

기존 온실가스 배출량 산정 알고리즘 조사분석서

성과물 (A-1-①)

2015.8.21

공동연구기관 / 한국과학기술원

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

기존 온실가스 배출량 산정 알고리즘 조사분석서

성과물 (A-1-①)

2015. 5. 30

공동연구기관/한국과학기술원



제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발" 과제의 기존 온실가스 배출량 산정 알고리즘 조사분석서로 제출합니다.

2015 . 5 . 30

공동연구기관명	:	한국과학기술원
공동연구책임자	:	백 승 욱
연구원	:	이 주 성
"	:	최 한 림
"	:	안 재 명
"	:	금 동 석
"	:	이 동 일
"	:	유 정 민
"	:	전 우 진
"	:	구 본 찬
"	:	이 동 기
"	:	원 종 한
"	:	윤 지 수
"	:	이 단 일
"	:	석 준 홍
"	:	김 금 성
"	:	조 두 현
"	:	정 성 식
"	:	성 태 현
"	:	조 병 운
"	:	진 현 환
"	:	김 재 환
"	:	김 현 준
"	:	김 요 한
"	:	주 형 국
"	:	강 진 건
"	:	손 영 호
"	:	윤 선 영
"	:	윤 승 제
연구원보	:	최 혜 원
"	:	김 영 주
"	:	윤 현 수

본 문서의 범위

본 “기존 알고리즘 조사 분석서” 문서는 다음과 같은 내용들을 담고 있음

1. 현재 존재하는 온실가스 배출량 산정과 관련된 알고리즘에 대하여
 - 각 알고리즘의 개괄적인 정보와 특징
 - 국내 활용을 고려했을 때의 한계점
2. 제시된 알고리즘들 중 AEDT(Aviation Environment Design Tool)에 대하여
 - 주요 모듈과 내부 데이터베이스를 밝힌 구성, 프로파일 기반 및 레이더 항적 데이터를 기반으로 한 시뮬레이션 결과
 - AEDT에서 사용하는 배출량 계산 알고리즘인 SAGE 알고리즘 및 시스템 아키텍처를 상세히 분석하여 정리한 내용
 - 본 알고리즘의 세부분석을 위해 재정의 한 IDEF0를 통하여 가장 상위 레벨부터 가장 낮은 알고리즘 단위까지의 체계적 표현 및 분석

1. 현 알고리즘 분석

본 문서의 서론에서는 현재 국내와 국외에서 사용되고 있는 항공 운송 부문의 온실가스 배출량 산정 프로그램/알고리즘에 대하여 간단히 소개하고, 이러한 틀들에 우리나라가 지속적으로 의지할 때 생기는 한계점들에 대하여 논하기로 한다.

1.1 현 알고리즘의 종류

- [국내의 알고리즘] 현재 국내에는 항공운송 부문의 온실가스 배출량 산정을 위한 알고리즘이 없으며, 온실가스 정보 제공을 위해서 다음과 같은 시스템을 통하여 간접적인 방법으로 항공 운송 부문의 온실가스 배출량 산정을 수행 중임
 - ‘배출량 조사사업’과 ‘교통부문 온실가스 관리시스템 (Korea Transport Emission Management System, KOTEMS)’
 - 국토교통부의 ‘항공안전종합정보시스템 (National Aviation Resource Management Information, NARMI)’
- SAGE (System for assessing Aviation’s Global Emissions)
 - 온실가스 미국 FAA에서 개발한 모형으로서, 항공기의 연료 소모량과 CO, HC, NO_x, CO₂, H₂O, SO₂ 등의 배출량 산정
 - 입력 자료는 획득 가능한 수준에 따라 지역별로 상세 정도에 차이가 있는데, 북중미와 유럽을 운항하는 항공기의 경우 모든 일정, 궤도, taxi 타임 등 상세 자료가 입력되는 반면 나머지 지역은 일정 자료만 입력됨 [Kim05]
- Advanced Emission Model AEM)
 - EUROControl에서 개발한 모형으로서 항공기의 연료 소모량과 CO₂, H₂O, SO_x, NO_x, HC, CO, 벤젠, VOC, TOG 등의 배출량 산정
 - 입력 자료는 항공기, 엔진, 연료연소비율, 배출률 자료 외에 콜 사인, 출발시간, 출발 도착공항, 기종 등을 포함한 전반적인 비행 및 일정자료, 비행고도, 대지 속도, 상승/하강비율 등 비행자료임
- AERO 2K
 - QinetiQ(민간기업)이 DLG(독일), 맨체스터대, 네덜란드 국립항공우주연구소

(NLR), 영국무역산업부, 에어버스사, 유로콘트롤 등과 함께 개발함 [Eye04]

○ Future Aviation Scenario Tool (FAST)

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

○ Integrated Noise Model (INM)

- SAE AIR 1845표준 알고리즘 및 프레임 워크를 기반으로 개발되었음[Boe08]
- 오랜 간의 측정을 통해서 구성한 Noise-Power-Distance (NPD) 데이터베이스를 바탕으로 항공기의 운항경로를 결합하여 공항주변의 소음지도를 예측함

○ AEDT (Aviation Environment Design Tool)

- 공간과 시간 영역에서 항공기 성능을 모델링하는데 사용되는 소프트웨어(연료 연소, 배기가스, 소음 계산)로 단일 항공편으로부터 지역, 국가, 전 세계적 시나리오 레벨에 대한 완전한 게이트-게이트 해석 가능
- 현재 항공기와 관련된 연료연소, 소음 배기가스의 상호연관성을 분석하기 위해 FAA에서 사용됨 [Koo14]

1.2 현 알고리즘의 한계점

○ 미국이나 EU 등이 개발하여 활용 중인 지구 단위의 모형에는 지나치게 방대한 양의 자료가 필요하여 구축과 자료수집에 큰 비용이 소모되는 반면 정책적 활용도는 Emission Inventory (연료소비량 및 온실가스 배출량) 계산에 국한되어 있음

- ATM (자동항로관리), 항로 변경, 신기종 도입 등 상세한 분석에는 활용이 제한적임

○ 또한 Cargo Flight, Regional Aircraft 등에 대한 시뮬레이션 모델은 국제적으로 개발되어 있지 않음

- 우리나라와 같이 단거리 비행에 대형 항공기가 쓰이는 경우, 도시 간 소형 항공기 운항이 필요한 경우, 대형 화물항공사의 온실 가스 배출량 할당이 국제적으로 이루어질 경우 그에 대한 데이터베이스나 검증된 결과를 절실히 필요함

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

2. AEDT (Aviation Environment Design Tool)

본 연구진은 기존 알고리즘 중 미국 FAA에서 개발된 AEDT를 핵심 Benchmarking 대상으로 삼고 조사 분석을 수행하였다. 우선 AEDT의 특징과 그 구성에 대하여 분석을 수행하였고, AEDT의 Tier 3a 및 Tier 3b 기능을 확인하기 위하여 표준 궤적 기반의 온실가스 배출량 산정 (Tier 3a) 및 레이더 항적 데이터 기반의 온실가스 배출량 산정 (Tier 3b) 스터디를 수행하였다. 마지막으로 AEDT의 구현 알고리즘에 대한 분석을 위하여, 그 바탕이 되는 SAGE 알고리즘에 대한 분석을 수행한 후 AEDT2a Technical Manual에 기술되어 있는 알고리즘을 IDEF0 방법론을 이용하여 계층적 구조로 옮기는 작업을 수행, 2차 연구년도에 수행하게 되는 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발을 위한 fundamental을 쌓는 작업을 수행하였다.

- FAA Environmental Tool Suite의 일부로 개발된 AEDT는 항공기 운항으로 인한 공항주변소음(INM/MAGENT), 대기오염(EDMS), 온실가스(SAGE) 배출량을 측정하는 개별적인 소프트웨어 들을 통합하여 개발함 [Koo14]
- 현재 AEDT2a가 정식 버전으로 나와 있고, AEDT2b 출시가 2015년 5월로 예정되어 있었으나, fully functioning version이 판매되고 있지 않음
- AEDT는 항공운항으로 인한 각종 환경효과를 개별적으로 추정하던 기존의 방식에서 벗어나 통합적으로 해석을 수행함으로써 공항주변 소음, 대기오염, 기후변화 등 서로 다른 환경영향간의 상호작용(interdependency) 모델링 가능하게 함
- AEDT는 Windows PC에서 동작하는 GUI 환경을 통해 사용자가 지정한 연구범위에 따라 공항 DB, 항공기/엔진 소음 및 배기가스 DB, 운항 DB로부터 필요한 정보를 SQL server를 통해서 수집하여 소음, 대기오염물질, 연료사용량을 계산하며, 단일비행부터 월별/연간 단위의 거시적인 해석도 수행이 가능함
- AEDT는 지리정보시스템(GIS)과 통합되어 항공기 운항 궤적, 공항주변소음분포 및 배기가스 배출위치를 지도위에 겹쳐서 보여줌

2.1 AEDT2a 구성

○ AEDT2a의 시스템 아키텍처는 [그림 2] 및 [그림 3]에서 보는바와 같으며, 다음과 같은 주요 모듈들로 구성되어 있음 [Koo12]

- AEDT Standard Input File
- Database
- Aircraft Performance
- Fuel Burn
- Emissions
- Noise Analysis

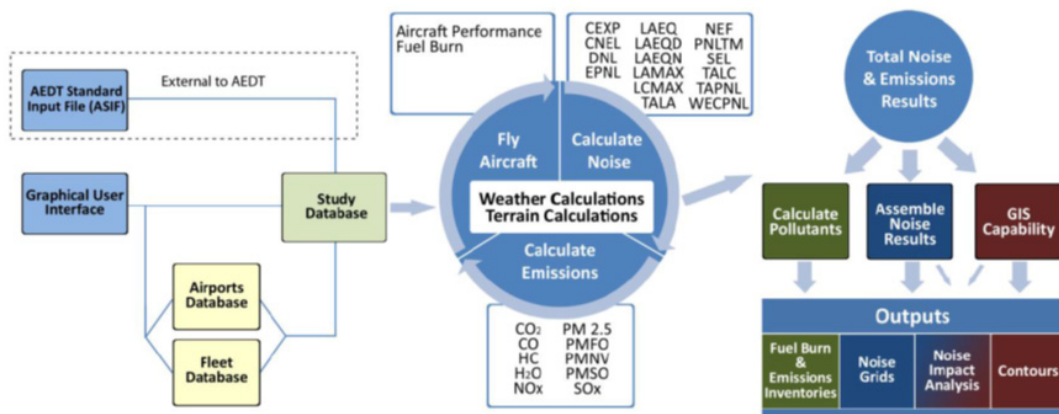


그림 4 AEDT2a의 시스템 아키텍처

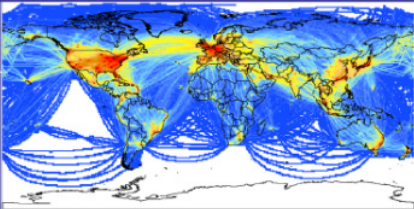
2004 FAA Environmental Tools	
Tools	Environmental Consequence
Emissions Dispersion Modeling System	Individual Airport Emissions Inventories / Pollutant Concentrations 
Integrated Noise Model	Individual Airport Noise Contours
Noise Integrated Routing System	Regional Noise Impacts from changes to Airports + Airspace
MAGENTA	<i>Model for Assessing Global Exposure to Noise from Transport Airplanes</i> U.S. Flight Plan Inventories Global Noise Exposure 
System for Assessing Aviation Global Emissions	Global Emissions Inventories

그림 5 AEDT를 구성하는 주요 모듈의 기능

출처: Aviation Environmental Tools Colloquium, December 2010

- AEDT 내부 데이터 베이스는 아래 표와 같고, 날씨, 지형정보에 해당하는 값들은 외부에서 입력이 가능함

[표 1] AEDT 내부 데이터 베이스

항목	내용
STUDY	- Study 생성, 불러오기를 위한 기본 양식 (ASIF이 반드시 필요) - 다수의 공항/fleet 표를 포함
STUDY_ROOT	- AEDT에 내장된 study를 불러올 수 있음
AIRPORT	- 전세계 공항의 자료를 포함 (활주로, 트랙, 기후조건, 시간대 등)
FLEET	- Fleet 정보에 대한 90개의 표를 포함 (약 35,000 개의 항공기 대응)

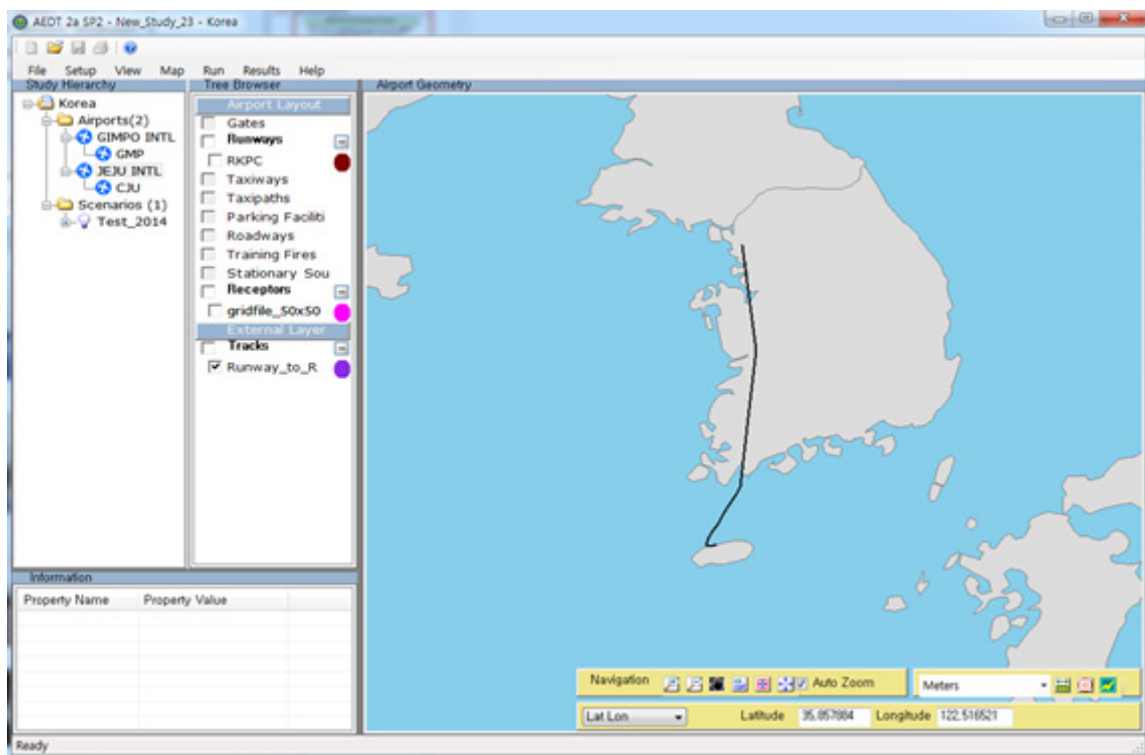
- AEDT 입력 파일인 ASIF (AEDT Standard Input File) 은, XML 기반으로 정해진 tag에 따라 스터디, 시나리오, 환경 설정 값을 입력하는 것으로 구성되며, 그 내용은 [표 2]에 정리됨 [Moo12]

[표 2] ASIF (AEDT Standard Input File)의 항목 및 내용

항목	내용
Study scenario Case Hierarchy	- 하나의 스터디는 시나리오들로 구성되어 있으며, 실험 시나리오와 대조 시나리오 등으로 구성됨 - 하나의 시나리오는 항공기의 운항과 관련된 정보를 포함하는 다수의 케이스로 구성됨
Airport Layouts	- 스터디에 쓰일 공항정보를 입력하는 것으로 초기값은 DB (DataBase)에 존재하는 공항정보임
Tracks and air operations	- 프로파일, 항적 및 각 항공기의 운항 정보 등으로 구성됨

2.2 AEDT 시뮬레이션

AEDT 2a는 IPCC Tier 3b 알고리즘으로, 표준 궤적 기반의 온실가스 배출량 산정 뿐만 아니라 (Tier 3a), 레이더 트래킹 궤적 데이터로도 배출량 산정(Tier 2b)이 가능하다고 알려져 있다. 본 절에서는 AEDT 2a를 이용하여 표준 비행 궤적 기반 및 레이더 항적 데이터 기반의 배출량 산정 스텐다를 통하여 AEDT의 배출량 산정 기능을 확인해 보고, 차후 본 과제를 통하여 개발될 프로그램에의 사용자 편의 등을 위한 참고 자료로 삼도록 한다. [FAA14-1, FAA14-2]



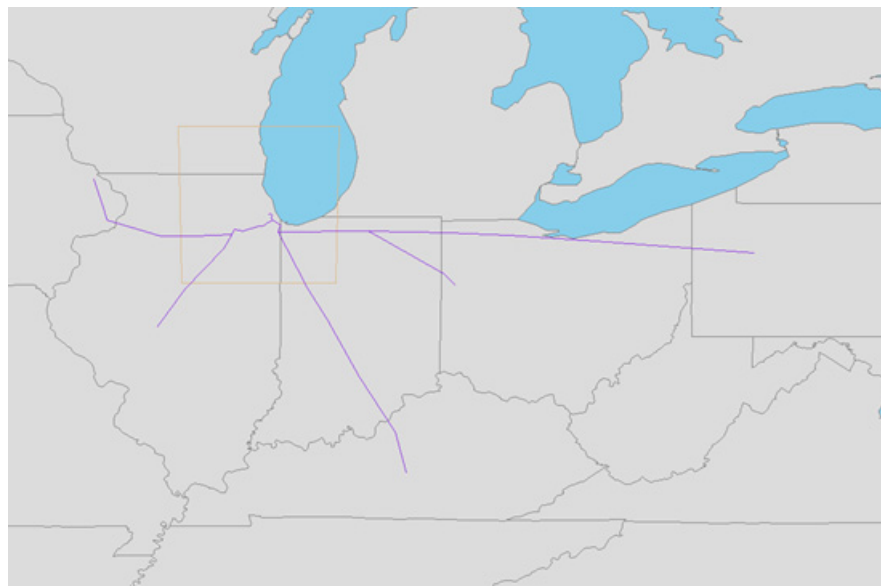
[그림 6] AEDT 사용자 인터페이스

- 위의 그림은 AEDT 프로그램의 사용자 인터페이스이며, AEDT의 출력 결과를 확인해 보기 위하여 AEDT 프로파일 기반예제, AEDT 레이더 항적 데이터 기반 예제를 가정하여 시뮬레이션을 수행 함¹⁾

1) AEDT의 설치부터 실행 과정까지를 본 문서 뒤의 Appendix A로 제시하였음

2.2.1 AEDT 프로파일 기반 예제

- 1990년 Chicago Midway Airport에 도착하는 항공기에 대한 배출량 산정에 대하여 프로파일 기반 시뮬레이션을 수행함
- 시뮬레이션 결과
 - 위의 예제에 대하여 AEDT 시뮬레이션을 통하여 다음과 같은 비행 성능 결과와, 연료 사용량 및 온실가스 배출량을 도출해 낼 수 있음



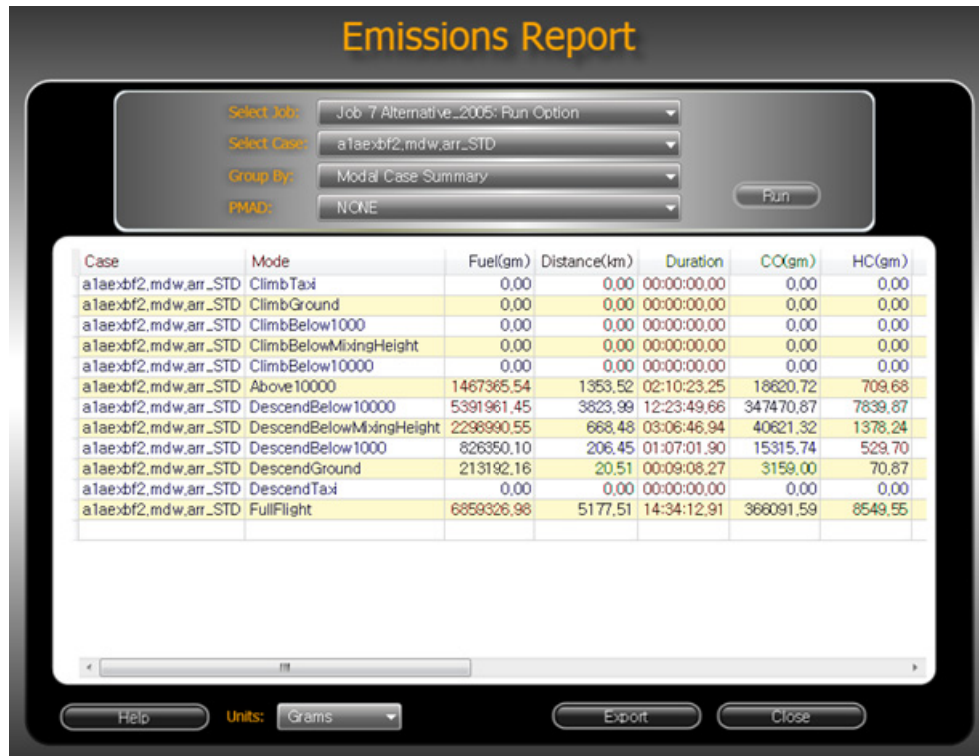
[그림 7] 1990년 Chicago Midway Airport에 도착하는 항공기 경로

Flight Performance Report
 Scenario: Baseline.1990
 Case: exexbf2.mdw.arr.STD
 * AAD = Average Annual Day
 ** AFE = Above Field Elevation

Flight: 0
 airframe/engine/engine mod : Boeing 727-100 Series / TAY 651 / FDX
 operation type : A
 profile : STANDARD-1
 cruise.alt (ft) : 30491.4
 arrival airport : KMDW
 arrival runway : 22L
 departure airport : -NA-
 departure runway : -NA-
 time : Night
 number of operations : 1
 operation name : 11.9
 track : AJCST_M2
 number of segments : 33

seg num	latitude	longitude	Z-pos AFE**	unit-x	unit-y	unit-z	segment length	grnd-trk distance	speed	delta speed	net-corr thrust	noise thrust	delta thrust	op	bank angle	duratn	AAD+ fuel-burn	trajectory-mode
1	40.636994	-87.111668	20319.1	-0.373775	0.926020	-0.052716	43045.7	0.0	361.7	-16.2	1815.2	1815.2	81.7	D	0.0	72.2	23.131	EnrouteDescent
2	40.746895	-87.168729	18046.7	-0.373775	0.926020	-0.052716	865.1	43045.7	345.5	-0.3	1896.9	1896.9	1.8	D	0.0	1.6	0.525	EnrouteDescent
3	40.749114	-87.169904	18000.0	-0.373775	0.926020	-0.052716	40185.5	43930.8	345.1	-15.9	1898.7	1898.7	79.9	D	0.0	70.7	23.858	EnrouteDescent
4	40.851647	-87.223351	15878.6	-0.373775	0.926020	-0.052716	35587.7	84116.3	329.3	-14.8	1978.6	1978.6	74.4	D	0.0	65.6	23.183	EnrouteDescent
5	40.942427	-87.270623	14000.0	-0.373775	0.926020	-0.052716	3507.7	119704.0	314.5	-1.5	2053.0	2053.0	7.3	D	0.0	6.5	2.398	EnrouteDescent
6	40.951373	-87.275510	13814.8	-0.373775	0.926020	-0.052716	34378.9	123211.8	313.0	-15.0	2060.3	2060.3	75.7	D	0.0	66.8	24.655	EnrouteDescent
7	41.039048	-87.321508	12000.0	-0.373775	0.926020	-0.052716	2741.4	157590.7	298.0	-1.2	2135.9	2135.9	6.0	D	0.0	5.5	2.062	EnrouteDescent
8	41.046039	-87.325181	11895.3	-0.373775	0.926020	-0.052716	35145.2	160332.1	296.8	-16.2	2142.0	2142.0	81.7	D	0.0	72.2	27.791	EnrouteDescent
9	41.135546	-87.372343	10000.0	-0.373775	0.926020	-0.052716	37886.6	195477.3	280.6	-10.2	2223.7	2223.7	214.8	A	0.0	81.6	32.625	Approach
10	41.232220	-87.423330	8000.0	-0.374899	0.926844	-0.018354	108952.4	233363.9	270.4	-8.4	2438.5	2438.5	765.9	A	0.0	242.6	100.773	Approach
11	41.509720	-87.571110	6000.0	0.225244	0.974302	0.000000	39011.2	342316.3	262.0	0.0	3204.4	3204.4	-2692.2	A	-5.2	88.2	37.346	Approach
12	41.613969	-87.538684	6000.0	0.224935	0.972967	-0.052336	5624.9	381327.5	262.0	-8.4	512.2	512.2	218.1	A	-4.6	12.9	5.495	Approach
13	41.629000	-87.534000	5705.2	-0.723161	0.688693	-0.052336	10471.6	386952.4	253.6	-16.4	730.2	730.2	183.7	A	13.7	25.3	10.630	Approach
14	41.648867	-87.561678	5156.4	-0.723161	0.688693	-0.052336	9771.2	397424.0	257.2	-16.4	913.9	913.9	183.7	A	13.8	25.3	10.935	Approach
15	41.667400	-87.587520	4544.3	-0.723161	0.688693	-0.052336	9070.8	407195.2	220.8	-16.4	1097.6	1097.6	183.7	A	12.0	25.3	11.033	Approach
16	41.684599	-87.611523	4169.0	-0.723161	0.688693	-0.052336	3223.8	416295.9	204.3	-6.3	1281.2	1281.2	70.7	A	10.4	9.5	4.167	Approach
17	41.690710	-87.620057	4000.0	-0.723161	0.688693	-0.052336	5146.5	419489.8	198.0	-10.1	1352.0	1352.0	112.9	A	9.6	15.8	6.961	Approach
18	41.700465	-87.633684	3730.3	-0.723161	0.688693	-0.052336	7670.0	424636.3	187.9	-16.4	1464.9	1464.9	183.7	A	8.3	25.3	11.206	Approach
19	41.715000	-87.654000	3328.3	-0.705752	0.702505	-0.052336	6264.6	432306.3	171.5	-14.7	1648.6	1648.6	89.1	A	0.0	22.6	10.034	Approach
20	41.727107	-87.670292	3000.0	-0.709752	0.702505	-0.052336	7190.7	438570.9	156.8	-3.3	1737.7	1737.7	404.9	A	-1.9	27.5	12.322	Approach
21	41.741000	-87.689000	2623.2	0.245265	0.968042	-0.052336	11890.4	445761.6	153.5	-5.8	2142.6	2142.6	506.1	A	-16.5	46.8	21.175	Approach
22	41.772524	-87.678263	2000.0	0.245265	0.968042	-0.052336	8037.3	457652.0	147.7	-3.9	2648.7	2648.7	342.1	A	-1.8	32.7	14.921	Approach
23	41.784000	-87.671000	1578.8	-0.682661	0.728859	-0.052336	1503.3	459369.3	143.8	-0.8	2900.8	2900.8	54.4	A	8.1	6.2	2.848	Approach
24	41.787014	-87.674765	1500.0	-0.682661	0.728859	-0.052336	4951.5	467192.6	143.1	-10.1	3045.3	3045.3	901.3	A	8.8	21.3	9.779	Approach
25	41.806939	-87.687168	1240.5	-0.682661	0.728859	-0.052336	4589.0	472144.2	133.0	-10.1	3945.5	3945.5	901.3	A	7.7	21.3	9.820	Approach
26	41.816136	-87.698667	1000.0	-0.682661	0.728859	-0.052336	2905.1	476733.2	122.9	-0.3	4847.8	4847.8	-26.1	A	8.6	14.1	6.549	Approach
27	41.822000	-87.706000	846.7	-0.672400	0.736335	-0.052336	15201.0	479659.3	122.6	-1.5	4821.8	4821.8	-137.7	A	12.2	74.0	34.549	Approach
28	41.791167	-87.743554	50.0	-0.697182	-0.714381	-0.052336	954.1	484860.3	121.1	-0.1	4684.0	4684.0	-9.8	A	-1.4	4.7	2.158	Approach
29	41.789293	-87.745997	0.0	-0.698139	-0.715962	0.000000	363.0	495814.3	121.0	-9.9	4675.2	4675.2	1476.8	A	-1.5	1.9	1.433	LandingGroundRoll
30	41.788579	-87.746325	0.0	-0.698139	-0.715962	0.000000	1076.0	496177.3	111.1	-17.2	6152.0	6152.0	-1538.0	A	-1.5	6.2	4.505	LandingGroundRollWithReverseThrust
31	41.786465	-87.745681	0.0	-0.698139	-0.715962	0.000000	895.3	497253.4	93.9	-17.2	4614.0	4614.0	-1538.0	A	-1.4	6.2	2.956	LandingGroundRollWithReverseThrust
32	41.784706	-87.751573	0.0	-0.698139	-0.715962	0.000000	714.6	498146.7	76.6	-17.2	3076.0	3076.0	-1538.0	A	0.0	6.2	2.926	LandingGroundRollWithReverseThrust
33	41.783302	-87.753802	0.0	-0.698139	-0.715962	0.000000	0.0	498883.3	59.4	0.0	1538.0	1538.0	0.0	N	0.0	0.0	0.000	None

[그림 8] 비행 성능 결과



[그림 9] 연료 사용량 및 온실 가스 배출량

2.2.2 AEDT 레이더 항적 데이터 기반 예제

- 레이더 항적 데이터 기반 예제로는 김포-제주간 레이더 항적 데이터를 바탕으로 시뮬레이션을 수행함²⁾
- 레이더 항적 데이터는 순항구간만 포함하며 레이더 항적 데이터 외에 다음의 추가 입력 데이터가 필요함
 - 출발 공항 활주로 좌표
 - 도착 공항 활주로 좌표
 - 출발 및 도착 시 각 경우에 대해 최소 10000ft 이하의 좌표가 반드시 필요 함

<표 3> 레이더 항적 데이터

항목	값
항로	Y64
날짜	20130131
순항 시간	7:09:37~7:33:23
편명	AAR8900
항공기 종류	A321
순항 구간 (Cruise)	(33.52389, 126.3377) ~ (36.11878, 126.9741)
항공기 고도	8900 ft ~ 25000 ft
항공기 속도	430 knot
출발 공항	CJU (제주)
도착 공항	GMP (김포)

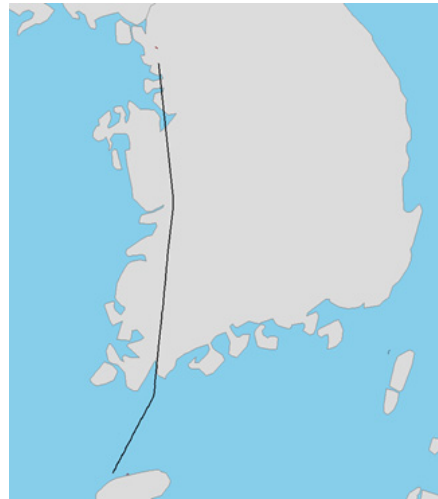


그림 10 항적 데이터에 따른 항공기 경로

2) 해당 study 과정을 본 문서 뒤의 Appendix B로 정리하였음

○ 김포-제주 간 비행 시 고도 및 속도 정보

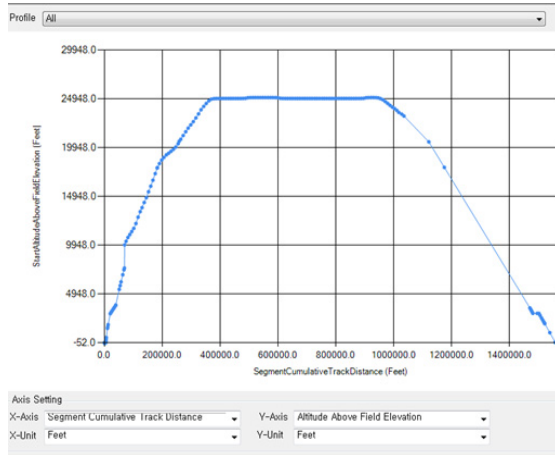


그림 11 김포-제주 간 비행 시 고도 정보

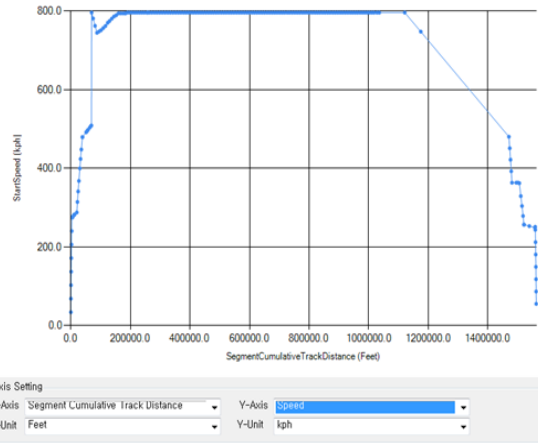


그림 12 김포-제주 간 비행 시 속도 정보

○ 시뮬레이션 결과

- 위의 예제에 대하여 AEDT 시뮬레이션을 통하여 다음과 같은 비행 성능 결과와, 연료 사용량 및 온실가스 배출량을 도출해 낼 수 있음

seg num	latitude	longitude	Z-pos AFE+*	unit-x	unit-y	unit-z	segment length	grnd-trk distance	speed	delta speed	net-corr thrust	noise thrust	delta thrust	bank angle	duratn	AAD+ fuel-burn	trajectory-mode
1	33.515528	126.487389	-52.0	0.813136	-0.582074	0.000000	60.6	0.0	0.0	18.6	28644.5	28644.5	-516.3	0.0	3.9	14.033	TakeoffGroundRoll
2	33.515431	126.487551	-52.0	0.813136	-0.582074	0.000000	181.8	60.6	18.6	18.6	28128.2	28128.2	-516.3	0.0	3.9	13.943	TakeoffGroundRoll
3	33.515140	126.488036	-52.0	0.813136	-0.582074	0.000000	303.0	242.4	37.1	18.6	27611.8	27611.8	-516.3	0.0	3.9	13.846	TakeoffGroundRoll
4	33.514556	126.488844	-52.0	0.813136	-0.582074	0.000000	424.2	545.4	55.7	18.6	27095.5	27095.5	-516.3	0.0	3.9	13.744	TakeoffGroundRoll
5	33.513977	126.489976	-52.0	0.813136	-0.582074	0.000000	545.4	969.6	74.2	18.6	26579.2	26579.2	-516.3	0.0	3.9	13.635	TakeoffGroundRoll
6	33.513105	126.491430	-52.0	0.813136	-0.582074	0.000000	666.6	1515.0	92.8	18.6	26062.8	26062.8	-516.3	0.0	3.9	13.520	TakeoffGroundRoll
7	33.512039	126.495329	-52.0	0.813136	-0.582074	0.000000	787.8	2181.6	111.4	18.6	25546.5	25546.5	-516.3	0.0	3.9	13.399	TakeoffGroundRoll
8	33.510778	126.496310	-52.0	0.813136	-0.582074	0.000000	909.0	2969.3	129.9	18.6	25030.1	25030.1	-516.3	0.0	3.9	13.272	TakeoffGroundRoll
9	33.509324	126.497735	-52.0	0.791306	-0.566447	0.230160	210.2	3878.3	148.5	0.1	24513.8	24513.8	12.2	0.0	0.9	2.399	TakeoffAirborne
10	33.508998	126.498236	-2.3	0.791306	-0.566447	0.230160	250.9	4088.6	148.6	0.1	24526.0	24526.0	14.6	0.0	1.0	3.500	TakeoffAirborne
11	33.508657	126.498665	57.1	0.791306	-0.566447	0.230160	298.4	4359.5	148.7	0.2	24540.6	24540.6	17.3	0.0	1.2	4.151	TakeoffAirborne
12	33.508109	126.499761	127.6	0.791306	-0.566447	0.230160	376.4	4637.9	148.9	0.2	24557.9	24557.9	21.8	0.0	1.5	5.218	TakeoffAirborne
13	33.507507	126.500765	216.7	0.791306	-0.566447	0.230160	505.2	5014.2	149.1	0.3	24579.7	24579.7	29.2	0.0	2.1	6.973	TakeoffAirborne
14	33.506699	126.502112	336.1	0.791306	-0.566447	0.230160	749.4	5519.5	149.4	0.4	24608.9	24608.9	43.3	0.0	3.0	10.276	TakeoffAirborne
15	33.505500	126.504111	513.4	-0.964686	0.128018	0.230160	995.1	6388.8	149.8	2.1	24652.2	24652.2	227.1	0.0	15.9	52.910	TakeoffAirborne
16	33.506929	126.491261	1448.0	-0.979860	0.130030	0.151549	1000.0	10220.6	151.9	0.4	24879.2	24879.2	-5758.4	0.0	3.9	11.078	TerminalClimb
17	33.507291	126.498009	1601.3	-0.979860	0.130030	0.151549	1495.0	11220.6	152.3	0.5	19120.9	19120.9	90.1	0.0	5.8	13.805	TerminalClimb
18	33.507827	126.493160	1829.0	-0.979860	0.130030	0.151549	7298.5	12705.6	152.9	2.7	19211.0	19211.0	442.8	0.0	28.4	66.436	TerminalClimb
19	33.510461	126.489444	2948.0	-0.992033	0.131411	0.045948	2119.2	20004.0	155.5	14.4	18953.8	18953.8	-252.5	0.0	7.7	17.864	TerminalClimb
20	33.511226	126.485952	3045.5	-0.992033	0.131411	0.045948	2307.1	22123.2	170.0	14.4	19401.2	19401.2	-252.5	0.0	7.7	17.741	TerminalClimb
21	33.512057	126.445049	3151.6	-0.992033	0.131411	0.045948	2495.0	24430.3	184.4	14.4	19148.7	19148.7	-252.5	0.0	7.7	17.607	TerminalClimb
22	33.512956	126.436934	3266.4	-0.992033	0.131420	0.043970	3242.0	26925.5	196.8	17.2	18996.2	18996.2	-232.3	0.0	9.3	20.948	TerminalClimb
23	33.514122	126.425360	3410.3	-0.992033	0.131413	0.045957	2409.5	30167.3	216.0	13.0	18815.9	18815.9	-217.2	0.0	6.4	14.392	TerminalClimb
24	33.514989	126.416553	3520.2	-0.992033	0.131413	0.045957	2550.1	32576.9	229.0	13.0	18396.7	18396.7	-217.2	0.0	6.4	14.284	TerminalClimb
25	33.515906	126.410259	3636.5	-0.992033	0.131415	0.045204	3708.7	35126.9	242.0	17.0	18169.5	18169.5	-274.1	0.0	8.8	19.355	TerminalClimb
26	33.517238	126.398196	3804.3	-0.982031	0.130424	0.130508	187.3	38855.6	259.0	0.1	17895.4	17895.4	8.1	0.0	0.4	0.947	TerminalClimb
27	33.517835	126.397987	3829.0	-0.982031	0.130424	0.130508	12299.3	39022.9	259.1	6.5	17933.5	17933.5	531.5	0.0	28.0	60.517	TerminalClimb
28	33.521714	126.357579	5448.0	-0.963683	0.130537	0.123807	3053.7	51322.2	265.7	1.6	18435.0	18435.0	117.4	0.0	6.8	14.509	TerminalClimb
29	33.522807	126.347645	5829.0	-0.963683	0.130537	0.123807	3057.1	54375.9	267.3	1.6	18552.4	18552.4	117.5	0.0	6.8	14.328	TerminalClimb
30	33.523900	126.337700	6210.4	-0.945071	0.130569	0.122337	5895.0	57453.0	268.9	3.1	18669.9	18669.9	223.0	0.0	13.0	27.062	TerminalClimb
31	33.539100	126.344400	6597.2	-0.453704	0.086657	0.130569	4135.1	63359.0	272.0	3.2	18892.9	18892.9	156.2	0.0	9.2	18.929	TerminalClimb
32	33.549170	126.351089	7048.0	-0.484049	0.087455	0.114974	1511.4	67522.1	274.2	0.8	19409.0	19409.0	49.5	0.0	3.3	6.696	TerminalClimb
33	33.552800	126.353900	7622.9	-0.493738	0.083736	0.114616	687.2	69033.5	275.0	0.4	19098.5	19098.5	22.4	0.0	1.5	3.030	TerminalClimb
34	33.554443	126.354612	10000.0	-0.491422	0.087788	0.073818	5000.3	69720.7	430.0	-6.0	14605.2	14605.2	-1672.6	0.0	7.0	10.063	TerminalClimb
35	33.566400	126.362700	10370.1	-0.371117	0.306599	0.060711	6389.6	74721.0	422.0	-10.2	12932.6	12932.6	-1313.7	0.0	9.1	11.361	EnrouteClimb
36	33.582700	126.370500	10758.8	-0.391447	0.319061	0.045774	6605.4	81110.6	411.8	-9.5	11618.9	11618.9	6839.4	0.0	9.6	10.569	EnrouteClimb
37	33.599400	126.379000	11061.4	-0.522951	0.091213	0.045423	6747.8	87711.0	402.2	1.8	18458.2	18458.2	304.9	0.0	9.9	17.378	EnrouteClimb
38	33.615200	126.390600	11369.3	-0.427751	0.302725	0.046001	6966.6	94863.8	404.0	1.9	18783.2	18783.2	3219.1	0.0	10.2	17.958	EnrouteClimb
39	33.632500	126.400400	11689.1	-0.423027	0.303622	0.067202	7393.3	101430.4	405.9	2.9	22082.3	22082.3	2777.8	0.0	10.8	22.062	EnrouteClimb
40	33.650900	126.410700	12187.0	-0.445414	0.091092	0.096960	7485.8	108823.7	408.8	2.9	24860.0	24860.0	280.1	0.0	10.9	24.536	EnrouteClimb
41	33.669300	126.421700	12640.5	-0.427690	0.300605	0.076516	7372.8	116309.5	411.6	4.4	25140.1	25140.1	-1933.5	0.0	10.6	23.672	EnrouteClimb
42	33.687600	126.432100	13406.3	-0.405236	0.310156	0.064360	8304.2	123652.3	416.0	-6.4	23206.6	23206.6	1340.0	0.0	9.0	18.143	EnrouteClimb
43	33.703400	126.440600	13812.9	-0.464923	0.082557	0.070280	7568.3	129996.5	418.5	3.2	24546.6	24546.6	50.8	0.0	10.7	22.551	EnrouteClimb
44	33.721800	126.452200	14346.1	-0.457704	0.086657	0.067315	7290.0	137554.8	421.7	3.0	24597.4	24597.4	1209.7	0.0	10.2	21.189	EnrouteClimb
45	33.739600	126.463200	14837.9	-0.464434	0.082005	0.076901	7567.6	144844.7	424.7	1.7	25907.0	25907.0	220.5	0.0	10.6	22.516	EnrouteClimb
46	33.758000	126.474800	15449.7	-0.355784	0.301680	0.073051	7751.9	152412.4	426.4	2.6	26027.5	26027.5	-141.7	0.0	10.8	22.519	EnrouteClimb
47	33.777900	126.483900	16017.1	-0.479468	0.073726	0.081937	7389.0	160164.2	429.0	0.0	25895.8	25895.8	709.7	0.0	10.2	20.882	EnrouteClimb
48	33.795700	126.496600	16624.6	-0.510284	0.055897	0.083970	8007.8	167553.2	429.0	0.0	26595.5	26595.5	268.3	0.0	11.1	22.678	EnrouteClimb
49	33.814600	126.507100	17299.4	-0.371559	0.324735	0.082519	7024.6	175561.0	429.0	0.0	26963.8	26963.8	-2361.8	0.0	9.7	19.953	EnrouteClimb
50	33.832511	126.517224	17881.0	-0.371559	0.324735	0.082519	367.8	182595.6	429.0	-0.0	24502.0	24502.0	-130.4	0.0	0.5	1.080	EnrouteClimb
51	33.835500	126.518200	17931.3	-0.490600	0.069463	0.057640	7228.9	182973.4	429.0	1.0	24371.6	24371.6	-2145.8	0.0	10.0	17.783	EnrouteClimb
52	33.850800	126.529900	18331.9	-0.407757	0.311861	0.047377	7733.7	190202.3	430.0	0.0	22225.8	22225.8	-1830.9	0.0	10.7	17.019	EnrouteClimb

그림 13 비행 성능 결과

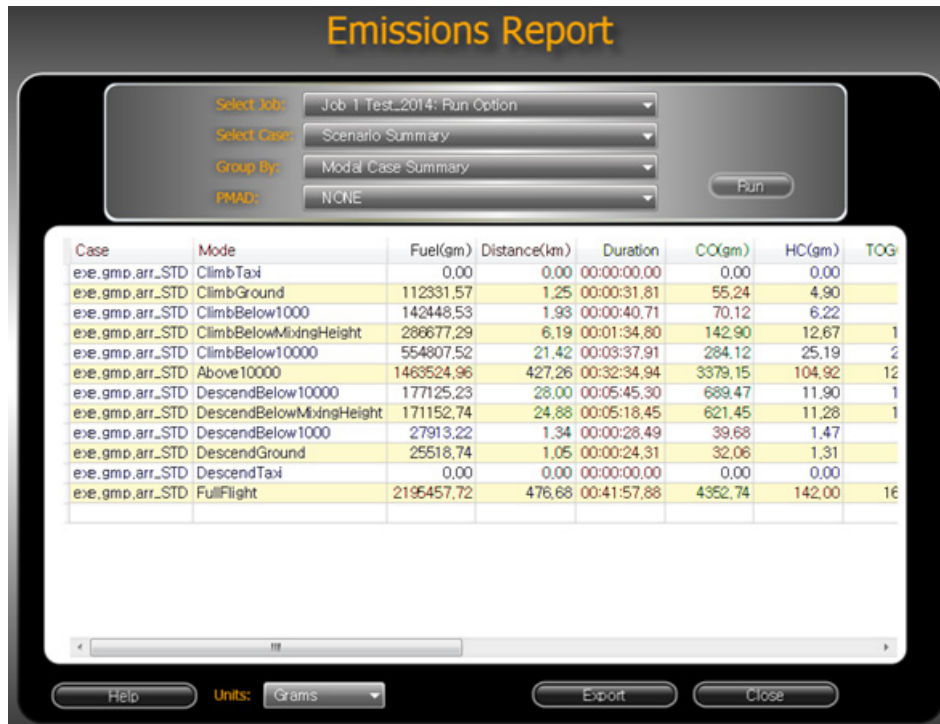


그림 14 연료 사용량 및 온실 가스 배출량

2.3 SAGE 알고리즘 분석

- AEDT 통합 이전의 온실가스 배출량 산정 알고리즘인 SAGE 알고리즘에 대해 간략 분석을 수행한 후, 본격적인 AEDT의 온실가스 배출량 산정 알고리즘에 대한 분석을 수행하도록 함.

SAGE 알고리즘 구성

- SAGE의 주요 구성 모듈은 다음과 같음. 크게 메인 모듈 3개와 서브 모듈 6개로 구성되어 있으며, 다양한 모듈 입력과 모듈 출력으로 구성되어 있음

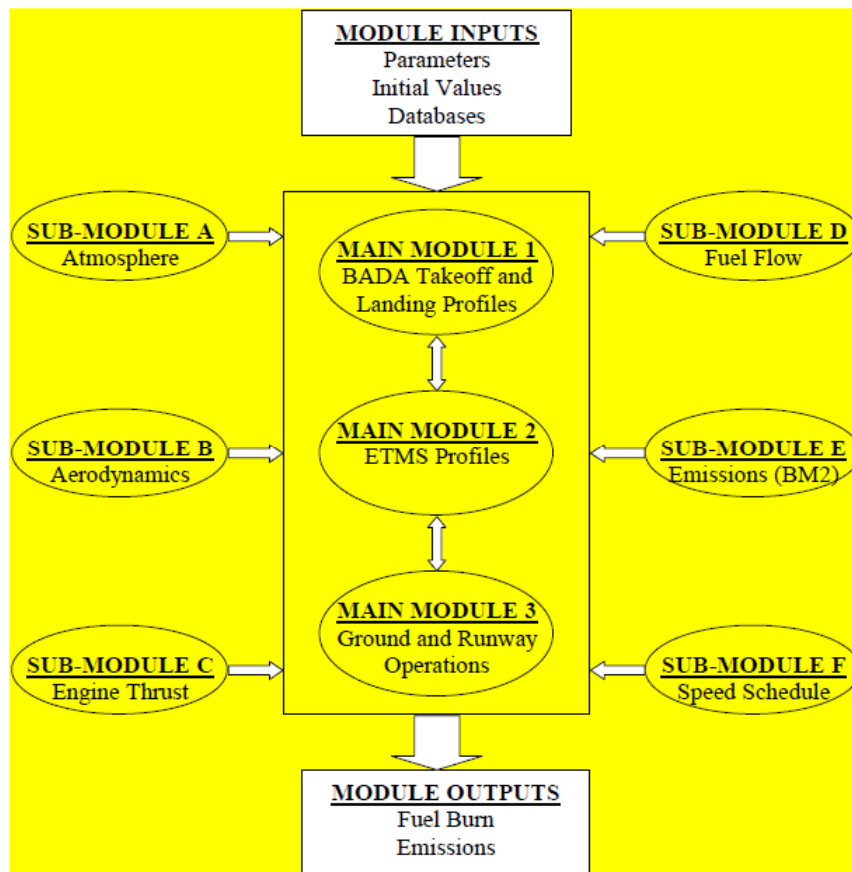


그림 15 SAGE 구조

○ SAGE는 다음과 같은 다양한 파라미터 지정과 조건 입력, 그리고 다양한 데이터베이스의 참조를 통하여 작동할 수 있음

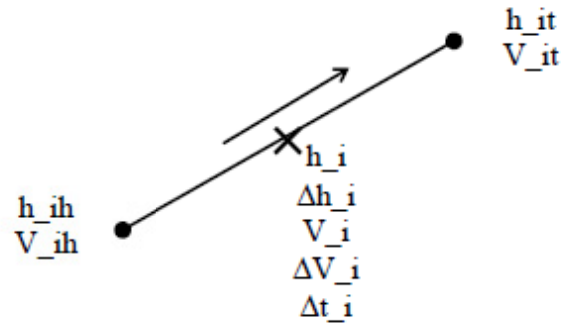
- Airport: 출발/도착 공항의 정보로써 전체 항적의 시작 및 끝을 나타내거나 단말 지역의 정보로써 나타낼 수 있다
- Study boundary: 온실가스 산정 출력의 범위를 한정한다.
- Fleet: 각종 항공기 및 엔진 특성에 대한 정보를 담고 있다.
- Weather: 표준 기상 모델과 특정 지역 기상 모델로 나누어져 비행 특성에 반영하게 된다.
- Track: 각종 비행기들의 이착륙 스케줄과 그들의 프로파일로써 온실가스 산정에 영향을 미치는 입력들이다.
- BADA DB: 여러 가지 비행 특성과 관련된 데이터베이스

○ SAGE의 출력으로는 다음과 같다.

- Fuel burn: 주어진 프로파일을 따라 비행하였을 때, 배출하는 연료 소모량을 계산한 값이다.
- Emissions: Emission index 데이터베이스에 따라 소모된 연료량 중 얼마나 많은 각종 온실가스가 배출되는지를 결정한다.

○ SAGE에서 하나의 chord는 아래의 그림과 같이 구성되어 있다. Chord를 기술하는 요소는 다음과 같다.

- 고도 변화율 및 고도
- 속도 변화율
- 시간 변화율
- 상승률



$$\begin{aligned}\Delta h_i &= h_{it} - h_{ih} \\ h_i &= (h_{ih} + h_{it}) / 2 \\ \Delta V_i &= V_{it} - V_{ih} \\ V_i &= (V_{ih} + V_{it}) / 2 \\ \Delta t_i &= \text{actMiles} / V_i \\ \text{ROC} &= \Delta h / \Delta t\end{aligned}$$

[그림 16] Chord 구성도

○ SAGE 서브모듈은 다음과 같은 구조로 구성되어 있다.

- Atmosphere: 기상 정보에 따라 대기 특성에 관한 변수들을 계산한다. 온도, 압력, 공기 밀도, 권계면 고도 등의 정보를 계산하게 된다. 권계면에 따라 이들의 계산 식이 달라지게 된다.
- Speed schedule: BADA 데이터베이스와 Atmosphere 모듈에 따른 정보를 입력으로 받아 비행기의 속도 프로파일을 결정한다. 이착륙과 순항 과정으로 나누게 되며, 구체적으로 높이와 비행 단계에 따라 적정한 속도를 결정한다.
- Aerodynamics: Atmosphere 정보와 속도 프로파일, BADA 데이터베이스를 가져온다. 이 모듈에서는 이들의 계산 정보를 통해 공력과 공력 계수를 계산해 낸다. 양력 및 양력 계수, 항력 및 항력 계수 등의 정보를 계산한다.
- Engine Thrust: 속도 정보와 Aerodynamics 정보, BADA 데이터베이스, INM 데이터베이스를 활용해, 상승률 및 엔진 추력을 계산하게 된다. 엔진 출력은 모든 엔진들로부터 나오는 값들로 이용하며, 각각의 분절에서 시간 변화율과 상승률 등을 계산하게 된다.

- Fuel flow: BADA 데이터베이스와 Engine thrust를 활용하여 Fuel flow와 Fuel burn을 계산한다. 각각의 분절에서 연료 소모량을 계산하고, engine thrust의 파워 세팅을 통해 계산하게 된다. 엔진 종류 및 비행기 특성도 연관이 있어 계산하게 된다.
- Emission: Atmosphere 정보와 Fuel burn, ICAO Engine Exhaust Emissions data bank를 이용해 다양한 온실가스 배출량을 산정하게 된다.

○ 위에 설명된 SAGE의 서브모듈의 정보를 활용하여 메인모듈의 동작을 수행하게 된다.

- Takeoff and Landing Trajectories: 이착륙시 프로파일을 결정하고, 속도, 고도 정보를 결정하여 가상의 항적을 시뮬레이션하게 된다. 4000ft를 기준으로 기존의 고도 정보는 무시하고, 알고리즘 자체의 동작으로 임의의 적절한 고도를 설정하게 된다. 착륙 시에도 마찬가지로 정해진 내부 알고리즘의 동작으로 고도를 결정하여 계산을 수행한다.
- Cruise Trajectories: 순항 시의 프로파일로써 상승률과 시간 변화, 고도 변화 등을 계산하여 반영한다.
- Ground Operations: 7% idle power setting을 이용해 그 전에 계산된 fuel flow를 계산한다. 지상에서의 온도와 압력을 계산하고 CO₂, H₂O, SO₂, HC, CO, NO_x 등을 BM2, Mass balance 등의 방법을 통해 계산한다. 기타 온실가스 등도 적절한 모델을 이용해 Fuel burn으로부터 계산해낸다.

2.4 AEDT 2a 상세 분석

○ AEDT 2a 시스템의 상세 분석을 하고, 자세한 내용을 다음과 같이 정리함.

2.4.1 시스템 아키텍처

- AEDT 2a는 Microsoft .NET Framework을 이용해 제작되었으며, Windows XP Professional, Windows 7, Window Server 운영체제에서 동작이 됨. 항공기 산업 내 광범위한 특성들을 반영하여 공항, 대기, 항공기 정보를 커버하는 데이터베이스 정보를 이용해 동작하게 됨.
- 모든 정보는 지리 정보를 통해 구현되며, 최신 소프트웨어 기술들이 담겨져 있음. XML 기반 AEDT Standard Input File은 4D 궤적, 항공기 정보, 이벤트 정보들을 포함하여 시뮬레이션을 수행할 수 있는 입력 형태임.
- AEDT 2a의 출력은 비행 성능, 항공기 정보, 소음, 연료 연소, 대기 질, 온실가스 배출에 대한 리포트, 그래프, 표 등으로 이루어져 있음. 다음은 AEDT 2a 시스템 구조도임.

