발 간 등 록 번 호
11-B552989-000025-01

R&D/12 항공-안전 03

Land Infrastructure and Transport R&D Report

항공선진화사업 기획보고서

기후변화 대응 항공 온실가스 감축 기술 개발 기획 연구

2013. 10. 23

주관연구기관 : 한국교통연구원
협동연구기관 : 교통안전공단
한국과학기술원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 "기후변화 대응 항공 온실가스 감축 기술 개발 기획 연구" 의 최종보고서로 제출합니다.

2013. 10. 23

주관연구기관명 : 한국교통연구원
주관연구책임자 : 박 진 서
연 구 원 : 김 제 철
" : 이 준 규
" : 심 가 람
협동연구기관명 : 교통안전공단
협동연구책임자 : 김 용 석
연 구 원 : 이 주 형
" : 신 홍 철
" : 손 희 상
" : 최 동 욱
협동연구기관명 : 한국과학기술원
협동연구책임자 : 이 주 성
연 구 원 : 김 요 한

보 고 서 요 약 서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td colspan="2"></td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2012.12.24~
2013.10.23</td><td>단 계 구 분</td><td>과제
기본기획</td></tr>
<tr><td colspan="2">연 구 사 업 명</td><td colspan="5">항공선진화사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="5">기후변화 대응 항공 온실가스 감축 기술 개발 기획 연구</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">박진서</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 11명
내부 : 11명
외부 : 명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 :
96,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 11명
내부 : 11명
외부 : 명</td><td>총연구비</td><td>정부 :
96,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국교통연구원
항공정책기술본부</td><td>참여기업명</td><td colspan="3">-</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명 : -</td><td colspan="4">상대국연구기관명 : -</td></tr>
<tr><td>공 동 연 구</td><td colspan="2">연구기관명 : 교통안전공단</td><td colspan="4">연구책임자 : 김 용 석</td></tr>
<tr><td>공 동 연 구</td><td colspan="2">연구기관명 : 한국과학기술원</td><td colspan="4">연구책임자 : 이 주 성</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="2">-</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td colspan="5">요약</td><td>보고서면수</td><td>465 Page</td></tr>
</table>

○ 항공용 바이오연료 적용 기술 개발
- 선진국 수준의 항공용 바이오연료 기술 개발을 통한 국내 기술력을 확보하여 항공부문 온실가스 감축 및 이를 통한 국제사회로의 기여 확대
○ 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발
- 항공 온실가스 추정 및 저감방안 분석에 요구되는 시뮬레이션 모델 개발로 항공부문 온실가스 배출량 최소화에 기여
- 항공분야 국내외 온실가스 배출규제에 효과적인 대응을 위해 저감 잠재량 및 국가 감축이행계획 수립을 위한 온실가스 저감효과 분석시스템 개발 및 활용방안 제시
○ 에코플라이트 시뮬레이터 개발
- 항공 온실가스 감축을 위한 에코플라이트 시뮬레이터 제작 및 내장 소프트웨어 기술개발
○ 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발
- 공항주변 종사자와 주민들의 건강보호를 위하여 공항 내 및 공항주변에서 발생되는 오염물질을 체계적으로 관리하여 쾌적한 안전한 도시환경을 조성

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	항공용 바이오연료, 온실가스 배출 저감, 시뮬레이션 모델, 공항 대기질, 배출명세
	영 어	Aviation Biofuel, GHG Emission Reduction, Simulation Model, Airport Air Quality, Emission Inventory

요 약 문

Ⅰ. 제 목

기후변화 대응 항공 온실가스 감축 기술 개발 기획

Ⅱ. 연구개발의 목적

○ 항공부문 온실가스 배출량을 최소화하여 미래 기후변화와 에너지 고갈에 대비하고, 정부・공사・항공사를 중심으로 녹색성장을 선도하기 위한 녹색항공 기술개발 전략 수립 및 추진과제 발굴

- 항공용 바이오연료 적용기술 개발
- 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발
- 에코플라이트 시뮬레이터 기술 개발
- 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발

○ 항공용 바이오연료 적용 기술 개발

- 선진국 수준의 항공용 바이오연료 기술 개발을 통한 국내 기술력을 확보하여 항공 부문 온실가스 감축 및 이를 통한 국제사회의 기여 확대

○ 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발

- 항공기의 경제적 운항과 항공분야 온실가스 배출량 최소화에 기여하고 국내외 배출규제에 효과적으로 대응 가능한 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발

○ 에코플라이트 시뮬레이터 기술 개발

- 항공기 온실가스 감축을 위한 에코플라이트 시뮬레이터 제작 및 내장 소프트웨어 기술 개발

○ 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발

- 공항주변 종사자와 주민들의 건강보호를 위하여 공항 내 및 공항주변에서 발생되는 오염물질을 체계적으로 관리하여 쾌적하고 안전한 도시환경 조성

Ⅲ. 연구개발의 필요성

○ 항공용 바이오연료 적용 기술 개발

- 항공교통 수요의 지속적 증가 및 유가 변동의 심각화로 인한 항공용 바이오연료 개발의 필요성 대두
- 한정적인 화석연료 대신 안정적 공급이 가능한 대체연료 도입으로 인한 잠재적인 경제성 검토 요구
- 항공용 바이오연료 기술의 국산화에 대한 국가적 필요성 제기
- 현재 사용 중인 바이오연료는 식용계 원료를 사용하여 석유계 연료 대비 경제성이 현저하게 떨어지므로 연료보급의 대중화를 위해서는 정부지원정책이 필요
- 국적항공사 항공운송 경쟁력 제고 및 녹색항공 선진국 도약
- 항공분야의 신규 인프라 구축 및 일자리 창출

○ 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발

- 현재 우리나라 항공부문의 지구온난화 대응은 장기적인 계획이나 체계적인 대응 계획이 다소 부재
- 감축수단별 항공 온실가스 감축량 예측 분석을 통한 저감비용 분석, 국가 온실가스 감축이행 계획 수립 및 이에 근거한 감축전략 우선순위 도출 등 우리나라 항공사의 비용효과적 온실가스 감축을 견인하는 국익 증대차원의 중요성 부각
- 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램은 적절한 환경투자 수준을 정량적으로 도출함으로써 항공 산업의 친환경 신기술도입 및 운항법 개선 활동에 타당성과 정당성을 부여하게 되며, 저탄소 녹색성장 촉진에 기여
- 항공 산업의 친환경 신기술도입 및 운항법 개선 활동에 경제적 타당성과 당위성을 부여하여 저탄소 녹색성장 촉진에 기여
- 기후변화와 에너지 위기가 동시에 진행되면서 탄소배출권 시장은 빠른 속도로 성장할 전망이며, 이에 따른 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발은 국적항공사의 경쟁력 확보에 매우 중요한 기술
- 항공산업의 녹색성장을 위한 의사결정을 위해 항공기 에너지소모량 및 배출가스 데이터베이스 요구

- 국적항공사에 적용 가능한 감축기술 선정 및 감축수단별 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발 요구
- 감축수단별, 항공기종별 온실가스 감축량 데이터베이스 구축 및 국내 환경에 적합한 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발 필요

○ 에코플라이트 시뮬레이터 개발

- 환경에 대한 사회적 관심 증가로 인한 온실가스 저감을 위한 조종사 감축기술의 체계적 교육의 필요성 증가
- 사회적 관심을 유지시키고 온실가스 배출량 감축의 장기적인 관점에서 초기 조종교육을 받는 조종훈련생 및 일반인들을 대상으로 한 감축수단 별 에코 조종교육의 필요성 증가

○ 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발

- 우리나라는 2011년 기준 세계 6위[1]의 항공운송강국으로의 국제위상에 맞게 ICAO의 공항 대기질 개선활동 강화에 따라 이에 발맞추어 나아갈 필요성 대두
- 대기질 관리 정보시스템 구축으로 공항 및 주변의 대기 오염도를 등급화 하여 체계적으로 분석·관리함으로써 주민 건강에 미치는 잠재 위험요인을 사전에 차단, 사회적 비용 최소화
- 국내 최초 공항환경 관리시스템 구축으로 선진국 수준의 기술력 확보
- 공항 대기질의 효율적 관리를 통한 대기환경 개선 및 국민 웰빙 건강 실현

Ⅳ. 연구개발의 내용 및 범위

○ 항공용 바이오연료 적용 기술 개발

- 항공용 바이오연료 시험평가 기술 개발
  - • 국내 항공용 바이오연료 시험평가를 위한 기초연구(실험실 테스트)
  - • 국내 항공용 바이오연료 시험평가 연구(실험실 테스트-플랜트 규모)
- 항공용 바이오연료 안전성 평가 및 표준화 기술 개발
  - • 국내 항공용 바이오연료 엔진 및 비행 안전성 평가 기술 개발
  - • 항공용 바이오연료에 대한 지속가능성 기준 기술 개발

1) '11년 기준 여객수송량 세계 15위, 화물수송량 세계 3위

• 항공용 바이오연료 표준화 기술 개발

○ 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발

- 항공 온실가스 데이터플랫폼 구축
  • 항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석 기술 개발
  • 항공 온실가스 데이터플랫폼 설계 기술 개발
- 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발
  • 항공 온실가스 배출량 산정 모듈 기술 개발
  • 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 성능 및 신뢰성 검증 기술 개발
- 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발
  • 항공 온실가스 감축량 산정 모듈 기술 개발
  • 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 기술 개발
  • 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 성능 및 신뢰성 검증 기술 개발
  • 운영 및 유지·보수 전략 수립

○ 에코플라이트 시뮬레이터 기술 개발

- 에코플라이트 시뮬레이터 제작 기술 개발
- 비행훈련용 소프트웨어 기술 개발
- 연료절감 분석 소프트웨어 기술 개발

○ 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발

- 공항주변 온실가스 및 대기오염물질 측정 모니터링 기술 개발
- 공항주변 대기확산 모델링 시스템 기술 개발
- 온실가스 및 대기오염물질 지도표출시스템 구현 기술 개발

Ⅴ. 연구개발의 활용방안 및 기대성과

○ 항공용 바이오연료 적용 기술 개발

- 본 연구를 통해 확보된 신재생에너지 적용 기술 확보로 인하여 전량 수입에 의존하고 있는 화석연료의 대체 에너지로서 크게 활용될 것으로 예상
- 본 연구를 통해 확보된 신재생에너지 적용 기술은 우리나라의 항공용 바이오

연료 개발 기술자립을 실현하여 우리나라 현장에 적합하게 실용화할 수 있음

- 향후 신재생에너지 개발과 그 적용 기술 개발로 우리만의 독자적 기술 체계 구축 가능
- 본 연구를 통해 확보된 기술 경험은 국가 차원의 신재생에너지 사업육성을 위한 선행투자가 이루어질 수 있으며, 해외사업 추진 시 유리한 위치 선정 가능

○ 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발

- 본 연구를 통해 확보된 기술은 온실가스 저감 방안 개발과 함께 다른 항공 교통부문에서도 활용 가능하여 관련분야 기술 발전에도 기여
- 우리나라는 ICAO 상임이사국임에도 불구하고, 기술력 부족으로 선진국이 주도하는 각종 국제표준 제정 및 국제회의의 주체가 되지 못하였으나 선진 기술 확보를 통한 국가 위상을 높일 수 있는 기회가 될 것임
- 우리나라 항공 산업이 세계 수준의 온실가스 산정 및 예측 시스템 기술을 확보하기 위한 전략계획을 수립함으로써, 우리나라가 지속가능 경영의 국제적 모범사례로 자리 잡는데 크게 기여
- 항공기 지상이동 및 절차별 온실가스 산정 및 예측 알고리즘의 경쟁력 확보 기반 마련
- 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 기술의 연구 분석을 통해 국가 온실가스 감축목표 설정과 이를 이행하기 위한 관리체계를 확립함으로써 국제항공 기후변화 대응력 확보 기대

○ 에코플라이트 시뮬레이터 기술 개발

- 기후변화에 따른 연료사용량 변화 및 엔진 성능에 따른 연료사용량 변화 측정이 가능, 항공사가 보다 효율적인 연료절감 계획 수립
- 시뮬레이터를 저비용 예산으로 개발하여 제작 및 운영비 절감효과
- 단발엔진 (Single Engine Operation, One engine inoperative) 유도로 및 활주로 진입 및 활주 훈련, 연속강하접근 및 저항력 플랩 사용의 효율적 사용 시기 등으로 연료절감은 물론 조종사의 비정상 상황을 대비한 활주로 침범(Runway Incursion)예방에도 성과 기대

○ 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발

- 본 연구는 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발사업의 성공적 수행과 이를 통한 국가 온실가스 감축전략에 활용 가능
- 지상조업장비, 수송차량 등 공항 대기질 효율적 관리를 통한 대기환경 개선 및 공항도시지역 주민들의 웰빙환경 조성 기대
- 국내 최초 공항 및 공항 주변 실시간 배출가스 지도 표출 시스템 구축을 통한 미래공항 환경변화 및 기후변화에 대응할 수 있는 경쟁력 확보

SUMMARY

I. Title

○ Development plan for greenhouse gas reduction technology in response to climate change

II. Research and development objective

○ Preparing for future climate change and depletion of resources by reducing greenhouse gas emissions in the aviation industry and leading government · corporation · airline based green growth by establishing green aviation strategy and developing initiatives

- development of a renewable Bio Jet fuel technology
- estimation of aviation greenhouse gas emission and development of reduction effect analysis simulation model
- development of eco-flight simulator technology
- development of technology that monitors emission of greenhouse gas near airports

○ Renewable Bio Jet fuel technology development

- Reducing aviation sector greenhouse gas and expanding the contribution of the international society by securing domestic technology from developing aircraft bio-energy technology by an advanced country level

○ Estimation of aviation greenhouse gas emission and development of reduction effect analysis simulation model

- Development of estimated aviation greenhouse gas emission system in order to contribute to minimizing greenhouse gas emission and economic air operation

○ Eco-flight simulator technology development

- Eco-flight simulator production and embedded software technology development

for aircraft greenhouse reduction

○ Greenhouse monitoring technology development near airports

- Systematic management of pollutants generated around the airport and the surrounding area in order to protect employees and nearby residents' health and to create a clean and safe environment

III. The need for research and development

○ Renewable Bio Jet fuel technology development

- Increasing need for Aviation bio-energy development as a result of increasing air support demand and high oil price change
- Rising national need for securing localization of Aviation bo-energy technology
- Raising economic profit by replacing limited fossil fuels into sustainable alternative fuels
- Need of government support for popularization of fuel supply since bio-energy used nowaday made of edible oil have low economic feasibility compared to petroleum-based fuel
- Authorizing economical validity and justifiability for introduction of environment-friendly technology and navigation improvement activities of aviation industry in order to stimulate low carbon green growth
- Boosting air transport competitiveness of national airlines and jumping up to the level of green aviation advanced countries

○ Estimation of aviation greenhouse gas emission and development of reduction effect analysis simulation model

- Establishing new infrastructure and creating jobs in the aviation sector
- Korean aviation sector's long-term plan or systematic response plan over global warming is in an opening stage
- Abatement cost analysis, national greenhouse gas reduction plan establishment

and reduction strategy priority deduction and so on from reduction measures' reduction effect analysis have large significance in increasing national interest of korean airlines' cost-effective greenhouse gas reduction

- Aviation greenhouse gas assumption(evaluation) simulation model quantitatively derives appropriate environmental investment level that authorizes validity and legitimacy for aviation industry's introduction of environment-friendly technology and navigation development activities and contributes to low carbon green growth acceleration and Korean aviation industry's sustainability management becoming an international role model
- Emission trading market is expected to rapidly grow due to climate change and energy crisis and as a result, greenhouse reduction effect analysis system development became an significant technology for national airlines to secure competitiveness
- aircraft's energy dissipation and emission database is need for decision making of aviation industry's green growth
- Reduction technology and reduction measures' reduction effect analysis program development applicable by national airlines
- Establishing reduction effect database based on reduction measures and types of aircraft and developing reduction effect analysis system applicable in domestic environment

○ Eco-flight simulator technology development

- Increasing need of pilot reduction technology education for greenhouse gas reduction due to rising social interest on the environment
- Maintaining social interest and necessity of eco pilot education of reduction measures for pilot trainee training for early pilot education and the general public in the long-run of greenhouse gas emission reduction

○ Greenhouse monitoring technology development near airports

- Korea, which ranked 6th place based on 2011 standards of air transport power, needs to follow ICAO airport air quality improvement activity

reinforcement

- Leveling air pollution of airports and near by air quality management information system establishment and systematically analyze・manage harmful factors that threaten resident's health preventing in advance and minimize social costs
- Establishing advanced country level technology by implementing airport environment management system
- Improvement of air environment and achievement of public's well-being health using effective management of airport air quality

Ⅳ. Research and development contents and range

○ New renewable aircraft energy application technology development

- Phased aviation bio-energy test and evaluation technology development
  - Basic research(laboratory test) for domestic aviation bio-energy test and evaluation
  - Domestic aviation bio-energy test and evaluation research(laboratory test-plant scale)
- Aviation bio-energy safety evaluation and standardization technology development
  - Domestic aviation bio-energy engine and flight safety evaluation technology development
  - LCA analysis technology development of aviation bio-energy
  - Aviation bio-energy standardization technology development

○ Aviation greenhouse gas assumption(evaluation) and reduction effect analysis simulation model development

- Aviation greenhouse gas assumption(evaluation) simulation model development
  - Aviation greenhouse gas DB plan
  - Wake data extraction/disposal and DB plan technology development
  - Aerodynamical aircraft performance and emission algorism plan

- Algorism modeling
- Macro/micro scenario analysis technology development
- Output credibility evaluation technology development

- Aviation greenhouse gas reduction effect analysis simulation model development
  - Greenhouse gas reduction effect computation technique development of each reduction measures
  - Reduction effect analysis model and system development

○ Eco-flight simulator technology development

- Simulator assembly and production technology development
- Software technology development
- Eco-mode and function implementation technology development

○ Greenhouse gas monitoring management technology development near airports

- Greenhouse gas and air pollutant detector monitoring technology
- Atmospheric diffusion modeling system technology development near airports
- Greenhouse gas and air pollutant map display system implementation technology development

Ⅴ. Research and development utilization plan

○ New renewable aircraft energy application technology development

- Expected to be used as alternative fuel of fossil fuel which are entirely depending on import by new renewable energy application technology secured through current research
- Accomplishing technology independence and used practically in domestic by new renewable energy application technology secured through current research
- Future new renewable energy development and its application technology development is a possible implementation of our independent technology system
- Technology secured through current research can be used in greenhouse

gas reduction plan development and contributes to technology development in the related field

○ Aviation greenhouse gas assumption(evaluation) and reduction effect analysis simulation model development

- Current research leads to successful implementation of greenhouse gas monitoring management technology development project near airports and thereby used in national greenhouse gas reduction strategy
- Even though Korea is a permanent member of the ICAO, Korea could not enact such international standard which are lead by advanced countries and become a subject of international conference. However, it would be a chance to enhance the nation's position thorough securing advanced technology
- As planing strategic plans to achieve world level greenhouse gas emission modeling technology, Korea became a model of sustainable management
- aircraft ground mobile and securing competitiveness of phrased greenhouse gas emission algorism
- National greenhouse gas reduction objective setting through research and development of aviation greenhouse gas reduction effect analysis model technology and securing international air climate change countermeasure by establishing management system

○ Eco-flight simulator technology development

- Expected to be used as measurement of estimated change of consumed fuel depending on climate change and engine quality, airlines would be able to establish effective fuel reduction plan
- Development of low cost simulator and reduction of operation cost
- Expectation of runway incursion prevention and improvement in the fuel economy by effectively utilizing resistance flap, continuous descent approach, and single engine operation taxiway and runway

○ Greenhouse gas monitoring management technology development near airports

- Improvement of air environment and achievement of public's well-being health near airport through effective management of airport air quality using such as ground airport equipments, transport vehicles and so on
- Establishing competitiveness over future airports' environmental changes and climate change by real time emission map display system establishment in airports and near airports for the first time in Korea

목 차

제 1 장 기술의 정의 및 필요성 ····· 1

제 1 절 기술의 정의 ····· 3

제 2 절 연구개발 배경 ····· 17

제 3 절 연구개발 필요성에 따른 세부과제 선정 ····· 35

제 2 장 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 ····· 55

제 1 절 국내외 동향 및 환경 분석 ····· 57

제 2 절 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 100

제 3 절 과제별, 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵 ····· 109

제 4 절 성과활용 방안 ····· 112

제 5 절 사전타당성 검토 ····· 114

제 6 절 연구투입 소요예산 산정 ····· 117

제 7 절 과제 제안요구서 ····· 124

제 3 장 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발 ····· 135

제 1 절 국내외 동향 및 환경 분석 ····· 137

제 2 절 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 176

제 3 절 과제별, 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵 ····· 197

제 4 절 성과활용 방안 ····· 201

제 5 절 사전타당성 검토 ····· 204

제 6 절 연구투입 소요예산 산정 ····· 221

제 7 절 과제 제안요구서 ····· 227

제 4 장 에코플라이트 시뮬레이터 개발 ····· 243

제 1 절 국내외 동향 및 환경 분석 ····· 245

제 2 절 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 266

제 3 절 과제별, 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵 ····· 279

제 4 절 성과활용 방안 ····· 282

제 5 절 사전타당성 검토 ····· 284

제 6 절 연구투입 소요예산 산정 ····· 300

제 7 절 과제 제안요구서 ····· 306

제 5 장 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 ····· 315

제 1 절 국내외 동향 및 환경 분석 ····· 317
제 2 절 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 374
제 3 절 과제별, 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵 ····· 378
제 4 절 성과활용 방안 ····· 381
제 5 절 사전타당성 검토 ····· 383
제 6 절 연구투입 소요예산 산정 ····· 388
제 7 절 과제 제안요구서 ····· 394

제 6 장 투자 우선순위 선정 ····· 403

참고문헌 ····· 411

부록. 자문회의록 ····· 419

표 목차

<표 1-1> RVSM 개념도 ····· 6
<표 1-2> ASTM에 따른 항공용 바이오연료 생산 기술 개발 ····· 15
<표 1-3> 항공 온실가스 감축 기술 분류 ····· 16
<표 1-4> 2010년도 교통 및 국제벙커링 부문 온실가스 배출량 ····· 19
<표 1-5> 항공부문 연료별 배출량(Tier 1) ····· 21
<표 1-6> 항공부문 연료별 배출량(Tier 2) ····· 22
<표 1-7> 항공부문 기종별 배출량(Tier 2) ····· 22
<표 1-8> 항공부문 노선별 배출량(Tier 2) ····· 23
<표 1-9> 공항별 대기오염물질 배출량 ····· 25
<표 1-10> 국내 환경관련 규정 동향 ····· 27
<표 1-11> 국내 기술 정책 동향 ····· 27
<표 1-12> 감축 수단의 종류별 목표 감축량 ····· 30
<표 1-13> 자발적 협약 목표 설정 현황 ····· 32
<표 1-14> 국내 항공사의 영향 분석(항공사 제공 '11. 4) ····· 32
<표 1-15> 항공부문 온실가스 배출규제 및 대응체계 ····· 33
<표 1-16> ICAO 시장기반체제 12개 기본 원칙 ····· 38
<표 1-17> 세부과제 선정을 위한 기준 ····· 47
<표 1-18> 세부과제 선정 ····· 47
<표 1-19> 세부과제 선정 목록 ····· 48
<표 1-20> 단발엔진 유도로 활주의 저감잠재량 ····· 51
<표 2-1> 국내 바이오연료관련 규정 동향 ····· 57
<표 2-2> 국내 기술 정책 동향 ····· 57
<표 2-3> 바이오디젤 보급 현황 ····· 60
<표 2-4> European Advanced Biofuels Flightpath ····· 66
<표 2-5> 바이오연료 보급 확대를 위한 지원정책 ····· 70
<표 2-6> 국제적 항공용 바이오연료 프로그램 ····· 76
<표 2-7> 해외 항공용 바이오연료 적용 비행테스트 현황 ····· 77
<표 2-8> F-T 기술 ····· 88
<표 2-9> HEFA 기술 ····· 89
<표 2-10> 항공용 바이오연료 기술 현황 ····· 91
<표 2-11> SWOT 분석 ····· 93
<표 2-12> 항공용 바이오연료 기술수준 ····· 94
<표 2-13> 항공용 바이오연료 관련 핵심기술 국산화율 ····· 94
<표 2-14> 바이오디젤 기술 관련 논문 및 특허 현황 ····· 95
<표 2-15> F-T 기술 관련 논문 및 특허 현황 ····· 96

<표 2-16> BtL 기술 관련 논문 및 특허 현황 ····· 98
<표 2-17> 항공용 바이오연료 기술수준 ····· 99
<표 2-18> 핵심기술요소 후보 ····· 100
<표 2-19> 핵심기술요소 선정 ····· 101
<표 2-20> 핵심기술요소 목록 ····· 101
<표 2-21> 기술성숙도(TRL) 단계별 목표(1) ····· 102
<표 2-22> 기술성숙도(TRL) 단계별 목표(2) ····· 102
<표 2-23> 성과로드맵 ····· 110
<표 2-24> 기술정의서 ····· 111
<표 2-25> 항공용 바이오연료 적용 기술 연구개발비 ····· 118
<표 2-26> 인력 투입 계획 ····· 119
<표 2-27> 연구 장비·재료비 ····· 120
<표 2-28> 항공용 바이오연료 적용 기술 연구비 소요 명세서 ····· 121
<표 2-29> 세부 과제별 성과목표 ····· 132
<표 2-30> 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 연구의 양적 성과지표 ····· 132
<표 2-31> 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 연구의 질적 성과지표 ····· 133
<표 3-1> 국내 기술 정책 동향 ····· 137
<표 3-2> 캐나다 항공사 보유기종 평균기령 ····· 139
<표 3-3> 국가별 항공사 보유기종 평균기령 ····· 140
<표 3-4> IPCC 가이드라인의 tier별 데이터 요구사항 ····· 141
<표 3-5> 항공 온실가스 감축 기술 로드맵 ····· 143
<표 3-6> 항적 자료 추출 및 처리 모듈 요구 데이터 ····· 153
<표 3-7> 항공기 이동 데이터베이스 모듈 요구 데이터 ····· 154
<표 3-8> 항공 온실가스 배출 감축수단 ····· 156
<표 3-9> 국가별 항공 온실가스 평가 모델 개발 및 운영 ····· 162
<표 3-10> SWOT 분석 ····· 172
<표 3-11> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 기술 분야의 기술수준 ····· 173
<표 3-12> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 기술 관련 논문 ····· 173
<표 3-13> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 기술 분야의 기술수준 ····· 175
<표 3-14> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 기술 관련 논문 ····· 175
<표 3-15> 핵심기술요소 후보 ····· 177
<표 3-16> 핵심기술요소 선정(1) ····· 177
<표 3-17> 핵심기술요소 선정(2) ····· 178
<표 3-18> 핵심기술요소 목록 ····· 178
<표 3-19> 기술성숙도(TRL) 단계별 목표 ····· 179
<표 3-20> 비행구간별 연료소모량 ····· 191
<표 3-21> 성과로드맵 ····· 198
<표 3-22> 기술정의서 ····· 199
<표 3-23> 상위계획과의 부합성 분석 결과 ····· 205

<표 3-24> IPCC Guideline 온실가스 배출량 산출 방법론 Tier 비교 ····· 208
<표 3-25> 건축물 등의 기준내용연수 및 내용연수범위표 ····· 211
<표 3-26> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 연구개발비 ····· 222
<표 3-27> 인력 투입 계획 ····· 223
<표 3-28> 연구 장비·재료비 ····· 224
<표 3-29> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 연구비 소요 명세서 ····· 225
<표 3-30> 세부 과제별 성과목표 ····· 241
<표 3-31> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템의 양적 성과지표 ····· 241
<표 3-32> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템의 질적 성과지표 ····· 242
<표 4-1> 국내 기술 정책 동향 ····· 245
<표 4-2> 국내 조종사 교육관련 규정 동향 ····· 246
<표 4-3> 미국의 관련 규정 동향 ····· 247
<표 4-4> 국내 모의비행장치(FFS) 사용현황 ····· 249
<표 4-5> 국내 비행훈련장치(FTD) 사용현황 ····· 249
<표 4-6> 국외 FTD/FFS 제작사 별 판매비용 현황 ····· 250
<표 4-7> 비행훈련장치 국내 지정허용범위 ····· 255
<표 4-8> 모의비행장치 국내 지정허용범위 ····· 255
<표 4-9> SWOT 분석 ····· 264
<표 4-10> 에코플라이트 시뮬레이터 기술 분야의 기술수준 ····· 265
<표 4-11> 에코플라이트 시뮬레이터 기술 분야의 기술수준 ····· 265
<표 4-12> 핵심기술요소 후보 ····· 266
<표 4-13> 핵심기술요소 선정 ····· 267
<표 4-14> 핵심기술요소 목록 ····· 267
<표 4-15> 기술성숙도(TRL) 단계별 목표 ····· 267
<표 4-16> 국내 항공사별 보유기종 및 조종사 현황 ····· 272
<표 4-17> 비행훈련장치의 세부 항목별 성능기준 ····· 276
<표 4-18> 성과로드맵 ····· 280
<표 4-19> 기술로드맵 ····· 281
<표 4-20> 자발적 협약 운영에 관한 지침 ····· 286
<표 4-21> 에코플라이트 시뮬레이터 개발 기획 연구개발비 ····· 301
<표 4-22> 인력 투입 계획 ····· 302
<표 4-23> 연구 장비·재료비 ····· 303
<표 4-24> 에코플라이트 시뮬레이터 개발 기술 연구비 소요 명세서 ····· 304
<표 4-25> 세부 과제별 성과목표 ····· 314
<표 4-26> 에코플라이트 시뮬레이터 개발 연구의 양적 성과지표 ····· 314
<표 4-27> 에코플라이트 시뮬레이터 개발 연구의 질적 성과지표 ····· 314
<표 5-1> 국내 환경관련 규정 동향 ····· 317
<표 5-2> 국내 공항주변 환경 개선 정책방향 및 세부 추진과제 ····· 318
<표 5-3> 각국의 대기환경 기준 ····· 319

<표 5-4> 전국 도시 대기 측정망 현황 ····· 335
<표 5-5> 측정 장비 구입비용 ····· 339
<표 5-6> 국내 대기확산 모델링 시스템 종류 ····· 339
<표 5-7> 한국공항의 주요 지상조업장비 보유현황 ····· 341
<표 5-8> 아스공항의 주요 지상조업장비 보유현황 ····· 342
<표 5-9> 공항별 업체별 지상조업장비 연료사용량 ····· 343
<표 5-10> 주요 대기확산 모델링 및 구매 비용 ····· 344
<표 5-11> 이산화탄소 및 대기오염물질 측정방법 ····· 346
<표 5-12> 배출원별 대기오염물질 분포 시 시간 입력출처 ····· 351
<표 5-13> 배출원별 대기오염물질 분포 시 공간 입력출처 ····· 352
<표 5-14> AERMOD 옵션 종류 ····· 355
<표 5-15> LASPORT 계산 방법론 ····· 366
<표 5-16> ICAO 승인 공항 대기확산 모델링 시스템 분석비교 ····· 368
<표 5-17> SWOT 분석 ····· 370
<표 5-18> 공항 주변 온실가스 및 대기오염물질 관리 기술분야의 기술수준 ····· 371
<표 5-19> 공항 주변 온실가스 및 대기오염물질 기술분야의 인프라 수준 ····· 371
<표 5-20> 공항 주변 온실가스 및 대기오염물질 관리 기술 관련 논문 및 특허 현황 ····· 372
<표 5-21> 공항 주변 온실가스 및 대기오염물질 관리 기술 관련 R&D 현황 ····· 373
<표 5-22> 핵심기술요소 후보 ····· 374
<표 5-23> 핵심기술요소 선정 ····· 375
<표 5-24> 핵심기술요소 목록 ····· 375
<표 5-25> 기술성숙도(TRL) 단계별 목표 ····· 375
<표 5-26> 성과로드맵 ····· 379
<표 5-27> 기술로드맵 ····· 380
<표 5-28> 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발기획 연구개발비 ····· 389
<표 5-29> 인력 투입 계획 ····· 390
<표 5-30> 연구 장비·재료비 ····· 391
<표 5-31> 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 기술 연구비 소요 명세서 ····· 392
<표 5-32> 세부 과제별 성과목표 ····· 402
<표 5-33> 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 연구의 양적 성과지표 ····· 402
<표 5-34> 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 연구의 질적 성과지표 ····· 402
<표 6-1> 투자 우선순위 선정을 위한 기준 ····· 409
<표 6-2> 세부 연구 과제별 우선도 ····· 409

그림 목차

<그림 1-1> 단축 항로 ····· 5
<그림 1-2> 항공로의 복선화 ····· 7
<그림 1-3> 연속강하접근 절차도 ····· 7
<그림 1-4> RNAV 성능을 제공하는 항행시스템 ····· 8
<그림 1-5> 혁신적 온실가스 감축 기술 로드맵 ····· 9
<그림 1-6> Puma 연료전지 시스템 구성 ····· 10
<그림 1-7> 연료전지 구동식 전기추진 항공기 로드맵 ····· 11
<그림 1-8> 솔라 임펄스 ····· 12
<그림 1-9> 에어로바이론먼트 ····· 12
<그림 1-10> 스토커 ····· 13
<그림 1-11> 항공과 기후변화 현황 ····· 17
<그림 1-12> 항공부문 온실가스 배출범위 ····· 19
<그림 1-13> 항공부문 온실가스별 배출비중(Tier 1) ····· 20
<그림 1-14> 항공부문 온실가스별 배출비중(Tier 2) ····· 21
<그림 1-15> 항공부문 대기오염물질 배출량 ····· 24
<그림 1-16> 대기오염물질별 배출량 ····· 26
<그림 1-17> 온실가스에너지 목표관리제 추진 절차 ····· 31
<그림 1-18> KOTEMS 운영 체계 ····· 34
<그림 1-19> 세계 수송용 바이오연료의 의무혼합 정책 ····· 42
<그림 1-20> 대체에너지원 별 점유율 ····· 42
<그림 1-21> 부문별 온실가스 배출량 예측 ····· 44
<그림 2-1> 바이오 디젤 중장기 보급계획 ····· 59
<그림 2-2> 항공부문 감축 기술을 통한 온실가스 감축 예상도 ····· 61
<그림 2-3> 세계 항공용 바이오연료 개발 동향 ····· 67
<그림 2-4> 국내 항공용 바이오연료 기술 개발 ····· 72
<그림 2-5> 한국생산기술연구원 바이오매스 가스화 파일럿 플랜트 ····· 72
<그림 2-6> 대한항공 엔진 테스트 공장 ····· 74
<그림 2-7> 바이오 연료 엔진 실험 결과 ····· 75
<그림 2-8> 세계 항공사 항공용 바이오 연료 ····· 75
<그림 2-9> 항공용 바이오 연료 적용 사례 ····· 75
<그림 2-10> 항공용 바이오연료 가격 예측 ····· 79
<그림 2-11> 항공용 바이오연료 기술 체계 ····· 81
<그림 2-12> 항공용 바이오연료 세부 기술 ····· 84

<그림 2-13> 항공용 바이오연료 생산 공정 ····· 84
<그림 2-14> ASTM D4054-09에 따른 새로운 항공유 품질기준 개정 절차 ····· 86
<그림 2-15> feedstock의 종류 ····· 87
<그림 2-16> F-T 기술 및 HERA 기술 pathway ····· 90
<그림 2-17> 기술로드맵 ····· 110
<그림 3-1> 착륙 환경 분석 기술 중 SAGE(AEDT) 활용용도 ····· 146
<그림 3-2> 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램의 체계도 ····· 151
<그림 3-3> PEAT 도구의 구성도 ····· 158
<그림 3-4> SAGE가 포함된 미국 FAA의 AEDT 사용자 인터페이스 ····· 159
<그림 3-5> AEDT의 출력 결과물: 시나리오별 온실가스 배출량 ····· 160
<그림 3-6> AEDT의 출력 결과물: 글로벌 온실가스 배출량 합계 ····· 160
<그림 3-7> AERO2K의 출력 결과물: 단일 비행 절차별 온실가스 배출량 ····· 161
<그림 3-8> ERO2K의 출력 결과물: 지역별 배출량 합계 ····· 162
<그림 3-9> INM에 의한 항공기 소음예측도 ····· 163
<그림 3-10> AEDT 2a 시스템 구조 ····· 164
<그림 3-11> AEDT 개발 과정 ····· 165
<그림 3-12> Fuelplus 구현 안내도 ····· 167
<그림 3-13> 데이터 메뉴 ····· 168
<그림 3-14> 저감 잠재량 분석 도표 ····· 168
<그림 3-15> 통계 및 분석결과 도표 ····· 169
<그림 3-16> 토마스 쿡 에어라인의 연료 절감량 분석 ····· 169
<그림 3-17> 호주의 실시간 온실가스 추정 TOP-LAT 모델 ····· 174
<그림 3-18> 엔진 세척모습 ····· 184
<그림 3-19> 비행시간별 기압고도의 변화 ····· 191
<그림 3-20> 1단계 목표-기본모델 구축 ····· 194
<그림 3-21> 2단계 목표-신뢰성 및 정확도 개선 모델 구축 ····· 195
<그림 3-22> 3단계 목표-추가개선 및 시나리오 분석 모델 구축 ····· 195
<그림 3-23> 기술로드맵 ····· 199
<그림 3-24> 온실가스 배출량 도출 방법론 ····· 209
<그림 3-25> 누적편익현가 ····· 217
<그림 4-1> 국내 항공운송사업 업체 및 교육기관 보유현황 ····· 250
<그림 4-2> 미국(FAA) 항공운송사업 업체 및 교육기관 보유현황 ····· 251
<그림 4-3> 옥스퍼드 아카데미의 에코조종훈련 단계별 훈련방법 ····· 252
<그림 4-4> ATQP 방식의 훈련실시에 따른 잠재적 이익 ····· 253
<그림 4-5> 누리항공에서 개발한 B767 IPT ····· 256
<그림 4-6> 젯블루(Jetblue) A320 CHECKLIST ····· 260
<그림 4-7> 독일 Stuttgart 공항 도표 ····· 261

<그림 4-8> 항공기의 쓰로틀 쿼드런트(좌:A320, 우:B737) ····· 269
<그림 4-9> 항공기의 주조종장치(좌:A320, 우:B737) ····· 269
<그림 4-10> 비행관리 컴퓨터(좌: A320 FMGS, B737:FMC) ····· 270
<그림 4-11> 항공기의 FCU와 MCP(상: A320 FCU, B737 MCP) ····· 270
<그림 4-12> 오버헤드 패널 사진(좌: A320, 우: B737) ····· 271
<그림 4-13> 에코플라이트 시뮬레이터 내부 전체예상 배치도 ····· 273
<그림 4-14> B737용 조종석 PFD/ND 디스플레이 예상 배치도 ····· 273
<그림 4-15> 에코플라이트 시뮬레이터 조종실 구현모습(B737) ····· 274
<그림 4-16> 교관석에서 조종사 교육훈련을 통제하는 모습 ····· 276
<그림 4-17> 기술로드맵 ····· 280
<그림 4-18> 형식한정자격 국외 취득인원 현황 ····· 288
<그림 5-1> 중장기 항공정책 계획 주요 정책 목표 ····· 317
<그림 5-2> 일반적인 공항 배출가스 측정지점 ····· 325
<그림 5-3> 히드로 공항 배출원별 NO_2 배출비중 ····· 327
<그림 5-4> 1995년 이후 히드로 공항 주변 주요 지점별 NO_2 농도 ····· 327
<그림 5-5> 2006년 스텐스테드 공항 주변 NOx 배출비중 ····· 329
<그림 5-6> 코펜하겐 공항 측정지점별 NO_2 배출농도 및 확산정도 ····· 330
<그림 5-7> 공항부근 측정범위 정도 ····· 331
<그림 5-8> 나리타 공항 대기질 측정소 ····· 332
<그림 5-9> 나리타공항 대기질관리 목표 ····· 332
<그림 5-10> 나리타 공항 GPU 사용률 ····· 333
<그림 5-11> 대기오염도 실시간 공개(Air Korea) ····· 334
<그림 5-12> 인천공항공사 운영 대기 측정국과 환경조사차량 ····· 337
<그림 5-13> 한국공항공사 대기질 측정 장비 ····· 338
<그림 5-14> 온실가스 및 대기오염 물질 지도표출시스템 구현 ····· 348
<그림 5-15> 국가대기오염정보시스템(NAMIS) 구성 및 자료 흐름도 ····· 350
<그림 5-16> GHG-CAPSS 운영체계 ····· 350
<그림 5-17> CMAQ ver 5.0.1을 통한 오존확산 정도 ····· 353
<그림 5-18> CMQA 모델링 시스템 개요도정도 ····· 353
<그림 5-19> AERMOD 대기확산 모의 결과(지형 고려) ····· 355
<그림 5-20> AERMOD 구성도 ····· 356
<그림 5-21> CALPUFF 모델링 시스템 ····· 357
<그림 5-22> 점오염원에 대한 ISCST3와 CALPUFF 모델 결과 ····· 358
<그림 5-23> EDMS의 배출원별 대기오염물질 배출량 ····· 359
<그림 5-24> DMS 시스템 구조 ····· 360
<그림 5-25> ALAQS-AV 모델링 도식화 ····· 361
<그림 5-26> ALAQS-AV 공항 배출원 그룹 ····· 362

<그림 5-27> ALAQS-AV 데이터 입력 구현 ····· 363
<그림 5-28> ALAQS-AV NOx 배출농도 결과 ····· 363
<그림 5-29> ADMS-Airport 히드로 공항 주변 NOx 배출농도 ····· 365
<그림 5-30> LASPORT Tool 실행 화면 ····· 366
<그림 5-31> LASPORT 적용 NOx 농도 시각화 ····· 367
<그림 5-32> 기술로드맵 ····· 379
<그림 6-1> 세부 연구 과제별 우선도 ····· 410

제 1 장 기술의 정의 및 필요성

- 제 1 절 기술의 정의
- 제 2 절 연구개발 배경
- 제 3 절 연구개발 필요성에 따른 세부과제 선정

제 1 장 기술의 정의 및 필요성

제 1 절 기술의 정의

1. 항공부문 온실가스 감축 기술 개요

가. 항공 온실가스 측정 및 관리 관련 기술

○ 온실가스[2] 배출량[3] 계산은 연료사용량과 항공기 기종, 운항데이터가 필요하며 자료의 활용가능 여부에 따라 Tier 1, Tier 2, Tier 3 계산방법이 있음

① Tier 1 방법은 이산화탄소 총량을 측정하는 것에 적합

② Tier 2 방법은 Tier 1 보다 더 복잡하고, "LTO(Landing Take-Off)"와 "cruise" 운항으로 구분하여 산출

③ Tier 3 방법은 가장 복잡한 방법이며 연료, 항공기 기종, LTO 모드 및 항로 운항자료를 기반으로 하여 이산화탄소 배출량 측정

○ 국외 항공부문 온실가스 배출량 산정 및 항공기 연료효율 산정 모델 개발은 활발히 진행되고 있으며, 산정 모델은 다음과 같음

- 미국 FAA에서 개발한 모형인 Aviation Environmental Design Tool(AEDT)/ System for Assessing Aviation's Global Emission(SAGE)
- 1990년대 말 EUROCONTROL에 의해 개발된 Advanced Emission Model(AEM)
- QinetiQ(민간기업)이 DLG(독일), 맨체스터대, 네덜란드 국립항공우주연구소(NLR, National Aerospace Laboratory), 영국무역산업부, 에어버스사, 유로콘트롤 등과 함께 개발한 AERO2K
- 영국 무역산업부에서 개발한 Future Aviation Scenario Tool(FAST) 등이 있음

○ 항공기 소음의 영향범위를 예측하는 소음지도 작성을 위한 다양한 예측모델 존재

---

2) 온실가스(Green House Gas, GHG)란 대기권에서 지표에서 방사되는 적외선의 일부를 흡수함으로써 온실효과를 일으키는 원인이 되는 기체를 말함(CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs, SF_6 등 포함)

3) 항공부문 온실가스를 측정하고 계량화하기 위해서는 국가 온실가스 인벤토리를 위한 IPCC 지침서(IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories), ICAO 항공기 배출가스 인벤토리 지침서(ICAO Aircraft Emissions Inventory Guidelines), ACRP 공항 온실가스 인벤토리 지침서 (Airport Cooperative Research Program Airport GHG Inventory Guidelines)의 3가지의 지침서가 사용되며, 온실가스 배출량 계산하기 위해 전체 연료사용량에 배출계수를 곱하면 전체 온실가스 배출량을 산출이 가능함

- Segmentation-based model의 대표적 모델로서 FAA에서 항공기 소음 영향 평가를 위한 만든 Integrated Noise Model(INM)이 있으며, 이 모델은 평균적 입력값을 기반으로 항공기 소음이 장기간 영향을 미치는 정도를 예측
- Simulation-based model의 대표적인 모델로서 Wyle에서 만든 Noise Model Simulation(NMSIM)이 있으며, 이 모델은 항공기가 운항경로를 지나가는 경우에 대하여 실시간으로 시간에 따른 소음의 변화를 예측

○ 공항주변 온실가스 배출량 산정 및 관리를 위한 온실가스 및 대기오염물질 측정 모니터링 기술, 대기확산 모델링 기술, 대기오염물질 지도표출 기술 등이 있음

- ICAO 승인된 공항 대기확산 모델링 시스템으로는 미국의 Aviation Environmental Design Tool-Emission and Dispersion Modelling System(AEDT-EDMS), EUROCONTROL의 Airport Local Air Quality Studies tool set(ALAQS-AV), 영국의 Atmospheric Dispersion Modelling System-Airport(ADMS-Airport), 독일의 Lagrangian of Aerosol-Transport for Airport(LASPORT) 등이 있음

나. 시장기반체제(Market Based Measure) 관련 기술

○ 제38차 ICAO총회에서는 국제 시장기반체제(Market Based Measures, MBMs)[4] 시행에 동의하였으며, 이는 모니터링(monitering), 보고(reporting), 배출량 검증(verifications of emission) 등을 포함

○ ICAO 시장기반체제의 기본 내용

- 국가별·지역별 자체 이행 기준 및 실천방안을 수립하여 시행하고 있으며, ICAO는 환경징수금(Environmental Levies), 배출권 거래제도(Emission Trading System), 자발적 협약(Voluntary Measures)을 시장기반체제로 분류하여 시행할 것을 권고하고 있음
  - 환경징수금 : 국가 또는 지방자치단체가 환경보전 목적을 달성하기 위해 직접적으로 발생된 환경오염 피해를 근거로 환경오염행위나 오염발생 재화 및 용역에 부과하는 금액

4) Resolution 38-19: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection-Climate Change

• 배출권 거래제도 : 지구온난화가스의 총 배출량을 설정한 뒤 배출허용량을 각국 혹은 산업별·기업별로 할당하여, 그 허용량을 '배출권(emission right)'이라는 무형의 상품으로 간주하고, 각국 혹은 산업·기업에게 시장원리에 따라 직접 혹은 거래소를 통해 거래를 허용하는 제도

• 자발적 협약 : 산업에 의해 일방적이거나 산업과 정부 간 자율적인 협약에 의한 지구온난화가스 감축방안

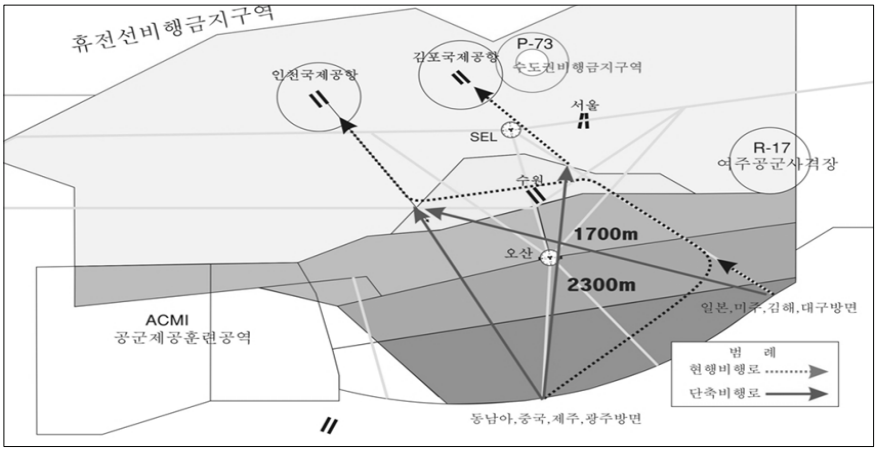
- ICAO는 온실가스 저감을 위한 목표를 시장의 역할에 의해 달성하기 원하고 있으며, 제도 도입 시 비용 효과적 수단을 우선적으로 적용할 것을 권고

다. 항공교통관리 및 운영 관련 기술

○ 항공교통관리(Air Traffic Management)에 대한 ICAO의 Global ATM Operational Concept, 미국의 NextGen(Next Generation) Implementation Plan, EU의 SESAR(Single European Sky ATM Research) 사례가 주요 핵심과제로 부각되고 있음

○ 유연적 공역 활용(단축항로 사용)

- 효율적 항공운영을 통해 연료절감을 달성하기 위해 단축항로 개발은 항공사의 필수적인 저감활동

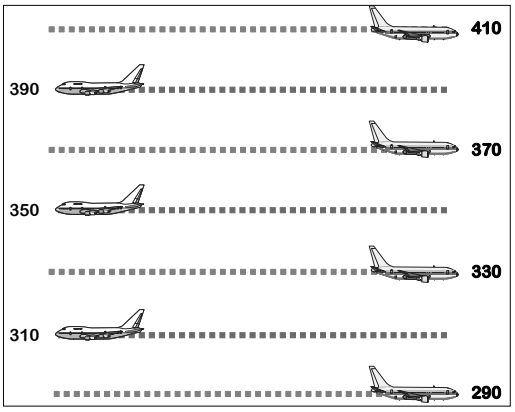
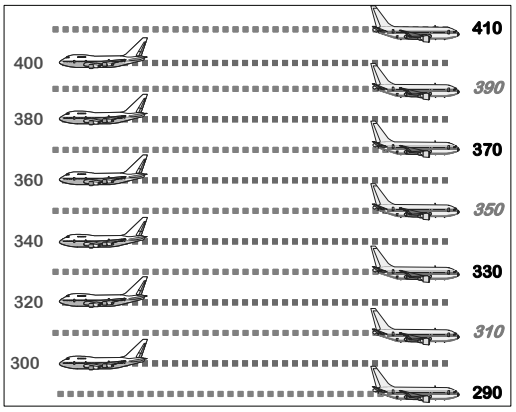


<그림 1-1> 단축 항로

○ 수직분리간격축소기법 도입(Reduced Vertical Separation Minimum, RVSM)

- 수직분리간격 축소기법(RVSM) 도입은 고도 29,000ft~41,000ft에서 수직간격을 2,000ft에서 1,000ft로 축소하여 운항함으로써, 항공기 최적고도 운항에 따른 연료절감과 항로의 수용력 확대로 인한 지연 감소로 연료사용을 감소시키는 효과를 달성 가능
  - 항공기의 최적고도 운항에 따른 연료저감 효과 달성하고 고도사용 영역이 확대됨에 따라 항로의 수용력이 증가하여 항공기 이륙 후 en-route 진입까지의 지연을 감소
  - 우리나라의 경우 2005년 도입하여 시행

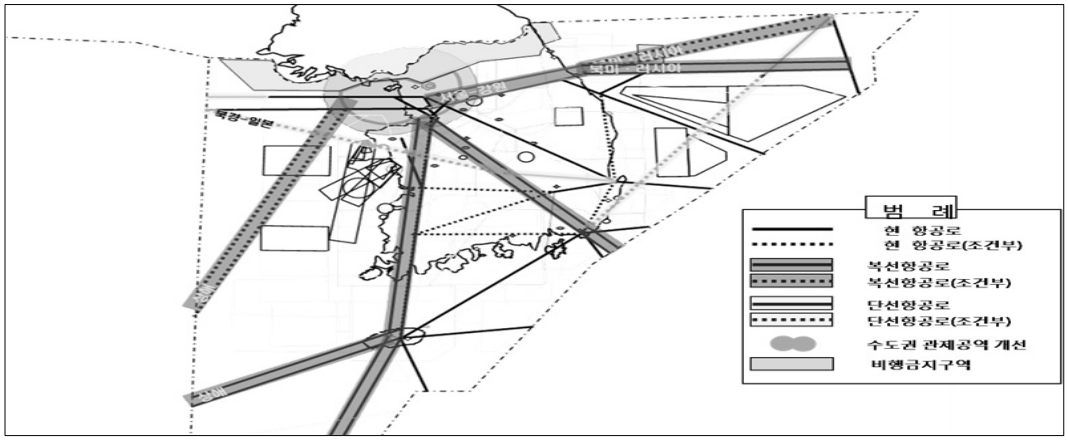
<표 1-1> RVSM 개념도

RVSM 시행전	RVSM 시행 후
	

자료 : 국토교통부 보도자료

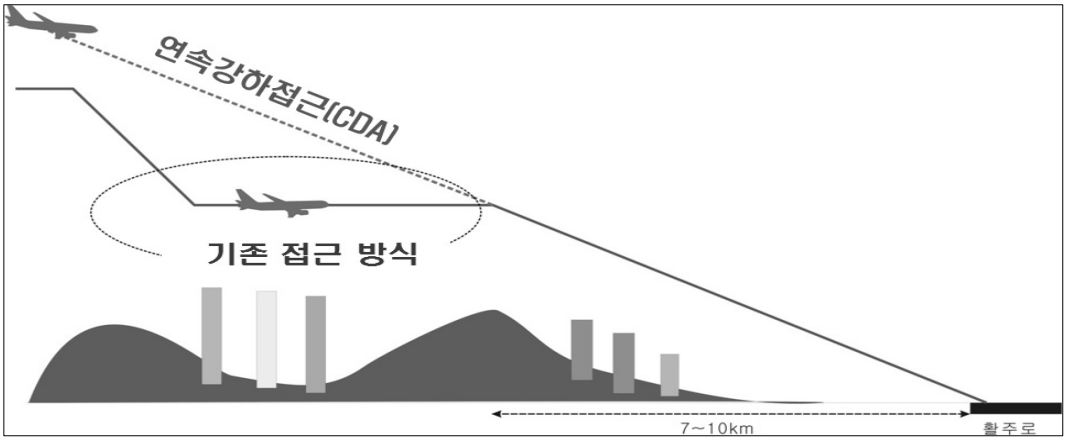
○ 성능기반항행도입(Performance Based Navigation, PBN)

- 성능기반항행(PBN)은 계기접근절차 또는 지정된 공역에서 비행하는 항공기에 요구되는 성능(Performance Requirements)을 기반으로 하는 지역항법
  - 지역항법(Area Navigation, RNAV)을 기반으로 하여 비행로설정을 유연하게 함에 따라 비행거리 단축이 가능하여 항공기 연료소비 절감효과를 기대할 수 있음
- 성능기반 항행(PBN)도입에 따라 항행 정밀도 향상으로 항공로의 복선화를 실시하여 기존의 교통 혼잡한 항공로의 지연 해소 가능



<그림 1-2> 항공로의 복선화

- 또는 항공기의 첨단항법시스템을 이용하여 항공기 성능에 맞게 연속적으로 강하하는 비행방식의 연속강하접근(Continuous Descent Operations, CDO 또는 Continuous Descent Approach, CDA)을 실시하여 항공기 연료 소모와 과다한 소음 및 환경오염 물질을 획기적으로 감축 가능



<그림 1-3> 연속강하접근 절차도

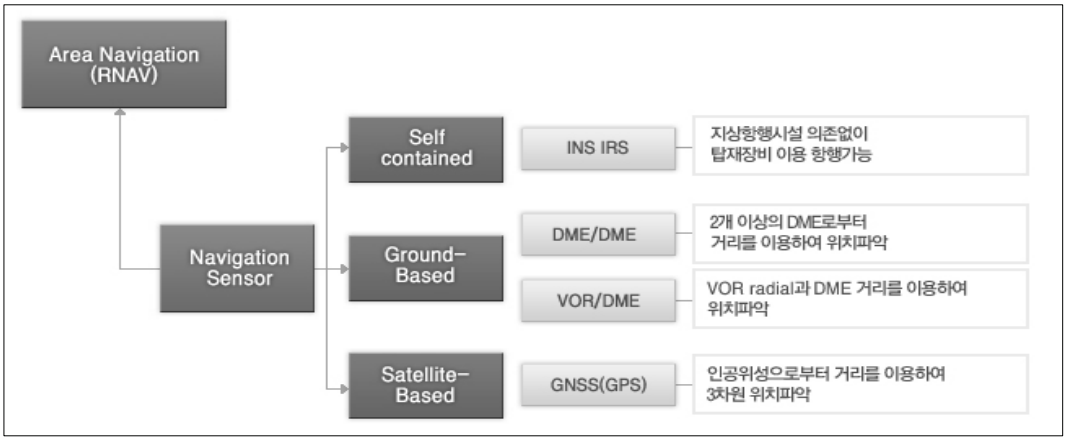
○ 필수항행성능 및 지역항법 표준계기절차, 표준도착절차[5)]

- 지역항법이란 위치참조기준 항행시설(Station-referenced navigation aids), 또는 항공기 자체 탑재장비 또는 두 가지 조합의 운용한계 내에서 항공기가 원하는 어떠한 경로라도 비행이 가능한 항법을 말함
- 지역항법은 공역활용의 유연성을 기반으로 가용공역을 최대한 효과적으로 활

5) Required Navigation Performance, RNP and Area Navigation Standard Instrument Departures, RNAV SIDs and Standard Terminal Arrival Routes, STARs

용하기 위해 개발되었음

- 지역항법을 제공하는 항행시스템에는 Global Navigation Satellite System(GNSS,), Inertial Navigation System(INS), Inertial Reference System(IRS), Distance Measuring Equipment(DME), VHF Omnidirectional Range(VOR) 등이 있으며, 조합된 여러 형태의 항행센서들을 이용하여 위치정보에 대한 지속적 업데이트 수행



<그림 1-4> RNAV 성능을 제공하는 항행시스템

자료 : http://pbn.casa.go.kr

○ 항공기 운영 관리

- 항공사가 항공기를 운영하면서 온실가스를 저감할 수 있는 수단으로 비행계획(대체공항, 경제고도 산출), 항공사 비용지수(Cost Index) 개선, 연료관리(Refile Procedure, Over Fueling), 중심관리(Payload 편차감소, CG 최적관리)
- 정비관리(Fan Blade 관리, 주기적 연료탱크 청소, Drag Elimination, High Thrust take-off 운영)
- 중량관리(Weight & Balance 최적화, First Aid Kit 감량, 경량 화물 및 수하물 컨테이너 사용, Portable Water 최적화) 등이 있음

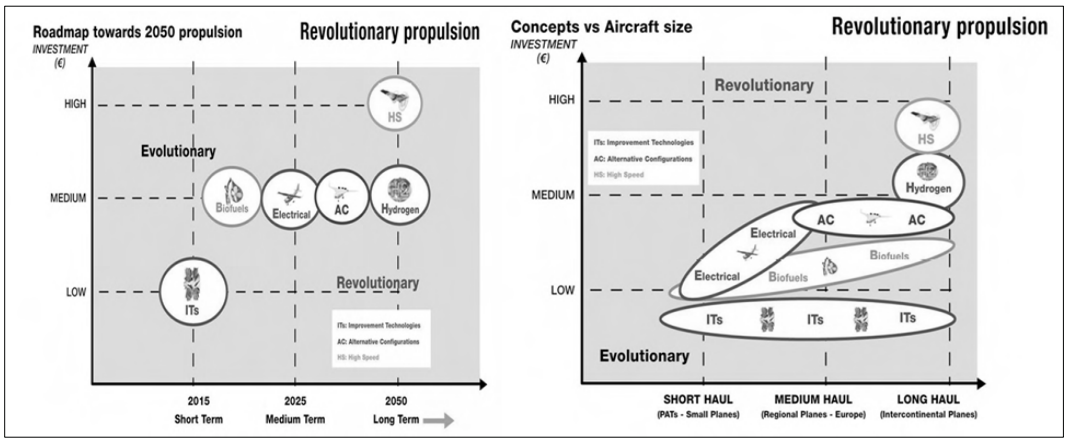
○ 교육 및 훈련

- 모의비행장치(Full Flight Simulator, FFS)와 비행훈련장치(Flight Training Device, FTD)를 통한 경제운항절차 교육 및 훈련을 통하여 온실가스 감축량을 확인하고, 습득하여 최적화된 운항절차 수행 가능

라. 신형항공기 제작 관련 기술

○ 신형 항공기 개발[6)]

- (단기) 연료 연소, 소음, 배출가스 감축을 위한 터보팬(turbofan)항공기 개발 진행
- (중기) 전기 추진 항공기 및 무인 비행체 그리고 소형 항공기 개발 및 운행
- (장기) 상업용 수송부문에서 지속가능한 항공용 바이오연료 사용 평가 완료 및 무공해 수소 연료 개발 진행



<그림 1-5> 혁신적 온실가스 감축 기술 로드맵

○ 신기종 항공기(new aircraft types), 신형제작 항공기(new production aircraft) 또는 기존 항공기(in-service)의 연료 효율(fuel efficiency)에 근거한 CO_2배출 표준(CO_2 Standards) 개발

① 항공역학(Aerodynamics)

- 항공기 디자인(aircraft design)
- 공기흐름역학 개선(increased laminar flow)
- 고양력장치(high lift devices)
- 신형 항공기 형상개발(new configurations)

② 추진계통(Propulsion system)

- 엔진기술 개발(engine technology)
- 연료사용 개선(fuel used)

6) Association of Eufopean Research Establishments in Aeronautics(EREA), Study on the Air transport system in 2050 from vision towards a planning for research and innovation, 2012

• 관련 계통 및 블리드공기(associated systems and bleeds)

③ 항공기 중량(Aircraft Weight)

• 신재료 합금(advanced alloys)

• 개선된 복합소재 사용(progressive implementation of composite materials)

• 전기장치의 개선(fly-by-wire)

• 기타 항공기 제작기술(manufacturing techniques)

1) 연료전지 항공기

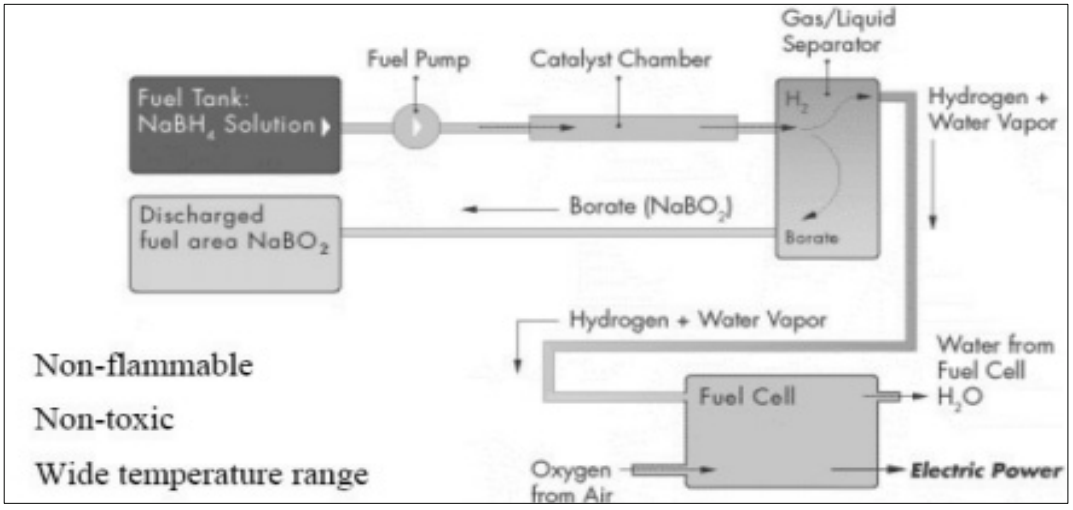
○ 연료의 화학적인 에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 장치인 연료전지(Fuel Cell)를 동력원으로 사용하는 항공기

- 항공기용 연료전지는 대표적으로 Proton Exchange Membrane Fuel Cell(PEMFC) 방식과 Solid Oxide Fuel Cell(SOFC)방식으로 분류됨

○ 연료전지시스템은 기본적으로 CO_2 배출이 없고, 소음이 매우 낮으며, 적외선 탐지도 어렵기 때문에 소형 무인기는 물론 유인 항공기의 동력원으로 사용

○ 소형 무인 항공기용 연료전지 시스템의 대표적인 회사인 미국의 Protonex는 2007년 Puma 무인기에 적용된 Proton Exchange Membrane(PEM) 연료 전지 개발

- Puma에 적용된 붕소화수소나트륨($NaBH_4$) 수소 발생 방식의 연료 전지 시스템

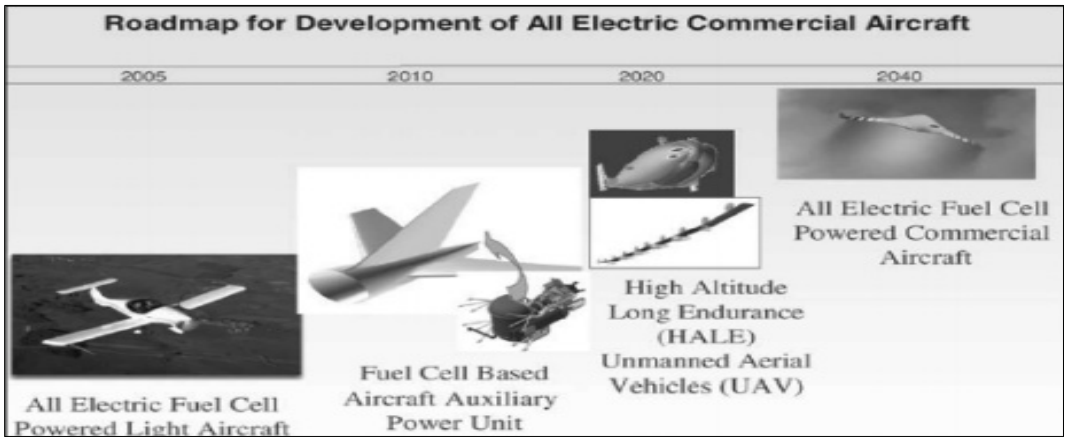


<그림 1-6> Puma 연료전지 시스템 구성

○ Boeing과 Airbus는 항공기의 2차 동력 계통을 연료 전지 시스템으로 대체하려는 노력을 기울이고 있으며, Boeing과 NASA에서는 Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)/가스터빈 하이브리드 시스템을 항공기 보조동력장치(Auxiliary Power Unit, APU)에 적용하기 위한 연구 진행 중

- 아래의 그림은 NASA에서 수행한 하이브리드 시스템 응용에 관한 그림임
- 향후 항공기용 연료전지는 PEM 연료 전지와 SOFC방식을 중심으로 항공기 성능 요구 조건에 따라서 다양하게 대발될 것으로 전망

○ 미래의 상용 항공기는 단계적으로 전기식 항공기 구조와 통합될 것으로 전망



<그림 1-7> 연료전지 구동식 전기추진 항공기 로드맵

2) 태양열 항공기

○ 태양열 항공기는 태양광 패널을 통한 자체 발전을 통한 동력을 공급받아 운항하는 항공기

○ 현재의 기술을 사용하여 태양열 에너지로 항공기를 운항시키기 위해서는 연료전지 및 태양열을 병행하여 운항

- 태양전지들은 4개의 전기모터들을 구동하고, 태양이 없는 밤에도 비행할 수 있도록 400kg 리튬폴리머 전지에 태양에너지를 저장함[7)]

○ 현재의 기술을 사용하여 태양열 에너지로 항공기를 운항시키기 위해서는 연료전지와 태양열을 병행해야만 하는데 이 또한 항공기 무게의 반을 전지로 채워야 함

7) 2010년 스위스의 '솔라임펄스' 유인 비행 성공

○ 스위스 기술진이 제작한 태양광 비행기 '솔라 임펄스'[8][9][10]는 2003년 제작이 시작되어 1만 2000개의 태양 전자판이 생산한 에너지로 움직여 밤낮없이 비행기 가능한 기술에 도달하여 있음



<그림 1-8> 솔라 임펄스

자료: 연합뉴스, 2013.05.23일자 기사

○ 미 항공우주국(NASA)과 미국 항공회사인 '에어로바이론먼트'는 함께 태양열로 나는 무인 비행기 '헬리오스(Helios)를 만들었으며 이는 6만 200개의 태양 전지가 40Kw의 에너지를 생산하며 축적한 태양열로 날개에 달린 14개의 프로펠러를 가동해 비행함



<그림 1-9> 에어로바이론먼트

8) 솔라 임펄스는 2010년 7월 야간 비행을 포함한 26시간 연속 유인비행에 성공했으며 2010년 9월 스위스 국토 횡단 시험을 마침. 2012년 스위스에서 스페인까지 1천 116km 비행을 성공하였으며 솔라 임펄스의 경우 시간 당 평균 49km의 속도로 날면서 낮에는 고도 8천 230미터 상공까지 올라가고 해가 져 동력이 없어지면 서서히 하강하는 비행을 반복함. 솔라 임펄스는 2013년 5월 샌프란시스코에서 피닉스까지 미국 횡단 첫 번째 구간 횡단을 성공하였으며 2015년 세계 일주 비행을 목표로 잡고 있음

9) 화학저널 2013년 3월 29일자 기사

10) 이데일리뉴스, 2013.06.17 일자 기사

3) 전기 항공기

○ 기존의 액체연료와 전기에너지를 혼합한 형태의 동력을 공급받아 운항하는 항공기

○ 하이브리드 추진 시스템을 설치하여 항공유와 배터리를 같이 사용하여, 공항에서 충전 후 비행하고, 충전된 전기는 비행 중 탄소발생을 줄이기 위해 액체연료의 보조 또는 대체 역할을 함

- 보잉사[11]는 연료연소 절감과 '녹색 그리드 전력'이 이산화탄소 및 아산화질소 저감에 크게 기여할 것이라 봄

○ 2012년 미국 워싱턴 주 소재 무선 충전 시스템 기업 레이저 모티브가 비행 중인 전기 항공의 배터리를 지상에서 충전할 수 있는 지대공 레이저 충전 기술을 개발하였으며 이 기술은 레이저 빔을 활용하여 무선 충전을 구현함

○ 레이저 모티브는 지상의 발신기에서 하늘에 떠 있는 항공기를 향해 레이저를 쏘면 항공기에 내장된 광전지가 이 빛을 전력으로 변환하여 배터리를 충전하는 메커니즘으로 햇빛으로 전기를 얻는 태양 전지와 유사한 구조임

○ 미국의 록히드마틴 사는 2012년 통상 '드론'으로 불리는 무인 정찰기를 개발했으며, 이 드론은 전기를 이용하여 비행하며 이름은 스토커임



<그림 1-10> 스토커

11) 보잉사의 하이브리드 전기 항공기 'Sugar Volt' 개발 진행 중

마. 항공용 바이오연료 관련 기술

○ 바이오연료란 바이오매스(Biomass)로부터 확보할 수 있는 연료로 화석연료와는 다른 신재생에너지로서 보통은 해조류, 목조류 등 다양한 자연부산물에서 얻을 수 있는 에너지를 말함

○ 해외에서는 항공용 바이오연료 개발 및 지속적 연구를 위해 ICAO가 주관하는 GFAAF(Global Framework for Aviation Alternative Fuels), 미국의 CAAFI (Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative), 유럽의 SWAFEA(Sustainable Way for Alternative Fuels and Energy in Aviation), 항공 바이오연료 사용자 그룹SAFUG(Sustainable Aviation Fuel User Group) 등이 운영되고 있음

○ 항공용 바이오연료를 생산하기 위한 기술은 다양하며, 그 중 국제적 기준인 ASTM[12]을 기준으로 통용되고 있는 것은 F-T SPK기술[13](Fischer-Tropsh Synthesized Paraffinic Kerosene)과 HEFA SPK 기술[14](Hydroprocessed Esters and Fatty acids Synthesized Paraffinic Kerosene)임

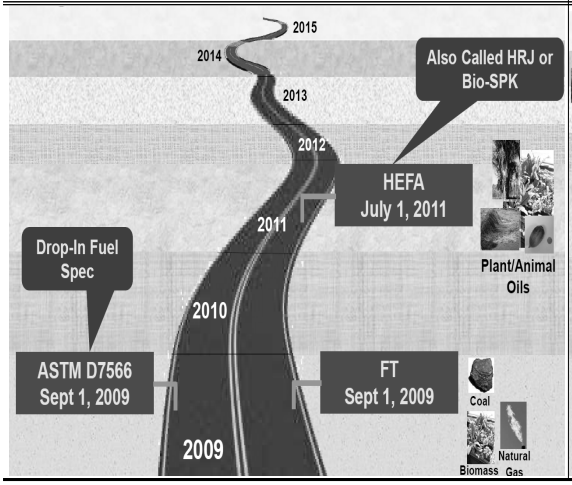
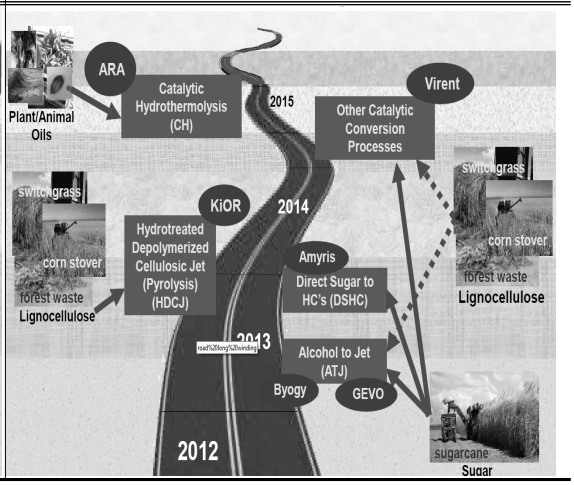
- F-T SPK기술은 Feedstock으로 Switch grass, Corn Stover, Forest waste 등이 사용되며, 가스화 → F-T 반응 → upgrading 공정을 거쳐 항공 바이오연료를 생성하는 기술임
- HEFA SPK 기술은 Feedstock으로 Soybeans, Palm, Algae, Jatropha, Rapeseed, salicoria 등이 사용되며, 수첨분해공정을 거쳐 항공 바이오연료를 생성하는 기술임

12) ASTM(the America Society for Testing and Materials)는 단체표준으로서 제품의 품질고도화, 생산효율향상, 기술혁신을 기하며, 단순·공정화 및 소비의 합리화를 통하여 산업경쟁력 향상을 목적으로 한 기술에 관한 기준으로 현재 국제적으로 통용되는 항공유(D1655) 및 항공 바이오연료(D7566)의 품질기준을 수립·운영 중에 있음

13) ASTM D7566-13 Annex 1에서 Fischer-Tropsh Synthesized Paraffinic Kerosene의 품질기준 제시

14) ASTM D7566-13 Annex 2에서 Hydroprocessed Esters and Fatty acids Synthesized Paraffinic Kerosene의 품질기준 제시

<표 1-2> ASTM에 따른 항공용 바이오연료 생산 기술 개발

현재 ASTM에 포함된 항공용 바이오연료 생산 기술	미래 ASTM에 포함될 항공용 바이오연료 생산 기술
	

자료 : FAA, Sustainable Alternative Jet Fuels, 발표자료, 2012

2. 의미 및 시사점

○ 항공 온실가스 감축 기술은 크게 항공 온실가스 측정 및 관리, 시장기반체제 도입, 항공교통관리 및 운영, 신형항공기 제작, 항공용 바이오연료 개발 등으로 구분

- 항공 온실가스 측정 및 관리 기술은 항공 온실가스 배출량 산정 및 감축량 예측 모델, 항공기 소음 예측 모델, 공항주변 대기질 관리 모델 등으로 구분되며, 주로 미국 및 유럽에서 활발한 개발이 이루어지고 있음
- 시장기반체제 기술은 환경징수금, 배출권 거래제도, 자발적 협약 등 정책적 규제가 주를 이루고 있으며, 제38차 ICAO 총회에서 국제 시장기반체제 시행에 동의함
- 항공교통관리 및 운영 기술은 항공교통관리, 항공기 운영관리, 교육 및 훈련 등으로 구분되며, 항공교통관리를 위해서는 공역 제한의 문제가 존재하나 다양한 기술이 개발되고 있으며, 항공기 운영관리, 교육 및 훈련은 현재 항공사에서 다양한 기술이 개발·운영 중
- 신형항공기 제작 기술은 국외 항공기 제작국에서 다양한 기술이 개발 중
- 항공용 바이오연료 기술은 국외 항공기 제작사, 엔진 제작사, 정부, 연료 생산업체 등 다양한 분야의 컨소시엄 형태로 개발 중

<표 1-3> 항공 온실가스 감축 기술 분류

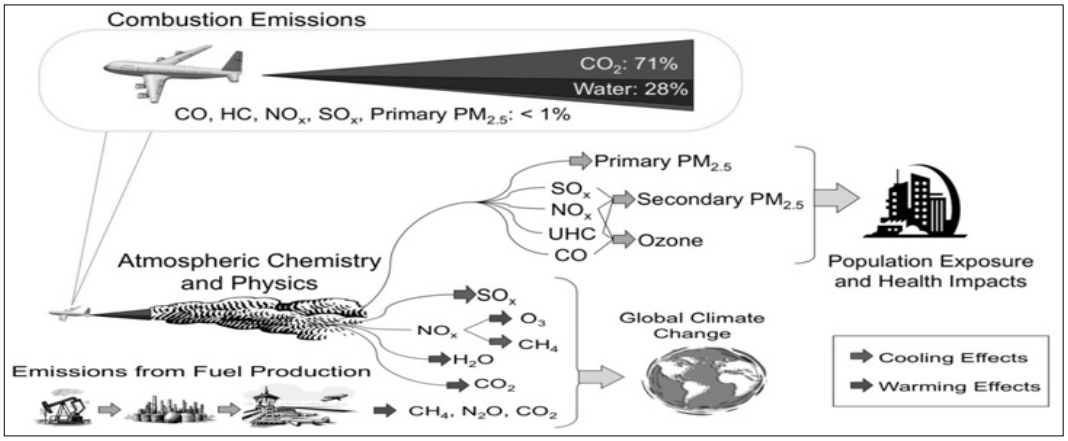
대분류	중분류
항공 온실가스 측정 및 관리	항공 온실가스 배출량 산정 및 감축량 예측 모델
	항공기 소음 예측 모델
	공항주변 대기질 관리 모델
시장기반체제	환경징수금
	배출권 거래제도
	자발적 협약
항공교통관리 및 운영	유연적 공역 활용
	수직분리간격축소기법
	성능기반항행
	필수항행성능 및 지역항법 표준계기절차, 표준도착절차
	항공기 운영 관리
	교육 및 훈련
신형항공기 제작	신형항공기 제작
	기존항공기 연료효율 향상
항공용 바이오연료	드롭인(Drop-in) 항공용 바이오 연료

제 2 절 연구개발 배경

1. ICAO[15] 항공 온실가스 정책 추진

○ 항공운송교통량 급증에 따른 국제적 항공기 및 공항 주변 배출가스 관리 관심 증대

- 세계 항공 산업이 전체 온실가스 배출량의 2%를 차지하고 있는 가운데 항공부문의 온실가스 배출량을 최소화할 필요성이 요구됨
- 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO)는 항공부문 온실가스 규제방안 초안을 2013년 마련
  - ICAO는 항공기 탄소상쇄 의무화, 배출권 거래제 등 4가지 온실가스 규제방안 논의
- 국제민간항공기구 항공환경보호위원회는 항공부문(항공기, 지상조업장비, 수송차량, 여객터미널 보일러실 등) 온실가스 배출규제, 항공기 엔진 배출가스 규제 및 배출가스의 공항 대기질 영향 최소화 등을 주요 목표로 추진함
- 항공기, 지상조업장비 배출가스는 질소산화물(NOx), 미세먼지[16](PM10), 탄화수소(HC) 등을 포함하며, 이는 오존(O_3) 및 산성비 형성, 기후변화와 관련한 환경문제를 수반하므로 일반대중의 건강 및 환경에 잠재적 위험으로 작용함



<그림 1-11> 항공과 기후변화 현황

15) International Civil Aviation Organization

16) 미세먼지의 분류
- PM-10(Particulate Matter Less than 10㎛) 입자 크기가 10㎛ 이하인 먼지를 말하며, 국가에서 환경기준으로 연평균 50㎛㎍/㎥ , 24시간 평균 100㎍/㎥를 기준으로 하고 있음
- PM-2.5(Particulate Matter Less than 2.5㎛) 입자의 크기가 2.5㎛ 이하인 먼지(초미세먼지)를 말하며, 대한민국은 2015년 1월에 시행 예정인 연평균 25㎍/㎥, 24시간 평균 50㎍/㎥의 기준으로 하고 있음

○ ICAO 제38차 총회 결의안(환경보호분야)[17]

- 국제항공부문 온실가스배출 비중이 총배출량의 현재 2%정도이나 계속 증가 예정
- 1997년 UNFCCC(United Nation Framework Convention on Climate Change) 당사국회의에서 채택된 교토프로토콜에 근거한 선진국의 국제항공부문 감축 노력 요구(Article 2.2[18])
- 2020년까지 연료효율(RTK당 연료소모량: 부피)개선 연 2% 달성과 2021년부터 2050년까지 연료효율 개선 연 2%의 희망적인 목표를 달성할 수 있도록 체약국과 관련 기구는 ICAO를 통해 작업
  - 항공업계는 2009년부터 2020년까지 매년 평균 1.5%의 지속적인 CO_2 효율 개선과 2020년까지 탄소중립성장 달성, 2005년 기준 2050년까지 탄소 50% 감축 등을 위한 공동의 약속
- 국제항공분야 탄소배출제한에 합의하여 2016년 제39차 총회까지 국제항공분야 시장기반체제(Market-Based Measures, MBMs)제도를 마련하고, 2020년 시행에 대한 합의

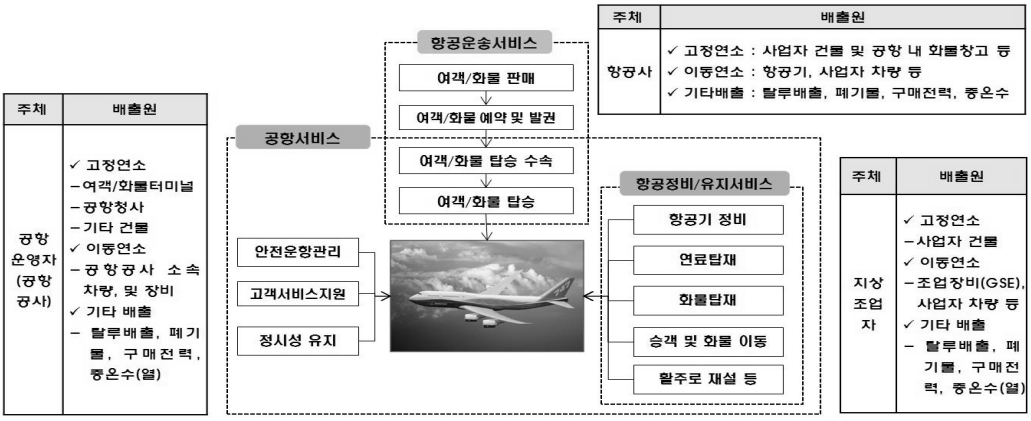
2. 우리나라 항공부문 온실가스 배출 현황 및 전망

○ 항공부문의 온실가스 배출주체는 공항, 항공사, 지상조업자로 나뉨

- 공항의 주요 배출원은 여객/화물터미널, 공항공사 소속 차량 및 장비 등
- 항공사의 주요 배출원은 사업자 건물 및 공항 내 화물창고, 항공기, 사업자 차량 등
- 지상조업자의 주요 배출원은 사업자 건물, 조업장비, 사업자 차량 등

17) Resolution 38-19: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection-Climate Change

18) 2. b) continue to study policy options to limit or reduce the environmental impact of aircraft engine emissions and to develop concrete proposals and provide advice as soon as possible to the Conference of the Parties of the UNFCCC, encompassing technical solutions and market-based measures, and taking into account potential implications of such measures for developing as well as developed countries; and



<그림 1-12> 항공부문 온실가스 배출범위

○ 2010년 교통부문 온실가스 총배출량은 84,342천 톤CO_2eq[19]로 이 중 CO_2 배출량이 83,624천 톤CO_2eq이며, 이는 전체 온실가스 배출량의 99.1%를 차지하였음

- 2010년도 교통부문 온실가스 배출량은 전년 대비 2.0% 증가하였고, 1990년도 34,950천 톤CO_2eq보다 141.3% 증가하였으며 이는 1990~2010년 동안 연평균 4.5% 증가한 수치임

○ 교통수단별로 도로부문이 전체 배출량의 94.6%를 차지하였고, 그 다음 해운(2.7%), 항공(1.5%), 철도(0.7%), 기타(0.5) 순으로 배출량이 높게 나타났음

○ 최근 국민 소득수준 향상 등으로 항공 수요가 빠르게 증가하여 최근 3년 동안 국내운항에 의한 온실가스 배출량이 지속적으로 증가

<표 1-4> 2010년도 교통 및 국제벙커링 부문 온실가스 배출량

단위 : 천톤CO_2eq

구분	교통						국제 벙커링
	도로	철도	항공	해운	기타	계	
CO_2	79,125	559	1,207	2,290	442	83,624	38,571
CH_4	507	1	1	3	1	514	39
N_2O	183	1	13	6		204	167
계	79,816	561	1,221	2,299	445	84,342	38,777

주 : 1. 지구온난화 지수(CH4: 21, N2O: 310) 적용
2. 국제 벙커링은 국제 항공(30.1%) 및 국제 해운(69.9%) 포함

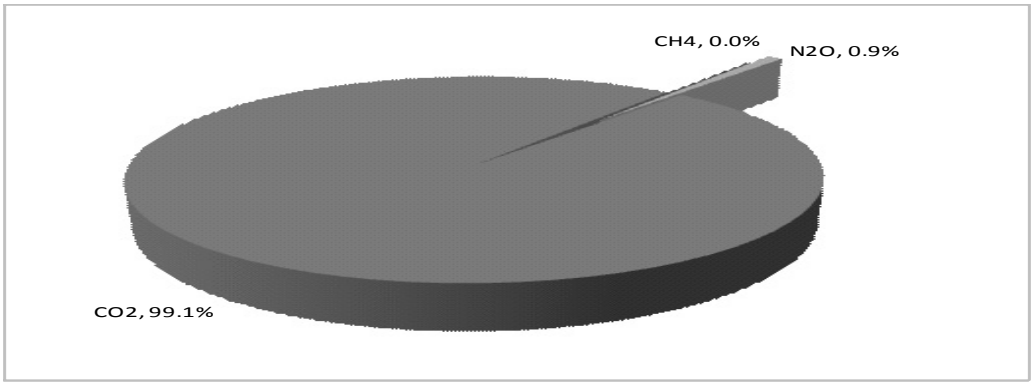
자료 : 국토교통부, 교통안전공단, 2012년도 교통물류 온실가스 배출량 조사, 2012

19) 이산화탄소 환산(carbon dioxide equivalent): 다양한 온실가스 배출을 지구온난화지수(GWP)에 기준하여 비교 가능하도록 만든 측정수단으로 이산화탄소 배출량으로 환산

가. 2010년 항공부문 산정등급별 국가 온실가스 배출현황

○ Tier 1[20] 산정결과

- 항공부문 Tier 1 산정결과 총 배출량은 1,180천 톤CO_2eq으로 서울(37.1%), 제주(34.9%), 부산(11.5%) 순으로 배출량이 높게 나타났고, 세 지역이 전체의 83.5%를 차지하였음
- 그 다음으로 충북(2.7%)이 높게 나타났는데, 이는 충북에 청주공항이 위치하고 중국 관광객 증가에 기인한 것으로 판단되며, 반면 충남은 공항이 없는 지역으로 16개 지역 중에서 가장 낮은 2천 톤CO_2eq(0.2%)을 나타냄



<그림 1-13> 항공부문 온실가스별 배출비중(Tier 1)

- 온실가스별 배출량을 보면 CO_2 배출량은 1,170천 톤CO_2eq(99.1%), CH_4 배출량은 0.17천 톤CO_2eq(0.0%), N_2O 배출량은 10천 톤CO_2eq(0.9%)임
- 이 중 민간 항공기에서 1,149천 톤CO_2eq 배출되었으며, 서울 418천 톤CO_2eq, 제주 412천 톤CO_2eq, 부산 136천 톤CO_2eq으로 나타냄
- 항공운송업체에서 항공기운항에 사용하는 연료는 제트유(JET A-1, JP-8[21])와 항공용 휘발유이며, JET A-1에 의한 배출량이 1,178천 톤CO_2eq으로 총 배출량의 대부분을 차지

20) Tier 1 산정 방법
- 1996년 IPCC 가이드라인의 경우 CO2 배출계수의 기본값을 제공하고 있지 않아 연료 소비량에 순 발열량(에너지탄소 배출계수를 곱하여 탄소 배출량을 먼저 산정한 후, 이 값에 CO_2 로의 전환계수(44/12)를 곱하여 CO_2 배출량을 구하도록 함
- 2006년 IPCC 가이드라인의 경우 배출계수 기본값을 제공하고 있기 때문에 연료 소비량에 배출계수 기본값 바로 적용함

21) JP-8은 군용기에서 사용하는 연료이며, 일부 일반 항공기에 사용되고 있음

<표 1-5> 항공부문 연료별 배출량(Tier 1)

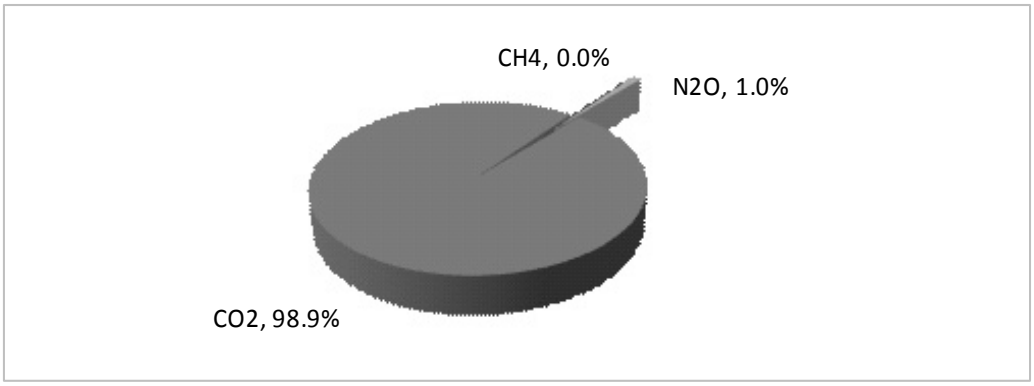
단위 : 천 톤CO_2eq

구분	제트유		항공용 휘발유	합계
	JET A-1	JP-8		
민간 항공기	1,149	0	0	1,149
일반 항공기	29	1	2	31
합 계	1,178	1	2	1,180

자료 : 국토교통부, 교통안전공단, 2012년도 교통물류 온실가스 배출량 조사, 2012

○ Tier 2[22] 산정결과

- Tier 2(국가 통계) 산정결과, 총 배출량은 1,221천 톤CO_2eq이며, 이중에서 CO_2배출량이 1,207천 톤CO_2eq(98.9%), CH_4배출량이 1천 톤CO_2eq(0.0%), N_2O 배출량이 13천 톤CO_2eq(1.0%)으로 산정되었음
- 지역별로는 서울 37.0%, 제주 34.9%, 부산 11.5% 전체의 83.5%를 차지하였다. 그 다음으로 충북 2.7%, 광주 2.5%, 울산 2.4%, 대구 2.3%, 인천 2.1% 순이며 충남은 0.2%로 가장 낮은 비중이 나타났음



<그림 1-14> 항공부문 온실가스별 배출비중(Tier 2)

- 연료별로 보면 JET A-1이 1,219천 톤CO_2eq로 총 배출량의 99.8%를 차지하는 것으로 나타났고, 일부 JP-8과 항공용 휘발유에 의해 배출되었음
- JP-8은 보통 군용기에서 사용하고 있는 연료이며, 항공용 휘발유는 단가가 높아 국내에서는 생산되고 있지 않으며 전면 수입하고 있음

22) Tier 2 산정 방법
- Tier 2 방법론은 이/착륙 시 배출량과 순항 시 배출량을 따로 계산하여 총 배출량을 합산하는 방법으로 1996년 지침과 2006년 지침이 동일함
- 914m(3,000feet)이상과 이하의 비행을 기준으로 이착륙(LTO, Landing and Take-Off) 및 순항(Cruise)으로 각각 구분하여 항공기 배출가스를 산정함

<표 1-6> 항공부문 연료별 배출량(Tier 2)

단위 : 천 톤CO_2eq / %

구분	제트유		항공용 휘발유	합계
	JET A-1	JP-8		
배출량	1,219	1	2	1,221
비 율	99.8	0.0	0.1	100.0

자료 : 국토교통부, 교통안전공단, 2012년도 교통물류 온실가스 배출량 조사, 2012

- 기종별 배출 현황

  • 국적항공사의 항공기종은 총 17개정도 조사되었으며, 대부분 Airbus와 Boeing에서 제작한 기종이며, 국내에서 가장 많이 이용되고 있는 B737-800 기종의 배출량은 275천 톤CO_2eq으로 전체의 22.6%를 차지하였음

  • 지역은 출·도착 공항 해당 지역으로 하여 구분하였으며, 해당 기종의 운항 횟수 파악이 가능하여 횟수 당 기종별 온실가스 배출량 확인 가능함

<표 1-7> 항공부문 기종별 배출량(Tier 2)

단위 : 천 톤CO_2eq

	계	A300	A320 -200	A321 -100	A321 -200	A330 -300	B737 -400	B737 -500	B737 -700	B737 -800	B737 -900	기타 1,2)	기타 2,3)
서울특별시	452	99	37	21	18	16	26	22	35	115	36	9	20
부산광역시	141	19	4	0	0	11	23	31	0	19	33	1	0
대구광역시	28	5	3	3	1	-	4	-	-	4	9	-	0
인천광역시	25	0	5	0	2	1	2	-	1	4	7	4	0
광주광역시	30	1	8	0	6	-	5	-	-	0	10	0	-
대전광역시	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
울산광역시	29	-	8	0	0	-	2	-	-	18	1	0	0
경기도	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	3
강원도	4	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0	0	1
충청북도	33	4	1	2	4	-	2	-	5	6	7	0	0
충청남도	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
전라북도	5	-	-	-	-	-	-	-	1	0	2	2	0
전라남도	21	-	4	0	2	0	4	-	-	6	4	0	0
경상북도	12	-	3	-	-	-	1	-	-	6	-	-	1
경상남도	6	-	0	-	0	-	1	-	0	5	0	0	0
제주	426	114	27	26	23	26	28	9	40	91	33	11	-
계	1,221	242	100	53	55	53	97	62	82	275	143	27	31

주 : 1. 민간 항공기의 기종은 상위 10개에 한하여 제시(나머지 기종은 기타1에 포함)

2. A330.200, B737-600, B747-400, B767-300, B777-200/300 등

3. 일반 항공기

- 노선별 배출현황

  • 노선별 배출량은 민간 항공기만 대상으로 산정하였고, 일반 항공기는 대부분 부정기적으로 운행되므로 노선별 구분에서 제외되었음

  • 김포-제주 또는 제주-김포 노선을 운항한 민간 항공기에 의한 배출량이 562천 톤CO_2eq이었으며, 이는 전체의 47.2%에 해당되는 양으로서 2009년도 494천 톤CO_2eq보다 13.6% 증가한 수치였음. 그 다음으로 김포-김해(11.9%), 김해-제주(10.1%), 청주-제주(5.4%) 노선 순으로 배출량이 높게 나타났음

<표 1-8> 항공부문 노선별 배출량(Tier 2)

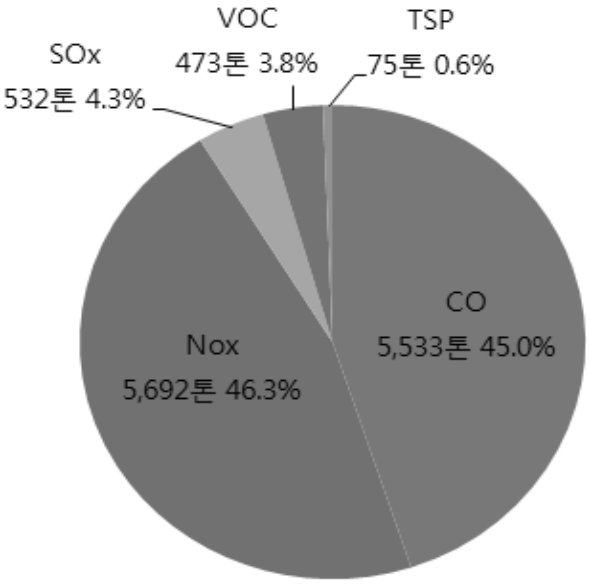
노선구간		천톤CO_2eq	비중(%)
김포	제주	562	47.2
김포	김해	141	11.9
김해	제주	120	10.1
청주	제주	64	5.4
김포	울산	56	4.7
대구	제주	46	3.8
김포	여수	37	3.1
김포	광주	31	2.6
광주	제주	29	2.5
김포	포항	20	1.7
인천	김해	20	1.7
김포	진주	11	0.9
인천	제주	10	0.8
인천	대구	9	0.8
군산	제주	9	0.8
원주	제주	6	0.5
김포	인천	4	0.3
포항	제주	2	0.2
김포	무안	2	0.2
진주	제주	2	0.2
울산	제주	2	0.1
여수	제주	1	0.1
기타		7	0.6
계		1,190	100,0

주 : 민간 항공기(국적항공사)를 대상으로 노선구분

3. 우리나라 대기오염물질 배출 현황

가. 국내 항공부문 대기오염물질 배출량

○ 국립환경과학원 대기정책지원시스템(Clean air Policy Support System, CAPSS)의 2010년 항공부문 대기오염물질[23] 배출량에 따르면 NOx의 총 배출량은 5,692톤으로 전체의 46%를 차지하며 가장 많이 배출되었고, CO는 5,533톤으로 전체 배출량의 44.7%, SOx는 532톤으로 4.3%, VOC는 473톤으로 3.8%, TSP는 75톤으로 전체 배출량의 0.6%를 차지함



<그림 1-15> 항공부문 대기오염물질 배출량

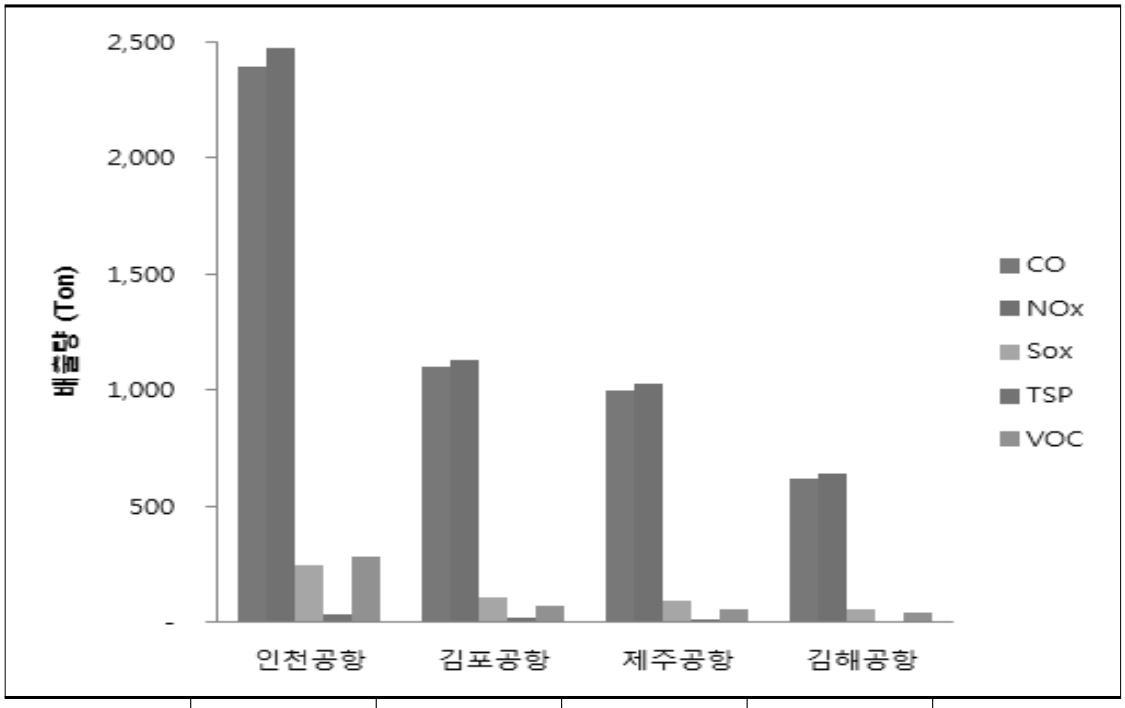
23) 대기오염물질이란 대기 중에 존재하는 물질 중 「대기환경보전법」 제7조에 따른 심사·평가 결과 대기오염의 원인으로 인정된 가스·입자상 물질(「대기환경보전법」 제2조제1호, 「대기환경보전법 시행규칙 제2조 및 별표1」

나. 주요 공항별 배출량

○ 인천공항, 김포공항, 제주공항, 김포공항 총 4개의 공항에서 배출된 대기오염물질의 양이 가장 많은 공항은 항공기 트래픽의 이동이 가장 많은 인천공항이고 공통적으로 4개의 공항에서 가장 많이 배출되는 물질은 NOx와 CO임

<표 1-9> 공항별 대기오염물질 배출량

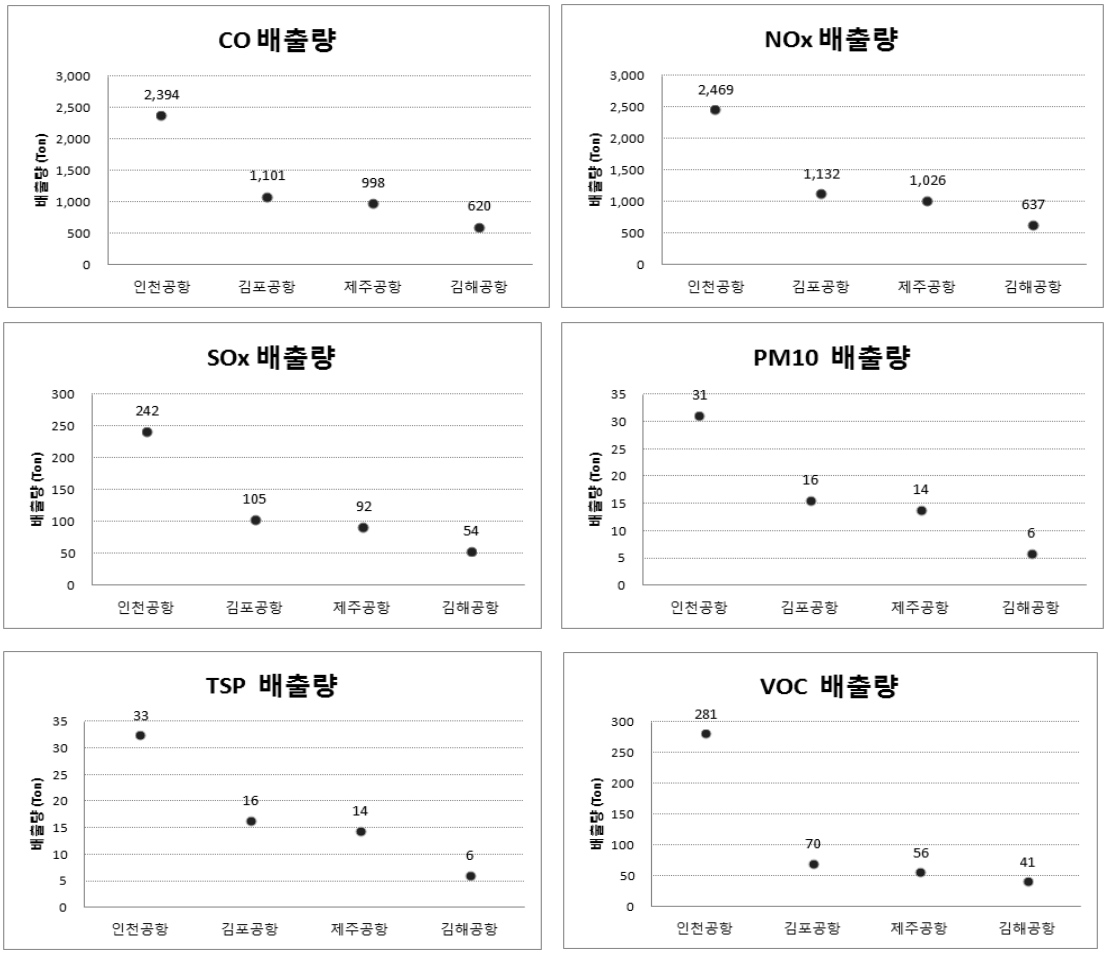
단위 : 톤



공항	CO	NOx	SOx	TSP(PM10)	VOC
인천공항	2,394	2,469	242	33 (31)	281
김포공항	1,101	1,132	105	16 (16)	70
제주공항	998	1,026	92	14 (14)	56
김해공항	620	637	54	6 (6)	41

다. 대기오염물질별 배출량

○ 공항의 배출물질을 CO, NOx, SOx, PM10, VOC, TSP 총 6가지의 대기오염물질로 구분하여 비교하였을 때 인천공항에서 배출되는 대부분의 오염물질이 두 번째로 대기오염물질을 많이 배출하는 김포공항보다 약 2배가 넘는 오염물질을 배출하며 특히 VOC의 경우 김포공항의 VOC 배출량 대비 4배 더 많은 양을 배출함



<그림 1-16> 대기오염물질별 배출량

4. 우리나라 항공부문 온실가스 감축목표

가. 국내 환경 관련 정책 및 규제

<표 1-10> 국내 환경관련 규정 동향

주요 규정	주요 관련 내용	R&D 사업/ 연구와의 연계성
저탄소 녹색성장 기본법	- (제9조) 저탄소 녹색성장 국가 전략 수립 - (제23조) 녹색경제, 녹색산업의 육성 및 지원 - (제26조) 녹색기술의 연구개발 및 사업화 등의 촉진 - (제37조) 국제규범 대응 - (제38조~제42조) 기후변화 대응 - (제43조~제46조) 온실가스 감축 및 종합정보관리체계 구축 - (제47조) 교통부문 온실가스 관리 - (제55조) 저탄소 교통체계 구축	- 온실가스를 획기적으로 감축하기 위하여 온실가스 배출 중장기 감축 목표 설정 및 부문별·단계별 대책, 에너지 수요관리 및 안정적 확보대책 등을 포함한 「기후변화 대응 기본계획」과「에너지기본계획」을 수립·시행 - 국제기구에서 제정하거나 도입하려는 EU-ETS와 같은 저탄소 녹색성장과 관련된 제도·정책에 관한 지원체제를 구축
지속가능 교통물류발전법	- (제14조~제15조) 지속가능교통지표 개발 및 관리 - (제16조) 기호변화협의 대응 - (제27조~제29조) 녹색교통기술개발사업 - (제28조) 에코드라이빙, 친환경 교통(대중교통, 철도) 활성화 - (제33조, 제35조) 비동력, 무탄소 교통수단 개발	- 지속가능 항공기술개발을 통한 교통보문 온실가스 감축 등 정책과제를 효율적으로 추진
환경정책기본법	- (제12조) 환경기준의 설정	- 대기환경기준 설정을 통한 국가 대기질 관리

<표 1-11> 국내 기술 정책 동향

주요정책	주요 관련 내용	R&D 사업/ 연구와의 연계성
녹색성장 국가전략 및 5개년 계획(2009)	- 정부의 녹색성장정책에 대한 장기적이고, 구체적인 실천계획 수립, 녹색 기술 및 그린 비즈니스 창출계획 - 국가 중기 온실가스 감축 목표 2020년 BAU 대비 30% 감축 - 자발적 독자적 국내목표 설정으로 감축 추진	- 온실가스 감축을 위한 감축기술 개발 연구와 연계

주요정책	주요 관련 내용	R&D 사업/ 연구와의 연계성
지속가능 발전기본계획 (2011-2015)	- 저탄소 녹색 성장법 제50조에 근거하여 수립 - 기후변화 적응 및 대응체계 확립, 경제 및 산업구조의 지속가능성 제고 등을 위한 84개 과제 추진 - 핵심제도인 “온실가스·에너지 목표관리”제도 시행	- 지속가능성장 및 “온실가스·에너지 목표관리”제도에 대응 방안 연구와 연계
지속가능 교통물류발전계획 (2011-2020)	- 지속가능교통물류발전법에 근거하여 10년단위로 수립 - 교통물류부문의 온실가스 감축목표 설정 및 관리, 재원조달 방안, 수송분담구조 조정, 기반 구축 등	- 항공교통분야의 온실가스 관리를 위한 감축기술 개발 연구와 연계

○ 우리나라 주요 온실가스 감축 계획

- 저탄소 녹색성장 기본법에 의거한 녹색성장 5개년 계획 수립·시행
  - 우리나라는 온실가스 비의무감축국임에도 불구하고 ‘20년까지 온실가스 감축을 국가 중기 목표를 설정하였으며, 이는 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)가 개발도상국에 권고한 감축범위인 15~30% 감축의 최고 수준으로 국내적으로 녹색성장 정책을 강력하게 추진하고, 범지구적인 기후변화 대응노력에 적극적으로 동참하고자 하는 의지를 표명
- 우리나라는 교통부문 온실가스 감축 계획을 수립하여 온실가스 감축 목표를 설정하고, 세부적인 온실가스 감축 방안 마련
  - (지속가능발전기본계획) 감축목표 달성을 위해 2011년부터 시행해온 ‘에너지 온실가스 목표관리제’를 한 단계 발전시켜, 2015년부터는 국내항공을 포함한 주요산업분야에서 ‘배출권 거래제도’를 시행할 예정이며, 2010년부터는 정부와 항공사간에 ‘자발적 감축협약’이 시행 중
  - (지속가능국가교통물류발전계획) 2020년 국가 전체의 온실가스를 BAU 대비 30% 감축할 예정이며, 특히 교통부문은 부문별 감축목표 중 가장 높은 34.3%를 감축할 예정
- 항공부문 저탄소 녹색성장 추진을 위한 제1차 항공정책기본계획(’10-’14) 수립

- 항공분야 저탄소 녹색성장 중장기 계획 수립
- 항공부문 온실가스 배출량 관리시스템 구축
- 항공부문 온실가스 자발적 배출량 감축협약 추진
- 국내적으로도 온실가스 감축 노력을 위해 항공사의 자발적 협약, 온실가스·에너지 목표관리제, EU-ETS 등이 시행
- 한국공항공사, 인천국제공항공사 배출량 관리: 공항시설의 온실가스 배출은 건물부문으로 포함되어 감축목표 설정 및 관리

○ 우리나라 국가이행계획(State's Action Plan)[24]

- 신형 항공기 도입, APU 억제, 보정연료 개선 등 다양한 온실가스 감축수단을 통하여 국제적으로 거론되는 목표가 아닌 자체적으로 달성 가능한 목표 설정 필요
- 아래 표에 설명된 감축수단을 사용하여 감축목표를 달성할 경우 2020년 우리나라 국제선의 연료효율은 0.2752리터/RTK[25]가 될 것이며, 이 때 2010년~2020년 기간 동안의 연간 연료효율 개선비율은 1.3%가 됨
- 이는 ICAO의 지구적 감축목표 연간 2% 연료효율 개선목표에는 미치지 못하는 수치이나 세계 평균 연료효율을 고려하면 매우 의욕적인 목표
  - 세계 평균 연료효율은 2010년 0.375리터/RTK[26]이며, 세계 평균 수준의 연료효율을 가진 국가가 2020년에 우리나라와 같은 0.2752리터/RTK의 효율을 달성하기 위해서는 매년 3.05%리터/RTK씩의 연료효율개선이 필요

24) 국토교통부, 항공부문 온실가스 감축 국가이행계획 수립 연구, 2012
25) RTK: Revenue Ton-Kilometer
26) WATS Ten-Year Overview, Average Fuel Efficiency of IATA member airline in 2010

<표 1-12> 감축 수단의 종류별 목표 감축량

단위 : 리터

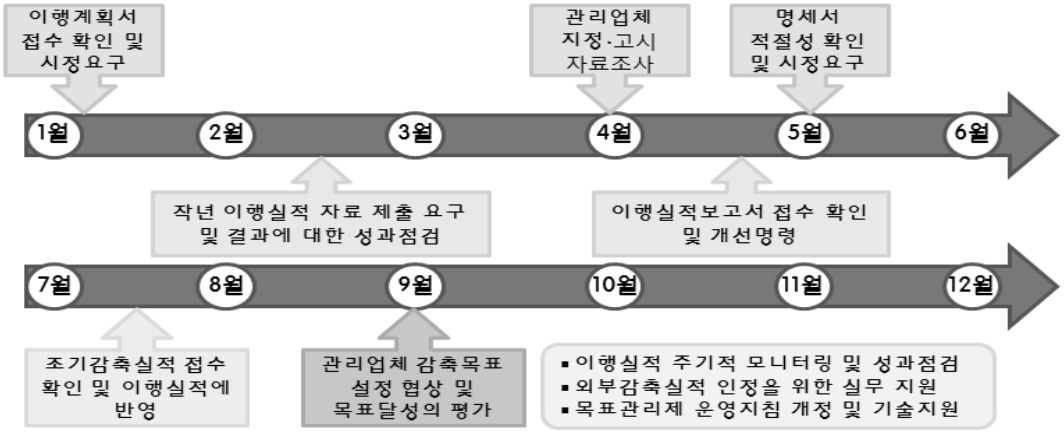
종류	세부 정책	2013년	2015년	2020년	합계
항공기	신형 항공기 도입	189,536,555	359,842,430	829,585,076	121,300,000
관리/ 인프라 개선	APU 억제, PBN 도입, 단축항로 확대	35,432,085	70,618,710	119,478,992	75,857,917
운영 효율 개선	보정연료개선, CI 개선, 단일엔진 활주, 엔진세척, 공회전 역추진, 경량 ULD사용	44,890,781	69,726,279	93,690,964	23,888,198
합계	269,859,420	269,859,420	500,187,419	1,042,755,031	

자료 : 항공부문 온실가스 감축 국가이행계획 수립 연구, 2012

○ 온실가스 목표관리제

- 국제사회에 천명한 국가 온실가스 감축목표를 효과적으로 실현하기 위하여 핵심수단으로서 온실가스 다배출 업체에 대해 목표관리제(Target Management System)를 시행 중[27)]
- 목표관리제는 환경부가 총괄기관으로서 종합적인 지침 및 기준을 수립하고, 정부 4개 부처(환경부・지경부・국토부・농식품부)가 협력하여 소관 부문별 관리업체에 대한 목표설정, 이행지원, 실적평가 등 직접적 관리를 맡는 것으로 부처의 역할을 명확히 하였으며 국토교통부는 항공을 포함한 도로, 철도 및 건물부문을 관장
- 관리업체는 매년 배출량 조사를 통해 최근 3년간의 평균이 공표된 온실가스 배출량 기준(12만5천CO_2톤)을 초과하는 업체를 대상으로 지정하며, 2011년 기준으로 총 490개의 관리업체가 지정되었고 관리업체 온실가스 배출량은 국가 전체 배출량의 약 60%를 차지

