

데이터 기반 항공교통관리 기술개발

Infrastructure
R&D Report

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 “데이터 기반 항공교통관리 기술개발” 기획보고서로 제출합니다.

2020. 03. 31

국토교통과학기술진흥원

목 차

제1장. 연구개발 개요	4
1.1. 추진 배경 및 필요성	4
1.2. 연구개발 대상 기술	8
1.3. 상위계획과의 부합성	11
1.4. 국고지원 타당성	13
제2장. 연구개발 동향	14
2.1. 해외 연구개발 동향	14
2.2. 국내 연구개발 동향	43
2.3. 시사점	55
제3장. 연구내용	57
3.1. 비전체계도 및 성과목표	57
3.2. 데이터 기반 ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술개발	62
3.3. 수용량 예측 핵심기술 개발	65
3.4. 4D 궤적기반 ATFM 핵심기술 개발	67
3.5. 세부과제별 최종 성과물	69
3.6. 연차별 연구내용 및 성과물	71
제4장. 사업 활용방안	76
4.1. 항공교통데이터 시스템 구축(비 R&D)와 본 사업(R&D)과의 관계	76
4.2. 활용방안	79
제5장. 연구개발 추진계획	81
5.1. 추진체계	81
5.2. 추진로드맵	83
5.3. 대외 협력방안	87
5.4. 위험요인 및 해결방안	87

제6장. 중복성 분석	88
6.1. 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성	88
6.2. 민간기술과의 차별성·연계성(민간기업 보유기술 및 제품 등)	91
제7장. 소요예산	92
7.1. 소요 인력 및 인건비	92
7.2. 직접비(인건비 제외)	95
7.3. 간접비	97
7.4. 총 연구비	97
제8장. 기대효과 및 파급효과	98

제1장. 연구개발 개요

1.1. 추진 배경 및 필요성

- 급증하는 항공수요에 대비하여 ICAO는 항공교통관리의 새로운 패러다임 제시
 - 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)는 전 세계 항공 교통 수요가 매 15년을 주기로 2배씩 증가하여 2030년에는 항공 여객수요가 60억 명에 도달할 것으로 전망
 - 세계 항공수요는 '37년까지 연평균 4.4% 증가하고, 아태지역의 경우 연평균 5.5% 증가할 것으로 예상¹⁾
 - 우리나라 항공교통량은 꾸준히 증가하여 2018년 운항횟수는 691,522회로 조사되었는데, 이는 1970년 1.6만 회 대비 약 40배 이상 증가한 수치이며, 세계 증가율 대비 279%를 상회하는 수치임
 - 항공수요 증가에 따른 공역과 공항의 혼잡은 항공기의 지연 및 결항을 증가시켜, 효율성 저하의 원인이 될 뿐만 아니라 항공 안전을 위협하는 요소로 작용
 - ICAO는 글로벌 항행계획(Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems, Doc. 9750)에서 “증가하는 항공교통수요와 기술발전 추세에 부합하는 항공교통시스템 선진화”를 목표로 설정하고 성능기반 접근법을 활용하도록 권고
 - 항공교통 데이터를 기반으로 하는 항공교통시스템 성능평가, 수용량 및 교통량 예측·분석 등 예상되는 성능과 달성 내용에 대한 분석 체계를 확립하여 ATM 성능 취약요소 및 목표관리에 활용할 수 있는 체계 구축 필요
 - 또한 ICAO를 포함한 미국, EU, 일본 등 주요 국가들은 증가하는 항공교통 수요 및 기술의 발전을 고려하여 기존의 공역기반 항공교통관리 체계에서 궤적기반 ATM²⁾ 체계로의 전환을 추진 중
 - 공역 상 환경변화 요인이 발생할 때마다 운항 직전까지 궤적의 최적화를 지속하고 비행 중에도 갱신되는 정보를 기반으로 미리 산출된 궤적의 조정이 가능하도록 하기 위해서는 출발부터 도착까지의 교통흐름과 처리용량에 대한 예측 능력이 필수적임

1) Global Market Forecast 2018-2037, Airbus

2) 궤적기반 ATM이란 현재의 분할 공역을 기본으로 한 교통흐름 제어 방식의 운용에서 FIR 전체를 하나의 공역으로 인식하여 모든 항공기를 출발에서 도착까지 일체적으로 관리하고, 전 비행단계에 시간을 포함한 4차원 궤적(4DT: 1 Dimensional Trajectory)을 관리하는 방식을 뜻함

□ 우리나라는 항공교통관리를 위한 데이터를 생산하고 있으나, 데이터 관리 절차 부재 등으로 체계적 관리는 미흡

- 관제시설, 공항운영자, 항공사, 기상청, 환경부, 국방부 등 총 19개 관계기관에서 약 1.19Tb/월 데이터를 생산하고 있으나, 데이터가 분산되어 있고 일정 기간 이후 삭제되므로, 데이터 연계·융합을 위한 플랫폼 구축 시급
 - 성능평가를 위해서는 최소 5년 이상의 축적된 데이터를 기반으로 과거에 대한 분석 및 현재, 미래에 대한 예측분석을 수행해야 하지만, 데이터 부재로 인해 성능평가를 세밀하게 수행하기가 어려움
- ATM 성능평가 플랫폼 부재
 - ATM 성능평가는 ICAO에서 권고하는 19개의 KPI(Key Performance Indicator)를 기본으로 연구 개발 되었지만 성능평가를 도입하여 운용중인 국가에서는 각 국가의 항공교통 환경에 따라 기존 KPI를 조금씩 변형하거나 신규 KPI를 연구 개발하여 이해관계자와의 공유 및 정책 결정에 활용하고 있음
 - 미국, 유럽, 일본 등의 항공선진국에서는 성능평가기반의 항공교통관리를 위한 플랫폼을 구축하여 활발하게 운영 중에 있으나, 국내에서는 데이터기반의 ATM 성능평가에 대한 기술적 연구 및 시스템 전무
 - KPI 항목별 성능평가를 위해서는 데이터 수집, 전처리, 분석 기술 및 현시 기술 등의 연구 개발이 되어야 하며 분석 프로세스에 대한 철저한 품질 관리로 산출 결과에 대한 신뢰성 확보 필요

□ 항공교통관리의 근간이 되는 관제기관별 수용량 예측 기술 부재

- 항공교통관리는 크게 공항, 접근관제, 항로섹터로 구분하고 각 관제기관이 해당 시설 또는 공역 관제업무를 담당하고 있음. 우리나라 항공교통관리의 전반인 성능평가 및 효율적인 항공교통흐름관리(ATFM)를 위해서는 공항, 접근관제, 항로 섹터를 담당하는 관제기관별 수용량 산정 및 예측이 필수적임.
- 기존의 수용량 산정에 관한 연구는 공항운영자 및 공역관리자 관점에서 주로 공항계획 또는 절차변경을 위한 사전평가를 목적으로 수행되었으며, 효과적인 항공교통흐름관리(ATFM)에 요구되는 각 관제기관의 운영특성 및 동적 요인을 고려한 수용량 산정 및 예측에 관한 연구는 전무한 상황임.
- 항공교통 수용량 예측기술은 확정된 방법이 없으며 현재 연구개발이 진행되고 있는 분야임. 특히, 각 관제기관별 관제여건, 기상 및 항공기 운항상황 등 동적

요인을 고려한 개별 관제기관 및 관제기관 통합 수용량 예측기술은 항공교통흐름관리(ATFM) 시스템 구축을 위한 요소기술로 국내 기술개발이 시급히 요구됨.

□ **궤적기반 ATM 체계로 전환에 대비 필요**

- 궤적기반 ATM 체계로의 전환을 위해서는 기존 공역 기반 ATM 체계의 한계를 인식하고 공역 기반 체계에서의 운항 제한을 최대한 제거하여 유연하고 효율적인 운항의 실현 및 전체 경로에서 항공교통의 성능 최적화 필요
- 궤적기반 ATM 체계의 근간이 되는 관제기관별 수용량 예측기술 부재
 - 기존의 수용량 산정에 관한 연구는 공항운영자 및 공역관리자 관점에서 주로 공항계획 또는 절차변경을 위한 사전평가를 목적으로 수행되었으며, 전체 비행경로에서의 최적화된 운항을 위해서는 각 관제기관의 운영특성 및 동적요인을 고려한 수용량 산정 및 예측이 필요함
 - 항공교통 수용량 예측기술은 확정된 방법이 없으며 현재 연구개발이 진행되고 있는 분야임. 특히, 각 관제기관별 관제여건, 항공기 성능, 공항시설, 법적 제한요소, 기상 및 항공기 스케줄 등 동적요인을 고려한 항공기 운항 전체 경로에 대한 수용량 예측기술은 항공교통흐름관리 및 항공사의 비행계획 수립을 위한 필수 요소기술로 국내 기술개발이 시급히 요구됨
 - 지상주행을 포함해 출발부터 도착까지의 교통상황과 관제 용량 예측이 가능하도록 전체 비행경로(출발공항의 주기장→지상이동이륙→상승→순항→하강→착륙→지상이동→도착공항 주기장)의 실시간 처리용량 산정 및 교통흐름 예측 필요
- 국내 항공교통 환경을 고려한 4D 궤적 기반의 항공교통흐름관리 필요
 - 우리나라는 주요 공항에서 FIR 경계지점까지의 거리가 짧아 항공교통흐름조치가 공항의 출도착 관리와 밀접한 연관이 있는 경우가 많으며, 이는 통합적인 관점에서의 스케줄링을 필요로 함
 - 현행 ATFM 시스템은 항로별 분리간격 및 기본적인 활주로 분리간격 등을 종합적으로 고려할 수 있는 기능이 없어 4D 궤적기반 흐름관리에 한계가 있음

□ **이에 따라, 국토부에서는 관련 계획을 마련하여 추진 중**

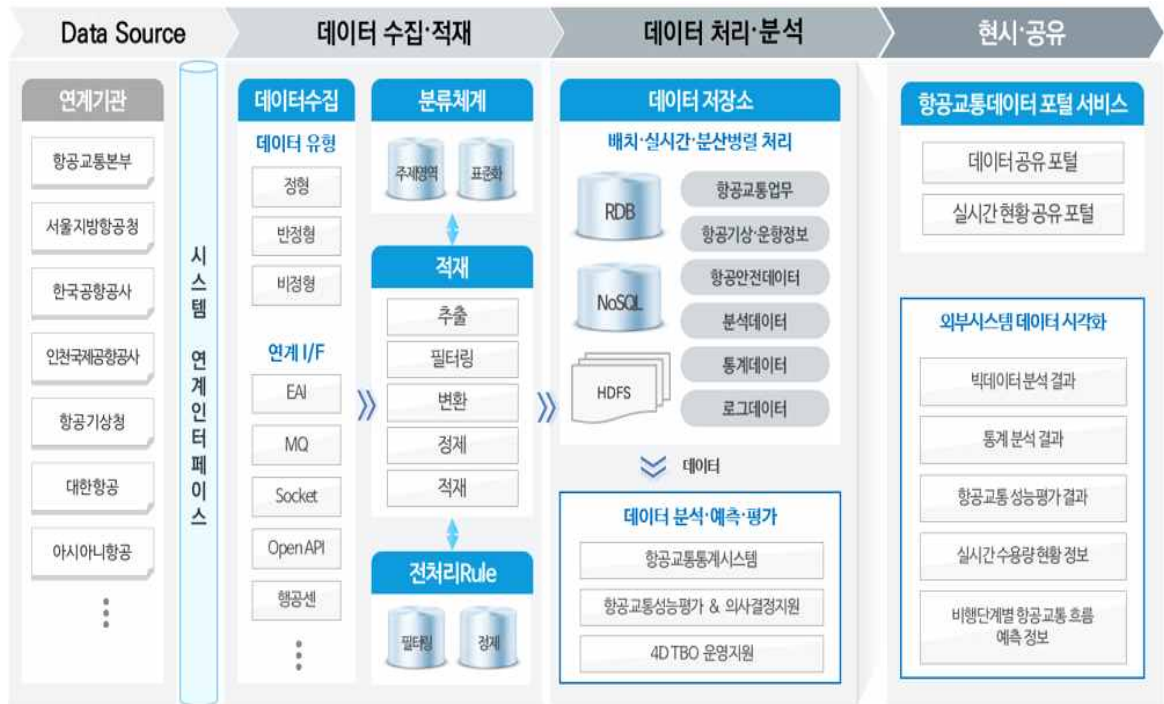
- 항공교통 데이터 수집관리를 위한 항공교통데이터 센터 구축 및 데이터를 활용한 항공교통관리 기술개발을 '제3차 항공정책 기본계획'(20~24)에 반영('19.12)

- 세부 이행방안으로 ‘항공교통데이터센터 구축방안’ (‘20.5)을 마련하여 추진 계획 중
- 항공교통 데이터 센터 구축·운영
 - 항공교통 데이터를 업무에 활용하기 위해서는 먼저 개별 기관들에 산재되어 있는 데이터를 한 곳에 모아 통합관리 및 데이터의 공유가 가능한 데이터 센터 구축·운영 필요
 - 이들 데이터를 활용하여 4D 궤적관리에 필요한 항공교통 수용량 및 교통량 예측에 활용하고
 - 최적의 비행경로를 찾기 위한 시뮬레이션 분석 등 빅데이터 분석이 가능한 정보시스템 구축

1.2. 연구개발 대상 기술

1.2.1. 데이터 기반 항공교통관리

- ICAO는 2005년에 범세계적으로 조화롭고 통합적인 미래 항공교통관리 시스템의 구축·운용을 위한 글로벌 ATM 운영개념(Global Air Traffic Management Operational Concept, Doc 9854)을 제시
 - 글로벌 ATM은 공역운영, 비행장 운영, 수요 및 수용량 균형, 교통흐름 동기화, 공역이용자 운영, 충돌관리, ATM 업무 관리 등 7개 요소로 정의됨
 - 이들 구성요소가 본연의 기능을 유지하는데 자료와 정보의 관리, 이용 및 전송이 절대적으로 필요하며, 데이터에 근거한 ATM 의사결정을 위해서는 적시에, 적절하고, 정확하며, 인증된 양질의 정보제공이 필요함을 강조
 - 또한 개별 구성요소가 하나의 시스템을 구성하지만 ATM 시스템이 제 기능을 발휘하기 위해서는 개별 구성요소의 통합운영이 필요함을 강조
- 이를 위해, 기관별로 산재되어 있는 항공교통관리(ATM) 데이터를 연계·통합하고 데이터에 기반한 모델링, 시뮬레이션, 예측, 분석하는 기술개발 필요
 - 데이터 기반 항공교통관리를 위해서는 항공교통 데이터를 수집·처리할 수 있는 시스템 뿐만 아니라 이를 활용할 수 있는 기술의 확보가 필수적임
 - 미래 항공교통환경 변화에 대비하고 국제적으로 조화로운 항공교통체계의 구축을 위해서는 항공교통 빅데이터를 활용한 성능기반 운영 및 4D 궤적기반 ATM 기술 확보가 선행되어야 함
 - 본 연구는 축적된 항공교통데이터를 분석·예측 및 평가하여 항공교통시스템의 성능을 평가하고 ATM의 전략적 의사결정을 지원하며, 관제기관의 실시간 수용량 및 교통량을 예측하고, 항공기의 4차원 궤적 예측을 기반으로 통합적인 흐름관리가 가능한 기술을 개발·확보하는 것에 그 목표를 두고 있음



* 자료 : 항공교통데이터 시스템 구축을 위한 기본설계, 2020

데이터기반 항공교통관리 개념

1.2.2. 과제구성

- 국토부의 '데이터기반 ATM 체계 구축방안 연구용역('19.1~'19.11)', 기획위원회 회의 논의, 국토부의 '항공교통데이터 센터 구축 방안 (20.5) 등을 통해 정리된 세부과제와 구성기술은 다음과 같음

과제명		구성기술
총괄추진 과제	데이터 기반 ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술개발	1.1. ATM 성능평가 및 관리 시스템 개발
		1.2 ATM 운용효과 분석 기술개발
협동과제	수용량 예측 핵심기술 개발	2.1. 관제기관별 전략·전술단계 수용량 예측기술 개발
		2.2. 관제기관 통합 수용량 예측기술 개발
협동과제	4D 궤적기반 ATFM 핵심기술 개발	3.1. 4D 궤적 예측 및 항공 교통량 예측 기술개발
		3.2. 흐름관리 제한사항(TMI) 생성 기술개발
		3.3. 항공교통 통합 스케줄링 기술개발
		3.4. 항적/비행계획 자료 처리 및 흐름관리 모니터링 기술개발

□ (총괄추진과제) 데이터 기반 ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술 연구

- ICAO SARPs에 근거한 ATM 목표 및 지표 관리와 모니터링을 통해 항공교통시스템 취약요소 확인이 가능한 성능평가 시스템 개발
- ATM 데이터 플랫폼의 데이터를 활용하여 성능평가 시스템을 구축하고, 축적된 평가 결과를 활용하여 성능취약 요소 등을 분석
- 항공교통시스템의 핵심이슈(교통수요, 혼잡율, 지연율, 수용량 등)와 변수(거시적·미시적 변수, 내생·외생 변수)의 식별
- 항공교통시스템의 핵심 이슈 분석 및 변화 예측 모형 개발
- 항공기 운항 지연 원인 및 영향, 항공교통 경제적 효율성, 환경영향 등 항공교통시스템 상호영향성 분석·예측이 가능한 알고리즘 개발 및 Dash-board 등 결과 현시·보고 도구 개발
- 의사결정 분석 및 평가를 위한 전산 프로그램 개발

□ (협동과제) 수용량 예측 핵심기술 연구

- 항공교통흐름관리 전략단계에서 적용 가능한 관제기관별 공시 수용량 (Declared Capacity) 예측기술 개발
 - 공역구조, 항행장비, 절차, 관제인력수급 등 항공기 운항의 장기적 영향변수 고려
- 항공교통흐름관리 전술단계에서 적용 가능한 관제기관별 운용수용량 (Operational Capacity) 예측기술 개발
 - 기상변화, 공역사용 계획, 관제근무 인력 등 항공기 운항의 단기적 영향변수 고려
- 정해진 구역(공역 등)내 항공기 관리 방식에서 전체 경로 관리 방식으로의 전환에 대비하기 위한 관제기관 통합 수용량 예측기술 개발
 - 관제기관 간 공간적·기능적 연계성을 고려하여 관제기관 통합 수용량 예측기술개발(항공로 수요량 포함)

□ (협동과제) 4D 궤적기반 ATFM 핵심기술 연구

- 항공기 운항정보, 성능, 기상 등의 정보를 기반으로 한, 4D 항공기 궤적 및 항공 교통량 예측 기술 개발
- 항공교통 환경 및 관제운용 절차를 고려한 수용량-교통량 밸런싱 및 ATFM 제한사항 모델링 기술 개발
- 국내 항공교통 특수성을 고려한 공역 및 공항 통합 스케줄링 기술 연구

1.3. 상위계획과의 부합성

□ 법적 근거

- 국토교통과학기술 육성법
 - 국토교통과학기술 육성을 위한 기반 조성 및 산업 경쟁력 강화를 목적으로 수립된 법으로 본 연구에서 개발하고자 하는 항공교통관리 기술은 동법 제 2조에 따른 국토교통과학기술에 해당함
 - 국토교통과학기술진흥원은 제8조(연구개발사업의 추진) 7항 ‘그 밖에 대통령령으로 정하는 국토교통분야의 연구기관 또는 단체’에 해당하는 기관으로 국토교통부장관과의 협약을 통해 국토교통과학기술 연구개발사업 수행이 가능하며 이에 따라 본 R&D 사업을 기획함
- 항공사업법
 - 항공정책의 수립 및 항공사업에 필요한 사항을 정하고 있는 법으로, 동법 제3조(항공정책기본계획의 수립)에서는 국가항공정책에 관한 기본계획 수립에 대한 사항을 정의하고 있음
 - 본 사업은 국내외 항공정책 환경의 변화에 대응하기 위한 기술개발을 목표로 하고 있으며 이는 항공정책기본계획의 추진과제로 반영되어 있음³⁾

3) 별첨 1. 제3차 항공정책기본계획 참조

□ 정부 정책 및 법정계획

근거법(계획명)		기간	부합 내용
1	과학기술기본법 (제4차 과학기술기본계획)	'18~'22	과학기술이 선도하는 신사업.일자리 창출의 '과제 12국민이 체감하는 혁신 성장동력 육성'과 부합(중점 과학기술로 유·무인 비행체 통합 관제시스템 기술 선정)
2	항공사업법 (제3차 항공정책기본계획)	'20~'24	전략 4(공항을 지역경제·기업성장의 플랫폼으로 구축)의 세부 추진과제(패러다임 변화에 대비한 공역 체계 선제적 구축)에 '항공교통데이터 센터'와 '4D 궤적기반 운항' 항목으로 반영
3	항공안전법 (제1차 항공안전정책기본계획)	'18~'22	전략1(4차 산업혁명시대 항공안전 혁신), 전략4(스마트 항공교통 안전인프라 구축)과 부합
4	항공우주산업개발촉진법 (항공산업발전기본계획)	'10~'19	전략 3. 항공 기술 R&D 투자 효율성 제고'와 부합(시급 확보기술 : 항법/제어, 체계운용 SW, 통신에 관한 기술)
5	공항시설법 (제5차 공항개발 중장기 종합계획)	'16~'20	추진과제 1. 경쟁력 있는 공항'의 세부추진과제와 부합(공항 혼잡 완화 및 공역 수용능력 확보)
6	국토교통과학기술육성법 (국토교통과학기술연구개발 종합계획)	'18~'27	미래 항공 수요 대비와 항공안전강화 등 국제민간항공기구가 제시한 권고사항 이행을 위한 항공교통관리 기술 개발
7	차세대 항공교통시스템 구축 기본계획 (NARAE)	'17-'31	4가지 추진전략중, '추진전략 3. 공역 수용량 및 비행 효율성 증대' 와 직접 부합하며, 이외 나머지 추진전략과도 부합 및 연관됨

1.4. 국고지원 타당성

- ICAO의 권고사항 이행은 체약국의 책무이자, 국가 경쟁력 제고를 위한 발판
 - ASBU 이행계획은 ICAO가 191개 체약국에 미래 항공교통시스템 정착을 위해 요구하는 권고사항으로 체약국의 역할·의무를 충실히 수행할 필요
 - 우리나라는 국제민간항공조약(우리나라 1966년도 가입)을 통해 체약국이 되었으며, 조약의 내용·항공안전법에 따라 ICAO의 권고사항을 이행해야 할 의무를 가짐
 - 현재 ASBU 불이행에 따른 단기적인 제약사항은 없으나, 장기적 관점으로 기술격차 심화, 항로 제한 등에 따른 국가적 손실이 우려됨
 - ASBU는 단일 국가 또는 특정 지역만을 대상으로 하는 것이 아니라 전 세계적인 방향성을 제시하여 국제 공조가 이루어지는 계획임
 - 또한, ASBU가 증가하는 항공교통 수요와 안전성 이슈를 해결하기 위한 계획으로 구성된 만큼 이에 따른 산업 분야의 문제 발생이 우려됨
- 항공교통 관련 국가 중요 인프라 관련 연구로서 국고지원 필요
 - ICAO가 권고한 항공교통 계획 이행 및 우리나라 실정에 맞는 항공교통정책 수립과 정책 이행 모니터링을 위해선 항공교통 성능평가 수행이 필수적
 - 성능평가를 위해선 우리나라 전 항공교통시스템 특성이 고려되어 조화로운 지표 개발이 필요하고, 개발 지표 관리 및 사후 분석 등을 위해선 국가가 지원하여 관련 시스템을 개발해야 함
 - ATFM 체계는 ICAO가 정의한, 항공교통흐름관리의 핵심성과지표인 항공교통 수용량, 효율성, 예측성 등을 달성하기 위해 필요한 최상위 시스템임
 - 또한 특정 국가 또는 지역의 특성이 고려된 최적화 시스템으로 개발되어야 하고, 관제시스템과 같이 여러 식이 요구되지 않으므로, 대부분 국가 또는 지역 차원에서 투자/연구개발 및 유지되고 있음 (예: 미국, 유럽, 중국, 일본 등)
 - 연구개발 후 양산에 따른 이윤창출을 기대하기 어려운 시스템 특성을 고려할 때, 국고가 아닌 민간 자체 투자에 의한 연구개발은 현실적으로 불가능함

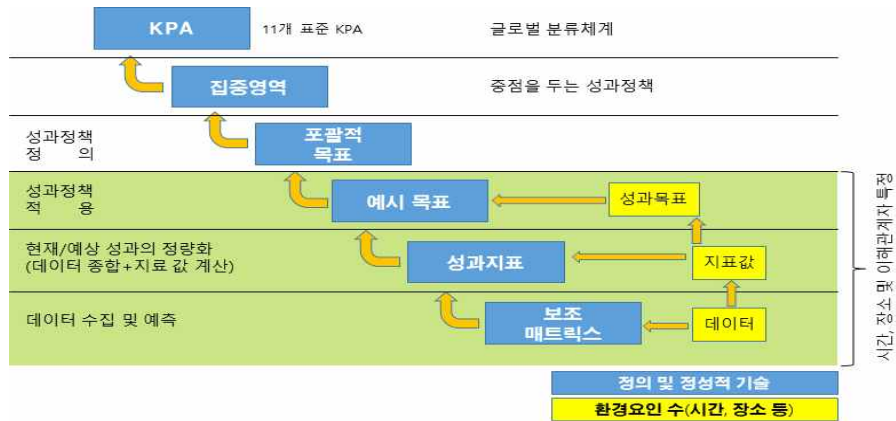
제2장. 연구개발 동향

2.1. 해외 연구개발 동향

2.1.1. 항공교통관리 성능평가

□ ICAO(국제민간항공기구)

- ICAO는 증가하는 항공교통량을 효과적으로 관리하기 위해 1993년 미래항행 시스템(Future Air Navigation System, FANS) 개념을 처음 제시하고 1998년에 주요 민간항공정책 체제로서 독립적인 글로벌 항행계획인 GANP(Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems, Doc 9750)을 수립
 - 글로벌 항행계획(GANP: Global Air Navigation Plan)⁴⁾은 기술적, 운용적, 경제적, 환경적, 재정적, 제도적 측면 등 모든 계획요소를 포함하고 있으며, 성능기반의 협력적 ATM 환경에서의 항공교통시스템 운용을 추구
 - 2016년 발간된 GANP 제5판에서 11개 KPA중 3개 KPA(효율성, 수용량 및 예측성)와 관련된 16개 핵심성능지표(Key Performance Indicators)를 발표하였으며, GANP 제6판(2019)에서 3개 KPI가 추가되어 총 19개 KPI 활용 권고



자료 : ICAO, Manual on Global Performance of the Air Navigation System(Doc 9883)

[그림 3] ICAO Performance Based Approach 측정분류체계

4) GANP는 ICAO 항행정책 원칙에 따라 3년마다 개정되며, 이를 통해 환경변화 및 기술발전에 효과적으로 대응하여 보다 현실적인 항행계획으로 적용될 수 있도록 하고 있으며 현재는 제6판(2019-2037 Global Air Navigation Plan, Doc 9750)이 발행됨

<표 1> ICAO KPA별 KPI 분류

KPA	중점 분야	KPI
접근성과 공정성 (KPA 1)	모든 공역사용자에게 주어진 공역 또는 서비스에 동등하게 접근할 수 있도록 보장	
수용량 (KPA 2)	수용량, 처리량 및 활용	KPI 06(항공로 공역 수용량), KPI 09(공항 침투 용량), KPI 10(공항 침투 처리량), KPI 11(공항 처리량 효율성)
	수용량 부족 및 관련 지연	KPI 07(항공로 ATFM 지연), KPI 12(공항/터미널 ATFM 지연)
비용 효과성 (KPA 3)	ATM 서비스 품질 또는 성능개선을 위한 모든 제안 평가시 공역 사용자에게 대한 서비스 비용을 항상 고려(비행편당 ATM 정상화 비용에 집중) · 시스템 전체의 연간 비행편당 평균비용 · (전체 운용비용 + 자본비용)을 IFR 비행편 수로 나눈 비용 · 월간 및 연초 대비로 측정된 시스템 내에서 한 편의 IFR 비행 예측을 하는데 필요한 총 노동의무	
효율성 (KPA 4)	추가 비행시간 및 거리	KPI 02(출발시 지상이동 추가 시간), KPI 04(제출된 비행계획 항공로 연장 거리), KPI 05(실제 항공로 연장 거리), KPI 08(터미널 공역에서의 추가 시간), KPI 13(도착시 지상이동 추가 시간)
	수직 비행 효율성	KPI 17(상승 중 수평 비행 거리), KPI 18(순항 중 수평 비행 거리), KPI 19(하강 중 수평 비행 거리)
	추가 연료 연소	KPI 16(추가 연료 소모 량)
환경 (KPA 5)	글로벌 항행시스템 실행 및 운용시 소음, 유해가스 배출 및 기타 환경문제를 고려 · ATM 서비스 제공 시 비효율성에 기인하는 유해가스(CO ₂ , NO _x , H ₂ O) 및 기타 미립자 배출량 · 3년 이동평균으로 측정된 중대 소음에 노출된 인원 수 · 3년 이동평균으로 측정된 유상 항공기마일당 연료 효율성	
유연성 (KPA 6)	공역 사용자들이 비행경로를 능동적으로 수정하고 출발/도착 시간 변경 · 매년 최초 제출 비행계획서 수 대비 제출된 변경계획에 대해 거부된 변경계획 수 · 대안이 제공되어 선택된 후 거부된 변경 비율	
세계적 상호 운용성 (KPA 7)	항행시스템은 기술적, 운용적 측면에서 상호운용성을 보장하고, 동일하고 비차별적인 세계적은 운용 및 지역 교통흐름을 촉진하기 위해 세계적인 공통된 표준 및 원칙을 준수해야 함(국제표준 부합수준에 중점) · ICAO SARPs와 제출된 차이점의 수 · ICAO CNS/ATM 계획과 세계적인 상호 운용요건 대비 ATM 운용의 준수 수준	
ATM 운용주체의 참여 (KPA 8)	ATM 운용주체는 글로벌 항행시스템의 발전을 보장할 수 있는 시스템 계획의 수립 및 실행, 운용에 지속적으로 참여해야 함 · 계획, 실행 및 운용을 다루며, 지역 항공활동 전체의 상당한 비율(예. 90%)을 차지하는 연례회의 횟수 · 계획수립을 위한 연간 회의 개최 건수 · 계획 실행을 위한 연간 회의 개최 건수 · 운용을 위한 연간 회의 개최 건수	
예측 가능성 (KPA 9)	시간엄수	KPI 01(출발 정시성), KPI 14(도착 정시성), KPI 03(ATFM 슬롯 준수)
	변동성	KPI 15(비행 시간 변동성)
안전성 (KPA 10)	· 승객이 항공기 탑승, 항공기로부터 떨어진 부분을 포함해 항공기의 제반 부분과의 직접적인 접촉, 항공기 배기가스에 직접 노출되어 사망 또는 중상에 이른 경우 · 항공기의 구조적 강도, 성능 또는 비행특성에 부정적인 영향을 주거나 일반적으로 영향을 받는 구성품의 주요 수리 또는 교체를 필요로 하는 손상을 입거나 구조적인 고장이 발생된 경우 · 항공기 실종 또는 접근이 완전 불가능한 경우	
보안 (KPA 11)	· 항공교통서비스 제공자의 고정 인프라에 보고된 불법 간섭 발생 횟수 · 항공교통서비스 제공자의 대응을 필요로 하는 항공기에 대한 직접적인 불법 간섭 행위(폭탄위협, 항공기 납치 또는 허위신고)와 관련된 준사고 횟수 · 항행시스템 수용량 허용 한계를 넘어서는 수준으로 감소시키는 인적요류, 자연재해 등의 고의성이 없는 요인으로 인해 발생된 준사고 횟수	

<표 2> ICAO에서 '19년 제시된 19개 KPI

KPA	중점 분야	KPI	Definition
수용량 (KPA 2)	수용량, 처리량 및 활용	KPI 06 (항공로 공역 수용량)	주어진 시간 동안 정상 조건에서 공역이 안전하게 수용하는 최대 교통량
		KPI 09 (공항 침투 용량)	1시간 프레임 내에서 공항이 수용할 수 있는 최대 운항 편수
		KPI 10 (공항 침투 처리량)	가장 한산한 시간에서부터 가장 혼잡한 시간까지의 "롤링(Rolling)" 시간대 내에 공항에 기록되는 시간당 운항 편수의 95번째 백분위수
		KPI 11 (공항 처리량 효율성)	수요 또는 수용량 중 낮은 값 대비 공항 처리량(수용 가능 수요)
	수용량 부족 관련 지연	KPI 07 (항공로 ATM 지연)	주어진 전체 경로 공역 용량에서의 흐름 제한으로 인한 ATM 지연
		KPI 12 (공항/터미널 ATM 지연)	특정 공항 및/또는 관련된 터미널 공역 용량에서 도착 흐름 제한으로 인한 ATM 지연
효율성 (KPA 4)	추가 비행시간 및 거리	KPI 02 (출발지상이동 추가 시간)	방해받지 않은 기준 출발지상이동 시간 대비 실제 출발지상이동 시간
		KPI 04 (제출된 비행계획 항공로 연장 거리)	이상 궤적 거리(기준) 대비 비행 계획 항공로 거리
		KPI 05 (실제 항공로 연장 거리)	이상적 거리(기준) 대비 실제 항공로 비행거리
		KPI 08 (터미널 공역에서의 추가 시간)	방해받지 않은 시간 대비 실제 터미널 공역 통과(체공) 시간
		KPI 13 (도착시 지상이동 추가 시간)	방해받지 않은 기준 도착지상이동 시간 대비 실제 도착지상이동 시간
	수직 비행 효율성	KPI 17 (상승 중 수평 비행)	TOC(Top of Climb) 전 수평 비행 거리 및 시간
		KPI 18 (순항 중 수평 비행)	측정 최대 비행 고도와 제약 조건이 없을 때 최대 비행 고도 간 비행 고도 차이
		KPI 19 (하강 중 수평 비행)	TOD(Top of Descent) 후 수평 비행 거리 및 시간
	추가 연료 소모	KPI 16 (추가 연료 소모 량)	추가 비행 시간/거리 및 수직 비행 비효율성 ATM(항공교통관리)으로 인한 추정 추가 연료 소모량
예측 가능성 (KPA 9)	시간엄수	KPI 01 (출발 정시성)	비행 계획 대비 게이트 정시 출발 항공편 비율
		KPI 14 (도착 정시성)	비행 계획 대비 게이트 정시 도착 항공편 비율
		KPI 03 (ATM 슬롯 준수)	배정된 ATM 슬롯 시간 내 이륙하는 항공편 비율(조정이륙시간 준수)
	변동성	KPI 15 (비행 시간 변동성)	평균값 부근의 비행(단계) 지속 시간 분포도