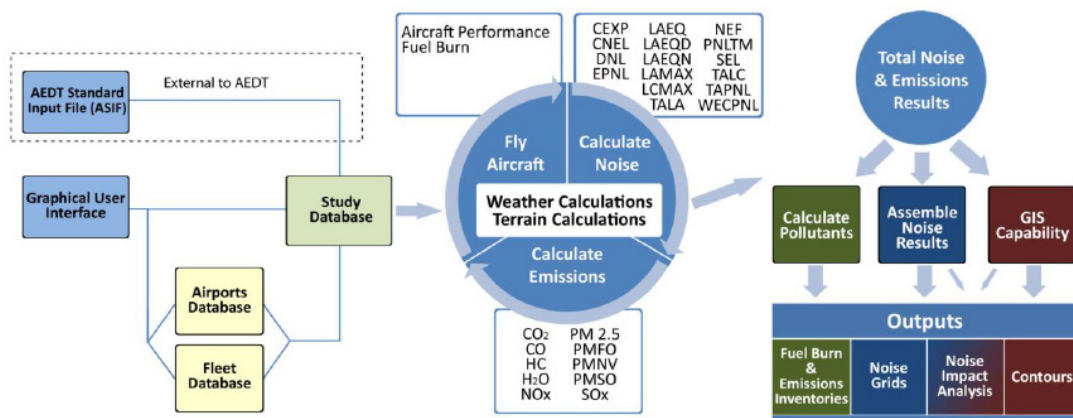


그림 17 AEDT 2a 시스템 구조도

2.4.2 주요 용어

용어	설명
Above Field Elevation (AFE)	공항 고도를 기준으로 나타낸 고도
Approach	운항 과정 중 지역의 말단으로부터 시작하여 하강, 활주로에 착륙, 역방향 추력, 택시 속도로 감속 과정 등을 나타냄
Bank Angle	항공기 lift vector와 수직 방향 vector 간의 각도. 수평 비행과 균형 선회를 가정하며, 항공기의 속도와 선회 반경에 의해 결정됨
Boeing Fuel Flow Method 2	NOx, HC, CO를 계산하는 방법론임
Calibrated Airspeed (CAS)	항공기 지시계로부터 나타나는 항공기의 지시 속도임. 해수면, 표준 대기에서 true airspeed와 동일함
Corrected Net Thrust Per Engine	엔진 별 Thrust를 항공기 고도의 기압에 대한 해수면에서 표준 기압의 비임
Density Ratio	해수면에서의 공기 밀도와 현 공기 밀도의 비임
Departure	운항 과정 중 활주로에서 시작하여 상승과 주어진 거리 및 고도에 대해 가속 과정 등을 나타냄
Emission Index	연료 연소 및 온실가스 배출량 중 해당 물질의 구성비임
Flight Path	항공기의 3차원 공간 상에서 움직임을 지리적, 물리적 파라미터로 나타낸 분절들의 조합임. 공항을 원점으로 기준으로 x, y 좌표, 공항 기준 항공기 고도, 항공기의 대지 속도, 엔진 별 보정 추력, 비행 경로 추종 시간, 항공기의 경사각 등의 정보를 지님
Flight Path Segment	3차원 공간에서 방향성이 있는 직선 분절이며, 시작점의 대지 속도 및 엔진별

	보정 추력, 끝점의 속도 변화 및 추력 변화 정보를 지님
Flight Profile	항공기의 움직임을 수직 평면에서 지리적, 물리적 파라미터로 나타낸 점들의 조합임 공항을 기준으로 지상 거리, 공항 기준 항공기 고도, 항공기의 실제 대기속도, 엔진 별 보정 추력의 조합으로 나타냄
Ground Track	Flight Path의 지상면에서의 자취를 나타냄
International Standard Atmosphere	국제 표준 대기 모델. 기온, 기압, 공기 밀도를 항공기 해발 고도와 관련된 함수로 나타냄
Mean Sea Level	해수면을 기준으로 하는 고도임
Mixing Height	오염물질이 활발하게 섞이게 되는 고도임
Net Thrust	엔진의 추력에서, 공기가 들어오면서 발생하는 항력을 제외한 총 추력
Overflight	운항 과정 중 공중에서 시작하여 공중에서 끝나는 비행 과정을 나타냄
Procedure Steps	프로파일 중 각각의 비행 단계를 의미함
Pressure Ratio	국제 표준 대기 상태의 해수면 기압과 현재 기압과의 비임
Static Thrust	국제 표준 대기 상태의 해수면에서 엔진이 낼 수 있는 최대 추력임
Temperature Ratio	국제 표준 대기 상태의 해수면 온도와 현재 온도와의 비임
Thrust-Specific Fuel Consumption	엔진 하나의 단위 추력에 대한 연료 연소율을 나타냄
True Airspeed	주위 공기를 감안한 항공기의 속도임

2.4.3 알고리즘 세부 분석을 위한 표현론: Integrated Definition for Function Modeling 0 (IDEF0) [May92]

- 알고리즘을 체계적으로 표현하기 위하여 시스템엔지니어링 분야에서 많이 사용되는 표현 기법인 Integrated Definition for Function Modeling (IDEF0) 표현론을 본 연구진의 연구 목적에 맞도록 적절히 변형하여 사용하였음
- IDEF0은 모델에 대한 계층적 구조 다이어그램으로 다음과 같은 특징을 지님
 - 시스템의 의사결정, 행동, 활동을 모델링 할 수 있도록 디자인 된 방법론임
 - 계층적인 분해를 통한 다양한 레벨의 기능에 관한 설명을 지원
 - 각 활동 및 이들 간의 관계에 관한 모델을 구축하기 위한 프로세스 및 언어를 제공
 - 시스템 개발에 앞서 우선적으로 요구사항 및 기능을 정의하고 이러한 요구사항과 기능을 수행하는데 적절한 구현설계를 위해 주로 사용
 - 도형적인 표현방법을 통해 활동의 수행과 관련된 입력과 출력은 무엇이고 어떤 제약조건과 무엇에 의하여 활동이 수행되는지를 직관적으로 파악 가능
- 다음 그림에 IDEF0 모델링 표현 방법을 도시하였음

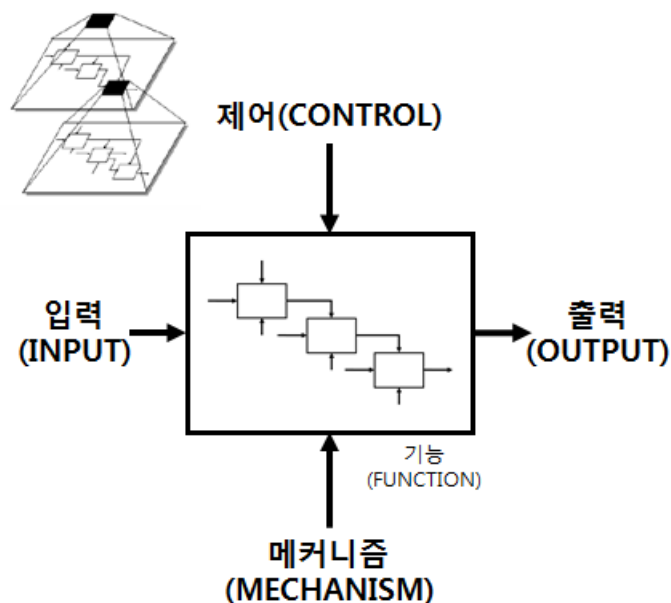


그림 18 IDEF0 방법론을 이용한 표현 기법

○ 기능 (Function)

- 박스형태로 표현되며, 활동, 행동, 프로세스, 혹은 운영을 표현
- 어떠한 상황에서 무엇이 일어나는지에 관한 서술

○ 입력 (Input)

- 기능을 수행하는데 필요한 개체 혹은 데이터로 기능이 수행됨에 의하여 소모되거나 변형되는 것을 표현

○ 출력 (Output)

- Function의 결과로 산출되는 산출물

○ 제어 (Control)

- 기능을 통제, 제어하는 제약조건, 가이드 혹은 출력을 결정하는데 필요한 제약 조건 등으로 기능의 수행을 통제하거나 시작하게 한다.

○ 메커니즘(Mechanisms)

- 기능을 수행하는 사람 또는 개체로서 무엇에 의해 그 기능이 수행 되는가 혹은 기능의 수행에 어떠한 자원이 소용되는가를 나타냄

○ 여기서 하나의 박스로 표현이 되는 기능 안에는 복수의 기능들이 포함될 수 있으며, 그 안에, 또 그 안에... 복수의 기능들이 포함 가능하므로, main routine, 그 subroutine들, 그 sub-subroutine들... 로 구성되어 있는 복잡한 프로그램 구조를 표현하는 데 적절한 형태라고 판단되었음

○ 본 연구진은 IDEF0상의 세 종류의 입력인 입력 (Input), 제어 (Control), 메커니즘 (Mechanism)와 출력 (Output)을 다음과 같이 정의하여 AEDT2a의 알고리즘을 계층 구조로 모델링하였음

- Input: 해당 모듈에 직접적으로 들어오는 입력 변수
- Control: 해당 모듈에서 참조해야 하는 데이터베이스
- Mechanism: 해당 모듈에 포함되어 수행되는 sub모듈
- Output: 해당 모듈의 수행을 통하여 도출되는 결과물

- 상기와 같이 본 AEDT 세부 분석에 적용하기 위하여 변형된 IDEF0 표현 방식이 아래 그림에 제시되었음

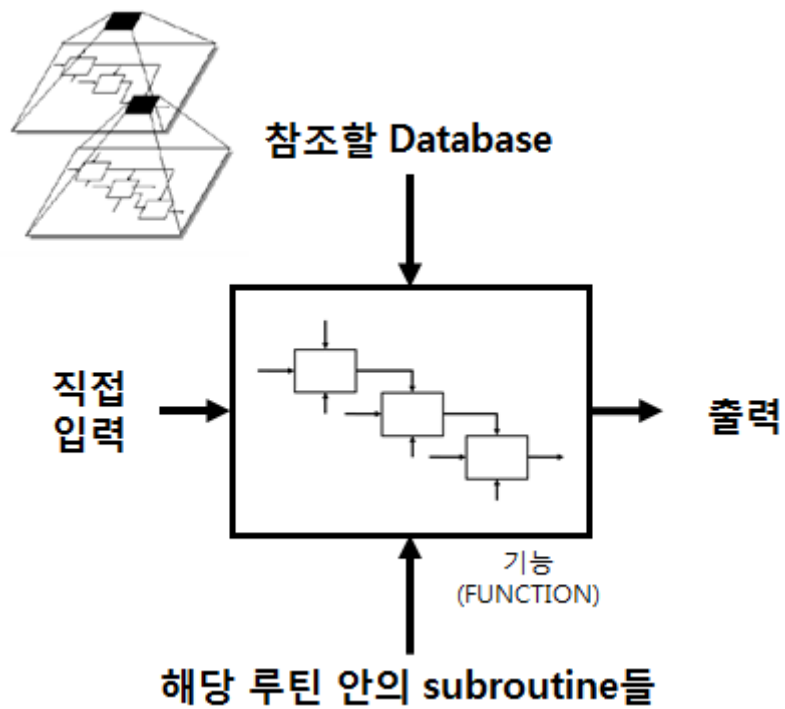


그림 19 AEDT 분석을 위하여 재정의된 IDEF0 표현 기법

2.5 AEDT 알고리즘 세부 분석

- 본 절에서는 AEDT를 구성하고 있는 알고리즘을 가장 상위 레벨에서 시작하여 가장 낮은 알고리즘 단위까지 체계적으로 분석을 수행하였음
- 알고리즘 분석을 위하여 AEDT 알고리즘을 담고 있는 매뉴얼인 *Aviation Environmental Design Tool (AEDT) 2a Technical Manual* [1]을 참조로 하였음

(Level 0 - Root) GHG emission estimation

- [서브모듈] AEDT2a의 항공 온실가스 배출량 산정은 크게 비행 성능 계산 모듈 (Module 3)과 온실가스 계산 모듈(Module 5)로 나눌 수 있음³⁾
 - 이 두 서브모듈이 “Mechanism (아래로부터 올라오는 화살표)” 위치에 명시되었음

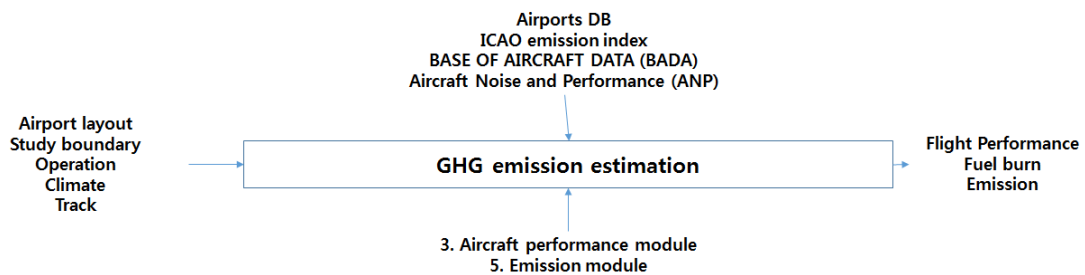


그림 20 AEDT 항공 온실가스 배출량 산정 모델의 최상위 Decomposition

- [직접입력] 온실가스 배출량 산정 모듈 전체의 입력은 다음과 같음
 - Airport Layout: 공항의 위치 및 활주로 관련 정보
 - Study Boundary: 산정 대상인 routes, 항공기 및 사용 엔진 정보
 - Operation: 산정 대상 단위의 취항 스케줄
 - Track: 항공기 궤적에 대한 레이더 트래킹 정보 (Tier 3b 위해 필수적임)
 - Climate (Optional): 기상 모델
- [DB] 온실가스 배출량 산정 모듈 전체에서 요구되는 Database는 다음과 같음
 - Airport DB: 전 세계 공항 정보 Database
 - ICAO emission index: 연료 소비량으로부터 온실가스 배출량을 뽑아내기 위하여 사용됨
 - Base of Aircraft Data (BADA): 순항 구간에서의 비행 동력학 및 모델링 계수 등의 정보를 담고 있음
 - Aircraft performance: SAE-AIR-1845, European Civil Aviation Conference (ECAC) Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, Doc 29 정보를 이용하여 공항 주위 이착

3) AEDT Technology Manual 상에서 Emission 산정과 관련이 있는 Chapter들이 Ch. 3와 Ch. 5이며, 추후 필요시 Tracking의 용이성을 유지하기 위하여 Chapter 및 Section 이름을 그대로 알고리즘의 모듈에 적용하였음 - 차후 알고리즘의 코딩 시에는 독자적인 numbering 체계를 가져갈 예정임

륙과 관련된 비행 동력학 및 모델링 계수 정보를 담고 있음

○ [출력] 온실가스 배출량 산정 모듈 전체의 출력은 다음과 같음

- Flight performance: 비행에 따른 위도, 경도, 속도, 고도, 중량, 추진력 등의 결과를 산출함
- Fuel burn: 비행 성능 정보를 이용하여 연료 소모량을 계산함
- Emission: 연료 소모량 및 온실가스 지수를 바탕으로 온실 가스 배출량을 산정함

○ “3 Aircraft Performance” 모듈의 decomposed view가 아래의 두 그림에 제시되었음

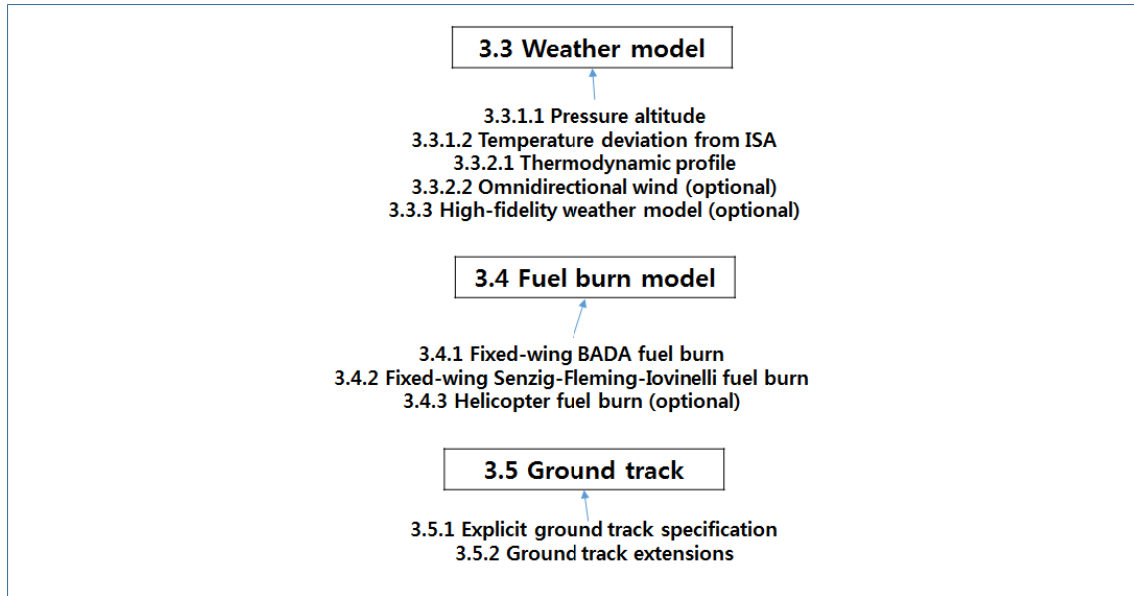


그림 22 “3 Aircraft Performance Module” - Decomposed View (1)

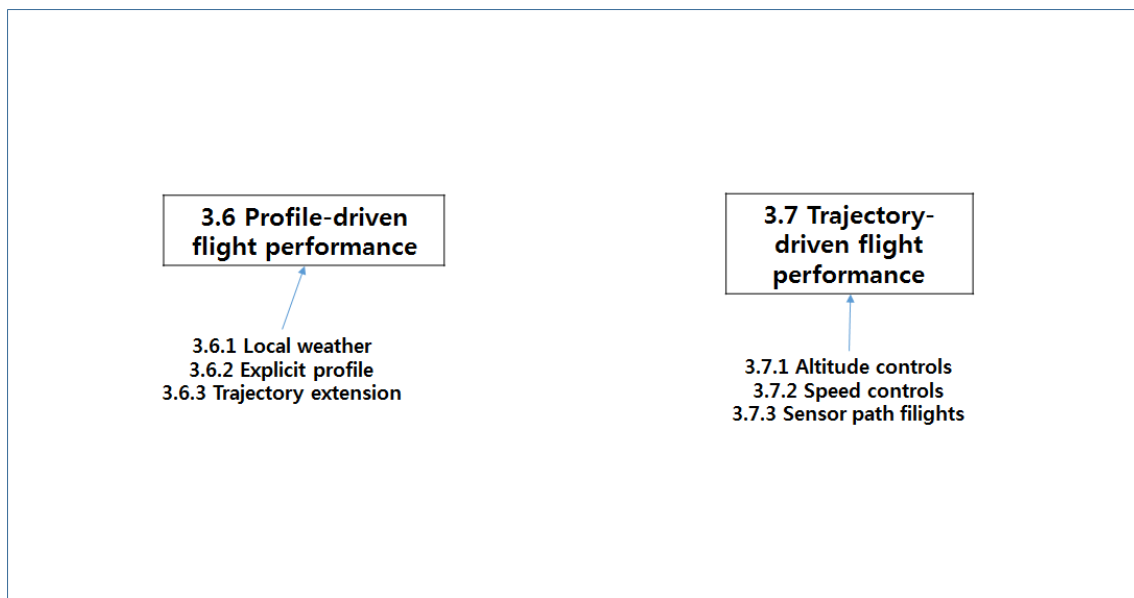


그림 23 “3 Aircraft Performance Module” - Decomposed View (2)

(Level 1 - 5) Emission 모듈

- 연료의 연소에 의하여 발생하는 온실가스를 계산하는 모듈임
 - 관심 화학종별로 따로 계산
- [서브모듈] “5. Emission 모듈”은 다음과 같은 서브모듈로 구성되어 있음 (위의 [그림 19] 참조)
 - 5.2 Aircraft-related Emission⁴⁾
- [입력] “5. Emission 모듈”은 Root로부터의 입력과 함께, “3. Aircraft Performance”로부터 연료 연소량을 입력으로 받음
- [출력] “5. Emission 모듈”의 출력은 다음과 같음
 - 온실가스 배출량 (Emission)
- 이 출력은 Root의 출력임
- “5 Emission” 모듈의 decomposed view가 아래의 그림에 제시되었음

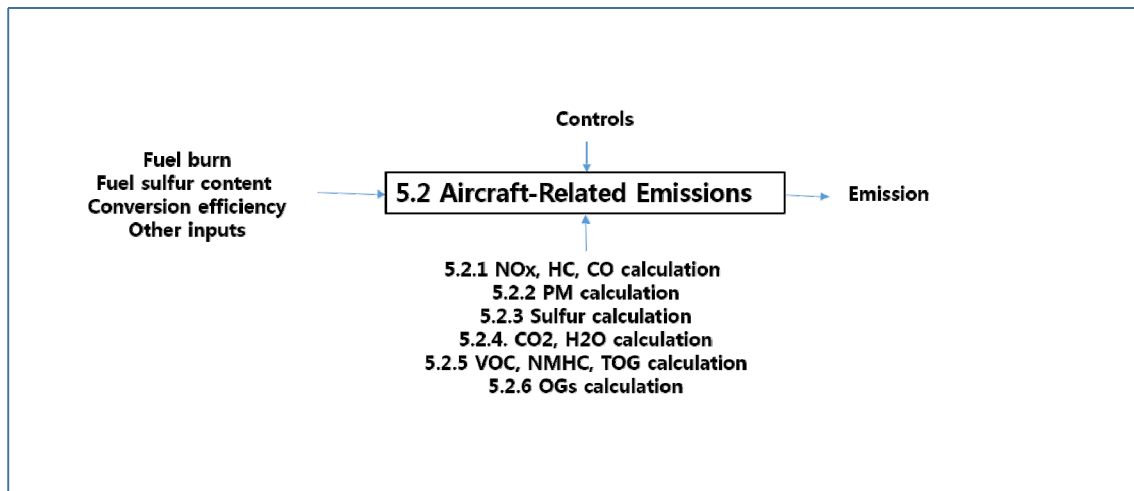


그림 24 “5 Emission Module” - Decomposed View

4) AEDT2a의 경우 지상장비에 의한 온실가스 배출량은 고려하고 있지 않음. (AEDT2b에는 고려할 것이라고 알려져 있음) 본 연구진에 의해 개발되는 온실가스 산출 프로그램에는 지상장비에 의한 배출량 까지 고려할 예정임.

(Level 2 - 3.3) Weather 모듈

- 주어진 지역/고도에서 온도, 압력, 밀도 등의 열역학적인 특성을 구하는 모듈
- [서브모듈] “3.3 Weather 모듈”은 다음과 같은 서브모듈로 구성되어 있음
 - 3.3.1 Common Elements
 - 3.3.2 Airport Average Atmospheric Models
- [입력] “3.3 Weather 모듈”은 항공기의 고도와 위치를 입력으로 받음
- [출력] “3.3 Weather 모듈”의 출력은 다음과 같음
 - 항공기 주위 대기의 온도와 기압
- 이 출력들은 항공기의 성능 계산과 연료 사용량의 계산에 사용됨

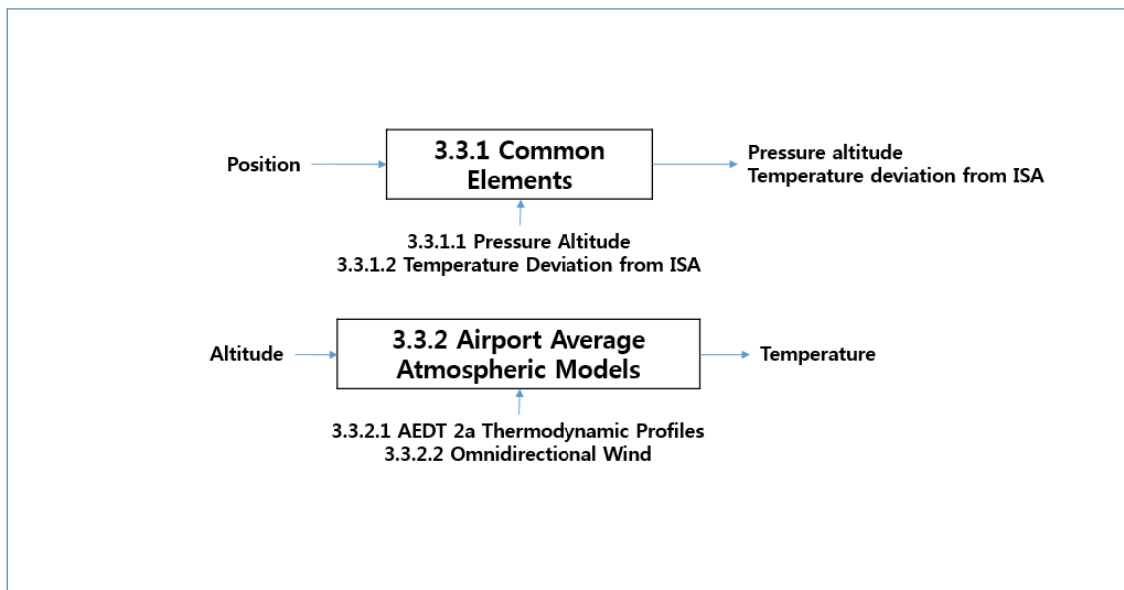


그림 25 “3.3 Weather” 모듈

(Level 2 - 3.4) Fuel Burn Models 모듈

- 연소 모듈은 비행경로의 각 부분별 연소 연료량을 계산하는 모듈로, 소모되는 연료량은 각 비행구간 별 연료 연소율(fuel flow rate)과 엔진의 개수의 곱으로 계산되어짐

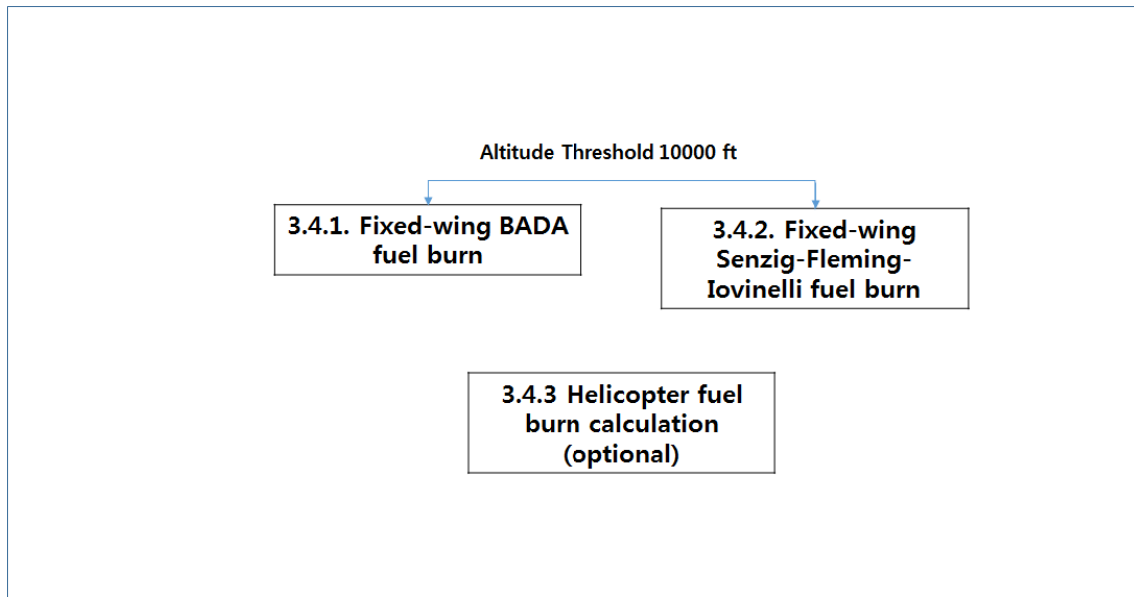


그림 26 “3.4 Fuel Burn Models”

- [입력] “3.4 Fuel Burn Models 모듈”의 직접 입력은 3.6 혹은 3.7의 결과로 도출되는 비행 프로파일이다
- [서브모듈] “3.4 Fuel Burn Models 모듈”은 다음과 같은 서브모듈로 구성되어 있음
 - 3.4.1 Fixed-Wing BADA fuel burn (BADA database 활용, 10,000 ft 이상)
 - 3.4.2 Fixed-Wind Senzig-Fleming-Ionelli fuel burn (공항 근처에서 사용, 10,000 이하)
 - 3.4.3 (Optional) Helicopter Fuel Burn Calculation
- [출력] “3.4 Fuel Burn Models 모듈”의 출력은 해당 비행 프로파일에 대한 연료 연소량임
- 해당 출력은 “3 Aircraft Performance” 모듈 및 (Root) 모듈 전체의 출력임

(Level 2 - 3.5) Ground Track 모듈

- Ground Track 모듈은 항공기가 생성한 3차원 상의 경로 중 지면에서의 성분을 결정함
 - 항공기의 비행경로가 입력되면, 이 경로의 지면 성분을 연속된 점들의 집합으로 출력

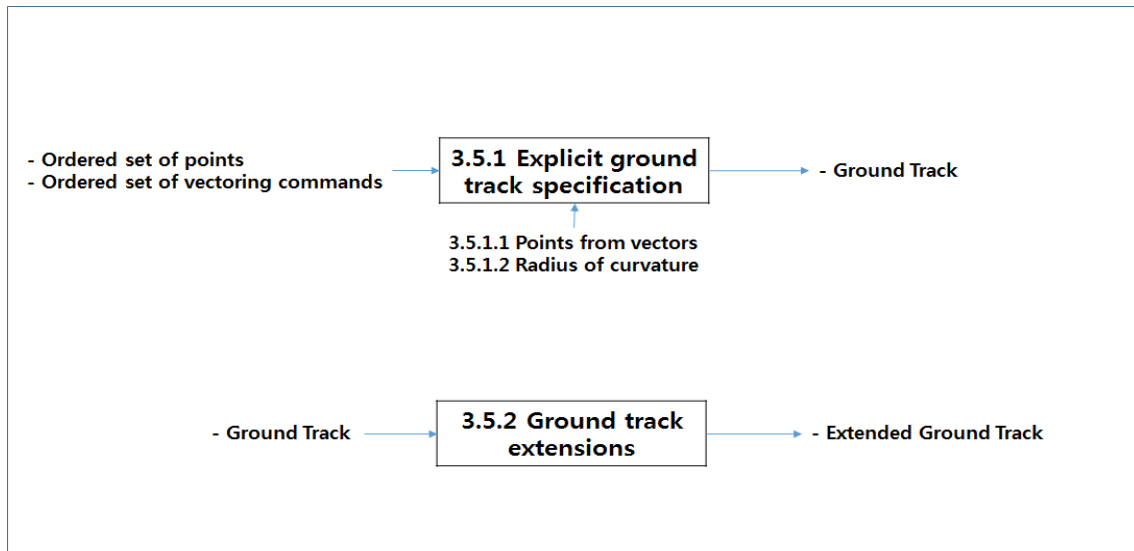


그림 27 “3.5 Ground Track” 모듈

- [서브모듈] “3.5 Ground Track 모듈”은 다음과 같은 서브모듈로 구성되어 있음
 - 3.5.1 Explicit ground track specification
 - 3.5.2 Ground track extensions
- [입력] “3.5 Ground Track 모듈”의 직접 입력은 다음과 같음 (from 3.6/3.7)
 - Ordered set of points
 - Ordered set of vectoring commands
- [출력] “3.5 Fuel Burn Models 모듈”의 출력은 다음과 같음 (to 3.6/3.7)
 - Ground Track in Geographic Coordinate (위도/경도)
 - Ground Track in Projected Coordinates (Reference 공항으로부터, Euclidean 좌표계에서 (x, y)로 표시)
- 출력은 다시 모듈 3.6/3.7에서 받아서 비행 프로파일 계산에 사용됨

(Level 2 - 3.6) Profile-Based Flight Performance 모듈

- Profile-Based Flight Performance 모듈은 고도, 속도, 플랩 설정, 추력과 같은 항공기의 상태 특징들을 이용하여 항공기의 운동을 기술하는 방법으로 항공기 성능을 계산함

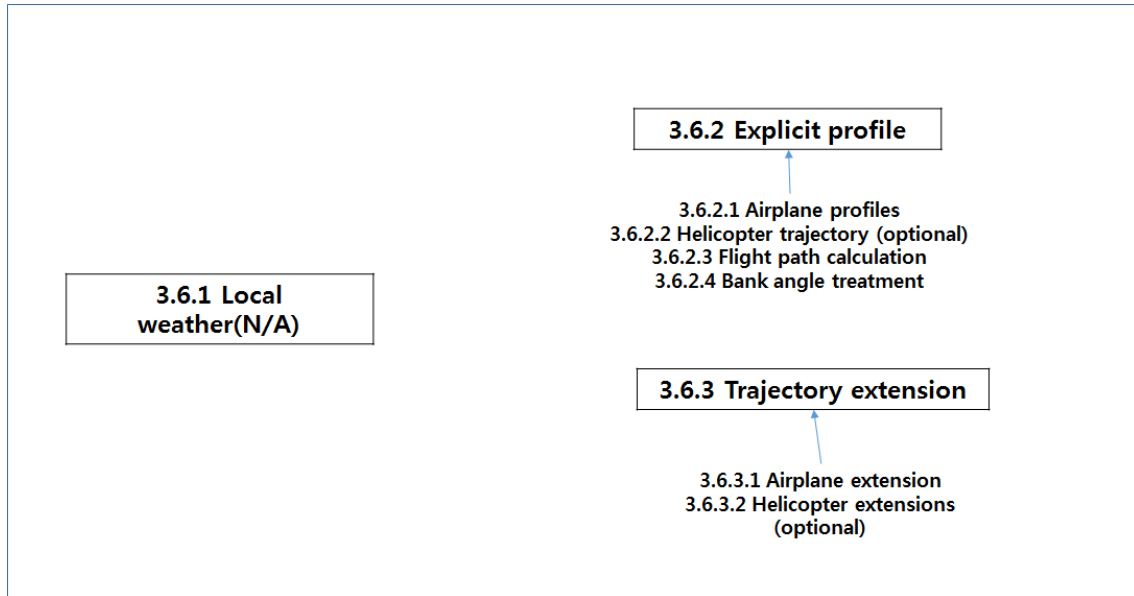


그림 28 Profile-driven Flight Performance

- [서브모듈] “3.6 Profile-Based Flight Performance 모듈”은 다음과 같은 서브모듈로 구성되어 있음
 - 3.6.1 Local Weather
 - 3.6.2 Explicit profile
 - 3.6.3 Trajectory Extension
- [입력] “3.6 Profile-Based Flight Performance 모듈”의 직접 입력은 다음과 같음 (from Root)
 - Study Boundary
 - Operation
- [출력] “3.6 Profile-Based Flight Performance 모듈”의 출력은 다음과 같음
 - 비행프로파일
- 출력은 다시 모듈 3.5에서 받아서 사용됨

(Level 2 - 3.7) Trajectory-driven flight performance 모듈

- Trajectory-driven flight performance 모듈은 레이더 항적 데이터와, 출/도착 공항, 기체 및 엔진 특성을 반영하여 궤적에 따른 항공기 상태 특징, 연료 소모량 등을 계산함

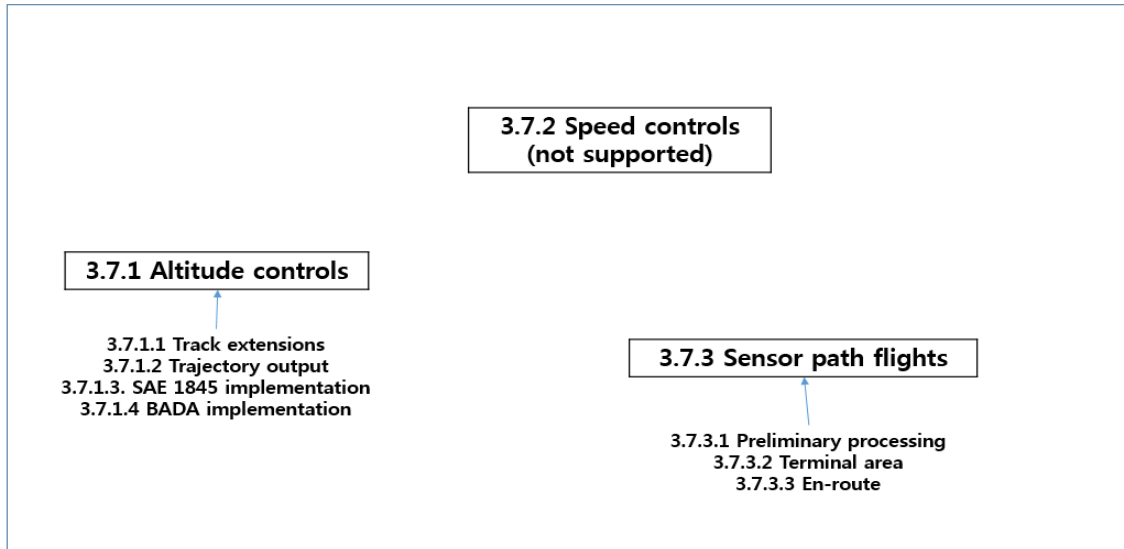


그림 29 Profile-driven Flight Performance

- [서브모듈] “3.7 Trajectory driven flight performance 모듈”은 다음과 같은 서브모듈로 구성되어 있음
 - 3.7.1 Altitude controls
 - 3.7.2 Speed controls
 - 3.7.3 Sensor path flights
- [입력] “3.7 Trajectory driven flight performance 모듈”의 직접 입력은 다음과 같음
 - 레이더 항적 데이터
 - 출/도착 공항 정보
 - 항공기 기종 및 엔진 종류
- [출력] “3.7 Trajectory driven flight performance 모듈”의 출력은 다음과 같음
 - 비행 프로파일

(Level 2 - 5.2) Aircraft-Related Emissions 모듈

- 연료 소모량 및 연료 특성 관련 입력을 받아서 온실가스 별 사용 모델에 따라 온실가스 배출량을 산출하는 모듈

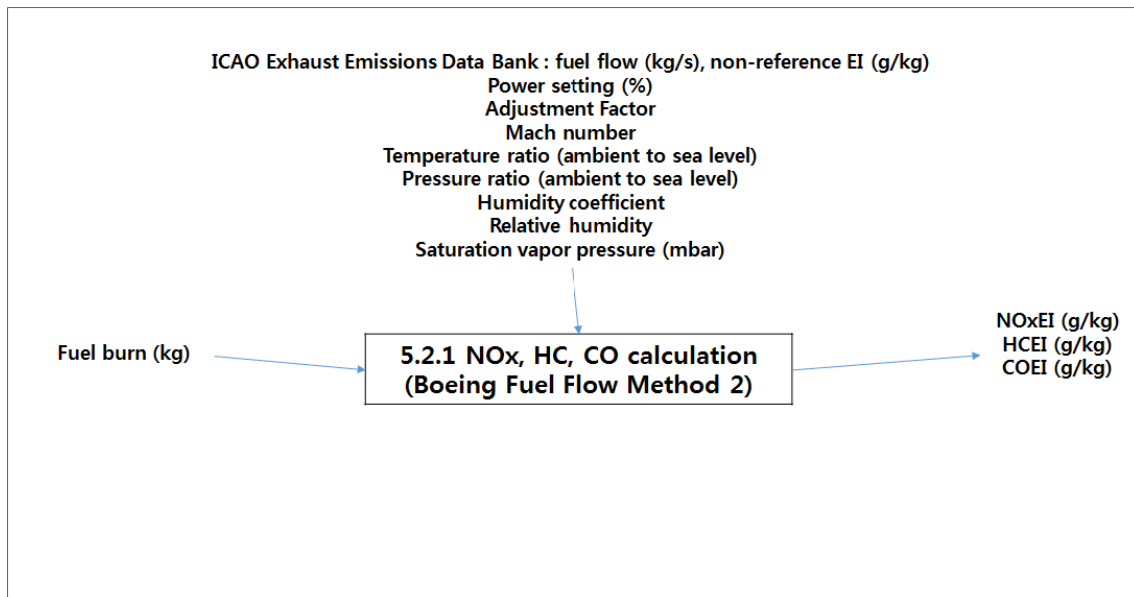


그림 30 “5.2 Aircraft-Related Emissions” 모듈의 NOx, HC, CO Calculation

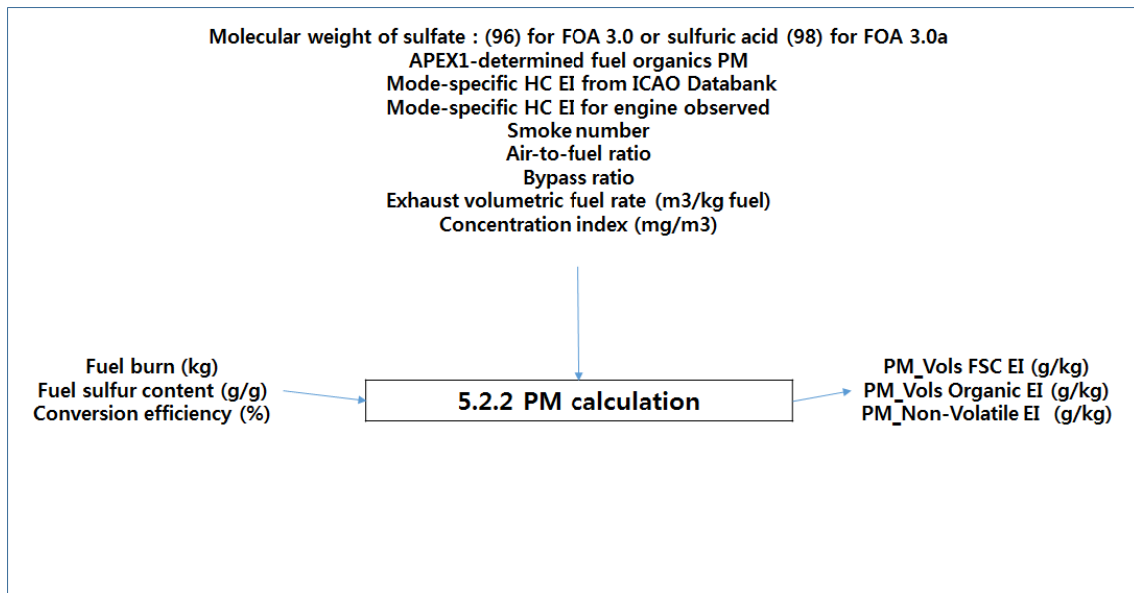


그림 31 “5.2 Aircraft-Related Emissions” 모듈의 PM Calculation

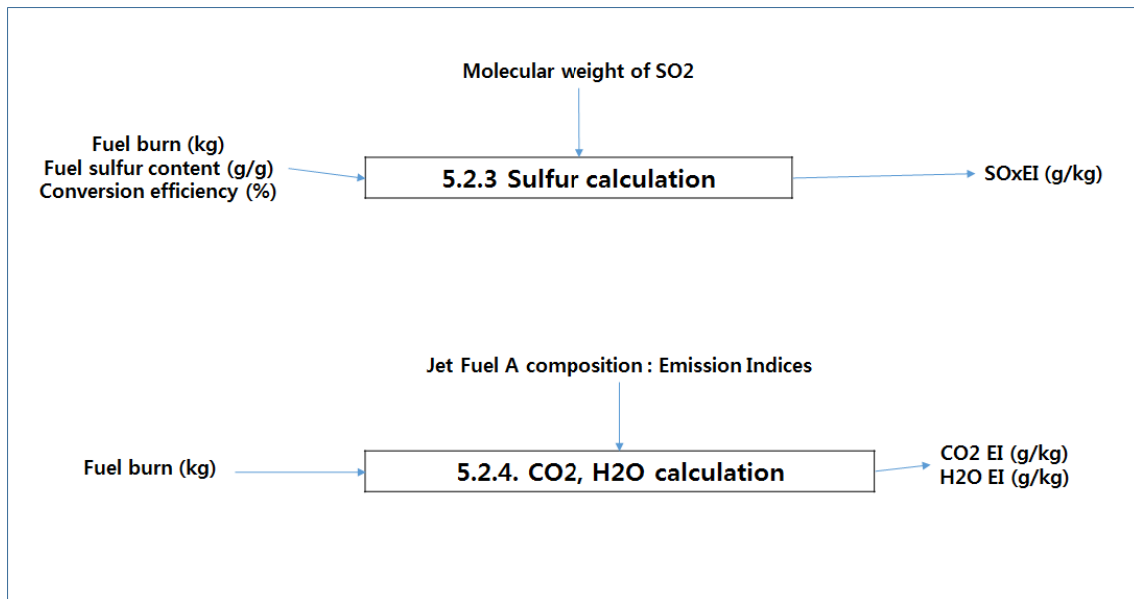


그림 32 “5.2 Aircraft-Related Emissions” 모듈의 Sulfur Calculation and CO2, H2O Calculation

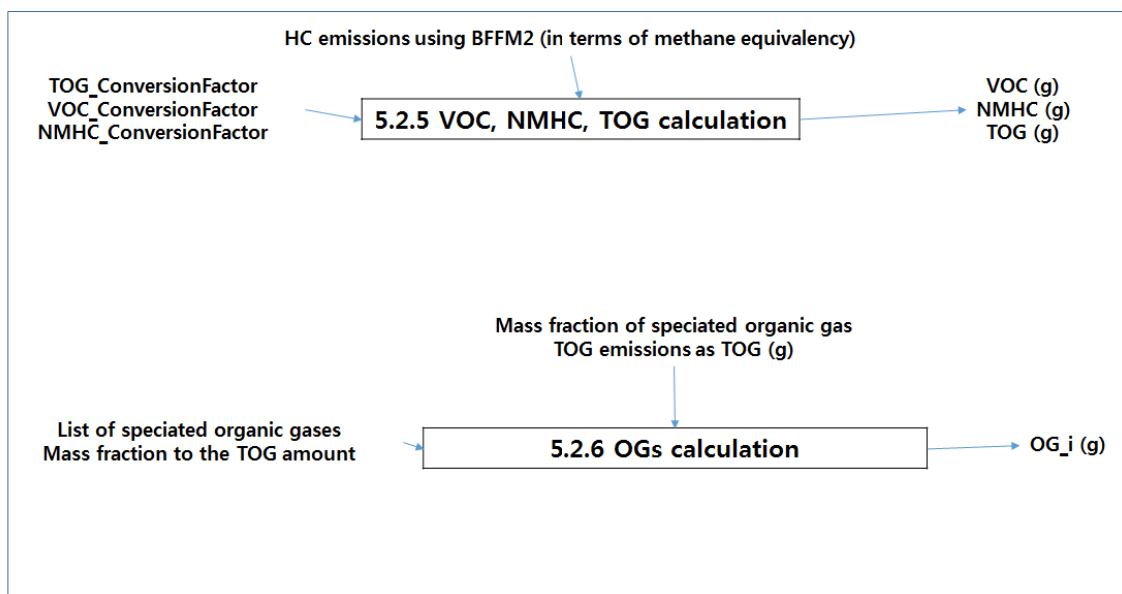


그림 33 “5.2 Aircraft-Related Emissions” 모듈의 VOC, NMHC, TOG calculation, OGs calculation

- [입력] “5.2 Aircraft-Related Emissions 모듈”의 직접 입력은 Root로부터의 입력과 함께 3.4의 결과로 도출되는 연료 연소량임
- [서브모듈] “5. Emission 모듈”은 다음과 같은 서브모듈로 구성되어 있음

- 5.2.1 NOx, HC, CO calculation
- 5.2.2 PM calculation
- 5.2.3 Sulfur calculation
- 5.2.4 CO2, H2O calculation
- 5.2.5 VOC, NMHC, TOG calculation
- 5.2.6 OGs calculation

- [출력] “5.2 Aircraft-Related Emissions 모듈”의 출력은 관심 화학종 별 온실가스 배출량임
- 해당 출력은 “5. Emission” 모듈 및 (Root) 모듈 전체의 출력임

(Level 3 - 3.3.1) Common Elements 모듈

- “(Level 2 - 3.3) Weather 모듈”의 서브 모듈
- 항공기의 고도, 위치 등이 주어졌을 때, 표준 대기 특성을 출력함
- 서브 모듈로는 “3.3.1.1 Pressure altitude”와, “Temperature deviation from ISA”가 있음

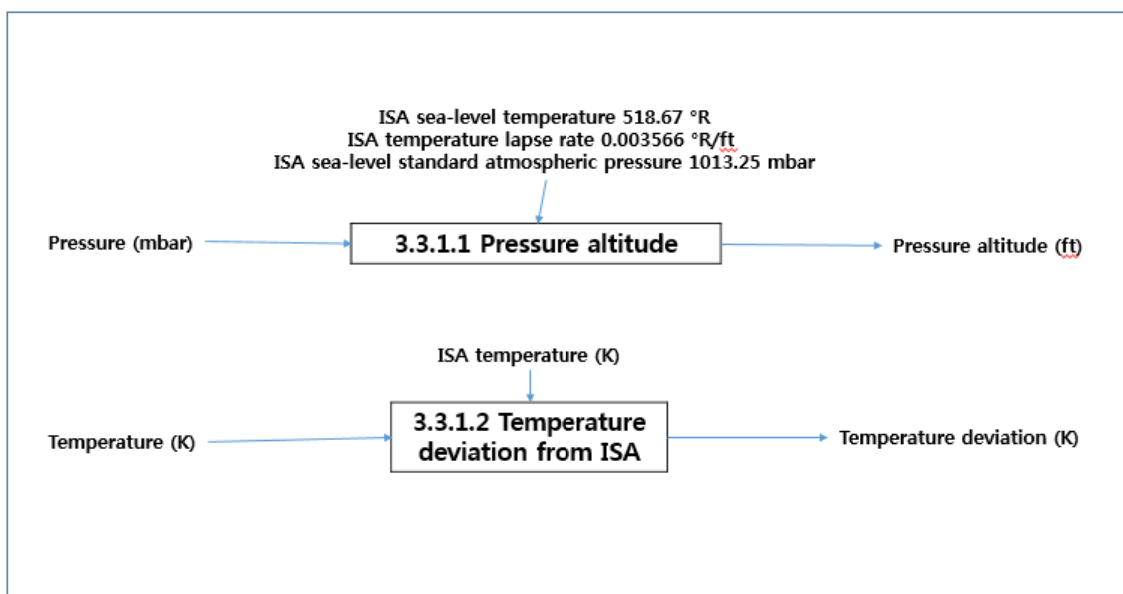


그림 34 “Common Elements” 모듈

(Level 3 - 3.3.2) Airport Average Atmospheric 모듈

- “(Level 2 - 3.3) Weather 모듈”의 서브 모듈
- 항공기의 고도, 공항의 정보 등이 주어졌을 때, 온도, 압력 및 바람을 출력함
- 서브 모듈로는 “3.3.2.1 Thermodynamic profile”과, “Omnidirectional Wind”가 있음

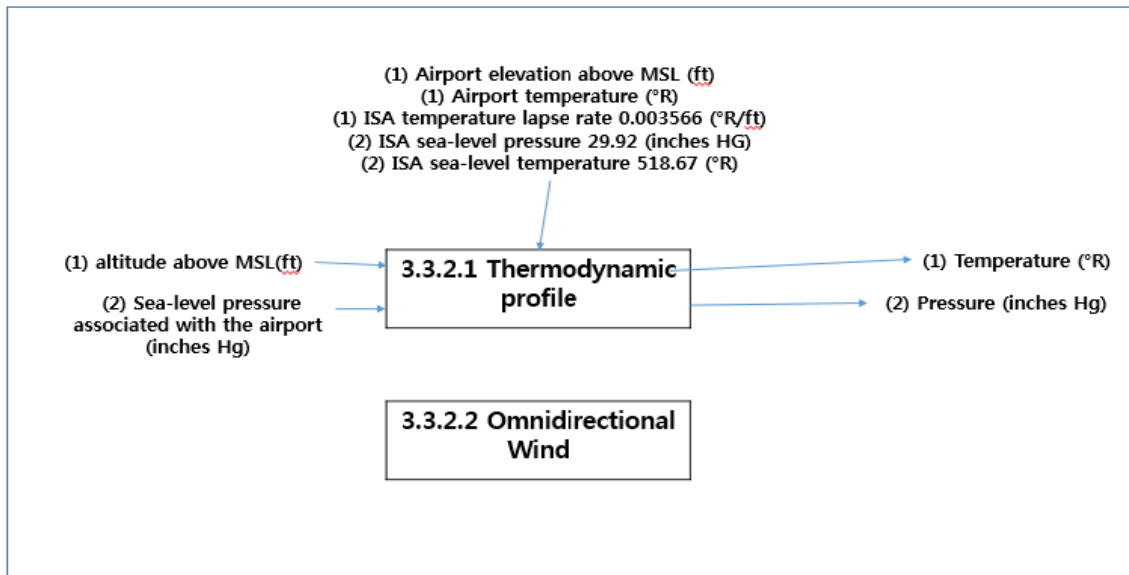


그림 35 “Airport Average Atmospheric” 모듈

(Level 3 - 3.4.1) Fixed-wing BADA fuel burn 모듈

- “(Level 2 - 3.4) Fuel burn 모듈”의 서브 모듈
- BADA 연료 소비 모델은 명시적인 연료 연소율의 수식을 제공. 이를 통해 엔진의 타입에 따라 순항 상태/ 유힬 상태 일 경우의 연료 연소율을 계산할 수 있음

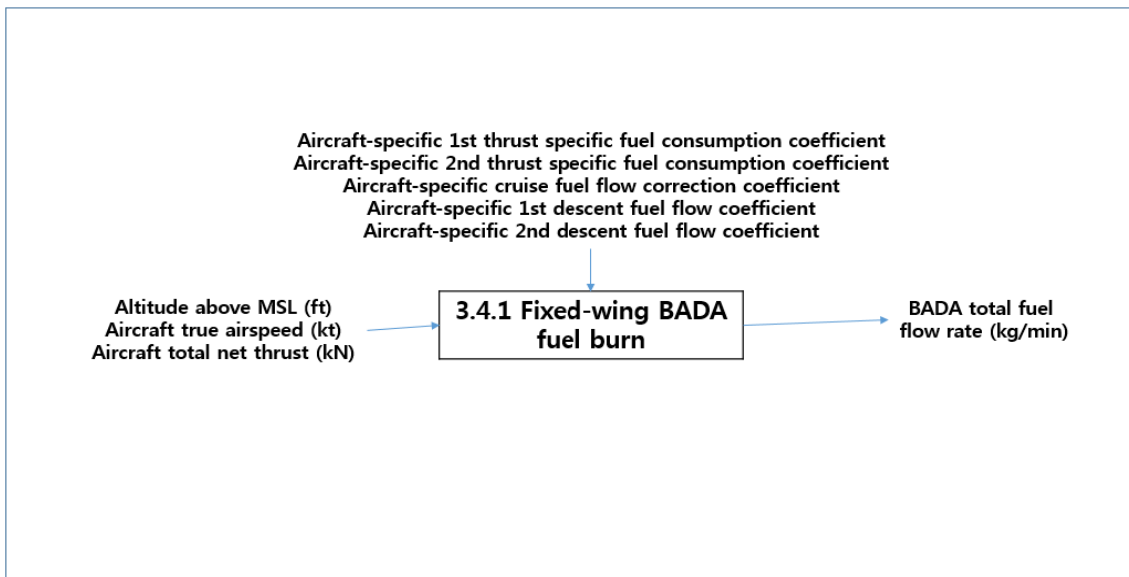


그림 36 “Fixed-wing BADA fuel burn” 모듈

(Level 3 - 3.4.2) Fixed-wing Senzig-Fleming-Iovinelli fuel burn 모듈

- “(Level 2 - 3.4) Fuel burn 모듈”의 서브 모듈
- 공항의 관제를 받는 공항 근처의 지역에서의 연료 연소율을 계산하는 방법.
- 각 Terminal-area 의 TSFC coefficient와 항공기의 비행고도, 속도, 온도 데이터가 주어졌을 때, 이에 따른 연료 연소율을 계산하여 출력함

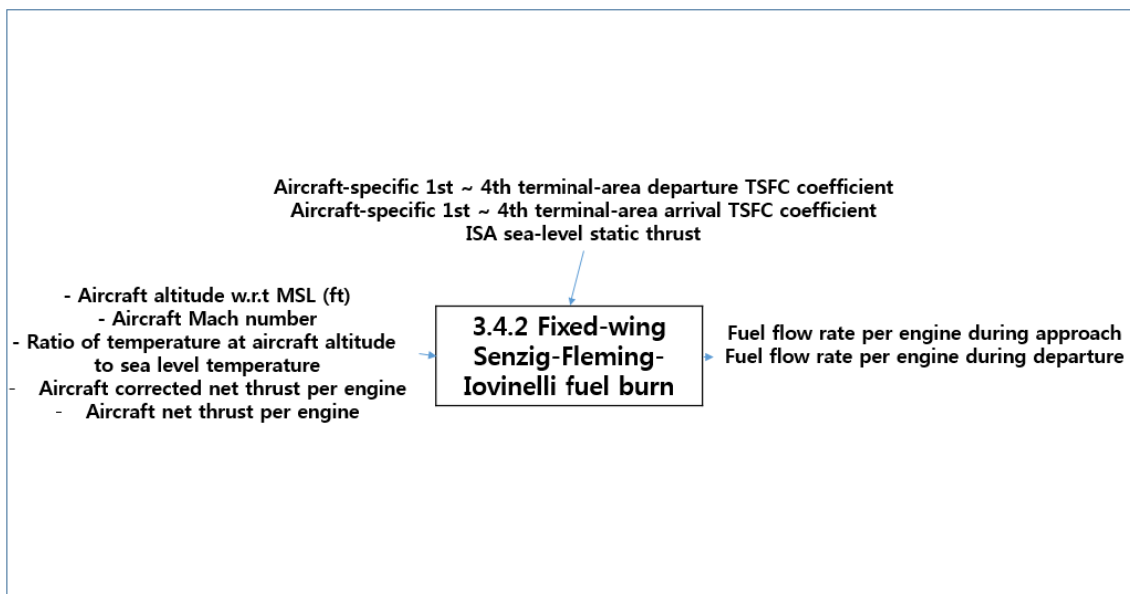


그림 37 “Fixed-wing Senzig-Fleming-Iovinelli fuel burn” 모듈

(Level 3 - 3.5.1) Explicit ground track specification 모듈

- “(Level 2 - 3.5) Ground Track 모듈”의 서브 모듈
- 항공기가 생성한 3차원 상의 경로 중 지면에서의 성분을 결정
- 비행 프로파일과 고도, 온도 데이터가 들어있는 Airports DB를 활용하여 지상 트랙을 구함.

