의 운항을 의미함, Non-LTO는 3000ft 이상을 의미함, OAG(Official Airline Guide)라는 항공운송정보 제공회사의 2005년 비행운항 data 이용

○ 공항 별로 2005년 1년치 다음 data 생성: 공항별 출•도착 모든 항공편 list 작성

○ AEIC에서의 Raw data를 모두 가공하여 공항별로 Matlab structure를 구성

○ 그림 18, 그림 19와 같은 공항정보와 항공기 운항 스케쥴(OAG data), 즉 모든 출•

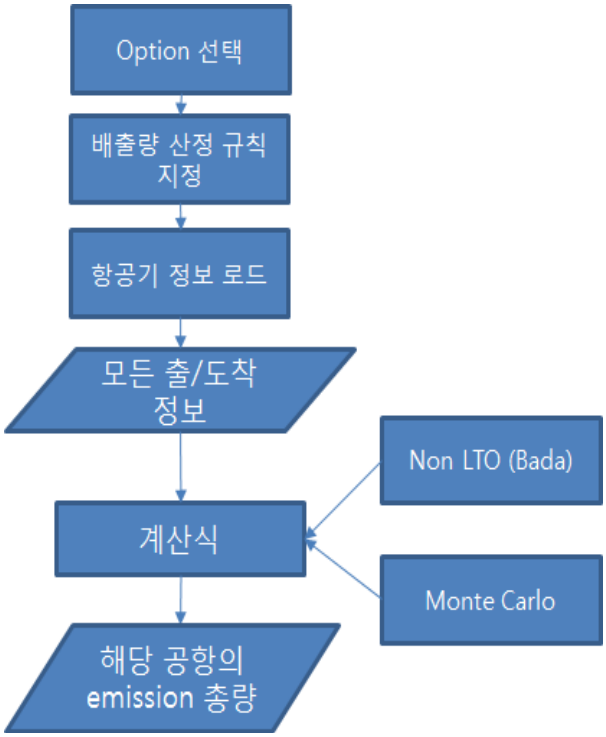
도착 정보를 이착륙 시(LTO)의 입력값으로 사용함 이러한 입력값에 대해 AEIC내에 있는 이론적인 계산식을 사용하여 우리가 원하는 공항에서의 이착륙 시 항공기 온실가스 배출량을 산정함

Origin airport	출발 공항
Destination airport	도착 공항
Aircraft type	항공기 기종
DOPS(?)	DOPS + EffDt + DisDt → 비행 날짜 산정
Departure time	출발 시간
Arrival time	도착 시간
Flts (?)	
EffDt (시작일)	DOPS + EffDt + DisDt → 비행 날짜 산정
DisDt (종료일)	DOPS + EffDt + DisDt → 비행 날짜 산정
StSeat	사용되지 않음

<그림 49> 공항별 Raw data format

ArrDep	Arrival = 1, Departure = 2
Dest	상대 공항
Aircraft type	항공기 종류
hour	1월 1일 0시를 기준으로 한 1년 중의 시간

<그림 50> 공항별 Converted data format



<그림 51> AEIC Software 흐름도

○ 아래 그림들은 국내 총 14개 공항(국내선 공항 7곳, 국제 공항 7곳)에 대해 2005년 연간 Fuel Burn, Nox, CO, CO2, SO2, SO4 HONO, NO, NO2, HC 산출 결과를 나타냄.

○ 산출 결과값을 보면 연료소모는 인천공항(ICN)이 1.3867e+08 kg으로 가장 높고,

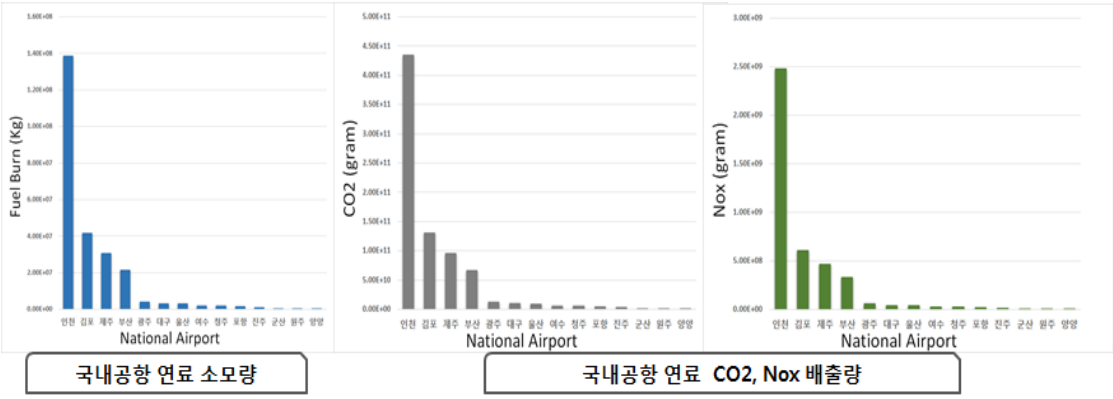
그다음으로는 김포공항(GMP)이 4.1548e+07 kg, 제주공항(CJU) 3.051e+07, 부산공항(PUS)이 2.139e+07으로 높았음. 나머지 공항들은 위의 4개의 공항의 차이에 비해 각 공항의 연료소모량 차이가 크게 나지 않음. 그 외에 다른 온실가스 배출 성분들도 전체에서 차지하는 비율의 차이는 있었지만 각 공항별 배출되는 경향은 연료소모의 경우와 같음.

공항	IATA ID	Fuel burn (kg)	Nox (gram)	CO (gram)	CO2 (gram)
광주	KWJ	4.056e+06	6.0631e+07	3.9963e+07	1.2742e+10
군산	KUV	4.097e+05	6.3208e+06	3.2913e+06	1.2881e+09
여수	RSU	1.900e+06	2.6092e+07	1.8976e+07	5.9697e+09
제주	CJU	3.051e+07	4.6773e+08	2.9880e+08	9.5820e+10
부산	PUS	2.139e+07	3.2842e+08	2.6868e+08	6.7029e+10
진주	HIN	9.7630e+05	1.3601e+07	1.0252e+07	3.0659e+09
울산	USN	3.0406e+06	4.3283e+07	2.7343e+07	9.5570e+09
인천	ICN	1.3867e+08	2.4765e+09	1.6715e+09	4.3462e+11
김포	GMP	4.1548e+07	6.0521e+08	5.1193e+08	1.3027e+11
포항	KPO	1.4848e+06	2.0378e+07	1.4729e+07	4.6647e+09
대구	TAE	3.2109e+06	4.3810e+07	3.4064e+07	1.0083e+10
청주	CJJ	1.8059e+06	2.4250e+07	1.9686e+07	5.6700e+09
양양	YNY	2.0143e+05	3.1473e+06	1.5296e+06	6.3355e+08
원주	WJU	2.0599e+05	3.1782e+06	1.6545e+06	6.4772e+08

<그림 52> LTO 배출량 산정 결과(1) (2005년)

공항	IATA ID	SO2 (gram)	SO4 (gram)	HONO (gram)	NO (gram)
광주	KWJ	4.7704e+06	1.4603e+05	9.9580e+05	5.1574e+07
군산	KUV	4.8176e+05	1.4748e+04	1.0427e+05	5.3815e+06
여수	RSU	2.2348e+06	6.8412e+04	4.3856e+05	2.2240e+07
제주	CJU	3.5878e+07	1.0983e+06	7.4104e+06	3.9965e+08
부산	PUS	2.5156e+07	7.7007e+05	5.1874e+06	2.8069e+08
진주	HIN	1.1481e+06	3.5147e+04	2.3046e+05	1.1502e+07
울산	USN	3.5757e+06	1.0946e+05	7.1926e+05	3.7025e+07
인천	ICN	1.6308e+08	4.9922e+06	3.5667e+07	2.1357e+09
김포	GMP	4.8860e+07	1.4957e+06	9.8252e+06	5.1223e+08
포항	KPO	1.7462e+06	5.3454e+04	3.4289e+05	1.7360e+07
대구	TAE	3.7760e+06	1.1559e+05	7.4495e+05	3.7014e+07
청주	CJJ	2.1237e+06	6.5011e+04	4.1391e+05	2.0469e+07
양양	YNY	2.3689e+05	7.2516e+03	5.1546e+04	2.6894e+06
원주	WJU	2.4225e+05	7.4157e+03	5.2441e+04	2.7059e+06

<그림 53> LTO 배출량 산정 결과(2) (2005년)

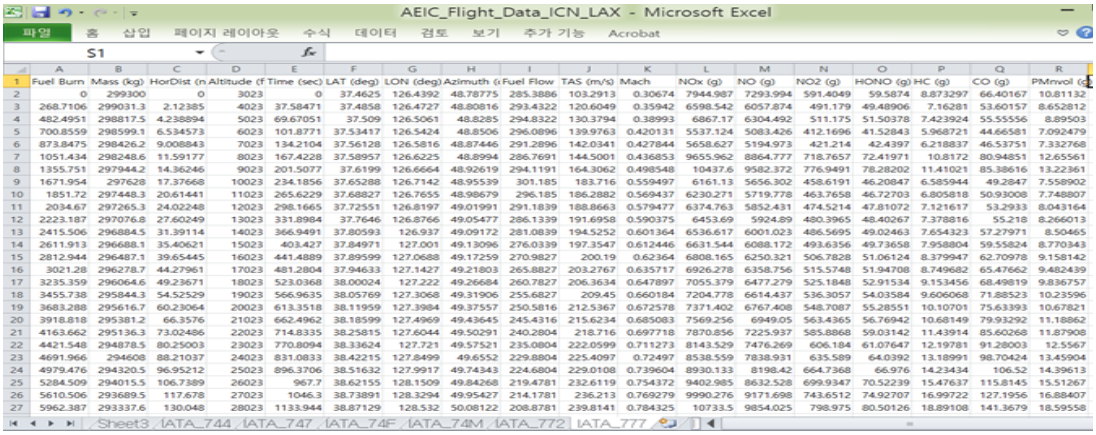


<그림 54> 국내공항 LTO 배출량 산정 결과 그래프(2005년)

㉡ AEIC를 사용한 Non-LTO 분석

○ Non LTO은 3,000ft 이상의 운항을 의미함, OAG 2005 data 이용

○ EUROCONTROL의 BADA(Base of Aircraft Data)데이터를 별도로 사용하여 항공기 성능 계산(김포-제주, 인천-LA, 인천-베이징, 인천-부산)



AEIC_Flight_Data_ICN_LAX - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Fuel Burn	Mass (kg)	HorDist (n	Altitude (f	Time (sec)	LAT (deg)	LON (deg)	Azimuth ((	Fuel Flow	TAS (m/s)	Mach	NOx (g)	NO (g)	NO2 (g)	HONO (g)	HC (g)	CO (g)	PMnvol (g
2	0	299300	0	3023	0	37.4625	126.4392	48.78775	285.3886	103.2913	0.30674	7944.987	7293.994	591.4049	59.5874	8.873297	66.40167	10.81132
3	268.7106	299031.3	2.12385	4023	37.58471	37.4858	126.4727	48.80816	293.4322	120.6049	0.35942	6598.542	6057.874	491.179	49.48906	7.16281	53.60157	8.652812
4	482.4951	298817.5	4.238894	5023	69.67051	37.509	126.5061	48.8285	294.8322	130.3794	0.38993	6867.17	6304.492	511.175	51.50378	7.423924	55.55556	8.89503
5	700.8559	298599.1	6.534573	6023	101.8771	37.53417	126.5424	48.8506	296.0896	139.9763	0.420131	5537.124	5083.426	412.1696	41.52843	5.968721	44.66581	7.092479
6	873.8475	298426.2	9.008843	7023	134.2104	37.56128	126.5816	48.87446	291.2896	142.0341	0.427844	5658.627	5194.973	421.214	42.4397	6.218837	46.53751	7.332768
7	1051.434	298248.6	11.59177	8023	167.4228	37.58957	126.6225	48.8994	286.7691	144.5001	0.436853	9655.962	8864.777	718.7657	72.41971	10.8172	80.94851	12.65561
8	1355.751	297944.2	14.36246	9023	201.5077	37.6199	126.6664	48.92619	294.1191	164.3062	0.498548	10437.6	9582.372	776.9491	78.28202	11.41021	85.38616	13.22361
9	1671.954	297628	17.37668	10023	234.1856	37.65288	126.7142	48.95539	301.185	183.716	0.559497	6161.13	5656.302	458.6191	46.20847	6.585944	49.2847	7.558902
10	1851.72	297448.3	20.61441	11023	265.6229	37.68827	126.7655	48.98679	296.185	186.2882	0.569437	6230.271	5719.778	463.7658	46.72703	6.805818	50.93008	7.748807
11	2034.67	297265.3	24.02248	12023	298.1665	37.72551	126.8197	49.01991	291.1839	188.8663	0.579477	6374.763	5852.431	474.5214	47.81072	7.121617	53.2933	8.043164
12	2223.187	297076.8	27.60249	13023	331.8984	37.7646	126.8766	49.05477	286.1339	191.6958	0.590375	6453.69	5924.89	480.3965	48.40267	7.378816	55.218	8.266013
13	2415.506	296884.5	31.39114	14023	366.9491	37.80593	126.937	49.09172	281.0839	194.5252	0.601364	6536.617	6001.023	486.5695	49.02463	7.654323	57.27971	8.50465
14	2611.913	296688.1	35.40621	15023	403.427	37.84971	127.001	49.13096	276.0339	197.3547	0.612446	6631.544	6088.172	493.6356	49.73658	7.958804	59.55824	8.770343
15	2812.944	296487.1	39.65445	16023	441.4889	37.89599	127.0688	49.17259	270.9827	200.19	0.62364	6808.165	6250.321	506.7828	51.06124	8.379947	62.70978	9.158142
16	3021.28	296278.7	44.27961	17023	481.2804	37.94633	127.1427	49.21803	265.8827	203.2767	0.635717	6926.278	6358.756	515.5748	51.94708	8.749682	65.47662	9.482439
17	3235.359	296064.6	49.23671	18023	523.0368	38.00024	127.222	49.26684	260.7827	206.3634	0.647897	7055.379	6477.279	525.1848	52.91534	9.153456	68.49819	9.836757
18	3455.738	295844.3	54.52529	19023	566.9635	38.05769	127.3068	49.31906	255.6827	209.45	0.660184	7204.778	6614.437	536.3057	54.03584	9.606068	71.88523	10.23596
19	3683.288	295616.7	60.23064	20023	613.3518	38.11959	127.3984	49.37557	250.5816	212.5367	0.672578	7371.402	6767.408	548.7087	55.28551	10.10701	75.63393	10.67821
20	3918.818	295381.2	66.3576	21023	662.4962	38.18599	127.4969	49.43645	245.4316	215.6234	0.685083	7569.256	6949.05	563.4365	56.76942	10.68149	79.93292	11.18862
21	4163.662	295136.3	73.02486	22023	714.8335	38.25815	127.6044	49.50291	240.2804	218.716	0.697718	7870.856	7225.937	585.8868	59.03142	11.43914	85.60268	11.87908
22	4421.548	294878.5	80.25003	23023	770.8094	38.33624	127.721	49.57521	235.0804	222.0599	0.711273	8143.529	7476.269	606.184	61.07647	12.19781	91.28003	12.5567
23	4691.966	294608	88.21037	24023	831.0833	38.42215	127.8499	49.6552	229.8804	225.4097	0.72497	8538.559	7838.931	635.589	64.0392	13.18991	98.70424	13.45904
24	4979.476	294320.5	96.95212	25023	896.3706	38.51632	127.9917	49.74343	224.6804	229.0108	0.739604	8930.133	8198.42	664.7368	66.976	14.23434	106.52	14.39613
25	5284.509	294015.5	106.7389	26023	967.7	38.62155	128.1509	49.84268	219.4781	232.6119	0.754372	9402.985	8632.528	699.9347	70.52239	15.47637	115.8145	15.51267
26	5610.506	293689.5	117.678	27023	1046.3	38.73891	128.3294	49.95427	214.1781	236.213	0.769279	9990.276	9171.698	743.6512	74.92707	16.99722	127.1956	16.88407
27	5962.387	293337.6	130.048	28023	1133.944	38.87129	128.532	50.08122	208.8781	239.8141	0.784325	10733.5	9854.025	798.975	80.50126	18.89108	141.3679	18.59558

Sheet3 / IATA_744 / IATA_747 / IATA_74F / IATA_74M / IATA_772 / IATA_777

<그림 55> AEIC Non-LTO 배출량 산정 결과(2005년)

○ EUROCONTROL의 BADA(Base of Aircraft Data)데이터를 별도로 사용하여 항공기 성능 계산(김포-제주, 인천-LA, 인천-베이징, 인천-부산)

㉢ AEIC 배출량 산정 결과 검증

○ MIT에서 AEIC 개발 후, 결과 데이터를 검증할 때 LTO를 단독으로 다른 tool과 비교한 데이터는 없음

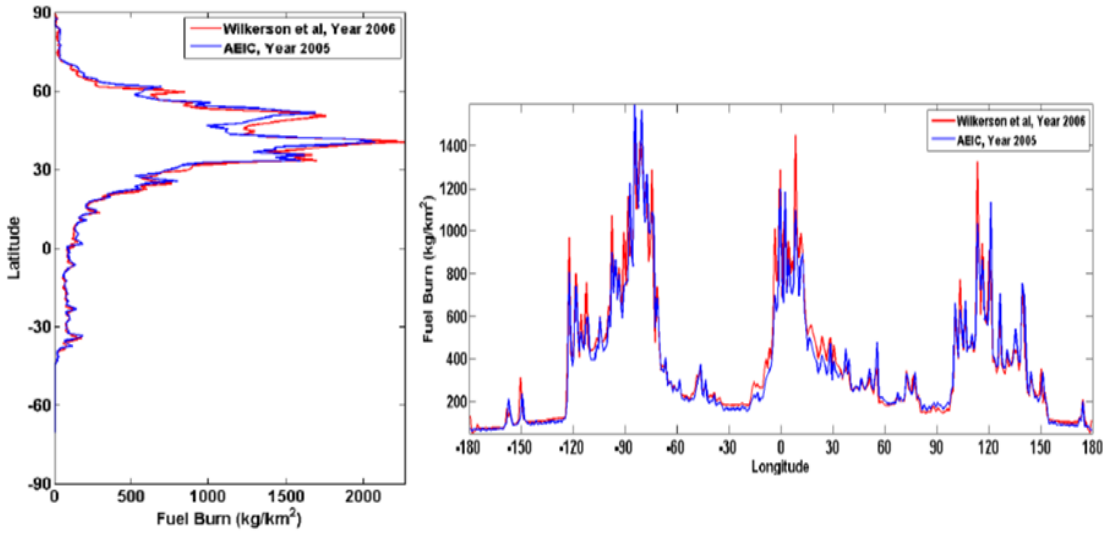
○ LTO + Non-LTO 결과 값을 다른 여러 가지 툴들과 비교 검증함 -> AEDT와 매우 유사한 결과 취득

Table 2
Comparison of global aviation emissions inventories.

Inventory	Year	Emission			
		Fuel burn (Tg/year)	NO_x (Tg NO_2/year)	CO (Tg/year)	HC (Tg CH_4/year)
NASA/Boeing	1999	136	1.38	0.667	0.226
QUANTIFY	2000	152	1.98	-	-
AERO2k	2002	156	2.06	0.507	0.063
AEDT	2004	174.0	2.456	0.628	0.090
Lee et al. (2010)	2005	224	3	0.67	0.09
US EIA	2005	232[a]	-	-	-
AEIC (This study)	2005	180.6 [136.1–232.9]	2.689 [1.761–3.804]	0.749 [0.422–1.145]	0.201 [0.072–0.362]
AEDT	2006	188.2	2.656	0.679	0.098

[a] Reported as barrels per day, conversion to Tg assumes that there are 7.93 barrels per metric ton (US Energy Information Administration, 2013).

<그림 56> AEIC와 타 항공 배출량 산정 프로그램 산정결과 비교



<그림 57> AEIC를 사용한 위도/경도별 연간 배출량 계산과 AEDT 계산 결과 비교

㉣ Piano-X (Aero2k)를 사용한 온실가스 배출량 민감도 해석

○ 영국의 Lissys사에서 개발한 Piano는 약 400개의 항공기 데이터베이스를 바탕으로 단일 비행 시 연료 사용량을 계산함

○ 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 관련 해외 유사 프로그램으로 영국의 AERO2k 내부에 포함되는 PIANO-X 프로그램을 구매하여 온실가스 배출량은 산출하고 이를 바탕으로 민감도 분석을 수행함

○ Single Aisle(B737-800), Small Twin Aisle(B787), Large Twin Aisle(B777-200ER)의 3개 대표 기종 선정을 선정함

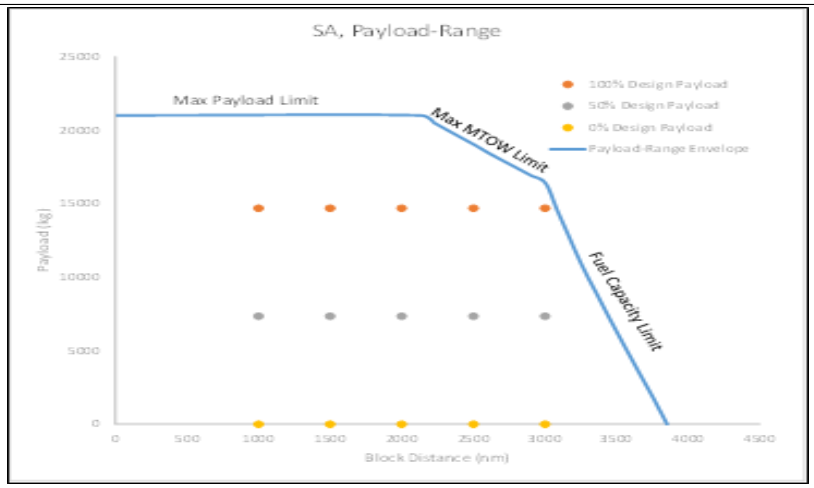
○ B737-800과 B777-200ER은 대한항공의 단거리와 장거리 비행에 가장 많이 사용되는 대표기종임 이 두 개 기종의 데이터 구매를 위해 1,950UKP (한화 약 350만원)을 지불함 대학교에서 사용하는 것이여서 Academic version은 없지만 50% discount를 받아 구매함

○ Boeing 기종에 대한 온실가스 계산값들은 대외적으로 정확한 숫자를 표시하면서 발표할 수 없게 계약이 되어있음

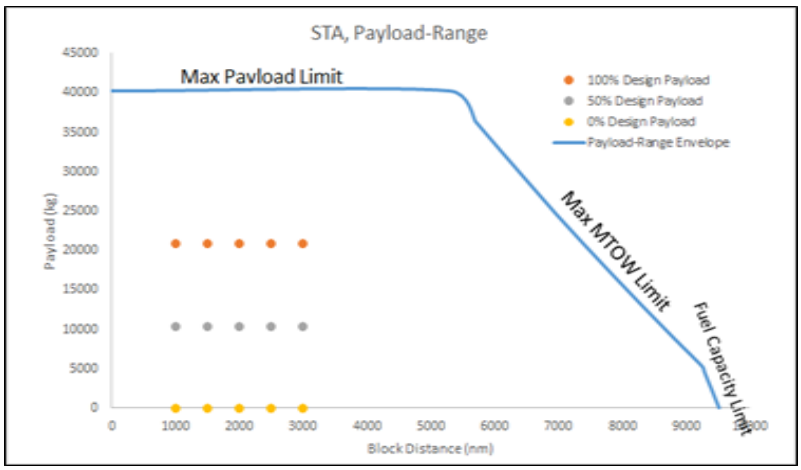
○ 0%, 50%, 100%의 설계 유상하중과 항속거리(1000nm~3000nm), 비행경로에 따른 연료소모량과 배기가스 배출량을 분석함

○ Payload-Range

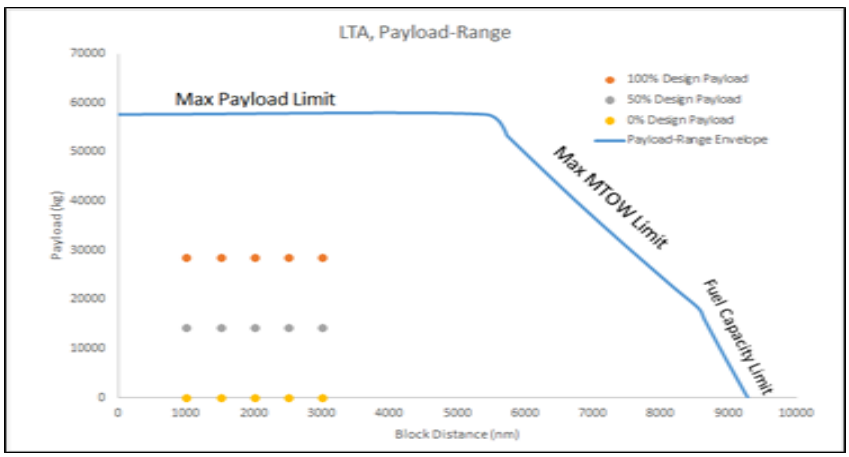
○ SA, STA, LTA의 Payload-Range Diagram상에서 해석에 사용된 조건들을 표시함



<그림 58> SA의 Payload-Range에 대한 분석 조건



<그림 59> STA의 Payload-Range에 대한 분석 조건



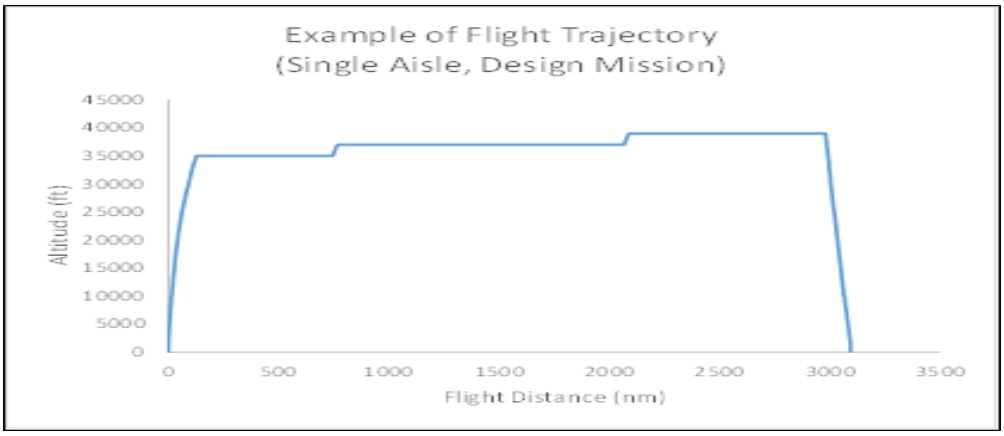
<그림 60> LTA의 Payload-Range에 대한 분석 조건

(3) Flight Trajectory

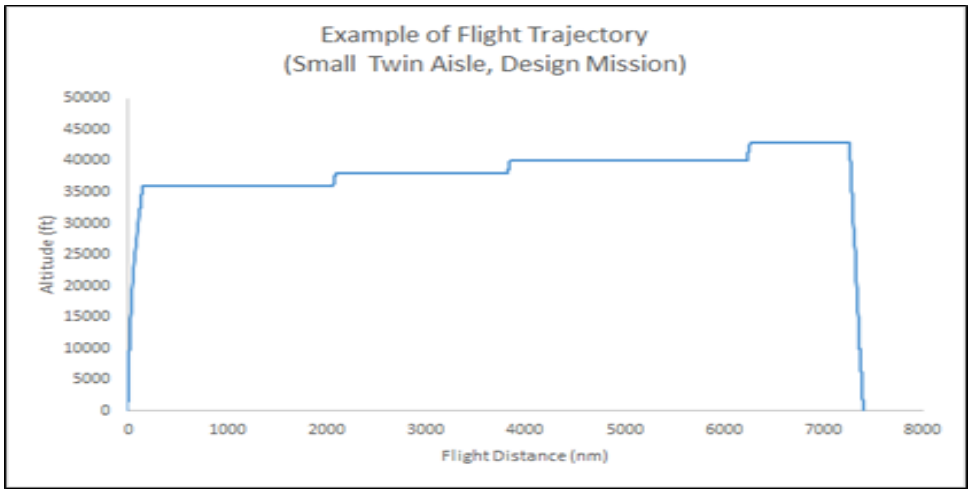
○ 다음과 같은 임무형상을 사용하여 해석을 수행함 상승 시 속도는 FAA 규정에 따라 10,000ft까지 250knot로 제한되고, 10,000 ft에서 일정한 보정대기속도(CAS)로 가속한 후, 속도를 유지하며 순항고도까지 상승함 순항속도는 LRC를 유지함 순항고도