□ 미국

- FAA는 미 성능분석사무소(Performance Analysis Office, PAO)에선 항공교통 데이터 활용을 목적으로 운영 지표(Operational Metrics), 운영 및 성과 자료(Operations and Performance Data) 등을 관리
- PAO의 주요 기능은 아래와 같음
 - ATO 운용 지표 검토
 - 공항수용량, 효율적 비행 궤적, 제한 설비 지연, NAS 장비 신뢰성 및 일일평균수용량(Average Daily Capacity, ADC) 등 효율성을 측정하는 항공교통기관의 주요 운영 지표 검토
 - FAA 운영 지표(Operational Metrics) 검토
 - FAA 절차에 의해 식별된 주요 운영 지표 보고
 - 운영지표는 수용량, 효율성, 비용효과성, 환경 영역에 세부 지표를 설정하여 관리

<표 3> FAA의 운영관련 세부분야별 지표

구분	성과지표 명칭 (Metric Name)	정의 (Definition)	단위
수용량 (Capacity)	일일 평균 수용량 (Average Daily Capacity, ADC)	FAA 시설별 계획상 월간 이·착륙 가능 편수를 해당 월의 일수로 나눈 수용량	출도착 항공기 수
	일일 평균 운항횟수 (Average Daily Operations)	FAA 시설별 월간 실제 이·착륙 편수를 해당 월의 일수로 나눈 평균 운항편 수	출도착 항공기 수
	활주로 포장 상태 (Runway Pavement Condition)	NPIAS(National Plan of Integrated Airport Systems) 내 최소 93%에 해당하는 포장 활주로 중, 포장 상태가 양호, 좋음, 훌륭함(fair, good, excellent)을 유지하는 활주로의 비율	%
	NAS 신뢰도 (NAS Reliability)	주어진 임무시간(유지 보수기간 등) 동안, 중단없이 국가공역체계가 본연의 기능을 유지할 수 있는 확률	%
효율 (Efficiency)	유도로 주행 시간-도착 (Taxi-In Time)	항공사가 보고하는 착륙(Wheels on) 후 주기장 접현에 이르기까지 걸린 시간	분
	유도로 주행 시간-출발 (Taxi-Out Time)	항공사가 보고하는 주기장 이현 후 이륙(Wheels off)에 이르기까지 걸린 시간	분
	주기장 도착 평균 지연시간 (Average Gate Arrival Delay)	특정기간 동안, 스케줄 도착(접현) 시각과 실제 도착(접현) 시각 차이들의 평균 (지연이 발생한 경우)	분

	평균 운항시간 (Average Gate-to-Gate Times)	특정기간 동안, 출발 공항에서 이현 시각과 도착 공항에서 접현 시각 차이들의 평균	분
	수평 비행한 거리-하강 (Distance at Level Flight - Descent)	최고하강시점(Top Of Descent, TOD)부터 활주로 시단까지 수평 비행한 거리	마일
	주요 도시 간 계획상 비행시간 대비 실제 비행시간 (Flown versus Filed Flight Times for Key City Pairs)	특정기간 동안, 주요 도시 간 비행계획서 상 비행 시간(이륙부터 착륙까지 시간)과 실제 비행시간 차이의 평균	분
	주요 도시 간 평균 비행거리 (Average Distance Flown between Key City Pairs)	특정기간 동안, 주요 도시 간 실제 비행거리(이륙부터 착륙까지 거리)들의 평균	마일
	지연 출·도착편 수 (Number of Arrival and Departure Delays)	특정기간 동안, 출·도착 시각에서 15분 이상 지연된 공항별 항공편의 수	횟수
	운항횟수 (Number of Operations)	공항별 출·도착 운항횟수	횟수
	NAS 정시 도착 (NAS On-Time Arrivals)	특정기간 동안, FAA에 제출된 비행계획 대비, 도착계획 시각 기준 15분 미만으로 늦은 항공기들의 비율	%
	주요 도시 간 평균 연료 소모량 (Average Fuel Burned between Key City Pairs)	특정기간 동안, 주요 도시 간 출발 공항 게이트 이현 시점부터 도착 공항 게이트 접현 시점까지 소모된 연료 소모량의 평균	Pound
비용 효과성 (Cost Effectiveness)	운항당 비용 (단위 비용) (Unit cost per Operation)	시설별 보고된 항공교통 운항당 소요 비용 (dollar/ops)	dollar
환경 (Environment)	소음 노출 (Noise Exposure)	중대한 소음 ⁵⁾ 에 노출된 인구수	인구수
	재생 가능한 제트기 연료 (Renewable Jet Fuel)	미국 내 항공기들(군 및 상업용 제트기를 모두 포함)에 의해 연간 소모되는 재생 가능한 연료량 (gallon)	Gallon
	NAS 에너지 효율 (NAS-Wide Energy Efficiency)	국가공역체계 내에서 운행한 항공기의 실제 비행거리와 추정 연료소모량(또는 실제 연료소모량)의 비율 (kg/km)	Kg/Km
	대기가스 배출 - 탄소배출 (Emissions Exposure - CO2 Emissions)	국가공역체계 내에서 운행한 항공기의 엔진에서 배출된 이산화탄소의 양 (kg)	Kg

* 자료 : https://www.faa.gov/data_research/aviation_data_statistics/operational_metrics/

5) 소음 노출은 거주지의 방음 수준과 관계없이 고려되며, 중대한 항공기 소음의 기준은 주야평균 소음 수준(Day-Night Average Sound Level, DNL)이 65 데시벨(dB) 이상으로 정의되고 있음

○ (정시성 분석 사례) 정시성 확보를 위한 항공교통 지연 원인 분석

- ASQP(Airline Service Quality Performance) 시스템을 통해 항공사의 정시성, 지연 및 결항 정보 제공 (ATC 시스템으로 인한 공항에서의 계기비행규칙 항공편의 15분 이상 지연은 OPSNET에 보고)

구분	미국
지연 분석	<ul style="list-style-type: none"> • (지연분류 체계) 5가지 원인으로 구분하여 관리(도착지연 중심 관리) <ul style="list-style-type: none"> - 항공사 지연 : 항공기 청소, 항공기 손상, 연결 승객 또는 승무원의 도착 대기, 수하물, 조류충돌, 화물탑재, 케이터링, 승무원 휴식, 위험물에 의한 손상, 엔지니어링 검사, 급유, 불법탑승자 하기, 늦은 탑승수속, 기내 수하물 적재 등 - 도착지연 : 이전 공항에서 항공기가 늦게 도착하여 발생한 지연 등 - NAS 지연 : 극심하지 않은 기상조건, 공항 운영, 교통혼잡, ATC로 인한 지연 등 - 보안 지연 : 터미널이나 중앙 홀의 대피, 보안위반으로 인한 항공기 재보딩, 보안검색장비 부작동, 보안구역에서 29분을 초과하는 긴 줄로 인한 지연 - 기상 지연 : 출발지, 항로 또는 도착지에서 예상되거나 나타나는 극단적이거나 위험한 기상조건으로 인한 지연 • (지연 기준) 게이트 도착, 게이트 출발 기준 항공사의 컴퓨터 예약 시스템(CRS)에 입력된 예정 시간보다 15분 이상 지연된 항공편
데이터 수집	<ul style="list-style-type: none"> • 교통부(Bureau of Transportation)는 국내선 예약 기준 총 승객 수입의 0.5%를 보유한 항공사의 지연 및 취소 원인 보고 자료 등을 수집 • TMI(Traffic Management Initiatives)로 인한 지연은 ATCSCC(Air Traffic Control System Command Center)에서 자동으로 기록, 일부 TMI 원인은 공항에서 수동 기록
간행물	<ul style="list-style-type: none"> • 교통부 OAEP(Office of Aviation Enforcement and Proceedings)에서 항공여행객 소비보고서(Air Travel Consumer Report)/월간 발행
분석 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 교통부 통계(Bureau of Transportation Statistics) 홈페이지(www.bts.gov) 및 FAA OPSNET (The Operational Network)을 통해 항공사 정시 및 지연 원인 통계 등 확인 가능 • 지연분석 툴 등 별도의 분석 시스템에 관한 상세 정보는 확인 불가

On-Time Arrival Performance National (January, 2020)

[Most Recent Month](#) [Year to Date](#)

[View Pie Chart](#) [Print Table](#) [Download Raw Data](#)

	Number of Operations	% of Total Operations	Delayed Minutes	% of Total Delayed Minutes
On Time	516,983	85.12%	N/A	N/A
Air Carrier Delay	27,171	4.47%	2,032,137	38.46%
Weather Delay	3,277	0.54%	378,095	7.16%
National Aviation System Delay	27,099	4.46%	1,173,609	22.21%
Security Delay	176	0.03%	7,493	0.14%
Aircraft Arriving Late	24,562	4.04%	1,691,916	32.02%
Cancelled	6,928	1.14%	N/A	N/A
Diverted	1,150	0.19%	N/A	N/A
Total Operations	607,346	100.00%	5,283,250	100.00%

A flight is considered delayed when it arrived 15 or more minutes than the schedule (see definitions in [Frequently Asked Questions](#)). Delayed minutes are calculated for delayed flights only.
When multiple causes are assigned to one delayed flight, each cause is prorated based on delayed minutes it is responsible for. The displayed numbers are rounded and may not add up to the total.

SOURCE: Bureau of Transportation Statistics, Airline Service Quality Performance 234

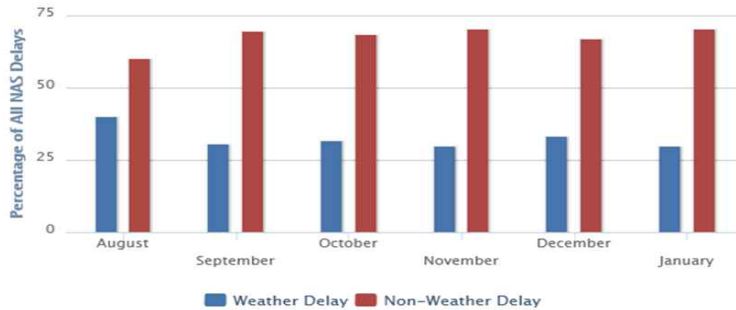
Weather's Share of Delayed Flights National (August, 2019 - January, 2020)

[Most Recent Month](#) [Year to Date](#)

[View Tabular Version](#)

More Topics:

- [On-Time Arrival Performance](#)
- [Flight Delays by Cause](#)
- [Weather's Share of National Aviation System \(NAS\) Delays](#)
- [National Aviation System \(NAS\) Delay by Cause](#)



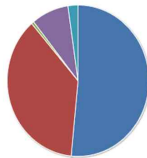
Causes of National Aviation System Delays National (August, 2019 - January, 2020)

[Most Recent Month](#) [Year to Date](#)

[View Individual Months](#) [View Tabular Version](#)

More Topics:

- [On-Time Arrival Performance](#)
- [Flight Delays by Cause](#)
- [Weather's Share of Delayed Flights](#)
- [Weather's Share of National Aviation System \(NAS\) Delays](#)



- Weather: 51.54%
- Volume: 37.1%
- Equipment: 0.58%
- Closed Runway: 8.5%
- Other: 2.28%

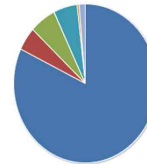
Flight Delays by Cause National (August, 2019 - January, 2020)

[Most Recent Month](#) [Year to Date](#)

[View Individual Months](#) [View Tabular Version](#) [Download Raw Data](#)

More Topics:

- [On-Time Arrival Performance](#)
- [Weather's Share of Delayed Flights](#)
- [Weather's Share of National Aviation System \(NAS\) Delays](#)
- [National Aviation System \(NAS\) Delay by Cause](#)



- On Time: 82.12%
- Air Carrier Delay: 4.75%
- Aircraft Arriving Late: 5.9%
- Security Delay: 0.03%
- National Aviation System Delay: 5.35%
- Extreme Weather: 0.47%
- Cancelled & Diverted: 1.37%

○ (경제성 분석 사례) 항공교통시스템 운용의 경제적 효과 분석

구분	미국																		
<p>운영 효과 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> • FAA 운영 평가지표(Operational Metrics) <ul style="list-style-type: none"> - (비용분석) 시설별 보고된 항공교통 운항당 소요 비용을 기준으로 비용 분석 - 운항당 비용 지표는 분기별로 보고되며, FAA 비용 회계 시스템 내 항공교통기관(ATO)에서 지정 가능한 모든 운영 비용을 포함 <p style="text-align: center;">[회계연도별 운항당 비용 분석]</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>FY 2010</th> <th>FY 2011</th> <th>FY 2012</th> <th>FY 2013</th> <th>FY 2014</th> <th>FY 2015</th> <th>FY 2016</th> <th>FY 2017</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fiscal Year Value</td> <td>\$86.21</td> <td>\$87.85</td> <td>\$86.28</td> <td>\$86.48</td> <td>\$87.16</td> <td>\$ 83.80</td> <td>\$ 83.51</td> <td>TBD</td> </tr> </tbody> </table> <p>* 운항 측정 시, 계기 비행 및 시계 비행을 모두 포함</p>		FY 2010	FY 2011	FY 2012	FY 2013	FY 2014	FY 2015	FY 2016	FY 2017	Fiscal Year Value	\$86.21	\$87.85	\$86.28	\$86.48	\$87.16	\$ 83.80	\$ 83.51	TBD
	FY 2010	FY 2011	FY 2012	FY 2013	FY 2014	FY 2015	FY 2016	FY 2017											
Fiscal Year Value	\$86.21	\$87.85	\$86.28	\$86.48	\$87.16	\$ 83.80	\$ 83.51	TBD											
<p>데이터 수집</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ANS 운영과 관계된 항공 운송 통계 활용 • 미국 교통부(the Bureau of Transportation Statistics)는 항공 운송 시장 분석을 목적으로 항공 교통 관련 데이터를 분석, FAA는 대규모 사업에 편익/비용 분석 실행 <p>* 연간 수익 20M USD 이상의 미국 항공사, 미국 내 월 1만 명 이상의 승객을 운송하는 외국 항공사를 대상으로 데이터 수집</p>																		
<p>간행물</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 유로컨트롤과 협력하여 미국과 유럽의 항공교통 관련 운영 성능 비교 보고서 (Comparison of Air Traffic Management - Related Operational Performance : U.S/Europe)연간 발행 																		
<p>분석 시스템</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 확인 불가 																		

□ 유럽

- 유럽연합 집행위원회(European Commission)는 2004년 유럽 ATM의 구조적 개혁을 위해 단일유럽영공(Single European Sky, SES) 계획을 추진(비전)
- 궤적기반운용(Trajectory Based Operations, TBO) 개념에 입각하여, 공역구조에 제약받지 않고 항공기가 원하는 궤적을 비행할 수 있도록 궤적기반 운항을 지원하는 항행서비스 제공
- 이를 위해 ATM 모든 영역에 대한 개선을 위해 비행단계 전반에 걸쳐 효율적 개선 추진



[그림 9] 비행단계별 개선

- 항공교통서비스 생산성 개선, 항공교통 인프라 효율적 활용, 협업 및 운영 예측성 향상, 공항 성능 및 접근성 개선, 비행궤적 개선, 공역내 모든 항공기 통합 운영, 안전 및 보안 강화
- **(목표)** SES KPA인 안전, 환경, 수용량, 비용 효율성에 SESAR R&D의 핵심 KPA인 운용 효율성 및 보안까지 6가지 KPA에 대한 성능 목표 설정
 - (비용 효율성) 항공항행서비스 생산성을 향상시키기 위해 운용 개념을 개발하고, 필수적인 기술 시스템 변화를 제공하여 수명주기비용(lifecycle cost) 절감
 - (운용 효율성) 출발 지연 관리, 효율적 비행경로 개발을 통해 연료 소모 및 비행시간 감축, 예측력 증대
 - (환경) 비행당 평균 연료 소모량 감소를 통한 환경오염 배출량 감축
 - (수용량) 네트워크 및 공항에서 미래 교통 수요를 충분히 수용할 수 있도록 교통 처리량 증대

- (안전) 지역별 비행 당 위험을 교통증가율과 동일한 양만큼 줄이는 것을 목표로 하지만, 절대적 범주화 미적용
- (보안) 각 시스템 개발 단계에서 위험을 평가하기 위해 필요한 모든 조치를 취함

<표 7> KPA 분류에 따른 2035년까지의 SESAR 성능 목표

핵심 성능 영역 (KPA)	2005년 대비 SES 상위 달성 목표	핵심 성능 지표(KPI)	2012대비 SESAR 목표	
			절대적 저감치	상대적 저감치
비용 효율성 : ANS 생산성	ATM 서비스 단위 비용을 50% 이상 감축	비행당 GATE-TO-GATE ANS 비용 - 항로 ANS 단위 비용 결정 - 터미널 ANS 단위 비용 결정	290-380 €	30-40%
운용 효율성	-	비행당 연료소모(tonne/flight) 비행당 비행시간(min/flight)	4-8 분 0.25-0.5톤	3-6% 5-10%
수용량	ATM 수용량 3배 증가	출발 지연(min/dep) - 항로 항공 교통 흐름 관리 지연 - 초기 및 연결 지연 혼잡 공항에서의 추가 비행 네트워크처리 추가 비행	1-3 분 0.2-0.4(million) 7.6-9.5(million)	10-30% 5-10% 80-100%
환경	환경 영향 10% 감축	이산화탄소 배출(tonne/flight) - 수평비행효율성(실제 궤적) 수직 효율성 TAXI-OUT 단계	0.79-1.6 톤	5-10%
안전	안전도 10배 개선	ATM 기여 사고	사고 증가 無	안전도 3-4배 증가
보안		교통 혼잡을 초래하는 ATM 연관 보안 준사고	준사고 증가 無	

- (정시성 분석 사례) IATA의 표준지연코드(12개 분야 80여개 원인으로 분류)를 활용하여 EUROCONTROL 및 항공사에서 수집한 데이터를 CODA(The Central Office for Delay Analysis)에서 분석

구분	유럽
지연 분석	<ul style="list-style-type: none"> • (지연분류체계) All-Cause 및 ATFM 지연으로 대별하며, All-Cause 지연은 7개 원인으로 구분하여 관리하며, ATFM은 공항, 항공로로 재분류하고 14개 원인으로 구분

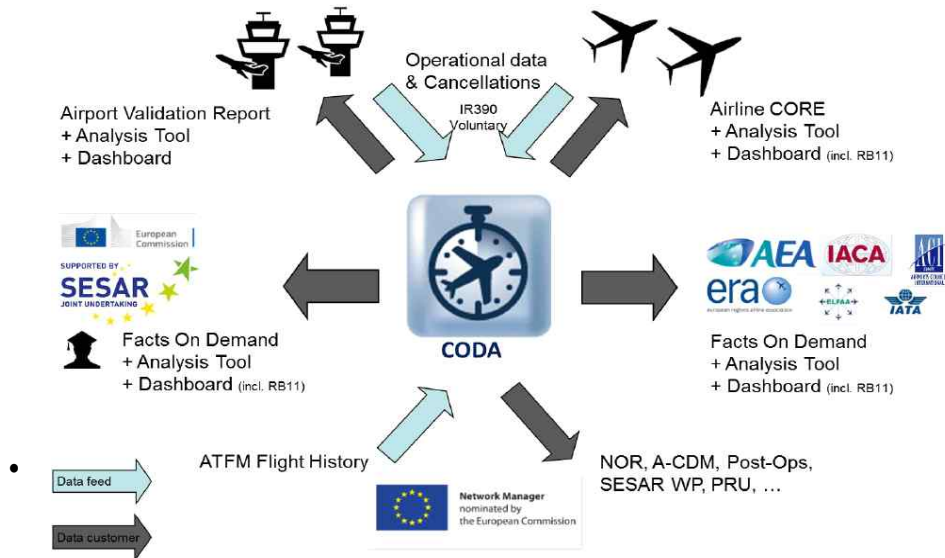
<All-Cause 지연 원인 분류 체계>

	CODA CAUSE	Description	IATA Code
Primary Delay Causes	Airline	Passenger and Baggage	11-19
		Cargo and Mail	21-29
		Aircraft and Ramp Handling	31-39
		Technical and Aircraft Equipment	41-48
		Damage to Aircraft & EDP Automated Equipment Failure	51-58
		Flight Operations and Crewing	61-69
		Other Airline Related Causes	Others
	Airport	ATFM due to Restriction at Destination Airport	83
		Airport Facilities	87
		Restrictions at Airport of Destination	88
		Restrictions at Airport of Departure	89
	En-Route	ATFM due to ATC En-Route Demand Capacity	81
		ATFM due to ATC Staff Equipment En-Route	82
	Governmental	Security and Immigration	85-86
	Weather	Weather (other than ATFM)	71-77
		ATFM due to Weather at Destination	84
Miscellaneous	Miscellaneous	97-99	
Reactionary	Late Arrival of Aircraft, Crew, Passengers or Load	91-96	

- (지연기준) STA(Scheduled arrival time) 대비 5분 이상 지연된 항공편
* 30분이상 지연은 별도 구분하여 관리

- 네트워크매니저 및 항공사 등을 통해 수집된 지연 관련 운영데이터를 CODA(The Central Office for Delay Analysis)에서 수집하여 분석

데이터 수집



간행물

- 월간 유럽 항공 운송 지연 원인 브리프(All-cause delay to air transport in Europe) 발행 및 분기별 지연 원인 및 결항 분석 보고서(CODA Digest) 발행

분석 시스템

- 지연 원인 분석 툴(상세 정보 확인 불가)과 대시보드*(All-causes delay analysis interactive dashboard) 운영
* 대시보드 정보는 항공교통흐름관리 및 항공기 운영 종사자에게만 제공

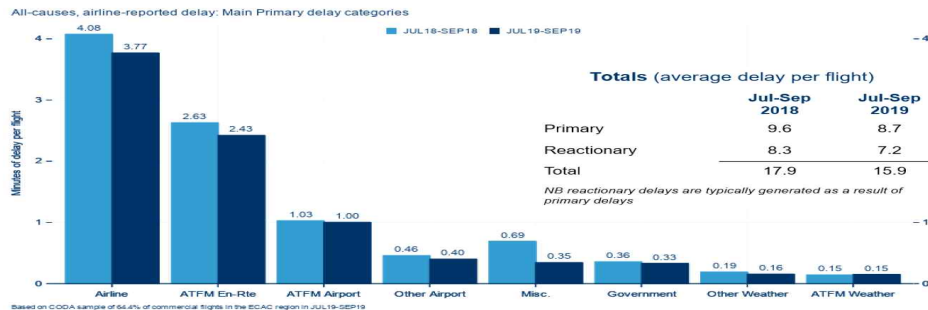


Figure 4. Long Departure Delays >60 Minutes

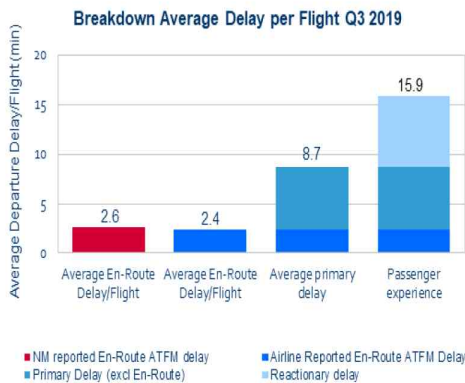
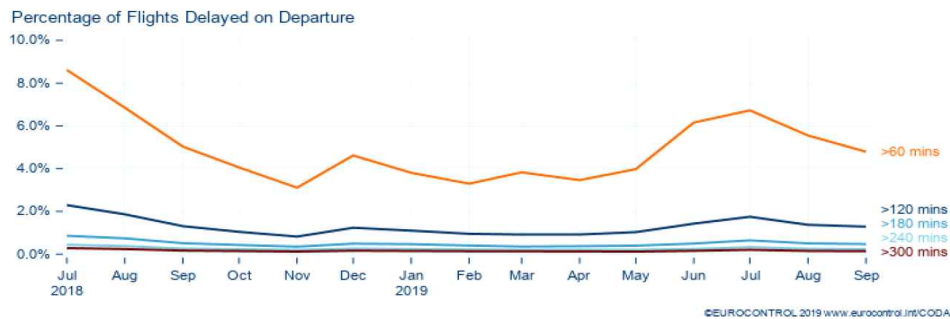


Figure 13. Top 50* Airlines by Arrival On-Time Performance Q3 2018

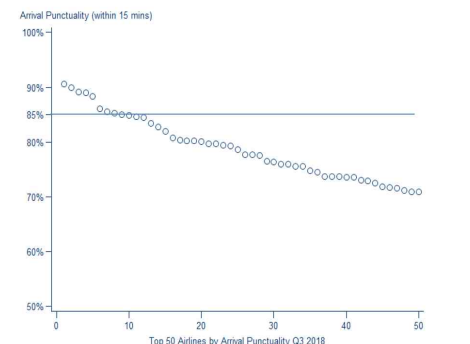
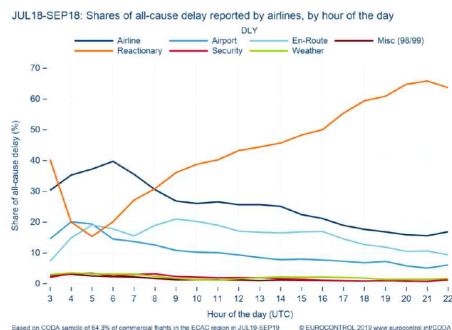
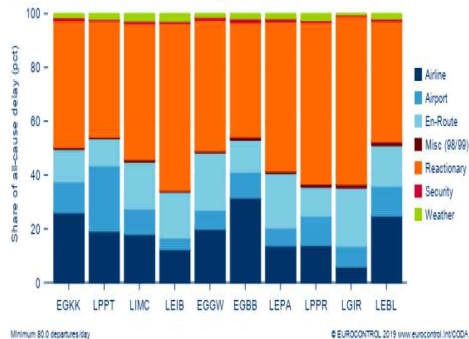
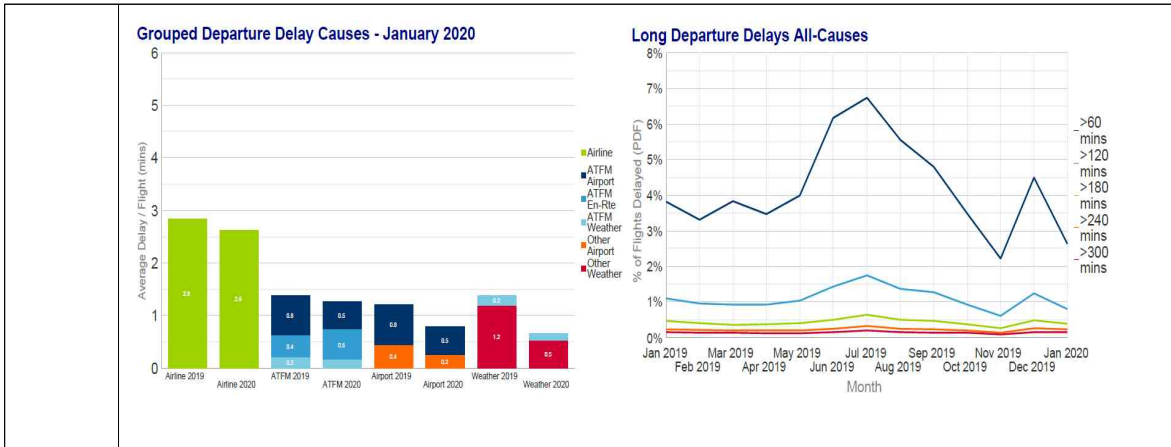


Figure 19. Breakdown of the Average Departure Delay per Flight by Hour of the Day Q3 2018 (top) vs. Q3 2019 (bottom)



All-cause delay at 10 airports with heaviest departure delay: JUL19-SEP19

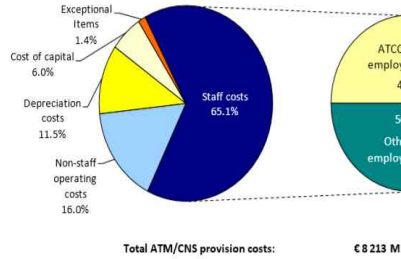




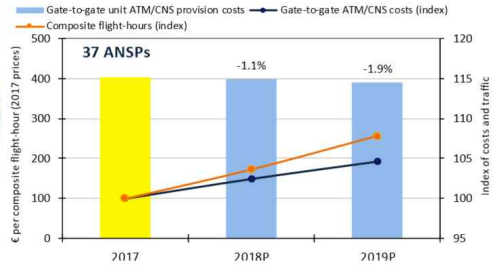
○ (경제성 분석 사례) 항공교통시스템 운용의 경제적 효과 분석

유럽	
비용 효과 분석	<ul style="list-style-type: none"> 서비스 유닛 당 항로 ANS 비용, 서비스 유닛 당 공항 ANS 비용, ATFM 지연 단위비용, 운항시간 당 경제적 비용 등을 평가
데이터 수집	<ul style="list-style-type: none"> SES 법제 하의 항공항행서비스제공자 및 관련 기관에 「Decision No.88 of the Permanent Commission of Eurocontrol」을 마련하여, 경제정보공개사양(Specification for Economic Information Disclosure, SEID)에 따라 정보 공개 의무화
간행물	<ul style="list-style-type: none"> ACE Benchmarking 보고서 발간 <ul style="list-style-type: none"> 항공교통관제 기관의 비용효율성과 생산성을 분석, 항공항행서비스제공자가 제공한 정보를 기반으로 작성
분석 시스템	<ul style="list-style-type: none"> ATM Cost Effectiveness Dashboard 운영

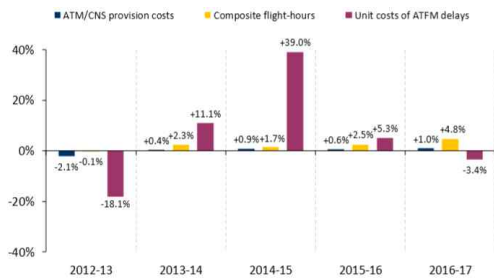
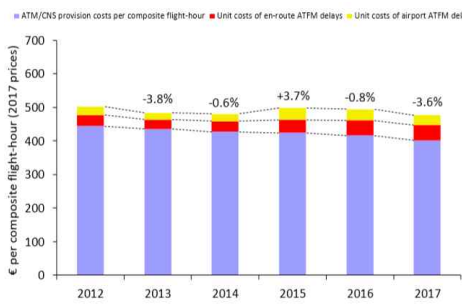
<'17년 ATM/CNS 제공비용 분석>



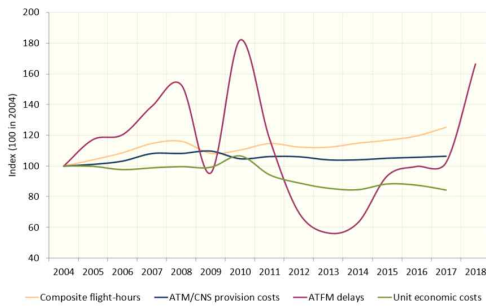
<2017-2019 비용-효과 전망 >



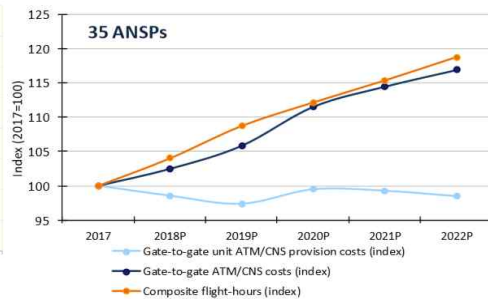
<단위당 경제적 비용의 변화 추이, 2012-2017>



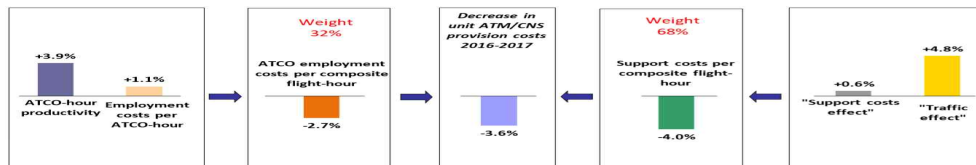
<교통량, ATM/CNS제공비용, ATFM 지연 장기 추세>



<2017-2022 비용, 교통량 및 단위당 비용 예상 추세>



<2016-2017 재무적 비용-효과성 지표의 변화>



2.1.2. 수용량 산정 및 예측

□ 미국 (FAA, Federal Aviation Administration)

- Airport Capacity Model (ACM)등 산정식을 활용한 빠르지만 정확도가 낮은 방법과 SIMMOD, TAAM등 정확도가 높으나 시간과 비용을 많이 요구하는 시뮬레이션에 의한 방법이 공존하고 있음

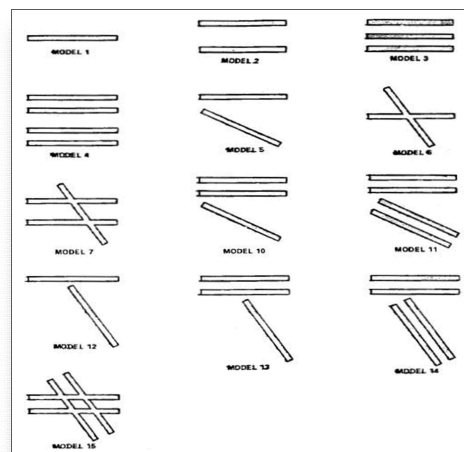
○ 공항 수용량

- FAA Airport Capacity Model(1982, 이하 ACM)을 통해 활주로 절대용량을 산정
 - 단일활주로 수용량 산정식(아래)을 기반으로 단일 활주로 및 복수 활주로(2~4본) 형태에 따른 기하학적인 활주로 배치구조에 대한 활주로 절대용량을 산정

$$\begin{aligned} \text{수용량(대/시간)} &= \frac{3600(\text{초/시간})}{\text{평균분리시간간격(초/대)}} \\ &= \frac{3600}{\sum p \cdot \Delta ij} \end{aligned}$$

여기서, i : 선행 항공기
 j : 후행 항공기
 p : 선·후행 항공기 혼합물(Fleet mix)
 Δij : 선·후행 항공기 도착시간간격

- Airport Capacity Model에서 제시하는 단일 활주로 및 복수 활주로(2~4본)의 활주로 배치구조는 아래 그림과 같음



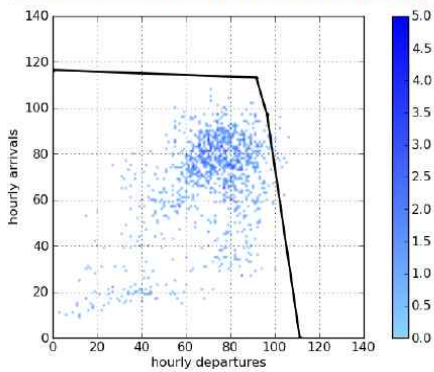
자료 : FAA, Airfield Capacity Model, 1982

[그림29] 활주로 배치구조

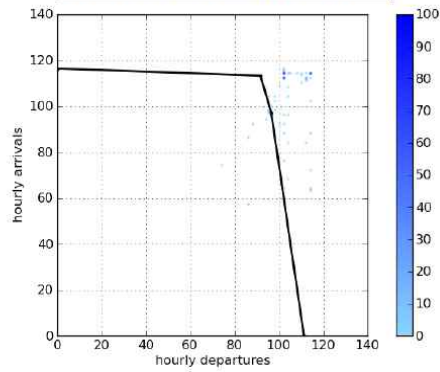
- Runway Simulator(MITRE)

- 공항의 도착과 출발, 활주로 배정 및 이륙순서배정, 활주로 운용 자체를 시뮬레이션하는 프로그램
- 출발·도착 수용량 곡선 생성을 생성하고 실제 처리량과 시뮬레이션 결과를 비교)

Actual Throughput Comparison



Called Rates Comparison

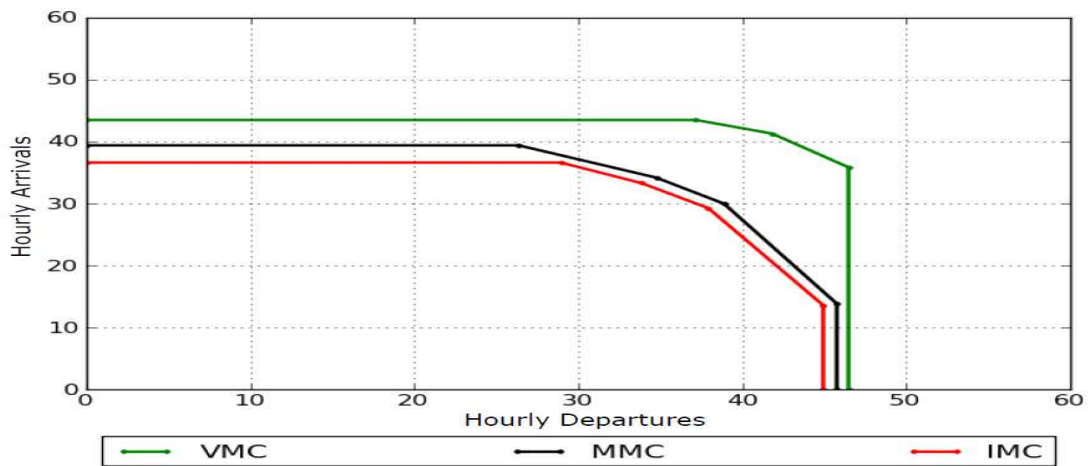


© 2014 The MITRE Corporation. All rights reserved.

