항공안전기술개발사업

항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개념설계 연구 보고서

성과물 (A-1-①)

2015.8.21

공동연구기관 / 세종대학교

Infrastructure
R&D Report

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 최종보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

항공안전기술개발사업

항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개념설계 연구 보고서

성과물 (A-1-①)

2015. 5. 30

공동연구기관 / 세종대학교

국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport

KAIA
국토교통과학기술진흥원
Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "항공온실가스 산정 및 예측 시스템 개발 연구" 과제의 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램개념설계 연구 보고서로 제출합니다.

2015 . 5 . 30

공동연구기관명 : 세종대학교
공동연구책임자 : 황 호 연
연 구 원 : 임 동 욱
" : 박 성 수
" : 박 병 운
" : 주 희 진

목 차

1. 시스템 개요 ····· 1
가. 시스템 명 ····· 1
나. 시스템 정의 ····· 1

2. 시스템 분석 ····· 2
가. 시스템 개발 배경 및 목적 ····· 2
1) 배경 ····· 2
2) 목적 ····· 4
3) 사용자 · 운용자 정의 및 특성 ····· 4
가) 사용자 및 운용자 정의 ····· 4
나) 사용자 및 운용자 특성 ····· 5
다) 사용자 요구사항 ····· 6
라) 현 시스템 분석 ····· 6
(1) 현 시스템 구성 ····· 6
(2) 현 시스템 한계점 ····· 11

3. 시스템 개발 범위 및 목표 ····· 13
가. 시스템 개발 범위 ····· 13
나. 운영 방식 및 제약사항 ····· 14
다. 시스템 목표 ····· 14
라. 전체 시스템 구성도 ····· 15
1) 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 구성도 ····· 15
마. 서브시스템별 내용 및 특징 (WBS) ····· 15
1) 항공 온실가스 산정 모듈 구현 ····· 15
가) 사용자 인터페이스 컴퍼넌트 ····· 15
나) DB 서버시스템 컴퍼넌트 ····· 20
다) 데이터 처리 컴퍼넌트 ····· 21
라) 항공 온실가스 산정 알고리즘 컴퍼넌트 ····· 21
마) 항공 온실가스 산정 결과 처리 컴퍼넌트 ····· 21
2) 배출량 산정 프로그램 및 예측 프로그램 구동에 필요한 DB 조사 및 sample DB 구축 ····· 23
가) BADA3 계수 DB 추가 구축 및 항공기-엔진 모델 Mapping ····· 23
나) 데이터플랫폼 DB 검색/추출/관리 입출력 변수 및 요구사항 도출 ····· 25
다) 항공 DB 조사 및 확보(Aviation Database Overview) ····· 29
(1) 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템에 필요한 DB 조사 ····· 29
(2) 2010년 OAG Data 구매 ····· 33
3) 항공 온실가스 산정 모듈 검증 ····· 33

가) 온실가스 배출량 산정모듈 검증 계획(1단계) ····· 33
(1) 검증 Test Case ····· 33
(2) 검증 합격 기준 ····· 38
바. 시스템간 교환자료 목록(IER) ····· 40

4. 목표시스템 운영 시나리오 ····· 41
가. 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 ····· 41
1) 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 시나리오 구성도 ····· 41
2) 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 적용 ····· 42
3) 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 운영 흐름도 ····· 44

5. 목표시스템 구축에 의한 변경사항 ····· 48
가. 변경사항 ····· 48
나. 변경사항의 당위성 ····· 48

6. 목표 시스템 분석 ····· 49
가. 장점 ····· 49
나. 단점 및 제한사항 ····· 49
다. 대안별 비교분석 ····· 50

7. 참고사항/부록 ····· 50
가. 약어표 ····· 50

<표 차례>

표 1 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 범위 ····· 13
표 2 Airline Fleet Data ····· 25
표 3 Airline Fleet Data example ····· 25
표 4 Operation Data ····· 25
표 5 Operation Data example ····· 26
표 6 Detailed Mission Data ····· 26
표 7 Detailed Mission Data example(1) ····· 27
표 8 Detailed Mission Data example(2) ····· 27
표 9 Detailed Mission Data example(3) ····· 27
표 10 Statistic Data (1) ····· 28
표 11 Statistic Data (2) ····· 28
표 12 Additional Questions ····· 29
표 13 2010 Flight Schedules of flight of 7 named Korean carriers World-World(1) ····· 34
표 14 2010 Flight Schedules of flight of 7 named Korean carriers World-World(2) ····· 34
표 15 2010 Flight Schedules of flight of 7 named Korean carriers World-World(3) ····· 34
표 16 2010 Flight Schedules of all flights(1) ····· 35
표 17 2010 Flight Schedules of all flights(2) ····· 35
표 18 2010 Flight Schedules of all flights(3) ····· 35
표 19 시스템간 교환자료 목록 ····· 40
표 9 약어표 ····· 50

<그림 차례>

그림 1 세계 항공 교통량 증가 전망치 ····· 3
그림 2 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 사용자 및 운용자 구성도 ····· 5
그림 3 AEDT2a 시스템 구조 ····· 7
그림 4 AEDT2a GUI 화면 ····· 8
그림 5 AEDT2a 온실가스 보고서 ····· 8
그림 6 MIT에서 개발한 AEIC ····· 9
그림 7 AEIC MATLAB 코드 ····· 10
그림 8 PIANO-X 프로그램 ····· 11
그림 9 PIANO-X GUI 화면 ····· 11
그림 10 항공 온실가스 감축량 산정 모듈 구현 및 검증 구성도 ····· 15
그림 11 사용자 입력창 컴퍼넌트 예: AEDT2a GUI 창 ····· 17
그림 12 운항 스케쥴을 불러들이거나 직접 정의하는 창 ····· 18
그림 13 공항을 지정하고 변경할 수 있는 창 ····· 18
그림 14 임무형상(Mission Profile)을 지정하고 변경할 수 있는 창 ····· 19
그림 15 날씨를 설정하는 창 ····· 20
그림 16 시나리오 설정 창 ····· 20
그림 17 Fleet 단위 결과 출력 창 ····· 22
그림 18 GIS 출력 창 ····· 22
그림 19 AEDT2a의 Fleet DB의 여러 항공기와 엔진 Mapping ····· 23
그림 20 IATA CODE 별로 ICAO Engine Emission Data Bank의 엔진과 Mapping ····· 24
그림 21 공항별 Raw data format ····· 37
그림 22 공항별 Converted data format ····· 37
그림 23 산정 프로그램 계산 흐름도 ····· 37
그림 24 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 구성도 ····· 41

항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개념설계 보고서

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 작성하였다. 따라서 본 연구개발 수행 내용과 결과는 운영 개념 기술서와 중복되는 부분이 많으나 운영 개념 기술서보다 좀 더 자세하게 기술하였다.

2차년도부터는 알고리즘의 검증 부분은 시스템의 운영개념과는 직접적인 관계가 없어 검증 운영 개념 기술서는 없애고 GUI 구현 부분은 시스템 통합업체인 솔루티스로 업무를 이관하기로 하였다.

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 정리하였다.

1. 시스템 개요

가. 시스템 명

○ 「항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증」

나. 시스템 정의

○ 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 시스템은 과학원에서 제공하는 Tier 3b급의 항공 및 공항 주변 온실가스 배출량 산정 알고리즘을 DB와 지리정보 시스템과 연결한 후 MATLAB으로 구현한 GUI를 통하여 입출력이 가능하도록 하고 이를 해외 유사 소프트웨어와 비교 검증하는 시스템이다.

○ 항공 온실가스 감축량 산정 모듈은 사용자 인터페이스 컴퍼넌트, DB 컴퍼넌트, 데이터 처리 컴퍼넌트, 온실가스 감축량 산정 알고리즘 컴퍼넌트, 결과 처리 컴퍼넌트로서 구성된다.

- 본 모듈은 과거의 온실가스 관련 데이터를 통한 산정 및 미래 항공 수요 또는 항공기 등 미래 항공 온실가스 배출 관련 데이터를 입력하여 미래 항공 온실가스 배출량 산정이 가능하도록 구현하고 Intergovernmental Panel on Climate Change (유엔 산하 정부 간 기후변화패널, IPCC) Tier 3b급의 항공 온실가스 산정이 가능한지를 검증하는 모듈이다.

  • Tier 3b 온실가스 배출량 산정 알고리즘으로 산정하기 위해서는 비행 스케줄 자료(출/도착지, 사용된 비행기 기종 등)가 포함된 OAG(Official

Airline Guide), BADA3 등의 데이터가 필요하며 이를 일회적으로 검증할 일정량의 데이터 자료(시간, 궤도, 속도 등)가 요구된다.

- 항공 온실가스 배출량 산정 모듈의 구동을 위해서는 BADA3, OAG 등의 sample DB의 구축이 필요하고 BADA에 없는 항공기와 엔진 모델의 mapping이 필요하며 AEDT2b, AEIC 등 해외 소프트웨어의 input DB 파일로의 mapping이 필요하다.
- 항공 온실가스 배출량 산정 모듈의 구현을 위해서는 기본적인 GUI(MATLAB으로 구현) 개발이 필요하고 과학원 제공 알고리즘을 sample DB와 연결하고 체계업체에서 제공할 지리정보시스템(GIS: Geographic Information System)이나 MATLAB Toolbox인 Mapping Toolbox와의 연결하여 배출량 산정 모듈을 구현한다.

○ 해외 유사프로그램을 사용한 온실가스 산정 및 본 과제 알고리즘과 비교분석을 통한 검증을 위해서는 국내외 대표적인 Study 및 시나리오 작성이 필요하다.

○ 과학원에서 개발할 본 과제 알고리즘을 검증하기 위해서는 해외 대표 유사프로그램인 AEDT2b, AEIC, AERO2k(Piano-X)를 사용한 온실가스 산정이 필요하다.

2. 시스템 분석

가. 시스템 개발 배경 및 목적

1) 배경

○ 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 CO_2 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 이외

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

에도 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

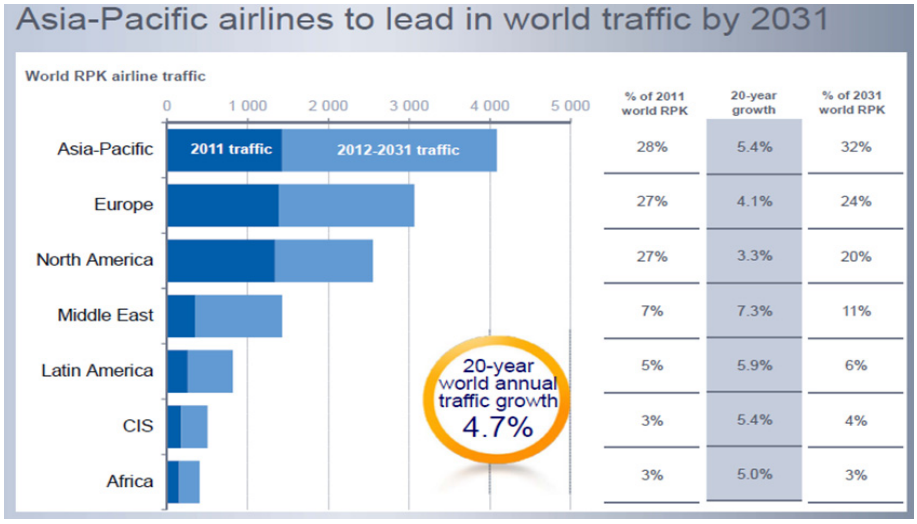


그림 1 세계 항공 교통량 증가 전망치

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

○ 우리나라가 항공기 국제기준 마련에 참여하여 기술적인 의견을 내기 위해서는 항공운항으로 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

○ 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

2) 목적

○ 본 「항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증」연구 과제는 다음과 같은 사항을 목적으로 개발을 추진함

- 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 기여
- 온실가스 배출 국가 이행계획 수립과 탄소 배출권 거래제 실시에 선제적으로 대응하기 위한 국제적인 수준의 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발이 목적임
- 세종대 팀은 과학원에서 개발하는 항공 온실가스 산정 알고리즘 모듈을 항공온실가스 sample DB와 통합한 항공 온실가스 배출량 산정 모듈을 개발함
- 항공기 온실가스 산정 알고리즘을 국내 상황에 적합한 항공기 기종 및 노선 조합을 이용하여 국제적으로 인정받는 산정 프로그램과 표준 DB 및 실제 DB를 사용하여 비교 검증함

3) 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 정책 업무 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 목적

달성을 위해 본 시스템 사용



그림 2 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 사용자 및 운용자 구성도

나) 사용자 및 운용자 특성

○ 정부기관

- 항공부문 온실가스 감축목표 달성도의 정밀한 측정 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

○ 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 즉시 제공

- 항공기 도입 시 경로당 연료 절약 및 이에 따른 환경 부가세 절약 결과 도출
- 실제 항공부문 온실가스 감축량의 대부분을 차지하는 항공기 교체에 의한 감축효과 즉시 제공

○ 일반사용자 (대학교, 지자체, 환경단체, 민간단체 공항공사 등)

- 효과적인 온실가스 감축수단 개발 및 의사결정을 즉시 제공

다) 사용자 및 운용자 특성

○ 항공 온실가스 관련 업무(배출량 등) 보고서가 제공되어야 한다.

○ 온실가스 산정에 대한 데이터 검증 및 산정기술이 제시되어야 한다.

○ 항공 온실가스 산정 관련 그래프가 제시되어야 한다.

○ 시스템 간 데이터 호환이 가능해야 한다.

○ 온실가스 기준값 입력 및 표준 데이터 이용이 가능해야 한다.

라) 현 시스템 분석

○ 현재 국내에서 개발된 Tier 3b급 항공 온실가스 산정과 관련된 소프트웨어는 전무함

○ 해외 항공 온실가스 배출량 산정 시스템 중 가장 대표적인 것으로 AEDT, AERO2k(내부에 Piano 프로그램 포함), AEIC가 있음

(1) 현 시스템 구성

○ **해외 온실가스 산정 프로그램: AEDT (Aviation Environmental Design Tool)**

- 공간과 시간 영역에서 항공기 성능을 모델링하는데 사용되는 소프트웨어
- 연료 연소(fuel burn), 배기가스, 소음 계산
- 단일 항공편으로부터 지역, 국가, 전세계적인 시나리오 레벨에 대한 완전한 게이트-게이트 해석 가능
- 현재 항공기와 관련된 연료연소, 소음, 배기가스의 상호연관성을 분석하기 위해 FAA에서 사용
- AEDT 2a로 알려진 초기 version은 일반인도 사용 가능
- AEDT 2a는 Noise Integrated Routing System(NIRS)를 대체하기 위해 개발된 프로그램으로 FAA에 의해 관리됨

- AEDT 2a의 주요 목적은 항공 교통에 의한 환경적 결과를 모델링하고 FAA 항공교통기관의 정책을 만들고 수행하기 위함
- FAA Order 1050.1e 프레임워크내에서 AEDT 2a 사용방법에 대한 가이드라인이 설정되었음
- 2015년5월 29일 차세대 항공 환경 결과 해석 툴인 AEDT2b 발표 예정
- AEDT2b는 대기 질과 소음 해석 툴인 Integrated Noise Model (INM - single airport noise analysis)과 Emissions and Dispersion Modeling System (EDMS - single airport emissions analysis)를 대체할 예정임
- AEDT 2a INM과 EDMS를 대체하는 툴이 아님
- AEDT는 현재 미 정부가 국내 계획, 환경 규제 적합성, 연구해석 등에 사용하고 있음
- 또한 ICAO의 Committee for Aviation Environmental Protection (CAEP)의 국제적 지원을 위해 활용되고 있음
- AEDT는 항공사, 공항, 컨설팅 회사, 연구기관, 환경 단체, 항공기 제작업체, 엔진 제작업체를 비롯한 산업체 등에서도 사용할 것으로 예상됨

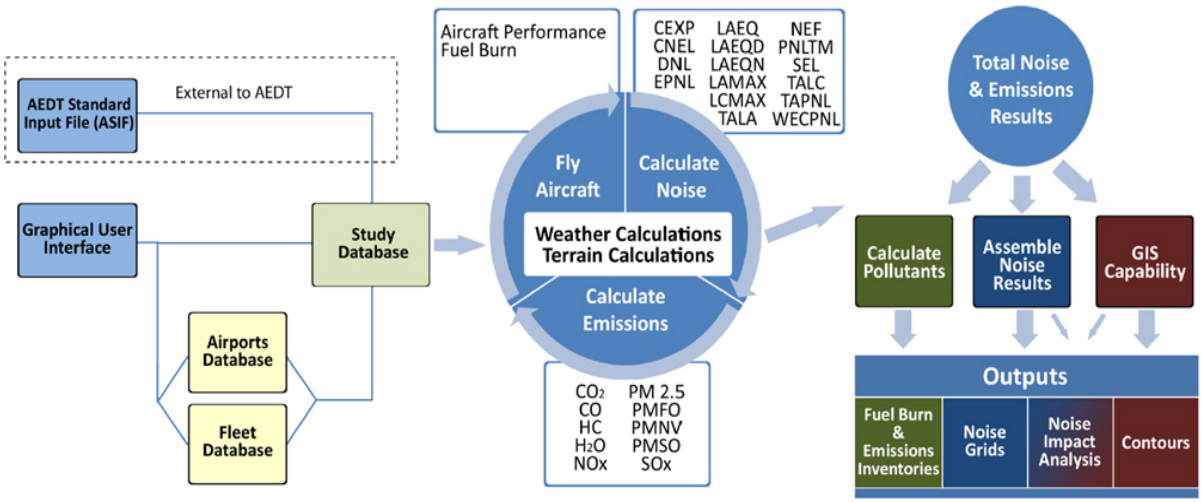


그림 3. AEDT2a 시스템 구조

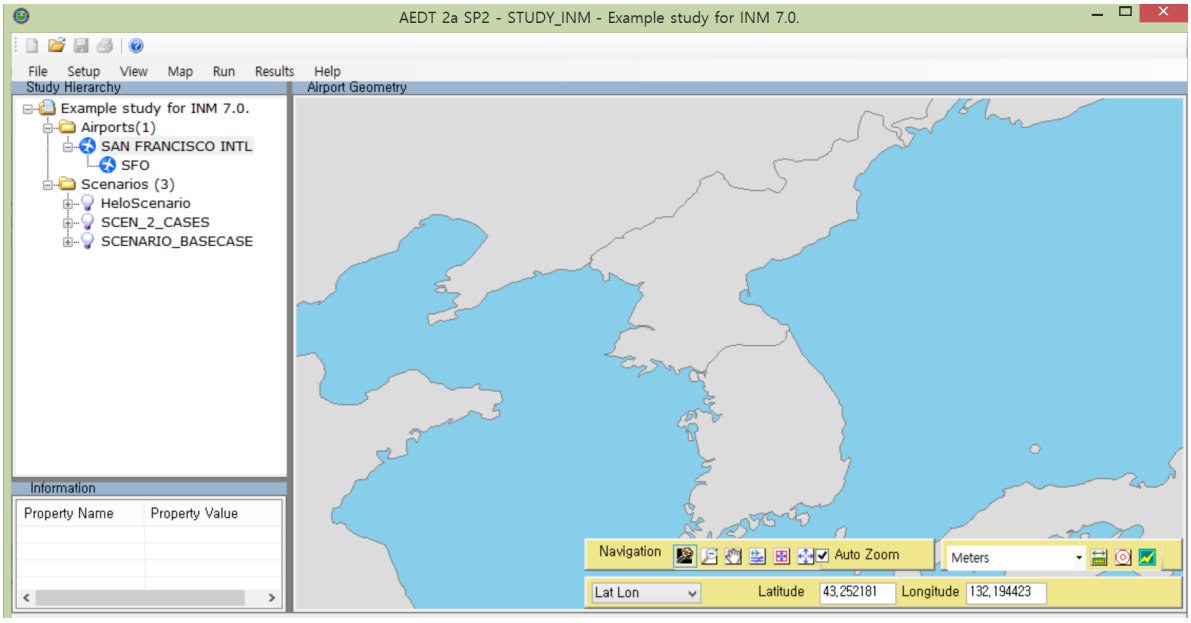


그림 4 AEDT2a GUI 화면

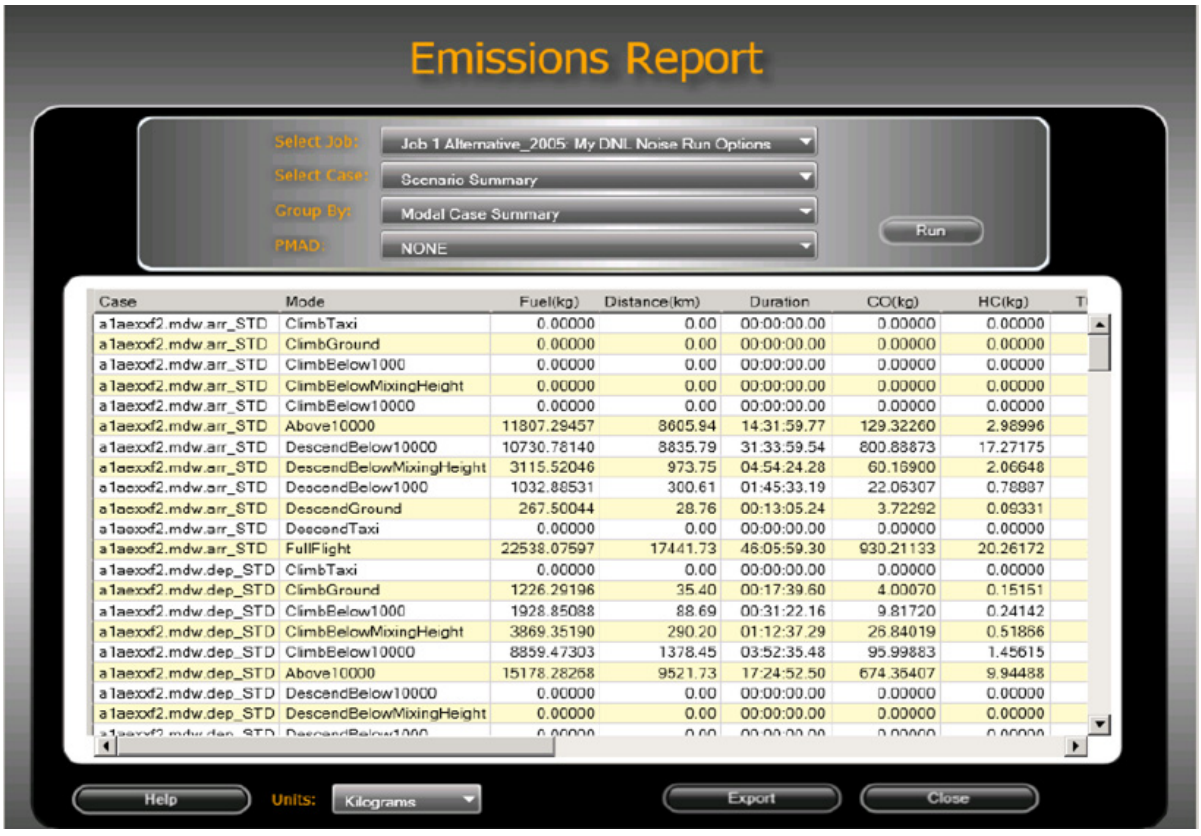


그림 5. AEDT2a 온실가스 보고서

○ 해외 온실가스 산정 프로그램: AEIC (Aviation Emissions Inventory Code)

- MATLAB으로 coding되어 있어 과학원에서 제공하는 알고리즘과 구조상으로

는 가장 유사함

- 미국 MIT 대학 항공환경 실험실에서 개발
- LTO은 3000ft 이하의 운항, OAG data 이용
- 2005년 OAG data(민간 항공 교통 스케줄 보유)
- LTO 운항 온실가스 산정: 공항 주변 항공기 이착륙 시(3000ft 이하)
  - 이륙, 상승, 접근 비행 단계
  - 비행단계별 배기가스 배출량
  - 시간별 배기가스 배출량
  - 1년치 총 배기가스 배출량
- AEIC는 총 2587개의 세계 각 지역의 공항정보 탑재
- Non LTO은 3,000ft 이상의 운항, OAG 2005 data 이용

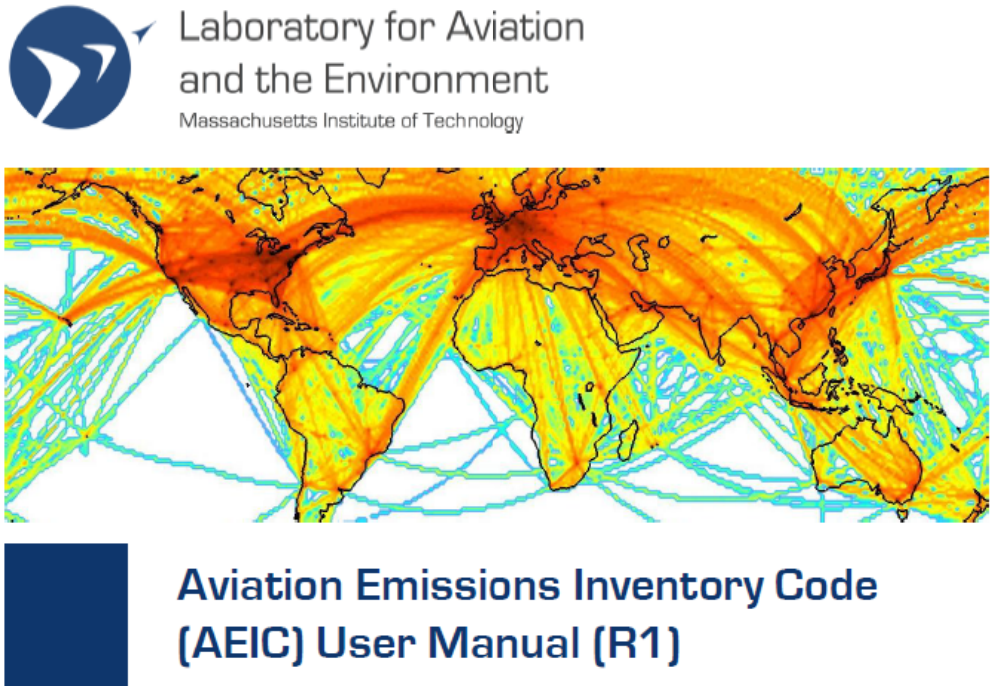


그림 6 MIT에서 개발한 AEIC

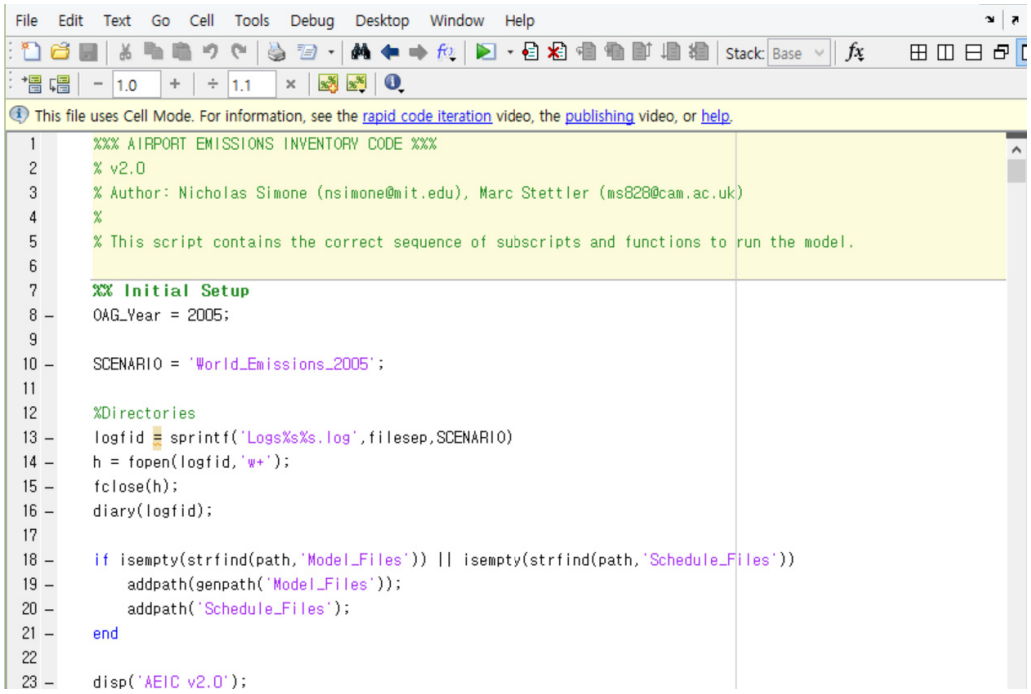


그림 7. AEIC MATLAB 코드

○ 해외 온실가스 산정 프로그램: PIANO-X (AERO2k)

- PIANO-X 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 관련 해외 유사 프로그램으로 영국의 AERO2k 내부에 포함되어 있음
- PIANO-X는 고가의 PIANO의 short version임
- 무료로 다운로드가 가능하나 항공기 DB를 구매하여야 함(한개 기종에 UKP 1,950)
- 설계 유상하중, 항속거리, 비행경로에 따른 연료 소모량과 배기가스 배출량 분석



그림 8 PIANO-X 프로그램

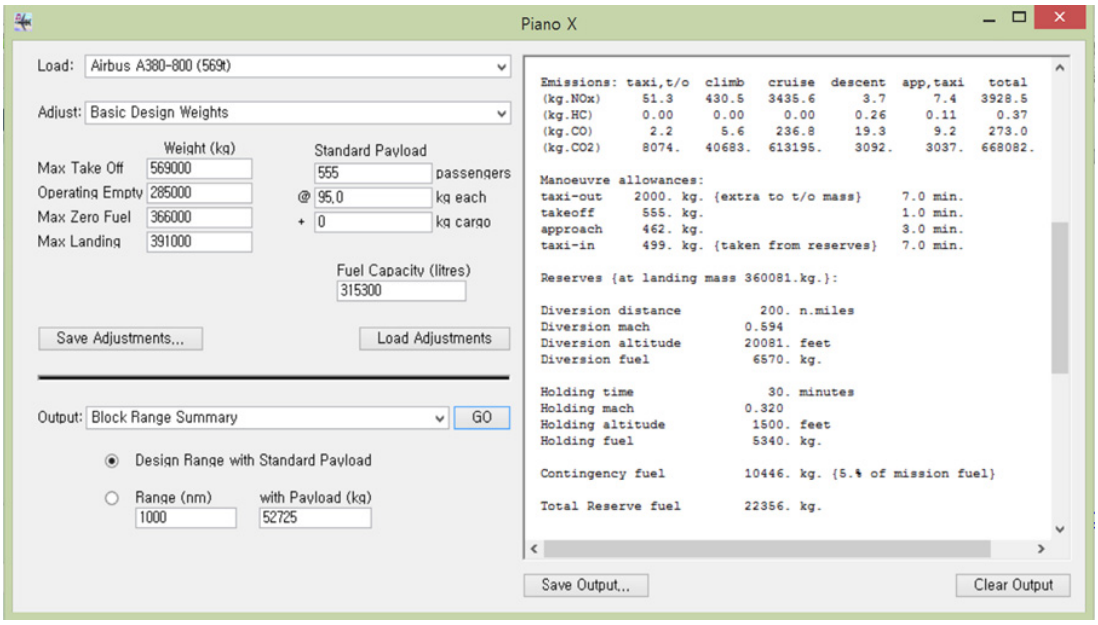


그림 9 PIANO-X GUI 화면

(2) 현 시스템 한계점

○ 2.3.1절에서 제시한 해외 프로그램 중 FAA에서 사용하여 가장 대표적인 AEDT2a는 SQL Server와의 연결 시 많은 문제점이 있고 입력 파일인 ASIF(AEDT Standard Input File) 역시 ASCII 형식의 Text 파일로 되어 있어 작성이 매우 어려움

○ 2015년 5월 출시 예정인 AEDT2b도 계산 결과에 오차가 크게 발생하는 등 많은 문제점이 있고 미국에서 사용하는 version과 해외 판매용 version의 기능이 상이한 것으로 예상됨

○ AERO-MS, Aero2k와 같은 EASA에서 사용하는 항공 온실가스 산정 프로그램은 해외 판매를 하지 않고 있음

○ 해외 프로그램은 소스 코드가 제공되지 않아 국내 상황에 맞게 프로그램의 추가/수정/변경이 불가능함

3. 시스템 개발 범위 및 목표

가. 시스템 개발 범위

표 0. 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 범위

모듈	업무	업무범위	비고
항공온실가스 산정 모듈	항공온실가스 산정 모듈 구현	- 온실가스 산정 모듈에 필요한 sample DB 구축 - 과학원에서 개발하는 알고리즘 모듈과 DB 통합 시스템 구축 - 온실가스 산정 및 예측 DB에서 필요한 데이터 추출하여 산정 모듈 DB에 저장 - 운항 DB의 항공기 기종과 BADA, ANP, ICAO Databank의 항공기/엔진 모델과 mapping - GIS 시스템과 알고리즘/DB들을 연결하여 표준 항로를 생성하고 온실가스 배출결과물을 지도상에 출력 - GUI 개발을 통한 사용자 입/출력 환경 구축	
항공온실가스 산정 모듈	항공온실가스 산정 모듈 검증	- 국내 상황에 적합한 항공기 기종/노선을 분석해 검증용 study 구축 - 표준 DB를 사용한 단일 비행 시 해외 유사 프로그램들과 비교 분석 - 실제 DB를 사용한 단일 비행 시 해외 유사 프로그램들과 비교 분석 - 오차 발생 원인에 대해 분석하여 알고리즘 개발팀에 피드백 제공 - 지역별, 항공사별, 국가별 거시적 분석을 수행하여 해외 유사 프로그램과 비교분석을 통한 검증	

나. 운영 방식 및 제약사항

○ 항공 온실가스 배출 산정 모듈 구현은 사용자 인터페이스 컴퍼넌트, DB 컴퍼넌트, 데이터 처리 컴퍼넌트, 온실가스 감축량 산정 알고리즘 컴퍼넌트, 결과 처리 컴퍼넌트로서 구성됨

다. 시스템 목표

○ 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증

- 항적자료 및 항공기 성능 정보 등 실제 데이터를 사용하여 IPCC Tier3b 급 알고리즘이 적용된 항공 온실가스 배출량 산정 모듈을 구현하고 해외의 유사 프로그램과 비교 검증함

라. 전체 시스템 구성도

1) 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 구성도

○ 항공 온실가스 감축량 산정 모듈 구현은 사용자 인터페이스 컴퍼넌트, DB 컴퍼넌트, 데이터 처리 컴퍼넌트, 온실가스 감축량 산정 알고리즘 컴퍼넌트, 결과처리 컴퍼넌트로서 구성됨

○ 각 컴퍼넌트 간의 데이터 흐름과 구성은 아래 그림과 같음

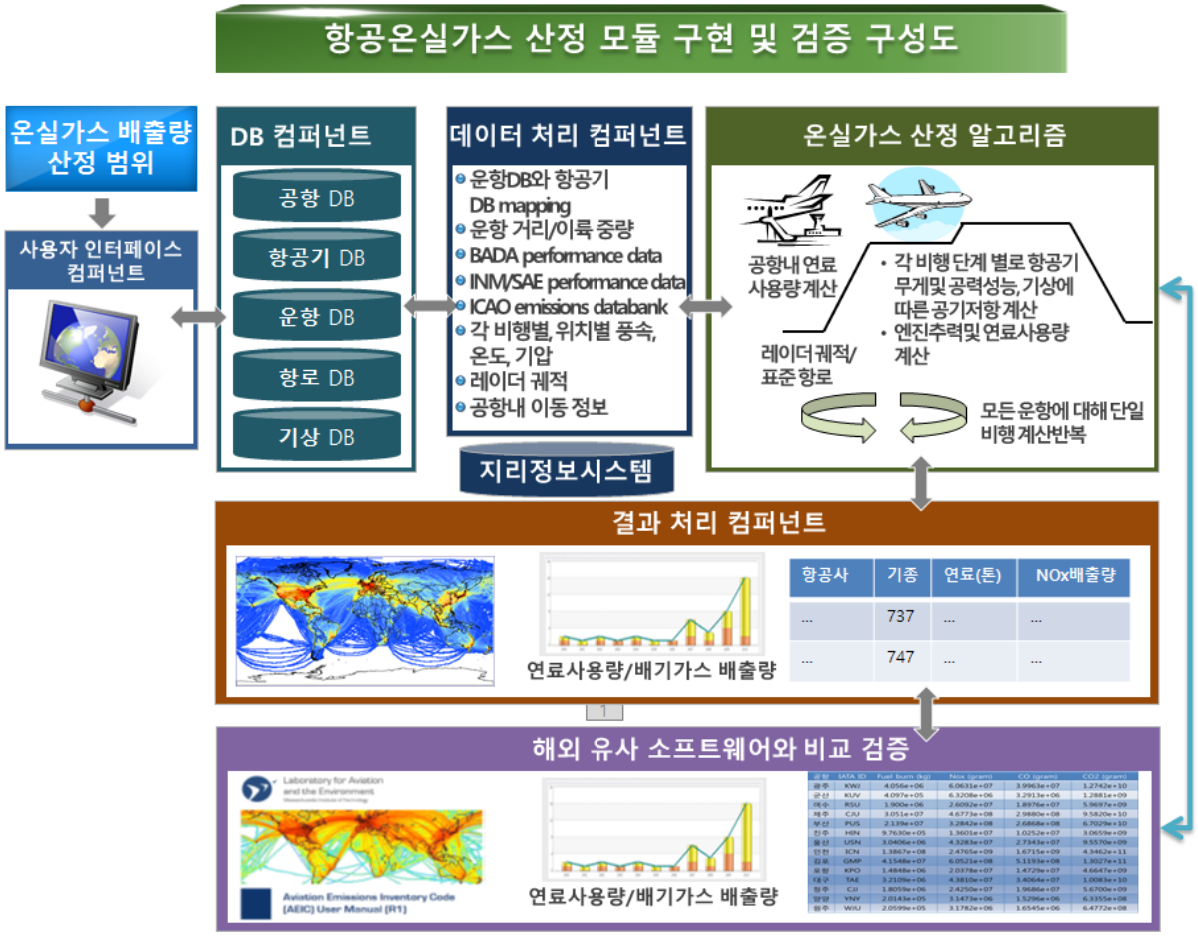


그림 10 항공 온실가스 감축량 산정 모듈 구현 및 검증 구성도

마. 서브시스템별 내용 및 특징 (WBS)

1) 항공 온실가스 산정 모듈 구현

가) 사용자 인터페이스 컴퍼넌트

○ GUI상에서 사용자가 온실가스 산정을 위한 분석의 범위, 스터디 설정 세팅을

위한 컴퍼넌트로 다음과 같은 기능을 담당하는 창으로 구성됨

○ 해석을 하고자하는 운항 스케줄을 불러들이거나 직접 정의하는 창

- 불러들인 운항 스케줄에서 각종 필터를 적용하여 특정 항공사, 기종, 노선, 시간, 국가 등의 연구 범위를 설정할 수 있음
- 운항 스케줄을 GUI에서 사용자가 정의할 때는 이/착륙 공항 및 항공기 기종을 지정하여야 함

○ 항공 온실가스 배출 Equipment DB (항공기/엔진 및 지상 조업 차량 등)에서 해석에 필요한 목록을 설정하는 창

- 필터를 사용하여 Fleet DB 혹은 Equipment DB의 목록에서 필요한 항공기와 지상조업 장비를 선택하고 운항 스케쥴에 지정하여 연결함
- 불러들인 항공기/엔진 성능을 사용자가 변경할 수 있는 창이 있어 세그먼트별 혹은 전체 성능을 조정할 수 있음

○ 공항을 지정하고 변경할 수 있는 창

- 온실가스 분석에 포함시키고자 하는 공항을 설정할 수 있는 창으로 공항 DB에서 필터를 적용하여 공항 목록 지정 가능
- 사용자가 새로운 공항을 지정하는 것이 가능하며 공항의 위치 정보(위도, 경도, 고도)를 입력하여야 함

○ 임무형상(Mission Profile)을 지정하고 변경할 수 있는 창

- 표준 프로파일을 사용하는 경우, 기본으로 설정된 값 외에 사용자가 변경할 수 있는 옵션이 있어 항공기 승객/화물 탑재량, 순항고도, 순항 속도, reserve mission rule 등을 변경할 수 있음
- 또는 레이더 추적 데이터를 불러들여서 사용함

○ 비행 경로를 지정하고 변경할 수 있는 창

- 두 공항간의 항공기 이동 경로(ground track)를 지정하는 창으로 기본 옵션으로는 great circle track을 사용함
- 사용자가 GUI 상에서 node를 추가할 수 있도록 함
- 또는 레이더 추적 데이터를 불러들여서 사용함

○ 날씨를 설정하는 창

- 기본적으로 평균 날씨를 사용하도록 설정을 할 수 있으며 사용자가 임의로

바람, 온도 등을 변경할 수 있음

- 운항 DB에 연결이 되는 실제 날씨 데이터가 있는 경우 불러들여서 사용할 수 있음

○ 시나리오 설정 창

- 각각의 스터디를 하나의 시나리오로 저장하여 스터디간의 비교 분석을 가능하게 해 줌

- 예를 들어 시나리오 1과 시나리오 2에서는 모든 조건은 동일하되 날씨만 다르게 설정하여 날씨의 변화가 온실가스 배출에 미치는 영향을 비교할 수 있음

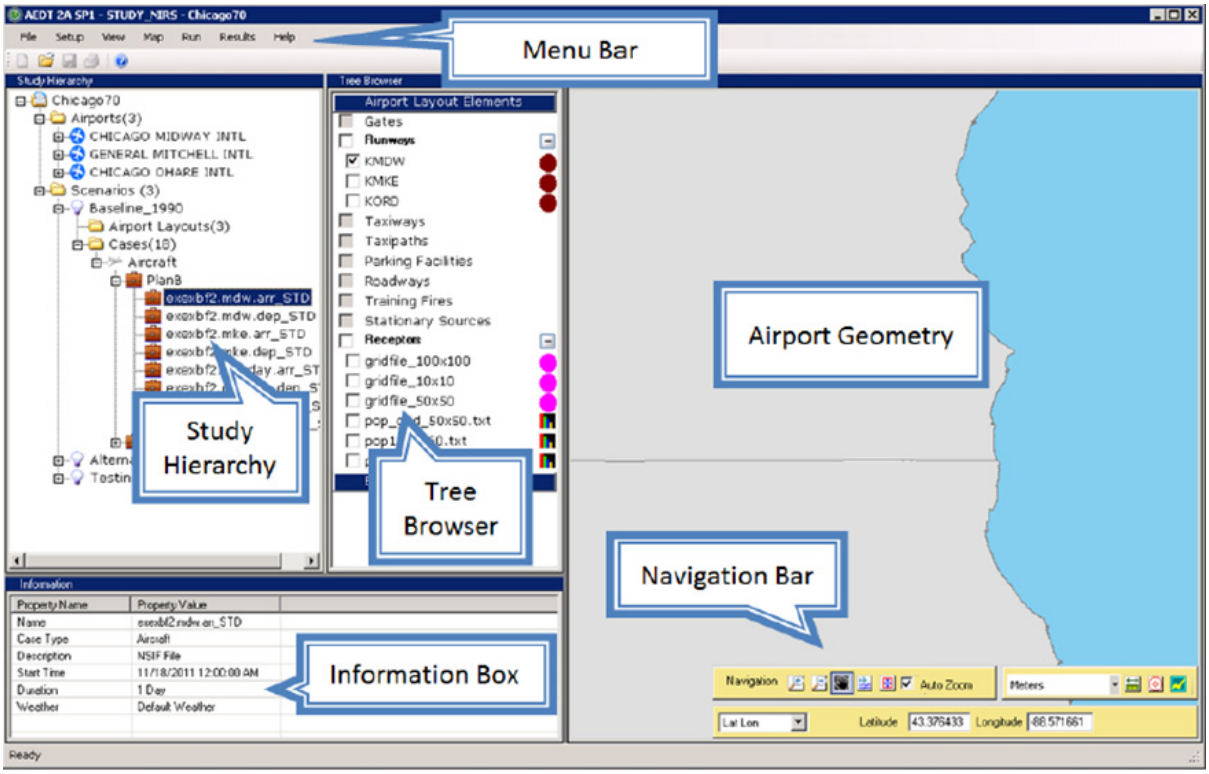


그림 11 사용자 입력창 컴퍼넌트 예: AEDT2a GUI 창

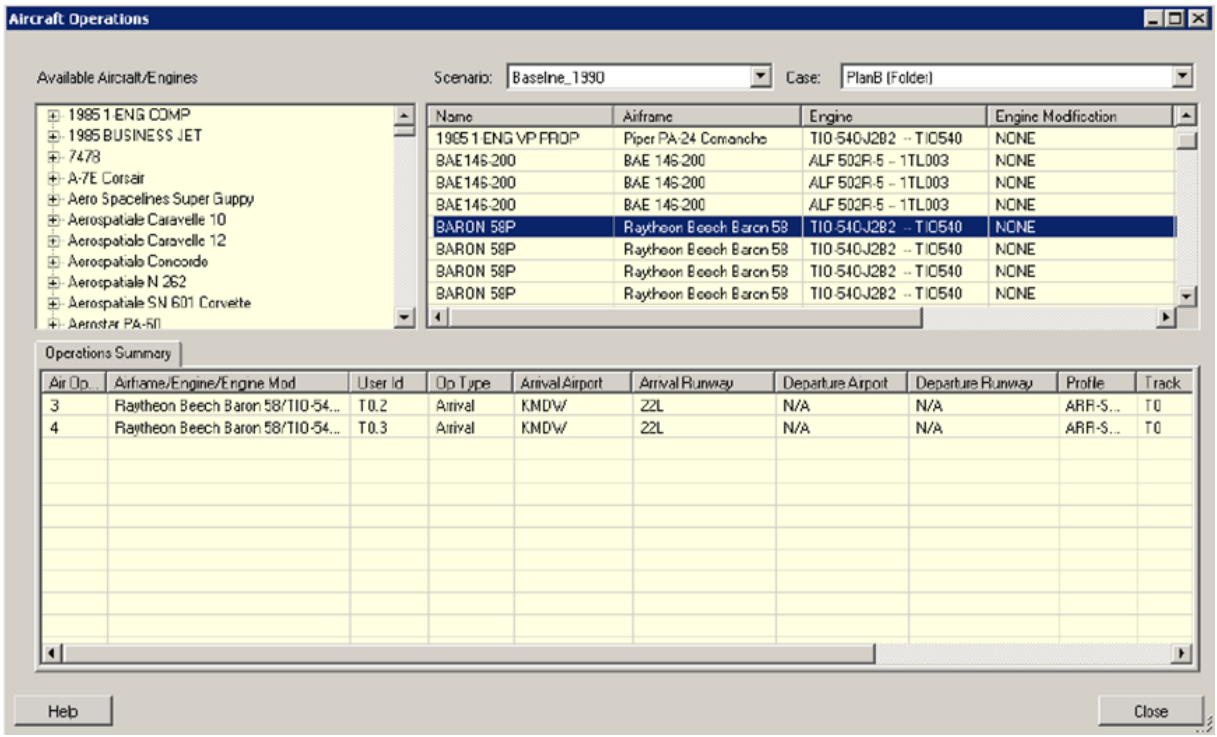


그림 12 운항 스케줄을 불러들이거나 직접 정의하는 창

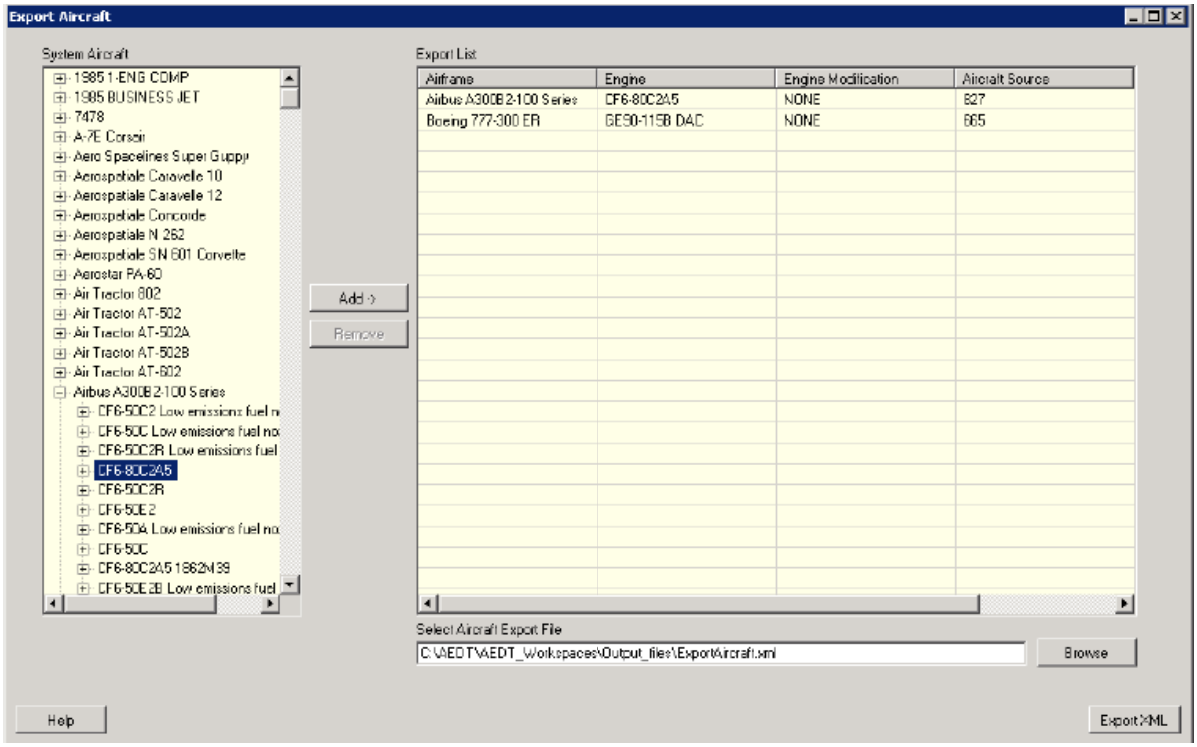


그림 13 공항을 지정하고 변경할 수 있는 창

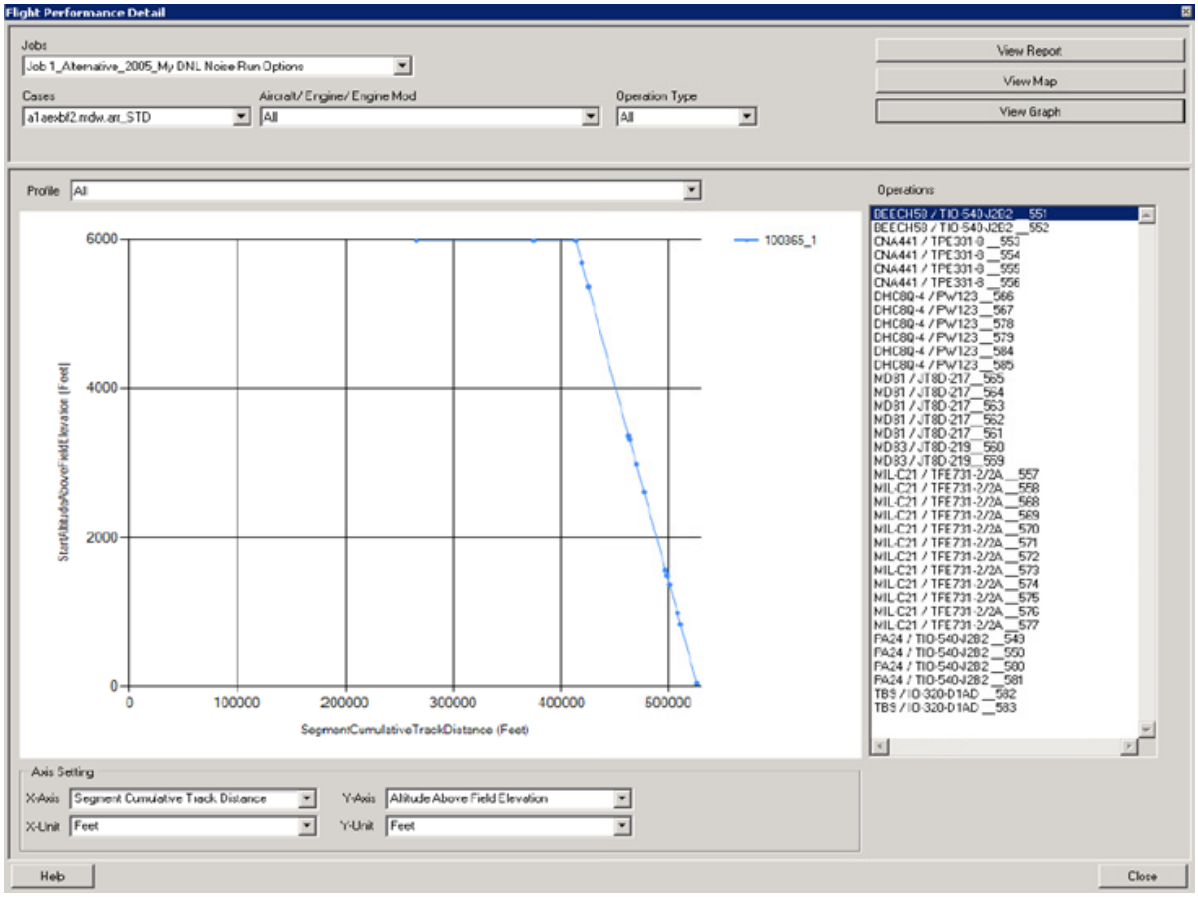


그림 14 임무형상(Mission Profile)을 지정하고 변경할 수 있는 창

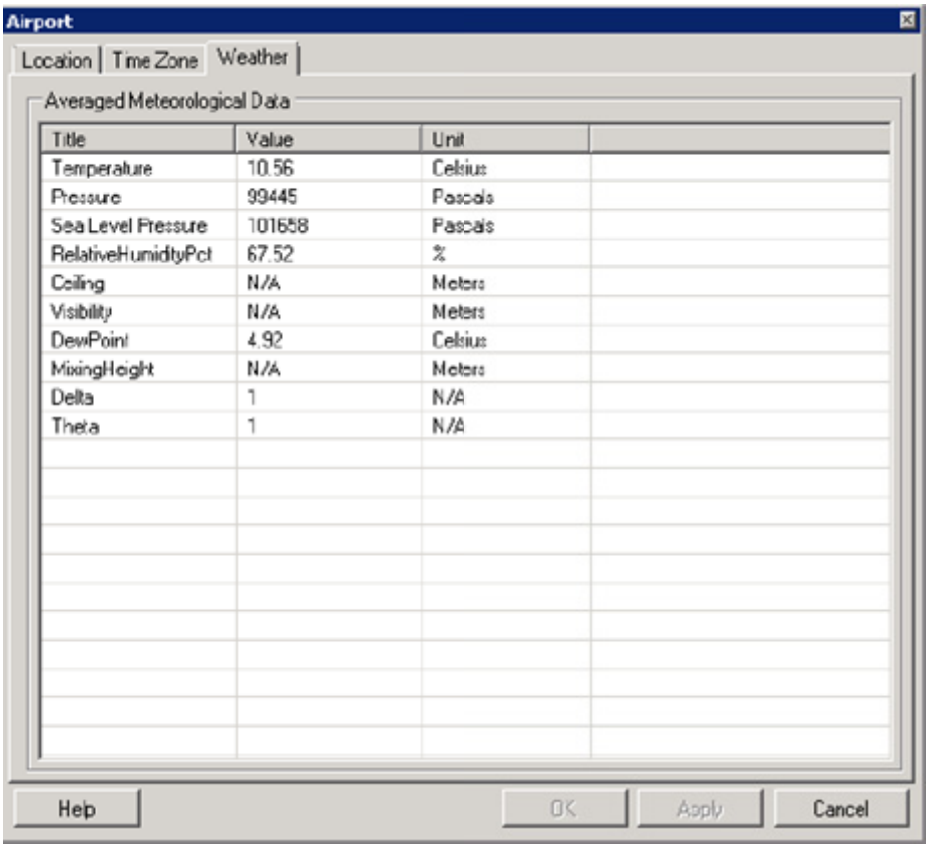


그림 15 날씨를 설정하는 창

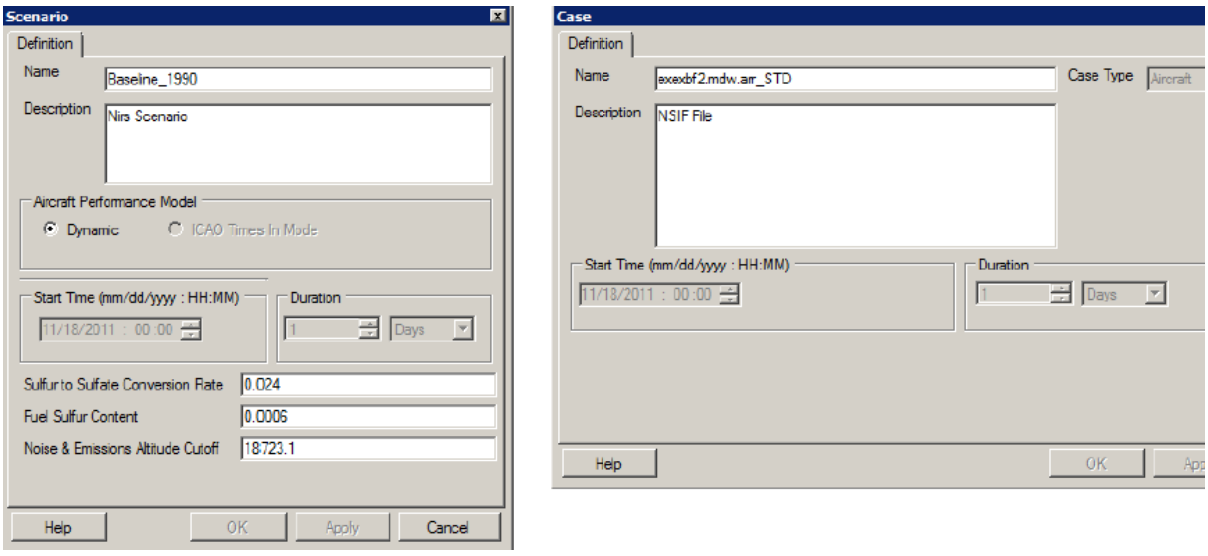


그림 16 시나리오 설정 창

나) DB 서버시스템 컴퍼넌트

○ 모듈을 사용하기 위한 공항, 항공기, 운항, 항로, 기상 DB 등을 포함하고 있는 컴퍼넌트로서 각 컴퍼넌트에서 포함하고 있는 내용은 다음과 같음

- 공항DB : 우리나라를 포함한 전세계에 운영하는 공항에 대한 DB가 포함되어있으며, 공항의 대표적인 내용은 활주로 좌표, 활주로 길이, 활주로 경사, 유도로, 주기장 등 공항의 모든 자료를 포함함
- 항공기DB : 상업용 항공기의 성능데이터는 포함하고 있는 DB로서 항공기의 특성에 대한 내용이 포함되어있음. 특히 항공기별 장착되는 엔진에 대한 사양이 포함되어있으므로, 온실가스 산정시 매우 중요한 요소로 작용함
- 운항DB : 항공기가 시간에 따라 운항한 항적위치가 저장되는 DB이며, 운항DB는 항공기의 위경도 위치, 고도, 속도, 항공기 등록기호, 항공기 callsign 등의 자료를 포함함
- 항로DB : 전세계 항공로 및 픽스, SID/STAR/APP 정보를 포함하고 있는 DB로서 표준궤적을 이용한 분석에서 사용됨
- 기상DB : 항공기의 온실가스량 산정시 고려하는 환경요소로서 이용하며, 전세계 공항 및 고도별 기상정보를 포함함

다) 데이터 처리 컴퍼넌트

○ 항공온실가스 산정 및 예측 시스템의 DB서버 시스템에서 온실가스 산정에 필요한 데이터를 추출하여 각 모듈에 맞는 형태로 변환하여 저장함

○ 온실가스 산정 결과를 저장하여 결과 처리 컴퍼넌트에 필요한 데이터를 공급함

라) 항공 온실가스 산정 알고리즘 컴퍼넌트

○ 과학원에서 작성한 ‘항공온실가스 산정 알고리즘’ 운영 개념 기술서 참조

마) 항공 온실가스 산정 결과 처리 컴퍼넌트

○ 온실가스 산정 결과 처리 컴퍼넌트는 GUI상에서 사용자가 지정한 범위의 스터디의 결과를 보여주며 다음과 같은 기능이 있음

○ 단일 비행 결과 출력 창

- 사용자가 선택한 운항에 대해 항공기 운항 경로(ground track)와 비행 경로(flight track)를 보여 줌
- 운항 세그먼트별로 상세한 항공기 성능 값(무게, 추력, 연료 흐름, 연료소모량, 속도, 고도, 위도, 경도 등)을 테이블로 보여주며 엑셀 파일로 export할 수 있게 함

○ Fleet 단위 결과 출력 창

- 거시적인 결과를 출력하는 기능이 있어 항공사별, 지역별, 항공기 기종별로 분류하여 데이블을 생성하고 각종 그래프 생성
- 배출권거래제, 자발적 협약, 국가 이행계획 수립을 위하여 감축 주체별(예, 항공사 혹은 국가)로 온실가스 산정량을 보여줌
- 사용자가 설정한 여러 가지 온실가스 산정 시나리오별 절대적/상대적 온실가스 배출량 차이를 보여 줌

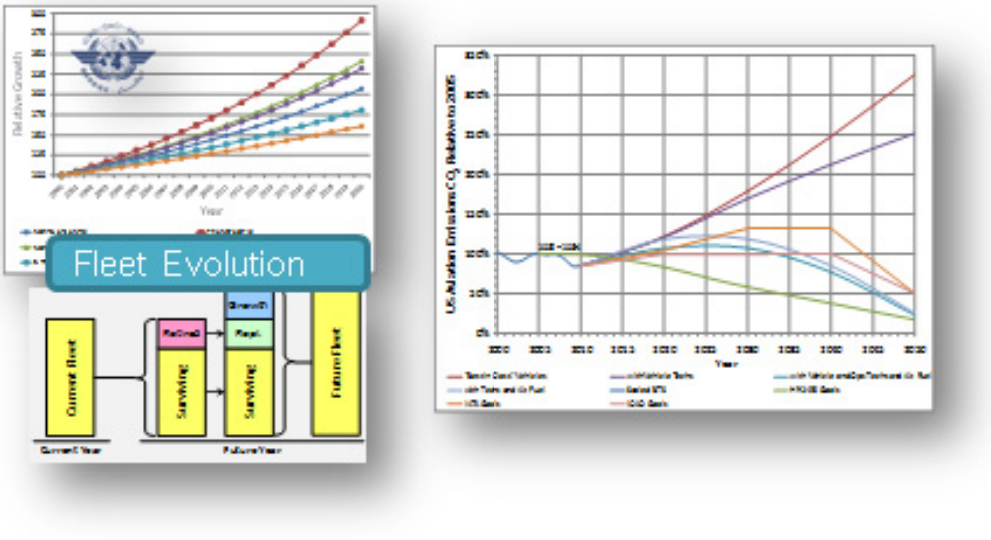


그림 17 Fleet 단위 결과 출력 창

○ GIS 출력 창

- GIS시스템과 연동하여 온실가스 배출량을 항로별 기간별로 지도위에 표시해 줌

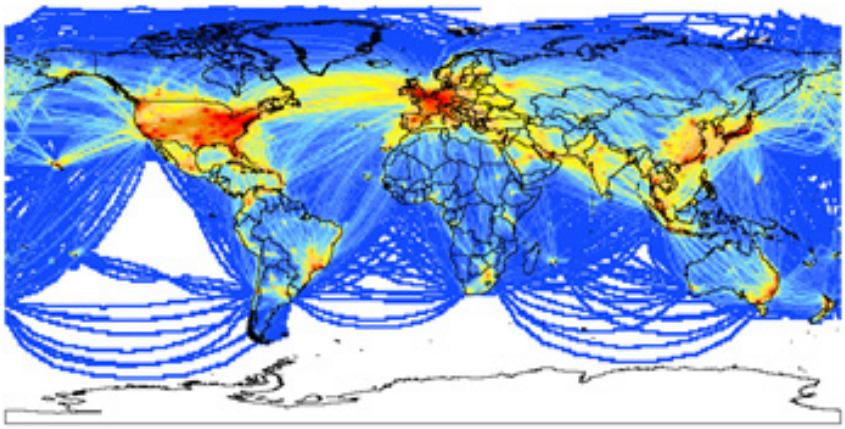


그림 18 GIS 출력 창

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

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

○ AEDT2a Mapping

- 여러 항공기와 엔진 DB를 AEDT2a의 입력 파일인 ASIF(AEDT Standard Input File)에 맞도록 서로 Mapping하여 정리하였다.

[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

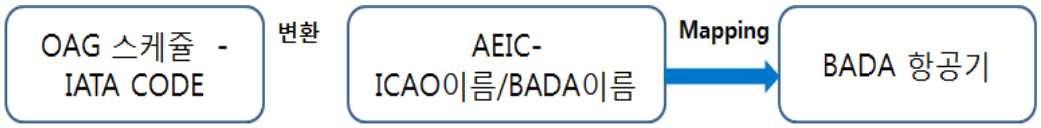
[FLEET].[dbo].[FLT_ACTYPE_CORRECTION]	
# Entry	180
FROM_AC	TO_AC
A300	A306
A36	PA36
AA5A	AA5
AA5B	AA5
AC12	AC11
AC14	AC11
AC21	AC11
AC69	AC90
AC6T	AC80
AJ25	ASTR
AN4	AN12
AT38	T38
AT42	AT43
AV8	HAR
B109	B190
B19	B190
B200	BE20
B206	B06
B32	JS32
B58	BE58
B58P	BE58
B707	B703
B717	B712
B727	B722
B72Q	B722
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 19 AEDT2a의 Fleet DB의 여러 항공기와 엔진 Mapping

○ AEIC Mapping

- OAG운항 스케쥴에 있는 IATA CODE를 AEIC의 ICAO와 BADA 이름과 매핑하여 AEIC의 BADA 항공기 모델에 사용할 수 있도록 하였다.



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 20 IATA CODE 별로 ICAO Engine Emission Data Bank의 엔진과 Mapping

나) 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 정리하였다. 또한 이들 데이터를 상세 field로 분류하여 아래에 표로 표시하였다.

표 2 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 3 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 4 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 5 Operation Data example

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

표 6 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 7 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 8 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 9 Detailed Mission Data example (3)

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

표 10 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 11 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 12 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?

다) 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 확보하였다.

○ 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)

(1) 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템에 필요한 DB 조사

○ OAG

- OAG운항 스케
- "Official Airline Guide"
- www.oag.com
- 항공 스케쥴
  - · 전세계 운항 스케줄
  - · 월별/일별로 업데이트
  - · 월간 $879 이용료가 필요
  - · ICAO/IATA 항공기/항공 데이터
- 분석기능 또한 판매

○ ACAS

- http://www.flightglobal.com/products/acas/
- 항공기 데이터베이스

· 총 130,000 기종의 항공기에 관한 데이터 보유

· 시간별, 주기별, 유지보수 상태를 표시

· 내부 레이아웃 표시

· 소유주, Operator, 임차 계약과 융자에 관한 정보 표시

○ BTS

- Bureau of Transportation Station(교통 통계국)
- http://transtats.bts.gov/
- Aviation:
  http://transtats.bts.gov/databases.asp?Mode_ID=1&Mode_Desc=Aviation&Subject_ID2=0
- Form 41 : 필수 항공 통계는 미국 DOT에 보고
- US(국내/도착/출발만 이용가능)
- Form 41 금융정보
  http://transtats.bts.gov/Tables.asp?DB_ID=135&DB_Name=Air%20Carrier%20Financial%20Reports%20%28Form%2041%20Financial%20Data%29&DB_Short_Name=Air%20Carrier%20Financial (운영 비용, 대차 대조표, 기체 및 엔진 지고표, 연료 판매)
- Form 41 T100
  http://transtats.bts.gov/Tables.asp?DB_ID=111&DB_Name=Air%20Carrier%20Statistics%20%28Form%2041%20Traffic%29-%20All%20Carriers&DB_Short_Name=Air%20Carriers
- 월별 합계

  · 시장, 세그먼트
- OTP (On-Time Performance)
  http://transtats.bts.gov/Fields.asp?Table_ID=236
- 일정세분화(Gate/Funway/Wheels on/off) Airline/Tail number 이용
- DB1B
- 10% 의 샘플 티켓에 관한 데이터 베이스
- “0”으로 끝나는 모든 티켓이 포함됨

- 쿠폰, 티켓, 마켓, 자세한 여행일정, 결제, 지불방법 등에 대한 DB: http://transtats.bts.gov/Tables.asp?DB_ID=125&DB_Name=Airline%20Origin%20and%20Destination%20Survey%20%28DB1B%29&DB_Short_Name=Origin%20and%20Destination%20Survey
- 1995 미국 교통수단에 관한 조사: http://transtats.bts.gov/Tables.asp?DB_ID=505&DB_Name=American%20Travel%20Survey%20%28ATS%29%201995&DB_Short_Name=ATS
- 다른 환경(수단, 비용, 시간소모)에 대해 운항을 선택할 수 있는 상세한 예제

○ FAA Registry

- http://registry.faa.gov/aircraftinquiry/
- 미국 항공기 전체에 대해 등록된 데이터베이스
- Tail number에 관한 열람 허용
- Owner details

○ ANP

- Aircraft Noise Performance Database
- http://www.aircraftnoisemodel.org/
- 무료 등록
- 항공기 모델별 성능과 소음에 관한 계수와 문서
- ECAC Doc 29 3rd Edition and SAE Air 1845 참조

○ BADA 3

- Base of Aircraft Data
  - · 공역 분석을 위해 제조사가 제공한 성능모델
  - · https://www.eurocontrol.int/services/bada
  - · 사용자 설명서(User guide)와 샘플이 무료 제공
  - · License: http://badaext.eurocontrol.fr/

○ BADA 4

- Base of Aircraft Data

· 공역 분석을 위해 제조사가 제공한 성능모델

· https://www.eurocontrol.int/services/bada

· 유저 가이드와 샘플이 무료제공

· License: http://badaext.eurocontrol.fr/

· BADA 3보다 정확도가 높음

○ ICAO EEDB

- 엔진 배출량 Databank
- https://easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank
- NOx, CO, HC, smoke에 대한 4개의 throttle 설정을 위한 ground level의 static 엔진 테스트 결과 포함

○ ETMS

- Enhanced Traffic Management System
- http://hf.tc.faa.gov/projects/etms.htm
- 미국의 레이더 데이터
- FAA와 데이터 계약이 필요

○ ETFMS

- European Radar data
- 인터넷에서 관련된 정보를 찾기 어려움
- EUROCONTROL/ European Air Nav Providers 와의 데이터 계약이 필요

○ IEA/EIA

- 에너지와 연료정보 데이터베이스
- 가격과 연료량에 대한 연도별 정리
- 이를 분석해 미래의 가격 및 연료량에 관한 시나리오 예측
- http://www.eia.gov/
- http://www.iea.org/

○ Flight Aware

- http://flightaware.com/

- 실시간 비행 궤적
- ASD-B 출력 데이터
  · 지상궤적(Ground Track), 속도, 고도
- 접근이 제한됨
- 구매를 위해 완벽한 API 액세스 필요

(2) 2010년 OAG Data 구매

○ 2010년 국내 모든 공항의 출도착 운항정보(해외 항공사 포함)

○ 국적항공사의 모든 해외 운항정보(대한항공, 아시아나항공, 제주항공, 진에어, 에어부산, 이스타항공, 티웨이항공)

○ 2010 Flight Schedules of flights of 7 named Korean carriers World-World (291,617줄의 방대한 데이터임)

3) 항공 온실가스 산정 모듈 검증

가) 온실가스 배출량 산정모듈 검증 계획(1단계)

(1) 검증 Test Case

(가) OAG 2010년 데이터를 분석하여 국적 항공사들의 대표적인 노선/항공기 조합 10-20개를 선정

○ 2010년 국내 모든 공항의 출도착 운항정보(해외 항공사 포함)

○ 국적항공사의 모든 해외 운항정보(대한항공, 아시아나항공, 제주항공, 진에어, 에어부산, 이스타항공, 티웨이항공)

○ 2010 Flight Schedules of flights of 7 named Korean carriers World-World (291,617줄의 방대한 데이터임)

표 13 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 14 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 15 2010 Flight Schedules of flights of 7 named Korean carriers World-World(3)

SpecificAcft	MaxTakeOffWeight	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

표 16 2010 Flight Schedules of all flights(1)

Carrier 1	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 17 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 18 2010 Flight Schedules of all flights(3)

MaxTakeOff Weight	DistKm	DepIATACtry	ArrIATACtry	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

(나) 과학원 알고리즘과 AEDT2b로 선정된 노선/항공기 조합에 대한 배기가스 분석

○ AEDT2b가 2015년 5월 29일에 출시되었으며 AEDT2b는 AEDT2a와 GUI 뿐만 아니라 input file인 ASIF(AEDT Standard Input File)을 작성하여 AEDT2b를 구동하여 배기가스 분석을 수행한다. 또한 착수회의 때 지적 받은 AEDT2a 이외의 다른 소프트웨어와의 비교분석을 위해서 AEIC와 Piano-X를 확보하여 온실가스를 산정한다. 과학원 알고리즘에 대해서도 AEDT2b와 동일한 배기가스 분석을 2차년도에 수행할 예정이다.