는 2,000ft 구간별로 미리 정해진 고도 값들에 따라 Step Cruise를 함

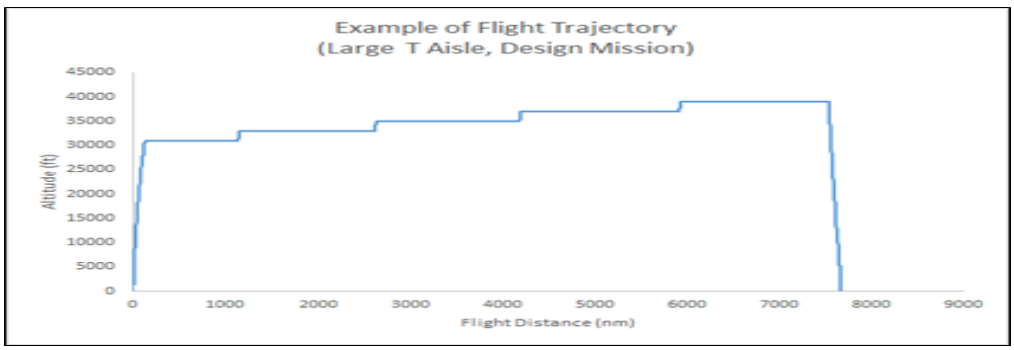
○ 다음 그림들은 위의 임무형상에 따른 각 대표기종 항공기의 design mission의 운항거리에 따른 고도 변화를 나타냄



<그림 61> 임무형상에 따른 SA 항공기의 운항거리에 따른 고도 변화



<그림 62> 임무형상에 따른 STA 항공기의 운항거리에 따른 고도 변화

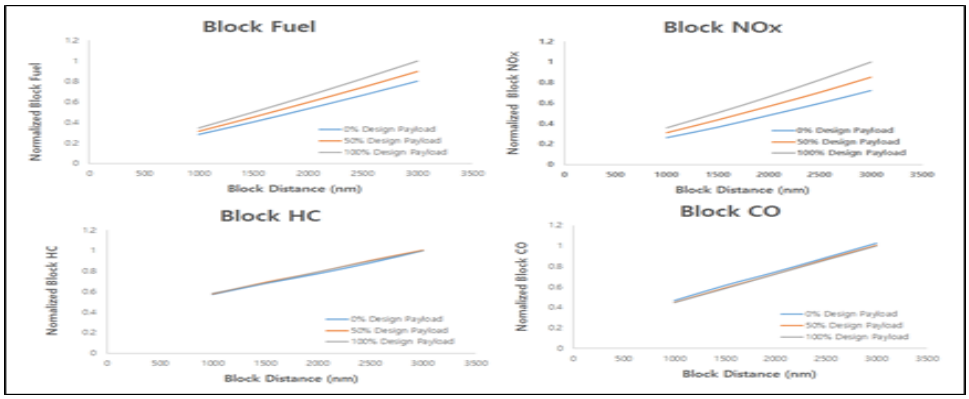


<그림 63> 임무형상에 따른 LTA 항공기의 운항거리에 따른 고도 변화

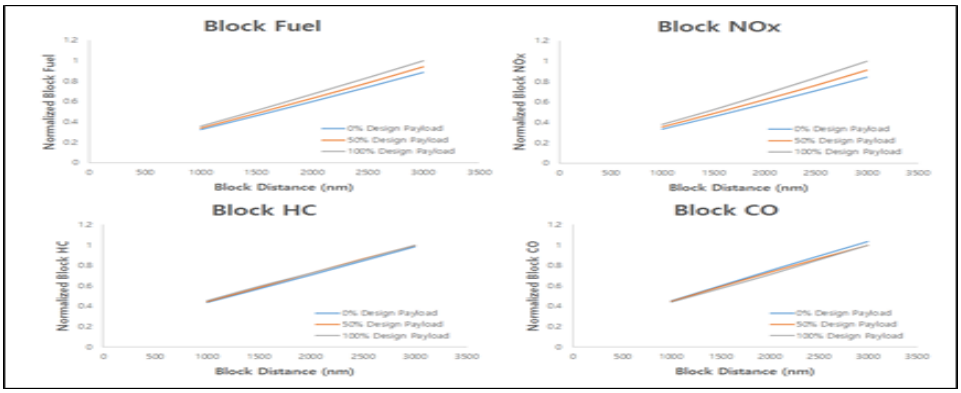
(4) Block Emission

○ 전체 성능(Block Performance)부분에서 보면 Block Fuel(kg)과 Block NOx(kg) 그래프는 예상대로 0% ,50%, 100% 설계유상하중 순으로 증가하였고, 항속거리가

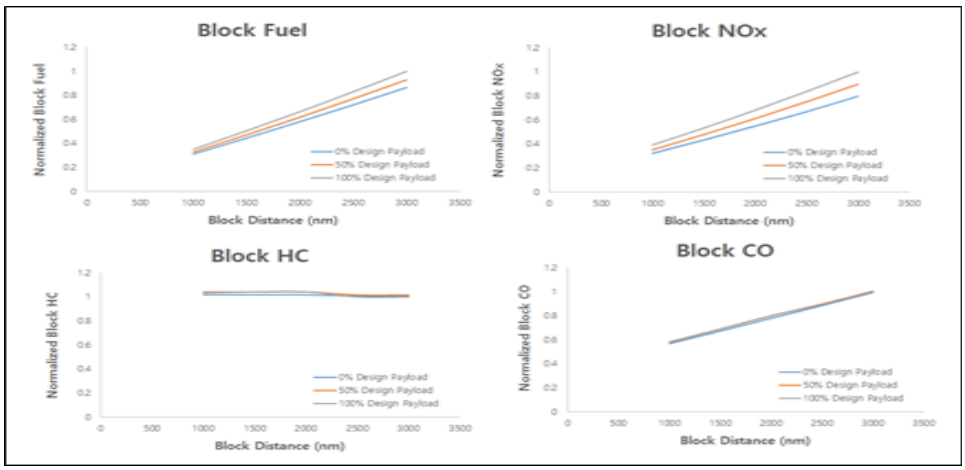
증가할수록 연료소모량이 많았음. 반면 Block HC(kg), Block CO(kg)은 payload에 따른 배출량에 별 차이가 없는 것으로 나타남



<그림 64> SA 항공기의 설계유상하중과 항속거리에 따른 배출량 산정



<그림 65> STA 항공기의 설계유상하중과 항속거리에 따른 배출량 산정



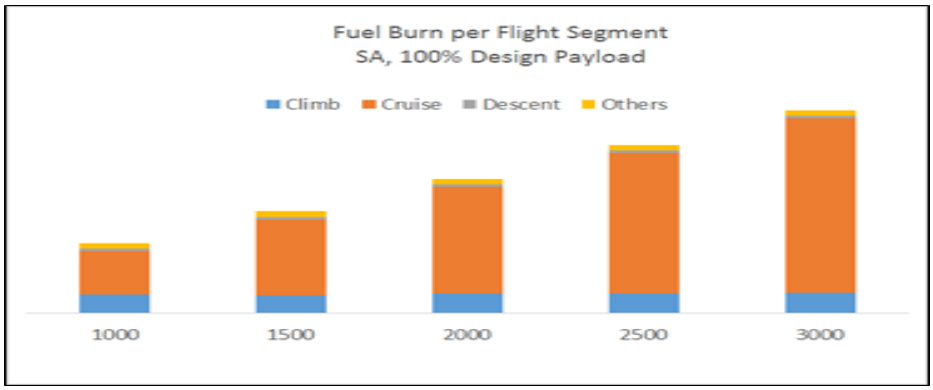
<그림 66> LTA 항공기의 설계유상하중과 항속거리에 따른 배출량 산정

(5) 비행구간별 배출량 산정

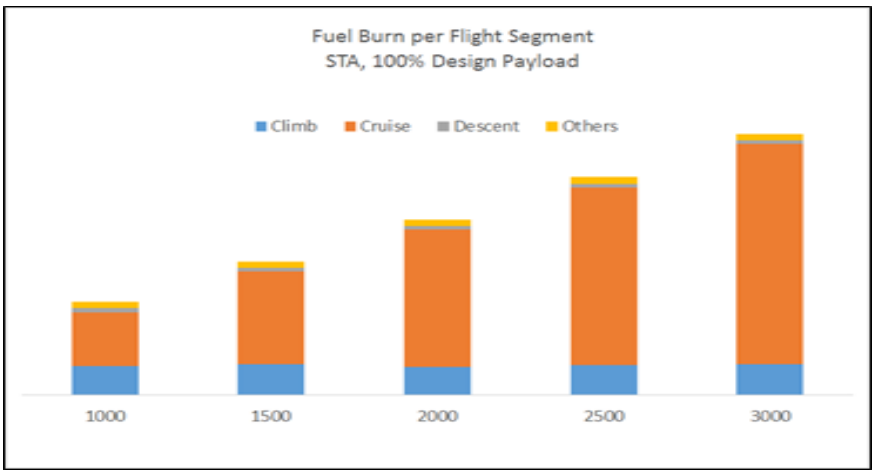
○ 각 대표 항공기 기종에 대해 항속거리를 증가시키면서 비행구간별 세부 연료소모량을 산출한 결과를 아래 그림들에 나타내었음

○ 순항은 다른 비행구간에 비해 상대적으로 비행시간이 길어 순항 시 연료소모량이 가

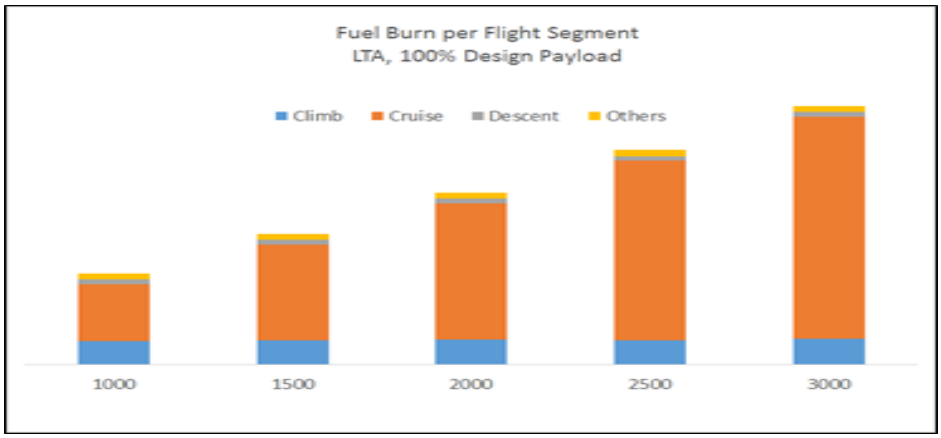
장 많고, 운항거리가 늘어남에 따라 순항 시 연료소모량도 증가함. 운항거리에 따른 다른 비행구간들(이륙, 상승, 하강 등)에서의 연료소모량의 변화는 미미한 것으로 나타남.



<그림 67> SA 항공기의 상승, 순항, 하강 단계별 배출량 산정



<그림 68> STA 항공기의 상승, 순항, 하강 단계별 배출량 산정



<그림 69> LTA 항공기의 상승, 순항, 하강 단계별 배출량 산정

(4) 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개념설계

○ 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈의 개념설계를 아래와 같이 개요, 시스템 분석, 시스템 개발 범위 및 목표, 목표시스템 운영 시나리오, 목표시스템 구축에 의한 변경사항, 목표시스템 분석 순으로 정리함

※ 자세한 사항은 한국교통연구원으로 문의부탁드립니다.

(5) 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 sample DB 구축 및 요구조건 분석

(가) 항공사 운항비 DB 구축

○ 경제성 분석을 위한 별도의 DB로써 국적항공사의 협조를 얻어 항공기 비용 DB 구축이 필요함

㉠ 항공사 비용 DB 개념설계

- 감축수단별 경제성분석 및 의사 결정 모듈은 기본적으로 온실가스 산정 시스템에서 사용하는 공항, 항공기 성능, 미래 운항 스케줄 DB 등과 연동이 되어 필요한 데이터를 추출하여 사용함
- 또한 온실가스 예측 시스템에서 산출되는 감축수단별 온실가스 감축 효과 DB와 연동이 되어 필요한 데이터를 추출하여 사용함
- 경제성 분석을 위한 별도의 DB로 항공사 비용 DB 구축이 필요함
- 일반적으로 항공환경정책/기술도입 의사결정에는 항공사의 직접운항비(Direct Operating Cost, DOC)에 미치는 영향을 고려하는 것이 일반적이며, 직접운항비는 다음과 같은 항목을 포함함
  - 연료비(Fuel Cost)
  - 인건비(Crew Cost)
  - 정비비(Maintenance Cost)
  - 항공기 구매 비용(Ownership Cost)
  - 공항이용료 등 기타 수수료(Landing fees, route fees, etc.)
- 항공사 비용 DB는 이상적으로는 국적 항공사들의 협조를 통해 국내 상황에 적합한 DB를 구축하는 것이 바람직함
- 차선책으로 미국 교통부(Department of Transportation, DOT) 산하 교통통계청(Bureau of Transportation Statistics, BTS)에서 분기별로 제공하는 미국 항공사들의 Air Carrier Financial: Schedule P-5.2 데이터의 구조 및 항공기 기종별 평균값을 사용
- 또한 기본적인 평균치 데이터를 바탕으로 하되 사용자가 고유한 데이터를 이용하여 기본 데이터를 수정하여 사용 가능하도록 DB 구성

<그림 70> 미국 교통국(DOT) 의 BTS 데이터 웹 포털 Data Library

(6) 항공사 비용 DB 구조

○ BTS Air Carrier Financial: Schedule P-5.2 의 항공사 직접 운항비 항목은 크게 아래와 같으며 자세한 항목은 아래 표 참조

- Flying Operations
- Direct Maintenance
- Flight Equipment Maintenance
- Depreciation

Cost Categories	Description
PILOT_FLY_OPS	**51230 - Pilots And Copilots (000)**
OTH_FLT_FLY_OPS	51240 - Other Flight Personnel (000)
TRAIN_FLY_OPS	51281 - Trainees And Instructors (000)
PERS_EXP_FLY_OPS	51360 - Personnel Expenses (000)
PRO_FLY_OPS	51410 - Professional And Technical Fees And Expenses (000)
INTERCHG_FLY_OPS	51437 - Aircraft Interchange Charges (000)
FUEL_FLY_OPS	**51451 - Aircraft Fuel (000)**
OIL_FLY_OPS	51452 - Aircraft Oil (000)
RENTAL_FLY_OPS	**51470 - Rentals (000)**
OTHER_FLY_OPS	51530 - Other Supplies (000)
INS_FLY_OPS	**51551 - Insurance Purchased - General (000)**
BENEFITS_FLY_OPS	51570 - Employee Benefits And Pensions (000)
INCIDENT_FLY_OPS	51580 - Injuries, Loss, And Damage (000)
PAY_TAX_FLY_OPS	51680 - Taxes - Payroll (000)
OTH_TAX_FLY_OPS	51690 - Taxes - Other Than Payroll (000)
OTHER_EXP_FLY_OPS	51710 - Other Expenses (000)
TOT_FLY_OPS	**51990 - Total Flying Operations (000)**
AIRFRAME_LABOR	52251 - Labor - Airframes (000)
ENGINE_LABOR	52252 - Labor - Aircraft Engines (000)
AIRFRAME_REPAIR	52431 - Airframe Repairs (000)
ENGINE_REPAIRS	52432 - Aircraft Engine Repairs (000)
INTERCHG_CHARG	52437 - Aircraft Interchange Charges (000)
AIRFRAME_MATERIALS	52461 - Materials - Airframes (000)
ENGINE_MATERIALS	52462 - Materials - Aircraft Engines (000)
AIRFRAME_ALLOW	52721 - Airworthiness Allowance Provisions - Airframes (000)
AIRFRAME_OVERHAULS	52723 - Airframe Overhauls Deferred, Credit (-) (000)
ENGINE_ALLOW	52726 - Airworthiness Allowance Provisions - Aircraft Engines (000)
ENGINE_OVERHAULS	52728 - Aircraft Engine Overhauls Deferred, Credit (-) (000)
TOT_DIR_MAINT	**52780 - Total Direct Maintenance - Flight Equipment (000)**
AP_MT_BURDEN	52796 - Applied Maintenance Burden - Flight Equipment (000)
TOT_FLT_MAINT_MEMO	**52990 - Total Flight Equipment Maintenance (000)**
NET_OBSOL_PARTS	70739 - Net Obsolescence And Deterioration - Expendable Parts (000)
AIRFRAME_DEP	70751 - Airframes (000)
ENGINE_DEP	70752 - Aircraft Engines (000)
PARTS_DEP	70753 - Airframe Parts (000)
ENG_PARTS_DEP	70754 - Aircraft Engine Parts (000)
OTH_FLT_EQUIP_DEP	70755 - Other Flight Equipment (000)
OTH_FLT_EQUIP_DEP_GRP_I	**70756 - Total Depreciation (7075.1 - 7075.5) (000)**
FLT_EQUIP_A_EXP	70761 - Amortization Expense - Capital Leases - Flight Equipment (000)
FLY_OPS_EXP_I_A	70981 - Flying Operations (000)
TOT_AIR_OP_EXPENSES	**70989 - Total Aircraft Operating Expense (Direct Operating Expense)**

<그림 71> BTS Air Carrier Financial

(7) BTS 항공사 운항비 DB 분석

○ 항공사 비용 DB를 미국 BTS Air Carrier Financial: Schedule P-5.2 데이터의 구조 및 항공기 기종 별 평균값을 이용하여 구축하는 경우, 분기별 연간별 총 비용을 비행시간(flight hours)으로 나누어서 시간당 비용으로 환산하여 사용할 수 있음

○ BTS데이터를 이용하여 2010년부터 2012년까지 미국의 두 메이저 항공사와 하나의 저가 항공사의 보잉 737-800 항공기의 시간당 운항비를 계산함

- Delta Airlines
- American Airlines
- Sun Country (저가항공사)

○ 세 항공사의 2010-2012년 보잉 737-800 항공기 항목별 총 비용을 비행시간으로 나누어 비교함

○ 세 항공사간에 파이럿 및 연료비용이 크게 차이가 남

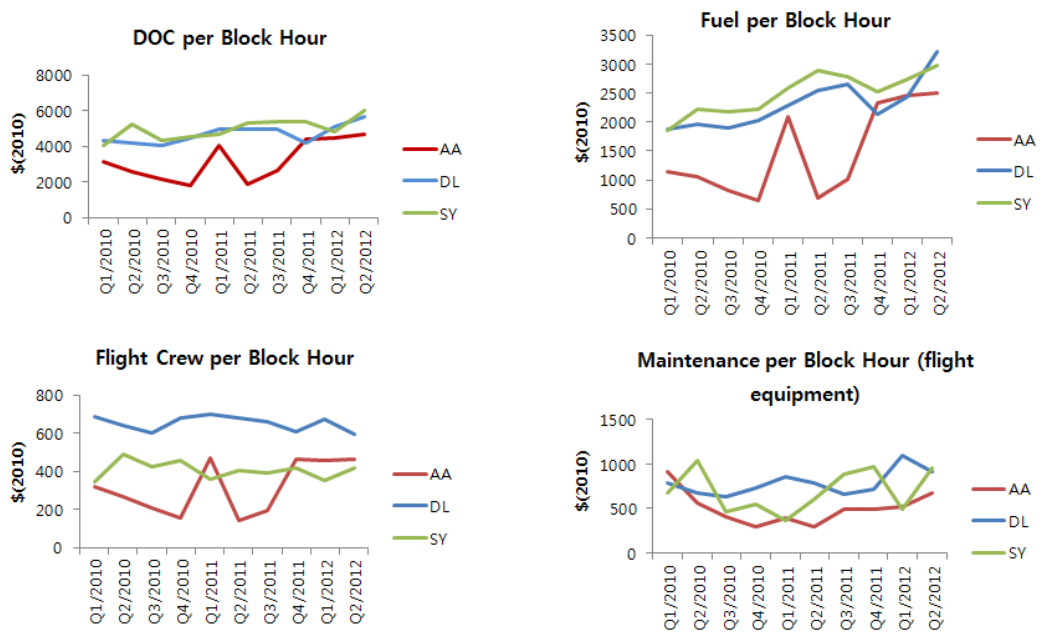
○ American Airline은 가장 낮은 총 직접운항비용을 지출함

○ Sun Country 항공은 가장 낮은 항공기 감가상각 비용을 보이는 반면 가장 높은 Rental cost 를 보임 항공기를 소유하는 대신 리스하기 때문으로 보임

Cost Categories	Form 41		
	Delta	American	Sun Country
	2010-2012$/hr	2010-2012$/hr	2010-2012$/hr
PILOT_FLY_OPS	$652	$315	$407
FUEL_FLY_OPS	$2,304	$1,474	$2,493
RENTAL_FLY_OPS	$141	$451	$1,212
INS_FLY_OPS	$13	$1	$35
BENEFITS_FLY_OPS	$155	$119	$9
TOT_FLY_OPS	$3,371	$2,468	$4,250
AIRFRAME_LABOR	$36	$62	$21
ENGINE_LABOR	$24	$15	$7
AIRFRAME_REPAIR	$129	$25	$249
ENGINE_REPAIRS	$162	$56	$150
AIRFRAME_MATERIALS	$116	$38	$57
ENGINE_MATERIALS	$52	$71	$43
TOT_DIR_MAINT	$519	$268	$559
AP_MT_BURDEN	$266	$236	$141
TOT_FLT_MAINT_MEMO	$784	$503	$700
NET_OBSOL_PARTS	$17	$12	$0
AIRFRAME_DEP	$324	$146	$0
ENGINE_DEP	$144	$31	$0
PARTS_DEP	$9	$5	$36
ENG_PARTS_DEP	$21	$0	$0
OTH_FLT_EQUIP_DEP_GRP_I	$497	$182	$36
FLT_EQUIP_A_EXP	$23	$6	$0
TOT_AIR_OP_EXPENSES	$4,693	$3,171	$4,987

<그림 72> BTS 항공사 운항비 DB 분석

(8) 세 미국 항공사의 분기별 운항비 비교



<그림 73> 세 미국 항공사의 분기별 운항비 비교

(9) 경제성분석/의사결정 모듈 사용자 요구조건 분석

<표 44> 요구사항 분석표

세부분류	요구사항	의사결정 지원	감축수단	UI 요구사항	결과서	참고분류
의 사 결 정 지원	감축방안별 온실가스(연료사용량) 감축 효과에 대한 분석이 되어야 한다.					AERO-MS
	감축활동 모니터링을 위한 통계 Report가 제공되어야 한다.					AERO-MS
	배출권거래제, 자발적 협약, 배출량 상쇄 등을 자동적으로 계산하여 최적의 감축기술 등을 제시할 수 있어야 한다.					AERO-MS
	각 항공사의 자발적 감축량을 제시하고 실행방안에 대한 구체적인 의사결정을 제시할 수있어야 한다.					AERO-MS
감 축 수 단	감축수단적용시미래온실가스를산출할수있어야하며,이는 현재가치로 변환이 가능해야 한다.					AERO-MS
	운항 구간 별(비행 단계별) 감축수단 결과값이 표시되어야 한다.					AERO-MS
	감축량예측을하기위해선항공사별로발생된배출가스량을온실가스DB에서가지고와야한다.					Aviaso
	온실가스 DB에서 가지고 올 수 없는 경우 기준 값을 입력할 수 있어야 한다.					OSYS
	감축수단 적용, 미적용에 따른 출도착 공항 간 비교가 가능하여야 한다.					OSYS
	여러 감축수단을 적용 시 최적의 감축수단이 무엇인지 우선순위 선정이 가능하여야 한다.					Aviaso
	감축수단 결과로는 그래프, 결과값이 도출되어야 한다					Aviaso
	그래프의 종류는 막대, 원형, 선형, 누적그래프 등 여러 그래프로 표시되어야 한다					Aviaso
	두개 이상의 감축수단 적용 결과 값은 한 그래프에 중복되어 표시될 수있어야 하며, 이는 사용자가 보기에 이해하기 쉬워야 한다					SkyBreath
	한 그래프에 두개이상의 감축수단 결과값이 표시되었을 시, 이를 동시에 적용하였을때의 결과값도 독립적으로 표시되어야 한다					SkyBreath
	그래프가 한 화면에 두개 이상 표시되어야 한다.					Aviaso
	감축수단의 적용여부는 마우스클릭으로 간단하게 켜고 끌 수 있어야 한다.					OSYS
	그래프의 X축,Y축은 사용자가 지정하여 표시되어야 한다.					OSYS
	감축수단별 적용 비율은 프로그램 사용자가 조절할 수 있어야 한다.					OSYS
UI 요구	국문/영문 지원이 가능해야 한다.					