Approved for Public Release; Distribution Unlimited. Case Number 14-3186 **MITRE**

자료 : MITRE, runwaySimulator Validation Report, 2014
 [그림 30] 시카고 오페어 국제공항의 실제 처리량과 시뮬레이션 비교

- 혹은, 특정 기상조건 하 시계비행과 계기비행 수용량을 비교



자료 : FACT3: Airport Capacity Needs in the National Airspace System, 2015
 [그림 31] 시계비행(VMC), 중간(MMC), 계기비행(IMC) 조건 하 수용량 곡선 예시

6) MITRE, runwaySimulator Validation Report, 2014

○ 공역 수용량

- FAA Order 7210.3W Sector Complexity Measure

- ARTCC(Air Route Traffic Control Centers)의 En-route Sector를 설정하기 위한 표준 방법으로, 관제사의 주관적인 판단에 기초한 산정식으로 관제량을 평가하는 방식

- FAA Order 7210.3Z Monitor Alert Parameter

- Monitor Alert Parameter(MAP)는 평균 섹터 비행시간에 따른 최대 순간 섹터 수용량을 구하는데 이용

[표 2-10] 평균 섹터 비행시간에 따른 최대 섹터 수용량

평균 섹터 비행시간(분)	최대 섹터 수용량(대)
3	5
4	7
5	8
6	10
7	12
8	13
9	15
10	17
11	18
12 이상	18

- Schmidt 모형⁷⁾

- Schmidt는 공역 수용량 산정에 있어 관제사의 업무 부하, 즉 발생빈도에 따라 공역 수용량을 결정하는 산정식 분석 방법을 제시
- 교차항로에서 두 항공기간 교차 시 예상되는 잠재적 충돌, 단일 항로에서 두 항공기간 속도 차이에 의한 추월로 예상되는 잠재적 충돌, 그리고 일상관제 절차의 수행, 이렇게 3가지 종류의 사건에 대해 관제업무 발생빈도를 계산하고, 각 사건별 업무 소요시간을 바탕으로 한 가중치와 곱한 후, 모두 더한 값을 CDI(Control Difficulty Index)라는 지표로써 정의하여 섹터 수용량 산정에 적용

- Welch 모형⁸⁾

- Welch는 관제사의 업무를 4가지(섹터 통과업무, 충돌방지 업무, 반복업

7) Schmidt, D. K., On Modeling ATC Work Load and Sector Capacity, Journal of Aircraft, 13(7), 1976.

8) Welch, J. D., En Route Sector Capacity Model Final Report, U.S. Air Force Project Report ATC-426, 2015.

무, 기본업무)로 구분함

- 위의 네 가지 업무에 따라 다음과 같은 방법으로 수용량을 측정

$$G_h = G_b + G_t + G_c + G_r$$

여기서,

G_b : 기본업무(Background Workload)

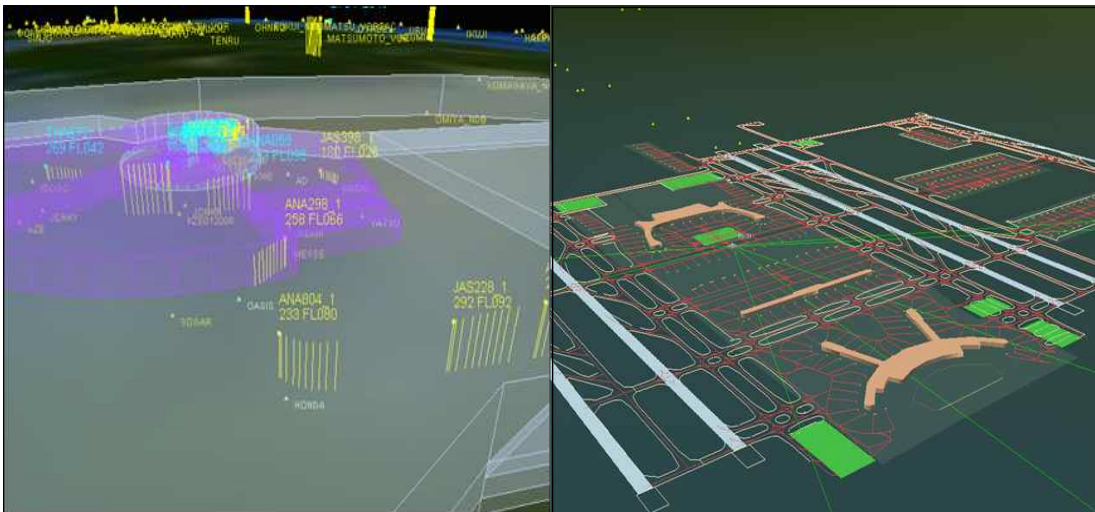
G_t : 섹터통과업무(Transit workload)

G_c : 충돌방지업무(Conflict workload)

G_r : 반복업무(Recurring workload)

- TAAM(Total Airspace and Airport Modeler) 시뮬레이션

- 항공기 성능자료인 BADA자료를 활용하여 각 항공기의 운항궤적을 생성하여, Gate-to-gate 전 구간 분석 시뮬레이션
- 항공교통 흐름을 재현하여 관제사의 업무량 산출을 통한 수용량 산정



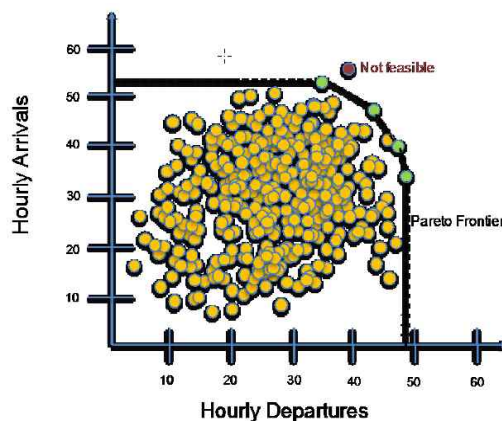
[그림 32] TAAM 모형(예시)

□ 유럽

- 유럽 항공 항법 안전 기구(European Organisation for the Safety of Air Navigation, 통칭 Eurocontrol)는 공항, 공역을 대상으로 수용량 평가 방법을 수립
- 공항 수용량

- Airport Capacity Assessment Methodology⁹⁾

- 수용량을 계획 시점 관점에서 세 가지로 정의
 - 1) 구조 수용량(거시 전략적 관점): 추정하기 어려운 제약조건을 배제한 장기적인 관점의 공항 수용량으로, 공항에 변화가 예상되는 경우 새로 산정함
 - 2) 계획 수용량(전략적 관점): 수요/수용량의 균형/불균형 관점에서 사전 계산, 항공사 일정 조정을 위해 계획 수용량을 사용하며, 불균형 시 비상 계획을 수립하여 수요/수용량의 균형을 조정
 - 3) 운용 수용량(전술적 관점) : 운용 전일 및 당일에 도출하는 가장 상세하고 정확한 용량
- 수용량 산정방법은 인력 및 시간, 데이터 요건, 비용 측면에서 다양
 - * 과거 실제 수용량에 대한 데이터를 이용한 산정
 - * FAA 수용량 산정방법¹⁰⁾을 적용한 간단한 수용량 참조표 및 스프레드시트 적용
 - * 시뮬레이션 모형
 - * 수용량 그래프(Pareto Frontiers) ([그림11])



[그림 33] Eurocontrol 수용량 그래프

자료 : Eurocontrol, Airport Capacity Assessment Methodology, 2016

9) Eurocontrol, Airport Capacity Assessment Methodology, 2016.

10) FAA AC 150/5060-5



[그림 34] Eurocontrol 수용량의 정의 및 산정방법, 측정법

자료 : Eurocontrol, Airport Capacity Assessment Methodology, 2016

○ 공역 수용량

- MBB(Messerschmitt-Bolkow-Blohm)

- 섹터를 단순 통과(conflict-free overflight)하는 항공기를 관제하는데 필요한 시간을 기본 MBB 업무부하 단위로 설정하고, 섹터에 진입하는 각 항공기의 관제량을 관제요구량에 따라 상대적인 가중치를 적용
- 모든 항공기의 업무부하 합을 구하며, 그 합이 80 MBB 업무부하 단위가 되는 교통량을 적정 관제량으로 산정하는 방식

- Task-Time Methods

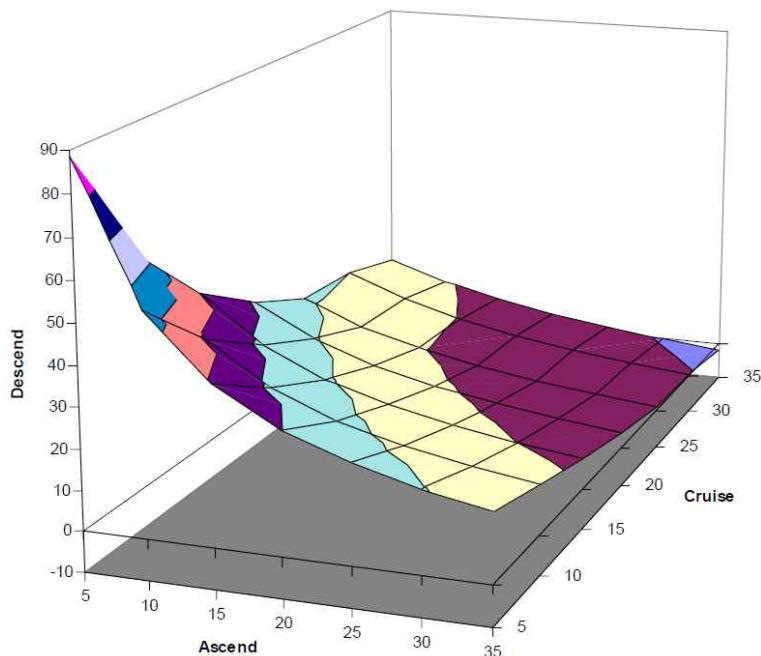
- 관제사의 업무(Task) 종류를 규명하고 각 업무 당 소요시간(Time) 측정
- 교통 패턴이나 항로 패턴에서 발생하는 관제업무 빈도수를 측정하여 관제에 필요한 총 시간을 계산
- Task-Time 업무부하(Workload)가 특정한 임계에 도달할 때의 교통량을 수용량으로 산정

- RAMS(Reorganized ATC Mathematical Simulator)

- RAMS는 EUROCONTROL에서 개발, 사용 중인 시뮬레이션 프로그램으로, CAPAN에 의한 업무량 산정방법을 탑재하고 있음

- CAPAN은 Task-Time Method로 관제지시 종류에 따른 지시횟수, 시간가중치 및 경우에 따른 가중치의 곱으로 관제업무에 소요되는 시간을 산정
- RAMS 시뮬레이션 모형에는 약 110개의 관제지시가 내장되어 있으며, 이를 Coordination Task, Flight Data Management, Planning Conflict Search Task, Routine Radio Telecommunication, Radar Task 총 5개의 그룹으로 묶어 Workload를 합산

$$W = W_{coord} + W_{fdm} + W_{conf} + W_{radio} + W_{radar}$$



자료 : Majumdar, A., Framework For Modelling The Capacity Of Europe's Airspace Using A Model Of Air Traffic Controller Workload

[그림 35] RAMS 업무부하 3차원 표면

- AirTOP 시뮬레이션

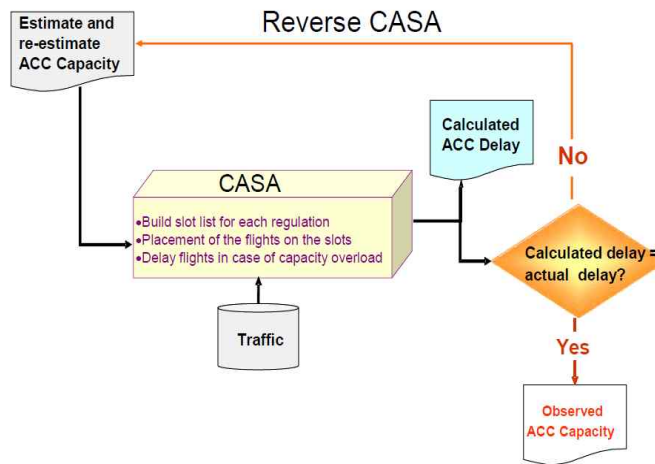
- 항공로, 접근관제구역, 출·도착 및 공항 지상이동 시뮬레이션 플랫폼
- SESAR의 핵심 성과 영역(KPA)에 대한 KPI 측정을 목표로 활용



[그림 36] AirTop 시뮬레이션(예시), 자료 : AirTop, airtopsoft

- Reverse CASA(Computer Assisted Slot Algorithm)

- CASA는 시뮬레이션을 통해 슬롯을 산정하고 슬롯을 배정
- 계산된 지연량을 실제 지연량과 비교하여 다른 경우 되돌아가(Reverse) 다시 수용량을 산정
- 다른 ACC에 관측된 지연과의 상호작용을 인식 (지연의 확산 등)



[그림 37] Reverse CASA 구조

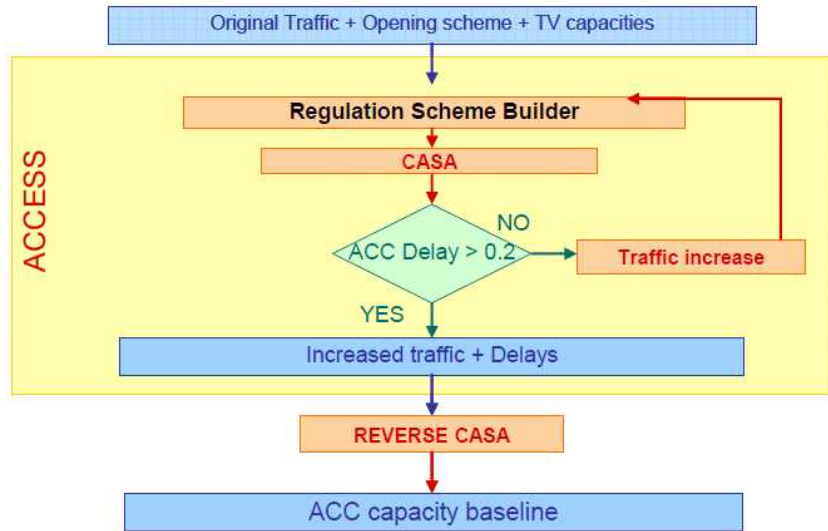
자료 : Eurocontrol, Capacity assessment and planning guidance document, 2013

- ACCESS

- ACCESS는 Reverse CASA를 사용하여 지연이 없는 ACC의 용량 기준을

설정할 수 있도록 개발

- 지연이 발생하지 않는 ACC에 기준을 설정하기 위해서 전체 섹터의 교통량을 균일하게 증가시켜 측정
- 위는 섹터간의 Network 효과와도 관련이 있음



[그림 38] ACCESS Process

자료 : Eurocontrol, Capacity assessment and planning guidance document, 2013

2.1.3. 항공교통흐름관리(ATFM)

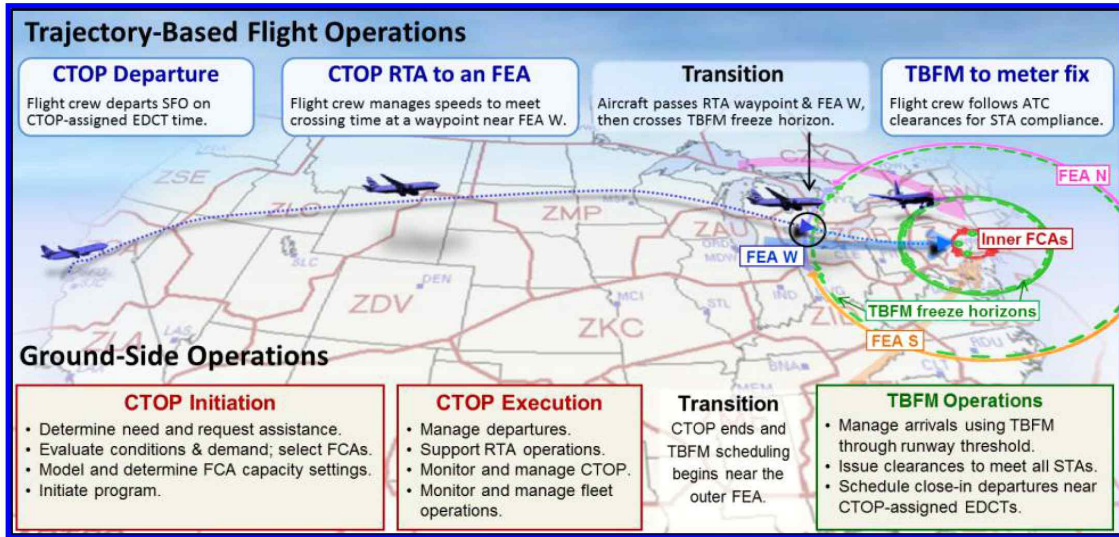
□ 미국

- 미국은 NASA ARMD(Aeronautics Research Mission Directorate)에서 추진 중인 ATM-X(Air Traffic Management - eXpolution) 프로젝트의 서브프로젝트인 IDM(Integrated Demand Management)을 통해 2015년부터 항공교통흐름관리와 관련된 연구를 수행하고 있음
 - ATM-X는 두 개의 Phase를 가지는데, Phase 1은 2018~2020년에 해당되며 신기술/신개념 개발 및 프로토타입 기술 개발에 초점을 맞추고 있음
 - ATM-X phase 2는 식별된 기술과 운용 개념을 적용하고 평가해보는 단계로 2021~2026년으로 계획되어 있으며, 시험운용을 위한 하나의 케이스로 미국의 북동부 지역의 NAS 사용자를 대상으로 collaboration 개선, 동적 공역 활용을 위한 능동적 계획 수립 및 스케줄링 통합과 관련된 기술에 초점을 맞추고 있음



[그림 39] ATM-X의 4개 세부 과제 간의 관계(Phase 1)

- IDM은 최근 종료된 “Shadow Mode Assessment using Realistic Technologies(SMART-NAS) for Safe Trajectory Based Operations” 프로젝트에서부터 이어진 연구로, 제한적인 공역을 효과적인 교통 관리를 통해 수요/용량을 맞추기 위한 near/mid term 관점에서의 통합 운용에 대한 연구임



[그림 40] IDM 지상 및 공중 운용 예

- IDM의 phase 1에 해당하는 연도별 주요 계획은 다음과 같음
 - 2018년 : HITL (Human-In-The-Loop) 시뮬레이션 결과 및 이해 관계자들의 의견 수렴을 통해 IDM 운용 개념, 절차 및 기능 관련 요구사항 보고서 초안 제시
 - 2019년 : 다수 공항/이상 기후 조건에서의 IDM 운용 적용 평가를 위한 HITL 시뮬레이션 수행
 - 2020년 : 다수 공항 및 복합적인 제한 조건에서의 최종 IDM 운용 개념 적용을 위한 HITL 시뮬레이션 수행
- IDM은 공항, 관제사, 항공사 등 이해관계자들과의 협의를 통해 실 운용 환경에서의 문제 파악 및 실현 가능한 솔루션을 제공하기 위한 개발 전략을 추진하였으며, 그 과정에서 새로운 운용 개념에 대한 이해와 협조를 이끌어 내고자 함
- 현재까지의 IDM 관련 연도별 수행 내용 및 계획은 다음과 같음
 - 2015년 : 초기 운용 개념을 포함한 대류성 기상 조건에서 TBFM(Time Based Flow Management) 활용을 개선하기 위한 방안 연구로서, TBFM Flow Program(TFP), RTA(Required Time of Arrival) clearance 활용 등에 대한 제안이 포함되었으며, 초기 버전의 시뮬레이션 개발 착수
 - 2016년 : 기상 영향이 없는 환경에서의 운용 개념 적용 연구로서 TFMS(Traffic Flow Management System)의 활용에 대한 ground delay 개선 효과 분석

- 2017년 : 대류성 기상 조건에서의 운용 개념 적용 연구로서 CTOP(Collaborative Trajectory Options Program) 적용 FCA(flow constrained area) balancing algorithm 등을 적용함
- 2018년 : TOS(Trajectory Option Sets) 제출에 따른 항공사별 이익 효과 분석 수행
- 2019년 : 복수의 도착 활주로를 가지는 공항에 대한 시험 환경 구축 및 HITL 시연 준비
- 2020년 : 대류성 기상 조건에 대한 추가 개발 및 보완, IDM 운용 개념 보고서 제출 및 현장 적용 시험 준비

IDM basic scenario #3: Convective Weather Arrival Operations

Problem #3:

- New York airport (e.g., EWR) expects arrival demand that will exceed its capacity
- Close-in departures may experience unpredictable ground delay
- *Forecast weather will affect capacity at **airport** and/or **cornerposts** and/or **en route airspace***

Solution: Open Questions...

- Initiate *(one or more?)* CTOPs based on best available **forecast** to manage weather-impacted airspace and arrival operations.
- **Configure TBFM (as appropriate?)** for anticipated demand.
- **Monitor (what?)** and **adjust (when? And how?)** to maintain effective operations as **conditions change**

27

[그림 41]IDM 적용을 위한 시나리오 수립

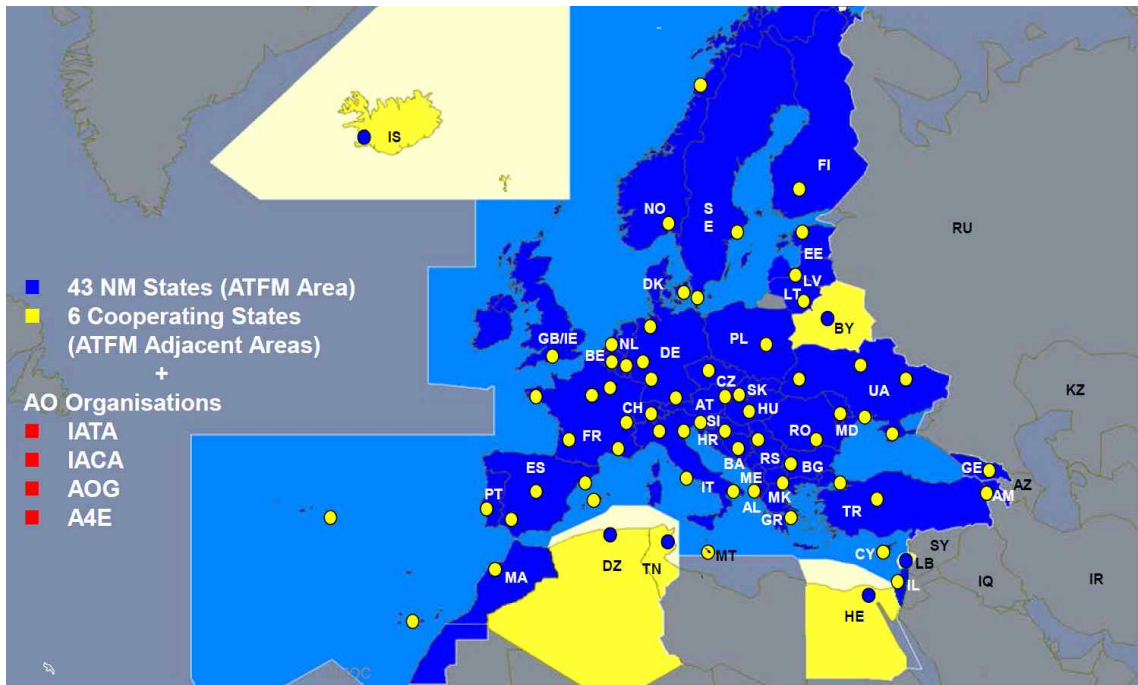
□ 유럽

- 유럽은 EUROCONTROL에 의해 운용되는 NMOC(Network Manager Operations Centre)를 통해 유럽 전역의 공역 사용자에게 ATFCM(Air Traffic Flow and Capacity Management) 서비스를 제공하고 있음
- ATFCM 서비스는 공역의 과부하는 피하면서 공역 사용을 최대화하는 것에 초점을 맞춘 공역흐름관리 서비스로 다음과 같은 내용을 포함하고 있음
 - 일일 계획 준비(ATFCM 솔루션 개발)
 - 교통량 부하 및 수용량 관리
 - 실시간 교통량 흐름 조정
 - 계절적 또는 중대한 이벤트로 인한 잠재적 수요/수용량 불균형 해결을 위한 이벤트 및 시나리오 관리
 - 협력적 계획을 통해 ATM 운용의 전반적인 성능 최적화
 - 운용 연속성 보장을 위한 위기 및 비상사태 관리



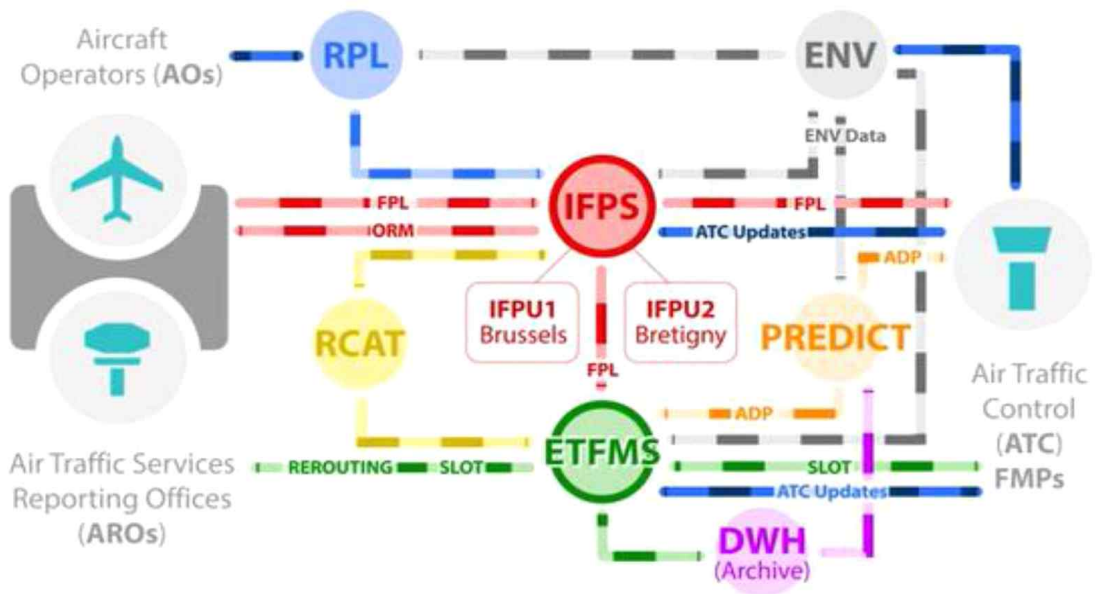
[그림 42] NMOC ATFCM 운용 개념도

- ATFCM 서비스 지역 내에는 영국, 독일, 프랑스 등을 포함한 약 43개 회원국이 포함되어 있으며, 약 1,750개 섹터(또는 68개 En-route Center), 525개 공항, 6,664개 공역 사용자, 60개 흐름 관리석(FMP, Flow Management Position)이 존재함(2018년 9월 기준)



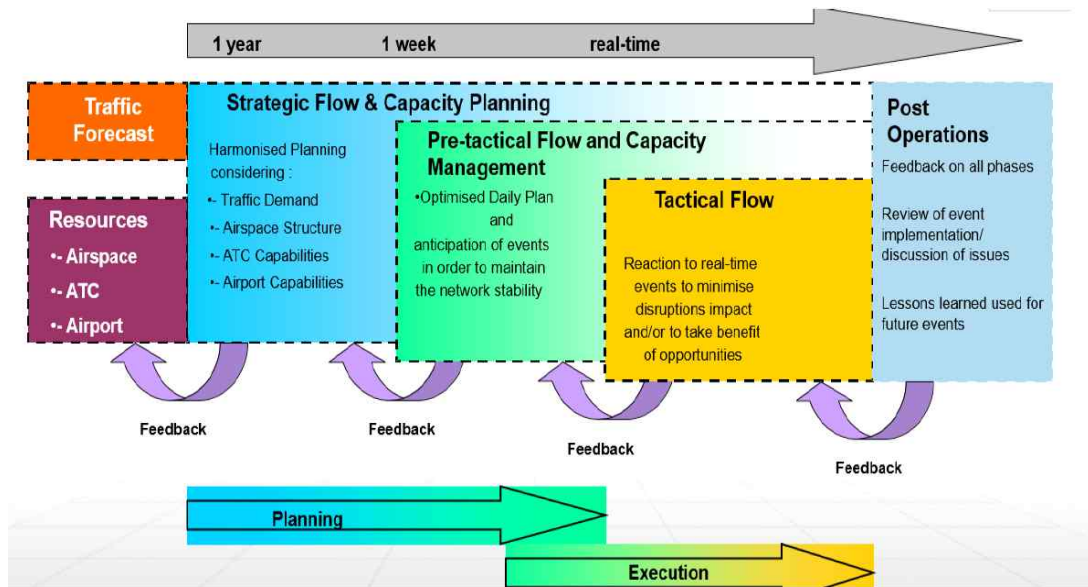
[그림 43] 유럽 ATFCM 서비스 지역 및 회원국

- NMOC에서 운용되는 ATFCM 시스템은 다음과 같은 서브시스템들로 구성되어 있음



[그림 44] ATFCM 시스템 구성도

- ATFCM 서비스는 다음과 같이 전략단계 흐름관리, 사전 전술단계 흐름관리, 전술단계 흐름관리 및 사후 운용 분석(Post Operational Analysis) 4단계로 구분하여 제공됨



[그림 45] ATFCM 서비스 단계

2.2. 국내 연구개발 동향

2.2.1. 항공교통관리 성능평가

□ 항공교통 관련 정책에는 반영되어 있으나, 관련 연구 부재

- (항공정책기본계획) “글로벌 항공교통 운용개념 구현을 위한 디지털 항공정보체계 구축” 및 “국가 공역데이터의 체계적 활용체계 구축”이라는 항공교통 데이터 활용과 관련한 중점추진과제를 포함하고 있으나 종합적이고 구체적인 항공교통데이터 활용방안에 대한 계획은 미흡
- (항행안전시설 중장기 종합발전 기본계획) ‘미래를 선도하는 세계최고의 항행강국 실현’을 비전으로 6대 목표와 6개 추진전략을 발표하였으며, 주로 ICAO ASBU의 이행에 초점을 맞춤
- 위와 같이 ATM 성능평가를 위한 중장기적 기본계획은 수립하였으나, ICAO 국제표준 및 권고사항을 이행하고 실제 정책 수립에 활용하기 위한 연구 및 기술개발은 미흡

2.2.2. 수용량 산정 및 예측

2.2.2.1. 국내 선행연구

□ 데이터기반의 항공교통관리(ATM) 체계 구축방안 연구용역
(PART III, 관제시설별 관제수용량 산정기준 마련, 국토교통부, 2019)

