19ATR
P-C088
155-06

항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구 최종보고서

2020

국토교통과학기술진흥원
국토교통부

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호()

항공안전기술개발사업 최종보고서

R&D / 19ATRP-C088155-06

항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구 최종보고서

2020. 11. 2.

주관연구기관 / 한국항공우주연구원
공동연구기관 / 한국교통연구원
/ ㈜아이비리더스
/ ㈜유니텍
위탁연구기관 / 한국항공대학교
/ 인하대학교
/ 서울대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

'항공기 출발 및 도착 통합관리 기술 연구'(연구개발 기간 : 2014. 10. 31. ~ 2020. 8. 31.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2020. 11. 2.

주관연구기관명 : 한국항공우주연구원 (대표자) 임 철 호 (인)

공동연구기관명 : 한국교통연구원 (대표자) 오 재 학 (인)

공동연구기관명 : ㈜아이비리더스 (대표자) 정 광 천

공동연구기관명 : ㈜유니텍 (대표자) 이 훈 민

위탁연구기관명 : 한국항공대학교 산학협력단 (대표자) 고 상 호 (인)

위탁연구기관명 : 인하대학교 산학협력단 (대표자) 서 태 범 (인)

위탁연구기관명 : 서울대학교 산학협력단 (대표자) 김 용 진 (인)

주관연구기관책임자: 전 대 근

공동연구기관책임자: 김 준 혁

공동연구기관책임자: 정 홍 기

공동연구기관책임자: 김 영 식

위탁연구기관책임자: 이 금 진

위탁연구기관책임자: 이 학 태

위탁연구기관책임자: 김 유 단

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19ATRP-C088155-06	해당 단계 연구 기간	2014.10.31. ~ 2020.08.31	단계구분	1 / 1
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	항공안전기술개발사업			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	항공기 출발 및 도착 통합관리 기술 연구			
연구책임자	전대근	해당단계 참여연구원 수	총: 79명 내부: 79명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 15,784,000 천원 민간: 5,264,000 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 21,048,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 79명 내부: 79명 외부: 명	총 연구비	정부: 15,784,000 천원 민간: 5,264,000 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 21,048,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	주관: 한국항공우주연구원 공동: 한국교통연구원 공동: ㈜아이비리더스 공동: ㈜유니텍			참여기업명: ㈜아이비리더스 ㈜유니텍	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 한국항공대학교 인하대학교 서울대학교			연구책임자: 이금진 이학태 김유단	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	보안 등급: 일반 결정 사유: 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제24조의4 보안과제 기준에 해당하지 않음

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 ·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약: 요약문 참조	보고서 면수: 218쪽

요약문

연구의 목적 및 내용	• 연구 목적: 항공기 출발 및 도착 효율 향상을 위한 통합 관제 최적화 및 관리 기술 획득 • 주요 연구 내용 - 출발 관리 기술 연구(도착관리와 연계) - 출도착 통합 관리를 위한 도착관리 시스템 기능 확장 - 출도착 통합 관리 시스템 구축 및 시험 평가
연구개발성과	• 국내외 동향 분석 및 출도착 통합 관리 운용개념 수립 • 출도착 관리 핵심 기술 연구 - 가변 지상이동시간 예측 기술 연구 - 공역 교통 모니터링 및 예측 기술 연구 - 출도착 스케줄링 기술 연구 • 출도착 통합 관리 시스템 개발 - 시스템 요구사항 정의 및 시스템/서브시스템 설계 - 소프트웨어 요구사항 정의 및 소프트웨어 설계 - 소프트웨어 구현 및 소프트웨어 시험 - 시스템 통합 및 시험 • 시험평가 - Fast-Time 시뮬레이션을 통한 스케줄러 검증 - Human-In-The-Loop(HITL) 시뮬레이션 시스템 구축 및 시뮬레이션 수행을 통한 편익 분석 - 현장 시범 운용 (제주공항 및 인천공항) - 제3자 소프트웨어 정적/동적 시험 - Good Software(GS) 인증 평가 및 인증 획득 • NASA 국제공동연구 수행 및 Group Achievement Award 수상
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	• 항공교통 효율성 증대 - 항공기 지상 대기 및 체공 감소에 따른 출도착 지연 시간 감소 - 연료소모 및 온실가스 배출 감소에 따른 경제적 효과 및 대기오염 완화 • 항공교통 예측성 증대 및 자원 활용 극대화 - 스케줄링 결과 자동 생성 및 준수에 따른 항공교통 예측성 증대 - 항공교통 흐름관리 제약사항 등 국내 특수성을 반영한 관제사 의사결정 보조 시스템으로 공역 및 공항 자원 활용도 증대 • 관제사 업무 부담 경감 - 항공교통 데이터 공유에 따른 상황 인지 개선 - 스케줄링 조언 정보에 따른 관제사 부담 경감 - 흐름관리자, 항공로, 접근, 타워 관제사 간 업무 협조 개선 • 향후 공항/공역 통합 스케줄링 확장 적용을 통한 흐름관리효과 제고 기대 - 국내 특수성을 고려한 공항/공역 통합 스케줄링 연구 시 연구성과 활용 - 4차원 궤적 기반 운용을 위한 핵심 기술로 지속 활용

국문핵심어 (5개 이내)	출발관리	도착관리	항공교통관리	관제 의사 결정 지원 도구	스케줄링
영문핵심어 (5개 이내)	Departure Management	Arrival Management	Air Traffic Management	Decision Support Tool	Scheduling

〈 목 차 〉

<제목 차례>

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1
가. 연구개발 목적 ····· 1
나. 연구개발 필요성 ····· 1
1) 항공기 출도착 관리 개념 ····· 1
2) 국외 기술 동향 ····· 2
3) 국내 기술 동향 및 주요 이슈 ····· 7
4) 국내 개발의 필요성 ····· 11
다. 연구개발 범위 ····· 12
1) RFP ('14.10) 상의 연구개발 내용 ····· 12
2) 실용화 점검 회의 결과에 따른 연구 조정 ····· 15
3) 연차별 연구개발 내용 ····· 16
2. 연구수행내용 및 성과 ····· 19
가. 연구 개발 추진 전략/방법 및 추진체계 ····· 19
1) 연구개발 추진 전략 및 방법 ····· 19
2) 연구 개발 추진 체계 ····· 22
나. 연구개발 결과 ····· 23
1) 국내외 동향분석 및 출도착 통합 관리 운용개념 수립 ····· 23
2) 출도착 관리 핵심기술 연구 ····· 28
3) 출도착 관리 시스템 개발 ····· 65
4) 시험평가 ····· 115
5) 한-NASA 공동 연구 (별책 26 참조) ····· 163
6) 주요 회의 개최 (별책 30, 31 참조) ····· 171
다. 정량적 성과 (별책 29 참조) ····· 174
1) 국내외 논문 게재 ····· 174
2) 국내 및 국제학술회의 발표 ····· 177
3) 지식재산권(특허, 실용신안 등) ····· 182

4) 저작권(소프트웨어, 서적 등) ····· 184
5) 전문 연구 인력 양성 ····· 187
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 188
가. 목표 달성도 ····· 188
1) 정량적 성과 목표 및 달성도 ····· 188
2) 성과점검 기준표 대비 달성도 ····· 188
나. 관련 분야 기여도 ····· 199
4. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 200
가. 연구성과 활용방안 ····· 200
나. 추가 연구 필요성 ····· 201
5. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 202
가. 인천공항/제주공항 시범운용을 통한 실용화 제고 ····· 202
나. 소프트웨어 품질 검증(정적/동적 시험, GS 인증) ····· 202
다. NASA 국제공동연구 ····· 203
라. 유관 기관 기술 지원 ····· 204
6. 붙임 ····· 206
가. 참고문헌 ····· 206
나. 약어 ····· 206
다. 별책 목록 ····· 212

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 목적

본 연구개발 과제는 항공기 출발 및 도착 효율 향상을 위한 통합 관제 최적화 및 관리 기술 획득을 최종 목표로 한다. 이를 위한 세부 연구 목표는 아래 [표1]과 같다.

[표 1] 연구 개발의 최종 목표

구분	내용
최종 목표	항공기 출발 및 도착 효율 향상을 위한 통합 관제 최적화 및 관리 기술 획득
세부 목표	- 출발 관리 기술 연구(도착관리와 연계) - 출도착 통합 관리를 위한 도착관리 시스템 기능 확장 - 출도착 통합 관리 시스템 구축 및 시험 평가

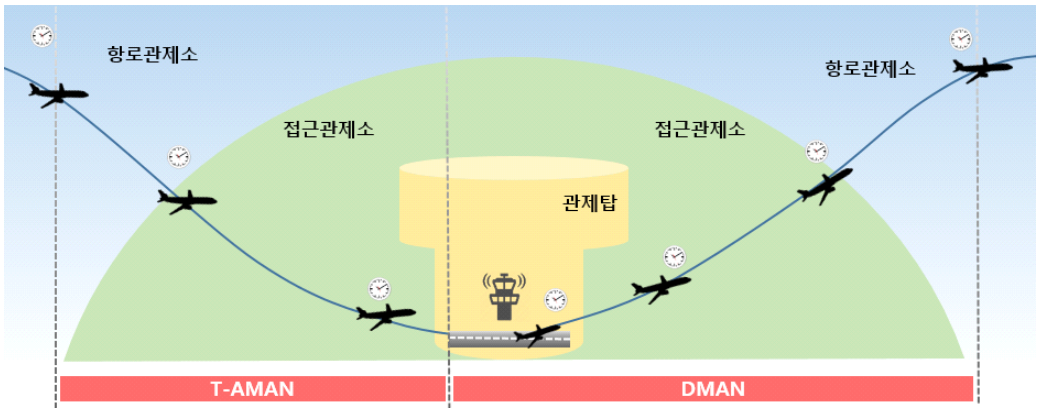
* 출처: 5차년 연차실적계획서(p.38)

나. 연구개발 필요성

1) 항공기 출도착 관리 개념

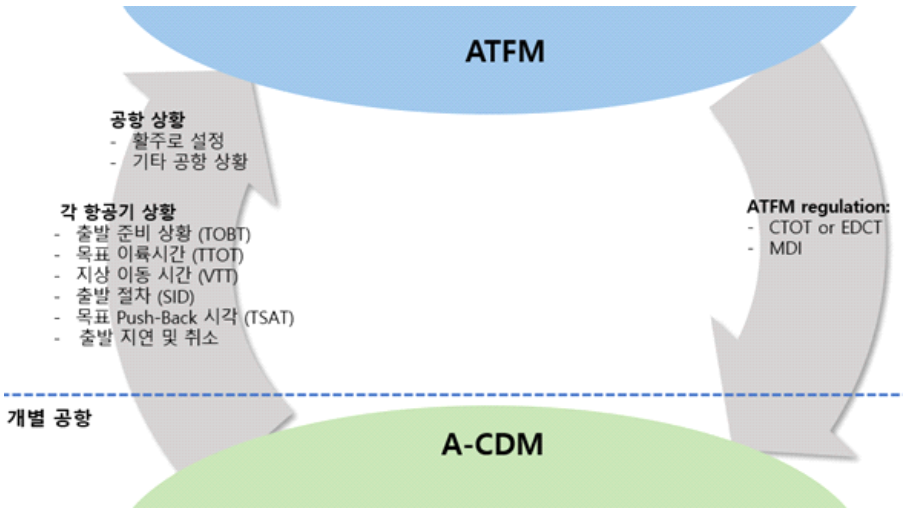
항공기 출발 및 도착관리 기술은 교통상황에 따라 출발 항공기와 도착 항공기의 이착륙 가능 시간을 예측하고, 개별 항공기의 이착륙 순서와 시간을 스케줄링 한 후, 이에 따라 필요한 이착륙 지연시간을 항공로 상에 운항하고 있는 도착 항공기나 지상의 출발 대기 중인 출발 항공기에 분산함으로써 공항 주변의 공역과 공항 지상에서 항공기들이 불필요한 지연 없이 부드럽게 도착 또는 출발할 수 있도록 하는 기술이다. 항공기 도착관리(AMAN, Arrival Management)는 도착 항공기들의 순서 배열과 시간을 지속적으로 계산하고 각 항공기들에게 최적화된 도착 순서를 생성한 후 관제사들에게 제공함으로써 공역 활용성과 활주로 운용 효율성을 개선시키고 관제사들의 일부담을 줄이고자 하는 목적을 갖고 있으며, 항공기 출발관리(DMAN, Departure Management)는 활주로 사용률을 높게 유지하면서도 항공교통흐름관리(ATFM, Air Traffic Flow Management)로부터 주어진 출발 항공기 제약사항을 만족시킴과 동시에 출발 항공기에게 지연 없고 안전한 지상 이동 및 이륙 스케줄을 제공하고자 하는 목적과 운용 개념을 갖고 있다. 더불어, 출도착을 위해 지상이나 공중에서 이동 중인 항공기들의 상태와 이들과의 상호작용을 고려하여 출발 스케줄링을 수행함에 따라, 항공기의 지상 이동 관

리(SMAN, Surface Management), DMAN, AMAN이 통합된 항공기 출도착 통합관리(IADS, Integrated Arrival, Departure, and Surface) 개념을 이룬다[1].



[그림 1] 항공기의 이착륙 단계 및 AMAN/DMAN의 범위

또한, 출도착 관리 시스템은 공항의 협력적 의사결정 시스템 (A-CDM, Airport-Collaborative Decision Making) 체계 하에서 운용되며 항공기 운항과 관련된 여러 정보를 종합하여 항공기의 도착 시간을 예측하고, 출발 항공기의 출발 시간을 계획하여 이해관계자들에게 정보를 공유하는 중추적인 역할을 할 뿐만 아니라, 출발 항공기의 출발 시간 계획 시, ATFM과의 직접적인 상호작용을 통해 넓은 공역의 전반적인 교통흐름을 원활하게 하는데 일조한다[1].



[그림 2] ATFM과 A-CDM간의 정보 전달

2) 국외 기술 동향

전 세계적으로 항공교통관리(ATM, Air Traffic Management)는 기존의 항공 감

시 레이더 상에 나타난 항공기의 현재 위치를 참조한 감시기반 항공교통관제에서 개별 항공기의 관측/예측 시간을 기반으로 효율적인 항공교통 흐름을 제공하기 위한 시간기반 항공교통관리로 전환되어 가고 있으며, 대표적인 시간 기반 항공교통관리 시스템으로 AMAN/DMAN이 여러 나라에서 구축/운용 되고 있다. 특히, 국제 민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)의 국제적 항행시스템 개선 계획인 Global Air Navigation Plan 및 부속 내용인 Aviation System Block Upgrades (ASBU)에서는 4가지 성능 개선 영역 중 하나인 'Airport Operations'를 개선할 현실적 운용 개념으로 'Full AMAN/DMAN/SMAN' [2, 3] 을 공식적으로 제안하였으며, 이에 따라 세계 각국에서는 각 나라의 실정에 맞는 AMAN/DMAN/SMAN을 개발, 운용하고 있다[1].

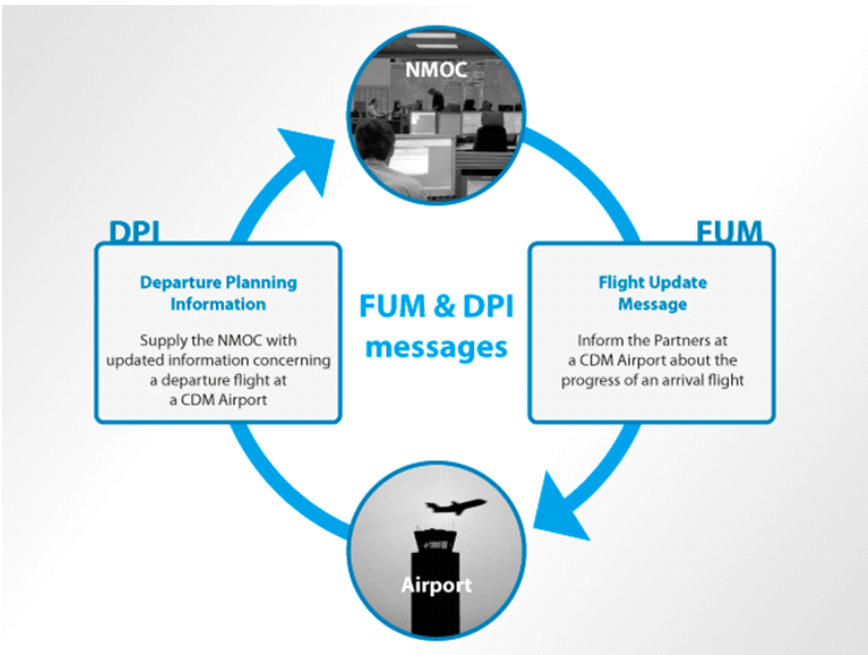
가) 유럽

유럽에서는 유럽 전 지역에 걸친 차세대 항공교통관리 시스템 개발을 위한 Single European Sky ATM Research(SESAR) 프로그램을 수행 중에 있다. SESAR에서 추구하는 ATM 성과는 크게 6개의 key features로 구성되고, 각 key feature는 개발 단계별로 필수적인 운영상의 변화(operational changes)를 포함하고 있다. SESAR의 항공기 출발 및 도착관리에 대한 미래 교통 정책은 6개 key features 중 'Traffic Synchronisation'과 'Airport Integration & Throughput'에 반영되어 있으며, ASBU의 출발 및 도착관리와 관련된 모듈과 SESAR의 operational changes 간의 세부적인 연관관계는 [표2]와 같다.

[표 2] 출도착 관리와 관련된 ASBU 모듈 및 SESAR Operational Changes의 관계

ICAO ASBU 모듈	SESAR Operational Changes
B0-RSEQ	AMAN + Point Merge
	DMAN Multiple Airports
	Time Based Separation
B1-RSEQ	AMAN and Extended AMAN Horizon
	DMAN Multiple Airports
	i4D + CTA
	Integrated AMAN DMAN
B2-RSEQ	Integrated AMAN DMAN
B3-RSEQ	Integrated AMAN DMAN

이에 따라 현재 유럽의 항공기 출/도착관리와 관련된 진행상황을 보면, 벨기에, 덴마크, 프랑스, 영국 등 일부 국가에서 기본 AMAN을 이용 중에 있고, 샤를드골공항을 비롯한 유럽 주요 공항에 DMAN이 배치되어 운용 중에 있다. AMAN과 DMAN은 개별 공항의 출도착 흐름을 관리하여 출도착 지연을 줄이고, 활주로 사용률을 높일 뿐만 아니라, 넓은 지역의 항공 교통흐름을 원활하게 하는 역할을 한다. 교통량이 많은 개별 공항의 A-CDM은 Pre-Departure Sequencer(PDS)로서 DMAN을 포함하고 있으며, 유럽 전체의 항공교통흐름을 관리하는 Network Manager Operation Center(NMOC)와 Departure Planning information(DPI) 메시지 및 Flight Update Messages(FUM)의 형태로 주요 정보를 교환하고 각 개별 공항에서의 항공기의 출도착 관리를 통해 유럽 전체의 교통 흐름을 원활하게 한다. A-CDM은 NMOC로부터 도착 항공기의 도착 예측 정보를 FUM으로 수신하고, 각 출발 항공기의 예측 출발 정보를 DPI로 송신하는데, 이는, 도착 항공기의 도착 예측 정보를 수신하여 항공기의 turn around process와 연결편 planning에 활용함과 동시에 각 출발 항공기의 예측 출발 정보를 생성하여 제공함으로써 NMOC로 하여금 교통 흐름 예측을 가능하게 하고, 다른 공항에 도착할 항공기들의 도착 예측 정보를 생성하는데 활용할 수 있게 하는 것이다. NMOC와 연결된 A-CDM의 이와 같은 운용 개념은 AMAN과 DMAN의 예측 및 스케줄링 기능의 활용성을 극대화 한 것으로 볼 수 있다.



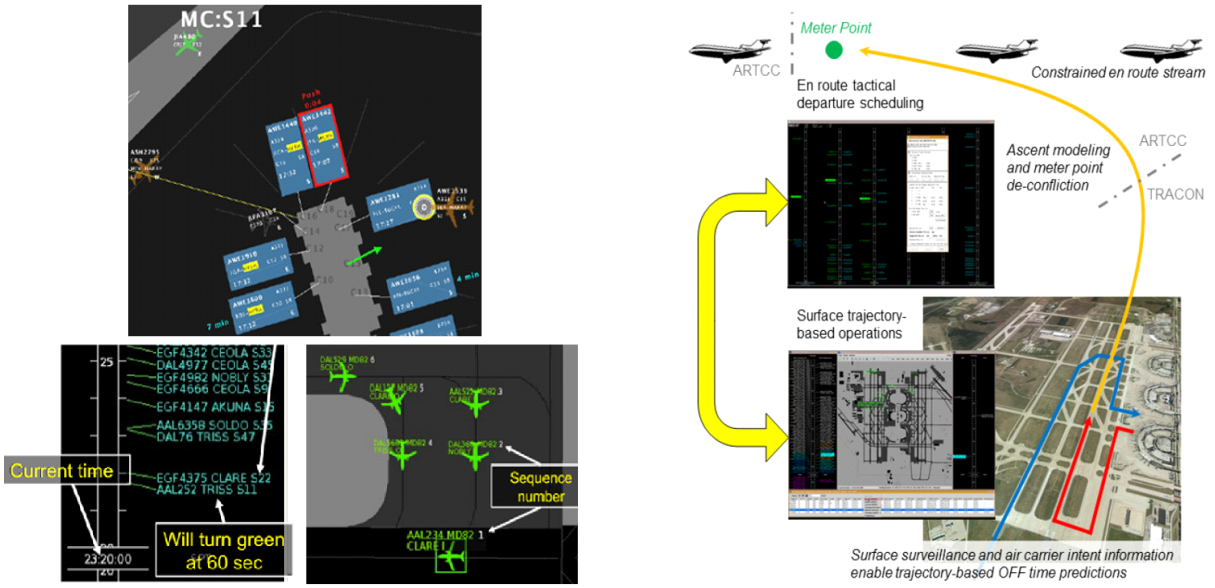
[그림 3] A-CDM 공항과 NMOC와의 데이터 (DPI, FUM) 교환

Eurocontrol A-CDM 홈페이지(https://www.eurocontrol.int/concept/airport-collaborative-decision-making, accessed 2020.05.26) 에 따르면 2020년 현재 유럽 내 29개 공항에서 DMAN이 포함된 A-CDM을 구축하여 활용하고 있다. Eurocontrol 주도로 A-CDM 구축 및 운영에 따른 효과 분석 보고서[7]가 발간된 바 있으며, 해당 보고서에는 A-CDM을 구축하여 운용중인 몇몇 대표적인 공항들에서의 정시성 향상, slot 개수 증가, 연료 소모량 감소 등과 같은 정량적인 효과분석 결과가 정리되어 있다. Civil Air Navigation Service Organization(CANSO)에서 발간한 문서[8]에는 NMOC와 연결된 A-CDM의 항공교통흐름 관리 주체로서의 역할이 정리되어 있으며, 연료소모 감소, 오염물질 배출 감소, 공항 수용량 증대, 이해 관계자들에게 제공될 여러 예측 관련 정보들의 예측 정확성 향상 등이 A-CDM의 주요 효과로 제시되고 있다.

나) 미국

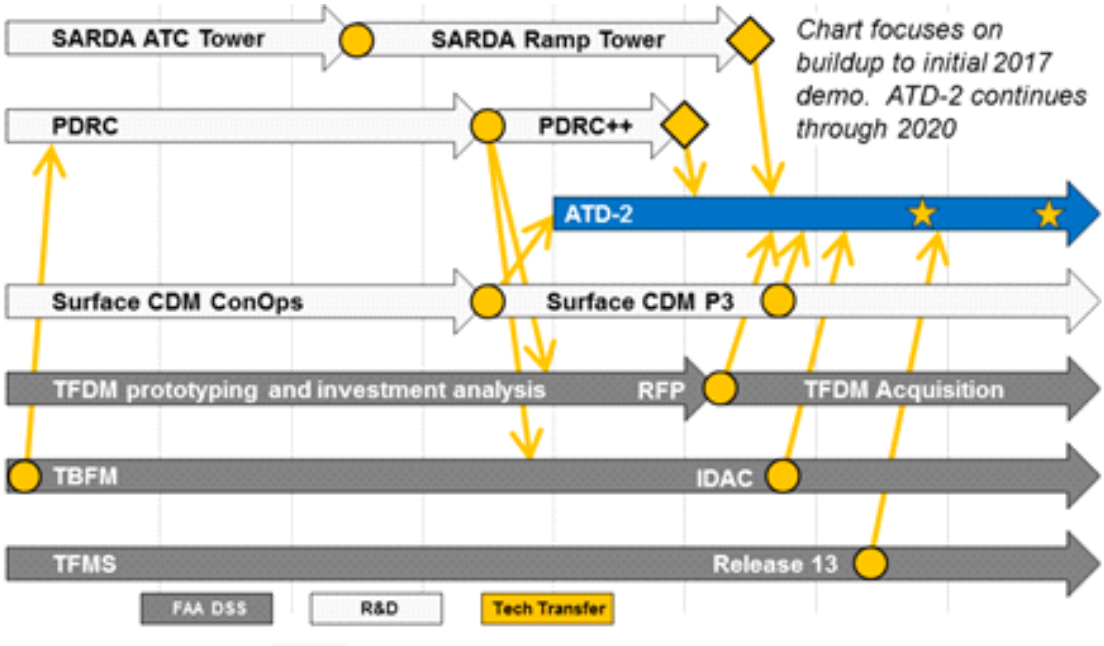
미국에서는 NASA의 주도로 1980년대부터 AMAN에 해당하는 시스템들의 초기 운용개념 및 개발이 시작되어, Center-TRACON Automation System(CTAS)과 같은 시스템이 FAA로 기술이전 되어 실제 공항에 구축, 운용되고 있으며, DMAN/SMAN에 해당하는 시스템 또한 1990년대부터 연구가 시작되어 Spot And Runway Departure Advisor(SARDA), Precision Departure Release Capability(PDRC) 등의 프로젝트 결과물이 FAA로 기술이전된 바 있다.

NASA의 SARDA는 출발 항공기 지상 이동 및 이륙 대기시간 지연 감소, 활주로 수용량 증대를 목적으로 항공기들의 적절한 gate pushback 시간이나 spot release time을 스케줄링 하는 시스템이며, 미국 DFW 공항을 대상으로 한 Human-In-The-Loop(HITL) 시뮬레이션에서 중간 정도의 교통량 상황에서 출발 항공기들의 공항 지상이동 중 지연시간 45%, 연료소모 22% 감소의 효과와 교통량 밀집 상황에서 지연시간 60%, 연료소모 45% 감소의 효과가 나타난 바 있다. PDRC는 출발 항공기의 합류 조건을 고려하여 항공기의 이륙 가능 시간을 자동화된 방식으로 산출하고 제공하는 기능을 갖고 있으며, 항공기 이륙 예정 시간, 사용 활주로, 지상 이동 시간 등의 정보를 활용하여 이륙 스케줄을 계산한다. PDRC를 통해 교통상황의 불확실성을 감소시켜 슬롯 낭비나 그때그때 수동으로 전술적 항공교통관리 기법을 적용해야 하는 경우를 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다.



[그림 4] SARDA의 주요 운영 화면(左), PDRC의 개념도(右)

이와 같은 연구 결과물들은 FAA의 3T (TFMS: Traffic Flow Management System, TBFM: Time Based Flow Management, TFDM: Terminal Flight Data Management) 로 일컬어지는 ATM을 위한 Main Decision Support System 들의 근간을 이루고 있다. TFMS는 항공교통 흐름관리 시스템이며 시간 기반의 스케줄링 시스템인 TBFM은 CTAS의 도착관리 기능이 구현된 Traffic Management Advisor(TMA)가 원형이라고 할 수 있다. TBFM은 출발관리 시스템에 해당하는 NASA의 PDRC의 개념까지 포함시켜 출도착 관리 스케줄링을 담당하고 있으며, TFDM은 공항 지면에서의 항공기 시간 관리 및 활주로 출발 대기열 관리 등을 목적으로 한 Surface-Collaborative Decision Making(S-CDM)을 위한 Decision Support System(DSS) 이다. NASA의 SARDA와 PDRC는 Airspace Technology Demonstration(ATD)-2 라는 프로젝트로 통합되어 미국 내 특정 공항 및 공역의 운용환경 및 요구조건에 맞추어 기능이 추가되고 운용개념이 구체화 되는 등 지속적인 업그레이드를 위한 연구개발이 진행 중이다.

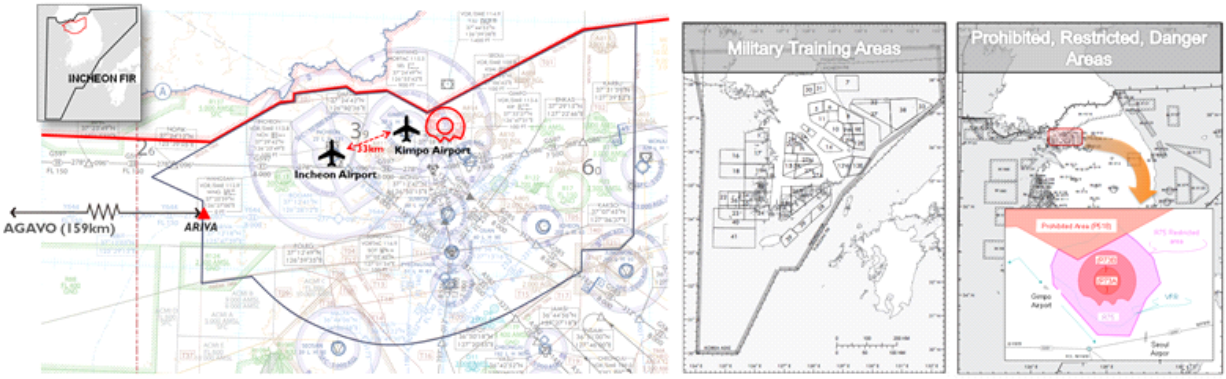


[그림 5] NASA 연구 성과물(SARDA, PDRC)과 FAA Decision Support System(DSS) 간 관계

3) 국내 기술 동향 및 주요 이슈

국내 항공교통은 과업 시작 시기인 2015년 기준, 전년대비 6%, 10년 전인 2005년 대비 45%의 증가세를 보여 급격한 증가세를 보이고 있다. 특히, 일부 노선에 교통량이 밀집하거나 (2016년 기준 김포-제주 간 교통량 세계 최대) 급증 하는 등 (2015년 기준 2010년 대비 인천-청도 간 45%, 인천-오사카 간 38%, 인천-방콕 간 29% 항공여객 증가) 교통 수요의 복잡성으로 인해, 2015년 기준으로 전체 지연율 7%, 제주공항 지연율 13%의 높은 지연율 또한 유의해야할 시점이다.

또한, 지정학적 위치와 환경으로 인해 비행 제한/금지 공역이 많고 군 훈련 공역이 산재해 있어 민간항공기가 운항할 수 있는 공역이 협소하며, 교통량이 밀집된 주요 공항(인천, 김포, 제주) 간 인접, 주변국 Flight Information Region(FIR)과 서울 Terminal Maneuvering Area(TMA) 인접에 따른 전술적 교통흐름관리 및 출도착 연계 관리 필요성이 높다고 할 수 있다.



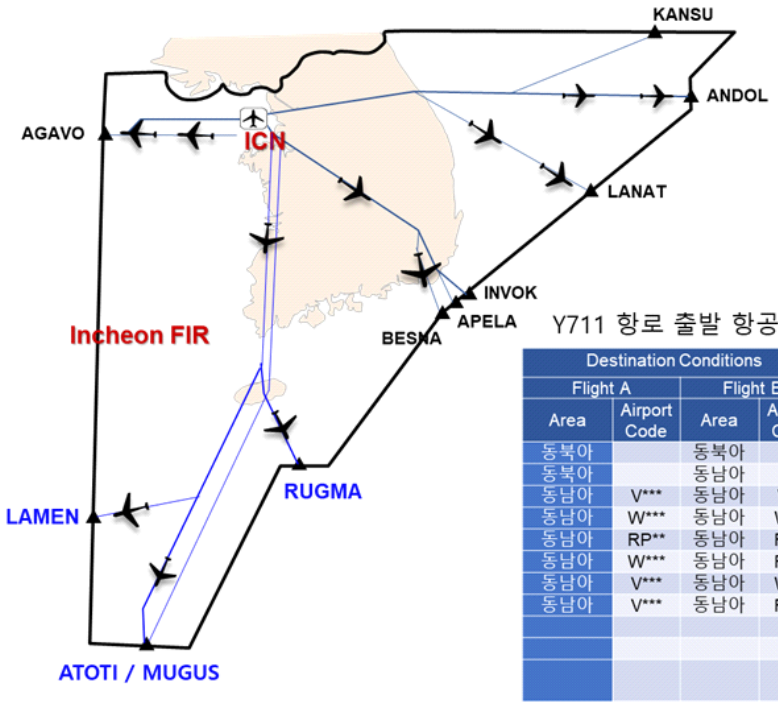
[그림 6] 서울 TMA와 중국 상하이 FIR 간의 인접(左), 군 훈련공역 및 제한/금지 공역(右)

반면, 유럽이나 미국 등 넓은 공역을 비행하는 항공기들을 한 번에 통합 관리하는 체계 하에서 운용되는 출도착 관리 시스템은 좁은 공역을 대상으로 한 국내 운용환경에 적합하지 않은 측면이 있다. 예컨대, 우리나라에서 출발하는 국제선 항공기들의 경우 출발경로 별로, 이웃한 FIR로의 진입 지점에서 항공기들의 분리간격을 만족시켜야 하는 요구사항이 다른 나라의 경우에 비해 훨씬 복잡하며, 이는 ATFM과도 직접적으로 연계되어 있는 요구사항이다. 우리나라의 좁은 공역 특성상 국제선 출발 항공기들의 공역 경계 통과 간격을 출발 후 공역 경계를 지나기 전까지의 짧은 비행시간 동안을 이용하여 조절하는 것은 비효율적이므로, 각 개별 공항에서 최대한 이 간격을 충족시킬 수 있는 효율적인 출발 관리가 이뤄져야 하며, 국내선 항공기들의 경우에도 적절한 교통흐름 유지를 위해서는 짧은 비행거리를 고려하여 각 개별 공항에서의 출도착 관리가 중요한 요소로 작용하게 된다[1].

또한 중국이나 일본과의 정보교환이 부족할 뿐만 아니라, 국내의 항공 섹터 간, 또는 각 항로관제나 접근관제 등 각 관제기관 간에도 디지털화된 정보의 교환이 부족하며 이로 인해 전술적인 교통흐름관리가 이뤄지지 않고 있다. 각 관제기관 간 디지털화 된 정보 교환이 잘 이뤄지지 않는 이유는, 사용하는 관제 시스템의 통일성이 확보되지 않은 점과 항공기들의 이착륙 시점을 예측하여 교통상황에 대한 데이터를 자동으로 생성하는 AMAN/DMAN과 같은 시스템의 부재를 이유로 들 수 있다.

국내 주요 공항별 이슈를 구체적으로 언급하자면, 인천공항의 경우, 항로/목적지/고도 별로 복잡한 조건의 이륙시간 분리간격을 유지하여야 한다. 일반적인 외국공항 사례에서처럼 공항에서 출발하여 첫 번째로 접어드는 항로만을 고려하여 분리간격을 유지해야 하는 것이 아니라, 출발항공기들의 도착공항이 속한 지역, 비행 중 지나치는 다른 나라 공역상의 특정 경유 지점, 출발 항공기들의 후류분리 등급 등을 한꺼번에 고려

하여 출발 항공기들의 이륙시간 분리간격을 만족시켜야 한다. 또한 2개 활주로를 동시에 출발 활주로로 이용하는 경우, 출발 경로를 공유하는 항공기들을 고려하여 이륙시간을 조정하여야 하며, 이렇게 복잡한 이륙 시간 간격을 만족시키기 위해서는 개별 항공기들의 출발 준비시간 정보를 이용하여 항공기들의 이륙 순서와 시각을 사전에 스케줄링하는 시간 기반 예측 시스템이 필요하다.



Y711 항로 출발 항공기 이륙시간 분리간격 조건

Destination Conditions				FIR Exit Fix	분리간격	
Flight A		Flight B				
Area	Airport Code	Area	Airport Code		Type	Value (sec)
동북아		동북아		ATOTI/MUGUS	TIME	180
동북아		동남아		ATOTI/MUGUS	TIME	180
동남아	V***	동남아	V***	ATOTI/MUGUS	TIME	360
동남아	W***	동남아	W***	ATOTI/MUGUS	TIME	360
동남아	RP**	동남아	RP**	ATOTI/MUGUS	TIME	360
동남아	W***	동남아	RP**	ATOTI/MUGUS	TIME	360
동남아	V***	동남아	W***	ATOTI/MUGUS	TIME	180
동남아	V***	동남아	RP**	ATOTI/MUGUS	TIME	180
				RUGMA	TIME	180
				LAMEN	TIME	360
				ATOTI/MUGUS/ LAMEN/RUGMA	WAKE_ TIME	#

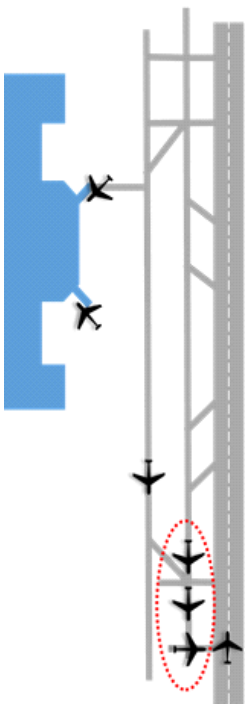
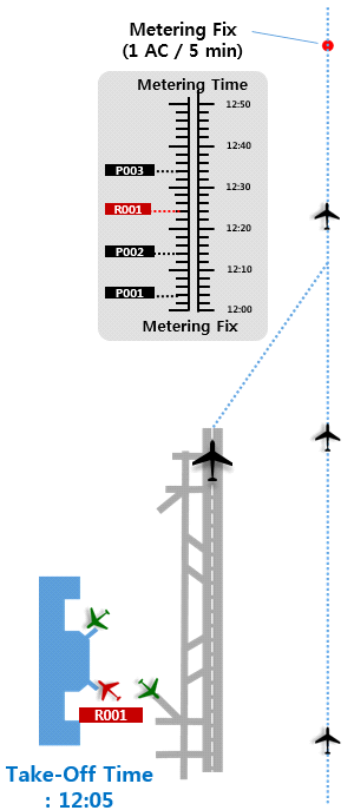
[그림 7] 인천공항 출발, Y711 항로 비행 항공기들의 이륙시간 분리간격 요구조건 예시

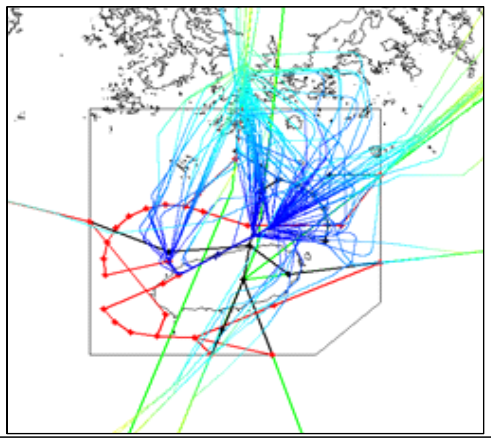
제주 공항의 경우, 하나의 주 활주로를 이용하여 이착륙이 대부분 이루어지며, 시간당 출도착률이 이미 한계 상황에 다다라 있다. 연결편 항공기들이 대부분인 관계로 연결편 항공기의 지연 도착으로 인해 출발 또한 지연 되는 일이 빈번하며, 주기장의 gate/stand가 부족하고 주기장 자체가 협소하여 출도착 항공기들의 지상 이동 흐름이 원활하지 않아 전체 이착륙 교통 흐름에 악영향을 미치는 실정이다. 그러나 현재 제주공항은 이러한 상황들에 대한 데이터를 종합적으로 수집하고 상황 전개를 예측하거나 수집한 정보를 관제사에게 현시할 수 있는 시스템이 없으며, 모든 상황 전개 예측이나 전술적 대응 모두 관제사의 개인 역량에 의존하고 있는 실정이다.



[그림 8] 2014년도 제주공항 지연원인 분석(左), 제주공항 이륙 대기열 (右)

국내 주요 공항인 인천공항과 제주공항과 같은 개별 공항의 사례에서 보는 바와 같이, 항공기 운항과 관련된 여러 정보를 종합하여 항공기의 도착 시간을 예측하고, 출발 항공기의 출발 시간을 계획하여 이해관계자들에게 정보 공유를 하는 AMAN/DMAN과 같은 시간기반 예측/관리 시스템이 절실한 상황이라고 할 수 있다.

현재	개선 방향 (DMAN)
 • 활주로 이륙 가능시각 예측 불가 (관제사 추측에 의존) • 이륙시간 분리기준 및 항로관제 이륙요청 시간 준수 부담 • 불필요한 대기 및 지연 발생	 • 게이트 출발 가능시각 수집/산출 • 활주로 이륙 가능시각 예측 • 교통흐름 고려한 이륙시간 산정 • 항로/고도별 분리기준 및 항로관제 이륙요청 시간 자동 준수 • 관제탑-접근관제-항로관제 협업 효율화 • 이륙 전 지상 대기 및 지연 최소화

현재	개선 방향 (T-AMAN*)
• 도착 순서 및 시각 예측 부담 • 전술적 관제로 인한 부정형 궤적 (= 관제사 부담) 	• 도착 순서 및 시각 예측성 향상 • 관제 조언정보 생성, 제공 • 정형화된 궤적 

* T-AMAN은 Terminal - AMAN의 약자로서, 기본 AMAN의 영역이 접근관제구역으로 확장된 개념으로, 본 과제에서 제안된 개념임

4) 국내 개발의 필요성

항공관제시스템의 일부로 국내에 직도입된 해외 AMAN/DMAN (인천공항에서 도입한 스페인 인드라社 시스템) 사례에 비추어 볼 때, AMAN 및 DMAN은 단순 구입 후 바로 운용이 불가한 시스템이라고 할 수 있다. 국내의 특수한 운용환경과 요구사항을 만족할 수 있는 기능들이 포함되어야 하며, 지속적으로 변화하는 교통 특성 및 관제기법, 공역 구조 등에 따라 시스템 기능을 상시적으로 보완해야 할 필요가 있기 때문이다. 현재 상용화된 제품들의 경우, 유럽이나 미국 등에서 개발된 시스템이며, 앞서 설명한 바와 같이 유럽이나 미국 등 넓은 공역을 비행하는 항공기들을 대상으로 운용되는 AMAN/DMAN은 좁은 공역을 대상으로 한 국내 운용환경에 적합하지 않은 측면이 있다. 특히 앞서 서술한 바와 같은 국내 항공교통관제 환경의 특수성을 고려할 때, 새로운 기능들이 추가되어야 할 상황이고, 이러한 경우 대상 공항의 교통량과 공역 구조, 관제기법 특성, 주변 공역과의 연계 특성 종합 분석 → 대상 공항 및 공역의 데이터 연계, 설치 환경 확인 → 시스템 설치 및 시범 운용 → 실사용자(관제사) 요구사항 반영, 보완 등이 순차적으로 이루어지는, 새로운 ATM 시스템 개발에 준하는 절차와 시간이 필요하다고 볼 수 있다.

또한 외산장비 도입 및 개량 시점마다 유사한 분석과 요구사항 수집/반영이 반복하여 이루어질 경우 지속적으로 과다한 비용과 및 인력소모가 우려되는 반면, 국내 연

구개발 시 연구개발의 결과물 및 양성 인력의 공동 활용이 가능하며, ATFM이나 궤적기반항행과 같이 향후 지속적으로 필요성이 대두될 ATM 시스템의 연구개발에 축적된 기술과 연구 인프라를 지속적으로 활용 할 수 있다. 그리고, 각 관제기관 간의 통일된 정보 교환과 상호 보완적인 관제 업무 수행을 위해서는 본 과업에서 개발하는 AMAN/DMAN과 같이 국내 운용환경을 고려한 ATM 시스템들이 국내 기술로 자체 개발 되어야 할 필요가 있다.

다. 연구개발 범위

당초 RFP를 통해 요구된 연구개발 범위와 내용은 ICAO ASBU 계획에 근거하여 단계별로 정의되었다. 즉, 1단계에서는 DMAN을 중심으로 개발하고(AMAN 기능 확장 포함), 2단계에서는 DMAN과 AMAN에 대한 통합 연구를 중심으로 한 연구수행이 요구되었다. 그러나 1차년 과제 수행 과정에서 국토교통부 주관으로 진행된 “항공안전기술개발사업 실용화 점검(’15.1.29-30)” 결과에 의거하여, 기존 2단계 개발에서 단일 단계 개발로 연구개발 추진 형태, 내용, 예산, 기간 등이 변경되었으며, 이에 따라 세부 연구개발 목표도 조정되었다(1차년 연차실적계획서 p.1, 171 참조).

아래 절에서는 기존 RFP의 내용과 조정된 연구 내용에 대해 기술하였다.

1) RFP (’14.10) 상의 연구개발 내용

가) 1단계 : 항공기 출발 관리 기술 연구

○ 국내 항공교통 환경 분석 및 운용개념 수립

- 항로/접근/공항지상관리 관련 국내 운용 환경 분석
- 항공기 출발 및 지상 이동 관련 주요 마일스톤 분석
- 마일스톤 별 외부 시스템과의 정보 공유 체계 분석
- 출발 관리 운용개념 연구
- 사용자 및 시스템 요구사항 도출

○ 출발 스케줄링을 위한 공역 교통 모니터링 및 예측 기술 연구

- 항로공역 및 접근관제공역 교통상황 모니터링
- 정밀 궤적 예측을 통해 출발항공기의 합류 지점 및 합류 예상 시점에서의 공역 교통상황 예측

- 출발 항공기의 출발절차 및 합류 시점의 교통상황 고려한 출발관리 기법 연구

○ 출발 스케줄링을 위한 가변 활주 시간(VTT[1]) 예측 적용 연구

- 지상운용환경 및 파라미터 분석(공항/활주로 배치, 항공기 종류, 과거이력, 운용조건 등)을 통한 VTT 정적 예측 적용 연구
- 공항 지상감시기술 및 항공기 지상 이동경로 배정 기술을 이용한 VTT 정밀 동적 예측 적용 연구

○ 출발 스케줄링 핵심 기술 연구

- 출발관리 주요 마일스톤 별 외부 시스템과의 정보(CTOT[2], EOBT[3], TOBT[4] 등) 연계 방안 수립
- 가변 활주 시간(VTT) 적용
- 합류지점의 공역 교통상황 예측 결과 및 항공기 간 분리 기준(예: 후류분리, SID[5] 분리) 등 최적화 구속조건 반영
- 대기열(활주로 및 주기장 출구 등) 최소화를 위한 최적 출발 순서, 출발 시각(TTOT[6]) 산출
- TSAT[7] 및 주요 지점 진입 시각 및 순서 결정
- 실시간 공항 지상 교통상황 반영하여 스케줄링 자동 변경

○ 출도착 통합 관리를 위한 도착관리 시스템 기능 확장

- 접근관제구역 내에서의 Point Merge(또는 일반 STAR[8]) 절차를 활용한 도착관리 스케줄링 및 관제 조언 생성
- 기 개발 구축된 도착관리 시스템(국토부 용역 성과) 시범운용 중 제시된 사용자 추가 요구사항 반영

○ 외부 시스템 연동 프로그램 개발

- 외부 입력 및 출력 데이터 정의

---

1) VTT : Variable Taxi Time
2) CTOT: Calculated Take-Off Time
3) EOBT: Estimated Off-Block Time
4) TOBT : Target Off-Block Time
5) SID : Standard Instrument Departure
6) TTOT: Target Take-Off Time
7) TSAT: Target Startup Approval Time
8) STAR: Standard Terminal Arrival Route

- 비행 계획 제공 시스템(AFTN[9], FDP[10] 등)과 연동
- 항적 제공 시스템(SDP[11], ASDE[12], A-SMGCS[13] 등)과 연동
- 기타 연동 시스템 정의 및 연동

○ 사용자 프로그램 개발
- 관리자 및 관제석(계류장/지상/국지 관제)별 HMI[14] 개발
- 항공기별 각종 조언 정보 현시

○ 시스템 제어 및 모니터링 프로그램 개발
- 서버 프로세스, 통신 상태, 시스템 관리 기능
- 시스템 로그 및 사용 이력에 대한 조회 기능 등

○ 시험 평가 기술 연구
- Fast-Time 시뮬레이션을 통한 스케줄링 알고리즘 검증
- 실제 교통상황과 유사한 시뮬레이션 시나리오 생성
- 생성된 시나리오 별 Fast-Time 시뮬레이션 수행 및 분석
- HITL 시뮬레이션을 통한 출발관리의 효용성 분석 및 도입에 따른 편익 평가
- 테스트베드 공항에서의 시범 운용

나) 2단계 : 항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구

○ 운용개념 수립
- 국외 최신 기술동향 분석
- 국내현황 및 국내 항공교통상황 분석
- 항로/접근/공항관제 센터 간 교환 필요한 데이터 선별 및 활용 방안 연구
- 통합 운용 개념 수립

○ 출발 및 도착 통합관리 운용 기술 연구
- 출발/도착에 따른 공역 교통상황 정밀 예측

---
9) AFTN : Aeronautical Fixed Telecommunication Network
10) FDP : Flight Data Processor
11) SDP : Surveillance Data Processor
12) ASDE : Airport Surface Detection Equipment
13) A-SMGCS : Advanced - Surface Movement Guidance and Control System
14) HMI : Human Machine Interface

- 활주로에서의 출발/도착 교통량 밸런싱
- 접근관제구역 내 출도착 항공기간 간섭 최소화
- 활주로 및 공역의 동적 변경 및 재구성
- 통합 스케줄링 알고리즘 연구

○ 통합 및 연동 시스템 구축
- 필요한 외부 입력 데이터 및 연동 시스템 정의
- 시스템 연동 방안 수립
- 인터페이스 설계 및 시스템 구현

○ HMI 및 시스템 모니터링/제어 프로그램 확장
- 관리자 및 관제석별 사용자 인터페이스 수정
- 시스템 모니터링 및 제어 기능 확장

○ 통합 관리시스템 시험 및 검증
- Fast-Time 시뮬레이션을 통한 통합 스케줄링 알고리즘 검증
- HITL 시뮬레이션을 통한 출도착 통합관리의 효용성 분석 및 도입에 따른 편익 평가
- 현장 시범 운용

2) 실용화 점검 회의 결과에 따른 연구 조정

실용화 점검 회의('15.1) 과정을 거쳐, 아래와 같이 연구기간, 예산, 범위가 조정되었다(1차년 연차실적계획서 p.171 참조). 연구 내용 측면에서는, RFP ('14.10) 2단계 내용 대신, 1단계 DMAN 연구 과정에서 AMAN 연계를 고려하는 것으로 내용이 변경되었으며, 이에 따라 총 연구기간 및 예산도 축소되었다.

구 분	변경 전	변경 후	변경사유
총 연구 기간 및 개발 단계	기간: '14.11～'22.10 (총 8년) 단계: 2단계 - 1단계: 4년 8개월 - 2단계: 3년 4개월	기간: '14.11～'20.08 (총 5년 10개월) 단계: 단일 단계 (5년 10개월)	국토교통부 항공안전기술개발사업 실용화 점검회의 결과에 따라, 2단계 개발이 아닌 통합을 고려한 단일 단계 연구개발로 변경
연구비	총 연구비 273억 원 정부출연금 220억 원	총 연구비 212억 원 정부출연금 159억 원	
연구 내용	- DMAN 개발 - AMAN 고도화 - 1단계 시험평가 - DMAN-AMAN 통합 시스템 개발(1단계 개발 완료 후 통합 요구사항 재수립) - 2단계 시험평가	- DMAN 개발(AMAN 연계 고려) - AMAN 고도화 - 통합 시스템 시험평가 ※ 현 시점('15.1)에서 고려할 수 있는 AMAN-DMAN 연계 요구사항 정의 후 개발	

3) 연차별 연구개발 내용

실용화 점검회의 이후 변경된 연구개발 목표/내용(앞 절 참조)에 의거하여, 연차별 연구내용을 재정의하였으며, 매년 평가 과정을 거쳐 연구목표 및 내용을 업데이트하였다. 이를 반영한 최종 연차별 연구목표 및 내용은 아래와 같다(5차년 연차실적 계획서 p.38 참조).

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ 국내 항공교통 환경 분석 및 DMAN 운용개념 수립	▪ 임무 분석 - 항로/접근/공항지상관리 관련 국내 운용 환경 분석 - 항공기 출발 및 지상 이동 관련 주요 마일스톤 분석 - 마일스톤 별 외부 시스템과의 정보 공유 체계 분석 - 운용개념 연구 - 사용자 요구사항 도출
		▪ 핵심 기술 연구 - 실 레이더 항적 및 비행계획 획득 - 핵심 기술 연구용 데이터베이스 구축
		▪ 시스템 개발 - 시스템 요구사항 정의

		▪ 시험평가 - Fast-Time 시뮬레이션 요구사항 정의 - HITL 시뮬레이션 요구사항 정의
2차년도	▪ DMAN 핵심 요소 기술 연구 및 DMAN 시스템 설계	▪ 임무 분석 - 출도착 통합 운용을 위한 운용개념 보완 - 통합 운용을 위한 인터페이스 자료 정의
		▪ 핵심 기술 연구 - 미터링 포인트 추출 - 미터링 포인트에서의 합류 가용 시간 예측 - 지상운용환경 변수(활주로 배치, 항공기 종류 등) 추출 - 지상운용환경 변수에 따른 지상이동 시간 통계 분석 - 출도착 관리를 위한 최적화 알고리즘 연구
		▪ 시스템 개발 - 시스템 요구사항 보완 - 시스템/서브시스템 설계 - 소프트웨어 개발 계획 수립
		▪ 시험평가 - Fast-Time 시뮬레이션을 위한 자료 분석 및 환경 구축 - HITL 시뮬레이션 환경 설계
3차년도	▪ DMAN 핵심 알고리즘 개발 및 S/W 설계	▪핵심 기술 연구 - 4-D 궤적 모델링에 의한 이륙 항공기 궤적 예측 - 출발절차 및 합류 시점의 교통상황 고려한 이륙 슬롯 예측 - 정적 VTT 계산용 데이터베이스 구축 - 항공기 지상 이동 경로 배정 - 궤적 모델링 및 동적 VTT 예측 - 최적화 구속조건 및 목적함수 정의 - 항공기 도착 순서/시각을 고려한 출발 관리 방안 연구 - 최적 출발 순서 및 출발 시각(TTOT) 산출 알고리즘 개발 - TSAT 및 주요지점 진입 시각 및 순서 결정 알고리즘 개발
		▪시스템 개발 - 출발관리 주처리 시스템 소프트웨어 기본 설계 - 외부 인터페이스 시스템 소프트웨어 기본 설계 - 사용자 인터페이스 처리장치 소프트웨어 기본 설계 - 시스템 제어 및 모니터링 콘솔 소프트웨어 기본 설계 - 녹화 및 통계 분석 시스템 소프트웨어 기본 설계 - 출발관리 주처리 시스템 소프트웨어 상세 설계 - 외부 인터페이스 시스템 소프트웨어 상세 설계 - 사용자 인터페이스 처리장치 소프트웨어 상세 설계 - 시스템 제어 및 모니터링 콘솔 소프트웨어 상세 설계 - 녹화 및 통계 분석 시스템 소프트웨어 상세 설계
		▪ 시험평가 - Fast-Time 시뮬레이션 모델 구축 - HITL 시뮬레이션 환경 구축
	▪ T-AMAN* 알고리즘 연구 및 S/W 설계	▪ 핵심 기술 연구 - 접근관제구역 내 도착 스케줄링 기법 연구 - 항공기 출발 순서/시각을 고려한 도착 관리 방안 연구
		▪ 시스템 개발 - T-AMAN 요구사항 정의 - T-AMAN 시스템/서브시스템 설계 - T-AMAN 주처리 소프트웨어 설계

		- T-AMAN HMI 소프트웨어 설계
4차년도	▪ DMAN S/W 구현 및 HITL 시뮬레이션 환경 구축	▪ 핵심 기술 연구 - 공역 교통 모니터링 및 예측 알고리즘 구현 - 가변 지상이동 시간 예측 적용 알고리즘 구현 - 출발 스케줄링 알고리즘 구현
		▪ 시스템 개발 - 출발관리 주처리 시스템 소프트웨어 상세 설계 완료 - 외부 인터페이스 시스템 소프트웨어 상세 설계 완료 - 사용자 인터페이스 처리장치 소프트웨어 상세 설계 완료 - 시스템 제어 및 모니터링 콘솔 소프트웨어 상세 설계 완료 - 녹화 및 통계 분석 시스템 소프트웨어 상세 설계 완료 - 출발관리 주처리 시스템 소프트웨어 구현 - 외부 인터페이스 시스템 소프트웨어 구현 - 사용자 인터페이스 처리장치 소프트웨어 구현 - 시스템 제어 및 모니터링 콘솔 소프트웨어 구현 - 녹화 및 통계 분석 시스템 소프트웨어 구현
		▪ 시험평가 - Fast-Time 시뮬레이션 상세 모델 구축 - HITL 시뮬레이션 소프트웨어 구현 - HITL 시뮬레이션 운영 환경 구축 (인테리어)
	▪ T-AMAN S/W 구현	▪ 핵심 기술 연구 - 도착 스케줄링 알고리즘 구현
		▪ 시스템 개발 - T-AMAN 주처리 소프트웨어 설계 완료 - T-AMAN 사용자 인터페이스 처리장치 소프트웨어 설계 완료 - T-AMAN 주처리 소프트웨어 구현 - T-AMAN HMI 소프트웨어 구현
5차년도	▪ DMAN 및 T-AMAN S/W 구현 완료	▪ 시스템 개발 - 출발관리 주처리 시스템 소프트웨어 구현 완료 - 외부 인터페이스 시스템 소프트웨어 구현 완료 - 사용자 인터페이스 처리장치 소프트웨어 구현 완료 - 시스템 제어 및 모니터링 콘솔 소프트웨어 구현 완료 - 녹화 및 통계 분석 시스템 소프트웨어 구현 완료 - T-AMAN 주처리 소프트웨어 구현 완료 - T-AMAN HMI 소프트웨어 구현 완료
	▪ 시스템 통합 및 HITL 시뮬레이션 환경 구축	▪ 시험평가 - 소프트웨어 시험 - 시스템 통합 및 시험 - Fast-Time 시뮬레이션 수행 및 편익 분석 - HITL 시뮬레이션 운영 환경 구축 완료 - 시범운용 준비
6차년도	▪ HITL 시뮬레이션 및 시범 운용	▪ 시험평가 - Fast-Time 시뮬레이션 수행 및 편익 분석(계속) - HITL 시뮬레이션 수행 - 시스템 설치 및 시범 운용

* T-AMAN(Terminal - AMAN)은 RFP에서 요구된 AMAN 기능 확장(접근관제구역 내에서의 Point Merge(또는 일반 STAR) 절차를 활용한 도착관리 스케줄링 및 관제 조언 생성)에 해당

2. 연구수행내용 및 성과

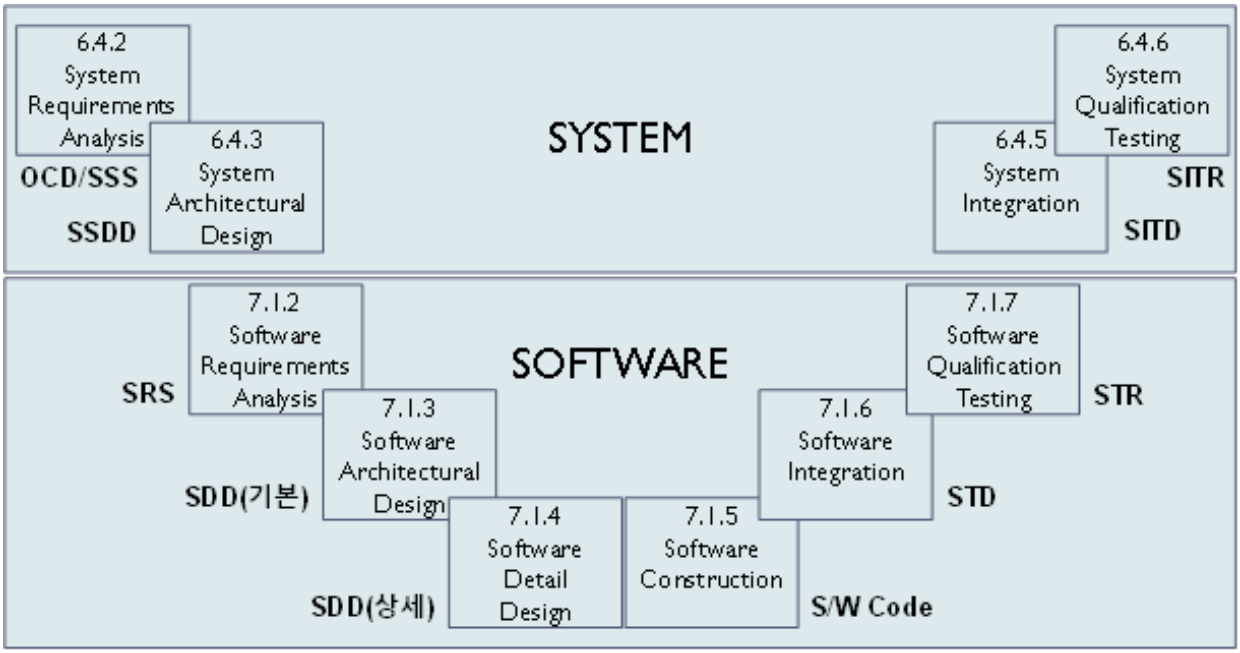
가. 연구 개발 추진 전략/방법 및 추진체계

1) 연구개발 추진 전략 및 방법

본 연구개발과제는 항공교통 수요 증대에 대비하여 공역 및 공항에서의 항공교통을 효율화하기 위한 최첨단 항공교통관리 기술 연구과제로서, 근본적으로 국내외 표준 또는 규격이 명확하게 수립되어 있지 않다는 특성을 갖고 있다. 이에, 본 연구에서는 우리나라 항공교통환경에 특성에 맞는 운용개념 수립 및 검증의 중요성을 고려하여 연구 개발 추진 전략 및 방법을 정립하였다. 과제 초기 국내 항공교통 환경 분석 및 운용개념 수립으로부터 최종년도 현장 시범운용에 이르기까지 지속적으로 실 운용자와의 밀접한 교류를 유지하였으며, 시스템 요구사항이 수립된 이후 시스템 설계, 소프트웨어 요구사항 정의, 설계, 구현, 시험 등의 전 과정은 시스템 공학 절차에 의거하여 수행하였다. 개발 절차, 문서 작성 표준, 연차별 연구 내용에 따른 개발 산출물은 아래와 같다.

가) 개발 절차 및 문서 작성 표준

항공기 출발 및 도착 통합관리 기술 연구(MIDAS, Management on Integrated Operations of Departure, Arrival, and Surface) 과제의 시스템/소프트웨어 관련 기술문서는 ISO/IEC 12207:2008 Systems and Software Engineering - Software Life cycle Processes 에서 제시하는 System Life Cycle Processes(6장), Software Specific Processes(7장) 중 개발 절차와 관련된 사항을 참조하여 개발하였는데, 산출되는 기술문서 목록은 MIDAS 과제의 특성을 고려하여 tailoring하였다. [그림 9]는 MIDAS 과제 전체에서 기준으로 삼는 ISO/IEC 12207 해당 장절과 그에 따른 주요 산출 문서들을 보여 준다. 소프트웨어 개발과 관련한 보다 상세한 계획은 소프트웨어 개발 계획(별책 2 참조)에 기술되어 있다.



[그림 9] ISO/IEC 12207에 의거한 개발 및 산출물 작성

나) 연차별 주요 개발 산출물

1.다.3) 연차별 연구개발 내용에 대응되는 주요 마일스톤 및 연구개발 산출물은 아래와 같다.

연 차	연구목표	마일스톤	주요 연구내용
1차년도	• 국내 항공교통 환경 분석 및 DMAN 운용개념 수립	OCR	• 국내외 기술동향 분석서 • 국내 운용 환경 분석서 • 운용 개념 기술서(OCD[15]) 초안 • 시스템 요구사항 명세서(SSS[16]) 초안
2차년도	• DMAN 핵심 요소 기술 연구 및 DMAN 시스템 설계	SRR	• 운용 개념 기술서(OCD) • 시스템 요구사항 명세서(SSS) • 소프트웨어 개발 계획서(SDP[17])
		SDR	• 시스템 설계 기술서(SSDD[18])
3차년도	• DMAN/T-AMAN 핵심 알고리즘 개발 및 S/W 설계	PDR	• 소프트웨어 요구사항 명세서(SRS[19]) • 소프트웨어 설계 기술서(SDD[20]) - 개략 • 인터페이스 통제 문서(ICD[21]) - 개략
4차년도	• DMAN/T-AMAN S/W 구현 및 HITL 시뮬레이션 환경 구축	CDR	• 소프트웨어 설계 기술서(SDD) - 상세 • 인터페이스 통제 문서(ICD) - 상세 • 소프트웨어 시험 계획서(STP[22]) 초안

5차년도	• DMAN 및 T-AMAN S/W, 시스템 통합 및 HITL 시뮬레이션	TRR(I)	• 소프트웨어 소스 코드/실행 프로그램 • 소프트웨어 시험 계획서(STP) • 소프트웨어 시험 절차서(STD[23]) • 소프트웨어 시험 결과서(STR[24]) • 시스템 시험 계획서(SITP[25]) • 시스템 시험 절차서(SITD[26])
6차년도	• HITL 시뮬레이션 및 시범 운용	TRR(II)	• 시스템 시험 결과서(SITR[27])
		최종평가	• 시범운용 보고서

15) OCD: Operational Concept Description
16) SSS: System/Subsystem Specification
17) SDP: Software Development Plan
18) SSDD: System/Subsystem Design Description
19) SRS: Software Requirement Specification
20) SDD: Software Design Description
21) ICD: Interface Control Document
22) STP: Software Test Plan
23) STD: Software Test Description
24) STR: Software Test Report
25) SITP: System Integration Test Plan
26) SITD: System Integration Test Description
27) SITR: System Integration Test Report

2) 연구 개발 추진 체계

연구개발과제	
과제명	항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구

총 참 여 연 구 원
주관연구책임자 (전대근)외 78명

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	2	42	79
대 학	3	18	
국공립(연)			
출 연 (연)	2	19	
기 타			

주 관 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관
한국항공우주연구원	한국교통연구원	㈜ 아이비리더스	㈜ 유니텍
참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원
주관연구책임자 (전대근)외 9명	공동연구책임자 (김준혁)외 8명	공동연구책임자 (정홍기)외 24명	공동연구책임자 (김영식)외 16명
책임급 2명, 선임급 6명, 원급 2명	책임급 3명, 원급 6명	수석급 7명, 책임급 8명, 선임급 7명, 원급 3명	책임급 4명, 선임급 6명, 원급 7명
담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용
과제명: 항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구	과제명: 가변 지상이동 시간 예측 적용 연구	과제명: HMI 기술 연구 및 통합 시스템 구축	과제명: 통제 모니터링 및 외부 연동 기술 연구
• 운용개념수립 • 출발 스케줄링 핵심기술 연구 • 도착 스케줄링 기능 확장 • 시스템설계 및 통합 • 시험평가 기술 연구 • 사업관리	• 지상이동 시간 관련 지상운용환경 및 파라미터 분석 • 가변 지상이동 시간 정적 및 동적 예측 적용 관련 핵심 기술 연구	• 출발관리 시스템 구축 • 출발관리 HMI 기술 연구 • 도착관리 시스템 기능확장 • 출발 및 도착 통합관리 시스템 구축 • HITL 시뮬레이터 구축	• 외부 시스템 연동처리 기술 연구 • 시스템 제어 및 모니터링 기술 연구

위 탁 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관
한국항공대학교	인하대학교	서울대학교
참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원
주관연구책임자 (이금진)외 7명	주관연구책임자 (이학태)외 6명	주관연구책임자 (김유단)외 2명
책임급 2명, 원급 6명	책임급 1명, 원급 6명	책임급 1명, 원급 2명
담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용
과제명: 공역 교통 예측 및 Fast-Time 시뮬레이션 연구	과제명: 다목적 FCFS Multi-Point 스케줄링 연구	과제명: 출발 흐름 최적화 알고리즘 연구
• 궤적 예측 및 이륙 슬롯 예측 • Fast-Time 시뮬레이션 모형 구축 및 편익분석	• FCFS 원칙에 기반하여 다중 제한 조건하에서도 고속으로 계산을 수행하는 스케줄링 기법 연구	• 출발흐름관리 운용개념 연구 • 최적 출발흐름관리 알고리즘 연구

나. 연구개발 결과

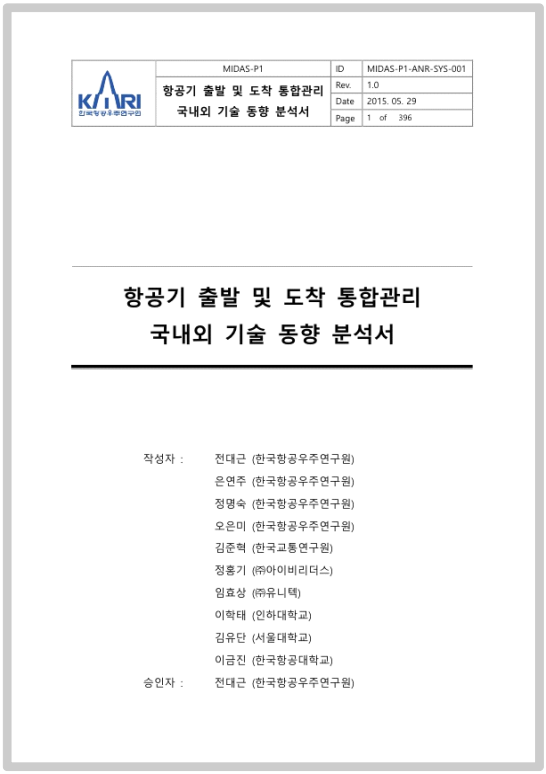
1) 국내외 동향분석 및 출도착 통합 관리 운용개념 수립

항공기 출도착 관리는 기존 레이더 위치 기반의 관제에서 시간 기반 관리로의 전환을 전형적으로 보여주는 것으로, 핵심기술 및 시스템 연구개발에 앞서 전 세계적인 항공교통관리 동향과 우리나라 운용환경에 대한 분석을 바탕으로 한 운용개념 수립은 필수적이라 할 수 있다. 이에 국내외 기술동향, 국내 운용환경에 대한 분석을 수행하였으며, 핵심기술 연구용 데이터 확보를 위해 필요자료 선별 및 관제기관별 가용 자료를 확인하였다. 이후 이를 토대로 출도착 통합관리를 위한 운용개념을 수립하였다.

가) 국내외 기술동향 분석 (별책 18 참조)

국내외 기술동향 분석은 Eurocontrol, ICAO와 같은 국제기구의 표준화 동향 및 NASA, MITRE의 연구동향 분석, 해외 공항의 사례 조사, 연구 논문 및 기술자료 분석 등을 통해 수행하였으며, 연구 결과로서 “국내외 기술동향 분석서”를 작성하였다.(별책 18) 국내외 기술동향 분석서는 다음의 내용을 포함하고 있다.

- 출발 및 도착관리 관련 국제 Implementation Plan
- 도착관리 시스템 구축 동향
- 출발관리 시스템 구축 동향
- 출발관리 및 도착관리 시스템 연동 개발 동향
- 해외 공항 Case Study
- 핵심 알고리즘 연구 동향
- 하부 시스템 기술 동향
- 성능 검증 및 효과 분석 기술 동향
- 관련 특허 동향



MIDAS-P1	ID	MIDAS-P1-ANR-SYS-001
항공기 출발 및 도착 통합관리 국내외 기술 동향 분석서	Rev.	1.0
	Date	2015. 05. 29
	Page	1 of 396

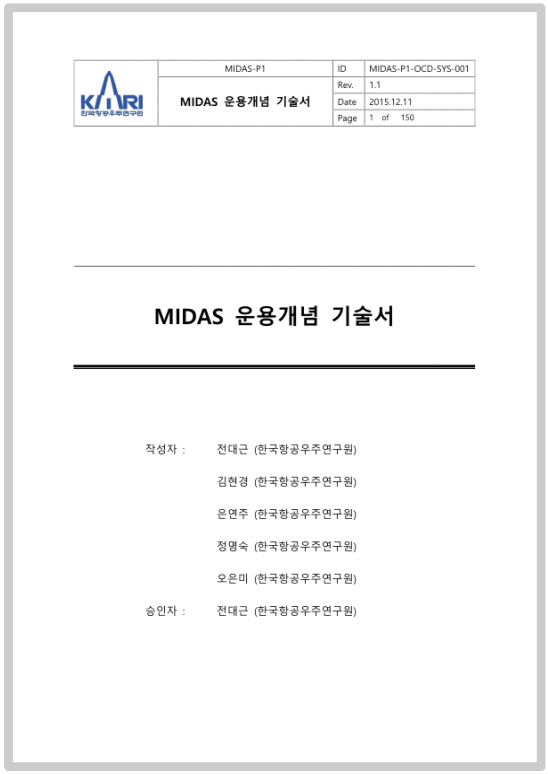
항공기 출발 및 도착 통합관리
국내외 기술 동향 분석서

작성자 : 전대근 (한국항공우주연구원)
은연주 (한국항공우주연구원)
정명숙 (한국항공우주연구원)
오은미 (한국항공우주연구원)
김준혁 (한국교통연구원)
정홍기 (㈜아이비리더스)
임효상 (㈜유니텍)
이학태 (인하대학교)
김유단 (서울대학교)
이금진 (한국항공대학교)
승인자 : 전대근 (한국항공우주연구원)

[그림 10] 항공기 출발 및 도착 통합관리 국내외 기술 동향 분석서(표지)

나) 국내 운용 환경 분석 (별책 1, 19 참조)

국내 운용 환경 분석은 국내의 3개 대표 공항인 인천공항, 제주공항, 김포공항에 대해 방문 및 관계자 인터뷰를 통한 조사, 항공정보간행물(AIP, Aeronautical Information Publication) 및 통계자료 분석을 통해 수행되었으며, 연구 결과를 “운용개념 기술서”(별책 1)에 반영하였다(3장 기존 시스템 및 현황 참조). 공항별 운용 현황을 위주로 정리하였으며, 여기에는 교통량 통계, 공항형상, 지상 및 항로 교통 상황, 관제 업무 절차, 관제 보조 시스템, 주요 마일스톤 및 정보 공유 체계 분석마일스톤, 기타 운용상 특이사항을 등이 포함되었다. 이와는 별도로 출도착 통합관리에 요구되는 가용기술에 대한 분석도 수행하였는데, 여기에는 4D 궤적 모델링 기술, 감시 자료 처리 기술, 실시간 ATM 시뮬레이션 기술, 관제 조언 정보 생성 및 현시 기술, 공항 지상 이동 감시 기술, 외부 시스템 연동 기술, 통제 및 모니터링 기술 등이 포함되어 있다(별책 1 9.1절 가용 기술 분석 참조). 한편, 공항별 주변 공역교통상황에 대한 분석 결과로서 “공역 교통 자료 분석서”를 별도로 작성하였다(별책 19).