(다) 표준항적(great circle track)을 사용

○ LTO 운항은 3000ft이하의 운항을 의미함, Non-LTO는 3000ft 이상을 의미함, OAG(Official Airline Guide)라는 항공운송정보 제공회사의 2005년 비행운항 data이용, 검증 시에는 2010년 데이터를 사용할 예정임

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

○ AEIC에서의 Raw data를 모두 가공하여 공항별로 Matlab structure를 구성

○ 아래 그림들과 같은 공항정보와 항공기 운항 스케쥴(OAG data), 즉 모든 출·도착 정보를 이착륙 시(LTO)의 입력값으로 사용한다. 이러한 입력값에 대해 AEIC내에 있는 이론적인 계산식을 사용하여 우리가 원하는 공항에서의 이착륙 시 항공기 온실가스 배출량을 산정한다.

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 21 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 22 공항별 Converted data format

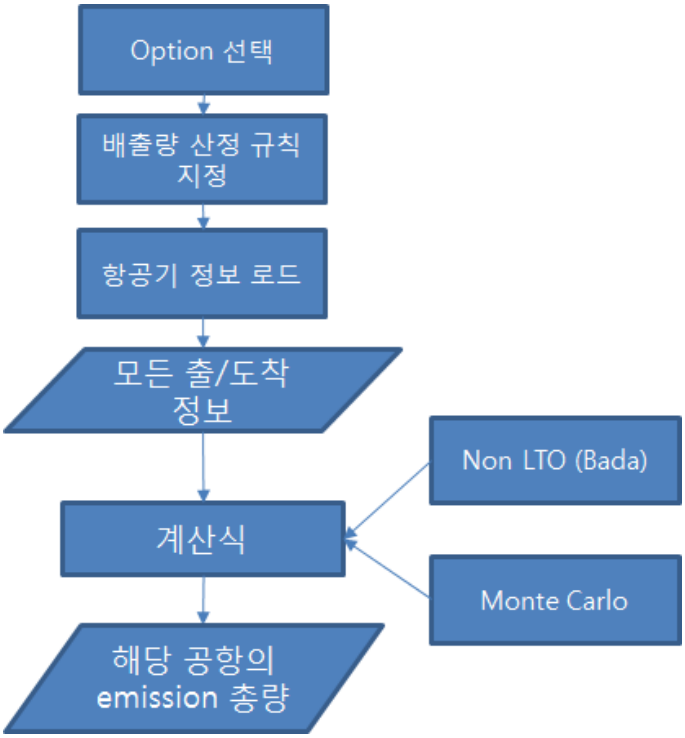


그림 23 산정 프로그램 계산 흐름도

(라) 표준대기 가정

○ 과학원 개발 알고리즘은 주어진 지역 혹은 고도에서 측정 가능한 온도, 압력 등의 열역학적인 특성을 이용하여 항공기의 고도나 또 다른 열역학적인 특성 값을 구하는 모듈이 있으나 검증에서는 ISA 표준대기를 가정하여 검증한다.

(마) 동일한 승객/화물 무게 가정

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

○ B737-800과 B777-200ER은 대한항공의 단거리와 장거리 비행에 가장 많이 사용되는 대표기종이다.

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

(바) 과학원 알고리즘과 AEDT2b, 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

(2) 검증 합격 기준

○ 각 노선/항공기 조합 별로 단일 운항별 배기가스 배출량이 AEDT와 비교해서 5% 이내에 들어야 함

○ 단일 비행에 대해 Taxi, Take-off, Climb, Cruise 등 각 비행단계에 대해서도 5% 이내에 들어야 함

○ SA, STA, LTA 등 항공기 대표 기종에 대해서도 5% 이내에 들어야 함.

나) 온실가스 배출량 산정모듈 검증 계획(1단계)

○ 1단계 검증이 완료된 후 2단계 검증은 가) 거시적 검증, 나) 레이더 데이터를 활용한 검증으로 실시함

(가) 거시적 검증

○ 검증 Test

- OAG 2010년 데이터를 분석하여 국적 항공사들의 모든 국내/국외 운항 추출
- AEDT2b 로 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

(나) 레이더 운항 데이터를 이용한 검증

○ 검증 Test Case

- 정밀한 레이더 트랙, 날씨, 항공기 무게 등의 데이터를 구할 수 있는 항공기/노선 선정
- AEDT2b 와 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

바. 시스템간 교환자료 목록(IER)

○ 시스템간 교환자료 목록은 아래표와 같다.

표 19 시스템간 교환자료 목록

목록	From	To	비고
해석을 하고자하는 운항 스케줄	사용자 인터페이스 컴퍼넌트	DB 서버시스템 컴퍼넌트	
항공 온실가스 배출 Equipment DB (항공기/엔진 및 지상 조업 차량 등)에서 해석에 필요한 목록	사용자 인터페이스 컴퍼넌트	DB 서버시스템 컴퍼넌트	
공항 지정	사용자 입력 컴퍼넌트	DB 서버시스템 컴퍼넌트	
임무형상(Mission Profile) 지정	사용자 입력 컴퍼넌트	DB 서버시스템 컴퍼넌트	
날씨 설정	사용자 입력 컴퍼넌트	DB 서버시스템 컴퍼넌트	
시나리오 설정	사용자 입력 컴퍼넌트	DB 서버시스템 컴퍼넌트	
공항 DB	DB 서버시스템 컴퍼넌트	데이터 처리 컴퍼넌트	
항공기DB	DB 서버시스템 컴퍼넌트	데이터 처리 컴퍼넌트	
운항 DB	DB 서버시스템 컴퍼넌트	데이터 처리 컴퍼넌트	
항로 DB	DB 서버시스템 컴퍼넌트	데이터 처리 컴퍼넌트	
기상 DB	DB 서버시스템 컴퍼넌트	데이터 처리 컴퍼넌트	
DB	데이터 처리 컴퍼넌트	알고리즘 컴퍼넌트	
온실가스 산정 결과(단일 비행 결과 출력 창,	알고리즘 컴퍼넌트	산정 결과 처리 컴퍼넌트	

Fleet 단위 결과 출력 창, GIS 출력 창)			

4. 목표시스템 운영 시나리오

가. 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증

1) 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 시나리오 구성도

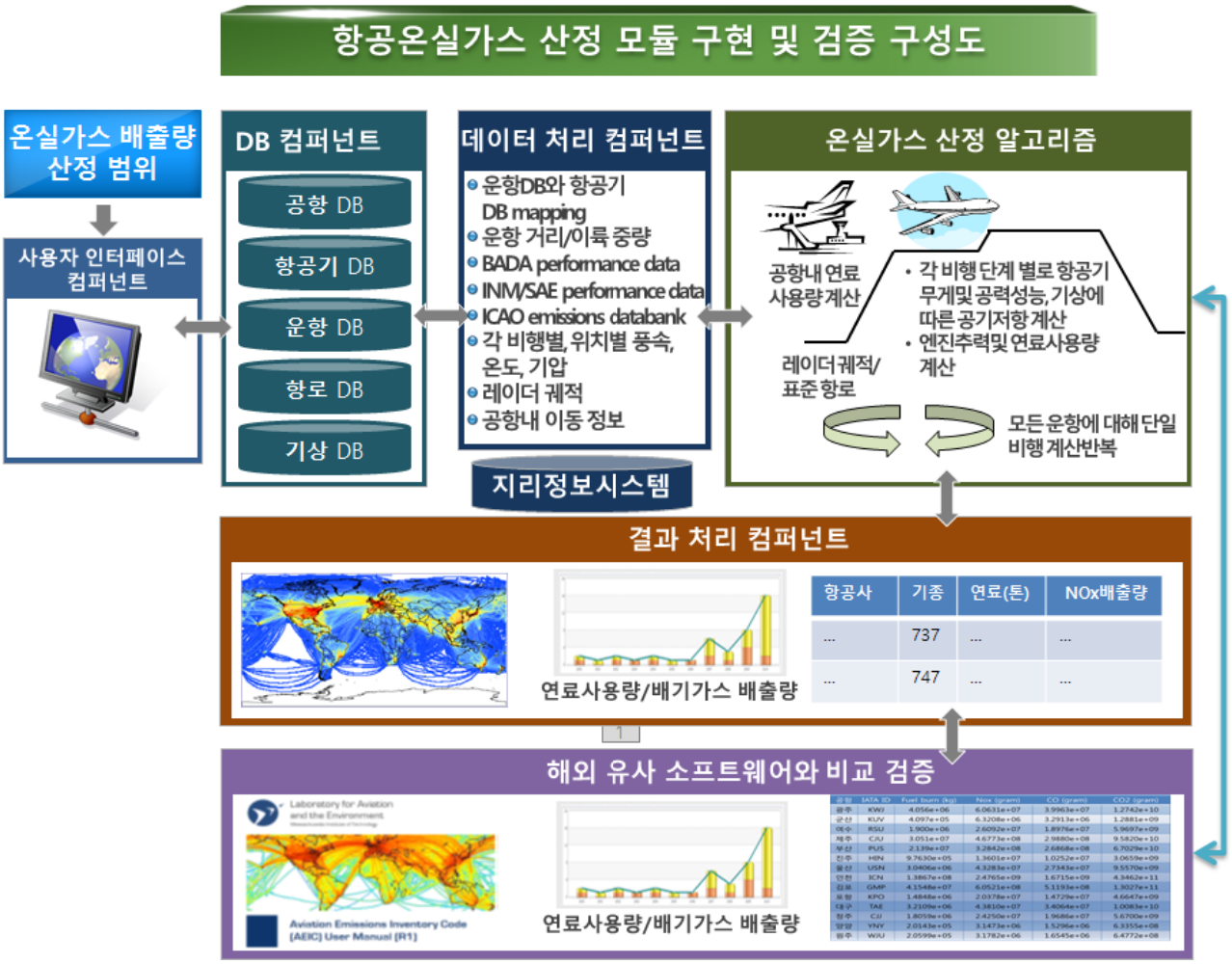
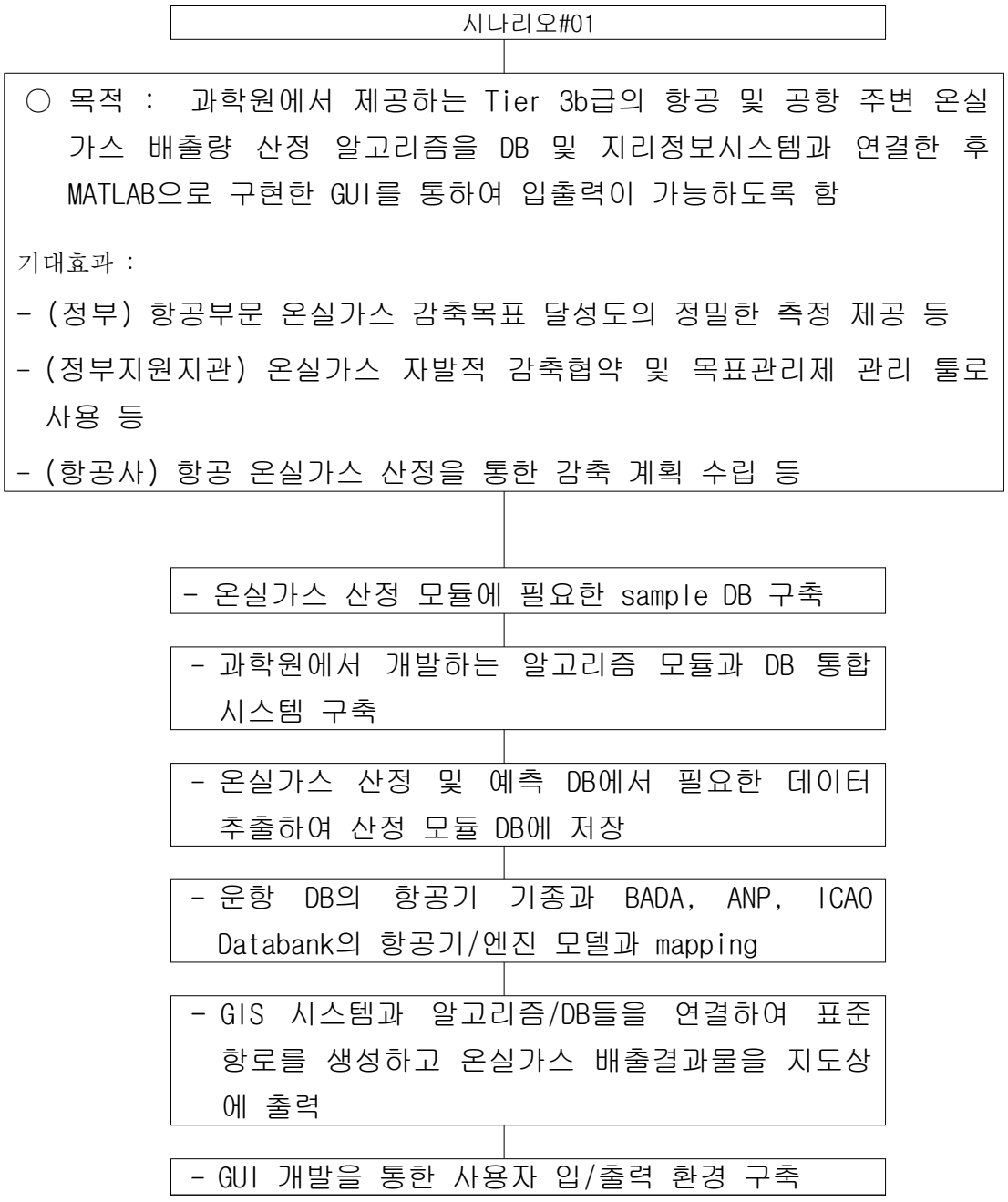


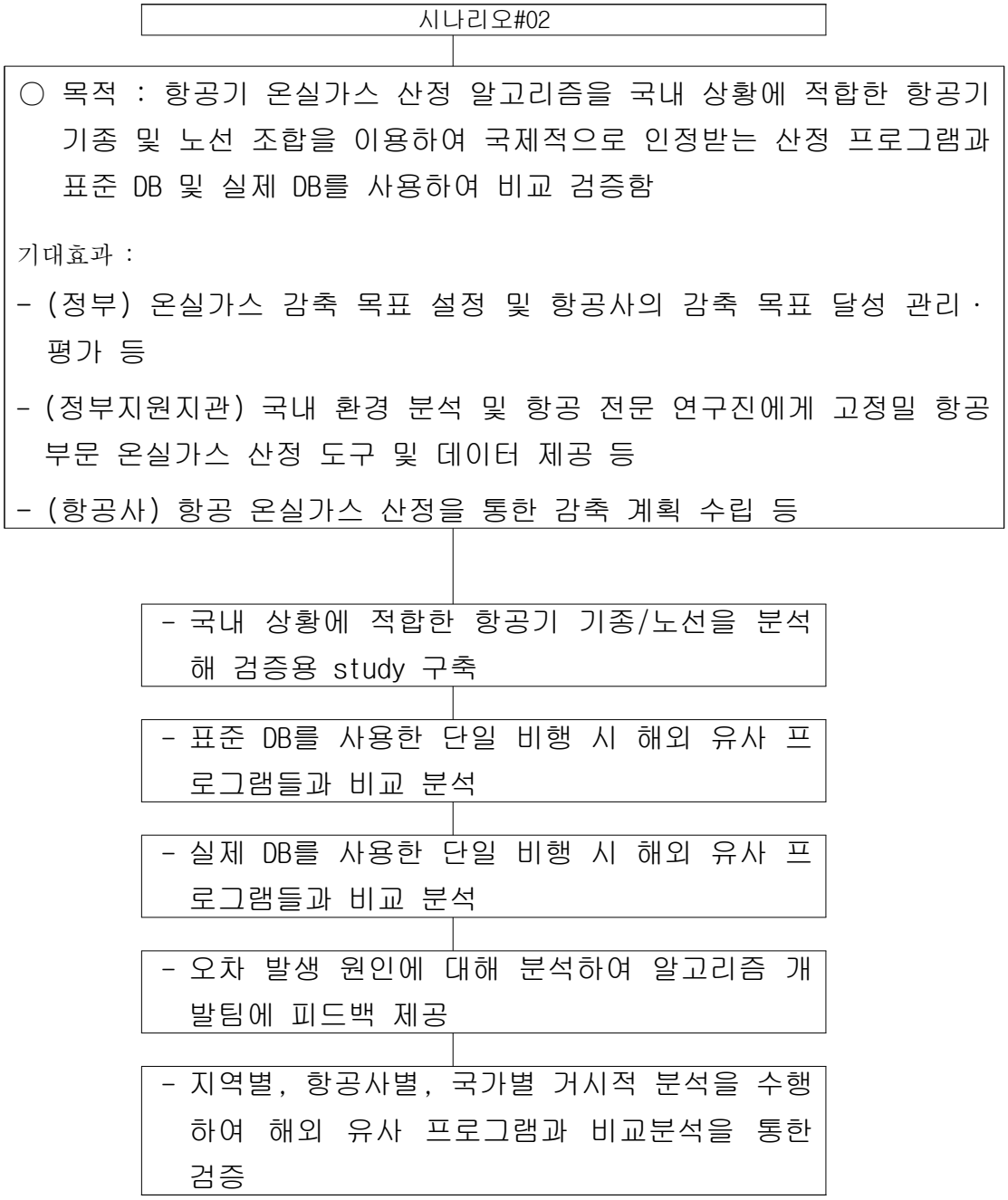
그림 24 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 구성도

2) 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 적용

○ 시나리오1 : 항공 온실가스 산정 모듈 구현



○ 시나리오2 : 항공 온실가스 산정 모듈 검증



3) 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 운영 흐름도

구분	단계별 내용	세부내용	비고
1	- sample DB 구축	sample DB - 모듈을 사용하기 위한 공항, 항공기, 운항, 항로, 기상 DB 등의 sample DB 구축	
2	- DB 데이터 mapping	DB 데이터 가공 - 운항 DB의 항공기 기종과 BADA, ANP, ICAO Databank의 항공기/엔진 모델과 mapping	
3	- 알고리즘과 DB, GIS 시스템 연결	DB 및 GIS와의 연동 - 항공온실가스 산정 및 예측 시스템의 DB서버 시스템에서 필요한 데이터를 추출하여 온실가스 산정 알고리즘과 연결 - GIS시스템과 연동하여 온실가스 배출량을 항로별 기간별로 지도위에 표시	
4	- GUI 개발	사용자 인터페이스 개발 - GUI 개발을 통한 사용자 입/출력 환경 구축 • 운항 스케줄을 불러들이거나 직접 정의하는 창 • 항공 온실가스 배출 Equipment DB에서 해석에 필요한 목록을 설정하는 창 등	
5	- 국내 상황에 적합한 검증용 study 구축	검증용 Study 구축 - 국적 항공사의 국내외 운항 스케줄에서 각종 필터를 적용하여 특정 항공사, 기종, 노선, 시간, 국가 등의 연구 범위를 설정 - 항공기 승객/화물 탑재량, 순항고도, 순항 속도, reserve mission rule 등을 설정 - 각각의 study를 하나의 시나리오로 저장하여 study 간의 비교 분석	
6	- 표준 DB/실제 DB를 사용한 해외 유사 프로그램들과 검증을 위한 비교 분석	해외 유사 프로그램과 비교 분석 - 표준 DB/실제DB를 사용한 단일 비행 시 해외 유사 프로그램들(AEDT2b, AEIC, Piano-X)과 온실가스 배출량 산정값 비교 분석 - 지역별, 항공사별, 국가별 거시적 분석을 수행하여 해외 유사 프로그램들(AEDT2b, AEIC, Piano-X)과 비교분석	
7	- 오차 발생 원인 분석 및 개발팀에 피드백	오차 원인 분석 및 feedback - 해외 유사 프로그램들(AEDT2b, AEIC, Piano-X)과 온실가스 배출량 산정값 오차의 원인을 찾아 과학원 알고리즘 개발팀에 feedback	

○ 1단계

- 온실가스 산정 모듈을 사용하기 위한 공항, 항공기, 운항, 항로, 기상 DB 등을 포함하는 sample DB 구축

  • 공항 sample DB : 우리나라를 포함한 전세계에 운영하는 공항에 대한 sample DB로 공항의 대표적인 내용은 활주로 좌표, 활주로 길이, 활주로 경사, 유도로, 주기장 등 공항의 모든 자료를 포함함

  • 항공기 sample DB : 상업용 항공기의 성능데이터는 포함하고 있는 sample DB로 항공기의 특성에 대한 내용이 포함되어있음. 특히 항공기별 장착되는 엔진에 대한 사양이 포함되어있으므로, 온실가스 산정시 매우 중요한 요소로 작용함

  • 운항 sample DB : 항공기가 시간에 따라 운항한 항적위치가 저장되는 sample DB이며, 운항 sample DB는 항공기의 위경도 위치, 고도, 속도, 항공기 등록기호, 항공기 callsign 등의 자료를 포함함

  • 항로 sample DB : 전세계 항공로 및 픽스, SID/STAR/APP 정보를 포함하고 있는 sample DB로서 표준궤적을 이용한 분석에서 사용됨

  • 기상 sample DB : 항공 온실가스 산정 시 고려하는 환경요소로서 이용하며, 전세계 공항 및 고도별 기상정보를 포함함

○ 2단계

- 항공온실가스 산정 및 예측 시스템의 DB서버 시스템에서 온실가스 산정에 필요한 데이터를 추출하여 각 모듈에 맞는 형태로 변환하여 저장함

- 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

○ 3단계

- 항공온실가스 산정 및 예측 시스템의 DB서버 시스템에서 필요한 데이터를 추출하여 온실가스 산정 알고리즘과 연결

- 온실가스 배출량을 항로별 기간별로 GIS시스템과 연동하여 지도위에 표시해 줌

○ 4단계

- 사용자가 온실가스 산정을 위한 분석의 범위, 스터디 설정 세팅을 위한

GUI 개발은 다음과 같은 기능을 담당하는 GUI로 구성됨

- 해석을 하고자하는 운항 스케줄을 불러들이거나 직접 정의하는 GUI
  - 불러들인 운항 스케줄에서 각종 필터를 적용하여 특정 항공사, 기종, 노선, 시간, 국가 등의 연구 범위를 설정할 수 있음
  - 운항 스케줄을 GUI에서 사용자가 정의할 때는 이/착륙 공항 및 항공기 기종을 지정하여야 함
- 항공 온실가스 배출 Equipment DB (항공기/엔진 및 지상 조업 차량 등)에서 해석에 필요한 목록을 설정하는 GUI
  - 필터를 사용하여 Fleet DB 혹은 Equipment DB의 목록에서 필요한 항공기와 지상조업 장비를 선택하고 운항 스케쥴에 지정하여 연결함
  - 불러들인 항공기/엔진 성능을 사용자가 변경할 수 있는 창이 있어 세그먼트별 혹은 전체 성능을 조정할 수 있음
- 공항을 지정하고 변경할 수 있는 GUI
  - 온실가스 분석에 포함시키고자 하는 공항을 설정할 수 있는 창으로 공항 DB에서 필터를 적용하여 공항 목록 지정 가능
  - 사용자가 새로운 공항을 지정하는 것이 가능하며 공항의 위치 정보(위도, 경도, 고도)를 입력하여야 함
- 임무형상(Mission Profile)을 지정하고 변경할 수 있는 GUI
  - 표준 프로파일을 사용하는 경우, 기본으로 설정된 값 외에 사용자가 변경할 수 있는 옵션이 있어 항공기 승객/화물 탑재량, 순항고도, 순항 속도, reserve mission rule 등을 변경할 수 있음
  - 또는 레이더 추적 데이터를 불러들여서 사용함
- 비행 경로를 지정하고 변경할 수 있는 GUI
  - 두 공항간의 항공기 이동 경로(ground track)를 지정하는 창으로 기본 옵션으로는 great circle track을 사용함
  - 사용자가 GUI 상에서 node를 추가할 수 있도록 함
  - 또는 레이더 추적 데이터를 불러들여서 사용함
- 날씨를 설정하는 GUI
  - 기본적으로 평균 날씨를 사용하도록 설정을 할 수 있으며 사용자가 임의

로 바람, 온도 등을 변경할 수 있음

- 운항 DB에 연결이 되는 실제 날씨 데이터가 있는 경우 불러들여서 사용할 수 있음

- 시나리오 설정 GUI

- 각각의 스터디를 하나의 시나리오로 저장하여 스터디간의 비교 분석을 가능하게 해 줌
- 예를 들어 시나리오 1과 시나리오 2에서는 모든 조건은 동일하되 날씨만 다르게 설정하여 날씨의 변화가 온실가스 배출에 미치는 영향을 비교할 수 있음

○ 5단계

- 국적 항공사의 국내외 운항 스케줄에서 각종 필터를 적용하여 특정 항공사, 기종, 노선, 시간, 국가 등의 연구 범위를 설정
- 항공기 승객/화물 탑재량, 순항고도, 순항 속도, reserve mission rule 등을 설정
- 각각의 study를 하나의 시나리오로 저장하여 study간의 비교 분석하고 하나의 변수만을 변화시키면서 다른 시나리오를 구성하여 온실가스 산정

○ 6단계

- 표준 DB를 사용한 단일 비행 시 해외 유사 프로그램들(AEDT2b, AEIC, Piano-X)과 온실가스 배출량 산정값 비교 분석
  - AEDT2b가 현재 가장 신뢰성이 있으므로 AEDT2b의 결과와 우선 비교함
  - Tier 3b급 온실가스 배출량 산정을 위해서는 동일 시나리오에서 AEDT2b와 비교하여 온실가스 산정 오차가 5% 이내여야 함
- 실제 DB를 사용한 단일 비행 시 해외 유사 프로그램들(AEDT2b, AEIC, Piano-X)과 온실가스 배출량 산정값 비교 분석
  - Tier 3b급 온실가스 배출량 산정을 위해서는 동일 시나리오에서 실제 DB와 비교하여 온실가스 산정 오차가 20% 이내여야 함
- 지역별, 항공사별, 국가별 거시적 분석을 수행하여 해외 유사 프로그램들(AEDT2b, AEIC, Piano-X)의 해석 결과와 비교분석

○ 7단계

- 해외 유사 프로그램들(AEDT2b, AEIC, Piano-X)과 온실가스 배출량 산정값

오차의 원인을 찾아 과학원 알고리즘 개발팀에 feedback

- AEDT2b가 현재 가장 신뢰성이 있으므로 AEDT2b의 결과와 우선 비교함
- Tier 3b급 온실가스 배출량 산정을 위해서는 동일 시나리오에서 AEDT2b와 비교하여 온실가스 산정 오차가 5% 이내가 될 때까지 지속적으로 알고리즘 검토 수정보완 요구

5. 목표시스템 구축에 의한 변경사항

가. 변경사항

○ 2009년 12월 건설교통기술평가원에서 R&D로 발주한 교통부문 온실가스 관리 시스템(Korea Transport Emission Management System, KOTEMS)은 도로, 철도, 항공, 해운 등 각 교통수단별 온실가스 인벤토리 개발하고 통합 관리하는 시스템으로 크게 온실가스 배출량 정보시스템, 온실가스 목표관리 지원시스템, 온실가스 저감효과평가시스템으로 구성되어 있음

○ 목표 시스템인 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템은 KOTEMS의 항공부문에 대한 온실가스 관련 기능을 모두 포함하고 있으며, 추가적으로 온실가스 관련 국가 정책 업무를 지원할 수 있는 기능을 포함하고 있음

○ 또한, KOTEMS에 반영되지 않은 배출량 산정, 감축량 예측 및 경제성분석/ 의사결정지원 S/W를 클라이언트/서버 방식으로 개발하여 Tier 1, 2는 물론 3b급으로 배출량 산정이 가능하고 감축수단 적용을 통한 감축량 예측 기능을 포함하고 있으며, 국내·외 항공 온실가스 관련 정책/규제 등의 시나리오 및 감축수단 적용을 통한 경제성 분석 및 의사결정을 지원하는 기능이 포함되어 있음

나. 변경사항의 당위성

○ 시스템 활용적 측면

- 기존에 개발된 KOTEMS는 항공부문에 대해 연차별 통계치만 제공되므로 사용자인 항공사는 해당 시스템에서 제공되는 데이터를 활용하여 자사의 정책 결정에 활용이 어려움
- 항공사에서 개별적으로 관리하고 있는 시스템(자동 또는 수동)과 데이터 연동에 어려움이 있어 기본 데이터 제공자인 항공사의 활용이 부진함

○ 국내·외 온실가스 관련 정책 대응 시스템 부재

- KOTEMS는 목표관리제, 항공부문 온실가스 인벤토리 보고서(NIR), 항공부문 국가이행계획, 항공사 자발적 협약, 배출권거래제, ICAO MBMs 등과 같은

국내·외 온실가스 관련 정책 업무를 대응하기 위한 서비스가 제공되지 않는다. 또한 IPCC Tier2급의 산출 방법을 사용하고 있으며, 감축량 예측의 기능을 가지고 있지 않음

- 국외는 Aero2K, AEDT, FAST 등의 여러 항공 온실가스 추정 S/W를 활용하고 있으나, 국내는 온실가스를 산정 및 예측할 수 있는 시스템이 존재하지 않아 정량적 산정 및 예측이 어려운 실정임

○ 국외 S/W 활용의 어려움 및 국내 IPCC Tier3b급 산정 및 예측 S/W 부재

- 항공사는 항공기의 경제적 운항과 항공분야 연료사용량 및 온실가스 배출량 최소화에 기여하고 국내·외 온실가스 배출규제에 효과적으로 대응하기 위해 항공온실가스 산정 및 예측 시스템이 필요함

- 목표 시스템인 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템은 감축수단별 경제성 및 의사결정 기능지원, 감축수단별 저감효과 분석, 감축/기종/시나리오별 연료 감축량을 분석하여 최적의 항공 온실가스 감축수단을 선정할 수 있게 함

- Tier 3b급 알고리즘이 탑재된 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템을 구축하여 ICAO 규제에 대한 능동적 대응 기술력을 확보하고, 항공기의 경제적 도입 및 최적화된 운항 정보를 제공하여, 국제 경쟁력을 강화함

6. 목표시스템 분석

가. 장점

○ 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증은 국내 최초로 Tier 3b급 정밀도를 지닌 산정 모듈을 개발하여 EU-ETS, ICAO-ETS 등 탄소 배출권 거래제에 대비하고 국가 이행계획 수립에 기여함

- 항공온실가스 저감정책 수립 시 온실가스 산정 근거자료로서 정부 관리주체인 국토교통부 담당자들이 성과지표와 목표를 설정하여 계획 수립 활용이 가능해짐

○ 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증을 통해 예측 시스템 및 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈의 개발에 기여함

나. 단점 및 제한사항

○ 지속적인 유지보수 비용이 발생되어야 함

- 신 기종별 항공기 개발에 따른 항공기 성능 제원 필요

- 온실가스를 감축할 수 있는 신기술이 개발되면 이에 따른 새로운 DB 구축과 적용 알고리즘도 개발되어야 함

○ 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증은 외부 DB에서 필요한 자료를 불러오는 방식이므로 모듈을 실행하는 동안은 외부 인터넷이 연결되어 있어야함

○ 항공 온실가스 산정 모듈 검증은 해외 AEDT2b, AEIC, Piano-X 등을 사용하므로 이러한 소프트웨어 upgrade 시 지속적으로 구매 비용이 필요함

○ 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증에서는 sample DB를 사용하나 실제 시스템에서는 전체 DB가 구축되어야 함

○ 사용자가 감축량 산정을 정확히 하기위해서는 실데이터가 존재하여야 하며, 실데이터가 없을 시 DB에서 제공되는 표준 데이터 값을 이용하게 되고 이는 오차범위가 발생할 수 있음

○ GIS 시스템이 Open GIS 등 공개된 시스템을 사용하지 않을 경우 지속적인 라이센스 비용이 발생할 수 있음

다. 대안별 비교분석

○ AEDT에서 보듯이 항공 온실가스 산정은 정밀도 확보가 매우 어려운 기술로 유지보수를 통해 정밀도를 지속적으로 향상시켜야하며, 이에 따른 유지보수 비용이 발생함에 따라 지속적인 투자를 지원해야 함

○ DB에서 제공되는 표준 데이터 값을 이용하게 될 시 오차범위를 줄일 수 있는 방안을 지속적으로 모색해야 함

7. 참고사항/부록

가. 약어표

약 어	영 문	한 글
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	유엔 산하 정부 간 기후변화패널
ICAO	International Civil Aviation Organization	국제민간항공기구
CAEP	Committee on Aviation Environmental Protection	항공환경보호위원회
KOTEMS	Korea Transport Emission Management System	교통부문 온실가스 관리시스템
NARMI	National Aviation Resource Management Information	항공안전종합정보시스템
SAGE	System for assessing Aviation's Global Emissions	

약 어	영 문	한 글
AEM	Advanced Emission Model	
VOC	Volatile Organic Compounds	휘발성 유기화합물
TOG	Total Organic Gases	총 유기 가스
FAST	Future Aviation Scenario Tool	
GCM	General Circulation Model	
CTMs	Chemical Transport Models	
INM	Integrated Noise Model	
NPD	Noise-Power-Distance	
AEDT	Aviation Environment Design Tool	
FAA	Federal Aviation Administration	미국 연방항공청
ATM	Air Traffic Management	항공교통관리
DB	Data Base	데이터베이스
IDEF	Integration Definition for Function Modeling	
ISA	International Standard Atmosphere	
BADA	Base of Aircraft Data	
BFFM2	The Boeing Fuel Flow Method 2	
FOA	A First Order Approximation	
PM	Particulate matter	부유성 고형물
NMHC	Non-Methane Hydrocarbons	비메탄계 탄화수소
OG	Speciated Organic Gases	
GWP	Global Warming Potential	지구온난화지수

부록

부록 1 운용개념기술서

운용 개념 기술서

(Operational Concept Description)

항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증

문서ID : OCD_온실가스 산정 모듈 구현 및 검증_세종대

Version : 1.0

세종대학교
SEJONG UNIVERSITY

AUTHORIZATION

세종대학교 Approval:

본 문서에 대한 서명은 세종대학교 내부에서 본 문서에 대하여 수행 및 유지 관리의 책임이 있음을 인정하는 것임.

승인자 :	황호연	(인)	**일자 :**	2015.04.07

검토자 :	황호연	(인)	**일자 :**	2015.04.07

작성자 :	임동욱, 남태우, 황호연	(인)	**일자 :**	2015.04.05

제 · 개정이력

버전	제/개정	제/개정자	개정 사유 및 내역	날짜
1.0	제 정		최초 제정	2015.04.07

목 차

1. 개요 ····· 1
1.1 시스템 개요 ····· 1
1.2 시스템 정의 ····· 1
1.3 문서 개요 ····· 2
1.3.1 문서목적 ····· 2
1.3.2 문서 내용의 요약 ····· 3
1.3.3 보안 및 주의사항 ····· 3

2. 시스템 분석 ····· 4
2.1 시스템 개발 배경 및 목적 ····· 4
2.1.1 배경 ····· 4
2.1.2 목적 ····· 6
2.2 사용자 · 운용자 정의 및 특성 ····· 6
2.2.1 사용자 및 운용자 정의 ····· 6
2.2.2 사용자 및 운용자 특성 ····· 7
2.3 현 시스템 분석 ····· 8
2.3.1 현 시스템 구성 ····· 8
2.3.2 현 시스템 한계점 ····· 14

3. 시스템 개발 범위 및 목표 ····· 15
3.1 시스템 개발 범위 ····· 15
3.2 시스템 목표 ····· 16
3.3 전체 시스템 구성도 ····· 16
3.3.1 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 구성도 ····· 16
3.4 서브시스템별 내용 및 특징 (WBS) ····· 17
3.4.1 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 ····· 17
3.4.1.1 사용자 인터페이스 컴퍼넌트 ····· 17
3.4.1.2 DB 서버시스템 컴퍼넌트 ····· 22
3.4.1.3 데이터 처리 컴퍼넌트 ····· 23
3.4.1.4 항공 온실가스 산정 알고리즘 컴퍼넌트 ····· 23
3.4.1.5 항공 온실가스 산정 결과 처리 컴퍼넌트 ····· 23

4. 목표시스템 운영 시나리오 ····· 26
4.1 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 ····· 26
4.1.1 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 시나리오 구성도 ····· 26
4.1.2 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 적용 ····· 27

세종대학교 SEJONG UNIVERSITY

4.1.3 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 운영 흐름도 ····· 29

5. 목표시스템 구축에 의한 변경사항 ····· 34
5.1 변경사항 ····· 34
5.2 변경사항의 당위성 ····· 34

6. 목표 시스템 분석 ····· 36
6.1 장점 ····· 36
6.2 단점 및 제한사항 ····· 36
6.3 대안별 비교분석 ····· 37

1. 시스템 개요

1.1 시스템 명

○ 「항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증」

1.2 시스템 정의

○ 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 시스템은 과학원에서 제공하는 Tier 3b급의 항공 및 공항 주변 온실가스 배출량 산정 알고리즘을 DB와 지리정보 시스템과 연결한 후 MATLAB으로 구현한 GUI를 통하여 입출력이 가능하도록 하고 이를 해외 유사 소프트웨어와 비교 검증하는 시스템이다.

○ 항공 온실가스 감축량 산정 모듈은 사용자 인터페이스 컴퍼넌트, DB 컴퍼넌트, 데이터 처리 컴퍼넌트, 온실가스 감축량 산정 알고리즘 컴퍼넌트, 결과처리 컴퍼넌트로서 구성된다.

- 본 모듈은 과거의 온실가스 관련 데이터를 통한 산정 및 미래 항공 수요 또는 항공기 등 미래 항공 온실가스 배출 관련 데이터를 입력하여 미래 항공 온실가스 배출량 산정이 가능하도록 구현하고 Intergovernmental Panel on Climate Change (유엔 산하 정부 간 기후변화패널, IPCC) Tier 3b급의 항공 온실가스 산정이 가능한지를 검증하는 모듈이다.

  - Tier 3b 온실가스 배출량 산정 알고리즘으로 산정하기 위해서는 비행 스케줄 자료(출/도착지, 사용된 비행기 기종 등)가 포함된 OAG(Official Airline Guide), BADA3 등의 데이터가 필요하며 이를 일회적으로 검증할 일정량의 데이터 자료(시간, 궤도, 속도 등)가 요구된다.
  - 항공 온실가스 배출량 산정 모듈의 구동을 위해서는 BADA3, OAG 등의 sample DB의 구축이 필요하고 BADA에 없는 항공기와 엔진 모델의 mapping이 필요하며 AEDT2b, AEIC 등 해외 소프트웨어의 input DB 파일로의 mapping이 필요하다.
  - 항공 온실가스 배출량 산정 모듈의 구현을 위해서는 기본적인

GUI(MATLAB으로 구현) 개발이 필요하고 과학원 제공 알고리즘을 sample DB와 연결하고 체계업체에서 제공할 지리정보시스템(GIS: Geographic Information System)이나 MATLAB Toolbox인 Mapping Toolbox와의 연결하여 배출량 산정 모듈을 구현한다.

○ 해외 유사프로그램을 사용한 온실가스 산정 및 본 과제 알고리즘과 비교분석을 통한 검증을 위해서는 국내외 대표적인 Study 및 시나리오 작성이 필요하다.

○ 과학원에서 개발할 본 과제 알고리즘을 검증하기 위해서는 해외 대표 유사프로그램인 AEDT2b, AEIC, AERO2k(Piano-X)를 사용한 온실가스 산정이 필요하다.

1.3 문서 개요

1.3.1 문서목적

○ 본 운용 개념 기술서는 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증에 대한 개요, 참고문서, 요구사항 등을 기술한 문서로서 시스템 개발 시 사용자, 운용자 간 의사소통을 원활하게 하는데 있다.

1.3.2 문서 내용의 요약

표 25. 문서요약

구 분	주요 내용
1. 개요	본 문서가 적용되는 대상 모듈의 명칭 및 정의를 기술하여 시스템 개요를 정의하였다.
2. 시스템 분석	본 모듈 개발의 배경 및 목적, 사용자 특성, 현 시스템 분석을 기술하였다.
3. 시스템 개발 범위 및 목표	본 모듈의 개발 범위 및 전체모듈 구성도를 통해 목표를 정의하였으며, 각 서브 컴퍼넌트에 대해 기술하였다.
4. 목표 시스템 운영 시나리오	본 모듈을 이용한 업무 흐름에 따라 시스템의 운용 흐름을 기술하였다.
5. 목표 시스템 구축에 의한 변경사항	대표적인 기존시스템과 본 모듈 개발에 의한 관련 업무의 주요 변경사항을 기술하였다.
6. 참고사항	사용자 요구사항을 기술하였다.

1.3.3 보안 및 주의사항

○ 본 문서는 관련자 이외의 대여 또는 연람을 금하며, 발행권자의 승인 없이 복제, 복사 및 인용을 금하여 문서가 무단 유출이 되지 않도록 한다.

○ 본 문서의 변경 요소 발생 시 「항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증」과제 총괄의 승인을 거쳐 변경될 수 있다.

2. 시스템 분석

2.1 시스템 개발 배경 및 목적

2.1.1 배경

○ 국제민간항공기구(ICAO[3])는 CAEP[4] 위원회를 통하여 현재 NOx를 비롯한 대기오염물질을 항공기 엔진 인증(Certification)을 통하여 규제하고 있으며, 2016년 도입을 목표로 2010년부터 항공기 이산화탄소 인증기준(Aircraft CO_2 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

3) ICAO : International Civil Aviation Organization
4) CAEP : Committee on Aviation Environmental Protection

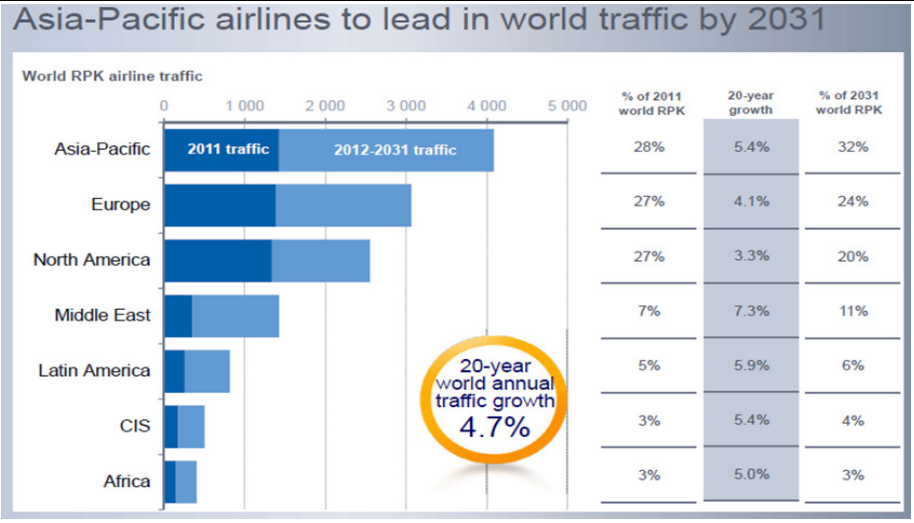


그림 30. 세계 항공 교통량 증가 전망치

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

○ 우리나라가 항공기 국제기준 마련에 참여하여 기술적인 의견을 내기 위해서는 항공운항으로 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

○ 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

2.1.2 목적

○ 본 「항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증」연구 과제는 다음과 같은 사항을 목적으로 개발을 추진함

- 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 기여

- 온실가스 배출 국가 이행계획 수립과 탄소 배출권 거래제 실시에 선제적으로 대응하기 위한 국제적인 수준의 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발이 목적임

- 세종대 팀은 과학원에서 개발하는 항공 온실가스 산정 알고리즘 모듈을 항공온실가스 sample DB와 통합한 항공 온실가스 배출량 산정 모듈을 개발함

- 항공기 온실가스 산정 알고리즘을 국내 상황에 적합한 항공기 기종 및 노선 조합을 이용하여 국제적으로 인정받는 산정 프로그램과 표준 DB 및 실제 DB를 사용하여 비교 검증함

2.2 사용자 • 운용자 정의 및 특성

2.2.1 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 정책 업무 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



그림 31 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 사용자 및 운용자 구성도

2.2.2 사용자 및 운용자 특성

○ 정부기관

- 항공부문 온실가스 감축목표 달성도의 정밀한 측정 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

○ 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 즉시 제공

- 항공기 도입 시 경로당 연료 절약 및 이에 따른 환경 부가세 절약 결과 도출

- 실제 항공부문 온실가스 감축량의 대부분을 차지하는 항공기 교체에 의한 감축효과 즉시 제공

○ 일반사용자 (대학교, 지자체, 환경단체, 민간단체 공항공사 등)

- 효과적인 온실가스 감축수단 개발 및 의사결정을 즉시 제공

2.3 현 시스템 분석

○ 현재 국내에서 개발된 Tier 3b급 항공 온실가스 산정과 관련된 소프트웨어는 전무함

○ 해외 항공 온실가스 배출량 산정 시스템 중 가장 대표적인 것으로 AEDT, AERO2k(내부에 Piano 프로그램 포함), AEIC가 있음

2.3.1 현 시스템 구성

○ 해외 온실가스 산정 프로그램: AEDT (Aviation Environmental Design Tool)

- 공간과 시간 영역에서 항공기 성능을 모델링하는데 사용되는 소프트웨어

- 연료 연소(fuel burn), 배기가스, 소음 계산

- 단일 항공편으로부터 지역, 국가, 전세계적인 시나리오 레벨에 대한 완전한 게이트-게이트 해석 가능

- 현재 항공기와 관련된 연료연소, 소음, 배기가스의 상호연관성을 분석하기 위해 FAA에서 사용

- AEDT 2a로 알려진 초기 version은 일반인도 사용 가능

- AEDT 2a는 Noise Integrated Routing System(NIRS)를 대체하기 위해 개발된 프로그램으로 FAA에 의해 관리됨

- AEDT 2a의 주요 목적은 항공 교통에 의한 환경적 결과를 모델링하고 FAA 항공교통기관의 정책을 만들고 수행하기 위함

- FAA Order 1050.1e 프레임워크내에서 AEDT 2a 사용방법에 대한 가이드라인이 설정되었음

- 2015년5월 29일 차세대 항공 환경 결과 해석 툴인 AEDT2b 발표 예정

- AEDT2b는 대기 질과 소음 해석 툴인 Integrated Noise Model (INM – single airport noise analysis)과 Emissions and Dispersion Modeling System (EDMS – single airport emissions analysis)를 대체할 예정임

- AEDT 2a INM과 EDMS를 대체하는 툴이 아님

- AEDT는 현재 미 정부가 국내 계획, 환경 규제 적합성, 연구해석 등에 사용하고 있음

- 또한 ICAO의 Committee for Aviation Environmental Protection (CAEP)의 국제적 지원을 위해 활용되고 있음

- AEDT는 항공사, 공항, 컨설팅 회사, 연구기관, 환경 단체, 항공기 제작업체, 엔진 제작업체를 비롯한 산업체 등에서도 사용할 것으로 예상됨

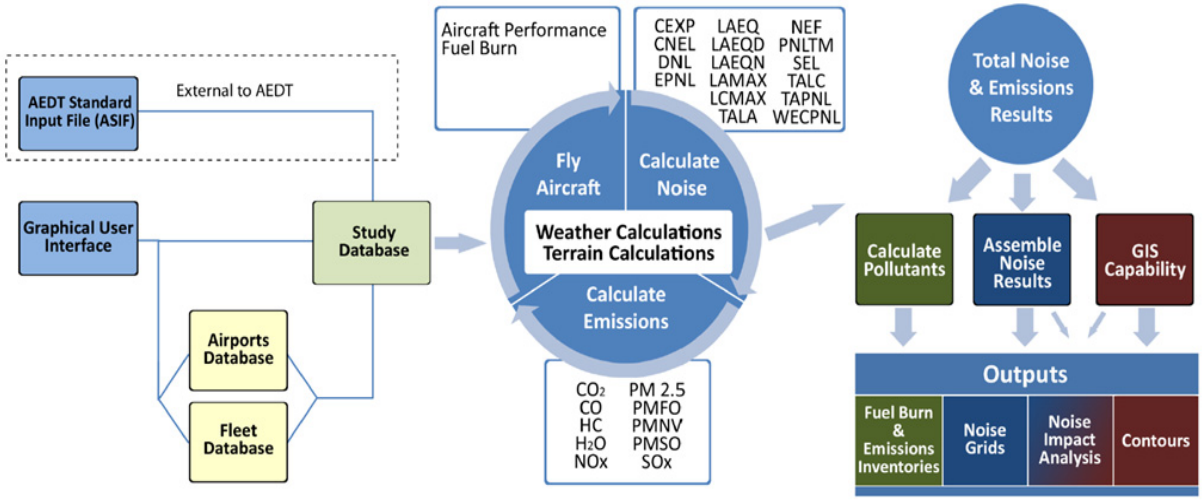


그림 32. AEDT2a 시스템 구조

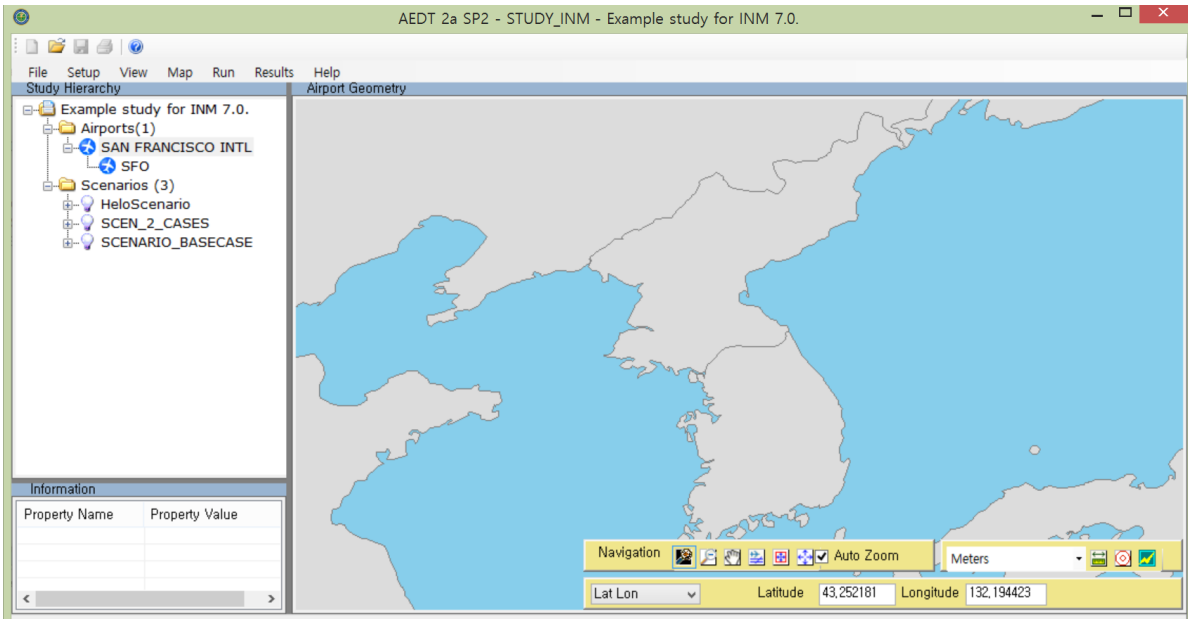


그림 33 AEDT2a GUI 화면

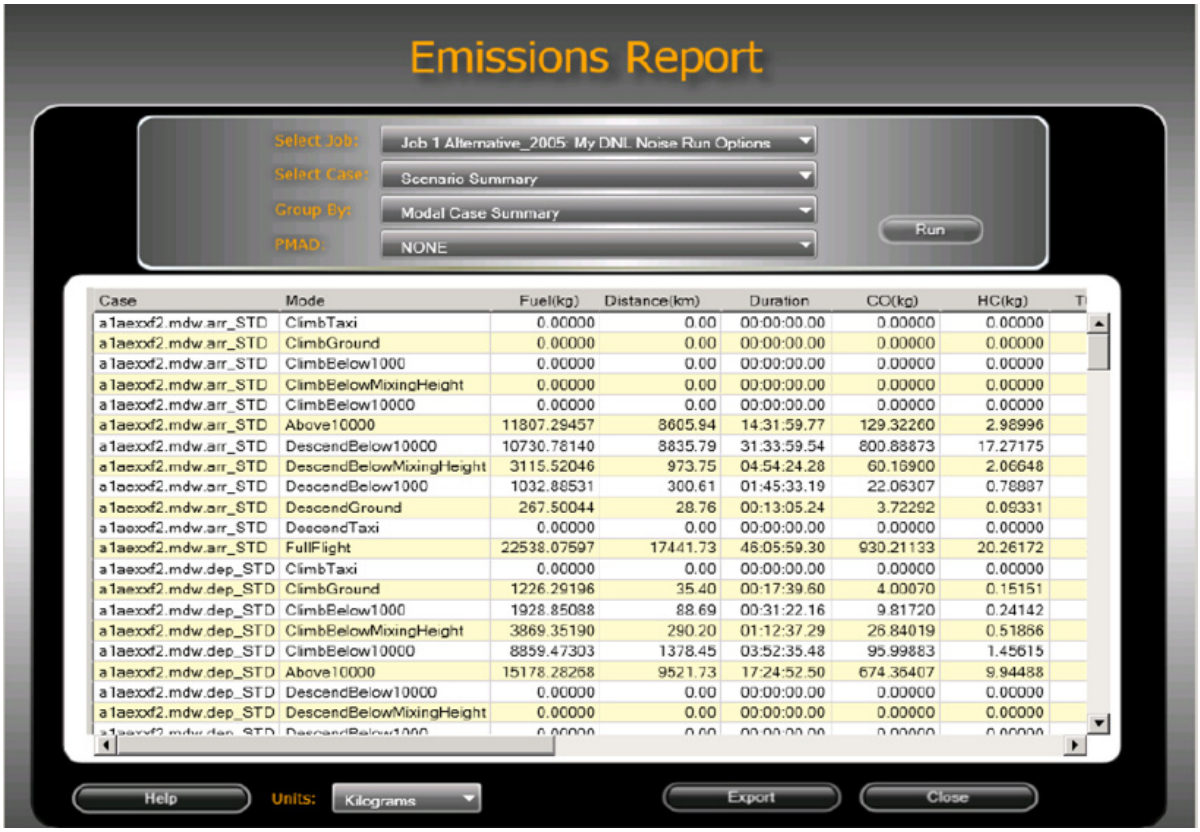


그림 34. AEDT2a 온실가스 보고서

○ 해외 온실가스 산정 프로그램: AEIC (Aviation Emissions Inventory Code)

- MATLAB으로 coding되어 있어 과학원에서 제공하는 알고리즘과 구조상으로는 가장 유사함
- 미국 MIT 대학 항공환경 실험실에서 개발
- LTO은 3000ft 이하의 운항, OAG data 이용
- 2005년 OAG data(민간 항공 교통 스케줄 보유)
- LTO 운항 온실가스 산정: 공항 주변 항공기 이착륙 시(3000ft 이하)
  - 이륙, 상승, 접근 비행 단계
  - 비행단계별 배기가스 배출량
  - 시간별 배기가스 배출량
  - 1년치 총 배기가스 배출량
- AEIC는 총 2587개의 세계 각 지역의 공항정보 탑재

- Non LTO은 3,000ft 이상의 운항, OAG 2005 data 이용

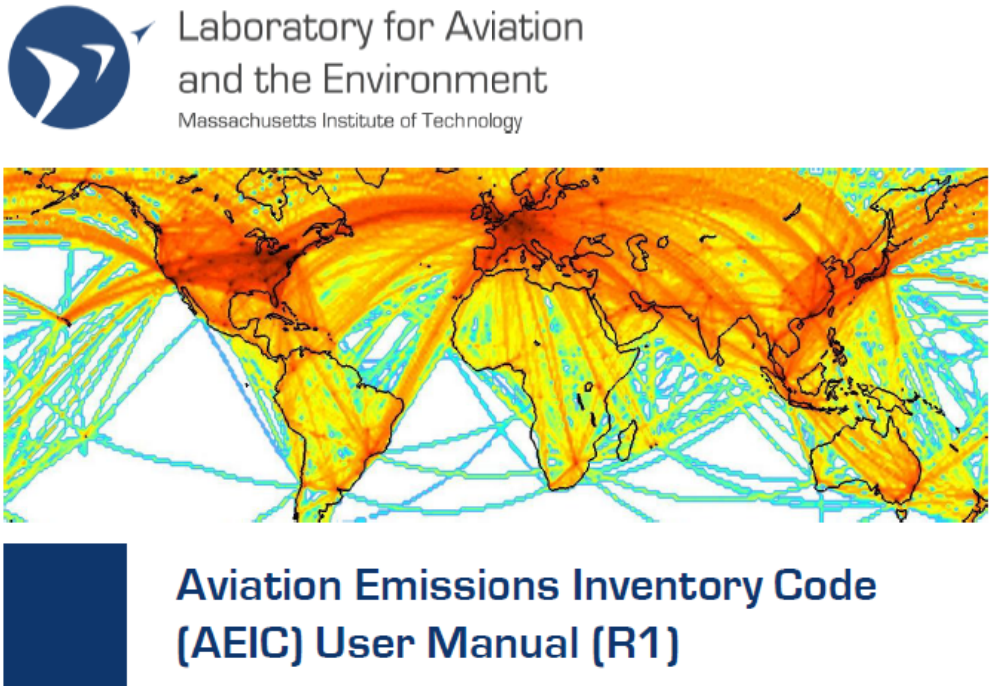


그림 35 MIT에서 개발한 AEIC

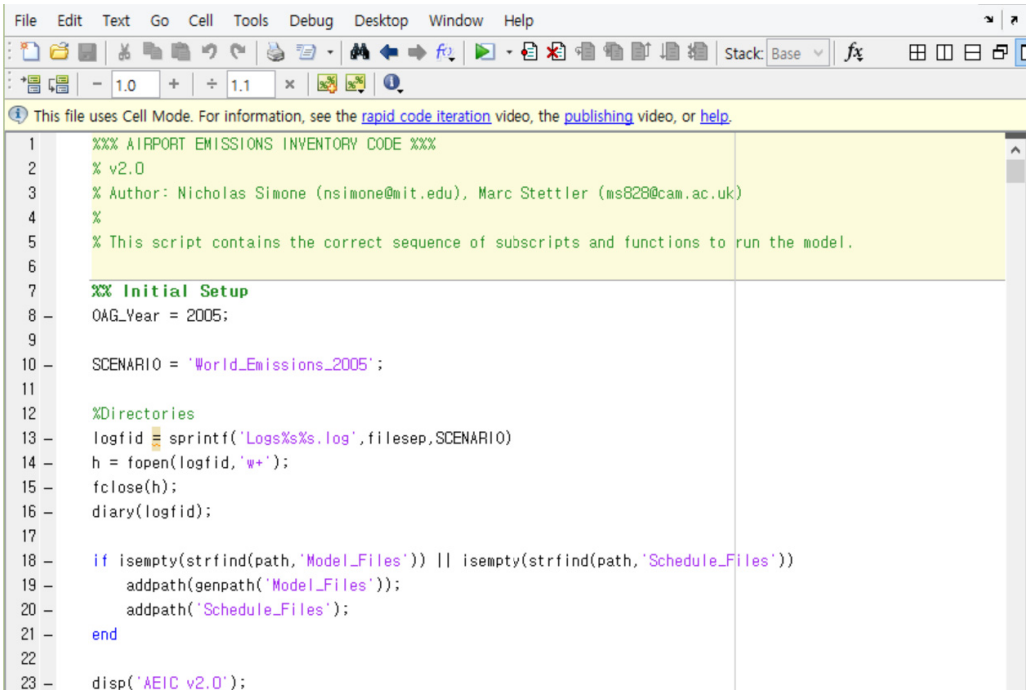


그림 36. AEIC MATLAB 코드

○ 해외 온실가스 산정 프로그램: PIANO-X (AERO2k)

- PIANO-X 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 관련 해외 유사 프로그램으로 영국의 AERO2k 내부에 포함되어 있음
- PIANO-X는 고가의 PIANO의 short version임
- 무료로 다운로드가 가능하나 항공기 DB를 구매하여야 함(한개 기종에 UKP 1,950)
- 설계 유상하중, 항속거리, 비행경로에 따른 연료 소모량과 배기가스 배출량 분석



그림 37 PIANO-X 프로그램

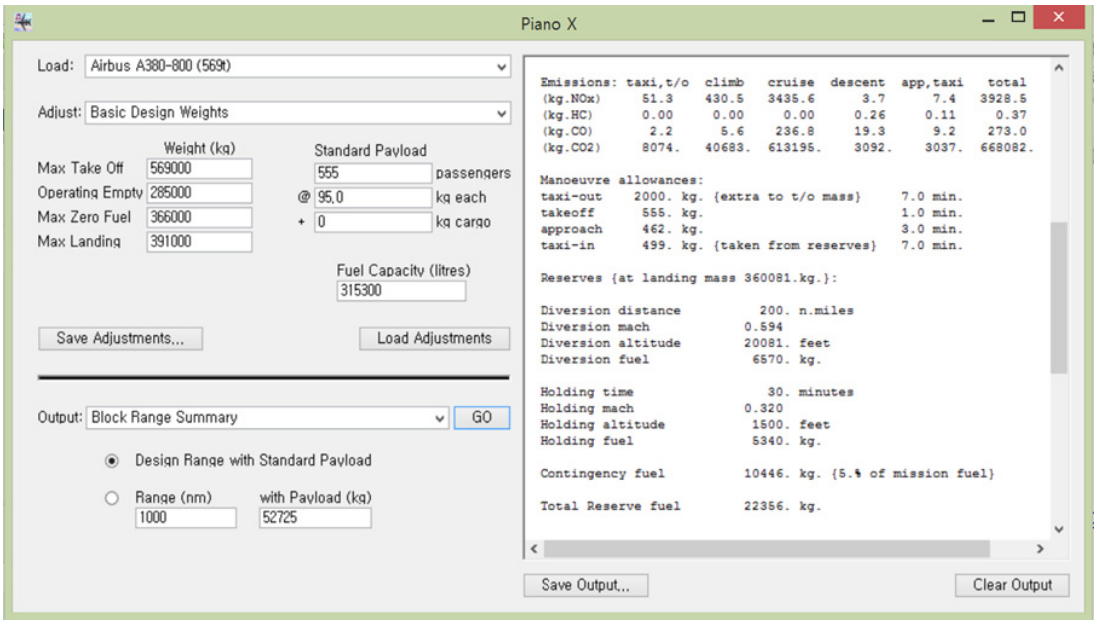


그림 38 PIANO-X GUI 화면

2.3.2 현 시스템 한계점

○ 2.3.1절에서 제시한 해외 프로그램 중 FAA에서 사용하여 가장 대표적인 AEDT2a는 SQL Server와의 연결 시 많은 문제점이 있고 입력 파일인 ASIF(AEDT Standard Input File) 역시 ASCII 형식의 Text 파일로 되어 있어 작성이 매우 어려움

○ 2015년 5월 출시 예정인 AEDT2b도 계산 결과에 오차가 크게 발생하는 등 많은 문제점이 있고 미국에서 사용하는 version과 해외 판매용 version의 기능이 상이한 것으로 예상됨

○ AERO-MS, Aero2k와 같은 EASA에서 사용하는 항공 온실가스 산정 프로그램은 해외 판매를 하지 않고 있음

○ 해외 프로그램은 소스 코드가 제공되지 않아 국내 상황에 맞게 프로그램의 추가/수정/변경이 불가능함

3. 시스템 개발 범위 및 목표

3.1 시스템 개발 범위

표 25. 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 범위

모듈	업무	업무범위	비고
항공온실가스 산정 모듈	항공온실가스 산정 모듈 구현	- 온실가스 산정 모듈에 필요한 sample DB 구축 - 과학원에서 개발하는 알고리즘 모듈과 DB 통합 시스템 구축 - 온실가스 산정 및 예측 DB에서 필요한 데이터 추출하여 산정 모듈 DB에 저장 - 운항 DB의 항공기 기종과 BADA, ANP, ICAO Databank의 항공기/엔진 모델과 mapping - GIS 시스템과 알고리즘/DB들을 연결하여 표준 항로를 생성하고 온실가스 배출결과물을 지도상에 출력 - GUI 개발을 통한 사용자 입/출력 환경 구축	
항공온실가스 산정 모듈	항공온실가스 산정 모듈 검증	- 국내 상황에 적합한 항공기 기종/노선을 분석해 검증용 study 구축 - 표준 DB를 사용한 단일 비행 시 해외 유사 프로그램들과 비교 분석 - 실제 DB를 사용한 단일 비행 시 해외 유사 프로그램들과 비교 분석 - 오차 발생 원인에 대해 분석하여 알고리즘 개발팀에 피드백 제공 - 지역별, 항공사별, 국가별 거시적 분석을 수행하여 해외 유사 프로그램과 비교분석을 통한 검증	

3.2 시스템 목표

○ 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증

- 항적자료 및 항공기 성능 정보 등 실제 데이터를 사용하여 IPCC Tier3b 급 알고리즘이 적용된 항공 온실가스 배출량 산정 모듈을 구현하고 해외의 유사 프로그램과 비교 검증함

3.3 전체 시스템 구성도

3.3.1 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 구성도

○ 항공 온실가스 감축량 산정 모듈 구현은 사용자 인터페이스 컴퍼넌트, DB 컴퍼넌트, 데이터 처리 컴퍼넌트, 온실가스 감축량 산정 알고리즘 컴퍼넌트, 결과처리 컴퍼넌트로서 구성됨

○ 각 컴퍼넌트 간의 데이터 흐름과 구성은 아래 그림과 같음

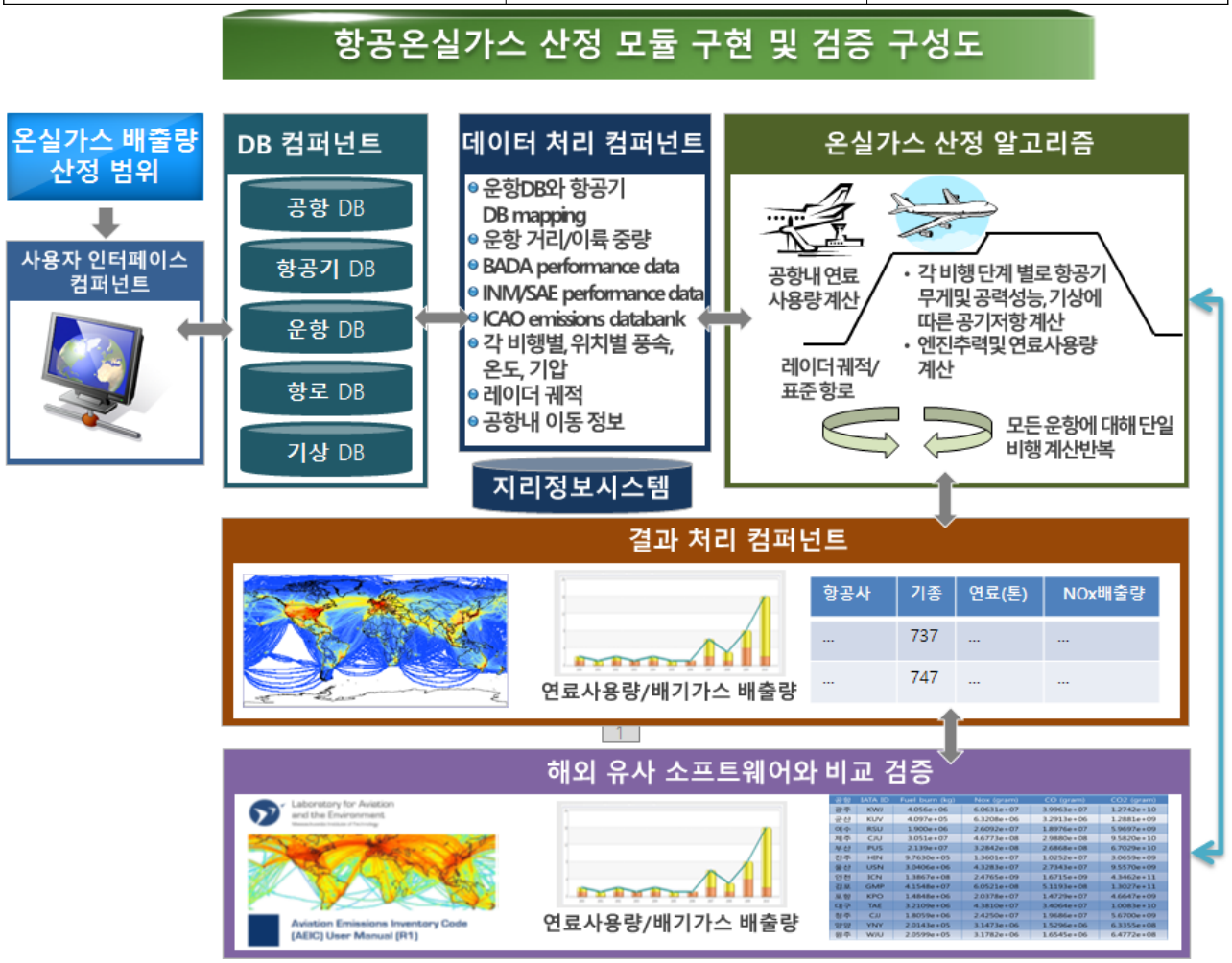


그림 39 항공 온실가스 감축량 산정 모듈 구현 및 검증 구성도

3.4 서브시스템별 내용 및 특징 (WBS)

3.4.1 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증

3.4.1.1 사용자 인터페이스 컴퍼넌트

○ GUI상에서 사용자가 온실가스 산정을 위한 분석의 범위, 스터디 설정 세팅을 위한 컴퍼넌트로 다음과 같은 기능을 담당하는 창으로 구성됨

○ 해석을 하고자하는 운항 스케줄을 불러들이거나 직접 정의하는 창

- 불러들인 운항 스케줄에서 각종 필터를 적용하여 특정 항공사, 기종, 노선,

시간, 국가 등의 연구 범위를 설정할 수 있음

- 운항 스케줄을 GUI에서 사용자가 정의할 때는 이/착륙 공항 및 항공기 기종을 지정하여야 함

○ 항공 온실가스 배출 Equipment DB (항공기/엔진 및 지상 조업 차량 등)에서 해석에 필요한 목록을 설정하는 창

- 필터를 사용하여 Fleet DB 혹은 Equipment DB의 목록에서 필요한 항공기와 지상조업 장비를 선택하고 운항 스케줄에 지정하여 연결함