- 수용량을 정의하고 국내·외 연구를 검토하여 우리나라의 공역 환경을 고려한 관제시설별 수용량 산정 방법론 및 관제수용량 산정을 위한 행정규칙(훈령)안 제시
- 관제 수용량을 세 가지로 분류하고 관제시설별 최대 수용량 산정
 - 관제 수용량의 분류 : 활주로 수용량, 접근관제구역 수용량, 섹터 수용량
 - 활주로 수용량의 산정
 - Harris 방법 적용
 - 제주국제공항 활주로(07 방향), 인천국제공항 활주로(15, 16 방향)의 최대처리량
 - 접근관제구역 수용량의 산정

- 항공기 속도변화 모형 및 Janić 모형 적용
- 제주 TMA 07 방향 활주로의 최대 순간수용량 및 최대 처리량,
서울 TMA South Flow 최대 순간수용량 및 최대 처리량
- 공역 섹터 수용량의 산정
 - FAA MAP 방법에 기반한 수용량 산정방법 제시
 - 광주동·서부섹터 적정 순간수용량 및 적정 처리량

□ **공역수용량 산정 연구(한국교통연구원, 2014)**

- 공역수용량 산정 모형의 검토를 통해 우리나라 공역환경과 현 시점에 적용하기 적합한 모형을 선정하여 섹터별 수용량을 산정하고 인천비행정보구역의 수용량을 증대시킬 수 있도록 관제구역을 할당하여 우리나라 공역 효율성 증진을 위한 기반을 마련하기 위한 연구
- 거시적 공역수용량 산정 모형(Schmidt 모형)을 활용한 국내 공역의 섹터 기반 수용량 산정
 - 산정 대상 섹터 : 동부, 서남부, 서북부, 중부저고도, 중부고고도, 남부, 제주, 북부섹터
 - 산정 결과를 기반으로 병목 섹터의 분할·재구성을 통한 공역수용량 증대방안 제시

□ **제2항공교통센터 구축 타당성조사 용역(국토해양부, 2011)**

- 재난, 재해 등 우발상황 발생 시 지속적인 관제업무를 제공하여 항공대란을 방지하고 항공교통량의 지속적 증가에 따른 집중된 관제업무량을 분산 처리하여 항공안전을 확보하기 위한 제2항공교통센터 구축의 타당성을 조사
- 인천 FIR을 2개 ATC로 운영할 경우 최적의 항공교통흐름 및 관제업무 수행이 가능한 관할공역 및 관제섹터 분할방안을 도출하기 위한 수용량 분석
 - 항공교통흐름관리 세부운영 지침에 따른 DORATASK 방식을 적용하여 기존 공역의 수용량 산정
 - Real-Time 시뮬레이션(ATCoach)을 활용하여 분할 시의 공역에 대한 개략 수용량 분석 및 평가

□ 항공로 혼잡해소를 위한 연구용역(건설교통부, 2003)

- 항공로 혼잡을 해결하기 위하여 공역을 분석하고 항공로의 적정 수용능력 파악과 각 항공로의 혼잡도 분석을 실시하여 향후 20년간 항공로 혼잡에 대비한 중 장기적 개선방안을 제시
- 산정 대상과 방식에 따라 수용량을 구분하였으며 이를 기반으로 공역의 혼잡도를 분석함
 - 산정 대상에 따른 용량의 구분 : 비행장, 접근관제구역, 항공로 용량
 - 산정 방식에 따른 용량의 구분 :
실용적 용량(서비스수준이나 지연 정도를 고려한 시간당 최대처리용량)
절대적 용량(지연을 고려하지 않은 시간당 최대처리용량)
물리적 용량(동시 최대수용량)

□ 우리나라 공역의 안전성 및 효율성 제고를 위한 기초 연구: 접근공역을 중심으로(김연명 외, 2002)

- 공역의 용량 산정을 위한 기법을 검토하고 이를 적용하여 우리나라 접근공역의 수용능력을 평가함으로써 공역의 효율성과 안전성을 위한 개선방안을 마련
- 시뮬레이션 툴을 기반으로 공역 모델을 구성·검증하는 방식을 적용하였으며 대상 공역의 실용용량과 최대처리용량을 산정함
 - 산정 방법 : Simmod Plus 시뮬레이션 모형 사용
 - 적용 범위 : 서울접근관제구역

□ 거시적 관제사 업무량 모형을 통한 공역 섹터 수용량 추정에 관한 연구(정완기, 안미진, 이금진, 2014)

- 제한된 공역 여건에서 관제사의 업무량을 줄이고 항공교통 수용량을 극대화할 수 있도록 공역 섹터구조를 최적화하기 위해 공역의 정확한 수용량을 산정하는 방법 제시
- 거시적 공역수용량 산정 모형(Schmidt 모형)을 활용하여 국내 공역의 8개 섹터 중 가장 교통량이 많은 북부섹터 분석
 - 분석 대상 : 북부섹터의 항로구조·교통흐름 패턴 분석 및 수용량 산정
 - 실제 관제업무에서 사용되는 수치와의 비교를 통한 향후 연구 방향성 제시

- 거시적 방법에 의한 공역 섹터 수용량 산정에 관한 연구(김휘양, 박장훈, 이승준, 윤석재, 백호중, 2019)
 - 북부 섹터의 항공로 구조, 교통 패턴에 더불어 실제 관제 녹음자료와 항적을 분석하고, 관제사 업무부하에 대한 거시적 모형(Schmidt 모형)을 사용하여 우리나라 인천 ACC 북부섹터의 공역 수용량 산정
 - 선행 연구(정완기 외, 거시적 관제사 업무량 모형을 통한 공역 섹터 수용량 추정에 관한 연구, 2014)와의 수용량 산출 결과 비교·분석
- 미시적 방법에 의한 공역 섹터 수용량 산정에 관한 연구(김휘양, 채영두, 윤석재, 이승준, 박장훈, 백호중, 2019)
 - 항공기 운항성능, 공항 구조, 항로 및 공역 구조, 출·도착 절차, 공항운영규칙, 관제업무별 소요시간을 분석하고 TAAM(Total Airspace and Airport Modeller) 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 우리나라 인천 ACC 북부섹터의 공역 수용량 산정

2.2.2.2. 국내 수용량 산정 방법 및 현황

- 공항 수용량
 - 국토교통부훈령 제1188호 공항수용능력 설정지침에 따르면, 공항수용능력은 다음의 처리용량을 산출하여 가장 작은 처리용량을 전체 공항수용능력으로 설정하고 있음
 - 활주로/유도로 처리용량
 - 계류장/게이트 처리용량
 - 여객 터미널 처리용량
 - 항공교통관제업무 처리용량
 - 위의 지침은 항공교통관제업무 처리용량 산정에 대한 분명한 변수측정 기준이나 방법이 명확하지 않아 공항별로 다른 방법을 사용하여 수용량을 산정함
- 공역 수용량
 - 항공교통센터훈령 제123호 항공교통흐름관리 세부운영지침에 따르면, ICAO Doc.9426 DORATASK 공식에 의해 인천ACC 관제섹터별 최대수용량을 산정하고 있으며 이때 고려하는 사항은 다음과 같음

- ATS 항공로 구조, 항공기의 항법정확도, 기상관련 요인, 관제사 업무부하를 포함한 많은 요인
- 항공교통업무 안전프로그램에서 기술한 안전수준 이내
- 관할 공역에서 시간당 처리할 수 있는 최대항공기 수
- 또한 아래의 사항을 고려하여 최대수용량의 적정성을 평가함
 - 항공교통업무가 제공되는 형태와 수준
 - 관제공역, 관련 비행장의 구조적 복잡성
 - 수행되어야 하는 관제와 협조업무를 포함한 관제사 업무 부하
 - 사용 중에 있는 통신방식, 항법 및 감시 시스템, 기술적 신뢰도와 가용성의 정도, 백업시스템과 절차의 유용성
 - 관제사 지원과 경보 기능을 제공하는 항공교통관제 시스템의 가용성
 - 관제사 업무 부하와 관련해서 고려되는 다른 요인 등
- DORATASK에 의한 관제섹터별 최대수용량 산정식은 다음과 같음

$$\text{최대수용용량(대)} = \frac{1\text{시간}}{\text{레이더관제사 업무량} + \text{회복시간}}$$

- 레이더관제사 업무량 : 일상 업무 + 충돌방지업무 + 관제계획업무
 - 일상 업무시간 : 항적인수/인계, 스트립 확인, 주파수 이양 등 주위 다른 항공기가 없더라도 반드시 수행해야하는 업무
 - 충돌방지업무시간 : 레이더유도, 고도 상승/강하, 교통정보제공 등 항공기 분리를 위해 수행하는 업무
 - 관제계획시간 : 레이더에 나타나는 항적을 감시하면서 앞으로 취해야 할 행위를 계획하는 업무
- 회복시간 : 일상 업무와 충돌방지업무를 수행하는 과정에서 발생한 피로를 회복시켜주는 시간

□ 국내 수용량 예측 기술의 한계

- 공항수용량
 - 항공교통관제업무 처리용량 산정에 대한 분명한 변수측정 기준이나 방법이 명확하지 않아 공항별 다른 방법을 적용하여 수용량을 산정하고 있음.

- 최근 연구(데이터기반의 항공교통관리(ATM) 체계 구축방안 연구용역, 2019년)에서 관제기관별 최대 수용량 산정방법 및 산정예시가 제시된 바 있음.
- 이는 공항계획 차원의 수용량 산정결과로 항공교통흐름관리(ATFM)에 활용 가능한 공항시설, 기상, 교통량 등의 동태적 요인을 고려한 전략 및 전술단계의 적정수용량 예측기술에 관한 연구가 이루어지지 않은 상황임
- 접근관제 구역 수용량:
 - 항공기 혼잡 및 지연발생이 집중되고 있는 공역이라는 측면에서 접근관제 구역의 수용량 예측기술은 중요한 의미를 갖음
 - 하지만, 접근관제구역의 최대 수용량 산정에 관한 연구가 일부 수행되었을 뿐 전술단계 수용량 예측기술 연구가 전무한 상황임
- 공역수용량
 - 항공교통흐름관리 세부운용지침에서 활용하고 있는 DORATASK 방법은 산정식 방법을 적용한 것으로, ICAO Doc.9426에서 제시한 원래 의미의 시뮬레이션 기반 DORATASK 방법과는 차이가 있음
 - 연구수준에서 수용량 산정방법이 제시되고 있으나, 이는 전략단계 수용량에 대한 방법론으로 기상 및 교통량 등의 공역운용상황 변화에 따른 전술단계 수용량 예측기술에 관한 연구가 이루어지지 않음
 - ATFM 실무에 활용가능한 공역수용량 예측기술에 대한 연구가 이루어지지 않은 상황이며, 특히 인적요소를 고려한 검증방법에 대한 연구가 전무한 실정
 - ICAO가 제시하는 Complexity 개념에 입각한 수용량 산정기술 연구 필요
- 관제기관 통합 수용량 예측기술
 - 국내의 협소한 공역 여건 하에서 교통흐름을 효율적으로 관리하기 위해서 관제기관 즉, 관제탑, 접근관제, 지역관제기관간의 유기적 협조가 매우 중요
 - 하지만, 관제기관 통합환경에서의 전략단계 수용량 예측기술 및 기상, 공항시설 또는 교통량 변화를 고려한 전술단계 수용량 예측기술 연구는 전무한 상황임

2.2.3. 항공교통흐름관리(ATFM)

2.2.3.1. 국내 선행연구

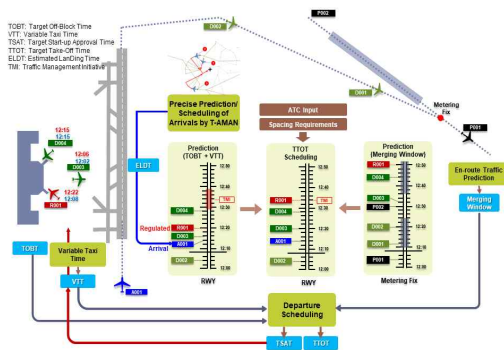
□ 항공기 출도착 통합관리 기술 연구(국토교통부, 2020)

○ 과제 개요

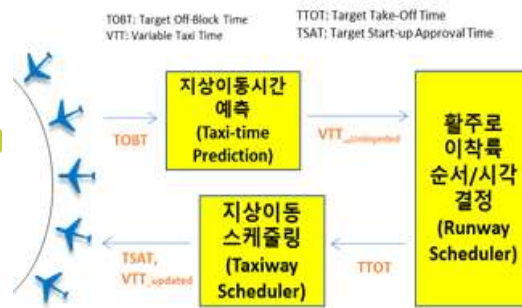
- 항공기 출도착 통합관리 기술 연구는 공항과 공역에서의 지연, 혼잡을 완화하고 공항 운용의 효율성 향상을 위해 항공기의 출발 및 도착 시각을 체계적으로 관리, 조절하기 위한 기술 연구로 2020년에 완료될 예정임

○ 출발관리 시스템

- 출발관리 시스템은 비행계획정보, 활주로 및 제한 사항 등 공항 운용 데이터, 기상 항적 자료 등의 정보를 이용하여 활주로에서의 최적 이륙 시각과 게이트에서의 적정 푸쉬백 시각을 예측하기 위한 시스템임



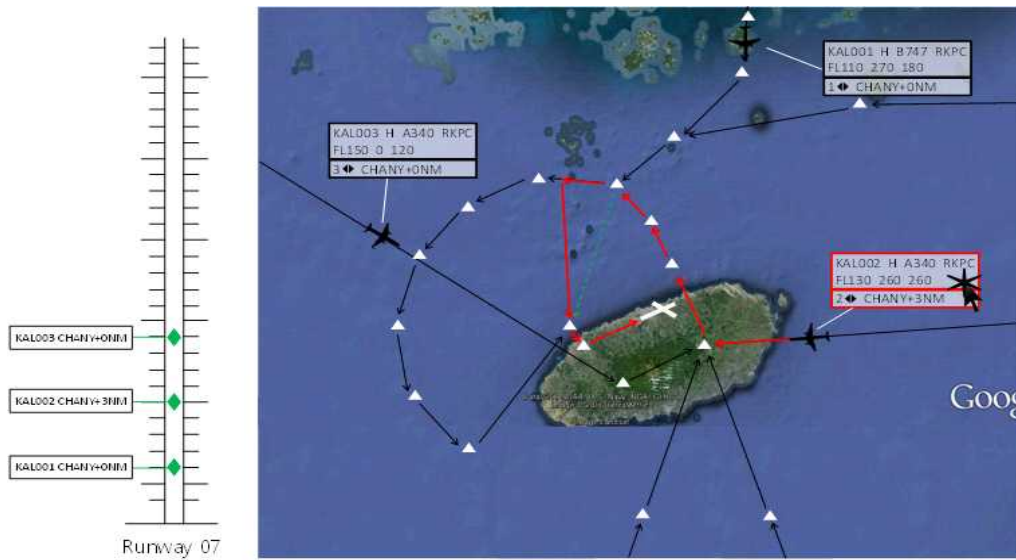
[그림 46] 출발관리 스케줄링 개념도



[그림 47] 출발관리 3-Step Approach

○ 도착관리 시스템

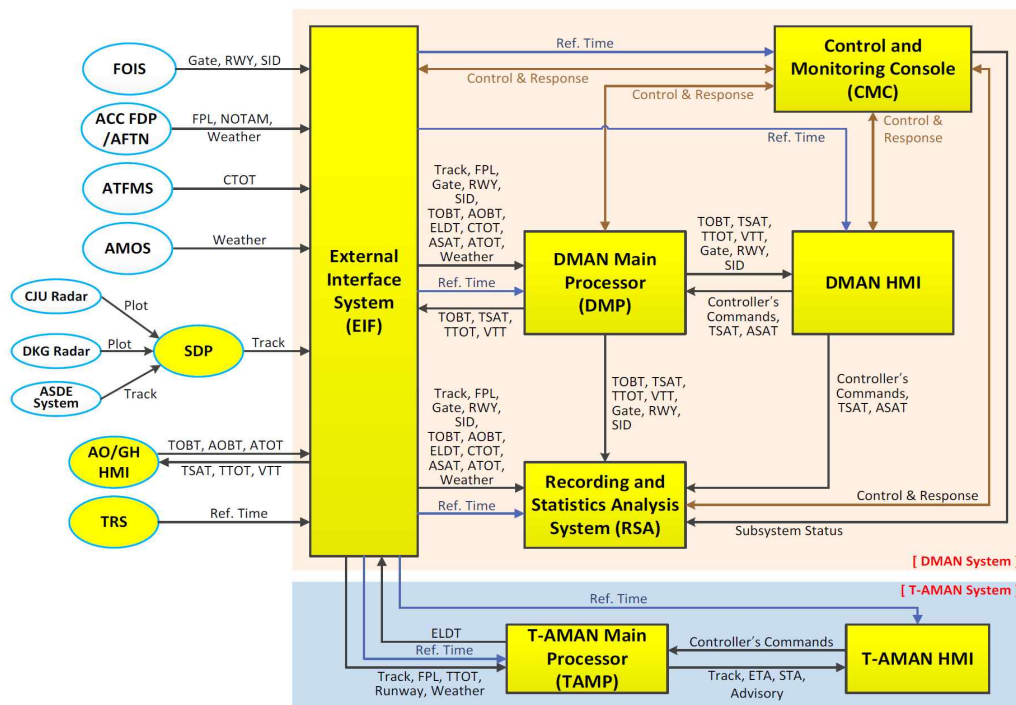
- 도착관리 시스템은 공항에 도착하는 항공기의 비행계획 및 항적 정보에 기반하여 4차원 궤적 예측을 수행하고, 활주로 분리 기준에 따라 시퀀스 및 Target Landing Time (TLDT)를 계산하여 제공하는 시스템으로, 제주공항의 Point merge 절차에 따른 조언정보(Leg 길이 및 초과시간 등)의 정보를 제공함



[그림 48] 도착관리 시스템 개념도

○ 출발 및 도착 통합 관리 시스템

- 출발 및 도착 통합 관리 시스템은 출발 스케줄링과 도착 스케줄링을 통합하고, 공항 운용시스템과의 외부 연계, 사용자 현시 화면을 제공하는 시스템 등 출도착 통합 운용을 위한 다양한 서브시스템으로 구성되는 통합된 시스템임



[그림 49] 출발 및 도착 통합 관리 시스템 구성

○ Fast-Time 시뮬레이션

- Fast-Time 시뮬레이션은 출발관리 핵심 알고리즘 검증과 편익 분석의 측면에서 활용됨
- 알고리즘 검증에 있어서는 한-NASA간 국제공동연구협약을 통해 획득된 NASA의 Fast-Time 시뮬레이션 툴인 SOSS(Surface Operations Simulator and Scheduler)를 활용함

○ Human-In-The-Loop(HITL) 시뮬레이션 시스템

- HITL 시뮬레이션 시스템은 녹화된 실 운용 데이터 및 확장성을 고려하여 작성된 시나리오 기반으로 비행계획과 항적정보를 생성하고, 관제사와 가상 조종사가 참여한 실시간 환경에서의 시스템의 사용성과 운용성을 평가하고 피드백하기 위한 시스템임
- 현재 과제를 주관하고 있는 한국항공우주연구원내에 설치되어 운용중이며, 지름 8m, 360도, 9채널 영상처리기로 구성되어 있음

○ 특징 및 한계

- 개별 공항 또는 접근관제구역 내의 운영 최적화는 가능하나, 국내 공역 전체에 대한 통합 스케줄링은 가능하지 않음

□ 차세대 항공교통흐름관리 운용체계 수립(국토교통부, 2020)

○ 과제 개요

- 미래항공기시스템 전환계획(ICAO-ASBU) 및 국내 중장기 항공교통 기본계획에 따라 항공교통 흐름관리의 효율적 운용체계를 수립하기 위한 과제를 2019년부터 수행중임
- 현재 운용중인 항공교통 흐름관리 시스템의 개선 방안을 마련하고 차세대 궤적기반 항공교통 흐름 관리에 대한 중장기 발전방안을 수립하기 위해 다음과 같은 사항에 대해 연구를 수행중임
 - ICAO GANP, 차세대항행체계(FF-ICE, SWIM, ADS-B 등) 구축계획을 반영하여 효율적인 출도착 관리 및 ATFM 운용이 가능하도록 현 시스템 개선방향 수립
 - CTOT·CTO기반 출발시간 자동산출 및 A-CDM/출도착 관리 시스템과 ATFMS와의 연계방안 마련

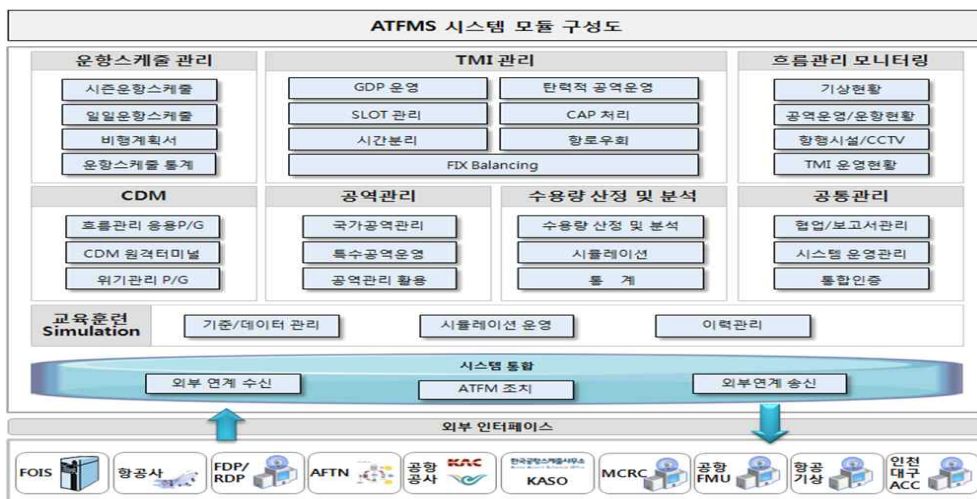
- 관제시설, 공항, 항공사 등 흐름관리 유관기관/사와 실시간 정보 공유 방안 마련
- 차세대 항공교통 흐름관리 체계 구축 및 중장기 발전방안을 제시하고, 아태지역 항공교통 환경을 고려한 ATFM 운용개념 및 시나리오 개발
- 아태지역 위기 상황 및 비정상 상황 발생시 국내 흐름관리 우발계획 수립 방안 마련
- ICAO 성과기반운용체계의 국내도입을 위한 비행단계별 성과지표(KPI) 개발, 모니터링, 측정 및 목표설정방안 수립

2.2.3.2. 국내 항공교통흐름관리 현황

□ AFTMS 구축 사업(국토교통부)

○ 사업 개요

- 항공교통량 증가에 대비한 항공교통 흐름 관리 및 위기상황에서의 항공기 안전을 위한 항공안전종합통제시스템(이하 AFTMS) 설치 사업이 2015년부터 2017년까지 수행되었음
- AFTMS는 효율적인 항공교통 흐름관리를 위한 항공교통상황 모니터링 및 흐름관리, 항공교통 수용량 분석, 협력적 의사결정(CDM) 과정을 통한 최적의 항공교통흐름관리 계획을 수립하고 배포하는 시스템으로, 기능적 구성도는 다음 그림과 같음



[그림 50] AFTMS의 기능 구성도

- 수용량 관리 시스템
 - 수용량 관리 시스템은 공항 및 활주로, 항공로, 섹터별 수용량을 산출하고 분석하여 통계자료를 생성하는 시스템으로, 공항의 기하학적 요소, 구역 구조, 비행 절차 등 공항 및 구역 정보를 고려하여 시뮬레이션 기반으로 수요량과 수용량간 관계를 분석하고, 그 결과를 수치, 표, 그래프 등의 다양한 형태로 사용자에게 제공하는 시스템임
- 운항스케줄 관리 시스템
 - 운항스케줄 관리 시스템은 반복비행계획서 및 FDP(Flight Data Processor), AFTN 등을 통해 입수되는 비행계획서와 영공통과 스케줄을 통합적으로 관리하는 시스템임
- 구역 관리 시스템
 - 구역 관리 시스템은 인천 FIR 범위에 포함되는 모든 구역에 대한 관리를 수행하는 시스템으로, 구역의 사용현황에 대한 실시간 현시, 구역 사용 계획의 입력 및 조회, 임시구역 사용 관리 기능을 수행함
- 항공교통 흐름관리(TMI) 시스템
 - 항공교통 흐름관리 시스템은 AFTMS의 핵심 기능으로, 수용량 관리, 운항스케줄 관리, 구역관리 시스템으로부터 계산된 결과와 공항 및 구역에서의 기상 상황을 바탕으로, 지상 지연(Ground Delay Program, 이하 GDP), SLOT 관리, 항공로 우회, 시간 분리 등을 위한 종합적 흐름관리 정보를 생성하는 시스템임
- 협력적 의사결정(CDM) 시스템
 - 협력적 의사결정 시스템은 항공교통흐름에 영향을 미치는 상황 발생 시 항공교통흐름관리 방안을 결정할 수 있도록 CDM 참여자간 의사소통 및 위기 관리 대응 기능을 제공하는 시스템임
- 교육훈련 시스템
 - 교육훈련 시스템은 운용시스템과 동일한 구성이지만 물리적으로는 독립된 Stand-Alone 시스템으로 운용됨
 - 교육훈련 시스템은 녹화된 데이터 또는 사용자가 임의로 생성한 시나리오를 통해 항적, 비행계획, 기상, 운항스케줄 등의 정보를 생성함

- 기상 및 예보 시스템
 - 기상 및 예보 시스템은 공항, 공역에서의 풍향, 강수량, 시정 등의 정보를 제공하는 시스템으로, 다음과 같은 자료를 처리함
- GPS 시각 동기 시스템
 - GPS 시각 동기 시스템은 이중화로 구성하고, NTP(Network Time Protocol)을 통해 ATFMS 전체 시스템의 시각정보를 동기화함
 - 적절한 수준의 GPS 신호가 수신되지 않는 경우, 내장된 타이머에 의해 시간을 생성함
- 통계 시스템
 - 통계 시스템은 시스템으로부터 주기적으로 통계용 로그 정보를 추출 및 수집하여 저장, 분석하고, 사용자의 요구에 맞는 형태로 출력하는 시스템임
- 연동 시스템
 - 연동 시스템은 항공사, 공항공사, 국토교통부, 기상청 등과 연계하여 ATFMS 시스템에서 사용할 수 있는 데이터 형태로 가공하여 저장 및 제공하는 시스템임
- 대형화면 현시기
 - 대형화면 현시기는 종합통제상황실과 CDM실에 설치되며, 각 현시기는 월스크린 모니터로 설치되어 있으며, 여러 소스로부터 화면을 선택 또는 모니터 화면 분할을 통한 현시 기능을 제공함
- 시스템 감시 및 제어 시스템
 - 시스템감시 및 제어 시스템은 ATFMS의 각 서브시스템들의 정상 작동여부를 실시간으로 감시하고, 응용프로그램의 설치 및 Adaptation 파일의 배포 등 시스템 유지보수를 위한 기능을 제공함
- 특징 및 한계
 - 구축된 ATFMS의 Core 시스템은 미국 Metron사의 Harmony이며, 국내 기술 적용 분야는 외부시스템 연계 및 주변시스템에 한정됨
 - Core에 해당하는 Metron사의 기술 또한 일반적인 ATFMS 관련 기술로서, 국내환경에서 요구되는 공역/공항 통합 스케줄링이 불가함

2.3. 시사점

□ 모든 비행단계에서 위성항법의 실현에 대비

- 이륙에서 착륙까지 정밀하고 유연한 4차원 궤적관리를 실현하기 위해서는 한국 FIR 전체에서 항공기의 정확한 위치와 시간 파악이 필요하며, 이는 위성항법을 통해 실현 가능
- 고정밀 위성항법을 활용하여 기존의 직선 정밀진입을 곡선 정밀진입으로 변경하여 공역의 효율적 활용과 소음 대책에 기여

□ 지상 및 항공기의 상황인식 능력의 향상

- 모든 비행단계에서 항공기의 궤적을 정확하게 예측하기 위해서는 지상과 항공기간 정보를 공유하고 정확한 항공기의 위치 및 교통 상황을 파악하는 등 상황인식 능력의 향상 필요
- 정보 공유 시 지상에서는 항공기의 동태 정보를 이용하여 조종사의 의도 파악이 가능하고, 항공기는 주변 항공기의 존재 여부 확인 가능

□ 기상정보의 고도화 필요

- 항공교통흐름과 관제용량 예측에 가장 큰 영향요인이 기상이므로 기상예측 정보의 작성 및 항공기가 운항 중 파악한 기상데이터의 활용 등 기상정보의 고도화 필요
- 기상에 대한 예측능력을 향상시킴으로써 운항 효율의 향상과 난기류 등에 대한 안전성 향상 가능
- 이를 위해 운항중인 항공기로부터 상층의 악기상 정보를 항공기에 장착된 ACARS 시스템 등을 통해 지상으로 전송하고 지상에서는 이를 다시 해당 경로 인근을 비행하는 항공기에 전달하여 해당 지역을 피해 비행할 수 있도록 정보공유 체계 구축

□ 이해관계자간 정보공유기반 조성

- 공항 내에서 항공기의 신속한 처리와 공역에서 항공기에 최적의 비행경로를 제공하기 위해서는 항공교통관리자, 항공사, 공항운영자 등 이해관계자 간 항공기 이동 상황, 공역 및 공항의 교통상황, 기상 및 공역 환경 등에 대한 충분한 정보공유가 필요함에 따라 항공기 운항에 관한 모든 정보를 종합적

으로 관리하고 이해관계자들이 필요할 때 정보에 접근할 수 있는 시스템 구축 필요

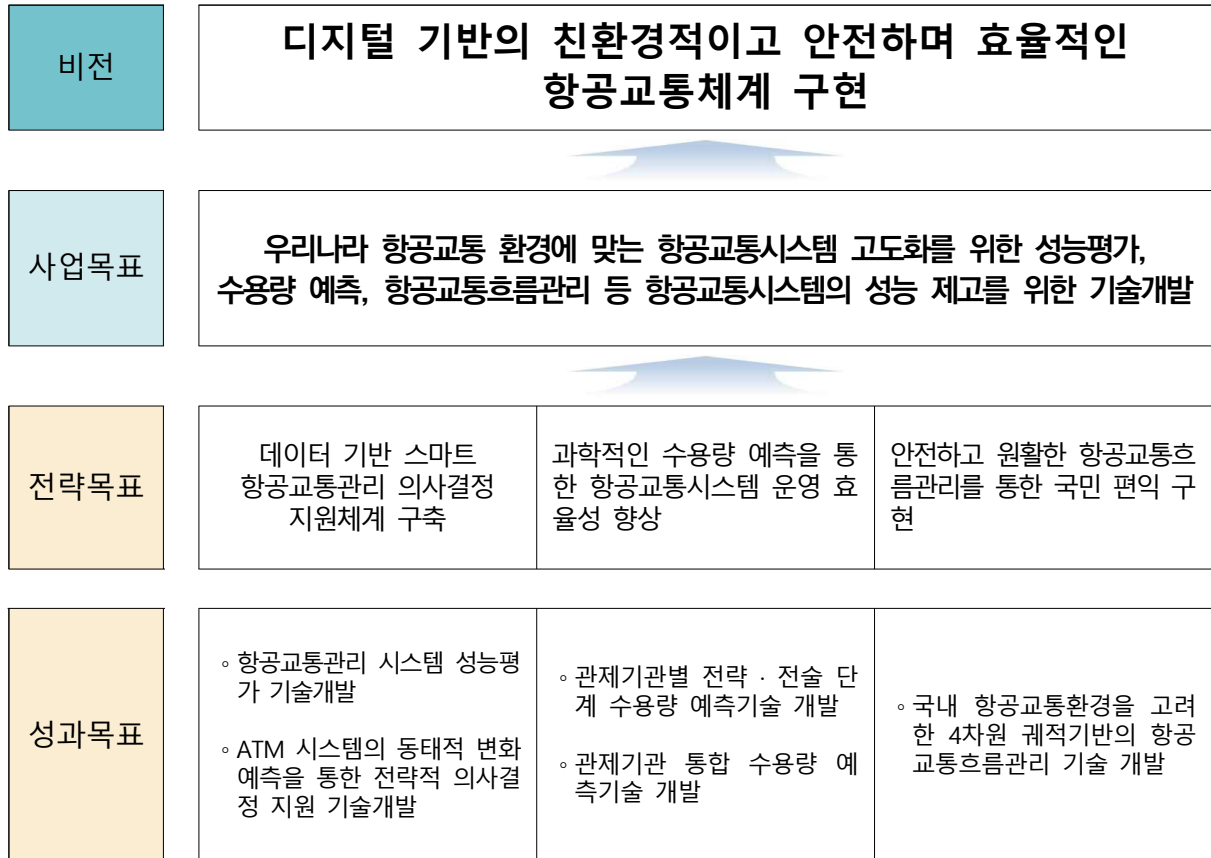
- 이같은 정보의 공유는 끊김 없는 ATM 서비스(Seamless ATM Implementation)의 제공을 위한 국가 간 항공교통 정보의 교환을 위해 필요한 데이터의 수집·관리를 위해서도 필요

□ **항공교통 데이터 수집·공유 등을 위한 이해관계자간 협의체 운영 필요**

- 항공교통관리와 관련된 이해관계자는 항공당국(국토부 항공정책실), 항공교통관리기관(항공교통본부, 지방항공청, 공군), 항공기상청, 공항운영자, 항공사 등으로 이들 기관들은 각각 항공교통관련 데이터를 생산·관리
- 이 기관들로부터 관련 데이터를 수집·공유하기 위해서는 다양한 이해관계를 해소하고 요구에 응하기 위한 협의, 조정 등의 기능 필요하고, 데이터 활용 범위의 확대를 통한 ATM 지원 강화를 위해서도 이해관계자 간 협의체 구성·운영 필요

제3장. 연구내용

3.1. 비전체계도 및 성과목표



□ 데이터 기반 ATM 성능평가 및 의사결정 핵심기술 개발

- 전략목표 : 데이터기반 스마트 항공교통관리 의사결정지원체계 구축
- 성과목표
 - 항공교통시스템 성능평가 기술 개발
 - ATM 시스템의 동태적 변화예측을 통한 전략적 의사결정 지원
- 성과지표