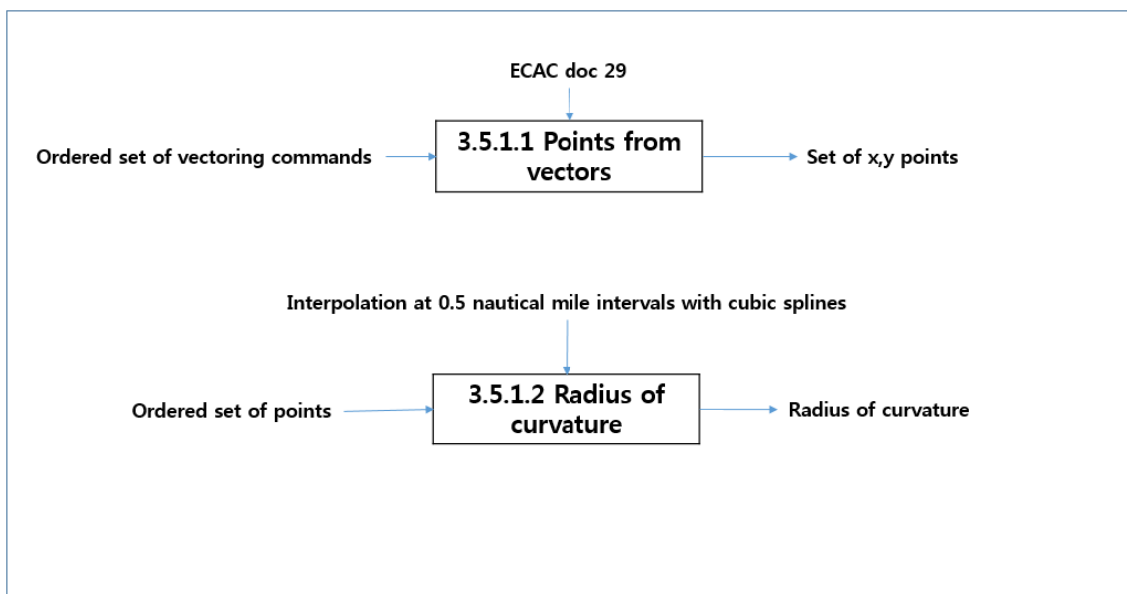


그림 38 “Explicit ground track specification” 모듈

(Level 3 - 3.5.2) Ground Track Extensions 모듈

- “(Level 2 - 3.5) Ground Track 모듈”의 서브 모듈
- 관심 영역에 대하여 경로를 확장시키는 모듈
- 사용자가 관심영역을 지정하였을 때 이와 관련된 비행경로를 Batch process 형태로 계산함

(Level 3 - 3.6.2) Explicit Profile 모듈

- “Level 2 - 3.6 Profile -Based Flight Performance” 모듈의 하위모듈임
- “3.6.2 Explicit profile” 모듈은 표준 궤적을 생성하고 항공기의 상태 특성들(추력, 대기속도, 이동거리 등)의 프로파일 요소들을 정의함.

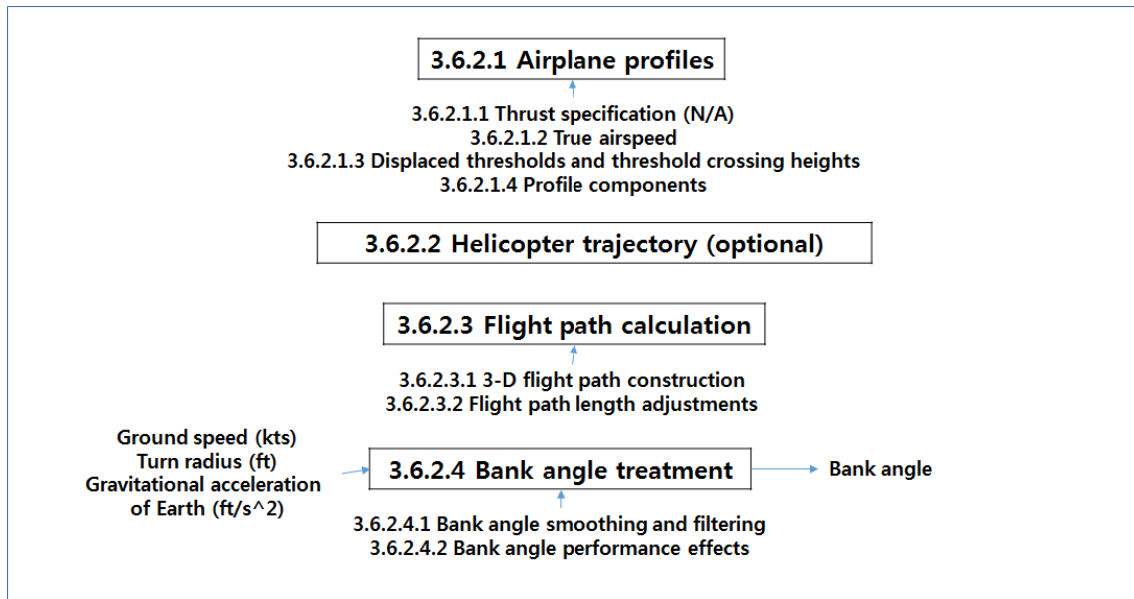


그림 39 Explicit Profile

- “Level 3 - 3.6.2 Explicit Profile” 모듈은 다음과 같은 하위 모듈들로 구성됨.

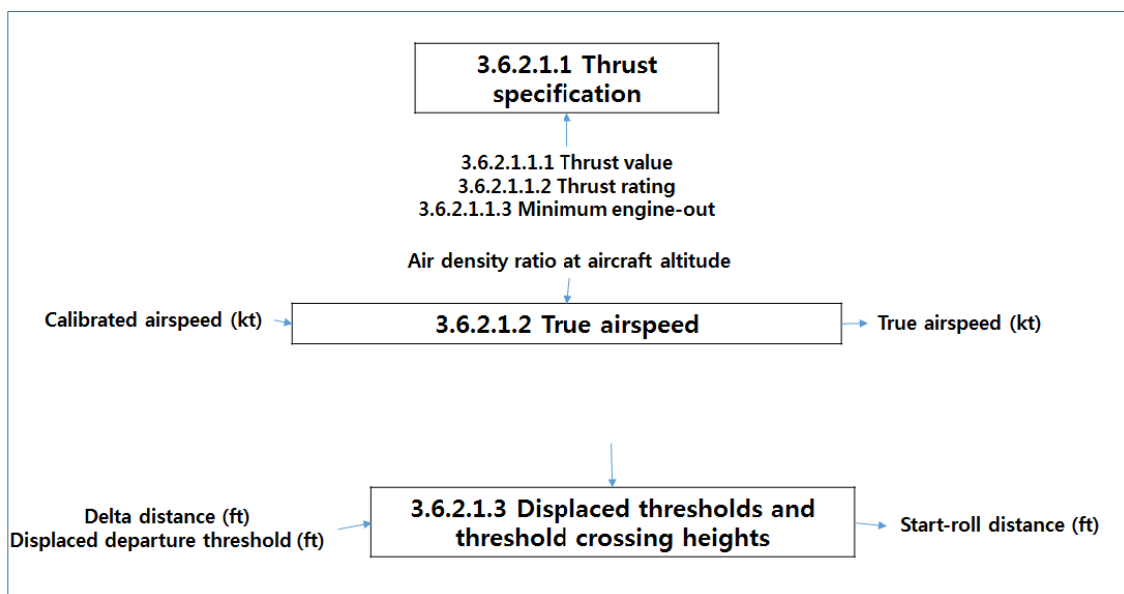


그림 40 Airplane Profiles (Level 4)

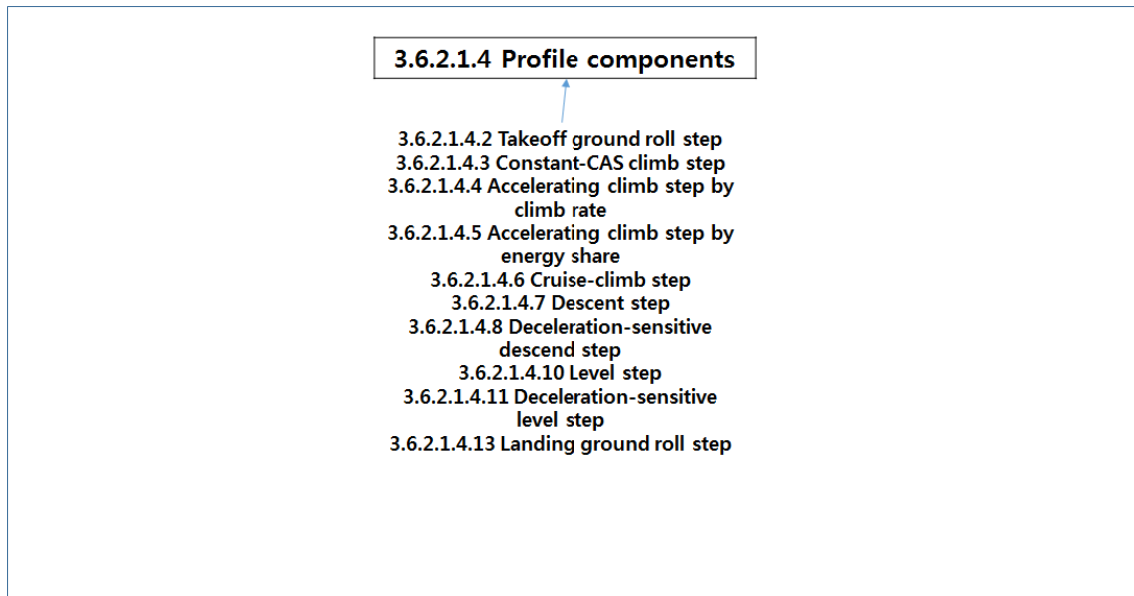


그림 41 Profile Components (Level 4)

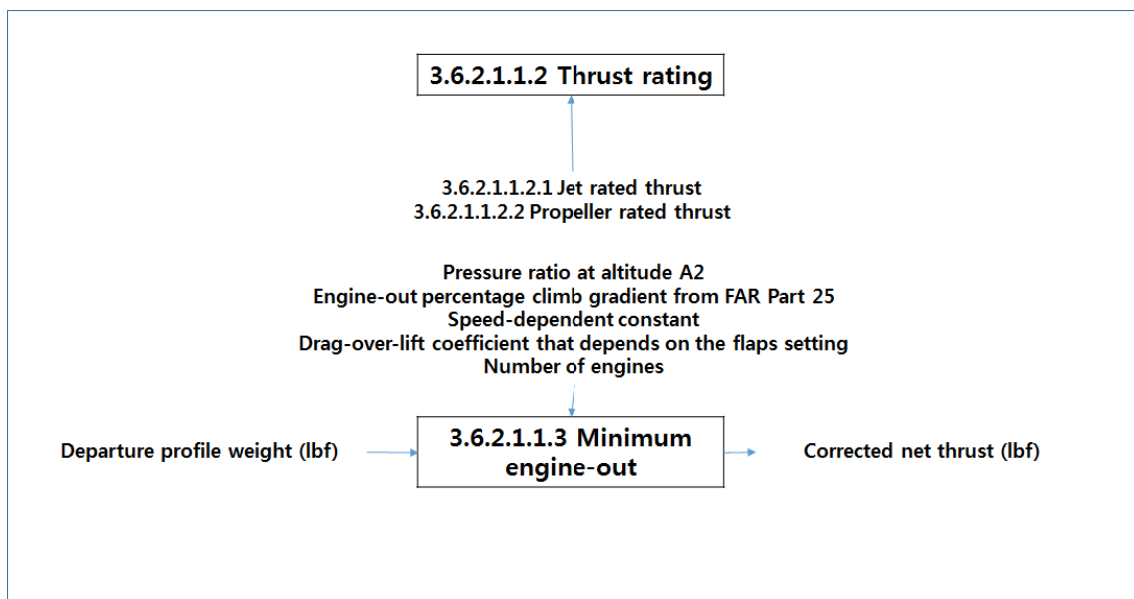


그림 42 Thrust Specification (Level 5)

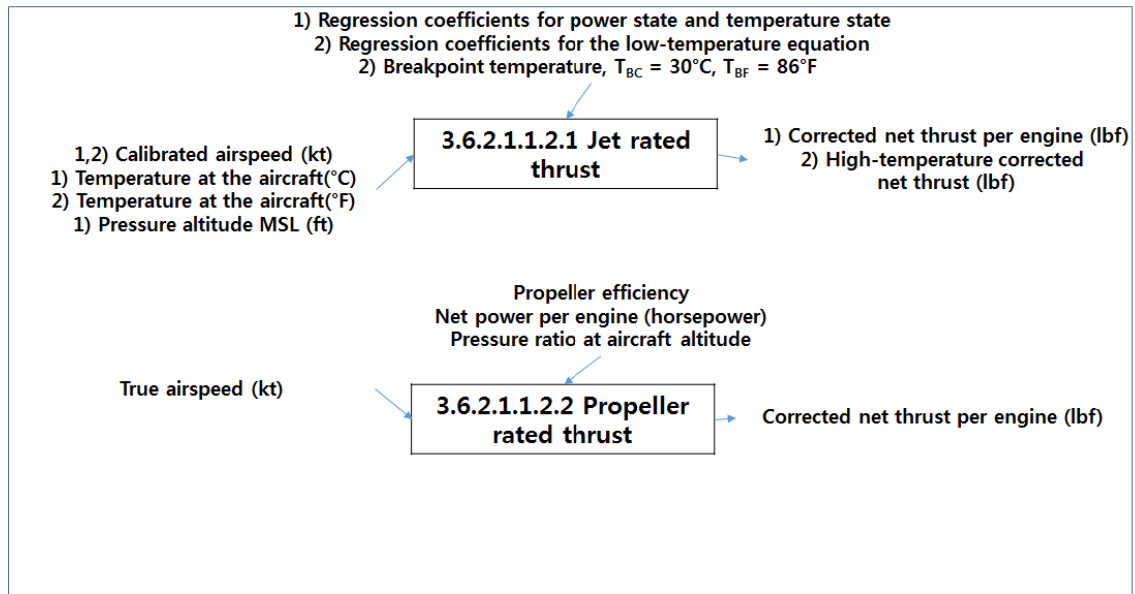


그림 43 Thrust Rating (Level 6)

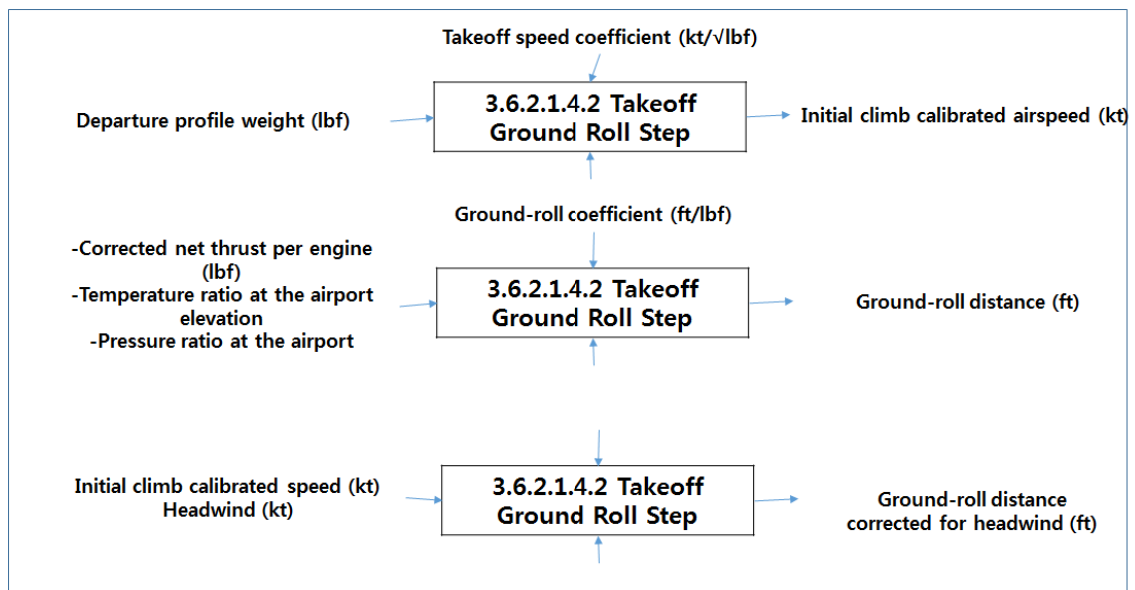


그림 44 Takeoff Ground Roll Step (1) (Level 5)

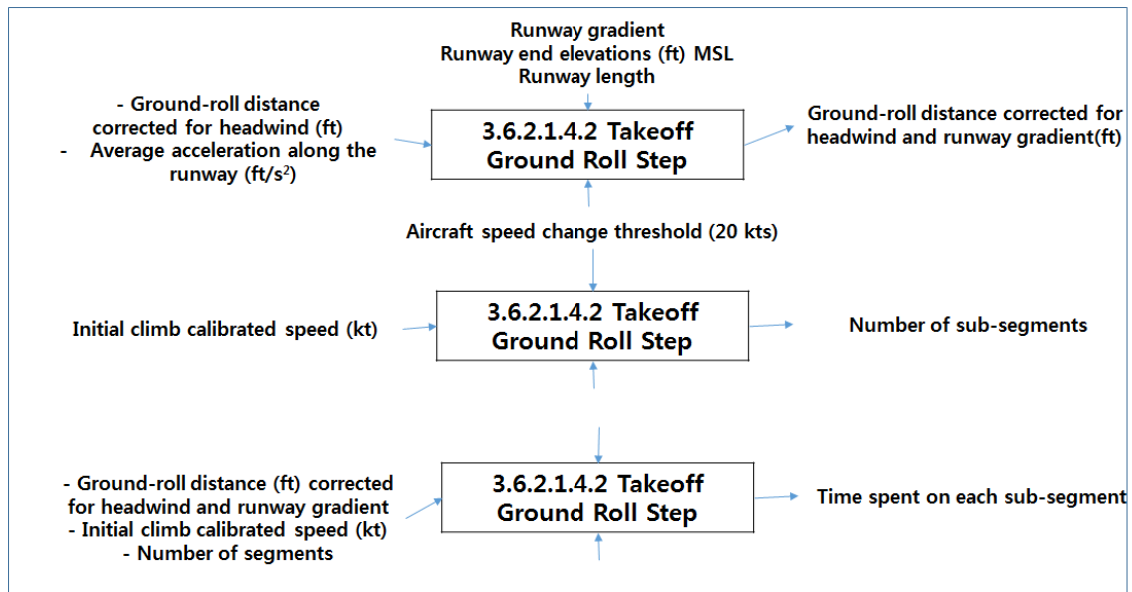


그림 45 Takeoff Ground Roll Step (2) (Level 5)

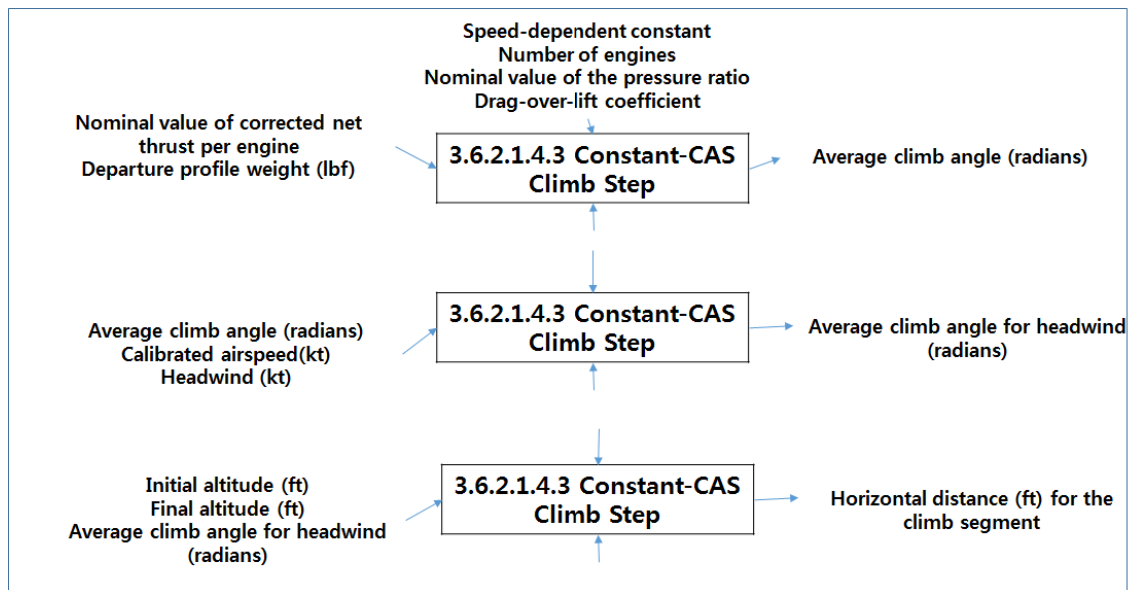


그림 46 Constant-CAS Climb Step (Level 5)

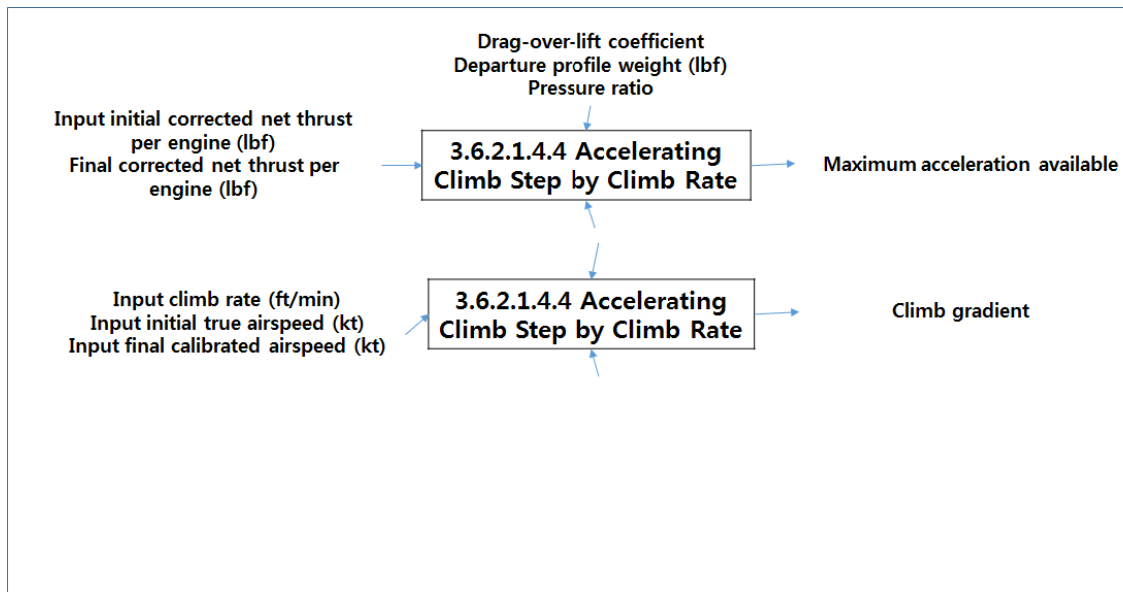


그림 47 Accelerating Climb Step by Climb Rate (1) (Level 5)

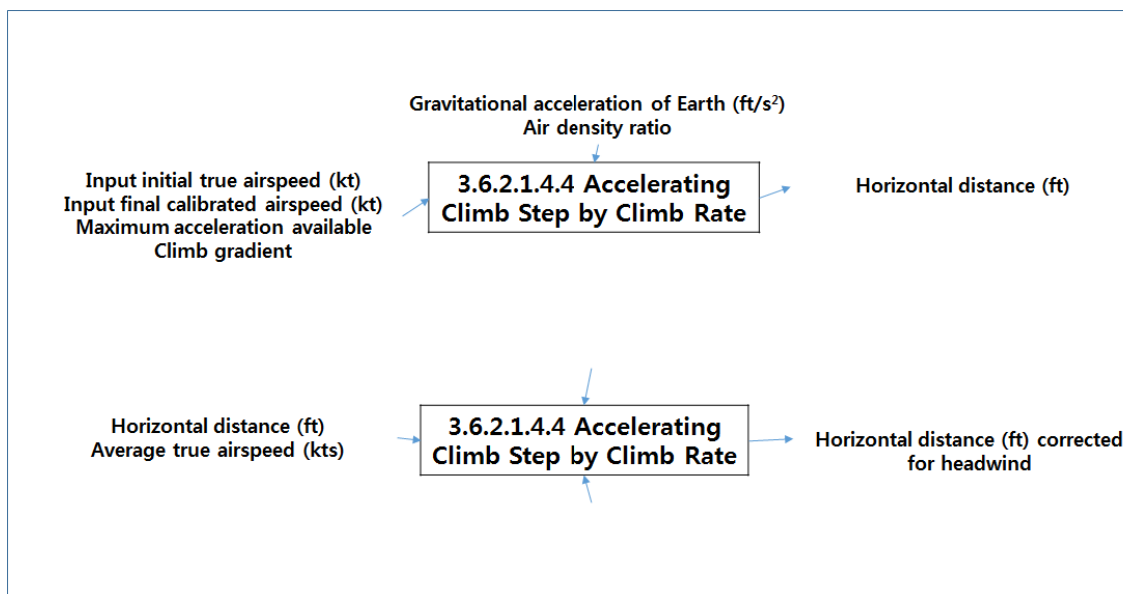


그림 48 Accelerating Climb Step by Climb Rate (2) (Level 5)

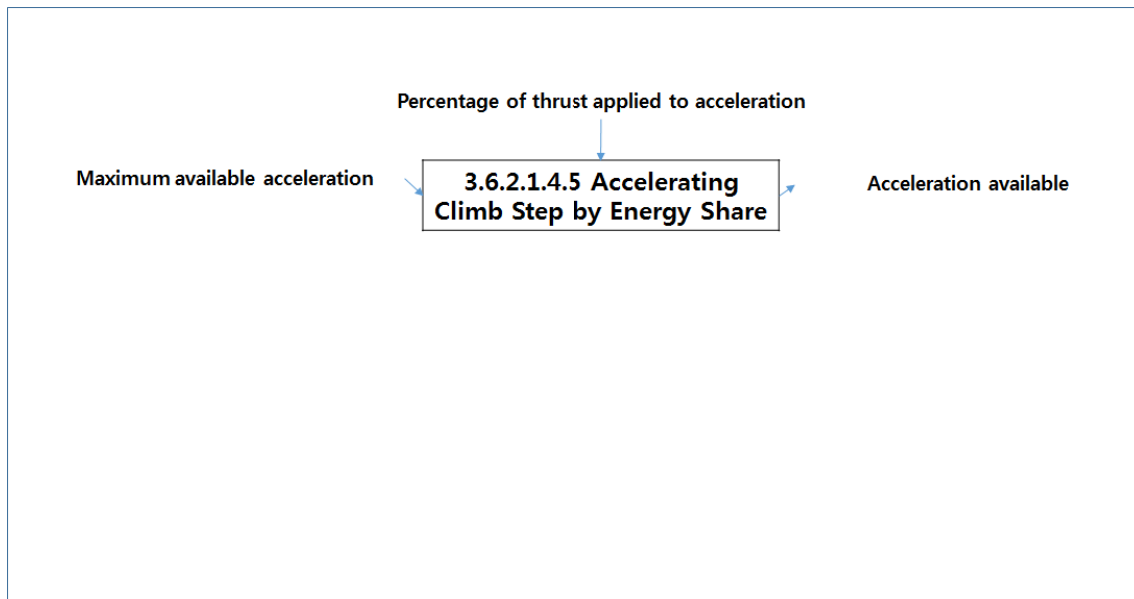


그림 49 Accelerating Climb Step by Energy Share (Level 5)

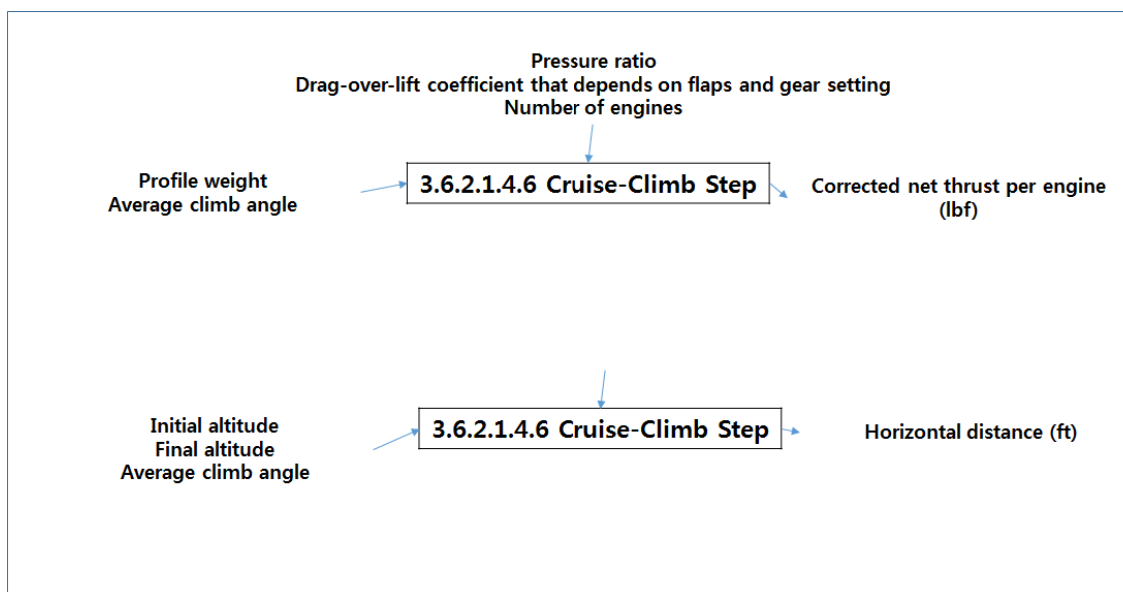


그림 50 Cruise-Climb Step (Level 5)

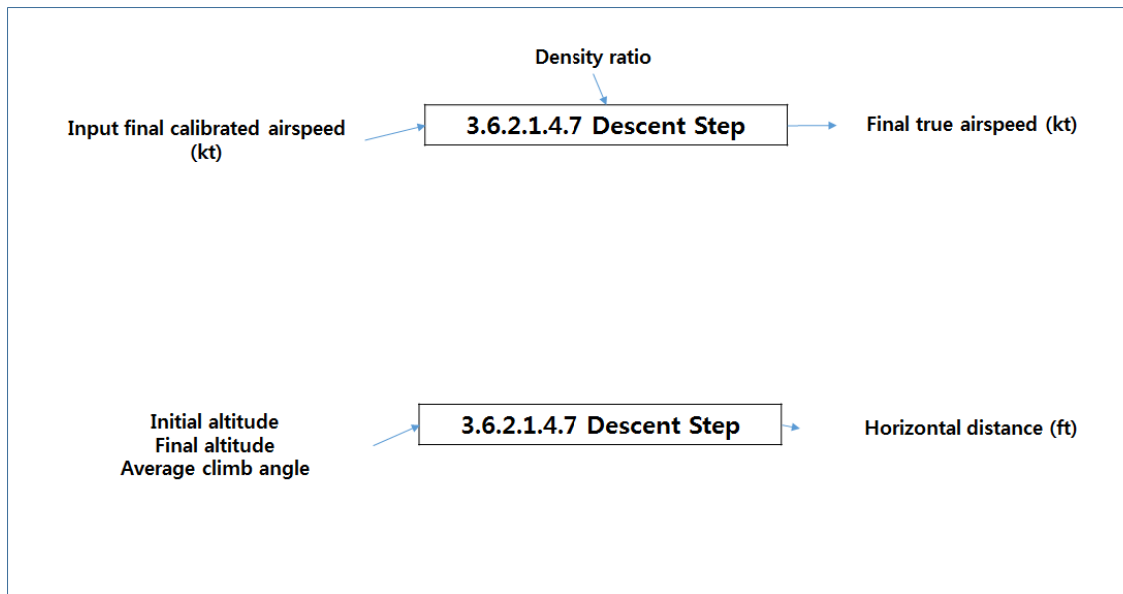


그림 51 Descent Step (1) (Level 5)

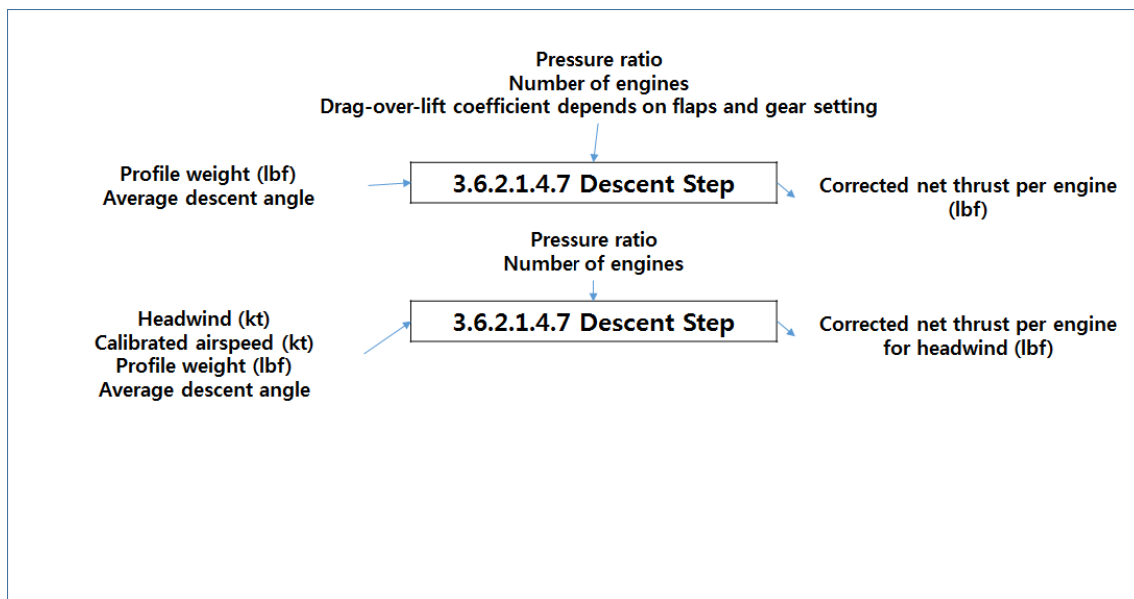


그림 52 Descent Step (2) (Level 5)

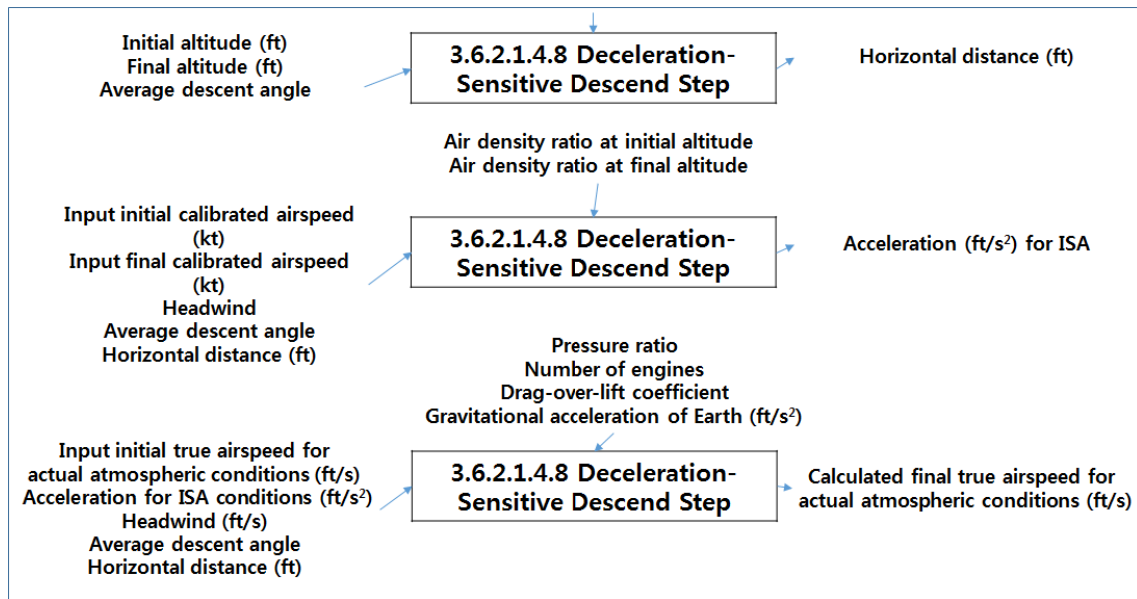


그림 53 Deceleration-Sensitive Descend Step (1) (Level 5)

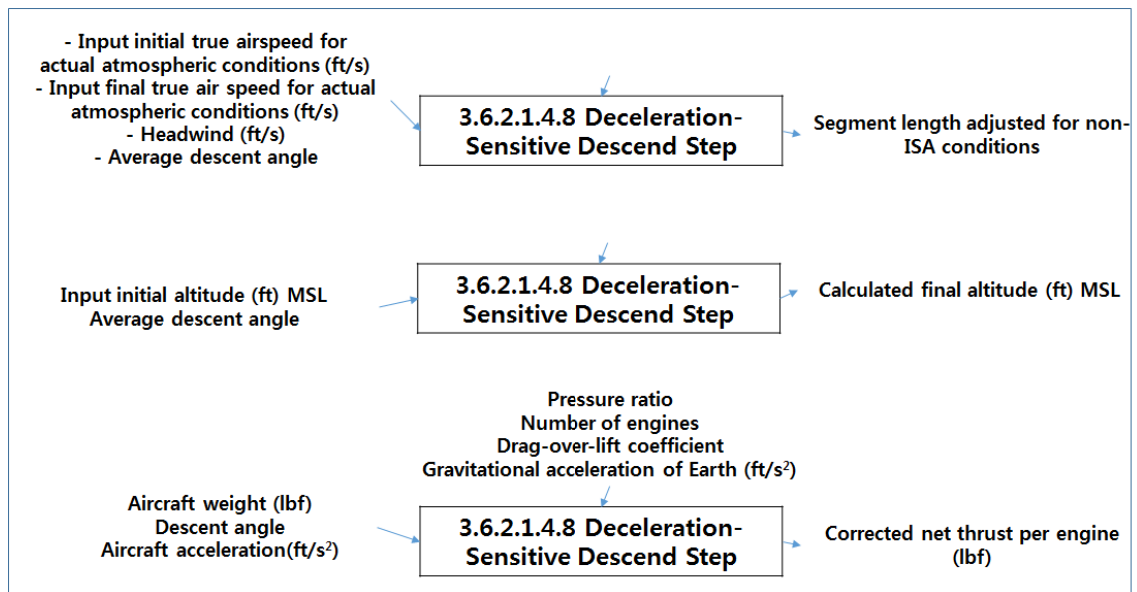


그림 54 Deceleration-Sensitive Descend Step (2) (Level 5)

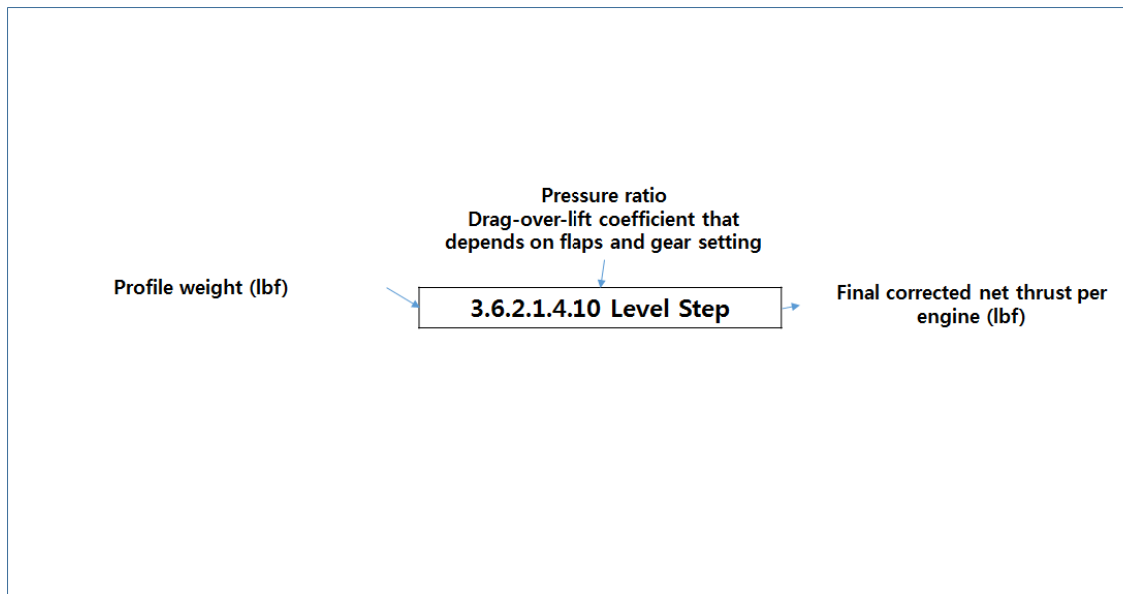


그림 55 Level Step (Level 5)

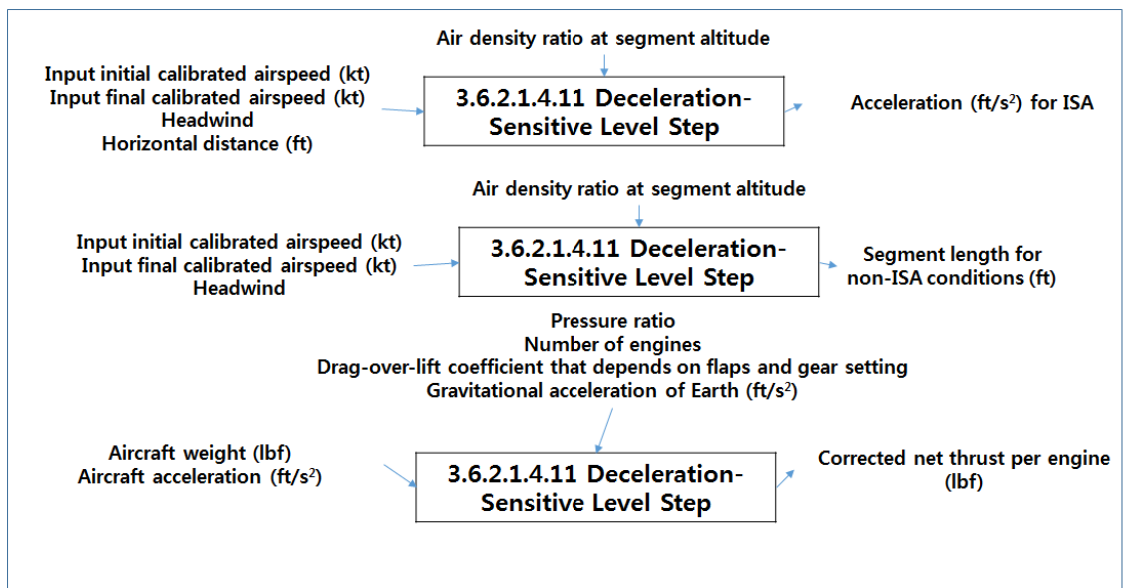


그림 56 Deceleration-Sensitive Level Step (Level 5)

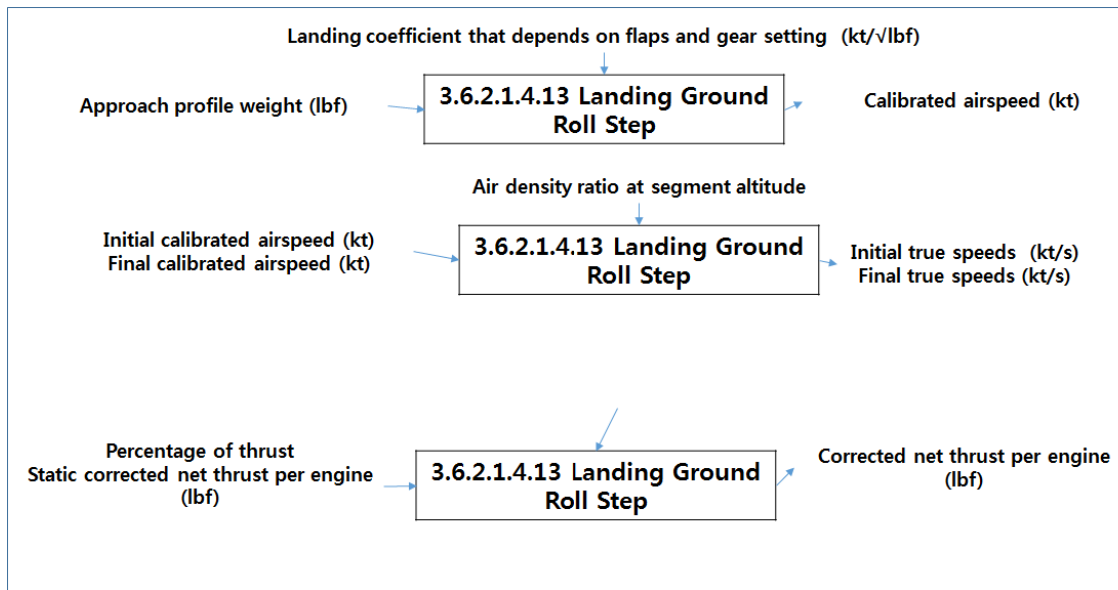


그림 57 Landing Ground Roll Step (Level 5)

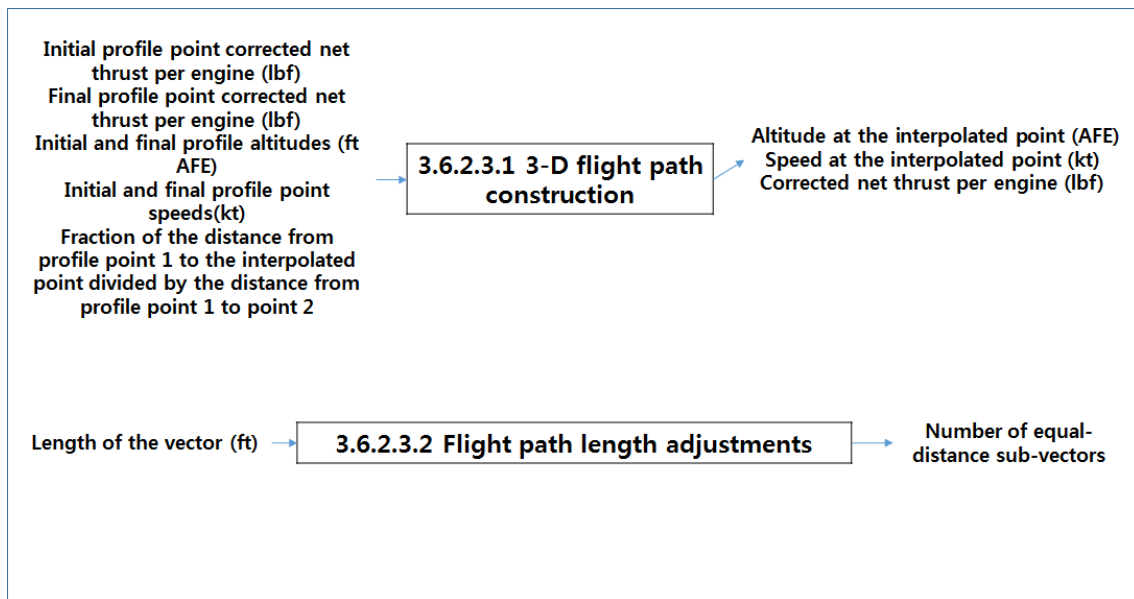


그림 58 Flight Path Calculation (Level 4)

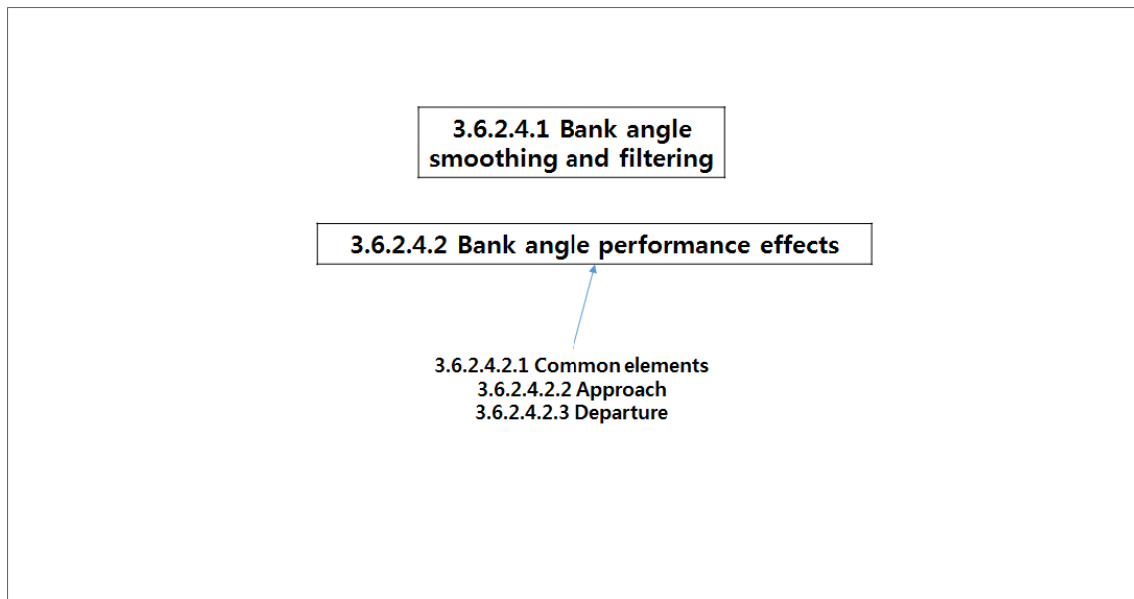


그림 59 Bank angle treatment (Level 4)

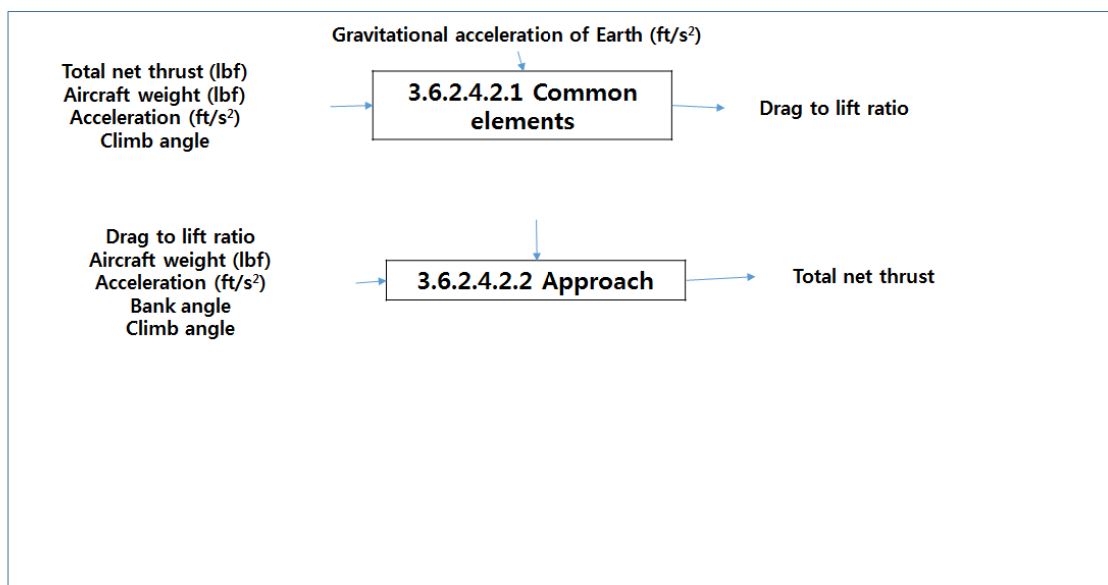


그림 60 Bank Angle Calculation (Common Elements, Approach) (Level 5)

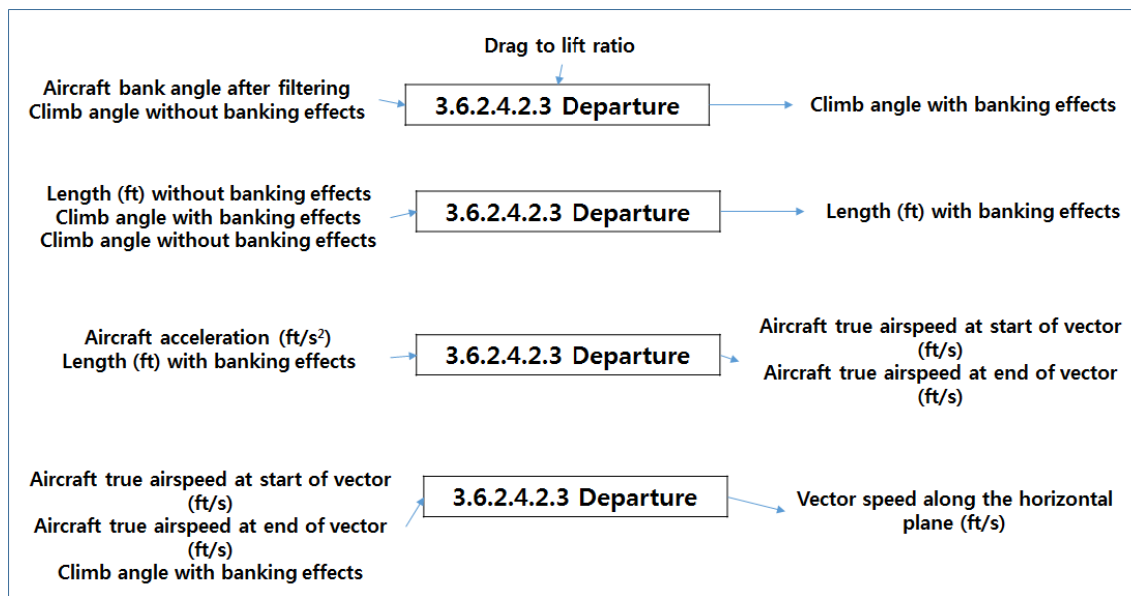


그림 61 Bank Angle Calculation (Departure) (Level 5)

(Level 3 - 3.6.3) Trajectory Extension 모듈

- “Level 2 - 3.6 Profile -Based Flight Performance” 모듈의 하위모듈임
- “3.6.3 Trajectory Extension” 모듈은 사용자가 관심영역을 지정하였을 때 이와 관련된 비행경로를 확장시키는 과정임. 표준궤적에서 시작하여 관심영역에서 끝나는 과정으로, 관심영역과 표준 궤적 사이에서 항공기의 성능을 나타냄.

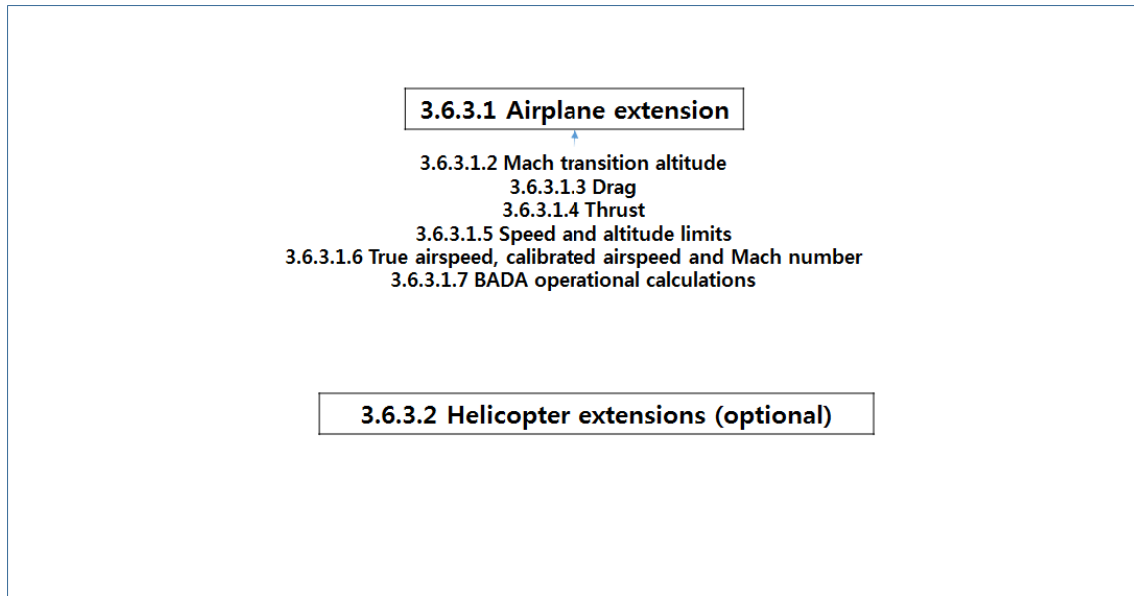


그림 62 Trajectory Extension Process

- “Level 3 - 3.6.2 Explicit Profile” 모듈은 다음과 같은 하위 모듈들로 구성됨.