27) 온실가스 목표관리제란 정부가 온실가스 다배출 업체의 배출량에 대한 목표를 부과하고 이에 대한 이행실적을 점검함으로써 온실가스 배출에 대한 정보를 체계적으로 관리하는 제도로 향후 국가 온실가스 관리의 핵심기반이 될 전망



<그림 1-17> 온실가스에너지 목표관리제 추진 절차

- 우리나라는 2011년 기준으로 국제항공 배출량 비중이 항공 전체 배출량의 93%로 대부분을 차지하고 있으며 국내항공 배출량은 7% 수준으로, 2012년 목표관리제도 하에 지정된 관리업체는 대한항공, 아시아나항공, 에어부산임

○ 온실가스 감축 자발적 협약

- 국적항공사를 대상으로 온실가스 자발적 감축활동을 촉진하기 위하여 정부는 “항공 온실가스 감축 자발적 협약 운영에 관한 지침”을 제정하고 항공운송사업자와 온실가스 감축이행을 위한 자발적 협약 제도 운영
- 1단계 자발적 협약에 참여한 항공사는 대한항공, 아시아나항공, 제주항공이며, 2012년 3단계 협약에는 7개 항공사가 참여하여, 최근 3년간(2007~2009) 연평균 연료효율 대비 개선치를 기준으로 자발적 감축목표를 설정하고 세부적인 이행방안을 마련하여 감축활동을 전개하고 있음
- 자발적 협약에 참여한 항공사들은 항공기의 전반적인 스케줄 및 운용을 관리하는 운항관리 분야와 관제기관에서 시행하는 운항절차 개선 등 연료절감을 위한 적극적인 활동을 전개하고 있으며, 특히 각 항공사는 연료효율 향상을 위해 효율적인 비행계획의 수립, 공회전 역추진 사용, 저항력 플랩 이륙, 항공기 중량감소, APU 사용 억제, 엔진 세척 및 대체공항 최적화 등 다양한 감축수단을 사용하고 있음

<표 1-13> 자발적 협약 목표 설정 현황

구분	1차협약 목표	2차협약 목표	3차 협약 목표
대한항공	2.5%	2%	2%
아시아나항공	2.5%	2%	2%
제주항공	4.0%	3%	3%
진에어	-	3%	3%
에어부산	-	3%	3%
이스타 항공	-	3%	3%
티웨이 항공	-	-	3%

자료 : 교통안전공단, 항공 온실가스 감축을 위한 자발적 협약 이행 매뉴얼, 2012, p. 7

○ EU-ETS(Europe Emission Trading System)

- 2005년부터 발전, 철강, 화학 등 5개 분야에 시행중인 이산화탄소(CO_2) 배출권 거래제를 2012년부터 국제항공부문으로 시행 추진(EU역내는 2011년에 착수)
- EU 집행위원회는 2012년 1월부터 적용되는 배출권 거래제도 항공부문의 전체 연간 배출량 한도를 확정 발표('11. 3. 7)[28]
  - 배출한도량: 2012년(2.13억 톤 CO_2), 2013년(2.09억 톤 CO_2)
  - 산출근거: '04~'06 실제연료 소비정보를 근거로 항공부문 배출량 2.19억 톤 CO_2의 95-97%를 배출한도로 결정
  - 항공사의 '10년도 배출량 실적에 대한 모니터링 결과를 검증하여 항공사별 무상배출할당량 발표[29]

<표 1-14> 국내 항공사의 영향 분석(항공사 제공 '11. 4)

- 운항실적 및 CO_2 배출량: 11,026편/ 227만 톤('10년 기준)
- (예상) 무상배출권 할당량: 약 260만 톤
- (예상) 구매배출권('12년): 약 40만 톤(100억 원 ~ 210억 원)

28) 최근 ETS 시행 일시가 2014년까지 연기됨
29) 전체 배출한도 중에서 82%는 항공사의 실적을 기준으로 항공사에 무상으로 할당되며, 15%는 경매 그리고 3%는 특별유보량으로 설정

<표 1-15> 항공부문 온실가스 배출규제 및 대응체계

구분	제도 및 대응	적용범위	대상 및 범위	목표설정
ICAO	- 시장기반체제 (ETS + Offset) - State's Action Plan	항공기 운항 (국제, 정기 및 부정기)	▪ 국제운송 RTK (2050년까지) ▪ CO_2 배출량 ▪ 감축수단 리스트	2012년 6월 30일 까지 제출완료
	자발적 감축 협약 제도	항공기 운항 (국제)	▪ 자발적 참여 항공사 (11.9 2차협약 체결 6개사) ▪ CO_2 배출량	목표설정: 연료효율 (원단위)
EU-ETS	배출권 거래제 (의무 감축)	항공기 운항 (EU 역내 취항 항공기)	▪ CO_2 배출량 (대한항공, 아시아나항공)	총량제한 (82%무상, 15% 경매, 3% 신규진입)
저탄소 녹색 성장 기본법	온실가스 목표관리제	항공기 운항(국내), 건물, 수송차량 등	관리업체 지정기준 이상 업체 ('12년 대한항공, 아시아나항공, 에어부산)	목표설정: 총량제한
	국내 배출권 거래제 (2015.1.1 시행)	항공기 운항(국내), 건물, 수송차량 등	배출권 할당 대상 업체 (대통령령이 정하는 기준량 이상인 업체)	목표설정: 총량제한
	국가 통계 작성 및 보고(NIR)	항공기 운항(국내), 국제: memo item	항공기 운송사업자, 사용사업체 및 자가용 항공기 운용자 등 80개 업체	1990년부터 통계 유지

나. 국내 환경 정책 지원 시스템

○ NARMI/KOTEMS

- 통합항공안전정보시스템(National Aviation Resource Management Information, NARMI)

  • 운항·관제·기술·자격관리·공항·항행시설 등 항공안전에 관련된 18개 시스템을 단일화면에서 접근토록 통합항공안전 정보시스템 구축 및 운영

- 국토교통부는 통합항공안전정보시스템 내 온실가스 배출량 관리시스템을 구축하여 운영 추진 중
- 온실가스 배출량 데이터 분류는 항공사별, 기종별, 연도별로 구분하여 총 배출량, 연료소비량, 수송실적을 구현

- 교통부문 온실가스 통합관리시스템(Korea Transport Emission Management System, KOTEMS)
  - 항공부문 온실가스 배출량 감축목표 설정 및 목표 달성 모니터링을 위해 객관적인 자료를 통한 검증을 위해 지속가능 교통물류발전법 제15조 및 동법 시행령 제14조에 근거하여 개발
  - 국가 차원의 교통부문(도로/철도/항공/해운) 온실가스 인벤토리 관리, 교통부문 온실가스 배출 주체별 감축목표의 수립 및 검증, 교통정책 및 교통사업의 온실가스 배출 평가



<그림 1-18> KOTEMS 운영 체계

제 3 절 연구개발 필요성에 따른 세부과제 선정

1. 항공 온실가스 측정 및 관리 관련 기술

가. 경제·산업적 관점

○ 국적항공사 항공운송 경쟁력 제고 및 녹색항공 선진국 도약

- 감축수단별 저감비용 분석 및 이에 근거한 감축전략 우선순위 도출 등 우리나라 항공사의 비용 효과적 온실가스 감축을 견인하는 국익 증대차원의 중요성 대두

○ 항공분야의 신규 인프라 구축 및 일자리 창출

- 항공기 온실가스 저감방안 운영 분야
- 항공기 소음 예측 평가 분야
- 공항 온실가스 모니터링 등 운영 분야 등

나. 기술적 관점

○ 항공 산업의 녹색성장을 위한 의사결정을 위해 항공기 에너지소모량 및 온실가스 데이터베이스가 요구됨

- 이에 관한 정보와 분석결과가 충분히 축적되지 못한 상태에서 향후 모델에 의한 의사결정이 일반화 될 경우 관련 정책이 모두 선진국 중심으로 이루어 짐으로써 우리는 의사결정과정에 큰 영향을 미칠 수 없게 될 가능성이 큼
- 이 점은 우리나라 항공 산업의 생존전략과도 연계된 부분이기도 함

○ 국적항공사에 적용 가능한 감축기술 선정 및 감축수단별 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발

○ 감축수단별, 항공기종별 온실가스 감축량 데이터베이스 구축 및 국내 환경에 적합한 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발

다. 사회문화적 관점

○ 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램은 적절한 환경투자 수준을 정량적으로 도출함으로써 항공 산업의 친환경 신기술도입 및 운항법 개선 활동에 타당성과 정당성을 부여하게 되며, 저탄소 녹색성장 촉진에 기여하고 우리나라 항공산업이 지속가능경영의 국제적 수범 사례로 자리 잡음에 기여

○ 기후변화와 에너지 위기가 동시에 진행되면서 탄소배출권 시장은 빠른 속도로 성장할 전망이며, 이에 따른 온실가스 감축량 예측시스템 개발은 국적항공사의 경쟁력 확보에 매우 중요한 기술

라. R&D 개발 관점

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

마. 국제 및 국내 정책적 관점

○ ICAO 제37차 총회에서 국가별 온실가스 감축 목표설정 및 실천계획을 수립하여 매 3년 마다 국가이행계획(State's Action Plan)의 ICAO 제출을 의무화 함

- 우리나라는 2012년 6월 제출하였으며, 2015년 6월 제출 예정

○ 현재 우리나라 항공부문의 지구온난화 대응은 장기적인 계획이나 체계적인 대응 계획은 시작단계에 있음

- 미래의 국제 환경규제 변화에 대응할 수 있는 우리나라 항공산업의 지속가능한 기술도입 및 운항법 개선을 위한 분석이 절실한 시점임
- 특별히 우리나라는 항공기에 의한 온실가스 배출량의 경우 IPCC 지침에서 제시하고 있는 현재 Tier 2 수준의 산정방법을 적용하고 있음
  - CO_2를 제외한 나머지 온실가스의 경우는 모형을 이용하여 정확도를 높일 경우, 일반적으로 낮은 Tier 방식으로 산정하는 것보다 배출량이 감소
  - 따라서 정확성이 가장 높은 Tier 3b급 수준의 배출량 산정을 위해서는 시뮬레이션 모형이 반드시 필요

2. 시장기반체제 관련 기술

가. 경제·산업적 관점

○ 환경징수금은 낮은 시행 비용 및 세수중립적인 조세로서 항공 산업에 영향 최소화

- 그러나 한계외부비용 산정의 어려움으로 세율조정이 난해함

○ 배출권 거래제는 유상할당 방식은 단기에 높은 온실가스 저감효과를 가져오며, 오염배출량을 직접 관리할 수 있음

- 그러나 높은 감시·행정·거래비용이 발생할 수 있으며, 무상할당 ETS의 경우는 온실가스 저감효과가 미흡함

○ 자발적 협약은 기업의 자율성 확보하여 항공사 경제적 영향 최소화

○ 시장기반체제도입 후 항공운송사업자는 항공 온실가스 감축을 위한 신형항공기 도입 등 기술 개발을 위한 재정적 부담이 될 수 있음

나. 기술적 관점

○ 시장기반체제도입을 위해서는 항공교통관리 및 항공기 운영, 신형항공기 도입, 항공용 바이오연료 등 다양한 분야에서의 기술 개발이 요구됨에 따라 다양한 항공 온실가스 감축 기술 개발의 원동력으로 작용 가능

다. 사회문화적 관점

○ 사회적 관심을 유지시키고 온실가스 배출량 감축의 장기적인 관점에서 시장기반체제도입의 필요성 증대

○ 우리나라는 시장기반체제 도입 전 시범적으로 2010년 7월 3개의 항공사와 1차 자발적 협약을 체결하였으며, 대부분의 항공사가 연료절감 개선활동 및 탑승률 제고 노력 등을 기울여 연료효율 개선 목표치를 초과 달성하였음

라. R&D 개발 관점

○ 항공기 연료효율 개선을 위한 다양한 항공 온실가스 감축 기술 개발 R&D가 진행 되고 있음

마. 국제 및 국내 정책적 관점

○ ICAO 제38차 총회에서는 국제항공분야 탄소배출제한에 합의하여 제39차 총회('16)까지 국제항공분야 시장기반체제(Market-Based Measures, MBMs)제도를 마련 및 시행('20)에 대한 합의

- ICAO는 환경징수금(Environmental Levies)[30], 배출권 거래제도(Emission Trading System)[31], 자발적 협약(Voluntary Measures)[32]을 시장기반체제로 분류하여 시행할 것을 권고

<표 1-16> ICAO 시장기반체제 12개 기본 원칙

① 지속적인 성장지원, ② 타 분야와의 형평성 유지 ③ 비용효과적인 감축, ④ 투명성 보장 ⑤ 도전적인 목표를 위한 시장기반체제 마련, ⑥ 중복금지 ⑦ 시장왜곡방지 및 비차별적 원칙 적용 ⑧ 탄소 누수 방지, ⑨ 개방 탄소시장의 접근 ⑩ 전 세계 양자 간 합의에 의한 이행 ⑪ 수익금은 항공부문 감축 및 적응 등에 사용 ⑫ 공통의 그러나 차별화된 책임과 수용력, 그리고 비차별·평등·공정한 기회 원칙

3. 항공교통관리 및 운영 관련 기술

가. 경제·산업적 관점

○ 다양한 항공교통관리 개선 사례를 통한 경제적 비용감소 효과

30) 환경징수금은 국가 또는 지방자치단체가 환경보전 목적을 달성하기 위해 직접적으로 발생된 환경오염 피해를 근거로 환경오염행위나 오염발생 재화 및 용역에 부과하는 금액임

31) 배출권 거래제도는 지구온난화 가스의 총배출량을 설정한 뒤 배출허용량을 각국 혹은 산업별·기업별로 할당하여, 그 허용량을 '배출권(emission right)'이라는 무형의 상품으로 간주하고, 각국 혹은 산업·기업에게 시장원리에 따라 직접 혹은 거래소를 통해 거래를 허용하는 제도임

32) 자발적 협약은 산업에 의해 일방적이거나 산업과 정부 간 자율적인 협약에 의한 지구온난화 가스 감축방안임

- 효율적 항공기 운항 및 공항 관리를 통한 지연 대기시간 감소로 인한 연료효율성 증대
  - 협력적 공역운영 환경을 통한 ATM 경제성 확보
  - 공중대기의 감소로 비행시간과 연료소비량 감소를 통한 운항 경제성 증가

○ ICAO는 세계교통량이 '30년까지 3천만대('11)에서 6천만대로 2배가량 증가 될 것으로 예측(Global Air Transport Outlook 2030)하였으며, 이를 대비한 미래 항공교통관리 기술 개선이 시급함

나. 기술적 관점

○ 항공교통관리 신 운영 기법(RVSM, PBN, AIM[33] 등) 도입·운영을 위한 기술력 확보 시급

다. 사회문화적 관점

○ 항공기의 연속 강하 및 상승은 소음 및 배출가스 감소를 통해 친환경적인 항공환경조성에 기여함

○ 일관성 있는 비행경로를 통해 항공기 궤적 예측이 가능하므로 안전성 확보

○ 간격관리 적용을 통한 효율적인 항공기 운항 및 공역 수용량 증대

- 수용력과 수요의 균형화를 통한 공역자원의 효과적 이용

라. R&D 개발 관점

○ 항공교통관리를 위한 단축항로 사용, 수직간격축소, 성능기반항행 등 다양한 R&D 과제들이 개발 중에 있음

마. 국제 및 국내 정책적 관점

○ ICAO는 최신 기술을 이용하여 항공관제 개선(안전성 향상, 취급대수 증가 등)을 실시하고, 항공기 운영자가 계획한 출발·도착 시각으로, 희망하는 비행경로를 최소한의 제약으로 규정된 안전 수준을 만족하면서 운항할 수 있는 원활한

33) Aeronautical Information Management

글로벌 ATM 시스템 구축(Global ATM Operational Concept) 제안

- 미국에서는 "NextGen(Next Generation)", 유럽에서는 "SESAR(Single European Sky ATM Research)", 일본에서는 "CARATS(Collaborative Actions for Renovation of Traffic System)" 등의 사례가 주요핵심과제로 부각

○ (ICAO 제38차 총회 결의안) ATM(Air Transport Management), ASBUs(Aviation System Block Upgrades), 항공용 바이오연료 등 지속가능한 다양한 항공부문 온실가스 감축 수단에 대한 논의와 함께 구체적 국제적 기준 마련에 대한 논의

4. 신형항공기 제작 관련 기술

가. 경제·산업적 관점

○ 우리나라는 세계 6위 항공운송강국이나, 항공산업은 세계 16위 수준(시장 점유율 0.5%)으로 분야 간 경쟁력의 불균형이 존재

- 세계 10대 항공운송국(중동 제외) 대부분이 항공산업시장 10위권 내로, 운송산업과 제작산업이 연계·성장하는 구조와 대조됨

○ 세계 항공산업 시장은 2020년 7,000억 불 규모로 전망되며, 민항 시장이 대폭 성장할 것으로 예상됨

○ 환경·고유가에 대비한 친환경·고효율 기술과 미래형 항공기 기술이 미래 시장을 주도할 것으로 예상됨

- 복합재(연료 20% 절감), 동체·날개통합(연료 20% 절감), 연료전지(무 온실가스), Unducted Fan(연비 35% 향상) 등[34]

나. 기술적 관점

○ 국내 항공기 기술은 기체가공·조립 등 생산기술 분야의 경쟁력이 가장 높으며, 설계 및 개발 분야의 기술 경쟁력은 시험평가기술을 확보한 수준에 머물러 있음

34) 과학기술정책연구원, 거대과학 글로벌 산업화 전략, 2010, p.77

다. 사회문화적 관점

○ 항공기산업은 항공기 생산 및 관련 부문과 운용 관련 부문으로 나뉘며, 항공기 생산부문에는 부품·소재 산업과 완제기 제작 산업, 그리고 운용 관련 부문에는 MRO[35]와 지상 지원 장비 산업이 있어 각 분야의 일자리 창출 효과가 큼

라. R&D 개발 관점

○ 민수 고정익·헬기, 전투기, 군수 헬기, 무인기 등 다양한 R&D 개발이 진행 중이나 상업용 신기종 항공기에 대한 R&D 개발은 이루어지고 있지 않음

마. 국제 및 국내 정책적 관점

○ (항공산업 발전 기본계획, 2010~2019) 민항기 등 완제기 수출국으로 도약을 목표로 함

- 미래형 비행체 개발을 추진과제로 하여 친환경 항공기술 개발을 위한 국제공동 R&D 추진 중

5. 항공용 바이오연료 관련 기술

가. 경제·산업적 관점

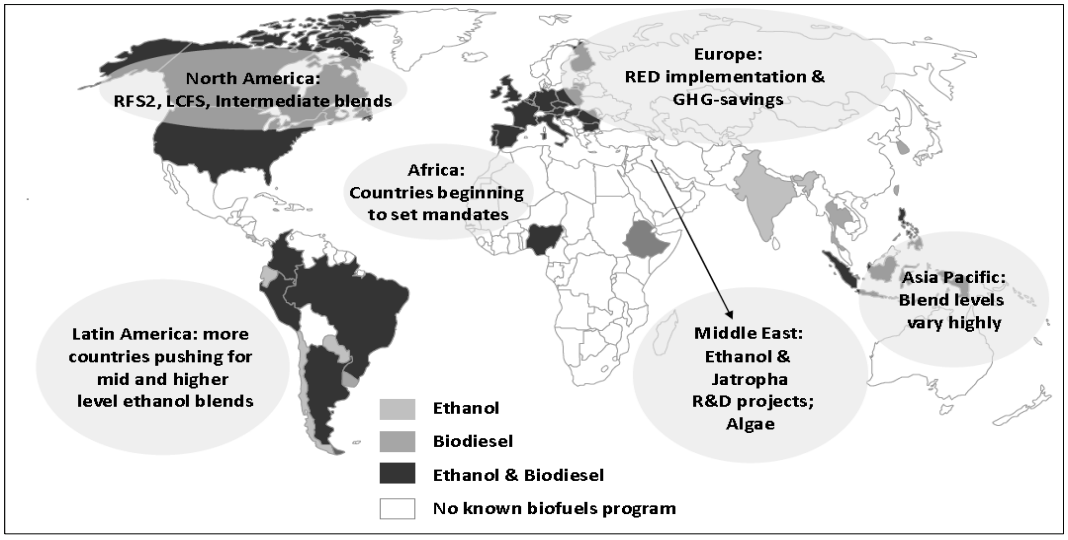
○ 항공교통 수요의 지속적 증가 및 유가 변동의 심각화로 인한 항공용 바이오연료 개발의 필요성 대두

○ 항공용 바이오연료 기술의 국산화 확보에 대한 국가적 필요성 제기

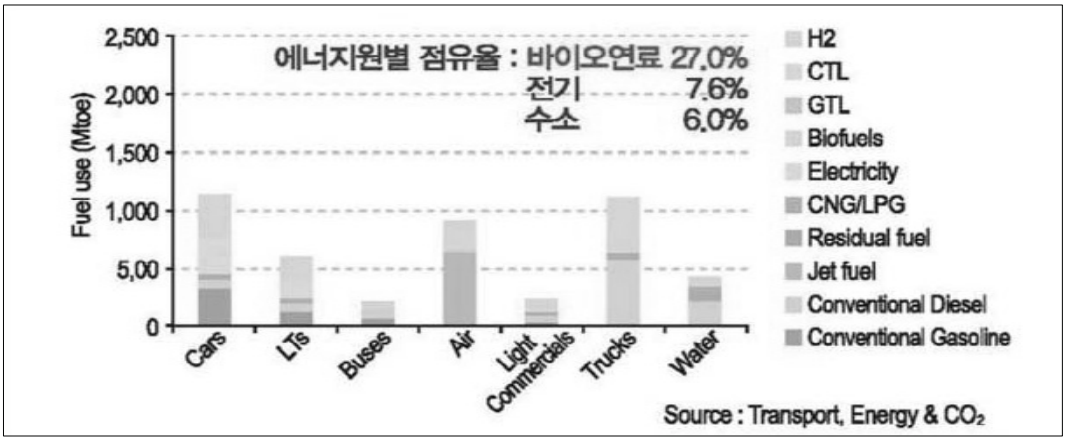
○ 항공 연료의 가격 상승 및 변동성에 따른 대체 연료의 수요 상승

- 친환경 기준을 충족하는 새로운 연료에 대한 요구 증대 및 국제적 신재생에너지 사용 정책 반영 필요

35) Maintenance(유지), Repair(보수) and Overhaul(분해수리)



<그림 1-19> 세계 수송용 바이오연료의 의무혼합 정책



<그림 1-20> 대체에너지원 별 점유율

자료 : Transport, Energy & Co_2 / 김재곤, 국내 수송용 바이오연료의 보급 및 기술개발 동향, 원외세미나 자료, 2011

○ 바이오연료는 안정적 공급, 이산화탄소 배출량 절감, 경제성 등의 장점 보유

- 보잉은 바이오연료(Bio Jet Fuel)를 사용함으로써 항공기 운항 중 발생하는 온실가스를 60-80% 감소시킬 것이라 추정[36)]
- 이를 고려한 바이오연료의 항공기 적용 기술 개발 연구가 요구됨

○ 항공 산업의 친환경 신기술도입 및 운항법 개선 활동에 경제적 타당성과 당위성을 부여하여 저탄소 녹색성장 촉진에 기여

- 우리나라 항공 산업이 지속가능 경영의 국제적 모범사례로 자리 잡게 함

36) "A Promising Oil Alternative: Algae Energy" . The Washington Post . 2008-01-06

○ 한정적인 화석연료 대신 안정적 공급이 가능한 대체연료 도입으로 인한 경제성이 큼

- 국내 폐자원 활용을 확대하면 이중적 효과를 누릴 수 있음(가격, 활용도 등)
- 석유와 달리 재생 가능한 바이오매스로부터 생산되는 바이오연료는 원료 고갈 문제가 없음

○ 기존의 인프라 활용 가능

- 현재 보급되고 있는 바이오디젤과 바이오에탄올은 기존에 구축된 유통망을 통해 보급되고 있으며, 공항의 기존 인프라를 통한 항공용 바이오연료 활용가능

나. 기술적 관점

○ 항공용 바이오연료 국내 기술 확보 가능

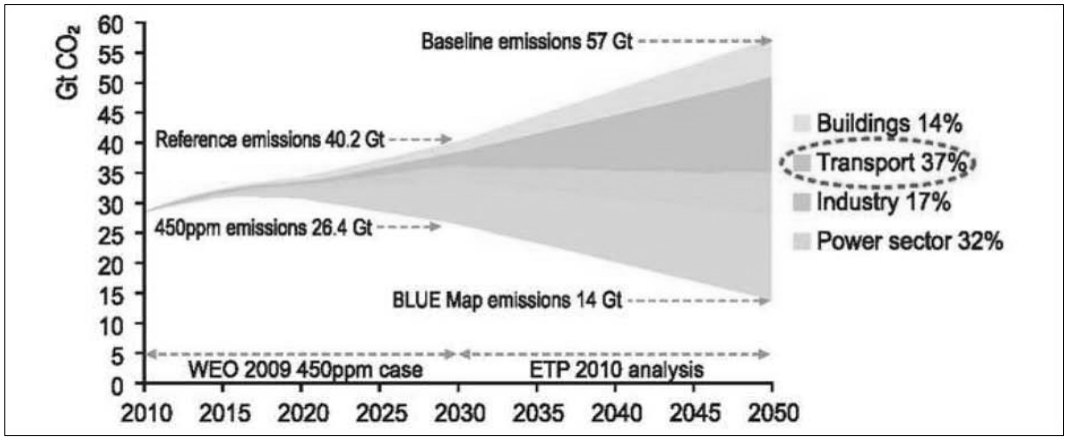
○ IEA[37] Blue map 시나리오에 따르면 지구 온난화 대응을 위한 수송부문 감축 CO_2량이 전체 감축 요구량의 약 37%로 가장 높음

- 따라서 중장기적 수송부분의 CO_2 감축수단으로서 바이오연료의 역할이 중요
- 항공 배출가스 감소 3대 요소 (운영 최적화, 항공기 기술 발전, 대체 연료) 중 가장 장기적으로 큰 효과를 낼 것으로 주목받고 있음

○ 현재 사용 중인 바이오연료는 식용계 원료를 사용하여 석유계 연료 대비 경제성이 현저하게 떨어지므로 대량생산을 위해서는 정부지원정책 필요

- 바이오연료 생산비용의 대부분이 원료비용으로 보다 경제성이 있는 원료 생산 처리 기술 개발 필요

37) International Energy Agency, www.iea.org



<그림 1-21> 부문별 온실가스 배출량 예측

다. 사회문화적 관점

○ 환경에 대한 사회적 관심 증가로 인한 온실가스 저감 연료 필요성 부각으로 인한 시급한 대책 필요

○ 항공부문 온실가스 감축을 위한 방안으로 운영 최적화, 항공기 기술발전, 대체 연료 사용이 있으며, 그중에서 대체 연료 사용이 가장 장기적으로 큰 효과를 낼 것으로 주목받고 있으며, 이는 녹색성장 정책에도 부합하는 것임

라. R&D 개발 관점

○ 항공용 바이오연료 개발 기술에 대한 R&D 개발은 이루어지고 있지 않음

마. 국제 및 국내 정책적 관점

○ (ICAO 제38차 총회 결의안) 중장기 온실가스 감축수단으로서의 항공용 바이오연료의 중요성을 승인하고, 범세계적 기본 틀을 수립

- 지속가능한 드롭인(Drop-in)항공용 바이오연료 기술 가능성 및 이에 대한 장기적 관점에서의 정책과 인센티브 도입 필요성 강조
- ICAO GFAAF는 전 세계적으로 발족된 다양한 항공용 바이오연료 개발 및 사용 프로그램 지원 및 정보 공유

○ IATA는 지속적인 신재생에너지의 사용이 온실가스 감축 목표를 달성할 수 있는

가장 신뢰할 수 있는 방안이라 발표함

- 2020년까지 항공연료 수요의 6%를 신재생에너지로 대체 요구

6. 세부과제 선정

○ 항공 온실가스 측정 및 관리

- 항공 온실가스 측정 및 관리 분야의 신규 인프라 구축 및 일자리 창출을 통한 파급효과가 매우 크며, 국내 최적화된 항공 온실가스 배출량 산정 및 감축량 예측 프로그램 개발 및 실용화 가능성이 매우 높음
- 항공 온실가스 감축 정책 수립 의사결정에 큰 영향을 미치는 기술로서 국내 전문 기술력으로 기술 개발 실현 가능성이 매우 높음
- 저탄소 녹색성장 촉진에 기여하고 우리나라 항공 산업이 지속가능경영의 국제적 수범 사례로 자리 잡음에 기여하고, 국적항공사의 경쟁력 확보에 매우 중요한 기술로서 사회적 관심도가 매우 높음
- 현재 항공 온실가스 전 방위적인 추정 및 예측을 위한 시스템 개발 관련 진행중인 R&D 과제 없음
- ICAO 및 국제 정책, 그리고 국내 항공부분 온실가스 감축을 위한 정책이 활발히 수립·시행되고 있음

○ 시장기반체제

- 시장기반체제도입 후 항공운송사업자는 항공 온실가스 감축을 위한 신형항공기 도입 등 기술 개발을 위한 재정적 부담이 될 수 있음
- 시장기반체제도입을 위해서는 다양한 분야에서의 기술 개발이 요구됨에 따라 다양한 항공 온실가스 감축 기술 개발의 원동력으로 작용 가능
- 항공기 연료효율 개선을 위한 다양한 항공 온실가스 감축 기술 개발 R&D가 진행 되고 있음
- 사회적 관심을 유지시키고 온실가스 배출량 감축의 장기적인 관점에서 시장기반체제도입의 필요성 증대
- ICAO 제37차 총회에서 시장기반체제 도입 및 시행에 동의하며, 국내외 정책적 관심이 높아짐

○ 항공교통관리 운영

- 다양한 항공교통관리 개선 사례를 통한 경제적 비용감소 효과 등으로 경제·산업적으로 매우 큰 파급효과를 가져옴
- 항공교통관리 신 운영 기법(RVSM, PBN, AIM 등) 도입·운영을 위한 기술력 확보 시급
- 다양한 항공교통관리 운영 기술은 환경, 안전성, 효율적 운항 및 공역 수용량 증대 등의 다양한 개발 동기를 부여하고 있음
- 다양한 R&D 과제들이 개발 중
- ICAO 및 국내외 적으로 효율적 항공교통관리를 위한 정책 및 기술 개발이 활발히 이루어지고 있음

○ 신형항공기 제작

- 국내 항공기 기술은 기체가공·조립 등 생산기술 분야의 경쟁력이 가장 높으며, 설계 및 개발 분야의 기술 경쟁력은 시험평가기술을 확보한 수준
- 상업용 신기종 항공기에 대한 진행 중인 R&D 개발은 없음
- 항공산업발전기본계획을 통해 민항기 등 완제기 수출국으로 도약하기 위해 다양한 연구 진행 중

○ 항공용 바이오연료 개발

- 항공교통 수요의 지속적 증가 및 유가 변동의 심각화로 인한 항공용 바이오연료 개발의 필요성 대두 및 항공용 바이오연료 기술의 국산화 확보에 대한 국가적 필요성 제기
- 현재 개발된 수송용 바이오연료 기술을 기반으로 국내 기술 확보 가능
- 환경에 대한 사회적 관심 증가로 인한 온실가스 저감 연료 필요성 부각으로 인한 시급한 대책 필요
- 항공용 바이오연료 개발 기술에 대한 진행 중인 R&D 개발은 없음
- ICAO 제37차 총회에서는 중장기 온실가스 감축수단으로서의 항공용 바이오연료의 중요성을 승인하고, 범세계적 기본 틀을 수립하며, 국내외적 정책적 요구도가 매우 큼

<표 1-17> 세부과제 선정을 위한 기준

평가 항목	내용
경제·산업적 요구도	경제/산업 파급효과, 상용화/실용화 가능성
기술적 요구도	기술 중요도, 기술 실현 가능성, 연구 역량
사회문화적 요구도	일자리 창출 효과, 과제 개발 동기 부여도, 사회적 관심도
R&D 개발 진행 여부	관련 R&D 중복성 여부, 관련 R&D 차별성
국제 및 국내 정책 요구도	국제 환경 규제 정책 부합성, 국가 지속가능 온실가스 감축 정책 부합성

<표 1-18> 세부과제 선정

구분	경제·산업적 요구도	기술적 요구도	사회문화적 요구도	R&D 개발 진행 여부	국제 및 국내 정책 요구도	과제 선정
항공 온실가스 측정 및 관리	◎	◎	◎	×	◎	○
시장기반체제	△	○	○	○	○	×
항공교통관리 및 운영	◎	○	○	○	○	×
신형항공기 제작	×	×	×	×	○	×
항공용 바이오연료 개발	○	◎	○	×	◎	○

주 : 1) ◎ 매우 중요, ○ 중요, △ 보통, × 없음
2) 각 분야 전문가 자문을 바탕을 재구성

7. 세부과제 선정 결과

<표 1-19> 세부과제 선정 목록

구분	세부 과제 명
항공용 바이오연료	항공용 바이오연료 적용 기술 개발
항공 온실가스 측정 및 관리	항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발
	공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발
	에코플라이트 시뮬레이터 개발

가. 항공용 바이오연료 적용 기술 개발

○ 온실가스 감축을 위한 규제에 대응하기 위하여 신형 항공기 도입, 공항 운영·인프라 개선, 항공기 운영효율 개선 등의 정책 시행

- 이 외에도 2020년 탄소 중립 성장을 위해서 장기적이고 저감효과가 큰 항공 바이오 연료 즉 신재생에너지[38] 개발과 활용 중요

○ 해외에서는 항공부문 온실가스 감축을 위해 항공 바이오연료 개발에 투자 확대 및 지속적인 연구 지원을 하고 있으며, 그 프로그램은 다음과 같음

- ICAO가 주관하는 GFAAF(Global Framework for Aviation Alternative Fuels), 미국의 CAAFI(Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative), 유럽의 SWAFEA(Sustainable Way for Alternative fuels and Energy in Aviation), 항공 바이오연료 사용자 그룹인 SAFUG(Sustainable Aviation Fuel User Group)등이 운영되고 있음
- 이들 그룹은 항공사, 엔진 및 항공기 제작사, 정부(교통부, 농림부, 환경부 등), 민간 연구기관, 정유사 등으로 구성된 협업체계의 항공 바이오연 개발 연구추진체계 구축
  - 특히, ICAO의 GFAAF는 위에서 언급된 프로그램 외에 오스트리아-뉴질랜드, 브라질, 유럽, 독일 멕시코, 스칸디나비아, 미국, 스페인, 영국, U.A.E

38) 항공 바이오연료(Bio jet fuel)는 원유가 아닌 바이오매스를 생물학적 또는 열화학적 방법으로 반응시켜 제작한 연료를 뜻함

등지에서 발족된 다양한 항공 바이오연료 개발 프로그램을 지원·공유 중

○ 국내에서는 수송용 바이오연료 개발 및 보급 확대를 위한 중장기 로드맵이 설정되어있으며, 이에 따른 바이오연료 생산 기술 및 인프라가 확보되어 있음

- 수송용 바이오연료는 경유, 휘발유, 천연가스를 대체할 수 있는 바이오연료 생산 기술을 개발 중임
  - 바이오디젤 생산 기술은 상용화 단계로 고시에 따른 혼합의무화 단계로 HBD (Hydroprocessed Bio Diesel), BTL(Biomass to Liquid) 디젤 등이 연구개발 진행 중
  - 바이오에탄올 생산 기술은 실증평가가 완료 단계로 2세대 바이오알코올 (바이오부탄올, 셀룰로스계 바이오에탄올 등) 연구 개발 진행 중
  - 바이오 가스 생산 기술은 수송용 바이오가스 기술 개발 및 인프라 구축 중
- 한국생산기술연구원 및 한국화학연구원 등에는 바이오연료 플랜트 인프라가 구축되어 있음
- 2023년까지 3단계로 단계적 신재생연료 의무혼합제도(Renewable Fuel Standard, RFS) 시행 예정

○ 국내외적 항공 온실가스 감축정책을 대응하기 위한 항공용 바이오연료 적용 기술은 국내 수송용 바이오연료 개발 기술 및 인프라를 기반으로 기술 실현 가능성이 높으며, 안정적 공급, 온실가스 배출 절감, 경제성 등의 장점은 항공 온실가스 감축을 위한 기술 개발 과제 추진 타당성을 부여함

나. 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발

○ 미국 FAA (연방항공청) 등의 선진국 정부의 항공운영 기획은 항공 온실가스 추정 시뮬레이션 시스템인 AEDT2a를 통해 Impact Evaluation(시나리오 영향 분석)을 거치게 되어있음

- 예를 들어, 미국 뉴욕 공항공사가 늘어나는 항공 수요를 고려해 활주로 배정에 변경을 주고 싶은 경우, 먼저 FAA 전문가와 함께 실행 가능하며 합리적인 시나리오를 구성하며, 이 시나리오들을 AEDT2a에 입력하면 기존 CO_2, CO, NOx 등의 온실가스 배출량에 비해 얼마만큼의 차이가 생기는지 각각

시나리오마다 정확하고 신뢰 있는 결과를 얻을 수 있음[39]

○ 현재 국내 항공분야에서는 이러한 정량적 환경 분석절차가 이루어지지 않고 있으며, 오로지 경제적/운영 효율성 영향 및 정성적이거나 아주 기초적인 환경 통계만을 근거로 항공 운영 및 정책 입안이 이루어지고 있음

○ 국가 온실가스 목표관리제, 항공부문 온실가스 자발적 감축 협약, ICAO 국가 이행계획(State's Action Plan)등의 추진으로 우리나라는 더욱더 환경보호 및 관리에 힘을 기울이고 있으며, 이를 지원하기 위해서는 선진국들이 2000년도 초반부터 사용해왔던 항공 배출량 추정 시뮬레이션 시스템이 국내에서도 독창적인 개발이 필요

○ 이를 통해 정부에게는 온실가스 감축 목표 설정과 항공사의 감축 목표 달성 관리 및 평가 기능을 제공하고, 국내 항공사들에는 온실가스 감축 목표 달성을 위한 감축 계획 수립 및 시행 기능을 제공

- 또한, ICAO에서 추진하고 있는 시장기반체제(Market Based Measures)에 추후 대응하기 위해 국제 항공부문 온실가스 모니터링, 배출량 검증 지원 및 탄소상쇄, 배출권 거래제도 도입 및 시행 지원을 본 시스템이 담당 가능

○ 적절한 환경투자 수준을 정량적으로 도출하는 기술은 앞으로 더욱더 필요하게 될 것이며, 본 연구의 항공 배출량 추정 시뮬레이션 모델은 항공 산업의 친환경 신기술도입 및 운항법 개선 활동에 경제적 타당성과 당위성을 부여하여 저탄소 녹색성장 촉진에 이바지 가능

다. 에코플라이트 시뮬레이터 개발

○ 경제운항절차를 통한 경제적 비용감소 효과

- IATA에서 연구한 보고서에 따르면 감축기술 중 단발엔진 유도로 활주를 통해 B737-700 기종 한 대의 경우, 연간 약 2,087,400kg의 탄소배출량 감소 및 미화 약 $1,043,700의 비용 절약효과가 발생하게 되고 감축기술 중 이륙 시 저항력 플랩을 사용하였을 때 B737-700 기종의 경우, 기종 당 약 $29,820의 감축 효과발생

39) Guidance on Using AEDT 2a to Conduct Environmental modeling for FAA Air Traffic Airspace and Procedure Actions, 2012

<표 1-20> 단발엔진 유도로 활주의 저감잠재량

Engine Out Taxi out	Number Cycles	Taxi Out Avg Min	Min Start Time min.	Fuel Flow Saving Kg/Hr Eng Out	Potential Saving kg/yr	Potential Savings in US$
A330-300	9,096	15′	03′	850	1,546,320	$773,160
A320-200	48,160	12′	03′	400	2,889,600	$1,444,800
B747-500	3,888	18′	05′	700	589,680	$294,840
B777-200	8,100	17′	05′	0	0	$0
B737-700	39,760	12′	03′	350	2,087,400	$1,043,700
CRJ-200	39,820	10′	03′	250	1,161,417	$580,708
ATR 72	55,000	07′	02′	140	641,667	$320,833
Total					8,916,083	$4,458,042

○ 훈련비용 절감효과

- 현재 저비용항공사는 모의비행장치 제공업체와 장비 사용계약을 통해 조종사 교육훈련을 진행하고 있음
- B737NG 기종의 경우, 시간 당 한화 40만 원 정도를 부담하고 있음
- 미국의 경우 시간 당 한화 70만 원 정도를 지불하는 것에 비하면 적은 수준이지만 여전히 국내 저비용항공사에게는 부담으로 작용하고 있음
- FFS급 개발이 아닌 에코플라이트 시뮬레이터(FTD급) 개발 및 국내 인가취득으로 수요 상승효과

○ 시뮬레이터의 높은 해외의존으로 외화지출 감소

- 현재 항공사에 사용되고 있는 시뮬레이터는 해외시장에서 전량 수입되고 있으며 연간 큰 금액의 운영비용도 지출하고 있는 실정
- 에코플라이트 시뮬레이터의 국내 기술력 개발로 국내 항공사에 공급하여 외화지출 감축 효과 기대

○ 제조사의 항공기 성능 데이터 패키지의 구매 없이 시뮬레이터 구현기술력 확보

- 현재 시뮬레이터의 정확한 데이터 구현을 위해서는 해당 기종 제조사로부터 항공기 성능 데이터 패키지를 직접 구매해서 사용을 하며, 비용은 약 10~20억 정도로 가격 형성
- 에코플라이트 시뮬레이터를 활용하여 시뮬레이션 모델개발에서 연구된 저감효과

분석시스템의 데이터와 국내 항공사의 실제 운항 데이터를 기반으로 개발

○ 환경에 대한 사회적 관심 증가로 인한 온실가스 저감을 위한 조종사 감축기술의 체계적 교육의 필요성 증가

○ 사회적 관심을 유지시키고 온실가스 배출량 감축의 장기적인 관점에서 초기 조종교육을 받는 조종훈련생 및 일반인들을 대상으로 한 감축수단 별 에코 조종교육의 필요성 증대

라. 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발

○ 항공온실가스·소음 저감과 더불어 공항 대기질 최소화가 ICAO 3대 환경정책 목표로 추진

- 이에따라 공항 대기질 관리 매뉴얼(Airport Air Quality Manual, 2011)을 개발·발간하여 무료로 배포하고 있는 등 공항 및 공항주변의 대기질에 미치는 영향을 최소화 노력 추진 중
- 이미 외국 선진국의 주요 공항(히드로·스텐스테드·코펜하겐 및 일본 나리타 공항 등)은 공항 및 공항 주변 관련 종사자와 주민건강 관리를 위하여 공항 환경을 개선하고자 노력하고 있음
  - 공항 내 단순 측정 모니터링에만 머무르지 않고 공항특성에 맞는 공항대기 확산 모델링을 자체 개발하여 대기질 및 온실가스 배출을 예측하여 이를 반영한 중장기적인 감축 계획 등을 수립하여 체계적으로 운영·관리하고 있으며, 감축 결과에 따른 기여자(공항, 항공사 등)에게는 인센티브 등이 이루어지고 있음

○ 우리나라는 세계 6위(2012년 기준)의 항공운송강국으로서 이에 맞추어 “국제위상 강화 및 이용자 중심의 친환경 추진”을 중장기 주요 정책목표로 설정하여 추진 중임

- 그 일환으로 공항주변 환경을 개선하고자 노력하고 있으나, 주로 직접적인 피해와 민원이 발생되는 소음저감 대책 등에 정부의 관심과 투자가 이루어지고 있는 실정임
- 당장 눈에 보이지는 않지만 공항 및 공항주변에서 배출되는 미세먼지는 2013년

10월 WHO(세계보건기구)가 1급 발암물질로 규정하고 있으며, 장기간 흡입하는 경우 폐질환의 유병률, 조기사망률 증가에 영향을 줄 수 있고 산모의 노출정도에 따라 영유아의 인지 발달에 악영향을 미치고 있음

- 또한 항공기에서 주로 배출되는 질소산화물, 휘발성유기화합물도 잠재적 위험물질로 규정하고 있어 공항 대기질 개선을 위해서는 정부의 적극적인 정책의지가 필요

○ 국토교통부는 공항주변 대기질 및 온실가스 관리를 위한 공항환경관리기준을 설정하여 준수토록 하고 있으나, 이는 단순 측정 및 모니터링(한국공항공사 1개, 인천공항공사 3개의 고정측정망 설치)에 그치고 있어 대기질 및 온실가스 저감 정책 추진에 있어 그 한계가 있음

○ 향후 정부의 적극적인 투자를 통한 공항특성에 맞는 대기측정시스템 및 대기확산모델링을 자체 개발을 한다면 국내 최초의 공황환경관리 정보시스템을 구축할 수 있으며, 공항 내 공항주변의 배출기여도를 파악하여 실시간 정보 제공으로 국가 신뢰도는 향상될 것임

- 또한 대기질(온실가스 포함) 오염도를 등급화하여 체계적으로 분석함으로써 잠재위험요인을 사전에 차단하는 등 사회적 비용을 최소할 할 수 있을 것으로 판단됨

제 2 장

항공용 바이오연료 적용 기술 개발

- 제 1 절 국내외 동향 및 환경 분석
- 제 2 절 연구개발과제 구성 및 추진전략
- 제 3 절 과제별, 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵
- 제 4 절 성과활용 방안
- 제 5 절 사전타당성 검토
- 제 6 절 연구투입 소요예산 산정
- 제 7 절 과제 제안요구서

제 2 장 항공용 바이오연료 적용 기술 개발

제 1 절 국내외 동향 및 환경 분석

1. 국내외 정책 동향

가. 국내 정책 동향

<표 2-1> 국내 바이오연료관련 규정 동향

주요 규정	주요 관련 내용	R&D 사업/ 연구와의 연계성
신에너지 및 재생에너지개발·이용·보급 촉진법	신에너지 및 재생에너지 기술 개발 및 이용·보급 촉진과 신에너지 및 재생에너지 산업의 활성화를 통하여 에너지원을 다양화하고, 에너지의 안정적인 공급, 에너지 구조의 환경 친화적 전환 및 온실가스 배출의 감소를 추진	- 항공용 바이오연료 적용 기술 연구과제 추진 근거

<표 2-2> 국내 기술 정책 동향

주요 정책	주요 관련 내용	R&D 사업/ 연구와의 연계성
신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획 (2009-2030)	- 신에너지 및 재생에너지 개발 이용·보급 촉진법에 근거하여 수립 - 기술개발 및 이용·보급 목표, 발전량 비중, 추진방법 등	- 신재생에너지 이용 및 보급을 위한 평가 및 안전성 인증 연구와 연계

○ 석유 및 석유대체연료 사업법[40]에 따라 석유제품과 석유대체연료의 적정한 품질을 확보하기 위한 품질기준[41] 및 품질검사[42], 석유대체연료의 성능평가기준[43] 등 제시

- 석유제품[44]이란 휘발유, 등유, 경유, 중유, 윤활유와 이에 준하는 탄화수소유 및 석유가스(액화한 것을 포함. 이하 같음)로서 다음 각 목의 것을 말함

40) 2014.1.1 개정, 2014.1.1 시행
41) 석유 및 석유대체연료 사업법 제24조, 제31조
42) 석유 및 석유대체연료 사업법 시행규칙 제28조, 석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시, 석유대체연료의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시
43) 석유대체연료의 성능평가기준과 품질시험방법 등에 관한 고시
44) 석유 및 석유대체연료 사업법 제2조 제2호

가. 탄화수소유 : 항공유, 용제(溶劑)아스팔트, 나프타, 윤활기유[조유(粗油)를 포함. 이하 같음], 석유중간제품[유분(溜分)를 포함. 이하 같음] 및 부생연료유(부생연료유 : 등유나 중유를 대체하여 연료유로 사용되는 부산물인 석유제품)

나. 석유가스 : 프로판·부탄 및 이를 혼합한 연료용 가스

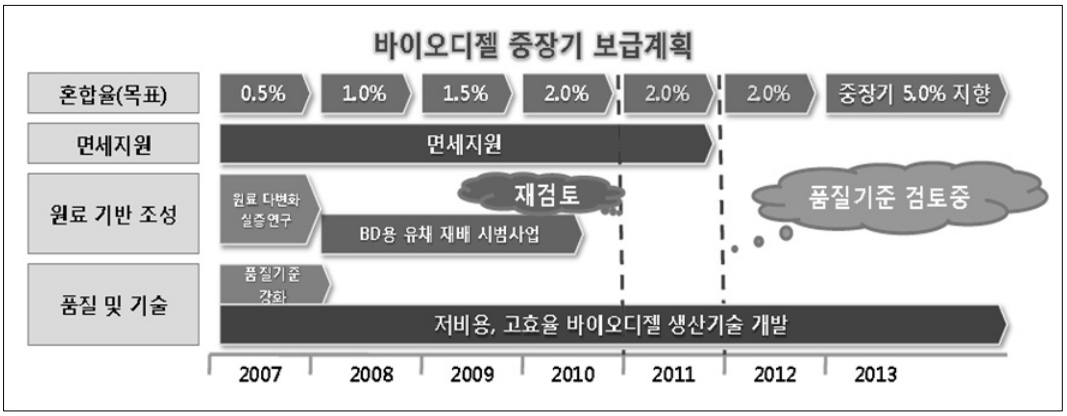
- 석유대체연료[45]란 석유제품 연소 설비의 근본적인 구조 변경 없이 석유제품을 대체하여 사용할 수 있는 연료(석탄과 천연가스는 제외)로서 대통령령으로 정하는 것을 말함
- 항공유는 석유제품에 포함[46]하나 “석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시”에는 항공유에 대한 품질 검사는 포함되어 있지 않아 석유 및 석유대체연료를 관리하는 석유관리원의 관리대상에서 제외되어 있음
- 석유대체연료의 종류[47]에 항공용 바이오연료가 포함되어 있지 않으며,“석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시”에도 항공용 바이오연료를 포함하고 있지 않음

○ 대기환경보존법에 따른 배출가스 허용기준에도 항공유는 포함하나 항공용 바이오연료는 불포함

○ 항공부문 온실가스 감축을 위한 항공용 바이오연료에 대한 품질기준 및 검사방법 구축 필요

○ 2007년 9월 정부부처 합동으로 경제정책 조정회의에서 수송용 바이오디젤 중장기 로드맵[48] 확정

45) 석유 및 석유대체연료 사업법 제2조 제11호
46) 석유 및 석유대체연료 사업법 제2조 2항 가
47) 석유 및 석유대체연료 사업법 시행령 제5조
48) 재정경제부 외, 바이오디젤 중장기 보급 계획, 2007



<그림 2-1> 바이오 디젤 중장기 보급계획

자료 : 재정경제부 외, 바이오디젤 중장기 보급 계획, 2007, p.5

- 신재생에너지를 혼합하여 현재 운용 중인 자동차에 적용하는 정책 추구
- 저비용 고효율 신재생에너지 생산기술 개발 연구 중
- 수송용 바이오디젤의 개발, 보급 확대를 위해 2002~2005년까지는 수도권, 전라북도 등에서 바이오디젤 20%혼합경유(BD20)를 시범 보급하는 사업을 실시하였고, 2006년 7월부터는 전국을 대상으로 일반 주유소에 대해서는 바이오디젤 5% 이하 혼합경유(BD5), 자체 주유소를 갖는 운송업체 등 특정 수요처에 대해서는 BD20을 각각 보급하는 일반 사업으로 확대하여 실시 중

○ 2차 바이오디젤 중장기 보급 계획(2010년)[49]

- 바이오디젤 의 지속가능성 기준[50]을 마련하여 차세대 바이오연료 개발을 촉진
- BD5(경유)의 혼합비율 목표는 국내 원료 생산 기반 개선 속도를 고려 현재의 2% 유지
- 바이오디젤 생산단가 인하, 국내 원료생산 확대 등을 위한 바이오디젤 생산기술 및 원료 다양화 기술 개발 R&D 확대
- 수송용 신재생연료 혼합의무제도(Renewable Fuel Standard, RFS) 시행 예정
  - 2023년까지 3단계로 나눠진 점진적 도입 시나리오 제안. 현행 2%인 바이오디젤 의무 혼합비율을 1단계인 2014년부터 2016년까지 0.5 ~ 1% 추가 혼합하고 2단계인 2017년부터 2020년까지 시범사업과 국내 인프라 구축 상

49) 지식경제부, 제2차 바이오디젤 중장기 보급계획, 2010
50) 원료(곡물, 목질계, 해양조류, 폐자원)에 따른 환경개선 효과에 대한 기준으로 동 기준을 충족한 제품만을 신재생에너지로 인정, 지원혜택 부여

황 등을 고려하여 바이오에탄올과 바이오가스를 도입하는 방안

- 도입과정에서 BE(바이오에탄올)시범보급사업 및 차량영향성 평가에 대한 검토를 반드시 한 뒤 RFS 시행 4년차 때 바이오에탄올에 대한 도입 검토
- RFS제도 초기에는 바이오원료별 의무량 부과가 필요하며, 장기적으로 바이오연료의 총량을 부과하는 방향 검토

- 폐식용유 수거용기 보급 확대, 회수거점 마련 등 체계적 수거체계 마련, 인센티브 부여 및 폐식용유 수거 확대 필요성에 대한 홍보 등을 통해 국내 폐식용유 활용체계 개선
- 동물성 유지 수거 체계 구축 지원 및 동물성 바이오디젤 상업 생산 조기 지원 등을 통한 국내 동물성 유지 활용 방안 마련

○ 2012년부터 신재생연료 의무 혼합제도(Renewable Fuel Standard, RFS)가 '협의에 의한 운영 방식'으로 시행되고 있으며, 국내에는 16개 바이오디젤 제조업체가 등록(2012년)되어 있음[51)]

<표 2-3> 바이오디젤 보급 현황

단위 : 천kl / 억원

구분	2006년	2007년	2008년	2009년
BD(BD5 혼합) 보급량	49	109	196	288
BD(BD20 혼합) 보급량	20	187	304	324
BD 제조 능력(천kl/년)	400	1,000	1,100	1,110
BD업체 매출액 규모	627	1,067	3,088	4,248
BD 조세 지원 면세 추정액		553	1,031	1,520
BD/경유 가격비(세전)	1.30	1.44	1.44	2.08

자료 : 지식경제부, 제2차 바이오디젤 중장기 보급계획, 2010

○ 항공용 바이오연료에 대한 개발, 보급에 대한 정책은 아직 없음

51) 안진철, 바이오연료 업계 동향, 2013

나. 국외 정책 동향

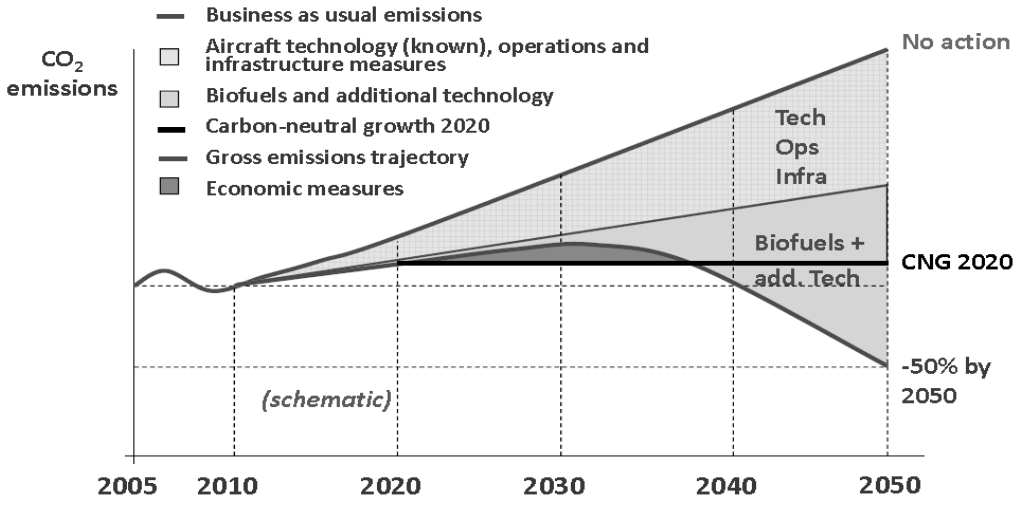
1) 국가별 정책 동향

○ 수송용 바이오연료는 석유계 연료에 비해 낮은 경제성 때문에 국제사회에서 지구 온난화 문제 대응수단으로 바이오연료의 중요성을 인식한 2000년대 중반 이후 개발 및 보급이 활성화되기 시작했음

- 바이오연료는 사용원료에 따라 식용 바이오매스를 이용하는 1세대 바이오연료 기술, 비식용 바이오매스를 이용하는 2세대 바이오연료 기술, 수소 등을 생산하는 3세대 바이오연료 기술이 존재하며, 현재 국외 정책은 2·3세대 바이오연료 기술 개발에 초점을 두고 있음

○ 2020년 온실가스 배출량을 기준으로 2050년 탄소중립성장을 위한 국제적인 탄소 감축 목표가 ICAO에 의해 설정되었으며, 이를 위해서 ICAO는 항공환경위원회(Committee for Aviation Environment Protection, CAEP)가 설립되었음

- 연료를 효율적으로 감축하면서 탄소중립성장을 위한 다양한 방법들이 연구·활용
  - 항공기 운영 및 항공교통관리 효율화, 항공기 신기술 개발, 시장기반체제 도입으로 온실가스를 대폭 감축할 수 있으나 그 한계가 존재하며, 그 갭을 채우기 위해서는 장기적 효과가 가장 큰 항공용 바이오연료 개발이 절실히 필요



<그림 2-2> 항공부문 감축 기술을 통한 온실가스 감축 예상도

자료: ICAO Colloquium on Aviation and Climate Change session 6, 2010. 5. 11-14

○ 바이오연료가 온실가스 배출감소, 에너지안보증진, 농촌지역의 소득 및 농산물의 새로운 시장개척 등에 기여 할 수 있다는 인식 확산을 통하여 바이오연료 지원정책을 추진

- 예산상의 지원(바이오연료 생산자, 판매자, 사용자에 대한 세금 감면 또는 직접적인 보조금 부과), 최소혼합비율 강제, 수입바이오연료에 대한 수입관세부과 등
- 현재 대부분의 국가에서는 바이오연료에 대한 면세 또는 보조금 지급 등을 통해 바이오연료 보급을 지원하고 있으며, 그에 따른 2009년 세계 각국 정부에서 지원한 보조금은 200억 달러이며, 대부분 미국과 EU 국가가 해당됨. 정부 보조금은 2010년부터 2020년까지 매년 450억 원으로 증가하고, 2021년부터 2035년까지는 매년 850억 원으로 증가할 것으로 예측됨[52)]

가) 미국

○ 지속가능한 항공용 바이오연료는 미국의 항공 환경 목표와 부합되는 기술로서 FAA는 2018년까지 항공용 바이오연료 10억 갤런 생산 목표를 정하고, 이를 위해 다양한 R&D사업을 진행 중에 있음[53)]

- 2010년 6월 FAA 펀드를 통한 CLEEN(Continuous Lower Energy Emission and Noise) 프로그램 내 항공용 바이오연료 테스트
- 2010년 7월 미국 농무부(USDA, U.S Department of Agriculture)와 항공교통협회(ATA, Air Transport Association), 보잉사가 Farm to Fly Partnership 체결
- 2010년 10월 FAA와 USDA가 항공용 바이오연료를 위한 feedstock 개발에 동의
- 2011년 3월 미국과 브라질 Partnership에 동의
- 2011년 7월 ASTM International 항공용 바이오연료 승인
- 2011년 8월 USDA와 DOE(U.S. Department of Energy)와 Navy는 선진 항공용 바이오연료 생산계약을 5억 1천만 달러에 체결
- 2011년 8월 DOE는 Virent와 Lanzatech에 항공용 바이오연료 생산 개발을 위해 400만 달러를 승인
- 2011년 9월 USDA는 5개 지역적 feedstock 개발을 위해 1억3천1백만 달러를 투자

52) World Energy Outlook, IEA, 2010
53) FAA, ICAO Sustainable Aviation Fuels Workshop 발표자료, 2011.10

○ 2009년 9월 28일 미국재료시험학회(American society for testing and materials, ASTM)는 합성 탄화수소계 항공터빈유(Aviation Turbine Fuels Containg Synthesized Hydrocarbons)에 대한 최초 표준인 ASTM D7566발표('09.9 등록)

- 2013년 5월 1일 개정안(D7566-13) 발표
- 기존의 항공터빈유와 합성 탄화수소 성분의 혼합조건을 제공하고, 민간에서 항공기의 가동 및 검정 시 사용할 수 있는 합성 탄화수소계 항공터빈유의 특정 유형 정의, 항공기 및 엔진의 가동에 적합한 연료 제시
  - Kerosen Jet Fuel: Jet A(US 기준), Jet A-1(국제기준)

○ 2006년 에너지 보안 증진과 항공부문 환경의 지속가능 발전을 위한 항공용 바이오연료 개발 및 활용을 위해 FAA(Federal Aviation Administration), ATA(Air Transport Association), ACI-NA(Airports Council International-North America)가 CAAFI(Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative)를 발족

- ASTM 표준을 충족하는 안전한 항공기 운항이 가능한 항공용 바이오연료 인증 및 자격 증명
- 항공부문에 적용 가능한 새로운 항공용 바이오연료 개발 기술 및 feedstock 개발 기술에 관한 R&D 사업 투자
- 전주기분석(Life Cycle Assessment, LCA)과정을 충족하여 온실가스 감축목표에 도달할 수 있는 항공용 바이오연료 생산 및 활용으로 환경 보호
- 항공용 바이오연료 개발로 인한 사업적, 경제적 기회 창출

○ 미국의 수송부문의 바이오연료 혼합의무제도(RFS, Renewable Fuels Standard)는 화석연료를 공급하는 의무대상자로 하여금 자신이 공급하는 화석연료의 일정 비율을 바이오연료로 공급토록 의무화하는 제도

- RFS 1 프로그램은 2007년 9월 1일부터 발효되어 2010년 11월 30일까지 적용·시행되었음
- RFS 2 프로그램은 2010년 12월 1일부터 시행되어 모든 수송용 연료인 휘발유와 경유에 대해 의무 혼합되는 바이오연료(옥수수 기반 에탄올 뿐 만 아니라 바이오매스 기반 바이오연료, 셀룰로스계 바이오연료, 개량 바이오연료 등)에 적용
  - 전주기 분석(LCA, Life Cycle Assessment)를 통해 온실가스 저감 최소치를

설정, 온실가스 감축에 우수한 것으로 평가되는 2세대 신재생연료의 기술 개발을 촉진하여 사용 확대를 증진하고 있음

○ 2010년부터 수송용 바이오연료의 의무 보급량을 규정한 RFS(Renewable Fuel Standard)Ⅱ 시행[54)]

- 2022년 기준 1.3억 kL(350억 갤런)의 수송용 바이오연료 보급 계획
- 신기술에 의해 생산되는 바이오연료의 사용량을 증대시키기 위한 고급연료(advanced fuel) 의무사용량을 2022년까지 13,636 kl로 증대키로 함
  - 목질계 연료(6,061 kl), 폐식용유 등의 바이오디젤(380 kl), 사탕수수에탄올(7,955 kl) 등
- 수송용 바이오연료 부급확대에 따른 원료 수급 불안정성 문제를 해결하기 위해 2012년부터 비식용 바이오매스인 농산 부산물과 목질계 원료로부터 수송용 바이오연료를 생산할 예정이며, 2015년 이후 바이오연료 보급 증가는 전량 비식용 원료를 활용 예정

나) 유럽

○ 2009년 6월 발효된 EU 신재생에너지 지침(The European Renewable Energy Directive, 2009/28/EC)은 수송용 바이오연료 보급 목표 설정 및 해당 목표달성에 사용할 수 있는 바이오연료의 지속가능성 기준을 규정하고 있음

- 회원국별 수송용 바이오연료 의무 보급량 할당
- 회원국별 수송용 바이오연료 면세 또는 의무 사용 제도 실시
- 2020년 기준 수송용 바이오연료 보급 목표 10% 설정

○ 원료 확보 지원 정책 시행

- 역내 농산물 가격 안정과 바이오연료 원료 안정 수급 기반 구축을 위해 전체 경작지의 10%는 휴경 의무화 및 휴경 농작지에 대한 농업 보조금 지원

○ 2011년 6월 유럽의 항공분야 종사자들, 항공기체생산업체, 항공교통관리, 공항, 항공사, 연료생산업체, 연구자들의 고위급 모임에서 유럽의 항공 시스템 및 산업에 대한 목표 구축

54) RFS 2에서는 바이오연료를 20% 이상 감축효과가 있는 것(선진형 바이오연료는 50~60% 이상 감축)으로 정의, EPA, 2008

- Flightpath 2050 : 유럽의 항공에 대한 비전 - 환경 보호 및 연료 공급 확보[55)]
  - 새로운 기술 및 공급자 도입으로 승객-킬로미터 당 75%의 CO_2와 90%의 NO_x 감축
  - 2000년대 평균 항공기 소음에 비해 65% 감축
  - 온실가스 무배출 항공기 지상이동 운행
  - 재사용을 위한 항공기 디자인 및 생산
  - 강력한 유럽 에너지 정책을 기반으로 한 항공부문을 포함한 지속가능한 바이오연료 센터 설립
  - 전 세계 환경 관련 규정 및 환경 계획 구축을 이끄는 선제적 역할
- 복합적 접근을 통한 항공부문 온실가스 감축 수단 개발 및 활용 정책[56)]
  - Single European Sky, SESAR 프로그램을 통한 ATM의 현대화
  - 7년간(2008년 - 2013년) 16억 유로를 투자한 Clean Sky Joint Technology Initiative 발족을 통한 지속가능한 대체연료 개발
  - 시장기반체제인 EU Emission Trading System을 운영하여 예측 가능한 예를 들어 항공용 바이오연료 사용을 통한 상업적 인센티브 정책 활용

○ The European, Airbus, 항공부문 고위 관계자들과 바이오연료 생산업체들과 함께 "the European Advanced Biofuels Flightpath" 발족

- 2020년까지 EU 민간항공부문에 지속가능한 항공용 바이오연료 2백만 톤 사용을 목표로 정함
- 연료 소비 감축을 통한 CO_2 배출량 50% 감축, NO_x 배출량 80% 감축, 외부 소음의 50% 감축

55) EREA, Study on the Air transport system in 2050 from vision towards a planning for research and innovation

56) Christine, European Commission's framework for sustainable biofuels for aviation, 2011.10, ICAO 발표 자료

<표 2-4> European Advanced Biofuels Flightpath

기간	내용
단기 (0~3년)	자금 조달 체계 구축, 상당한 양의 F-T 바이오연료 생산(>1,000톤), 항공용 바이오연료를 위한 시장 구축, 산업용 2세대 항공용 바이오연료 플랜트 구축, 운송업체 및 공급 인프라 구축을 통한 공급체계
중기 (4년~7년)	2천 톤의 Algae 기반 항공용 바이오연료 생산, 120만 톤의 항공바이오연료와 항공유 혼합, 2020년 운용 가능한 2세대 플랜트들 구축
장기 (~2020년까지)	200만 톤의 항공용 바이오연료와 항공유 혼합사용, 대다수의 EU 공항에서 항공용 바이오연료 사용

○ 2009년 3월 the European Commission's Directorate-General for Energy and Transport(EC DG-TREN)의 510만 유로 펀드 투자를 통해 19개의 항공 및 연료 산업체, 항공사, 연구소의 파트너가 항공부문 지속가능한 항공용 바이오연료 개발을 위해 SWAFEA(Sustainable way for Alternative Fuel and Energy in Aviation)를 발족

○ 장기적 관점에서의 항공용 바이오연료 개발을 위해 European Community's seventh Framework Programme(FP7/2007-2013)에서 Alfabird(Alternative Fuels And Biofuels for Aircraft Development)발족

- 2008년 7월부터 2012년 6월까지 8개국 23개 주요 수혜자가 참여하였으며, 9백 7십5만유로가 투자되었음
- 연료 품질기준에 대한 세부표준 개정에 관한 연구
- 항공기 시스템(연료, 엔진 등 기체) 전반에 대한 제고

○ 유럽연합(EC)은 신·재생에너지지력(2009/28/EC)에 의해 회원국에게 2020년까지 EU 에너지 중 신·재생에너지를 최소 20%(1990년 수준)사용을 위해 2010년 12월부터 각국의 혼합의무 사용 설정

- 신재생에너지 중 폐기물, 비식량 셀룰로오스계 및 리그노 셀룰로오스계로부터 생산된 바이오연료에 대한 가중치(2배)를 적용하여 사용 확대 및 기술개발 적극 장려

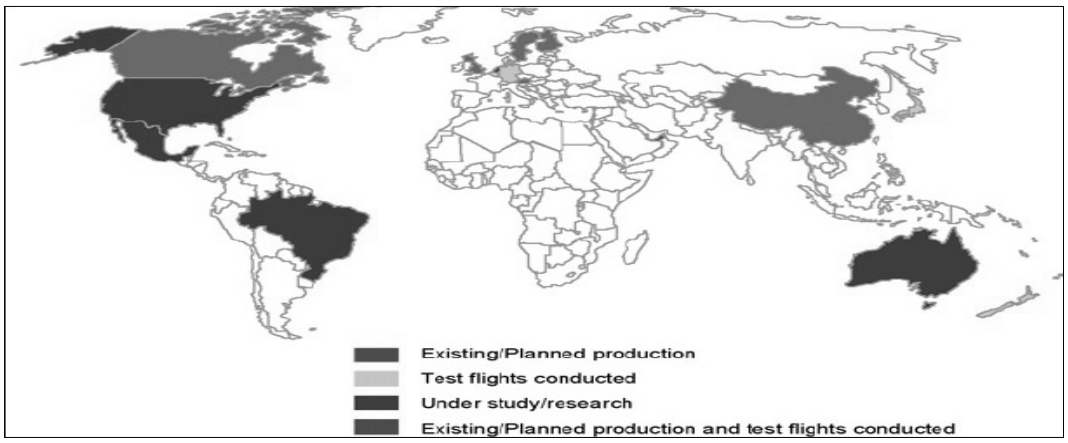
2) 국제기구별 정책 동향

가) ICAO

○ 국제적으로 항공기 온실가스 감축을 위한 노력이 커지고 있는 가운데 온실가스 감축을 위한 방안 중 바이오 연료를 사용하는 것이 장기적으로 가장 큰 효과를 가져옴

○ 지속가능한 항공용 바이오연료에 대한 ICAO의 역할

- 지속가능한 항공용 바이오연료에 대한 교육과 홍보를 위한 포럼 제공
- 자금조달과 관련 UN과 지역 금융 기관과 협력하여 항공기 프로그램에 대한 지속가능한 항공용 바이오연료에 대한 인센티브에 관한 정보 교환을 촉진하는 포럼 제공
- 지속가능한 항공용 바이오연료의 충분한 양을 보장하는 규정 프레임워크 구축
- 지속가능한 항공용 바이오연료 개발을 지원하는 표준화된 정의, 방법 및 프로세스 개발을 촉진
- 연구, 로드맵, 프로그램에 접근 가능한 플랫폼 지원



<그림 2-3> 세계 항공용 바이오연료 개발 동향

자료: GBC, 2010.06

○ ICAO 제38차 총회 결의안(환경보호분야)에 따르면 2009년 항공바이오연료 회의에서 항공바이오연료, 특히 혼합연료가 중장기 온실가스 감축수단으로 중요함을 승인하고 항공바이오연료 범세계 기본 틀을 수립

- 지속가능한 드롭인(drop-in) 대체 항공용 바이오연료의 기술 가능성과 함께 적절한 정책 및 장기적 시장 관점에서의 인센티브 도입이 필요 증명
- ICAO를 통한 R&D, feedstock 재배와 생산 시설 구축, 상용화에 필요한 수단 등 연구결과의 정보 교환

○ 다양한 항공용 바이오연료 관련 컨퍼런스 개최를 통한 정보 공유

- 2009년 11월 리오 “Conference Aviation and alternative fuels”
  - 환경 지속 가능성과 상호의존성
  - 기술 타당성과 경제적 합리성
  - 개발 및 활용 지원 조치
  - 생산 및 기반시설
- 2009년 2월 몬트리올 “Workshops on alternative fuels”
  - 항공용 바이오연료의 잠재적 수단에 대한 개요
  - 항공용 바이오연료 개발 및 보급의 문제점
  - 협력 촉진
- 2011년 10월 몬트리올 “Workshops on alternative fuels”
  - 지속가능한 항공용 바이오연료의 비전
  - 자격증명
  - 연구 및 개발
  - 파트너쉽과 협력
  - 정책 및 제도의 프레임워크
  - 항공용 바이오연료 경제적 지원

○ 2009년 ICAO 컨퍼런스[57]에서 발족된 GFAAF(Global Framework for Aviation Alternative Fuels)은 전 세계의 항공용 바이오연료 관련 개발 및 활용 프로그램 지원을 통한 정보 공유 활동 확대

○ 2012년 7월 항공용 바이오연료의 개발 및 보급 촉진을 위해 SUSTAF(Sustainable Alternative Fuels Expert Group) 발족

- 총회에서 체약국 및 지속가능한 항공용 바이오연료 개발 및 생산 산업체를

57) ICAO conference on Aviation and Alternative Fuels

지원하기 위한 권고사항 구축

- 경제성(논란의 여지가 많은 사항)
- 항공부문을 포함한 신재생에너지 정책을 정의함으로써 시장성 구축
- 국가 차원의 협력체계 구축
- 현존하는 에너지·환경 정책에 지속가능성 접근 구도 추가

나) IATA

○ 국제항공운송협회(IATA)는 지속적인 신재생에너지의 사용이 IATA의 온실가스 감축목표를 달성할 수 있는 가장 신뢰할 수 있는 방안이라 발표[58)]

- 장기 지속가능한 항공 산업 구축, 기업에 제공하는 환경 목표 명시, 저렴한 항공용 바이오연료 해결 방안 추구의 목표를 세움
  - 기술 인증 및 새로운 연료의 지속가능성
  - 현존하는 연료 기반시설을 활용할 수 있는 항공용 바이오연료 개발 확보
  - 단순하고 조화로운 항공용 바이오연료의 회계 및 보고 절차
  - 항공용 바이오연료 구매 및 보험에 대한 유용한 정보
  - 항공용 바이오연료 생산 장려를 위한 정부의 인센티브제도
  - 항공용 바이오연료의 자금력 확보를 위한 관련 이해자들 협력
- 2020년까지 항공 연료 수요의 6%를 신재생에너지로 대체 충족 요구
- 항공용 바이오연료의 feedstock 작물인 Jatropha, Camelina, algae 또는 목질계 원료사용 시 작물재배 전 과정에 80%의 탄소 배출량 감축 가능
- 다양한 항공사의 비행테스트를 통해 현존하는 항공유와 혼합사용의 가능성을 보여 줌

○ 항공용 바이오연료 워크숍 및 교육과정 운영

- 교육과정은 다양한 종류의 바이오연료 원료, 바이오연료의 인증 및 세부기준, 전주기 평가, 바이오연료 생산 등에 관한 내용으로 과정 이수 후에는 Aviation Fuel Management Diploma 제공

○ 2007년부터 IATA Alternative Fuels Report(2007년~2012년)를 발행하여 항공용 바이오연료에 관한 다양한 정보 공유

- 항공용 바이오연료의 혁신

58) http://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Pages/alt-fuels.aspx

- 연료 특성
- 인증 및 비행테스트
- 온실가스 배출과 지속 가능성
- 생산 능력, 용량 및 효율
- 바이오연료의 경제성 및 배출거래제(ETS)에 미치는 영향

<표 2-5> 바이오연료 보급 확대를 위한 지원정책

국가	바이오연료 지원정책 주요내용
미국	- 에너지부(DOE)에서 6개의 바이오에탄올 실물 프로젝트에 3억 8천 5백만 달러 지원 - 휘발유와 혼합한 바이오에탄올 1리터당 0.135달러, 휘발유와 혼합 바이오디젤 1리터당 0.264달러의 세금 혜택 - “에너지독립 및 안보에 관한 법률, 2007”에서는 2022년까지 1,360억 리터의 재생에너지 사용을 목표 설정
캐나다	- 연방정부에서 2010년까지 휘발유에 최소한 5% 이상의 재생에너지 혼합 의무화
EU	- “2003 Biofuel Directive”에서 회원국들이 전체 수송연료 중 바이오연료 사용 비중 규정(평균적으로 2010년까지 3.5%)하고 바이오연료 사용에 대해 조세감면을 허용하도록 법제화
일본	- 교토의정서 이후 바이오연료 개발 및 사용을 추진 - 2007년도 예산 중 9,250만 달러를 바이오연료 생산에 투자, 바이오연료 수입 관세를 27.2%에서 20.3%로 감소
브라질	- 바이오연료에 대한 조세감면 실시
중국	- 몇몇 대도시에서 바이오연료 혼합비율을 규정하고, 2006년 바이오에탄올 생산자에게 1년 1억 8,800만 달러를 보조, 소비세의 5% 감면

자료: OECD, Economic Assessment of Biofuel Support Policies

다. 의미 및 시사점

○ 국제기구인 ICAO를 중심으로 항공부문 온실가스 감축을 위한 노력이 증대되고 있으며, 온실가스 감축 수단으로서 항공용 바이오연료 개발이 대두됨. 이에 따라 각 국가 및 국제기구들은 항공용 바이오연료 개발 정책에 박차를 가함

○ 항공용 바이오연료 개발은 다양한 사업자와 관련부처의 이해관계자의 협조가 필요하여 컨소시엄의 형태로 연구가 추진되어야 할 것임

○ 항공용 바이오연료 개발을 위해서는 거액의 자본 및 장기간에 걸칠 개발 사업이

될 수밖에 없어 다양한 펀드 투자 및 장기적 관점에서의 정부 정책이 뒷받침 되었음

○ 우리나라는 구체적인 수송부문 온실가스 감축목표를 설정하였으며, 항공부문 역시 온실가스 감축 목표를 설정하였음

○ 우리나라도 수송용 바이오연료 개발에 대한 정책이 활발히 이루어지고 있으며, 수송용 바이오연료의 혼합의무사용제도 시행 예정

○ 따라서 항공용 바이오연료 개발 역시 수송용 바이오연료 개발 계획에 추가되어야 할 것임

2. 국내외 시장 현황

가. 국내 시장 현황

○ 수송용 바이오디젤의 경우 시범사업 후 전국 보급이 되고 있으며, 수송부문에서 CO_2 배출에 대한 규제가 강화되면 본격적 시장이 형성될 것으로 예상됨

- 현재 수송용 바이오연료 시장은 곡물원료를 사용하는 1세대 바이오연료로서 곡물원료 부족으로 바이오연료 시장 형성이 어려운 상황임

○ 단기적으로 수송용 바이오연료 생산에 활용 가능한 비식용원료(폐자재 활용 등)를 통한 바이오연료 생산 기술 개발이 진행 중이며, 현재 상용화 초기 단계임

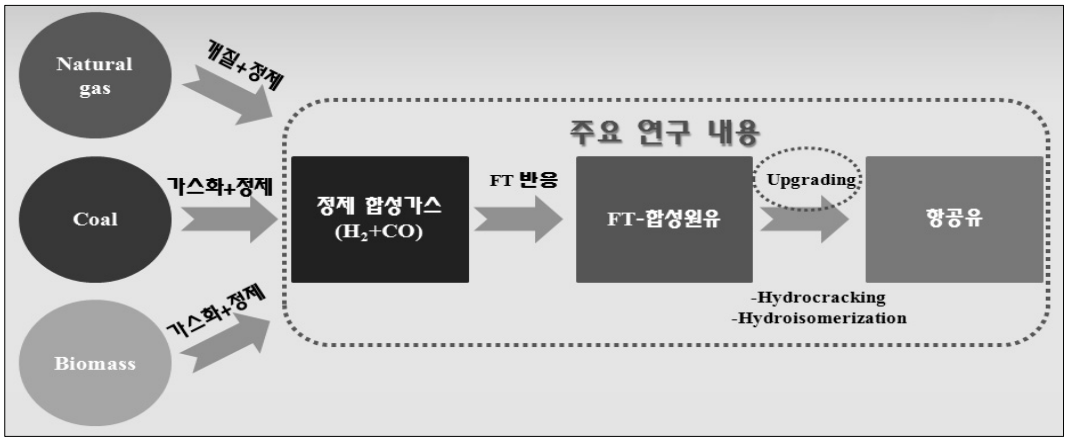
○ 중장기적으로는 바이오연료 생산 원료의 수급 불안정성과 가격 상승 문제를 타개하기 위하여 비식용계 원료인 목질계 및 해양 미세조류 바이오매스 원료 대량 생산 기술에 대한 개발 연구가 진행 중[59)]

- 해양 바이오매스 양산 기술에 필요한 기초 원천기술을 개발하는 단계에 있으며, 항공용 바이오연료(차세대 고탄소 함유) 생산을 위한 미생물 대사공학 기술 개발이 진행 중

59) 그린에너지 전략 로드맵 2011, 한국에너지기술평가원, 2011

○ 항공용 바이오연료 기술개발

- 국방과학연구소와 한국화학연구원이 기술개발 중
  - 활용기술: CTL[60], GTL[61], BtL[62] 기반 기술 활용
- 한국생산기술연구소 바이오매스 가스화 파일럿 플랜트 보유
  - 바이오매스 가스화에 의한 청정 합성가스 제조공정 개발
  - BtL에 필요한 합성가스 생산 및 정제시스템 개발



<그림 2-4> 국내 항공용 바이오연료 기술 개발

자료 : 김재곤, 국내 수송용 바이오연료의 보급 및 기술개발 동향, 2011



<그림 2-5> 한국생산기술연구원 바이오매스 가스화 파일럿 플랜트

60) Coal to Liquid는 석탄을 원료로 가스화와 정제 과정, F-T 반응 과정 및 Upgrading 과정을 통해 만든 합성연료를 말함

61) Gas to Liquid는 천연가스를 원료로 가스화와 정제 과정, F-T 반응 과정 및 Upgrading 과정을 통해 만든 합성연료를 말함

62) Biomass to Liquid는 바이오매스를 원료로 가스화와 정제 과정, F-T 반응 과정 및 Upgrading 과정을 통해 만든 합성연료(3세대 바이오연료)를 말함

○ 목질계 바이오매스는 아직까지 땔감, 목재, 건축재, 종이 펄프 등으로 용도가 국한되어 있어 활용도가 낮은 상태

○ 해양 바이오매스(미세조류)는 육상생물을 이용한 에너지화 기술의 단점(식량재원이나 재배면적 확보 등)을 극복하면서 바이오매스 수확을 자유롭게 할 수 있으며, 지질 생산량을 높일 수 있는 원료로 평가되고 있음

- 미세조류를 이용한 바이오매스 에너지화에 대한 미국의 국가 바이오에너지 기술 로드맵에 의하면 2020-2025년 사이에 시장이 형성될 것으로 전망되고 있어, 우리나라도 이에 대해 원천기술 확보를 위한 연구가 시급함

○ 현재 석유계 항공유는 국내 4개 정유사(SK에너지, GS칼텍스, S-OIL, 현대오일뱅크)에서 생산 공급 중으로 국제적 항공유 생산기술 보유

- 바이오연료 생산 기술 개발로 인하여 국내 정유사에서 항공용 바이오연료 공급이 가능할 것으로 예상

○ 항공용 바이오연료 적용성에 대한 구체적인 연구는 항공기 및 엔진 제작사 주관으로 이루어져야 하며, 이는 항공용 바이오연료의 적용에 따른 안전성 및 성능 보장 등의 책임이 따르기 때문

○ 비행시험은 항공기 제작사 및 엔진 제작사와의 기술적 협의 후 국내 대한항공이 보유 중인 엔진 실험실(Engine Test cell)을 활용하여 비행성능 평가가 가능할 것으로 판단되며, 국내 항공사의 참여가 필수적

- 대한항공 엔진실험실은 제작사, 국토교통부, 미국의 FAA, 유럽의 EASA 등으로부터 발급받은 국제적으로 엔진 기술력과 품질에 대한 인증서를 보유



<그림 2-6> 대한항공 엔진 테스트 공장

나. 국외 시장 현황

○ IEA(International Energy Agency) 블루맵 시나리오(Blue map scenario)에 따르면 현재 수송부분 에너지의 2% 수준인 바이오에너지를 2050년까지 27%까지 확대 필요 예상

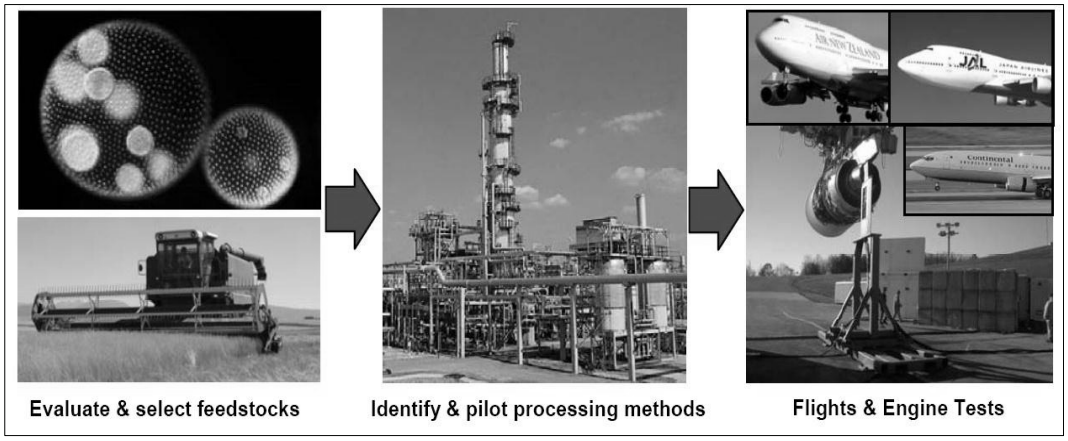
○ 바이오연료는 수송부분의 이산화탄소 감축을 위한 핵심적 수단으로서 현재 50여 개국에서 바이오연료 혼합비율에 대한 의무화나 목표치를 제시하고 있음

- 바이오에탄올 : 3~25% 혼합, 바이오디젤 : 2~20% 혼합[63)]

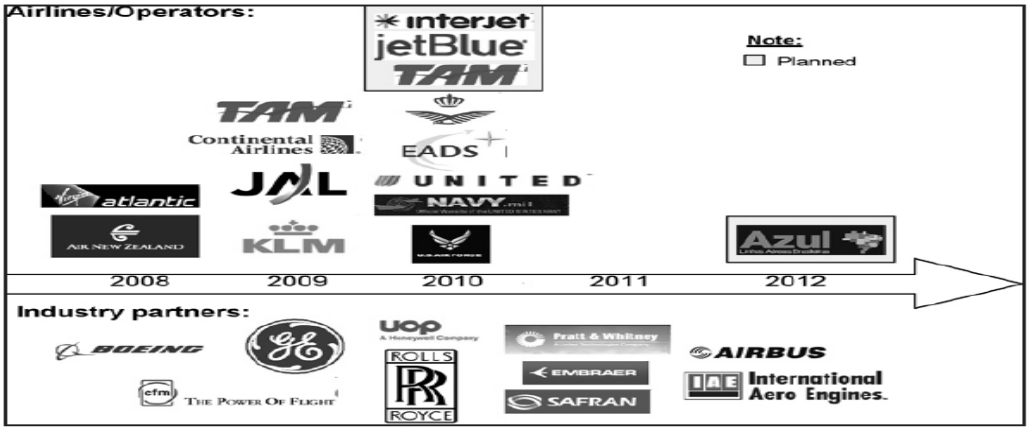
○ 2009년 캐나다, 독일, 멕시코 및 미국의 15개 항공사들은 석탄 및 카멜리나를 원료로 생산한 신재생연료를 공급연료로 사용하기 위해 신재생 제트연료를 생산하는 2개의 미국 회사들과 생산량 전체를 구매하기 위한 양해각서(MOU) 체결

○ 현재 보잉과 에어버스를 필두로 세계 주요 항공우주산업체들은 바이오 항공연료개발을 위한 협력관계를 유지하고 있으며, 2011년 11월 미국에서 최초 바이오연료를 이용한 민항기 운항 성공

63) IEA와 국내 바이오연료 R&D 전략 비교분석, 정승영, KETEP Issue Paper 2011 1호.2011



<그림 2-7> 바이오 연료 엔진 실험 결과



<그림 2-8> 세계 항공사 항공용 바이오 연료

자료 : GBC, 2010



<그림 2-9> 항공용 바이오 연료 적용 사례

○ 전 세계적으로 항공용 바이오연료 개발 및 사용을 위한 그룹이 조성되어 항공용 바이오연료 개발에 박차를 가하고 있음

- 항공사, 엔진 및 항공기 제작사, 정부(교통부, 농림부, 환경부 등), 민간 연구기관 정유사로 구성된 협업체계의 항공용 바이오연료 개발 연구추진체계 구축
- ICAO의 GFAAF는 전 세계적으로 발족된 다양한 항공용 바이오연료 개발 및 사용 프로그램 지원 및 정보 공유
- 항공기 성능 시험 및 바이오연료 기술 개발에 투자 확대 및 지속적인 연구 추진

<표 2-6> 국제적 항공용 바이오연료 프로그램

국가/지역	프로그램
Australia, New-Zealand	Flight Path to Sustainable Aviation Fuels
Brazil	ABRABA
Brazil	Sustainable Aviation Biofuel for Brazil(SABB)
Europe	Sustainable Way for alternative Fuels and Energy In Aviation(SWAFEA)
Europe	European Advanced Biofuels Flight Path
Europe	Alfa-Bird
Europe	ITAKA-Initiative Towards sustAinable Kerosene for Aviation
International	Sustainable aviation Fuel User Group(SAFUG)
Mexico	Flight Plan Towards Sustainable Aviation Biofuel in Mexico
Qatar	Qatar University Biofuels Project
Scandinavia	Nordic Initiative
Spain	Bioqueroseno
U.S.A	Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative-CAAFI
U.S.A	Northwest Advanced Renewables alliance (NARA)
U.S.A	Sustainable Aviation Fuels Northwest (SAFN)
U.S.A	Midwest Aviation Sustainable Biofuels Initiative (MASBI)
United Arab Emirates	Masdar's Sustainable Bioenergy Research Consortium
United Kingdom	Green Sky London

자료 : http://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Pages/alt-fuels.aspx

○ 다양한 엔진 제작사 및 항공사 그리고 바이오연료 생산업체가 협업을 통하여 다양한 항공기 기종과 엔진을 대상으로 비행 테스트 실시

- 다양한 feedstock을 기반으로 다양한 생산과정을 거친 Drop-In[64] 바이오연료 적용

<표 2-7> 해외 항공용 바이오연료 적용 비행테스트 현황

항공사	기종	Engine Maker	Fuel Maker	Date	Feedstock	Technology
Virgin	B747-400	GE	-	2008. 2	Babassu nuts , Coconuts	Gen -1 FAME (HRJ)
Air New Zealand	B747-400	Rolls-Royce	UOP	2008. 12	Jatropha	HEFA
Continental Airlines	B737-800	GE Aviation, CFMI	UOP	2009. 1	Algae & Jatropha	HEFA
Japan Airline	B747-300	Pratt & Whitney,	UOP	2009. 1	Camelina, Jatropha, Algae	HEFA
KLM	B747-400	GE	UOP	2009. 11	Camelina	HEFA
TAM	A320	CFMI	UOP	2010. 11	Jatropha	HEFA
Inter Jet (Mexico)	A320	CFMI	UOP	2011. 1	Jatropha	HEFA
Honeywell	G450	Rolls-Royce	UOP	2011. 1	Camelina	HEFA
Boeing	B747-800	GE	UOP	2011. 1	Camelina	HEFA
Lufthansa	A321	CFMI	Neste Oil	2011. 6	Palm oil, Rapeseed, Animal fats	HEFA
KLM	B737-800	CFMI	Dynamic Fuels	2011. 6	Used cooking oil	HEFA
Finnair	A319	CFMI	Sky NRG	2011. 6	Used cooking oil	HEFA
Aeromexico	B777-200	GE	ASA	2011. 8	Jatropha	HEFA
Thomson Airways	B757	Rolls-Royce	Sky NRG	2011. 9	Used cooking oil	HEFA
Embraer	EMB170	GE	N/A	2011. 9	Camelina	HEFA
Porter Airlines	Bombardier Q400	PWC	UOP	2012	Camelina	HEFA
Azul	EMB170	GE	Amyris	2012	Sugar cane	fermentation

64) 기존의 항공연료와 특성이 유사하기 때문에 유통 인프라를 추가적으로 설치하거나 변경 없이 사용할 수 있는 연료

○ 바이오매스로부터 생성된 바이오연료의 사용은 유가상승과 정부의 지원을 통해 지속적으로 증가 될 것으로 예상됨

○ 전 세계적으로 사용되고 있는 바이오연료는 1mb/d[65]에서2035년에는 4.4mb/d로 증가할 것으로 예측하고 있음. 2009년 수송용 연료 시장에서 바이오연료는 3%의 비중에 불과하였으나, 2050년에는 25%까지 확대될 것으로 예측[66]

○ 세계 각국의 바이오연료 시장현황을 분석해 보면 바이오연료는 재생에너지 중 가장 많은 정부지원을 받고 있으며, 2009년 미국과 유럽의 정부지원금은 가장 높은 금액인 200억 달러이었음[67]

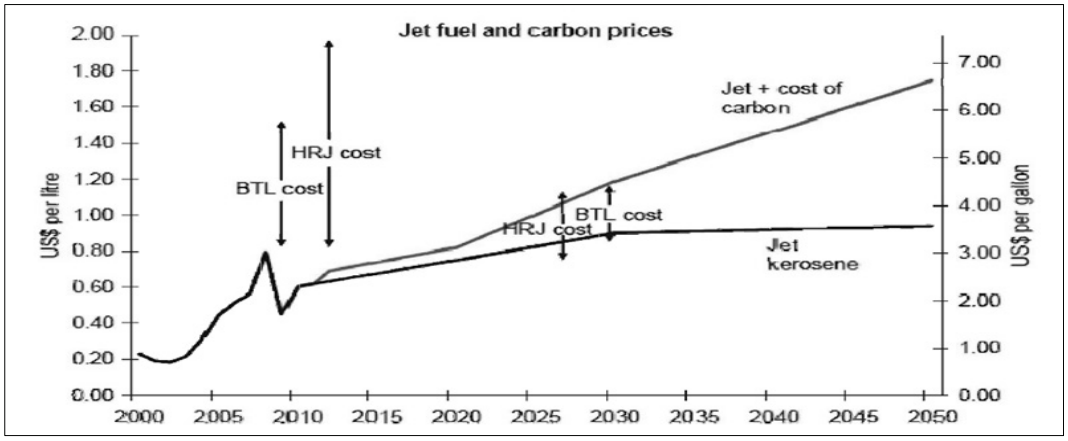
- AlfaBird(Alternative Fuels And Biofuels for Aircraft Development)
  - European Community의 일곱 번째 프레임워크 프로그램에서 발족됨
  - 장기적 관점에서의 항공 대체연료 개발을 목적으로 9백 7십 5만 유로가 투자되었음(그 중 6백 8십 2만 유로는 EC(European Community에서 허가)

○ 미국과 브라질 및 유럽 국가들이 세계적으로 가장 큰 바이오연료 생산 국가들이며(전 세계 생산량의 3/4 차지), 동시에 소비 국가들임

○ 항공부문에서 CO_2 감축이 국제사회의 중요 이슈가 되어 감축 노력이 활성화됨에 따라 수송용 바이오연료에 대한 수요는 지속적으로 증가 및 시장의 확대를 가져올 것으로 예상

○ ICAO 2010년 "Report on Alternative Fuels"에 따르면 중기 관점에서의 F-T(BtL) 및 HRJ 바이오연료의 경우 미화 1.20~1.40 달러/per liter 예상(현 상업 항공유의 약 2배 가격)

65) millions of barrels per day
66) Energy Technology Perspectives, IEA, 2010
67) World Energy Outlook, IEA, 2010



<그림 2-10> 항공용 바이오연료 가격 예측

자료: IATA, IEA, various biofuels studies

다. 의미 및 시사점

○ 국내 수송용 바이오연료 개발을 통한 다양한 기반 시설 및 바이오연료 생산을 위한 기초 기술 보유

- 국내 항공사의 엔진 기술력 및 Engine Test cell 등 기반시설을 통한 항공용 바이오연료 개발의 기반 마련
  - 그러나 엔진 제작국이 가질 수 있는 원천 기술의 확보는 어려워 엔진 제작업체와의 협력 필요
- 바이오매스 확보를 위한 다양한 R&D 연구가 활발히 진행 중이나 국외와 같은 선제적 바이오연료 개발을 위한 적극적인 정부의 지원 및 투자 필요

○ 선진국은 이미 다양한 항공용 바이오연료 개발 연구 및 투자가 이루어지고 있으며, 국내 기술과 격차 발생

- 다양한 항공사, 항공기 제작사, 엔진 제작사, 바이오연료 생산업체, 정부 등 다양한 분야에서의 컨소시엄을 통한 항공용 바이오연료 개발 활성화
- 국내 항공용 바이오연료 개발 시 역시 다양한 분야와의 컨소시엄 형태의 개발 필요

3. 국내외 기술 동향

가. 항공용 바이오연료 적용 기술 개요

1) 항공용 바이오연료 기술의 개념

○ 항공용 바이오연료 기술은 바이오매스를 생물학적 또는 열화학적 방법으로 반응시켜 항공용 바이오연료로 전환하는 기술

- 사용 원료에 따라 식용 바이오매스를 이용하는 1세대 바이오연료 기술, 비식용 바이오매스를 원료로 하는 2세대 바이오연료 기술, 수소 등을 생산하는 3세대 바이오 연료 기술로 분류[68]

○ 항공운송부문 온실가스 저감 및 신 수출 산업 창출 기술, 즉 재생 가능한 다양한 바이오매스로부터 항공 대체연료를 생산하는데 적용되는 기술

2) 세부기술의 개념

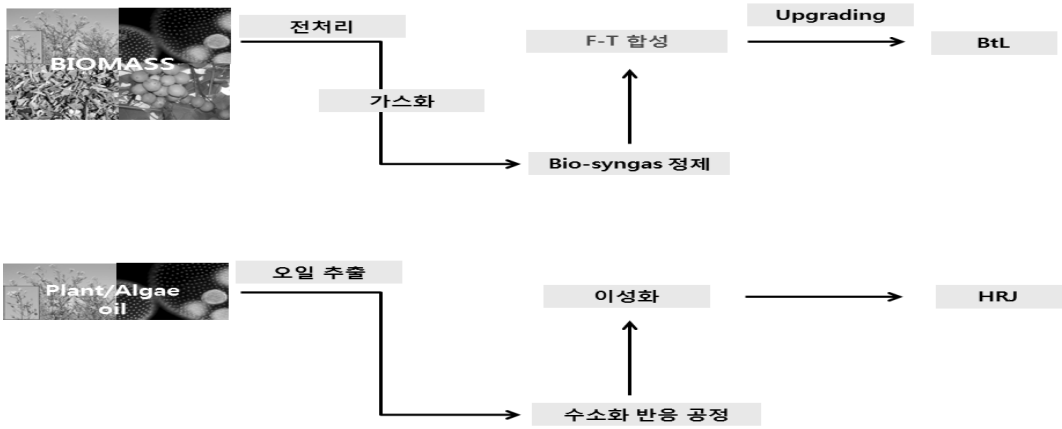
○ 국외 항공용 바이오연료는 ASTM[69]D7566-13[70] 기준에 따라 품질인증 절차를 따르고 있으며, 현재 Annex 1[71], 2[72]로 채택되어 인증된 항공용 바이오연료 생산 기술은 F-T 기술 및 HEFA(HRJ)기술임

○ F-T[73] 기술 : 목질계 바이오매스[74]의 열분해/ 가스화에 의해 생산된 바이오 syn-gas를 항공용 바이오연료로 전환하는 생물학적 또는 열화학적 공정 기술

○ HRJ[75] 기술 : 화학 촉매를 적용하여 수첨분해과정[76]을 거쳐 동식물성 기름을 항공 대체연료로 전화하는 기술

---

68) 산업자원부, 신·재생에너지 R&D 전략 2030, 2007
69) The American Society for Testing and Materials International
70) Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons
71) Fischer-Tropsch Hydroprocessed Synthesized Paraffinic Kerosine
72) Synthesized Paraffinic Kerosine From Hydroprocessed Esters and Fatty Acids
73) Fischer-Tropsch
74) 임목(순환목, 벌채목), 폐목재 및 간벌잔재
75) Hydroprocessed Renewable Jet
76) 식물성 오일, 동물성 지방, 폐식용유 등 다양란 원료에 촉매 및 수소를 첨가하여 분해시키는 수소화반응과정



<그림 2-11> 항공용 바이오연료 기술 체계

나. 국내 기술 동향[77]

○ 현재 국내 확보된 항공용 바이오연료 생산 기술은 없으며, 항공용 바이오연료 생산 기술로 전환 가능한 현존하는 수송용 바이오연료 생산 기술 동향을 알아보고자 함

1) F-T(Fischer-Tropsch) 기술

○ CtL(Coal to Liquid)와 GtL(Gas to Liquid)는 석탄과 천연가스를 화학적, 물리적으로 가공하여 액체상태의 석유제품을 만들어내는 기술로서 Fe나 Co 촉매상에서 합성가스로부터 액체 탄화수소를 만드는 F-T 합성 반응이 핵심이 됨

- F-T 합성반응은 BtL 기술에도 쉽게 접목하여 활용 가능

○ 현재 사용 중인 바이오연료는 곡물을 원료로 사용하여 석유계 연료에 비해 경제성이 없고, 안정적 원료 보급을 위해 조류 및 목질계 바이오매스의 전처리 기술을 중심으로 수송용 바이오연료 기술 개발 추진 중

- 해조류 및 미세조류의 전처리를 통한 원료 확보 기술 개발
- 목질계 바이오매스의 전처리 및 사용화를 위한 기반 구축 방안 도출

○ 미세조류로부터 바이오매스를 생산하려는 연구는 국토교통부의 미래 해양기술 개발사업, 교육과학기술부의 21세기 프런티어 연구 개발 사업 중“이산화탄소

77) 한국에너지기술평가원, 그린에너지 전략 로드맵 2011(바이오연료), 2011 및 산업자원부, 신·재생에너지 R&D 전략 2030(수송용 바이오), 2007 재정리

저감 및 처리기술 개발사업"등에서 기초연구가 수행 중으로 광생물 반응기(Photobioreactor)[78]를 이용한 미세조류의 대량배양 위주로 연구 진행 중

- (주)바이오트론은 광생물 반응기에 대한 상용화를 완료하고, 국내외 생산 보급 단계임
- (주)세종공업과 (주)한국종합기술은 이산화탄소를 흡수하는 식물성 플랑크톤과 이를 포실하는 동물성 플랑크톤의 먹이 사슬망을 이용한 연속배양시스템(Raceway Pond형)에서 차량배기가스 등 이산화탄소 농도가 높은 배기가스내의 이산화탄소 흡수(제거)의 고지질의 동물성 플랑크톤을 동시에 수확할 수 있는 원천기술 개발 완료

○ 목질계인 2세대 바이오연료는 기존의 화석연료를 대체하고 온실가스 감축에 큰 효과가 있어 정부는 목질계 기반 바이오매스 액화연료(BtL, Biomass to Liquid fuel)에 대해 파일럿 실증 완료 단계 기술개발 진행 중

○ 2세대 바이오연료로 불리는 BtL(Biomass to Liquid)는 섬유소계 바이오매스를 열분해하여 합성가스로 전환한 후 가스 정제 및 F-T 합성에 의해 생성

○ 이 기술은 연구단계에서 상용화 단계로 전환되고 있지만, 이미 상용화된 석탄 가스화에 의한 액상연료 생산 기술의 연장선상에 있는 것으로 평가됨[79]

○ 수송용 바이오연료 기술인 BtL 기술은 항공용 바이오연료 기술에 접목이 가능함

2) HBD(Hydroprocessed Bio Diesel) 기술

○ HBD 공정은 파일롯 실증 추진 단계 기술개발 진행 중

○ 우리나라는 1세대 바이오연료 자원이 부족한 실정으로 현 보유기술을 기반으로 국내 실정에 적합한 원료 이용 기술 개발이 필요

---

78) 미세조류의 성장에 유해한 원생동물 및 곰팡이의 유입을 차단하여 순수배양이 이루어지도록 함으로써, 생산된 미세조류의 품질을 향상시킬 수 있는 점, 광합성의 탄소원이 포함된 가스원을 공기주입부에 부착된 공기스파저를 통해 공급함으로써, 가스원의 기포 크기를 미세하게 만들어 가스교환율을 높여 가스원의 용존률을 향상시킴과 함께 배양액 내에 탄소원이 고농도로 유지될 수 있는 점, 그리고 공급되는 가스원을 교반에 이용하여 배양액 내의 미세조류가 균일하게 분산될 수 있도록 함으로써, 광원의 이용률 및 배양기 내부로의 투과거리를 높여 광합성 효율이 증대되고 이로 인해 고밀도 대량 배양이 이루어질 수 있음
한국생명공학연구원, 미세조류 고밀도 배양용 광생물 반응기와 이를 이용한 미세조류 배양 및 수확 방법 특허, 2011

79) 김재곤외 6인, BtL 디젤 생산을 위한 F-T 디젤의 연료적 특성 연구

○ 현재 상용화된 수송용 바이오연료는 곡물을 주원료로 활용함에 따라 향후 급증하는 항공용 바이오연료 생산원료로서 한계를 가져 중장기적으로 비식용원료 활용 바이오연료 기술로 대체될 전망

○ 바이오연료의 핵심적 이슈는 원료의 다양화와 안정적 공급

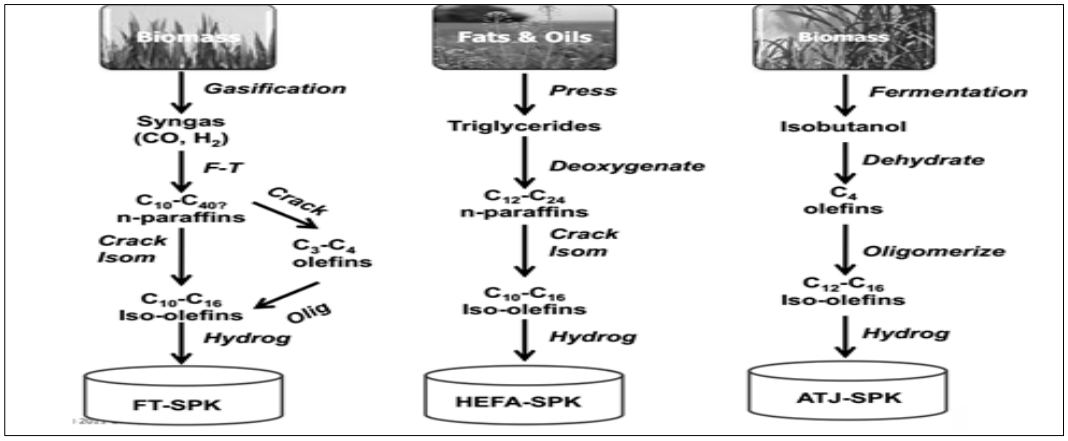
- 바이오연료의 원료 생산국과 소비국의 불일치로 향후 국가 간 원료나 바이오연료 무역이 증가할 것으로 예상

○ 디젤과 항공유는 정유 공정상 몇 단계를 제외하고는 매우 유사하여 HBD 기술은 HRJ(Hydroprocessed Renewable Jet fuel) 기술에 접목이 가능함

다. 국외 기술 동향

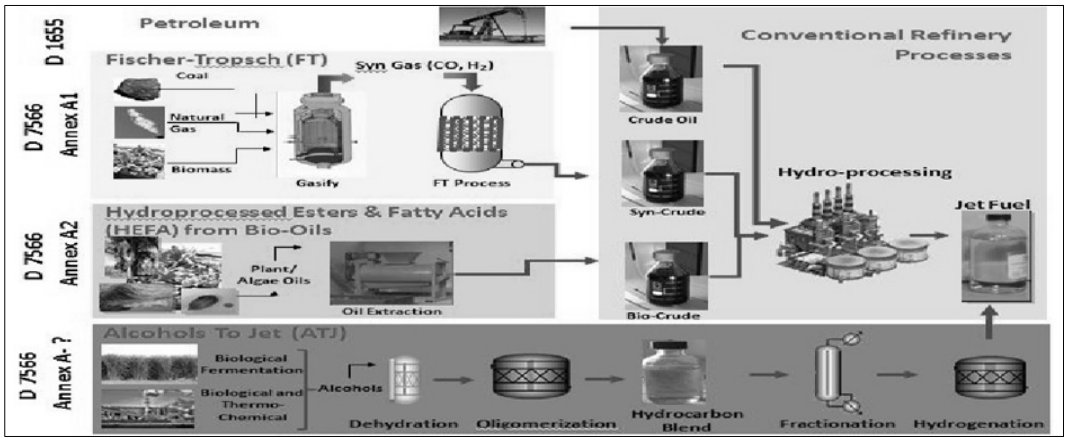
○ 신재생에너지 개발

- 온실가스를 감축을 위한 지속가능한 항공용 바이오연료는 생물학적 원료를 기반으로 한 항공유로서 현 항공유와 혼합 가능하며, 기존의 항공 기반시설을 사용할 수 있는 연료로서 개발 진행 중
- 현재 국제 기준인 ASTM D7566-13에 F-T기반의 BtL 기술과 HEFA 기술(HRJ)인증 완료
- 그 외 발효, 열분화, 알콜화 등의 기술을 통한 항공용 바이오연료 기술이 개발 중에 있음
- 그림 2-13은 F-T 기술, HEFA 기술, ATJ(Alcohols to Jet fuel) 기술의 세부 기술 내용임



<그림 2-12> 항공용 바이오연료 세부 기술

○ 국제기준인 ASTM D7566-13에 따른 항공용 바이오연료의 생산 공정은 <그림 2-13>과 같으며, ATJ(Alcohol to Jetfuel) 기술 등 미래 항공용 바이오연료<표 1-2 참조>에 대해서 ASTM 기준 개발을 위해 다양한 연구가 진행 중



<그림 2-13> 항공용 바이오연료 생산 공정

자료 : Mark Rumizen, Qualigication of Alternative Aviation fuel, ICAO Aviation and Sustainable Alternative Fuels Workshop 발표자료, 2011.10

1) 항공용 바이오연료 품질기준 및 품질인증

가) 항공용 바이오연료 품질기준

○ (국제적 품질기준)미국 ASTM D7566-13[80], 영국 DefStan 91-91[81], Aviation

80) 2013.05.01 개정

81) British Ministry of Defence Standard DEF STAN 91-91/Issue 7 Amendment 1, 16 December, 2011 for Turbine Fuel, Kerosene Type, Jet A-1, NATO Code F-35, Joint Service Designation: AVTUR.

Fuel Quality Requirements for Jointly Operated Systems(AFQRJOS)[82][83]

- 구성, 변동성, 유동성, 연소, 부식, 열 안전성 및 오염 물질 등 주요 운용 매개 변수의 범위에 대한 엄격한 기준

○ 이 품질기준들은 기본적으로 같은 항공유의 필수 요소의 품질기준으로서 검증 부분에서(acidity level and a parameter related to naphthalene content) 미세한 차이를 보이나 매우 유사하다 볼 수 있음[84]

○ ASTM D7566-13 인증은 바이오연료의 품질기준이 ASTM D1655-13(즉 JET A-1)와 동일한 품질을 가질 것을 요구하며, 항공유와 Blend 50% 경우를 인증

○ DefStan 91-91은 ASTM D7566-13 품질기준을 따른 항공용 바이오연료에 대해 인증, 또한 RCQ(Refinery Certificate of Quality), CoA(Certificate of Analysis), RTC(Recertification Test Certificate)요구

○ AFQRJOS는 ASTM D1655-13와 DefStan 91-91 포함

나) 항공용 바이오연료 품질인증

○ (국제적 품질기준)미국 ASTM D7566-13, 영국 DefStan 91-91, Aviation Fuel Quality Requirements for Jointly Operated Systems(AFQRJOS)내 시험방법 제시

○ 국제적 품질기준인 ASTM D7566의 제·개정을 위해서는 ASTM D4054-09[85]의 기준에 따라 <그림 2-14>의 절차를 거쳐야 함

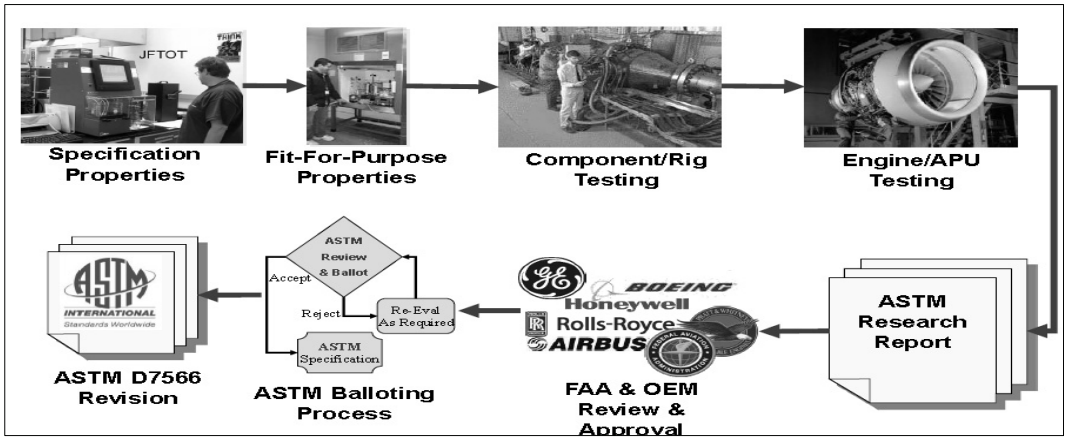
---

82) 2012.05.04 Issue 26

83) 다음의 규정의 품질기준을 따름
(a) British Ministry of Defence Standard DEF STAN 91-91/Issue 7 Amendment 1, 16 December, 2011 for Turbine Fuel, Kerosene Type, Jet A-1, NATO Code F-35, Joint Service Designation: AVTUR.
(b) ASTM Standard Specification D1655-11b for Aviation Turbine Fuels "Jet A-1".