성과지표	1단계 (2021~2023)	2단계 (2024~2025)	성과 유형
논문(mrnIF)	50.0	50.0	과학적 성과
특허(SMART 등급)	-	3.5	기술적 성과
S/W 등록	1개	2개	
시작품 제작	-	1개	
국가 항공교통데이터센터 통합 연계	-	1개	
평가 보고서	-	1개	사회적 성과
인력양성	2명	2명	
국제협력네트워크 구축	1회	1회	

□ 수용량 예측 핵심기술 개발

- 전략목표 : 과학적인 수용량 예측을 통한 항공교통시스템 운영 효율성 향상
- 성과목표
 - 관제기관별 전략·전술단계 수용량 예측기술 개발
 - 관제기관 통합 수용량 예측기술 개발
- 성과지표

성과지표	1단계 (2021~2023)	2단계 (2024~2025)	성과 유형
논문(mrnIF)	50.0	50.0	과학적 성과
특허(SMART 등급)	3.5	3.5	기술적 성과
S/W 등록	1개	1개	
시작품 제작	-	1개	
인력양성	5명	3명	사회적 성과
국제협력네트워크 구축	1회	1회	

□ 4D 궤적기반 ATFM 핵심기술 개발

- 전략목표 : 안전하고 원활한 항공교통흐름 관리를 통한 국민 편의 구현
- 성과목표 : 국내 항공교통환경을 고려한 4차원 궤적기반의 항공교통흐름관리 기술개발
 - 우리나라 전공역에서 운용되는 항공기의 궤적 및 교통량 예측
 - 수용량 대비 교통량 밸런싱을 위한 흐름관리 기술 개발
 - 항공교통 효율화를 위한 공역 및 주요공항 통합스케줄링
- 성과지표

성과지표	1단계 (2021~2023)	2단계 (2024~2025)	성과 유형
논문(mrnIF)	50.0	50.0	과학적 성과
특허(SMART 등급)	3.5	3.5	기술적 성과
S/W 등록	5개	3개	
시작품 제작	-	1개	
인력양성	2명	1명	사회적 성과
무상 기술지도	3회	2회	
국제협력네트워크 구축	1회	1회	
시뮬레이션 시설장비 구축	-	1개	인프라 성과

□ 성과지표 측정산식

- 논문 mrnIF

지표 ①	논문 mrnIF (표준화된 영향력지수)
측정산식	= 논문 mrnIF ※ SCI IF의 한계점을 보완하기 위해 Pudovkin 등은 학문 분야내 SCI IF 랭킹 정보만을 활용한 순위보정영향력지수(mnIF) 지표를 개발 ※ 그러나 mnIF 최하위 값은 분야 내 저널수에 의존하는 한계가 있어 이점을 보완하기 위해 mrnIF를 개발 ※ 측정산식: $\{N \times (mnIF - 1)\} / (N - 1) \times 100$, N: 해당분야의 총 저널 수
측정방법	국내외 논문게재 실적에 대한 질적 성과를 목표로 잡고 있으며, 데이터 기반 항공교통 연구 분야에 대한 기존 실적이 부재하여 50점으로 설정 ※ 국토교통R&D사업관리시스템, NTIS에 논문발표 성과로 등록된 것을 대상으로 측정

○ 특허 SMART 등급

지표 ②	특허 SMART 등급
측정산식	= 특허 SMART 등급
측정방법	국내외 특허 출원/등록 대한 질적 성과를 목표로 잡고 있으며, 데이터 기반 항공교통 연구 분야에 대한 기존 실적이 부재하여 3.5등급으로 설정 ※ 국토교통R&D사업관리시스템, NTIS에 특허성으로 등록된 건수로 측정

○ S/W 등록

지표 ③	S/W 등록
측정산식	= $\sum(\text{S/W 등록 건수})$
측정방법	세부과제별 S/W 등록 건수 ※ 국토교통R&D사업관리시스템, NTIS에 S 건수로 등록된 건수로 측정

○ 시작품 제작

지표 ④	시작품 제작
측정산식	= $\sum(\text{시작품 제작 건수})$
측정방법	세부과제별 시작품 제작 건수

○ 국가 항공교통데이터센터 통합 연계

지표 ⑤	평가 보고서
측정산식	= $\sum(\text{국가 항공교통데이터센터 연계 성과건수})$
측정방법	항공교통데이터센터 운용시스템 설계 보고서

○ 인력양성

지표 ⑥	인력 양성
측정산식	= $\sum(\text{석/박사 졸업자 수})$
측정방법	연구과제 참여인력 중 석/박사 졸업자수를 성과지표로 설정

○ 무상 기술지도

지표 ⑦	무상 기술지도
측정산식	= \sum (무상 기술지도 횟수)
측정방법	연구개발 과정에서 획득된 기술의 민간 이전을 위한 무상 기술지도의 횟수를 성과지표로 설정

○ 국제협력네트워크 구축

지표 ⑧	국제협력네트워크 구축
측정산식	= \sum (국제행사/인적교류 건수)
측정방법	해외 선진기관과의 기술격차 해소를 위한 국제행사/인적교류의 횟수를 성과지표로 설정

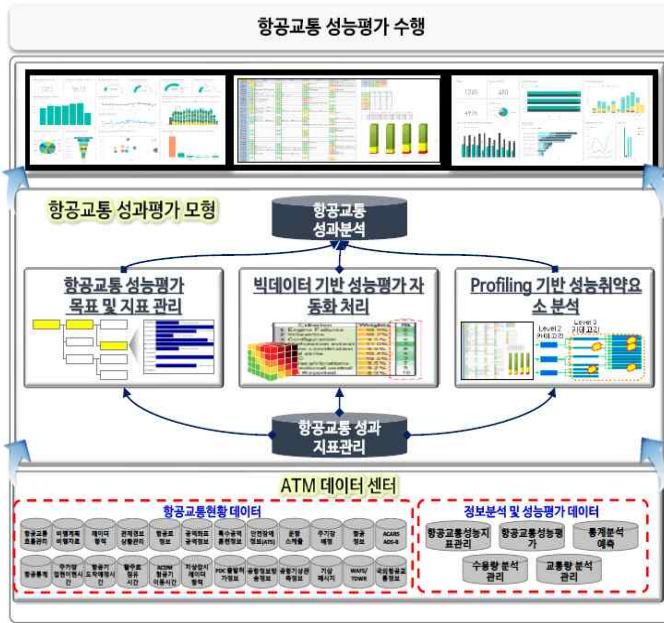
○ 시뮬레이션 시설장비 구축

지표 ⑨	시뮬레이션 시설장비 구축
측정산식	= \sum (구축된 시설장비 수)
측정방법	CTFMS의 시험평가를 위해 구축된 시뮬레이션 시설장비 수를 성과지표로 설정

3.2. (총괄추진과제) 데이터 기반 ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술개발

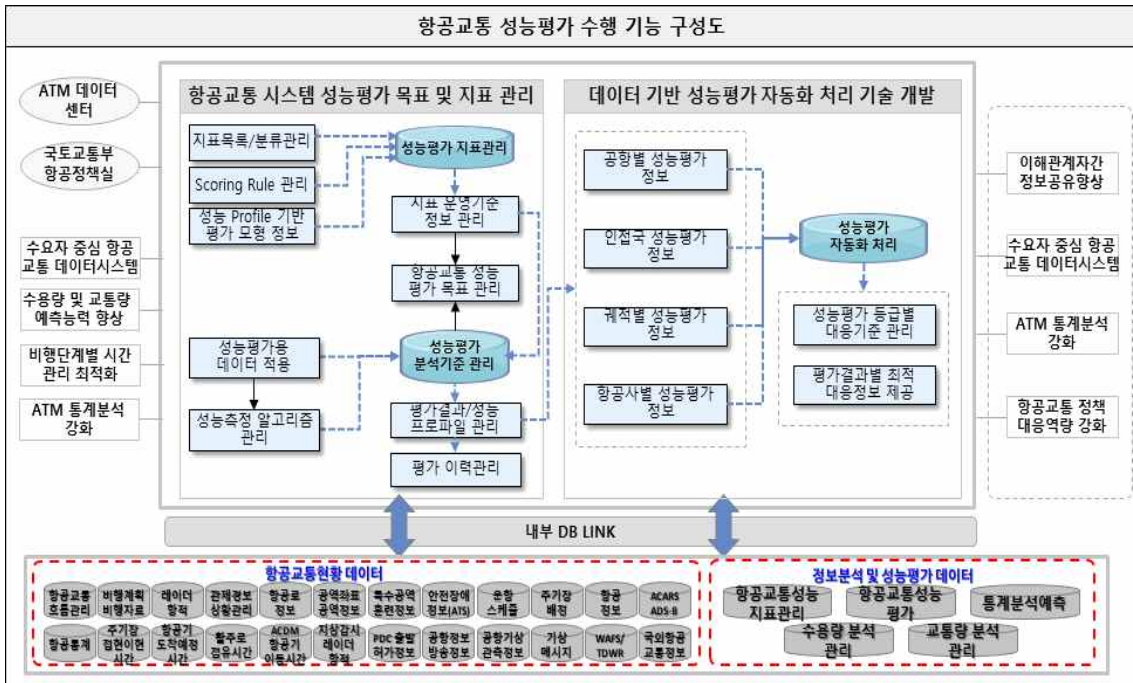
□ ATM 성능평가 및 관리 시스템 개발

- ICAO 및 아태지역 주요국 핵심성능영역(KPA)별 핵심성능지표(KPI)의 평가 요소 분석
 - ICAO 성능 카탈로그에 기반하여 개별 지표에 영향을 주는 요소 식별
- 항공교통 성능 지표별 요구 데이터 분류 및 자료동화 기술개발
 - 확정된 지표의 평가요소에 기초하여 평가에 필요한 데이터를 식별하고, 평가에 활용하기 위해 수집·분류·변환·정제하는 전처리 기술 개발
- 항공교통시스템 성능 지표별 성능평가 기술 개발
 - ICAO 3개 KPA 19개 KPI의 적합성 검증
 - ICAO 8개 KPA에 대한 성능지표 개발
 - 항공교통시스템 성능평가 모델 개발
 - * KPA 및 KPI별 / 국가 및 기관별 성능평가가 가능한 모델 개발
 - * KPA별 KPI의 가중값 적용 방안 및 평가결과에 따른 이해관계자별 조치사항 기준 정의
- 성능목표관리 시스템 개발
 - KPA 및 KPI 별, 국가 및 기관별 성능목표(장단기) 관리가 가능한 항공교통 성능평가 시스템 개발
 - KPA 및 KPI 수준별 대응 조치 기준 정의
 - * 지표 수준별 대응조치 기준을 정의하여 목표 미달 시 경보를 통해 대응조치를 할 수 있도록 지원
- 항공교통 성능 지표별 현시 체계 구축



- 정의**
- ICAO SARPs 에 근거한 항공교통시스템의 성능평가를 통해 ATM 목표 및 지표를 관리하고, 모니터링을 통해 취약 요소를 확인하여 ATM시스템 개선에 활용
- 세부과제**
- 항공교통 시스템 성능평가 목표 및 지표 개발
 - 데이터 기반 성능평가 자동화 처리 기술 개발
- 기대효과**
- 항공교통업무 기관의 목표관리 가능
 - 항공교통 시스템 성능취약 요소 상시 모니터링 및 관리를 통해 운영효율성 제고 가능
 - 항공교통 시스템에 대한 미래투자전략 수립에 필요한 정보 제공 가능

[그림 52] 항공교통 시스템 성능평가 수행 개념도



[그림 53] 항공교통 시스템 성능평가 수행 기능 구성도

□ ATM 운용효과 분석 기술개발

- 항공교통시스템의 핵심이슈 및 변수의 식별
 - 공역, 공항 등 항공교통시스템의 퍼포먼스 평가를 통한 핵심 이슈(교통 수요, 혼잡율, 지연율, 수용량 등) 식별
 - 항공교통시스템의 퍼포먼스 및 운용에 영향을 미치는 모든 변수(거시적/미시적 변수 및 내생/외생변수)의 식별 및 구조분석
- 항공교통시스템의 변수 간 상관관계/인과관계 분석을 위한 모델 개발
 - 변수 간의 상호 관계, 항공교통시스템 및 핵심이슈에 대한 인과관계 분석
 - 변수의 변화에 따른 항공교통시스템 및 핵심이슈의 시간적, 동태적 변화를 예측하기 위한 알고리즘 및 모델 개발
 - 개발된 모델에 대한 타당성, 적절성 분석
- 의사결정 분석 및 평가를 위한 전산 프로그램 개발
 - 개발된 모델을 통해 의사결정 결과를 분석·평가하기 위한 시범 분석 전산 프로그램 개발
 - 최종적으로 정책당국의 목표 수준에 대한 평가 및 의사결정 분석
 - 당국에서 설정한 목표 달성을 위한 다양한 대안(의사결정)에 대해 각 요소 간 역동적 관계를 분석하고 정책당국의 목표 수준에 대한 평가 및 의사결정 분석

3.3. (협동과제) 수용량 예측 핵심기술 개발

- 관계기관별 전략 및 전술단계 수용량 예측기술 개발
 - 공시수용량 (Declared Capacity) 예측기술 개발
 - 운용수용량 (Operational Capacity) 예측기술 개발
 - 수용량의 정의
 - 공간적 구분(공항, 접근관제구역, 항로섹터)에 따른 수용량
 - 기능적 구분(공시, 운영수용량)에 따른 수용량
 - Complexity 개념의 수용량
 - 개발범위 설정 : 대상 공항, 구역, 항로, 시간적 범위, 기능적 범위 등
 - 관련 자료 수집 및 분석
 - 고려변수 정의, 수용량 산정 및 예측 알고리즘 개발
 - 수용량 예측결과 검증기술 개발

	관계기관별	관계기관별	관계기관 통합
	운용 수용량 예측	전략적, 전술적 운용 수용량 산정 및 검증	전략적, 전술적 운용 수용량 산정 및 검증
고려 사항	핵심기술		

(실시간 기반)
수용량 예측 핵심기술

[그림 54] 수용량 예측기술 개발 개념도 (예시)

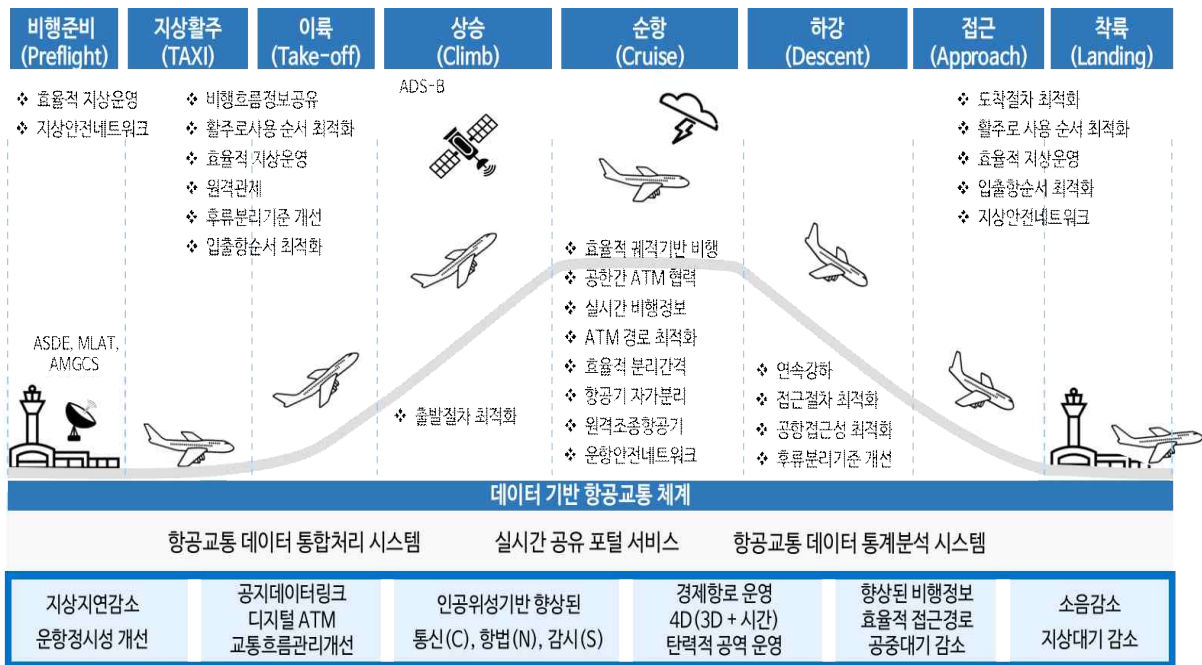
□ 관제기관 통합 수용량 예측기술 개발

○ 항공기 운항에 영향을 미치는 변수 분석

- 기상, 항공기 성능, 공항시설, 법적 제한요소, 항공기 스케줄 등

○ 관제기관 통합 수용량 예측기술 개발

- 항공정보구역 내 모든 공항, 구역, 출도착 절차 및 항공로를 포함한 통합 수용량 예측



[그림 55] 항공기 전체 비행경로 개념도

3.4. (협동과제)4D 궤적기반 ATFM 핵심기술 개발

□ 4D 궤적 예측 및 항공 교통량 예측 기술개발

- 데이터 및 항공기 성능 모델 기반 4D 궤적 예측 기술개발
 - 기계학습법 등을 이용한 데이터 기반 4D 궤적 예측 기술개발
 - 항공기 성능 모델(예: Eurocontrol BADA)을 이용한 4D 궤적 예측 기술개발
- 4D 궤적 기반 항공교통 시뮬레이션 분석 및 항공 교통량 예측 기술개발
 - 비행계획 및 항적을 이용한 시계열 항공교통 시뮬레이션 분석 기술개발
 - 4D 궤적 기반 시공간별 항공 교통량 예측 기술개발

□ 흐름관리 제한사항(TMI) 모델링 기술 개발

- 국내 운용환경을 고려한 TMI 요구사항 분석 및 정의
 - 국내 운용환경에 요구되는 TMI 종류 및 모델링 범위 정의 (한-중-일 간 NARAHG, 동남아의 Multi-Nodal ATFM 등 고려)
 - TMI별 필요 파라미터 정의
- TMI 설정에 따른 항공교통흐름 모델링 기술 개발
 - 슬롯 기반 TMI 모델링 기술 개발
 - 의사결정지원을 위한 TMI 모델링 기술 개발

□ 항공교통 통합 스케줄링 기술 연구

- 공항 출도착 관리와 흐름관리 연계 기술 연구
 - 기존 운용 출도착 관리 시스템 또는 공항 협력적 의사결정 시스템과의 연계 기술 연구
- 공역/공항 통합 스케줄링 기술 연구
 - 국내 공역 및 주요 공항 통합 스케줄링을 통한 흐름관리 개선

□ 항적/비행계획 자료 처리 및 흐름관리 모니터링 기술 개발

- 항적/비행계획 자료 처리용 Traffic Situation Display 개발
 - 시스템 항적 및 비행계획 자료 실시간 처리 기술 개발
 - 전 지구범위의 Traffic Situation Display 기술 개발

- Dashboard 기반 흐름관리 모니터링 기술 개발
 - 흐름관리 설정 및 결과 확인을 위한 Dashboard 개발
 - 흐름관리 결과와 Traffic Situation Display 연계 기술 개발

[참고] 공항/공역 통합 스케줄링 방안

- 공항/공역 통합 스케줄링은 이해당사자의 의견 및 운용 시스템의 구체적인 상황을 고려하여 본과제 수행 시 구체적인 방안을 수립하여야 함
- 통합 방안으로 1) 기존 운용 출도착 관리 시스템(또는 공항 협력적 의사결정 시스템)과의 데이터 연계를 통한 통합, 2) 시스템 차원에서의 출도착 스케줄링 및 흐름관리 통합 등을 고려할 수 있음

3.5. 세부과제별 최종 성과물

□ 데이터 기반 ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술개발

- ATM 성능평가 기술 개발
 - 핵심성능지표(KPI)별 성능평가 기술 관련 문서
 - 항공교통시스템 성능 지표별 데이터 분류·전처리
 - 항공교통시스템 성능평가 및 성능목표관리 시스템 시작품 및 시험운용 보고서
- ATM 운용효과 분석 기술개발
 - 항공교통시스템의 핵심 이슈 및 변수 분석 모형
 - 항공교통관리 영향성(상관관계 등) 분석 시스템
 - 항공교통관리 의사결정 분석·평가 프로그램 요구사항 명세서
 - 항공교통관리 의사결정 분석·평가 프로그램 설계 기술서
 - 항공교통관리 의사결정 분석·평가 전산 프로그램
 - 항공교통 정책효과 분석 결과보고서

□ 수용량 예측 핵심기술 개발

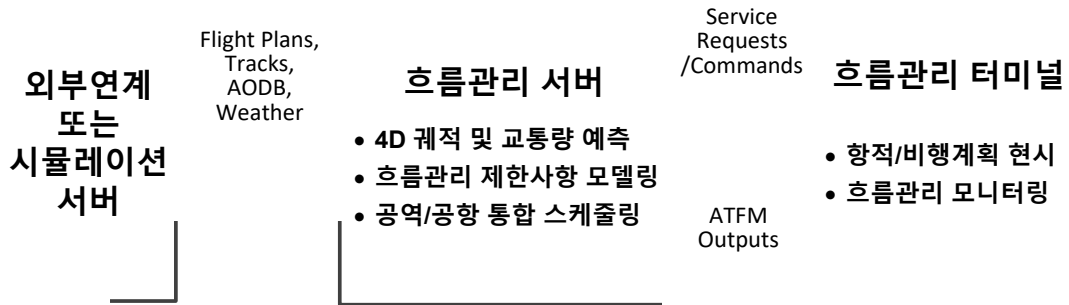
- 수용량 예측 요구사항 명세서
- 수용량 예측 시스템 설계 기술서
- 전략 및 전술단계 수용량 예측 프로그램
- 통합 수용량 예측 프로그램
- 수용량 예측 시스템* 시작품 및 시험운용 보고서
 - * 시뮬레이션 프로그램 포함

□ 4D 궤적기반 ATFM 핵심기술 개발

- CTFMS* 요구사항 명세서
- CTFMS 설계 기술서
- CTFMS 구성 소프트웨어
- CTFMS 시작품

○ CTFMS 시험 보고서

- * CTFMS(가칭): Collaborative Tactical Flow Management System의 약자로, 공역/공항 통합 스케줄링 기능을 가지는 전술적 흐름관리를 위한 핵심 시스템을 의미



[그림 56] CTFMS 시작품 구성(안)

- * 실 데이터를 활용한 시험운용(TRL7, System prototype demonstration in an operational environment)을 목표로 하되, 국토교통부의 협조 여부에 따라 목표치는 조정될 수 있음(예: 시뮬레이션을 통한 시험)

3.6. 연차별 연구내용 및 성과물

□ 데이터 기반 ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술개발

○ ATM 성능평가 및 관리 시스템 개발

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2021	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 항공교통 성능평가 요구사항 분석 - 항공교통 데이터 분류 및 자료동화 기술 개발 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 항공교통 성능 평가 범위 및 표출에 대한 요구사항 분석 - 항공교통 데이터 분류 및 메타데이터 정의 - 항공교통 데이터 자료동화 기술 연구 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 항공교통 성능평가 요구사항 명세서 ▪ 항공교통 데이터 분류 및 기준 정의서 ▪ 항공교통 데이터 자료동화 기술 보고서
2022	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - KPI별 성능평가 기술 연구 개발 (1/3) - KPI별 성능평가 결과 데이터 검증 (1/3) ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - KPI별 성능평가를 위한 Scoring rule 및 rating 운용 기술 개발 - KPI별 성능평가 알고리즘 연구 및 구현(안전성, 환경성, 경제성 부문) - KPI별 성능평가 결과 데이터 검증 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ KPI별 성능평가 분석 처리 설계 기술서 ▪ KPI별 성능평가 분석 처리 시스템 ▪ KPI별 성능평가 분석 처리 결과 검증 보고서
2023	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - KPI별 성능평가 기술 연구 개발 (2/3) - KPI별 성능평가 결과 데이터 검증 (2/3) ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - KPI별 성능평가를 위한 Scoring rule 및 rating 운용 기술 개발 - KPI별 성능평가 알고리즘 연구 및 구현(안전성, 환경성, 경제성 부문) - KPI별 성능평가 결과 데이터 검증 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ KPI별 성능평가 분석 처리 설계 기술서 ▪ KPI별 성능평가 분석 처리 시스템 ▪ KPI별 성능평가 분석 처리 결과 검증 보고서
2024	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 성능평가 분석 처리 시스템 시험운용을 통한 검증 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 성능평가 분석 처리 시스템 시험운용 - 성능평가 분석 처리 시스템 시험운용에 따른 수정 보완 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 시험운용 결과 보고서 ▪ KPI 성능평가 분석 처리 시스템 (보완)
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 핵심성능지표(KPI)별 성능평가 기술 관련 문서 ▪ 항공교통시스템 성능 지표별 데이터 분류/자료동화 ▪ 항공교통시스템 성능평가 및 성능목표관리 시스템 시작품 및 시험운용 보고서 	

○ ATM 운용효과 분석 기술개발

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2021	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) 항공교통시스템 핵심이슈 및 변수 식별 및 분석모형 개발(1/4) ▪ (연구내용) 항공교통시스템 핵심이슈 및 변수를 식별하기 위한 데이터 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 항공교통시스템의 핵심 이슈 및 변수에 대한 식별 보고서(1/4)
2022	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) 항공교통시스템 핵심이슈 및 변수 식별 및 분석모형 개발(2/4) ▪ (연구내용) 항공교통시스템 핵심이슈 및 변수의 영향도 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 항공교통시스템의 핵심 이슈 및 변수에 대한 식별 보고서(2/4)
2023	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) 항공교통관리 의사결정 지원 시스템 요구사항 분석 항공교통시스템 핵심이슈 및 변수 식별 및 분석모형 개발(3/4) ▪ (연구내용) 항공교통관리 의사결정 지원 도구 운용 개념 정의 지연영향, 성능 효율성, 비용 효율성, 환경영향 분석 기준 연구 항공교통관리 의사결정 지원 시스템 요구사항 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 항공교통시스템의 핵심 이슈 및 변수에 대한 식별 보고서(3/4) ▪ 항공교통관리 의사결정 지원 도구 요구사항 명세서
2024	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) 성능평가 기반 항공교통관리 의사결정 지원기술 개발 항공교통시스템 핵심이슈 및 변수 식별 및 분석모형 개발(4/4) ▪ (연구내용) 항공교통관리 의사결정 지원을 위한 핵심이슈 및 변수 분석 모형 개발 항공교통관리 의사결정 지원을 위한 시뮬레이션 연구 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 항공교통시스템의 핵심 이슈 및 변수에 대한 식별 보고서(4/4) ▪ 항공교통시스템의 핵심 이슈 및 변수 분석모형 ▪ 항공교통관리 의사결정 지원 도구 설계 기술서
2025	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) 항공교통관리 의사결정 분석 및 평가를 위한 전산 프로그램 개발 ▪ (연구내용) 성능평가 기반 항공교통관리 의사결정 지원 기술 검증 항공교통관리 의사결정 지원 도구 전산 프로그램 개발 및 검증 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 항공교통관리 의사결정 지원 전산 프로그램 ▪ 항공교통 정책효과 분석 보고서
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 항공교통시스템의 핵심 이슈 및 변수 분석 모형 ▪ 항공교통관리 영향성(상관관계 등) 분석 시스템 ▪ 항공교통관리 의사결정 분석·평가 프로그램 요구사항 명세서 ▪ 항공교통관리 의사결정 분석·평가 프로그램 설계 기술서 ▪ 항공교통관리 의사결정 분석·평가 전산 프로그램 ▪ 항공교통 정책효과 분석 결과보고서 	

□ 수용량 예측 핵심기술 개발

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2021	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 수용량 산정 및 예측기술 동향 조사 - 관제기관별 수용량 산정 및 예측 요구사항 정의 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 수용량 산정 및 예측기술 개발 동향 파악을 위한 조사 - 항공교통관리 성능평가 및 ATFM 적용을 위한 요구사항 정의 - 관제기관별(공항, 접근관제구역, 항로섹터) 정상적 운용환경을 고려한 전략단계 수용량 산정 및 예측 요구사항 정의 - 관제기관별 비정상적 운용환경을 고려한 전술단계 수용량 산정 및 예측 요구사항 정의 - 항공로 수용량 산정 및 예측 요구사항 정의 - 예측결과 검증 요구사항 정의 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 수용량 산정 및 예측 요구사항 명세서
2022	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 관제기관별 전략단계 수용량 산정 및 예측기술 개발 (1/2) - 관제기관별 전술단계 수용량 산정 및 예측기술 개발 (1/2) ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 관제기관별 전략단계 수용량 산정 및 예측 알고리즘 개발 - 관제기관별 전술단계 수용량 산정 및 예측 알고리즘 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 전략단계 수용량 산정 및 예측 알고리즘 기술 보고서 (1/2) ▪ 전술단계 수용량 산정 및 예측 알고리즘 기술 보고서 (1/2)
2023	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 관제기관별 전략단계 수용량 산정 및 예측기술 개발 (2/2) - 관제기관별 전술단계 수용량 산정 및 예측기술 개발 (2/2) - 관제기관 통합 수용량 산정 및 예측기술 개발 (1/2) ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 관제기관별 전략단계 수용량 산정 및 예측 알고리즘 보완 - 관제기관별 전술단계 수용량 산정 및 예측 알고리즘 보완 - 관제기관 통합 수용량 예측 알고리즘 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 전략단계 수용량 예측 알고리즘 기술 보고서 (2/2) ▪ 전술단계 수용량 예측 알고리즘 기술 보고서 (2/2) ▪ 관제기관 통합 수용량 예측기술 보고서 (1/2)
2024	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 수용량 예측결과 검증기술 개발 (1/2) - 관제기관 통합 수용량 산정 및 예측기술 개발 (2/2) ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 관제기관별 수용량 예측결과 검증기술 개발 - 관제기관 통합 수용량 예측 알고리즘 보완 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 관제기관 통합 수용량 예측기술 보고서 (2/2)
2025	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 수용량 예측결과 검증기술 개발(2/2) ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 수용량 예측결과 검증기술 보완 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 수용량 예측결과 검증기술 보고서
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 수용량 예측 기술 개발 관련 문서 및 보고서 ▪ 수용량 예측결과 검증기술 보고서 ▪ 수용량 예측 프로그램 	

□ 4D 궤적기반 항공교통흐름관리 핵심기술 개발

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2021	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 ATFM 기술 동향 조사 - 국내외 환경을 고려한 ATFM 요구사항 정의 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 ATFM 기술 개발 동향 파악을 위한 조사 - 4D 궤적 및 항공교통량 예측 요구사항 정의 - 흐름관리 제한사항 모델링 요구사항 정의 - 항공교통 통합 스케줄링 요구사항 정의 - 항적/비행계획 자료 처리 및 흐름관리 모니터링 요구사항 정의 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내외 ATFM 동향 조사 보고서 ▪ CTFMS 요구사항 명세서
2022	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 항적/비행계획 자료 처리 기술 개발 - 4D 궤적 및 항공교통량 예측 기술 개발(1/2) - 흐름관리 제한사항 모델링 기술 개발(1/3) - 항공교통 통합 스케줄링 기술 개발(1/3) - 실시간 항공교통 모니터링 기술 개발(1/2) ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 항적/비행계획 자료 처리 알고리즘 개발 - 데이터 및 항공기 성능모델 기반 4D 궤적 예측 알고리즘 개발 - 4D 궤적 기반 항공교통 시뮬레이션 분석 알고리즘 개발 - 흐름관리 제한사항 모델링 알고리즘 개발 - 공항 출도착 관리와 흐름관리 연계 알고리즘 개발 - 항적/비행계획 자료 처리용 Traffic Situation Display 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -항적/비행계획 자료 처리 기술 보고서 -4D 궤적 및 항공교통량 예측 기술 보고서(1/2) -흐름관리 제한사항 모델링 기술 보고서(1/3) -항공교통 통합 스케줄링 기술 보고서(1/3) -실시간 항공교통 모니터링 기술 보고서(1/2) -CTFMS 설계 기술서(1/2)
2023	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 4D 궤적 및 항공교통량 예측 기술 개발(2/2) - 흐름관리 제한사항 모델링 기술 개발(2/3) - 항공교통 통합 스케줄링 기술 개발(2/3) - 실시간 항공교통 모니터링 기술 개발(2/2) - 흐름관리 모니터링 기술 개발(1/2) ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 데이터 및 항공기 성능모델 기반 4D 궤적 예측 알고리즘 보완 - 4D 궤적 기반 항공교통 시뮬레이션 분석 알고리즘 보완 - 흐름관리 제한사항 모델링 알고리즘 개발 - 공역 및 공항 통합 스케줄링 알고리즘 개발 - 항적/비행계획 자료 처리용 Traffic Situation Display 보완 - 흐름관리 모니터링용 Dashboard 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 4D 궤적 및 항공교통량 예측 기술 보고서(2/2) -흐름관리 제한사항 모델링 기술 보고서(2/3) -항공교통 통합 스케줄링 기술 보고서(2/3) -실시간 항공교통 모니터링 기술 보고서(2/2) -흐름관리 모니터링 기술 보고서(1/2) ▪ CTFMS 설계 기술서(2/2) ▪ CTFMS 소프트웨어(2/2)

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2024	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 흐름관리 제한사항 모델링 기술 개발(3/3) - 항공교통 통합 스케줄링 기술 개발(3/3) - 흐름관리 모니터링 기술 개발(2/2) ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 흐름관리 제한사항 모델링 알고리즘 보완 - 공역 및 공항 통합 스케줄링 알고리즘 보완 - 흐름관리 모니터링용 Dashboard 보완 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 흐름관리 제한사항 모델링 기술 보고서(3/3) -항공교통 통합 스케줄링 기술 보고서(3/3) -흐름관리 모니터링 기술 보고서(2/2) ▪ CTFMS 소프트웨어(2/2)
2025	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 4D 궤적 기반 항공교통 흐름관리 기술 시험평가 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 4D 궤적 기반 항공교통 흐름관리 기술 시험평가 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CTFMS 시작품 ▪ CTFMS 시험 보고서
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CTFMS 요구사항 명세서 ▪ CTFMS 설계 기술서 ▪ CTFMS 구성 소프트웨어 ▪ CTFMS 시작품 ▪ CTFMS 시험 보고서 	