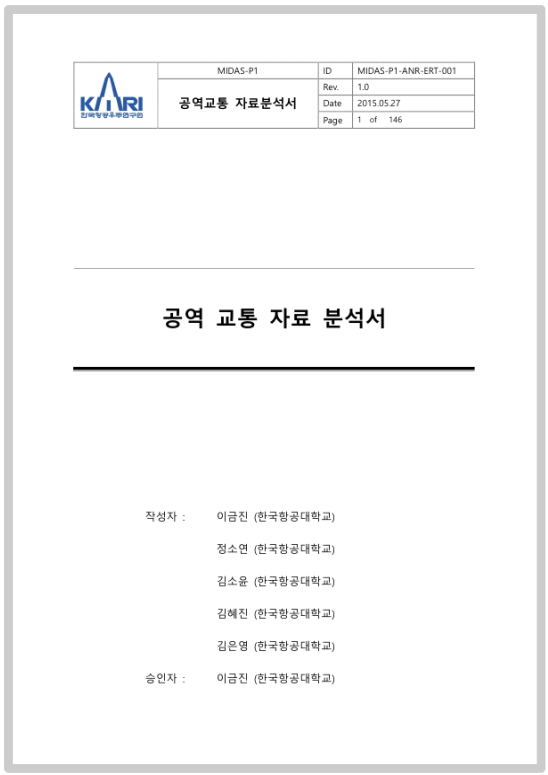


MIDAS-P1		ID	MIDAS-P1-OCD-SYS-001
KARI 항공우주연구원	MIDAS 운용개념 기술서	Rev.	1.1
		Date	2015.12.11
		Page	1 of 150

MIDAS 운용개념 기술서

작성자 : 전대근 (한국항공우주연구원)
김현경 (한국항공우주연구원)
은연주 (한국항공우주연구원)
정명숙 (한국항공우주연구원)
오은미 (한국항공우주연구원)
승인자 : 전대근 (한국항공우주연구원)

[그림 11] MIDAS 운용개념 기술서(표지)



MIDAS-P1		ID	MIDAS-P1-ANR-ERT-001
KARI 항공우주연구원	공역교통 자료분석서	Rev.	1.0
		Date	2015.05.27
		Page	1 of 146

공역 교통 자료 분석서

작성자 : 이금진 (한국항공대학교)
정소연 (한국항공대학교)
김소윤 (한국항공대학교)
김혜진 (한국항공대학교)
김은영 (한국항공대학교)
승인자 : 이금진 (한국항공대학교)

[그림 12] 공역 교통 자료 분석서(표지)

다) 핵심기술 연구용 데이터베이스 분석 (별책 20 참조)

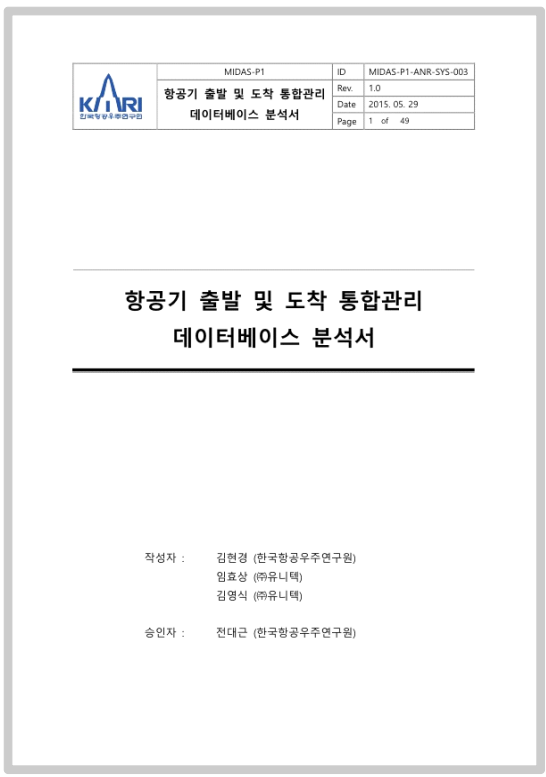
핵심기술 연구용 데이터베이스 구축을 위해, 연구 개발과 관련하여 필요한 자료를 선별하고, ACC, 지방항공청, 국내 3개 대표 공항의 자료에 대해 자료의 특성, 연동 방법 등을 분석하였다. 연구 결과로서 “데이터베이스 분석서”를 작성하였다(별책 20). 데이터베이스 분석서는 [표 3]과 같이 데이터의 용도 및 제공주체에 따라 다음과 같이 분류하였으며, 실시간 연동될 수 있는 자료에 대해서도 간단히 기술하였다. [표 3]에서 (**)표시는 녹화 자료를 획득하여 분석되었음을 나타낸다.

- 항로 관제 시설 자료
- 서울 접근 관제 시설 자료
- 제주 접근 관제 시설 자료

[표 3] 항공기 출발 및 도착관리 연구용 자료 목록

자료 종류		장비	연동 방식
		제조사	데이터 타입
항로관제	ACC SDR Flight Plan**	ACC Sys.	녹화자료
		LOCKHEED ARTIN	SDR
	ACC SDR System Track**	ACC Sys.	녹화자료
		LOCKHEED MARTIN	SDR
	ACC SDR Miniplan**	ACC Sys.	녹화자료
		LOCKHEED MARTIN	SDR
	레이더 자료	ASR	RS-232C
		다양	ASTERIX, NEC
	AFTN 자료	AMS	TCP/IP
		한국공항공사	AFTN
	ACC FDP 비행 계획 자료	ACC Sys.	RS-232C
		LOCKHEED ARTIN	HUGHES_FDT
	RPL 자료**	한국공항공사	파일
		-	텍스트
서울접근관	서울 접근 관제 비행 계획 자료**	ARTS	녹화자료
		Thales	binary(*.dat) 파일
	서울 접근 관제 항적 자료**	ARTS	녹화자료
		Thales	binary(*.dat) 파일
	인천공항 지상항적 자료(ASDE-X)**	ASDE-X	녹화자료
		Thales	wireshark(*.dat) 파일

제	- SMR, ADS-B 포함**		
	인천공항 FIMS 자료**	FIMS	파일
		-	텍스트/엑셀
	김포공항 지상항적 자료(ASDE)	ASDE	지원 없음
		HITT	원제작사 포맷
	김포공항 지상항적 자료(MSDP)	MSDP	UDP
		Unitech	Asterix CAT.62
	김포공항 FOIS 자료**		파일
			텍스트/엑셀
제주접근관제	제주 접근 관제 비행 계획 자료**	ARTS	RS-232C
		LOCKHEED MARTIN	AFTN'96
	제주 접근 관제 항적 자료 자료**	PSR/SSR	SANGOMA
		Raytheon/Indra	PSR/SSR
	제주공항 지상항적 자료(ASDE)**	STREAMS	Ethernet SNA
		Thales	Asterix CAT.62
	제주공항 FOIS 자료**		파일
			텍스트/엑셀



[그림 13] 항공기 출발 및 도착 통합관리 데이터베이스 분석서

라) 항공기 출도착 통합관리 운용개념 수립 (별책 1 참조)

제안하고자 하는 시스템의 운용개념 수립에 앞서, 국내에 기존에 운용되고 있는 시스템과 현황을 알아보고 국내외 유사 시스템 및 관련 시스템에 대한 기술동향을 분석한 후, 국내 운용환경에 맞는 운용 개념을 수립하였다. 먼저 인천, 김포, 제주 등 국내 주요공항을 대상으로 기존의 시스템 및 현황을 살펴보고 기준공항 후보를 선정하였으며, 변경의 당위성 및 본질을 통해 개선하고자 하는 방향을 제시하였다. ICAO ASBU를 기준으로 미국의 NextGen, 유럽의 SESAR 사례를 참고하여 국내에 적합한 시스템을 제안하고자 하였으며, 운용개념으로서, A-CDM, ATFM, A-SMGCS 등 효율적인 항공교통관리를 위한 다른 시스템 및 운용 개념들과의 관계를 정의하였다. 이어 제안된 시스템의 구성요소와 사용자군을 정의하였다. 또한, 제안된 시스템이 공항에서 운용될 때의 운용 시나리오를 설계하고, 변경 사항이 기존 시스템에 미치는 영향 등을 분석하여 “항공기 출발 및 도착 통합 관리 운용개념 기술서”를 작성하였다.([그림 11], 별책 1)

2) 출도착 관리 핵심기술 연구

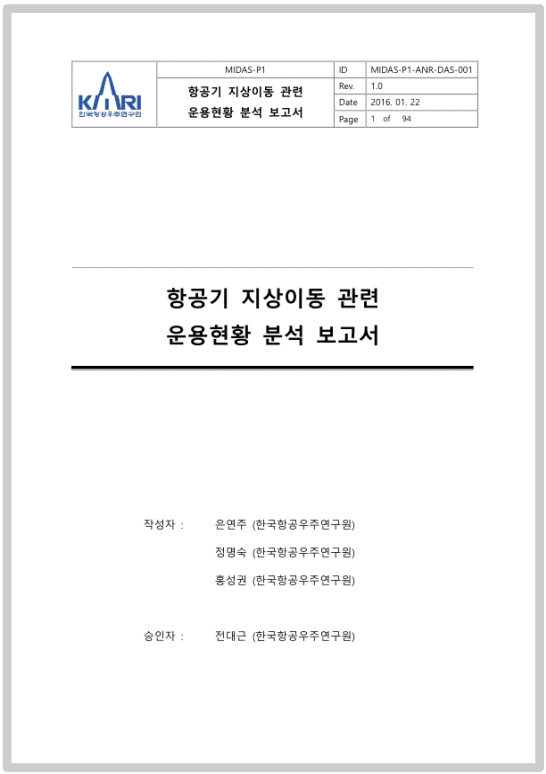
효율적인 항공기 출도착 관리를 위해서는 출도착 항공기의 운항정보, 비행계획, 교통상황을 종합적으로 고려하여 항공기의 궤적을 예측하고 이를 기반으로 스케줄링을 수행해야 한다. 지상 및 공중 항공기의 궤적 정보를 산출하기 위해서는 통계적 또는 모델에 기반한 예측이 필요하므로, 가변 지상이동시간 예측 기술, 공역 교통 모니터링 및 예측 기술 등에 대한 연구가 필요하다. 한편, 출도착 관리의 핵심 중 하나인 스케줄링과 관련해서는 다양한 형태의 스케줄링 기법 연구가 요구되는데, 본 연구과제에서는 다중 구속조건을 고려한 출도착 스케줄링 기술연구, 공항뿐만 아니라 공역으로 확장 가능하면서도 빠른 계산이 가능한 다목적 First-Come First-Served(FCFS) Multi-Point 스케줄링 기술연구 등을 수행하였으며, 관련 내용을 아래 절에 정리하였다.

가) 가변 지상이동시간 예측 기술 연구

(1) 항공기 지상 이동 관련 운용 현황 분석 (별책 21 참조)

2015년 4월 1일부터 30일까지 인천 및 제주공항에 이착륙한 항공기들의 ASDE 항적 및 운영 자료(FOIS, FIMS)를 획득하고, 실제 공항 지상에서 항공기 지상이동 운영에 대한 통계적 분석을 수행하여 “항공기 지상이동 관련 운용현황 분석 보고서”를 작성하였다([그림 14], 별책 21). 보고서에는 데이터 분석을 위한 ASDE 항적 데이터

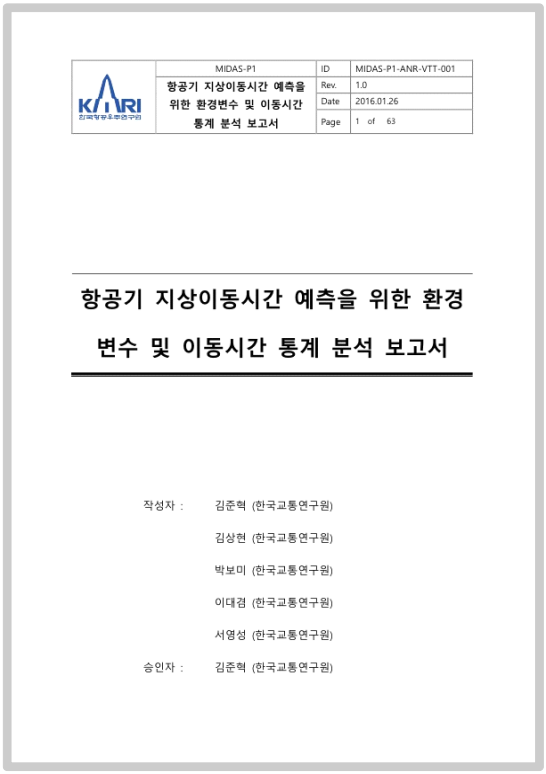
pre-processing 방법, 지상이동 경로 추출 방법, 인천 및 제주공항에 대한 지상이동 운영 현황 분석 결과, 통계적 기법을 이용한 지상이동 시간 예측 방법에 대해 상세히 정리하였다.



[그림 14] 항공기 지상이동 관련 운용현황 분석 보고서(표지)

(2) 지상이동시간 예측을 위한 변수 및 이동시간 통계 분석 (별책 21 참조)

지상이동시간 예측을 위한 변수 및 이동시간 통계 분석은 크게 선행연구 문헌조사와 실제 데이터 분석으로 나뉜다. 지상이동시간 예측 변수는 선행연구에서 모델개발을 위해 고려된 변수들을 조사하고, 해당 변수들을 이용하여 실제 데이터와의 분석을 통해 지상이동시간 예측을 위한 설명력을 가지는 변수를 추출하였다. 지상이동시간 통계분석은 제주국제공항을 대상으로 2015년 4월 한 달 동안 ASDE로 검출한 데이터를 이용하여 지상이동 경로 및 이동 시간을 분석하였다. 분석한 결과에 대한 사항은 항공기 지상이동시간 예측을 위한 환경 변수 및 이동시간 통계 분석 보고서에 정리하였다. ([그림 15], 별책 21)



MIDAS-P1	ID	MIDAS-P1-ANR-VTT-001
항공기 지상이동시간 예측을 위한 환경변수 및 이동시간 통계 분석 보고서	Rev.	1.0
	Date	2016.01.26
	Page	1 of 63

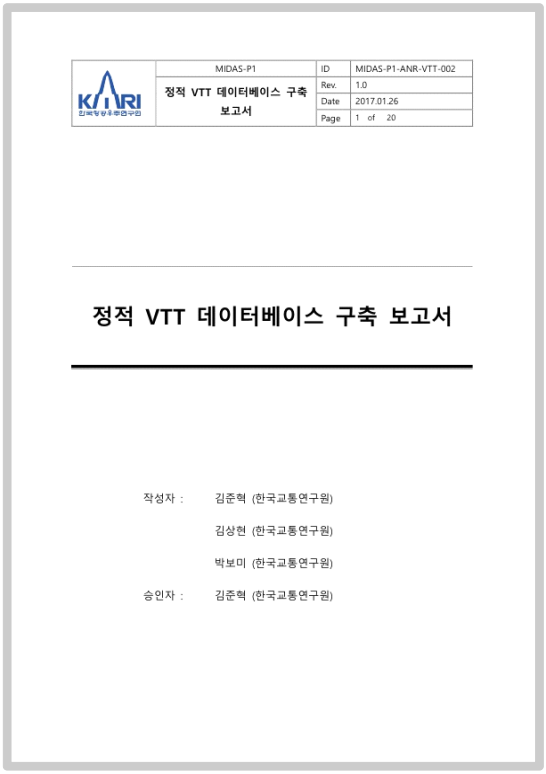
항공기 지상이동시간 예측을 위한 환경 변수 및 이동시간 통계 분석 보고서

작성자 : 김준혁 (한국교통연구원)
김상현 (한국교통연구원)
박보미 (한국교통연구원)
이대검 (한국교통연구원)
서영성 (한국교통연구원)
승인자 : 김준혁 (한국교통연구원)

[그림 15] 항공기 지상이동시간 예측을 위한 환경 변수 및 이동시간 통계 분석 보고서(표지)

(3) 정적 VTT 데이터베이스 구축 (별책 21 참조)

정적 지상 이동 시간(VTT, Variable Taxi Time) 분석을 위해 제주공항 ASDE 데이터를 활용해 개별 항공기의 이동 경로를 추출하고, FOIS 데이터와 맵핑하여 개별 항공기를 식별할 수 있도록 데이터를 가공하였다. ASDE raw data에서 TrackNo를 key로 설정하여 같은 TrackNo로 저장되어 있는 항공편끼리 분할한다. 같은 TrackNo내에서도 시간과 거리요소를 기준으로 일정 이상 이격되어 있을 경우는 NewTrackNo로 재분할한다. 출발 항공기의 경우는 FOIS상의 Actual Time of Departure(ATD)를 기준으로 ATD가 NTrack 마지막 포인트에서의 시간과 같거나 일정시간 이내이고, 마지막 포인트에서의 속도가 일정 속도 이상인 경우 유효한 항공기 항적으로 추출하여 매칭하고, 이어서 처음 추출한 NTrack 의 시작 포인트와 비교하여 나머지 NTrack들의 마지막 포인트에서의 시간 값과 거리가 일정 이내일 경우, 동일 항공기 track으로 통합한다. 도착 항공기의 경우 FOIS Actual Time of Arrival(ATA)을 기준으로 track을 추출할 경우 시간 오차로 인하여 매칭률이 현저히 낮아지기 때문에, ASDE data 상에서 도착항공기의 경우 CallSign이 부여되어 있다는 점에 착안하여 FOIS 의 FLT와 ASDE의 CallSign이 같은 NTrack을 매칭하여 각 NTrack을 통합하였다. 정적 VTT 데이터 베이스 구축을 위한 데이터 처리 방법은 별책 21([그림 16])에 정리하였다.



MIDAS-P1	ID	MIDAS-P1-ANR-VTT-002
정적 VTT 데이터베이스 구축 보고서	Rev.	1.0
	Date	2017.01.26
	Page	1 of 20

정적 VTT 데이터베이스 구축 보고서

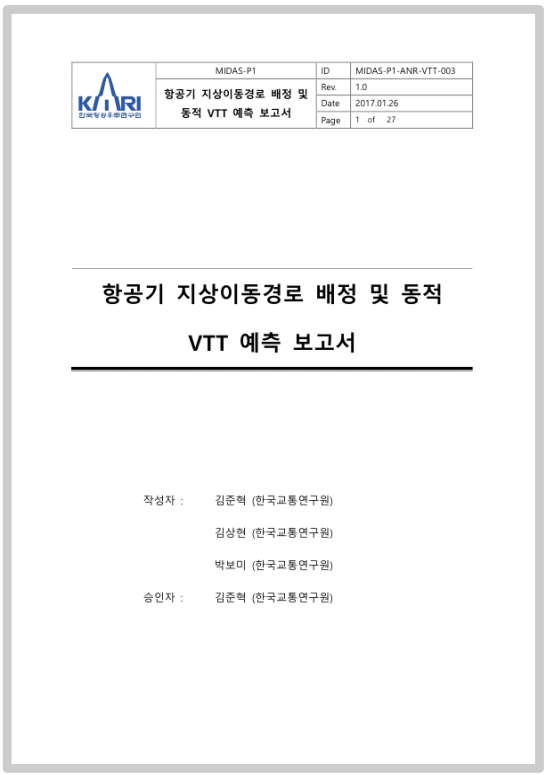
작성자 : 김준혁 (한국교통연구원)
김상현 (한국교통연구원)
박보미 (한국교통연구원)
승인자 : 김준혁 (한국교통연구원)

[그림 16] 정적 VTT 데이터베이스 구축 보고서(표지)

(4) 항공기 지상이동경로 배정 및 동적 VTT 예측 연구 (별책 21 참조)

VTT 예측 모듈은 요청을 받은 항공기의 이륙 스케쥴과, 요청을 받은 시점을 기준으로 정적 VTT 또는 동적 VTT를 제공한다. 정적 VTT 제공을 위한 정적 VTT DB 마련을 위해서는 사용 활주로-주기장 쌍에 따른 정적 VTT를 분석한다. 제주공항 ASDE 데이터는 음영지역의 항공기 항적을 수집하지 못하고, FOIS 데이터의 ATD/ATA는 항공기가 이착륙 후 일정 시간이 지났을 때의 값을 저장한 값이므로 항공기의 Actual Off-Block Time(AOBT)와 Actual In-Block Time(AIBT)은 Official Aviation Guide(OAG) 데이터를 활용한다. 그러나 OAG 데이터는 특정 항공사의 자료만을 보유하고 있기 때문에, OAG에서 AOBT/AIBT를 보유하지 않은 항공편에 대해서는 ASDE 데이터를 활용하여 AOBT/AIBT를 추정한다. 같은 TrackNo을 갖는 항공기에 대해 출발항공편은 가장 이른 TimeGet 값, 도착 항공편은 가장 늦은 TimeGet 값을 추출하고, 해당 항공기의 사용 활주로, 사용 스탠드 정보를 활용하여, AOBT/AIBT를 보유하고 있는 항공편 분석을 통해 나타난 값을 참고하여 추정한다. 동적 VTT 예측은 실시간 교통상황을 반영하여 그에 따른 VTT를 예측해야 한다. 교통상황은 지상에서 이동하고 있는 항공기의 수(N)와 해당항공기들의 위치로 판단될 수 있는데, 본 연구에

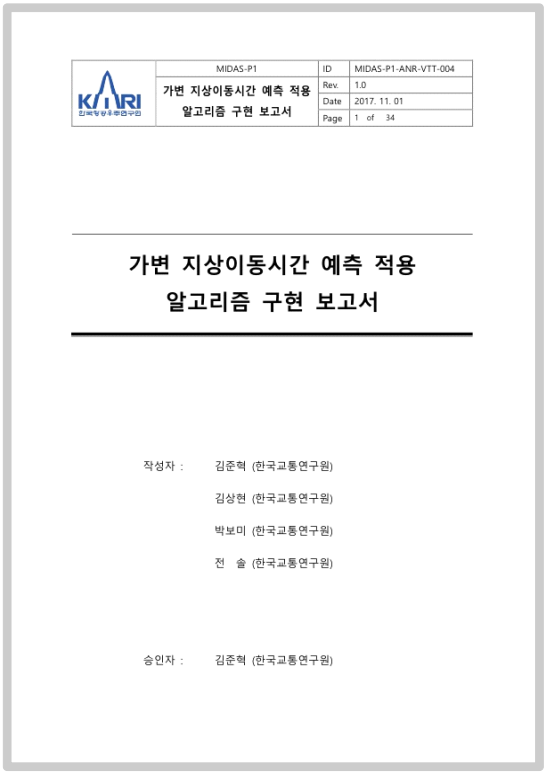
서는 교통 혼잡도를 몇 가지 카테고리로 분류하여 교통 혼잡도를 판단하고, 이를 적용하여 VTT를 예측하였다. 교통 혼잡도는 항공기의 지상 이동 경로를 몇 개의 구간(cell)으로 분리(discrete)하여 각각의 경우에 측정된 실제 지상 이동 시간을 분석하고 이것을 바탕으로 혼잡도를 판단하여 동적 VTT 예측을 위한 변수로 활용한다. 가변 지상이동시간 예측을 위한 방법론과 분석 결과는 별책 21([그림 17])에 정리하였다.



[그림 17] 항공기 지상이동경로 배정 및 동적 VTT 예측 보고서(표지)

(5) 가변 지상이동 시간 예측 적용 알고리즘 구현 (별책 21 참조)

가변 지상이동시간 예측 적용 알고리즘은 과거 지상이동시간 정보를 활용하여 조건에 따른 이동시간을 계산한다. 가변 지상이동시간 예측은 Unimpeded Taxi-Time, Static VTT 및 Dynamic VTT 으로 구분되며, 가변 지상이동시간을 계산하기 위하여 VTT 예측용 DB를 사전에 구축하고, 구축된 VTT 예측용 DB 정보를 활용한다. VTT 예측용 DB는 route별 이동거리 정보, 항공기 기종 별 속도정보, look-up table 형태의 이동시간 정보, route 별 항공기 운항정보가 포함된 4종의 file DB 형태로 구성되고, Unimpeded Taxi-Time, Static VTT 및 Dynamic VTT는 입력조건에 따라 처리된다.



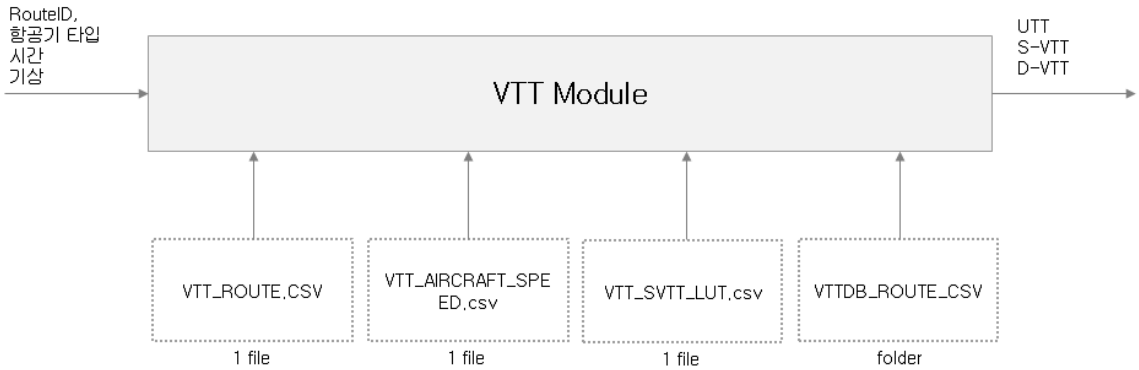
MIDAS-P1	ID	MIDAS-P1-ANR-VTT-004
가변 지상이동시간 예측 적용 알고리즘 구현 보고서	Rev.	1.0
	Date	2017. 11. 01
	Page	1 of 34

가변 지상이동시간 예측 적용
알고리즘 구현 보고서

작성자 : 김준혁 (한국교통연구원)
김상현 (한국교통연구원)
박보미 (한국교통연구원)
전 솔 (한국교통연구원)

승인자 : 김준혁 (한국교통연구원)

[그림 18] 가변 지상이동시간 예측 적용 알고리즘 구현 보고서(표지)



[그림 19] 가변 지상이동시간 예측 적용 알고리즘 구성도

가변 지상이동시간 예측을 위한 입력 값으로는 Route ID, 항공기 타입, 시간 및 기상정보가 필요하다. Unimpeded Taxi-Time은 Route별 거리정보 및 항공기 기종별 속도 정보 DB를 이용하여 계산하고, Static VTT는 사전 계산/정의된 look-up table 형태의 이동시간 정보를 활용하며, Dynamic VTT는 route와 항공기 기종 정보로 재구성된 DB를 활용하여 계산한다.

(6) 가변 지상이동 시간 예측 적용 소프트웨어 구현 (별책 21 참조)

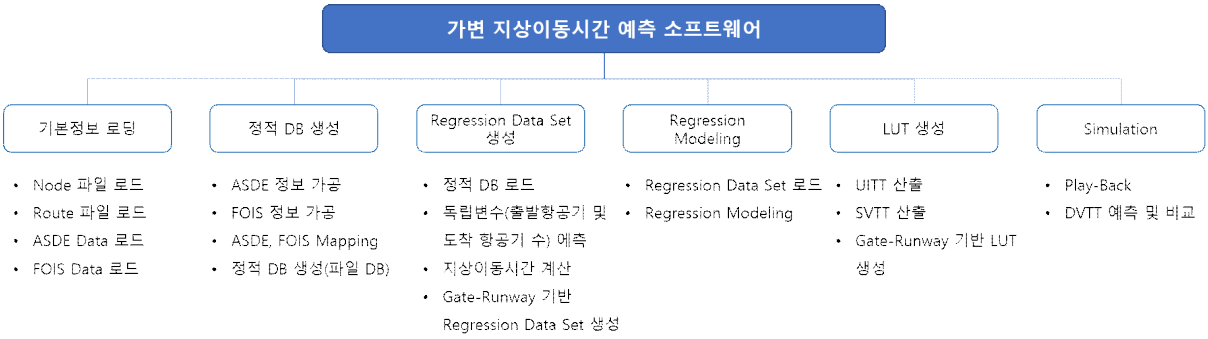
가변 지상이동시간 예측 적용 소프트웨어 구현은 다음 [그림 20]과 같이 크게 4단

계로 구분하여 진행하였다. 먼저, 적용 대상 공항의 형상정보를 최신화하고, 지상이동시간 예측 알고리즘 적용을 위한 데이터 집합 구성을 위해 기본데이터 수집/확보 및 가공하였으며, 가공된 데이터 집합을 통해 지상이동시간 예측 알고리즘을 구현하고, 과거 운항정보와 비교/분석을 통해 검증을 수행하였다.



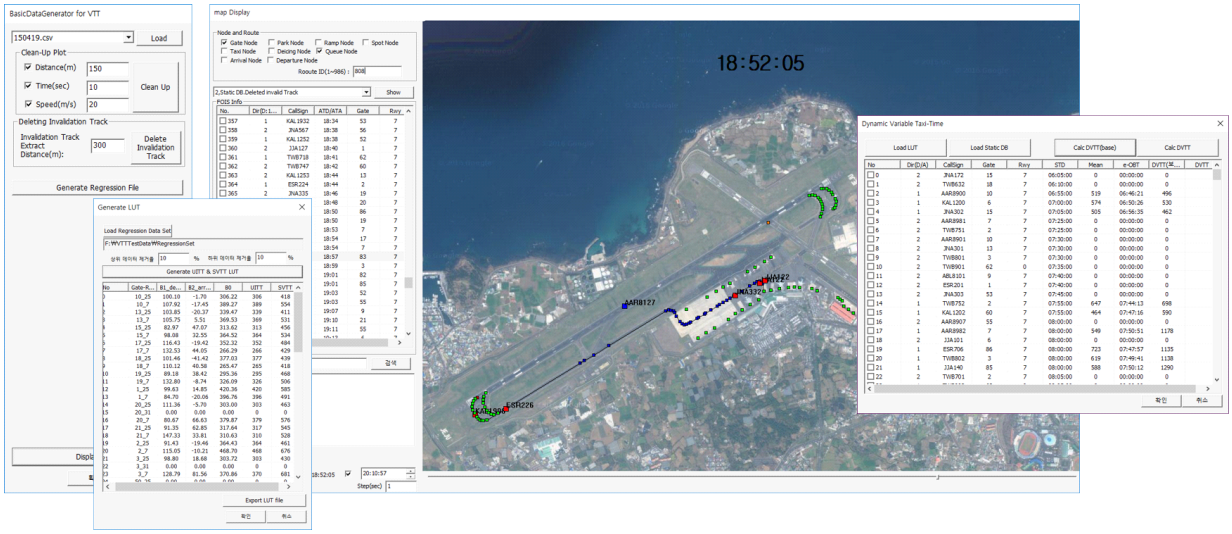
[그림 20] 가변 지상이동 시간 예측 적용 소프트웨어 구현 절차

기본정보인 공항형상정보(node, link, route)를 최신 형상정보로 업데이트하였으며, 동일한 시기의 지상 이동시간 정보(ASDE 로그 데이터)와 실제 이/착륙 시간이 기록된 운항정보(FOIS) 4개월, 접현/이현 시각을 포함하는 별도의 운항정보(FOIS)를 약 16개월치 데이터를 확보 후 가공하여 지상이동 예측 알고리즘에 사용될 데이터 집합을 생성하였다. 지상이동시간 예측 알고리즘은 과거 항공기 이동정보를 분석하여 해당 항공편 출발시간 기준 출발항공기 수와 도착항공기수를 독립변수로 하는 regression modeling을 통해 기존 LUT를 업데이트 하였으며, regression modeling 결과를 활용하여 기존 Unimpeded Taxi-Time(UITT), DVTT의 계산방법을 변경하였다.



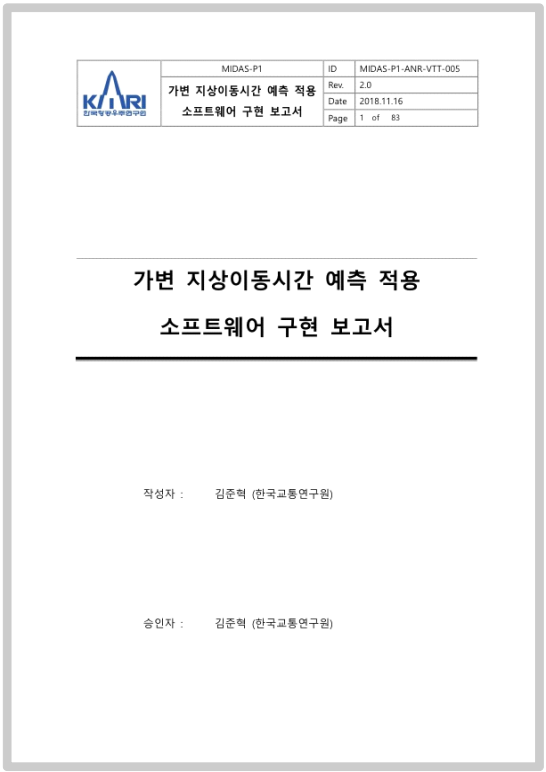
[그림 21] 가변 지상이동 시간 예측 소프트웨어 주요 기능구성

새롭게 계산된 지상이동 시간 중 DVTT에 대한 유효성에 대한 확인은 과거 운항 정보의 실제 이동시간과 비교하여, 비교적 근접한 시간에 대한 결과를 도출하였다.



[그림 22] 가변 지상이동시간 예측 소프트웨어 구현결과

가변 지상이동 시간 예측 적용 소프트웨어의 운영환경, 입출력 정보, 기능 구성 및 처리 절차 등과 관련한 상세한 내용은 가변 지상이동 시간예측 적용 소프트웨어 구현 보고서에 기술하였다(별책 21).



[그림 23] 가변 지상이동시간 예측 적용 소프트웨어 구현 보고서(표지)

(7) 가변 지상이동시간 예측 적용 소프트웨어 성능개선 (별책 21 참조)

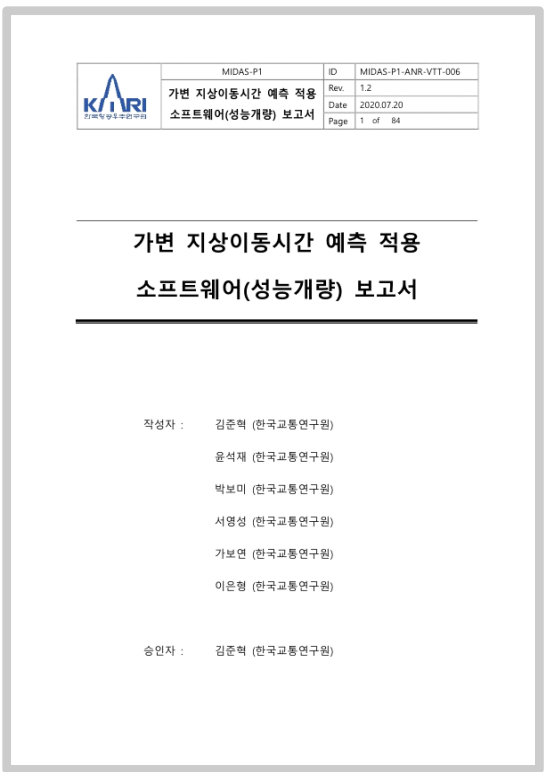
가변 지상이동시간(VTT)예측 적용 소프트웨어는 가변 지상이동 시간 예측을 위한 LUT생성, regression 모델링을 통한 Unimpeded Taxi-Time를 제공하는 기능을 수행한다. 성능 개선을 위해, 계산을 위한 로그데이터 처리를 ASDE 로그데이터뿐만 아니라 ADS-B 로그데이터도 처리할 수 있도록 하였으며, replay를 통해 대상공항에 항공기들의 이동현황을 확인하는 방법을 '항공편별' 또는 하루의 '특정 시간별'로 확인할 수 있도록 하여 실제와 유사한 상황이 모사되도록 하였다. 또한 LUT 출력 방식에 XML형식도 포함되도록 작업되었다.

LUT를 생성하기 위해 지난 시간 이동정보(ASDE 로그데이터, ADS-B 로그데이터)와 실제 이/착륙 시간이 기록된 운항정보(FOIS)를 가공하여 file DB 형태의 정적 DB를 생성한다. 정적 DB는 생성되는 과정에서 수집된 지난 이동시간 정보를 바탕으로 접현/이현 시간을 추정한다. 성능개량된 VTT 예측 적용 소프트웨어는 LUT를 생성할 때 기존 ASDE 외에 ADS-B 정보를 활용할 수 있어서 정적 DB 생성을 위한 기초자료에 다양성이 확보되고, 정제된 ADS-B 데이터 사용으로 인해 LUT 계산을 위한 성능이 향상되었다.

그러나 대상공항의 ASDE 데이터는 음영지역의 항공기 데이터가 수집되지 않는 경우가 있고 대상공항의 ADS-B 데이터 중 출발의 경우, 출발 스탠드 출발 이후 ADS-B 데이터가 수집되거나, 도착의 경우, 도착 스탠드 도착 전 ADS-B 데이터가 미존재 하는 경우가 확인되었다. 이런 경우는 접현/이현 시각에 대한 추정이 불가능하므로 regression data set을 구성하는 유효한 데이터로 사용되지 않으며 UITT와 LUT를 계산 할 수 없는 데이터로 판단되어 결과 값에 반영되지 않는다.

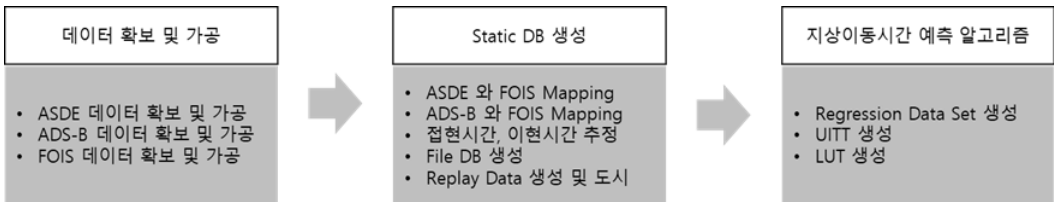
지상 이동시간 정보(ASDE데이터/ADS-B데이터)와 실제 이/착륙 시간이 기록된 운항정보(FOIS)를 활용하여 정적 DB가 생성되면 지도 기반의 과거 이동 정보를 확인할 수 있다. Replay는 특정 항공기만 선택하여 이동정보를 확인하거나 특정 시간을 선택하여 이동정보를 확인할 수 있다. 특정 시간을 선택하여 replay를 확인하는 경우 로그 정보가 수집된 모든 항공기 중 해당 시간에 수집된 항공기는 모두 도시되므로 항공기별 이동시간 뿐만 시간별로 항공기의 대상공항 이동현황을 확인할 수 있다.

가변지상이동 시간 예측 소프트웨어의 운영환경, 입출력 정보, 기능구성 및 처리절차 등과 관련한 상세한 내용은 가변 지상이동 시간예측 소프트웨어 성능개량 보고서에 기술하였다.(별책 21)



[그림 24] 가변 지상이동시간 예측 적용 소프트웨어(성능개량) 보고서(표지)

성능 개량된 지상이동시간 예측 소프트웨어는 데이터 확보에서부터 지상이동시간 예측 알고리즘을 적용한 결과를 연속적으로 도출할 수 있도록 3단계로 구분하여 적용하였다. 1단계는 데이터 가공단계로 지상이동 예측시간 알고리즘 계산 최적화를 위한 형식 적용을 위해 확보된 기본 데이터를 가공하였다. 2단계는 데이터 처리 과정으로 1단계에서 가공된 데이터를 분석 및 데이터간의 관계성을 확립하는 과정을 진행한다. 데이터간의 관계성을 확립하는 과정을 마치게 되면 정적 DB file을 생성하게 된다. 3단계는 생성된 정적 DB file의 유효성 판단 및 지상이동시간 예측 알고리즘을 적용하는 과정을 거치게 된다. 지상이동시간 예측 알고리즘은 regression data set을 생성하며 regression modeling결과를 활용하여 UITT 여부를 계산하고 LUT를 생성하는 과정을 거치게 되는 일련의 과정을 수행하게 된다.



[그림 25] 가변 지상이동 시간 예측 소프트웨어(성능개량) 구현 절차

나) 공역 교통 모니터링 및 예측 기술 연구

(1) 합류지점 추출 및 합류 가용시간 예측(별책 19 참조)

출발항공기는 활주로를 이륙한 후 목적지에 따른 항로에 합류해 비행하게 된다. 따라서 해당 항로를 기 순항 중인 통과항공기와 출발항공기 사이에 간섭이 발생할 수 있으며 이륙시각에 대한 적절한 조정을 통해 이를 사전에 해결하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 김포 및 인천공항 그리고 제주공항의 출발항공기의 합류항로 별로 다음과 같은 연구를 수행하였다.

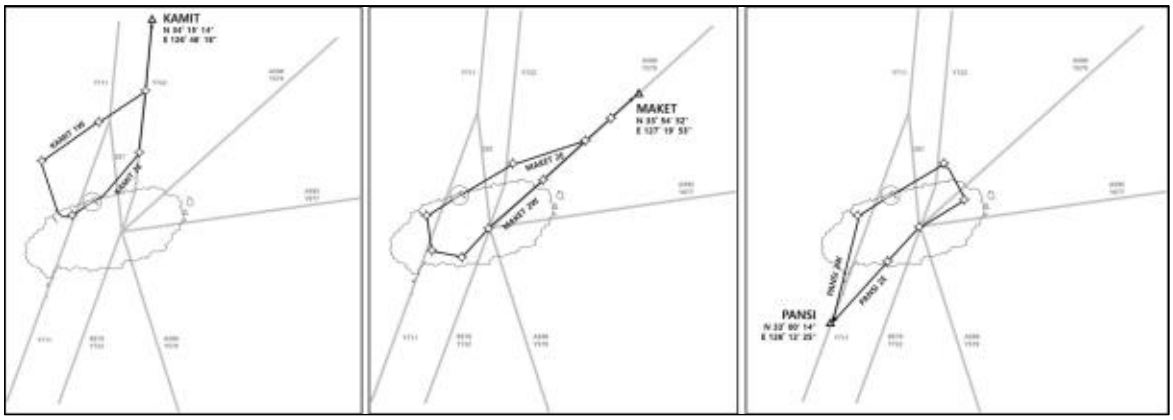
- 합류항로 별 합류지점 및 통과항공기 이동경로 분석
- 합류 가용시간 계산을 위한 통과항공기에 대한 궤적예측기법 개발 및 분석

항로별 분석 내용은 “공역 교통 자료 분석서”([그림 12], 별책 19)에 자세히 기술되어 있다.

(2) 궤적 모델링에 의한 출발 항공기 궤적 예측 (별책 22 참조)

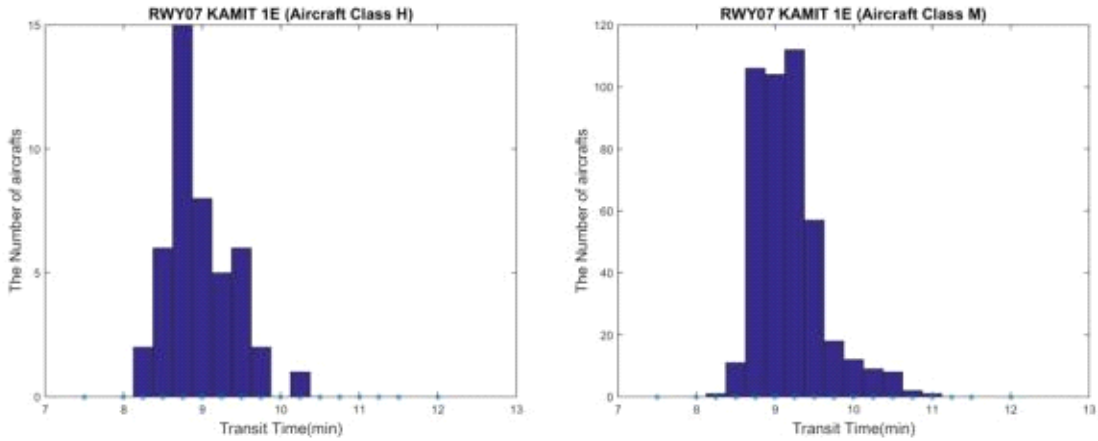
항공로의 교통상황을 고려한 이륙 슬롯 예측을 위해, 출발 항공기가 활주로를 이

륙해 항공로에 합류하는 시간에 대한 통계분석을 수행하였다. 제주국제공항(RKPC)에서 출발하는 항공기는 목적지에 따라 총 5개 지점에서 순항항공기와 합류하게 되는데, 본 연구에서는 교통량이 많은 KAMIT, MAKET, PANSI 픽스를 합류지점으로 하는 출발절차(활주로 방향에 따라 총 6개)만을 고려하였다([그림 26]).



[그림 26] 연구 대상 출발절차 및 합류지점

출발항공기가 이륙 후 표준계기출발절차를 따라 목적 항공로에 합류하기까지 소요되는 시간을 분석하기 위해 2015년 1개월간의 항적자료를 사용하였다. 예를 들어, RKPC를 07방향으로 이륙해서 북쪽(김포공항) 방향으로 비행하는 항공기가 사용하는 KAMIT 1E 절차에 대한 소요시간은 평균 9.1161분으로 나타났다. 이 때 항공기의 이륙시각은 항공법에 의거 1,500ft 고도에 도달한 시점을 기준으로 하였고, 항공로에 합류한 시각은 해당 합류지점에 가장 가깝게 접근한 시점을 기준으로 하였다. 항공기 무게 등급에 따라 합류지점까지의 소요시간에 차이가 발생하는 것으로 분석되었으며 결과는 아래 [그림 27]과 [표 4]에 나타난 바와 같다. 나머지 절차에 대한 분석 결과는 별책 22에 보다 자세히 기술되어 있다.

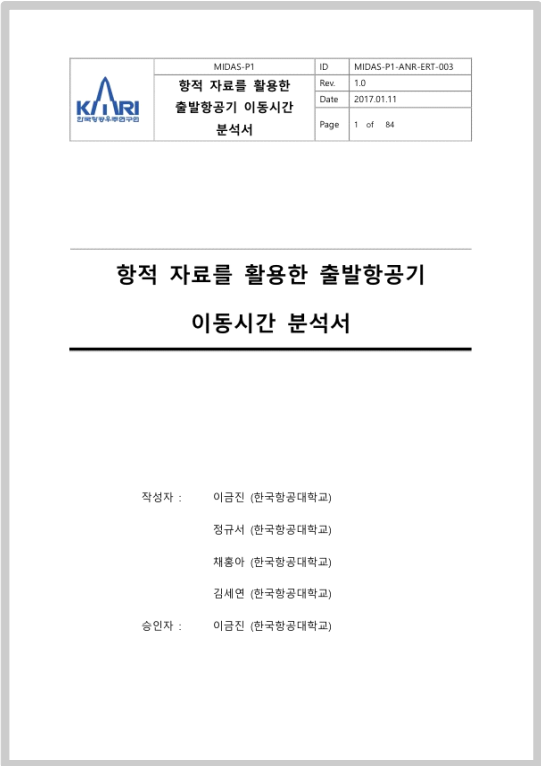


[그림 27] KAMIT 1E 출발항공기가 항공로에 합류하는데 필요한 소요시간 히스토그램

[표 4] 항공기 등급에 따른 KAMIT 1E 합류 소요시간

항공기 무게 등급	Heavy		Medium	
항공로 합류까지	평균	표준편차	평균	표준편차
소요시간	8.9741(분)	0.4049(분)	9.1865(분)	0.4175(분)

* KAMIT 1E 이용 항공기 중 Light 급은 없는 것으로 나타났음.

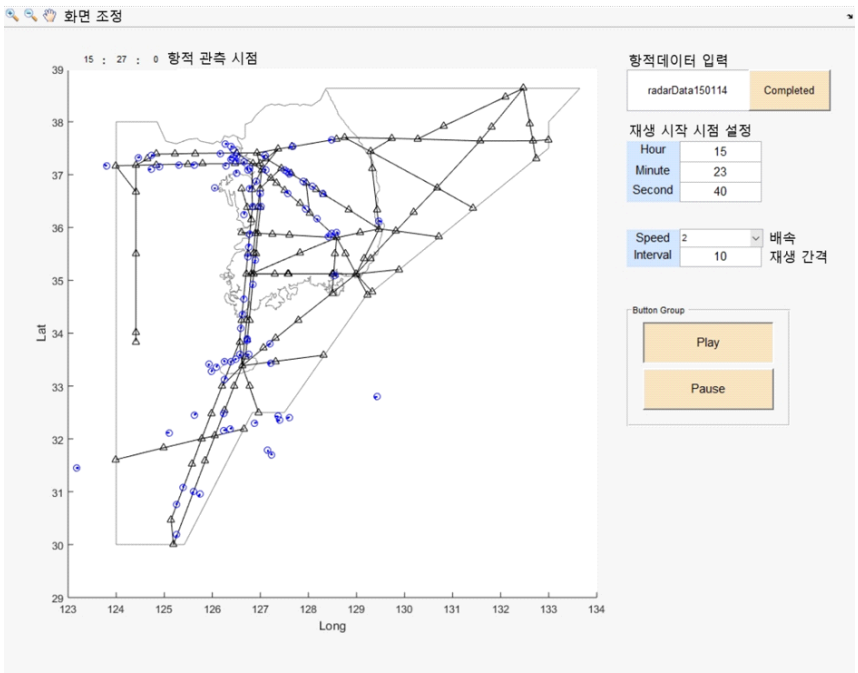


[그림 28] 항적 자료를 활용한 출발항공기 이동시간 분석서(표지)

제주공항에서 출발한 항공기의 경우, 출발절차의 중간에서 direct-to를 하는 등 관제사의 임의에 따라 기존 절차와 다르게 비행한 예외적인 경우들이 많다. 본 연구의 최종적인 목적이 항공로 합류지점의 교통상황을 고려한 이륙 슬롯을 해당 항공기가 출발하기 전에 계산하는 것임을 감안하여, 이러한 예외적인 경우들은 배제하고 출발절차를 정확히 따라 비행한 항적들만을 연구대상으로 하였다. 예를 들어 KAMIT 1E 절차의 경우, 이륙 후 합류지점까지의 중간 픽스들을 모두 반경 3NM 이내로 통과하는 항적들을 대상으로 소요시간을 계산하였으며, 전체 항적들 중 약 62.9%만이 이에 해당 하였다.

(3) 제주공항 출발 항공기 궤적 패턴 연구 (별책 22 참조)

항공로의 교통상황을 고려한 이륙 슬롯 예측을 위해, 제주공항 출발 항공기가 활주로를 이륙해 항공로에 합류하는 궤적의 패턴 분석 및 합류 시간에 대한 통계분석을 수행하였다. 궤적 패턴의 분석을 위해서 녹화된 항적을 시각화하여 교통 혼잡도를 직관적으로 파악할 수 있는 소프트웨어를 구현하였으며 이를 바탕으로 KAMIT 1E 절차를 이용하는 항공기들의 궤적을 패턴화하고, 각 패턴별 소요시간에 대한 통계분석을 수행하였다. 전체 6개 절차에 대해서는 항공기의 무게 등급과 바람 방향에 따른 소요시간에 대한 통계분석을 수행하였다.



[그림 29] 궤적패턴 분석을 위한 소프트웨어

소프트웨어의 주요 기능은 다음과 같다.

- 항적 데이터의 누락 방지를 위한 항적 관측 시점 및 좌표 re-sampling
- 재생 시점 설정 및 배속, 재생 간격 조절을 통한 fast-time 재생

KAMIT 1E 절차에 대한 궤적 패턴 분석 결과는 다음과 같다.

- SID 절차를 정확하게 따라가는 항공기 : SID 구성 픽스를 직선으로 따라가 합류하는 패턴
- Direct-to 항공기 : 원 절차를 기준으로 안쪽으로 비행해 좀 더 짧은 거리로 합류하는 패턴

- 벡터링을 통한 path extension : 관제사의 벡터링 지시에 따라 원 절차보다 긴 거리로 합류하는 패턴

패턴별 소요시간 분석 결과 및 6개 절차별 소요시간 분석 내용은 “항적 자료를 활용한 출발항공기 이동시간 분석서”([그림 28], 별책 22)에 자세히 기술되어 있다.

(4) 공역 교통 모니터링 및 예측 알고리즘 개발 (별책 22 참조)

항공로의 교통상황을 고려한 이륙 슬롯 예측을 위해, 가중선형회귀(Locally Weighted Linear Regression) 기법을 사용해 순항 항공기의 합류지점 도착시간 예측 모형을 개발하였다. 총 5개의 합류지점 중, 본 연구에서는 교통량이 많은 KAMIT, MAKET, PANSI 픽스만을 고려하였다. WLR 예측 모형은 과거 데이터에 기반하여 순항 항공기가 합류지점에 도착하는 시각을 예측하는데, 순항항공기의 현재 위치(위도, 경도), 속도, 헤딩을 입력 받으면 합류지점까지의 도착시간을 계산해 출력해 준다. 예를 들어 항공기의 현재 위도, 경도, 속도, 헤딩이 각각 x_1, x_2, x_3, x_4 이라고 할 때, 합류지점 도착시간은 아래와 같은 형태로 구해진다.

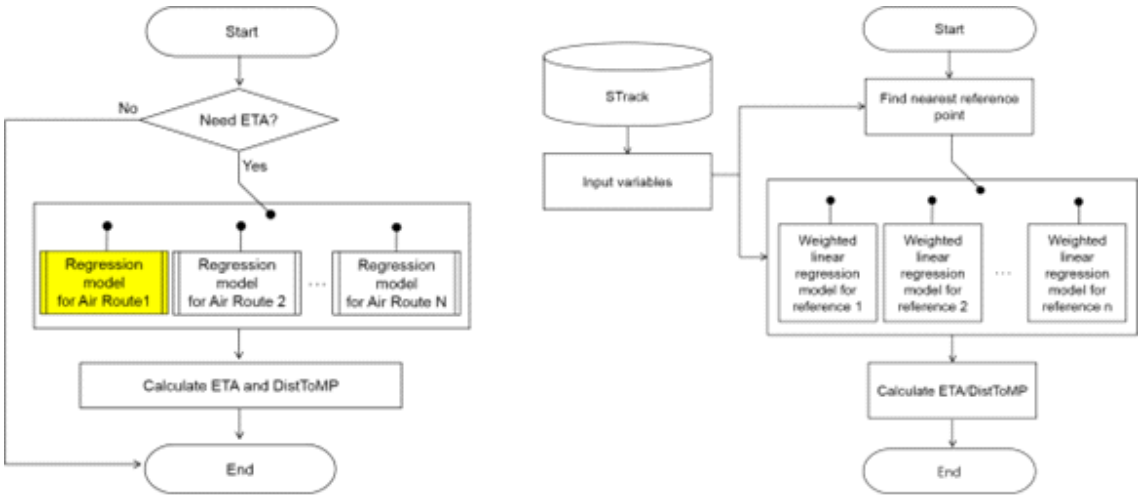
$$\text{도착시간} = \theta_0 + \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \theta_3 x_3 + \theta_4 x_4$$

여기서 $\theta_0 \sim \theta_4$는 과거 항적데이터에 대한 학습을 통해 구해지는 값이며, 본 연구에서는 예측 정확도를 높이기 위해 입력 변수의 값에 따라 구간을 나누고, 각 구간별로 서로 다른 모형을 구축하였다. 예를 들어 합류지점 MAKET에 대해서는 순항항공기 위도, 경도, 속도, 헤딩 값 범위를 각각 5개, 5개, 3개, 3개로 나눈 후 총 225개(5*5*3*3)의 예측모형을 구축하였다. 구축된 모형 중 일부는 [그림 30]과 같으며, 나머지 픽스에 대한 보다 자세한 결과는 별책22에 기술되어 있다.

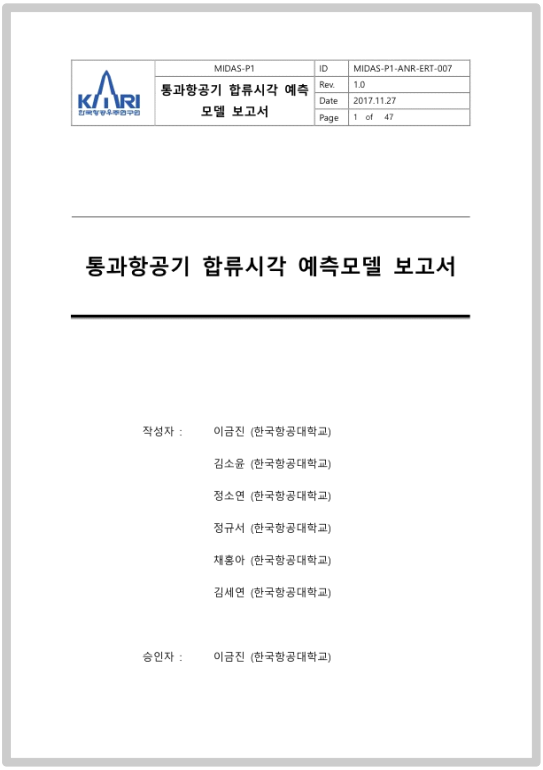
경도 \ 위도	125.4425	126.0584	126.4908	126.8879	127.2772
30.8423	θ_0=35828 θ_1=-161.3829 θ_2=-408.6592 θ_3=-3.0080 θ_4-2.0834	46630 -265.0980 -346.4044 -2.3701 -1.8776	55654 -355.2934 -286.1218 -1.6065 0.8140	53342 -339.1310 -283.4331 -1.1118 -0.8814	53342 -338.1228 -288.5409 -0.6662 -1.7309
32.1009	33904 -159.1233 -379.6017 -1.6610 2.1932	49081 -291.3364 -327.3539 -1.9536 0.3096	57132 -370.2536 -274.4558 -1.5288 0.8989	51442 -320.2458 -295.4188 -1.3211 -1.0415	50650 -316.7341 -289.3183 -0.9491 -1.9030
32.6584	35195 -178.4725 -345.0108 -1.6188	48567 -285.4558 -339.4210 -1.5872	50136 -303.7271 -321.2327 -1.3595	54952 -355.1674 -271.7917 -1.0300	52569 -330.7560 -295.5329 -0.8237

[그림 30] MAKET 합류지점 도착시간 예측 모형 예시: $480.2615 \leq$ 속도 $\leq 508.6385, 31.4^\circ \leq$ 헤딩 $\leq 41.4^\circ$

본 연구에서 개발한 예측 모형의 특징은 관제사의 관제 지시로 인하여 항공로를 벗어나 비행하는 항공기도 예측 대상에 포함하였다는 점이다. 기존의 항공역학적 모형을 이용한 방법의 경우 합류지점 도착시간을 예측하기 위해 항공기 경로에 대한 정보가 필요한 데에 반해, 본 연구에서 개발한 모형은 항공기의 현재상태만 주어지면 해당 항공기가 항공로를 정확히 따라서 비행하고 있는지 아니면 관제사의 지시에 따라 다른 경로를 따라 비행하고 있는지 여부와 상관없이 도착시간을 예측할 수 있다. 예측 모형의 실행 순서도는 [그림 31]과 같다.



[그림 31] WLR 예측모형 실행 순서도



MIDAS-P1	ID	MIDAS-P1-ANR-ERT-007
통과항공기 합류시각 예측 모델 보고서	Rev.	1.0
	Date	2017.11.27
	Page	1 of 47

통과항공기 합류시각 예측모델 보고서

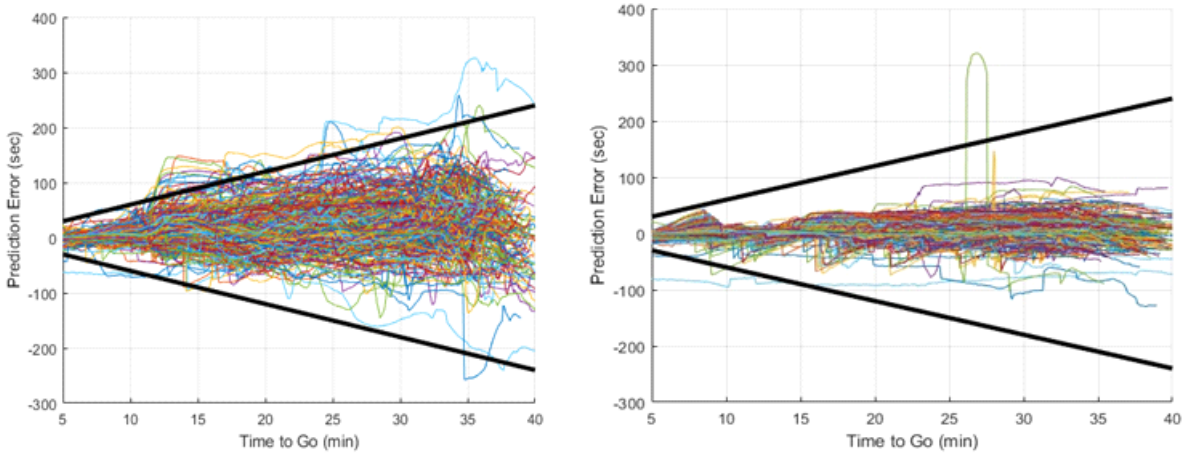
작성자 : 이금진 (한국항공대학교)
김소윤 (한국항공대학교)
정소연 (한국항공대학교)
정규서 (한국항공대학교)
채홍아 (한국항공대학교)
김세연 (한국항공대학교)

승인자 : 이금진 (한국항공대학교)

[그림 32] 통과항공기 합류시각 예측모델 보고서(표지)

(5) 공역 교통 모니터링 및 예측기법 개선 (별책 22 참조)

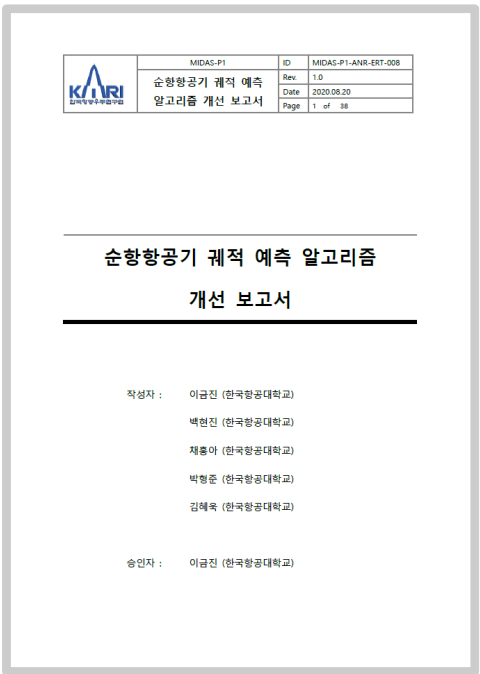
가중선형회귀를 이용한 순항항공기 합류지점 도착시간 예측 모형의 성능개선 방안에 대한 연구를 수행하였다. 크게 두 가지 측면에서의 개선방안을 살펴보았는데, 첫 번째는 항공기 향후 대지속도(ground speed)를 예측모형에 반영하는 방법이고 나머지 한 가지는 항공기의 실시간 경로를 도착시간 예측에 반영하는 방법이다. 현재까지 개발된 도착시간 예측 모형의 경우 항공기의 현재 대지속도를 입력변수 중 한 가지로 사용하고 있다. 바람 등의 영향으로 인한 항공기 대지속도의 변화수준이 높은 것으로 확인되었으며, 이를 예측모형에 반영함으로써 도착시간 예측 정확도를 높일 수 있다. 향후 대지속도를 도착시간 예측에 반영하는 방법은 크게 두 가지가 있는데, 첫째는 대지속도 자체를 기계학습기법 등을 통해 직접 예측하는 방법이 있고, 또 다른 방법은 항공기 대기속도(airspeed)에 대한 예측모형을 만든 후 실시간 기상정보를 사용해 대지속도를 예측하는 방법이 있다.



[그림 33] 향후 대지속도 반영을 통한 도착시간 예측정확도 개선

항공기가 실제로 비행 중인 항공로를 실시간으로 추정하여 궤적예측에 반영할 수 있다. 가중선형회귀 모형의 경우 항공기의 현재 위치를 통해 실제 비행패턴을 간접적으로 반영하고 있으므로, 항공로에 대한 실시간 추정이 필요하지 않다. 하지만 BADA 등 항공기 성능모형을 이용하는 궤적예측의 경우 항공로에 대한 실시간 추정을 통해 도착시간 예측정확도를 개선할 수 있다.

공역 교통 모니터링 및 예측기법 개선 관련 내용은 별책22에 기술되어 있다.


MIDAS-P1 | ID | MIDAS-P1-ANR-ERT-008
순항항공기 궤적 예측 알고리즘 개선 보고서 | Rev. | 1.0
Date | 2020.08.20
Page | 1 of 38

순항항공기 궤적 예측 알고리즘

개선 보고서

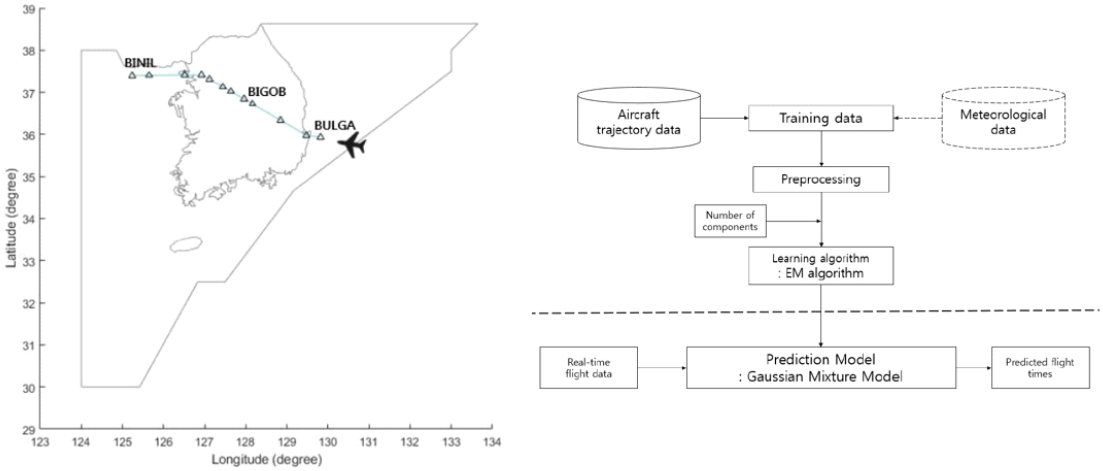
작성자 : 이금진 (한국항공대학교)
백현진 (한국항공대학교)
채홍아 (한국항공대학교)
박형준 (한국항공대학교)
김혜욱 (한국항공대학교)

승인자 : 이금진 (한국항공대학교)

[그림 34] 순항항공기 궤적 예측 알고리즘 개선 보고서(표지)

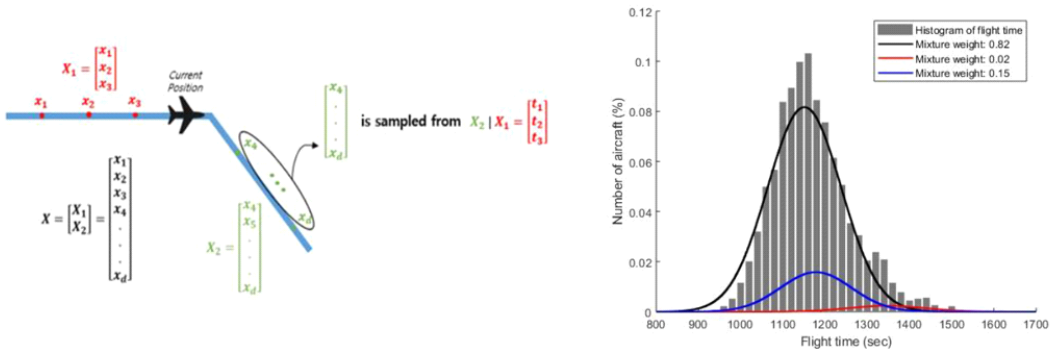
(6) 순항항공기 궤적예측 알고리즘 개선 연구 (별책 22 참조)

<가우시안혼합모형(GMM) 기반 도착시각 예측모형 연구>



[그림 35] 좌: 연구대상 항공로(G585-G597), 우: 도착시각 예측모형(GMM) 구축 과정

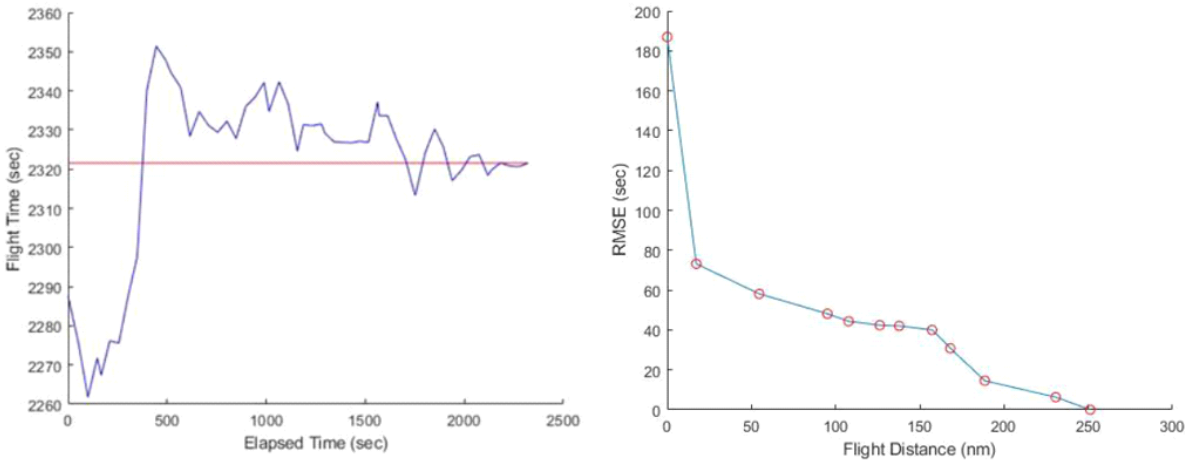
인천 FIR 내의 항공로 G585-G597을 대상으로 순항 항공기의 도착시각을 예측하기 위하여 [그림 35]에 나타난 바와 같이 가우시안 혼합 모형(GMM, Gaussian Mixture Model)을 사용한 방법을 제안하였다. 해당 예측모형은 [그림 36]의 좌측에 나타난 바와 같이, 항공기가 현재까지 지나간 waypoint에 대한 도착시각을 조건부로 하여 향후 지나갈 주요 waypoint에 대한 도착시각을 예측한다. 실시간으로 도착시각 예측을 수행하는 경우, 항공기의 항적데이터가 주어질 때마다 예측 도착시각 또한 업데이트되며, 주어지는 데이터를 토대로 향후 지나갈 주요 waypoint들에서의 예측 도착시각을 계산한다.



[그림 36] 좌: 도착시각 예측 과정, 우: GUKDO까지의 비행시간 데이터 분포와 GMM 피팅 결과

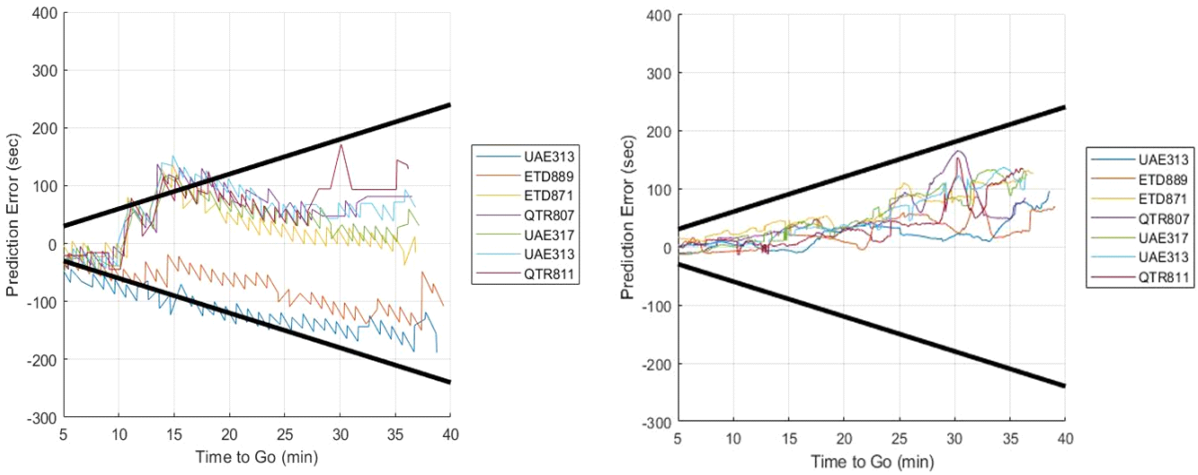
[그림 36]의 우측 그림은 출발지부터 GUKDO까지의 비행시간 분포와 해당 데이터에 피팅된 GMM 예시를 나타낸다. 그림에서와 같이 GMM은 3개의 가우시안 분포로

이루어져 있으며, 분포의 개수는 예측 오차가 가장 작게 나온 경우를 채택하였다. [그림 37]은 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해, 항공기 1대에 대해 도착시각 예측을 수행한 결과를 나타낸다. 좌측 그림에서 빨간색 실선은 항공기가 목적지까지 가는데 걸린 실제 비행시간을 나타내고 파란색 실선은 예측 비행시간을 나타내며, 시간이 경과할수록 점차 예측오차가 감소하는 것을 볼 수 있다. [그림 37]의 우측그림은 297대의 항공기에 대해 측정한 예측 오차(RMSE)를 나타며, 빨간색 동그라미는 대상 항로를 구성하는 12개의 waypoint의 위치를 의미한다.



[그림 37] 좌: 실제 비행시간(빨간색)과 예측 비행시간(파란색), 우: 도착시각 예측 오차(RMSE)

<궤적예측모형 성능비교 연구>



[그림 38] 좌: 항공기 동역학 데이터 기반 예측모형의 오차 분포, 우: 가중선형회귀 기반 예측모형의 오차 분포

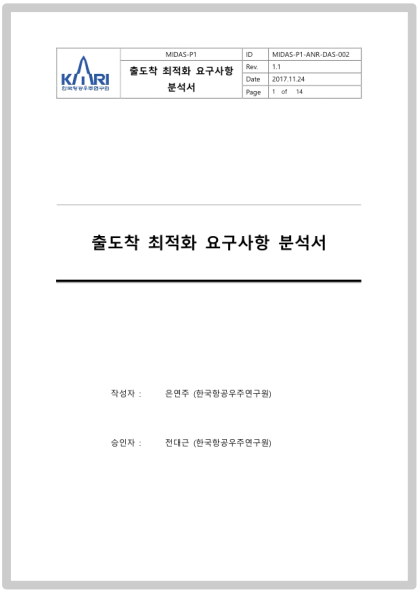
본 연구에서는 BADA 등 항공기 동역학 데이터 기반의 궤적예측모형과 과거 항적 데이터에 가중선형회귀 기법을 사용한 궤적예측모형의 성능을 비교하였다. [그림 38]은 상기한 두 가지 모형으로 항공로를 벗어나 비행한 항적에 대해 도착 시각 예측을 수행한 후, 예측 오차를 비교한 것이다. 오차란 모형을 통해 예측한 도착 시각과 실제 항공기가 도착한 시각의 차이를 의미하며 오차 분포도에 잔여 비행시간의 10%에 해당하는 값을 검은 실선으로 표시하여 모형의 정확도를 판단하고자 하였다. 그림에서 볼 수 있듯, 두 모형 모두 예측 오차는 항공기가 도착지점에 가까워질수록 감소하였으나, 오차의 경향성 측면에서 차이를 보였다. 먼저, 항공기 동역학 데이터 기반의 궤적예측모형은 비행패턴에 따라 오차의 경향성이 비교적 명확하게 구분되었다. 인천 FIR에 진입하여 G585 항로의 위쪽으로 벗어난 항적의 경우 예측된 도착시각은 실제 도착시각보다 더 빨랐으며, 항로의 아래쪽으로 벗어난 항적의 경우 그 반대인 것으로 나타났다. 특히, 항로의 아래쪽으로 벗어난 항적의 경우 오차가 점점 증가하다 잔여 비행시간 약 10~15분을 기점으로 감소하였다. 반면, 가중선형회귀 기법을 사용한 궤적예측모형은 비행패턴의 구분 없이 대부분의 오차가 비교적 일정한 경향성을 가지며 감소하는 것으로 나타났다. 또한 예측 오차가 잔여 비행시간 대비 10% 내에 존재하는 정확성을 보였다.