84) IATA Guidance Material for Biojet Fuel Management, 2012.11
These specifications are all very similar because they essentially describe basically the same product, i.e. aviation kerosene. For instance, ASTM D1655 and DefStan 91-91 have nearly identical requirements for Jet A-1; of the approximately thirty test results that must be reported, there are only two - very minor - variations in test limits (acidity level, and a parameter related to naphthalene content), besides which they are essentially identical. All requirements relating to energy density, freeze and flash points, aromatic content and other defining fuel characteristics are the same. Discrepancies are further reduced by the Aviation Fuel Quality Requirements for Jointly Operated Systems(AFQRJOS), often referred to as “"Check List"", which incorporates the strictest elements of both ASTM D1655 and DefStan 91-91

85) Standard Practice for Qualification and Approval of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives



<그림 2-14> ASTM D4054-09에 따른 새로운 항공유 품질기준 개정 절차

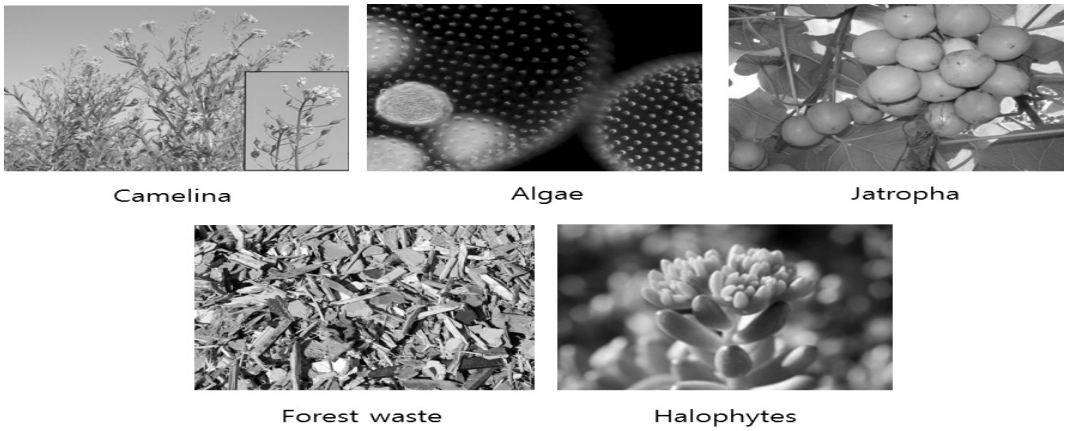
자료 : Mark Rumizen, Qualification of Alternative Aviation Fuel, ICAO Aviation and Sustainable Alternative Fuels workshop 발표자료, 2011

2) F-T(Fischer-Tropsch) 기술

○ BtL은 Biomass를 기반으로 생산된 항공용 바이오연료로서 다양한 feedstock을 통하여 생산이 가능

- 식용 원료를 사용하는 1세대 바이오연료 기술, 비식용 원료를 사용하는 2세대 바이오연료 기술, 수소 등을 생산하는 3세대 바이오연료 기술로 분류
- 2세대 바이오연료 원료의 종류
  - Camelina(양구슬냉이): 높은 질의 오일성분을 함유하고 있어 대체연료의 원료 시장을 점유하며, 회전 작물로서 일반 작물 재배 후 경작지에 회전 프로그램으로 재배 가능
  - Algae(해조류): 항공용 바이오연료 생산으로 위해서 잠재적으로 가장 유망하게 대량생산이 가능한 원료로서 오염된 또는 바닷물, 사막이나 다른 험한 지역에서도 재배 가능하며, 이산화탄소 흡수에 탁월하고, 가장 큰 장점은 다른 원료보다도 작물 재배 속도가 빠름(다른 바이오연료 원료 작물보다 평방킬로미터당 15배 성장속도가 빠름)
  - Jatropha(자트로파): 비식용작물로서 식용작물 경작지외 험한 비경작 지역에서 재배가 가능하며 다른 작물보다 면적당 수확량이 많음(각 종자당 질량당 30-40% 오일 생산 가능). 또한 생산비용이 다른 작물에 비해 가장 낮은 수준

- Halophytes(염생식물): 소금 습지 및 다른 생리 식염수 서식지에서 재배 가능 작물
- Forest Waste(숲 폐기물): 목질계 숲 폐기물을 재활용하여 바이오연료 생산



<그림 2-15> feedstock의 종류

○ 현재 바이오매스 기반의 가스화와 F-T 기술은 전 세계적으로 실증연구 단계

○ BtL(Biomass to Liquid) 공정은 크게 바이오매스 가스화와 F-T 합성 공정으로 나눌 수 있으며, 세부적인 요소기술로 바이오매스 수집 및 전처리, 가스화, Bio-syngas 정제, F-T 합성, Upgrading 및 BtL 합성유 이용 기술이 존재

- 바이오매스 전처리 기술
  - 바이오매스의 오염물 제거 등 가스화 전 전처리 공정 필요
- 바이오매스 가스화 기술
  - 바이오매스 가스화 공정을 통해 raw gas를 생성하는데 일반적으로 제조 공정과 원료에 따라 차이는 있으나 많은 양의 불순물 포함
  - Tar cracker 연계 CFB(Circulating Fluidized Bed) 가스화 공정, Entrained Flow 가스화 공정, OLGA(Oil and Gas simulator) 기술 연계 CFB(Circulating Fluidised Bed) 가스화 공정 등이 있음
- Bio-syngas 정제 기술
  - F-T 합성 촉매들은 작은 양의 불순물에도 매우 민감하므로 바이오매스로부터 F-T 합성유를 제조하기 위해서 Bio-syngas의 순도를 높이기 위한 정제 공정 필요

• dust 제거를 위한 cyclone, 가스 냉각과 일부 응축되는 tar 제거를 위한 scrubber, 흡수 또는 흡착에 의한 NH_3와 HCI 제거 공정, 미세입자와 tar aerosol 제거를 위한 전기 집진공정으로 구성

- F-T 합성 제조 기술
  • F-T 합성 반응을 위한 합성가스 조성 조절이 필수적이며, 합성가스 조성 조절을 위한 다양한 방법들에 따라서 BtL 공정에서의 F-T 합성 반응은 기존의 F-T 합성 반응과 차별화된 촉매 및 반응기 개발 요구됨
  • Water-Gas Shift(WGS) 반응, 메탄의 스팀 개질 반응, 메탄의 CO_2 개질 반응 등이 있음
  • 최적의 촉매는 여러 가지 공정변수들에 따라서 달라지므로 각 공정별 최적의 촉매 개발 필요
- Upgrading
  • F-T 합성은 middle distillate의 수율이 낮아 wax 등의 많은 부반응물들을 포함. 기존 연료 대비 방향족화합물이 없어 겨울철 응고 또는 액체가 흐리게 되는 문제점 존재
  • 이러한 문제를 해결하기위한 upgrading 공정 필수적이며 그 공정은 hydrocracking을 통해 wax 등을 유분으로 전환하는 공정과 isomer 함량을 증가시키는 hydroisomerization 공정이 있음

<표 2-8> F-T 기술

기술	세부기술	기술내용
F-T SPK (Fischer-Tropsch Synthesized Paraffinic Kerosene, 2009[86])	전처리	바이오매스 수집 및 가스화 단계를 위한 전처리 기술
	가스화	불순물 생성을 최소화한 고효율 가스화 기술
	Bio-syngas 정제	FT 촉매 수명 연장을 위한 불순물 정제 공정
	F-T 합성	FT 반응 촉매, 반응기, 순환반응 및 리포밍 기술
	Upgrading 및 BtL 합성유 제조 기술	항공유 스펙에 부합하는 FT 합성유의 upgrading(Hydrocracking을 통해 wax 등을 항공유로 전환, Hydroisomerization 공정으로 isomer 증가)공정 기술

3) HRJ(Hydroprocessed Renewable Jet fuel)기술

○ 현재 HRJ 기술은 상용화 초기 단계로 현재 세계적으로 4개 회사에서 생산공정 개발[87]

- 핀란드의 Neste Oil, 미국의 UOP, 브라질의 Petrobras, 일본의 Nippon Oil Corporation 등으로 회사들은 각각 NExBtL, Ecofining, H-Bio, BHD 공정이라 명명
- 현 정유공정과 부합성이 매우 뛰어나 메이저 정유회사들이 쉽게 시장에 진입 가능
- 2010년 기준 전 세계적으로 advanced 바이오연료의 실증 및 상업 플랜트는 64개이며, 이 중 미국의 섬유소계 바이오연료 플랜트가 다수 차지

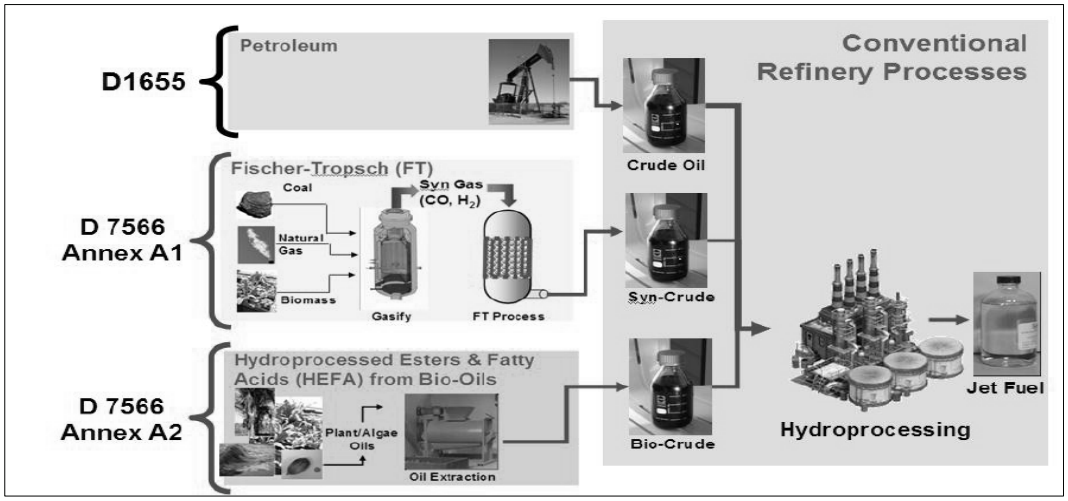
○ HRJ 공정은 크게 수소화 반응 공정(Hydrotreating process)와 이성화 공정(Isomerization process)로 나뉨

- 수소화 반응 공정 기술
  - 수소화 반응을 통해 지방 또는 지방산을 가수소화 하는 공정
  - 수소화 처리 단계에서 촉매 개발 및 적용 기술
- 촉매 적용 기술
  - Rh, Ni, Pd, Pt, Ru 등의 귀금속을 활성금속으로 하는 촉매
  - Co-Mo계, Ni-Mo계 촉매 등 다양한 촉매 개발 필요
- 이성화 기술
  - 원료유가 수소와 혼합되어 반응기에 들어가 촉매와 접촉하여 이성화(원료의 지방분자에서 원자 재배열)

<표 2-9> HEFA 기술

기술	세부기술	기술내용
HEFA SPK (Hydroprocessed Esters and Fatty acids Synthesized Paraffinic Kerosene, 2011[88])	수소화 반응 공정기술	항공유 스펙에 부합하는 수소화 반응을 통한 공정 기술
	촉매 적용 기술	수소화 반응을 위한 촉매 기술
	이성화 기술	수소화 반응 공정 후 촉매 접촉으로 이성화 기술

86) ASTM D7566-13 Annex 1
87) 서영웅, 수첨바이오디젤 생산기술의 최근 동향 및 전망



<그림 2-16> F-T 기술 및 HERA 기술 pathway

4) ATJ(Alcohol to Jet fuel) 기술

○ ASTM D7566의 새로운 annex에 포함되기 위한 승인절차 진행 중 중[89]

- ATJ는 원료를 알코올 변환 중간단계를 거쳐 화학적 변환을 통하여 항공용 바이오연료로 생산하는 기술
- ATJ SPK는 항공기 터빈 엔진 적합하며, FT-SPK, HEFA-SPK, ATJ-SPK 생산 공정을 통해 생산된 SPK가 동일한 속성임을 제시
- ASTM D7566-13 및 D1655-13에 제시된 기준을 만족하며, 기존의 항공유와 50% 혼합하여 상업용 항공기 터빈 엔진 사용에 적합함을 입증

○ 원료로는 발효 설탕 및 전분, 바이오매스, 산업폐기물 등

○ ATJ의 주요 변환단계는 다음과 같음 1) 원료에서 알코올로 변환, 2) 알코올에서 항공유로 변환

- 설탕 및 전분은 알코올로 직접 변환 가능
- 바이오매스의 경우 발효 후 설탕을 배출하는 전처리과정을 통한 알코올 변환 또는 가스 발효 후 합성가스($CO + H_2$)를 생산하는 가스화 공정을 통한 변환 가능
- 알코올 중간체는 에탄올, 부탄올, 기타 알코올, 또는 합성 알코올이며, 이후

88) ASTM 7566 Annex 2
89) ASTM WK 41378 Evaluation of Alcohol to jet Synthetic Paraffinic Kerosenes

표준 화학 공정을 통해 항공유를 생산하게 됨

- 바이오매스의 전처리 및 알코올화 기술, 에탄올 탈수화 기술(Ethanol Dehydration), 올리고머화 기술(Oligomerization), 증류 기술(Distillation), 수소화 반응 기술(Hydrogenation)등이 있음

5) 그 외 개발 단계의 항공용 바이오연료 생산 기술

○ 다양한 feedstock 및 생산 기술을 기반으로 하거나 방향족을 포함한 항공용 바이오연료 생산 기술 개발 중

<표 2-10> 항공용 바이오연료 기술 현황

기술	Feedstock	세부기술
F-T SPK(Fischer-Tropsch Synthesized Paraffinic Kerosene)	Coal, Natural gas, Biomass	전처리 - 가스화 - Bio-syngas 정제 - F-T 합성 - Upgrading 및 BtL 합성유 이용 기술
HAFA SPK (Hydroprocessed Esters and Fatty acids Synthesized Paraffinic Kerosene)	Triglyceride oils	수소화 반응 기술 - 촉매 반응 - 이성화 기술
FT SKA* (Fischer-Tropsch Synthesized Kerosene with Aromatics**)	Coal, Natural gas, Biomass	FT 기술 + Aromatics (방향족 등유)
ATJ SPK (Alcohol to jet Synthesized Paraffinic Kerosene)	Sugar, Alcohol	전처리 - 에탄올 탈수화 (Ethanol Dehydration) - 올리고머화(Oligomerization) - 증류(Distillation) - 수소화 반응 (Hydrogenation)
CH SKA (Catalytic Hydrothermolysis Synthesized Kerosene with Aromatics)	Triglyceride oils	열수분해(Hydrothermal cracking) - 고리화 반응(cyclization)
CRJ SPK (Catalysis Renewable Jet Synthesized Paraffinic Kerosene)	Sugar, Alcohol	촉매반응(Catalysis),- 올리고머화(oligomerized) - 수소화 반응(Hydrotreated)
DSHC SPK (Direct Sugar to Hydrocarbon Synthesized Paraffinic Kerosene)	Sugar	주스 증발화(Juice Evaporation) - 발효공정 (Fermentation) - 상분리 (Phase Separations) - 정제(Purification) - 수소화 반응(Hydroprocessing)

기술	Feedstock	세부기술
HEFA SKA (Hydroprocessed Esters and Fatty acids Synthesized Kerosene with Aromatics)	Triglyceride oils	HEFA 기술 + Aromatics
HDCJ SKA (Hydrotreated depolymerized cellulosic Synthesized Kerosene with Aromatics)	Lignocellulose	수소화 반응 해중합 셀룰로오스(Hydrotreated depolymerized cellulosic)
SAK (Synthetic Aromatics, Kerosene boiling range)	Sugar, Alcohol	촉매 반응

자료: IATA, IATA 2012 report on alternative fuels, 2012 재구성

라. 의미 및 시사점

○ 국내 수송용 바이오연료 생산 기술인 BtL 및 HBD 기술을 통하여 항공용 바이오연료 생산 기술 개발 가능

○ 그러나 2세대 바이오연료 기술에 대한 연구는 부족하여 이에 대한 R&D 지원 필요

- 바이오매스가 풍부한 동남아 국가와 자원 공동 개발 및 바이오연료 플랜트 수출을 위한 협력 체계 구축 필요
- 항공용 바이오연료 생산 기술 개발을 통한 신기술 확보 가능

○ 국내 수송용 바이오연료 기술의 실증 및 시범사업지원에 항공 부문을 추가하여 상용화 추진 필요

마. SWOT 분석

○ 항공부문 온실가스 감축을 위해서는 항공용 바이오연료 개발 시급

○ 선진국과의 기술격차를 줄이기 위해서는 정부의 적극적인 지원과 국제 협력을 통해 바이오매스 확보 및 시장 확보 필요

○ 기존의 수송용 바이오연료 생산 기술 및 기반시설, 그리고 선진국 수준의 정유기술 보유를 통해 항공용 바이오연료 개발 가능성이 큼

<표 2-11> SWOT 분석

	O(기회)	T(위협)
항공용 바이오연료 적용 기술 개발	- 중장기적으로 항공운송부문 온실가스 감축의 가장 유망 수단 - 바이오연료에 대한 관심도와 필요성 증가	- 안정적인 바이오매스 확보 필요 - 선진국의 선제적인 바이오연료 연구의 선제적 투자 - 항공부문 바이오연료 보급 정책 취약 - 선진국과의 기술격차 - 2세대 바이오연료 기술에 대한 연구 경험 부족 - 엔진 제작국이 가질 수 있는 원천기술 획득 어려움
S(강점)	SO전략	ST전략
- 국가의 정책적이고 실제적인 온실가스 감축 목표 설정 - 수송용 바이오연료의 혼합의무제도 시행에 따른 바이오연료 시장 확대 전망 - 국내 항공사의 Engine Test Cell에서는 국제적인 수준의 엔진 성능 테스트 기반시설 보유 - 국내 정유사의 선진국 수준의 정유기술 보유	- 해외시장 수요가 있는 국내 보유 우수 바이오연료 플랜트 기술의 발굴 및 수출산업화 추진 - 수입 원료와 차별화할 수 있는 국내 폐자원 활용 기술 개발 필요 - 석유화학산업 기술을 바이오연료 기술과 융합하여 항공용 바이오연료 시장조기 선점	- 수송용 바이오연료 보급을 위한 지원 정책 시행 - CDM 사업 시행을 통해 수송용 바이오연료의 경제성 확보 지원 - 동남아 국가와 바이오매스 자원 공동 개발 및 국내 개발 바이오연료 플랜트 수출을 위한 협력 체제 구축 - 신기술을 기반으로 한 플랜트 수출 지원 정책 추진
W(약점)	WO전략	WT전략
- 대량 바이오연료 생산을 위한 바이오매스 확보 어려움 - 차세대 항공용 바이오연료에 대한 연구 부족 - 국내 항공용 바이오연료 생산 기반시설 및 연구인력, 경험 부족 - R&D 투자 금액 부족	- 차세대 항공용 바이오연료 R&D 지원 강화 - 국제 및 국내 기업 간 공동연구 활성화 - 정부 지원을 통한 기술경쟁력 확보 - 바이오연료의 내수시장 확보 및 수출 산업화 활성화	- 해외 바이오매스 자원 확보를 위한 국제 협력 강화 - 국내 개발 기술의 실증 및 시범사업지원을 통한 상용화 추진 - 미래 유망 고부가가치 바이오연료 기술 개발에 대한 정부의 장기적이고 구체적인 지원 및 정책 추진

자료: 그린에너지 전략 로드맵 2011(한국에너지평가원)을 참조하여 재구성

4. 기술수준 분석

가. 국내 기술수준 분석

<표 2-12> 항공용 바이오연료 기술수준

단위 : %

핵 심 기 술	비중	기술 수준	세부 기술	비중	기술 수준
BtL (Biomass to Liquid)	15	70.45	전처리 기술	10	82
			가스화 기술	15	60
			Bio-syngas 정제 기술	15	70
			F-T 합성 기술	45	70
			Upgrading 및 BtL 합성유 제조 기술	15	75
F-T	30	70	촉매 기술	65	70
			반응기 기술	35	70
HRJ (Hydroprocessed Renewable Jet fuel)	55	84	수소화 반응 공정 기술	40	80
			촉매 기술	40	90
			이성화 기술	20	80
전체 기술 수준			77.77		

주 : 1. 바이오연료 전문가 자문을 바탕을 재구성
2. F-T 기술의 경우 BtL 기술의 가장 핵심 기술로 추가로 기술수준을 파악함

<표 2-13> 항공용 바이오연료 관련 핵심기술 국산화율

단위 : %

핵 심 기 술	비중	국산화율	
		설계	제작/생산
BtL (Biomass to Liquid)	25	80	75
F-T	10	85	80
HRJ (Hydroprocessed Renewable Jet fuel)	65	80	85
전체 항공 바이오에너지 분야의 국산화 율		81.6	80

주 : 바이오연료 전문가 자문을 바탕을 재구성

<표 2-14> 바이오디젤 기술 관련 논문 및 특허 현황

구분	제목	내용
논문	국내 유통 바이오디젤 및 바이오디젤 혼합연료의 산화열화 연구	- 국내 보급 가능한 원료별 바이오디젤 조성 정밀분석 및 품질특성에 미치는 영향 분석 - 바이오디젤 혼합 경유 산화 안정성 품질에 대한 향후 대책 방안 검토
	바이오디젤의 출력 및 배기특성에 관한 연구	- 일반 디젤유와 바이오디젤유 혼합비에 따른 기관의 출력 특성과 배기가스 특성과 배기가스 온도를 측정하여 비교, 분석
	바이오디젤 혼합연료를 사용하는 함정추진디젤기관의 배출계수를 이용한 배기가스 배출량 예측	- 바이오디젤 연료와 디젤연료를 혼합하여 성분 분석 - 이산화황 및 이산화탄소 배기가스 배출계수 파악 및 배출량 예측
	동물성 유지를 원료로 한 바이오디젤 제조 장치 개발 및 바이오디젤의 반응조건 고찰	- lard 유를 원료로 한 바이오 디젤 제조 장치 개발 및 바이오 디젤 제조 - 중심합성 설계법을 이용하여 반응 조건의 변화에 따른 지방산 메틸에스테르 함량 분석 및 고찰
	전자 제어 분사식 과급디젤기관에서 에스테르화와 비에스테르화 바이오 디젤유의 연소 특성 비교	- 에스테르화 바이오디젤유 및 비에스테르화 바이오 디젤유, 대두유 각 5%를 혼합한 혼합유를 이용하여 전자제어방식 디젤엔진에서의 연소 및 배기특성 비교 분석
	경유 대체 연료로서 수첨바이오디젤의 윤활 특성 연구	- 팜유 기반 수첨바이오디젤의 연료 특성 고찰 - 수첨바이오디젤의 국내 자동차용 경유 대체 연료로서의 윤활 특성 분석
	디젤엔진에서 GTL－바이오디젤 혼합연료의 연소 특성에 관한 연구	- GTL연료와 GTL-바이오디젤 혼합 연료를 디젤 엔진에 적용하여 다양한 분사 압력과 혼합비 변화에 따른 연소 특성 및 배출물의 변화 분석 및 상관관계 규명
	압축착화엔진에서 대두유 바이오디젤의 분무 및 배기 배출물 특성에 관한 연구	- 바이오디젤과 디젤의 분무 특성 비교 - 분사시기에 따른 분위기 조건의 변화에 대응하기 위해 고압 챔버 내에서 동일한 분위기 밀도 조건을 형성하여 실험
	함산소 바이오디젤연료의 혼합기형성 및 미립화증진에 관한연구	- 바이오디젤의 혼합기 형성 과정 규명 - 분무 미립화 특성 향상을 위한 실험적, 해석적 연구 수행 - 바이오디젤 압축 착화 엔진의 설계 및 제작에 필요한 최적화 자료 제시 - 캐비테이션 유동이 바이오 디젤 연료의 미립화 증진에 미치는 영향 실험적 분석

구분	제목	내용
논문	커먼레일 디젤 엔진에서 바이오 디젤 연료의 혼합 비율에 대한 배기가스의 특성 평가	- 커먼레일 디젤엔진에 대해 바이오디젤 연료를 사용하여 배기가스 측정 - 압력증가와 바이오디젤 연료 혼합비에 따른 NOx 와 Soot 평가 - 분사압력과 바이오디젤 혼합비에 따라 발생하는 NOx와 Soot의 관계를 상관계수로 제시
특허	폐불가사리를 이용한 바이오디젤의 합성 방법	- 폐불가사리를 이용한 바이오디젤의 합성 방법 - 폐불가사리를 고온에서 소성하는 단계, 알코올과 반응시키는 단계를 포함한 바이오디젤의 합성 방법 개시
	바이오 디젤의 유동점 강하 방법	- 다른 화합물을 첨가하거나 경유와 혼합없이 유지로부터 바이오디젤을 제조하는 과정에서 바이오디젤의 유동점을 강하시키는 방법
	바이오 디젤의 제조방법	- 효소 촉매를 이용하여 공급되는 바이오디젤 원료유의 성상에 따라 바이오디젤을 합성하는 반응기의 조합을 달리하여 공정비용 절감 및 공정 단순화 - 상기 효소 촉매의 반응성을 효율적으로 증대시켜 경제적으로 고급 바이오디젤 제조
	바이오 디젤 원료유의 전처리 방법	- 바이오디젤 원료유의 전처리 공정을 1당계로 간편화하여 공정효율을 높이고 반응 부산물 최소화 - 완충용액과 흡착제를 저급 바이오디젤 원료유에 동시에 첨가하여 경제적으로 고급 바이오디젤을 제조할 수 있는 원료유 제공
	초임계 알코올을 이용한 바이오 디젤의 제조 방법	- 저급 알콜 사용량을 획기적으로 감소시킴과 동시에 전체 반응기내에서 초임계 알콜과 원료를 균일하게 유지할 수 있어 경제적으로 바이오디젤 제조 가능

<표 2-15> F-T 기술 관련 논문 및 특허 현황

구분	제목	내용
논문	F-T 기술 기반 BtL 디젤의 저온 배출가스 특성	- 파일럿 규모의 플랜트에서 목질계 자원으로부터 합성가스를 생산한 후 F-T 공정을 거쳐 생산된 3세대 바이오디젤인 BtL에 대한 연료적인 품질 특성과 저온에서의 차량 배출가스 특성에 대해 분석

구분	제목	내용
논문	Fischer-Tropsch 반응을 포함하는 GTL 공정 Fixed-Bed 반응기의 Start-up에 따른 내부 변화 동적모사	- GTL-FPSO 공정에 적용하기 위해 반응기의 Start-up에 따른 내부 변화 동적 모사를 CFD 기반의 simulation tool인 COMSOL Multiphysics로 해석
	BtL 디젤 생산을 위한 F-T 디젤의 연료적 특성 연구	- 바이오매스액화연료 생산을 위한 동일 공정으로 합성된 F-T 디젤의 연료적 특성 연구
	BtL 연료 생산을 위한 F-T 디젤의 연료적 특성 연구	- 해외에서 검토된 F-T 디젤의 물성 특성 파악 - 국내 추진중인 BtL 연료 생산 기술의 기분으로 적용되고 있는 F-T디젤의 연료적 특성 고찰
	청정합성유 제조를 위한 코발트계 Fischer-Tropsch 촉매 개발 연구	- 합성가스로부터 F-T 합성반응에 의하여 높은 CO 전환율 및 메탄의 생성이 낮은 촉매에 관해 연구 - 고정층 반응 기내에서 CO 전환율, 메탄 선택도, 활성도를 분석하여 촉매 활성 비교 분석 - 촉매의 분산도, Co의 크기, 환원도를 분석하여 코발트 입자 사이즈, 분산도 및 촉매 활성의 상관관계 분석
	비표면적 큰 코발트계 담지 촉매를 사용한 Fischer-Tropsch 반응에 의한 탄화수소의 제조에 관한 연구	- 자체 제조 고표면적 실리카 및 알루미나계 담체를 사용하여 20% 코발트를 함침한 함침촉매 제조 - 고정층 반응기를 사용한 기상반응, 노말헥산을 기상반응에 추가한 형태에 관한 FT반응 특성 비교, 검토
	구형 철-알루미나 입자 제조 및 Fischer-Tropsch 반응을 위안 전처리 조건 확립	- 졸-겔법 및 오일법을 사용하여 구형 촉매입자 제조, 각 조성에 따른 FT반응 성능 비교 - 최적의 조성을 가지는 구형촉매를 이용하여 전처리 조건에 대해 연구
특허	Fischer-Tropsch 합성용 촉매의 활성화 방법	- 피셔-트롭시 합성 반응 온도와 유사한 낮은 온도에서 Fischer-Tropsch 합성 반응용 촉매를 활성화 시키는 방법 제공 - 촉매의 활성을 장시간 유지할 수 있고 원거리 이송이 편리한 금속 촉매의 활성화 방법 제공

구분	제목	내용
특허	Fischer-Tropsch와 종래의 디젤 연료와의 저황 저배출 블렌드	- 연료 블렌드를 Fischer-Tropsch 유도된 디젤 연료와 블렌딩된 종래의 언더컷 디젤 연료를 함유하여 황 함량이 감소되도록 함 - 디젤 연료로서 유용한 블렌딩된 연료에 관한 연구
	촉매 구조체 및 Fischer-Tropsch 합성방법	- 촉매 구조체, 이의 제조 방법 및 Fischer-Tropsch 합성 방법 - 낮은 접촉시간, 양호한 변환율 및 낮은 메탄 선택률을 갖은 일산화탄소의 수소화 반응능을 제공
	Fischer-Tropsch 방법 유래의 공급물을 수소 이성질체화시키는 방법	Fischer-Tropsch 방법으로부터의 공급물을 소수 이성질체화 시키는 방법에 관한 연구
	우수한 열전달 성능을 갖는 Fischer-Tropsch 합성용 촉매	- 우수한 열전달 성능을 가진 이중 입자 구조 촉매를 발명하여 탄화 수소에 대한 높은 선택도를 나타내어 합성가스로부터 탄화수소를 제조하기 위한 피셔-트롭시 합성용 고정층 반응기에 유용하게 사용하도록 함

<표 2-16> BtL 기술 관련 논문 및 특허 현황

구분	제목	내용
논문	바이오매스 기반 합성가스를 이용한 BtL 휘발유분의 연료적 특성 연구	- R&D 수준의 파일럿 플랜트에서 합성된 BtL 연료 중 BtL 휘발유의 휘발유 대체 연료로써 품질 특성 고찰
	목질계 바이오매스 기반 BtL 디젤 혼합연료의 차량 배출특성 연구	- 파일러 플랜트에서 합성된 BtL 디젤의 경유 대체 연료로써 차량 배출 특성 및 품질특성 고찰
	BtL 공정을 위한 합성가스 공급 시스템 개발	- 국내에 진행되어왔던 BtL 연구에 관한 고찰 - 가스화 시스템의 장기 운전에 대한 영향
	BtL 디젤의 혼합비율에 따른 경유의 품질 특성	- BtL 디젤의 주요 특성 분석 - BtL 디젤의 차량 연료 사용을 위한 연료적 특성 분석

구분	제목	내용
논문	국내 BtL 디젤의 윤활특성 연구	- 파일럿 플랜트에서 생산된 BtL 디젤을 혼합 비율에 따라 자동차용 경유의 윤활 특성을 살펴봄 - 파일럿 플랜트에서 FT 공정으로 합성된 시료 사용
	BtL(Biomass to Liquid) 기술 현황	- 바이오 연료 측면에서의 BtL 기술 가치 분석 - BtL 기술 현황 및 개요

나. 국외 기술수준 분석

<표 2-17> 항공용 바이오연료 기술수준

단위 : %

핵 심 기 술	비중	기술 수준	세부 기술	비중	기술 수준
BtL (Biomass to Liquid)	25	85.75	전처리 기술	5	90
			가스화 기술	40	85
			Bio-syngas 정제 기술	10	85
			F-T 합성 기술	35	85
			Upgrading 및 BtL 합성유 제조 기술	10	90
F-T	10	85	촉매기술	65	85
			반응기 기술	35	85
HRJ (Hydroprocessed Renewable Jet fuel)	65	89	수소화 반응 공정 기술	40	85
			촉매기술	40	95
			이성화 기술	20	85
전체기술수준			87.79		

주: 1. 수송용 바이오연료 전문가 자문을 바탕을 재구성
2. F-T 기술의 경우 BtL 기술의 가장 핵심 기술로 추가로 기술수준을 파악함

제 2 절 연구개발과제 구성 및 추진전략

1. 비전 및 목표

○ 항공용 바이오연료 적용 기술 개발

- 선진국 수준의 항공용 바이오연료 기술 개발을 통한 국내 기술력을 확보하여 항공 부문 온실가스 감축 및 이를 통한 국제사회의 기여 확대

2. 핵심기술요소 선정 및 TRL[90] 목표

○ 핵심기술요소(CTE[91]) 도출

<표 2-18> 핵심기술요소 후보

No.	CTE명
후보1	Gas to Liquid 생산 기술
후보2	Biomass to Liquid 생산 기술
후보3	Hydroprocessed Renewable Jet fuel 생산 기술
후보4	항공용 바이오연료 엔진 안전성 시험 기술
후보5	항공용 바이오연료 비행 안전성 시험 기술
후보6	항공용 바이오연료 LCA 분석 기술
후보7	국내 항공용 바이오연료 생산 표준 기술
후보8	항공용 바이오연료 안전성 시험 검증 기술

90) 개발기술의 성숙도(Technology Readiness Level, TRL)
91) 핵심기술요소(Critical Technology Element, CTE)는 과제의 성패를 좌우하는 중요한 기술로서 개발 기술이 완성되기 위하여 충족되어야 할 필수 기술

<표 2-19> 핵심기술요소 선정

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	후보8	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?		○	○	○	○	○	○	○	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?									하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가									
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발 시 변경된 기술인가?		○	○	○	○	○	○	○	
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?		○	○	○	○	○	○	○	
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?									
핵심기술요소(CTE) 선정여부	×	○	○	○	○	○	○	○	

<표 2-20> 핵심기술요소 목록

CTE	유형	CTE명	최종 TRL
1	재료・자재	Biomass to Liquid 생산 기술	TRL 7
2	재료・자재	Hydroprocessed Renewable Jet fuel 생산 기술	TRL 7
3	공법·기법	항공용 바이오연료 엔진 안전성 시험 기술	TRL 7
4	공법·기법	항공용 바이오연료 비행 안전성 시험 기술	TRL 7
5	공법·기법	항공용 바이오연료 LCA 분석 기술	TRL 7
6	공법·기법	국내 항공용 바이오연료 생산 표준 기술	TRL 7
7	공법·기법	항공용 바이오연료 안전성 시험 검증 기술	TRL 7

<표 2-21> 기술성숙도(TRL) 단계별 목표(1)

연구과제명	항공용 바이오연료 적용 기술 개발	유형				
프레임워크		선행단계			시제품 제작 및 시연	
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL			
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
마일스톤 일정		2013	2014	2015	2016	2017
CTE No.	기술명					
CTE 1	Biomass to Liquid 생산 기술	TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5
CTE 2	Hydroprocessed Renewable Jet fuel 생산 기술	TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 4	TRL 5
CTE 3	항공용 바이오연료 엔진 안전성 시험 기술	TRL 5				
CTE 4	항공용 바이오연료 비행 안전성 시험 기술	TRL 5				
CTE 5	항공용 바이오연료 LCA 분석 기술	TRL 5				
CTE 6	국내 항공용 바이오연료 생산 표준 기술	TRL 5				
CTE 7	항공용 바이오연료 안전성 시험 검증 기술	TRL 5				

<표 2-22> 기술성숙도(TRL) 단계별 목표(2)

연구과제명	항공용 바이오연료 적용 기술 개발	유형		
프레임워크		선행단계	시제품 제작 및 시연	현장적용
마일스톤		마일스톤 목표 TRL		
		5차년도	6차년도	7차년도(종료)
마일스톤 일정		2018	2019	2020
CTE No.	기술명			
CTE 1	Biomass to Liquid 생산 기술	TRL 6	TRL 7	TRL 7
CTE 2	Hydroprocessed Renewable Jet fuel 생산 기술	TRL 6	TRL 7	TRL 7
CTE 3	항공용 바이오연료 엔진 안전성 시험 기술	TRL 6	TRL 6	TRL 7
CTE 4	항공용 바이오연료 비행 안전성 시험 기술	TRL 6	TRL 6	TRL 7
CTE 5	항공용 바이오연료 LCA 분석 기술	TRL 6	TRL 6	TRL 7
CTE 6	국내 항공용 바이오연료 생산 표준 기술	TRL 6	TRL 6	TRL 7
CTE 7	항공용 바이오연료 안전성 시험 검증 기술	TRL 6	TRL 6	TRL 7

3. 세부과제 주요내용 및 추진전략

가. 세부과제 주요내용

1) 항공용 바이오연료 시험평가 기술 개발

가) 국내 항공용 바이오연료 시험평가를 위한 기초연구(실험실 테스트)

○ 국내·외 친환경 항공 산업 발전을 위한 관련 기술·정책·산업화 동향 및 환경 분석

- 해외 바이오연료 품질기준
  - Kerosen Jet Fuel: Jet A(US 기준), Jet A-1(국제기준)
  - 국제적 사용 민간 항공유 품질기준: ASTM D1655, DefStan 91-91(공용)
  - 합성 탄화수소(항공유 품질기준: ASTM D7566(US기준, '09.9 등록)
- 지속가능성 기준
  - EU 연료품질지침(Fuel Quality Directive 2009/30/EC)
  - 영국 탄소·지속가능성(Carbon and Sustainability, C&S), RTFO의 meta-standard 갤러거 방법 채택
  - US RFS(Renewable Fuel Standard)

○ 국내 최적의 항공용 바이오연료 생산 기술 발굴

- 국내 적용 가능한 바이오매스 원료 선정(식량계 및 비식량계 원료 대상)
- 국외 개발될 항공용 바이오연료 및 바이오연료 기술에 대한 선행연구 분석
  - 2세대 바이오연료 기술(비식용 바이오매스 원료)
  - 국외기관 참여 테스트 외에는 어려움이 따름(국외 연료 구매 가능성 희박)
- F-T 기술을 활용한 BtL 생산 기술을 통한 바이오연료 시험 생산 공정
  - 전처리 기술
  - 가스화 기술
  - Bio-syngas 정제 기술
  - F-T 합성 기술(촉매 및 반응기 기술)
  - Upgrading 및 BtL 합성유 제조 기술

- HRJ 생산 기술을 통한 바이오연료 시험 생산 공정
  - 수소화 반응 공정 기술
  - 촉매 기술
  - 이성화 기술

○ Bench 규모의 항공용 바이오연료의 품질검증 및 최적화 도출

- 공정도, 경제성 평가, 기술 수준, Quality 등
- 항공용 바이오연료의 specification 검증

○ 사전 플랜트 운영 계획(방법론적) 구축

나) 국내 항공용 바이오연료 시험평가 연구(실험실 테스트-플랜트 규모)

○ BtL 및 HRJ 기술을 통한 항공용 바이오연료 시험 생산 공정 구축

- 품질인증을 위한 항공용 바이오연료의 파일럿 플랜트 적정 규모 공정 및 파일럿 설계·구축·운영
  - 항공용 바이오연료의 최적의 촉매 기술 개발
  - 항공용 바이오연료의 요소 기술의 최적화 및 통합운영 기술의 최적화 개발
- 항공용 바이오연료 품질 평가 기술 개발(공정과정에 대한 평가, 연료 특성 등 기존 연료 DATA를 기반으로 검증)
  - 공정도, 경제성 평가, 기술 수준, Quality 등
  - 항공용 바이오연료의 specification 검증
- 항공기 적용 엔진 배출 성능 인증 평가 기술 개발(엔진 성능 내구성 평가 기술 개발)

2) 항공용 바이오연료 안전성 평가 및 표준화 기술 개발

가) 국내 항공용 바이오연료 엔진 및 비행 안전성 평가 기술 개발

○ 국내 항공용 바이오연료 안전성 시험 인증 기술 개발

- ASTM D7566, D1655, DefStan 91-91 기준에 부합하는 항공용 바이오연료의 항공기 엔진 안전성 시험 기술 개발
- ASTM D7566, D1655, DefStan 91-91 기준에 부합하는 항공용 바이오연료의 비행 안전성 시험 기술 개발

나) 항공용 바이오연료에 대한 지속가능성 기준 기술 개발(최적의 플랜트 연료 확보 후 실시)

○ 인벤토리 구축(바이오연료 제조 전 공정 과정 및 기존연료의 온실가스 목록화 - 원료 수집, 운반, 제조, 수송, 엔진 사용)

○ 온실가스 배출량 평가(온실가스 배출량 산정범위, 전주기 분석 방법론, 배출량 설정 등)

○ 식량과의 경합성 평가(바이오연료와 식량과의 경쟁 검토 및 대응전략)

○ 생물다양성 평가(환경 및 사회에 미치는 영향)

○ 경제성 및 공급 안전성 평가(경제성 및 공급안전성 고려 국내 도입방안)

다) 항공용 바이오연료 표준화 기술 개발

○ 바이오연료의 연료 품질기준 검증 및 엔진, 비행 안전성 검증을 통한 국제적 수준의 항공용 바이오연료 생산 표준 기술 구축

○ 항공용 바이오연료에 대한 안전성 시험 검증 및 시스템 구축

나. 세부과제 추진전략

1) 컴소시엄 형태의 사업 추진

○ 신재생에너지 기술 개발 및 이용·보급 기본 계획에 항공용 바이오연료 기술 개발 추가 필요

○ 정부, 바이오연료 생산업체, 항공사, 항공기 제작사, 학계 등 다양한 분야의 컨소시엄 형태의 사업 운영

- 기획→기술개발→실증→표준화→상용화→보급 및 수축산업화 과정의 전주기적 추진전략 구성
  - 산업통상자원부 : 항공용 바이오연료 시험평가 기술 및 표준화 기술 개발 부분을 주도적으로 관리 필요
  - 국토교통부 : 항공용 바이오연료 안전성 평가 기술 개발 부분을 주도적으로 관리 필요

- 예산지원 및 사후관리까지 협업으로 공동 추진

2) 협의회 구성·운영

가) 협의회 구성

○ 정부 : 산업통상자원부, 교육부, 농림축산식품부, 환경부, 국토교통부, 방위사업청, 농촌진흥청, 산림청

○ 연구기관 : 기계연구원, 한국석유관리원, 에너지기술연구원, 화학연구원, 한국생산기술연구원, 교통연구원, 해양연구원 등

○ 산업체 : 국내 항공사, 정유사, 신재생에너지 생산업체 및 수출입업체, 항공기 정비업체, 항공기 제작업체, 엔진 제작업체 등

○ 학계 : 항공대, 한국과학기술원, 고려대, 연세대, 서울대, 경북대, 경상대 등

○ 국외업체 : 항공기 제작사(Boeing, Airbus 등), 엔진 제작사(Rolls-Royce, GE, Pratt & Whitney, CFMI 등), 바이오연료 제작사(UOP, Sky NRG 등) 등과 MOU 체결

나) 협의회 내 각 세부기관의 역할

○ 정부부처

- 국가적 R&D 역량 결집이 가능한 분야로서 부처공동 메가 프로젝트 추진 필요
- 농림축산식품부 : 항공용 바이오연료의 원료 확보, 2세대 바이오연료 작물 대량생산 기술 개발 사업 지원
- 해양수산부 : 항공용 바이오연료의 원료 확보, 2세대 바이오연료 미세조류 대량생산 기술 개발 사업 지원
- 산업통상자원부 : 항공용 바이오연료 기술 개발, 인력양성, 인프라 기반 구축 등의 사업 지원
- 국토교통부 : 산업통상자원부에 개발한 항공용 바이오연료의 비행안전성 관리, 국제기구 및 국외업체 등과의 국제협력 매개 지원

○ 연구소

- 한국석유관리원, 한국에너지기술연구원, 생산기술연구원 등 다양한 연구원에서

수송용 바이오연료 개발 경험 및 인프라를 보유하고 있으며, 이들 연구원은 항공용 바이오연료 기술 개발 수행 가능

○ 산업체

- 국내 4대 정유사는 선진국 수준의 석유화학기술력 및 정유기반시설, 그리고 수송용 바이오연료 기술 개발 경험을 보유하고 있어 항공용 바이오연료 개발 기술 부문의 개발 수행 및 기업출자 가능
- 국내 항공사는 선진국 수준의 항공기 엔진 기술력 및 엔진 test cell 등 인프라를 보유하고 있어 개발된 항공용 바이오연료의 비행안전성 검증 부문 수행 및 기업출자 가능

○ 학계

- 고려대, 연세대, 서울대, 경북대, 경상대 등에서는 수송용 바이오연료 기술 개발 연구경험을 보유하고 있어 항공용 바이오연료 개발 기술 부문 수행 가능
- 항공대, 한서대 등에서는 항공기 기체 및 엔진 관련 연구경험을 보유하고 있어 개발된 항공용 바이오연료의 비행안전성 검증 부문 수행 가능

○ 국외업체

- 국제기구 : ICAO의 GFAAF 등의 항공용 바이오연료 개발 프로그램에 참여하여 선진 항공용 바이오연료 개발 기술 정보 교류 및 국내기술 ASTM 국제기준에 반영
- 항공기 제작업체 및 항공기 엔진 제작업체 : 항공기 관련 바이오연료 실증을 위해서는 제작업체의 승인 및 협조 필요
- 항공사 : 항공용 바이오연료 비행 test 경험이 있는 항공사와 제휴를 통해 정보 교류 필요
- 바이오연료 제작 업체 : 항공용 바이오연료 개발 경험 있는 바이오연료 제작업체와 제휴를 통해 정보교류 필요

다) 협의회 운영

○ 정기회의 및 사안에 따른 수시 회의 개최 : 회의, 세미나, 워크숍 등 다양한 형태로 협의사안을 논의하고 결과를 협의회에 보고

○ 정보 교류 : 세미나, 워크숍 등 정기 개최를 통하여 기술 개발 정보 교류

○ 국제기구 참여 : ICAO의 GFAAF 등의 항공용 바이오연료 개발 프로그램에 참여

○ 전략 로드맵 수립 : 협의회 구성원이 공동 참여하여 항공용 바이오연료 기술 개발에 대한 구체적 역할 분담 및 전문위원회 구성·운영 등에 대한 전략 로드맵 수립

제 3 절 과제별, 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵

1. 기술분류체계

가. 전체 현황

1차 분류	2차 분류	3차 분류
기후변화 대응 항공 온실가스 감축 기술	2개	7개

나. 1차 분류 및 2차 분류

1차 분류	2차 분류	
분류명	분류 번호	기술분류명
항공용 바이오연료 적용 기술	1	항공용 바이오연료 시험평가 기술
	2	항공용 바이오연료 안전성 평가 및 표준화 기술 개발

다. 3차 분류

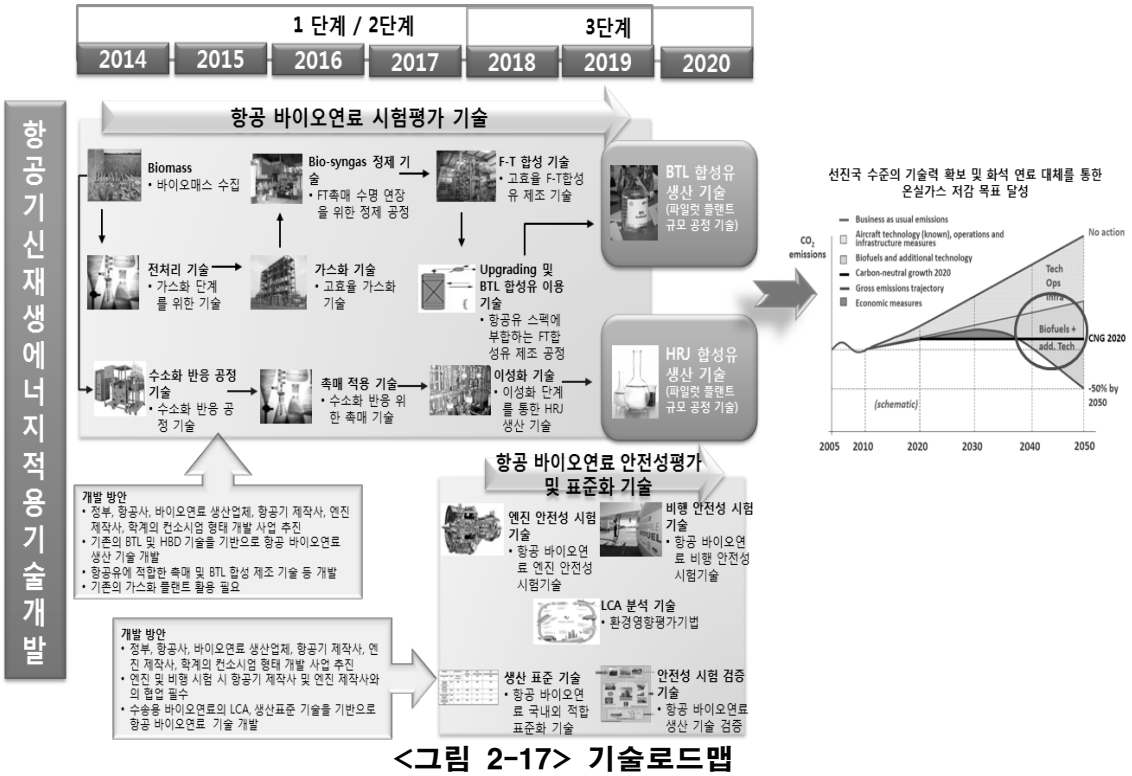
1차 분류	2차 분류		3차분류	
분류	분류 번호	분류명	분류 번호	기술분류명
항공용 바이오연료 적용 기술	1	항공용 바이오연료 시험평가 기술	1-1	Biomass to Lquid 생산 기술
			1-2	Hydroprocessed Renewable Jet fuel 생산 기술
	2	항공용 바이오연료 안전성 평가 및 표준화 기술 개발	2-1	항공용 바이오연료 엔진 안전성 시험 기술
			2-2	항공용 바이오연료 비행 안전성 시험 기술
			2-3	항공용 바이오연료 LCA 분석 기술
			2-4	국내 항공용 바이오연료 생산 표준 기술
			2-5	항공용 바이오연료 안전성 시험 검증 기술

2. 성과로드맵

<표 2-23> 성과로드맵

	1단계		2단계 / 3단계					최종성과물	추진목표
	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20		
항공용 바이오연료 적용 기술	국내 항공용 바이오연료 시험평가를 위한 기초연구 (실험실테스트)							바이오원료 선정 및 항공용 바이오연료 기술 검증	국내 최적의 항공용 바이오연료 시험평가 기초연구
			국내 항공용 바이오연료 시험평가 연구(플랜트 실험실 테스트)					항공용 바이오연료 품질 및 성능 검증 기술 개발	항공용 바이오연료 및 혼합연료의 품질기준 및 성능기준 도출
					국내 항공용 바이오연료 안전성 평가 및 표준화 기술 개발			항공용 바이오연료 엔진 및 비행 안정성 평가 및 표준화 기술 개발	항공용 바이오연료 엔진 및 비행 안정성 평가 기준 도출

3. 기술정의서



<그림 2-17> 기술로드맵

<표 2-24> 기술정의서

3차분류				
번호	기술분류명	기술정의	기술내용	기대효과
1-1	Biomass to Lquid 생산 기술	바이오 매스 기반 항공용 바이오연료 기술	전처리 기술 → 가스화 기술 → Bio-syngas 정제 기술 → F-T 합성 기술 → Ugrading 및 BtL 합성유 이용 기술 → 파일럿 플랜트 규모 고정 기술	국내 최적의 항공용 바이오연료 시험평가 기초연구(BtL)
1-2	Hydroprocessed Renewable Jet fuel 생산 기술	수첨분해반응 기반 항공용 바이오연료 기술	수소화 반응 공정 기술 → 촉매 적용 기술 → 이성화 기술 → 파일럿 플랜트 규모 고정 기술	국내 최적의 항공용 바이오연료 시험평가 기초연구(HRJ)
2-1	항공용 바이오연료 엔진 안전성 시험 기술	항공용 바이오연료의 엔진 안전성 시험 기술	엔진 안전성 기준에 적합 여부 판단	항공용 바이오연료의 엔진 안전성 및 비행 안전성 기술 도출
2-2	항공용 바이오연료 비행 안전성 시험 기술	항공용 바이오연료의 실증 비행 안전성 시험 기술	실증 비행 안전성 기준에 적합 여부 판단	
2-3	항공용 바이오연료 LCA 분석 기술	환경영향평가기법	목록분석 및 영향평가	항공측면 환경영향을 전 과정에 걸쳐 평가, 항공 온실가스 감축 도모
2-4	국내 항공용 바이오연료 생산 표준 기술	국내외 항공기 운용에 적합한 바이오연료 표준화 기술	표준화 기준 적합여부 판단	항공용 바이오연료 표준 생산 기술 도출
2-5	항공용 바이오연료 안전성 시험 검증 기술	항공용 바이오연료 생산 기술 검증	항공용 바이오연료 생산 기술의 안전성 검증	항공용 바이오연료 생산 검증 기술 도출

제 4 절 성과활용 방안

1. 연구 활용방안

○ 에너지 자립국으로 성장 가능

- 본 연구를 통해 확보된 신재생에너지 적용 기술 확보로 인하여 전량 수입에 의존하고 있는 화석연료의 대체 에너지로서 크게 활용될 것으로 예상
- 본 연구를 통해 확보된 신재생에너지 적용 기술은 우리나라의 기술자립을 실현하여 우리나라 현장에 적합하게 실용화할 수 있음
- 향후 신재생에너지 개발과 그 적용 기술 개발은 우리만의 독자적 기술 체계 구축 가능

○ 한정적 연료인 화석연료에 비해 이론상 무한대의 공급이 가능하여 안정적 공급원의 역할 가능

○ 신재생에너지 적용 기술의 경쟁력 확보 기반 마련

- ASTM committee에 구체적 기술 성과물 제출을 통한 기술 경쟁력 확보
- 현재 국제적으로 신재생에너지 개발 및 적용 기술 개발에 큰 관심을 가지고 있으며, 본 연구를 통해 신재생에너지 기술의 국제적 경쟁력 확보에 기여할 것으로 판단됨

○ 최종성과물

- 항공용 바이연료 시제품
- 항공용 바이오연료 시험평가 기술 기준(안)
- 항공용 바이오연료 품질기준(안)
- 항공용 바이오연료 안전성 인증 기술 기준(안)

○ 연구최종성과의 실수요자 및 사용자

- 실수요자 : 정부
  - 신·재생에너지 기술개발 관련 정책 및 연구개발 지원
  - ASTM committee 및 ICAO GFAAF 등의 프로그램 참여로 기술 경쟁력

확보 및 국제협력 강화

- 실수요자 : 항공사
  - 항공용 바이오연료 사용을 통한 자발적 협약 이행 및 ICAO MBMs 대비
- 사용자 : 한국석유관리원
  - 항공용 바이오연료 관리를 통한 기술 경쟁력 강화 및 안전성 확보
- 사용자 : 정유사 및 바이오연료 개발업체
  - 선진국 수준의 항공용 바이오연료 기술력 및 인프라 보유
  - 국제시장에서 기술 경쟁력 확보
- 사용자 : 항공용 바이오연료 원료 재배업체
  - 항공용 바이오연료 원료 생산 및 시장 경쟁력 강화

2. 기대성과

○ 온실가스 저감 정책 목표 달성에 기여

- 신재생에너지의 연소과정에서 발생하는 이산화탄소가 기존 화석 연료에 비해 낮기 때문에 대기 내 이산화탄소 농도 증가에 별다른 영향을 끼치지 않음
- 다른 교통부문의 신재생에너지 적용기술 활용 가능

○ 본 연구를 통해 확보된 기술 경험은 국가 차원의 신재생에너지 사업육성을 위한 선행투자가 이루어질 수 있으며, 해외사업 추진 시 유리한 위치 선정 가능

- 국내 새로운 일자리 창출 효과와 전문가 양상 및 확보에 큰 기여 가능

○ 우리나라는 ICAO 상임이사국임에도 불구하고, 기술력 부족으로 선진국이 주도하는 각종 국제표준 제정 및 국제회의의 주체가 되지 못하였으나 선진 기술 확보를 통한 국가 위상을 높일 수 있는 기회가 될 것임

제 5 절 사전타당성 검토

1. 정책적 타당성

가. 국가전략의 중요성 및 시급성

○ 기온 상승 가속화와 극한 기상 일상화·대형화로 재난피해가 증가함에 따라 기후변화의 주원인인 온실가스의 감축을 위한 국제적 대응이 강화될 전망

○ 이에 따라 우리나라 역시 신재생에너지를 미래 주 에너지로 중점 육성을 목표로 함

○ 항공법에 근거한 국토교통부의 제1차 항공정책기본계획(2010-2014)에 따라 지속가능 항공환경 조성을 목표로 배출가스 감축을 위한 환경보호 정책 시행

- 추진전략 중 항공부문 저탄소 녹색성장 추진을 위해 항공분야 저탄소 녹색성장 중장기 계획 수립 예정
- ICAO의 온실가스 배출 감축(안)에 따른 우리나라 자체 감축 방안 마련을 위한 항공부문 대응 종합계획 수립 목적

○ 위의 내용을 근거로 항공 부문 온실가스 감축을 위한 항공용 바이오연료 개발 연구의 지원 및 투자에 대한 타당성 확보

나. 상위계획과의 부합성

○ 정부의 녹색성장정책에 대한 장기적이고 구체적인 실천 계획 및 녹색 기술 및 그린 비즈니스 창출 계획인 『녹색성장 국가전략 및 5개년 계획』(2009) 실시

- 장기적 관점의 구체적인 온실가스 감축을 위한 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 부합

○ “저탄소녹색성장법” 제50조에 따른 『지속가능발전기본계획』(2011-2015)에 따라 기후변화 적응 및 대응체계 확립, 경제 및 산업구조의 지속가능성 제고 등 84개 과제 추진

- 그 중 핵심제도인 "온실가스·에너지 목표관리제“ 시행에 따라 온실가스 목표관리를 위해 국내 항공사들이 포함되었으며, 항공 온실가스 감축을 위한 항공용 바이오연료 개발 부합

○ “지속가능교통물류발전법”에 근거하여 10년 단위로 수립되는 『지속가능교통물류발전계획』(2011-2020)은 도로, 철도, 항공, 해상교통 등 교통 전 분야를 대상으로 교통무류 부문의 온실가스 감축 목표 설정 및 관리, 재원조달 방안 설정, 수송분담구조 조정, 기반 구축 등 시행

- 저탄소 녹색 물류체계 구축 및 탄소 저감형 교통체계 개선 등 항공기의 탄소 저감을 위한 항공용 바이오연료 개발 부합

○ “신에너지 및 재생에너지 개발 이용·보급 촉진법”에 근거한 『신재생에너지 기술 개발 및 이용·보급 기본계획』(2009-2030)은 신재생에너지 기술 개발 및 이용·보급을 목표로 시행

- 신재생에너지 이용 및 보급을 위한 항공용 바이오연료 개발 부합

○ 건설교통 R&D 중장기계획(2013-2017)에 따라 항공기술연구사업 추진

- 항공기술 선진화를 위한 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 부합

다. 사업추진의지와 관련기관 협조체계

○ 산업통상부, 기획재정부, 농림축산식품부, 국토교통부, 환경부 등 관계부처 합동으로 1, 2차 바이오디젤 중장기 보급계획 수립을 통해 바이오연료 개발 사업 추진 의지 확보

- 정부부처간의 역할 분담을 통한 범부처 R&D 추진 가능성 확보

○ 2010년 범부처 신재생에너지 R&D 추진전략(안)에 따르면 농림부(원료 확보, 바이오에너지 작물 재배), 국토부(미세조류), 산업통상자원부(홍조류), 농진청(유지, 당질, 전분질, 셀룰로스계, 축산분료), 생산기술연구원(가스화)등 역할 분담 방안 제시를 통한 협조체계 구축 가능성 확보

○ 신재생연료 의무혼합제도 도입을 통한 항공용 바이오연료 개발의 법적 근거 확보

라. 사업 추진 상의 위험요인과 대응방안

○ 대량의 바이오매스 수급 문제

- 국산 원료확보율을 높이기 위해 국내 폐자재 원료 및 비식량계 작물 재배 개발 연구, 대량의 미세조류 개발 연구 등 2세대 바이오연료의 원료 확보를 위한

R&D 연구 진행 중

- 동남아 지역의 풍부한 자원을 확보를 위한 선진국의 바이오연료 개발 투자가 활발하므로 국내 역시 투자를 통한 자원 공동 개발을 통한 자원 확보 필요

○ 바이오연료의 높은 원가 문제

- 원료 수급의 문제로 높은 원가를 원인으로 항공유와의 가격 경쟁에서 떨어짐
- 국내 원료 수급이 원활해지고, 다양한 바이오매스를 기반으로 한 바이오연료 생산기술이 확보된다면 원가를 낮추어 현 항공유와 가격 경쟁 가능할 것으로 예측

2. 기술적 타당성

가. 기존 사업과의 중복성

○ 수송용 바이오연료에 관한 R&D 사업은 1988년부터 40개가 넘는 사업이 진행되었음

- 수송용 바이오에탄올 생산에 대해 전처리기술 3과제, 바이오에탄올 생산 공정기술 32과제, 정제 및 물성 향상 4과제 등

○ 항공용 바이오연료 생산에 대한 R&D 사업은 추진된 바 없어 중복성 없음

나. 기술개발 계획의 우수성

○ 제2장 2절 세부과제 주요 내용 및 추진 전략을 통해 구체적인 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 계획 수립

다. 기술수준 및 성공가능성

○ 제2장 4절 기술수준 분석에 따라 국외 항공용 바이오연료 생산 기술 수준과 비교하여 국내 기술 수준이 현저히 떨어지지 않으며, 수송용 바이오연료 개발 기술력을 기반으로 성공 가능성이 매우 높음

3. 경제적 타당성

○ 본 연구에 앞서 예비 타당성 조사 연구를 통한 경제적 타당성 분석 연구 필요

제 6 절 연구투입 소요예산 산정

1. 인력투입계획

○ 정부, 바이오연료 생산업체, 항공사, 항공기 제작사, 학계 등 다양한 분야의 컨소시엄 형태의 사업 계획 수립 필요

○ 정부부처

- 농림부(바이오에너지 작물 재배를 통한 원료 확보), 국토부(미세조류 대량생산 기술 개발), 산통부(신재생에너지 개발 총괄) 등
- 범부처 수송용 바이오연료(바이오디젤) R&D 수행 경험 보유

○ 연구소

- 한국석유관리원(수송용 바이오연료 평가 및 관리), 한국에너지기술연구원(목질계 바이오매스 가스화), 생산기술연구원(BtL 가스화 및 정제), 산림과학연구소(바이오매스 열분해) 등
- 수송용 바이오연료 개발 경험 및 플랜트 기반 시설 보유

○ 항공사

- 국내 항공사는 엔진 실험실 및 선진국 수준의 엔진 기술력 보유

○ 학계

- 한국과학기술원, 경상대, 전남대 등 수송용 바이오연료 기술 개발 연구과제 수행 경험 보유

○ 산업계

- GS칼텍스, SK 에너지, S-OIL, 현대 오일뱅크 등 국내 정유사는 석유화학기술력 및 정유기반시설 보유 및 연료 물성이 우수한 비알콜계 바이오연료 생산 기술 연구 수행 경험 보유

○ 항공기 및 엔진 제작사

- 국외 다양한 항공기 및 엔진 제작사는 항공용 바이오연료 시험 비행 테스트 경험 보유

2. 소요예산 산정

<표 2-25> 항공용 바이오연료 적용 기술 연구개발비

단위 : 천원

비목	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	6단계	7단계	합계
인건비	700,000	700,000	900,000	900,000	1,300,000	1,800,000	800,000	7,100,000
직접비	2,250,000	2,700,000	3,700,000	3,700,000	6,390,000	6,690,000	1,490,000	26,920,000
위탁연구비	25,000	25,000	50,000	50,000	85,000	85,000	35,000	355,000
간접비	25,000	25,000	50,000	50,000	85,000	85,000	35,000	355,000
합계	3,000,000	3,450,000	4,700,000	4,700,000	7,860,000	8,660,000	2,360,000	34,730,000

<표 2-26> 인력 투입 계획

단위 : 명

구 분	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	합계
국내 항공용 바이오연료 시험평가를 위한 기초연구(실험실 테스트)	9	9						18
국내 항공용 바이오연료 시험평가 연구(실험실 테스트-플랜트 규모)			11	11	6	8		36
국내 항공용 바이오연료 엔진 및 비행 안전성 평가 기술 개발					8	8		16
항공용 바이오연료에 대한 지속 가능성 기준 기술 개발					3	2		5
항공용 바이오연료 표준화 기술 개발						5	10	15
합 계	9	9	11	11	17	23	10	90

주 : 연차별 사업내용 및 연구개발비 투자에 따른 고용인원 변경 가능
기존의 연구 참여 인력을 고려하지 않은 순수 연구 참여에 따른 인원

① 월기준 단가	② 증액률	③ 확장율	④ 기본급 (①x②x③)
5,960,088	110%	100%	6,556,096.80

○ 해당 과제 참여연구원의 인건비 기준단계 산정을 목적으로 작성하는 것으로 월기준 단가는 2013 학술연구용역(기재부 회계예규) 책임연구원 단가로 산정

과제난이도	인건비 증액율(%)	증액률 산정결과(%)
세계 최고와 동일한 수준의 연구	110%	√
기술준비도 수준	**인건비 산정 범위(%)**	**③ 확장 인건비(%)**
응용연구	100%	√

<표 2-27> 연구 장비·재료비

단위 : 천원

구 분	연구장비	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	합계
국내 항공용 바이오연료 시험평가를 위한 기초연구(실험실 테스트)	실험 장비	2,000,000	2,500,000						4,500,000
국내 항공용 바이오연료 시험평가 연구(실험실 테스트-플랜트 규모)	플랜트[1]			3,000,000	3,000,000	2,000,000	2,000,000		10,000,000
국내 항공용 바이오연료 엔진 및 비행 안전성 평가 기술 개발	엔진 테스트 셀[2]					2,500,000	2,000,000		5,500,000
항공용 바이오연료에 대한 지속 가능성 기준 기술 개발	실험 장비					700,000	500,000		1,200,000
항공용 바이오연료 표준화 기술 개발	실험 장비 및 플랜트						1,000,000	1,000,000	2,000,000
합 계		2,000,000	2,500,000	3,000,000	3,000,000	5,200,000	5,500,000	1,000,000	22,200,000

주 : 1) 기존 구축된 플랜트 사용 시 예산 (새로운 플랜트 구축 시 약 300억 예상)
2) 민간 기업 참여 시(항공기엔진 및 비행테스트 부문) 예산

<표 2-28> 항공용 바이오연료 적용 기술 연구비 소요 명세서

단위 : 천원 / %

항목	비목 \ 연도		1차년도 (2014)		2차년도 (2015)		3차년도 (2016)		4차년도 (2017)		5차년도 (2018)		6차년도 (2019)		7차년도 (2020)		합계		비고
			금액	비율	금액	비율	금액	비율	금액	비율	금액	비율	금액	비율	금액	비율	금액	비율	
직접비	내부인건비	미지급용																	
		지급용 현금	200,000	7	200,000	6	200,000	4	200,000	4	300,000	4	300,000	3	200,000	8	1,600,000	5	
		지급용 현물																	
	외부인건비	현금	500,000	17	500,000	14	700,000	15	700,000	15	1,000,000	13	1,500,000	17	600,000	25	5,500,000	16	
		현물															0		
	소계		700,000	23	700,000	20	900,000	19	900,000	19	1,300,000	17	1,800,000	21	800,000	34	7,100,000	20	
	연구장비·재료비	현금	2,000,000	67	2,500,000	72	3,000,000	64	3,000,000	64	5,200,000	66	5,500,000	64	1,000,000	42	22,200,000	64	
		현물															0		
	연구활동비	현금	150,000	5	100,000	3	500,000	11	500,000	11	850,000	11	850,000	10	350,000	15	3,300,000	10	
	연구수당		100,000	3	100,000	3	200,000	4	200,000	4	340,000	4	340,000	4	140,000	6	1,420,000	4	
	소계		2,250,000	75	2,700,000	78	3,700,000	79	3,700,000	79	6,390,000	81	6,690,000	77	1,490,000	63	26,920,000	78	
	위탁연구개발비		25,000	1	25,000	1	50,000	1	50,000	1	85,000	1	85,000	1	35,000	1	355,000	1	
간접비			25,000	1	25,000	1	50,000	1	50,000	1	85,000	1	85,000	1	35,000	1	355,000	1	
연구개발비 총액		현금	3,000,000	100	3,450,000	100	4,700,000	100	4,700,000	100	7,860,000	100	8,660,000	100	2,360,000	100	34,730,000	100	
		현물																	
		총액	3,000,000	100	3,450,000	100	4,700,000	100	4,700,000	100	7,860,000	100	8,660,000	100	2,360,000	100	34,730,000	100	

3. 재원조달 방법

가. 정부지원체계 구축 전략

○ 범부처간 협업 추진 체계 구축

- 농림부(바이오에너지 작물 재배를 통한 원료 확보), 국토부(미세조류 대량생산 기술 개발), 산통부(신재생에너지 개발 총괄)

○ 대부분의 중소기업은 새로운 기술개발, 인력양성 등에 많은 부담감을 가지고 있으며 이러한 초기투자비를 절감할 수 있는 경우 새로운 바이오생산업체 경쟁구도를 구축할 수 있음

○ 정부에서 바이오연료 적용 기술 개발에 필요한 R&D와 함께 중소기업의 시장 진출을 촉진할 수 있는 기술 인프라 지원을 함께 추진 필요

○ 정부지원체계

- 핵심원천기술 투자 비중 확대 등 제도개선 및 재정 투입을 통한 시장 창출 및 인력양성 등 인프라 구축
- 전주기적 지원체계 구축
  - 기술개발 및 실증화 단계의 연계를 통한 개발 기술의 조기 상용화 추진
  - 보급 및 수출을 위해 실증연구 규모 확대 및 실증 연구 결과 우수 판정 과제에 대한 우대 지원(시장 창출 및 수출산업화 초진을 위한 연구 지원 비중 확대)
  - 표준화 및 인프라 확충(국제 표준에 부합하는 R&D - 표준화 연계 개발 사업 지원, 고급 전문 인력 양성 계획 수립 및 현장 인력의 재교육 등 인프라 확충)
- 관련 부처 및 산하기관이 협의회 구성 및 공동 전략 로드맵 구축을 개발 사업 지원 분담

나. 항공운송산업과 협력 전략

○ 항공사의 인프라 협력

- 국외 항공용 바이오연료 개발 시 항공사는 협업체계에 주요 구성원으로 항공용 바이오연료가 상용화 되었을 경우 주 수요자임
- 국내 항공사의 엔진 기술력 등 인프라 지원이 요구됨에 따라 국내 항공용 바이오연료 개발 시 컨소시엄에 협력 필요
- 항공용 바이오연료 엔진 시험 단계에서 항공기 엔진에 대한 현물 지원 협력 필요

다. 수송용 바이오연료 산업과 협력 전략

○ 현재 개발 중인 수송용 바이오연료 개발 인프라 및 기술력에 대한 협력 필요

제 7 절 과제 제안요구서

1. 과제 제안요구서

연구개발과제명	항공용 바이오연료(Bio-Jet Fuel) 적용 기술 개발
1. 연구개발 목표	
○ 선진국 수준의 항공용 바이오연료 기술 개발을 통한 국내 기술력을 확보하여 항공 부문 온실가스 감축 및 이를 통한 국제사회의 기여 확대	
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 수송부문의 CO_2를 20% 감축 목표를 달성하기 위해서는 바이오연료사용이 유일한 대안으로 바이오 항공유에 대한 연구 필요 ○ 세계적으로 바이오 연료에 대한 관심과 연구가 집중되고 있으며, 다양한 바이오 연료가 개발되어 국내 항공기운송사업자가 국외 바이오 연료 사용 시 그에 대한 시험평가 기술 및 안전성 인증 기술의 필요성 대두
□ 기술동향	○ **국내 기술 동향** - 먼저 자동차 대체연료에 대한 연구가 시작되어 활발히 연구되고 있음 - 2007년 9월 정부부처 합동으로 경제정책 조정회의에서 바이오디젤 중장기 로드맵 확정 - 신재생에너지를 혼합하여 현재 운용 중인 자동차에 적용하는 정책 추구 - 저비용 고효율 신재생에너지 생산기술 개발 연구 중 - 항공유 대체연료 기술개발 - 국방과학연구소와 한국화학연구원이 기술개발 중 - 활용기술: CTL, GTL, BtL 기반 기술 활용 - 국내 바이오 연료 기술 개발의 한계 - 국내 바이오연료는 원료수급의 문제, 생산기술 지원 문제, 품질기준 도입 등의 문제를 해결하기 위해 효율적인 로드맵 제시 필요

- 한국석유관리원에서 석유대체연료에 대하여 품질시험(성능분석 및 성능평가)을 하고 있으며 이는 자동차의 대체연료에 국한되어 있음

○ **국외 기술 동향**

- 국제적으로 항공기 온실가스 감축을 위한 노력이 커지고 있는 가운데 온실가스 감축을 위한 방안 중 바이오 연료를 사용하는 것이 장기적으로 가장 큰 효과를 가져옴
- 제37차 ICAO 총회 결의안(환경보호분야)에 따르면 2009년 항공대체연료 회의에서 항공대체연료, 특히 혼합연료가 중단기 온실가스 감축수단으로 중요함을 승인하고 항공대체연료 범세계 기본틀을 수립하기로 함
- 2009년 9월 28일 미국재료시험학회(ASTM, American society for testing and materials)는 합성 탄화수소계 항공터빈유(Aviation Turbine Fuels Containg Synthesized Hydrocarbons)에 대한 최초 표준인 ASTM D7566발표('09.9 등록)
- 2011년 6월 15일 개정안(D7566-11a) 발표
- 기존의 항공터빈유와 합성 탄화수소 성분의 혼합조건을 제공하고, 민간에서 항공기의 가동 및 검정 시 사용할 수 있는 합성 탄화수소계 항공터빈유의 특정 유형 정의, 항공기 및 엔진의 가동에 적합한 연료 제시
- Kerosen Jet Fuel: Jet A(US 기준), Jet A-1(국제기준)
- 국제항공운송협회(IATA)는 지속적인 신재생에너지의 사용이 IATA의 온실가스 감축목표를 달성할 수 있는 가장 신뢰할 수 있는 방안이라 발표
- 2020년까지 항공 연료 수요의 6%를 신재생에너지로 대체 충족 요구
- 2009년 캐나다, 독일, 멕시코 및 미국의 15개 항공사들은 석탄 및 카멜리나를 원료로 생산한 신재생연료를 공급연료로 사용하기 위해 신재생 제트연료를 생산하는 2개의 미국 회사들과 생산량 전체를 구매하기 위한 양해각서(MOU) 체결
- 현재 보잉과 에어버스를 필두로 세계 주요 항공우주산업체들은 바이오 항공연료개발을 위한 협력관계를 유지하고 있으며, 2011년 11월 미국에서 최초 바이오연료를 이용한 민항기 운항 성공

3. 연구개발내용

□ 세부 과제별 연구 내용

<연구개발 내용 요약>

□ 항공용 바이오연료 시험평가 기술 개발

○ 국내 항공용 바이오연료 시험평가를 위한 기초연구

○ 국내 항공용 바이오연료 시험평가 연구

□ 항공용 바이오연료 안전성 평가 및 표준화 기술

○ 국내 항공용 바이오연료 엔진 및 비행 안전성 평가 기술 개발

○ 항공용 바이오연료에 대한 지속가능성 기준 기술 개발

○ 항공용 바이오연료 표준화 기술 개발

[1세부과제] 항공용 바이오연료 시험평가 기술 개발

1-1 국내 항공용 바이오연료 시험평가를 위한 기초연구(실험실 테스트)

○ 국내·외 친환경 항공 산업 발전을 위한 관련 기술·정책·산업화 동향 및 환경 분석
- 해외 바이오연료 품질기준
- 지속가능성 기준

○ 국내 최적의 항공용 바이오연료 생산 기술 발굴
- 국내 적용 가능한 바이오매스 원료 선정(식량계 및 비식량계 원료 대상)
- 국외 개발된 항공용 바이오연료 및 바이오연료 기술에 대한 선행연구 분석
- F-T 기술을 활용한 BtL 생산 기술을 통한 바이오연료 시험 생산 공정
- HRJ 생산 기술을 통한 바이오연료 시험 생산 공정

○ Bench 규모의 항공용 바이오연료 품질검증 및 최적화 도출
- 공정도, 경제성 평가, 기술 수준, Quality 등
- 항공용 바이오연료의 specification 검증
- 항공용 바이오연료 품질 최적화 평가

○ 사전 플랜트 운영 계획(방법론적) 구축

1-2 국내 항공용 바이오연료 시험평가 연구(실험실 테스트-플랜트 규모)

○ BtL 및 HRJ 기술을 통한 항공용 바이오연료 시험 생산 공정 구축
- 품질인증을 위한 항공용 바이오연료의 파일럿 플랜트 적정 규모 공정 및 파일럿 설계·구축·운영
- 항공용 바이오연료 품질 평가 기술 개발(공정과정에 대한 평가, 연료 특성 등 기존 연료 DATA를 기반으로 검증)
- 항공기 적용 엔진 배출 성능 인증 평가 기술 개발(엔진 성능 내구성 평가 기술 개발)

[2세부과제] 항공용 바이오연료 안전성 평가 및 표준화 기술 개발

2-1 국내 항공용 바이오연료 엔진 및 비행 안전성 평가 기술 개발

○ 국내 항공용 바이오연료 안전성 시험 인증 기술 개발
- ASTM D7566, D1655, DefStan 91-91 기준에 부합하는 항공용 바이오연료의 항공기 엔진 안전성 시험 기술 개발
- ASTM D7566, D1655, DefStan 91-91 기준에 부합하는 항공용 바이오연료의 비행 안전성 시험 기술 개발

2-2 항공용 바이오연료에 대한 지속가능성 기준 기술 개발

○ 인벤토리 구축
○ 온실가스 배출량 평가
○ 식량과의 경합성 평가
○ 생물다양성 평가
○ 경제성 및 공급 안전성 평가

2-3 항공용 바이오연료 표준화 기술 개발

○ 바이오연료의 연료 품질기준 검증 및 엔진, 비행 안전성 검증을 통한 국제적 수준의 항공용 바이오연료 생산 표준 기술 구축
○ 항공용 바이오연료에 대한 안전성 시험 검증 및 시스템 구축

4. 연구개발 추진방법

□ 추진 전략

○ 공급자 위주의 서비스에서 수요자 중심의 서비스 기반 시스템 개발이 가능토록 사업 추진 체계 구성
○ 초기 개발 단계에서 실수요자가 참여하는 자문단 구성
○ 실수요자 참여 자문단을 중심으로 현재와 미래의 시스템 요구사항을 조사 분석하여 반영
○ 국내외 각계 전문가 요구사항도 주기적으로 파악하여 반영
○ 기술격차 해소 및 개발 위험성 축소를 위해 해외 기술 및 개발동향을 지속 파악하여 대응방안 마련
○ ICAO 관련 국제회의 참석하여 활동을 관찰하고 선진국의 개발동향 파악
○ 개발된 기술 결과물의 국제 표준화를 통해 전 세계 시장 선점 여건 조성

□ 추진 체계

○ 산·학·연·관 역할분담 및 공조체제에 의한 효율적인 연구 개발의 추진체계
○ 기술 격차 해소 및 개발 위험성 감소를 위해 지속적인 국제 표준화 회의 활동을 통한 해외 기술 동향 파악 및 조기 구축 추진체계

○ 관련 기관의 의견수렴 및 운용 시험을 위한 협력체계 구축

5. 최종성과물

□ **주요 최종성과물**
- ○ 최종 보고서
- ○ 항공용 바이오연료 시제품
- ○ 항공용 바이오연료 시험평가 기술 기준(안)
- ○ 항공용 바이오연료 품질기준(안)
- ○ 항공용 바이오연료 안전성 인증 기술 기준(안)

6. 활용방안 및 기대효과

□ **활용 방안**
- ○ 에너지 자립국으로 성장 가능
- ○ 한정적 연료인 화석연료에 비해 이론상 무한대의 공급이 가능하여 안정적 공급원의 역할 가능
- ○ 신재생에너지 적용 기술의 경쟁력 확보 기반 마련
  - ASTM committee에 구체적 기술 성과물 제출을 통한 기술 경쟁력 확보
  - 현재 국제적으로 신재생에너지 개발 및 적용 기술 개발에 큰 관심을 가지고 있으며, 본 연구를 통해 신재생에너지 기술의 국제적 경쟁력 확보에 기여할 것으로 판단 됨

□ **기대 효과**
- ○ 온실가스 저감 정책 목표 달성에 기여
  - 본 연구를 통해 확보된 신재생에너지 적용 기술 확보로 인하여 전량 수입에 의존하고 있는 화석연료의 대체 에너지로서 크게 활용될 것으로 예상 됨
  - 본 연구를 통해 확보된 신재생에너지 적용 기술은 우리나라의 기술자립을 실현하여 우리나라 현장에 적합하게 실용화할 수 있음
  - 향후 신재생에너지 개발과 그 적용 기술 개발은 우리만의 독자적 기술 체계 구축 가능
- ○ 신재생에너지의 연소과정에서 발생하는 이산화탄소가 기존 화석연료에 비해 낮기 때문에 대기 내 이산화탄소 농도 증가에 별다른 영향을 끼치지 않음
- ○ 다른 교통부문의 신재생에너지 적용기술 활용 가능
- ○ 본 연구를 통해 확보된 기술 경험은 국가 차원의 신재생에너지 사업육성을 위한 선행투자가 이루어질 수 있으며, 해외사업 추진 시 유리한 위치 선정 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2014년~2020년(7년)
- 1차년도 연구개발기간 : 2014년(12 개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2015년(12 개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2016년(12 개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2017년(12 개월)
- 5차년도 연구개발기간 : 2018년(12 개월)
- 6차년도 연구개발기간 : 2019년(12 개월)
- 7차년도 연구개발기간 : 2020년(12 개월)

○ 총 정부출연금 : 34,700백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 3,000백만 원 이내
- 2차년도 정부출연금 : 3,450백만 원 이내
- 3차년도 정부출연금 : 4,700백만 원 이내
- 4차년도 정부출연금 : 4,700백만 원 이내
- 5차년도 정부출연금 : 7,860백만 원 이내
- 6차년도 정부출연금 : 8,660백만 원 이내
- 7차년도 정부출연금 : 2,360백만 원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반/보안 과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제 목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발 목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정・보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우,「분산공유형 건설연구 인프라 구축」과제결과로 구축된 “분산공유 6대 실험시설” 우선 활용

※ 공고 시 첨부한 “분산공유형 건설연구 인프라 실험시설 소개자료” 참조

2. 평가 기준 설정

가. 성과목표 및 성과지표

<표 2-29> 세부 과제별 성과목표

과제	과제 목표	목표 성과물
항공용 바이오 연료 적용 기술	- 선진국 수준의 항공용 바이오연료 기술 개발을 통한 국내 기술력 확보를 통한 항공부문 온실가스 감축 및 이를 통한 국제사회의 기여 확대	- 국내 항공용 바이오연료 시험평가를 위한 기초 기술 - 국내 항공용 바이오연료 시험평가 기술 - 국내 항공용 바이오연료 엔진 및 비행 안전성 평가 기술 - 항공용 바이오연료에 대한 지속가능성 기준 기술 - 항공용 바이오연료 표준화 기술

<표 2-30> 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 연구의 양적 성과지표

성과지표	측정방법	최종 목표치
학술지 게재 논문	국내외 학술지 게재 논문건수	7건
학술회의 발표 논문	국내외 학술회의 발표건수	5건
특허출원	국내외 특허출원 건수	5건
산학연 협력 활동	국내외 산학연 협력 활동 건수	5건
관련분야 국제협력 네트워크 구축	국외 협력 협약 체결 건수	1건
연구개발 관련 홍보	연구 성과의 대외 홍보 건수	5건
시제품	시제품 제작 여부	1건
연구보고서	과제 연구보고서 제시 여부	1건

<표 2-31> 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 연구의 질적 성과지표

성과지표	성과검증 기준				
	측정방법		목표수준		검증 방법
			목표치	달성치	
항공용 바이오연료 시험평가 기술 개발	①	항공용 바이오연료 시제품 (국제기준과 비교 검증)	100%		발표/ 보고서
	②	Bench 규모의 플랜트 운영계획(안) (단계별 계획의 구체성-전문가 검증)	100%		보고서
	③	항공용 바이오연료 시험평가 기술 기준(안) (시험평가 기술 체계의 정확성-전문가 검증)	100%		보고서
항공용 바이오연료 안전성 평가 및 표준화 기술 개발	①	항공용 바이오연료 품질기준(안) (품질기준의 적정성-국제기준과 비교검증)	100%		보고서
	②	항공용 바이오연료 안전성 인증 기술 기준(안) (안전성 인증 기술 체계의 정확성-전문가검증)	100%		보고서
	③	항공용 바이오연료 지속가능성 기준(안) (지속가능성 체계의 적정성-전문가 검증)	100%		보고서

제 3 장 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발

- 제 1 절 국내외 동향 및 환경 분석
- 제 2 절 연구개발과제 구성 및 추진전략
- 제 3 절 과제별, 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵
- 제 4 절 성과활용 방안
- 제 5 절 사전타당성 검토
- 제 6 절 연구투입 소요예산 산정
- 제 7 절 과제 제안요구서

제 3 장 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발

제 1 절 국내외 동향 및 환경 분석

1. 국내외 정책 동향

가. 국내 정책 동향

<표 3-1> 국내 기술 정책 동향

주요정책	주요 관련 내용	R&D 사업/ 연구와의 연계성
온실가스 에너지 목표관리제	- 국내 항공기 운항, 건물, 수송차량에 대한 온실가스 관리 - 지정기준 이상의 온실가스 배출업체를 관리업체로 지정('12 대한항공, 아시아나항공, 에어부산)	- 온실가스 감축을 위한 감축기술 개발 연구와 연계
국내 배출권 거래제	- 2015년 1월 1일 시행 예정 - 국내 항공기 운항, 건물, 수송차량을 대상으로 배출권 할당 대상업체 지정	- 온실가스 감축을 위한 감축기술 개발 연구와 연계
국가 통계 작성 및 보고 (NIR)	- 국내 항공기 운항에 대한 온실가스 통계 관리 - 항공운송사업자, 사용사업체 및 자가용 항공기 운용자 등 80개 업체에 대한 통계 보고 및 작성	- 항공교통분야의 온실가스 관리를 위한 감축기술 개발 연구와 연계

○ 저탄소 녹색성장 기본법 제2조 제3호에 따르면 현재 녹색기술 연구개발 종합대책의 27대 중점육성기술 중 기후변화 예측 및 모델링개발 기술이 1번으로 우선순위가 매우 높음

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

○ 국가 온실가스 감축목표의 효과적 달성과 정부에서 추진 중인 온실가스 목표관리제 성공적 정착을 위해서는 고정밀도(Tier 3b급)의 배출량 시뮬레이션 모델을 통한 온실가스 배출량의 신뢰성 확보와 환경 친화적 신기술 도입, 경제운항절차 적용 등 감축수단별 저감효과 분석 모델 개발이 필요

나. 국외 정책 동향

1) 국가별 정책 동향

가) 미국

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

- 조종실, 관제실, 활주로 및 레이더기지에 이르기까지 항공교통시스템에 신기술을 적용
- 미래 국가공역시스템(National Airspace System, NAS)의 안전수준 향상, 수요용량 증가, 환경오염 감소, 무인항공기와 우주선 등의 운영수요를 충족
- 최적하강(New Optimum Profile Descents) 기술은 항공기 착륙 시 활강을 하는 방법으로 착륙을 유도하여 연료손실과 소음을 동시에 줄일 수 있는 기법
- 필수항법성능(Required Navigation Performance, RNP)을 통해 착륙접근 시 주택밀집 지역을 피하도록 규정함으로써 소음을 추가적으로 감소

나) 유럽

○ 유럽항공 ATM연구조사(Single European Sky ATM Research, SESAR)는 향후 30년간 유럽 전역의 항공교통 안전과 효율성을 보장하는 차세대 ATM 시스템의 개발을 목표

- 공역기반 운영에서 궤도기반 운영으로 전환
- 2020년 SESAR 목표
  - 2004년 보다 수송력 73% 증가
  - 2005년과 비교하여 비행건당 환경영향 10% 감소

• 2004년과 비교하여 비행건당 비용 50% 감소

- 특히 2020년까지 SESAR는 ATM 개선만으로 비행 당 10% 연료를 절감하여 비행 당 배기가스를 10% 줄이는 것을 목표

다) 캐나다

○ 캐나다는 칸쿤(Cancun) 협의에 따라 2020년에 이르러 2005년 수준대비 17%의 국가 온실가스 감축목표를 가지고 있으며, 항공산업과 정부는 2005년 이래로 항공운송분야의 국내선과 국제선 운항에서 발생하는 온실가스 배출량을 줄이기 위해 상호협력하고 있음. 특히 국내선 항공에서 발생하는 양을 줄이는 것이 캐나다 정부가 세운 17%의 기후변화목표에 공헌할 수 있을 것으로 예측됨

○ 2020년까지 연평균 2%의 연료효율 개선 목표를 가지고 있고, 중기적 목표로 2020년 이후 발생하는 항공 온실가스 배출량을 2020년과 동일한 수치로 유지할 계획을 수립하고 장기적 계획은 2021년부터 2050년까지 연간 연료효율 개선도 2% 향상 목표를 세움. 캐나다의 항공 온실가스 감축 이행계획에는 캐나다 항공운송 산업의 국제선과 국내선으로부터 발생하는 온실가스 배출량 감축을 위한 활동 등을 자세히 기술해 놓고 있으며 이 방법들을 통해 17%의 국가 감축목표 달성과 ICAO의 목표를 동시에 충족시킬 계획임

○ 캐나다의 항공 온실가스 감축 세부 실행계획

- 기종 교체 및 유도로 활주 운용 (Taxi Operation)

• 2005년부터 2020년까지의 연평균 0.7% 연료효율 개선 목표를 가지고 있으며, 2011년부터 2020년까지 약 $13.7억 달러의 경제비용 발생 예정

<표 3-2> 캐나다 항공사 보유기종 평균기령

항공사 명	보유기종 평균기령(년)	보유 항공기 수(대)
에어캐나다	11.8	207
재즈 에비에이션LP	15.8	139
웨스트젯	5.8	96
에어 인유잇	28.5	27
퍼스트에어	26.7	23
포터에어라인	2.6	26
에어트랜셋	16.9	18
썬윙 에어라인	6.0	18
캐네디언 노스	24.3	16
에어노스 챠터	32.8	9
평균 기종기령	13.4	-

○ 국가별 항공사 보유 항공기는 평균기령이 8년~16년 사이이며, 우리나라 대한항공을 포함한 아시아지역 항공사는 10년 미만 평균기령 항공기를 운행하고 있음

<표 3-3> 국가별 항공사 보유기종 평균기령

항공사 명	국가 명	평균기령(년)
아메리칸 에어라인	미국	15.0
델타 에어라인	미국	16.1
사우스웨스트 에어라인	미국	11.9
에어프랑스	프랑스	9.4
루프트한자 항공	독일	13.3
브리티쉬 에어라인	영국	12.6
싱가포르 항공	싱가포르	7.2
에어차이나	중국	7.9
대한항공	대한민국	9.7
에어인디아	인도	10.2
일본항공	일본	8.4

2) 국제기구별 정책 동향

가) IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)

○ 국제 항공온실가스 배출 규제 기준은 여러 국제기관에서 아직도 논의되고 있는 이슈임

- UNFCCC의 1996년도 SBSTA(Subsidiary Body for Scientific and Technology Advice)에서는 8가지 규제 기준이 제시되었고, 이중 4가지 기준이 아직 고려되고 있음[92)]
  - 연료 주입(판매)지 기준
  - 항공사 국적 기준
  - 항공기 출/도착 기준(출/도착 중 한 곳이 부담하거나, 나누어 부담)
  - 항공기에 탑승한 승객이나 화물 국적 기준

○ 이 외에 실배출 지역 기준 방법은 규제 집행성의 논란과, 할당이 불가한 공해상이 총 배출량의 50%가 넘는 점을 감안하면 실행성이 떨어지기 때문에 채택될 확률은 높지 않음[93)]

92) Aviation and the Global Atmosphere, IPCC 1999
93) National allocation of international aviation and marine CO2-emissions, 2000

○ 현재 가장 현실성이 높은 기준은 항공기 연고지 기준이며, 최근 EU-ETS에서도 이 기준을 계속 지지하고 있는 중

○ 이와 관련해 ICAO의 제4차 GIACC(Group on International Aviation and Climate Change, 2009) 모임의 Agenda Item 2에서는 “온실가스 감축에 대한 협약에서는 합의된 목표의 진행 상황을 모니터링 할 수 있는 기술이 필수적으로 요구된다.[GIACC 7.1]” 라는 결론을 내렸고, 잇따라 우리나라 항공사가 소유하고 있는 비행기가 배출하는 온실가스 배출량의 산정이 요구됨

○ 궁극적으로 추후에 있을 국제 규제에서 온실가스 배출량 감소는 각 국가의 책임이 될 것이며, 추가로 항공온실가스 배출량과 환경영향을 측정하고 모델링할 수 있는 역량이 요구될 것임

○ 신뢰성 있고 표준화된 온실가스 배출량 측청 기준을 위해 1996, 2006 IPCC 가이드라인 설립

- 2006 IPCC 가이드라인은 1996 IPCC 가이드라인, GPG 2000[94] 및 GPG-LULUC[95] 를 보강하는 가이드라인
- 협약당사국이 유엔 기후변화협약(UNFCCC)에 국가 목록을 보고하는 제4 조 및 제12조의 의무를 충족
- 우리나라는 1993년 12월에 47번째로 기후변화협약에 가입
- 투명성, 일관성, 완전성, 비교가능성, 정확성을 지표로 추출된 인벤토리의 품질 관리
- 각 국가의 자료 가용성에 따라 Tier 1, 2, 3a, 3b 수준의 방법론 제시

<표 3-4> IPCC 가이드라인의 tier별 데이터 요구사항

구분	Tier 1	Tier 2	Tier 3a	Tier 3b
항공 휘발유 소비	X			
제트 연료 소비	X	X		
총 이착륙				
기종별 이착륙		X		
기종별 출발과 도착			X	
비행기와 엔진자료를 포함한 총 비행 이동				X

94) Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, 2001

95) Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, IPCC, 2003

○ 배출량 산정 방법론[96]

○ Tier 1 산정방법

- 항공기 사용연료 총량에 각 해당 온실가스의 배출계수를 곱하여 도출함
- 배출계수 : IPCC 2006가이드라인에서 제시한 연료별 배출계수 기본값 사용

○ Tier 2 산정방법

- 총 온실가스 배출량 = LTO 배출량 + 순항 배출량
- LTO 배출량 = LTO 횟수 × LTO 배출계수
- 순항과정 배출량 = (총 연료사용량 - LTO 연료사용량) × 순항 배출계수
- LTO 연료 사용량 = LTO 횟수 × (연료소비량/LTO)
- 배출계수 : IPCC 2006가이드라인에서 제시한 기준

○ Tier 3 산정방법

- Tier 3a : Tier 2 산정방법에 출발-도착 공항 정보 추가
- Tier 3b : 스케줄 정보(출/도착지, 사용되는 항공기 기종)에 따른 궤도를 구축하고, 이 궤도를 따라 비행하는 항공기의 배출량을 모델링하는 접근방법

나) ICAO

○ 항공 온실가스 저감효과분석 시스템을 활용한 국가 감축이행계획 수립

- ICAO는 UN 기후변화 협의체의 요청에 따라 항공 온실가스 감축에 대한 목표, 이행방안에 관한 사항 의결(제37차 총회, 2010.10, 몬트리올), 체약국 감축이행계획 제출의무 부여
  - 국제선 유상하중(Revenue Tone Kilo, RTK), 연료소비량 및 이산화탄소 배출 예측량(2050년 권고)을 포함하는 감축 계획, 비용편익(Cost/Benefit) 및 위험관리(Risk Management) 분석을 포함하는 이산화탄소 감축수단 목록, 감축활동을 이행하지 아니할 경우에 발생할 것으로 예상되는 이산화탄소 배출기준량(Baseline) 등 작성
- 감축수단별 저감잠재량 분석을 통한 중장기 감축계획 수립

96) 국토교통부, 교통부문 온실가스 저감 및 통합관리기술 개발 연구보고서, 2012, p.735-737

다) IATA

○ 항공 온실가스 저감효과 분석을 통한 감축기술 로드맵 수립

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

<표 3-5> 항공 온실가스 감축 기술 로드맵

기술 사례	영향
기술적 개선	7-13%
- 윙렛 장착 - 연소 향상을 위한 진보된 엔진부품 개발 - 캐빈 내 경량재료 사용 - 에너지 저감형 조명 사용	
생산 개선	7-18%
- 항공기 구조에 경량복합소재 사용 - 진보된 항공기 엔진 개발	
2020년까지 신기술 적용 항공기 설계	25-35%
- 기어드 터보팬 엔진 개발(10-15% 감축) - 개방형 로터 엔진 개발(25% 감축) - 카운터 로테이팅 팬 개발(10-15% 감축) - 진보된 터보팬 개발(15% 감축) - 층류유동에 의한 항력 감소(15% 감축)	
2020년 이후의 신기술 적용 항공기 설계	25-50%
- 블렌디드 윙바디 적용 - 혁신적인 엔진기술 개발 - 연료전지 시스템 적용	

자료 : 국토교통부, 저비용항공사 온실가스 관리 표준모델 개발 연구, 2011, p. 140

다. 의미 및 시사점

○ 온실가스 감축을 위한 국제적인 공조체제 구축은 회피할 수 없는 대세로 예상

○ EU-ETS 와 흡사한 배출가스 규제가 본격화될 경우 우리나라 항공교통 부문에 직간접적으로 상당한 영향을 미칠 것으로 예상

- 특히 우리나라 국제 항공시장은 성숙된 타 선진국 시장에 비해 급속으로 성장하고 있어 국제 배출가스 규제의 큰 영향이 예상됨

○ 국제항공 온실가스 배출규제에 체계적 대응을 위해서는 기본적으로 IPCC 가이드라인에 따라 신뢰성을 갖는 항공기 배출가스 규모를 추정하고 감축수단별 저감잠재량 분석을 위한 시뮬레이션 모델 및 이를 종합적으로 관리할 수 있는 시스템 개발이 시급함

○ Tier 3a에 비해 Tier 3b 방법론은:

1) 3a에서는 필수이며 지속적으로 요구되는 비행단계별 실제연료사용량이 3b 에서는 일시적으로만 요구되며,

2) 다양한 입력변수별 예측 시나리오를 테스트할 수 있게 되며,

3) 시간별 연료사용량 대신 주기적인 항적 자료(스케줄 자료 및 상응하는 비행기 기종)와 이를 검증할 일시적 기간만큼의 레이더 자료(시간, 궤도, 속도 등)가 요구됨

○ 또한, 미래에 있을 국제 온실가스 규제에서는 “단순하게 연료 사용량 추정이 아니라 연료 효율성 또한 검토해야 하기 때문에 Tier 3a가 아닌 Tier 3b의 모델링 방법론이 필요되며 [GIACC 5.4],” 추가로 ICAO가 Tier 1부터 Tier 3b의 온실가스 배출량 추정 방법론을 검토해본 결과, “Radar data를 활용하는 모델링 기반의 Tier 3b 방법론이 실제 항공기 운항을 가장 정밀도 있게 나타내고,” “연료 효율성에 관하여 가장 높은 수준의 정보를 제공한다”라는 결론을 GIACC 에서 내렸음[GIACC 7.4]

○ 따라서 단순히 사용 통계를 추출하는 수준의 Tier 3a급의 접근방식이 아니라,

현재 어떠한 방식으로 연료사용 및 배출이 이루어지고 있으며, 또한 어떠한 분야에서 더 효율성을 증가시킬 수 있는지를 분석하고 도출해낼 수 있는 Tier 3b급의 다이내믹 모델이 필요함

2. 국내외 시장 현황

가. 국내 시장 현황

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

○ 교통부문 온실가스 통합관리시스템(한국교통연구원, 2010)

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

○ 교통시설 투자평가 지침 개정안(국토교통부, 2009)

- 차종별 속도별 교통량을 활용해 Tier 3급으로 도로/철도부문 CO_2 배출량 계산
  - 도로부문의 경우 2006년 대한교통학회의 "철도투자평가체계 개선방향" 산정식 활용
  - 철도부문의 경우 관련 문헌 검토
- 탄소의 사회적 가치를 유럽 5개국들의 평균치를 사용해 온실가스 절감편익 계산

나. 국외 시장 현황

1) SAGE 모델의 실재 활용 사례 - AIRE

○ 미국연방항공청(Federal Aviation Administration, FAA)과 유럽연합위원회 (European Commission, EC)에서 진행하는 AIRE(Atlantic Interoperability Initiative to Reduce Emissions) 프로그램은 미국의 NEXTGEN 프로젝트와 유럽의 SESAR 프

로젝트의 병합

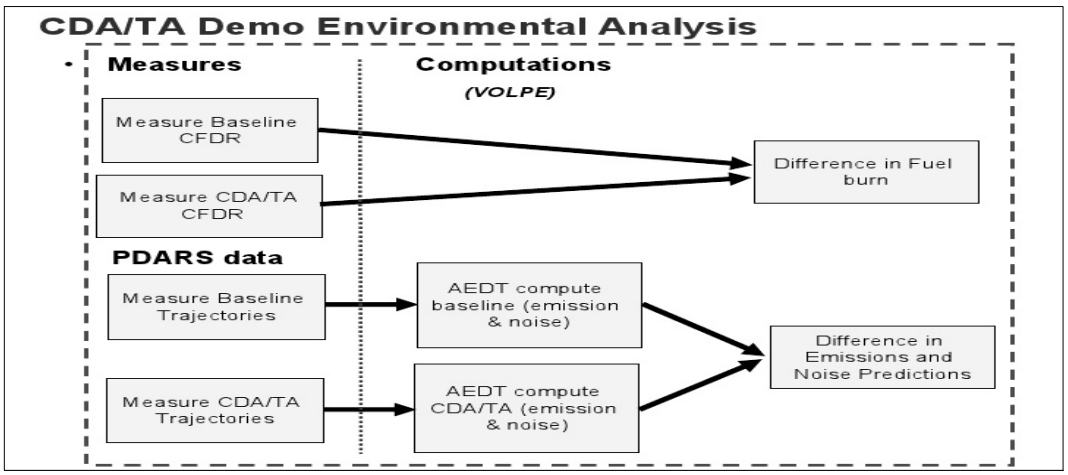
○ 미국과 유럽 사이 항공로들의 온실가스 배출량을 현존하는 항공 교통 관리 시스템으로 절감하는 것이 목적

○ 40개의 항공사, 공항관리국과 산업체 등의 여러 유럽 측 관련 기관들이 AIRE에 참여

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

○ 여러 사업 중에 예를 들어 포르투갈에서 시행한 경로 최적화 사업 실험과 아이슬란드에서 시행한 비행프로필 최적화 사업을 통해 한 개의 비행 편에서 수백 kg의 온실가스 절감을 관찰(포르투갈: 편당 90-650kg, 아이슬란드: 편당 250-1,050 kg)

○ AIRE 프로그램은 AEDT 코드를 사용하여 엔진에서 사용하는 연료량과 배출되는 가스양을 신뢰성 있게 계산하여 온실가스 감축기술 및 정책의 유효성 확증에 결정적인 역할을 함



<그림 3-1> 착륙 환경 분석 기술 중 SAGE(AEDT) 활용용도

가) 유나이티드 항공

○ 기종 교체(Fleet Updates)

- 유나이티드 항공(UA)은 항공 온실가스를 감축하기 위해 가장 먼저 선택한 것이 기종 교체 임

- 보잉의 새로운 기종인 B787기(B787기종은 GE사의 연료절감용 GENX 엔진이 장착됨)를 50대 구매하였고 에어버스사의 A350 기종도 25대를 구매하는 등 총 249대의 신규 기종을 구매함

○ 윙렛 장착(Winglet)

- 유나이티드 항공의 보유기종 중 약 330대 이상이 윙렛(항력감소, 최대 5%의 소음과 온실가스 절감효과)이 장착되었으며, 추가 장착계획을 가지고 있음

○ 보조동력장치(APU) 사용억제

- 시간 당 적게는 40에서 100갤론 이상 소모되는 보조동력장치 사용 대신에 지상 전력 공급 장치를 최대한 활용하여 연료소모량을 감소시키고 있음

○ 성능 향상 패키지[97] 활용

- 현재 20대의 B777 기종을 대상으로 보잉사와 성능 향상 패키지를 진행하고 있으며, 현재까지 총 52대의 B777 기종에 대해 이 프로그램을 진행 중

○ 연료 효율적 기술 활용

- 연료절감용 역추진 장치 사용과 단일엔진으로 유도로 활주 및 게이트 간 이동 시 항공기 엔진 사용은 피하고 지상 장비(예, 토잉카)를 최대한 활용

○ 엔진세척(Engine Wash)

- 항공기의 항력을 최소화하고 온실가스 배출량을 감축하기 위해 주기적 엔진 세척을 실시하며 이 결과로 연간 3백만 갤런의 제트연료를 절감하고 있고 연간 2만8천 미터톤의 CO2 배출량을 감축하고 있음. 자회사인 컨티넨탈 항공은 엔진세척으로 연료효율이 1% 개선됨

○ 중량감소(Weight Reduction)

- 항공기의 중량이 낮을수록 적은 양의 온실가스를 배출하기 때문에 항공기가 조금이라도 가벼워지도록 꾸준한 모니터를 진행 중임. 예를 들어 강철(Steel) 대신 탄소(Carbon) 소재의 브레이크로 교체, 불필요한 장비 제거, 탑재수의 용량을 최적화하는 노력을 했음

---

97) 보잉 777 성능향상패키지는 B777-200ER (Extended Range) 기종과 B777-300 기종에 연료를 절감하고 항공 온실가스 배출량을 감축하기 위한 항공기 개조 프로그램이다. B777-200ER 기종으로 연간 1백만 파운드의 연료를 절감했고, 약 3백만 파운드 (1,360,800kg) 이상의CO_2 배출량의 연간 감축을 기록함

○ 국가 간 협력(Cooperation)

- 중국 등 여러 나라와 협력하여 국제선 운항을 북극항로를 이용하여 더 많은 직선 항로(Direct Route)를 확보함으로서 연료사용량 및 온실가스를 절감 중

나) 사우스웨스트 항공(Southwest Airline)

○ 효율적 비행(Flight Efficiencies)

- 사우스웨스트 항공은 지난 6년 동안 약 175백만 달러를 투자, RNP(Required Navigation Performance)와 FAA의 NEXTGEN를 지원하는 항법장비를 장착 중이며, 이를 통해 안전은 물론 연료를 절감하고 탄소 배출량을 큰 폭으로 줄이고 있음

○ 윙렛 장착(Winglets)

- 사우스웨스트 항공은 세계에서 가장 효율적인 기종 중 하나인 B737NG (B737-700) 기종과 B737CL(B737-300,-500)을 보유하고 있으며, B737 NG기종에는 모두 윙렛이 장착되어 있으며, B737 CL의 경우 약 90% 이상 장착이 완료된 상황
  • 윙렛 장착으로 약 2.5% 연료효율이 개선되었음

○ 그린 항공기(Green Plane)

- 친환경적인 객실물품과 경량화 된 물품 및 높은 재활용률, 쓰레기를 최소화하는 친환경 항공기를 도입, 중량감축으로 온실가스는 물론 연료효율도 개선하였음

○ 공회전(idle) 속도로 지상 활주(Taxiing)

- 사우스웨스트 보유항공기 중 B737-300과 -500기종의 지상 활주 시 연료사용량을 최소화하기 위해 엔진의 공회전(idle) 상태에서의 저속 지상 활주를 통해 시간 당 3.1 갤런을 절약하고 있음

○ 엔진세척(Engine Wash)

- Pratt&Whitney사의 에코파워(Eco-power) 기술력을 도입하여 B737-700의 CFM56-7 엔진의 효율적인 세척을 주기적으로 실시 중
  • 이 결과로 연료절감 및 탄소배출 절감 뿐 만 아니라 엔진효율도 크게 증가하였음

다) 핀에어(Finnair)

○ 그린 랜딩(Green Landings)

- 헬싱키 공항에서 이뤄지는 핀에어 소속 항공기의 모든 착륙의 60~80%는 그린 랜딩으로 이뤄지고 있음. 그린랜딩이란 지속하강접근(CDA)방법으로 착륙하는 것으로 착륙 시 최소한의 추력만 사용하는 것임. 이 방법으로 핀에어는 연간 500만kg의 연료를 절약 중

○ 윙렛(Winglet), 샤크렛(Sharklet) 설치

- 핀에어의 모든 항공기는 항공기 제조사에 따라 윙렛 혹은 샤크렛이 설치가 됨. 윙렛과 샤크렛은 항공 역학적 요소를 향상시킴. 최대 5%의 연료소모를 절약하고 있으며, 핀에어에서 새로 주문한 항공기에 대해서는 추가 3%의 연료절감이 더 이뤄질 예정

○ 기종교체(Fleet Updates)

- 핀에어는 추가 연료절감을 위해 노후기종을 대폭 교체하였고, 현재 보유기종은 평균 6년을 넘지 않는 신규 기종 임. 현재 15대의 장거리 기종 중 11대를 향후 5년 내 A350 XWB 기종으로 교체할 계획을 가지고 있음

○ 노선거리에 따른 기종배치

- 장거리 노선에는 A330-300과 A340-300 Wide-body 기종을 투입하고 있으며, 국내선과 유럽 내 운항은 A320 기종을 사용 중, 상대적으로 많이 짧은 노선의 경우, Embraer 170과 190 기종을 사용 중
  - 이러한 기종교체와 거리에 따른 기종배치의 노력으로 1999년 대비 2009년에는 좌석 당 22%의 연료감축을 기록했으며, 2017년에는 좌석 당 41%의 연료감축 목표를 세웠음

다. 의미 및 시사점

○ 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템은 국내에서는 처음으로 기술 개발을 위한 기획단계에 있으며 국내시장은 아직 형성되지 않음

○ Tier 3b급의 온실가스 배출량 산정 프로그램은 국가 온실가스 배출량 산정과 저감잠재량 분석을 통한 국가 감축이행계획 수립 및 관리 등 공익적 목적으로

사용되어야 하며, 국제 기준에 부합하는 배출량 관리를 통해 녹색항공을 선도하는 국가로서의 위상을 제고할 수 있을 것임

○ 향후 항공사의 실 비행 데이터를 활용한 감축수단별 온실가스 감축 프로그램 개발이 진행된다면 감축관리를 위한 항공사의 수요가 예상되며, 개도국을 대상으로하는 교육과 해외 수출도 모색할 수 있음

3. 국내외 기술 동향

가. 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개요

1) 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개념

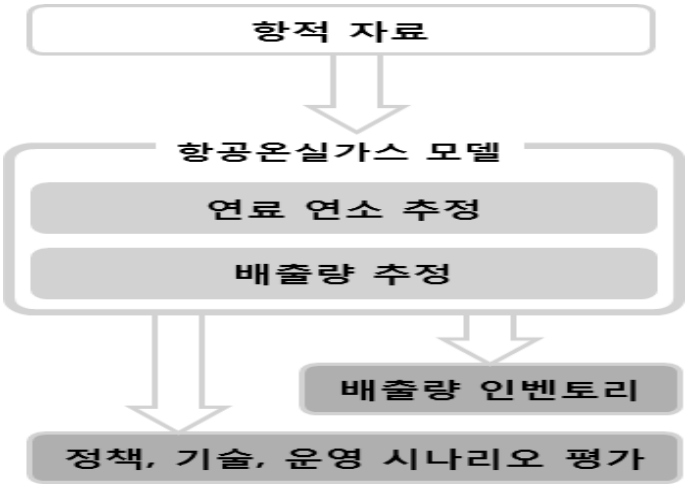
가) 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램의 개념

○ 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 기술은 항공사들의 연료 사용량 및 온실가스 배출량을 정확하고 신뢰 있게 추측할 수 있는 정밀 시뮬레이션 컴퓨터 모델링 기술

- 항공기/엔진 조합 특유의 공기역학적 성능정보를 이용해 각 비행구획의 총 궤도에 걸친 연료연소 및 배출량을 계산
- 항공기/엔진 기종, 경도, 위도, 고도, 시간, 날씨 등 여러 항공자료를 고려
- 유엔 산하 정부 간 기후변화패널(IPCC, Intergovernmental Panel in Climate Change)이 지정한 가장 상급 수준이며 국내에서 아직 시도되지 않은 활동 측정에 기반을 둔 Tier 3b[98] 온실가스 도출 방법론 활용
- 다양한 항공운항 관련 정책, 기술, 운영 시나리오가 항공기 연료 사용 및 배출에 미치는 효과를 평가 가능

---

98) 온실가스 추정방법으로 IPCC 가이드라인의 Tier 1, 2, 3 방법이 사용되고 있음
- Tier 3 방법은 실제 비행 운항자료(Flight movement data)를 기초로 하며, Tier 3b 는 항공기와 엔진 특유의 공기역학적 성능 정보를 이용하며, 각 비행구획의 총 궤도(총 비행항로 정보)에 걸쳐 배출량과 연료 연소계산에 의해 산정함
- Tier 3b를 사용하기 위해서는 모든 장비, 성능, 궤도 변수와 대상년도 모든 비행에 대한 계산을 지정하기 위한 시뮬레이션 모형이 필요하며, Tier 3b에 사용된 모형은 경도, 위도, 고도, 시간 뿐 아니라 항공기, 엔진, 공항, 지역, 전 세계 총합에 따른 연료 연소량과 CO_2, CH_4, N_2O, NOx, CO, NMVOC, SO_2 배출량을 도출함
국토교통부, 교통부문 온실가스 저감 및 통합관리기술 개발 연구보고서, 2012, p. 719-720



<그림 3-2> 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램의 체계도

나) 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램의 개념

○ 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램은 총 5개의 범주(운항관리, 조종운항, 정비 및 역학, 중량관리, 교통관제) 내 40여 가지의 감축기술에 대한 저감효과를 분석하고 저감 잠재량을 파악하여 추가 감축이 이뤄질 수 있도록 함

○ 감축수단별, 비행단계별, 항공기종별 등 다양한 감축 시나리오 분석을 위한 분석기술이 요구되며, 이를 통해 항공 온실가스 감축량 데이터베이스를 구축하고 경제적 운항절차 개발 및 효과적인 운항 체계를 구축하는 기술

○ 항공안전과 온실가스 감축, 두 부분 모두가 충족될 수 있도록 항공기 기종별 성능의 한계를 이해하고 정상절차 상 안전을 기본으로 한 효과적인 항공기 온실가스 감축량 및 저감잠재량을 분석하여, 국가 중장기 온실가스 감축이행을 위한 계획을 수립하고 관리하는 시스템