사항	UI가 간단명료하게 표시되어야 한다.					SkyBreath
	온실가스 보고서가 편리하게 UPLOADING이 가능 할 수있도록 해야 한다.					SkyBreath
	항공사별 온실가스 감축 활동을 통한 연료 소비량 감축실적을 사용자가 입력 또는 up-load할 수 있어야 한다					
결과서	감축수단별 저감효과에 대한 데이터 검증 및 이에 대한 결과서가 제공되어야 한다.					OSYS
	결과값은 10분 이내로 도출 할 수있도록 한다.					
	결과보고서는 사용자가 선택한 감축수단에 대해 개별적으로 제공되어야 한다.					OSYS
	항공사의 감축결과보고서 양식이 제동되어 보고 시 간단명료하게 입력이 가능하도록 하여야 한다.					SkyBreath
	결과보고서에 표시되는 감축량의 단위는 "kg, %, tons, second, min, hour, kg/hr, t/hr, kg/yr, $, 원화" 등으로 표시되어야 한다					AERO-MS
	결과보고서에 표시되는 감축수단 결과 나열 방식은 가장 큰 값부터 또는 가장 작은 값 부터로 선택할 수 있어야 한다.					
	결과보고서에사용자가그래프를선택할수있어야한다.					
	결과보고서는 다양한 형식(PDF, DOC, TXT,HWP 등)으로 저장이 되어야 한다					
	항공사결과보고서는"항공기 운항수(연간/월간) 감축수단(적용/미적용) 감축량(t) 감축률(%) 비용($/원화)" 가 포함되어야 한다					SkyBreath
	배출권거래제 할당업체(항공부문) 배출량 적절성 평가가 이루어져야 한다.					OSYS
	온실가스 산정 결과에 대한 검증 Report가 출력 되어야 한다.					OSYS
	감축기술에 대한 표준화된 기준이 제시되어야 한다.					OSYS
	감축수단별 저감효과에 대한 데이터 검증 및 이에 대한 결과서가 제공되어야 한다.					OSYS

(10) 주요 경제성 분석 및 의사결정 지원 프로그램 기능 비교

(가) APMT-E 및 AERO-MS와의 기능 비교

○ 본 과제에서 개발할 경제성 분석 및 의사결정 지원 프로그램의 기능을 해외 유사 프로그램인 APMT-E와 AERO-MS와 비교하면 아래 표와 같음

<표 45> 경제성 분석 및 의사결정 지원 프로그램 기능 비교

특징비교	APMT-E	AERO-MS	3세부 경제성분석 모듈
발주처	미국 FAA	네덜란드 NLR	국토교통부

배포담당기관	미국 FAA	EASA	미정
Developer	영국의 MVA 사	영국의 MVA 사	세종대학교
1차개발기간	2005-2013	1992-1998	2014-2017
사용용도	ICAO CAEP 항공 환경 정책 미국내 정책	ICAO CAEP 항공 환경 정책 네덜란드 국내 정책 IATA 전략 분석	국가 이행계획 수립 ICAO CAEP 항공환경정책 영향 분석
프로그램 Platform	Microsoft SQL Server	1992년 Borland C++ --> 2007년 MS Visual Studio C++ 2008	MATLAB
GUI 프로그래밍 Platform	불확실	Delphi 7 --> Delphi 2010	MATLAB
DATABASE Platform	Microsoft SQL Server	자체 DB --> SQL Server 2008 로 변환 가능	MATLAB
사용편의성	모든 입출력이 SQL Server에서 이루어져 사용이 아주 어려움	사용 경험이 없어 판단 불가	MATLAB 및 GUI를 바탕으로 사용이 용이
GUI	극히 제한된 기능의 GUI가 있음	사용 경험이 없어 판단 불가	시나리오 세팅및 결과 출력이 모두 GUI로 이루어짐
현재 사용기관	Volpe Center, Booz Allen Hamilton, Georgia Tech	NLR	국토교통부, 교통연구원, 연구소, 대학, 항공사
온실가스 프로그램과 연동	AEDT와 연동이 된다고는 하나 사실상 어려움	자체적으로 온실가스 계산(Tier3b급 아님)	2세부 온실가스산정 모듈과 연동
경제성 분석 범위			
기준년도	가능	가능	가능
미래년도	가능	가능	가능
미래운항 DB생성	FAA, CAEP Forecast 등을 인풋으로 하여 미래 운항 DB 생성	CAEP Forecast 등을 인풋으로 하여 미래 운항 DB 생성	Airbus Forecast 등 공개된 자료를 사용하여 미래 운항 DB 생성
지역별 분석	가능	가능	가능
항공사별 분석	불가능	가능	가능
글로벌 분석	가능	가능	가능
저가 항공사 비용분석	불가능	불가능	가능

항공운항 비용 계산 항목			
Fuel cost	포함	포함	포함
Cabin crew cost	포함	포함	포함
Flight crew cost	포함	포함	포함
Maintenance cost	포함	포함	포함
Capital cost	포함	포함	포함
Landing cost	포함	포함	포함
Route cost	포함	포함	포함
분석 항공기 기종 범위			
여객기	포함	포함	포함
화물기	포함	포함	(협의필요)

러시아 연합 항공기	포함	포함	(협의필요)
Business Jet	포함	불확실	(협의필요)
Turboprops	포함	불확실	(협의필요)
기타 출력물			
배기가스 배출량 계산	가능	가능	2세부과제 결과이용
소음 계산	불가능	가능	없음
연료사용량 계산	가능	가능	2세부과제 결과이용
정부/항공사 정책 효과분석 기능			
신형항공기 도입효과 분석	다른 툴에서 미리 계산하여 입력하면 가능	가능	가능
운항기술 도입효과 분석	다른 툴에서 미리 계산하여 입력하면 가능	가능	가능
ICAO CO2 Standard 영향 분석	가능	가능	가능
Carbon Tax 영향 분석	가능	가능	가능
항공사 경제성 분석	없음	가능	가능
ICAO-ETS 분석	없음	가능	가능
EU-ETS 분석	없음	가능	가능
구형 항공기 퇴역스케쥴 변경	가능	불확실	가능
항공권 가격 영향 분석	가능	가능	가능
항공사 항공기 구매 결정 모델	없음	없음	없음
항공기 시장 점유율 모델	가능	불확실	없음

○ 상기 표에서 불가능으로 표시된 사유는 아래와 같음. (협의필요)
- 글로벌 분석: 2 세부 과제를 포함하여 본 과제의 범주에 포함되지 않음
- 화물기: 여객기에 비해 운항수 및 배기가스 배출량이 적어 우선순위가 떨어짐
- 러시아 연합항공기, Business Jet, Turboprop 항공기도 우선순위가 떨어짐

○ 항공사 항공기 구매 결정 모델: 항공사가 현재 보유 항공기를 좀 더 보유할지, 아니면 빨리 새 항공기를 도입할지 계산하는 모델로 APMT-E 및 AERO-MS 도 포함하고 있지 않음.

○ 항공기 시장 점유율 모델: 새로 도입되는 항공기들의 시장 점유율을 계산하는 모델로, 프로그램의 복잡도 및 실행시간의 대폭 증가로 의사결정 지원 프로그램용으로는 적합하지 않음

(11) 2세부과제 알고리즘 검증방안, 검증절차, 시험계획

○ 국적 항공사의 모든 운항을 포함하는 거시적 검증이나 레이더 운항을 포함하는 검증은 생각보다 매우 어려움. 거시적 검증의 경우 데이터 용량이 커지면서 코드가 제대로 작동하지 않는 문제가 발생할 수 있고, 일반 PC로는 구동이 안되며 서버에서만 가능할 것으로 판단됨. 레이더 같은 경우에는 오차가 아주 크게 나올 수도 있고 구동을 위한 세팅도 아주 까다로울 수도 있음. 그러나 거시적 검증과 레이더 트랙을

사용한 비교도 반드시 거쳐야만 완전한 Tier3b급의 프로그램이라 할 수 있음

○ 본 알고리즘 검증방안, 검증절차, 시험계획은 별도의 검증계획서로 제출하였고 여기서는 간단한 요약만을 나타내었음

1. 온실가스 배출량 산정모듈 검증 계획(1단계)

○ 검증 Test Case

- OAG 2010년 데이터를 분석하여 국적 항공사들의 대표적인 노선/항공기 조합 10-20개를 선정
- AEDT2b로 선정된 노선/항공기 조합에 대한 배기가스 분석
- 표준항적(great circle track)을 사용
- 표준대기 가정
- 동일한 승객/화물 무게 가정

○ 결과 비교:

- 두 개의 툴에서 나온 항공기 항적 (flight profile) 비교
  - · 속도, 고도, 거리, 시간, fuel flow, 항공기 무게 등
  - · 전체 배기 가스 배출량 비교
- 연료사용량, CO2, CO, NOx, SOx, HC, H2O
- 비행 단계별 배기가스 배출량 비교 (상승, 순항, 하강 등)
- 연료 사용량, CO2, CO, NOx, SOx, HC, H2O

○ 검증 합격 기준:

- 각 노선/항공기 조합 별로 단일 운항별 배기가스 배출량이 AEDT와 비교해서 5% 이내에 들어야 함

2. 온실가스 배출량 산정모듈 검증 계획(2단계)

○ 1단계 검증이 완료된 후 2단계 검증은 거시적 검증 및 레이더 데이터를 활용한 검증으로 실시함

㉠ 거시적 검증

○ 검증 Test Case

- OAG 2010년 데이터를 분석하여 국적 항공사들의 모든 국내/국외 운항 추출
- AEDT2b로 2010년 국적 항공사의 모든 운항 해석
- 표준항적(great circle track)을 사용
- 표준대기 가정
- 동일한 승객/화물 무게 가정

○ 결과 비교

– 두 개의 툴에서 나온 항공기 항적(flight profile) 비교

· 속도, 고도, 거리, 시간, fuel flow, 항공기 무게 등

– 전체 배기가스 배출량 비교

· 연료사용량, CO2, CO, NOx, SOx, HC, H2O

– 비행 단계별 배기가스 배출량 비교(상승, 순항, 하강 등)

· 연료 사용량, CO2, CO, NOx, SOx, HC, H2O

○ 검증 합격 기준:

– 전체 배기가스 배출량이 AEDT와 비교해서 5% 이내에 들어야 함

㉡ 레이더 운항 데이터를 이용한 검증

○ 검증 Test Case:

– 정밀한 레이더 트랙, 날씨, 항공기 무게 등의 데이터를 구할 수 있는 항공기/노선 선정

– AEDT2b와 개발된 모델을 이용하여 동일한 조건에서 배기가스 배출량 계산

– 표준항적(great circle track)을 사용

– 표준대기 가정

– 동일한 승객/화물 무게 가정

○ 결과 비교:

– 두 개의 툴에서 나온 항공 전체 배기가스 배출량 비교

· 연료사용량, CO2, CO, NOx, SOx, HC, H2O

– 지역별, 기종별 배기가스 배출량 비교

· 연료 사용량, CO2, CO, NOx, SOx, HC, H2O

○ 검증 합격 기준:

– 전체 배기가스 배출량이 AEDT와 비교해서 5% 이내에 들어야 함

※ 자세한 사항은 한국교통연구원으로 문의부탁드립니다.

마. KOTI · 항공대학교

○ 1차년도에는 항공 온실가스 감축수단별 감축량 예측을 위해 감축기술선정 및 알고리즘 및 모듈개발 개념설계 도출이 목표이며, 이를 위해 기존 온실가스 감축량 예측 알고리즘 조사 분석을 수행하며, 알고리즘 핵심 요구조건 도출

1. 항공 온실가스 감축기술 및 요구사항 분석

(1)관련분야의 국내외 감축기술 동향

가) 국내 현황

① 국가이행계획[25)]

○ 우리나라는 ICAO가 2010년 37차 총회에서 이행계획 제출을 결의함에 따라 ICAO의 요구 사항을 충족하면서 우리나라의 여건 및 향후 국제선 수요의 변화와 관련기술의 발달 속도를 감안한 항공부문(특히 국제 항공부문)의 온실가스 감축을 위한 이행계획을 수립하고자 하였음

○ 또한 국제항공뿐 아니라 국내부문을 포함한 전체 항공부문의 온실가스 배출량을 합리적으로 감축하기 위한 중장기 계획안을 제시함

- 2012년 6월 1차 국가이행계획 제출
- 2015년 6월 2차 국가이행계획 제출 예정

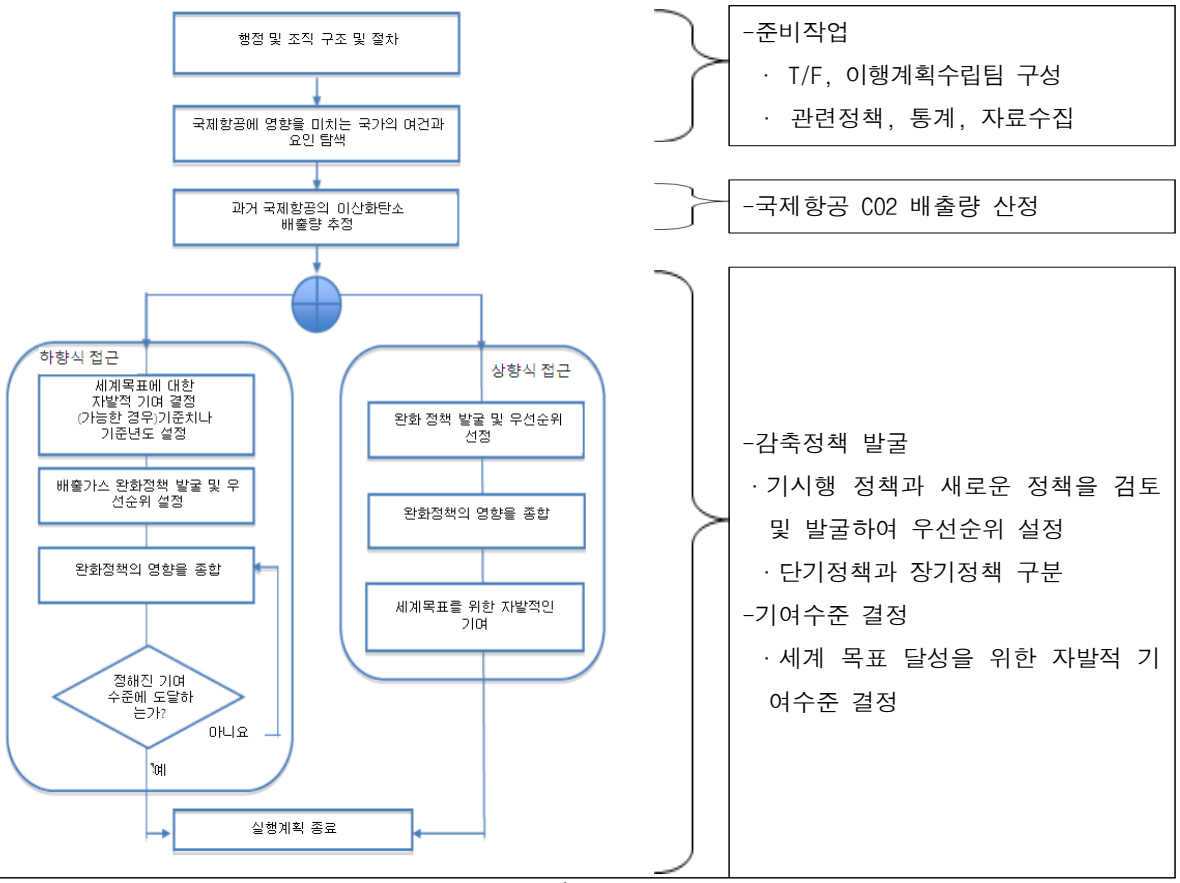
○ 우리나라는 ‘온실가스감축 국가이행계획 T/F’를 만들어 항공사, 공항운영기관, 정부 및 관제기관, 연구기관의 관계자로 이루어진 분석팀을 구성하여 국가이행계획을 대응하고 있으며. 주기적으로 예상배출량(BAU), 감축목표, 감축수단의 적절성 및 개선방안에 대해 논의 중임

<표 46 > 국내 온실가스 감축 국가이행계획 지원

참 여 기 관	담 당 업 무
국토교통부	-업무 총괄 -관제, 공항관련 자료제공, 수단 검토
항공사	-운항, 연료관련 통계 및 자료제공 -아이디어 및 개선계획 검토, 협의
공항공사	-공항관련 통계, 계획 등 제공 -개선계획 협의
연구기관	-이행계획 수립 실무작업 -분과회의, 자문회의, 협의회 개최 -연구자문
협회	-관련통계 제공 및 검토

○ 또한 T/F 외에도 각 관계기관의 해당업무 종사자와의 회의를 통하여 문제점을 파악하고 개선안을 도출하며, 다수 기관이 관계된 사안의 경우는 관계자 합동회의를 통하여 수행하고 있음

<표 47 > 국가 이행계획 계획수립과정



출처 : Guidance Material for the Development of States' Action Plans (ICAO, 2011.9)

○ 국가이행계획을 수립하기 위해 먼저 이행계획에 포함할 감축정책 수단을 결정하고, 수단별로 향후 예상되는 여건 아래 최선의 노력을 다 할 때 예상되는 감축효과 추정하고, 추정된 감축량을 모두 합산하여 감축목표로 설정하는 상향식 접근방법을 채택하였음

○ 1차 국가이행계획의 감축정책 수단의 결정은 항공사와 공항 운영자, 항행서비스 제공자(정부)가 제시한 34개 후보수단 중 감축량의 유의미성, 계량화 가능성 등을 종합적으로 판단하여 이루어졌으며, 모두 10개의 수단이 선정됨

○ 2차 국가이행계획의 감축정책 수단의 결정은 1차 국가이행계획 중 더 이상 이행률을 높이는 것이 어렵거나 감축 잠재량이 충분하지 않은 수단은 제외하고, 정부와 공항에서 새로 도입되거나 계획이 수립된 정책을 채택하여 총 11개의 수단이 선정됨

<표 48> 1차와 2차 국가 이행계획 감축수단 비교

구분	1차 국가 이행계획(2012년)	2차 국가이행계획 (2015년 예정)
1	친환경 항공기로의 교체	친환경 항공기로의 교체
2	단축항로 확대	(삭제) 잠재량 부족

3	성능기반항행(PBN) 도입	성능기반항행(PBN) 도입
3-1	항로 복선화	항로 복선화
3-2	CDO 확대	(삭제) 잠재량 부족
4	APU 사용 억제	AC-GPS 사용 촉진
5	항공사 비용지수(CI) 최적화	(삭제) 잠재량 부족
6	법적 보정연료 개선	(삭제) 시행 완료
7	단일 엔진 지상 활주	단일 엔진 지상 활주
8	공회전 역추진 사용	공회전 역추진 사용
9	항공기 엔진 세척	항공기 엔진 세척
10	경량 ULD 사용	경량 ULD 사용
· · ·	(신규) 정부 계획	ATFM센터 건설
· · ·	(신규) 인천공항공사 계획	ACDM 도입
· · ·	(신규) 항공사 추천	경량 객실카트 사용
· · ·	(신규) 항공사 추천	저항력 플랩

② 자발적 감축협약[26)]

○ 항공 온실가스 감축 자발적 협약은 정부와 항공운송사업자 간 협약을 체결하고 검증평가기관의 이행실적 검증을 통해 항공온실가스 저감활동을 자발적으로 촉진하기 위한 제도임 자발적 감축협약은 향후 예상되는 ICAO 및 EU 온실가스 규제에 선제적으로 대응할 수 있도록 국적항공사의 역량을 확보할 수 있는 기회를 제공함

○ 자발적 감축협약에서는 항공부문 온실가스 저감을 위한 정책을 선정하기 위하여, 먼저 ICAO 이행계획 지침에 제시된 저감기술과 관련 선행연구 및 항공사별 온실가스 저감활동 조사결과를 바탕으로 시행 가능한 온실가스 감축정책 목록을 작성함

○ 국가 항공사의 자발적 감축협약 데이터는 국가이행계획을 뒷받침하는 근거자료로 사용되게 되며 항공사별 감축수단 선정은 보안상 공식적으로 공개되지 않음

○ 자발적 협약에서 제시된 감축수단별 저감효과를 통해 각 항공사별로 감축량을 검증평가기관에 제출하면 됨

<표 49 > 감축수단 별 자발적 감축협약 내용

구분	자발적 감축 협약
운항관리	탑재연료 최적운영
	무게중심관리
비행운용	APU 사용 억제
	근거리 교체공항 선정
	공회전 역추진 적용
	단일엔진 활주 적용
	저항력 플랩 이륙 적용
	단축항로 적용
항공역학 및 정비관리	엔진세척
중량관리	탑재수 최적운영
	유상탑재량 편차관리
교통관제	연속강하접근(CDO) 적용

	성능기반항행(PBN) 적용

○ 감축목표는 국내외 항공분야 기술여건 및 연료효율개선 추세 등을 고려하여 정부와 참여항공사와의 협약을 통해 자발적으로 산정하나, ICAO에서 권고하는 연료효율 2%내외의 범위에서 설정하여야 함

○ 현재 대한항공, 아시아나항공, 제주항공, 에어부산, 이스타항공, 진에어, 티웨이항공 등 7개 항공사가 참여하고 있음

- 대한항공, 아시아나항공 : 2% 감축 목표
- 제주항공, 에어부산, 진에어, 이스타항공, 티웨이항공 : 3% 감축 목표

③ 항공 온실가스 저감기술 이행매뉴얼[27)]

○ 항공사는 국가 항공온실가스 감축목표 달성을 위해 자발적감축협약, 국가이행계획 지원 등 다양한 활동을 수행해 왔으나, 저감기술에 대한 적용 노하우와 관련정보의 부족 등으로 항공사간 저감기술의 적용수준은 상당한 차이가 있음

○ 또한 저감효과의 측정 분석을 위한 표준화된 산정기준이 없어 저감성과의 정량화된 평가 또한 상당한 어려움이 있음

○ “항공온실가스 저감기술 이행매뉴얼”은 연료저감 효과 산정기준이 항공사별로 상이한 일부 저감기술에 대해서는 국제민간항공기구(ICAO) 및 국제항공운송협회(IATA)의 지침서와 항공기 기종별 제작사 매뉴얼은 물론 국내·외 항공사들의 이행사례 등을 참고로 감축수단에 따른 적용방안을 심도있게 검토하여 항공기 성능개선, 비행운용, 운항관리 및 중량관리 부문 등 23종의 다양한 저감 신기술들을 발굴·수록하여 표준화된 산정 기준을 마련함

○ 따라서 본 매뉴얼을 통해 항공사는 표준화된 산정 기준으로 정량화된 수치를 제시하여 자발적 협약에 더 적극적으로 임할 수 있으며 이를 통해 국가이행계획을 적극적으로 지원할 수 있음

<표 50 > 감축수단별 저감기술 내용

구분	항공 온실가스 저감기술 이행매뉴얼
비행운용	Idle Reverse Thrust
	Reduced flap Takeoff/Landing
	Engine Shut-Down Taxiing
	APU사용 최소화
	기타 비행운용 개선을 통한 연료저감 방안 - Rolling Takeoff - Intersection Takeoff - Stabilized Approach
운항관리	NADP(Noise Abatement Departure Procedure) 절차변경
	CDO(Continuous Descent Operation) 확대
	최적 CI(Cost Index) 운용 - Variable CI(Cost Index) 적용

	교체공항 선정
	항로단축
성능 개선	E-Taxi
	Engine Water Wash
	PIP(Performance Improvement Package) 적용
	Winglet 장착
중량관리	Zonal dryer
	Paperless Cockpit
	Potable Water 최적화 탑재
	기타 중량저감을 통한 연료저감 방안 - Aircraft Strip Repainting - 경량ULD 전환 확대 및 운용효율성 제고 - 기타 부품 하기

나) 국외 동향

① ICAO[28)]

○ 현재 국제항공부문의 온실가스 감축 규제는 ICAO를 중심으로 추진되고 있음

○ 2010년 37차 총회 결의안을 통해 국제항공온실가스에 대한 지구적 규제방안의 기본원칙에 합의하였으며 이는 다음과 같음

- 첫째, 2020년까지 매년 평균 1.5%의 연료효율성 향상
- 둘째, 2020년까지 탄소중립을 바탕으로 한 성장
- 셋째, 2050년까지 2005년 대비 온실가스 50% 감축

○ 이에 따라 운송실적이 최소한도에 못 미치는 국가를 제외한 모든 체약국은 2012년부터 3년 주기로 국가이행계획을 제출해야 하며, 우리나라는 2012년 6월 1차 국가이행계획을 제출하였으며 2015년 6월 2차 국가이행계획 제출을 앞두고 있음

○ ICAO는 국가이행계획을 위해 "Guidance on the Development of States' Action Plans on CO2 Emissions Reduction Activities(2013)"라는 이행계획지침을 발간하여 체약국이 필요정보의 내용, 형태 및 제공시기, 요구사항 등을 매뉴얼로 제시함

○ 국가 이행계획에는 국제항공부문의 유상수송량(RTK), 연료소비량, 온실가스 배출량 및 감축계획, 비용편익분석, 위험관리분석 등 포괄적인 내용을 수록함

○ 국가 이행계획의 범위

- 국내, 지역, 양자 및 다자합의에 의한 대책을 모두 포함
- 국가이행계획에 의한 국제선의 영향은 동시편익으로 간주
- 공항과 지상장비에 의한 배출은 국내 배출로 간주

○ 국가이행계획 주요내용

- 국제항공의 과거(가능시 미래예측 포함)연료소비량과 CO2배출량
- 2010년, 2020년 2050년은 반드시 포함
  - 모든 활용가능한 데이터 사용

- 기준연도나 기준선을 포함한 감축목표에 대해 국가 자발적 기여도 포함
- 국제항공의 CO2 감축을 위한 감축정책 리스트
  - 이미 시행중인 것과 시행 고려중인 것으로 구분하여 작성

○ ICAO 이행계획 지침에서는 국내항공의 배출과 국제항공의 배출 구분 기준은 회원국의 정책에 맞게 선택하도록 명시하고 있으나 구체적 기준 선정 시 데이터의 일관성을 유지할 것을 권고하고 있음

○ 그러나 이행계획 지침에는 CO2 감축 및 제한치를 제시하고 있으며, 이를 측정하는 방법 및 정량적인 수치방안은 제시하고 있지않음

<표 51 > ICAO의 온실가스 감축수단 분류체계

대분류		중분류	
1	Aircraft-related technology development	1-1	aircraft minimum fuel efficiency standards
		1-2	aggressive aircraft fuel efficiency standards, setting standards for the future
		1-3	purchase of new aircraft
		1-4	retrofitting and upgrade improvements on existing aircraft
		1-5	optimizing improvements in aircraft produced in the near- to mid-term
		1-6	avionics
		1-7	adoption of revolutionary new designs in aircraft/engines.
	Alternative fuels	2-1	development of biofuels
		2-2	development of other fuels with lower life-cycle CO2 emissions
		2-3	standards/requirements for alternative fuel use
3	Improved air traffic management and infrastructure use	3-1	more efficient ATM planning, ground operations, terminal operations (departure, approach and arrivals), en-route operations, airspace design and usage, aircraft capabilities;
		3-2	more efficient use and planning of airport capacities;
		3-3	installation of airport infrastructure such as fixed electrical ground power and pre-conditioned air to allow aircraft APU switch-off;
		3-4	construction of additional runways and taxiways if used solely to relieve traffic congestion
		3-5	collaborative research endeavours.
4	More efficient operations	4-1	best practices in operations
		4-2	optimized aircraft maintenance (including jet engine cleaning/washing);
		4-3	selecting aircraft best suited to the mission.
5	Economic/market-based measures	5-1	voluntary inclusion of aviation sector in emissions trading scheme;
		5-2	incorporation of emissions from international aviation into regional or national emissions trading schemes, in

			accordance with relevant international instruments
		5-3	establishment of a multilateral emissions trading scheme for aviation which allows trading permits with other sectors, in accordance with relevant international instruments
		5-4	establishment of a framework for linking existing emissions trading schemes and providing for their extension to international aviation, in accordance with relevant international instruments
		5-5	emissions charges or modulation of landing/take-off (LTO) charges, in accordance with relevant international instruments
		5-6	positive economic stimulation by regulator: research programmes, special consideration and government programmes/legislation and accelerated depreciation of aircraft
		5-7	accredited offset schemes
		5-8	explore extension of CDM
		5-9	taxation of aviation fuel, in accordance with relevant international instruments
6	Regulatory measures/other	6-1	airport movement caps/slot management
		6-2	enhancing weather forecasting services
		6-3	requiring transparent carbon reporting
		6-4	conferences/workshops