- 불러들인 항공기/엔진 성능을 사용자가 변경할 수 있는 창이 있어 세그먼트별 혹은 전체 성능을 조정할 수 있음

○ 공항을 지정하고 변경할 수 있는 창

- 온실가스 분석에 포함시키고자 하는 공항을 설정할 수 있는 창으로 공항 DB에서 필터를 적용하여 공항 목록 지정 가능

- 사용자가 새로운 공항을 지정하는 것이 가능하며 공항의 위치 정보(위도, 경도, 고도)를 입력하여야 함

○ 임무형상(Mission Profile)을 지정하고 변경할 수 있는 창

- 표준 프로파일을 사용하는 경우, 기본으로 설정된 값 외에 사용자가 변경할 수 있는 옵션이 있어 항공기 승객/화물 탑재량, 순항고도, 순항 속도, reserve mission rule 등을 변경할 수 있음

- 또는 레이더 추적 데이터를 불러들여서 사용함

○ 비행 경로를 지정하고 변경할 수 있는 창

- 두 공항간의 항공기 이동 경로(ground track)를 지정하는 창으로 기본 옵션으로는 great circle track을 사용함

- 사용자가 GUI 상에서 node를 추가할 수 있도록 함

- 또는 레이더 추적 데이터를 불러들여서 사용함

○ 날씨를 설정하는 창

- 기본적으로 평균 날씨를 사용하도록 설정을 할 수 있으며 사용자가 임의로 바람, 온도 등을 변경할 수 있음

- 운항 DB에 연결이 되는 실제 날씨 데이터가 있는 경우 불러들여서 사용할 수 있음

○ 시나리오 설정 창

- 각각의 스터디를 하나의 시나리오로 저장하여 스터디간의 비교 분석을 가능하게 해 줌

- 예를 들어 시나리오 1과 시나리오 2에서는 모든 조건은 동일하되 날씨만 다르게 설정하여 날씨의 변화가 온실가스 배출에 미치는 영향을 비교할 수 있음

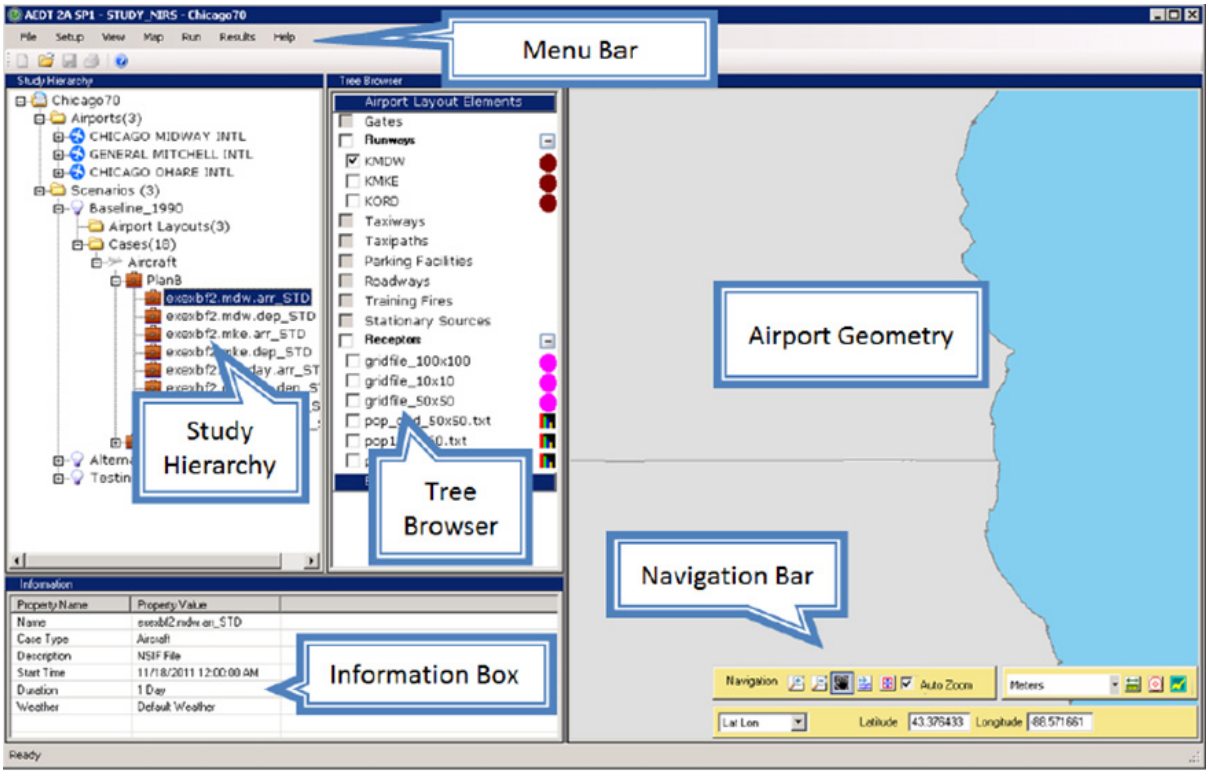


그림 40 사용자 입력창 컴퍼넌트 예: AEDT2a GUI 창

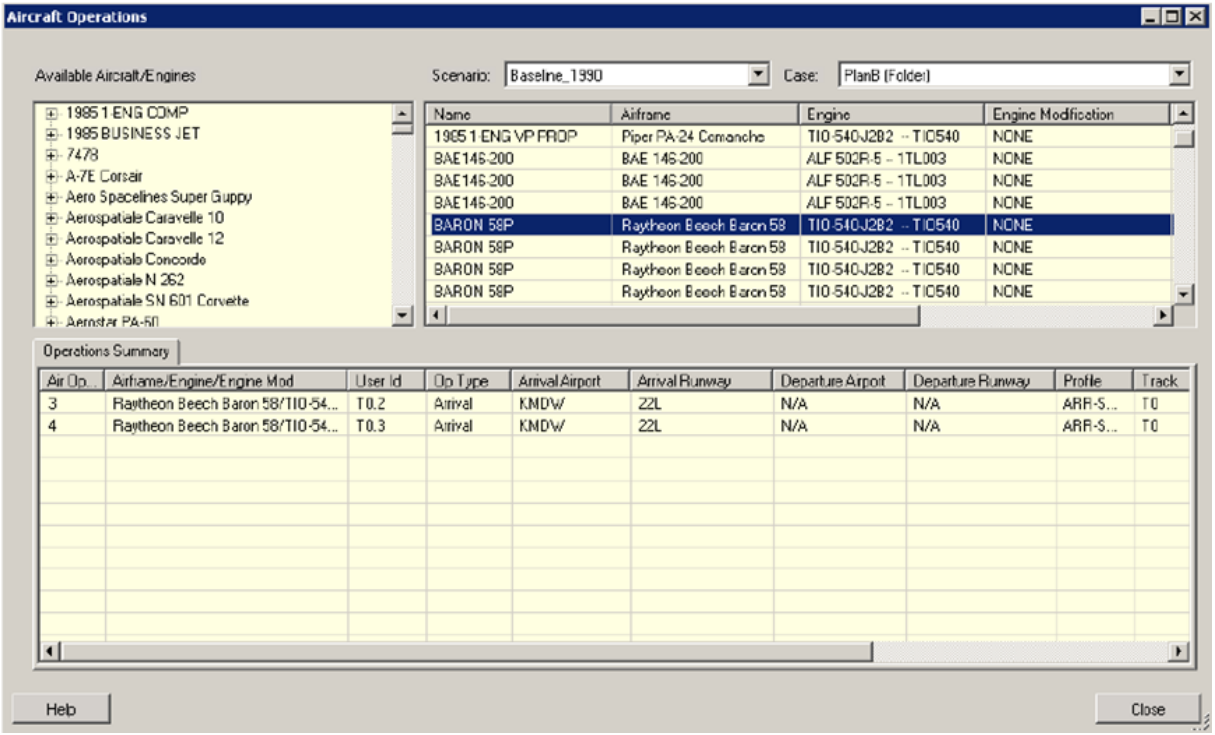


그림 41 해석을 하고자하는 운항 스케줄을 불러들이거나 직접 정의하는 창

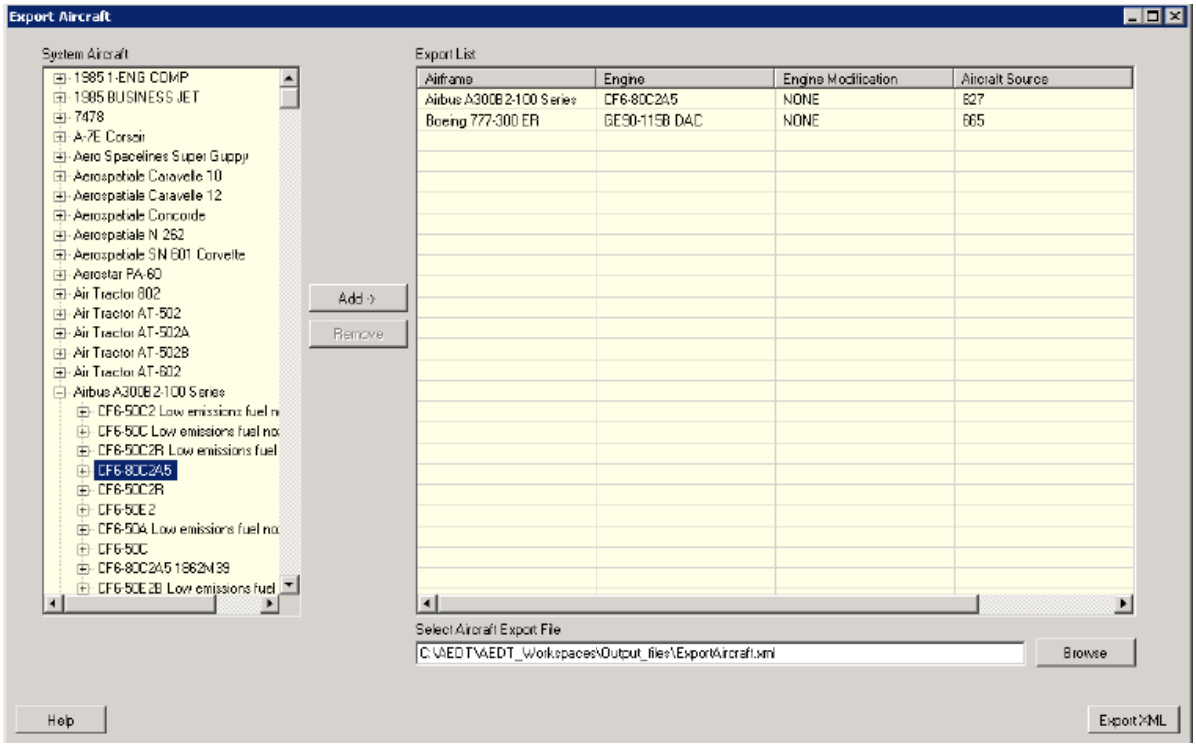


그림 42 공항을 지정하고 변경할 수 있는 창

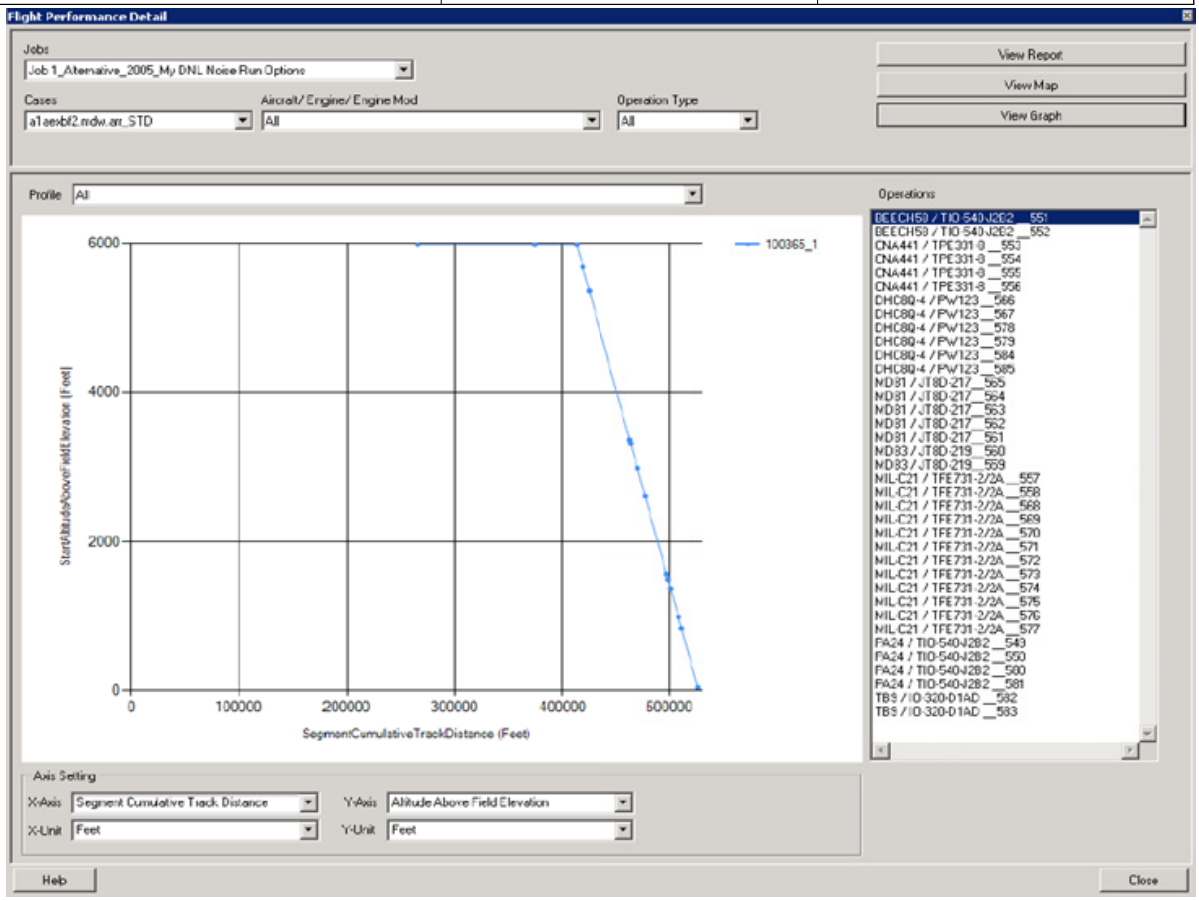


그림 43 임무형상(Mission Profile)을 지정하고 변경할 수 있는 창

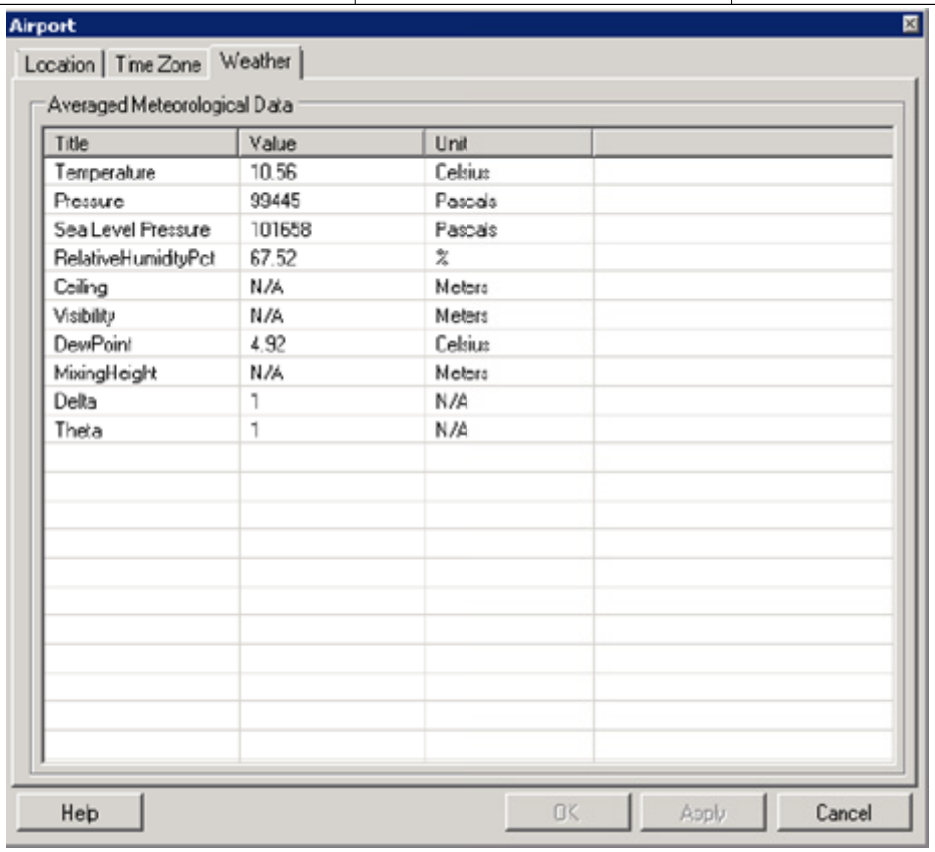


그림 44 날씨를 설정하는 창

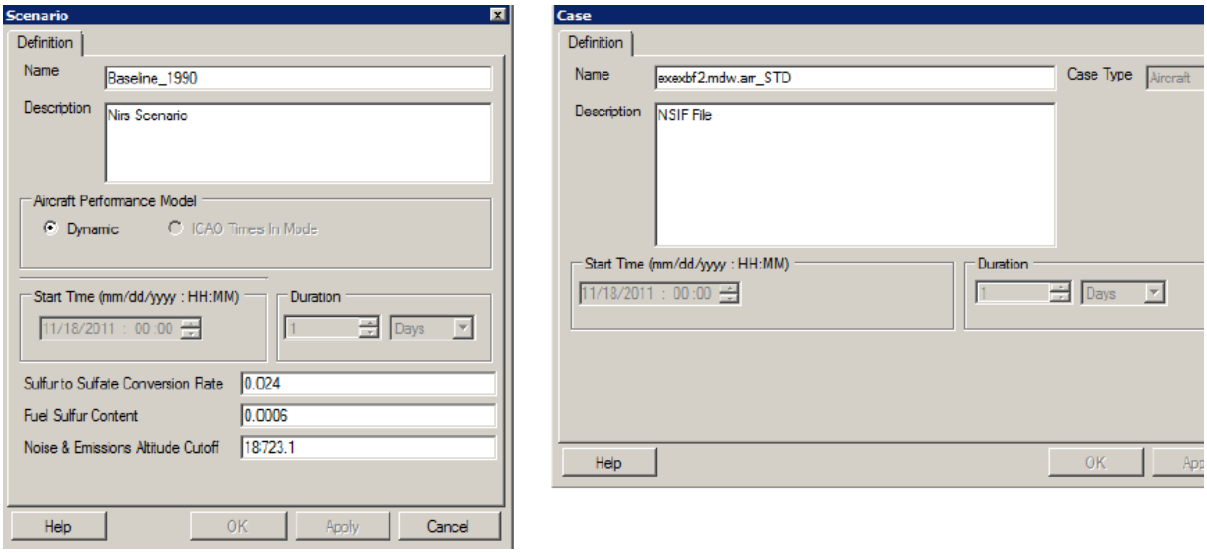


그림 45 시나리오 설정 창

3.4.1.2 DB 서버시스템 컴퍼넌트

○ 모듈을 사용하기 위한 공항, 항공기, 운항, 항로, 기상 DB 등을 포함하고 있는 컴퍼넌트로서 각 컴퍼넌트에서 포함하고 있는 내용은 다음과 같음

- 공항DB : 우리나라를 포함한 전세계에 운영하는 공항에 대한 DB가 포함되어있으며, 공항의 대표적인 내용은 활주로 좌표, 활주로 길이, 활주로 경사, 유도로, 주기장 등 공항의 모든 자료를 포함함

- 항공기DB : 상업용 항공기의 성능데이터는 포함하고 있는 DB로서 항공기의 특성에 대한 내용이 포함되어있음. 특히 항공기별 장착되는 엔진에 대한 사양이 포함되어있으므로, 온실가스 산정시 매우 중요한 요소로 작용함

- 운항DB : 항공기가 시간에 따라 운항한 항적위치가 저장되는 DB이며, 운항DB는 항공기의 위경도 위치, 고도, 속도, 항공기 등록기호, 항공기 callsign 등의 자료를 포함함

- 항로DB : 전세계 항공로 및 픽스, SID/STAR/APP 정보를 포함하고 있는 DB로서 표준궤적을 이용한 분석에서 사용됨

- 기상DB : 항공기의 온실가스량 산정시 고려하는 환경요소로서 이용하며, 전세계 공항 및 고도별 기상정보를 포함함

3.4.1.3 데이터 처리 컴퍼넌트

○ 항공온실가스 산정 및 예측 시스템의 DB서버 시스템에서 온실가스 산정에 필요한 데이터를 추출하여 각 모듈에 맞는 형태로 변환하여 저장함

○ 온실가스 산정 결과를 저장하여 결과 처리 컴퍼넌트에 필요한 데이터를 공급함

3.4.1.4 항공 온실가스 산정 알고리즘 컴퍼넌트

○ 과학원에서 작성한 '항공온실가스 산정 알고리즘' 운영 개념 기술서 참조

3.4.1.5 항공 온실가스 산정 결과 처리 컴퍼넌트

○ 온실가스 산정 결과 처리 컴퍼넌트는 GUI상에서 사용자가 지정한 범위의 스터디의 결과를 보여주며 다음과 같은 기능이 있음

○ 단일 비행 결과 출력 창

- 사용자가 선택한 운항에 대해 항공기 운항 경로(ground track)와 비행 경로(flight track)를 보여 줌

- 운항 세그먼트별로 상세한 항공기 성능 값(무게, 추력, 연료 흐름, 연료소모량, 속도, 고도, 위도, 경도 등)을 테이블로 보여주며 엑셀 파일로 export할 수 있게 함

○ Fleet 단위 결과 출력 창

- 거시적인 결과를 출력하는 기능이 있어 항공사별, 지역별, 항공기 기종별로 분류하여 테이블을 생성하고 각종 그래프 생성

- 배출권거래제, 자발적 협약, 국가 이행계획 수립을 위하여 감축 주체별(예, 항공사 혹은 국가)로 온실가스 산정량을 보여줌

- 사용자가 설정한 여러 가지 온실가스 산정 시나리오별 절대적/상대적 온실가스 배출량 차이를 보여 줌

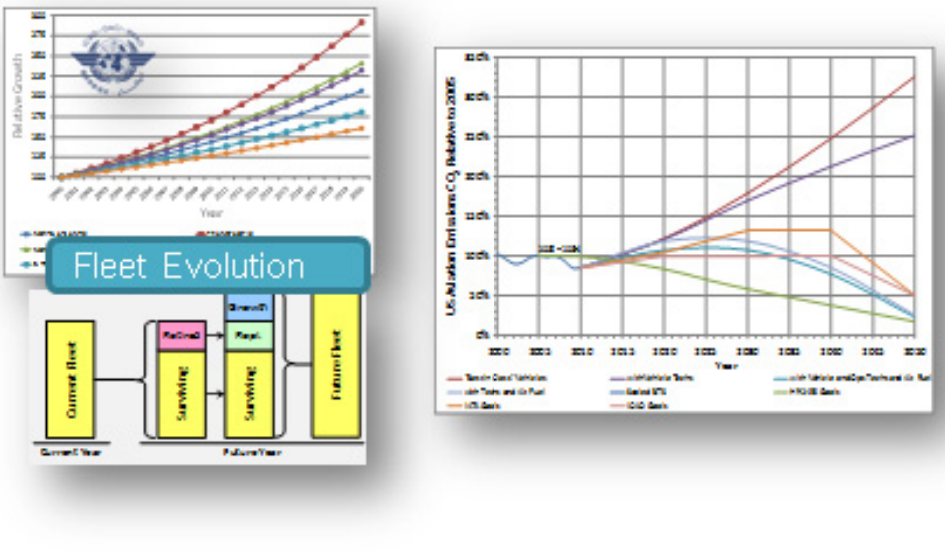


그림 46 Fleet 단위 결과 출력 창

○ GIS 출력 창

- GIS시스템과 연동하여 온실가스 배출량을 항로별 기간별로 지도위에 표시

해 줌

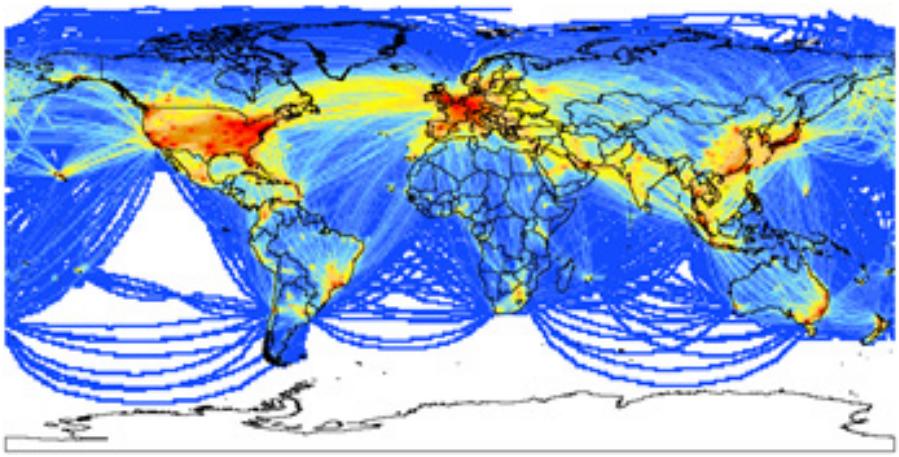


그림 47 GIS 출력 창

4. 목표시스템 운영 시나리오

4.1 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증

4.1.1 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 시나리오 구성도

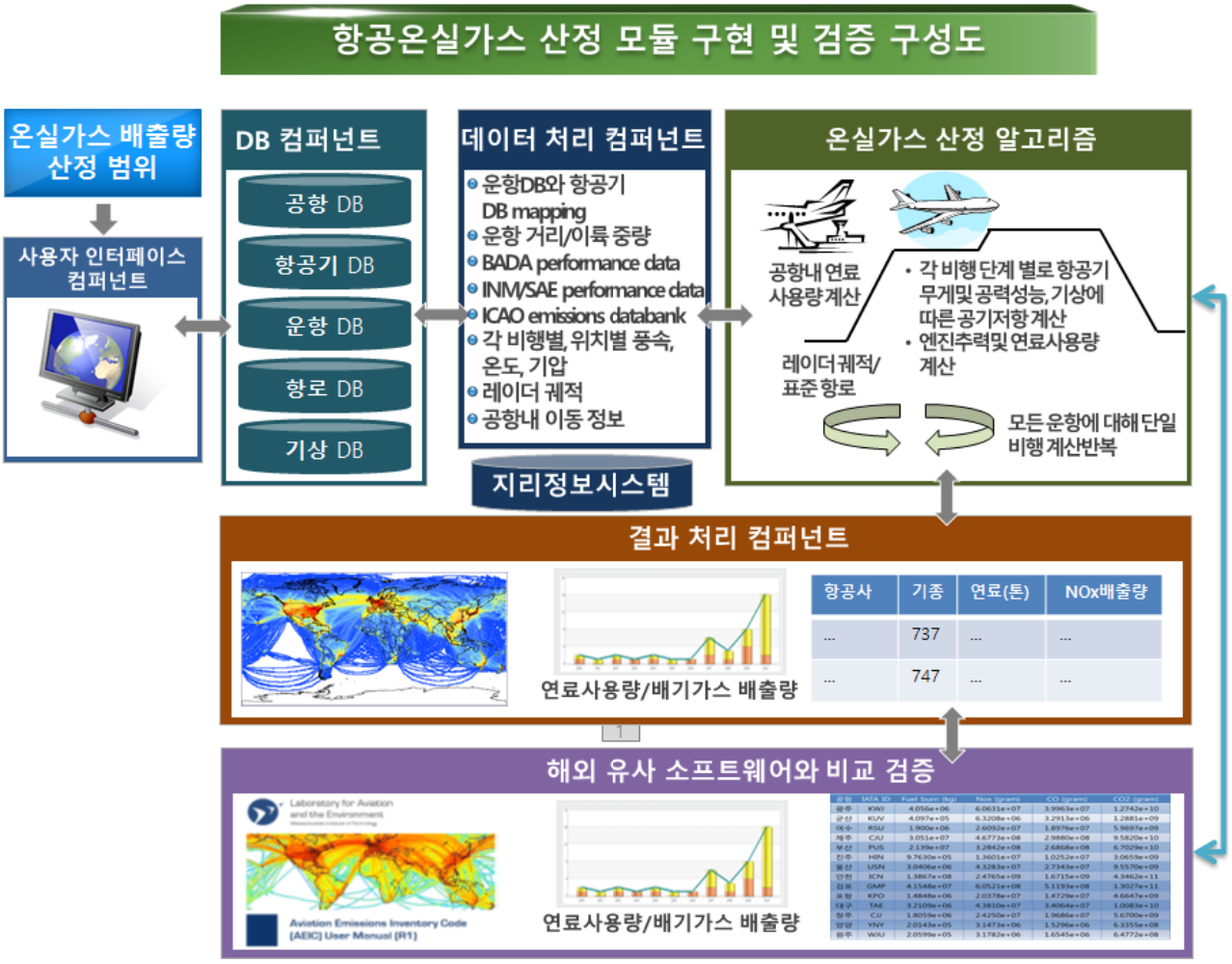


그림 48 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 구성도

4.1.2 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 적용

○ 시나리오1 : 항공 온실가스 산정 모듈 구현

시나리오#01

○ 목적 : 과학원에서 제공하는 Tier 3b급의 항공 및 공항 주변 온실가스 배출량 산정 알고리즘을 DB 및 지리정보시스템과 연결한 후 MATLAB으로 구현한 GUI를 통하여 입출력이 가능하도록 함

기대효과 :

- (정부) 항공부문 온실가스 감축목표 달성도의 정밀한 측정 제공 등
- (정부지원지관) 온실가스 자발적 감축협약 및 목표관리제 관리 툴로 사용 등
- (항공사) 항공 온실가스 산정을 통한 감축 계획 수립 등

- 온실가스 산정 모듈에 필요한 sample DB 구축
- 과학원에서 개발하는 알고리즘 모듈과 DB 통합 시스템 구축
- 온실가스 산정 및 예측 DB에서 필요한 데이터 추출하여 산정 모듈 DB에 저장
- 운항 DB의 항공기 기종과 BADA, ANP, ICAO Databank의 항공기/엔진 모델과 mapping
- GIS 시스템과 알고리즘/DB들을 연결하여 표준 항로를 생성하고 온실가스 배출결과물을 지도상에 출력
- GUI 개발을 통한 사용자 입/출력 환경 구축

○ 시나리오2 : 항공 온실가스 산정 모듈 검증

시나리오#02

○ 목적 : 항공기 온실가스 산정 알고리즘을 국내 상황에 적합한 항공기 기종 및 노선 조합을 이용하여 국제적으로 인정받는 산정 프로그램과 표준 DB 및 실제 DB를 사용하여 비교 검증함

기대효과 :

- (정부) 온실가스 감축 목표 설정 및 항공사의 감축 목표 달성 관리·평가 등
- (정부지원지관) 국내 환경 분석 및 항공 전문 연구진에게 고정밀 항공부문 온실가스 산정 도구 및 데이터 제공 등
- (항공사) 항공 온실가스 산정을 통한 감축 계획 수립 등

- 국내 상황에 적합한 항공기 기종/노선을 분석해 검증용 study 구축
- 표준 DB를 사용한 단일 비행 시 해외 유사 프로그램들과 비교 분석
- 실제 DB를 사용한 단일 비행 시 해외 유사 프로그램들과 비교 분석
- 오차 발생 원인에 대해 분석하여 알고리즘 개발팀에 피드백 제공
- 지역별, 항공사별, 국가별 거시적 분석을 수행하여 해외 유사 프로그램과 비교분석을 통한 검증

4.1.3 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증 운영 흐름도

구분	단계별 내용	세부내용	비고
1	- sample DB 구축	sample DB - 모듈을 사용하기 위한 공항, 항공기, 운항, 항로, 기상 DB 등의 sample DB 구축	
2	- DB 데이터 mapping	DB 데이터 가공 - 운항 DB의 항공기 기종과 BADA, ANP, ICAO Databank의 항공기/엔진 모델과 mapping	
3	- 알고리즘과 DB, GIS 시스템 연결	DB 및 GIS와의 연동 - 항공온실가스 산정 및 예측 시스템의 DB서버 시스템에서 필요한 데이터를 추출하여 온실가스 산정 알고리즘과 연결 - GIS시스템과 연동하여 온실가스 배출량을 항로별 기간별로 지도위에 표시	
4	- GUI 개발	사용자 인터페이스 개발 - GUI 개발을 통한 사용자 입/출력 환경 구축 • 운항 스케줄을 불러들이거나 직접 정의하는 창 • 항공 온실가스 배출 Equipment DB에서 해석에 필요한 목록을 설정하는 창 등	
5	- 국내 상황에 적합한 검증용 study 구축	검증용 Study 구축 - 국적 항공사의 국내외 운항 스케줄에서 각종 필터를 적용하여 특정 항공사, 기종, 노선, 시간, 국가 등의 연구 범위를 설정 - 항공기 승객/화물 탑재량, 순항고도, 순항 속도, reserve mission rule 등을 설정 - 각각의 study를 하나의 시나리오로 저장하여 study 간의 비교 분석	
6	- 표준 DB/실제 DB를 사용한 해외 유사 프로그램들과 검증을 위한 비교 분석	해외 유사 프로그램과 비교 분석 - 표준 DB/실제DB를 사용한 단일 비행 시 해외 유사 프로그램들(AEDT2b, AEIC, Piano-X)과 온실가스 배출량 산정값 비교 분석 - 지역별, 항공사별, 국가별 거시적 분석을 수행하여 해외 유사 프로그램들(AEDT2b, AEIC, Piano-X)과 비교분석	
7	- 오차 발생 원인 분석 및 개발팀에 피드백	오차 원인 분석 및 feedback - 해외 유사 프로그램들(AEDT2b, AEIC, Piano-X)과 온실가스 배출량 산정값 오차의 원인을 찾아 과학원 알고리즘 개발팀에 feedback	

○ 1단계

- 온실가스 산정 모듈을 사용하기 위한 공항, 항공기, 운항, 항로, 기상 DB 등을 포함하는 sample DB 구축

  - 공항 sample DB : 우리나라를 포함한 전세계에 운영하는 공항에 대한 sample DB로 공항의 대표적인 내용은 활주로 좌표, 활주로 길이, 활주로 경사, 유도로, 주기장 등 공항의 모든 자료를 포함함
  - 항공기 sample DB : 상업용 항공기의 성능데이터는 포함하고 있는 sample DB로 항공기의 특성에 대한 내용이 포함되어있음. 특히 항공기별 장착되는 엔진에 대한 사양이 포함되어있으므로, 온실가스 산정시 매우 중요한 요소로 작용함
  - 운항 sample DB : 항공기가 시간에 따라 운항한 항적위치가 저장되는 sample DB이며, 운항 sample DB는 항공기의 위경도 위치, 고도, 속도, 항공기 등록기호, 항공기 callsign 등의 자료를 포함함
  - 항로 sample DB : 전세계 항공로 및 픽스, SID/STAR/APP 정보를 포함하고 있는 sample DB로서 표준궤적을 이용한 분석에서 사용됨
  - 기상 sample DB : 항공 온실가스 산정 시 고려하는 환경요소로서 이용하며, 전세계 공항 및 고도별 기상정보를 포함함

○ 2단계

- 항공온실가스 산정 및 예측 시스템의 DB서버 시스템에서 온실가스 산정에 필요한 데이터를 추출하여 각 모듈에 맞는 형태로 변환하여 저장함

- 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

○ 3단계

- 항공온실가스 산정 및 예측 시스템의 DB서버 시스템에서 필요한 데이터를 추출하여 온실가스 산정 알고리즘과 연결

- 온실가스 배출량을 항로별 기간별로 GIS시스템과 연동하여 지도위에 표시

해 줌

○ 4단계

- 사용자가 온실가스 산정을 위한 분석의 범위, 스터디 설정 세팅을 위한 GUI 개발은 다음과 같은 기능을 담당하는 GUI로 구성됨

- 해석을 하고자하는 운항 스케줄을 불러들이거나 직접 정의하는 GUI

  - 불러들인 운항 스케줄에서 각종 필터를 적용하여 특정 항공사, 기종, 노선, 시간, 국가 등의 연구 범위를 설정할 수 있음
  - 운항 스케줄을 GUI에서 사용자가 정의할 때는 이/착륙 공항 및 항공기 기종을 지정하여야 함

- 항공 온실가스 배출 Equipment DB (항공기/엔진 및 지상 조업 차량 등)에서 해석에 필요한 목록을 설정하는 GUI

  - 필터를 사용하여 Fleet DB 혹은 Equipment DB의 목록에서 필요한 항공기와 지상조업 장비를 선택하고 운항 스케쥴에 지정하여 연결함
  - 불러들인 항공기/엔진 성능을 사용자가 변경할 수 있는 창이 있어 세그먼트별 혹은 전체 성능을 조정할 수 있음

- 공항을 지정하고 변경할 수 있는 GUI

  - 온실가스 분석에 포함시키고자 하는 공항을 설정할 수 있는 창으로 공항 DB에서 필터를 적용하여 공항 목록 지정 가능
  - 사용자가 새로운 공항을 지정하는 것이 가능하며 공항의 위치 정보(위도, 경도, 고도)를 입력하여야 함

- 임무형상(Mission Profile)을 지정하고 변경할 수 있는 GUI

  - 표준 프로파일을 사용하는 경우, 기본으로 설정된 값 외에 사용자가 변경할 수 있는 옵션이 있어 항공기 승객/화물 탑재량, 순항고도, 순항 속도, reserve mission rule 등을 변경할 수 있음
  - 또는 레이더 추적 데이터를 불러들여서 사용함

- 비행 경로를 지정하고 변경할 수 있는 GUI

  - 두 공항간의 항공기 이동 경로(ground track)를 지정하는 창으로 기본 옵션으로는 great circle track을 사용함
  - 사용자가 GUI 상에서 node를 추가할 수 있도록 함

- 또는 레이더 추적 데이터를 불러들여서 사용함

- 날씨를 설정하는 GUI

- 기본적으로 평균 날씨를 사용하도록 설정을 할 수 있으며 사용자가 임의로 바람, 온도 등을 변경할 수 있음
- 운항 DB에 연결이 되는 실제 날씨 데이터가 있는 경우 불러들여서 사용할 수 있음

- 시나리오 설정 GUI

- 각각의 스터디를 하나의 시나리오로 저장하여 스터디간의 비교 분석을 가능하게 해 줌
- 예를 들어 시나리오 1과 시나리오 2에서는 모든 조건은 동일하되 날씨만 다르게 설정하여 날씨의 변화가 온실가스 배출에 미치는 영향을 비교할 수 있음

○ 5단계

- 국적 항공사의 국내외 운항 스케줄에서 각종 필터를 적용하여 특정 항공사, 기종, 노선, 시간, 국가 등의 연구 범위를 설정

- 항공기 승객/화물 탑재량, 순항고도, 순항 속도, reserve mission rule 등을 설정

- 각각의 study를 하나의 시나리오로 저장하여 study간의 비교 분석하고 하나의 변수만을 변화시키면서 다른 시나리오를 구성하여 온실가스 산정

○ 6단계

- 표준 DB를 사용한 단일 비행 시 해외 유사 프로그램들(AEDT2b, AEIC, Piano-X)과 온실가스 배출량 산정값 비교 분석

- AEDT2b가 현재 가장 신뢰성이 있으므로 AEDT2b의 결과와 우선 비교함
- Tier 3b급 온실가스 배출량 산정을 위해서는 동일 시나리오에서 AEDT2b와 비교하여 온실가스 산정 오차가 5% 이내여야 함

- 실제 DB를 사용한 단일 비행 시 해외 유사 프로그램들(AEDT2b, AEIC, Piano-X)과 온실가스 배출량 산정값 비교 분석

- Tier 3b급 온실가스 배출량 산정을 위해서는 동일 시나리오에서 실제 DB와 비교하여 온실가스 산정 오차가 20% 이내여야 함

- 지역별, 항공사별, 국가별 거시적 분석을 수행하여 해외 유사 프로그램들(AEDT2b, AEIC, Piano-X)의 해석 결과와 비교분석

○ 7단계

- 해외 유사 프로그램들(AEDT2b, AEIC, Piano-X)과 온실가스 배출량 산정값 오차의 원인을 찾아 과학원 알고리즘 개발팀에 feedback

- AEDT2b가 현재 가장 신뢰성이 있으므로 AEDT2b의 결과와 우선 비교함
- Tier 3b급 온실가스 배출량 산정을 위해서는 동일 시나리오에서 AEDT2b와 비교하여 온실가스 산정 오차가 5% 이내가 될 때까지 지속적으로 알고리즘 검토 수정보완 요구

5. 목표시스템 구축에 의한 변경사항

5.1 변경사항

○ 2009년 12월 건설교통기술평가원에서 R&D로 발주한 교통부문 온실가스 관리 시스템(Korea Transport Emission Management System, KOTEMS)은 도로, 철도, 항공, 해운 등 각 교통수단별 온실가스 인벤토리 개발하고 통합 관리하는 시스템으로 크게 온실가스 배출량 정보시스템, 온실가스 목표관리 지원시스템, 온실가스 저감효과평가시스템으로 구성되어 있음

○ 목표 시스템인 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템은 KOTEMS의 항공부문에 대한 온실가스 관련 기능을 모두 포함하고 있으며, 추가적으로 온실가스 관련 국가 정책 업무를 지원할 수 있는 기능을 포함하고 있음

○ 또한, KOTEMS에 반영되지 않은 배출량 산정, 감축량 예측 및 경제성분석/의사결정지원 S/W를 클라이언트/서버 방식으로 개발하여 Tier 1, 2는 물론 3b급으로 배출량 산정이 가능하고 감축수단 적용을 통한 감축량 예측 기능을 포함하고 있으며, 국내·외 항공 온실가스 관련 정책/규제 등의 시나리오 및 감축수단 적용을 통한 경제성 분석 및 의사결정을 지원하는 기능이 포함되어 있음

5.2 변경사항의 당위성

○ 시스템 활용적 측면

- 기존에 개발된 KOTEMS는 항공부문에 대해 연차별 통계치만 제공되므로 사용자인 항공사는 해당 시스템에서 제공되는 데이터를 활용하여 자사의 정책 결정에 활용이 어려움

- 항공사에서 개별적으로 관리하고 있는 시스템(자동 또는 수동)과 데이터 연동에 어려움이 있어 기본 데이터 제공자인 항공사의 활용이 부진함

○ 국내·외 온실가스 관련 정책 대응 시스템 부재

- KOTEMS는 목표관리제, 항공부문 온실가스 인벤토리 보고서(NIR), 항공부

문 국가이행계획, 항공사 자발적 협약, 배출권거래제, ICAO MBMs 등과 같은 국내·외 온실가스 관련 정책 업무를 대응하기 위한 서비스가 제공되지 않는다. 또한 IPCC Tier2급의 산출 방법을 사용하고 있으며, 감축량 예측의 기능을 가지고 있지 않음

- 국외는 Aero2K, AEDT, FAST 등의 여러 항공 온실가스 추정 S/W를 활용하고 있으나, 국내는 온실가스를 산정 및 예측할 수 있는 시스템이 존재하지 않아 정량적 산정 및 예측이 어려운 실정임

○ 국외 S/W 활용의 어려움 및 국내 IPCC Tier3b급 산정 및 예측 S/W 부재

- 항공사는 항공기의 경제적 운항과 항공분야 연료사용량 및 온실가스 배출량 최소화에 기여하고 국내·외 온실가스 배출규제에 효과적으로 대응하기 위해 항공온실가스 산정 및 예측 시스템이 필요함

- 목표 시스템인 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템은 감축수단별 경제성 및 의사결정 기능지원, 감축수단별 저감효과 분석, 감축/기종/시나리오별 연료감축량을 분석하여 최적의 항공 온실가스 감축수단을 선정할 수 있게 함

- Tier 3b급 알고리즘이 탑재된 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템을 구축하여 ICAO 규제에 대한 능동적 대응 기술력을 확보하고, 항공기의 경제적 도입 및 최적화된 운항 정보를 제공하여, 국제 경쟁력을 강화함

6. 목표시스템 분석

6.1 장점

○ 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증은 국내 최초로 Tier 3b급 정밀도를 지닌 산정 모듈을 개발하여 EU-ETS, ICAO-ETS 등 탄소 배출권 거래제에 대비하고 국가 이행계획 수립에 기여함

- 항공온실가스 저감정책 수립 시 온실가스 산정 근거자료로서 정부 관리주체인 국토교통부 담당자들이 성과지표와 목표를 설정하여 계획 수립 활용이 가능해짐

○ 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증을 통해 예측 시스템 및 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈의 개발에 기여함

6.2 단점 및 제한사항

○ 지속적인 유지보수 비용이 발생되어야 함

- 신 기종별 항공기 개발에 따른 항공기 성능 제원 필요

- 온실가스를 감축할 수 있는 신기술이 개발되면 이에 따른 새로운 DB 구축과 적용 알고리즘도 개발되어야 함

○ 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증은 외부 DB에서 필요한 자료를 불러오는 방식이므로 모듈을 실행하는 동안은 외부 인터넷이 연결되어 있어야함

○ 항공 온실가스 산정 모듈 검증은 해외 AEDT2b, AEIC, Piano-X 등을 사용하므로 이러한 소프트웨어 upgrade 시 지속적으로 구매 비용이 필요함

○ 항공 온실가스 산정 모듈 구현 및 검증에서는 sample DB를 사용하나 실제 시스템에서는 전체 DB가 구축되어야 함

○ 사용자가 감축량 산정을 정확히 하기위해서는 실데이터가 존재하여야 하며, 실데이터가 없을 시 DB에서 제공되는 표준 데이터 값을 이용하게 되고 이는 오차범위가 발생할 수 있음

○ GIS 시스템이 Open GIS 등 공개된 시스템을 사용하지 않을 경우 지속적인 라이센스 비용이 발생할 수 있음

6.3 대안별 비교분석

○ AEDT에서 보듯이 항공 온실가스 산정은 정밀도 확보가 매우 어려운 기술로 유지보수를 통해 정밀도를 지속적으로 향상시켜야하며, 이에 따른 유지보수 비용이 발생함에 따라 지속적인 투자를 지원해야 함

○ DB에서 제공되는 표준 데이터 값을 이용하게 될 시 오차범위를 줄일 수 있는 방안을 지속적으로 모색해야 함

항공안전기술개발사업

AEDT2a 기능분석 연구 보고서

성과물 (A-1-②)

2015.8.21

공동연구기관 / 세종대학교

Infrastructure
R&D Report

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 최종보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

항공안전기술개발사업

AEDT2a 기능분석 연구 보고서

성과물 (A-1-②)

2015. 5. 30

공동연구기관 / 세종대학교

국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport

KAIA
국토교통과학기술진흥원
Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "항공온실가스 산정 및 예측 시스템 개발 연구" 과제의 AEDT 2a 기능 분석 연구보고서로 제출합니다.

2015 . 5 . 30

공동연구기관명 : 세종대학교
공동연구책임자 : 황 호 연
연 구 원 : 임 동 욱
" : 박 성 수
" : 박 병 운
" : 주 희 진

목 차

1. 해외 온실가스 배출량 산정 프로그램 Technical Manual 분석 ····· 1

가. AEDT2a 매뉴얼 분석 ····· 1

1) AEDT2a Introduction ····· 1

2) AEDT2a DATA ····· 2

가) AEDT2a Databases ····· 2

나) AEDT2a Input data ····· 3

다) AEDT2a의 Aircraft Performance ····· 4

나. AEIC(Aviation Emissions Inventory Code) 매뉴얼 분석 ····· 36

다. AERO2k 분석 ····· 40

2. 해외 프로그램을 사용한 항공 온실가스 배출량 산정 ····· 50

가. 검증에 사용할 국내 상황에 맞는 대표적인 Study 구성, 해석, 온실가스 산정 결과 도출 ····· 50

가) AEIC를 사용한 LTO(Landing and Take-off) 분석 ····· 50

나) AEIC를 사용한 Non-LTO 분석 ····· 54

다) AEIC 배출량 산정 결과 검증 ····· 58

라) Piano-X(Aero2k)를 사용한 온실가스 배출량 민감도 해석 ····· 58

3. 추가자료 ····· 68

가. 2015 춘계학술대회 CD ····· 68

나. 2015 춘계학술대회 목차 ····· 69

다. 2015 춘계학술대회 논문(1) ····· 70

라. 2015 춘계학술대회 논문(2) ····· 74

<표 차례>

표 1 Properties and Units of Instantaneous States ····· 4
표 2 Properties and Units of Segments ····· 5
표 3 2010 Flight Schedules of flight of 7 named Korean carriers World-World(2) ····· 23
표 4 2010 Flight Schedules of flight of 7 named Korean carriers World-World(3) ····· 24
표 5 2010 Flight Schedules of all flights(1) ····· 24
표 6 2010 Flight Schedules of all flights(2) ····· 24
표 7 2010 Flight Schedules of all flights(3) ····· 25
표 8 시스템간 교환자료 목록 ····· 30
표 9 약어표 ····· 40

<그림 차례>

그림 1 Example of bank angle smoothing, filtering and limiting ····· 36
그림 2 전체 온실가스 배출량 ····· 39
그림 3 민간항공기 온실가스 배출량의 column sum(2005년) ····· 40
그림 4 민간항공기의 전체 온실가스 배출량 비교 목록 ····· 40
그림 5 AERO2k web site ····· 41
그림 6 AERO2k flight movement tool로 요구되는 데이터를 가져오는 응용 프로그램들 간의 관계도 42
그림 7 AERO2k flight movement tool 개요 ····· 43
그림 8 미국의 레이더 데이터(ETMS-파란색)와 유럽의 비행 계획 데이터(AMOC-빨간색)의 차이를 나타내는 그림(4-5-6/10/2000) ····· 44
그림 9 ETMS와 AMOC의 동일 항공편도(ETMS-파란색, AMOC-빨간색) ····· 44
그림 10 그림 5의 ETMS와 AMOC의 비행 궤적 병합 후의 비행 궤적 ····· 45
그림 11 데이터 통합 과정 ····· 48
그림 12 DB 프로세싱 ····· 49
그림 13 공항별 Raw data format ····· 51
그림 14 공항별 Converted data format ····· 51
그림 15 AEIC Software 흐름도 ····· 52
그림 16 LTO 배출량 산정 결과(1) (2005년) ····· 53
그림 17 LTO 배출량 산정 결과(2) (2005년) ····· 53
그림 18 국내공항 LTO 배출량 산정 결과 그래프(2005년) ····· 54
그림 19 국내 단일 비행경로 ····· 54
그림 20 GMP(김포)-CJU(제주) 노선의 배출량 산정결과 ····· 55
그림 21 ICN(인천)-PUS(부산) 노선의 배출량 산정결과 ····· 55
그림 22 국외 단일 비행경로 ····· 56
그림 23 ICN(인천)-LAX(LA) 노선의 배출량 산정결과 ····· 56

그림 24 ICN(인천)-PEK(베이징) 노선의 배출량 산정결과 ····· 57
그림 25 AEIC Non-LTO 배출량 산정 결과(2005년) ····· 57
그림 26 AEIC와 타 항공 배출량 산정 프로그램 산정결과 비교 ····· 58
그림 27 AEIC를 사용한 위도/경도별 연간 배출량 계산과 AEDT 계산 결과 비교 ····· 58
그림 28 SA의 Payload-Range에 대한 분석 조건 ····· 59
그림 29 STA의 Payload-Range에 대한 분석 조건 ····· 60
그림 30 LTA의 Payload-Range에 대한 분석 조건 ····· 60
그림 31 임무형상에 따른 SA 항공기의 운항거리에 따른 고도 변화 ····· 61
그림 32 임무형상에 따른 STA 항공기의 운항거리에 따른 고도 변화 ····· 62
그림 33 임무형상에 따른 LTA 항공기의 운항거리에 따른 고도 변화 ····· 62
그림 34 SA 항공기의 설계유상하중과 항속거리에 따른 배출량 산정 ····· 63
그림 35 STA 항공기의 설계유상하중과 항속거리에 따른 배출량 산정 ····· 63
그림 36 LTA 항공기의 설계유상하중과 항속거리에 따른 배출량 산정 ····· 64
그림 37 SA 항공기의 상승, 순항, 하강 단계별 배출량 산정 ····· 65
그림 38 STA 항공기의 상승, 순항, 하강 단계별 배출량 산정 ····· 66
그림 39 LTA 항공기의 상승, 순항, 하강 단계별 배출량 산정 ····· 66

AEDT2a 기능분석 보고서

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

1. 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 분석하였다.

가. AEDT2a 매뉴얼 분석

1) AEDT2a Introduction

○ AEDT2a Overview

- AEDT2a는 FAA-AEE에서 개발하고 있는 대표적인 항공 온실가스 배출량 산정 tool이다. 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 가능하다.
- AEDT 2a는 항공 공역 그리고 비행 절차를 위한 항공기 소음, 배기가스, 연료소모 등을 모델링하는 공식적인 FAA tool인 NIRS (Noise Integrated Routing System)를 대신한다. 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 것이다.

○ AEDT2a System Architecture

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

- AEDT 2a의 output은 fleet mix, receptor sets, 비행성능, 소음, contours, 연료 소모, 지역의 공기 질 그리고 온실가스 배출에 대해 설명하는 리포트와 그래프 그리고 테이블을 포함한다.

○ AEDT2a About this technical manual

- 이 매뉴얼은 AEDT 2a의 주요 기능에 대하여 사용된 방법론에 대한 기술적인 설명이다. 따라서 이 매뉴얼에 타겟 독자는 AEDT 모델에 대한 기술적인 설명을 깊게 이해할 수 있는 독자이다. AEDT 2a의 사용에 관한 문서는 AEDT 2a User Guide를 이용해야 한다.

2) AEDT2a DATA

가) AEDT2a Databases

- AEDT 2a의 모든 데이터는 Microsoft SQL Server 2008 R2 databases에 저장되고 이 데이타베이스는 전 세계의 공항, 공역, Fleet 정보를 포함하고 있다.
- AEDT2a는 시스템 데이터베이스에 대해서 다음과 같은 set을 따라간다.

· 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

○ AEDT2a Study

- AEDT 2a 스터디 데이터베이스는 공항과 Fleet 데이터베이스의 테이블을 포함한 사용자 입력과 시스템 데이터에 대한 120개의 테이블로 구성되어있다.
- AEDT 2a에서의 새로운 연구를 하기 위해서는 AEDT Standard Input File(ASIF)을 사용해야 한다. ASIF의 입력으로 AEDT 연구가 진행될 때, 스터디 데이터베이스에 있는 공항 테이블은 ASIF에 참조된 공항 데이터에 위치해 있다. 그에 반해서 모든 항공기 정보는 스터디 데이터베이스의 fleet 테이블에 위치해 있다. 이 스터디 데이터베이스는 총 29개의 공항 데이터베이스 테이블을 포함하고 있다. 공항관련 테이블의 이름은 모두 APT_로 시작한다.
- 이 스터디 데이터베이스에는 총 37개의 Fleet 데이터베이스 테이블을 포함하고 있다. 이 Fleet 데이터베이스 table의 이름은 모두 FLT_로 시작한다. 이 테이블들은 Fleet 데이터베이스의 모든 항공기 목록이 구축되어있다. 구체적인 연구에 사용된 항공기는 AIR-OPERATION_AIRCRAFT 테이블에서 참조할 수 있다.

- ASIF는 AEDT에 입력할 수 있다. 그리고 연구내용과 분석들은 표, 그래픽, GIS 등의 다양한 형식으로 시각화 할 수 있다.

○ AEDT2a STUDY_ROOT

- AEDT 2a Study Root (STUDY_ROOT) database는 AVAILABLE_STUDIES 라 명명된 single 테이블에 포함되어 있다. 이 테이블은 4개의 column으로 구성되어있고 AEDT 2a databases에 존재하는 목록을 포함한다. 이 리스트는 Load_Study 라는 다이얼로그 박스에서 나타낸다.

○ AEDT2a Airport

- AEDT 2a 데이터베이스는 활주로, 비행 궤적, 과거 대기조건 그리고 표준시간대와 같은 공항 데이터와 공항의 글로벌 set의 31개의 테이블로 구성되어있다. AEDT 2a 연구는 공항 데이터를 포함한다. 섹션 2.1.1에도 나와 있듯이 공항 테이블은 연구의 참고되는 공항에 대한 적절한 data를 보유해야 한다. 그러므로, 연구에 대한 공항 테이블은 항상 AEDT 2a 공항 데이터베이스를 보유한 데이터의 부분집합을 포함한다.

○ AEDT2a Fleet

- AEDT 2a Fleet 데이터베이스는 AEDT 시스템에 사용하기 위한 항공기 정보를 저장한 90개의 테이블을 보유하고 있다. AEDT 2a Fleet 데이터베이스 테이블은 physical, 모델링 그리고 type이 각각 3 tiers로 나눠져 있고 서로 연결되어있다.

나) AEDT2a Input data

○ AEDT2a External Data

- Weather

· 연평균 날씨는 AEDT 2a에 포함된 모든 공항에 대해 제공된다. 그 외에는 사용자가 더 정확한 날씨를 제공할 수도 있다.AEDT 2a는 RUC13, RUC20, GEOS, NCAR의 데이터 형식을 수용하고 있다. AEDT 2a연구에 이용할 수 있는 날씨 데이터는 다음과 같은 체계에 근거하여 적용된다.

1. 신뢰성 높은 날씨데이터(사용자 입력) 순서
    a. RUC13
    b. RUC20
    c. GEOS
    d. NCAR
2. AEDT 2a 공항 데이터베이스로부터의 연평균 날씨

3. 국제표준대기(ISA) 날씨 조건은 다른 날씨 데이터들을 이용할 수 없을 때 비로소 적용된다.

- Terrain

- Boundary

다) AEDT2a의 Aircraft Performance

- AEDT 2a는 공항 터미널과 비행경로, 추력단계, 연료소모 등의 항공기 성능 정보를 계산해 준다. 이렇게 계산된 정보는 소음과 배기가스 배출 계산의 주요 입력값을 제공한다.

○ AEDT2a Trajectories

- AEDT 2a는 추력, 연료소모, 배기가스 배출모드 뿐만 아니라 완벽한 4차원의 각 부분별 비행경로에 대한 계산을 수행한다. 항공기의 위치에 대한 변화가 포함되어있기 때문에 trajectory라 부른다.

- Properties

· 이 trajectory는 각 단계(segment)들의 합으로 근사적으로 나타낸다. 각각의 단계는 그 단계마다 처음과 마지막의 순간적인 항공기 상태와 관련된다. 다음은 항공기 성능과 상태에 대한 서술이 덧붙여진다. 2개의 인접한 세그먼트가 주어졌을 때, 첫 번째 세그먼트의 마지막 상태는 두 번째 세그먼트의 첫 번째 상태와 같다.

표 1 Properties and Units of Instantaneous States

Property	Units
Cumulative horizontal distance	m
Time	s
Altitude with respect to the associated field elevation	m
Altitude with respect to mean sea level	m
Groundspeed	m/s
Corrected net thrust per engine	N
Weight	kg
Noise thrust	N, %, other (see Section 3.6.2.1.1)
Projected unit vector	(dimensionless) (see 3.7.1.3)
Bank angle (for fixed-wing)	degrees
Heading (for rotary-wing)	degrees
Latitude	degrees
Longitude	degrees

표 2 Properties and Units of Segments

Property	Units
Horizontal length	m
Change in noise thrust per engine	N, %, other (see Section 3.6.2.1.1)
Change in speed	m/s
Fuel flow rate per engine	kg/s
Amount of fuel burned (all engines)	kg
Duration	s
Total length	m
Noise operation mode or helicopter mode	(dimensionless, see Section 2.1.4.1)
Trajectory mode	(dimensionless, see Section 5.1)
Nominal Mach number	(dimensionless, see Section 3.6.3.1.6)
Dew point temperature	K
Pressure	N/m/m
Relative humidity	%
Temperature	K
Sea-level pressure	N/m/m
Wind vector	m/s
Mixing height	m
Pressure ratio	(dimensionless, see Section 1.4)
Temperature ratio	(dimensionless, see Section 1.4)

- Targets and Extensions

· AEDT 2a에서 성능은 target flight profile 또는 target trajectory로부터 유도된다. 두 개의 방법 모두 지상 궤적의 상세명세(ground track specification)를 필요로 하지만 프로파일로부터 제공된 target states는 track에 따른 어떤 거리라도 도달될 수 있다. 반면에 target trajectory는 트랙에 대한 표면 coordinate target과 함께 고도와 속도의 target을 통합한다. 그리고 Ground track, profiles 그리고 target trajectory 각각은 명쾌하게 정의된 부분을 특징으로 삼는다.

○ AEDT2a Performance Model

- AEDT 2a의 성능모델은 두 개의 항공기 비행성능 설명서를 근거로 하고 있다. 첫 번째는 European Civil Aviation Conference (ECAC) Doc 29로, 이것은 Society of Automotive Engineers Aerospace Information Report No.1845을 주로 기초로 한다. 이 설명서는 오직 공항 터미널지역 내에서 사용 가능하다. 적절한 계수값들(Coefficients)의 이용이 가능 할 때, AEDT 2a는 공항 터미널 지역에서의 Senzig-Fleming-Iovinelli (SFI) fuel burn model을 또한

사용 가능하다.

- EUROCONTROL's User Manual for the Base of Aircraft Data (BADA)는 성능 계산을 할 때 사용하는 두 번째 설명서이다. BADA 비행 동역학 식들과 모델링 계수들은 모든 비행구간에 대해 정의되어 있지만, AEDT 2a에서는 en-route 구간에 대해서만 주로 사용하고 있다. BADA는 SFI fuel burn Model을 위한 계수를 이용할 수 없을 때 공항 터미널 지역을 모델링하는데 사용가능한 fuel burn model에 대한 내용도 포함하고 있다. 그리고 en-route 모델링에 대해서는 계수 이용 여부에 상관없이 사용가능하다.
- 두 개의 성능 설명서 모두 표준 비행 절차를 포함한 core set으로 유지된다. 각 설명서는 대기모델 그리고 비행역학, 표준 플랩(flap) 형상에 대한 공기역학 계산식들 그리고 표준 동력 세팅을 위한 추력에 대한 식을 제공한다. 또한 각 설명서는 이러한 계산을 수행하기 위한 항공기 모델링 계수들을 포함한 데이터베이스를 가지고 있다. BADA 설명서는 BADA 데이터베이스를 가지고 있고, 1845/Doc20 설명서는 Aircraft Noise and Performance (ANP) 데이터베이스를 가지고 있다.
- BADA와 ANP 데이터베이스로부터의 데이터는 AEDT 2a Fleet 데이터베이스에 저장되고 장비결합(기체, 엔진 모델 그리고 엔진의 개량)의 최소 세트에 대한 모델링 데이터를 보유하고 있다. 모델링 데이터가 없는 몇몇 장비 결합을 위한 대안의 모델링 결합들은 대략적인 결합을 제공한다.

○ AEDT2a Weather Model

- Weather field는 공간과 시간의 주어진 영역을 넘어 바람 그리고 열역학적 변화로 구성되었다. 비록 1845/Doc29 성능 모델은 ISA (국제 표준 대기) 날씨 모델로 분류되지만, AEDT 2a는 고객 요청에 따라 정확성이 높은 날씨 데이터 또는 공항 평균 날씨 데이터를 모두 허용하는 모델을 사용한다. AEDT 2a는 제공된 날씨 데이터 타입의 순서를 배치한다. Weather field에서 사용자는 섹션 2.2.2.1.에 설명되어진 날씨 데이터 형식을 이용할 수 있다.
- 날씨 데이터 자료의 체계는 모든 요구된 지역과 시간에 적용할 수 있다. AEDT 2a는 지역과 시간이 명시되었을 때, 그 요구조건에 RUC13 데이터를 이용할 수 있는지 없는지를 먼저 체크한다. 만약 이용가능하다면, 그 지역과 시간에 대한 날씨는 그 dataset으로부터 가져온다. 만약 이용할 수 없다면, 같은 방법으로 RUC20 데이터를 사용할 수 있는지 검토한다. 이러한 사이클은 GEOS 데이터, NCAR 데이터 그리고 마지막으로 AIRPORT데이터까지 계속된다. 만약에 가지고 있는 데이터 소스를 이용할 수 없는 지역과 시간이라면, ISA

날씨 데이터를 이용한다.

- AEDT 2a Pressure Altitude

· 압력고도는 주어진 압력 또는 압력비가 발생하는 ISA에서의 MSL(Mean Sea level) 고도로 정의된다. AEDT 2a는 주어진 압력비, δ로 이뤄진 다음 식으로 압력고도 h_p를 계산한다.

$$h_p = \frac{T_{SL_{ISA}}}{\alpha_{ISA}}\left(1-\delta^{\frac{1}{5.256}}\right)$$

여기서

h_p 압력고도 (ft);

$T_{SL_{ISA}}$ ISA sea-level 온도 518.67° R;

α_{ISA} ISA 온도 체감률 0.003566° R/ft;

δ 항공기 고도에 따른 압력비 (무차원).

- AEDT 2a Temperature Deviation from ISA

· ISA로부터 온도 편차는 ISA에서 주어진 지역과 시간에 대한 온도가 실제 온도와 다를 때를 의미한다.

$$\triangle T(x,y,z,t) = T(x,y,z,t) - T_{ISA}(z)$$

여기서

$\triangle T(x,y,z,t)$ ISA에서 주어진 지역과 시간에 대한 온도편차 (K);

$T(x,y,z,t)$ 지역과 시간에 대한 실제 온도 (K);

$T_{ISA}(z)$ ISA에서 주어진 지역과 시간에 대한 온도 (K).

○ AEDT 2a Airport Average Atmospheric Models

- AEDT 2a는 비행에 관련된 공항에 30년 동안의 연평균자료를 기반으로 한 Weather field를 제공한다.

○ AEDT 2a Thermodynamic Profiles

- 열역학적 성질(온도와 압력)에 대한 참고값들은 명시화된 고도에 의해 주어지고 대기 프로파일은 ISA로 부터의 데이터와 비슷하게 실제 데이터를 맞추도록 구성되어있다.

온도 T는 다음과 같이 계산된다.

$$T = T_{airport} - \alpha_{ISA}(h - h_{airport})$$

여기서,

$h_{airport}$ MSL위의 공항 고도 (ft);

h MSL위의 고도 (ft);

$T_{airport}$ 공항 온도 (° R);

α_{ISA} ISA 온도 체감률 0.003566(° R/ft).

압력 P는 다음과 같이 계산된다.

$$P = P_{SL_{ISA}}\left[\left(\frac{P_{SL}}{P_{SL_{ISA}}}\right)^{\frac{1}{5.256}} - \frac{\alpha}{T_{SL_{ISA}}}h\right]^{5.256}$$

여기서,

P_{SL} 공항과 관련된 sea-level 압력 (inches Hg);

$P_{SL_{ISA}}$ ISA sea-level 압력 29.92 inches Hg;

$T_{SL_{ISA}}$ ISA sea-level 온도 518.67° R.

○ AEDT 2a Omnidirectional Wind

- AEDT 2a에서 바람은 일정한 속도를 가지고 항상 항공기 진행방향과 반대방향(headwind)으로 변한다. 이 역풍은 고도, 위도, 경도, 시간과 관련 없이 비행 내내 적용된다. AEDT 2a는 공항과 가까운 부근의 역풍 평균값을 사용하였다.

○ AEDT 2a High-Fidelity Weather Model

- AEDT 2a는 모든 대기 성질(온도, 압력, 바람의 크기와 방향, 밀도, 이슬점, 습도)의 변화를 고려하는 신뢰성 높은 날씨모델을 제공한다.

○ AEDT 2a Fuel Burn Model

- AEDT 2a는 고정익 항공기의 각 비행구간에 대해 두가지방법으로 연료소모량을 계산한다. BADA User Manual과 Senzig-Fleming-Lovinelli 방법이다.

- AEDT 2a Fixed-Wing BADA Fuel Burn

· 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 이용한다.

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

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 계산되어진다.

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

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 주어진다.

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

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

- AEDT 2a Fixed-Wing Senzing-Fleming-Iovinelli Fuel Burn

· Senzig-Fleming-Iovinelli 방법에서는 Volpe National Transportation System Center에서 개발된 운용 타입과 공항지역의 비 연료소모 방법이 사용된다. 출발하는 동안에 엔진 당 연료 흐름률 $f_{n_{dep}}$(kg/min)은 다음과 같이 계산된다.

$$f_{n_{dep}} = (C_1 + C_2 M + C_3 h_{MSL} + C_4 F_n / \delta) \sqrt{\theta} F_n \quad \text{Eq. 3-7}$$

여기서,

C_1 aircraft-specific 공항지역에서 출발하는 TSFC의 첫 번째 계수 (kg/min/kN), (i.e.[FLT_ANP_AIRPLANE_TSFC_COEFFICIENTS].[COEFF1] field);

C_2 aircraft-specific 공항지역에서 출발하는 TSFC의 두 번째 계수 (kg/min/kN), (i.e.[FLT_ANP_AIRPLANE_TSFC_COEFFICIENTS].[COEFF2] field);

C_3 aircraft-specific 공항지역에서 출발하는 TSFC의 세 번째 계수

(kg/min/kN/foot),(i.e.[FLT_ANP_AIRPLANE_TSFC_COEFFICIENTS].[COEFF3] field);

C_4 aircraft-specific 공항지역에서 출발하는 TSFC의 세 번째 계수(kg/min/kN/lb), (i.e.[FLT_ANP_AIRPLANE_TSFC_COEFFICIENTS].[COEFF4] field);

h_{MSL} MSL에 대한 항공기 고도 (ft);

M 항공기 마하수 (무차원);

θ 해수면 온도에 대한 항공기 고도별 온도의 비 (무차원);

F_n/δ 엔진당 항공기 보정 순 추력 (lbf);

F_n 엔진당 항공기 순 추력 (kN).

도착하는 동안에 엔진 당 연료 흐름률 $f_{n_{arr}}$ 을 계산하는 식은

$$f_{n_{arr}} = \left(C_1 + C_2 M + C_3 e^{-\frac{C_4 F_n/\delta}{F_{n_0}}} \right) \sqrt{\theta}\, F_n \quad \text{Eq. 3-8}$$

C_1 aircraft-specific 공항지역에서 도착하는 TSFC의 첫 번째 계수 (kg/min/kN), (i.e.[FLT_ANP_AIRPLANE_TSFC_COEFFICIENTS].[COEFF4] field);

C_2 aircraft-specific 공항지역에서 도착하는 TSFC의 두 번째 계수 (kg/min/kN), (i.e.[FLT_ANP_AIRPLANE_TSFC_COEFFICIENTS].[COEFF1] field);

C_3 aircraft-specific 공항지역에서 도착하는 TSFC의 세 번째 계수 (kg/min/kN), (i.e.[FLT_ANP_AIRPLANE_TSFC_COEFFICIENTS].[COEFF2] field);

C_4 aircraft-specific 공항지역에서 도착하는 TSFC의 네 번째 계수 (무차원), (i.e.[FLT_ANP_AIRPLANE_TSFC_COEFFICIENTS].[COEFF3] field);

M 항공기 마하수 (무차원)

θ 해수면 온도에 대한 항공기 고도별 온도의 비 (무차원)

F_n/δ 엔진당 항공기 보정 순 추력 (lbf);

F_n 엔진당 항공기 순 추력 (kN);

F_{n_0} ISA(국제 표준 대기) 해수면 고정 추력 (lbf)

- AEDT 2a Helicopter Fuel Burn

· AEDT 2a는 “climbout” ICAO 운용모드와 일치하는 헬리콥터의 엔진 비 연료 흐름률을 사용한다. 왜냐하면 헬리콥터 공항 터미널 지역 프로파일 계산은 고정익 항공기를 계산하는 것과 달리 force-based 보다는 modal로 계산된다. 각 비행경로 구간에서 소모되는 연료 양에 의해 줄어드는 무게로 초래된 동적 헬리콥터 무게는 계산된 비행경로에 영향을 미치지 않는다.