2) 세부 기술의 개념

가) 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램의 세부 개념

○ 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램의 핵심인 IPCC Tier 3b급 온실가스 배출량 추정 방법론은 스케줄 정보(출/도착지, 사용되는 항공기 기종)에 따른 궤도를 구축하고, 이 궤도를 따라 비행하는 항공기의 배출량을 모델링하는 접근방법임

○ Tier 3a급에 이어 시간, 경도, 위도, 고도별 배출량 분류가 추가로 가능해지며, 이러한 입력변수 변화에 따른 연료 및 온실가스 절감량 또한 산출할 수 있음

○ Tier 3b급에서 온실가스 배출량을 계산하기 위해서는 주기적인 스케줄 자료(출/도착지, 사용된 비행기 기종 등)와 이를 일회적으로 검증할 일정량의 레이더 자료(시간, 궤도, 속도 등)가 요구되며, Tier 3b급 방법론으로 온실가스 배출량을 계산하고 분석하려면 아래의 핵심 기술이 필요함

○ 핵심 기술

- 항적 자료 추출/처리 및 DB 설계 기술
- 공기역학적 항공기 성능 및 배출량 알고리즘 설계 기술
- 알고리즘 모델화 기술
- 거시/미시적 시나리오 분석 기술
- 결과물 신뢰성 평가 기술

○ 위 핵심 기술은 아래 네 가지 모듈로 분류됨

- 항적 자료 추출 및 처리 모듈
- 항공기 이동 데이터베이스 모듈
- 연료 사용량 및 온실가스 배출량 모듈
- 거시적/미시적 분석 모듈

① 항적 자료 추출/처리 및 설계 기술

○ 분석하고자 하는 항공편들의 스케줄 자료, 레이더 항적 자료, 및 공항 데이터를 관련 기관 데이터센터에서 추출 및 처리하는 기술이며, 항적 자료 추출 및 처리 모듈, 항공기 이동 데이터베이스 모듈 사용

○ 항적 자료 추출 및 처리 모듈에서 요구되는 데이터는 아래의 표와 같음

<표 3-6> 항적 자료 추출 및 처리 모듈 요구 데이터

데이터	변수	획득 출처 및 업데이트 필요사항
항공기 레이더 데이터	고정 변수 - 비행 ID(출/도착 공항, 항공사, 항공기, 엔진 타입(희망 사항)) - 도착/출발 실제 시간 구간당 변수 (time series data) - 구간 Time - 고도 - 속도 - 상승 속도(이착륙 절차) - 좌표(coordinates) - thrust(N)	출처: 항공교통센터 업데이트 필요사항: 분석하고자 하는 구간의 2~4달치 자료가 일시적으로 필요
스케줄 데이터	(레이더 데이터와 부분적 중복 가능) - 출발 공항 - 도착 공항 - 사용된 항공기 기종(필수) - 엔진 기종(희망 사항)	출처: 항공사 업데이트 필요사항: 분석하고자 하는 구간 및 시간에 따라 수시로 입력
공항 데이터	- 각 공항의 경도, 위도	출처: 공개 자료

○ 주어진 출·도착 공항, 항공기, 엔진에 따른 항공기 4D경로를 추출하여 최종 항공기 이동 데이터베이스 설계

- 각 비행기 기종 및 고유번호에 따른 엔진 매칭
- 레이더 자료에서 추출되는 비행 궤적 자료가 불완전할 경우, historical data를 통해 통계적인 순항 고도 및 수평 이동 분포 도출
- 추가적인 taxi time 및 지연 시간 통계 도출

○ 항공기 이동 데이터베이스 모듈에서 요구되는 데이터는 아래의 표와 같음

<표 3-7> 항공기 이동 데이터베이스 모듈 요구 데이터

데이터	변수	획득 출처 및 업데이트 필요사항
엔진 할당(BACK)/ 항공기 엔진 매핑	국제/국내 항공사들이 보유하는 항공기의 - 항공기 고유 번호 - 엔진 기종 - 연료 용량 - etc	출처: BACK World Fleet Registration Database, 항공사
Taxi Time/ On-Time performance data	국내 항공사들의 편당 - 출발 지연 - 도착 지연 - Taxi Time	출처: 항공사

② 공기역학적 항공기 성능 및 배출량 알고리즘 설계 기술

○ 알고리즘은 1)이륙 / Climbout 및 Approach 궤적, 2)항공기 속도, 3)주어진 항공기/엔진 조합의 리프트 및 드래그, 4)추력 및 상승률, 5)연료 흐름양 및 연소율, 6)온실가스 배출량의 순서로 진행됨

③ 알고리즘 모델화 기술

○ 위 알고리즘들의 효율적이고 효과적인 모델화

- 실용적이고 직관적인 사용자 인터페이스 구성
- 일반 PC에서 특별한 요구사항 없이 실행할 수 있게 구성
- 각 모듈의 독립성을 보장해 추후 모델의 확장 허용

○ 변수별 통계 및 비교 분석 기능 구축

- 입력 변수들의 인벤토리 query를 통한 분석 기능
- 예: 기종, 루트, 날씨별 온실가스 배출량 분석
- 위 결과의 도식화 기능 추가

④ 거시적/미시적 분석 시나리오 분석 기술

○ 미시적 분석

- 본 연구에서 제시되는 온실가스 평가 모델의 기본적인 모델링 단위는 단일 비행임
- 단일 비행을 모델링하기 위해 특정 항공편과 관련된 모든 항공 스케줄, 궤도, 항공기/엔진 기종별 성능, 배출 지수 등이 요구됨

- 이와 같은 미시적 분석을 통해 단일 비행의 절차. 시간, 및 거리별 연료 사용량 및 온실가스 배출량이 도출됨
- 특정 항공기 및 운항 조건의 연료 효율성 및 온실가스 배출량 분석 가능

○ 거시적 분석

- 지역, 국가, 지구적인 수준의 연료 사용량 및 온실가스 배출량의 통계가 요구될 때 적용
- 미시적 분석을 합계한 결과이며, 기본적인 방법론은 변하지 않음

⑤ 결과물 신뢰도 평가 기술

○ 총 결과물의 통계적 불확실성 평가

- 각종 input 자료들의 신뢰성 평가
- 알고리즘의 정확성 한계 평가
- 기상 자료, taxi/delay time 등의 추가 정보가 가져오는 추가적 신뢰성 평가

○ 비교하고자 하는 시나리오들의 차이 유의성 분석

- 예: 비행기 기종 교체 시 온실가스 배출절감 비용 효율성 분석

○ 분석된 샘플 구간의 일반화 신뢰성 분석

- 예: 국내 일주일치 항적 자료를 통해 일년치 통계로 일반화 시킬 경우 생기는 오차의 범위 계산

나) 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램의 세부 개념

○ 감축수단 범주별로 저감분석을 위한 감축기술을 선정하고, 저감효과 산출기준을 개발하여 산출식 검증을 통한 산출기준 표준화

○ 감축수단별, 비행단계별, 항공기종별 분석 소프트웨어를 개발하여, 단축항로 및 경제운항절차 연료사용량 분석

○ 항공사 보유 실비행 데이터(Flight Operational Quality Assurance, FOQA)와의 비교·검증을 통해 항공기종별 시나리오 분석을 통한 연료절감 효과 데이터베이스 구축

○ 감축수단별 연료절감 데이터베이스와 연계한 효과분석 시스템 설계 및 웹기반의 분석 시스템 구축

○ 항공 온실가스 저감잠재량 분석을 통한 국가 중장기 온실가스 감축 이행계획 수립 및 관리

<표 3-8> 항공 온실가스 배출 감축수단

대분류	중분류	소분류
Dispatch (운항관리)	Flight Planning	대체공항 경제고도 산출 경제(or단축)항로 산출 ETOPS
	Cost Index	Variable CI운용
	Fuel management	Refile Procedure 운용 Over fueling 최소 운용
	CG management(중심관리)	Payload 편차감소 W & B 최적화 CG 최적관리
Flight Operation (운항)	Ground(지상)	APU 사용제한 GPU 및 GPS사용 EOT(Engine-Out Taxi) Economic Engine start
	Climb(상승)	Minimize Flaps 최적 고도 산출 climb-out considerations
	Cruise(순항)	Reduced Acceleration Altitude
	Decent & Approach (접근과 하강)	Low noise low drag 최적 하강 포인트 산출 Stabilized Approach optimized operation
	Landing	Idle Reverse Reduced flap landing
Maintenance & Engineering	Maintenance & Engineering	Monitoring Fan Blade 관리 주기적인 연료탱크 청소 Drag Elimination High Thrust take-off
		Engine Washing PC-Air 권장 항법장비 upgrade(CATⅢ)
Weight Reduction (중량 감소)	Aircraft(기체중량)	주기적인 Weight & Balance 실시
	Equipment(장비중량)	FAK(First Aid Kit) 구급의료용품 감량
	Onboard(탑재중량)	화물 및 수하물 컨테이너 Portable water
ATM (교통관제)	Cruise & Route (순항과 항로)	Track management PBN and RNP
	Approach and Landing (접근과 착륙)	CDA

자료 : 국토교통부, 항공부문 온실가스 감축 국가이행계획 수립 연구, 2012

나. 국내 기술 동향

○ 현재 우리나라 항공.부문의 지구온난화 대응은 장기적인 계획이나 체계적인 대응 계획이 시작단계에 있음

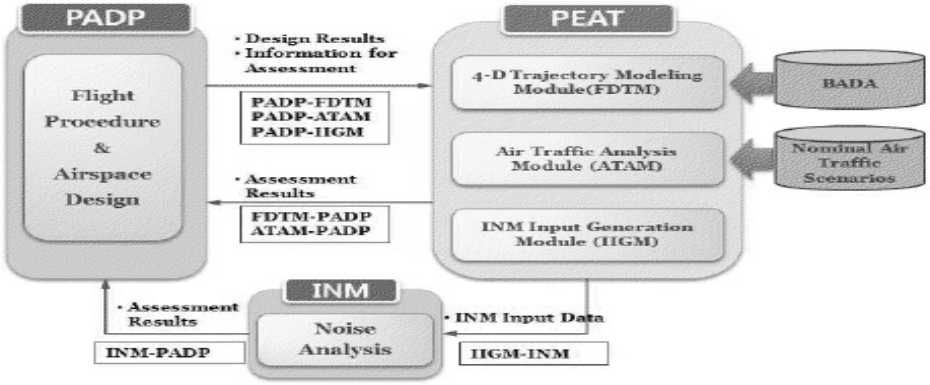
- 미래의 국제 환경규제 변화에 대응할 수 있는 우리나라 항공 산업의 지속가능한 기술도입 및 운항법 개선을 위한 분석이 절실한 시점임
- 특별히 우리나라는 항공기에 의한 온실가스 배출량의 경우 IPCC 지침에서 제시하고 있는 현재 Tier 2급 수준의 산정방법을 적용하고 있음
- CO_2를 제외한 나머지 온실가스의 경우는 모형을 이용하여 정확도를 높일 경우, 일반적으로 낮은 Tier 방식으로 산정하는 것보다 배출량이 감소함
- 정확성이 가장 높은 Tier 3급 수준의 배출량 산정을 위해서는 시뮬레이션 모형이 반드시 필요함

○ 항공 산업의 녹색성장을 위한 의사결정을 위해 항공기 에너지소모량 및 배출가스 데이터베이스가 요구됨

- 이에 관한 정보와 분석결과가 충분히 축적되지 못한 상태에서 향후 모델에 의한 의사결정이 일반화될 경우 관련 정책이 모두 선진국 중심으로 이루어짐으로써 우리는 의사결정과정에 큰 영향을 미칠 수 없게 될 가능성이 큼

○ 현재 국토교통과학기술진흥원의 비행절차 및 공역 효율성 평가 툴(PEAT) 연구개발 완료

- 이 툴은 비행절차 및 공역 설계프로그램을 이용하여 설계된 비행절차와 공역의 효율성을 평가하는 프로그램이며, 본 연구의 핵심 역량이기도 한 연료소모 도출 가능
  - 연료소모량을 기반으로 온실가스 배출량 계산 기능 추가
- 유사성: BADA, INM 등의 데이터베이스를 통해 항공기 특성 도출
- 차별성: Engine data, Boeing method 2 등의 추가 데이터/방법론으로 비행단계별로 온실가스 배출량을 도출함. PEAT는 공역 효율성 평가가 주목적이나, 본 연구에서 제안하는 시스템은 온실가스 배출량을 도출/평가하는 것이 주목적



<그림 3-3> PEAT 도구의 구성도

자료: 한국항공우주연구원, 비행절차 및 공역 효율성 평가 툴, 한국항공우주학회 학술발표회 논문, 2012.11, pp 601-607

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

- 성능기반항행(PBN) 도입, 단축항로 사용 등 항공기 운항 시 온실가스 저감을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있음
- 항공기 지상 이동 및 항공기 운항 절차별 온실가스 배출 알고리즘 개발 필요

○ 항공기 온실가스 감축을 위한 전략방향은 IATA의 항공기 연료관리 모범사례[99]를 벤치마킹하여 운항관리, 비행운용, 유지보수, 중량감소, 교통관제 등 5가지로 범주화할 수 있음. 항공기의 전반적인 스케줄 및 운용을 관리하는 운항관리 분야와 항공기가 운항을 시작할 때부터 멈출 때까지의 활동인 비행운용, 항공기의 유지보수 및 항공역학적인 부분과 항공기 성능향상을 위한 중량 감소 노력, 관제기관에서 시행하는 운항절차 개선 등 교통관제분야가 있음

99) 연료절감 세부 감축수단 및 Table 6-11에 사용된 데이터는 IATA의 항공기 연료관리 모범사례(Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environment Management, 4th Edition, IATA, 2009)자료를 인용

다. 국외 기술 동향

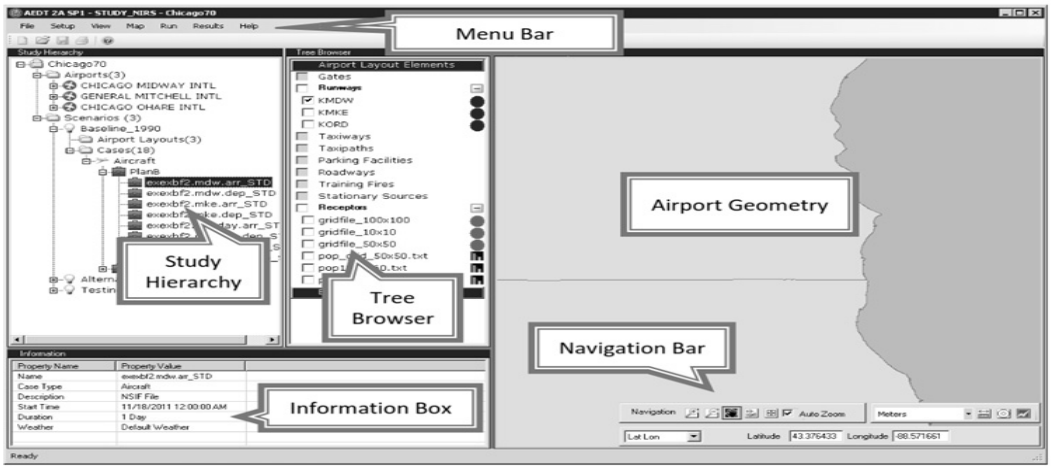
1) 항공 온실가스 추정(평가) 시뮬레이션 모델

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

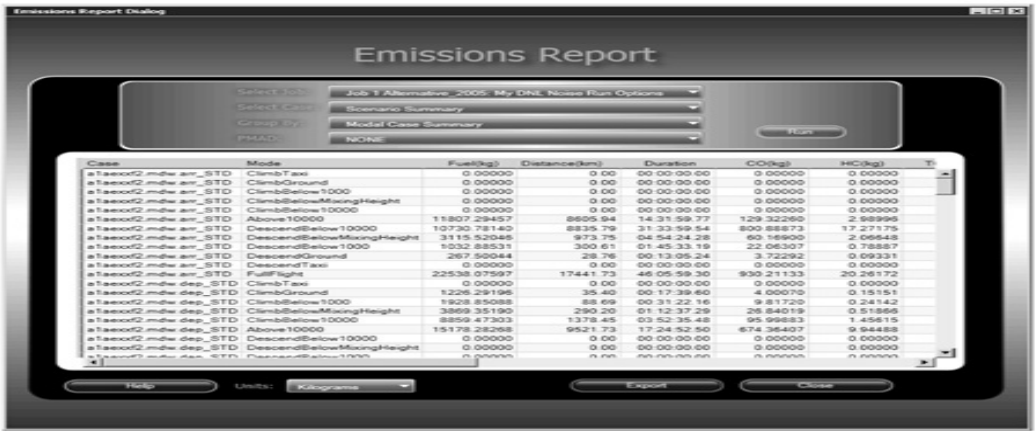
○ 미국 FAA에서 개발한 모형으로서, 항공기의 연료 소모량과 CO, HC, NOx, CO_2, H_2O, SO_2 등의 배출량 산정

○ 입력 자료는 획득 가능한 수준에 따라 지역별로 상세 정도에 차이가 있음

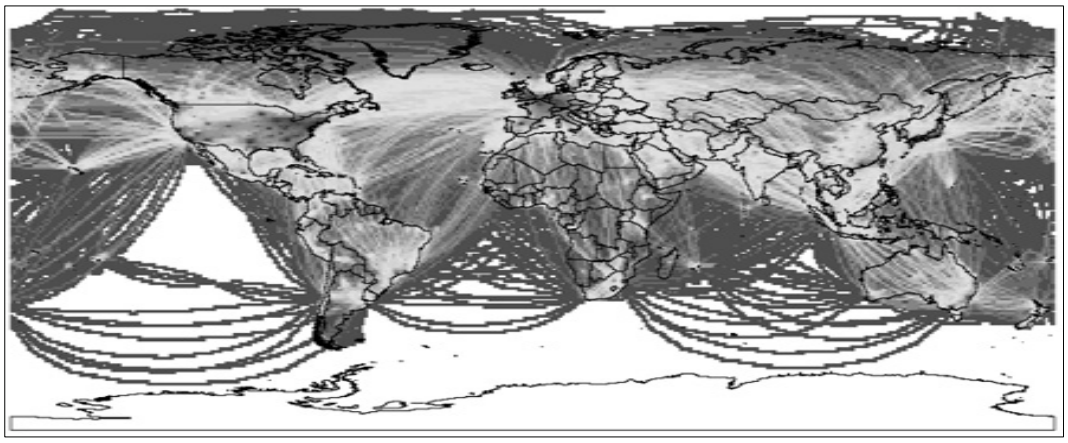
- 북·중미와 유럽을 운항하는 항공기의 경우 모든 일정, 궤도, taxi 타임 등 상세자료가 입력되는 반면 나머지 지역은 일정 자료만 입력됨
- 전 세계 공항의 경도, 위도, 고도 자료와 항공기별 장착 엔진 정보
- SAGE 모형으로부터 터미널 지역에서의 운행 정보, BADA 모형으로부터 산정된 운항 관련 정보가 입력됨
  - 출력자료는 비행편별, 온실가스 종류별 배출량, 지구 공간상 지점별 배출량(위도, 경도, 고도별), 지역·국가·항공기·엔진별 배출량 등임



<그림 3-4> SAGE가 포함된 미국 FAA의 AEDT 사용자 인터페이스



<그림 3-5> AEDT의 출력 결과물: 시나리오별 온실가스 배출량



<그림 3-6> AEDT의 출력 결과물: 글로벌 온실가스 배출량 합계

나) AEM (Advanced Emission Model)

○ EUROControl에서 개발한 모형으로서 항공기의 연료소모량과 CO_2, H_2O, SOx, NOx, HC, CO, 벤젠, VOC, TOG 등의 배출량 산정

○ 입력 자료는 항공기, 엔진, 연료연소비율, 배출율 자료 외에 콜 사인, 출발시간, 출발·도착공항, 기종 등을 포함한 전반적인 비행 및 일정자료, 비행고도, 대지속도, 상승/하강비율 등 비행자료임

- 연료소비량은 3,000 피트 이하에서는 ICAO의 엔진모드별 이착륙 시 연료소비량 자료(ICAO Engine Exhaust Emission Data Bank)의 자료를 사용하며, 3,000 피트 이상에 대해서는 BADA의 자료를 사용함

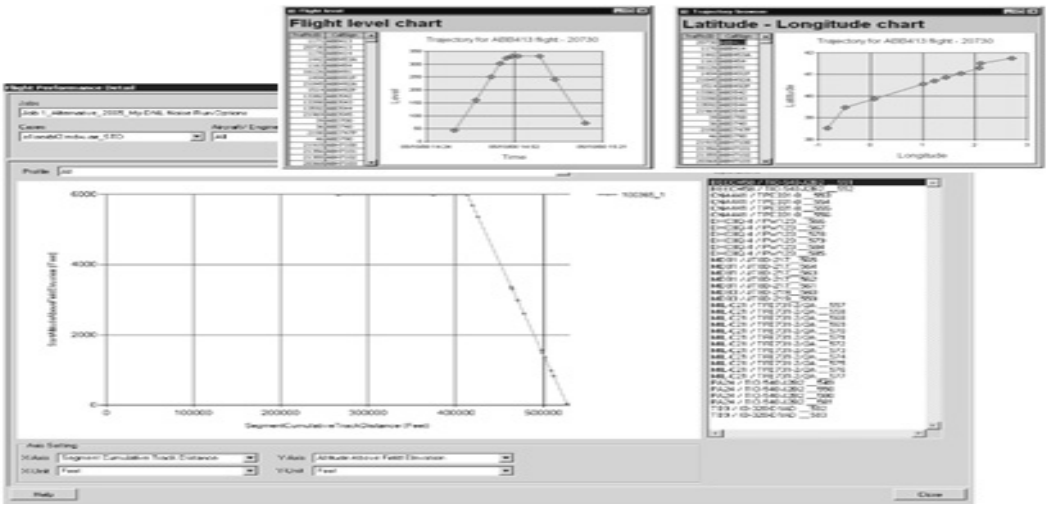
- CO_2와 H_2O, SOx 배출량은 연료연소량으로부터 산정하고, VOC와 TOG (Total Organic Gases)는 EPA의 방법론에 의해 산정된 HC 배출량 자료를 사용하여 산정하며, NOx, HC, CO 배출량은 3,000 피트 이하에 대해서는 ICAO의 Engine Exhaust Emission Data Bank, 3,000피트 이상에 대해서는 ICAO 자료 및 보잉사의 Boeing Method 2 배출계수를 사용함
  - 출력은 사용자의 선택에 따라 2D, 3D, 4D의 그리드별 배출량임

다) AERO2K

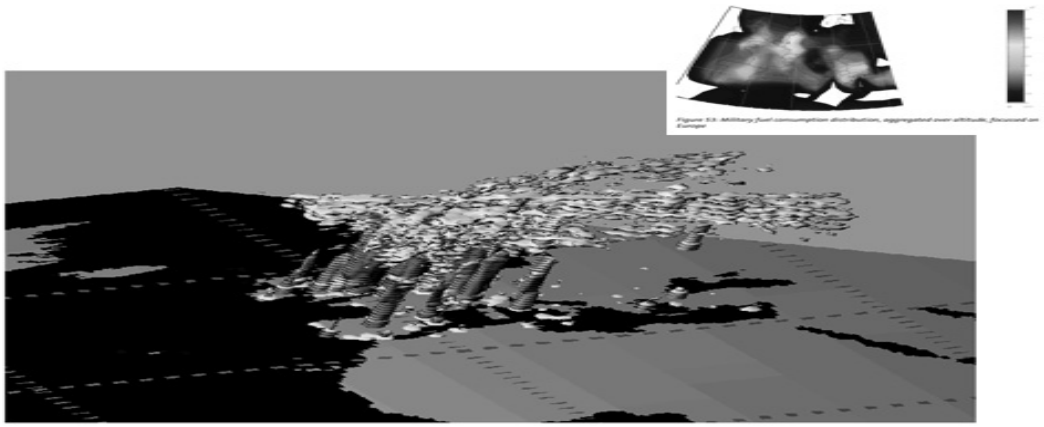
○ QinetiQ(민간기업)이 DLG(독일), 맨체스터대, 네덜란드 국립항공우주연구소(NLR), 영국무역산업부, 에어버스사, 유로콘트롤 등과 함께 개발

○ 입력 자료

- EUROControl에서 제공하는 비행자료 (모든 IFR 비행에 대해 기종, 출발·도착공항·시간, 항로 중간 20~50개 지점의 경도, 위도, 고도(레이더 추적으로 수집됨)
- 각 공항의 모드별 이착륙자료(전 세계 400개 공항)
- ICAO data bank의 이착륙 시 연료소비량 및 배출량 자료, 대표기종 및 엔진(40개 기종)의 배출량 자료
  - 출력자료는 Grid별 연료 소비량, NOx, H_2O, CO_2, CO, HC 및 미세물질 등



<그림 3-7> AERO2K의 출력 결과물: 단일 비행 절차별 온실가스 배출량



<그림 3-8> ERO2K의 출력 결과물: 지역별 배출량 합계

라) FAST(Future Aviation Scenario Tool)

○ 영국 무역산업부에서 개발하였으며, 입력 자료는 항공기 이동자료(AERO2K의 데이터베이스 사용), 60종의 항공기의 연료사용량 특성 등

○ 출력자료는 3D 그리드 상에 나타나며, GCM, CTMs과 같은 다른 모형을 이용하여 대류권의 오존 증가, 비행운에 의한 복사강제력 등을 산정하는데 사용

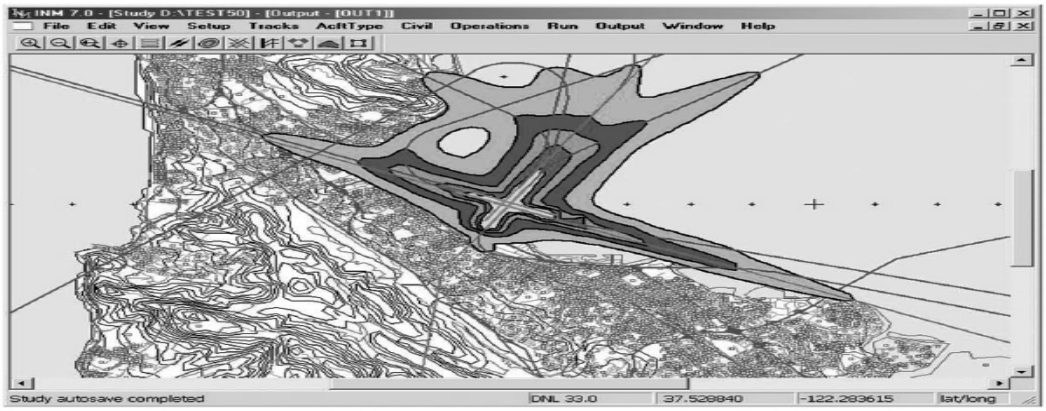
<표 3-9> 국가별 항공 온실가스 평가 모델 개발 및 운영

모델명		AERO2K	AEDT/SAGE	AEM	FAST
소속	국가	영국	미국	EU	영국
	그룹	QinetiQ	FAA	Eurocontrol	정부(DTI)
데이터	비행 데이터	ETMS ATC 데이터, BACK 항공 스케줄	ETMS ATC 데이터, OAG 항공 스케줄	ATC 데이터, 항공 스케줄	AERO2K 자료, OAG 항공 스케줄
	데이터 내용	ATC 데이터를 사용한 4D 궤도, scheduled flight는 가상 라우팅 사용	ATC 데이터를 사용한 4D 궤도, scheduled flight는 GCD 사용	4D 궤도	4D 궤도
세부방법론	경로 추정	실제 경로	실제 경로	실제 경로	-
	항공기 성능	PIANO 모델	BADA & INM 방법론	PIANO 모델	PIANO 모델
출력	산출 데이터	소비 연료, CO_2, H_2O, NOx, CO, HC, 검댕	소비 연료, CO_2, H_2O, NOx, CO, HC, SOx	CO_2, NO, CO, 입자, 검댕	소비 연료, CO_2, H_2O, NOx, CO, HC,
	해상도	1o x 1o x 500 피트 x 6시간	1o x 1o x 1 km x (제한 없음)	(.25o x .25o ~ 1o x 1o) x (데이터 의존)	1o x 1o x 2000 피트

마) INM(Integrated Noise Model)

○ SAE AIR 1845표준 알고리즘 및 프레임워크를 기반으로 개발되었으며, 오랜 기간의 측정을 통해서 구성한 NPD(Noise-Power-Distance) 데이터베이스[100]를 바탕으로 항공기의 운항경로를 결합하여 공항주변의 소음지도를 예측함

- 평균적인 입력값을 기반으로 항공기소음이 장기간 영향을 미치는 정도를 예측 가능(FAA Part 150 및 FAA Order 1050에 근거)
- 예측된 소음지도(Noise level contour)는 노출기반, 최대레벨기반, 또는 시간 기반으로 결과물 출력 가능



<그림 3-9> INM에 의한 항공기 소음예측도

자료 : FAA, INM' User's Guide, 2007

○ 2013년 7월 발표된 INM 7.0d의 기능

- 지정된 공항 EH는 헬기장 주변의 현재 항공기 소음이 미치는 영향 평가
- 신규 또는 확장 활주로 또는 활주로 구성으로 인한 소음 영향 평가의 변화도
- 새로운 교통 수요 및 혼잡으로 인한 소음 영향 변화도 평가
- 새로운 운영절차에 따른 소음 영향 평가
- 국립공원과 주변의 항공기 운항에 따른 소음 영향 평가

○ 다만, 항공기 소음원으로 이용되는 정보는 미리 측정된 데이터베이스를 이용하기 때문에 현재 운용중인 항공기 및 공항을 대상으로 하는 한계가 존재

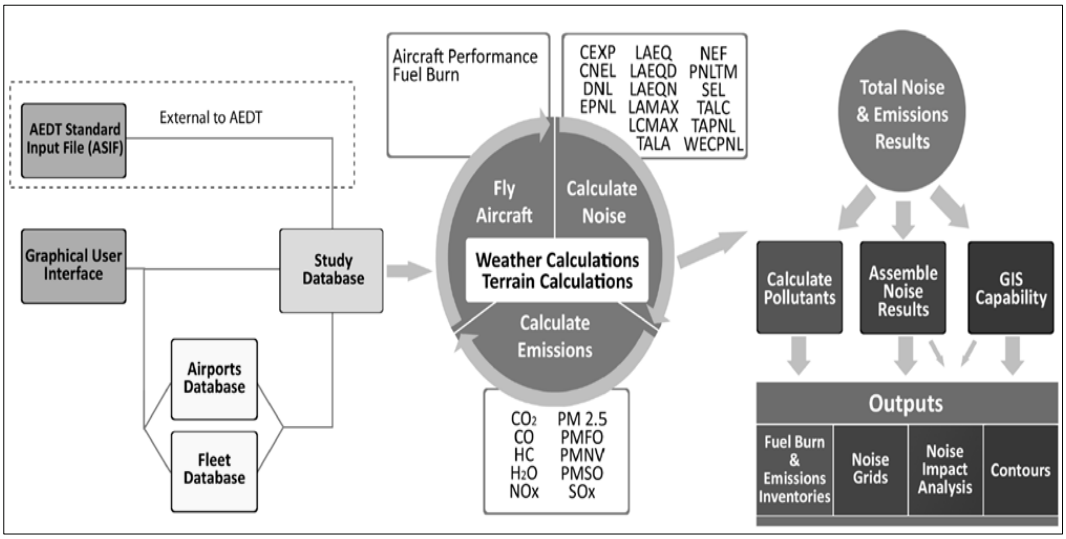
- 새로운 버전이 업데이트 될 때마다 새로운 항공기 기종의 소음도 추가

100) 특정 운항모드, 출력 세팅, 소스 수신 형상도, 음향 지향성, 다른 환경 요인 등의 데이터 포함

- INM 7.0d에 추가된 기종은 Boeing 747-8F Freighter, 777-300ER, 787-8 Dreamliner, Embraer ERJ-170-100~200, ERJ-190-100 등

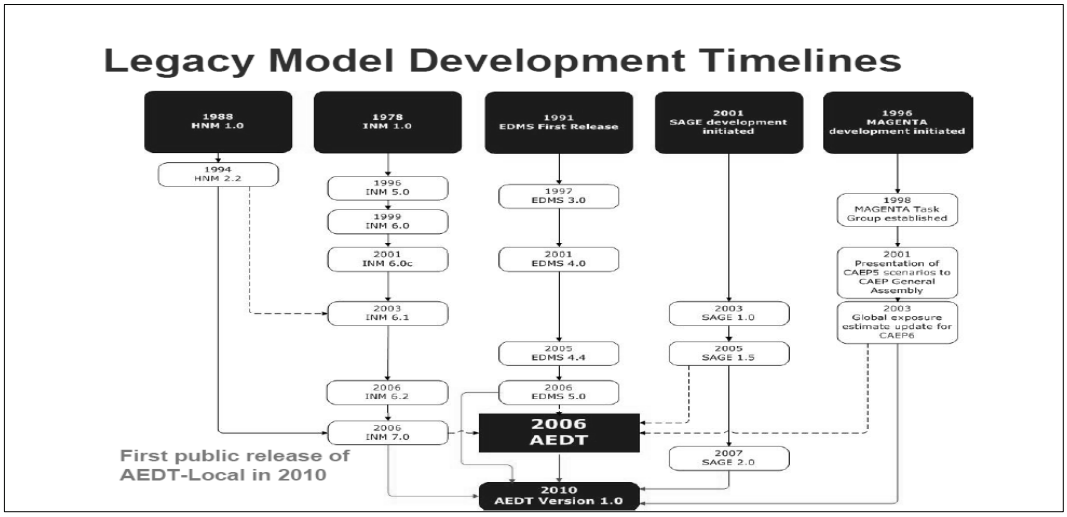
바) AEDT(Aviation Environment Design Tool)

- 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
  - 미 정부가 국내 계획, 환경 규제 적합성, 연구 해석 등에 사용 중
  - 또한 ICAO Committee for Aviation Environmental Protection(CAEP)의 국제적 지원을 위해 활용 중
  - 항공사, 공항, 컨설팅 회사, 연구기관, 환경단체, 항공기 제작업체, 엔진제작업체를 비롯한 산업체 등에서도 사용될 것으로 예상
- AEDT 2a는 일반인도 사용가능
  - Noise Integrated Routing System(NIRS)를 대체하기 위해 개발됨
  - 주요 목적은 항공교통에 의한 환경적 결과를 모델링하고 FAA 항공교통기관의 정책을 수립·수행
  - FAA Order 1050.1e 프레임워크내 AEDT 2a 사용방법에 대한 가이드라인 설정



<그림 3-10> AEDT 2a 시스템 구조

- 2014년 말 차세대 항공 환경 결과 해석 툴인 AEDT 2b 발표 예정
  • 대기질과 소음 해석 툴인 Integrated Noise Model(INM-single airport noise analysis)과 Emission and Dispersion Modeling System, EDMS-single airport emission analysis)를 대체할 예정



<그림 3-11> AEDT 개발 과정

자료 : FAA, Aviation Environment Design Tool overview, TRB AEDT/APMT Workshop, 2006

○ 미국은 보잉/NASA 그룹이 1999년도에 개발한 NASA Study 모델을 기반으로 지속적인 시스템 확장 및 보강 진행 중

- 2003년에는 ATC 데이터 및 BADA/INM 비행기 성능 모델링 기능을 보강한 SAGE 모델 출시
- 2006년에는 녹색 항공 관리 시스템인 AEDT(Aviation Environmental Design Tool)에 통합
- 현재 FAA는 INM 7.0 기능을 추가로 보강한 2010년식 AEDT 1.0을 보유하고 있으며, 미국이 추진하고 있는 NextGen 항공교통관제 시스템 관련 주요 의사결정에 사용되고 있음

2) 항공 온실가스 저감효과 분석 시스템

가) 유나이티드 에어라인의 녹색 공중회랑 시험비행 성공

○ 미국 UA항공(2010. 6. 4)은 최신 기술의 비행계획 기술을 적용하여 프랑크프루트와 시카고 구간에서 평소 일반 비행에 비해 약 3%의 탄소배출량 절감효과를 거둠

- 미국 UA항공은 녹색 공중회랑(Green Corridor) 방식을 도입하여 약 9,000kg의 탄소절감 효과 및 2,900kg의 연료절감 효과를 거둠
  - UA항공은 최신의 비행계획 기술력으로 경제적인 항로 및 바람(Winds aloft)과 항공기 성능을 고려한 고도, 속도를 계산하여 사용 중이며, 지상에서의 잠재 연료 저 감량도 계산
- 또한, 자동종속감시(Automatic Dependent Surveillance - Broadcast)기술을 활용하고 있으며 미래형 공중항법 시스템(Future Air Navigation System)을 기반으로 다양한 순항속도 접근(cruise speed approach)절차를 실험을 통해 개발하여 사용 중

나) 유로 컨트롤의 신규 단축항로 개발

○ 유로 컨트롤(Maastricht Upper Area Control Centre)에서 개발된 새로운 항로의 첫 단계 (야간 시간대와 주말 시간대)에서 연간 1백16만 km의 비행구간 절감 효과를 가져왔고, 이 결과로 12,000톤의 CO_2 절감효과를 거둠

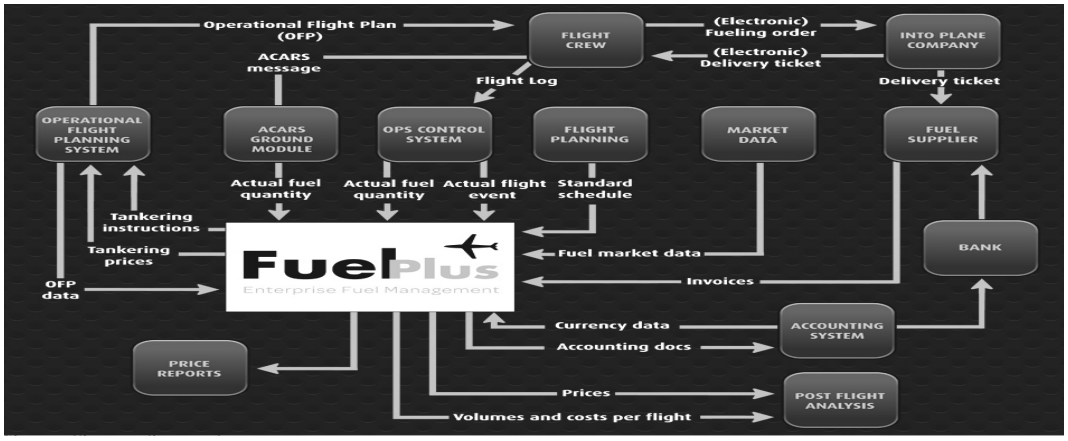
다) 멕시코 볼리라스 항공의 연료절감 프로그램

○ “푸른하늘”이라는 불리는 연료절감 프로그램을 통해 볼라리스 항공은 항공기 내 음료 탑재를 40%이상 크게 줄이고 연료효율 분석 등 중량감소로 배출량을 줄여 ISO14001 표준을 취득

라) 독일의 연료관리(Fuel Plus) 프로그램

○ 이 프로그램은 독일의 Fuel Plus software GmbH에서 개발하였고, 자동화, 최적화 및 전체 연료관리 프로세스를 모니터링하는 프로그램으로 항공산업을 지원하기 위해 주요 항공사들과 공동으로 개발한 통합 연료관리시스템이며, 일본 공수항공(ANA)등 세계 30여개 항공사와 파트너십을 맺음

○ 이 프로그램은 단순 연료에 대한 자료만 사용하는 것이 아니라 비행계획, ACARS, 연료공급자 관리, 재무회계, 은행 및 연료시장에 대한 데이터까지 함께 연동을 시켜 놓았음



<그림 3-12> Fuelplus 구현 안내도

마) Engine Wash Optimization(Optimized System and Solutions, OSYS)

○ 모든 엔진을 운항을 거듭할수록 이전에 비해 성능이 떨어지기 마련으로 감소된 성능을 다시 향상시키기 위한 좋은 방법 중 하나가 바로 엔진 세척임

- 엔진세척의 정확한 기준점 설정
- 기종별 엔진세척 후의 정확한 성능 향상 효과

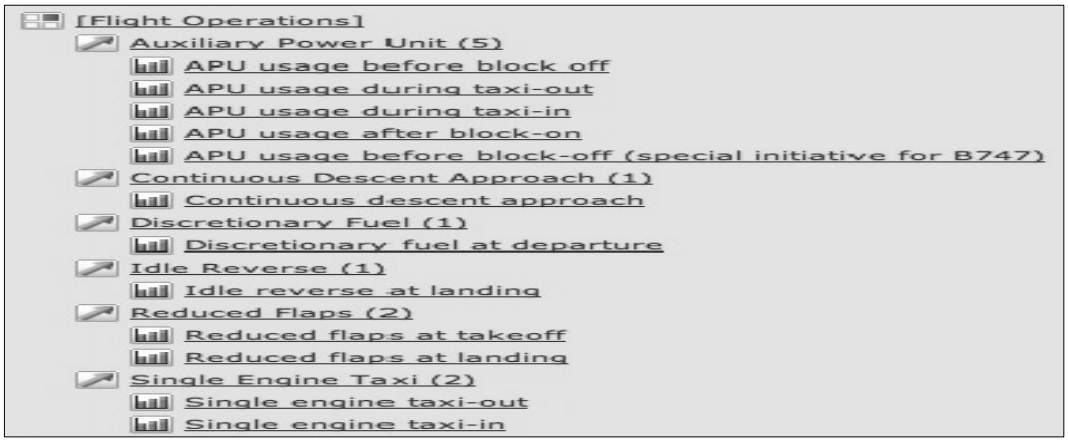
바) 연료효율 향상 프로그램(Fuel Efficiency)

○ 아비아소(Aviaso)에서 개발한 연료효율 프로그램은 매 항공기 운항 데이터를 활용한 목표설정 대비 정밀 비교 및 분석 툴 제공

- 본 프로그램은 총 4가지 단계로 구성됨; 자료수집 단계, 자료검증 단계, 자료분석 단계 및 의사소통 단계

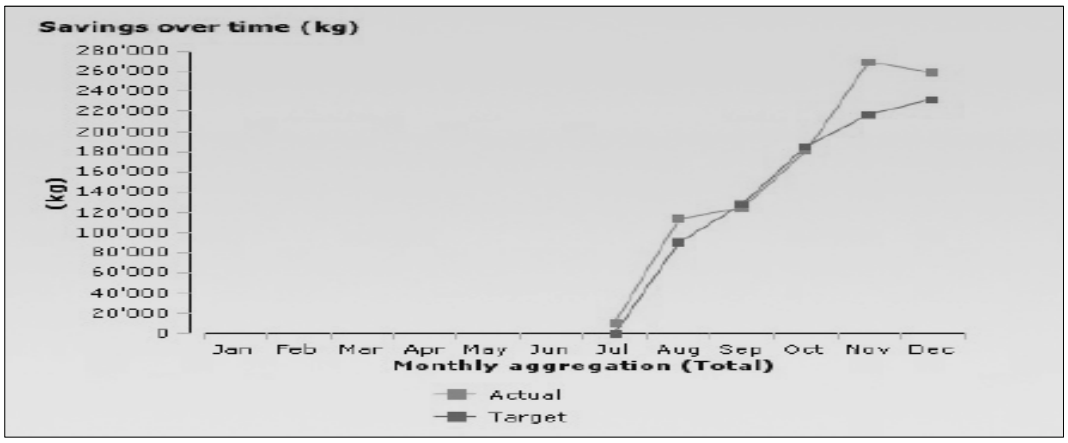
○ 자료수집 단계에서는 항공사의 비행 스케줄 시스템, 비행계획 시스템, FDM/FOQA 자료, 기타 자료(탑재중량, ACARS, DCS, 연료관리, 정비로그, EFB 등)를 취합하며 약 1000개 이상의 인수(Parameter)의 저장이 가능한 아비아소 데이터 저장소(Data warehouse)에 저장

- 이 자료들은 항공사의 IT시스템에서 네트워크를 통해 자료를 실시한 전송받음



<그림 3-13> 데이터 메뉴

- 자료검증 단계에서는 수집된 자료를 서로 교차하여 확인(Cross check), (예, 비행 스케줄 시스템과 비행계획 시스템의 차이가 있는지를 확인) 통계적인 측면의 확인(예, 최근년도 같은 시기대비 등), 전오차 확인(Gross-error) 및 최종 확인 절차 수행
- 분석단계에서는 저감 잠재량을 분석하고 현재 연료효율 프로그램의 진행상황 분석



<그림 3-14> 저감 잠재량 분석 도표

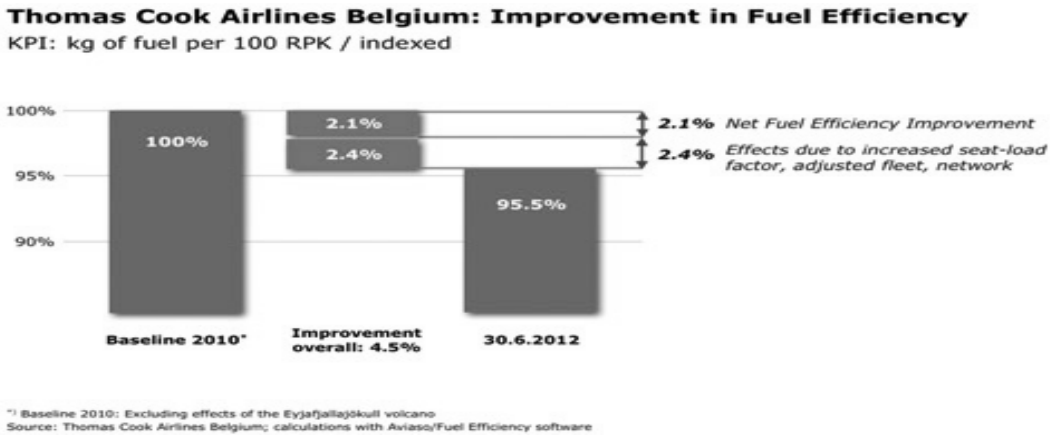
- 분석된 자료를 가지고 통계 및 분석결과 보고서 생산(EU-ETS 보고서 제출 및 ICAO 보고양식 생산)

Savings by departments (kg)

Area	Actual	Target	Delta	%
Flight Operations	153,242	99,262	53,979	54.38%
Dispatch	43,333	44,169	-836	-1.89%
Ground Operations	10,824	11,002	-178	-1.62%
Maintenance	40,112	37,888	2,224	5.87%
Commercial	20,907	24,020	-3,114	-12.96%
Total	**268,417**	**216,341**	**52,076**	**24.07%**

<그림 3-15> 통계 및 분석결과 도표

○ 2012년 8월 7일, 아비아소 프로그램을 통해 벨기에의 토마스 쿡 에어라인은 18개월 동안 약 2.1%의 연료절감 효과를 거두었다고 발표



<그림 3-16> 토마스 쿡 에어라인의 연료 절감량 분석

사) VISIUM FLEET S/W (OSYS)

○ 항공기의 노후화에 대한 성능분석을 하여 예상 연료소모량 및 부품 교체 등을 통한 성능 향상 분석 툴을 제공하며 주요 기능은 다음과 같음

- 운항 및 정비 보고서 작성
- 기종 구성품 요소의 추적 및 신뢰성 관리
- 항공기 부품 세부 분석
- 자동으로 반복적인 결함 경고 및 보고

라. 의미 및 시사점

○ 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 온실가스 배출량 할당이 국제적으로 이루어질 경우 그에 대한 데이터베이스나 검증된 결과를 절실히 필요

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

○ 본 연구에서 제시하는 모델은 이런 점들을 개발 단계에서 반드시 고려하여 보완해야 함

마. SWOT 분석

○ 온실가스 감축을 위한 국제적인 공조체제 구축은 회피할 수 없으며, EU-ETS와 흡사한 배출가스 규제가 본격화될 경우 우리나라 항공교통 부문에 직간접적으로 상당한 영향을 미칠 것으로 예상

- 특히 우리나라 국제 항공시장은 성숙된 타 선진국 시장에 비해 급속으로 성장하고 있어 국제 배출가스 규제의 큰 영향 예상

○ 국제항공 온실가스 배출규제에 체계적 대응을 위해서는 기본적으로 IPCC 가이드라인에 따라 신뢰성을 갖는 항공기 배출가스 규모를 추정하고 감축수단별 저감잠재량 분석을 위한 시뮬레이션 모델과 이를 종합적으로 관리할 수 있는 시스템 개발이 시급

○ 항공 온실가스 추정 및 저감효과분석 시뮬레이션 모델은 국내에서는 처음으로 기술 개발을 위한 기획단계에 있으며 국내시장은 아직 형성되지 않음

○ Tier 3b급의 온실가스 배출량 시뮬레이션 모델은 국가 온실가스 배출량 산정과 저감잠재량 분석을 통한 국가 감축이행계획 수립 및 관리 등 공익적 목적으로 사용되어야 하며, 국제 기준에 부합하는 배출량 관리를 통해 녹색항공을 선도하는 국가로서의 위상을 제고할 수 있을 것임

○ 향후 항공사의 실비행 데이터를 활용한 감축수단별 온실가스 감축 프로그램 개발이 진행된다면 감축관리를 위한 항공사의 수요가 예상되며, 해외 수출도 모색할 수 있음

○ 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 온실가스 배출량 할당이 국제적으로 이루어질 경우 그에 대한 데이터베이스나 검증된 결과를 절실히 필요로 함

<표 3-10> SWOT 분석

	O(기회)	T(위협)
항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발	- EU-ETS 와 흡사한 배출가스 규제의 본격화 아래 우리나라 국제 항공시장의 급속한 성장 - 탄소 배출거래제로 인한 시나리오 분석 필요 - 항공사들의 온실가스 저감효과분석 기반 요청	- 해외 모델을 국내 시스템에 통합 - 타 모델과의 중복성 - 선진국과의 기술격차
S(강점)	SO전략	ST전략
- 타 모듈과의 연관성 및 통합 가능성 - 저탄소 녹색성장 기본법을 통한 정부의 강한 필요성 인지 - 국내 교통부문 온실가스 통합관리시스템 개발 경험	- 타 국내 모델과의 중복성 최소화 및 차별화된 모델 구축 - 타 국제 모델의 약점을 보강하여 국제 마켓에 출시 - Tier 3b 급 모델 구축	- 타 모듈 연구와의 명확한 통합 방안이 구축된 연구 제시 - Tier 3b 급 모델 구축
W(약점)	WO전략	WT전략
- 공익적 목적을 고려하면 단기적 이익 불확실 - 지속적인 관리 필요 - 데이터의 사용 여부 및 정확도에 의존성 - 국내 항공 배출량 추정 모델 기반시설 및 연구인력, 경험 부족	- 데이터의 availability에 따른 기본적인 모델 제시 - Tier 3a급 모델 구축이나 Tier 2급 모델 유지	- 중복되는 타 연구에 본 모델을 하나의 모듈로 추가 - Tier 3a급 모델 구축이나 Tier 2급 모델 유지

4. 기술수준 분석

가. 국내 기술수준 분석

<표 3-11> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 기술 분야의 기술수준

단위 : %

통합 기술	핵심 기술	비중	기술수준	세부 기술	비중	기술수준
항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 기술	항공 온실가스 데이터플랫폼 구축	20	70	항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석기술	10	70
				항공 온실가스 데이터플랫폼 설계 기술	20	50
				항공 온실가스 기초데이터 실시간 검색/추출/관리 기술	30	60
				항공 온실가스 기초 DB 구축 기술	30	70
				항공 온실가스 통합정보제공 모듈 및 인터페이스 기술	20	70
	항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발	40	25	항공 온실가스 배출량 산정 모듈 기술	50	30
				항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 성능 및 신뢰성 검증 기술	50	20
	항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발	40	25	온실가스 감축량 산정 모듈 기술	50	30
				항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 성능 및 신뢰성 검증 기술	40	20
				온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 기술	10	20
전체기술수준				34.0		

주 : 전문가 자문을 바탕을 재구성

<표 3-12> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 기술 관련 논문

구분	제목	내용
논문	저비용항공사 온실가스관리 표준모델 개발 연구 (2011)	항공기 배출물질의 근원 배출물질의 측정방법과 산정방법
	항공교통 부문 온실가스 배출규모 추정 및 관리 방안 (2008)	항공교통 부문 온실가스 배출통계 관리 방안 Tier 1 및 tier 2 방법에 의한 연도별 국내 항공 배출량 비교
	비행절차 및 공역 효율성 평가 툴 (PEAT, Procedure/Airspace Efficiency Assessment Tool) 기본 설계	공역 변경에 따른 관제공역별 항공교통량 추이 분석 기능 개발 비행절차와 공역의 효율성을 평가하기 위한 평가 지표를 분석
	김해공항에서 항공기에 의한 대기오염물질과 온실가스의 배출량산정 및 특성분석	김해공항에서 항공기에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출량을 Tier 3로 산출 항공기 배출에 의하여 공항주변 지역 대기질에 미치는 영향 연구

구분	제목	내용
논문	EDMS를 이용한 김포국제공항 이전에 따른 주변지역 NOx 오염도 변화에 대한 연구	미국 FAA의 EDMS를 사용 국제선 이전에 따른 김포공항 주변의 NOx 오염도 변화 예측실측치와 비교 및 평가 진행
	Emission of greenhouse gases and pollutant from commercial aircraft at international airport in Korea	인천, 김포, 제주, 김해 공항의 2010년 일별, 월별 온실가스 및 오염물질의 배출량 계산 항공기 운항모드에 따른 배출량을 계산하고 EMDS를 이용하여 예측치를 계산하여 비교

나. 국외 기술수준 분석

○ 현재 Aero2k, SAGE/AEDT, FAST 등의 여러 항공 온실가스 추정 시스템이 선진국에서 운영되고 있으나, 미국의 SAGE/AEDT 모델이 가장 주도적인 기술 수준을 설립

○ 호주 UNSW 대학에서는 SAGE, Aero2k 등의 최신 모델의 약점들을 보강하기 위한 선도적인 연구가 진행 중임

- 실시간 항적 데이터, 실제 기상 정보를 사용한 TOP-LAT 모델 개발 중
- 학술적인 시범으로 아직 호주 항공관제에 사용되고 있지는 않으나 향후 항공관리 시스템에 병합될 전망



<그림 3-17> 호주의 실시간 온실가스 추정 TOP-LAT 모델

<표 3-13> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 기술 분야의 기술수준

단위 : %

통합기술	핵심기술	비중	기술수준	세부 기술	비중	기술수준
항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 기술	항공 온실가스 데이터플랫폼 구축	20	74	항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석기술	10	80
				항공 온실가스 데이터플랫폼 설계 기술	20	80
				항공 온실가스 기초데이터 실시간 검색/추출/관리 기술	30	60
				항공 온실가스 기초 DB 구축 기술	30	80
				항공 온실가스 통합정보제공 모듈 및 인터페이스 기술	10	80
	항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발	40	85	항공 온실가스 배출량 산정 모듈 기술	50	90
				항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 성능 및 신뢰성 검증 기술	50	80
	항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발	40	61	온실가스 감축량 산정 모듈 기술	50	60
				항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 성능 및 신뢰성 검증 기술	40	60
				온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 기술	10	70
전체기술수준				73.2		

주 : 전문가 자문을 바탕을 재구성

<표 3-14> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 기술 관련 논문

구분	제목	내용
논문	System for assessing Aviation's Global Emissions (SAGE), Part 1: Model description and inventory results (2007)	항공기 배출물질의 Tier 3b 측정방법과 산정방법
	System for assessing Aviation's Global Emissions (SAGE), Part 2: Uncertainty assessment	Tier 3b 온실가스 산정모델인 SAGE의 불확성 평가
	AERO2K global aviation emissions inventories for 2002 and 2025 (2004)	Tier 3b 모델인 AERO2K로 글로벌 온실가스 산정 및 예측
	Mitigation of Aviation Emissions of Carbon Dioxide (2010)	기술 및 정책을 통한 온실가스 완화 전략 분석; EU-ETS의 효과 분석

제 2 절 연구개발과제 구성 및 추진전략

1. 비전 및 목표

○ 항공기의 경제적 운항과 항공분야 온실가스 배출량 최소화에 기여하고 국내외 배출규제에 효과적으로 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발

- 고정밀 항공 온실가스 배출량 산정 및 감축량 예측 시스템 개발을 통한 항공 온실가스 관리 및 감축 기술 선진화
  - IPCC Tier 3b 수준의 방법론을 기반으로 우리나라 항공 산업의 정확한 배출량 측정
  - 기술도입 및 운항 개선에 따른 시나리오별 효과 분석 역량 제공, 날씨와 항공기 무게 같은 변수의 차이에 따라 가장 최적화된 이착륙 속도, 각도 등 분석기능 제공, 공역 특성에 따른 항적 데이터 활용
  - 적절한 항공 환경투자 수준을 정량적으로 도출
- 선진국 수준의 기술 경쟁력 확보
  - 국제 항공 산업의 친환경 신기술도입 및 운항법 개선 활동에 타당성과 정당성을 부여
  - 우리나라 항공 산업이 지속가능경영의 국제적 수범 사례로 자리 잡음에 기여
- 항공분야 국내외 온실가스 배출규제에 효과적 대응을 위해 저감 잠재량 및 국가 감축 이해계획 수립을 위한 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발

2. 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표

○ 핵심기술요소(CTE) 도출

<표 3-15> 핵심기술요소 후보

No.	CTE명
후보 1	항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석 기술
후보 2	항공 온실가스 데이터플랫폼 설계 및 구축 기술
후보 3	항적 자료 추출/처리 및 설계 기술
후보 4	공기역학적 항공기 성능 및 배출량 알고리즘
후보 5	거시/미시적 시나리오 분석 기술
후보 6	알고리즘 모델화 기술 (UI포함)
후보 7	모델 결과물 불확도 평가 기술
후보 8	감축수단별 온실가스 저감효과 산출기술 개발
후보 9	감축수단별 연료 절감량 분석 프로그램 개발
후보 10	감축수단별 연료 절감량 검증기술 개발
후보 11	저감효과 분석기술 개발
후보 12	저감효과 분석시스템 개발

<표 3-16> 핵심기술요소 선정(1)

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	○	○	○	○	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?							하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가				○	○		
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발 시 변경된 기술인가?	○	○					
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?	○	○	○	○			
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?			○		○		
핵심기술요소(CTE) 선정여부	○	○	○	○	○	×	

<표 3-17> 핵심기술요소 선정(2)

체크리스트	후보7	후보8	후보9	후보10	후보11	후보12	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	○	○	○	○	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?							하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가		○	○		○		
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발 시 변경된 기술인가?							
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?		○	○				
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?					○		
핵심기술요소(CTE) 선정여부	×	○	○	×	○	×	

<표 3-18> 핵심기술요소 목록

CTE	유형	CTE명	최종 TRL
1	소프트웨어	항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석 기술	TRL 7
2	시스템	항공 온실가스 데이터플랫폼 설계 및 구축 기술	TRL 7
3	시스템	항적 자료 추출/처리 및 DB 설계기술	TRL 7
4	소프트웨어	공기역학적 항공기 성능 및 배출량 알고리즘	TRL 7
5	소프트웨어	거시/미시적 시나리오 분석 기술	TRL 7
6	시스템	감축수단별 온실가스 저감효과 산출기술 개발	TRL 9
7	소프트웨어	감축수단별 연료 절감량 분석 프로그램 개발	TRL 9
8	소프트웨어	저감효과 분석기술 개발	TRL 9

<표 3-19> 기술성숙도(TRL) 단계별 목표

연구과제명	항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발	유형	

프레임워크		선행단계	시제품 제작 및 시연		현장적용	제품화/실용화
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL			
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도 (종료)
마일스톤 일정		2014	2014	2015	2016	2017
CTE No.	**기술명**					
CTE 1	항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석 기술	TRL 2	TRL 5	TRL 7		
CTE 2	항공 온실가스 데이터플랫폼 설계 및 구축 기술	TRL 2	TRL 5	TRL 7		
CTE 3	항적 자료 추출/처리 및 설계기술	TRL 1	TRL 5	TRL 7		
CTE 4	공기역학적 항공기 성능 및 배출량 알고리즘	TRL 2	TRL 3	TRL 6	TRL 7	TRL 7
CTE 5	거시/미시적 시나리오 분석 기술	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 7	TRL 7
CTE 6	감축수단별 온실가스 저감효과 산출기술 개발	TRL 2	TRL 6	TRL 7		
CTE 7	감축수단별 연료 절감량 분석 프로그램 개발	TRL 1	TRL 3	TRL 6	TRL 7	TRL 9
CTE 8	저감효과 분석기술 개발	TRL 1	TRL3	TRL 5	TRL 7	TRL 9

3. 세부과제 주요내용 및 추진전략

가. 세부과제 주요내용

1) 항공 온실가스 데이터플랫폼 구축

가) 항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석

○ 항공온실가스 기초데이터 요구도 조사

- 관련 문서 수집, 사용자 면담, 설문조사, 워크숍, 기존 DB 시스템의 산출물 등 다양한 형태의 자료로부터 현행 DB시스템 및 사용자 요구도 수집·조사

○ 항공온실가스 기초데이터 요구도 분석

- 수집된 정보요구사항을 정리하고, 다양한 기법을 통한 정보요구 우선순위 분석

- 확정된 정보요구사항의 개별 사항에 대하여 세밀하게 분석하여 향후 DB시스템에 정확하게 반영될 수 있도록 상세화 분석

○ 항공온실가스 기초데이터 요구 검증

- 정보요구사항을 비즈니스 관점, 조직 관점, 시스템 관점 등 다양한 방향에서 상관분석을 통해 누락 없이 반영되었는지 검증

나) 항공 온실가스 데이터플랫폼 설계 및 구축

○ 웹 기반 DB 설계

- 항공 온실가스 산정 및 예측 알고리즘 개발 시 필수적 기초 데이터 접근이 가능한 데이터 플랫폼 설계

① 항공 온실가스 기초데이터 실시간 검색/추출/관리 기술 개발

○ 연도별, 항공기 기종별, 국내·국제 운항, 다양한 감축 수단별 온실가스 추정 기초자료 추출

- 항공기 기종별 데이터, 항공기 레이더 데이터, 스케줄 데이터, 공항 데이터, 기상데이터 등
- 항공기 온실가스 추정 시뮬레이션 모델 개발과 관련하여, 유상하중(Payload 등)의 평균 값 보다는 실제 값 사용이 중요하고, 날씨와 항공기 무게 같은 변수의 차이에 따라 가장 최적화된 이착륙 속도, 각도 등 분석 필요

○ 항공 온실가스 저감 기술별 온실가스 감축 자료 추출

- 항공교통관리, 항공운항관리, 정비유지관리 등 온실가스 감축 기술에 따른 온실가스 저감 데이터

○ 분석하고자 하는 항공편들의 스케줄 자료, 공항 데이터 등을 관련 기관 데이터센터에서 추출, 압축, 필터링 및 정리

○ 항공기 등록정보, 기종별 성능정보, 운항스케쥴, 공항자료, 기상자료 등 관련기초데이터 DB구축 및 신뢰성 검증

- 추출/처리된 자료의 신뢰성 분석 및 한계성 분석

② 항공 온실가스 통합정보제공 모듈 및 인터페이스 개발

○ 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램과 연계 모듈 설계

○ 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램과 연계 모듈 설계

2) 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발

가) 항공 온실가스 배출량 산정 모듈 개발

① 항공기 기종 및 성능, 운항절차, 기상, 출/도착지 등 온실가스에 영향을 주는 운항환경별 배출량 선정 및 추정 알고리즘 개발

○ 항적 자료 추출/처리 및 설계 기술 개발

- 항적 자료 추출 및 처리 모듈, 항공기 이동 데이터베이스 모듈 개발
- 주어진 출·도착 공항, 항공기, 엔진에 따른 항공기 4D 경로를 추출하여 최종 항공기 이동 데이터베이스 설계
  - 각 비행기 기종 및 고유번호에 따른 엔진 매칭
  - 레이더 자료에서 추출되는 비행 궤적 자료가 불완전할 경우, historical data를 통해 통계적인 순항 고도 및 수평 이동 분포 도출
  - 추가적인 taxi time 및 지연 시간 통계 도출

○ 공기역학적 항공기 성능 및 배출량 알고리즘 설계

- 항공기/엔진 조합의 공기역학적 성능정보를 이용하여 연료 사용량 및 온실가스 배출량을 추정하는 알고리즘 개발, 항적 자료 및 공기역학적 항공기 성능 정보를 사용해 IPCC Tier 3b급 충족
- 엔진 모듈을 설계할 때 N1, N2의 폭발에 대한 회전수를 계산해서 연료소비량 계산해서 알고리즘을 구현하는데 이렇게 하지 않으면 신뢰할 수 없는 엔진 데이터를 얻음. 공개된 데이터를 사용해서 비슷한 데이터를 산출하고 이런 데이터를 가지고 설계한다면 나중에 신뢰성 있는 데이터를 보여줄 수 있음
- 알고리즘은 1)이륙 / Climbout 및 Approach 궤적, 2)항공기 속도, 3)주어진 항공기/엔진 조합의 리프트 및 드래그, 4) 추력 및 상승률, 5) 연료 흐름양 및 연소율, 6)온실가스 배출량의 순서로 진행됨

② 단위별 항공 온실가스 배출량 산정 모듈 개발

○ 알고리즘 모델화

- Tier 3b급이 요구하는 절차별 배출가스 산정 알고리즘을 모델화 함
  - 실용적이고 직관적인 유저 인터페이스 구성
  - 일반 PC에서 특별한 요구사항 없이 실행 가능하게 구성
  - 각 모듈의 독립성을 보장해 추후 모델의 확장 허용
- 변수별 통계 및 비교 분석 기능 구축
  - 입력 변수들의 인벤토리 query를 통한 분석 기능
  - Tier 3b급 모델 개발 시 비행환경 중요, 공역 특성에 따른 항적 데이터 활용 필요(실수요자 의견)
  - 항공기 온실가스 추정 시뮬레이션 모델 개발과 관련, 입력자료에 실제 국적항공사의 비행고도를 사용하는 것이 필요하며, 항공기의 상승률을 결정할 때도, 최적의 상승각(Best Angle of Climb)과 최적의 상승률(Best Rate of Climb)이 있는데 어떤 것이 더 연료 효율적인지를 분석해서 모델 개발에 적용하는 것이 필요함
  - 기종, 루트, 날씨별, 운항별 온실가스 배출량 분석
  - 위 결과의 도식화 기능 추가
- 알고리즘의 효과적이고 효율적인 운영 체제 도출
- 항공 온실가스 데이터플랫폼 DB를 사용하는 항공기 배출량 산정 모듈 설계

○ 거시적/미시적 시나리오 분석 기술 역량 개발

- 모델 구성 후 항공정책 및 평가 시나리오 분석 역량 개발
- 절차별 배출가스 도출 모델을 추가로 다양한 항공정책 및 평가 시나리오 분석 모듈을 개발
- (미시적 분석) 항공기 기종, 출/도착지별 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발
  - 본 연구에서 제시되는 온실가스 평가 모델의 기본적인 모델링 단위는 단일 비행임
  - 단일 비행을 모델링하기 위해 특정 항공편과 관련된 모든 항공 스케즐, 궤도, 항공기/엔진 기종별 성능, 배출 지수 등이 요구됨

• 이와 같은 미시적 분석을 통해 단일 비행의 절차, 시간, 및 거리별 연료 사용량 및 온실가스 배출량이 도출됨

• 특정 항공기 및 운항 조건의 연료 효율성 및 온실가스 배출량 분석 가능

- (거시적 분석) 단위별 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 개발

• 지역, 국가, 지구적인 수준의 연료 사용량 및 온실가스 배출량의 통계가 요구될 때 적용함

• 미시적 분석을 합계한 결과이며, 기본적인 방법론은 변하지 않음

나) 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 성능 및 신뢰성 검증

○ 총 결과물의 통계적 불확실성 평가

- 각종 input 자료들의 신뢰성 평가
- 알고리즘의 정확성 한계 평가
- 기상 자료, taxi/delay time 등의 추가 정보가 가져오는 추가적 신뢰성 평가

○ 비교하고자 하는 시나리오들의 차이 유의성 분석

- 예: 비행기 기종 교체 시 온실가스 배출절감 비용 효율성 분석

○ 분석된 샘플 구간의 일반화 신뢰성 분석

- 예: 국내 일주일치 항적 자료를 통해 일년치 통계로 표준화 시킬 경우 생기는 오차의 범위 계산

○ 해외 유사 프로그램(AEDT 등)과 비교분석 등을 통한 성능 검증

- 해외 유사 프로그램, 우리나라 항공기 실제 연료 사용량 비교 분석 등을 통한 성능 검증 및 보완

○ 단위별 우리나라 항공기의 실제 연료 사용량과 비교 분석 등을 통한 성능 검증

3) 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발

가) 항공 온실가스 감축량 산정 모듈 개발

① 온실가스 감축기술 선정 및 감축수단별 온실가스 감축량 예측 알고리즘 개발

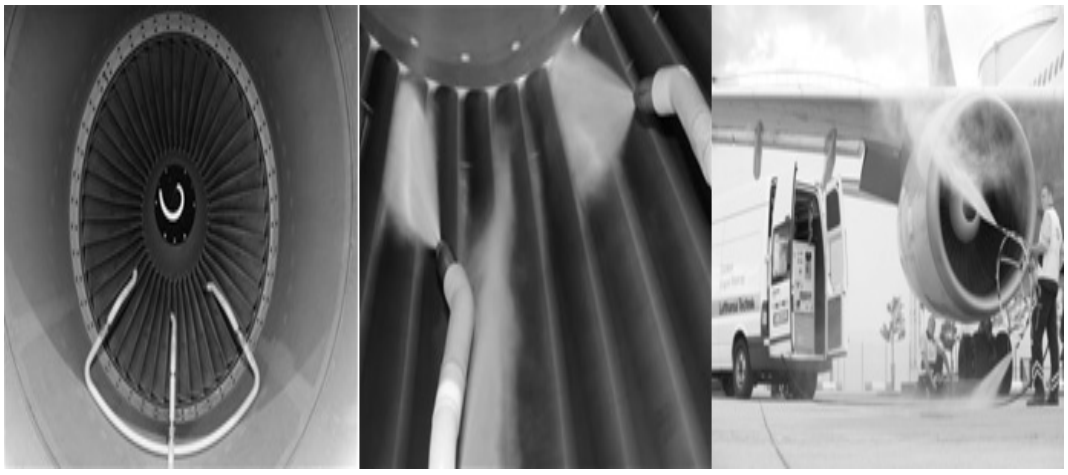
○ 국적항공사 국내·외 선진기술 사례, 관련 정책 및 기술 개발 현황 분석

○ 감축수단 범주별 저감효과 분석을 위한 감축기술 선정

- 운항관리 분야
- 비행운용 분야
- 항공역학 및 정비관리 분야
- 중량관리 분야
- 교통관제 분야

○ 감축수단별 온실가스 저감효과 산출기준 및 방법 개발

- 국적항공사 적용 감축활동 조사
  - 감축수단에 따른 항공사별 산출방법 비교분석
- 저감효과 분석을 위한 감축수단별 산출기준 도출(예: 엔진 물세척 적용)
  - 엔진별 시간당 연료소비량 × 엔진 세척 후 사용시간 × 개선효과 × 효과지속일
  - 개선효과는 제작사가 제공하는 매뉴얼 자료 활용 가능. 또는 항공사 자체적으로 엔진 배기가스 온도를 측정하여 개선효과를 별도 산출 시에는 항공사의 자료도 적용 가능함



<그림 3-18> 엔진 세척모습

- 항공사 실제 데이터 활용 산출식 검증
  - 감축수단별 실제 데이터를 활용한 산출기준의 타당성 분석
  - 감축수단별 산출기준 표준화

○ 항공 온실가스 감축 기술 분석(국가 온실가스 감축 이행계획)[101]

- 항공기 온실가스 감축을 위한 전략방향은 표 3-8과 같이 5가지로 범주화 할 수 있음
  - 항공기의 전반적인 스케줄 및 운용을 관리하는 운항관리 분야와 항공기가 운항을 시작할 때부터 멈출 때까지의 활동인 비행운용, 항공기의 유지보수 및 항공역학적인 부분과 항공기 성능향상을 위한 중량 감소 노력, 관제기관에서 시행하는 운항절차 개선 등 교통관제분야가 있음

㉮ 항공기 보조동력장치(APU) 사용억제(AC-GPS 사용 확대)

○ APU는 지상전원장치(GPU/AC-GPS)의 사용에 비하여 시간당 10배의 연료비용이 발생됨에 따라 인천국제공항의 경우, 게이트 및 주기장에 AC-GPS를 설치하여 항공기 주기 시 보조동력장치의 사용 없이 바로 전원을 공급하고 있음

○ AC-GPS 사용을 통해 항공기의 APU 수명을 연장시킬 수 있으며, 연료절감 효과를 기대할 수 있음

㉯ 항공사비용지수(CI) 개선

○ 비행관리시스템(FMS)은 비용지수를 이용하여 연료비와 시간비용을 비교하여 현재 비행조건에서 항공기의 정확한 성능 설정을 가능하게 하여 항공기 비용지수를 최적화함으로써 연료사용 절감

- 항공사에서는 지연비용, 영공통과 요금 및 기타 비행관련 비용 등을 포함하는 시간비용과 연료비용을 주기적으로 검토하여 최적의 CI 지수를 조정

㉰ 법적 보정연료 개선

○ 보정연료 탑재에 대한 기준은 ICAO, 유럽(JAR), 미국(FAR)이 서로 상이함

- 우리나라와 미국의 경우, 보정연료 탑재량은 Trip fuel의 10%로 규정하고 있으나, 유럽의 경우 5%를 기준으로 교체공항운영 시 3% 적용

○ 현재 우리나라 국적항공사 7개 중 대한항공, 아시아나항공, 진에어가 운항기술기준에 따른 국토교통부장관의 인가를 받아 보정연료 10%에서 5%로 운영 중

101) 국토교통부, 항공부문 온실가스 감축 국가이행계획 수립 연구, 2012를 참고하여 재정리

○ 목적지 공항 잔존연료량 관리, 합리적 추가 탑재연료 운영, 보정연료 5% 운영 등 탑재연료 최적운영을 통해 연료절감을 달성 할 수 있음

㉮ 단일엔진 활주(Engine out taxi-in)

○ 항공기의 지상 활주 시 하나 혹은 두 개 이상의 엔진의 가동을 중지하여 주기하는 방법으로 많은 항공사들이 표준운영절차(SOP, Standard Operation Procedures)로 규정하여 권장하고 있음

○ 항공기 엔진 가동을 중지함에 따라 연료절감을 달성할 수 있으며, 브레이크 수명 연장 등의 이점이 존재

- 단일엔진 활주 시 활주로의 표면 상태, 주기(Taxi-in) 시간, 주기장 혼잡 정도, 공항 활주 규정 등을 고려하여 시행 필요

㉯ 저항력 플랩 사용

○ 항공기 이·착륙 시 플랩설정을 최적화 할 경우, 엔진의 추력을 감소시켜 연료절감 효과를 달성할 수 있음

○ 플랩이 완전히 확장된 경우 양력(Lift)의 증가와 함께 항력(Drag)도 높아져 연료가 추가 소모됨

- 항공기 운항승무원은 항공기의 중량, 활주로 길이 및 상태, 기상조건 등을 고려하여 플랩설정을 최적화하여 연료절감을 달성

㉰ 공회전 역추진

○ 항공기 착륙 시에 공회전 역추진 장치(Idle reverse thrust) 사용은 보통의 역추진 사용에 비하여 소음절감 및 연료절감 효과를 달성할 수 있음

- 착륙 시 브레이크 사용에 비하여 승객의 쾌적성 증가, 이물질(Foreign Object Damage, FOD)에 따른 손상 감소, 엔진 성능감소의 지연 등의 효과가 발생

㉱ 엔진세척

○ 엔진 물 세척은 물을 사용하여 항공기 엔진 압축기 입구에 적정량을 분사하여 압축기 가스패스를 세척하는 것으로 엔진 연소실의 이물질을 제거하여 연료효율을

높이는 효과를 달성할 수 있음

- 항공기 기종별로 엔진세척에 따른 연료효율 개선효과 지속일이 상이함으로, 최적주기를 파악하여 정기적으로 실시

㉮ 주기적인 항공기 중량관리

○ 주기적인 항공기 중량관리를 통해 항공기 무게를 감소시켜 항공기 연료소모량 절감을 달성

- 항공기 중량관리를 위하여 국적 항공사는 카트 및 식기류 등의 경량화, 탑재부품 장탈, 항공기 C.G control 등의 활동을 수행

○ 경량 ULD(Unit Load Device)사용

- 2009년 인천시와 인천국제공항공사는 인천공항의 차별화된 녹색물류 성장 이미지 제고를 위하여 경량 항공화물 컨테이너 80개를 1차로 제작 및 보급하였으며, 2010년 2차로 310개의 컨테이너를 보급
- 해당 컨테이너 구입비용의 절반은 항공사가 부담하였으며, 연료절감 필요성 확산에 따라 경량 ULD 교체 작업을 확대할 계획

○ Potable water 최적화

- 기내 탑재수 관리를 최적화함에 따라 불필요한 물의 양을 줄임으로써 항공기의 중량감소로 연료절감을 달성
- 기내 탑재수 사용실적을 고려하여 항공사별 최적화 작업이 필요

○ 무게중심 관리

- 항공기는 운항에 의해 연료를 소모함에 따라 연료탱크가 장착되어 있는 주날개의 무게는 점차 가벼워지고 역학적인 힘의 작용에 의하여 날개와 동체가 분리될 가능성이 있으므로 제작사에서는 각종 시험을 실시하여 항공기 구조상 안전을 유지할 수 있도록 중량한계 및 무게중심의 허용범위(CG Limit)를 설정하고 있음
- 항공기 무게중심은 운항 중 성능에 중요한 역할을 하며, 무게중심이 더 후방에 위치할수록 유도항력은 더 적게 발생되어 결국은 항공기의 비항속거리(Specific Range)가 증가하며 이러한 유도항력 감소는 연료소비를 감소시킴
- 항공사는 가급적 후방 쪽으로 무게중심 위치를 얻기 위한 효과적이고 실용적

인 하중계획 절차를 이행하여 모든 항공기에 대해서 공기역학적 항력을 감소시키고 비항속거리 값을 향상시킬 필요가 있음

㉶ 재비행계획 적용

○ 재비행계획은 안전운항을 저해하지 않는 범위 내에서 보정연료를 탑재량을 줄임으로써 비행 종료 후 사용되지 않고 남아있는 보정연료를 최소화하여 운항시의 연료절감효과를 달성

○ 출발공항에서 re-dispatch point까지 정상비행 계획에 의한 법적연료만 탑재하고 운항하여 해당 point 도착 시에 연료 잔량을 점검하여 최종목적지(final destination)까지의 법적 연료를 충족하면 최종목적지로 계속운항하고, 충족하지 못할 때는 기선정된 re-dispatch destination으로 운항

○ re-dispatch point에서 최종 목적지까지의 법적연료는 소모연료(re-dispatch에서 final destination까지), 보정연료(final destination까지 비행시간의 10%), 교체공항연료(final destination에서 destination alternative까지), 체공연료(destination alternative에서 30분간 체공연료)

㉷ 경제항로 사용

○ 최적의 경제항로는 단순히 거리가 제일 짧은 항로를 운항하는 것이 아니라 연료비용, 시간비용 및 영공통과 비용의 합이 가장 적게 나오는 항로가 최적의 경제항로

- 거리가 짧은 항로라 할지라도 해당 운항시간 대의 기상, 연료단가, 영공통과 비용 등의 발생으로 거리가 긴 항로보다 비용이 많이 발생할 여지가 존재

○ 따라서 경제항로의 사용은 단축항로의 개발과는 상이한 개념이며, 항공사의 비행계획 혹은 운항승무원의 판단에 의해 좌우

㉸ 성능기반항행(PBN) 도입

○ 과거 항공기는 지상에 설치된 항행안전시설이 제공하는 전파를 따라서 비행하는 '재래식(Conventional) 항법'에 의존하였으나, 지금은 항공기 탑재장비 및 인공위성 등이 발전함에 따라, 많은 항공기들이 '원하는 어떠한 경로라도 비행이 가능한 지역항법(aRea NAVigation, RNAV)'을 수행할 수 있게 됨

○ 항공기 전자장비에 목적지 및 경유 지점의 좌표만 입력하면, 시스템이 지속적으로 현재위치를 계산하면서 입력된 지점으로 항공기를 비행케 하는 지역항법(RNAV)을 기능 및 항행 정밀도를 기준하여 비행로를 구분하여 적용하는 것을 “성능기반항행(PBN)″이라 함

○ 성능기반항행 도입 시 비행경로를 자유롭게 설정할 수 있기 때문에 비행거리 단축이 용이하여 연료절감에 따른 경제성 향상 및 탄소배출감소로 ‘저탄소 녹색성장’에 기여하며, 장애물 회피가 용이하므로 공항접근성을 개선할 수 있으며, 주거 밀집지역 회피가 용이하여 소음문제 경감에 기여할 수 있음

㉰ 단축항로 사용

○ 효율적 항로운영을 통해 연료절감을 달성하기 위해 단축항로 개발은 항공사의 필수적인 저감활동으로 대두됨

○ 우리나라 공역은 협소하며 항로를 제외한 대부분의 공역이 군 특수공역으로 지정되어 있고 항공교통이 밀집되어 있는 수도권의 경우 남북한 군사적 대치에 의해 항공교통흐름이 제한되어 있음

○ 정부 당국에서는 항로의 효율적 사용을 위해 군과의 지속적인 협의를 추진 중에 있으며, 인접국과의 협의를 통해 단축항로 개발을 모색하고 있음

- 2009년 한-러 항공회담, 2010년 한・일 항공관제운영 실무그룹회의 등을 통해 북극항로 및 강릉-일본 항로의 효율화를 추진
- 2011년 상반기 까지 국내 항로의 효율화를 위하여 11개의 단축항로를 설정하여 운영 중에 있음

㉱ 수직분리간격 축소기법(Reduced Vertical Separation Minimum, RVSM) 적용

○ 수직분리간격축소기법(RVSM)이란, 비행고도 29,000피트~41,000피트 사이의 고고도 공역에서 항공기간 수직안전거리간격을 2,000피트에서 1,000피트로 축소 적용하여 효율적인 공역 활용을 도모하고 공역수용능력을 증대 시키는 기법

○ RVSM은 고고도 공역에서의 수직분리기준을 축소 적용함으로써 항공기가 운

항할 수 있는 고도층이 두 배로 증가되며, 이를 통해 공역수용능력 증대와 효율적인 공역활용 여건을 조성하고, 교통 혼잡 완화, 공중/지상에서의 항공기 운항지연 발생 감소, 항공기 연료소모율 절감 등의 효과가 있음

○ 우리나라는 2005년 9월 30일 인접국인 일본과 동시에 RVSM을 시행하였으며, RVSM 도입을 위해 추진했던 주요 현황은 다음과 같음

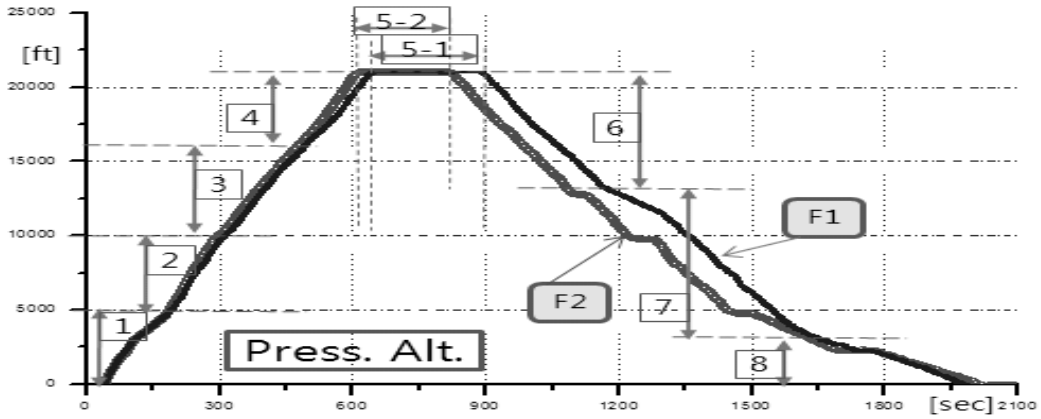
- 1999년~: RVSM 국내도입 준비를 위해 ICAO 아태지역 RVSM 전담반회의 및 세미나 등에 참여하여 관련국과 의견을 교환하고 확보한 자료의 분석을 통해 도입 필요성을 인식
- 2001년~: 항공사를 비롯한 국내 항공관련 기관에 종사하는 운항, 감항, 관제분야의 전문가로 이루어진 국내 실무전담반을 구성(2006년 총 16차례 전담반회의 개최)
- 2003년~: ICAO RVSM 전담반 활동 개시
- 2005년 9월 30일: 한·일 RVSM 공동 도입 시행

㉮ 신재생에너지 적용

○ 사용 후 재생 불가능한 화석계 연료와는 달리 바이오연료는 재생성을 가지므로 자원의 고갈 문제가 없으며, 바이오연료를 사용할 때 발생하는 이산화탄소는 원료인 바이오매스가 자라는 과정에서 다시 흡수되므로 전주기(Life cycle)측면에서 분석하면 이산화탄소의 배출효과가 매우 낮음

② 감축수단별 온실가스 감축량 예측 알고리즘 개발

- 감축수단별 온실가스 감축량 예측 알고리즘 개발
- 기종별 온실가스 감축량 예측 알고리즘 개발
- 연속강하접근(CDO) 구간별 연료사용량 분석 사례
  - 13,000~3,000ft까지 강하 구간의 경우 F1은 지속적인 강하를 하였지만 F2는 강하도중 3회의 수평비행이 있었던 것을 볼 수 있음. 이 구간에서의 계단식 접근의 경우 65.6 lbs의 연료를 더 소모함.
  - 고도 3,000ft에서 공항 착륙지점까지는 F1과 F2에서 평균강하율과 비행소요시간의 차이는 1%이내이지만 연료사용량은 F2가 F1보다 74%나 많은 215.9lbs를 더 소모



<그림 3-19> 비행시간별 기압고도의 변화

<표 3-20> 비행구간별 연료소모량

구분	비행구간	F1	F2
연료소모량 (lbs)	1 0~5,000ft	442.7	433.3
	2 5,000~10,000ft	307.6	283
	3 10,000~16,000ft	402.5	403.2
	4 16,000~21,000ft	308.5	276.8
	5-1, 5-2 21,000ft(수평)	258.5	220.7
	6 21,000~13,000ft	98.9	93.3
	7 13,000~3,000ft	223.4	289
	8 3,000~0ft	293.1	509
	합계	2,335.2	2,508.3

○ 온실가스 감축량 예측 알고리즘은 감축기술 적용 전/후에 대한 배출량 산정 프로그램 분석결과 비교를 통해 산출되도록 연계 개발

○ 감축수단별, 적용 대상 및 규모별 온실가스 감축량 예측 및 저감 잠재량 DB 구축 모듈 개발

나) 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개발

○ 중장기 온실가스 저감잠재량 및 감축수단별 경제성 분석 실시

○ 국가 온실가스 감축 이행계획 수립을 위한 활용방안 제시

다) 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 성능 및 신뢰성 검증

○ 온실가스 감축량 예측 프로그램 검증 및 데이터베이스 구축

- 감축수단별, 기종별 실비행 데이터(FOQA[102])와 비교 검증
- 감축수단별 시나리오 분석 및 연료절감 데이터베이스 구축
- 감축수단별 연료절감 DB와 연계한 분석시스템 알고리듬 설계
- 웹기반 포털사이트 및 분석시스템 구축

○ Test-Bed 구축을 통한 시범운영 및 성능검증

라) 운영 및 유지·보수 전략 수립

○ 소프트웨어 시스템 구성

- 항공 온실가스 데이터플랫폼
  - 절차별 세부적인 온실가스 배출현황 파악 및 데이터베이스로 정리
  - 거시적/미시적 시나리오 분석 기능 제공
  - 온실가스 추정 프로그램 구성 후 항공정책 및 평가 시나리오 분석 역량 제공
  - 미시적 분석: 단일 비행의 절차. 시간, 및 거리별 연료 사용량 및 온실가스 배출량이 도출 기능; 특정 항공기 및 운항 조건의 연료 효율성 및 온실가스 배출량 분석 제공
  - 거시적 분석: 지역, 국가, 지구적인 수준의 연료 사용량 및 온실가스 배출량의 통계 제공
- 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램
  - Input 데이터의 지속적인 업데이트를 통한 결과물 신뢰성 구축(예: BADA (Base of Aircraft Data), 항공사 스케줄 데이터 등)

102) Flight Operational Quality Assurance, 비행기록 데이터의 정기적 수집, 분석 및 이에 대한 적극적인 사용을 통해 항공안전을 발전시키도록 고안된 자발적 안전프로그램

• 실비행 데이터(FOQA)와 비교 검증하여 신뢰성 유지

• 각 공항 또는 항공사들과의 협력을 통하여 국내 공항 모든 항공기의 이착륙 비행 스케줄 데이터베이스를 확보하고, 사용되는 항공기의 종류와 엔진을 파악

- 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램

• 절차별 체계적인 분석·연구를 통해 항공기 운항을 경제적이고 효과적인 운항 체계 제공

• 온실가스 저감정책 수립 시 근거 자료로써 정부 관리주체인 국토교통부 담당자들이 성과지표와 목표를 설정하여 계획수립 시 활용

• 항공운송기업들 역시 온실가스 저감 활동 시 목표설정 및 계획 수립에 활용

○ 하드웨어 구성

- 본 사업 시 담당 위탁기관 지정을 통해 기관의 시스템 활용 및 관리계획 수립

○ 시스템 고도화

- 시스템 간 연계(예: 비행절차 및 공역 효율성 평가 툴의 데이터 베이스 연계 공유)

○ 시스템 운영 조직 구축

- 하드웨어 운영 및 유지 보수

• 연차 사업 시 시스템의 시범 운영을 통한 구체적 유지 보수 방안 수립

- 웹 운영 및 콘텐츠 관리

- 모니터링 및 검증을 통한 서비스 개선

나. 세부과제 추진 전략

1) 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발

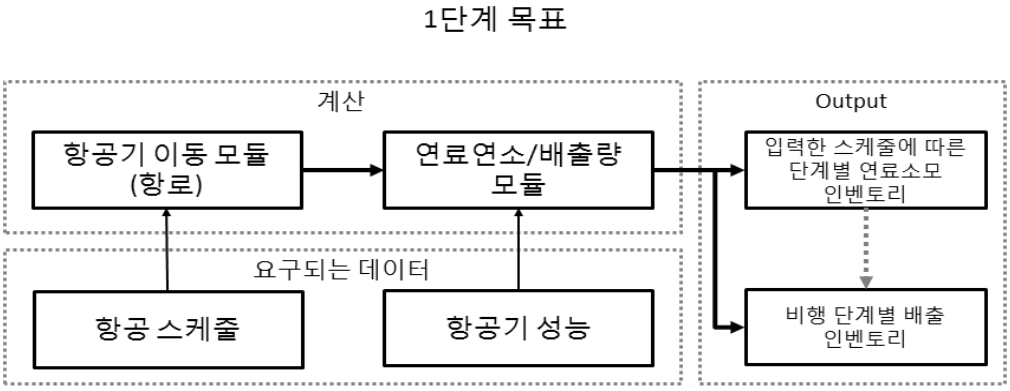
○ IPCC Tier 3b급 온실가스 산정 모델은 Tier 1, 2, 3a 보다 결과물이 정확하고 신뢰 있는 만큼 input 데이터 요구 사항이 높은 점을 고려해야 함

○ 정확한 배출가스 산정이 가능한 방법론이 개발된 경우에도, 데이터 availability

(예: 비행 데이터 등) 이슈로 해당 방법론을 충분히 활용하지 못할 가능성이 존재함

○ 유용하지만 구하기 어려운 데이터의 경우(예: 비행기 운항 레이더 궤도 데이터) 확실한 확보 여부를 알면 모델 개발 방향이 명확해지며, 이를 고려한 세 단계 목표로 연구 추진

가) Phase 1: 기본 모델 구축



<그림 3-20> 1단계 목표-기본모델 구축

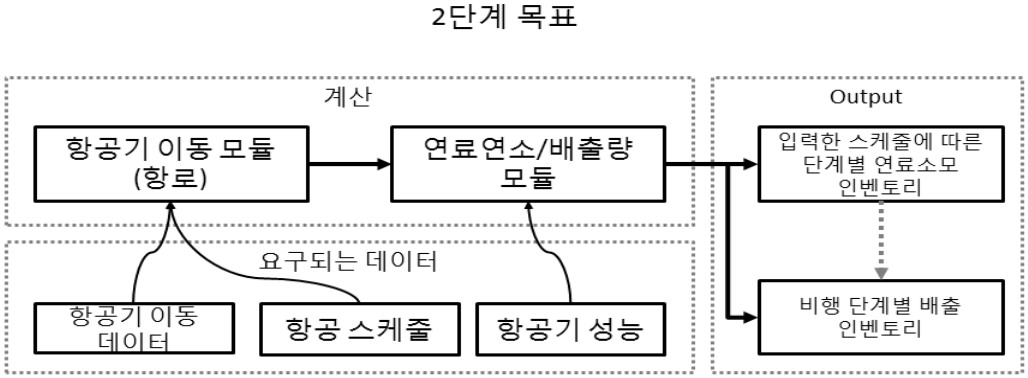
○ 모델 가동에 필수적으로 필요한 항공기 성능 database(예:BADA, INM 등) 외에 분석하고자 하는 항공사 스케줄 데이터 필요

○ 위 데이터를 활용하는 항공기 이동 모듈(스케줄) 및 연료연소/배출량 모듈을 기본적으로 먼저 개발

○ 가장 기초적인 데이터만 요구하기 때문에 아직 민간 항공 데이터가 잘 구축되어 있지 않은 기관/국가에서도 사용 가능

○ 다만 실재 항공기 movement data를 이용하지 않고 공항간 거리를 사용하기 때문에 IPCC Tier 3a급에 미치며, 단거리 비행이 많은 스케줄의 경우(한국, 일본 등) 결과물의 신뢰성이 떨어짐

나) Phase 2: 신뢰성 및 정확도 개선



<그림 3-21> 2단계 목표-신뢰성 및 정확도 개선 모델 구축

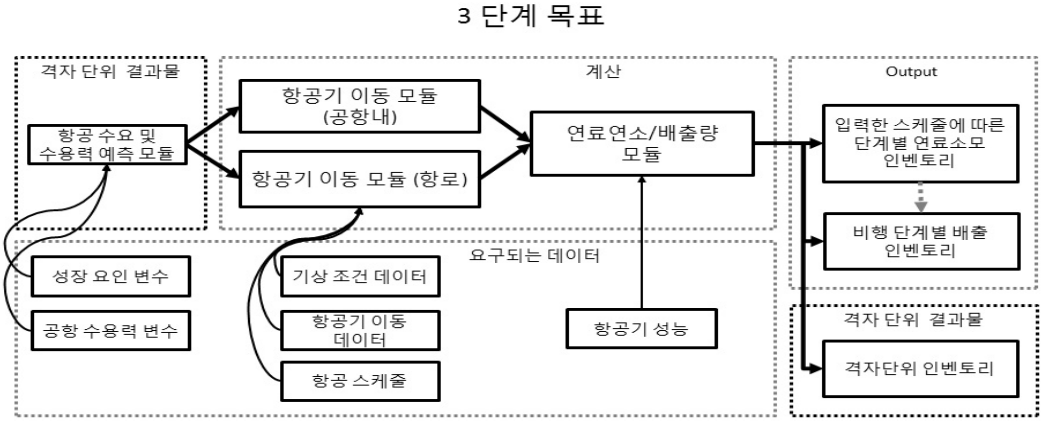
○ Phase 1 에서 단거리 비행 결과물의 신뢰성을 보강하는 항공기 이동 데이터 추가 포함

○ 항공사의 비행자료 데이터나 관제 데이터가 보안상 데이터 활용이 어렵다면, 대부분의 운송사업용 항공기에 ADS-B가 장착되었다는 점을 감안, ADS-B 수신기 등을 활용하여 실시간 항공기의 고도, 속도, 운항항로 등에 대한 데이터를 이용하는 방법을 모색할 필요가 있음

○ IPCC Tier 3b급 만족

○ 고급 이동 데이터는 항공사/정부의 협조가 요구되며, 항공기 이동 모듈이 이를 사용할 수 있는 기능을 추가해야만 함

다) Phase 3: 미래 수요 예측 모듈 및 글로벌 인벤토리 구축



<그림 3-22> 3단계 목표-추가개선 및 시나리오 분석 모델 구축

○ 기상 조건 데이터로 결과물 신뢰성 추가 향상

○ 공항 내 항공기 이동 모듈을 추가해 더 신뢰성 있는 결과 구축 및 다양한 분석 가능

○ 항공 수요 및 수용력 예측 모듈의 추가로 미래 시나리오 분석 가능

○ 전 세계 격자단위 항공 온실가스 인벤토리 구축

라) 기타 운영 전략

○ 주기적인 항공기 성능 데이터 업데이트를 통한 결과물 신뢰성 확보

○ 자문단 구성을 통한 추가적인 모듈의 필요성 점검 및 개발 제시

○ 항공사, 공항운영자, 산업체 등의 여러 관련 기관들이 데이터 제공 및 운영에 함께 참여해 각각 관계자들의 필요 반영

- 특히 항공사들과 함께 협력하여 비행프로필 최적화 사업을 구축

2) 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발

○ 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발 초기 단계에서 수요자인 정부와 항공사가 참여하고, 기업의 IT 기술 그리고 학계의 온실가스관리 기반기술 등을 효율적으로 활용하는 컨소시엄을 구성하여, 객관적이고 심층적인 조사·분석을 통해 감축기술과 지속가능한 성장을 접목하는 체계적이고 효율적인 연구개발 추진

○ 국내외 각계 전문가 요구사항도 주기적으로 파악하고, 항공교통관련 국제회의에 참석하여 관련 활동을 관찰, 선진국 개발 동향을 파악하여 연구내용에 반영

제 3 절 과제별, 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵

1. 기술분류체계(안)

가. 전체 현황

1차 분류	2차 분류	3차 분류
기후변화 대응 항공 온실가스 감축 기술	3개	8개

나. 1차 분류 및 2차 분류

1차 분류	2차 분류	
분류명	분류 번호	기술분류명
항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발	1	항공 온실가스 데이터플랫폼 설계
	2	항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발
	3	항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발

다. 3차 분류

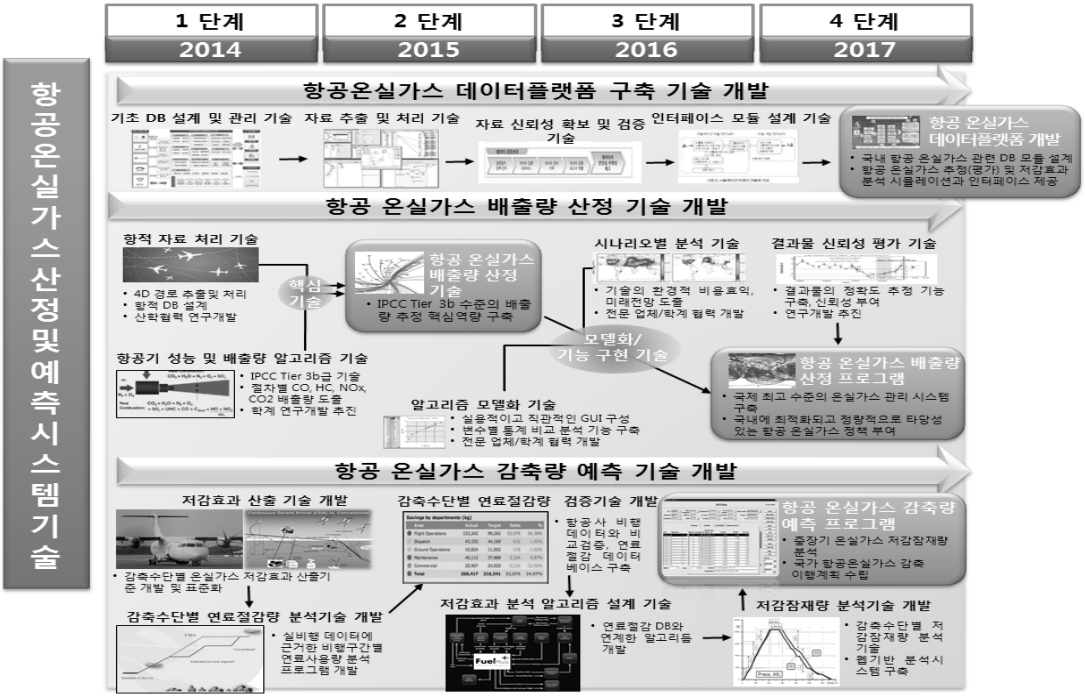
1차분류	2차 분류		3차분류	
분류	분류 번호	분류명	분류 번호	기술분류명
항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발	1	항공 온실가스 데이터플랫폼 구축	1-1	항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석기술
			1-2	항공 온실가스 데이터플랫폼 설계 기술
	2	항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발	2-1	항공 온실가스 배출량 산정 모듈 기술
			2-2	항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 성능 및 신뢰성 검증 기술
	3	항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발	3-1	항공 온실가스 감축량 산정 모듈 기술
			3-2	온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 기술
			3-3	항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 성능 및 신뢰성 검증 기술
			3-4	운영 및 유지·보수 전략 수립

2. 성과로드맵

<표 3-21> 성과로드맵

<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th colspan="2">1단계</th><th colspan="2">2단계</th><th colspan="2">3단계</th><th colspan="2">4단계</th><th rowspan="2">최종성과물</th><th rowspan="2">추진목표</th></tr>
<tr><th colspan="2">‘14</th><th colspan="2">‘15</th><th colspan="2">‘16</th><th colspan="2">‘17</th></tr>
<tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">항공 온실가스 데이터 플랫폼 구축</td><td colspan="2">항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석기술</td><td colspan="6"></td><td rowspan="2">항공 온실가스 기초 DB 구축</td><td rowspan="2">온실가스 배출량 추정 및 저감 효과 분석 모델을 위한 기반 구축</td></tr>
<tr><td colspan="4">항공 온실가스 데이터플랫폼 설계 기술</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발</td><td colspan="6">항공 온실가스 배출량 산정 모델 개발</td><td colspan="2"></td><td>온실가스 배출량 추정 모델 구축</td><td>Tier 3b급 온실가스 배출량 추정 역량 도입</td></tr>
<tr><td colspan="4"></td><td colspan="4">항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 성능 및 신뢰성검증</td><td>온실가스 배출량 추정 및 분석 시스템 구축</td><td>온실가스 배출량 추정 및 분석 역량 구축</td></tr>
<tr><td rowspan="4">항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발</td><td colspan="5">항공 온실가스 감축량 산정 모듈 개발</td><td colspan="3"></td><td>저감효과 산출기준 및 연료 절감량 분석 툴 개발</td><td>웹기반의 분석시스템 구축</td></tr>
<tr><td colspan="4"></td><td colspan="4">항공 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사지원 모듈 개발</td><td>경제성 분석 및 의사지원 모듈 개발</td><td>감축수단별 경제성 분석 및 의사지원</td></tr>
<tr><td colspan="4"></td><td colspan="4">항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 성능 및 신뢰성 검증</td><td>감축수단별 저감효과 분석 시스템 개발</td><td>항공사 실 비행 데이터와 비교 검증 신뢰성 확보</td></tr>
<tr><td colspan="5"></td><td colspan="3">운영 및 유지·보수 전략 수립</td><td>개발 후 운영 및 유지 보수 전략 수립</td><td>웹기반의 분석시스템의 운영 유지보수 전략</td></tr>
</table>

3. 기술정의서



<그림 3-23> 기술로드맵

<표 3-22> 기술정의서

번호	3차분류 기술분류명	기술정의	기술내용	기대효과
1-1	항공온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석기술	기초데이터 요구도 조사/분석 기술	항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사/분석/검증	항공 온실가스 산정 및 예측 시스템의 인터페이스 기초 DB 모듈 구축
1-2	항공 온실가스 데이터플랫폼 설계 기술	Database 설계 및 관리 기술	항공 온실가스 산정 및 예측 시스템의 기초 DB 설계 및 관리	
1-3	항공 온실가스 기초데이터 실시간 검색/추출/관리 기술	데이터 추출/처리 설계 기술	항공 온실가스 관련 빅데이터 중 필요 data의 추출 및 처리	
1-4	항공 온실가스 기초 DB 구축 기술	측정신뢰성 평가 및 검증 기술	항공 온실가스 관련 빅데이터 중 필요 data의 추출 및 처리설계 이후 data 신뢰성 평가 및 검증	
1-5	항공 온실가스 통합정보제공 모듈 및 인터페이스 기술	인터페이스 모듈 설계 기술	항공 온실가스 산정 및 예측 시스템의 인터페이스 시스템 구축	

3차분류				
번호	기술분류명	기술정의	기술내용	기대효과
2-1	항적 자료 추출/처리 설계기술	데이터 추출/처리 설계 기술	주어진 출도착 공항, 항공기, 엔진에 따른 항공기 4D 경로를 추출하여 최종 항공기 이동 데이터베이스 설계 기술	국내 최적의 IPCC Tier 3b급 항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘 및 모델 개발
2-2	공기역학적 항공기 성능 및 배출량 알고리즘 설계 기술	공기역학적 알고리즘 기술	주어진 기상 조건, 항공기 성능, 공기역학에 따른 리프트 및 드래그, 상승 속도 및 추력 도출, 그리고 이에 인한 항공기 연료 사용량, CO, HC, NOx, CO2 의 배출량 도출 기술 개발	
2-3	알고리즘 모델화 기술 (UI포함)	알고리즘 모델화 기술	알고리즘의 효율적이고 효과적인 모델화 기술 (UI포함) 및 변수별 통계 및 비교 분석 기능 구축	
2-4	거시/미시적 시나리오 분석 기술	분석 기술	단일 비행의 절차. 시간, 및 거리별 온실가스 배출량부터 지역, 국가, 지구적인 수준의 온실가스 배출량의 통계 도출	
2-5	결과물 신뢰성 평가 기술	측정신뢰성 평가 기술	모델의 신뢰성 평가 및 향상 기술	항공 온실가스 배출량 산정 알고리즘/모델의 신뢰성 검증
3-1	감축수단별 저감효과 산출기술	저감효과 산출 기술	감축수단별 연료절감효과 산출식 도출	
3-2	감축수단별 연료절감량 분석기술	분석기술	단축항로 등 경제운항절차 감축수단별 연료사용량 산정 및 분석	
3-3	감축수단별 연료절감량 검증기술	검증기술	실비행 데이터를 활용한 감축수단별 연료사용량 산정결과 검증	연료 절감량 분석 소프트웨어 신뢰성 검증
3-4	저감효과분석시스템 알고리듬 설계 기술	설계기술	감축수단별 연료절감 데이터베이스와 연계한 분석 알고리듬 설계	
3-5	저감잠재량 분석기술	저감잠재량 분석시스템	웹기반의 저감효과분석시스템 구축	국가 항공 온실가스 저감잠재량 분석에 활용

제 4 절 성과활용 방안

1. 연구 활용방안

○ 온실가스 목표관리제

- 저탄소 녹색성장 기본법에 근거
- 산업의 온실가스 감축목표 설정 및 목표관리 추진
- 활용방안
  - (정부) 온실가스 감축 목표 설정 및 항공사의 감축 목표 달성 관리·평가
  - (항공사) 온실가스 감축 목표 달성을 위한 감축 계획 수립 및 시행

○ 항공부문 온실가스 자발적 감축 협약

- 국토교통부 자발적 협약 운영에 관한 지침 근거
- 정부(국토교통부)와 항공운송사업자 간의 협약을 체결하고, 검증평가기관의 이행실적 검증을 통해 항공 온실가스 저감 활동을 자발적으로 촉진
- 활용방안
  - (정부) 온실가스 감축 목표 설정 및 온실가스 감축 이행실적 관리
  - (항공사) 온실가스 감축 이행계획서 수립 및 시행
  - (교통안전공단) 온실가스 감축 이행계획서 평가 - 참여 항공사가 제출한 이행계획 상의 온실가스 배출량, 연료 절감 계획 등 적절성 평가를 통한 검증 활동 수행

○ 국가이행계획(State's Action Plan)

- 국제항공의 온실가스 감축을 위한 국가이행계획을 ICAO에 제출
- 우리나라에 적합한 온실가스 감축 계획 수립 및 시행, 검증
- 활용 방안
  - (정부) 온실가스 감축 계획 수립 및 효율적 운영을 위한 정책 수립
  - (항공사) 항공기교체, 효율적인 운영 등
  - (공항) 항공교통관리 및 인프라 개선

○ 시장기반체제(Market Based Measures) 추진 정책

- ICAO 제38차 총회에서 국제 시장기반체제 시행에 동의하였으며, 이는 모니터링(Monitering), 보고(reporting), 배출량 검증(verification of emission) 등이 포함
- 활용방안
  - (정부) 국제 항공부문 온실가스 모니터링, 배출량 검증 지원 및 탄소상쇄, 배출권 거래제도 도입·시행 지원

○ 항공기 절차별 온실가스 배출현황 파악 및 관리

- 절차별 세부적인 온실가스 배출현황 파악 및 관리 시스템 구축
- 절차별 체계적인 분석·연구를 통해 항공기 운항을 경제적이고 효과적인 운항 체계 도출

○ 온실가스 저감 방안 개발 및 활용 이해관계자들에게 편의성 제공

- 온실가스 저감정책 수립 시 근거 자료로서 정부 관리주체인 국토교통부 담당자들이 성과지표와 목표를 설정하여 계획수립 시 활용 가능
- 항공운송기업들 역시 온실가스 저감 활동 시 목표설정 및 계획 수립에 활용 가능

○ 연구최종성과의 실수요자 및 사용자

- 실수요자 및 사용자: 정부기관
  - 활주로 확장 및 신공항 건설 시 요구되는 정량적인 환경적 영향 분석 및 의사결정을 즉시 제공
  - 항공로 주변 환경 상태를 고려한 합리적인 경로 요금을 도출
  - 항공 교통의 지속성장을 위한 항공 경로 구조 조정 도출
  - 항공부문 온실가스 감축목표 달성도의 정밀한 측정 제공
- 사용자: 연구기관/학계
  - 국내 환경 분석 및 항공 전문 연구진에게 고정밀 항공부문 온실가스 분석 도구 및 데이터 제공
- 사용자: 항공사
  - 항공기 도입 시 경로당 연료 절약 및 이에 따른 환경 부가세 절약 결과 도출
  - 날씨와 항공기 무게 같은 변수의 차이에 따라 가장 최적화된 이착륙 속도, 각도 등 분석기능 제공

2. 기대성과

○ 우리나라 항공 산업이 세계 수준의 온실가스 배출 모델링 기술을 확보하여 기후변화 대응 전략을 수립함으로써, 우리나라가 지속가능 경영의 국제적 모범사례로 자리 잡는데 크게 기여

- 적절한 환경투자 수준을 정량적으로 도출
- 항공 산업의 친환경 신기술도입 및 운항법 개선 활동에 경제적 타당성과 당위성을 부여하여 저탄소 녹색성장 촉진에 기여

○ 항공기 절차별 온실가스 저감 방안 설정 가능

- 세부적인 온실가스 저감 방안 개발 및 활용 가능
- 목표관리제나 자발적 협약으로 온실가스 저감 목표를 설정하고 있는 항공운송사업자들이 보다 효과적인 목표설정 및 방안 마련 가능
- 절차별 배출 알고리즘은 각종 정책의 수립, 집행, 효과분석 등의 근거로 활용 가능

○ 항공기 지상이동 및 절차별 온실가스 배출 알고리즘의 경쟁력 확보 기반 마련

○ 항공 온실가스 저감효과 분석 모델 기술의 연구 분석을 통해 국가 온실가스 감축목표 설정과 이를 이행하기 위한 관리체계를 확립함으로써 국제항공 기후변화 대응력 확보 기대

제 5 절 사전타당성 검토

1. 정책적 타당성

가. 국가전략의 중요성 및 시급성

○ 2010년 1월에 설립된 저탄소녹색성장기본법에 따라 온실가스 저감목표가 항공분야에 적용됨(제41조: 교통부문의 온실가스 감축 목표 참고)

○ 감축목표 달성을 위해 2011년부터 시행해온 '에너지 온실가스 목표관리제'를 한 단계 발전시켜, 2015년부터는 국내항공을 포함한 주요산업분야에서 '배출권 거래제도'를 시행할 예정이며, 2010년부터는 정부와 항공사간에 '자발적 감축협약' 시행

○ 세계적으로 진행되고 있는 온실가스 감축 및 지속가능발전의 추세에 대응할 시스템 필요(EU-ETS 등)

○ 이러한 기후변화대응의 최종 책임 및 관리는 국가에 있으며, 정부지원을 통한 기술 개발 및 기술력 강화의 필요성이 요구됨

○ 항공 온실가스 배출량 산정 시뮬레이션 모델은 적절한 환경투자 수준을 정량적으로 도출함으로써 항공 산업의 친환경 신기술도입 및 운항법 개선 활동에 타당성과 정당성을 부여함

○ 우리나라 항공 산업이 지속가능경영의 국제적 수범사례로 자리 잡음에 기여함

나. 상위 계획과의 부합성

○ 저탄소 녹색성장 전략

- 2005년 환경부와 UNESCAP(United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific)이 공동 주최한 "아·태 환경과 개발에 관한 장관회의(MCED)"에서 우리나라가 주창하여 회의결과인 "서울이니셔티브(SI)"를 통해 채택
- 지속가능발전 개념(경제발전·사회발전·환경보호의 통합)의 추상성 및 광범위

성을 보완하기 위해 도출된 개념

- 온실가스를 획기적으로 감축하기 위하여 온실가스 배출 중장기 감축 목표 설정 및 부문별·단계별 대책, 에너지 수요관리 및 안정적 확보대책 등을 포함한 「기후변화 대응 기본계획」과 「에너지기본계획」을 수립·시행
- 기후변화 적응 아래 본 연구와 관련된 온실가스 배출통계 및 감축잠재량 평가 환경실천계획 포함
  - 국제적 기준에 적합한 온실가스 배출통계 관리 체계구축 및 온실가스 감축잠재량 평가모델 개발