순항항공기 궤적 예측 알고리즘 개선 관련 내용은 “순항항공기 궤적 예측 알고리즘 개선 보고서”([그림 34], 별책22)에 기술되어 있다.

다) 다중 구속조건을 고려한 출도착 스케줄링 기술 연구

(1) 출도착 최적화 요구사항 분석 (별책 23 참조)

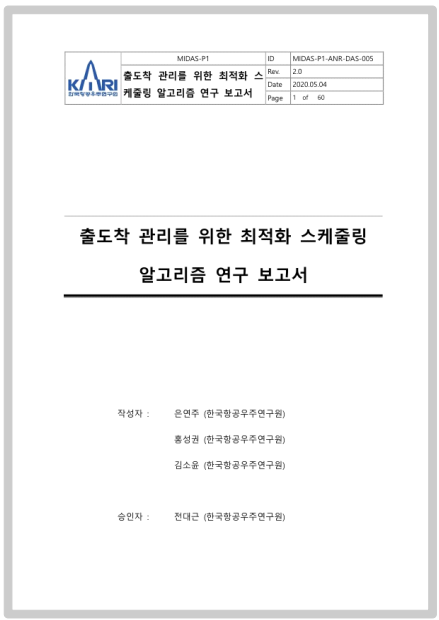
출도착 관리 시스템에서 출도착 스케줄링은 운용개념을 구현하기 위한 핵심부분이다. 출도착 스케줄링 소프트웨어 구현에 앞서 “DMAN 시스템 요구사항 명세서”(별책3, MIDAS-P1-SSS-SYS-001) 및 “T-AMAN 시스템 요구사항 명세서”(별책3, MIDAS-P2-SSS-SYS-001)에 명시된 시스템 요구사항 대비 상세한 요구사항 내용을 별도로 분석하여 아래와 같이 “출도착 최적화 요구사항 분석서”로 작성하였다(별책 23, MIDAS-P1-ANR-DAS-002). 최적화 문제의 공식화는 구현단계에서 결정될 최적화 방법에 따라 그 방식이 달라지므로, 공식화된 최적화 문제의 정의에 앞서 일반사항, 최적화 목적함수, 구속조건에 해당하는 내용을 분석/기술하였다.



[그림 39] 출도착 최적화 요구사항 분석서(표지)

(2) 출도착 관리를 위한 최적화 알고리즘 연구 (별책 23 참조)

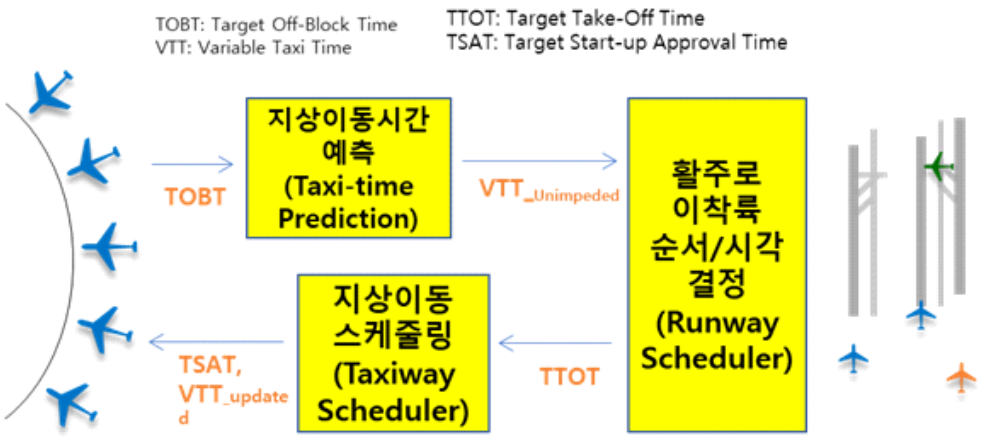
항공기 출도착 관리를 위한 출도착 항공기의 스케줄 최적화 알고리즘에 대해 연구하였다. “출도착 최적화 요구사항 분석서”(별책 23, MIDAS-P1-ANR-DAS-002)에 정리된 스케줄링 및 최적화 관련 요구사항을 기반으로, 요구사항을 구현하기 위한 최적화 문제를 정식화(formulation)하고 스케줄링 성능 비교를 위해 출도착 시나리오에 대해 정식화된 최적화 문제의 해를 FCFS 기반으로 풀이한 해와 비교하여 최적화 성능을 비교하고, 해당 내용을 “출도착 관리를 위한 최적화 스케줄링 알고리즘 연구 보고서”(별책 23, MIDAS-P1-ANR-DAS-005)로 정리하였다.



[그림 40] 출도착 관리를 위한 최적화 스케줄링 알고리즘 연구 보고서(표지)

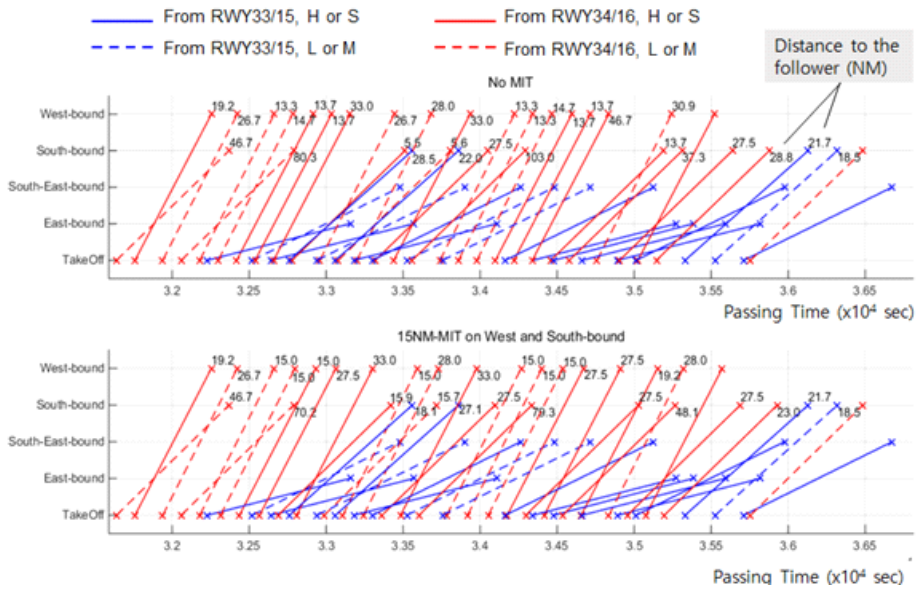
본 문서에서 대상으로 하는 출도착 스케줄링의 범위는, 출발항공기의 지상이동과 이륙 순서 결정, TMA 영역으로 진입한 후 point merge 시스템을 이용하여 도착하는 도착항공기의 착륙 순서 및 시각 결정이다. 출발 항공기의 지상이동과 이륙 순서 결정에 대한 최적화 문제의 정식화를 위해, 수학적인 표현이 명확하고 적절한 해법을 이용하면서 최적화의 정확한 해(exact solution)를 구할 수 있는 혼합정수 프로그래밍(MILP, Mixed Integer Linear Programming) 문제를 적용하여 정식화하였으며, 정식화한 최적화 문제는 예시로 적용한 문제의 해를 FCFS 방식을 적용하여 구한 해와 그 결과를 비교하였다. 도착 항공기의 착륙 순서 및 시각 결정을 위해서는 항공기의 도착 순서 변경횟수를 제한한 후 여러 개의 목적함수를 고려할 수 있는 다중 목적 동적 계획법(MODP, Multi-Objective Dynamic Programming)을 사용하였다.

출발 스케줄링 알고리즘 개발 과정에서는 특히, 스케줄링 알고리즘의 구조적인 부분에 있어서, 항공기의 가변지상이동 시간을 예측하는 1) Taxi Time Prediction - 항공기의 가변 기상이동 시간 예측; 2) Runway Scheduling - 항공기의 게이트 출발 가능 시각인 Target Off-block Time(TOBT)와 가변 지상이동시간을 적용하여 적절한 목표 이륙시각인 Target Take-Off Time(TTOT) 결정; 3) Taxiway Scheduling - 결정된 TTOT로부터 적절한 스탠드 출발 시각인 Target Start-up Approval Time(TSAT)결정으로 구성된 3-step approach 방법[6]을 적용하였다. 이와 같은 알고리즘 구조는 2번째나 3번째 step의 TTOT나 TSAT 시간 결정을 위한 계산 방법에 있어서 최적화뿐만 아니라 FCFS나 다른 휴리스틱 알고리즘들을 두루 적용할 수 있으며, 도착관리 부분에도 1) 4D 궤적 모델링에 따른 가장 이른 예상 도착시간 산출, 2) 목표 착륙시각(TLDT, Target Landing Time) 결정, 3) TLDT를 만족시키기 위한 re-routing 또는 속도 조정값 계산과 같이 공통적으로 적용할 수 있는 알고리즘 구조이다.

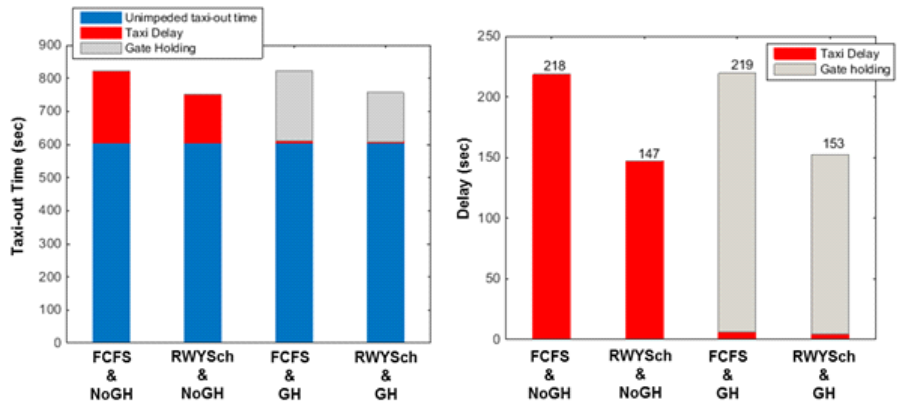


[그림 41] 출발 스케줄링을 위한 3-step approach 구조

공항의 지상이동을 포함한 항공기 출발 스케줄링은 공항 지상 이동경로의 구조, 활주로의 배치, 출발항공기의 출발 제한사항 등 실제 항공기들을 관제하는데 필요한 공항별 요구사항이 각기 다를 수 있고, 이를 적절히 스케줄링 알고리즘의 구조나 constraint로 반영하는 것이 알고리즘 개발의 핵심 부분이 될 것이다. 본 연구에서는 출발 관리 부분에 대해 국내 공항 중 공항형상 및 출발 제한사항이 가장 다양한 양상을 보이는 인천공항을 대상으로 스케줄링 요구사항을 정리하고 최적화 문제로 정식화하였다. 이로 인해 다른 공항에 대해서는 구속조건들을 부분적으로 tailoring하여 동일한 최적화 알고리즘을 적용할 수 있다.



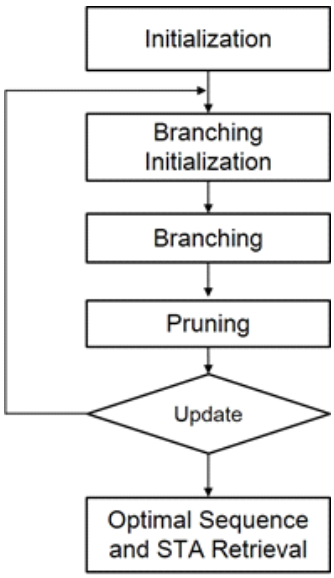
[그림 42] 출발경로별 분리간격 조건이 설정된 출발 스케줄 최적화 결과예시



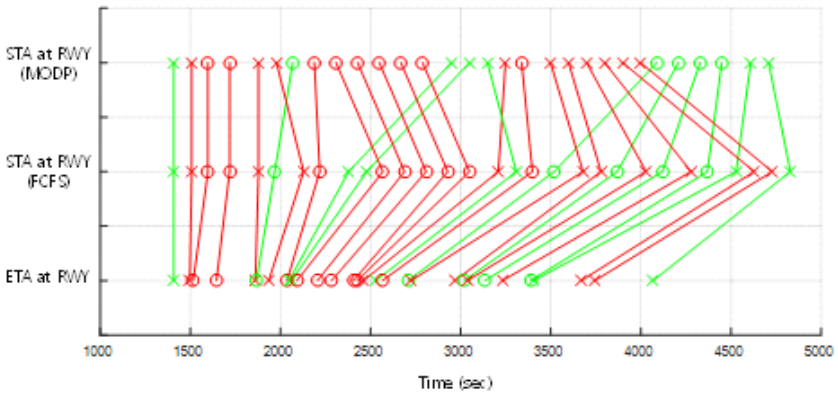
[그림 43] 출발관리 최적 스케줄링 결과와 FCFS 기반 스케줄링 결과 성능 비교

도착관리 부분에 대하여서는, 제주국제공항의 표준계기도착절차(STAR, Standard

Terminal Arrival Route)인 point-merge 절차를 따라 목적 공항에 접근하는 도착 항공기를 대상으로 적용하였다. 이때 여러 개의 목적 함수를 동시에 고려할 수 있는 MODP를 이용하여 스케줄링 결과를 산출하였으며, 목적함수로서 마지막 항공기의 착륙 시간(makespan) 최소화 및 총 지연 시간(total delay) 최소화를 고려하였다.



[그림 44] Multi-Objective Dynamic Programming(MODP) 스케줄링 알고리즘 순서도



[그림 45] FCFS 및 제안된 스케줄링 알고리즘의 활주로 착륙 스케줄링 결과 비교

출발과 도착관리 부분 모두 최적화 알고리즘에 의한 스케줄링 결과를 FCFS 방식의 스케줄링 결과와 비교하여 최적화 성능을 검증하였다. 출도착 최적화 스케줄링 알고리즘에 관한 상세한 설명 및 내용은 “출도착 관리를 위한 최적화 스케줄링 알고리즘 연구 보고서”(별책 23, MIDAS-P1-ANR-DAS-005)에 기술되어 있다.

(3) MIDAS 시스템 적용을 위한 스케줄링 알고리즘 구현 (별책 23 참조)

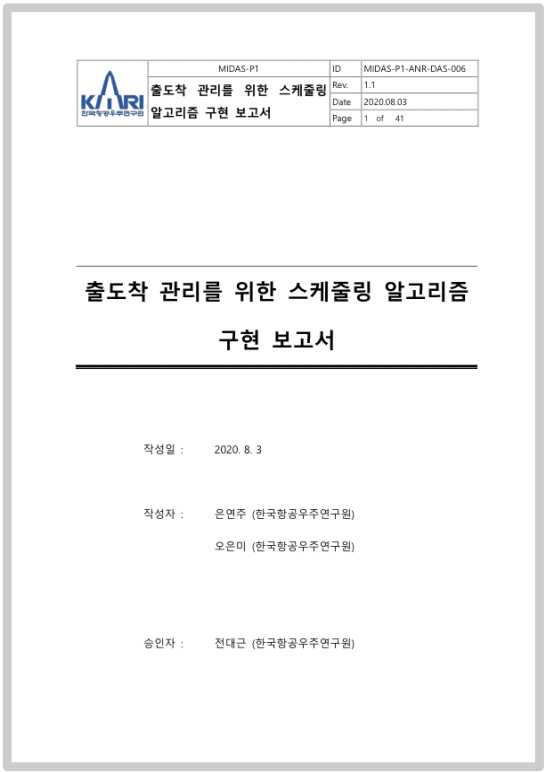
“출도착 관리를 위한 최적화 스케줄링 알고리즘 연구 보고서”(별책 23,

MIDAS-P1-ANR-DAS-005)와 같이 항공기의 이착륙 스케줄 최적화를 위한 최적화 문제 정식화 (formulation) 및 해법 알고리즘 연구와 별개로, 실시간으로 운용되는 MIDAS 시스템의 특성을 반영하고 인천 공항 및 제주 공항의 현장 관계자들에 의해 추가된 요구사항을 적용하기 위해, 최적화보다는 실시간성이 높고 다양한 기능이 추가(복잡한 인천공항의 이륙시간 최소 분리간격 요구사항 포함)된 휴리스틱 기반 알고리즘을 별도로 구현하였으며, 인천 공항 및 제주 공항의 현장 운용시험 중 파악된 여러 가지 환경적 영향 변수 (입력자료 내용 상이, 출도착 통합 스케줄 여부 등)와 추가 요구사항들을 고려하여 지속적으로 알고리즘을 수정하였다.

도착 관리를 위한 스케줄링은 제주 공항에서의 시범 운용을 통해 실 운용 환경에서 요구되는 기능이 보완되었으며, 실제 데이터를 기반으로 처리되는 스케줄링 결과에 대한 안정성을 검토하였다. 도착 관리의 경우 특히 항공기의 궤적을 정밀하고 안정적으로 예측할 수 있는지가 중요하다. 실제 제주 공항에서는 표준 계기 도착 절차인 point-merge 절차에서 수용할 수 있는 교통량을 초과하여 레이더 벡터링을 통해 항공기의 흐름을 관리하는 경우가 많고, 훈련기와 같이 특수 목적에 의해 예외적으로 비행하는 항공편도 존재한다. 만약 이와 같은 예외적인 교통 상황에 대해 고려하지 않으면 관제사에게 현실적인 조언 정보를 제공하기 어렵기 때문에 실존할 수 있는 다양한 경우를 고려한 스케줄링이 필요하다. 이를 위해 FCFS 기반의 도착 스케줄러를 구현하였다. 제안된 스케줄러는 '라) 다목적 FCFS MP 스케줄링 기술 연구' 부분의 스케줄링 기법을 차용하여, 항공기별 도착 가용 시간 범위를 정의하고 시간 범위 중 가장 빠른 도착시간을 기준으로 도착 순서를 결정, 순서와 활주로 운용 조건에 따라 도착 가용 시간 범위에서 불용 범위를 추가하여 최종 도착 시각을 결정하는 방식이다.

실제 구현된 출도착 통합 관리 시스템에서는 실 운용 시스템과의 연계에서 활용할 수 있는 정보의 제약이 있기 때문에 이를 고려한 데이터 처리도 필요하다. 시범 운용을 통해서 안정적이고 수용 가능한 스케줄링 결과를 제공하기 위한 알고리즘이 요구되었으며, 실 운용환경에서의 시스템 연계 및 시범운용을 통해 도착 스케줄러의 안정적인 성능을 확인할 수 있었다.

MIDAS 시스템에 구현된 출도착 스케줄링 알고리즘에 관한 상세한 설명 및 내용은 "출도착 관리를 위한 스케줄링 알고리즘 구현 보고서"(별책 23, MIDAS-P1-ANR-DAS-006)에 기술되어 있다.

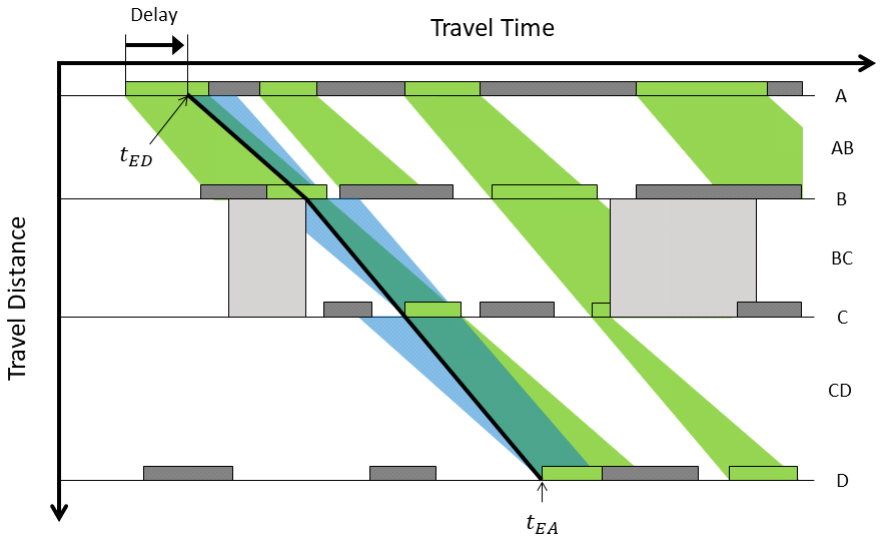


[그림 46] 출도착 관리를 위한 스케줄링 알고리즘 구현 보고서(표지)

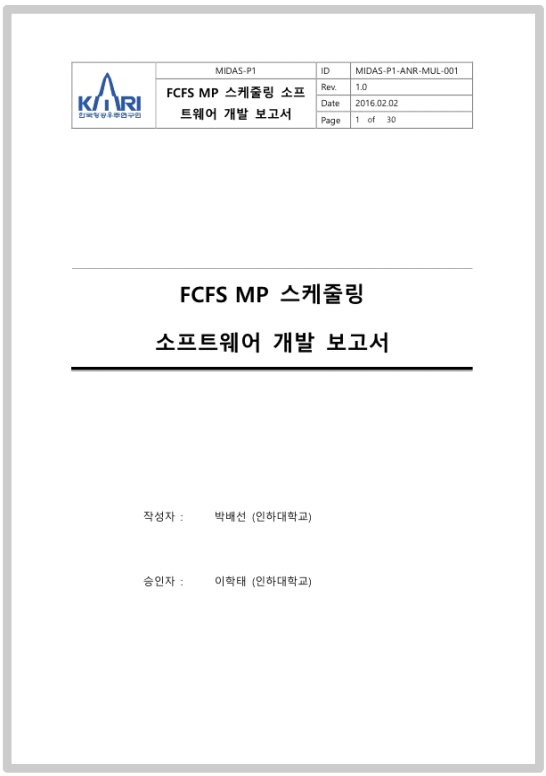
라) 다목적 FCFS MP 스케줄링 기술 연구

(1) FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 개발 보고서 (별책 24 참조)

공항이나 공역에 상관없이, 일반적인 노드-링크(node-link) 구조에서 이용 가능한 FCFS Multi-Point(MP) 스케줄링 소프트웨어를 개발하였다. 본 연구를 통하여 개발된 FCFS 스케줄링 알고리즘은 주어진 우선순위에 따라 순차적으로 최적의 출발 또는 도착 시각을 계산한다. 이는 우선순위가 높을수록 스케줄이 먼저 고정됨을 의미하며, 원 스케줄 대비 출도착 순서가 달라질 수 있다는 특징이 있다. 노드의 제약 조건은 '단위 시간 동안 노드를 통과하는 항공기 수', 즉 비율(rate)을 적용하고, 링크의 경우 '링크를 통과하는 전제 항공기 수'를 제약 조건으로 적용하여 스케줄링을 수행한다. 본 연구의 결과로 "FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 개발 보고서"([그림 48], 별책 24, MIDAS-P1-ANR-MUL-001)를 작성하였다.



[그림 47] FCFS MP 스케줄링 Propagation

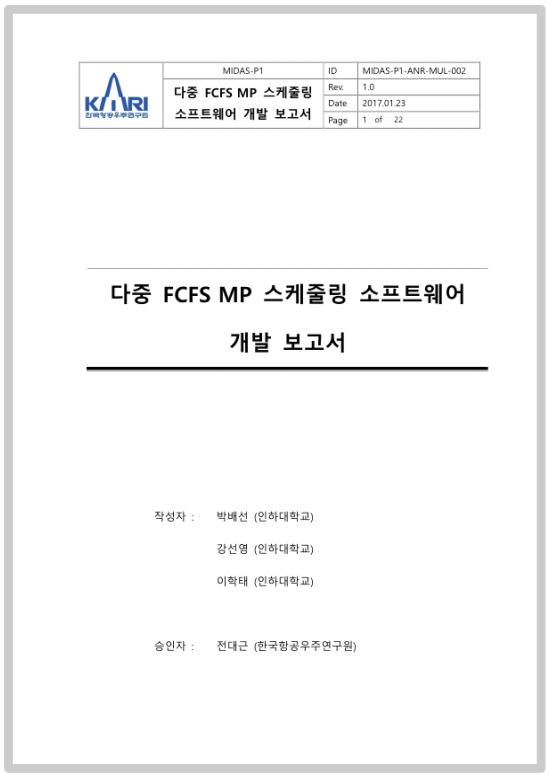


[그림 48] FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 개발 보고서(표지)

(2) 다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 개발 (별책 24 참조)

FCFS MP 스케줄링 소프트웨어를 확장하여 공항 내의 지상 이동에서 필요한 방향성을 처리할 수 있도록 개발하였다. 또한 출발에서 도착까지의 전 구간에 걸친 스케줄을 한 번에 계산하던 것을 반복적으로 업데이트하는 다중 FCFS MP 스케줄링 소프

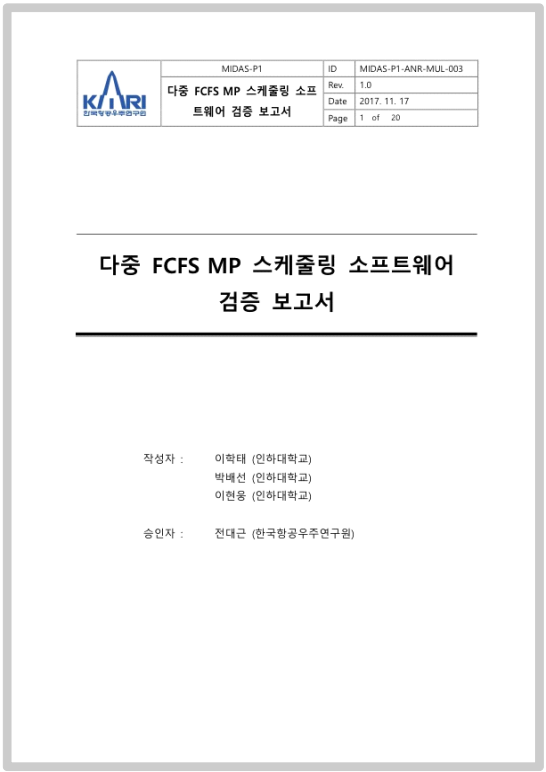
트웨어 아키텍쳐를 개발하였다. 본 아키텍쳐는 일정 시간 이후의 상황을 예측하여 스케줄링을 부분적으로 수행하고, 기준 시간마다 업데이트하여 그 이후 상황을 예측하는 것을 반복하여 보다 불확실한 상황에도 적용 가능하다. 이 결과로 “다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 개발 보고서” (별책 24, MIDAS-P1-ANR-MUL-002)를 작성하였으며, 관련 소프트웨어 등록을 수행하였다. 소프트웨어 관련 자세한 사항은 별책 24에 정리하였다.



[그림 49] 다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 개발 보고서(표지)

(3) 다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 검증 (별책 24 참조)

다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어의 검증을 수행하였다. 다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어는 항공기의 출발부터 도착까지의 과정을 반복적으로 스케줄링한다. 다중 스케줄링 알고리즘은 특정 시간 동안 스케줄링을 수행하고 일정 주기만큼 해당 스케줄을 업데이트하기 때문에, 스케줄링 수행 시간과 업데이트 주기에 따라 스케줄링 결과가 변한다. 실 공항 노드링크를 기반으로 가상 시나리오를 생성하여 다중 스케줄링 소프트웨어를 테스트하였다. 또한 다중 스케줄링에 항공기 중량에 따른 활주로 분리 기준을 적용하기 위해, 단일 스케줄링 알고리즘에 항공기 중량에 따른 활주로 분리 기준을 적용하였다. 이 결과로 “다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 검증 보고서”(별책 24, MIDAS-P1-ANR-MUL-003)를 작성하였다.



KARI	MIDAS-P1	ID	MIDAS-P1-ANR-MUL-003
	다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 검증 보고서	Rev.	1.0
		Date	2017. 11. 17
		Page	1 of 20

다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어
검증 보고서

작성자 : 이학태 (인하대학교)
박배선 (인하대학교)
이현웅 (인하대학교)

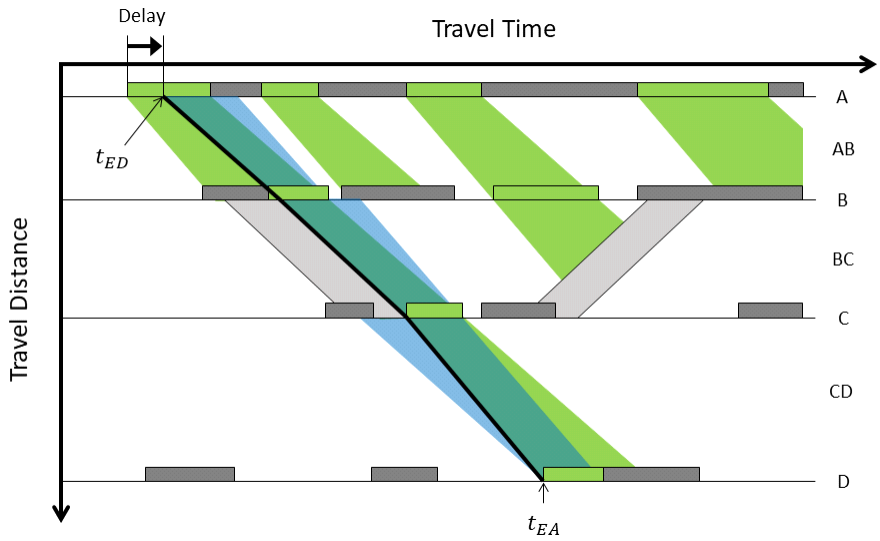
승인자 : 전대근 (한국항공우주연구원)

[그림 50] 다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 검증 보고서(표지)

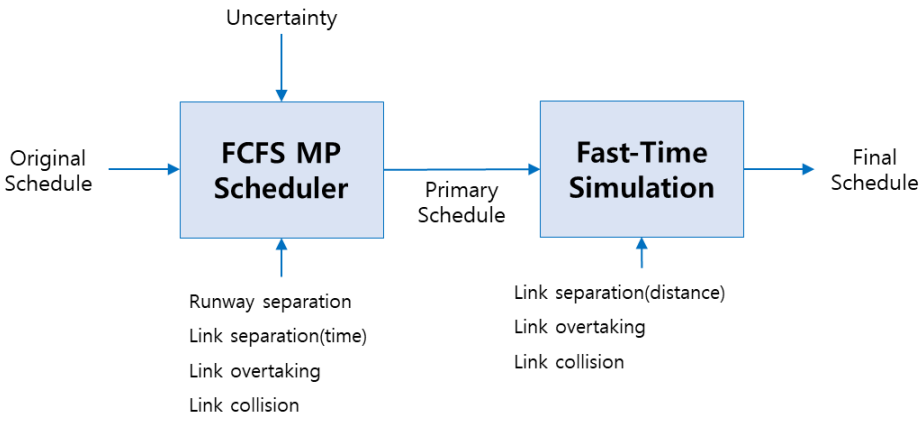
(4) 불확실성을 고려한 다중 FCFS MP 스케줄링 알고리즘 개발 (별책 24 참조)

다중 FCFS MP 스케줄링 알고리즘과 같은 확정적 알고리즘의 경우, 실제 운용 시에 원래 스케줄과 오차가 발생하면 이로 인한 지연이 연속적으로 누적되는 현상이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 다중 FCFS MP 스케줄링 알고리즘에 불확실성으로 인한 오차와 실 운용에서 추가적으로 발생할 수 있는 지연과의 상관관계를 연구하고 추가적인 지연을 줄일 수 있는 방안을 도출하였다. 이를 위하여 다중 스케줄링 알고리즘의 구조를 개선하였다. 기존 알고리즘에 존재했던 링크에서 선행 항공기를 추월하는 경우가 발생하는 문제를 해결함과 동시에 링크의 방향성, 전후 간격 유지 문제를 동시에 처리할 수 있는 새로운 아키텍쳐를 적용하였다. 또한 상황에 따라 일부 항공기를 지연시켜서 전후 간격 등의 안전성을 유지하며 스케줄에 따라 지상에서 항공기의 위치를 계산할 수 있는 배속 시뮬레이션을 개발하였다. 개선된 다중 스케줄링 알고리즘은 [그림 51]과 같이 2단계 구조로 이루어져 있다. 먼저, FCFS MP 스케줄링 알고리즘에 불확실성을 반영하여 초기 스케줄을 생성한다. 이후 스케줄 결과를 바탕으로 공항 지상 이동 배속 시뮬레이션을 수행해 실제 운용을 모사하고 가시화한다. 이때 배속 시뮬레이션은 항공기 간 거리 유지 및 충돌 방지 알고리즘을 수행하며, 이로 인해 발생하는 추가 지연이 반영된 새로운 스케줄 결과를 생성한다. 이 결과로 “불확실성을 고려한 다중

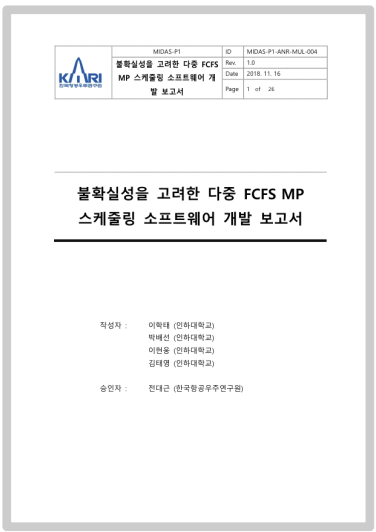
FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 개발 보고서"(별책 24, MIDAS-P1-ANR-MUL-004)를 작성하였다.



[그림 51] 새로운 링크 아키텍처를 적용한 스케줄링 Propagation



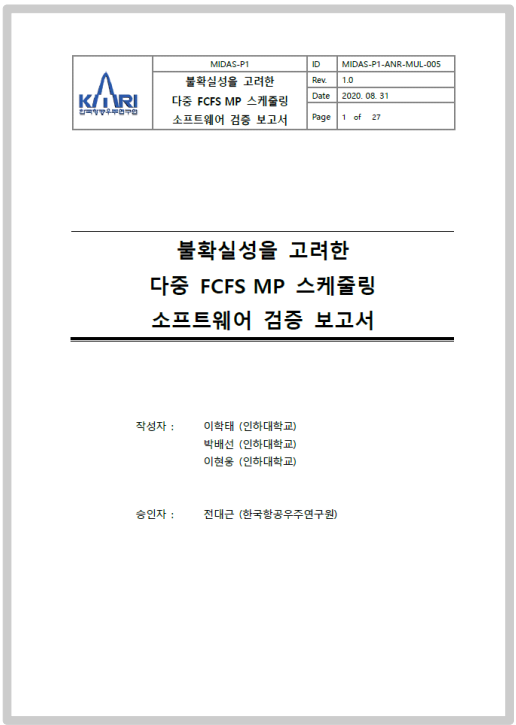
[그림 52] 불확실성을 고려한 다중 FCFS MP 스케줄링 알고리즘 구조



[그림 53] 불확실성을 고려한 다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 개발 보고서(표지)

(5) 불확실성을 고려한 다중 FCFS MP 스케줄링 알고리즘 검증

본 연구에서는 스케줄러와 시뮬레이션의 연동을 한번만 수행하는 것이 아닌 여러 주기에 걸쳐 수행하여 불확실성 요소를 더 크게 반영할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 정의된 다중 스케줄링 알고리즘은 스케줄러에서 계산된 스케줄링 결과를 바탕으로 일정 시간 동안 시뮬레이션을 수행한 뒤, 시뮬레이션 중간 결과를 바탕으로 재 스케줄링을 수행하는 과정을 반복한다. 먼저 스케줄러는 입력된 노드-링크 모델과 스케줄을 이용해 스케줄링을 수행하고, 그 결과를 배속 시뮬레이션 모듈에 입력한다. 배속 시뮬레이션 모듈은 입력된 스케줄링 결과를 바탕으로 일정 시간 동안 항공기 상태를 업데이트하며, 업데이트된 항공기들의 위치를 기반으로 재 스케줄링을 위한 가상의 노드와 링크를 추가한다. 이를 기반으로 재 스케줄링 입력 파일을 생성하고, 생성된 스케줄 및 노드-링크 모델을 다시 스케줄러에 입력한다. 본 연구에서는 배속 시뮬레이션에서 발생하는 항공기 모델로 인한 에러, 업데이트 및 재 스케줄링으로 인해 발생하는 시간 지연 등 다양한 요인을 불확실성 요소로 고려하여 다중 FCFS MP 스케줄링 알고리즘과 실제 환경을 비교 검증하였다. 이를 통해 “불확실성을 고려한 다중 FCFS Multi-Point 스케줄링 소프트웨어 검증 보고서”(별책 24)를 작성하였다.



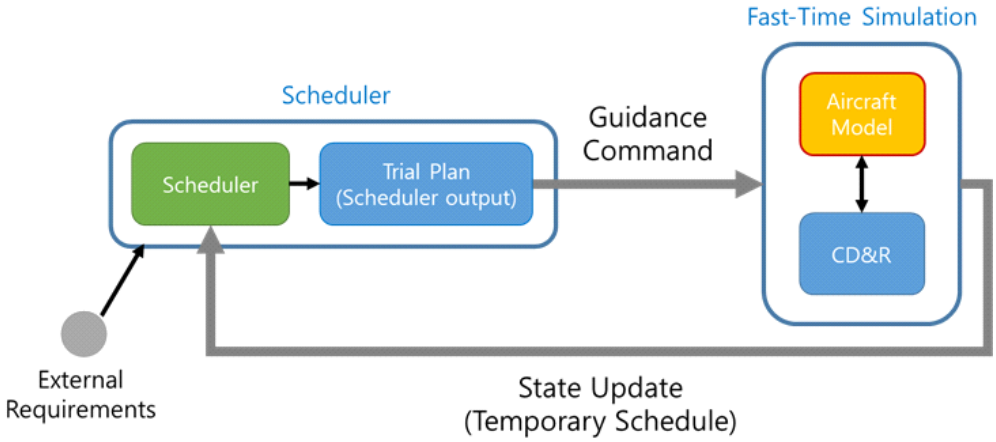
KARI	MIDAS-P1	ID	MIDAS-P1-ANR-MUL-005
	불확실성을 고려한 다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 검증 보고서	Rev.	1.0
		Date	2020. 08. 31
		Page	1 of 27

불확실성을 고려한
다중 FCFS MP 스케줄링
소프트웨어 검증 보고서

작성자 : 이학태 (인하대학교)
박배선 (인하대학교)
이현웅 (인하대학교)

승인자 : 전대근 (한국항공우주연구원)

[그림 54] 불확실성을 고려한 다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 검증 보고서(표지)

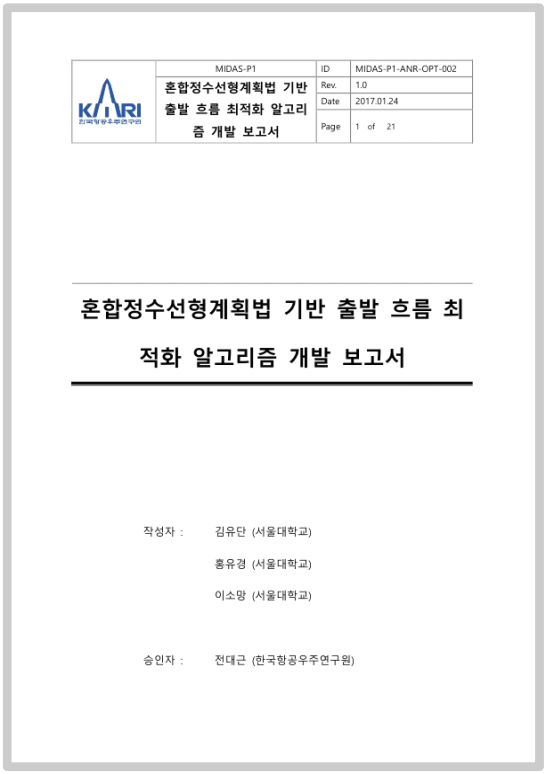


[그림 55] 다중 FCFS MP 스케줄링 시스템 구조

마) 출발 흐름 관리 최적화 기술 연구

(1) 혼합정수선형계획법 기반 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 (별책 25 참조)

본 연구에서는 혼합정수 선형계획법을 기반으로 하는 결정론적 출발 흐름 최적화 알고리즘을 연구하였으며, 불확실성이 없는 상황과 불확실성을 고려한 두 가지 알고리즘을 개발하였다. 첫 번째 알고리즘은 불확실성이 없는 상황에서 최적의 스케줄링 및 순서를 결정하는 Optimal Scheduling and Sequencing Algorithm (OSSA), 두 번째 알고리즘은 정적인 상황에서 불확실성을 고려한 스케줄링 및 순서 결정을 수행하는 Static Robust Scheduling and Sequencing Algorithm (SRSSA)이다. SRSSA에서는 항공기가 출발 절차를 따라 정상항로에 진입하는데 소요되는 시간의 불확실성을 고려하기 위해, 항공기간의 분리 조건에 버퍼를 고려하였다. 버퍼의 크기는 불확실성의 확률분포, uncertainty level, feasibility tolerance, reliability level이 주어질 때 deterministic robust counterpart 문제를 정의하여 수학적으로 유도하였다. 제안된 알고리즘은 인천공항과 김포공항의 다양한 출발절차 중에서 제주 방향의 출발절차에 해당하는 BOPTA 1K, BULTI 1R, BULTI 1M에 적용하였다. 제안된 알고리즘 중 OSSA의 성능을 검증하기 위해서 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였으며, FCFS 순서를 준수하는 알고리즘과의 성능을 비교하였다. SRSSA의 성능을 검증하기 위해서 공역 교통 자료 분석서(별책 19)를 기반으로 인천공항의 BOPTA 1K 출발 절차에서 발생하는 불확실성을 고려하였으며, 버퍼의 크기가 시간 지연에 미치는 영향을 분석하였다. 상세한 사항은 별책 25 (MIDAS-P1-ANR-OPT-002)에 정리하였다.

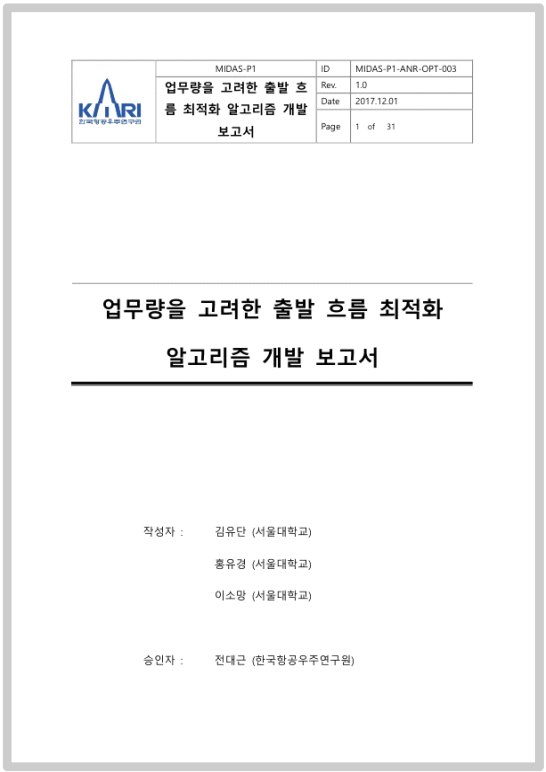


[그림 56] 혼합정수선형계획법 기반 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서(표지)

(2) 업무량을 고려한 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 (별책 25 참조)

본 연구에서는 인접한 두 공항에서 표준 계기 출발(SID, Standard Instrument Departure) 절차에 따라 출발하는 항공기들을 관제사가 효율적으로 관제하기 위해 혼합정수 선형계획법을 기반으로 하는 출발 흐름 최적화 알고리즘을 연구하였으며, 단일 성능지수를 고려한 방법과 다중 성능지수를 고려한 방법을 제안하였다. 첫 번째 알고리즘은 Constrained Position Shifting(CPS) 프레임워크를 고려한 single-objective optimization 기법이다. 일반적으로 관제사는 FCFS 순서를 기반으로 항공기 순서를 조정하기 때문에, 제안한 알고리즘으로 도출된 최적 항공기 시퀀싱은 FCFS 순서와 상이하여 실제로 운용되기 어렵거나 관제사 업무량을 불필요하게 증가시킬 수 있다. CPS 프레임워크는 항공기가 FCFS 순서에서 항공기 순서를 변경할 수 있는 최대 위치 범위를 구속조건으로 고려한다. 본 연구에서는 CPS 프레임워크를 혼합정수 선형계획법으로 구현하기 위한 정식화 방법을 제안하고, 수치 시뮬레이션을 통해 제안한 CPS 프레임워크가 항공기들의 전체 비행시간에 미치는 영향을 분석하였다. 두 번째 알고리즘에서는 항공기 비행시간을 줄이고 동시에 FCFS 순서와의 차이를 줄이기 위해 multi-objective optimization 기법을 활용하였다. FCFS 순서와 차이가 큰 항공기 시퀀싱은 관제사의 업

무량을 증가시킬 수 있기 때문에 두 번째 알고리즘이 첫 번째 알고리즘과 유사한 목적을 달성할 수 있다. 그러나 하나의 최적 해를 결정하는 single-objective optimization과 달리 multi-objective optimization은 Pareto 최적 해 집합을 결정한다. 본 연구에서는 Pareto 최적 해 집합을 결정하기 위해 ε-constraint method를 사용하였으며, 수치 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘의 성능을 검증하였다. 상세한 사항은 별책 25 (MIDAS-P1-ANR-OPT-003)에 정리하였다.

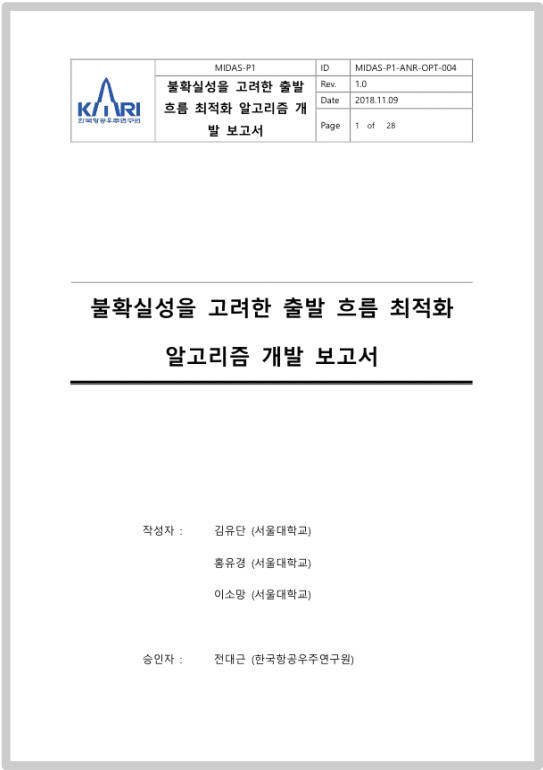


[그림 57] 업무량을 고려한 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서(표지)

(3) 불확실성을 고려한 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 (별책 25 참조)

본 연구에서는 인접한 두 공항에서 SID 절차를 따라 출발하는 항공기들을 불확실성이 존재하는 환경에서도 효율적으로 관제하는 소프트웨어 구현을 위한 출발 흐름 최적화 알고리즘을 고려하였다. 첫 번째 알고리즘은 강건 최적화 기법을 이용하여 예상도착시간의 불확실성을 고려하는 강건 스케줄링 알고리즘이다. 이전 연구에서 혼합정수선형계획법을 기반으로 항공기 간 도착 순서 및 시간을 조정하여 항공기들의 비행시간을 최소화하는 항공기 시퀀싱 및 스케줄링 연구를 수행하였다. 그러나 외부에서 주어지는 확정적인 값으로 가정하였던 예상도착시간은 항공기의 현재 속도, 위치, 고도와 항로

정보를 이용하여 예측하는 것이므로 그 과정에서 불확실성을 포함할 수밖에 없다. 따라서 예상도착시간의 불확실성을 고려하는 스케줄링 알고리즘에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 강건 최적화 기법을 응용하여 예상도착시간의 불확실성에 대한 강건 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 예상도착시간의 불확실성은 확률변수로 모델링하였으며, chance constraint를 도입하여 불확실성을 고려한 구속조건을 유도하였다. 불확실성에 대한 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘이 기존의 일반 스케줄링 알고리즘에 비해 총 시간지연과 스케줄 변경 항공기의 대수에 미치는 영향을 분석하였다. 두 번째 알고리즘은 메타 휴리스틱 알고리즘을 이용하여 비행시간 불확실성이 존재하는 상황에서도 복잡한 항공기 도착문제를 효율적으로 풀 수 있는 준최적화 스케줄링 알고리즘이다. 상세한 사항은 별책 25 (MIDAS-P1-ANR-OPT-004)에 정리하였다.

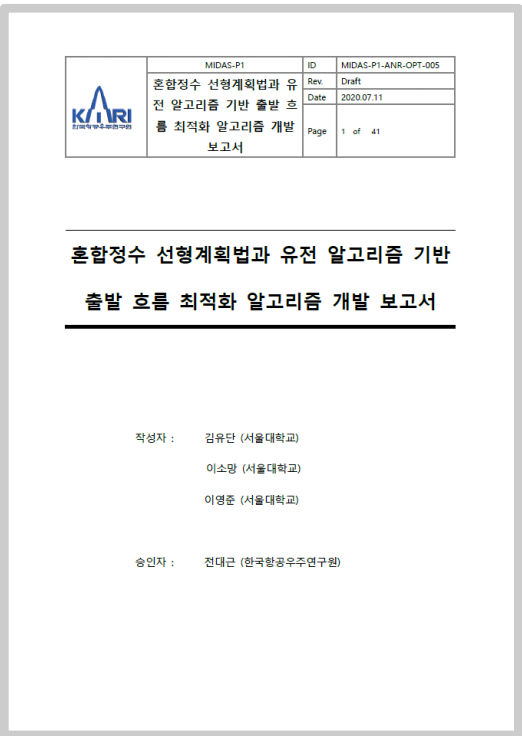


[그림 58] 불확실성을 고려한 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서(표지)

(4) 혼합정수 선형계획법과 유전 알고리즘 기반 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발

본 연구에서는 혼합정수 선형계획법을 기반으로 하는 출발 흐름 최적화 알고리즘과 유전 알고리즘을 기반으로 하는 출발 흐름 최적화 알고리즘을 연구하였다. 첫 번째 알고리즘인 혼합정수 선형계획법 기반 출발 흐름 최적화 알고리즘에서는 비행시간과 예상도착시간의 불확실성을 동시에 고려하였다. 불확실성을 고려하지 않을 경우 뒤따르

는 항공기에 예상치 못한 시간 지연이 발생하여 공역 전체의 총 시간 지연이 발생할 확률이 높으므로 적절한 수준의 불확실성을 고려하여 항공기 스케줄을 결정하여야 한다. 본 연구에서는 비행시간과 예상도착시간의 불확실성을 정규분포로 모델링하여 최적화 문제를 정규화하였으며, 혼합정수선형계획법을 이용하여 최적화 문제의 해를 구하였다. 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하여 제안하는 알고리즘과 불확실성을 고려하지 않는 알고리즘의 성능을 지연시간과 스케줄 변동 정도를 기준으로 비교 분석하였다. 두 번째 알고리즘에서는 CPS를 고려하여 유전 알고리즘 기반 출발 흐름 최적화 알고리즘을 설계하였다. 각 출발 항공기의 순서가 선착순에서 일정 수준 이상 멀어지면 관제사의 업무량을 과도하게 증가시킬 수 있으므로 이를 방지하기 위해 출발 순서의 공정성을 보장하는 위치 이동 구속조건을 고려할 필요가 있다. 또한 규모가 큰 공항과 같은 항공기가 밀집한 환경에서는 고려해야 하는 활주로와 항공기의 대수가 증가하여 전역 최적화 알고리즘의 계산시간이 기하급수적으로 증가한다. 따라서 적절한 계산시간을 보장하면서 준최적해를 확보할 수 있는 휴리스틱 알고리즘인 유전 알고리즘을 이용한 최적화 기법을 제안하였다. 제안하는 알고리즘의 성능 검증을 위해 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하여 전역 최적화 기법인 혼합정수 선형계획법의 결과를 비교군으로 해의 최적성과 계산시간을 분석하였다. 상세한 사항은 별책 25에 정리하였다.



	MIDAS-P1	ID	MIDAS-P1-ANR-OPT-005
KARI 항공우주연구원	혼합정수 선형계획법과 유전 알고리즘 기반 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서	Rev.	Draft
		Date	2020.07.11
		Page	1 of 41

혼합정수 선형계획법과 유전 알고리즘 기반 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서

작성자 : 김유단 (서울대학교)
이소망 (서울대학교)
이영준 (서울대학교)

승인자 : 전대근 (한국항공우주연구원)

[그림 59] 혼합정수 선형계획법과 유전 알고리즘 기반 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서(표지)

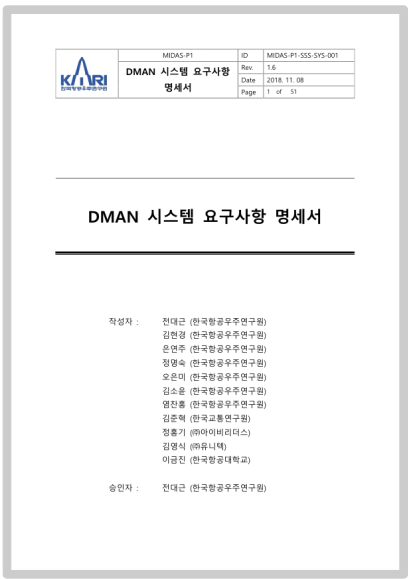
3) 출도착 관리 시스템 개발

1)절, 2절)에 각각 정리한 국내외 동향 분석 및 출도착 통합관리 운용개념 수립, 출도착 관리 핵심기술 연구 결과를 바탕으로 항공기 출도착 관리 시스템(MIDAS 시스템)을 개발하였다. 시스템 및 소프트웨어 개발 절차 및 표준에 대해서는 가.1)절에서 상세히 언급한 바 있다. 본 절에서는 MIDAS 시스템 개발과정에 진행되었던 시스템 요구사항 정의, 시스템 및 서브시스템 설계, 내외부 인터페이스 설계, 소프트웨어 요구사항 정의, 소프트웨어 설계/구현/시험, 시스템 통합 시험 등에 대해 기술한다. fast-time simulation, HITL simulation, 현장 시범운용 등 시험평가 관련사항은 4)절에서 다룬다.

가) 시스템 요구사항 정의

(1) DMAN 시스템 요구사항 정의 (별책 3 참조)

DMAN 시스템 요구사항은 MIDAS 운용개념 기술서, Eurocontrol의 Basic DMAN Operational Service and Environment Definition(OSED) 및 해외 사례 분석, 국내 운용 환경 분석 결과 등을 통해 정의되었으며, 그 결과로서 “DMAN 시스템 요구사항 명세서”(MIDAS-P1-SSS-SYS-001, 별책 3)를 작성하였다([그림 60] 참조). 이후, 관제사 요구사항 수렴 및 DMAN 시스템 요구사항 검토 회의(SRR, System Requirement Review)를 거쳐 사용자와 시스템 전문가의 의견을 반영하여 정식 버전의 문서를 완성하였다. [표 5]는 시스템 요구사항 명세서에 정의된 요구사항 분류 및 요구사항의 수를 나타낸 것으로서, 요구사항 식별자는 “MIDAS_P1_SSS_특성_일련번호”의 형태로 정의하였다. 상세한 요구사항 내용은 [그림 61]에 정의된 바와 같이 요구사항의 정의, 상태, 근거, 확인 및 검증방법에 대해 구체적으로 정의하였다.



[그림 60] DMAN 시스템 요구사항 명세서

[표 5] 요구사항 분류 및 요구사항 수

분류	세부 분류	요구사항 수
일반 사항		3
기능 요구 사항	출발관리 주처리	21
	출발관리 사용자 인터페이스	36
	통제 및 모니터링	8
	녹화 및 통계 분석	10
성능 요구 사항		6
보안 요구 사항		2
외부 인터페이스 요구 사항		9
내부 인터페이스 요구 사항		5
합계		100

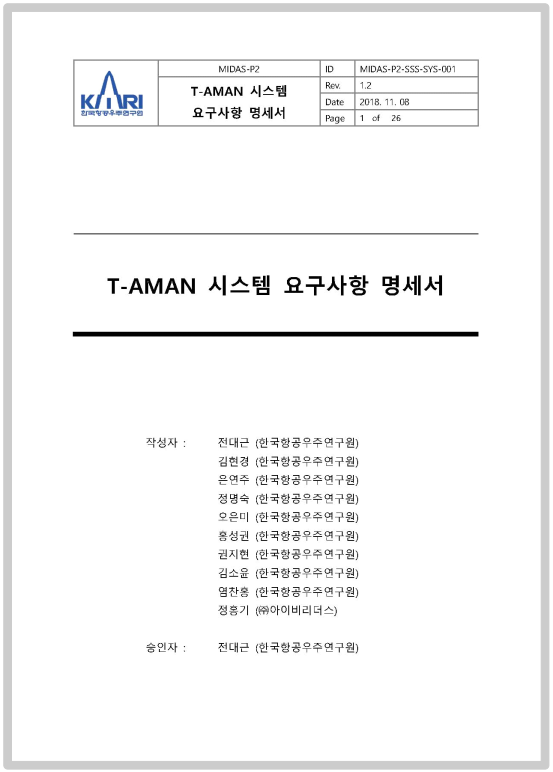
MIDAS_P1_SSS_DMP_0170 출발 스케줄링 – 항공편 자동 삭제

요구사항	출발관리 시스템은 다음 경우에 대해 출발 스케줄링으로부터 항공편을 자동으로 삭제(또는 별도 현시)할 수 있어야 한다. - Push back 요청 (또는 Push back) 이 TSAT+사전 정의한 시간 보다 늦은 경우 등
상태	승인
중요도	상
근거	Basic DMAN OSED REQ-06.08.04-OSED-0200.0170, 0180
카테고리	기능
확인 및 검증방법	Demonstration
비고	자동 삭제(또는 별도 현시) 조건은 공항 상황 및 가용한 정보에 따라 다를 수 있음.

[그림 61] 시스템 요구사항 정의 (예)

(2) T-AMAN 시스템 요구사항 수립 (별책 3 참조)

T-AMAN 시스템은 터미널 영역에서의 항공기 도착 관리를 처리하는 시스템으로, 시스템 요구사항은 MIDAS 운용개념 기술서 및 해외 사례 분석, 국내 운용 환경 분석 결과 등을 바탕으로 정의되었으며, 그 결과로서 “T-AMAN 시스템 요구사항 명세서(MIDAS-P2-SSS-SYS-001)”를 작성하였다([그림 62], 별책 3). 해당 문서는 항공기 출도착 관리 시스템 기본설계 검토회의를 통해 시스템 전문가 및 사용자로부터 검토 의견을 받았다. [표 6]은 시스템 요구사항 명세서에 정의된 요구사항 분류 및 요구사항의 수를 나타낸 것으로서, 요구사항 식별자는 “MIDAS_P2_SSS_특성_일련번호”의 형태로 정의하였다. 상세한 요구사항 내용은 [그림 63]에 정의된 바와 같이 요구사항의 정의, 상태, 근거, 확인 및 검증방법에 대해 구체적으로 정의하였다.



MIDAS-P2		ID	MIDAS-P2-SSS-SYS-001
KARI 한국항공우주연구원	T-AMAN 시스템 요구사항 명세서	Rev.	1.2
		Date	2018. 11. 08
		Page	1 of 26

T-AMAN 시스템 요구사항 명세서

작성자 : 전대근 (한국항공우주연구원)
김현경 (한국항공우주연구원)
은연주 (한국항공우주연구원)
정명숙 (한국항공우주연구원)
오은미 (한국항공우주연구원)
홍성권 (한국항공우주연구원)
권지현 (한국항공우주연구원)
김소윤 (한국항공우주연구원)
염찬홍 (한국항공우주연구원)
정흥기 (㈜아이비리더스)

승인자 : 전대근 (한국항공우주연구원)

[그림 62] T-AMAN 시스템 요구사항 명세서(표지)

[표 6] 요구사항 분류 및 요구사항 수

분류		요구사항 수
기능 요구사항	일반사항	2
	도착 스케줄링	11
	HMI 기능	9
성능 요구사항		3
보안 요구사항		2
내부 인터페이스		3
합계		30

MIDAS_P2_SSS_TAMP_0090 도착 스케줄링 – 도착 순서 및 TLDT, ELDT 생성

요구사항	T-AMAN 시스템은 각 스케줄링 포인트에서 항공기별 ETA와 사용자가 입력한 항공기간 분리간격(시간 기반 또는 거리 기반)을 기준으로 항공기의 도착순서를 생성하고, 이에 따라 항공기 별 TLDT, ELDT를 생성하여야 한다.
상태	승인
중요도	상
근거	
카테고리	기능
확인 및 검증방법	Demonstration
비고	

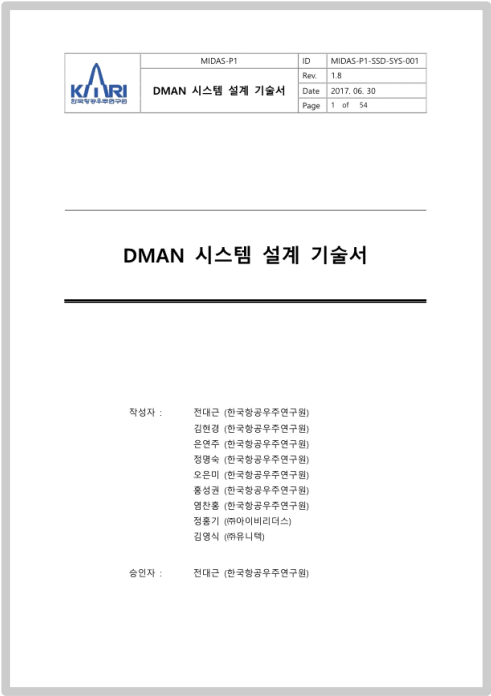
[그림 63] 시스템 요구사항 정의 (예)

나) 시스템/서브시스템 설계

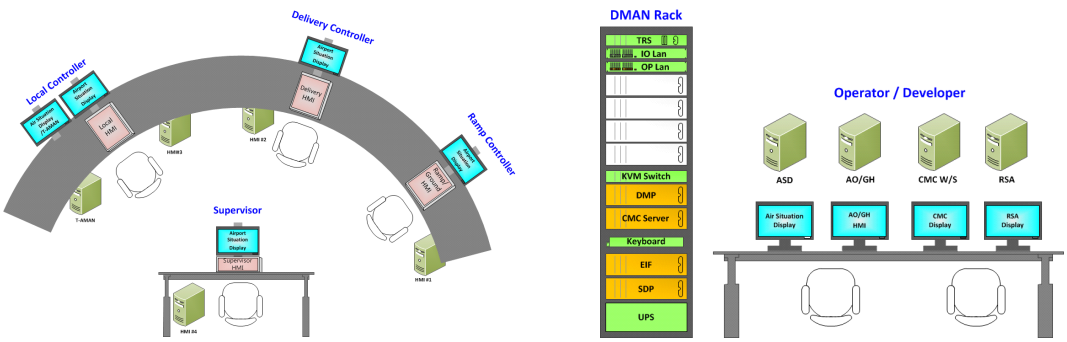
(1) DMAN 시스템 설계 (별책 4 참조)

“DMAN 요구사항 명세서”를 바탕으로, 국내 공항 운영 환경을 고려한 “DMAN 시스템 설계 기술서(MIDAS-P1-SSD-SYS-001)”를 작성하였다.([그림 64], 별책 4) 해당 문서에서는 시스템의 구조 설계, 서브시스템 식별, 구성 요소 간 관계, 시스템의 실행개념, 인터페이스 식별 결과를 기술하였다.

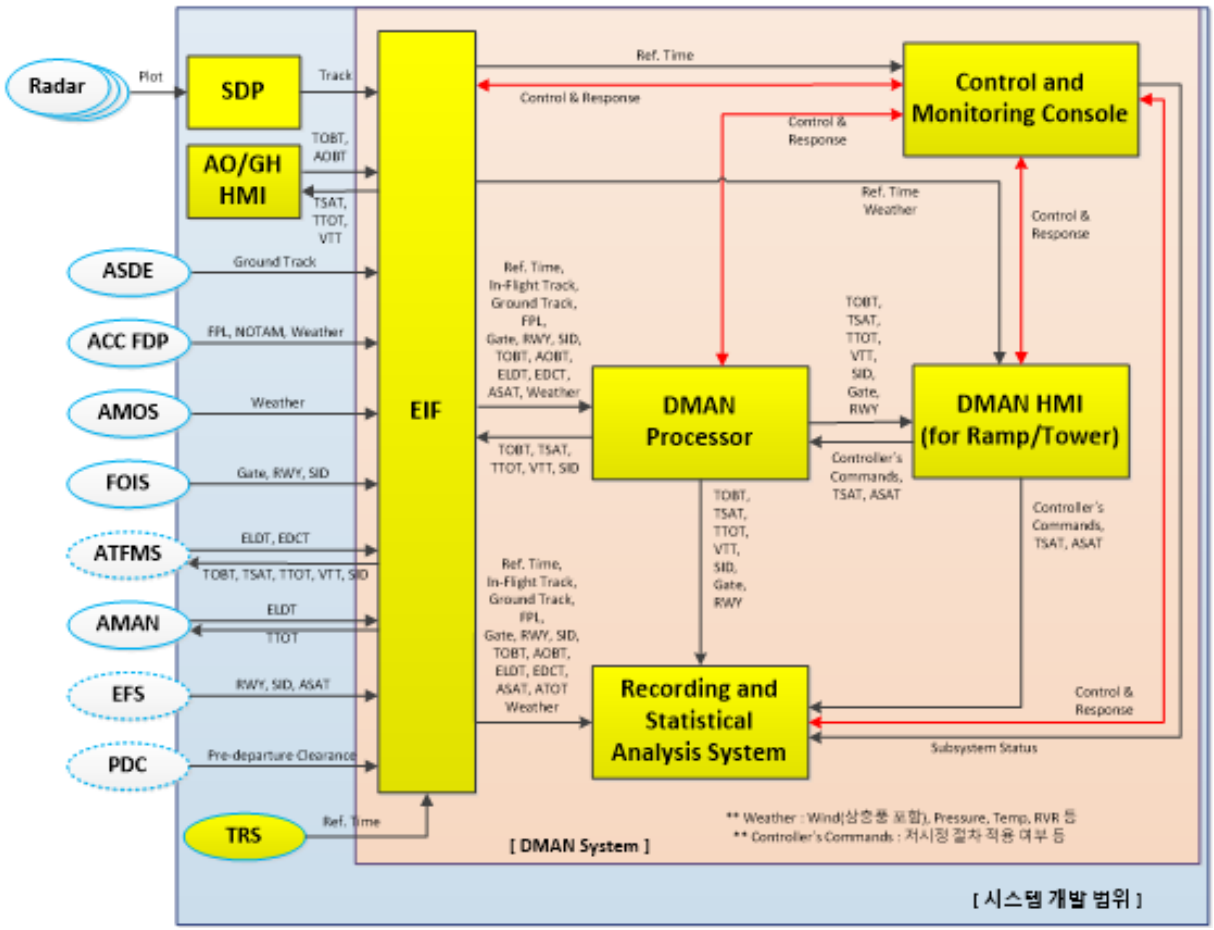
시스템 요구사항과 사용자 요구사항, 제주공항의 운용 환경을 고려하여 제안된 DMAN 시스템의 구성은 [그림 65]와 같이 개별 항공기에 대한 출발관리를 수행하는 관제석과 DMAN 시스템을 운영하고 유지보수하기 위한 운영/개발자석으로 구성된다. 제주공항을 대상으로 한 시스템 구성도는 [그림 66]과 같다.



[그림 64] DMAN 시스템 설계 기술서(표지)



[그림 65] 출발관리 시스템 구성(좌:관제석, 우:운영/개발자석)



[그림 66] DMAN 구성도(제주공항)

(2) DMAN 서브시스템 설계 (별책 4 참조)

"DMAN 시스템 요구사항 명세서" 및 항공기 출발 관리 시스템 설계 결과에 따라 다음과 같이 5개의 서브시스템을 식별하였고, 이들 각각에 대해 다음과 같이 서브시스템 설계서를 작성하였다.([그림 67], 별책 4)

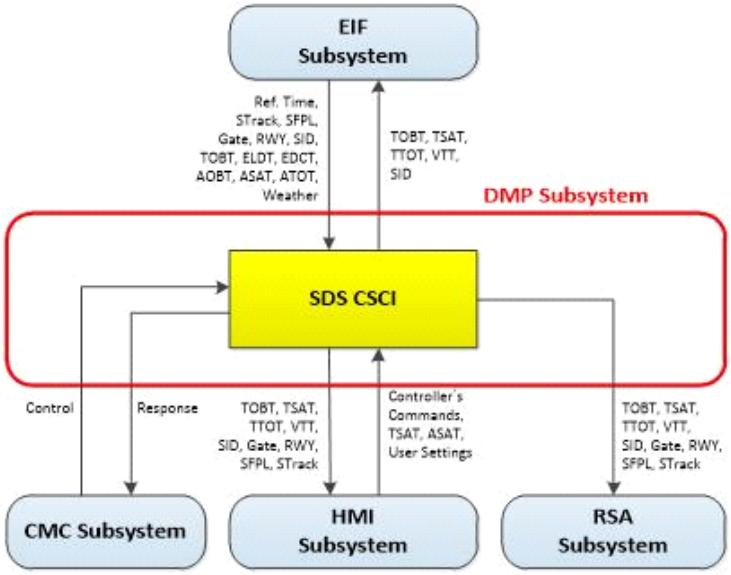
- DMP(DMAN Main Processor) 서브시스템 (출발 관리 주처리 시스템)
- HMI(Human-Machine Interface) 서브시스템 (사용자 인터페이스 처리 장치)
- RSA(Recording and Statistical Analysis) 서브시스템 (녹화 및 통계분석 시스템)
- CMC(Control and Monitoring Console) 서브시스템 (통제 및 모니터링 콘솔)
- EIF(External Interface) 서브시스템 (외부 인터페이스 시스템)



[그림 67] 항공기 출발관리 서브시스템 설계서(표지)

< DMP 서브시스템 (출발 관리 주처리 시스템) >

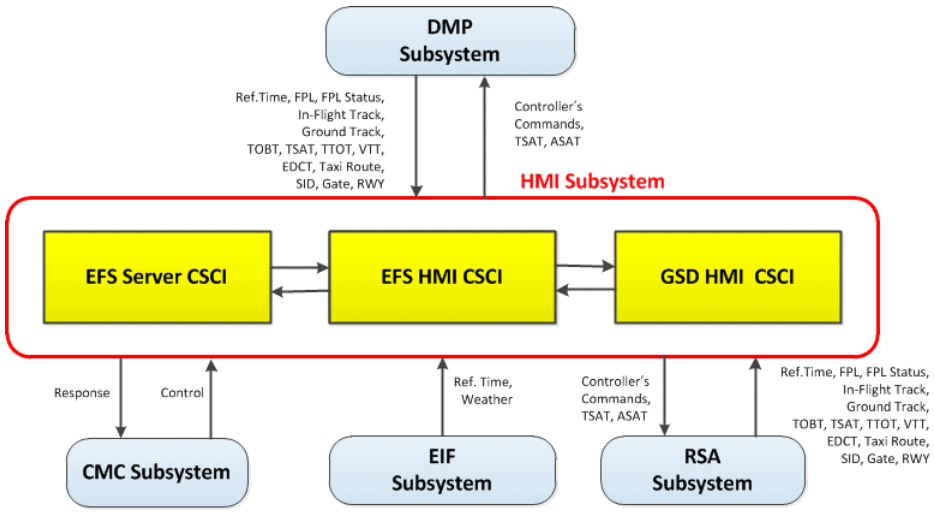
DMP 서브시스템은 출발관리 스케줄링을 처리하는 시스템으로, 외부 인터페이스 시스템으로부터 제공되는 TOBT, Expect Departure Clearance Time(EDCT) 등의 시간 정보와 비행계획, 항적 정보 등을 이용한 주변 공역 여건, 가변 지상 활주 시간 등의 데이터를 이용하여 최적의 항공기별 출발 스케줄링을 결정하여, 이에 따른 TSAT, TTOT 등의 시간 정보를 사용자 인터페이스 처리 장치에 제공한다. DMP 서브시스템 소프트웨어는 출발관리 스케줄링을 담당하는 하나의 Computer Software Configuration Item(CSCI)인 SDS CSCI로만 구성된다. DMP 서브시스템 소프트웨어 CSCI 구성품과 외부 시스템 간 연동 관계는 [그림 68]과 같다.



[그림 68] DMP 서브시스템 CSCI 연결도

< HMI 서브시스템 (사용자 인터페이스 처리장치) >

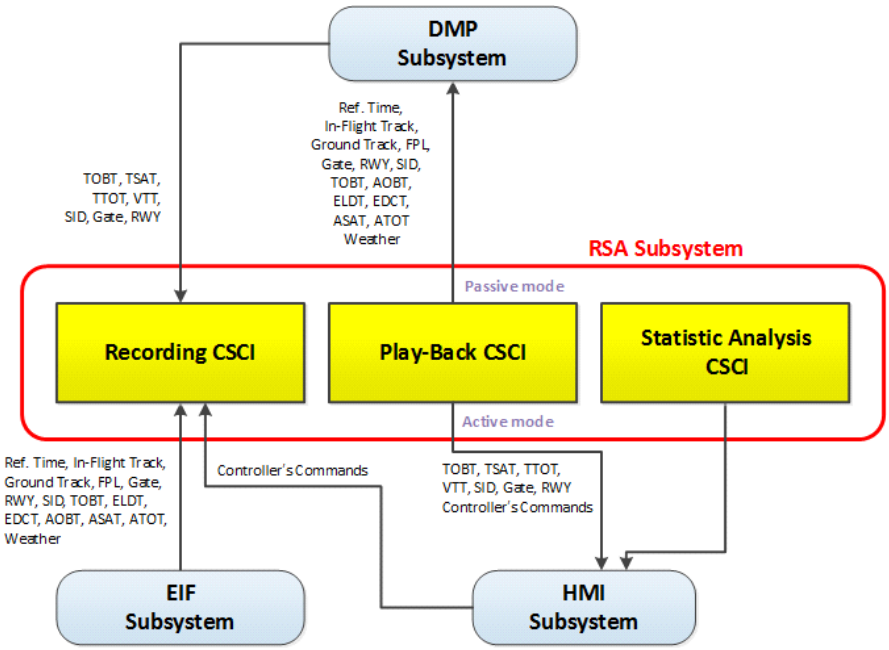
HMI 서브시스템은 DMP 서브시스템에 의해 스케줄링된 출발/도착 항공기에 대한 시간정보(EOBT, TOBT, TSAT, TTOT, etc)를 받아 이를 현시하며, 허가중계(Delivery) 관제사, 지상(Ground) 관제사, 국지(Local) 관제사의 단계별 승인 업무를 지원하는 기능을 제공한다. HMI 서브시스템 소프트웨어는 항공기의 FPL/RPL 비행계획서 및 공항정보, 공항운영정보, 사용자 정보를 제공하기 위한 Electronic Flight Strip(EFS) Server CSCI와 항공기의 상태별 전자비행스트립 화면을 제공하는 EFS HMI CSCI, 항공기의 공항 내 위치 및 이동정보 등을 현시하기 위한 Ground Situation Display(GSD) HMI CSCI로 구성되며, HMI 서브시스템 소프트웨어 CSCI 구성품과 외부 시스템 간 연동 관계는 [그림 69]와 같다.