출처 : Guidance on the Development of States' Action Plans on CO2 Emissions Reduction Activities(2013)

② IATA [29)]

○ IATA는 항공 온실가스로 인한 기후변화에 적극적으로 대응하고, 온실가스 배출량을 감축하기 위해 항공업계를 지원하고 있음

○ 항공온실가스 배출은 연료사용과 밀접한 관계를 맺고 있는데, IATA가 직접 연료가격에 영향을 줄 수는 없지만 연료 소비량을 줄이기 위해 항공업계를 대변할 수 있는 관세, 수수료 및 세금을 줄이는 등 시장상황을 개선하기 위해 노력하고 있음

○ IATA는 항공부분 탄소중립을 바탕으로한 성장으로 기술개발, 운용개선 등 추진을 통해 연료소비를 2005년 대비 2020년까지 20%저감 목표 및 이를 위해 2009년부터 2020년까지 매년 평균 1.5%의 연료효율성을 향상을 제시함

○ 특히 2005년부터 항공업계의 온실가스 배출량을 줄이기 위해 항공사 내 연료효율 지원 및 구현을 지원하고자 'Green Team'을 운영하고 있으며, 이는 잠재적인 연료효율성과 온실가스 배출량 감축을 연구함

○ 항공업계에서 지속적으로 축적된 데이터를 기반으로 Green Team은 CO2 저감운용 방안을 시행 및 검증하고 'Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environmental Management'보고서를 발간하여 항공사들이 실질적으로 적용 가능한 방안을 제시함으로서 항공사 및 여러 국가가 사용할 수 있도록 함

○ IATA 보고서에는 항공온실가스를 실질적으로 절약할수 있는 방안 및 이를 정량화

하여 세부수단을 위해 가상의 ABC항공사를 제시함

○ ABC항공사는 Boeing 및 AIRBUS 등 장거리와 단거리 모두 운항이 가능한 항공기를 소유하고 있다고 가정하였으며, 여러 비용(유지비용, 승무원관리비용, 연료비용 등)은 현재 일반적 항공사 비용을 적용함

○ Green Team이 제시한 항공기 온실가스 감축방안은 크게 5가지로 분류되어 나눌 수 있음

○ 공항 지상에서 발생하는 배출량을 감소시키기 위한 APU 관리, APU사용항공기 운항을 위한 항공기의 전반적인 스케줄 및 운용을 관리하는 운항관리, 항공기가 운항을 시작할 때부터 멈출 때까지 활동인 항공기 운항, 항공기 성능향상을 위한 정비 및 유지보수, 항공기 관리방안의 일환인 지상, 중량관리가 있음

<표 52 > IATA의 온실가스 감축수단 분류체계

대분류		중분류	
1	APU	1-1	Ground Ops APU - Total Reduction
		1-2	FOPS APU - Optimized Operation
		1-3	Flight Ops APU Optimized Operation - "No Pack"
		1-4	Flight Ops APU Optimized Operation - Single Pack
		1-5	Maintenance APU Utilization Optimized Operation
2	Flight Dispatch	2-1	Optimized - Cost Index
		2-2	Route Specific - Cost Index
		2-3	Cost Index - Delay Cost Mgt
		2-4	Flt Plan OPT - LATERAL
		2-5	Flt Plan OPT - VERTICAL
		2-6	EU-OPS - RCF 5%>3%
		2-7	CF Unprotected - 3% (A to B)
		2-8	CF Unprotected 5%(A to B)
		2-9	Redispatch (Reduced CF) - EU-OPS
		2-10	Flight Dispatch - Additional Fuel
		2-11	Over Tankering
		2-12	Alternate - OPT Selection
		2-13	Alternate - Cost Index "0"
		2-14	No Alternate Ops - (NO-ALTN IFR)
		2-15	Holding Fuel Optimization
		2-16	Loadplanning - CG Management
		2-17	Loadplanning - ZFW Accuracy
		2-18	Fuel Bias - (Flight Planning System)
		2-19	Taxi Fuel Excess Standard Load
3	Flight Operations	3-1	Flight Crew - Additional Fuel
		3-2	Engine Out - Taxi Out
		3-3	Reduced Flap Take off
		3-4	Reduced Acceleration Altitude
		3-5	CDDs & T-Departures RNPs
		3-6	CDOs & T-Arrivals RNPs
		3-7	Low Noise Low Drag Approaches
		3-8	Reduced Flap Landings
		3-9	Idle Reverse on Landing
		3-10	Engine Out - Taxi In
		3-11	Pilot Technique - Flight Management
4	Maintenance & Engineering	4-1	Engine Core Water Wash
		4-2	(Airframe) DRAG Paint, Wash, Steps, Seals, Doubler
		4-3	Aircraft Weight Issues (M&E)
		4-4	Engine SFC - Build Standard

		4-5	APU SFC - Build Standard
		4-6	Configuration Change - Weight Reduction
5	Commercial & Ground Operations	5-1	Commercial Equipment Weight Reduction
		5-2	Catering Weight Reduction
		5-3	Duty Free Weight Reduction
		5-4	Magazines Weight Reduction
		5-5	Potable Water Weight Reduction
		5-6	Additional Fuel - Over Fuelling

출처 : Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environmental Management

○ 실 데이터를 이용하여 여러 감축수단에 대해 정량적인 수치를 제시한 보고서는 최초이며, 항공사가 현재 실질적으로 적용 가능한 방안을 구체적으로 제시하였으나 IATA보고서는 실제 데이터 외에 예측을 위한 BAU는 제시하지 않아 ICAO가 제시하고 있는 신형항공기 도입 및 대체연료 사용에 대한 감축수단은 고려하지 않음

(2) 항공온실가스 감축기술 분석 방법

○ 항공온실가스 감축기술 분석은 먼저 국내외 감축기술에 대한 사항들을 조사 분석하고, 그 결과를 바탕으로 국내 항공사의 항공온실가스 담당자 및 관련부서 담당자들과 면담조사를 실시하여, 실제 항공사에서 운용되고 있거나 감축기술과 시스템에 포함하는 감축기술의 선호도 조사를 실시함

○ 또한, 현재 적용되고 있는 국내 감축기술과 비교한 후, 시스템에 구축이 가능한 감축기술을 토대로 우선적으로 항공온실가스 감축기술을 선정함.

1	국내외 항공온실가스 감축기술 조사
2	감축기술 정의 및 항공사 적용여부 확인
3	추후 이용자들을 대상으로 선호도 조사
4	우선적 항공온실가스 감축기술 선정
5	이용 대상자들의 검토 의견 수렴 및 반영

<그림 74 > 항공온실가스 예측 모듈 감축기술 선정 방법

○ 첫 번째는 국내외 항공온실가스 감축기술을 조사하였으며, 그 결과로 국내에서 적용하고 있는 감축기술과 국외 항공온실가스 감축기술을 분석하였으며, 주요 항공온실가스 감축기술을 조사한 문서는 다음과 같음

- 한국교통연구원, ‘항공부문 온실가스 감축 국가이행계획 수립 연구’, 2012
  · 항공 온실가스 감축기술 10개 포함되어 조사·분석되어 있음
- 교통안전공단, ‘항공온실가스 저감기술 이행 매뉴얼’, 2015
  · 항공 온실가스 감축기술 23개 포함되어 조사·분석되어 있음
- IATA, Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environmental

Management, 2011

· 항공 온실가스 감축기술 47개 포함되어 조사·분석되어 있음

○ 두 번째는 첫 번째에서 조사한 항공온실가스 감축기술을 항공사의 항공온실가스 담당자들을 대상으로 면담조사를 실시하여, 항공사에서 항공온실가스 적용여부를 조사함

- 항공사에 면담조사를 하기 전 항공사를 대상으로 항공온실가스 산정 및 예측 시스템 개발에 대한 전반적인 설명을 실시함
- 개발 시스템이 완성되면 주 사용자들이 항공사들이므로, 이들을 대상으로 개발 시스템의 요구사항도 도출함

○ 세 번째는 항공온실가스 감축량 예측 모듈 개발의 요구사항으로 사용자들을 대상으로 항공온실가스 감축기술의 선호도조사를 항공온실가스 대상자 및 관련 부서 사람들에게 실시함

- 네 번째는 사용자들을 대상으로 실시된 항공온실가스 감축기술들을 취합하고, 국내 항공사들이 사용하는 항공온실가스 저감기술 이행매뉴얼과 비교하여, 항공온실가스 감축량 예측 모듈에 포함하는 감축기술들을 우선적으로 선정함
- 감축기술에 대한 선정은 선호도가 높은 감축기술부터 나열하고, 선호도가 높은 감축기술부터 실제 적용 가능여부를 1차적으로 개발자가 판단함
- 1차적으로 선별된 선호도 감축기술들을 다시 항공온실가스 저감기술 이행매뉴얼에 제시되어있는 이행매뉴얼과 비교하여, 우선적 항공온실가스 감축기술을 선정함
- 항공온실가스 저감기술 이행매뉴얼과 비교를 하는 이유는 항공온실가스 관리부서가 국토교통부와 교통안전공단이며, 두 부서에서 공동으로 '15년 2월에 매뉴얼을 제작하였고, 이 매뉴얼은 최근 국내 항공사들이 모두 사용하여 항공온실가스 감축량 산정을 하는 기준이됨

○ 다섯 번째는 우선적으로 선정된 감축기술들을 대상으로 사용자들의 검토의견을 받고, 그 결과 검토의견에 개발자 의견을 제시함

(3)감축수단 별 산정방안

○ 항공온실가스 감축수단 범주별로 저감분석을 위한 감축기술을 선정하고, 저감효과 산출기준을 개발하여 산출식 검증을 통한 산출기준 표준화가 필요함

○ 감축수단 분석 및 산정방안을 구체적으로 조사하기 위해 감축수단이 가장 많이 포함되어있는 IATA[30] 보고서를 우선적으로 분석하였고, 이를 저감기술 이행 매뉴얼, 국가온실가스 이행계획과 비교·분석함

○ 과거부터 미래까지 산정된 온실가스 배출량에 대해 APU, 운항관리, 운항, 정비 및 유지보수, 지상 중량관리의 5개 범주에 대한 감축기술 적용을 통한 저감효과를 분석하고, 저감 잠재량을 파악하여 감축이 이뤄질 수 있도록 적용 가능한 수단을 분석하였으며, 이에 대한 구체적인 5개 범주는 다음과 같음

<표 53 > 감축수단별 분류체계

대분류		중분류	
1	APU	01-01	GPU/AC-GPS 사용 권장

		01-02	APU 억제정책 운영
		01-03	No Pack 비행중 APU 최적화
		01-04	Single Pack 비행중 APU 최적화
		01-05	정비시 APU 최적 운영방안
2	Flight Dispatch	02-01	CI 개선
		02-02	항공로별 CI 적용
		02-03	지연비용 적용한 CI 운영
		02-04	횡적 비행계획 최적화
		02-05	고도별 비행계획 최적화
		02-06	보정연료 5%>3% 사용
		02-07	교체공항까지 보정연료 3%
		02-08	교체공항까지 보정연료 5%
		02-09	일부구간 보정연료 사용
		02-10	추가연료 (운항관리사 요청)
		02-11	탱커링 연료 최소화
		02-12	대체공항 최적화 운영
		02-13	대체공항 운항시 CI지수 0으로 변경
		02-14	IFR시 대체공항 미선정 운영
		02-15	체공연료 최적화
		02-16	항공기 무게중심관리
		02-17	영연료중량 정확도
		02-18	연료 바이어스 산정
		02-19	지상활주연료 표준 산정
3	Flight Operations	03-01	추가연료 (조종사 요청)
		03-02	단일엔진 택싱 인
		03-03	저플랩 이륙절차
		03-04	저플랩 가속고도 이륙절차
		03-05	연속출발절차 & T형 RNP 출발절차
		03-06	연속강하절차 & T형 RNP 도착절차
		03-07	저소음 저항력 절차
		03-08	저항력 플랩 절차
		03-09	공회전 역추진
		03-10	단일엔진 택싱 아웃
		03-11	조종사 역량
4	Maintenance & Engineering	04-01	엔진 코어 세척
		04-02	항공기 프레임 경량화
		04-03	정비부문 항공기 무게 경량화
		04-04	엔진 SFC 표준화
		04-05	APU SFC 표준화
		04-06	경량화를 위한 항공기 구조변경
5	Commercial & Ground Operations	05-01	기내서비스장비 무게 감소
		05-02	케이터링 무게 감소
		05-03	면세품 무게 감소
		05-04	매거진 무게 감소
		05-05	탑재수 무게 감소
		05-06	추가연료 감소 방안 (over fuel)

○ 5개 범주에 대한 구체적인 정의 및 감축원리는 APU, 운항관리, 운항, 정비 및 유지보수, 지상중량관리 순으로 분석함

(4)감축기술 선정방안

○ 항공 온실가스 감축량 예측 감축기술 선정을 위해 '15. 3. ~ ' 15. 4. (2개월)동안 항공 운송업을 수행하는 국내 항공사 7개 대상(대한항공, 아시아나항공, 진에어, 에어부산, 제주항공, 티웨이항공, 이스타항공)으로 개발하는 시스템에 기능으로 포함

되는 온실가스 배출량 감축기술을 항공사들을 대상으로 조사를 실시하여, 1차적으로 감축량 예측을 포함하는 분석을 실시함

○ 각 항공사들의 항공온실가스 담당자 및 연료감축기술을 위한 경험자을 총 20명 선정하여 면담조사를 실시 및 감축기술 선호도 결과를 제시하였으며, 조사에서 제시되는 감축기술은 국내외 감축기술(47개)들을 분석한 결과임

(5)항공사별 조사 결과

○ 면담조사 결과 항공사별 선호도 분석결과는 14개, 항공사별 적용감축기술 19개가 분석되었으며, 대형항공사(Full Service Carrier, FSC)와 저비용항공사(Low Cost Carrier, LCC)로 구분되어진 결과를 정리할 수 있음

○ 대형항공사는 2000년 중반부터 항공기에서 소모되는 연료량을 감축하기 위한 목표로 이미 국내외 감축기술들을 분석하여 많은 감축기술들에 대한 적용가능여부에 대한 내용들을 자체적으로 가지고 있으며, 아시아나항공의 경우 스타얼라이언스 그룹 회의에서 감축기술에 대한 주제로 항공사간 교류도 한 경험이 있음

○ 대형항공사는 항공온실가스와 관련된 내부 시스템 구축도 되어있으며, 이를 토대로 항공기별 산정 및 항공기 속도, 위치 등이 구체적으로 볼 수 있도록 내부 시스템이 구축되어있음

○ 반면에 저비용항공사는 항공온실가스 문제가 대두된 2010년 항공부문 온실가스 자발적 감축협약이 시작되면서 항공사에서 감축하는 감축기술 분석을 시작하였으며, 대부분이 감축기술조사 및 현재 적용한 결과를 도출하는 단계에 있음

○ 일부 저비용항공사에서 항공온실가스 산정할 수 있는 시스템을 구축하여 활용하고 있지만, 대부분 저비용항공사는 이제 구축하는 단계에 있거나, 아직 구축 계획이 없는 항공사들이 대부분임

○ 대한항공

- 대한항공은 항공온실가스 문제가 대두되기 전부터 연료감축을 위한 다양한 방법을 모색하기 위하여 연료관리팀을 따로 운영 중에 있으며, 연료관리팀에서 많은 연료감축기술들이 실제 적용될 수 있을지 분석되었음
- 또한, 대한항공은 이미 항공기별 항공온실가스를 배출량을 산정하는 시스템을 구축하였으며, 항공기가 운항하는 정보들을 수집하여 항공온실가스 감축하기 위한 방법을 분석하고 있음

○ 아시아나항공

- 아시아나항공도 기존의 연료관리팀을 운영하는 방식으로, 현재 항공온실가스 대응팀을 조직하였으며, 내부에서 항공온실가스 감축을 위한 캠페인, 조종사 교육 등을 시행하여, 연료 감축 및 항공온실가스 감축을 할 수있음
- 아시아나항공은 항공온실가스를 비행편당으로 산정하기 위하여, 내부 시스템을 구축함 이 시스템을 운용하여, 매년 연료사용량 및 항공온실가스가 감축되고 있는지를 확인함
- 또한, 항공기 중량 감소를 위한 면세품, 항공기 기내에서 사용하는 컵, 그릇, 쟁반

등을 플라스틱과 같은 가벼운 소재로 변경하고자 시도는 하였지만, 서비스측면을 고려하여 반영되지않음

○ 진에어

- 진에어는 항공온실담당자가 회사 내부에 지정되어 있으며, 그 담당자와 주로 면담조사를 실시하였고, 담당자가 확인되지 않는 사항은 다른 담당자와 유선통화로 확인하면서 면담조사를 진행함
- 진에어는 항공온실가스를 산출하는 내부 시스템이 구축되지 않아, 항공기 기종별총량을 Tier 1, Tier 2 급으로 구분하여 재산정하고 있었으며, 현재 적용하고 있는 감축기술은 타 저가항공사와 유사한 수준임
- 진에어는 APU 사용 억제를 위하여 김포공항에서 GPU를 사용중이며, APU 사용량 파악은 월별, 연도별로 APU 사용량을 파악하고 있음
- 저가항공사 중에서 유일하게 적용하고 있는 사항은 Cost index 값의 정기적인 변경과 경량 ULD를 사용하고 있는 것임
  - Cost Index 값을 정기적으로 변경하며 항공기 속도를 적용하였고, 이를 토대로 비행계획서를 작성함
  - 또한 저가항공사 중에서 대형항공기인 B777를 운영하고 있으며, 이 항공기에서 사용되고 있는 ULD의 경우 경량 ULD로 적용하여 사용되고있음

○ 제주항공

- 제주항공은 회사 내부 항공온실가스 담당자를 두고, 매달 항공온실가스발생량을 계산할 수 있도록 회사 내부 시스템이 구축되어있는 상태임
- 다만, 항공온실가스 배출량을 항공운항 단계별로 분석이 불가능한 형태이므로, 항공온실가스 배출량만 산정하도록 개발되었음
- 제주항공 자문회의 결과 타 항공사와 다른 점은 APU 산정하는 기준을 주기장에서 도착한 시점부터 푸시-백되기까지 APU가 운용되는 시간을 통계적으로 산출한 25분으로 정하였으며, 주기장에서 비행편마다 APU가 실제로 운용되지 않은 시간만큼을 따로 작성을 하여 보관함
- 또한, 제주항공에서는 두달동안 연료사용을 집계한 결과를 토대로 감축 활동이 높은 직원에 대한 포상을 제공하고 있으며, 이 포상활동으로 회사 전반적으로 감축을 위한 의지가 높은 편임

○ 이스타항공

- 이스타항공은 타 저가 항공사에서 적용하는 운항 규정을 거의 동일하게 적용하여 항공기를 운항하고 있으며, 회사내 항공온실가스 대응 시스템이 구축되지 않고 비행편당 총 연료량을 직접 계산하는 방식으로 사용하고있음
- 타 저가항공사에서 적용하고 있는 비행편당 APU 소모량 체크를 정비본부에서만 하고 있었으며, 항공온실가스 저감량 산정을 위해서 APU 사용량을 계산하지는 않음
- 또한, 주기장에서 활주로까지 지상이동시간을 15-17분정도로 예상하여 항공기에

주입하는 연료값을 200kg 고정으로 적용함

○ 티웨이항공

- 티웨이항공에서 면담조사는 조종사, 운항관리사, 정비사, 항공온실가스 담당자와 면담조사를 실시하였으며, 타 저가항공사와 거의 동일한 항공온실가스 감축기술을 적용하고있음
- 회사내 항공온실가스 감축을 체계적으로 관리할 수 있는 시스템은 현재는 구축되지 않았으며, '15년도 연말에 구축 예정임
- 회사내 APU 시설을 대체할 수 있는 시설이 회사내 자체 보유하고 있지 않아, 협력 지상조업업체를 통하여 대체하고 있으며, AC-GPS는 김포공항 및 인천공항 탑승동에 장착되어 있는 시설을 이용하지만, 저가항공사가 탑승동을 이용하기는 주기장의 SLOT을 배정받기가 어려워 대부분 GPU로 대체하여 사용함
- 티웨이항공은 비행계획시 적용하는 보정연료를 10% 적용하였지만, 15년 4월달부터 5%로 변경하여 적용할 예정이고, 항공법 기준에 적용할 수 있는 최저 3% 기준을 위하여 준비하고 있음

○ 에어부산

- 에어부산은 면담조사 대상자가 항공온실가스 담당자와 부조종사이며, 회사내 항공온실가스 대응팀이 최근에 구축되어 정기적인 모임과 회사내에서 감축기술 적용등을 분석하고있음
- 회사에서 적용하는 감축기술들은 타 저가항공사와 동일하나, 아시아나항공에서 실시한 회사 내 캠페인, 조종사 교육 등은 유사한 형태로 실시됨
- APU 사용을 억제시킬 수 있는 장비는 에어부산 자체에서 가지고 있는 GPU 시설은 없지만, 협력 지상조업사의 도움으로 실시하고 있음 또한 APU 사용량에 대한 체크는 정비팀에서 사용하는 사용시간 로그북에 작성을 하지만, 따로 작성이 되지 않음
- 저가항공사들 중에서 특이하게 적용한 감축기술로서 조종사들에게 착륙 후 주기장으로 들어오기까지 엔진 두 개 항공기의 경우 엔진 하나 시동을 끄고 운항하는 방법도 사용되었음 하지만, 엔진을 하나를 끄고 운항한 경우와 끄지 않고 운항한 경우를 비교할 만한 정확한 량을 계산하기 어려워 회사내에서 지속적으로 이루어지지 않음
- 또한 회사내에서 연료 감소 및 항공온실가스 감축을 위한 방법으로 녹색운항매뉴얼을 제작하여 조종사들을 대상으로 교육이 실시함
- 다만, 타 저가항공사에서 사용하는 식음료(potable water)무게 절감은 하지 않은 것으로 파악됨

(6) 감축기술 결과 도출

○ 항공사 항공온실가스 담당자들을 대상으로 항공사별 적용기술과 개발 시스템의 항공온실가스 감축량 예측 모듈의 요구사항으로 선정되는 감축기술의 선호도 결과는 다음과 같음

○ 항공사들을 대상으로 조사한 감축기술 선호도 결과는 항공사에서 이미 적용하고 있

는 감축기술들 중에 50% 정도를 포함하고 있지만, 포함된 50% 중에서는 항공사에서 도출하는 방법들에 대한 항공사별 기준이 상이하므로 이 기준에 대한 표준화 제시를 요구함

<표 54 > 항공사 감축기술 선호도 결과

구분	대분류	중분류		선호도 결과	항공사별 적용기술
1	APU	01-01	GPU/AC-GPS 사용 권장	0	0
2	Flight Dispatch	02-01	APU 억제정책 운영	0	
		02-04	No Pack 비행중 APU 최적화		0
		02-05	Single Pack 비행중 APU 최적화	0	0
		02-06	정비시 APU 최적 운영방안		0
		02-10	CI 개선	0	
		02-11	항공로별 CI 적용	0	
		02-12	지연비용 적용한 CI 운영		0
		02-15	횡적 비행계획 최적화	0	0
		02-16	고도별 비행계획 최적화	0	0
		02-17	보정연료 5%>3% 사용	0	0
		02-18	교체공항까지 보정연료 3%	0	
		02-19	교체공항까지 보정연료 5%		0
3	Flight Operations	03-01	일부구간 보정연료 사용	0	
		03-03	추가연료 (운항관리사 요청)		0
		03-05	탱커링 연료 최소화		0
		03-06	대체공항 최적화 운영		0
		03-07	대체공항 운항시 CI지수 0으로 변경		0
		03-08	IFR시 대체공항 미선정 운영		0
		03-09	체공연료 최적화		0
4	Maintenance & Engineering	04-01	항공기 무게중심관리	0	0
		04-03	영연료중량 정확도	0	0
		04-06	연료 바이어스 산정		0
5	Commercial & Ground Operations	05-02	지상활주연료 표준 산정	0	
		05-05	추가연료 (조종사 요청)	0	0

○ 일부 항공사에서 선호하는 감축기술들은 실제 항공사에 적용하였을 경우 산정기준이 모호하며, 항공사의 중요데이터가 노출될 수 있는 위험이 있으므로 이를 제외하고 선정함

- Reduced Acceleration Altitude : 국내 공항은 이륙시 일정고도까지 빨리 상승하는 절차는 항공기 소음과 관련된 절차이므로, 선호도 조사에서 제외

- CDOs & T-Arrivals RNPs : 현재 국내에 적용되어있는 CDO 절차는 없음. 다만, 항공사들이 운영할 수 있는 자격요건은 갖추고 있음
- Pilot Technique - Flight Management : 조종사에 대한 감축량 평가는 항공사내에서 민감한 사항이며, 평가할때 분석하는 데이터도 항공사에서 일부 직원들만 사용할 수있음
- Commercial Equipment Weight Reduction : 대형항공사의 경우 ULD 사용이 이루어지고 있지만, 저비용항공사는 주기종이 B737-800이며, ULD를 사용하고 있지 않는 상황임 추후 감축기술로 고려해볼 요소임

○ 또한, 국내 항공온실가스 저감기술과 관련하여 교통안전공단에서 발표한 '항공온실가스 저감기술 이행 매뉴얼' 감축기술 중에서 IATA 보고서와 중복되는 감축기술은 총 15개이며, 그 기술들은 다음과 같음

- 항공온실저감기술 이행매뉴얼과 선호도 결과와 중복되는 사항은 총 4개임

<표 55 > 항공사 감축기술 선호도와 저감기술 이행매뉴얼 비교

구분	대분류	중분류		항공온실저감기술이행매뉴얼('15)	선호도 결과
1	APU	01-01	GPU/AC-GPS 사용 권장	0	0
2	Flight Dispatch	02-01	CI 개선	0	0
		02-04	횡적 비행계획 최적화	0	
		02-12	대체공항 최적화 운영	0	
3	Flight Operations	03-03	저플랩 이륙절차	0	
		03-06	연속강하절차 & T형 RNP 도착절차	0	
		03-07	저소음 저항력 절차	0	
		03-08	저항력 플랩 절차	0	
		03-09	공회전 역추진	0	
		03-10	단일엔진 택싱 아웃	0	
4	Maintenance & Engineering	04-01	엔진 코어 세척	0	0
		04-02	항공기 프레임 경량화	0	
		04-06	경량화를 위한 항공기 구조변경	0	
5	Commercial & Ground Operations	05-01	기내서비스장비 무게 감소	0	
		05-05	탑재수 무게 감소	0	0