○ AEDT 2a Ground Track

- 지적선(ground track)은 항공기가 따라가는 경로의 수평성분을 결정한다. 이

것은 궁극적으로 순서대로 연결된 점을 나타낸다. 이 각각의 점은 지리학적 좌표(위도, 경도)또는 projected 좌표 둘 중 하나로 표현된다. 이 projected 좌표는 관련된 공항으로부터 동쪽과 북쪽으로 이동하는 것을 x, y 값으로 나타낸 것이다. AEDT 2a에서 공항들은 공항의 정상(norminal) 위치를 나타내는 속성을 가진 위치를 가지고 있다. 달리 언급이 없다면, AEDT 2a 성능 계산은 projected 좌표 공간에서 일어난다. 각 지적선은 AEDT 2a 사용자에 의해 명쾌하게 정의된 부분으로 구성되고 AEDT 2a의 계산에 의해 확장된다.

- AEDT 2a Explicit Ground Track

· AEDT 2a에서는 두 종류의 지적선 설명서를 제공한다

1. 순서대로 연결된 점 set ;
2. 순서대로 연결된 vectoring command (예를 들면, fly straight 5.5 nmi, 2.0 nmi 반경에서 왼쪽으로 90° 회전)

주어진 점들의 track은 지리학적 좌표(AEDT 2a 내부에서 projected counterparts를 만들 수 있을 경우)또는 projected 좌표(좌표 변환이 필요 없을 경우)로 명시될 수 있다. 벡터 track은 projected 좌표 시스템에서의 점들을 생성하기 위해 사용된다.

- AEDT 2a Points from Vector

· AEDT 2a에서는 vectoring command를 일련의 x, y 점으로 변환시키고 접근 track을 활주로에 정렬하기위한 절차를 진행하고 접근 track에 선도선(leader line)을 추가하고 출발 track에는 추종선(follower line)을 추가한다.

· 접근 vector track을 처리할 때, 트랙의 초기 지역 또는 방향에 대한 사전 정보가 없다. 그래서 AEDT 2a는 최초 출발지에서 트랙을 시작하고 북쪽으로 향한다. x, y 좌표에 대한 모든 계산 후에, 트랙 점의 전체는 활주로 끝의 접근과 동일하게 배열하기 위해 이동되고 회전되어진다.

· AEDT 2a는 두 개 또는 그이상의 직선으로 지적선의 원호 부분을 근사화 한다. ECAC Doc 29에서 참고 된 방법이 사용된다. 먼저, 호의 전체 회전각 ξ (라디안)을 포괄하여 사용하기 위해 sub-arc의 개수 n_{sub} 가 계산되어진다.

$$n_{\text{sub}} = \text{int}\left(1 + \frac{\xi}{40}\frac{180}{\pi}\right) \quad \text{Eq. 3-9}$$

여기서 함수 int(x)는 x의 정수부분을 나타낸다.

다음으로, 각 sub-arc의 각의 크기 $\triangle\xi$ 가 계산되었다.

$$\triangle\xi = \frac{\xi}{n} \quad \text{Eq. 3-10}$$

· 각 sub-arc는 두개의 직선으로 근사화되고, 3개의 표면좌표들로 한정된다. 먼저, 첫 번째 표면좌표는 sub-arc의 시작 부분이고 세 번째 포인트는 sub-arc의 끝부분이다. 두 번째 좌표는 sub-arc의 크기의 중간지점이며, sub-arc의 중심으로부터의 거리 r_2는 다음과 같이 주어진다.

$$r_2 = r \bullet \left[\cos(\frac{\triangle\xi}{2}) + \sqrt{(\frac{\triangle\xi}{2})^2 - \sin^2(\frac{\triangle\xi}{2})}\right] \quad \text{Eq. 3-11}$$

여기서

r 호의 반지름 (m).

· 이 방법은 20도가 넘지 않는 회전각을 직선부분으로 대체하게 한다. 또한, 직선부분의 비행시간이 원호를 따라 비행한 시간과 같기 위해서 선의 길이의 합은 호의 길이와 같다.

- AEDT 2a Radius of Curvature

· 항공기 지적선의 선회 반경은 항공기 회전(banking)을 계산하는데 중요하게 고려된다. vector track을 위해서는 선회반경이 필요하지 않다. 점집합 트랙을 위해, 선회반경은 표면 좌표계 데이터로부터 계산되어야 한다. 이 목표는 다음의 3단계를 통해 충족된다.

1. 트랙 점 좌표계는 규칙적인 간격으로 보간된다.
2. 선회 반경은 보간점에 의해 계산된다.
3. 선회 반경값은 보간되어 원래 점으로 되돌아간다.

· 첫 번째 단계에서 각 트랙은 0.5 해리(nautical mile)간격으로 3차 스플라인(cubic spline)보간을 한다. 3차 스플라인은 모든 트랙 점들과 접촉하기 위해 탄력있는 플라스틱 조각을 늘이는 것과 유사하다. 보간된 트랙은 1차 미분했을 때 연속적이며 매끄러운 곡선이여야 하고 2차 미분했을 때는 비행 트랙에서 실제로 항공기가 따라갈 수 없는 급격한 끝부분을 제거하기 위해 연속성을 띄어야 한다. 곡률 미분은 트랙 끝점에서 정의할 수 없다. 그래서 두 번째 미분했을 때 끝점 0을 가지는 중립점이여야 한다.

· 다음단계는 세 개의 연이은 트랙 점을 고려하여 각 점의 선회 반경을 계산한 것이다. 선회 반경은 세 개의 점을 통과하는 원의 반지름과 같다. 그원

의 반지름 r(m)는 다음과 같이 계산된다.

$$r = \frac{a \bullet b \bullet c}{4 \bullet K} \quad \text{Eq. 3-12}$$

여기서

a, b, c 트랙에서 연속된 세 개의 점 사이의 거리 (m);

K 점으로 형성된 삼각형 형태의 넓이 (m^2)

· 계산된 반경은 중간점에 지정되고, 그 과정은 각각의 세 개의 연속된 트랙 점에서 반복된다. 처음과 마지막 점은 반경의 정의되지 않기 때문에 이러한 점들의 반경은 무한대로 지정된다.

- AEDT 2a Ground Track Extensions

· 출발선과 영공비행의 지적선은 명확히 정의된 각 끝부분에서 100nmi 당 10 트랙 부분에 대한 default extension으로 주어진다. 지적선의 시작부분도 이와 동일하다. 만약 study boundary가 있다면, study boundary를 위해 비행경로를 줄이거나 늘이는 것이 활성화된다면, 100 nmi 부분은 비행 중 경계에 도달하기 위해 모든 지적선의 비행 끝점에 추가될 것이다.

○ AEDT 2a Profile-Driven Flight Performance

- 비행경로(profile)는 지표면에 대한 거리의 함수로서 항공기 상태 특징(고도, 속도, flap setting, 추력)으로 항공기 움직임을 묘사한다. 비행경로는 항공기가 가야하는 경로에 대한 정보를 보유하지는 않는다. 프로파일에 의해 비행성능이 나타났을 때, AEDT 2a는 명확히 정의된 비행경로 부분에 대해서 우선 계산을 수행한다. 그리고 연구경계조건에 맞게 확장해서 계산해준다.

- AEDT 2a Local Weather

· 절차에 따라 계산되는 각 단계에서, 날씨 조건은 측면 또는 일시적인 변화를 가지면 안된다. 즉, 가장 최근의 시간과 계산된 표면 좌표계의 대한 대기 프로파일이 전 단계를 통틀어 일정하다고 가정된다. 용어 atmospheric profiles는 고도에 따른 열역학적 부분과 headwind의 변화에 대해 언급한다.

- AEDT 2a Explicit Profile

· 프로파일 궤적은 절차 또는 상태에 대한 성분의 순서대로 구성되어 있다.

· Airplane profile

항공기 프로파일은 시간의 흐름에 따라 항공기 진행상태가 어떻게 되는지 설

명한다. 절차단계에 따라 비행경로가 구성되면 AEDT 2a는 프로파일 점들을 계산하기위해 단계별로 처리한다.

· Thrust Specification

· Thrust Value

명확한 추력 값이 제공될 때, 그 값은 엔진당 보정 순 추력의 크기를 나타낸다. 단계별 절차를 위해, 주어진 추력은 성능모델에 대한 목적을 이루기 위해 전 단계의 걸쳐 적용된다. 명확한 값 옵션은 고정된 프로파일 점들뿐만 아니라 지표에서 출발할 때, 일정하게 CAS 상승 또는 가속 상승하기 위해 이용할 수 있다. 이것은 또한 braking ground roll의 퍼센트로 이용 가능하다.

· Thrust Rating

추력이 rating에 대해 제공될 때, 엔진당 보정 순 추력은 ANP 데이터베이스로부터 변수설정을 해서 계산되어진다. Rating은 최대이륙동력, 상승감소, idle 등과 같이 항공기에 대한 표준 힘 레벨을 나타낸다.

· Jet Rated Thrust

AEDT 2a는 SAE-AIR-1845[14]의 식(A1)의 수정 버전을 사용함으로 제트항공기의 엔진당 보정 순 추력을 계산할 수 있다.

$$\frac{F_n}{\delta} = E + F \bullet v + G_A \bullet h^2 + H \bullet T_C$$

여기서,

$\frac{F_n}{\delta}$ 엔진당 보정 순 추력 (lbf);

v 대등/보정 대기 속도 (kt);

h 압력 고도 (ft) MSL;

T_C 항공기 온도 (° C);

E, F, G_A, G_B, H 회귀계수(regression coefficients)는 동력상태(최대이륙동력 또는 최대상승동력)와 온도상태(휴지점 위, 아래의 엔진온도)

AEDT 2a는 SAE-AIR-1845의 명시된 선형추정량(linear estimate) ($G \cdot h$)보다 고도 식 ($G_A \cdot h + G_B \cdot h^2$)를 위한 2차식(quadratic estimate)을 사용한다.

AEDT 2a는 이륙, 상승 또는 idle step과 같이 명시된 프로파일 단계를 잘 맞게 하는 계수세트를 사용함으로서 제트엔진을 만든다. 많은 항공기는 최대이륙동력과 최대상승동력의 각 두 개의 계수세트를 가지고 있다. 주어진 동력상

태를 위해, AEDT 2a는 휴지점 위, 아래의 계수들$(E,F,G_A,G_B,H)_{high}$과 $(E,F,G_A,G_B,H)_{low}$ 와 주변 온도를 이용하여 제트엔진의 휴지점 온도에 대한 효과를 만든다.

만약 높은 온도계수가 데이터베이스에 없다면, AEDT 2a는 다음식으로부터 높은 온도 보정 순 추력을 계산할 수 있다.

$$\left(\frac{F_n}{\delta}\right)_{high} = F_{low} \bullet v + (E_{low} + H_{low} \bullet T_{BC}) \frac{1 - 0.003 \bullet T_F}{1 - 0.003 \bullet T_{BF}}$$

여기서,

$\left(\frac{F_n}{\delta}\right)_{high}$ 높은 온도 보정 순 추력 (lbf);

$E_{low}, F_{low}, H_{low}$ 낮은 온도 식을 위한 회귀계수 (lbf, lbf/kt, lbf/° C);

v 보정 대기 속도 (kt);

T_F 항공기 온도 (° F);

T_{BC} 휴지점 온도, T_{BC}=30° C 일 때;

T_{BF} 휴지점 온도, T_{BF}=86° F 일 때.

· Propeller Rated Thrust

AEDT 2a는 SAE-AIR-1845의 식(A4)를 사용함으로서 프로펠러 추진 항공기의 엔진당 보정 순 추력을 계산한다.

$$\frac{F_n}{\delta} = \frac{\left(\frac{325.87 \bullet \eta \bullet P}{v_T}\right)}{\delta} \quad \text{Eq. 3-15}$$

여기서,

325.87 nit conversion: 마력/kt to lbf;

η 프로펠러 효율, 동력상태에 의존하는 (무차원);

P 엔진당 동력(마력, MSL standard day), 동력상태(최대이륙 또는 최대상승)에 의존하는 (무차원);

v_T 실제 대기 속도 (kt);

δ 항공기 고도에 따른 압력비 (무차원)

· Minimum Engine-Out

힘 균형을 기반으로 하는 유일한 추력단계(AEDT 2a 성능 계산에 관한 입력값으로 명시되는)는 최소한 engine-out 추력이다. 이 추력에 대한 계산은 다음

세종대학교 SEJONG UNIVERSITY

과 같다.

$$\frac{F_n}{\delta} = \frac{\left(\frac{W}{\delta_2}\right)\left\{\left[\frac{\sin\left(\tan^{-1}\frac{G}{100}\right)}{K}\right] + R_f\right\}}{N-1} \quad \text{Eq. 3-16}$$

여기서

W 출발 프로파일 무게 (lbf);

δ_2 고도 A_2에서 압력비 (무차원);

G FAR Part 25[27]로부터 engine-out 퍼센트 상승 변화도 (무차원)
G=0% 항공기 자동 추력 저장 시스템;
G=1.2% 엔진 2개 항공기;
G=1.5% 엔진 3개 항공기;
G=1.7% 엔진 4개 항공기.

K 속도-의존 상수 (무차원)
K=1.01 ,상승속도≤200 kts일 때;
K=0.95 ,그외에

R_f 양력에 대한 항력계수, 플랩설정에 의존하는 (무차원);

N 엔진 개수 (N>1) (무차원).

이 옵션은 일정한 CAS 상승 또는 가속 상승에서 이용할 수 있다.

· Thrust Airspeed

프로펠러 절차는 보정 대기 속도의 형식에 따라 속도를 명시한다. 실제 대기 속도는 AEDT 2a에서 나타내진 비행역학과 관련있다. 보정 대기 속도는 Doc 29 성능 설명서에서의 대기 속도와 같다고 가정한다. profile-driven 운용부분에서 정의된 실제 대기속도는 SAE-AIR-1845 식(A5)에 의해 계산된다.

$$v_{T=v/}\sqrt{\sigma} \quad \text{Eq. 3-17}$$

여기서,

v_T 실제 대기 속도 (kt);

v 보정 대기 속도 (kt);

σ 항공기 고도에서 공기밀도비 (무차원).

· Displaced Thresholds and Threshold Crossing Height

출발비행경로는 출발 활주로 끝에서부터 주어진 거리로 시작된다.

$$D = D_{dep} + \triangle_{trk} \quad \text{Eq. 3-18}$$

여기서,

D 활주로 끝에서 굴러가기 시작한 거리 (ft);

D_{dep} 활주로에서 출발 지점 (ft) (사용자 입력);

$\triangle_{trk}$ 출발 지적선(ground track)의 델타 거리 (ft) (사용자입력).

진입비행(approach flight)은 활주로 끝에서 진입으로부터 주어진 거리를 지나 착륙한다.

$$D = D_{app} + \triangle_{trk} + \frac{h_{tc} \bullet |d_{-1}|}{z_{-1}} \quad \text{Eq. 3-19}$$

여기서,

D_{app} 활주로에서 도착 지점 (ft) (사용자 입력);

h_{tc} 활주로에서 도착지점을 가로지르는 거리 (ft);

d_{-1}

z_{-1}

몇몇 절차단계에서 지속시간과 수평 길이는 지역 날씨 변화에 따라 변한 이후로, 비행경로 길이는 어디에서 경로를 시작했든지 시간과 지역에 의존하게 되었다. 항공기 경로는 시간과 수평 길이에 관해 순서대로 계산된 이후로, 그들의 출발 시간과 지역은 어쩔 수 없이 반복적으로 결정되었다. 초기지역은 모든 지적선(ground track)에 의해 시작되는 것으로 설정하고 초기시간은 정각(on time)에 도착하는 것으로 설정한다.

· Profile Component

Profile Componet는 어떻게 AEDT 2a가 명시화된 프로파일 성분 형태를 처리하는지에 대해 설명해준다. 일반적으로, 하나의 절차단계는 하나의 프로파일 점을 생성한다. 하지만 여기에 몇 가지 예외가 있다. 예를 들면 이륙단계는 두 점(start-roll 그리고 takeoff rotation)을 생성한다. 또한, 추력설정을 바꿨을 때(예를 들어 최대이륙에서 최대상승까지), 추력이 짧은 거리(1,000ft)의 불연속 점들 대신 연속적으로 변하게 하기위해 여분의 프로파일 점이 만들어진다.

때때로 하나의 절차단계의 데이터는 프로파일 점이 계산되기 전에 인접한 단계의 데이터와 결합한다. 예를 들어 연속된 두 개의 하강단계에서 그들의 초기고도, 속도 그리고 하강 각도를 명시할 수 있다.

AEDT 2a는 마지막 고도를 첫 번째 하강 단계로 사용하기 때문에 처음 고도는 두 번째 하강단계로 사용한다. 이러한 알고리즘의 세부사항은 설명되지 않는다. 대신에, 프로파일 점들의 생성은 프로파일 단계마다 정의된 처음과 끝점들로 나타낸다.

· Fixed Point

고정된 프로파일 점은 고도, 거리, 속도 그리고 소음, 추력은 직접 주어졌기 때문에 계산이 필요 없다고 설명되었듯이 특정한 수평 좌표계와 시간에서 많은 항공기 상태에 대해 명시한다.

· Takeoff Ground Roll Step

이륙 ground roll 단계는 비행이 시작되기 전에 지면에서 항공기 가속화를 만든다. 이 상태를 위해, 항공기 고도의 초기와 마지막 값은 주어지고(시작 활주로 끝 고도) 속도와 추력의 초기와 마지막 값은 계산되고 수평거리가 계산된다.

제트의 경우, start-roll 점에서 엔진당 보정 순 추력$(F_n/\delta)_1$은 $v_1=0$kts일 때의 출발 추력식을 사용함으로서 계산된다.

프롭의 경우, start-roll 점에서 엔진당 보정 순 추력$(F_n/\delta)_1$은 마지막 단계에서 엔진당 보정 순 추력$(F_n/\delta)_2$과 같다.

제트와 프롭의 경우, 마지막 단계에서 엔진당 보정 순 추력$(F_n/\delta)_2$은 Thrust Rating을 사용하면서 계산되어진다. 마지막단계에서 보정 대기 속도(추력식에서 사용되어진)는 초기 상승 보정 대기속도로 만들어지고 SAE-AIR-1845식(A7)으로 계산된다.

$$v_2 = C_f \cdot \sqrt{W} \quad \text{Eq. 3-20}$$

여기서,

v_2 초기 상승 보정 대기 속도 (kt);

C_f 이륙 속도 계수 (flap 설정에 의존하는) (kt/$\sqrt{\text{lbf}}$);

W 출발 프로파일 무게 (lbf); 무게는 일정하다 가정.

제트와 프롭의 경우, $(F_n/\delta)_1$는 사용자 입력 할 수 있다. 만약 그렇다면, 그때 $(F_n/\delta)_2$는 입력값과 같게 설정한다.

이륙 ground-roll 거리는 SAE-AIR-1845식(A6)으로 계산되어진다.

$$S_g = \frac{B_f \cdot \theta \cdot \left(\frac{W}{\delta}\right)^2}{N \cdot \left(\frac{F_n}{\delta}\right)_2} \quad \text{Eq. 3-21}$$

여기서,

S_g ground-roll 거리 (ft);

B_f ground-roll 계수 (flap 설정에 의존하는) (ft/lbf);

θ 공항 고도에 따른 온도비 (무차원);

δ 공항에 따른 압력비 (무차원);

$\left(\frac{F_n}{\delta}\right)_2$ 이륙단계 마지막에서 엔진당 보정 순 추력 (lbf).

이륙 ground-roll은 맞바람에 의해 보정될 수 있다. 이때, SAE-AIR-1845식(A16)을 사용해 계산한다.

$$S_{gw} = \frac{S_g \bullet (v_2 - w)^2}{(v_2 - 8)^2} \quad \text{Eq. 3-22}$$

여기서,

S_{gw} 맞바람에 의해 보정된 ground-roll 거리 (ft);

v_2 초기 상승 보정 대기 속도 (kt);

W 맞바람 (kt).

이륙 ground-roll 거리는 다음의 식을 사용함으로써 활주로 변화도에 의해 보정한다.

$$S_{gc} = \frac{S_{gw} \bullet a}{a - 32.17 \bullet G}$$

$$a = \frac{(v_2/\sqrt{\sigma})^2}{2 \bullet S_{gw}}$$

$$G = \frac{E_2 - E_1}{L}$$

여기서,

S_{gc} 맞바람과 활주로변화도에 의해 보정된 ground-roll 거리 (ft);

S_{gw} 맞바람에 의해 보정된 ground-roll 거리 (ft);

a 활주로를 따라 가속하는 평균 가속도 (ft/s^2)

G 활주로 변화도; G는 오르막길로 이륙할 때 positive이다. (무차원);

E_1, E_2 활주로 끝 고도 (ft) MSL;

L 활주로 길이 (ft).

AEDT 2a에서, 보정 ground-roll 거리 S_{gc}는 항공기 속도 20 kts의 변화에 따른 각 부분과 다양한 길이와 함께 세부단계로 나뉜다. ground roll의 세부단계의 개수 N_{segs}는 다음과 같이 계산되어진다.

$$N_{segs} = \mathrm{int}\left(1 + \frac{\mathrm{v}_2}{20}\right)$$

여기서,

N_{segs} 세부단계의 개수 (무차원);

$\mathrm{int(x)}$ x의 적분함수

가속도가 일정하다고 가정할 때, 각 단계는 같은 시간기간으로 계산되어진다. 각 단계로부터 계산되어지는 시간 t는

$$t = \frac{2 \bullet S_{gc}}{v_2 \bullet N_{segs}}$$

여기서,

t 각 단계에서 소비되는 시간 (s).

각 세부단계 N_{segs}의 끝점에서 거리, 속도, 추력값은 시간에 대한 선형 보간으로 계산된다.

· Constant-CAS Climb Step

일정한 CAS 상승단계는 목표고도의 일정한 보정 대기 속도에서의 항공기 상승을 만든다. 우선 이단계의 경우, 초기와 마지막 고도는 주어지고(이전단계의 A_1과 사용자 입력값 A_2), 초기와 마지막 속도는 이전 단계에서 마지막 보정 대기 속도를 사용하여 계산된다. 또, 초기 추력$(\mathrm{F_n}/\delta)_1$은 이전단계에서 주어지고 마지막추력은 계산되어진다. 그리고 수평거리도 계산되어진다. 상승단계는 일정한 보정 대기 속도, v, 고도 A_1에서 고도 A_2까지의 상승으로 날아간다. 비록 상승단계는 일정한 보정 대기 속도를 사용하더라도, 공기밀도 σ_1과 σ_2가 다르기 때문에 단계의 끝점에서 실제 대기속도 $\mathrm{v_{T1}}$와 $\mathrm{v_{T2}}$는 다르다. 이러한 속도들은 Eq. 3-17에 따르면 밀도비를 일치시켜서 계산한다.

엔진당 nominal 보정 순 추력 F_n/δ와 엔진당 마지막 보정 순 추력 $(F_n/\delta)_2$은 제공된 추력설명서의 절차단계에 따라 다르게 계산되어진다.

1. 엔진당 nominal 보정 순 추력은 mid-point 고도 $\mathrm{A_m} = 1/2(\mathrm{A_1} + \mathrm{A_2})$에서 섹션 3.6.2.1.1.2.에 제시된 rated thrust식으로 계산한다. 압력비에 대한 nominal값은 고도 중간지점 A_m에서 표본조사 된다. 엔진당 마지막 보정 순 추력은 보정대기속도 v 그리고 마지막고도 A_2에서 같은식으로 계산된다.

2. 단계의 감축없이 값에 의해 추력이 명시될 때, 엔진당 nominal 보정 순 추력값은 F_n/δ= 사용자 입력으로 설정된다.

3. 단계 감축이 있을 때 추력이 명시될시, 엔진당 nominal 보정 순 추력값은 F_n/δ

=user-cutback 추력으로 설정된다. 압력비에 대한 nominal 값은 중간지점에 의해 계산된다.

상승단계는 같은 각도로 나눈 두 개의 부분으로 분리하여 계산된다. 첫 번째 세부 단계 부분은 1000ft ground 거리가 할당되고 1000ft거리 끝에서의 엔진당 보정 순 추력은 user-cutback 추력값과 같게 설정한다. 만약 원래의 수평거리가 2000ft가 안되면, 이단계의 절반은 cutback thrust를 이용한다. 그리고 두 번째 단계 역시 같은 추력을 이용한다.

나머지 1000ft 세부 단계 부분은 고도 A_2에서 계산된 값 $(F_n/\delta)_2$의 user-cutback으로의 추력을 되돌려받는다. 이 세부단계는 다음의 상승과 가속도 부분을 생성시킨다.

4. 엔진없이 최소한의 추력이 명시될 때, 엔진당 nominal 보정 순 추력 F_n/δ값은 섹션 3.6.2.1.1.3.의 설명에 따라 계산된다. 압력비에 대한 nominal값은 고도A_2에서 계산된 마지막 값으로 설정된다. 두 개의 1000ft 세부단계는 user-cutback의 경우 비슷하게 소개된다.

상승각의 평균은 다음과 같이 SAE-AIR-1845의 식(A8)로 계산된다.

$$\gamma = \sin^{-1}\left(K \bullet \left[\frac{N \bullet \left(\frac{F_n}{\delta} \right)}{\frac{W}{\delta}} - R_f \right] \right)$$

여기서,

γ	평균 상승각 (radians);
K	속도-의존 상수 (무차원);
	K=1.01 ,상승속도≤200 kts일 때;
	K=0.95 ,그외에
N	엔진의 개수 (무차원);
$\left(\frac{F_n}{\delta}\right)$	엔진당 nominal 보정 순 추력 값 (lbf);
δ	압력비에 대한 nominal 값 (무차원);
W	출발 프로파일 무게 (lbf);
R_f	양력에 대한 항력계수, 플랩설정에 의존하는 (무차원);

상수 K를 설정한 위의 방법은 초기상승부분에서 사용한 K=1.01와 가속과 flaps-retraction 후에 사용한 K=0.95에서 SAE-AIR-1845에 명시된 것과 근소한 차이가 있다. AEDT 2a 방법은 상승과 가속화부분 순서가 섞여져있을 때 비행경로를 다루기위해 설계되어있다.

상승각은 SAE-AIR-1845 식(A17)을 사용하여 계산하였다.

$$\gamma_w = \frac{\gamma \bullet (v-8)}{(v-w)}$$

여기서,

γ_w 맞바람에 의해 보정된 평균 상승각;

γ 평균 상승각(보정되지않은);

v 보정 대기 속도 (kt) 상승구간에서;

w 맞바람 (kt).

마지막으로, 상승단계에서 수평거리는 SAE-AIR-1845 식(A9)을 사용하여 계산하였다.

$$S_c = \frac{A_2 - A_1}{\tan\gamma_w}$$

여기서,

S_c 상승구간에서의 수평거리 (ft);

A_1 초기 고도 (ft) MSL;

A_2 마지막 고도 (ft) MSL.

· Accelerating Climb Step by Climb Rate

가속 상승단계는 명시된 상승비율에서 목표의 보정대기속도를 가속화하기 위해 만들었다. 여기서는 초기 고도 A_1, 초기 실제 대기속도 v_{T1} 그리고 초기 추력 $(F_n/\delta)_1$은 이전단계에서 주어진다. 마지막 보정 대기 속도v_2와 평균 상승비율 v_{Tz}는 사용자가 입력한다. 마지막 고도, 마지막 실제대기속도, 실제 추력과 수평비행거리는 계산되어진다.

고도, 속도, 추력 그리고 거리는 반복방법으로 계산되어진다. 마지막 고도 $A_2 = A1 + 250ft$는 첫단계에 이용되고 A_2는 현재와 다음단계사이에서 다시 계산된다. 그 값은 처음 값보다 작다.

수평거리는 SAE-AIR-1845 식(A10)을 사용하여 계산된다.

$$S_a = \frac{0.95 \cdot k \cdot (v_{T_2}^2 - v_{T_1}^2)}{G_m - G}$$

여기서,

S_a 현재 반복 수평 거리 (ft);

g 지구 중력 가속도 (ft/s^2)

k kt^2 에서 ft^2/s^2로 전환시키는 상수: $k = 2.8487$

v_{T_1} 초기 실제 대기속도 (kt) 입력값;

v_{T_2} 마지막 실제 대기 속도 (kt) 현재 iteration σ_2에서: $v_{T_2} = v/\sqrt{\sigma_2}$

여기서,

v_2 마지막 보정 대기 속도 (kt) 입력값;

σ_2 마지막 고도 A_2에서 현재 iteration에서 공기 밀도비 (무차원)

G_m 이용가능한 최대 가속도, 현재 iteration에서:

$$G_m = \frac{N \bullet \left(\frac{F_n}{\delta}\right)}{\left(\frac{W}{\delta}\right)} - R_f$$

여기서,

(F_n/δ) 현재 iteration에서 엔진당 평균 보정 순 추력 (lb):

$$\left(\frac{F_n}{\delta}\right) = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{F_n}{\delta}\right)_1 + \left(\frac{F_n}{\delta}\right)_2\right]$$

여기서,

$(F_n/\delta)1$ 엔진당 초기 보정 순 추력 입력값 (lbf);

$(F_n/\delta)_2$ 현재 iteration 고도 A_2에서 엔진당 마지막보정 순 추력 (lbf);

δ 현재 iteration의 고도 중간지점 $(A_1 + A_2)/2$에서의 압력비 (무차원)

G vT2의 현재 iteration의 상승 변화도 (무차원)

$$G = \frac{v_{T_z}}{101.2686\,\frac{1}{2}(v_{T_1} + v_{T_2})}$$

여기서,

v_{Tz} 상승률 입력값 (ft/min).

다음 단계 iteration 마지막 고도 A'_2 (ft)는 SAE-AIR-1845 식(A11)을 사용하여 계산된다.

$$A'_2 = A_1 + \frac{S_a \bullet G}{0.95}$$

$A'_2 - A_2 < 1$ft 일 때, 마지막 A_2에 대한 현재 iteration 값, 마지막 실제 대기속도 v_{Tz}, 엔진당 마지막 보정 순 추력 $(F_n/\delta)_2$ 그리고 수평거리 S_a는 가속화 단계에서 사용된다.

만약, $(G_m - G) < 0.02$일 때 iteration 처리한다면, 가속화는 너무 작아서 합리적인 거리에서 원하는 v_2를 성취할 수 없다. 사실상, 원하는 상승률은 항공기가 최소 가속을 유지하기 위해서 줄어든다. 만약 G<0.01이면, AEDT 2a는 에러 메세지를 표시하고 프로파일 계산을 중지한다. 만약 G<0.01이면, 각 부분에서 필요한 가속과 상승을 하기 위한 추력이 충분하지 않다.

가속 부분의 거리는 SAE-AIR-1845 식(A18)을 사용하여 계산된다.

$$S_{aw} = \frac{S_a \bullet (v_T - w)}{(v_T - 8)}$$

여기서,

S_{aw} 맞바람에 보정되는 수평거리 (ft);

S_a 가속화 단계에서 보정되지 않은 수평거리 (ft);

v_T 단계에서 평균 실제 대기 속도 (kts):

$$v_T = (v_{T_1} + v_{T_2})/2$$

· Accelerating Climb Step by Energy Share

에너지 공유에 의해 가속하는 상승단계는 이용 가능한 가속도의 퍼센트안에서 명시화된 상승률과 목표 보정 대기 속도로부터 가속도를 만든다. 이 단계에서는 초기고도 A_1, 초기실제대기속도 v_{T1}, 초기추력 $(F_n/\delta)_1$은 이전단계로부터 주어진다. 그리고 마지막 보정 대기속도 v_2와 에너지-공유 퍼센트 값 A_p는 사용자 입력값이다. 마지막 고도, 마지막 실제 대기속도, 마지막 추력과 수평비행 속도는 계산되어진다.

가속도 퍼센트 구간은 가속도 부분과 비슷하게 계산되어진다. 가속도 구간에서 평균상승률을 입력하는 반면 가속도 퍼센트 구간은 에너지-공유 퍼센트 입력을 활용한다는 게 다른 부분이다. 에너지-공유 퍼센트값은 상승 vs. 가속도에 사용하기 위한 항공기 추력 분배를 정의한다. 가속도 퍼센트 값이 100%이면, 모든 추력은 대기속도를 증가시키고 상승률은 0이된다. A_p는 0%로 감소되면, 대부분의 추력은 상승하고 가속은 줄어든다. 상승을 위한 가속은 다음과 같이 계산된다.

$$G = G_m \bullet (1 - A_p/100)$$

여기서,

G 상승경사(Climb gradient)라고 불리는 g의 일부로서 상승하는 동안에 이용하는 가속도 (무차원);

G_m g의 일부분으로 최대 이용가능 가속도 (무차원);

A_p 가속화에 이용되는 추력의 퍼센트.

· Cruise-Climb Step

순항-상승단계는 목표고도와 보정대기속도의 명시된 각도에서 상승을 만든다.

이 단계에서는 초기고도, 실제속도 그리고 추력은 이전단계에서 주어져있다. 마지막 고도 A_2, 마지막 보정 대기 속도 v_2 그리고 상승각 γ은 사용자 입력이다. 마지막 실제 대기속도, 마지막 추력그리고 수평거리는 계산되어진다. 순항-상승 추력은 최대이륙 또는 최대 상승의 출발 추력보다 적다.

마지막 엔진당 보정 순 추력은 SAE-AIR-1845 식(A15)을 사용하여 계산된다.

$$\left(\frac{F_n}{\delta}\right)_2 = \frac{\left(\frac{W}{\delta_2}\right) \bullet \left(R_f + \frac{\sin\gamma}{0.95}\right)}{N}$$

여기서,

$\left(\frac{F_n}{\delta}\right)_2$ 고도 A_2에서의 엔진당 보정 순 추력 (lbf);

W 프로파일 무게 (lbf);

δ_2 고도 A_2에서의 압력비 (무차원);

R_f 양력에 대한 항력계수, 플랩과 기어 세팅에 의존하는 (무차원);

γ 평균 상승 각(양의 값);

N 엔진 개수 (무차원).

수평거리는 다음과 같이 계산된다.

$$S_{cc} = \frac{A_2 - A_1}{\tan\gamma}$$

여기서,

S_{cc} 순항-상승구간에서의 수평거리 (ft);

A_1 MSL의 초기 고도 (ft);

A_2 MSL의 마지막 고도 (ft) ($A_1 < A_2$).

· Descent Step

하강단계는 하강효과는 무시하고 목표고도와 보정대기속도의 각도에 의한 하강을 만든다. 이 단계에서, 초기고도, 초기 대기 속도, 추력은 이전단계에 의해 주어진다. 마지막 고도 A_2, 마지막 보정 대기 속도 v_2 그리고 하강각 γ은 사용자 입력값이며 마지막 고도 그리고 마지막 보정 대기 속도는 다음단계에서 입력한다, 마지막 실제 대기 속도, 추력 그리고 수평거리는 계산되어진다.

AEDT 2a에서 초기고도 그리고 속도는 사용자 입력에 의해 정해진다. 그러나 하강단계는 다음단계가 되어서야 비로소 실제로 계산되어진다. 이 절차는 진입프로파일이 하강단계를 시작하기 위해서는 필수적이다.

마지막 실제 대기 속도 v_{T_2} (kt)는

$$v_{T_2} = v_2 / \sqrt{\sigma_2}$$

여기서,

v_2 마지막 입력 보정 대기속도 (kt);

σ_2 고도 A_2에서 밀도비 (무차원).

마지막 엔진당 보정 순 추력은 SAE-AIR-1845 식(A15)을 이용하여 계산된다.

$$\left(\frac{F_n}{\delta}\right)_2 = \frac{\left(\frac{W}{\delta_2}\right) \bullet \left(R_f - \frac{\sin\gamma}{1.03}\right)}{N}$$

여기서,

$\left(\frac{F_n}{\delta}\right)_2$ 고도 A_2에서의 엔진당 보정 순 추력 (lbf);

γ 평균 하강 각 (양의 값).

마지막 엔진당 보정 순 추력은 SAE-AIR-1845 식(A19)을 이용하여 맞바람에 의한 보정을 한다.

$$\left(\frac{F_n}{\delta}\right)_{2w} = \left(\frac{F_n}{\delta}\right)_2 + \frac{1.03 \bullet \left(\frac{W}{\delta_2}\right) \bullet \sin\gamma \bullet (w-8)}{N \bullet v_2}$$

여기서,

$\left(\frac{F_n}{\delta}\right)_{2w}$ 맞바람(headwind) w에 의한 엔진당 보정 순추력 (lbf);

w 맞바람 (kt);

v_2 고도 A_2에서의 보정 대기속도 (kt).

수평거리를 계산하면

$$S_d = \frac{A_1 - A_2}{\tan\gamma}$$

여기서,

S_d 하강구간에서의 수평거리 (ft).

· Deceleration-Sensitive Descend Step

감속-민감 하강단계는 보정 대기 속도와 목표 고도에 대한 명시된 각도에서

하강을 나타낸다. 이 경우, 초기 고도, 실제속도, 추력은 이전단계에서 주어지고 마지막 고도, 마지막 보정 대기 속도, 하강각은 사용자 입력값이다. 그리고 마지막 고도와 마지막 보정 대기속도는 다음 단계에도 입력한다. 마지막 실제 대기 속도, 마지막 추력 그리고 수평 거리는 계산되어진다. 비록 이 단계에서 입력값이 표준 하강단계와 같더라도, 이 단계는 입력에서 주어진 가속도를 보존하는 방법으로 계산된다.

AEDT 2a에서, 초기고도와 속도는 사용자에 의해 정의된다; 하지만, 하강-decel 단계는 다음단계가 되어서야 실제로 계산된다. 이 절차는 진입프로파일이 하강-decel 단계를 시작하기 위해서는 필수적이다.

AEDT 2a에서 하강-Decel 단계를 계산하는 과정은 ECAC Doc 29의 섹션 B-10의 설명된 거와 다르다. AEDT 2a는 하강-decel 단계에서 사용되는 절차 프로파일은 sea-level공항조건에서의 ISA 레퍼런스에 의해 정의된다.

ISA조건에 하강-decel 단계에서의 감속은 다음과 같이 계산되어진다.

$$a_{ISA} = \frac{\left(\sqrt{v_{T_{2_{ISA}}}^2 - w^2 \cdot \sin^2\gamma} - w \cdot \cos\gamma\right)^2 - \left(\sqrt{v_{T_{1_{ISA}}}^2 - w^2 \cdot \sin^2\gamma} - w \cdot \cos\gamma\right)^2}{2 \cdot S_d}$$

여기서,

a_{ISA} ISA 조건에서의 가속도 (ft/s^2);

$v_{T_{1_{ISA}}}$ ISA 조건 $\sigma_{1_{ISA}}$에 대한 초기 실제 대기속도(ft/s);

$$v_{T_{1_{ISA}}} = \left(\frac{101.2686}{60}\right) v_1 / \sqrt{\sigma_{1_{ISA}}}$$

여기서,

v_1 초기 입력 보정 대기속도 (kt);

$\sigma_{1_{ISA}}$ 초기고도 A_1의 공기 밀도 비 (ISA 조건에서);

$v_{T_{2_{ISA}}}$ ISA 조건 $\sigma_{2_{ISA}}$에 대한 마지막 실제 대기속도(ft/s);

$$v_{T_{2_{ISA}}} = \left(\frac{101.2686}{60}\right) v_2 / \sqrt{\sigma_{2_{ISA}}}$$

여기서,

v_2 마지막 입력 보정 대기속도 (kt);

$\sigma_{2_{ISA}}$ 마지막 고도 A_1의 공기 밀도 비 (ISA 조건에서);

w 맞바람(headwind) (ft/s);

세종대학교 SEJONG UNIVERSITY

γ 평균 하강 각 (양의 값);

S_d 하강구간의 수평거리 (ft).

$$S_d = \frac{A_2 - A_1}{\sin\gamma}$$

여기서

A_1 MSL의 초기 고도 (ft);

A_2 MSL의 마지막 고도 (ft) ($A_1 > A_2$).

ISA의 조건 없이, 구간의 ISA 감속과 입력 하강각은 일정하게 유지되고 마지막 실제 대기 속도 또는 구간별 길이(마지막 고도 이전에)는 조정된다.

하강-decel 구간에 따르면 level, level-decel, level-idle 구간일 때, 입력 마지막 고도는 유지하고 마지막 실제속도는 ISA 조건과 관계없이 account(계산?)에 의해 조정된다. 다음은 새로운 마지막 실제 대기속도에 대한 계산식이다.

$$v'_{T_2} = \sqrt{\left(\sqrt{\left(\sqrt{v_{T_1}^2 - w^2\sin^2\gamma} - w \cdot \cos\gamma\right)^2 + 2s_d a_{ISA}} + w \cdot \cos\gamma\right)^2 + w^2 \cdot \sin^2\gamma}$$

여기서

v'_{T_2} 실제 공항 대기 조건에 의해 계산된 마지막 실제 대기속도 (ft/s);

v_{T_1} 실제 공항 대기조건에 대한 입력 초기 대기조건 (ft/s).

하강-decel구간에 따른 descend, descend-decel, descend-idle구간일 때, 입력 마지막 대기속도는 일정하게 유지되고 단계별 거리와 마지막고도는 ISA조건없이 조정된다. 새로운 구간길이에 대한 계산은 다음과 같다.

$$S_l' = \frac{\left(\sqrt{v_{T_2}^2 - w^2\sin^2\gamma} - w \cdot \cos\gamma\right)^2 - \left(\sqrt{v_{T_1}^2 - w^2\sin^2\gamma} - w \cdot \cos\gamma\right)^2}{2 \cdot a_{ISA}}$$

구간의 새로운 마지막 고도A_2'는 다음과 같이 계산된다.

$$A_2' = A_1 - s_l' \cdot \sin\gamma \quad \text{Eq. 3-44}$$

하강-decel 구간 추력값은 추력의 감속효과를 설명해준다. 이와 다른 하강구간은 섹션3.6.2.1.4.7에서 설명해준다. 추력은 추가적인 가속화 term과 SAE-AIR-1845에서 유도된 힘 균형에 의해 계산된다.

$$\frac{F_n}{\delta} = \frac{W}{N \cdot \delta}\left(R \cdot \cos\gamma - \sin\gamma + \frac{a}{g}\right)$$

여기서

$\frac{F_n}{\delta}$ 엔진당 보정 순 추력 (lbf);

W 항공기 무게 (lbf);

δ 구간별 고도에서의 압력비 (무차원);

N 엔진갯수 (무차원);

R 양력의 대한 항력계수, 플랩과 기어세팅에 의존하는 (무차원);

a 속도벡터에 따른 항공기 가속도 (ft/s^2);

g 지구 중력 가속도 (ft/s^2);

γ 하강각 (양의 값)

· Idle Descend Step

유동 하강단계는 목표고도와 보정 대기속도를 위한 유동 추력세팅과 명확한 하강각도를 만든다. 그리고 ISA의 조건을 준수한 감속을 보존하기 위해 목표 중의 하나를 조정한다. 이 단계에서는 이전구간에서 주어진 초기고도, 실제 대기속도 그리고 추력값이 주어진다. 그리고 마지막 고도 A_2, 마지막 보정대기속도v_2, 하강각 γ가 사용자 입력값으로 주어지고 마지막고도와 마지막 보정대기속도는 다음구간에 입력된다. 마지막으로 마지막 실제 대기속도, 마지막 추력 수평거리는 계산되어진다.

AEDT 2a에서는 초기 고도와 속도는 사용자 입력값으로 나타난다. 하지만 하강-유동(descend-idle)구간에서는 다음단계를 처리할 때 비로서 계산되어진다. 이 절차는 접근 프로파일이 하강-유동 구간에서 시작하기위해 필수적이다.

· Level Step

level 단계에서는 감속효과는 무시하고 목표 보정 대기속도까지의 명확한 거리의 대한 수평비행(level flight)을 만든다. 그리고 이 단계에서는 이전구간에서 주어진 초기고도, 실제 대기속도 그리고 추력값이 주어진다. 그리고 마지막 고도 A_2, 마지막 보정대기속도v_2, 날아간 거리 S_v가 사용자 입력값으로 주어진다(마지막고도와 속도는 초기값과 무조건 같아야한다.). 마지막고도와 마지막 보정대기속도는 다음구간에 입력된다. 마지막 추력은 계산되어진다.

만약 초기 추력과 마지막 추력이 같지않다면, AEDT 2a는 주요 구간에서 일정한 추력으로 날기 위해 1000ft의 천이구간을 만든다.

엔진당 보정 순 추력은 하강각이 제로인 상태에서 식 SAE-AIR-1845(A15)를 사용하여 계산한다.

$$\left(\frac{F_n}{\delta}\right)_2 = \frac{\left(\frac{W}{\delta}\right) \bullet R_f}{N}$$

여기서,

$\left(\frac{F_n}{\delta}\right)_2$ 고도 $A_1 = A_2$에서 엔진당 마지막 보정 순 추력 (lbf);

W 프로파일 무게 (lbf);

δ 고도 $A_1 = A_2$에서의 압력비 (무차원);

R_f 양력에 대한 항력계수, 플랩과 기어세팅에 의존하는 (무차원).

· Deceleration-Sensitive Level Step

감속-민감(Deceleration-Sensitive) 레벨 단계는 목표 보정 대기속도까지의 거리에 대한 수평비행(level-flight)를 만든다. 그리고 ISA의 조건을 준수한 감속을 보존하기 위해 목표중의 하나를 조정한다. 이 단계의 경우, 단계의 길이, 초기 실제 대기속도, 단계의 고도는 사용자 입력값이다. 그리고 초기 실제 대기속도 그리고 구간의 고도는 이전의 마지막값과 일치해야한다. 마지막으로 마지막 실제 대기속도는 다음 구간으로부터 정의되고 일정한 구간 추력은 계산된다.

AEDT 2a는 level-decel구간을 사용한 프로파일 절차가 해수면공항에서의 ISA 조건으로 정의된다고 가정한다. 해수면 ISA조건에서 주어진 결과에 대한 감속은 non-sea level, non-ISA 조건아래의 일정하게 있다고 가정한다. 그리고 다른 구간 변수들은 이러한 조건들 아래에서 일정하도록 수정한다. ISA조건에서 level-decel구간의 감속은 다음과 같이 계산된다.

$$a_{ISA} = \frac{\left(\left(\frac{v_2}{\sqrt{\sigma_{ISA}}} - w\right) \bullet \frac{101.2686}{60}\right)^2 - \left(\left(\frac{v_1}{\sqrt{\sigma_{ISA}}} - w\right) \bullet \frac{101.2686}{60}\right)^2}{2 \bullet S_d}$$

non-ISA 조건에서는 구간의 ISA 감속은 일정하고 구간의 길이는 조정된다. 새로운 구간 길이(수평거리)는 다음과 같이 계산된다.

$$s_d{}' = \frac{\left(\left(\frac{v_2}{\sqrt{\sigma}} - w\right) \bullet \frac{101.2686}{60}\right)^2 - \left(\left(\frac{v_1}{\sqrt{\sigma}} - w\right) \bullet \frac{101.2686}{60}\right)^2}{2 \bullet a_{ISA}}$$

level-decel 구간 추력은 추가적인 가속도 용어와 제로 상승각과 함께 SAE-AIR-1845식 (A15)로 계산되어진다.

$$\frac{F_n}{\delta} = \frac{W}{N \bullet \delta}\left(R + \frac{a}{g}\right)$$

· Level-Idle Step

idle level 단계는 ISA를 따르는 감속조건을 만족시키기 위해 목표 속도를 조정하고 목표 보정 대기 속도로부터 명시화된 거리에서의 idle 추력의 단계별 비행을 모델링한다. 이 경우에 단계별길이, 초기 실제 대기속도, 단계별고도는 사용자 입력값이다. 그리고 초기 실제대기속도와 구간별 고도는 이전 구간에서의 마지막 값과 같아야한다. 마지막으로 마지막 실제 대기속도는 다음 단계의 초기 실제 대기속도와 같아야하며 구간의 Idle 추력값은 계산된다.

· Landing Ground Roll Step

착륙 지표 진동(Landing Ground Roll) 단계는 목표 보정 대기속도와 추력 세팅을 위해 명시된 거리를 지나 착륙하면서의 지표진동을 모델링한다. 여기서 초기와 마지막 고도는 주어진다(활주로 끝 착륙할 때에 대한 고도). 초기(착륙)속도는 계산되고 마지막 roll-out 실제 속도는 사용자 입력 보정 속도 v_2로부터 계산된다. 초기(착륙)속도는 계산되어지고 마지막 추력은 사용자 입력값 퍼센트 P로부터 계산되고 지표진동 거리 S_b는 사용자 입력값이다.

착륙 보정 대기속도는 SAE-AIP-1845식 (A13)을 사용하여 계산한다.

$$v_1 = D_f \cdot \sqrt{W} \quad \text{Eq. 3-50}$$

초기와 마지막 실제 속도는 다음과 같이 계산된다.

$$v_{T_1} = v_1 / \sqrt{\sigma} \quad \text{Eq. 3-51}$$

$$v_{T_2} = v_2 / \sqrt{\sigma} \quad \text{Eq. 3-52}$$

초기추력$(F_n/\delta)_1$은 착륙하강각과 착륙 보정 대기속도 v_1, 공항고도와 함께 하강 추력식을 사용하여 계산한다.(섹션 3.6.2.1.4.7참고)

마지막 추력$(F_n/\delta)_2$을 계산한 식이다.

$$\left(\frac{F_n}{\delta}\right)_2 = F_s \cdot \left(\frac{P}{100}\right) \quad \text{Eq. 3-53}$$

· Decelerate Step

감속구간은 목표 보정 대기속도와 추력에 의해 명시된 거리로 인한 지표 진동을 모델링한다. 이 경우에, 초기와 마지막 고도는 주어지고 초기속도는 이전 단계에서 주어지고 마지막 속도는 사용자입력 보정속도와 밀도비로부터 계산된다. 초기추력은 이전단계에서 주어지고 마지막 추력은 사용자 입력 추력 퍼센트로 계산되며 지표 진동거리는 사용자 입력값이다.

- AEDT 2a Helicopter Trajectory

· AEDT 2a는 헬리콥터에 대해서는 오직 한 가지 종류의 비행경로 데이터를 지원한다. 고정익 항공기와 비교하면, 헬리콥터 절차단계는 고정익의 절차단계보다 고정익의 프로파일 점들의 절차단계와 유사하다. AEDT 2a에서 헬리콥터 절차단계는 비행성능 계산을 포함하지 않고 비행 운영 모드에 대해서만 나타내고 있다.

· 헬리콥터의 NPD 데이터는 AEDT 2a의 참고 운영모드를 사용한다. 헬리콥터를 위해 이용가능한 운영모드는 다음과 같다.

동적 운영 모드(Dynamic operational modes)

- 일정한 하강 속도(Constant-velocity descent)
- 일정한 상승 속도(Constant-velocity climb)
- 일정한 레벨 속도(Constant-velocity level)
- 지면효과에 따른 수직 상승(Vertical ascent with ground effect)
- 지면효과 없을 시 수직 상승(Vertical ascent without ground effect)
- 지면효과에 따른 수직 하강(Vertical descent with ground effect)
- 지면효과 없을 시 수직 하강(Vertical descent without ground effect)
- 레벨 감속(Level deceleration)
- 하강 감속(Descending deceleration)
- 레벨 가속((Level acceleration))
- 상승 가속(Ascending acceleration)

정적 운영 모드(Static operational modes)

- (Idle with ground support)
- (Idle without ground support)
- (Hover with ground effect)
- (Hover without ground effect)

헬리콥터 절차단계 세트의 순서는 이차원 궤적으로 명시된다. 각 점은 다음과같은 데이터가 주어진다.

- 수평 좌표(Horizontal coordinate) (ft);
- 헬기장위에 헬리콥터 고도(Altitude of the helicopter above the helipad) (ft);
- 점에 따른 헬리콥터 실제 대지속도(Helicopter true groundspeed at the

point) (kts);

- 헬리콥터 운영 모드(Helicopter operational mode);
- 정적 운영 모드를 위한 지역에서의 시간 소비(Time spent at a location for static operational modes) (sec).

· Helicopter Procedure Step

헬리콥터 절차 단계는 헬리콥터 비행경로를 정의한다. 고정익 항공기를 위하기 때문에 헬리콥터 비행경로는 추력, 고도, 속도의 계산이 없다. 헬리콥터 비행운영의 세가지 타입은 13가지의 절차단계를 창조한다.

- 시작 고도 : 이 단계는 주어진 고도와 스피드의 경로로 시작한다.
- 일정-속도 단계 : 이 단계는 주어진 거리에서 속도와 고도를 유지하는 단계이다.
- 일정-속도 하강 : 이 단계는 주어진 거리와 고도에서 일정속도로 하강한다.
- 하강 감속 : 이 단계는 주어진 거리에서 마지막 속도와 고도의 감속과 하강을 사용한다.
- 감속 레벨 : 이 단계는 주어진 거리의 일정 고도에서 마지막 속도에서의 감속을 사용한다.
- 수직 하강 : 이 단계는 주어진 기간에서의 마지막고도에서 하강하는 동안 수평위치를 유지하기 위해 이용된다.
- 호버(Hover) : 이 단계는 주어진 기간 동안 수평 위치와 고도를 유지하기 위해 이용된다.
- Idle With Ground Support : 이 단계는 주어진 기간 동안 ground idle을 유지하기 위해 이용된다.
- Idle Without Ground Support : 이 단계는 주어진 기간 동안 flight idle을 유지하기 위해 이용된다.
- 수직상승 : 이 단계는 주어진 기간에서 마지막 고도가 상승하는 동안 수평위치를 유지하기 위한 단계이다.
- 가속 레벨 : 이 단계는 주어진 거리에서 마지막 속도를 가속하기 위해 이용한다.
- 상승 가속 : 이 단계는 주어진 거리에서의 마지막 고도 그리고 속도를 상승시키고 가속시키기 위해 사용한다.
- 일정-속도 상승 : 이 단계는 주어진 거리와 주어진 고도에서 일정한 속도로 상승하는 단계이다.

몇 개의 헬리콥터 절차 단계들은 다른 헬리콥터 비행 운영모드(다른 NPD 와 방향성 데이터)와 관련이 있다. Hover, Dep Vertical과 App Vertical 절차 단계와 함께 비행경로를 구성할 때, AEDT 2a는 다음과같은 지면효과 고도를 계산한다.

$$A_{\mathrm{GE}=1.5} \cdot D_{MR} \quad \text{Eq. 3-54}$$

만약 절차 단계가 A_{GE} 아래에 있다면, 결과 궤적 구간은 지면효과에 의한 비행운영모드와 일치할 것이다. 만약 이 단계가 A_{GE}위에 머무른다면, 결과 궤적은 지면효과가 없는 비행 운영모드와 일치할 것이다. AEDT 2a는 지면효과고도와 비행 운영모드 이 두 절차로 구간을 나눈다.

- AEDT 2a Flight Path Calculation

· 3-D Flight Path Construction

3차원 비행경로는 이차원 경로와 이차원 ground track의 합병으로 구성되어있다. 이 구성의 결과는 비행경로를 설명하는 추력 데이터와 관련된 속도 그리고 x, y, z 점들로 구성되어있다.

트랙 점이 두 프로파일 점 사이에 위치할 때, 선형보간방법은 그 점에서 고도, 속도 그리고 추력을 계산한다.

$$z = z_1 + f \cdot (z_2 - z_1) \quad \text{Eq. 3-55}$$

$$v_t = v_{T_1} + f \cdot (v_{T_2} - v_{T_1}) \quad \text{Eq. 3-56}$$

$$\left(\frac{F_n}{\delta}\right) = \left(\frac{F_n}{\delta}\right)_1 + f \cdot \left[\left(\frac{F_n}{\delta}\right)_2 - \left(\frac{F_n}{\delta}\right)_1\right] \quad \text{Eq. 3-57}$$

$$\triangle v = v_{T_2} - v_{T_1} \quad \text{Eq. 3-58}$$

$$\triangle F = \left(\frac{F_n}{\delta}\right)_2 - \left(\frac{F_n}{\delta}\right)_1 \quad \text{Eq. 3-59}$$

· Flight Path Length Adjustments

AEDT 2a에서 비행경로 점들의 대한 구성 후에, 너무 가까이 붙어있는 점들은 제거한다. 만약 두(x, y, z) 점들이 10f 보다 가깝고 속도와 추력 데이터가 같을 때, 이 점들 중의 하나는 제거되야한다.

비행경로 구성에서의 마지막 단계는 긴 구간에는 점을 삽입하는 것이다. 한 구간이 속도의 변화에 의해서 증가된 길이가 100,000 ft-kts 보다 클 때, 그

구간은 세부구간으로 나눠줘야 한다. 그 세부구간의 개수를 계산하는 것은 다음과 같다.

$$N = \mathrm{int}\left(1 + \sqrt{\frac{\left(v_{T_2} - v_{T_1}\right) \bullet L}{100{,}000}}\right) \quad \text{Eq 3-60}$$

만약 비행경로구간을 세부구간으로 나눈다면, 끝나는 점의 속도와 추력값은 시작하는 부분의 값을 이용해 선형적으로 보간해준다.

· Back Angle Treatment

AEDT 2a에서 bank 각 계산 방법은 Doc 29^{33} (B-8)에서 제공하는 지도를 기초로 둔다.

$$\varepsilon = \tan^{-1}\left(2.85\frac{v_g^2}{rg}\right) \quad \text{Eq 3-61}$$

위의 식에 의해서 아래와 같은 두가지의 중요한 가정이 탄생한다.

가) 항공기는 속도벡터가 항공기 롤 축과 함께 있는곳 어디서든지 좌표계 회전을 한다.

나) 수직면에서 속도와 가속도는 중요하다. 전통적으로 공항과 가까운 곳에서의 비행절차는 큰 속도와 큰 가속도값을 결과로 내지 않는다.

· Bank Angle Smoothing and Filtering

AEDT 2a는 제한적인 단계와 연속적인 필터링을 통해서 bank angle의 변동을 제거하려한다.

(1) 트랙을 따라 0.5nmi 마다 보간을 한다.

(2) 지수 평활번(exponential smoothing)을 적용한다.

(3) 제로에 대한 변동을 걸러내다.

(4) 원래지점을 뒤에두고 보간한다.

(5) 상한치수(upper limit)를 적용한다.

다음그림은 위의 과정을 설명하였다.

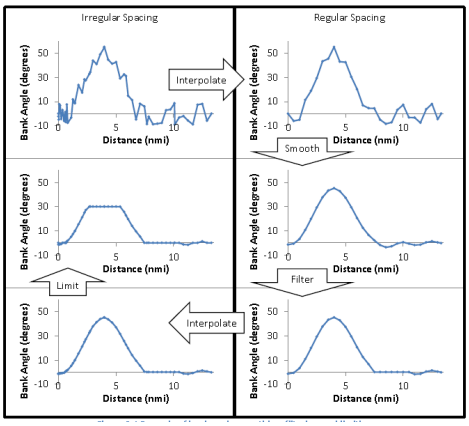


Fig 3-1 Example of bank angle smoothing, filtering, and limiting

나. AEIC(Aviation Emissions Inventory Code) 매뉴얼 분석

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

○ AEIC의 목적

- AEIC는 배기가스 배출과 이륙과 착륙에 관련한 불확실성을 정량화하기 위해 개발되었다. 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 줄였다. 공개적으로 사용가능한 항공기 배기가스 배출 목록(지난 10년간의 배출량)만을 만들고, 전체 민간 항공기 배출에서 불확실성의 평가를 위한 최초의 “상향식(bottom-up)” 방식을 사용한다.

○ AEIC 사용 방법

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

- LTO 사이클

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

· ICAO 기본주기는 통상적으로 실제 운영이 아니므로 TIMs와 taxiout, taxiway acceleration, hold, 이륙, 초기 상승, 급상승, 접근, 착륙 활주거리, 역 추진, 그리고 taxi in으로 구성된 더 대표적인 사이클을 사용한다.

- 비행 스케줄

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

- 항공기 연료소모율

· OAG 데이터에서 각각의 고유한 항공기 공항 방향 쌍에 대한 비행 트랙은 연료 소모와 온실가스 배출량의 계산과 추적을 위해 생성된다. 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 있다.

· GEOS-5(2008)로 풍향과 연간 평균 풍속 데이터를 통합하여 분석한다. 통합 분석 방식으로 항공기의 공간적 위치와 기수에 따른 대기 속도 변화를 예측할 수 있다.

- 항공기 performance

· EUROCONTROL의 BADA (Base of Aircraft Data) 버전 3.9 (Eurocontrol Experimetal Center, 2011)를 사용하여 항공기의 성능을 계산한다.

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

· Stettler(2011)의 접근법을 이용하여 다른 유사한 항공기로 모델링하여

EUROCONTROL의 BADA에 의해 명시되지 않은 항공기의 성능을 추정할 수 있다.

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

· 계산을 더 효율적으로 수행하기 위해 각각의 특정 항공기와 공항의 한 쌍의 시뮬레이션을 한 번만 한다. 주어진 구간의 총 연료 소모량은 해당 비행 구간에서 한 번의 시뮬레이션 비행 연료 소모량에 해당 비행 구간에서 운항 횟수를 곱하여 계산한다. 이를 통해 연간 27,000,000 이상의 항공편 배출량을 추정할 수 있다.

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

· Eyers(2004) 논문으로부터 이륙 중량을 가정하는데, 기체의 공허중량(empty weight), 최대 유상하중의 60.9%, 목적지까지 가는 데 사용되는 연료 탑재 중량, 예비연료 5%로 구성된다. 비행시간이 3시간 이하일 때를 단거리 비행, 3시간 초과일 때를 장거리 비행으로 정의한다. 항공기의 순항고도는 보통 BADA에 지정된 값인 7000ft(ISA pressure altitude)을 사용한다.

- AEIC의 배출량 산정

· 항공기 성능 계산과 특정 항공기에서 방출되는 배기가스를 기반으로 모든 항공기에 대한 배출량을 계산한다.

· 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 활용한다. ICAO databank는 배기가스 배출과 연료 흐름을 7% 30% 85% 100%의 4가지 추력 수준으로 구분한다.

· ICAO 데이터는 해수면과 엔진 미장착을 기준으로 하고 있으며 주어진 추력과 고도에서 연료 흐름을 증가시키는 엔진 설치 효과를 고려하여 조정한다.

· BFFM2는 databank의 추력점 사이 값들을 계산하는 내삽법/외삽법(interpolate/extrapolate)을 제공하고 해수면으로부터 특정 고도까지의 외삽법도 제공한다. 내삽법은 질소 산화물의 log-log linear fit와 탄화수소 및 일산화탄소의 log-log bilinear fit로 구성되어 있다. 고도에 따른 배출

지수를 보정하는 것은 BADA의 연료흐름과 ICAO databank EIs 모두의 교정을 필요로 한다.

· 연료 흐름의 보정은 주위 압력과 온도, 비행 마하수에 따라 달라진다. 보정 결과는 ICAO databank EIs와 해수면, 정적, 표준 날짜로 변환된 연료 인자로 나타나게 된다. 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 가정하였다.

○ AEIC의 2005년 Inventory Results

- Worldwide totals

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

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 10 전체 온실가스 배출량

- Global

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

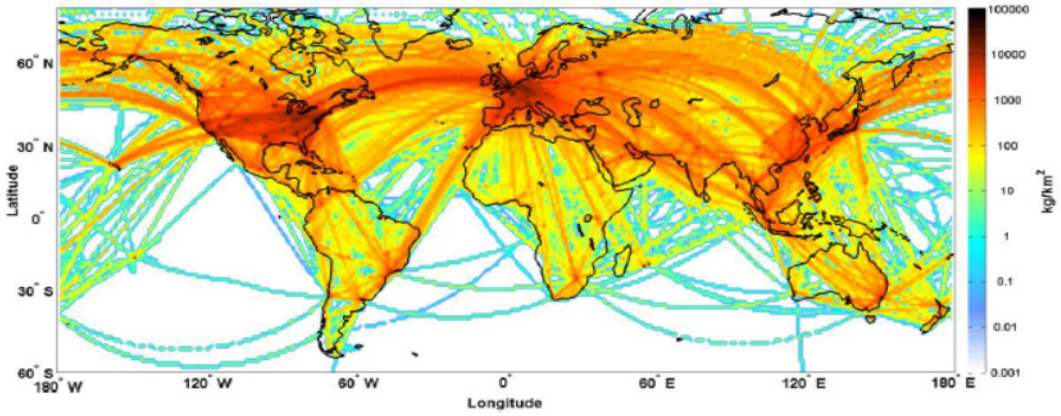


그림 11 민간항공기 온실가스 배출량의 column sum(2005년)

○ AEIC의 정확성 비교

아래의 그림은 AEIC와 해외 유사프로그램으로 도출된 연료 소모량과 온실가스별 배출 비율을 나타낸다. 해외 유사프로그램 중 비행 정보의 정확성이 높은 AEDT(2006 Version)와 AEIC 결과 값을 비교한 결과 오차율이 5% 이내로 측정되어 상당히 신뢰성이 높다고 판단된다.

Emission	NASA/Boeing Year 1999	QUANTIFY Year 2000	AERO2k Year 2002	AEDT Year 2004	AEIC Year 2005 (This Thesis)	AEDT Year 2006
Fuel Burn (Tg)	136	152	156	174.0	180.6	188.2
NO_x as NO_2 (Tg)	1.38	1.98	2.06	2.456	2.689	2.656
CO (Tg)	0.667	----	0.507	0.628	0.749	0.679
HC as CH_4 (Tg)	0.226	----	0.063	0.090	0.201	0.098

그림 10 민간항공기의 전체 온실가스 배출량 비교 목록

다. AERO2k 분석

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

○ AERO2k 소개

- 항공기 온실가스 배출은 복사강제력(radiative forcing)과 지구 온난화를 통해 지구 기후에 점점 더 큰 영향을 미친다. 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 항공 요소들을 엄격하게 제한하고, AERO2K와 같은 연구 tool을 개발하여 사용하고 있다. AERO2K는 지난 10년 동안의 항공기 관련 데이터들을 개선하여 항공기의 연료 사용량과 온실가스 배출량을 계산하도록 개발되었다.

○ AERO2k의 Description of the Inventory

- AERO2K framework 5는 다양한 방법으로 gridded data를 표현할 수 있고, World-Wide Web(http://www.cate.mmu.ac.uk/projects/aero2k.asp:)에서 사용가능하도록 만들 수 있다.

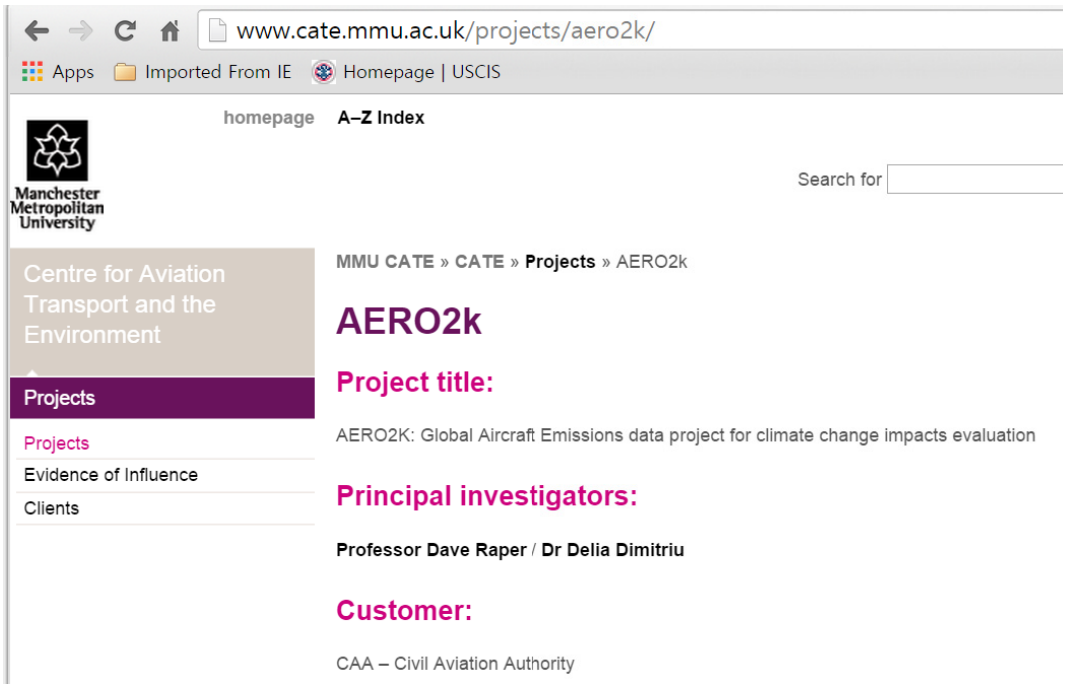


그림 13 AERO2k web site

· 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 이다.

- Civil Air Traffic Movements Database의 2002년도 항공 교통 DB는 4차원 비행궤도(위도, 경도, 고도, 시간)를 포함하고 있다. 북미와 유럽의 2002년도 항공 교통 DB는 일간, 주간, 계절 변동을 고려하여 대표적으로 선택된 6주

동안의 자료이다.

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

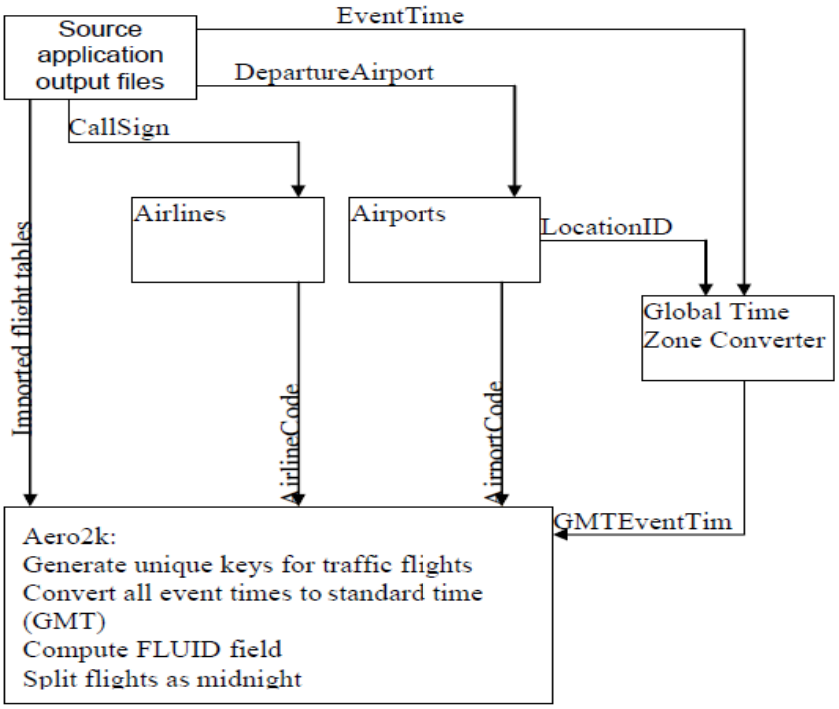


그림 14 AERO2k flight movement tool로 요구되는 데이터를 가져오는 응용 프로그램들 간의 관계도

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

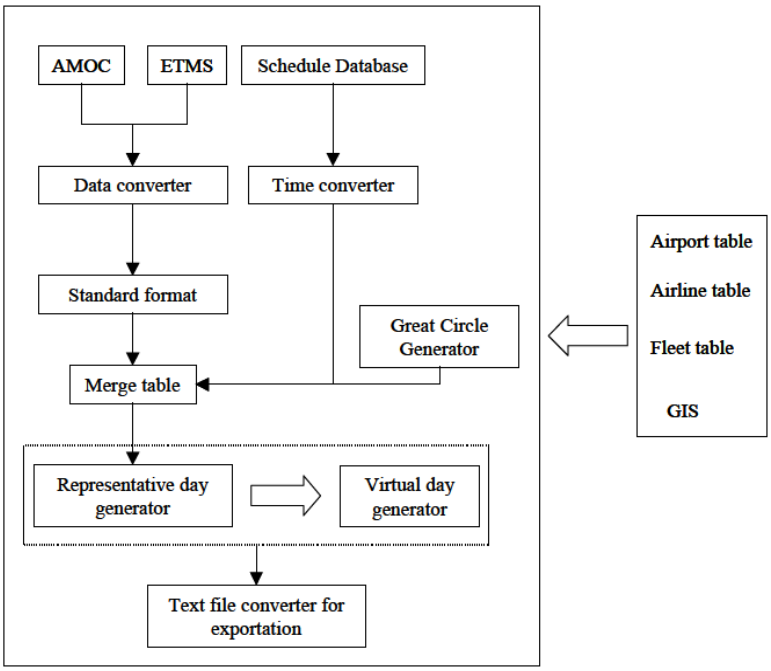


그림 15 AEORO2k flight movement tool 개요

- AMOC 와 ETMS의 비행궤도 데이터는 위도와 경도 값을 포함한다. 데이터 값들을 가시화하기 위해 VBA(Vaisual Basic for application)기반의 GIS 응용 프로그램을 개발하였다. GIS 응용 프로그램은 Access DB에서 데이터를 직접 읽을 수 있고, 비행경로를 궤도상의 위도와 경도로 변환해 준다. 이 응용프로그램은 아래와 같은 경우에 사용된다.