제4장. 사업 활용방안

4.1. 항공교통데이터 시스템 구축(비 R&D)와 본 사업(R&D)과의 관계

□ 데이터 기반 항공교통관리 효율성 제고를 위한 기획용역의 수행

- 데이터에 기반한 항공교통관리의 효율성을 제고하고자 국토부에서는 ‘데이터 기반 ATM 체계 구축방안 연구용역(‘19.1~’19.11)’을 추진하였고, 이를 통해 항공교통데이터센터 구축 방안(비 R&D)과 R&D 추진 과제를 도출
 - ‘데이터기반 ATM 체계 구축방안 연구용역’에서 도출된 과제와 본 사업에서 추진하는 과제와의 관계는 다음과 같음

데이터기반 ATM 체계 구축방안 연구용역 (국토부, '19.11)				본 R&D 사업		
추진 전략	추진과제(10개)	세부과제(17개)	R&D 여부	1세부	2세부	3세부
항공교통 데이터 통합관리 체계 구축	수요자 중심의 항공교통 데이터 시스템 구축	다양한 이해관계자와의 데이터 연계 및 데이터 통합 처리 기술 개발	비 R&D			
		수요자 중심 데이터 활용 지원을 위한 빅데이터 분석 플랫폼 개발	비 R&D			
	이해관계자 간 정보공유체계 향상	비행계획, 항공교통흐름, 항공기 이동정보, 국외 항공교통 정보 등 실시간 항공교통 데이터 공유 기술 개발	비 R&D			
4D TBO 운영지원	수용량 및 교통량 예측 능력 향상	항공교통 수요와 수용량의 균형관리를 위한 상시적인 항공기 수용량 및 교통량 예측 분석 기술 개발	R&D		2.1 2.2	3.1
		ATFM 단계에 따른 비행경로 시뮬레이션 분석 기술 개발	R&D			3.1
	비행단계별 시간관리 최적화	비행단계별 항공기 이동정보의 통합관리 기술 개발	R&D			3.2 3.3 3.4
		4D 궤적 기반 항공기 이동경로 예측 및 최적화 기술 개발	R&D			3.1 3.2 3.3 3.4
성능기반 ATM 운영	항공교통 시스템 성능평가 수행	항공교통시스템 성능목표/지표 개발	R&D	1.1		
		성능목표/지표 자동화 처리기술 개발	R&D			
	항공교통 정책대응 역량 강화	ATM 운영효과 분석 알고리즘 개발	R&D	1.2		
		ATM 통계, 성능평가, 운영효과에 대한 분석 결과 현시 및 보고 도구 개발	R&D			
	ATM 통계 분석 강화	항공교통 통계 기준 표준화 및 통계관리 대상 식별	비 R&D			
항공교통 통계관리 및 분석시스템 개발		비 R&D				

ATM 지원체계 구축	ATM 데이터 센터 운영	ATM 데이터 센터 운영기능에 따른 조 직, 구성, 역할 및 운영절차 수립	비 R&D			
	ATM 데이터 센터 운영제도 및 절차 개선	데이터의 수집·관리·처리·활용 등에 대 한 제도 마련	비 R&D			
		ATM 데이터 센터의 설치·운영에 관한 법적 근거 마련	비 R&D			
ATM 데이터센터 구축·운영 협의체 구성	데이터 수집·공유·관리·처리·활용 등을 위한 상시적인 이해관계자간 협의체 구 성 및 운영	비 R&D				

□ 사업특성 및 추진의 효율성 등을 고려한 사업 구분

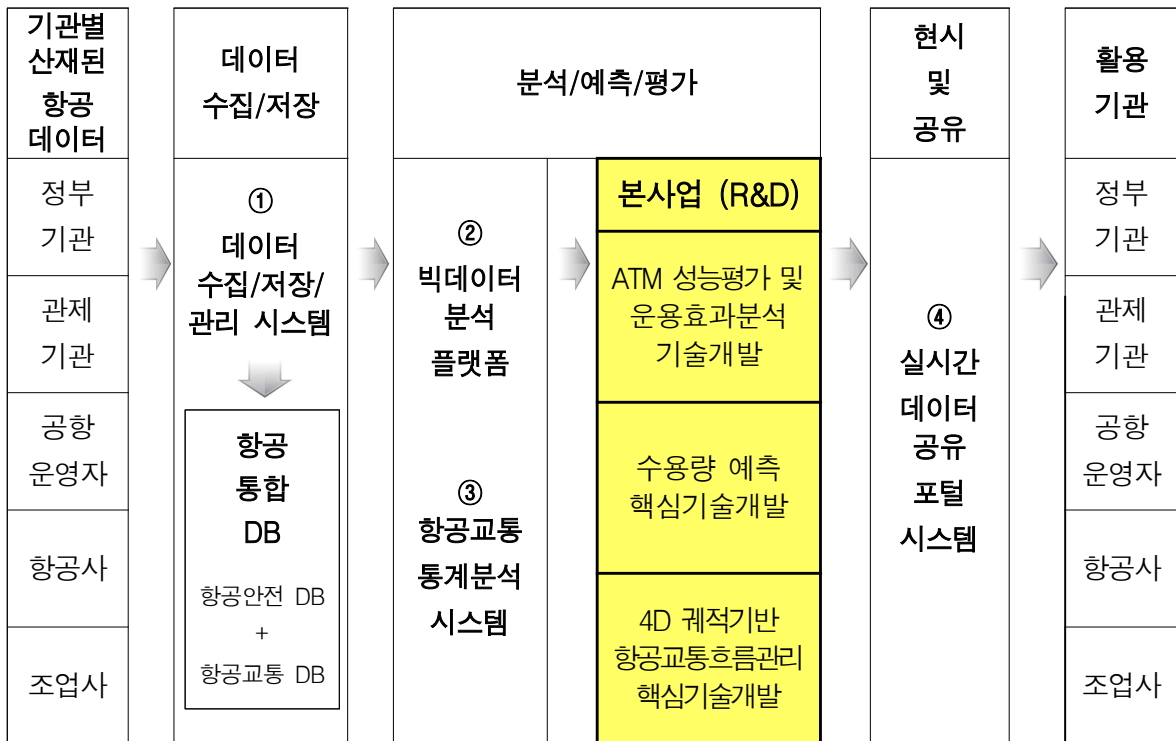
○ 재정사업

- 인프라 구축 성격이 강한 항공교통데이터 수집·저장, 빅데이터 플랫폼, 통
계분석 시스템, 데이터 공유포털 등 4개 시스템

○ R&D 사업

- 빅데이터를 활용한 분석/예측/평가에 해당하는 연구

* 항공교통 성능평가 및 운용효과 분석, 수용량 예측모델 연구, 항공교통 흐름관리 기술(교통량
예측, 항공기 이동경로 예측 및 시뮬레이션 분석, 비행단계별 시간관리 기술 등)



□ 중복 투자 방지 및 다양한 분석 결과를 얻기 위해 항공교통 DB와 항공안전 DB 등을 통합하는 항공 DB로 발전

○ 항공사, 공항공사 및 항공관계기관 등 항공교통 운영기관이 공동으로 데이터를 저장하고 활용할 수 있는 플랫폼 및 운영시스템 구축

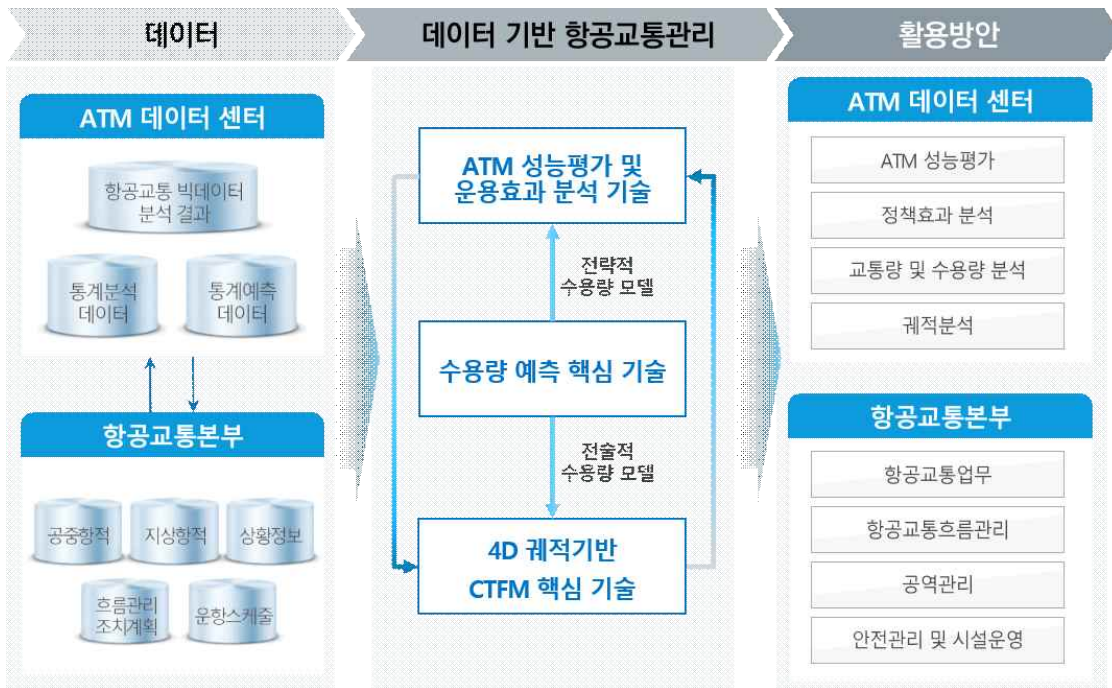


* 별첨 2. 항공교통데이터 시스템 구축 세부내용(비 R&D) 참조

4.2. 활용방안

- **ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술은 국가 ATM 목표 설정과 관리에 활용**
 - 본 사업을 통해 확보된 핵심기술을 국가 항공교통시스템의 성능관리, ATM 의사결정 및 항행안전시설 미래투자 전략 수립에 활용
 - 항공기 운항 지연 원인 및 영향평가, 항행시설 투자에 대한 항공교통 효율성 향상 경제성 평가, 환경영향 평가 등 데이터에 기반한 ATM 운용효과를 분석, 평가하고 이를 정부정책 의사결정에 활용
 - ICAO SARPs에 근거한 ATM 목표 및 지표 관리와 모니터링을 통해 항공교통시스템 취약요소 확인 및 개선에 활용
 - ATM 데이터 플랫폼의 데이터를 활용하여 성능평가 시스템을 구축하고, 축적된 평가 결과를 활용하여 성능취약 요소 등을 분석
- **수용량 예측기술은 항공기 운항 관계기관과 공유하고 국토부의 항공교통흐름관리 업무 지원에 활용**
 - 본 사업을 통해 개발되는 수용량 예측기술은 본 과업에서 동시 개발되는 'ATM 성능평가 및 운용효과 분석 시스템' 및 '4D 궤적기반 CTFM 시스템'의 구성모듈로 활용할 계획임
 - 아울러, 항공기 전체 경로에 대한 수용량 예측 정보는 관제기관, 공항운영자, 항공기 운항 관계기관과 공유되어 공항계획, 구역계획, 비행계획 수립 효율화에 기여
- **구역/공항 통합 스케줄링을 통한 활용성 제고**
 - 4차원 궤적 및 교통량 예측 결과를 바탕으로 항공기가 구역/공항 수용량 범위 내에서 운항할 수 있도록 통합 스케줄링 결과 제공
 - 본 사업을 통해 확보된 핵심기술을 국내 항공교통환경에 적용하여 향후 활용성 및 확장성 제고
 - * 본 사업은 양산 시스템 개발이 목표가 아닌, 국내의 복잡한 항공교통환경을 고려하여 실질적으로 국내에서 활용 가능한 기술을 개발하는 것이 목적임
- **세부과제 성과 연계 활용을 통한 항공교통관리 효율화**
 - 본 사업을 통해 획득된 기술은 ATM 성능평가 시스템 및 의사결정지원 시스템, 수용량 예측 시스템, 협력적 흐름관리 시스템(CTFMS) 등으로 구현될 예정

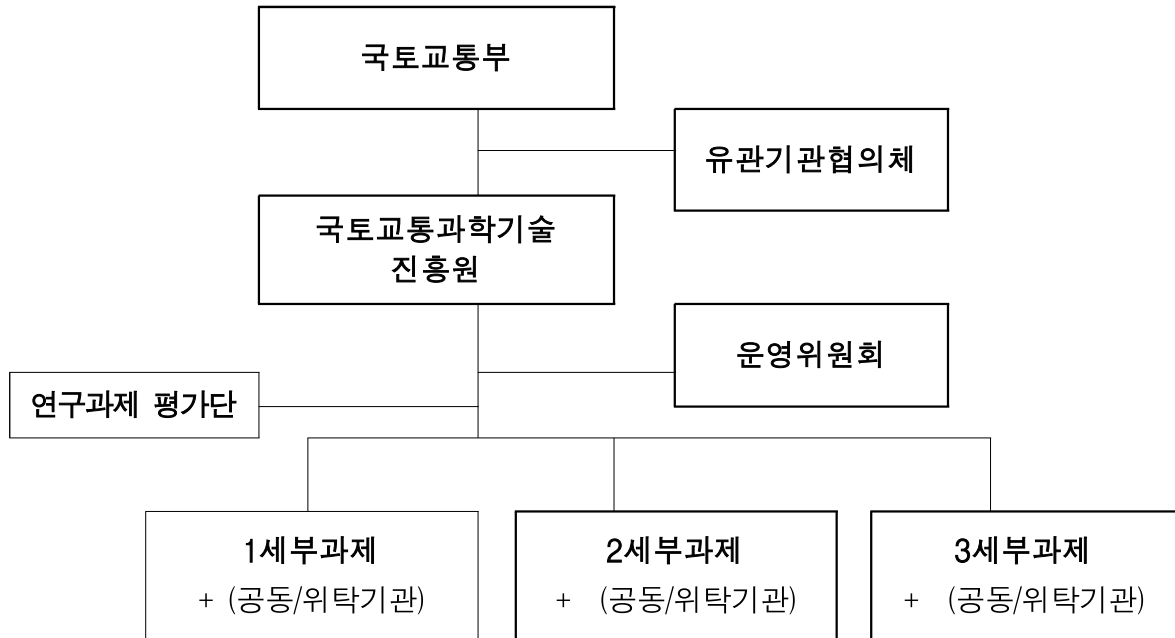
- ATM 성능평가 시스템 및 의사결정 시스템은 ATM 데이터센터와 직접 연계하여 활용 가능하며, 협력적 흐름관리 시스템은 항공교통통제센터에서의 연계·활용을 향후 목표로 함
 - ATM 데이터 센터를 통해 수집된 항공교통 빅데이터에 딥러닝 기법을 적용하여 성능 저해 요인 분석 및 성능평가 요소의 최적화 방향 제시 가능
 - 항공교통 빅데이터의 머신러닝 처리를 통해 변수의 변화에 따른 핵심이슈 최적화 알고리즘 개발 등 의사결정 시스템 구축에 필요한 다양한 모형 개발
- 수용량 예측 시스템은 ATM 데이터 센터로부터의 데이터베이스와 항공교통통제센터의 실시간 운용 데이터를 이용하여 각각 전략적 수용량 및 전술적 수용량을 산정하여 이해당사자(또는 기관)에 제공할 수 있음



제5장. 연구개발 추진계획

5.1. 추진체계

□ 사업 조직도



- 국토교통부(항공교통과) : 사업 담당관, 사업방향 및 정부정책 총괄
- 유관기관 협의체 : 정부기관, 관제기관, 공항운영자, 항공사 등 항공데이터를 제공하거나, 연구 성과물을 활용하는 수요기관
- 국토교통과학기술진흥원 : 연구기관 선정/평가/협약 등 사업관리
- 운영위원회 : 사업 운영에 대한 내용 검토·심의
- 연구과제 평가단 : 연구기관 선정, 연차별 실적 및 계획 등을 평가
- 주관/협동/공동/위탁 연구기관 : 연구수행기관
 - * 1세부연구기관이 사업총괄 역할 수행

□ 사업 추진 절차



5.2. 추진로드맵

5.2.1. 기술로드맵

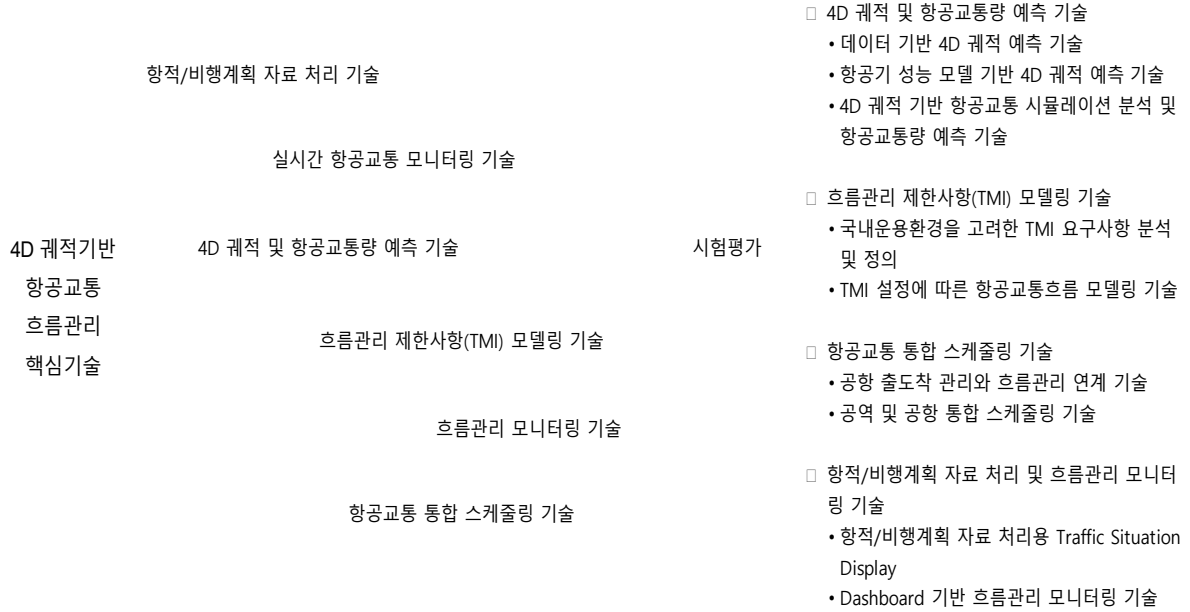
□ 데이터 기반 ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술개발

구성기술	'21	'22	'23	'24	'25	연구목표
데이터 기반 ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술개발	항공교통데이터 전처리 기술개발					<ul style="list-style-type: none"> ATM 성능평가 기술 <ul style="list-style-type: none"> KPA별 KPI의 적합성 검증 및 개발 KPI별 요구 데이터 분류 및 전처리 기술개발 KPI별 성능평가 기술 개발 성능목표관리시스템 개발 ATM 의사결정 분석·평가 기술 <ul style="list-style-type: none"> 항공교통시스템 핵심이슈 및 변수 분석 모형 개발 항공교통시스템 영향성 분석 기술 개발 항공교통관리 의사결정 분석·평가 프로그램 개발 항공교통 정책효과 분석
	항공교통시스템 성능평가 기술 및 성능목표관리 시스템 개발			성능평가 시험운용		
	항공교통시스템 핵심 이슈 및 변수 식별/분석모형 개발				의사결정 분석·평가 프로그램 개발	
					항공교통시스템 영향성 분석 시스템 개발	

□ 수용량 예측 핵심기술 개발

구성기술	'21	'22	'23	'24	'25	연구목표	
수용량 예측 핵심기술 개발						<ul style="list-style-type: none"> 관제기관별 전략 및 전술단계 수용량 예측 기술 <ul style="list-style-type: none"> 공항 공시 및 운용 수용량 예측 기술 접근관제구역 공시 및 운용 수용량 예측 기술 항로센터 공시 및 운용 수용량 예측 기술 관제기관 통합 수용량 예측 기술 <ul style="list-style-type: none"> 공항, 접근관제구역, 항로센터 통합 운용 수용량 예측 기술 수용량 예측결과 검증 기술 <ul style="list-style-type: none"> 관제기관별 수용량 예측결과 검증기술 관제통합 수용량 예측결과 검증기술 	
							관제기관별 전략단계 수용량 예측기술 개발
							관제기관별 전술단계 수용량 예측기술 개발
							관제기관 통합 수용량 예측기술 개발
							수용량 예측 결과 검증기술

□ 4D 궤적기반 항공교통흐름관리 핵심기술 개발



5.2.2. 성과로드맵

□ 데이터 기반 ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술개발



□ 수용량 예측 핵심기술 개발



□ 4D 궤적기반 항공교통 흐름관리 핵심기술 개발



5.3. 대외 협력방안

국제 연구 협력

- NASA 등 항공 선진국의 주요 연구기관과 공동 연구 추진

국내 유관기관 협력

- 연구개발 및 시험 과정에서 항공교통통제센터와의 긴밀한 협력 추진

5.4. 위험요인 및 해결방안

세부과제	위험요인	해결방안
데이터기반 ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술	ATM 성능평가 국제협력사업에서 배제	국토교통부와 협력하여 ATM 성능평가 국제공동연구그룹 참여 추진
수용량 예측 핵심기술	수용량 산정 등에 대한 선도국과의 기술 격차	해외 선진연구기관 (예: MITRE, EUROCONTROL)과의 협력 및 공동연구 추진
4D 궤적기반 항공교통흐름관리 핵심기술	단순 기술개발에 따른 기술 사장	과제 초기부터 수요 부처인 국토부 및 항공교통통제센터와 밀접하게 협조
	공역 및 공항 통합 스케줄링의 기술적 위험성	기존 국토부 연구과제인 "항공기 출발 및 도착 통합관리 기술 연구" 과제의 성과 활용 및 연계를 통해 기술 개발 성공 가능성 제고
	해외 선진 기술과의 기술 격차	해외 선진연구기관 (예: NASA 등)과의 협력 및 공동연구 추진

제6장. 중복성 분석

6.1. 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

1	공역수용량 산정연구 (한국교통연구원, 2014)
---	-------------------------------

□ 과제 기본정보	
목적	우리나라 공역 환경과 현 시점에 적용하기 적합한 모델을 선정하여 항로섹터별 수용량을 산정, 우리나라 전 공역 수용량 증대를 위한 항로섹터 할당을 통한 효율성 증진 기반마련
연구내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 공역수용량 및 관제사 업무부하 정의 2. 공역수용량 모델 검토 3. 국내 공역수용량 산정 4. 공역수용량 증대방안 마련
추진방법	
성과물	① 연구보고서

□ 주요성과물과의 연계방안	
성과물 ①	검토과정에서 활용된 변수는 본 과제의 전략단계 항로섹터 수용량 예측기법 개발의 기초연구로 활용 가능

□ 기존과제와의 차별성	
기존과제 한계	<ul style="list-style-type: none"> 기존 산정방식은 특정 시점에서의 개별 항로섹터에 대한 수용량 산정방법으로 기상, 교통량 변화 등의 공역 운용여건 등 동태적 요인에 대한 고려가 이루어지지 않은 분석 방법임
차별성	<ul style="list-style-type: none"> 기존 과제는 정태적 요인을 고려한 공역운영 여건하에서의 개별 항로섹터의 공시수용량 산정에 대한 연구이며, 본 과제는 동태적 요인을 고려한 운영 여건하에서의 관제기관(즉, 공항, 접근관제구역, 공역)별 전략단계(1주일 이전), 전술단계(24시간 이내) 수용량을 예측하는 기술을 개발하기 위한 것으로 궁극적으로는 관제기관 통합 수용량을 동태적 요인을 고려하여 전술 단계에서 예측하고 검증하는 기술을 개발하는 것이 목표임
연계방안	<ul style="list-style-type: none"> 기존의 정태적 공역운영 여건하에서의 수용량 산정방법은 본 과제에서 개발되는 동태적 요인을 고려한 공역 운용 여건의 수용량 예측기술의 기초연구로 활용 가능

□ 과제 기본정보

목적	수용량을 정의하고 국내·외 연구를 검토하여 우리나라의 공역 환경을 고려한 관제기관별 수용량 산정 방법론 및 관제수용량 산정을 위한 행정규칙(훈령)안 제시
연구내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 수용량의 개념 정의 2. 국내·외 연구 및 활용사례 검토 3. 관제시설별 수용량 산정방법 정립 4. 관제시설별 수용량 산정방법론 적용 예시 5. 행정규칙(훈령) 개선안 제시
추진방법	
성과물	① 연구보고서

□ 주요성과물과의 연계방안

성과물 ①의 수용량의 정의 및 산정방법은 관제기관별 전략단계 수용량 예측기술의 기초연구로 활용 가능

□ 기존과제와의 차별성

기존과제 한계	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 정태적인 요인이 고려된 개별 관제기관의 최대수용량 산정방법을 제시한 연구로 전략적 공역관리 또는 공항계획에 활용 가능한 수용량 산정방법 제시가 연구의 목적이었음. 산출된 수용량의 실무적 유용성 검증되지 않았으며, 동태적 요인이 고려되지 않은 수용량 산정방법에 관한 연구임
차별성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 본 과제를 통해 개발되는 수용량 예측기술은 개별 관제기관의 최대 수용량 위주의 수용량 산정뿐만 아니라, 동태적 요인을 고려한 개별 관제기관 및 통합 관제기관의 적정 수용량 예측기술개발, 예측 결괏값 검증을 통해 실무적 활용을 목적으로 수행하는 연구임
연계방안	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존 과제에서 제안된 정태적 요인 기반의 관제기관별 전략적 수용량 산정기술은 본 과제에서 개발되는 전력 및 전술단계 수용량 예측기술의 기반연구로 활용

□ 과제 기본정보

목적	항공기 출발 및 도착 효율 향상을 위한 통합 관제 최적화 및 관리 기술 획득
연구내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 출발 스케줄링을 위한 공역 교통 모니터링 및 예측 기술 연구 2. 출발 스케줄링을 위한 가변 지상이동 시간 예측 적용 연구 3. 출발 스케줄링 핵심 기술 연구 4. 출도착 통합 관리를 위한 도착관리 시스템 기능 확장 5. 외부 시스템 연동 프로그램, 사용자 프로그램, 시스템 제어/모니터링 프로그램 개발 6. 시험 평가 기술 연구
추진방법	
성과물	<ol style="list-style-type: none"> ① 출도착 통합 관리 시스템 ② 통합관리 검증용 시뮬레이션 도구

□ 주요성과물과의 연계방안

성과물 ① 및 ②는 개별 공항 또는 접근관제구역 내의 스케줄링을 위한 시스템으로서, 본 과제에서 공역-공항 통합 시뮬레이션 및 스케줄링 시 연계 가능

□ 기존과제와의 차별성

기존과제 한계	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 개별 공항 또는 접근관제구역 내의 운용 최적화는 가능하나, 국내 공역 전체에 대한 통합 스케줄링은 가능하지 않음
차별성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존 과제는 단위 공항 활주로에서의 출발 및 도착 관리기술 개발이 목표이나, 본 사업은 공항 및 공역을 통합하여 우리나라 전체 항공교통의 흐름을 관리하는 기술을 개발하는 것이 목표임
연계방안	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존 과제에서 개발한 스케줄링 기술, 협력적 의사결정 지원 도구 및 시뮬레이션 도구 관련 요소 기술을 공역 및 공항 통합 관리 기술 개발에 활용

6.2. 민간기술과의 차별성·연계성(민간기업 보유기술 및 제품 등)

순번	기술/제품	기업명	보유기술	차별성·연계성
1	ATFMS 소프트웨어 (Harmony 시스템)	Metron	ATFMS 소프트웨어 개발 기술	<p><차별점></p> <ul style="list-style-type: none"> - 해당 기술은 일반적인 ATFMS 관련 기술로서, 공역/공항 통합 스케줄링 기능이 없음 <p><연계방안></p> <ul style="list-style-type: none"> - 현재 항공교통통제센터에서 운용 중인 시스템의 Core 소프트웨어로서, 본 과제를 통해 ATFM 시스템 시작품이 개발되면, 해당 소프트웨어의 출력값과 비교 분석 가능
2	항공교통시물레이션 모형 (TAAM / AirTOP)	Jeppesen / TranSoft	시물레이션 구축 도구	<p><차별점></p> <ul style="list-style-type: none"> - 해당 프로그램은 주로 공항 및 공역계획에 필요한 수용량 산정을 위한 보조도구로서, ATFM시스템 운용을 실시간 기반의 전술단계 수용량 예측기능이나 검증기능이 없음 <p><연계방안></p> <ul style="list-style-type: none"> - 본 과제 개발목표 가운데 하나인 전략단계 수용량 예측기술 개발을 위한 참고자료로 활용하며, 본 과제에서 도출된 전략단계 수용량 결과값과 해당프로그램의 출력값과의 비교분석 가능

제7장. 소요예산

7.1. 소요 인력 및 인건비

□ 세부과제별 연구 수행에 소요되는 적정 투입인원과 참여율을 고려하여 연구비를 산정

- 직급별로 참여율 및 2020년도 학술연구용역기준 단가를 적용하여 산정
 - * 책임연구원(박사급): 6,459,460원/월, 연구원(석사급): 4,953,028원, 연구보조원(학사급) 3,310,932원/월
- ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술개발
 - 연간 약 17명의 연구인력이 평균 50%의 참여율로 참여 필요
 - * (주요 수행 내용) ATM 성능 평가지표 및 평가기술과 성능목표관리 시스템 개발, 항공교통 지연 원인 분석 기술, 항공교통시스템의 경제적 효과분석 기술, 항공교통 환경영향분석 기술 등 개발
 - 직급별 연군 소요인력(명)

<1세부 직급별 연간 소요인력(명)>

구분	2021	2022	2023	2024	2025	평균
책임연구원(박사급)	4	6	6	6	2	4.8
연구원(석사급)	3	10	7	9	2	6.2
연구보조원(학사급)	4	7	5	6	2	4.8
합계	11	23	18	21	6	15.8

* 직급별 연간 소요인력의 참여율

구분	2021	2022	2023	2024	2025	평균
책임연구원(박사급)	50%	50%	50%	50%	50%	50%
연구원(석사급)	50%	50%	50%	50%	50%	50%
연구보조원(학사급)	50%	50%	50%	50%	50%	50%

- 수용량 예측 핵심기술 개발
 - 연간 약 10명의 연구인력이 평균 40%의 참여율로 참여 필요
 - * (주요 수행 내용) 수용량 예측기술, Fast-time 시뮬레이션 기반 관제기관 통합 운용수용량 예측기술, 수용량 예측결과 검증기술 등 개발
 - 직급별 연군 소요인력(명)

<2세부 직급별 연간 소요인력(명)>

구분	2021	2022	2023	2024	2025	평균
책임연구원(박사급)	3	3	3	3	2	3.2
연구원(석사급)	3	5	3	3	3	3.4
연구보조원(학사급)	4	4	4	4	3	3.8
합계	10	12	10	10	8	10

* 직급별 연간 소요인력의 참여율

구분	2021	2022	2023	2024	2025	평균
책임연구원(박사급)	40%	40%	40%	40%	40%	40%
연구원(석사급)	40%	40%	40%	40%	40%	40%
연구보조원(학사급)	40%	40%	40%	40%	40%	40%

○ 4D 궤적기반 항공교통흐름관리 핵심기술

- 연간 약 25명의 연구인력이 평균 67.5%의 참여율로 참여 필요

* (주요 수행 내용) 4D 궤적 예측 및 교통량 예측 기술, 흐름관리 제한사항 모델링 기술, 항공교통 통합 스케줄링 기술, 항적/비행계획 자료 처리 및 흐름관리 모니터링 기술 등 개발

- 직급별 연군 소요인력(명)

<3세부 직급별 연간 소요인력(명)>

구분	2021	2022	2023	2024	2025	평균
책임연구원(박사급)	6	8	8	8	8	7.6
연구원(석사급)	12	14	14	14	14	13.6
연구보조원(학사급)	2	4	4	4	4	3.6
합계	20	26	26	26	26	24.8

* 직급별 연간 소요인력의 참여율

구분	2021	2022	2023	2024	2025	평균
책임연구원(박사급)	38.0%	80.0%	85.0%	70.0%	55.0%	65.6%
연구원(석사급)	38.0%	85.0%	90.0%	80.0%	60.0%	70.6%
연구보조원(학사급)	28.0%	86.0%	85.6%	75.7%	56.5%	66.4%

□ 세부과제별 연도별 소요 인건비

○ 세부과제별 직급별 소요인력에 참여율과 학술연구용역 기준단가를 적용하여 산정

* 인건비 = 소요인력 × 참여율 × 인건비기준단가

(단위: 백만원)

세부과제	인건비					
	2021	2022	2023	2024	2025	합 계
ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술개발	324	669	540	619	177	2,328
수용량 예측 핵심기술	227	275	227	227	181	1,137
4D 궤적기반 항공교통흐름관리 핵심기술	470	1,340	1,412	1,220	930	5,372
합 계	1,021	2,284	2,179	2,066	1,288	8,837

7.2. 직접비(인건비 제외)

□ 연구재료비, 연구시설·장비비, 연구활동비, 연구수당 등의 합으로 산정

○ ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술개발

- 연구수당의 비중이 전체 직접비의 41.1%로 가장 높으며, 다음으로 성능평가기술 개발 등에 DB서버, WAS서버, 테스트용 단말기 등의 구매에 따른 연구재료비의 비중이 전체 직접비의 약 22%로 높음

<1세부 연도별 직접비>

(단위: 백만원)

구분	2021	2022	2023	2024	2025	총계
연구장비·재료비	20	159	33	31	14	257
연구활동비	40	70	68	61	19	258
연구과제추진비	28	52	52	50	19	201
연구수당	68	134	108	124	36	470
위탁연구개발비	-	-	-	-	-	-
합계	156	415	261	266	88	1,186

○ 수용량 예측 핵심기술 개발

- 2세부는 시뮬레이션 모형 및 외부데이터 연계 시스템 구축, 서버 등의 구매에 따른 연구장비/재료비의 비중이 전체 직접비의 50%로 가장 높음

<2세부 연도별 직접비>

(단위: 백만원)

구분	2021	2022	2023	2024	2025	총계
연구장비·재료비	150	270	50	78	7	555
연구활동비	10	20	20	20	14	84
연구과제추진비	15	40	25	30	30	140
연구수당	12	19	20	20	10	81
위탁연구개발비	50	110	100	80	-	340
합계	2,208	2,371	2,138	2,172	2,086	10,975