○ 따라서 위의 결과를 토대로 아래 표와 같은 우선시 되는 감축기술들을 도출하였고, 이를 토대로 2차년도 감축기술 알고리즘을 구현할 예정임

- 다만, 사용자의 요구사항과 국가정책를 반영한 감축기술들은 2차년도 과업중에도 재구성될 수 있음

<표 56 > 항공 온실가스 감축기술 도출

구분	대분류	중분류	
1	APU	01-01	GPU/AC-GPS 사용 권장
2	Flight Dispatch	02-01	CI 개선
		02-05	고도별 비행계획 최적화

		02-10	추가연료 (운항관리사 요청)
		02-12	대체공항 최적화 운영
		02-15	체공연료 최적화
		02-17	영연료중량 정확도
		02-18	연료 바이어스 산정
		02-19	지상활주연료 표준 산정
3	Flight Operations	03-07	저소음 저항력 절차
		03-10	단일엔진 택싱 아웃
4	Maintenance & Engineering	04-01	엔진 코어 세척
5	Commercial & Ground Operations	05-02	케이터링 무게 감소
		05-05	탑재수 무게 감소

2. 항공온실가스 감축기술 분석 방법

○ 항공 온실가스 감축량 예측 시스템을 개발하기 위해 실제 시스템에 필요한 요구사항을 검토할 필요가 있음

○ 시스템을 체계적으로 정의 및 분석, 관리가 미흡할 경우 향후 개발 시 상호운용성이 결여될 수 있으며, 이는 시스템의 필요 요구 성능을 만족시킬 수 없음 또한 이러한 문제점으로 인해 설계변경을 수시로 변경 시 추가적인 비용 및 개발소요기간이 과다 진행될 수 있어 시스템 개발 시작단계에서 사용자/시스템 요구사항의 명확한 분석이 필요함

○ 이를 위해 본 시스템 설계를 문서화하는 작업이 필요하며, 개발단계에서 시스템요구사항검토(SRR)를 통해 개념설계를 구체화하는 작업이 필요함

○ ‘항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발연구’의 시스템 요구사항[31] 검토회의 자료 작성을 위하여 관련 기관(정부, 항공사, 정부지원기관 등)의 사용자 요구사항을 자문, 인터뷰를 통해 도출하였으며, ‘항공온실가스 감축량 예측시스템’과 관련된 특정 요구사항(사용자 요구사항, 기능요구사항, 시스템 요구사항)을 선별하여 분석함

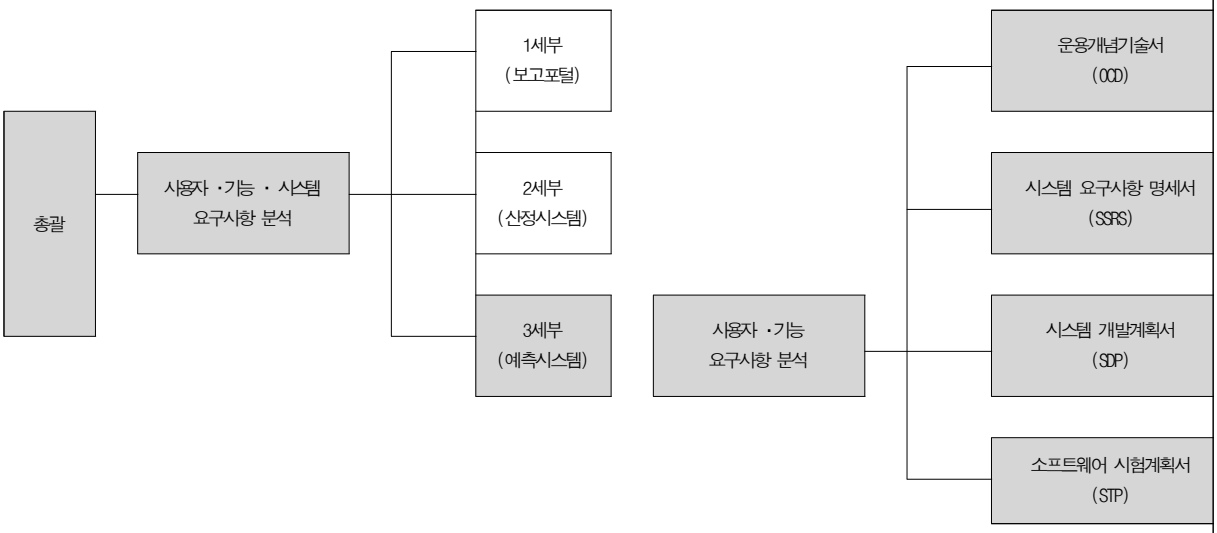
○ 항공온실가스 감축량 예측 시스템의 분석된 요구사항을 통하여, 운용개념기술서(OCD), 시스템요구사항명세서(SRRS), 시스템개발계획서(SDP), 테스트계획서(STP)를 작성하고 개념설계를 완료함

- 운용개념기술서:운용개념기술서는 항공온실가스 감축량 예측시스템개발에 대한 개요, 시스템, 분석, 운영시나리오 등을 기술한 문서임
- 시스템 요구사항명세서:시스템요구사항명세서는 항공온실가스 감축량 예측시스템 개발의 일반적 기능 요구사항을 제외한 시스템 요구사항을 기술한 문서
- 시스템 개발계획서:시스템 개발계획서는 항공온실가스 감축량 예측 시스템 개발의

방법론, 형상관리 및 품질관리, 문서관리 등 개발시스템 체계 등을 기술한 문서

- 소프트웨어 시험계획서:소프트웨어 시험계획서는 항공온실가스 감축량 예측시스템 개발의 단위시험계획. 통합시험계획, 인수시험계획을 작성하여 도출한 현업 요구사항 및 설계사양을 시스템이 만족 시키는지를 검증하는 문서

<표 57 > 시스템 요구사항 검토 흐름도



(1) 운용개념기술서[32)]

가) 시스템 개요

○ 항공 온실가스 감축량 예측 시스템은 항공 온실가스 감축량 예측 모듈과 감축수단별 경제성분석 · 의사결정 지원 모듈로 구성되어있음

○ 항공 온실가스 감축량 예측 모듈 : 항공온실가스 감축수단 별 알고리즘을 통해 저감효과를 분석하며 이에 따른 저감잠재량을 예측할 수 있도록함

- 본 모듈은 항공안전 및 온실가스 감축의 두 부분 모두가 충족될 수 있도록 절차상 안전을 기본으로 한 항공기 온실가스 감축량 및 저감잠재량을 분석할 수 있는 모듈임
- 총 5개의 범주 (APU, 운항관리, 운항, 정비 및 유지보수, 지상 중량관리) 내 40여 가지의 감축기술에 대한 저감효과를 분석하고 저감 잠재량을 파악하여 추가 감축이 이뤄질 수 있도록함

○ 항공온실가스 감축수단 별 경제성분석 · 의사결정 지원 모듈 개발 : 항공 온실가스 감축수단 별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈을 통해 사용자에게 감축수단 적용을 위한 의사결정을 지원해줄 수 있도록함

- 각종 시나리오(국내 · 외 환경 관련 정책 시나리오, 미래 항공수요 및 신형 항공기 도입 시나리오, ICAO 항공기 인증규제 시나리오)와 각종 DB(항공기 성능, 항공사 운항 스케쥴, 항공사 비용)을 통한 항공기종별 비용 및 효과를 이용해 비용분석을 하여 Fleet Level 정책효과 분석하며, 이에 감축수단별 효과를 적용하여 감축수단별 정책효과 변화 및 비용/온실가스 감축량에 대한 분석을 통하여 정부 또는 항공사의 정책 수립에 대한 의사결정을 돕는 모듈임

(1) 시스템 개발 범위 및 목표

가) 시스템 개발 범위

<표 58 > 운용개념기술서 개발범위

모듈	업무	업무범위
항공 온실가스 감축량 예측 상용 모듈	S/W개발	- 항공 온실가스 기초데이터 검색/추출/관리 기술 개발 - 알고리즘 모듈과 DB 통합 시스템 구축 - 감축량 예측 알고리즘 이용한 예측 모듈 개발
경제성 분석 및 의사결정 지원	S/W개발	- 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개발

나) 시스템 목표

○ 항공 온실가스 감축량 예측 모듈은 감축량 예측모듈과 경제성분석 및 의사결정 지원모듈로 구성됨

– 항공 온실가스 감축량 예측 모듈 개발은 APU, 운항관리, 운항, 정비 및 유지보수, 지상 중량관리의 5개 범주에 대한 감축기술 적용을 통한 저감효과를 분석하고, 저감 잠재량을 파악하여 추가 감축이 이뤄질 수 있도록함

- 감축수단별, 비행단계별, 항공기종별 등 다양한 감축 시나리오 분석기술이 요구되며, 이를 통해 항공 온실가스 감축량 데이터베이스를 구축하고 경제적 운항 절차 개발 및 효과적인 운항 체계를 구축하는 기술을 개발함
- 항공온실가스 감축량을 다양한 감축수단을 이용하여 예측할 수 있는 모듈
- 정부 및 항공사의 정책을 지원할 수 있는 모듈

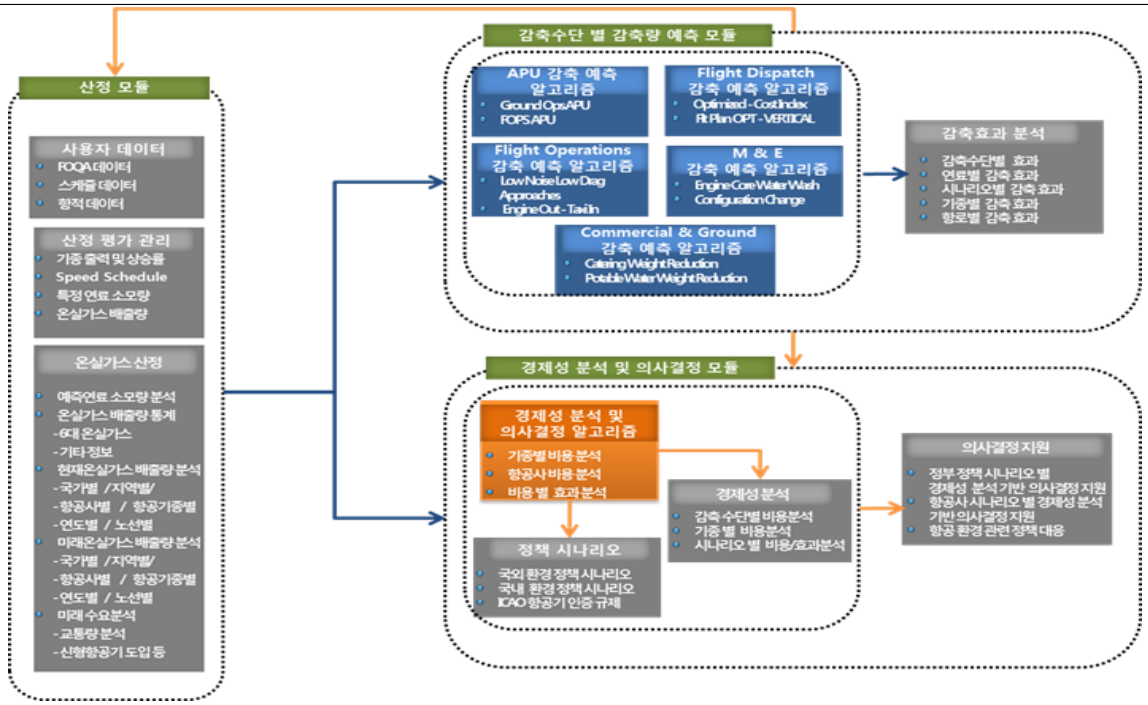
– 항공온실가스 감축수단 별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개발은 온실가스 배출 국가 이행계획 수립과 탄소배출거래제 실시에 선제적으로 대응하기 위한 경제성 분석과 의사결정을 지원함

- 총 5개 범주내 47여 가지의 감축 기술의 적용 시나리오에 따라(예: 항공사별, 노선별, 기종별 적용 범위 시나리오) 항공사의 직접운항비용에 미치는 영향 분석
- 국내외 환경 관련 정책 시나리오 및 미래 항공수요, 신형 항공기 도입 시나리오에 따른 항공사 비용에 미치는 영향을 분석하여 정부 또는 항공사의 항공온실가스 감축 전략에 대한 의사결정을 돕는 모듈 개발

다) 전체 시스템 구성도

라) 항공 온실가스 감축량 예측 모듈 흐름도

○ 과거부터 미래까지 산정된 온실가스 배출량에 대해 APU, 운항관리, 운항, 정비 및



<그림75 > 전체 시스템 구성도

유지보수, 지상 중량관리의 5개 범주에 대한 감축기술 적용을 통한 저감효과를 분석하고, 저감 잠재량을 파악하여 추가 감축이 이뤄질 수 있도록 하는 모듈임

- APU : 항공기 보조동력장치(APU, Auxiliary Power Unit)는 항공기 후미에 설치되어 주동력기관의 시동에 필요한 동력 또는 비상동력을 공급하는 소형 가스터빈 엔진 형식의 일종으로 주엔진 고장 또는 정지 상태에 있을 때 동력을 공급하는 역할을 함. APU 사용은 동일한 시간의 지상전원공급장치 사용에 비해 연료소비량이 상당함에 따라 항공사 자체적으로도 APU 사용을 최소화하여 연료절감을 실현하고 있음. 따라서 지상에서 AC-APU 사용을 억제하고 AC-GPS를 사용함으로써 항공기의 연료절감을 달성할 수 있으며, 이에 대한 정량적 결과를 감축수단 알고리즘을 통해 예측할 수 있음.
- 운항관리 : 운항관리에는 기상 및 항로, 대체공항 등을 고려하는 비행계획단계, 탑재연료의 관리, 항공기와 탑재물품 및 무게중심 등 항공기 운항 전에 필요한 제반사항을 고려해야 함. 따라서 항공기의 전반적인 스케줄 및 운용을 적절히 관리하는 감축수단 알고리즘을 통해 예측할 수 있음.
- 운항 : 운항승무원의 주요 임무는 최적의 비행계획이 세워진 항공편에 대해 가장 효율적인 속도와 고도로 안전하게 비행하는 것이며, 이와 더불어 연료효율성을 높이기 위해 여러 제반사항을 고려하여야 함. 항공기가 운항을 시작할 때부터 멈출 때까지 운항 전반 감축수단 알고리즘을 통해 예측할 수 있음.
- 정비 및 유지보수 : 유지보수 및 항공역학적인 부분에서 항공기의 운용 시항공기가 가진 최대의 성능을 낼수 있도록 여러 제반사항 등을 고려하여야함. 따라서 유지보수 및 정비의 관점에서 항공온실가스 저감 관련 정량적 결과를 감축수단 알고리즘을 통해 예측할 수 있음.
- 지상 중량관리: 항공기의 중량 감소는 항공기 관리방안의 일환으로 기체, 장비, 탑재물품 등의 중량을 체계적으로 관리함으로서 전반적인 항공기 중량감소를 이끌어

수 있음. 중량을 감소함으로서 연료절감을 이끌어내고, 이에 대한 정량적 결과를 감축수단 알고리즘을 통해 예측할 수 있음.

○ 감축수단별, 비행단계별, 항공기종별 등 다양한 감축 시나리오 분석기술이 요구되며, 이를 통해 항공 온실가스 감축량 데이터베이스를 구축하고 경제적 운항절차 개발 및 효과적인 운항 체계를 구축하는 기술을 개발함

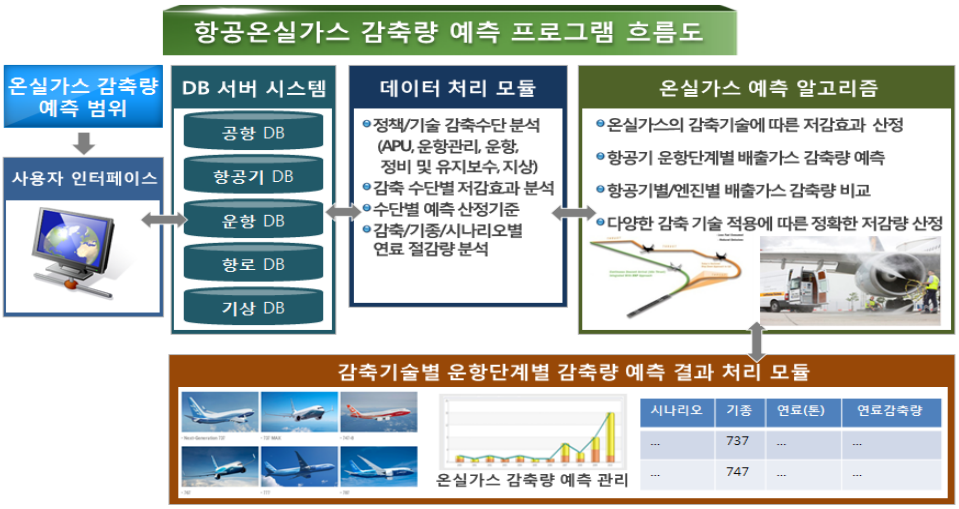
○ 항공 온실가스 감축량 예측 시스템은 항공안전과 온실가스 감축, 두 부분 모두가 충족될 수 있도록 절차상 안전을 기본으로 한 항공기 온실가스 감축량 및 저감잠재량을 분석하여, 국가 중장기 온실가스 감축이행을 위한 계획을 수립하고 관리하는 시스템임

○ 감축수단 범주별로 저감 분석을 위한 감축기술을 선정하고, 저감효과 산출기준을 개발하여 산출식 검증을 통한 산출기준을 표준화함

○ 핵심 컴퍼넌트

- DB 서버 컴퍼넌트
- 데이터 처리 컴퍼넌트
- 감축량 예측 알고리즘 컴퍼넌트

○ 각 컴퍼넌트 간의 데이터 흐름도는 아래와 같음



<그림76 > 항공 온실가스 감축량 예측 시스템 구성도

(2) 목표시스템 운영 시나리오

가) 항공 온실가스 감축량 예측모듈 시나리오 구성도

○ 과거부터 미래까지 산정된 온실가스 배출량에 대해 APU, 운항관리, 운항, 정비 및 유지보수, 지상 중량관리의 5개 범주에 대한 감축기술 적용 알고리즘임

○ 시나리오는 총 3가지로 구분되며, 정부관점, 정부지원기관관점, 항공사관점 별로 지원하는 시나리오가 다르게 구성될 수 있음

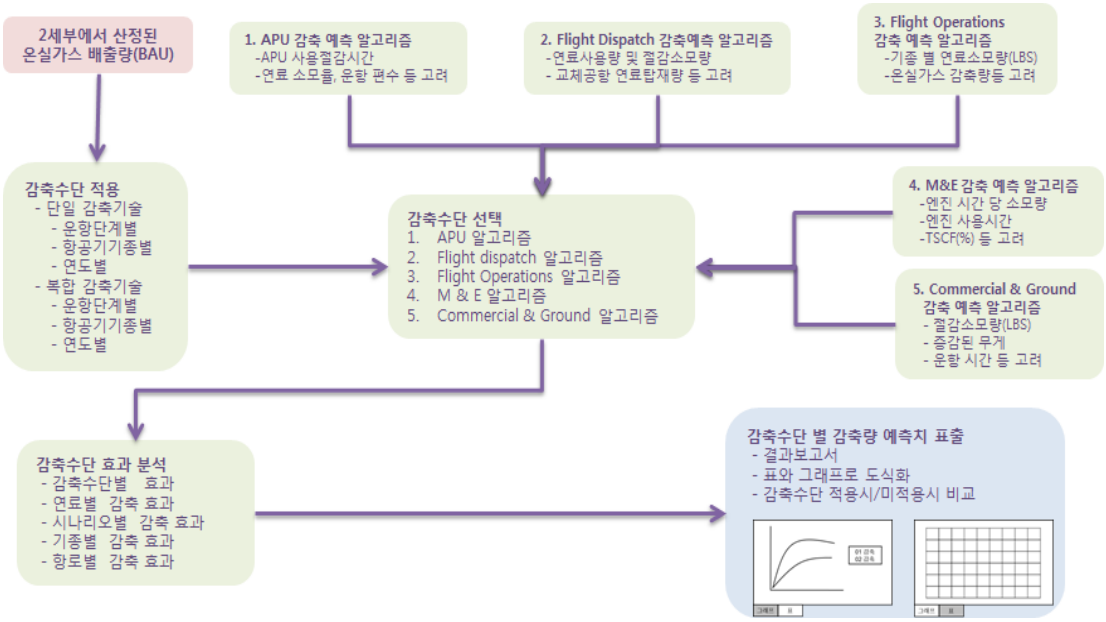
(2) 시스템 요구사항 명세서[33)]

1. 사용자 · 운용자 정의 및 특성

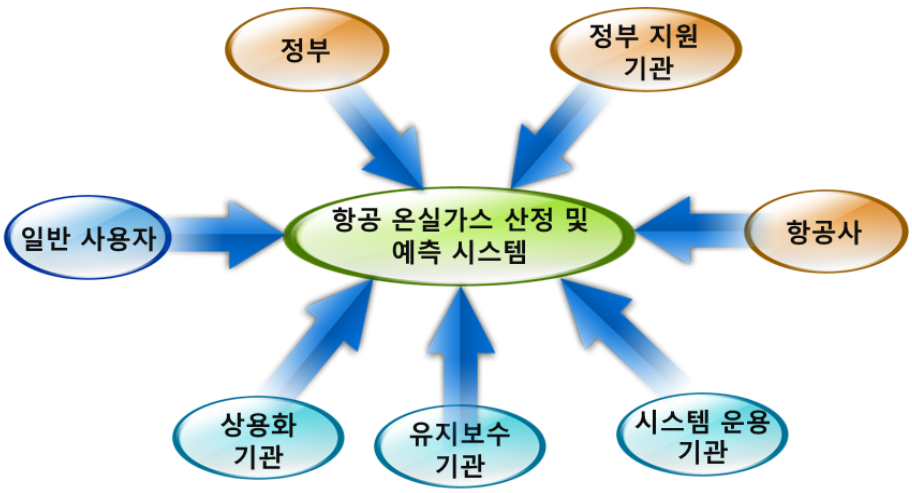
가) 사용자 및 운용자 정의

○ 본 시스템에 대한 사용자 및 운용자는 전문사용자, 운용자 및 일반 사용자로 구분됨

- 전문사용자 : 정부, 정부 지원 기관 및 항공사는 온실가스 감축 관련 정책업무 수립 및 이행을 위한 분석 등을 위해 본 시스템 사용
- 운용자 : 상용화 기관, 유지보수 기관 및 시스템 운용 기관은 본 시스템의 판매 및 시스템 구동을 위한 장비 및 S/W 유지보수 담당
- 일반 사용자 : 대학, 지자체, 관련 민간단체 및 공항공사 등 기관별 목적달성을 위해 본 시스템 사용



<그림77 > 항공 온실가스 감축량 예측모듈 시나리오 구성도



<그림78 > 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 사용자 및 운용자 구성도

(1) 사용자 및 운용자 특성

○ 정부기관
- 항공부문 온실가스 감축목표 달성도의 정밀한 산정 제공
- 온실가스 감축 목표 설정 및 항공사의 감축 목표 달성 관리·평가
- 항공 온실가스 감축 이행실적 관리
- 항공 온실가스 정책수단 별 효과분석을 통한 효율적 정책 수립
- 항공 온실가스 감축 국가이행계획 수립 및 효율적 운용을 위한 정책 수립
- 시장기반체제(Market Based Measures) 추진에 있어 국제 항공부문 온실가스 모니터링, 배출량 검증 지원 및 탄소상쇄, 배출권 거래제도 도입·시행 지원

○ 정부 지원 기관
- 온실가스 자발적 감축협약 및 목표관리제 관리 툴로 사용
- 국내 환경 분석 및 항공 전문 연구진에게 고정밀 항공부문 온실가스 감축량 예측 분석 도구 및 데이터 제공
- 온실가스 감축 이행계획서 평가 – 참여 항공사가 제출한 이행계획 상의 온실가스 배출량, 연료 절감 계획 등 적절성 평가를 통한 검증 활동 수행

○ 항공사
- 항공 온실가스 감축수단 별 온실가스 배출량 분석을 통한 감축 계획 수립
- 항공부문 온실가스 배출 최소화를 위해 효과적인 온실가스 감축수단 개발 및 의사결정을 지원
- 항공기 도입 시 경로당 연료 절약 및 이에 따른 환경 부가세 절약 결과 도출
- 실제 항공부문 온실가스 감축량의 대부분을 차지하는 항공기 교체에 의한 감축효과 제공

(2) 사용자 요구사항

○ 항공 온실가스 관련 업무(배출권거래제 등) 보고서가 제공되어야함
○ 온실가스 감축수단에 대한 데이터 검증 및 산정기술이 제시되어야함
○ 항공 온실가스 감축량 예측 관련 그래프가 제시되어야함
○ 시스템 간 데이터 호환이 가능해야함
○ 온실가스 시 기준값 입력 및 표준 데이터 이용이 가능해야함
○ 항공기 지상운용, 최적 연료량 산정 등 다양한 산정 업무를 제공해야함
○ GIS 맵상에 데이터가 표시되어야함
○ 미래 항공교통 수요 시나리오 및 DB 생성이 가능해야함
○ 감축수단별 적용 시 미래 온실가스 산정이 가능해야함
○ 감축활동 모니터링 리포트, 배출권거래제 및 자발적 협약 등 다양한 의사결정 지원 데이터가 제공되어야함
○ 온실가스 감축수단 적용 시 경제성 분석이 가능해야함
○ 정부 혹은 항공사의 의사결정에 대한 구체적인 지원이 가능해야함

(3) 기능 요구사항

<표 59 > 기능 요구사항 - FUR-E2-001

요구사항 분류		기능 요구사항
요구사항 고유번호		FUR-E2-001
요구사항 명칭		항공온실가스 감축량 예측
요구 사항 상세 설명	정의	감축량 예측 업무
산출물 정보		
관련 요구사항		
출처		'15.01.15 사용자 요구사항 회의, '15.01.21 사용자 요구사항 회의, '15.01.30 사용자 요구사항 회의, '15.02.03 사용자 요구사항 회의

가) FUR-E2-001 세부내용

○ FUR-E2-001.01 온실가스 및 연료량 절감을 위해 감축수단을 고려하여야함(아래와 같은 감축수단을 이용)

- 항공기 보조 엔진(APU)
  - Ground Ops APU: 항공사에서 온실가스 자발적 감축에 적용하는 기술로서, 항공기가 지상에서 소모되는 APU 사용량을 정확하게 산출하고, GPU및 AC-GPS 사용량과 비교한 결과를 제시하는 기능
- 운항관리(Flight Dispatch)
  - 최적화 비용지수(Optimized - Cost Index, 비행계획 최적화 - 수직(Flt Plan OPT - VERTICAL), 운항관리 - 추가연료(Flight Dispatch - Additional Fuel, 교체 공항 선정(Alternate - OPT Selection, 체공연료량 최적화(Holding Fuel Optimization, 항공기 하중 계획(Load planning - ZFW Accuracy, 연료량 산정오차(Fuel Bias - (Flight Planning System), 유도로 연료산정(Taxi Fuel Excess Standard Load)를 이용
- 운항(Flight Operations)
  - 저소음 접근절차(Low Noise Low Drag Approaches) 항공기 도착단계에서 감축기술 적용 시 감축되는 연료량 및 온실가스 감축량을 산출하는 기능
  - 엔진 중지(Engine Out - Taxi In) : Taxi In 과정에서 Engine Out-Taxi In 절차를 사용함으로써, 기존 대비 연료소모량 및 배출물질을 감소시킬 수 있는 기술이며, 이를 적용하여 산출하는 기능
- 정비(Maintenance & Engineering)
  - · 엔진 물 세척(Engine Core Water Wash): 엔진 내부 압축기(Compressor) 공기통로(Gas pass)를 주기적으로 물 세척해 줌으로써 엔진 압축효율을 높여주어 연료 절감 도모하는 기능
- 지상 중량관리(Commercial &Ground Operations)
  - 기내식 장비 중량감소(Catering Weight Reduction) : 항공기 기내에 불필요한 장비를 제거함으로 항공기가 경량화 되며, Catering의 중량관리를 통해 항

공기 탑재 무게를 감소시켜 항공기의 연료소모를 절감, 달성할 수 있는 기능

- 이동 식수량 감소(Potable Water Weight Reduction) : 항공기에 주입되는 식수량을 조절하여 항공기의 중량을 감축하는 효과가 발생되며, 이 기능을 통하여 식수량에 따른 온실가스 발생량을 산정하는 기능

○ FUR-E2-001.02 감축수단별 오차가 최소화되어야함

- 데이터 표준화 및 통계자료와 정확한 수치를 이용하여 오차가 적은 알고리즘을 개발해야함

○ FUR-E2-001.03 운항 구간 별(비행 단계별) 감축수단 결과 값이 표시되어야 함

- 프로파일 기반의 항공기 성능 표시는 Preflight, Trakoff, Departure, En Route, Descent, Approach, Landing 별로 감축수단 결과 값이 표시되어야 함

○ FUR-E2-001.04 감축량 예측을 위해서 항공사별로 발생된 온실가스 배출량을 온실가스 DB에서 불러와야함

- 배출량 산정과 통합 DB 시스템을 구축 후 통합 DB의 데이터를 이용함.