  · 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

세종대학교 SEJONG UNIVERSITY

- 다음은 AERO2k의 결과 값을 나타낸 그림이다.

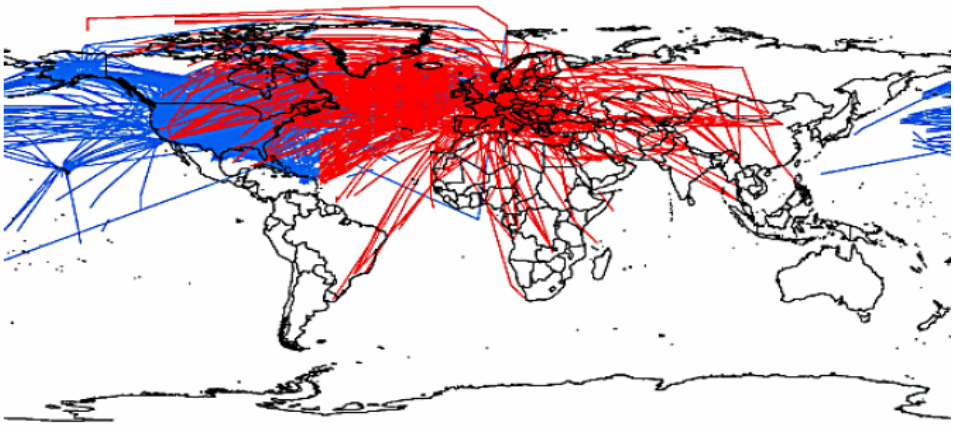


그림 16 미국의 레이더 데이터(ETMS - 파란색)와 유럽의 비행 계획 데이터 (AMOC - 빨간색)의 차이를 나타내는 그림(4-5-6/10/2000)

- 아래 그림들은 ETMS와 AMOC의 같은 항공편을 비교한 그림이다. ETMS 비행은 유럽지역에서 불완전하고, AMOC 비행은 미국지역에서 불완전하기 때문에 긴 궤적을 다루기 위해서 여러 항공편을 구분하고, 단일 궤적 또는 병합궤적을 선택하는 방법을 개발하였다. 아래 그림들은 ETMS와 AMOC의 비행을 병합한 후 완전한 궤적을 보여준다.

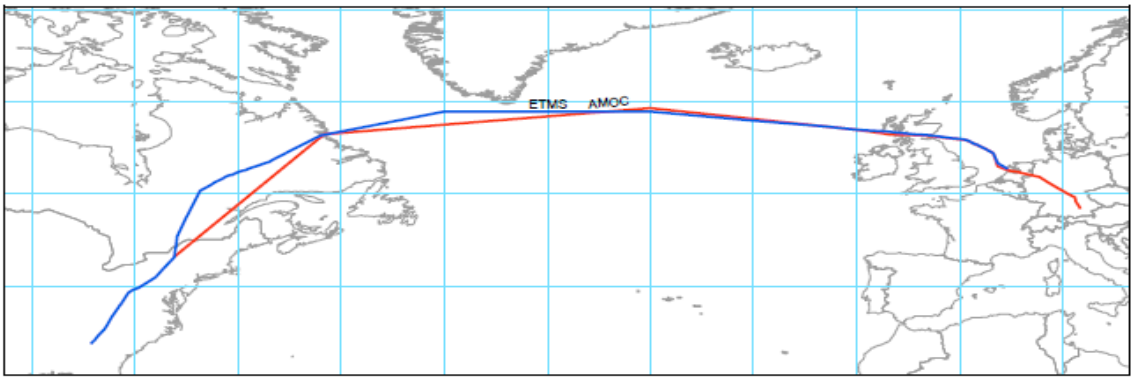


그림 17 ETMS와 AMOC의 동일 항공편도(ETMS - 파란색, AMOC - 빨간색)

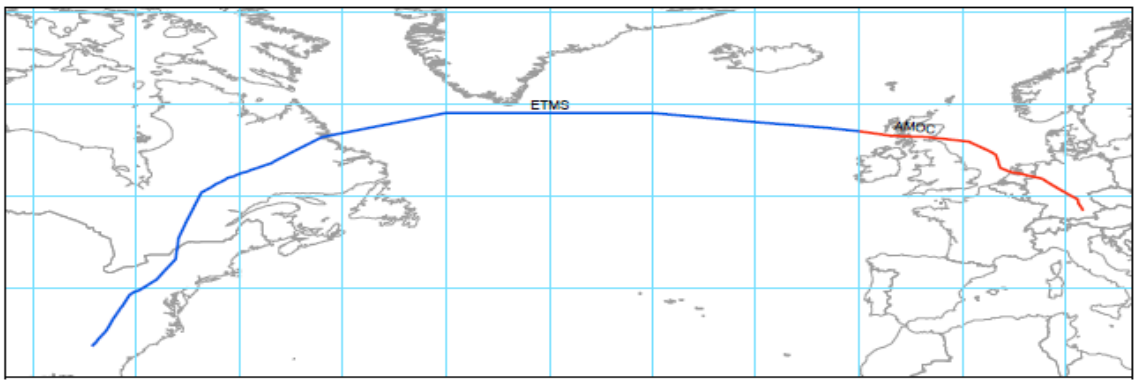


그림 18 그림 5의 ETMS와 AMOC의 비행 궤적 병합 후의 비행 궤적

○ AERO2k에서 분석 가능한 항공기종

- Large jets(LJ): 민간 아음속 제트 운송 기단 (좌석 수 100개 이상)
- Regional jets(RJ): 터보팬과 터보프롭을 동력으로 하는 단거리 비행 항공기
- Turboprops(TP): 터보프롭 엔진 2개 이상을 동력으로 하는 항공기 (좌석 수 100개 이상)
- Bizjets(BJ): 소형 터보팬과 터보제트를 동력으로 하는 항공기 (좌석 수 20개 미만)

○ AERO2k의 Fuel Profiling Prediction

- 연료 프로파일링과 예측은 AERO2k Data Integration Tool에서 실행된다.
  · 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 테이블에서 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 고도 3000ft 까지 하강하는 동안 소모되는 하강 연료 데이터
  · 착륙 : emission databank와 airport-specific arrival time-in-mode LUT의

데이터

○ Aircraft performance assumptions

- 항공기 운항 데이터는 항공기 종류, 공간 위치(위도, 경도, 고도), 비행시간 간격으로 세분화된다. 다양한 데이터 분석은 항공기 성능 모델링과 연료 소모량에 영향을 미친다. 아래는 위의 내용에 대해 요구되는 가정이다.

- 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 한다.

  · 3000ft 부근에서 교차하는 첫 비행 지점과 마지막 비행 지점이 공항 상공에 있다고 가정한다.

  · 모든 공항은 해수면에 위치한다.

- AERO2k의 LTO 배출량은 지역별 대기 질 평가에 대한 사용을 위해 공항 별로 정확한 데이터 기준을 제공하지는 않는다.

- Payload

  · 항공기 중량은 성능과 연료소모에 영향을 주는 지배인자이다. 탑재중량과 연료 무게는 유상하중(승객, 화물)에 따라 달라지고, 탑재중량 운송 능력은 항공기 종류와 내부 배치의 영향을 받는다. 필요 연료량은 임무 거리와 항공기 무게에 대한 함수이다.

  · AERO2k에서는 ICAO의 정기 항공사별 항공 교통 데이터를 사용한다(최대 탑재 중량의 60.9%의 평균 탑재중량 데이터 제공) [ICAO,2002].

- Reserves

  · 예비 연료량은 일반적으로 임무 거리, 임무 연료량의 함수이고 항공편이 국제선인지 국내선이지, 또는 장거리 운항 구간인지 단거리 운항 구간인지에 따라 달라진다.

  · AERO2k에서는 장거리 운항 구간에서 임무 비행을 완수하기 위해 필요한 연료의 5%와 200nm의 우회, 30분 동안 낮은 고도로 유지할 수 있는 연료량을 추가한다. 단거리 운항 구간에서는 임무 완수 연료의 5%에 100nm 우회, 45분 동안 저 고도 비행을 위한 연료량을 추가한다.

- Flight speeds

  · 항공기의 비행 속도는 고도, 앞바람(역풍, head winds), 항공사 practice에

따라 달라진다. 항공사 practice는 일반적으로 최대 SAR(specific air range)의 99% 지점의 MRC (maximum range cruise) 속도보다 빠른 비행으로 구성되고, LRC (long-range cruise) 속도라고도 한다.

· AERO2k에서는 최대 SAR의 99% 지점의 속도를 사용한다.

○ Emissions Parameterization for Civil Aviation

- 온실가스 배출량은 배출지수를 사용하여 계산한다. 배출지수는 공개적으로 사용가능한 엔진 데이터에 근거한다. 특히, 배출량 계산에 있어서 AERO2k 내에서 입자수와 질량의 추정을 포함하는 것을 주목해야 한다.

- CO_2 와 H_2O

· 이산화탄소와 물은 탄화수소 연료 연소의 주된 구성요소이다. 탄화수소의 배출량은 이산화탄소와 물 배출량의 1% 미만이고, 수소량과 탄소량의 비는 알 수 없다. CO_2 배출에서 CO를 추출하기 위해 각각의 몰 질량을 고려한다.

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

- NOx

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

· 정적 해수면 상태에서 국제 표준 대기 외의 다른 조건에서 엔진이 작동할 경우 연소기 입구의 온도와 압력은 아래와 같은 공식을 사용한다.

$$EINO_x = const \bullet p_3^a \bullet T_3^b$$

Equation A

$$T_{3,corr} = \frac{T_3}{\theta_t} \qquad with \;\; \theta_t = \frac{T_{t,1}}{288.15K}$$

Equation B

$$P_{3,corr} = \frac{P_3}{\delta_1} \qquad with \;\; \delta_1 = \frac{P_{t,1}}{101.3kPa}$$

Equation A와 Equation B의 관계식

$$\frac{EINOx}{EINOx_{corr}} = \frac{EINOx}{EINOx_{ref}} = \delta_t^a \bullet \theta_t^b$$

- CO 와 HC

· 수산화 탄소와 등유의 발열량이 같은 경우 아래와 같은 공식을 사용한다.

$$EI\,CO, EI\,HC = f(\Omega \bullet V_c) = f(\frac{w_{Air}}{p_3^{1.8} \bullet e^{T_3/300k}})$$

○ AERO2k의 데이터 통합과정

- AERO2k는 항적 데이터를 입력받아 통합하여 각 비행별 평균 구간 및 구간 위치를 측정할 수 있다. 아래의 그림은 AERO2k의 데이터 통합 과정을 나타낸다.

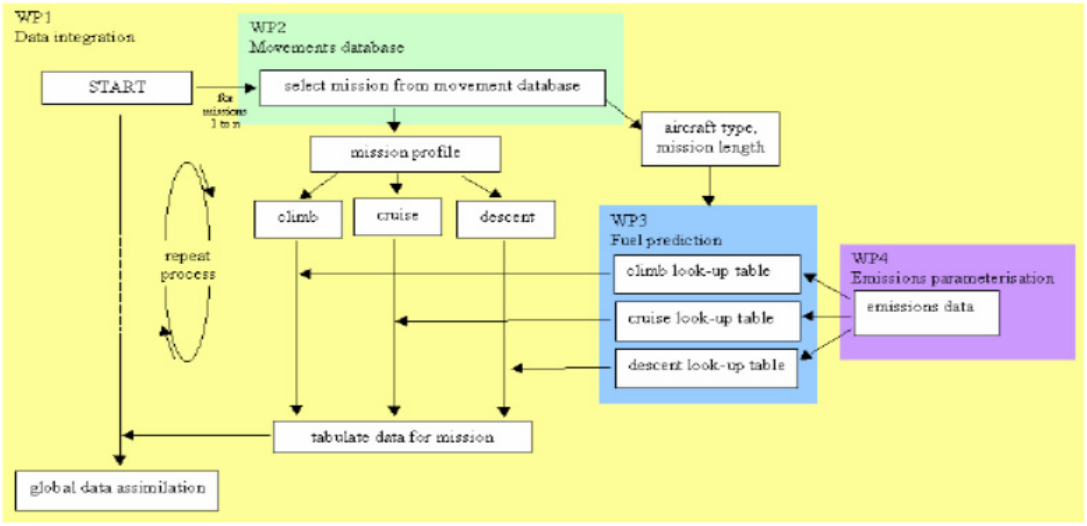


그림 17 데이터 통합 과정

○ AERO2k의 데이터 처리 방법

- AERO2k는 아래의 그림과 같은 방식으로 데이터를 처리한다. 초록색 박스는 데이터를 의미하고, 회색 타원은 데이터 처리 및 연결을 의미한다.

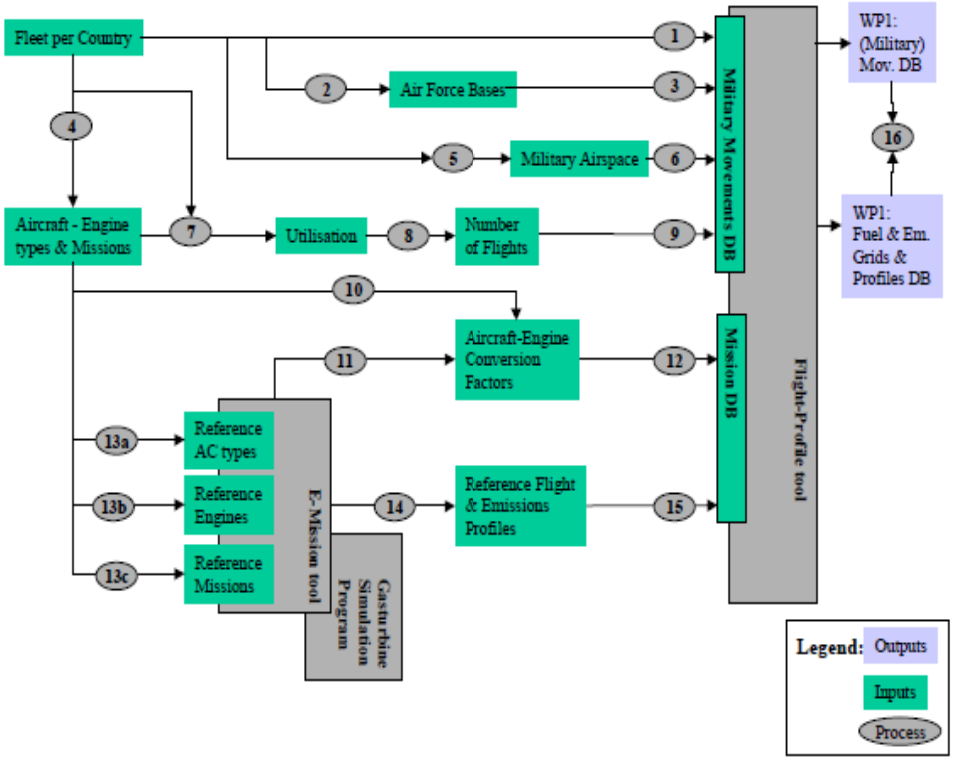

Fleet per Country
1
2
Air Force Bases
3
4
5
Military Airspace
6
Aircraft - Engine types & Missions
7
Utilisation
8
Number of Flights
9
10
11
Aircraft-Engine Conversion Factors
12
13a
Reference AC types
13b
Reference Engines
13c
Reference Missions
E-Mission tool
Gasturbine Simulation Program
14
Reference Flight & Emissions Profiles
15
Military Movements DB
Mission DB
Flight-Profile tool
WP1: (Military) Mov. DB
16
WP1: Fuel & Em. Grids & Profiles DB
Legend:
Outputs
Inputs
Process

그림 18 DB 프로세싱

2. 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 지적 받은 AEDT2a 이외의 다른 소프트웨어와의 비교분석을 위해서 AEIC와 Piano-X를 확보하여 온실가스를 산정하였다.

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 국적 항공사 운항에 따른 온실 가스 배출량 산정이 필요하여 계산을 수행하였다.

가) 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 data이용

○ 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 사용한다. 이러한 입력값에 대해 AEIC내에 있는 이론적인 계산식을 사용하여 우리가 원하는 공항에서의 이착륙 시 항공기 온실가스 배출량을 산정하였다.

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 21 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 22 공항별 Converted data format

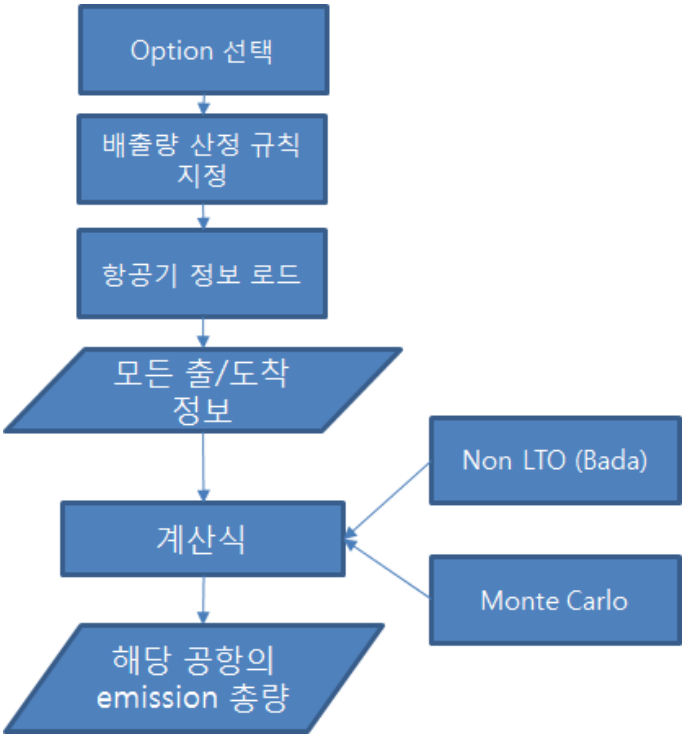


그림 23 AEIC Software 흐름도

- 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 나타낸다.
- 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 높았다. 나머지 공항들은 위의 4개의 공항의 차이에 비해 각 공항의 연료소모량 차이가 크게 나지 않았다. 그 외에 다른 온실가스 배출성분들도 전체에서 차지하는 비율의 차이는 있었지만 각 공항별 배출되는 경향은 연료소모의 경우와 같았다.

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 24 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 25 LTO 배출량 산정 결과(2) (2005년)

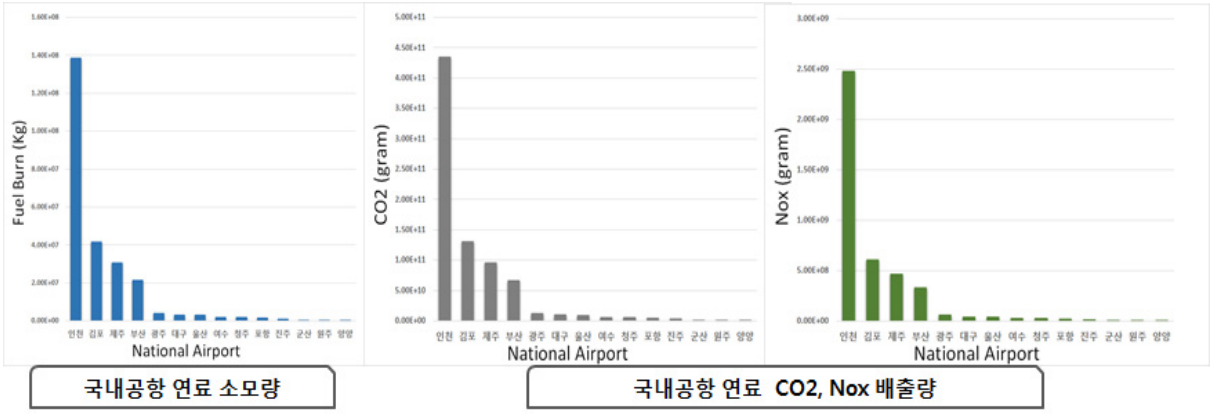


그림 26 국내공항 LTO 배출량 산정 결과 그래프(2005년)

나) AEIC를 사용한 Non-LTO 분석

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

○ Non LTO module은 BADA 3.9를 사용하여 항공기의 연료소비량 계산

○ 2005년 global emission inventory 계산 : 운항편수 27 million flight, 연료 사용량 180.6 Tg

○ EUROCONTROL의 BADA(Base of Aircraft Data)데이터를 별도로 사용하여 항공기 성능 계산(단일비행 분석(4 case) : 김포-제주, 인천-LA, 인천-베이징, 인천-부산)

○ 국내 단일비행 분석: 김포-제주, 인천-부산



그림 27 국내 단일비행 경로

○ GMP(김포)-CJU(제주), Boeing747-400

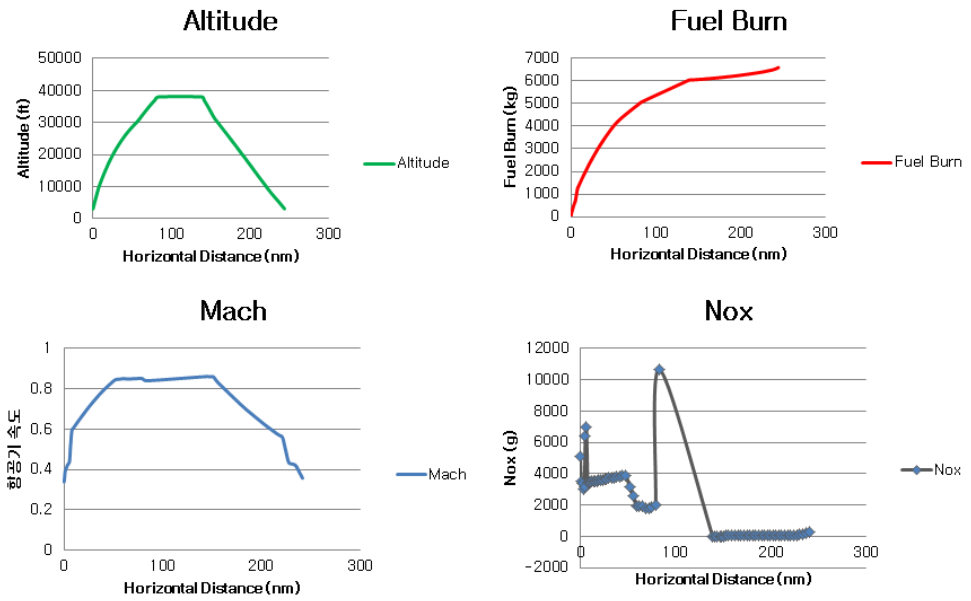


그림 28 GMP(김포)-CJU(제주) 노선의 배출량 산정결과

○ ICN(인천)-PUS(부산), Boeing747-300

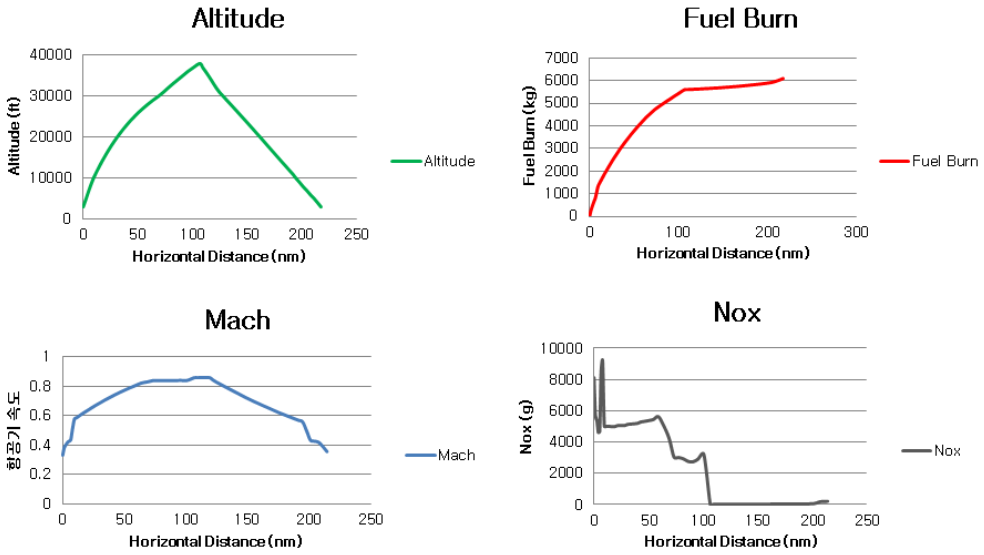


그림 29 ICN(인천)-PUS(부산) 노선의 배출량 산정결과

세종대학교 SEJONG UNIVERSITY

○ 국외 단일비행 분석: 인천-LA, 인천-베이징



그림 30 국외 단일비행 경로

○ ICN(인천)-LAX(LA), Boeing777-300

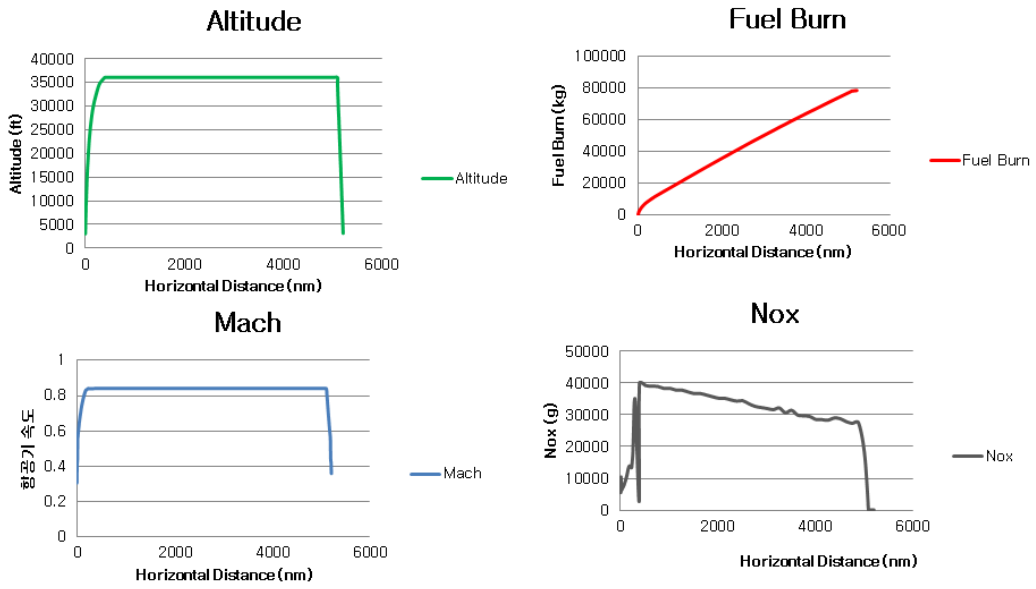


그림 31 ICN(인천)-LAX(LA) 노선의 배출량 산정결과

○ ICN(인천)-PEK(베이징), Boeing777-300

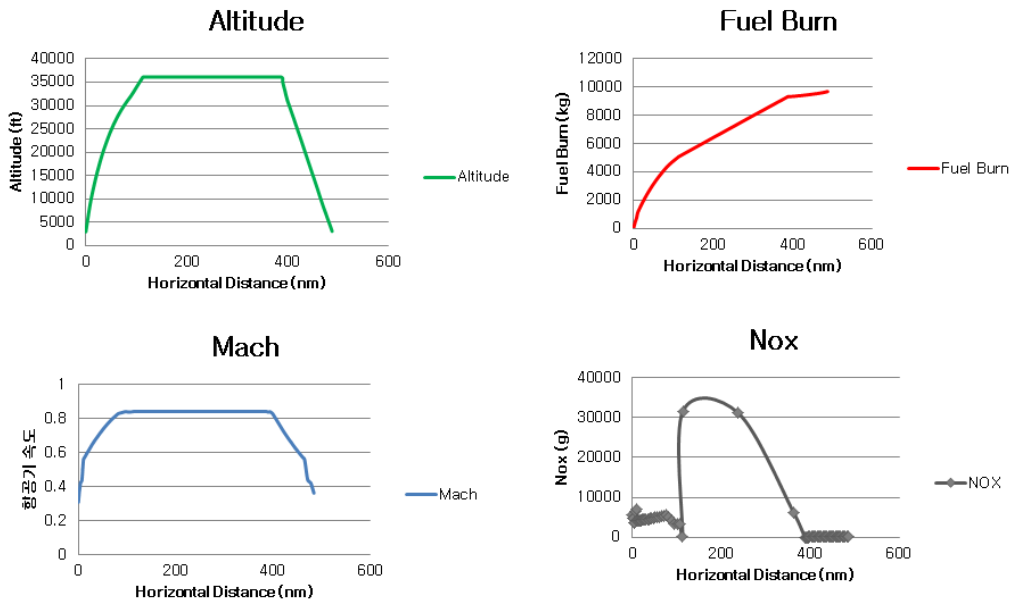


그림 32 ICN(인천)-PEK(베이징) 노선의 배출량 산정결과

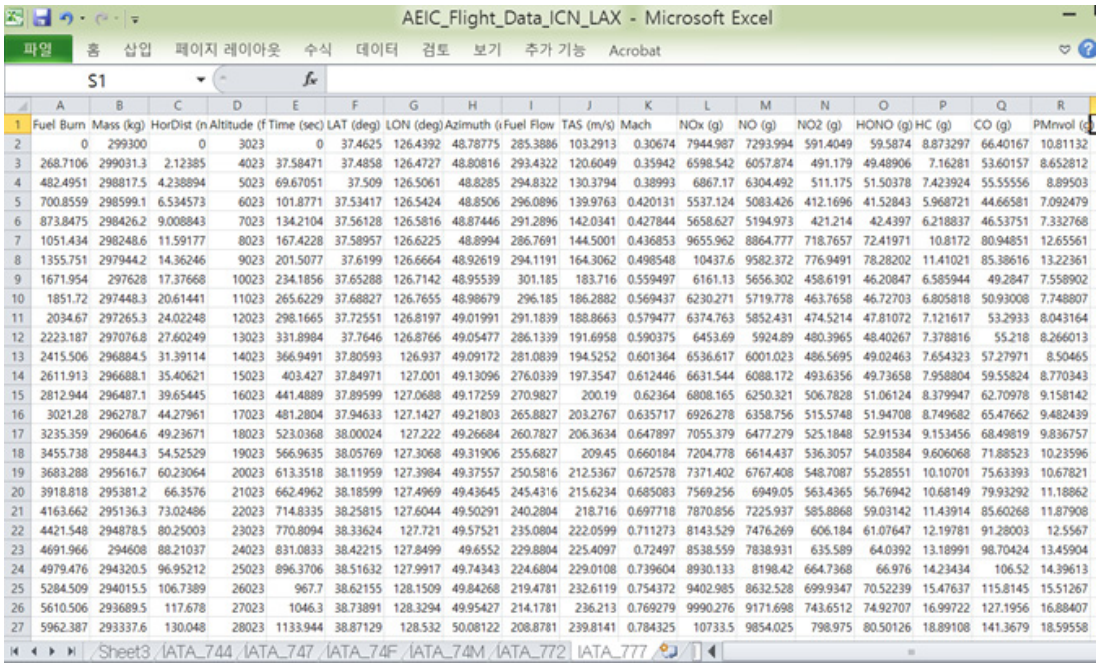


그림 33 AEIC Non-LTO 배출량 산정 결과(2005년)

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

다) 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 34 AEIC와 타 항공 배출량 산정 프로그램 산정결과 비교

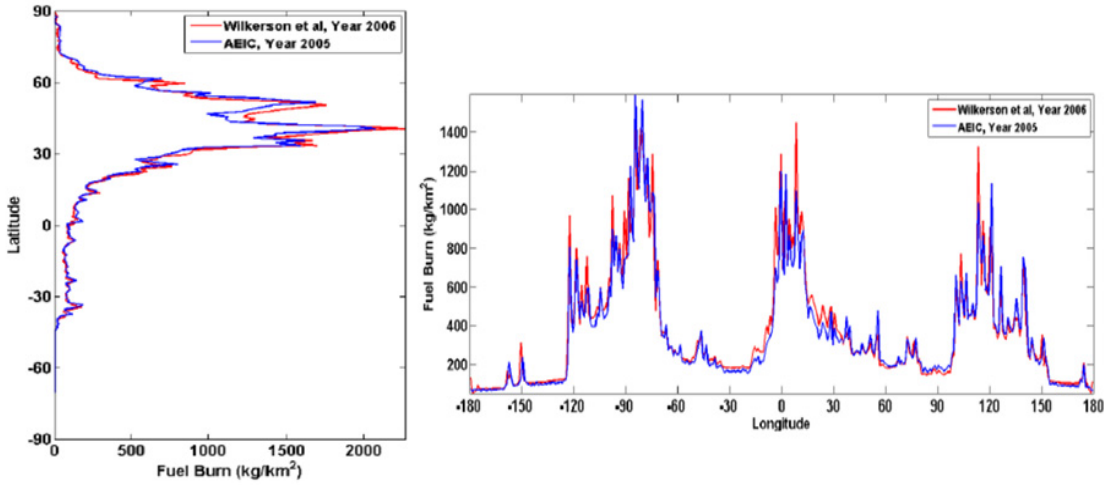


그림 35 AEIC를 사용한 위도/경도별 연간 배출량 계산과 AEDT 계산 결과 비교

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

영국의 Lissys사에서 개발한 Piano는 약 400개의 항공기 데이터베이스를 바탕으로 단일 비행 시 연료 사용량을 계산한다.

○ 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 수행하였다.

○ Single Aisle(B737-800), Small Twin Aisle(B787), Large Twin

Aisle(B777-200ER)의 3개 대표 기종 선정을 선정하였다.

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

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

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

○ Payload-Range

SA, STA, LTA의 Payload-Range Diagram상에서 해석에 사용된 조건들을 표시하였다.

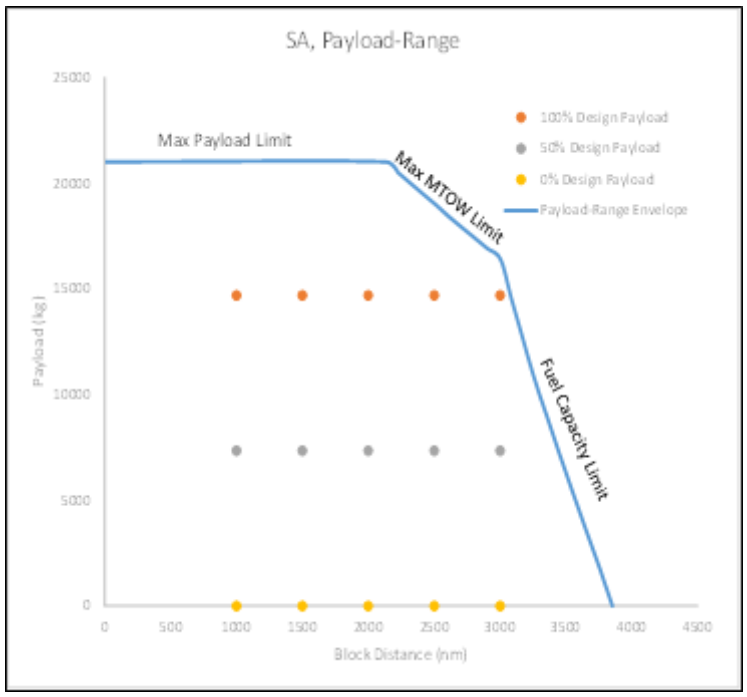


그림 36 SA의 Payload-Range에 대한 분석 조건

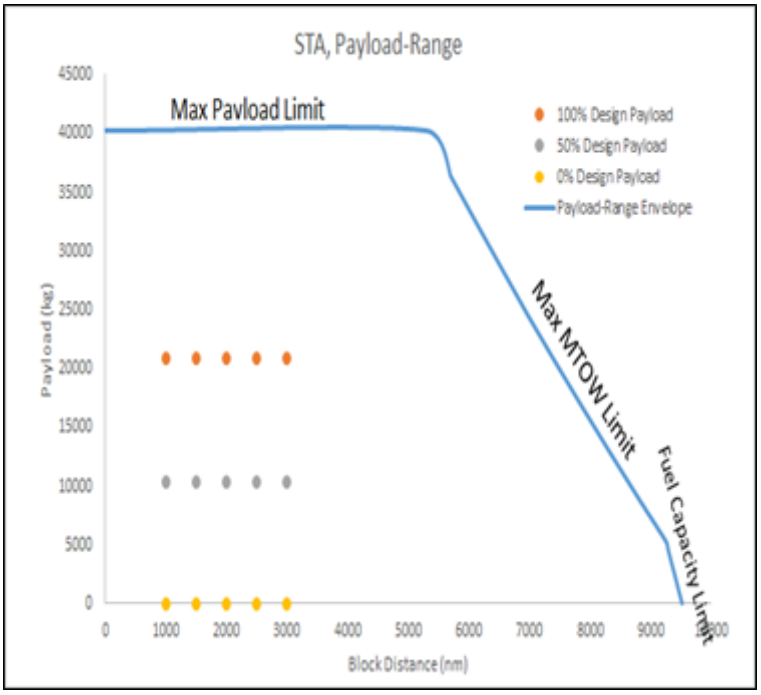


그림 37 STA의 Payload-Range에 대한 분석 조건

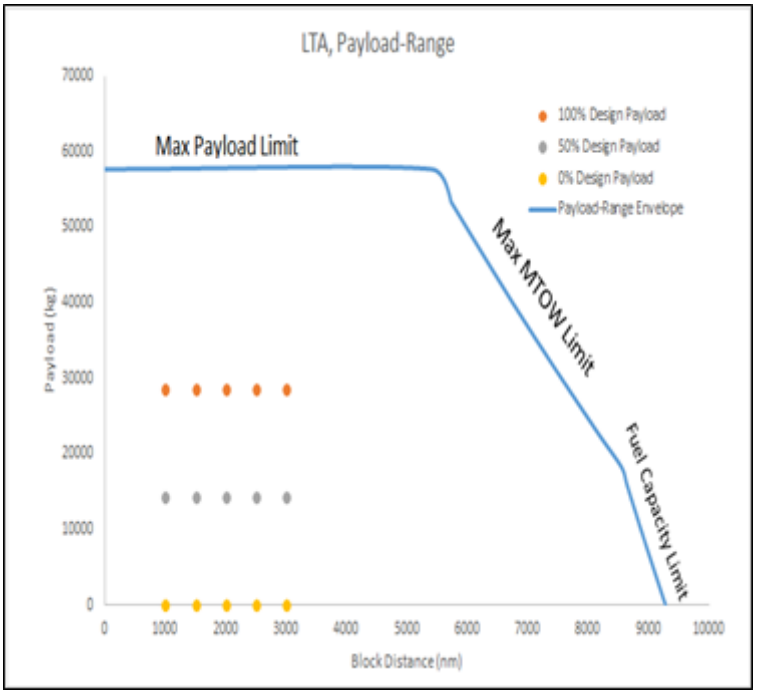


그림 38 LTA의 Payload-Range에 대한 분석 조건

○ Flight Trajectory

다음과 같은 임무형상을 사용하여 해석을 수행하였다. 상승 시 속도는 FAA 규정에 따라 10,000ft까지 250knot로 제한되고, 10,000 ft에서 일정한 보정대기속도(CAS)로 가속한 후, 속도를 유지하며 순항고도까지 상승한다. 순항속도는

LRC를 유지한다. 순항고도는 2,000ft 구간별로 미리 정해진 고도 값들에 따라 Step Cruise를 한다.

다음 그림들은 위의 임무형상에 따른 각 대표기종 항공기의 design mission의 운항거리에 따른 고도 변화를 나타낸다.

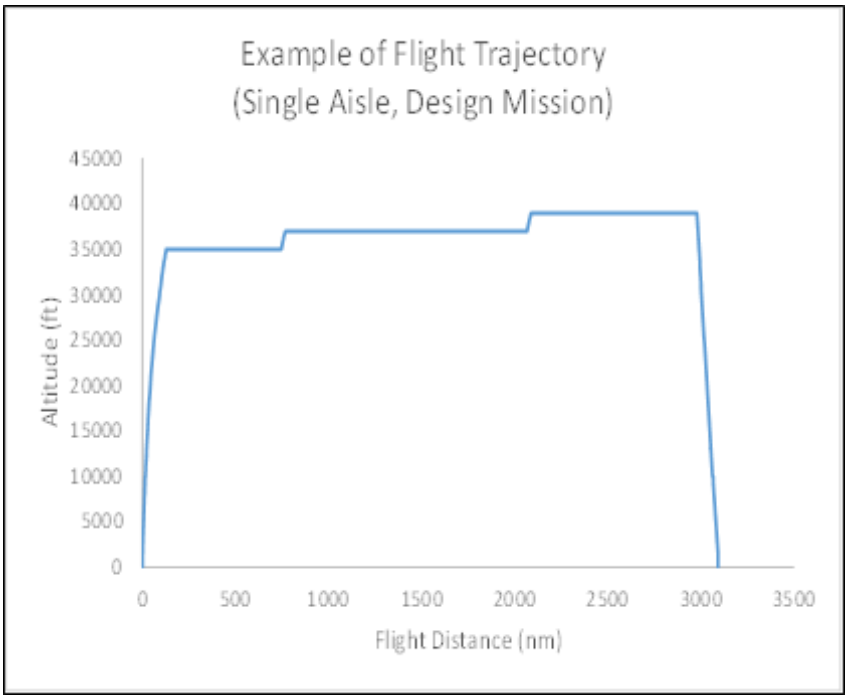


그림 39 임무형상에 따른 SA 항공기의 운항거리에 따른 고도 변화

세종대학교
SEJONG UNIVERSITY

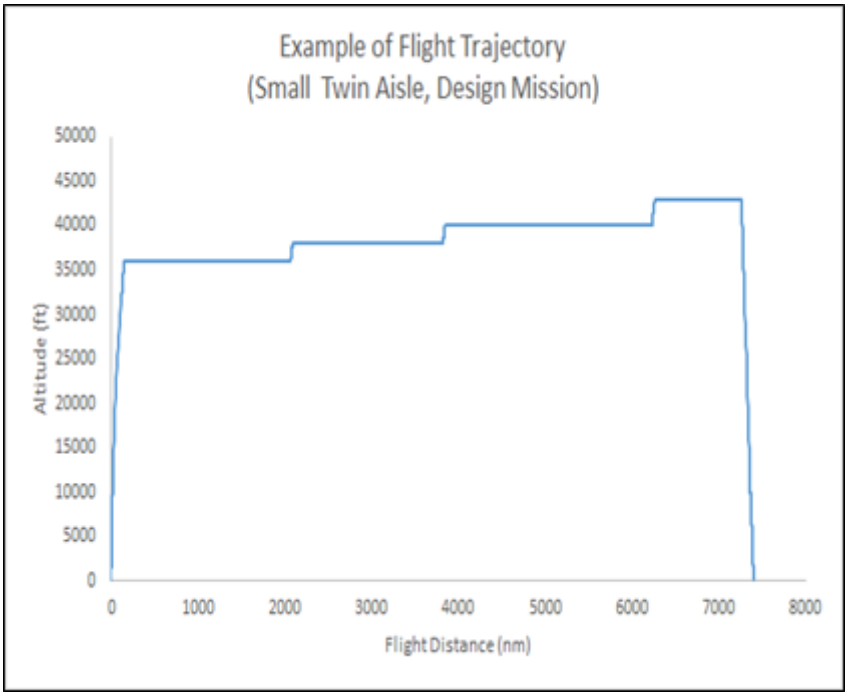


그림 40 임무형상에 따른 STA 항공기의 운항거리에 따른 고도 변화

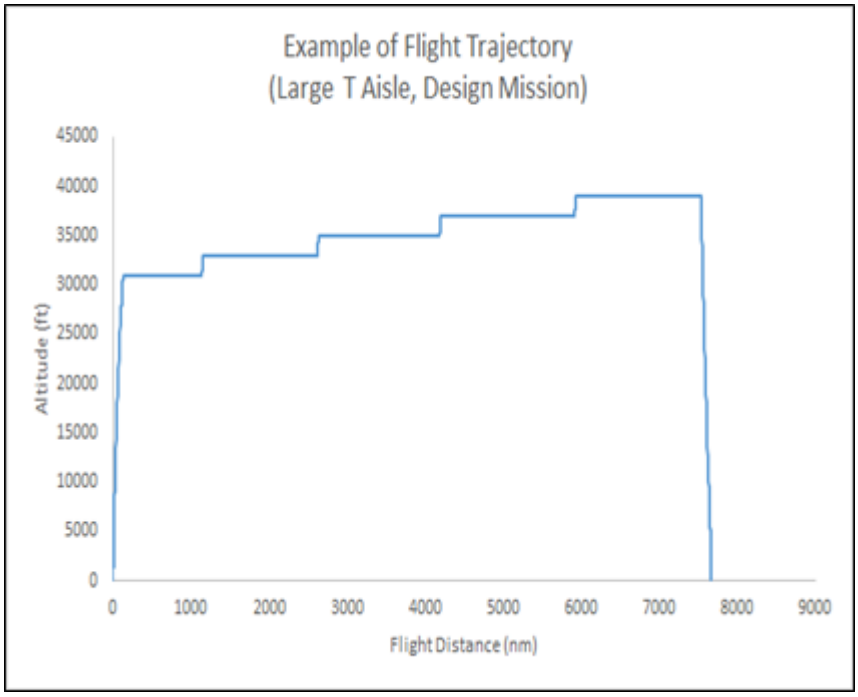


그림 41 임무형상에 따른 LTA 항공기의 운항거리에 따른 고도 변화

○ 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 많았다. 반면 Block HC(kg), Block CO(kg)은 payload에 따른 배출량에 별 차이가 없는 것으로 나타났다.

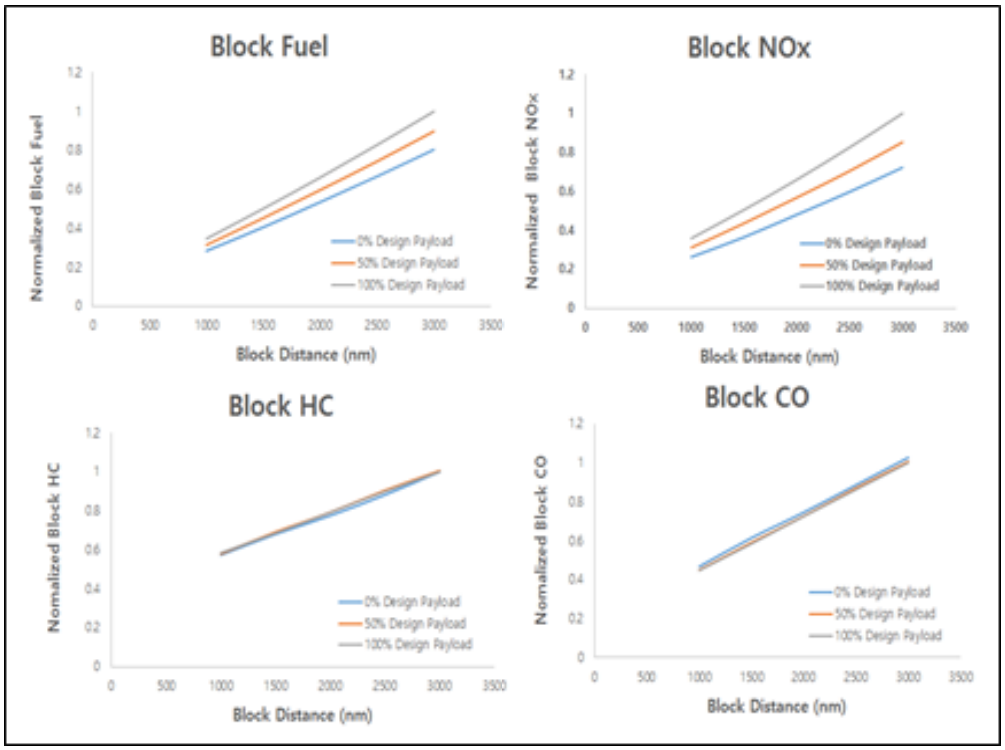


그림 42 SA 항공기의 설계유상하중과 항속거리에 따른 배출량 산정

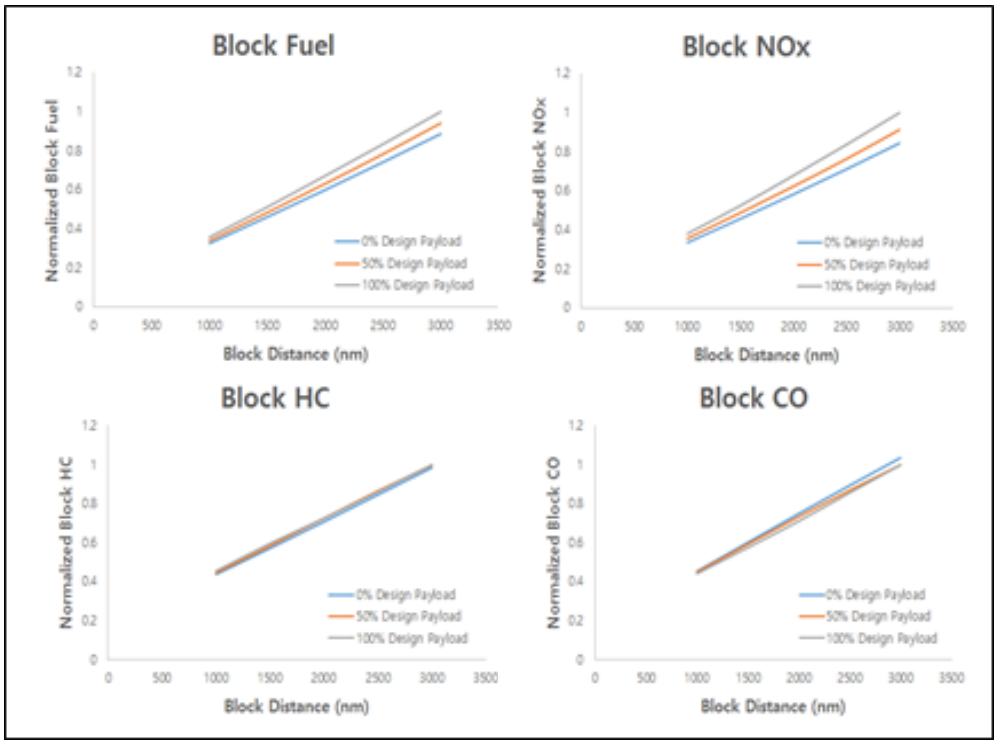


그림 43 STA 항공기의 설계유상하중과 항속거리에 따른 배출량 산정

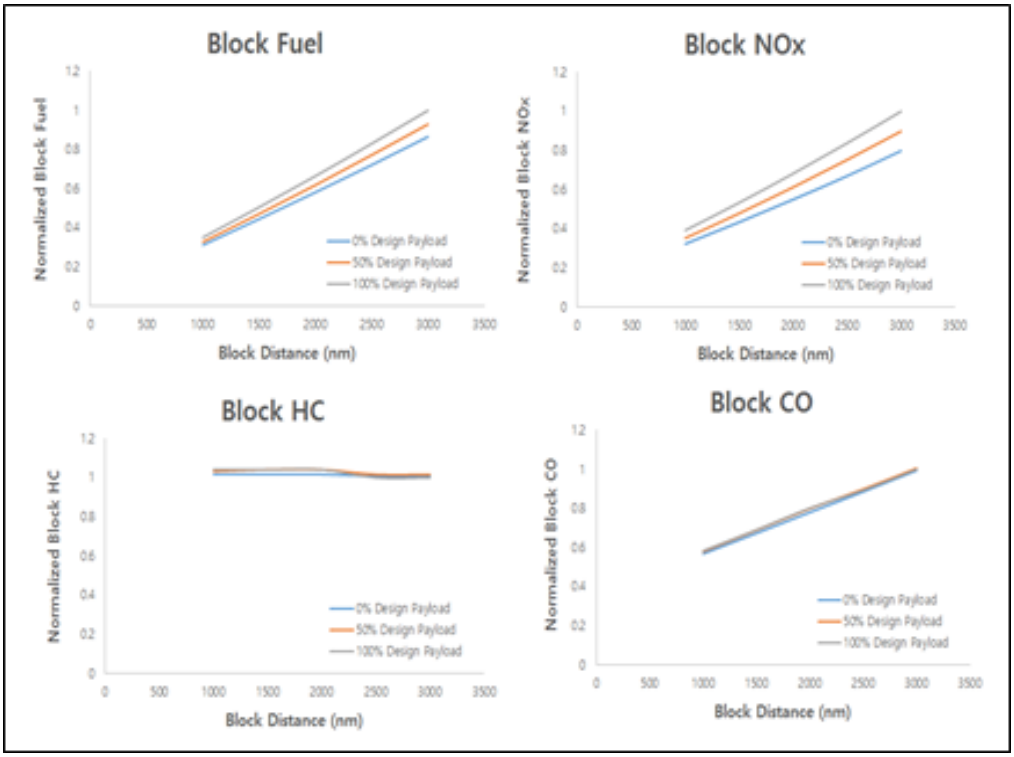


그림 44 LTA 항공기의 설계유상하중과 항속거리에 따른 배출량 산정

○ 비행구간별 배출량 산정

각 대표 항공기 기종에 대해 항속거리를 증가시키면서 비행구간별 세부 연료소모량을 산출한 결과를 아래 그림들에 나타내었다.

순항은 다른 비행구간에 비해 상대적으로 비행시간이 길어 순항 시 연료소모량이 가장 많고, 운항거리가 늘어남에 따라 순항 시 연료소모량도 증가한다. 운항거리에 따른 다른 비행구간들(이륙, 상승, 하강 등)에서의 연료소모량의 변화는 미미한 것으로 나타났다.

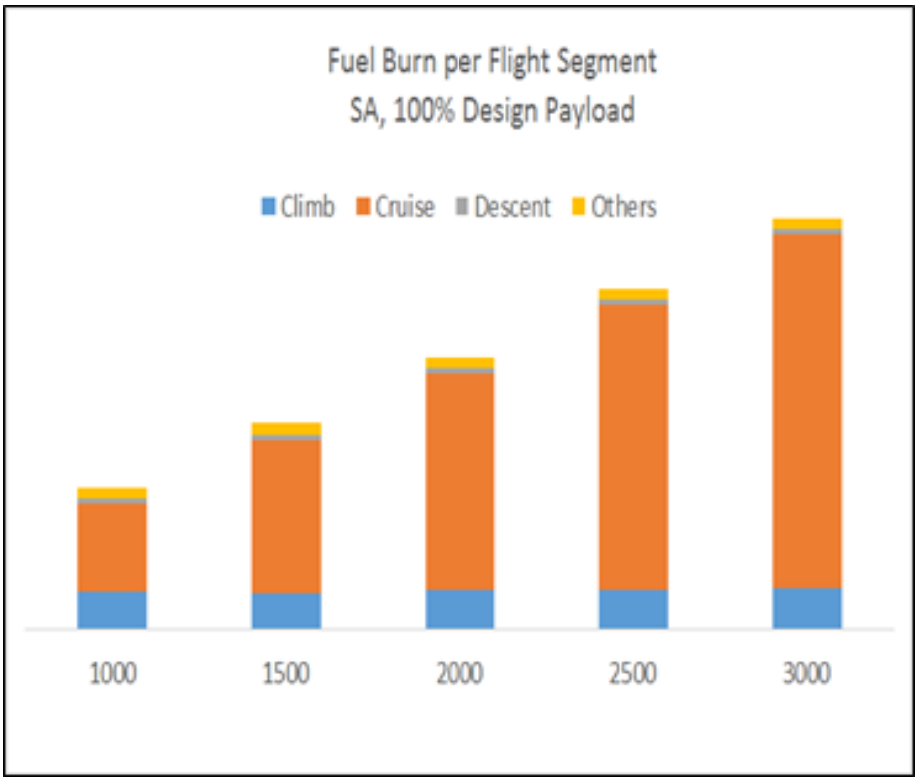


그림 45 SA 항공기의 상승, 순항, 하강 단계별 배출량 산정

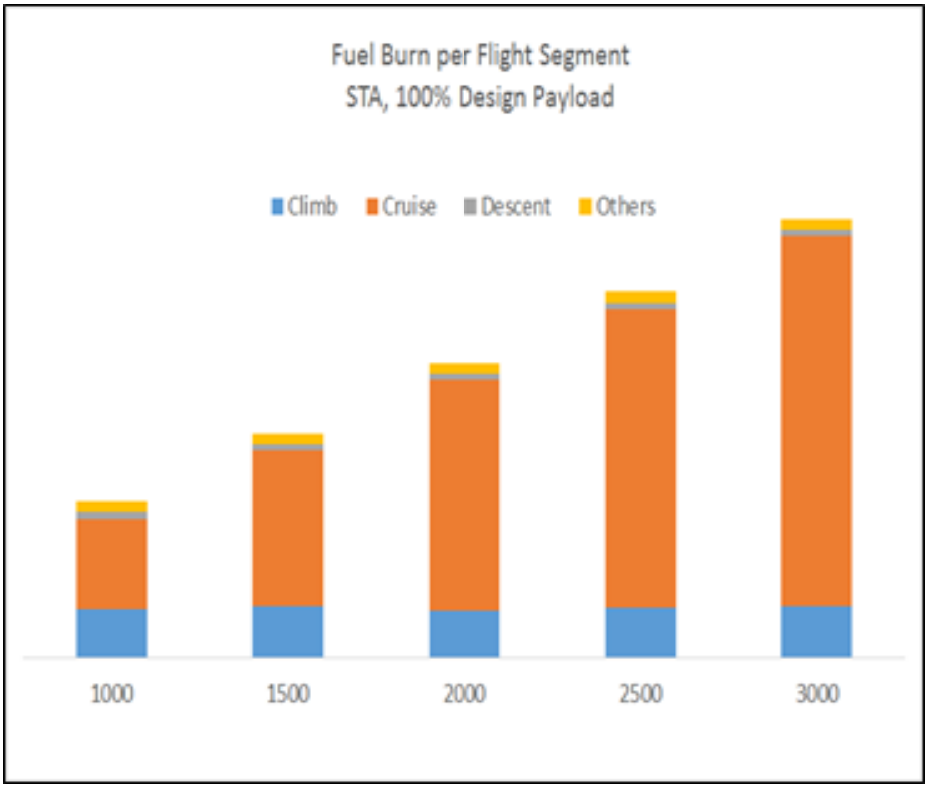


그림 46 STA 항공기의 상승, 순항, 하강 단계별 배출량 산정

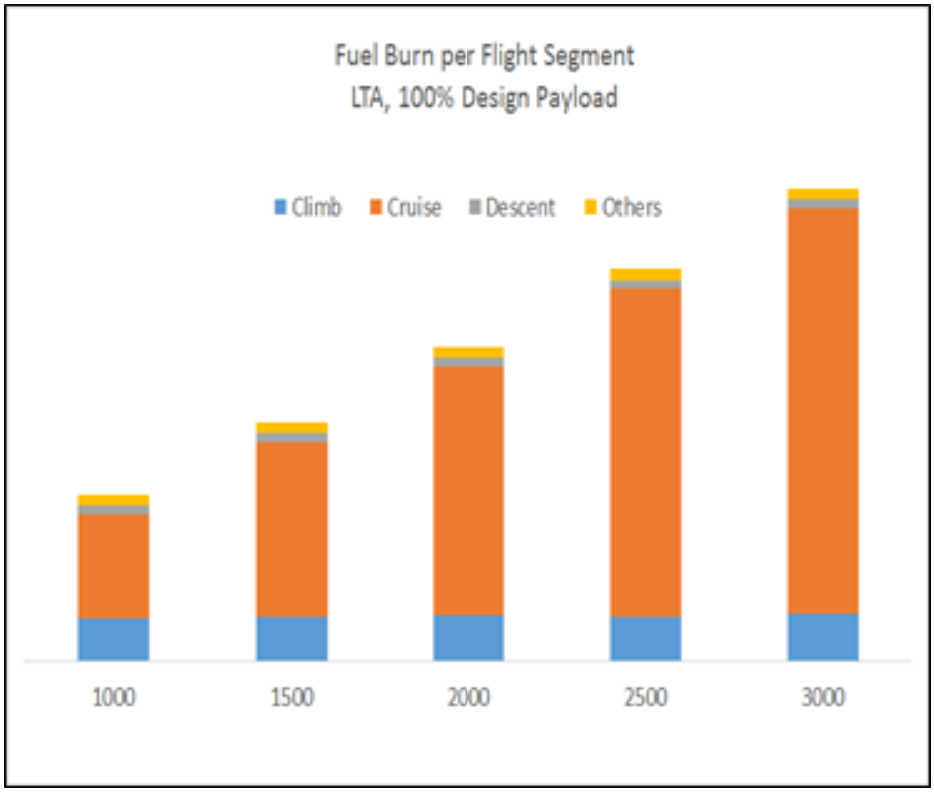


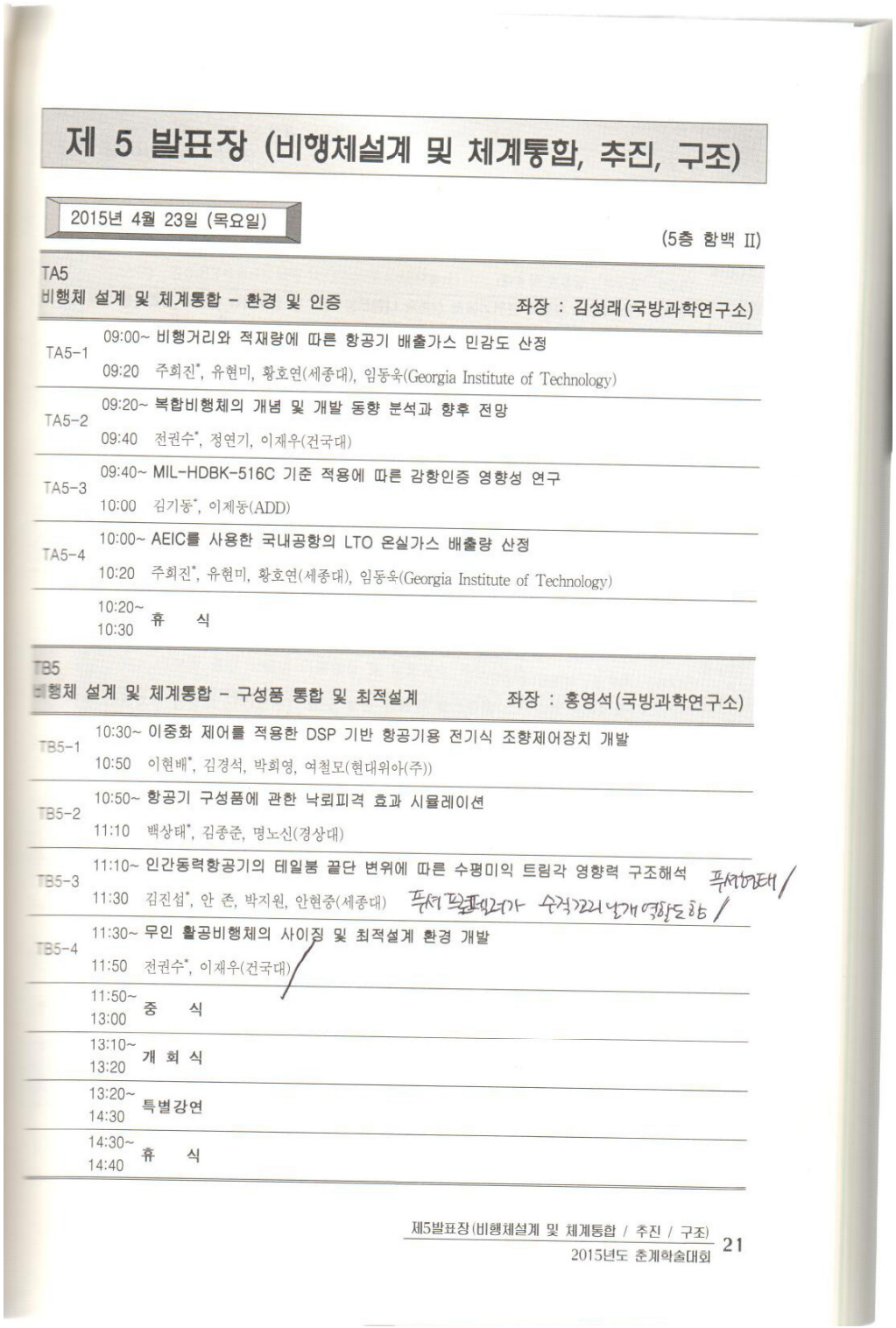
그림 47 LTA 항공기의 상승, 순항, 하강 단계별 배출량 산정

3. 추가자료

가. 2015 춘계학술대회 CD



나. 2015 춘계학술대회 목차



제 5 발표장 (비행체설계 및 체계통합, 추진, 구조)

2015년 4월 23일 (목요일) (5층 함백 II)

TA5
비행체 설계 및 체계통합 - 환경 및 인증 좌장 : 김성래(국방과학연구소)

TA5-1	09:00~	비행거리와 적재량에 따른 항공기 배출가스 민감도 산정
	09:20	주회진*, 유현미, 황호연(세종대), 임동욱(Georgia Institute of Technology)
TA5-2	09:20~	복합비행체의 개념 및 개발 동향 분석과 향후 전망
	09:40	전권수*, 정연기, 이재우(건국대)
TA5-3	09:40~	MIL-HDBK-516C 기준 적용에 따른 감항인증 영향성 연구
	10:00	김기동*, 이제동(ADD)
TA5-4	10:00~	AEIC를 사용한 국내공항의 LTO 온실가스 배출량 산정
	10:20	주회진*, 유현미, 황호연(세종대), 임동욱(Georgia Institute of Technology)
	10:20~ 10:30	휴 식

TB5
비행체 설계 및 체계통합 - 구성품 통합 및 최적설계 좌장 : 홍영석(국방과학연구소)

TB5-1	10:30~	이중화 제어를 적용한 DSP 기반 항공기용 전기식 조향제어장치 개발
	10:50	이현배*, 김경석, 박희영, 여철모(현대위아(주))
TB5-2	10:50~	항공기 구성품에 관한 낙뢰피격 효과 시뮬레이션
	11:10	백상태*, 김종준, 명노신(경상대)
TB5-3	11:10~	인간동력항공기의 테일붐 끝단 변위에 따른 수평미익 트림각 영향력 구조해석
	11:30	김진섭*, 안 존, 박지원, 안현중(세종대)
TB5-4	11:30~	무인 활공비행체의 사이징 및 최적설계 환경 개발
	11:50	전권수*, 이재우(건국대)
	11:50~ 13:00	중 식
	13:10~ 13:20	개 회 식
	13:20~ 14:30	특별강연
	14:30~ 14:40	휴 식

세종대학교 SEJONG UNIVERSITY

다. 2015 춘계학술대회 논문(1)

비행거리와 적재량에 따른 항공기 배출가스 민감도 산정

Sensitivity Study of Aircraft Emissions to Payload and Flight Distance

주희진[1]*, 유현미[1], 황호연[1], 임동욱[2]
세종대학교[1], Georgia Institute of Technology[2]

초 록

온실가스 배출의 잠재적 악영향에 대한 우려가 증가함에 따라 항공기의 배기가스 배출을 줄이고 기후에 관한 항공기의 영향을 완화하는 한가지 수단으로 항공기 배기가스를 산정하고 예측하는 시스템 개발의 필요성이 제기되고 있다. 따라서 본 연구에서는 항공기 배기가스의 산출과 저감효과 분석을 통한 항공기 온실가스 배출량을 최소화하여 미래 기후변화와 에너지 고갈에 대비하는 것을 연구목표로 한다. 영국 Lissys사에서 개발한 PIANO-X 소프트웨어를 사용하여 3개 기종에 대해 0%, 50%, 100% 설계 유상하중과 항속거리, 비행경로에 따른 연료소모량과 배기가스 배출량을 분석하였다.

ABSTRACT

Increasing concern over the potential negative effects of greenhouse gas emissions has motivated the development of an aircraft emission estimation and prediction system as one way to reduce aircraft emissions and mitigate the impact of aviation on climate. Hence, the objective of this research is to prepare climate change and energy exhaustion by minimizing aircraft emissions through estimating aircraft emissions and simulating the reduction effect. Fuel burn and emission index for 3 types of aircraft were estimated for design payload of 0%, 50%, 100% with various range and flight path using PIANO-X software which was developed by Lissys Co. in United Kingdom.

Key Words : Global Warming(지구 온난화), Aircraft Emission(항공기 배기가스), Green House Gas(온실가스), Fuel Burn(연료소모량), LTO(이착륙)

1. 서 론

세계 항공 산업이 전체 온실가스 배출량의 2%를 차지하고 있는 가운데 미래 항공교통 부문의 지속적인 성장을 감안할 때 급격한 온실가스의 증가가 예상되며, 친환경 항공기의 요구가 증대되고 있어 본 연구에서는 항공기 배기가스의 산정과 저감효과 분석 시뮬레이션을 통한 항공기 온실가스 배출량을 최소화하여 미래 기후변화와 에너지 고갈에 대비하는 것을 연구목표로 한다.

전 세계적으로 본다면, 항공 산업은 온실가스 배출량이 가장 빠르게 증가하는 산업 중 하나이다. 유럽연합(EU) 집행위원회에 따르면, 전 세계의 항공기 온실가스 배출량은 1990년과 2002년 사이에 약 70% 증가했다. 또한, 기후변화에 관한 정부 간 위원회(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 1999년 연구 자료에서는, 항공기에서 배출되는 온실가스가 기후변화에 미치는 영향 정도는 1992년 배출량을 기준으로 할 때, 2050년에 이르러 적게는 2.6배에서 많게는 11배로 늘어날 것으로 예상했다. 온실가스 감축에 관한 많은 논란 속에서, 만약 온실가스 배출량이 2050년까지 50%에서 80%가 감축되어야만 한다면, 목표 감축량에 도달하기 위해서는 항공기로부터 발생되는 온실가스 배출량이 현저하게 감소되어야 함을 의미한다.

항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 관련 해외 유사 프로그램 중 가장 진보한 것으로 평가받는 것은 미국 연방항공청(FAA)의 AEDT(Aviation Environmental Design Tool)와 영국의 AERO2k이

다. 본 연구팀은 AEDT2a를 구매하여 그 기능을 평가 중에 있고 AERO2k는 판매를 하지 않아 그 내부에 포함하고 있는 PIANO 소프트웨어를 구매하여 설계 유상하중과 항속거리, 비행경로에 따른 연료소모량과 배기가스 배출량을 분석하였다.

2. 유상하중 및 항속거리 변화에 따른 배기가스 배출량 민감도 분석

2.1 배출량 산정을 위한 시나리오 설정

본 연구는 항공기 분석 툴인 PIANO-X를 사용하여 항공기 기종을 선정하고 지정된 항속거리에 대해 유상하중 변화에 따른 항공기 온실가스 배출량을 산정하여 민감도 분석을 수행하였다(Fig. 1).