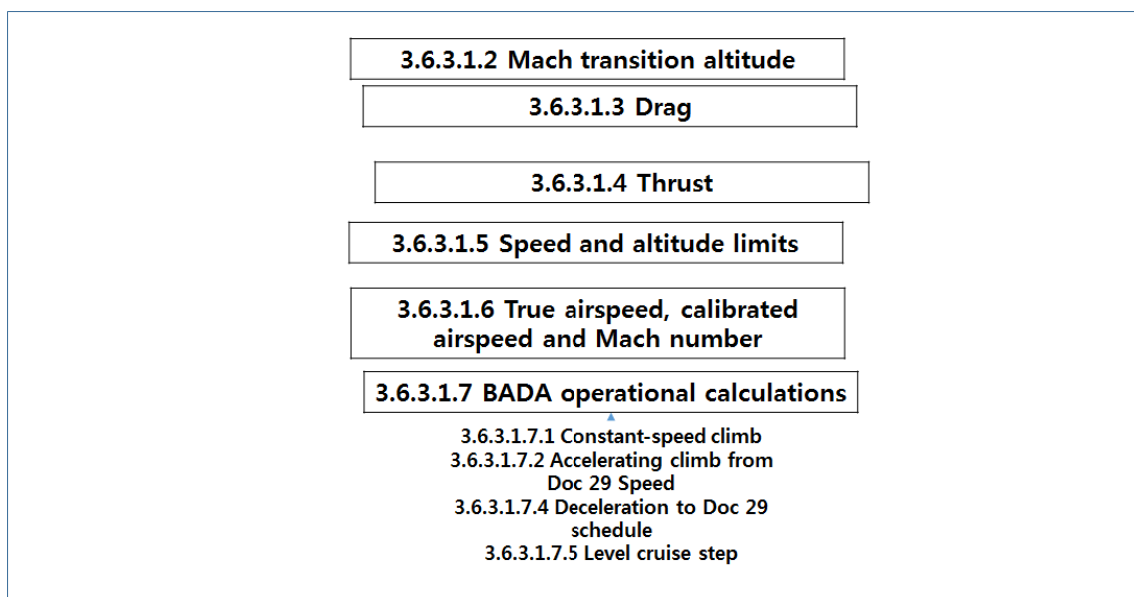


그림 63 Airplane Extension Process

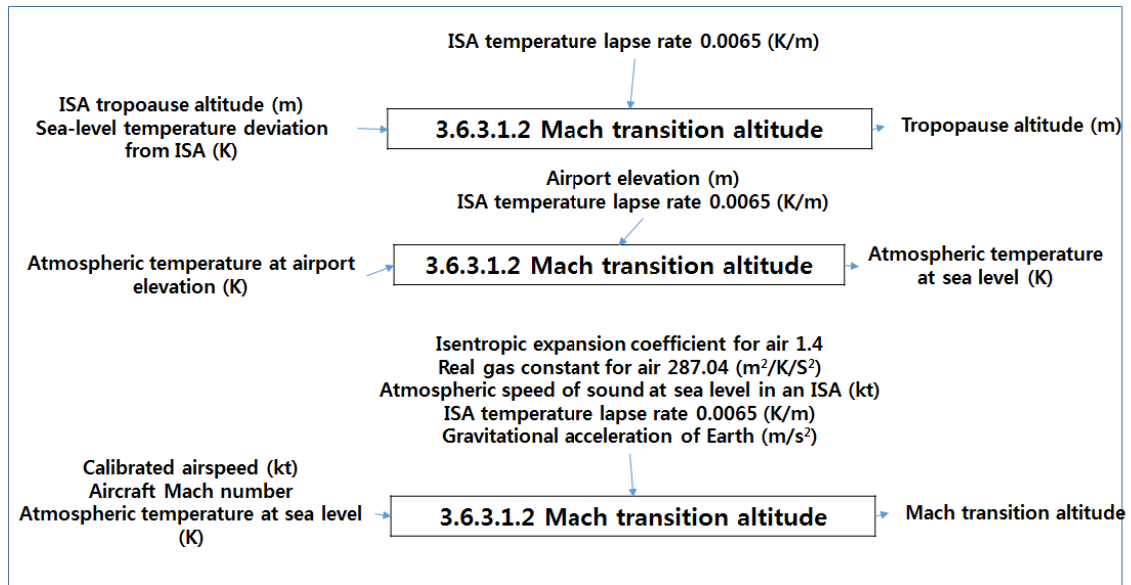


그림 64 Mach Transition Altitude (Level 5)

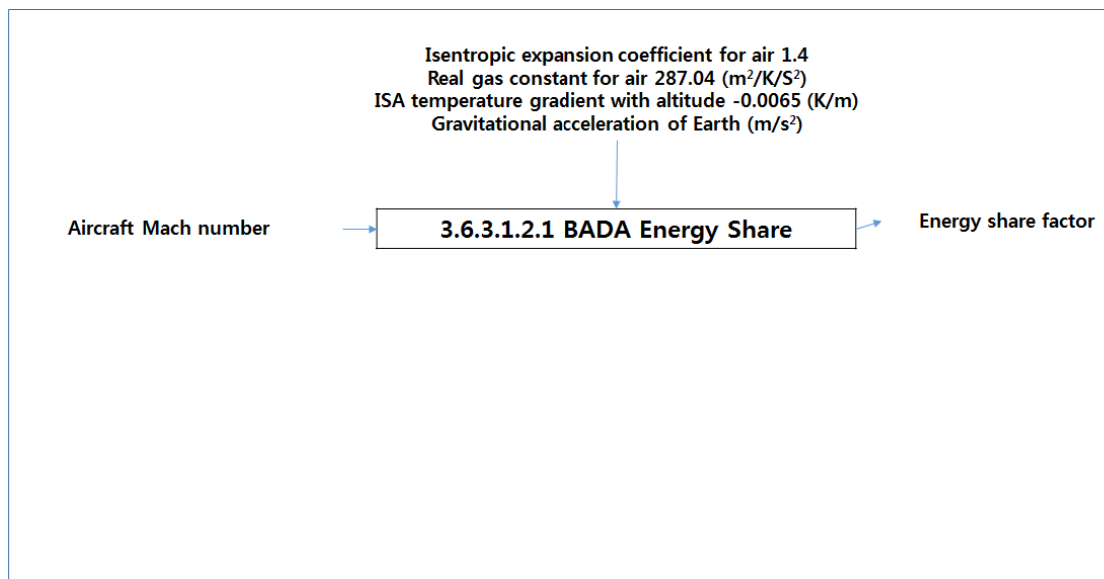


그림 65 BADA Energy Share Process (Level 5)

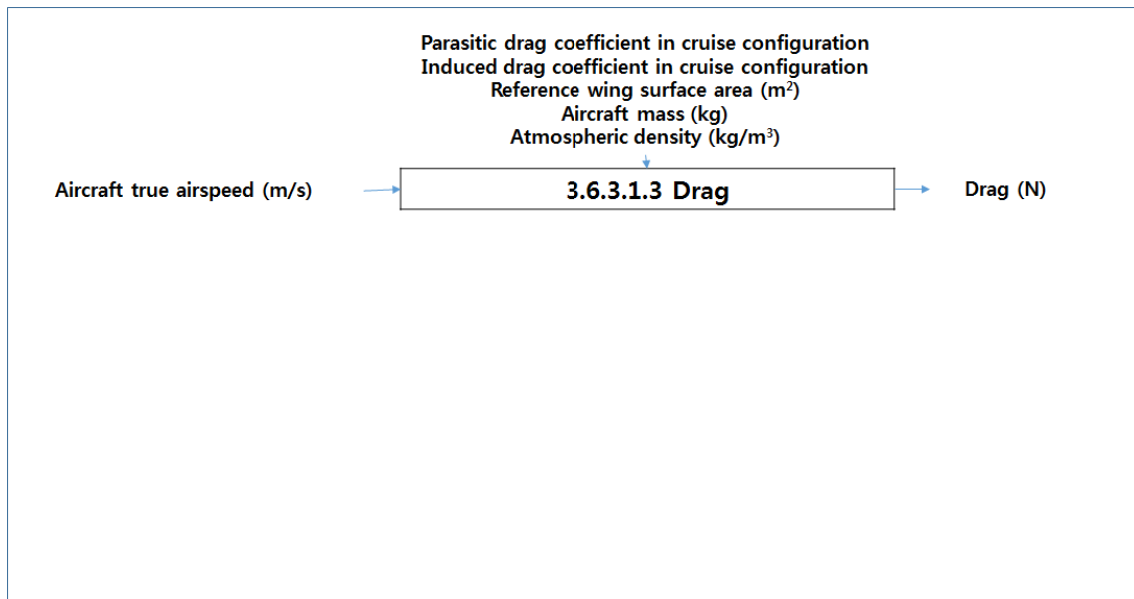


그림 66 Drag Calculation (Level 4)

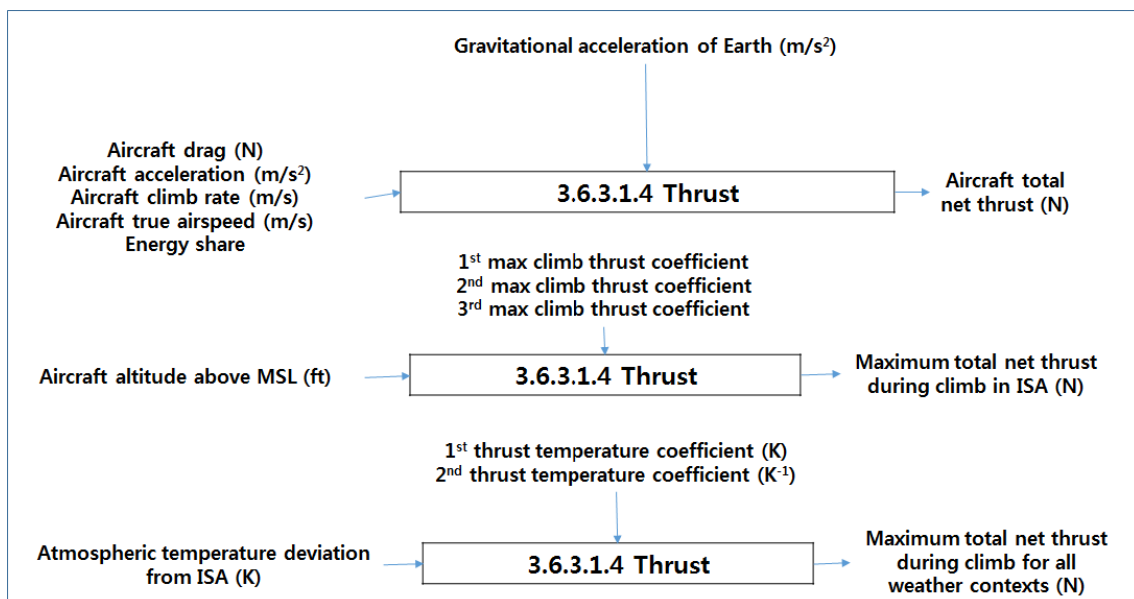


그림 67 Thrust Calculation (1) (Level 4)

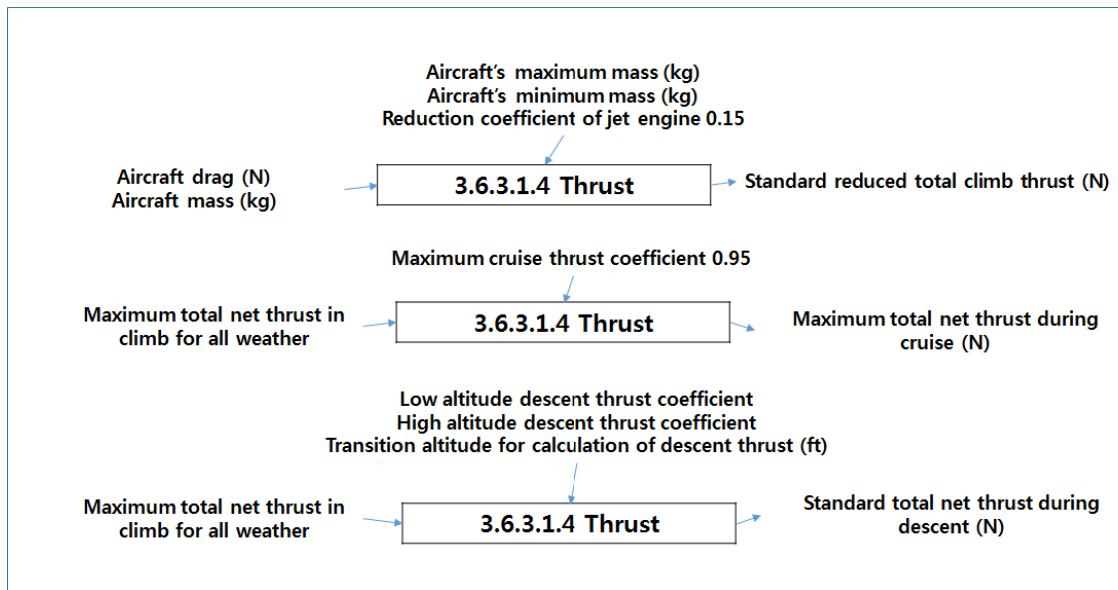


그림 68 Thrust Calculation (2) (Level 4)

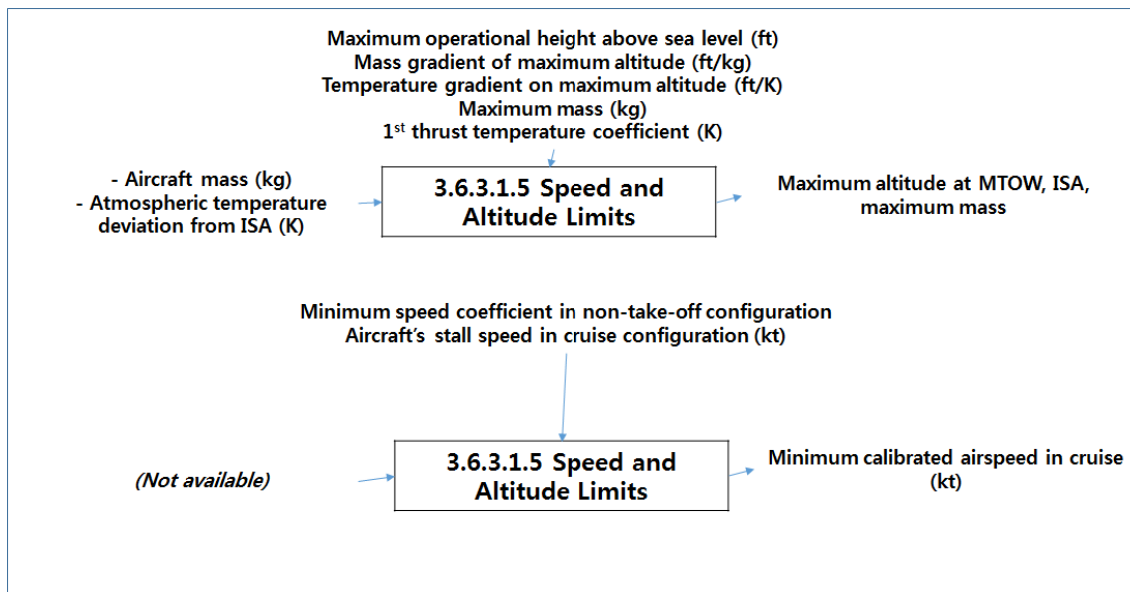


그림 69 Speed and Altitude Limits (Level 4)

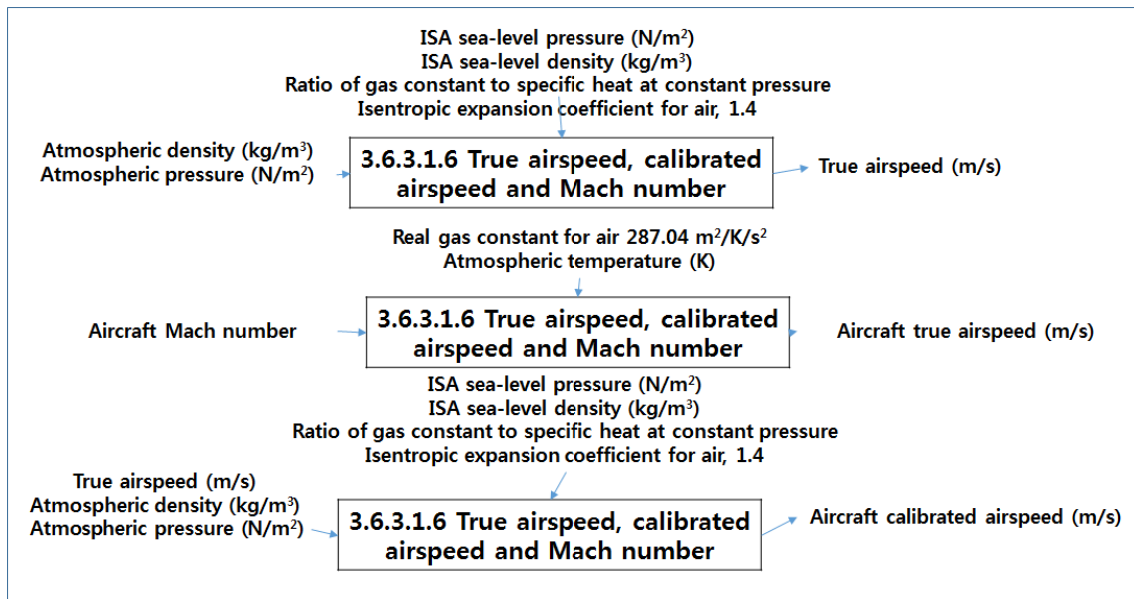


그림 70 True Airspeed, Calibrated Airspeed And Mach Number (Level 4)

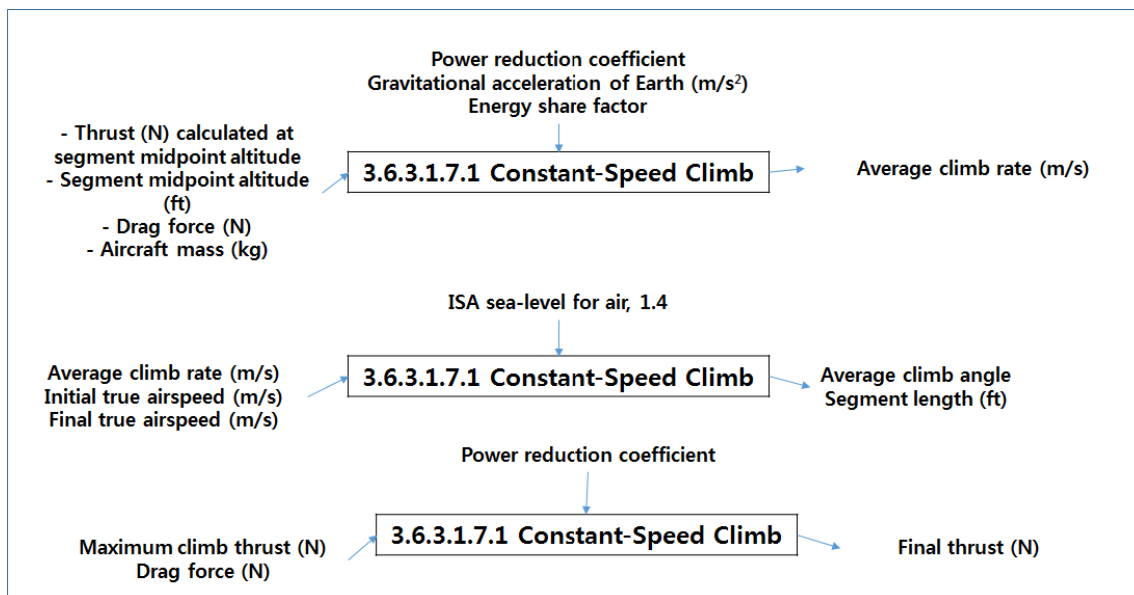


그림 71 Constant-Speed Climb (Level 5)

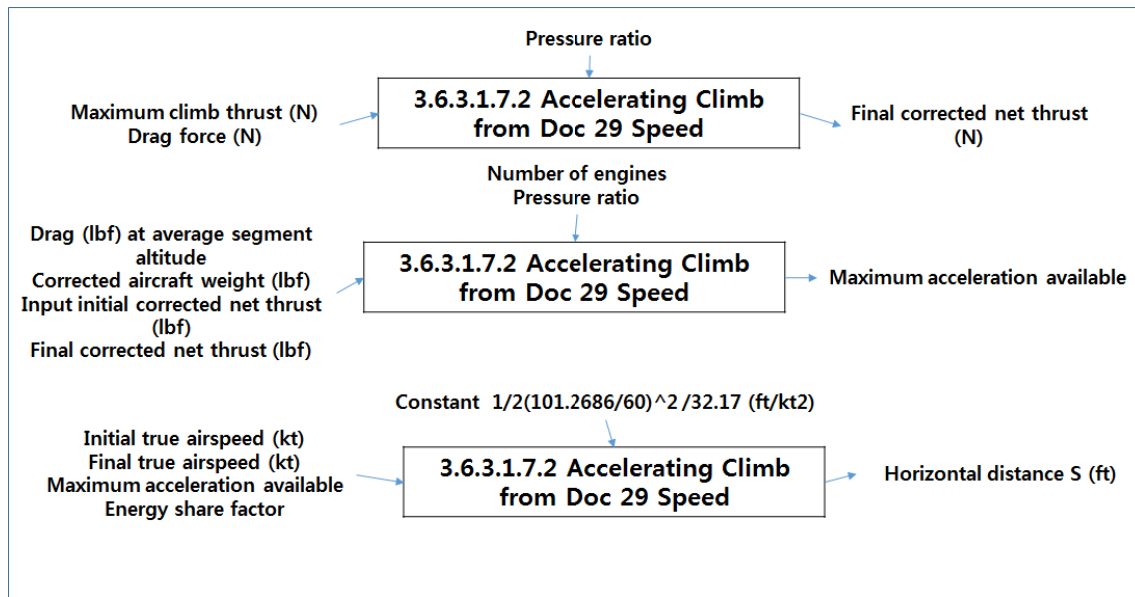


그림 72 Accelerating Climb from Doc 29 Speed (Level 5)

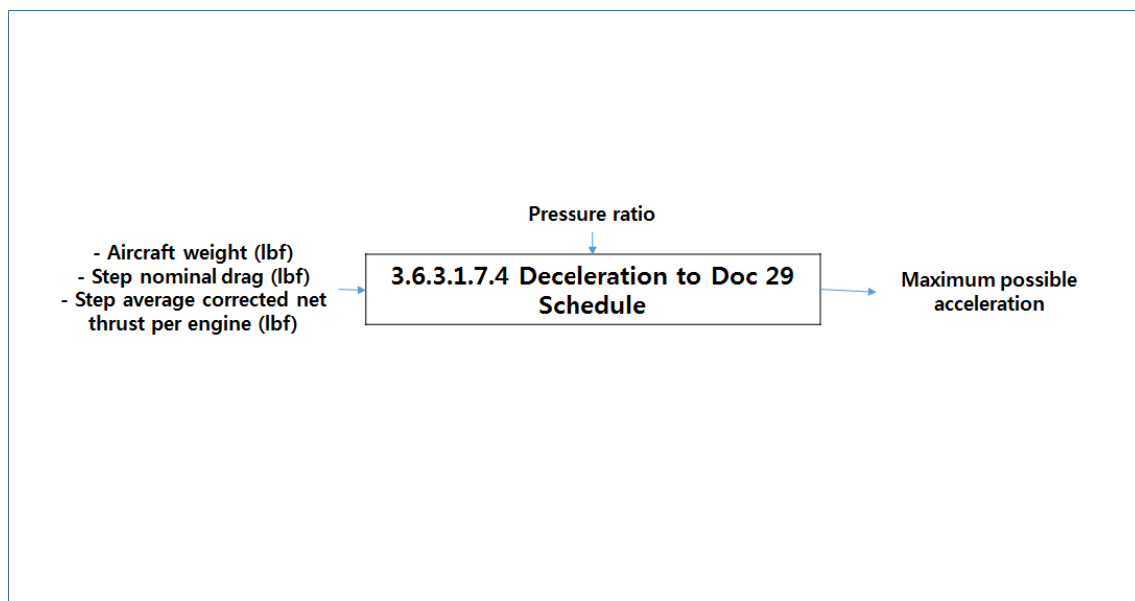


그림 73 Deceleration to Doc 29 Schedule (Level 5)

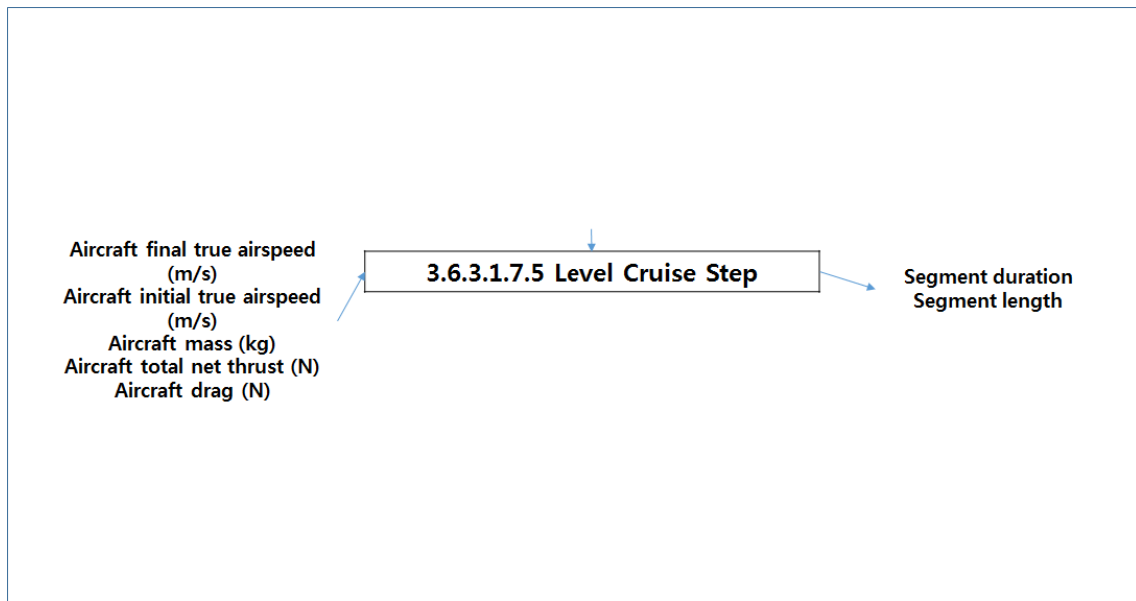


그림 74 Level Cruise Step (Level 5)

(Level 3 - 3.7.1) Altitude Control 모듈

- “Level 2 - 3.7 Trajectory-Driven Flight Performance” 모듈의 하위모듈임
- “3.7.1 Altitude Control” 항적의 고도 정보를 기반으로 표준 궤적으로부터의 자유도를 추가하는 방식

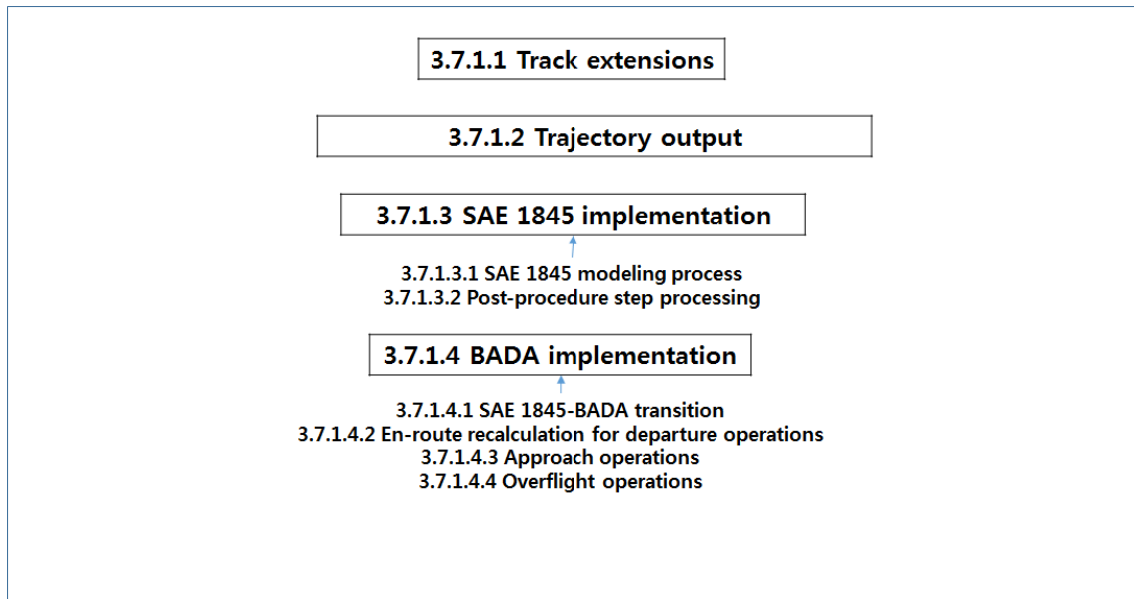


그림 75 Altitude Controls

- “Level 3 - 3.7.1 Altitude Control” 모듈은 다음과 같은 하위 모듈들로 구성됨.

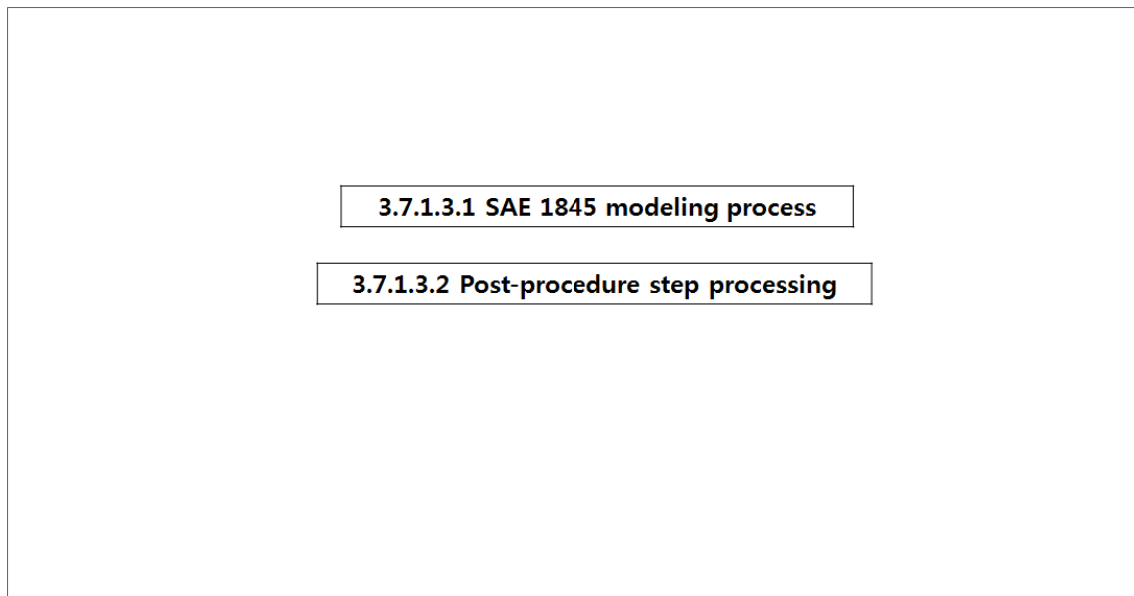


그림 76 SAE 1845 Implementation (Level 4)

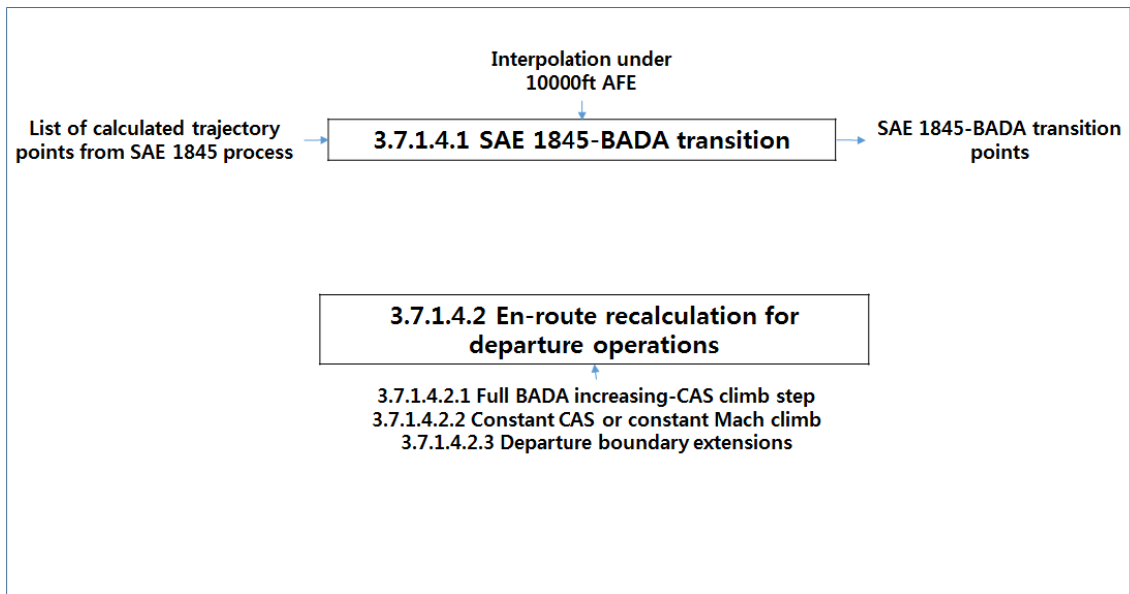


그림 77 BADA Implementation (1) (Level 4)

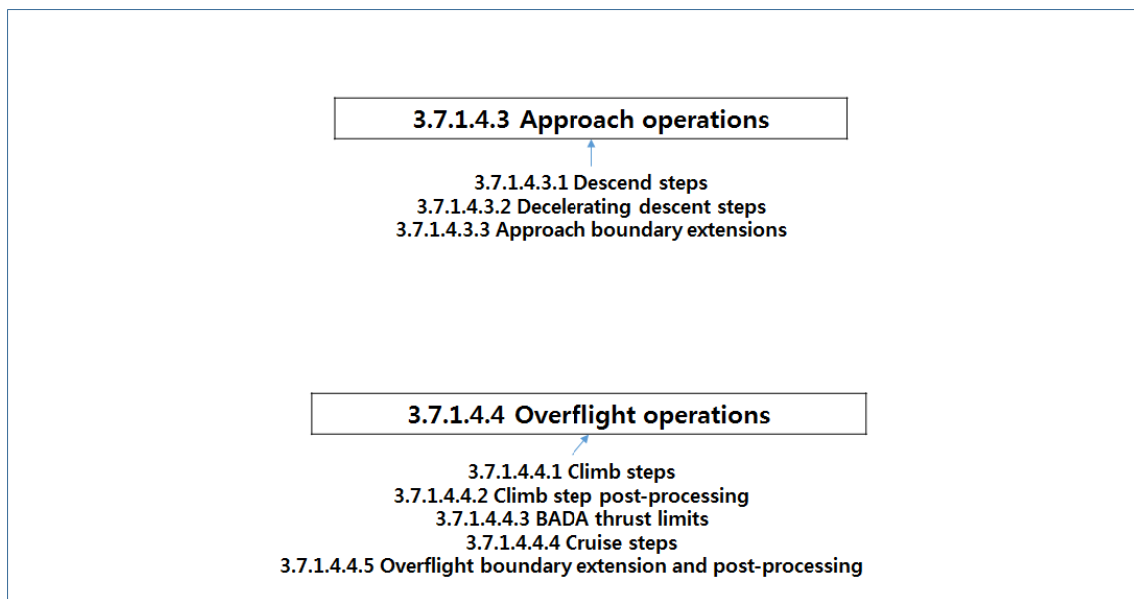


그림 78 BADA Implementation (2) (Level 4)

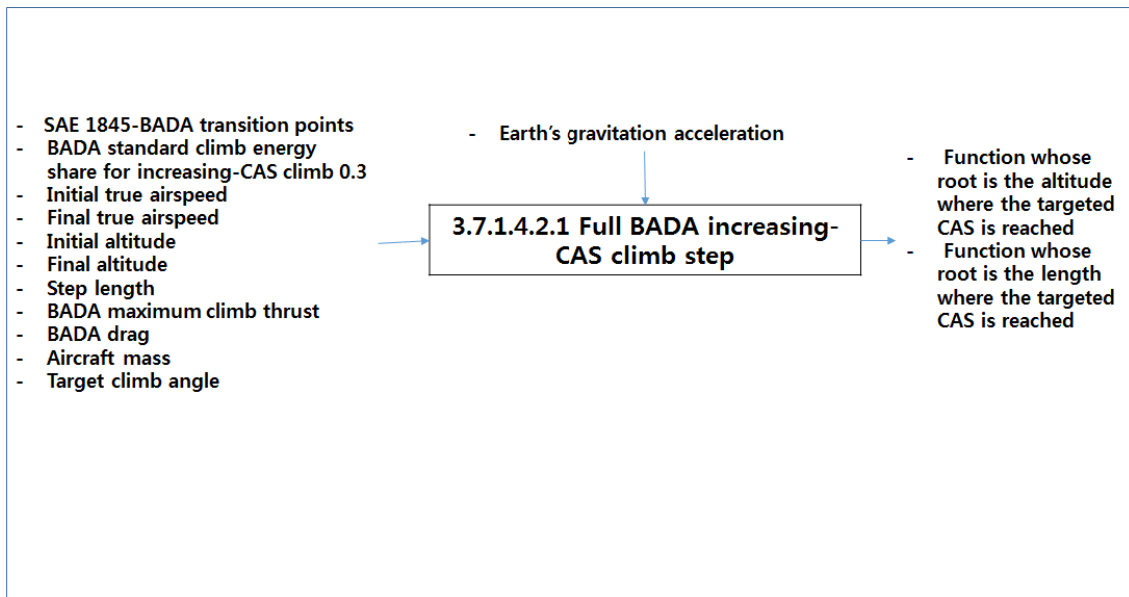


그림 79 Full BADA Increasing CAS Climb Step (Level 5)

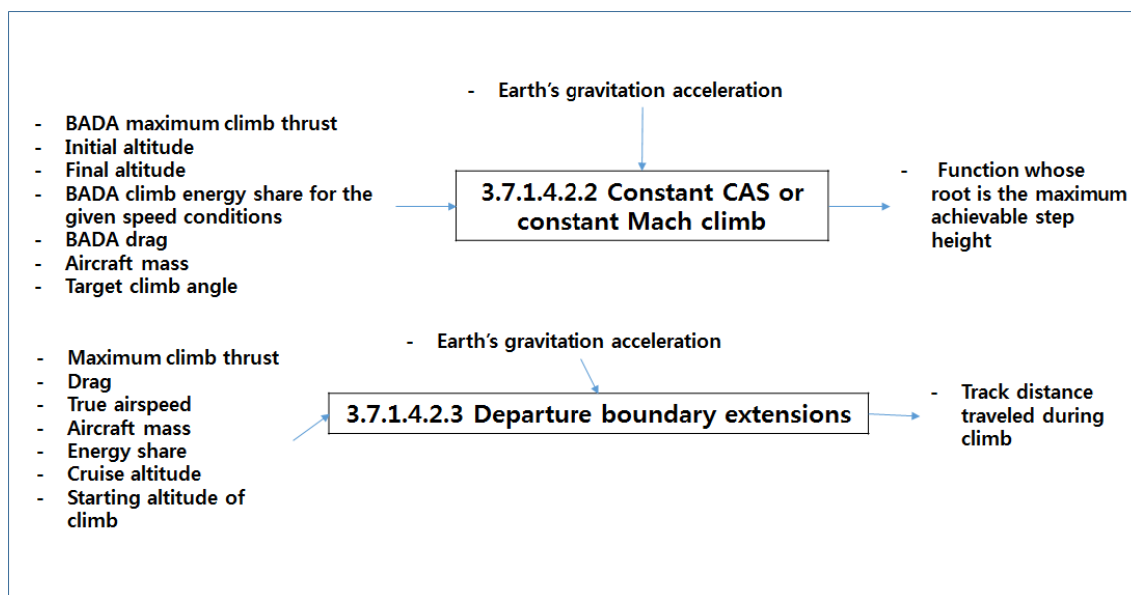


그림 80 Constant CAS or Constant Mach Climb / Departure Boundary E Extensions (Level 5)

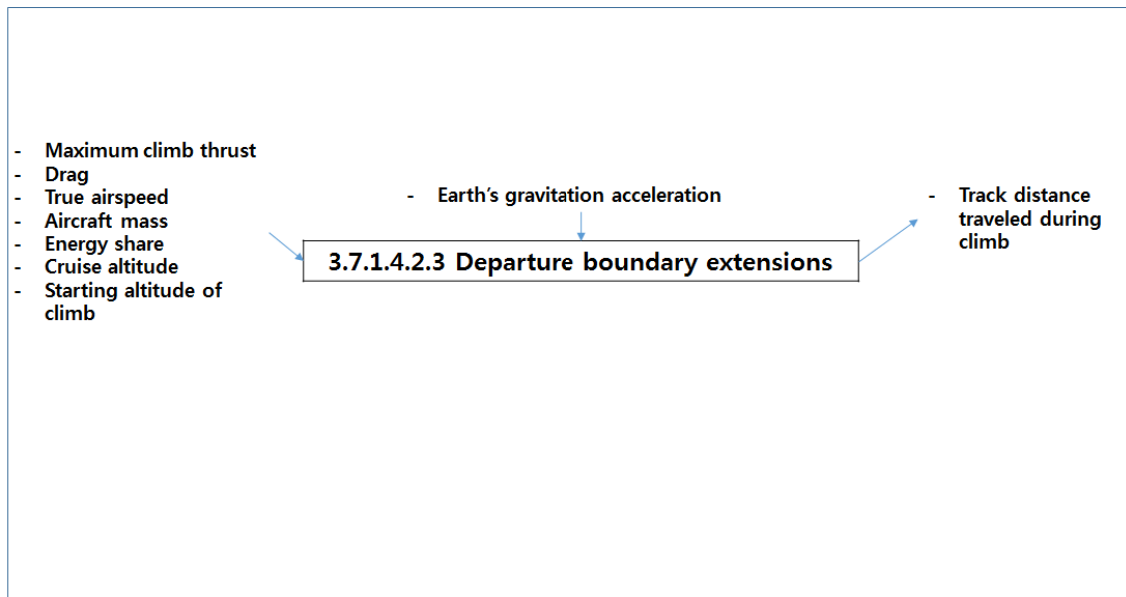


그림 81 Departure Boundary Extensions (Level 5)

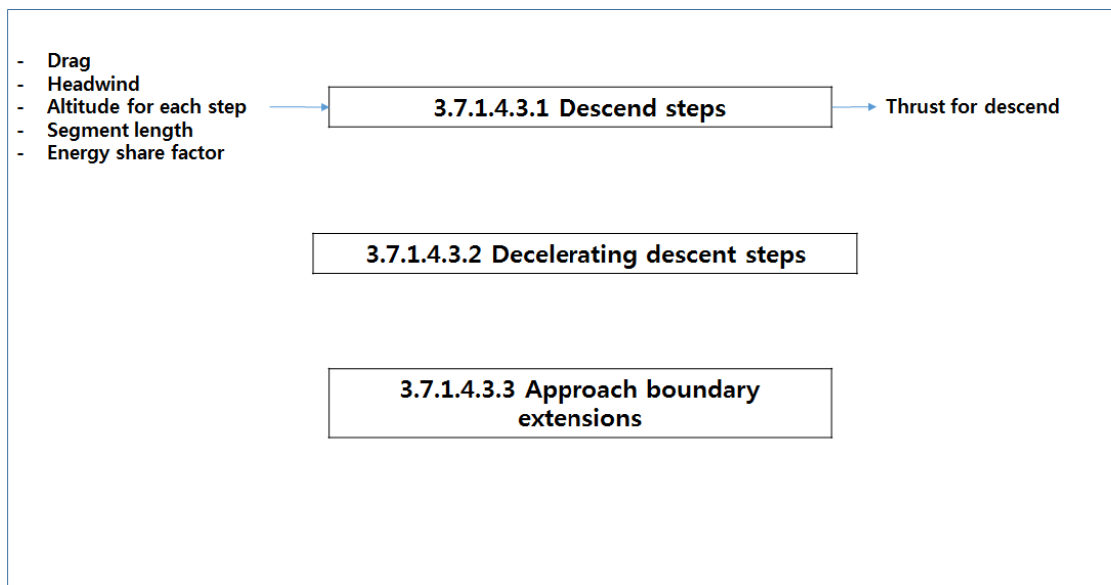


그림 82 Approach Operations (Level 5)

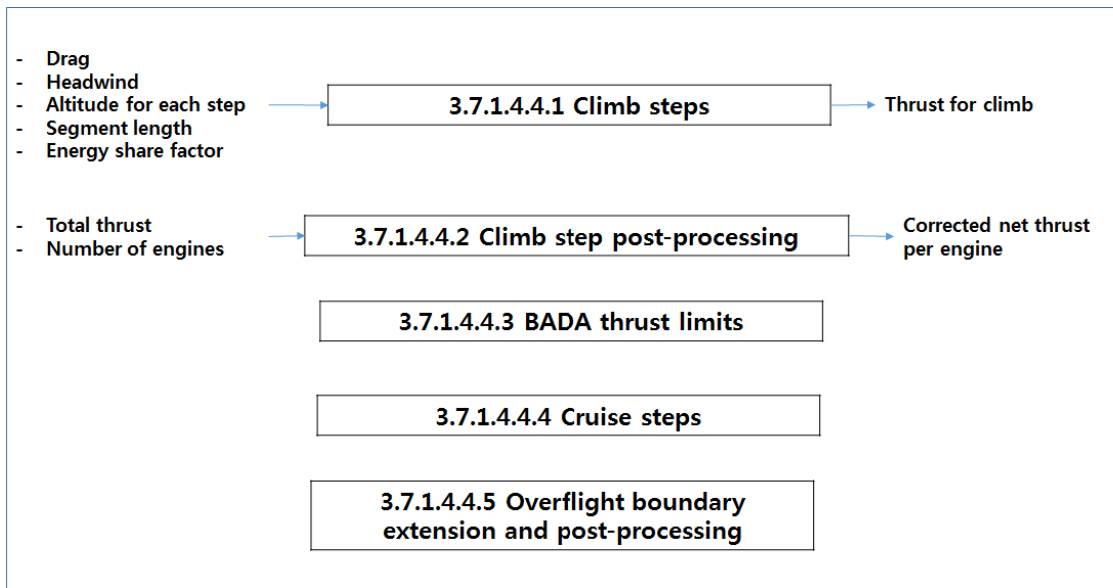


그림 83 Overflight Operations (Level 5)

(Level 3 - 3.7.3) Sensor Path Flights 모듈

- “Level 2 - 3.7 Trajectory-Driven Flight Performance” 모듈의 하위모듈임
- “3.7.3 Sensor Path Flights” 모듈은 항적의 위도/경도와 지상 속도를 기반으로 비행 성능을 구하게 됨. 10000ft 이하에서는 SAE 1845 모델 기반, 10000ft 이상에서는 BADA 모델을 기반으로 비행 성능을 구함

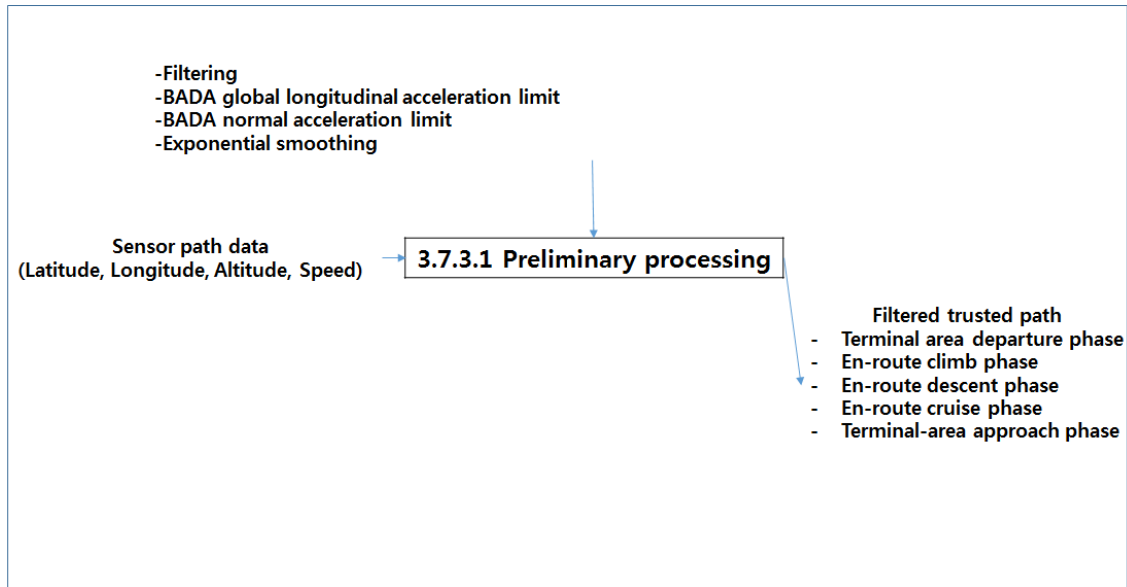


그림 84 Sensor Path Flights and Preliminary Processing

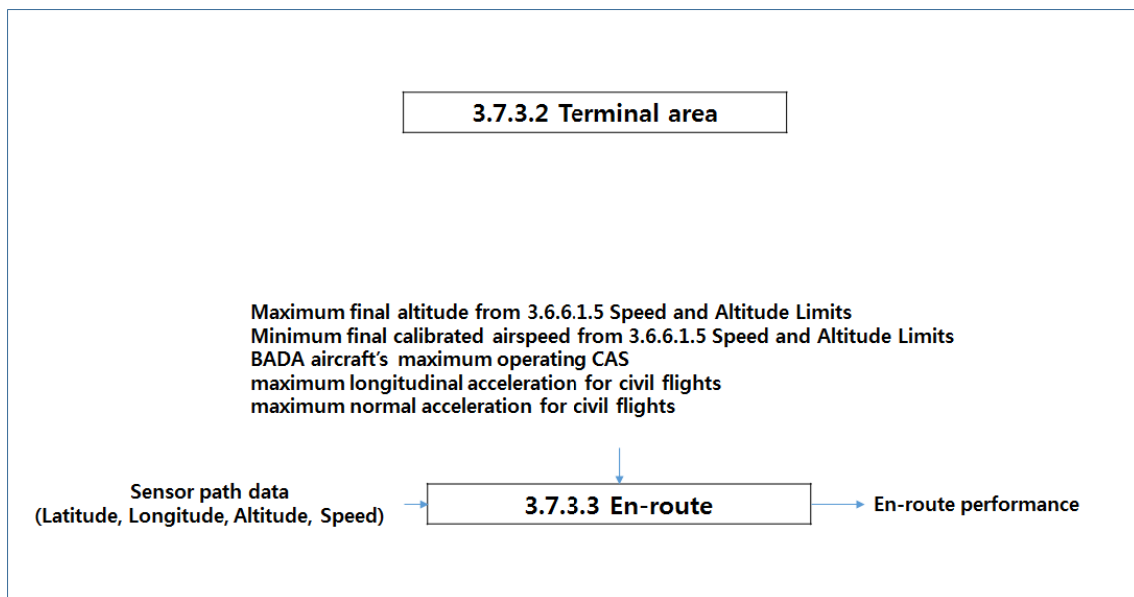


그림 85 Terminal Area and En-route Process

(Level 3 - 5.2.1) NO_x, HC, CO calculation 모듈

- “5.2 Aircraft-Related Emissions” 모듈의 서브모듈임
- Boeing Fuel Flow Method 2 모델을 이용함
- 비행 상태에 맞는 연료 흐름율과 온실가스 배출 지수 정보를 반영해 NO_x, HC, CO의 배출량을 계산

(Level 3 - 5.2.2) PM calculation 모듈

- “5.2 Aircraft-Related Emissions” 모듈의 서브모듈임
- First Order Approximation 모델을 이용함
- 엔진의 상태와 연료 구성을 이용해 PM(Particulate Matter) 배출량을 계산

(Level 3 - 5.2.3) Sulfur calculation 모듈

- “5.2 Aircraft-Related Emissions” 모듈의 서브모듈임
- Fuel composition-based factors 모델을 이용함
- 연료의 황 함량(fuel sulfur content), 변환 효율(conversion efficiency)을 이용해 SO_x의 배출량을 계산

(Level 3 - 5.2.4) CO₂, H₂O calculation 모듈

- “5.2 Aircraft-Related Emissions” 모듈의 서브모듈임
- Fuel composition-based factors 모델을 이용함
- 온실가스 배출 지수 정보를 이용해 CO₂, H₂O의 배출량을 계산

(Level 3 - 5.2.5) VOC, NMHC, TOG calculation 모듈

- “5.2 Aircraft-Related Emissions” 모듈의 서브모듈임
- Derivative factors 모델을 이용함
- 엔진 종류에 따른 온실가스 배출 지수 정보와 변환 인자를 이용해 VOC(Volatile Organic Compounds), NMHC(Non-Methane Hydrocarbons), TOG(Total Organic Gases)의 배출량을 계산

(Level 3 - 5.2.6) OGs calculation 모듈

- “5.2 Aircraft-Related Emissions” 모듈의 서브모듈임
- Derivative factors 모델을 이용함
- TOG의 배출량에 OG(speciated Organic Gases)의 질량비를 곱하여 계산

3. Reference

- [FAA14-1] Federal Aviation Administration, *Aviation Environment Design Tool (AEDT) Technical Manual (Version 2a)*, Washington, DC, USA, Jan. 2014.
- [FAA14-2] Federal Aviation Administration, *Aviation Environment Design Tool (AEDT) User Guide (Version 2a)*, Washington, DC, USA, Apr. 2014.
- [Boe08] Boeker, Eric R., et al., *Integrated noise model (INM) version 7.0 technical manual*. No. *FAA-AEE-08-01*. 2008.
- [Eye04] Eyers, C. J., et al. AERO2K global aviation emissions inventories for 2002 and 2025. Technical Report QINETIC/04/01113 (QinetiQ, 2004), 2004.
- [Kim05] Kim, B. Y., et al. "System for assessing Aviation's Global Emissions." SAGE) Version 1 (2005): 2000-2004.
- [Koo12] Koopmann, Jonathan, et al. Aviation Environmental Design Tool (AEDT): Technical Manual, Version 2a. No. DOT-VNTSC-FAA-12-09. 2012.
- [Koo14] Koopmann, Jonathan, et al. Aviation Environmental Design Tool (AEDT). User Guide. Version 2a. No. DOT-VNTSC-FAA-12-04. 2014.
- [May92] Mayer, Richard J. "IDEF0 function modeling." Air Force Systems Command (1992).
- [Moo12] Moore, Jim, et al. Aviation Environmental Design Tool (AEDT): AEDT Standard Input File (ASIF) Reference Guide, Version 2a. No. DOT-VNTSC-FAA-12-15. 2012.

AEDT Study Setup 부터 결과분석까지

작성자: 김요한
작성일: 2014-12-18

- 본 문서는 Aedt2a_UserGuide 의
 - Chapter 5 (setup)
 - Chapter 8.1 (Flight Performance Information),
 - Chapter 8.5 (Emissions)를 토대로 작성한 setup 및 결과분석 가이드 입니다.
- 예시로 asif_small.xml 스테디가 사용됩니다.

A. Loading study

1. AEDT 는 **내부적으로** study를 생성하거나 수정할 기능이 없습니다.
2. 잇따라 입력 파일인 AEDT Standard Input File (ASIF)에 study 세부정보가 다 포함되어 있어야 합니다 (공항 활주로 정보, 시나리오 등).
3. ASIF의 플 버전은 아래 내용이 포함되어 있습니다:
 - Study boundary (polygon area)
 - Climate (climate scenarios)
 - Airport Layouts (runway 좌표 등)
 - Receptor Set (소음이 측정될 point 좌표)

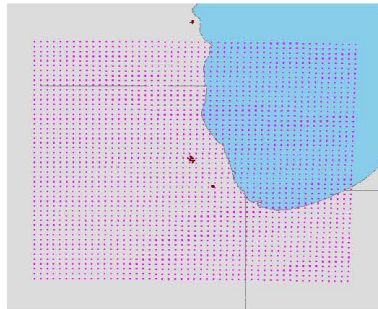


Figure 1. Grid 형태의 Receptor Set

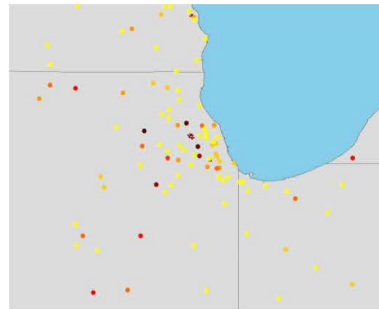


Figure 2. 인구밀도를 반영한 receptor set

- Fleet (비행기 기종)
- Scenario (Track and corresponding operations)
- 기타 정보 (측정 단위, terrain files, etc.)