<표 3-23> 상위계획과의 부합성 분석 결과

구분	상위계획	본 연구 개발 내용	부합성
비전	세계 속의 선진 녹색강국 실현	항공부문 온실가스 배출량을 최소화하여 미래 기후변화와 에너지 고갈에 대비하고, 정부・공사・항공사를 중심으로 녹색성장을 선도하기 위한 녹색항공 기술개발 전략 수립 및 추진과제 발굴	만족
목표	국제적 기준에 적합한 온실가스 배출통계 관리 체계구축 및 온실가스 감축잠재량 평가모델 개발・적용	고정밀 항공 온실가스 배출량 산정 기술개발을 통한 항공 온실가스 관리 및 감축 기술 선진화	만족
중점과제	온실가스 배출통계 D/B 구축, GHG-CAPSS 시스템 개선・보완	고정밀 항공 온실가스 배출량 산정 기술 개발	만족
성과목표	온실가스 배출전망 및 감축잠재량 평가모형 구축 및 관련 DB 구축	• IPCC Tier 3b 수준의 방법론을 기반으로 우리나라 항공 산업의 정확한 배출량 측정 • 기술도입 및 운항 개선에 따른 시나리오별 효과 분석 역량 제공 • 적절한 항공 환경투자 수준을 정량적으로 도출	만족

다. 사업추진의지와 관련 기관 협조체계

○ 항공사, 항공교통센터, 공항관리국과 산업체 등의 여러 관련 기관들이 데이터 제공 및 운영에 함께 참여해 각각 관계자들의 수요 반영

- 항공사: 보유 비행기/엔진 기종 데이터, 스케줄 자료
- 항공교통센터: 레이더 항적 자료
- 공항운항기관: taxi 및 delay time 자료
- 기상청: 기상 자료

라. 사업추진 상의 위험요인과 대응방안

○ 단기적 이익 불확실성

- 본 시뮬레이션 모델은 국가 온실가스 배출량 산정과 저감잠재량 분석을 통한 국가 감축이행계획 수립 등 공익적 목적으로 사용
- 항공사, 공항운영자와 산업체 등의 여러 관련 기관들을 초청해 각각 관계자들의 필요를 모델에 반영, 장기적인 이익 가능성 수립

○ 결과물의 불확실성

- 본 모델의 가장 큰 장점은 하위 IPCC Tier에 비해 더 정확하고 신뢰 있는 결과물임
- 이를 보증하기 위해 항공기 성능 데이터의 지속적인 업데이트가 필요하며, 추가로 결과물 불확도 평가를 핵심 기술로 지정

2. 기술적 타당성

가. 기존 사업과의 중복성

○ 우리나라 항공 산업의 지속가능성을 위한 IPCC Tier 3b급 항공기 에너지소모 및 온실가스 배출 데이터베이스 연구는 현재까지 추진된 바가 없음

○ KOTEMS

- 지속가능교통물류발전법 제15조 및 동법 시행령 제14조에 근거하고 한국교통

연구원이 교통부문 온실가스 통합관리시스템(KOTEMS) 개발

- 국가 차원의 교통부문(항공 포함) 배출가스 데이터 활용, 자발적 감축 등을 지원하는 인벤토리 관리 시스템
- 온실가스 배출 저감효과 평가 도구
- 1996. 2006 IPCC 가이드라인을 Tier 1, 2 수준에서 지원

○ CO2를 제외한 나머지 온실가스의 경우는 Tier 3b 모델을 이용하여 정확도를 높일 경우, 효율성이 높은 우리나라일 경우 일반적으로 낮은 tier 방식으로 산정하는 것보다 배출량이 감소함

○ 상위 Tier 3b급의 방법론 적용 시 아래의 이점이 따름

- 비행 운항 형태, 엔진/항공기 종류와 효율, 비행고도 등을 고려한 분석 가능
- CO_2 외 타 온실가스 산정 가능 (NOx, CO, HC 등)
- 국내와 국제항공의 더 정확한 구분
- 전반적인 정확성 및 신뢰성 증가

○ EMEP/CORINAIR Emission inventory guidebook에 있는 Detailed CORINAIR Methodology를 사용해 Tier 3a를 본 연구의 Tier 3b 모델보다 더 쉽게 도달할 수 있으나, 우리나라의 경우 평균 항로가 타 선진국에 비해 많이 짧은 점을 고려하면 항적 궤도 및 기종별 성능자료가 신뢰성에 비교적 큰 영향을 미침

나. 기술개발 계획의 우수성

○ IPCC 가이드라인은 기후변화협약(UNFCCC) 국가들의 인간 활동에 따른 온실가스 배출량 산정 지침으로 당사국이 온실가스 배출량을 선정할 때 적용되는 기준

- 항공부문 온실가스 배출량 도출 범위는 민간 항공기의 이륙부터, 상승, 순항, 착륙까지 포함되며, 공항 내 육상운송 및 고정 연소는 미포함

○ 배출량 도출 방법론의 복잡성은 가장 단순한 Tier 1부터 가장 신뢰 있는 Tier 3 까지 있음

- Tier의 수준이 높아질수록 도출된 결과물의 정확성을 높이고 불확도를 낮춤
- Tier 1은 항공기 총 연료 사용량에 IPCC에서 제공하는 평균 배출계수를 곱하여 도출

- Tier 2는 순항 및 이착륙 단계 각각의 배출 계수를 곱하여 도출
  - 순항과 이착륙은 3,000 피트 이상과 이하로 구분
  - 세계 평균값을 사용하여 우리나라처럼 연료효율이 높은 항공사에게 불리
- Tier 3은 항공기의 실제 운항 자료 및 비행기/엔진 기종 자료를 사용해 도출
  - 3a는 출도착(OD pair) 자료를 사용
  - 3b는 3a 방법론에 추가로 비행 궤적 정보를 사용

<표 3-24> IPCC Guideline 온실가스 배출량 산출 방법론 Tier 비교

구 분	방법론의 정의	방법론의 자료 요구사항
Tier 1	전체 항공 연료 소비량의 1% 미만을 차지하는 소형 비행기의 항공휘발유 (Aviation Gasoline) 배출량 산정에 주로 적용 배출량 = 연료 사용량 * 배출 지수 (출처: EQUATION 3.6.1 (AVIATION EQUATION 1), Mobile Combustion, 2006 IPCC 가이드라인 Vol. 2, June 2010)	연료소비량
Tier 2	3,000피트 이상과 이하를 각각 순항 및 이착륙 과정으로 구분 총 온실가스 배출량 = LTO 배출량 + 순항 배출량 LTO 배출량 = LTO 횟수 × LTO 배출계수 순항과정 배출량 = (총 연료사용량 - LTO 연료사용량) × 순항 배출계수 LTO 연료 사용량 = LTO 횟수 × (연료소비량/LTO)	연료소비량 기종별 이착륙 횟수
Tier 3	실제 비행기 운행 자료에 기초된 방법론 Tier 3a: Detailed CORINAIR Methodology (공개 자료) Tier 3b: 시뮬레이션 모델 (SAGE, Aero2K 등)	Tier 3b: 개별 비행의 이동자료 (기종별 출발/도착지, 운항거리, 비행궤적 등)

○ 과거 우리나라의 경우 Tier 2급 방법까지 주로 사용해 왔으며, 최근에는 EMEP/CORINAIR Emission inventory guidebook에 있는 Detailed CORINAIR Methodology를 사용해 Tier 3a급 수준까지 와있는 상태

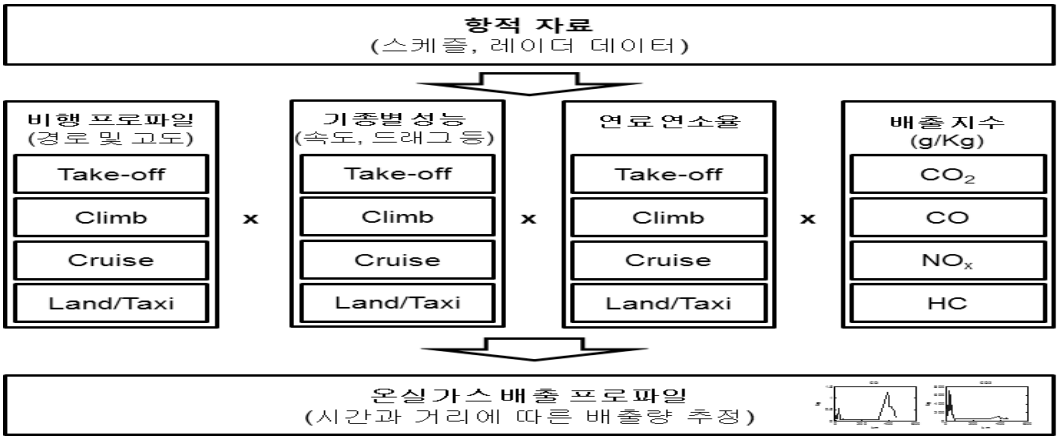
○ 본 과제에서 제안하는 Tier 3b급 모델은 각 항공기/엔진 기종의 공기역학적 특유 성능정보를 고려해 주어진 비행 구획의 경도, 위도, 고도 별 연료소비량 및 온실가스 배출량을 정확하고 신뢰 있게 도출하여, 우리나라처럼 연료효율이 탁월한

항공사가 유리함

○ 상위 Tier 3b급의 방법론 적용 시 아래의 이점이 따름

- 비행 운항 형태, 엔진/항공기 종류와 효율, 비행고도 등을 고려 가능
- CO_2 외 타 온실가스 산정 가능 (NOx, CO, HC 등)
- 국내와 국제항공의 더 정확한 구분
- 전반적인 정확성 및 신뢰성 증가

○ 본 과제는 이처럼 IPCC Tier 3b급 방법론을 위주로 시뮬레이션 모델을 구축해 더욱 신뢰 있고 정확한 배출량 방법론을 국내 역량으로 도입함



<그림 3-24> 온실가스 배출량 도출 방법론

다. 기술수준 및 성공 가능성

○ 현재 FAA의 SAGE, EU의 Aero2k 등의 여러 국제모델이 존재하나, 이들의 한계점 및 본 모델의 차별성을 발굴하여 기술개발의 성공 가능성 보장

○ 기상 조건 자료를 통한 차별성 설립

- SAGE 같은 경우 International Standard Atmosphere(ISA) 기준인 해수면 온도 288.15 K(59F) 및 101325 Pa의 압력으로 고정된 가정
- 상대 습도, 비열이율 또한 각각 60%, 1.4 로 가정
- 본 연구 모델은 온도, 압력, 상대습도, 비열비율, 바람 등의 실제 기상 조건 자료를 계산에 추가하면 더욱더 신뢰 있고 차별화된 모델 설립 가능

○ 기상 조건이 궤적 효율성에 미치는 영향력 분석

- 기상 조건 변수들의 변화가 최적 이착륙 속도, 각도에 미치는 영향 분석

○ 궤도 능률 측정

- 레이더 자료에서 추출된 항적 궤도와 주어진 상황에 최적화된 궤도를 비교 분석해 궤도의 능률 측정

○ 모델의 적용 범위 확장

- 기존 국제 모델들은 정기 및 부정기 민간항공편을 범위로 잡고 있음(Aero2k는 군용 항공기도 포함)
- 아직 시도되지 않은 cargo 항공편을 범위에 포함해 모델의 차별성 설립

3. 경제적 타당성

가. 경제성 분석을 위한 기본전제

○ 본 연구개발의 경제성 분석을 위한 기본전제는 다음과 같음

- 본 연구는 2014년에 착수하여 2017년까지 연구 사업을 수행하고, 2018년부터 인프라를 가동하는 것으로 가정함
- 본 연구는 국내 연구개발사업을 통해 개발될 시스템으로 국외에는 이와 동일한 시스템의 개발사례가 없으나 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발에서 구현하게 되는 편익 항목에 대해서는 항공사의 자발적 협약 이행 등 직접적인 효과 분석 및 글로벌 모델인 SAGE 개발 연구 등을 통해 산정된 값(비용)으로 작성하는 것이 타당함
- 그러나 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램은 위와 같은 비용 추정이 어려워 제외함

○ 분석 대상 기간

- 경제성 분석에서의 평가기간은 법인세법 시행령 및 동 시행규칙에서 제시하고 있는 내구연한 기준을 적용하는 것이 보통임
- 법인세법 시행규칙 제15조 제3항에 의거한「별표5. 건축물 등의 기준내용 연수 및 내용연수범위표」구분 2에 따라 분석대상 기간을 12년으로 정함

- 본 연구를 통해 개발하려는 '항공 온실가스 산정 및 예측 시스템'이 실제 항공기는 아니나 실제 항공기와 동일한 성능과 결과값을 구현해야 하는 점, 실제 항공기나 항공기 시뮬레이터에서 사용하는 부품을 일부 사용해야 한다는 점 등의 이유와 본 '온실가스 감축량 예측 프로그램'은 항공운수업에 사용되지 아니하는 이유로「별표5의 구분2」에 해당함
- 위에 근거하여 분석 대상기간은 개발이 완료되어 가동하는 시점(2018년 인프라 가동 시작년도)부터 12년간 (2029년)까지 함

<표 3-25> 건축물 등의 기준내용연수 및 내용연수범위표

구분	기준내용연수 및 내용연수범위(하한-상한)	구조 또는 자산명
1	5년 (4년~6년)	차량 및 운반구(운수업, 기계장비 및 소비용품 임대업에 사용되는 차량 및 운반구를 제외한다), 공구, 기구 및 비품
2	12년 (9년~15년)	선박 및 항공기(어업, 운수업, 기계장비 및 소비용품 임대업에 사용되는 선박 및 항공기를 제외한다)
3	20년 (15년~25년)	연와조, 블록조, 콘크리트조, 토조, 토벽조, 목조, 목골모르타르조, 기타 조의 모든 건물(부속설비를 포함한다)과 구축물
4	40년 (30년~50년)	철골·철근콘크리트조, 철근콘크리트조, 석조, 연와석조, 철골조의 모든 건물(부속설비를 포함한다)과 구축물

○ 할인율(Discount Rate)

- 경제성 분석을 위해서는 실제 자본의 기회비용(Opportunity Cost)을 적절히 반영하여 서로 다른 기간 중에 발생하는 비용과 편익을 비교할 수 있도록 할인율이 채택되어야 함
- 사업의 순 현재가치(NPV)와 편익-비용비율(B/C) 등을 계산하기 위한 할인율(Discount Rate)로서, 한국개발연구원에서"예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)"을 통해 제시한 6.5%를 적용함
- 미국은 공공사업의 타당성 분석은 원칙적으로 OMB(Office of Management and Budget)가 결정한 단일 사회적 할인율을 사용함. 원칙적으로 모든 프로젝트에는 OMB가 제시한 할인율을 적용하도록 되어 있으나 법률 및 행정 명령 등을 통해서 별도의 사회적 할인율을 적용할 수 있도록 규정한 경우는 예외임. 지난 1972년에서 1992년 10월까지는 10%, 그 이후부터 현재까지는 7%의 할인율을 제시함. 미국의 사회적 할인율 7%는 민간부문의 세전 한계수익

률 평균값이 근거가 되며, 수자원개발사업과 에너지개발사업의 경우는 7%보다 낮은 할인율을 적용하고 산업적 성격의 공공서비스사업에는 7%보다 높은 할인율을 적용하고 있음

- 캐나다는 사회적 할인율을 주요 공적자금원인 공공사업에 대한 민간투자, 예금, 외국자본과 연계하여 결정. 따라서 이들 각 자금원의 가중평균수익률을 사회적 할인율로 적용함. 1998년 이후, 실질 사회적 할인율을 10%로 적용하고 경우에 따라 ± 2%를 차등 적용. 하지만 국민건강이나 환경에 관련된 사업의 경우 0~3%의 낮은 사회적 할인율을 적용함
- 영국은 재무성에서 권장한 사회적 할인율을 사용함. 재무성은 과거 6%의 사회적 할인율을 원칙으로 하였음. 할인율 6%는 세전 자본비용 및 시간선호율과 일치하는 값으로 추정되었으며, 공공투자 산출물 대부분이 시장기구를 통해 민간부문에 판매되는 사업, 민간에 대한 보조금 사업, 도로사업, 해외에 대한 원조사업은 6%의 사회적 할인율이 적용되지 않음. 하지만 2003년 영국은 사회적 할인율을 3.5%로 조정하였으며, 교통수송 분야 온실가스 관련 사업[103]에서도 할인율 3.5%를 적용하고 있음
- 프랑스는 경제기획청(Commissariant General du Plan)이 제시하는 단일 사회적 할인율을 모든 공공사업의 타당성 분석에 적용함. 경제기획청은 사회적 할인율 추정을 위해 국민경제 전체의 생산함수를 추정하고 이를 바탕으로 각 개발계획에서 정한 성장목표 달성에 필요한 민간부문의 자본의 한계생산성을 추정함. 추정된 자본의 한계생산성을 자본의 사회적 기회비용으로 간주하는 역최적화방법(inverse optimum method)을 사용하여 할인율을 산정함. 프랑스의 경우 1970년대에는 10%의 실질 할인율을 적용하였으며, 1980년대에는 9%, 1990년대 이후에는 7%의 할인율을 적용

○ 물가 상승률

- 본 경제성 분석에서는 물가상승을 전혀 고려하지 않으며, 본 조사에서 사용한 할인율은 명목할인율(Normal Discount Rate)이 아니라 실질할인율(Real Discount Rate)에 해당

○ 경제성 지표 및 분석

103) UK adelphi "The costs and benefits of mandatory greenhouse gas reporting"

- 순현재가치(NPV), 편익-비용비율(B/C), 내부수익율(IRR) 등의 평가 지표산출
- 편익과 비용의 추정에는 어느 정도 불확실성의 포함을 고려한 민감도 분석수행(민감도 분석은 경제성 분석 과정에서 발생할 수 있는 편익과 비용 및 할인율의 변화 등에 대한 경제적 타당성의 변동 여부를 밝힘으로써 사업 착수로 인한 위험률을 최소화하기 위함)

나. 편익 산정

○ 평가 산정 개요

- 편익 산정은 한국개발연구원의 “예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)”에 근거하여 편입항목 도출

○ 본 연구 사업에서의 편익 산정방법

- 항공 온실가스 ‘감축량 예측 프로그램’에 적용되는 편익 항목으로는 IATA(국제항공운송기구)에서 규정한 5개 대분류, 약 20여개의 소분류인 항공 온실가스 감축기술을 편익항목으로 산정하고, 사업 성격에 따라 포함여부를 결정하게 됨
- ‘감축량 예측 프로그램’의 편익은 항공 온실가스 감축기술 별 편익에 추가 편익을 더한 값으로 산정 함
- 감축량 예측 프로그램은 운항, 관제, 정비, 조종 등의 분야에서 항공 온실가스 감축, 관리 및 검증을 위한 시스템으로 만약 이와 같은 시스템이 없다면 온실가스 감축량 증가와 발적 감축협약, EU-ETS, ICAO의 시장기반체제(MBM), 국내 배출권거래제 등과 같은 관계기구 및 제도에 대한 대응력 향상 등과 관련한 편익을 기대할 수 없음
- 추가적으로 항공 온실가스 감축기술을 통한 경제운항절차 수행 시 수반되는 항공소음 저감효과, 국민편익 증가 등과 관련한 편익을 기대할 수 없음. 현재 전 세계적으로 많은 항공사에서 항공 온실가스 감축을 위해 경제운항절차를 실시하고 중량관리를 통한 감축 및 주기적 엔진세척 등을 통하여 경제적 효과 및 온실가스 감축효과를 보고 있다는 점, 일부 조종사 교육훈련 기관에서는 이미 경제운항절차 교육훈련을 실시하고 있다는 점과 특정 항공사 에서는 연료를 많이 쓰는 조종사에게 급여를 삭감하는 정책을 펼치고 있다는 점 등을 볼 때,

적어도 편익이 비용을 초과하고 있다는 증거임 (편익 > 비용)

- 국내 연구 개발 사업을 통해 추가적으로 발생하는 편익은 별도 계산하여 합산함. 결국, 이상과 같은 방식으로 산정된 편익을 기준으로 하여 계산된 B-C가 0 보다 크고, B/C가 1 보다 클 경우, 해외 도입 시스템 대비 경제성이 있는 것으로 평가할 수 있음

○ 항공 온실가스 감축기술 편익

- 항공 온실가스의 감축기술에 대한 편익을 계산하기 위해 각 감축기술에 대해 IATA(국제항공운송기구)에서 제시한 표준 연료사용량 대비 연료감축량/비용절감량을 기준으로 편익 항목 및 금액을 산정하였음
- 편익항목에 대한 금액을 설정하기 위해 항공기 기종은 B737-700기종으로 하고, 국내 7개 항공사 중 항공기 보유 수량이 가장 적은 항공사(5대 보유)를 기준으로 책정하였고, 연평균 B737 항공기의 운항 횟수(2,730회)와 국내 총 항공사 수인 7을 곱하여 산정하였음

각 편익항목 금액 = 감축기술에 따른 연료 절감량 (kg) × kg당 연료비용

- 국내 A라는 항공사를 기준으로 항공기 보유수량은 5대, 연평균 사용시간은 2,730시간, 시간 당 평균 연료소모율은 2,385kg, 대 당 연평균 연료소모율은 6,511,050kg로 가정하고 연료비용은 kg당 565원(t당 565,000원)으로 산정함
- 본 자료는 국제항공운송기구(IATA)의 표준 연료사용지침을 근거로 작성함
- 항공 온실가스 감축기술 편익항목은 다음과 같음

○ 운항관리 분야

- 최적비용 비용지수(CI) 적용

연간 연료 소모량(t)	현 비용 지수(CI)값	최적비용 비용지수	연료 감소율	연료 절약량(t)	비용 절감량
32,555	65	30	1.78%	579	**₩327,408,149**

- 비용절감량에서 시간 비용(약 1.46%, ₩268,713,682)을 감해주면 최적비용 비용지수에 대한 편익 금액이 산출됨(₩58,964,466원)

○ 무게중심 관리

연간 연료 소모량(t)	현 평균 무게중심값	최적화 된 무게중심값	연료 감소율	연료 절약량(t)	비용 절감량
32,555	21.0%	26.0%	5%	1,627	₩919,678,750

○ 비행운용 분야

- 조종사 요청에 의한 추가연료 주입(Pilot Additional Fuel)

연간 연료 소모량(t)	무게(1kg) 당 비용(연간)	평균(연간) 추가연료량	개선 목표율	연료 절감량	비용 절감량
32,555	269,500원	600kg	45%	270kg	₩152,550

- 보조동력장치(APU)의 사용억제

연간 연료 소모량(t)	APU 절감량	저감잠재 비용	감축목표	연료 절감량	비용 절감량
32,555t	165t	₩93,065,500	20%	33t	₩18,613,100

- 단발엔진 활주(입항, 출항)

평균 운항 순환 횟수	유도로 활주 평균 소요시간	연간 유도로 활주 연료소모량		비용 절감량
		정상엔진	단발엔진	
7,100회	12분	1,192,800kg	994,000kg	₩112,322,000원

- 저항력 플랩 이륙, 착륙

평균 운항 순환 횟수	이륙 당 절감량	연간 저감잠재량	비용 절감량
7,100회	10kg	71,000kg	₩40,115,000원

○ 항공역학 및 정비관리 분야

- 주기적 항공기 성능 관리
- 항공기체 항력 감소(ex. 윙렛 장착 등)
- 엔진 주기적 관리 및 세척
- 정비단계에서의 보조동력장치 사용 최소화
- 노후기종 교체
- 항행장비 업그레이드

○ 중량관리 분야

- 주기적 중량 및 균형(Weight and Balance) 실시
- 탑재형 예비부품(Fly Away Kit) 감량

- 초과 중량에 따른 추가 연료소모량 계산
- 탑재음료(Portable Water) 관리

○ 교통관제 분야

- 연속강하접근(CDA)
- 성능기반항법(PBN) 도입

○ B737 항공기를 5대만을 보유한 한 개의 항공사를 기준으로 연간 편익은 약 14억 1천 8백만 원으로 추정되며, 국내에는 7개 항공사가 있는 점을 감안하여, 연간 편익 총금액을 계산하기 위해 7을 곱함

- 본 분석에서는 국내 항공사가 항공기 35대만을 보유한 것으로 가정함

○ 따라서 99억 2천 8백만 원을 연간 총 편익으로 산정함

○ 현재와 같이 감축량 예측 프로그램을 개발함에 따라 발생하는 기본적인 편익 이외에, 국내 연구 개발에 따라 발생될 추가적인 편익을 요약하면 아래와 같음

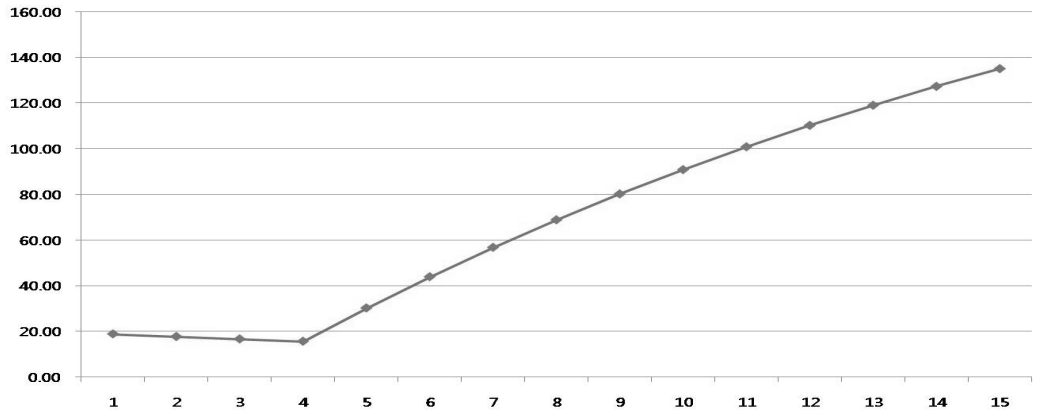
- 경제운항절차 효율적 훈련에 따른 소음 감소 편익: 3%
- 항공기 성능저하 지연에 따른 편익: 2%
- 따라서 항공 온실가스 추정 및 저감효과분석 시뮬레이션 모델 연구개발을 통해 추가적으로 발생할 편익은 매년 4억 9천 6백만 원(99억 원의 5%)일 것으로 추정함
- 상기 추정된 편익은 순수 국내에서 발생할 편익으로 한정된 것으로서, 해외 수출 에 따른 외화 획득 및 수입 대체에 따른 외화 소비 감소 등의 편익은 반영되지 않았음

○ 편익산정 결과

- 결론적으로, 해외기술 도입으로 인한 편익에 추가 편익을 더하면, 매년 104억 2천 4백만 원의 편익이 발생함
- 매년 예상 편익 중, 국내 7개 항공사의 평균 이행률 60%로 산정하여 62억 5천 4백만 원 중 저감효과 분석 시뮬레이션 모델을 통한 예상 추가 이행률이 20% 상승할 것이라는 가정 하에 총 예상편익을 12억 5천만 원으로 가정함

년차	년도	편익	편익현가	누적 편익현가
0	2014	-	-	-
0	2015	-	-	-
0	2016	-	-	-
0	2017	-	-	-
1	2018	12.51억	11.75	11.75
2	2019	12.51억	11.03	11.03
3	2020	12.51억	10.36	10.36
4	2021	12.51억	9.72	9.72
5	2022	12.51억	9.13	9.13
6	2023	12.51억	8.57	17.70
7	2024	12.51억	8.05	25.75
8	2025	12.51억	7.56	33.31
9	2026	12.51억	7.10	40.41
10	2027	12.51억	6.66	47.07
11	2028	12.51억	6.26	53.33
12	2029	12.51억	5.88	59.21
13	2030	12.51억	5.52	64.72
14	2031	12.51억	5.18	69.90
15	2032	12.51억	4.86	74.77

- 누적편익현가를 그림으로 표현하면 아래와 같음



<그림 3-25> 누적편익현가

- 가로변의 숫자는 2014년부터 2028년까지(15년) 숫자로 표시하였으며 세로변은 누적 편익현가(단위: 억 원)를 표시하였음

다. 비용산정

○ 비용산정 개요

- 항공관련 사업 시행 시 사업 목적의 달성을 위하여 설정된 대안별로 비용이 발생함. 이들 비용에는 정부, 공공단체, 혹은 특정 그룹이 지출하거나 소비한 자본, 노동력, 천연자원 등의 필수적인 요소가 포함됨
- 비용은 일반적으로 크게 연구개발비(Research and Development Cost), 투자비(Investment Cost), 운영유지비(Operation and Maintenance Cost), 시스템 폐기 및 회수 비용(Termination Cost) 등으로 구분됨
- 비용은 아래와 같이 구분하여 추정함
  - 연구개발 비용
  - 하드웨어 제작비용
  - 소프트웨어 개발 비용
  - 운영 유지비용
  - 시스템 폐기비용 및 잔존가치는 무시

○ 연구개발 비용 추정

- 연구개발에 소요되는 비용은 개략 21억 원으로 설정함

○ 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발 비용 추정

- 개발비용과 관련한 기초정보

○ 항공기 연료 사용량 및 연료관리에 대한 소프트웨어는 개발이 되어있지만, 온실가스 감축량을 예측 툴은 개발되지 않은 실정임

구 분	저감효과분석시스템
연구개발 비용	21억
감축량 예측 프로그램 구축비용	1억
운영 유지비용	매년 15% 소요, 1년에 10%씩 감소

○ 연구개발기간은 2014년부터 2017년까지로 가정하였으며, 연구개발기간에 시뮬레이션 모델 개발을 완료하여, 연구개발기간 이후에는 본 운영에 들어가는 것으로 가정하였음

○ 연구개발 1차년도(2014)에는 4억, 2차년도(2015)에는 7억, 3차년도(2016)에는 7억, 4차년도(2017)에는 3억을 사용하는 것으로 가정하였음

○ 위 표에 근거하여 매년 1식의 감축량 예측 프로그램 구축비용 1억, 운영유지 비용으로 구축비용의 15%(1천5백만 원)가 소요됨. 결과적으로 연구개발결과를 이용한 시뮬레이션 모델 구축비용 및 관련 운영유지 비용으로 매년 1.15억 원이 소요됨

년차	년도	비용	비용현가	누적 비용현가
0	2014	4	4.00	4.00
0	2015	7	6.57	10.57
0	2016	7	6.57	17.15
0	2017	3	2.82	19.96
1	2018	1.15	1.08	21.04
2	2019	1.15	1.01	22.06
3	2020	1.15	0.95	23.01
4	2021	1.15	0.89	23.90
5	2022	1.15	0.84	24.74
6	2023	1.15	0.79	25.53
7	2024	1.15	0.74	26.27
8	2025	1.15	0.69	26.96
9	2026	1.15	0.65	27.62
10	2027	1.15	0.61	28.23
11	2028	1.15	0.58	28.80
12	2029	1.15	0.54	29.34
13	2030	1.15	0.51	29.85
14	2031	1.15	0.48	30.33
15	2032	1.15	0.45	30.78

라. 편익-비용 분석

년도	편익현가	비용현가	누적 편익현가	누적 비용현가
2014	0.00	4.00	0.00	4.00
2015	0.00	6.57	0.00	10.57
2016	0.00	6.57	0.00	17.15
2017	0.00	2.82	0.00	19.96
2018	11.75	1.08	11.75	21.04
2019	11.03	1.01	11.03	22.06
2020	10.36	0.95	10.36	23.01
2021	9.72	0.89	9.72	23.90
2022	9.13	0.84	9.13	24.74
2023	8.57	0.79	17.70	25.53
2024	8.05	0.74	25.75	26.27
2025	7.56	0.69	33.31	26.96
2026	7.10	0.65	40.41	27.62
2027	6.66	0.61	47.07	28.23
2028	6.26	0.58	53.33	28.80
2029	5.88	0.54	59.21	29.34
2030	5.52	0.51	64.72	29.85
2031	5.18	0.48	69.90	30.33
2032	4.86	0.45	74.77	30.78
합계	117.62	30.78	538.16	450.15

○ 이상의 비용산정, 편익산정을 바탕으로 편익-비용분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같음

○ 평가지표인 순현재가치(NPV), 편익-비용비율(B/C) 다음과 같이 추정되었음

- 순현재가치(NPV): 106.81
- 편익-비용비율(B/C): 1.20

○ 위와 같은 결과로 「항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발」의 연구개발사업은 경제성이 있는 것으로 분석됨

제 6 절 연구투입 소요예산 산정

1. 인력투입계획

○ 항공사, 정부, 학계, 공항관리국과 타 산업체 등의 다양한 관련 기관들이 개발에 함께 참여하는 융합형 사업

- 학계: 한국과학기술원(KAIST) 항공 온실가스 추정 모델링 기술력 보유
- 연구원: 한국항공우주연구원 비행절차 및 공역 효율성 평가 기술력 보유, 한국교통연구원 온실가스 저감 분석 연구 및 공역 평가 연구 수행 경험 보유
- 산업체: 소프트웨어 개발 전문 업체의 모델링 기술력 요구
- 타 정부기관: 항공교통센터 국내 항적 자료 보유, 교통안전공단 항공 온실가스 관리 수행 경험 보유
- 항공사: 항공기 스케줄 자료 및 다양한 감축수단 이행에 대한 실 비행 데이터 및 분석능력 보유

○ 항공교통센터 및 학계가 협력하여 항적 자료 처리 기술 구축

○ 학계 및 연구원 연구개발로 추진하여 항공기 성능 및 배출량 알고리즘 구축

○ 전문 업체/학계가 협력하여 모델의 기능 구현

- 시나리오 분석 기술, 결과물 신뢰성 평가 기술, 알고리즘 모델화 기술 구축

2. 소요예산 산정

<표 3-26> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 연구개발비

단위 : 천원

비록	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
인건비	1,058,000	2,124,000	1,655,000	664,000	5,501,000
직접비	488,000	944,000	755,000	294,000	2,481,000
위탁연구비	45,000	110,000	75,000	35,000	265,000
간접비	9,000	22,000	15,000	7,000	53,000
합계	1,600,000	3,200,000	2,500,000	1,000,000	8,300,000

<표 3-27> 인력 투입 계획

단위 : 명

구 분	1차년	2차년	3차년	4차년	합계
항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석	2				2
항공 온실가스 데이터 플랫폼 설계 및 구축	8	11			19
항공 온실가스 배출량 산정 모듈 개발	15	18	14	16	63
항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 성능 및 신뢰성 검증			4	7	11
항공 온실가스 감축량 산정 모듈 개발	10	12	8	4	34
항공 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개발			12	4	16
항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 성능 및 신뢰성 검증			4	2	6
운영 및 유지 보수 전략 수립				2	2
합 계	35	41	42	35	153

주 : 연차별 사업내용 및 연구개발비 투자에 따른 고용인원 변경 가능
기존의 연구 참여 인력을 고려하지 않은 순수 연구 참여에 따른 인원

○ 해당 과제 참여연구원의 인건비 기준단계 산정을 목적으로 작성하는 것으로 월기준 단가는 2014년 학술용역단가 및 2013 SW 기술자 노임단가로 산정

책임연구원	연구원	
4,276,612원	3,279,246원	
특급기술자	**고급기술자**	**중급기술자**
7,500,591원	5,598,390원	4,608,849원

- 2014년 학술용역단가 상여급 400% 및 퇴직충당금 100% 가산
- 2013년 SW 기술자 노임단가 상여금, 퇴직충당금 포함

<표 3-28> 연구 장비·재료비

단위 : 천원

구 분	연구장비	1차년	2차년	3차년	4차년	합계
항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석	데이터 수집 및 저장	6,000				6,000
항공 온실가스 데이터 플랫폼 설계 및 구축	운영시스템 서버, 네트워크 등	6,000	48,000			54,000
항공 온실가스 배출량 산정 모듈 개발	운영시스템 서버, 네트워크 등/ 항공데이터	30,000	30,000	15,000		75,000
항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 성능 및 신뢰성 검증	운영시스템 서버, 네트워크 등			15,000	9,000	24,000
항공 온실가스 감축량 산정 모듈 개발	운영시스템 서버, 네트워크 등/ 항공온실가스 감축량 데이터/ 프로그램	30,000	45,000	10,000		85,000
항공 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개발	프로그램			15,000	8,000	23,000
항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 성능 및 신뢰성 검증	운영시스템 서버, 네트워크 등/ 프로그램			15,000	15,000	30,000
운영 및 유지 보수 전략 수립					5,000	5,000
합 계		72,l000	123,000	70,000	37,000	302,000

<표 3-29> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 연구비 소요 명세서

단위 : 천원 / %

항목	비목 \ 연도		1차년도 (2014)		2차년도 (2015)		3차년도 (2016)		4차년도 (2017)		합계		비고
			금액	비율	금액	비율	금액	비율	금액	비율	금액	비율	
직접비	내부인건비	미지급용											
		지급용 현금	257,000	0.16	486,000	0.15	395,000	0.16	151,000	0.15	1,289,000	0.16	
		지급용 현물											
	외부인건비	현금	801,000	0.50	1,638,000	0.51	1,260,000	0.50	513,000	0.51	4,212,000	0.51	
		현물											
	소계		1,058,000	0.66	2,124,000	0.66	1,655,000	0.66	664,000	0.66	5,501,000	0.66	
	연구장비·재료비	현금	72,000	0.05	123,000	0.04	70,000	0.03	37,000	0.04	302,000	0.04	
		현물											
	연구활동비	현금	307,000	0.19	594,000	0.19	475,000	0.19	185,000	0.19	1,561,000	0.19	
	연구수당		112,000	0.07	232,000	0.07	190,000	0.08	72,000	0.07	618,000	0.07	
	소계		488,000	0.31	944,000	0.30	755,000	0.30	294,000	0.29	2,481,000	0.30	
	위탁연구개발비		45,000	0.03	110,000	0.03	75,000	0.03	35,000	0.04	265,000	0.03	
간접비			9,000	0.01	22,000	0.01	15,000	0.01	7,000	0.01	53,000	0.01	
연구개발비 총액		현금	1,600,000	100%	3,200,000	100%	2,500,000	99%	1,000,000	100%	8,300,000	100%	
		현물											
		총액	1,600,000	100%	3,200,000	100%	2,500,000	99%	1,000,000	100%	8,300,000	100%	

3. 재원조달 방법

○ 정부에서 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발에 필요한 R&D와 함께 향후 산정 및 예측 프로그램을 지속적으로 운영, 업그레이드 할 수 있는 재정적 지원이 필요

○ 정부지원체계

- 프로그램의 사용 주체인 정부기관 뿐만 아니라 산학연 관련 기관의 집중적인 자원 투입이 요구되며, 필요 시 타 부처 및 유관기관과의 협력체계 구축 필요

○ 항공사의 인프라 협력

- 국내 항공사의 실비행 데이터 및 분석력 등 인프라 지원이 요구됨에 따라 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발 시 컨소시엄 구성을 통한 협력 필요

제 7 절 과제 제안요구서

1. 과제 제안요구서

연구개발과제명	항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발
1. 연구개발 목표	
○ 항공기의 경제적 운항과 항공분야 온실가스 배출량 최소화에 기여하고 국내외 배출규제에 효과적으로 대응 가능한 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발	
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 국제적으로 항공 운송 교통량이 급증함에 따라 항공기 및 공항 주변 배출가스 관리에 관심이 증대되고 있으며, - 이에 국제민간항공기구(ICAO)는 항공기 탄소상쇄 의무화, 배출권거래제 등 4가지 온실가스 규제방안을 마련중 - 온실가스 규제는 항공기 엔진 배출가스 배출규제, 항공부문(항공기, 지상조업장비, 수송차량 등) 온실가스 배출규제, 배출가스의 공항 대기질 영향 최소화 등을 주요 목표로 추진 ○ 우리나라는 '20년까지 온실가스 배출전망치(BAU) 대비 30% 감축(교통부문 34.3% 감축)을 국가 중기 목표로 설정하고 있으며, - 이에 국토교통부는 항공부문 온실가스 감축 중장기 계획 및 10개 세부 감축 추진전략을 마련하여 '50년까지 항공기 온실가스 배출량을 30% 감축을 목표로 추진중 ○ 온실가스 감축 목표 달성을 위해서는 국내에서 배출되는 항공 온실가스의 정확한 산정과 저감방안에 대한 미래 시나리오 및 저감효과의 분석이 필수적이나, - 우리나라는 항공기 사용연료 및 이착륙/순항 배출계수를 적용한 사후 개념의 tier 2 수준의 산정방법을 적용하고 있음 ○ 국제적 항공교통 온실가스 배출 규제 변화에 대응하고 항공기의 경제적 운항을 위해서는 기후변화패널(IPCC)에서 지정한 tier 3 수준의 항공 온실가스 배출량 산정 및 예측 시스템 개발 필요

○ 국내 온실가스 목표관리제 및 배출권거래제를 통한 항공부문 국가 온실가스 감축목표 합리적 달성방안 마련

□ 기술 동향

○ 국내 기술동향

- 현재 우리나라 항공부문의 지구온난화 대응은 장기적인 계획이나 체계적인 대응 계획은 시작단계에 있음
- 우리나라는 항공기에 의한 온실가스 배출량의 경우 IPCC 지침에서 제시하고 있는 현재 tier 2 수준의 산정방법을 적용하고 있음

○ 국외 기술동향

- 미국, EU, 영국 등의 선진국들은 각자 IPCC tier 3b 급의 연구 사례가 다수 있으며, ICAO의 보고 및 의사결정에 사용되고 있음

모델명		AERO2K	AEDT/SAGE	AEM	FAST
소속	국가	영국	미국	EU	영국
	그룹	QinetiQ	FAA	Eurocontrol	정부 (DTI)
데이터	비행 데이터	ETMS ATC 데이터, BACK 항공 스케줄	ETMS ATC 데이터, OAG 항공 스케줄	ATC 데이터, 항공 스케줄	AERO2K 자료, OAG 항공 스케줄
	데이터 내용	ATC 데이터를 사용한 4D 궤도, scheduled flight는 가상 라우팅 사용	ATC 데이터를 사용한 4D 궤도, scheduled flight는 GCD 사용	4D 궤도	4D 궤도
세부방법론	경로 추정	실제 경로	실제 경로	실제 경로	-
	항공기 성능	PIANO 모델	BADA & INM 방법론	PIANO 모델	PIANO 모델
출력	산출 데이터	소비 연료, CO2, H2O, NOx, CO, HC, 검댕	소비 연료, CO2, H2O, NOx, CO, HC, SOx	CO2, NO, CO, 입자, 검댕	소비 연료, CO2, H2O, NOx, CO, HC,
	해상도	1o x 1o x 500 피트 x 6시간	1o x 1o x 1 km x (제한 없음)	(.25o x .25o ~ 1o x 1o) x (데이터 의존)	1o x 1o x 2000 피트

· SAGE(System for assessing Aviation's Global Emissions)는 미국 FAA에서 개발한 모형으로 입력 자료는 획득 가능한 수준에 따라 지역별로 상세 정도에 차이가 있으며, 각 비행편별, 온실가스 종류별 배출량, 지구 공간상 지점별 배출량(위도, 경도, 고도별), 지역·국가·항공기·엔진별 배출량 등을 출력

· AEM(Advanced Emission Model)은 EUROControl에서 개발한 모형으로서 연료소비량은 3,000 피트 이하에서는 ICAO의 엔진모드별 이착륙시 연료소비량 자료(ICAO Engine Exhaust Emission Data Bank)의 자료를 사용하며, 3,000 피트 이상에 대해서는 BADA의 자료를 사용함

· AERO2K는 QinetiQ(민간기업)이 DLG(독일), 맨체스터대, 네덜란드 국립항공우주연구소(NLR), 영국무역산업부, 에어버스사, 유로콘트롤 등과 함께 개발하였으며, EUROControl 비행자료, 각공항의 모드별 이착륙자료, ICAO data bank의 이착륙시 연료소비량 및 배출량 자료를 사용하여 Grid별 연료소비량, NOx, H2O, CO2, CO, HC 및 미세물질 등출력

· FAST(Future Aviation Scenario Tool)는 영국무역산업부에서 개발하였으며, 항공기 이동자료(AERO2K의 데이터베이스 사용), 60종의 항공기의 연료사용량 특성 등을 사용하여 GCM, CTMs과 같은 다른 모형을 이용하여 대류권의 오존 증가, 비행운에 의한 복사강제력 등을 산정

- INM(Integrated Noise Model)는 SAE AIR 1845표준 알고리즘 및 프레임워크를 기반으로 개발되었으며, 오랜 기간의 측정을 통해서 구성한 NPD(Noise-Power-Distance) 데이터베이스를 바탕으로 항공기의 운항경로를 결합하여 공항주변의 소음지도를 예측함
- AEDT(Aviation Environmental Design Tool)는 공간과 시간영역에서 항공기 성능을 모델링으로써 연료연소, 배기가스, 소음 계산하며, 세부적 항공기종, 비행스케줄을 사용하여 지방, 지역, 전세계의 소음 예측, 연료 소모량과 온실가스를 산정함
- 국제항공운송협회(IATA)는 항공기 연료관리 가이드라인을 개발하여 온실가스 감축을 위한 전략방향 및 감축수단을 제공함으로써 항공사의 감축활동을 지원 중
- 유럽의 아비아소(Aviaso)사는 연료효율관리시스템 기술을 보유하고 있으며, 다양한 소프트웨어 개발 전문가들이 모여 유럽 배출권거래제 대응, 연료효율 관리 등 항공 산업에 필요한 프로그램을 개발, 운영하고 있음
- 연료효율관리시스템(Fuel Efficiency) 기술은 각 항공사의 IT시스템을 통해 자동적으로 연료사용량에 대한 자료 수집, 잠재적 연료절약 분석툴을 제공하고 연료효율 개선 프로그램의 절차를 모니터하는 툴을 제공하고 있음

3. 연구개발내용

□ 세부 과제별 연구 내용

<연구개발 내용 요약>

□ **항공 온실가스 데이터플랫폼 구축**

○ 항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석

○ 항공 온실가스 데이터플랫폼 설계

□ **항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발**

○ 항공 온실가스 배출량 산정 모듈 개발

○ 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 성능 및 신뢰성 검증 기술 개발

□ **항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발**

○ 항공 온실가스 감축량 산정 모듈 개발

○ 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개발

○ 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 성능 및 신뢰성 검증 기술 개발

○ 운영 및 유지·보수 전략 수립

가. 항공 온실가스 데이터플랫폼 구축

○ 항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석

- 항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사
- 항공 온실가스 기초데이터 요구도 분석
- 항공 온실가스 기초데이터 요구도 검증

○ 항공 온실가스 기초데이터 실시간 검색/추출/관리 기술 개발

- 연도별, 항공기 기종별, 국내·국제 운항, 다양한 감축 수단별 온실가스 추정 기초 자료 추출
- 분석하고자 하는 항공편들의 스케줄 자료, 공항 데이터 등을 관련 기관 데이터센터에서 추출, 압축, 필터링 및 정리
- 항공기 등록정보, 기종별 성능정보, 운항스케쥴, 공항자료, 기상자료 등 관련기초데이터 DB구축 및 신뢰성 검증

○ 항공 온실가스 통합정보제공 모듈 및 인터페이스 개발

- 항공 온실가스 배출량 산정 시뮬레이션 모델과 연계 모듈 설계
- 항공 온실가스 저감효과분석 시뮬레이션 모델과 연계 모듈 설계

나. 항공 온실가스 배출량 산정 시뮬레이션 모델 개발

1) 항공 온실가스 배출량 산정 모듈 개발(Tier 3b급)

가) 항공기 기종 및 성능, 운항절차, 기상, 출/도착지 등 온실가스에 영향을 주는 운항 환경별 배출량 산정 및 추정 알고리즘 개발

① 항적 자료 추출/처리 및 DB 설계 기술 개발

○ 레이더 데이터 추출 및 처리 모듈, 항공기 이동 데이터베이스 모듈 개발

- 추출된 레이더 데이터를 압축, 필터링 및 정리하여 순항 고도 및 수평 이동의 통계분포 도출
- 분석하고자 하는 항공편들의 스케줄 자료 및 공항 데이터를 관련 기관 데이터센터에서 추출

○ 분석하고자 하는 flight의 출·도착 공항과 사용된 항공기/엔진 기종 자료를 포함한 항공기 이동 데이터베이스 구축

- 각 비행기 기종 및 고유번호에 따른 엔진 매칭
- 추가적인 활주 시간(taxi time) 및 지연 시간 통계 도출

② 공기역학적 항공기 성능 및 배출량 알고리즘 설계

○ 순항 고도 및 수평 이동의 통계분포를 따른 궤도 생성

○ 항공기/엔진 조합의 공기역학적 성능정보를 이용하여 연료 사용량 및 온실가스 배출량을 추정하는 알고리즘 개발; 항적 자료 및 공기역학적 항공기 성능정보를 사용해 IPCC Tier 3b 충족

○ 궤도 생성

- 출/도착지, 비행기 기종 자료를 통해 궤도를 생성
- 특히 레이더 운항 자료가 미약한 이착륙 절차에서는 INM performance equation을 사용

○ 각 Chord의 대기 상태 계산

- 온도, 압력, 공기 밀도를 기상청 DB에서 가져오거나 평균값 사용

○ BADA 성능 데이터를 사용한 항공기 speed schedule 계산

- 각 chord의 transition altitude, mass, speed를 계산해 speed schedule 도출
- 운항속도는 BADA 성능 데이터의 기준 사용

○ BADA를 사용한 주어진 항공기/엔진 조합의 리프트 및 드래그 계산

○ BADA/INM을 사용한 추력 및 상승률 계산

- 최대추력, 압력 및 온도 필요
- 이륙시 INM식 사용
- 하강시 BADA식 사용

○ 연료 흐름양 및 연소율은 BADA의 추력세부연료소비(TSFC,Thrust Specific Fuel Consumption 공식을 사용해 계산

○ 각 코드(chord)마다 ICAO 배출인덱스를 사용해 CO, HC, NOx, CO2, H2O, SOx의 배출량 산출

③ 알고리즘 모델화

○ Tier 3b 가 요구하는 절차별 배출가스 도출 알고리즘을 모델화 함

- 실용적이고 직관적인 유저 인터페이스 구성
- 일반 PC에서 특별한 요구사항 없이 실행 가능하게 구성
- 각 모듈의 독립성을 보장해 추후 모델의 확장 허용

○ 변수별 통계 및 비교 분석 기능 구축

- 입력 변수들의 인벤토리 query를 통한 분석 기능

- 예: 기종, 루트, 날씨별 온실가스 배출량 분석
- 위 결과의 도식화 기능 추가

○ 알고리즘의 효과적이고 효율적인 운영 체제 도출

④ 거시적/미시적 시나리오 분석 기술 역량 개발

○ 모델 구성 후 항공정책 및 평가 시나리오 분석 역량 개발

○ 절차별 배출가스 도출 모델을 추가로 다양한 항공정책 및 평가 시나리오 분석 모듈을 개발

○ 미시적 분석

- 본 연구에서 제시되는 온실가스 평가 모델의 기본적인 모델링 단위는 단일 비행임
- 단일 비행을 모델링하기 위해 특정 항공편과 관련된 모든 항공 스케즐, 궤도, 항공기/엔진 기종별 성능, 배출 지수 등이 요구됨
- 이와 같은 변수들의 미시적 분석을 통해 단일 비행의 절차. 시간, 거리별 연료 사용량 및 온실가스 배출량이 도출됨
- 특정 항공기 및 운항 조건의 시나리오에 따ㄹ 연료 효율성 및 온실가스 배출량 분석 가능

○ 거시적 분석

- 지역, 국가, 지구적인 수준의 연료 사용량 및 온실가스 배출량의 통계가 요구될 때 적용
- 미시적 분석을 합계한 결과이며, 기본적인 방법론은 변하지 않음

2) 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 성능 및 신뢰성 검증 기술 개발

○ 총 결과물의 통계적 불확실성 평가

- 각종 input 자료들의 신뢰성 평가
- 순항 고도 및 수평 이동의 통계분포를 통해 알고리즘의 정확성

한계도 평가

- 기상 자료, taxi/delay time 등의 추가 정보가 가져오는 추가적 신뢰성 평가

○ 비교하고자 하는 시나리오들의 차이 유의성 분석

- 예: 비행기 기종 교체시 온실가스 배출절감 비용 효율성 분석

○ 분석된 샘플 구간의 일반화 신뢰성 분석

- 예: 국내 일주일치 항적 자료를 통해 연간 통계로 일반화 시킬 경우 생기는 오차의 범위 계산

다. 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발

1) 항공 온실가스 산정 모듈 개발

가) 온실가스 감축기술 선정 및 감축구단별 온실가스 감축량 예측 알고리즘 개발

○ 국내·외 선진기술 사례, 관련 정책 및 기술 개발 현황 분석

○ 감축수단 범주별 저감효과 분석을 위한 감축기술 선정

- 운항관리 분야
- 비행운용 분야
- 항공역학 및 정비관리 분야
- 중량관리 분야
- 교통관제 분야

○ 감축수단별 온실가스 저감효과 산출기준 및 방법 개발

- 국적항공사 적용 감축활동 조사
  - 항공사별 산출방법 비교분석
- 저감효과 분석을 위한 감축수단별 산출기준 도출
  - 공회전 역추진 적용 연료절감 산출기준(예) : 기종별 편별 공회전역추진 적용 연료 절감량 × 노선별 운항횟수 × 절차

이행률

- 항공사 실제 데이터 활용 산출식 검증
  - 감축수단별 실제 데이터를 활용한 산출기준의 타당성 분석
  - 감축수단별 산출기준 표준화

나) 감축수단별 온실가스 감축량 예측 알고리즘 개발

○ 감축수단별 저감효과 분석 프로그램 개발

- 감축수단별 연료절감 분석용 프로그램 개발
- 기종별 연료절감 분석 프로그램 개발

2) 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개발

○ 감축수단별 저감잠재량 분석기술 개발

- 중장기 온실가스 저감잠재량 분석
- 국가 온실가스 감축 이행계획 수립을 위한 활용방안 제시

3) 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 성능 및 신뢰성 검증

○ 저감효과 분석 프로그램 검증 및 데이터베이스 구축

- 감축수단별, 기종별 실비행 데이터(FOQA)와 비교 검증
- 감축수단별 시나리오 분석 및 연료절감 데이터베이스 구축
- 감축수단별 연료절감 DB와 연계한 분석시스템 알고리즘 설계
- 웹기반 포털사이트 및 분석시스템 구축

4) 운영 및 유지·보수 전략 수립

○ 각 세부 과제별 시스템 운영 전략 및 운영 조직(안) 수립

4. 연구개발 추진방법	

□ 추진 전략

○ 단계별 목표를 수립하고 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립

- 1단계 : 조사분석 및 설계
  - 국내·외 기술현황/동향 분석 및 수요조사
  - 핵심개발기술 개발방향 정립(개발 대상 선정 등) 및 제품 성과목표치 검토

· 핵심개발기술 상세 설계
· 국내외 시장성 분석
- 2단계 : 모듈 개발 및 시제품 제작
· 핵심개발 기술의 모듈개발
· 세부과제별 핵심요소기술의 통합/연계 및 시제품 개발
· 운영 매뉴얼 등 기타 연관 산출물 제작
- 3단계 : 테스트 베드 구축 및 검증, 실용화
· 개발제품 테스트 및 보완, 시스템 검증
· 핵심개발기술의 현장 적용성 평가 및 기술 인증, 시연
· 개발기술의 실용화 및 기술이전 추진
· 실용화를 위한 비즈니스 모델 구축 및 전략 수립
· 법·제도화 방안 검토

○ 관련 수요처, 국내·외 전문가, 국토부 등이 참여하는 자문단을 구성하여 프로그램에 대한 요구사항을 조사 분석하여 반영

○ 전 세계 시장 선점 여건 조성을 위하여 연구 결과물의 국제 표준화 추진

○ 항공 온실가스 배출량 산정 및 예측에 필요한 모든 데이터는 항공온실가스 데이터플랫폼에 구축하고 배출량 및 감축량 분석을 위해서는 데이터플랫폼 DB를 사용하도록 연계개발

○ 온실가스 감축량은 반드시 감축수단 적용 전/후에 대한 배출량 산정프로그램의 분석결과 비교를 통하여 산출되도록 연계하여 개발

○ 연구개발계획서에는 구체적인 연구방법론이 반드시 제시되어야 함

□ 추진체계

○ 산·학 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)

○ 실용화 중심의 연구개발 사업으로 정부출연연구기관, 산업체 및 학계 컨소시움 구성을 통한 공동연구로 수행

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모

5. 최종성과물

□ 주요 최종 성과물

○ 항공 온실가스 데이터플랫폼(TRL 7단계)
○ 항공 온실가스 배출량 산정 시스템(TRL 7단계)
○ 항공 온실가스 감축량 예측 시스템(TRL 7단계)
○ 항공온실가스 산정 및 예측 프로그램 매뉴얼
○ 운영 및 유지·보수 전략 보고서

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용 방안

○ 단위별·절차별 온실가스 배출현황 파악 및 관리에 활용
- 세부적인 온실가스 배출현황 파악 및 관리 시스템 구축
- 체계적인 분석·연구를 통해 항공기 운항을 경제적이고 효과적인 운항 체계 도출

○ 온실가스 저감 방안 개발 및 활용 이해관계자들에게 편의성 제공
- 온실가스 저감정책 수립 시 근거 자료로써 정부 관리주체인 국토교통부 담당자들이 성과지표와 목표를 설정하여 계획수립시 활용 가능
- 항공운송기업들 역시 온실가스 저감 활동 시 목표설정 및 계획 수립에 활용 가능

○ 본 연구를 통해 확보된 기술은 온실가스 저감 방안 개발과 함께 다른 교통부문에서도 활용 가능하여 관련분야 기술 발전에도 기여

□ 기대 효과

○ 우리나라 항공 산업이 세계 수준의 온실가스 배출 모델링 기술을 확보하기 위한 전략계획을 수립함으로써, 우리나라가 지속가능 경영의 국제적 모범사례로 자리 잡는데 크게 기여

- 적절한 환경투자 수준을 정량적으로 도출
- 항공 산업의 친환경 신기술도입 및 운항법 개선 활동에 경제적 타당성과 당위성을 부여하여 저탄소 녹색성장 촉진에 기여

○ 항공기 절차별 온실가스 저감 방안 설정 가능

- 세부적인 온실가스 저감 방안 개발 및 활용 가능

- 목표관리제나 자발적 협약으로 온실가스 저감 목표를 설정하고 있는 항공운송기업들이 보다 효과적인 목표설정 및 방안 마련 가능
- 절차별 배출 알고리즘은 각종 정책의 수립, 집행, 효과분석 등의 근거로 활용 가능

○ 항공기 지상이동 및 절차별 온실가스 배출 알고리즘의 경쟁력 확보 기반 마련

○ 항공 온실가스 저감효과 분석 모델 기술의 연구분석을 통해 국가 온실가스 감축목표 설정과 이를 이행하기 위한 관리체계를 확립함으로써 국제항공 기후변화 대응력 확보 기대

○ 항공 온실가스 저감효과 분석 모델 개발 관련 객관적이고 심층적인 타당성 조사·분석을 통해 감축기술과 지속가능한 성장을 접목하는 체계적이고 효율적인 연구개발 추진계획을 수립하여 성공적인 사업수행은 물론 국적항공사의 경쟁력 강화와 국가 온실가스 감축에 기여함으로써 항공환경 선진국으로의 도약 기반 마련 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2014.1 ~ 2017.12 (4 년)
- 1차년도 연구개발기간 : 2014.1 ~ 2014.12 (12 개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2015.1 ~ 2015.12 (12 개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2016.1 ~ 2016.12 (12 개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2017.1 ~ 2017.12 (12 개월)

○ 총 정부출연금 : 8,300 백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 1,600백만 원 이내
- 2차년도 정부출연금 : 3,200백만 원 이내
- 3차년도 정부출연금 : 2,500백만 원 이내
- 4차년도 정부출연금 : 1,000백만 원 이내

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반/보안 과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제 목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발 목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정・보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우,「분산공유형 건설연구 인프라 구축」과제결과로 구축된 “분산공유 6대 실험시설” 우선 활용

※ 공고 시 첨부한 “분산공유형 건설연구 인프라 실험시설 소개자료” 참조

2. 평가기준 설정

가. 성과목표 및 성과지표

<표 3-30> 세부 과제별 성과목표

과제	과제 목표	목표 성과물
항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발	- 항공 온실가스 추정 및 저감방안 분석에 요구되는 시뮬레이션 모델 개발로 항공부문 온실가스 배출량 최소화 - 항공분야 국내외 온실가스 배출규제에 효과적 대응을 위해 저감 잠재량 및 국가감축이행계획 수립을 위한 온실가스 저감효과 분석 시스템 개발 및 활용 방안 제시	- 항공 온실가스 기초데이터 요구도 조사 및 분석 - 항공 온실가스 데이터플랫폼 설계 - 항공 온실가스 기초데이터 실시간 검색/추출/관리 - 항공 온실가스 기초DB 구축 기술 - 항공 온실가스 통합정보제공 모듈 및 인터페이스 - 항공 온실가스 배출량 산정 모듈 개발 - 항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 성능 및 신뢰성 검증 - 항공 온실가스 감축량 산정 모듈 개발 - 항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 성능 및 신뢰성 검증 기술 - 온실가스 감축수단별 경제성 분석 및 의사결정 지원 모듈 개발

<표 3-31> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템의 양적 성과지표

성과지표	측정방법	최종 목표치
온실가스 기초 DB 구축	온실가스 기초 DB 완료 여부	1건
항공기 성능/배출량 알고리즘 구축	인증된 알고리즘 제시 여부	1건
항공 온실가스 배출량 산정 시뮬레이션 모델 구축	시뮬레이션 모델/시스템 완성 여부	1건
항공기 소음 예측 시뮬레이션 모델 구축	시뮬레이션 모델/시스템 완성 여부	1건
결과물 신뢰성 평가 인증	신뢰성 평가 인증 제시 여부	1건
학술지 게재 논문	국내외 학술지 게재 논문건수	7건
학술회의 발표 논문	국내외 학술회의 발표건수	9건
산학연 협력 활동	국내외 산학연 협력 활동 건수	9건
관련분야 국제협력 네트워크 구축	국외 협력 협약 체결 건수	2건
연구개발 관련 홍보	연구 성과의 대외 홍보 건수	9건
시제품	시제품 제작 여부	2건
연구보고서	과제 연구보고서 제시 여부	1건

<표 3-32> 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템의 질적 성과지표

성과지표	성과검증 기준				
	측정방법		목표수준		검증 방법
			목표치	달성치	
항공 온실가스 데이터플랫폼 구축	①	개발 서버 및 네트워크 구성 설계 (설계의 정확성-전문가 검증)	100%		보고서
	②	데이터베이스 아키텍처 설계 (설계의 정확성-전문가 검증)	100%		보고서
	③	인터페이스 방안 설계 (설계의 정확성-전문가 검증)	100%		보고서
	④	필수조회조건 적용 프로토타입 설계 (프로토타입의 시연 여부)	100%		시연/ 보고서
	⑤	활동도 자료 DB 검증 및 업데이트 여부 (모듈 시연 여부)	100%		시연/ 보고서
항공 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발	①	공기역학적 항공기 성능 및 배출량 알고리듬 설계 (설계의 정확성-전문가 검증)	100%		보고서
	②	인터페이스 방안 설계 (설계의 정확성-전문가 검증)	100%		보고서
	③	모델 결과물 오차 및 불확도 인증 (산출물 신뢰도 평가-실측 데이터 비교)	100%		보고서
항공 온실가스 감축량 예측 프로그램 개발	①	감축수단별 온실가스 저감효과 산정 가이드라인 제시 여부	100%		보고서
	②	시스템 프레이워크 및 저감효과분석 알고리즘 설계 (설계의 정확성-전문가 검증)	100%		보고서
	③	저감효과분석 결과 데이터 제시 여부 (산출물 신뢰도 평가-데이터 비교)	100%		보고서

제 4 장

에코플라이트 시뮬레이터 개발

- 제 1 절 국내외 동향 및 환경 분석
- 제 2 절 연구개발과제 구성 및 추진전략
- 제 3 절 과제별, 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵
- 제 4 절 성과활용 방안
- 제 5 절 사전타당성 검토
- 제 6 절 연구투입 소요예산 산정
- 제 7 절 과제 제안요구서

제 4 장 에코플라이트 시뮬레이터 개발

제 1 절 국내외 동향 및 환경 분석

1. 국내외 정책 동향

가. 국내 정책 동향

<표 4-1> 국내 기술 정책 동향

주요정책	주요 관련 내용	R&D 사업/ 연구와의 연계성
온실가스 에너지 목표관리제	- 국내 항공기 운항, 건물, 수송차량에 대한 온실가스 관리 - 지정기준 이상의 온실가스 배출업체를 관리업체로 지정('12 대한항공, 아시아나 항공, 에어부산)	- 온실가스 감축을 위한 감축기술 개발 연구와 연계

○ 현재 국내 항공법에 따르면 조종사 한정자격을 취득하기 위해서는 모의비행장치 혹은 실제 항공기로 훈련을 받아야 하며, 에코플라이트 시뮬레이터의 수요층 확대를 위해 국내 조종사 형식한정에 법정교육훈련시간의 인정범위를 비행훈련장치(Flight Training Device, FTD)급으로 범위 확대 검토 요구

○ 국내 비행훈련장치 인가를 받은 에코플라이트 시뮬레이터를 활용하여 부조종사(Multi-Crew Pilot Licence, MPL) 양성과정 도입 및 조종전문 인력양성의 예산절감효과가 예상

<표 4-2> 국내 조종사 교육관련 규정 동향

<table>
<tr><th>주요 규정</th><th>주요 관련 내용</th></tr>
<tr><td>항공법</td><td>
- (제94조 2항) 항공종사자 전문교육 기관 지정 등
국내 조종사 형식한정 추가관련 규정동향
<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">과목</th><th colspan="2">동승비행시간</th></tr>
<tr><th>제트발동기</th><th>왕복발동기</th></tr>
<tr><td rowspan="4">비행기</td><td>1. 모의비행훈련</td><td>20</td><td>16</td></tr>
<tr><td>2. 항공기 실제비행훈련</td><td>2</td><td>2</td></tr>
<tr><td>3. 시험(중간시험을 한 번 이상 실시하여야 한다)</td><td>2</td><td>2</td></tr>
<tr><td>계</td><td>24</td><td>20</td></tr>
<tr><td rowspan="3">회전익 항공기</td><td>1. 항공기 실제비행훈련</td><td colspan="2">20</td></tr>
<tr><td>2. 시험(중간시험을 한 번 이상 실시하여야 한다)</td><td colspan="2">2</td></tr>
<tr><td>계</td><td colspan="2">22</td></tr>
</table>
국내 부조종사 (MPL)[104] 과정 실기교육 기준표
<table>
<tr><th>과목</th><th>동승 비행시간</th><th>단독 비행시간 (또는 기장시간)</th><th>계</th></tr>
<tr><td>1. 항공기 비행 전 지상작동</td><td>10</td><td>3</td><td>13</td></tr>
<tr><td>2. 항공기 이륙</td><td>30</td><td>12</td><td>42</td></tr>
<tr><td>3. 항공기 상승비행</td><td>25</td><td>10</td><td>35</td></tr>
<tr><td>4. 항공기 순항비행</td><td>15</td><td>10</td><td>25</td></tr>
<tr><td>5. 항공기 강하비행</td><td>15</td><td>10</td><td>25</td></tr>
<tr><td>6. 항공기 접근비행</td><td>25</td><td>10</td><td>35</td></tr>
<tr><td>7. 항공기 착륙</td><td>30</td><td>12</td><td>42</td></tr>
<tr><td>8. 항공기 비행 후 지상작동</td><td>10</td><td>3</td><td>13</td></tr>
<tr><td>9. 시험 (중간시험을 여덟 번 이상 실시)</td><td>10</td><td>-</td><td>10</td></tr>
<tr><td>계</td><td>170</td><td>70</td><td>240</td></tr>
</table>
실기교육: 과목별 시간배분은 다음을 표준으로 하며, 과목별 교육시간은 100 분의 35 범위 내에서 조정이 가능하되, 지방항공청장이 지정한 특정 형식의 항공기 모의비행훈련장치를 이용한 비행훈련 시간과 최소한 40시간 이상의 실제 비행기에 의한 비행경력을 포함하여 총 240시간 이상이어야 한다.
</td></tr>
</table>

나. 국외 정책 동향

1) 국가별 정책 동향

가) 미국

○ 미국 FAA 항공법에서는 조종사의 한정자격 취득 시 인가된 모의비행장치 뿐만 아니라 인가된 비행훈련장치의 한정자격 취득훈련도 법정시간으로 인정

104) 부조종사 (MPL, Multi-Crew Pilot License) 과정은 기존 자가용, 사업용, 계기한정의 자격을 통합하여 교육받는 시스템으로 실비행 요건이 40시간에 불과하며 나머지 훈련시간은 B737, A320등 실제 항공사에서 사용중인 대형 제트기종을 장기간 훈련받음으로써 비용 및 성과측면에서 효율적이라는 점 등 때문에 캐나다, 싱가포르, 유럽 등 해외 많은 나라에서 제도를 도입하여 활용 중

<표 4-3> 미국의 관련 규정 동향

주요 규정	주요 관련 내용	R&D 사업/ 연구와의 연계성
항공법	미국 항공법 AC(Advisory Circular) 61-89E, 「조종사 자격: 항공기 형식 한정증명」 - The instruction provided in this curriculum is designed as initial equipment training and consists of approximately 50 hours of ground instruction, 15 hours of simulator or training device instruction, and four flights in the airplane (15 hours, including ground time). **미국 항공법, 형식 한정 자격 취득을 위해서는 50시간의 지상교육 및 15시간의 모의비행장치 혹은 비행훈련장치로 훈련 받은 후 실제 비행기로 4시간의 실기시험을 마쳐야 한다.**	- 국내 항공법에서는 한정자격 취득에 있어 비행훈련장치(FTD) 사용을 인정하지 않고 있음 - 법정 교육훈련 시간의 일부 혹은 전부를 에코플라이트 시뮬레이터로 대체 관련 연구 필요
	미국 항공법 Part 61.64 「모의비행장치 및 비행훈련장치의 사용」 (b) Except as provided in paragraph (f) of this section, if an airplane is not used during the practical test for a type rating for a turbojet airplane (except for preflight inspection), an applicant must accomplish the entire practical test in a Level C or higher flight simulator. **실제 비행기로 터보제트 비행기의 한정자격 실기시험을 치루지 못한다면, 모의비행장치(FFS)의 FAA LEVEL C[105]이상의 장비로 치러야 한다.**	- 모의비행장치(FFS) Level C (국내 2급)이상의 자격조건은 국내법과 동일함

○ 미국 FAA에서도 국내 항공법에서 요구하는 것과 같이 한정자격을 취득하기 위해서는 실제 비행기로 4시간의 실기시험을 마쳐야 하지만 국내 항공법과 다른 사항은 조건부 자격취득이 가능

다. 의미 및 시사점

○ 해외 선진 항공사에서는 경제운항절차 도입을 통해 연료절감 및 온실가스를 줄이고 있으며, 조종사의 체계적 훈련을 위해 기존의 플라이트 시뮬레이터를 활용 중

105) FAA LEVEL C는 국내 모의비행장치(FFS; Full Flight Simulator) 2급에 해당하며 관련근거는 FAA AC120-45A 및 FAA AC124

○ 미국 FAA는 조종사의 한정자격 취득 시, 법정 교육훈련 시간의 일부를 인가된 플라이트 시뮬레이터의 취득훈련 시간도 인정하고 있음

○ 2015년 도입예정인 국내 배출권거래제 및 향후 규제가 예상되는 ICAO의 시장 기반체제에 선제적 대응을 위해서는 에코모드 기능이 구현되는 플라이트 시뮬레이터 개발이 필요함

2. 국내외 시장 현황

가. 국내 시장 현황

○ 모의비행장치(Full Flight Simulator, FFS)는 신입 운항승무원 기종 전환, 운항노선 훈련 및 한정자격 심사 그리고 기장급 운항승무원의 운항심사 및 승급, 승격심사용으로 활용 중

○ 국내 대한항공과 아시아나항공의 경우는 자체 보유한 운항훈련원 등을 통해 모의비행장치를 도입, 활용중이며, 저비용항공사(Low Cost Carrier)의 경우는 국내 진출한 외국 훈련기관(CAE, 록히드마틴)과 모의비행장치 사용계약을 맺고 활용 중

○ 자체 모의비행장치를 보유하지 않는 항공사의 경우는 모의비행장치 임대 사용계약(Block time leasing)을 맺고 사용 중

<표 4-4> 국내 모의비행장치(FFS) 사용현황

기관 명	보유장비(제작사/기종)		장비 수	인가등급
록히드마틴	Sim Industries	B737-800	1	3등급
		A320	1 (도입예정)	3등급
CAE KOREA	CAE	B737-800	1 (도입예정)	3등급
		A320	1	3등급
대한항공	CAE	B747-400	2	3등급
		B777-200	1	3등급
		B737-7/800	1	3등급
		B737-900	1	3등급
	THALES	A330-200	1	3등급
		A300-600	1	3등급
	CAE	F-100	1	3등급
아시아나항공	CAE	B747-400	1	3등급
		B767	1	3등급
		B777	1	3등급
		A321	1	3등급
		A330	1	3등급

○ 비행훈련장치(FTD)는 신입 부조종사들의 제트기종으로의 기종 기초교육 및 기존 조종사들의 타 기종으로의 기종 전환 훈련용도로 사용 중에 있으며, 모의비행장치(FFS)에 비해 저렴한 운영비가 특징

○ 국내 8개 모든 항공사에서는 안전을 최우선 과제로 한 회사 정책을 펼치고 있으며 운항절차 상에 경제운항 사항을 규정하고 있지는 않음

○ 다만, 신입부기장 입사 시 연료절감에 대한 중요성 및 타 산업의 온실가스 배출량과 달리 직접적으로 오존층에 영향을 미치는 항공 온실가스 배출로 인한 급격한 기후변화가 도래되고 있다는 점만을 이론 교육시키고 있는 실정이며 항공안전 등의 이유로 조종사에게 연료 절감사용을 강요하지는 못하고 있는 실정

<표 4-5> 국내 비행훈련장치(FTD) 사용현황

기관 명	보유장비(제작사/기종)	장비 수	인가등급
대한항공	CAE - B737-8/900	2대	FAA Level 5, 6
	CAE - B777-2/300	1대	
	B747-400	1대	
	A330-200/300	1대	
	A380	1대	
아시아나항공	B737 계열 JTS	1대	

나. 국외 시장 현황

○ 모의비행장치의 경우 최소 120억 원 이상부터 약 250억 원까지 가격이 형성되어있으며, FAA 인가기준 등급에 따라 판매비용이 큰 차이를 보였음

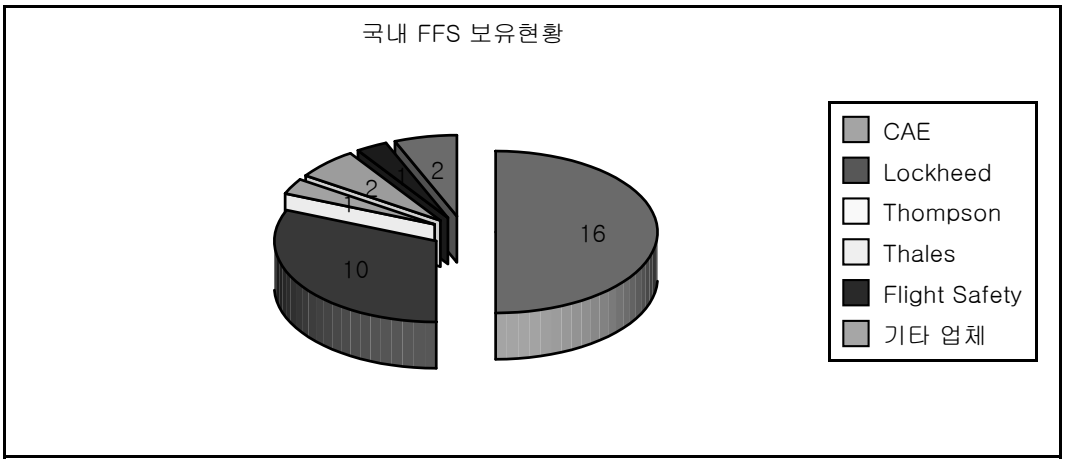
○ 비행훈련장치는 인가받은 장치를 기준으로 최소 10억대 후반에서 40억 원대까지 가격이 형성되어있고, 가격차를 보이는 가장 큰 이유로는 첫째 시뮬레이터 성능을 정확하게 구현할 수 있는 제조사의 데이터 패키지 사용여부(제조사 데이터 패키지는 10억~20억까지 기종별로 상이)에 따라 그리고 인가기준 등급에 따라 판매비용이 차이를 보이고 있음

○ 국외 시뮬레이터 개발사 현황

<표 4-6> 국외 FTD/FFS 제작사 별 판매비용 현황

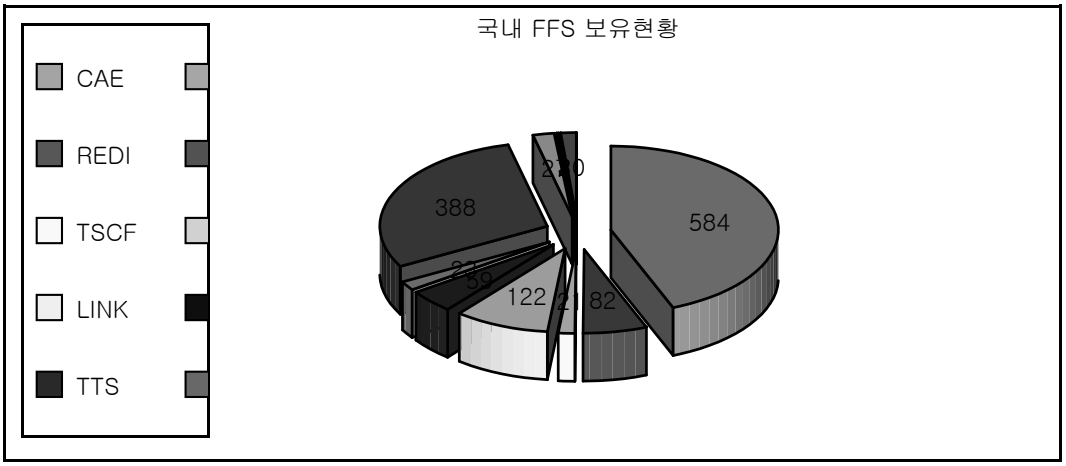
구 분	주요 제작사	개발비용	비 고
모의비행장치 (FFS)	CAE	245억	FFS Level D
	Flight Safety International	120억	FFS Level C
	Thompson Simulation	180억	FFS Level C
	Sim Industries	220억	FFS Level D
비행훈련장치 (FTD)	Entrols	26억	FTD Level 4
	Elite	18억	FTD Level 4
	Mechtronix	45억	FTD Level 5

○ 국내 FFS 제조사별 보유현황



<그림 4-1> 국내 항공운송사업 업체 및 교육기관 보유현황

○ 해외 FFS 제조사별 보유현황



<그림 4-2> 미국(FAA) 항공운송사업 업체 및 교육기관 보유현황

자료: FAA[106]

○ 지난 수년간 항공사들은 높은 항공유가, 유럽 연합 탄소배출권 거래제(EU Emissions Trading System, EU ETS) 등과 같은 상황에 직면하면서 연료 절감 및 친환경 운항을 위한 다양한 방안을 모색하고 있으며, 최근에는 항공사들이 항공종사자 훈련을 통해 '그린(Green)' 이니셔티브를 추진하고 있는 실정

○ 2008년 유나이티드항공(United Airlines)은 조종사 및 운항관리사를 대상으로 그린 이니셔티브 관련 훈련을 시작하였고, 유나이티드항공에 소속된 모든 조종사들은 운항 효율성 훈련을 받고 있으며, 싱글엔진택시(single engine taxi), 플랩 사용 줄이기 등을 이해하고, 실천하려고 노력하고 있음. 유나이티드항공뿐만 아니라 다른 몇몇 항공사의 조종사들 역시 비행관리시스템에서 연료 소모를 줄이는 것에 대한 훈련을 받고 있음

○ 젯블루항공(JetBlue Airways)은 2004년부터 이륙 전 및 착륙 후에 되도록 OET(One- Engine Taxi) 시행

- 젯블루에 따르면 2011년 4월부터 2012년 3월까지 OET 시행을 통해 절약한 연료는 약 510만 갤런으로, 갤런 당 가격을 약 3.2달러로 생각했을 때 연간 연료비용 절감 규모는 약1,630만 달러(한화 약 181억 원)에 이르며, 젯블루항

106) FAA(Federal Aviation Administration) "2013년 3월 1일 기준, FAA 인가된 항공기 시뮬레이터 전 기종 안내 "All FAA Qualified Aircraft Simulators by Make/Model/Series

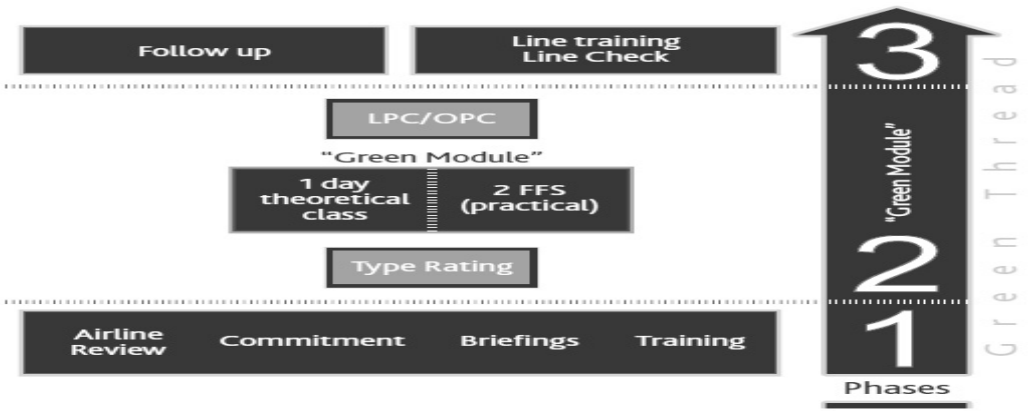
공을 비롯한 몇몇 항공사들은 감소추력 이륙(reduced-thrust takeoff)을 통해 연료 소모와 소음 발생을 줄이고 있음

○ 핀에어(Finnair) 역시 연료 소모와 가스 배출을 줄이기 위해 연속강하접근(Continuous Descent Approach, CDA)과 싱글엔진택시 등의 시행을 늘려왔음

- 예를 들면, 주기 중인 항공기는 보조동력장치 대신 공항의 동력을 사용하고, 조종사들은 최적의 플랩 사용 등 연료 소모를 줄일 수 있는 조종법을 훈련받는 등 이러한 노력들의 결과로 핀에어는 상당한 양의 연료를 절약하였음
- 한편, 핀에어 비행학교(Finnair Flight Academy)는 리버스그린 자격훈련(Reverse Green Type-Rating Training) 프로그램을 제공하고 있음

○ 옥스퍼드 에비에이션 아카데미(Oxford Aviation Academy) 역시 친환경 조종사 훈련 프로그램(Eco Pilot Training Program)을 제공하고 있으며, 이 프로그램은 조종사들에게 새로운 행동 방식을 익히게 하여 연료를 절감하게 하고, 환경 미치는 영향을 최소화할 수 있도록 항공사를 지원하고 있음

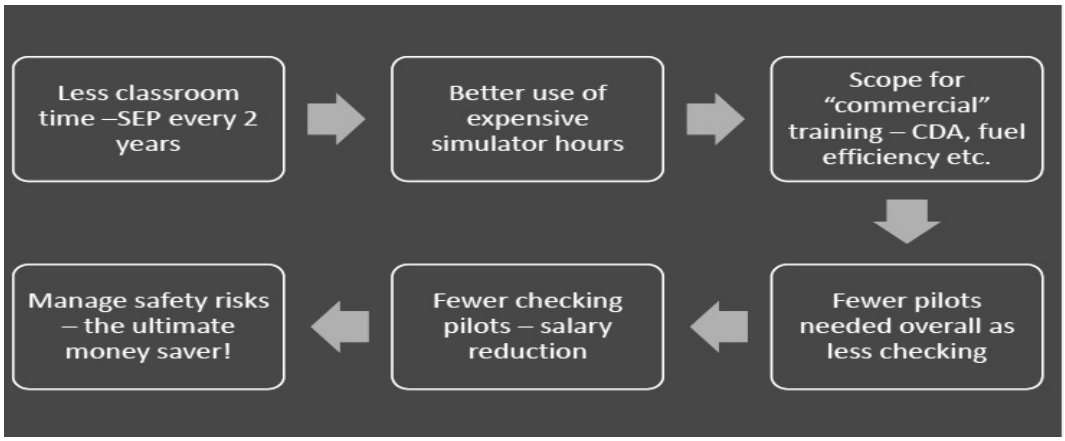
- 옥스퍼드 에비에이션 아카데미의 친환경 조종사 훈련 프로그램도 3단계에 걸쳐 진행됨
- 첫 단계에는 연료 절감에 대한 목표를 밝히고, 모든 운항 승무원들의 행동 변화가 필요함을 설명하고 다음 단계에서는 항공기의 연료 효율성이 더 좋아지기 위해서 어떻게 운영해야 하는지를 운항 승무원이 인식하도록 구체적인 이론과 실습을 수행하며, 마지막으로는 프로그램을 적용하는데 있어 발생할 수 있는 문제들을 해결하고, 실제 훈련에 적용해 보고 확인해 보고 있음



<그림 4-3> 옥스퍼드 아카데미의 에코조종훈련 단계별 훈련방법

○ 플라이비(Flybe) 항공사 등 몇몇 항공사에서는 ATQP(Airline Training Qualification Program)을 도입하여 연간 평균적으로 행해졌던 항공사 자체심사를 약 500여회에서 절반 수준인 250여회로 줄였으며, 비용효율적인 훈련 프로그램으로 훈련비용을 크게 감소시킴

- 또한 CDA, 연료효율 관련 훈련을 실시하여 연료사용량 절감능력이 다소 떨어지는 조종사는 급여를 삭감할 계획을 가지고 있음



<그림 4-4> ATQP 방식의 훈련실시에 따른 잠재적 이익

다. 의미 및 시사점

○ 현재 국내 항공사에서 활용하고 있는 비행훈련용 플라이트 시뮬레이터는 해외에서 전량 수입되고 있으며, 연간 막대한 운영비용을 부담하고 있음

○ 우리나라의 강점인 IT기술을 접목하고, 국내 독자 기술로 감축수단별 연료 절감량 산정기술을 융합한 에코플라이트 시뮬레이터 개발하여 국내 항공사에 공급한다면, 외화 지출 감축의 파급효과가 클 것으로 예상됨

3. 국내외 기술 동향

가. 에코플라이트 시뮬레이터 기술 개요

1) 에코플라이트 시뮬레이터 개념

○ 에코플라이트 시뮬레이터란 기존 모의비행장치(Full Flight Simulator)와 비행훈련장치(Flight Training Device)의 기능은 그대로 유지하면서 저탄소 경제운항 절차를 실현할 수 있도록 조종사 교육훈련 목적으로 개발되는 장치

○ 에코플라이트 시뮬레이터를 별도로 개발하여 사용하는 곳은 현재 없으며 대부분 기존 FFS나 FTD 장비를 활용하여 경제운항절차 훈련을 진행 중

2) 에코플라이트 시뮬레이터 세부 개념

○ 기존 모의비행장치 및 비행훈련장치의 주목적인 조종사 비행훈련 기능은 그대로 유지시키며 추가적으로 조종사의 경제운항절차 체화를 목적으로 별도 하드웨어인 전자비행가방(Electronic Flight Bag, EFB)을 장착하여 온실가스 감축을 위한 에코 기능을 함께 구현하는 기술

○ 주요 개발기술

- 하드웨어 조립 및 제작기술
- 인터페이스 보드 설계기술
- 비행훈련용 소프트웨어 개발기술
- 에코모드 구현기술
- 비행단계별 연료사용량 산정기술
- 인가취득 기술

○ 에코플라이트 시뮬레이터는 별도 종류로 구분되어 사용하지 않고 있으며 일반 플라이트 시뮬레이터를 활용하고 있음. 일반 플라이트 시뮬레이터는 크게 비행훈련장치(Flight Training Device)와 모의비행장치(Full Flight Simulator)로 구분

○ 비행훈련장치는 가~라급으로 분류되며, 지정기준은 FAA AC120-45A에서 정한 4~7등급을 그대로 준용, 모의비행장치는 1~3등급으로 분류하며, 지정기준은 FAA AC120-40B 및 AC120-63에서 정한 B~D등급의 기준을 준용

<표 4-7> 비행훈련장치 국내 지정허용범위

구 분 (국내기준)		지 정 허 용 범 위
비행훈련장치	가 급	(1) 계기비행 및 비행절차 훈련 (2) 항공기운항절차 및 시스템에 대한 훈련 및 심사 (3) 계기비행경험 및 심사(허가를 받은 경우)
	나 급	
	다 급	
	라 급	

<표 4-8> 모의비행장치 국내 지정허용범위

구 분	지 정 허 용 범 위
1등급 모의비행장치	(1) 비행훈련장치의 범위 (2) 당해 기종의 최근비행경험 (3) 야간이착륙훈련
2등급 모의비행장치	(1) 제1종의 범위 (2) 초기, 전환 및 승격훈련 (3) 특수훈련 (예 : 노선적응훈련) (4) 실기검증 및 심사
3등급 모의비행장치	(1) 제2종의 범위 (2) 모든 훈련(CAT-III, 국지비행 훈련 등) (3) 항공기로 경험 또는 심사를 받아야 하는 과목 외 모든 심사

나. 국내 기술 동향

○ 현재 국내에는 에코 기능을 포함한 모의비행장치 및 비행훈련장치가 개발되어 있지 않은 상황

- 하지만 항공사 별 온실가스 감축 조종기술을 고안하여 조종사에게 사용하도록 권장하고 있는 상황
- 국내 대부분의 항공사 정책이 '안전' 위주로 되어있고, 경제운항절차에 대한 교육훈련 커리큘럼 및 실라버스(syllabus)상에 온실가스 감축 조종기술 훈련 사항을 포함시켜 놓고 있지 않았고 체계적인 감축 기술에 대한 교육훈련이 별도로 이뤄지지 않고 있음

○ B737, B747, B767 등 항공기 시뮬레이터 개발기술

- 국내 누리항공은 비행훈련장치 급인 FTD(Flight Training Device) 및 절차훈련용으로 사용 중인 IPT(Integrated Procedure Trainer)의 다양한 기종을 제작한 기술력 보유
- LCD 프로젝트 및 120” 스크린 또는 평면형 스크린(3채널) 구현 기술
- 영상 데이터베이스 및 영상 효과/지형 데이터베이스 개발 기술
- 미국 FAA Pan Am Academy에 국내 기술로 제작한 B737, B767 납품 실적 보유



<그림 4-5> 누리항공에서 개발한 B767 IPT

○ F-15, T-50, CN-235, C-130 등 항공기 시뮬레이터 개발

- 국내 도담시스템은 모의비행장치 급인 CN-235 기종의 FFS(Full Flight Simulator)와 T-50 기종의 비행훈련장치 급인 FTD 및 C-130 기종의 조종석 절차훈련용 CPT, IPT의 제작 기술력 보유
- C-130H CPT는 한국 공군에서 운용중인 수송기의 조종사 기본 비행절차 숙달훈련 시뮬레이터로서 작전수행 능력을 향상시키고 비정상 상황에 대한 신속한 인지 및 정확한 처치를 위한 지상훈련장비

○ 국내 모의비행장치 및 비행훈련장치의 인가 기술력 보유

- 국내 도담시스템, 그리드 시스템 등은 모의비행장치 및 비행훈련장치급의 시뮬레이터를 개발하여 국내 인가취득 기술력 보유

○ C-130H CPT 단독

○ 영상발생기(IG) 및 조종반력장치(GLS)의 적용기술

○ CPT 장비에 국내 최초로 콜리메이트(Collimated) 영상 디스플레이 시스템 적용기술 보유

다. 국외 기술 동향

1) 에코플라이트 시뮬레이터 운용사례

○ 플라이트 시뮬레이터에 에코 기능을 추가하여 개발한 곳은 현재 없음

○ 항공사에서 보유한 모의비행장치 혹은 비행훈련장치를 활용하거나 지상교육훈련을 통해, 또는 실제 항공기를 통한 경제운항절차를 시행 중

○ 항공사 별 경제운항절차 운용사례

- 싱가포르 항공청(Civil Aviation Authority of Singapore)은 싱가포르와 로스앤젤레스 구간에 그린 플라이트 시험비행을 실시하여, 약 30분의 시간절약과 약 33톤의 탄소배출량 절감효과를 거둠
- 이베리아 항공(Iberia Airlines), 스페인의 공항/교통관제국인 AENA 그리고 운송기술협회인 INECO는 마드리드-Barajas 공항에서 총 620회에 걸친 녹색접근(Green Approach, CDA) 실험을 했음
- 이 실험의 결과로 약 25% CO_2 감소와 연료소모량의 감소효과 및 소음 또한 분명한 감소효과를 보였음
- 버밍험 공항에서 스마트 비행기술인 CDA(Continuous Descent Approach)로 버밍험 공항과 버밍험 공항으로 입항하는 항공사들이 지난 12개월 동안 13,000톤의 CO_2 감축효과를 기록
- 미국 아메리칸 항공의 단발엔진 유도로 활주만을 활용, 연간 1,500만 리터를 절감

2) 모의비행장치(Full Flight Simulator)급 개발 기술

○ CAE, Lockheed Martin, Thompson Training, Mechtronix 등에서 항공운송사업용 항공기의 모의비행장치(FFS)급을 개발하여 전 세계 항공사 납품

○ 미국 FAA FFS 인가기술 보유(FFS Level A~D)

- 국내등급은 미국 FAA Level B~D 기준을 준용, 1급~3급으로 나뉨

3) 비행훈련장치(Fixed Training Device)급 개발 기술

○ Elite, Frasca, Entrol 등에서 항공기 비행훈련장치(FTD)급을 개발

○ 미국 FAA FTD 인가기술 보유(FTD Level 1~7)

- 국내등급은 미국 FAA Level 4~7 기준을 준용, 가~라급으로 나뉨

4) 소프트웨어 기본 플랫폼 ESP SDK 개발 기술

○ Microsoft Flight Simulator X을 개발한 Microsoft에서 시뮬레이터 소프트웨어 제작자 기본 툴인 ESP SDK 개발하여 개발자 라이센스 판매 중

5) 소프트웨어 기본 플랫폼 PREPAR3D 개발 기술

○ Lockheed Martin의 자회사인 Sim Industries에서 자사 모의비행장치 S/W의 기반이 되는 개발자용 PREPAR3D를 개발, 개발자 라이센스 판매 중

6) 시뮬레이터 급 전문 제작사

○ CAE inc.(캐나다)

- CAE는 전 세계적으로 45개 지점을 통해 연간 10만 명 이상의 조종사를 훈련시키고 있음
- CAE는 1947년에 설립되었고, 캐나다에 본사를 두고 있으며 190개국이 넘는 곳에 고객사를 보유 중
- CAE는 또한 100개 이상의 항공사, 제조사 및 훈련 기관에 900대 이상의 모의비행장치(FFS) 및 비행훈련장치(FTD) 판매
- CAE 5000 및 7000 같이 운동시스템을 완벽 구현할 수 있는 기술력을 보유 중
- CAE는 CAE Korea라는 한국법인을 설립하여 현재 김포산업단지에 조종사 훈련센터를 설립하였고 국내 저비용항공사 한 곳(이스타항공)과 훈련 계약을 맺고 진행 중

○ Sim Industries inc.(네덜란드)

- 심 인터스트리는 록히드 마틴 社의 자회사로서 항공산업용 모의비행장치 (FFS) 디자인의 새로운 표준을 제작하는 기술력을 보유하고 있으며, 심 인터스트리

에서 제작하는 모의비행장치(FFS)는 국제 표준 혹은 국제 표준 이상 수준의 LEVEL D 시뮬레이터를 제작할 수 있는 기술력을 가짐

- Sim Industries는 Sim Industries Korea(Lockheed Martin Korea)라는 한국법인을 설립하여 현재 인천국제공항공사 인재개발원 내 훈련센터를 설립하여 국내 저비용항공사 세 곳(에어부산, 티웨이항공, 제주항공)과 훈련 계약을 맺고 진행 중

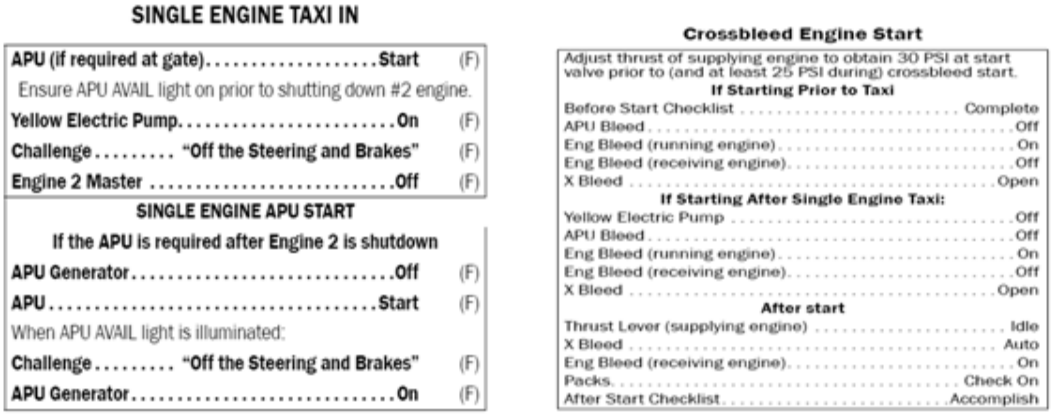
7) 국외 연구 사례

○ 시카고 오헤어 공항은 '오헤어 현대화 프로그램(O'Hare Modernization Program, OMP)을 실시하여 프로그램에 가입된 항공사에게 온실가스 감축기술 실천을 권고 하고 있음

- 프로그램의 내용은 첫째로 단발엔진 유도로 활주, 둘째는 게이트와 활주로 간 견인차를 사용한 유도로 활주방법이며, 셋째는 높은 속도로 유도로 활주하는 방법 등이 있음
- 실 예로, 이베리아 항공은 시카고 공항에서 4개의 엔진이 장착된 에어버스 사의 A340 기종을 사용함. 이 항공기의 조종사는 착륙 직후 활주로를 벗어나자마자, 4개중 2개의 엔진을 끄고 지상 활주를 하며, 착륙 후에 활주하여 게이트까지 걸리는 시간이 대략 9분 정도인 것을 감안하여 계산해보면, 이베리아 항공은 A340-300 항공기에서는 3,52lbs(160kg)의 연료절약을 A340-600 항공기에서는 약 5,24lbs(238kg)의 연료절약을 할 수 있었음
- 유도로 활주 중에 한 개의 엔진을 끔으로서, 이베리아 항공은 지상에서의 연료소모율과 탄소가스 배출량을 약 20%에서 40%가량 줄일 수 있었으며, 단발엔진 유도로 활주는 또한 조종사의 기량과 항공기 종류에 따라 질소 배출량을 약 10%에서 30% 가량 감소시킬 수 있었음
- 이 프로그램에는 현재 알래스카항공, 아메리칸항공, 일본공수항공, 아틀란틱 익스프레스젯, 이베리아항공, 브리티쉬에어 카고, 델타항공, 칼리타항공, 핀에클 및 유나이티드항공 등이 가입되어 있음
- 미국의 젯블루(Jetblue) 항공사는 온실가스 감축을 위한 조종사의 기술수단을 도입하여 단순 권장사항에 그치지 않고 단발엔진 유도로 활주(single engine taxiing)를 표준운영절차(Standard Operating Procedure)에 포함시켜 사용 중

• 두 개의 엔진 중, 왼쪽 엔진 한 개만 작동시킨 채 이륙 전, 착륙 후, 유도로 활주 시 사용하고 있으며, 현재 이 운영절차를 도입하여 A320 항공기는 88%, E190 기종은 95% 실행 중에 있음

- 연료 절감정책의 일환으로 Cost Index 값을 50에서 35로 줄여 경제적 운항을 한 결과, 편당 평균 188 파운드의 감축효과를 가져왔음



SINGLE ENGINE TAXI IN

APU (if required at gate)	Start	(F)
Ensure APU AVAIL light on prior to shutting down #2 engine.		
Yellow Electric Pump	On	(F)
Challenge	"Off the Steering and Brakes"	(F)
Engine 2 Master	Off	(F)

SINGLE ENGINE APU START

If the APU is required after Engine 2 is shutdown

APU Generator	Off	(F)
APU	Start	(F)
When APU AVAIL light is illuminated:		
Challenge	"Off the Steering and Brakes"	(F)
APU Generator	On	(F)

Crossbleed Engine Start

Adjust thrust of supplying engine to obtain 30 PSI at start valve prior to (and at least 25 PSI during) crossbleed start.