Fig. 1. Piano-X Program

먼저, 본 연구를 수행하기 위해 Single Aisle (SA), Small Twin Aisle (STA), Large Twin Aisle (LTA)의 각 그룹을 대표하는 3개 기종을 선정하였다. 이 세 가지 항공기는 국내 항공사에서 운항하는 대표적인 기종이다. 유상하중은 설계유상하중(Design Payload)을 기준으로 100%, 50%, 그리고 0%로 변화시켰다. PIANO에서 설계유상하중은 기종의 표준 좌석수와 승객당 평균 무게(승객 및 baggage)의 곱으로 정의된다. 각각의 유상하중에 대해서 항속거리를 변화시키면서 배기가스 배출량을 산출하여 비교분석하였다.

Fig. 2는 SA의 Payload-Range Diagram상에서 해석에 사용된 조건들을 표시하였다.

PIANO-X는 사용자가 항공기 임무해석(Mission Analysis)과 관련하여 조절할 수 있는 다양한 변수들을 제공하고 있다. 예를들어, 해당 항공기 모델의 항력 및 TSFC 값 등 공기 역학 및 엔진 효율 관련 변수들과, 상승 및 순항 시의 속도-고도 Schedule 등을 변경할 수도 있다. 본 해석에 있어서는 PIANO-X의 각 모델별 기본 설정값들을 사용하였다.

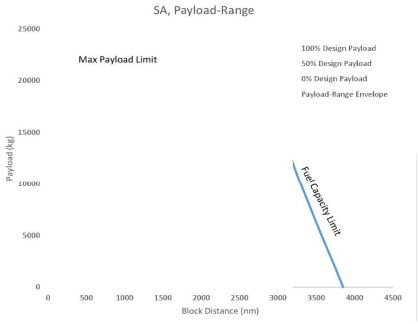


Fig. 2. Analysis Conditions of SA Payload-Range Diagram

상승 시 속도는 FAA 규정에 따라 10,000 ft까지 250knot로 제한되고, 10,000 ft에서 일정한 보정대기속도(calibrated airspeed)로 가속한 후, 속도를 유지하며 상승하고, 주어진 전이 마하수(Transition Mach number)에 도달 후에는 해당 마하수를 유지하며 순항고도까지 상승한다. 순항속도는 Long Range Cruise Speed (Maximum Range Cruise Speed에서 1%의 Specific Air Range 감소만큼 증가시키는 속도)를 유지한다. 순항고도는 2,000ft 구간별로 미리 정해진 고도 값들에 따라 Step Cruise를 한다. Fig. 3은 위에서 기술한 임무형상(Mission Profile)에 따른 SA 항공기의 design mission (maximum range at design payload)의 운항거리에 따른 고도별 변화를 나타낸다.

2.2 배출량 산정 결과

PIANO-X를 사용하여 세 가지 기종에 대한 세 가지 설계 유상하중 조건에 따른 항속거리 변화에 대한 항공기 온실가스 배출량을 산정하였다. 각 항공기 별로 상승(Climb), 순항(Cruise), 하강(Descent)구간과 이 구간을 모두 포함하는 Block (전 구간)의 연료소모량(Fuel Burn), 질소산화물(NO_X), 탄화수소(HC), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO_2) 등을 산출하였다.

세종대학교 SEJONG UNIVERSITY

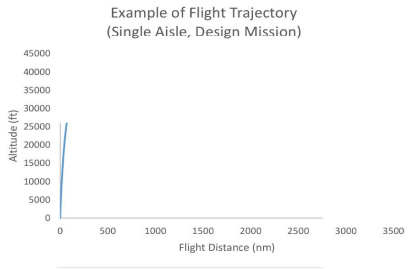


Fig. 3 Altitude changes of SA aircraft design mission

2.2.1 Block Emissions 민감도

전체 성능(Block Performance) 부분에서 보면 Block Fuel (Kg) 과 Block NOx (Kg) 그래프는 예상한대로 0% 설계유상하중에서 50% 설계유상하중, 100% 설계유상하중 순으로 증가하였고, 항속거리가 증가할수록 연료소모량이 많았다(Fig. 4, 5, 6). 아울러 배기가스의 산출량은 유상하중보다 항속거리에 더 큰 민감도를 보여주었다.

한편 Block HC (Kg), Block CO (Kg)은 payload에 따른 연료소모율 차이가 아주 근사하게 나타났다. 이 결과에 대해서는 추가적인 검토가 필요하다. 또한, LTA를 대표하는 기종에 대한 Block HC (Kg)도 다른 기종에서 나오는 같은 산출물에 대한 그래프와 경향이 확연히 달라서 추가검토 통해 살펴볼 예정이다(Fig. 5.).

한가지 주목할 사항은 항속거리에 대한 Block Fuel (Kg)과 Block NOx (Kg)의 경향성을 간단한 다항식으로 잘 근사할 수 있다는 점이다. 본 연구에 사용한 세 기종들의 배기가스 배출량을, 항속거리에 대한 2차식으로 회귀분석을 하면 모두 1에 가까운 R2 값을 보여준다. 이와 같은 특성은 대리모델(Surrogate Model)을 통해 큰 규모의 Fleet Level Analysis의 소요시간을 크게 단출할 수 있는 가능성을 제시한다. 즉 모든 개별운항에 대해 PIANO와 같은 항공기 성능해석프로그램을 실행하는 대신에, 미리 산출한 2차식을 이용하여 해당 운항의 항속거리에 따른 배기가스를 아주 짧은 시간에 계산할 수 있기 때문이다.

2.2.2 비행구간(Climb, Cruise, Descent)에 대한 배출량 산정 결과 값

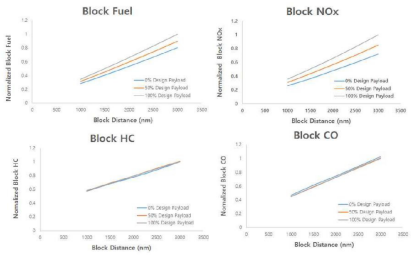


Fig. 4. Block Performance of SA

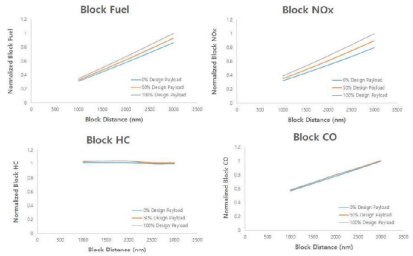


Fig. 5. Block Performance of LTA

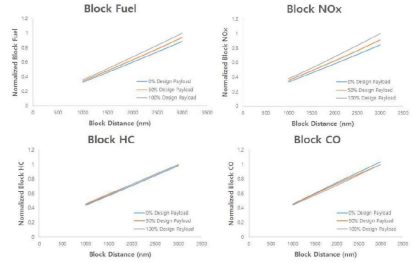


Fig. 6. Block Performance of STA

Fig. 7은 SA의 항속거리를 증가시키면서 비행구간별 세부 연료소모량을 산출한 결과를 나타낸 것이다. 순항 시 소모되는 연료가 가장 많고, 운항거리가 늘어남에 따라 절대값이 증가하고 그 비중 역시 증가한다. 운항거리에 따른 다른 비행구간들(이륙, 상승, 하강, 등)에서의 연료소모량의 민감도는 미미하다. 이와 같은 경향은 Fig. 7-9와 같이 SA, LTA, 그리고 STA 모든 기종에서 공통적으로 관찰되었다.

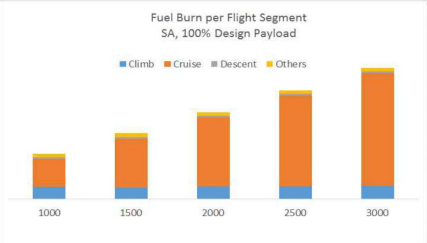


Fig. 7. Fuel Burn Breakdown of SA

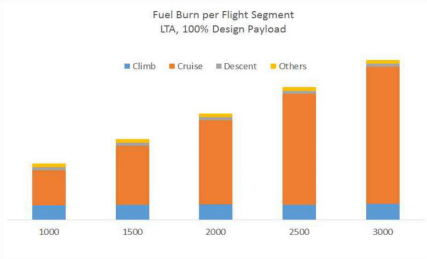


Fig. 8. Fuel Burn Breakdown of LTA

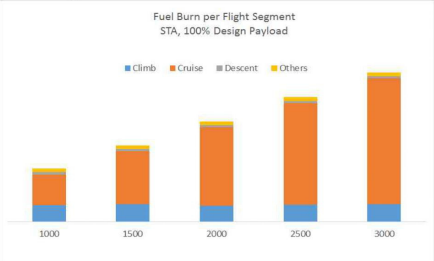


Fig. 9. Fuel Burn Breakdown of STA

3. 결 론

본 연구에서는 항공 온실가스 산정 및 예측시스템의 효율적인 개발을 위해 해외 항공기 온실가스 산정 및 성능해석 프로그램인 Piano-X를 사용하여 비행거리와 적재량에 따른 항공기 배출가스 민감도를 산정하였다. 연구를 수행한 결과, Range가 1,000nm일 때, 이륙무게 대비 연료 소모량이 가장 적은 항공기 기종은 Large Twin Asile (LTA)의 대표 기종이었고, 가장 큰 항공기 기종은 Single Aisle (SA)의 대표 기종이었다. 연료소모량에 대해 상승, 순항, 하강구간을 Breakdown 했을 때 순항구간의 연료 소모량이 확연이 컸다. 특히 항속거리의 범위가 증가할수록 확연하게 나타났다. 본 연구결과를 통해 유상하중에 대한 민감도보다 항속거리에 대한 민감도가 훨씬 크다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 다른 기종의 같은 산출물과 경향이 크게 다르게 나온 경우(Fig. 5.)가 있다. 위와 같은 경우가 왜 나타났는지에 대해서는 추후 연구를 통해 원인을 조사해 볼 계획이다.

후 기

본 논문은 국토교통과학기술진흥원의 국가 R&D 사업인 “항공 온실가스 산정 및 예측시스템 개발”과제의 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

(1) KOTI(The Korea Transport Institute), 2008, *Estimates and Management measures on Greenhouse gases in Aviation*.

(2) IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)(1996, 2000, 2006), *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*

(3) FAA, “*2010 Aviation Environmental Tools Colloquium - Colloquium Overview*”, Dec. 2012, URL:http://www.faa.gov/

(4) William Roberson, Robert Root, and Dell Adams, "Fuel Conservation Strategies: Cruise Flight", *AERO QUARTERLY*, QTR_4.07, Boeing Company, 2007, URL: http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_07/AERO_Q407_article5.pdf

라. 2015 춘계학술대회 논문(2)

AEIC를 사용한 국내 공항의 LTO 온실가스 배출량 산정

LTO Emission Estimation of Airports in Korea Using AEIC

주희진[1]*, 유현미[1], 황호연[1], 임동욱[2]
세종대학교[1], Georgia Institute of Technology[2]

초 록

항공기 배기가스는 전체 온실가스 배출량에서 상대적으로 작은 비중을 차지하지만 미래 항공교통 부문의 지속적인 성장을 감안할 때 급격한 온실가스 배출 증가가 예상되며, 항공 부문의 온실가스 배출 감축을 위한 친환경 항공기 개발 및 정책 도입에 대한 요구 또한 증대되고 있다. 따라서 본 연구에서는 항공기 배기가스의 산출과 저감효과 분석을 통한 항공기 온실가스 배출량을 최소화하여 미래 기후변화와 에너지 고갈에 대비하는 것을 연구목표로 한다. 우선 민간 항공 교통 스케줄을 보유한 OAG 데이터를 사용하여 우리나라 공항에 대한 항공 비행 일정을 확보하였다. 이후 미국 MIT 대학 항공 환경 실험실에서 개발한 AEIC 소프트웨어를 사용하여 2005년 한해 동안 우리나라 모든 공항에서의 3,000ft 이하의 고도에서 이륙, 상승, 접근, 착륙단계를 포함하는 LTO 운항 시 연료소모량과 온실가스 배출량을 계산하였다.

ABSTRACT

Although aviation accounts for a relatively small portion of total anthropogenic green house gas (GHG) emissions, rapid increase in aviation GHG emission is expected considering continuously growing air traffic. Therefore, there are increasing pressure for development of more environmentally friendly aircraft technology and implementation of policy measure. Hence, the objective of this research is to prepare climate change and energy exhaustion by minimizing aircraft emissions through estimating aircraft emissions and simulating the reduction effect. First, we obtained airline flight schedules for all the airports in Korea that are included in OAG data. Fuel burn and emission index of LTO flight for all the airports in Korea in 2005 were estimated which contains take off, climb and approach under 3000ft using AEIC software which has been developed by MIT Lab for Aviation and Environment.

Key Words : Global Warming(지구 온난화), Aircraft Emission(항공기 배기가스), Green House Gas(온실가스), Fuel Burn(연료소모량), LTO(이착륙)

1. 서 론

지구 온난화의 주요 원인인 온실가스의 배출 감소를 위해 범세계적으로 노력해온 가운데 항공산업의 급속한 성장에 따른 항공부문 온실가스 배출량이 급속하게 늘고 있어 항공 온실가스 감축을 위한 방법 중 하나로 탄소배출권 거래제도가 이슈화되고 있다.(1) 최근 우리나라도 탄소배출권 거래 법안이 통과되어 국내 항공사들의 항공기 온실가스 감축이 시급하다. 온실가스 감축을 위해 국내에서 공항별 항공기의 온실가스 배출량을 정확히 산정하고 감축수단별 감축량을 예측할 수 있어야 하며 이를 위해서 국내 상황에 적합한 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템의 개발이 절실히 필요하다.

항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 관련 해외 유사 프로그램 중 하나가 본 연구에서 사용한 MIT 항공 및 환경 실험실에서 개발한 AEIC (Aviation Emissions Inventory Code)이다.(2) AEIC는 항공기 배기가스 배출과 이륙 및 착륙 운항에 관한 불확실성을 정량화하기 위해 개발된 프로그램으로 2005년 비행 스케줄 데이터를 포함하

고 있어 2005년도에 비행된 전 세계 민간 항공기가 배출한 온실가스의 양을 계산할 수 있다. AEIC는 LTO와 non-LOT 부분으로 나누어져 있는데 LTO 운항은 0~3000ft 고도 사이의 운항을, non-LTO 운항은 고도 3000ft 이상에서의 운항을 의미한다. LTO 운항의 경우 AEIC 자체에 포함되어 있는 2005년도 OAG data를 통해 2005년도 온실가스 배출량이 계산되지만 non-LTO 부분은 EUROCONTROL의 BADA(Base of Aircraft Data) 데이터를 별도로 사용하여 항공기의 성능을 계산하기 때문에 본 연구에서는 LTO 부분만을 우선 분석하였다. LTO 부분에 국한하여 우리나라 국내 및 국제공항의 2005년도 온실가스별 전체 배출량을 계산하여 분석하였다.

2. 우리나라 공항의 이착륙 시 배출량 산정

2.1 배출량 산정 시스템 개요

본 연구를 수행하기 위해 AEIC 프로그램에 포함되어 있는 항공기 운항 스케쥴(OAG data), 즉 모든 출·도착 정보를 이착륙 시(LTO)의 입력값으로 사용한다. 이러한 입력 값에 대해 AEIC내에 있는 이론적인 계산식을 사용하여 우리가 원하는 공항에서 이착륙 시(3000ft 미만) 항공기 온실가스 배출량을 산정한다(Fig. 1).

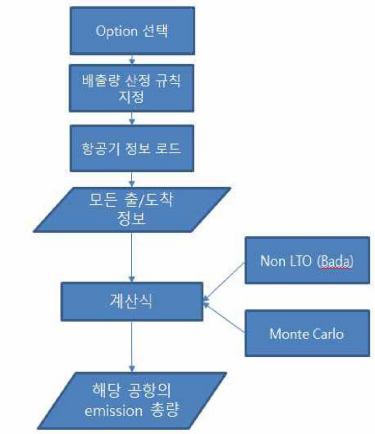


Fig. 1. AEIC System Diagram

2.2 국내공항 선정

AEIC 프로그램 자체에는 총 2587개의 세계 각 지역의 공항정보가 탑재되어있다. OAG(Official Airline Guide)라는 항공운송정보 제공회사는 각 공항에 대한 매년 비행운항 정보(OAG data)를 판매하고 있다.[2,3] 본 논문에서는 이 data 중 2005년도의 비행운항정보를 바탕으로 국내 공항 총 14곳에 대해 LTO 온실가스 배출량을 산출하였다(Table. 1).

Table 1. List of Airport in Korea (2005)

공항	IATA ID	국제공항
광주	KWJ	
군산	KUV	
여수	RSU	
제주	CJU	O
부산	PUS	O
진주	HIN	
울산	USN	
인천	ICN	O
김포	GMP	O
포항	KPO	
대구	TAE	O
청주	CJJ	O
양양	YNY	O
원주	WJU	

2.3 LTO 운항 온실가스 산정 방법

LTO(Landing Take Off) 운항이란 공항 주변에서의 항공기 이착륙 시(3000ft 이하)를 말한다. LTO 주기는 times-in-mode(TIMs)로 정의되고 이륙, 상승, 접근 단계의 비행구간으로 나누어져 있다. OAG data를 사용하여 특정 항공기와 공항에 대해 생성된 비행 경로에 대해 연료 소모량과 배기가스 배출량을 계산한다. 그리고 주어진 구간의 총 연료 소모량은 해당 비행 구간에서 단일 비행에 대한 연료 소모량에 해당 비행 구간의 연간 비행 회수를 곱하여 계산한다.

2.4 배출량 산정 결과

LTO 운항 시 항공기 온실가스 배출량 산정은 2005년 OAG data를 사용해 국내선 공항 7곳, 국제선 공항 7곳, 총 14개 공항에 대해서 2005년도의 전체 LTO 온실가스 배출량을 산정하였다. 각 공항별로 연료 소모(Fuel burn), 질소산화물(NO_X), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO_2), 아황산 가스(SO_2), 황산 이온(SO_4), 아질산(HONO),

세종대학교 SEJONG UNIVERSITY

일산화질소(NO), 이산화질소(NO_2), 탄화수소(HC) 의 연간 배출량을 산출하였다(Table 2).

Table 2. Emission estimation for LTO Flight

공항	IATA ID	Fuel burn (kg)	Nox (gram)	CO (gram)	CO2 (gram)	SO2 (gram)	SO4 (gram)	HONO (gram)	NO (gram)	NO2 (gram)	HC (gram)
광주	KWJ	4.056e+06	6.0631e+07	3.9963e+07	1.2742e+10	4.7704e+0	1.4603e+05	9.9580e+05	5.1574e+07	8.0610e+06	4.2686e+06
군산	KUV	4.097e+05	6.3208e+06	3.2913e+06	1.2881e+09	4.8176e+05	1.4748e+04	1.0427e+05	5.3815e+06	8.3503e+05	3.7036e+05
여수	RSU	1.900e+06	2.6092e+07	1.8976e+07	5.9697e+09	2.2348e+06	6.8412e+04	4.3856e+05	2.2240e+07	3.4134e+06	1.6723e+06
제주	CJU	3.051e+07	4.6773e+08	2.9880e+08	9.5820e+10	3.5878e+07	1.0983e+06	7.4104e+06	3.9965e+08	6.0676e+07	3.5554e+07
부산	PUS	2.139e+07	3.2842e+08	2.6868e+08	6.7029e+10	2.5156e+07	7.7007e+05	5.1874e+06	2.8069e+08	4.2546e+07	4.8258e+07
진주	HIN	9.7630e+05	1.3601e+07	1.0252e+07	3.0659e+09	1.1481e+06	3.5147e+04	2.3046e+05	1.1502e+07	1.8684e+06	9.6402e+05
울산	USN	3.0406e+06	4.3283e+07	2.7343e+07	9.5570e+09	3.5757e+06	1.0946e+05	7.1926e+05	3.7025e+07	5.5392e+06	2.4297e+06
인천	ICN	1.3867e+08	2.4765e+09	1.6715e+09	4.3462e+11	1.6308e+08	4.9922e+06	3.5667e+07	2.1357e+09	3.0507e+08	3.2014e+08
김포	GMP	4.1548e+07	6.0521e+08	5.1193e+08	1.3027e+11	4.8860e+07	1.4957e+06	9.8252e+06	5.1223e+08	8.3154e+07	6.8483e+07
포항	KPO	1.4848e+06	2.0378e+07	1.4729e+07	4.6647e+09	1.7462e+06	5.3454e+04	3.4289e+05	1.7360e+07	2.6748e+06	1.2690e+06
대구	TAE	3.2109e+06	4.3810e+07	3.4064e+07	1.0083e+10	3.7760e+06	1.1559e+05	7.4495e+05	3.7014e+07	6.0506e+06	3.0669e+06
청주	CJJ	1.8059e+06	2.4250e+07	1.9686e+07	5.6700e+09	2.1237e+06	6.5011e+04	4.1391e+05	2.0469e+07	3.3677e+06	1.7148e+06
양양	YNY	2.0143e+05	3.1473e+06	1.5296e+06	6.3355e+08	2.3689e+05	7.2516e+03	5.1546e+04	2.6894e+06	4.0631e+05	1.7204e+05
원주	WJU	2.0599e+05	3.1782e+06	1.6545e+06	6.4772e+08	2.4225e+05	7.4157e+03	5.2441e+04	2.7059e+06	4.1985e+05	1.8617e+05

결과 값을 살펴보면 연료소모는 인천공항(ICN)이 1.3867e+08kg 으로 가장 높고, 그다음으로는 김포공항(GMP)이 4.1548e+07kg, 제주공항(CJU) 3.051e+07, 부산공항(PUS)이 2.139e+07으로 높았다. 나머지 공항들은 위의 4개의 공항의 차이에 비해 각 공항의 연료소모량 차이가 크게 나지 않았다(Fig. 2). 그리고 연료소모외에 온실가스 배출 성분들도 전체에 차지하는 비율의 차이는 있었지

만, 각 공항별 배출되는 경향은 연료소모의 경우와 같았다(Fig. 3, 4). 모든 성분의 배출량이 가장 높은곳은 인천공항이었고, 그 뒤에 김포공항, 제주공항, 부산공항 순으로 배출되는 온실가스 량이 높았다.

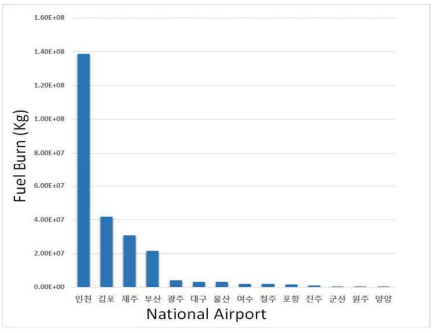


Fig. 2. Fuel Burn estimation of National Airport

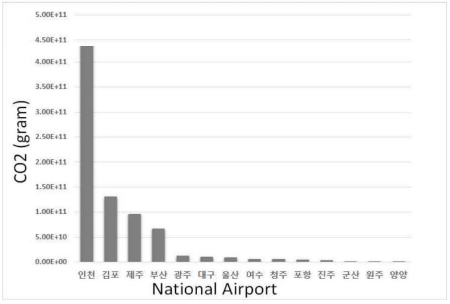


Fig. 3. CO_2 estimation of National Airport

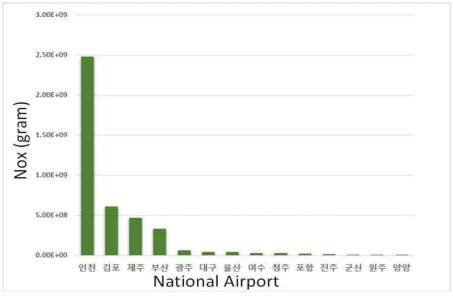


Fig. 4. NOx estimation of National Airport

3. 결 론

본 연구에서는 국내 온실가스 산정과 예측프로그램의 효율적인 개발을 위해 해외개발사례를 분석하면서 해외 툴인 AEIC를 사용하여 국내공항에서의 LTO운항에 대한 항공기 온실가스 배출량을 산정하여 공항별로 비교 분석을 수행했다. 연구 결과를 살펴보면 국내공항에서 배출되는 배기가스는 인천공항이 가장 높았고, 다음으로는 김포공항, 제주공항, 부산공항 순 이였다. 배기가스가 많이 배출된 공항의 특성을 살펴보면 모두 국제공항이었다. 즉 인천국제공항은 세계적인 국제공항으로 항공기 이착륙이 빈번하기 때문에 배출량이 가장 컸다. 현재는 LTO운항 부분에 대해서만 항공기 배기가스 배출량을 산정하였지만, 추후 non-LTO 운항 부분에 대해서도 계산을 수행할 예정이며 OAG 데이터도 2005년 이후의 데이터를 사용하여 연도별 온실가스 증가량도 계산할 예정이다.

후 기

본 논문은 국토교통과학기술진흥원의 국가 R&D 사업인 “항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발”과제의 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

(1) Aerospace Industry Research Institute, 2009, "Aviaton industry and Climate Change," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 71, No. 5, pp. 90~103.

(2) Nicholas Simone, 2013, *Development of a Rapid Global Aircraft Emissions Estimation Tool with Uncertainty Quantification*, Massachusetts Institute of Technology, LAE-2013-002-T.

(3) *http://www.oag.com/*

세종대학교 SEJONG UNIVERSITY

항공안전기술개발사업

경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개념설계 연구 보고서

성과물 (B-1-①)

2015.8.21

공동연구기관 / 세종대학교

Infrastructure
R&D Report

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 최종보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

항공안전기술개발사업

경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개념설계 연구 보고서

성과물 (B-1-①)

2015. 5. 30

공동연구기관 / 세종대학교

국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport

KAIA
국토교통과학기술진흥원
Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "항공온실가스 산정 및 예측 시스템 개발 연구" 과제의 경제성 분석 및 의사결정 지원모듈 개념설계 연구 보고서로 제출합니다.

2015 . 5 . 30

공동연구기관명 : 세종대학교
공동연구책임자 : 황 호 연
연 구 원 : 임 동 욱
" : 박 성 수
" : 박 병 운
" : 주 희 진

목 차

1. 개요 ····· 1
가. 시스템 개요 ····· 1
나. 시스템 적용범위 ····· 1

2. 시스템 분석 ····· 1
가. 시스템 개발 배경 및 목적 ····· 1
1) 배경 ····· 1
2) 목적 ····· 2
나. 사용자·운용자 정의 및 특성 ····· 2
1) 사용자 및 운용자 정의 ····· 2
2) 사용자 및 운용자 특성 ····· 3
3) 사용자 요구사항 ····· 4
다. 현 시스템 분석 ····· 4
1) 현 시스템 구성 ····· 4
2) 현 시스템 한계점 ····· 11

3. 시스템 개발 범위 및 목표 ····· 12
가. 시스템 개발 범위 ····· 12
나. 시스템 목표 ····· 12
다. 전체 시스템 구성도 ····· 13
1) 의사결정 지원 모듈 흐름도 ····· 13
라. 서브시스템별 내용 및 특징(WBS) ····· 14
1) 경제성 분석 및 의사 결정 지원 모듈 ····· 14
가) 사용자 입력 컴퍼넌트 ····· 14
나) DB 서버시스템 컴퍼넌트 ····· 15
다) 미래 운항 스케줄 생성 컴퍼넌트 ····· 18
라) 경제성 분석 알고리즘 컴퍼넌트 ····· 18
마) 거시적 정책효과 분석 컴퍼넌트 ····· 22

4. 목표시스템 운영 시나리오 ····· 23
가. 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 ····· 23
1) 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 시나리오 구성도 ····· 23
가) 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 모듈 시나리오 ····· 23
2) 감출수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 적용 ····· 26

3) 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 운영 흐름도 ····· 28
나. 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 sample DB 구축 및 요구 조건 분석 ····· 30
1) 항공사 운항비 DB 구축 ····· 30
가) 항공사 비용 DB 개념설계 ····· 30
2) 경제성분석/의사결정 모듈 사용자 요구조건 분석 ····· 34

5. 목표시스템 구축에 의한 변경사항 ····· 36
가. 변경사항 ····· 36
나. 변경사항의 당위성 ····· 37

6. 목표시스템 분석 ····· 37
가. 장점 ····· 37
나. 단점 및 제한사항 ····· 38
다. 대안별 비교분석 ····· 38

7. 주요 경제성 분석 및 의사결정 지원 프로그램 기능 비교 ····· 38
가. APMT-E 및 AERO-MS와의 기능 비교 ····· 39

<표 차례>

표 1 미국 교통국 BTS의 Air Carrier Financial Data: Schedule P5.2의 항공사 비용항목 ····· 17
표 2 요구사항 분석표 ····· 36

<그림 차례>

그림 1 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 사용자 및 운용자 구성도 ····· 3
그림 2 경제성 분석 및 배기가스 예측 프로그램: OSyS ····· 5
그림 3 경제성 분석 프로그램 AVIASO ····· 6
그림 4 경제성 분석 프로그램: SkyBreathe ····· 6
그림 5 AERO-MS 세부 모듈 구성도 ····· 8
그림 6 미국 FAA의 항공 환경 툴들 중 APMT-E의 역할 ····· 9
그림 7 GREAT의 입력 화면 ····· 10
그림 8 GREAT의 출력 화면 ····· 11
그림 9 감축수단별 경제성분석 및 의사결정 지원 모듈 구성도 ····· 13
그림 10 미국 교통국(DOT) 의 BTS 데이터 웹 포털 ····· 16
그림 11 2014부터 2033까지 지역별 항공교통량 증가 예측 (출처: Airbus Global Market Forecast 2014-2033) ····· 18
그림 12 미국 BTS Form 41 데이터를 분석한 2010-2012년 미국의 American Airlines(AA), Delta Airlines(DL), Sun Country(SY)의 분기별 시간당 직접운영비 변화 ····· 19
그림 13 미국 BTS Form 41 데이터를 분석한 2010-2012 년 미국의 American Airlines(AA), Delta Airlines(DL), Sun Country(SY)의 분기별 시간당 연료비용 변화 ····· 20
그림 14 미국 BTS Form 41 데이터를 분석한 2010-2012 년 미국의 American Airlines(AA), Delta Airlines(DL), Sun Country(SY)의 분기별 시간당 조종사 인건비 변화 ····· 20
그림 15 미국 BTS Form 41 데이터를 분석한 2010-2012 년 미국의 American Airlines(AA), Delta Airlines(DL), Sun Country(SY)의 분기별 시간당 항공기 정비비 변화 ····· 21
그림 16 감축수단별 항공온실가스 배출 감축 효과 예시 ····· 22
그림 17 감축수단별 경제성분석 및 의사결정 지원 모듈 흐름도 ····· 23
그림 18 BTS Air Carrier Financial ····· 32
그림 19 BTS 항공사 운항비 DB 분석 ····· 33
그림 20 세 미국 항공사의 분기별 운항비 비교 ····· 34

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 정리하였다.

1. 개요

가. 시스템 개요

○ 항공 온실가스 감축수단 별 경제성 분석 및 의사결정 지원을 통해 사용자에게 감축수단 적용을 위한 의사결정을 지원해줄 수 있도록 하는 시스템이다.

- 각종 시나리오(국내·외 환경 관련 정책 시나리오, 미래 항공수요 및 신형 항공기 도입 시나리오, 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, 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 모듈이다.

나. 시스템 적용범위

○ 항공온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원

2. 시스템 분석

가. 시스템 개발 배경 및 목적

1) 배경

○ 우리나라는 2012년 항공온실가스 이행계획에서 여러 합리적인 가정과 활용 가능한 제한적인 데이터의 논리적 연산 및 과거 감축추세를 감안하여, 이를 추정하였으나 신뢰성이 높은 경제성 분석과 의사결정이라고 하기는 어려운 상태임

○ 2020년 시행 예정인 ICAO의 탄소배출권 거래제(Emission Trading Scheme, ETS)와 기후변화에 관한 정부 간 위원회(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 회의에 선제적으로 대응하여 국적 항공사를 포함한 국익 보호 필요성이 제기됨

○ 따라서 항공사와 정부, 공항 등 주요 감축활동 주체의 적극적인 감축활동을

촉진하는 등 실효성 있는 국가이행계획의 수립과 이행을 위해 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정을 지원할 수 있는 시스템의 개발의 필요성이 인식됨

2) 목적

○ 본 「경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈」연구 과제는 다음과 같은 사항을 목적으로 개발을 추진함

- 항공부문의 온실가스 감축 주체들이 간단하고 편리하게 사용할 수 있는 감축수단 별 경제성분석 및 정책 의사결정 지원시스템의 개발 및 보급
- ICAO 항공기 인증규제에 대비하여 향후 국가이행계획 작성에 기여하고 EU-ETS, ICAO-ETS 등 탄소 배출권 거래제에 항공사들이 효과적으로 대응 가능한 의사결정 지원 시스템 개발

나. 사용자·운용자 정의 및 특성

1) 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

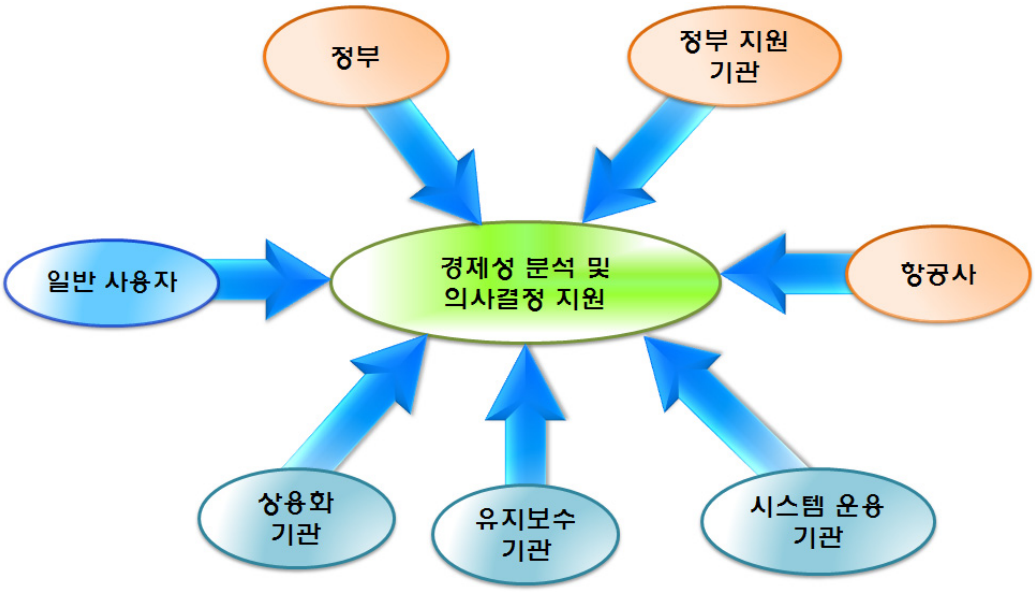


그림 1 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 사용자 및 운용자 구성도

2) 사용자 및 운용자 특성

○ 정부기관

- 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, 국가이행 계획 작성 툴로 사용
- 온실가스 감축 이행계획서 평가 - 참여 항공사가 제출한 이행계획 상의 온실가스 배출량, 연료 절감 계획 등 적절성 평가를 통한 검증 활동 수행

○ 항공사

- 항공부문 온실가스 배출 최소화를 위해 효과적인 온실가스 감축수단별 경제성 분석
- 국내·외 환경 관련 정책, 미래 항공수요 및 신형 항공기 도입, ICAO 항공기 인증규제에 따른 항공기종별 비용 및 효과 분석

3) 사용자 요구사항

○ 항공 온실가스 관련 업무(배출권거래제 등) 보고서가 제공되어야 한다.

○ 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원에 대한 데이터 검증 및 산정기술이 제시되어야 한다.

○ 항공 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정지원 관련 그래프가 제시되어야 한다.

○ 시스템 간 데이터 호환이 가능해야 한다.

○ 온실가스 기준값 입력 및 표준 데이터 이용이 가능해야 한다.

○ 미래 항공교통 수요 시나리오 및 DB 생성이 가능해야 한다.

○ 감축수단별 경제성 분석 적용 시 미래 온실가스 산정이 가능해야 한다.

○ 감축활동 모니터링 리포트, 배출권거래제 및 자발적 협약 등 다양한 의사결정 지원 데이터가 제공되어야 한다.

○ 정부 혹은 항공사의 의사결정에 대한 구체적인 지원이 가능해야 한다.

나. 현 시스템 분석

○ 현재 국내에서 개발된 항공 온실가스 관련 경제성 분석이나 의사결정 지원과 관련된 소프트웨어는 전무함

○ 해외 EU-ETS 관련 온실가스 배출량 산정 및 경제성 분석 시스템은 많이 있으나 가장 대표적인 것으로 OSyS ETS MRV solution, Aviaso EU-ETS, SkyBreath가 있음

○ 해외 항공 온실가스 관련 정책 의사결정 지원 프로그램으로 대표적인 것은 EASA의 AERO-MS, FAA의 APMT-Economics, Georgia Tech에서 개발하여 FAA에서 사용하고 있는 GREAT가 있음

○ 경제성 분석에는 항공사 운항비용 DB가 필요하며 항공사에게 제공을 기피하므로 미국에서 항공사가 의무적으로 정부에 제출하여 구축된 BTS(Bureau of Transportation Statistics)의 BTS Form 41 Schedule P5.2 데이터가 필요함

1) 현 시스템 구성

○ 경제성 분석 및 배기가스 예측 프로그램: OSyS ETS MRV solution

- OSyS의 세부 모듈인 Visum Fuel (with Controls and Data Services)는 데이터 통합, 정확한 기준선 성립을 통한 연료 계획 관리, ROI(return on

investment)의 최대화, 고객 알림, dashboard와 보고서, 이해 당사자들 교육 등 다양한 기능을 제공

- OSyS 세부 모듈인 OSyS Engine washing은 엔진 세척 관리 프로그램으로 각 개별 엔진 기반의 세척 주기를 관리할 수 있는 최적화 알고리즘을 포함하고 있고 이는 엔진의 성능 저하를 추적하면서 세척제 가격, 연료 가격, 매해 전기 및 수도 가격을 고려한 최적의 세척주기를 계산

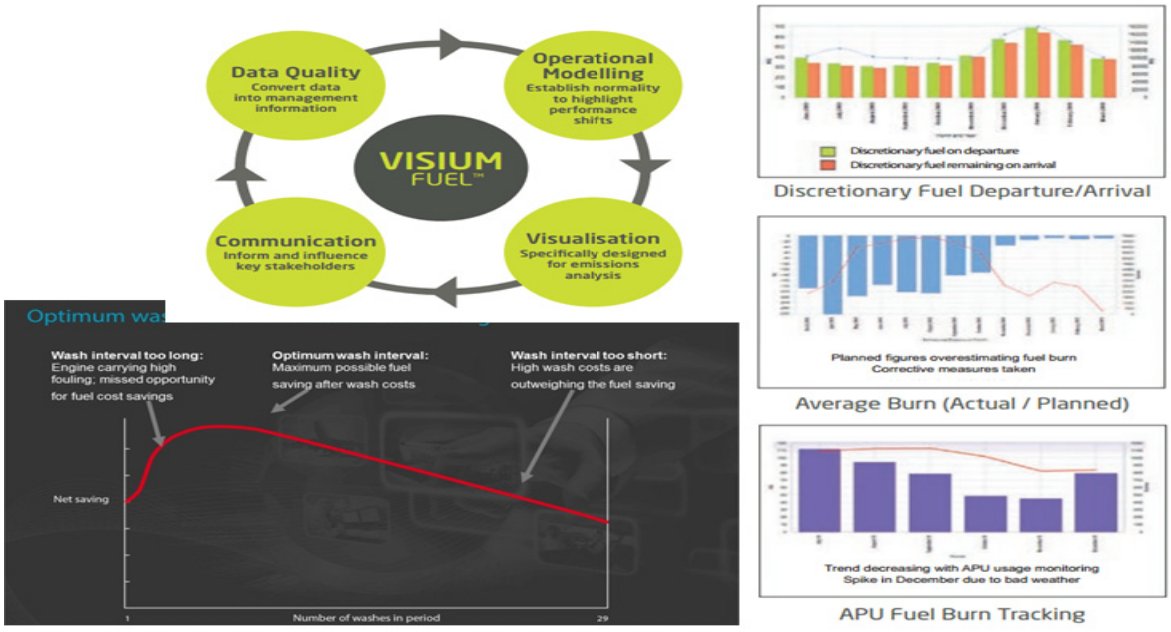


그림 2 경제성 분석 및 배기가스 예측 프로그램: OSyS

○ 경제성 분석 및 배기가스 예측 프로그램: AVIASO

- AVIASO는 비행 스케쥴, 비행 계획, FOQA 등의 데이터를 사용하여 배기가스 예측을 통한 경제성 분석을 수행하며 플랩(flap)의 사용 정도에 따른 연료 사용량 변화, way-point를 포함한 비행 경로에 따른 연료 사용량 등을 계산할 수 있음

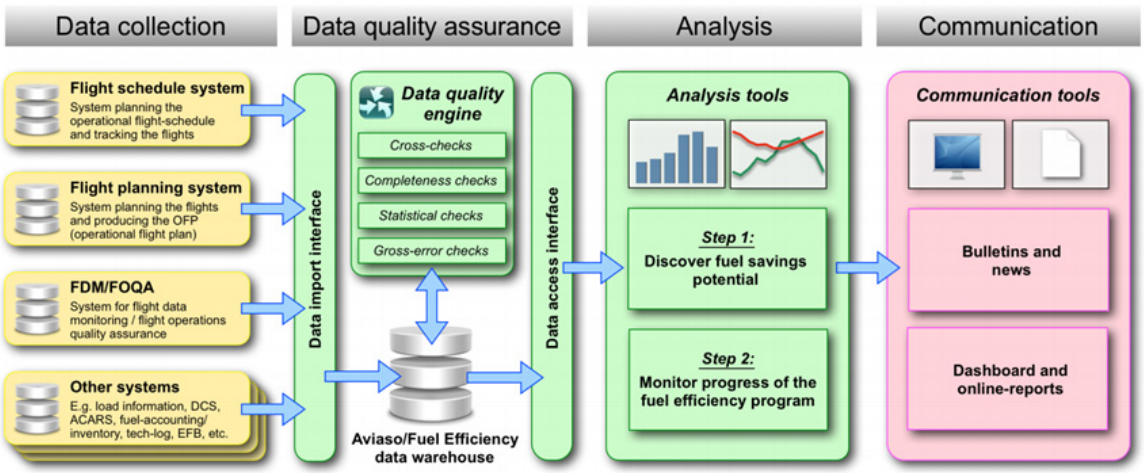


그림 3 경제성 분석 프로그램 AVIASO

○ 경제성 분석 및 배기가스 예측 프로그램: SkyBreathe

- SkyBreathe는 연료절감을 위한 솔루션을 제공하여 연료 소모량을 모니터링하고 연료 절감을 위항 방법들을 제시할 수 있음
- FDR 기록을 포함한 모든 연료 정보 소스를 모아 하나의 통합된 DB를 제공하고 혁신적인 알고리즘을 통해 최적의 연료 절감을 위한 방법을 제시하고 이러한 정보를 Dashboard에 구현함
- CO2 배출량 계산 및 분석, 연료 소비량 계산 및 분석을 통한 EU-ETS(Emission Trading Scheme) 보고서 작성을 지원함

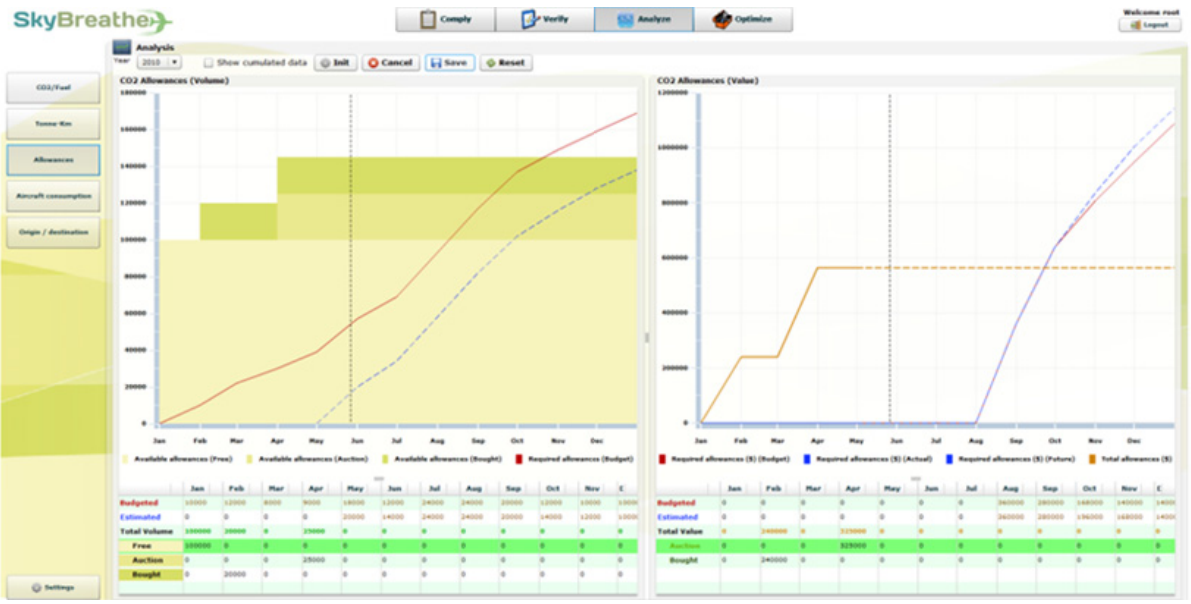


그림 4 경제성 분석 프로그램: SkyBreathe

○ 정책 결정 및 의사결정 지원 프로그램: AERO_MS

- 항공 온실가스 분석 및 감축 정책 평가에 사용되고 시나리오와 정책 분석 툴로서 항공 정책 평가 및 경향 예측 등에도 사용됨
- EASA (European Aviation Safety Agency) 소유로 현재 및 미래에 대한 항공기 배기가스를 평가함
- 주 기능은 배기가스 감축을 위한 가능한 정책 옵션들에 대한 효과를 평가하고 항공사, 소비자, 정부 및 항공기 제작사에 미치는 효과를 제공함
- 주요 출력값들은 air transport and aircaft operations, effects on airlines, economic effects on other actors, fuel consumption and emissions, operating efficiency indicators 임
- AERO-MS의 주요 세부 모듈의 기능은 아래와 같음

• ATEC (Aircraft Technology Model)

· 항공기 종류와 기술 개발 모델의 기술적 특징 계산

· 연료 사용량과 배기가스 배출에 관한 특성 계산

· 기술적 특징은 항공기의 기술 나이(Technology age)에 대한 함수로 표현

• ADEM (Air Transport Demand Model)

· 항공수송의 수요와 공급 맞춤(matching)

• ACOS (Aviation Cost Model)

· 항공기 운용과 관련된 모든 관련 인자들의 비용 계산 및 총 운영비용 도출

· 총 운영비용 계산을 토대로 단위 비용 결정

· 단위 비용은 항공기 기종, 기술, 레벨, IATA region-pair를 고려함

• FLEM (Flights and Emissions Model)

· 개별 항공비행의 자세한 실제 비행 정보 제공

· 각 비행에 대한 연료 소비량과 배기가스를 3차원으로 계산

· 항공 운용과 관련된 특정 정책에 대한 시뮬레이션

· 연료 소비량을 최종적으로 제공

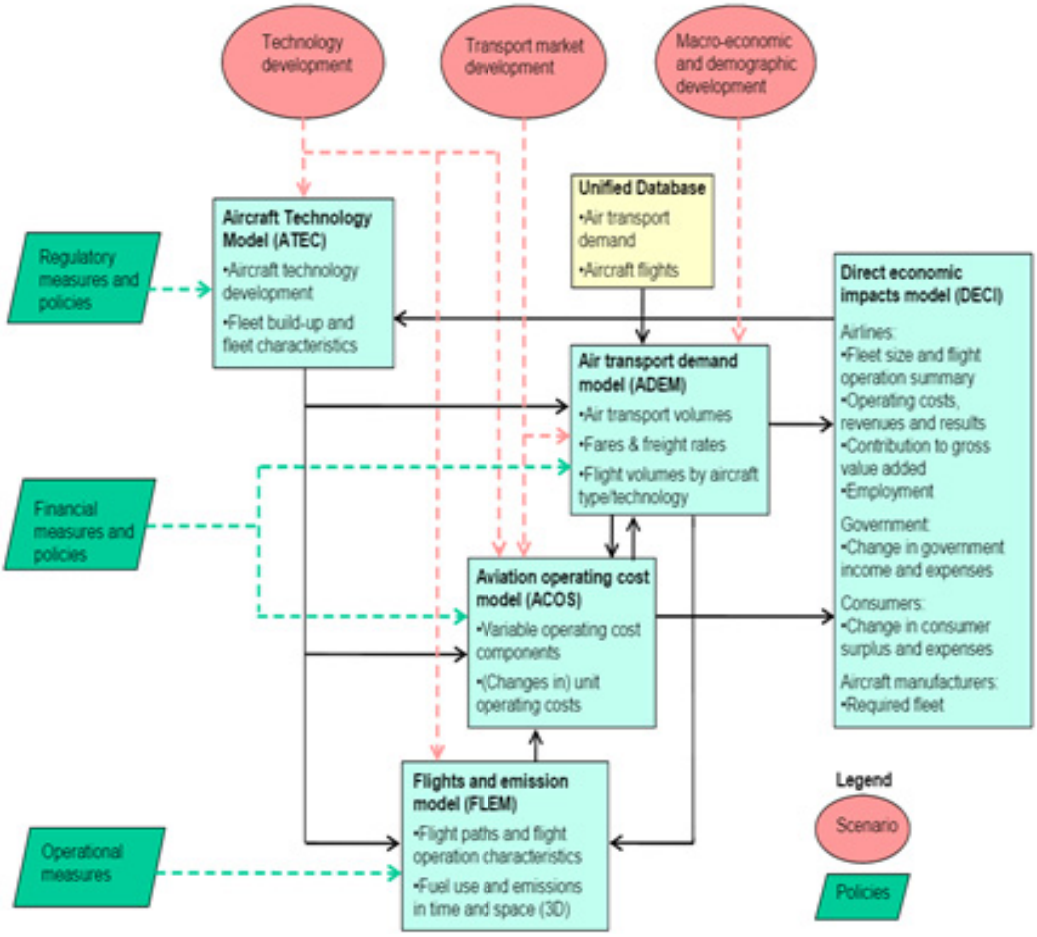


그림 5 AERO-MS 세부 모듈 구성도

○ 정책 결정 및 의사결정 지원 프로그램: APMT-E

- APMT(Aviation Portfolio Management Tool)-E(Economics)는 미국 FAA의 Environmental Tool Suite의 한 모듈로 영국의 MVA사가 미국 FAA의 의뢰로 개발
- 항공 환경 정책으로 발생하는 항공사의 비용증감 효과를 계산하는 것이 주 목적으로 그동안 ICAO NOx Standard, ICAO Noise Standard 개발에 공식적인 툴로 사용됨
- 미래 항공 수요에 대한 시나리오를 입력하면 항공기 시장 점유율 분석(Market Share Analysis)을 통해 미래 항공기의 모델별 판매 대수를 예측함
- 항공사별로 분석을 수행할 수 없으며 국가 혹은 Global 단위로만 분석이 가능함

- 항공사별로 경제성 분석을 수행할 수 없기 때문에 EU-ETS, ICAO-ETS 등 항공사를 단위로 하는 정책 분석을 지원할 수 없음

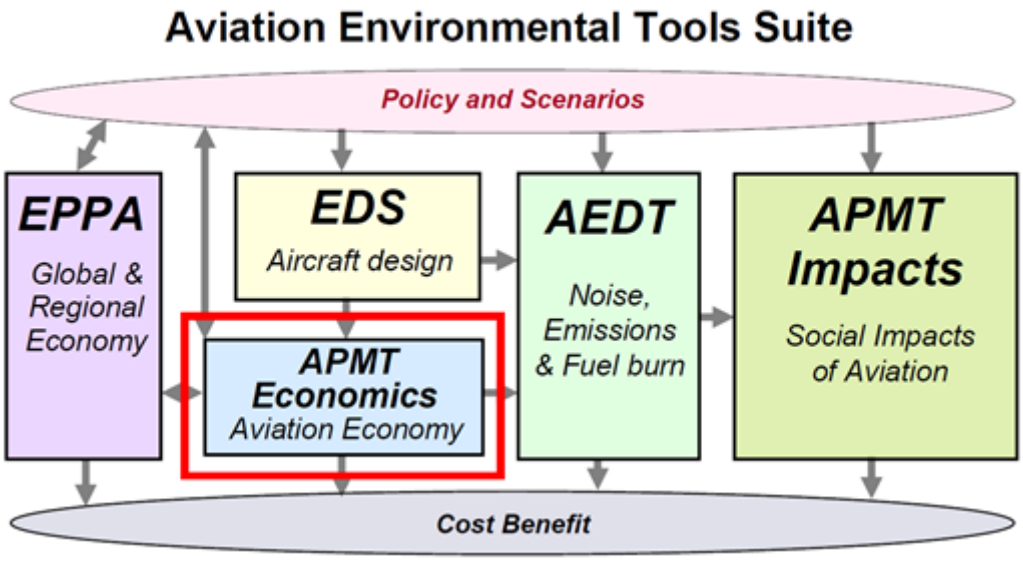


그림 6 미국 FAA의 항공 환경 툴들 중 APMT-E의 역할

○ 정책 결정 및 의사결정 지원 프로그램: GREAT

- GREAT(Global and Regional Environmental Aviation Tradeoff)는 미국 조지아 공대(Georgia Institute of Technology)에서 FAA의 PARTNER Project 14 Environmental Design Space의 일환으로 AEDT의 short version으로 개발
- Microsoft .NET framework를 기반으로 프로그래밍되어 있으며 MS EXCEL을 통해서 GUI를 구축하여 AEDT에 비해 사용이 매우 편리함
- GREAT는 조지아 공대에서 개발한 또 다른 FAA 환경 프로그램인 EDS와 간단히 연동되어 미래의 새 항공기에 의한 Fleet Level 온실가스 분석이 가능함
- APMT-E가 수행하는 기능인 미래 항공운항 스케줄을 자체적으로 생성할 수 있기 때문에 항공 환경관련 정책이나 신기술에 대한 Fleet Level의 장기적(일반적으로 2010년~2050년)이고 거시적(미국 전체 또는 전세계 항공운항)인 효과를 수분 안에 계산할 수 있음
- 2014년 현재 거시적인 연료 사용량 및 공항 소음 계산 기능이 있으며 경제성 분석 기능은 없음

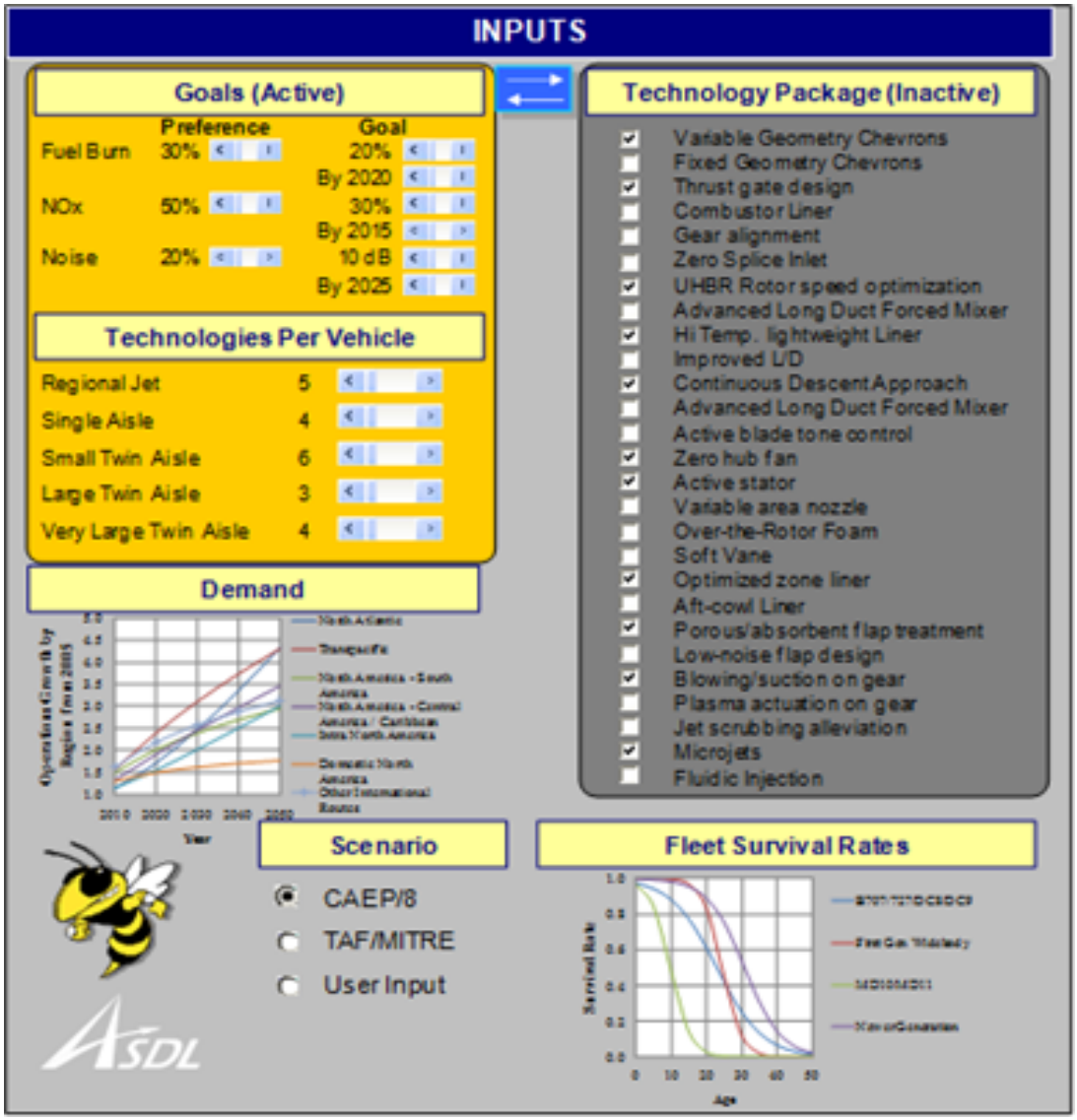


그림 7 GREAT의 입력 화면

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

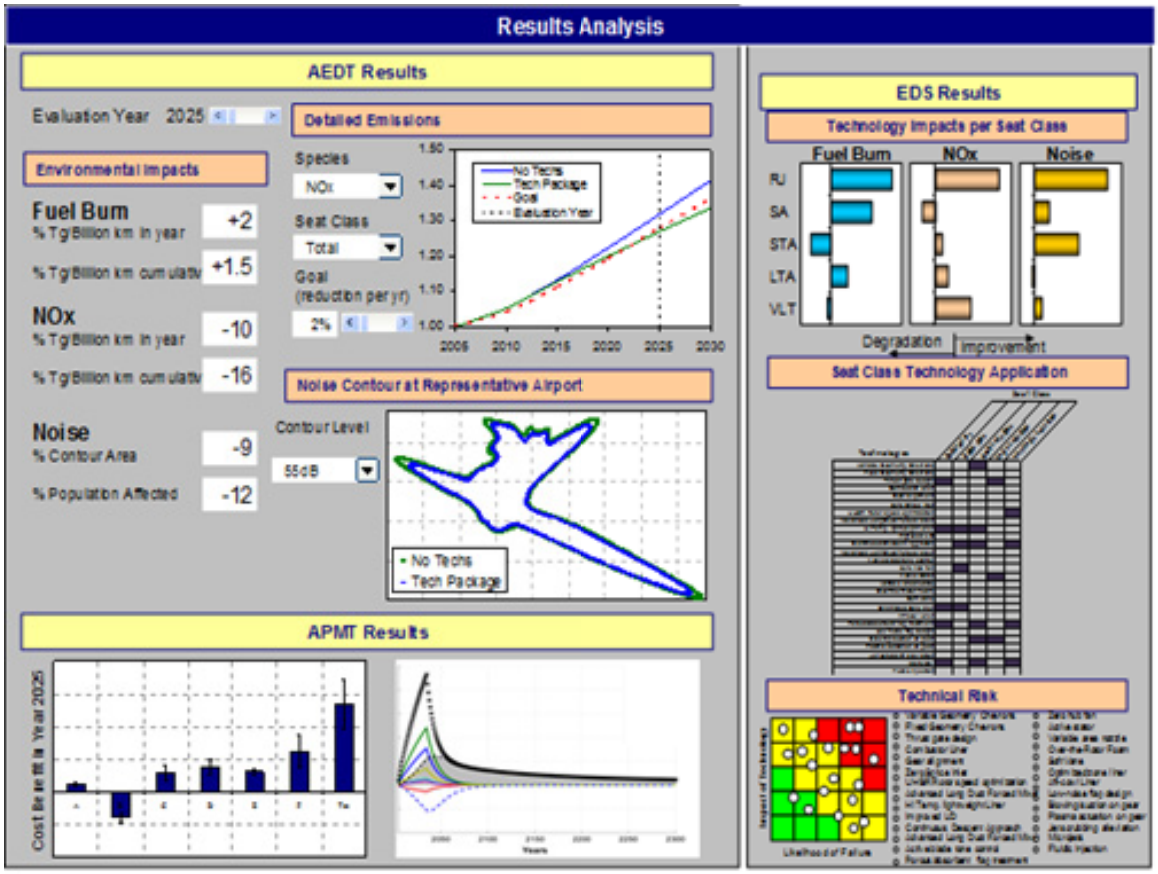


그림 8 GREAT의 출력 화면

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

2) 현 시스템 한계점

○ 앞절에서 제시한 해외 프로그램은 항공사에서 사용하는 경제성 분석 프로그램 중 일부 기능을 국내 일부 항공사에서 사용하고 있는 것으로 판단되나 EU-ETS나 ICAO-ETS에 대비하기는 역부족인 상황임

○ AERO-MS, APMT-E, GREAT와 같은 정책 의사결정 지원 프로그램은 해외 판매를 하지 않고 있음

○ 해외 프로그램은 소스 코드가 제공되지 않아 국내 상황에 맞게 프로그램의 추가/수정/변경이 불가능함

3. 시스템 개발 범위 및 목표

가. 시스템 개발 범위

모듈	업무	업무범위	비고
감축수단별 경제성 분석 모듈	S/W개발	- 항공사 운항비용 sample DB 구축 - 항공사 및 정부기관 기능요구와 경제성 분석 모듈 기능 Mapping - 감축수단별 경제성 분석지원 모듈 알고리즘 개발 - 경제성 분석 Coding (MATLAB 또는 EXCEL 사용) - 항공사 운항비 DB를 사용한 온실가스 감축수단별 경제성 분석(일부)	
온실가스 관련 정책 의사결정 지원 모듈	S/W개발	- 온실가스 관련 정책 의사결정 지원 모듈 알고리즘 개발 - 의사결정 지원 Coding (MATLAB 또는 EXCEL 사용) - 의사결정 지원을 위한 국내 항공사 DB 일부 구축(국내 항공사 제공 시에만) - 구축된 DB를 사용한 중장기 온실가스 정책 의사결정 분석(일부)	
미래 운항 DB 알고리즘	DB 구축	-미래 운항 DB 알고리즘(구축 범위는 추후 확정)	

나. 시스템 목표

○ 항공온실가스 감축수단 별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개발

- 온실가스 배출 국가 이행계획 수립과 탄소배출거래제 실시에 선제적으로 대응하기 위한 경제성 분석과 의사결정 지원 모듈 개발
- 총 5개 범주내 14가지의 감축 기술의 적용 시나리오에 따라(예: 항공사별, 노선별, 기종별 적용 범위 시나리오) 항공사의 직접운항비용에 미치는 영향을 분석할 수 있도록 개발
- 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

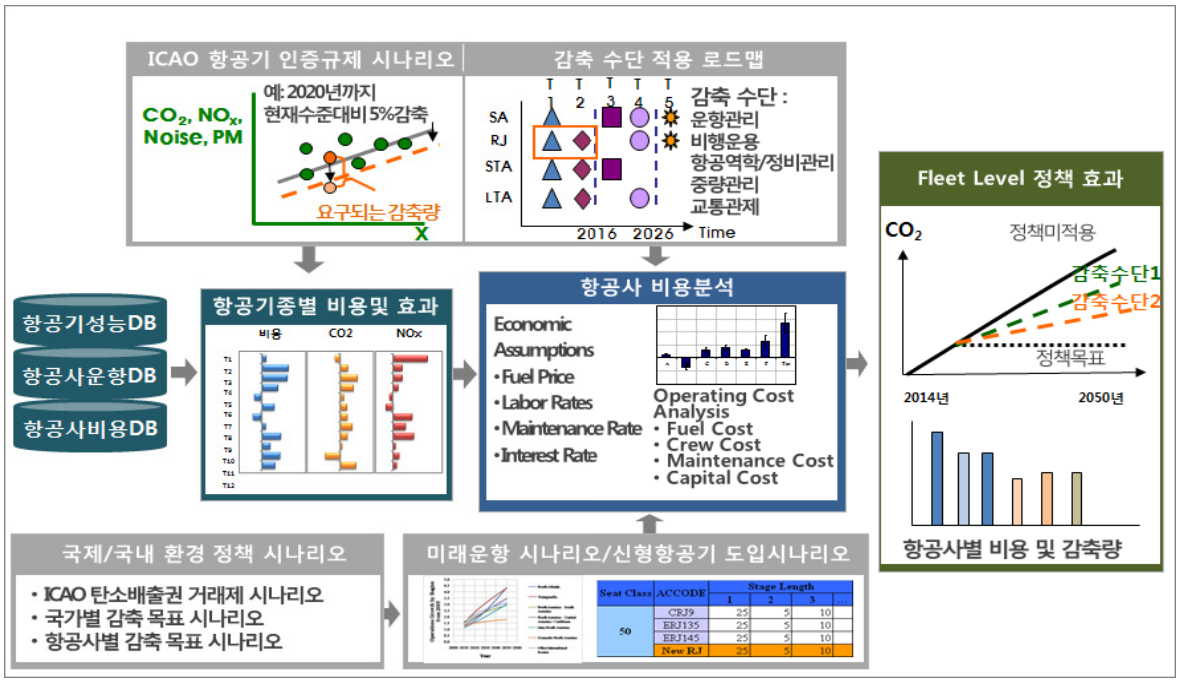


그림 9. 감축수단별 경제성분석 및 의사결정 지원 모듈 구성도

1) 의사결정지원 모듈 흐름도

○ 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 정책효과를 분석하며, 이에 감축수단별 효과를 적용하여 감축수단별 정책효과 변화 및 비용/온실가스 감축량에 대한 분석을 통하여 정부 또는 항공사의 정책 수립에 대한 의사결정을 돕는 모듈임

○ 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈은 다음의 컴퍼넌트로 구성이 됨

- 사용자 입력 컴퍼넌트

• GUI상에서 사용자가 경제성 분석 및 의사결정을 위한 분석의 범위, 시나리오 구성, 경제관련 변수 입력을 위한 컴퍼넌트 임

- 온실가스 감축량 예측 시스템 DB 서버와의 연동 컴퍼넌트

• 기본적으로 온실가스 산정 시스템에서 사용하는 공항, 항공기 성능, 미래 운항 스케줄 DB 등과 연동이 되어 필요한 데이터를 추출하며, 온실가스 예측 시스템에서 산출되는 감축수단별 온실가스 감축 효과 DB와 연동이 되어 필요한 데이터를 추출하여 사용함

- 항공사 비용 DB 컴퍼넌트

• 경제성 분석을 위한 별도의 DB로써 국적항공사의 협조를 얻어 항공사 비용

• DB 구축이 필요하며, 또한 기본적인 평균치 데이터를 바탕으로 하되 사용자가 고유한 데이터를 이용하여 기본 데이터를 수정하여 사용 가능하도록 DB 구성

- 미래 운항 스케줄 생성 컴퍼넌트

• 장기적인 환경 정책, 감축수단 적용의 효과를 분석하기 위해 필요한 미래 운항 스케줄을 생성하는 컴퍼넌트 로써, 분석의 출발점이 되는 연도의 운항 스케줄을 바탕으로 사용자가 지정한 항공 수요 증가 가정에 따라 미래 운항 스케줄을 생성함

- 항공사 별, 기종별, 국가별 경제성 분석 컴퍼넌트

• 경제성 분석 알고리즘 컴퍼넌트는 사용자 입력 컴퍼넌트에서 정의된 분석 범위와 정책 시나리오, 각종 경제적 변수들의 가정과 DB 서버 시스템 컴퍼넌트에서 불러드린 데이터를 바탕으로 항공사들에 미치는 비용 효과를 계산함

- 거시적 정책 효과 분석 컴퍼넌트로 구성

• 거시적 정책효과분석 컴퍼넌트는 국제, 국내, 혹은 항공사별 항공온실가스 감축 정책 효과 및 비용을 분석하는 컴퍼넌트로, 사용자가 정의한 여러 가지 시나리오에 대해서 연간 온실가스 감축량과 비용효과를 분석하여 보여주며 다양한 표와 그래프로 의사 결정자에게 필요한 정보를 제공함.