4. AEDT를 실행한 후 import study 옵션을 통해 asif_small.xml 파일을 로드하십시오.

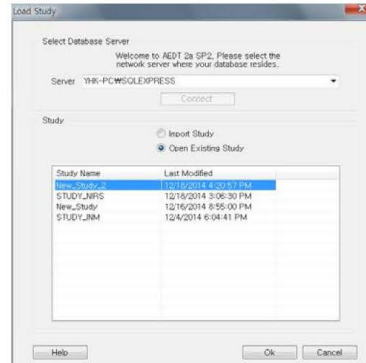
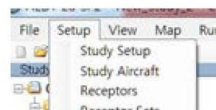


Figure 3. Load study dialog box

B. Study Setup

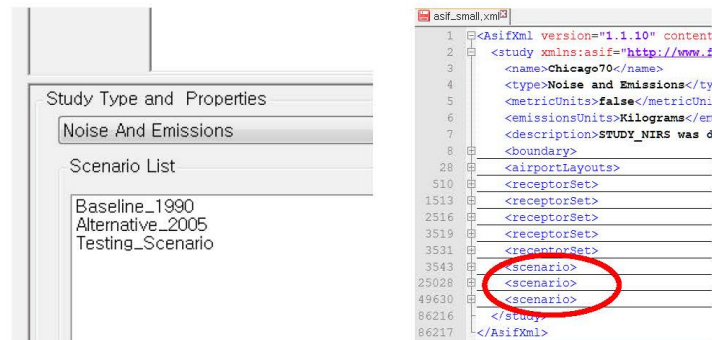
5. 로딩이 완료된 후 스텐디의 세부정보를 아래 옵션에서 확인할 수 있습니다



Setup

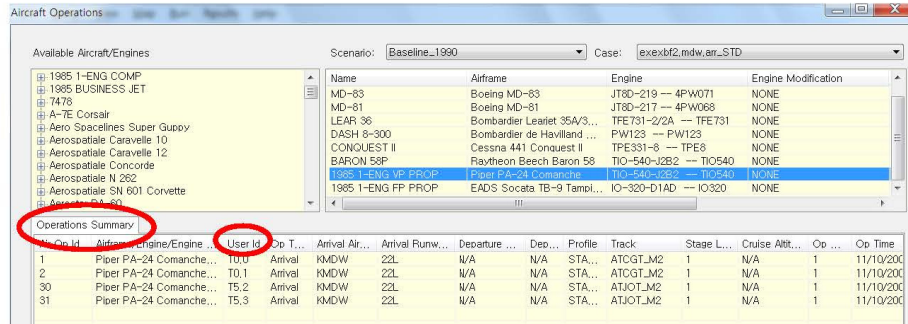


--> **Study Setup** (시나리오 및 공항 리스트)

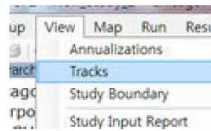


본 asif_small 스텐디에서는 3개의 시나리오가 있으며(left), 이는 xml 파일을 직접 열어 자체 구조에서도 확인할 수 있습니다 (right).

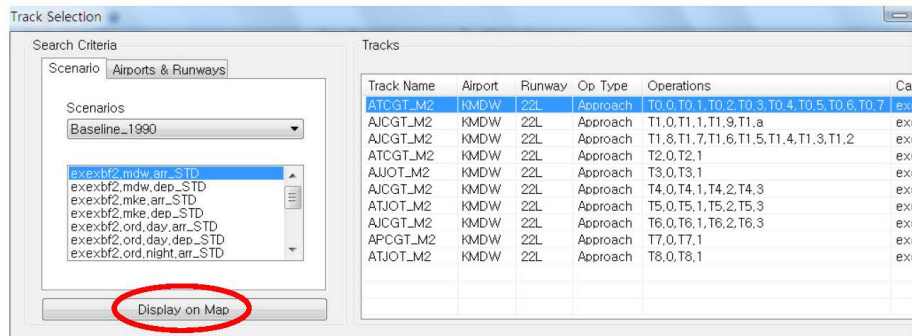
--> **Study aircraft** (비행기 기종 및 운행 정보)



- 여기에서 Operations Summary는 선택한 aircraft type의 unique flight를 리스트합니다.
예) 선택된 Piper PA-24 기종은 4개의 unique flight이 있으며, ATCGT_M2라는 경로(track)를 따라 22L runway 로 도착하게 되어있습니다.
- 스터디에서 사용되는 경로(tracks)를 확인하기 위해 view->tracks 를 선택합니다.



- 아래 그림에서 확인되었이, ATCGT_M2 경로는 operations T0.0 ~ T0.7가 사용됩니다. 각 Operations의 세부사항은 5번 Operations Summary의 User ID와 매칭하여 보시면 됩니다.



9. Display on Map를 클릭하면 메인화면 지도에 Track ATCGT_M2가 표시됩니다.

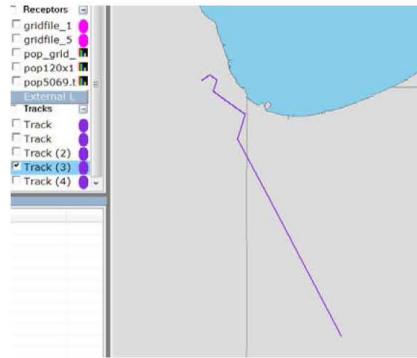


Figure 4. Track ATCGT_M2 displayed on map

10. 각 track의 세부 좌표정보를 보고 싶을경우 XML 파일의
- Study -> scenario -> cases -> case -> trackOpSet -> track -> subtrack -> tracknodes를 확인하면 됩니다.
11. **ATCGT_M22** track 같은 경우에는 9개의 tracknodes로 형성되어 있으며, 각 노드는 longitude, latitude, altitude 정보로 구성되어 있습니다.

```

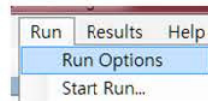
3572 <trackOpSet>
3573 <track>
3574 <id>T0</id>
3575 <name>ATCGT_M22L.10679</name>
3576 <optype>A</optype>
3577 <airport>KJRW</airport>
3578 <runway>22L</runway>
3579 <subtrack>
3580 <id>0</id>
3581 <dispersionWeight>1.0</dispe
3582 <trackNodes>
3583 <trackNode>
3589 <trackNode>
3595 <trackNode>
3600 <trackNode>
3605 <trackNode>
3610 <trackNode>
3615 <trackNode>
3620 <trackNode>
3625 <trackNode>
3630 </trackNodes>
3631 </subtrack>
3632 </track>

<trackNodes>
  <trackNode>
    <id>BVT@60</id>
    <latitude>40.55583</latitude>
    <longitude>-87.06917</longitude>
    <altitude control="2">6000.0</altitude>
  </trackNode>

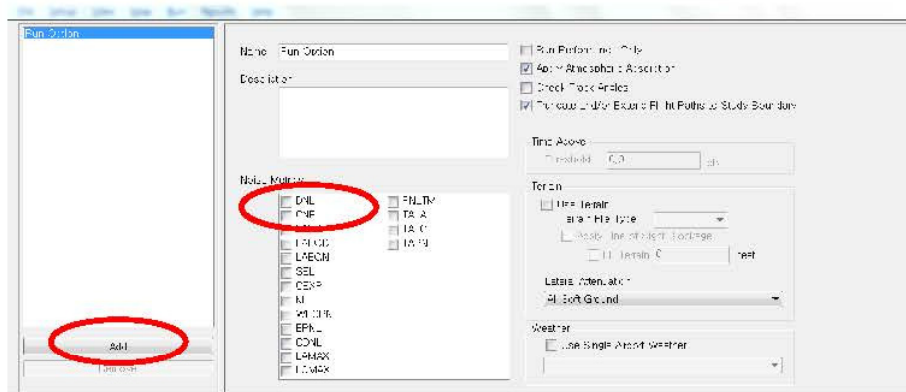
```

C. Run Study

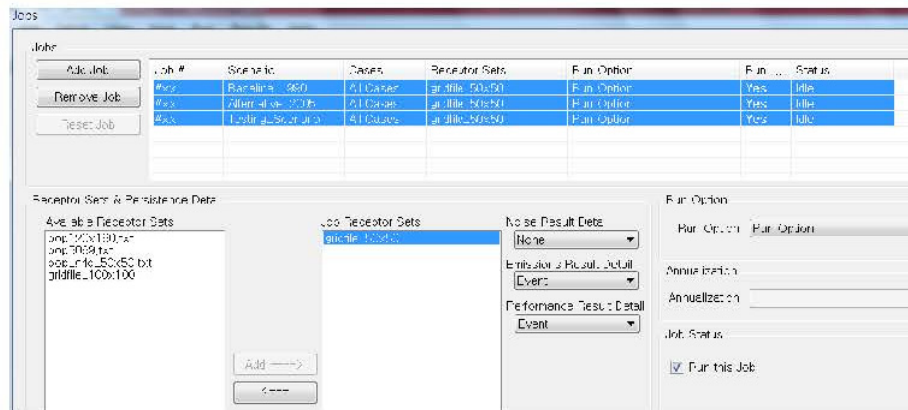
12. 정상적으로 스터디를 실행하기 전에 run options를 먼저 설정해야만 됩니다.



13. Add 를 선택하고 나머지는 기본 설정값으로 두시되, 단 예시 스터디에서 소음 분석이 있는 관계로 noise metrics 중 하나를 꼭 선택하여야 실행할 수 있습니다.



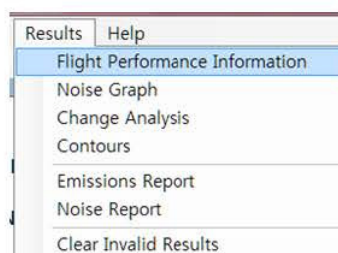
14. Receptor sets는 소음 관련 분석범위인 관계로 아무거나 선택하셔도 됩니다.



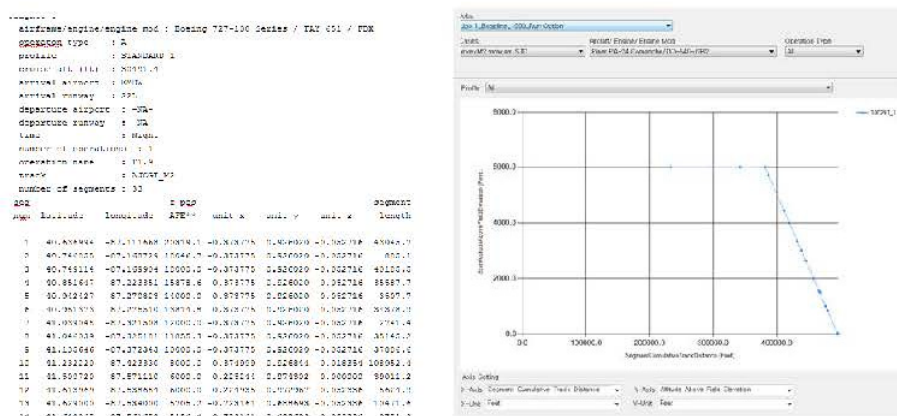
15. 만약 실행이 안될경우 view-> AEDT error 에서 문제를 확인하실수 있습니다.

D. Flight performance

16. 정상적으로 실행을 마친후 Results-> flight performance information에서 결과를 확인할 수 있습니다.



17. **View Report** 를 할 경우 각 flight를 구성하는 segment의 coordinates, speed, thrust, bank angle, fuel burn 텍스트 자료가 생성됩니다. **View graph**는 이 자료를 graph로 AEDT 자체에서 볼 수 있게 합니다 (x,y 수정가능)



18. 마지막으로 results-> emissions report는 온실가스 결과를 보여주는 도구이며, 비행 단계나 기종별로도 취합이 가능합니다 (group by에서 설정). CSV 형태로 export도 가능합니다.

AEDT GMP- CJU Scenario Analysis

작성자 : 석준홍

작성일 : 2014-12-22

- AEDT_small.xml 을 기반으로 GMP-CJU (김포-제주) 간 항적 정보를 담은 ASIF_KOREA.xml 를 작성, 결과 명시, 고찰 및 AEDT 내 DB Access 수행

1. ASIF_KOREA.xml 을 통한 ASIF format 정리

개요 : ASIFRefGuide.pdf 의 경우, 단순히 일괄적으로 읽기보다는 실제 asif 파일을 작성하면서 궁금한 것들을 개별적으로 찾아보는 것이 효과적이라는 판단 아래, asif_korea.xml 을 작성하고, 이 파일에서 사용된 tag 들을 조사하여 쉽게 풀이하는 방식으로 정리하였습니다. 항공 용어에 대한 번역이 완벽하지 않으므로 정확한 뉘앙스는 각 중심 tag 들 설명 옆의 페이지를 참고하여 파악하여 주시고, 대략적인 내용 파악/구현 시 참고하시기 바랍니다.

■ <Asifxml> tag

ASIF 파일의 Root node 입니다. (ASIFRefGuide.pdf P.53~54)

독립적으로 정보를 담고 있는 <study>와 partial import 시 필요한 기타 하위 tag 의 구성입니다.

■ <study> tag

AEDT 시뮬레이션의 가장 큰 범위인 study 에 대한 정보를 담고 있는 tag 입니다.

하위 태그로 <name>, <type>, <metricUnits>, <emissionsUnits>,

<description>,<boundary>,<airportLayouts>,<terrainFiles>,<receptorSet>,<fleet>,<scenario> 를 가집니다. (ASIFRefGuide.pdf p.84~85)

Study 에 대한 설정 tags 를 정리하면 (Line 3~7)

```
<AsifXml version="1.1.10" content="study" xmlns:AsifXml="http://www.faa.gov/ASIF"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <study xmlns:asif="http://www.faa.gov/ASIF">
    <name>Korea</name>
    <type>Emissions</type>
    <metricUnits>false</metricUnits>
    <emissionsUnits>Kilograms</emissionsUnits>
    <description>STUDY_Korea was developed for a test.</description>
```

<name> : study 의 이름

<type> : study 의 type. AEDT2A 에서는 "Noise and Emissions"만

<metricUnits> : True – metric units, False – imperial units – 본 예제는 imperial units

<emissionUnits> : emission 에 해당되는 단위

<description> : study 에 대한 부연 설명

■ <boundary> tag

<boundary>는 study 에 포함되는 영역입니다. (Line 8~27)

```
<boundary>
  <polygon>
    <vertex>
      <latitude>32.5</latitude>
      <longitude>124</longitude>
    </vertex>
    <vertex>
      <latitude>32.5</latitude>
      <longitude>130</longitude>
    </vertex>
    <vertex>
      <latitude>38.5</latitude>
      <longitude>130</longitude>
    </vertex>
    <vertex>
      <latitude>38.5</latitude>
      <longitude>124</longitude>
    </vertex>
  </polygon>
</boundary>
```

위도, 경도로 주어진 4 points 의 polygon 을 나타내며 아래 그림에서 주황색 사각형으로 plot

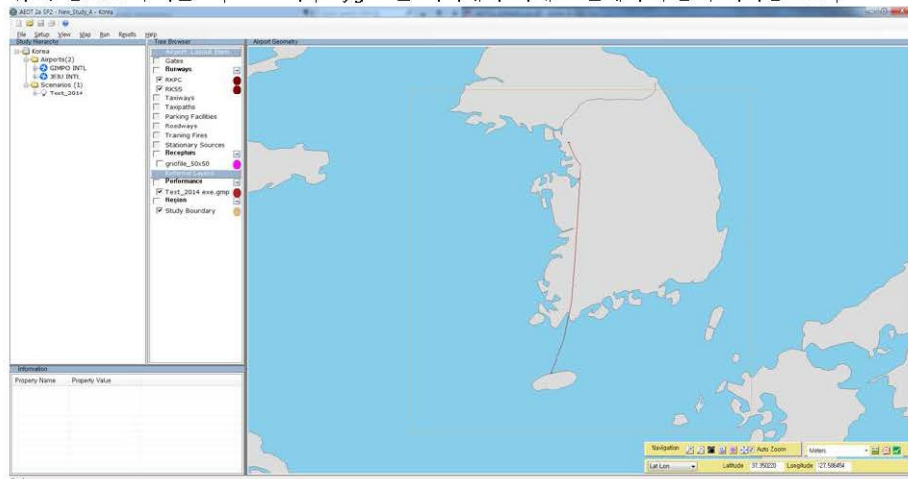


Figure 1 Study Boundary

■ <airportLayouts> tag

<airportLayouts>는 study 에 사용할 공항들의 layout 을 설정하는 tag 입니다. (Line 28~141)

```
<airportLayouts>
  <layout>
    <airportCode>GMP</airportCode>
    <elevation>59</elevation>
    <runway>
      <length>10500</length>
      <width>200</width>
      <runwayEnd>
        <name>32L</name>
        <latitude>37.547608</latitude>
        <longitude>126.801158</longitude>
        <elevation>41.0</elevation>
        <threshCrossHeight>50.0</threshCrossHeight>
        <glideSlope>-0.1</glideSlope>
        <depDispThresh>0.0</depDispThresh>
        <appDispThresh>0.0</appDispThresh>
        <percentWind>0.0</percentWind>
      </runwayEnd>
      (중략)
    </runway>
  </layout>
</airportLayouts>
```

<airportCode> : 공항의 code 입니다. DB 에는 IATA, ICAO, FAA 등에서 쓰이는 code 들이 입력되어 있습니다.

<elevation> : 평균해발고도 기준 공항 위치

<runway> : 활주로 정보를 담은 tag. 각 활주로 길이와 너비 및 각 활주로 끝 지점의 위도, 경도, 및 기타 정보를 포함한다. 하나의 활주로에는 두 개의 활주로 끝 지점을 포함.

■ <receptorSet> tag

<receptorSet> : Noise 를 체크하기 위한 점들의 집합을 나타냅니다. (Guide p. 76)

Emission 과는 상관없는 정보 (Line 142~153)

```
<receptorSet>
  <name>gridfile_50x50</name>
  <grid>
    <latitude>37.5587</latitude>
    <longitude>126.7904</longitude>
    <elevation>0.0</elevation>
    <width>100.0</width>
    <height>100.0</height>
    <numWidth>50</numWidth>
    <numHeight>50</numHeight>
  </grid>
</receptorSet>
```

■ <scenario>/<case> tag

<scenario> : AEDT study 에서 비행기들 및 공항에서의 noise, emissions, fuel burn 을 측정하기 위한 정보를 담고 있는 단위체입니다. (Guide p. 80~81, Line 154~313)

```
<scenario>
  <name>Test_2014</name>
  <startTime>2014-11-10T00:00:00</startTime>
  <duration>48</duration>
  <taxiModel>UserSpecified</taxiModel>
  <acftPerfModel>SAE1845</acftPerfModel>
  <bankAngle>true</bankAngle>
  <sulfurConversionRate>0.05</sulfurConversionRate>
  <fuelSulfurContent>6.8E-4</fuelSulfurContent>
  <description>A test scenario</description>
  <airportLayouts>
    <layout>GMP</layout>
    <layout>CJU</layout>
  </airportLayouts>
  <cases>
    <case>
      <caseId>0</caseId>
      <name>PlanB</name>
      <source>Aircraft</source>
      <startTime>2014-11-10T00:00:00</startTime>
      <duration>48</duration>
    </case>
    <case>
      <caseId>1</caseId>
      <name>exe.gmp.arr_STD</name>
      <source>Aircraft</source>
      <startTime>2014-11-10T00:00:00</startTime>
      <duration>48</duration>
      <description>ASIF_File</description>
      <trackOpSet>
        (중략)
      </trackOpSet>
      <trackOpSet>
        (중략)
      </trackOpSet>
    </case>
  </cases>
  <annualization>
    <name>Baseline.config</name>
    <annualizationGroup>
      <weight>12.0</weight>
    </annualizationGroup>
    <annualizationGroup>
      <weight>1.0</weight>
    </annualizationGroup>
    <annualizationCase>
      <name>exe.gmp.arr_STD</name>
      <weight>1.0</weight>
    </annualizationCase>
  </annualization>
</scenario>
```

<name> : Scenario 이름
 <startTime> : Scenario 시작 시간
 <duration> : Scenario 지속 시간
 <taxiModel> : Taxi modeling 종류 – UserSpecified, Sequencing 대입 가능
 <acftPerfModel> : Aircraft performance model 종류 – ICAO, SAE1845 대입 가능
 <bankAngle> : Bank angle calculation 포함 여부, AEDT2A에서는 무조건 true
 <sulfurConversionRate> : Emission 계산시, 연료 속 황이 황산으로의 전환 비율 – 초기값 : 0.024
 <fuelSulfurContent> : Emission 계산시, 연료 속 황의 중량 퍼센트 – 초기값 0.0006
 <description> : Scenario 설명
 <airportLayouts> : Scenario 에서 사용될 공항들의 layouts.

<cases> : case 는 AEDT study 에서 가장 작은 단위체이며, aircraft operation 의 집합으로 이루어져 있다. 이 <cases>는 하나의 case 또는 많은 case 들을 포함하는 tag 입니다.
 <case> : case 에 대해 일반적인 파라미터를 설정하는 tag (특정 case 를 다루는 <case>와 구별 요망) (Guide, p. 62~64, Line 165~299)
 <caseId> : case ID.
 <name> : case 의 이름. 반드시 각 scenario 에서 유일무이해야 합니다.
 <source> : 이 case 에서 Emission 의 source 를 나타낸다. Container, Aircraft, GSE population, Parking facilities, Roadways, Stationary Sources, Training Fires 중 하나.
 <startTime> : case 의 시작 시간이며, 정의되지 않으면 scenario 에서의 시작 시간이 지정됨. 정의될 때는 scenario 시작 시간과 일치해야 함.
 <duration> : case 의 총 지속 시간이며, 정의되지 않으면 scenario 에서의 지속 시간을 따르고, 정의될 때는 scenario 지속 시간과 일치해야 함. AEDT 2a에서는 무조건 24 로 고정됨. 하나의 scenario 에 해당하는 case 들의 duration 은 동일해야 함.
 <trackOpSet> : tracks (path segments)와 관련된 operations 들로 구성
 <annualization> : 어느 study 의 case 들의 결과에 어떤 weight 를 부여하여 나타낼지 정함

■ <trackOpSet> tag

실제 비행기의 항적 정보를 다루는 부분으로써, 위도, 경도, 고도 정보를 가지는 <trackNode> tag 의 set 으로 나타낸다. (Guide, P. 89, Line 182~239, 240~296)
 <track> : 항공기의 경로 및 항적 정보를 다루는 tag. (Guide. P. 86)
 <id> : track ID
 <name> : track 의 이름
 <optype> : 운항 종류 – A 도착, D 출발, V 상공 통과, (C, T, R, W 등도 있으나 AEDT2a에서 미구현으로 추정)
 <airport> : airport code – CJU → 제주 국제공항
 <runway> : 활주로 식별자
 <subtrack> : track 의 부분들으로써, path segment 등의 집합 (Guide. P. 85~86)
 AEDT 2a에서는 하나의 subtrack 만 유의미함. (<dispersionWeight> 가 항상 1)

```

<trackOpSet>
  <track>
    <id>T0</id>
    <name>ATCGT_M13.10679</name>
    <optype>D</optype>
    <airport>CJU</airport>
    <runway>13</runway>
    <subtrack>
      <id>0</id>
      <dispersionWeight>1.0</dispersionWeight>
      <trackNodes>
        <trackNode>
          <latitude>33.515528</latitude>
          <longitude>126.487389</longitude>
        </trackNode>
        <trackNode>
          <latitude>34.08</latitude>
          <longitude>126.70</longitude>
          <altitude control="2">10000</altitude>
        </trackNode>
        <trackNode>
          <latitude>34.75</latitude>
          <longitude>126.84</longitude>
          <altitude control="2">10000</altitude>
        </trackNode>
        <trackNode>
          <latitude>35.50</latitude>
          <longitude>126.90</longitude>
          <altitude control="2">10000</altitude>
        </trackNode>
        <trackNode>
          <latitude>36</latitude>
          <longitude>126.93</longitude>
          <altitude control="2">10000</altitude>
        </trackNode>
      </trackNodes>
    </subtrack>
  </track>
  <operations>
    <operation>
      <id>T0.0</id>
      <aircraftType>
        <anpAircraftId>GASEPV</anpAircraftId>
      </aircraftType>
      <numOperations>1.0</numOperations>
      <flightNumber>SCP201</flightNumber>
      <userType>GASEPV</userType>
      <userParam>J</userParam>
      <departureAirport>CJU</departureAirport>
      <departureRunway>13</departureRunway>
      <arrivalAirport>GMP</arrivalAirport>
      <arrivalRunway>32L</arrivalRunway>
      <offTime>2014-11-10T00:00:00</offTime>
      <onTime>2014-11-10T01:00:00</onTime>
      <saeProfile>STANDARD</saeProfile>
    </operation>
  </operations>
</trackOpSet>

```

```

<trackOpSet>
  <track>
    <id>T1</id>
    <name>ATCGT_M32L.10679</name>
    <optype>A</optype>
    <airport>GMP</airport>
    <runway>32L</runway>
    <subtrack>
      <id>1</id>
      <dispersionWeight>1.0</dispersionWeight>
      <trackNodes>
        <trackNode>
          <latitude>36</latitude>
          <longitude>126.93</longitude>
          <altitude control="2">10000</altitude>
        </trackNode>
        <trackNode>
          <latitude>36.42</latitude>
          <longitude>126.96</longitude>
          <altitude control="2">8000</altitude>
        </trackNode>
        <trackNode>
          <latitude>37.15</latitude>
          <longitude>127.00</longitude>
          <altitude control="2">6000</altitude>
        </trackNode>
        <trackNode>
          <latitude>37.3</latitude>
          <longitude>126.90</longitude>
        </trackNode>
        <trackNode>
          <latitude>37.547608</latitude>
          <longitude>126.801158</longitude>
        </trackNode>
        <trackNode>
        </trackNode>
      </trackNodes>
    </subtrack>
  </track>
  <operations>
    <operation>
      <id>T1.0</id>
      <aircraftType>
        <anpAircraftId>GASEPV</anpAircraftId>
      </aircraftType>
      <numOperations>1.0</numOperations>
      <flightNumber>SCP201</flightNumber>
      <userType>GASEPV</userType>
      <userParam>J</userParam>
      <departureAirport>CJU</departureAirport>
      <departureRunway>13</departureRunway>
      <arrivalAirport>GMP</arrivalAirport>
      <arrivalRunway>32L</arrivalRunway>
      <offTime>2014-11-10T00:00:00</offTime>
      <onTime>2014-11-10T01:00:00</onTime>
      <saeProfile>STANDARD</saeProfile>
    </operation>
  </operations>
</trackOpSet>

```

<trackNode> : 항공기의 위도, 경도, 고도로 이루어진 구조체. 이들을 나열함으로써, 항공기 항적을 정의할 수 있습니다. <track>T0의 경우에는 위의 trackNode 일수록 출발 공항에서 가까운 순이며, <track>T1의 경우에는 위의 trackNode 일수록 도착 공항에서 먼 순입니다. 이는 T0은 <optype>이 D, <airport>가 출발공항인 GMP이고, T1은 <optype>이 A, <airport>가 도착공항인 CJU인 형태로 <optype>의 차이로 인해 기인합니다. 이렇게 tracknode를 배치한 것은 뒤쪽의 discussion에서 자세히 다룹니다.

<operation> : 항공기의 운항 스케줄 등의 기타 정보를 다루는 tag. (Guide. P. 70~73)

<id> : Operation ID

<aircraftType> : 항공기 종류. (Guide P. 34)

<numOperations> : 포함된 operation 수

<flightNumber> : 항공기 넘버. AEDT 2a에서는 fully 지원 안됨

<userType> : 사용자가 정의한 항공기 종류. AEDT 2a에서는 fully 지원 안됨

<userParam> : 사용자가 정의한 operation 관련 파라미터. AEDT 2a에서는 fully 지원 안됨

<departureAirport> : 출발 공항의 ICAO code. <trackOpSet>이 departure면 반드시 필요

<departureRunway> : 출발 공항의 활주로 정보. <trackOpSet>이 departure면 반드시 필요

<arrivalAirport> : 도착 공항의 ICAO code. <trackOpSet>이 arrival이면 반드시 필요

<arrivalRunway> : 도착 공항의 활주로 정보. <trackOpSet>이 arrival이면 반드시 필요

본 예제에서는 출발 공항은 김포 공항 (GMP), 32L 활주로 이용, 도착 공항은 제주 공항 (CJU), 13 활주로 이용

<offTime> : 이륙 시간. <trackOpSet>이 departure면 반드시 필요

<onTime> : 착륙 시간. <trackOpSet>이 arrival이면 반드시 필요

<saeProfile> : 항공기의 이착륙시 phase 설정 관련 파라미터

2. ASIF_KOREA.xml을 통한 GMP-CJU 간 단일 경로 비행에서 Emission 결과

개요 : 위의 asif를 import 하여 얻은 AEDT Simulation 결과입니다.

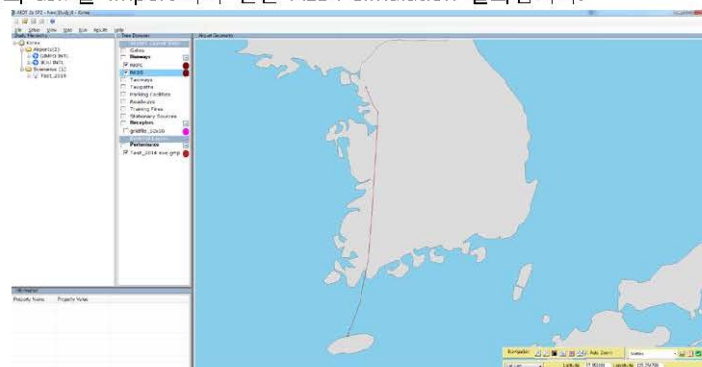


Figure 2 GMP-CJU Trajectory Simulation Result

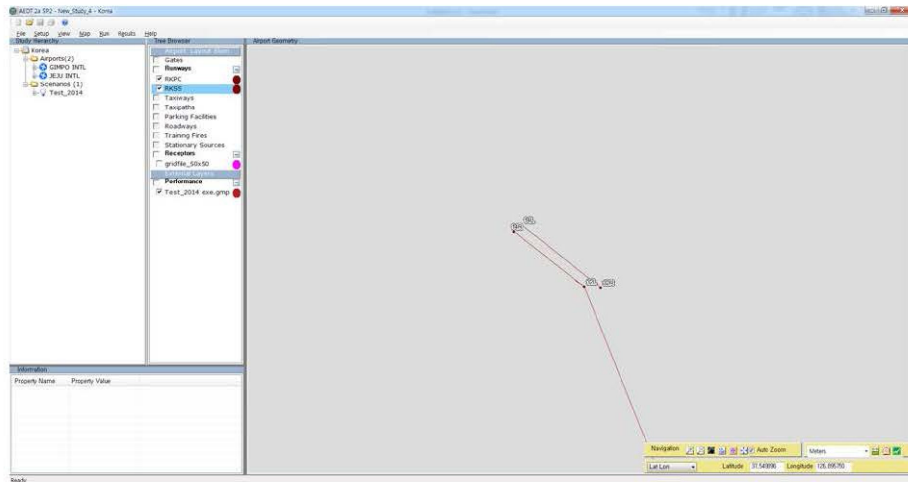


Figure 3 Gimpo Airport (GMP) with two runways (14L-32R, 14R-32L)

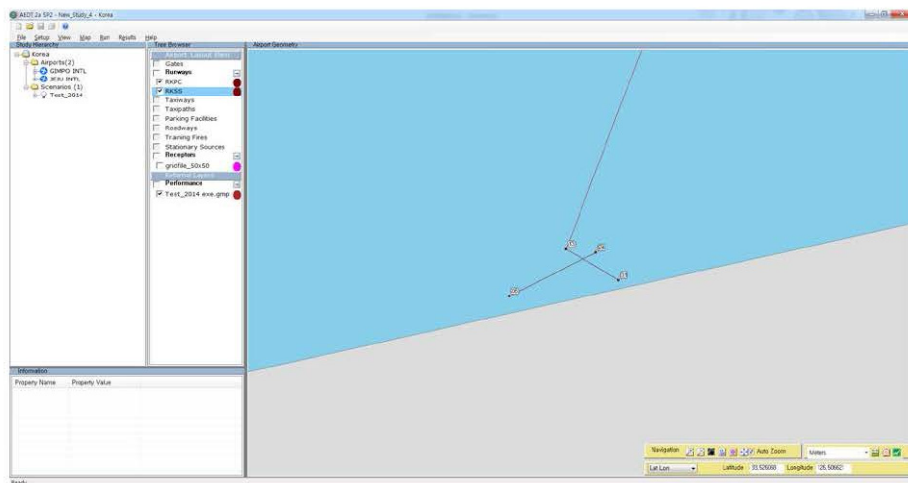


Figure 4 Jeju Airport (CJU) with two runways (13-31, 24-06)

Flight Performance Report																			
Scenario: Test_2014																			
Case: exe_app_arr STD																			
* AED = Average Annual Day																			
** AFE = Above Field Elevation																			
Flight: 0																			
airframe/engine/engine wot : Piper PA-24 Doanache / T10-540-J2B2 / NONE																			
operation type : 0																			
profile : STANDARD-1																			
cruise.alt (ft) : 8425.669																			
arrival airport : -NA-																			
arrival runway : -NA-																			
departure airport : RUPC																			
departure runway : 13																			
time : Day																			
number of operations : 1																			
operation name : TO_G_M1																			
track : ATOTG_M1																			
number of segments : 24																			
seg	num	latitude	longitude	Z-pos	AFE**	unit-x	unit-y	unit-z	segment length	grnd-trk distance	speed	delta speed	net-corr thrust	noise thrust	delta thrust	bank angle	duratr	AED* fuel-burn	trajectory-mode
1	33.515528	126.487099	-52.0	0.299065	0.954233	0.000000	75.4	0.0	0.0	16.4	1230.9	163.9	0.0	0.0	0.0	5.4	0.040	TakeoffGroundRoll	
2	33.515728	126.487463	-52.0	0.299065	0.954233	0.000000	225.3	75.4	16.4	1230.9	163.9	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	0.040	TakeoffGroundRoll	
3	33.515919	126.487655	-52.0	0.299065	0.954233	0.000000	371.1	301.7	32.3	15.4	1230.9	163.9	0.0	0.0	0.0	5.4	0.040	TakeoffGroundRoll	
4	33.517338	126.488055	-52.0	0.297327	0.942720	0.107340	385.6	670.8	45.3	10.5	1230.9	163.9	-25.6	0.0	0.0	4.4	0.032	TakeoffAirborne	
5	33.516363	126.488446	-5.0	0.297559	0.950332	0.084350	705.4	1077.4	59.8	12.1	1091.2	136.1	-18.3	0.0	0.0	6.4	0.048	TakeoffAirborne	
6	33.523514	126.490145	-5.1	0.297559	0.950332	0.084350	945.1	1795.2	71.2	13.1	946.5	112.9	-19.3	0.0	0.0	6.4	0.048	TakeoffAirborne	
7	33.523417	126.489564	122.2	0.296244	0.945232	0.137020	999.7	2927.0	84.0	10.1	802.5	101.6	-8.8	0.0	0.0	42.2	0.313	TerminalAirborne	
8	33.535071	126.495254	348.0	0.295827	0.951476	0.082765	1515.8	4595.7	85.1	10.3	816.9	103.4	-10.1	0.0	0.0	10.0	0.074	TerminalCI Lab	
9	33.542056	126.497016	1052.2	0.297461	0.949118	0.103424	1000.0	10116.4	95.5	0.2	736.9	93.3	-5.5	0.0	0.0	6.2	0.045	TerminalCI Lab	
10	33.546876	126.498298	1152.7	0.297461	0.949118	0.103424	845.4	11115.4	95.6	1.0	695.9	88.2	1.4	0.0	0.0	40.1	0.227	TerminalCI Lab	
11	33.561633	126.504846	1829.3	0.297461	0.949118	0.103424	10761.5	17591.9	96.7	1.7	696.9	88.2	2.3	0.0	0.0	66.7	0.498	TerminalCI Lab	
12	33.569861	126.512618	2948.0	0.297670	0.947762	0.096470	3035.7	28343.4	98.4	1.4	714.9	93.5	1.8	0.0	0.0	64.6	0.425	TerminalCI Lab	
13	33.613698	126.524152	3620.3	0.297670	0.947762	0.096470	16704.1	37433.2	99.9	2.6	722.2	92.3	3.3	0.0	0.0	98.4	0.730	TerminalCI Lab	
14	33.697644	126.531618	4548.0	0.297655	0.950405	0.098477	4241.9	54197.2	102.4	0.6	757.5	95.5	0.0	0.0	0.0	24.5	0.152	TerminalCI Lab	
15	33.698303	126.544759	5209.0	0.297655	0.950405	0.098477	18201.5	58970.2	103.1	2.7	762.2	96.5	3.6	0.0	0.0	102.7	0.762	TerminalCI Lab	
16	33.715653	126.562510	7448.0	0.298043	0.959371	0.063510	6596.3	76399.8	105.9	0.7	730.4	100.0	0.9	0.0	0.0	25.7	0.191	TerminalCI Lab	
17	33.727190	126.571040	7823.0	0.298043	0.959371	0.063510	24121.4	82986.0	108.5	3.6	727.5	101.9	4.7	0.0	0.0	132.2	0.383	TerminalCI Lab	
18	33.791156	126.590043	9523.0	0.298043	0.959371	0.063510	1435.6	105129.4	110.0	0.2	834.1	105.7	0.3	0.0	0.0	7.2	0.027	TerminalCI Lab	
19	33.794619	126.592700	9848.0	0.298043	0.959371	0.063510	1000.0	105555.0	110.3	0.0	836.9	105.9	-46.0	0.0	0.0	5.4	0.040	EnrouteCI Lab	
20	33.797541	126.593247	9948.0	0.298065	0.954233	0.000000	107763.6	107559.0	110.3	0.0	490.1	62.0	0.0	0.0	0.0	579.9	4.296	EnrouteCI Lab	
21	34.080000	126.700000	9948.0	0.158346	0.959770	0.000000	237624.7	215222.5	110.3	0.0	490.1	62.0	0.0	0.0	0.0	1329.9	9.865	EnrouteCI Lab	
22	34.759000	126.840000	9948.0	0.062001	0.998076	0.000000	273634.0	462577.3	110.3	0.0	490.1	62.0	0.0	0.0	0.0	1469.7	10.904	EnrouteCI Lab	
23	35.500000	126.900000	9948.0	0.044843	0.999994	0.000000	182160.5	732501.4	110.3	0.0	490.1	62.0	0.0	0.0	0.0	578.9	7.252	EnrouteCI Lab	
24	36.000000	126.930000	9948.0	0.044843	0.999994	0.000000	0.0	918421.9	110.3	0.0	490.1	62.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	None	

Figure 7 Flight Performance Results for Departure (GMP)->Cruising (AEDT→Results→Flight Performance Information→View Report)

Flight: 1																			
airframe/engine/engine wot : Piper PA-24 Coswache / T10-540-J2B2 / NONE																			
operation type : A																			
profile : STANDARD-1																			
cruise.alt (ft) : 8425.669																			
arrival airport : RUPC																			
arrival runway : 30L																			
departure airport : -NA-																			
departure runway : -NA-																			
time : Dev																			
number of operations : 1																			
operation name : T1_G_M3																			
track : ATIS0_M3																			
number of segments : 20																			
seg	num	latitude	longitude	Z-pos	AFE**	unit-x	unit-y	unit-z	segment length	grnd-trk distance	speed	delta speed	net-corr thrust	noise thrust	delta thrust	bank angle	duratr	AED* fuel-burn	trajectory-mode
1	36.000000	126.930000	9941.0	0.056145	0.998337	-0.013054	1378.7	0.0	112.5	0.0	387.6	49.1	0.0	0.0	0.0	7.3	0.037	Approach	
2	36.000780	126.930000	9923.0	0.060146	0.998337	-0.013054	151919.8	1378.7	112.4	-3.5	387.8	49.1	2.4	0.0	0.0	812.8	4.182	Approach	
3	36.420000	126.950000	7941.0	0.042015	0.999117	0.000000	41596.6	153192.5	108.9	0.0	406.9	51.5	-4.1	0.0	0.0	225.3	1.679	Approach	
4	36.534124	126.955033	7941.0	0.042013	0.999079	0.007727	2062.5	194789.1	108.9	0.0	374.8	47.4	0.0	0.0	0.0	11.2	0.058	Approach	
5	36.526763	126.960511	7923.0	0.042013	0.999079	-0.007727	223416.5	19682.7	108.9	-3.3	374.8	47.4	0.0	0.0	0.0	1223.0	6.324	Approach	
6	37.150000	127.000000	5982.0	-0.471322	0.891540	0.000000	42385.0	419288.3	105.6	0.0	277.8	47.8	-22.7	0.0	0.0	241.2	1.730	Approach	
7	37.254175	126.930000	5982.0	-0.471276	0.890432	-0.052336	1125.8	463253.3	105.6	0.0	186.8	26.2	0.0	0.0	0.0	6.3	0.033	Approach	
8	37.255977	126.929775	5923.0	-0.471276	0.890432	-0.052336	17785.6	463379.0	105.0	-2.3	199.1	25.2	0.7	0.0	0.0	104.6	0.538	Approach	
9	37.300000	126.930000	4590.0	-0.303951	0.951377	-0.052336	30325.7	481164.5	96.7	-10.5	204.7	25.9	0.7	0.0	0.0	151.9	0.679	Approach	
10	37.352222	126.973812	3925.1	-0.303951	0.951377	-0.052336	41.0	501520.3	86.2	0.0	210.4	26.6	0.0	0.0	0.0	0.3	0.001	Approach	
11	37.352323	126.977770	3923.0	-0.303951	0.951377	-0.052336	1595.5	501541.3	86.2	-10.5	210.4	26.6	0.7	0.0	0.0	151.6	0.677	Approach	
12	37.401318	126.960337	2982.0	-0.303951	0.951377	-0.052336	20206.9	519496.7	75.7	-8.4	216.1	27.3	13.2	0.0	0.0	167.8	0.863	Approach	
13	37.453186	126.939847	1923.0	-0.303951	0.951377	-0.052336	9414.8	539763.5	67.7	-3.5	300.7	40.6	5.5	0.0	0.0	76.2	0.392	Approach	
14	37.473211	126.930127	1482.0	-0.303951	0.951377	-0.052336	1540.9	548119.4	63.7	-0.5	364.2	46.0	-0.8	0.0	0.0	69.2	0.459	Approach	
15	37.500179	126.920144	982.0	-0.303951	0.951377	-0.052336	18127.1	557658.3	63.2	-1.0	357.6	45.3	-1.5	0.0	0.0	171.4	0.882	Approach	
16	37.547808	126.930198	32.0	-0.706654	0.706760	-0.052336	964.1	576765.0	62.3	-0.1	345.5	43.7	-0.1	0.0	0.0	3.1	0.047	Approach	
17	37.549450	126.799830	-18.0	-0.707524	0.706690	0.000000	42.8	576740.1	62.2	-3.3	344.9	43.7	-12.7	0.0	0.0	0.4	0.003	LandInGroundRoll	
18	37.549543	126.798725	-18.0	-0.707524	0.706690	0.000000	222.9	576732.9	68.9	-14.4	344.9	31.0	-10.5	0.0	0.0	2.6	0.019	LandInGroundRoll	
19	37.549777	126.798179	-18.0	-0.707524	0.706690	0.000000	161.3	577006.8	44.4	-14.4	182.0	20.5	-10.5	0.0	0.0	0.6	0.019	LandInGroundRoll	
20	37.550230	126.797786	-18.0	-0.707524	0.706690	0.000000	0.0	577166.1	30.0	0.0	79.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	None	

Figure 8 Figure 7 Flight Performance Results for Cruising->Arrival (CJU) Cruising (AEDT→Results→Flight Performance Information→View Report)

메일에 같이 첨부된 결과 파일들이 나오는지 비교를 해보시면 좋을 것 같습니다.

3. ASIF_KOREA.xml 구현 및 Simulation 상에서의 Discussion

개요 : 매뉴얼대로 구현하는 과정 및 sample ASIF 파일로 구현을 하는 것은 간단한 일이었으나 이를 응용하는 과정에서는 수많은 시행착오를 겪었습니다. 이를 두서없이 나열하여 정리하였고, 논의가 오갔으면 좋겠습니다.

- **AEDT에서의 단위** : Emission report display나 GUI에서의 measurement의 경우에는 unit을 선택할 수 있도록 짜여져 있지만, AEDT 내부에서는 고정된 unit을 사용하는 것으로 파악됩니다. <study> tag에서 <metricUnits>, <emissionUnits>의 값을 변화시키면 결과 값이 다르게 나올 줄 알았는데, 실제 **'New Study 10 Study Input Report.txt'와 'New Study 4 Study Input Report.txt'의 경우에는 <metricUnits>이 다르게 지정되었음에도 불구하고, 활주로 거리 같은 경우가 모두 feet로 설정되어, emission 및 full-flight 결과가 동일하게 나왔습니다.** Display 단계에서 결과값을 다른 단위계로 변환하는 과정이 포함되어 있으므로, **AEDT 내부 계산 단계에서 특별히 다른 단위계로 계산하는 부분은 없고 정해진 단위를 사용하는 것으로 예상됩니다.**

- **Runway to Runway 설정 문제** : AEDT_sample.xml을 비롯하여 ASIFRefGuide.pdf에 나와 있는 sample code의 목적은 다음과 같습니다. **목표 공항이 있고, 이 공항의 일정 범위를 study boundary로 잡고, 이 공항에서 이륙 또는 착륙하는 항공기들의 경로 정보를 입력 받고, 항공기 수 및 시간을 고려하여 일정 기간 내에 study boundary 내에서 항공기들이 발생시키는 emission과 noise를 추정하여 결과를 주는 형태입니다.**

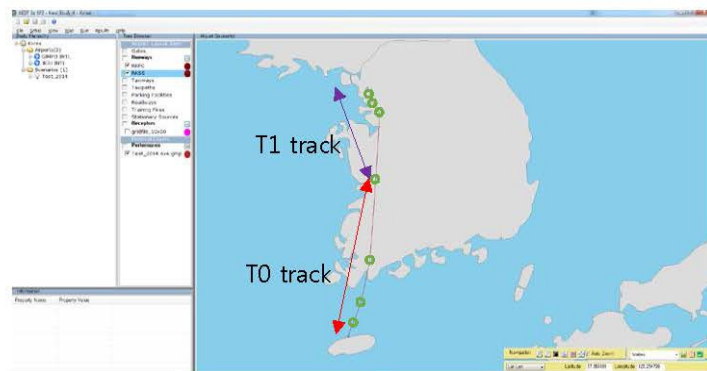
이는 우리 과제에서 추구하는 **A공항→B공항, 즉 runway to runway 비행시 항공기들이 전 구간에서 발생시키는 emission를 추정, 예측하는 과정과는 거리가 있습니다.** A공항→B공항의 형태일 때, sample code에서처럼 **A를 출발 공항으로 삼아 <trackOpSet>에서 <optype>을 D(departure)로 놓거나 B를 도착 공항으로 삼아 <trackOpSet>에서 <optype>을 A(arrival)로 놓아서** 결국 결과의 일부분만을 얻을 수 있습니다. AEDT에서는 이륙 및 착륙 phase를 <optype>에 따라 자동으로 설정하기 때문입니다.

ASIFRefGuide.pdf P. 22에 3.6 Modeling Intra-Study Flights (Runway to Runway) 항목이 있고, 이는 우리가 관심을 가지고 있는 **'study area안에서 arrival/departure airports가 한꺼번에 있는 경우'**를 다루고 있습니다. 다만, 실제로 어떻게 구현해야 하는지 sample이나 example은 존재하지 않아서 사용자가 알아서 구현을 해야 했습니다. 저는 **'arrival/departure operation이 각각 가운데 한 점에서 만나는 형태로 디자인한다'** 라는 뉘앙스로 해석했습니다.

3.6 Modeling Intra-Study Flights (Runway to Runway)

Intra-Study flights have arrival and departure airports that are inside the study area. These flights are modeled in the legacy tool NIRS as a pair of arrival and departure operations touching in the middle (e.g. the non-runway ends meet). AEDT supports this modeling technique.

상기 구현한 ASIF_KOREA.xml에서 <trackOpSet> 내에 <track>이 두 개로 나뉘어져 있고, report_flight_perftxt 역시 결과가 두 부분으로 나누어진 이유입니다. <track> T0는 제주공항에서 출발하여 가운데 지점 (대략 군산 부근)까지의 track을 설정하여 제주공항에서 <optype> D를 기준으로 이륙 후 순항에 이르기까지를 나타내고, <track> T1은 군산에서 김포공항에 착륙하기까지의 track을 설정하여 김포공항에서 <optype> A를 기준으로 순항 후, 착륙에 이르기까지를 나타내었습니다.



- 사실 <trackOpSet>에서 <optype>을 보면, A: arrival, D: departure, V: overflight 외에도 W: runwaytorunway 항목이 매뉴얼에 나와 있습니다. (ASIFRefGuide. P. 87, optype) 하지만,
 - 실제, <optype>을 W로 하면 import시 asif 규약에 어긋난다며 오류메시지를 발생
 - 가능하다 하더라도, <airport>와 <runway> 값을 어떻게 줄지에 대한 정보가 전무함
니다. (c.f. <operation> tag에는 <departureAirport>, <arrivalAirport> 등이 존재)
- 항공기 속도 문제 : Emission report를 살펴보면, 종 비행 시간이 2시간 20분 28초로 나타나 있습니다. 일반적으로, 김포-제주 간 비행 시간이 1시간 정도인 것을 고려하면 큰 차이가 있다는 것을 알 수 있습니다. 당연히 그 emission 결과가 실제의 경우를 반영할 수 있는가에 대해 의문을 제기할 수 밖에 없습니다.
 예제에서 왜 study boundary를 지정하고, 그 공간에서만 국소적으로 분석했을까를 생각해 보면, 애초에 flight distance가 먼 경우에는 제대로 mimic하는 것이 어렵기 때문이 아닐까하는 추측을 할 수 있을 것 같습니다. ASIFRefGuide.pdf P. 22의 3.5 Control Codes in AEDT에 추가적으로 지정해야 할 변수들이 나와 있는데 Altitude (고도), Speed (속도)입니다. ASIF sample 파일에서 정의된 <trackNode>의 경우에 위도, 경도, 고도 정보를 포함하는데, 고도 정보를 입력하지 않은 trackNode의 경우에는 이륙시 (<optype> = D)에는 10000ft, 착륙시 (<optype> = A)시에는 6000ft 이상의 data가 무시되고, flight performance information 및 emission report에 그 tracknode에 대한 정보가 반영되지 않습니다. 따라서 <altitude control="2">10000</altitude> 와 같이 고도를 입력하여 data를 처리해야 합니다. 이는 항적 데이터에서 고도 정보가 포함되어

있다면 별 문제는 되지 않습니다.

문제는 항공기의 속도 역시 반영되어야 정확한 결과가 나올텐데, 3.5.2 Speed Controls에서 언급된대로 AEDT 2a에서는 속도 제어가 먹히지 않습니다. 현재 study의 simulation 결과가 정확하지 않은 원인입니다.

- <sensorPath> tag : 3.6 Modeling Intra-Study Flights (Runway to Runway) 를 살펴보면, 위에서 사용된 <track> tag와는 다르게 radar flight path을 이용한 <sensorPath> tag 가 사용 가능함을 알 수 있습니다. 이 tag는 <trackOpSet> tag 내에 존재합니다. <sensorPath> tag을 통해 위도, 경도, 고도, 속도를 입력 받을 수 있고, 위의 runway to runway 및 항공기 속도 문제를 해결할 수 있을 것으로 생각합니다. <track> tag을 삭제 하고, <sensorPath> tag 정보를 인가하는 형태입니다.
- ICN DB 오류 : ASIF sample 파일이 있고 매뉴얼이 있는데 진행이 더디었던 이유는 두 가지입니다. 한 가지는 위에서 언급한 runway to runway 구현 문제, 다른 한 가지는 ICN(인천공항) 설정 시 AEDT에서 import error가 발생하는 문제입니다. 이 부분은 아래 메일 내용으로 말씀하겠습니다.

다음 파일 4개는

각 파일의 30,135,156,198번째 줄에

출발 공항은 CJU(제주)로 고정, 도착 공항의 이름만 ICN(인천), GMP(김포), PUS(부산), KMDW(시카고)으로 바뀌어 있으며 나머지는 동일한 정보를 가진 ASIF 파일들입니다.

1. GMP, PUS 는 import 성공 / Run->Start Run 실행 후 Results->Flight Performance Detail->View Map 에서 항적이 제대로 표시됩니다.
2. KMDW 는 import 성공 / Run->Start Run 실행 후 Results->Flight Performance Detail->View Map 하면 No Performance 라고 뜹니다.
3. ICN 은 import 실패 후 AEDT_Log.txt 를 확인하면
ERROR Module=ASIF Id=-2146232060 The INSERT statement conflicted with the CHECK constraint "CHK_APT_RWY_ID_AGAINST_APT_ID_ON_APT_ID_AND_DATE". The conflict occurred in database "New_Study", table "dbo.APT_RWY_ID".

위와 같이 재현되는지 아니면 다른 형태의 결과가 나오는지 크로스체크를 부탁드립니다.

도저히 납득이 안 가는 결과입니다. AEDT 내 DB의 버그인지, 아니면 제 컴퓨터에서만 발생하는 문제인지 확인이 필요합니다.

네, airport DB에 있는 것을 직접 추출한 것입니다.

혹시나 해서 임의의 layouts도 써봤습니다만, 문제가 생기네요.

AEDT Error Log는 다음과 같이 오류메시지를 출력합니다.

2014-12-22 18:42:23: ERROR Module=ASIF Id=-2146232060 The INSERT statement conflicted with the CHECK

constraint "CHK_APT_RWY_ID_AGAINST_APT_ID_ON_APT_ID_AND_DATE". The conflict occurred in database "New_Study_5", table "dbo.APT_RWY_ID".

The INSERT statement conflicted with the CHECK constraint "CHK_APT_RWY_AGAINST_APT_RWY_ID_ON_APT_ID_AND_DATE". The conflict occurred in database "New_Study_5", table "dbo.APT_RWY".
(후략)

SQL 서버 열고 DB를 추적해서 CHK_APT_RWY_ID_AGAINST_APT_ID_ON_APT_ID_AND_DATE constraints가 뭔지 하나씩 찾아봤는데, CheckAgainstAptIdOnAptIdAndDate 조건이 구체적으로 어떤 식인지 알 수가 없네요.

SQL Server Management Studio에서 Databases->AIRPORT->Tables->dbo_APT_RWY_ID->Constraints->CHK_APT_RWY_ID_AGAINST_APT_ID_ON_APT_ID_AND_DATE를 우클릭해서 modify 누르면 expression에서 {[dbo].[CheckAgainstAptIdOnAptIdAndDate]}([APT_ID],[EFF_DATE],[EXP_DATE])=(0) 조건을 검색하게 되어 있습니다.

Databases->AIRPORT->Tables->dbo_APT_ID 우클릭해서 view dependencies 누르면 CheckAgainstAptIdOnAptIdAndDate 이름만 확인했고, 그 내용을 파악하지 못했습니다.
APT_ID, EFF_DATE, EXP_DATE는 APT_RWY_ID 테이블에 있는 변수들으로써, studio에서 New Query에

```
SELECT *  
FROM [AIRPORT].[dbo].[APT_RWY_ID]  
WHERE [APT_ID] = 8661
```

을 치고, execute하면 (APT_ID = 8661이 인천공항)

RWY_ID	EFF_DATE	EXP_DATE	APT_ID
61217	2001-03-29 00:00:00	2079-06-06 23:59:00	8661
61218	2001-03-29 00:00:00	2079-06-06 23:59:00	8661
64058	2008-06-20 00:00:00	2079-06-06 23:59:00	8661

인데, GMP(김포), CJU(제주), PUS(부산) 등과 비교했을 때는 별 혐의점을 찾을 수가 없습니다.

INSERT가... 될 일이 없는데, 왜 유독 ICN에 대해서만 위와 같이 반응을 하는지... 뭔가 ICN에 대한 DB가 꼬여 있어서 query를 제대로 처리를 못 하는게 아닌가 하는 추측을 해 봅니다....

현재로는 위와 같은 이유로 ICN을 Arrival/Departure로 하는 study 및 scenario의 simulation이 불가능한 상태입니다.

- **Graphical Error** : DB에 나와 있는 좌표대로 설정을 했으나, ICN / CJU는 마치 바다에 활주기가 놓여 있는 듯한 결과물을 보여주고 있습니다. Visualization의 문제이며, emission 계산에는 문제가 없습니다.