  ○ FUR-E2-001.05 온실가스 DB에서 불러 올 수 없는 경우 기준 값을 입력할 수 있어야함

- 해당 데이터가 DBMS 에 존재하지 않을시 사용자 UI에서 기준 값을 입력 받을 수 있어야함

○ FUR-E2-001.06 감축수단 결과로는 그래프, 결과 값이 도출되어야함

- FUR-CM-001 동일요구사항 참조

○ FUR-E2-001.07 감축수단의 적용여부는 마우스클릭으로 간단하게 켜고 끌 수 있어야함

- 마우스 커서가 감축기술 이름 위치에 도달하면 마우스 커서가 달라져야함
- 감축기술이 적용되면 “v” 자료 표시되어야함
- 마우스 커서가 감축기술 이름 위치에 도달하면 해당 감축기술의 설명이 간략히 표시되어야함(툴팁)
- 감축기술은 중복 체크가 가능해야함

○ FUR-E2-001.08 감축수단별 적용 비율은 프로그램 사용자가 조절할 수 있어야함

- 감축수단별 적용 비율을 적용할 수 있게 프로그래스바, 또는 입력 텍스트를 지원할 수 있는 UI를 구성해야함

○ FUR-E2-001.09 온실가스 감축수단 산정기준이 명확하여야함

- 감축수단별 예측 산정 기준 : 온실가스 배출량을 산정하기 전 기준 값을 정하여, 기준 값 대비 감소량을 산정할 수 있도록 도움을 주는 기준 값 설정임. 주로 항공사별 항공온실가스 배출량을 온실가스 산정 DB에서 추출하여 시간이 흐름에 따라 온실가스 배출량의 기준 값을 통계적으로 산정함

○ FUR-E2-001.10 연료 절감을 위한 운항 감축수단 적용 중 실제 풍속, 기상 등 운항에 미치는 영향 고려하여 산출하여야함

- 전 세계 공항 및 고도별 기상정보를 포함한 기상DB를 구축하여 항공기의 온실가스 배출량 산정에 이용함

○ FUR-E2-001.11 운항 후 잔여 연료 최소화를 위한 감축 수단이 제공되어야 함

- 감축수단 (운항관리(Flight Dispatch))을 이용하여 연료 최소화 방안을 구축함

<표 60 > 기능 요구사항 - FUR-E2-002

요구사항 분류		기능 요구사항
요구사항 고유번호		FUR-E2-002
요구사항 명칭		항공온실가스 감축량 예측
요구 사항 상세 설명	정의	감축수단에 표준화된 기준 제시
산출물 정보		
관련 요구사항		
출처		'15.01.15 사용자 요구사항 회의, '15.01.21 사용자 요구사항 회의, '15.01.30 사용자 요구사항 회의, '15.02.03 사용자 요구사항 회의, '15.03.23 사용자 요구사항 서면 검토

나) FUR-E2-002 세부내용

○ FUR-E2-002.01 감축기술에 대한 표준화된 산정기준이 제시되어야함

- 항공기 제작사 Manual 또는 Document에서 제시된 사항 우선적으로 적용함
- APU, 운항관리, 운항, 정비 및 유지보수, 지상 중량관리의 5개 범주에 대한 표준화된 산정 기준을 제시함

○ FUR-E2-002.02 감축수단별 저감 효과에 대한 데이터 검증 및 이에 대한 결과서가 제공되어야함

- 감축수단 범주별로 저감 분석을 위한 감축기술을 선정하고, 저감 효과 산출기준을 개발하여 데이터 검증 및 결과서를 제공함

<표 61 > 기능 요구사항 - FUR-E2-003

요구사항 분류		기능 요구사항
요구사항 고유번호		FUR-E2-003
요구사항 명칭		항공온실가스 감축량 예측
요구 사항 상세 설명	정의	감축수단 적용시 온실가스 산정
산출물 정보		
관련 요구사항		
출처		'15.01.15 사용자 요구사항 회의, '15.01.21 사용자 요구사항 회의, '15.01.30 사용자 요구사항 회의, '15.02.03 사용자 요구사항 회의

다) FUR-E2-003 세부내용

○ FUR-E2-003.01 감축수단 적용 시 미래 온실가스 배출량을 산정할 수 있어야 하며, 이는 현재비용가치로 변환이 가능해야 함

- 국내외 환경 관련 정책 시나리오 및 미래 항공수요, 신형 항공기 도입 시나리오에 따른 항공사 비용에 미치는 영향을 분석하여 정부 또는 항공사의 항공온실가스 감축 전략에 대한 의사결정을 돕는 모듈을 개발함

○ FUR-E2-003.02 감축수단의 단일 비행별 또는 운항 구간별 감축수단의 효과를

사용자가 변경할 수 있어야함

- 사용자가 단일비행별, 운항 구간별 감축수단의 효과를 변경할 수 있는 UI를 제공함

○ FUR-E2-003.03 감축수단 적용, 미적용에 따른 출 도착 공항 간 비교가 가능하여야함

○ FUR-E2-003.04 감축수단별 미래 온실가스 예측에 대한 정확한 데이터 산출이 가능하여야함

- 미래 항공교통 수요 시나리오 및 DB 생성이 가능해야함
- 감축수단별 적용 시 미래 온실가스 산정이 가능해야함

○ FUR-E2-003.05 국내 항공사에서 운행하는 노선 외 해외 여러 노선에 대한 감축량 예측이 되어야함

(3) 시스템 개발 계획서[34)]

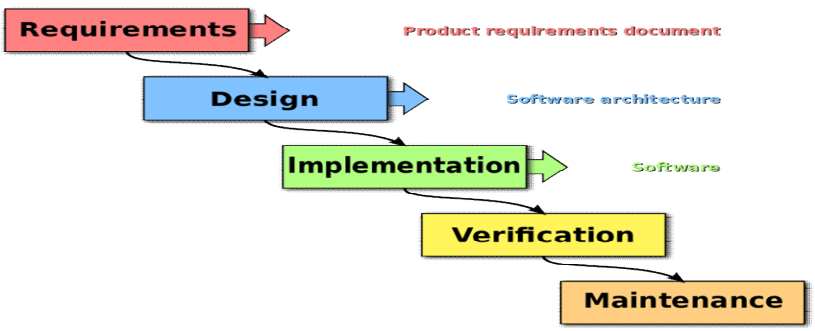
가) 개발 생명주기

○ 폭포수 모델(waterfall model)은 순차적인 소프트웨어 개발 프로세스(소프트웨어를 만들기 위한 프로세스)로, 국가연구개발사업 특성에 따라 본 시스템 개발 생명주기로 적용하였으며, 시스템 설계시 결과물을 체계적으로 문서화 작업을 통해 진행하기 때문에 산출물이 명확함

○ 폭포수 모델은 개발시 각 단계를 확실히 매듭짓고 그 결과를 철저히 검토하여 승인 과정을 거친 후 다음단계를 진행하는 선형 순차적 모델임.

○ 본 모델은 소프트웨어 요구사항 분석 단계에서 시작하여, 소프트웨어 설계, 소프트웨어 구현, 소프트웨어 시험, 소프트웨어 통합 단계 등을 거쳐, 소프트웨어 유지보수 단계로 추진함.

- 요구사항 분석 : 개발하고자 하는 소프트웨어에 대한 요구사항 수집, 문제 이해 및 분석 단계이며, 고객의 요구사항을 기능, 성능, 인터페이스 등 파악하고 문서화
- 소프트웨어 설계 : 프로그램의 데이터 구조, 소프트웨어 구조, 인터페이스 구조, 알고리즘 등 모든 시스템의 구조 결정 및 문서화
- 소프트웨어 구현 : 설계 명세서를 시스템의 실제 모습으로 구현
- 소프트웨어 시험 : 프로그램이 입력에 따라 요구되는 결과대로 작동하는지, 내부적 이상 여부 및 오류 발견을 위해 수행하며, 테스트 계획을 세운 후 문서화
- 유지보수 : 개발된 소프트웨어의 변경사항 수정

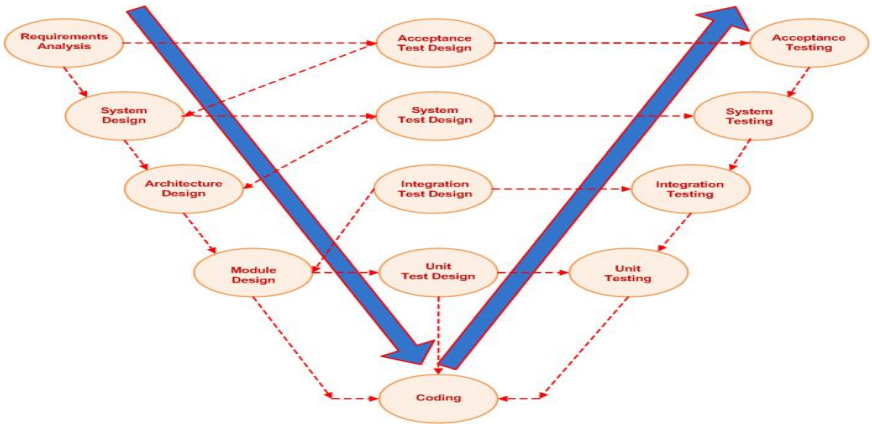


<그림79 > 폭포수 모델(Waterfall Model)

(1) 개발 프로세스

○ 본 시스템 개발 시 폭포수 모델을 통해 체계적인 문서화 및 단계적 산출물을 명확히 하며, 시스템 개발에 따른 검증 및 테스트작업을 강조하기 위해 V형 개발 프로세스를 적용함

○ V형 개발프로세스의 경우 모든 단계에 검증과 확인에 있어 개발 과정에서 감추어진 오류를 찾아내 시스템의 신뢰성을 높일 수있음



<그림80 > 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발 방법론

(2) 개발 방법론

○ 본 시스템 개발을 위한 방법론으로 Component-based Development(CBD)방법론을 채택하였음.

○ 시스템 개발을 위해 국방 CBD 방법론을 준용하며, 필요시 방법론의 부분적 수정 또는 변경을 할 수 있음.

- 국방 CBD 방법론은 UML(Unified Modeling Language) 기반의 CBD(Component Based Development) 방법론에 기초하여 분석, 설계 및 구현 산출물을 표준화시켜 여러 사람이 설계하고 개발하더라도 서로 간의 의사소통이 쉽고, 일관성을 유지하며, 최소의 노력으로 높은 품질의 컴포넌트 기반 정보시스템을 개발할 수 있음.

○ 각 서브시스템 구현시 컴퍼넌트 단위별 구현을 원칙으로 하며, 각 컴퍼넌트 오류 발생시 타 기능과 연동되지 않도록 개발할 것을 권고함.

○ 코딩규칙

- 본 시스템 개발의 표준화를 위해 "무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 실무지침서" (부록 6)의 SW 코딩 규칙, 주석 규칙, 명명 규칙, 프로그램 작성 규칙 등을 따를 것을 권고함.

(4) 소프트웨어 시험계획서 35)

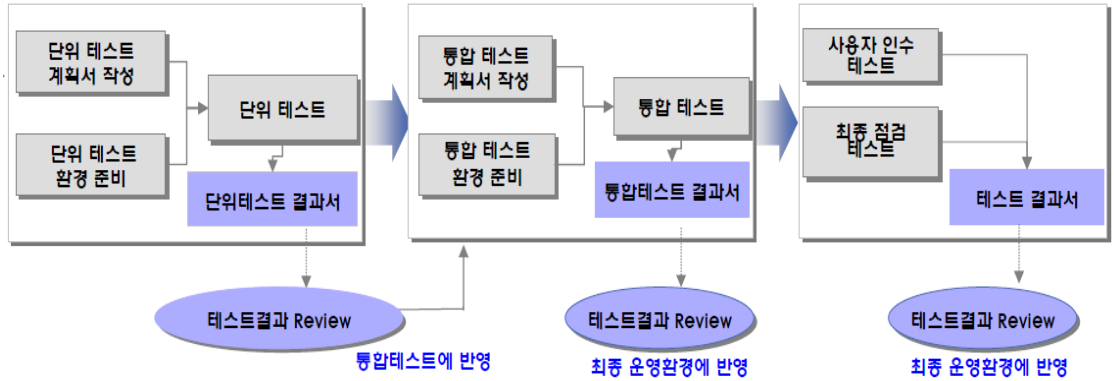
가) 시험 목적

○ 분석단계에서 도출한 현업 요구사항 및 설계사양을 시스템이 만족 시키는지를 검증함

○ 프로그램들 간의 인터페이스가 설계 사양대로 이루어져 기능이 정상적으로 수행되고 있는지 검증함

○ 기능 수행후의 결과가 예상된 작성된 수치 데이터와 일치하는지를 검증함(불일치 시 원인 도출)

○ 기능 수행 시 또는 산출물의 결과에 포함된 결함을 파악하여 제거함



<그림81 > 소프트웨어 시스템 계획서

나) 책임과 역할

<표 62 > 소프트웨어 시스템 계획서 책임 및 역할

구성원	역할과 책임	비고
용역수행책임자 (PM)	- 시험계획 승인 - 시험활동 총괄	
용역수행책임자 (PM), 팀 개발자	- 시험 계획서/결과서 작성 - 시험 체크리스트 작성 및 검증 - 시험 환경준비 - 시험 계획 협의 및 수립 - 시험 수행 및 결과 확인 - 원인분석 및 조치	
팀 개발자	- 시험 계획서/결과서 지원 - 시험 수행 지원 - 시험 결과 수정사항 반영	

다) 시험 환경

○ 통합/인수시험은 기본적으로 운영 최종 프로그램으로 시험하는 것을 원칙으로함

○ 본 계획서 상의 시험 대상들은 다음과 같은 환경에서 시험됨

<표 63 > 소프트웨어 시스템 계획서 시험환경

구분	내용	버전	비고
Hardware	항공 온실가스 예측 상용 프로그램 설치 PC		
Software	항공 온실가스 예측 상용 프로그램, DBMS 설치, 리포팅툴설치		

라) 시험 범위

○ 본 프로젝트에서 수행되는 시험은 다음과 같음

○ 단위시험 : 하나의 소프트웨어 모듈이 정상적으로 그 기능을 수행하는지의 여부를 시험 하는 최소 수준의 시험임

○ 통합시험 : 어플리케이션의 데이터 및 업무기능의 인터페이스가 정상적으로 작동하는지에 중점을 두어 시험을 실시함

○ 인수시험

- 고객이 검수를 위해 본 개발 시스템이 고객의 요구사항이 완벽하게 수행하는지의 여부를 고객이 시험함
- 한국교통연구원의 인수 절차에 따라 인수시험을 시행함

마) 시험일정

<표 64 > 소프트웨어 시스템 계획서 시험일정

분류	내용	M	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10	+11
단위/통 합 시험	- 프로그램 수정 및 보완 · 데이터베이스 성능 튜닝 · 프로그램 수정												
	- 단위 시험 · 시험 베드 구축												
	- 통합 시험 · 통합시험 진행 · 외부 검증 진행												

○ 본 계획서 상의 시험 일정은 프로젝트 계획서의 일정에 따라 변경될 수 있음

바) 시험일정 별 상체업무

<표 65 > 소프트웨어 시스템 계획서 시험일정별 상세업무

태스크	상세업무	시작일	종료일	담 당 자
현황평가	시험 산정			PM
시험 계획서 작성	시험계획서 작성			PM
단위시험 작성	단위시험 체크리스트 작성			PM
시험 시나리오 작성	통합시험 시나리오 작성			PM/개발자
	시험 시나리오 검토			PM
프로그램코딩/단위 시험	단위시험 실시			PM/개발자
통합시험 실시	시험 환경 구축			PM
	통합시험 실시			PM/개발자
	통합시험 결함조치			개발자
	통합시험 결함조치 확인 및 재검토			PM/개발자

태스크	상세업무	시작일	종료일	담 당 자
	통합시험 결함조치 취합			PM
인수시험 실시	인수시험 실시			인수팀
	인수시험 결함조치			개발자
	인수시험 결함조치 확인 및 재검토			PM/개발자
	인수시험 결함조치 취합			PM

2. 국가 이행계획 수립

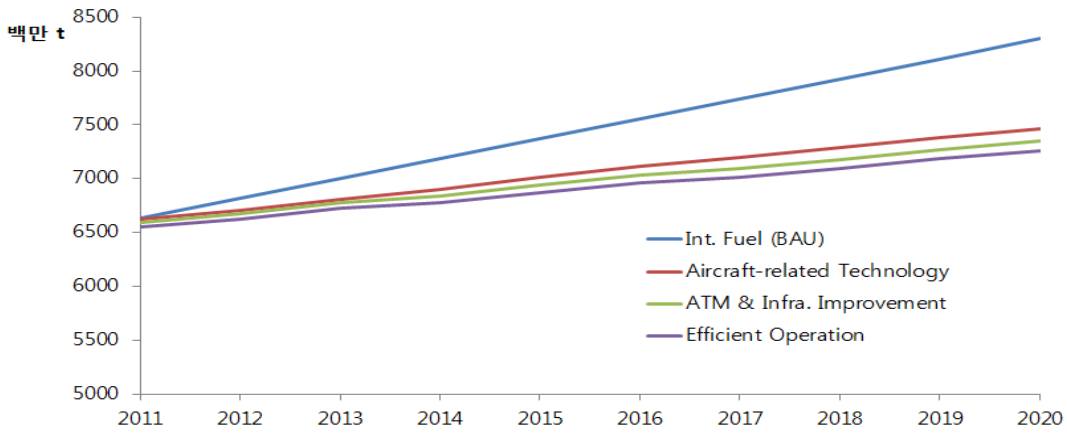
(1) 제1차 계획의 주요내용

○ 각각의 계획의 배경과 수요예측방식

- 우리 국제항공의 위상 및 중요성에 대해 언급하고 우리 항공사와 공항의 발전상, 항공부문의 기후변화 대응노력 등을 소개함
- 1996년~2010년 사이에 RTK추세를 연장하여 2050년까지 RTK 및 연료소비량(BAU, 2010년 연료효율 적용)을 예측함

○ 계획 내용

- 항공기 교체, 항공교통관리 개선, 운영 효율화 이상 세 부문에서 10개 감축수단 채택
- 2012년~2020년 기간 중 국제항공부문의 연료효율을 매년 전년대비 1.3%씩 개선하여 2020년 목표 연료효율은 0.2752리터/RTK
- 2020년 이후는 바이오 연료, 글로벌 MBM등 잠재적 수단을 통하여 추가로 감축할 수 있음



<그림 82 > 1차 국가이행계획 예측 그래프

(2) 감축수단별 이행실적 평가

가. 항공기 교체

○ 제1차 계획 당시 2012년~2014년 기간 중 총 75대의 항공기 도입이 예정되어 있었음

○ 항공기 퇴출은 항공사의 계획을 입수할 수 없어 기령 20년이 넘으면 퇴출되는 것으로 가정

○ 이에 따라 동 기간 중 18대가 퇴출 되는 것으로 가정함

○ 그러나 실제로는 동 기간 중 90대의 항공기가 도입되어 35대의 항공기가 퇴출되어

55대가 증가함

○ 당초 계획에서는 항공기 교체를 통하여 연료효율이 2012년~2014년 3년 동안 3.1% 개선되는 것으로 추정되었음

○ 그러나 실제 항공기의 교체에 따른 개선율은 0.4%(잠정치) 수준에 그침

나. APU 사용 억제

○ 제 1차 계획에서는 2011년의 AC-GPS 이용율을 60%로 간주하여 산정하였음

○ APU 사용 억제에 따른 연료 절감량은 편당 106kg으로 가정함

○ 매년 0.5%씩 AC-GPS 이용률 향상을 목표로 설정(2013년 목표는 61%)

○ 2013년 이용률 37.9% (84,382편 중 31,990편), 9,020t 감축

○ AC-GPS 이용률 산정의 경우 여러 문제점이 있는데, 항공기 도착 후 다음 출발 전까지 브릿지 변경여부에 따라 1회이용 뿐 아니라 2회 AC-GPS를 이용할 수도 있다는 특징에 따라 운항편당 이용횟수는 정확한 의미의 통계가 될 수 없음. 따라서 2013년 이용률은 출발편 기준으로 작성하되 도착 후 이용횟수는 무시함

다. CDO 확대

○ 제 1차 계획에서는 2011년 이행율을 4.7%로 추정하였으며 이를 매년 2%씩 개선하는 것을 목표로 설정함(2013년 목표 8.7%)

○ 항공사에 의한 편별 CDO 이행여부 확인은 매우 어려우므로 국내 공항에서의 실제 이행율은 확인이 불가능함

라. 단축항로 사용

○ 제 1차 계획에서는 항공사들의 단축항로 이용률을 50%로 추정하였으며 지속적 개발을 통해 매년 연료 절감량 1% 개선을 목표로 설정함

○ 그러나 2012년 이후 새로운 단축항로가 개발된 실적은 없으며 단축항로에 의한 2012년 이후 감축효과는 이용률 증가에 의한 효과임

마. 법적 보정연료 개선

○ 법적 보정연료 탑재율은 예정되었던 대로 5%에서 3%로 축소되어 제 1차 계획에서 추정한 수준의 감축효과가 있는 것으로 추정됨

바. 단일엔진 Taxi-in

○ 제 1차 계획에서는 2011년의 단일엔진 활주 이행율을 16.2%로 추정하여 매년 이행율을 1%씩 향상시키는 것을 목표로 설정하였고 2013년 이행율 목표는 18.2%가 됨

○ 감축량 기준 추정 결과 2013년 이행율은 15%(3,569t)으로 나타남

사. 엔진세척

○ 제 1차 계획에서는 항공기별 연 2회 세척을 기준으로 2011년의 이행율을 52.5%로

추정하였으며 매년 이행율을 2%씩 향상시키는 것을 목표로 설정하였음

○ 이에 따라 2013년 이행율 목표는 56.5%이며 항공사 제출자료 종합 결과 2013년 실제 이행율은 60%로 추정됨

○ 이를 통해 연료 9,427t를 감축함

아. 공회전 역추진

○ 제 1차 계획에서는 2011년의 공회전 역추진 이행율을 48.3%로 추정하여 매년 이행율을 0.5%씩 향상시키는 것을 목표로 설정함

○ 이에 따라 2013년의 이행율 목표는 49.2%이며 항공사 제출자료 종합결과 2013년 실제 이행율은 48.3%로 추정되었고 5,811t의 연료를 절감한 것으로 나타남

자. 경량 ULD 사용

○ 제 1차 계획에서는 2011년의 경량 ULD 이행율을 11%로 추정하였고 매년 이행율을 2%씩 향상시키는 것을 목표로 설정함

○ 이에 따라 2013년의 이행율 목표는 15%이며 항공사 자료 종합결과 2013년 실제 이행율은 45.2%로 추정됨(2,232t 감축)

3. 제 1차 계획 이행실적 평가 종합

<표 66 > 항공기 교체 내역

감축수단	이행율			계속채택여부
	`11년 실적	`13년 목표	`13년 실적	
항공기 교체		연료효율 3.1% 개선	연료효율 0.4% 개선	
APU 사용 억제	60%	61%	37.9%	채택, 제도개선
CDO 확대	4.7%	8.7%	확인 불가	종료,
항로 복선화	-	PBN 로드맵	계획 달성	
단축항로 도입	-	2% 개선	실적 없음	이용률 제고노력 필요
보정연료 축소	-	5% -> 3%	계획 달성	종료
단일엔진 활주	16.2%	18.2%	15%	
엔진세척	52.5%	56.5%	60%	
공회전 역추진	48.2%	49.2%	48.3	
경량 ULD 사용	11%	15%	45.2%	

4. 제도개선 및 R&D 요구사항

(1) 이행계획의 법정 계획화

○ 매 3년마다 ICAO에 온실가스 감축계획을 제출하므로 계획수립 실무작업을 위한 Data 및 비용의 안정적 확보를 위해 필요함

○ 자료수집 및 분석자료의 신뢰성 향상을 위한 DB구축 및 관리가 수반되며 제도적 뒷받침을 통한 계획에 대한 집행력 제고가 필수적임

○ 시행방안으로서 항공법에 온실가스 감축을 위한 중장기 계획수립 관련조항 신설이 요구됨

- 시행주체, 계획 내용, 계획 시기, 수집자료의 범위, 관련 기관의 의무 등 명시해야하며 이행계획에 필요한 핵심 통계의 생산 및 출판이 병행되어야 함

○ R&D에서 개발한 시뮬레이션 모형의 지속적 활용방안 명시가 필요하며 관련 해외 DB의 갱신 주기와 민간의 모형활용 지원방안을 참고

(2) 관련 통계체계 정비

○ Data의 생산 주체별로 상이한 정의를 사용함에 따라 서로 다른 출처의 동일한 자료의 호환이 어려움이 발생하며 이는 양 공항공사나 항공사간에서 빈번히 발생함

○ 일부 Data는 수작업에 의한 자료입력으로 인해 Data품질이 저하되어 상당한 Bias 발생 가능성이 존재함

○ 수집 및 분석 자료의 신뢰성 향상을 위한 DB구축 및 관리가 필요함

○ 시행방안으로서 온실가스 관련 업무 관점에서 자료의 통일성을 기하기 위한 지침서 작성이 요구되며 이는 관계기관 협의를 거쳐 통일된 업무처리 기준 확립이 수반되어야 함

○ 항공 온실가스 국가 이행계획 산정을 위한 통계체계 정립 관련 용역 시행방안을 내년 상반기 중 시행으로 검토

(3) R&D에 대한 요구사항

○ 채택된 수단에 대한 명료한 효과분석 방안을 마련할 필요가 있음

- 엔진세척을 포함한 항공기 교체 및 개선효과와 연료관리, 경량장비 탑재, 무게중심 관리 등 항공기 중량관리의 효과를 분석할 방안

○ 항적 자료를 활용한 모니터링 방안 개발이 요구됨

- ATFM 센터 운영효과 산정을 위해 센터 가동 이전의 항정 자료 확보가 필요하며 단축항로, CDO, CCO 등에도 활용 가능
- 수단별 분석모듈보다는 유사수단에 모두 활용할 수 있는 범용모듈 개발이 요구되며, 항적 자료 활용 중심의 꼭 필요한 기능 중심의 모형 개발이 필요하여 수요예측 등은 외부에서 예측하여 입력하는 편이 비용효과적임
- 효과분석 외에 감축수단 별 이행율 파악을 위한 모니터링 기능 강화가 요구됨

5. Macro-Level 의사결정 지원모형 요구조건 및 구축 방법 설정

○ Macro-Level 의사결정 지원모형의 종류 및 구축방법 관련 문헌 조사

- 의사결정시스템(Decision Support System, DSS)이란 특정 비즈니스나 조직의 의사결정을 지원하는 컴퓨터 기반의 정보시스템으로 경영, 운영 및 계획레벨에서 사용됨.