○ 경제성 분석 및 의사결정 모듈의 각 컴퍼넌트 간의 데이터 흐름과 구성은 아래와 같음

라. 서브시스템별 내용 및 특징 (WBS)

1) 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈

가) 사용자 입력 컴퍼넌트

○ GUI상에서 사용자가 경제성 분석 및 의사결정을 위한 분석의 범위, 시나리오 구성, 경제관련 변수 입력을 위한 컴퍼넌트로 다음과 같은 기능을 담당하는 창으로 구성 됨

- 국/내외 항공 환경 정책 목표 시나리오 설정(예: 연간 1% 에너지 효율 목표 달성 혹은 2030년까지 베이스라인(Business as Usual, BAU) 대비 10% 달성)

- 항공사 별 자발적 감축 목표 설정
- ICAO 탄소배출권 거래제 시나리오 설정
  - 2020년 시행 예정인 ICAO의 탄소배출권 거래제(Emission Trading Scheme, ETS)의 시나리오를 설정
  - ICAO ETS 적용 범위(Scope of Applicability) 예: 국내 모든 항공사 포함 혹은 연간 매출액 50억 이상 항공사만 포함 등
  - 국가별 항공교통 탄소배출총량 설정(예: 2010-2014년 평균치의 97%, 95%, 93% 등)
  - 탄소배출총량의 항공사별 분배 및 경매 시나리오 설정
- 연구 범위 설정(예: 항공사, 기종, 노선, 국가 등)
- 감축 수단별로 항공사 및 기종별 적용 범위의 사용자 설정 혹은 온실가스 예측 모듈에서 찾아낸 최적의 감축 수단 조합을 입력
- 미래 운항 수요 증가 모델 설정(예: 아시아-북미 노선 연간 5% 교통량 증가 등)
- 미래 가상 친환경 항공기 성능 설정
  - 온실가스 감축량 예측 시나리오의 범주에 들어가지 않는 미래의 친환경 항공기/엔진기술개발로 인한 항공기의 성능 향상 시나리오 설정(예: 보잉 777-300ER 항공기 대비 8% 연료 효율 향상)
- 신형 항공기 도입 및 기존 항공기 퇴역 범위 및 스케줄 설정
- 경제 변수 가정 설정(예: 항공류 가격, 항공기 구입을 위한 대출 이자율, 항공사의 discount rate, 항공기 퇴역 시 재판매 가격 등)

나) DB 서버시스템 컴퍼넌트

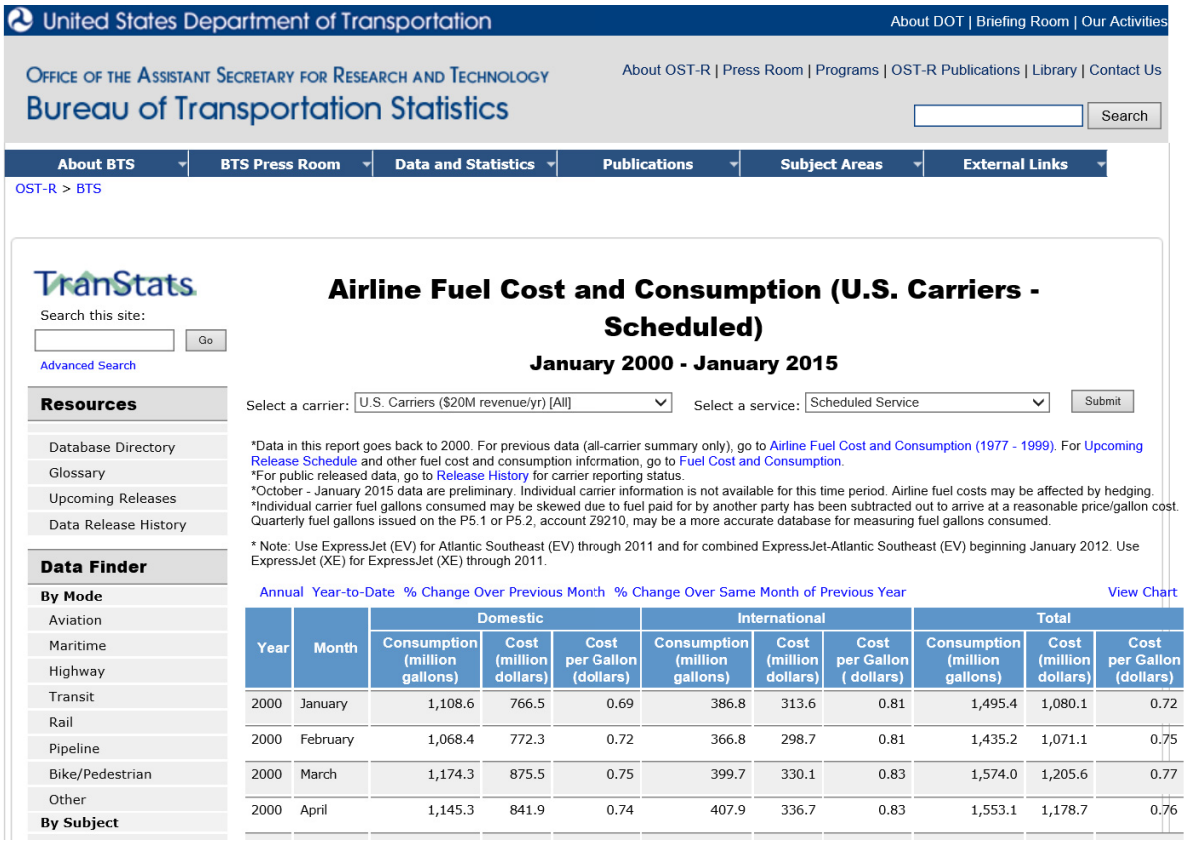
○ 기본적으로 온실가스 산정 시스템에서 사용하는 공항, 항공기 성능, 미래 운항 스케줄 DB 등과 연동이 되어 필요한 데이터를 추출하여 사용함

○ 온실가스 예측 시스템에서 산출되는 감축수단별 온실가스 감축 효과 DB와 연동이 되어 필요한 데이터를 추출하여 사용함

○ 경제성 분석을 위한 별도의 DB로써 항공사 비용 DB 구축이 필요함. 항공사 비용 DB는 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

기종 별 평균값을 사용할 수 있으며, 이상적으로는 국적 항공사들의 협조를 통해 국내 상황에 적합한 DB를 구축하는 것이 바람직 함

○ 또한 기본적인 평균치 데이터를 바탕으로 하되 사용자가 고유한 데이터를 이용하여 기본 데이터를 수정하여 사용 가능하도록 DB 구성



Year	Month	Domestic			International			Total		
		Consumption (million gallons)	Cost (million dollars)	Cost per Gallon (dollars)	Consumption (million gallons)	Cost (million dollars)	Cost per Gallon (dollars)	Consumption (million gallons)	Cost (million dollars)	Cost per Gallon (dollars)
2000	January	1,108.6	766.5	0.69	386.8	313.6	0.81	1,495.4	1,080.1	0.72
2000	February	1,068.4	772.3	0.72	366.8	298.7	0.81	1,435.2	1,071.1	0.75
2000	March	1,174.3	875.5	0.75	399.7	330.1	0.83	1,574.0	1,205.6	0.77
2000	April	1,145.3	841.9	0.74	407.9	336.7	0.83	1,553.1	1,178.7	0.76

그림 10 미국 교통국(DOT) 의 BTS 데이터 웹 포털

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)**

표 1 미국 교통국 BTS의 Air Carrier Financial Data: Schedule P5.2의 항공사 비용 항목

다) 미래 운항 스케줄 생성 컴퍼넌트

○ 장기적인 환경 정책, 감축수단 적용의 효과를 분석하기 위해 필요한 미래 운항 스케줄을 생성하는 컴퍼넌트로 분석의 출발점이 되는 연도의 운항 스케줄을 바탕으로 사용자가 지정한 항공 수요 증가 가정에 따라 미래 운항 스케줄을 생성함

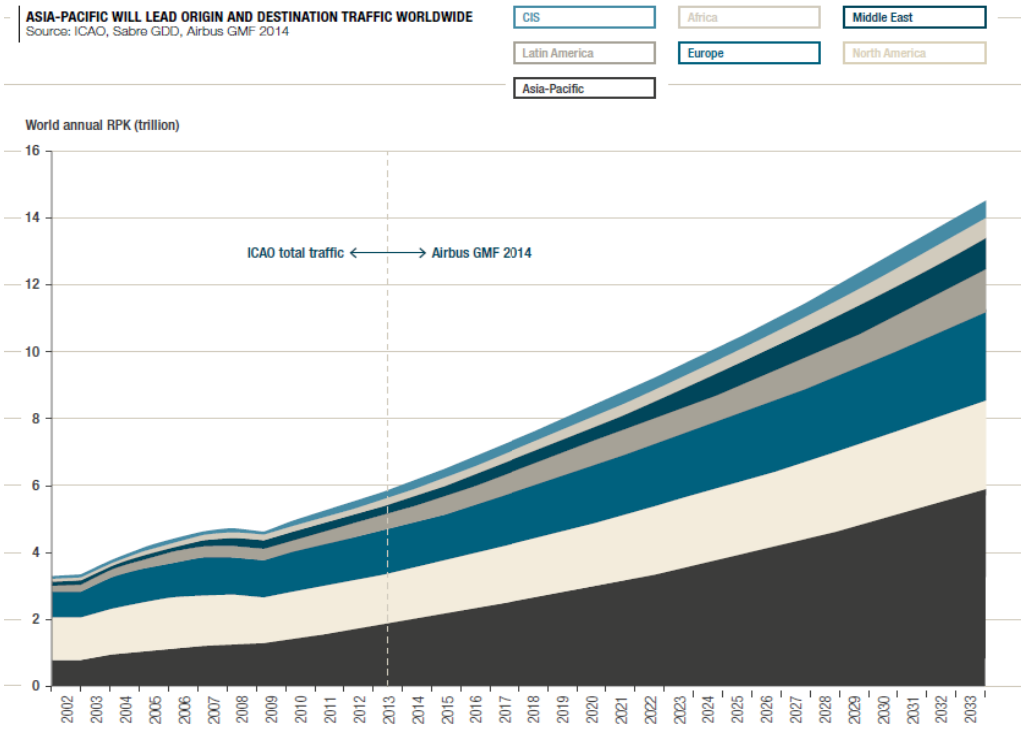


그림 11 2014부터 2033까지 지역별 항공교통량 증가 예측 (출처: Airbus Global Market Forecast 2014-2033)

라) 경제성 분석 알고리즘 컴퍼넌트

○ 경제성 분석 알고리즘 컴퍼넌트는 사용자 입력 컴퍼넌트에서 정의된 분석 범위와 정책 시나리오, 각종 경제적 변수들의 가정과 DB 서버 시스템 컴퍼넌트에서 불러드린 데이터를 바탕으로 항공사들에 미치는 비용 효과를 계산함

○ 항공사들에 미치는 비용은 직접운영비(Direct Operating Cost, DOC)에 해당되는 주요 비용항목은 다음의 네 항목이며, 필요에 따라 다른 항목도 추가할 수 있음

- 연료비(Fuel cost)

• 항공기 운항을 위한 유류 구입비로 항공사에서 제공되는 데이터를 사용하기도 하며 비행단위단 산출을 위해서는 2세부과제(항공 온실가스 산정 모듈)

에서 계산되는 연료사용 산정량을 바탕으로 항공류 가격을 곱해서 계산함

- 조종사 및 객실 승무원 비용(Flight crew and cabin crew costs)

• 기종별/노선별로 항공사에서 제공받은 데이터를 사용할 수 있으며, 대안으로는 항공기의 클래스별로(regional jet, single aisle, twin-aisle, large quad, freighter, business jet 등) 비행시간 당 파일럿 및 승무원 평균비용을 BTS 데이터 등의 자료를 통해 계산할 수 있음

- 항공기 정비 비용(Maintenance and overhaul)

• 기종별/노선별로 항공사에서 제공받은 데이터를 사용할 수 있으며, 대안으로는 항공기의 클래스별로(regional jet, single aisle, twin-aisle, large quad, freighter, business jet 등) 비행시간 당 항공기 정비 비용(인건비와 부품비 포함) BTS 데이터 등의 자료를 통해 계산할 수 있음

- 항공기 구매 혹은 리스 비용(Ownership cost including Depreciation and Amortization)

• 일반적으로 항공기 구매는 융자(finance)를 통하게 되므로 금융비용(이자)이 포함되며 그 외 감가상각도 항공기의 예상 수명에 대하여 계산함

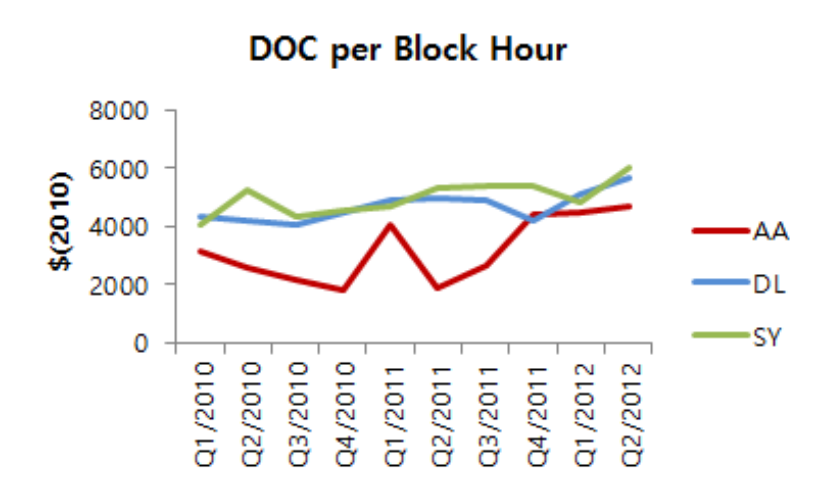


그림 12 미국 BTS Form 41 데이터를 분석한 2010-2012 년 미국의 American Airlines(AA), Delta Airlines(DL), Sun Country(SY)의 분기별 시간당 직접운영비 변화

세종대학교 SEJONG UNIVERSITY

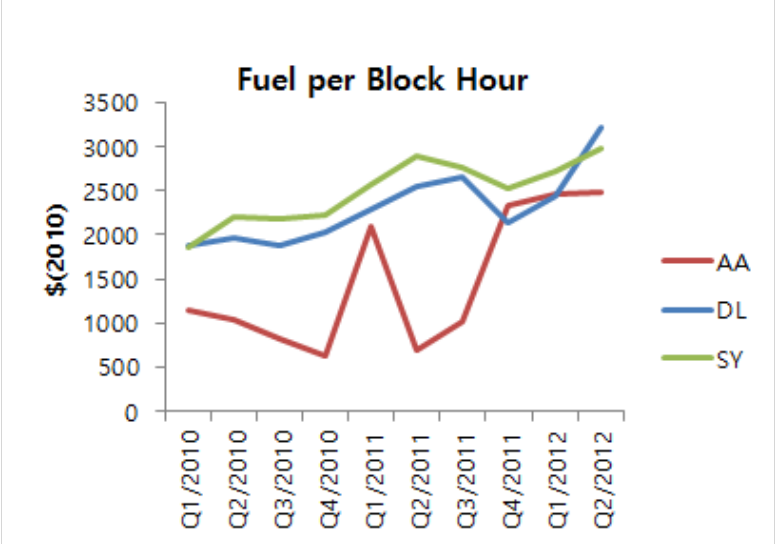


그림 13 미국 BTS Form 41 데이터를 분석한 2010-2012 년 미국의 American Airlines(AA), Delta Airlines(DL), Sun Country(SY)의 분기별 시간당 연료비용 변화

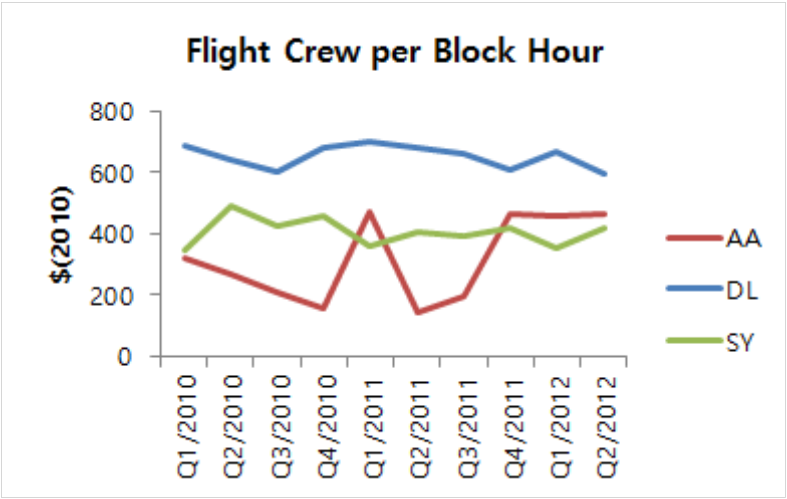


그림 14 미국 BTS Form 41 데이터를 분석한 2010-2012 년 미국의 American Airlines(AA), Delta Airlines(DL), Sun Country(SY)의 분기별 시간당 조종사 인건비 변화

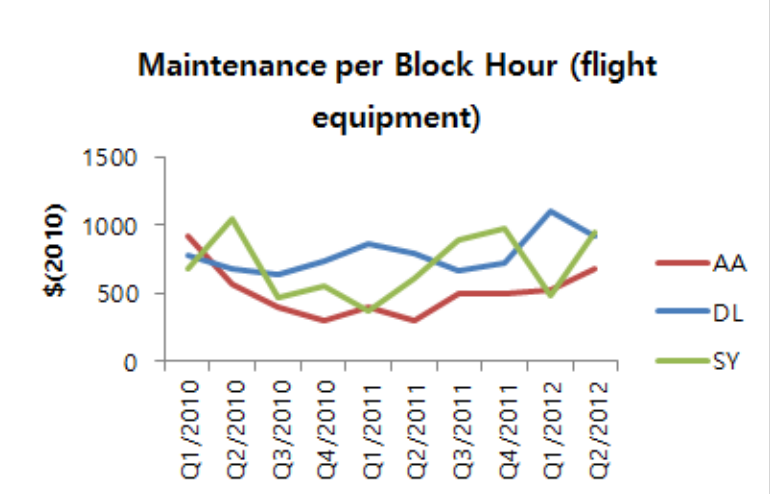


그림 15 미국 BTS Form 41 데이터를 분석한 2010-2012 년 미국의 American Airlines(AA), Delta Airlines(DL), Sun Country(SY)의 분기별 시간당 항공기 정비비 변화

○ 경제성 분석을 위한 세부 알고리즘은 추후 모듈 상세설계를 통해 결정이 되며 기본적으로 고려해야 하는 알고리즘들은 다음과 같음

- 항공사 Cashflow 분석 알고리즘

• 연도별로 해당항공사의 총 수입과 총 지출을 계산함

• 사용자가 입력하는 discount rate을 사용하여 기준연도로 환산한 net present value (NPV)를 계산함

- 신형항공기 시장 점유율 계산 알고리즘(Market Share Model)

• 미래에 발생하는 항공기 도입 수요를 계산함

• 항공기 도입 수요는 두 가지 이유로 발생함

• 첫째는 기존의 항공기들이 퇴역하는 경우 그 자리를 대체하기 위해 신규 도입이 필요함

• 두 번째는 미래에 교통량이 증가함으로써 늘어나는 교통량을 수용하기 위해 항공사의 capacity (Available Seat Kilometer 혹은 Available Tonn Kilometer 로 계산)를 늘리기 위해 항공기 도입 수요가 발생함

• 도입이 가능한 항공기들의 목록을 항공기 클래스와 최대운항거리 (maximum range)별로 구성하여 항공사가 어떤 기종을 선정할 것인지에 대한 알고리즘을 개발함

- 항공권 가격과 항공교통 수요 간의 상관관계 분석 알고리즘(옵션)

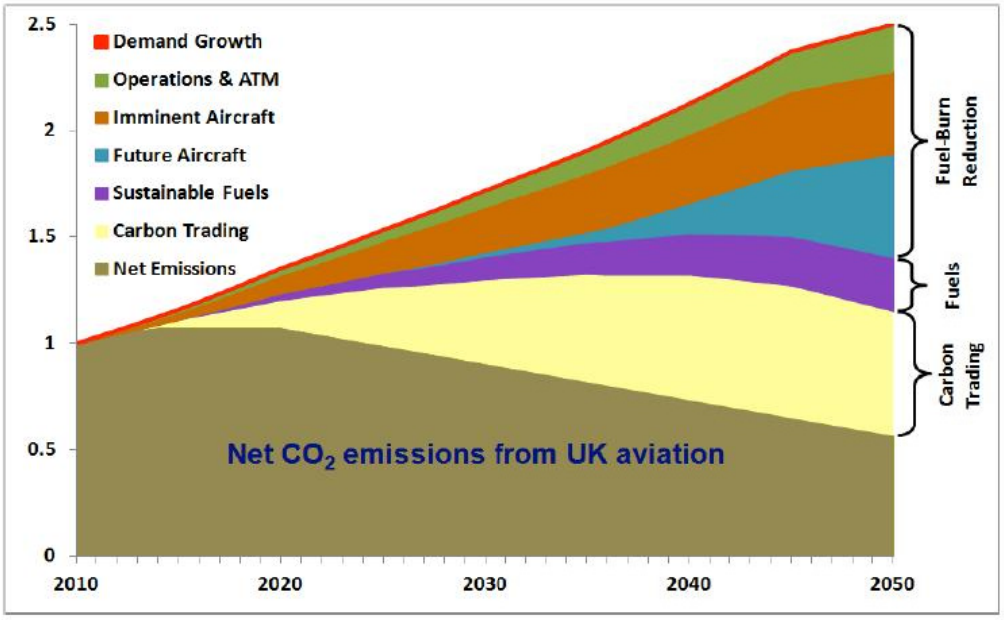
• 항공환경정책의 영향으로 항공사의 비용 부담이 장기적으로 늘어나면 항공

사들은 항공권 가격을 올리는 정책으로 대응을 할 수 있으며 그 때에는 항공교통 수요에 영향을 미칠 수 있으므로 항공권 가격과 항공교통 수요간의 상관관계를 계산하는 알고리즘이 필요함

마) 거시적 정책효과 분석 컴퍼넌트

○ 거시적 정책효과분석 컴퍼넌트는 국제, 국내, 혹은 항공사별 항공온실가스 감축 정책 효과 및 비용을 분석하는 컴퍼넌트로 사용자가 정의한 여러 가지 시나리오에 대해서 연간 온실가스 감축량과 비용효과를 분석하여 보여주며, 다음과 같은 주요 그래프를 산출함

- 사용자가 지정한 분석 범위 내에서 세부 범위별 감축량의 상대적 기여도를 계산하여 정책 적용 우선순위 판단을 도와 줌
- 전체 분석 기간(예: 2015년부터 2050년까지) 동안 연간 또는 누적된 감축량 및 비용 증감을 보여줌
- 사용자가 설정한 여러 가지 정책 시나리오별 차이를 보여 줌으로써 정책 의사 결정에 기여함



(Sustainable Aviation CO_2 Road Map 2012)

그림 16 감축수단별 항공온실가스 배출 감축 효과 예시(출처: 영국 Sustainable Aviation http://www.sustainableaviation.co.uk/)

4. 목표시스템 운영 시나리오

가. 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원

1) 감축수단별 경제성분석 및 의사결정 지원 모듈 시나리오 구성도

○ 시나리오는 총 3가지로 구분되며, 정부 관점, 정부지원기관 관점, 항공사 관점 별로 지원하는 시나리오가 다르게 구성될 수 있음

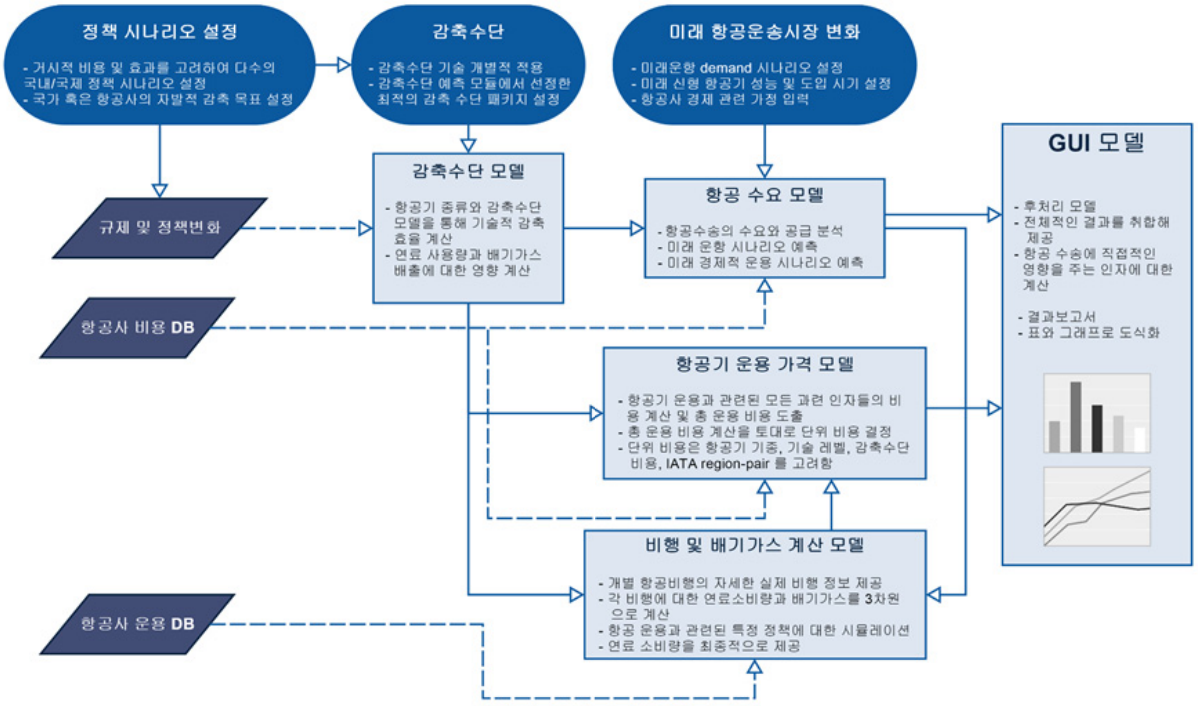


그림 17 감축수단별 경제성분석 및 의사결정 지원 모듈 흐름도

가) 감축수단별 경제성분석 및 의사결정 지원 모듈 시나리오

○ 정부기관/국내 정책 개발용

- 국내 항공 환경 정책 목표 시나리오 설정(예: 연간 1% 에너지 효율 목표 달성 혹은 2030년까지 베이스라인(Business as Usual, BAU) 대비 10% 달성)
- 정책범위 및 경제적인 영향을 받는 주체 설정(예: 국적 항공사 혹은 국내 취항 외국 항공사)
- 감축수단을 적용하지 않은 현상태(BAU)에 미치는 영향 분석
- 감축 수단별로 항공사 및 기종별/노선별 적용 범위의 사용자 설정 혹은 온실가스 예측 모듈에서 찾아낸 최적의 감축 수단 조합을 입력
- 미래 운항 수요 증가 모델 설정(예: 한-중 노선 연간 5% 교통량 증가 등)
- 미래 가상 친환경 항공기 성능 설정

- 신형 항공기 도입 및 기존 항공기 퇴역 범위 및 스케줄 설정
- 경제 변수 가정 설정(예: 항공유 가격, 항공기 구입을 위한 대출 이자율, 항공사의 discount rate, 항공기 퇴역 시 재판매 가격 등)
- 다양한 정책수단 별로 비용 대 효과를 목표 달성에 효과적인 정책 수립의 근거로 사용

○ 정부기관/국제정책 결정 과정 참여

- 국제민간항공기구(ICAO)에서 개발하고 있는 ICAO CO2 Standard가 국내 항공산업에 미치는 영향 분석
- 국제민간항공기구(ICAO)에서 개발하고 있는 국제 항공시장 기반 체제(Global Market Based Measures, GMBM)가 국내 항공산업에 미치는 영향 분석
- 감축수단을 적용하지 않은 현상태(BAU)에 미치는 영향 분석
- 감축 수단별로 항공사 및 기종별/노선별 적용 범위의 사용자 설정 혹은 온실가스 예측 모듈에서 찾아낸 최적의 감축 수단 조합을 입력
- 미래 운항 수요 증가 모델 설정(예: 한-중 노선 연간 5% 교통량 증가 등)
- 미래 가상 친환경 항공기 성능 설정
- 신형 항공기 도입 및 기존 항공기 퇴역 범위 및 스케줄 설정
- 경제 변수 가정 설정(예: 항공유 가격, 항공기 구입을 위한 대출 이자율, 항공사의 discount rate, 항공기 퇴역 시 재판매 가격 등)
- 다양한 정책수단 별로 비용 대 효과를 목표 달성에 효과적인 정책 수립의근거로 사용

○ 정부지원기관

- 정부기관이나 항공사에서 사용하는 시나리오와 동일한 시나리오를 분석하는 것이 가능함
- 항공사나 정부만 보유한 데이터가 있을 수 있으므로 민간에 개방된 데이터를 별도 입력하여 사용할 수 있는 기능이 있음
- 정부나 항공사에서 설정한 미래 교통량 증가 가정이나, 경제성 가정들과는 다른 가정들을 설정함으로서 개관적인 평가 및 검증 활동을 수행함

○ 항공사

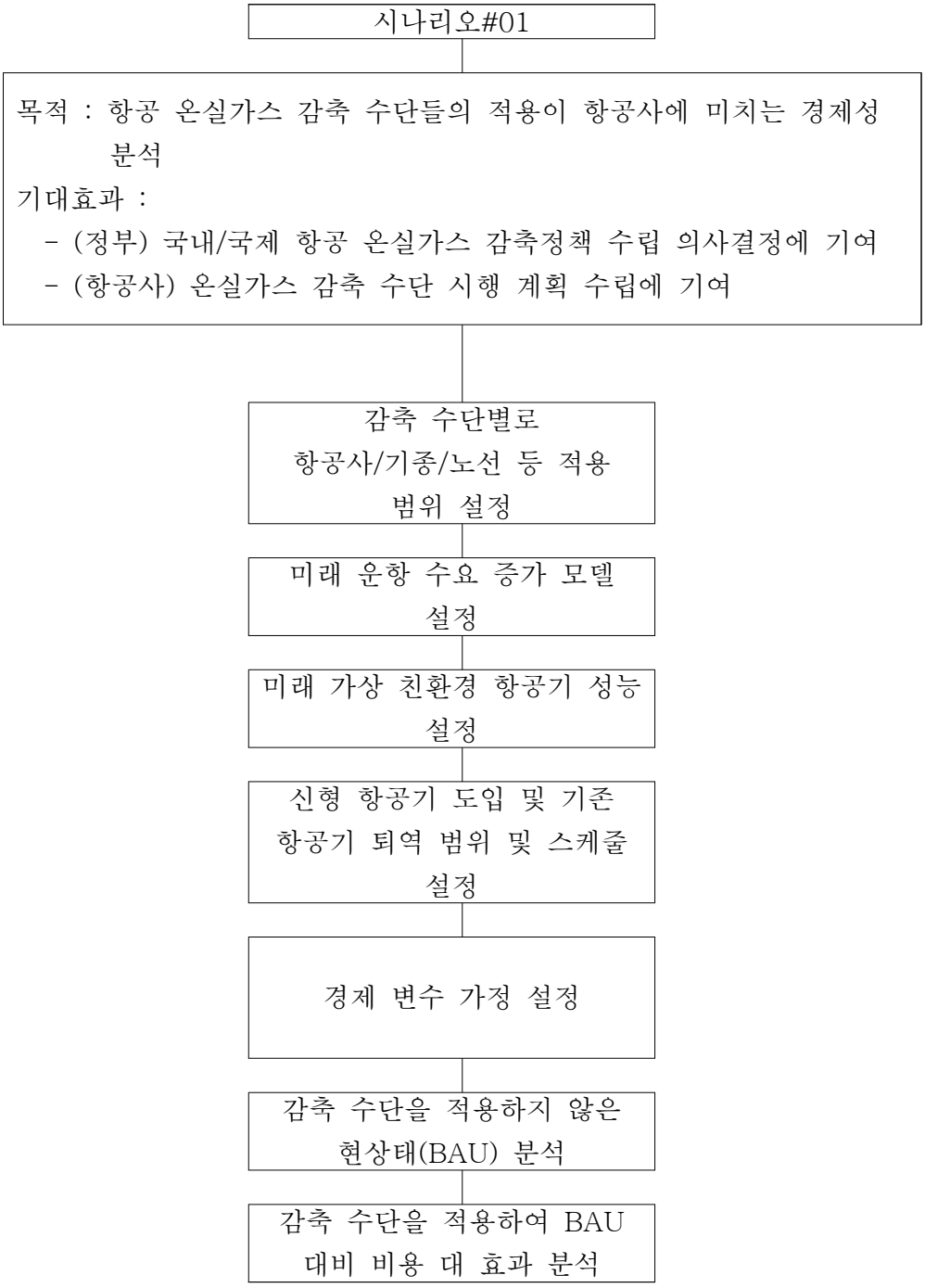
- 항공 온실가스 감축수단별 온실가스 배출량 및 비용분석을 통한 감축 계획

수립

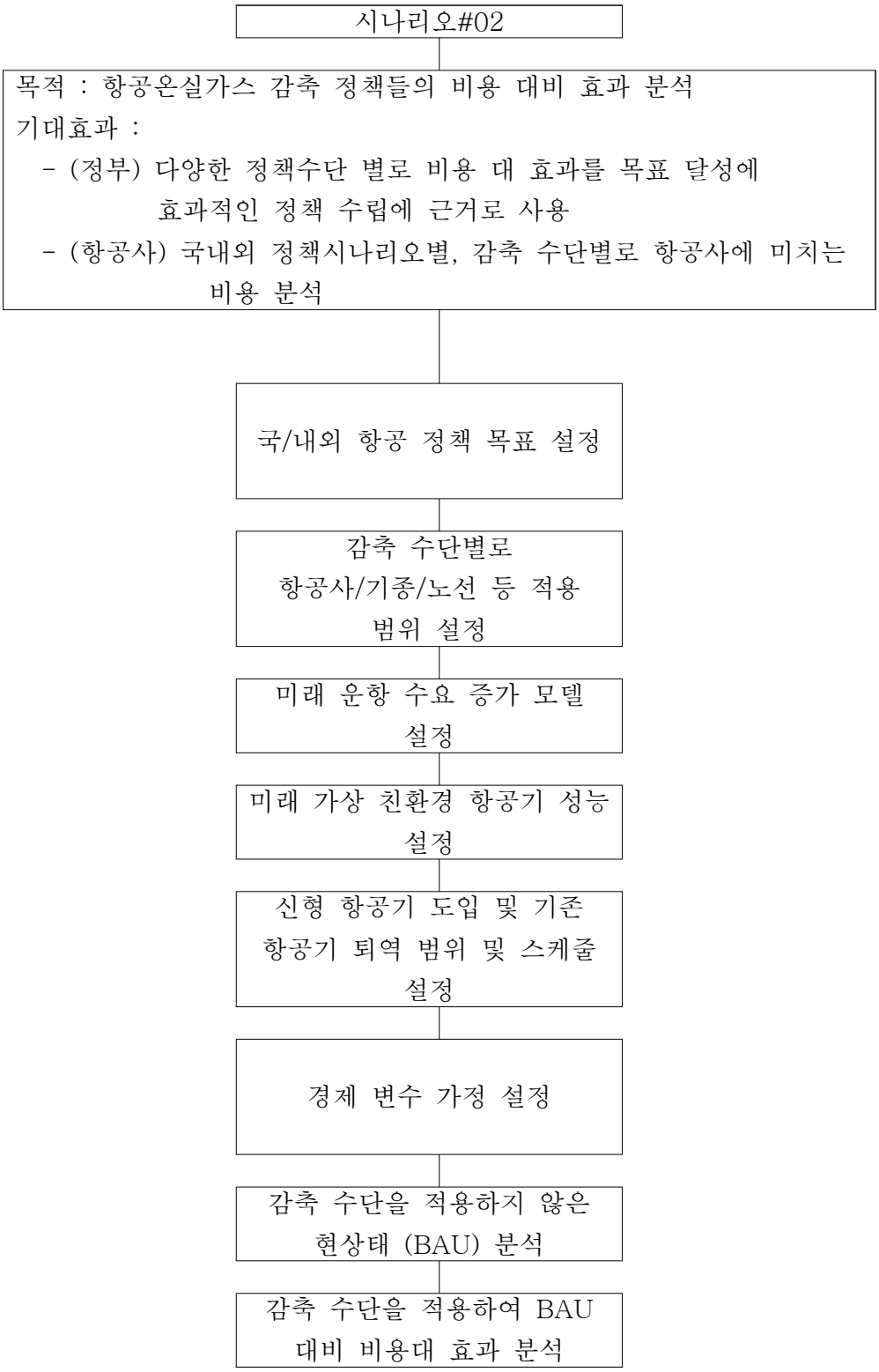
- 국/내외 정책이 항공사에 미치는 경제성 영향 분석
- 신형항공기 도입에 대한 온실가스 감축 및 비용분석
- 항공사 별 자발적 감축 목표 설정
- 표준데이터가 아닌 자체 보유 데이터를 입력하여 경제성 분석 가능
- 분석하고자 하는 정책범위 설정(예: 국내 전체 노선, 국제 전체 노선, EU 노선 등)
- 감축수단을 적용하지 않은 현상태(BAU)에 미치는 영향 분석
- 감축 수단별로 기종별/노선별 적용 범위의 사용자 설정 혹은 온실가스 예측 모듈에서 찾아낸 최적의 감축 수단 조합을 입력
- 미래 운항 수요 증가 모델 설정(예: 김포-제주 노선 연간 5% 교통량 증가 등)
- 미래 가상 친환경 항공기 성능 설정
- 신형 항공기 도입 및 기존 항공기 퇴역 범위 및 스케줄 설정
- 경제 변수 가정 설정(예: 항공유 가격, 항공기 구입을 위한 대출 이자율, 항공사의 discount rate, 항공기 퇴역 시 재판매 가격 등)
- 정책 시나리오별, 감축 수단별 항공사에 미치는 비용 분석

2) 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 적용

○ 시나리오1 : 감축수단 적용 비용 대비 효과 분석



○ 시나리오2 : 국내/국제 항공환경 정책 비용 대비 효과 분석



세종대학교 SEJONG UNIVERSITY

3) 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 운영 흐름도

구분	단계별 내용	세부내용	비고
1	정책 시나리오 설정	정책 시나리오 설정 1. 거시적 비용 및 효과를 고려하여 다수의 국내/국제 정책 시나리오 설정 2. 국가 혹은 항공사의 자발적 감축 목표 설정	
2	감축수단 입력	적용되는 감축수단 선정 1. 감축수단 기술 개별적 적용 2. 감축수단 예측 모듈에서 선정한 최적의 감축 수단 패키지 설정	
3	미래 경제/운항/기술관련 가정 입력	경제/기술관련 변수 가정 입력 1. 미래운항 demand 시나리오 설정 2. 미래 신형 항공기 성능 및 도입 시기 설정 3. 항공사 경제 관련 가정 입력	
4	DB 서버시스템 자료 추출	필요 DB 산출 1. 2세부과제 DB 이용(공항/항공기/항공로 등) 2. 1세부과제 DB 이용(각 항공사에서 입력한 DB 자료 추출) 3. 3세부 DB 이용(감축 수단별 온실가스 예측데이터)	
5	데이터처리모듈	감축량 데이터 처리 모듈 1. 1, 2, 3 세부과제에서 불러들인 데이터를 경제성 분석 모듈에서 요구하는 포맷으로 가공하여 저장함 2. 항공사 비용 DB에서 필요한 데이터 읽어 들임 3. 항공사 비용 DB에서 누락된 데이터가 있는 경우, 사용자가 직접 입력	
6	항공사 비용분석 알고리즘	항공사 비용분석 알고리즘 1. 1, 2, 3 단계에서 정의된 분석 범위와 정책 시나리오, 각종 경제적 변수들의 가정과 4, 5 단계에서 처리된 데이터를 바탕으로 항공사들에 미치는 비용 효과를 계산함 2. 항공사들에 미치는 비용은 직접운영비를 계산하며, 잠재적으로 항공사	

				Cashflow 분석, 신형항공기 시장 점유율 분석, 항공교통 수요분석 수행	
7	▶	정책 비용 및 효과 도출	▶	정책 비용 및 효과 도출	
				1. 결과보고서 2. 표와 그래프로 도식화	

○ 1단계

- 국/내외 항공 환경 정책 목표 시나리오 설정(예: 연간 1% 에너지 효율 목표 달성 혹은 2030년까지 베이스라인(Business as Usual, BAU) 대비 10% 달성)
- 항공사 별 자발적 감축 목표 설정
- ICAO 탄소배출권 거래제 시나리오 설정

○ 2단계

- 경제성 분석 설정(예: 항공사, 기종, 노선, 국가 등)
- 감축 수단별로 항공사 및 기종별 적용 범위의 사용자 설정 혹은 온실가스 예측 모듈에서 찾아낸 최적의 감축 수단 조합을 입력

○ 3단계

- 미래 운항 수요 증가 모델 설정(예: 아시아-북미 노선 연간 5% 교통량 증가 등)
- 미래 가상 친환경 항공기 성능 설정
- 신형 항공기 도입 및 기존 항공기 퇴역 범위 및 스케줄 설정
- 경제 변수 가정 설정(예: 항공유 가격, 항공기 구입을 위한 대출 이자율, 항공사의 discount rate, 항공기 퇴역 시 재판매 가격 등)

○ 4단계

- 온실가스 산정 시스템에서 사용하는 공항, 항공기 성능, 미래 운항 스케줄 DB 등과 연동하여 필요한 데이터 추출
- 온실가스 예측 시스템에서 산출되는 감축수단별 온실가스 감축 효과 DB와 연동이 되어 필요한 데이터 추출

○ 5단계

- 1, 2, 3 세부에서 추출한 데이터를 가공하여 경제성 분석 모듈에서 요구하는 포맷으로 가공하여 저장

- 항공사 비용 DB에서 필요한 데이터 불러옴
- 항공사 비용 DB에서 누락된 데이터가 있는 경우, 사용자가 직접 입력

○ 6단계

- 1, 2, 3 단계에서 정의된 분석 범위와 정책 시나리오, 각종 경제적 변수들의 가정과 4, 5 단계에서 처리된 데이터를 바탕으로 항공사들에 미치는 비용 효과를 계산함
- 항공사들에 미치는 비용은 직접운영비(Direct Operating Cost, DOC)를 계산하며, 잠재적으로 항공사 Cashflow 분석, 신형항공기 시장 점유율 분석(Market Share Analysis), 항공교통 수요분석 수행

○ 7단계

- 마지막 단계로 국제, 국내, 혹은 항공사별 항공온실가스 감축 정책 효과 및 비용을 분석하는 컴퍼넌트로, 사용자가 정의한 여러 가지 시나리오에 대해서 연간 온실가스 감축량과 비용효과를 분석하여 보여주며, 결과 보고서, 그래프, 표로 도식화 됨
- 사용자가 지정한 분석 범위 내에서 세부 범위별 감축량의 상대적 기여도를 계산하여 정책 적용 우선순위 판단을 도와줌
- 전체 분석 기간(예: 2015년부터 2050년) 동안 연간 또 누적된 감축량 및 비용 증감을 보여줌
- 사용자가 설정한 여러 가지 정책 시나리오별 차이를 보여줌으로써 정책 의사결정에 기여함

나. 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 sample DB 구축 및 요구 조건 분석

1) 항공사 운항비 DB 구축

가) 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

○ 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 (70751 - 70755) (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 18 BTS Air Carrier Financial

○ 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 19 BTS 항공사 운항비 DB 분석

세종대학교 SEJONG UNIVERSITY

○ 세 미국 항공사의 분기별 운항비 비교

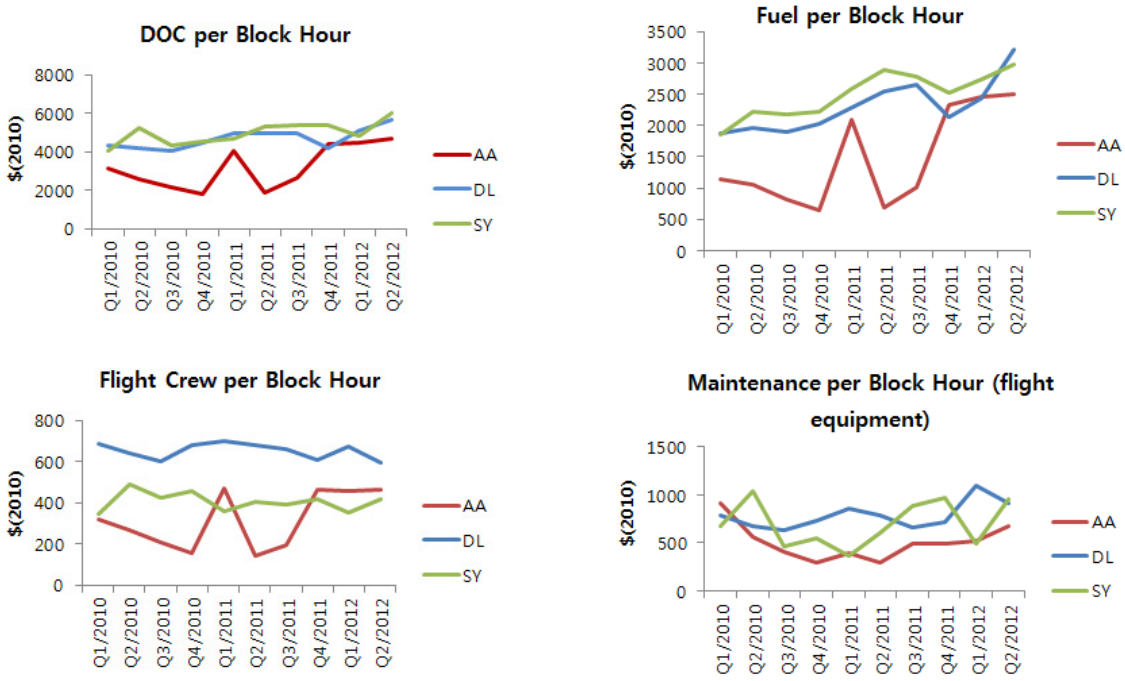


그림 20 세 미국 항공사의 분기별 운항비 비교

2) 경제성분석/의사결정 모듈 사용자 요구조건 분석

○ 요구사항 분석표

표 2 요구사항 분석표

세부 분류	요구사항	의사결정 지원	감축 수단	UI 요구 사항	결과서	참고 분류
의사결정 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
감축수단	감축수단적용시미래온실가스를산출할수 있어야하며,이는 현재가치로 변환이 가능해야한다.					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 요구사항	국문/영문 지원이 가능해야 한다.					
	UI가 간단명료하게 표시되어야 한다.					SkyBreath
	온실가스 보고서가 편리하게 UPLOADING이 가능 할 수있도록 해야 한다.					SkyBreath
	항공사별 온실가스 감축 활동을 통한 연료소비량 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, $, 원화" 등으로 표시되어야 한다					AERO-MS
	결과보고서에 표시되는 감축수단 결과 나열방식은 가장 큰 값부터 또는 가장 작은 값부터로 선택할 수 있어야 한다.					
	결과보고서에사용자가그래프를선택할수 있어야한다.					
	결과보고서는 다양한 형식(PDF, DOC, TXT,HWP 등)으로 저장이 되어야 한다					
	항공사결과보고서는"항공기 운항수(연간/월간) 감축수단(적용/미적용) 감축량(t) 감축률(%) 비용($/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

5. 목표시스템 구축에 의한 변경사항

가. 변경사항

○ 2009년 12월 건설교통기술평가원에서 R&D로 발주한 교통부문 온실가스 관리시스템(Korea Transport Emission Management System, KOTEMS)은 도로, 철도, 항공, 해운 등 각 교통수단별 온실가스 인벤토리 개발하고 통합 관리하는 시스템으로 크게 온실가스 배출량 정보시스템, 온실가스 목표관리 지원시스템, 온실가스 저감 효과 평가시스템으로 구성되어 있음

○ 목표 시스템인 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템은 KOTEMS의 항공부문에 대한 온실가스 관련 기능을 모두 포함하고 있으며, 추가적으로 온실가스 관련 국가 정책 업무를 지원할 수 있는 기능을 포함하고 있음

○ 또한, KOTEMS에 반영되지 않은 배출량 산정, 감축량 예측 및 경제성분석/ 의사결정지원 S/W를 클라이언트/서버 방식으로 개발하여 Tier 1, 2는 물론 3b급으로 배출량 산정이 가능하고 감축수단 적용을 통한 감축량 예측 기능을 포함하고 있으며, 국내·외 항공 온실가스 관련 정책/규제 등의 시나리오 및 감축수단 적용을 통한 경제성 분석 및 의사결정을 지원하는 기능이 포함되어 있음

나. 변경사항의 당위성

○ 시스템 활용적 측면

- 기존에 개발된 KOTEMS는 항공부문에 대해 연차별 통계치만 제공되므로 사용자인 항공사는 해당 시스템에서 제공되는 데이터를 활용하여 자사의 정책 결정에 활용이 어려움
- 항공사에서 개별적으로 관리하고 있는 시스템(자동 또는 수동)과 데이터 연동에 어려움이 있어 기본 데이터 제공자인 항공사의 활용이 부진함

○ 국내·외 온실가스 관련 정책 대응 시스템 부재

- KOTEMS는 목표관리제, 항공부문 온실가스 인벤토리 보고서(NIR), 항공부문 국가이행계획, 항공사 자발적 협약, 배출권거래제, ICAO MBMs 등과 같은 국내·외 온실가스 관련 정책 업무를 대응하기 위한 서비스가 제공되지 않는다. 또한 IPCC Tier2급의 산출 방법을 사용하고 있으며, 감축량 예측의 기능을 가지고 있지 않음
- 국외는 Aero2K, AEDT, FAST 등의 여러 항공 온실가스 추정 S/W를 활용하고 있으나, 국내는 온실가스를 산정 및 예측할 수 있는 시스템이 존재하지 않아 정량적 산정 및 예측이 어려운 실정임

○ 국외 S/W 활용의 어려움 및 국내 IPCC Tier3b급 산정 및 예측 S/W 부재

- 항공사는 항공기의 경제적 운항과 항공분야 연료사용량 및 온실가스 배출량 최소화에 기여하고 국내·외 온실가스 배출규제에 효과적으로 대응하기 위해 항공온실가스 산정 및 예측 시스템이 필요함
- 목표 시스템인 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템은 감축수단별 경제성 및 의사결정 기능지원, 감축수단별 저감효과 분석, 감축/기종/시나리오별 연료 감축량을 분석하여 최적의 항공 온실가스 감축수단을 선정할 수 있게 함
- Tier 3b급 알고리즘이 탑재된 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템을 구축하여 ICAO 규제에 대한 능동적 대응 기술력을 확보하고, 항공기의 경제적 도입 및 최적화된 운항 정보를 제공하여, 국제 경쟁력을 강화함

6. 목표시스템 분석

가. 장점

○ 항공기 운항을 경제적이고 효과적인 운항체계 도출이 가능해짐

○ 감축기술에 따른 감축량 예측 알고리즘은 각종 정책의 수립, 집행, 효과분석 등의 근거로 활용이 가능해짐

- 항공온실가스 저감정책 수립 시 근거자료로서 정부 관리주체인 국토교통부 담당자들이 성과지표와 목표를 설정하여 계획 수립 활용이 가능해짐

○ 경제성분석 및 의사결정지원 모듈을 통해 항공기 도입 시 경로당 연료 절약 및 이에 따른 환경 부가세 절약 결과 도출이 가능해짐

○ 경제성분석 및 의사결정지원 모듈을 통해 활주로 확장 및 신공항 건설 시 요구되는 정량적인 환경적 영향 분석 및 의사결정 지원이 가능해짐

나. 단점 및 제한사항

○ 지속적인 유지보수 비용이 발생되어야 함

- 신 기종별 항공기 개발에 따른 항공기 성능 제원 필요
- 온실가스를 감축할 수 있는 신기술이 개발되면 이에 따른 적용 알고리즘도 개발되어야 함

○ 항공 온실가스 감축량 예측시스템은 외부 DB에서 필요한 자료를 불러오는 방식이므로 모듈을 실행하는 동안은 외부 인터넷이 연결되어 있어야함.

○ 사용자가 감축량 예측을 정확히 하기위해서는 실데이터가 존재하여야 하며, 실데이터가 없을 시 DB에서 제공되는 표준 데이터 값을 이용하게 되고 이는 오차범위가 발생할 수 있음.

○ 항공사가 감축량을 예측하기 위해서는 지속적인 감축량이 산정되어야 하며, 산정된 결과 값은 1세부 DB 에 포함되어 있어야함.

- 1세부 DB에 포함되어 있지 않으면 항공사는 산정이 가능한 모집단을 구성될 때까지 직접 입력을 해야 함.

다. 대안별 비교분석

○ 예측 모듈에 적용된 감축기술이 영구적인 감축적용기술이 아니기 때문에 유지보수를 통해 스펙을 향상시켜야하며, 이에 따른 유지보수비용이 발생함에 따라 지속적인 투자를 지원해야 함.

- 온실가스를 감축할 수 있는 신기술이 개발되면 이에 따른 적용 알고리즘도 개발될 수 있도록 지원해야 함.

○ DB에서 제공되는 표준 데이터 값을 이용하게 될 시 오차범위를 줄일 수있는 방안을 지속적으로 모색해야 함.

7. 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 같다.

	APMT-E	AERO-MS	3세부 경제성분석 모듈
특징비교			
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 Server 에서 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	불가능
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	불포함
러시아 연합 항공기	포함	포함	불포함

Business Jet	포함	불확실	불포함
Turboprops	포함	불확실	불포함
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 같다.

글로벌 분석: 2 세부 과제를 포함하여 본 과제의 범주에 포함되지 않음

화물기: 여객기에 비해 운항 회수 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

부록

부록 1 운용개념기술서

운용 개념 기술서

(Operational Concept Description)

경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개발

문서ID : OCD_경제성 분석_세종대

Version : 1.0

세종대학교
SEJONG UNIVERSITY

AUTHORIZATION

한국교통연구원 Approval:

본 문서에 대한 서명은 한국교통연구원 내부에서 본 문서에 대하여 수행 및 유지관리의 책임이 있음을 인정하는 것임.

승인자 :	황호연	(인)	**일자 :**	2015.04.07

검토자 :	황호연	(인)	**일자 :**	2015.04.07

작성자 :	임동욱, 황호연	(인)	**일자 :**	2015.04.07

제 · 개정이력

버전	제/개정	제/개정자	개정 사유 및 내역	날짜
1.0	제 정		최초 제정	2015.04.07

목 차

1. 개요 ····· 1
1.1 시스템 개요 ····· 1
1.2 시스템 적용범위 ····· 1
1.3 문서 개요 ····· 1
1.3.1 문서목적 ····· 1
1.3.2 문서 내용의 요약 ····· 1
1.3.3 보안 및 주의사항 ····· 2

2. 시스템 분석 ····· 3
2.1 시스템 개발 배경 및 목적 ····· 3
2.1.1 배경 ····· 3
2.1.2 목적 ····· 3
2.2 사용자 · 운용자 정의 및 특성 ····· 3
2.2.1 사용자 및 운용자 정의 ····· 4
2.2.2 사용자 및 운용자 특성 ····· 4
2.2.3 사용자 요구사항 ····· 5
2.3 현 시스템 분석 ····· 7
2.3.1 현 시스템 구성 ····· 7
2.3.2 현 시스템 한계점 ····· 14

3. 시스템 개발 범위 및 목표 ····· 15
3.1 시스템 개발 범위 ····· 15
3.2 시스템 목표 ····· 15
3.3 전체 시스템 구성도 ····· 16
3.3.1 의사결정지원 모듈 흐름도 ····· 16
3.4 서브시스템별 내용 및 특징 (WBS) ····· 18
3.4.1 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 ····· 18

4. 목표시스템 운영 시나리오 ····· 27
4.1 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 ····· 27
4.1.1 감축수단별 경제성분석 및 의사결정 지원 모듈 시나리오 구성도 ····· 27
4.1.2 감축수단별 경제성분석 및 의사결정 지원 모듈 적용 ····· 31
4.1.3 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 운영 흐름도 ····· 33

5. 목표시스템 구축에 의한 변경사항 ····· 36
5.1 변경사항 ····· 36
5.2 변경사항의 당위성 ····· 36

6. 목표 시스템 분석 ····· 38
6.1 장점 ····· 38
6.2 단점 및 제한사항 ····· 38
6.3 대안별 비교분석 ····· 39

1. 개요

1.1 시스템 개요

○ 항공 온실가스 감축수단 별 경제성 분석 및 의사결정 지원을 통해 사용자에게 감축수단 적용을 위한 의사결정을 지원해줄 수 있도록 하는 시스템이다.

- 각종 시나리오(국내·외 환경 관련 정책 시나리오, 미래 항공수요 및 신형 항공기 도입 시나리오, 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, 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 모듈이다.

1.2 시스템 적용범위

○ 항공온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원

1.3 문서 개요

1.3.1 문서목적

○ 본 운용 개념 기술서는 항공 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개발에 대한 개요, 참고문서, 요구사항 등을 기술한 문서로서 시스템 개발 시 사용자, 운용자 간 의사소통을 원활하게 하는데 있다.

1.3.2 문서 내용의 요약

표 5. 문서요약

구 분	주요 내용
1. 개요	본 문서가 적용되는 대상 모듈의 명칭 및 정의를 기술하여 시스템 개요를 정의하였다.
2. 시스템 분석	본 모듈 개발의 배경 및 목적, 사용자 특성, 현 시스템 분석을 기술하였다.
3. 시스템 개발 범위 및 목표	본 모듈의 개발 범위 및 전체 모듈 구성도를 통해 목표를 정의하였으며, 각 서브 컴포넌트에 대해 기술하였다.
4. 목표 시스템 운영 시나리오	본 모듈을 이용한 업무 흐름에 따라 모듈의 운용 흐름을 기술하였다.
5. 목표 시스템 구축에 의한 변경사항	대표적인 기존시스템과 본 모듈 개발에 의한 관련 업무의 주요 변경사항을 기술하였다.
6. 목표 시스템 분석	목표 모듈에 대한 장단점 및 제한사항을 통해 대안별 비교분석을 기술하였다.
7. 참고사항	사용자 요구사항을 기술하였다.

1.3.3 보안 및 주의사항

○ 본 문서는 관련자 이외의 대여 또는 열람을 금하며, 발행권자의 승인없이 복제, 복사 및 인용을 금하며 문서가 무단 유출이 되지 않도록 한다.

○ 본 문서의 변경 요소 발생시 「항공 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원」과제 총괄의 승인을 거쳐 변경될 수 있다.

2. 시스템 분석

2.1 시스템 개발 배경 및 목적

2.1.1 배경

○ 우리나라는 2012년 항공온실가스 이행계획에서 여러 합리적인 가정과 활용 가능한 제한적인 데이터의 논리적 연산 및 과거 감축추세를 감안하여, 이를 추정하였으나 신뢰성이 높은 경제성 분석과 의사결정이라고 하기는 어려운 상태임

○ 2020년 시행 예정인 ICAO의 탄소배출권 거래제(Emission Trading Scheme, ETS)와 기후변화에 관한 정부 간 위원회(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 회의에 선제적으로 대응하여 국적 항공사를 포함한 국익 보호 필요성이 제기됨

○ 따라서 항공사와 정부, 공항 등 주요 감축활동 주체의 적극적인 감축활동을 촉진하는 등 실효성 있는 국가이행계획의 수립과 이행을 위해 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정을 지원할 수 있는 시스템의 개발의 필요성이 인식됨

2.1.2 목적

○ 본 「경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈」연구 과제는 다음과 같은 사항을 목적으로 개발을 추진함

- 항공부문의 온실가스 감축 주체들이 간단하고 편리하게 사용할 수 있는 감축수단 별 경제성분석 및 정책 의사결정 지원시스템의 개발 및 보급

- ICAO 항공기 인증규제에 대비하여 향후 국가이행계획 작성에 기여하고 EU-ETS, ICAO-ETS 등 탄소 배출권 거래제에 항공사들이 효과적으로 대응 가능한 의사결정 지원 시스템 개발

2.2 사용자 • 운용자 정의 및 특성

2.2.1 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 정책 업무 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

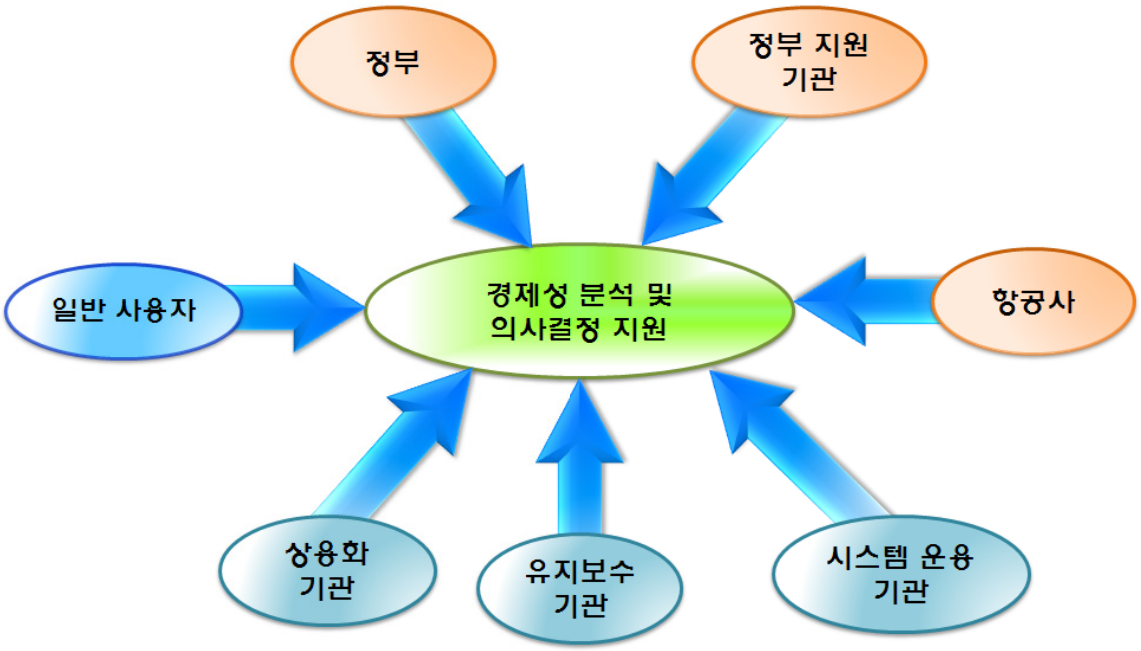


그림 25 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 사용자 및 운용자 구성도

2.2.2 사용자 및 운용자 특성

○ 정부기관

- 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, 국가이행 계획 작성 툴로 사용

- 온실가스 감축 이행계획서 평가 - 참여 항공사가 제출한 이행계획 상의 온실가스 배출량, 연료 절감 계획 등 적절성 평가를 통한 검증 활동 수행

○ 항공사

- 항공부문 온실가스 배출 최소화를 위해 효과적인 온실가스 감축수단별 경제성 분석

- 국내·외 환경 관련 정책, 미래 항공수요 및 신형 항공기 도입, ICAO 항공기 인증규제에 따른 항공기종별 비용 및 효과 분석

2.2.3 사용자 요구사항

○ 항공 온실가스 관련 업무(배출권거래제 등) 보고서가 제공되어야 한다.

○ 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원에 대한 데이터 검증 및 산정기술이 제시되어야 한다.

○ 항공 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정지원 관련 그래프가 제시되어야 한다.

○ 시스템 간 데이터 호환이 가능해야 한다.

○ 온실가스 기준값 입력 및 표준 데이터 이용이 가능해야 한다.

○ 미래 항공교통 수요 시나리오 및 DB 생성이 가능해야 한다.

○ 감축수단별 경제성 분석 적용 시 미래 온실가스 산정이 가능해야 한다.

○ 감축활동 모니터링 리포트, 배출권거래제 및 자발적 협약 등 다양한 의사결정 지원 데이터가 제공되어야 한다.

○ 정부 혹은 항공사의 의사결정에 대한 구체적인 지원이 가능해야 한다.