If Starting Prior to Taxi

Before Start Checklist	Complete
APU Bleed	Off
Eng Bleed (running engine)	On
Eng Bleed (receiving engine)	Off
X Bleed	Open

If Starting After Single Engine Taxi:

Yellow Electric Pump	Off
APU Bleed	Off
Eng Bleed (running engine)	On
Eng Bleed (receiving engine)	Off
X Bleed	Open

After start

Thrust Lever (supplying engine)	Idle
X Bleed	Auto
Eng Bleed (receiving engine)	On
Packs	Check On
After Start Checklist	Accomplish

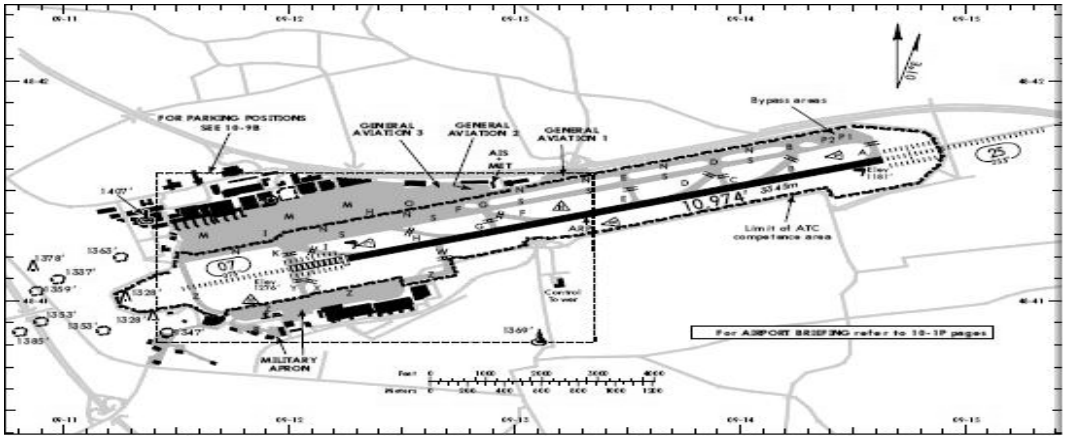
<그림 4-6> 젯블루(Jetblue) A320 CHECKLIST

○ A320 기종의 조종기술 수단별 비교

- 표본 집단 구성
  - 총 비행시간: 평균 903시간
  - 한정자격 비행시간: 평균 369시간
  - 조종사 평균나이: 27.75세
  - 20명의 조종사 모두 동일한 비행 훈련 기관을 수료하고 에어버스사의 표준운항절차에 따라 A320 한정자격을 갖춘 20명의 조종사를 표본으로 선발하여, 두 개의 그룹으로 나눔
- 사용 장비
  - A320 모의비행장치(Full Flight Simulator)에서 실시
  - 실제 항공기 대신 모의 비행 장치에서의 연구목적은 기상을 표준조건 및 예견 가능한 변화로 설정할 수 있고, 연료소모가 없다는 점에서 사용
- 연구조건
  - 기상조건: 온도 15℃, 바람과 구름이 없는 날씨로 설정
  - 무게조건: 항공기 무게는 각 65,000kg으로 설정

- 공항조건: 독일 Stuttgart 공항
- 시나리오: 공항 게이트에서부터 활주로 진입 대기선까지로 설정

- 연구방법
  - 20명의 A320 조종사를 두 개의 집단으로 나눠 A집단에는 기존 에어버스사의 표준 운항절차(공항 게이트에서 푸쉬백이 이뤄질 때, 두 개의 엔진을 모두 작동시킴)에 따라 조종하도록 하고, B집단은 왼쪽 한 개의 엔진만 작동시킨 채, 활주로 앞 진입 대기선까지 이동
  - 엔진 작동(A 집단: 2개 엔진, B 집단: 1개 엔진) 후, 유도로 M, I, N과 A를 지나 25번 활주로까지 이동을 허가 받음



<그림 4-7> 독일 Stuttgart 공항 도표

- 연구결과
  - 에어버스 A320 표준 운항 절차대로 유도로 활주를 한 A집단의 연료 사용량은 약 -125kg이었고, 한 개의 엔진만 사용하며 유도로 활주를 한 B집단의 연료 사용량은 약 -64kg이었음
  - 한 개의 엔진을 절약할 경우, 평균적으로 연료 소모가 분당 약 5.8kg 절약이 가능하며, 마드리드 공항, 암스테르담 공항, 파리 공항 같이 지상 활주에 걸리는 평균시간이 최소 20분인 점을 감안하면, 비행 편당 최소 116kg을 절약 가능

- 문제점 도출
  - 본 연구를 통해, 새로운 절차와 복잡성 자체와 운항 승무원의 익숙하지 않음에 따른 정신적 요구(Mental Demand)가 많이 필요할 것이라는 문제점 발생

• 환경적인 측면을 강조한 것에 따른 압박감으로 인해 본 절차에 대한 무리한 시행조치는 안전적인 문제에 취약할 수 있다는 문제가 도출

○ 대상 명: 에코 안전 플라이트 시뮬레이터(이하, Eco Safety FTD)

- 장치구분: 비행훈련장치(Flight Training Device) 형식
- 기종선정[107]: Boeing B737-800(1), Airbus A321(1)
- 개발기간: 24개월
- 개발예산: 60억 원
- 개발방법
  • 모의비행장치에서 운동시스템만 제외한 비행훈련에 필요한 모든 기능을 포함
  • 소프트웨어 제작은 기존 모의비행장치(FFS)의 내장 소프트웨어에 대한 라이센스를 구매하여 필요기능 추가 및 변경하여 개발
  • 하드웨어 제작은 실제 항공기 동일 크기로 제작하고 내부는 모의비행장치급으로 설계, 제작하며 조종석 및 교관석을 포함하여 연구석 공간을 제작하여 필요한 데이터를 실시간 출력 가능

라. 의미 및 시사점

○ 항공기 시뮬레이터는 이미 국외 항공기 제작사에서 직접 개발되고 운영이 된 시스템으로서, 이미 완성되고 안정된 기술을 기반으로 발전되어 가고 있으며, 점차적으로 국내 항공운송사업 시장 및 항공종사자 수요가 증가하고 있는 추세로 단순 국외 개발제품의 구매가 아닌 국내기술 개발 필요성이 있음

○ 전 세계적으로 에코 기능(경제운항절차 훈련 목적)이 포함된 시뮬레이터는 개발된 사례가 전무하며, 에코 기능으로 구현하고자 하는 것이 항공기 감항

107) 장치 선정기준 (항공사별 보유기종 현황(2013, 교통안전공단))

항공사 명	보유기종	보유수량	비 고
대한항공	B737-8/900	41대	대한항공 등 총 6개 항공사에서 B737 기종을 운항에 사용 중이며, 아시아나항공 등 2개 항공사는 A320 기종을 사용 중 ※ 실제로 대한항공에서는 신입 부기장 입사 후 B737NG 기종을 최초 1~2년간 운항경험한 후 타 기종으로 전환을 시키고 있으며 아시아나항공에서는 신입 부기장 제트전환(Jet Transition) 훈련용으로 B737 비행훈련장치 활용 중
아시아나항공	A320/321	33대	
진에어	B737-800	8대	
제주항공	B737-800	12대	
에어부산	B737-4/500	2대	
	A320/321-200	4대	
이스타항공	B737-6/7/800	8대	
티웨이항공	B737-800	5대	

성이나 안전에 지장을 주지 않는 별도의 디스플레이를 제작사가 지정한 위치[108]에 추가 설치함으로써 안전성을 저해하지 않은 상태에서 별도 디스플레이를 통해 제공되는 시각정보를 가지고 연료 효율적 비행 체화훈련 받을 수 있도록 개발하여야 함

마. SWOT 분석

○ 에코모드 기능을 탑재한 에코플라이트 시뮬레이터는 국내외 개발사례가 전무하며, 우리나라의 강점인 IT기술을 접목하여 독자기술로 개발한다면, 항공유가의 상승으로 경상비가 부담임

- 항공사에 경제운항절차의 효율적인 훈련시뮬레이터를 제공함으로써 국내 및 해외시장 진출 가능성이 큼

○ 현재로서는 항공기 성능데이터에 대한 신뢰성 부족과 모션기능이 있는 모의비행장치에 비행훈련의 한계성은 있으나, 기본적인 비행훈련에 추가하여 경제운항절차 훈련이 가능하므로 저비용 예산으로 비행훈련과 경제운항훈련이 가능한 시뮬레이터 개발로 추진하여야 함

○ 항공사의 에코플라이트 시뮬레이터에 대한 필요성은 높은편이나, 법정훈련 시간으로 인정받기 위하여 국토부 등 관계기관의 인가가 필요하며, 개발 단계에서 법정 교육시간으로 인정받을 수 있도록 하드웨어와 소프트웨어 개발이 병행되어야 함

108) B737 항공기의 경우, 구매 옵션사항으로 전자비행가방(Electronic Flight Bag, EFB)을 별도 제공하고 있으며, 설치 위치는 기장석(왼쪽)의 좌측, 부기장석(오른쪽)의 우측에 위치한 산소마스크가 장착된 지점 바로 뒷지점에 설치를 하게 됨

<표 4-9> SWOT 분석

에코플라이트 시뮬레이터 개발	O(기회)	T(위협)
	- 국내 및 해외시장 진출 가능성 - 에코모드 기능 탑재한 시뮬레이터의 국내/외 개발사례 전무	- 수요층의 불확실성 - 기존 FTD와의 차별성 부족 - 법정훈련시간의 불인정
S(강점)	SO전략	ST전략
- 항공운항 부분에서의 경제운항절차 효율적 훈련가능 - 항공사의 강한 필요성 인지도 - 저가의 시뮬레이터 개발비용	- 경제운항절차의 효율적인 훈련을 특화시켜 해외시장 진출 - 低價 개발비용으로 향후 다수 기종 개발 가능	- 시뮬레이터의 인가 및 법 개정을 통한 법정훈련 시간 인정으로 수요층 확대 - 항공사, 조종훈련생 및 일반인을 대상으로 한 에코조종훈련 프로그램 개발로 수요층 확대
W(약점)	WO전략	WT전략
- 모의비행장치 보다 구현가능 훈련의 한계성 - 지속적인 관리 필요 - 항공기 성능데이터에 대한 신뢰성 부족	- 모의비행장치에서만 가능한 훈련사항 (예, 이/착륙, 기동훈련 등)을 제외한 훈련을 특화시킴 - 개발단계에서 국내 항공사를 참여시킴으로 실 항공 데이터를 활용	- IATA 연료감축기술 중 항공운항 분야에 해당하는 절차를 모두 포함한 차별성 강조 - 관련법 개정이 되지 않는다면, MPL과정용 혹은 항공사 절차훈련기 용도로 활용

4. 기술수준 분석

가. 국내 기술수준 분석

<표 4-10> 에코플라이트 시뮬레이터 기술 분야의 기술수준

단위 : %

핵 심 기 술	비중	기술 수준	세부 기술	비중	기술 수준
에코플라이트 시뮬레이터 제작 기술	30	56	시뮬레이터 조립, 제작기술	60	60
			인터페이스 보드 설계기술	40	50
비행훈련용 소프트웨어 개발 기술	35	29	에코모드 및 기능 구현기술	55	20
			기종별 세부 훈련기능 구현 기술	45	40
연료절감 분석 소프트웨어 개발 기술	35	37	비행구간별 연료사용량 분석기술	65	30
			감축수단별 연료 절감량 시현 기술	35	50
전체기술수준			39.9		

주 : 전문가 자문을 바탕을 재구성

나. 국외 기술수준 분석

<표 4-11> 에코플라이트 시뮬레이터 기술 분야의 기술수준

기관/ 업체 명	개발 기종	인가 기술력	인가등급	항공운송사업 항공기용 완제품 개발이력
CAE	A320, A330, B737, B777, B747 등 다수 개발	○	FTD, FFS	○ (B737NG 기종 등)
Sim Industries		○	FTD, FFS	○ (B737NG 기종 등)
Mechtronix		○	FTD	○ (B737NG 기종 등)
Entrols		○	FTD	○ (B737NG 기종 등)
Elite		○	FTD	○ (B737NG 기종 등)
Flight Safety		○	FTD, FFS	○ (B737NG 기종 등)

○ 미국, 캐나다 및 유럽에서는 B737 및 A320 항공기 기종에 대한 모의비행장치, 비행훈련장치의 완제품 제작기술력과 FTD, FFS 인가기술력을 모두 보유

제 2 절 연구개발과제 구성 및 추진전략

1. 비전 및 목표

○ 에코플라이트 시뮬레이터 기술 개발

- 항공기 온실가스 감축을 위한 에코플라이트 시뮬레이터 제작 및 내장 소프트웨어 기술 개발

2. 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표

○ 핵심기술요소(CTE) 도출

<표 4-12> 핵심기술요소 후보

No.	CTE명
후보1	에코플라이트 시뮬레이터 제작기술
후보2	비행훈련용 소프트웨어 개발 기술
후보3	시너리 구현기술
후보4	에코모드 및 기능구현 기술
후보5	연료절감 분석 소프트웨어 개발 기술

<표 4-13> 핵심기술요소 선정

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	○	○	○	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?						하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	○	○			○	
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발 시 변경된 기술인가?						
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?	○	○				
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?					○	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	○	○	×	×	○	

<표 4-14> 핵심기술요소 목록

CTE	유형	CTE명	최종 TRL
1	시스템	에코플라이트 시뮬레이터 제작 기술	TRL 9
2	시스템	비행훈련용 소프트웨어 개발 기술	TRL 9
3	소프트웨어	연료절감 분석 소프트웨어 개발 기술	TRL 9

<표 4-15> 기술성숙도(TRL) 단계별 목표

연구과제명	에코플라이트 시뮬레이터 개발	유형	

프레임워크	선행단계	시제품 제작 및 시연	현장적용	제품화/실용화

마일스톤	현재 TRL	마일스톤 목표 TRL			
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도 (종료)
마일스톤 일정	2014	2018	2019	2020	2021
CTE No. / **기술명**					
CTE 1 에코플라이트 시뮬레이터 제작 기술	TRL 1	TRL3	TRL 5	TRL 7	TRL 9
CTE 2 비행훈련용 소프트웨어 플랫폼 개발	TRL 2	TRL 6	TRL 7	TRL 9	
CTE 3 연료절감 분석 소프트웨어 개발 기술	TRL 1	TRL3	TRL 5	TRL 7	TRL 9

3. 세부과제 주요내용 및 추진전략

가. 세부과제 주요내용

○ 모의비행장치에서 운동시스템만 제외한 비행훈련에 필요한 모든 기능을 포함

- 소프트웨어 제작은 기존 모의비행장치(FFS)의 내장 소프트웨어에 대한 라이센스를 구매하여 필요기능 추가 및 변경하여 사용함
- 하드웨어 제작은 실제 항공기 동일 크기로 제작하고 내부는 모의비행장치 급으로 설계, 제작하며 조종석 및 교관석을 포함하여 연구석 공간을 제작하여 필요한 데이터를 실시간 출력 기능을 추가

○ 핵심부품 등은 제작사 등에서 인가된 제품 사용

- 기존 모의비행장치 및 비행훈련장치와 동일한 훈련성과를 위해 최소 필요 핵심부품을 수요자(항공사 등) 요구파악 후 선정하여 사용
- 핵심부품의 정의는 일반 시뮬레이터 부품과 다르게 조종사 교육훈련 시 실제 비행과 감도 차이 등의 이유로 인증된 부품과 차이가 나는 부품 대체 사용 시에 악영향을 끼칠 가능성이 있는 부품으로 규정
- 운항승무원의 의견수렴을 통해 핵심부품을 다음과 같이 선정
  - 쓰로틀 쿼드런트(Throttle Quadrant)
- 추력장치(Thrust), 고항력장치(Flap, Speed Brake), 제동장치(Brake) 조종, 연료차단/공급 장치(Fuel Shut-off valve), 트림(Trim) 조종 등이 포함되어 있으며 조종사들이 가장 많이 사용하는 부분 중의 하나



<그림 4-8> 항공기의 쓰로틀 쿼드런트(좌:A320, 우:B737)

○ 주 조종 장치(Control Wheel)

- 주 조종 장치는 항공기의 가로축(Lateral axis, Pitch control)과 세로축(Longitudinal axis, roll control)을 조종하는 장치로 이·착륙 시는 물론 자동비행장치 모드 외 비행 상황에서 항공기를 조종하는 장치



<그림 4-9> 항공기의 주조종장치(좌:A320, 우:B737)

○ 비행관리컴퓨터(Flight Management Computer)

- 비행관리컴퓨터는 조종사가 출발 전, 도착 전 및 순항단계 등에서 이·착륙 속도정보(V1, Vr, V2 및 Vref)을 계산하는 등의 기능을 가지고 있으며 조종사가 출발 전, 후 및 순항단계에서 가장 많이 쓰는 기능 중에 하나임



<그림 4-10> 비행관리 컴퓨터(좌: A320 FMGS, B737:FMC)

○ 비행모드 조정패널(Mode Control Panel)

- 이 패널에서는 항공기의 자동비행모드 실행, 종료를 설정하며, 추력장치의 자동모드(Auto Throttle - Arm/Disarm)여부를 결정 및 FMC 모드 혹은 MCP 모드로 비행여부를 선택할 수 있는 기능 등을 제공하며, 보통 자동비행장치 모드가 설정되었을 때 가장 많이 쓰는 장비 중에 하나임

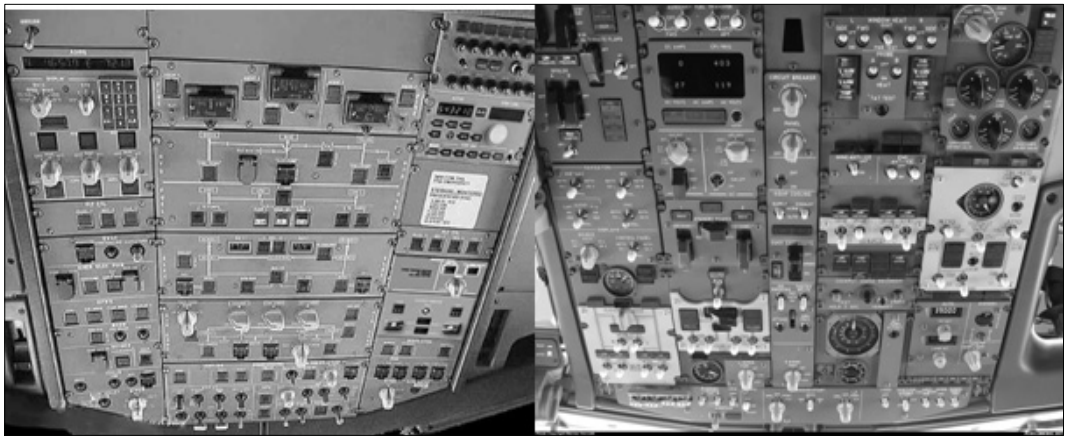


<그림 4-11> 항공기의 FCU와 MCP(상: A320 FCU, B737 MCP)

○ 오버헤드 패널(Overhead Panel)

- 오버헤드 패널은 유압(Hydraulic), 여압(Pressurization), 연료(Fuel), 전기, 해빙장치(Anti icing), 관성항법 장치(IRS) 등을 조정할 수 있는 패널이며, 보통 이륙 전, 후 및 비정상상황 발생 시 사용하는 패널로 스위치의 민감도가 조

종사 운항훈련에 방해를 초래할 수 있다고 판단하여 실제 항공기와 동일한 부품으로 사용



<그림 4-12> 오버헤드 패널 사진(좌: A320, 우: B737)

○ 에코플라이트 시뮬레이터의 기종은 국내 8개 항공사가 공통적으로 보유하고 있는 보잉사의 B737-800 기종과 에어버스사의 A321 기종으로 선정

○ 대한항공 등 총 7개 항공사에서 B737 기종을 운항에 사용 중이며, 아시아나항공 등 2개 항공사는 A320계열 기종을 사용 중에 있음

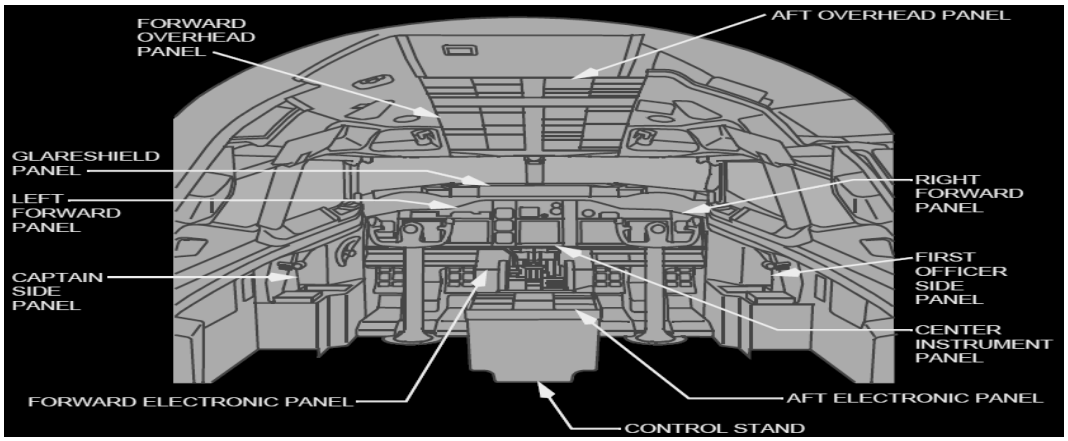
<표 4-16> 국내 항공사별 보유기종 및 조종사 현황

단위 : 명 / 대 수

구 분		항공기	기 장			부기장			계
			내국인	외국인	소계	내국인	외국인	소계	
대한항공	B747-400	38	175	115	290	228	20	248	538
	B747-800	2	27	0	27	22	0	22	49
	B777	34	320	114	434	334	34	368	802
	A380	6	84	0	84	75	0	75	159
	A330	23	156	73	229	180	14	194	423
	A300-600	3	12	0	12	8	0	8	20
	B737	40	251	37	288	271	19	290	578
	미분류	-	0	0	0	81	0	81	81
	소계	146	1,025	339	1,364	1,118	87	1,205	2,569
아시아나 항공	B747-400	14	107	34	141	133	10	143	284
	B777	12	102	22	124	124	4	128	252
	B767	8	51	6	57	55	0	55	112
	B737	2	15	0	15	6	0	6	21
	A320	31	168	32	200	209	11	220	420
	A330	12	66	22	88	97	0	97	185
	A380	-	0	0	0	0	0	0	0
	미분류	-	0	0	0	49	0	49	49
	계	225	1,534	455	1,989	1,742	112	1,854	3,843
제주항공	B737	12	62	1	63	67	1	68	131
진에어	B737	9	62	0	62	55	0	55	117
에어부산	B737	6	22	5	27	33	0	33	60
	A321	3	23	0	23	25	0	25	48
	미분류	-	0	0	0	10	0	10	10
	소계	8	107	5	112	113	0	113	225
이스타항공	B737	6	46	2	48	54	5	59	107
티웨이항공	B737	5	29	0	29	32	0	32	61
에어인천	B737	1	4	0	4	4	0	4	8
계		267	1,782	463	2,245	2,152	118	2,270	4,515

자료: 한국항공진흥협회 자료, 2012.12.31

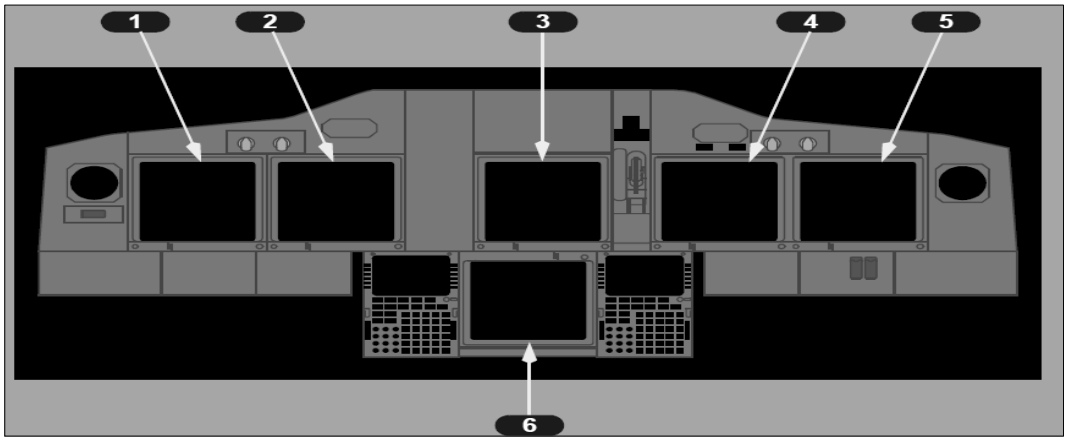
○ 실제로 대한항공에서는 신입 부기장 입사 후 B737NG 기종을 최초 1~2년간 운항경험한 후 타 기종으로 전환을 시키고 있으며 아시아나항공에서는 신입 부기장 제트전환(Jet Transition) 훈련용으로 B737 비행훈련장치 활용 중



<그림 4-13> 에코플라이트 시뮬레이터 내부 전체예상 배치도

○ 조종실

- 조종간, 각 계통의 스위치, 등이 실제 항공기와 동일하여야 함
  - 본 사항은 비행훈련장치 '다'급과 '라'급에 한하여 해당되지만 일부 핵심계통의 스위치는 실제 항공기용으로 사용



<그림 4-14> B737용 조종석 PFD/ND 디스플레이 예상 배치도



<그림 4-15> 에코플라이트 시뮬레이터 조종실 구현모습 (B737)

○ 계기배치와 장비작동

- 훈련과 검열에 필요한 계기, 장비, 각종 지시판넬, 시스템과 조작스위치 등은 조종실에 적절하게 배치되어야 하며, 이들의 작동과 조작은 항공기와 동일하여야 함

○ 조명

- 계기판과 장비작동에 필요한 조명이 충분해야 함

○ 회로차단기

- 회로차단기는 승무원이 정상 또는 비정상적인 상황에 필요한 절차에 따라 조작을 하는 경우에 정확하게 해당기능을 발휘하여야 함

○ 조종반응

- 비행 중에 항공기 자세, 추력, 항력, 고도, 온도 및 외장 등의 변화에 따른 조종반응을 포함하여 실제의 비행 중에 양력과 항력의 다양한 결합에 따른 조종반응이 나타나야 함
- 에코플라이트 시뮬레이터는 다등급과 라등급과 같이 중량과 무게중심(Center of Gravity)도 고려하여 설계함

○ 컴퓨터 용량

- 컴퓨터는 장비성능점검 및 평가를 포함하여 훈련 장치를 작동하는데 필요한 용량을 갖춤

○ 계기작동

- 승무원의 조종에 따라 관련된 모든 계기들이 해당 항공기와 같은 반응을 나타나야 함
- 본 사항은 비행훈련장치 '가'급은 해당되지 않지만, 조종 장치에 따른 관련 정보가 PFD, ND등에 구현되도록 함

○ 항법장비

- 해당 항공기 장비와 동일하게 작동하도록 개발하고 작동오차도 B737 항공기의 항법장비의 범위이내 있도록 개발함

○ 승무원 좌석

- 승무원좌석은 해당항공기의 설계된 시계 기준점과 일치하도록 개발

○ 좌석 수

- 좌석 수는 2개의 승무원 좌석 이외에 2개 좌석(교관석/정부검사관)을 제작하도록 하며, 이 좌석은 계기판과 전방의 시야가 시각범위 내에 오도록 개발

○ 시스템 작동

- 모든 시스템은 지상운항 및 비행 중에 항공기의 해당시스템의 작동과 동일하도록 하며, 각 시스템은 정상, 비정상 및 훈련 프로그램을 수행하는 비상절차가 항공기와 동일하게 작동하도록 설계

○ 교관좌석

- 조종석에서 필요한 시스템요소를 정상, 비정상 또는 비상조건으로 작동하도록 할 수 있어야 하며, 조종사의 조작반응이 표시되도록함



<그림 4-16> 교관석에서 조종사 교육훈련을 통제하는 모습

○ 조종간의 힘

- 항공기와 동일하게 조종간이 작동하고 조종간을 움직일 때 실제 항공기와 동일 수준의 힘 및 동일한 성능을 구현할 수 있도록 개발

<표 4-17> 비행훈련장치의 세부 항목별 성능기준

항 목			등 급				비 고
검사항목	허용치	비행단계	가	나	다	라	
가. 이륙							허용오차; 시간;±5% 거리;±200FT
(1) 지상가속시간	시간; ±5% 또는 ±1초,	지상/이륙			○	○	
(2) 항공기 제작사에서 제공한 이륙속도(Vmu) 또는 대등한속도	속도 : ±3kts 기수(pitch) : ±1.5°	지상/이륙				○	Vmu는 주바퀴다리가 활주로를 이륙할 때의 속도임
(3) 정상이륙	속도 : ±3 kts 피치 : ±1.5° 영각 : ±1.5° 고도 : ±20ft(6m)	지상/이륙과 1단계상승구간				○	
(4) 이륙시 주요 엔진고장	속도 : ±3 kts 피치 : ±1.5° 영각 : ±1.5° 고도 : ±20ft(6m) 경사각과 횡전각 : ±2°	지상/이륙과 1단계상승구간				○	
(5) 측풍착륙	속도 : ±3 kts 피치 : ±1.5° 영각 : ±1.5° 고도 : ±20ft(6m) 경사각과 횡전각 : ±2°	하나의 엔진으로 접근 및 상승				○	
나. 상승							

항 목			등 급				비 고
검사항목	허용치	비행단계	가	나	다	라	
(1) 정상상승 모든 엔진 작동	속도 : ±3kts 상승률 : ±5% 또는 ±100FPM(0.5MPS)	상승 중 모든 엔진 작동		○	○	○	비행검사자료 필요
(2) 하나의 엔진부 작동인 상태로 2단계 구간 상승	속도 : ±3 kts 상승률 : ±5% 또는 ±100FPM (0.5MPS), 국토교통부가 인가한 AFM의 상승율이상 유지.	하나의 엔진 부작동인 상태로 2단계 구간 상승				○	
(3) 항공기가 AFM의 인가된 icing상황에서 하나의 엔진이 부작동상태로 접근중 상승	속도 : ±3 kts 상승률 : ±5% 또는 ±100FPM(0.5MPS), 국토교통부가 인가한 AFM의 상승율 이상유지	하나의 엔진이부작동한 상태로 착륙 접근 중 상승				○	
다. 비행							
(1) 실속경고, 실속	속도;±3 kts 경사각;±2°	2단계구간 상승과 접근 또는 착륙				○	
(2) 실속경고 (실속경고장치 작동)	속도;±3 kts 경사각;±2°	2단계구간 상승과 접근 또는 착륙		○	○		
라. 제동정지 :							
(1) 활주로가 마른 상태에서 수동으로 제동을 적용 시에 제동 시간	시간 : ±5%. 또는 ±1초	착륙단계			○	○	라등급; 접지후 정지시 까지 소요시간 및 거리 측정(최소 80% 기록) RTO소요전거리
(2) 활주로가 마른 상태에서 제동시간 역추진 파워 사용	시간 : ±5%, 또는 ±1초	착륙단계			○	○	라등급; 접지후 정지시 까지 소요시간 및 거리 측정(최소80% 기록) RTO소요전거리
(3) 활주로가 젖은 상태에서 정지시간과 거리, 제동장치 사용	전형적인 정지소요시간 및 정지거리	착륙단계				○	국토교통부가 인가한 항공기교범(AFM)자료로 인정.
(4) 얼음이 있는 상태에서 정지소요시간 및 거리, 제동장치 사용	전형적인 정지소요시간 및 정지거리	착륙				○	국토교통부가 인가한 항공기교범(AFM)자료로 인정.
마. 엔진							
(1) 가속	시간 : ±10%	접근 또는 착륙		○	○	○	비행 중 최저 추력에서 복행 추력까지 검사.

항 목			등 급				비 고
검사항목	허용치	비행단계	가	나	다	라	
(2) 감속	시간 : ±10%	지상 또는 이륙		○	○	○	최대이륙파워로부터 10%로 줄어드는 시간 검사.

자료: 국토교통부 고시 제2009-883호 모의비행장치 지정기준 및 검사요령

○ 조종실 소음

- 승무원의 조작으로 발생하는 조종실 소음은 항공기와 동일하도록 함

○ 음향효과

- 정상운항을 하는 조종사에게 들리는 강수현상의 소리, wiper작동소리 및 기타 정상, 비정상 과 비상운항 중에 승무원에게 들리는 항공기의 잡음과 소음이 적절하게 있도록 함

○ 역추진효과

- 방향조종에 관한 역추진의 효과에 따른 항공역학적인 반응이 있도록 함

○ 시각시스템(Visual System)

- 비행훈련장치급에서는 시각시스템이 필수 요구사항은 아니지만, 에코플라이트 시뮬레이터는 현실감과 훈련 효과를 증대시키기 위해 조종석 외부 앞부분에 180도 영상판을 설치하도록 함

○ 운동시스템(Motion System)

- 에코플라이트 시뮬레이터는 비행훈련장치 급 규모로 개발되므로 운동시스템은 제외하도록 함

나. 세부과제 추진전략

○ 에코플라이트 시뮬레이터의 수요자인 정부와 항공사가 참여하고, 대형과제 체계개발 수행경험이 있는 정부출연연구소, 기업의 IT 기술 그리고 학계의 온실가스 관리 기반기술 등을 효율적으로 활용하는 컨소시엄을 구성하여 추진

○ 해외기술 자문이 필요한 경우는 CAE 또는 록히드마틴의 시뮬레이터 기술개발 전문가의 참여 유도, 공동연구 또는 컨설팅 추진

제 3 절 과제별, 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵

1. 기술분류체계(안)

가. 전체 현황

1차 분류	2차 분류	3차 분류
기후변화 대응 항공 온실가스 감축 기술	3개	6개

나. 1차 분류 및 2차 분류

1차 분류	2차 분류	
분류명	분류 번호	기술 분류명
에코플라이트 시뮬레이터 기술 개발 기획	1	에코플라이트 시뮬레이터 제작기술 개발
	2	비행훈련용 소프트웨어 개발
	3	연료절감 분석 소프트웨어 개발

다. 3차 분류

1차 분류	2차 분류		3차 분류	
분류	분류 번호	분류명	분류 번호	기술 분류명
에코 플라이트 시뮬레이터 개발 기술	1	에코플라이트 시뮬레이터 제작 기술	1-1	시뮬레이터 조립 제작기술
			1-2	인터페이스 보드 설계기술
	2	비행훈련용 소프트웨어 개발 기술	2-1	에코모드 및 기능 구현기술
			2-2	기종별 세부 훈련 기능 구현 기술
	3	연료절감 분석 소프트웨어 개발 기술	3-1	비행구간별 연료 사용량 분석기술
			3-2	감축수단별 연료 절감량 구현 기술

2. 성과로드맵

<표 4-18> 성과로드맵

	1단계 '18	2단계 '19	3단계 '20	4단계 '21	최종성과물	추진목표
에코플라이트 시뮬레이터	에코플라이트 시뮬레이터 제작기술 개발				에코플라이트 시뮬레이터	B737, A320 기종 시뮬레이터 개발
	세부 비행훈련용 소프트웨어 개발		에코 기능구현 기술 개발		비행훈련용 소프트웨어	선진 업체와 동일 성능을 보유한 에코모드 기능 구현
	비행구간별 연료 사용량 분석기술		감축수단별 연료 절감량 산정기술		연료절감 분석 프로그램	감축수단별 연료 절감량 산정기준 및 구현방안 도출

3. 기술정의서



<그림 4-17> 기술로드맵

<표 4-19> 기술로드맵

3차분류				
번호	기술분류명	기술정의	기술내용	기대효과
1-1	시뮬레이터 조립제작 기술	시뮬레이터의 내부 및 외부를 구성하는 하드웨어 조립기술	인가품 및 비인가품을 사용한 시뮬레이터 내.외관 조립기술	국내 시뮬레이터 제작 기술력으로 비행훈련장치(FTD)급 FAA 및 국내 인가
1-2	인터페이스 보드 설계기술	하드웨어-소프트웨어 간 통신용 인터페이스 설계기술	하드웨어-소프트웨어 제어를 위한 하드웨어 통신 인터페이스 기술 개발	
2-1	에코모드 및 기능 구현기술	에코조종교육모드 및 경제운항절차 기능 구현기술	에코조종 자동비행장치 모드 및 에코조종교육 가이드 구현기술	조종사의 경제운항절차의 효율적 훈련 가능
2-2	기종별 세부 훈련 기능 구현 기술	기종별 세부훈련 기능 구현기술	FTD로 실행 가능한 세부훈련 기능 구현기술	FTD급 훈련 활용성 향상
3-1	비행구간별 연료 사용량 분석 기술	비행구간별 연료사용량 산정기술	구간별 항력장치 및 추력장치 사용 등에 따른 연료사용량 산정기술	수요자의 항공운항 분야에서의 연료관리 및 감축 기술력 향상
3-2	감축수단별 연료 절감량 구현 기술	비행구간별 연료사용량구현기술	감축수단별, 비행구간별 연료사용량 그래픽 구현	

제 4 절 성과활용 방안

1. 연구 활용방안

○ 본 연구를 통해 확보된 기술은 조종사 기종훈련 시 사용되는 모의비행장치에 에코기능을 추가하여, 항공기 연료절감 및 온실가스 배출량 감소를 위한 조종사 훈련 및 경제운전교육에 활용할 예정임

○ 연료절감 분석 소프트웨어를 활용하여 조종사 교육 훈련 시 조종사 기량 습득뿐만 아니라 연료절감 조종술 교육도 병행 가능

○ 국내 비행훈련장치 인가를 받은 에코플라이트 시뮬레이터를 활용하여 부조종사(MPL, Multi-Crew Pilot Licence) 양성과정 도입 및 조종전문 인력양성에 활용

○ 비행단계별, 감축수단별 연료절감 분석 소프트웨어는 항로 최적화 등 다양한 감축활동에 따른 연료절감량 분석 연구를 통해 친환경 정책 수립에 활용

○ 에코플라이트 시뮬레이터 개발과제의 비행훈련용 소프트웨어 기술과 시뮬레이터 제작기술은 운송용 항공기 사고예방을 위한 상황인식 시뮬레이터 개발과제와 트렌드가 비슷하여 공통기술로 연계가 가능함

- 향후 본 과제 추진 시, 한국형 시뮬레이터 개발과제로 통합하고 첫 단계로 비행훈련용 소프트웨어와 제작기술을 개발하며 다음단계로 에코기능 구현과 상황인식 기능을 단계별로 개발 가능함

○ 온실가스 저감 방안 개발과 함께 다른 교통부문에서도 활용 가능하여 관련분야 기술 발전에도 기여

○ 최종성과물

- 에코플라이트 시뮬레이터
- 비행훈련용 소프트웨어
- 연료절감 분석 소프트웨어(시각화 부분에서의 2세부 연계 가능)

○ 연구최종성과의 실수요자 및 사용자

- 실수요자 및 사용자 : 항공사
  - 조종사 기종훈련과 병행하여 항공기 연료절감 및 온실가스 배출량 감소를 위한 경제운전 교육
- 실수요자 : 정부기관
  - 국내 비행훈련장치 인가를 받은 에코플라이트 시뮬레이터를 활용하여 부조종사(Multi-Crew Pilot Licence) 양성과정 도입 및 조종전문 인력양성을 위한 기초자료 제공
- 실수요자 : 연구기관
  - 에코플라이트 시뮬레이터 비행데이터를 이용하여 비행단계별, 감축수단별 연료절감 분석 및 항로 최적화 등 다양한 감축활동 분석을 위한 연구자료 제공

2. 기대성과

○ 기후변화에 따른 연료사용량 변화 및 엔진 성능에 따른 연료사용량 변화 측정이 가능, 항공사가 보다 효율적인 연료절감 계획 수립

○ 저비용 예산으로 개발하여 제작 및 운영비 절감효과

○ 단발엔진(Single Engine Operation, One engine inoperative) 유도로 및 활주로 진입 및 활주 훈련, 연속강하접근 및 저항력 플랩 사용의 효율적 사용 시기 등으로 연료절감은 물론 조종사의 비정상 상황을 대비한 활주로 침범(Runway Incursion)예방에도 성과 기대

제 5 절 사전타당성 검토

1. 정책적 타당성

가. 국가전략의 중요성 및 시급성

○ IPCC(2007)의 전 세계 온실가스 배출현황 자료에 따르면 전체 배출량 중 13% 부분이 수송부문에서 배출이 되고 있으며 수송부문에서 항공부문이 약 13%를 차지하고 있으며, 우리나라 온실가스 배출현황(2010)에는 수송부문이 14.8%이고 그 중 항공부문이 10.4%를 차지하고 있음

○ 연평균 5%로 항공여객 및 화물운송사업의 규모 및 수요가 증가하고 있으며, 정부 차원의 온실가스 관리가 시급한 상황

○ 국내 항공사 중 항공기 보유대수가 가장 적은 항공사(5대 보유)도 경상비용의 50%에 육박하는 약 800억의 연료비용을 지출하고 있음

○ 대부분의 국내 항공사에서는 경제운항절차를 통한 연료절감 효과를 인지하면서도 항공안전과 충돌하는 문제 등으로 조종사에게 경제운항절차를 강요하지 못하고 있는 실정이며 실제로 조종사 훈련 시 온실가스 감축기술 적용훈련을 실시하지 않고 있으며 단순 권고 혹은 신입 운항승무원 등을 대상으로 이론교육만 실시하고 있음

나. 상위 계획과의 부합성

○ 저탄소 녹색성장 전략

- '저탄소 녹색성장(Low Carbon, Green Growth)' 전략은 환경위기와 자원위기에 직면한 상황을 극복하고 지속가능한 미래 선진 국가실현을 위하여 '08년 8월 국무총리실 주관으로 수립됨

○ 제1차 항공정책 기본계획

- 2009년 수립된 항공정책기본계획[109]의 분야별 5가지의 세부 추진과제(항공운송의 글로벌 경쟁력 강화, 효율적인 공항체계 구현 및 운용, 사전 예방적 안

전관리와 항공보안 선진화, 항공 산업의 다양화 및 전문 인력의 체계적 육성, 국제위상 강화 및 이용자 중심의 친환경 정책 촉진) 중 국제위상 강화 및 이용자 중심의 친환경 정책 촉진에서 항공부문 저탄소 녹색성장 추진 사항 포함됨

- 세부 정책과제로 항공분야 저탄소 녹색성장 중장기 계획 수립, 항공부문 온실가스 배출량 관리시스템 구축, 항공부문 온실가스 자발적 배출량 감축협약 추진 사항이 포함됨

○ 자발적 협약 운영에 관한 지침

- 항공부문 온실가스 저감활동 촉진을 위한 자발적 협약 운영에 관한 지침(개정 2013.8, 항공기술과-1169) 제4조(협약기업의 대상범위)에서 대상 업체가 목표관리제 혹은 배출권거래제를 적용을 받는 대상 업체인 경우에는 국제선에 대해서만 적용하고, 제5조(목표 설정)의 2항에 “국제민간항공기구에서 제시한 연료효율 개선 2% 이상을 기준으로 제11조에 따른 항공분야 자발적 감축협약 협의회(이하 “협의회”라 한다)에서 정한다.“에 의거 매년 연료효율[110]을 2% 이상씩 개선해야 함

109) 항공정책기본계획은 항공법 상 항공운송, 공항, 항공안전 등 항공분야 전반을 종합하는 5년 단위 종합계획이며, 법적근거는 항공법 제2조의 5, 제2조의 6이며 계획기간은 2010년부터 2014년까지 5년간으로 함

110) “연료효율”이란 총 연료소비량을 총 유상여객실적(Revenue Tonne Kilo)으로 나눈 값을 말함

<표 4-20> 자발적 협약 운영에 관한 지침

지침조항	세부사항
제4조 (협약기업의 대상범위)	이 규정에 따른 협약은 「항공법」에 따른 국제 및 국내항공운송사업자(이하 “항공운송사업자”라 한다)에게 적용한다. 다만, 항공운송사업자가 「저탄소녹색성장기본법」에 따른 목표관리업체 또는 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」에 따른 배출권 할당 대상 업체인 경우에는 해당기업이 관할하는 국제선에 대하여 적용한다.
제5조 (목표 설정)	① 협약기간 동안에 적용되는 감축 목표는 기준연도 대비 연료효율의 개선치로 산정한다. ② 제1항에 따른 목표는 국제민간항공기구에서 제시한 연료효율 개선 2% 이상을 기준으로 제11조에 따른 항공분야 자발적 감축협약 협의회(이하 “협의회”라 한다)에서 정한다. ③ 제1항 및 제2항의 규정에도 불구하고 국내외 항공분야 기술여건, 연료효율 개선 추세 및 협약기업의 상황 등을 감안하여 협의회의 의결을 거쳐 따로 정할 수 있다.
제6조 (목표달성 측정기준)	협약 이행연도의 목표 달성여부는 협의회에서 결정한 기준연도의 연료평균 연료효율과 비교하여 측정한다.

자료: 국토교통부 항공기술과-2364, 2012.11

○ 조종사 법정 훈련요구 시간

- 국내 항공법에 따르면 보수를 받고 비행하기 위한 사업용 조종사의 최소 비행훈련시간은 200시간이며, 항공운송사업에 사용되는 항공기(2인 이상의 운항승무원이 필요한 항공기)등을 운항할 시에는 반드시 형식한정증명을 취득하도록 규정하고 있음
- 형식한정증명 자격을 취득하기 위해서 필요한 법정 훈련요구 22시간의 모의비행 훈련장치로 훈련을 받고 2시간 실기평가를 치룬 후 타 항공기(2인 이상의 운항승무원이 필요한 항공기 혹은 이륙중량 5,700kg 이상인 항공기)의 형식한정증명을 소지하지 않은 자는 실 비행기로 LOFT 훈련 및 빈 항공기로 접지 후 재이륙(Touch and Go)훈련을 해야만 형식한정자격증명을 취득할 수 있도록 되어있음

○ 건설교통 R&D 중장기 계획(2013~2017)

- 중장기 비전과 5가지의 추진전략 중 첫 번째인 ‘친환경 에너지·자원의 확보 및 효율적 이용’ 사항에 도시화, 산업화 진전에 따른 환경파괴와 에너지·자원

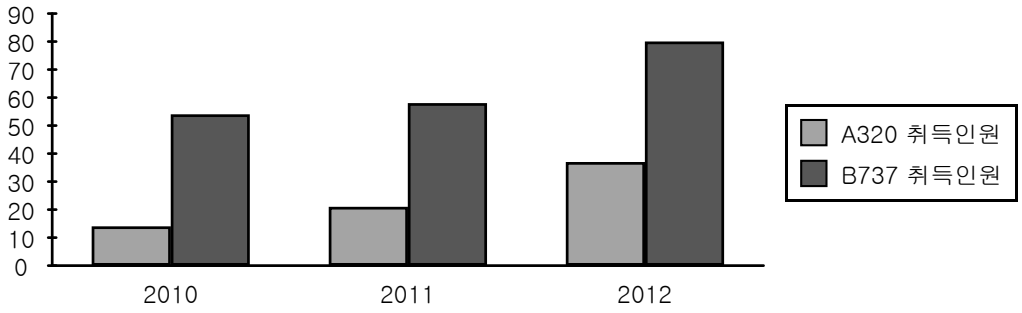
부족 심화 등에 대응하는 친환경 기술, 탄소저감 기술, 에너지·자원 확보 및 효율적 이용방안을 마련하여 안정적 성장기반 마련을 목표로 하고 있음

○ 건설교통기술 글로벌 동향 보고서(2011)

- 국토교통과학기술진흥원에서 2011년 발간한 글로벌 동향 보고서에 따르면 국토해양의 미래상을 결정하는 주요 핵심동인(Key Driver)인 기후변화 대응 및 기술혁신을 양축으로 한 2030년 시나리오를 구분하여 제시하였으며 국토해양 R&D가 지향해야할 가장 이상적인 시나리오로 '그린 혁명'으로 설정
- 보고서에서 정한 미래 핵심기술 30가지 중, 교통 분야가 9가지를 차지하고 있고 그 중 항공분야로는 '차세대 항공시스템 친환경 선도 기술'로 정하였음
- 차세대 항공시스템 친환경 선도 기술은 고고도(18km 이상)그린 무인기 및 운영 관제시스템을 개발하고 국토해양 항공영상정보 획득시스템을 구축하고 운영하는 기술과 항공레저용 2인승 경량항공기(비행기, 헬기) 시제기 개발 및 인증기술, 항공기 핵심부품(엔진, 전자장비, 랜딩 기어 등) 항공정비(MRO) 기술개발, 항공기 핵심부품(전자장비 등)의 국산화 기술을 말함
- 에코플라이트 시뮬레이터 개발을 통해 항공기 모의비행장치 및 비행 훈련 장치에서 사용되는 핵심부품의 국산기술 개발이 가능하다는 점에서 R&D 정책과도 부합함

다. 사업추진의지와 관련 기관 협조체계

○ 미국 FAA 등의 국가에서 모의비행훈련 장치만을 사용하여 한정자격 훈련 및 자격취득이 가능하여 국내 저비용항공사에서는 비용절감 목적 등의 이유로 입사 전 자격취득 자를 선호하고 있으며 항공사 지원자들은 국외에서 한정자격을 취득함으로써 외화낭비가 심한 실정임



<그림 4-18> 형식한정자격 국외 취득인원 현황

○ 국토교통부 항공자격과 등과 협조하여 국내 항공법 시행규칙 내 항공종사자 자격취득 요건의 변경이 필요함

라. 사업추진 상의 위험요인과 대응방안

○ 항공 선진국에 비해 시뮬레이터 개발 기술수준은 낮지만, 에코모드 기능구현을 통한 산정 기술 및 경제운항절차 체화 훈련 기능 등 기술정보에 대한 보안이 요구되며, 이를 위해서는 본 연구과제 수행자의 기술정보 보안 교육이 필요

2. 기술적 타당성

가. 기존 사업과의 중복성

○ 기존 연구과제

- 비행훈련용 헬기 시뮬레이터 개발
  - 장비교육 목적, 사고예방을 위한 특수임무 및 비상절차 훈련목적 및 국내 회전익 항공기 시뮬레이터의 국산화 기여 목적이 있었음

○ 기존 연구논문

- 가변형 비행시뮬레이터 조종실 개발(2011, 한국항공우주학회)
  - 공군 조종사의 비행훈련 시 효율적 시뮬레이터 사용을 위한 가변형 비행

시뮬레이터 조종실 개발 함. 이 개발을 통해 국내에서 운용 중인 F-15K, KF-16, T/A-50급 기종 모의가 가능토록 하였으며, 터치형 액정시현기를 통해 손쉽고 빠르게 기종변경이 가능토록 하였음

○ 기존 수행된 연구 등의 비행시뮬레이터는 주목적이 정상 및 비정상절차에 대한 비행훈련이었음. 이와 다르게 에코플라이트 시뮬레이터의 주된 목적은 조종사들의 경제운항절차 훈련을 주목적으로 하고 있음

○ 항공기 연료사용량 및 절감량을 파악하기 위한 소프트웨어는 국내외에서 개발되어 일부 항공사에서는 이미 사용 중에 있고 운항승무원의 훈련을 목적으로 한 시뮬레이터는 일부 기종에 한하여 국내 기술로 개발한 시뮬레이터를 사용하거나 항공기 시뮬레이터의 형식승인 등의 문제로 전량 직도입하는 사례가 많이 있음

- 국내 및 국외에서 항공운송사업에 사용되는 항공기 시뮬레이터를 개발하여 인가받은 사례는 아직 없음
- 국내뿐만 아니라 국외에서도 경제운항절차와 조종사 비행훈련을 결합시킨 시뮬레이터 개발은 추진된 바 없음

○ 결론적으로, 기존 항공사에서 사용하는 시뮬레이터는 95% 정도 전량 해외 직도입하였고, 5% 정도는 국내 기술로 개발하여 사용하고 있으나 국내외 관련기관에서 해당 항공기에 대한 형식승인을 받지 못하였음

○ 에코플라이트 시뮬레이터 개발과제는 기존 시뮬레이터와 동일한 성능과 규격의 시뮬레이터를 개발한다는 점은 유사하지만 기존 연구개발에서의 시뮬레이터는 비행안전 등 조종사의 주 운항훈련용 시뮬레이터에 대한 연구에 그치고 있음

○ 본 과제는 또한 시뮬레이터 개발 기술의 국산화 목적 및 조종사 훈련을 포함한 경제운항절차 훈련을 목적으로 하므로, 기존 연구과제와 중복성은 없음

나. 기술개발 계획의 우수성

○ 에코플라이트 시뮬레이터 개발에 필요한 기술은 조립/제작기술, 인터페이스 보드 설계기술, 비행훈련용 소프트웨어 개발기술, 에코모드 구현기술, 연료사용량

실시간 산정기술 등으로서, 성공적인 시뮬레이터 개발을 위해서는 항공, 운항, 관제, 전기/전자/통신, 컴퓨터 소프트웨어 등의 요소 기술과 이들을 통합하는 기술이 필수적임

○ 항공 선진국인 미국, 유럽 등과 비교할 때 기존 실제 비행 시뮬레이터 기술에 IT 기술을 기반으로 에코플라이트 시뮬레이터 개발에 필요한 요소 기술은 우수하며, 항공기 시뮬레이터 운용 기술 또한 세계적인 수준임

○ 단, 시뮬레이터 개발의 대상이 되는 항공운송사업용 항공기에 대한 인증 취득 경험이 전혀 없음

다. 기술수준 및 성공가능성

○ 국내에서는 현재 대한항공, 아시아나항공에서 자체적으로 항공기 시뮬레이터 (모의비행장치급 및 비행훈련장치급)를 보유하고 있으며, 5개의 저비용항공사는 국내 항공사 훈련시장에 진출한 록히드마틴과 CAE의 훈련장비를 사용하고 있음

○ KC-100, T-50 등의 항공기를 국내 기술로 개발/제작하였고 자체 비행 시뮬레이터도 개발에 대한 연구를 진행하였음

- 단, 국내 기술로 중소형 항공기 기종이며 항공운송사업에 사용되는 항공기를 개발한 사례는 없음

○ 국내 비행 시뮬레이터 개발 전문 업체는 이미 CN-235 기종(해양경찰청 보유기종), T-50, F-16, F-4, KA-32(이상 군용으로 사용)등을 국내 기술로 제작 개발한 기술력, 국내 모의비행장치 및 비행훈련장치급 인가취득 기술력 및 자체 비행환경용 및 비행훈련용 소프트웨어도 자체 개발한 기술력을 보유하고 있고 항공운송사업에 사용되는 B737, B767 기종 등을 제작하여 해외에 역수출한 경험과 기술력도 보유중임

○ 항공운송사업용 비행 시뮬레이터를 국내에서 개발한 사례는 많이 있지만, 항공기 핵심부품 개발 미진과 해당 항공기의 성능 데이터 확보 부족 등의 이유로 국내 및 국외 비행훈련장치 인가취득에 못 미치고 있어서 비행에 큰 영향을

미치는 일부 핵심부품(PFD, ND, Throttle Quadrant, Control Wheel, Rudder Pedal, Nose wheel steering controller, FMC, Overhead 패널 내 일부 부품)은 실제 항공기 혹은 실제 비행 시뮬레이터에 사용되는 제품을 구매하고 개발하는 시뮬레이터 기종(B737NG, -800)에 대한 성능 데이터는 국내 해당 기종 보유 항공사의 성능자료 협조를 통해 구현해야 함

○ 국내 소프트웨어 기술력과 해외 항공운송사업용 항공기 시뮬레이터 개발기술을 접목시켜 개발 가능성 확인함

- 록히드마틴 사의 자회사인 시뮬레이터 개발 전문업체인 심인더스트리와 협의 결과, 기존 항공기 시뮬레이터 기능은 그대로 유지시킨 채 에코 기능만을 추가하여 개발 가능하나, 단 개발가격은 미화로 240만 달러(한화 약 30억 원)임

○ 우리나라의 다른 항공 산업과 마찬가지로 비행 시뮬레이터 역시 단기간에 선진국 수준에 도달하기 위해서는 정부의 전폭적인 개발 의지가 요구되며, 이에 따른 산학연 관련 기관의 집중적인 자원 투입이 요구됨

○ 즉, 에코플라이트 시뮬레이터의 수요자인 정부와 항공사 모두의 적극적인 의지, 정부출연연구소의 대형 체계개발 수행 경험, 정부/항공사의 운용/정비 경험, 기업의 IT 기술, 학계의 기반 기술 등을 효율적으로 활용하여만 선진국과의 기술 격차를 좁힐 수 있음

○ 결론적으로 우리나라가 항공기술 선진국 대비 후발 주자이기는 하나, 정부의 개발 의지가 있고, 국내 유관 기관의 역량이 효율적으로 결집된다면, 시스템 개발 위험도가 상존함에도 불구하고, 성공 가능성 높음

3. 경제적 타당성

가. 경제성 분석을 위한 기본전제

○ 본 연구개발의 경제성 분석을 위한 기본전제는 다음과 같음

- 본 연구는 2018년에 착수하여 2021년까지 연구 사업을 수행하고, 2022년부터 인프라를 가동하는 것으로 가정함

- 본 연구는 국내 연구개발사업을 통해 개발 될 에코플라이트 시뮬레이터는 국내는 물론 국외에서 이와 동일한 시스템의 개발사례가 없음
- 하지만 에코플라이트 시뮬레이터에서 구현하게 되는 편익 항목에 대해서는 기존 해외 도입 시뮬레이터에 따른 편익으로 산정하는 것이 타당함

○ 분석 대상 기간

- 경제성 분석에서의 평가기간은 법인세법 시행령 및 동 시행규칙에서 제시하고 있는 내구연한 기준을 적용하는 것이 보통임
- 법인세법 시행규칙 제15조 제3항에 의거한「별표5. 건축물 등의 기준내용 연수 및 내용연수범위표」<표 3-24> 참조에 따라 분석대상 기간을 12년으로 정함
- 본 연구를 통해 개발하려는 '에코플라이트 시뮬레이터'가 실제 항공기는 아니나 실제 항공기와 동일한 성능과 결과 값을 구현해야 하는 점, 실제 항공기나 항공기 시뮬레이터에서 사용하는 부품을 그대로 사용해야 한다는 점 등의 이유와 본 '에코플라이트 시뮬레이터'는 항공운수사업에 사용이 되지 아니하는 이유로 법인세법 시행규칙「별표5의 구분2」에 해당됨
- 위에 근거하여 분석 대상기간은 개발이 완료되어 가동하는 시점(2022년 인프라 가동 시작년도)부터 12년간(2034년)까지 함

○ 할인율(Discount Rate)

- 경제성 분석을 위해서는 실제 자본의 기회비용(Opportunity Cost)을 적절히 반영하여 서로 다른 기간 중에 발생하는 비용과 편익을 비교할 수 있도록 할인율이 채택되어야 함
- 사업의 순현재가치(NPV)와 편익-비용비율(B/C) 등을 계산하기 위한 할인율(Discount Rate)로서, 한국개발연구원에서"예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구 (제5판)"을 통해 제시한 6.5%를 적용함
- 미국은 공공사업의 타당성 분석은 원칙적으로 OMB(Office of Management and Budget)가 결정한 단일 사회적 할인율을 사용함. 원칙적으로 모든 프로젝트에는 OMB가 제시한 할인율을 적용하도록 되어 있으나 법률 및 행정 명령 등을 통해서 별도의 사회적 할인율을 적용할 수 있도록 규정한 경우는 예외임. 지난 1972년에서 1992년 10월까지는 10%, 그 이후부터 현재까지는 7%의 할인율을 제시함. 미국의 사회적 할인율 7%는 민간부문의 세전 한계수익률

평균값이 근거가 되며, 수자원개발사업과 에너지개발사업의 경우는 7%보다 낮은 할인율을 적용하고 산업적 성격의 공공서비스사업에는 7%보다 높은 할인율을 적용하고 있음

- 캐나다는 사회적 할인율을 주요 공적자금원인 공공사업에 대한 민간투자, 예금, 외국자본과 연계하여 결정함. 따라서 이들 각 자금원의 가중평균수익률을 사회적 할인율로 적용함. 1998년 이후, 실질 사회적 할인율을 10%로 적용하고 경우에 따라 ± 2%를 차등 적용함. 하지만 국민건강이나 환경에 관련된 사업의 경우 0~3%의 낮은 사회적 할인율을 적용함
- 영국은 재무성에서 권장한 사회적 할인율을 사용하였으며, 재무성은 과거 6%의 사회적 할인율을 원칙으로 하였음. 할인율 6%는 세전 자본비용 및 시간선호율과 일치하는 값으로 추정되었으며, 공공투자 산출물 대부분이 시장기구를 통해 민간부문에 판매되는 사업, 민간에 대한 보조금 사업, 도로사업, 해외에 대한 원조사업은 6%의 사회적 할인율이 적용되지 않지만 2003년 영국은 사회적 할인율을 3.5%로 조정하였으며, 교통수송 분야 온실가스 관련 사업[111]에서도 할인율 3.5%를 적용하고 있음
- 프랑스는 경제기획청(Commissariant General du Plan)이 제시하는 단일 사회적 할인율을 모든 공공사업의 타당성 분석에 적용함. 경제기획청은 사회적 할인율 추정을 위해 국민경제 전체의 생산함수를 추정하고 이를 바탕으로 각 개발계획에서 정한 성장목표 달성에 필요한 민간부문의 자본의 한계생산성을 추정함. 추정된 자본의 한계생산성을 자본의 사회적 기회비용으로 간주하는 역최적화방법(inverse optimum method)을 사용하여 할인율을 산정함. 프랑스의 경우 1970년대에는 10%의 실질 할인율을 적용하였으며, 1980년대에는 9%, 1990년대 이후에는 7%의 할인율을 적용하고 있음

○ 물가 상승률

- 본 경제성 분석에서는 물가상승을 전혀 고려하지 않으며, 본 조사에서 사용한 할인율은 명목할인율(Normal Discount Rate)이 아니라 실질할인율(Real Discount Rate)에 해당함

○ 경제성 지표 및 분석

111) UK adelphi "The costs and benefits of mandatory greenhouse gas reporting"

- 순현재가치(NPV), 편익-비용비율(B/C), 내부수익율(IRR) 등의 평가 지표산출
- 편익과 비용의 추정에는 어느 정도 불확실성의 포함을 고려한 민감도 분석수행(민감도 분석은 경제성 분석 과정에서 발생할 수 있는 편익과 비용 및 할인율의 변화 등에 대한 경제적 타당성의 변동 여부를 밝힘으로써 사업 착수로 인한 위험률을 최소화하기 위함)

나. 편익 산정

○ 평가 산정 개요

- 편익 산정은 한국개발연구원의 “예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)”에 근거하여 편입항목 도출

○ 본 연구 사업에서의 편익 산정방법

- 항공 온실가스 감축을 위한 ‘에코플라이트 시뮬레이터’에 적용되는 편익 항목으로는 해외 도입 시뮬레이터에 따른 편익으로 산정함
- ‘에코플라이트 시뮬레이터’의 편익은 항공 온실가스 감축기술 별 편익에 추가 편익을 더한 값으로 산정함

편익(에코플라이트 시뮬레이터) = 편익(해외 도입 시뮬레이터)
+
추가 편익

- 에코플라이트 시뮬레이터는 항공기 운항 분야에서 항공 온실가스 감축을 위한 경제운항절차 교육과 기존 운항승무원의 교육훈련을 목적으로 한 시스템으로 만약 이와 같은 시스템이 없다면 고비용의 조종사 훈련비용으로 훈련비용 절감과 관련한 편익을 기대할 수 없음
- 추가적으로 항공 온실가스 감축기술을 통한 경제운항절차 수행 시 수반되는 항공 온실가스 감축효과, 연료절감효과, 항공기 소음절감 효과 등과 관련한 편익을 기대할 수 없음
- 현재 옥스퍼드 아카데미 및 유나이티드 항공, 핀에어 등에서 경제운항절차 수행을 위한조종교육을 하고 있다는 점과 특정 항공사(예, 유럽의 저비용항공

사인 Flybe)에서는 연료를 많이 쓰는 조종사에게 급여를 삭감하는 정책을 펼칠 계획을 가지고 있다는 점 등을 볼 때, 적어도 편익이 비용을 초과하고 있다는 증거임(편익 > 비용)

- 국내 연구개발사업을 통해 추가적으로 발생하는 편익은 별도 계산하여 합산함
- 결국, 이상과 같은 방식으로 산정된 편익을 기준으로 하여 계산된 B-C가 0 보다 크고, B/C가 1 보다 클 경우, 해외 도입 시스템 대비 경제성이 있는 것으로 평가할 수 있음

○ 에코플라이트 시뮬레이터의 편익

- 에코플라이트 시뮬레이터에 대한 편익을 계산하기 위해 해외 도입에 따른 편익 항목 및 금액을 산정하였음
- 해외 도입 시뮬레이터로 인한 편익은 훈련비 절감이며, 시뮬레이터 도입 전에는 실제 항공기로 최소 비행훈련(4시간[112])을 실시하였으므로, 4시간 실제 항공기 훈련비용
- 4시간의 해외 도입 시뮬레이터를 활용한 훈련비용으로 편익을 산정함
- 연료비용은 갤런 당 3,300원(톤 당 565,000원)으로 산정하고, 항공기는 1시간 당 전체 기종 평균 약 1,500갤런이 들어간다고 가정함
- 해외 도입 시뮬레이터의 유지보수 및 운영비용은 시간 당 약 40만 원 소요

편익항목 금액 = (평균 연료사용 시간당 비용 × 4시간) -
(해외 도입 시뮬레이터 유지보수 시간당 비용 × 4시간)

- 위 공식을 계산하면, 19,800,000원 - 1,600,000원 = 18,200,000원의 결과 값이 나오며, 조종사 1명을 실제 항공기에서 시뮬레이터로 대체하여 교육시킴으로서 절감되는 비용은 약 1천 8백 2십만 원임
- 국내 8개 항공사 전체가 1년간 채용하는 조종사의 수의 규모는 약 100명이며, 편익산정 시에는 편의 상 100명이라 가정함
- 위와 같이 계산하면 해외 도입 시뮬레이터로 조종사 교육훈련을 대체 시, 연간 18.2억 원의 편익이 발생함

112) 모의비행장치의 경우, 22시간까지 법정 훈련시간으로 인정해주는 반면, 비행훈련장치 급은 최대 4시간 범위 내에서 훈련시간을 인정받을 수 있음

○ 에코플라이트 시뮬레이터의 추가 편익

- 에코플라이트 시뮬레이터를 통한 추가 편익은 다음과 같음
  - 경제운항절차 훈련으로 연료사용량 절감효과: 10%
  - 항공기 소음 절감으로 인한 국민 편익 증진효과: 3%

○ 편익산정 결과

- 약 13%의 추가 편익이 발생할 것으로 예상하며, 18.2억 원에 13% 추가 편익(2.37억 원)을 더하면 총 편익(20.57)이 발생하게 됨

년차	년도	편익	편익현가	누적 편익현가
1	2018	0	0	0.00
1	2019	0	0	0.00
1	2020	0	0	0.00
1	2021	0	0	0.00
1	2022	0	0	0.00
2	2023	0	0	0.00
3	2024	0	0	0.00
4	2025	0	0	0.00
5	2026	20.57	15.01	15.01
6	2027	20.57	14.10	29.11
7	2028	20.57	13.24	42.35
8	2029	20.57	12.43	54.78
9	2030	20.57	11.67	66.45
10	2031	20.57	10.96	77.41
11	2032	20.57	10.29	87.69
12	2033	20.57	9.66	97.36
13	2034	20.57	9.07	106.43
14	2035	20.57	8.52	114.95
15	2036	20.57	8.00	122.94
			122.94	814.47

다. 비용산정

○ 비용산정 개요

- 항공관련 사업 시행 시 사업 목적의 달성을 위하여 설정된 대안별로 비용이 발생하며, 이들 비용에는 정부, 공공단체, 혹은 특정 그룹이 지출하거나 소비한 자본, 노동력, 천연자원 등의 필수적인 요소가 포함됨
- 비용은 일반적으로 크게 연구개발비(Research and Development Cost), 투자비

(Investment Cost), 운영유지비(Operation and Maintenance Cost), 시스템 폐기 및 회수 비용(Termination Cost) 등으로 구분됨

- 비용은 아래와 같이 구분하여 추정함
  - 연구개발 비용
  - 하드웨어 제작비용
  - 소프트웨어 개발 비용
  - 운영 유지비용
  - 시스템 폐기비용 및 잔존가치는 무시

○ 연구개발 비용 추정

- 연구개발에 소요되는 비용은 개략 60억 원으로 설정함

○ 시뮬레이터 개발 비용 추정

- 개발비용과 관련한 기초정보
  - 항공기 연료 사용량 및 연료관리에 대한 소프트웨어는 개발이 되어있지만, 온실가스 저감잠재량을 분석하는 툴은 개발되지 않은 실정임

구 분	저감효과분석시스템
연구개발 비용	60억
에코플라이트 시뮬레이터 구축비용	10억
운영 유지비용	매년 15% 소요

  - 연구개발기간은 2018년부터 2021년까지로 가정하였으며, 연구개발기간에 시뮬레이션 모델 개발을 완료하여, 연구개발기간 이후에는 본 운영에 들어가는 것으로 가정하였음
  - 연구개발 1차년도(2018)는 24억, 2차년도(2019)에는 16억, 3차년도(2020)에는 12억, 4차년도(2021)에는 8억을 사용하는 것으로 가정하였음
  - 위 표에 근거하여 매년 1식의 저감효과 분석 시뮬레이션 구축비용 10억, 운영유지 비용으로 구축비용의 15% (1.5억원)가 소요됨. 결과적으로 연구개발결과를 이용한 시뮬레이터 구축비용 및 관련 운영유지 비용으로 매년 11.5억 원이 소요됨

년차	년도	비용	비용현가	누적 비용현가
1	2018	24	22.54	22.54
1	2019	16	15.02	37.56
1	2020	12	11.27	48.83
1	2021	8	7.51	56.34
1	2022	11.5	10.80	67.14
2	2023	11.5	10.14	77.28
3	2024	11.5	9.52	86.80
4	2025	11.5	8.94	95.73
5	2026	11.5	8.39	104.13
6	2027	11.5	7.88	112.01
7	2028	11.5	7.40	119.41
8	2029	11.5	6.95	126.36
9	2030	11.5	6.52	132.88
10	2031	11.5	6.13	139.01
11	2032	11.5	5.75	144.76
12	2033	11.5	5.40	150.16
13	2034	11.5	5.07	155.24
14	2035	11.5	4.76	160.00
15	2036	11.5	4.47	164.47
	814.47	232.50	164.47	2000.63

라. 편익-비용 분석

○ 편익 추정결과 및 비용 추정결과를 요약하면 아래와 같음

년도	편익현가	비용현가	누적 편익현가	누적 비용현가
2018	0	22.54	0.00	22.54
2019	0	15.02	0.00	37.56
2020	0	11.27	0.00	48.83
2021	0	7.51	0.00	56.34
2022	0	10.80	0.00	67.14
2023	0	10.14	0.00	77.28
2024	0	9.52	0.00	86.80
2025	0	8.94	0.00	95.73
2026	15.01	8.39	15.01	104.13
2027	14.10	7.88	29.11	112.01
2028	13.24	7.40	42.35	119.41
2029	12.43	6.95	54.78	126.36
2030	11.67	6.52	66.45	132.88
2031	10.96	6.13	77.41	139.01
2032	10.29	5.75	87.69	144.76
2033	9.66	5.40	97.36	150.16
2034	9.07	5.07	106.43	155.24
2035	8.52	4.76	114.95	160.00
2036	8.00	4.47	122.94	164.47
합계	122.94	164.47	814.47	2000.63

○ 이상의 비용 산정, 편익산정을 바탕으로 편익-비용분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같음

○ 평가지표인 순현재가치(NPV), 편익-비용비율(B/C) 다음과 같이 추정되었음

- 순 현재가치(NPV): 14.81
- 편익-비용비율(B/C): 0.747

○ 위와 같은 결과로 「에코플라이트 시뮬레이터」의 연구개발 사업은 경제성이 없는 것으로 분석됨

제 6 절 연구투입 소요예산 산정

1. 인력투입계획

○ 정부, 연구소, 항공사, 항공기 시뮬레이터 제작사, 학계 등 다양한 분야의 컨소시엄 구성 을 통한 인력 활용 필요

○ 연구소

- 항공기 시뮬레이터 설계 및 성능시험 기반 시설 보유

○ 항공사

- 모의비행장치 및 비행훈련장치 운영 노하우 보유

○ 항공기 시뮬레이터 제작사

- 국내 도담시스템은 모의비행장치 급인 CN-235 기종의 FFS(Full Flight Simulator)와 T-50 기종의 비행훈련장치 급인 FTD 및 C-130 기종의 조종석 절차훈련용 CPT, IPT의 제작 기술력 보유
- 국내 누리항공시스템은 비행훈련장치급인 FTD(Flight Training Device) 및 절차훈련용으로 사용 중인 IPT(Integrated Procedure Trainer)의 다양한 기종을 제작한 기술력 보유

○ 학계

- 항공대, KAIST, 한국교통대 등 항공교통관리 및 항공 온실가스 배출량 산정 연구과제 수행 경험 보유

2. 소요예산 산정

<표 4-21> 에코플라이트 시뮬레이터 개발 기획 연구개발비

단위 : 천원

비록	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
인건비	1,440,000	960,000	720,000	480,000	3,600,000
직접비	816,000	544,000	408,000	272,000	2,040,000
위탁연구비	120,000	80,000	60,000	40,000	300,000
간접비	24,000	16,000	12,000	8,000	60,000
합계	2,400,000	1,600,000	1,200,000	800,000	6,000,000

<표 4-22> 인력 투입 계획

단위 : 명

구 분	1차년	2차년	3차년	4차년	합계
에코플라이트 시뮬레이터 제작기술 개발	4	4			8
비행훈련용 소프트웨어 개발	4	6	6	3	19
연료절감 분석 소프트웨어 개발			4	5	9
합 계	8	10	10	8	36

① 월기준 단가	② 증액률	③ 확장율	④ 기본급 (①x②x③)
4,608,849	110%	100%	5,069,734

○ 해당 과제 참여연구원의 인건비 기준단계 산정을 목적으로 작성하는 것으로 월기준 단가는 2013 SW 중급기술자 노임단가 1일 기준 219,469원으로 산정

과제난이도	인건비 증액율(%)	증액률 산정결과(%)
세계 최고와 동일한 수준의 연구	110%	√
기술준비도 수준	**인건비 산정 범위(%)**	**③ 확장 인건비(%)**
응용연구	100%	√

주 : 연차별 사업내용 및 연구개발비 투자에 따른 고용인원 변경 가능
기존의 연구 참여 인력을 고려하지 않은 순수 연구 참여에 따른 인원

<표 4-23> 연구 장비·재료비

단위 : 천원

구 분	연구장비	1차년	2차년	3차년	4차년	합계
에코플라이트 시뮬레이터 제작기술 개발		280,000	160,000			440,000
비행훈련용 소프트웨어 개발		200,000	80,000	100,000	60,000	440,000
연료절감 분석 소프트웨어 개발			80,000	140,000	100,000	320,000
합 계		480,000	320,000	240,000	160,000	1,200,000

<표 4-24> 에코플라이트 시뮬레이터 개발 기술 연구비 소요 명세서

단위 : 천원 / %

항목	비목 \ 연도		1차년도 (2018)		2차년도 (2019)		3차년도 (2020)		4차년도 (2021)		합계		비고
			금액	비율	금액	비율	금액	비율	금액	비율	금액	비율	
직접비	내부인건비	미지급용											
		지급용 현금	360,000	15	240,000	15	180,000	15	120,000	15	900,000	15	
		지급용 현물											
	외부인건비	현금	1,080,000	45	720,000	45	540,000	45	360,000	45	2,700,000	45	
		현물											
	소계		1,440,000	60	960,000	60	720,000	60	480,000	60	3,600,000	60	
	연구장비·재료비	현금	480,000	20	320,000	20	240,000	20	160,000	20	1,200,000	20	
		현물											
	연구활동비	현금	240,000	10	160,000	10	120,000	10	80,000	10	600,000	10	
	연구수당		96,000	4	64,000	4	48,000	4	32,000	4	240,000	4	
	소계		816,000	34	544,000	34	408,000	34	272,000	34	2,040,000	34	
	위탁연구개발비		120,000	5	80,000	5	60,000	5	40,000	5	300,000	5	
간접비			24,000	1	16,000	1	12,000	1	8,000	1	60,000	1	
연구개발비 총액		현금	2,400,000	100	1,600,000	100	1,200,000	100	800,000	100	6,000,000	100	
		현물											
		총액	2,400,000	100	1,600,000	100	1,200,000	100	800,000	100	6,000,000	100	

3. 재원조달 방법

○ 정부에서 에코플라이트 시뮬레이터 개발에 필요한 R&D와 함께 중소기업의 시장진출을 촉진할 수 있는 기술 인프라 지원을 함께 추진 필요

○ 정부지원체계

- 다른 항공 산업과 마찬가지로 에코플라이트 시뮬레이터 역시 단기간에 선진국 수준에 도달하기 위해서는 정부의 전폭적인 개발 의지가 요구되며, 이에 따른 산학연 관련 기관의 집중적인 자원 투입이 요구됨
- 핵심원천기술 투자 비중 확대 등 제도개선 및 재정 투입을 통한 시장 창출 등 인프라 구축

제 7 절 과제 제안요구서

1. 과제 제안요구서

연구과제명	에코플라이트 시뮬레이터 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 항공 온실가스 감축을 위한 에코플라이트 시뮬레이터 제작 및 내장 소프트웨어 기술개발에 대한 로드맵 수립
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구의 필요성	○ 항공기 온실가스 감축이 비행 중에 효과적으로 이뤄질 수 있는 방법과 연구가 이뤄졌으나 저감효과가 비교적 큰 비행운영 분야는 항공안전 저해 가능성에 대한 우려와 조종사 개인별 특성 및 항공사 별 절차의 차이 등으로 실제 적용의 미미함 ○ 조종사들이 실제 비행에서 적용할 수 있도록 감축기술 체화 방안 연구필요
□ 기술동향	▷ 국내 기술 동향 ○ 국내에서는 일부 업체에서 항공기 시뮬레이터에 대한 전체조립, 일부조립, 완제품 제작개발을 하고 있으며, 전체조립은 국외에서 부품을 구매하여 조립, 제작하는 기술. 일부조립은 국외에서 일부부품 구매, 국내 부품생산 후 전체 완성품 제작 기술, 완제품 제작개발은 초기 설계부터 제작하는 개발 기술을 보유하고 있음 ○ B737, B747, B767 등 항공기 시뮬레이터 개발 - 국내 업체는 비행훈련장치 급인 FTD(Flight Training Device) 및 절차훈련용으로 사용 중인 IPT(Integrated Procedure Trainer)의 다양한 기종을 제작한 기술력 보유 - 미국 FAA Pan Am Academy에 국내 기술로 제작한 B737, B767 납품 실적 보유 ○ F-15, T-50, CN-235, C-130 등 항공기 시뮬레이터 개발

- 또한 모의비행장치 급인 FFS(Full Flight Simulator) 비행훈련장치 급인 FTD 및 컴퓨터 기반의 CPT, 절차훈련용 IPT의 제작 기술력 보유
- 국내 모의비행장치 및 비행훈련장치의 인가 기술력 보유

▷ 국외 기술 동향

○ 모의비행장치(Full Flight Simulator)급 개발 기술

- CAE, Lockheed Martin, Thompson Training, Mechtronix 등에서 항공운송
- 사업용 항공기의 모의비행장치(FFS)급 개발하여 전세계 항공사 납품
- 미국 FAA FFS 인가기술 보유(FFS Level A~D)

※ 국내등급은 미국 FAA Level B~D 기준을 준용, 1급~3급으로 나뉨.

○ 비행훈련장치(FTD; Fixed Training Device)급 개발 기술

- Elite, Frasca, Entrol 등에서 항공기 비행훈련장치(FTD)급을 개발
- 미국 FAA FTD 인가기술 보유(FTD Level 1~7)

※ 국내등급은 미국 FAA Level 4~7 기준을 준용, 가~라급으로 나뉨.

○ 소프트웨어 기본 플랫폼 개발 기술

- Microsoft Flight Simulator X을 개발한 Microsoft에서 시뮬레이터 소프트웨어
- 제작자 기본 툴인 ESP SDK 개발하여 개발자 라이센스 판매 중.
- Lockheed Martin의 자회사인 Sim Industries에서 자사 모의비행장치 S/W의 기반이 되는 개발자용 PREPAR3D를 개발, 개발자 라이센스 판매 중

○ 현재 모의비행장치(FFS)급의 장비는 옵션사항과 기종에 따라 200억~300억 원, 비행훈련장치(FTD)급의 장비는 8억~50억 원으로 시장가격 형성. 비행훈련장치(FTD)급은 실 데이터(실제 항공기 제조사로부터 구매, 약 10억~20억 원)사용 여부에 따라, 인가여부 및 인가 단계별에 따라 가격 대 구성

3. 연구개발내용

<연구개발 내용 요약>

□ 에코플라이트 시뮬레이터 기술 개발

○ 에코플라이트 시뮬레이터 제작 기술
○ 비행훈련용 소프트웨어 개발 기술
○ 연료절감 분석 소프트웨어 개발 기술

1) 에코플라이트 시뮬레이터 제작 기술

○ 기 개발된 하드웨어 활용 및 제작기술

- 기존에 개발되어 사용 중인 하드웨어를 활용하고, 국내에서 자체 제작 가능한 부품은 개발하여 적용
- 구매 하드웨어 중 비행 핵심부품(PFD, ND, MCP, FMC, Control Wheel, Throttle Quadrant 등)은 인가 혹은 실제 항공기 부품을 사용

○ 인터페이스 보드설계 기술

- 하드웨어와 소프트웨어의 통신 및 호환기술
  - 하드웨어와 소프트웨어가 원활하게 작동하도록 별도의 인터페이스 보드를 설계, 하드웨어와 소프트웨어 간 충돌 없이 수행되도록 호환기술을 개발

2) 비행훈련용 소프트웨어 개발 기술

○ 비행훈련용 소프트웨어 플랫폼 개발

- 소프트웨어 개발자 툴인 Lockheed Martin 'PREPAR3D' 개발자 라이센스를 구매 후 국내 비행환경에 맞도록 소프트웨어 개발

○ 시너리(Scenery) 구현기술

- 공항, 활주로, 주변 건물 및 배경 등 시너리 개발
  - 현실적인 비행이 가능한 컴퓨터 그래픽 기술 개발
  - 기존 상용화 된 제품을 사용한 호환 기술 개발

○ 기종별 세부훈련 기능구현 기술

- 정상 절차훈련에 대한 기능 구현 가능한 기술 개발
- 비정상 절차훈련에 대한 기능 구현 가능한 기술 개발
- 노선적응훈련 (LOFT)훈련에 대한 기능 구현 가능한 기술 개발

○ 에코모드 및 기능구현 기술

- 단발엔진으로 Taxiing (유도로 활주) 화면 구현
  - 별도의 하드웨어를 사용하여 안전한 단발엔진 활주를 위한 조종사의 조작을 구현시켜주는 기술
- 정률/정속 하강, 연속강하접근(CDA) 화면 구현
  - 연료 절감을 위해 기존의 단계별 하강방식 (Step down Descent)이 아닌 연속강하접근(Continuous Descent) 조종 기술을 별도 하드웨어에 구현하는 기술
- 고항력 장치(High Drag Device) 사용시점 구현기술
  - 플랩, 역추진장치, 착륙장치 등의 안전이 뒷받침되는 연료 효율적인 사용시점을 구현시켜주는 기술
- 저항력 플랩 사용으로 이륙/착륙 화면 구현
  - 플랩 5에서 플랩 1으로 변경 시 이·착륙 거리 구현 및 예상 연료소모량을 별도의 하드웨어를 통해 구현시켜주는 기술
- 공회전 역추진 사용으로 예상 활주거리 및 연료소모량 구현
  - 별도 하드웨어(Electronic Flight Bag)를 사용하여 자동비행모드(Auto Pilot)과 같은 모드에 추가적으로 경제운항절차를 조종사가 시각적으로 볼 수 있는 에코 자동비행모드 구현기술 개발

3) 연료절감 분석 소프트웨어 개발 기술

○ 비행구간별 연료사용량 분석 기술

- 고도, 비행경로 등 비행구간별 연료사용량 및 온실가스 배출량 수치 구현

○ 감축수단별 연료 절감량 산정 및 구현기술

- 감축수단 적용 전, 후에 대한 연료 절감량 및 온실가스 배출량 산정
- 감축수단 적용에 따른 연료 절감량을 조종사가 시각적으로 볼 수 있는 그래픽 구현기술

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 실 수요자인 항공사, 조종훈련생 및 정부의 요구사항을 조사분석 후, 공급자 위주의 서비스에서 수요자 중심의 서비스 기반 시스템 개발이 가능토록 사업추진 체계 구성
- 국내외 각계 전문가 요구사항도 주기적으로 파악하여 반영
- 기술격차 해소 및 개발 위험성 축소를 위해 경제운항절차 훈련용 소프트웨어 관련 해외 기술개발 동향을 지속 파악하여 대응방안 마련
- 항공사 등으로부터 확보된 비행성능 데이터를 최대한 활용하여 소요예산 절감
- 개발된 기술 결과물의 국제 표준화를 통해 전 세계 시장 선점 여건 조성
- 국제 항공 개발 환경 변화에 따른 국토교통부의 의견을 반영하여 매년 연구 내용 조율

□ 추진체계

- 산·학·연·관 역할분담 및 공조체제에 의한 효율적인 연구 개발의 추진체계
- 기술 격차 해소 및 개발 위험성 감소를 위해 지속적인 국제 표준화 회의 활동을 통한 해외 기술 동향 파악 및 조기 구축 추진체계
- 관련 기관의 의견수렴 및 운용 시험을 위한 협력체계 구축

5. 최종성과물

□ 주요 최종 성과물

○ 최종 보고서

○ 에코플라이트 시뮬레이터

○ 비행훈련용 소프트웨어

○ 연료절감 분석 소프트웨어

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 경제운항절차별 연료 절감량 및 온실가스 배출량 산정 및 관리

- 항공기 운항을 경제적이고 효과적인 운항 체계 도출
- 국가 온실가스 감축이행을 위한 저감잠재량 파악에 활용

□ 기대효과 ○ 저비용 예산으로 에코플라이트 시뮬레이터 국내 독자개발을 통한 항공사의 효율적인 연료절감 지원 및 신뢰성 입증을 통해 개발도상국가 등에 해외수출도 모색 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2018.1 ~ 2021.12 (4 년)
- 1차년도 연구개발기간 : 2018.1 ~ 2018.12 (12 개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2019.1 ~ 2019.12 (12 개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2020.1 ~ 2020.12 (12 개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2021.1 ~ 2021.12 (12 개월)

○ 총 정부출연금 : 6,000 백만 원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 2,400백만 원 이내
- 2차년도 정부출연금 : 1,600백만 원 이내
- 3차년도 정부출연금 : 1,200백만 원 이내
- 4차년도 정부출연금 : 800백만 원 이내

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반/보안 과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발 목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우,「분산공유형 건설연구 인프라 구축」과제결과로 구축된 “분산공유 6대 실험시설” 우선 활용

※ 공고 시 첨부한 “분산공유형 건설연구 인프라 실험시설 소개 자료” 참조

2. 평가기준 설정

가. 성과목표 및 성과지표

<표 4-25> 세부 과제별 성과목표

과제	과제 목표	목표 성과물
에코플라이트 시뮬레이터 개발	- 항공 온실가스 감축을 위한 에코플라이트 시뮬레이터 제작 및 내장 소프트웨어 기술 개발에 대한 로드맵 수립	- 에코플라이트 시뮬레이터 제작 기술 - 비행훈련용 소프트웨어 개발 기술 - 연료절감 분석 소프트웨어 개발 기술

<표 4-26> 에코플라이트 시뮬레이터 개발 연구의 양적 성과지표

성과지표	측정방법	최종 목표치
학술회의 발표 논문	국내외 학술회의 발표건수	5건
산학연 협력 활동	국내외 산학연 협력 활동 건수	5건
연구개발 관련 홍보	연구성과의 대외 홍보 건수	5건
시제품	시제품 제작 여부	3건
연구보고서	과제 연구보고서 제시 여부	1건

<표 4-27> 에코플라이트 시뮬레이터 개발 연구의 질적 성과지표

성과지표	성과검증 기준				
	측정방법		목표수준		검증 방법
			목표치	달성치	
에코플라이트 시뮬레이터 개발	①	에코 플라이트 시뮬레이터 제작 (제작의 정확성-전문가 검증)	100%		보고서
	②	비행훈련용 소프트웨어 설계 (설계의 정확성-전문가 검증)	100%		보고서
	③	연료절감 분석 소프트웨어 설계 (설계의 정확성-전문가 검증)	100%		보고서

제 5 장 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발

- 제 1 절 국내외 동향 및 환경 분석
- 제 2 절 연구개발과제 구성 및 추진전략
- 제 3 절 과제별, 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵
- 제 4 절 성과활용 방안
- 제 5 절 사전타당성 검토
- 제 6 절 연구투입 소요예산 산정
- 제 7 절 과제 제안요구서

제 5 장 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발

제 1 절 국내외 동향 및 환경 분석

1. 국내외 정책 동향

가. 국내 정책 동향

<표 5-1> 국내 환경관련 규정 동향

주요 규정	주요 관련 내용	R&D 사업/ 연구와의 연계성
항공법	- (제80조) 비행장 및 항행안전시설의 관리	- 공항 환경관리 기준 설정을 통한 공항 배출가스, 대기질 온실가스 관리
환경정책기본법	- (제12조) 환경기준의 설정	- 대기환경기준 설정을 통한 국가 대기질 관리

○ 정부의 중장기 항공정책 계획

- 글로벌 경쟁력 기반 확립과 다각적 성장을 도모를 위한 항공운송 경쟁력 강화, 효율적 공항체계 구현 및 운용, 예방적 안전관리와 항공보안 선진화, 항공 산업 다양화 및 전문 인력 육성, 국제위상 강화 및 친환경 정책을 목표로 세부 계획을 세움



<그림 5-1> 중장기 항공정책 계획 주요 정책 목표

- 공항 및 그 주변의 환경 개선을 위한 계획이 포함된 목표는 주요 정책목표 중 '국제위상 강화 및 이용자 중심의 친환경 정책 촉진'으로 그 내용은 다음과 같음
  - 국제항공에서의 글로벌 리더십 확대
  - 항공부문 저탄소 녹색성장 추진
  - 항공이용자 중심 항공서비스 제공
  - 공항주변 환경의 개선

<표 5-2> 국내 공항주변 환경 개선 정책방향 및 세부 추진과제

정책방향	추진방향	세부 추진과제
국제위상 강화 및 이용자 중심의 친환경 정책 촉진	· 공항주변 환경의 개선	· 공항주변 소음대책지역 주민들의 생활환경 개선 · 항공기-조류충돌 예방대책 수립 시행 **· 공항 환경 및 기계시설 관리 강화를 통해 쾌적하고 안전한 친환경 공항 조성 (공항 환경관리 기준 개정 등)**

○ 공항 환경관리 기준(국토교통부 고시 제2010-1024호, 2012.12.31)

- 항공법 제80조 및 같은 법 시행규칙 제243조 제1항 제12호에 따라 공항의 대기질·수질·토양 등의 환경오염을 예방하고 온실가스저감 등의 친환경 공항관리에 필요한 사항을 정함을 목적으로 함
- 공항의 환경 및 온실가스 관리 강화를 위해 공항환경관련 규정을 통·폐합하고 일부를 신설하는 등 공항 환경관리 기준을 제정·고시한 것으로 공항차량 등의 대기오염물질 허용기준 설정, 여객터미널 실내공기질 유지기준 및 측정회수 강화, 온실가스 인벤토리 시스템 구축 등의 내용을 포함함
- 인천국제공항, 김포국제공항, 김해국제공항, 제주국제공항 등을 중심으로 공항차량 등의 대기오염물질 관리, 공항대기질 관리, 여객터미널 실내공기질 관리 및 온실가스 관리를 위한 추진계획 및 추진실적을 국토교통부장관 및 항공청장 등에게 제출함

○ 대기환경기준(환경정책기본법 시행령 제2조 관련)

- 사람의 건강을 보호하고, 쾌적한 생활환경을 유지하기 위해 설정됨. 환경기준은 우리나라 환경정책의 행정목표치로서, 환경개선을 위한 오염정도를 판단,

예측하고 대책을 강구하는 척도로 사용함

- 대기오염물질(SO_2, CO, NO_2, O_3, 미세먼지(PM10, PM2.5) 등)에 대한 국가 대기환경기준을 설정함. 공항 대기환경기준(항공기소음 제외)은 별도로 설정되어 있지 않음

<표 5-3> 각국의 대기환경 기준

항목	기준시간	미국	일본	중국	영국	EU	한국
NO2 (ppm)	1시간			0.063	0.105	0.105	0.10
	일평균		0.04-0.06	0.042			0.06
	연평균	0.053		0.021	0.021	0.021	0.03
SO2 (ppm)	1시간		0.10	0.188	0.132	0.13	0.15
	일평균	0.14	0.04	0.056	0.047	0.047	0.05
	연평균	0.03		0.023			0.02
CO (ppm)	1시간	35		8.6			25
	8시간	9	20		8.6	8.6	9
PM10 ($\mu g/m^3$)	1시간	150	200				
	일평균		100	150	50	50	100
	연평균			100	40	40	50
PM2.5[113] ($\mu g/m^3$)	일평균	35	35				50
	연평균	15	15		25	25	25

○ 정부 추진 전략

국토교통부 → 공항환경 및 온실가스관리 분석, 실태점검

ㅇ 지방항공청 : 지도점검결과 확인
ㅇ 공항공사 : 공항환경 및 온실가스 관리계획 및 실적 분석

지방항공청 → 현장 지도 점검

ㅇ공항공사 : 공항환경 및 온실가스관리 추진사항 점검

공항공사 → 공항환경 및 온실가스 관리계획 수립・시행

ㅇ 공항환경 및 온실가스 관리계획 수립 및 실적 제출
* 국토교통부, 지방항공청
ㅇ 공항환경 및 온실가스 관리계획 추진
ㅇ 지사의 추진사항 확인 및 지도점검

공항공사 지사 → 공항환경 및 온실가스 관리계획 수립・시행

113) 한국의 PM2.5는 2016년부터 적용

○ 공항환경 및 온실가스 운영・관리 체계(공항 환경관리 기준 제4조 관련)

○ 공항 대기질 관리

- 공항운영자 및 항공기운영자는 공항 주변의 대기오염으로 인한 환경 위해를 예방하고 대기환경을 적정하고 지속가능하게 관리・보전하여야 함
- 공항운영자 및 항공기운영자는 대기오염물질(SO_2, CO, NO_2, O_3, 미세먼지 등)의 배출 저감을 위하여 공항 대기오염 정도를 정기적으로 측정・점검을 하여야 함
- 대기오염자동측정망 또는 대기오염이동측정차량을 운영하는 공항운영자는 대기질 측정결과를 공항이용자 등이 알 수 있도록 안내하여야 함
- 대기오염자동측정망 또는 이동오염측정차량으로 측정한 공항의 대기가 「환경정책기본법」에서 정한 환경기준을 초과하였을 때에는 원인을 분석하고 장・단기적인 오염저감방안을 강구함

○ 공항의 온실가스 저감

- 공항운영자는 온실가스 저감을 위해 고효율 장비 및 신・재생에너지설비 설치 계획을 수립하고 관련시설이 정상적으로 가동 되도록 관리함
- 온실가스 배출량을 산정・분석하는 등 온실가스 감축을 위해 온실가스 인벤토리 시스템(온실가스 배출규명, 배출량 산출, 목록화하여 배출현황 파악 등) 구축 관리함

○ 대기오염자동측정망 운영・관리방법(공항 환경관리 기준)

- 대기오염자동측정망 설치(필요시)
- 대기오염자동측정망은 연중 가동함
- 측정항목 : 아황산가스(SO_2), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO_2), 오존(O_3), 미세먼지 (PM10, PM2.5), 기타(풍향, 풍속, 온도 등)
- 대기오염자동측정망 점검
  - 공항운영자는 측정소별 담당자를 지정함
  - 측정소 담당자는 「대기오염측정망설치・운영지침」 별지 제1호 서식에 따라 대기오염자동측정소 및 대기오염이동측정차량의 관리카드를 측정소에 비치하고 담당자 교체 시는 인수인계를 철저히 하여 측정기 관리에 차질이 없

도록 함

• 측정소 담당자는 「대기오염측정망설치·운영지침」 별지 제2호부터 제4호 서식에 따라 점검하고 그 내용을 기록 유지함

• 공항운영자는 정상적인 측정기 가동을 위하여 측정소 내에는 충분한 용량의 냉·난방 시설 또는 제습시설을 갖추어야 하며 순간정전에 의한 결측 사례가 없도록 무정전 전원장치(UPS)를 설치함

- 대기오염자동측정망 부품관리

• 측정소 담당자는 대기오염자동측정기에 사용되는 부품을 소모품, 소모성자재로 분류하여 보관함

• 공항운영자는 각 측정기의 소모품 및 수리부품을 사전 확보하여 고장 시 즉시 교체·가동할 수 있도록 유의함

- 대기오염자동측정망 정도관리

• 측정망에 사용되는 측정기기는 「환경 분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제11조(측정기기의 정도검사) 제1항 및 같은 법 시행규칙 제7조(정도검사의 기준과 주기)에 의거 정도관리를 받아야 함

• 측정치의 신뢰도 향상을 위하여 수시, 주간 및 월간 검사 시 「대기오염측정망설치·운영지침」 별지 제4호 서식에서 정한 점검·교정을 실시하고 그 내용을 상세히 기록 유지함

- 대기오염자동측정망의 세부적인 운영 대하여는 환경부에서 제정한 「대기오염측정망설치·운영지침」에 따름

○ 대기오염이동측정차량 운영·관리방법(공항 환경관리 기준)

- 이동대기오염측정차량 운영(필요시)
- 측정일수는 연간 150일 이상으로 함
- 연간측정계획은 측정지점 및 측정일수를 포함하여 매년도 12월31일까지 수립·시행하되, 천재지변 또는 현장여건 등 측정 불가사유가 발생하였을 경우에는 업무내용을 고려하여 측정지점 등 위치, 측정일수 또는 측정시간을 조정할 수 있음
- 측정위치는 공항운영자가 필요하다고 판단되는 지점을 정기적으로 측정함. 다만, 공항이동지역, 지원시설 등 공항내의 대기질 측정은 아래와 같이 함

• 월 2회 이상 주기적으로 측정

- 측정항목 : 아황산가스(SO_2), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO_2), 오존(O_3), 미세먼지 (PM10, PM2.5), 기타(풍향, 풍속, 온도 등)
- 공항운영자는 대기오염이동측정차량의 담당자를 지정
- 이동측정차량의 담당자는 「대기오염측정망설치·운영지침」 별지 제1호 서식에 따라 대기오염이동측정 차량의 관리카드를 이동측정차량 등에 비치하고 담당자 교체 시는 인수인계를 철저히 하여 측정기관리에 차질이 없도록 함
- 이동측정차량의 담당자는 「대기오염측정망설치·운영지침」 별지 제2호부터 제4호 서식에 따라 점검하고 그 내용을 기록 유지함
- 대기오염이동측정차량의 점검, 부품관리 등에 대하여는 대기오염자동측정망의 측정소에 준함
- 대기오염이동측정차량에는 4kg 이상의 소화기를 2개 이상 비치하고 차량내부에는 측정위치좌표 표출장치가 설치되고, 차량외부에는 50w이상의 조명등을 설치함
- 대기오염이동측정차량의 측정결과치의 신뢰도를 높이기 위하여 동 차량 운영 시 사전에 철저한 기기 점검을 실시하여야 함
- 대기오염이동측정차량의 세부적인 운영에 대하여는 환경부에서 제정한 「대기오염측정망설치·운영지침」에 따름

나. 국외 정책 동향

1) 국가별 정책 동향

가) 유럽

○ 세계보건기구(World Health Organization, WHO) 권고에 따라 EU의 공항 관련 대기질 지침은 99/30/EC(relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air)에 수록되어 있으며, 아황산가스(SO_2), 이산화질소(NO_2), 질소산화물(NOx), 미세먼지(PM10) 및 납(Pb) 등을 배출가스를 대기환경기준으로 설정함

나) 영국

○ EU 대기환경기준에 근거하여 대기질 관리에 관한 국가 목표를 설정하고 있으며, EU와 교통부/환경식품농림부(Department for Environment, Food & Rural Affair, DEFRA) 간 공공서비스 협약을 맺음으로써 항공 산업 분야 영역을 확대해 나아가고 있음

○ 영국 지자체는 1997년 12월 이후부터 영국 지자체는 해당 지역의 공중보건과 자연환경을 보호하기 위하여 대기질 검토 및 평가프로그램을 실시해오고 있으며, 대기오염 측정과 장기적으로 대기오염 변화율 예측 등이 포함되어 있음

다) 미국

○ 1955년 대기오염방지법(Air Pollution Control Act) 재정을 통해 지역 대기질을 개선하기 위한 일련의 조치를 시작으로 여러 산업계에 영향을 미쳤음

○ 1963년에는 장거리 운송, 발전(power generation) 및 다양한 산업 활동을 다루는 규정을 추가하여 '대기청정법(Clean Air Act)'으로 개정・발전시켰음

- 동시에 연방정부는 미국환경보건국(U.S. Environmental Protection Agency)을 설립하였고, 1971년에는 국가대기환경기준(National Ambient Air Quality Standards, NAAQS)을 도입하였음
  - 국가대기환경기준은 6가지(NO_2, SO_2, CO, PM 등) 일반 대기오염물질을 포함하였고, 1990년에는 대기청정법을 전면 개정하여 기준을 강화하였음

2) 국제기구별 정책동향

가) ICAO

○ 기존 항공환경보호위원회(CAEP)를 강화하고, 국제항공 및 기후변화에 관한 그룹(GIACC)을 신설하여 체계적이고 효율적인 환경정책을 추진하고 있음

○ CAEP와 GIACC을 중심으로 항공환경보호를 위한 3대 목표를 추진하고 있으며, 그 중 하나가 공항 대기질(Local Air Quality)에 대한 영향을 최소화시키는 것임

- 3대 목표 : 항공부문 온실가스 배출 제한, 항공기 소음 영향 최소화, 공항 대기질 최소화

○ 특히, ICAO의 CAEP와 그 전신인 항공기엔진배출가스위원회(Committee on Aircraft Engine Emissions)는 신형 엔진, 그 파생물과 신규 비행기 엔진에 대한 배출가스규격에 대해 지속적으로 고심하였음. 이 작업에서 발생하는 주된 결과 중 하나는 부속서 16의 II권에 수록된 국제민간항공협약(Convention on International Civil Aviation, 시카고 협약)에 따른 엔진 배출가스에 대한 ICAO 규정임

○ ICAO는 공항 관련한 배출물질 공급원이 오염물질을 배출할 수 있기 때문에 인근 지역의 대기질을 저하시킬 수 있다고 인정함으로써 국내 및 국제 대기오염 프로그램과 규제를 통해 공항당국과 정부당국이 공항 인근 지역의 대기오염 문제를 지속적으로 해결해야 하고자 노력하였음. 이와 마찬가지로 공항 근로자, 사용자, 주변 지역사회의 단기 및 장기적 복지를 보장할 수 있도록 공항 인근 지역의 소음, 수질, 폐기물 관리, 에너지 소비, 지역 생태 환경과 관련하여 공항 관련 환경이 미칠 수 있는 기타 영향에도 주의를 기울이고 있음

○ 지난 20년간 항공기 배출가스를 감축하기 위해 항공기 연료 효율성과 기타 기술적 측면에서 상당한 발전이 있었으나 여객터미널, 유지보수 및 난방시설, 공항의 지상조업장비(Ground Service Equipment, GSE), 공항의 각종 수송수단 등 공항에서 발생하는 배출가스의 효과적인 관리 의무를 고려해야 함

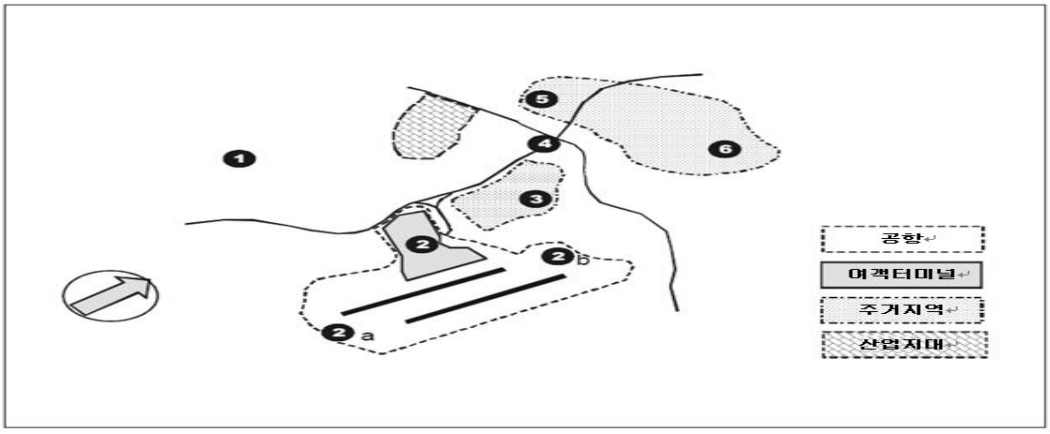
○ 현재 일부 공항에서는 공항 설계, 구조, 기반시설의 최적화, 효율성 증대를 위한 운영 변경, GSE 차량을 '무' 또는 '저' 배출기술 장치로 개량, 지상운송의 친환경방식으로 촉진되고 있음

○ 공항의 대기환경 측정(ICAO 매뉴얼)

- 공항 배출가스 측정 요구조건
  - (법률준수) 공항 또는 지역 당국은 정기적으로 또는 부정기적으로 측정을 실시할 의무감이 있을 수 있음
  - (자발적 프로그램) 공항은 환경방침과 경영활동의 일환으로 자발적으로 측정을 실시하여 보고함
  - (모델링 검증) 현재 공항 대기 상태를 나타내는 실측결과에 모델링을 통한 결과와의 검증작업이 필요함, 이에 따라 미래 시나리오를 예측하는데 있어

신뢰성을 높일 수 있음

- 측정위치
  - 각 위치가 타당성 있게 명시된 포괄적이나 대표적인 현장선택계획이 아래 그림에 도시되어 있으며, 이는 실제 지역토지이용, 기반시설 및 개발에 따라 공항마다 다를 수 있음
  - 대기를 측정할 때는 공항/공항 배출원으로 부터 순풍과 역풍에서 실시해야 하며 동시에 배출원 분포를 판별하도록 해야 함
  - 배출원 분포를 판별하려면 특정 배출원이 가장 많이 보급될 수 있는 위치를 규정하는 반면 다른 배출원의 농도는 전체 농도에 미미한 정도만 차지할 수 있음
- 자료 분석



<그림 5-2> 일반적인 공항 배출가스 측정지점

  - 배출원이 측정 농도에 영향을 미칠 수 있는지에 따라 정기적인 변화는 공항의 각 배출원의 '피크'와 관련 있음
  - 예를 들어, 지역의 도로 교통량은 오전 또는 저녁 업무 관련 피크 시간을 따르며, 항공기는 운항시간에 따라 피크가 분명하게 나타남, 시간별로 모니터링 한 자료를 이용할 수 있고 이들 자료가 러시아워에 해당하는 배출가스 농도 피크 시간을 나타내는 경우에는 교통량이 측정값에 큰 영향을 미칠 수 있음
  - 변화율은 요일, 월 또는 계절별로 발생할 수 있음, 이러한 변화율을 통해

측정 농도에 큰 영향을 미칠 수 있는 배출원 또는 배출원 유형에 대한 요점을 파악할 수 있음

- 그러나 정기적인 변화율은 배출원이 배출하는 오염 배출물질을 실제로 변화시키는 온도, 혼합고도, 상대습도 등의 기상학적 영향과 관련할 수 있다는 점도 주목해야 함. 예를 들어, 주위공기 온도가 높을 때 연소원은 NOx를 많이 발생하고 CO를 적게 발생하여 일일 시간별 변동과 계절별 편차가 발생함
- 배출원 의존적인 변화율의 전형적인 예는 항공기의 오염물질 농도이며, 계절별 교통량이 뚜렷한 공항이나 심지어는 주말 기반 교통량도 해당될 수 있음
- 기상조건에 일치하는 변화율의 전형적인 예는 연중 내내 규칙적인 부하 상태에서 운영하는 공항 발전소임
- 공간 기울기 분석에서는 측정에 영향을 미치는 배출원을 파악하고 그 위치를 찾기 위해 여러 위치에서 단일 오염물질의 주위공기를 측정하여야 함
- 시계열 분석에서는 시간에 따라 오염물질 농도 패턴을 파악하기 위해 여러 위치에서 단일 오염물질의 주위 공기를 측정하여야 함
- 1개 위치에서 장기적 자료를 수집하면 오염 배출물질의 일반적인 추세에 관한 자료를 얻을 수 있으며, 진행 중인 배출저감프로그램이 보급된 여러 지역의 장기적 추세를 통해 시간에 따라 측정된 오염물질 농도가 끊임없이 감소한다는 점을 알 수 있음

3) 외국공항별 정책 및 운영현황

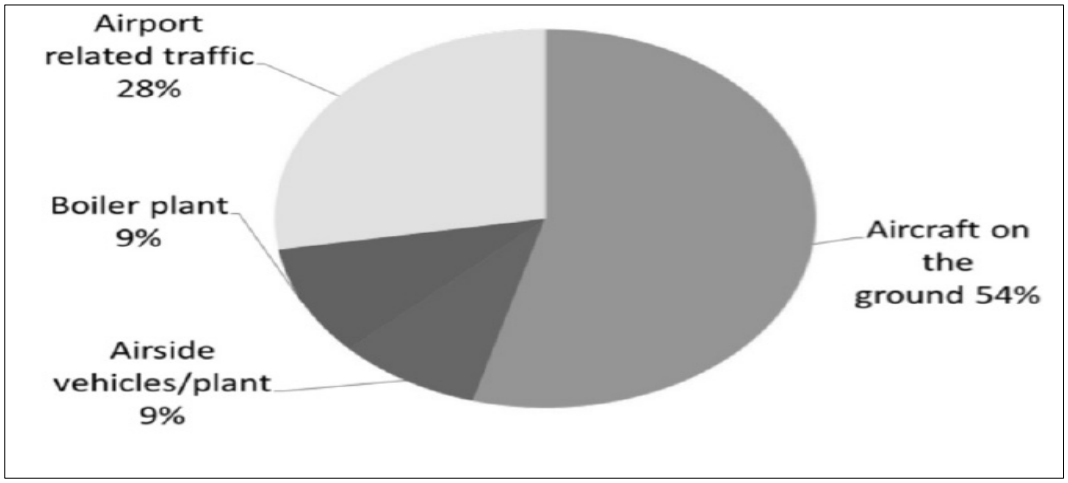
가) 영국 히드로 공항(Heathrow Airport)

○ 목적

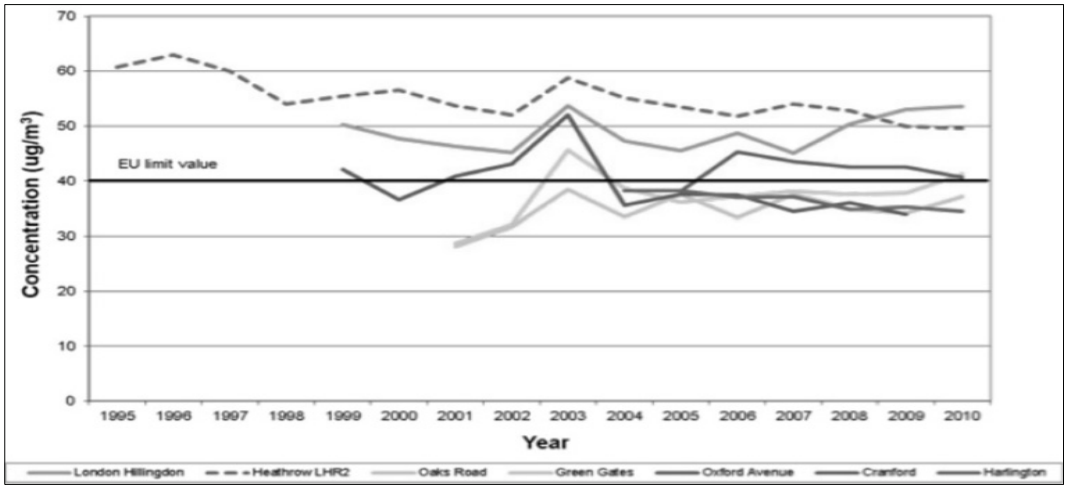
- 히드로 공항의 지속가능한 정책으로 환경적 영향을 최소화하여 영국의 유일한 허브 공항의 경제적·사회적 이익을 창출할 수 있도록 함
- 히드로 공항 반경 2km 내 대기질 농도와 연관된 공항주변 요소의 정확한 양을 나타내기 위한 중요 영향 지역 내 관리 활동 집중
- 관리에 따른 NO_2 배출량 감축을 위한 가이드라인 및 EU 대기질 규제기준 준수 위하여 지역 미치는 대기질의 히드로 공항 기여도를 최소화하기 위한 최고의 측정방법 이용

○ 공항 및 공항 주변 NO_2의 주요 배출원으로 airborne 및 지상 항공기, 공항과 연관된 도로 트래픽, 차량 및 플랜트, 고정 플랜트 등을 정하여 대기질 관리 시행

○ 공항 및 그 주변의 대기질을 측정한 결과 NO_2가 EU 환경기준을 초과하고 있으며 이러한 대기오염물질이 건강에 미치는 영향을 줄이기 위하여 NO_2와 미세먼지(PM10, PM2.5) 등 주요 대기오염물질로 지정하여 모니터링 및 모델링을 수행하고 있음



<그림 5-3> 히드로 공항 배출원별 NO2 배출비중



<그림 5-4> 1995년 이후 히드로 공항 주변 주요 지점별 NO_2 농도

○ 공항 대기질 평가 적용 모델

- 히드로 지속발전 프로젝트(Project for the Sustainable Development of Heathrow,

PSDH) 전문가 의견에 따라 ADMS-airport 확산 모델링을 이용하여 대기질 평가

- ADMS-Airport를 확산 모델링으로 배출농도 기여도를 확인

○ 대기질 관리 기준

- 국가 기준
  - Greater London Authority Act(1999년)에 의해 이행하고 있음
- 지방 당국 기준
  - Environment Act(1995년)에 의하면 지방 정부당국은 법으로 명시된 그 지역 내 대기질을 평가할 의무를 가지고 있으며, 국가적 목표에 따라 이행되지 않은 지역은 점검할 의무가 있음.
  - 평가 시행 후 EU 환경기준 중 하나 또는 그 이상이나 국가 대기환경기준을 초과한다면 그 지역을 대기질 관리구역으로 선언하여 법적으로 의무를 지게 함

○ 배출원별 환경기준

- 항공기 배출은 유럽항공 안전기관(EASA)[114]와 영국 민간항공협회(CAA)[115] 규정을 준수하고 있으며, 신형 항공기 배출 기준은 2008년부터 적용되는 CAEP/6를 준수하고 있음
- 차량 배출은 Euro & Stage Emission 기준 준수
- 보일러 등 고정배출원 배출은 Pollution Prevention and Control Permit 규정에 따르며, 주요 목적은 NOx 배출량 감소 및 보일러 가동에 따른 배출량 최소화임

○ 대기질 관리 성과

- 노후 항공기의 신형 및 친환경 항공기로의 교체에 따른 오염물질 배출량 감소
- 배출량 감소에 대한 보상으로 지역 소음에 대한 보상과 함께 쾌적하고 조용한 항공기를 사용하는 항공사 장려를 위한 랜딩 비용 재조정
- 항공기 지상 배출량 감소
  - 항공사 자체 APU 사용제하기 위한 GPS 제공

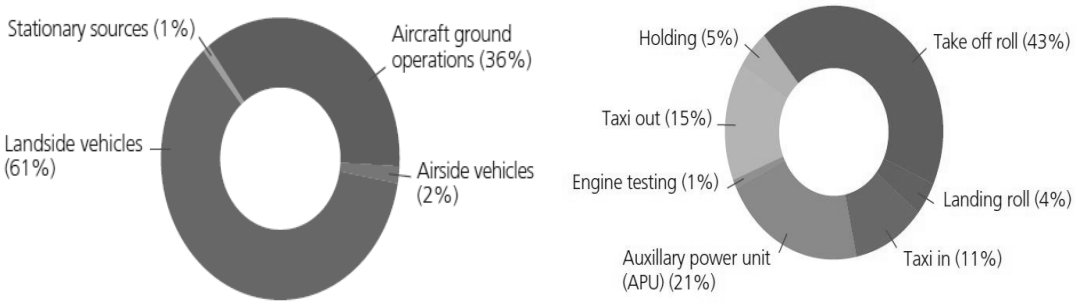
114) European Aviation Safety Agency
115) UK Civil Aviation Authority

나) 영국 스텐스테드 공항(Stansted Airport)

○ 목적

- 스텐스테드 공항 에너지 중장기 계획에 따른 공항 대기질 관리
- 배출량에 크게 기여정도 파악을 위한 공항 배출원별 인벤토리 작성
- 공항 및 주변에서 발생되는 대기오염물질의 EU 환경기준 준수 여부
- 공항의 주요 잠재 오염물질인 NOx, 먼지를 대상으로 집중 관리하여 계획 수립

○ 항공기를 제외한 지상 항공기 운영, Airside 차량, Landside 차량 등을 공항 및 공항주변의 주요 배출원으로 구분하며, 그 대상 배출물질은 NO_2, NOx, 미세먼지(PM10, PM2.5)임



<그림 5-5> 2006년 스텐스테드 공항 주변 NOx 배출비중

○ 배출원별 저감 활동 계획

- 지상 항공기(항공기, APU 등)
  - 항공사와 협력을 통하여 2015년까지 모든 항공기의 90% 이상 APU 사용 대신 FEGP(Fixed Electrical Ground Power) 사용
  - 엔진 택시 감소를 위한 최적의 가이드 개발
  - 연간 APU 사용 계획을 매년 검토하고 업데이트함
  - 2015년까지 도착 항공기의 엔진 taxing 50% 감소를 위한 항공사와의 협력 촉진
  - ANMAC[116]를 통한 항공기 소음 및 배출량 감소를 위한 지속적 연구 수행

116) Airport Noise Monitoring Advisory Committee

- Airside 차량
  - 스텐스테드 공항 airside 차량으로부터의 배출 관리 개발
  - 2015년까지 스텐스테드 공항 차량 Fleet 내 Euro IV/V 및 친환경 차량 도입
  - 지속적 airside 차량 통과 시스템 운영 및 airside 차량 배출 지점 확인 수행
- 2008년 ASAS(Airport Surface Access Strategy) 시행에 따른 Landside 차량 관리
- 2014년 공항 확산 모델링 시행 예정

다) 덴마크 코펜하겐 공항(Copenhagen Airport)

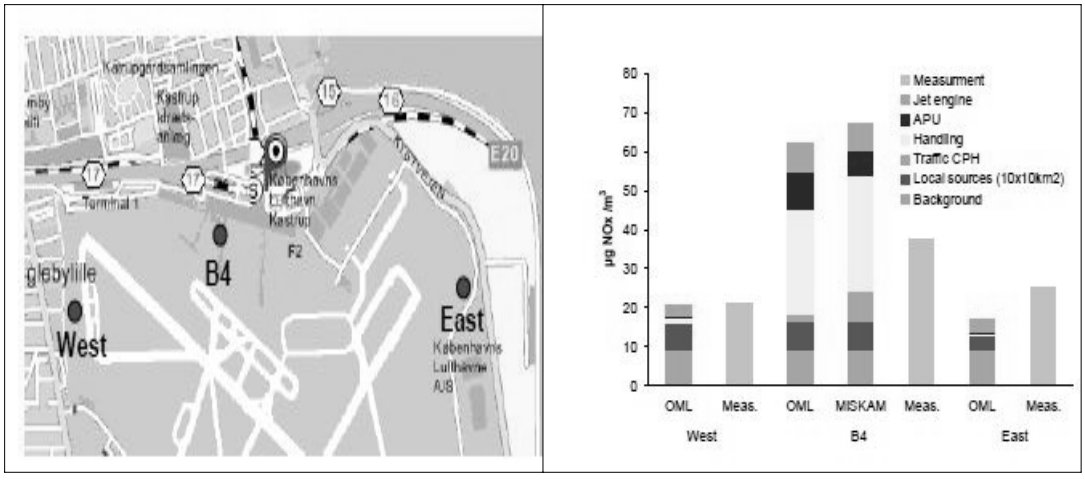
○ 목적

- 공항 및 공항 주변의 대기질 관련 공항 종사자의 건강에 미치는 영향을 고려하여 덴마크 공항의 여러 지점별 대기질 측정 및 모델링을 수행하고자함

○ 공항 및 공항 주변 오염물질의 주요 배출원은 항공기 엔진, APU, 지상조업장비, 공항과 연결된 도로 트래픽으로 구분하고 있음

○ 주요 관리 대상 배출물질

- 공항 및 공항 주변의 NOx, NO_2 배출 확산 OML 모델링(가우시안 모델)을 적용
- 모니터링은 Danish National Environmental Research Institute(NERI)에 의해 수행되고 오염물질의 가장 높게 형성된 터미널 지역을 포함하여 측정 가능하도록 공항의 동쪽과 서쪽에 측정소 설치하여 NOx, NO, NO_2, PM2.5의 배출량 모니터링



<그림 5-6> 코펜하겐 공항 측정지점별 NO_2 배출농도 및 확산정도

○ 측정 범위

- 공항 내 및 공항 외부 지역, 항공기 주 엔진, APU, GSE, 공항 차량 등
  - 측정: 항공기 핸들링 지역에 가까운 주기장과 근로자가 노출되고 공항의 대기 기준 추정을 위한 가까운 터미널 건물의 열린 공간 모두 시행



<그림 5-7> 공항부근 측정범위 정도

  - 모델링: 공항의 10 km^2 외부 범위의 고정 및 차량 요소의 배출 데이터와 함께 매우 자세한 공항의 배출 인벤토리 기반
  - 인벤토리: 기상 상태 별 활주로 및 유도로 사용과 연결하여 배출량 산정

라) 일본 나리타 공항

○ 목적

- 공항운영에 의해 발생하는 대기오염 물질의 배출 저감
- 공항 및 공항주변에서 발생되는 배출물질에 의한 영향 파악

○ 공항 및 공항주변 배출원은 운항 항공기, 공항 내 이동차량, 중앙난방 또는 냉각탑 등으로 구분

○ 주요 관리물질은 NO_2, SO_2, CO, PM10, PM2.5으로 구분하며 2011년 후쿠시마 원전사고 이후 공항 내 방사능 측정 장비를 설치하여 방사능 수치에 대한 관리



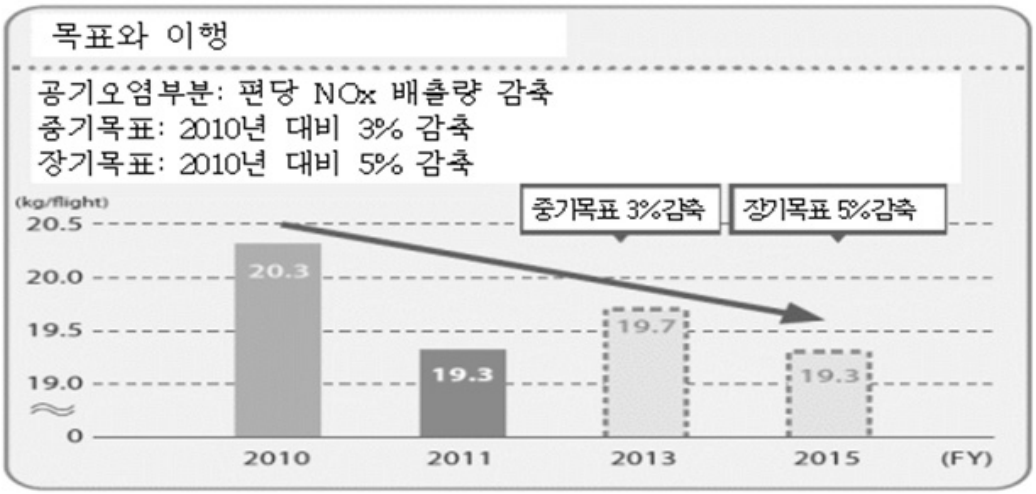
<그림 5-8> 나리타 공항 대기질 측정소

○ 대기질 평가

- 정부(국토교통성)에서 공항환경기준 제정 및 실태점검 운영하며 나리타공항 공사는 대기질 분석 및 평가업무를 나리타공항진흥협회에 위탁하여 공항 및 공항주변에 6개의 측정소를 설치하고 이산화황, 산화질소, 일산화탄소, 광화학산화제, 탄화수소 등의 측정 및 관리를 시행

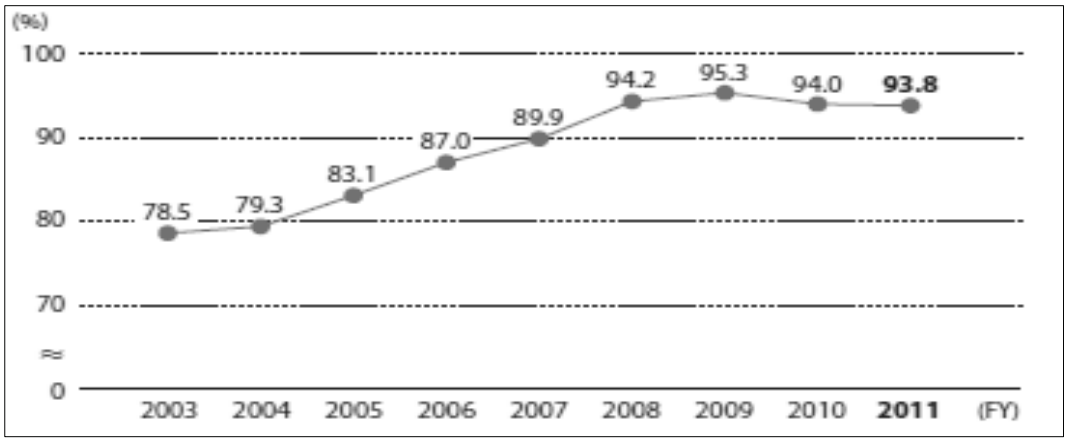
○ 대기질 관리 목표 및 저감 계획

- 대기질 관리 목표 항공기 편당 NOx 배출량을 감소시키고 장기적으로는 2015년 NOx 배출량을 2010년 대비 5% 감축하고자 하는 목표를 세움



<그림 5-9> 나리타공항 대기질관리 목표

- 실행 계획
  - 전기 차량, 연료 효율이 높은 차량, 배기가스가 적은 차량과 같은 대기 오염물질의 배출량이 낮은 차량 도입 추진하고 전기차를 이용한 공항 이용객을 위한 충전소 배치
  - GPU 사용 홍보 및 태양열 발전 사용
  - 항공기, 차량, 공항시설로부터의 대기 오염물질 감소 계획 홍보 및 이행



<그림 5-10> 나리타 공항 GPU 사용률

다. 의미 및 시사점

○ 우리나라는 환경부의 대기환경기준을 설정하여 국가 대기질을 준수하고 관리하고 있으며, 별도로 국토교통부는 공항주변 대기질 및 온실가스 관리를 위하여 공항 환경관리기준을 설정하여 준수토록 하고 있으나, 단순 측정 및 모니터링에 그치고 있으며 부처 간 소통부재로 인하여 공항주변 대기질 개선을 위한 강력한 정책추진이 미흡함

○ 국외 선진국은 공항 대기환경 개선을 위한 단순 측정 모니터링에만 머무르지 않고 공항 대기 환경관련 규정에 따라 공항 주변 대기질 예측을 위한 자체 확산모델링을 개발하여 실질적으로 운영·관리하고 있으며, 배출원별 배출량 감축계획 수립 및 감축 결과에 따른 인센티브 제공 등이 이루어지고 있으므로 이를 벤치마킹하여 추진할 필요가 있음

2. 국내외 시장 현황

가. 국내 시장 현황

1) 국내 대기 측정망 운영현황

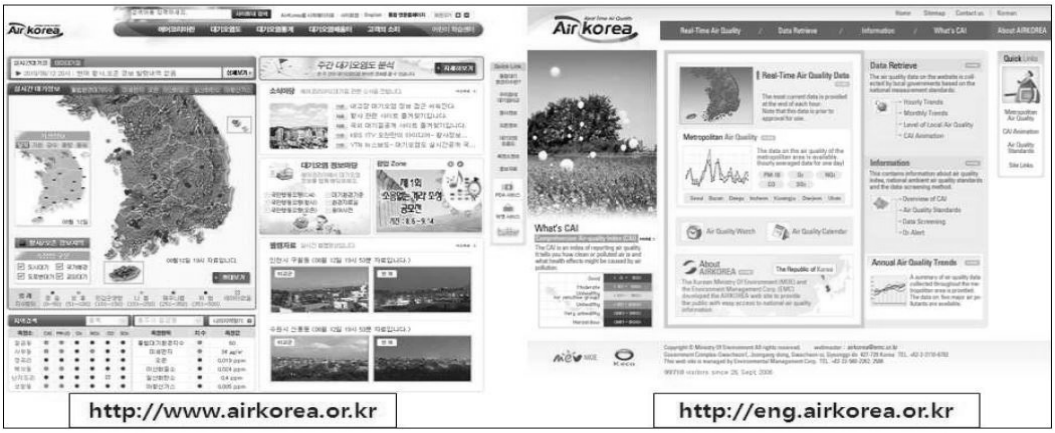
가) 한국환경공단

○ 목적

- 대기오염원 관리를 통한 쾌적한 도시환경을 조성하는 등 국민의 권리 충족과 삶의 질 향상을 위하여 자료를 확보하고 대기환경기준의 적합 여부 판단 등을 통한 대기질 현상 파악하며 대기 환경 정책 수립 및 평가 자료 확보를 위한 대기오염 측정망 운영