[그림 69] HMI 서브시스템 CSCI 연결도

< RSA 서브시스템 (녹화 및 통계 분석 시스템) >

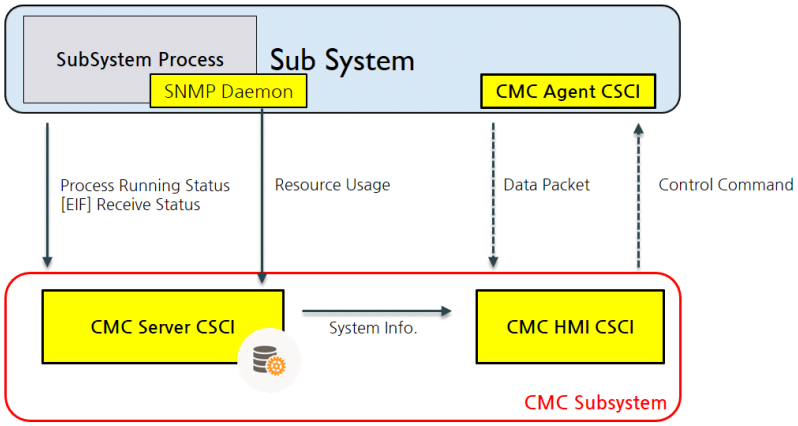
RSA 서브시스템은 EIF 서브시스템으로부터 입력되는 모든 데이터와 DMP 서브시스템의 처리 데이터, HMI 서브시스템을 통한 사용자 입력데이터, 통제 및 모니터링 콘솔을 통한 관리데이터를 저장하고 추출하는 기능을 제공하며, 저장된 데이터를 이용한 재생기능, 저장된 각종 데이터를 통한 통계 및 분석데이터를 현시하는 기능을 제공한다. RSA 서브시스템 소프트웨어 CSCI 구성품과 외부 시스템 간 연동 관계는 [그림 70]과 같다.



[그림 70] RSA 서브시스템 CSCI 연결도

< CMC 서브시스템 (통제 및 모니터링 콘솔) >

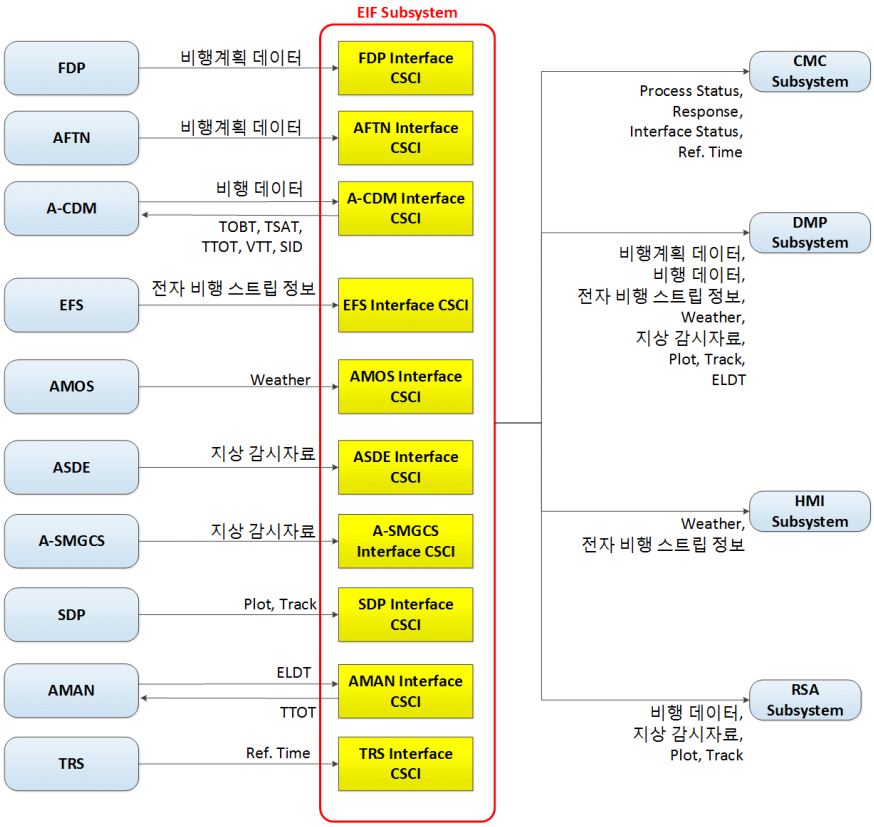
통제 및 모니터링 콘솔 시스템은 출발 및 도착 관리 주처리 서버의 운용 상태, 외부 연계 시스템 의 연결 상태 등을 감시하며 각 시스템을 제어하고 운용 상태를 한눈에 파악하고 이를 전시하는 기능을 담당한다. 또한, 사용자의 직관성 및 접근성을 높이는 사용자 그래픽 인터페이스(GUI, Graphic User Interface)를 제공한다. CMC 서브시스템 소프트웨어 CSCI 구성품과 외부 시스템 간 연동 관계는 [그림 71]과 같다.



[그림 71] CMC 서브시스템 CSCI 연결도

< EIF 서브시스템 (외부 인터페이스 시스템) >

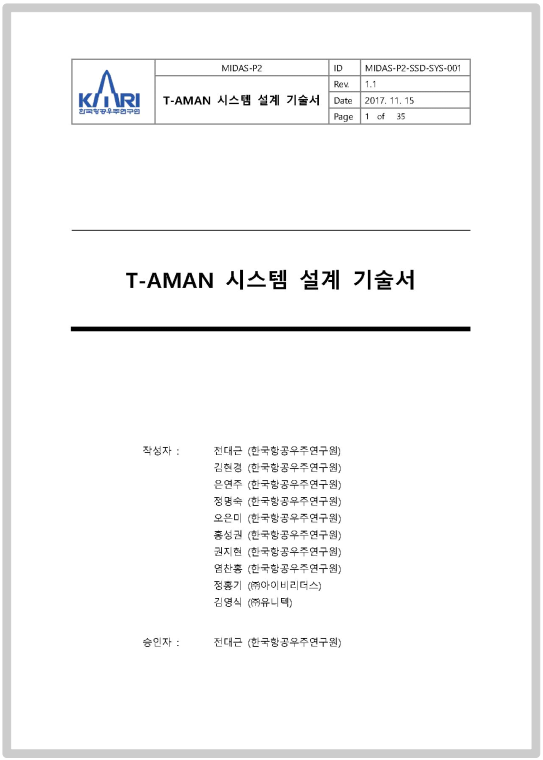
외부 인터페이스 시스템(EIF)은 FOIS/FIMS, ATFMS, A-CDM, AO/GH HMI, SDP, ASDE/A-SMGCS, FDP/AFTN, AMOS/AMDAR, EFS등의 외부 시스템과 인터페이스하여 비행계획 데이터, 비행 데이터, plot, track, reference time 등의 자료를 수신한다. 또한, 수신한 자료를 출발 및 도착 관리 시스템의 표준 포맷으로 변환하며, 이후 CMC, HMI, DMP 등의 내부 시스템에게 전달하는 기능을 수행한다. EIF 서브시스템 소프트웨어 CSCI 구성품과 외부 시스템 간 연동 관계는 [그림 72]와 같다.



[그림 72] EIF 서브시스템 CSCI 연결도

(3) T-AMAN 시스템 설계 (별책 4 참조)

“T-AMAN 시스템 요구사항 명세서”에 의거하여, 국내 공항 운영 환경을 고려한 “T-AMAN 시스템 설계서(MIDAS-P2-SSD-SYS-001)”를 작성하였다([그림 73], 별책 4). 해당 문서에서는 시스템의 구조 설계, 서브시스템 식별, 구성 요소 간 관계, 시스템의 실행개념, 인터페이스 식별 결과를 기술하였다. T-AMAN 시스템은 [그림 74]와 같이 터미널 영역에서의 스케줄 관리를 위한 T-AMAN 주처리 시스템, 관제사를 위한 현시 화면인 T-AMAN 사용자 인터페이스 처리장치로 구성된다.

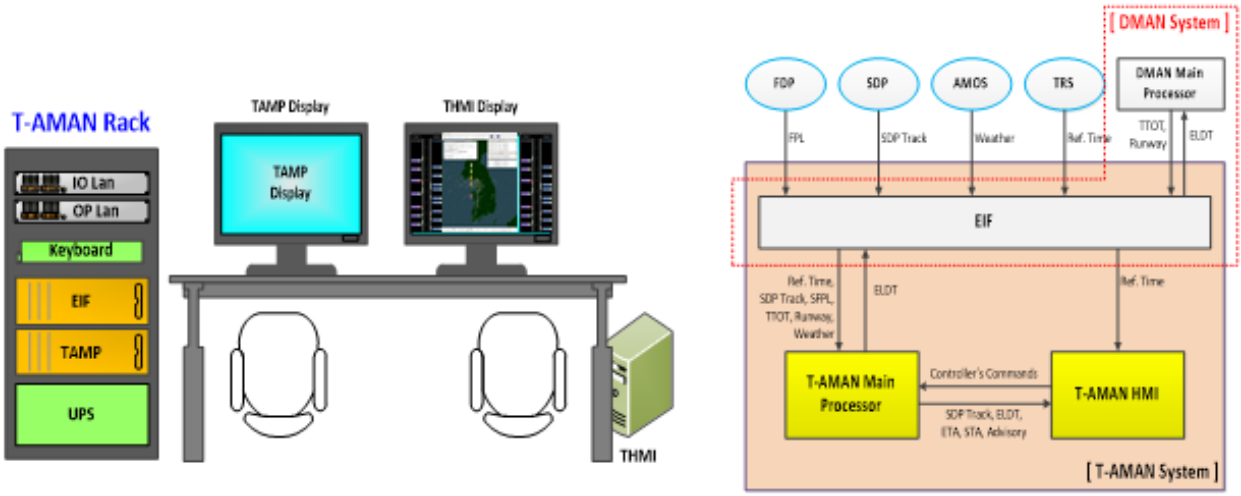


[그림 73] T-AMAN 시스템 설계 기술서(표지)

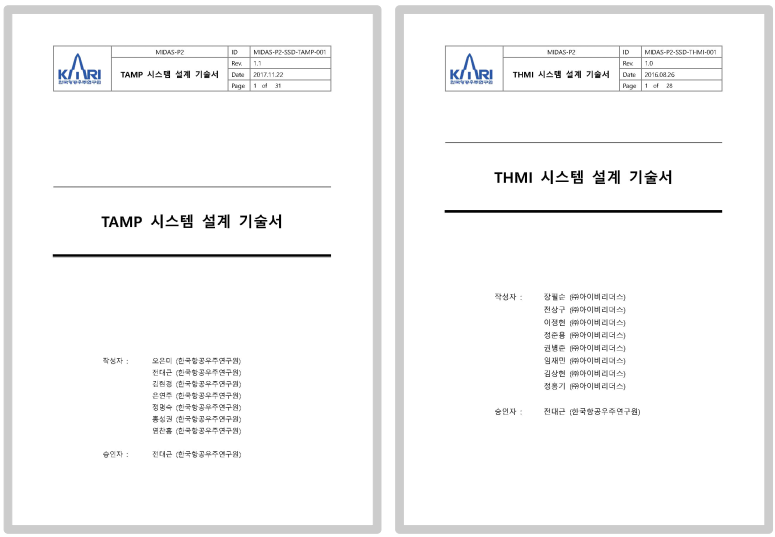
(4) T-AMAN 서브시스템 설계 (별책 4 참조)

T-AMAN 시스템의 각 서브시스템에 대한 설계서는 T-AMAN 시스템 요구사항 명세서 및 시스템 설계를 바탕으로 다음과 같이 작성하였다([그림 75], 별책 4).

- TAMP(T-AMAN Main Processor) 서브시스템 (도착 관리 주처리 시스템)
- THMI(T-AMAN HMI) 서브시스템 (도착 관리 사용자 인터페이스 처리 장치)



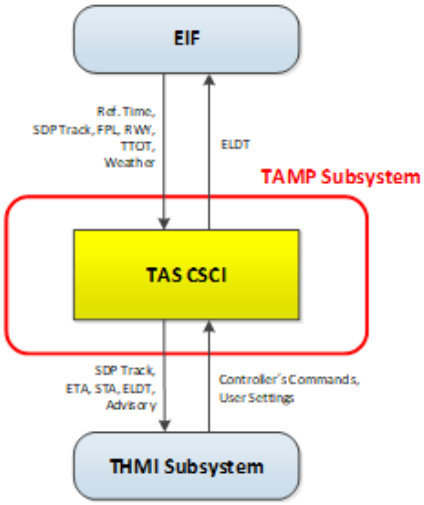
[그림 74] T-AMAN 시스템 하드웨어 구성(좌) 및 시스템 구성도(우)



[그림 75] 항공기 도착관리 서브시스템 설계서(표지)

< TAMP 서브시스템 (도착 관리 주처리 시스템) >

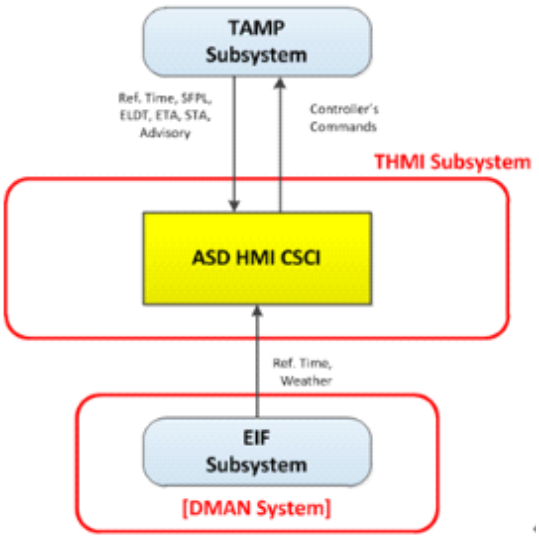
도착 관리 주처리 시스템은 도착관리 스케줄링을 처리하는 시스템으로, 외부 인터페이스 시스템으로부터 제공되는 비행계획, 항적정보 등을 이용하여 접근관제 구역에 진입하는 항공기의 4D 궤적을 예측하고, 이를 바탕으로 주요 지점별 Estimated Time of Arrival(ETA), Estimated Landing Time(ELDT)를 계산한다. 계산된 결과와 활주로 운용 현황을 종합적으로 고려하여 최적의 착륙 시퀀스를 계산하여 결과로서 시퀀스, Scheduled Time of Arrival(STA) 등을 관제사에게 제공한다. TAMP 서브시스템 소프트웨어는 도착관리 스케줄링을 담당하는 하나의 CSCI인 TAMP CSCI로만 구성되며, TAMP 서브시스템 소프트웨어 CSCI 구성품과 외부 시스템 간 연동 관계는 [그림 76]과 같다.



[그림 76] TAMP 서브시스템 소프트웨어 CSCI 연결도

< THMI 서브시스템 설계 (T-AMAN 사용자 인터페이스 처리 장치) >

THMI 서브시스템은 접근관제구역 내역의 도착항공기에 대한 도착관리 조언정보를 현시하는 시스템이다. TAMP 서브시스템으로부터 전달되는 도착항공기, 출발항공기, 영공 통과 항공기의 이동상황을 현시하고 항공기에 대한 정보를 화면상에 제공한다. TAMP 서브시스템으로부터 전달되는 도착 항공기에 대한 도착 시퀀스 정보 및 도착 시간정보를 타임바 형식의 화면에 제공한다. THMI는 Air Situation Display(ASD) HMI CSCI로 구성되며, 다른 서브시스템과의 연결도는 [그림 77]과 같다.

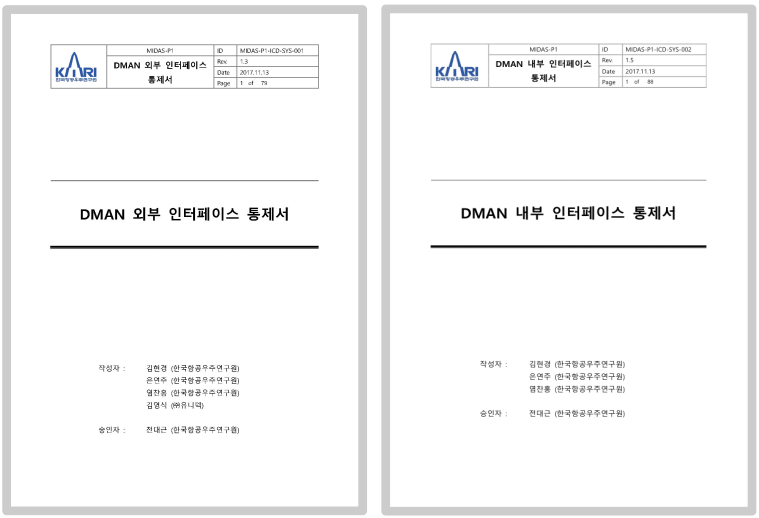


[그림 77] THMI 서브시스템 연결도

다) 내/외부 인터페이스 설계

(1) DMAN 인터페이스 설계 (별책 5 참조)

“DMAN 시스템 요구사항 명세서” 및 DMAN 시스템 설계 결과에 따라 외부 및 내부 인터페이스 항목을 식별하고, “DMAN 외부 인터페이스 통제서” 및 “DMAN 내부 인터페이스 통제서”를 작성하여 각 인터페이스 항목에 대해 상세히 정의하였다.([그림 78], 별책 5) 식별된 인터페이스 항목은 [표 7] 및 [표 8]과 같으며, 물리적 특성 및 데이터 요소 특성 등의 상세한 사항은 별책 5에 정리하였다.



[그림 78] DMAN 외부/내부 인터페이스 통제서(표지)

[표 7] DMAN 외부 인터페이스 식별

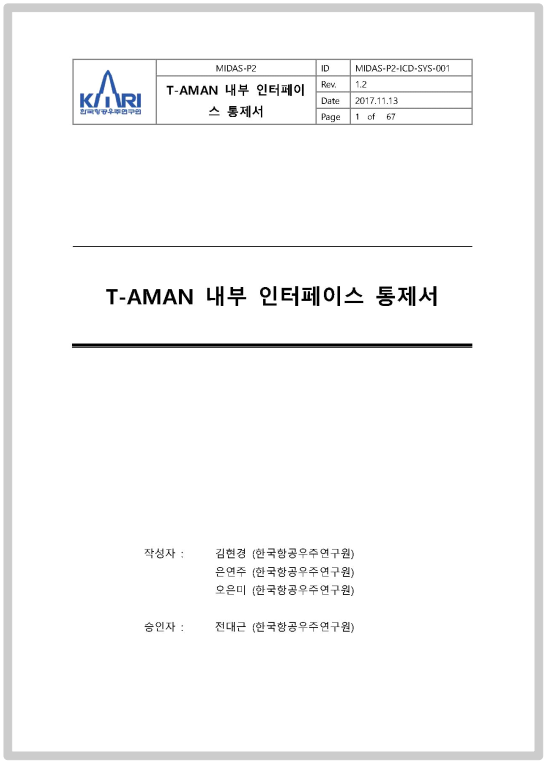
번호	식별자	데이터 종류	구분
C01	EXT-SDP-EIF-001	In-Flight Track	입력
C02	EXT-ASDE-EIF-001	Ground Track	입력
C03	EXT-FDP-EIF-001	FPL	입력
C04	EXT-AMOS-EIF-001	Temperature, Pressure, Wind, RVR	입력
C05	EXT-ACDM-EIF-001	Gate, Runway, SID	입력
C06	EXT-ACDM-EIF-002	ELDT, EDCT	입력
C07	EXT-EIF-ACDM-001	TOBT, TSAT, TTOT, VTT, SID	출력
C08	EXT-ACDM-EIF-003	TOBT	입력
C09	EXT-EIF-ACDM-002	TSAT, TTOT, VTT	출력
C10	EXT-AMAN-EIF-001	ELDT	입력
C11	EXT-EIF-AMAN-001	TTOT	출력
C12	EXT-EFS-EIF-001	Runway, SID, ASAT	입력
C13	EXT-TRS-EIF-001	Ref. time	입력
C14	EXT-PDC-EIF-001	PDC message	입력

[표 8] DMAN 내부 인터페이스 식별

번호	식별자	데이터 종류	비고
A01	INT-EIF-DMP-001	Ref. Time, Ground Track, FPL, Gate, TOBT, EDCT, EDLT 등	
A02	INT-DMP-EIF-001	TOBT, TSAT, TTOT, VTT, SID	
A03	INT-DMP-HMI-001	TOBT, TSAT, TTOT, VTT, SID, Gate, Runway	
A04	INT-HMI-DMP-001	Controller's Command, ASAT	
A05	INT-EIF-HMI-001	Ref. Time, Weather	
A06	INT-EIF-RSA-001	Ref. Time, Ground Track, FPL, Gate, TOBT, EDCT, EDLT 등	
A07	INT-EIF-CMC-001	Ref. Time / Raw Data	
A08	INT-DMP-RSA-001	TOBT, TSAT, TTOT, VTT, SID, Gate, Runway	
A09	INT-HMI-RSA-001	Controller's Command, ASAT	
A10	INT-CMC-RSA-001	Subsystems status	
A11	INT-RSA-DMP-001	Playback Control, "A01" Data	
A12	INT-RSA-HMI-001	Playback Control	
A13	INT-SOSS-DMP-001	Common Algorithm Interface (Route input)	
A14	INT-DMP-SOSS-001	Common Algorithm Interface (Route output)	
A15	INT-DMP-ASD-001	STrack	
A16	INT-TSS-DMP-001	STrack, SFPL	
B01	INT-CMC-DMP-001	Control, Request	
B02	INT-DMP-CMC-001	Response, Notification	
B03	INT-CMC-EIF-001	Control, Request	
B04	INT-EIF-CMC-002	Response, Notification	
B05	INT-CMC-HMI-001	Control, Request	
B06	INT-HMI-CMC-001	Response, Notification	
B07	INT-CMC-RSA-001	Control, Request	
B08	INT-RSA-CMC-001	Response, Notification	

(2) T-AMAN 인터페이스 설계 (별책 5 참조)

T-AMAN 시스템 요구사항 명세서 및 T-AMAN 시스템 설계 결과에 따라 내부 인터페이스 항목을 식별하고, "T-AMAN 내부 인터페이스 통제서 (MIDAS-P2-ICD-SYS-001)"를 작성하여 각 인터페이스 항목에 대해 상세히 정의하였다([그림 79], 별책 5). 식별된 인터페이스 항목은 [표 9]와 같으며, 물리적 특성 및 데이터 요소 특성 등의 상세한 사항은 별책 5에 정리하였다.



[그림 79] T-AMAN 내부 인터페이스 통제서(표지)

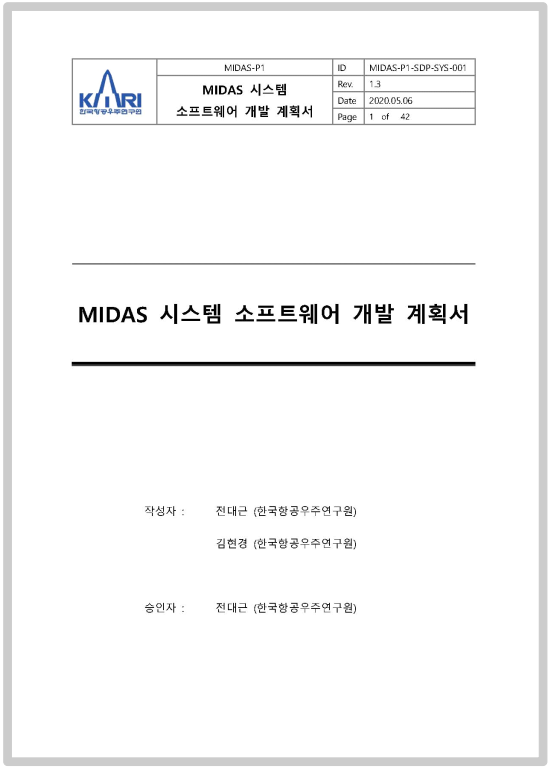
[표 9] T-AMAN 내부 인터페이스 식별

번호	식별자	데이터종류	비고
D01	INT-EIF-TAMP-001	Ref. Time, SFPL, STrack, TTOT, Runway, Weather 등	
D02	INT-TAMP-EIF-001	ELDT	
D03	INT-TAMP-HMI-001	Track, ETA, TLDT, Advisory 등	
D04	INT-HMI-TAMP-001	Controller's Command, User Settings 등	
D05	INT-EIF-HMI-001	Reference Time	

라) 소프트웨어 개발 계획 수립 (별책 2 참조)

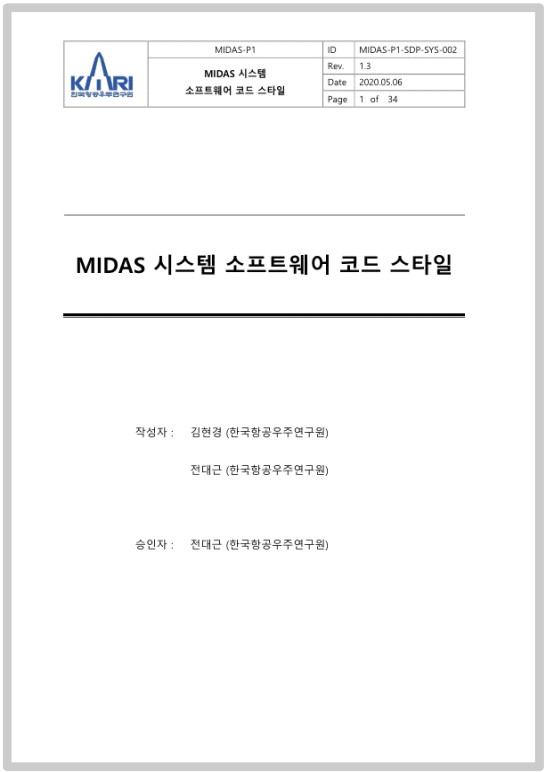
MIDAS 시스템에 포함되는 전체 소프트웨어에 대한 개발 계획을 수립하였으며, 그 결과로서 "MIDAS 시스템 소프트웨어 개발 계획서"를 작성하였다.([그림 80], 별책 2) 본 문서에는 소프트웨어 개발 수행 계획과 관련한 소프트웨어 개발 프로세스, 주요 산출물, 소프트웨어 개발 방법 등이 상세히 기술되어 있다. MIDAS 시스템 및 소프트웨어를 개발함에 있어서 ISO/IEC 12207:2008 Systems and software engineering - Software life cycle processes 에서 제시하는 System Life Cycle Processes(6장), Software Specific Processes(7장) 중 개발 절차와 관련된 사항을 참조하여 개발한다.

본 과제에서 산출되는 기술 문서 목록은 과제의 특성을 고려하여 [표 10]과 같이 tailoring하였다.



[그림 80] MIDAS 시스템 소프트웨어 개발 계획서(표지)

한편, 소프트웨어 코딩에 필요한 코딩 규칙 및 코드 스타일은 별도로 정의하여, “MIDAS 시스템 소프트웨어 코딩 규칙”(별책 2) 및 “MIDAS 소프트웨어 코드 스타일”(별책 2) 문서로 작성하였다.([그림 81] 및 [그림 82]) 코딩 규칙은 항공교통관제 시스템을 위한 별도의 표준 코딩 규칙이 마련되어 있지 않아서, 방위사업청 소프트웨어 코딩 규칙 및 Common Weakness Enumerate(CWE)-659를 고려하여 적용하였다. 코드 스타일은 소프트웨어 코드의 일관성 유지 및 해외 연구협력 등을 고려하여 주관기관에서 사용해 오던 기존 영문 버전을 그대로 적용하였다.



MIDAS-P1		ID	MIDAS-P1-SDP-SYS-002
	MIDAS 시스템 소프트웨어 코드 스타일	Rev.	1.3
		Date	2020.05.06
		Page	1 of 34

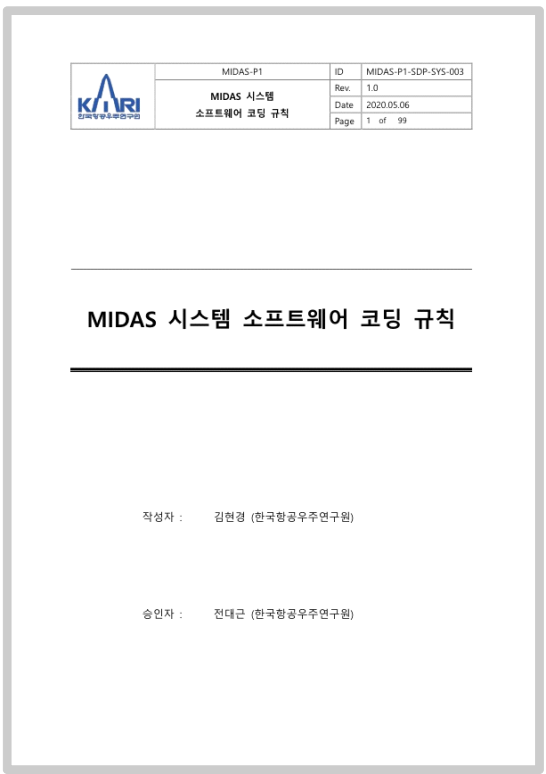
MIDAS 시스템 소프트웨어 코드 스타일

작성자 : 김현경 (한국항공우주연구원)

전대근 (한국항공우주연구원)

승인자 : 전대근 (한국항공우주연구원)

[그림 81] MIDAS 시스템 소프트웨어 코드 스타일(표지)



MIDAS-P1		ID	MIDAS-P1-SDP-SYS-003
	MIDAS 시스템 소프트웨어 코딩 규칙	Rev.	1.0
		Date	2020.05.06
		Page	1 of 99

MIDAS 시스템 소프트웨어 코딩 규칙

작성자 : 김현경 (한국항공우주연구원)

승인자 : 전대근 (한국항공우주연구원)

[그림 82] MIDAS 시스템 소프트웨어 코딩 규칙(표지)

[표 10] MIDAS 시스템/소프트웨어 산출 문서

구분	주요 산출물	산출물 작성 기준
1	운용 개념 기술서(OCD)	시스템
2	시스템 요구사항 명세서(SSS)	시스템
3	소프트웨어 개발 계획서(SDP)	시스템
4	시스템 설계 기술서(SSDD)	시스템/서브시스템
5	소프트웨어 요구사항 명세서(SRS)	서브시스템
6	소프트웨어 설계 기술서(SDD)	서브시스템
7	인터페이스 통제 문서(ICD)	시스템
8	소프트웨어 시험 계획서(STP)	서브시스템
9	소프트웨어 시험 절차서(STD)	서브시스템
10	소프트웨어 시험 결과서(STR)	서브시스템
11	시스템 시험 계획서(SITP)	시스템
12	시스템 시험 절차서(SITD)	시스템
13	시스템 시험 결과서(SITR)	시스템
14	시범운용 결과서	시스템
15	사용자 매뉴얼	시스템
16	설치 및 유지보수 매뉴얼	시스템

마) 소프트웨어 요구사항 정의

(1) DMAN 서브시스템 소프트웨어 요구사항 정의 (별책 6 참조)

항공기 출발 관리 시스템 요구사항 및 항공기 출발 관리 서브시스템 설계 결과를 바탕으로 항공기 출발 관리 시스템의 5개 서브시스템 각각에 대해 다음과 같이 소프트웨어 요구사항 명세서를 작성하였다([그림 83], 별책 6). [표 11]은 각 서브시스템 별로 식별된 요구사항의 수를 나타낸 것으로, 요구사항 식별자는 “MIDAS_P1_SRS_서브시스템_특성_일련번호”의 형태로 정의하였다. 각 서브시스템별 상세한 요구사항은 [그림 84]에 정의된 바와 같이 요구사항의 정의, 상태, 근거, 확인 및 검증방법에 대해 구체적으로 정의하였다.

- DMP 소프트웨어 요구사항 명세서 (출발 관리 주처리 시스템)
- HMI 소프트웨어 요구사항 명세서 (사용자 인터페이스 처리 장치)
- RSA 소프트웨어 요구사항 명세서 (녹화 및 통계 분석 시스템)
- CMC 소프트웨어 요구사항 명세서 (통제 및 모니터링 콘솔)
- EIF 소프트웨어 요구사항 명세서 (외부 인터페이스 시스템)



[그림 83] DMAN 서브시스템 소프트웨어 요구사항 명세서(표지)

[표 11] 각 서브시스템별 식별된 소프트웨어 요구사항 수

서브시스템	요구사항 수
출발 관리 주처리 시스템(DMP)	47
사용자 인터페이스 처리 장치(HMI)	48
녹화 및 통계 분석 시스템(RSA)	24
통제 및 모니터링 콘솔(CMC)	22
외부 인터페이스 시스템(EIF)	31

MIDAS_P1_SRS_DMP_SDS_0360 TOBT 입력에 의한 재스케줄링

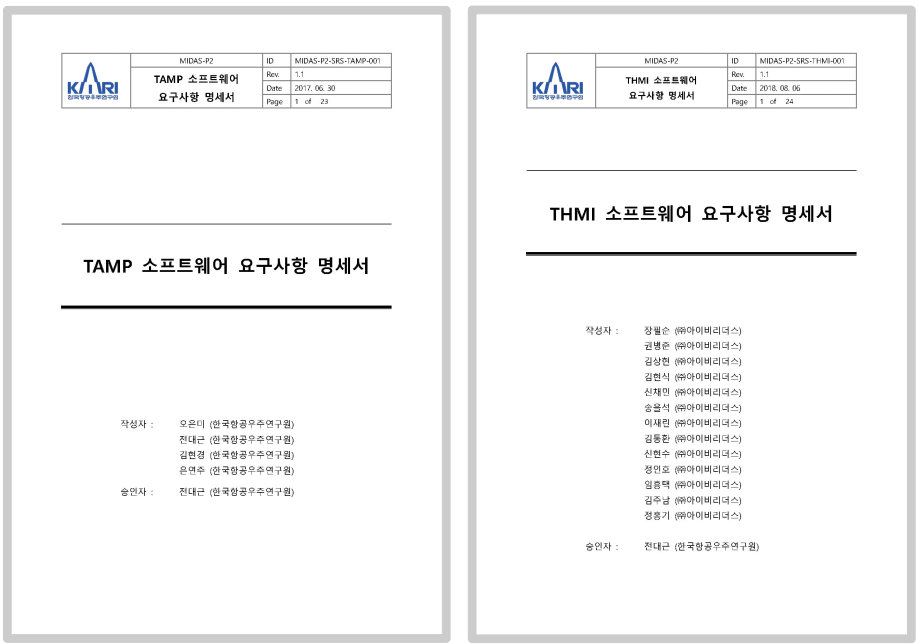
요구사항	DMP는 “보류” 또는 “제거” 상태의 항공편을 포함한 특정 항공편에 대해 TOBT를 입력 받았을 때 이를 반영하여 출발 스케줄링을 다시 수행해야 한다.
상태	승인
중요도	상
근거	MIDAS_P1_SSS_DMP_0150 “출발 스케줄링 – 자동 항공편 재스케줄링”
카테고리	기능
확인 및 검증방법	Test
비고	검증 방안) “보류” 또는 “제거” 상태의 항공편을 포함한 특정 항공편에 대한 TOBT를 입력한 후, Wireshark 프로그램을 통해 TOBT가 입력되고 나서 주기와 관계 없이 스케줄링 결과가 송신되는 지 확인. . 또한 해당 업데이트 대상 항공기의 정보를 수신하여 해당 항공기의 TOBT가 입력된 값으로 적용되었는지 확인

[그림 84] DMAN 서브시스템 소프트웨어 요구사항 정의 (예)

(2) T-AMAN 서브시스템 소프트웨어 요구사항 정의 (별책 6 참조)

항공기 도착 관리 시스템 요구사항 및 항공기 도착 관리 서브시스템 설계 결과를 바탕으로 항공기 도착 관리 시스템의 서브시스템 각각에 대해 다음과 같이 소프트웨어 요구사항 명세서를 작성하였다([그림 85], 별책 6). [표 12]는 각 서브시스템 별로 식별된 요구사항의 수를 나타낸 것으로, 요구사항 식별자는 “MIDAS_P2_SRS_서브시스템_특성_일련번호”의 형태로 정의하였다. 각 서브시스템별 상세한 요구사항은 [그림 86]에 정의된 바와 같이 요구사항의 정의, 상태, 근거, 확인 및 검증방법에 대해 구체적으로 정의하였다.

- TAMP 소프트웨어 요구사항 명세서 (도착 관리 주처리 시스템)
- THMI 소프트웨어 요구사항 명세서 (T-AMAN 사용자 인터페이스 처리 장치)



[그림 85] T-AMAN 서브시스템 소프트웨어 요구사항 명세서(표지)

[표 12] 각 서브시스템별 식별된 소프트웨어 요구사항 수

서브시스템	요구사항 수
도착 관리 주처리 시스템(TAMP)	20
T-AMAN 사용자 인터페이스 처리 장치(THMI)	23

MIDAS_P2_SRS_TAMP_TAS_0090 주요 지점별 ETA 계산

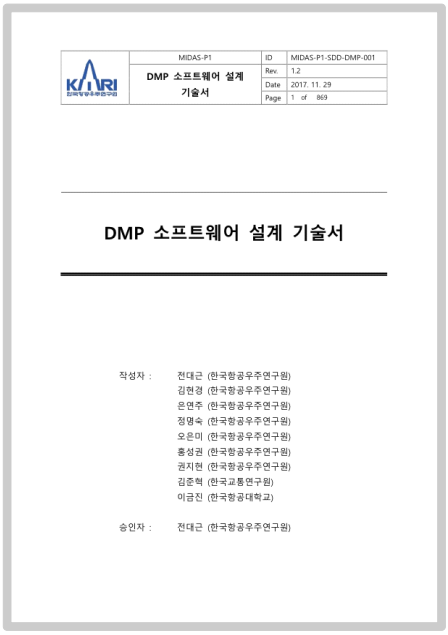
요구사항	도착 관리 주처리 시스템은 4D 궤적 계산 결과를 이용하여, 주요 지점별 ETA를 계산하여야 한다.
상태	승인
중요도	상
근거	MIDAS_P2_SSS_TAMP_0080 “도착 스케줄링 – 주요 지점별 ETA 및 ELDT 계산”
카테고리	기능
확인 및 검증방법	Demonstration
비고	검증 방안) 주요 지점별 ETA가 송신 되는지 Wireshark 프로그램에서 확인

[그림 86] T-AMAN 서브시스템 소프트웨어 요구사항 정의 (예)

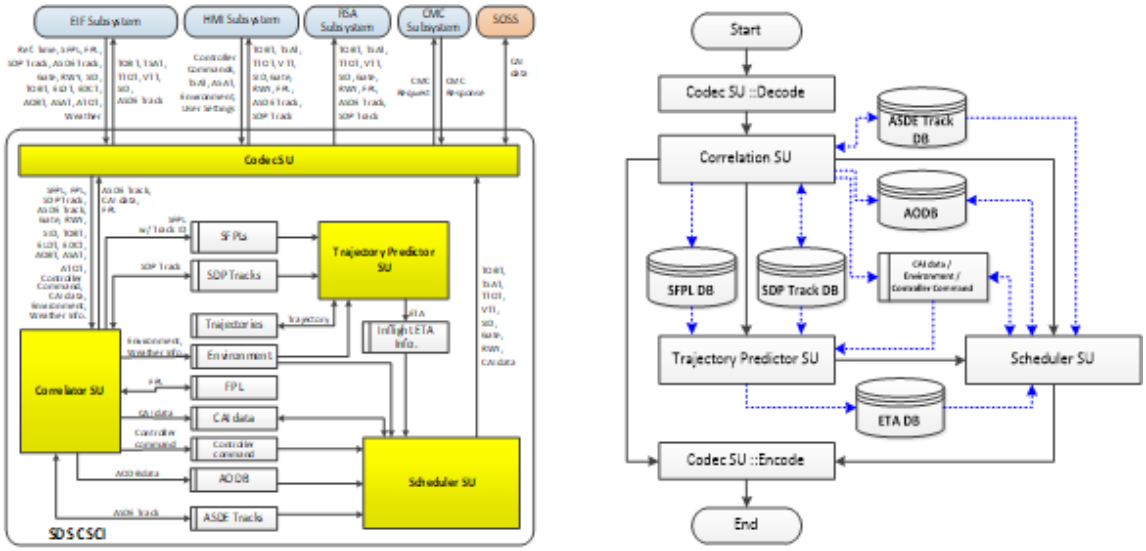
바) 소프트웨어 설계

(1) DMP 서브시스템 소프트웨어 설계 (별책 7-1 참조)

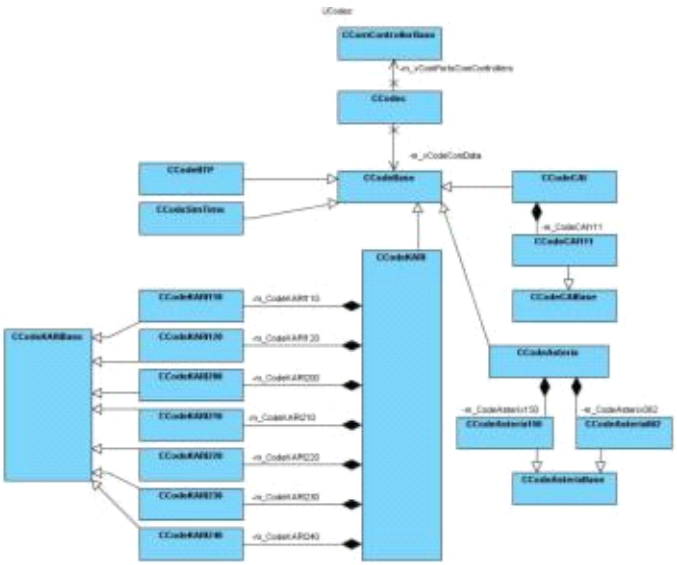
DMP 서브시스템은 출발관리 스케줄링을 처리하는 시스템으로, DMP 시스템 설계서와 DMP 소프트웨어 요구사항 명세서에 의거하여 소프트웨어 설계를 진행하였다([그림 87], 별책 7-1). DMP 서브시스템 소프트웨어는 하나의 CSCI인 Surface and Departure Scheduler(SDS) CSCI로만 구성되며, SDS CSCI는 Codec, Correlator, Trajectory Predictor, Scheduler의 4개의 Software Unit(SU)으로 구성된다. [그림 88]의 좌측은 SDS CSCI의 내부 구성도, 우측은 SDS CSCI의 처리 순서도를 나타낸 것이다. 각 SU별로 class diagram을 작성하고, 기능과 클래스 간 관계를 식별하였으며, 도출된 각 클래스에 대한 class diagram([그림 89]), class description, member function 등을 설계하였다.



[그림 87] DMP 소프트웨어 설계 기술서(표지)



[그림 88] SDS CSCI 내부구성도(좌) 및 처리 순서도(우)

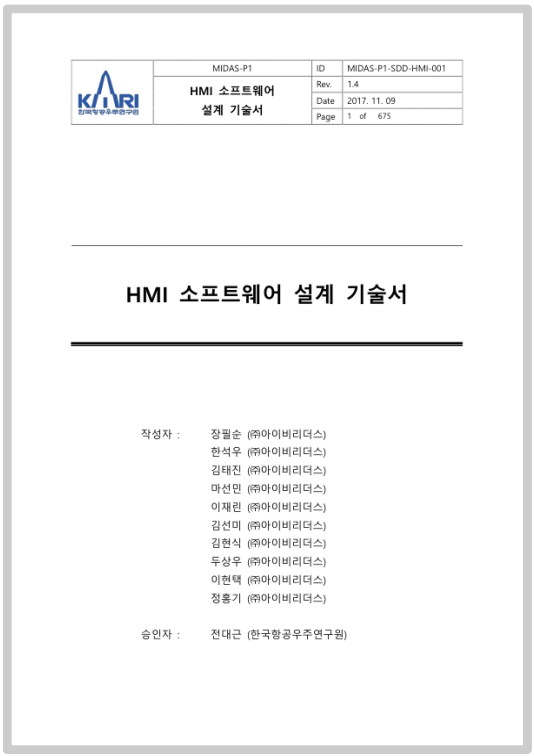


[그림 89] Codec SU - Encode Calss Diagram

(2) HMI 서브시스템 소프트웨어 설계 (별책 7-2 참조)

HMI 서브시스템은 DMP 서브시스템에 의해 스케줄링된 출발/도착 항공기에 대한 시각정보(EOBT, TOBT, TSAT, TTOT, ELDT, etc)를 사용자 화면에 디스플레이하는 시스템으로, HMI 시스템 설계서와 HMI 소프트웨어 요구사항 명세서에 의거하여 소프트웨어 설계를 진행하였다([그림 90], 별책 7-2). HMI 서브시스템 소프트웨어는 사용자의 요구사항 및 화면기능 설계에 따라 3개의 CSCI 구조로 구성되어 있다. 3개의 CSCI 별로 설계를 완료하였으며, 각 CSCI당 세부 SU로 구분하여 Class Diagram을 작

성하고, 기능과 클래스 간 관계를 식별하였으며, 도출된 각 클래스에 대한 class diagram, class description, member function 등을 설계하였다. [그림 91], [그림 92], [그림 93]은 HMI 서브시스템의 CSCI 별 전체클래스 구성도이며, [그림 94]는 GSD HMI 및 EFS HMI의 화면설계이다.



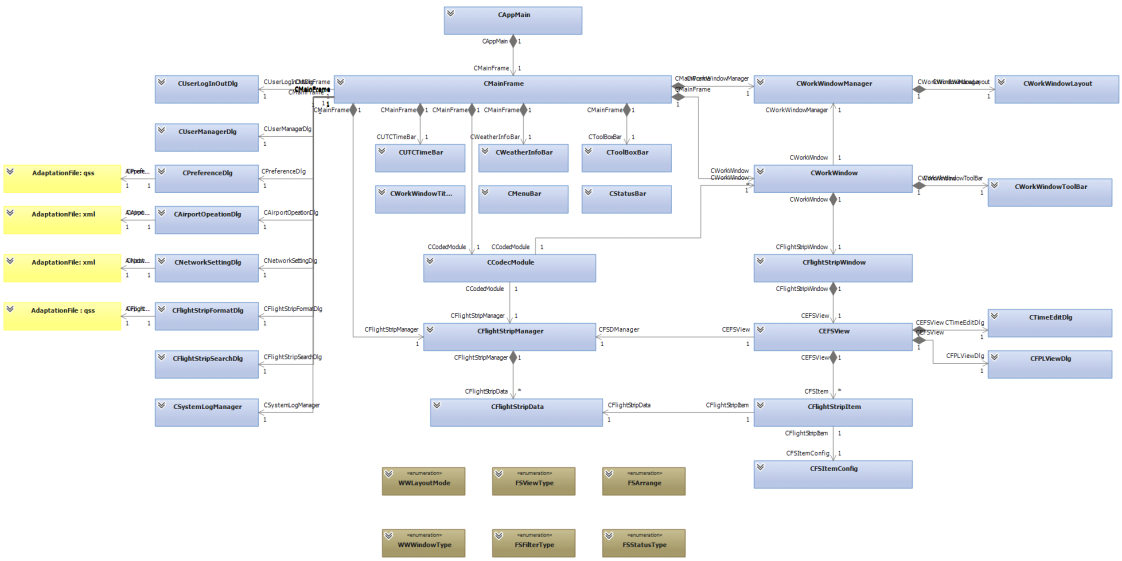
KARI	MIDAS-P1	ID	MIDAS-P1-SDD-HMI-001
	HMI 소프트웨어 설계 기술서	Rev.	1.4
		Date	2017. 11. 09
		Page	1 of 675

HMI 소프트웨어 설계 기술서

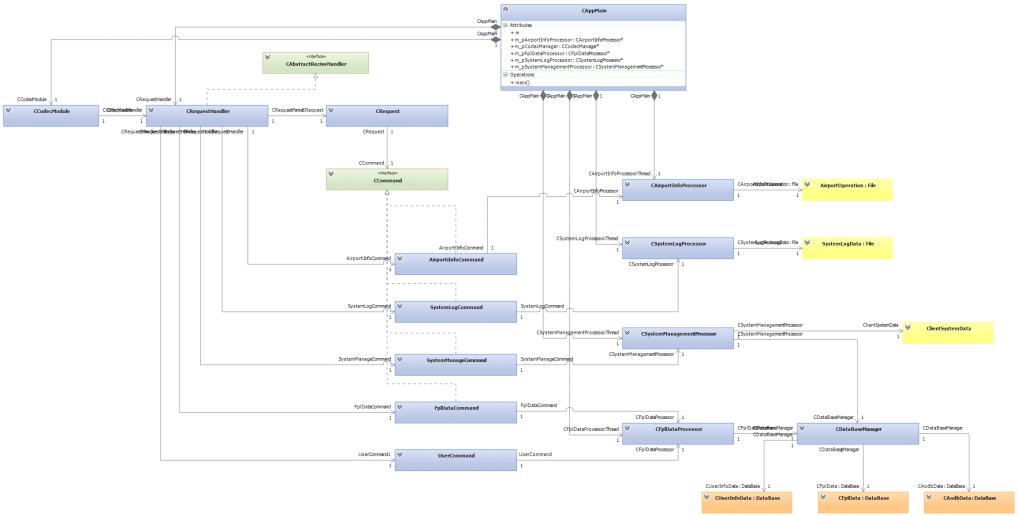
작성자 : 장필순 (㈜아이비리더스)
한석우 (㈜아이비리더스)
김태진 (㈜아이비리더스)
마선민 (㈜아이비리더스)
이재린 (㈜아이비리더스)
김선미 (㈜아이비리더스)
김현식 (㈜아이비리더스)
두상우 (㈜아이비리더스)
이현택 (㈜아이비리더스)
정홍기 (㈜아이비리더스)

승인자 : 전대근 (한국항공우주연구원)

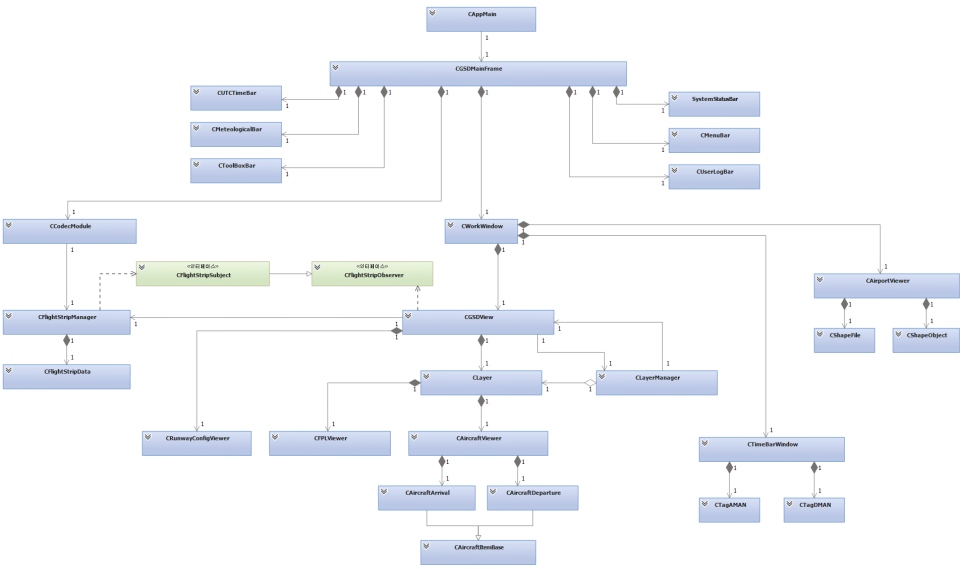
[그림 90] HMI 소프트웨어 설계 기술서(표지)



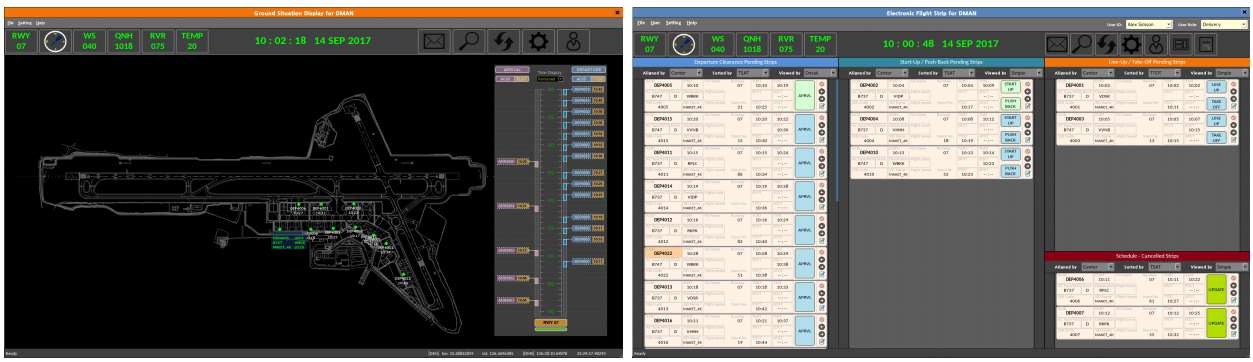
[그림 91] EFS HMI CSCI 전체 클래스 구조



[그림 92] EFS Server CSCI 전체 클래스 구조



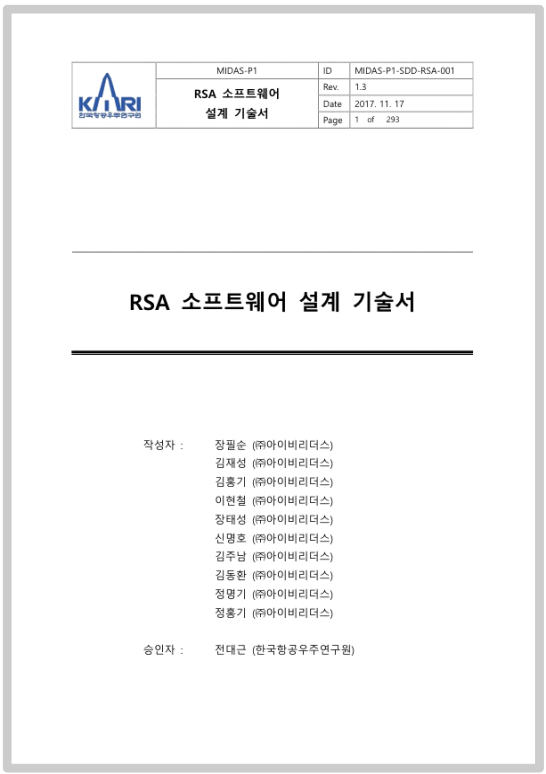
[그림 93] GSD HMI CSCI 전체 클래스 구조



[그림 94] GSD HMI(좌) 와 EFS HMI(우) 화면설계

(3) RSA 서브시스템 소프트웨어 설계 (별책 7-3 참조)

RSA 서브시스템은 EIF 서브시스템으로부터 입력되는 모든 데이터와 DMP 서브시스템의 스케줄링 데이터, HMI 서브시스템을 통한 사용자 커맨드를 저장하고 재생하는 시스템으로 RSA 시스템 설계서와 RSA 소프트웨어 요구사항 명세서에 의거하여 소프트웨어 설계를 진행하였다([그림 95], 별책 7-3). 3개의 CSCI 별로 설계를 완료하였으며, 각 CSCI당 세부 SU로 구분하여 class diagram을 작성하고, 기능과 클래스 간 관계를 식별하였으며, 도출된 각 클래스에 대한 class diagram, class description, member function 등을 설계하였다. [그림 96], [그림 97], [그림 98]은 RSA 서브시스템의 CSCI 별 전체클래스 구성도이며, [그림 99]는 녹화 및 재생을 위한 RSA 화면설계이다.



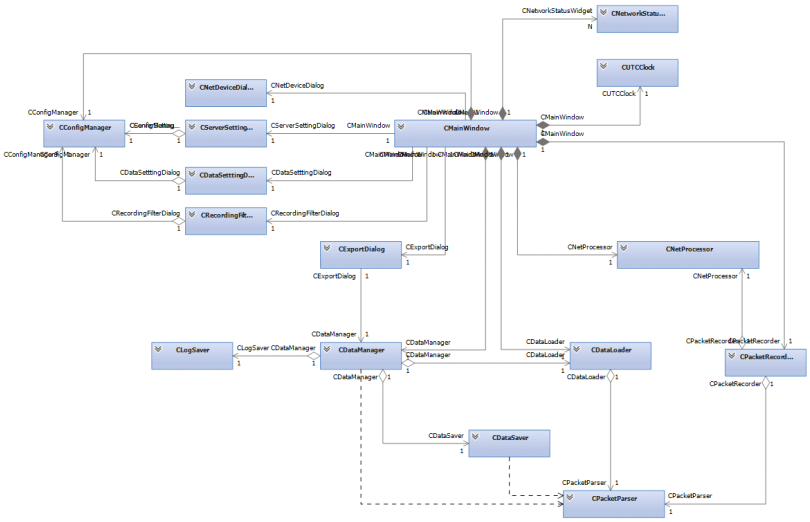
MIDAS-P1		ID	MIDAS-P1-SDD-RSA-001
KARI 항공우주연구원	RSA 소프트웨어 설계 기술서	Rev.	1.3
		Date	2017. 11. 17
		Page	1 of 293

RSA 소프트웨어 설계 기술서

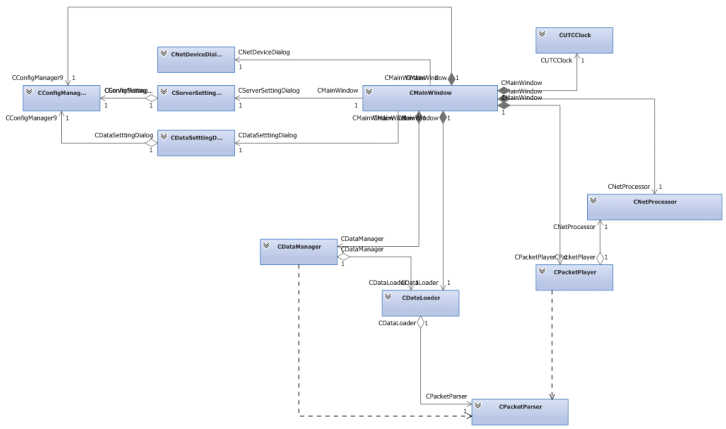
작성자 : 장필순 (㈜아이비리더스)
김재성 (㈜아이비리더스)
김홍기 (㈜아이비리더스)
이현철 (㈜아이비리더스)
장태성 (㈜아이비리더스)
신명호 (㈜아이비리더스)
김주남 (㈜아이비리더스)
김동환 (㈜아이비리더스)
정명기 (㈜아이비리더스)
정홍기 (㈜아이비리더스)

승인자 : 전대근 (한국항공우주연구원)

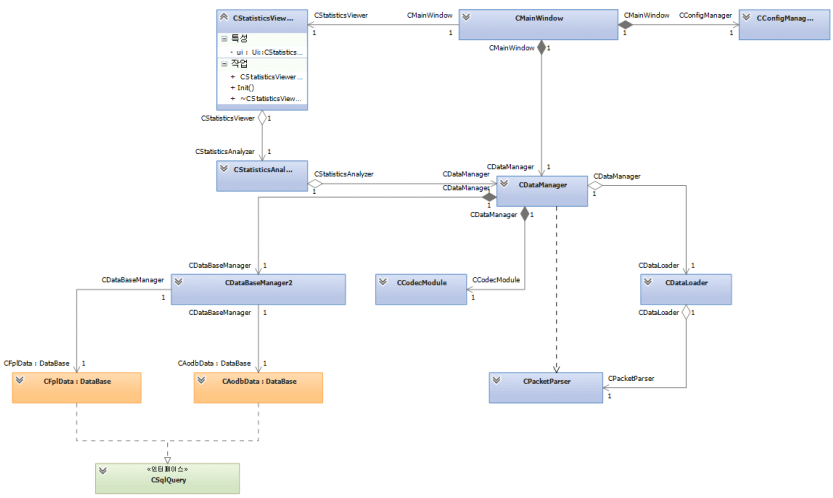
[그림 95] RSA 소프트웨어 설계 기술서(표지)



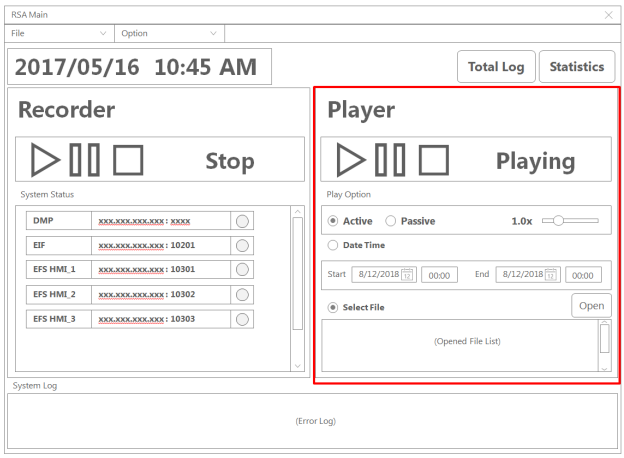
[그림 96] Recording CSCI 전체 클래스 구조



[그림 97] Play-Back CSCI 전체 클래스 구조



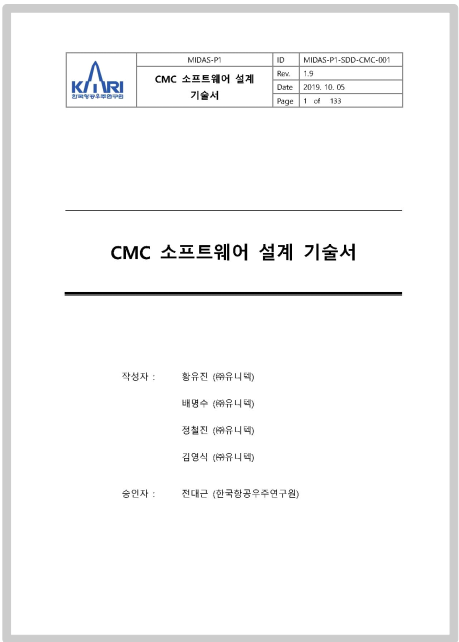
[그림 98] Statistic Analysis CSCI 전체 클래스 구조



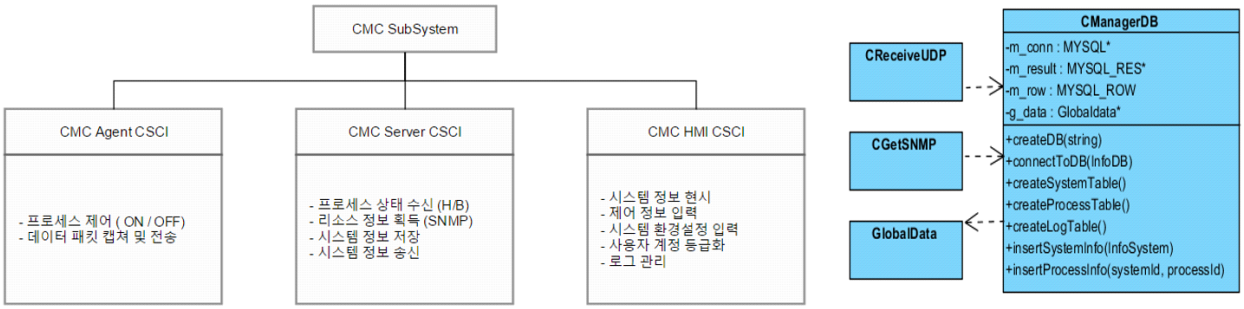
[그림 99] RSA 서브시스템 화면 설계

(4) CMC 서브시스템 소프트웨어 설계 (별책 7-4 참조)

CMC 서브시스템은 콘솔은 출발 및 도착 관리 시스템의 관리를 위해 전반적인 운용 상태를 현시하고 제어하는 기능을 하는 시스템으로, 시스템 설계서와 요구사항 명세서에 의거하여 소프트웨어 설계를 진행하였다([그림 100], 별책 7-4). CMC 서브시스템 소프트웨어는 총 3개의 CSCI(Agent CSCI, Server CSCI, HMI CSCI)로 구성된다([그림 101]). 각 SU별로 class diagram을 작성하고, 기능과 클래스 간 관계를 식별하였으며, 도출된 각 클래스에 대한 class diagram([그림 101]), class description, member function 등을 설계하였다.



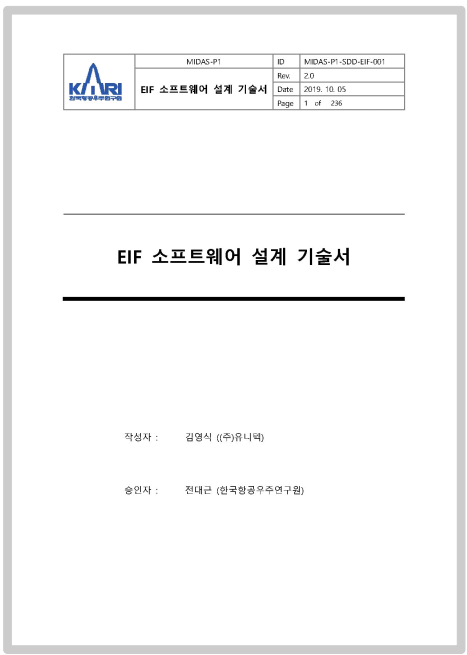
[그림 100] CMC 소프트웨어 설계 기술서(표지)



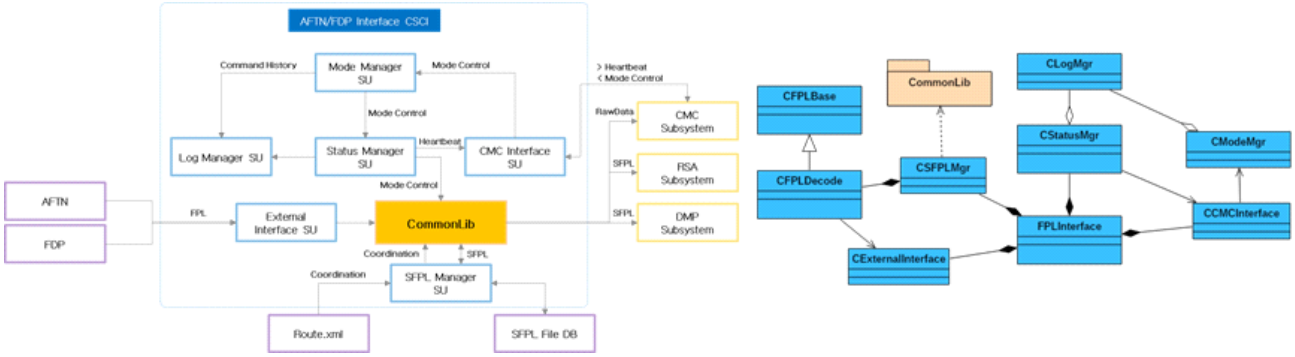
[그림 101] CMC 서브시스템 CSCI 구성도(좌)와 CManagerDB Class Diagram(우)

(5) EIF 서브시스템 소프트웨어 설계 (별책 7-5 참조)

EIF 서브시스템은 출발 도착 관리 스케줄링을 위한 ASDE, FDP, SDP 등의 외부 시스템과 인터페이스하는 시스템으로 외부인터페이스 시스템 설계서와 외부인터페이스 소프트웨어 요구사항 명세서에 의거하여 소프트웨어 설계를 진행하였다([그림 102], 별책 7-5). 외부인터페이스 소프트웨어는 총 6개의 CSCI(STrack Interface CSCI, AO/GH Interface CSCI, AFTN/FDP Interface CSCI, AMOS Interface CSCI, EAI Interface CSCI, T-AMAN Interface CSCI)로 구성되며, 각각 개별 구동하도록 설계되었다. 각 CSCI를 구성하는 SU를 식별하고, 각 SU별로 class diagram을 작성하고, 기능과 클래스 간 관계를 식별하였으며, 구성품별 실행 개념을 설명하기 위해 CSCI간 sequence diagram, activity diagram을 작성하였다. [그림 103]은 AFTN/FDP Interface CSCI의 내부 구성 및 class diagram을 개략적으로 나타낸 것이다.



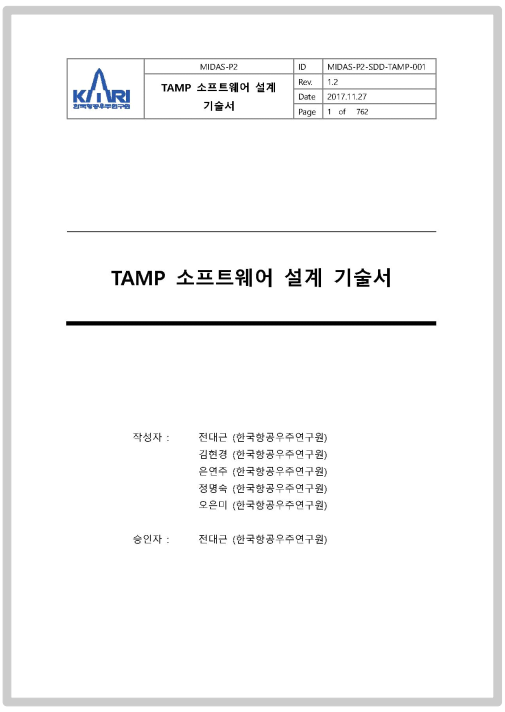
[그림 102] EIF 소프트웨어 설계 기술서(표지)



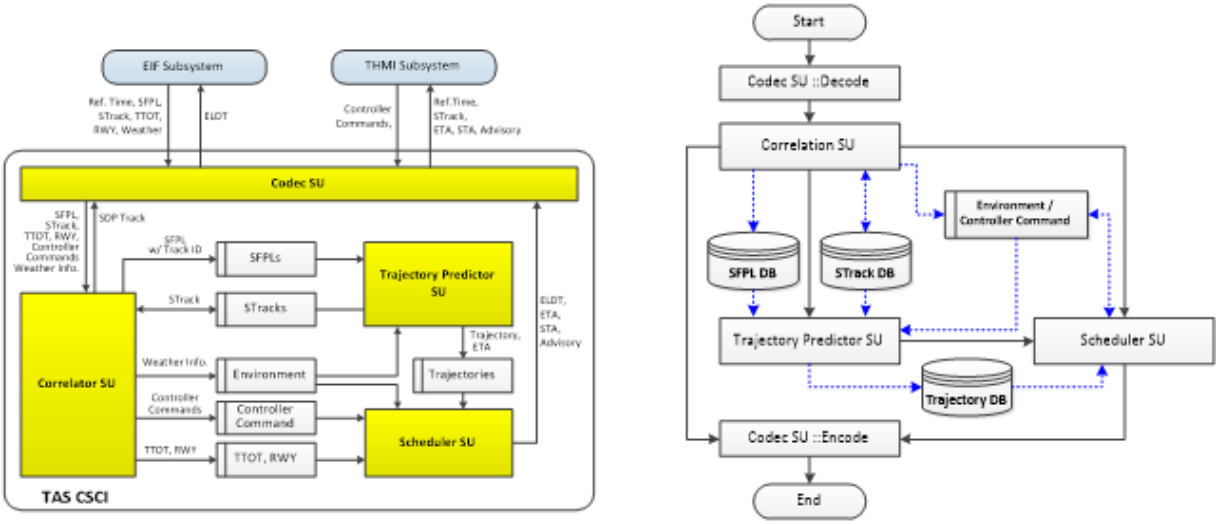
[그림 103] AFTN/FDP Interface CSCI 구성도 및 개략 Class Diagram

(6) TAMP 서브시스템 소프트웨어 설계 (별책 7-6 참조)

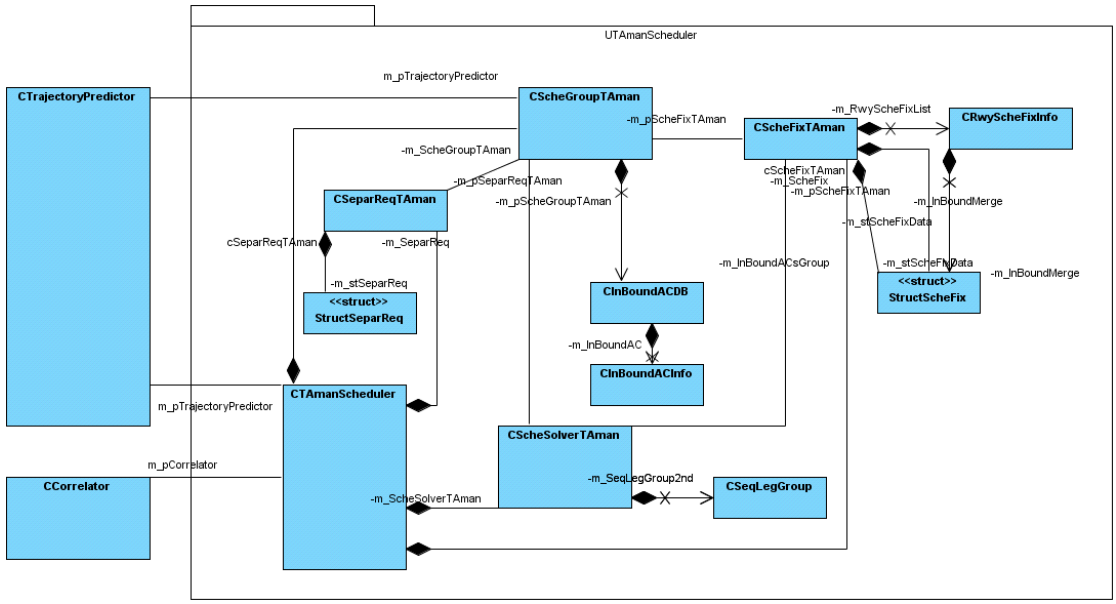
TAMP 서브시스템은 도착 관리 스케줄링을 처리하는 시스템으로, TAMP 시스템 설계서와 소프트웨어 요구사항 명세서에 의거하여 소프트웨어 설계를 진행하였다([그림 104], 별책 7-6). TAMP 서브시스템 소프트웨어는 하나의 CSCI인 T-AMAN Arrival Scheduler(TAS) CSCI로만 구성되며, TAS CSCI는 Codec, Correlator, Trajectory Predictor, Scheduler의 4개의 SU로 구성된다([그림 105]). 상세설계 내용으로 각 SU별로 class diagram을 작성하고, 기능과 클래스 간 관계를 식별하였으며, 도출된 각 클래스에 대한 class diagram, class description, member function 등을 설계하였다. [그림 106]은 TAS의 4개 SU 중 Scheduler SU 내부의 개별 class간 관계를 표시한 class diagram이다.