4. MSSQL 에서 AEDT DB access 방법 및 GMP/CJU 정보

개요 : 위에서 ICN 관련 문제 때문에 SQL 내 AEDT DB 를 탐색해야 했기에 관련한 명령어를 정리해 볼 기회도 되었습니다.

- MSSQL을 설치하면, 프로그램 목록에서 SQL Server Management Studio라는 응용프로그램이 있습니다. AEDT를 성공적으로 설치하였다면 sql server에서 관련 DB를 찾을 수 있습니다. 하기 명령어들은 New Query 버튼을 눌러 나온 텍스트 창에다 입력하고 실행하면 됩니다.

- GMP (김포공항)

```
/*Airport Code 에서 해당공항 APT_CODE 찾기*/  
SELECT *  
FROM [AIRPORT].[dbo].[APT_CODE]  
WHERE [APT_CODE] = 'GMP'
```

```
/*Airport Main 서 해당공항 정보 (공항 ID 8613)*/  
SELECT *  
FROM [AIRPORT].[dbo].[APT_MAIN]  
WHERE [APT_ID] = 8613
```

```
/*Airport Main 에서 해당공항 활주로 ID (공항 ID 8613)*/  
SELECT *  
FROM [AIRPORT].[dbo].[APT_RWY_ID]  
WHERE [APT_ID] = 8613
```

```
/*Airport Main 에서 해당공항 활주로 끝 ID(활주로[RWY_ID] 60550, 60551)*/  
SELECT *  
FROM [AIRPORT].[dbo].[APT_RWY_END_ID]  
WHERE [RWY_ID] = 60550 OR [RWY_ID] = 60551
```

```
/*Airport Main 에서 해당공항 활주로 정보(활주로[RWY_ID] 60550,60551)*/  
SELECT *  
FROM [AIRPORT].[dbo].[APT_RWY]  
WHERE [RWY_ID] = 60550 OR [RWY_ID] = 60551
```

```
/*Airport Main 에서 해당공항 활주로 끝 정보(활주로 끝[RWY_END_ID] 105844, 112255, 105845,  
112256)*/  
SELECT *  
FROM [AIRPORT].[dbo].[APT_RWY_END]  
WHERE [RWY_END_ID] = 105844 OR [RWY_END_ID] = 112255 OR [RWY_END_ID] = 105845 OR  
[RWY_END_ID] = 112256
```

- CJU (제주공항)

/*Airport Code 에서 해당공항 APT_CODE 찾기*/

```
SELECT *  
  FROM [AIRPORT].[dbo].[APT_CODE]  
 WHERE [APT_CODE] = 'CJU'
```

/*Airport Main 서 해당공항 정보 */

```
SELECT *  
  FROM [AIRPORT].[dbo].[APT_MAIN]  
 WHERE [APT_ID] = 8663
```

/*Airport Main 에서 해당공항 활주로 ID */

```
SELECT *  
  FROM [AIRPORT].[dbo].[APT_RWY_ID]  
 WHERE [APT_ID] = 8663
```

/*Airport Main 에서 해당공항 활주로 끝 ID*/

```
SELECT *  
  FROM [AIRPORT].[dbo].[APT_RWY_END_ID]  
 WHERE [RWY_ID] = 60533 OR [RWY_ID] = 60534
```

/*Airport Main 에서 해당공항 활주로 정보*/

```
SELECT *  
  FROM [AIRPORT].[dbo].[APT_RWY]  
 WHERE [RWY_ID] = 60533 OR [RWY_ID] = 60534
```

/*Airport Main 에서 해당공항 활주로 끝 정보*/

```
SELECT *  
  FROM [AIRPORT].[dbo].[APT_RWY_END]  
 WHERE [RWY_END_ID] = 105817 OR [RWY_END_ID] = 112228
```

/*Airport Main 에서 해당공항 활주로 끝 정보*/

```
SELECT *  
  FROM [AIRPORT].[dbo].[APT_RWY_END]  
 WHERE [RWY_END_ID] = 105818 OR [RWY_END_ID] = 112229
```

● AEDT 내 GMP/CJU data 정리

APT_CODE	GMP	APT_CODE	CJU
Latitude	37.5587	Latitude	33.512292
Longitude	126.7904	Longitude	126.492628
Elevation(ft)	59	Elevation(ft)	119
APT_ID	8613	APT_ID	8663
RWY_ID	60550 60551	RWY_ID	60533 60534
RWY_END_ID (60550)	105844 112255	RWY_END_ID (60533)	105817 112228
RWY_END_ID (60551)	105845 112256	RWY_END_ID (60534)	105818 112229
LENGTH 60550 60551	10500 11800	LENGTH 60533 60534	10433 6266
WIDTH 60550 60551	200 150	WIDTH 60533 60534	150 150

● GMP 활주로 상세 정보

REC_ID	RWY_END_ID	EFF_DATE	EXP_DATE	RWY_END_NAME	LAT	LONG	ELEV	THR_ELEV	CRS_HGT	GLD_SLP	INT_ALT	DSP_THR_APP	DSP_THR_TKO	PCT_WIND	IS_HELPAD
49977	105844	1900-01-01 00:00:00	2079-06-06 23:59:00	32L	37.547608	126.801158	41	NULL	50	-0.1	NULL	0	0	NULL	N
49978	105845	1900-01-01 00:00:00	2079-06-06 23:59:00	32R	37.547353	126.807222	47	NULL	50	-0.1	NULL	0	0	NULL	N
56387	112255	1900-01-01 00:00:00	2079-06-06 23:59:00	14R	37.567983	126.775533	34	NULL	50	0.1	NULL	0	0	NULL	N
56388	112256	1900-01-01 00:00:00	2079-06-06 23:59:00	14L	37.570297	126.778422	38	NULL	50	0.1	NULL	0	0	NULL	N

● CJU 활주로 상세 정보

REC_ID	RWY_END_ID	EFF_DATE	EXP_DATE	RWY_END_NAME	LAT	LONG	ELEV	THR_ELEV	CRS_HGT	GLD_SLP	INT_ALT	DSP_THR_APP	DSP_THR_TKO	PCT_WIND	IS_HELPAD
49950	105817	1900-01-01 00:00:00	2079-06-06 23:59:00	24	33.514508	126.4968	76	NULL	50	0.1	NULL	0	0	NULL	N
56360	112228	1900-01-01 00:00:00	2079-06-06 23:59:00	06	33.500383	126.469289	86	NULL	50	-0.1	NULL	0	0	NULL	N
49951	105818	1900-01-01 00:00:00	2079-06-06 23:59:00	31	33.5055	126.504111	118	105	50	-0.8	NULL	0	0	NULL	N
56361	112229	1900-01-01 00:00:00	2079-06-06 23:59:00	13	33.515528	126.487389	67	NULL	50	0.8	NULL	0	0	NULL	N

5. 결론

AEDT 에서 임의의 공항 정보 및 항공기의 track data/operation data 를 입력하여 flight performance information / emission results 를 추출하는 단계를 다루었습니다. AEDT_KOREA.xml 을 통해 첨부된 결과의 재현 및 고찰 부분에서의 지적/논의가 있으면 좋겠습니다.

부록

부록 1 운용개념기술서

운용 개념 기술서

(Operational Concept Description)

항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발

문서ID : OCD_배출량산정_KAIST

Version : 1.2

AUTHORIZATION

한국교통연구원 Approval:

본 문서에 대한 서명은 한국과학기술원 내부에서 본 문서에 대하여 수행 및 유지관리의 책임이 있음을 인정하는 것임.

승인자 :	백승욱	(인)	일자 :	
-------	-----	-----	------	--

검토자 :	000	(인)	일자 :	
-------	-----	-----	------	--

작성자 :	이동기	(인)	일자 :	
-------	-----	-----	------	--

제 · 개정이력

[illegible]

목 차

1. 개요	1
1.1 적용범위	1
1.2 시스템 개요	1
1.3 문서 개요	1
2. 시스템 분석	2
2.1 배경, 목적, 범위	2
2.2 현 업무체계의 현황, 운영방식 및 제약사항	2
2.3 사용자 및 운용자	4
2.4 시스템 지원사항	4
3. 목표 시스템 개념	5
3.1 배경, 목적, 범위	7
3.2 운영 방식 및 제약사항	7
3.3 연동 대상시스템	8
3.3.1 시스템연동 개념도	8
3.3.2 연동 대상시스템	8
3.3.3 대상시스템별 운용개념	8
3.4 시스템간 교환자료 목록(IER)	8
3.5 사용자 및 운용자	8
3.6 시스템 지원사항	8
4. 목표 시스템 운영 시나리오	9
5. 목표 시스템 구축에 의한 변경사항	12
5.1 변경사항(현재 / 목표 간 비교)	12
5.2 변경사항의 우선순위	12
5.3 변경사항의 당위성	12
5.4 기타 변경사항	12
6. 목표 시스템 분석	13
6.1 장점	13
6.2 단점 및 제한사항	13
6.3 대안별 비교분석	13

7. 참고사항/부록	14
------------------	----

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발		
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일	

1. 개요

1.1 적용범위

○ 관련 내용이 없음

1.2 시스템 개요

○ 관련 내용이 없음

1.3 문서 개요

1.3.1 문서목적

○ 본 운용 개념 기술서는 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘에 대한 개요, 목적, 범위 등을 기술한 문서이다.

1.3.2 보안 및 주의사항

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

○ 본 문서의 변경 요소 발생시 「항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발」 과제 총괄의 승인을 거쳐 변경될 수 있다

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발	
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일

2. 시스템 분석

2.1 배경, 목적, 범위

○ 관련 내용이 없음

2.2 현 업무체계의 현황, 운영방식 및 제약사항



2.3 사용자 및 운용자

○ 관련 내용이 없음

2.4 시스템 지원사항

○ 관련 내용이 없음

3. 목표 시스템 개념

3.1 배경, 목적, 범위

3.1.1 배경

- 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO)는 Committee on Aviation Environmental Protection(CAEP) 위원회를 통하여 현재 NO_x를 비롯한 대기오염물질을 항공기 엔진 인증(Certification)을 통하여 규제하고 있으며, 2016년 도입을 목표로 2010년부터 항공기 이산화탄소 인증 기준(Aircraft CO₂ Certification Standard)을 개발하고 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.
- 우리나라가 이와 같은 항공 환경 국제기준 마련에 참여하여 기술적인 의견을 내기 위해서는 항공운항으로 인한 환경 효과를 정량화할 수 있는 기술 확보가 필수적임.
- 하지만 실제 비행 중의 항공기에서 배출되는 온실가스의 정량적 분석은 대단히 어려운 실정이므로 이를 대체하기 위하여 항공 부문의 온실가스 배출량을 효과적으로 산정하는 알고리즘의 개발이 수행되어야 함.

3.1.2 목적

- 본 「항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발」 연구 과제는 다음과 같은 사항을 목적으로 개발을 추진함.
 - 온실가스 감축 목표 설정을 위한 배출 현황 파악에 기여
 - 항공기 절차별 체계적인 분석·연구를 통해 항공기 운항을 경제적이고 효과적인 운항 체계를 도출하여 온실가스 배출현황 파악 및 관리를 지원
 - 국내 및 국제선 항공기의 경제적 운항과 항공분야 온실가스 배출량 최소

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발	
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일

화에 일조

- 항공부분의 온실가스 감축 주체들이 간단하고 편리하게 사용할 수 있도록 하는 편의성 제공

○ IPCC Tier 3급 고정밀 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발

- Tier 3 방법론은 비행기와 엔진 특성 공기역학적 성능 정보를 이용하여, 각 비행 구획의 총 궤도를 통해 배출량과 연료 연소를 계산하는 고정밀 배출량 산정 방식임
- Tier 3는 기종점 자료, Tier 3B는 총 비행 궤도 정보를 사용하며, 본 알고리즘은 이 두 가지를 모두 수행함

구 분	산정 방법	비고
Tier 1	온실가스 배출량 = 연료 사용량 * 배출 지수	간단/단순
Tier 2	3,000피트 이하(이착륙)과 이상(순항)으로 구분 총 온실가스 배출량 = LTO 횟수 × LTO 배출계수 + (총 연료사용량 - LTO연료사용량) × 순항배출계수	현재 국가 항공부문 온실가스 배출량 통계 수준(KOTEMS)* → ICAO 규제수준 대응 불가
Tier 3a	출·도착지 공항간 자료 이용 총 온실가스 배출량 = CO ₂ 배출량(항공유 탄소함량 × 비행단계별 연료사용량) + 기타 배출량(CH ₄ , N ₂ O)	Detailed CORINAIR Methodology (공개 자료)
Tier 3b	총 비행궤도 정보(총 비행항로 정보) 이용 → 항공기, 엔진성능, 항적 등 고려하여 정책집행 및 이행이 가능한 모형 (SAGE, AERO2K 등)	미국 FAA 등 일부 선진국

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

그림 110 IPCC의 온실가스 산정 등급

- 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘은 상호 간에 영향을 미치는 공기역학적 요인들을 고려하여 하위 Tier보다 더 정확한 연료 소모량 및 온실가스 배출량을 산정함
- 연료사용량 자료에 의존하는 top-down 방식의 Tier 1,2에 비해 실제 비행기 운행 자료를 활용하는 bottom-up 방식의 Tier 3b 알고리즘은 항공 교통 변화, 항공장비 교체, 혹은 다른 가변 입력 시나리오를 고려한 입력 자료를 사용해 다이내믹한 미래 예측 및 시나리오 분석을 가능케 함

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발		
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일	

3.1.3 범위

- 단일 비행의 경도, 위도, 고도와 시간에 따른 구간별 온실가스 배출량 산정을 핵심 기능으로 함.
- 활주로-활주로 구간의 표준화된 항로 또는 입력받은 레이더 항적 데이터를 이용하여 단일 비행 시 각 비행 단계를 구분하고, 비행 성능, 연료 연소량, 각 온실가스 배출량을 산정함.
- 사용 중인 DB 상에서 정의할 수 있는 단위 비행 조건에 대하여, 해당 단위 비행을 구성하는 단일 비행별 결과를 취합하여 비행기, 엔진, 공항, 지역과 세계적 총량의 향으로 출력을 지정할 수 있음.

3.2 운영 방식 및 제약사항

- 관련 내용이 없음

3.3 연동 대상시스템

3.3.1 시스템연동 개념도

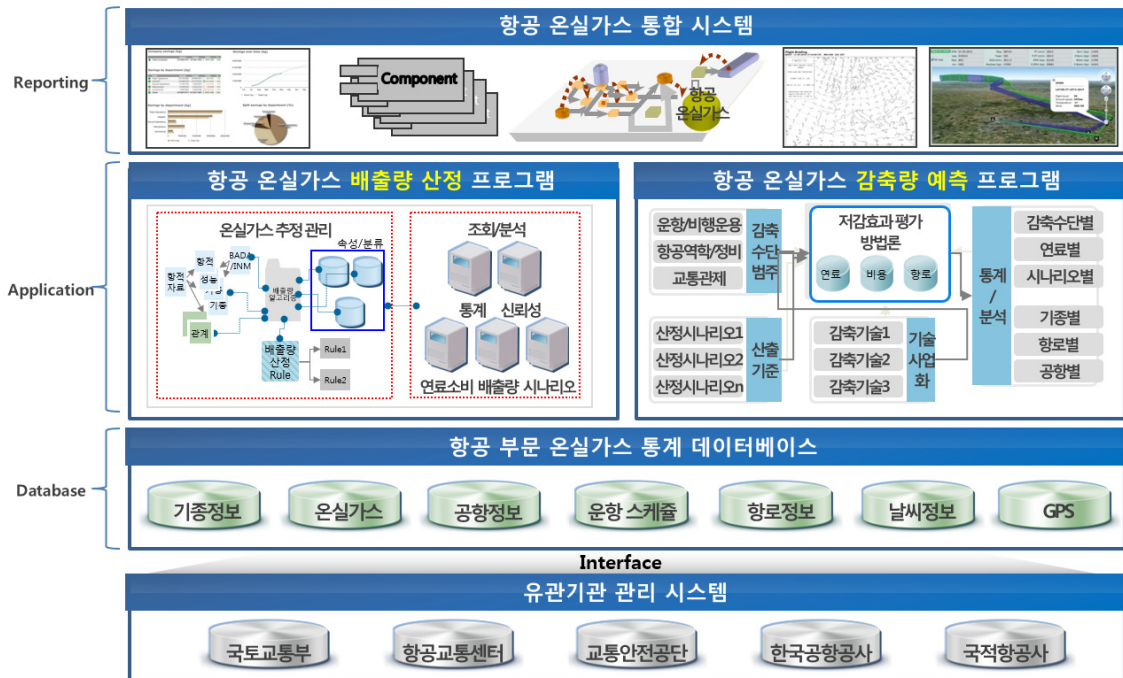


그림 111 시스템연동 개념도

3.3.2 연동 대상시스템

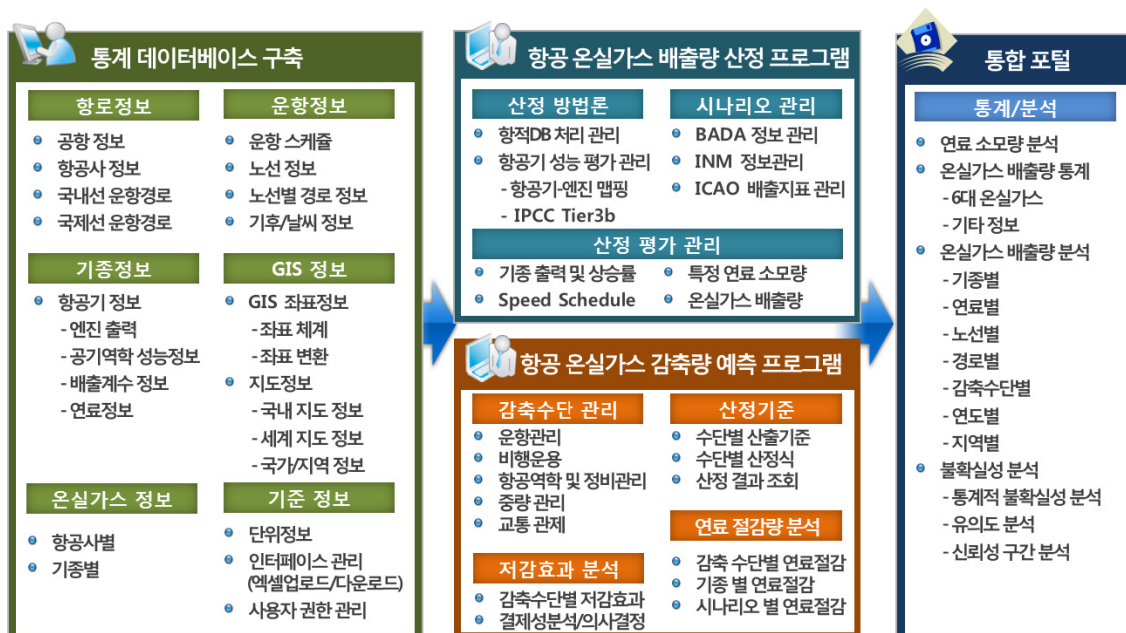


그림 112 연동 대상시스템

3.3.3 대상시스템별 운용개념

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발	
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일

○ 관련 내용이 없음

3.4 시스템간 교환자료 목록(IER)

○ 관련 내용이 없음

3.5 사용자 및 운용자

○ 관련 내용이 없음

3.6 시스템 지원사항

○ 관련 내용이 없음

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발		
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일	

4. 목표 시스템 운영 시나리오

○ 단일 비행에 대한 온실가스 배출량 산정을 기본으로 공항별, 항공기별, 연도별 온실가스 배출량 계산하는 Bottom-up 방식임.

- 가장 중요한 것은 비행단계별 연료 사용량을 가능한 정확하게 계산하는 것임
- 단일 비행에서 이 비행단계별 연료 사용량을 구하되, 총 비행계적 정보가 있다면 이를 통해 비행단계를 나누는 것이 Tier 3b 급임
- 공항별, 항공사별, 연도별 온실가스 배출량은 모든 단일 비행의 온실가스 배출량의 합으로써 나타내어짐

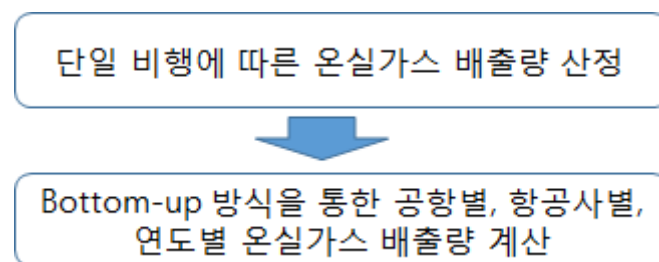


그림 113 온실가스 배출량 산정 방식

○ 단일 비행에 따른 온실가스 배출량 산정을 위한 최소 필요조건

- 단일 비행에 따른 온실가스 배출량 산정을 위해서는 비행조건(출발 공항, 도착 공항, 항공기 종류 등)을 구체적으로 지정해야 함
- 또한 지정된 비행조건을 정의할 수 있는 DB(공항 관련, 항공기 특성 등)와, 해당 비행에서 배출될 온실가스를 산정할 수 있는 DB(각 온실가스의 단위 배출량 계수 등)가 존재해야 함

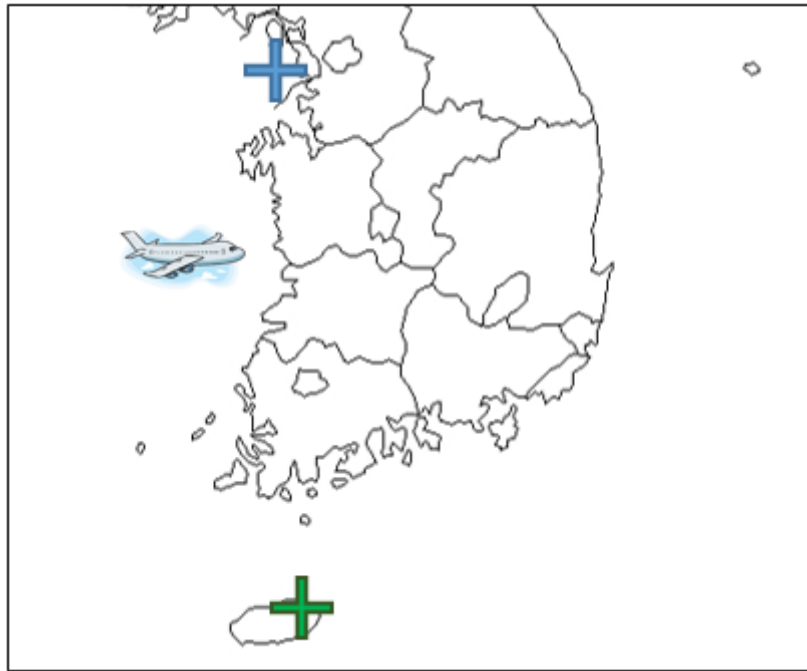


그림 114 김포, 제주 공항의 알고리즘 운용 예

○ 알고리즘 운용 예

- 단일 비행 예제

□ 김포 출발, 제주 도착, 보잉 737-800기를 이용한 온실가스 배출량 산정. 사용자가 김포 공항, 제주 공항, 보잉 737-800을 입력하면 온실가스 배출량 산정 알고리즘은 김포-제주 간의 표준 항적을 설정하고, 각 비행 단계를 나눈 뒤, 공력 특성, 추진력, 항력, 날씨 등을 고려하여 비행 성능, 연료 소모량, 온실 가스 배출량을 계산함.

□ 인천 출발, 제주 도착, 보잉 737-800기, 레이더 항적 데이터가 주어진 경우. 사용자가 인천 공항, 제주 공항, 보잉 737-800기, 레이더 항적 데이터를 입력하면 온실가스 배출량 산정 알고리즘은 이를 이용하여 전체 항적을 계산하고, 그에 따라 각 비행 단계를 나눈 뒤, 비행 성능, 연료 소모량, 온실 가스 배출량을 계산함.

- 항공사별 온실가스 배출량 산정 예제

□ A항공사의 국내선 항공기들의 온실가스 배출량 산정. 사용자가 국내선 스케줄에 따른 출발 공항/도착 공항/항공기 종류/항적 데이터 등을 입력함. 온실가스 배출량 산정 알고리즘은 각각의 단일 비행에 따른 온실 가스 계산 후, 그들을 모두 더하여 제공함.

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발		
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일	

5. 목표 시스템 구축에 의한 변경사항

5.1 변경사항(현재 / 목표 간 비교)

○ 관련 내용이 없음

5.2 변경사항의 우선순위

○ 관련 내용이 없음

5.3 변경사항의 당위성

○ 관련 내용이 없음

5.4 기타 변경사항

○ 관련 내용이 없음

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발	
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일

6. 목표 시스템 분석

6.1 장점

○ 관련 내용이 없음

6.2 단점 및 제한사항

○ 관련 내용이 없음

6.3 대안별 비교분석

○ 관련 내용이 없음

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발		
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일	

7. 참고사항/부록

7.1 현 알고리즘의 종류

- 현재 국내에는 항공운송부문의 온실가스 배출량 산정을 위한 알고리즘이 없으며, 온실가스 정보 제공을 위해서는 교통안전공단의 ‘배출량 조사사업’과 ‘교통부문 온실가스 관리시스템 (Korea Transport Emission Management System, KOTEMS)’, 국토교통부의 ‘항공안전종합정보시스템 (National Aviation Resource Management Information, NARMI)’이 사용되고 있음.
- SAGE (System for assessing Aviation's Global Emissions)
 - 온실가스 미국 FAA에서 개발한 모형으로서, 항공기의 연료 소모량과 CO, HC, NO_x, CO₂, H₂O, SO₂ 등의 배출량 산정
 - 입력 자료는 획득 가능한 수준에 따라 지역별로 상세 정도에 차이가 있는데, 북중미와 유럽을 운항하는 항공기의 경우 모든 일정, 궤도, taxi 타임 등 상세자료가 입력되는 반면 나머지 지역은 일정 자료만 입력됨
- AEM (Advanced Emission Model)
 - EUROControl에서 개발한 모형으로서 항공기의 연료소모량과 CO₂, H₂O, SO_x, NO_x, HC, CO, 벤젠, VOC, TOG 등의 배출량 산정
 - 입력 자료는 항공기, 엔진, 연료연소비율, 배출률 자료 외에 콜 사인, 출발시간, 출발 도착공항, 기종 등을 포함한 전반적인 비행 및 일정자료, 비행고도, 대지속도, 상승/하강비율 등 비행자료임
- AERO2K
 - QinetiQ(민간기업)이 DLG(독일), 맨체스터대, 네덜란드 국립항공우주연구소(NLR), 영국무역산업부, 에어버스사, 유로콘트롤 등과 함께 개발
- FAST (Future Aviation Scenario Tool)

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발	
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일

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

○ INM (Integrated Noise Model)

- SAE AIR 1845표준 알고리즘 및 프레임워크를 기반으로 개발되었으며, 오랜기간의 측정을 통해서 구성된 NPD(Noise-Power-Distance) 데이터베이스(92)를 바탕으로 항공기의 운항경로를 결합하여 공항주변의 소음지도를 예측함

○ AEDT (Aviation Environment Design Tool)

- 공간과 시간영역에서 항공기 성능을 모델링하는데 사용되는 소프트웨어 (연료연소, 배기가스, 소음 계산)
- 단일 항공편으로부터 지역, 국가, 전 세계적 시나리오 레벨에 대한 완전한 게이트-게이트 해석 가능
- 현재 항공기와 관련된 연료연소, 소음, 배기가스의 상호연관성을 분석하기 위해 FAA에서 사용

7.2 현 알고리즘의 한계점

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

- 또한 Cargo Flight, Regional Aircraft 등에 대한 시뮬레이션 모델은 국제적으로 개발되어 있지 않아 우리나라와 같이 단거리 비행에 대형 항공기가 쓰이는 경우, 도시 간 소형 항공기 운항이 필요한 경우, 대형 화물항공사의 온실

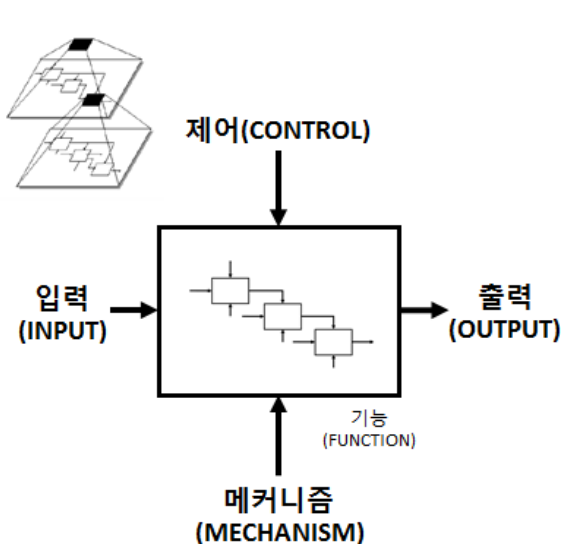
가스 배출량 할당이 국제적으로 이루어질 경우 그에 대한 데이터베이스나 검증된 결과를 절실히 필요함.

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

7.3 알고리즘 구성

- 본 알고리즘의 구성을 표현하기 위해 'IDEF0'라는 방법론을 사용하였으며, 이해를 돕기 위하여 아래에 간략히 설명함.

- 시스템의 의사결정, 행동, 활동을 모델링 할 수 있도록 디자인된 방법으로 계층적인 분해를 통한 다양한 레벨의 기능에 관한 설명을 지원함
- 도형적인 표현방법을 통해 활동의 수행과 관련된 입력과 출력, 제약조건과 활동 수행의 주체를 직관적으로 파악 가능



- **기능(Function)**
 - 활동, 행동, 프로세스, 혹은 운영을 표현
 - 어떠한 상황에서 무엇이 일어나는지에 관한 서술
- **입력(Input)**
 - 기능을 수행하는데 필요한 개체 혹은 데이터로 기능이 수행됨에 의하여 소모되거나 변형되는 것을 표현
- **출력(Output)**
 - Function의 결과로 산출되는 산출물
- **제어(Control)**
 - 기능을 통제, 제어하는 제약조건, 가이드 혹은 출력을 결정하는데 필요한 제약조건 등으로 기능의 수행을 통제하거나 시작하게 한다.
- **메커니즘(Mechanisms)**
 - 기능을 수행하는 사람 또는 개체로서 무엇에 의해 그 기능이 수행되는가 혹은 기능의 수행에 어떠한 자원이 소용되는가를 나타냄

그림 115 IDEF0의 표현방법과 의미

- 본 알고리즘의 구성도는 다음과 같다.

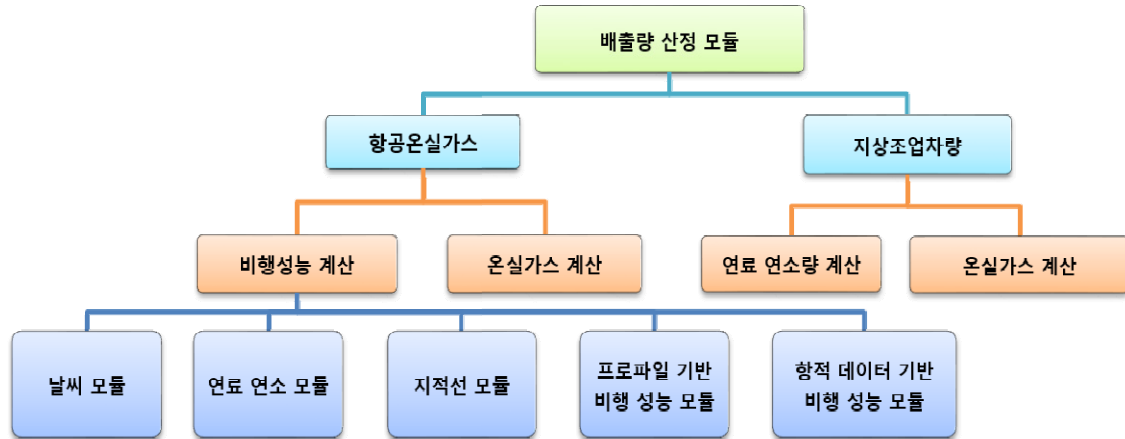


그림 116 알고리즘 구성도

- 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘은 다음과 같은 입/출력, 제어 상수 및 DB로 이루어져 있음.

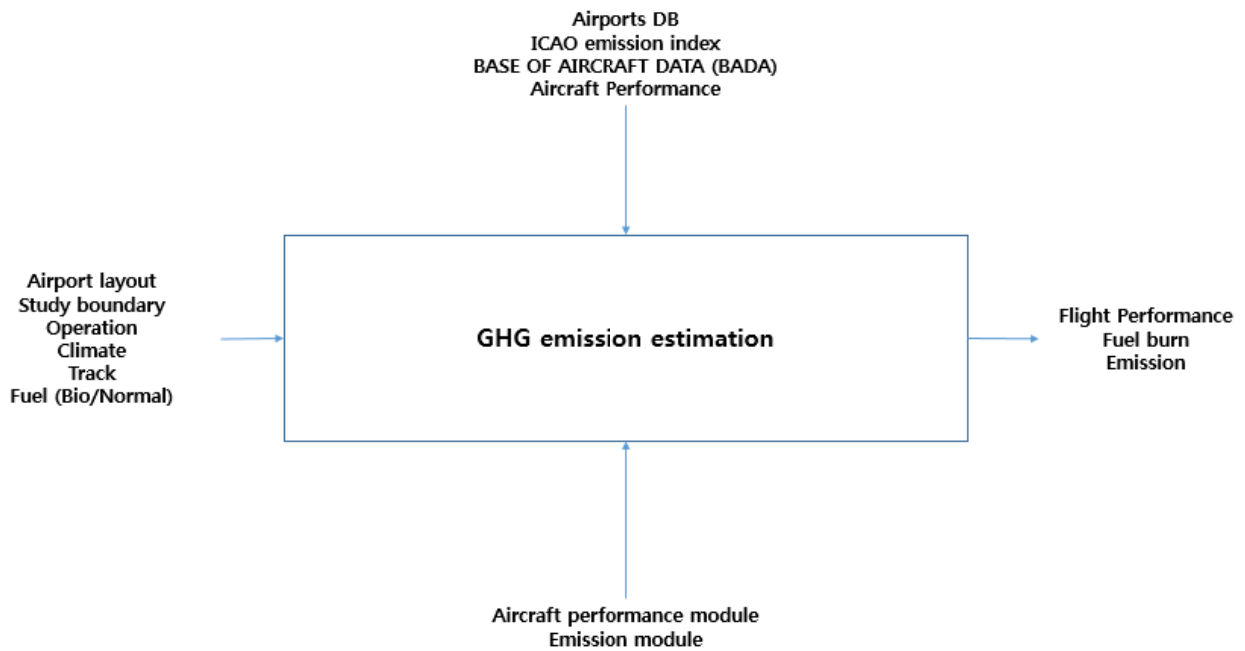


그림 117 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 (Level 0)

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발	
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일

○ 항공 온실가스 배출량 산정을 위해 다양한 입력들을 필요로 함.

- Airport layout: 출발/도착 공항의 정보. 전체 항적의 시작 및 끝 부분의 연결에 영향을 미침. 이착륙 단계에서의 기상 특성, 지리 특성 등을 결정하는 중요한 정보
- Study boundary: 조사하고자 하는 범위를 지정함. 관심 영역에 대한 온실가스 배출량 산정 계산 가능
- Operation: 출발/도착 공항의 모든 항공기들의 운항 스케줄을 포함함. 출발/도착 시간 및 활주로 등의 정보를 포함
- Climate: 기상 모델. 항공기 운항에서 공력 및 연료 소모 계산에 영향을 주는 특성 및 인자들을 포함
- Track: 출발/도착 공항의 항적에 대한 구체적인 정보. 프로파일 기반 데이터 생성 또는 항적 기반 데이터를 포함하며 이/착륙 및 순항 단계에서의 비행 성능 계산을 위한 필수 정보
- Fuel: 바이오 연료와 같은 다른 특성의 연료 성분을 입력 받아 연료 소모량 계산에 필요한 정보

○ 항공 온실가스 배출량 산정 결과는 다음과 같음.

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

○ 항공 온실가스 배출량 산정을 위해 필요한 DB 및 제어 상수들은 다음과 같음.

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발		
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일	

- Airports DB: 전 세계에 존재하는 공항의 자세한 정보를 담고 있음
 - Base of Aircraft Data: 순항 구간에서의 비행 동력학 및 모델링 계수 등의 정보를 담고 있음
 - Aircraft performance: 1845/Doc29 정보를 이용하여 공항 주위 이착륙과 관련된 비행 동력학 및 모델링 계수 정보를 담고 있음
 - ICAO Emission index: 소모 연료 당 각 온실가스의 배출량 정보를 담고 있음
- 항공 온실가스 배출량 산정을 위해 크게 비행 성능 계산 모듈과 온실가스 계산 모듈로 나눌 수 있음.

7.3.1 비행 성능 계산 모듈

- 비행 성능 계산 모듈은 운항 경로, 추진력, 연료 소모량 등 공항 근방 및 활주로-활주로 간 운항에 따른 비행 성능 정보를 계산한다. 이 성능은 온실가스 배출량 산정에 이용됨.
- 비행 성능 계산 모듈은 크게 날씨 모듈, 연료 연소 모듈, 지적선 모듈, 프로파일 기반 비행 성능 모듈, 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈로 나눌 수 있음.

Aircraft performance module

Level 2

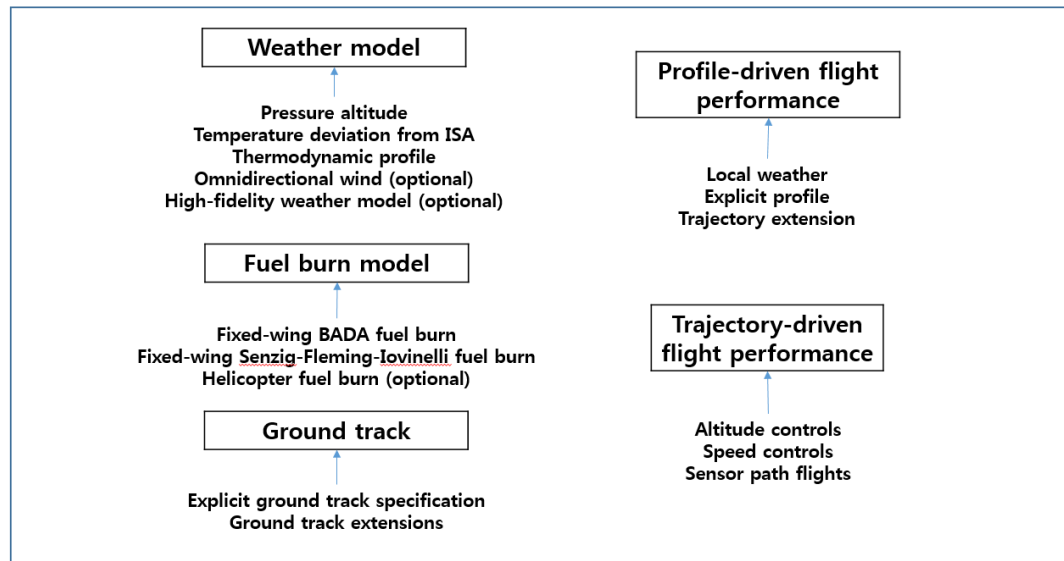


그림 118 비행 성능 계산 모듈 (Level 2)

7.3.1.1 날씨 모듈

Aircraft performance module

Level 2

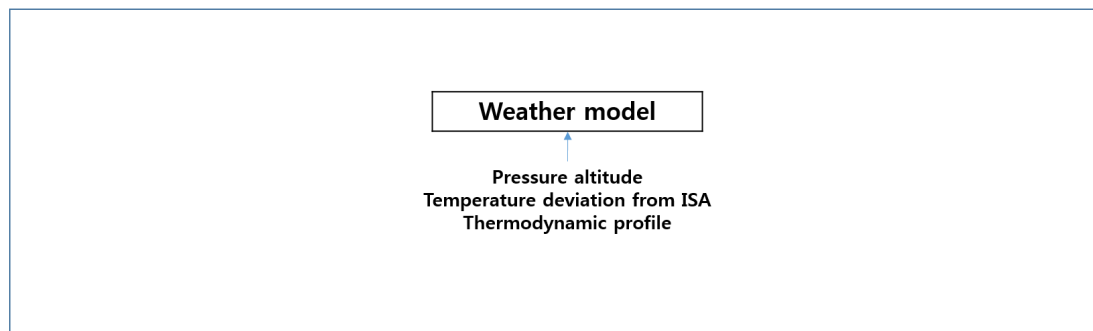


그림 119 날씨 모듈 (Level 2)

- 주어진 지역 혹은 고도에서 측정 가능한 온도, 압력 등의 열역학적인 특성을 이용하여 항공기의 고도나 또 다른 열역학적인 특성 값을 구하는 모듈
- 열역학적인 특성의 물리화학적 성질과 RUC13, RUC20, GEOS data, NCAR data 등의 기존에 축적된 데이터베이스를 활용하여 항공기의 고도와 압력, 온도 등을 계산할 수 있다.

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발	
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일

- Pressure altitude : 높이가 증가됨에 따라 기압이 감소하는 원리를 이용하여 주어진 기압에 해당하는 고도를 계산하는 방법으로, 항공기 비행 고도의 압력(혹은 압력비)과 ISA의 대기특성과 비교하여 압력 고도를 계산한다
 - Temperature deviation from ISA : 주어진 조건(Location, Time)에서의 실제 온도와 ISA 온도와의 차이로써 항공기의 비행 성능을 계산하는데 사용된다
 - Thermodynamic profile : 특정 고도가 주어졌을 때, 기존에 가지고 있는 데이터 세트와 비교하여 온도와 압력을 구할 수 있다
- 위와 같은 모듈을 통해 항공기의 열역학적 특성 및 고도 등을 계산할 수 있으며 이는 추후 항공기의 성능을 계산하는데 활용된다.

7.3.1.2 연료 연소 모듈

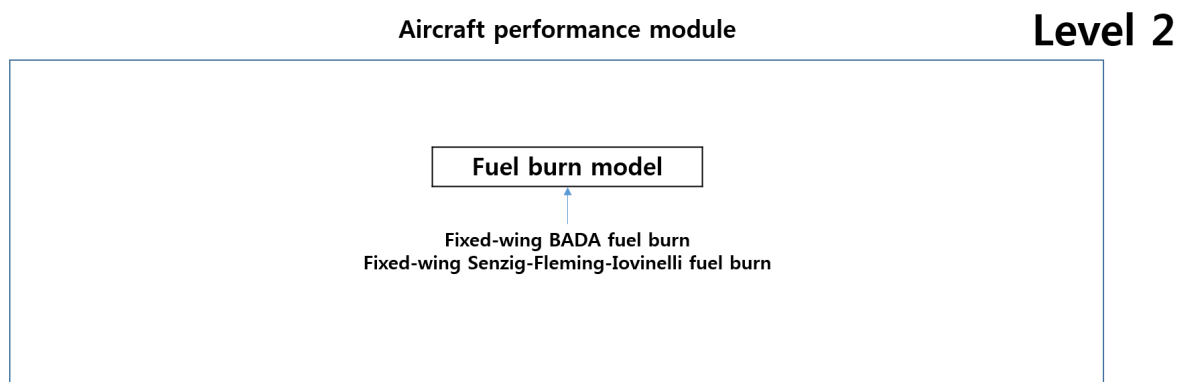


그림 120 연료 연소 모듈 (Level 2)

- 연료 연소 모듈은 비행경로의 각 부분별 연소 연료량을 계산하는 모듈.
- 소모되는 연료량은 각 비행구간 별 연료 연소율(fuel flow rate)과 엔진의 개수의 곱으로 계산되어지며 연료 연소율은 다음과 같이 두 개의 방법을 이용하여 계산될 수 있음.
- Fixed-wing BADA fuel burn : BADA 연료 소비 모델은 명시적인 연료 연소율의 수식을 제공. 이를 통해 엔진의 타입(jet, turboprop, piston)에 따라

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발	
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일

순항 상태(cruise phase)일 경우와 유힬 상태(idle state)일 경우의 연료 연소율을 계산할 수 있음.

- Fixed-wing Sensing-Fleming-Iovinelli fuel burn : Terminal area(공항의 관제를 받는 공항 근처의 지역)에서의 연료 연소율을 계산하는 방법.

7.3.1.3 지적선 모듈

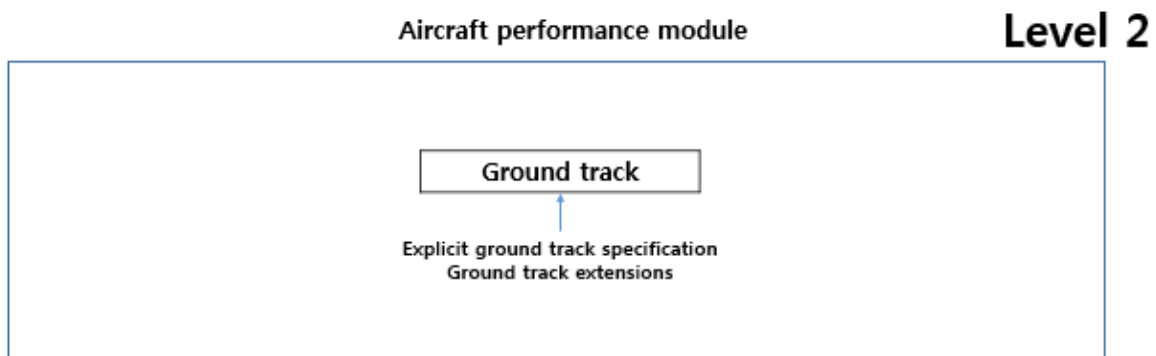


그림 121 지적선 모듈 (Level 2)

- 지상 트랙 모듈은 항공기가 생성한 3차원 상의 경로 중 지면에서의 성분을 결정함.
- 지면에서의 성분은 연속된 점들에 의해 표현 되는데, 각각의 점들은 다음 두 가지 방법으로 나타내 질 수 있음.
 1. 지면의 성분을 지구의 위도와 경도로 나타내는 Geographic coordinates
 2. 관련된 공항에서부터의 동쪽, 북쪽의 거리를 Euclidean x, y 값으로 나타내는 Projected Coordinates
- 지상 트랙 모듈은 사용자에게 의해 정의되는 부분과, 프로그램 내에서 추가적으로 계산되는 부분으로 구성된다.

7.3.1.4 프로파일 기반 비행 성능 모듈 및 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈

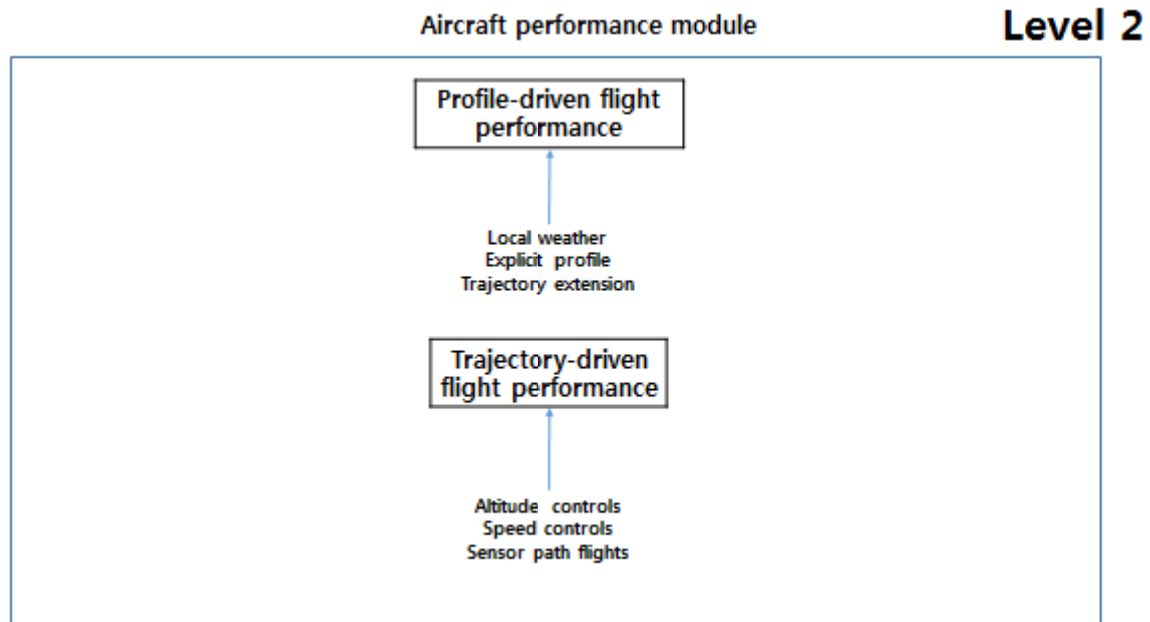


그림 122 프로파일 기반 비행 성능 모듈 및 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈 (Level 2)

○ 항공기의 성능을 연산하는 모듈은 프로파일 기반 비행 성능 모듈과 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈이 있음.

- 프로파일 기반 비행 성능 모듈

○ 프로파일 기반 비행 성능 모듈은 고도, 속도, 플랩 설정, 추력과 같은 항공기의 상태특징들을 이용하여 항공기의 운동을 기술하는 방법으로 항공기성능을 연산함.

○ 연산은 크게 표준화된 프로파일을 연산하는 “Explicit profile”단계와 관심영역에 대하여 경로를 확장시키는 “Trajectory extension”단계를 가짐. 또한 항공기의 성능을 연산할 때 필요한 기상변수들은 “Local weather”모듈에 따라 정의됨.

○ “Explicit profile”단계에서는 항공기 운동 상태특징들을 연산하고 이들의 시퀀스로 구성되는 표준항로를 결정함.

○ 이를 위해서는 기종별 엔진의 특성과 관련된 DB 및 공력특성에 관한 DB정보가 필수적임.

○ “Trajectory extension”단계에서는 사용자가 관심영역을 지정하였을 때 이와 관련되어 항로를 확장시킴.

- 항적데이터 기반 비행 성능 모듈

○ 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈은 표준 프로파일에서의 편차를 허용하고, 항공기가 다양한 비행 방법을 선택할 수 있도록 하는 모듈로써, 기존에 생성된 표준 프로파일이 항공기의 실제 궤도를 정확하게 표현하지 못하는 상황에서 항공기의 비행 성능 정보를 계산하기 위한 모델링에 유용함.

○ 항적 데이터 기반 성능 모듈은 주어진 항적 데이터를 기반으로 하여 각 비행 단계에 대해, ‘고도, 거리, 속도, 추력’에 해당하는 출력 값을 산출할 수 있음.

○ 이를 위해 각 기체의 특성 및 항적 데이터에 해당하는 정보가 반드시 필요함.

7.3.2 온실가스 계산 모듈

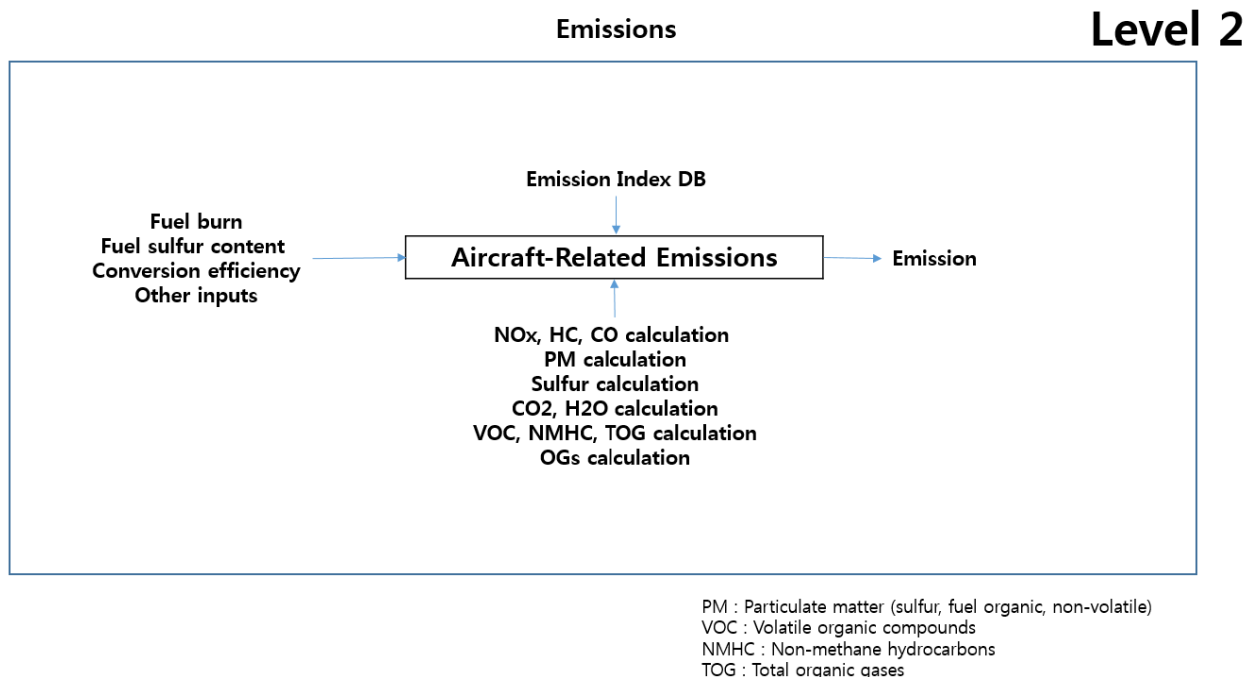


그림 123 온실가스 계산 모듈 (Level 2)

○ 온실가스 계산 모듈은 연료 소모량 및 특성 관련 입력을 받아 온실가스 인덱스 데

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발	
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일

이터베이스로부터 각 온실가스 인자들을 호출하여 최종적으로 온실 가스 배출량을 산출함.

○ 출발/도착 활주로 간 모든 운행 단계가 온실가스 계산에 포함되며, 크게 10000 ft 이상 구간에서의 “en-route” 단계와 10000ft 이하의 “terminal” 단계로 나누고, 각 항적의 모드에 따라 나누어져 계산이 이루어짐.

○ 산출할 수 있는 온실가스의 종류는 다음과 같음.

- 질소산화물, 탄화수소, 일산화탄소
- 부유성 고형물
- 황산화물
- 이산화탄소, 물
- 휘발성 유기화합물, 비메탄계 탄화수소, 총 유기 가스

○ 이 온실가스들을 구하기 위해 고려할 모델은 다음과 같음.

표 2. 온실가스 별 사용 모델

Model	Pollutants
The Boeing Fuel Flow Method 2 (BFFM2)	NO _x , HC, CO
A First Order Approximation (FOA)	PM
Fuel composition-based factors	CO ₂ , H ₂ O, SO _x , PM
Derivative factors	NMHC, VOC, TOG, OG

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

7.3.3 지상조업장비 온실가스 계산 모듈

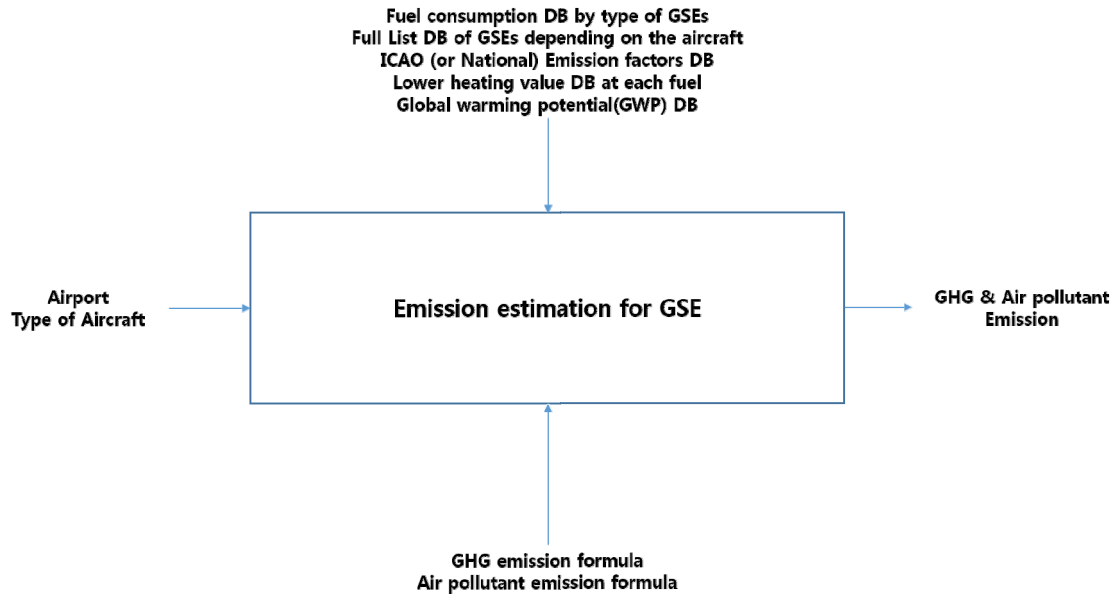


그림 124 지상조업장비 배출량 산정 알고리즘 전체 입출력 개념도

- 지상조업장비는 항공기 기종, 규모, 이용형태에 따라 투입되는 조업장비 종류가 다양하므로 이를 배출량 산정에 반영하고자 함. 이를 위해 항공기종과 운항횟수 및 공항정보를 기준으로 조업장비의 배출량 산정이 이루어져야 함.
- 따라서 지상조업장비의 배출량 산정은 항공기의 배출량 산정을 위한 입력 데이터 (공항 및 항공기종)를 기반으로 배출량 산정에 필요한 DB를 호출하고 이를 배출량 산정식에 대입한 후에 운항횟수를 곱하여 전체 배출량을 산정함.
- 이를 위해 지상조업장비 배출량 산정 모듈에는 공항 별 지상조업장비 별 연료소모량 및 항공기종 별 투입조업장비 목록 DB가 필수적이며, 이를 기반으로 각 조업장비별 배출량 산정을 수행함.