2.3 현 시스템 분석

○ 현재 국내에서 개발된 항공 온실가스 관련 경제성 분석이나 의사결정 지원과 관련된 소프트웨어는 전무함

○ 해외 EU-ETS 관련 온실가스 배출량 산정 및 경제성 분석 시스템은 많이 있으나 가장 대표적인 것으로 OSyS ETS MRV solution, Aviaso EU-ETS, SkyBreath가 있음

○ 해외 항공 온실가스 관련 정책 의사결정 지원 프로그램으로 대표적인 것은 EASA의 AERO-MS, FAA의 APMT-Economics, Georgia Tech에서 개발하여 FAA에서 사용하고 있는 GREAT가 있음

○ 경제성 분석에는 항공사 운항비용 DB가 필요하며 항공사에게 제공을 기피하므로 미국에서 항공사가 의무적으로 정부에 제출하여 구축된 BTS(Bureau of Transportation Statistics)의 BTS Form 41 Schedule P5.2 데이터가 필요함

2.3.1 현 시스템 구성

○ 경제성 분석 및 배기가스 예측 프로그램: OSyS ETS MRV solution

- OSyS의 세부 모듈인 Visum Fuel (with Controls and Data Services)는 데이터 통합, 정확한 기준선 성립을 통한 연료 계획 관리, ROI(return on investment)의 최대화, 고객 알림, dashboard와 보고서, 이해 당사자들 교육 등 다양한 기능을 제공

- OSyS 세부 모듈인 OSyS Engine washing은 엔진 세척 관리 프로그램으로 각 개별 엔진 기반의 세척 주기를 관리할 수 있는 최적화 알고리즘을 포함하고 있고 이는 엔진의 성능 저하를 추적하면서 세척제 가격, 연료 가격, 매해 전기 및 수도 가격을 고려한 최적의 세척주기를 계산

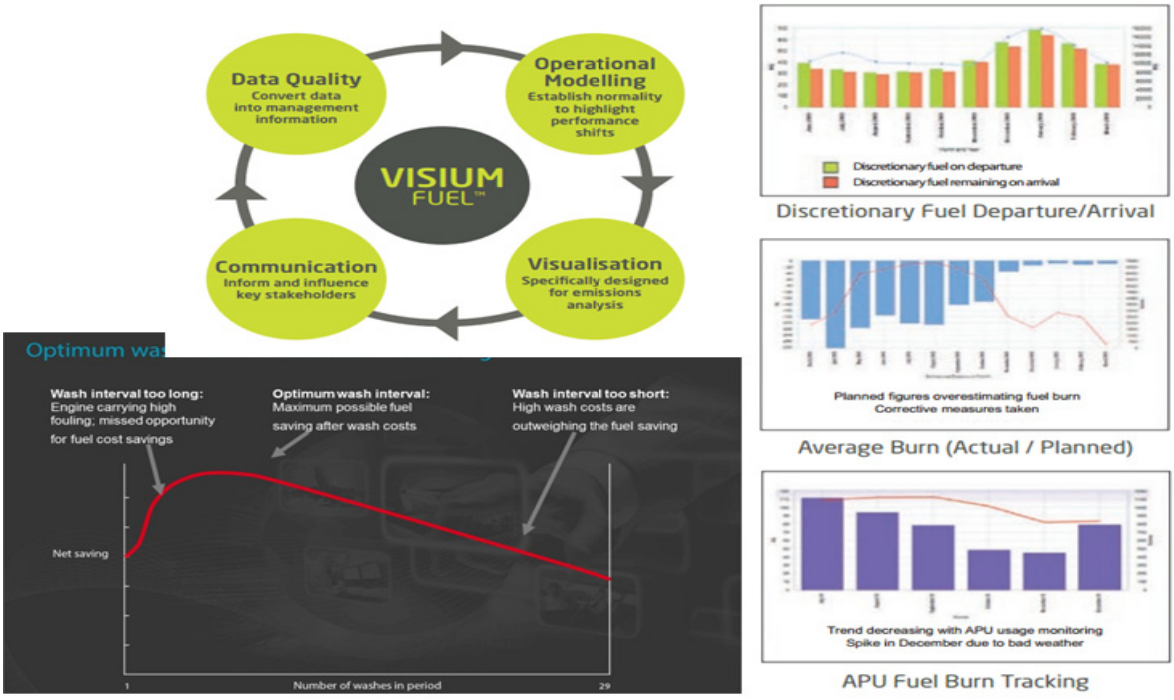


그림 26 경제성 분석 및 배기가스 예측 프로그램: OSyS

○ 경제성 분석 및 배기가스 예측 프로그램: AVIASO

- AVIASO는 비행 스케쥴, 비행 계획, FOQA 등의 데이터를 사용하여 배기가스 예측을 통한 경제성 분석을 수행하며 플랩(flap)의 사용 정도에 따른 연료 사용량 변화, way-point를 포함한 비행 경로에 따른 연료 사용량 등을 계산할 수 있음

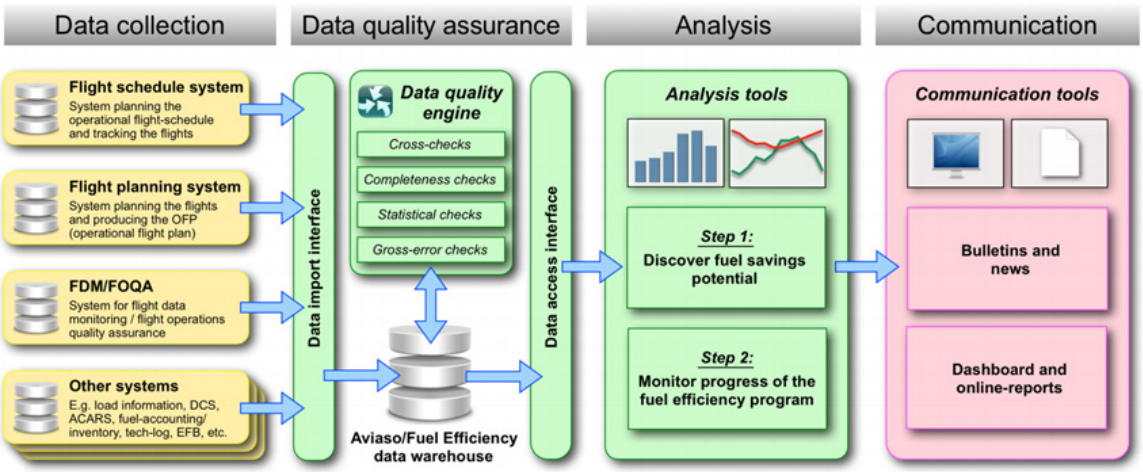


그림 27 경제성 분석 프로그램 AVIASO

○ 경제성 분석 및 배기가스 예측 프로그램: SkyBreathe

- SkyBreathe는 연료절감을 위한 솔루션을 제공하여 연료 소모량을 모니터링 하고 연료 절감을 위항 방법들을 제시할 수 있음

- FDR 기록을 포함한 모든 연료 정보 소스를 모아 하나의 통합된 DB를 제공하고 혁신적인 알고리즘을 통해 최적의 연료 절감을 위한 방법을 제시하고 이러한 정보를 Dashboard에 구현함

- CO2 배출량 계산 및 분석, 연료 소비량 계산 및 분석을 통한 EU-ETS(Emission Trading Scheme) 보고서 작성을 지원함

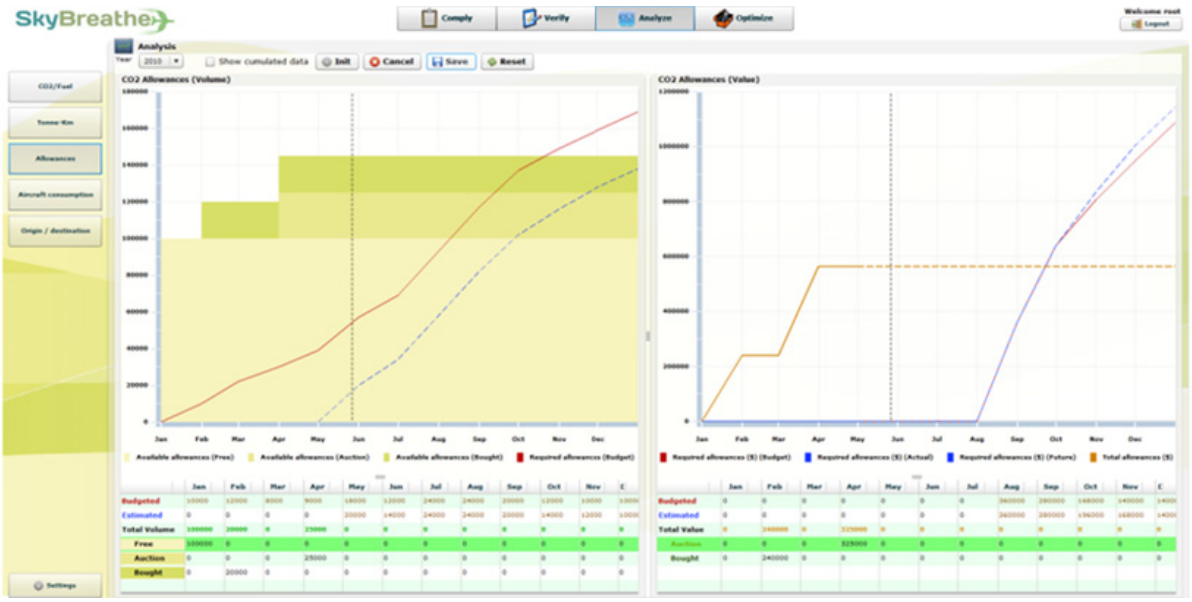


그림 28 경제성 분석 프로그램: SkyBreathe

○ 정책 결정 및 의사결정 지원 프로그램: AERO_MS

- 항공 온실가스 분석 및 감축 정책 평가에 사용되고 시나리오와 정책 분석 툴로서 항공 정책 평가 및 경향 예측 등에도 사용됨

- EASA (European Aviation Safety Agency) 소유로 현재 및 미래에 대한 항공기 배기가스를 평가함

- 주 기능은 배기가스 감축을 위한 가능한 정책 옵션들에 대한 효과를 평가

하고 항공사, 소비자, 정부 및 항공기 제작사에 미치는 효과를 제공함

- 주요 출력값들은 air transport and aircaft operations, effects on airlines, economic effects on other actors, fuel consumption and emissions, operating efficiency indicators 임

- AERO-MS의 주요 세부 모듈의 기능은 아래와 같음

• ATEC (Aircraft Technology Model)

· 항공기 종류와 기술 개발 모델의 기술적 특징 계산

· 연료 사용량과 배기가스 배출에 관한 특성 계산

· 기술적 특징은 항공기의 기술 나이(Technology age)에 대한 함수로 표현

• ADEM (Air Transport Demand Model)

· 항공수송의 수요와 공급 맞춤(matching)

• ACOS (Aviation Cost Model)

· 항공기 운용과 관련된 모든 관련 인자들의 비용 계산 및 총 운영비용 도출

· 총 운영비용 계산을 토대로 단위 비용 결정

· 단위 비용은 항공기 기종, 기술, 레벨, IATA region-pair를 고려함

• FLEM (Flights and Emissions Model)

· 개별 항공비행의 자세한 실제 비행 정보 제공

· 각 비행에 대한 연료 소비량과 배기가스를 3차원으로 계산

· 항공 운용과 관련된 특정 정책에 대한 시뮬레이션

· 연료 소비량을 최종적으로 제공

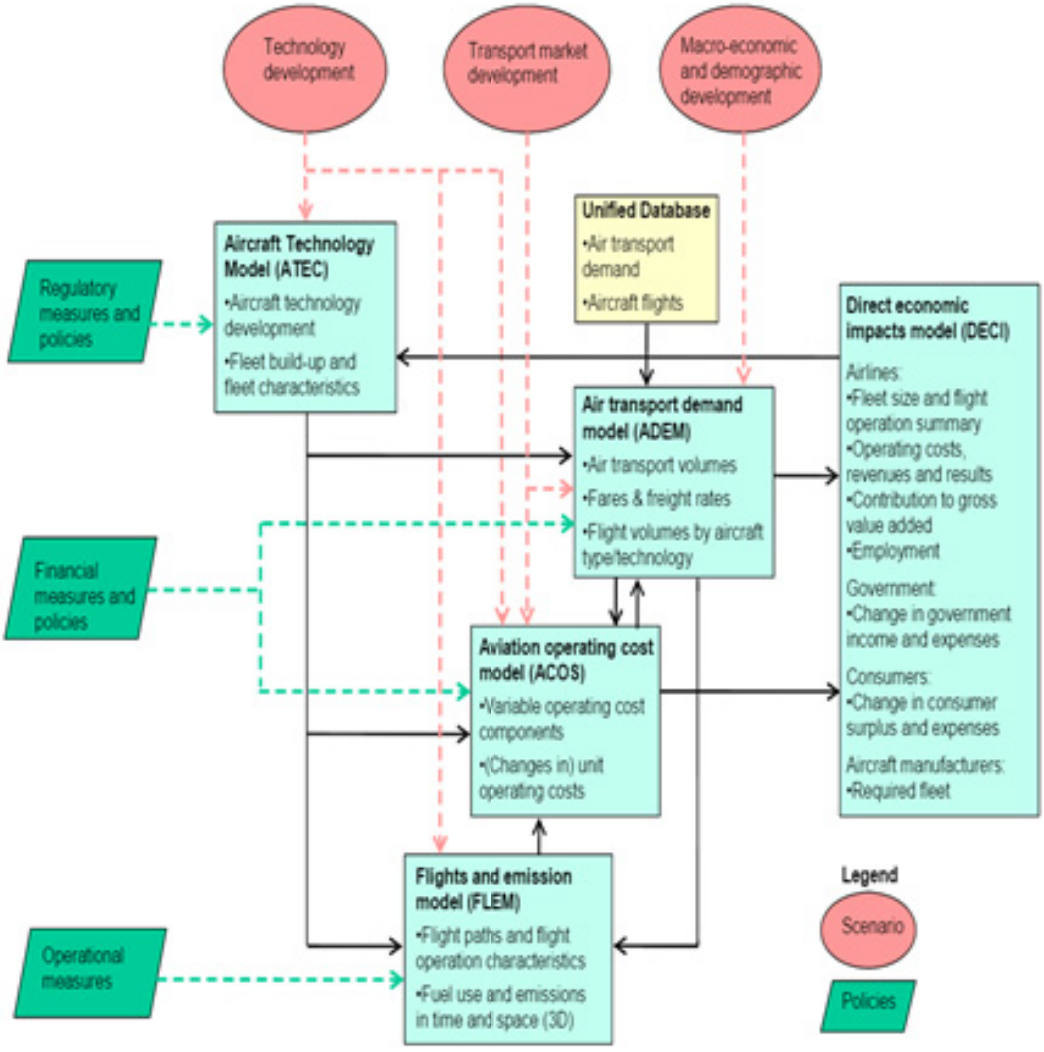


그림 29 AERO-MS 세부 모듈 구성도

○ 정책 결정 및 의사결정 지원 프로그램: APMT-E

- APMT(Aviation Portfolio Management Tool)-E(Economics)는 미국 FAA의 Environmental Tool Suite의 한 모듈로 영국의 MVA사가 미국 FAA의 의뢰로 개발

- 항공 환경 정책으로 발생하는 항공사의 비용증감 효과를 계산하는 것이 주 목적으로 그동안 ICAO NOx Standard, ICAO Noise Standard 개발에 공식적인 툴로 사용됨

- 미래 항공 수요에 대한 시나리오를 입력하면 항공기 시장 점유율 분석(Market Share Analysis)을 통해 미래 항공기의 모델별 판매 대수를 예측함

- 항공사별로 분석을 수행할 수 없으며 국가 혹은 Global 단위로만 분석이 가능함

- 항공사별로 경제성 분석을 수행할 수 없기 때문에 EU-ETS, ICAO-ETS 등 항공사를 단위로 하는 정책 분석을 지원할 수 없음

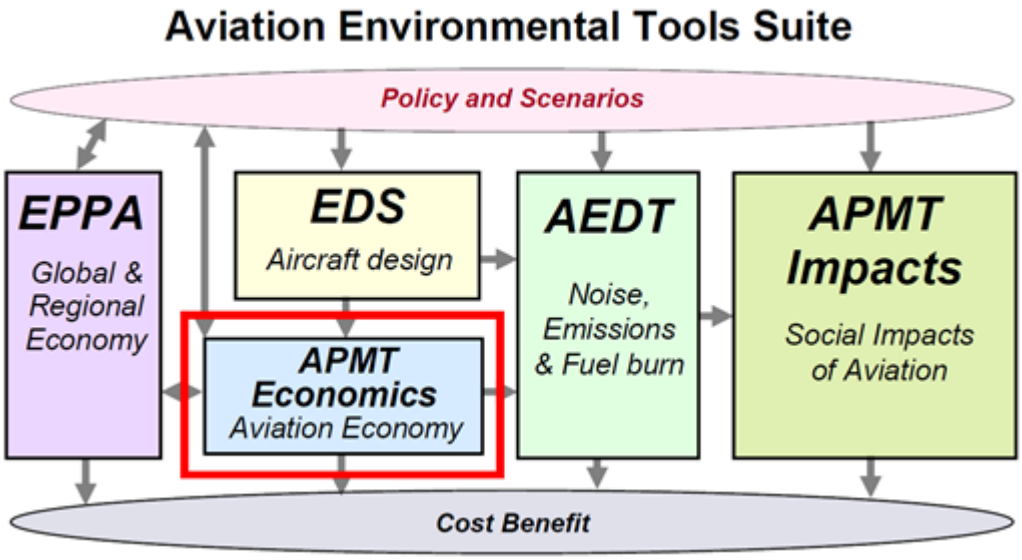


그림 30 미국 FAA의 항공 환경 툴들 중 APMT-E의 역할

○ 정책 결정 및 의사결정 지원 프로그램: GREAT

- GREAT(Global and Regional Environmental Aviation Tradeoff)는 미국 조지아 공대(Georgia Institute of Technology)에서 FAA의 PARTNER Project 14 Environmental Design Space의 일환으로 AEDT의 short version으로 개발

- Microsoft .NET framework를 기반으로 프로그래밍되어 있으며 MS EXCEL을 통해서 GUI를 구축하여 AEDT에 비해 사용이 매우 편리함

- GREAT는 조지아 공대에서 개발한 또 다른 FAA 환경 프로그램인 EDS와 간단히 연동되어 미래의 새 항공기에 의한 Fleet Level 온실가스 분석이 가능함

- APMT-E가 수행하는 기능인 미래 항공운항 스케줄을 자체적으로 생성할 수 있기 때문에 항공 환경관련 정책이나 신기술에 대한 Fleet Level의 장기

적(일반적으로 2010년~2050년)이고 거시적(미국 전체 또는 전세계 항공운항)인 효과를 수분 안에 계산할 수 있음

- 2014년 현재 거시적인 연료 사용량 및 공항 소음 계산 기능이 있으며 경제성 분석 기능은 없음

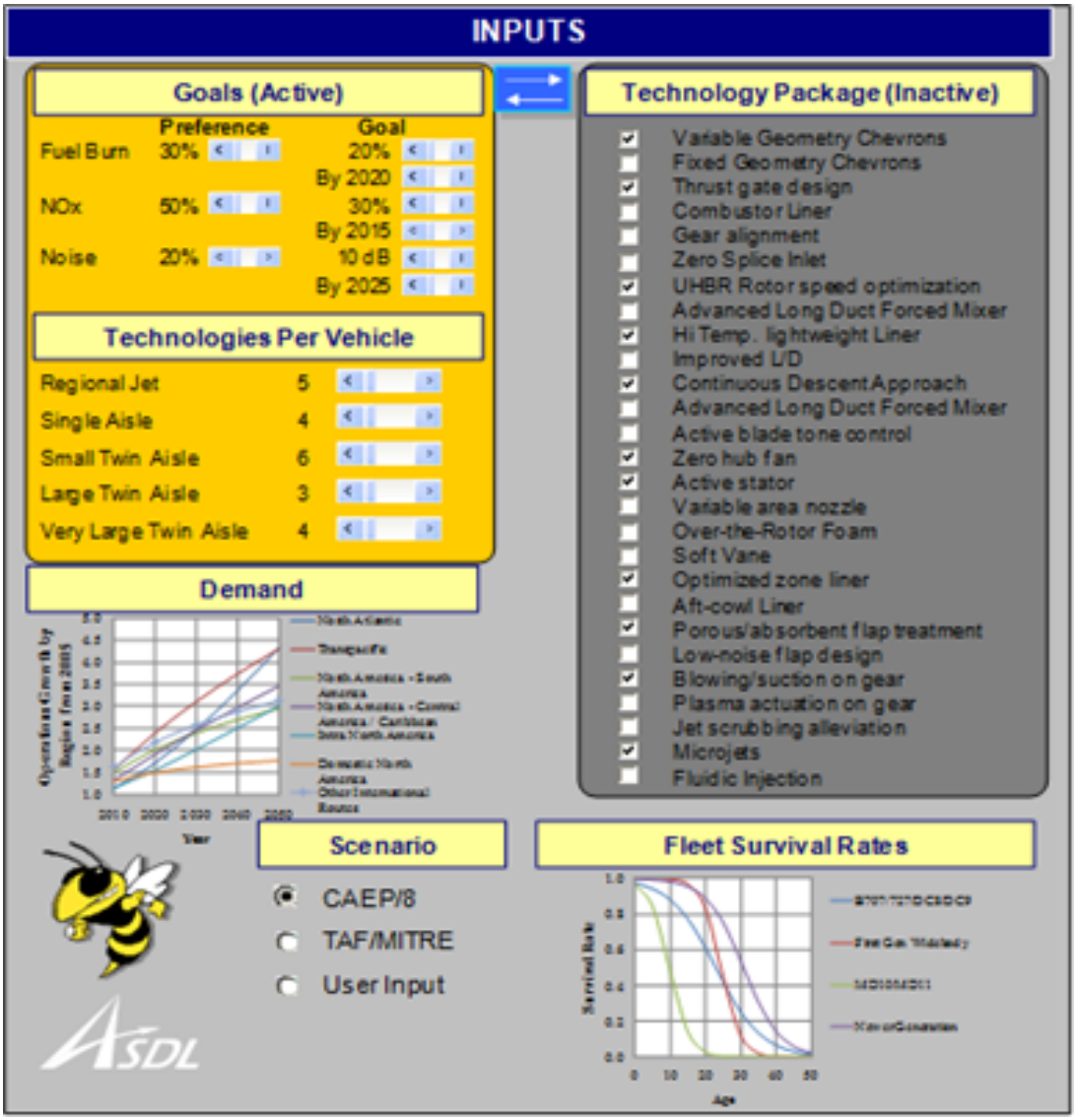


그림 31 GREAT의 입력 화면

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

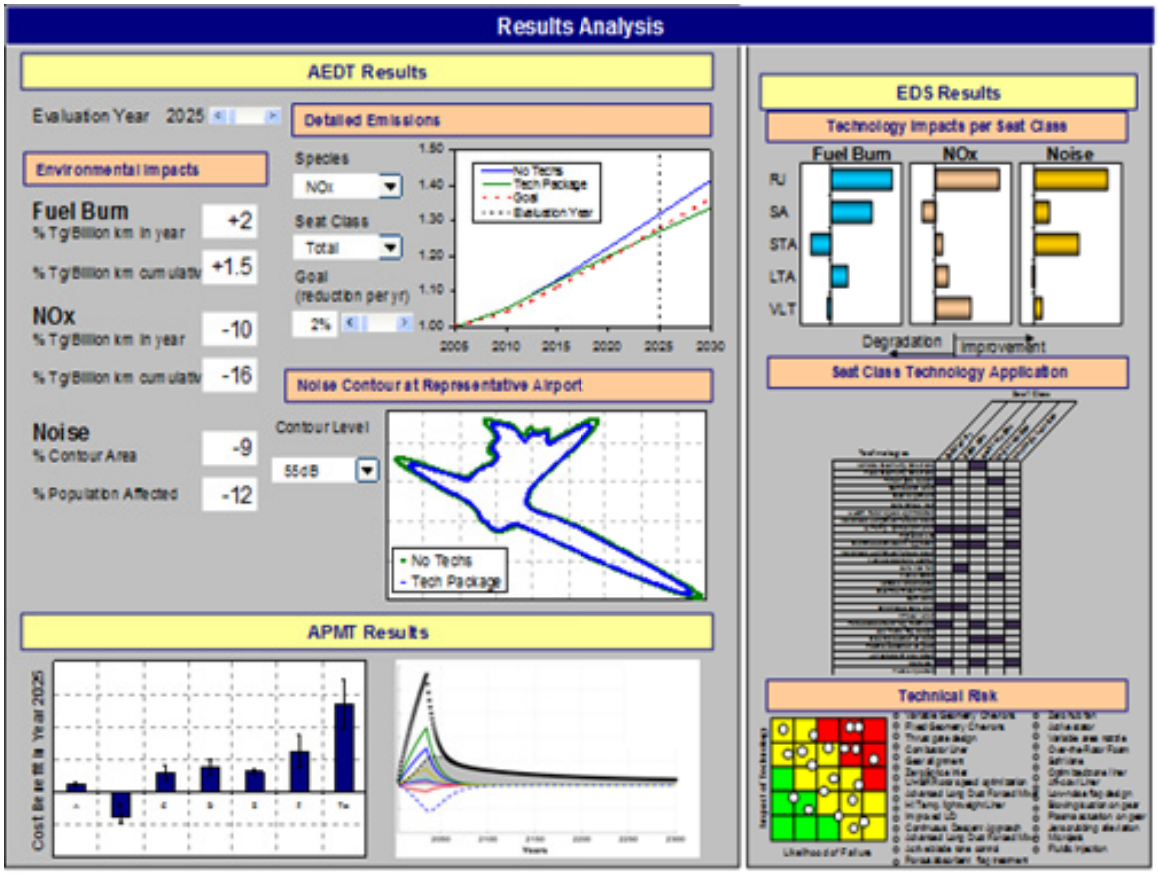


그림 32 GREAT의 출력 화면

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

2.3.2 현 시스템 한계점

○ 2.3.1절에서 제시한 해외 프로그램은 항공사에서 사용하는 경제성 분석 프로그램 중 일부 기능을 국내 일부 항공사에서 사용하고 있는 것으로 판단되나 EU-ETS나 ICAO-ETS에 대비하기는 역부족인 상황임

○ AERO-MS, APMT-E, GREAT와 같은 정책 의사결정 지원 프로그램은 해외 판매를 하지 않고 있음

○ 해외 프로그램은 소스 코드가 제공되지 않아 국내 상황에 맞게 프로그램의 추가/수정/변경이 불가능함

3. 시스템 개발 범위 및 목표

3.1 시스템 개발 범위

모듈	업무	업무범위	비고
감축수단별 경제성 분석 모듈	S/W개발	- 항공사 운항비용 sample DB 구축 - 항공사 및 정부기관 기능요구와 경제성 분석 모듈 기능 Mapping - 감축수단별 경제성 분석지원 모듈 알고리즘 개발 - 경제성 분석 Coding (MATLAB 또는 EXCEL 사용) - 항공사 운항비 DB를 사용한 온실가스 감축수단별 경제성 분석(일부)	
온실가스 관련 정책 의사결정 지원 모듈	S/W개발	- 온실가스 관련 정책 의사결정 지원 모듈 알고리즘 개발 - 의사결정 지원 Coding (MATLAB 또는 EXCEL 사용) - 의사결정 지원을 위한 국내 항공사 DB 일부 구축(국내 항공사 제공 시에만) - 구축된 DB를 사용한 중장기 온실가스 정책 의사결정 분석(일부)	
미래 운항 DB 구축	DB 구축	-미래 운항 DB 구축(구축 범위는 추후 확정)	

3.2 시스템 목표

○ 항공온실가스 감축수단 별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개발

- 온실가스 배출 국가 이행계획 수립과 탄소배출거래제 실시에 선제적으로 대응하기 위한 경제성 분석과 의사결정 지원 모듈 개발

- 총 5개 범주내 14가지의 감축 기술의 적용 시나리오에 따라(예: 항공사별, 노선별, 기종별 적용 범위 시나리오) 항공사의 직접운항비용에 미치는 영향을 분석할 수 있도록 개발

- 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

3.3 전체 시스템 구성도

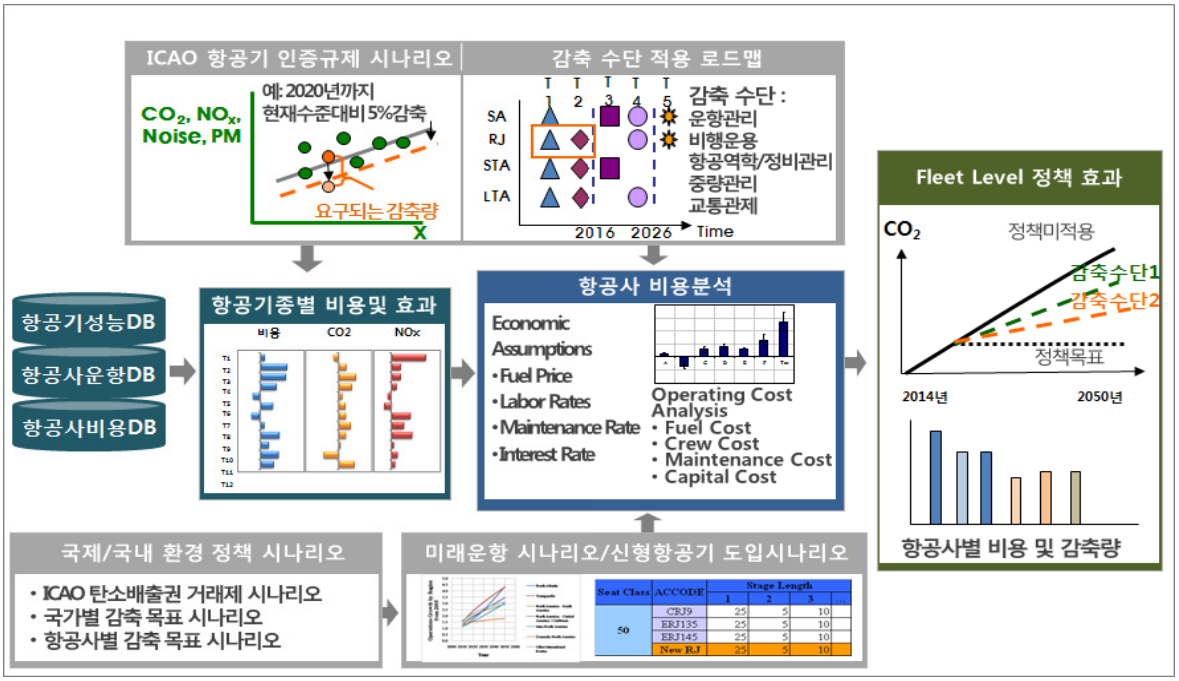


그림 33. 감축수단별 경제성분석 및 의사결정 지원 모듈 구성도

3.3.1 의사결정지원 모듈 흐름도

○ 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 정책효과를 분석하며, 이에 감축수단별 효과를 적용하여 감축수단별 정책효과 변화 및 비용/온실가스 감축량에 대한 분석을 통하여 정부 또는 항공사의 정책 수립에 대한 의사결정을 돕는 모듈임

○ 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈은 다음의 컴퍼넌트로 구성이 됨

- 사용자 입력 컴퍼넌트

  • GUI상에서 사용자가 경제성 분석 및 의사결정을 위한 분석의 범위, 시나리오 구성, 경제관련 변수 입력을 위한 컴퍼넌트 임

- 온실가스 감축량 예측 시스템 DB 서버와의 연동 컴퍼넌트

• 기본적으로 온실가스 산정 시스템에서 사용하는 공항, 항공기 성능, 미래 운항 스케줄 DB 등과 연동이 되어 필요한 데이터를 추출하며, 온실가스 예측 시스템에서 산출되는 감축수단별 온실가스 감축 효과 DB와 연동이 되어 필요한 데이터를 추출하여 사용함

- 항공사 비용 DB 컴퍼넌트

• 경제성 분석을 위한 별도의 DB로써 국적항공사의 협조를 얻어 항공사 비용 DB 구축이 필요하며, 또한 기본적인 평균치 데이터를 바탕으로 하되 사용자가 고유한 데이터를 이용하여 기본 데이터를 수정하여 사용 가능하도록 DB 구성

- 미래 운항 스케줄 생성 컴퍼넌트

• 장기적인 환경 정책, 감축수단 적용의 효과를 분석하기 위해 필요한 미래 운항 스케줄을 생성하는 컴퍼넌트 로써, 분석의 출발점이 되는 연도의 운항 스케줄을 바탕으로 사용자가 지정한 항공 수요 증가 가정에 따라 미래 운항 스케줄을 생성함

- 항공사 별, 기종별, 국가별 경제성 분석 컴퍼넌트

• 경제성 분석 알고리즘 컴포넌트는 사용자 입력 컴퍼넌트에서 정의된 분석 범위와 정책 시나리오, 각종 경제적 변수들의 가정과 DB 서버 시스템 컴퍼넌트에서 불러드린 데이터를 바탕으로 항공사들에 미치는 비용 효과를 계산함

- 거시적 정책 효과 분석 컴퍼넌트로 구성

• 거시적 정책효과분석 컴퍼넌트는 국제, 국내, 혹은 항공사별 항공온실가스 감축 정책 효과 및 비용을 분석하는 컴퍼넌트로, 사용자가 정의한 여러 가지 시나리오에 대해서 연간 온실가스 감축량과 비용효과를 분석하여 보여주며 다양한 표와 그래프로 의사 결정자에게 필요한 정보를 제공함.

○ 경제성 분석 및 의사결정 모듈의 각 컴퍼넌트 간의 데이터 흐름과 구성은 아

래와 같음

3.4 서브시스템별 내용 및 특징 (WBS)

3.4.1 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈

3.4.1.1 사용자 입력 컴퍼넌트

○ GUI상에서 사용자가 경제성 분석 및 의사결정을 위한 분석의 범위, 시나리오 구성, 경제관련 변수 입력을 위한 컴퍼넌트로 다음과 같은 기능을 담당하는 창으로 구성 됨

- 국/내외 항공 환경 정책 목표 시나리오 설정(예: 연간 1% 에너지 효율 목표 달성 혹은 2030년까지 베이스라인(Business as Usual, BAU) 대비 10% 달성)

- 항공사 별 자발적 감축 목표 설정

- ICAO 탄소배출권 거래제 시나리오 설정

  - 2020년 시행 예정인 ICAO의 탄소배출권 거래제(Emission Trading Scheme, ETS)의 시나리오를 설정
  - ICAO ETS 적용 범위(Scope of Applicability) 예: 국내 모든 항공사 포함 혹은 연간 매출액 50억 이상 항공사만 포함 등
  - 국가별 항공교통 탄소배출총량 설정(예: 2010-2014년 평균치의 97%, 95%, 93% 등)
  - 탄소배출총량의 항공사별 분배 및 경매 시나리오 설정

- 연구 범위 설정(예: 항공사, 기종, 노선, 국가 등)

- 감축 수단별로 항공사 및 기종별 적용 범위의 사용자 설정 혹은 온실가스 예측 모듈에서 찾아낸 최적의 감축 수단 조합을 입력

- 미래 운항 수요 증가 모델 설정(예: 아시아-북미 노선 연간 5% 교통량 증가 등)

- 미래 가상 친환경 항공기 성능 설정

- 온실가스 감축량 예측 시나리오의 범주에 들어가지 않는 미래의 친환경 항공기/엔진기술개발로 인한 항공기의 성능 향상 시나리오 설정(예: 보잉 777-300ER 항공기 대비 8% 연료 효율 향상)

- 신형 항공기 도입 및 기존 항공기 퇴역 범위 및 스케줄 설정

- 경제 변수 가정 설정(예: 항공류 가격, 항공기 구입을 위한 대출 이자율, 항공사의 discount rate, 항공기 퇴역 시 재판매 가격 등)

3.4.1.2 DB 서버시스템 컴퍼넌트

○ 기본적으로 온실가스 산정 시스템에서 사용하는 공항, 항공기 성능, 미래 운항 스케줄 DB 등과 연동이 되어 필요한 데이터를 추출하여 사용함

○ 온실가스 예측 시스템에서 산출되는 감축수단별 온실가스 감축 효과 DB와 연동이 되어 필요한 데이터를 추출하여 사용함

○ 경제성 분석을 위한 별도의 DB로써 항공사 비용 DB 구축이 필요함. 항공사 비용 DB는 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 기종 별 평균값을 사용할 수 있으며, 이상적으로는 국적 항공사들의 협조를 통해 국내 상황에 적합한 DB를 구축하는 것이 바람직 함

○ 또한 기본적인 평균치 데이터를 바탕으로 하되 사용자가 고유한 데이터를 이용하여 기본 데이터를 수정하여 사용 가능하도록 DB 구성

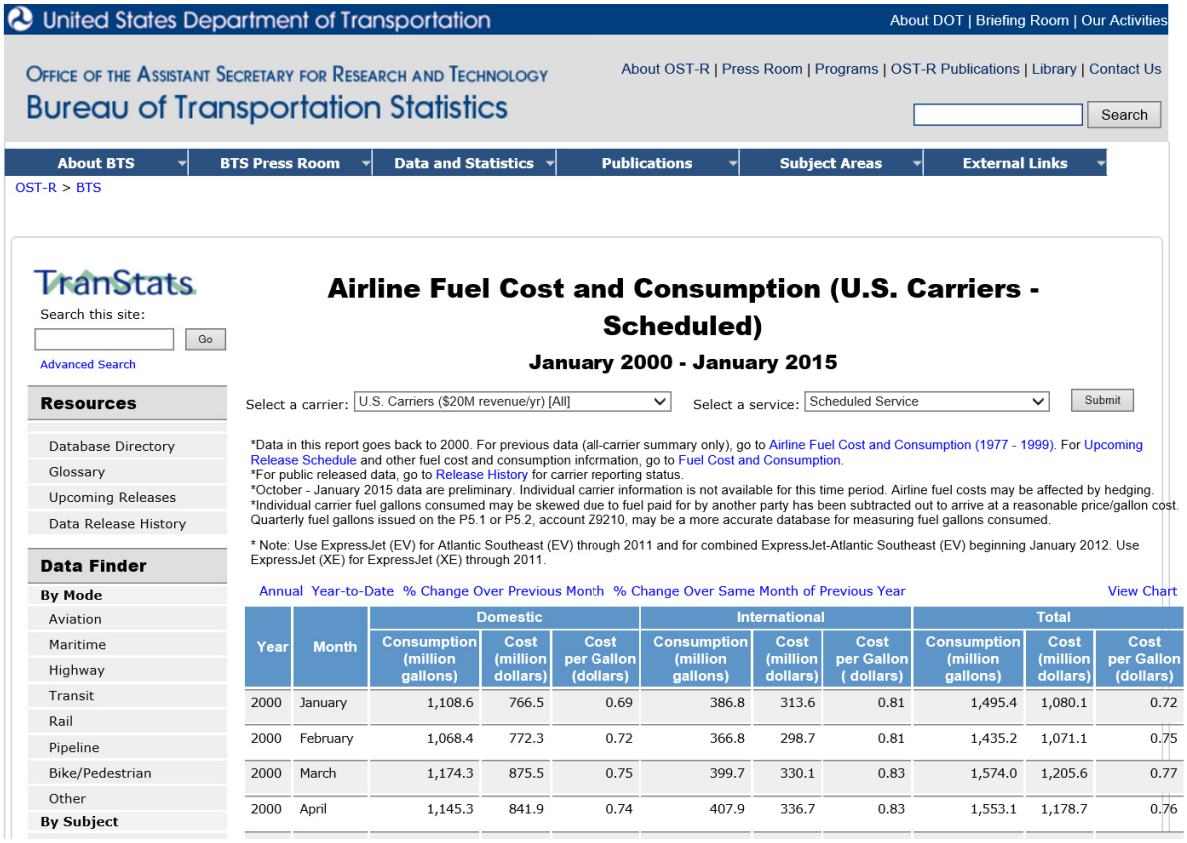


그림 34. 미국 교통국(DOT) 의 BTS 데이터 웹 포털

표 6. 미국 교통국 BTS의 Air Carrier Financial Data: Schedule P5.2의 항공사 비용 항목

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)**

3.4.1.3 미래 운항 스케줄 생성 컴퍼넌트

○ 장기적인 환경 정책, 감축수단 적용의 효과를 분석하기 위해 필요한 미래 운항 스케줄을 생성하는 컴퍼넌트로 분석의 출발점이 되는 연도의 운항 스케줄을 바탕으로 사용자가 지정한 항공 수요 증가 가정에 따라 미래 운항 스케줄을 생성함

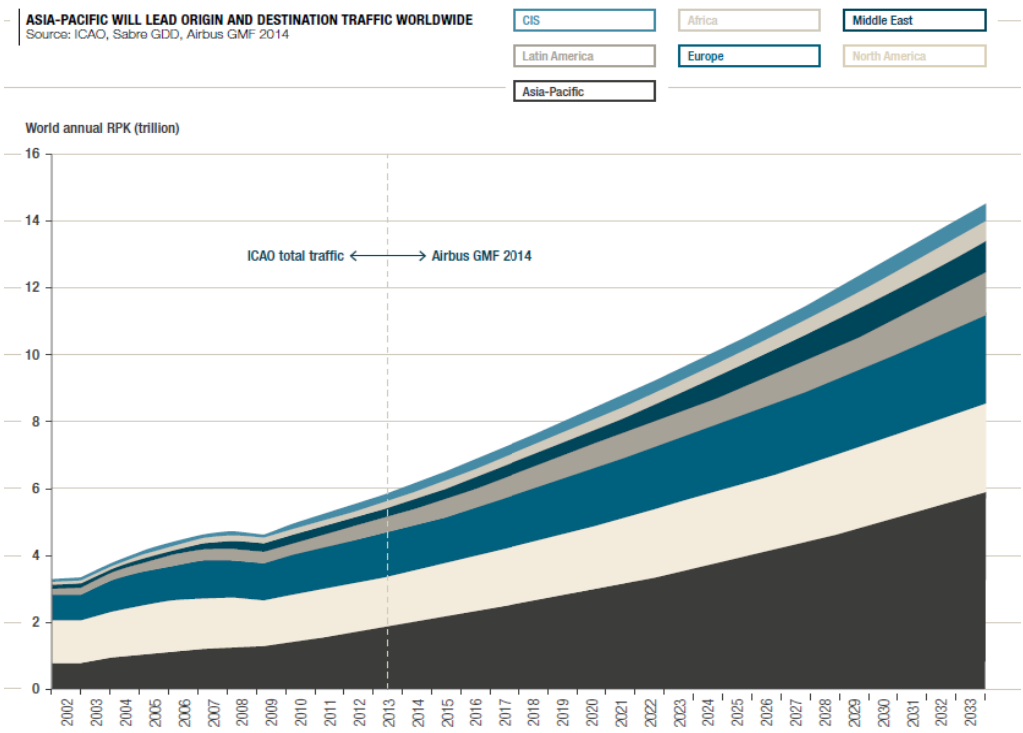


그림 35. 2014부터 2033까지 지역별 항공교통량 증가 예측 (출처: Airbus Global Market Forecast 2014-2033)

3.4.1.4 경제성 분석 알고리즘 컴퍼넌트

○ 경제성 분석 알고리즘 컴포넌트는 사용자 입력 컴퍼넌트에서 정의된 분석 범위와 정책 시나리오, 각종 경제적 변수들의 가정과 DB 서버 시스템 컴퍼넌트에서 불러드린 데이터를 바탕으로 항공사들에 미치는 비용 효과를 계산함

○ 항공사들에 미치는 비용은 직접운영비(Direct Operating Cost, DOC)에 해당되는 주요 비용항목은 다음의 네 항목이며, 필요에 따라 다른 항목도 추가할 수 있음

- 연료비(Fuel cost)

  • 항공기 운항을 위한 유류 구입비로 항공사에서 제공되는 데이터를 사용하기도 하며 비행단위단 산출을 위해서는 2세부과제(항공 온실가스 산정 모듈)에서 계산되는 연료사용 산정량을 바탕으로 항공류 가격을 곱해서 계산함

- 조종사 및 객실 승무원 비용(Flight crew and cabin crew costs)

  • 기종별/노선별로 항공사에서 제공받은 데이터를 사용할 수 있으며, 대안으로는 항공기의 클래스별로(regional jet, single aisle, twin-aisle, large quad, freighter, business jet 등) 비행시간 당 파일럿 및 승무원 평균비용을 BTS 데이터 등의 자료를 통해 계산할 수 있음

- 항공기 정비 비용(Maintenance and overhaul)

  • 기종별/노선별로 항공사에서 제공받은 데이터를 사용할 수 있으며, 대안으로는 항공기의 클래스별로(regional jet, single aisle, twin-aisle, large quad, freighter, business jet 등) 비행시간 당 항공기 정비 비용(인건비와 부품비 포함) BTS 데이터 등의 자료를 통해 계산할 수 있음

- 항공기 구매 혹은 리스 비용(Ownership cost including Depreciation and Amortization)

  • 일반적으로 항공기 구매는 융자(finance)를 통하게 되므로 금융비용(이자)이 포함되며 그 외 감가상각도 항공기의 예상 수명에 대하여 계산함

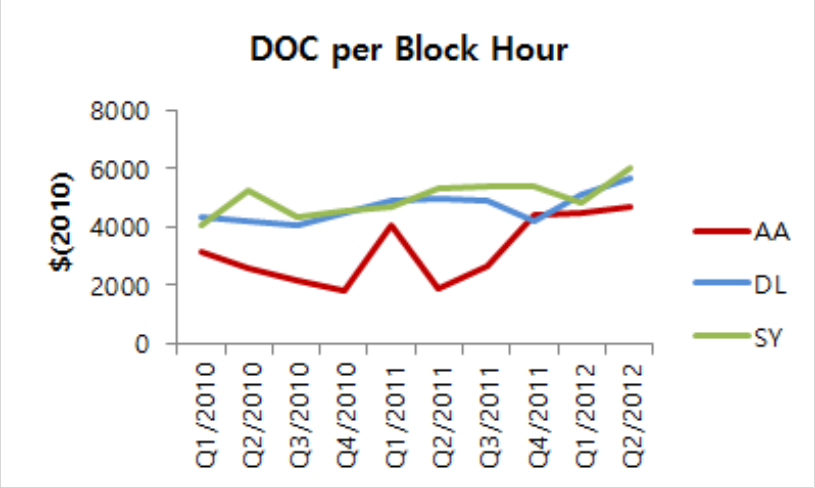


그림 36. 미국 BTS Form 41 데이터를 분석한 2010-2012 년 미국의 American Airlines(AA), Delta Airlines(DL), Sun Country(SY)의 분기별 시간당 직접운영비 변화

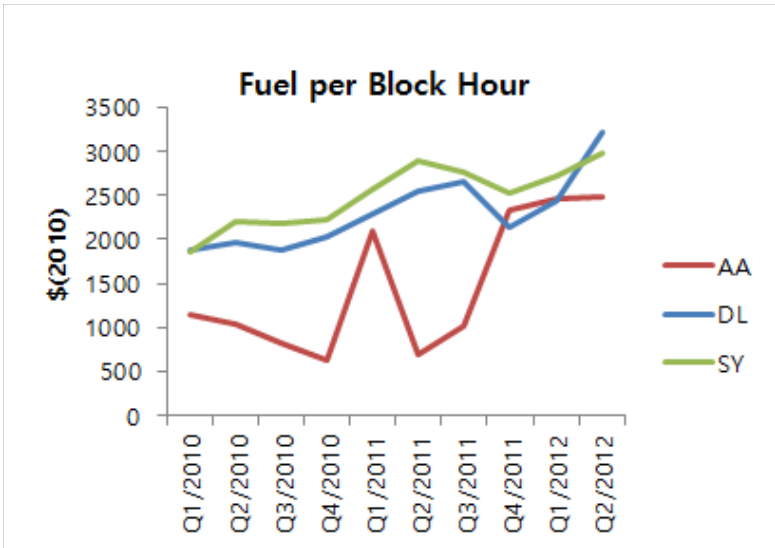


그림 37. 미국 BTS Form 41 데이터를 분석한 2010-2012 년 미국의 American Airlines(AA), Delta Airlines(DL), Sun Country(SY)의 분기별 시간당 연료비용 변화

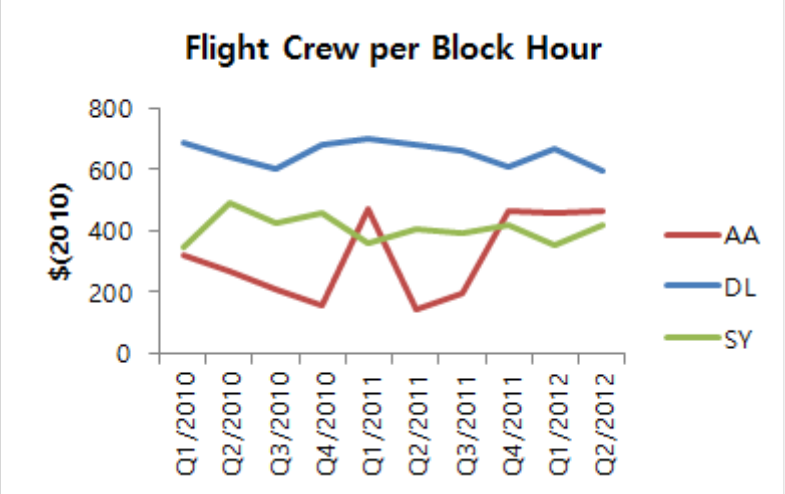


그림 38. 미국 BTS Form 41 데이터를 분석한 2010-2012 년 미국의 American Airlines(AA), Delta Airlines(DL), Sun Country(SY)의 분기별 시간당 조종사 인건비 변화

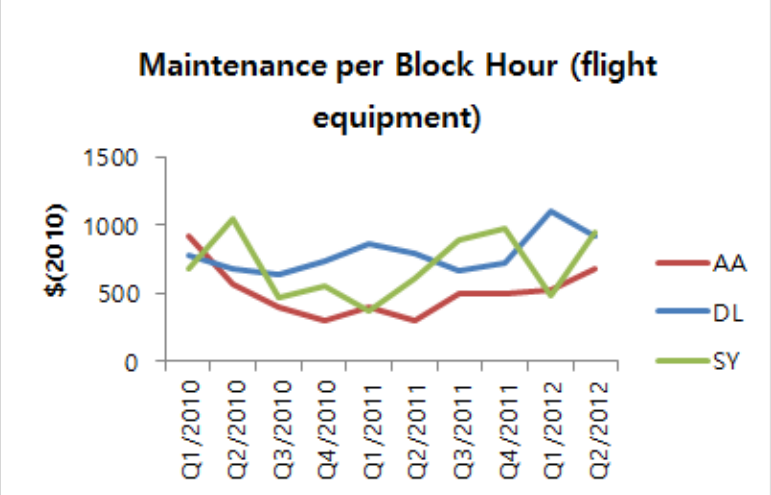


그림 39. 미국 BTS Form 41 데이터를 분석한 2010-2012 년 미국의 American Airlines(AA), Delta Airlines(DL), Sun Country(SY)의 분기별 시간당 항공기 정비비 변화

○ 경제성 분석을 위한 세부 알고리즘은 추후 모듈 상세설계를 통해 결정이 되며 기본적으로 고려해야 하는 알고리즘들은 다음과 같음

- 항공사 Cashflow 분석 알고리즘

• 연도별로 해당항공사의 총 수입과 총 지출을 계산함
• 사용자가 입력하는 discount rate을 사용하여 기준연도로 환산한 net present value (NPV)를 계산함

- 신형항공기 시장 점유율 계산 알고리즘(Market Share Model)

  - 미래에 발생하는 항공기 도입 수요를 계산함
  - 항공기 도입 수요는 두 가지 이유로 발생함
  - 첫째는 기존의 항공기들이 퇴역하는 경우 그 자리를 대체하기 위해 신규 도입이 필요함
  - 두 번째는 미래에 교통량이 증가함으로써 늘어나는 교통량을 수용하기 위해 항공사의 capacity (Available Seat Kilometer 혹은 Available Tonn Kilometer 로 계산)를 늘리기 위해 항공기 도입 수요가 발생함
  - 도입이 가능한 항공기들의 목록을 항공기 클래스와 최대운항거리(maximum range)별로 구성하여 항공사가 어떤 기종을 선정할 것인지에 대한 알고리즘을 개발함

- 항공권 가격과 항공교통 수요 간의 상관관계 분석 알고리즘(옵션)

  - 항공환경정책의 영향으로 항공사의 비용 부담이 장기적으로 늘어나면 항공사들은 항공권 가격을 올리는 정책으로 대응을 할 수 있으며 그 때에는 항공교통 수요에 영향을 미칠 수 있으므로 항공권 가격과 항공교통 수요간의 상관관계를 계산하는 알고리즘이 필요함

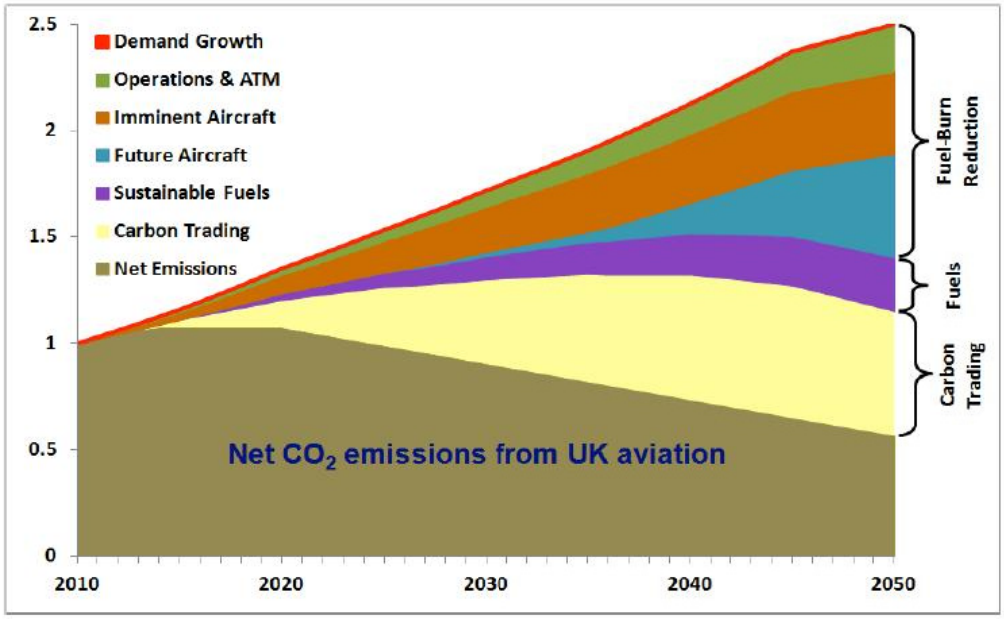
3.4.1.5 거시적 정책효과 분석 컴퍼넌트

○ 거시적 정책효과분석 컴퍼넌트는 국제, 국내, 혹은 항공사별 항공온실가스 감축 정책 효과 및 비용을 분석하는 컴퍼넌트로 사용자가 정의한 여러 가지 시나리오에 대해서 연간 온실가스 감축량과 비용효과를 분석하여 보여주며, 다음과 같은 주요 그래프를 산출함

- 사용자가 지정한 분석 범위 내에서 세부 범위별 감축량의 상대적 기여도를 계산하여 정책 적용 우선순위 판단을 도와 줌

- 전체 분석 기간(예: 2015년부터 2050년까지) 동안 연간 또는 누적된 감축량 및 비용 증감을 보여줌

- 사용자가 설정한 여러 가지 정책 시나리오별 차이를 보여 줌으로써 정책 의사 결정에 기여함



(Sustainable Aviation CO_2 Road Map 2012)

그림 40. 감축수단별 항공온실가스 배출 감축 효과 예시(출처: 영국 Sustainable Aviation http://www.sustainableaviation.co.uk/)

4. 목표시스템 운영 시나리오

4.1 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원

4.1.1 감축수단별 경제성분석 및 의사결정 지원 모듈 시나리오 구성도

○ 시나리오는 총 3가지로 구분되며, 정부 관점, 정부지원기관 관점, 항공사 관점별로 지원하는 시나리오가 다르게 구성될 수 있음

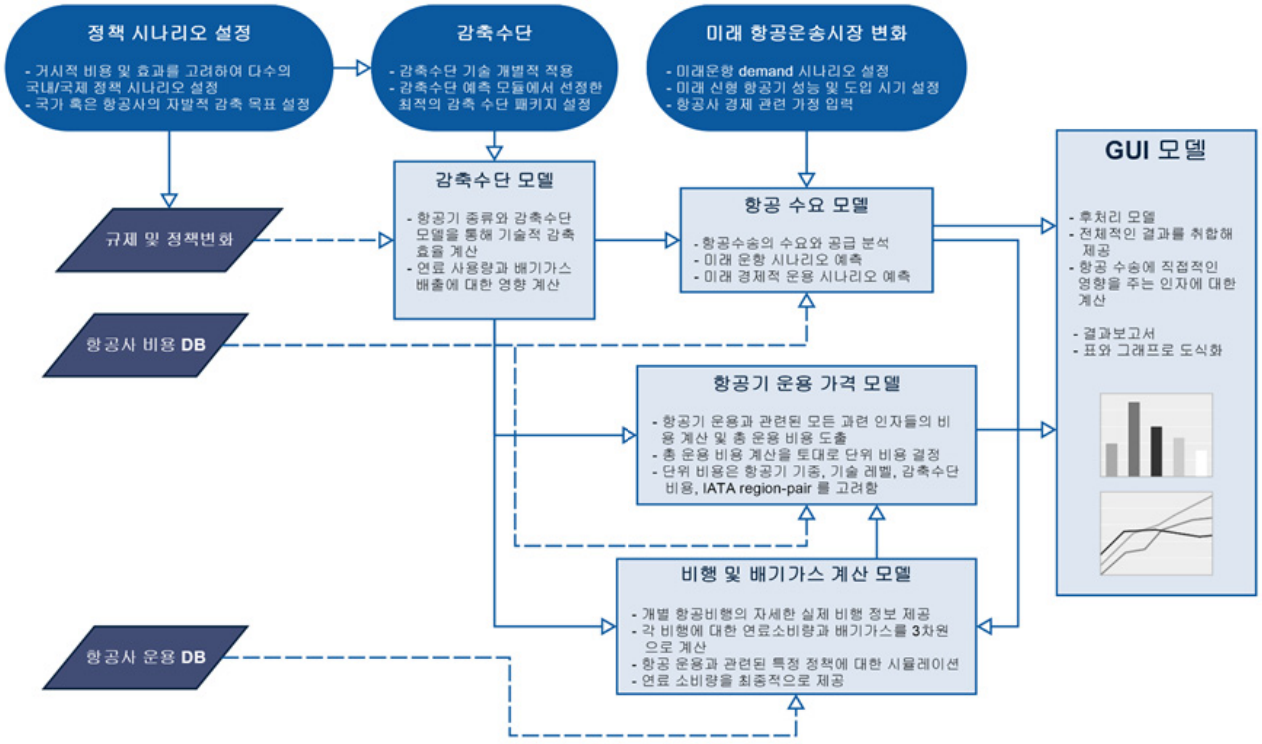


그림 41. 감축수단별 경제성분석 및 의사결정 지원 모듈 흐름도

4.1.1.1 감축수단별 경제성분석 및 의사결정 지원 모듈 시나리오

○ 정부기관/국내 정책 개발용

- 국내 항공 환경 정책 목표 시나리오 설정(예: 연간 1% 에너지 효율 목표 달성 혹은 2030년까지 베이스라인(Business as Usual, BAU) 대비 10% 달성)

- 정책범위 및 경제적인 영향을 받는 주체 설정(예: 국적 항공사 혹은 국내 취항 외국 항공사)

- 감축수단을 적용하지 않은 현상태(BAU)에 미치는 영향 분석

- 감축 수단별로 항공사 및 기종별/노선별 적용 범위의 사용자 설정 혹은 온실가스 예측 모듈에서 찾아낸 최적의 감축 수단 조합을 입력

- 미래 운항 수요 증가 모델 설정(예: 한-중 노선 연간 5% 교통량 증가 등)

- 미래 가상 친환경 항공기 성능 설정

- 신형 항공기 도입 및 기존 항공기 퇴역 범위 및 스케줄 설정

- 경제 변수 가정 설정(예: 항공유 가격, 항공기 구입을 위한 대출 이자율, 항공사의 discount rate, 항공기 퇴역 시 재판매 가격 등)

- 다양한 정책수단 별로 비용 대 효과를 목표 달성에 효과적인 정책 수립의 근거로 사용

○ 정부기관/국제정책 결정 과정 참여

- 국제민간항공기구(ICAO)에서 개발하고 있는 ICAO CO2 Standard가 국내 항공산업에 미치는 영향 분석

- 국제민간항공기구(ICAO)에서 개발하고 있는 국제 항공시장 기반 체제(Global Market Based Measures, GMBM)가 국내 항공산업에 미치는 영향 분석

- 감축수단을 적용하지 않은 현상태(BAU)에 미치는 영향 분석

- 감축 수단별로 항공사 및 기종별/노선별 적용 범위의 사용자 설정 혹은 온실가스 예측 모듈에서 찾아낸 최적의 감축 수단 조합을 입력

- 미래 운항 수요 증가 모델 설정(예: 한-중 노선 연간 5% 교통량 증가 등)

- 미래 가상 친환경 항공기 성능 설정

- 신형 항공기 도입 및 기존 항공기 퇴역 범위 및 스케줄 설정

- 경제 변수 가정 설정(예: 항공유 가격, 항공기 구입을 위한 대출 이자율, 항공사의 discount rate, 항공기 퇴역 시 재판매 가격 등)

- 다양한 정책수단 별로 비용 대 효과를 목표 달성에 효과적인 정책 수립의 근거로 사용

○ 정부지원기관

- 정부기관이나 항공사에서 사용하는 시나리오와 동일한 시나리오를 분석하는 것이 가능함

- 항공사나 정부만 보유한 데이터가 있을 수 있으므로 민간에 개방된 데이터를 별도 입력하여 사용할 수 있는 기능이 있음

- 정부나 항공사에서 설정한 미래 교통량 증가 가정이나, 경제성 가정들과는 다른 가정들을 설정함으로서 개관적인 평가 및 검증 활동을 수행함

○ 항공사

- 항공 온실가스 감축수단별 온실가스 배출량 및 비용분석을 통한 감축 계획 수립

- 국/내외 정책이 항공사에 미치는 경제성 영향 분석

- 신형항공기 도입에 대한 온실가스 감축 및 비용분석

- 항공사 별 자발적 감축 목표 설정

- 표준데이터가 아닌 자체 보유 데이터를 입력하여 경제성 분석 가능

- 분석하고자 하는 정책범위 설정(예: 국내 전체 노선, 국제 전체 노선, EU 노선 등)

- 감축수단을 적용하지 않은 현상태(BAU)에 미치는 영향 분석

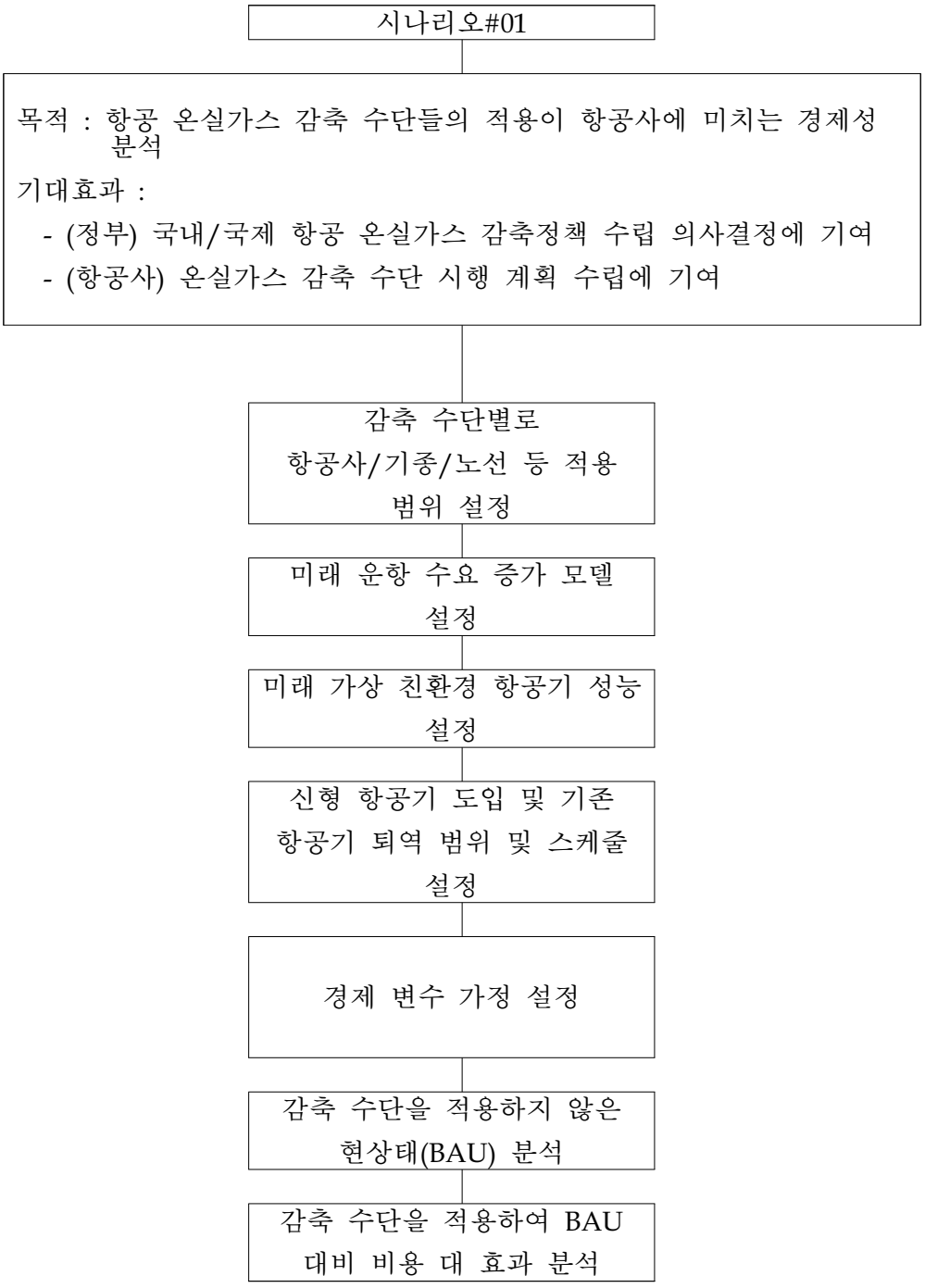
- 감축 수단별로 기종별/노선별 적용 범위의 사용자 설정 혹은 온실가스 예

측 모듈에서 찾아낸 최적의 감축 수단 조합을 입력

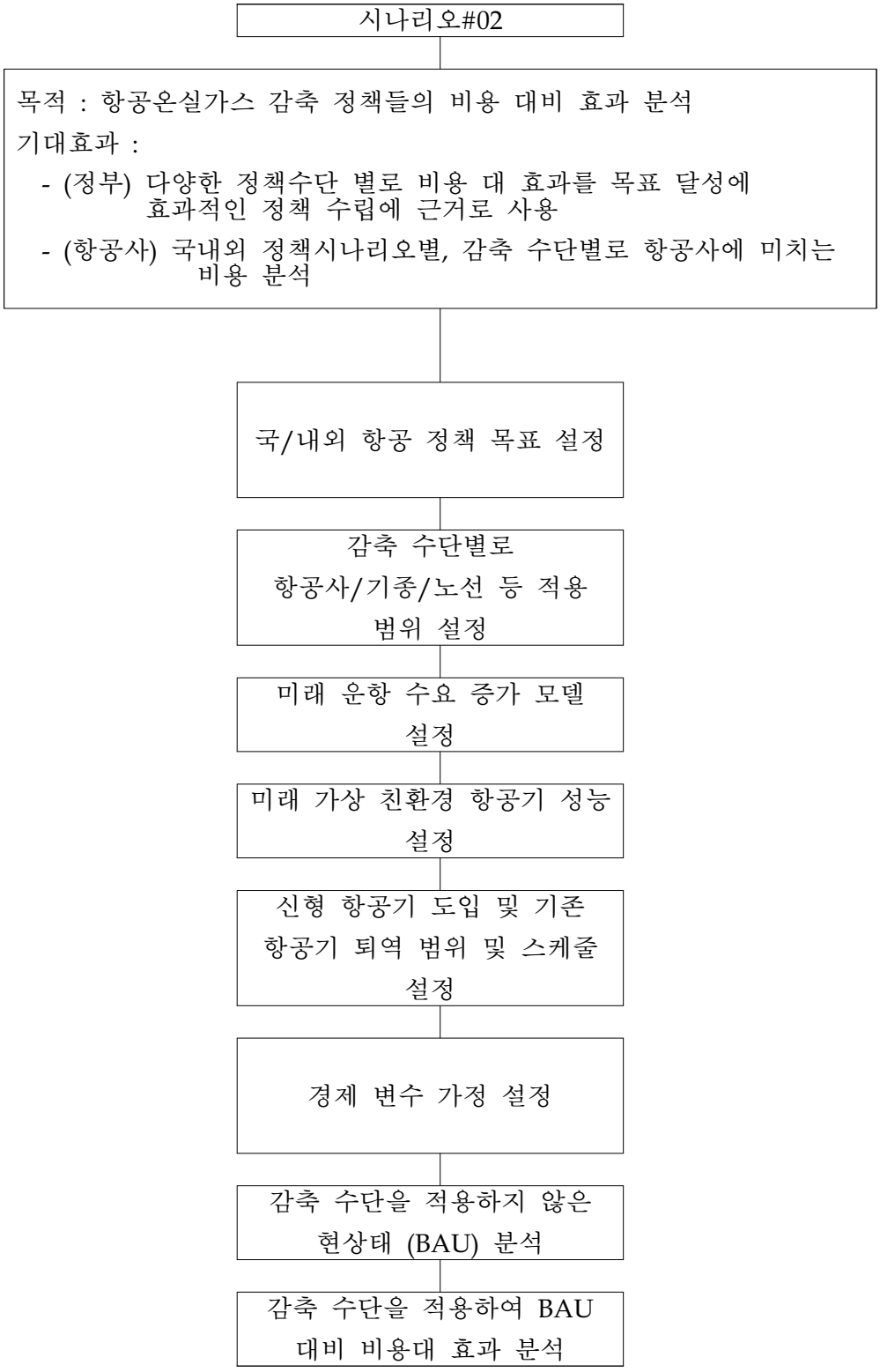
- 미래 운항 수요 증가 모델 설정(예: 김포-제주 노선 연간 5% 교통량 증가 등)
- 미래 가상 친환경 항공기 성능 설정
- 신형 항공기 도입 및 기존 항공기 퇴역 범위 및 스케줄 설정
- 경제 변수 가정 설정(예: 항공유 가격, 항공기 구입을 위한 대출 이자율, 항공사의 discount rate, 항공기 퇴역 시 재판매 가격 등)
- 정책 시나리오별, 감축 수단별 항공사에 미치는 비용 분석

4.1.2 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 적용

○ 시나리오1 : 감축수단 적용 비용 대비 효과 분석



○ 시나리오2 : 국내/국제 항공환경 정책 비용 대비 효과 분석



4.1.3 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 운영 흐름도

구분	단계별 내용	세부내용	비고
1	정책 시나리오 설정	정책 시나리오 설정 1. 거시적 비용 및 효과를 고려하여 다수의 국내/국제 정책 시나리오 설정 2. 국가 혹은 항공사의 자발적 감축 목표 설정	
2	감축수단 입력	적용되는 감축수단 선정 1. 감축수단 기술 개별적 적용 2. 감축수단 예측 모듈에서 선정한 최적의 감축수단 패키지 설정	
3	미래 경제/운항/기술관련 가정 입력	경제/기술관련 변수 가정 입력 1. 미래운항 demand 시나리오 설정 2. 미래 신형 항공기 성능 및 도입 시기 설정 3. 항공사 경제 관련 가정 입력	
4	DB 서버시스템 자료 추출	필요 DB 산출 1. 2세부과제 DB 이용(공항/항공기/항공로 등) 2. 1세부과제 DB 이용(각 항공사에서 입력한 DB 자료 추출) 3. 3세부 DB 이용(감축 수단별 온실가스 예측 데이터)	
5	데이터처리모듈	감축량 데이터 처리 모듈 1. 1, 2, 3 세부과제에서 불러들인 데이터를 경제성 분석 모듈에서 요구하는 포맷으로 가공하여 저장함 2. 항공사 비용 DB에서 필요한 데이터 읽어 들임 3. 항공사 비용 DB에서 누락된 데이터가 있는 경우, 사용자가 직접 입력	
6	항공사 비용분석 알고리즘	항공사 비용분석 알고리즘 1. 1, 2, 3 단계에서 정의된 분석 범위와 정책 시나리오, 각종 경제적 변수들의 가정과 4, 5 단계에서 처리된 데이터를 바탕으로 항공사들에 미치는 비용 효과를 계산함 2. 항공사들에 미치는 비용은 직접운영비를 계산하며, 잠재적으로 항공사 Cashflow 분석, 신형항공기 시장 점유율 분석, 항공교통 수요 분석 수행	
7	정책 비용 및 효과 도출	정책 비용 및 효과 도출 1. 결과보고서 2. 표와 그래프로 도식화	

○ 1단계

- 국/내외 항공 환경 정책 목표 시나리오 설정(예: 연간 1% 에너지 효율 목표 달성 혹은 2030년까지 베이스라인(Business as Usual, BAU) 대비 10% 달성)

- 항공사 별 자발적 감축 목표 설정

- ICAO 탄소배출권 거래제 시나리오 설정

○ 2단계

- 경제성 분석 설정(예: 항공사, 기종, 노선, 국가 등)

- 감축 수단별로 항공사 및 기종별 적용 범위의 사용자 설정 혹은 온실가스 예측 모듈에서 찾아낸 최적의 감축 수단 조합을 입력

○ 3단계

- 미래 운항 수요 증가 모델 설정(예: 아시아-북미 노선 연간 5% 교통량 증가 등)

- 미래 가상 친환경 항공기 성능 설정

- 신형 항공기 도입 및 기존 항공기 퇴역 범위 및 스케줄 설정

- 경제 변수 가정 설정(예: 항공유 가격, 항공기 구입을 위한 대출 이자율, 항공사의 discount rate, 항공기 퇴역 시 재판매 가격 등)

○ 4단계

- 온실가스 산정 시스템에서 사용하는 공항, 항공기 성능, 미래 운항 스케줄 DB 등과 연동하여 필요한 데이터 추출

- 온실가스 예측 시스템에서 산출되는 감축수단별 온실가스 감축 효과 DB와 연동이 되어 필요한 데이터 추출

○ 5단계

- 1, 2, 3 세부에서 추출한 데이터를 가공하여 경제성 분석 모듈에서 요구하는 포맷으로 가공하여 저장

- 항공사 비용 DB에서 필요한 데이터 불러옴

- 항공사 비용 DB에서 누락된 데이터가 있는 경우, 사용자가 직접 입력

○ 6단계

- 1, 2, 3 단계에서 정의된 분석 범위와 정책 시나리오, 각종 경제적 변수들의 가정과 4, 5 단계에서 처리된 데이터를 바탕으로 항공사들에 미치는 비용 효과를 계산함

- 항공사들에 미치는 비용은 직접운영비(Direct Operating Cost, DOC)를 계산하며, 잠재적으로 항공사 Cashflow 분석, 신형항공기 시장 점유율 분석(Market Share Analysis), 항공교통 수요분석 수행

○ 7단계

- 마지막 단계로 국제, 국내, 혹은 항공사별 항공온실가스 감축 정책 효과 및 비용을 분석하는 컴퍼넌트로, 사용자가 정의한 여러 가지 시나리오에 대해서 연간 온실가스 감축량과 비용효과를 분석하여 보여주며, 결과 보고서, 그래프, 표로 도식화 됨

- 사용자가 지정한 분석 범위 내에서 세부 범위별 감축량의 상대적 기여도를 계산하여 정책 적용 우선순위 판단을 도와줌

- 전체 분석 기간(예: 2015년부터 2050년) 동안 연간 또 누적된 감축량 및 비용 증감을 보여줌

- 사용자가 설정한 여러 가지 정책 시나리오별 차이를 보여줌으로써 정책 의사 결정에 기여함

5. 목표시스템 구축에 의한 변경사항

5.1 변경사항

○ 2009년 12월 건설교통기술평가원에서 R&D로 발주한 교통부문 온실가스 관리 시스템(Korea Transport Emission Management System, KOTEMS)은 도로, 철도, 항공, 해운 등 각 교통수단별 온실가스 인벤토리 개발하고 통합 관리하는 시스템으로 크게 온실가스 배출량 정보시스템, 온실가스 목표관리 지원시스템, 온실가스 저감효과평가시스템으로 구성되어 있음

○ 목표 시스템인 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템은 KOTEMS의 항공부문에 대한 온실가스 관련 기능을 모두 포함하고 있으며, 추가적으로 온실가스 관련 국가 정책 업무를 지원할 수 있는 기능을 포함하고 있음

○ 또한, KOTEMS에 반영되지 않은 배출량 산정, 감축량 예측 및 경제성분석/의사결정지원 S/W를 클라이언트/서버 방식으로 개발하여 Tier 1, 2는 물론 3b급으로 배출량 산정이 가능하고 감축수단 적용을 통한 감축량 예측 기능을 포함하고 있으며, 국내·외 항공 온실가스 관련 정책/규제 등의 시나리오 및 감축수단 적용을 통한 경제성 분석 및 의사결정을 지원하는 기능이 포함되어 있음

5.2 변경사항의 당위성

○ 시스템 활용적 측면

- 기존에 개발된 KOTEMS는 항공부문에 대해 연차별 통계치만 제공되므로 사용자인 항공사는 해당 시스템에서 제공되는 데이터를 활용하여 자사의 정책 결정에 활용이 어려움

- 항공사에서 개별적으로 관리하고 있는 시스템(자동 또는 수동)과 데이터 연동에 어려움이 있어 기본 데이터 제공자인 항공사의 활용이 부진함

○ 국내·외 온실가스 관련 정책 대응 시스템 부재

- KOTEMS는 목표관리제, 항공부문 온실가스 인벤토리 보고서(NIR), 항공부

문 국가이행계획, 항공사 자발적 협약, 배출권거래제, ICAO MBMs 등과 같은 국내·외 온실가스 관련 정책 업무를 대응하기 위한 서비스가 제공되지 않는다. 또한 IPCC Tier2급의 산출 방법을 사용하고 있으며, 감축량 예측의 기능을 가지고 있지 않음

- 국외는 Aero2K, AEDT, FAST 등의 여러 항공 온실가스 추정 S/W를 활용하고 있으나, 국내는 온실가스를 산정 및 예측할 수 있는 시스템이 존재하지 않아 정량적 산정 및 예측이 어려운 실정임

○ 국외 S/W 활용의 어려움 및 국내 IPCC Tier3b급 산정 및 예측 S/W 부재

- 항공사는 항공기의 경제적 운항과 항공분야 연료사용량 및 온실가스 배출량 최소화에 기여하고 국내·외 온실가스 배출규제에 효과적으로 대응하기 위해 항공온실가스 산정 및 예측 시스템이 필요함

- 목표 시스템인 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템은 감축수단별 경제성 및 의사결정 기능지원, 감축수단별 저감효과 분석, 감축/기종/시나리오별 연료감축량을 분석하여 최적의 항공 온실가스 감축수단을 선정할 수 있게 함

- Tier 3b급 알고리즘이 탑재된 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템을 구축하여 ICAO 규제에 대한 능동적 대응 기술력을 확보하고, 항공기의 경제적 도입 및 최적화된 운항 정보를 제공하여, 국제 경쟁력을 강화함

6. 목표시스템 분석

6.1 장점

○ 항공기 운항을 경제적이고 효과적인 운항체계 도출이 가능해짐

○ 감축기술에 따른 감축량 예측 알고리즘은 각종 정책의 수립, 집행, 효과분석 등의 근거로 활용이 가능해짐

- 항공온실가스 저감정책 수립 시 근거자료로서 정부 관리주체인 국토교통부 담당자들이 성과지표와 목표를 설정하여 계획 수립 활용이 가능해짐

○ 경제성분석 및 의사결정지원 모듈을 통해 항공기 도입 시 경로당 연료 절약 및 이에 따른 환경 부가세 절약 결과 도출이 가능해짐

○ 경제성분석 및 의사결정지원 모듈을 통해 활주로 확장 및 신공항 건설 시 요구되는 정량적인 환경적 영향 분석 및 의사결정 지원이 가능해짐

6.2 단점 및 제한사항

○ 지속적인 유지보수 비용이 발생되어야 함

- 신 기종별 항공기 개발에 따른 항공기 성능 제원 필요

- 온실가스를 감축할 수 있는 신기술이 개발되면 이에 따른 적용 알고리즘도 개발되어야 함

○ 항공 온실가스 감축량 예측시스템은 외부 DB에서 필요한 자료를 불러오는 방식이므로 모듈을 실행하는 동안은 외부 인터넷이 연결되어 있어야함.

○ 사용자가 감축량 예측을 정확히 하기위해서는 실데이터가 존재하여야 하며, 실데이터가 없을 시 DB에서 제공되는 표준 데이터 값을 이용하게 되고 이는 오차범위가 발생할 수 있음.

○ 항공사가 감축량을 예측하기 위해서는 지속적인 감축량이 산정되어야 하며, 산정된 결과 값은 1세부 DB 에 포함되어 있어야함.

- 1세부 DB에 포함되어 있지 않으면 항공사는 산정이 가능한 모집단을 구성될 때까지 직접 입력을 해야 함.

6.3 대안별 비교분석

○ 예측 모듈에 적용된 감축기술이 영구적인 감축적용기술이 아니기 때문에 유지보수를 통해 스펙을 향상시켜야하며, 이에 따른 유지보수비용이 발생함에 따라 지속적인 투자를 지원해야 함.

- 온실가스를 감축할 수 있는 신기술이 개발되면 이에 따른 적용 알고리즘도 개발될 수 있도록 지원해야 함.

○ DB에서 제공되는 표준 데이터 값을 이용하게 될 시 오차범위를 줄일 수있는 방안을 지속적으로 모색해야 함.