[그림 104] TAMP 소프트웨어 설계 기술서(표지)



[그림 105] TAS CSCI 내부구성도(좌) 및 처리 순서도(우)

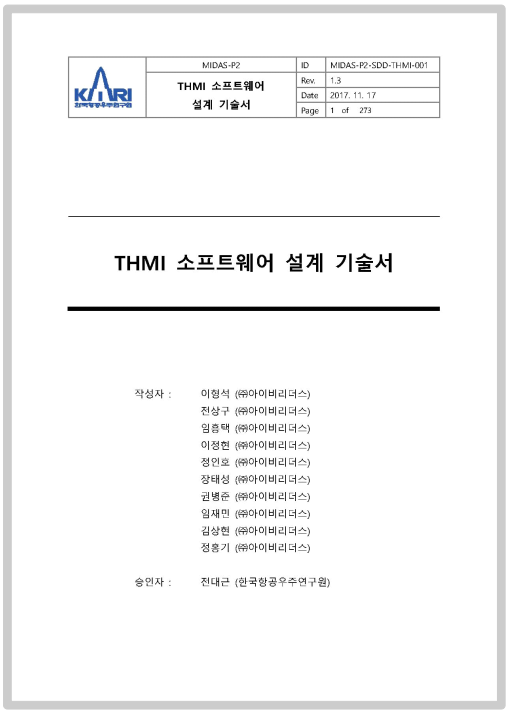


[그림 106] Scheduler SU Class Diagram

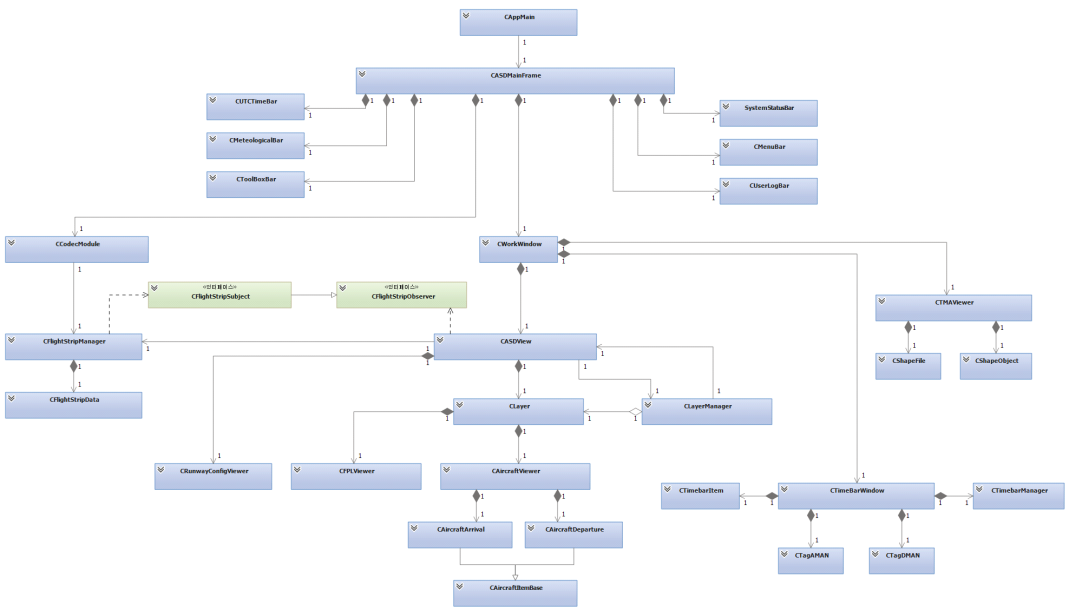
(7) THMI 서브시스템 소프트웨어 설계 (별책 7-7 참조)

THMI 서브시스템은 TAMP 서브시스템에 의해 제안된 도착항공기에 대한 시각정보를 전송받아 현시하며, 제안된 항공기의 도착순서 및 도착시간을 변경할 수 있도록 화면을 제공하는 시스템이다. 또한. TAMP 서브시스템에 의해 제공되는 항공기의 항적데이터를 이용하여 접근관제구역 내의 항공기의 현재 위치 및 항공기의 정보를 제공한다. T-AMAN 시스템 설계서와 소프트웨어 요구사항 명세서에 의거하여 소프트웨어 설계를 진행하였다([그림 107], 별책 7-7). T-AMAN HMI 서브시스템 소프트웨어는 사용자의 요구사항 및 화면기능 설계에 따라 1개의 CSCI 구조로 구성되어 있다. CSCI를

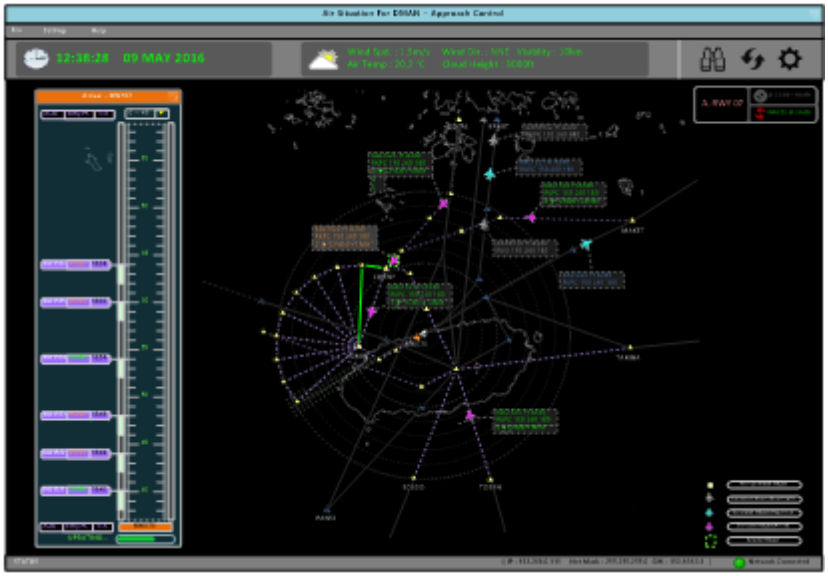
기준으로 상세설계를 완료하였으며, 세부 SU로 구분하여 Class Diagram을 작성하고, 기능과 클래스 간 관계를 식별하였으며, 도출된 각 클래스에 대한 class diagram, class description, member function 등을 설계하였다. [그림 108]은 THMI 서브시스템의 CSCI별 전체클래스 구성도이며, [그림 109]는 T-AMAN HMI 화면설계이다.



[그림 107] THMI 소프트웨어 설계 기술서(표지)



[그림 108] THMI 전체 클래스 구조



[그림 109] THMI 서브시스템 화면 설계

사) 소프트웨어 구현 및 시험

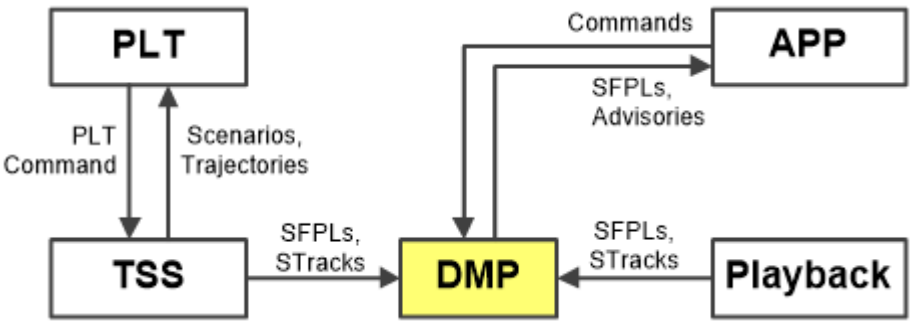
(1) DMP 소프트웨어 구현 및 소프트웨어 시험 (별책 8, 9, 10, 11 참조)

DMAN 시스템의 서브시스템 중 하나인 출발 관리 주처리 시스템(DMP) 소프트웨어를 구현하고(별책 8-1), 개발된 소프트웨어에 대해 DMP 소프트웨어 요구사항 명세서에 정의된 소프트웨어 요구사항을 만족하는지 여부를 검증하기 위해 DMP 소프트웨어 시험 계획서(별책 9-1) 및 절차서(별책 10-1)를 작성하였다. 또한 작성된 DMP 소프트웨어 시험 절차서에 따라 소프트웨어 시험을 수행하였다. DMP 소프트웨어 시험 계획서([그림 110], 별책 9-1)에는 소프트웨어 시험을 위한 시험장비, 시험조직 등 전반적인 소프트웨어 시험 환경을 정의하고, 총 47개 시험 항목에 대한 시험수준 및 개괄적인 시험 방법을 기술하였다. DMP 소프트웨어 시험 장비는 가상 조종석 콘솔(PLT, Pseudo Pilot Console), 교통 모의 시스템(TSS, Traffic Simulation System), 녹화자료 재생 프로그램(Playback, Record Data Playback Program), 기능 모의 응용 프로그램(APP, Function Simulation Application), DMP로 구성되며, 시험 구성도는 [그림 111]과 같다. DMP 소프트웨어 시험 절차서([그림 110], 별책 10-1)에는 DMP 소프트웨어 시험 계획서에서 정의한 각 시험 항목에 대한 시험환경 및 시나리오, 세부 시험 절차를 기술하였는데, DMP 각 시험 항목에 대한 시험 절차는 [그림 112]와 같이 작성되었다. DMP 소프트웨어 시험 결과서([그림 110], 별책 11-1)에는 DMP 소프트웨어 시험 절차서에 기술된 세부 시험 절차에 따른 결과를 정리하여 기술하였다. 시험 결과는 상용 네트워크 snipping tool인 Wireshark 프로그램을 이용하여 실제 전송되는 데이터를 확인

하거나 또는 [그림 113]과 같이 DMP 터미널에서 출력된 결과를 확인하여 Pass/Fail을 기록하도록 하였다. 시험 결과 총 47개 시험 항목 모두 DMP 소프트웨어 요구사항을 만족하는 결과를 얻었다.



[그림 110] DMP 소프트웨어 구현 보고서 및 시험 계획서/절차서/결과서(표지)

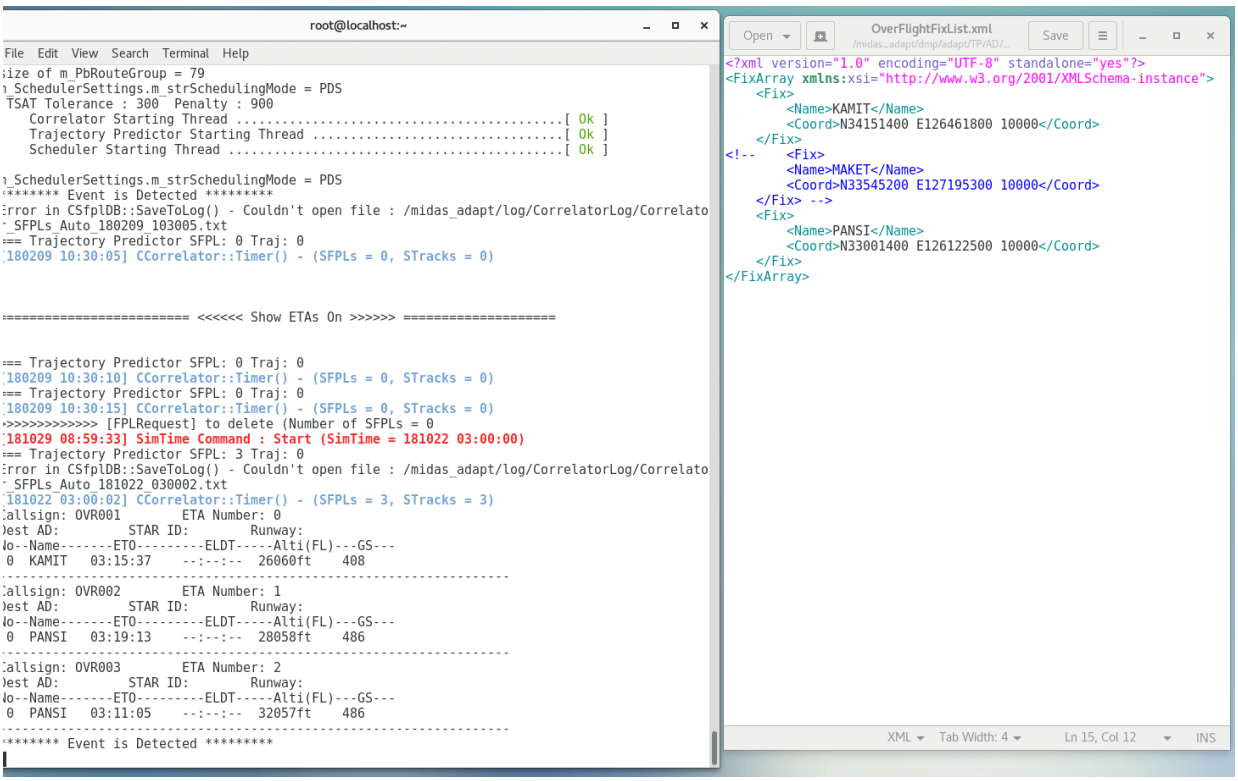


[그림 111] DMP 소프트웨어 시험 장비 구성도

5.1.1.4. 시험 절차

번호	입력 사항	예상 결과	Pass/Fail
1	DMP 시스템이 켜지지 않는 상태에서 시각(T1)을 기록한다.	T1 =	
2	Playback 프로그램을 실행하고, 입력자료 선택 후, 시작 버튼을 눌러 데이터가 전송되도록 한다.	Playback 프로그램이 시작되어, DMP 화면의 시간이 변경되었다.	
3	터미널에서 "dmp" 명령을 입력하여 DMP 소프트웨어를 구동한다.	DMP 소프트웨어와 초기화가 완료되었다.	
4	DMP 소프트웨어 터미널의 키보드 자판 "1"을 눌러서 DMP 소프트웨어에서 처리중인 비행계획이 10개 이상이고, 이들 중 TOBT가 20분 이내인 항공편에 대해 TTOT가 계산되기 시작한 시각(T2)을 기록한다.	T2 =	
5	T2-T1이 20분 이내임을 확인한다.	T2-T1 =	
시험 결과 및 검토 의견		시험결과 별첨 여부	☐
개발자 확인		시험평가자 확인	

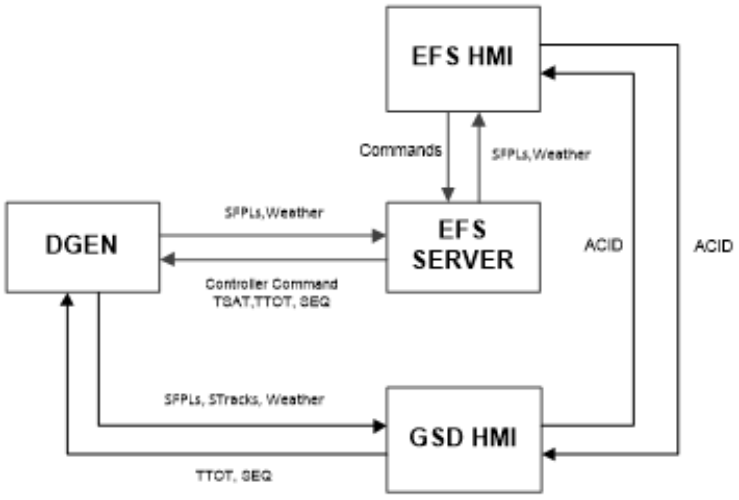
[그림 112] DMP 시험 항목 별 시험 절차 샘플



[그림 113] DMP 터미널을 통한 시험 결과 확인 예

(2) HMI 소프트웨어 구현 및 소프트웨어 시험 (별책 8, 9, 10, 11 참조)

DMAN 시스템의 서브시스템 중 하나인 출발 관리 사용자 인터페이스 처리장치(HMI) 소프트웨어를 구현하고(별책 8-2), 개발된 소프트웨어에 대해 HMI 소프트웨어 요구사항 명세서에 정의된 소프트웨어 요구사항을 만족하는지 여부를 검증하기 위해 HMI 소프트웨어 시험 계획서(별책 9-2) 및 절차서(별책 10-2)를 작성하였다. 또한 작성된 HMI 소프트웨어 시험 절차서에 따라 소프트웨어 시험을 수행하였다. HMI 소프트웨어 시험 계획서([그림 115], 별책 9-2)에는 소프트웨어 시험을 위한 시험장비, 시험조직 등 전반적인 소프트웨어 시험 환경을 정의하고, 총 49개 시험 항목에 대한 시험수준 및 개괄적인 시험 방법을 기술하였다. HMI 소프트웨어 시험 장비는 비행계획 및 항적 데이터 전송을 위한 DGEN, EFS 시스템을 위한 EFS Server, EFS HMI, 지상상황현시 및 스케줄링 데이터 현시를 위한 GSD HMI로 구성되며, 시험 구성도는 [그림 114]와 같다. DGEN 시스템은 녹화된 비행계획 및 항적데이터 전송을 위한 RSA, 소프트웨어 요구사항 중 주처리시스템(DMP)과의 상호 연동을 테스트하기 위해 DMP 소프트웨어를 사용하였다. 시험 절차서([그림 115], 별책 10-2)에는 HMI 소프트웨어 시험 계획서에서 정의한 각 시험 항목에 대한 시험환경 및 시나리오, 세부 시험 절차를 기술하였는데, HMI 각 시험 항목에 대한 시험 절차는 [그림 116]과 같이 작성되었다. HMI 소프트웨어 시험 결과서([그림 115, 별책 11-2)에는 HMI 소프트웨어 시험 절차서에 기술된 세부 시험 절차에 따른 결과를 정리하여 기술하였다. 시험 결과는 [그림 117]과 같이 HMI 상의 현시화면을 직접 확인하거나 또는 DMP 터미널에서 출력된 결과를 확인하여 Pass/Fail을 기록하도록 하였다. 시험 결과 총 49개 시험 항목 모두 HMI 소프트웨어 요구사항을 만족하는 결과를 얻었다.



[그림 114] HMI 소프트웨어 시험 장비 구성도

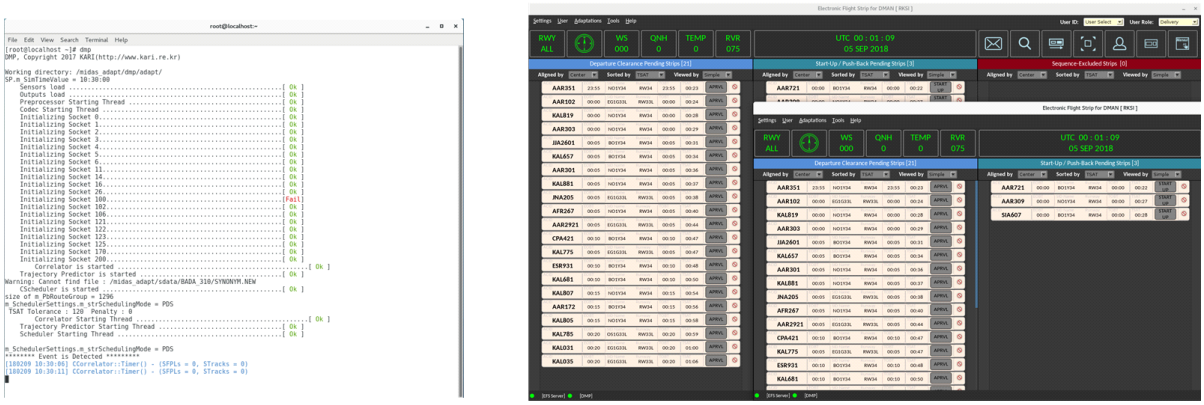


[그림 115] HMI 소프트웨어 구현 보고서 및 시험 계획서/절차서/결과서(표지)

5.2.3.4. 시험 절차

번호	입력 사항	예상 결과	Pass/Fail
1	터미널에서 "dmp" 명령을 입력하여 DMP 소프트웨어를 구동한다.	DMP 소프트웨어 초기화가 완료되었다.	
2	터미널에서 "esv" 명령을 입력하여 EFS Server 소프트웨어를 실행한다.	EFS Server 소프트웨어 초기화가 완료되었다. 터미널에 데이터 입력 메시지가 출력되었다.	
3	터미널에서 "efs" 명령을 입력하여 EFS Viewer A 소프트웨어를 실행한다.	EFSViewer가 실행되어 화면에 현시되었다.	
4	터미널에서 "rsa" 명령을 입력하여 RSA HMI를 실행한다.	RSA HMI가 실행되어 화면에 현시되었다.	
5	RSA HMI에서 Active Mode를 선택하고, 실행할 시나리오 파일을 선택하고 실행 버튼을 누른다.	RSA HMI상의 LED가 점멸되며 데이터 전송이 시작되었다.	
		EFSViewer가 실행되어 화면에 현시되며, 20초 이내에 비행스트립 정보가 화면에 현시되었다.	
시험 결과 및 검토 의견		시험결과 별첨 여부	☐
개발자 확인		시험평가자 확인	

[그림 116] HMI 시험 항목 별 시험 절차 샘플



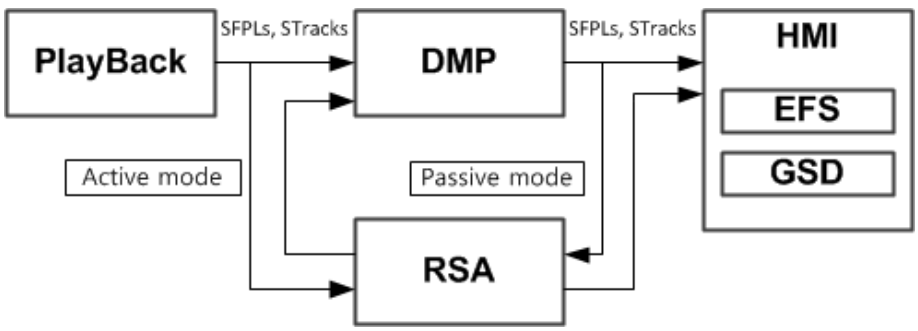
[그림 117] HMI 시험 결과 확인 예

(3) RSA 소프트웨어 구현 및 소프트웨어 시험 (별책 8, 9, 10, 11 참조)

DMAN 시스템의 서브시스템 중 하나인 녹화 및 통계분석 시스템(RSA) 소프트웨어를 구현하고(별책 8-3), 개발된 소프트웨어에 대해 RSA 소프트웨어 요구사항 명세서에 정의된 소프트웨어 요구사항을 만족하는지 여부를 검증하기 위해 RSA 소프트웨어 시험 계획서(별책 9-3) 및 절차서(별책 10-3)를 작성하였다. 또한 작성된 RSA 소프트웨어 시험 절차서에 따라 소프트웨어 시험을 수행하였다. RSA 소프트웨어 시험 계획서([그림 118], 별책 9-3)에는 소프트웨어 시험을 위한 시험장비, 시험조직 등 전반적인 소프트웨어 시험 환경을 정의하고, 총 20개 시험 항목에 대한 시험수준 및 개괄적인 시험 방법을 기술하였다. RSA 소프트웨어 시험 장비는 비행계획 및 항적데이터 전송을 위한 PlayBack, Active 모드의 재생 데이터를 입력받을 출발관리 주처리 시스템(DMP), Passive 모드의 재생 데이터를 입력받을 EFS HMI, GSD HMI로 구성되며, 시험 구성도는 [그림 119]와 같다. 시험 절차서([그림 118], 별책 10-3)에는 RSA 소프트웨어 시험 계획서에서 정의한 각 시험 항목에 대한 시험환경 및 시나리오, 세부 시험 절차를 기술하였는데, RSA 각 시험 항목에 대한 시험 절차는 [그림 120]과 같이 작성되었다. RSA 소프트웨어 시험 결과서([그림 118], 별책 11-3)에는 RSA 소프트웨어 시험 절차서에 기술된 세부 시험 절차에 따른 결과를 정리하여 기술하였다. 시험 결과는 [그림 121]과 같이 HMI 상의 현시화면을 직접 확인하거나 또는 DMP 터미널에서 출력된 결과를 확인하여 Pass/Fail을 기록하도록 하였다. 시험 결과 총 20개 시험 항목 모두 RSA 소프트웨어 요구사항을 만족하는 결과를 얻었다.



[그림 118] RSA 소프트웨어 구현 보고서 및 시험 계획서/절차서/결과서(표지)

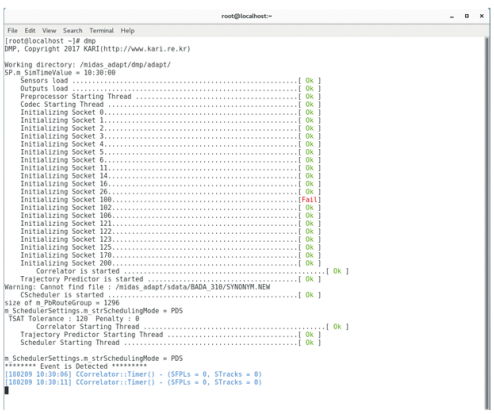


[그림 119] RSA 소프트웨어 시험 장비 구성도

5.1.7.4. 시험 절차

번호	입력 사항	예상 결과	Pass/Fail
1.	터미널에 "rsa_s" 명령을 입력하여 RSA 설정 HMI 소프트웨어를 실행한다.	RSA 설정 HMI 소프트웨어가 실행되어 화면에 현시되었다.	
2.	Subsystem Info Setting 버튼을 클릭한다.	Client Setting 다이얼로그가 실행되었다. 기존 설정파일이 존재할 경우 로그에 녹화 대상으로 설정된 서브시스템의 목록이 출력된다.	
3.	EIF, DMP 서브시스템의 데이터를 수집하기 위해, Active 탭에 서브시스템의 정보를 추가한다. Active 탭을 클릭하고, Add를 누르고, 추가된 행에 서브시스템의 이름, IP, Port, 설명을 입력한다.	Active 탭의 화면에 행이 추가 되며, 해당 행에 입력된 정보가 기록된다.	
4.	HMI 서브시스템의 데이터를 수집하기 위해, Passive 탭에 서브시스템의 정보를 추가한다. Passive 탭을 클릭하고, Add를 누르고, 추가된 행에 녹화할 서브시스템의 이름, IP, Port, 설명을 입력한다.	Passive 탭의 화면에 행이 추가 되며, 해당 행에 입력된 정보가 기록된다.	
5.	OK 버튼을 눌러설정을 저장한다.	설정 다이얼로그가 닫히며, 설정된 정보가 저장된다. 저장된 정보는 RSA 관련 설정 파일을 텍스트 에디터로 불러올 경우, 확인할 수 있다.	
시험 결과 및 검토 의견		시험결과 별첨 여부	☐
개발자 확인		시험평가자 확인	

[그림 120] RSA 시험항목별 시험절차(샘플)



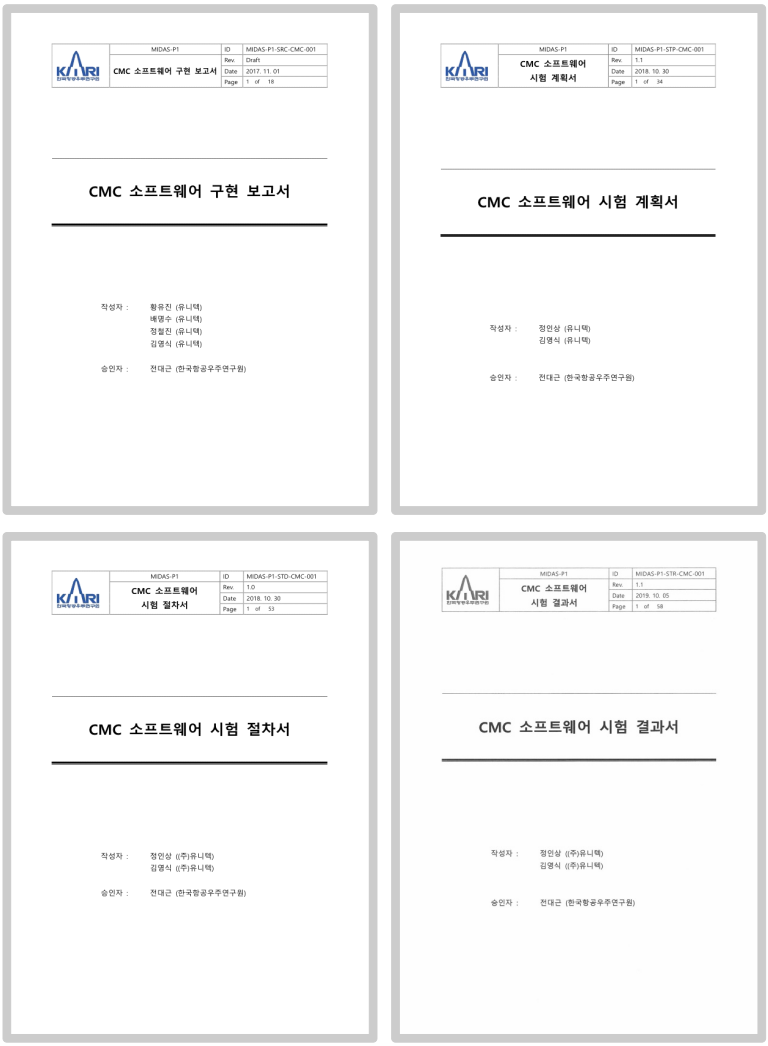


[그림 121] RSA 시험 결과 확인 예

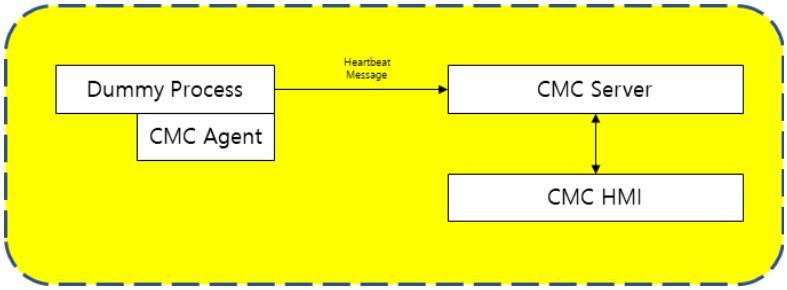
(4) CMC 소프트웨어 구현 및 소프트웨어 시험 (별책 8, 9, 10, 11 참조)

DMAN 시스템의 서브시스템 중 하나인 통제 및 모니터링 콘솔 소프트웨어를 구현(별책 8-4)하고, 개발된 소프트웨어에 대해 소프트웨어 요구사항 명세서에 정의된 소프트웨어 요구사항을 만족하는지 여부를 검증하기 위해 소프트웨어 시험 계획서(별책 9-4) 및 절차서(별책 10-4)를 작성하였다. 또한 작성된 소프트웨어 시험 절차서에 따라 소프트웨어 시험을 수행하였다. 소프트웨어 시험 계획서([그림 122], 별책 9-4)에는 소

프트웨어 시험을 위한 시험장비, 시험조직 등 전반적인 소프트웨어 시험 환경을 정의하고, 총 22개 시험 항목에 대한 시험수준 및 개괄적인 시험 방법을 기술하였다. 소프트웨어 시험 장비는 Dummy Process, CMC-Server, CMC-Agent, CMC-HMI로 구성되며, 시험 구성도는 [그림 123]과 같다. 소프트웨어 시험 절차서([그림 122], 별책 10-4)에는 소프트웨어 시험 계획서에서 정의한 각 시험 항목에 대한 시험환경 및 시나리오, 세부 시험 절차를 기술하였는데, 각 시험 항목에 대한 시험 절차는 [그림 124]와 같이 작성되었다. 소프트웨어 시험 결과서([그림 122], 별책 11-4)에는 소프트웨어 시험 절차서에 기술된 세부 시험 절차에 따른 결과를 정리하여 기술하였다. 시험 결과는 [그림 125]와 같이 CMC GUI에 출력된 결과를 확인하여 Pass/Fail을 기록하도록 하였다. 시험 결과 총 22개 시험 항목 모두 소프트웨어 요구사항을 만족하는 결과를 얻었다.



[그림 122] CMC 소프트웨어 구현 보고서 및 시험 계획서/절차서/결과서(표지)

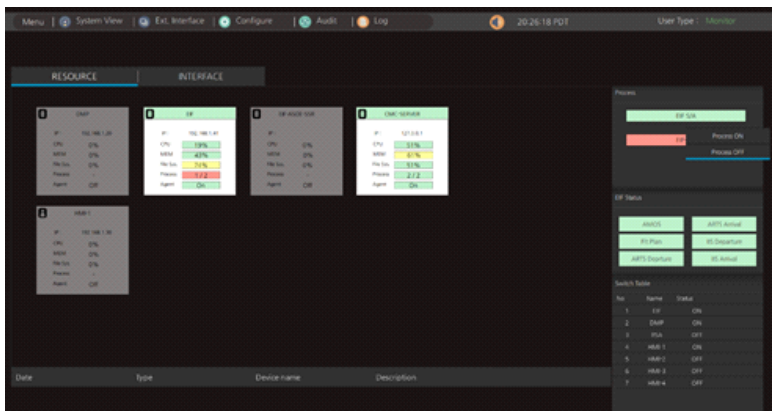


[그림 123] CMC 소프트웨어 시험 장비 구성도

5.4.4.4. 시험 절차

번호	입력 사항	예상 결과	Pass/Fail
1	CMC HMI를 실행한다.	CMC HMI가 실행되어 로그인 화면이 현시 되었다.	
2	다음을 입력하여 로그인한다. ID : root / PW : root	로그인되어 CMC HMI 화면이 현시된다.	
3	상단메뉴의 Log를 클릭한다.	Log 화면이 현시된다.	
4	아래와 같이 Log 검색조건을 설정한다. System : EIF 날짜 : 시험날짜 기준 ±2일 Severity : Normal(ON) Max Count : 100		
5	Search 버튼을 눌러 기간내에 생성된 알람이 있는지 확인한다.	기간내에 생성된 이벤트가 현시된다.	
6	없다면 System View-Resource로가서 EIF-EAI Process를 OFF후에 ON을 실행한다.	EIF-EAI가 재시동된다.	
7	EIF-EAI on Log가 생성됨을 확인한다.	기간내에 생성된 이벤트가 현시된다.	
시험 결과 및 검토 의견		시험결과 별첨 여부	☐
개발자 확인		시험평가자 확인	

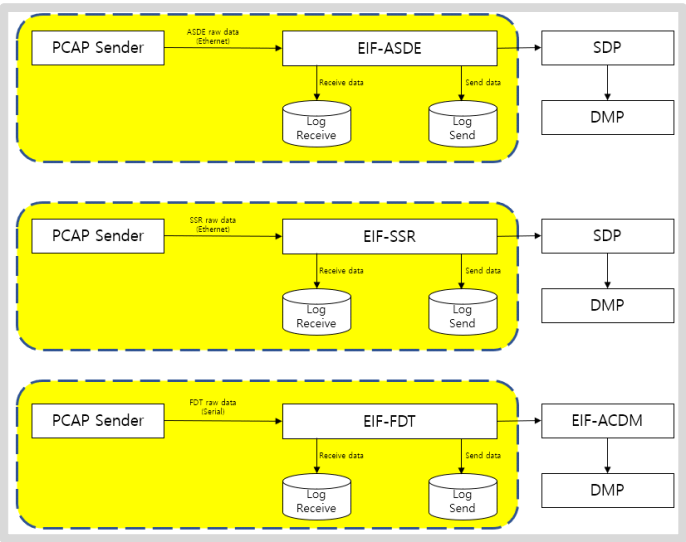
[그림 124] CMC 시험 항목 별 시험 절차 샘플



[그림 125] CMC GUI를 통한 시험 결과 확인 예

(5) EIF 소프트웨어 구현 및 소프트웨어 시험 (별책 8, 9, 10, 11 참조)

DMAN 시스템의 서브시스템 중 하나인 외부 인터페이스 시스템 소프트웨어 구현하고(별책 8-5), 개발된 소프트웨어에 대해 소프트웨어 요구사항 명세서에 정의된 소프트웨어 요구사항을 만족하는지 여부를 검증하기 위해 소프트웨어 시험 계획서(별책 9-5) 및 절차서(별책 10-5)를 작성하였다. 또한 작성된 소프트웨어 시험 절차서에 따라 소프트웨어 시험을 수행하였다. 소프트웨어 시험 계획서([그림 127], 별책 9-5)에는 소프트웨어 시험을 위한 시험장비, 시험조직 등 전반적인 소프트웨어 시험 환경을 정의하고, 총 33개 시험 항목에 대한 시험수준 및 개괄적인 시험 방법을 기술하였다. 소프트웨어 시험 장비는 PCAP Sender, EIF로 구성되며, 시험 구성도는 [그림 126]과 같다. 소프트웨어 시험 절차서([그림 127], 별책 10-5)에는 소프트웨어 시험 계획서에서 정의한 각 시험 항목에 대한 시험환경 및 시나리오, 세부 시험 절차를 기술하였는데, 각 시험 항목에 대한 시험 절차는 [그림 128]과 같이 작성되었다. 소프트웨어 시험 결과서([그림 127], 별책 11-5)에는 소프트웨어 시험 절차서에 기술된 세부 시험 절차에 따른 결과를 정리하여 기술하였다. 시험 결과는 [그림 129]와 같이 EIF Console에 출력된 결과를 확인하여 Pass/Fail을 기록하도록 하였다. 시험 결과 총 33개 시험 항목 모두 소프트웨어 요구사항을 만족하는 결과를 얻었다.



[그림 126] EIF 소프트웨어 시험 장비 구성도



[그림 127] EIF 소프트웨어 구현 보고서 및 시험 계획서/절차서/결과서(표지)

5.4.4.4. 시험 절차

번호	입력 사항	예상 결과	Pass/Fail
1	PCAPSend S/W를 실행시킨다. Load 버튼을 눌러서 ASDE_IIAC_00008_20180208222341.pcap 파일을 로드한다. Send 버튼을 눌러서 시험데이터를 송신한다.		
2	EIF-ASDE를 구동시킨다. CMC의 Ext. Interface TAB을 선택한다. External Control의 ASDE Status를 Enabled로 선택한다.	CMC의 Ext. Interface TAB에서 ASDE Status가 Enabled로 선택된다.	
3	CMC의 Raw Data Display창에서 ASDE를 선택한 후 Display버튼을 누른다.	ASDE Radar로부터 수신한 Raw data가 화면에 현시된다.	
4	CMC의 Ext. Interface TAB을 선택한다. *External Control의 ASDE Status를 Disabled로 선택한다.*	CMC의 Ext. Interface TAB에서 ASDE Status가 Disabled로 선택된다.	
5	*CMC의 Raw Data Display창에서 ASDE를 선택한 후 Display버튼을 누른다.*	ASDE Radar로부터 수신한 Raw data가 화면에 현시가 멈춘다.	
시험 결과 및 검토 의견		시험결과 별첨 여부	■
개발자 확인		시험평가자 확인	

[그림 128] EIF 시험 항목 별 시험 절차 샘플



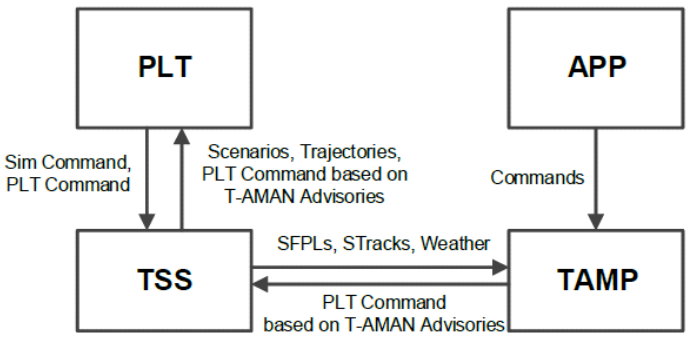
[그림 129] EIF 시험 결과 확인 예

(6) TAMP 소프트웨어 구현 및 소프트웨어 시험 (별책 8, 9, 10, 11 참조)

T-AMAN 시스템의 서브시스템 중 하나인 도착 관리 주처리 시스템 소프트웨어를 구현하고(별책 8-6), 개발된 소프트웨어에 대해 TAMP 소프트웨어 요구사항 명세서에 정의된 소프트웨어 요구사항을 만족하는지 여부를 검증하기 위해 TAMP 소프트웨어 시험 계획서(별책 9-6) 및 절차서(별책 10-6)를 작성하였다. 또한 작성된 TAMP 소프트웨어 시험 절차서에 따라 소프트웨어 시험을 수행하였다. TAMP 소프트웨어 시험 계획서([그림 130], 별책 9-6)에는 소프트웨어 시험을 위한 시험장비, 시험조직 등 전반적인 소프트웨어 시험 환경을 정의하고, 총 20개 시험 항목에 대한 시험수준 및 개괄적인 시험 방법을 기술하였다. TAMP 소프트웨어 시험 장비는 가상 조종석 콘솔(PLT, Pseudo Pilot Console), 교통 모의 시스템(TSS, Traffic Simulation System), 외부 인터페이스 데이터 송신 소프트웨어(APP, Function Simulation Application), TAMP로 구성되며, 시험 구성도는 [그림 131]과 같다. TAMP 소프트웨어 시험 절차서([그림 130], 별책 10)에는 TAMP 소프트웨어 시험 계획서에서 정의한 각 시험 항목에 대한 시험환경 및 시나리오, 세부 시험 절차를 기술하였는데, TAMP 각 시험 항목에 대한 시험 절차는 [그림 132]와 같이 작성되었다. TAMP 소프트웨어 시험 결과서([그림 130], 별책 11-6)에는 TAMP 소프트웨어 시험 절차서에 기술된 세부 시험 절차에 따른 결과를 정리하여 기술하였다. 시험 결과는 상용 네트워크 snipping tool인 Wireshark 프로그램을 이용하여 실제 전송되는 데이터를 확인하거나 또는 [그림 133]과 같이 TAMP 터미널에서 출력된 결과를 확인하여 Pass/Fail을 기록하도록 하였다. 시험 결과 총 20개 시험 항목 모두 TAMP 소프트웨어 요구사항을 만족하는 결과를 얻었다.



[그림 130] TAMP 소프트웨어 구현 보고서 및 시험 계획서/절차서/결과서(표지)

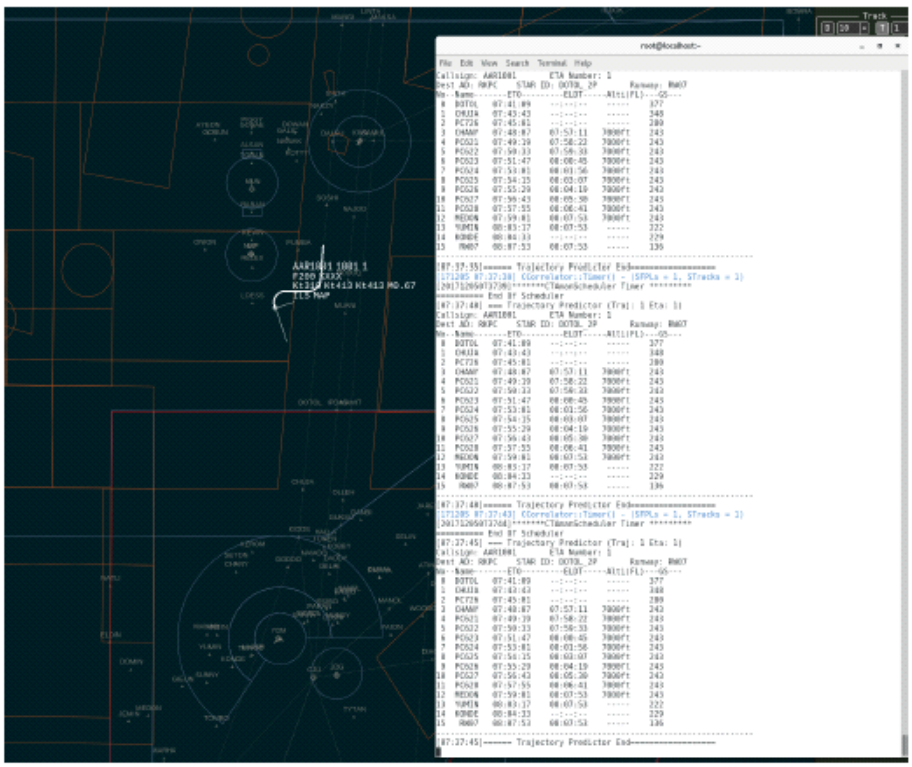


[그림 131] TAMP 소프트웨어 시험 장비 구성도

5.1.7.4. 시험 절차

번호	입력 사항	예상 결과	Pass/Fail
1	실행창에서 “tamp” 명령을 입력하여 TAMP 소프트웨어를 구동한다.	TAMP 소프트웨어 초기화가 완료되었다.	
2	TSS adaptation의 “TRNSettings/AutoStartExcercise.xml” 파일을 열어서 <ExerciseName>에 해당 시나리오 명을 입력한다. 실행창에서 “tss” 명령을 입력하여 TSS 소프트웨어를 구동한다.	TAMP 실행창에 SFPLs 개수가 표시되며, SFPLs의 개수는 100개 이상이다.	
3	10초 후 TAMP 소프트웨어 실행창에서 키보드 자판 “2”을 누른다.	100개 이상의 비행계획에 대해 ELDT와 TLDT가 부여된 비행계획이 현시된다. TLDTT가 있는 항공편 수 =	
4	TAMP 소프트웨어 실행창에서 “top” 명령을 실행하여 %Cpu(s) 값을 기록한다.	%Cpu = %Cpu 값이 70보다 작다.	
5	TAMP 소프트웨어 실행창에서 “free -m” 명령을 실행하여 “Mem:” 부분의 total(시스템의 총 메모리), used(현재 사용중인 메모리), buff/cache 항목의 값을 기록한다.	total(A) = used(B) = buff/cache(C) = (B-C)/A * 100 계산 결과가 70보다 작다.	
시험 결과 및 검토 의견		시험결과 별첨 여부	☐
개발자 확인		시험평가자 확인	

[그림 132] TAMP 시험 항목 별 시험 절차 샘플



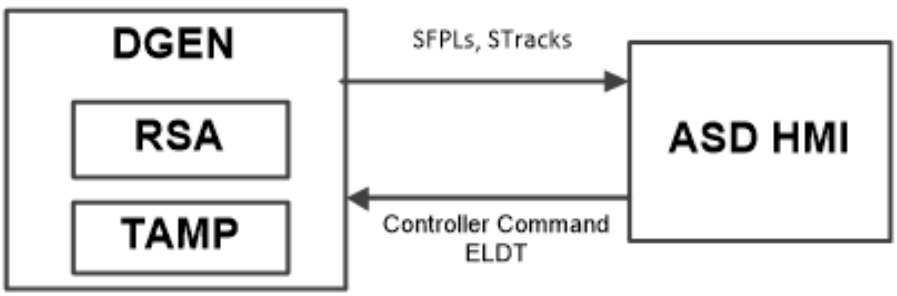
[그림 133] TAMP 터미널을 통한 시험 결과 확인 예

(7) THMI 소프트웨어 구현 및 소프트웨어 시험 (별책 8, 9, 10, 11 참조)

T-AMAN 시스템의 서브시스템 중 하나인 도착 관리 사용자 인터페이스 처리장치(이하 THMI) 소프트웨어를 구현하고(별책 8-7), 개발된 소프트웨어에 대해 THMI 소프트웨어 요구사항 명세서에 정의된 소프트웨어 요구사항을 만족하는지 여부를 검증하기 위해 THMI 소프트웨어 시험 계획서(별책 9-7) 및 절차서(별책 10-7)를 작성하였다. 또한 작성된 THMI 소프트웨어 시험 절차서에 따라 소프트웨어 시험을 수행하였다. THMI 소프트웨어 시험 계획서([그림 134], 별책 9-7)에는 소프트웨어 시험을 위한 시험장비, 시험조직 등 전반적인 소프트웨어 시험 환경을 정의하고, 총 24개 시험 항목에 대한 시험수준 및 개괄적인 시험 방법을 기술하였다. THMI 소프트웨어 시험 장비는 비행계획 및 항적데이터 전송을 위한 DGEN과 공중상황현시 및 스케줄링 데이터 현시를 위한 ASD HMI로 구성되며, 시험 구성도는 [그림 135]와 같다. DGEN 시스템은 시뮬레이트된 비행계획 및 항적데이터 전송을 위한 TSS, 소프트웨어 요구사항 중 주처리 시스템(TAMP)과의 상호 연동을 테스트하기 위해 TAMP 소프트웨어를 사용하였다. 시험 절차서([그림 134], 별책 10-7)에는 THMI 소프트웨어 시험 계획서에서 정의한 각 시험 항목에 대한 시험환경 및 시나리오, 세부 시험 절차를 기술하였는데, THMI 각 시험 항목에 대한 시험 절차는 [그림 136]과 같이 작성되었다. THMI 소프트웨어 시험 결과서([그림 134], 별책 11-7)에는 THMI 소프트웨어 시험 절차서에 기술된 세부 시험 절차에 따른 결과를 정리하여 기술하였다. 시험 결과는 [그림 137]과 같이 THMI 상의 현시화면을 직접 확인하거나 또는 TAMP 터미널에서 출력된 결과를 확인하여 Pass/Fail을 기록하도록 하였다. 시험 결과 총 24개 시험 항목 모두 THMI 소프트웨어 요구사항을 만족하는 결과를 얻었다.



[그림 134] THMI 소프트웨어 구현 보고서 및 시험 계획서/절차서/결과서(표지)

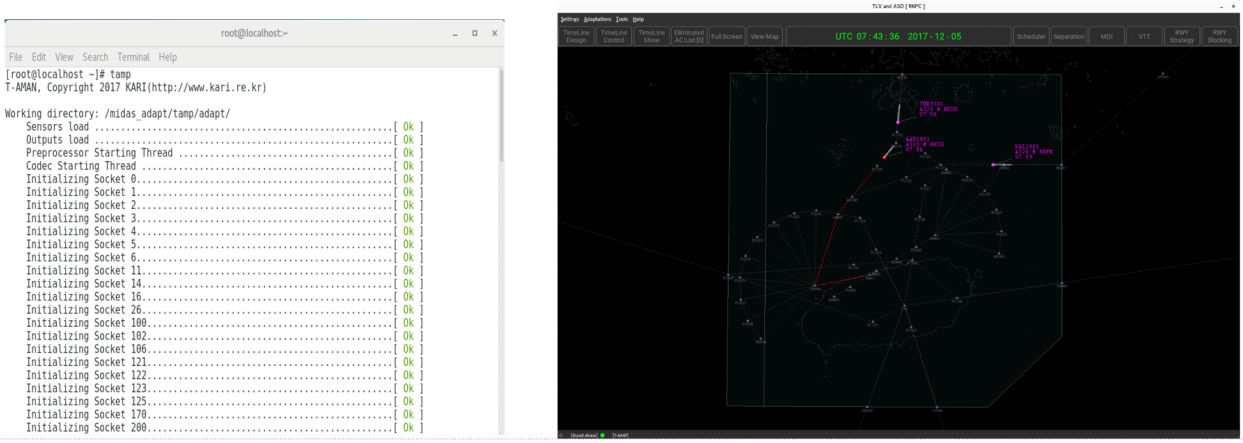


[그림 135] THMI 소프트웨어 시험 장비 구성도

5.1.2.4. 시험 절차

번호	입력 사항	예상 결과	Pass/Fail
1	터미널에서 "tamp" 명령을 입력하여 TAMP 소프트웨어를 구동한다.	TAMP 소프트웨어 초기화가 완료되었다.	
2	TSS adaptation의 "TRNSettings/AutoStartExcercise.xml" 파일을 열어서 <ExerciseName>에 TSS_STD_TAMP_StressTest.xml 이라고 입력한다. 터미널에서 "tss" 명령을 입력하여 TSS 소프트웨어를 구동한다.	TAMP 터미널에 SFPLs 개수가 표시되며, SFPLs의 개수는 100개 이상이다.	
3	10초 후 TAMP 소프트웨어 터미널에서 키보드 자판 "2"을 누른다. ELDT 정보가 있는 항공편의 개수를 기록한다.	100개 이상의 비행계획에 대해 ELDT가 부여된 비행계획이 현시된다. ELDT가 있는 항공편 수 =	
4	터미널에서 "asd" 명령을 입력하여 ASDViewer 소프트웨어를 구동한다.	ASDViewer 가 실행되어 화면이 현시되었다.	
5	ASDViewer 메뉴의 "Tools>Search FlightStrip"을 클릭한다.	Aircraft Information 다이얼로그가 현시되었다.	
6	Aircraft Information 다이얼로그의 Sort Setting의 Aircraft콤보에서 "All"을 선택한다.	하단의 리스트에 100개 이상의 비행계획이 현시된다. 항공편 수 =	
시험 결과 및 검토 의견		시험결과 별첨 여부	☐
개발자 확인		시험평가자 확인	

[그림 136] THMI 시험 항목 별 시험 절차 샘플

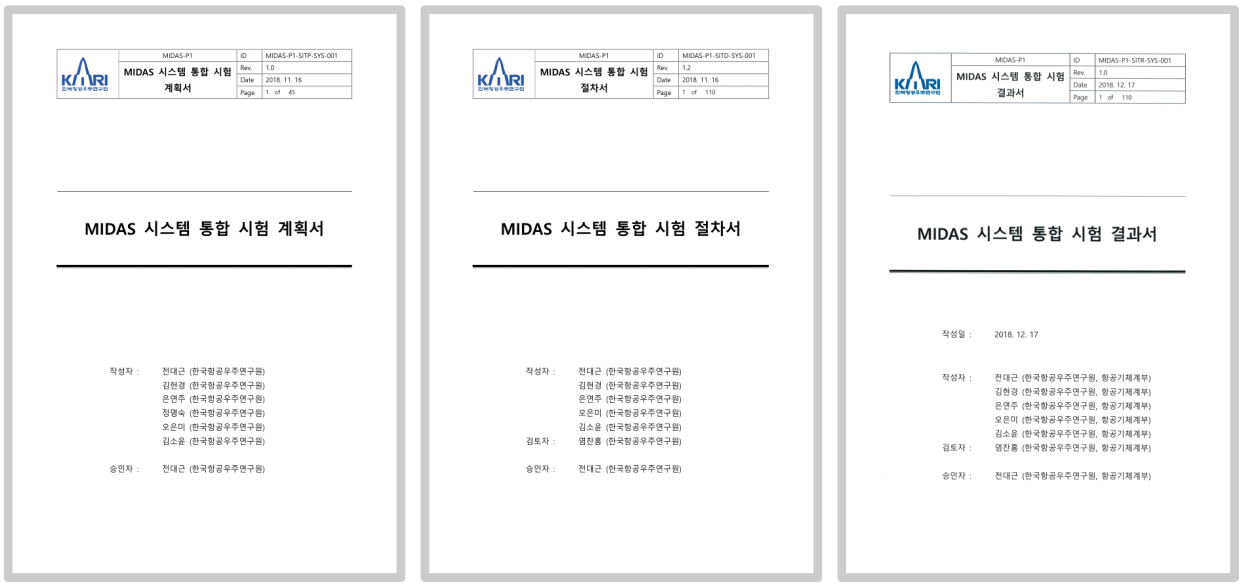


[그림 137] THMI 시험 결과 확인 예

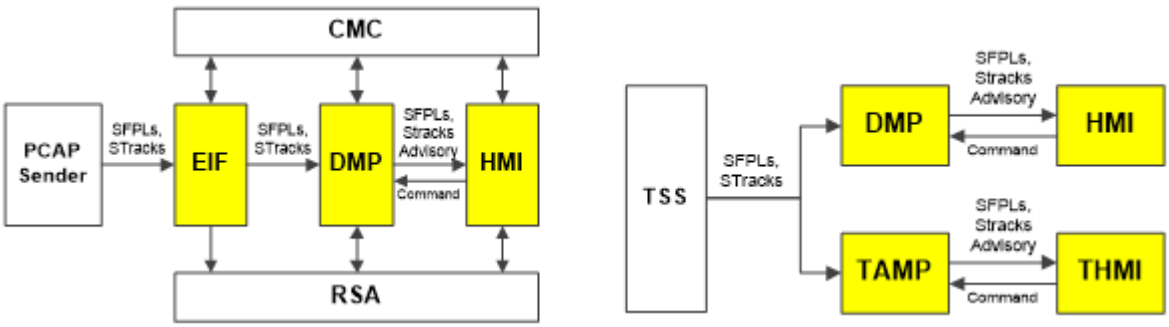
아) 시스템 통합 및 시험 (별책 12 참조)

DMAN 및 T-AMAN 서브시스템에 대한 소프트웨어 기능 시험을 완료하고, 이들 서브시스템들을 통합한 MIDAS 시스템에 대한 통합 시험 계획 및 절차를 수립한 후 시스템 통합 시험을 수행하였다([그림 138], 별책 12). MIDAS 시스템 통합 시험은 출발관리 시스템 요구사항 명세서 및 도착관리 시스템 요구사항 명세서에 기술된 시스템 요구사항에 대한 만족 여부를 평가하기 위한 시험으로, 시험 계획 및 절차는 이들 문서에 근거하여 수립되었다. MIDAS 시스템 통합 시험 절차서에는 시스템 통합 시험을 위한 시험 장비 및 시험 환경 정의하고, 총 33개 시험 항목에 대한 시험수준 및 개괄적인

시험 방법을 기술하였다. MIDAS 시스템 통합 시험을 위한 장비는 출발 관리 주처리 시스템, 출발 관리 사용자 인터페이스 처리 장치, 녹화 및 통계 분석 시스템, 통제 및 모니터링 콘솔, 출발 관리 외부 인터페이스 시스템, 도착 관리 주처리 시스템, 도착 관리 사용자 인터페이스 처리 장치, 교통 모의 시스템, 녹화자료 재생 시스템으로 구성되며, 시험 구성도는 [그림 139]와 같다. MIDAS 시스템 통합 시험의 각 시험 항목에 대한 시험 절차는 [그림 140]과 같이 작성되었으며, 그에 따른 통합 시험 결과서는 별책 12에 수록하였다.



[그림 138] MIDAS 시스템 통합 시험 계획서/절차서/결과서(표지)



[그림 139] 녹화자료를 이용한 시험 환경(좌) 및 시뮬레이션을 이용한 시험 환경(우)

5.3.3.4. 시험 절차

번호	입력 사항	예상 결과	Pass/Fail
1	DMP, TAMP, MSV 소프트웨어를 구동한다.	DMP, TAMP, MSV 소프트웨어 초기화가 완료되었다.	
2	TSS adaptation의 "TRNSettings/AutoStartExcercise.xml" 파일을 열어서 <ExerciseName>에 해당 시나리오 명을 입력한다. 실행창에서 "tss" 명령을 입력하여 TSS 소프트웨어를 구동한다.	MSV에 항공편 목록이 현시된다.	
3	MSV Menu 설정에서 현시 항목에 다음의 항목이 포함되도록 설정하고, 현시 항목을 "DEPARTURE"로 설정한다. - A/D, Callsign, Type, ADEP, ADES, RW, EOBT, TSAT, TTOT, ELDT, TLDT	출발 항공편의 정보가 현시되며, ELDT, TLDT를 제외한 모든 항목의 값이 현시된다.	
4	표 상단의 "Callsign"을 클릭한다.	Callsign을 기준으로 항공편 목록이 정렬되었다.	
5	표 상단의 "TTOT"를 클릭한다.	TTOT를 기준으로 항공편 목록이 정렬되었다.	
6	현시 항목을 "ARRIVAL"로 설정한다.	도착 항공편의 정보가 현시되며, TSAT, TTOT를 제외한 모든 항목의 값이 현시된다.	
7	표 상단의 "ELDT"를 클릭한다.	ELDT를 기준으로 항공편 목록이 정렬되었다.	
시험 결과 및 검토 의견		시험결과 별첨 여부	☐
개발자 확인		시험평가자 확인	

[그림 140] MIDAS 시스템 통합 시험 항목 별 시험 절차 샘플

각 구성요소를 통합하는 시스템 통합 및 시험 단계를 완료한 후, 인천공항과 제주공항에서의 운용시험을 수행하였는데, 이 과정에서, 출도착 통합 스케줄링의 효율화를 위해 출발 및 도착 관리 기능을 하나의 소프트웨어로 통합하고, 설정 파일에 따라 기능을 구분하는 방안을 도출하였다. 그 결과 기존의 DMP, TAMP는 MIDAS Main Processor(MMP)로 통합되었고, 기존 HMI과 THMI도 MIDAS HMI(MHMI)로 통합되었다. 통합 스케줄러인 MMP는 기존의 DMP와 TAMP의 모든 일반, 기능, 성능 요구사항을 포함하고, 상세 기능 면에서는 동일하지만, 출발-도착 연계 부분을 강화함으로써 외부 인터페이스를 통해 느슨하게 연결되었던 부분을 내부 호출 로직으로 변경하고, 공항 환경에 맞는 설치 운용 시, 소프트웨어 실행파일 수준이 아닌 설정 파일 수준으로 단순화하여 효율성과 편의성을 향상시켰다. MHMI 역시 기존 HMI와 THMI로 분산되어 있던 자원을 통합하여 설치 효율과 사용자의 편의를 제고하였다. 시범운용 과정에서의 소프트웨어 수정 및 통합 관련 경과 및 관련 산출물은 4)-다)-(3) 시범운용 수행 절에 기술하였다.

4) 시험평가

시험평가는 개발된 시스템에 대한 다양한 형태의 검증을 위해 필수적으로 거쳐야 할 단계로서, 본 과제에 개발된 시스템이 최신 항공교통관리 기술에 근거한 점을 고려할 때 그 중요성은 매우 높다 할 수 있다. 일반적인 시스템에 대한 시스템 통합시험은

3)절에서 다루었으며, 본 절에서는 본 과제 진행과정에서 수행한, 다양한 종류의 최신 항공교통관리 기술/시스템 관련 정량적/정성적 시험에 대해 기술하였다.

먼저 fast-time 시뮬레이션은 스케줄러의 기능 점검 및 편익 분석 목적으로 수행하였다. 본 과제에서는 인적 요소를 고려한 실시간 HITL 시뮬레이션도 수행하였는데, 이 시험은 현장에 개발 시스템을 설치하여 본격 운용하기 전에 현장과 매우 유사한 조건에서 시스템의 효용성과 편익을 사전 검증하기 위한 목적으로 국외 선진기관에서는 널리 이용하고 있다.

한편, 본 과제의 성과물은 교통량이 많은 대형 공항에서 그 효용이 극대화될 수 있음을 고려하여, 국토교통부, 공항공사와의 협조 하에 제주공항 및 인천공항에서 시범운용을 진행하였다. 또한 공항에 설치될 시스템은 장기적인 시범운용과 독립적으로 소프트웨어 신뢰성에 대한 검증이 요구되므로, 본 과제에서는 제3자에 의한 소프트웨어 정적/동적 시험을 수행하였으며, 공공기관인 한국산업기술시험원을 통해 소프트웨어 품질인증인 Good Software(GS) 인증도 함께 추진하였다. 관련한 상세 내용은 아래 절에 기술하였다.

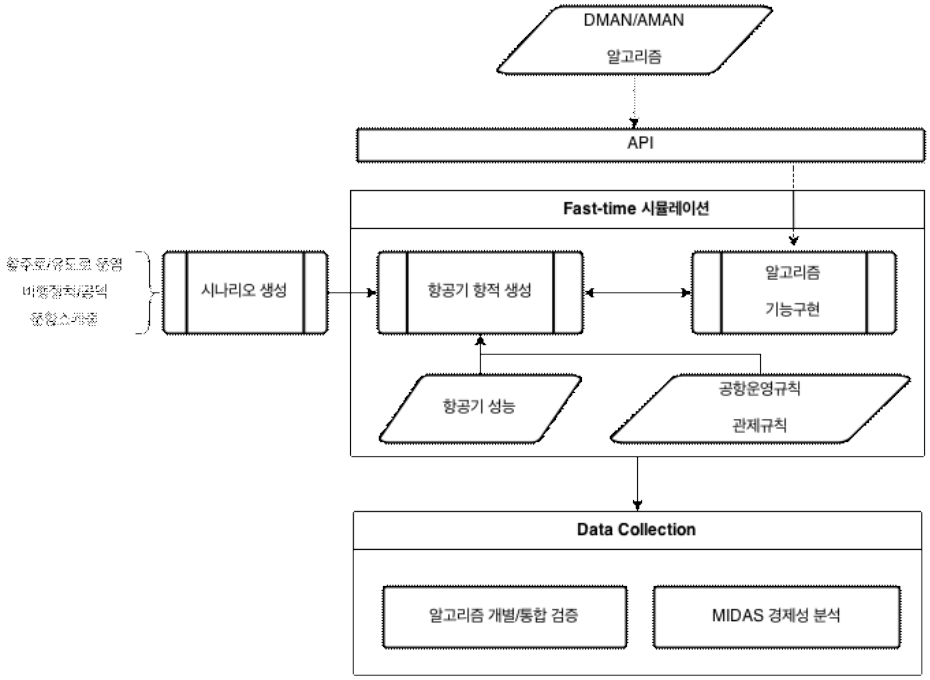
가) Fast-Time 시뮬레이션

Fast-time 시뮬레이션은 개발된 알고리즘을 빠른 시간 안에 검증할 수 있는 방법으로 항공교통관리 연구에 매우 유용하게 사용된다. 또한 새로운 기술 및 시스템 도입에 따른 편익 분석(baseline vs. 개발 기술/시스템)용으로도 활용 가능하다. 본 연구에서는 편익 분석 및 알고리즘 검증용으로 fast-time 시뮬레이션을 활용하였으며, 이와 관련한 상세 내용은 아래 절에 기술하였다.

(1) Fast-Time 시뮬레이션 모델 개발(편익 분석용)

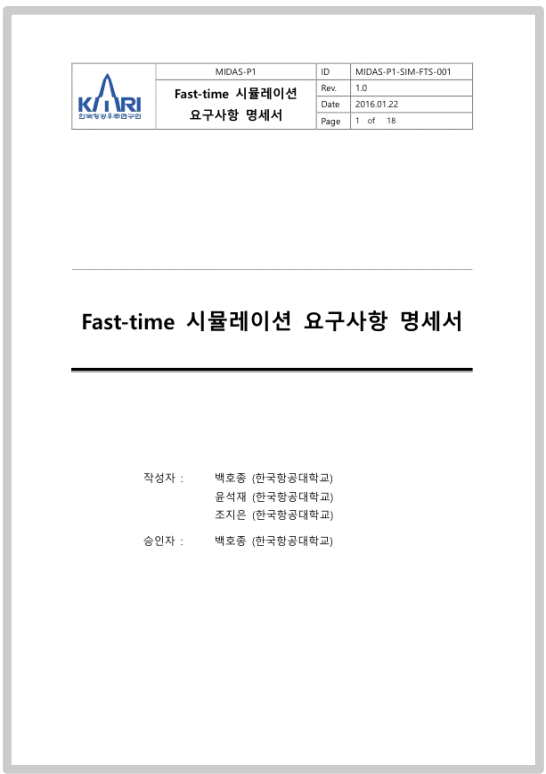
(가) Fast-Time 시뮬레이션 요구사항 정의 (별책 13 참조)

해외 유사연구 사례 분석을 토대로 fast-time 시뮬레이션 구성요소와 인터페이스 및 요구사항을 정의하였으며, 그 결과로서 “Fast-time 시뮬레이션 요구사항 명세서”를 작성하였다(별책 13). Fast-time 시뮬레이션 구성요소는 시나리오 생성, 시뮬레이션, 알고리즘 연동 API 그리고 결과수집으로 나뉘며 인터페이스는 다음 [그림 141]과 같다.



[그림 141] Fast-time 시뮬레이션의 구성요소와 인터페이스 구조

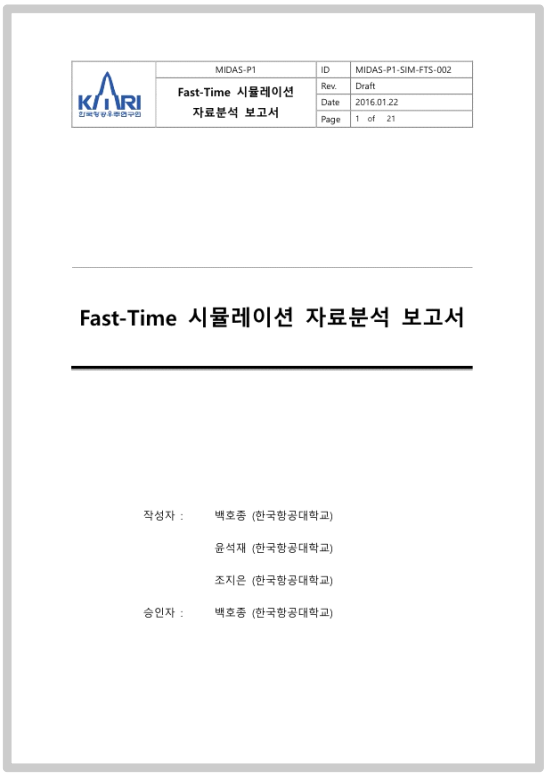
Fast-time 시뮬레이션 요구사항은 시뮬레이션 일반, 시뮬레이션 입력, 시뮬레이션 실행, 시뮬레이션 출력 요구사항으로 구분하였으며, 자세한 사항은 별책 13 (MIDAS-P1-SIM-FTS-001)에 기술되어 있다.



[그림 142] Fast-Time 시뮬레이션 요구사항 명세서(표지)

(나) Fast-Time 시뮬레이션 자료 분석 (별책 13 참조)

Fast-time 시뮬레이션 구축을 위해 필요한 활주로 및 공항주변 공역에서의 항공기 운항패턴을 파악하기 위해 항적자료를 토대로 기초자료 분석을 수행하였다.([그림 143], 별책 13) 본 연구에서는 시뮬레이션 분석의 기초자료가 되는 두 가지 운항패턴을 분석하였으며 자세한 사항은 별책 13 (MIDAS-P1-SIM-FTS-002)에 기술되어 있다. 항공기 운항 패턴은 기상, 교통량의 증가 및 항공기 기종변화, 항행시설의 개선 등 운항 여건에 따라 크게 달라지는 부분으로 주기적인 자료수집과 분석을 통해 지속적으로 이루질 필요가 있다.



[그림 143] Fast-Time 시뮬레이션 자료분석 보고서(표지)

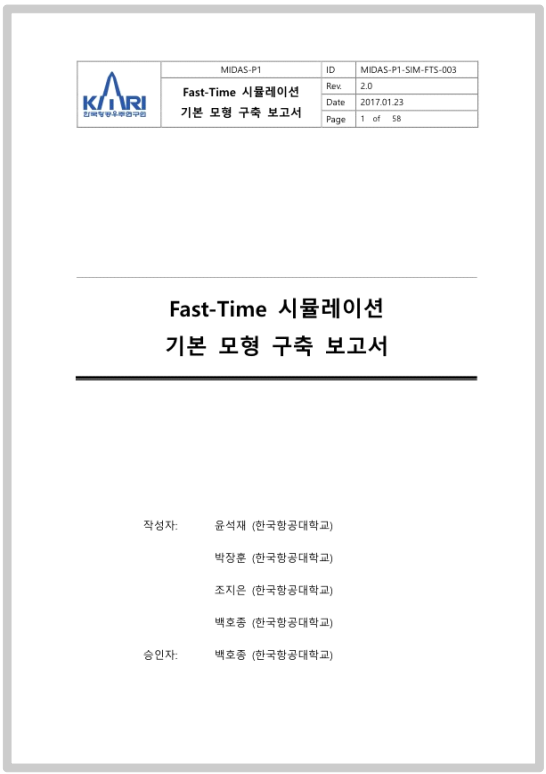
(다) Fast-Time 시뮬레이션 기본모형 구축 (별책 13 참조)

MIDAS 알고리즘 도입 전후의 편익을 분석하기 위해 fast-time 시뮬레이션 기본모형을 구축([그림 144], 별책 13, MIDAS-P1-SIM-FTS-003)하였다. MIDAS의 알고리즘과 시뮬레이션 모형을 연계([그림 145])하는 방법을 1) Post-process, 2) Semi-API, 3) Full API로 설정하였으며, 이를 시뮬레이션 모형 선정을 위한 조건으로 활용하였다.

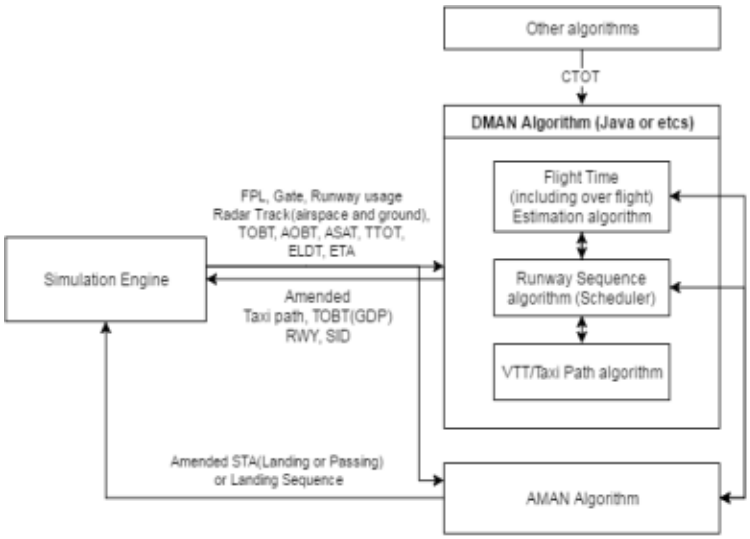
상용 항공교통 시뮬레이션 모형 중 요구조건을 만족하며 MIDAS 알고리즘 연계

방법 3가지가 모두 적용가능하고, 상대적으로 사용이 편리한(기초적 프로그래밍 기술만 요구) TAAM 시뮬레이션 모형을 1차적으로 선정하였다.

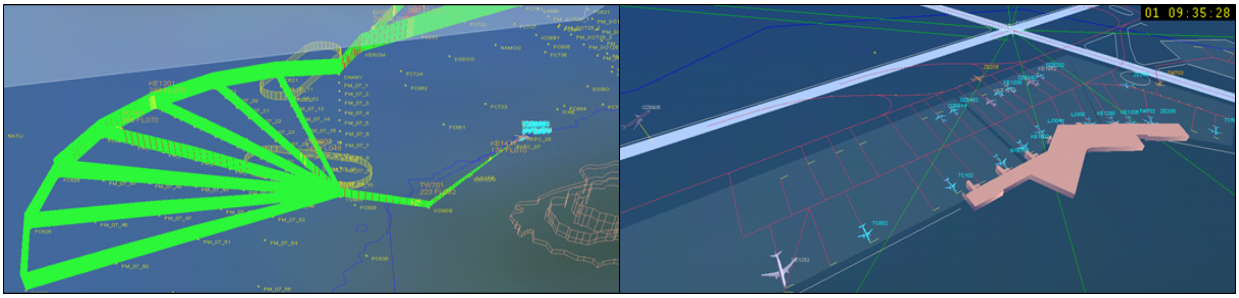
공간적 범위를 제주국제공항 및 주변공역으로 설정하였고, 2016년 12월 22일 기준 AIP를 수집하여 기본모형을 구축([그림 146])하였다.