○ 운영현황

- 고정측정망
  - 대기오염 측정망 구분은 2012년 12월 말 기준, 크게 일반대기오염측정망과 특수대기오염 측정망으로 나뉘며 이를 세분화하여 도시대기, 교외대기 등 10가지 측정망 운영
  - 16개 지자체에 설치된 대기오염측정망을 지자체 소속 보건환경연구원에서 관리하여 측정된 대기오염기준물질과 기상자료를 분석하고 이 수치를 국민들에게 “Air Korea” 홈페이지에서 실시간 공개하고 있음



<그림 5-11> 대기오염도 실시간 공개(Air Korea)

- 이동측정망

  • 서울특별시, 인천광역시, 경기도, 대구광역시, 울산광역시, 부산광역시, 경상남도 등 지자체에서 운영하는 보건환경연구원에 소속된 이동측정차량으로 환경오염우려지역 및 생활민원다발지역에서 48~72시간동안 정기적으로 측정하고 대기오염원을 관리함

<표 5-4> 전국 도시 대기 측정망 현황

지역	위치	합계
서울	강남구, 강동구, 강변북로, 강북구, 강서구, 공항로, 관악구, 광진구, 구로구, 금천구, 길동, 내부순환로, 노원구, 도봉구, 동대문, 동대문구, 동작구, 동작대로 중앙차로, 마포구, 불광동, 서대문구, 서울역, 서초구, 성동구, 성북구, 송파구, 신사동, 신촌, 양재중앙차로, 양천구, 영등포, 영등포구, 용산구, 종로, 종로구, 중구, 중랑구, 청계천, 청량리, 태릉	40
인천	검단, 계산, 고잔, 구월, 논현, 덕적도, 동춘, 백령도, 부평, 부평역, 석남, 석모리, 석바위, 송림, 송해, 송현, 숭의, 신흥, 연희, 운서, 원당	21
경기	가평읍, 경안동, 계남공원, 고색동, 고잔동, 고천동, 고촌면, 과천동 , 관인면, 광적면, 교문동, 구갈동, 금곡동, 금촌동, 기흥, 김량장동, 남양동, 내동, 단대동, 당동, 대부동, 대야동, 동구동, 동수원, 동탄동, 마두역, 모란역, 백현동, 별양동, 보산동, 복정동, 본오동, 봉산동, 부곡 3동, 부곡 1동, 부림동, 비전동, 사우동, 산본동, 상 13동, 상대원 1동, 선단동, 설성면, 소사본동, 소하동, 수내동, 수지, 시화공단, 식사동, 신장동, 신풍동, 안양 2동, 안양 6동, 안중, 양평군청, 여주읍, 연천읍, 영통동, 오남읍, 오산동, 우만동, 운중동, 원곡동, 원시동, 원종동, 의정부 1, 의정부동, 인계동, 정왕동, 정자 1동, 중앙로 1, 창정동, 천천동, 철산동, 통진읍, 행신동, 향남, 호계동, 호수동	79
강원	간성읍, 남양동 1, 명륜동, 방산면, 북평면, 석사동, 옥천동, 중앙동, 중앙로, 천곡동, 치악산	11
충북	내덕동, 매포읍, 문화동(청주), 복대동, 서부동, 송정동(봉명동), 오창읍, 용암동, 청천면, 칠금동, 호암동	11
충남	난지도리, 독곶리, 동문동, 모종동, 백석동, 사곡면, 성성동, 성황동, 정곡리, 파도리	10
대전	구성동, 노은동, 대흥동 1, 둔산동, 문창동, 문평동, 성남동 1, 월평동, 읍내동, 정림동	10

지역	위치	합계
전북	개정동, 고창읍, 금암동, 남중동, 모현동, 삼천동, 소룡동, 신풍동 2, 연지동, 운암면, 죽항동, 태평동, 팔복동, 팔봉동	14
전남	광무동, 나불리, 덕충동, 문수동, 송단리, 순천만, 연향동, 용당동, 월내동, 장천동, 주삼동, 중동, 진상면, 칠성리(광양읍), 태인동, 호두리	16
광주	건국동, 농성동, 두암동, 서석동, 송정 1동, 오선동, 운암동, 주월동, 치평동	9
경북	3공단, 4공단, 공단동, 남문동, 대도동, 대송면, 성건동, 신음동, 원평동, 장흥동, 죽도동, 중방동, 지품면, 태하동, 형곡동, 화북면, 휴천 2동, (이동차량-산동면)	18
경남	가음정동, 경화동, 남상면, 대산면, 대안동, 동상동, 명서동, 반송로, 봉암동, 북두동, 사천읍, 사파동, 삼방동, 상대동, 상봉동, 아주동, 용지동, 웅남동, 웅상읍, 장유면, 저구리, 하동읍, 회원동	23
대구	갈산동, 남원동, 노원동, 대명동, 만촌동, 수창동, 신암동, 율하동, 이현동, 지산동, 태전동, 평리동, 현풍면	13
울산	농소동, 대송동, 덕신리, 무거동, 부곡동 2, 삼남면, 삼산동, 상남리, 성남동, 신정 2동, 신정동, 야음동, 여천동, 화산리, 효문동	15
부산	광복동, 광안동, 기장읍, 녹산동, 대신동, 대연동, 대저동, 덕천동, 명장동, 부곡동, 수정동, 연산동, 온천동, 용수리, 장림동, 전포동, 좌동, 청룡동, 초량동, 태종대, 학장동	21
제주	고산리, 동홍동, 연동, 이도동	4
총계		315

나) 인천공항공사

○ 목적

- 항공기 소음과 실내 공기질, 수질 관리와 더불어 항공기 및 이동지역에서 움직이는 주변 차량에 의해 배출되는 대기오염물질 감시와 대기오염 예방을 통한 자연과 하나 되는 환경 친화적 공항구현을 위하여 환경 관리 시행

○ 운영현황

- 고정측정망
  - 공항지역, 자유무역지역, 을왕동에 총 3개소가 설치되어 24시간동안 대기를 모니터링하며 측정 국에서 보내온 자료를 받아 분석하여 공항지역 및

인근지역의 환경변화를 추적하고 감시함

- 고정측정망에서 측정된 배출물질의 경우 1개월 단위로 데이터를 정리하여 인천공항공사 홈페이지에 측정소 및 측정 종류별로 구분하여 자료를 공개하고 있음

- 이동측정망
  - 총 2식의 환경조사차량을 보유하여 2식 중 1식을 대기 측정에 사용하고 법적 기준 연간 150일 이상 운영하여 대기를 측정
  - 측정 종류는 PM10, SO_2, CO, NO_2, O_3 총 5가지이며 2012년을 기준으로 한 해 동안 총 156일 동안 운영



<그림 5-12> 인천공항공사 운영 대기 측정국과 환경조사차량

다) 한국공항공사

○ 목적

- 공항 시설 및 주변에 대한 환경관리를 보다 강화하고 환경관리 시스템 및 모니터링 체계를 개선함으로써 공항주변 환경과 생태계에 미치는 영향을 최소화하기 위해 대기질 측정 및 관리를 시행

○ 운영현황

- 2000년 한국 공항공사 본사 옥상에 대기질 측정 장비 설치
- 대기질 자동 측정 국에서 SO_2, NO_2, CO, O_3, PM10, PM2.5 등의 오염물질 농도 및 기상현황(풍향, 풍속, 기온)등 대기질 상태에 대하여 24시간 상시 측정을 실시하고 보고함

- 측정 장비 사양 및 측정 관리 방법 등 측정시스템 구축·운영에 관한 자체 대기질 관리 운영지침서(매뉴얼)을 제작하여 관리하는 등 체계적인 모습이나 실질적으로 이를 관리하는 인원은 1명으로 대기질 모니터링을 위한 지원이 충분하지 않음



<그림 5-13> 한국공항공사 대기질 측정 장비

2) 국내 대기 측정 모니터링 장비 및 모델링 시스템

가) 대기 측정 모니터링 장비 현황

○ 대기 측정 장비는 환경부의 형식승인을 받은 제품을 사용하는 것을 기준으로 하여 2012년 1월 말까지 환경부로부터 대기 대기오염물질 측정기 형식승인을 받은 기기는 대기 연속 자동측정 장치 및 그 부속기기를 포함하여 모두 87종류임

○ 대기측정 장비 구입비용

- 위의 견적은 오직 측정 장비만 포함된 가격이므로 앞으로 추가적으로 운영을 위한 측정 장소, 주기적으로 교체해야하는 각 측정 장비별 필터와 같은 소모품 등의 가격을 포함한다면 투입 비용이 더 높아짐
- 이동측정차량을 운영하고자 한다면 기본 측정 장비 금액을 포함하여 측정 장비 탑재 차량 구입 및 차량 개조비용, 그 이후 차량 유지비용이 추가되어 투입 비용이 높아짐

<표 5-5> 측정 장비 구입비용

단위 : 만원, 부가세 미포함

종류	오존	이산화탄소	아황산가스	일산화탄소	질소산화물	미세먼지	데이터입력장치	총액
모델	KN-410	KN-830	KN-110	KN-310	KN-210	KN-610	KN-710	
금액	1,400	1,100	1,200	1,300	1,100	1,400	700	8,200

나) 대기확산 모델링 시스템 현황

○ 국내 대기확산 모델링 시스템은 국내 자체 개발 시 개발 시스템의 신뢰도 평가에 대한 어려움이 있어 국내 개발 대신 미국 등 외국에서 개발되어 배포된 시스템을 이용하여 국내 지형자료를 도입한 후 한국형 대기 모델링 시스템으로 사용하고 있음

○ 고정 배출원에 대한 모델링은 적용하기 용이하나 항공기 등과 같은 이동 배출원의 경우 적용 범위 기준이 명확하지 않고 배출량 산출을 위한 자료 수집이 쉽지 않아 확산 모델링에 어려움이 큼

○ 시스템 구매 예산의 경우 현재 대기 확산 시스템을 제공하는 업체에 의뢰한 결과 기성품을 구매한다면 교육을 포함하여 500~600만원의 비용이 예상되지만 사용자 목적에 맞춘 시스템 개발 및 자료를 산출하기 위해서는 1억 원 이상 비용이 들 것으로 예상됨

<표 5-6> 국내 대기확산 모델링 시스템 종류

운영기관	모델링 시스템	내용
국립환경과학원	대기정책모델링지원 시스템	대기질 모델링 결과의 신뢰성 및 활용도를 제고하기 위하여 모델링에 필요한 정보자료를 통합 관리하고 국내 모델링 수준 발전 목적
E사	Airmaster	국산신기술(KT mark)로써 대기환경 평가용 소프트웨어
	K-AERMOD	미국 EPA에서 배포하는 AERMOD와 CALPUFF 시스템을 국내 GIS 정보와 기상정보를 입력하고 국내 조건에 맞게 재구성되어 판매됨
	K-CALPUFF	

3) 국내 지상조업장비 현황

○ 국내 지상조업사 현황

- 최근 다국적 조업사(샤프 등)의 국내 진출 등 국내 지상조업시장에 변화가 있었으나, 사실상 한국공항과 아스공항이 시장을 양분하고 있음
- 수요가 높은 4개 국제공항(인천・김포・김포・제주)의 경우, 대한항공사의 지상조업은 한국공항, 아시아나항공의 지상조업은 아스항공이 운영하고 있음
- 수요가 낮은 지역공항은 항공사에 관계없이 경상권(대구・울산・포항), 강원권(원주・양양), 충청권(청주), 전북권(군산)은 한국공항, 전남권(광주・여수・무안・진주)은 아스공항이 운영하고 있음
- 그 밖에 국내 지상조업사로는 샤프와 동보공항서비스(주)가 있는 것으로 조사되었으며, 주로 외국적항공사를 대상으로 운영되고 있음, 샤프는 4개 국제공항 외 대구・군산을 중심으로, 동보공항서비스(주)는 김포와 제주공항을 중심으로 운영되고 있는 것으로 조사됨
- 국내 조업사의 지상조업장비 보유현황을 보면, 한국항공은 총 680대, 아스공항은 총 477대 정도를 가지고 있음
- 가장 많이 보유한 GSE는 Tug Car로 한국공항은 267대로 전체의 약 40%, 아스공항은 전체의 약 31%를 차지하고 있으며, 샤프는 총 189여 대로 인천공항에서 72여 대가 운영되고 있고, 동보공항서비스(주)는 총 66여 대로 Ramp Bus 16대, Tug Car 10대 등록되어 있음

<표 5-7> 한국공항의 주요 지상조업장비 보유현황

장비명		보유대수(기능)	장비명		보유대수(기능)
Towing Tractor		51대 (항공기 견인 또는 Push back)	Tug Car		267대 (탑재용기 이동)
Main Deck Loader		15대 (항공기 대형화물 탑재 및 하기)	Cargo Conveyor		75대 (항공기 벌크화물 상·하역)
Lower Deck Loader		74대 (항공기에 화물/수하물 탑재 및 하기)	Air Start Unit		22대 (항공기 엔진 시동지원)
Ground Power Unit		30대 (항공기 전원 공급)	Lavatory Truck		18대 (기내오물 처리)
Air Condition Unit		19대 (항공기 난방 지원)	Potable Water Truck		17대 (기내 음용수 공급)
Step Car		32대 (승객 탑승 및 하기)	Ramp Bus		33대 (승객이동)
Deicing truck		19대 (항공기 제빙)	Re- fueler		8대 (연료운송 및 항공기 급유)

<표 5-8> 아스공항의 주요 지상조업장비 보유현황

장비명		보유대수(기능)	장비명		보유대수(기능)
Towing Tractor		36대 (항공기 견인 또는 Push back)	Tug Car		146대 (탑재용기 이동)
Main Deck Loader		9대 (항공기 대형화물 탑재 및 하기)	Belt Conveyor Car		63대 (항공기 벌크화물 탑재/하기)
Lower Deck Loader		40대 (항공기에 화물/수하물 탑재 및 하기)	Air Start Unit		18대 (항공기 엔진 시동지원)
Ground Power Unit		38대 (항공기 전원 공급)	Lavatory Truck		11대 (기내오수 수집 및 운반)
Air Condtion Unit		18대 (항공기 난방 지원)	Potable Water Truck		10대 (기내 음용수 공급)
Step Car		17대 (승객 탑승 및 하기)	Ramp Bus		39대 (승객이동)
Deicing truck		15대 (항공기 제빙)	Re- fueler		17대 9연료운송 및 항공기 급유)

○ 국내 지상조업장비 연료소비량(2010년 기준)

- 4개 지상조업사의 총 연료사용량은 7,182 kℓ이로 한국공항 50.4%, 아스공항 40.4%, 샤프 6.2%, 동보공항서비스(주) 3.1%로 한국공항과 아스공항이 전체의 90.8%를 차지하였음
- 공항별로 살펴보면, 인천공항 58.9%, 김포공항 16.0%, 김해공항 12.1%, 제주공항 11.0%, 대구공항 0.6%로 5개 국제공항이 전체의 98.5%를 차지하는 것으로 조사되었음

<표 5-9> 공항별 업체별 지상조업장비 연료사용량

단위 : kℓ

공항	연료사용량(경유)					비율 (%)
	한국공항	아스공항	샤프	동보공항 서비스(주)	합 계	
인천공항	2,045	2,027	157	-	4,229	58.9
김포공항	457	403	124	166	1,150	16.0
김해공항	602	232	36	-	870	12.1
제주공항	422	196	120	54	793	11.0
청주공항	32	-	-	-	32	0.4
대구공항	35	-	9	-	44	0.6
울산공항	12	-	-	-	12	0.2
포항공항	5	-	-	-	5	0.1
군산공항	2	-	1	-	3	0.0
원주공항	2	-	-	-	2	0.0
양양공항	1	-	-	-	1	0.0
광주공항	-	24	-	-	24	0.3
여수공항	-	8	-	-	8	0.1
무안공항	-	6	-	-	6	0.1
진주공항	-	2	-	-	2	0.0
합 계	3,617	2,898	447	219	7,182	100.0
비율(%)	50.4	40.4	6.2	3.1	100.0	

자료 : 항공기운영기관 조사자료

○ 지상조업장비 배출량

- 지상조업사의 지상조업장비에 의한 배출량은 19천 톤CO_2eq으로 산정되었으며, 주요공항별로는 인천공항 11천 톤CO_2eq, 김포공항 3천 톤CO_2eq, 김해공항 2천 톤CO_2eq, 제주공항 2천 톤CO_2eq으로 나타났고, 업체별로 한국공항 9천 톤 CO_2eq, 아스공항 8천 톤CO_2eq으로 두 업체가 전체의 90.8%를 차지하였음

나. 국외 시장 현황

○ 국가별 대기확산 모델링 시스템 보유 현황

- 대표적으로 미국, 영국, 독일, 프랑스에서 자체적인 대기확산 모델링 시스템을 보유하고 있으며 무료 배포 또는 유료 판매를 통하여 시스템 제공하고 있음

<표 5-10> 주요 대기확산 모델링 및 구매 비용

국가	개발	확산 모델	주요 내용 및 구매비용
미국	항공연방청 (FAA)	AEDT-EDMS	시스템 무료 공개 및 배포하여 필요한 사용자들이 쉽게 사용할 수 있도록 제공
영국	런던 CERC[117]	ADMS-Airport	ADMS 기반 공항 확산 모델링, 1억 3천만 원(1년 임대)
독일	항공연방청 (FAA)	LASPORT	LASPORT 기반 공항 확산 모델링, 2천 9백만 원(3개월 임대)
프랑스	항공연방청 (FAA)	ALAQS-Aiport	2011년 6월부터 배포 중단 기술적 자문만 지원하고 있음

다. 의미 및 시사점

○ 국내 일반 대기질 관리는 측정망이 전국적으로 설치되어있고, 다수의 모델링 개발업체 등을 통하여 국외 대기확산 모델링 프로그램을 국내에 도입하여 특성에 맞게 적용하고 있고 있는 등 국내시장은 어느 정도 활성화 되어 있음

○ 공항에만 특화된 대기질 관리는 한국공항공사와 인천국제공항공사 중심으로 단순 측정 및 모니터링에 국한되어 운영되고 있지만, 관리 필요성에 대한 인식 부재로 체계적인 관리가 이루어지지 않고 있음

117) Cambridge Environmental Research Consultants

○ 공항주변 대기질의 체계적 관리를 위해서는 오염물질 측정기기의 국산화 개발 등과 같이 자체 기술력 확보에 따른 항공환경 전문 인력을 확충하고 공항 측정시스템과 대기확산 모델링의 인프라를 구축하여 공항 대기질 관리의 발전을 도모해야 할 필요가 있음

○ 대기확산 모델링의 경우 국외에서 이미 개발된 모델링 시스템을 구매하여 적용할 수도 있지만 모드별 운영시간, 배출계수 등 국내공항 특성에 따라 적용할 필요가 있으므로 어느 정도의 국산화를 위한 연구개발은 예산지원은 필수적임

3. 국내외 기술 동향

가. 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개요

1) 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술의 개념

○ 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술은 공항 및 공항주변 종사자·주민들의 건강 보호를 위하여 공항 및 그 주변의 여러 배출원에서 배출되는 물질을 체계적으로 관리하고자 하는 것으로 온실가스 및 대기오염물질 측정 모니터링 기술, 대기확산 모델링 기술, 대기오염물질 지도표출 기술 등이 포함됨

2) 세부 기술의 개념

가) 온실가스 및 대기오염물질 측정 모니터링 기술

○ 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 대기오염을 “대기 중에 인위적으로 배출된 오염물질이 한 가지 또는 그 이상 존재하여 오염물질의 양, 농도 및 지속시간이 어떤 지역의 불특정 다수인에게 불쾌감을 일으키거나 해당지역에 공중보건 상 위해를 끼치고, 인간이나 동·식물의 활동에 해를 주어 생활과 재산을 향유할 정당한 권리를 방해하는 상태”로 정의함

○ 일부 지역에서 발생한 온실가스 및 대기오염물질[118]은 해당 지역에 머물러 있

118) 대기오염물질은 가스 상 물질 및 입자상 물질로 나누어 볼 수 있으며, 가스 상 물질(SO_2, CO, NO_2 등)은 연소, 합성, 분해 등에 의하여 발생하고, 입자상 물질(먼지)은 물질의 파쇄, 선별, 이송, 기타 기계적인 처리 또는 연소, 합성, 분해 시에 발생함

는 것이 아니라 기상 조건에 따라서 넓은 지역에 전파되어 영향을 끼치므로 국가 간, 지역 간 환경 규제 시스템이 필요함

○ 이에, 대기환경 규제를 보다 효과적으로 할 수 있도록, 도심이나 공단지역 등에서의 오염도를 상시 감시하는 감시체계나, 대기오염물질·온실가스의 시간 및 공간적 분포 측정 등을 포함하는 구체적이고 신뢰성 있는 측정 및 감시할 수 있는 기술로 주로 분광학(spectroscopy)[119]이 등용되고 있음

<표 5-11> 이산화탄소 및 대기오염물질 측정방법

측정항목	측정방법
이산화항(SO_2)	자외선형광법(Pulse U.V Fluorescence Method)
이산화탄소(CO_2) 및 일산화탄소(CO)	비분산적외선법(Non-Dispersive Infrared Method)
이산화질소(NO_2)	화학발광법(Chemiluminescent Method)
오 존(O_3)	자외선광도법(U.V Photometric Method)
미세먼지(PM10)	베타선흡수법(β-Ray Absorption Method)

나) 대기확산 모델링 시스템 기술

○ 대기는 기상조건에 따라 많이 달라지고, 특히 대기오염물질은 대기의 안정 상태에 따라 확산되는 정도가 달라짐. 세계가 산업사회화 되는 반면에 오염이 심화되면서 기존의 도시에 대한 오염도와 신규 산업시설 등에 의한 환경오염에 미치는 영향을 평가하기 위한 노력이 수십 년 전부터 이루어져 왔음

○ 그 결과 앞에 오염물질의 확산 특징을 고려하여 오염도를 평가할 수 있는 도구가 등장하게 되었고 이를 흔히 "대기확산모델"이라 함

- 대기확산모델이란 배출된 오염물질이 대기 중에서 확산 이동되어 나타나는 농도를 물리 화학적인 이론을 바탕으로 정량적으로 계산할 수 있도록 전산프로그램화 한 것을 말함

119) 전자기 방사선과 대기 중 오염물질 간의 상호 작용에 관한 연구로서, 대기 중 다종의 가스물질을 검출할 수 있음

○ 확산모델의 종류

- 예측기간
  - 장기모델 : 월별, 계절별, 연간 농도 계산용
  - 단기모델 : 1시간, 수 시간 농도 계산용
- 대상 오염원
  - 점오염원 : 대규모 배출시설(명확한 기준은 없으나 환경부 배출허가시설 3종 이상 업소)
  - 면 오염원 : 개인 주택, 군소 배출시설, 자연 배출원 등
  - 선 오염원 : 자동차, 선박, 철도, 항공 등 이동오염원
- 확산방정식
  - 상자모델 : 대상 지역을 상자로 간주하여 그 공간 내 평균 농도 산정으로 부정확함
  - 가우시안(Gaussian)모델 : 현재 환경영향평가 등에서 가장 널리 사용 중
  - 3차원 수치모델 : 라그랑지안(Lagrangian), 오일러(Eulerian) 모델 등 매우 정교하나 고도의 기술 필요
- 연기 확산 형태
  - 플륨(plume) 모델 : 연기가 배출구에서부터 착지점까지 연속되는 것으로 계산함
  - 퍼프(puff) 모델 : 단위시간에 배출된 연기를 커다란 하나의 연기 덩어리로 나오는 것으로 가정함. 시간에 따른 풍향변화와 안정도별 확산계수에 따라 농도를 계산되며, 라그랑지안 모델이 이 개념을 도입하고 있음
  - 오일러 모델 : 대상지역을 작은 상자로 나누어 각 상자에서의 바람장과 확산도, 화학반응 등을 계산함
- 주요 모델의 특징
  - 상자모델(box model) : 대상지역을 커다란 상자로 간주하여 그 안에서 배출된 오염물질을 모두 잘 혼합되는 것으로 조금 발전된 단계로는 상자 내 오염물질의 변화와 유입, 유출되는 변화율을 고려함. 기본 원리가 매우 단순하므로 배출원과 지형이 고른 작은 규모에 적합함
  - 가우시안 모델(Gaussian model) : 오염농도가 연기중심축으로부터의 거리에 따라 정규분포(가우시안분포)를 이룬다는 통계적 가정을 채택하고 있음. 예

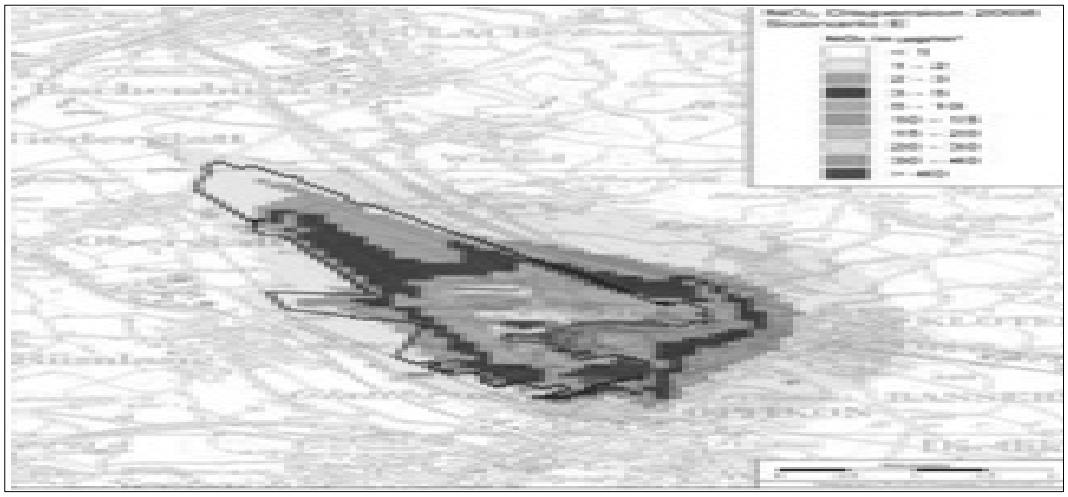
측 정확도에 한계가 있기는 하나, 비교적 정확하고 사용이 간편하며, 현재 도시규모의 대기질 관리정책과 환경영향평가 등에서 가장 널리 사용 중

- 라그랑지안 모델(Lagrangian model): 대기오염물질의 농도를 바람과 확산에 의해 변화되는 위치를 따라가면서 계산되는 것으로 단기간의 예측에 효과적인 것으로 알려졌으며, 지형특징에 의한 풍향의 변화, 오염물질의 화학변화 등을 시간에 따라 계산할 수 있는 정교한 모델 종류중 하나임
- 오일러 모델(Eulerian model): 대기를 수평, 수직방향으로 여러 개의 작은 상자로 나눈 후, 상자 간 오염물질의 확산에 의한 유출입을 바람의 이동과 시간변화에 따라 계산하는 방법으로 흔히 이 방법과 라그랑지안 모델은 수학적 연산과정이 주를 이루므로 수치모델이라 부름. 적용 대상범위가 넓고 매우 정교하지만 확산 및 화학변화와 관련된 많은 물리 화학과정을 정확히 고려하여야 하므로 고도의 지식이 필요함

다) 온실가스 및 대기오염물질 지도표출시스템 구현

○ 이동경로에 따라 발생하는 온실가스와 대기오염물질의 배출현황 및 배출량 정도를 그래픽 또는 지도화하여 누구나 쉽게 실시간으로 확인할 수 있는 기술로 2D로는 쉽게 구현 가능함

○ 지리정보시스템(Geographic Information system, GIS) 기반으로 구현가능하나 고도의 작업이 필요함



<그림 5-14> 온실가스 및 대기오염 물질 지도표출시스템 구현

라) 지상조업장비 연료소모량 모니터링 기술

○ 지상조업의 개념

- ICAO(International Civil Aviation Organization)는 “지상조업은 터미널조업과 램프조업으로 구분되며, 통상항공기 정비 및 수리는 포함되지 않는다.”로 정의하여 지상조업의 범위를 설정하고 있음
- IATA(International Air Transport Association)와 IGHC(IATA Ground Handling Council)에서는 지상조업의 개념을 구체적으로 정의하지 않았으나 여객, 운항, 수화물, 화물, 램프, 항공기 청소 등 모두 8개 분야로 구분하고 있으며, 그에 따라 지상조업을 공항의 여객/화물 터미널의 여객/화물의 수속 및 램프, 수화물/화물의 탑재, 항공기급유, 기타 항공기 청소 및 기내용품 탑재 등으로 정의할 수 있음
- 우리나라「항공법」은 항공기에 대한 급유, 항공 화물 또는 수하물의 하역, 그 밖에 정비 등을 제외한 지상조업을 하는 사업을 항공기 취급업으로 정의하지만, 국내 대표적인 지상조업사는 급유, 하역 등의 정비도 포함하여 운영

○ 공항 내 지상조업장비의 연료사용량을 구체적이고 신뢰성 있게 측정을 위해 지상조업장비에 계측기를 설치하여 실시간으로 확인할 수 있는 기술

나. 국내 기술 동향

1) 온실가스 및 대기오염물질 측정 모니터링 기술

○ 환경부

- 대기오염 측정소에서 생성된 데이터의 신뢰도 향상 및 효율적 관리를 위하여 환경부에서 개발・운영 중에 있는 국가대기오염정보시스템(National Ambient air Information System, NAMIS)으로 전송되어 Web상에서 수집, 선별 및 확정되고 있음
- 국가와 각 지자체에서 운영 중인 측정망의 측정결과는 해당기관이 NAMIS를 통해 1차 확정하고 국립환경과학원에서 최종확정 한 후 공식 국가대기오염도로 사용되고 있음
- 에피소드(고농도 사례 등) 관리, 통계분석, 측정소 관리 등의 역할도 이 시스템을 통하여 수행하고 있음

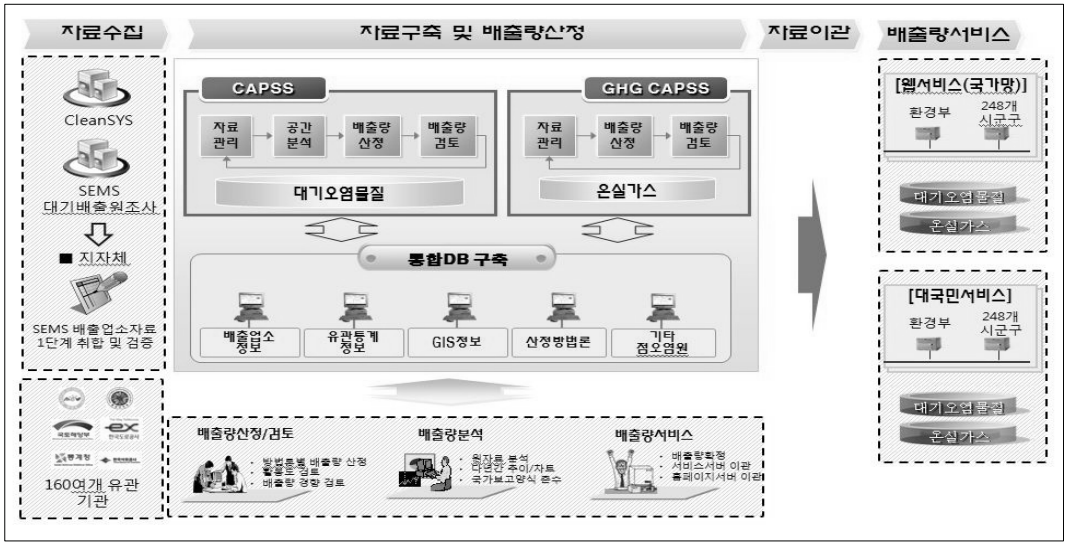
- 아울러, 대 국민 알권리 충족 등을 위하여 NAMIS에 수집된 대기오염도 및 각종 대기환경 정보 등을 대기오염도 실시간 공개 전용 홈페이지(Air Korea)에서 실시간으로 제공하고 있음



<그림 5-15> 국가대기오염정보시스템(NAMIS) 구성 및 자료 흐름도

○ 국립환경과학원

- 온실가스 및 대기오염물질 통합관리시스템(Green House Gas Clean Air Policy Support System, GHG-CAPSS)을 구축하여 지속적으로 온실가스 및 대기오염물질을 산정하고 있으며, 정보시스템 자료 활용성, 통계 기능 등 사용자 편의 증대를 위하여 부문별 배출량 산정방법 개선, 시스템 고도화를 위한 연구 진행 중



<그림 5-16> GHG-CAPSS 운영체계

2) 대기확산 모델링 시스템 기술

가) 시·공간 배출량 및 기상 입력자료 구현 기술

○ 대기오염물질 분포 과정은 전체적인 배출명세 작성 절차와 분포 모델링과 밀접히 연관되어 있음

○ 대기오염물질은 공항의 대기질 분석 과정에서 다른 시간대에 분포되거나 전혀 분포되지 않을 수 있음. 예를 들어 일부 공항에서는 배출명세를 작성하기 때문에 업무별로 협력하여 이 작업을 완료하였으나 다른 공항에서는 확산모델링이 시작할 때까지는 배출물질 분포가 완료되지 않음

○ 이러한 이유로 배출명세에는 전체 공항에서 발생하는 전체량을 배출원과 오염물질 종류별로 확산하여 수록되어 있으며 이는 필수 사항이 되어야함

○ 확산 모델링을 위해 자료를 최종적으로 적용하는 경우 배출물질의 시공간 분포에 대한 평가 접근방식은 확산 모델의 요구사항과 관련 기상 자료에 의해 결정됨

○ 일반적으로, 확산모델 출력 시 연간 8시간, 24시간별로 한계치를 초과하는 횟수를 이용하여 나타내려면 농도가 필요하며, 또한 지구 공간적 표시를 지역 또는 국가적 평가에 적합하게 맞춰야 할 수 있으며 지연이 발생하지 않도록 정확하게 측정하는 데 주의

<표 5-12> 배출원별 대기오염물질 분포 시 시간 입력출처

배출원	자료 공급원
공항 활주로/유도로/게이트	지도,정사사진, 공항배치계획(AIP), 지리정보시스템(GIS) 파일, 현장조사
고정 배출원	지도, GIS 파일, 정사사진, 공항 운영사무소, 상주 기사유지보수 사무소, 현장조사
에어사이드 이동 배출원	종합계획서, 공항 운영사무소 유지보수 사무소, 현장조사, 취급 업체/에이전트
랜드사이드 이동 배출원	종합계획서, 공항 운영사무소 유지보수 사무소, 현장조사, 지역당국
기타 배출원	종합계획서, 공항 운영사무소, 유지보수 사무소 공항안전사무소, 공항경비회사(airport security) 상주 기사 설문지, 장현조사

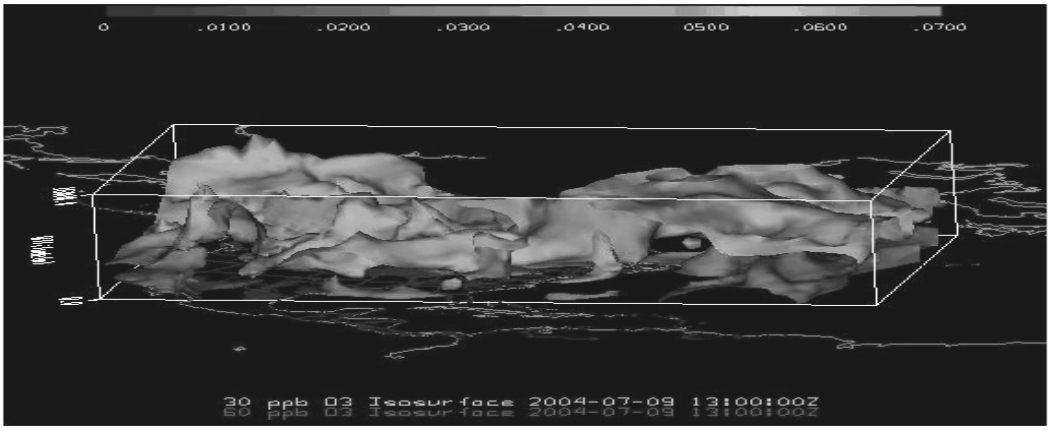
<표 5-13> 배출원별 대기오염물질 분포 시 공간 입력출처

배출원	자료 공급원
고정 배출원	종합계획서, 소음보고서, 연료조달일정/기록 연료사용 기록서, 공항 운영사무소, 공항 유지보수사무소, 상주 기사 설문지
항공기	항공기 운항일정, 관제탑 업무일지 항공사, 화물수송 일정, 관찰
에어사이드 이동 배출원	항공기 운항일정, 항공사, 서비스 제공업체 종합계획서, 공항 운영사무소 유지보수 사무소, 관찰, 취급업체
랜드사이드 이동 배출원	종합계획서, 대량수송일정, 주차장 차량합계, 직원 일정, 화물수송 일정, 도로 교통량 합계, 속도제한표, 도로 속도 측정, 공항 운영사무소, 유지보수 사무소, 공항경비회사, 관찰/현장조사
기타 배출원	종합계획서, 공항 운영사무소, 유지보수 사무소 공항안전사무소, 공항경비회사, 상주 기사 설문지 현장조사

나) 대기확산 모델링 시스템 개발 및 운영 현황

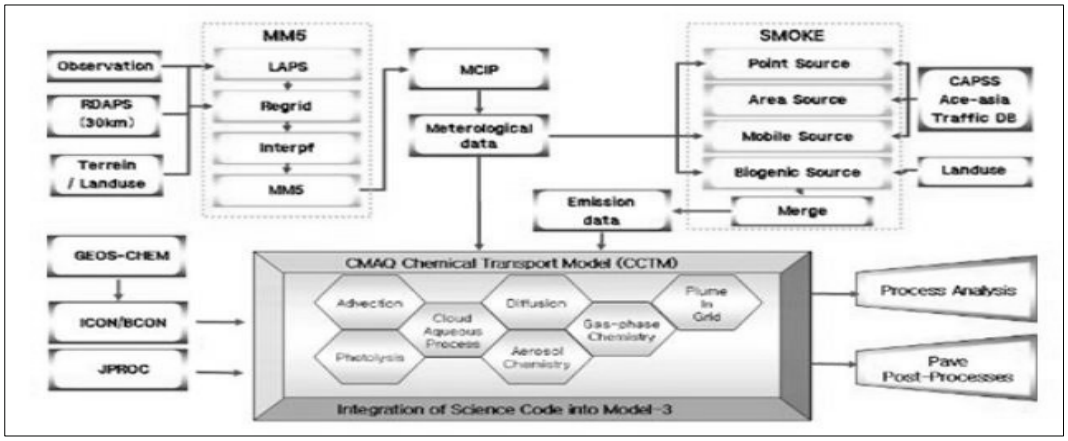
○ 국립환경과학원

- CMAQ(Community Multi-scale Air Quality)
- 한국형 대기질 분석모델링(CMAQ) 시스템 구축으로 수도권 지역에서의 대기질 측정망 자료를 이용한 이동오염원 배출량 검증 진행 중
- 대기질 모델링을 위해서 CMAQ을 사용하는데, CMAQ은 미국 EPA 기존의 대기오염 모델의 단점을 보완하여 개발되었음
- CMAQ은 1998년 6월 공식 ver.1이 발표되었고 현재도 활발하게 개선되고 있는 모델로 ver 5.0.1까지 출시되었음, 모델링 영역의 규모가 다양하여 국지규모에서 지역규모 모델링까지 다양하게 동시에 모델링이 가능



<그림 5-17> CMAQ ver 5.0.1을 통한 오존확산 정도

- 또한 여러 가지 오염물질을 동시에 고려할 수 있고, 황화합물과 오존화합물 뿐 아니라 최근 들어 기후적 측면과 국지오염의 측면 등에서 중요한 관심사가 되고 있는 이산화탄소 및 에어로졸도 동시에 계산 가능



<그림 5-18> CMQA 모델링 시스템 개요도정도

① 한국환경정책 평가연구원

○ ISCST3(Industrial Source Complex short Term)

- 입자상 물질의 침적, 가스 상 건성 및 습성 침적, 면오염원, 점오염원 체적오염원, 지형고도 등 다양한 부분 고려, 국내 환경영향평가에 적용
- 공간적으로 수평연기확산계수 및 연직연기확산계수가 일정하다는 가정을 사용하나 실제 대기는 고도에 따라 그 값들이 크게 하기 때문에 ISCST3의 정

확도는 낮아짐

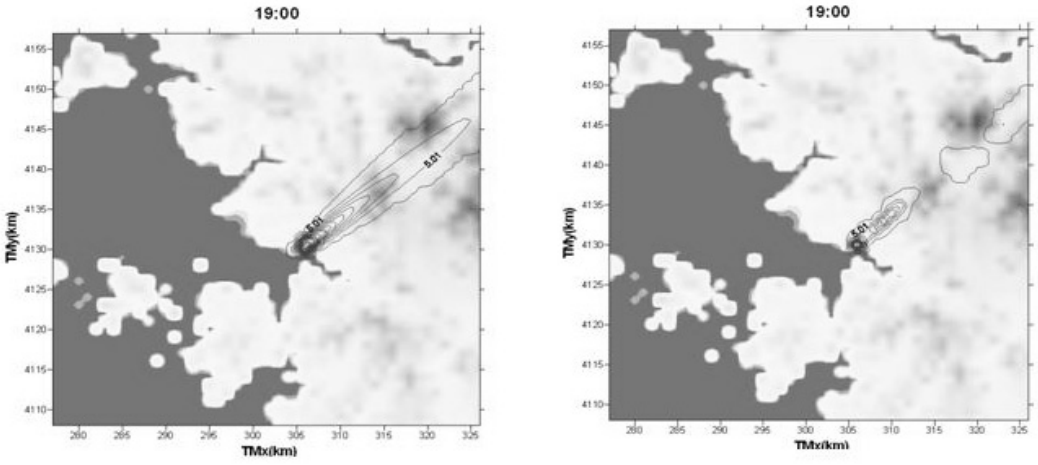
- 기상 조건과 배출량의 시간변화가 없다고 간주하기 때문에 복잡한 해안가 지형, 역전에 의한 영향을 고려할 수 없음
- ISCST3에서 업그레이드 된 ISC-Prime은 빌딩 다운워시에 대하여 강화된 연기 확산계수를 사용하고 빌딩효과 모듈 이외의 알고리즘은 ISCST3과 동일하게 적용

○ AERMOD(The American Meteorological Society [AMS/EPA Regulatory MODel])

- 지형적 영향을 고려하지 못하는 ISCST3의 단점과 복잡지형에서의 복잡성을 보완하여 1996년 미국기상학회와 미국 환경부가 공동 개발하여 EPA의 규제 모델로 평가받으나 국내 환경영향평가에 적용되지 않음
- 실제로 미국 EPA에서는 AERMOD를 공식적인 우선추천 대기확산모델로 2005년 12월 9일부터 사용하도록 권고하고 있으며, 이에 따라 AERMOD가 가우시안 플룸 모델의 표준대기확산모델이 될 것으로 예상됨
- AERMOD는 ISC3모델의 가장 큰 단점이었던 대기상태가 공간적으로 균일하다는 가정과 복잡지형에서 적용 문제점을 보완한 모델임
- ISCST3 대기확산모델을 향상시킨 데 있어 두 가지 특징을 지니고 있음
  - 첫째, 굴뚝으로부터 나온 플룸이 지형고도를 넘어서 확산될 것인지 또는 지형고도를 넘지 못하고 주위를 맴돌 것인지에 대한 것을 결정해주는 확산 알고리즘을 포함하고 있으며, 복잡지형의 확산 알고리즘은 ISCST3 대기확산모델에 포함된 COMPLEX1 확산 알고리즘을 개선시킨 것임
  - 둘째, AERMOD의 일부분인 행성경계층(PBL) 개념은 대류조건하에서 농도를 계산하는 방식을 개선시킨 것으로, AERMOD 02222 버전은 PRIME 빌딩 다운 워시 알고리즘을 포함하고 있음
- 기상처리모델 AERMET과 지형전처리모델인 AERMAP으로 구성되어 있고 용어 및 입력 자료의 형태는 기존 ISC3모델과 유사하게 구성
- 배출원 높이나 변수자료, 리셉터위치, 기상자료 파일 경로, 결과 파일 생성 옵션 등을 포함하고 있는 runstream setup과 기상자료를 통해 모델을 구동함
- 부지기상과 상층기상으로 나뉘며 국내 기상자료를 미국 기상자료 형식으로 변환해야 EPA 기상전처리프로그램에 적용 가능

<표 5-14> AERMOD 옵션 종류

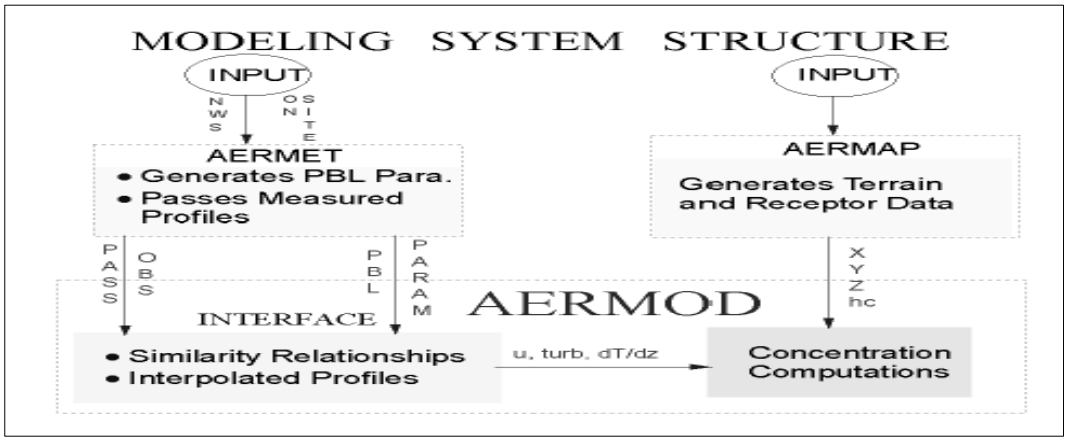
옵션 종류	특 징
확산옵션	모델 운영시 규제용 자동설정 옵션을 디폴트값으로 사용 굴뚝 끝 다운 워시나 정온상태 또는 미싱 기상자료가 발생했을 때 처리과정 등이 포함되며 사용자는 AERMOD 모델을 통해 장기간 평균농도 및 단기간의 평균농도 계산 가능
배출원옵션	점, 면, 부피 오염원을 포함한 여려 오염원들의 취급이 가능하며 선 오염원의 경우 부피오염원이나 면오염원 적용방식에 따라 계산 배출율은 대상기간동안 일정하게 취급 가능하며 월별, 계절별, 시간별로 변화하는 것으로 고려 할 수 있음
리셉터옵션	단순 모델 구동 시 여러 수용점을 선정하는 등 리셉터 위치 설정에 유연성을 가짐 리셉터 고도에 따른 Hill Height Scale 일반화 위한 AERMAP 지형처리 시스템 개발
기상옵션	지표 경계층 자료와 풍속, 풍향, 난류 파라미터를 포함한 연직 기상변수 이용 AERMET 기상처리 프로세서를 통해 생성하고 이 결과는 기본 포맷으로 모델에서 자동적으로 인식
출력옵션	각 평균화 시간별, 리셉터별, 오염원별 높은 농도 값 출력 각 평균화 시간별, 오염원별 상위 50개 고농도 값 출력 각 평균화 시간별, 오염원별로 리셉터에서 동시에 발생하는 값 나타내는 표 출력



<그림 5-19> AERMOD 대기확산 모의 결과(지형 고려)

② CALPUFF

- 현재 사용되고 있는 ISCST3과 비교하여 시간별 3차원 기상장 변화와 지형을 충분히 고려하는 알고리즘을 사용하여 그 영향이 매 시간 농도분포에 명확히 반영되고 있으며, CALPUFF는 ISCST3나 AERMOD와 비교하여 훨씬 넓은 영역에 대한 확산 실험이 가능하며, 지표면과 상층 기상 자료를 이용하여 지형효과를 고려한 3차원 풍향, 풍속, 온도, 혼합고, 난류 등을 생성하는 기상 전처리 과정을 포함하고 있음
- 굴뚝에서 연속적으로 배출되는 연기가 잘게 나누어진 각각의 연기덩어리로 배출된다고 가정하여 이 퍼프가 공간적 해상도를 갖는 바람장을 따라 이동 및 확산이 될 때까지 미치는 영향을 종합하여 농도 계산

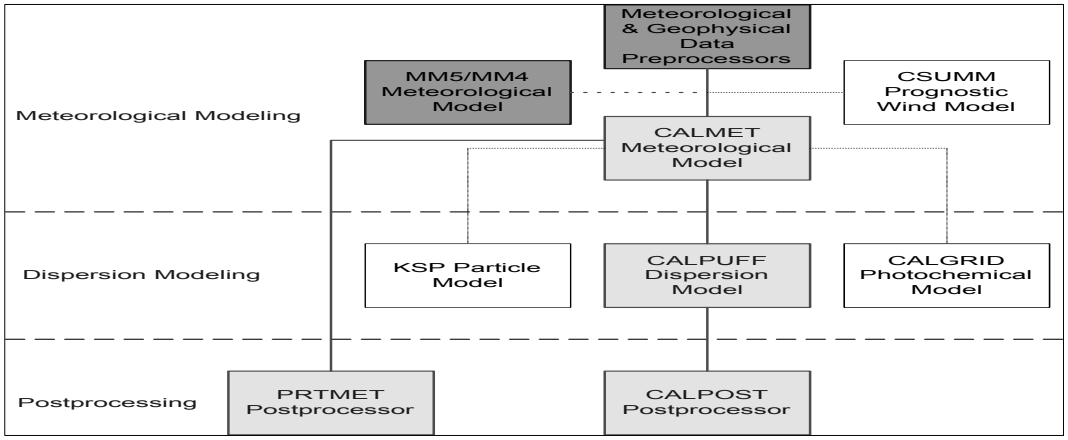


<그림 5-20> AERMOD 구성도

- 기본적 특징
  - 점, 면오염원에 대한 시간적 농도변화 계산 가능
  - 오염원으로부터 수십 미터에서 수백 킬로미터까지 모델링 가능
  - 한 시간에서 일 년까지의 평균화 시간에 대한 농도예측 가능
  - 비활성 오염물질 및 화학변화를 일으키는 오염물질에 대한 예측 가능
  - 거칠고 복잡한 지형상황에 대한 모델링 가능
- 구성요소
  - 진단 및 예측 기상장 생성모듈을 포함한 기상 모델링 도구(CALMET)

• 화학적 제거 및 건습식 침적, 복잡지형 알고리즘, 빌딩 다운워시, 연기 침강 및 기타
• 효과들을 다루는 가우시안 퍼프 확산모델(CALPUFF)
• 기상자료와 농도 및 침적량에 대한 결과를 볼 수 있는 후처리 시스템 (CALPOST)

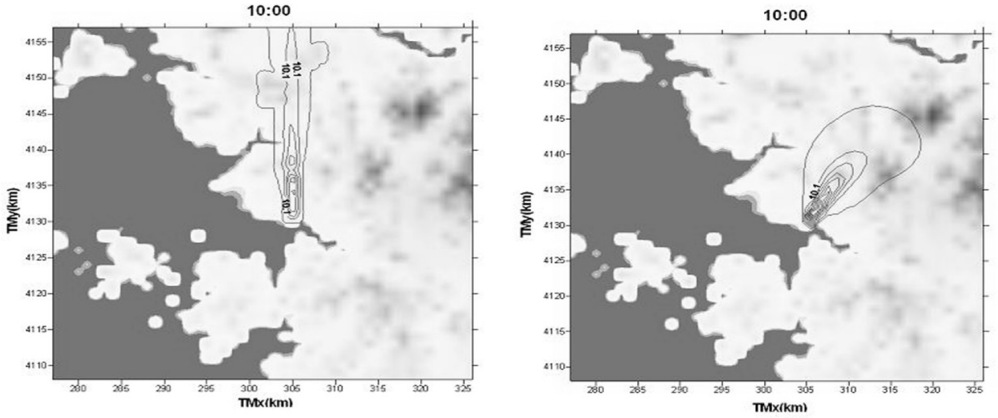
- 해안가, 산악, 계곡과 같은 복잡지형의 점오염원의 경우 CALPUFF 모델 적용 시 결과 값에 대한 신뢰도가 높아짐
- 가우시안 플룸 모델 대비 사용 방법이 복잡하고 까다로우며 전문성이 필요하나 기상요소 반영 여부, 신뢰도 등에 따라 미국, 캐나다, 중국 등의 CLAPUFF 사용빈도 증가



<그림 5-21> CALPUFF 모델링 시스템

- 대규모 점오염원 사업의 모델 적용 시 CALPUFF 모델은 국내에서 사용하는 ISCST3, AERMOD와 비교할 때, 시간별 3차원 기상장 변화와 지형을 고려하는 알고리즘을 사용하여 매시간 농도분포를 명확히 나타내며 훨씬 넓은 영역에 대한 확산 실험 가능
- 아래 그림은 실행 1시간 후의 농도 분포를 나타낸 것으로 ISCST3의 결과를 살펴보면 모델 실행 1시간 후 대상 영역 끝까지 확산되는 ISCST3의 특성을 볼 수 있는 반면, 3차원 기상장을 사용하여 수치모의 하는 CALPUFF의 결과를 살펴보면 일출 후 해양과 육지의 비열 차에 의한 해풍이 서서히 발달함에 따라 오염 농도가 내륙으로 확산되어 가는 것을 볼 수 있음

- 이러한 현상은 해풍의 유입과 함께 지속적으로 나타나다가 일몰 후 해풍의 발달이 약화되고 점차적으로 해풍이 소멸됨에 따라 내륙으로 확산되는 현상도 약화되게 되나 ISCST3의 경우는 해당 기상대의 기상자료의 특성에 따라 매 시간 동일한 풍속과 풍향 등의 기상자료에 의하여 계산되므로, 그에 따라 확산의 분포가 단순한 풍계에 의하여 결정되어 짐을 볼 수 있음



<그림 5-22> 점오염원에 대한 ISCST3와 CALPUFF 모델 결과

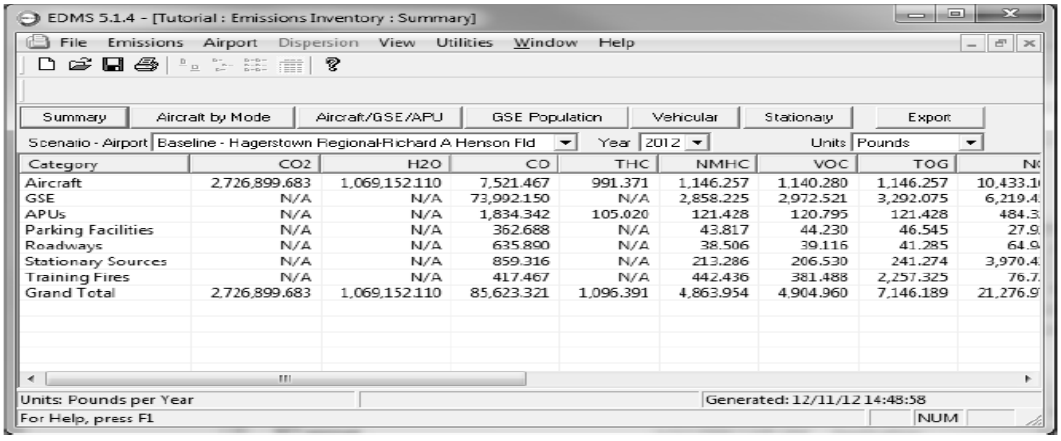
다. 국외 기술 동향

1) 대기확산 모델링 시스템 기술 및 배출지도 표출시스템 구현

○ 미국 FAA(연방항공청)

- EDMS(Emission and Dispersion Modeling System)
  - 공항 내 항공기 오염물질 배출량 시·공간 분석 컴퓨터 모델로 1997년에 개발되었으며, EPA 승인의 확산알고리즘을 사용하고 현재 ver.5.1.3(2010년)까지 개발되었음
  - EDMS는 FAA에서 항공기, APU, 지상 지원 장비, 지상접근차량, 비유동적 요소 평가를 통하여 공항과 그 대기질을 평가하고, 항공 산업을 감독하는 도구로 사용되어 지고 있으며, 민간항공기 군용기의 배출계수 DB, 지상조업장비와 공중지원장비의 배출계수 DB, 그리고 대기환경기준을 산출하는 report module을 포함하고 있음

- 항공기의 경우 각 비행단계별 배출계수와 그에 따른 소요시간을 토대로 하여 산출하며, 배출계수는 기본적으로 ICAO Engine Exhaust Emission Data Bank를 사용하고, 차량 배출계수는 EPA MOBILE6 최신버전 모델의 계수를 사용하고 있음
- 이를 통해 항공기 LTO에 의한 배출량이 공항 주변지역의 대기질에 미치는 영향을 살펴볼 수 있으며, 풍속계 패턴에 따른 대기오염물질 농도의 공간 분포 분석이 가능함
- EMDS에서 계산되는 오염물질은 항공기에서 배출되는 CO_2와 H_2O 및 PM, 항공기 및 APU에서 발생되는 THC(total hydrocarbons), 그 외 CO, NMHC, VOC, TOG, NOx, SOx, PM10, PM2.5 및 394 Speciated Organic Gases임

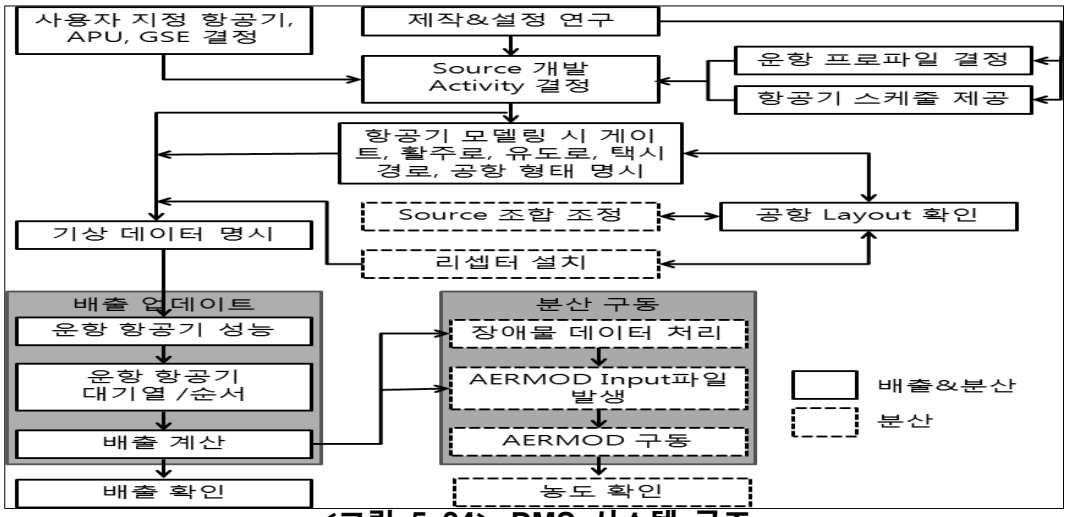


<그림 5-23> EDMS의 배출원별 대기오염물질 배출량

- 모델링 적용 방법
  - 항공기 taxi 시간 모델링 중 사용자 명시 택시 타임은 각 항공기에 적용되는 택시 인과 택시 아웃의 디폴트를 결정할 수 있으며 필요 시 각 항공기에서 변경 가능하고, 지연, 시퀀스 모델링은 항공기 운항 스케줄, 이용 활주로 배치, 항공기 지상 움직임을 모델링하는 공항 수용력과 연관된 지연을 고려하고 각 항공기 운용 시 특정 taxi타임을 정함
  - 항공기 스케줄 옵션은 모든 항공기의 푸시백과 착륙 시간 포함된 스케줄 파일을 소지할 경우, 시퀀스 모델링 기반 및 각 항공기 타입의 운항 횟수를

정하는 것으로 사용할 수 있으며 스케줄 파일이 불가능할 경우, 연간 운항 및 프로파일로부터 가정한 스케줄 생성 및 이 스케줄을 이용하여 시퀀스 모델링의 기초로 사용함

- 기상 옵션은 연간 평균 및 시간당 기상 데이터를 사용하며 시간 당 기상 데이터는 AERMET을 통해 제공됨



<그림 5-24> DMS 시스템 구조

○ 미국 EPA(환경청)

- 국가 정책 수립 시 미래에 발생될 대기질 변화를 예측함으로써 대기관리 정책 등을 수립하는데 필요한 도구임
- 기상관측자료 및 대기 배출량 자료 등을 가공하여 대기질 모델링을 수행함으로써 대기질을 예측할 수 있으며, 그 결과를 평가할 수 있음
- 대기질 예측 및 평가모델로는 ISC, AERMOD, CALPUFF의 비반응성 모델과 CMAQ 등의 반응성 모델을 적용하여 평가할 수 있음
  - ISC과 AERMOD : 기본적으로 대기안정도가 정상상태인 가우시안 모델 기상자료(시간별 대기안정도, 풍향, 풍속, 기온, 혼합고), 오염원 및 GIS 기반 자료를 토대로 하여 오염분포를 예측하는 대기 확산모델링
  - ISC-PRIME : ISC3모델이 정확히 모사하지 못하는 건물 주위의 세류현상을 보다 정확히 고려할 수 있도록 보완하여 개정
  - CALPUFF : 기본적으로 대기안정도가 비정상상태인 가우시안 모델 기상자료(바람장 또는 시간별 대기안정도, 풍향, 풍속, 기온, 혼합고), 오염원

및 GIS 기반 자료를 토대로 하여 예측하는 대기 확산 모델링

• CMAQ : 미국 EPA 기존의 대기오염 모델의 단점을 보완하여 개발되었음

○ 유럽 EUROCONTROL(유럽항행안전기구)

- 모니터링만으로 공항 오염 추산의 어려움을 해결하기 어렵기 때문에 공항주변 대기 오염의 공항 기여도를 평가하고 연구를 위한 테스트 벤치 및 피드백을 제공하며 자세한 공항 배출 인벤토리와 확산 모델링 평가가 가능하도록 미국 FAA의 EDMS와 유사한 항공기 오염물질 배출 및 확산 모델(LASPORT, ALAQS-AV)이 개발되어 있음
- 이들 모델에는 모든 배출원의 시공간 측정이 가능한 알고리즘이 없을 수 있으므로 이들 모델에 대한 시·공간 분포 입력 자료가 필요함
- GIS 기반 모델은 ALAQS-AV에 따온 그림을 도시화 한 일례가 아래와 같으며, LASPORT 또한 GIS 기능이 필요함. 그래픽 사용자 인터페이스 기반 프로그램은 시·공간적으로 더욱 편리하게 지원 가능함



<그림 5-25> ALAQS-AV 모델링 도식화

- ALAQS-AV 배출원 그룹
  • 항공기는 엔진, APU, 타이어와 브레이크 wear에서 소모되는 연료에 의해 주로 야기되는 항공기로부터의 배출로 구분
  • Stand 장비는 GSE, APU, GPU, 엔진 시동 배출로 구분되며 이 중 GSE는 모든 지상 핸들링 장비 및 주기 장소에서 항공기 출발 또는 도착을 지원하는 차량, 스탠드 및 피어 오픈 장비를 포함

• 고정 배출원은 파워플랜트, 연료 탱크, 화재 진압 훈련, 항공기 정비, 제빙 등 포함

• 차량 배출원 중 airside 차량은 서비스 차량, coach, tankers, 기내식 공급 차량 등 공항 운영지역 내 도로상 airside 서비스 제공 차량 포함하고 landside 차량은 공항 운영지역 바깥 도로 차량 이동 및 여객 차량, 택시, coaches, 중량차, 경량차, light rail 및 heavy rail 등을 포함



<그림 5-26> ALAQS-AV 공항 배출원 그룹

- 모델링 활동 프로파일

  • 일시적 활동 프로파일은 비항공기 배출 데이터의 중요한 특성이며 시간별, 날짜별, 월별 운영 데이터와 통계로부터 얻어짐

  • 가능한 모든 경우에서 공항 연구에 따른 지역 데이터를 기반으로 생성

  • 유효한 프로파일 획득 시 활동 프로파일의 Definition 창을 통해 ALAQS-AV로 쉽게 포착 가능함

- 모델링 배출 계산

  • 계산 기간은 날짜/시간의 시작과 끝 평균으로 결정되며 시간당 배출량은 모든 배출원과 그 속성이 시스템 내 포착 시 계산 가능

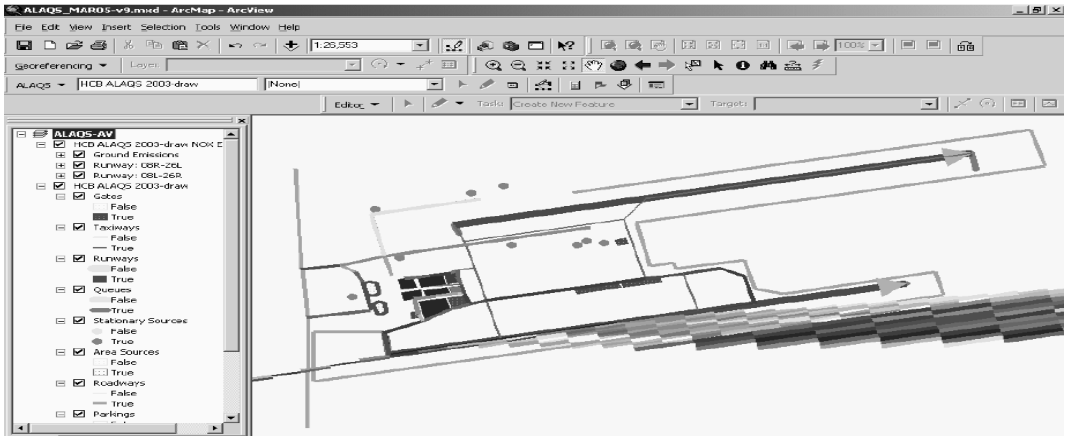
  • 항공기 배출계수는 EDMS 4.11(UNIQUE의 PM 배출 근사치를 포함)을 기반으로 한 ALAQS-AV 데이터베이스 포함

  • 전제조건 데이터는 항공기 엔진 배출 데이터, 엔진 시동 배출, 항공기 프로파일이 포함된 input 데이터, 공항 위치(위도/경도/고도), 차량 fleet year 및 fleet country, 주차 및 도로의 배출 측정, 평균 기온을 입력함



<그림 5-27> ALAQS-AV 데이터 입력 구현

- ALAQS-AV 자동 실행 요소
  - Merged Source라 불리는 단층 내 배출 특징의 모든 여러 타입 합산
  - 각 요소별 선택된 기간 동안의 시간당 배출 계산
  - 메시지, 경고, 에러 과정을 목록화 테이블 기록
  - 시각화 툴을 이용한 결과 디스플레이



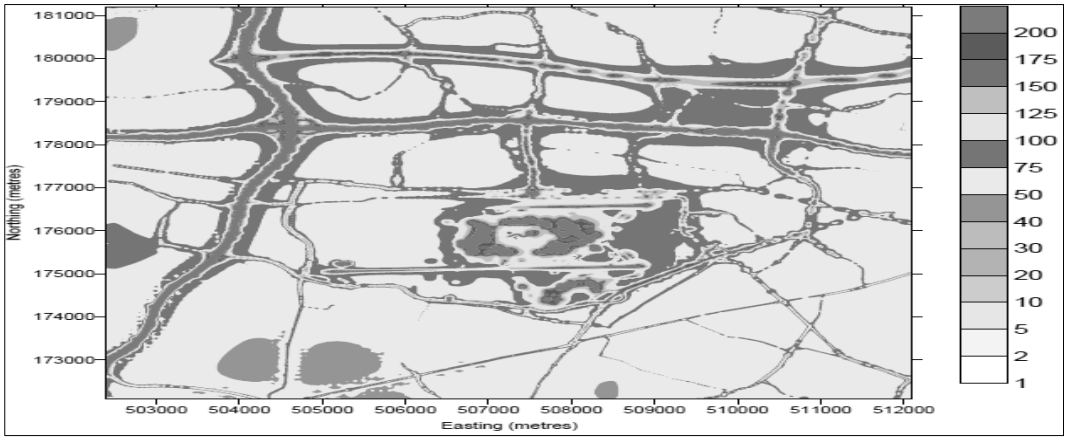
<그림 5-28> ALAQS-AV NOx 배출농도 결과

○ 영국 CERC

- 기본 Atmospheric Dispersion Modeling System(ADMS)-Urban 기반으로 확산모델은 가우시안 모델을 채택하여 2002년 기준 2010, 2015, 2020, 2030년의 공항 및 공항 주변의 대기질 모델링을 위한 ADMS-Airport 버전 개발
- 배출 인벤토리 관리 및 조작을 위한 시스템 제공하며 사용자 편의를 위한 모

델링 과정 단순화

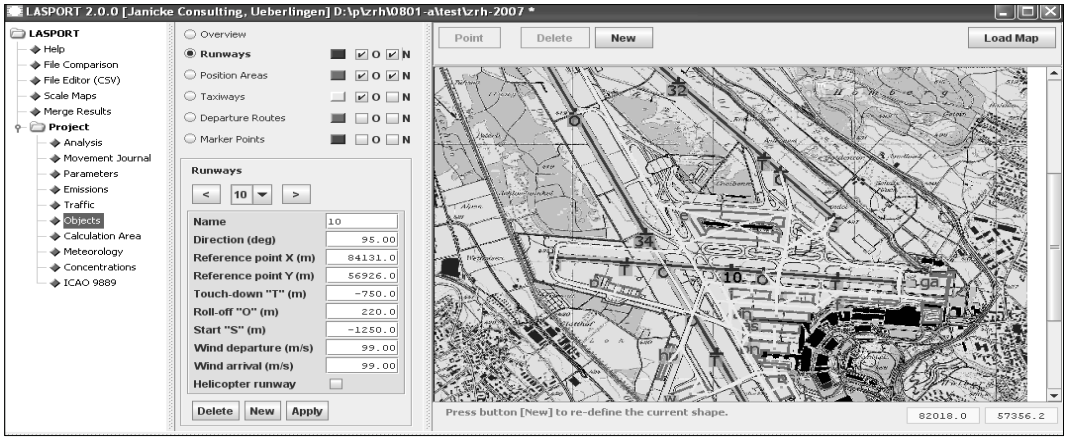
- 지상 활주, 이륙, 접근, 착륙으로부터의 항공기 엔진, 항공기 APU, 항공기 GSE(정지 상태의 GSE 운용, Apron쪽 GSE 운용), 공항 지상 트래픽 , 파워 플랜트와 같은 공항 비유동적 배출원, 도로와 같은 공항 접근 등의 주변 배출원을 고려하여 초~ 년 단위로 배출농도를 평균화하여 계산 가능
- 항공기로부터의 배출된 물질의 영향을 계산하기 위해 ADMS Jet모델 이용
- 활주로를 따라 가속하는 항공기는 항공기 배출량 기여도를 결정하는 것과 더불어 다른 배출요소와는 다른 항공기 배출 Plume 형태를 모델링을 통하여 보여줌
- LIDAR(Light Detection and Ranging Remote Sensing Technique)를 통하여 항공기에서 배출되는 물질의 특정 Plume 확인 가능
- 모델링 프로그램 기본 설정 데이터
  - 기본 설정 데이터는 항공기 부분에서 엔진 카테고리, 엔진 수, 항공기 이동에 따른 직선의 시작과 끝 위치, 시작과 끝의 항공기 속도 등 설정
  - 로컬 데이터는 도로의 협곡 높이와 도로의 너비, 굴뚝의 높이와 직경 및 배출속도, 기상자료 시스템에 공항 및 공항주변 기상자료를 입력해야 함
- Output 데이터
  - 배출 농도는 초부터 년 단위 범위 평균시간으로 계산 가능하며 백분율, 농도 한계값 초과, rolling 평균 수 계산 가능하고 3,000개의 격자 셀을 이용하여 domestic 주택으로부터의 배출과 같은 너무 작아 정확히 정의하기 어려운 배출의 모델링 가능
  - 이러한 옵션들은 사용자가 농도 결과를 UK NAQS, US NAAQS, EU 또는 WHO에서 제공되는 제한치와 즉시 비교할 수 있도록 함
  - 모델링 결과는 지역적으로 모니터하는 데이터와 비교하여 확인
  - 모니터링 지역 위치에 해당하는 리셉터 포인트에서의 결과 산출량으로도 가능
  - 모니터링, 모델링한 농도는 시계열그림으로 비교 가능



<그림 5-29> ADMS-Airport 히드로 공항 주변 NOx 배출농도

○ 독일 Janicke Consulting

- 독일의 Janicke Consulting에서 개발한 대기 확산 모델링 시스템 LASAT을 기반으로 하여 독일 및 스위스 공항에 적용한 사례를 바탕으로 2002년 표준 배출확산모델 계산수단으로 LASPORT 개발
- 항공기 트래픽, APU, GPU, 엔진 start-up, Ground Support Equipment(GSE), 차량 트래픽(Airside, Landside)에서 비롯된 물질 추적 대기확산과 배출량 계산
- 거리 150km, 높이 2000m까지 배출물질 이동 계산 가능
- 그 외 요소들은 개별적 배출 강도에 따라 점, 선, 면으로 정의함
- 그래픽 사용자 인터페이스에 의하여 소스 그룹, 배출, 그 외의 파라미터 정의와 개별적 항공기 이동에 대한 저널 준비 및 평가, 각 소스 그룹과 오염물질의 전반적인 배출 계산, LASAT의 확산 계산 컨트롤, 결과 분석 및 그래픽 시각화 등을 지원



<그림 5-30> LASPORT Tool 실행 화면

<표 5-15> LASPORT 계산 방법론

배출원		내용
항공기 트래픽	모니터 계산	항공기 트래픽(모니터 계산) 각 항공기 이동에 대한 이동 저널 데이터베이스에서 누락된 항공기 정보 자동 첨부 각 항공기 프로파일 또는 그룹 프로파일 개별적인 Taxiing 및 대기행렬 시간 목적지까지 대권거리로부터 추산된 실제 이륙 중량 5초 이하 개별적 이동 시간분해능
	시나리오 계산	5연간 이동 및 활주로, 출발 루트, 각 항공기 그룹의 position area 사이 상대분포
APU, GPU		항공기 그룹 및 position area 계수에 따른 출발, 도착 운영시간 사양 APU: 안정도와 높은 하중에 대한 운영 시간 자동 설정
GSE		항공기 그룹 계수로써 도착 출발에 대한 전반적인 항공기 당 배출 기여도
차량		landside와 airside 트래픽의 day, week, year 평균 코스의 사양
다른 배출원		각 배출원 별 day, week, year 평균 계수 사양

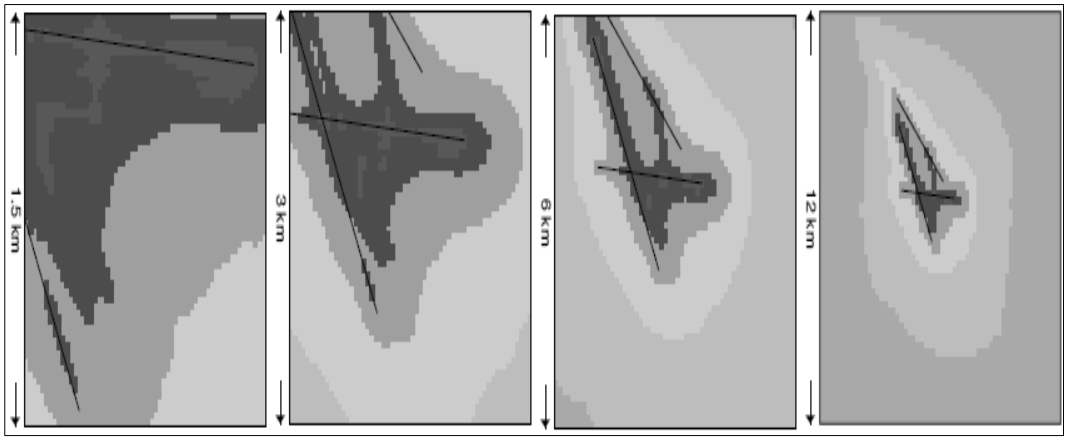
- 모델링 계산 방법

  • 항공기 엔진 배출 에너지는 배출속도, 항공기 그룹 및 이착륙 구간 Turbulence 특성에 의해 계산

  • 시간당 풍향, 풍속의 측정값 및 대기 안정도 측정에 따른 기상 시계열 기반

  • LASPORT 소프트웨어 시스템에 통합된 LASAT3.0 소프트웨어 패키지 프로그램의 부분집합으로 실행

  • 데이터베이스는 엔진 배출, 항공기 타입, 공항, 모든 배출원 그룹의 연료소모 배출 디폴트, NOx, HC, CO, CO_2, 벤젠, SOx, PM10 제공



<그림 5-31> LASPORT 적용 NOx 농도 시각화

<표 5-16> ICAO 승인 공항 대기확산 모델링 시스템 분석비교

구분		ADMS-Airport	AEDT-EDMS	LASPORT	ALAQS-AV
개요	개발 국가	• 영국	• 미국	• 독일	• EUROCONTROL
	연도	• 2002년 기준 2010, 2015, 2020, 2030년 예상	• 1997년 개발	• 2002년 개발	• 2003년 착수하여 2004년 Version 1 사용
	적용 범위	• 지상 활주, 이륙, 접근, 착륙 시 항공기 엔진으로부터의 배출 • 항공기 APU 배출 • 항공기 GSE 배출(정지 상태의 GSE 운용, Apron쪽 GSE 운용) • 공항 지상 트래픽 요소의 배출 • 파워플랜트 등 비유동적 배출 요소 • 도로 등 공항에 진입하는 배출 요소	• 항공기 • APU • GSE • 지상 접근 차량 • 비유동적 요소	• 항공기 트래픽 • Auxiliary power Unit(APU), Ground Power Unit(GPU), 엔진 start-up • Ground Support Equipment(GSE) • 차량 트래픽(Airside, Landside)	• 항공기 • Stand 장비(GSE, APU, GPU, 엔진 시동 시 배출) • 비유동적 요소 • 차량 요소
	개발 목적	• 배출 인벤토리 관리 및 조작을 위한 시스템 제공 • 사용자 편의를 위한 모델링 과정 단순화	• 예정된 공항 개발 프로젝트가 대기질에 미치는 영향 평가 • 항공기, APU, 지상 지원 장비, 지상접근차량, 비유동적 요소 평가	• 표준 배출확산모델계산 툴로 개발 • 공항 관련 요소에서 비롯된 물질 추적의 대기확산과 배출 계산	• 공항 운영이 대기질에 미치는 영향 추산 • 공항 배출 인벤토리 및 확산 모델링 평가
	적용 모델	• 가우시안 모델	• 가우시안 모델	• 라그랑지안 모델	• 가우시안/라그랑지안 모델
이동자료	입력자료	• AEA로부터 제공받은 Airport 데이터 • Hyder 컨설팅으로부터 제공받는 Traffic 데이터 • London Atmospheric Emission Inventory(NAEI)에서 제공받는 데이터	• 운항 프로파일 또는 스케줄 • 항공기 성능 모델링 • 항공기 지연 & 순서 모델링 • 시간당 기상 데이터 • 수신기 위치	• 항공기: 일반적인 트래픽 정보, 각 항공기 움직임에 따른 저널평균 • 차량: 각 차량 그룹과 트래픽 시나리오의 킬로미터 • GPU, APU 등: 연료 총 사용량	• 공항 연구에 따른 지역 데이터 기반 • 항공기 프로파일 • 평균 기온
배출	대기 오염물질 종류	• NOx, CO, VOC, NMHC, TOG, SOx, PM10, PM2.5, HAP, CO_2(항공기 엔진)	• CO2 , H2O : 항공기 배출 • THC : 항공기, APU • CO, NMHC , VOC, TOG, NOx, SOx, PM10, PM2.5 • 394 Speciated Organic Gases	• NOx, HC, CO, CO_2, 벤젠, SOx, PM10	• CO, HC, NOx, SOx, PM10
	모델 계산 및 범위	• 배출 농도는 초부터 년 단위 범위 평균시간으로 계산 가능. • 백분율, 농도 한계값 초과, rolling 평균 수 계산 가능.	• 시간 당 배출 계산 가능	• 항공기: 지상으로부터 1500m 높이까지 배출 값, 거리 50km • 차량: 트래픽 시나리오에 따른 킬로미터 로 배출량 계산 • 시간: 최소 하루, 최대 2년	• 각 요소별 선택된 기간 동안의 시간당 배출 계산

라. 의미 및 시사점

○ 국내 일반적인 대기질 관리는 외국의 AERMOD, ISCST3 등 대기확산 모델링을 도입하여 적용하고 있지만 공항 환경에 특화된 대기확산 모델링은 국내에서 개발되어 있지 않으므로 독자 연구개발을 통한 기술 및 특허획득이 가능함, 추가로 항공기 소음 측정 장비를 패키지로 구성하여 국내공항 설치 및 국외시장에 공항환경관리시스템으로 판매가 가능할 것으로 판단됨

○ 모델링 시스템은 현재 공개되어 있고 국내 CAPSS를 비롯하여 국내외에서 주로 사용되고 있는 EDMS를 기본으로 구축하는 것이 신뢰도 확보에 유리하며, 대기확산 모델은 비정상상태를 고려할 수 있는 CALPUFF 등을 적용할 필요가 있음

○ 모델링을 이용하여 공항 대기질 현황 파악 및 예측을 위해서는 예보기상자료를 이용하여 대기질 예보 모델링을 수행할 필요가 있음

○ 모델링의 범위는 공항과 공항주변지역을 포함하는 지역으로 설정하여야 검출된 오염물질이 공항(항공기)에서 발생된 것인지 공항주변에서 공항내부로 유입된 것인지 등을 파악할 수 있음

○ 공항내부는 공항공사 장비를 이용하고 공항외부 지역은 환경부 자료를 확보 또는 연계하여 향후 대기질 평가가 이루어질 필요가 있음

○ 항공기에서 배출되는 오염물질과 공항주변의 오염물질의 확산은 2D보다는 3D가 적합하고 웹방식을 적용하여 접속자가 좌우, 상하, 시간대별 모니터링 할 수 있는 권한을 부여하는 것이 신뢰도를 높일 수 있을 것이라 판단됨

마. SWOT 분석

○ 선진국 수준의 대기오염물질 측정 모니터링과 대기확산 모델링 적용 국내기술을 바탕으로 공항주변 측정 장비 및 대기확산 모델링을 단기간 내에 독자 개발함으로써 신규 일자리 창출 및 해외 시장 진출 가능성이 큼

○ 공항환경관리 시스템을 구축하는 과정에서 자체 기술력 확보에 따른 공항환경 전문 인력 확충이 가능하며, 시스템 개발로 축적된 자료를 활용하여 공항주변 대기질 평가 사업을 위한 법적 근거가 마련될 수 있음

<표 5-17> SWOT 분석

공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발	O(기회)	T(위협)
	- 공항 대기질 평가에 따른 신규 일자리 창출 - 자체 기술력 확보에 따른 항공환경 전문 인력 확충	- 선진 공항 대기질 관리 기술 유입으로 인한 국내 잠식 - 공항주변 배출가스 장기 노출로 인한 주민 건강 악화 가능성 내포
S(강점)	SO전략	ST전략
- 항공기 지상조업장비 등 인벤토리 구축 - 일반 대기질 모델링 개발 업체 다수 존재	- 측정 장비 및 대기확산 모델링 독자 개발을 통한 기술 및 특허획득 - 신뢰성 있는 공항 인벤토리 구축 가능	- 측정 장비 등 공항환경관리시스템 구축을 통한 해외시장 수출 및 임대화
W(약점)	WO전략	WT전략
- 공항 대기질 관리 필요성에 대한 인신부족 - 항공환경(공항 대기질 등) 전문 인력 부족 - 공항 대기질 관리 정책 및 법적 근거 부재	- 공항 측정시스템 및 공항 대기질 모델링 구축을 통한 전문인력 확충 가능 - 공항 대기질 관리 정책 및 법적 근거를 위한 기초자료로서의 활용	- 박근혜 정부정책 3.0에 부합하는 부서 간 소통을 통한 공항 대기질 관리 정책 추진

4. 기술수준 분석

가. 국내 기술수준 분석

<표 5-18> 공항 주변 온실가스 및 대기오염물질 관리 기술분야의 기술수준

단위 : %

핵심기술	비중	기술 수준	세부기술	비중	기술 수준
온실가스 및 대기오염 물질 측정 모니터링	40	66	측정 모니터링 기술	70	60
			농도 검증 및 시스템화	30	80
대기확산 모델링 시스템 기술	40	70	입출력 자료 입수 및 구현 기술	20	70
			공항 대기확산 모델링 개발	50	70
			모델링 검증 기술	30	70
온실가스 및 대기오염 물질 지도표출시스템 구현	20	72	GSE 연료소모량 모니터링 기술	40	60
			공항 배출지도표출 시스템화	60	80
전체기술수준			68.8		

주 : 전문가 자문을 바탕을 재구성

<표 5-19> 공항 주변 온실가스 및 대기오염물질 기술분야의 인프라 수준

기 술 명	인력보유 정도	자금지원 수준	연구개발시스템 (설비, 장비, 체제 등)	기타 고려사항
온실가스 및 대기오염물질 측정 모니터링	중	하	중	-
대기확산 모델링 시스템 기술	하	하	하	-
온실가스 및 대기오염물질 지도표출시스템 구현	하	하	하	-

<표 5-20> 공항 주변 온실가스 및 대기오염물질 관리 기술 관련 논문 및 특허 현황

구분	제목	내용
논문	항공기 배출물질 영향평가 비교	- 항공기 배출물질의 근원 - 배출물질의 측정방법과 산정방법
	수도권 지역에서 대기질 측정망 자료를 이용한 광화학 모델의 이동오염원 배출량 검증	- 미국 EPA의 CMAQ을 이용 - 수도권 지역 대기질 측정 - 시나리오별 모델링 결과 분석
	라그랑지안 입자 확산 모델을 이용한 광양만 권역에서의 공기괴 재순환현상 수치모의	- 중규모 기상모델(WRF)와 라그랑지안 확산모델(FLEXPART) 이용 - 복합적 지형의 공기괴 재순환 현상모의 - 수치모델 수행 시 재순환 현상을 고려할 수 있는 도메인 기초자료 제공
	김해공항에서 항공기에 의한 대기오염물질과 온실가스의 배출량산정 및 특성분석	- 김해공항에서 항공기에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출량을 Tier 3로 산출 - 항공기 배출에 의하여 공항주변 지역 대기질에 미치는 영향 연구
	EDMS를 이용한 김포국제공항 이전에 따른 주변지역 NOx 오염도 변화에 대한 연구	- 미국 FAA의 EDMS를 사용 - 국제선 이전에 따른 김포공항 주변의 NOx 오염도 변화 예측 - 실측치와 비교 및 평가 진행
	Emission of greenhouse gases and pollutant from commercial aicraft at international airport in Korea	- 인천, 김포, 제주, 김해 공항의 2010년 일별, 월별 온실가스 및 오염물질의 배출량 계산 - 항공기 운항모드에 따른 배출량을 계산하고 EMDS를 이용하여 예측치를 계산하여 비교
특허	대기오염 배출시설을 관리하기 위한 대기오염 확산 예측 방법	- 굴뚝 배출 대기오염 물질이 주위 환경에 미치는 연향 예측 및 분석 - 기존 미국 EPA 추천 대기확산모델 기능 수행 - 한국의 기상과 지형자료 반영
	대기질 모니터링 장치 및 상기 장치를 이용한 모니터링	- 오염물질 및 안개나 기타 기상상황 모니터링 - 관심지역의 대기질 상태를 시각적으로 간편하게 판별
	레이저 레이더 및 확산모델을 이용한 대기오염정보 제공 방법 및 시스템	- 레이저 레이더로 측정한 데이터로 대기오염 확선모델 개발 및 전자지도시스템 구축 - 측정자료와 확산모델 및 전자지도를 통합하여 환경정보 시스템 형성

<표 5-21> 공항 주변 온실가스 및 대기오염물질 관리 기술 관련 R&D 현황

사업명	중분야	연구기간	과제명
차세대 에코 이노베이션 사업	대기환경정책 대응기술	2011.12.01 - 2014.09.30	위성자료와 역모델을 이용한 대기오염 배출자료 평가기술 개발
	대기환경정책 대응기술	2011.12.01 - 2014.09.30	대기질 모델 입력용 배출량 생성 프로그램 개발
차세대 핵심환경 기술개발 사업	오존 및 스모그 오염개선기술	2004.12.01 - 2007.11.30	대기질 예경보 시스템 상용화 Package 개발
	유해대기오염물질 관리기술	2001.08.01 - 2004.07.31	굴뚝 TMS망을 활용한 실시간 대기확산 모델링 시스템 개발
	원격 모니터링 기술	2003.06.01 - 2005.05.31	대기환경 원격측정용 Imaging-DOAS 시스템 개발
	위해성평가 관리요소 기술	2009.03.01 - 2011.08.31	기후변화로 인한 대기·실내 공기 오염물질의 변동특성 파악과 인체위해성 지표를 고려한 건강 위해성 평가기법 개발
	유해대기오염물질 관리기술	2008.04.01 - 2010.03.31	유해물질 감시용 다지점 동시 모니터링 시스템 개발
Eco-Star 사업	공통기반기술	2009.01.01 - 2011.05.31	자동차 대기오염 평가를 위한 이동형 자동차 배출가스 측정 시스템(MEL) 구축 및 이를 이용한 시범운영

나. 국외 기술수준 분석

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

○ 대기질 모니터링 및 평가 관련 국외 특허는 약 1,200개가 넘으며 자동차, 철도 등 이동요소에 대한 모니터링 및 평가 특허와 대기 오염물질 관리와 배출 감소를 위한 시스템 특허가 포함됨

제 2 절 연구개발과제 구성 및 추진전략

1. 비전 및 목표

○ 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발

- 공항주변 종사자와 주민들의 건강보호를 위하여 공항 내 및 공항주변에서 발생되는 오염물질을 체계적으로 관리하여 쾌적하고 안전한 도시환경 조성

2. 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표

○ 핵심기술요소(CTE) 도출

<표 5-22> 핵심기술요소 후보

No.	CTE명
후보1	공항 측정 및 분석방법 구현기술 개발
후보2	GIS 기반 공항 배출지도표출 시스템 개발
후보3	공항환경관리 정보 시스템 개발
후보4	지상조업장비 연료사용량 구현 기술
후보5	공항 대기확산 모델링 개발

<표 5-23> 핵심기술요소 선정

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	○	○	○	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?						하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가		○	○		○	
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발 시 변경된 기술인가?	○					
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?	○	○			○	
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?			○		○	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	○	○	×	×	○	

<표 5-24> 핵심기술요소 목록

CTE	유형*	CTE명	최종 TRL
1	시스템	공항 측정 및 분석방법 구현기술	TRL 9
2	소프트웨어	GIS기반 공항 배출지도표출 시스템	TRL 9
3	소프트웨어	공항 대기확산 모델링	TRL 9

<표 5-25> 기술성숙도(TRL) 단계별 목표

연구과제명	공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발	유형	

프레임워크	선행단계	시제품 제작 및 시연	현장적용	제품화/실용화

마일스톤	현재 TRL	마일스톤 목표 TRL			
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도 (종료)
마일스톤 일정	2014	2018	2019	2020	2021
CTE No. / **기술명**					
CTE 1 / 공항 측정 및 분석방법 구현 기술	TRL 1	TRL 3	TRL 6	TRL 7	TRL 9
CTE 2 / GIS기반 공항 배출지도표출 시스템	TRL 1	TRL 3	TRL 6	TRL 7	TRL 9
CTE 3 / 공항 대기확산 모델링	TRL 2	TRL 2	TRL 5	TRL 7	TRL 9

3. 세부과제 주요내용 및 추진전략

가. 세부과제 주요내용

(1) 온실가스 및 대기오염물질 측정 모니터링 기술 개발

○ 측정 및 분석방법 구현기술 개발

- 국내외 공항별 대기질 측정장비 현황 파악
- 적합한 공항 측정기술 선정 및 신규 기술 개발(국산화)
- 국내 인증을 통한 공항 대기질 측정장비 특허출현 및 임대화

○ 공항 DB와 지자체 DB 연계 방법 도출 및 소프트웨어 개발

- 공항 및 공항주변 대기 측정 DB 구축
- 환경부 및 지자체 대기 측정 DB 자료 연계를 위한 툴 개발
- 공항, 공항주변, 지자체별 오염물질 농도 정보 관리 시스템 설계
- 검증기관 검증 후 홈페이지를 통한 정보 공개 및 주민 알권리 충족

(2) 대기확산 모델링 시스템 기술개발

○ 대기확산 모델링 선정 및 입력자료 구현 기술 개발

- 미국 EDMS 모델링 알고리즘 파악
- 공항 및 공항주변 배출원별 인벤토리 구축 및 배출량 계산 툴 개발
- 항공기상청 및 기상청의 입력자료 구축 툴 개발
- 시공간별 배출량 및 기상 입력자료 구현 툴 개발

○ 한국형 공항주변 대기확산 시스템 개발

- 국내공항 Layout 확인 및 항공기 스케줄입수, 운항프로파일 결정
- 국내공항 사용자 지정 항공기, GSE 등 배출원 결정
- 국내공항 기상입력 자료 결정
- 공항 대기확산 모델링 구동 및 농도 확인
- 계산 값과 관측 값과의 비교 검증

○ 정부, 항공사, 공항공사 및 환경부 연계 DB 구축 및 활용방안 제시

- 일반 확산모델링과 공항 대기확산 모델링 계산값과의 비교
- 자료 구축 및 연계 알고리즘 개발 및 분석 툴 개발
- 배출원별 확산 분석시스템 개발 및 공항 대기질 평가 및 예보 활용

(3) 온실가스 및 대기오염물질 지도표출시스템 구현 기술

○ 지상조업장비 실시간 연료소비량 구현 기술

- 지상조업장비 운영 현황 파악
- 친환경 조업장비 도입 계획 파악 및 연료 DB 구축 툴 개발
- 웹기반에 의한 실시간 연료량 확인 표출 시스템 구현

○ GIS기반 공항주변 지도표출 시스템 구현 및 활용방안 제시

- 지상 내 항공기 이동, 지상조업장비, 차량 및 고정배출원의 오염물질 정도 지도표출 3D로 구현
- 홈페이지를 통한 정보 공개 및 주민 알권리 충족

나. 세부과제 추진전략

○ 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술의 수요자인 정부, 공항공사 및 항공사가 참여하고, 대형과제 체계개발 수행경험이 있는 정부출연연구소, 기업의 IT 기술 그리고 학계의 온실가스관리 기반기술 등을 효율적으로 활용하는 컨소시엄을 구성하여 추진

○ 해외기술 자문이 필요한 경우는 미국 EPA, FAA 또는 공항 대기확산모델링 기술개발 전문가의 참여 유도, 공동연구 또는 컨설팅 추진

제 3 절 과제별, 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵

1. 기술분류체계

가. 전체 현황

1차 분류	2차 분류	3차 분류
기후변화 대응 항공 온실가스 감축 기술	3개	9개

나. 1차 분류 및 2차 분류

1차 분류	2차 분류	
분류명	분류 번호	기술분류명
공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술	1	배출가스 모니터링 기술개발
	2	대기분산 모델링 시스템 기술개발
	3	배출가스 지도표출시스템 개발

다. 3차 분류

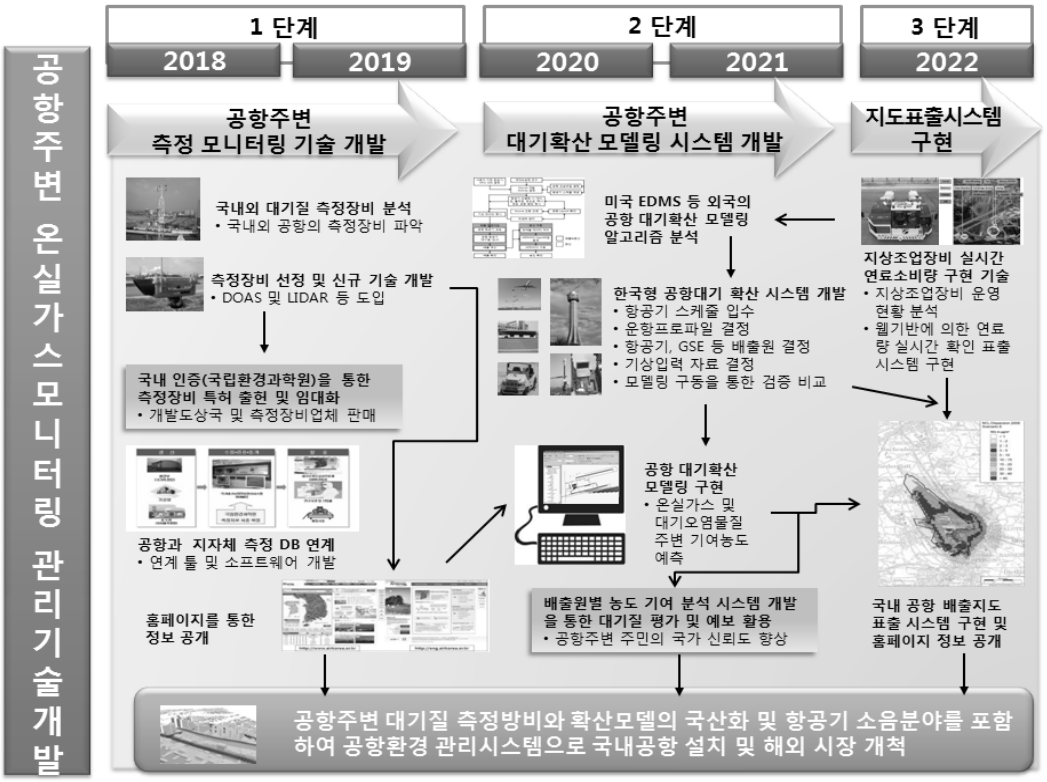
1차 분류	2차 분류		3차분류	
분류	분류 번호	분류명	분류 번호	기술분류명
공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술	1	대기오염물질 모니터링 기술개발	1-1	지상조업장비 연료소모량 관리 기술
			1-2	공항 대기오염물질 모니터링 측정 기술
			1-3	공항 대기오염물질 모니터링 분석 기술
	2	대기확산 모델링 시스템 기술개발	2-1	공항 대기오염물질 및 배출원별 명세서 구축 기술
			2-2	시·공간 배출량 및 기상입력자료 구현 기술
			2-3	한국형 대기오염물질 확산모델링 개발 기술
			2-4	분석값과 관측값 비교·분석 구현 기술
	3	대기오염물질 지도표출시스템 개발	3-1	GIS에 기반한 실시간 컴퓨터 모델(한국형 EDMS 등) 구현 기술
			3-2	공항 대기오염물질 지도표출 구현 기술

2. 성과로드맵

<표 5-26> 성과로드맵

	2단계			3단계		최종성과물	추진목표
	'18	'19	'20	'21	'22		
공항주변 배출가스 모니터링 관리 기술	배출가스 모니터링 개발					모니터링 기술	장기추진
				분산모델링 시스템 개발		배출가스 분산 모델링 기술	장기추진
				지도표출시스템 개발		공항 지도표출시스템	장기추진

3. 기술정의서



<그림 5-32> 기술로드맵

<표 5-27> 기술로드맵

3차분류				
번호	기술분류명	기술정의	기술내용	기대효과
1-1	공항 대기오염물질 모니터링 측정 기술	공항 대기오염물질 실시간 모니터링 측정시스템 구축	공항 내 및 주변의 측정시스템 구축을 통한 대기오염물질 실시간 모니터링	공항 내 및 공항 주변 대기오염물질 농도 실시간 측정·분석을 통한 공항 대기질 체계적 관리 가능
1-2	공항 대기오염물질 모니터링 분석 기술	공항 대기오염물질 실시간 모니터링 분석시스템 구축	공항 내 및 주변의 측정을 통한 대기오염물질 분석시스템 마련	
2-1	공항 대기오염물질 및 배출원별 명세서 구축 기술	공항 배출원 규명 및 대기오염물질 배출량 산정	공항 차량 및 비행기 등 배출원별 대기오염물질 파악 및 배출량 산정	공항 내 및 공항 주변 대기오염물질 농도 및 확산 정도 파악을 통한 공항 대기질 미래 예측 및 체계적 관리 가능
2-2	시·공간 배출량 및 기상입력자료 구현 기술	시·공간적으로 입력하기 위한 구현기술 확보	맞춤형 배출량 및 기상자료의 시·공간적 입력자료 구현	
2-3	한국형 대기오염물질 확산모델링 개발 기술	항공기 및 지상차량 대기오염물질 농도의 확산정도 파악	공항 대기오염물질 확산정도 파악을 통한 공항 대기질 예측	
2-4	분석값과 관측값 비교·분석 구현 기술	모델링 분석값과 실제 측정값의 비교·분석	비교·분석을 통한 모델링 검증	
3-1	GIS에 기반한 실시간 컴퓨터 모델(한국형 EDMS 등) 구현 기술	지리정보시스템에 기반한 구현기술 확보	공항 대기오염물질 농도 실시간 표출을 통한 공항 대기오염물질 관리	공항 내 및 공항 주변 차량이동에 따른 대기오염물질 및 배출량 실시간 지도표출시스템 개발로 공항 대기오염물질 관리
3-2	공항 대기오염물질 지도표출 구현 기술	지상 내 이동 비행기 및 지상조업 차량의 실시간 대기오염물질 및 배출량 표출 구현	지상 내 이동 비행기 및 지상조업 차량의 실시간 대기오염물질 및 배출량 표출 구현을 통한 대기오염물질 관리	

제 4 절 성과활용 방안

1. 연구 활용방안

○ 본 연구는 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발사업의 성공적 수행과이를 통한 국가 온실가스 감축전략에 활용

- 지상조업장비, 공항주변 차량 등 공항 관련 배출가스 실시간 모니터링을 통해 항공기 및 운항절차를 통한 감축전략이외의 공항이라는 키워드를 포함시켜 모든 항공부문에서의 정기적으로 온실가스 및 배출가스를 추정하고 세부감축전략을 수립하는데 활용코자 함

○ 최종 성과물

- GIS 기반 공항 배출지도표출 시스템 : 공항 내 항공기, 지상조업장비, 건물 등의 온실가스 및 대기오염물질의 배출현황 및 배출량 정도를 그래픽 또는 지도화하여 쉽게 실시간으로 확인할 수 있는 기술
- 공항 대기확산 모델링 : 배출된 온실가스 및 대기오염물질이 대기 중에서 확산 이동되어 나타나는 농도를 물리 화학적인 이론을 바탕으로 정량적으로 계산할 수 있도록 전산프로그램화 한 것

○ 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 후 공항운영기관 및 유관기관에서 적극적으로 활용할 필요가 있으며 국토교통부는 지원이 요구됨

- 공항운영기관 : 개발된 관련 시스템 운영 및 국민 정보 공개 서비스 실시
- 국토교통부 : 시스템 관련 정책 및 연구개발 지원이 요구됨

○ 연구최종성과의 실수요자 및 사용자

- 실수요자 및 사용자: 공항운영기관
  - 공항환경 정보시스템 운영 및 국민 정보 공개 서비스 실시
  - 공항 대기확산 모델링 운영 및 대기질 지도표출 시스템 도출
- 실수요자: 정부기관
  - 공황환경 정보시스템 관련 정책 및 연구개발 지원

2. 기대성과

○ 지상조업장비, 수송차량 등 공항 대기질 효율적 관리를 통한 대기환경 개선 및 공항도시지역 주민들의 웰빙환경 조성 기대

○ 국내 최초 공항 및 공항 주변 실시간 배출가스 지도 표출 시스템 구축을 통한 미래의 환경변화 및 기후변화에 대응할 수 있는 경쟁력 확보

제 5 절 사전타당성 검토

1. 정책적 타당성

가. 국가전략의 중요성 및 시급성

○ 항공자유화 및 항공사들의 글로벌 노선망 확충 노력으로 우리나라는 세계 6위(2011년)의 항공운송국으로 성장하였으며, 인천국제공항은 국제공항협회(Airports Council International, ACI)의 세계 공항서비스 평가에서 '05년 이후 최우수 공항 8연패를 기록하는 등 동북아 중심공항으로 자리매김 하였음

○ 그러나 아쉽게도 이와 같이 우리나라 국제공항의 공항서비스 품질은 높아지고 있으나, 공항근로자 및 공항 주변 주민들을 위한 환경개선을 위한 정부의 투자는 더딘 실정임

○ 물론, 공항주변 소음대책지역 주민들의 생활환경 개선을 위한 정부 투자 및 통합지원 시스템 구축 등 지속적으로 추진하고 있는 것은 맞으나, 이는 소음의 특성상 공항주변 주민들에게 직접적인 피해와 민원이 발생되기 때문에 정부의 투자가 이루어지고 있다고 볼 수 있음

○ 이런 이유로 공항 내 또는 공항주변 온실가스 및 대기오염물질 등 눈에 보이지 않은 피해에 대한 정부의 정책과 투자 등이 이루어지고 않고 있는 것은 생각해보면 당연한 결과임

○ ICAO 항공환경보호위원회는 항공부문 온실가스 배출 제한, 항공기 소음 제한과 더불어 항공기 등 대기오염물질 배출에 의한 대기질 영향을 최소화하는 것을 3대 추진목표로 정한 만큼 우리나라도 국제위상에 걸맞게 선진국 수준의 공항 대기질 개선을 위해 노력해야함

○ 국토교통부 고시 하에 공항 환경관리기준을 정하여 공항의 환경오염을 예방하고 온실가스 저감 등 공항을 관리하고 있으나, 향후 공항주변 대기질 개선 강화를 위해서는 선진국 수준의 정책, 운영 노하우 및 대기질 모델링 평가 기술을 도입하여 보다 체계적이고 과학적인 관리가 이루어져야 함

나. 상위 계획과의 부합성

(1) 국가 기본계획과의 부합성

○ 제1차 항공정책기본계획(2010～2014)

- 국제위상 강화 및 친환경 정책 목표에 따라 UN기후변화 협상 및 ICAO의 항공부문 온실가스 배출 규제에 체계적으로 대응하고자 항공부문 저탄소 녹색성장 중장기 계획 수립, 온실가스 배출량 관리시스템 구축 및 항공 온실가스 자발적 배출량 감축협약 등을 포함하고 있음
- 이와 더불어 공항주변지역을 쾌적한 도시환경으로 조성하고자 공항부문 탄소발생저감 시설 개선・확충, 공항주변 주민들의 소음생활환경 개선 및 조류유입 방지를 위한 공항주변 환경관리 기준 마련 등을 중장기 기본방향으로 하여 추진하고 있음

(2) 국토교통 R&D 정책과의 부합성

○ 건설교통 R&D 중장기 계획(2013～2017)

- 공항 내 고효율 운송시스템 개발을 위한 수하물 처리시스템 기술개발 및 차세대 항공보안 검색장비 기술개발에 투자를 강화할 계획이며, 공항환경관리시스템 기술개발 관련하여 별도 추진은 되고 있지 않음

다. 사업추진의지와 관련 기관 협조체계

○ 국토교통부, 공항운영기관, 항공사 및 타부서 등 여러 관련 기관들이 데이터 제공 및 운영에 함께 참여해 각각 관계자들의 니즈 반영이 필요함

- 국토교통부 : 공항 대기질 및 온실가스 관련 정책 및 연구개발 지원 필요
- 공항운영기관 : 공항 대기질 및 온실가스 관리를 위한 적극적인 기술 도입 및 운영 필요
- 항공사 : 항공기 및 지상조업장비의 동선 파악을 위한 기초자료 제공 필요
- 환경부 : 공항 주변 및 지자체를 포함한 측정 및 대기질 자료 연계 필요

라. 사업추진상의 위험요인과 대응방안

○ 공항 내 또는 공항주변 온실가스 및 대기오염물질 등 눈에 보이지 않은 피해에 대한 정부의 정책과 투자 등이 이루어지고 않고 있음

○ ICAO 항공환경보호위원회는 공항 대기질 영향을 최소화하는 것을 3대 추진목표로 정한 만큼 공항 환경관리기준 개정 및 국토부 R&D 지원 등을 통해 선진국 수준의 정책, 운영 노하우 및 대기질 모델링 평가 기술을 도입하여 보다 체계적이고 과학적인 관리가 이루어져야 함

2. 기술적 타당성

가. 기존 사업과의 중복성

○ 기존 연구과제

- 환경부에서 대기질 개선을 위한 기술개발의 일환으로 과제가 수행되었으며, 국토교통부에서는 공항주변 대기질 개선을 위한 기술 개발연구는 전무한 상황임

○ 기존 연구논문

- 수도권 지역에서 대기질 측정망 자료를 이용한 광화학모델의 이동염원 배출량 검증(이용미 등 6명, 한국대기환경학회지, 2009년)
- 라그랑지안 입자확산모델을 이용한 광양만 권역에서의 공기괴 재순환현상 수치모의(이화운 등 4명, 한국환경과학회지, 2010년)
- 김해공항에서 항공기에 의한 대기오염물질과 온실가스의 배출량 산정 및 특성 분석(송상근 외 1명, 한국대기환경학회지, 2012년)

○ 기존 연구와의 연계성 및 중복성 검토

- 기존 수행된 연구과제 등은 일반 대기질 관리에 목적을 두고 연구가 수행되었으며, 포괄적이고 넓은 지역 또는 공장 등 점오염원을 대상으로 그 범위를 정하고 있음
- 공항 내 및 공항 주변을 대상으로 특화되어 대기오염물질 및 온실가스 모니터링 기술 개발 즉 공항환경관리 시스템에 목적을 두고 연구가 진행된 것이 전무한 상태임

나. 기술개발 계획의 우수성

○ 국토교통부는 공항 환경관리기준에 의해 공항의 환경오염을 예방하고 온실가스 저감 등 공항을 관리하고 있으나, 아직 측정을 통한 모니터링 관리에 국한되어 있으므로 공항 내 및 공항주변 대기오염물질/온실가스 모니터링 관리 기술개발을 통해 국토교통부가 기술 우위를 선점해 나아갈 수 있으며, 이를 통해 개발도상국에게 기술을 전파 또는 판매할 수 있음

다. 기술수준 및 성공가능성

○ 국내 기술 수준

- 일반적으로 환경부에서 측정하고 있는 모니터링 기술은 한정된 공간 및 측정지점의 대기농도 측정기술로서 장비판매업체를 통해 대부분 수입이 가능하며 이를 통해 국내 인증(대기공정시험법 등)을 거치면 기술 개발 없이 측정이 가능함
- 공항의 상징성은 발전적인 미래지향적인 부분이 존재하므로 산정된 측정방식이 국가인증을 받았더라도 타 또는 외국공항에서 사용하고 있는 측정방식이 존재한다면 향후 국산화 개발을 통해 공항 대기질 평가의 국가신뢰도를 높일 수 있다고 판단됨
- 기술 수준에 비하여 이를 위한 공항환경 전문 인력과 인프라는 부족하므로 이를 위해서는 정부의 적극적인 의지와 연구 지원이 동반되어야 함

○ 기술 위험요소 및 성공가능성

- 일반 대기측정 장비의 기본원리는 공개되어 있으나 배출물질이 어떻게 측정되고 있는지 구현하는 방법은 장비 판매자들만 알고 있는 상황이므로 독자개발에 어려움이 예상됨. 공항 특성에 맞는 대기측정 기술을 개발하고자 한다면, 이를 위한 시간과 인력 그리고 예산지원이 뒷받침되어야 함
- 특히, DOAS(Differential Optical Absorption Spectroscopy) 측정기는 보통 출도착방향(활주로 방향)과 수직방향으로 항공기 출발지점에 설치하여 지면에 가까운 지점에서 발생한 오염물질을 측정하고 지상에서 벗어난 상공에서 발생

한 오염물질은 LIDAR(Light Detction and Ranging)을 사용할 수 있으나 조종사의 시야장애 발생 등이 예상되므로 공항당국과의 협의가 필요함

- 이에 반해, 대기확산 모델링 기술은 국내 일부 업체를 통해 상용화되어 판매되고 있음. 다만 공항대기확산 모델링 기술 개발은 일부 대학교와 환경부 연구기관 등에서 검증차원에서 외국 공항대기확산 모델링을 수입하여 적용하고 있는 정도이나 일반 대기확산모델링 기술 개발 노하우를 바탕으로 단기간 내에 기술 상용화가 가능할 것으로 판단됨
- 결론적으로 우리나라가 공항환경 시스템 기술 개발 후발 주자이기는 하나, 정부의 개발 의지가 있고, 국내 유관 기관의 역량이 효율적으로 결집된다면, 시스템 개발 위험도가 상존함에도 불구하고, 성공 가능성 매우 높음

3. 경제적 타당성

○ 본 연구에 앞서 예비 타당성 조사 연구를 통한 경제적 타당성 분석 연구 필요함에 따라서 본 기획 연구에서는 경제적 타당성 분석을 실시하지 않음

제 6 절 연구투입 소요예산 산정

1. 인력투입계획

○ 정부에서 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발에 필요한 R&D와 함께 향후 공항주변 대기확산 모델 및 배출 지도표출시스템을 지속적으로 운영, 업그레이드 할 수 있는 재정적 지원이 필요

○ 정부지원체계

- 정부기관 뿐만 아니라 산학연 관련 기관의 집중적인 자원 투입이 요구되며, 필요 시 타 부처 및 유관기관과의 협력체계 구축 필요

○ 공항공사의 인프라 협력

- 국내 공항공사의 측정 데이터 및 분석력 등 인프라 지원이 요구됨에 따라 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 시 컨소시엄 구성을 통한 협력 필요

2. 소요예산 산정

<표 5-28> 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발기획 연구개발비

단위 : 천원

비목	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
인건비	560,000	700,000	350,000	210,000	140,000	1,960,000
직접비	192,000	240,000	120,000	72,000	48,000	672,000
위탁연구비	40,000	50,000	25,000	15,000	10,000	140,000
간접비	8,000	10,000	5,000	3,000	2,000	28,000
합계	800,000	1,000,000	500,000	300,000	200,000	2,800,000