7.3.3.1 지상조업장비 배출량 산정 알고리즘

- 지상조업장비 배출량 산정을 위한 입력 데이터 및 필요 DB와 출력데이터는 표 3과 같이 정리할 수 있음.

 한국교통연구원 THE KOREA TRANSPORT INSTITUTE	운용 개념 기술서 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발		
문서ID : OCD_배출량산정_KAIST	VERSION : 1.2	작성일: 2015년 06월 13일	

표 3. 지상조업장비 배출량 산정 알고리즘 입출력 세부사항 (추가수정가능)

구분	단계별 내용	세부내용	
1	입력데이터	항공기종, 공항정보	
2	필요DB	지상조업 관련 DB	▶ 지상조업장비 별 연료소모량
			▶ 지상조업장비 별 조업횟수
			▶ 항공기종 별 투입조업장비 목록
		연료종류 관련 DB	▶ 연료종류 별 저위발열량
			▶ 연료 소모량에 따른 배출계수
			▶ 지구온난화지수
3	산출식	항공기종 별 조업장비 별 연료소모량 기준 배출량 산정 계산식	
4	출력값	온실가스 배출량	대기오염물질 배출량
		▶ CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	▶ CO, HC, NO _x , SO _x , PM, VOC

○ 지상조업장비에서 배출되는 가스 종류는 다음과 같음.

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

○ 메탄과 아산화질소의 경우, 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)를 곱하여 이산화탄소 환산량으로 변환이 가능함.

○ 항공기 배출량 산정에 입력되는 공항 및 항공기종 입력데이터가 지상조업 배출량 산정 알고리즘의 입력데이터로 동시에 사용됨. 또한 연료 사용량으로부터 위의 가스종류별 배출량 산정을 위해서는 배출계수 DB 확보가 필수적임.

7.3.3.2 지상조업장비 배출량 세부 산정방법

Emissions Estimation for GSE

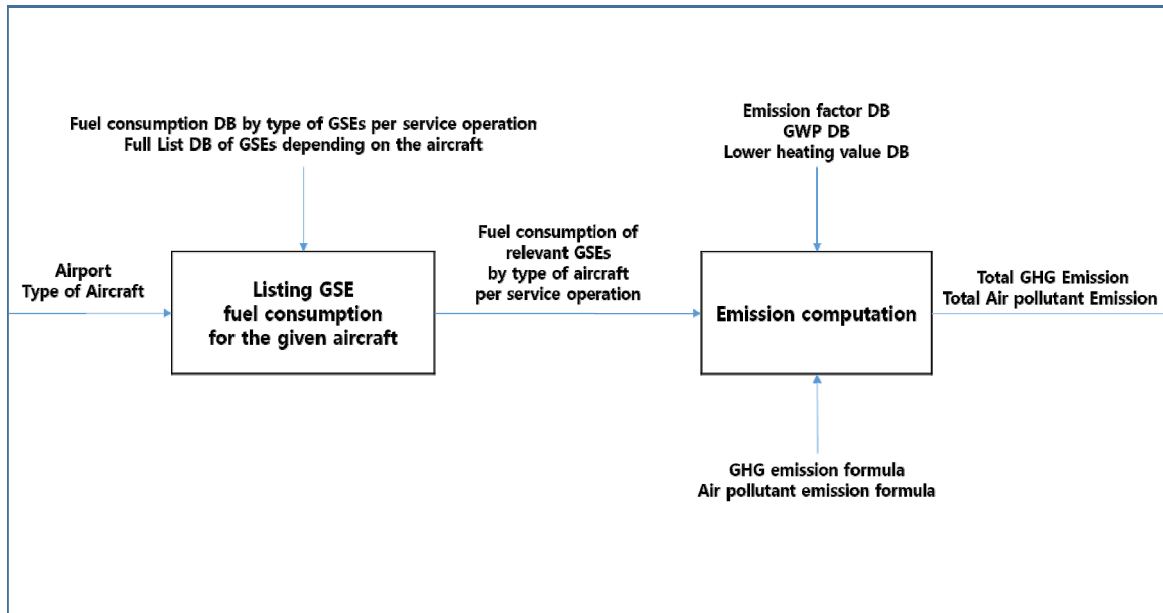


그림 125 지상조업장비 배출량 세부산정 방법론

○ 항공기종 별 지상조업장비 배출량 산정

- 배출량을 산출하고자 하는 항공기종이 정해졌을 시에 해당 기종의 투입 지상조업장비들을 선택하고, 해당 지상조업장비에 대한 연료소모량을 기반으로 계산된 장비별 온실가스 산출량을 모두 더하여 산출량을 계산함

표 4. 항공기종 별 지상조업장비의 온실가스 배출량 산정식 1 (예시)

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

표 5. 항공기종 별 지상조업장비의 대기오염물질 배출량 산정식 2 (예시)

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

- 항공기종 별 배출량 산정이 이루어진 후에는 항공기종 별 운항횟수를 곱하여 각 온실가스 및 대기오염물질 전체 배출량을 계산함.
- 온실가스 배출량은 지구온난화지수(GWP, Global Warming Potential)을 곱하여 이산화탄소 환산량으로 변환이 가능함.
- 지상조업 1회 운행 당 공항(k)별 장비(l)별 연료소모량($FC_{k,l}$)은 항공기종에 상관없이 같은 공항 내 동일 장비들에 대해서 모두 일정하다고 가정함.
- 지상조업 1회 운행 당 공항별 장비별 연료소모량 ($FC_{k,l}$) 계산방법.

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

- 공항 별 지상조업장비 별 연료소모량 DB와 해당 지상조업장비가 투입된 항공기 운항횟수 정보를 이용해서 지상조업 1회 운행 당 공항별 장비별 연료소모량을 계산할 수 있음

7.4 약어표

약 어	영 문	한 글
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate	유엔 산하 정부 간 기후변화패널

약 어	영 문	한 글
	Change	
ICAO	International Civil Aviation Organization	국제민간항공기구
CAEP	Committee on Aviation Environmental Protection	항공환경보호위원회
OEM	Original Equipment Manufacturing	주문자 상표 부착품
KOTES	Korea Transport Emission Management System	교통부문 온실가스 관리시스템
NARMI	National Aviation Resource Management Information	항공안전종합정보시스템
SAGE	System for assessing Aviation's Global Emissions	
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

알고리즘 핵심 요구조건 문서

성과물 (A-1-②)

2015.8.21

Infrastructure
R&D Report

공동연구기관 / 한국과학기술원

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.

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

알고리즘 핵심 요구조건 문서

성과물 (A-1-②)

2015. 5. 30

공동연구기관/한국과학기술원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발" 과제의 기존 온실가스 배출량 산정 알고리즘 조사분석서로 제출합니다.

2015 . 5 . 30

공동연구기관명	:	한국과학기술원
공동연구책임자	:	백 승 욱
연구원	:	이 주 성
"	:	최 한 림
"	:	안 재 명
"	:	금 동 석
"	:	이 동 일
"	:	유 정 민
"	:	전 우 진
"	:	구 본 찬
"	:	이 동 기
"	:	원 종 한
"	:	윤 지 수
"	:	이 단 일
"	:	석 준 홍
"	:	김 금 성
"	:	조 두 현
"	:	정 성 식
"	:	성 태 현
"	:	조 병 운
"	:	진 현 환
"	:	김 재 환
"	:	김 현 준
"	:	김 요 한
"	:	주 형 국
"	:	강 진 건
"	:	손 영 호
"	:	윤 선 영
"	:	윤 승 제
연구원보	:	최 혜 원
"	:	김 영 주
"	:	윤 현 수

본 문서의 범위

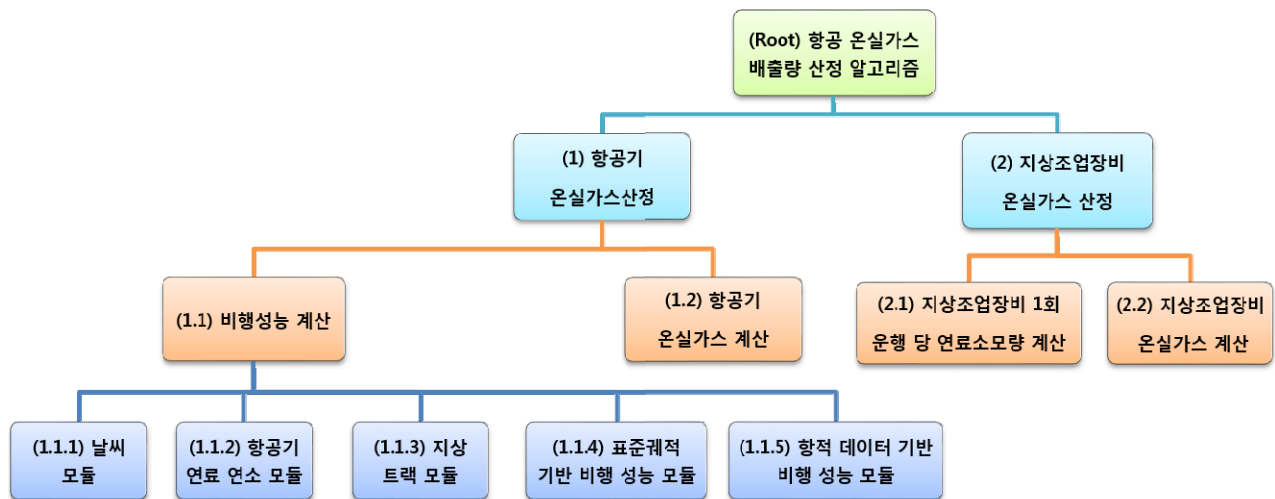
본 “배출량 산정 알고리즘 핵심 요구조건” 문서는 다음과 같은 내용들을 담고 있음

1. (체계종합에서 작성/취합된) 시스템요구사항명세서 (System/Subsystem Requirement Specification, 문서 ID: SSRS_체계종합_KOTI) 상에서 KAIST의 연구 업무 범위인 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발”에 해당하는 부분인 “항공온실가스 배출량 산정 기능 요구사항 - FUR-E1-001”에 대하여
 - 이를 충족시킬 수 있는, KAIST에서 개발 예정인 온실가스 배출량 산정 알고리즘의 계층을 갖는 구성도 (Hierarchical Structure)
 - 구성도 상의 각 단위로 인하여 충족되는 요구 조건의 매핑(mapping) 제시 (“상위 요구조건” -> “하위 요구조건 (알고리즘 단위 내용)”으로의 mapping 결과)
2. 제시된 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 계층 구성도 상의 각 단위에 대하여
 - 각 단위 알고리즘 단위(“하위 요구조건”으로 작용) 요구조건/내용 대한 세부 내용의 기술 (KAIST에서 작성한 “항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발 운용 개념 기술서, 문서ID: OCD_배출량산정_KAIST와 합치되도록 작성되었음)
 - 각 단위 알고리즘의 성분들이 충족시키는 체계종합 요구 조건의 매핑(mapping) 제시 (“하위 요구조건 (알고리즘 단위 내용)” -> “상위 요구조건”으로의 mapping 결과)

1. 온실가스 배출량 산정 알고리즘 핵심 요구사항 개요

1.1 알고리즘 요구사항 도출 방법과 계층 구조도

- 본 문서에서 제시하고 있는 “항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘”에 대한 핵심 요구사항은 다음과 같은 기준과 절차를 통하여 만들어졌음
 - (기준) 시스템요구사항 명세서상(문서ID: SSRS_체계종합_KOTI)의 상위 레벨 요구사항인 “항공온실가스 배출량 산정 기능 요구사항 - FUR-E1-001”을 만족시킬 것
 - (절차) 연구진이 독자적으로 수행해 온 SAGE 기반의 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램의 개발 내용과 기존 온실가스 배출량 산정 프로그램인 AEDT 2a의 알고리즘에 대한 분석 내용을 기반으로 하고, 지상조업 시 배출되는 온실가스 산정 기법에 대한 추가 연구 결과를 기반으로 도출되었음 [1, 2]
- 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 요구사항은 다음과 같은 계층 구조를 가짐



[그림 1] 온실가스 배출량 산정 알고리즘 요구사항 계층 구조도

- 개발되는 알고리즘의 경우 위 그림에 제시되는 것보다 더 하위의 모듈들이 존재할 수 있으나, 본 문서에는 상위 레벨 요구조건의 만족 여부를 설명할 수 있고, 알고리즘의 이해를 가능하게 하는 수준의 레벨에서 끊어 제시하였음
- 계층 구조 상의 각 요소들에 대한 자세한 설명은 본 문서의 2장에 제시하였음

1.2 체계종합 시스템요구사항명세서(문서ID: SSRS_체계종합_KOTI)와의 관계

- 상술한 바와 같이, 본 문서에서 제시하고 있는 알고리즘 요구사항은 집합적으로 (Collectively) 상위 요구사항인 체계종합 시스템요구사항명세서 장의 “항공온실가스 배출량 산정 기능 요구사항 (Functional Requirements) - FUR-E1-001”의 각 항목들을 만족시켜야 함¹⁾
- 이하 FUR-E1-001의 각 항목들의 상위 본문들을 제시하였음
 - FUR-E1-001.01 항로에 따른 최적 연료량을 산정한다.²⁾
 - FUR-E1-001.02 항공온실가스 산정을 위해 실제 풍속, 기상 등 운항에 미치는 영향을 고려하여야 한다.
 - FUR-E1-001.03 연료 사용량과 알고리즘 산출 값간 오차가 최소화되어야 한다.(정비, 자연발화 등에 대한 고려 필요)
 - FUR-E1-001.04 APU, Taxi 등 항공기의 지상에서 소모되는 연료에 대한 산정이 이루어져야 한다.
 - FUR-E1-001.05 비행 단계별 연료 소모량 및 온실가스 배출량이 산정되어야 한다.
 - FUR-E1-001.06 온실가스 산정 시 국내 및 국제선을 구분하여 산정이 가능하여야 한다.
 - FUR-E1-001.07 항공기별 표준계적 운항 시 연료사용량, 온실가스 배출량 산정이 되어야 한다.(IPCC Tier 3a)
 - FUR-E1-001.08 실제 기상데이터/항적 데이터를 사용하여 온실가스 산정이 가능하여야 한다.(IPCC Tier 3b)
 - FUR-E1-001.09 국적 항공사에서 운항하는 노선 외 외국 항공사의 운항 노선에 대한 온실가스 산정이 되어야 한다.
 - FUR-E1-001.10 온실가스 산정치는 신뢰할 수 있도록 해야 한다. (산정 기준 제시)

1) 상위 레벨 기능 및 데이터베이스 요구조건에 대한 KAIST팀의 의견을 제시해서 반영하는 과정을 거쳤으며, 해당 내용은 Appendix A에 제시되어 있음

2) 이하 SSRS상의 요구조건 (FUR-E1-001.xx) 들은 모두 이탤릭체로 표기하였음

- FUR-E1-001.11 항공기 지상운용, 항공기 이착륙, 공항내 이동차량 등 공항지역 내 대기오염물질 및 온실가스 배출량 제시가 가능해야 한다.
- FUR-E1-001.12 항공기 운항에 따른 온실가스 및 대기오염에 미치는 물질의 배출량이 추가적으로 산정되어야 한다.
- FUR-E1-001.13 Flight plan과 연동되어 계획대비 연료 사용량이 한눈에 통계치를 확인할 수 있는 자료를 제공하여야 한다.

○ 상기의 기능 요구사항 각 항들을 본 문서에서 제시하는 배출량 산정 알고리즘 계층 구조 상에서 어떤 단위별 요구조건 내용들이 충족시키는지에 대한 매핑 결과를 다음 표와 같이 제시하였음

[표 1] SSRS상의 상위 요구사항과 이를 충족시키는 알고리즘 모듈 매핑³⁾

배출량 산정 알고리즘 단위	각 단위가 충족시키는 SSRS 항목 (FUR-E1-001.xx)												
(Root) 배출량 산정 모듈	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
1 항공기 온실가스 산정													
1.1 비행성능 계산													
1.1.1 날씨 모듈 (*)	○	○						○					
1.1.2 항공기 연료 연소 모듈 (*)	○	○								○			
1.1.3 지상 트랙 모듈 (*)	○	○											
1.1.4 표준궤적 기반 비행성능 모듈 (*)	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○
1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈 (*)	○	○	○	○	○	○	○		○	○		○	○
1.2 온실가스 계산 (*)				○	○					○		○	○
2 지상조업차량 온실가스 산정													
2.1 1회 운행 당 연료소모량 계산 (*)				○							○	○	○
2.2 온실가스 계산 (*)				○							○	○	○

3) 매핑은 현재 제시되어 있는 계층 구조상에서 더 이상 분리가 되지 않는 단위 모듈에 대하여 수행되었다. (해당 단위 모듈의 이름 끝에 (*) 표식을 붙였음)

- 위 표에 정리된 매핑에 대하여 FUR-E1-001 세부 항목에 대한 알고리즘 단위의 매핑 결과에 대한 세부 내용을 다음과 같이 제시함 (요구조건상의 세부 조목 매핑)

[FUR-E1-001 세부 항목 별 관련 알고리즘 모듈 매핑 세부 내용]

- FUR-E1-001.01 항로에 따른 최적 연료량을 산정한다.

- 비행 성능 정보를 이용하여 연료 소모량을 계산한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.1 날씨 모듈 / 1.1.2 항공기 연료 연소 모듈 / 1.1.3 지상 트랙 모듈 / 1.1.4 표준계적 기반 비행성능 모듈 / 1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈

- 소모되는 연료량은 각 비행구간 별 연료 연소율(fuel flow rate)과 엔진의 개수의 곱으로 계산되어지며 연료 연소율은 두 개의 방법을 이용하여 계산 될 수 있다.
 - *Fixed-wing BADA fuel burn*: BADA 연료 소비 모델은 명시적인 연료 연소율의 수식을 제공. 이를 통해 엔진의 타입(jet, turboprop, piston)에 따라 순항 상태(cruise phase)일 경우와 유힬 상태(idle state)일 경우의 연료 연소율을 계산할 수 있다.
 - *Fixed-wing Sensing-Fleming-lovinelli fuel burn*: Terminal area(공항의 관제를 받는 공항 근처의 지역)에서의 연료 소모율을 계산한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.4 표준계적 기반 비행성능 모듈 / 1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈

- FUR-E1-001.02 항공온실가스 산정을 위해 실제 풍속, 기상 등 운항에 미치는 영향을 고려하여야 한다.

- 항공온실가스 산정을 위한 비행성능 계산 모듈의 날씨 모듈에서 주어진 지역 혹은 고도에서 측정 가능한 온도, 압력 등의 열역학적인 특성을 이용하여 항공기의 고도나 또 다른 열역학적인 특성 값을 구해서 항공온실가스 산정에 반영한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.1 날씨 모듈 / 1.1.2 항공기 연료 연소 모듈 / 1.1.3 지상 트랙 모듈 / 1.1.4 표준궤적 기반 비행성능 모듈 / 1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈

○ FUR-E1-001.03 연료 사용량과 알고리즘 산출 값간 오차가 최소화되어야 한다.(정비, 자연 발화 등에 대한 고려 필요)

- 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘은 상호 간에 영향을 미치는 공기역학적 요인들을 고려하여 하위 Tier보다 더 정확한 연료 소모량 및 온실가스 배출량을 산정한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.4 표준궤적 기반 비행성능 모듈 / 1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈 / 1.2 항공기 온실가스 계산

- 연료사용량 자료에 의존하는 top-down 방식의 Tier 1,2에 비해 실제 비행기 운행 자료를 활용하는 bottom-up 방식의 Tier 3b 알고리즘은 항공 교통 변화, 항공장비 교체, 혹은 다른 가변 입력 시나리오를 고려한 입력 자료를 사용해 다이내믹한 미래 예측 및 시나리오를 분석한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.4 표준궤적 기반 비행성능 모듈 / 1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈 / 1.2 항공기 온실가스 계산

○ FUR-E1-001.04 APU, Taxi 등 항공기의 지상에서 소모되는 연료에 대한 산정이 이루어져야 한다.

- 배출량을 산출하고자 하는 항공기종에 따라 해당 기종의 투입 지상조업장비들을 선택하고, 해당 지상조업장비에 대한 연료소모량을 기반으로 계산된 장비별 온실가스 산출량을 모두 더하여 배출량을 산정한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.4 표준궤적 기반 비행성능 모듈 / 1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈 / 1.2 항공기 온실가스 계산 / 2.1 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량 계산 / 2.2 지상조업장비 온실가스 계산⁴⁾

○ FUR-E1-001.05 비행 단계별 연료 소모량 및 온실가스 배출량이 산정되어야 한다.

- 비행단계별 연료 사용량을 가능한 정확하게 계산한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.4 표준궤적 기반 비행성능 모듈 / 1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈 / 1.2 항공기 온실가스 계산

- 단일 비행에서 이 비행단계별 연료 사용량을 구하되, 총 비행궤적 정보가 있다면 이를 통해 비행단계를 나눈다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.4 표준궤적 기반 비행성능 모듈 / 1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈 / 1.2 항공기 온실가스 계산

○ FUR-E1-001.06 온실가스 산정 시 국내 및 국제선을 구분하여 산정이 가능하여야 한다.

- RTK⁵⁾에 따른 연료 효율 내역을 산출한다.
- RTK 산정시 대권거리 및 수송실적관련 데이터를 입력할 수 있어야 한다.
- 국내 및 국제선 항공기의 경제적 운항과 항공분야 온실가스 배출량을 산정한다.
- 항공사의 국내선 항공기들의 온실가스 배출량 산정. 사용자가 국내선 스케줄에 따

4) FUR-E1-001.04의 내용 중 항공기가 움직이면서 발생하는 가스는 1.1.4/1.1.5/1.2와, 지상 조업장비에 의해 발생하는 가스는 2.1/2.2와 연관됨

5) Revenue Tonne Kilometer로 유상하중 1톤의 1km 이동에 해당하는 화물수송 단위임

른 출발 공항/도착 공항/항공기 종류/항적 데이터 등을 입력하고 온실가스 배출량을 산정한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.4 표준계적 기반 비행성능 모듈 / 1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈

○ FUR-E1-001.07 항공기별 표준계적 운항 시 연료사용량, 온실가스 배출량 산정이 되어야 한다.(IPCC Tier 3a)

- 표준계적 및 항적자료를 이용한 단일 비행 중의 온실가스 배출량을 산정한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.4 표준계적 기반 비행성능 모듈 / 1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈 / 1.2 항공기 온실가스 계산

- 활주로-활주로 구간의 표준화된 항로 또는 입력받은 레이더 항적 데이터를 이용하여 단일 비행 시 각 비행 단계를 구분하고, 비행 성능, 연료 연소량, 각 온실가스 배출량을 산정한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.4 표준계적 기반 비행성능 모듈 / 1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈 / 1.2 항공기 온실가스 계산

○ FUR-E1-001.08 실제 기상데이터/항적 데이터를 사용하여 온실가스 산정이 가능하여야 한다.(IPCC Tier 3b)

- 항공 온실가스 배출량 산정을 위해 다양한 입력들을 필요로 한다.

- 항공기 운항에서 공력 및 연료 소모 계산에 영향을 주는 특성 및 인자들을 포

함하는 *Climate* 데이터를 이용한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.1 날씨 모듈 / 1.1.4 표준궤적 기반 비행성능 모듈 /
1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈 / 1.2 항공기 온실가스 계산

- 프로파일 기반 데이터 생성 또는 항적 기반 데이터를 포함하며 이/착륙 및 순항 단계에서의 비행 성능 계산을 위한 필수 정보인 *Track* 데이터를 이용한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈

○ *FUR-E1-001.09* 국적 항공사에서 운항하는 노선 외 외국 항공사의 운항 노선에 대한 온실가스 산정이 되어야 한다.

- 사용자가 외국 항공사의 운항 노선 스케줄에 따른 출발 공항/도착 공항/항공기 종류/항적 데이터 등을 입력해서 온실가스를 산정한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.4 표준궤적 기반 비행성능 모듈 / 1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈 / 1.2 항공기 온실가스 계산⁶⁾

○ *FUR-E1-001.10* 온실가스 산정치는 신뢰할 수 있도록 해야 한다. (산정 기준 제시)

- 항공 온실가스 배출량 산정을 위해 필요한 DB 및 제어 상수들을 이용하여 산정치를 신뢰할 수 있도록 한다.
- *Airports DB*: 전 세계에 존재하는 공항의 자세한 정보를 담고 있다.

6) 입력 정보가 출발/도착만 주어지고 항적 정보가 주어지지 않을 때는 1.1.4와 연과, 항적 정보가 주어질 때는 1.1.5와 연관됨

- *Base of Aircraft Data*: 순항 구간에서의 비행 동력학 및 모델링 계수 등의 정보를 담고 있다.
- *Aircraft performance: 1845/Doc29* 정보를 이용하여 공항 주위 이착륙과 관련된 비행 동력학 및 모델링 계수 정보를 담고 있다.
- *ICAO Emission index*: 소모 연료 당 각 온실가스의 배출량 정보를 담고 있다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.2 항공기 연료 연소 모듈 / 1.1.4 표준궤적 기반 비행 성능 모듈 / 1.1.5 항적데이터 기반 비행성능 모듈 / 1.2 항공기 온실가스 계산

○ FUR-E1-001.11 항공기 지상운용, 항공기 이착륙, 공항내 이동차량 등 공항지역 내 대기오염 물질 및 온실가스 배출량 제시가 가능해야 한다.

- 출발/도착 활주로 간 모든 운행 단계가 온실가스 산정 계산에 포함된다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.4 표준궤적 기반 비행성능 모듈

- 공항 별 지상조업장비 별 연료소모량 DB와 해당 지상조업장비가 투입된 항공기 운항횟수 정보를 이용해서 지상조업 1회 운행 당 공항별 장비별 연료소모량을 계산할 수 있다.

(관련 알고리즘 모듈) 2.1 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량 계산 / 2.2 지상조업장비 온실가스 계산

○ FUR-E1-001.12 항공기 운항에 따른 온실가스 및 대기오염에 미치는 물질의 배출량이 추가적으로 산정되어야 한다.

- 항공기종 별 배출량 산정이 이루어진 후에는 항공기종 별 운항횟수를 곱하여 각 온실가스 및 대기오염물질 전체 배출량을 계산한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.4 표준계적 기반 비행성능 모듈 / 1.1.5 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈

- 온실가스 배출량은 지구온난화지수(GWP, Global Warming Potential)를 곱하여 이산화탄소 환산량으로 변환이 가능하다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.2 항공기 연료 연소 모듈 / 1.2 항공기 온실가스 계산 / 2.1 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량 계산 / 2.2 지상조업장비 온실가스 계산

- FUR-E1-001.13 Flight plan과 연동되어 계획대비 연료 사용량이 한눈에 통계치를 확인할 수 있는 자료를 제공하여야 한다.

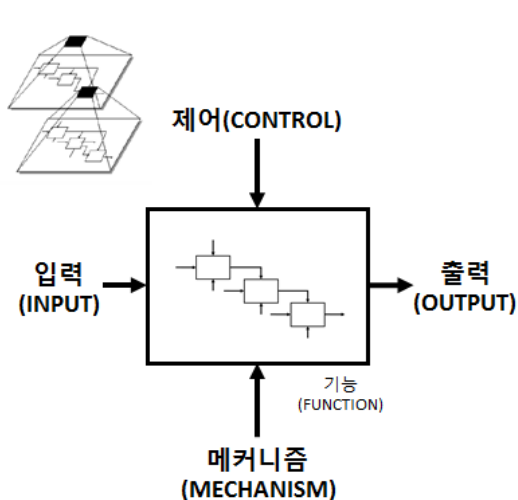
- 다음과 같은 산정 결과를 통해 계획대비 연료 사용량 자료를 제공한다.
 - Flight performance: 각 항공기가 스케줄에 맞춰 운항하는 과정을 시뮬레이션하고, 위도, 경도, 속도, 고도, 중량, 추진력 등의 결과를 산출한다.
 - Fuel burn: 비행 성능 정보를 이용하여 연료 소모량을 계산한다.
 - Emission: 연료 소모량 및 온실가스 인자를 바탕으로 온실 가스 배출량을 산정한다.

(관련 알고리즘 모듈) 1.1.2 항공기 연료 연소 모듈 / 1.1.3 지상 트랙 모듈 / 1.1.4 표준계적 기반 비행성능 모듈 / 1.1.5 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈 / 1.2 항공기 온실가스 계산 / 2.1 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량 계산 / 2.2 지상조업장비 온실가스 계산

2. 온실가스 배출량 산정 알고리즘 단위별 핵심 요구사항 세부 내용

2.1 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개요

- 이 장에서는 온실가스 배출량 산정 알고리즘의 각 요소가 가져야 하는 기능적 요구조건을 기술하였음
- 본 알고리즘의 구성과 요구조건을 표현하기 위해 'IDEF0'라는 방법론을 사용하였으며, 이해를 돕기 위하여 아래에 간략히 설명함 [3]
 - 시스템이 의사결정, 행동, 활동을 모델링 할 수 있도록 디자인된 방법으로 계층적인 분해를 통해 다양한 레벨의 기능에 관한 설명을 지원함
 - 도형적인 표현방법을 통해 활동의 수행과 관련된 입력과 출력, 제약조건과 활동 수행의 주체를 직관적으로 파악 가능



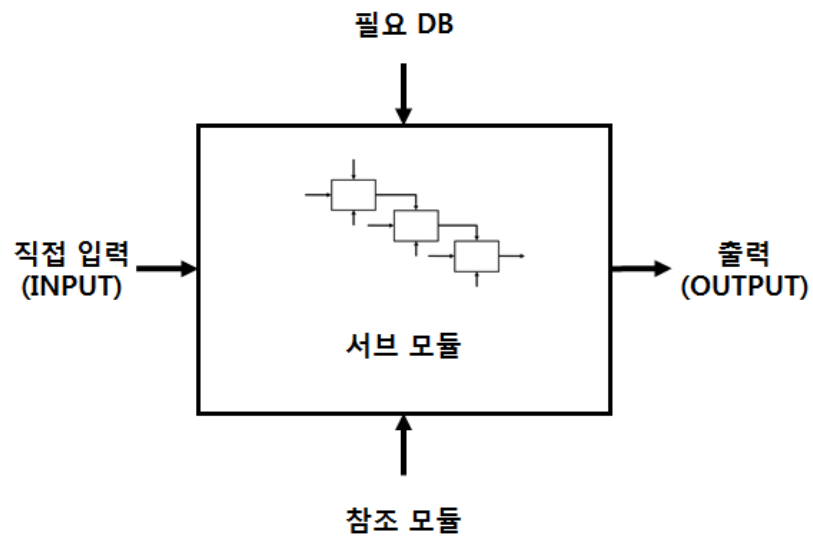
- **기능(Function)**
 - 활동, 행동, 프로세스, 혹은 운영을 표현
 - 어떠한 상황에서 무엇이 일어나는지에 관한 서술
- **입력(Input)**
 - 기능을 수행하는데 필요한 개체 혹은 데이터로 기능이 수행됨에 의하여 소모되거나 변형되는 것을 표현
- **출력(Output)**
 - Function의 결과로 산출되는 산출물
- **제어(Control)**
 - 기능을 통제, 제어하는 제약조건, 가이드 혹은 출력을 결정하는데 필요한 제약조건 등으로 기능의 수행을 통제하거나 시작하게 한다.
- **메커니즘(Mechanisms)**
 - 기능을 수행하는 사람 또는 개체로서 무엇에 의해 그 기능이 수행되는가 혹은 기능의 수행에 어떠한 자원이 소용되는가를 나타냄

[그림 5] IDEF0의 표현방법과 의미

- 기능적 요구조건은 'IDEF0' 방법론과 다음과 같은 형태로 정리하여 서술되었음⁷⁾
 - [직접 입력] 각 요소에 직접 전해져야 하는 입력

7) 본 문서를 만드는데 사용한 IDEF0 방법론은 연구진이 기존의 AEDT2a 알고리즘을 분석하기 위하여 사용한 표현방식을 개선한 방식임 (기존 알고리즘 분석 문서에서는 "Mechanism"에 해당 모듈의 서브모듈 정보를 넣었음)

- [필요 DB] 각 요소의 기능 수행에 필요한 데이터베이스 (Database, 이하 DB)
- [참조 모듈] 각 요소의 기능 수행에 필요한 외부 참조 모듈
- [서브 모듈] 각 모듈의 기능 수행에 필요한 서브 알고리즘 요소
- [출력] 각 요소가 기능을 수행한 결과로 도출되어야 하는 출력



[그림 6] 본 알고리즘의 기능적 요구조건 표현 방법

- 이와 함께 각 단위가 충족시키는 상위 요구조건 정보를 함께 제시하였음

2.2 알고리즘 구성

○ 본 알고리즘은 다음과 같이 계층 하의 모듈들로 구성되어야 함

(Root) 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘

(1) 항공기 온실가스 산정

(1.1) 비행성능 계산

(1.1.1) 날씨 모듈 (*)

(1.1.2) 항공기 연료 연소 (*)

(1.1.3) 지상 트랙 모듈 (*)

(1.1.4) 표준 궤적 기반 비행성능 모듈 (*)

(1.1.5) 항적데이터 기반 비행성능 모듈 (*)

(1.2) 항공기 온실가스 계산 (*)

(2) 지상조업차량 온실가스 산정

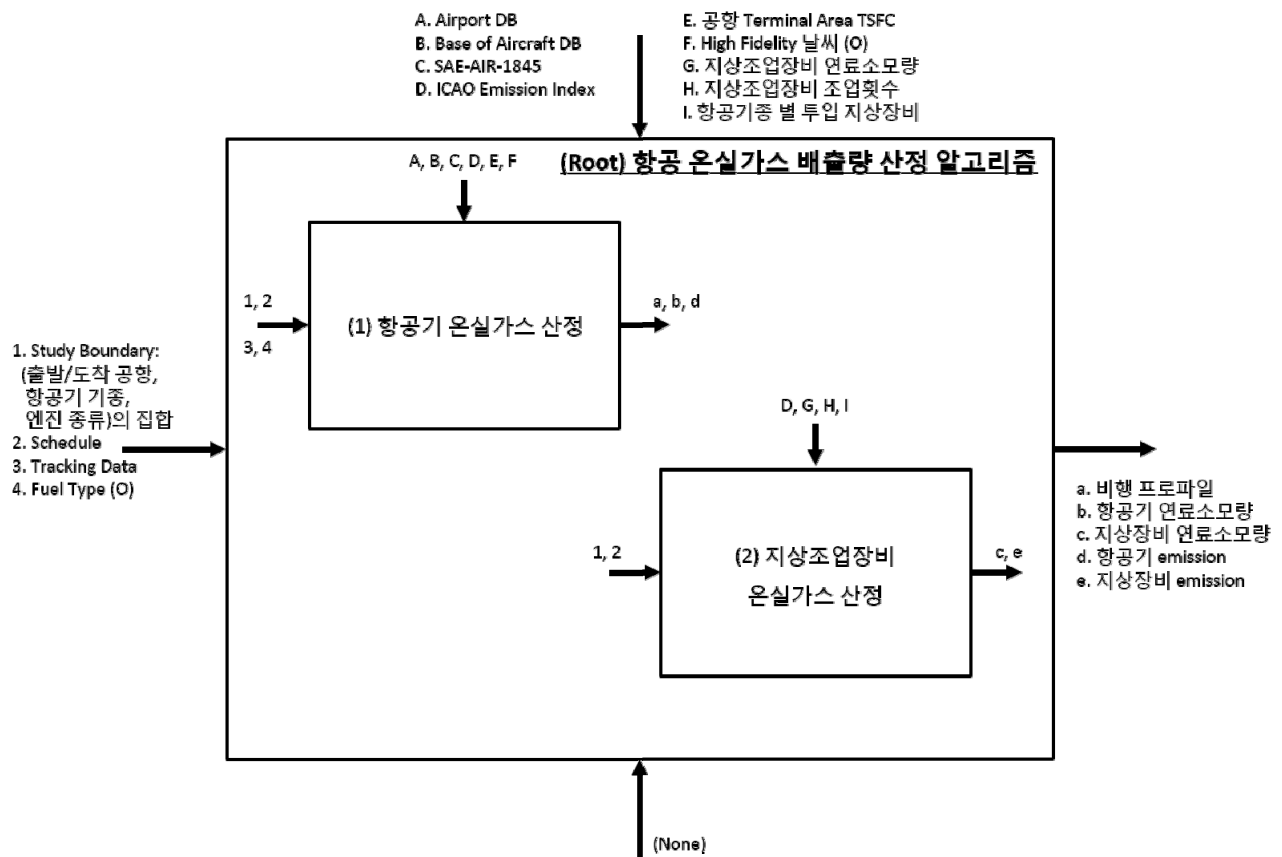
(2.1) 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량 계산 (*)

(2.2) 지상조업장비 온실가스 계산 (*)

○ 알고리즘의 계층 구성도는 1장 (page 3)에 제시되어 있음

(Root) 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘

- (Root) 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 모듈의 IDEF0 표현이 다음 그림에 제시되어 있음



[그림 7] (Root) 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘

- [직접 입력] “(Root) 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘”의 직접 입력은 다음과 같음

- Study boundary: 조사하고자 하는 범위를 지정함. 관심 영역에 대한 온실가스 배출량 산정 계산 가능함. (출발/도착 공항 정보, 항공기 기종, 엔진 종류)의 집합 (예시: 단일 비행의 경우에는 오직 하나의 출발/도착 공항 pair와 하나의 항공기 기종, 하나의 엔진 종류만 입력)
- Schedule: 출발/도착 공항의 모든 항공기들의 운항 스케줄을 포함함. 출발/도착 시간 및 활주로 등의 정보를 포함
- Climate: 기상 모델. 항공기 운항에서 공력 및 연료 소모 계산에 영향을 주는 특

성 및 인자들을 포함

- Tracking data: 출발/도착 공항의 항적에 대한 구체적인 정보. 프로파일 기반 데이터 생성 또는 항적 기반 데이터를 포함하며 이/착륙 및 순항 단계에서의 비행 성능 계산을 위한 필수 정보
- Fuel Type: 바이오 연료와 같은 다른 특성의 연료 성분을 입력 받아 연료 소모량 계산에 필요한 정보 (Optional)

○ [필요 DB] “(Root) 항공 온실가스 배출량 산정 모듈”의 필요 DB는 다음과 같음

- Airports DB: 전 세계에 존재하는 공항의 자세한 정보를 담고 있음
- Base of Aircraft Data: 순항 구간에서의 비행 동력학 및 모델링 계수 등의 정보를 담고 있음 [4]
- Aircraft performance: SAE-AIR-1845, European Civil Aviation Conference (ECAC) Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, Doc 29 정보를 이용하여 공항 주위 이착륙과 관련된 비행 동력학 및 모델링 계수 정보를 담고 있음 [5]
- ICAO Emission index: 소모 연료 당 각 온실가스의 배출량 정보를 담고 있음 [6]
- 공항 Terminal Area의 TSFC 계수 DB
- 날씨 database / High-Fidelity 날씨 database (Optional)
- 지상조업장비 별 연료소모량 DB
- 지상조업장비 별 조업횟수 DB
- 항공기종 별 투입 지상조업장비 DB

○ [Sub 모듈] “(Root) 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘”의 Sub 모듈은 다음과 같음

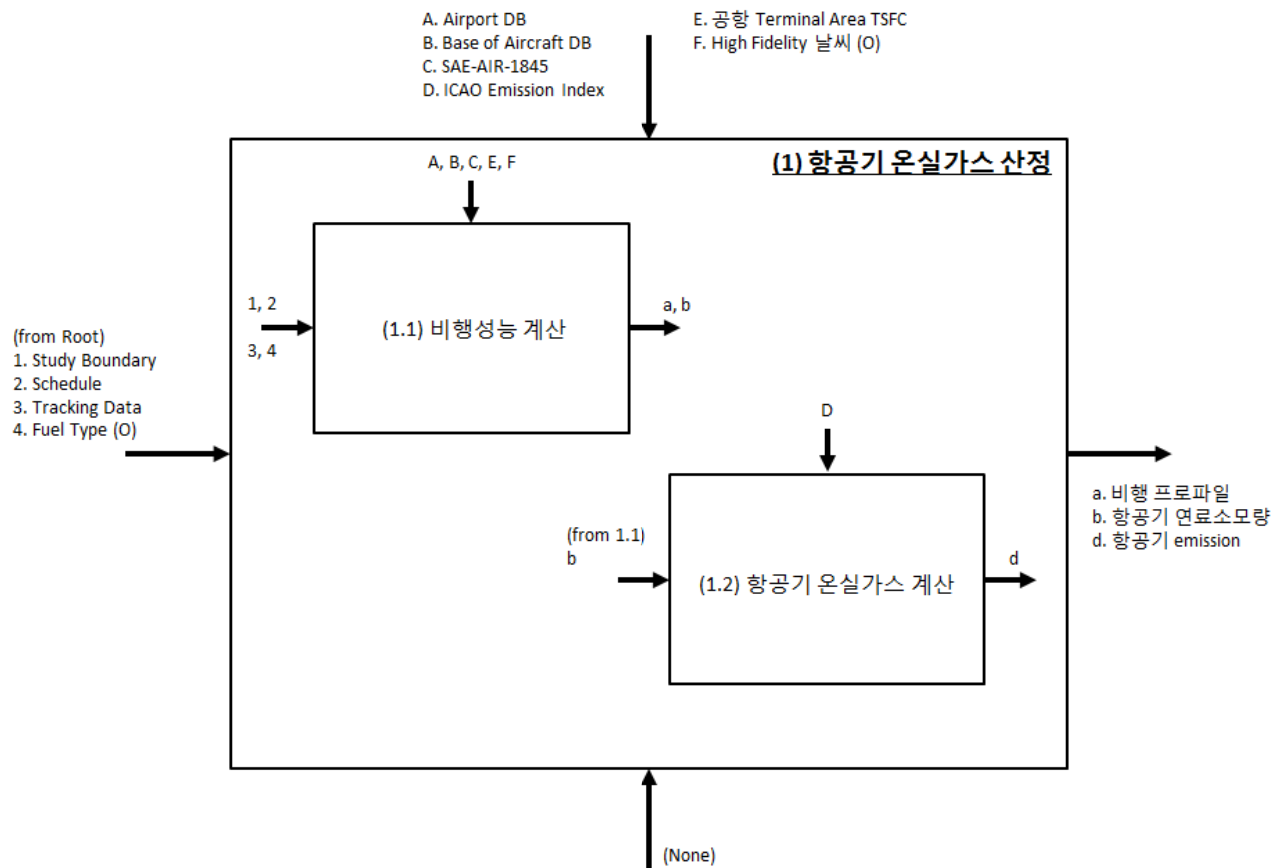
- (1) 항공기 온실가스 산정
- (2) 지상조업차량 온실가스 산정

○ [출력] “(Root) 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘”의 출력은 다음과 같음

- 비행 프로파일: 각 항공기가 스케줄에 맞춰 운항하는 과정을 시뮬레이션하고, 위도, 경도, 속도, 고도, 중량, 추진력 등의 결과를 산출함
- Fuel burn: 비행 성능 정보를 이용하여 연료 소모량을 계산함 - 항공기 및 지상 장비
- Emission: 연료 소모량 및 온실가스 지수를 바탕으로 온실 가스 배출량을 산정함
 - 항공기 및 지상장비

(1) 항공기 온실가스 배출량 산정

○ (1) 항공기 온실가스 배출량 산정 모듈의 IDEF0 표현이 다음 그림에 제시되어 있음



[그림 8] (1) 항공기 온실가스 산정 알고리즘

○ [직접 입력] “(1) 항공 온실가스 배출량 산정 모듈”의 직접 입력은 다음과 같음

- Airport layout: 출발/도착 공항의 정보. 전체 항적의 시작 및 끝 부분의 연결에 영향을 미침. 이착륙 단계에서의 기상 특성, 지리 특성 등을 결정하는 중요한 정보
- Study boundary: 조사하고자 하는 범위를 지정함. 관심 영역에 대한 온실가스 배출량 산정 계산 가능

- Operation: 출발/도착 공항의 모든 항공기들의 운항 스케줄을 포함함. 출발/도착 시간 및 활주로 등의 정보를 포함
- Climate: 기상 모델. 항공기 운항에서 공력 및 연료 소모 계산에 영향을 주는 특성 및 인자들을 포함
- Track: 출발/도착 공항의 항적에 대한 구체적인 정보. 프로파일 기반 데이터 생성 또는 항적 기반 데이터를 포함하며 이/착륙 및 순항 단계에서의 비행 성능 계산을 위한 필수 정보
- Fuel Type: 바이오 연료와 같은 다른 특성의 연료 성분을 입력 받아 연료 소모량 계산에 필요한 정보

○ [필요 DB] “(1) 항공 온실가스 배출량 산정 모듈”의 필요 DB는 다음과 같음

- Airports DB: 전 세계에 존재하는 공항의 자세한 정보를 담고 있음
- Base of Aircraft Data: 순항 구간에서의 비행 동력학 및 모델링 계수 등의 정보를 담고 있음
- Aircraft performance: SAE-AIR-1845, European Civil Aviation Conference (ECAC) Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, Doc 29 정보를 이용하여 공항 주위 이착륙과 관련된 비행 동력학 및 모델링 계수 정보를 담고 있음
- ICAO Emission index: 소모 연료 당 각 온실가스의 배출량 정보를 담고 있음
- 공항 Terminal Area의 TSFC 계수 DB
- 날씨 database / High-Fidelity 날씨 database (Optional)

○ [Sub 모듈] “(1) 항공 온실가스 배출량 산정 모듈”의 Sub 모듈은 다음과 같음

- (1.1) 비행 성능 계산 모듈

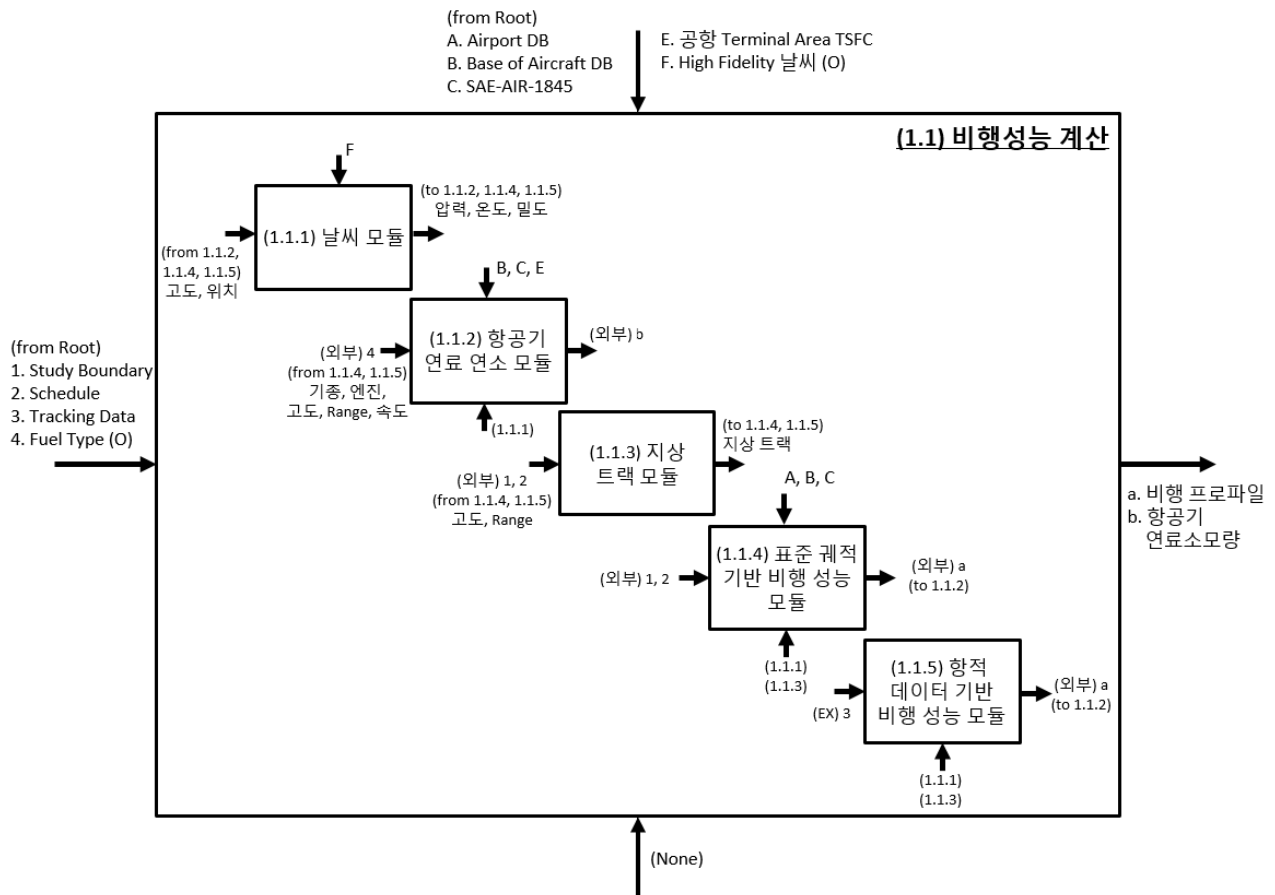
- (1.2) 온실 가스 계산 모듈

○ [출력] “(1) 항공 온실가스 배출량 산정 모듈”의 출력은 다음과 같음

- Flight performance: 각 항공기가 스케줄에 맞춰 운항하는 과정을 시뮬레이션하고, 위도, 경도, 속도, 고도, 중량, 추진력 등의 결과를 산출함
- Fuel burn: 비행 성능 정보를 이용하여 연료 소모량을 계산함
- Emission: 연료 소모량 및 온실가스 지수를 바탕으로 온실 가스 배출량을 산정함

(1.1) 비행 성능 계산 모듈

- (Description) “(1.1) 비행 성능 계산 모듈”은 운항 경로, 추진력, 연료 소모량 등 공항 근방 및 활주로-활주로 간 운항에 따른 비행 성능 정보를 계산한다. 이 성능은 온실가스 배출량 산정에 이용됨. 비행 성능 계산 모듈의 IDEF0 Diagram이 다음 그림에 제시되었음



[그림 9] (1.1) 비행 성능 계산

- [직접 입력] “(1.1) 비행 성능 계산 모듈”의 직접 입력은 다음과 같음
 - “(1) 항공 온실가스 배출량 산정 모듈”의 직접 입력과 동일함
- [필요 DB] “(1.1) 비행 성능 계산 모듈”의 필요 DB는 다음과 같음
 - Airports DB: 전 세계에 존재하는 공항의 자세한 정보를 담고 있음
 - Base of Aircraft Data: 순항 구간에서의 비행 동력학 및 모델링 계수 등의 정보를

담고 있음

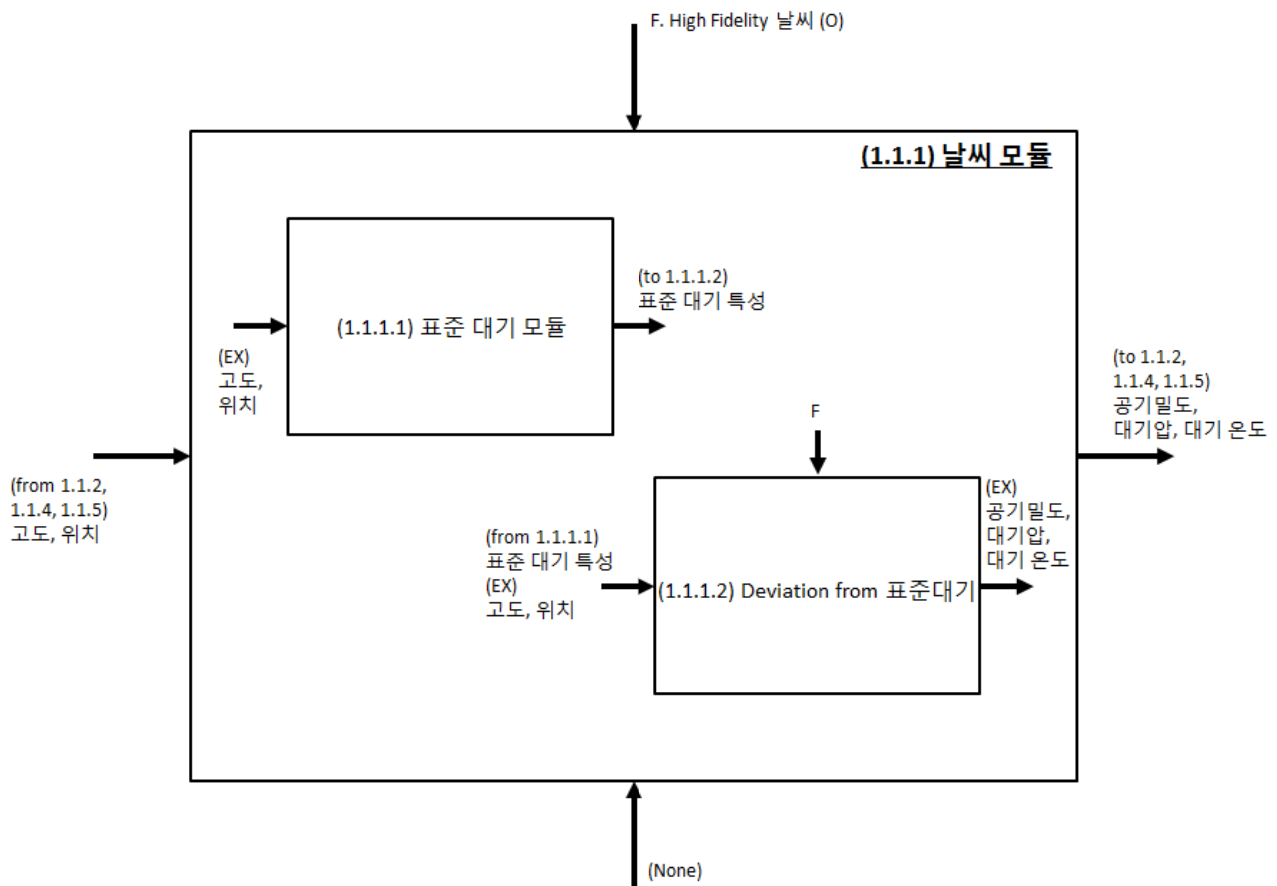
- Aircraft performance: SAE-AIR-1845, European Civil Aviation Conference (ECAC) Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, Doc 29 정보를 이용하여 공항 주위 이착륙과 관련된 비행 동력학 및 모델링 계수 정보를 담고 있음

○ [Sub 모듈] “(1.1) 비행 성능 계산 모듈”의 Sub 모듈은 다음과 같음

- (1.1.1) 날씨 모듈
- (1.1.2) 연료 연소 모듈
- (1.1.3) 지적선 모듈
- (1.1.4) 프로파일 기반 비행 성능 모듈
- (1.1.5) 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈

(1.1.1) 날씨 모듈

- (Description) “(1.1.1) 날씨 모듈”은 주어진 위치(위도/경도/고도)에서의 온도 및 압력 특성을 구하는 모듈; 고도를 입력으로 하는 표준 대기 모델로부터 대기압과 대기 온도를 계산하고, 필요시 고정밀 대기 모델로부터 온도차를 계산하여 대기 온도/압력을 출력함; 이 모듈의 결과물은 연료 사용량 계산에 사용됨



[그림 10] (1.1.1) 날씨 모듈

- [직접 입력] “(1.1.1) 날씨 모듈”에 사용되는 직접 입력은 다음과 같음
 - 항공기 위치: 위도, 경도, 고도 (from 1.1.2, 1.1.4, 1.1.5)
- [필요 DB] “(1.1.1) 날씨 모듈”의 필요 DB는 다음과 같음
 - (Optional) High fidelity weather data (RUC20, RUC13, GEOS data, NCAR data)

○ [Sub 모듈] “(1.1.1) 날씨 모듈”의 sub 모듈은 다음과 같음

- 1.1.1.1 표준 대기 모듈
- 1.1.1.2 Temperature deviation from 표준 대기 모듈

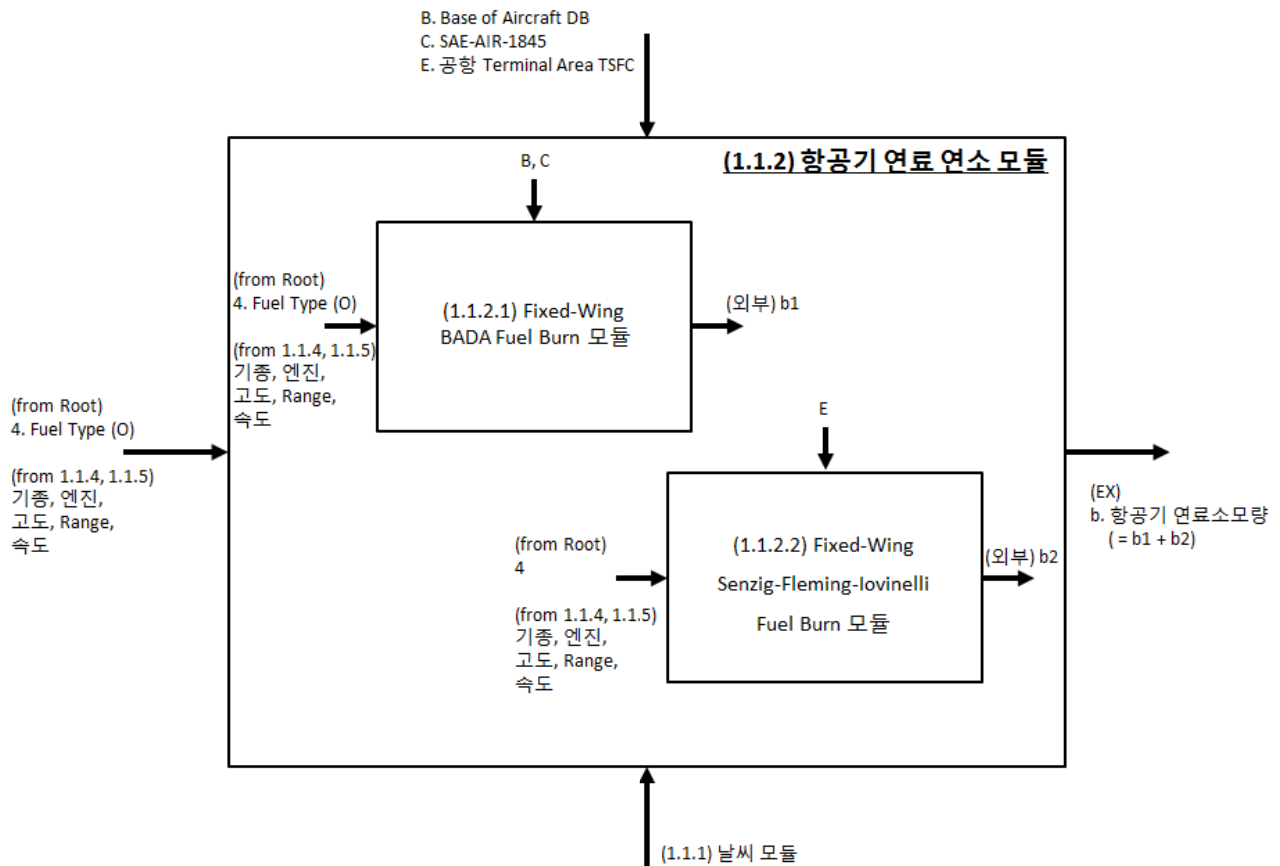
○ [출력] “(1.1.1) 날씨 모듈”의 출력은 다음과 같음

- (주어진 위치에서) 대기압
- (주어진 위치에서) 온도

○ (1.1.1) 날씨 모듈에서는 주어진 위치의 온도 및 압력 특성을 구하고 이 값은 연료 사용량 계산에 사용됨. 따라서, SSRS상의 상위 요구사항 중 *FUR-E1-001.01*, *FUR-E1-001.02*, *FUR-E1-001.08*을 반영함.