[그림 144] Fast-Time 시뮬레이션 기본 모형 구축 보고서(표지)



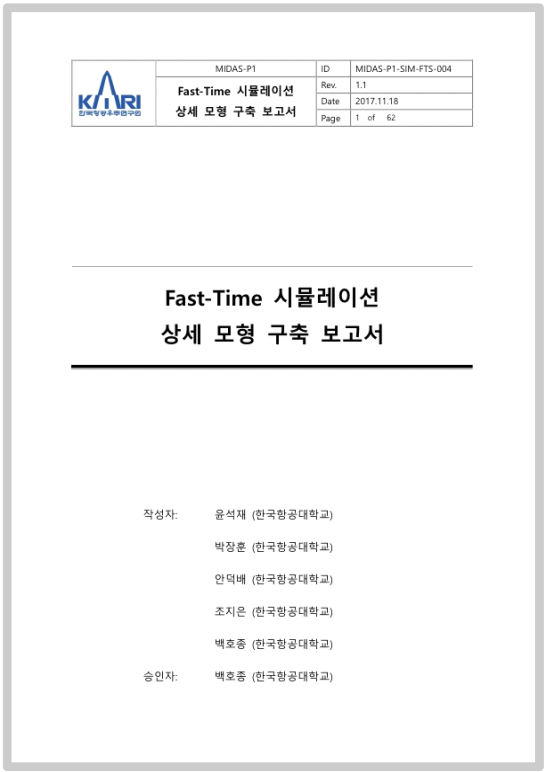
[그림 145] 편익분석을 위한 Fast-Time 시뮬레이션 기본 구성도



[그림 146] TAAM Simulation 기본모형 구축 결과 (공역 및 지상)

(라) Fast-Time 시뮬레이션 상세모형 구축 (별책 13 참조)

MIDAS 알고리즘 도입 전후의 편익 분석을 위한 Fast-Time Simulation(FTS) 상세모형을 구축하였다. 이를 위해 (다)절에서 기술한 3가지 활용계획 중 post-process 방법을 선정하여 FTS 활용 방법론을 제시하였다. 기본적으로 post-process 방법은 1) “기본 운항정보”와 2) “기본 운항정보를 토대로 MIDAS 알고리즘을 통해 도출된 개선된 운항정보”를 사용하여 각각 시뮬레이션 수행 후 두 운항정보 1)과 2)의 운영효율성을 비교하는 방법이다. 이러한 post-process 방법은 MIDAS 알고리즘을 FTS 모형에 직접 연동하여 운영하는 API 방법과 비교하여 개발에 소요되는 시간 및 비용이 상대적으로 적으며, 알고리즘 연동의 난이도 또한 낮아 구축 및 분석에 용이하다는 장점이 있다. 또한, 상용으로 판매되고 있는 FTS 모형들은 아직까지 API 기능이 개발 중인 단계로, 적용에 현실적인 어려움이 있어 최종적으로 post-process 방법을 선정하였다. 또한 자료수집 및 변환을 위한 전산프로그램을 개발하였으며, 기 구축한 기본모형의 입력 값들을 업데이트 하여 우리나라 전 공역에 대한 시뮬레이션 모형을 구축하고 ([그림 148] 참조), 1차 검증(verification)을 수행하여 모형 구동 시 발생할 수 있는 오류를 제거하였다. 구축된 시뮬레이션 모형의 적정을 검토하기 위해 김포→제주 노선, 김포출발 항공기에 Ground Delay Program(GDP) 적용에 따른 비행시간 비교를 예시로 수행하고, 그 결과를 분석 및 제시하였다.([그림 149], MIDAS-P1-SIM-FTS-004 참조)

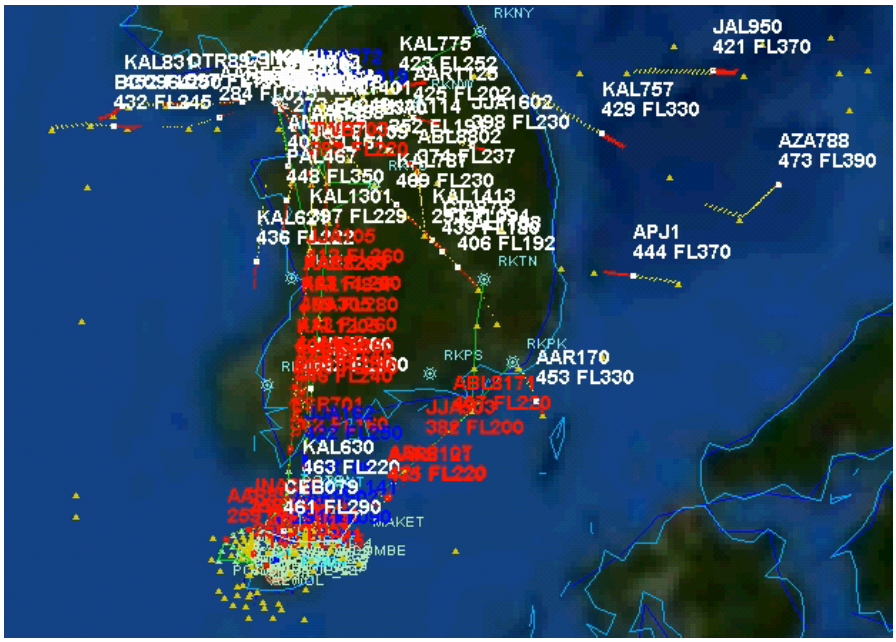


MIDAS-P1	ID	MIDAS-P1-SIM-FTS-004
Fast-Time 시뮬레이션 상세 모형 구축 보고서	Rev.	1.1
	Date	2017.11.18
	Page	1 of 62

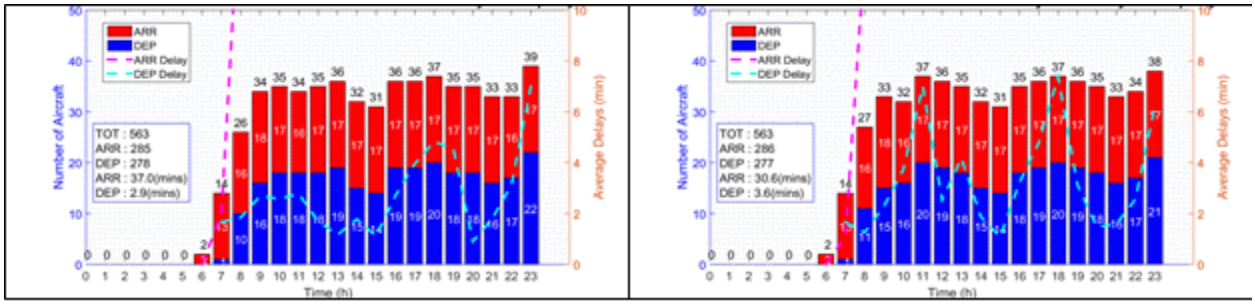
Fast-Time 시뮬레이션
상세 모형 구축 보고서

작성자: 윤석재 (한국항공대학교)
박장훈 (한국항공대학교)
안덕배 (한국항공대학교)
조지은 (한국항공대학교)
백호종 (한국항공대학교)
승인자: 백호종 (한국항공대학교)

[그림 147] Fast-time 시뮬레이션 상세 모형 구축 보고서(표지)



[그림 148] Fast-time simulation 상세모형 구축 (예시)



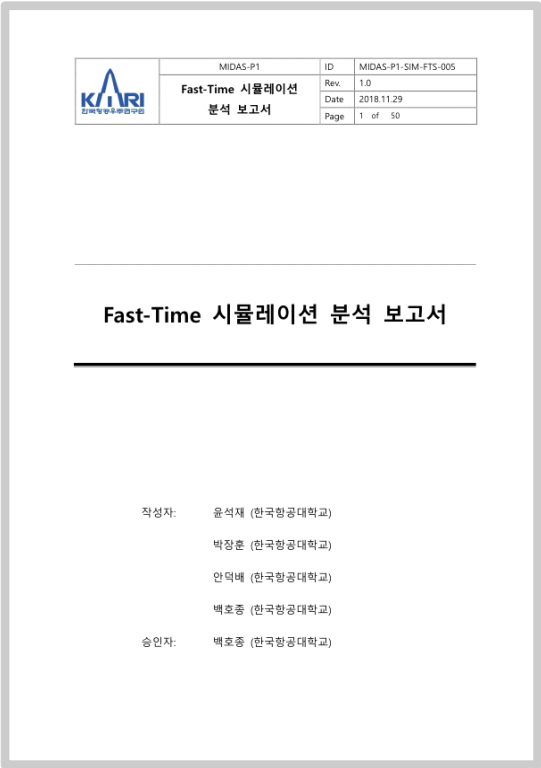
[그림 149] 김포→제주 노선 중 김포출발 항공기 GDP 적용시 지연시간 결과 예시

(좌: GDP 적용 전, 우: GDP 적용 후)

(2) Fast-Time 시뮬레이션을 통한 편익분석

(가) 1차 수행 결과 (별책 13 참조)

상세모형 구축 및 1차 검증 이후, 1) 시뮬레이션 모형 2차 검증(model validation) 및 2) MIIDAS 알고리즘에 대한 편익분석이 수행되었다.([그림 150], 별책 13, MIDAS-P1-SIM-FTS-005) 시뮬레이션 모형의 2차 검증은 구축된 모형이 실제와 유사한 결과를 도출하는지를 확인하는 과정, 즉 모형의 정확도를 확인하는 과정이다. 정확도는 시뮬레이션 분석결과와 과거의 운항기록 또는 항적자료와의 비교를 통해 확인되며, 이때, 기준치 이상의 오차가 발생할 경우 내부 변수를 수정하는 모형 정산 (model calibration)과정을 거치게 된다. 예를 들어, 관제사가 실제 적용하는 분리치가 (인적요인으로 인해) 기준값과 차이를 보이는 경우 모형의 결과에 영향을 미치며, 이에 대한 보정이 필요하다. [그림 151]은 실제 관측된 분리치 분포와 시뮬레이션 결과 도출된 항공기간 분리치 분포를 도식화하여 보여준 것으로 (청색: 관측된 분리치, 적색: 시뮬레이션 분리치) 그 유사성을 확인할 수 있다. 2차 검증의 또 다른 예는 TMA 구역에서의 vectoring area 및 고도에 대한 부분으로, 실제와 3D 공간 상에서의 모형 정확성을 검증, 보완하였다. 검증된 모형을 활용하여 MIDAS 알고리즘 적용 전후에 대한 시뮬레이션 분석을 통해 편익분석이 수행되었다. 편익은 지연 감소에 따른 시간 및 유류비용 감소 편익으로 나누어지며, 시간 편익은 주로 승객 및 화물의 시간가치를 활용하여 분석을 수행하였다. 지연 감소로 인한 유류비용 감소 편익은 항공사에 귀속되는 편익으로 시뮬레이션 모형에 내재된 BADA 자료를 활용한 분석결과에 기초하여 산정하였다.

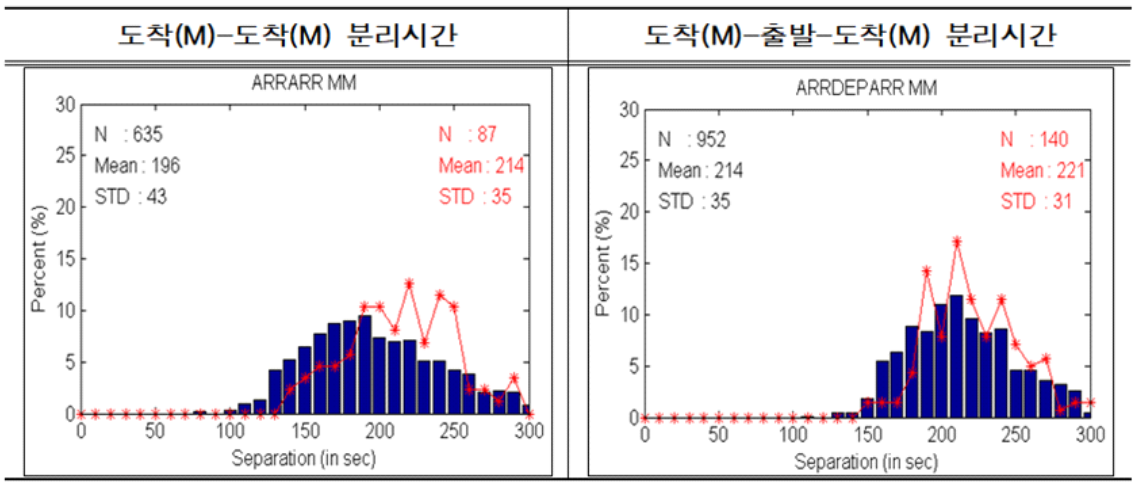


MIDAS-P1		ID	MIDAS-P1-SIM-FTS-005
	Fast-Time 시뮬레이션 분석 보고서	Rev.	1.0
		Date	2018.11.29
		Page	1 of 50

Fast-Time 시뮬레이션 분석 보고서

작성자: 윤석재 (한국항공대학교)
박장훈 (한국항공대학교)
안덕배 (한국항공대학교)
백호종 (한국항공대학교)
승인자: 백호종 (한국항공대학교)

[그림 150] Fast-Time 시뮬레이션 분석 보고서(표지)

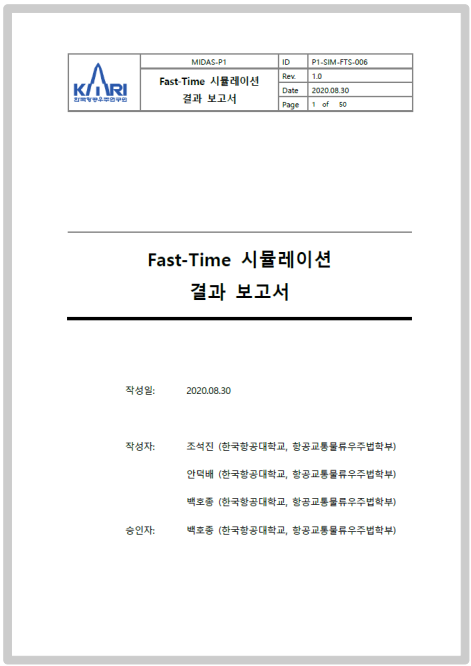


[그림 151] 실제 분리치와 시뮬레이션 내 분리치 간의 비교분석

(나) 2차 수행 결과 (별책 13 참조)

FTS를 통한 MIDAS 알고리즘의 1차 편익 분석 수행 이후, 인천공항 제2여객터미널 개항 이후 시점을 모사할 수 있도록 FTS 모형을 수정·보완하여 2차 분석을 수행하였다.([그림 152], 별책 13) 전년도 분석에서 사용된 모형을 토대로 터미널 개항 상황에 맞게 분석일 선정, 입력 자료 조정, 시뮬레이션 검증(model validation) 최신화 및

MIDAS 알고리즘 적용 전후의 시나리오 분석을 통해 편익 분석이 수행되었다. 2차 분석에서의 모형 검증 지표로서 시간대별 출·도착 운항 분포, 출·도착 항공기 지상이동 소요시간(AXIT, AXOT)를 활용하였다. [그림 153]은 검증 결과의 예시를 나타내며, 검증 결과에 대한 자세한 사항은 별책 13(MIDAS-P1-SIM-FTS-006)에 기술되어 있다. 편익 분석은 1) 기본적으로 출발 항공기의 지상이동시간(AXOT) 감소 효과를 측정한 이후, 2) 지상이동시간(AXOT) 감소로 인한 출발 항공기의 연간 유류비용 감소 편익 산정 순으로 진행하였다. 편익 분석 결과, 출발 항공기의 지상이동시간(AXOT)는 항공기당 평균 4.3분의 감소 효과(MIDAS 적용 전: 약 20.1분/대, MIDAS 적용 후: 약 15.8분/대)가 나타남을 확인([그림 154])하였다. 지상이동시간(AXOT) 감소에 따른 출발 항공기의 연간 유류비용 절감 편익을 포함한 상세 내용은 별책 13에 구체적으로 기술하였다.



KARI	MIDAS-P1	ID	P1-SIM-FTS-006
	Fast-Time 시뮬레이션 결과 보고서	Rev.	1.0
		Date	2020.08.30
		Page	1 of 50

Fast-Time 시뮬레이션
결과 보고서

작성일: 2020.08.30

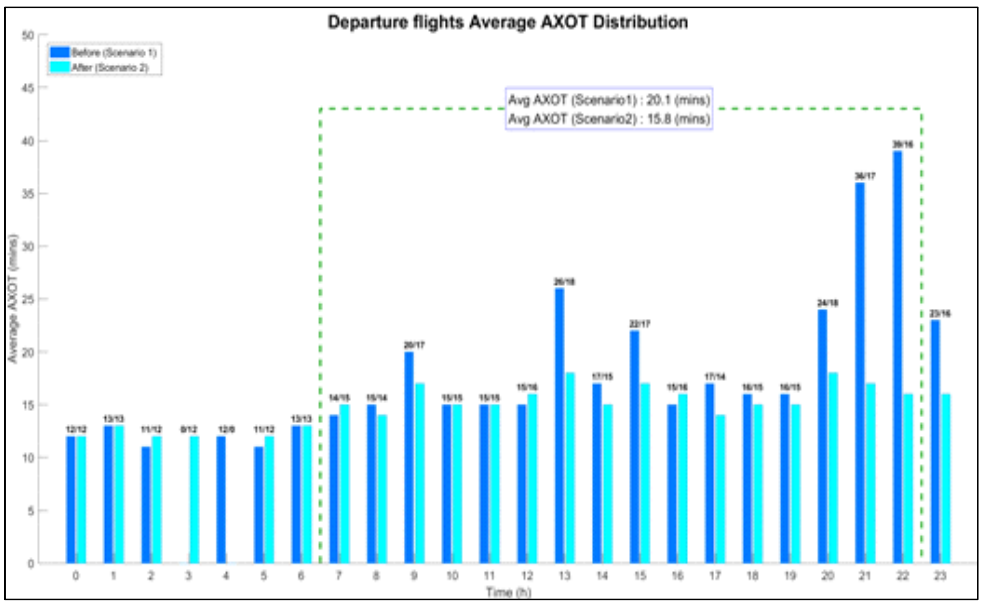
작성자: 조석진 (한국항공대학교, 항공교통물류우주법학부)
안덕배 (한국항공대학교, 항공교통물류우주법학부)
백호종 (한국항공대학교, 항공교통물류우주법학부)

승인자: 백호종 (한국항공대학교, 항공교통물류우주법학부)

[그림 152] Fast-Time 시뮬레이션 결과 보고서(표지)



[그림 153] 실제와 시뮬레이션 내의 시간당 출도착 항공편 비교 분석(위: 도착 항공편, 아래: 출발 항공편)

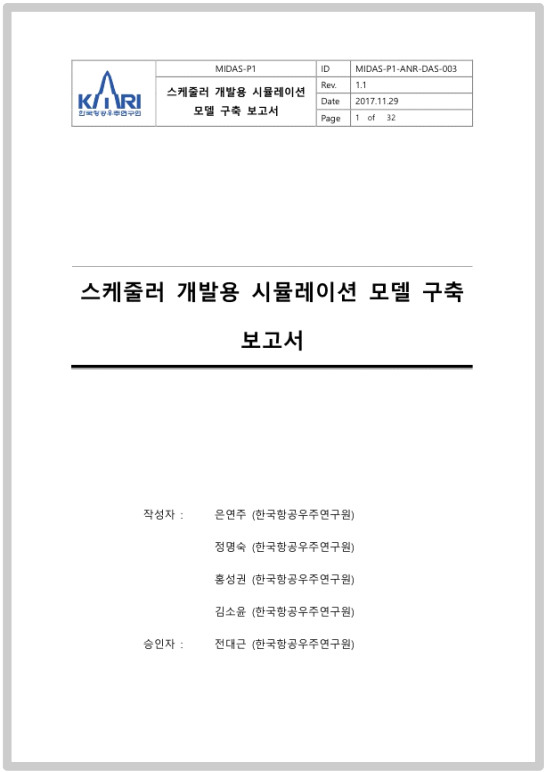


[그림 154] 출발 항공기 평균 AXOT 분석 결과 (좌: MIDAS 도입 전, 우: MIDAS 도입 후)

(3) Fast-Time 시뮬레이션 모델 개발(스케줄러 검증용) (별책 23 참조)

출발 및 도착관리에 따른 효용성 평가 및 경제성 분석을 목적으로 하는 장기적 관점에서의 fast-time 시뮬레이션 이외에, 스케줄링 알고리즘의 개발 및 아이디어 검증을 목적으로 하는 fast-time 시뮬레이션 모델을 별도로 구축하였다.([그림 155], 별책

23, MIDAS-P1-ANR-DAS-003) 장기적 관점에서의 fast-time 시뮬레이션과의 차이점은 적용되는 시뮬레이션 시나리오가 1시간-3시간 정도로 짧으며, 경제성 분석보다는 개개의 항공기의 움직임을 관찰하여 스케줄러(스케줄링 알고리즘)의 기능/성능 및 오류를 검출하고자 하는데 그 목적이 있다. [그림 156]은 인천공항과 제주공항의 node-link 모델 구축 결과로서, 상세한 사항은 별책 23에 정리하였다.



MIDAS-P1	ID	MIDAS-P1-ANR-DAS-003
스케줄러 개발용 시뮬레이션 모델 구축 보고서	Rev.	1.1
	Date	2017.11.29
	Page	1 of 32

스케줄러 개발용 시뮬레이션 모델 구축 보고서

작성자 : 은연주 (한국항공우주연구원)
정명숙 (한국항공우주연구원)
홍성권 (한국항공우주연구원)
김소윤 (한국항공우주연구원)
승인자 : 전대근 (한국항공우주연구원)

[그림 155] 스케줄러 개발용 시뮬레이션 모델 구축 보고서(표지)

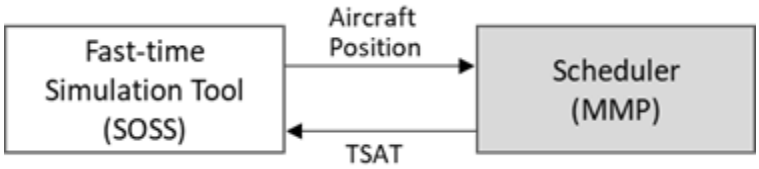


[그림 156] Node-Link 모델 구축(좌:인천공항, 우:제주공항)

(4) Fast-Time 시뮬레이션을 통한 스케줄러 검증

본 과제에서 제안하는 출발관리시스템의 운용 개념 및 스케줄링 알고리즘 검증을 위해 fast-time 시뮬레이션을 활용하였다. Fast-time 시뮬레이션 도구로는 NASA와의 공동연구를 통해 확보한 Surface Operations Simulator and Scheduler (SOSS)을 사용하였다.

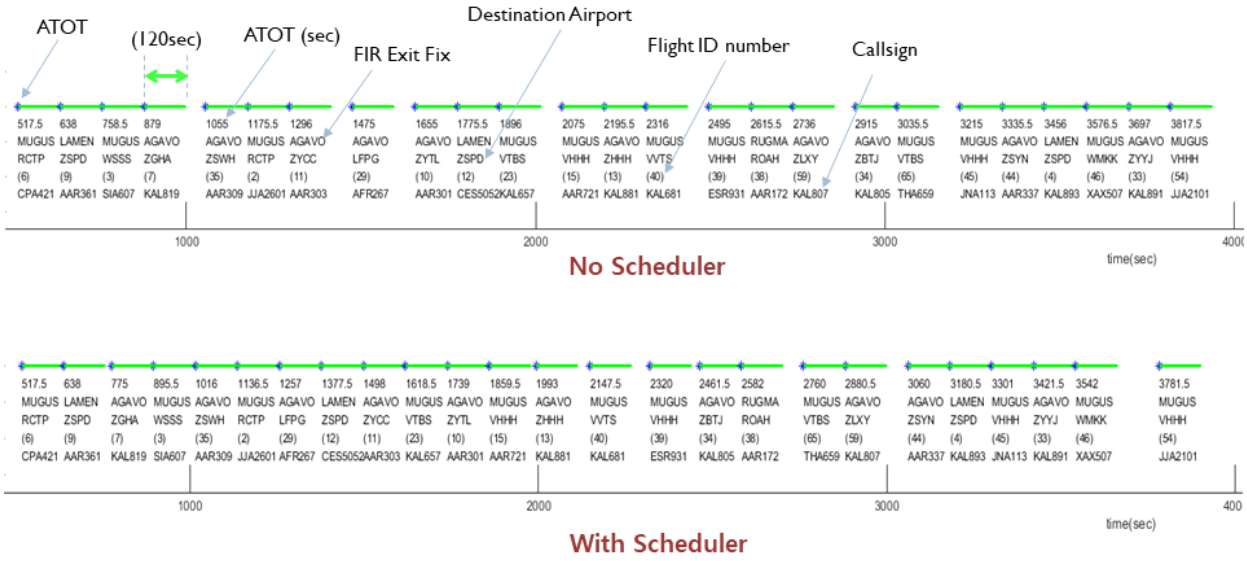
Fast-time 시뮬레이션에서는, SOSS와의 데이터 연동을 위한 인터페이스 모듈이 추가된, MIDAS 시스템의 MMP를 그대로 사용하고 있다. MMP는 SOSS의 시뮬레이션 시나리오에서 항공기의 기초 정보를 획득한 후, 아래 [그림 157]와 같이 데이터 연계를 통해 배속 시뮬레이션 도중 생성되는 항공기의 위치 데이터를 받고, 이 데이터를 반영한 스케줄링 결과를 다시 SOSS에 입력시켜 항공기 움직임에 반영되도록 하는 방법으로 시뮬레이션을 수행한다.



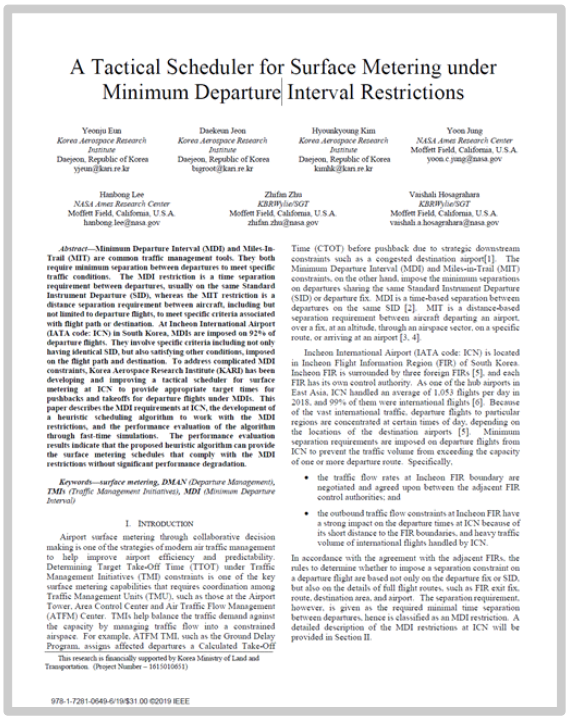
[그림 157] SOSS와 스케쥴러(MMP)의 연동

본 연구에서는 2)-다)-(3)에서 언급한 인천공항에서의 복잡한 이륙시간 최소분리간격 요구사항을 MIDAS 시스템이 만족함을 fast-time 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 이 요구사항은, [4]에 정리된 바와 같이, 인천공항을 출발하여 동일한 경로로 비행해 가는 출발 항공기들 사이에 만족시켜야 할 이륙시간 분리이며, 단순히 공항에서의 출발경로 뿐만 아니라 출발 항공기들의 도착 공항이 속한 지역, 비행 중 지나치는 경유지점 등을 기준으로 하는 복잡한 요구사항이며, 이에 대한 스케줄링 알고리즘은 별책 23에, 알고리즘 검증 방법 및 결과는 [4]에 정리되어 있다.

한편, SOSS를 이용하여 MIDAS 시스템 도입 및 활용으로 인한 편익의 정량적 분석도 수행하였다[5]. Fast-time 기초 수행 및 분석 결과, MIDAS 시스템의 도입으로 인해 공항의 출발항공편 처리율은 저해되지 않으면서도 항공기들의 지상이동 시간 및 활주로 대기열이 감소하고 항공기들의 지상이동시간 예측 성능이 향상되는 것으로 평가되었다[5].



[그림 158] 인천공항 출발분리간격 요구 조건 만족을 위한 출발 스케줄링 알고리즘 검증결과 예시



A Tactical Scheduler for Surface Metering under Minimum Departure Interval Restrictions

Yeonju Eun, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon, Republic of Korea, yjeun@kari.re.kr
Daekeun Jeon, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon, Republic of Korea, bsgroot@kari.re.kr
Hyounkyoung Kim, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon, Republic of Korea, kimhk@kari.re.kr
Yoon Jung, NASA Ames Research Center, Moffett Field, California, U.S.A., yoon.c.jung@nasa.gov
Hanbong Lee, NASA Ames Research Center, Moffett Field, California, U.S.A., hanbong.lee@nasa.gov
Zhifan Zhu, KBRWyleSGT, Moffett Field, California, U.S.A., zhifan.zhu@nasa.gov
Vaishali Hosagrahara, KBRWyleSGT, Moffett Field, California, U.S.A., vaishali.a.hosagrahara@nasa.gov

Abstract—Minimum Departure Interval (MDI) and Miles-In-Trail (MIT) are common traffic management tools. They both require minimum separation between departures to meet specific traffic conditions. The MDI restriction is a time separation requirement between departures, usually on the same Standard Instrument Departure (SID), whereas the MIT restriction is a distance separation requirement between aircraft, including but not limited to departure flights, to meet specific criteria associated with flight path or destination. At Incheon International Airport (IATA code: ICN) in South Korea, MDIs are imposed on 92% of departure flights. They involve specific criteria including not only having identical SID, but also satisfying other conditions, imposed on the flight path and destination. To address complicated MDI constraints, Korea Aerospace Research Institute (KARI) has been developing and improving a tactical scheduler for surface metering at ICN to provide appropriate target times for pushbacks and takeoffs for departure flights under MDIs. This paper describes the MDI requirements at ICN, the development of a heuristic scheduling algorithm to work with the MDI restrictions, and the performance evaluation of the algorithm through fast-time simulations. The performance evaluation results indicate that the proposed heuristic algorithm can provide the surface metering schedules that comply with the MDI restrictions without significant performance degradation.

Keywords—surface metering, DMAN (Departure Managements), TMIs (Traffic Management Initiatives), MDI (Minimum Departure Interval)

I. INTRODUCTION

Airport surface metering through collaborative decision making is one of the strategies of modern air traffic management to help improve airport efficiency and predictability. Determining Target Take-Off Time (TTOT) under Traffic Management Initiatives (TMI) constraints is one of the key surface metering capabilities that requires coordination among Traffic Management Units (TMU), such as those at the Airport Tower, Area Control Center and Air Traffic Flow Management (ATFM) Center. TMIs help balance the traffic demand against the capacity by managing traffic flow into a constrained airspace. For example, ATFM TMI, such as the Ground Delay Program, assigns affected departures a Calculated Take-Off Time (CTOT) before pushback due to strategic downstream constraints such as a congested destination airport[1]. The Minimum Departure Interval (MDI) and Miles-in-Trail (MIT) constraints, on the other hand, impose the minimum separations on departures sharing the same Standard Instrument Departure (SID) or departure fix. MDI is a time-based separation between departures on the same SID [2]. MIT is a distance-based separation requirement between aircraft departing an airport, over a fix, at an altitude, through an airspace sector, on a specific route, or arriving at an airport [3, 4].

Incheon International Airport (IATA code: ICN) is located in Incheon Flight Information Region (FIR) of South Korea. Incheon FIR is surrounded by three foreign FIRs [5], and each FIR has its own control authority. As one of the hub airports in East Asia, ICN handled an average of 1,053 flights per day in 2018, and 99% of them were international flights [6]. Because of the vast international traffic, departure flights to particular regions are concentrated at certain times of day, depending on the locations of the destination airports [5]. Minimum separation requirements are imposed on departure flights from ICN to prevent the traffic volume from exceeding the capacity of one or more departure route. Specifically,

- the traffic flow rates at Incheon FIR boundary are negotiated and agreed upon between the adjacent FIR control authorities; and
- the outbound traffic flow constraints at Incheon FIR have a strong impact on the departure times at ICN because of its short distance to the FIR boundaries, and heavy traffic volume of international flights handled by ICN.

In accordance with the agreement with the adjacent FIRs, the rules to determine whether to impose a separation constraint on a departure flight are based not only on the departure fix or SID, but also on the details of full flight routes, such as FIR exit fix, route, destination area, and airport. The separation requirement, however, is given as the required minimal time separation between departures, hence is classified as an MDI restriction. A detailed description of the MDI restrictions at ICN will be provided in Section II.

This research is financially supported by Korea Ministry of Land and Transportation. (Project Number – 18I5010631)

978-1-7281-0649-6/19/$31.00 ©2019 IEEE

[그림 159] 스케줄링 알고리즘 및 Fast-time 시뮬레이션을 활용한 알고리즘 검증 내용의 발표 논문

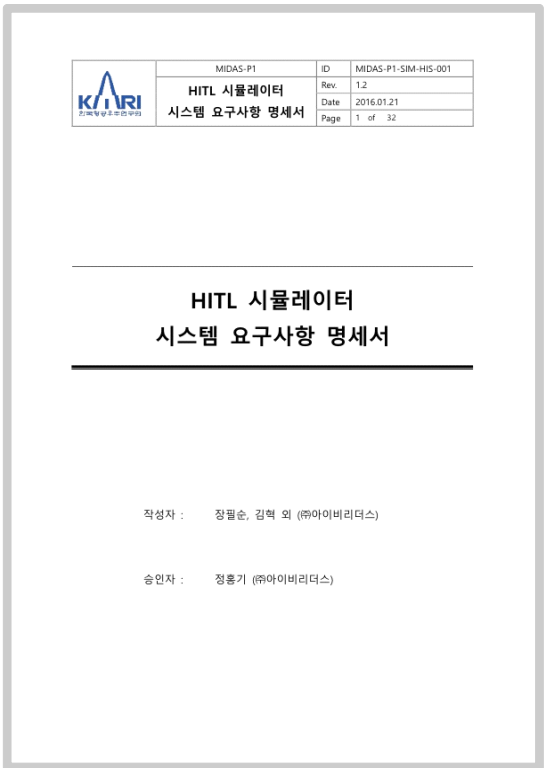
나) HITL 시뮬레이션

인적 요소를 고려한 실시간 HITL 시뮬레이션을 수행하기 위해 HITL 시뮬레이션 시스템을 주관기관 내 연구실에 구축하였다. 시스템 구축을 위해 시스템 요구사항 정의, 시스템/소프트웨어 설계 등을 수행하였으며, 구축 완료 후 퇴역 관제사 및 연구진을 중심으로 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 따른 편익 분석을 포함한 상세 내용은 하위 절에 기술하였다.

(1) HITL 시뮬레이션 시스템 구축

(가) HITL 시뮬레이터 요구사항 정의 (별책 14 참조)

HITL 시뮬레이터의 시스템 요구사항은 기 운영 중인 시뮬레이터 운용환경 분석, 해외 사례 분석, 국내 운용 환경 분석 등을 통해 정의되었으며, 그 결과로서 “HITL 시뮬레이터 요구사항 명세서”를 작성하였다([그림 161], MIDAS-P1-SIM-HIS-001, 별책 14). [표 13]은 HITL 시뮬레이터의 기능 요구 사항 중 주요한 요구사항만을 요약한 것이며, HITL 시뮬레이터의 요구사항과 관련한 상세한 내용은 별책 14에 기술되어 있다.



[그림 160] HITL 시뮬레이터 시스템 요구사항 명세서(표지)

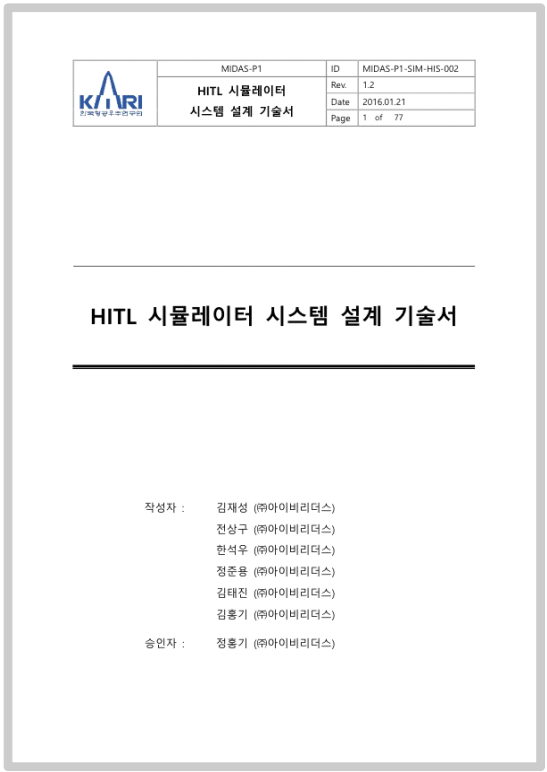
[표 13] HITL 시뮬레이터 주요 요구사항

요구사항 명칭	내용
입력정보 생성기-비행계획서 생성 기능	비행계획서는 현행 실제 운영 중인 FPL 데이터 형식을 준수해야 하며, 사용자의 의도가 반영할 수 있는 다음과 같은 설정 파라미터를 제공해야 한다. ▪ 전체 항공교통량 ▪ 구간별 교통량 (또는 비율) ▪ 시간대별 교통량 (또는 비율)
입력정보 생성기-기상정보 생성 기능	시나리오를 기반으로 기상정보를 생성하는 기능을 제공한다.
입력정보 생성기-이벤트정보 생성 기능	시나리오를 기반으로 이벤트를 생성하는 기능을 제공한다.
시스템 관리-항공정보 관리 기능	시뮬레이션에 사용할 항공정보를 조회/생성/수정/삭제 할 수 있는 관리기능을 제공해야 한다. HITL 시뮬레이터에서 관리하는 항공정보는 다음과 같다. ▪ 공항정보 ▪ 절차정보 ▪ 공역정보 ▪ 항로시설 정보 (픽스 포함)
시나리오 관리-시나리오 관리 기능	시뮬레이션 시나리오의 생성/수정/삭제 등의 관리 기능을 제공해야 한다. 시나리오에서 설정되는 정보는 다음과 같다. ▪ 시나리오 이름 ▪ 시나리오 시간 ▪ 대상 공항 ▪ 기상 정보 ▪ 비행계획 정보 ▪ 항공기 이동 모드 (자동, 가상조종사) 등
시뮬레이션 주처리 시스템-항공기 항적 생성 기능	항공기의 실시간 항적 정보(지상, 공중)를 주기적으로 생성하고 제공해야 한다. 항공기의 항적정보는 다음의 정보를 기반으로 생성한다. ▪ 비행계획서 ▪ 가상조종정보 ▪ 관제 명령
시뮬레이션 주처리 시스템-관제장비 HMIs 정보 처리	실시간으로 생성되는 시뮬레이션 정보는 관제장비 HMIs를 통해 현시될 수 있도록 관련 HMI에게 전달하고, HMI로부터 입력되는 정보를 시뮬레이션에 반영해야 한다.
시뮬레이션 주처리 시스템-운영 정보의 데이터베이스화	HITL 시뮬레이터를 운영하는 모든 정보에 대해서 데이터베이스 (또는 필요한 경우 파일 구조)로 저장하여 관리되어야 한다. 데이터베이스 (파일)에 저장되는 정보는 다음과 같다. ▪ 항적정보 ▪ 비행정보 ▪ 절차정보 ▪ 픽스정보 ▪ 항공기기동 데이터 ▪ 공항모델링 데이터 ▪ 지형 데이터 ▪ 항공기 모델링 데이터 ▪ 실시간 운영 정보 ▪ 시나리오

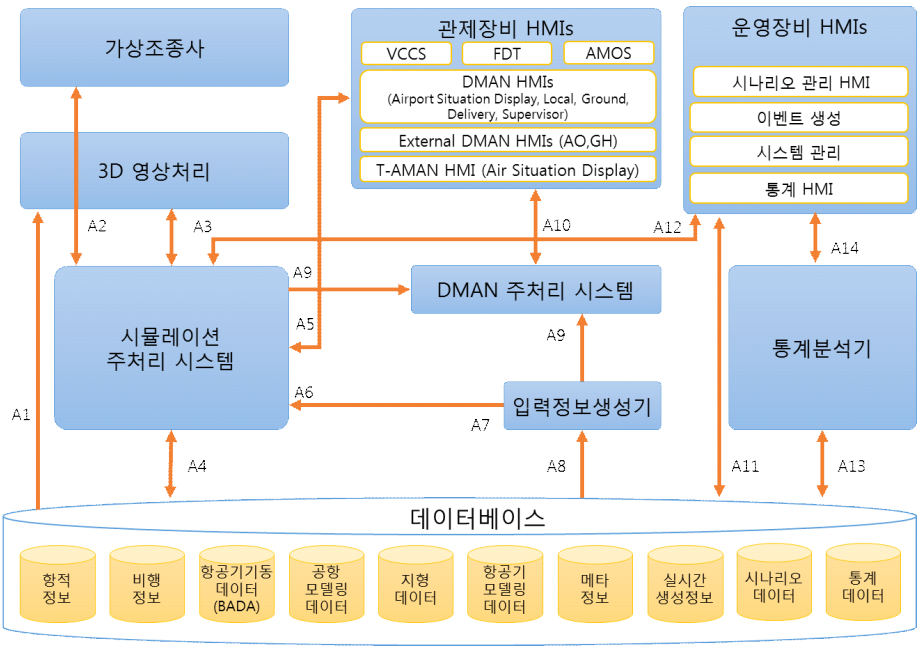
	▪ 통계 정보 등
3D영상처리-3D 모델링 자료	시뮬레이션 영상화면에서 사용될 3D 모델링 자료를 제공해야 한다. 제공하는 3D 모델링 자료는 다음과 같다. ▪ 공항 모델링(제주공항, 인천공항) ▪ 공항 주변 모델링(제주공항, 인천공항) ▪ 항공기 모델링 ▪ 공항 내 이동차량 모델링
3D영상처리 -항공기 이동 영상 처리 기능	시뮬레이션에 현시되는 항공기 이동 기능은, 입력 자료 및 사용자 명령을 기반으로 현실과 유사한 움직임 영상을 제공해야 한다. 이동 영상의 제공 범위는 다음과 같다. ▪ 항공기 지상 이동 기능 (Pushback, Taxi 이동, 활주로진입전 대기기능 등) ▪ 항공기 출발/도착 기능 ▪ 항공기 공역 내 이동 기능 공중 항공기의 이동은 항공기 성능 모델을 사용하여 기상요소, 중량 요소 등을 반영하여 실제 항공기 움직임의 성능을 구현해야 한다. 지상 항공기의 이동은 경험데이터를 기반으로 이동해야 한다.
가상조종사-항공기 조종 기능	항공기는, 사용자(조종사)의 입력에 의해서 기본적인 조종이 가능해야 하며, 자동으로 입력된 경로로 이동하는 방법도 함께 제공해야 한다. 항공기 조종 범위는 다음과 같다. ▪ 지상 항공기 운항 (지상이동, 정지, 속도증감, 경로 변경 기능) ▪ 항공기 운항 (기수, 고도, 항로, 속도 변경 기능)
관제장비HMIs-관제장비 구현	제주관제탑에서 사용 중인 관제 장비와 유사한 HMI를 구현해야 한다. 구현하는 HMI는 다음과 같다. ▪ VCCS ▪ AMOS ▪ 출발관리시스템 (DMAN) ▪ 도착관리시스템 (T-AMAN)

(나) HITL 시뮬레이터 설계 (별책 14 참조)

HITL 시뮬레이터의 시스템 설계는 시스템 요구사항을 기반으로 수행하였으며, 그 결과는 별책 14에 정리하였다([그림 161], MIDAS-P1-SIM-HIS-002, 별책 14). HITL 시뮬레이터를 구성하는 하부시스템은 총 8개로 구성되며 개념적 구성도는 [그림 162]와 같다.



[그림 161] HITL 시뮬레이터 시스템 설계 기술서(표지)

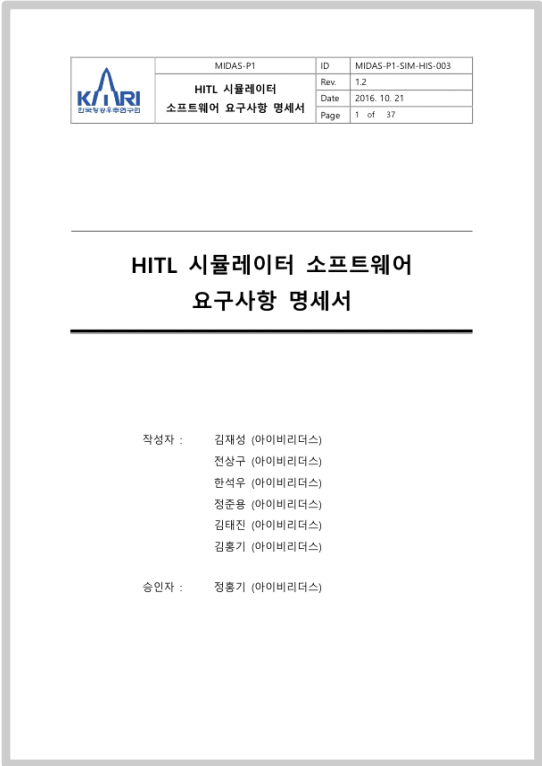


[그림 162] HITL 시뮬레이터의 소프트웨어 개념 구성도

(다) HITL 시뮬레이터 소프트웨어 요구사항 수립 (별책 14 참조)

HITL 시뮬레이터의 시스템 요구사항 및 시스템 설계 결과를 바탕으로 HITL 시뮬레이터의 소프트웨어 요구사항 명세서를 작성하였다([그림 163], 별책 14). [표 14]는

서브시스템 별로 식별된 요구사항의 수를 나타낸 것으로, 요구사항 식별자는 “MIDAS_P1_SRS_HIS_특성_일련번호”의 형태로 정의하였다. 서브시스템 별 상세한 요구사항은 [그림 165](MIDAS-P1-SIM-HIS-003)에 정의된 바와 같이 요구사항의 정의, 상태, 근거, 확인 및 검증방법에 대해 구체적으로 정의하였다.



[그림 163] HITL 시뮬레이터 소프트웨어 요구사항 명세서(표지)

[표 14] 각 서브시스템별 식별된 소프트웨어 요구사항 수

서브시스템	요구사항 수
일반사항	1
입력정보생성기	3
운영장비	3
시뮬레이션 주처리시스템	7
3D 영상처리	7
가상조종사	3
관제장비	8
통계분석기	2

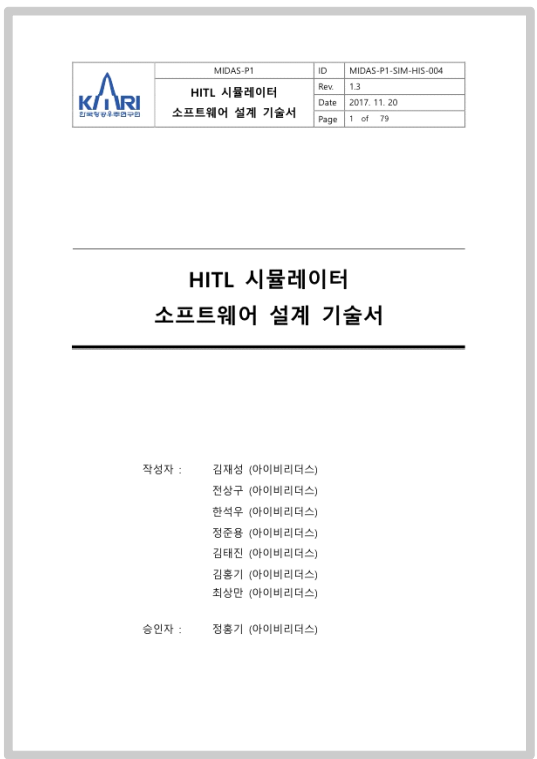
MIDAS_P1_SRS_HIS_GEN_0010 연구용 SDK

요구사항	HITL 시뮬레이터는 DMAN의 효율성 뿐만 아니라 다양한 목적으로 활용될 수 있도록 연구용 SDK를 제공해야 한다. 제공하는 SDK를 통해 실시간 정보를 수신하거나 입력할 수 있어야 하며 연구 목적에 부합되는 다양한 기능을 제공해야 한다.
상태	*승인*
중요도	상
근거	MIDAS_P1_SSS_PRF_0040. 시스템 초기화 시간
카테고리	성능
확인 및 검증방법	Test
비고	

[그림 164] HITL 시뮬레이션 시스템 소프트웨어 요구사항 정의 (예)

(라) HITL 시뮬레이터 소프트웨어 설계 (별책 14 참조)

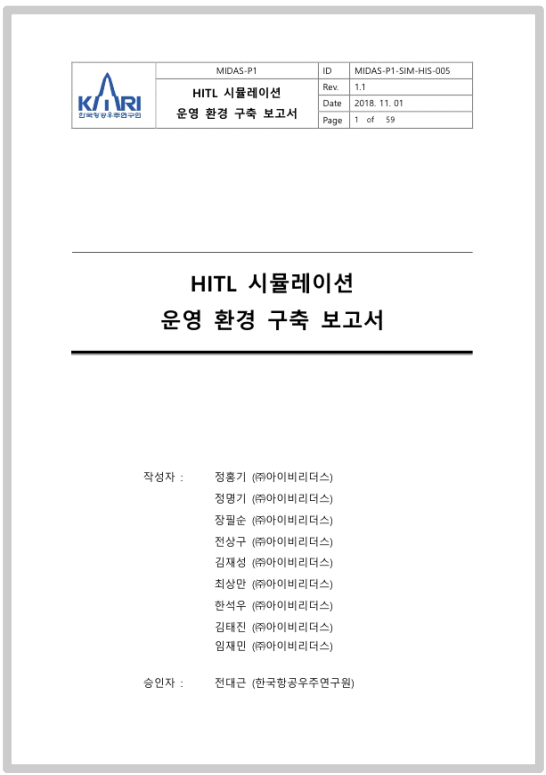
HITL 시뮬레이터의 시스템 설계서 및 소프트웨어 요구사항 명세서에 의거하여 소프트웨어 설계를 진행하였다.([그림 165], MIDAS-P1-SIM-HIS-004, 별책 14). 소프트웨어 기본설계 과정에서는 기능적 결정사항을 기반으로 소프트웨어 구성항목에 대한 식별 및 구조에 대한 설계를 진행하였으며, 상세 설계 과정에서는 HITL 시뮬레이터를 설치하기 위한 운영환경 조감도와 설치 도면에 대한 설계를 진행하였다.



[그림 165] HITL 시뮬레이터 소프트웨어 설계 기술서(표지)

(마) HITL 시뮬레이션 운영 환경 구축 (별책 14 참조)

HITL 시뮬레이션 운영 환경은 영상시스템/관제석/가상조종사석/운영석/시뮬레이터 서버/장비실 및 기타 지원 장비 등의 기능별 구성 요소로 구성된다. 관제실(스크린, 프로젝터, IG Server/Client) 및 장비실 등의 하드웨어 구축 및 Image Generation(IG) Server/Client 소프트웨어 소스코드 개발 완료하였다. 관제실은 [그림 167]과 같이 스크린 시야각 360도, 유효스크린 세로범위 2145mm로 하여 현실감 및 몰입도를 높였다. 또한 관제석에서 관제사가 일어나는 경우에도 투사되는 영상에 간섭이 일어나지 않도록 9대의 프로젝터를 정방향으로 투사하는 방식을 채택하였다. [그림 169]와 같이 시뮬레이터 서버/장비실 및 기타지원 장비는 구축하였으며, [그림 170]은 9대의 프로젝터 화면을 동기화하기 위한 IG Server/Client 구성을 나타낸다.



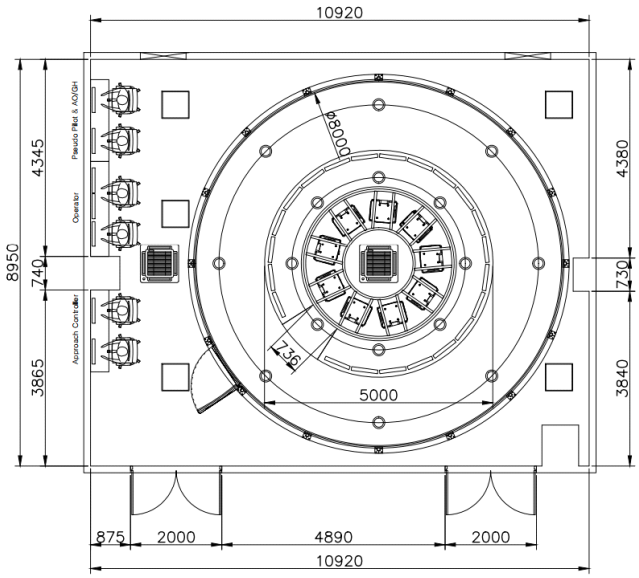
KARI	MIDAS-P1	ID	MIDAS-P1-SIM-HIS-005
	HITL 시뮬레이션 운영 환경 구축 보고서	Rev.	1.1
		Date	2018. 11. 01
		Page	1 of 59

HITL 시뮬레이션
운영 환경 구축 보고서

작성자 : 정홍기 (㈜아이비리더스)
정명기 (㈜아이비리더스)
장필순 (㈜아이비리더스)
전상구 (㈜아이비리더스)
김재성 (㈜아이비리더스)
최상만 (㈜아이비리더스)
한석우 (㈜아이비리더스)
김태진 (㈜아이비리더스)
임재민 (㈜아이비리더스)

승인자 : 전대근 (한국항공우주연구원)

[그림 166] HITL 시뮬레이션 운영 환경 구축 보고서(표지)



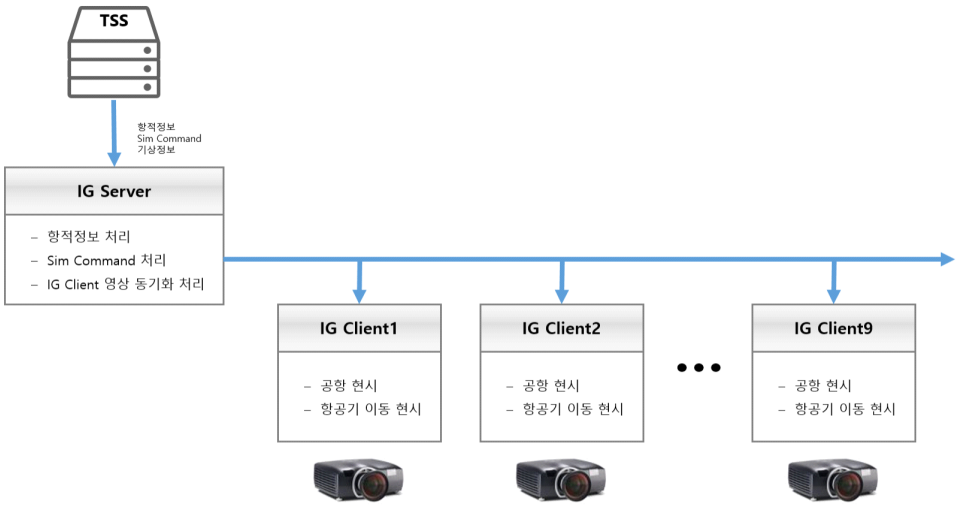
[그림 167] HITL 시뮬레이션 운영 환경



[그림 168] 영상시스템/관제석/가상조종사석/운영석



[그림 169] 시뮬레이터 서버/장비실 및 기타 지원 장비



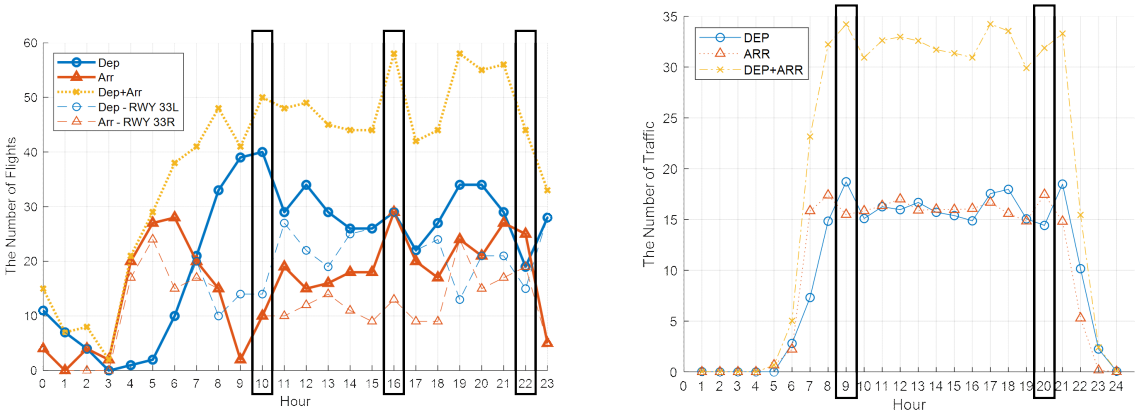
[그림 170] IG Server/Client 구성도

(2) HITL 시뮬레이션 수행 및 편익 분석 (별책 14 참조)

MIDAS 시스템의 운용 개념을 검증하고 운용에 따른 편익을 분석하기 위해 HITL 시뮬레이션을 수행하였다. MIDAS 시스템의 운용 개념 검증을 위해 대상 공항의 출발과 도착 항공기를 모두 고려한 시뮬레이션을 수행하였다. 그러나 T-AMAN의 도착 항공기 지연 흡수 성능 등은 공역 교통상황과 관제 결과에 크게 영향을 받기 때문에 MIDAS 시스템의 운용만으로 결정되는 편익으로 보기 어려운 측면이 있으므로 본 HITL 시뮬레이션에서는 MIDAS 시스템의 DMAN을 사용하여 출발 항공기의 이륙 스케줄링을 수행하였을 때 출발 항공기 및 도착 항공기의 지상 이동 측면에서 나타나는 효과와 공항의 출도착 처리량(throughput) 등의 영향을 분석하였다.

시뮬레이션의 대상 공항은 제주공항 및 인천공항이며, MIDAS의 관제 조언 정보 없이 현재 운용 절차대로 관제하였을 때와 관제 조언 정보 중 하나인 TSAT을 적용하여 관제를 하였을 때에 대하여 각각 시뮬레이션을 수행하였다. 현실적인 교통량을 반영하기 위하여 녹화 데이터를 기반으로 시나리오를 생성하였으며, 한 달 동안의 데이터를 분석하여 하루 동안 사용 활주로의 방향이 변경되지 않고 데이터에 결함이 없으며, 각 공항의 교통량 특성을 대표할 수 있는 시간대와 날짜를 선정한 후 시나리오를 생성하였다. [그림 171]은 최종적으로 선정된 날짜에 인천 및 제주공항에 대한 교통량 패턴을 각각 나타낸다. 인천공항은 다양한 교통량 패턴에 대한 시뮬레이션 수행을 위해 출발 교통량이 많을 때(10시), 보통일 때(16시), 적을 때(22시)를 기준으로 시나리오를 구성하였다. 반면, 제주공항은 교통량 패턴 흐름이 거의 비슷하여 각각 상대적으로 출발 교통

량이 높게 나타난 오전 9시와 도착 교통량이 높게 나타난 오후 8시를 시나리오 시간대로 선정하였다. 보다 원활한 시뮬레이션의 수행을 위하여 관제 구역을 계류장과 기동지역으로 나누고 관제구역별로 관제사와 가상조종사를 1석씩 배치하였으며, 퇴역 관제사와 관제 교육을 이수한 자를 초청하여 활용하였다.



[그림 171] 인천공항(왼쪽) 및 제주공항(오른쪽)의 교통량 패턴

편익 분석 결과, DMAN이 제공하는 TSAT을 적용하여 항공기에 pushback/engine start-up 허가를 준 경우, 그렇지 않은 경우에 비하여 gate holding 시간이 증가하고, 초과지상이동 시간과 출발 대기열이 감소하였으며, 활주로 사용량(throughput)은 유사한 경향을 보였다. 이는 engine-off 상태의 스탠드 대기를 통해 불필요한 지상이동 혼잡과 초과 지상이동 시간을 줄이는 DMAN의 운용 개념과 목적에 부합하는 결과로 볼 수 있다. 또한 관제사들의 일부담(workload)을 주 대상으로 한 정성적 평가 결과를 통해 DMAN을 활용하였을 때 일부담이 줄고 상황 인식 능력이 향상된 것으로 나타났다.

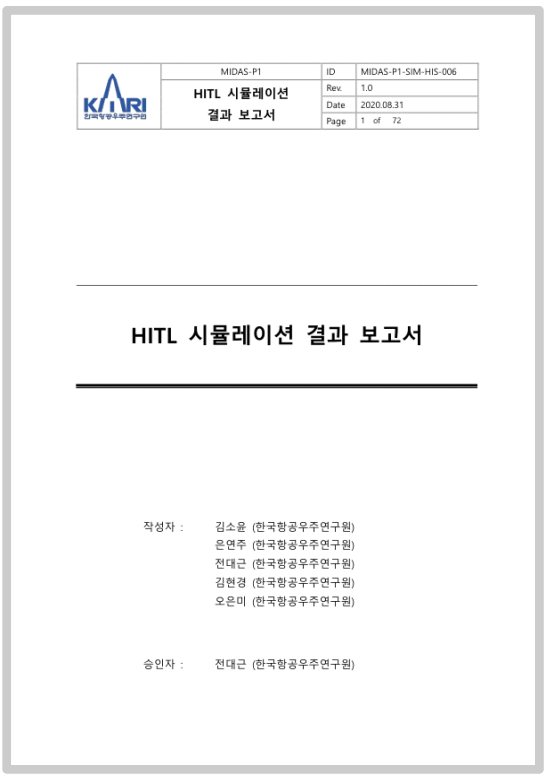
마지막으로 DMAN을 사용하였을 때 직접적인 비용 감소로 이어지는 연료소모량 감소와 이에 따른 유류비 절감 비용을 추정해본 결과, 아래 표와 같이, 인천공항의 경우 지상이동 지연시간의 감소로 연간 6,438톤의 불필요한 연료 사용을 방지함으로써 약 50억의 유류비용이 절감되는 효과가 있는 것으로 산출되었으며, 제주공항의 경우 지상이동 지연시간의 감소로 연간 1,545톤의 연료와 약 12억의 유류비 절감 효과가 있는 것으로 산출되었다.

[표 15] 제주공항 및 인천공항 편익분석 결과

구분	측정 지수(Metric)	제주		인천		
		오전	오후	교통량 많음	교통량 보통	교통량 적음
효율	대당 Taxi 지연 감소	1.7분	1.8분	9.3분	4.9분	1.9분
	대당 연료 절감	17.4kg	22.8kg	212.1kg	118.2kg	26.4kg
	연간 연료 절감	1,545톤		6,438톤		
	연간 비용 절감	12억원		50억원		
예측성	Taxi 지연 표준편차	2.7분 → 2.3분	2.7분 → 1.4분	9.1분 → 2.5분	3.5분 → 2.2분	3.3분 → 2.1분
인적 요소*	관제사 Workload	-	3.3점 → 5점	2점 → 4.6점	-	4점 → 4.4점

* 숫자(1~5)가 낮을수록 업무부하(workload)가 높음

자세한 내용은 별책 14([그림 172], MIDAS-P1-SIM-HIS-006)에 기술하였다.



[그림 172] HITL 시뮬레이션 결과 보고서(표지)

다) 현장 시범운용 (별책 16 참조)

(1) 시범운용 목적

MIDAS 시스템은 시스템 개발 및 검증과정에서 [표 16]와 같은 여러 단계의 시험을 거쳤는데, 이 중 현장 시범운용은 출도착 통합관리 운용개념 및 시스템 요구사항에 근거하여 개발된 MIDAS 시스템 시작품의 실 운용환경에서의 기능 검증 및 운용성 검증을 위한 최종단계로서 사용자의 최종적인 검증이라는 측면에서 매우 중요하다.

[표 16] MIDAS 시스템의 시험 구분

구분	내용 및 목적	시험 주체	산출물
소프트웨어 시험	• CSCI 수준에서의 기능/성능 시험	연구진	• 서브시스템별 소프트웨어 시험계획서/절차서/결과서
시스템 통합시험	• 서브시스템 통합 및 기능/성능 시험	연구진	• 시스템 통합시험 계획서/절차서/결과서
Fast-Time Simulation	• 스케줄러 검증 및 편익분석	연구진	• Fast-Time Simulation 보고서
소프트웨어 정적/동적 시험	• 코딩 규칙, 커버리지 시험	시험 전문업체	• 소프트웨어 정적/동적 시험 결과서
GS 인증 시험	• 소프트웨어 품질인증	한국산업기술시험원	• GS 인증 평가 보고서 • GS 인증서
HITL 시뮬레이션 시험	• 편익분석	(퇴역)관제사	• HITL 시뮬레이션 결과 보고서
현장 시범운용	• 실운용환경에서의 기능 검증 • 사용자에 의한 운용성 검증	관제사/연구진	• MIDAS 시스템 시범운용 보고서

현장 시범운용은 시범운용 공항에 따라 세부적인 목적은 다르게 설정되었다. “출도착 통합관리” 기술의 검증을 위한 시범운용 공항으로 국토부에 의해 공식적으로 지정된 제주공항의 경우, 출발관리와 도착관리의 통합 관점에서의 기능 검증을 중심으로 시범운용이 진행되었다. 반면, 최소출발분리(MDI, Minimum Departure Interval), Release Time, Calculated Take-Off Time(CTOT) 등 항공교통흐름관리 관련 현안이 큰 비중을 차지하는 인천공항의 경우에는 다양하고 복잡한 항공교통관리 요구사항을 만족하도록 출발 스케줄링을 수행하는지를 검증하는 것을 목표로 시범운용을 진행하였다.

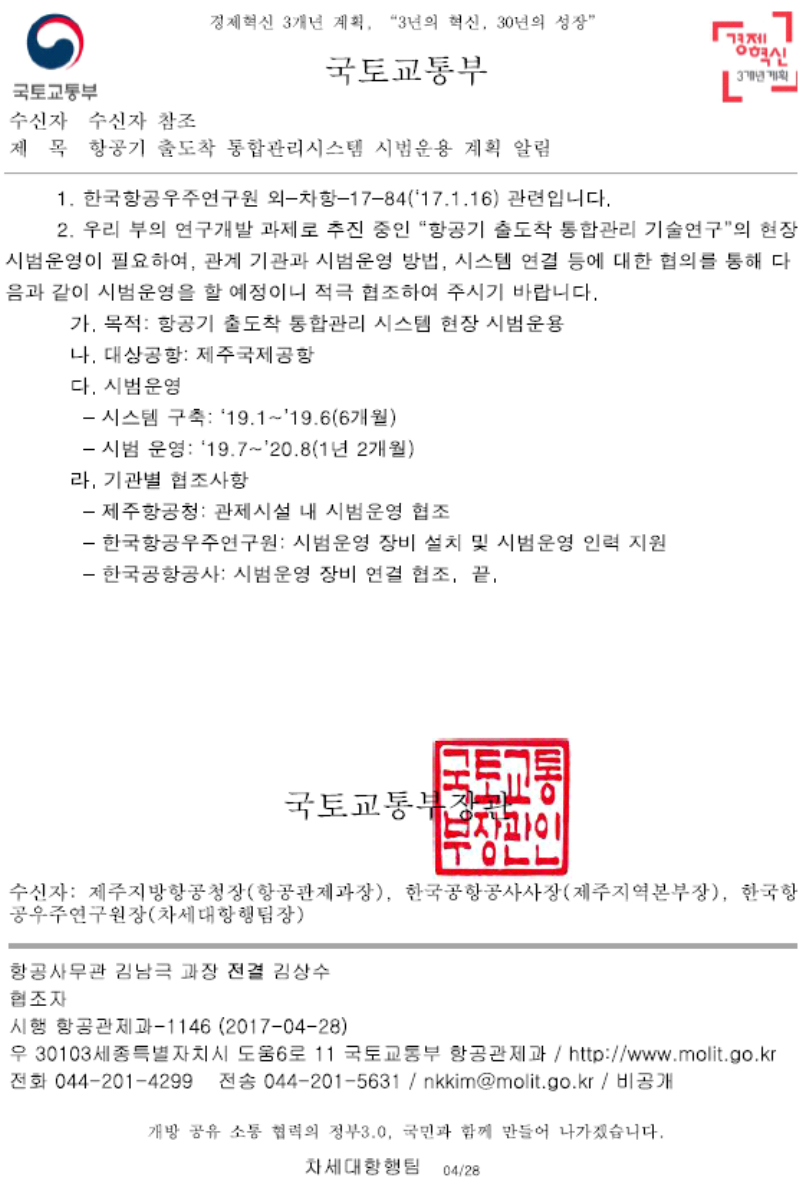
(2) 시범운용 경과

(가) 제주공항

시범운용을 포함한 제주공항 대상의 MIDAS 시스템 개발 및 시험 일정 전체를 요약하면, 아래와 같다.

~'15.06	출도착 관리 운용개념 수립 및 검토회의(OCR) 수행
~'15.12	시스템 요구사항 정의 및 검토회의(SRR) 수행
~'16.01	시스템 설계 및 검토회의(SDR) 수행
~'16.08	소프트웨어 기본 설계 및 검토회의(PDR) 수행
'17.04	출도착 통합관리 시범운용 대상공항(제주국제공항) 선정
~'17.07	소프트웨어 상세 설계 및 검토회의(CDR) 수행
~'18.12	소프트웨어 구현 및 시스템 통합시험 수행
'18.12	장비실 시범운용 준비 검토 회의(TRR1) 수행
~'19.06	장비실 설치 및 개발자 시험
~'19.12	장비실 내 모의운영 수행
'19.12	관제실 시범운용 준비 검토 회의(TRR2) 수행
~'20.08	관제실 설치 및 시범운용

상기 일정에 언급된 바와 같이, 출도착 통합관리 시범운용 공항은 '17.4에 제주공항으로 선정되었고, '19.1부터 시스템 설치 및 시범운용이 진행되었는데, 이는 국토교통부 항공정책실의 "항공기 출도착 통합관리시스템 시범운용 계획 알림"에 근거하였다.



정제혁신 3개년 계획, "3년의 혁신, 30년의 성장"

국토교통부

국토교통부

수신자 수신자 참조

제 목 항공기 출도착 통합관리시스템 시범운용 계획 알림

1. 한국항공우주연구원 외-차항-17-84('17.1.16) 관련입니다.

2. 우리 부의 연구개발 과제로 추진 중인 "항공기 출도착 통합관리 기술연구"의 현장 시범운영이 필요하여, 관계 기관과 시범운영 방법, 시스템 연결 등에 대한 협의를 통해 다음과 같이 시범운영을 할 예정이니 적극 협조하여 주시기 바랍니다.

가. 목적: 항공기 출도착 통합관리 시스템 현장 시범운용

나. 대상공항: 제주국제공항

다. 시범운영

- 시스템 구축: '19.1~'19.6(6개월)
- 시범 운영: '19.7~'20.8(1년 2개월)

라. 기관별 협조사항

- 제주항공청: 관제시설 내 시범운영 협조
- 한국항공우주연구원: 시범운영 장비 설치 및 시범운영 인력 지원
- 한국공항공사: 시범운영 장비 연결 협조. 끝.

국토교통부장관

국토교통부 항공관제과장 인

수신자: 제주지방항공청장(항공관제과장), 한국공항공사사장(제주지역본부장), 한국항공우주연구원장(차세대항행팀장)

항공사무관 김남극 과장 전결 김상수

협조자

시행 항공관제과-1146 (2017-04-28)

우 30103세종특별자치시 도움6로 11 국토교통부 항공관제과 / http://www.molit.go.kr

전화 044-201-4299 전송 044-201-5631 / nkkim@molit.go.kr / 비공개

개방 공유 소통 협력의 정부3.0, 국민과 함께 만들어 나가겠습니다.

차세대항행팀 04/28

[그림 173] 국토부 항공기 출도착 통합관리 시스템 시범운용 계획

이에 따르면, 시범운용과 관련한 세부 일정은 아래와 같이 정의되었다.

- 시스템 구축: '19.1～'19.6 (6개월)
- 시범 운용: '19.7～'20.8 (1년 2개월)

관련하여, 제주공항 관제탑 및 접근관제소의 항공교통관제를 관할하는 제주지방항공청과 시범운용 이전 및 과정에서 수차례의 협의를 거쳐 세부일정을 정의하고 조율하였으며, 최종적으로 확정/수행된 일정은 아래와 같다.

[표 17] 제주공항 시범운용 단계

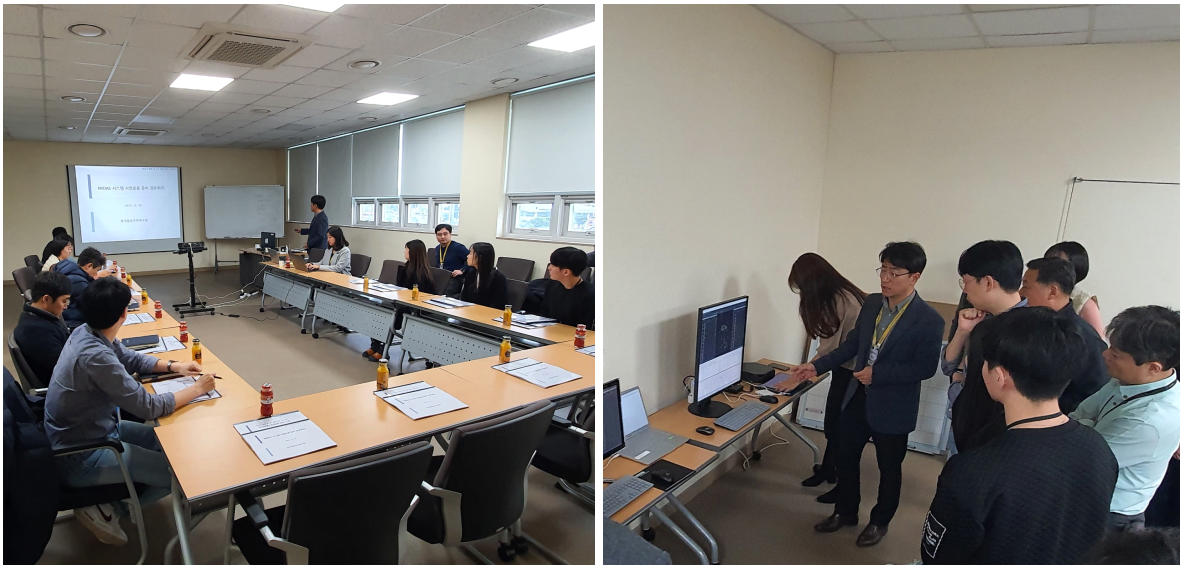
단계	내용	시험 주체	시험 장소	기간
1단계	시스템 설치 및 개발자 시험	연구진	관제탑 13층	'19.1～'19.6
2단계	Shadow Operation	연구진	관제탑 13층	'19.7～'19.12
3단계	실운용 환경 검증	관제사/연구진	관제탑/접근관제소	'20.1～'20.8

각 단계별 연구내용의 특징을 요약하면 아래와 같다.

- 1단계: 시스템 설치 및 개발자 시험
  - 하드웨어/소프트웨어 설치
  - 외부 데이터 연계 및 무결성 확인
  - 출발 및 도착 스케줄링 기본 기능 시험
- 2단계: Shadow Operation
  - 항적을 통해 detection된 주요 milestone (AOBT, ATOT) 적절성 시험
  - MIDAS 시스템의 advisory (TSAT, TTOT)의 적절성 시험
  - EFS/TSD 통합 운용 적합성 시험
- 3단계: 실운용 환경 검증
  - EFS/TSD를 이용한 관제탑 시범운용
  - TSD를 이용한 접근관제소 시범운용

여기서, 1, 2단계는 별도 공간(관제탑 13층 장비실)에 설치된 장비를 이용하여 연구진이 주체가 되어 진행하였으며, 3단계는 관제탑 및 접근관제소에 장비를 추가 설치하여 관제사와 함께 진행하였다.

이 과정에서 1단계 진입 전 2018년 12월 제주지방항공청 관계자와 함께 “MIDAS 시스템 시범운용 준비 검토회의 1”(TRR1)을 수행하여 장비실 시스템 설치에 앞서 준비 상황을 점검하였으며, 3단계 관제탑 및 접근관제소 설치 전인 2019년 12월 “MIDAS 시스템 시범운용 준비 검토회의2”(TRR2)를 실시하여, 그 간의 경과에 대한 점검과 더불어 관제탑 및 접근관제소 장비 설치 방안, 관제사가 참여하는 시범운영 방안 등에 대해 구체적으로 협의하였다.



[그림 174] MIDAS 시스템 시범운용 준비 검토 회의 (‘19.12.19)

시작품 개발/설치와 시험 수행 내역은 각각 (3)과 (4)절에 수록하였다.