○ 4D 궤적기반 항공교통흐름관리 핵심기술

- 흐름관리 서버, 시뮬레이션 서버 등 구매 및 데이터베이스 구축 등에 따른 연구장비/재료비의 비중이 전체 직접비의 21%로, 인건비에 연계되는 연구수당을 제외하면 가장 높음

<3세부 연도별 직접비>

(단위: 백만원)

구분	2021	2022	2023	2024	2025	총계
연구장비·재료비	50	190	300	190	-	730
연구활동비	90	155	165	135	70	615
연구과제추진비	44	130	150	119	37	480
연구수당	94	268	282	244	186	1,074
위탁연구개발비	60	150	150	150	-	510
합계	2,299	2,765	2,920	2,712	2,318	2,899

□ 세부과제별 연도별 소요 직접비

(단위: 백만원)

세부과제	직접비					
	2021	2022	2023	2024	2025	합계
ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술개발	156	415	261	266	88	1,186
수용량 예측 핵심기술	237	459	215	228	61	1,200
4D 궤적기반 항공교통흐름관리 핵심기술	338	893	1,047	838	293	3,409
합계	731	1,767	1,523	1,332	442	5,795

7.3. 간접비

(인건비+직접비)의 10% 수준으로 산정

(단위: 백만원)

세부과제	간접비					
	2021	2022	2023	2024	2025	합 계
ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술개발	48	108	80	89	26	351
수용량 예측 핵심기술	46	73	44	45	24	232
4D 궤적기반 항공교통흐름관리 핵심기술	74	208	230	190	122	824
합 계	168	389	354	324	172	1,407

7.4. 총 연구비

세부과제별 연차별 소요예산

(단위: 백만원)

세부과제	총 연구비					
	2021	2022	2023	2024	2025	총 연구비
ATM 성능평가 및 운용효과 분석 기술개발	528	1,192	881	974	291	3,866
수용량 예측 핵심기술	510	807	486	500	266	2,569
4D 궤적기반 항공교통흐름관리 핵심기술	882	2,441	2,689	2,248	1,345	9,605
순수 연구비 합계	1,920	4,440	4,056	3,722	1,902	16,040
기획평가관리비 (순수 연구비의 4.12% 기준)	80	182	167	153	78	660
총 연구비	2,000	4,622	4,223	3,875	1,980	16,700

제8장. 기대효과 및 파급효과

- **항공교통 효율성 및 환경영향 개선**
 - 항공기 운항 지연률/결항률/탄소배출/연료소비 감소, 비행시간 단축
 - 관제기관의 관제처리량 증대, 공역 사용 효율화 증대
 - 항공교통흐름관리에 따른 관제사 조정 업무 부담 감소
 - ATM에 대한 국가, 항행서비스 제공기관, 공항운영자 등 각각의 목표를 설정하여 지표로 관리함으로써 ATM 효율성의 효과적 관리 가능
- **데이터에 근거한 ATM 의사결정 지원 가능**
 - 데이터에 기반한 과학적 접근법을 활용한 분석·평가 등의 결과를 적시에 효과적으로 제공 가능한 시스템의 구축으로 ATM 의사결정 지원 가능
- **항행안전시설 미래투자전략 수립 지원**
 - 항공교통시스템에 대한 지연영향, 항행서비스 경제성 등의 분석 등을 통해 항행안전시설에 대한 미래투자전략 수립에 필요한 정보 제공 가능
- **항공교통 데이터의 통합관리로 데이터 기반 항공교통관리 체계의 기반 조성이 가능하고, 미래 항공교통체계로의 전환에 대응 가능**
 - 수요자 중심의 원시 데이터 관리로 기본 분석은 물론 안전, 시설, 보안 등 타 분야와 연계·융합한 빅데이터 분석 가능
- **데이터 공유 체계 확립으로 정보 공유가 가능해져 상황 대응 능력을 향상시키고, 예측능력 향상으로 교통혼잡 최소화 및 지연 감소**
 - 빅데이터 및 AI 기술을 활용한 수용량 및 교통량 예측의 정확성 향상을 통해 안전하고 효율적인 항공교통관리 가능
 - 항공기 비행단계별 시간 데이터의 공유를 통해 지연 원인 및 영향 분석 등이 가능해져 지연 요인의 단계적 해소 가능
- **항공교통시스템 국가 목표 설정 및 성능평가를 통해 취약요소 확인 및 투자전략 수립 가능**
 - 항공교통 인프라 투자 등에 대한 경제성 분석을 통한 미래 투자전략 수립에 필요한 정보 제공

- 동 사업 성과물을 일부 연계·활용하는 데이터센터 구축·운영으로 15년간 지연 4.54%로 감소, 관제처리 18% 증가로 연평균 5,680억원의 경제적 효과 발생
- 향후 15년간 지연 10.3%→4.5%, 관제처리량 2,204대→2,600대/일, 비행시간 5.58% 단축 등의 개선 기대 (출처: '항공교통데이터센터 구축방안', 20.5, 국토부)
 - 항공교통관리 개선으로 인한 직접적 경제 효과는 15년간 연평균 약 5천억원 발생 예상

【 데이터센터 운영에 따른 항공교통관리 개선효과 】

구분	현재(모습)	데이터센터 구축 후(모습)		
		'25년(운영 1년차)	'30년(6년차)	'40년(최종 목표)
ATM 개선 목표	<ul style="list-style-type: none"> ■ 항공교통관리 현황 ('18년기준) - 지연률 : 10.3% - 결항률 : 0.78% - 탄소배출 : 약 2,251만톤 - 관제처리 : 2,204대/일 - 피크처리 : - - 비행시간 : 평균운항거리 2,500km 기준 적용 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 항공교통관리 개선 - 지연률 : 1.28%감소 - 결항률 : 1.1%감소 - 탄소배출 : 1.18%감소 - 관제처리 : 4%증대 - 피크처리 : 1.02%증대 - 비행시간 : 1.24%단축 - 안전사고 : 1.84% 감소 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 항공교통관리 개선 - 지연률 : 2.89%감소 - 결항률 : 2.49%감소 - 탄소배출 : 2.68%감소 - 관제처리 : 9.04%증대 - 피크처리 : 2.6%증대 - 비행시간 : 3.17%단축 - 안전사고 : 4.71% 감소 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 항공교통관리 개선 - 지연률 : 5.76%감소 - 결항률 : 4.95%감소 - 탄소배출 : 5.31%감소 - 관제처리 : 18.0%증대 - 피크처리 : 4.59%증대 - 비행시간 : 5.58%단축 - 안전사고 : 8.28%감소
경제적 개선효과	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ 총 편익 1,610억원 - 지연감소 2억원 - 운항시간 절감 642억원 - 관제처리 증대 925억원 - 피크 처리증대 39억원 - 안전사고 감소 2억원 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 총 편익 5,206억원 - 지연감소 4억원 - 운항시간 절감 2,077억원 - 관제처리 증대 2,995억원 - 피크 처리증대 124억원 - 안전사고 감소 6억원 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 총 편익 7,920억원 - 지연감소 8억원 - 운항시간 절감 3,161억원 - 관제처리 증대 4,558억원 - 피크 처리증대 189억원 - 안전사고 감소 4억원

* 기준 성과목표 및 15년 후 달성률을 90%로 가정(보편적 가정)하고 단계적 성과달성에 따른 성장곡선을 적용하여 연도별 달성률을 추정하는 시나리오 분석에 의한 경제효과 산출

별첨 1

제3차 항공정책 기본계획 (2020~2024)

VISION 미래 항공 글로벌 선두 국가					
2024년 우리나라 항공정책 목표					
목표	미래항공산업의 혁신적 패러다임 구축 9-Beyond 전략*	스마트·제감형 및 보편적·무단절 항공서비스 구현 Benefit Everyone 전략*	전후방 연계 종합산업 생태계 조성 Robust Industry-Ecosystem 전략*	공항을 지역경제·기업 성장의 플랫폼으로 구축 5-3-5 전략*	빅데이터·AI기반 무결점 항공 안전과 보안 실현 PeCOM 전략*
추진 방향 (29%)	*9가지 혁신을 통한 산업 성장	*국민 모두에게 항공 교통 혜택 제공	*다양한 연관사업과 함께 탄탄한 항공생태계 구축	*연결성 50% ↑, 부가 가치 유발효과 30% ↑, 총 여행시간 중 공항 접근시간 비율 50% ↓	*빈틈없는 배움한 안전시스템 구축
	항공·관광 융복합을 통한 새로운 가치 창출	스마트한 무단절(Seamless) 공항서비스 고도화	전후방 종합산업 기반조성	글로벌 시대 대비 공항의 댕커 전략 추진	자율과 견제의 균형을 이룬 항공안전문화 조성
	새로운 항공가치 창출을 위한 Hybrid 항공네트워크 강화	수요자 중심 항공서비스 개선	항공화를 시장 개척을 통한 항공물류산업 도약	공항의 국가경제 기간 교통망으로 위상 재정립	선제적 조직 개선을 통한 항공안전 역량 강화
	세계 최고 수준의 스마트 항공안전	교통약자 중심 Barrier-free 항공교통 서비스 실현	항공산업 성장을 위한 항공공급 활성화 추진	패러다임 변화에 대비한 공역 체계 선제적 구축	빈틈없는 항공보안 관리체계 구축
	도심형 항공 모빌리티(UAM, Urban Air Mobility) 선도	항공산업 종사자 보호 정책 강화	소형항공, 레저산업 등 항공운송산업 다양성 확대	접근성 개선으로 공항을 커뮤니티 SOC로 확장	미래형 첨단보안 장비 성능인증 체계 구축
	세계 속으로 에어실�크로드 구축		항공기 제작 및 정비산업 활성화와 지속 추진	기술발전을 위한 공항 테크노를 추진	
	운송·물류분야 드론산업 육성 및 일상 속 드론안전 강화		전문인력 양성고 고용 창출 선순환 구조 구축		
	한국형 공항 모델 패키지 수출		지속가능 성장을 위한 환경이슈 적극대응		
	초단축 글로벌 생활권 항공교통 미래 준비				
	한반도 항공산업 협력기반 마련				

제3차 항공정책기본계획(2020~2024), (2019.12, 국토교통부)

- (항공교통데이터 센터) 과학적 항공교통 관리 및 항공사 등 수요자 중심 데이터 제공을 위한 데이터 센터(ATM Bank) 로드맵 마련('20)
 - 기관별로 분산 관리 소멸하는 데이터의 저장, 연계·통합을 위한 제도 마련 및 수요자 중심 데이터 활용 지원 플랫폼 구축(~'23)
- (4D궤적기반 운항) 항공기흐름 최적화 및 사용자 선호의 비행경로 제공을 위한 4D개념(위도, 경도, 고도, 시간)의 운항체계 연구 (~'23)
 - 정확한 4D 궤적모델 수립, 최첨단 IT산업을 통해 비행경로 관리 등 궤적기반의 운항예측 알고리즘 개발을 위한 연구추진

별첨 2

항공교통데이터 시스템 구축 세부내용 (비 R&D)

[출처 : 항공교통데이터 센터 구축 방안 (20.5, 국토부)]

▣ 데이터 통합 시스템, 실시간 공유 포털 사이트, 통계·분석 시스템 및 빅데이터 분석 플랫폼 등 4개 추진 과제

① 항공교통 데이터 통합 처리 시스템 구축

- 항공교통 기관별로 흩어져 있는 데이터를 표준화된 방식으로 수집, 저장 및 연계할 수 있는 데이터 수집·관리 시스템 구축
 - 데이터 수집을 위한 시스템 연계는 대상 시스템의 현재 연계* 방식을 고려하여 아답터(Adapter)를 이용하여 간접 연계 기술 적용
 - * 항공교통본부·지방항공청·기상청·항공사 등은 MQ(Message Queue) 방식을 인천공항공사는 EAI(Enterprise Application Intergration) 방식을 주로 활용
- 항공사, 관제기관 등으로부터 수집한 기초 데이터를 전 항공 산업계에 제공하며, 이를 이용한 각종 어플 개발을 지원할 수 있는 기능 구현
- (성과물) 서버(운영/웹/백업/연계), 저장장치 등 하드웨어 10종 및 연계기술 등 소프트웨어 6종 포함 수집시스템 개발 및 관련 데이터 축척

② 실시간 공유 포털사이트 구축

- 비행계획, 항공교통흐름정보, 항공기 시간별 이동정보, 비행로 악기상 정보, 국외 항공교통정보 등의 실시간 공유 웹사이트 구축
 - 공유정보를 활용하여 항공사의 비행계획 수립·변경 및 운항관리에 적용하고, 정확한 항공기 출도착 정보 제공하여 소비자 편의 제고
- (성과물) 공간정보 플랫폼 서버 및 플랫폼 소프트웨어를 포함한 실시간 항공교통 정보 공유 포털사이트, 데이터 센터 운영매뉴얼

③ 항공교통 데이터 통계분석 시스템 구축

- 항공교통 성능통계, 수용량 및 교통량 통계, 궤적운영 예측 통계 등을 관리할 수 있고, 관련 통계분석이 가능한 시스템 구축
 - 축적된 계절별, 시간대별 분석 결과를 활용하여 기계학습(Machine Learning) 및 인공지능(AI)을 적용한 수용량, 교통량 및 궤적 등 예측
- 항공교통 통계 및 분석결과를 보다 쉽게 이해할 수 있도록 그래프 및 그림 등으로 표현하는 **현시시스템 구축**

④ 수요자 중심의 항공교통 빅데이터 플랫폼 구축

- 수집된 데이터를 분석에 적합하도록 가공하고, 의미별로 분류하여 **데이터의 표준화** 및 품질 관리가 가능한 **빅데이터 플랫폼 구축**
 - 데이터를 항공교통 정보분석, 성능평가, 통계분석 및 업무지원으로 구분·관리하여 데이터를 연계·융합한 빅데이터 분석* 기능 구현
 - * R&D로 개발 예정인 동적 수용량·교통량 및 최적경로 예측, ATM 운용효과 등 분석
- (성과물) 데이터 분석 플랫폼 하드웨어 1종 및 분석엔진 등 소프트웨어 2종을 포함하는 빅데이터 플랫폼

【 연차별 사업 계획(안) 】

구 분	'20	'21	'22	'23	'24
① 항공교통 데이터 통합처리 시스템	기본설계	상세설계·구축		시험 운영	-
② 실시간 공유 포털사이트	기본설계	-	-	상세설계·구축	
③ 항공교통 데이터 통계 분석 시스템	기본설계	-	-	상세설계·구축	
④ 항공교통 빅데이터 플랫폼	기본설계	-	-	상세설계·구축	
					시험 운영
					R&D 기술 통합 등

별첨 3

기존 유사사업과의 차별성 및 연계성

- 항공기 출발 및 도착 통합 관제 관리기술
- 수용량 산정 연구
- 빅데이터 기반 항공안전관리 기술개발
- (민간기업) ATFM(항공교통흐름관리 시스템) 구축 기술

□ 항공기 출발 및 도착 통합 관제 관리기술

○ 기존 사업과의 차별성

- 기존 사업은 공항 및 공항주변 항공교통관리 목적의 관제사 의사결정지원 도구 관련 사업
- 개별 공항의 1시간 이내 이착륙 항공편에 대한 출도착 스케줄링을 목표로 함
- 본 사업의 4D 궤적기반 항공교통흐름관리 핵심 기술 개발 과제는 우리나라 전공역의 항공편을 대상으로 한 사전전술/전술단계 항공교통흐름관리를 목표로 함

과제명	기존 사업 항공기 출발 및 도착 통합 관제 관리기술	본 사업 4D 궤적기반 항공교통흐름관리 핵심 기술 개발
목표	공항 출도착 관리	공항 + 공역 통합 항공교통흐름관리 * 공항 출도착 관리 + 공역 흐름관리
공간적 범위	개별 공항 및 공항 주변	우리나라 비행정보구역 전체
시간적 범위	출도착 1시간 이내	1주일전 ~ 당일
수요자	관제탑, 접근관제소	항공교통통제센터
관리 대상	이착륙 시각 및 순서	지상지연, 시간분리, 항로 우회 등
연구 범위	<ul style="list-style-type: none"> • 출발 스케줄링 • 도착 스케줄링 • 가변 지상이동 시간 예측 • 공역 교통상황 모니터링 	<ul style="list-style-type: none"> • 4D 궤적 예측 및 시뮬레이션 분석 • 항공 교통량 예측 • 흐름관리 제한사항 모델링 • 항공교통 통합 스케줄링 기술 • 항적 자료 처리 및 흐름관리 모니터링

○ 기존 사업과의 연계성

- 국내 항공교통환경의 특수성을 고려하기 위해, 공역 및 공항을 협력적/통합적으로 관리할 수 있는 항공교통흐름관리 개념/체계가 필요함에 따라, 기존 사업과 본 사업의 연계 필요
- 기존 사업에서 개발한 요소 기술 (스케줄링 및 시뮬레이션 기술) 활용 가능

□ 수용량 산정 연구

○ 본 사업의 주요 연구 내용

- (전술적 수용량 산정) 관제기관별 운용수용량 (Operational Capacity) 예측기술 개발
 - . 공항 운용 수용량 예측기술 개발
 - . 접근관제구역 운용 수용량 예측기술 개발
 - . 항로섹터 운용 수용량 예측기술 개발
- (전략적 수용량 산정) 관제기관별 공시수용량 (Declared Capacity) 예측기술 개발
 - . 공항 공시 수용량 예측기술 개발
 - . 접근관제구역 공시 수용량 예측기술 개발
 - . 항로섹터 공시 수용량 예측기술 개발
- (통합 수용량) Fast-Time 시뮬레이션 기반 관제기관 통합 운용수용량(Operational Capacity) 예측기술 개발

○ 기존 사업과의 연계성

- (전술적 수용량 산정) 현재까지 추진된 연구과제가 없으므로 해당없음
- (전략적 수용량 산정) 기존 과제에서 활용된 변수는 신규 과제의 전략단계 공항 및 ,항로섹터 수용량 예측기법 개발의 기초데이터로 활용
- (통합 수용량) 현재까지 추진된 연구과제가 없으므로 해당없음

○ 기존 사업과의 차별성

- (전술적 수용량 산정) 현재까지 추진된 연구과제가 없음
- (전략적 수용량 산정) 기존에는 교통량·관제사 업무량을 고려한 정적·부분적인 수용량 산정을 하였으나, 본 과제에서는 동적·전체적 수용량 예측·산정 기술개발
 - * 정적(특정 시점의 교통량) → 동적(시간흐름에 따른 기상·교통량·시설사용성 등의 변화 고려)
 - ** 부분적(특정 섹터·지역·구역에 한정되어 연계성 부재) → 전체적(공항, 접근관제, 항로관제 등 우리나라 항공교통시스템의 연계성 및 항공기 지연 고려)

연번	과제명	주요 내용	고려사항				수용량 산정기준	
			기상 상황	시설 가용성	교통량	시설간 연계성	관제사 업무량	지연
1	우리나라 공역의 안전성 및 효율성 제고를 위한 기초 연구('02, KOTI)	최대교통량을 기록한 첨두일 4시간을 대상으로 SIMMOD-Plus를 활용한 FTS 분석 수행, 서울 TMA 수용량 산정	-	-	○	-	-	○
2	제2항공교통센터 구축 타당성조사 용역('11, 국토해양부)	RTS ²⁾ 를 활용한 운영 시뮬레이션 분석 수행, ACC 분할에 따른 관제업무량 분산효과 분석	-	-	○	-	△	-
3	공역수용량 산정 연구 ('14, KOTI)	Schmidt 모형을 활용하여 섹터분할 (고도분할, 남서분할, 동서분할)에 따른 수용량 증대효과 분석	-	-	○	-	○	-
4	거시적 관제사 업무량 모형을 통한 공역 섹터 수용량 추정에 관한 연구 ('14, KAU)	공역수용량 산정 연구('14, KOTI) 결과를 학술논문으로 발표	-	-	○	-	○	-
5	거시적 방법에 의한 공역 섹터 수용량 산정에 관한 연구('19, KAU)	Schmidt 모형을 활용하여 특정시간대 관제사의 업무량 기반 항로 섹터 수용량 산정. 실제 항적데이터와 항공교통관제 음성데이터를 사용하여 우리나라 관제현실 반영	-	-	○	-	○	-
6	미시적 방법에 의한 공역 섹터 수용량 산정에 관한 연구('19, KAU)	TAAM (Total Airspace and Airport Modeller)을 활용한 FTS분석을 수행하여 관제사업무량 기반의 공역 섹터 수용량 산정	-	-	○	-	○	-
7	데이터기반 항공교통관리 기술개발('21~'25, 미정)	FTS 기반의 시뮬레이션을 활용하여 동태적(Dynamic), 통합적(Integrated), 포괄적 교통흐름 분석모형 개발 (실시간 분석모형 및 비실시간 분석모형 개발)	○	○	○	○	○	○

□ 빅데이터 기반 항공안전관리 기술개발

	(국토부) 빅데이터 기반 항공안전관리	본 사업
목적	항공기운항의 안전관리에 필요한 데이터분석·활용	항공교통의 효율적 관리에 필요한 데이터 분석·활용
ICAO의 관련 계획	ICAO의 글로벌항공안전계획 (GASP, Global Aviation Safety Plan)	ICAO의 글로벌항행계획 (GANP, Global Air Navigation Plan)
해외 유사 시스템	별첨 참조(미국/유럽)	별첨참조(미국/유럽)
DB	향후 데이터베이스는 통합하여 운영 계획 (안전DB+교통DB)	

< 빅데이터 기반 항공안전관리 >

- GASP는 서비스 제공자(공항운영자, 항공사 등)가 자율적으로 안전관리를 이행하고 국가는 항공안전프로그램을 수립하여 서비스제공자의 안전관리를 관리하도록 권고
 - 항공안전프로그램은 국가가 서비스 제공자의 안전관리를 함에 있어 위험평가 기반의 안전관리를 하도록 권고
 - * 빅데이터 기반 안전관리는 위험평가 기반의 안전관리를 위해 기존 안전자료를 분석하여 사전에 위해요인을 식별·발굴하고 이들 위해요인의 위험도를 평가하여 중요도에 따른 안전관리를 하기 위한 시스템
 - 데이터의 활용에 있어서도 안전데이터의 경우 운항승무원의 개인정보나 항공사 정보 등을 포함하고 있어 데이터의 활용에 제약이 커 교통효율성 제고를 위한 데이터 분석에 직접 활용하는데 한계가 있음

< (국토부) 본 사업 >

- GANP는 지속증가하는 항공교통으로 인한 항공기 지연 문제를 해결하기 위한 계획으로 하위에 글로벌 가이드라인으로 ASBU(Aviation System Block Upgrade) 및 글로벌 ATM 운영개념을 채택하여 체약국에 이행을 권고
 - 데이터에 근거한 ATM 의사결정을 위해서는 적시에, 적절하고, 정확하며, 인증된 양질의 정보제공이 필요함을 강조.
 - 또한 ICAO는 ATM 운영개념에서는 성능기반 관리에 대한 이해관계자들의 역할 및 개념을 글로벌 항행시스템 성능매뉴얼(Doc 9883)발간

□ ATFMS(항공교통흐름관리 시스템) 구축 기술

○ 기존 사업과의 차별성

- 기존 사업은 ATFMS Core 시스템(Metron사 Harmony 시스템)의 해외 도입을 전제로 한, 외부시스템 연계 및 주변시스템 개발/통합 구축 사업임 (ATFMS Core 관련 획득된 국내 경험 및 기술 전무)
- 해외에서 직도입한 ATFM Core 기술 또한 광대한 공역을 대상으로 한 일반적인 ATFMS 관련 기술로서, 국내의 좁은 공역에서 필수적으로 요구되는 공역/공항 통합 스케줄링 기능이 없음

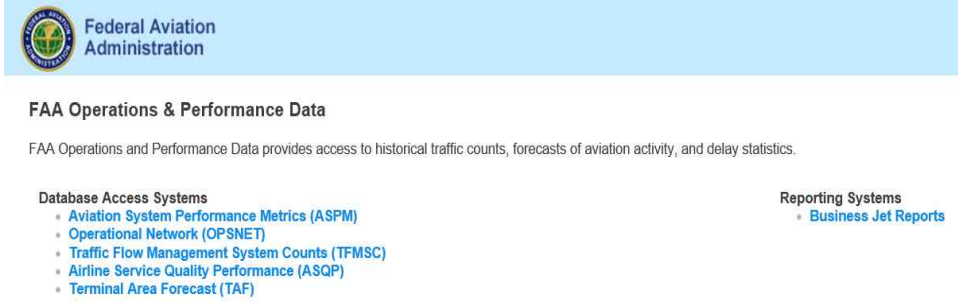
	기존 사업	본 사업
목표	해외 도입 ATFMS Core 시스템을 전제로 한 시스템 구축	공역/공항 통합 스케줄링이 가능한 CTFMS 개발
사업 범위	<ul style="list-style-type: none"> • 외부시스템 연계 • 주변시스템 개발/통합 ※ ATFMS Core 시스템 해외 직도입 후 연계 	<ul style="list-style-type: none"> • 4D 궤적 예측 및 시뮬레이션 분석 • 항공 교통량 예측 • 흐름관리 제한사항 모델링 • 항공교통 통합 스케줄링 기술 • 항적 자료 처리 및 흐름관리 모니터링 ※ ATFMS Core 기술 + 공역/공항 통합 스케줄링

○ 기존 사업과의 연계성

- 기존 사업에서 구축한 시스템은 현재 항공교통통제센터에서 운용 중인 시스템으로, 본 사업을 통해 CTFMS 시작품이 개발되면, 기 구축하여 현재 운용 중인 시스템 과 비교 검증을 거쳐 기능, 성능, 신뢰성 및 안정성 제고 가능

별첨 4

항공교통데이터시스템 및 항공안전데이터시스템 비교

구분	미국								
항공교통 데이터 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • FAA는 항공교통데이터를 수집하여 운영효과성 제고, 안전성 평가, 정책 수립에 활용 - 운영평가지표(Operational Metrics) 운영을 통한 데이터 활용 - 운영 및 성과 자료(Operations and Performance Data)등의 시스템을 구축·운영 								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="400 687 641 725">주요 시스템</th> <th data-bbox="641 687 1382 725">기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="400 725 641 864"> OPSNET (Operations Network) </td> <td data-bbox="641 725 1382 864"> <ul style="list-style-type: none"> • NAS(National Airspace System) 항공교통운영 및 지연 자료 제공 • OPSNET 통해 수집된 자료는 ATC 시설 성능측정에 활용 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="400 864 641 1126"> ASPM (Aviation System Performance Metrics) </td> <td data-bbox="641 864 1382 1126"> <ul style="list-style-type: none"> • ASPM 공항(현재 77개)을 출·도착지로 하는 항공편, ASPM 항공사의 모든 항공편(국제 및 국내 non-ASPM 공항을 도착지로 하는 항공편 포함) 등에 관한 운항정보를 제공 • 관제사가 처리하는 교통량 및 항공기의 출발 및 도착 시각, 스케줄/비행계획 대비 지연 시간 정보 및 지상활주시간 등 파악 가능 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="400 1126 641 1301"> ASQP (Airline Service Quality Performance) </td> <td data-bbox="641 1126 1382 1301"> <ul style="list-style-type: none"> • 미 교통부의 교통통계국 및 미국 내 입국 서비스의 1% 이상을 차지하는 항공사로부터 보고된 출국 및 입국데이터 근거하여 항공사의 정시성, 비행지연 및 취소 정보 제공 </td> </tr> </tbody> </table>	주요 시스템	기능	OPSNET (Operations Network)	<ul style="list-style-type: none"> • NAS(National Airspace System) 항공교통운영 및 지연 자료 제공 • OPSNET 통해 수집된 자료는 ATC 시설 성능측정에 활용 	ASPM (Aviation System Performance Metrics)	<ul style="list-style-type: none"> • ASPM 공항(현재 77개)을 출·도착지로 하는 항공편, ASPM 항공사의 모든 항공편(국제 및 국내 non-ASPM 공항을 도착지로 하는 항공편 포함) 등에 관한 운항정보를 제공 • 관제사가 처리하는 교통량 및 항공기의 출발 및 도착 시각, 스케줄/비행계획 대비 지연 시간 정보 및 지상활주시간 등 파악 가능 	ASQP (Airline Service Quality Performance)	<ul style="list-style-type: none"> • 미 교통부의 교통통계국 및 미국 내 입국 서비스의 1% 이상을 차지하는 항공사로부터 보고된 출국 및 입국데이터 근거하여 항공사의 정시성, 비행지연 및 취소 정보 제공
	주요 시스템	기능							
	OPSNET (Operations Network)	<ul style="list-style-type: none"> • NAS(National Airspace System) 항공교통운영 및 지연 자료 제공 • OPSNET 통해 수집된 자료는 ATC 시설 성능측정에 활용 							
ASPM (Aviation System Performance Metrics)	<ul style="list-style-type: none"> • ASPM 공항(현재 77개)을 출·도착지로 하는 항공편, ASPM 항공사의 모든 항공편(국제 및 국내 non-ASPM 공항을 도착지로 하는 항공편 포함) 등에 관한 운항정보를 제공 • 관제사가 처리하는 교통량 및 항공기의 출발 및 도착 시각, 스케줄/비행계획 대비 지연 시간 정보 및 지상활주시간 등 파악 가능 								
ASQP (Airline Service Quality Performance)	<ul style="list-style-type: none"> • 미 교통부의 교통통계국 및 미국 내 입국 서비스의 1% 이상을 차지하는 항공사로부터 보고된 출국 및 입국데이터 근거하여 항공사의 정시성, 비행지연 및 취소 정보 제공 								
<p>[그림 72] FAA 운영 및 성과 데이터시스템 포털 화면</p>									
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;">  <p style="text-align: center;">FAA Operations & Performance Data</p> <p style="text-align: center;">FAA Operations and Performance Data provides access to historical traffic counts, forecasts of aviation activity, and delay statistics.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p>Database Access Systems</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aviation System Performance Metrics (ASPM) • Operational Network (OPSNET) • Traffic Flow Management System Counts (TFMSC) • Airline Service Quality Performance (ASQP) • Terminal Area Forecast (TAF) </div> <div style="width: 35%;"> <p>Reporting Systems</p> <ul style="list-style-type: none"> • Business Jet Reports </div> </div> <p>- PDARS</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th data-bbox="400 1760 641 1798">시스템</th> <th data-bbox="641 1760 1382 1798">기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="400 1798 641 1939"> PDARS (Performance Data Analysis and Reporting System) </td> <td data-bbox="641 1798 1382 1939"> <ul style="list-style-type: none"> • ATC 시스템 자료와 관련 항적 자료, 구역·시설 정보, 지형 및 기상 정보, 비행계획 등의 자료 수집 • 국가공역체계 개선을 위한 성과측정 도구로서 활용 </td> </tr> </tbody> </table> </div>	시스템	기능	PDARS (Performance Data Analysis and Reporting System)	<ul style="list-style-type: none"> • ATC 시스템 자료와 관련 항적 자료, 구역·시설 정보, 지형 및 기상 정보, 비행계획 등의 자료 수집 • 국가공역체계 개선을 위한 성과측정 도구로서 활용 					
시스템	기능								
PDARS (Performance Data Analysis and Reporting System)	<ul style="list-style-type: none"> • ATC 시스템 자료와 관련 항적 자료, 구역·시설 정보, 지형 및 기상 정보, 비행계획 등의 자료 수집 • 국가공역체계 개선을 위한 성과측정 도구로서 활용 								

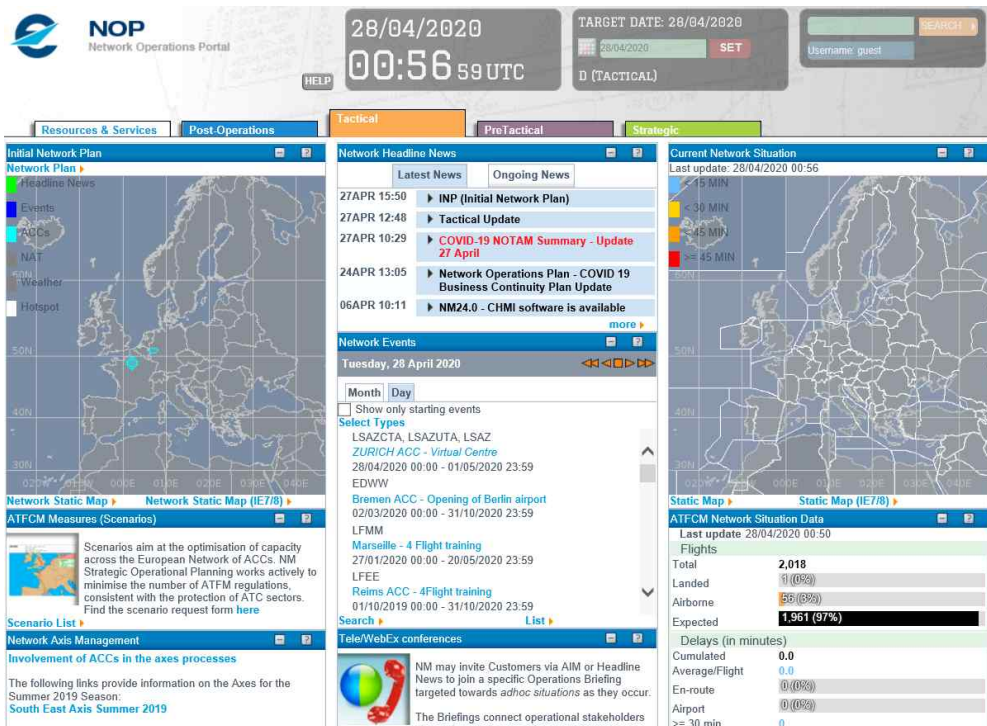
구분	유럽
----	----

- EASA는 항공교통관리 업무 시스템 및 통계시스템, 대시보드 등을 운영
- 대부분 시스템은 One Sky Online Portal을 통해 접근 가능하나, 사용자 권한에 따라 접근 가능한 시스템 상이

주요 시스템	기능
DDR (Demand Data Repository)	<ul style="list-style-type: none"> • 일일 공항 슬롯 정보, 일일 러시아 아웃바운드 교통량, 주간 항공사 스케줄, 일부 항공사의 SSIM 데이터, 공항계획 등의 데이터 수집 • 비행정보를 사전에 수집하여 과거 교통량데이터와 함께 사용하여 전략 단계 및 사전-전술 단계의 교통량 수요를 예측, 협력적 네트워크 운영계획 수립을 지원
NOP (Network Operations Portal)	<ul style="list-style-type: none"> • 네트워크 내 이해관계자가 네트워크 실시간 데이터 및 운영 정보에 접근할 수 있도록 개발한 포털 • 실시간 교통 및 공역 상태, 항공교통흐름 및 수용량 조치를 모니터링 하고, ATM 수용량을 최적화하기 위함이 목적