○ 일반적으로 사용자의 빠르게 변화하는 문제 또는 사전에 쉽게 정의하기 어려운 문제에 대한 의사결정을 지원하기 위한 용도로 사용됨.

○ DSS의 특성[36]에 따른 Sprague (1980)의 DSS 정의 :

- DSS tends to be aimed at the less well structured, underspecified problem that upper level managers typically face;
- DSS attempts to combine the use of models or analytic techniques with traditional data access and retrieval functions;
- DSS specifically focuses on features which make them easy to use by noncomputer people in an interactive mode; and
- DSS emphasizes flexibility and adaptability to accommodate changes in the environment and the decision making approach of the user.
- 의사지원시스템이 수집 및 제시하는 일반적인 정보는 다음을 포함함 [37]:
- inventories of information assets (including legacy and relational data sources, cubes, data warehouses, and data marts),
- comparative sales figures between one period and the next,
- projected revenue figures based on product sales assumptions.
- Daniel Power[38]는 mode of assistance를 기준으로, 의사소통 중심의 DSS, 데이터 중심의 DSS, 문서 중심의 DSS, 지식 중심의 DSS 및 모델 중심의 DSS로 구분되는 DSS 분류체계를 정립함.
- A communication-driven DSS supports more than one person working on a shared task; examples include integrated tools like Google Docs or Groove
- A data-driven DSS (or data-oriented) emphasizes access to and manipulation of a time series of internal company data and, sometimes, external data.
- A document-driven DSS manages, retrieves, and manipulates unstructured information in a variety of electronic formats.
- A knowledge-driven DSS provides specialized problem-solving expertise stored as facts, rules, procedures, or in similar structures.[8]
- A model-driven DSS emphasizes access to and manipulation of a statistical, financial, optimization, or simulation model. Model-driven DSS use data and parameters provided by users to assist decision makers in analyzing a situation; they are not necessarily data-intensive. Dicodess is an example of an open source model-driven DSS generator.
- 관리자의 전략적인 의사 결정 및 기획에 도움을 주기 위해서, 경영과학 및 운영분석과 관련된 연구들은 전통적으로 수많은 예측 기법을 제시함.
- 비교적 최근의 많은 문헌들은 과거로부터 비롯된 문제를 다루기 위한, 다양한 정략적 · 정성적 예측 기법을 보고하고 있음.
- 이러한 기법들은 전략적인 의사결정을 지원하기위해 오늘날 DSS라 일컬어지는 시스템에 통합되어 왔으며, 대부분의 기법들은 과거를 연구, 조사하는 것을 통해 관

리자들이 관리자 스스로를 파악하고 그들의 조직을 이해하는데 도움을 줄 수 있도록 고안됨.

- 그러나, Makridakis가 지적한 바와 같이(1990), 과거의 관측에 기반을 두고 규범이 될 수 있는 이론을 유도하거나, 향후 여러 조건이 변경될 여지가 많은 상황에서 예측을 위해 그러한 이론을 사용하는 시도들은 현실을 제대로 반영하지 못할 수 있음[39].
- 매우 역동적이고 복잡한 환경에서 과거 자료조차 부족한 경우에, 시뮬레이션은 전략적인 의사결정을 지원하는 효과적인 대안을 도출할 수 있음.
- 시뮬레이션의 모든 가정은 명확하게 진술되어야하며, 다양한 가정과 결과간의 독립성을 보여주기 위한 일련의 방정식으로 해석됨.
- 그러나 시뮬레이션은 가정의 옳고 그름을 떠나, 모델 사용자가 입력한 가정으로부터 도출된 결과만 보여줄 수 있음 (Forrester[40]).
- Forrester는 이에 대한 대안으로서 Systems Dynamics (SD)를 제한함. Systems Dynamics는 시장 시뮬레이션을 포함해, 경제·사회의 폭넓은 분야에 성공적으로 적용되어왔으며. 특히 다음과 같은 모델링에 적합함:
  (1) 간섭 요소 사이의 고수준 역학 순환고리(a high degree of dynamic feedback loops)를 통해 유도된 의사결정 환경,
  (2) 다양한 전문적 지식이 내포된 상황 (일반적으로, 전문가 편에서 연성정보(soft information)를 가장 잘 활용할 수 있는 경우)
- 의사결정 모델의 고안 및 이행을 위한 SD 접근법은, 시간에 따른 현상모사의 정량적·정성적 측면이 모두 고려된 통합된 동적 모델링을 통해서 동적 시스템 전반에 깔려있는 수학의 직관적인 이해를 강조함.
- SD의 주 특성은, 시간에 따라 시스템의 행동 양식이 변화하는 복잡한 시스템과 폐쇄 구조의 순환고리(the closed loop feedback)에 있음.
- Sterman (2000)은 SD를 만들기 위한 다음의 순서들을 개발함[41] :

  Step 1: Problem articulation: in this step, we need to find the real problem, identify the key variables and concepts, determine the time horizon and characterize the problem dynamically for understanding and designing policy to solve it.

  Step 2: Dynamic hypothesis: modeler should develop a theory of how the problem arose. It guides modeling efforts by focusing on certain structures. In this step, we need to develop causal loop diagram that explain causal links among variables and convert the causal loop diagram into flow diagram. This flow diagram consists of some variables such as depicted in Table below.

25) 항공부문 온실가스 감축 국가이행계획 수립연구(2012.5)
26) 항공온실가스 감축을 위한 자발적협약 이행매뉴얼(2012.12)
27) 항공 온실가스 저감기술 이행매뉴얼(2015.2)
28) Guidance on the Development of States' Action Plans on CO2 Emissions Reduction Activities(2013)
29) Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environmental Management(2011)
30) IATA, Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environmental Management, 2011

Variable	Symbol	Description
Level	☐	A quantity that accumulates over time, change its value by accumulating or integrating rates
Rate	⧗	Change the values of levels
Auxiliary	O	Arise when the formulation of a level's influence on a rate involves one or more intermediate calculations, often useful in formulating complex rate equations, used for ease of communication and clarity

Step 3: Formulation: to define system dynamics model, after we convert the causal loop diagram into flow diagram, we should translate the system description into level, rate and auxiliary equations. We need to estimate some parameters, behavioral relationships and initial conditions. Writing equations will reveal gaps and inconsistencies that must be remedied in the prior description.

Step 4: Testing: the purpose testing is comparing the simulated behavior of the model to the actual behavior of the system.

Step 5: Policy formulation and evaluation. Once modelers have developed confidence in the structure and model behavior, we can utilize it to design and evaluate policies for improvement. The interactions of different policies must also be considered, because the real systems are highly nonlinear, the impact of combination policies is usually not the sum of their impacts alone.

○ 정부(관제 포함), 항공사, 공항, 승객 등 고려대상별 항공산업 이해관계자의 의사결정 고려변수 및 목적함수 개략분석

- 하단의 표[42]에서 나타난 것과 같이, 교통서비스의 실제 소비자에서 기술 R&D에 관련된 소비자에 이르기까지 사적·공적 양 영역의 이해관계자들이 식별됨.
- 개별 이해관계자들은, 각자의 관심과 교통구조에 영향을 미치는 방식을 알 수 있는 목적 (Objectives)을 지니고 있음.
- 예를 들어, 아래표의 Consumer (예, 소비자)는 교통 시스템의 최종 사용자인 개별 여행자 또는 화주로서, 이들의 목적은 교통 시간과 비용을 최소화하고 안락함과 안전을 최대화하는 것임.
- Service Provider (예, 항공사)는 교통 서비스를 Consumer에게 판매하는 자원소유주로서, 이익창출 및 시장 점유율, 고객의 만족도를 극대화하려는 목적을 지니고 있음.
- Infrastructure Provider (예, 관제기관)는 사회 기반 시설(자원)의 개선 및 이용에 대한 계획과 승인을 담당하는 이해관계자로서, 사회 기반 시설의 수용량을 최대화 하고 지연을 최소화하는 것을 목적으로 함.

31) 항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개발문서(OCD, SSRS, STP, SDP) 풀버전은 성과물(C-1-②)에 상세히 기술됨

Stakeholders		Descriptions	Objectives
Public	Consumers	Individual travelers or shippers (for commercial goods) that are the end user for the transportation system.	min: travel time, expense, max: comfort, safety
	Society	Represents the aggregated interests of citizens, from research agencies, to communities, to the national level.	min: noise, emission, max: quality of life
Industry	Service Providers	Owners of resources who sell transportation services to consumers.	max: profit, market share, consumers' satisfaction
	Manufacturers	Design, produce and sell transportation resources to service providers and/or consumers.	max: profit, market share, service providers' satisfaction
	Insurance Companies	Provide protections against mishap operation of transportation resources by collecting insurance fee.	max: profit, market share, customers' satisfaction
Government (Policymakers)	Regulatory Agencies	Impose rules on the system that restrict stakeholder activity and resource characteristics.	max: safety, security
	Infrastructure Providers	Plan and approve employment and enhancement of infrastructure resources.	max: capacity, min: delay
Indirect Stakeholders	Media	Report information, forecast and plan from/to the public.	Varied, but vague
	Research Agencies	Develop and provide transportation related technologies.	Provide firm foundation for transportation development

○ Macro-Level 의사결정 지원 모형의 구축 범위 설정 및 요구사항 분석:

- System Dynamics 기반 Macro-Level 의사결정 지원 모형 구축을 위한 시간적, 공간적, 내용적 범위 및 요구사항은 다음과 같음.

○ 시간적 범위: 모형구축을 위한 시간적 범위는 구축 및 검증을 위한 과거년도와 예측을 위한 장래년도로 나누어 설정

· 과거년도: 기준년도 -20년 (자료 가용범위를 고려하여 추후 결정)

· 장래년도: 기준년도 +20년 (예측범위를 고려하여 추후 결정)

· Time Step: 항공수요의 계절적 변화 및 항공사의 운항스케쥴 변경시기를 고려하여 3개월 분기별 또는 6개월로 설정

○ 공간적 범위: 모형구축을 위한 공간적 범위는 국내, 국제선으로 나누어 구축

· 국내선: 국내 주요노선(예, 김포-제주, 김포-김해, 등)의 경우 개별적변수를 설정하여 모형을 구축, 기타 노선의 경우 총량변수를 적용

· 국제선: 주요노선(한국-중국, 한국-일본, 등)의 경우 개별변수를 설정하여 모형 구축, 기타 국제선의 경우 대륙별 (한국-북미주, 한국-유럽, 한국-동남아시아, 등) 변수를 설정하여 모형 구축

○ 내용적 범위 및 요구사항 : 관련 이해 당사자의 의사결정변수 및 그에 따른 온실가

스 감소효과 분석이 가능하도록 내용적 범위 설정

· 항공사: 대형항공사 및 저가 항공사의 항공기 운항 스케쥴, 요금 정책 및 항공기 수급 결정에 대한 분석이 가능하도록 설정 또한 항공기에 따른 연료소비량 및 온실가스배출량 산정모형 구축

· 공항 공사: 주요 공항의 서비스 수준을 평가하고 양대 공항공사의 공항 유지보수, 이착륙요금, 확장 계획이 반영되도록 범위를 설정

· 관제 및 정부: Aviation System Block Update(ASBU)에 따른 항공관제시스템 신기술 구축, 적용. 신공항 건설에 대한 정책결정 과정이 포함되도록 범위 설정

· 여행자: 여행자 개인별 소득, 여행목적, 동반 여행자수 및 항공기 운항 스케쥴, 항공요금등을 종합적으로 고려하여 항공사 및 항공편 선택행태가 반영되도록 모형을 구축

· 사회(Society): 항공기 운항에 따른 온실가스배출 및 소음 발생에 따른 사회적 부작용이 분석될 수 있도록 모형구축

· 인구 및 경제: 연령별 인구 변화추이, 항공산업이 부문별 국가 경제에 미치는 파급효과가 반영되도록 모형을 구축

※ 자세한 사항은 한국교통연구원으로 문의부탁드립니다.

32) 항공 온실가스 감축량 예측 시스템 운용개념기술서의 풀버전은 성과물(C-1-②)에 상세히 기술됨
33) 항공 온실가스 감축량 예측 시스템 시스템 요구사항 명세서의 풀버전은 성과물(C-1-②)에 상세히 기술됨
34) 항공 온실가스 감축량 예측 시스템 시스템 개발계획서의 풀버전은 성과물(C-1-②)에 상세히 기술됨
35) 항공 온실가스 감축량 예측 시스템 소프트웨어 시험계획서의 풀버전은 성과물(C-1-②)에 상세히 기술됨
36) Sprague, R. H. and E. D. Carlson (1982). Building effective decision support systems. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall
37) https://en.wikipedia.org/wiki/Decision_support_system
38) Power, D. J. (1996). What is a DSS? The On-Line Executive Journal for Data-Intensive Decision Support 1(3).
39) Makridakis, S., Forecasting, Planning, and Strategy for the 21st Century, New York 1990
40) Forrester, J., Urban Dynamics, 3rd ed., Cambridge, Massachussetts 1970.
41) Sterman, J. D., Business Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world, Irwin McGraw-Hill, 2000
42) J. Lewe and D. DeLaurentis, Entity-Centric Abstraction and Modeling of Future Transportation Architectures, TRF Forum, 2004

2. “항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발” 기획 연구 타당성 재검토 결과

가. 한국항공대학교

○ 감사원 감사결과에 따라 국토교통과학기술진흥원은 「항공온실가스 산정 및 예측 시스템 개발」추진여부 재검토 계획 알림 (2015.04.26)에 의거, “항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발” 기획 연구 타당성 재검토 추진을 위한 계획을 송부하고, 기획 연구 타당성 재검토 용역을 한국항공대학교와 추진하였음

※ 자세한 사항은 한국교통연구원으로 문의부탁드립니다.

제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

가. 1차년도 정량적 연구성과 목표 및 달성도

(1) KOTI

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
시스템 SRR 단계 검증	시스템 운용 개념서	전문기관 검증	시스템 운용개념 선정	25%	1건
	시스템 요구사항 명세서	전문기관 검증	사용자 및 시스템 요구사항 반영	25%	1건
	시스템개발계획서	전문기관 검증	시스템 개발계획	25%	1건
	소프트웨어 시험 계획서	전문기관 검증	개발일정에 따른 시험계획 및 방법	25%	1건
항공 온실가스 보고 포털	요구도 조사 및 분석 결과 보고서	목록 도출 여부	항공 온실가스 인벤토리 도출	50%	1건
	시스템 아키텍처 기획(안) 보고서	최적화 기획(안) 도출 여부	수요자 니즈 반영 시스템 기획	50%	1건
항공 온실가스 감축량 예측 프로그램	항공온실가스 감축기술 분석 및 선정 (5개 분류)	조사분석작업 수행여부	분석보고서	35%	1건
	감축량 예측 모듈 개념설계	연구개발 위한 알고리즘 요구조건 도출	알고리즘 핵심 요구조건	35%	1건
	감축량 예측 시스템 코딩 지원	알고리즘 설계	소프트웨어 및 프로그램 설계	10%	1건
	국가이행계획연구지원	국가이행계획 보고서	국가이행계획 보고서	20%	1건
총 계				100%	100%

(2) 솔루티스

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
기초 데이터 요구도 조사 및 프로토타입 설계	데이터 현황 조사	현황 분석보고서	1건	20%	20%
	항공 온실가스 보고 포털 기본 개념 설계	기초 개념 설계서	1건	20%	20%
	항공 온실가스 보고 포털 기능 구조 설계	기초 개념 설계서	1건	20%	20%
	항공 온실가스 보고 포털 화면 설계	주요 화면 설계서	1건	20%	20%
	항공 온실가스 보고 포털 프로토타입 개발	핵심기능 프로토타입	15개 화면	20%	10%
총 계				100%	100%

(3) KAIST

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
온실가스 배출량 및 감소량 산정 알고리즘 요구도	기존 온실가스 배출량 산정 알고리즘 조사/분석	조사분석작업 수행여부	연구개발 참고가능 기존 알고리즘 조사분석	70%	AEDT, SAGE 조사분석 완료
	알고리즘 핵심 요구조건 도출	요구조건 도출 여부	연구개발 위한 알고리즘 요구조건도출	30%	기본 블록다이어그램 및 요구조건 도출 완료
총 계				100%	100%

(4) 세종대학교

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
항공온실가스 배출량 산정 검증	배출량 산정 프로그램 개념설계 보고서	(프로그램 개발환경 설정×0.4)+(시스템 유지/보수/관리 표준설정×0.4)+(AEDT2a 기능 및 성능반영×0.2)	3건	40%	2건
	AEDT2a 기능분석 보고서	(AEDT2a 기능분석×1)+(국내상황에 맞는 대표적인 Study 구성×1)	2건	60%	2건
총 계				100%	
항공온실가스 감축량 예측	감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개념설계	(소프트웨어 기능요구조건 도출×0.2)+(경제성 분석 및 의사결정지원 모듈 개발 구축환경	4건	100%	4건

프로그램		설정×0.3)+(경제성 분석 및 의사결정지원 모듈 입/출력 인터페이스 선정×0.2)+(해외 유사 프로그램 분석×0.3)			
총 계				100%	100%

(5) 항공대학교

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
항공기 연료탑재 현황 분석 및 상관관계 파악	분석보고서	보고서확인	1건	33%	1건
지상이동 운항 및 지체 현황 분석	분석보고서	보고서확인	1건	33%	1건
출도착 운항 및 지체 현황 분석	분석보고서	보고서확인	1건	34%	1건
총 계				100%	100%

나. 2차년도 정량적 연구성과 목표 및 달성도

(1) 항공대학교

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
시스템 SRR 단계 검증	기존의 연구 추진상황 등 검토·분석	보고서 확인	1건	30%	1건
	경제적·기술적 타당성 및 데이터 확보 가능성 분석	보고서 확인	1건	30%	1건
	‘항공 온실가스 산정 및 예측시스템’ 과제 추진 타당성 종합평가	보고서 확인	1건	40%	1건
총 계				100%	100%

다. 성과 목표에 대한 자체 평가

성과 목표	자체 평가
■ (KOTI/솔루티스)항공 온실가스 요구도 조사 및 분석을 통한 기초 데이터 목록 작성	- 항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석 완료
■ (KOTI/솔루티스)항공온실가스 보고포털 - 기초 데이터 요구도 조사 및 프로토타입 설계	- 요구사항 분석을 통해 기획된 시스템 구조 및 기능에 대해 화면 기초 설계를 수행하고, 향후 구현될 주요 기능에 대해 사전평가 및 차년도 사례/구현 기반 구축
■ (KAIST)기존 온실가스 배출량 산정 알고리즘 조사 분석	- AEDT 2a Technical manual, User manual, ASIF reference guide 조사/분석 완료 - AEDT Demonstration 수행 - 지상조업 배출량 관련 IPCC 가이드라인 및 EDMS 배출량 산정방법 조사/분석
■ (KAIST)알고리즘 핵심 요구조건 도출	- 알고리즘의 모듈의 입출력 흐름 파악을 위한 블록 다이어그램 작성 (PPT) - 알고리즘 모듈 간 계층성 파악을 위한 블록 다이어그램 작성 (MATLAB Simulink) - 배출량 산정을 위한 핵심 DB 요구조건 도출 및 입출력 변수 정의 - OCD, SSRS 문서 작성
■ (세종대)온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증 개념설계	- 온실가스 배출량 산정 모듈 구현 및 검증 개념설계완료 · 시스템 개요 · 시스템 분석 · 시스템 개발 범위 및 목표 · 목표시스템 운영 시나리오 · 목표시스템 구축에 의한 변경사항 · 목표시스템 분석
■ (세종대)AEDT2a 기능분석 보고서	- 해외 온실가스 배출량 산정 프로그램 Technical Manual 분석 · AEDT2a 매뉴얼 분석 · AEIC 매뉴얼 분석 · AERO2k 분석
■ (세종대)배출량 산정 프로그램 및 예측 프로그램 구동에 필요한 DB 조사 및 sample DB 구축	- BADA3 계수 DB 추가 구축 및 항공기-엔진 모델 Mapping · AEDT2a Mapping · AEIC Mapping - 데이터플랫폼 DB 검색/추출/관리 입출력 변수 정의 및 요구사항 도출 - 항공 DB 조사 및 확보(Aviation Database Overview) · 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템에 필요한 DB 조사 · 2010년 OAG Data 구매
■ (세종대)해외 프로그램을 사용한 항공 온실가스 산정(국내 공항 및 항공사 위주)	- 검증에 사용할 국내 상황에 맞는 대표적인 Study 구성, 해석, 온실가스 산정 결과 도출완료 · AEIC를 사용한 LTO(Landing and Take-Off) 분석 · AEIC를 사용한 Non-LTO 분석 · AEIC 배출량 산정 결과 검증 · PIANO-X (Aero2k)를 사용한 온실가스 배출량 민감도 해석

■ (세종대)감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개념설계	- 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개념설계 · 개요 및 시스템 분석 · 시스템 개발 범위 및 목표 · 목표시스템 운영 시나리오 · 목표시스템 구축에 의한 변경사항 · 목표시스템 분석
■ (세종대)경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 sample DB 구축 및 요구조건 분석	- 항공사 운항비 DB 구축 - 경제성분석/의사결정 모듈 사용자 요구조건 분석 · 항공사 운항비 BTS Form 41 Schedule P5.2 DATA 분석 등
■ (KOTI/항공대)감축수단 범주별 저감효과 분석 위한 감축기술 선정	- 5개의 범주 (APU, 운항관리, 운항, 정비 및 유지보수, 지상 중량관리) 내 47가지의 감축기술에 대한 저감효과 분석완료 - 관련 정책(ICAO, IATA, FAA 등) 및 기술개발 현황(AEDT, AERO-M 등) 사례분석 - 전문가들의 자문을 통해 개발 시스템에 포함될 수 있는 감축기술을 선정 - 선정된 14개의 감축수단에 대해 분석 실시
■ (KOTI/항공대)감축수단별 온실가스 저감효과 및 모듈 개념설계	- 선정된 14개의 감축수단에 대한 수식 및 알고리즘 분석 - 운용개념기술서(OCD), 사용자 요구사항 명세서(SSRS), 시스템 개발계획서(SDP), 테스트 계획서(STP) 작성완료
■ (KOTI/항공대)항공기 연료탑재 현황 분석 및 상관관계 파악	- 연료탑재 현황 분석 및 온실가스 감소량과의 상관관계 파악
■ (KOTI/항공대)지상이동 운항 및 지체 현황 분석	- 지상이동 운항관련 현황분석 및 온실가스 감소량과의 상관관계 파악
■ (KOTI/항공대)출도착 운항 및 지체 현황 분석	- 출도착 운항관련 현황분석 및 온실가스 감소량과의 상관관계 파악
■ (KOTI/항공대)Micro-Level 의사결정 지원 모형 요구조건 및 구축방법 설정	- Micro-Level 의사결정 지원모형의 기본 개념 정립 및 모형 구축을 위한 요구조건 및 범위 설정완료
■ (항공대)'항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발' 기획연구 타당성 분석	- '항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발' 타당성 분석 완료

2. 관련 분야 기여도

가. 개발 완료된 시스템을 이용한 관련 분야 기여도

○ 우리나라 항공 산업이 세계 수준의 온실가스 배출 모델링 기술을 확보하여 기후변화 대응 전략을 수립함으로써, 우리나라가 지속가능 경영의 국제적 모범사례로 기여할 수 있음

- 적절한 환경투자 수준을 정량적으로 도출
- 항공 산업의 친환경 신기술도입 및 운항법 개선 활동에 경제적 타당성과 당위성을 부여하여 저탄소 녹색성장 촉진에 기여

○ 시스템을 이용한 항공기 절차별 온실가스 저감 방안 설정 가능

- 세부적인 온실가스 저감 방안 개발 및 활용 가능
- 목표관리제나 자발적 협약으로 온실가스 저감 목표를 설정하고 있는 항공운송사업자들이 보다 효과적인 목표설정 및 방안 마련 가능
- 절차별 배출 알고리즘은 각종 정책의 수립, 집행, 효과분석 등의 근거로 활용 가능

○ 향후 항공 온실가스 저감효과 분석 모델 기술의 연구 분석을 통해 국가 온실가스 감축목표 설정과 이를 이행하기 위한 관리체계를 확립함으로써 국제항공 기후변화 대응력 확보 기대

○ 국가적인 차원의 CO2 감축을 위한 국가이행계획을 ICAO에 3년마다 반복적으로 제출해야하며, 시스템 개발을 실시하여 이를 지속적으로 지원할 수 있음

- 국가이행계획은 1차년도(2012.6), 2차년도(2015.6)에 제출되었으며, 2차년도 작성할때는 과거에 제출된 감축기술과 효과를 재분석하여 2018년까지 감축하는 결과를 예상하여 제출하였음
- 이를 전문적으로 분석할 수 있는 시스템이 개발된다면 효과에 대한 정확성과 다양한 감축기술을 적용하여 정확한 값을 도출할 수 있는 장점이 있음

(2) 1차년도 개발된 시스템의 관련 분야 기여도

○ 시스템의 개발 중 협약 해지는 1차년도 연구만 수행되었으므로, 1차년도 주요 연구는 시스템의 개발 요구사항 수립과 운영개념수립이었음 이며, 이에 대한 기여도는 다음과 같음

○ 해외 항공온실가스 산정 시스템인 IFSET, PIANO 등을 이용한 과거의 국내 온실가

스를 산정하였으며, 그 결과로 개발 시스템의 요구사항 작성 또는 논문, 학술대회 발표함

- 1차년도 논문 1편, 학술대회 발표 3건

○ 국내 항공사를 대상으로 적용하는 감축기술과 다양한 감축기술을 소개하여 항공사에서 적용할 수 있는 감축기술을 장려하였으며, 조사 결과는 학술대회에서 발표하였음