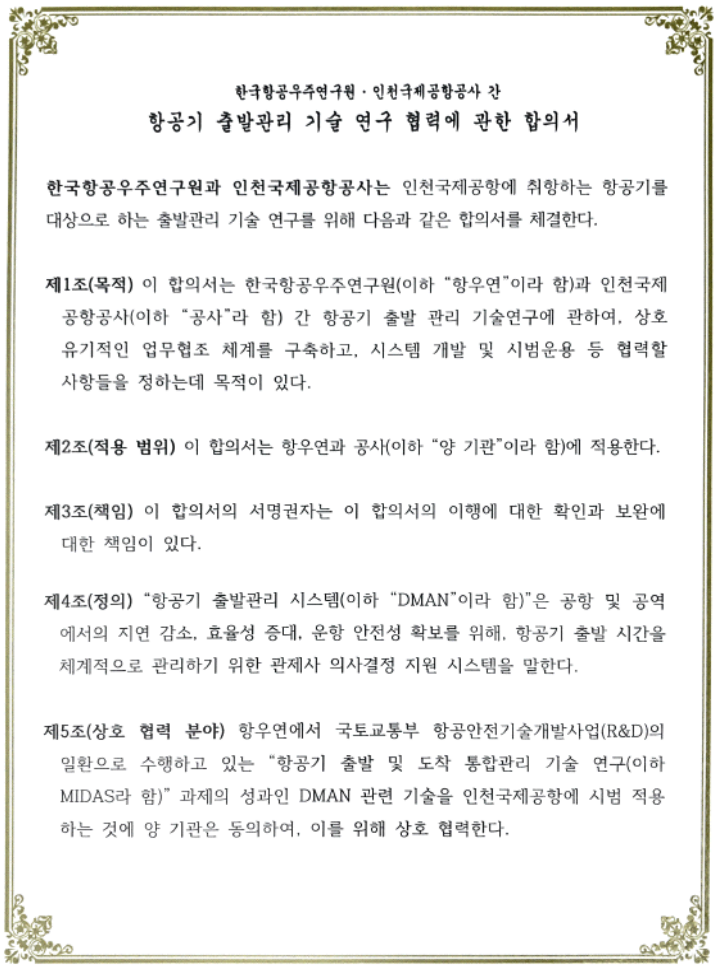
(나) 인천공항

국토부에서 지정한 공식 시범운용공항인 제주공항과 별개로 인천공항에서도 MIDAS 시스템의 시범운용을 수행하였는데, 관련한 경과는 아래와 같다.

’17.09	항우연-인천공항공사 출발관리 연구 협력 MOU 체결
~’18.04	인천공항 출발관리 요구사항 정의 및 알고리즘/소프트웨어 개발
~’18.05	장비실 설치 및 개발자 시험
~’18.07	장비실 시범운용
’18.08	관제탑 설치 (인천 관제탑 및 T1 계류장 관제탑)
’19.06	추가요구사항 수렴 및 시범운용 협의
~’19.12	관제탑 시범운용
’20.06	인천공항 Pre-Departure Sequencing(PDS) 운용개념 협의
’20.07	HITL 시뮬레이션 환경에서의 PDS 운용개념 검증

상기 일정에 언급된 바와 같이, 인천공항에서의 시범운용은 ’17.9 항우연-인천공항공사 간 체결된 출발관리 연구 협력 MOU에 근거하였다. 이에 따르면, 양 기관은 MIDAS 과제의 성과 중 하나인 DMAN 관련 기술을 인천공항에 시범 적용하는 것에

상호 협력하며, 이를 위해 항우연과 인천공항공사는 DMAN 관련 기능 및 인터페이스 요구사항, 시범운용 절차 등을 공동으로 개발하고, 항우연은 시범운용에 필요한 하드웨어와 소프트웨어를 인천공항공사에서 제공하는 공간에 설치하여 시범운용하는 것으로 되어 있다.



한국항공우주연구원 · 인천국제공항공사 간

항공기 출발관리 기술 연구 협력에 관한 합의서

한국항공우주연구원과 인천국제공항공사는 인천국제공항에 취항하는 항공기를 대상으로 하는 출발관리 기술 연구를 위해 다음과 같은 합의서를 체결한다.

제1조(목적) 이 합의서는 한국항공우주연구원(이하 "항우연"이라 함)과 인천국제공항공사(이하 "공사"라 함) 간 항공기 출발 관리 기술연구에 관하여, 상호 유기적인 업무협조 체계를 구축하고, 시스템 개발 및 시범운용 등 협력할 사항들을 정하는데 목적이 있다.

제2조(적용 범위) 이 합의서는 항우연과 공사(이하 "양 기관"이라 함)에 적용한다.

제3조(책임) 이 합의서의 서명권자는 이 합의서의 이행에 대한 확인과 보완에 대한 책임이 있다.

제4조(정의) "항공기 출발관리 시스템(이하 "DMAN"이라 함)"은 공항 및 공역에서의 지연 감소, 효율성 증대, 운항 안전성 확보를 위해, 항공기 출발 시간을 체계적으로 관리하기 위한 관제사 의사결정 지원 시스템을 말한다.

제5조(상호 협력 분야) 항우연에서 국토교통부 항공안전기술개발사업(R&D)의 일환으로 수행하고 있는 "항공기 출발 및 도착 통합관리 기술 연구(이하 MIDAS라 함)" 과제의 성과인 DMAN 관련 기술을 인천국제공항에 시범 적용하는 것에 양 기관은 동의하여, 이를 위해 상호 협력한다.

[그림 175] 항공기 출발관리 기술 연구 협력에 관한 합의서(항우연-인천공항공사)

한편, 일반적인 DMAN 요구사항 이외에 인천공항에 고유한 요구사항은 인천 관제탑을 관할하는 서울지방항공청과의 협의 과정을 통해서 추가적으로 수렴/정의하였다. 정의된 요구사항을 기반으로 인천공항 DMAN 시작품을 개발/설치하여 시범운용을 수행하였는데, 그 상세한 내용은 (3), (4)절에 정리하였다.

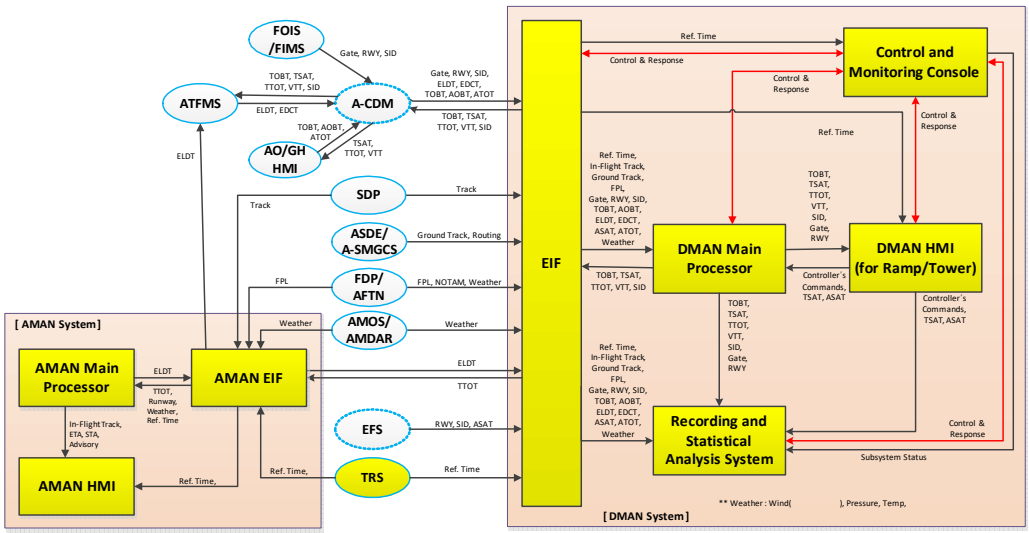
(3) 시작품 개발 및 설치

현장 시범운용을 위해서는 기존 운용시스템과의 연계 운용이 필수적이다. 본 연구에서는 기존 운용 시스템과 동일한 입력자료를 이용하기 위해 실제 공항에서 활용하고 있는 운용 시스템과 연계하였으며, 출력 결과 확인을 위한 별도 시스템을 두어 기존 시스템을 보조하거나 대체할 수 있도록 하였다. 공항별 상세한 시작품 개발 및 설치 관련 사항은 아래 하위 절에 기술하였다.

(가) 제주공항

① 시작품 개발

MIDAS 시스템은 크게 DMAN과 T-AMAN이라는 독립된 시스템으로 구성되어 있으며, 연계 통합 시 출도착 통합관리가 가능하도록 설계/개발되었다. 또한 공항에 따라 서브시스템 또는 소프트웨어를 달리 하지 않고, 파라미터 변경만으로 운용될 수 있도록 구현되었다. 즉, MIDAS 운용개념 기술서에서 제안된 아래 구성도와 같이, DMAN과 T-AMAN은 각각 외부 인터페이스를 담당하는 External Interface System(EIF)를 별도로 두고, 출발 및 도착 스케줄링을 담당하는 DMAN Main Processor(DMP)와 T-AMAN Main Processor(TAMP)가 서브시스템으로 각각 존재한다. 또한 DMAN의 HMI과 T-AMAN의 HMI가 각각 별도로 존재하는데, 각 HMI에는 HMI Client로의 데이터 분배를 위한 HMI Server가 공통으로 있으며, DMAN 및 T-AMAN 각각 지상상황현시, 공중상황현시를 담당하는 Ground Situation Display(GSD) 와 Air Situation Display(ASD)가 있다. 또한 DMAN HMI에는 기존 종이스트립을 대체하기 위한 용도의 Electronic Flight Strip(EFS)이 있다.



[그림 176] MIDAS 시스템 구성도

한편, MIDAS 시스템과 같은 관제사 의사 결정 지원 시스템의 경우, 연계될 공항 운용 시스템, 설치 공간, 사용자 편의성 등을 종합적으로 고려하여 설치되어야 한다. 제주공항의 경우, 기존 다양한 종류의 운용 시스템으로 인해 관제탑 및 접근관제소의 여유 공간이 매우 부족하여, MIDAS 시스템 설치 준비 과정에서 서브시스템 및 현시 화면을 통합할 필요가 제기되었다. 또한 하나의 주활주로를 이용하여 출도착을 수행함에 따라 출도착 스케줄링 통합을 통해 보다 효율적인 스케줄링을 수행할 필요가 있다. 이에, 시범운용을 위한 시스템 설치 과정에서 중복되어 단일화할 수 있거나, 통합할 수 있는 서브시스템 및 소프트웨어를 식별하여 아래와 같이 통합하였다.

[표 18] 제주공항 MIDAS 시스템 구성

구분	DMAN	T-AMAN	비교	MIDAS
외부 인터페이스	EIF	EIF	동일	EIF
출도착 스케줄링	DMP	TAMP	Scheduler 상이	MMP
관제사 화면	HMI Server	HMI Server	동일	HMI Server
	GSD	ASD	현시 범위 상이	TSD
	EFS	-	-	EFS

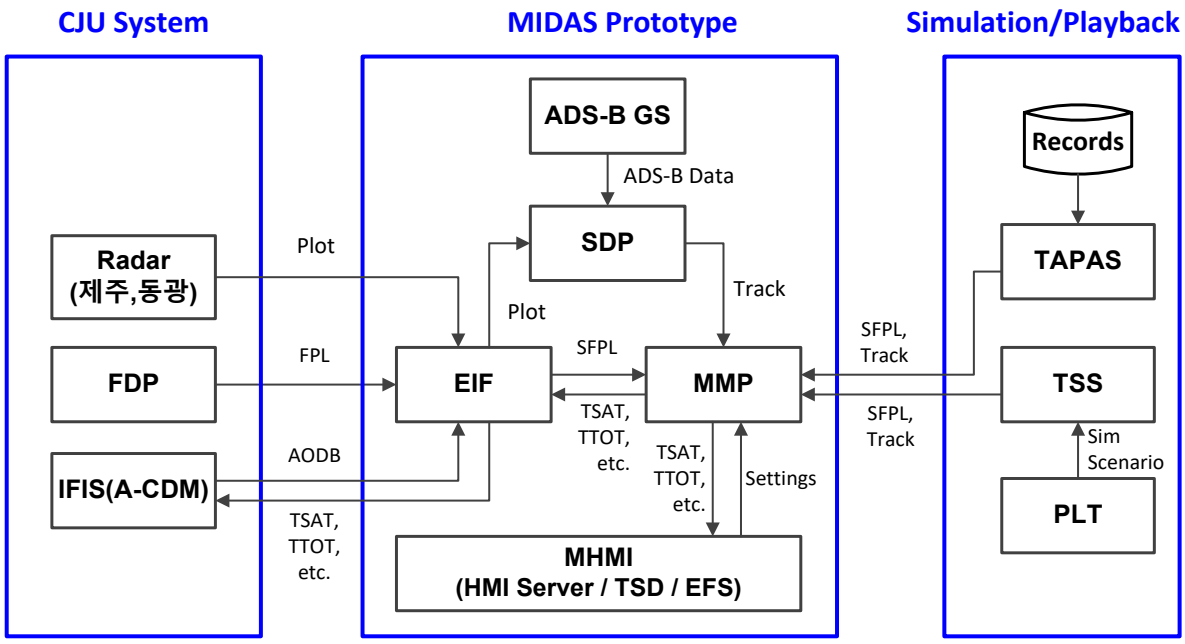
표에서 기술한 바와 같이, 외부 인터페이스를 담당하는 EIF는 하나의 컴퓨터에서 처리될 수 있도록 하였고, DMP와 TAMP는 MIDAS Main Processor(MMP)로 통합하여 하나의 thread에서 출발 및 도착 스케줄링이 이루어 질 수 있도록 하였다. 또한 중복되는 HMI Server도 하나로 운용하고, 동일한 resource 및 소프트웨어 모듈로 구성된 GSD와 ASD는 Timeline and Situation Display(TSD)로 통합하여, 사용자의 확대/축소 또는 사전 정의된 설정에 따라 지상 화면과 공중 화면을 자유자재로 볼 수 있도록 하였다. 여기서 MMP와 TSD는 각각 기존 소프트웨어인 DMP/TAMP와 GSD/ASD와 기본적으로 동일한 모듈로 구성하였으나, 엄밀하게는 기존 분리된 소프트웨어와 상이하다 할 수 있으므로, 소프트웨어 요구사항 명세서, 소프트웨어 설계서, 시험 계획서/절차서/결과서를 별도로 작성하였다. 아래는 추가로 작성된 소프트웨어 산출 문서들이다.

[표 19] 제주공항 시작품을 위한 추가 개발 소프트웨어 산출 문서

구분	문서번호	내용	별책
소프트웨어 요구사항	MIDAS-P1-SRS-MMP-001	MMP 소프트웨어 요구사항 명세서	6-8
	MIDAS-P1-SRS-MHMI-001	MHMI 소프트웨어 요구사항 명세서	6-9
소프트웨어 설계	MIDAS-P1-SDD-MMP-001	MMP 소프트웨어 설계 기술서	7-8
	MIDAS-P1-SDD-MHMI-001	MHMI 소프트웨어 설계 기술서	7-9
소프트웨어 시험계획	MIDAS-P1-STP-MMP-001	MMP 소프트웨어 시험 계획서	9-8
	MIDAS-P1-STP-MHMI-001	MHMI 소프트웨어 시험 계획서	9-9
소프트웨어 시험절차	MIDAS-P1-STD-MMP-001	MMP 소프트웨어 시험 절차서	10-8
	MIDAS-P1-STD-MHMI-001	MHMI 소프트웨어 시험 절차서	10-9
소프트웨어 시험결과	MIDAS-P1-STR-MMP-001	MMP 소프트웨어 시험 결과서	11-8
	MIDAS-P1-STR-MHMI-001	MHMI 소프트웨어 시험 결과서	11-9

여기서 MHMI은 MIDAS HMI의 약자로서, TSD(GSD, ASD의 통합)와 기존 HMI Server, EFS 전체 시스템을 일컫는다.

아래 그림은 제주공항에 설치된 MIDAS 시스템의 전체 구성도를 보여준다.



[그림 177] 제주공항 MIDAS 시스템 구성도

연계/설치 시스템을 표로 요약하면 아래와 같다.

[표 20] 제주공항 시범운용을 위한 연계/설치 시스템

구분	시스템	내용	비고
공항 운영 시스템	Radar	공항 감시 레이더(제주)	
		항공로 감시 레이더(동광)	
	FDP	항공교통센터 FDP	
	IFIS(A-CDM)	통합 비행 정보 시스템	
MIDAS 시스템 (항적 처리 시스템 포함)	ADS-B GS	ADS-B 안테나	
		ADS-B 자료 처리기	
	SDP	감시자료 처리시스템 (기존 R&D 성과)	Server
	EIF	외부 자료 처리 시스템	Server
	MMP	MIDAS 주처리 시스템	Server
	HMI Server	HMI 서버	Server
	TSD	Timeline 및 상황 현시 시스템	W/S
	EFS	전자 스트립	W/S
시험 보조 시스템	PLT	가상 조종석	W/S
	TSS	항공교통 시뮬레이션 시스템	W/S
	TAPAS	Playback 툴	W/S

MIDAS 시스템에 의한 출도착 통합관리가 가능하기 위해서는 항공기의 현재 상태에 대한 자료 즉, 지상/공중 항적 자료가 필수적이다. 제주공항의 경우, 지상 이동 항적 식별을 위해 ASDE 장비를 사용하고 있는데, 해당 장비의 경우 관제사에 의해 callsign이 수동으로 붙여져야 하나, 실 관제에서 해당 행위가 이루어지지 않고 있고, Ku-band 방식임에 따라 강우 등 기상 악화 시 성능 저하가 심하여 항적이 제대로 탐지되지 않는 문제가 있다. 이에, 본 연구에서는 ADS-B 안테나 및 자료 처리기를 장비실에 거치하여 실시간 지상 항적 자료를 생성하였다. 공중 항적의 경우에도, 제주공항에서 사용하고 있는 외산 관제시스템(ARTS, Automated Radar Terminal System)이 외부로 항적자료를 제공을 할 수 없는 문제가 있어서, 앞서 언급한 ADS-B 자료와 공항감시레이더(제주) 및 항공로 감시레이더(동광) 자료를 다중 센서 추적(기존 국토부 R&D 성과 활용)하여 항적을 생성하였다. 기존 일반적인 추적 기술은 지상 항적과 공중 항적을 분리 추적하는 한계가 있으나, 본 연구에서는 ADS-B 자료와 레이더 자료를 하나의 프로세스(SDP, Surveillance Data Processor)에서 처리함에 따라 지상/공중 구별

없이 하나의 항공기에 대해 하나의 연결된 항적을 생성할 수 있도록 하였다.

비행계획의 경우, 항공교통센터의 비행자료처리기(FDP, Flight Data Processor)에서 전송하는 자료를 기본을 하되, 한국공항공사의 통합 비행 정보 시스템(IFIS, Integrated Flight Information System)으로부터의 비행계획과 통합하였다.

제주공항의 경우, A-CDM이 본격적으로 구축 운용되지 않음에 따라, stand 정보를 포함한 기본적인 운항정보의 경우 한국공항공사의 기존 IFIS로부터 입력 받아 처리해 왔다. 그러나 2020년 하반기부터 A-CDM이 단계적으로 운용 개시됨에 따라 A-CDM 시스템과의 연계 운용을 위해 A-CDM 시스템에 포함된 신규 IFIS와의 연계도 완료하였다. 신규 IFIS로부터 기존의 stand 정보, 비행계획 정보 이외에도 TOBT, AOBT, ATOT 등의 자료도 입력 받을 수 있도록 하였다. 수신 자료는 database에 저장 관리하였으며 스케줄 데이터가 업데이트될 때 마다 해당 시간정보를 스케줄링 처리를 담당하는 MMP에 제공하였다.

또한 실시간 운용되는 MIDAS 시스템과 별도로 시험을 위한 보조시스템을 추가하여 개발 및 시험에 활용하였다. Traffic Simulation System(TSS)은 시뮬레이션 시나리오(실제 항공교통 자료를 활용하여 생성)에 기반하여 항적, 비행계획, 운항정보 등을 모의하는 시스템이고, Pseudo Pilot Station(PLT)은 가상 조종석으로서 시뮬레이션 과정에서 조종사 역할을 수행할 수 있도록 사용자 인터페이스를 제공한다. 이들은 HITL 시뮬레이션 시스템의 서브시스템으로 포함된 시스템으로서, 다양한 종류의 시나리오에서 MIDAS 시스템이 정상 작동하는지 확인하는 용도로 활용되었다. [그림 177]과 [표 20]에서 TAPAS는 Traffic Analysis, Playback, and Statistics의 약자로서, 통계/분석/녹화를 위해 자체 개발한 툴을 지칭한다. 시범운용 과정에서 발생하는 여러 이슈들에 대해서는 이슈가 발생한 시점에서의 상황을 재현해야 할 필요성이 크다. 이에 상용 네트워크 snipping tool인 Wireshark 프로그램을 이용하여 외부 입력자료를 지속적으로 녹화하였고, 녹화된 자료를 playback할 수 있는 툴인 TAPAS를 자체 개발하여 시험 및 디버깅에 활용하였다.

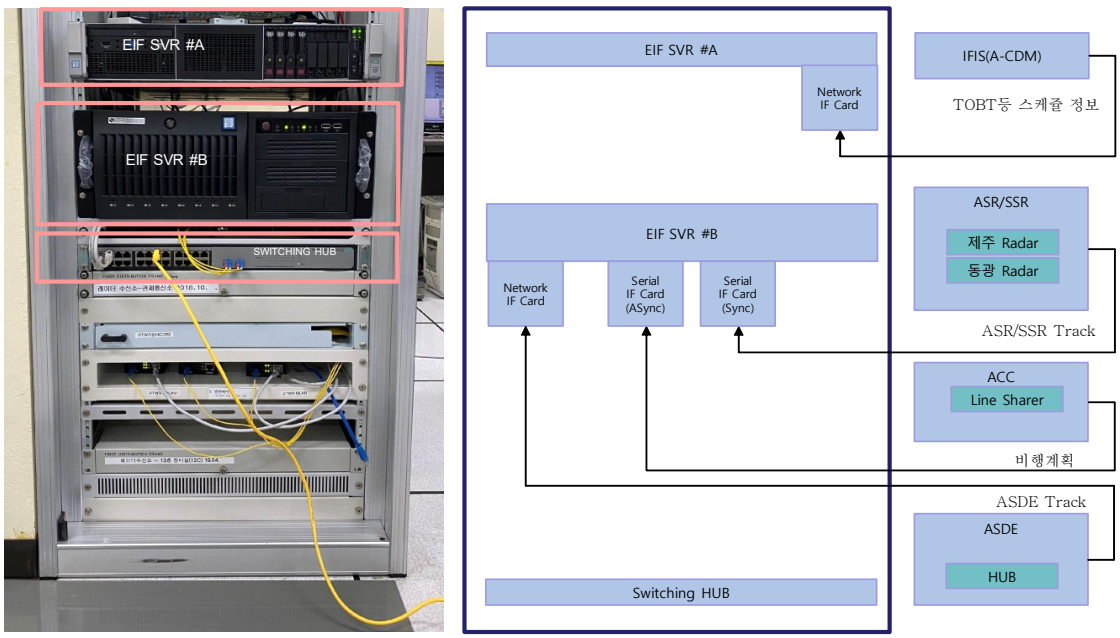
② 시작품 설치

MIDAS 시스템은 제주공항 관제탑 및 접근관제소에 아래와 같이 설치하였다.

[표 21] 제주공항 설치 시스템 구성

설치 장소	장비 목록	장비 용도
관제탑 2층 (레이더 수신소)	EIF 서버 #A	IFIS(A-CDM) 자료 수신 서버
	EIF 서버 #B	레이더 자료 수신 서버
	Switching HUB	MIDAS 시스템 내부 네트워크 통신
관제탑 13층 (레이더 장비실)	MMP 서버	출도착 통합 스케줄링 시스템
	SDP 서버	항적 처리 시스템
	ADS-B 수신 장비	ADS-B 항적 수신 장비
	HMI / RSA 서버	HMI / RSA 서버 시스템
	HMI 클라이언트	EFS 및 TSD HMI 클라이언트 (개발/시험용)
	KVM 모니터	서버운용을 위한 KVM 모니터 장비
관제탑 15층 (타워 관제소)	HMI 클라이언트 #A	EFS 및 TSD HMI 클라이언트 (Delivery 석)
	HMI 클라이언트 #B	EFS 및 TSD HMI 클라이언트 (Local 석)
접근관제소	HMI 클라이언트 #C	TSD HMI 클라이언트 (Approach 석)

MIDAS를 구성하는 시스템 중 외부인터페이스(EIF) 시스템은 관제탑 2층 레이더 수신소에 다음과 같이 2식이 설치되어 있다. 또한, MIDAS 시스템 간의 내부 네트워크 통신을 위해 스위칭 허브 1식이 설치되어 있다.



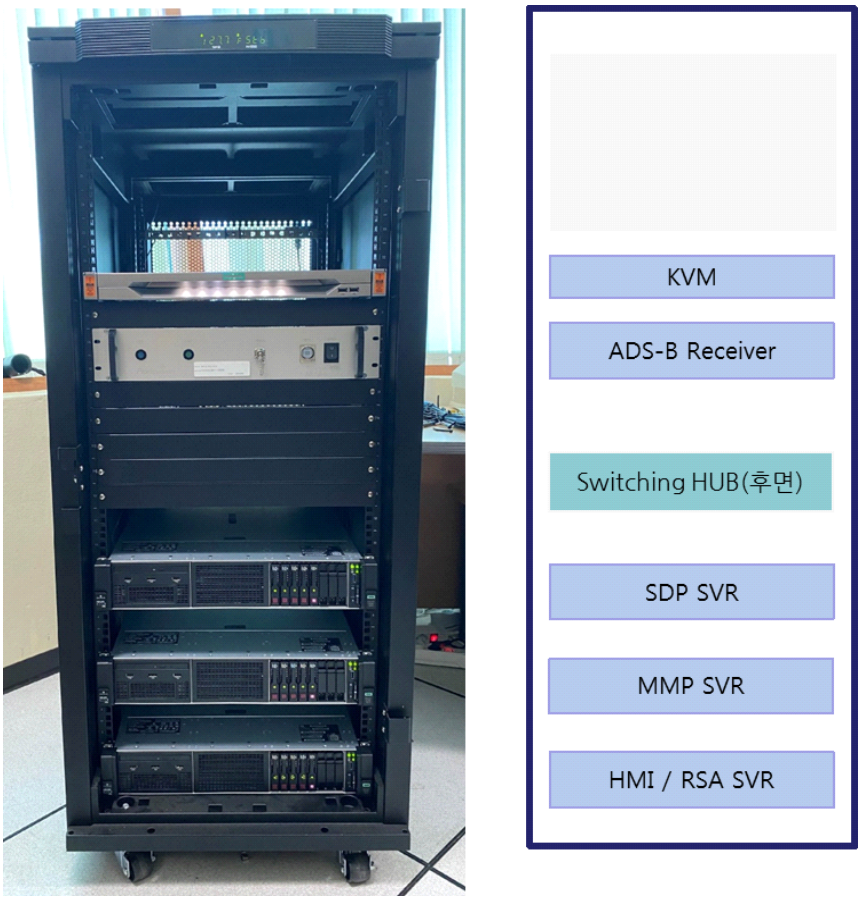
[그림 178] 제주공항 MIDAS 외부연계 시스템 설치(관제탑 2층)

제주공항의 데이터 수신에 적합하도록 EIF 서버를 두 대로(EIF #A, #B) 분리하였으며, EIF 서버별 연동대상 및 인터페이스 방식은 아래 표와 같다.

[표 22] 제주공항 EIF 연동 정보

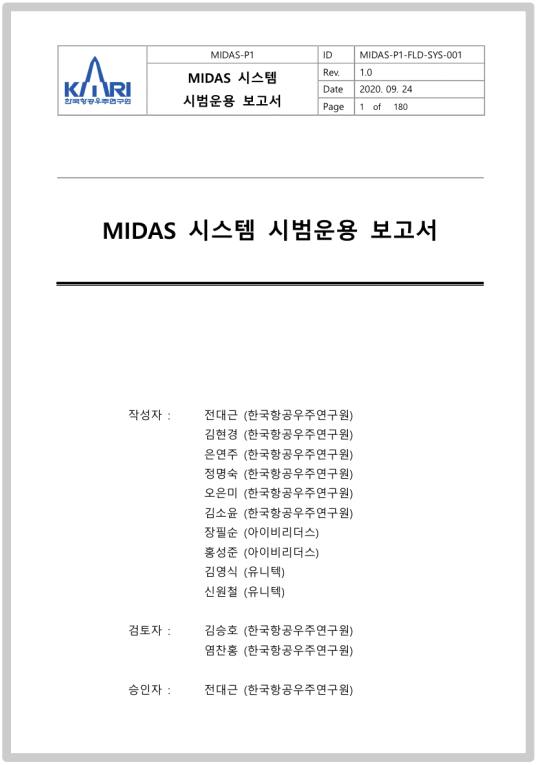
Server	연동대상	인터페이스	데이터
EIF #A	IFIS 자료	Network Interface Card	MESIM Indigo ESB
EIF #B	레이더	Serial Interface Card (Sync)	ASTERIX CAT. 48
	비행계획	Serial Interface Card (Async)	ICAO 4444

MIDAS를 구성하는 주요 서버들은 제주공항 관제탑 13층의 레이더 수신소 장비실에 설치하였으며, 시스템 구성은 다음과 그림과 같다. EIF 시스템과의 연계는 레이더 수신소 2층에 설치된 스위칭 허브와 연결하여 MIDAS 시스템 간의 단독 네트워크 망으로 구성되어 있다.



[그림 179] 제주공항 MIDAS 서버 시스템 설치(관제탑 13층)

제주공항의 시범운영을 위한 HMI 시스템은 각각 제주공항 관제탑 관제실에 2식, 접근관제소에 1식, 개발 테스트용 1식이 설치되어 있다. 관련한 상세 사항은 “MIDAS 시스템 시범운용 보고서”(별책 16)에 기술되어 있다.



	MIDAS-P1	ID	MIDAS-P1-FLD-SYS-001
KARI 항공우주연구원	MIDAS 시스템 시범운용 보고서	Rev.	1.0
		Date	2020. 09. 24
		Page	1 of 180

MIDAS 시스템 시범운용 보고서

작성자 : 전대근 (한국항공우주연구원)
김현경 (한국항공우주연구원)
은연주 (한국항공우주연구원)
정명숙 (한국항공우주연구원)
오은미 (한국항공우주연구원)
김소윤 (한국항공우주연구원)
장필순 (아이비리더스)
홍성준 (아이비리더스)
김영식 (유니텍)
신원철 (유니텍)

검토자 : 김승호 (한국항공우주연구원)
염찬홍 (한국항공우주연구원)

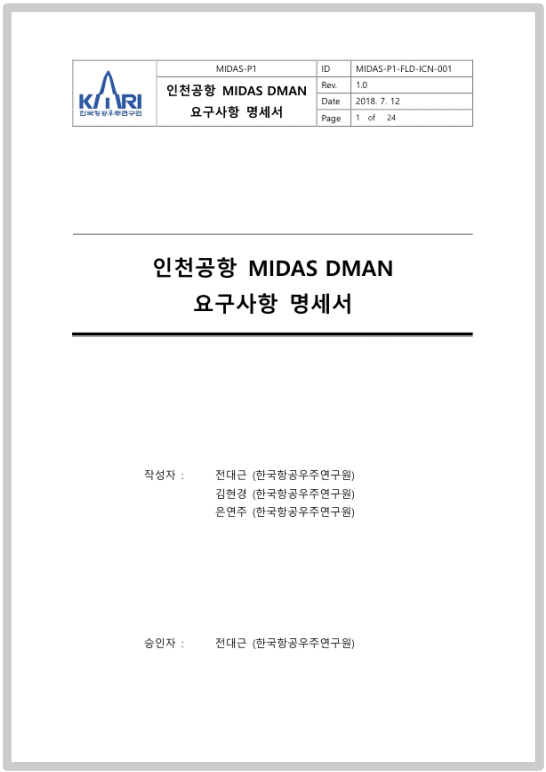
승인자 : 전대근 (한국항공우주연구원)

[그림 180] MIDAS 시스템 시범운용 보고서(표지)

(나) 인천공항

① 시작품 개발

항우연-인천공항공사 간 체결된 MOU에 근거하여, 인천공항에 적합한 DMAN 시작품을 개발하였다. 시작품 개발을 위해, 기존 MIDAS DMAN 시스템 요구사항 명세서를 기준으로 서울지방항공청(시스템 사용자) 및 인천공항공사(시스템 유지보수자)로부터 추가/수정 요구사항을 수렴하였으며, 이를 인천공항 DMAN 시스템 요구사항 명세서에 정리하였다.



KARI	MIDAS-P1	ID	MIDAS-P1-FLD-ICN-001
	인천공항 MIDAS DMAN 요구사항 명세서	Rev.	1.0
		Date	2018. 7. 12
		Page	1 of 24

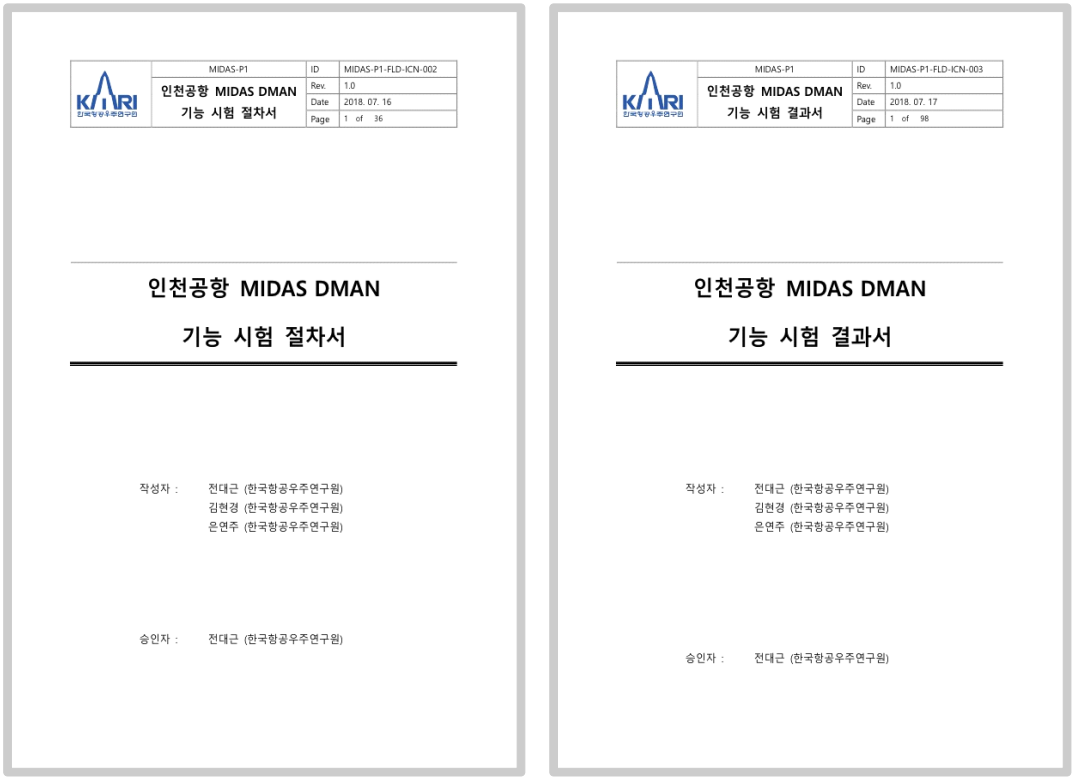
인천공항 MIDAS DMAN
요구사항 명세서

작성자 : 전대근 (한국항공우주연구원)
김현경 (한국항공우주연구원)
은연주 (한국항공우주연구원)

승인자 : 전대근 (한국항공우주연구원)

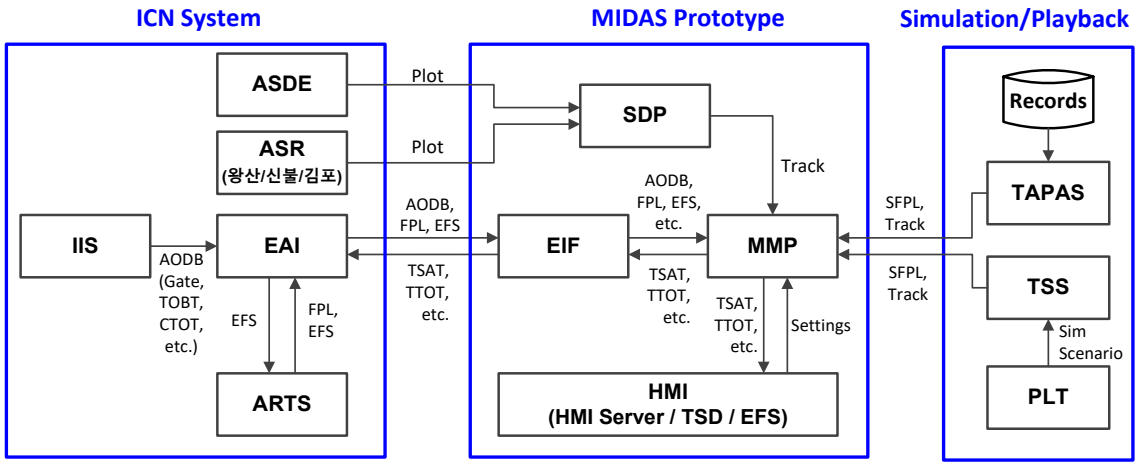
[그림 181] 인천공항 MIDAS DMAN 요구사항 명세서(표지)

도출된 추가 요구사항 및 인천공항 DMAN 가용 인터페이스 환경을 고려하여 인천공항 MIDAS DMAN 시스템 시작품을 개발하였다. 개발 과정에서 기 구현된 DMAN 서브시스템 소프트웨어를 업데이트하였으며, 인천공항 DMAN 시스템 요구사항 명세서에 근거하여 소프트웨어 기능 시험 절차를 수립한 후 이를 근거로 소프트웨어 기능 시험을 수행하였다. 총 40개 기능 시험 항목에 대해 만족하는 시험결과를 얻었으며, 관련 결과는 인천공항 DMAN 시스템 기능 시험 결과서에 기술하였다. 그 밖에 인천공항 DMAN 시스템 시작품에 대한 사용자 매뉴얼 및 유지보수 매뉴얼을 작성하여 관제사 및 시스템 유지보수자가 활용할 수 있도록 하였다.



[그림 182] 인천공항 MIDAS DMAN 기능 시험 절차서/결과서(표지)

아래 그림은 인천공항에 설치된 MIDAS 시스템의 전체 구성도를 보여준다.



[그림 183] 인천공항 MIDAS 시스템 구성도

연계/설치 시스템을 표로 요약하면 아래와 같다.

[표 23] 인천공항 시범운용을 위한 연계/설치 시스템

구분	시스템	내용	비고
공항 운영 시스템	Radar	공항 감시 레이더(왕산)	
		공항 감시 레이더(신불)	
		공항 감시 레이더(김포)	
	ASDE-X	공항 지상감시 레이더 시스템	
	FDP	항공교통센터 FDP	
	IIS(A-CDM)	통합정보시스템	
MIDAS 시스템 (항적 처리 시스템 포함)	SDP	감시자료 처리시스템 (기존 R&D 성과)	Server
	EIF	외부 자료 처리 시스템	Server
	MMP	MIDAS 주처리 시스템	Server
	HMI Server	HMI 서버	Server
	TSD	Timeline 및 상황 현시 시스템	W/S
	EFS	전자 스트립	W/S
시험 보조 시스템	PLT	가상 조종석	W/S
	TSS	항공교통 시뮬레이션 시스템	W/S
	TAPAS	Playback 툴	W/S

MIDAS 시스템에 의한 출도착 통합관리가 가능하기 위해서는 항공기의 현재 상태에 대한 자료 즉, 지상/공중 항적 자료가 필수적이다. 인천공항의 경우, 지상 이동 항적 식별을 위해 ASDE-X의 항적을 수신하며 공중항적의 경우는 왕산, 신불, 김포 Radar 자료를 수신하였고 이들을 다중 센서 추적(기존 국토부 R&D 성과 활용)하여 시스템 항적을 생성하였다. 또한 출발 관리 스케줄링을 위한 비행계획, TOBT, AOBT, ATOT 등의 데이터를 MIDAS 시스템의 스케줄링에 반영하기 위하여 인천국제공항공사의 A-CDM 시스템에 해당되는 통합정보시스템(IIS, Integrated Information System) 자료를 수신하였다. 수신 자료는 database에 저장 관리하였으며 스케줄 데이터가 업데이트될 때 마다 해당 시간정보를 스케줄링 처리를 담당하는 MMP에 제공하였다.

시험 보조 시스템으로는 제주공항 시작품과 동일하게 PLT, TSS, TAPAS를 운용하였다.

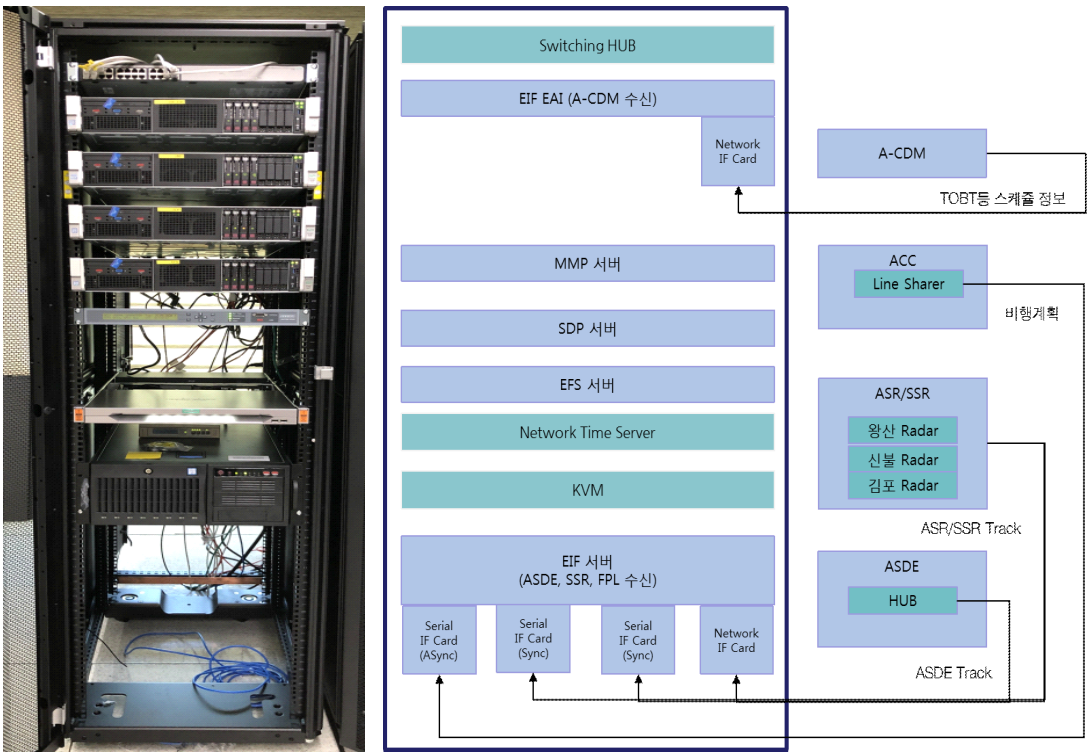
② 시작품 설치

MIDAS 시스템은 인천공항 관제탑 및 레이더 수신소에 다음과 같이 각각 설치되어 있다.

[표 24] 인천공항 설치 시스템 구성

설치 장소	장비 목록	장비 용도
레이더 수신소 (3층)	EIF 서버 #A	A-CDM 데이터 수신 서버
	EIF 서버 #B	ASDE-X, 공항감시 레이더 자료수신 서버
	Switching HUB	MIDAS 내부 네트워크 통신
	MMP 서버	출발 스케줄링 시스템
	SDP 서버	항적 처리 시스템
	HMI / RSA 서버	HMI / RSA 서버 시스템
	Network Time 서버	UTC 지원 서버
	HMI 클라이언트	EFS 및 TSD HMI 클라이언트 (개발시험용)
	KVM 모니터	서버운용을 위한 KVM 모니터 장비
공항 관제탑	HMI 클라이언트 #A	TSD HMI 클라이언트 (Local/Supervisor 석)
계류장 관제탑	HMI 클라이언트 #B	TSD HMI 클라이언트 (Ramp 석)
레이더 수신소	HMI 클라이언트 #C	EFS 및 TSD HMI 클라이언트

MIDAS를 구성하는 MMP 등의 서버류는 인천국제공항 레이더 수신소에 설치하였으며, 시스템 구성은 아래와 같다.



[그림 184] 인천공항 MIDAS 외부연계 및 서버 시스템 설치 (AICC 3층)

인천공항의 데이터 수신에 적합하도록 EIF 서버를 두 대로(EIF #A, #B) 분리하여 인천공항 데이터를 연동하며 EIF 서버별 연동대상 및 인터페이스 방식은 아래 표와 같다.

[표 25] 인천공항 EIF 연동정보

Server	연동대상	인터페이스	데이터
EIF #A	A-CDM	Network Interface Card	MESIM Indigo EAI
EIF #B	ASR Plot	Serial Interface Card (Sync)	ASTERIX CAT. 48
	Flight Plan	Serial Interface Card (Async)	ICAO 4444
	ASDE Track	Network Interface Card	ASTERIX CAT. 10

인천공항의 시범운용을 위한 HMI 시스템은 인천관제탑, 계류장관제탑, AICC 장비실 1층 및 3층에 각각 설치하였으며, 관련한 상세 사항은 “MIDAS 시스템 시범운용 보고서”([그림 180], 별책 16)에 기술되어 있다.

(4) 시범운용 결과

(가) 시범운용 일정

제주공항 및 인천공항의 시범운용 일정을 요약하면, 각각 [표 26], [표 27]과 같다.

[표 26] 제주공항 시범운용 주요 일정

일자	내용	장소	참여기관
'18.12.14	시범운용 준비 검토회의1	제항청	제항청, 공사, 연구진
'19.03	시스템 설치	관제탑 장비실	연구진
'19.4.14-19	현장 시험	관제탑 장비실	연구진
'19.5.27-31	현장 시험	관제탑 장비실	연구진
'19.7.8-12	현장 시험	관제탑 장비실	연구진
'19.8.19-23	현장 시험	관제탑 장비실	연구진
'19.8.22	현장 시험 경과 보고 및 시연	관제탑 장비실	제항청, 연구진
'19.11.18-19	현장 시험	관제탑 장비실	연구진
'19.12.16-20	현장 시험	관제탑 장비실	연구진
'19.12.19	시범운용 준비 검토회의2	제항청	제항청, 공사, 연구진
'20.1.13-16	현장 시험	관제탑/접근관제소	제항청, 연구진
'20.2.10-14	현장 시험	관제탑/접근관제소	제항청, 연구진
'20.4.20-24	현장 시험	관제탑/접근관제소	제항청, 연구진
'20.5.18-22	현장 시험	관제탑/접근관제소	제항청, 연구진
'20.7.13-17	현장 시험	관제탑/접근관제소	제항청, 연구진
'20.7.14	시범운용 경과 및 향후계획 협의	제항청	제항청, 연구진
'20.8.10-14	현장시험	관제탑/접근관제소	제항청, 연구진

[표 27] 인천공항 시범운용 주요 일정

일자	내용	장소	참여기관
'17.11.14	시범운영 계획 협의	정부합동청사	공사, 연구진
'17.11.22	현장 요구사항 협의	정부합동청사	서항청, 공사, 연구진
'18.2.21	사용자 설정 화면 설계 협의	정부합동청사	서항청, 공사, 연구진
'18.4.3-5	시스템 설치	AICC	공사, 연구진
18.4.16-19	현장 시험	AICC	연구진
'18.4.23-25	현장 시험	AICC	연구진
18.5.30-6.1	현장 시험	AICC	서항청, 연구진
'18.6.20-22	현장 시험	AICC	연구진
'18.6.27-29	현장 시험, 시범운영 설명회 1차	AICC	서항청, 공사, 연구진
'18.7.18-20	현장 시험	AICC	연구진
'18.7.25-27	현장 시험, 시범운영 설명회 2차	AICC	서항청, 공사, 연구진
'18.8.20-24	현장 시험, 관제탑 시스템 설치	관제탑/AICC	서항청, 공사, 연구진
'18.9.4	관제사 교육	관제탑	서항청, 공사, 연구진
'18.9.17-19	현장 시험	AICC	연구진
'18.12.26-27	현장 시험	AICC	연구진
'19.6.24	추가 시범운영 계획 협의	관제탑	서항청, 연구진
'19.7.22-26	현장 시험	AICC	연구진
'19.9.2-6	현장 시험	관제탑/AICC	서항청, 연구진
'19.9.23-27	현장 시험	관제탑/AICC	서항청, 연구진
'19.10.14-18	현장 시험	관제탑/AICC	서항청, 연구진
'19.11.11-15	현장 시험	관제탑/AICC	서항청, 연구진
'19.11.15	시스템 관리자 교육	AICC	공사, 연구진
'20.6.1-5	현장 시험, 시스템 설치	AICC	연구진
'20.7.27-31	현장 시험	AICC	서항청, 연구진

(나) 시범운용 결과 요약

시범운용은 연계된 외부시스템의 데이터가 문제 없이 입력되는지에 대한 기본적인 인터페이스 자료 검증(기존 운용시스템과의 입력자료 비교)을 바탕으로 하여, 기능 개선, 운용개념 반영, 오류 수정, 안정성, 튜닝, 예외 처리 등이 포함될 수 있도록 하였다. 또한 시범운용 과정에서 발생한 현안에 대해서는 내용을 별도로 정리하여 관리하였다. 시범운용 중 관제사로부터 받은 의견은 해당 내용, 담당, 우선순위, 이슈분류 등으로 구분 정리하여 관제사의 검토를 거쳤으며, 소프트웨어 수정에 따른 결과는 다음 시범운용 시 확인될 수 있도록 하였다. 또한 시범운용을 전후하여 준비 또는 디버깅 목적의 개발자 시험이 항우연 실험실에서 진행되었는데 이들 내용도 함께 관리하였다. MIDAS 시스템은 사용자 설정에 해당하는 adaptation file을 제외하고는 공항에 구분없이 동일한 소프트웨어를 사용함에 따라, 시험과정에서 발생하는 모든 문제는 항우연 실험실, 제주공항, 인천공항으로 따로 정리하지 않고 현안 발생 일자 순으로 통합 정리하였다.

총 341개의 항목이 정리되었는데, 내용적으로 분류해 보면 아래 표와 같다.

[표 28] 시범운용 결과 분류

구분	개수	내용
기능개선	152	사용자 편의 및 요청사항에 따른 기능 추가 등
운용개념 반영	49	실운용 관제 절차를 고려하여 반영/수정 필요 사항 처리
오류 수정	89	시범운용 과정에서 발견되고 수정된 버그 처리
안정성	11	시스템 비정상 작동/종료 등 처리
튜닝	11	분리 간격, Correlation, VTT, 스케줄링 관련 adaptation 설정 변경
예외 처리	7	입력 오류 등에 대한 예외 처리
이슈 아님	15	사용법 오해, ADS-B 등 입력 자료 자체 품질에 따른 증상 등
단순 정보	7	MIDAS 시스템 기능에 대한 평가 또는 관제관련 정보
합계	341	

표에서 보이듯, 대부분의 항목은 사용자 편의/요청사항 및 실 관제 절차 반영사항(201개)과 오류 수정(89개)에 해당하며, 안정성, 튜닝, 예외 처리 등이 그 뒤를 잇는다.

아래 표는 담당 서브시스템별 분류(담당 시스템이 중복될 수 있음)인데, 관제사의 현시 화면인 TSD 및 EFS와 스케줄링을 담당하는 MMP 해당사항이 많았다.

구분	항목 개수
MMP	129
HMI Server	6
TSD	152
EFS	81
EIF	7
SDP	1

시험 후에는 시험 시 제시된 추가 요구사항에 대해서는 검토 후 필요 시 소프트웨어를 보완하였고, 발견된 오류에 대해서는 playback 툴을 이용하여 오류 발견 시점의 상황을 재현한 후 소프트웨어를 수정하였다. 그 결과, 총 341개 항목 중 336개 항목에 대해 소프트웨어 반영을 완료하였으며, 5개 항목에 대해서는 현실적인 여건 등을 고려하여 반영하지 않았다. 미반영 항목을 요약하면 아래표와 같다.

[표 30] 시범운용 이슈 관련 미반영 항목

항목번호	이슈	담당	검토 결과
24	TSD 상에 TOBT를 변경하는 기능	MMP/TSD	기술적으로 문제되지 않으나, TOBT는A-CDM의 영역이므로 HMI에서 설정하는 것은 적절하지 않음
60	항적 tag 겹치지 않게 처리	TSD	Graphic library의 resource 제한, tag 자동 이동에 따른 불편함으로 미반영
225	항적 처리 시 고도에 대한 QNH Correction (AMOS 또는 유사 시스템 연계 시)	SDP	보안 문제로 AMOS 또는 유사 시스템 연계 불가
252	Strip 버튼을 문자가 아닌 심볼로 표현하는 방안 검토	EFS	사용자 요구사항 중 하나인 simple 모드와 요구사항 충돌 - 버튼 크기 제약으로 미반영
335	도착 항공기의 경로 조언 이외 속도 조언 정보 가능 여부 검토	MMP	항공로와 달리 고도에 따라 속도가 달라짐에 따라 속도 조언 제공은 현실적으로 반영하기 힘들며 혼란을 초래할 수도 있음

시범운용 과정에서 식별된 341개의 이슈에 대한 상세한 처리 결과는 “MIDAS 시스템 시범운용 보고서”([그림 180], 별책 16)에 정리하였다.

라) 제3자 소프트웨어 정적/동적 시험 (별책 27 참조)

소프트웨어에 대한 신뢰성 검증을 위해, 통합 스케줄러인 MMP에 대해 제 3자 소프트웨어 정적/동적 시험을 수행하였다.

소프트웨어 정적 분석은 소프트웨어의 실행 없이 소스코드 구문 상에서 발생할 수 있는 잠재적 결함을 발견하는 과정으로, 자동화된 툴을 이용하여 수행한다. 소프트웨어 정적 분석을 위한 사전 작업으로, MIDAS 소프트웨어 코딩 룰(Coding Rule)을 작성하였으며(별책 2 참조), 이는 Common Weakness Enumerate(CWE) 659에 정의된 필수 항목과 방위사업청 무기체계 소프트웨어 코딩 규칙 중 일반사항과 C++ 해당 사항에 기반한다. 코딩 룰 기반의 정적 분석은 LDRA 툴을 이용하여 자동화된 분석 과정으로 수행되며, 그 결과는 공인된 검사기관 담당자가 확인하는 방식으로 진행되었다. 검사기관 담당자는 툴에서 자동으로 생성된 결과 중 위반 사항이 있는지 확인하고, 위반사항에 대해서는 대한 실제적인 위반 여부(오검출 및 구조상 불가피한 사항은 문서작성을 통해 예외처리)를 분석하였다. 소프트웨어 정적시험 결과는 별책 27을 참조하도록 한다.

소프트웨어 동적 분석은 소프트웨어가 구동된 환경에서의 결함 요소를 발견하는 과정으로, 탐침코드 설치, STD 기반의 소프트웨어 시험 수행을 통한 코드 실행 기록

누적, 누적된 실행 기록 분석을 통해 커버리지를 분석하는 방법으로 수행하였다. 구문 커버리지 100% 만족을 통해, 개발된 소프트웨어의 분석 및 실행 시 잠재적 위험을 가져올 수 있는 요소를 제거하고자 하였으며, 동적 시험 결과는 별책 27을 참조한다.

마) GS 인증 평가 (별책 28 참조)

Good Software(GS) 인증은 소프트웨어산업 진흥법 제13조에 의거한 품질인증으로서, ISO 국제표준(ISO 25000 시리즈 및 구 ISO 9126 품질 특성)을 기준으로 소프트웨어의 기능적합성, 신뢰성, 효율성, 사용성, 유지보수성, 이식성, 성능효율성, 호환성 및 보안성을 시험하여 인증을 부여하게 된다. 소프트웨어 품질인증기관인 한국산업기술시험원(KTL)에 의뢰하여 GS 인증 프로세스를 진행하였으며, 인증 평가 대상 소프트웨어를 'MIDAS System v1.0'으로 명명하였다. MIDAS System v1.0은 대상 공항에 따라 소프트웨어 상의 변동 없이 adaptation file로 환경변수를 설정, 운용할 수 있는 MMP와 HMI 시스템(HMI Server, TSD, EFS)으로 구성된다. GS 인증을 위해서는 인증 기준을 충족하는 형태의 제품설명서, 사용자 설명서가 요구되며, 시험을 진행하기 위한 소프트웨어의 기능 체크리스트 작성 및 시험 환경 구축 지원이 필요하다. 또한 인증 시험이 진행되는 동안 특정 결함 이슈가 발생하였을 때 이를 보완하여 소프트웨어를 개선하는 등의 대응이 요구된다. 이러한 과정을 거쳐 시험이 완료되면 품질인증기관에서는 외부 위원을 포함한 심의위원회를 개최하여 GS 인증 여부를 가리게 되고, 적합 판정을 받은 소프트웨어에 한해 GS 인증서를 발급한다. MIDAS System v1.0은 GS 인증 '적합' 판정을 받아 [그림 183]와 같이 소프트웨어 품질 인증을 획득하였다. GS 인증과 관련된 상세 내용은 별책 28을 참조하도록 한다.



[그림 185] GS 인증 프로세스 수행(左) 및 GS인증서(右)

5) 한-NASA 공동 연구 (별책 26 참조)

본 연구과제에서는 선진 항공교통관리 연구기관과의 협력으로 기술 격차를 해소하고, ATM 기술 개발 및 효용성 검증 프로세스 관점에서 선진 해외 연구기관의 경험 및 기술 획득을 추진하고자 미국 NASA와 국제공동연구를 진행하였다. 1차년도 kick-off 미팅을 시작으로 총 5회의 국제 공동 워크샵을 개최하여 실무진 급에서 기술적인 연구 성과를 공유하였으며, 총 2회의 KAIA-NASA간의 공동 워크샵에서 공동연구 성과를 대내외에 발표하였다. 이외에도 주관기관인 한국항공우주연구원과 NASA의 실무진은 월간으로 원격화상 회의를 통해 공동연구 진행 상황을 점검하고 각 기관에서 진행 중인 연구 과제의 현황을 공유하였다.



[그림 186] 한-NASA 공동 워크숍 (2016년 4월 左, 10월 右)



[그림 187] 한-NASA 공동 워크숍 (2017년 5월 23-25일)



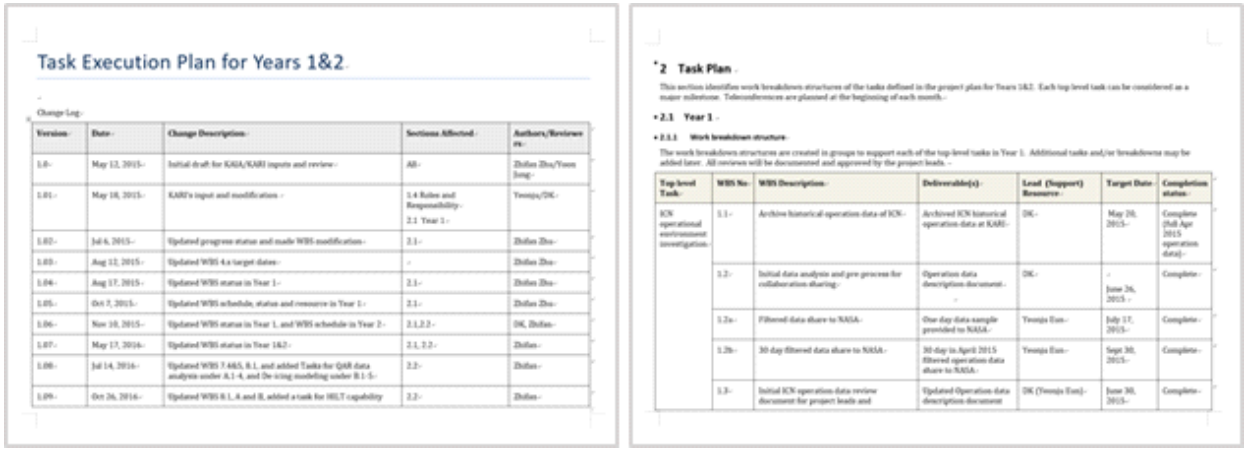
[그림 188] 한-NASA 공동 워크숍 (2019년 5월 14-16일)

[표 31] 공동 워크샵 개최 및 참여 실적

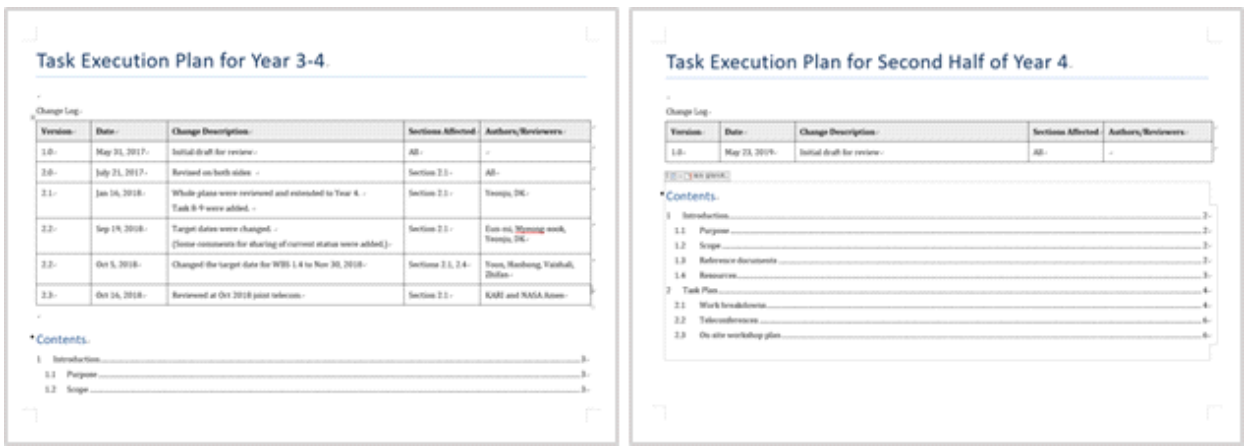
일시	장소	워크샵 제목
2015. 4. 28-29	NASA Ames	Kickoff (The 1st) Workshop for KAIA/KARI /IIAC-NASA ATM Research Collaboration
2015. 8. 27	K-Hotel(서울)	2015 Joint Workshop for Korea-NASA Aviation Research Collaboration
2016. 4. 5-7	한국항공우주연구원	The 2nd Joint Workshop for KAIA/KARI - NASA ATM Research Collaboration
2016. 10. 24-26	NASA Ames	The 3rd Joint Workshop for KAIA/KARI - NASA ATM Research Collaboration
2017. 5. 23-25	한국항공우주연구원	The 4th Joint Workshop for KAIA/KARI - NASA ATM Research Collaboration
2018. 6. 7	COEX(서울)	2018 Joint Workshop for Korea-NASA Aviation Research Collaboration
2019. 5. 14-16	한국항공우주연구원	The 5th Joint Workshop for KAIA/KARI - NASA ATM Research Collaboration

특히 공동 연구 추진 당시 NASA에서는 그간의 공항 지상면 교통관리 및 출발 관리 기술을 종합하여 Airspace Technology Demonstration(ATD)-2 프로젝트를 수행 중이었으며, 대상 공항과 운용 환경은 다르지만 과업의 목표와 연구 범위가 유사하여 상호간 적극적인 연구협력이 이뤄질 수 있었다.

효율적인 공동연구 수행을 위해 공동연구 아이템별 수행 계획을 담은 task execution plan을 작성한 후, 주요 워크샵을 기점으로 연구 성과를 공유하고 task execution plan을 업데이트하였으며, 이에 따라 공동연구를 수행하였다.



[그림 189] 공동연구 1-2차년도 task execution plan 표지 및 내용



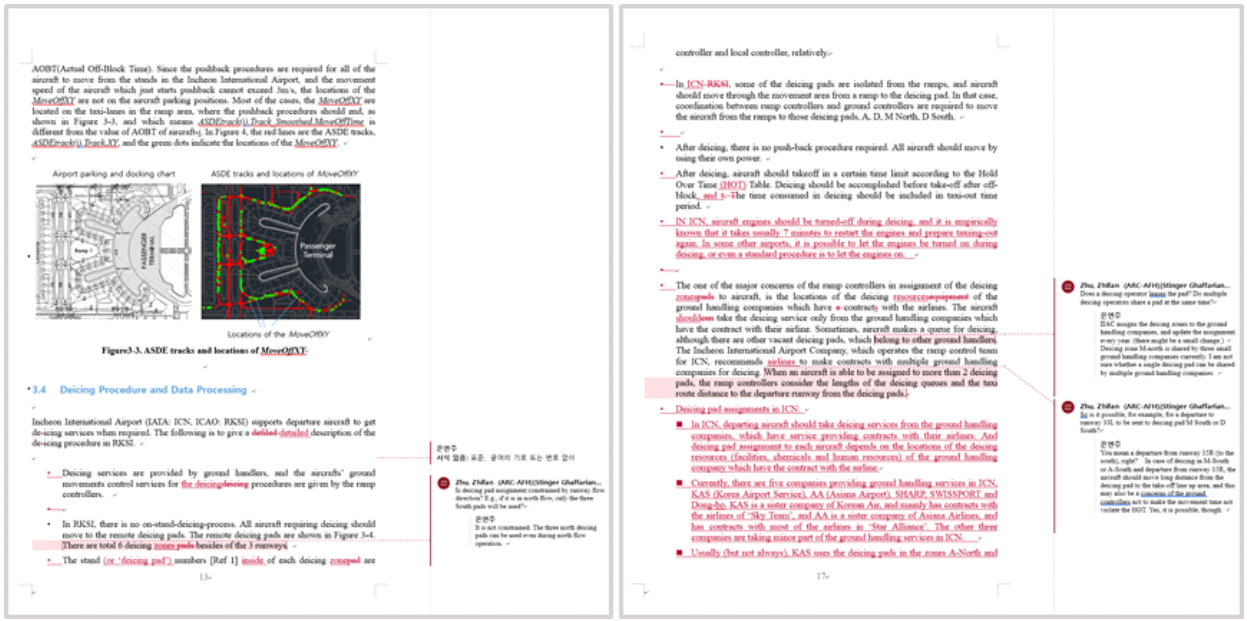
[그림 190] 공동연구 3-4차년도 task execution plan 표지

공동연구 수행 초기에는 상호간 연구노트를 작성, 공유하고 활용하였으며, NASA에서 소프트웨어를 무상으로 제공받아 fast-time 시뮬레이션 및 알고리즘 검증에 활용할 수 있었다. 그동안 공유된 연구노트와 소프트웨어는 다음과 같다.

[표 32] 상호간 작성/공유한 연구노트

번호	카테고리	연구노트 제목
1	Operation Data Description and Analysis	ICN Operation Data Description
2		ICN SME Questionaire
3		SOSS ICN Data Analysis

4		Data Table of 15min time bins of April 2015
5		Initial analysis and modeling of Incheon Airport Surface Traffic
6		ICN Airport Surface Heat Map
7	Modeling ICN (Incheon Airport) for SOSS	ICN Runway Configuration
8		ICN Runway Separation Rules
9		SOSS ICN Adaptation Description
10		SOSS ICN Model Validation Plan
11		SOSS ICN Model Validation
12		SOSS ICN Baseline Scenarios Description
13	Deicing Operation of ICN	Deicing Zones in ICN
14		Deicing Pad_Number
15		SOSS ICN Deice Discussion
16		ICN Deicing Ramp Control SME Questions
17		Deicing Q&A
18		ICN Aircraft Deicing Operation Analysis
19		A Deicing model for Incheon Airport
20		2019-2020 Zone, Pad assignment to GH
21		2019-2020 Zone, Deicing Service Contract between Airline-HG



[그림 191] 공유한 연구노트 예시

NASA 측으로부터 연구수행을 위해 2차년도에 스케줄러 개발단계에서 알고리즘 검증용으로 사용될 수 있는 배속(fast-time) 시뮬레이션 툴인 Surface Operations Simulator and Scheduler(SOSS)를 확보하였고, 3차년도에는 NASA에서 실제로 HITL 시뮬레이션에 활용하고 있는 항공교통시뮬레이션 소프트웨어의 핵심 모듈인 Air Traffic Generator(ATG)를 무상 확보하였다. SOSS는 과제 수행 전 기간에 걸쳐 스케줄링 알고리즘 검증과 편익 분석을 위한 fast-time 시뮬레이션 툴로 사용되었으며, 본 컨소시엄은 시뮬레이션 수행 과정에서 필요한 여러 가지 기능을 제안함으로써 SOSS의 기능 개선에 참여하였다. ATG는 향후 본 컨소시엄에서 자체개발한 HITL 시뮬레이션 시스템의 벤치마킹 대상이 되었다.

또한, ATM 관련 분야 연구경험이 없는 본 컨소시엄의 약점 보완을 위해 연구초반인 2015년과 2016에 각각 2개월씩 한국항공우주연구원의 참여연구원이 NASA에 방문하여 NASA에서는 어떤 시설과 방법, 절차를 통해 ATM 과제를 연구하는 지 습득하였으며, 그 과정에서 실질적인 연구로서 연구초반 공항 및 공역의 항공교통관리 운용환경 분석을 위한 데이터 획득과 분석, 최적 스케줄링 알고리즘 개발 등을 수행하였다. 이렇게 도출된 공동 연구 성과는 [표 33]와 같이 학회에 공동연구논문으로 발표하였으며, 이후에도 계속된 원격화상 회의와 이메일을 통해 서로간의 연구 성과가 도출됨에 따라 별도 방문 없이도 공동연구논문을 발표하게 되었으며, 이와 같은 성과를 인정받아 NASA head quarter 로부터 Group Achievement Award를 수상하기도 하였다.

[표 33] 공동 발표 논문 실적

저자		발표 시기	학술대회명	논문 제목
한국측	NASA측			
은연주, 전대근, 정명숙, 김현경, 오은미, 홍성권	Hanbong Lee, Zhifan Zhu, Yoon-Cheol Jung	2016. 6	16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference	Operational Characteristics Identification and Simulation Model Validation for Incheon International Airport
은연주, 전대근, 정명숙, 김현경, 오은미, 홍성권	Hanbong Lee, Zhifan Zhu, Yoon-Cheol Jung	2017. 7	17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference	Optimization of Airport Surface Traffic: A Case-study of Incheon International Airport
박배선, 이학태, 은연주, 전대근	Zhifan Zhu, Hanbong Lee, Yoon-Cheol Jung	2018. 6	18th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference	Comparison of First-Come First-Served and Optimization Based Scheduling Algorithms for Integrated Departure and Arrival Management
은연주, 전대근	Zhifan Zhu, Vaishali Hosagrapara, Hanbong Lee, Yoon-Cheol Jung	2019. 9	38th AIAA/IEEE DASC 2019	Modeling Deicing Operations in Departure Scheduling using Fast Time Simulation
은연주, 전대근, 김현경	Zhifan Zhu, Vaishali Hosagrapara, Hanbong Lee, Yoon-Cheol Jung	2019. 9	38th AIAA/IEEE DASC 2019	A Tactical Scheduler for Surface Metering under Minimum Departure Interval Restrictions

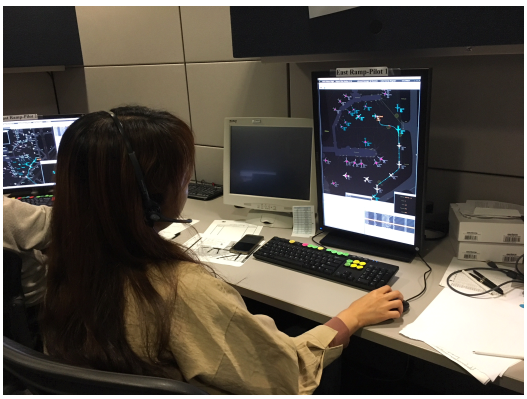




[그림 192] NASA Group Achievement Awards

NASA에서 수행중인 ATD-2 프로젝트는 미국의 샬롯 공항 (CLT, Charlotte Douglas Airport), 워싱턴 DC 항공교통센터와의 출발 항공기 교통 흐름 연계, 달라스 공항 (DFW, Dollas-fort Worth Airport)와 그 주변 공역의 교통상황에 대한 metroplex problem 등을 다루고 있으며, 이에 따라 2018년과 2019년 각각 대규모 HITL 시뮬레이션을 수행하였다. 본 컨소시엄에서는 HITL 시뮬레이션과 관련한 기술을 습득하기 위해 주관기관 연구진 2명이 2018년과 2019년 각각 약 2주간 NASA를 방문하여 ATD-2 HITL 시뮬레이션 관련 기술을 파악하고, 공동연구의 중간 연구 결과를 검토하는 자리를 가졌다. 국내에서는 이와 같은 새로운 ATM 시스템의 도입에 따른 대규모 HITL 시뮬레이션을 수행해본 경험이 전무하여 NASA의 HITL 시뮬레이션에 참여한 경험은 많

은 도움이 되었다. 특히 시험 목적에 따라 적절한 데이터를 획득하고 분석하는 방법, human factor 관련 기술의 중요성 등과 같이 시뮬레이션 자체를 수행하는 방법 이외에, 수행 목적에 맞는 적절한 시뮬레이션 방법이 무엇인지에 대한 방법들을 직접 현장에서 획득할 수 있었다.




[그림 193] NASA HITL 시뮬레이션 시험 참여 모습 (2018년 5월)



[그림 194] HITL 시뮬레이션 수행 모습 (CLT Ramp Control Tower 시뮬레이션, 2018년 5월)

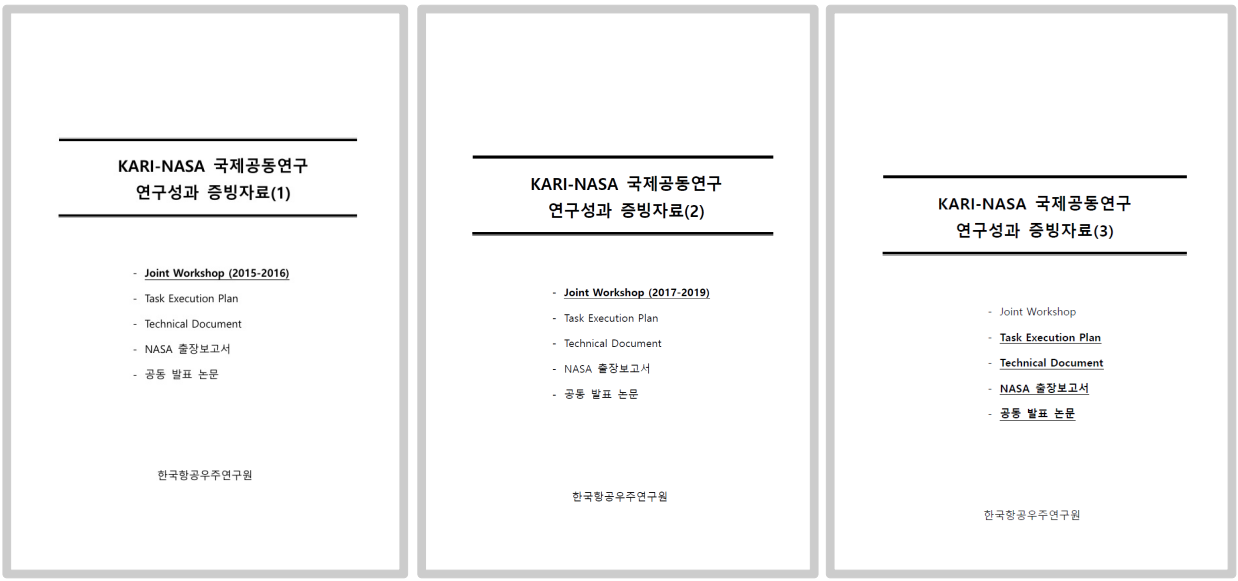



[그림 195] NASA HITL 시뮬레이션 시험 참여 모습 (2019년 3월)



[그림 196] 시뮬레이션 수행 후 디브리핑 하는 모습 (2019년 3월)

위와 같은 국제 공동연구 활동은, ATM 시스템의 자체 개발에 대한 경험이 없는 국내 연구진이 현장의 요구사항 수렴부터 실질적인 기술 개발 및 효용성 검증에 걸친 연구개발 전 주기적 프로세스 관점에서 선진 해외 연구기관의 경험 및 기술을 획득하는데 결정적인 도움을 주는 활동이 되었다. 이와 같은 공동연구 활동에 대한 성과물들은 별책 26에 정리되어 있다.