[그림 73] EASA NOP 포털 화면

항공교통
데이터
시스템



- 시스템을 보조하는 도구로 시뮬레이션 툴 사용
 - NEST는 시뮬레이션 도구로 공역구조 설계 및 개발 등 가능한 자원을 최적화하여 네트워크 성능을 향상시키는데 활용

구분	미국									
항공안전 데이터 시스템	<ul style="list-style-type: none"> 미국 FAA의 ASIAS 구축 									
	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">시스템</th> <th>기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"> ASIAS (Aviation Safety Information Analysis & Sharing) </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 항공기사고/준사고/자율보고 등과 같은 안전데이터 자료 제공 항공안전정보의 통합 및 분석 목적으로 구축, 이해관계자(항공사, 정비업체, 정부 기관, 유관 사업 관계자)들이 제공한 데이터는 안전 지표와 추세 분석에 이용 </td> </tr> </tbody> </table>	시스템	기능	ASIAS (Aviation Safety Information Analysis & Sharing)	<ul style="list-style-type: none"> 항공기사고/준사고/자율보고 등과 같은 안전데이터 자료 제공 항공안전정보의 통합 및 분석 목적으로 구축, 이해관계자(항공사, 정비업체, 정부 기관, 유관 사업 관계자)들이 제공한 데이터는 안전 지표와 추세 분석에 이용 					
	시스템	기능								
	ASIAS (Aviation Safety Information Analysis & Sharing)	<ul style="list-style-type: none"> 항공기사고/준사고/자율보고 등과 같은 안전데이터 자료 제공 항공안전정보의 통합 및 분석 목적으로 구축, 이해관계자(항공사, 정비업체, 정부 기관, 유관 사업 관계자)들이 제공한 데이터는 안전 지표와 추세 분석에 이용 								
	<ul style="list-style-type: none"> ASIAS 시스템 데이터베이스 									
<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td>FAA 항공기사고/준사고 데이터 시스템</td> <td>NTSB 항공기사고/준사고 데이터시스템</td> </tr> <tr> <td>항공기 등록정보</td> <td>FAA 대응에 대한 NTSB 안전 권고사항</td> </tr> <tr> <td>NASA 항공안전보고 시스템</td> <td>활주로 침범 데이터</td> </tr> <tr> <td>미 교통부의 교통통계국</td> <td>FAA UAS 사고/준사고 예비 데이터</td> </tr> <tr> <td>FAA 근접공중충돌 시스템(NMACS)</td> <td>CAA 세계항공기사고요약 데이터</td> </tr> </tbody> </table>	FAA 항공기사고/준사고 데이터 시스템	NTSB 항공기사고/준사고 데이터시스템	항공기 등록정보	FAA 대응에 대한 NTSB 안전 권고사항	NASA 항공안전보고 시스템	활주로 침범 데이터	미 교통부의 교통통계국	FAA UAS 사고/준사고 예비 데이터	FAA 근접공중충돌 시스템(NMACS)	CAA 세계항공기사고요약 데이터
FAA 항공기사고/준사고 데이터 시스템	NTSB 항공기사고/준사고 데이터시스템									
항공기 등록정보	FAA 대응에 대한 NTSB 안전 권고사항									
NASA 항공안전보고 시스템	활주로 침범 데이터									
미 교통부의 교통통계국	FAA UAS 사고/준사고 예비 데이터									
FAA 근접공중충돌 시스템(NMACS)	CAA 세계항공기사고요약 데이터									

구분	유럽			
항공안전 데이터 시스템	<ul style="list-style-type: none"> 유럽 EASA의 Data4Safety(D4S) Programme 구축 			
	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">시스템</th> <th>기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"> D4S (Data4Safety) </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 최고의 항공 안전 및 환경 수준을 보장하기 위해 개발된 데이터 수집 및 분석 프로그램으로, 유럽 내 안전 위험 관리를 지원가능한 모든 데이터를 수집. 수집하는 데이터는 안전 보고서, (비행기록장치에 의해 기록된) 비행 데이터, 감시 데이터(항공교통데이터), 기상데이터 등을 포함 위험 식별, 위험 평가를 통한 위험의 성격 결정, 적절한 안전 조치 수행 여부 검증 등을 목표로 함 </td> </tr> </tbody> </table>	시스템	기능	D4S (Data4Safety)
시스템	기능			
D4S (Data4Safety)	<ul style="list-style-type: none"> 최고의 항공 안전 및 환경 수준을 보장하기 위해 개발된 데이터 수집 및 분석 프로그램으로, 유럽 내 안전 위험 관리를 지원가능한 모든 데이터를 수집. 수집하는 데이터는 안전 보고서, (비행기록장치에 의해 기록된) 비행 데이터, 감시 데이터(항공교통데이터), 기상데이터 등을 포함 위험 식별, 위험 평가를 통한 위험의 성격 결정, 적절한 안전 조치 수행 여부 검증 등을 목표로 함 			

<부록 A> 수용량 예측 및 항공교통 흐름관리 개념

□ 수용량 예측

○ 수용량 예측의 필요성

- 수용량은 항공교통관리 성능평가를 위한 주요 지표에 해당
 - * KPI 06(항공로 공역 수용량), KPI 09(공항 침투 용량)
- 또한, 항공교통 흐름관리의 궁극적인 목표는 수용량과 교통량의 밸런싱을 사전에 계획함으로써 교통흐름의 균형을 유지하는 것이므로, 수용량 예측정보는 항공교통 흐름관리 구축에 반드시 필요

○ 수용량의 정의

- 항공교통흐름관리에서 의미하는 수용량은 각 관제기관이 담당하는 물리적 공간에서 항공기 운항안전을 유지하며 단위시간당 (예, 15분, 30분, 1시간, 등) 처리 가능한 항공기 수를 의미
- 항공교통흐름관리의 전략단계 수용량 vs. 전술단계 수용량
 - 전략단계 수용량: 기상, 공역운용, 공항 및 항행시설이 정상적인 상황에서 공항 및 공역의 수용량 (넓은 의미의 공시 수용량¹¹⁾ (Declared Capacity))
 - 전술단계 수용량: 기상, 공역운용, 공항 및 항행시설 운용 등 가변적 특이사항을 고려한 수용량 (넓은 의미의 운용 수용량¹²⁾ (Operational Capacity))
 - 전술단계 수용량(즉, Operational capacity)은 기상 상황, CNS(Communication, Navigation, Surveillance) 상태, 교통량 등 동태적 요인과 관제시설의 운용 상황에 따라 변화하며, 항공교통흐름관리 상 전략단계 수용량(즉,declared capacity)보다 낮을 수 있음
- 최대 수용량 및 적정 수용량
 - 최대 수용량: 관제기관이 담당하는 물리적 시설 또는 공간을 통해 단위 시간당 처리할 수 있는 최대 항공기 수
 - 적정 수용량: 관제기관이 담당하는 물리적 시설 또는 공간적 조건 뿐 아니라 교통량에 따른 항공기 지연 및 관제사의 관제량등을 고려하여 단

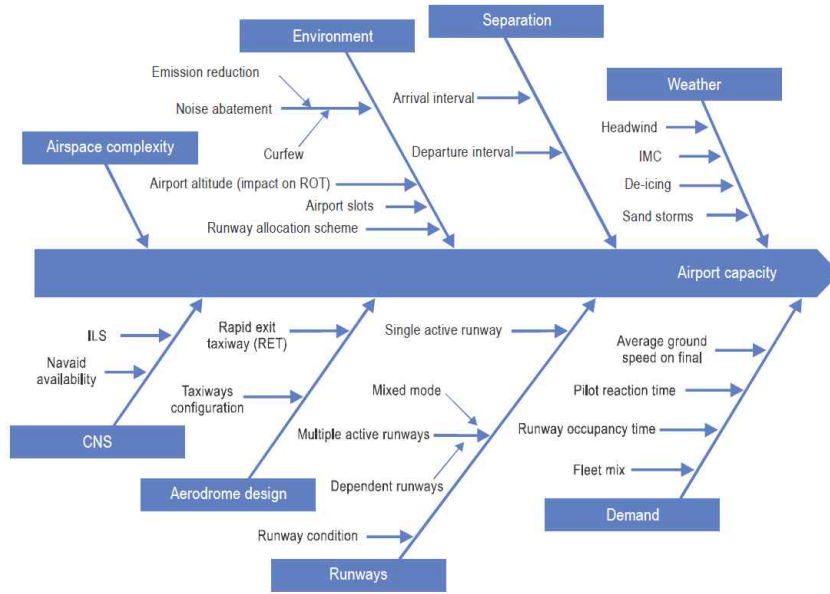
11) 출처: ICAO Doc9971 Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management (Third Edition, 2018)

12) 출처: ICAO Doc9971 Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management (Third Edition, 2018)

위시간당 처리할 수 있는 적정 항공기 수를 의미

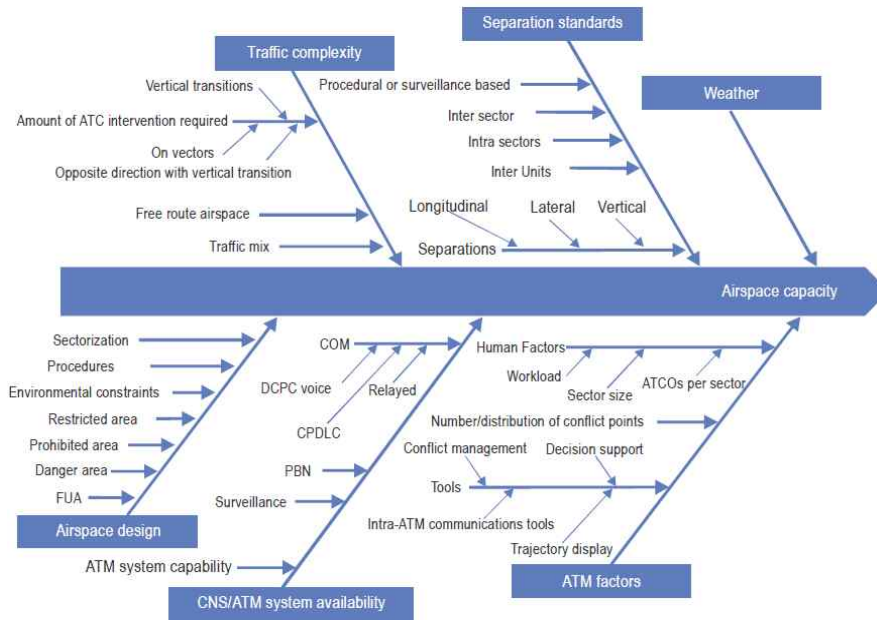
- 통과 교통량 및 순간 수용량¹³⁾
 - 통과 교통량(Throughput): 단위시간 동안 특정 지점을 통과하는 총 항공기 수이며 관제기관이 주어진 시간동안 운용할 수 있는 항공기의 수를 의미
 - 순간 수용량(Instantaneous Capacity): 섹터 내에 동시에 존재하는 항공기 수(공역 내 항공기의 밀도), 또는, 특정한 시간동안 구역을 점유한 최대 항공기 수를 의미
- 관제기관별 수용량 및 관제기관 통합 수용량
 - 관제기관별 수용량: 관제기관(공항관제탑, 접근관제소, 지역관제소)이 관제하는 개별 공항, 접근관제공역, 항로섹터의 수용량
 - 관제기관 통합 수용량: 관제기관간 공간적·기능적 연계성을 고려한 Complexity 개념의 통합 수용량
 -
- 수용량에 영향을 미치는 요인
 - 관제기관별 수용량은 다양한 요인에 영향을 받으며, 이를 크게 정태적 요인과 동태적 요인으로 구분할 수 있음
 - 정태적 요인: 수용량에 영향을 미치는 일반적 요인 (예, Airspace Design, Technical Infrastructure, Procedures, Staffing & Training)
 - 동태적 요인: 수용량에 영향을 미치는 가변적 (또는 일시적) 요인 (예, Dynamic Wx, Special Use Airspace, Actual Staffing, etc)
 - 참고로, 아래 그림은 공항 및 섹터공역 수용량에 영향을 미치는 세부 요인을 정리한 것임

13) 출처: ICAO Doc9971 Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management (Third Edition, 2018)



[그림 74] 공항 수용량에 영향을 미치는 요소

출처: ICAO Doc9971 Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management (Third Edition, 2018)



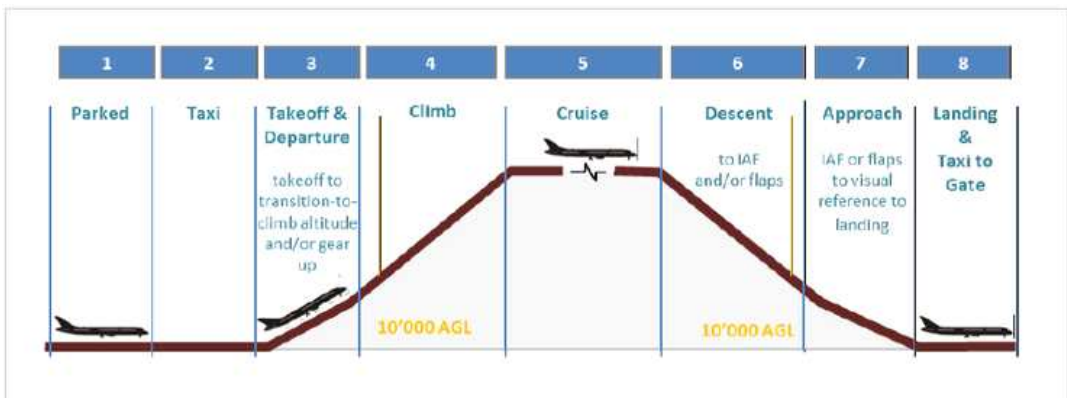
[그림 75] 섹터 공역 수용량에 영향을 미치는 요소

출처: ICAO Doc9971 Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management (Third Edition, 2018)

○ 관제기관별 수용량 예측

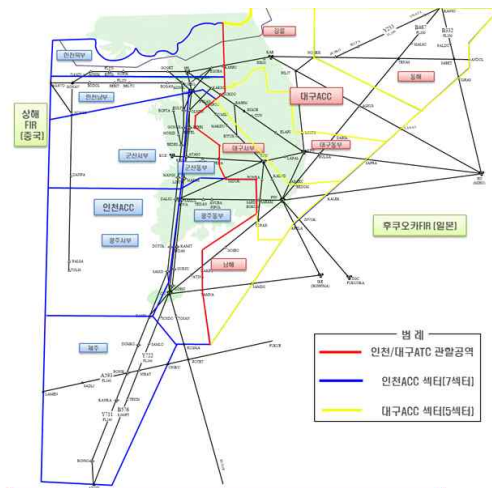
- 관제기관 구분

- 관제기관은 공항관제탑, 접근관제소, 지역관제소¹⁴⁾(Area Control Center, ACC)로 구분되며, 각 관제기관이 담당하는 물리적 공간은 공항, 접근관제구역, 항로섹터임.
- 아래 그림은 항공기 비행단계에 따라 공항관제탑(아래 그림 1,2,3,8단계 담당), 접근관제소(아래 그림 4,6,7단계 담당), 지역관제소(아래 그림 5단계 담당)로 구분됨.



[그림 76] 비행단계 구분

- 아래 그림은 우리나라 지역관제소(총 2개)와 각 지역관제소가 담당하는 항로섹터(총 12개 섹터)를 보여주고 있음.



[그림 77] 우리나라 지역관제소와 담당섹터

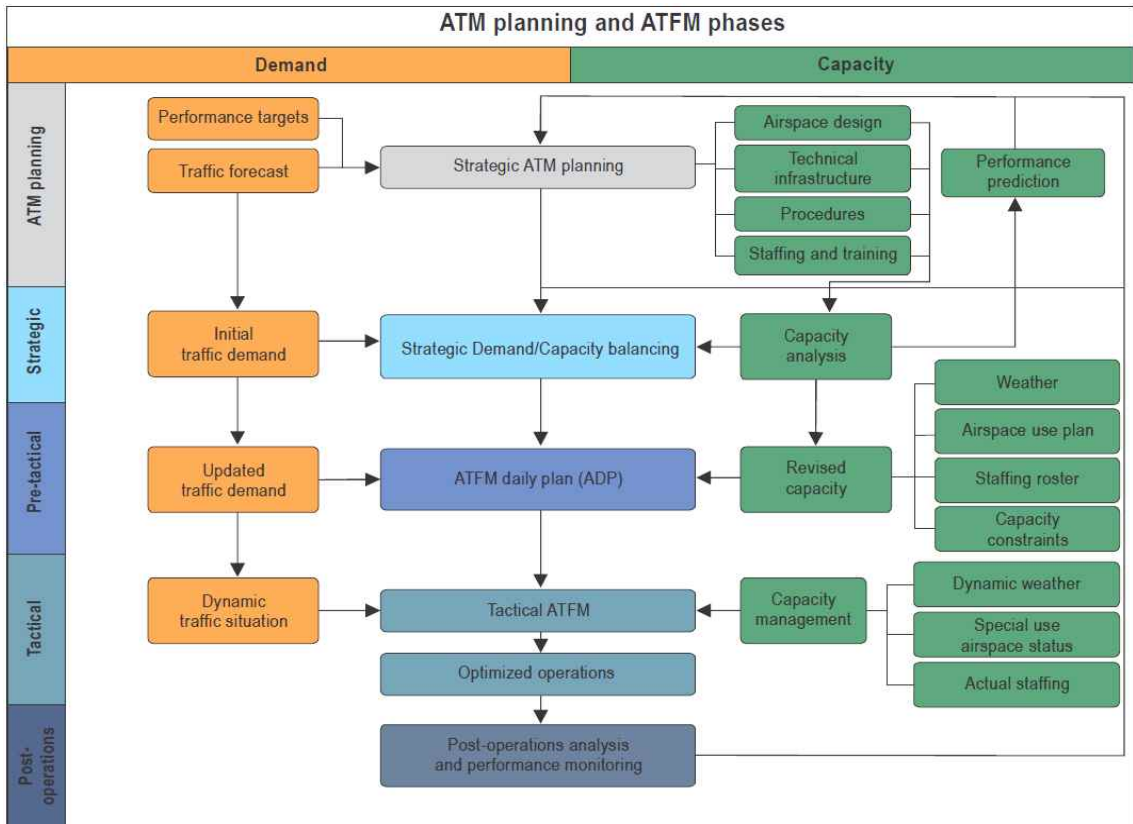
14) 지역관제소는 항로관제소로 불리우기도 함. 우리나라의 공역은 총 2개의 지역관제소로 나뉘어 관제되고 있으며, 각 지역관제소는 담당공역을 세부 섹터단위로 구분하여 관제업무를 수행하고 있음.

- 관제 기관별 전략단계, 전술단계 수용량
 - 전략단계 수용량: 수용량에 영향을 미치는 정태적 요인을 고려하여 특정 일로부터 6일 또는 그 이전에 해당 관제기관의 단위시간당 최대 및 적정 수용량을 산정
 - 전술단계 수용량: 시간의 흐름에 따라 변화하는 동태적 요인(예, 기상, 공항 및 공역 운영계획, 교통량 등)을 고려하여 해당시간 2~24시간 이전에 해당 관제기관의 적정 수용량을 예측
- 관제기관 통합 수용량
 - 시간의 흐름에 따라 변화하는 동태적 요인(기상, 공항 및 공역 운영계획, 교통량 등) 및 관제기관간 공간적·기능적 연계성을 고려한 Complexity 개념의 통합 수용량.

□ **항공교통흐름관리 (ATFM : Air Traffic Flow Management)**

- 항공교통흐름관리는 공역 수용량을 최적화하고 그와 맞추어 항공교통수요를 관리하여 안전하고 효율성 높은 항공교통흐름을 가능하게 하기 위한 체계임
- 항공교통흐름관리는 시간 흐름에 따라 전략단계(Strategic), 사전 전술단계(Pre-tactical), 전술단계(Tactical) 단계로 나눌 수 있으며 연속적으로 시행됨
 - 전략 단계
 - 전략단계는 실제 운용보다 최소 1주 이상 전에 취해지는 방법들을 포함하고 있으며, 이 중 상당수는 2달 이상 전에 수행됨
 - 전략단계는 데이터를 지속적으로 수집 및 분석하고 가용한 용량을 검토한 뒤 수용량/수요 간 불균형이 있을 경우 일련의 절차들로 계획을 수립함
 - 이런 계획의 일부는 항공정보간행물(AIP, Aeronautical Information Publication)로 배포되어 해당 지역에서 예상되는 혼잡을 해결할 때 사용됨
 - 이 과정에서 관제기관과 공역 사용자는 가장 적합하고 수용할 수 있는 ATFM 해결책을 함께 찾고 선택해야 함
 - 사전 전술단계
 - 사전 전술단계는 보통 실제 운용 1주일 전부터 하루 전까지 수행됨
 - 이 기간 동안 교통 수요와 사용 가능한 용량을 비교하여 전략단계에서 수립한 계획을 수정함
 - 사전 전술단계의 주 목표는 섹터 구성 관리나 대체 비행 절차 등을 활용하여 수용량을 최적화하는 것임
 - 이를 위해 취해져야 할 방법들을 정리하여 협력적 의사결정(CDM, Collaborative Decision Making)에 참여하는 이해당사자들과 협의를 진행함
 - 사전 전술단계는 ATFM 일간 계획 (ADP, ATFM Daily Plan)을 작성하여 전술단계로 전달함
 - 전술단계
 - 전술단계는 전략단계 및 사전 전술단계에서 제시한 방법들이 효과적인지 확인하고 실시간 교통량과 수용량을 반영하여 필요시 방법들을 수정하여 적용함

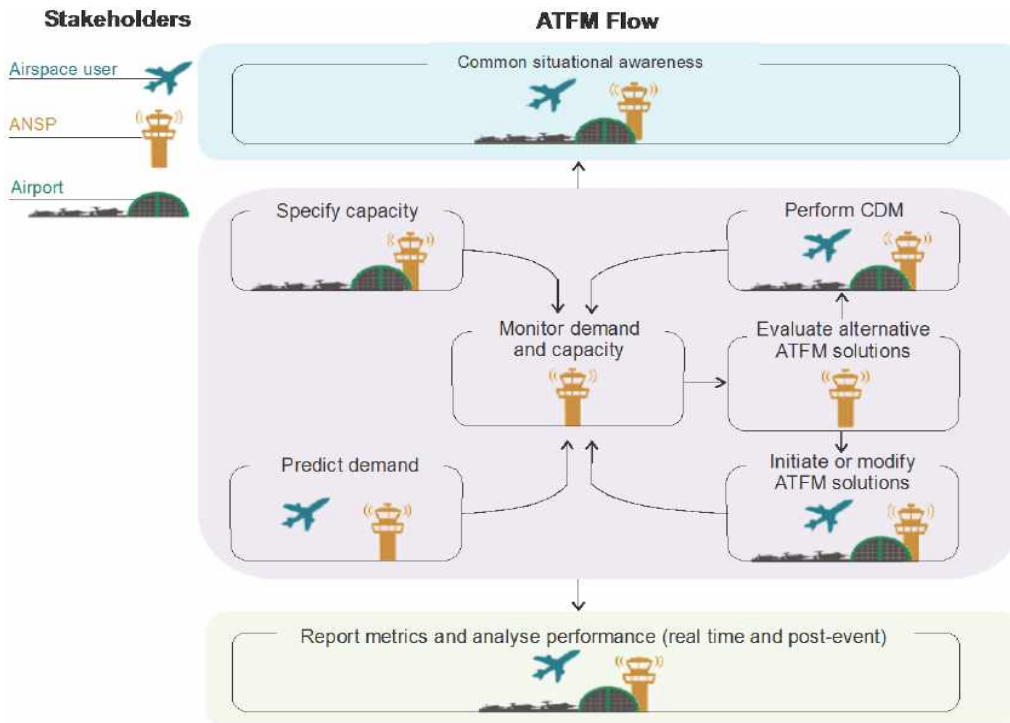
- 이 단계는 짧은 기간의 예측에 근거하여 실시간으로 수행되므로 정확한 정보가 가장 중요하며, CDM 체계를 활용하여 정보를 수집하고 ATFM 방법들의 효과를 지속적으로 분석하여 필요시 수정하는 것이 필요함



[그림 78] 항공교통흐름관리의 단계

출처: ICAO Doc9971 Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management (Third Edition, 2018)

- 항공교통흐름관리는 다음의 흐름을 따라 수행됨
 - 특정 시간(예, 15분 혹은 1시간 간격 등) 동안의 항공교통 수요 예측
 - 수요와 수용량 비교 분석 (자동화 툴 등을 이용하여 수용량 대비 수요 초과 구간 식별)
 - 수용량 최적화, ATFM 조치(예: 지상지연, 항로우회, 최소출발분리 등)와 같은 ATFM 솔루션 결정
 - ATFM 솔루션에 대한 정보 공유
 - 상황 모니터링 및 사후 분석



[그림 79] 항공교통흐름관리 흐름도

출처: ICAO Doc9971 Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management (Third Edition, 2018)

○ 항공교통흐름관리 방법(Measure)

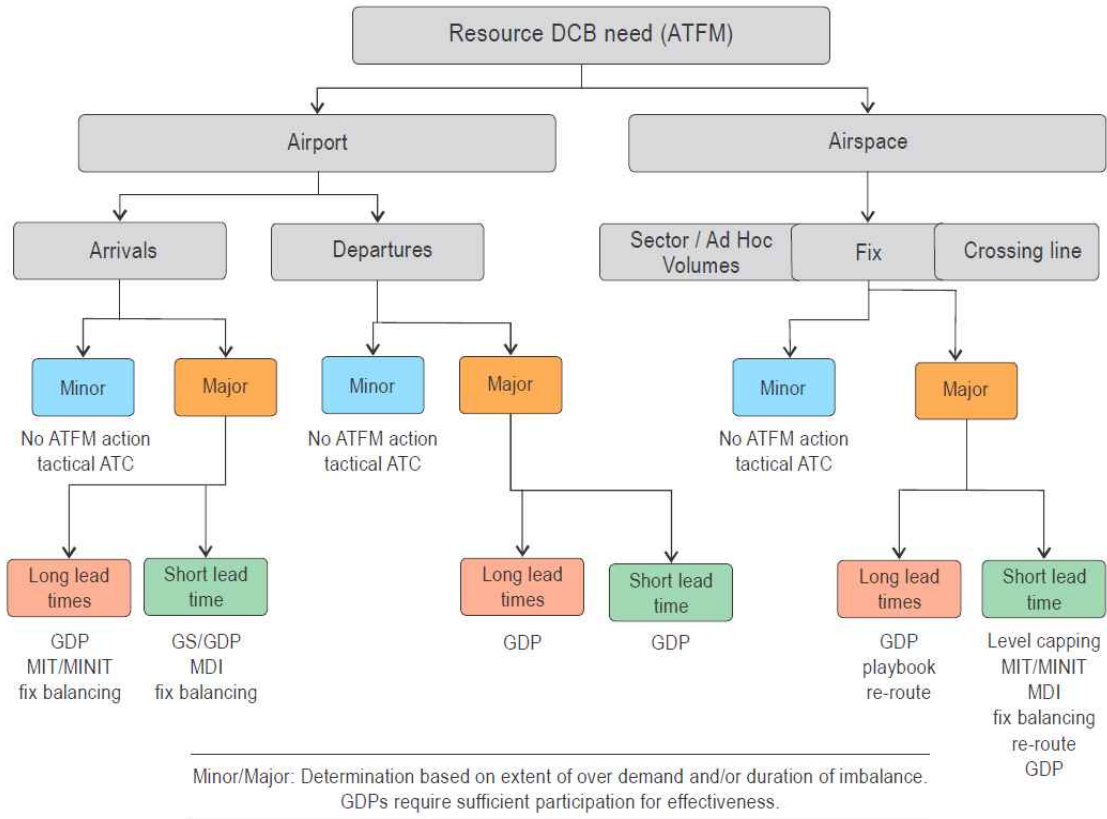
- ATFM 방법이란 항공교통 수용량에 맞게 수요를 조절하는 사전 전술단계 혹은 전술단계 기법들을 의미함
- ATFM 방법은 수요가 수용량을 초과할 시에만 일시적으로 적용해야 하며 상시적으로 사용하면 안됨
- 지속적으로 수요와 수용량 간 불균형이 발생할 시에는 보다 전략적으로 해결책을 찾아야 함
- 대표적인 ATFM 방법은 다음과 같음
 - GDP(Ground Delay Program): 특정 공역이나 공항의 수요와 수용량을 관리하기 위해, 가용한 슬롯에 따라 항공편들을 지상에서 지연시키는 방법
 - Re-route: 특정 영역에 도달하는 항공기 수를 줄이기 위해 비행경로를 변경하는 방법으로, 의무적으로 따라야 하는 경우와 조연의 성격을 갖는 경우로 나눌 수 있음

- Ground stop: 예측 불가능한 악조건 (예, 심각한 악기상, 활주로 폐쇄, 관제 시설 마비 등)이 발생했을 시 몇몇 항공기의 이륙을 통제하는 방법으로, 공역 사용자(항공사)에 끼치는 영향이 매우 크기 때문에 다른 대안을 다 검토하고 시도한 뒤에 사용해야 함
 - MIT(Miles-In-Trail) / MINT(Minutes-In-Trail): 한 공역의 경계 지점을 통과하는 항공기간 최소 분리 거리/시간을 조절하는 방법
 - MDI(Minimum Departure Intervals): 출발 섹터의 극심한 혼잡 혹은 섹터 수용량의 갑작스러운 저하와 같은 일시적 수요/수용량 불균형이 발생하거나 도착 공항의 단기적인 수요/수용량 불균형을 부드럽게 관리하기 위해 특정 공항의 출발편 간 시간 간격을 조절하는 방법
 - Fix balancing: 수요를 분산시켜 공중 지연을 줄이기 위해 비행계획에 지정된 출/도착 fix가 아닌 다른 fix로 지정하는 방법
 - Level capping: 특정 비행 고도를 제한하여 고도 상승이나 하강을 금지하는 방법
- 각 ATFM 방법들의 제약 요인, 적용 방법, 적용 단계, 요구조건 및 선택 기준은 아래 표와 그림과 같음

<표 67> ATFM 방법 (Measure)

ATFM 방법	제약요인			적용방법	적용단계	요구조건
	도착공항	출발공항	공역			
GDP	○	○	○	CTOT	사전 전술단계 전술단계	참여율 및 거리
Re-route			○	비행경로 변경	사전 전술단계 전술단계	공역, 항로 접근권한
Ground stop	○			특정 공항의 출발편 통제	전술단계	
MIT/MINT	○		○	항로상 시간 혹은 거리 기반 분리	전술단계	
MDI	○		○	한 공항의 출발편 간 시간 분리	전술단계	
Fix balancing	○		○	비행경로 변경	전술단계	
Level capping			○	비행경로 변경	전술단계	

출처: ICAO Doc9971 Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management (Third Edition, 2018)

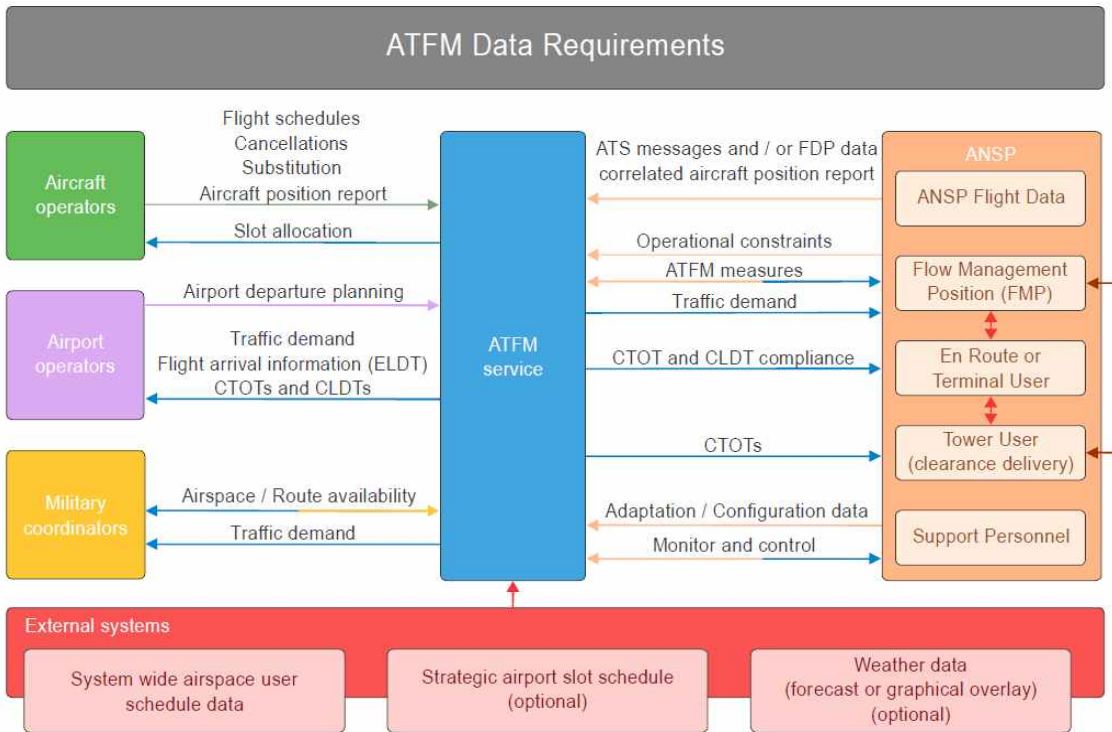


[그림 80] 항공교통흐름관리 방법의 선택 기준

출처: ICAO Doc9971 Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management (Third Edition, 2018)

○ 항공교통흐름관리 데이터 교환

- 항공교통흐름관리는 광범위한 항공교통흐름에 영향을 미치기 때문에 관련된 이해당사자 간 견고한 협력적 의사 결정 기법(CDM, Collaborative Decision Making)을 기반으로 하고 있음
- 이들 간 데이터 교환은 다음과 같음



[그림 81] 항공교통흐름관리 서비스 간 데이터 교환

출처: ICAO Doc9971 Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management (Third Edition, 2018)