<표 5-29> 인력 투입 계획

단위 : 명

구 분	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
공항주변 온실가스 측정 모니터링 기술 개발	3	3	2			8
공항주변 대기확산 모델링 시스템 기술	3	5	4			12
온실가스 지도표출시스템 구현 기술 개발				3	2	5
합 계	6	8	6	3	2	25

① 월기준 단가	② 증액률	③ 확장율	④ 기본급 (①x②x③)
4,608,849	110%	100%	5,069,734

○ 해당 과제 참여연구원의 인건비 기준단계 산정을 목적으로 작성하는 것으로 월기준 단가는 2013 SW 중급기술자 노임단가 1일 기준 219,469원으로 산정

과제난이도	인건비 증액율(%)	증액률 산정결과(%)
세계 최고와 동일한 수준의 연구	110%	√
기술준비도 수준	**인건비 산정 범위(%)**	**③ 확장 인건비(%)**
응용연구	100%	√

주 : 연차별 사업내용 및 연구개발비 투자에 따른 고용인원 변경 가능
기존의 연구 참여 인력을 고려하지 않은 순수 연구 참여에 따른 인원

<표 5-30> 연구 장비·재료비

단위 : 천원

구 분	연구장비	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
공항주변 온실가스 측정 모니터링 기술 개발		50,000	40,000	20,000			110,000
공항주변 대기확산 모델링 시스템 기술		30,000	60,000	30,000			120,000
온실가스 지도표출시스템 구현 기술 개발					30,000	20,000	50,000
합 계		80,000	100,000	50,000	30,000	20,000	280,000

<표 5-31> 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 기술 연구비 소요 명세서

단위 : 천원 / %

항목	비목 \ 연도			1차년도 (2018)		2차년도 (2019)		3차년도 (2020)		4차년도 (2021)		5차년도 (2022)		합계		비고
				금액	비율	금액	비율	금액	비율	금액	비율	금액	바율	금액	비율	
직접비	내부인건비	미지급용														
		지급용	현금	120,000	15	150,000	15	75,000	15	45,000	15	30,000	15	420,000	15	
			현물													
	외부인건비		현금	440,000	55	550,000	55	275,000	55	165,000	55	110,000	55	1,540,000	55	
			현물													
	소계			560,000	70	700,000	70	350,000	70	210,000	70	140,000	70	1,960,000	70	
	연구장비·재료비		현금	80,000	10	100,000	10	50,000	10	30,000	10	20,000	10	280,000	10	
			현물													
	연구활동비		현금	80,000	10	100,000	10	50,000	10	30,000	10	20,000	10	280,000	10	
	연구수당			32,000	4	40,000	4	20,000	4	12,000	4	8,000	4	112,000	4	
	소계			192,000	24	240,000	24	120,000	24	72,000	24	48,000	24	672,000	24	
	위탁연구개발비			40,000	5	50,000	5	25,000	5	15,000	5	10,000	5	140,000	5	
간접비				8,000	1	10,000	1	5,000	1	3,000	1	2,000	1	28,000	1	
연구개발비 총액			현금	800,000	100	1,000,000	100	500,000	100	300,000	100	200,000	100	2,800,000	100	
			현물													
			총액	800,000	100	1,000,000	100	500,000	100	300,000	100	200,000	100	2,800,000	100	

3. 재원조달 방법

○ 정부에서 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발에 필요한 R&D와 함께 중소기업의 시장진출을 촉진할 수 있는 기술 인프라 지원을 함께 추진 필요

○ 정부지원체계

- 다른 항공 산업과 마찬가지로 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 역시 단기간에 선진국 수준에 도달하기 위해서는 정부의 전폭적인 개발 의지가 요구되며, 이에 따른 산학연 관련 기관의 집중적인 자원 투입이 요구됨
- 핵심원천기술 투자 비중 확대 등 제도개선 및 재정 투입을 통한 시장 창출 등 인프라 구축

제 7 절 과제 제안요구서

1. 과제 제안요구서

연구개발과제명	공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 기획
1. 연구개발 목표	
○ 공항주변 종사자와 주민들의 건강보호를 위하여 공항 내 및 공항주변에서 발생되는 오염물질을 체계적으로 관리하여 쾌적한 안전한 도시환경을 조성하고자 함	
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구 개발의 필요성	○ ICAO 항공환경보호위원회는 항공기 및 지상조업장비의 대기배출을 제한하며, 공항 대기질에 대한 영향을 최소하고자 Airport Air Quality Manual(2011)을 발간, 회원국에게 제공함으로써 공항 대기질을 평가하는데 있어 최적의 접근방식으로 도달할 수 있도록 도와주고 있음 ○ 공항별 '11년 대비 '12년 운항실적이 전반적으로 증가하는 등 항공기, 지상조업장비 및 차량의 활동량 증가로 대기오염은 높아질 것으로 판단되며, 공항 종사자 및 공항 지역주민들 건강에 나쁜 영향을 미칠 수 있음 - 대기질 관리 정보시스템 구축으로 공항 및 주변의 대기 오염도를 등급화하여 체계적으로 분석·관리함으로써 주민 건강에 미치는 잠재위험 요인을 사전에 차단, 사회적 비용 최소화 ○ 국내 최초 공항환경 관리시스템 구축으로 선진국 수준의 기술력 확보 - 국내 특성에 맞는 공항별 측정 모니티링 및 확산 모델링 개발을 통한 온실가스 및 대기오염물질 지역 간 배출정도를 파악하여 웹기반으로 공항 종사자 및 지역주민들에게 대기질 정보를 제공해 줌으로써 국가 신뢰도 향상 ○ 공항 대기질 효율적 관리를 통한 대기환경 개선 및 대중의 웰빙건강 실현 - 오존 및 산성비의 주범인 이산화질소(NO2), 휘발성유기화합물(VOC) 등 잠재위험물질을 체계적으로 관리함으로써 공항 종사자 및 지역주민의 건강 위해성 최소화

- 특히, 미세먼지(PM2.5)는 천식과 같은 호흡기계 질병을 악화시키고, 폐 기능의 저하를 초래하며, 산모의 노출정도에 따라 영유아의 인지 발달에 악영향을 미침

□ 기술 동향

▷ 국내기술 동향

○ 측정 모니터링 기술

- 대기오염 측정소에서 생성된 데이터의 신뢰도 향상 및 효율적 관리를 위하여 환경부에서 개발·운영 중에 있는 국가대기오염정보시스템(National Ambient air Information System, NAMIS)으로 전송되어 Web상에서 수집, 선별 및 확정되고 있음
  - 국가와 각 지자체에서 운영 중인 측정망의 측정결과는 해당기관이 NAMIS를 통해 1차 확정하고 국립환경과학원에서 최종확정 한 후 공식 국가대기오염도로 사용되고 있음

○ 대기확산 모델링 기술

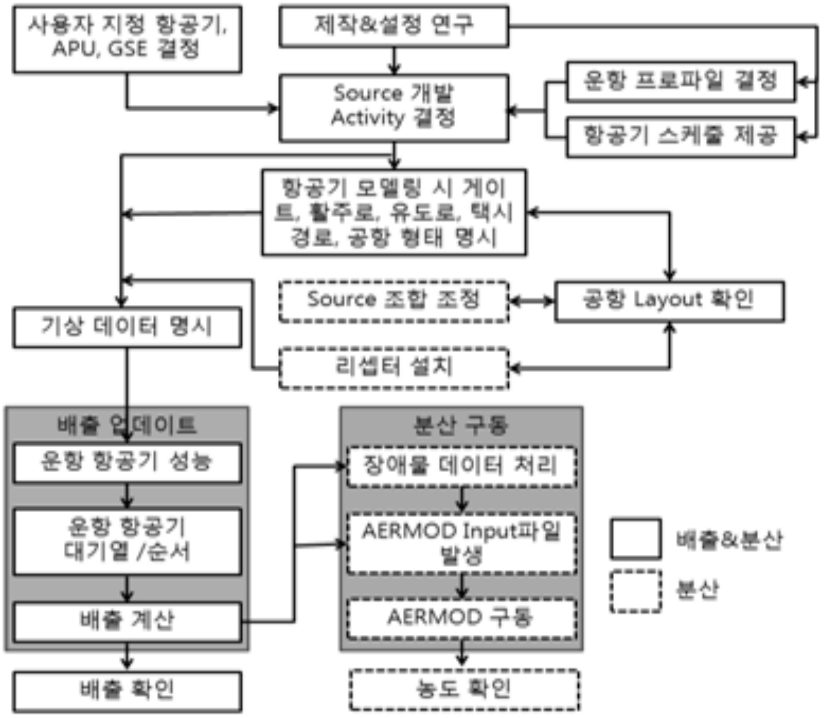
- 국립환경과학원
  - 한국형 대기질 분석모델링(CMAQ) 시스템 구축, 수도권 지역에서의 대기질 측정망 자료를 이용한 대기질 영향 평가 수행
- 한국환경정책 평가연구원

구분	ISCST3	AERMOD	CALPUFF
대상	• 면오염원, 점오염원	• 면오염원, 점오염원, 선오염원	• 면오염원, 점오염원, 선오염원
특징	• 쉽게 적용 가능 • 대기상태가 공간적으로 균일하다고 가정 • 기상조건과 배출량의 시간 변화 없다고 간주하므로 복잡한 지형 고려 못함	• 미국기상학회와 EPA 공동개발 • ISCST3 보완(복합지형 가능) • 해안가 또는 수면과 수면 위 대기와의 상호작용으로 인한 과정 전혀 고려 못함	• ISCTS3나 AERMOD와 비교 시 훨씬 넓은 영역 가능 • 시간적 농도변화 계산 가능 • 수백 킬로미터 모델링 가능 • 2차 오염물질 예측 가능 • 거칠고 복잡한 지형 가능

▷ 국외기술 동향

○ EDMS(미국 FAA)

- 공항 내 항공기 오염물질 배출량 시·공간분석 컴퓨터 모델로 1997년에 개발(가우시안 모델)한 것으로 항공기, APU, 지상조업장비, 지상접근차량 등을 대상으로 대기질을 평가, 감독하는 도구로 사용
- 항공기 LTO에 따른 배출량이 공항 주변 대기질에 미치는 영향 및 풍속계 패턴에 따른 대기오염물질 농도의 공간 분포 분석 가능



○ ISC, AERMOD, CALPUFF(미국 EPA)

- ISC와 AERMOD : 기본적으로 대기안정도가 정상상태인 가우시안 모델 기상자료(시간별 대기안정도, 풍향, 풍속, 기온, 혼합고), 오염원 및 GIS 기반 자료를 토대로 하여 오염분포를 예측하는 대기 확산모델링
- CALPUFF : 기본적으로 대기안정도가 비정상상태인 가우시안 모델 기상자료(바람장 또는 시간별 대기안정도, 풍향, 풍속, 기온, 혼합고), 오염원 및 GIS 기반 자료를 토대로 하여 예측하는 대기 확산 모델링

○ ADMS-Airport(영국 CERC)

- 기본적으로 가우시안 모델을 채택하여 2002년 기준 2010, 2015, 2020, 2030년의 공항 및 공항 주변의 대기질 모델링을 위한 ADMS-Airport 버전 개발된 것으로 배출 인벤토리 관리 및 조작을 위한 시스템 제공하며 사용자 편의를 위한 모델링 과정 단순화 함
- 지상 활주, 이륙, 접근, 착륙으로부터의 항공기 엔진, 항공기 APU , 항공기 GSE (정지 상태의 GSE 운용, Apron쪽 GSE 운용), 공항 지상 트래픽, 파워 플랜트와 같은 공항 비유동적 배출원, 도로와 같은 공항 접근 등의 주변 배출원을 고려하여 초~ 년 단위로 배출농도를 평균화하여 계산 가능

○ LASPORT(독일 Janicke Consulting)
- 독일의 Janicke Consulting에서 개발한 대기 확산 모델링 시스템 LASAT을 기반으로 하여 독일 및 스위스 공항에 적용한 사례를 바탕으로 2002년 표준 배출확산모델 계산수단으로 LASPORT 개발
- 항공기 트래픽, APU, GPU, 엔진 start-up, Ground Support Equipment (GSE), 차량 트래픽(Airside, Landside)에서 비롯된 물질 추적 대기확산과 배출량 계산

○ ALAQS-AV (EUROCONTROL)
- 모니터링만으로 공항 오염 추산의 어려움을 해결하기 어렵기 때문에 공항주변 대기 오염의 공항 기여도를 평가하고 연구를 위한 테스트 벤치 및 피드백을 제공하며 자세한 공항 배출 인벤토리와 확산 모델링 평가가 가능하도록 개발되었음

3. 연구개발내용

□ 세부 과제별 연구 내용

[공항주변 온실가스 및 대기오염물질 측정 모니터링 기술]

○ 측정 및 분석방법 구현기술 개발
- 국내외 공항별 대기질 측정장비 현황 파악
- 적합한 공항 측정기술 선정 및 신규 기술 개발(국산화)
- 국내 인증을 통한 공항 대기질 측정장비 특허출현 및 임대화

○ 공항 DB와 지자체 DB 연계 방법 도출 및 소프트웨어 개발
- 공항 및 공항주변 대기 측정 DB 구축
- 환경부 및 지자체 대기 측정 DB 자료 연계를 위한 툴 개발
- 공항, 공항주변, 지자체별 오염물질 농도 정보 관리 시스템 설계
- 검증기관 검증 후 홈페이지를 통한 정보 공개 및 주민 알권리 충족

[공항주변 대기확산 모델링 시스템 기술]

○ 대기확산 모델링 선정 및 입력자료 구현 기술 개발
- 미국 EDMS 모델링 알고리즘 파악
- 공항 및 공항주변 배출원별 인벤토리 구축 및 배출량 계산 툴 개발
- 항공기상청 및 기상청의 입력자료 구축 툴 개발
- 시공간별 배출량 및 기상 입력자료 구현 툴 개발

○ 한국형 공항주변 대기확산 시스템 개발
- 국내공항 Layout 확인 및 항공기 스케줄입수, 운항프로파일 결정

- 국내공항 사용자 지정 항공기, GSE 등 배출원 결정
- 국내공항 기상입력 자료 결정
- 공항 대기확산 모델링 구동 및 농도 확인
- 계산값과 관측값과의 비교 검증

○ 정부, 항공사, 공항공사 및 환경부 연계 DB 구축 및 활용방안 제시
- 일반 확산모델링과 공항 대기확산 모델링 계산값과의 비교
- 자료 구축 및 연계 알고리즘 개발 및 분석 툴 개발
- 배출원별 확산 분석시스템 개발 및 공항 대기질 평가 및 예보 활용

[온실가스 및 대기오염물질 지도표출시스템 구현 기술]

○ 지상조업장비 실시간 연료소비량 구현 기술
- 지상조업장비 운영 현황 파악
- 친환경 조업장비 도입 계획 파악 및 연료 DB 구축 툴 개발
- 웹기반에 의한 실시간 연료량 확인 표출 시스템 구현

○ GIS기반 공항주변 지도표출 시스템 구현 및 활용방안 제시
- 지상 내 항공기 이동, 지상조업장비, 차량 및 고정배출원의 오염물질 정도 지도표출 3D로 구현
- 홈페이지를 통한 정보 공개 및 주민 알권리 충족

4. 연구개발 추진방법

□ **추진 전략**

○ 초기 개발 단계에서 실수요자가 참여하는 자문단 구성

○ 실수요자 참여 자문단을 중심으로 현재와 미래의 시스템 요구사항을 조사 분석하여 반영

○ 국내외 각계 전문가 요구사항도 주기적으로 파악하여 반영

○ 기술격차 해소 및 개발 위험성 축소를 위해 해외 기술 및 개발동향을 지속 파악하여 대응방안 마련

○ ICAO 관련 국제회의 참석하여 활동을 관찰하고 선진국의 개발 동향 파악

○ 개발된 기술 결과물의 국제 표준화를 통해 전 세계 시장 선점 여건 조성

○ 국제 항공 개발 환경 변화에 따른 국토교통부의 의견을 반영하여 매년 연구 내용 조율

○ 국토교통부 의견을 매년 반영하여 변화하는 국제 항공 개발 방향에 적응적으로 대처함

□ 추진 체계	○ 산·학·연·관 역할분담 및 공조체제에 의한 효율적인 연구 개발의 추진 체계 ○ 기술 격차 해소 및 개발 위험성 감소를 위해 지속적인 국제 표준화 회의 활동을 통한 해외 기술 동향 파악 및 조기 구축 추진체계 ○ 관련 기관의 의견수렴 및 운용 시험을 위한 협력체계 구축

5. 최종성과물

□ 주요 최종 성과물	○ 최종보고서 ○ 공항주변 측정 모니터링 기술 ○ 공항주변 대기확산 모델링 시스템 기술 ○ 공항주변 배출지도표출 시스템 기술 ○ 지상조업장비 실시간 연료소비량 구현 기술

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용 방안	○ 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발사업의 성공적 수행과이를 통한 국가 온실가스 감축전략 등 정책에 활용 ○ 공항주변 온실가스 저감방안 개발 및 활용 이해관계자들에게 편의성 제공
□ 기대 효과	○ 지상조업장비, 수송차량 등 공항주변 온실가스 및 대기오염물질 효율적 관리를 통한 대기환경 개선 및 공항도시지역 주민들의 쾌적한 환경 조성 기대 ○ 국내 최초 공항 및 공항 주변 실시간 배출가스 지도 표출 시스템 구축을 통한 미래의 환경변화 및 기후변화에 대응할 수 있는 경쟁력 확보

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2018.1 ~ 2022.12(5년)
- 1차년도 연구개발기간 : 2018.1 ~ 2018.12(12개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2019.1 ~ 2019.12(12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2020.1 ~ 2020.12(12개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2021.1 ~ 2021.12(12개월)
- 5차년도 연구개발기간 : 2022.1 ~ 2022.12(12개월)

○ 총 정부출연금 : 2,800백만 원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 800백만 원 이내
- 2차년도 정부출연금 : 1,000백만 원 이내

- 3차년도 정부출연금 : 500백만 원 이내
- 4차년도 정부출연금 : 300백만 원 이내
- 5차년도 정부출연금 : 200백만 원 이내

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반/보안 과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정・보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우,「분산공유형 건설연구 인프라 구축」과제결과로 구축된 “분산공유 6대 실험시설” 우선 활용

※ 공고시 첨부한 “분산공유형 건설연구 인프라 실험시설 소개자료” 참조

2. 평가기준 설정

가. 성과목표 및 성과지표

<표 5-32> 세부 과제별 성과목표

과제	과제 목표	목표 성과물
공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발	- 공항주변 종사자와 주민들의 건강보호를 위하여 공항 내 및 공항주변에서 발생되는 오염물질을 체계적으로 관리하여 쾌적하고 안전한 도시환경 조성	- 공항주변 온실가스 및 대기오염물질 측정 모니터링 기술 - 공항주변 대기확산 모델링 시스템 기술 - 온실가스 및 대기오염물질 지도표출 시스템 구현 기술

<표 5-33> 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 연구의 양적 성과지표

성과지표	측정방법	최종 목표치
학술지 게재 논문	국내외 학술지 게재 논문건수	5건
학술회의 발표 논문	국내외 학술회의 발표건수	5건
산학연 협력 활동	국내외 산학연 협력 활동 건수	5건
연구개발 관련 홍보	연구성과의 대외 홍보 건수	5건
시제품	시제품 제작 여부	2건
연구보고서	과제 연구보고서 제시 여부	1건

<표 5-34> 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 연구의 질적 성과지표

성과지표	성과검증 기준				
	측정방법		목표수준		검증 방법
			목표치	달성치	
공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발	①	대기오염물질 측정 모니터링 기술	100%		시연/ 보고서
	②	GIS기반 공항 배출지도 표출 시스템	100%		시연/ 보고서
	③	공항 대기확산 모델링	100%		시연/ 보고서

제 6 장 투자 우선순위 선정

제 6 장 투자 우선순위 선정

○ 세계 항공 산업이 전체 온실가스 배출량의 2%를 차지하고 있는 가운데 항공부문 온실가스 배출량을 최소화할 필요성 요구

- ICAO 제37차 총회 결의안에 따라 2020년 기준 탄소 중립 성장 목표를 수립하였으며, 이에 따라 각 체약국에 State's Action Plan 제출 요구
  - 우리나라 State's Action Plan을 2012년 6월 제출했으며, 2015년 6월 제출 예정
- ICAO 제38차 총회에서 국제 시장기반체제(MBMs) 시행에 동의

○ 지속가능국가교통물류발전계획('11~'20)에 따라 우리나라는 2020년 교통부문 온실가스를 BAU 대비 34.3% 감축 예정

- 항공부문에 "에너지 온실가스 목표관리제"('11) 및 "자발적 감축 협약"('10)이 시행 중이며, 이후 "배출권 거래제도"('15)를 시행 예정

○ 타당성 검토를 통해 4개의 세부과제 추진의 우선순위는 다음과 같음

1. 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발

○ ICAO 제37차 총회 결의안에 따라 우리나라 State's Action Plan을 2012년 6월 제출하였으며, 2015년 6월 제출 예정

- 신뢰성 있는 온실가스 배출량 추정 및 저감전략 마련을 위해서는 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발 필요

○ 녹색성장 국가전략 및 5개년 계획, 지속가능발전기본계획, 지속가능교통물류발전계획 등 국가 온실가스 저감 전략 수립 및 달성 도모

- 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발 연구는 적절한 환경투자 수준을 정량적으로 도출함으로써 항공 산업의 친환경 신기술도입 및 운항법 개선 활동에 타당성과 정당성을 부여함
- IPCC Tier 3b급 수준의 방법론을 기반으로 우리나라 항공부분의 정확한 온실가스 배출량 측정
- 기술도입 및 운항 개선에 따른 시나리오별 효과 분석 역량 제공

- 국가 온실가스 배출량 산정과 저감잠재량 분석을 통한 국가 감축이행계획 수립 등 공익적 목적으로 사용

○ 제3장 6절에서 제시한 바와 같이 국내 학계, 연구원, 산업체 등 다양한 분야의 모델링 기술 및 소프트웨어 개발 기술 등을 확보하고 있음

○ 따라서 정책적 요구도 및 국내 기술력을 바탕으로 국제 수준의 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템의 실용화 가능성이 매우 높음

○ 편익-비용 분석 수행 결과 경제성이 있는 것으로 나타남

2. 항공용 바이오연료 적용 기술 개발

○ ICAO가 제시한 2050년 탄소중립성장 목표 (<그림 2-2> 참조)에 따르면 항공기 운영 및 항공교통관리, 항공기 신기술 개발, 시장기반체제 도입으로 온실가스 배출량을 대폭 감축할 수 있으나, 그 한계가 존재하며, 이를 위해 항공용 바이오연료 개발 필요

- ICAO 제38차 총회 결의안에 따르면, 중장기 온실가스 감축수단으로서의 항공용 바이오연료의 중요성을 인식하고, 범세계적 기본 틀 수립
  - 지속가능한 드롭인(Drop-in) 항공용 바이오연료 기술 가능성과 이에 대한 장기적 관점에서의 정책과 인센티브 도입 필요성 강조

○ 산통부, 기재부, 농림부, 국토부, 환경부 등 관계부처 합동으로 1, 2차 바이오디젤 중장기 보급계획 수립을 통해 바이오연료 개발 사업 추진 의지 확보

- 정부부처간의 역할 분담을 통한 범부처 R&D 추진 가능성 확보

○ 항공용 바이오연료 개발을 위해서는 원료 확보, 생산 기술 확보, 판매 및 수출 등 다양한 분야의 시장 활성화가 가능하며, 기술 및 원료를 기반으로 한 국제 협력 및 교류 확대 가능

○ 수송용 바이오연료 개발을 통해 확보한 기술을 기반으로 항공용 바이오연료의 개발은 실용화 가능성이 높음

3. 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발

○ ICAO 항공환경보호위원회는 항공부문 온실가스 배출 제한, 항공기 소음 제한과 더불어 항공기 등 대기오염물질 배출에 의한 대기질 영향을 최소화하는 것을 3대 추진목표로 정한 만큼 우리나라도 국제위상에 걸맞게 선진국 수준의 공항 대기질 개선 필요

○ 물론, 공항주변 소음대책지역 주민들의 생활환경 개선을 위한 정부 투자 및 통합지원 시스템 구축 등 지속적으로 추진하고 있는 것은 맞으나, 이는 소음의 특성상 공항주변 주민들에게 직접적인 피해와 민원이 발생되기 때문에 정부의 투자가 이루어지고 있다고 볼 수 있음

○ 공항 내 또는 공항주변 온실가스 및 대기오염물질 등 눈에 보이지 않은 피해에 대한 정부의 정책과 투자 등이 이루어지지 않고 있음

- 국토교통부는 공항 환경관리기준에 의해 공항의 환경오염을 예방하고 온실가스 저감 등 공항을 관리하고 있으나, 아직 측정을 통한 모니터링 관리에 국한되어 있으므로 공항 내 및 공항주변 대기오염물질/온실가스 모니터링 관리 기술개발을 통해 국토교통부가 기술 우위 선점 가능

4. 에코플라이트 시뮬레이터 개발

○ 미국 FAA 등의 국가에서 모의비행 훈련장치만을 사용하여 한정자격 훈련 및 자격취득이 가능

- 이를 위해 국토교통부 항공자격과 등과 협조하여 국내 항공법 시행규칙 내 항공종사자 자격취득 요건의 변경이 필요

○ 대부분의 국내 항공사에서는 경제운항절차를 통한 연료절감 효과를 인지하면서도 항공안전과 충돌하는 문제 등으로 조종사에게 경제운항절차를 강요하지 못하고 있는 실정이며, 실제로 조종사 훈련 시 온실가스 감축기술 적용훈련을 실시하지 않고 있으며 단순 권고 혹은 신입 운항승무원 등을 대상으로 이론교육만 실시하고 있음

○ 에코플라이트 시뮬레이터의 주된 목적은 조종사들의 경제운항절차 체화훈련을

주목적으로 하고있음

5. 타당성 검토를 통한 투자 우선순의 선정

○ 투자 우선순위 선정을 위해서 국제기구 환경 규제 정책 요구도, 온실가스 저감 기여도, 기술 개발 성공 가능성, 기술의 상업성, 항공 산업에 미치는 영향도 등 5개의 기준으로 타당성 검토를 실시함

- 국제기구 환경 규제 정책 요구도 항목의 경우, 국제기구, 선진국의 환경 정책 동향과의 부합성, 기후변화 정책 선도화 정도를 검토함
- 온실가스 저감 기여도 항목의 경우, 항공부문 온실가스 저감 기여도, 국가 온실가스 저감 전략 및 국가 계획 달성도, 국내 정책의 부합성 정도를 검토함
- 기술 개발 성공 가능성 항목의 경우, 기술의 중요도, 국내 기술 수준, 국내 연구 역량, 기술 실현 가능성, 기술 선점 기여도 정도를 검토함
- 기술의 상업성 항목의 경우, 국내외 시장 경쟁력, 시장/ 경제 파급효과, 상용화 및 실용화 가능성 정도를 검토함
- 항공 산업에 미치는 영향 항목의 경우, 기술 개발의 공공성, 관련 산업의 성장 가능성, 항공 산업 활성화, 산업계의 요구도 정도를 검토함

○ 위의 기준을 바탕으로 전문가 자문을 실시하였으며, 그에 따른 우선순위 선정 결과는 다음과 같음

1. 항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발
2. 항공용 바이오연료 적용 기술 개발
3. 에코플라이트 시뮬레이터 개발
4. 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발

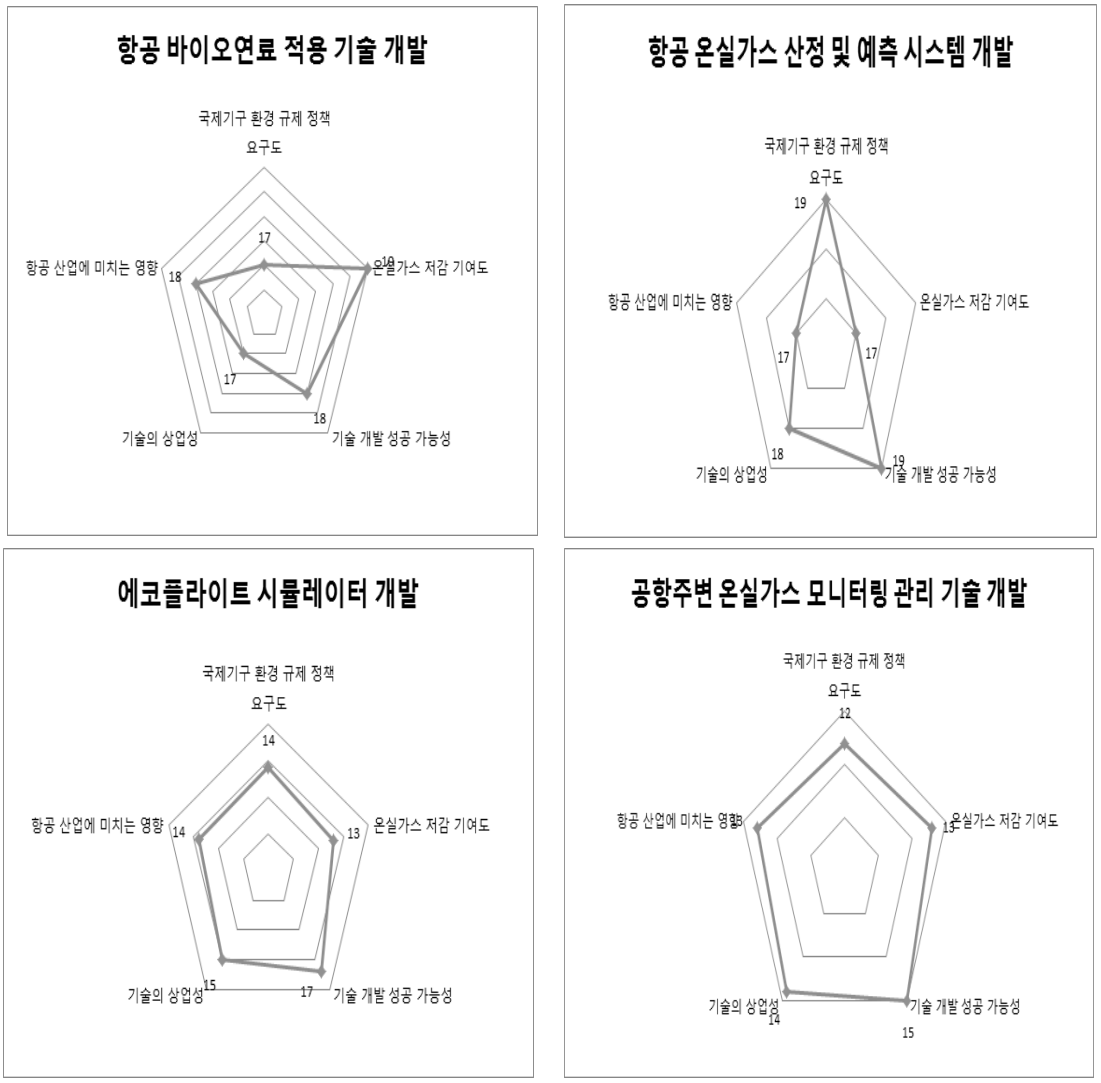
<표 6-1> 투자 우선순위 선정을 위한 기준

평가 항목	내용
국제기구 환경 규제 정책 요구도	국제기구 환경 정책 부합성, 기후변화 선도 정도
온실가스 저감 기여도	항공부문 온실가스 저감 기여도, 국가 온실가스 저감 전략 달성도, 국내 정책 부합성
기술 개발 성공 가능성	기술 중요도, 기술 수준, 연구역량, 기술 실현 가능성, 기술 선점 정도
기술의 상업성	시장 경쟁력, 시장/경제 파급효과, 상용화/실용화 가능성
항공 산업에 미치는 영향	공공성, 산업의 성장 가능성, 항공산업 활성화, 산업계 요구 정도

<표 6-2> 세부 연구 과제별 우선도

구분	국제기구 환경 규제 정책 요구도	온실가스 저감 기여도	기술 개발 성공 가능성	기술의 상업성	항공 산업에 미치는 영향	합계
항공 바이오연료 적용 기술 개발	17	19	18	17	18	89
항공 온실가스 산정 및 예측 시스템 개발	19	17	19	18	17	90
에코플라이트 시뮬레이터 개발	14	13	17	15	14	73
공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발	12	13	15	14	13	67

주 : 1) 각 항목 20점 배점
2) 각 분야 전문가 자문을 바탕을 재구성



<그림 6-1> 세부 연구 과제별 우선도

참고문헌

참고문헌

[국내문헌]

○ 과학기술정책연구원, 거대과학 글로벌 산업화 전략, 2010

○ 국립환경과학원, 차량용 매립가스 및 셀룰로우스계 바이오연료 보급 가능성 사전평가 연구, 2010

○ 국토교통부, 제1차 항공정책기본계획, 2009

○ 국토교통부 고시 제 2010-1024호, “공항 환경관리 기준”, 2010

○ 국토교통부, 항공산업 녹색성장을 위한 시장기반체제 도입방안 연구, 2010

○ 국토교통부, 미 국무부 자발적 방문 프로그램 대응자료, 2011

○ 국토교통부, “저비용항공사 온실가스 관리 표준모델 개발 연구”, 2011

○ 국토교통부, 항공부문 저탄소 녹색성장 추진계획, 2011

○ 국토교통부, 항공 온실가스 감축을 위한 자발적협약 이행매뉴얼, 2012

○ 국토교통부, 항공부문 온실가스 감축 국가이행계획 수립연구, 2012

○ 국토교통부, 항공부문 온실가스 자발적 감축협약이행을 위한 협의회 회의자료, 2012

○ 국토교통부, 교통부문 온실가스 저감 및 통합관리기술 개발 연구보고서, 2012

○ 기술과 미래 tech & future 2012 vol.3, 2012

○ 김근배, 연료전지 항공기 기술 동향, 2009

○ 김용석, “강하비행시의 연료소모량 비교분석”, 한국항공운항학회지, 2011

○ 김재곤, 국내 수송용 바이오연료의 보급 및 기술개발 동향, 원외세미나 자료, 2011

○ 김재곤, 전철환, 임의순, 정충섭, 경유대체연료로서 수첨바이오디젤의 윤활 특성

연구, KSTLE Vol28 No6, 2012

○ 김재곤, 전철환, 임의순, 정충섭, 이상봉, 이윤제, 강명진, BtL 디젤 생산을 위한 F-T 디젤의 연료적 특성 연구, KOC Vol29 No3, 2012

○ 문난경, 이영수, 강영현, 김영하, 환경영향평가시 대기확산모델의 적용에 관한 연구, 2005

○ 산업자원부·에너지관리공단, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030[수송용 바이오], 2007

○ 산업통상부외 7개 부처, 범부처 신재생에너지 R&D 추진전략(안), 2010

○ 서명원, 김재호, 이시훈, 바이오매스 가스화 정제 기술 소개 및 현황, KIC News Vol15 No 6, 2012

○ 서영웅, 수첨바이오디젤(HBD) 생산기술의 최근 동향 및 전망, KIC News Vol11 No3, 2008

○ 안진철, 바이오연료 업계 동향, 2013

○ 온실가스 감축 세미나 발표자료, 2011

○ 은영주, 전대근, 오은미, 비행절차 및 공역 효율성 평가 툴 기본설계, 한국항공우주학회 2012년도 추계학술대회 논문집, pp601-607, 2012

○ 이용미 등, “수도권 지역에서 대기질 측정망 자료를 이용한 광화학모델의 이동오염원 배출량 검증”, 한국대기환경학회, 2009

○ 이주형 · 김여숙, 수송수단에 따른 국가 온실가스 배출 통계 현황-도로, 항공부문 중심으로-, 2012

○ 인천공항공사, Green Report, 2013

○ 재정경제부·농림부·산업자원부·환경부·건설교통부, 바이오디젤 중장기 보급 계획, 2007

○ 중장기 전략 작업반, 2050년 청정 한국을 위한 중장기 기후변화·에너지 정책방향, 2012

○ 지식경제부, 제2차 바이오디젤 중장기 보급계획, 2010

○ 채호정, 정광은, 김철웅, 전순용, BtL(Biomass to Liquid)기술 현황, 에너지공학 제16권 제2호, 2007

○ 환경부·한국환경정책평가연구원, 바이오연료(바이오디젤, 바이오에탄올)의 환경·경제성 분석 및 보급 확대방안 연구, 2007

○ 한국과학기술한림원, 바이오기반 연료 및 화학산업의 현황과 도전, 2008

○ 한국교통연구원, 항공교통 부문 온실가스 배출규모 추정 및 관리방안, 2008

○ 한국교통연구원내 세미나 발표자료, 2011

○ 한국교통연구원, 항공 온실가스감축 국가이행계획서 수립을 위한 사전연구, 2012

○ 한국석유관리원, 석유대체연료 현황, 2009

○ 한국석유관리원, 석유제품 품질 특성, 2009

○ 한국석유관리원, 정부의 석유산업 정책 및 향후과제

○ 한국석유관리원, 신재생연료 혼합의무제도 국내 시행방안 공청회 자료, 2013

○ 한국에너지기술평가원, 그린에너지 전략 로드맵2011(바이오연료), 2011

○ 한국에너지기술평가원, IEA와 국내 바이오연료 R&D 전략 비교분석-그린에너지 전략로드맵 중심-, KETEP Issue paper 01호, 2011

○ 한국항공진흥협회, 바이오연료, 항공우주 가을호, 2010

○ 한국환경정책평가연구원, 항공기소음의 영향예측기법 개선방안, 2006

○ 항공부문 온실가스 자발적감축 협의회 감축결과 평가위원, 항공부문 온실가스

자발적 감축 협약 이행실적 종합 평가결과서, 2012

○ 황정현, 항공기 온실가스 배출 저감 운항 절차의 적용 방안, 2012

[국외문헌]

○ ASTM, ASTM D7566-13, D1655-13

○ Biofuel digest, The Future of Aviation Biofuels, 2012

○ CERC, ADMS-Airport User Guide Version 3.1, 2011

○ FAA, Aviation Environment Design Tool overview, TRB AEDT/APMT Workshop, 2006

○ FAA, INM′ User′s Guide, 2007

○ FAA, EDMS User Manual, 2013

○ Heathrow airport, Heathrow Airport Air Quality Strategy

○ IATA, 2007- 2011 Alternative Fuels Reports, 2007-2011

○ IATA, Aviation Climate Change Pathway to 2020, 2009

○ ICAO, “Airport Air Quality Manual”, 2011

○ ICAO, ICAO Colloquium on Aviation and Climate Change seminar, 2010

○ ICAO, ICAO Aviation and Sustainable Alternative Fuels workshop, 2011

○ Janike Consulting, LASPORT Introduction, 2011

○ Narita airport, Environment Report, 2012

○ Zūrich airport, 2010 Zurich LAQ Modelling Sensitivities, 2010

[웹사이트]

- www.keco.or.kr
- www.kpetro.or.kr
- www.astm.org
- www.iata.org
- www.ts2020.kr
- www.icao.int
- http://www.faa.gov
- http://www.eurocontrol.int
- http://www.airport.kr
- http://www.airport.co.kr
- http://www.airkorea.or.kr

부록

- 자문회의록

부록. 자문회의록

연구과제명	[항공선진화사업] 기후변화 대응 항공 온실가스 감축기술 개발 기획	과제 구분	수탁-01 개월

구 분	내 용	
회의일시	2013년 01월 14일(월) 15:00~17:00	
회의장소	국방과학연구소(복지관 중강의실)	
참 석 자	연 구 진	국방과학연구소 한정식 박사, 정병훈 박사, 한국화학연구원 정순용 박사, 공주대 전종 교수, 아주대 박은덕 교수, 본원 김제철 실장, 박진서 부연구위원, 심가람 연구원 등
회의내용	□ 석유대체자원을 이용한 Bio-jet fuel 제조 기술 연구결과 발표회의 ○ 연구개요 - 석유대체자원(바이오매스, 석탄, 천연자원 등)을 이용하여 항공유인 Jet A-1과 동등한 bio-jet fuel의 제조 기술 연구 · 기간: 2010.9.20 - 2012.12.01(26개월) · 참여연구단: 국방과학연구소, 한국화학연구소, 공주대학교, 아주대학교, 풍산 - 세계석유생산과 국제석유요구량의 상관관계로 인한 석유 고갈 예상 · 국제적으로는 이미 bio-jet fuel에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있음 - bio-jet fuel의 특성 · CO_2 -neutral fuel 온실가스의 90%이상 감소 효과 · 낮은 방향족 화합물 함량→PM(soot) 감소 효과 · 기존 연료보다 우수한 물성→NOX, HC, CO 감소 효과 · 낮은 황화합물 합량→산성비 감소 효과 · 기존 연료와 유사한 물성→기존 기반시설 활용 가능 ○ 연구내용 - 미정제 합성가스→정제 합성가스→FT-합성유→항공유 - ASTM 7566-10에 따라 시험평가 기술 개발→화학분석, 물성 분석 등 - 2차년도 bio-jet fuel 터빈엔진 적용 특성 연구 · pilot plant 급 제조장비의 제작, 시제품 제조 및 기존 소형 터빈엔진 적용 기존 항공유와 비교 연구 · 기간: 2015 - 2018 · 액체추진 유도무기 및 기만기 활용 목표로 연구추진 계획	

구 분	내 용
	○ 회의 의견 - 향후 군 항공기용 엔진 테스트를 거쳐 민간 항공기용 엔진테스트의 완료하여 상용화(상용 제조, 인프라 확충 등) 계획이 필요 - 2010년 12월 ICAO등 국제적으로 항공 대체연료에 관한 연구 활발히 이루어지고 있음 - 안전성, 경제성의 문제 대두 - 다양한 feedstock(식물성 오일, algea 등)UOP 2nd generation bio-jet fuel에 대한 연구가 활발히 진행 중 - 적정 품질기준에 대한 연구 필요 - EU-ETS 배출권 거래제를 대비하기 위해서도 bio-jet fuel의 연구 필요 - bio-jet fuel에 대한 연구 결과는 장기간에 걸쳐 알 수 있는 분야로 정책적 도움이 필요

구 분	내 용	
회의일시	2013년 01월 18일(금) 10:00~12:00	
회의장소	인천공항공사	
참 석 자	연 구 진	인천공항공사 에너지관리팀 박문규 차장, 교통안전공단 김용석 박사, 이주형 선임연구원
회의내용	○ 자문위원 의견 - 공항공사 R&D 아이템 개발을 위한 조직 및 인력운용 파악 - 지상 내 항공기 동선 축소를 통한 연료절감 등 “녹색주기장” 실현을 위한 항공기 이동 최적화시스템 기술 개발 필요 ※ 항공사 → 항공기 연료절감효과, 공항공사 → 대외 홍보효과(Win-Win)	

구 분	내 용	
회의일시	2013년 01월 23일(수) 10:00~12:00	
회의장소	교통안전공단	
참 석 자	연 구 진	대한항공 등 7개 항공사 항공환경 및 연료관리 담당자들, 교통안전공단 김용석 박사, 이주형 선임연구원
회의내용	○ 자문위원 의견 - 감축수단 범주별 연료저감효과 산정방법 마련 ・저감효과 분석모델 개발 방향 기획 기초자료로 활용 - 수요자 관점의 활용방안 논의 ・(정부) PBN, CDO 등 운항절차 개선에 따른 분석시스템 활용 ・(항공사) 엔진세척, 공회전 역추진 등 감축수단 적용에 따른 분석시스템 활용	

구 분	내 용	
회의일시	2013년 01월 23일(수) 10:00~12:00, 3:00-5:00	
회의장소	한국교통연구원(지하1층 A 회의실)	
참 석 자	연 구 진	에너지기술연구원 이진석 박사, 항공대 유광의 교수, 한국석유관리원 김재곤 박사, 본원 박진서 부연구위원, 심가람 연구원
회의내용	○ 자문위원 A 의견 - 지경부에서는 지상 수송용 Bio 연료 연구 개발에 치중한 정책 추진 - 국내 Bio 연료 개발 연구는 바이오 디젤과 바이오 에탄올이 개발되었으며, 그 중 바이오 디젤이 자동차에 활용되고 있음 ・바이오 디젤 원료의 70%는 해외 식물성 오일 수입, 30%는 국내 폐식용유 재활용 ・원료의 90%는 식용 곡물 원료이기 때문에 비식용 목지와 해양 Biomass 개발 필요 ・해양 Biomass는 식물성 플랑크톤으로 국토부에서 미세조류 대량생산기술 연구 중, 2020년 이후 실용화 가능 - 해외 bio-jet fuel 연구는 카멜리나 오일을 사용한 단발성 flight test로서 경제성이 없음 - Bio 연료가 경제성을 가지고 실용화가 이루어지기 위해서는 2020년 이후 가능, 따라서 정부의 강제성이나 도움 없이는 성장이 어려움 ・수송부문의 CO_2를 20% 감축 목표를 달성하기 위해서는 바이오 연료사용이 유일한 대안으로 지경부의 정책 검토 필요 - Bio 연료는 그 원료에 따라 CO_2 감축량이 달라질 수 있으며, 그에 따라 시험평가 기술 및 안전성 인증 기술 그리고 원료 대비 CO_2감축량 단계 기준 역시 개발 필요 - '항공용 바이오연료 적용 기술 개발 기획'에서 대상 바이오 항공유의 CO_2 감축 효과를 정량화하는 방법의 확립을 위한 전주기 분석 모델 개발 추가 필요 - 대체연료 시험평가 및 안전성 인증 기술은 바이오 항공유 제조 원료가 다양하므로 원료별 생산 바이오 항공유 평가 절차 마련 필요 - 바이오 항공유는 2020년 이후 본격적으로 보급이 시작 가능할 것으로 예상되므로 중장기 관점에서 추진 필요	

구 분	내 용
	○ 자문위원 B 의견 - Emission Inventory Model은 Tier 3 개념의 선도적 모델이어야 하고 항적 데이터에 의한 validation 및 실행효과를 보여주어야 함. 특히, ICAO에 제출할 수 있고 국제적 표준으로 채택될 수 있는 Model이 될 수 있었으면 함 ・Tier 3 모델 개발 시 비행환경 중요, 공역 특성에 따른 항적 데이터 활용 필요 - Biofuel 기술 개발과 비행 시험 전 과정 중에서 우리나라가 참여할 수 있는 부분을 확인하여 참여방법을 연구할 것을 기대함. 국제 공동 수행의 방법 개발 역시 필요함 - 국내 ETS 시장 성공을 위한 조건을 예측하고 항공산업 ETS 적용 가능성 및 효과 연구 필요 ・EU-ETS는 온실가스 배정량이 많아 추가 구매가 이루어지지 않아 시장 붕괴로 이어져 현재 시행이 지연 됨 따라서 국내 ETS 실행 시 수요와 공급 예측 필요 - 항공사의 의무 감축(2%)에 대한 Incentive를 개발하여 항공사의 참여와 성공이 보상 받을 수 있도록 하는 방안 연구 필요 ・LCC의 경우 온실가스 감축을 위해서 탑승률 비율이 관건이지만 이미 탑승률이 90%를 넘음 ・항공사의 비용절감과 함께 정부 차원의 Incentive 필요(경제적 효과) ・항공사의 온실감축 현황에 대한 환경보호 관련 캠페인을 통하여 항공사 홍보 필요 - 공항과 항공사의 기술적, 절차적 개선 방안 연구 필요 ○ 자문위원 C 의견 - 일반적으로 원유를 수입하여 국내 정유사(4개 정유사)가 정제하여 항공유를 생산하게 됨 이때 미국의 ASTM 기준을 품질기준으로 삼게 되며 국내법상 항공유 품질기준 부 존재 - 바이오 디젤의 경우는 식물성 유지를 원료로 공정과정을 거쳐 생산, 바이오 디젤에 대한 실측연구, 시범 보급 사업을 거쳐 실증 및 품질기준, 성능평가기준이 개발되어 전국적으로 보급되는 과정을 거침 ・현재 국내 16개 바이오 디젤 생산회사가 등록되어 있으며, 이곳들에서 생산되는 바이오 디젤은 품질기준 및 배출가스 성능평가기준을 만족하고 있음

구 분	내 용
	- 해외 바이오 항공유에 대한 검토 및 검증을 통하여 항공기에 적용 가능한 바이오 항공유 범주 확정이 먼저 연구되어야 할 것임 · 해외 상용화된 바이오 항공유 및 국내 상용 전단계의 플랜트(현재 국내는 없음) 연료에 대한 분석 필요 · BtL의 연구가 진행 중이며 현재 1배럴 per day만이 생산이 가능하여 연구가 진행되기 위해서는 대량 생산이 필요 - 특정 대상 연료 설정 후 실험평가 기술 및 안전성 인증 기술에 대한 연구가 이루어져야 할 것임

구 분	내 용	
회의일시	2013년 01월 24일(목) 10:00~12:00	
회의장소	한국교통연구원(5층 회의실)	
참 석 자	연 구 진	대한항공 유안식 차장, 아시아나항공 문동현 과장, 강대희 과장, 권희준 과장, 본원 박진서 부연구위원, 심가람 연구원
회의내용		

○ 자문위원 A 의견
- 항공사내 bio 연료에 대한 관심은 크며, 주기적 회의를 통한 의견수렴 및 연구 방향 설정이 필요
- 온실가스 감축 목표 및 효과분석 자료 등이 구체적으로 설정된다면 그에 대한 자료 공유를 통해 적극적 대처 필요
- 정부, 정유사, 제작사 등 컨소시엄의 형태로 bio 연료에 대한 연구 진행 필요
- 국외에서 bio 연료 탑재 후 국내 입국 시 국내 인가 문제나 그에 대한 협약 체결 문제에 관한 정책방향 필요

○ 자문위원 B 의견
- 공항 내 항공기 towing 시 APU 사용 억제를 위한 GPS 사용 강제 필요
  · 런던의 히드로 공항, 프랑스 샤를드골 공항에서는 지침으로 모든 항공기에 GPS 사용 권고 중
  · 일본 공항의 경우 GPS 장비를 지하로 매설하여 사용 편의 제공
  · 한국의 경우 공항 AIP내 가능한 APU 사용 억제 규정하고 있으나 현실적으로 강제성이 떨어짐
  · GPS 사용을 위해서는 장비상태의 개선 필요하나 공항공사의 지속적인 관리 부족 문제 존재 그에 따른 적극적 지원 필요

○ 자문위원 C 의견
- bio 연료 사용 시 항공사의 장점
  · EU-ETS 대비 가능
  · 2015년 시작하는 국내 ETS 대비 가능
  · 친환경 기업 이미지 확보
- bio 연료 사용 시 항공사의 단점
  · 비용적 측면에서 유류비 상승 가능성 존재
  · 현재 bio 연료는 50%까지만 혼합 비율 가능
  · bio 연료에 대하여 브라질, 미국 등지에서는 원료 및 기술,

구 분	내 용
	자본이 풍부하나 국내에서는 이를 확보하기 어려움 - 따라서 bio 연료에 대한 구체적인 정부정책 방향 필요 ○ 자문위원 D 의견 - bio 연료 보급은 지상의 공항에서부터 활용 시작하는 것이 먼저 이루어져야 할 것으로 보임 - 공항 실시간 모니터링 및 계수 개발이 현 시점에서 필요한 것인지 생각해 보아야 할 것 - 정부의 정책 목표 설정 후 항공사가 그에 적절할 대처를 실시하는 순서가 필요 ・예를 들어 PBN 등 온실가스 저감효과 기술에 대한 연구를 통한 기준이 설정 되어야 목표를 가지고 항공사가 그 기술을 활용 온실가스를 저감하는 효과를 누릴 수 있을 것이라 생각됨

구 분	내 용	
회의일시	2013년 01월 29일(화) 10:00~12:00	
회의장소	한국과학기술원	
참 석 자	연 구 진	한국과학기술원 안재명 교수, 이주성 교수, 김요한
회의내용	○ 자문위원 의견 - 모델개발 ・정확한 배출가스 산정이 가능한 방법론이 개발된 경우에도, 데이터 availability (예: 비행 데이터 등) 이슈로 해당 방법론을 충분히 활용하지 못할 가능성이 존재함 - 이를 고려하여 다음 task가 업무 범위에 포함되어야 할 것으로 판단됨 1. 현재 사용 가능한 데이터 종류에 대한 파악 2. 개발하는 모델의 입력으로 요구되는 데이터의 확보 방안 연구 3. 데이터 확보가 어려운 경우에 사용이 가능한 대안 모델의 연구 - 모델 검증 개발된 모델을 효과적이고도 신뢰할 수 있는 방법으로 검증하는 절차가 수립되고, 이 절차를 따른 모델의 검증이 이루어져야 함 - 모델 활용 ・개발된 모델을 활용한 case study가 (예: Performance Based Navigation의 적용, Biofuel의 도입 등) 해당 연구의 일부 혹은 독립된 연구로 수행되어야 함	

구 분	내 용	
회의일시	2013년 02월 13일(월) 14:00~16:00	
회의장소	서울교육문화회관 거문고홀 A	
참 석 자	연 구 진	본원 김제철 실장, 심가람 연구원 등
회의내용	□ 신재생연료 의무혼합제도 국내 시행방안 공청회 발표회의 ○ 국내 RFS 제도 시행방안 - 신재생연료 의무혼합제도(RFS, Renewable Fuel Standard) ・수송용 연료의 공급대상자(혼합의무자)로 하여금 자신이 공급하는 수송용 연료의 일정량(의무량)을 바이오연료로 혼합하도록 의무화하는 제도 - 석유 및 석유대체연료 사업법 고시→신재생에너지 이용·촉진에 관한 법률 5개 조문 법제화 ・신재생연료혼합의무화, 의무불이행에 대한 과징금, 관리기관의 지정, 관리기관의 업무, 관리기관의 지정 취소 - RFS 제도 도입시 대상 바이오연료, 혼합의무자, 관리기관(제도관리운영), 지속가능성 기준, 가중치, 과징금 등의 요소 고려 필요 - RFS 제도 도입 시나리오(안) ・3단계별 바이오연료 점진적 보급 확대(2014-2020) ・2014년 바이오디젤부터 우선 의무혼합: BD2.5~BD3 수준 ・바이오가스는 국내 인프라 구축 상황에 따라 2017년 도입 검토 ○ 패널 토론 - 패널 A ・바이오에탄올 시범보급사업 선행 필요 ・연료공급의 안전성을 위한 국내 원료 조달 필요 - 패널 B ・수급 및 경제성에 대한 검토 필요 ・공급 가능 물량 및 보급계획에 대한 Roadmap 설정 필요 ・차량 영향성 평가 필요 - 패널 C ・국내산 원료 확보를 위해서는 구체적 정책 및 지원 필요 ・100만 헥타르에 달하는 휴지를 이용한 다양한 원료 재배 가능 ・식량 경제성의 문제 발생	

구 분	내 용
	- 패널 D ・원료 보급의 문제-수입원료 또는 국내원료 수급이 가능한지?/ 국내원료개발 활성화 필요 ・식량 부족 문제 발생 가능성-식량 가격 상승의 원인 ・당장 2014년 시행보다는 중장기적 계획 필요 ・음식물쓰레기, 폐식용유로 원료 보급 시 향후 급감하는 폐기물 대비책 필요 - 패널 E ・가격 및 경제성의 객관적 검증 필요 ・바이오에탄올 3% 혼합 시 휘발유 가격 상승-소비자 부담이며 국민 인지 홍보 필요 ・지속가능성 기준(LCA) 선행연구 필요-우선순위 ・곡물가격 상승의 주요 원인 ・자동차 제작 시 부품 문제 발생(피해업종 발생) 가능성-부식 등 - 패널 F ・폐식용유 연간 15만 톤 확보 가능-국내 원료 수급 가능 - 패널 G ・국내원료공급을 위한 정부 지원 필요-농업 육성 - 패널 H ・품질기준 설정 선행연구 필요 ・산업안전성 측면에서 차량 제작 시 차량 충전용 연료는 혼합 금지 필요 ・RFS 시행 전 판매된 자동차 역시 보증 준수 필요-차량 영향 평가 등 대응방안 필요
시사점(계획)	- 바이오 항공유의 상용화 단계에서 신재생연료 의무혼합제도(RFS, Renewable Fuel Standard)를 고려 할 수 있음 - 원료 수급의 문제 ・국내 원료 수급 필요-대량 바이오매스 공급을 위한 연구 필요 - 경제성 검토 필요 - 품질기준 제시 필요 - LCA 분석 선행 필요 ・지속가능성 기준 제시 - 항공기 영향 평가 필요, 성능인증 기술 필요

구 분	내 용	
회의일시	2013년 03월 2일(토) 10:00~12:00	
회의장소	한국과학기술원	
참 석 자	연 구 진	한국과학기술원 박현진 연구원, 이주성 교수, 김요한
회의내용	○ 자문위원 의견 - 모델 Complexity ・모델의 완성도에 대한 명백한 기준이 필요함. 예전에 외국에서 진행한 대부분의 모델은 날씨/대기권의 영향에 대해 많은 고려를 하지는 않았음. SAGE 모델은 표준 대기 조건을 사용하는 것으로 알려졌고, IPCC Tier 3b급 조건 중에 유동적인 대기권을 고려하는 것이 필수라고 쓰여 있지 않음. 하지만 최근에는 날씨 정보를 적용하는 움직임이 보이기 시작했으며, 심지어 실시간 모듈을 개발하려는 의지도 보임. 또한, 각 비행기의 payload에 관한 오차는 어느 수준까지 용납할지 정해야 함. 만일에 높은 정확도를 확보하고 싶다면 승객 정보, 화물량 정보, 또는 비행기의 자리 배치 (퍼스트/비즈니스 비율) 와 같은 정보를 구해야 하는데, 이는 많이 어려울 수도 있음. 어느 정도의 complexity가 필요한지 아는 것이 좋을 것임. - 모델에 필요한 데이터 협조 ・온실가스 평가 모델은 어떠한 방법으로 개발해도 결과적으로 input 데이터가 많을 수밖에 없음. 이 데이터들에 대한 필요성을 빠르게 알아내서 확보 가능성을 파악하는 것은 중요함. 유용하지만 구하기 어려운 데이터의 경우, (예: 비행기 운항 레이더 궤도 데이터) 확실한 확보 여부를 알면 모델 개발 방향이 명확해짐. - 모델 확장성 ・새로운 엔진 또는 비행체의 등장, 또는 존재하는 비행기의 모델 개조를 고려해서 몇 년이 지나도 확장을 통해서 계속 사용이 가능한 모델을 기획하는 방안을 추천함.	

구 분	내 용	
회의일시	2013년 03월 5일(화) 14:00~16:00	
회의장소	한국석유관리원 2층 회의실	
참 석 자	연 구 진	한국석유관리원 김재곤 박사, 한국화학연구원 이상봉 박사, 한국생산기술연구원 이은도 박사, 본원 박진서 부연구위원, 심가람 연구원
회의내용	○ 자문위원 A 의견 - 항공유로 사용할 수 있는 바이오 연료는 F-T 기반의 CTL, GTL, BtL 가능 - 바이오 연료의 문제점 ・지속가능 연료 개발 ・수질 및 토양 오염 가능성 ・경제성 (비용 상승 문제) ・원료 수급의 문제 - 국내 개발된 바이오 연료 기술 중 HBD(Hydrogenated Bio Diesel), BtL(Biomass to Liquid) 기술의 바이오 항공유 개발 가능 ・현재 국내 개발된 수송용 바이오 연료 기술에 대해 별도의 기술과정을 통하여 바이오 항공유 개발 가능 ○ 자문위원 B 의견 - BtL 디젤 연료를 바이오 항공유로 변환 기술 가능 ・세계적으로 상용화를 위한 공장은 없으므로 세계적 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 보임 - Biomass의 대량 생산에 관한 연구 필요 - 한국형 바이오연료 개발 필요 - 항공기의 바이오연료는 국제기준을 만족해야 하므로 ISO, ASTM의 품질기준을 만족하여야 함 ・바이오 항공유의 국내 품질기준 보다는 국제기준에 부합 필요 ・현재 국제 공통 기준은 없으며 미국의 ASTM 기준 및 영국의 DEF STAN 기준 사용 중 - 국외 바이오 항공유의 선행연구에 대한 벤치마킹 필요 ○ 자문위원 C 의견 - 품질기준 설정 시 품질관리를 위한 인증기관 필요 ・관리, 감독 ・바이오연료 검증기준 및 방법 정립 필요 ・인증 필요성-현재 jet fuel에 대한 품질기준은 없음. 정유사에서 발급하는 인증서 신뢰 하지만 바이오 항공유 생산 시	

구 분	내 용
	현 정유사 외 다른 생산자의 출현 시 검증 필요 - 인센티브 문제 ・EU-ETS 및 국제 ETS 대비 - 경제성 분석 필요 ・안보적 측면에서 투자 필요 ・장기적 투자 가능성
대응방안(계획)	- 바이오 항공유 개발 연구에 대한 필요성 및 당위성 재확인 ・현 단계에서는 바이오 항공유 개발에 대한 타당성에 대한 연구를 추진 후 차후 지경부와 바이오 항공유 개발에 대한 협의 필요 - 현재 국내 개발된 바이오연료 개발 기술인 BtL 및 HBD가 항공유 로 변환 가능 기술임을 확인 ・만일 현재 개발된 BtL, HBD 기술사용이 가능하다면 로드맵 구성 시 기간 및 비용 축소 가능 - 국내 연구된 바이오 디젤 개발 기술 선행연구 분석 필요 - LCA 분석 기술의 선행 연구 필요 - 경제성 분석 필요 - 미국의 ASTM 및 영국의 DEF STAN 기준 분석을 통한 국제기준에 부합하는 국내 기준 마련 필요

구 분	내 용	
회의일시	2013년 03월 08일(월) 16:00~18:00	
회의장소	한국건설교통기술평가원(3층 2회의실)	
참 석 자	연 구 진	국토부 항공기술과 이호진 사무관, 한국건설교통기술평가원 백승훈 실장, 김봄이 연구원, 교통안전공단 김용석 박사, 이주형 연구원, 한국과학기술원 김요한 연구원, 본원 박진서 부연구위원, 심가람 연구원
회의내용	- 차후 지경부와의 협의 필요 ・구체적으로 어떤 부분에 있어 협의가 필요한 것인지 구분 ○ 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 - LCA 분석 기술 연구 필요 - 경제성 분석 필요 - 신재생에너지 적용 기술 인증 및 안정성에 대한 부분을 중점적으로 도출 - 신재생에너지 기술 process에 대한 검증 및 범위 설정 필요 - 항공부문 온실가스 배출 감축에 가장 많은 부분은 차지하는 것은 신재생에너지 ・신재생에너지 사용 후 온실가스 감축 비율에 대한 그래프 제시 필요 ○ 항공 온실가스 배출량 산정 및 저감효과분석 시뮬레이션 모델 개발 - SAGE와의 차이점- 날씨영향권(기상조건 DATA 추가) - 구체적으로 어떠한 DATA가 필요한 지 검토 - 항공기 비행절차 및 공역 설계 프로그램 개발과 차별성 ・BADA 모델 trajectory 생성방식 기본 구성은 제시 방식이 유사하나 모델의 구성, 사용되는 추가 DB, 최종 목표의 차별성 ・온실가스량 측정 ○ 에코플라이트 시뮬레이터 기술 개발 기획 - 원천기술 없이 실행 가능 한지 확인 필요 - FAA, CAA의 인가 가능 확인 필요 - ADD ON 기능 활용으로 eco 모드 활용 가능한지 확인 필요 - 제작사의 기본 DATA 없이 S/W 개발 가능한지 확인 필요 - 이미 경제적 운용을 위한 비행훈련이 가능한데 차별성은? - 현재 eco 비행훈련을 실시하고 있는지 확인 필요 - 아이템은 신선하나, R&D 추진을 위한 세부 내용 파악 후 재논의 ・제작사의 원천기술이 없는 상태에서 국내 기술로 소프트웨어 개발이 가능한지 여부 파악	

구 분	내 용
	・국내외 제작 비행훈련장치(FTD) 구매비용 파악 ・비행훈련용 소프트웨어에 에코모드 추가 또는 호환기술 적용사례 파악 ・기종당(예 B737) 에코비행훈련장치(eco-FTD) 개발 비용 제시 ○ 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 - 장기 추진과제로 진행되나, 최종적으론 RFP 제시 예정
대응방안(계획)	- 항공환경부문 모든 기술관련 Roadmap 구성 - 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 ・신재생에너지 인증 과 안전성에 중점을 둔 Roadmap 구축 ・신재생에너지 사용 후 온실가스 감축 비율에 대한 그래프 제시 필요 ・LCA 분석 기술 선행연구 분석 ・경제성 분석 선행연구 분석 - 항공 온실가스 배출량 산정 및 저감효과분석 시뮬레이션 모델 개발 ・2세부 연구내용 공동연구기관 연구범위 확정 필요 ・레이더 데이터 technical requirements 정의 ・항공기 비행절차 및 공역 설계 프로그램 개발과의 차별성 구분을 위한 항우연과 회의 - 에코플라이트 시뮬레이터 기술 개발 기획 ・제작사의 원천기술이 없는 상태에서 국내 기술로 소프트웨어 개발이 가능한지 여부 파악 ・국내외 제작 비행훈련장치(FTD) 구매비용 파악 ・비행훈련용 소프트웨어에 에코모드 추가 또는 호환기술 적용사례 파악 - 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 ・장기적 연구로써 Roadmap 추진

구 분	내 용	
회의일시	2013년 03월 11일(월) 15:00~18:00	
회의장소	누리항공 시스템 인천사무소 (인천시 중구 운남동 408-3)	
참 석 자	연 구 진	항공안전처 신홍철 처장, 김용석 책임연구원, 최동욱 연구원 누리항공 최공순 대표
회의내용	□ 에코플라이트 시뮬레이터 개발 기획 ○ 하드웨어 제작방법 - 기본적으로 기존에 개발되고 사용 중인 하드웨어를 70%정도 활용하고, 30%는 국내기술로 자체 제작 1 ○ 소프트웨어 제작 방법 - 직접 100% 국내기술 개발은 가능은 하겠지만 시간과 예산이 뒷받침되지 않는다면 불가능 할 것 같다는 의견 - 대안제시: 기존 개발되서 사용 중인 소프트웨어 중 일부는 개발자 툴(MS SDK 혹은 PREPAR3D 등)을 사용하여 개발 ○ 기타 의견 - 다 기종의 통합 훈련기기로 개발방법 건의 ・FTD 보다는 IPT로 개발을 고려할 것을 제안. 이유는 FTD는 단 한 개의 기종으로 국한시키지만, IPT는 터치스크린 방식이라 다양한 기종을 한 개의 장치에서 구현이 가능하기 때문 ・FTD의 단점은 한 개의 기종에 국한하기는 하지만 실제 조종훈련을 대부분 소화시킬 수 있다는 장점을 가지는 반면, IPT는 다양한 기종을 구현하지만 실제 계기위치와 다른 점 및 다른 촉감 (IPT는 터치방식) 등으로 초기 기초훈련 용 외에는 활용분야가 적다는 단점	
시사점(계획)	- 에코 시뮬레이터용 소프트웨어 개발 시 인증 및 저작권 문제 - 다양한 기종구현이 어려운 FTD 개발 시 압축화 된 최적의 기종선정 - 기존 FTD와의 차별화 전략 수립	

구 분	내 용	
회의일시	2013년 03월 19일(화) 15:00~18:00	
회의장소	누리항공 시스템 인천사무소 (인천시 중구 운남동 408-3)	
참 석 자	연 구 진	항공안전처 김용석 책임연구원, 최동욱 연구원, 누리항공 최공순 대표
회의내용	□ 에코플라이트 시뮬레이터 개발 기획 ○ 시뮬레이터 개발 기종선정 및 차별화 전략 - 7개 국적항공사가 공통으로 보유하고 있는 대표기종인 B737기종과 에어버스계열의 A320기종을 우선 개발기종으로 선정 - 기존 개발된 B737 FTD에서 구현되는 비행훈련기능은 모두 사용가능하도록 제작하는데 초점을 맞추고, 에코모드 기능을 추가. 단, Control Load 기능은 구현하지 못함 ○ 소프트웨어 인증 및 저작권 문제 - PREPAR3D(추천)에 대한 개발자 라이센스를 구매하여 기본 플랫폼에 추가, 변경 등을 하는 것에 대해서는 저작권이 개발자에게 있다는 사실 확인 ○ 기타 의견 - 조종사용 에코 시뮬레이터 뿐만 아니라, 관제사용 에코 관제모듈을 개발하여 관제사들에게도 환경에 대한 교육을 실시하는 방안 · 참고로 현재 서울지방항공청에서 관제관련 시뮬레이터 개발 연구 중. - FTD와 함께 IPT도 개발에 대한 필요성 강조 · 국내 인천국제공항 인재개발원에 입성한 록히드 마틴은 현재 국내 3개 항공사 (에어부산, 티웨이항공, 제주항공)과 FFS 훈련계약을 체결	
시사점(계획)	- 실 수요자의 편의성, 실효성 극대화하는 노력이 필요 ·항공기 조종사 및 전문가 등을 초빙하여 자문회의 개최(4월 9일, 화요일)하여 최대한 반영하도록 함 - 해외 에코 시뮬레이터 개발현황 파악 및 해외 항공사의 에코조종교육 훈련 실시여부에 대한 파악 필요 - FFS (모의비행장치)와 FTD(비행훈련장치)에서 구현 가능한 항공사 훈련절차에 대한 정확한 파악 필요	

구 분	내 용	
회의일시	2013년 04월 03일(수) 15:00~18:00	
회의장소	한국생산기술연구원 449호	
참 석 자	연 구 진	한국석유관리원 김재곤 박사, 한국화학연구원 이상봉 박사, 한국생산기술연구원 이은도 박사, 본원 박진서 부연구위원, 심가람 연구원
회의내용	○ 자문위원 의견 - 바이오 항공유 타당성 문헌 조사 - 바이오연료 기술 현황 ・국외 BtL 제조 기술 80-90% 기술력 보유, 유럽의 경우 상용 플랜트 개발 진행 중(현재 상용화된 바이오연료 기술을 보유한 국가 없음) ・국내 BtL 제조 기술 국외 기술 대비 80-90% 기술력 보유 →최초 BtL 제조 기술 보유국이 될 수 있음 ・국외 HBD 제조 기술은 100% 기술력 보유 ・국내 HBD 제조 기술은 국외 기술 대비 90% 기술력 보유 (상용화 전단계) - 대략적 연구기간 및 연구비 예상: 7년 정도 200억 원-250억 원 ・국내 항공용 바이오연료 시험평가를 위한 기초연구(실험실 테스트): 약 2-3년 연구기간, 년 10억 원의 연구비 예상 ・국내 항공용 바이오연료 품질인증 최적화 구축연구(플랜트 규모 테스트): 약 3-4년 연구기간, 년 50억 원의 연구비 예상 - BtL 기술은 2세대 바이오연료 기술이며, HBD 기술은 1.5세대 바이오연료 기술 - 단계별 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 세부 기술 논의	
대응방안(계획)	- 세부 기술정의서에 대해 논의 - 항공기 엔진 안전성 시험 인증 기술 및 실증 비행 안전성 인증 기술, 표준화 기술에 대한 논의	

구 분	내 용	
회의일시	2013년 04월 09일(화) 15:00~18:00	
회의장소	교통안전공단 항공시험처 2층 회의실	
참 석 자	연 구 진	**대한항공** 연료관리팀 유안식 차장, **이스타항공** 운항기술팀 박남준 팀장, **티웨이항공** 운항훈련기획팀 양인석 팀장, **누리항공 시스템** 최공순 대표, **항공시험처** 이창수 위원, 정진석 위원, 김광중 선임연구원, **항공안전처** 신홍철 처장, 김용석 책임연구원, 이주형 선임연구원, 최동욱 연구원, 김은지 연구원
회의내용	□ 에코플라이트 시뮬레이터 개발 기획 ○ 기술개발 주요 내용 - 개발방법 ・하드웨어: 모의비행장치(FFS)에서 운동시스템만 제외한 모든 기능구현 ・소프트웨어: 기존 모의비행장치(FFS)의 내장 소프트웨어에 대한 라이센스 구매 후 필요기능 추가 및 변경하여 사용 - 개발목적 및 활용방안 ・항로, 운항절차에 따른 항공기 온실가스 배출량 검증.평가 - 비행구간별 연료절감 분석 소프트웨어 개발 및 적용 ・에코 조종교육 - 항공기종별 에코모드 교육훈련 기술개발 - 조종사 훈련 시, 에코 조종교육을 병행. 실시하여 저탄소 조종기술 체화 지원. ・에코 시뮬레이터 데이터 활용, 저탄소 이착륙절차 등 개발 - 다양한 운항절차 시나리오 분석을 통한 저탄소 운항절차 개발 및 정부 기술지원 - 개발 세부계획 ・하드웨어 제작방법 - 핵심 부품은 인가된 제품 혹은 실제 항공기 탑재용 제품을 사용 - 비핵심 부품은 비인가 제품을 사용하여 제작 계획 ・소프트웨어 개발방법 - 비행시뮬레이터의 전체 환경 (Main Control) 1) ESP SDK 및 PREPAR3D에 대한 라이센싱을 취득 2) 비행 환경에 대해 프로그램 변경 및 그래픽 현실화구현 개발 - 에코모드 구현 1) 항공기 연료사용량을 실시간, 구간별, 전체별로 검증 기술개발	

구 분	내 용
	2) 에코조종교육 모드 구현 개발 - 비행기 계기판 및 조종석 1) 다중 계기 네트워크 연결 2) 별도 컴퓨터 언어프로그래밍을 통해 개발 - 건물, 공항 및 활주로 등 기타 주변 시너리 구현 1) 기 상용화 된 제품 사용방법 (add-on) 2) 공항 및 활주로 등은 별도 프로그래밍을 통해 구현 ○ 자문위원 A 의견 - 대형항공사의 FTD와 호환성 여부 확인 필요 - 경제성을 위해서 소형항공사의 교육목적에 활용되어야 함 - 불필요한 제한이 없을 경우 FMS를 이용한 오토파일럿 자체가 Eco-flight 원칙에 따라 운항함 - 훈련보다 회사 정책, SOP의 영향에 의해 경제운항을 하기 어렵기 때문에 항공업계의 천제 공감대를 형성하여 국제적 Eco 절차를 도입하고자 하는 시도가 선행되어야 함 - 경제적 측면에서 좁은 항공 시장을 고려할 때 개발 후 해외에 판매 가능성이 있음 ○ 자문위원 B 의견 - 항공분야 온실가스 감축을 위한 각 감축수단을 개발하고 이에 대한 검증을 위해 에코플라이트 시뮬레이터 개발 기획은 매우 타당함 - 하드웨어와 소프트웨어 개발 시 국내에서 가장 보편적으로 운영하는 기종 위주로 추진 방향을 설정 ○ 자문위원 C 의견 - 에코플라이트 시뮬레이터의 구체적 목표와 개발 후 시장성 검토가 필요함 - 항공사에서 필요한 사항이나, 아직 항공사는 안전성 위주 훈련이 중심이기 때문에 시기가 이른 듯함 - Eco FTD의 국가 장비 승인 후 법적인 CPT 훈련 제공 방법 고려 - 항공사에서 실제로 사용할 수 있도록 프로그램 개발 - 에코플라이트 시뮬레이터를 법적으로 모든 조종사가 실시

구 분	내 용
	할 수 있는 방안을 검토할 필요가 있음 ○ 자문위원 D 의견 - 조종사 훈련시의 FTD 구성요소 중 에코모드 시현을 위한 모듈을 별도로 개발하여 연료절감 비행구간별 연료소비율을 알 수 있도록 해야 함 - 연료소비율 변화와 구간별 비용지수(Cost Index)를 추출하는 연구 추진 및 방법 개발이 필요 - 초기 교육 조종사의 교육절차 훈련용으로 활용 가능 - 항공관제와 연계된 방향으로 산출물을 관제청과 공유할 필요가 있음 - 저비용항공사의 초기교육용으로 활용 할 수 있는 방안 모색 필요
시사점(계획)	- 수요대상 파악이 필요 - 기존의 FTD 차별화 전략수립 필요 - 에코기능의 명확한 정의 및 필요성 연구 필요

구 분	내 용	
회의일시	2013년 04월 12일~04월 19일	
회의장소	서면 과제 제안 요청	
참 석 자	연 구 진	한국공항공사, 인천공항공사, 국내 7개 항공사, 학계 및 연구기관 등 25개 기관 29명
회의내용	○ 항공기 배기가스의 미시적 분석 모델 개발과 저감효과 분석 연구 - 항공기 배기가스의 미시적 저감효과 분석과 시뮬레이션을 통해 항공기 온실가스 배출량을 최소화하여 미래 기후변화와 에너지 고갈에 대비 ・항공기 배기가스 저감효과 분석을 위한 미시적 분석모델 개발 ・각 임무구간(또는 비행코드)별 CO, HC, NOx, CO2, H2O, SOx 배출량 산출과 기온변화 계산 ・대체연료를 사용할 경우 및 항공기 설계 기술 진보에 따른 배기가스 저감효과 시뮬레이션 ○ 항공교통관리체제(ATM) 개선에 의한 항공산업 GHG 배출량 감축평가 및 감축 방안 연구 - 항공교통관리체제(ATM: Air Traffic Management System) 개선에 의한 항공산업 이산화탄소 배출량 감축 ・PBN 전환 사업 수행에 따른 GHG 감축효과 평가 ・AMAN, DMAN 및 ATFM 사업 추진에 따른 이산화탄소 배출량 감축효과 평가 ・항공교통관리 시스템 개선 사업에 GHG 감축 성과가 극대화될 수 있도록 하는 방안 연구 ・이산화탄소 이외에 항공기가 배출하는 GHG(예: H2O, NOx, Contrail 등)의 감축을 고려한 항공교통관리시스템 개선 연구 ○ 일반항공(GA, General Aviation)의 온실가스 배출 저감 단기계획> - GA 주 연료 Avigas 100LL을 Mogas무연으로 완전대체 - Full motion flight simulator를 이용한 비행훈련 ・Av gas 100LL을 Mogas로 대체 ・160hp 이하의 Piston Engine은 STC시행 행정절차의 개발 ・160hp 이상의 Piston Engine은 STC시행 행정절차 및 Power loss에 대한 보완개발	

구 분	내 용
	- Full Motion flight simulator를 이용한 비행훈련 ・Private, Commercial자격시험의 응시기준을 보완 ○ 신기술 공항접근절차 적용 - 항공기 항법장비성능 향상에 따른 새로운 개념의 공항접근절차 적용, 정밀 항법성능을 이용, 접근중의 비행거리 단축을 통한 연료소모량 절감 ・PBN(항공기 항법성능)을 이용한 RNP Arrival 절차 적용 인가 ・RNP AR(Authorization Required) 절차 적용 인가 ○ 인천공항 APU 사용 규제요건 강화 - 인천공항, APU GROUND OPERATION 제한요건을 강화하여 지상에서는 가능한 APU사용을 억제함으로서 연료소모 감소에 따른 온실가스 배출 저감을 통해 친환경 공항 추구 - 현행 AIP상의 APU GROUND OPERATION 제한요건을 강화하고 이를 준수토록 하는 절차 시행 ・현행 AIP 규제요건을 각 항공사가 실질적으로 준수토록 하기 위한 절차 보완

구 분	내 용	
회의일시	2013년 06월 14일(금) 10:00~12:00	
회의장소	본원 5층 회의실	
참 석 자	연 구 진	세종대 황호연 교수, 일반항공협회 최용택 부회장, 항공대 유광의 교수, 백호종 교수, 대한항공 유안식 차장, 본원 박진서 부연구위원, 심가람 연구원
회의내용	○ 자문위원 의견 - 항공용 바이오연료 적용기술 관련 ・정부 주도 산·학·연 등 유관조직, 컨소시엄 구성 ・안전 검증체계 중요 ○ 자문위원 의견 - 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 ・본 과제 추진 시 한국항공우주연구원 및 항공안전기술센터와 협력 방안 검토 - 온실가스 추정(평가) 및 저감효과분석 시뮬레이션 모델 개발 ・국내 모델 개발을 위한 기초연구 선행 필요 ・한대의 항공기가 하나의 임무형상을 오나성하면서 연료소모율에 따른 온실가스 배출의 미시적 모델의 구체적 개발 필요 ・CO_2 이외 NOx, CO 등 다른 배기가스 온실효과에 대한 연구 및 고도에 따른 영향에 대한 분석 필요 - 에코플라이트 시뮬레이터 개발 ・저감효과분석 시뮬레이션 모델 세부과제와 합치는 방안 고려 필요 ○ 자문위원 의견 - 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 ・기존 해외연구와의 차별성 부각(예) 한국의 지역적, 상황적 특수성을 반영한 운항조건하에서 바이오연료 효과에 대한 시험) - 온실가스 추정(평가) 및 저감효과분석 시뮬레이션 모델 개발 ・4-D 모형의 연구개발 ・기존연구와의 연계개발방안 필요(사전 flight feasibility test 등에 적용 가능) - 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 ・ACDM과 연관된 주요사항 ・현재 관제 시뮬레이터 내부 알고리즘으로 동시 고려 ○ 자문위원 의견 - 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 ・연구개발 추진체계 제안 필요	

구 분	내 용
	・중점부분 차별화 - 온실가스 추정(평가) 및 저감효과분석 시뮬레이션 모델 개발 ・선진국 및 국제기구의 모델을 연구하고 국내 적용 방법 개발 ・배기가스를 GHG와 pollutants로 나누어 분석 연구 필요 ・GHG도 CO_2와 NOx로 나누어 분석 연구 필요 ・Radiative forcing 효과분석 연구 필요 - 에코플라이트 시뮬레이터 개발 ・실 비행훈련을 시뮬레이터로 대치하여 연료소모 감축 - 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 ・“공항주변 배출가스 인벤토리 모델 개발”로 개선 권고
대응방안(계획)	- 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 ・연구개발 추진체계, 컨소시엄 구성 필요 - 온실가스 추정(평가) 및 저감효과분석 시뮬레이션 모델 개발 ・해외에서 개발된 모델과의 차별성 필요 ・CO_2 이외 NOx, CO 등 다른 배기가스 온실효과에 대한 연구 및 고도에 따른 영향에 대한 분석 필요 - 에코플라이트 시뮬레이터 개발 ・저감효과분석 시뮬레이션 모델 세부과제로 추진하는 방향 고려 - 공항주변 온실가스 모니터링 관리 기술 개발 ・현재 관제 시뮬레이터 내부 알고리즘으로 고려

구 분	내 용	
회의일시	2013년 06월 19일(수) 15:00~17:00	
회의장소	국립환경과학원 대기공학과 회의실(인천시 서구 환경로 42)	
참 석 자	연 구 진	교통안전공단 : 이주형 선임연구원, 최동욱 연구원 국립환경과학원 : 이대균 연구사
회의내용	□ 한국형 공항 주변 배출가스 분산모델링 기술 개발 ○ 분산모델링 종류 - 분산 모델링 : 배출물질의 농도를 이류(바람)과 확산(물질이 가진 특성, 브라운 운동 등)에 의해 변화하는 위치를 따라가면서 측정하는 방법으로 라그랑지안 모델(Lagrangian model)이 대표적으로 사용됨 - 격자 모델링 : 대기를 수평, 수직방향으로 여러 개의 일정한 크기의 상자로 나눈 후(격자 방식) 상자간 배출물질의 확산에 의한 유입과 출입여부를 이류(바람)의 이동과 시간변화에 따라 계산하는 방법인 오일러 모델(Eulerian model)이 대표적으로 사용됨 ○ 입력자료 - 기상 자료 : 풍향, 풍속, 기온, 대기안정도 등 - 배출원 자료 : 배출원별 위치 및 배출속도(m/s), 배출량 등 - 기타 : 지역 공항 및 공항 주변 지형 등 ○ 기타 토의 내용 - 분산 모델링(라그랑지안 모델)이 격자 모델링 보다 변수의 조건이 단순하여 활용이 용이하나, 격자 모델링은 복잡 다양한 변수를 포함하고 있어 전문가의 기술이 필요하므로 접근이 용이하지가 않다고 함 - 그러나 상대적으로 범위 결정이 용이한 고정배출원보다 공항 및 공항 주변에 적용할 경우 항공기, 지상조업차량, 자동차 등 대부분 이동배출원이여서 단순히 라그랑지안 모델 적용 여부는 신중히 접근할 필요가 있음 - 바람장미(Wind Rose) : 어떤 지점에서 일정한 기간 동안 바람의 방향을 관측하여 그 분포를 나타내는 그림으로 배출가스의 분산정도와 함께 바람(이류)의 영향을 파악 시 활용되고 있음 - 우리나라는 현재 자체 개발한 모델링이 사용하고 있지 않다고 함	

구 분	내 용
시사점(계획)	- 공항 배출가스 분산모델링 적용할 범위 명확화 : 공항을 하나의 큰 배출원으로 가정하고 공항주변 어느 정도의 반경까지를 할지 여부를 명확히 할 필요가 있으며, 또한 공항 대기질 기술 개발목적에 맞는 분산 모델링 적용이 필요함 - 우리나라는 현재 분산 모델링을 자체 개발하고 있지 않다고 하므로(추후 좀 더 파악예정) 직접적인 기술 개발 대신 기존 개발된 모델링을 적용여부 판단 필요 : 공항 및 공항주변의 지형지물 추가/변경 및 지속적으로 관측한 기상 등 우리나라 환경에 맞춘 Setup 적용해야 함 - 구체적인 연구 세부적인 내용 파악을 위하여 공항 대기질 관련 전문가 자문회의를 7월 중에 개최할 예정임

구 분	내 용	
회의일시	2013년 06월 21일(금) 16:30~18:00	
회의장소	광명역(KTX) 소회의실	
참 석 자	연 구 진	항공대 문희장 교수, 한국항공우주연구원 양수석 박사, 한국과학기술원 백승욱 교수, 본원 박진서 부연구위원, 심가람 연구원
회의내용	○ 자문위원 의견 - 항공용 바이오연료 적용기술 관련 ・바이오연료를 개발하여 혼합된 연료를 개발 품질기준 및 성능 인증을 평가하는 기술개발에 있어 실제 항공기에 적용은 해당 엔진기술 개발사와 항공사와의 적극적인 협력 구축 및 서면 협약이 필요 ○ 자문위원 의견 - 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 ・연료에 대한 화학적 분석 ・연료생성에 대한 효율성 제고 필요 ・연소 배출 가스에 대한 분석 ・바이오연료의 성능관점에서 연구 필요 ・소형 항공기 엔진(T700 등)에 적용해 보는 것으로 적용성 평가는 완료된 것으로 볼 수 있음 ・바이오연료의 적용성에 대한 구체적인 연구는 엔진 제작사 주관으로 이루어져야 함 ・바이오연료의 적용에 따른 안전성 및 성능 보장 등은 엔진제작사가 책임 져야 함 ・비행시험은 항공기 제작사 및 엔진 제작사와의 기술적 협의가 면밀하게 이루어지고 난 뒤에 수행되어야 함 - 공항의 배출가스 지도의 필요성 및 활용성에 대한 검토가 필요함 ○ 자문위원 의견 - 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 ・해외 항공사와 같이 국내 항공사의 미래 ETS 대비를 위해서는 ICAO에 대비한 운영에 초점을 맞추는 것이 효율적임 ・기존 왕복동용 바이오연료와 항공 GIT용 바이오연료 개발 구분 필요 ・국내 자동차 엔진 기술을 활용하여 소형 항공기로의 적용 가능성과 대형 항공기로의 적용 가능성 구분 필요 ・국내 KE가 보유 중인 Test cell 을 활용하여 비행성능 시험이 가능할 것으로 판단되며, 국내항공사의 참여가 필수적임	

구 분	내 용
대응방안(계획)	- 항공용 바이오연료 적용 기술 개발 · 바이오연료의 성능 관점에서의 연구(연료에 대한 화학적 분석, 연료생성에 대한 효율성 제고 필요, 연소 배출 가스에 대한 분석 등) · 연구개발 추진체계, 컨소시엄 구성 필요 · 엔진 제작사 및 항공기 제작사와의 기술적 협의 필요 · 소형 항공기 엔진 적용 시험 고려 필요

구 분	내 용	
회의일시	2013년 06월 21일(금) 16:00~18:00	
회의장소	한국공항공사 서울지역본부 회의실 (김포공항 소재)	
참 석 자	연 구 진	교통안전공단 : 이주형 선임연구원, 최동욱 연구원 한국공항공사 : 이준호 차장, 이영섭 차장, 임경진 사원
회의내용		

□ 대기질 측정시스템 운영현황

○ 공항주변 대기질 측정소 설치 배경 및 위치

- 설치년도 및 측정 위치 : 2000년, 한국공항공사 본사 옥상

● 대기질 측정장비



● Sample Inlet 및 기상장비



○ 측정시스템 운영현황

- SO2, NO2, CO, O3, PM10, PM2.5 등의 오염물질 농도 및 기상현황(풍향, 풍속, 기온)의 매일 점검 및 보고하고 있음
- 측정 장비 사양 및 측정 관리 방법 등 측정시스템 구축·운영에 관한 자체 대기질 관리 운영지침서(매뉴얼)을 제작하여 관리하고 있음
- 다만, 표면상 시스템적으로 갖추어져 있으나, 이를 관리하는 인원은 1명임, 이 또한 소음과 수질, 실내대기질 등 통합하여 관리하고 있는 실정

○ 한국공항공사 감시센터 운영현황

- 주로 대상은 항공기 소음을 모니터링 하고 있음
- 주목할 만 한 점은 관제소에서 받은 정보를 감시센터에서도 그대로 모니터가 가능하다는 점임
  : 항공기 트랜스폰더 장비를 통해 항공기 기종, 호출부호, 고도, 속도, 항로 등의 정보가 실시간으로 업데이트가 되고 있음

○ 기타 토의 내용

- 공항 내 높이 제한(지상에서 15㎝ 이하)으로 인하여 대기

구 분	내 용
	질 농도 측정 장비 설치는 한계가 있다고 함 - 공항 내 대기질 농도를 실시간으로 측정할 수 있는 DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy, 차등흡수분광법) 기술을 도입할 필요가 있다고 함, 스웨덴 공항에서는 이미 적용중임 : DOAS는 대기 중 여러 종류의 미량 물질들의 검출에 광범위하게 사용되는 기술로, 기본적으로 빛이 어떤 매질을 통과할 때 파장(주로 근자외선 및 가시광선 영역)에 의존하여 흡수가 일어나는 원리를 이용함 : 국내는 부산시청에서 구입·운영 중이라고 함, 이는 확인 필요 - LIDAR(Light Detection and Ranging) 방식을 통해 공항 상층의 농도 이동경로 측정이 가능하다는 의견을 줌 : 국내에서는 서울대 윤순창 교수가 도입하여 운영하고 있으며, 주로 황사연구에 적용하고 있음
시사점(계획)	- 김포공항 주변 악취 발생에 의한 민원으로 대기질 측정 1개소가 설치된 것으로 보아 주로 VOC(휘발성 유기화합물)일 가능성이 있음, 이에 측정물질을 NOx, 먼지 외에 VOC로 확대해 볼 필요 있음 - 직원 1명이 공항주변 대기질을 관리함에 따른 선진국 수준의 체계적인 관리·운영을 위해 공단 등으로의 위탁이 필요하다고 판단됨 - 대기질 농도 측정시스템 측면에서, 단순 측정소 설치가 아닌 선진 기술(DOAS, LIDAR)을 도입하여 운영할 필요가 있으며, 이를 위한 연구지원이 필요함

구 분	내 용	
회의일시	2013년 06월 24일(월) 10:00~11:30	
회의장소	(주)에니텍 (경기도 안양시 동안구 평촌동 126-1 두산벤처다임 704호)	
참 석 자	연 구 진	교통안전공단 : 이주형 선임연구원, (주)에니텍: 김성태 팀장
회의내용		

□ 공항 주변 배출가스 분산모델링 기술 개발

○ 국내 분산 모델링 운영방법

- 기존 미국 EPA 등에서 개발된 기본 알고리즘 및 툴 사용
- 기존 모델링 시스템에 국내 GIS를 입력하거나 사용자가 시스템을 쉽게 사용할 수 있도록 프로그래밍
- 구입비용 : 1~2억 원(에니텍 자사 모델링 프로그램 : 5~6백만 원)

○ 국내 주요 분산모델링 종류

- CMAQ (오일러모델)
  : 오존 등 화학적 반응을 고려한 광화학 모델로 모델링 과정에 배출물질의 소멸과 생성을 포함하며 현재 현상을 분석함. 이에 따라 값을 도출하는 동안 시간이 오래 걸리나 계산의 정확성이 높아짐
- AERMOD, CALPUFF (라그랑지안모델)
  : 배출물질의 화학적 반응을 고려하지 않은 비반응성 모델로 배출물질의 이동과 확산만 계산함. 빠른 시간 내에 계산이 가능하다는 장점이 있지만 화학적 반응을 고려하지 않기 때문에 배출량이 과대 모사되는 경우가 있음 A

○ 모델링 시공간 배출량 입력자료 구현관련

- 공간 입력자료
  : 어느 곳의 오염원에서 어느 정도의 배출가스가 배출되는지 거리단위(격자)로 나누어 배출량 입력
- 시간
  : 배출가스가 24시간 항시 배출되는 것이 아니므로 배출되는 시간에 따른 배출량을 최소 g/s의 단위로 입력

○ 기타 토의 내용

- 외국에서 사용하는 EDMS 모델의 경우 라그랑지안 모델로 과대 모사되는 경우가 많기 때문에 국내 도입을 위해서는 튜닝을 통한 과대 모사된 부분을 제외하는 등의 경우로 모델링 값 수정 필요
- 공항 및 공항주변 모델링에 적용할 기상자료는 항공기상청 등에서 공개되는 공항기상을 프로그래밍 하여 모델링 시스

구 분	내 용
	템에 링크 가능함 - CO_2관련 모델링의 경우, CO 및 CO_2가 배출량 자료 중 불확도가 가장 높은 배출가스이기 때문에 신빙성이 크게 떨어져 모델링 시스템이 없음 - 국외 모델링 기술 개발을 시도하는 국가들 또한 기존 개발되어 있는 EPA의 가이드라인을 이용하여 모델 개발 연구 진행 - 배출가스 지도표출 시스템의 경우 GIS를 3D로 구현하는 것은 기술적으로 어려움, 2D는 가능함
시사점(계획)	- 국내 자체 분산 모델링을 개발하고 있는 업체는 없으며, 기존 공유된 자료를 이용하여 한국지형 특성에 맞게 시스템 개발 : 공유된 모델링 자료를 누가 어떻게 사용할지에 대한 연구를 통하여 목적에 맞는 시스템과 개발방향 도출 - 공항 및 공항 주변 배출량의 정확한 수치 필요 : 항공기에 대한 스케줄링 정보와 비행 단계별 순간적으로 발생되는 배출가스의 정확한 수치를 이용하여 오차가 적은 모델링 개발 - 항공기 배출량 입력 방법 설정 : 항공사별로 자료를 받아 배출량을 입력하지 않고 기종별로 기종에 따른 평균 배출량을 정하여 적용한다면 특정 공항의 모델링이 아닌 어느 공항에서든 적용 가능할 것으로 예상됨 - CO_2 모델링은 신빙성이 많이 떨어지고 신빙성 높은 자료를 통한 모델링 또한 개발이 어렵기 때문에 CO2 모델링 시스템 개발 방법에 대한 연구 필요

구 분	내 용	
회의일시	013년 06월 27일(목) 13:00~15:00	
회의장소	한국과학기술원(경영과학과 건물)	
참 석 자	연 구 진	이주성 교수, Craig Dutton 교수(UIUC), Yeol Lee 교수(KAU)
회의내용	□ Aerodynamic technologies to reduce drag and increase fuel efficiency - 공기저항 감소 및 연료 효율성을 증진하는 공기역학적 신기술의 현황 토론 - 공기저항 감소 및 연료 효율성을 증진하는 공기역학적 신기술의 저감효과 분석이 시급하며, 이른 구체적으로 관리하는 시스템 필요	

구 분	내 용	
회의일시	013년 06월 27일(목) 15:00~17:00	
회의장소	한국과학기술원(경영과학과 건물)	
참 석 자	연 구 진	이주성 교수, 한국과학기술원 박승오 교수, 권장혁 교수
회의내용	□ 친환경 항공기 설계기술 및 모델 활용 방안 - 여러 목적에 맞는 다양한 형상설계가 이루어지고 있고, 항공 산업에서 발생하는 CO_2 및 NOx 배출량이 점차 증가하고 있는 시점이므로 친환경 항공기 설계 기술에 관심을 가질 필요가 있음 - 향후 항공기의 성능을 향상 시키는 데에는 공력 분야에서 미치는 영향이 가장 클 것이라 예상 - 항공기 연비를 높이는 데에는 다른 분야보다도 양항비를 줄이는 데 결정적인 영향을 미치는 요소가 외형이기 때문	

구 분	내 용	
회의일시	2013년 07월 24일(수) 15:00~18:00	
회의장소	한국공항공사 보안교육센터 B강의실	
참 석 자	연 구 진	대한항공 유안식 차장, 이스타항공 박남준 팀장, 누리항공시스템 최공순 대표, 한국과학기술원 김요한 연구원, 교통안전공단 김용석 책임연구원, 최동욱 연구원
회의내용		

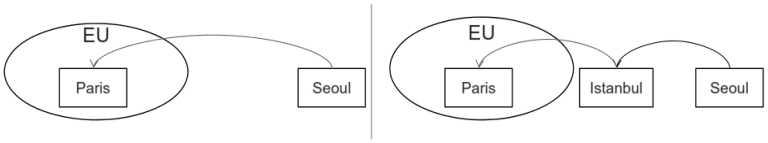
□ 항공 온실가스 추정 시뮬레이션 모델 및 저감효과 분석시스템 개발

○ 항공 온실가스 추정 시뮬레이션 모델 개발 개요

- 운항데이터, 기종별 성능, 연료연소율 등을 고려한 절차별 배출 시뮬레이션 모델인 Tier 3b 구현
  항공기 연료소모량과 배출량을 추정하고 연 배출량 인벤토리를 도출하고 항공기술, 운영, 정책 시나리오를 평가용으로 사용하게
- 플라이트 프로파일 구축
  예) 운항구간: 김포(GMP) → 제주(CJU)
  운항기종: B737-700
  순항고도: 5,000m
  대권거리: 450km
  * 총 구간을 72개 Chord로 나눔, 각 Flight Chord 구간별 성능 산출
- 항공기/엔진 기종 특성 도출
  : 성능 산출은 BADA(Base of Aircraft Data)를 활용하여 항공기 기종별 성능과 특성을 분석 (예, B737-700)하고, ICAO 항공기 엔진 배출량 데이터 뱅크 (Aircraft Engine Emissions Databank)를 활용하여 엔진 종류별 성능 및 특성을 분석 (예, B737-700의 경우 CFM56-7 엔진)한다. 또한 FAA INM (Integrated Noise Model) 데이터를 활용하여 항공기의 양력과 항력 특성을 분석 함
- 각 Chord 구간별 성능 산출
  : 항공기/엔진 기종 특성의 데이터에 기상조건을 입력하여, 비행속도(TAS, CAS)를 산정하고, 양항비를 결정하여, 상승률과 추력 값을 구현한 후, 연료연소율 및 온실가스 배출량 값을 산정 함
- 실험 결과
  : 연료사용량은 2,267.4kg, CO_2 사용량은 7,153.5kg. 1년치 평균 실제 사용량보다 0.8% 작은 결과값 도출

구 분	내 용
	○ 전문가 종합의견 - 현재 기획연구 중인 항공기 온실가스 추정 시뮬레이션 모델은 운항데이터, 연료연소율 등을 고려하여 Tier3b급의 배출량 산정이 가능한 모델이며, 우리나라의 연간 온실가스 배출량을 추정하고 감축정책 시나리오 구현에 활용할 수 있음 - 시뮬레이션 모델의 정확도를 높이기 위해서는 관제기관이 보유한 항공기 레이더 데이터와 연간 비행스케줄 데이터가 필요 - 항공 온실가스 저감효과 분석시스템의 실효성을 높이기 위해서는 5개 범주별(운항관리, 조종, 항공 역학 및 정비, 관제, 중량관리) 감축기술 중 저감잠재량과 효과성이 큰 기술을 먼저 선정하여야 하며 국적항공사 보유 항공기종 특성, 공항특성, 항공사별 정책도 고려하여야 함 ○ 자문위원 A 의견 - 항공기 온실가스 추정 시뮬레이션 모델 개발과 관련하여, 유상하중(Payload 등)의 평균 값 보다는 실제 값 사용이 중요하고, 날씨와 항공기 무게 같은 변수의 차이에 따라 가장 최적화된 이착륙 속도, 각도 등 분석이 필요함 - 저감효과분석시스템 개발 시, 항공사마다 감추수단별 연료절감량 산출기준이 다르기 때문에 이 점을 고려하여 표준화된 산출기준 개발이 요구됨 - 국토부에서 운영 중인 항공 온실가스 자발적감축협약의 항공사별 감축실적을 공단에서 보유하고 있으므로, 실적 합산을 통해 감축효과가 큰 수단들을 리스트화하고, 감축수단별 통일된 산출식 개발을 위하여 적용 변수를 도출하여야 함 ○ 자문위원 B 의견 - 항공기 온실가스 추정 시뮬레이션 모델 개발과 관련, 입력자료에 실제 국적항공사의 비행고도를 사용하는 것이 필요하며, 항공기의 상승률을 결정할 때도, 최적의 상승각(Best Angle of Climb)과 최적의 상승률(Best Rate of Climb)이 있는데 어떤 것이 더 연료 효율적인지를 분석해서 모델 개발에 적용하는 것이 필요함 - 항공기 온실가스 추정 시뮬레이션 모델에서 필요한 기상대기자료는 항공기상청에 누적된 연간 평균치 기상자료를 활용하는 방법이 있음

구 분	내 용
	- 저감효과분석시스템 개발 관련, 저비용항공사에 비해 대한항공과 아시아나항공과 같은 대형항공사는 상대적으로 적은 예비연료(Reserved fuel)를 사용하고 있으며, 저비용항공사는 특히 항공기 운용이 매우 제한적으로 항공사별 연료정책을 함께 고려하여야 함 ○ 자문위원 C 의견 - 저감효과분석시스템 개발을 위한 감축기술 우선순위 도출 시, 국내 공항특성을 고려하고 항공기 소음과 연계하는 방법도 생각해보면 좋을 것 같음. 실제 운항데이터 사용의 어려움이 문제가 되겠지만 프로그래밍 상으로는 구현 가능함. 또한 국가 온실가스 배출량을 줄이기 위한 방법으로 인천공항과 김포공항에 국내 저비용항공사 전용터미널을 설치도 고려할 필요가 있음 - 항공사의 비행자료 데이터나 관제 데이터가 보안상 데이터 활용이 어렵다면, 대부분의 운송사업용 항공기에 ADS-B가 장착되었다는 점을 감안, ADS-B 수신기 등을 활용하여 실시간 항공기의 고도, 속도, 운항항로 등에 대한 데이터를 이용하는 방법을 모색할 필요가 있음
시사점(계획)	- 항공 온실가스 추정 시뮬레이션 모델에서 입력하지 못한 기상 대기자료는 항공기상청에 누적된 연간 평균치 기상자료를 활용하는 방법이 있음

구 분	내 용	
회의일시	013년 09월 04일(수) 13:00~15:00	
회의장소	한국과학기술원(산업 및 시스템 공학과)	
참 석 자	연 구 진	이주성 교수, 한국과학기술원 장영재 교수
회의내용	□ Optimal airline operation strategies for the carbon constrained air transport market: 탄소 배출권 거래제의 항공산업적용에 따른 항공사 대응 전략 토론 EU-ETS 같은 국제 탄소 배출권 거래제는 회피할 수 없는 국제적 이슈이며, 이에 항공사들의 대응 전략은 아래와 같음  - 탄소 배출량은 연료량에 비례 -> 결국 연료비에 연동됨!! (실제로는 승객 수 x 거리 x 배출계수 로 계산) - 위 그림과 같이 EU국가가 목적지인 경우, 새로 경유지를 생성하면 EU-ETS 영향을 받는 구간이 줄어듦. 이에 따라 항공사들의 항공기 재할당 시나리오를 분석하기 위해 항공 온실가스 배출량 추정 시스템이 필요	

구 분	내 용	
회의일시	2013년 09월 10일(수) 14:00~18:00	
회의장소	서울역 KTX Ⅲ 회의실	
참 석 자	연 구 진	교통안전공단 : 김용석 책임연구원, 이주형 선임연구원 한국공항공사 : 이준호 차장, (주) 에니텍 : 조진식 과장
회의내용		

□ 공항 측정 모니터링 기술 개발

○ 국내 공항 대기질 관리 현황

- 인천공항공사 : 소음, 수질, 폐기물 및 대기관리 등 위탁
- 한국공항공사 : 소음, 수질, 폐기물 및 대기관리 업무 1인 운영

○ 대기 측정 장비 개발 전망

- 현재 일반 대기측정 장비의 기본원리는 공개되어있으나 어떤 오염물질이 어떻게 측정되고 있는지를 구현하는 방법은 장비 판매자들만 알고 있기 때문에 독자개발은 오랜 시간이 필요함
- 국산화 개발이 이루어진다면 공항 환경에 특화된 대기질 장비 특허를 취득한 후 국내 공항의 사용실적을 쌓아 국제 시장진출도 가능할 것으로 예상됨

□ 공항 대기질 모델링 기술 개발

- 미국 FAA에서 개발한 EDMS는 시스템 운용에 사용되는 알고리즘을 공개하고 있으나 코드 공개를 하고 있는지 확인할 필요가 있음. EDMS의 배출계수값은 국내 CAPSS 오염물질 산정 시 사용됨
- 대기확산 모델링의 경우 EDMS가 무료 배포되는데 굳이 개발에 목적을 둘 필요가 있는가?
  : 공항의 특성을 반영한 모델링 시스템을 사용하기 위하여 각 공항의 지형특성을 EDMS에 입력해야하는데 이러한 지형특성을 입력하기 위해서는 각 코드의 개발이 필요함. EDMS는 미국의 디폴트값을 사용하기 때문에 우리나라의 공항특성과 국내 항공기의 특성에 대한 디폴트값을 개발하는 것에 초점을 맞춰야함
- 모델링을 구매하는 방법은 어떠한가?
  : 시스템을 외국에서 구매한다면 원격으로 제어할 수밖에 없기 때문에 국내 환경특성에 맞게 사용하는 것에는 무리가 있다고 판단됨. 따라서 시스템 알고리즘 등이 공개되어 배포되는 시스템을 사용하여 제공되는 기초 플랫

구 분	내 용
	폼, 소스코드 등을 가지고 한국에 맞게 개발하는 것이 좋음 - 모델링 지역 중에서 관심지역과 영향반경을 정하여 해당 영역에 대한 모델을 계산하고 주요 몇 지점을 선정하여 항공에 의한 영향이 어느 정도인지 확인해야 함 □ 지도 표출 시스템 구현 - 공항 내 대기질을 자체적으로 시각화하면 오염물질의 배출량이 많다고 느껴질 수 있으나, 주변 지역을 포함하여 시각화한다면 상대적 비교가 가능하기 때문에 공항의 홍보효과도 기대할 수 있음 - 항공기 배출에 대하여 지도표출 시스템 상에 표현하려면 모델링을 3차원으로 계산하더라도 이러한 시스템은 오염물질이 사람의 호흡과 농작물 등에 어느 정도의 영향을 미치는지 보여주는 것이기 때문에 2D로 개발해도 무리는 없음 □ 기타 의견 ○ 측정 및 데이터 공개 여부 - 실시간 공개라는 의미는 측정기에서 측정한 데이터를 곧바로 공개한다는 것인데 측정기는 초당데이터를 제공하지 않기 때문에 실시간이라는 단어를 사용하기 어려움. 실시간이라는 단어의 의미를 정의를 연구 및 개발의 목적에 맞게 다시 고려할 필요가 있음 - 배출이 어디서 시작되었는지 명확하게 구분되지 않은 상태에서 공항에서 측정된 오염물질의 수치를 발표한다면 주변 주민들의 민원 대응에 어려움이 클 것으로 예상됨. 공항이 소속된 지자체에서 공항의 대기질을 수준을 포괄적으로 공개하는 것이 좋을 듯함 - 공항의 오염물질 농도가 실질적으로 공항 바깥 지역보다 더 높다면 공항의 배출원에서 배출된 오염물질이 어디로 퍼지는지 또는 외부 어디에서 공항으로 오염물질이 유입되는지 파악해야함. 이를 위해 대기 측정소 위치를 잘 선정하고 모델링을 통하여 바람 방향에 따른 간접적 공항의 기여도 평가를 진행해야함

구 분	내 용
시사점(계획)	- 공항의 경우 대기질 측정값에 편차가 있더라도 정확한 값을 알 수 없기 때문에 데이터를 공개한다면 명확한 검증 기준을 세운 후 QA/QC를 진행해야 함 - 공항 내의 자체 데이터를 이용한 시각화는 공항 외부 지역을 포함한 시각화보다 정보 이용자들이 공항의 배출수준이 심각하다고 오해 할 가능성이 있음 : 주변 지역의 대기질과 비교한 자료를 이용하여 상대적인 정보 제공이 필요 - 모델링 시스템 개발은 기존 배포되는 국외 시스템을 도입하여 한국의 환경 및 특성에 맞게 개발하는 방법 : 공개된 알고리즘과 소스코드 등을 변형시켜 한국형으로 개발시킬 수 있는 방법 고려 - '실시간' 의 개념 정립 필요 : 공항 내 측정소를 샘플러 방식, DOAS 방식 등 측정방식을 어떻게 하느냐에 따른 실시간(분석시간)의 개념 정립

구 분	내 용	
회의일시	2013년 10월 11일(금) 13:00~17:00	
회의장소	한국공항공사 보안교육센터	
참 석 자	연 구 진	교통안전공단 : 신홍철 처장, 김용석 책임연구원, 이주형 선임연구원 대한항공 : 유안식 차장, 이스타항공: 박남준 팀장, 누리항공시스템: 최공순 대표
회의내용	○ 자문위원 A 의견 - 항공 온실가스 감축수단별 온실가스 산출기준 개발 시, 새로운 최신의 자료나 데이터가 필요할 수도 있고 기존 자료를 활용할 수도 있는데, 이미 심도 있는 논의를 통해 개발한 자발적감축협약 이행매뉴얼의 로직을 토대로 접근하는 것이 바람직. 이러한 접근을 통해 데이터 검증을 위한 시험비행은 필요하지 않을 듯함 - 모든 감축수단은 기종에 따라 다른데 국내 조건에 맞춰 기종을 결정한다면, 보잉계열에서는 국내 항공사에서 가장 많이 보유하고 있는 737과 장거리 기종의 대표 격인 747-400과 777을 포함해야 함. 그리고 에어버스계열의 A320, 330도 포함 대상임 - 항공기 기종이 동일하더라도 적용된 엔진의 타입에 따라 연료절감량의 차이가 크며, 가능하다면 엔진 타입가지 고려하여 감축수단별 연료절감 효과 산출기준을 개발하여여 함 ○ 자문위원 B 의견 - 비행자료분석시스템(FOQA)의 데이터가 상당히 많은 데이터와 샘플링을 분석해서 표준 값을 취하는데 변수가 너무 많기 때문에, 항상 성능에 대한 차트나 계산 값을 줄 때에는 기상을 표준 값으로 줌. FOQA 데이터를 이용하여 알고리즘을 개발하려면 FOQA 데이터의 200개가 넘는 데이터를 다 확인해야 하며, 뿐만 아니라 온도, 속도, 배풍인지 정풍인지, 압력고도가 얼마인지 등을 고려하여 표준조건 상태에서의 값을 기준으로 하고, 기타조건을 함수화하여 개발하여야 함. 또한 FOQA 데이터는 개발용이 아니라 연절절감 산출 프로그램을 검증하는 자료로 사용해야 함 - 온실가스 저감효과분석시스템을 효과적으로 운용하기 위해서 감축수단별 효과분석 툴은 한국적 지형에 맞게 개발하여야 하며, 공항마다 이착륙 절차가 다르기 때문에 공항별 특성을 고려하여야 함. 예를 들어, 김포-제주를 기준으로 한다면 이 구간에서는 어떤 감축수단이 효율적이고, 순항비행시	

구 분	내 용
	어떤 기종이 어떤 속도로 비행했을 때 연료가 더 절감되는지 등 구간별로 정립시켜 놓으면 항공사들에게 많은 도움이 될 것 같음 - 그동안의 비행절차 개선은 항적분리만 이야기했지 경제성에 대해 이야기되지 않았기 때문에 새로운 비행절차를 관철시키는데 어려움이 있었음. 개발하고자 하는 연료절감 프로그램을 사용하여 경제성 분석을 실시한다면 절차 개선에 도움을 줄 것으로 생각됨. 소프트웨어도 기존 툴에서 개발했을 때, 인증(Certification)을 받아야 신뢰성도 있고 상품성도 있을 것이라 생각됨 ○ 자문위원 C 의견 - 공기역학적 알고리듬을 이용한 항공기 모델링 시 항공기 기체, 날개, 엔진의 성능을 따로 구분해서 모델링을 구현하는데 그런 모델링을 구현해서 나온 실제 비행기로 테스트 비행을 할 수 없음. 모듈구현 수치 또는 데이터와 FOQA 데이터와 비교했을 때에는 차이가 생기는데 이러한 부분을 어느 정도 신뢰성을 인정받을 수 있는가에 대한 정의를 내리고 기준을 만들어야 함. 실질적인 문제는 공기역학적 항력이나 추력, 연료소비량을 실제 어떤 식으로 정확히 산출할 수 있느냐 하는 것임 - 엔진 모듈을 설계할 때 N1, N2의 폭발에 대한 회전수를 계산해서 연료소비량 계산해서 알고리즘을 구현하는데 이렇게 하지 않으면 신뢰할 수 없는 엔진 데이터를 얻음. 실제 항공사에서 데이터를 받은 것은 아니지만 공개된 데이터를 사용해서 비슷한 데이터를 산출하고 이런 데이터를 가지고 설계한다면 어느 정도 툴이 있으니까 나중에 신뢰성 있는 데이터를 보여줄 수 있음 - 만약 보잉계열의 747기종에 대한 연료절감 프로그램을 개발했는데, 777 기종을 사용하고 싶다면 하드웨어를 기종에 맞게 교체하고 소프트웨어를 777모듈로 바꾸면 사용 가능함. 소프트웨어를 바꾼다는 것은 항공기 성능을 바꿔준다는 것이기 때문에 보잉은 한두 개 모듈로 가능하고 에어버스는 한 개의 기종으로 5개 기종을 테스트 할 수 있다고 판단됨
시사점(계획)	- 감축수단별 연료절감 효과 산출기준을 개발 시, 엔진 타입까지 고려한 기준 제시 필요 - 개발하려는 연료절감 프로그램의 정확성 검증을 위해 비행

구 분	내 용
	자료 분석 시스템(FOQA)의 데이터 활용 필요, 본 과제 추진 시 항공사가 참여하는 컨소시엄 형태의 연구개발 체제 필요

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 항공선진화사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 항공선진화사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.