(1.1.2) 항공기 연료 연소 모듈

- (Description) “(1.1.2) 항공기 연료 연소 모듈”은 비행 경로의 각 부분별 연료 연소량을 계산하는 모듈임;



[그림 11] 항공기 연료 연소 모듈

- 소모되는 연료량은 각 비행구간 별 연료 연소율(fuel flow rate)과 엔진의 개수의 곱으로 계산되어지며 연료 연소율은 다음과 같이 두 개의 방법을 이용하여 계산 될 수 있음.
 - Fixed-wing BADA fuel burn: BADA 연료 소비 모델은 명시적인 연료 연소율의 수식을 제공. 이를 통해 엔진의 타입(jet, turboprop, piston)에 따라 순항 상태(cruise phase)일 경우와 유힬 상태(idle state)일 경우의 연료 연소율을 계산할 수 있음.

[표 2] BADA 연료 소비 모델

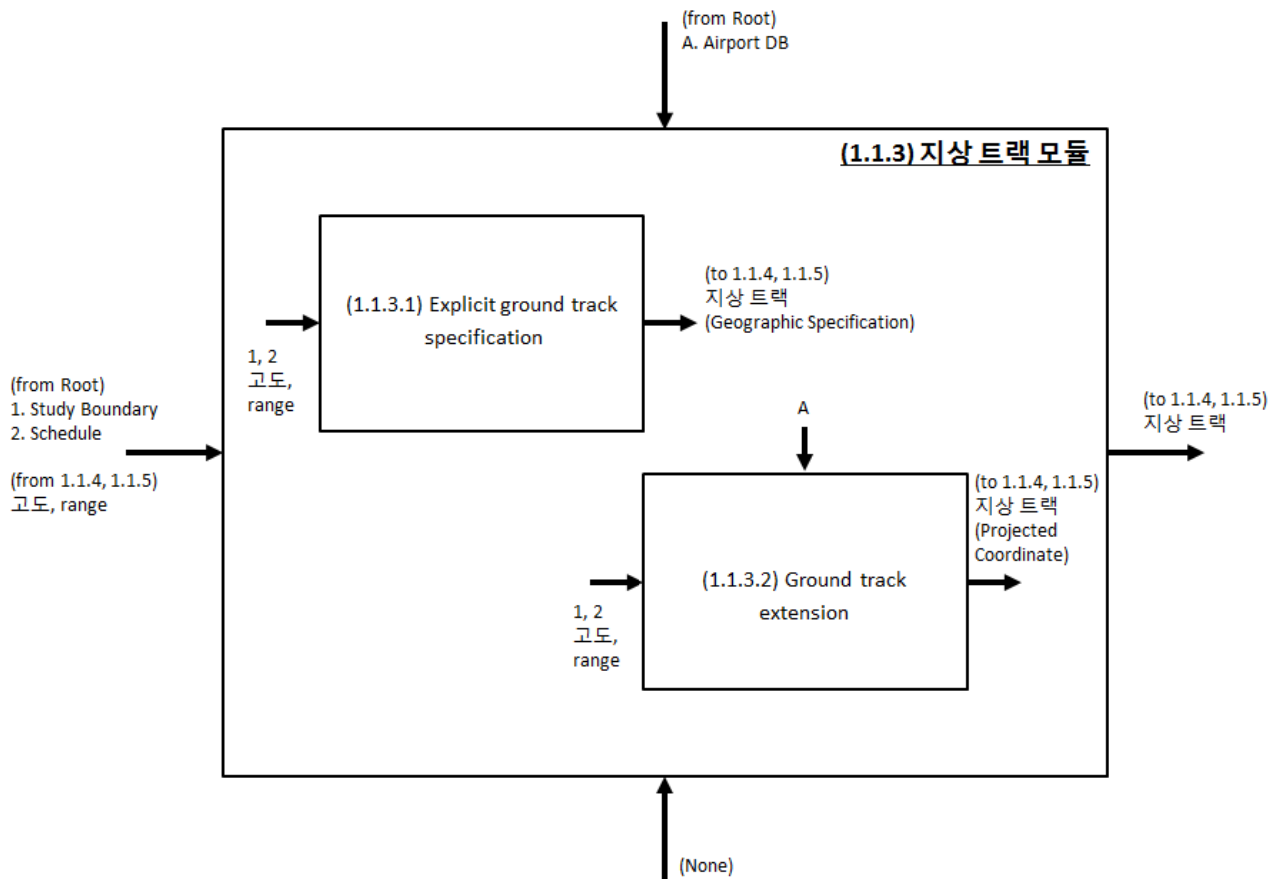
$f_{CR} = C_{f_{CR}} f_{nom}$	
$C_{f_{CR}}$	항공기종 별 순항 연료 연소율 계수
f_{nom}	총 연료 연소율 [kg/min]

- Fixed-wing Senzig-Fleming-lovinelli fuel burn: Terminal area(공항의 관제를 받는 공항 근처의 지역)에서의 연료 연소율을 계산하는 방법. 각 Terminal-area 의 TSFC coefficient와 항공기의 비행고도, 속도, 온도 데이터가 주어졌을 때, 이에 따른 연료 연소율을 계산할 수 있음. 공항의 Terminal-area의 TSFC coefficient DB가 필요하며, 항공기의 이륙, 착륙에 따라 다른 산정식이 적용 됨.
- [직접 입력] “(1.1.2) 항공기 연료 연소 모듈”에 사용되는 직접 입력은 다음과 같음
 - 비행 프로파일: 레이더 궤적 정보 혹은 표준 궤적 상의 위치와 속도
 - (프로파일 상 위치에서의) 대기압과 대기 온도
- [필요 DB] “(1.1.2) 항공기 연료 연소 모듈”의 필요 DB는 다음과 같음
 - Base of Aircraft Data: 순항 구간에서의 비행 동력학 및 모델링 계수 등의 정보를 담고 있음
 - 공항 Terminal Area의 TSFC 계수 DB
- [참조 모듈] “(1.1.2) 항공기 연료 연소 모듈”의 참조 모듈은 다음과 같음
 - (1.1.1) 날씨 모듈
- [Sub 모듈] “(1.1.2) 항공기 연료 연소 모듈”의 sub 모듈은 다음과 같음
 - 1.1.2.1 Fixed-wing BADA fuel burn 모듈
 - 1.1.2.2 Fixed-wing Senzig-Fleming-lovinelli fuel burn 모듈
- [출력] “(1.1.2) 항공기 연료 연소 모듈”의 출력은 다음과 같음
 - (주어진 비행 Profile 및 온도 압력조건에서의) 연료 소모량: 온실가스 계산 모듈에 사용됨

- (1.1.2) 항공기 연료 연소 모듈”은 비행 프로파일과 프로파일 상 위치에서의 대기압과 대기 온도를 입력받아 연료 소모량을 계산함. 따라서, SSRS상의 상위 요구사항 중 *FUR-E1-001.01*, *FUR-E1-001.02*, *FUR-E1-001.10*을 반영함.

(1.1.3) 지상 트랙 모듈

- 지상 트랙 모듈은 항공기가 생성한 3차원 상의 경로 중 지면에서의 성분을 결정함. 즉 항공기의 비행경로가 입력되면, 이 경로의 지면 성분을 연속된 점들의 집합으로 출력함



[그림 12] (1.1.3) 지상 트랙 모듈

- 지면에서의 성분은 연속된 점들에 의해 표현 되는데, 각각의 점들은 다음 두 가지 방법으로 나타내질 수 있음.

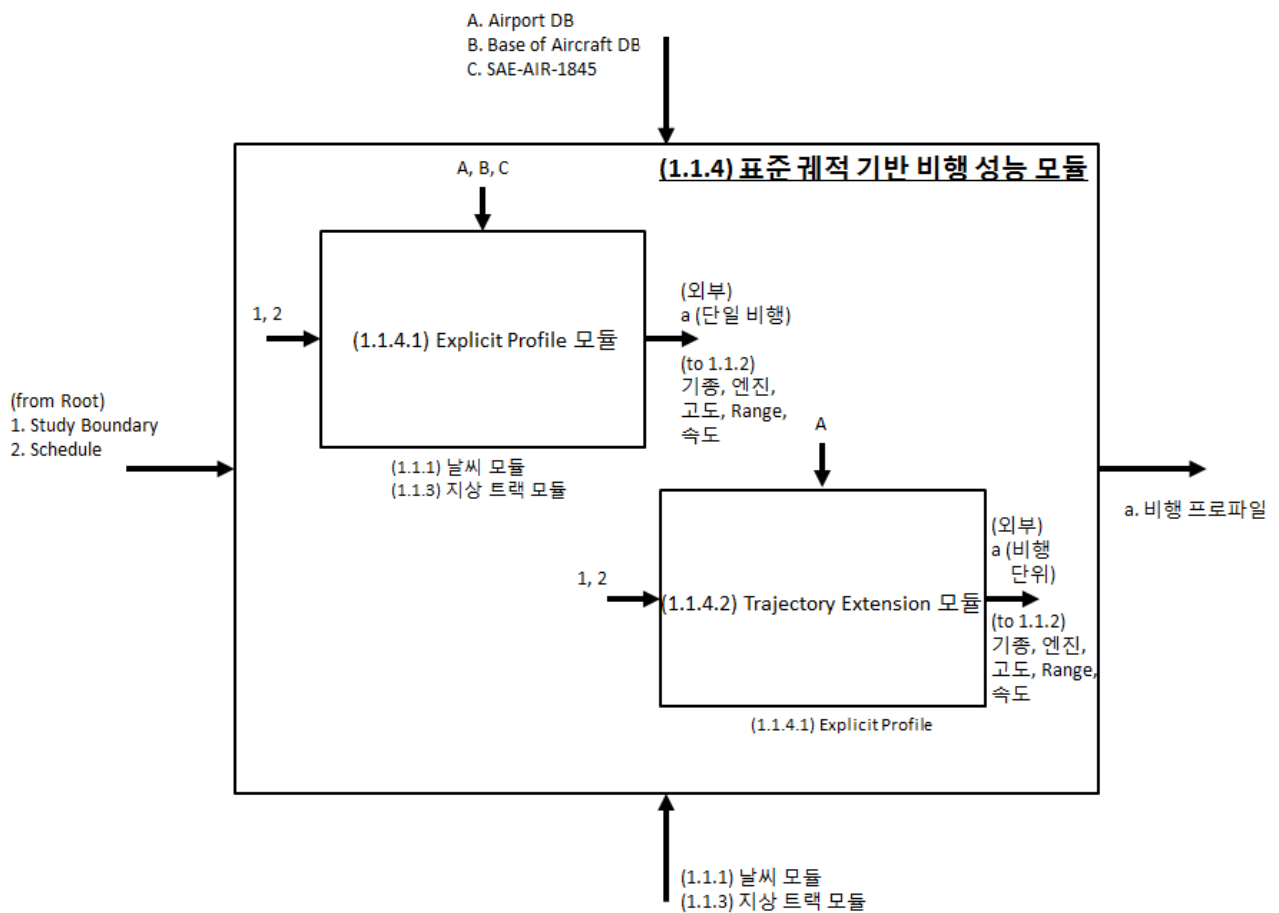
1. 지면의 성분을 지구의 위도와 경도로 나타내는 Geographic coordinates
2. 관련된 공항에서부터의 동쪽, 북쪽의 거리를 Euclidean x, y 값으로 나타내는 Projected Coordinates

- [직접 입력] “(1.1.3) 지상 트랙 모듈”에 사용되는 직접 입력은 다음과 같음

- 비행 프로파일: 레이더 궤적 정보 혹은 표준 궤적
- Reference가 되는 공항
- [필요 DB] “(1.1.3) 지상 트랙 모듈”의 필요 DB는 다음과 같음
 - Airports DB
- [Sub 모듈] “(1.1.3) 지상 트랙 모듈”의 sub 모듈은 다음과 같음
 - (1.1.3.1) Explicit ground track specification: Geographic coordinate에서의 Ground track 계산
 - (1.1.3.2) Ground track extension: Projected Coordinate 에서의 Ground Track 계산
- [출력] “(1.1.3) 지상 트랙 모듈”의 출력은 다음과 같음
 - (주어진 비행 Profile에 대한) Geographic Coordinate 상에서의 지상 트랙
 - (주어진 비행 Profile과, Reference 공항에 대한) Projected Coordinate 에서의 지상 트랙
- (1.1.3) 지상 트랙 모듈은 비행 프로파일과 고도, 온도 데이터가 들어있는 Airports DB를 활용하여 지상 트랙을 구함. 따라서, SSRS상의 상위 요구사항 중 *FUR-E1-001.01*, *FUR-E1-001.02* 를 반영함.

(1.1.4) 표준궤적 기반 비행 성능 모듈

- (Description) 표준 궤적 기반 비행 성능 모듈은 주어진 출발, 도착 공항에 대해 항공기 기체 및 엔진의 특성을 반영하여 표준 궤적을 생성하고, 고도, 속도, 플랩 설정, 추력과 같은 항공기의 상태 특징들을 이용하여 항공기의 운동을 기술하는 방법을 통하여 항공기 성능을 계산함



[그림 13] (1.1.4) 프로파일 기반 비행 성능 모듈

- 표준 궤적을 생성하는 “Explicit profile” 과정과 관심 영역에 대하여 경로를 확장시키는 “Trajectory extension” 과정으로 이루어짐
- “Explicit profile” 과정에서는 추력, 대기 속도, 이동 거리 등의 프로파일 요소들을 정의함
 - 일반적인 제트 추력은 대기 속도, 기압 고도, 온도, 출력 및 엔진 온도를 활용하여

구할 수 있고, 최소 엔진 출력의 경우, 중량 프로파일 및 속도 관련 상수, 플랩 설정에 따른 양항비를 활용하여 추력을 계산

- 대기 속도의 경우, 보정 대기 속도와 항공기 고도의 공기 밀도를 활용하여 계산함
- 프로파일 요소들은 이륙 단계, 등속 상승 단계, 가속 상승 단계, 순항 단계, 순항 시 상승 단계, 하강 단계, 유휴 단계, 착륙 단계, 감속 단계로 나뉘는 각 비행 단계에 해당하는 추력과 대기 속도, 가속도로 구성됨

○ 프로파일과 지상 트랙 모듈을 이용해 3D 궤적을 구성함

- 초기/최종 프로파일 고도, 초기/최종 프로파일 속도, 보간점에서의 속도, 보간점에서의 초기/최종 추력 등을 표준 궤적에 반영

○ “Trajectory extension”단계에서는 사용자가 관심영역을 지정하였을 때 이와 관련된 비행경로를 Batch process 형태로 계산함

○ [직접 입력] “(1.1.4) 표준 궤적 기반 비행 성능 모듈”의 직접 입력은 다음과 같음

- 출발 공항, 도착 공항
- 항공기 및 사용 엔진 종류
- 관심 영역과 운항 스케줄 (단위별 배출 가스 계산 시 필요)

○ [필요 DB] “(1.1.4) 표준 궤적 기반 비행 성능 모듈”의 필요 DB는 다음과 같음

- Airports DB: 전 세계에 존재하는 공항의 자세한 정보를 담고 있음
- Base of Aircraft Data: 순항 구간에서의 비행 동력학 및 모델링 계수 등의 정보를 담고 있음
- Aircraft performance: SAE-AIR-1845, European Civil Aviation Conference (ECAC) Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, Doc 29 정보를 이용하여 공항 주위 이착륙과 관련된 비행 동력학 및 모델링 계수 정보를 담고 있음

○ [참조 모듈] “(1.1.4) 표준 궤적 기반 비행 성능 모듈”의 참조 모듈은 다음과 같음

- (1.1.1) 날씨 모듈
- (1.1.3) 지상 트랙 모듈

○ [Sub 모듈] “(1.1.4) 표준 궤적 기반 비행 성능 모듈”의 sub 모듈은 다음과 같음

- (1.1.4.1) Explicit Profile 모듈
- (1.1.4.2) Trajectory Extension 모듈

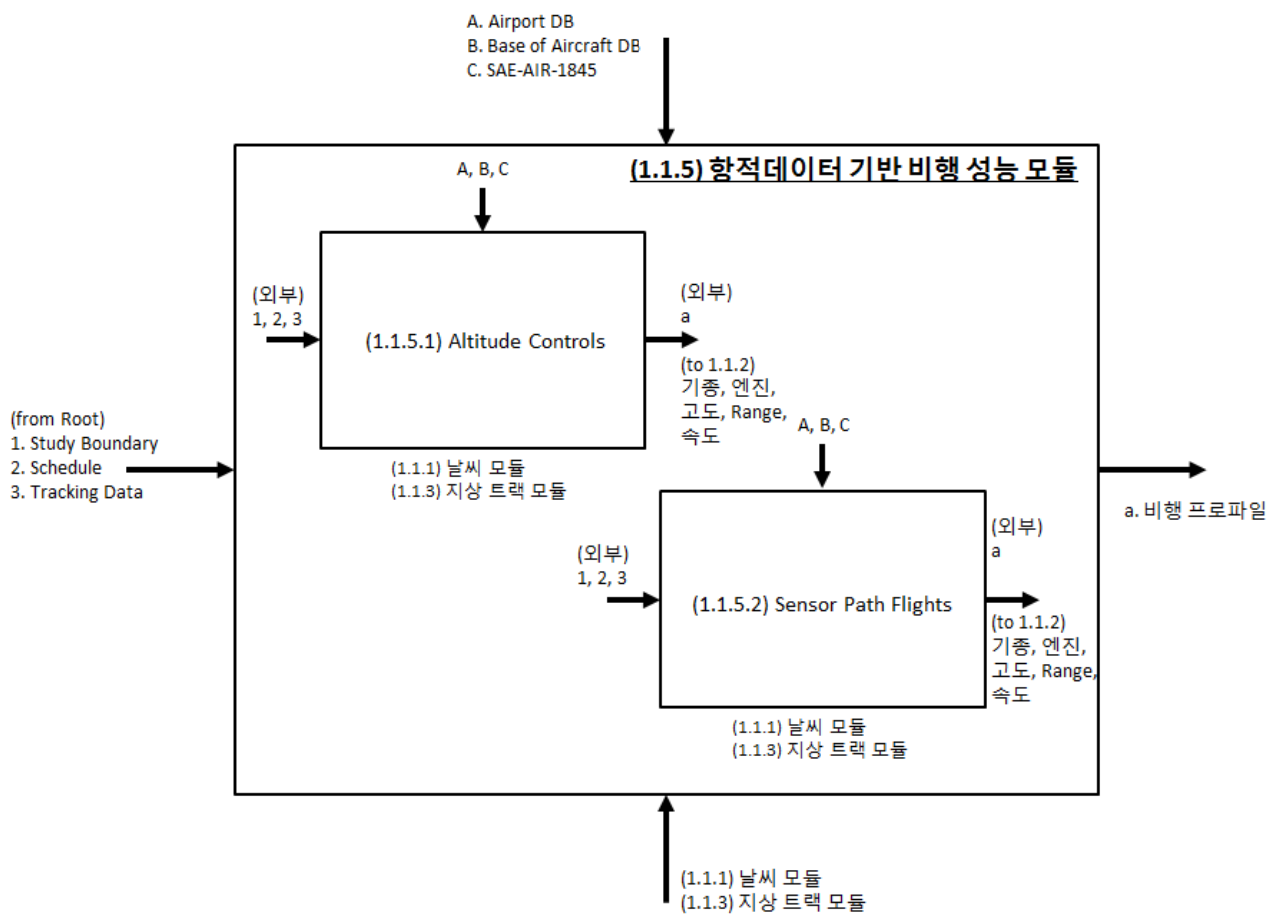
○ [출력] “(1.1.4) 표준 궤적 기반 비행 성능 모듈”의 출력은 다음과 같음

- 표준 항로 비행 프로파일: 거리, 속도 (대기 속도), 중량
- (해당 비행 프로파일에 대한) 연료 소모량
- (단위 비행에 대한 배출량 산정 시, 관심 영역 및 스케줄에 대한) 연료 소모량

○ (1.1.4) 표준 궤적 기반 비행 성능 모듈”은 출/도착 공항, 기체 및 엔진 특성을 반영하여 표준 궤적을 생성하고 궤적에 따른 항공기 상태 특징, 연료 소모량 등을 산출함. 따라서, SSRS상의 상위 요구사항 중 *FUR-E1-001.01*, *FUR-E1-001.02*, *FUR-E1-001.03*, *FUR-E1-001.04*, *FUR-E1-001.05*, *FUR-E1-001.06*, *FUR-E1-001.07*, *FUR-E1-001.08*, *FUR-E1-001.09*, *FUR-E1-001.12*, *FUR-E1-001.13* 을 반영함.

(1.1.5) 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈

- (Description) 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈은 표준 프로파일에서의 편차를 허용하고, 항공기가 다양한 비행 방법을 선택할 수 있도록 하는 모듈로써, 기존에 생성된 표준 프로파일이 항공기의 실제 궤도를 정확하게 표현하지 못하는 상황에서 항공기의 비행 성능 정보를 계산하기 위한 모델링에 유용함



[그림 14] 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈

- 표준 궤적 생성부와 마찬가지로 항공기 종류 및 엔진 특성은 BADA DB로부터 획득하고, SAE-AIR-1845의 모델을 바탕으로 시뮬레이션을 수행함
- “Altitude controls”는 항적의 고도 정보를 기반으로 표준 궤적으로부터의 자유도를 추가하는

방식임. 반면, “Sensor path flights”는 항적의 위도/경도와 지상 속도를 기반으로 비행 성능을 구하게 됨. 10000ft 이하에서는 SAE 1845 모델 기반, 10000ft 이상에서는 BADA 모델을 기반으로 비행 성능을 구함

- 항적 요소들은 각 비행 단계에 해당하는 추력과 대기 속도, 가속도 등으로 구성됨. 이륙 단계, 등속 상승 단계, 가속 상승 단계, 순항 단계, 순항 시 상승 단계, 하강 단계, 유힬 단계, 착륙 단계, 감속 단계 등으로 나누어 계산함; 크게 이착륙을 수행하는 공항 근처의 terminal 지역과 순항 구간인 en-route 지역으로 나누어져, 다양한 비행 성능을 계산함.
- [직접 입력] “(1.1.5) 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈”의 직접 입력은 다음과 같음
 - 레이더 항적 데이터 (위도/경도/고도/속도의 집합)
 - 출발 공항, 도착 공항
 - 항공기 및 사용 엔진 종류
 - 관심 영역과 운항 스케줄 (단위별 배출 가스 계산 시 필요)
- [필요 DB] “(1.1.5) 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈”의 필요 DB는 다음과 같음
 - Airports DB: 전 세계에 존재하는 공항의 자세한 정보를 담고 있음
 - Base of Aircraft Data: 순항 구간에서의 비행 동력학 및 모델링 계수 등의 정보를 담고 있음
 - Aircraft performance: SAE-AIR-1845, European Civil Aviation Conference (ECAC) Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, Doc 29 정보를 이용하여 공항 주위 이착륙과 관련된 비행 동력학 및 모델링 계수 정보를 담고 있음
- [참조 모듈] “(1.1.5) 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈”의 참조 모듈은 다음과 같음
 - (1.1.1) 날씨 모듈
 - (1.1.3) 지상 트랙 모듈

○ [Sub 모듈] “(1.1.5) 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈”의 sub 모듈은 다음과 같음

- (1.1.5.1) Altitude controls 모듈
- (1.1.5.2) Sensor path flights 모듈

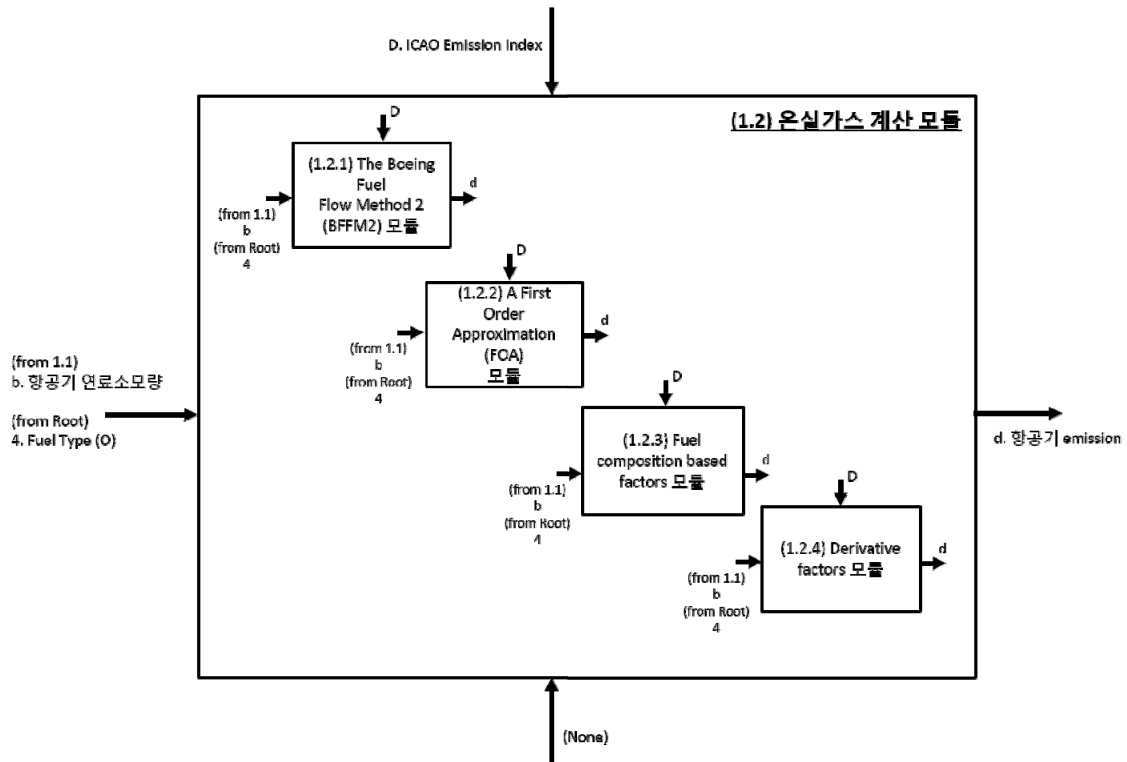
○ [출력] “(1.1.5) 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈”의 출력은 다음과 같음

- 해당 비행 프로파일: 거리, 속도 (대기 속도), 중량, 추력
- (해당 항적 데이터에 대한) 연료 소모량

○ “(1.1.5) 항적 데이터 기반 비행 성능 모듈”은 레이더 항적 데이터와, 출/도착 공항, 기체 및 엔진 특성을 반영하여 궤적에 따른 항공기 상태 특징, 연료 소모량 등을 산출함 . 따라서, SSRS상의 상위 요구사항 중 *FUR-E1-001.01*, *FUR-E1-001.02*, *FUR-E1-001.03*, *FUR-E1-001.04*, *FUR-E1-001.05*, *FUR-E1-001.06*, *FUR-E1-001.07*, *FUR-E1-001.09*, *FUR-E1-001.10*, *FUR-E1-001.12*, *FUR-E1-001.13*을 반영함.

(1.2) 온실가스 계산 모듈

- (Description) 온실가스 계산 모듈은 연료 소모량 및 연료 특성 관련 입력을 받아서 온실가스 별 사용 모델에 따라 온실 가스 배출량을 산출함



[그림 15] 온실가스 계산 모듈

- 출발/도착 활주로 간 모든 운행 단계가 온실가스 계산에 포함되며, 크게 10000 ft 이상 구간에서의 “en-route” 단계와 10000ft 이하의 “terminal” 단계로 나누어 계산이 이루어짐.
- 산출할 수 있는 온실가스의 종류는 다음과 같음
 - 질소산화물, 탄화수소, 일산화탄소
 - 부유성 고형물
 - 황산화물
 - 이산화탄소, 물

- 휘발성 유기화합물, 비메탄계 탄화수소, 총 유기 가스
- 이 온실가스들을 구하기 위하여 사용하는 국제적으로 공개된 항공 온실가스 배출량 산정 모델을 다음 표에 제시함

표 2. 온실가스 별 사용 모델

Model	Pollutants
The Boeing Fuel Flow Method 2 (BFFM2)	NOx, HC, CO
A First Order Approximation (FOA)	저 혼합고도 PM
Fuel composition-based factors	CO ₂ , H ₂ O, SO _x , 고 혼합고도 PM
Derivative factors	NMHC, VOC, TOG, OG

- 온실가스 DB는 ICAO의 jet engine emissions certification databank (EEDB)를 기준으로 함. 이 DB는 각 엔진의 단위 소모 연료당 각 온실가스들의 배출량 정보를 포함함.
- BFFM2는 비행 상태에 맞는 연료 흐름율과 연료 연소량으로 이루어진 대기 관련 파라미터들을 필요로 함. 출력보다 연료 흐름율이 두드러지게 반영되는 접근법임
 - Takeoff, Climb-out Approach, Idle 상태에 따라 출력 설정 및 보정 인자 계산함

표 3 비행 상태에 따른 출력 설정 및 보정 인자

상태	출력 설정(%)	보정 인자
Takeoff	100	1.010
Climb-out	85	1.013
Approach	30	1.020
Idle	7	1.100

- 레퍼런스 조건에서의 연료 흐름율을 비레퍼런스 조건의 흐름율, 마하 수, 온도, 기압 조건에 따라 계산함
- 온실가스 DB로부터 온실가스 배출 지수 정보를 불러 NOx, HC, CO의 값을 구함
- FOA는 낮은 혼합 고도의 PM 배출량을 구하는데 이용되는 방법으로써 엔진 상태와 특성

뿐만 아니라, 연료 구성까지도 감안하게 됨

- 휘발성 황 미립자의 경우에는 황산염 및 황산의 분자량, 연료의 황 함량 및 변환 효율을 파라미터로 받아 계산함
 - 휘발성 유기 미립자의 경우에는 온실가스 DB로부터 HC의 배출 지수 정보를 이용하여 계산함
 - 비휘발성 미립자의 경우에는 매연수에 따른 농도 지수와 연료 부피를 계산하여 구함
- Fuel composition-based factors는 CO₂, H₂O, SO_x, 높은 혼합 고도의 PM 배출량을 계산하게 됨
- SO_x의 배출 지수는 연료의 황 함량, 변환 효율 및 SO₂의 분자량을 이용해 구함
 - CO₂는 3155g/kg의 배출 지수, H₂O는 1237g/kg의 배출 지수로 계산함
- Derivative factors는 NMHC, VOC, TOG, OG의 배출량을 계산함.
- BFFM2를 이용해 HC 배출량을 계산하고, 이를 TOG, NMHC, VOC의 변환 인자를 곱하여 각각의 배출량을 계산함
 - OG는 TOG의 배출량에 OG의 질량비를 곱하여 계산함
- [직접 입력] “(1.2) 온실가스 계산 모듈”의 직접 입력은 다음과 같음
- 연료 소모량
 - 연료 특성
- [필요 DB] “(1.2) 온실가스 계산 모듈”의 필요 DB는 다음과 같음
- ICAO의 jet engine emissions certification databank (EEDB)
- [Sub 모듈] “(1.2) 온실가스 계산 모듈”의 sub 모듈은 다음과 같음
- (1.2.1) The Boeing Fuel Flow Method 2 (BFFM2) 모듈

- (1.2.2) A First Order Approximation (FOA) 모듈
- (1.2.3) Fuel composition based factors 모듈
- (1.2.4) Derivative factors 모듈

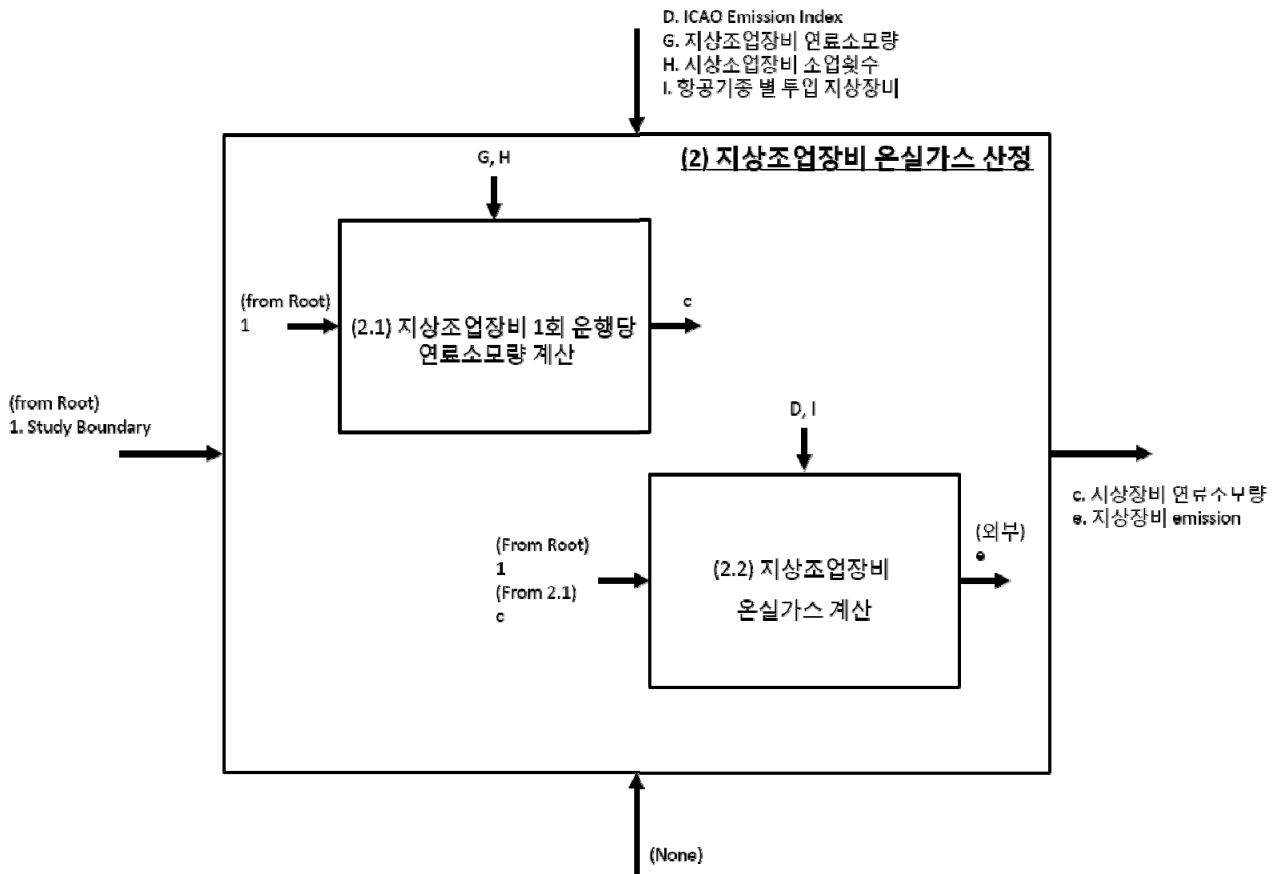
○ [출력] “(1.2) 온실가스 계산 모듈”의 출력은 다음과 같음

- 온실가스 및 기타 가스 배출량 (이산화탄소, 물, 질소산화물, 탄화수소, 일산화탄소, 부유성 고형물, 황산화물, 휘발성 유기화합물, 비메탄계 탄화수소, 총 유기가스)

○ (1.2) 온실가스 계산 모듈은 출발/도착 활주로 간 모든 운행 단계가 온실가스 계산에 포함되며, Takeoff, Climb-out Approach, Idle 상태에 따라 출력 설정 및 보정 인자를 계산함. 또한 표 2에 나타낸 각종 온실가스 및 대기오염에 미치는 물질의 배출량 산정이 가능함. 따라서 SSRS상의 상위 요구사항 중 *FUR-E1-001.04*, *FUR-E1-001.05*, *FUR-E1-001.10*, *FUR-E1-001.12*, *FUR-E1-001.13* 을 반영함.

(2) 지상조업장비 온실가스 산정 모듈

- (2) 지상조업장비 온실가스 산정 모듈의 IDEF0 표현이 다음 그림에 제시되어 있음



[그림 16] 지상조업장비 배출량 산정 알고리즘 전체 입출력 개념도

- 지상조업장비는 항공기 기종, 규모, 이용형태에 따라 투입되는 조업장비 종류가 다양하므로 이를 배출량 산정에 반영하고자 함. 이를 위해 항공기종과 운항횟수 및 공항정보를 기준으로 조업장비의 배출량 산정이 이루어져야 함
- 지상조업장비 배출량 산정을 위한 입력 데이터 및 필요 DB와 출력데이터는 표 4과 같이 정리할 수 있음

표 4. 지상조업장비 배출량 산정 알고리즘 입출력 세부사항 (추가수정가능)

구분	단계별 내용	세부내용	
1	입력데이터	항공기종, 공항정보	
2	필요DB	지상조업 관련 DB	▶ 지상조업장비 별 연료소모량
			▶ 지상조업장비 별 조업횟수
			▶ 항공기종 별 투입조업장비 목록
		연료종류 관련 DB	▶ 연료종류 별 저위발열량
			▶ 연료 소모량에 따른 배출계수
			▶ 지구온난화지수
3	산출식	항공기종 별 조업장비 별 연료소모량 기준 배출량 산정 계산식	
4	출력값	온실가스 배출량	대기오염물질 배출량
		▶ CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	▶ CO, HC, NO _x , SO _x , PM, VOC

○ [직접 입력] “(2) 지상조업장비 온실가스 산정 모듈”의 직접 입력은 다음과 같음

- 출발/도착 공항
- 항공기 기종

○ [필요 DB] “(2) 지상조업장비 온실가스 산정 모듈”의 필요 DB는 다음과 같음

- 지상조업장비 별 연료소모량 DB
- 지상조업장비 별 조업횟수 DB
- 항공기종 별 투입 지상조업장비 DB

○ [Sub 모듈] “(2) 지상조업장비 온실가스 산정 모듈”의 Sub 모듈은 다음과 같음

- (2.1) 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량 계산 산정 모듈
- (2.2) 지상조업장비 온실가스 계산 모듈

○ [출력] “(2) 지상조업장비 온실가스 산정 모듈”의 출력은 다음과 같음

- (주어진 항공 운항과 관련된) 지상조업장비 온실가스 및 기타 가스 배출량

(2.1) 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량 산정 모듈

- 지상조업 1회 운행 당 공항(k)별 장비(l)별 연료소모량($FC_{k,l}$)은 항공기종에 상관없이 같은 공항 내 동일 장비들에 대해서 모두 일정하다고 가정함.
- 지상조업 1회 운행 당 공항별 장비별 연료소모량 ($FC_{k,l}$) 계산방법

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

- 공항 별 지상조업장비 별 연료소모량 DB와 해당 지상조업장비가 투입된 항공기 운항횟수 정보를 이용해서 지상조업 1회 운행 당 공항별 장비별 연료소모량을 계산할 수 있음
- [직접 입력] “(2.1) 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량 산정 모듈”의 직접 입력은 다음과 같음
 - 출발/도착 공항
 - 항공기 기종
- [필요 DB] “(2.1) 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량 산정 모듈”의 필요 DB는 다음과 같음
 - 지상조업장비 별 연료소모량 DB
 - 지상조업장비 별 조업횟수 DB
- [Sub 모듈] “(2.1) 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량 산정 모듈”의 Sub 모듈은 다음과 같음
 - Sub 모듈 없음
- [출력] “(2.1) 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량 산정 모듈”의 출력은 다음과 같음
 - (주어진 항공 운항과 관련된) 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량

- “(2.1) 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량 모듈”은 공항 별 지상조업장비들의 1회 운행 당 연료소모량을 계산하고, 출력물을 (2.2) 지상조업장비 온실가스 계산 모듈에 입력함. 따라서 SSRS상의 상위 요구사항 중 *FUR-E1-001.04*, *FUR-E1-001.11*, *FUR-E1-001.12*, *FUR-E1-001.13* 을 반영함.

(2.2) 지상조업장비 온실가스 계산 모듈

- (Description) 지상조업장비의 운용에 의하여 발생하는 온실가스 배출량의 계산
- 지상조업장비에서 배출되는 가스 종류는 다음과 같음.
 - 이산화탄소, 메탄, 아산화질소
 - 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물, 황산화물
 - 부유성 고형물, 휘발성 유기화합물
- 항공기종 별 지상조업장비 배출량 산정
 - 배출량을 산출하고자 하는 항공기종이 정해졌을 시에 해당 기종의 투입 지상조업 장비들을 선택하고, 해당 지상조업장비에 대한 연료소모량을 기반으로 계산된 장비별 온실가스 산출량을 모두 더하여 산출량을 계산함

표 5. 항공기종 별 지상조업장비의 온실가스 배출량 산정식 1 (예시)

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

표 6. 항공기종 별 지상조업장비의 대기오염물질 배출량 산정식 2 (예시)

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

- 항공기종 별 배출량 산정이 이루어진 후에는 항공기종 별 운항횟수를 곱하여 각 온실가스 및 대기오염물질 전체 배출량을 계산함
- 메탄과 아산화질소의 경우, 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)를 곱하여 이산화탄소 환산량으로 변환이 가능함
- 항공기 배출량 산정에 입력되는 공항 및 항공기종 입력데이터가 지상조업 배출량 산정 알고리즘의 입력데이터로 동시에 사용됨. 또한 연료 사용량으로부터 위의 가스종류별 배출량 산정을 위해서는 배출계수 DB 확보가 필수적임
- [직접 입력] “(2.2) 지상조업장비 온실가스 계산 모듈”의 직접 입력은 다음과 같음
 - (주어진 항공 운항과 관련된) 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량
- [필요 DB] “(2.2) 지상조업장비 온실가스 계산 모듈”의 필요 DB는 다음과 같음
 - 단위 연료 사용 당 가스 종류 별 배출계수 DB
 - 항공기종 별 투입 지상조업장비 DB
- [Sub 모듈] “(2.2) 지상조업장비 온실가스 계산 모듈”의 Sub 모듈은 다음과 같음
 - Sub 모듈 없음
- [출력] “(2.2) 지상조업장비 온실가스 계산 모듈”의 출력은 다음과 같음
 - (주어진 항공 운항과 관련된) 지상조업장비 운영에 의해 발생하는 각종 온실가스 배출량
- “(2.2) 지상조업장비 온실가스 계산 모듈”은 (2.1) 지상조업장비 1회 운행 당 연료소모량 모듈의 출력물인 연료 소모량을 입력으로 하여 공항지역 내 대기오염 물질과 온실가스 물질의 배출량을 산정함. 따라서 SSRS상의 상위 요구사항 중 FUR-E1-001.04, FUR-E1-001.11, FUR-E1-001.12, FUR-E1-001.13 을 반영함.

3. 참고문헌

- [1] B. Kim et al., "System for assessing aviation's global emissions (SAGE) part 1: model description and inventory results," *Transportation Research Part D*, 12 (2007) 325-346.
- [2] Federal Aviation Administration, *Aviation Environment Design Tool (AEDT) Technical Manual (Version 2a)*, Washington, DC, USA, Jan. 2014.
- [3] Integrated Definition Methods (IDEF) Website, <http://www.idef.com/IDEF0.htm>, Last accessed on July 12, 2015.
- [4] Eurocontrol, *Base of Aircraft Data (BADA)*, <https://www.eurocontrol.int/services/bada>, Last accessed on July 12, 2015.
- [5] SAE International, *AIR1845: Procedure for the calculation of airplane noise in the vicinity of airports*, <http://standards.sae.org/air1845/>, Last accessed on July 12, 2015.
- [6] European Aviation Safety Agency (EASA), ICAO Aircraft Engine Emissions Databank, <https://easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>, Last accessed on July 12, 2015.

[Appendix A] 체계종합 SSRS 요구사항 변경을 위한 KAIST 팀의 Request History

1. 기능 요구사항 [FUR-E1-001.11, SSRS_체계종합_KOTI 문서, Page 18]

○ 기존의 요구사항

- FUR-E1-001.11: **공항 주변**(항공기 지상운용, 항공기 이착륙, 공항 내 이동차량) 대기오염물질 및 온실가스 배출량 제시가 가능해야 한다.

○ KAIST 팀의 Request: 의미가 명확하지 않은 "공항주변"이라는 단어를 삭제하고, 지상 이동과 지상조업장비에 의해 발생하는 "공항 내" 가스 배출량으로 변경 요청 (3/20 KAIST-KOTI 회의)

○ 변경된 요구사항

- FUR-E1-001.11 항공기 지상운용, 항공기 이착륙, 공항내 이동차량 등 공항지역 내 대기오염물질 및 온실가스 배출량 제시가 가능해야 한다.

2. 데이터 요구사항 [DAR-003, SSRS_체계종합_KOTI 문서, Page 37]

○ DAR-003 (관련 데이터): 항공온실가스 산정 및 예측 시스템 필요 데이터

○ 이슈: 데이터 요구 사항에 항공기에 의한 배출량 산정 예측에 필요한 데이터만 작성되어 있어서 지상조업장비 배출량 산정 예측에 필요한 데이터의 추가가 필요함

○ 변경된 요구사항 (아래의 bold로 제시된 부분이 지상장비 가스 배출량 산정을 위하여 추가된 부분임)

요구사항 분류		데이터 요구사항
요구사항 고유번호		DAR-003
요구사항 명칭		관련 데이터
요구사항 상세 설명	정의	항공온실가스 산정 및 예측 시스템 필요 데이터
	세부 내용	1) 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템은 데이터를 연계할 때 데이터의 정합성을 검증해야 한다. 2) 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 핵심 컴포넌트 개발을 위해서는 다음과 같은 자료를 이용한다.

데이터	변수
	고정변수 - 비행 ID(출/도착 공항, 항공사, 항공기, 엔진타입 (희망사항)) - 도착/출발 실제 시간, 구간당 변수 (time series data) - 구간 Time, 고도, 속도 - 상승속도(이착륙 절차), 좌표 (coordinates)—thrust(N)
	스케줄 데이터 (레이더 데이터와 부분적 중복 가능) - 출발공항, 도착공항 - 사용된 항공기 기종(필수), 엔진기종(희망사항)
	공항데이터 - 각 공항의 경도, 위도

3) 항공기 이동 데이터베이스에는 다음과 같은 데이터를 필요로 한다.

데이터	변수
엔진 할당 항공기엔진 매핑	국제/국내 항공사들이 보유하는 항공기의 - 항공기 고유 번호 - 엔진 기종 - 연료 용량 - etc
Taxi Time On-Time Performance Data	국내 항공사들의 편당 - 출발 지연 - 도착 지연 - Taxi Time

4) 지상조업장비 온실가스 배출량 산정에는 다음과 같은 데이터를 필요로 한다.

		데이터	변수
		공항별 조업장비별 연료 소모량	- 공항 - 지상조업장비 - 연료종류 (휘발유, 경유, LPG)
		공항별 조업장비별 조업 횟수	- 공항 - 지상조업장비 - 조업횟수
		항공기종별 투입지상조업 장비 리스트	- 항공기종 - 지상조업장비
산출물 정보			
관련 요구사항			
출처		'15.01.20 연구진 업무회의, '15.02.13 연구진 업무회의	

[Appendix B] KAIST 개발 문서에 대한 전문기관 (TTA) 검토 결과 및 수정 내용

항공온실가스 산정 알고리즘						
순번	문서명	대분류	소분류	요약	설명	완료여부
1	운용개념기술서	현행시스템 내용분석	완전성	상세정보미제공	[운용개념기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p4] AEM알고리즘의특징에대한내용은제공되지만, 해당알고리즘을적용시문제점, 한계에대한상세정보가제공되지않음	수정완료
2	운용개념기술서	현행시스템 내용분석	완전성	상세정보미제공	[운용개념기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p4] AEM알고리즘의특징에대한내용은제공되지만, 출력자료에대한상세정보가제공되지않음	수정완료
3	운용개념기술서	현행시스템 내용분석	완전성	상세정보미제공	[운용개념기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p4] AERO2K알고리즘에대한개발주체에대한내용은제공되나, 해당알고리즘의특징과적용시문제점, 한계에대한상세정보가제공되지않음	수정완료
4	운용개념기술서	현행시스템 내용분석	완전성	상세정보미제공	[운용개념기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p4] AERO2K알고리즘에대한개발주체에대한내용은제공되나, 출력자료에대한상세정보가제공되지않음	수정완료
5	운용개념기술서	현행시스템 내용분석	완전성	상세정보미제공	[운용개념기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p5] FAST알고리즘에서 입력 자료에 대한 정보가 'AERO2K 데이터베이스 사용'으로만 제공되고 상세정보가 제공되지 않음	수정완료
6	운용개념기술서	현행시스템 내용분석	완전성	상세정보미제공	[운용개념기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p5] FAST알고리즘적용시문제점, 한계에대한상세정보가제공되지않음	수정완료
7	운용개념기술서	현행시스템 내용분석	완전성	상세정보미제공	[운용개념기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p5] INM알고리즘은'공항주변소음지도를예측함'으로설명하고온실가스관련정보는제공하지않음	수정완료
8	운용개념기술서	현행시스템 내용분석	완전성	상세정보미제공	[운용개념기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p5] AEDT알고리즘에서'완전한게이트-게이트해석가능'에대한상세정보를제공하지않음	수정완료
9	운용개념기술서	현행시스템 내용분석	완전성	상세정보미제공	[운용개념기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p5] '2.2.2현알고리즘의한계점'에서'지나치게방대한양의자료가필요'에대한상세한정보를제공하지않음	수정완료
10	운용개념기술서	현행시스템 내용분석	완전성	상세정보미제공	[운용개념기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p7] '국내기관에서보유하고있는항적, 기상자료들과의일치성'측면에서사용이제한적인이유가상세하게제공되지않음	수정완료
11	운용개념기술서	현행시스템 내용분석	완전성	상세정보미제공	[운용개념기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p7] '국내환경분석시스템과의연동성'측면에서사용이제한적인이유가상세하게제공되지않음	수정완료
12	운용개념	현행시스템	완전성	상세정보	[운용개념기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p7] '외국프로그램의사용이제한적임'관련하여각각의외국프로그램별로	수정완료

	기술서	탐내용분석	미제공	제한적인기능이무엇인지에대한상세한정보가제공되지않음	
13	운용개년기술서	개발시스템내용분석	명확성	불명확용어사용 [운용 개념 기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p8] '3.3알고리즘운용'에서'단일비행에서이비행단계별연료사용량'에서'이비행단계'용어의의미가명확하지않음	수정완료
14	운용개년기술서	개발시스템내용분석	정확성	정보제공오류 [운용 개념 기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p8] '비행기,엔진,공항,지역과세계적총량의향으로'내용중'총량의향으로'가'총량의향으로'로잘못표기됨	수정완료
15	운용개년기술서	개발시스템내용분석	완전성	상세정보미제공 [운용 개념 기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p14] '1845/Doc29'에대한정보를제공하지않음	수정완료
16	운용개년기술서	개발시스템내용분석	완전성	상세정보미제공 [운용 개념 기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p9] 온실가스배출량산정을위해서는비행조건을구체적으로지정해야하지만,비행조건에대한정보일부만제공하고상세정보를제공하지않음	수정완료
17	운용개년기술서	개발시스템내용분석	완전성	상세정보미제공 [운용 개념 기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p18] '3.4.2온실가스계산모델'에서'온실가스인덱스데이터베이스'에대한상세정보를제공하지않음	수정완료
18	운용개년기술서	개발시스템내용분석	완전성	상세정보미제공 [운용 개념 기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p19] '온실가스인자들을호출하여최종적으로온실가스배출량을산출함'에서'온실가스인자들을호출'의의의미가명확하지않음	수정완료
19	운용개년기술서	개발시스템내용분석	완전성	상세정보미제공 [운용 개념 기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p19] '표2.온실가스별사용모델'에서각모델에대한상세한정보를제공하지않음	수정완료
20	운용개년기술서	개발시스템내용분석	완전성	상세정보미제공 [운용 개념 기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p14] '3.4.1.1날씨모델'에서입력데이터,필요DB,출력데이터,산정식에대한상세정보를제공하지않음	수정완료
21	운용개년기술서	개발시스템내용분석	완전성	상세정보미제공 [운용 개념 기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p15] BADA연료소비모델의연료연소율수식에대한상세한정보를제공하지않음	수정완료
22	운용개년기술서	개발시스템내용분석	완전성	상세정보미제공 [운용 개념 기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p15] Terminalarea(공항의관제를받는공항근처의지역)에서의연료연소율을계산하는방법에대한상세한정보를제공하지않음	수정완료
23	운용개년기술서	개발시스템내용분석	완전성	상세정보미제공 [운용 개념 기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p16] 지적선모델의입력데이터,필요DB,출력데이터,산정식에대한상세정보를제공하지않음	수정완료
24	운용개년기술서	개발시스템내용분석	완전성	상세정보미제공 [운용 개념 기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p16] "지상트랙모델은사용자에의해정의되는부분"에대한상세정보를제공하지않음	수정완료
25	운용개년기술서	개발시스템내용분석	완전성	상세정보미제공 [운용 개념 기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p16] 지상트랙모델에서프로그램내에서추가적으로계산되는부분에대한상세정보를제공하지않음	수정완료

26	운영개기술서	개발시스템내용석	완전성	상세정보제공	[운영개념기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p17] 프로파일기반비행성능모듈의입력데이터,필요DB,출력데이터,산정식에대한상세정보를제공하지않음	수정완료
27	운영개기술서	개발시스템내용석	완전성	상세정보제공	[운영개념기술서>OCD_배출량산정_KAIST, p18] 항적데이터기반비행성능모듈의입력데이터,필요DB,출력데이터,산정식에대한상세정보를제공하지않음	수정완료