- 국내 항공사를 대상으로 현재 적용하는 감축기술 조사

- 앞으로 적용할 감축기술 소개 및 다양한 감축기술 적용하도록 장려

○ 1차년도 항공온실가스 산정 및 예측 시스템 개발의 개념설계를 완성하였으므로, 추후 유사한 시스템을 개발한다면 요구사항과 운영개념을 참고할 수 있음

○ 국제세미나를 개최하여 항공온실가스에 대한 중요성과 필요성을 정부 및 관련기관에게 알렸으며, 해외 프로그램 시연과 활용함에 따라 국내 개발 프로그램의 요구사항 수립과 개발 방향을 보고서에 포함함

제5장 연구개발성과의 활용계획

1. 연구개발성과의 활용방안

가. 최종 시스템 개발 후 활용방안

○ 온실가스 목표관리제 활용 가능

– 저탄소 녹색성장 기본법에 근거

– 산업의 온실가스 감축목표 설정 및 목표관리 추진

– 활용방안

- (정부) 온실가스 감축 목표 설정 및 항공사의 감축 목표 달성 관리 · 평가
- (항공사) 온실가스 감축 목표 달성을 위한 감축 계획 수립 및 시행

○ 항공부문 온실가스 자발적 감축 협약 활용 가능

– 국토교통부 자발적 협약 운영에 관한 지침 근거

– 정부(국토교통부)와 항공운송사업자 간의 협약을 체결하고, 검증평가기관의 이행실적 검증을 통해 항공 온실가스 저감 활동을 자발적으로 촉진

– 활용방안

- (정부) 온실가스 감축 목표 설정 및 온실가스 감축 이행실적 관리
- (항공사) 온실가스 감축 이행계획서 수립 및 시행
- (교통안전공단) 온실가스 감축 이행계획서 평가 – 참여 항공사가 제출한 이행계획 상의 온실가스 배출량, 연료 절감 계획 등 적절성 평가를 통한 검증 활동 수행

○ 국가이행계획(State's Action Plan) 활용 가능

– 국제항공의 온실가스 감축을 위한 국가이행계획을 ICAO에 제출

– 우리나라에 적합한 온실가스 감축 계획 수립 및 시행, 검증

– 활용 방안

- (정부) 온실가스 감축 계획 수립 및 효율적 운영을 위한 정책 수립
- (항공사) 항공기교체, 효율적인 운영 등
- (공항) 항공교통관리 및 인프라 개선

○ 시장기반체제(Market Based Measures) 추진 정책 활용 가능

- ICAO 제38차 총회에서 국제 시장기반체제 시행에 동의하였으며, 이는 모니터링(Monitering), 보고(reporting), 배출량 검증(verification of emission) 등이 포함

- 활용방안

  • (정부) 국제 항공부문 온실가스 모니터링, 배출량 검증 지원 및 탄소상쇄, 배출권 거래제도 도입 · 시행 지원

○ 항공기 절차별 온실가스 배출현황 파악 및 관리 가능

- 절차별 세부적인 온실가스 배출현황 파악 및 관리 시스템 구축

- 절차별 체계적인 분석·연구를 통해 항공기 운항을 경제적이고 효과적인 운항 체계 도출

○ 온실가스 저감 방안 개발 및 활용 이해관계자들에게 편의성 제공

- 온실가스 저감정책 수립 시 근거 자료로서 정부 관리주체인 국토교통부 담당자들이 성과지표와 목표를 설정하여 계획수립 시 활용 가능

- 항공운송기업들 역시 온실가스 저감 활동 시 목표설정 및 계획 수립에 활용 가능

○ 연구최종성과의 실수요자 및 사용자가 활용 가능

- 실수요자 및 사용자: 정부기관

  • 활주로 확장 및 신공항 건설 시 요구되는 정량적인 환경적 영향 분석 및 의사결정을 즉시 제공
  • 항공로 주변 환경 상태를 고려한 합리적인 경로 요금을 도출
  • 항공 교통의 지속성장을 위한 항공 경로 구조 조정 도출
  • 항공부문 온실가스 감축목표 달성도의 정밀한 측정 제공

- 사용자: 연구기관/학계

  • 국내 환경 분석 및 항공 전문 연구진에게 고정밀 항공부문 온실가스 분석 도구 및 데이터 제공

- 사용자: 항공사

  • 항공기 도입 시 경로당 연료 절약 및 이에 따른 환경 부가세 절약 결과 도출
  • 날씨와 항공기 무게 같은 변수의 차이에 따라 가장 최적화된 이착륙 속도, 각도 등 분석기능 제공

2. 기대효과

○ 기술적 측면

- 환경분야의 신기술 개발로서 항공분야 선진화 가능
- 우리나라 환경에 적합한 항공분야 온실가스 산정 및 예측 프로그램 개발가능
- 항공기 및 공항내 모든 온실가스 발생원인에 대한 분석 및 모니터링 가능

○ 경제적·산업적 측면
- 국제적인 온실가스 거래배출권제 및 저감정책에 대비 가능
- 항공기 운항 절차별 배출가스 저감방안 도출시 체계적이고 효과적인 항공기 운항 가능
- 온실가스 저감 대책기술 개발로서 국제적 경쟁력 확보
- 개발도상국의 경제적·기술적 지원 가능

○ 사회적 측면
- ICAO 기후변화 정책 대응 국내 항공부문 온실가스 저감 정책 지원 가능
- 국내 항공분야 온실가스 산정 및 예측으로 현실적인 저감량 목표설정 가능
- 연간 온실가스 산정을 통한 성과지표 및 목표 설정
- 항적데이터를 활용한 국내외 항공사의 온실가스 규제 및 감축 권고
- 온실가스 데이터베이스를 통한 체계적인 배출량 계산 가능
- 장기적 항공부분 배출가스 저감 목표 달에 대한 기반 구축

3. 1차년도 결과물 성과 및 활용방안

○ 온실가스 목표관리제 활용 가능
- (성과)국내 항공운송사업자가 항공온실가스 감축 목표 달성을 할 수 있는 포털사이트 UI 및 요구도 조사
- (활용)온실가스 관리를 위한 포털사이트 구축 또는 정부에서 사용하는 '나르미(NARMI)' 또는 '국가온실가스관리시스템(KOTEMS)'의 성능을 업데이트할 때 관련 UI 및 요구도 조사 결과를 활용함

○ 항공부문 온실가스 자발적 감축 협약 활용 가능
- (성과) 국내 항공운송사업자의 항공온실가스 저감활동 조사 결과 학술대회 논문 발표

- (성과)국내 항공운송사업자의 항공온실가스 저감활동 조사 결과 항공온실가스의 저감활동에 대한 이해가 부족하였으며, 해외 자료를 이용한 저감활동에 대한 정의 및 예상되는 감축량을 설명하였음

- (활용)국내 항공운송사업자를 대상으로 항공온실가스 저감활동 결과에 대한 집계를 조사하여 국가 정책활용으로 기여 및 논문발표로 활용할 수 있음

○ 국가이행계획(State's Action Plan) 활용 가능

- (성과)ICAO에서 3년마다 항공부문의 항공온실가스 감축계획을 제출해야하며, 이에 2015년에 2차 국가이행계획을 제출하였음. 또한, 직접 국가이행계획을 수립하면서 고려해야하는 요구사항들을 수집하여 개발시스템에 반영할 수 있도록 함

- (활용)수립된 2차 국가이행계획은 정부, 항공사, 공항공사 등에서 CO2를 감축해야하는 필수적인 목표량이므로 이를 감축해야하고 추후 3차 국가이행계획이 수립되는 시점에서 2차 국가이행계획에 대한 검증용도로 활용할 수 있음

○ 항공기 절차별 온실가스 배출현황 파악 및 관리 가능

- (성과)항공온실가스 산정 및 예측시스템 개념 설계

- (성과)단계별 항공온실가스 산정을 위한 해외 산정 프로그램 기능 정의 및 요구사항 수립

- (성과)타 프로그램의 기능 분석 및 비행단계별 배출량 산정 실시하여 국내 논문 및 학술대회 발표

- (활용)타 프로그램의 온실가스 배출량 기능을 활용한 항공사의 온실가스 산정 및 발생하는 비용 추정, 이에 대한 정책 수립에 대한 연구로 활용할 수 있음

- (활용)타 프로그램을 이용하여 공항주변에서 항공기의 원인으로 발생하는 배출가스를 파악하여 주변지역에 대한 영향 분석에 이용할 수 있음

제6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 국제화/협력 성과

(1) 2015 KOTI-NLR International Seminar(2015.4.13 - 15)

○ KOTI-NLR기관간 Sharing Research Experiences on Aviation Emissions을 개최하여 EUROCONTROL에서 항공온실가스 정책 반영에 지원하는 프로그램의 기능, 데모, 활용방안 등을 설명하였으며, 국내 R&D시스템의 개발 방향, 국내 활용측면 등을 논의함

- Dr Jan Middel, Dr Paul Brok가 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발을 위해 네덜란드 항공교통전문기관인 NLR에서 개발된 AERO-MS, LEAS-iT 분석 툴의 이론적 배경, 주요 기능에 대한 발표 및 데모를 통해 한국형 분석 툴의 개념설계를 구체화하고자 국제세미나를 개최함.

- 개발 프로그램의 개념설계 구체화함

- 해외 벤치마킹 모델인 AERO-MS 및 LEAS-iT 프로그램의 주요 기능 분석을 통한 국내 프로그램의 개발 방향성 확립함

- 해외 프로그램의 사용자 및 활용 분야를 이용한 국내 개발프로그램의 사용자 및 활용 용도 구체화 가능함

- 국제회의 사용시 국내 개발 프로그램의 활용성 방안 제고 및 항공온실가스 산정 및 감축기술 등의 분석/구현 국제 수준으로 개발함

2. 항공온실가스의 국내외 환경 변화

○ 2014년 페루에서 개최된 리마총회(COP 20)에서 모든 국가에게 2015년 9월 말까지 온실가스 감축공약을 제출하도록 하였음.

○ 2015년 12월 우리정부가 참여한 제 21차 파리기후변화협약 총회에서 신기후변화체제인 파리협정이 채택되었으며, 이에 따라 정부에서는 2015년 12월 파리 기후변화총회에서 2030년까지 배출전망치 대비 37% 온실가스를 감축하겠다고 발표하였음

- 파리협정은 각 국가가 국가별 기여방안(Intended Nationally Determined Contributions, INDC) 을 스스로 정하여 매 5년마다 상향된 감축 목표를 제출하도록 하고, 국가 온실가스 인벤토리, 감축목표 달성 경과 등을 의무 보고하도록 규정함

○ 우리나라는 교토의정서 체제에서는 온실가스 의무감축국이 아니었음에도 불구하고, 2008년. 저탄소 녹색성장 비전 선포 이후 2009년 11월 코펜하겐 당사국총회(COP15)를 계기로 온실가스를 2020년 기준 배출전망치(Business as usual, BAU) 대비 30% 감축하겠다는 자발적 공약을 발표하였고, 시장 매커니즘을 통해 감축목표를 달성하기 위해 지난 2015. 1. 1. 부터 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」에 따라 국가 단위의 온실가스 배출권거래제를 시행하고 있음

○ 이와 같이 현재 시행 중인 온실가스 배출권거래제는 파리협정과 직접적인 관계가 있는 것은 아니나, 파리협정에 따라 우리나라가 달성하여야 할 온실가스 감축의 주요 수단으로서 온실가스 배출권거래제가 활용될 것으로 예상되며, 정부가 제출한 국가별 기여방안(INDC)에도 산업분야의 온실가스 배출을 감축할 주요 수단으로 온실가스 배출권거래제를 설명하고 있음

- 파리협정에 따른 보다 상향된 감축 목표의 제시 의무, 온실가스 배출권거래제의 전 세계적인 정착 등으로 인하여 산업 부문에 대한 온실가스 배출할당량의 부과 및 온실가스 배출권거래제의 시행은 향후 더욱 엄격하게 이루어질 가능성이 높은바, 각 기업들이 이를 미리 대비하지 못할 경우 장기적으로 회사에 큰 부담으로 작용될 예정 됨

- 파리협정에 따라 강력한 에너지 효율화 정책의 시행 및 에너지절약기술의 개발이 수반되지 않을 경우 산업발전이 정체 되거나 후퇴하는 등 국가 산업지도가 전체적으로 바뀌는 큰 국가적 변화가 일어나게 될 것으로 전망됨

○ 우리나라 국제항공 온실가스감축 제2차 국가이행계획 수립을 위하여 항공사, 공항운영기관, 정부 및 관제기관, 연구기관의 관계자들로 이루어진 태스크포스와 전문가로 이루어진 분석팀을 구성하여 11개의 주요 감축수단을 선정하여, 국제민간항공기구에 ‘15년 6월 30일 ICAO에게 제출하였음

- 제2차 국가이행계획은 2025년까지 항공기의 연료효율을 1.3%씩 향상시킴을 목표로 하였으며, 주요 감축수단으로 ATFM, 항공로 복선화, 항공기 주기장내 AC-GPS, ACDM, 엔진세척, 공회전 역추진, 경량ULD 등을 제시하였음

제7장 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	국내학술발표	국내 항공사의 항공온실가스 감축기술 적용 현황	한국교통연구원	저자	한국항공운항학회 춘계학술대회 / 대한민국		2015.05.22	단독 사사	-
2	국내학술발표	AEIC를 사용한 국내공항의 LTO 온실가스 배출량 산정	세종대학교	저자	한국항공우주학회 춘계학술대회 / 대한민국		2015.04.23	단독 사사	-
3	국내학술발표	비행거리와 적재량에 따른 항공기 배출가스 민감도 산정	세종대학교	저자	한국항공우주학회 춘계학술대회 / 대한민국		2015.04.23	단독 사사	-
4	국내학술발표	AEIC를 사용한 국내공항의 non-LTO 온실가스 배출량 산정	세종대학교	저자	한국항공우주학회 추계학술대회 / 대한민국		2015.11.20	단독 사사	-
5	논문	비행거리와 적재량 변화에 따른 항공기 온실가스 배출량 및 연료소모량 산정	세종대학교	저자	한국항행학회논문지 / 대한민국		2015.8.30	단독 사사	비SCI

제8장 기타 사항

1. 총 연구기간 변경 및 2차년도 예산 변경

○ 국토교통부 실용화 점검 결과 총 연구기간의 단축으로 연구개발이 2년 6개월로 변경되었으나, 2016년 R&D 시행계획에 근거로 연구개발기간이 3년 6개월 변경됨

- 최초 '항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발' 협약시 4차년도 과제였으나, 국토교통부 실용화 점검 결과('15.1)에 따른 '항공안전기술개발사업 2015년 시행계획 변경'에 따라 연구 성과 조기 실용화를 위해 총 연구기간을 1년 단축하여 연구를 진행함

- 연구기간이 매우 촉박하여 연구진은 연구의 성과물에 대한 신뢰성 및 정확성을 위하여 본 연구취지에 맞도록 1년 연장을 요청하였으며, 이에 R&D사업의 2016년도 시행계획('15.12.22) 국토교통미래기술위원회 심의의결에 따라 다시 1년이 연장되어 총 3차년도 과제였던 '항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개발' 과제가 총 4차년도로 변경되었음

2. 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발 과제 2차년도 협약 및 연구변경

○ 과업 1차년도 종료 이후 본 과제는 1차년도 과제평가결과 과제 보완을 수행하던 중 감사원의 감사(2015.8.24.~10.14)를 받게 되었음

○ 감사가 진행되는 동안 국토교통과학기술진흥원은 '항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개발'2차년도 협약체결 시 '15년 실시된 감사원 감사 결과 '개발타당성 재검토 등'의 지적이 예상되는 바 협약서 제26조(특수조건)에 명시한 바와 같이 2차년도 연구비에 대하여는 전문기관의 별도 승인 없이는 연구비 편성 및 협동(공동) 연구기관 연구비 사용 및 지급이 불가하도록 단서와 함께 2차년도 협약을 실시함

○ 국토교통과학기술진흥원은 본원에 항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발" 기획연구 타당성 재검토 추진을 위한 계획을 송부하고, "항공온실가스 산정 예측시스템 개발" 과제의 2차년도 협약변경을 요청하였음

- 이에 타당성 재검토 과제를 추진하기 위한 위탁기관의 연구비는 주관기관의 직접비 예산으로 편성되어 국토교통과학기술원 요청에 따라 위탁연구과제 추진을 위해 연구협약변경신청서를 제출하였으며 위탁기관의 연구비는 주관기관의 직접비의 40% 이내로 편성함에 따라, 솔루티스 2차년도 예산이 조정되고, 조정된 연구비는 3차년도, 4차년도 예산에 반영함. 이로 인해 한국교통연구원의 직접비 변동 및 솔루티스의 예산이 일부 변경됨

구 분	변경 전	변경 후
① 위탁연구기관	솔루티스	솔루티스, 타당성 재검토 기관(미정) 추가
② 연구내용	○ 항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발 - 항공온실가스 보고포털 개발 - 항공온실가스 산정모듈 개발 - 항공온실가스 감축량 예측모듈 개발 - 항공온실가스 감축수단별 경제성분석 및 의사결정 지원모듈 개발	○ 항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발 - 변동없음 ○ 항공온실가스 산정 및 예측시스템 개발 타당성 분석(추가)
③ 당해연도 연구개발비	○총 연구비 : 1,346,000천원 - 주관연구기관 : 661,500천원 · 위탁연구기관(솔루티스) : 220,500천원 - 공동연구기관(과학기술원) : 265,500천원 - 공동연구기관(세종대학교) : 198,500천원	○총 연구비 : 변동 없음 - 주관 : 634,250천원 · 위탁(솔루티스) : 207,750천원 - 위탁(타당성 분석) : 40,000천원 - 공동연구기관(과학기술원) : 변동없음 - 공동연구기관(세종대학교) : 변동없음
④ 총 연구기간	총 3차년도 과제로 진행 (2014.10.31-2017.11.14, 총 2년 6개월)	총 4차년도 과제로 진행 (2014.10.31-2018.11.14, 총 3년 6개월)
⑤ 총 연구비	7,000,000천원	변동 없음

– 위의 사항에 따라 국토교통과학기술진흥원에서 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」제23조(연구개발과제 등의 선정 및 결과통보)에 따라 실시한 2016년 항공안전기술개발사업(재공고-제13호) “항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개발 타당성 분석” 위탁연구를 발주하였고, 한국항공대학교가 선정되었으며, 이에 국토교통과학기술원은 2차 협약변경신청을 요청하였음

○ ‘항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발’ 기획 타당성 재검토 위탁연구 수행 후, 국토교통과학기술진흥원은 “항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개발” 2차년도 협약해약 통보 공문(항공실739, 2016.12.9.)을 송부함

– 이에 따라 주관기관인 한국교통연구원은 2차년도 연구비 전액(타당성 재검토를 위한 위탁 연구비 4천만원 제외)를 반납하여 “항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개발” 과제는 1차년도의 시스템 개념설계 완료 후 중단됨

제9장 연구개발 성과에 따른 종합 의견

○ 2014년 10월 국토교통과학기술진흥원의 항공안전기술개발사업 시행 공고(제37호)에 따라 한국교통연구원은 연구과제 제안요구서(RFP)를 검토하고 이를 성실하게 임하였음

	연구과제 제안요구서 중 연구개발내용	1차년도 수행현황
항공 온실가스 데이터 플랫폼 개발	- 항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석 - 항공 온실가스 데이터플랫폼 설계 및 구축	- 항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석 완료 - 항공 온실가스 데이터플랫폼 개념설계 완료
항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발	- 항공 온실가스 배출량 산정 모듈 개발(tier 3b급) - 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 성능 및 신뢰성 검증	- 항공 온실가스 배출량 산정 모듈 개념설계(tier 3b급)완료 - 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 성능 및 신뢰성 검증을 위한 개념설계 완료
항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발	- 항공 온실가스 감축량 산정 모듈 개발 - 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개발	- 항공 온실가스 감축량 산정 모듈 개념설계 완료 - 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개념설계 완료

○ 또한 현재 국외 동향변화에 따라 항공온실가스 감축이 절실한 시점에 본 연구는 필요성이 더 강조되고 있으며 '항공 온실가스 산정및 예측시스템' 개발 시 실효성 있는 정책 적용이 가능할 것으로 판단됨

■ **항공 온실가스 관련 국외 동향변화에 대한 연구 필요성**

○ 2014년 페루에서 개최된 리마총회(COP 20)에서 모든 국가에게 2015년 9월 말까지 온실가스 감축공약을 제출하도록 하였음.

○ 2015년 12월 우리정부가 참여한 제 21차 파리기후변화협약 총회에서 신기후변화체제인 파리협정이 채택되었으며, 이에 따라 정부에서는 2015년 12월 파리 기후변화총회에서 2030년까지 배출전망치 대비 37% 온실가스를 감축하겠다고 발표하였음

○ 우리나라는 교토의정서 체제에서는 온실가스 의무감축국이 아니었음에도 불구하고, 2008년. 저탄소 녹색성장 비전 선포 이후 2009년 11월 코펜하겐 당사국총회(COP15)를 계기로 온실가스를 2020년 기준 배출전망치(BAU) 대비 30% 감축하 겠다는 자발적 공약을 발표하였고, 시장 매커니즘을 통해 감축목표를 달성하기 위해 지난 2015. 1. 1. 부터 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」에 따라 국가 단위의 온실가스 배출권거래제를 시행하고 있음

○ 이와 같이 현재 시행 중인 온실가스 배출권거래제는 파리협정과 직접적인 관계가 있는 것은 아니나, 파리협정에 따라 우리나라가 달성하여야 할 온실가스 감축의 주요 수단으로서 온실가스 배출권거래제가 활용될 것으로 예상되며, 정부가 제출한 국가별 기여방안(INDC)에도 산업분야의 온실가스 배출을 감축할 주요 수단으로 온실가스 배출권거

래제를 설명하고 있음

- 파리협정에 따른 보다 상향된 감축 목표의 제시 의무, 온실가스 배출권거래제의 전 세계적인 정착 등으로 인하여 산업 부문에 대한 온실가스 배출할당량의 부과 및 온실가스 배출권거래제의 시행은 향후 더욱 엄격하게 이루어질 가능성이 높은 바, 각 기업들이 이를 미리 대비하지 못할 경우 장기적으로 회사에 큰 부담으로 작용될 예정
- 파리협정에 따라 강력한 에너지 효율화 정책의 시행 및 에너지절약기술의 개발이 수반되지 않을 경우 산업발전이 정체 되거나 후퇴하는 등 국가 산업지도가 전체적으로 바뀌는 큰 국가적 변화가 일어나게 될 것으로 전망

○ 또한 2016년10월에 열린 39차 ICAO총회에서 국제항공사들의 탄소배출량을 2020년 수준으로 동결하는 내용의 협정을 채택하였음.

- 이 협정에 따라 2020년 이후 규정된 배출 한도를 초과한 항공사는 배출권을 구매하는 방식으로 초과분을 상쇄하여야 하며, 2021~2026년 자율 시행 후 2027년부터 의무 이행으로 전환됨에 따라 시스템 개발 시 실효성 있는 정책 적용이 가능할 것으로 판단되었음

○ 그러나 감사원에서는 기획연구에서의 경제성 타당성분석 미실시 및 편익과다산출, 본 과제에서의 데이터 확보방안 미흡을 이유로 '항공 온실가스 산정 및 예측시스템' 연구개발 과제의 추진여부 재검토 방안을 마련하라고 지시하였음

○ 기획연구에서의 경제성타당성분석 미실시 및 편익과다산출 : 기획연구는 전문기관 및 국토교통부에서 통과를 받아 연구가 완료되었으며, 감사원이 지적한 경제성 타당성 분석 및 편익과다산출에 대하여는 기획연구의 주관기관 책임자가 '주의'통보를 받았음. 기획연구에서 진행된 모순으로 본 과제가 영향을 받은 것에 대해 안타깝게 생각됨

○ 과제에서의 데이터 확보방안 미흡 : 본 연구에서 개발하고자 하는 시스템을 운영하기 위해 국적항공사에서 제공하는 항공기 운항자료는 시스템 구축 완료 이후 Tier 3b급 항공온실가스 산정 을 위하여 반드시 필요한 데이터가 아님. 다만 항공사에서 제공하는 항공기 운항자료는 항공온실가스 산정모듈의 검증용으로 필요한 것이며 국토부는 항공사로부터 자료제공 동의를 받았음.

○ 감사원에서 위와 같은 사유로 지적 및 위탁기관에서 수행된 기획과제 타당성 재검토 용역을 통하여 본 과제가 사업중지된 것에 대해 매우 유감이며, 현재 온실가스 대응이 국제적으로 활발히 진행되고 있어 본 과제 개발시스템을 통해 국가 간 협상 등에서 주도권을 갖고 리드하거나, 또는 적어도 빠른 대응이 가능했을 것으로 판단됨. 또한 국내 기술획득으로 이루어 져야 온실가스 감축수단 감축량 예측 및 경제성 분석을 유기적으로 수행하기 위한 체계 수립이 가능하다고 보여짐

○ '항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개발'의 과제는 기획과제의 모순으로 인해 사업 중지가 되었지만 추후 국제 대응 및 정책 항공 기술의 영향 평가, 전문가 양성 등을 위해 유사한 과제가 진행되어야 한다고 사료됨

제10장 참고 문헌

국토교통부, 온실가스 감출 “7개 국적항공사 모두 참여”, 보도자료(2014.9.24.)
국토교통부, 교통부문 온실가스 저감 및 통합관리기술 개발 연구보고서, 2012
국토교통부, 교통부문 온실가스 관리시스템(KOTEMS), 2012
국토교통부 기후변화 대응 항공온실가스 감축 기술 개발 기획, 2013
국토교통부, 항공온실가스 감축을 위한 자발적 협약 이행매뉴얼, 2012
국토교통부, 항공부문 온실가스 감축 국가이행계획 수립 연구, 2012
국토교통부, 항공부문 온실가스 자발적 감축협약 협의회 회의자료, 2010.7
한국교통연구원, 항공부문 온실가스 감축 이행계획서 작성 기초연구, 2011
한꾹교통연구원, CATE-KOTI 항공환경 모델 관련 회의자료(2015.3.31)
환경부, 온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침, 2014
환경부, 국가온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인 제1권/제2권, 2008
김완이, UML 이해와 실제, 요구 모델링, 2010
은연주, 전대근, 오은미, 비행절차 및 공역 효율성 평가 툴 개발 연구, 2012
PTC, 요구사항 파악 및 관리 최적화, 토픽시트 : 요구사항 파악 및 관리, 2009

EUROCONTROL-KOTI 항공 환경 모델 관련 세미나 자료(2015.4.3)
Gregg Fleming, AEDT Overview, TRB AEDT/APMT Workshop, 2006
Gregg Fleming, Environmental Trends in Aviation to 2050, , 2013.5.14.-16
IATA, Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environmental Management, 2011
ICAO, COMMITTEE ON AVIATION ENVIRONMENTAL PROTECTION(CAEP) 7th, CAEP/7-IP/24, 2007
MIT, Aviation Emissions Inventory Code User Manual, 2013

www.icao.int
www.erocontrol.int
www.cate.mmu.ac.uk
ermtoolset.eurocontrol.int
Nexcore 요구공항 기법 및 적용 가이드(nexcore.skcc.com)
www.DBGuide.net

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 항공안전기술개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.