[그림 199] KARI-NASA 국제공동연구 연구성과 증빙자료(별책 26 표지)

6) 주요 회의 개최 (별책 30, 31 참조)

1차년도 주요 업무인 국내외 기술동향 분석과 국내 운용 환경을 분석하기 위해 유관 기관을 방문하여 시설을 견학하고 운용 현황에 대한 정보를 수집하였다. 제주/인천공항 관제탑을 방문하여 공항의 관제 시설과 운용 현황에 대한 전반적인 정보를 습

득하였으며, 출발 및 도착관리의 개요와 연구의 필요성과 내용 등에 대해 설명하는 등 본 연구에 대한 이해와 관심을 높일 수 있는 계기를 마련하고자 하였다. 또한 인천국제공항의 계류장관제 시뮬레이터 시설을 방문하였으며, 계류장 관제사와의 질의응답과 계류장 관제 데모를 통해 현 운용 현황에 대해 파악하였다. 제주공항 전문가 자문회의를 개최하여 현장 방문, 자료 조사 및 분석을 통해 작성한 국내 운용 환경 분석 내용에 대한 검토 및 자문을 얻었다. MIDAS 운용개념 검토회의(OCR)를 통해 운용 개념 수립 결과와 시스템 요구사항에 대해 자문을 구했으며, 국토교통부, 인천국제공항공사, 한국공항공사, 대한항공에서 자문위원으로 참석하였다.

2차년도에는 시스템 요구사항 정의 및 시스템 설계를 위해 유관 기관을 방문하여 사용자 요구사항을 수집하고, 실 운용 현황에 대한 정보를 수집하였다. DMAN 시스템 요구사항 및 HMI 시안 검토 회의를 가져 제주지방항공청으로부터 사용자 의견을 수렴하였으며, 이를 시스템 개발에 반영하고자 하였다. DMAN 요구사항 검토회의(SRR)와 DMAN 시스템 설계 검토회의(SDR)을 개최하였으며, 국토교통부, 제주지방항공청, 한국공항공사, 인천공항공사, 아시아나항공, 대한항공 등이 참석하여 요구사항 및 시스템 설계에 대한 검토를 수행했다.

3차년도에는 DMAN 및 T-AMAN 시스템의 여러 서브시스템 소프트웨어 요구사항 정의 및 소프트웨어 기본/상세설계를 위해 유관 기관을 방문하여 사용자 요구사항 및 실 운용 중인 관제시스템 현황에 대한 정보를 수집하였다. 제주공항 관제탑에 방문하여 DMAN 관제사 현시 화면 설계 결과에 대하여 협의하였으며, 소프트웨어 요구사항을 정의하고 설계를 수행하여 MIDAS 기본 설계 검토회의(PDR)을 개최했다.

4차년도의 주요 업무인 DMAN 및 T-AMAN 시스템의 여러 서브시스템 소프트웨어 상세설계 내용에 대한 객관적 검토를 위해 MIDAS 상세 설계 검토회의(CDR)를 개최하여 외부전문가 검토를 수행하였다. 또한 본 연구를 통해 개발 중인 DMAN 및 T-AMAN 시스템의 시범운용을 위해 시범운용 공항으로 선정된 제주공항을 방문하여 시범운용 시스템 설치 방안 및 시범운용 계획에 대해 협의하였으며, 인천국제공항공사와는 인천공항의 항공기 출발 관리 기술연구와 관련하여 시스템 개발 및 시범운용 등에 대한 MOU를 체결하였다.

5차년도에는 인천공항 DMAN 시스템 시작품 개발을 위해 인천공항 관계자들과 시스템 요구사항 및 HMI 설계와 관련한 검토회의를 가졌다. 이후에 두 차례에 걸쳐 인천공항 DMAN 시스템의 기능에 대한 시연을 수행하였으며, 서울지방항공청과 인천국제공항공사의 관계자들로부터 실제 운용과 밀접하게 관련되는 요구사항들을 받아 이를

시스템에 반영하고자 하였다. 또한 DMAN 시스템 실용화 지원 방안 수립을 위하여 관계기관과 회의를 가졌다.

6차년도에는 주요 업무 중 하나인 시스템 시범 운용을 위하여 수차례 인천공항과 제주공항을 방문하여 실무자 및 관계자와 밀접하게 교류하며 현장에서 시스템을 검증하고 보완하였다. 특히 인천공항 DMAN의 경우 서울지방항공청 관계자와의 긴밀한 협조 하에 Minimum Departure Interval (MDI), Calculated Take-Off Time (CTOT), Release time 등의 다양한 제한 조건과 더불어 활주로 사용 전략 등과 같은 현장 운용 상황과 복잡한 조건들을 반영함으로써 시스템을 고도화하는 작업을 추진하였다. 제주공항의 MIDAS 시스템의 경우, 기존 ASDE 장비와 별개로 ADS-B 시스템을 설치/활용하는 방안을 제주지방항공청 및 한국공항공사와 협의하여, 설치 후 지상상황인식 및 스케줄링 결과 정확도 개선에도 이바지하였고, 종이스트립을 대체할 수 있는 전자스트립의 운용관련 밀접한 협의를 통해 운용가능성을 제고하였다. 또한 HITL 시뮬레이션 수행 및 편익 분석을 위한 시뮬레이터를 구축이 완료됨에 따라 퇴역관제사, 한국공항공사 관계자 등을 초빙하여 시뮬레이션 수행 방안 및 보완 사항에 대한 자문을 얻었고 실시간 시뮬레이션도 수행하였다.

과제 연차별 연구목표 및 내용에 따라 유관 기관과의 협의뿐만 아니라 해외 기관이나 과제 내부 기관과도 여러 차례 회의를 가졌다. World ATM Congress 및 ATC Global 전시회에 각각 두 차례 참가하고 NASA와의 국제공동연구 추진하였으며, 이를 통해 운용 개념, 시스템 설계 및 알고리즘을 위한 해외 최신 기술에 대한 자료를 획득하였다. 내부적으로는 공동/위탁 연구기관과 함께 연구 업무 추진 현황과 상세한 연구 내용에 대한 검토/협의를 지속적으로 수행하였으며, 주관/공동 연구기관 간에 정기적으로 시스템/소프트웨어 설계, 구현 및 시험과 관련한 검토회의를 수행하였다. 과제 연구기간 동안 개최된 주요 회의에 대한 회의록과 발표 자료는 회의 성격 및 개최 일자 순서대로 별책 30, 31에 정리하였다.

다. 정량적 성과 (별책 29 참조)

1) 국내외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	항공교통관리 궤적기반운용 연구 개발 동향 및 요소기술	한국항공우주학회지	은연주	제43권 제4호	대한민국	한국항공운항학회	비SCI	15.04.01	
2	연속상승운항을 위한 최적 공역 설계에 관한 연구	한국항공운항학회지	김은영	제23권 제2호	대한민국	한국항공운항학회	비SCI	15.06.30	
3	도착관리시스템 궤적 예측 모듈의 성능 개선을 위한 궤적 예측 정확도 분석 방법 연구	한국항공운항학회지	오은미	제23권 제3호	대한민국	한국항공운항학회	비SCI	15.09.30	
4	Conflict Management in Air Traffic Control Using Complexity Map	Journal of Aircraft	홍유경	제52권 제5호	미국	AIAA	SCI	15.10.31	
5	합류하는 두 항공기간 도착순서 결정에 대한 로지스틱회귀 예측 모형	한국항공운항학회지	정소연	제23권 제4호	대한민국	한국항공운항학회	비SCI	15.12.31	
6	공공용 정보를 이용한 ADS-B 지상 항적 자료 분석	한국항공운항학회지	구성관	제23권 제4호	대한민국	한국항공운항학회	비SCI	15.12.31	
7	유무인항공기 통합 시뮬레이션 연구	한국항행학회 논문지	오혜주	제19권 제6호	대한민국	한국항행학회	비SCI	15.12.31	
8	다중 센서 인터페이스 시스템 설계 및 구현	한국항행학회 논문지	문명주	제19권 제6호	대한민국	한국항행학회	비SCI	15.12.31	
9	ICAO의 ASBU(Aviation System Block Upgrades) 추진 동향(1)	한국항공운항학회지	박보미	제24권 제2호	대한민국	한국항공운항학회	비SCI	16.06.30	

10	Conflict Management Considering a Smooth Transition of Aircraft Into Adjacent Airspace	IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	홍유경	제17권 제9호	미국	IEEE	SCI	16.09.30	
11	출도착 혼합 사용 활주로에서의 관제사 이륙 허가 예측 모형 개발	한국항공운항학회지	홍성권	제24권 제3호	대한민국	한국항공운항학회	비SCI	16.09.30	
12	가중선형회귀를 통한 순항항공기의 궤적예측	한국항공운항학회지	김소윤	제24권 제4호	대한민국	한국항공운항학회	비SCI	16.12.31	
13	항공기 지상이동 선입선처리 스케줄링	한국항행학회 논문지	강선영	제21권 제1호	대한민국	한국항행학회	비SCI	17.02.28	
14	노드링크 모델 기반 항공기 공항 지상이동 경로 추출 기법에 대한 연구	한국항공운항학회지	정명숙	제25권 제3호	대한민국	한국항공운항학회	비SCI	17.09.30	
15	Point-Merge 절차를 이용한 도착 스케줄링 및 조언 정보 생성 알고리즘 개발	한국항공운항학회지	홍성권	제25권 제3호	대한민국	한국항공운항학회	비SCI	17.09.30	
16	Multiobjective Optimization for Aircraft Arrival Sequencing and Scheduling	Journal of Air Transportation	홍유경	제25권 제4호	미국	IEEE	비SCI	17.10.31	
17	Nonlinear Conflict Resolution and Flow Management Using Particle Swarm Optimization	IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	홍유경	제18권 제12호	미국	IEEE	SCI	17.12.31	

18	지상감시레이더를 활용한 항공기 지상이동경로 추출 및 활용방안에 관한 연구	교통연구	윤석재	제24권 제4호	대한민국	한국교통연구원	비SCI	17.12.31	
19	ATM 성능측정 및 평가체계 구축 연구	한국항공운항학회지	서영성	제26권 제1호	대한민국	한국항공운항학회	비SCI	18.03.31	
20	데이터 기반 항공기 지상이동 시간 예측 알고리즘 개발	한국항공운항학회지	김소윤	제26권 제2호	대한민국	한국항공운항학회	비SCI	18.06.30	
21	Extended First-Come First Served Scheduler for Airport Surface Operation	International Journal of Aeronautical and Space Sciences	박배선	제19권 제2호	대한민국	한국항공우주학회	SCI	18.06.30	
22	Dynamic Robust Sequencing and Scheduling Under Uncertainty for the Point Merge System in Terminal Airspace	IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	홍유경	제19권 제9호	미국	IEEE	SCI	18.09.30	
23	항공기 지상이동 Fast-Time 시뮬레이터 개발	한국항행학회 논문지	김태영	제23권 제1호	대한민국	한국항행학회	비SCI	19.02.28	
24	거시적 방법에 의한 공역 섹터 수용량 산정에 관한 연구	교통연구	김휘양	제26권 제1호	대한민국	한국교통연구원	비SCI	19.03.31	
25	미시적 방법에 의한 공역 섹터 수용량 산정에 관한 연구	교통연구	김휘양	제26권 제1호	대한민국	한국교통연구원	비SCI	19.03.31	

26	Two-Stage Stochastic Programming Based on Particle Swarm Optimization for Aircraft Sequencing and Scheduling	IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	홍유경	제20권 제4호	미국	IEEE	SCI	19.04.30	
27	항공기 출도착 통합 관리 기술연구	한국항공교통학회지	은연주	제1권 제1호	한국	한국항공교통학회	비SCI	19.10.31	
28	생성 모형을 사용한 순항항공기 향후 속도 예측 및 추론	한국항공운항학회지	백현진	제27권 제4호	대한민국	한국항공운항학회	비SCI	19.12.31	
29	Optimal Scheduling Algorithm in Point Merge System Including Holding Pattern Based on Mixed-Integer Linear Programming	Journal of Aerospace Engineering, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part G	이소망	제234권 제10호	영국	Institution of Mechanical Engineers	SCI	20.08.31	

2) 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국항공우주학회 2015 춘계학술발표회	홍유경	15.04.24	하이원리조트 컨벤션호텔(강원 정선)	대한민국
2	15th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, Aviation Forum 2015	김은영	15.06.22	Hilton Anatole (Dallas)	미국
3	15th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, Aviation Forum 2015	정소연	15.06.24	Hilton Anatole (Dallas)	미국
4	한국항행학회 2015 추계학술대회	정소연	15.10.23	한국과학기술회관	대한민국

5	한국항행학회 2015 추계학술대회	김소윤	15.10.23	한국과학기술회관	대한민국
6	한국항공운항학회 2015 추계학술대회	김현경	15.11.13	한국공항공사 항공보안교육센터	대한민국
7	한국항공운항학회 2015 추계학술대회	홍성권	15.11.13	한국공항공사 항공보안교육센터	대한민국
8	한국항공운항학회 2015 추계학술대회	박보미	15.11.13	한국공항공사 항공보안교육센터	대한민국
9	EIWAC 2015	이금진	15.11.18	Dai-ichi Hotel Ryogoku	일본
10	한국항공우주학회 2015 추계학술대회	홍유경	15.11.19	라마다프라자 제주호텔	대한민국
11	한국항공우주학회 2015 추계학술대회	오은미	15.11.20	라마다프라자 제주호텔	대한민국
12	한국항공우주학회 2015 추계학술대회	정명숙	15.11.20	라마다프라자 제주호텔	대한민국
13	한국항공우주학회 2015 추계학술대회	홍성권	15.11.20	라마다프라자 제주호텔	대한민국
14	2015 Asia Pacific International Symposium on Aerospace Technology	김소윤	15.11.25	Hilton Cairns	호주
15	2015 Asia Pacific International Symposium on Aerospace Technology	박배선	15.11.25	Hilton Cairns	호주
16	한국항공우주학회 2016 춘계학술대회	홍유경	16.04.22	설악 대명리조트 델피노	대한민국
17	AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference 2016	은연주	16.06.13	Washington Hilton	미국
18	20th ATRS World Conference	김혜진	16.06.25	Rodos Palace Hotel	그리스
19	2016 항공우주전자 심포지엄	김현경	16.07.05	경주 THE-K 호텔	대한민국
20	2016 항공우주전자 심포지엄	홍성권	16.07.05	경주 THE-K 호텔	대한민국
21	30th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS)	홍유경	16.09.28	대전 국재 컨벤션 센터	대한민국
22	2016 IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference (DASC)	정소연	16.09.28	Hyatt Regency Sacramento	미국

23	2016년 한국항행학회 종합학술대회	강선영	16.10.21	한국과학기술회관	대한민국
24	한국항공우주학회 2016 추계학술대회	김현경	16.11.18	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
25	한국항공우주학회 2016 추계학술대회	홍성권	16.11.18	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
26	한국항공우주학회 2016 춘계학술대회	정명숙	16.11.18	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
27	한국항공우주학회 2016 추계학술대회	이소망	16.11.18	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
28	한국항공우주학회 2016 추계학술대회	홍유경	16.11.18	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
29	한국항공우주학회 2016 추계학술대회	박배선	16.11.18	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
30	한국항공우주학회 2016 추계학술대회	김소윤	16.11.18	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
31	한국항공우주학회 2016 추계학술대회	정현태	16.11.18	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
32	Euro GNC 2017 – 4th CEAS Specialist Conference on Guidance, Navigation & Control	홍유경	17.04.26	Warsaw University of Technology	폴란드
33	항공우주시스템공학회 2017년도 춘계학술대회	김현경	17.04.27	롯데시티호텔 제주	대한민국
34	한국항공운항학회 2017년 춘계학술대회	홍성권	17.05.19	고흥항공센터	대한민국
35	한국항공운항학회 2017년 춘계학술대회	채홍아	17.05.19	고흥항공센터	대한민국
36	한국항공운항학회 2017년 춘계학술대회	정규서	17.05.19	고흥항공센터	대한민국
37	AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference 2017	은연주	17.06.08	Sheraton Denver Downtown Hotel	미국
38	AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference 2017	박배선	17.06.08	Sheraton Denver Downtown Hotel	미국
39	7th European Conference for Aeronautics and Space Sciences	이소망	17.07.03	Politecnico di Milano – Campus Bovisa	이탈리아

40	20th World Congress of the International Federation of Automatic Control	홍유경	17.07.14	Pierre Baudis Congress center	프랑스
41	The International Conference of Women Scientists and Engineers (BIEN) 2017	김현경	17.09.01	서울 더 플라자 호텔	대한민국
42	The International Conference of Women Scientists and Engineers (BIEN) 2017	정명숙	17.09.01	서울 더 플라자 호텔	대한민국
43	2017년 한국항행학회 종합학술대회	채홍아	17.10.13	한국과학기술회관	대한민국
44	2017년 한국항행학회 종합학술대회	정규서	17.10.13	한국과학기술회관	대한민국
45	2017년 한국항행학회 종합학술대회	김세연	17.10.13	한국과학기술회관	대한민국
46	2017 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology	정현태	17.10.16	서울 올림픽 파크텔	대한민국
47	한국항공우주학회 2017년도 추계학술대회	김소윤	17.11.17	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
48	한국항공운항학회 2017년 추계학술대회	박보미	17.11.24	한국공항공사 항공보안교육센터	대한민국
49	한국항공운항학회 2018년 춘계학술대회	김소윤	18.05.25	한국항공대학교	대한민국
50	AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference 2018	박배선	18.06.28	Hyatt Regency Atlanta	미국
51	2018 항공우주전자 심포지엄	김현경	18.07.05	여수 디오션 리조트	대한민국
52	31st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences	은연주	18.09.11	Expominas	브라질
53	31st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences	전대근	18.09.12	Expominas	브라질
54	2018 18th International Conference on Control, Automation and Systems	홍유경	18.10.17	용평 리조트	대한민국

55	2018 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology	이소망	18.10.17	InterContinental Century City Chengdu	중국
56	한국항공우주학회 2018년도 추계학술대회	백현진	18.11.29	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
57	한국항공우주학회 2018년도 추계학술대회	이소망	18.11.29	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
58	한국항공우주학회 2018년도 추계학술대회	정명숙	18.11.30	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
59	한국항공우주학회 2018년도 추계학술대회	김소윤	18.11.30	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
60	한국항공우주학회 2018년도 추계학술대회	채홍아	18.11.30	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
61	항공우주시스템공학회 2019년도 춘계학술대회	김현경	19.04.25	제주 KAL호텔	대한민국
62	2019 항공우주전자 심포지엄	김상현	19.07.04	해운대 그랜드 호텔 (부산)	대한민국
63	2019 항공우주전자 심포지엄	김소윤	19.07.04	해운대 그랜드 호텔 (부산)	대한민국
64	2019 항공우주전자 심포지엄	김현경	19.07.04	해운대 그랜드 호텔 (부산)	대한민국
65	2019 항공우주전자 심포지엄	은연주	19.07.04	해운대 그랜드 호텔 (부산)	대한민국
66	2019 항공우주전자 심포지엄	전대근	19.07.04	해운대 그랜드 호텔 (부산)	대한민국
67	2019 항공우주전자 심포지엄	정명숙	19.07.04	해운대 그랜드 호텔 (부산)	대한민국
68	38th Digital Avionics Systems Conference	채홍아	19.09.11	Hilton San Diego Resort & Spa	미국
69	38th Digital Avionics Systems Conference	김소윤	19.09.12	Hilton San Diego Resort & Spa	미국
70	38th Digital Avionics Systems Conference	은연주	19.09.12	Hilton San Diego Resort & Spa	미국
71	38th Digital Avionics Systems Conference	Zhifan Zhu	19.09.12	Hilton San Diego Resort & Spa	미국
72	한국항공우주학회 2019 추계학술대회	이소망	19.11.22	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
73	한국항공우주학회 2019 추계학술대회	이영준	19.11.22	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
74	한국항공우주학회 2019 추계학술대회	김태영	19.11.22	라마다 프라자 제주 호텔	대한민국
75	한국항공운항학회 2019년 추계학술대회	이은형	19.12.13	한국항공대학교 강의동	대한민국
76	한국항공우주학회 2020 춘계학술대회	김현경	20.07.09	델피노 골프앤리조트	대한민국

77	한국항공우주학회 2020 춘계학술대회	이소망	20.07.10	델피노 골프앤리조트	대한민국

3) 지식재산권(특허, 실용신안 등)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록				기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록번호*	등록인	등록일	등록번호	등록번호*	
1	ADS-B 정보를 이용한 비행계획과 항적의 결합 방법	대한민국	한국항공우주연구원	2014.11.27	10-2014-0167140		한국항공우주연구원	2016.10.21	10-1669856		100%
2	METHOD FOR COUPLING FLIGHT PLAN AND FLIGHT PATH USING ADS-B INFORMATION	미국	한국항공우주연구원	2014.11.28	PCT/KR2014/011550		한국항공우주연구원	2018.07.31	10,037,703		100%
3	실시간 항적 자료 모니터링을 통한 항공기 궤적 예측 방법 및 시스템	대한민국	한국항공우주연구원	2015.04.02	10-2015-0047080		한국항공우주연구원	2017.08.23	10-17725556		100%
4	INTEGRATED LANDING RECEIVER FOR AN AIRCRAFT LANDING AND CONTROLLING METHOD THEREOF	미국	한국항공우주연구원	2015.07.24	PCT/KR2015/007702		한국항공우주연구원	2018.05.06	9,911,343		100%
5	위성 항법 신호를 이용한 항공기 착륙 수신 장치 및 그 제어 방법	대한민국	한국항공우주연구원	2015.10.26	10-2015-0149001		한국항공우주연구원	2018.02.05	10-1827820		100%
6	AIRCRAFT LANDING APPARATUS USING GNSS AND SBAS SIGNALS, AND CONTROL METHOD THEREOF	미국	한국항공우주연구원	2016.04.14	15/098,378		한국항공우주연구원	2018.08.07	10,043,403		100%
7	원격 인터페이스 감시 방법 및 이를 이용한 감시 시스템	대한민국	㈜유니텍	2017.01.10	10-2017-0003598						100%

8	출발 및 도착 항공기 관제 지원 시스템	대한민국	㈜아이비리더스	2017.01.11	10-2017-0004185		㈜아이비리더스	2018.10.31	10-1915482		100%
9	공항 전파보호구역 내 지상 이동물체 침입감시 시스템	대한민국	㈜유니텍	2017.10.31	10-2017-0143476		㈜유니텍	2018.09.11	10-1899344		100%
10	가상현실 기반 항공관제 교육훈련 서비스 제공 시스템	대한민국	㈜아이비리더스	2017.11.28	10-2017-0160671		㈜아이비리더스	2019.12.12	10-2057241		100%
11	항공관제시설 감시시스템	대한민국	㈜유니텍	2018.08.20	10-2018-0096681		㈜유니텍	2019.12.31	10-2063158		100%
12	화상 디자인이 표시된 디스플레이	대한민국	한국항공우주연구원	2019.05.22	30-2019-0024136		한국항공우주연구원	2020.09.15	30-1075691		100%
13	결정트리를 이용한 출발 대기열 길이 추정 방법	대한민국	한국항공우주연구원	2019.11.20	10-2019-0149364						100%

4) 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	지상감시레이더 로그 변환 프로그램	2015.04.24	㈜유니텍	2015.05.27	C-2015-012915	㈜유니텍	100%
2	인터벌 모듈 (Interval Module)	2015.05	인하대학교 산학협력단	2015.06.26	C-2015-015051	인하대학교 산학협력단	100%
3	조언정보를 이용한 도착예정시간/도착계획시간 현시 제어 프로그램	2015.09.24	한국항공우주연구원	2015.11.25	C-2015-028225	한국항공우주연구원	100%
4	항적을 이용한 궤적 예측의 시간 오차 분석 프로그램	2015.09.24	한국항공우주연구원	2015.11.26	C-2015-028393	한국항공우주연구원	100%
5	항공관제 데이터 재생 프로그램	2015.03.13	한국항공우주연구원	2015.11.27	C-2015-028484	한국항공우주연구원	100%
6	확정적 FCFS MP 스케줄러 (Conclusive FCFS MP scheduler)	2015.12	인하대학교 산학협력단	2016.01.29	C-2016-003032	인하대학교 산학협력단	100%
7	카운트 모듈 (Count Module)	2015.11	인하대학교 산학협력단	2016.01.29	C-2016-003033	인하대학교 산학협력단	100%
8	두 단계 계산을 통한 출발 항공기 스케쥴링 프로그램	2016.11.08	한국항공우주연구원	2016.12.27	C-2016-034459	한국항공우주연구원	100%
9	노드링크 모델 기반 항공기 지상이동시간 계산 프로그램	2016.10.21	한국항공우주연구원	2016.12.27	C-2016-034464	한국항공우주연구원	100%
10	다중 First-Come First-Served(선입-선처리) Multi-Point(다지점) 스케줄러	2017.01.16	인하대학교 산학협력단	2017.01.19	C-2017-001888	인하대학교 산학협력단	100%
11	총에너지방정식을 이용한 항공기 상승하강률 계산 프로그램	2017.01.15	한국항공우주연구원	2017.01.26	C-2017-002627	한국항공우주연구원	100%
12	클러스터링 기법을 이용한 항공기 푸시백 홀딩 지점 추출 프로그램	2017.09.20	한국항공우주연구원	2017.10.30	C-2017-026142	한국항공우주연구원	100%
13	공항지상상황 현시장치(GSD(Ground Situation Display) Viewer)	2017.10.30	㈜아이비리더스	2017.11.09	C-2017-027615	㈜아이비리더스	100%

14	전자비행스트립 현시장치(EFS(Electronic Flight Strip) Viewer)	2017.10.30	㈜아이비리더스	2017.11.09	C-2017-027616	㈜아이비리더스	100%
15	항적 시각화 시뮬레이션	2017.10.19	한국항공대학교	2017.11.13	C-2017-028262	한국항공대학교 산학협력단	100%
16	신비행계획서 처리 프로그램	2017.04.25	㈜유니텍	2017.11.17	C-2017-028926	㈜유니텍	100%
17	테스트 ICD(아이씨디) 전송 프로그램	2017.06.07	㈜유니텍	2017.11.17	C-2017-028927	㈜유니텍	100%
18	확장 선입 선처리 다지점 스케줄러 (Extended First-Come First-Served Multi-Point Scheduler)	2017.11.03	인하대학교 산학협력단	2017.11.23	C-2017-029615	인하대학교 산학협력단	100%
19	다중 확장 선입 선처리 다지점 스케줄러	2017.11.17	인하대학교 산학협력단	2017.11.28	C-2017-030393	인하대학교 산학협력단	100%
20	항공 교통 관제 소프트웨어용 공통 소프트웨어 라이브러리	2018.05.03	한국항공우주연구원	2018.07.06	C-2018-017071	한국항공우주연구원	100%
21	마일스톤(Milestone)현시기(MSViewer)	2018.10.08	㈜아이비리더스	2018.10.19	C-2018-027979	㈜아이비리더스	100%
22	항공기 지상이동 연료 소모량 계산 프로그램	2018.10.15	한국항공우주연구원	2018.10.31	C-2018-029668	한국항공우주연구원	100%
23	불확실성을 적용한 확장 선입 선처리 다지점 스케줄러(Extended First-Come First-Served Multi-Point Scheduler with Uncertainty)	2018.10.23	인하대학교 산학협력단	2018.11.05	C-2018-030011	인하대학교 산학협력단	100%
24	공항 지상 이동 시뮬레이션 도구	2018.10.01	인하대학교 산학협력단	2018.11.05	C-2018-030012	인하대학교 산학협력단	100%
25	출발관리 시스템용 테스트 데이터 생성 소프트웨어	2018.10.16	한국항공우주연구원	2018.11.07	C-2018-030802	한국항공우주연구원	100%
26	항공기 지상 이동 시간 예측 및 현시 프로그램	2018.10.19	한국항공우주연구원	2018.11.07	C-2018-030803	한국항공우주연구원	100%
27	출발대기열길이 추정을 통한 항공기 지상이동시간 예측 프로그램	2018.10.19	한국항공우주연구원	2018.11.07	C-2018-030804	한국항공우주연구원	100%

28	녹화자료(Record file) 재생기	2018.08.01	㈜유니텍	2018.11.08	C-2018-031365	㈜유니텍	100%
29	항적재생기(TrackReplay)	2018.08.01	㈜유니텍	2018.11.08	C-2018-031366	㈜유니텍	100%
30	리눅스용 항공관제 데이터 디코더	2019.07.30	한국항공우주연구원	2019.12.16	C-2019-040942	한국항공우주연구원	100%
31	다변측정감시시스템 항적 추출 프로그램	2019.03.20	한국항공우주연구원	2019.12.16	C-2019-040950	한국항공우주연구원	100%
32	접근관제구역 내 도착 항공기 스케줄링 프로그램	2019.10.31	한국항공우주연구원	2019.12.16	C-2019-040951	한국항공우주연구원	100%
33	IB VCCS(관제통신제어장치)모의소프트웨어	2019.12.09	㈜아이비리더스	2019.12.19	C-2019-041482	㈜아이비리더스	100%
34	IB AMOS(자동기상관측장비)모의소프트웨어	2019.12.09	㈜아이비리더스	2019.12.19	C-2019-041483	㈜아이비리더스	100%
35	인천공항 제3활주로 운용 스케줄링 프로그램	2019.09.09	한국항공우주연구원	2019.12.20	C-2019-041997	한국항공우주연구원	100%
36	항공기 지상이동 연료 및 배기가스 배출량 계산 프로그램	2019.10.15	한국항공우주연구원	2019.12.20	C-2019-041998	한국항공우주연구원	100%
37	항공기 비행계획 및 레이더 데이터 분석시스템	2020.02.13	신원철	2020.03.11	C-2020-008851	신원철	100%
38	단말기 상태확인 프로그램(Control and Monitoring Console)	2020.02.13	신원철	2020.03.11	C-2020-008852	신원철	100%
39	IB MDIViewer(항공기 최소 출발 간격 설정) 소프트웨어	2020.04.28	㈜아이비리더스	2020.05.12	C-2020-015677	㈜아이비리더스	100%
40	IB RSAPacketViewer(패킷녹화정보 현시) 소프트웨어	2020.04.28	㈜아이비리더스	2020.05.12	C-2020-015678	㈜아이비리더스	100%
41	Multiple Extended First-Come First-Served Multi-Point Scheduler(다중 확장 선입 선처리 다지점 스케줄러)	2020.05.24	인하대학교 산학협력단	2020.06.29	C-2020-021277	인하대학교 산학협력단	100%

5) 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황									
			학위별			성별			지역별			
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1		2015		1			1		1				
2		2016		4			3	1	4				
3		2017		5			1	4	5				
4		2018	1	1			1	1	2				
5		2019	1	6			5	2	7				
6		2020	1	1			2		2				

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표 달성도

1) 정량적 성과 목표 및 달성도

구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	계
논문	게재	2(0)	6(6)	5(3)	5(4)	4(3)	7(2)	29(18)
	발표	3(2)	12(6)	16(3)	17(6)	12(7)	17(4)	77(28)
특허	출원	3(1)	2(1)	3(2)	2(2)	1(2)	2(1)	13(9)
	등록			1(0)	1(0)	6(0)	3(0)	11(0)
인력양성	석사	1(0)	4(0)	4(2)	1(2)	1(2)	7(1)	18(7)
	박사					1(0)	2(0)	3(0)
S/W등록		2(0)	5(1)	4(3)	8(5)	10(5)	12(3)	41(17)
홍보물				1(1)	1(0)			2(1)
디자인시안				4(2)				4(2)
시작품						1(1)	1(1)	2(2)

*괄호 안의 수치는 목표를 의미함

2) 성과점검 기준표 대비 달성도

가) 1차년도

구분	핵심성과 (Level1)		단위성과 (Level2)		최종 성과점검기준						해당기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
주관	A	출도착 스케줄링 소프트웨어	A-1	출발 관리 운용환경 및 가용기술 분석	A-1-①	분석 보고서	1건	보고서[2]	보고서 확인	4	한국항공우주연구원	200	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 1건 시작품: 0건 S/W: 0건
			A-2	출발 관리 운용개념 수립 및 요구사항 정의	A-2-①	운용개념기술서	1건	기술서[5]	기술서 확인	5			
					A-2-②	요구사항명세서	1건	명세서[6]	명세서 확인	4			
			A-3	데이터베이스 구축	A-3-①	데이터베이스 구축	1건	DB[4]	DB 확인	3			
공동	B	가변 지상이동 시간 예측 적용 소프트웨어	B-1	시스템 요구사항 정의	B-1-①	요구사항 명세서	1건	명세서[6]	명세서 확인	4	한국교통연구원	118	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			B-2	자료 획득 및 통계 분석	B-2-①	분석 보고서	1건	보고서[2]	보고서 확인	5			
위탁	C	공역 교통 예측 및 모니터링 소프트웨어	C-1	시스템 요구사항 정의	C-1-①	요구사항 명세서	1건	명세서[6]	명세서 확인	1	한국항공대학교	30	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 1건 시작품: 0건 S/W: 0건
			C-2	자료 수집 및 분석	C-2-①	분석 보고서	1건	보고서[3]	보고서 확인	1			
위탁	D	다목적 FCFS Multi-Point 스케줄링 소프트웨어	D-1	국내외 연구동향 분석	D-1-①	연차 보고서	1건	보고서[1]	보고서 확인	1	인하대학교	26	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			D-2	확정적 FCFS MP 스케줄링 알고리즘	D-2-①	스케줄링 S/W	1건	S/W 모듈[9]	모듈 확인	1			
위탁	E	출발 흐름 최적화 소프트웨어	E-1	국내외 연구동향 분석	E-1-①	연차 보고서	1건	보고서[1]	보고서 확인	1	서울대학교	15	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			E-2	기초 자료 수집 및 분석	E-2-①	연차 보고서	1건	보고서[1]	보고서 확인	1			
주관	F	출도착 관리 주기능 처리 서버	F-1	국내외 기술동향 분석	F-1-①	연차 보고서	1건	보고서[1]	보고서 확인	9	한국항공우주연구원	247	특허: 출원 1건 등록 0건 논문: 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			F-2	시스템 요구사항 정의	F-2-①	요구사항 명세서	1건	명세서[6]	명세서 확인	10			
공동	G	사용자 현시 콘솔	G-1	국내외 기술동향 분석	G-1-①	연차 보고서	1건	보고서[1]	보고서 확인	7	㈜아이비리더스	200	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			G-2	시스템 요구사항 정의	G-2-①	요구사항 명세서	1건	명세서[6]	명세서 확인	9			

공동	H	외부 연동 처리 시스템	H-1	국내외 기술동향 분석	H-1-①	연차 보고서	1건	보고서[1]	보고서 확인	3	㈜유니텍	100	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			H-2	시스템 요구사항 정의	H-2-①	요구사항 명세서	1건	명세서[6]	명세서 확인	5			
공동	I	시스템 제어 및 모니터링 콘솔	I-1	국내외 기술동향 분석	I-1-①	연차 보고서	1건	보고서[1]	보고서 확인	3	㈜유니텍	97	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			I-2	시스템 요구사항 정의	I-2-①	요구사항 명세서	1건	명세서[6]	명세서 확인	5			
위탁	J	Fast-Time 시뮬레이션 모델	J-1	국내외 기술동향 분석	J-1-①	연차 보고서	1건	보고서[1]	보고서 확인	1	한국항공대	21	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			J-2	Fast-Time 시뮬레이션 요구사항 정의	J-2-①	연차 보고서	1건	보고서[7]	보고서 확인	1			
공동	K	HITL 시뮬레이션 시스템	K-1	국내외 기술동향 분석	K-1-①	연차 보고서	1건	보고서[1]	보고서 확인	7	㈜아이비리더스	229	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			K-2	HITL 시뮬레이션 요구사항 정의	K-2-①	요구사항 명세서	1건	명세서[8]	명세서 확인	9			
계										100		1,282	특허:출원 1건 등록 0건 논문: 2건 시작품: 0건 S/W: 0건

(1) 별책 1 MIDAS-P1-ANR-SYS-001 국내외 기술동향 분석서 (최종산출물 별책 18 MIDAS-P1-ANR-SYS-001 항공기 출발 및 도착 통합관리 국내외 기술 동향 분석서로 변경)

(2) 별책 2 MIDAS-P1-ANR-SYS-002 국내 운용환경 분석서 (최종산출물 별책 1 MIDAS-P1-OCR-SYS-001 MIDAS 운용개념 기술서로 통합)

(3) 별책 3 MIDAS-P1-ANR-ERT-001 공역 교통 자료 분석서 (최종산출물 별책 19 MIDAS-P1-ANR-ERT-001 공역 교통 자료 분석서로 변경)

(4) 별책 4 MIDAS-P1-ANR-SYS-003 데이터베이스 분석서 (최종산출물 별책 20 MIDAS-P1-ANR-SYS-003 항공기 출발 및 도착 통합관리 데이터베이스 분석서로 변경)

(5) 별책 5 MIDAS-P1-OCD-SYS-001 운용개념 기술서(초안) (최종산출물 별책 1 MIDAS-P1-OCR-SYS-001 MIDAS 운용개념 기술서로 변경)

(6) 별책 6 MIDAS-P1-SSS-SYS-001 시스템 요구사항 명세서(초안) (최종산출물 별책 3 MIDAS-P1-SSS-SYS-001 DMAN 시스템 요구사항 명세서로 변경)

(7) 별책 7 MIDAS-P1-SSS-FTS-001 Fast-time 시뮬레이션 요구사항 명세서(초안) (최종산출물 별책 13 MIDAS-P1-SIM-FTS-001 Fast-time 시뮬레이션 요구사항 명세서로 변경)

(8) 별책 8 MIDAS-P1-SSS-HIS-001 HITL 시뮬레이션 요구사항 명세서(초안) (최종산출물 별책 14 MIDAS-P1-SIM-HIS-001 HITL 시뮬레이터 시스템 요구사항 명세서로 변경)

(9) 별책 9 연구성과 증빙자료 중 프로그램 등록(접수)증 (최종산출물 별책 29 연구성과 증빙자료로 통합)

나) 2차년도

구분	핵심성과 (Level1)		단위성과 (Level2)		최종 성과점검기준						해당기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
주관	A	출도착 스케줄링 소프트웨어	A-2	출발 관리 운용개념 수립 및 요구사항 정의	A-2-①	운용개념기술서	1건	기술서[1]	기술서 확인	5	한국항공우주연구원	200	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 1건 시작품: 0건 S/W: 0건
					A-2-②	요구사항 명세서	1건	명세서[2]	명세서 확인	5			
			A-4	출발 관리 스케줄링 최적화 문제 정의	A-4-①	분석 보고서	1건	보고서[10]	보고서 확인	5			
공동	B	가변 지상이동 시간 예측 적용	B-1	시스템 요구사항 정의	B-1-①	요구사항 명세서	1건	명세서[2]	명세서 확인	4	한국교통연구원	118	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 1건 시작품: 0건
			B-2	자료 획득 및 통계 분석	B-2-①	분석 보고서	1건	보고서[9]	보고서 확인	5			

		소프트웨어											S/W: 0건
위탁	C	공역 교통 예측 및 모니터링 소프트웨어	C-1	시스템 요구사항 정의	C-1-①	요구사항 명세서	1건	명세서[2]	명세서 확인	2	한국항공대학교	30	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 1건 시작품: 0건 S/W: 0건
			C-2	자료 수집 및 분석	C-2-①	분석 보고서	1건	보고서[8]	보고서 확인	2			
위탁	D	다목적 FCFS Multi-Point 스케줄링 소프트웨어	D-2	확정적 FCFS MP 스케줄링 알고리즘	D-2-①	소프트웨어	1건	소프트웨어 등록증	소프트웨어 등록증 확인	2	인하대학교	26	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 1건 시작품: 0건 S/W: 1건
위탁	E	출발 흐름 최적화 소프트웨어	E-3	출발흐름 최적화 알고리즘	E-3-①	알고리즘	1건	보고서	보고서 확인	1	서울대학교	15	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 1건 시작품: 0건 S/W: 0건
주관	F	출도착 관리 주기능 처리 서버	F-2	시스템 요구사항 정의	F-2-①	요구사항 명세서	1건	명세서[2]	명세서 확인	8	한국항공우주연구원	247	특허: 출원 1건 등록 0건 논문: 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			F-3	출발관리 서버 시스템 설계	F-3-①	시스템 설계서	1건	설계서[3]	설계서 확인	11			
공동	G	사용자 현시 콘솔	G-2	시스템 요구사항 정의	G-2-①	요구사항 명세서	1건	명세서[2]	명세서 확인	6	㈜아이비리더스	200	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			G-3	출발관리 HMI 시스템 설계	G-3-①	시스템 설계서	1건	설계서[3]	설계서 확인	9			
공동	H	외부 연동 처리 시스템	H-2	시스템 요구사항 정의	H-2-①	요구사항 명세서	1건	명세서[2]	명세서 확인	3	㈜유니텍	100	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 1건 시작품: 0건 S/W: 0건
			H-3	출발관리 외부연동 시스템 설계	H-3-①	시스템 설계서	1건	설계서[3]	설계서 확인	5			
공동	I	시스템 제어 및 모니터링 콘솔	I-2	시스템 요구사항 정의	I-2-①	요구사항 명세서	1건	명세서[2]	명세서 확인	3	㈜유니텍	97	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			I-3	출발관리 제어/모니터링 시스템 설계	I-3-①	시스템 설계서	1건	설계서[3]	설계서 확인	5			
위탁	J	Fast-Time 시뮬레이션 모델	J-2	Fast-Time 시뮬레이션 요구사항 정의	J-2-①	요구사항 명세서	1건	보고서[4]	보고서 확인	1	한국항공대	21	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			J-3	Fast-Time 시뮬레이션을 위한 자료 분석 및 환경 구축	J-3-①	분석 보고서	1건	보고서[5]	보고서 확인	2			
공동	K	HITL 시뮬레이션 시스템	K-2	HITL 시뮬레이션 요구사항 정의	K-2-①	요구사항 명세서	1건	명세서[6]	명세서 확인	7	㈜아이비리더스	229	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			K-3	HITL 시뮬레이션 시스템 설계	K-3-①	시스템 설계서	1건	설계서[7]	설계서 확인	9			
계										100		1,283	특허: 출원 1건 등록 0건 논문: 6건 시작품: 0건 S/W: 1건

(1) 별책 1 MIDAS-P1-OCD-SYS-001 MIDAS 운용개념 기술서 (최종산출물 별책 1 MIDAS-P1-OCR-SYS-001 MIDAS 운용개념 기술서로 변경)

(2) 별책 2 MIDAS-P1-SSS-SYS-001 DMAN 시스템 요구사항 명세서 (최종산출물 별책 3 MIDAS-P1-SSS-SYS-001 DMAN 시스템 요구사항 명세서로 변경)

(3) 별책 3 MIDAS-P1-SSD-SYS-001 DMAN 시스템 설계서 (최종산출물 별책 4 MIDAS-P1-SSD-SYS-001 DMAN 시스템 설계 기술서로 변경)

(3) 별책 3 MIDAS-P1-SSD-XXX-001 XXX 서브시스템 설계서(5종) (최종산출물 별책 4 MIDAS-P1-SSD-XXX-001 서브시스템 설계서(5종) (XXX는 DMP, HMI, RSA, CMC, EIF를 의미함)

(3) 별책 4 MIDAS-P1-ICD-SYS-001/002 DMAN 인터페이스 통제서(2종) (최종산출물 별책 5 MIDAS-P1-ICD-SYS-001/002 DMAN 외부/내부 인터페이스 통제서로 변경)

(3) 별책 5 MIDAS-P1-SDP-SYS-001 DMAN 소프트웨어 개발 계획서 (최종산출물 별책 2 MIDAS-P1-SDP-SYS-001 MIDAS 시스템 소프트웨어 개발 계획서로 변경)

(4) 별책 6 MIDAS-P1-SSS-FTS-001 Fast-Time 시뮬레이션 요구사항 명세서 (최종산출물 별책 13 MIDAS-P1-SIM-FTS-001 Fast-time 시뮬레이션 요구사항 명세서로 변경)

(5) 별책 7 MIDAS-P1-ANR-FTS-001 Fast-Time 시뮬레이션 자료 분석서 (최종산출물 별책 13 MIDAS-P1-SIM-FTS-002 Fast-time 시뮬레이션 자료분석 보고서로 변경)

(6) 별책 8 MIDAS-P1-SSS-HIS-001 HITL 시뮬레이션 요구사항 명세서 (최종산출물 별책 14 MIDAS-P1-SIM-HIS-001 HITL 시뮬레이터 시스템 요구사항 명세서로 변경)

(7) 별책 9 MIDAS-P1-SSD-HIS-001 HITL 시뮬레이션 시스템 설계서 (최종산출물 별책 14 MIDAS-P1-SIM-HIS-002 HITL 시뮬레이터 시스템 설계서로 변경)

(8) 별책 10 MIDAS-P1-ANR-ERT-001 합류지점 추출 및 합류 가용시간 예측 분석서 (최종산출물 별책 22 MIDAS-P1-ANR-ERT-007 통과항공기 합류시각 예측모델 보고서로 통합)

(9) 별책 12 MIDAS-P1-ANR-VTT-001 지상이동시간 예측을 위한 이동 시간 통계 분석서 (최종산출물 별책 21 MIDAS-P1-ANR-VTT-001 항공기 지상이동시간 예측을 위한 환경변수 및 이동시간 통계 분석 보고서로 변경)

(10) 별책 11 MIDAS-P1-ANR-DAS-001 항공기 지상 이동 관련 운용 현황 분석서 (최종산출물 별책 21 MIDAS-P1-ANR-DAS-001 항공기 지상이동 관련 운용현황 분석 보고서로 변경)

(10) 별책 13 MIDAS-P1-ANR-DAS-002 출도착 최적화 요구사항 분석서 (최종산출물 별책 23 MIDAS-P1-ANR-DAS-002 출도착 최적화 요구사항 분석서로 변경)

다) 3차년도

연구기관	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준						해당기관	예산 (백만원)	양적 성과 실적
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
주관	A	출도착 스케줄링 소프트웨어	A-5	출발 관리 스케줄링 최적화 알고리즘 개발	A-5-①	DMAN 주처리 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[1]	5	한국항공우주연구원	300	특허: 출원 1건 등록 0건 논문: 게재 1건 발표 4건 시작품: 0건 S/W: 3건
					A-5-②	DMAN 스케줄링 알고리즘	1건	S/W 모듈	소프트웨어 등록증 확인	5			
			A-6	도착관리(T-AMAN) 스케줄링 알고리즘 개발	A-6-①	T-AMAN 요구사항 명세서	1건	명세서	명세서 확인[2]	3			
					A-6-②	T-AMAN 주처리 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[3]	3			
공동	B	가변 지상이동 시간 예측 적용 소프트웨어	B-3	정적 VTT 계산	B-3-①	데이터베이스 구축	1건	파일 DB	파일 확인	2	한국교통연구원	268	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 1건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			B-4	동적 VTT 예측 알고리즘 개발	B-4-①	DMAN 주처리 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[1]	6			
위탁	C	공역 교통 예측 및 모니터링 소프트웨어	C-3	교통상황 모니터링 및 예측 알고리즘	C-3-①	DMAN 주처리 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[1]	4	한국항공대학교	69	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 1건 발표 5건 시작품: 0건 S/W: 0건
위탁	D	다목적 FCFS Multi-Point 스케줄링 소프트웨어	D-2	확정적 FCFS MP 스케줄링 알고리즘	D-2-②	연차 보고서	1건	보고서	보고서 확인[4]	2	인하대학교	60	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 1건 시작품: 0건 S/W: 1건
					D-2-③	스케줄링 S/W(모듈)	1건	S/W 모듈	소프트웨어 등록증 확인	1			
위탁	E	출발 흐름 최적화 소프트웨어	E-3	출발흐름 최적화 알고리즘	E-3-②	연차 보고서	1건	보고서	보고서 확인[5]	2	서울대학교	30	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 1건 발표 3건 시작품: 0건 S/W: 0건
주관	F	출도착 관리 주기능 처리 서버	F-4	출발관리 서버 소프트웨어 설계	F-4-②	DMAN 주처리 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[1]	11	한국항공우주연구원	712	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 게재 0건 발표 2건 시작품: 0건
			F-6	도착관리(T-AMAN) 서버 소프트웨어 설계	F-6-①	T-AMAN 요구사항 명세서	1건	명세서	명세서 확인[2]	3			
					F-6-②	T-AMAN 주처리	1건	설계서	설계서 확인[3]	7			

						소프트웨어 설계서							S/W: 0건
공동	G	사용자 현시 콘솔	G-4	출발관리 HMI 소프트웨어 설계	G-4-②	DMAN HMI 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[6]	12	(주)아이비리더스	654	특허: 출원 1건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			G-6	도착관리(T-AMAN) HMI 설계	G-6-①	T-AMAN 요구사항 명세서	1건	명세서	명세서 확인[2]	5			
					G-6-②	T-AMAN HMI 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[7]	5			
공동	H	외부 연동 처리 시스템	H-4	출발관리 외부연동 소프트웨어 설계	H-4-②	출발관리 외부연동 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[8]	8	(주)유니텍	330	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
공동	I	시스템 제어 및 모니터링 콘솔	I-4	출발관리 제어/모니터링 소프트웨어 설계	I-4-②	출발관리 제어/모니터링 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[9]	8	(주)유니텍	117	특허: 출원 1건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
위탁	J	Fast-Time 시뮬레이션 모델	J-4	Fast-Time 시뮬레이션 모델 구축	J-4-①	시뮬레이션 모델	1건	모델	모델 확인	2	한국항공대	50	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
공동	K	HITL 시뮬레이션 시스템	K-4	HITL 시뮬레이션 시스템 구축	K-4-①	HITL 시뮬레이션 시스템 소프트웨어 설계서	1건	S/W	설계서 확인[10]	6	(주)아이비리더스	320	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
계										100		2,910	특허: 출원 4건 등록 1건 논문: 게재 4건 발표 15건 시작품: 0건 S/W: 4건

(1) 별책 2 MIDAS-P1-SDD-DMP-001 DMP 소프트웨어 설계 기술서 (최종산출물 별책 7-1 MIDAS-P1-SDD-DMP-001 DMP 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

(2) 별책 8 MIDAS-P2-SSS-SYS-001 항공기 도착 관리 시스템 요구사항 명세서 (최종산출물 별책 3 MIDAS-P2-SSS-SYS-001 T-AMAN 시스템 요구사항 명세서로 변경)

(3) 별책 11 MIDAS-P2-SDD-TAMP-001 TAMP 소프트웨어 설계 기술서 (최종산출물 별책 7-6 MIDAS-P2-SDD-TAMP-001 TAMP 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

(4) 별책 20 MIDAS-P1-ANR-MUL-001 다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 개발 보고서 (최종산출물 별책 24 MIDAS-P1-ANR-MUL-002 다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 개발 보고서로 변경)

(5) 별책 19 MIDAS-P1-ANR-SYS-001 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서(최종산출물 별책 25 MIDAS-P1-ANR-OPT-002 혼합정수선형계획법 기반 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서로 변경)

(6) 별책 3 MIDAS-P1-SDD-HMI-001 사용자 인터페이스 처리장치(HMI) 소프트웨어 설계서 (최종산출물 별책 7-2 MIDAS-P1-SDD-HMI-001 HMI 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

(7) 별책 12 MIDAS-P2-SDD-THMI-001 T-AMAN HMI 소프트웨어 설계서 (최종산출물 별책 7-7 MIDAS-P2-SDD-THMI-001 THMI 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

(8) 별책 6 MIDAS-P1-SDD-EIF-001 EIF 소프트웨어 설계 기술서 (최종산출물 별책 7-5 MIDAS-P1-SDD-EIF-001 EIF 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

(9) 별책 5 MIDAS-P1-SDD-CMC-001 CMC 소프트웨어 설계 기술서 (최종산출물 별책 7-4 MIDAS-P1-SDD-CMC-001 CMC 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

(10) 별책 23 MIDAS-P1-SDD-HIS-001 HITL 시뮬레이션 시스템 소프트웨어 설계 기술서 (최종산출물 별책 14 MIDAS-P1

-SIM-HIS-004 HITL 시뮬레이터 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

라) 4차년도

연구기관	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준						해당기관	예산 (백만원)	양적 성과 실적
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
주관	A	출도착 스케줄링 소프트웨어	A-5	출발 관리 스케줄링 최적화 알고리즘 개발	A-5-③	소프트웨어	1건	S/W 모듈	보고서 확인[17]	5	한국항공우주연구원	567	특허: 출원 0건 등록 1건[23] 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			A-6	도착관리(T-AMAN) 스케줄링 알고리즘 개발	A-6-③	소프트웨어	1건	S/W 모듈	보고서 확인[17]	4			
공동	B	가변 지상이동 시간 예측 적용 소프트웨어	B-4	동적 VTT 예측 알고리즘 개발	B-4-②	소프트웨어	1건	S/W 모듈	보고서 확인[15]	4	한국교통연구원	388	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 1건[23] 시작품: 0건 S/W: 0건
위탁	C	공역 교통 예측 및 모니터링 소프트웨어	C-3	교통상황 모니터링 및 예측 알고리즘	C-3-②	소프트웨어	1건	S/W 모듈	소프트웨어 등록증 확인[23]	4	한국항공대학교	102	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 6건[23] 시작품: 0건 S/W: 1건[23]
위탁	D	다목적 FCFS Multi-Point 스케줄링 소프트웨어	D-3	다중 FCFS MP 스케줄링 알고리즘	D-3-①	검증 보고서	1건	보고서	소프트웨어 등록증 확인[23]	2	인하대학교	86	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 1건[23] 발표 1건[23] 시작품: 0건 S/W: 2건[23]
위탁	E	출발 흐름 최적화 소프트웨어	E-3	출발흐름 최적화 알고리즘	E-3-②	소프트웨어	1건	보고서	보고서 확인[18]	2	서울대학교	43	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 3건[23] 시작품: 0건 S/W: 0건
주관	F	출도착 관리 주기능 처리 서버	F-4	출발관리 서버 소프트웨어 설계	F-4-②	DMAN 주처리 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[1]	4	한국항공우주연구원	900	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 2건[23] 발표 6건[23] 시작품: 0건 S/W: 1건[23]
			F-5	출발관리 서버 소프트웨어 구현	F-5-①	소프트웨어	1건	소스코드	보고서 확인[6]	9			
			F-6	도착관리(T-AMAN) 서버 소프트웨어 설계	F-6-②	T-AMAN 주처리 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[11]	4			
			F-7	도착관리(T-AMAN) 서버 소프트웨어 구현	F-7-①	소프트웨어	1건	소스코드	보고서 확인[13]	9			
공동	G	사용자 헌시 콘솔	G-4	출발관리 HMI 소프트웨어 설계	G-4-②	DMAN HMI 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[2]	4	㈜아이비리더스	838	특허: 출원 1건[23] 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 2건[23]
			G-5	출발관리 HMI 소프트웨어 구현	G-5-①	소프트웨어	1건	소스코드	보고서 확인[7]	8			
			G-6	도착관리(T-AMAN) HMI 설계	G-6-②	T-AMAN HMI 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[12]	4			
			G-7	도착관리(T-AMAN) HMI 구현	G-7-①	소프트웨어	1건	소스코드	보고서 확인[14]	8			
공동	H	외부 연동 처리 시스템	H-4	출발관리 외부연동 소프트웨어 설계	H-4-②	출발관리 외부연동 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[5]	4	㈜유니텍	190	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			H-5	출발관리 외부연동 소프트웨어 구현	H-5-①	소프트웨어	1건	소스코드	보고서 확인[10]	6			
공동	I	시스템 제어 및 모니터링 콘솔	I-4	출발관리 제어/모니터링 소프트웨어 설계	I-4-②	출발관리 제어/모니터링 소프트웨어 설계서	1건	설계서	설계서 확인[4]	4	㈜유니텍	457	특허: 출원 1건[23] 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 2건[23]
			I-5	출발관리 제어/모니터링 소프트웨어 구현	I-5-①	소프트웨어	1건	소스코드	보고서 확인[9]	6			
위탁	J	Fast-Time 시뮬레이션 모델	J-4	Fast-Time 시뮬레이션 모델 구축	J-4-②	시뮬레이션 모델	1건	모델	모델(보고서) 확인[20]	1	한국항공대	70	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 1건[23] 발표 0건 시작품: 0건
			J-5	Fast-Time 시뮬레이션 시험	J-5①	분석 보고서	1건	보고서	보고서 확인[20]	2			

													S/W: 0건
공동	K	HITL 시뮬레이션 시스템	K-4	HITL 시뮬레이션 시스템 구축	K-4-①	HITL 시뮬레이션 시스템 소프트웨어 설계서	1건	S/W	설계서 확인[21]	3	㈜아이비리더스	570	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
					K-4-②	구축 보고서	1건	보고서	보고서 확인[22]	3			
계										100		4,211	특허: 출원 2건 등록 1건 논문: 게재 4건 발표 17건 시작품: 0건 S/W: 8건

(1) 별책 1 DMP 소프트웨어 설계 기술서 (최종산출물 별책 7-1 MIDAS-P1-SDD-DMP-001 DMP 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

(2) 별책 2 HMI 소프트웨어 설계 기술서 (최종산출물 별책 7-2 MIDAS-P1-SDD-HMI-001 HMI 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

(3) 별책 3 RSA 소프트웨어 설계 기술서 (최종산출물 별책 7-3 MIDAS-P1-SDD-RSA-001 RSA 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

(4) 별책 4 CMC 소프트웨어 설계 기술서 (최종산출물 별책 7-4 MIDAS-P1-SDD-CMC-001 CMC 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

(5) 별책 5 EIF 소프트웨어 설계 기술서 (최종산출물 별책 7-5 MIDAS-P1-SDD-EIF-001 EIF 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

(6) 별책 6 DMP 소프트웨어 구현 보고서 (최종산출물 별책 8-1 MIDAS-P1-SRC-DMP-001 DMP 소프트웨어 구현 보고서로 변경)

(7) 별책 7 HMI 소프트웨어 구현 보고서 (최종산출물 별책 8-2 MIDAS-P1-SRC-HMI-001 HMI 소프트웨어 구현 보고서로 변경)

(8) 별책 8 RSA 소프트웨어 구현 보고서 (최종산출물 별책 8-3 MIDAS-P1-SRC-RSA-001 RSA 소프트웨어 구현 보고서로 변경)

(9) 별책 9 CMC 소프트웨어 구현 보고서 (최종산출물 별책 8-4 MIDAS-P1-SRC-CMC-001 CMC 소프트웨어 구현 보고서로 변경)

(10) 별책 10 EIF 소프트웨어 구현 보고서 (최종산출물 별책 8-5 MIDAS-P1-SRC-EIF-001 EIF 소프트웨어 구현 보고서로 변경)

(11) 별책 11 TAMP 소프트웨어 설계 기술서 (최종산출물 별책 7-6 MIDAS-P2-SDD-TAMP-001 TAMP 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

(12) 별책 12 THMI 소프트웨어 설계 기술서 (최종산출물 별책 7-7 MIDAS-P2-SDD-THMI-001 THMI 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

(13) 별책 13 TAMP 소프트웨어 구현 보고서 (최종산출물 별책 8-6 MIDAS-P2-SRC-TAMP-001 TAMP 소프트웨어 구현 보고서로 변경)

(14) 별책 14 THMI 소프트웨어 구현 보고서 (최종산출물 별책 8-7 MIDAS-P2-SRC-THMI-001 THMI 소프트웨어 구현 보고서로 변경)

(15) 별책 15 가변 지상이동 시간 예측 적용 알고리즘 구현 보고서 (최종산출물 별책 21 MIDAS-P1-ANR-VTT-004 가변 지상이동시간 예측 적용 알고리즘 구현 보고서로 변경)

(16) 별책 16 공역 교통 모니터링 및 예측 알고리즘 보고서 (최종산출물 별책 22 MIDAS-P1-ANR-ERT-007 통과항공기 합류시각 예측모델 보고서로 변경)

(17) 별책 17 출도착 관리를 위한 스케줄링 알고리즘 구현 보고서 (최종산출물 별책 23 MIDAS-P1-ANR-DAS-005 출도착 관리를 위한 최적화 스케줄링 알고리즘 연구 보고서로 변경)

(18) 별책 18 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서 (최종산출물 별책 25 MIDAS-P1-ANR-OPT-002 혼합정수선형계획법 기반 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서로 통합)

(19) 별책 19 다중 FCFS MP 소프트웨어 검증 보고서 (최종산출물 별책 24 MIDAS-P1-ANR-MUL-003 다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 검증 보고서로 변경)

(20) 별책 20 Fast-Time 시뮬레이션 상세 모형 구축 보고서 (최종산출물 별책 13 MIDAS-P1-SIM-FTS-004 Fast-Time 시뮬레이션 상세 모형 구축 보고서로 변경)

(21) 별책 21 HITL 시뮬레이션 시스템 소프트웨어 설계서 (최종산출물 별책 14 MIDAS-P1-SIM-HIS-004 HITL 시뮬레이터 소프트웨어 설계 기술서로 변경)

(22) 별책 22 HITL 시뮬레이션 운영 환경 구축 보고서 (최종산출물 별책 14 MIDAS-P1-SIM-HIS-005 HITL 시뮬레이션 운영 환경 구축 보고서로 변경)

(23) 연구성과 증빙자료 (최종산출물 별책 29 연구성과 증빙자료로 통합)

(24) 4차년도 회의록 모음 (최종산출물 별책 30-4 MIDAS 4차년도 주요 회의로 변경)

마) 5차년도

연구기관	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준						해당기관	예산 (백만원)	양적 성과 실적
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
주관	A	출도착 스케줄링 소프트웨어	A-5	출발관리 스케줄링 알고리즘 개발	A-5-③	소프트웨어	1건	소스코드	소스코드 확인*	3	한국항공우주연구원	239	특허: 출원 0건 등록 2건 논문: 게재 1건 발표 4건 시작품: 0건 S/W: 2건
			A-6	도착관리(T-AMAN) 스케줄링 알고리즘 개발	A-6-③	소프트웨어	1건	소스코드	소스코드 확인○	3			
공동	B	가변 지상이동 시간 예측 적용 소프트웨어	B-4	동적 VTT 예측 알고리즘 개발	B-4-②	소프트웨어	1건	소스코드	소스코드 확인*	2	한국교통연구원	529	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 1건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			B-5	시험 및 검증 지원	B-5-①	HITL 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인†	2			
위탁	C	공역 교통 예측 및 모니터링 소프트웨어	C-3	교통상황 모니터링 및 예측 알고리즘	C-3-②	소프트웨어	1건	소스코드	소스코드 확인*	3	한국항공대학교	105	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 2건 시작품: 0건 S/W: 0건
			C-4	시험 및 검증 지원	C-4-①	HITL 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인†	2			
위탁	D	다목적 FCFS Multi-Point 스케줄링 소프트웨어	D-3	불확실성을 감안한 출도착 통합 FCFS MP 스케줄링 알고리즘	D-3-①	소프트웨어	1건	보고서	소프트웨어 등록증 확인	2	인하대학교	118	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 1건 발표 1건 시작품: 0건 S/W: 2건
위탁	E	출발 흐름 최적화 소프트웨어	E-3	출발흐름 최적화 알고리즘	E-3-②	알고리즘 보고서	1건	보고서	보고서 확인(1)	2	서울대학교	59	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 1건 발표 3건 시작품: 0건 S/W: 0건
			E-4	출발흐름 준최적화 알고리즘	E-4-①	알고리즘 보고서	1건	보고서	보고서 확인(1)	2			
					E-4-②	알고리즘 보고서	1건	보고서	보고서 확인(1)	2			
주관	F	출도착 관리 주기능 처리 서버	F-5	출발관리 서버 소프트웨어 구현	F-5-①	소프트웨어	1건	소스코드	소스코드 확인	5	한국항공우주연구원	1,588	특허: 출원 0건 등록 2건 논문: 게재 0건 발표 2건
			F-7	도착관리(T-AMAN) 서버 소프트웨어	F-7-①	소프트웨어	1건	소스코드	소스코드 확인	5			

				구현									
			F-8	시스템 통합	F-8-①	시작품	1건	시작품	시작품 확인	5			시작품: 1건 S/W: 3건
			F-9	시험 및 검증	F-9-①	HITL 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인†	5			
공동	G	사용자 현시 콘솔	G-5	출발관리 HMI 소프트웨어 구현	G-5-①	소프트웨어	1건	소스코드	소스코드 확인	5	㈜아이비리더스	1,089	특허: 출원 0건 등록 1건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 1건
			G-7	도착관리(T-AMAN) HMI 구현	G-7-①	소프트웨어	1건	소스코드	소스코드 확인	5			
			G-8	시스템 통합	G-8-①	시작품	1건	시작품	시작품 확인	5			
			G-9	시험 및 검증	G-9-②	HITL 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인†	5			
공동	H	외부 연동 처리 시스템	H-5	출발관리 외부연동 소프트웨어 구현	H-5-①	소프트웨어	1건	소스코드	소스코드 확인	5	㈜유니텍	481	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			H-6	시스템 통합	H-6-①	시작품	1건	시작품	시작품 확인	5			
			H-7	시험 및 검증	H-7-①	HITL 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인†	5			
공동	I	시스템 제어 및 모니터링 콘솔	I-5	제어/모니터링 소프트웨어 구현	I-5-①	소프트웨어	1건	소스코드	소스코드 확인	5	㈜유니텍	400	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 2건
			I-6	시스템 통합	I-6-①	시작품	1건	시작품	시작품 확인	5			
			I-7	시험 및 검증	I-7-①	HITL 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인†	5			
위탁	J	Fast-Time 시뮬레이션 모델	J-5	Fast-Time 시뮬레이션 시험	J-5-①	분석 보고서	1건	보고서	보고서 확인(2)	2	한국항공대	130	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			J-6	시험 및 검증 지원	J-6-①	HITL 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인†	2			
공동	K	HITL 시뮬레이션 시스템	K-4	HITL 시뮬레이션 시스템 구축	K-4-②	구축 보고서	1건	보고서	보고서 확인(3)	1	㈜아이비리더스	1,000	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
			K-5	시험 및 검증	K-5-①	HITL 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인†	1			
					K-5-②	HITL 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인†	1			
계										100		5,738	특허: 출원 1건 등록 6건 논문: 게재 4건 발표 12건 시작품: 1건 S/W: 10건

※ : 해당 소프트웨어는 출발관리 서버 소프트웨어의 일부 모듈로서, 성과점검시 출발관리 서버 소프트웨어의 소스코드를 통해 검증함

○ : 해당 소프트웨어는 도착관리 서버 소프트웨어의 일부 모듈로서, 성과점검시 도착관리 서버 소프트웨어의 소스코드를 통해 검증함

† : 해당 보고서는 HITL 시뮬레이션 시험 업무가 수행되는 6차년도 작성될 예정임 (인천국제공항공사 등의 요청에 의거하여, HITL 시뮬레이션 수행 이전에 인천공항 대상 DMAN 개발 및 실 운영 시스템 연계 선 수행 - HITL 시뮬레이션 수행과 실 운영 시스템 연계의 순서 조정 - 함에 따라 HITL 시뮬레이션은 6차년 착수 예정) (최종산출물 별책 14 MIDAS-P1-SIM-HIS-006 HITL 시뮬레이션 결과 보고서로 작성)

(1) 별책 13-3 출발 흐름 최적화 소프트웨어 알고리즘 개발 (최종산출물 별책 25 MIDAS-P1-ANR-OPT-004 불확실성을 고려한 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서로 변경)

(2) 별책 13-5 Fast-Time 시뮬레이션 분석 보고서 (최종산출물 별책 13 MIDAS-P1-SIM-FTS-005 Fast-Time 시뮬레이션 분석 보고서로 변경)

(3) 별책 11 HITL 시뮬레이션 운영 환경 구축 보고서 (최종산출물 별책 14 MIDAS-P1-SIM-HIS-005 HITL 시뮬레이션 운영 환경 구축 보고서로 변경)

바) 6차년도

연구기관	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준						해당기관	예산 (백만원)	양적 성과 실적
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
주관	A	출도착 스케줄링 소프트웨어	A-7	출도착 스케줄링 알고리즘/소프트웨어	A-7-②	출도착 스케줄링 관련 보고서	1건	보고서	보고서 확인[1]	5	한국항공우주연구원	955	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 게재 0건 발표 8건 시작품: 0건 S/W: 4건
공동	B	가변 지상이동 시간 예측 적용 소프트웨어	B-5	가변 지상이동 시간 예측 적용 알고리즘/소프트웨어	B-5-①	가변 지상이동시간 예측 관련 보고서	1건	보고서	보고서 확인[2]	5	한국교통연구원	518	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 1건 시작품: 0건 S/W: 0건
위탁	C	공역 교통 예측 및 모니터링 소프트웨어	C-4	공역 교통 예측 및 모니터링 알고리즘/소프트웨어	C-4-①	공역 교통 예측/모니터링 관련 보고서	1건	보고서	보고서 확인[3]	5	한국항공대학교	135	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 1건 시작품: 0건 S/W: 0건
위탁	D	다목적 FCFS Multi-Point 스케줄링 소프트웨어	D-3	불확실성을 감안한 출도착 통합 FCFS MP 스케줄링 알고리즘/소프트웨어	D-3-②	다목적 FCFS Multi-Point 스케줄링 관련 보고서	1건	보고서	보고서 확인[4]	5	인하대학교	116	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 1건 시작품: 0건 S/W: 0건
위탁	E	출발 흐름 최적화 소프트웨어	E-4	출발흐름 준최적화 알고리즘/소프트웨어	E-4-②	출발 흐름 최적화 관련 보고서	1건	보고서	보고서 확인[5]	5	서울대학교	54	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 1건 발표 2건 시작품: 0건 S/W: 0건
주관	F	출도착 관리 주기능 처리 서버	F-9	출도착 관리 주기능 처리 서버 시작품	F-9-①	HITL 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인[6]	8	한국항공우주연구원	1,000	특허: 출원 1건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 1건 S/W: 1건
					F-9-②	시범운용 보고서	1건	보고서	보고서 확인[7]	9			
공동	G	사용자 현시 콘솔	G-9	사용자 현시 콘솔 시작품	G-9-①	HITL 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인[6]	8	(주)아이비리더스	1,001	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
					G-9-②	시범운용 보고서	1건	보고서	보고서 확인[7]	9			
공동	H	외부 연동 처리 시스템	H-7	외부 연동 처리 시스템 시작품	H-7-①	HITL 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인[6]	8	(주)유니텍	464	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 1건
					H-7-②	시범운용 보고서	1건	보고서	보고서 확인[7]	9			
공동	I	시스템 제어 및 모니터링 콘솔	I-7	시스템 제어 및 모니터링 콘솔 시작품	i-7-①	HITL 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인[6]	8	(주)유니텍	400	특허: 출원 0건 등록 1건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 1건
					i-7-②	시범운용 보고서	1건	보고서	보고서 확인[7]	9			
위탁	J	Fast-Time 시뮬레이션 모델	J-6	Fast-Time 시뮬레이션을 통한 편익 분석	J-6-①	Fast-Time 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인[8]	6	한국항공대	100	특허: 출원 0건 등록 0건 논문: 게재 2건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 0건
공동	K	HITL 시뮬레이션 시스템	K-5	HITL 시뮬레이션을 통한 편익 분석	K-5-①	HITL 시뮬레이션 보고서	1건	보고서	보고서 확인[6]	6	(주)아이비리더스	880	특허: 출원 0건 등록 1건 논문: 게재 0건 발표 0건 시작품: 0건 S/W: 2건
계										105		5,623	특허: 출원 2건 등록 3건 논문: 게재 3건 발표 13건 시작품: 1건 S/W: 9건

(1) 최종산출물 별책 23 MIDAS-P1-ANR-DAS-006 출도착 관리를 위한 스케줄링 알고리즘 구현 보고서

(2) 최종산출물 별책 21 MIDAS-P1-ANR-VTT-006 가변지상이동시간 예측 적용 소프트웨어(성능개량) 보고서

(3) 최종산출물 별책 22 MIDAS-P1-ANR-ERT-008 순항항공기 궤적 예측 알고리즘 개선 보고서

(4) 최종산출물 별책 24 MIDAS-P1-ANR-MUL-005 불확실성을 고려한 다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 검증 보고서

(5) 최종산출물 별책 25 MIDAS-P1-ANR-OPT-005 혼합정수 선형계획법과 유전 알고리즘 기반 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서

(6) 최종산출물 별책 24 MIDAS-P1-SIM-HIS-006 HITL 시뮬레이션 결과 보고서

(7) 최종산출물 별책 16 MIDAS-P1-FLD-SYS-001 MIDAS 시스템 시범운용 보고서

(8) 최종산출물 별책 13 MIDAS-P1-SIM-FTS-006 Fast-Time 시뮬레이션 결과 보고서

나. 관련 분야 기여도

본 연구 과제는 국내 운용환경에 맞는 항공기 출도착 통합 관리 기술 개발을 목표로, 1) 운용 개념 수립; 2) 핵심 기술 개발; 3) 시스템 설계 및 구현; 4) 시스템 검증의 단계로 연구개발이 이루어졌다. 특히, 항공교통관리 분야의 연구개발 과제로서는 처음으로 운용 개념 수립부터 시스템 검증까지 이르는 전 주기에 걸친 연구개발 활동을 수행함으로써 관련 분야의 연구개발 절차 및 노하우를 확보하였다.

연구 개발 방법적인 측면에서, 국내 항공교통의 특성을 반영하기 위해 데이터 분석 및 현장 조사, 항공교통 관제사 및 시스템 운영자 등의 전문가 인터뷰 등을 토대로 실제 운용환경을 분석하고 요구사항을 적극적으로 수렴함으로써, 기존의 외산 시스템 도입으로 반영할 수 없었던 요구사항 및 제한 조건들을 적극적으로 반영하였다.

제주공항 및 인천공항과 같은 국내 공항 중 대표적으로 교통량이 많은 공항에서의 현장 시험 운영과정에서는, 실 운용 시스템과 연계하고 실 데이터를 연동하여 시스템을 운영하였으며, 시험운용 과정 중 제시되는 실 사용자 요구사항을 지속적으로 반영하여 시스템을 보완함으로써 실용화 가능성을 제고하였다. 뿐만 아니라 항공기 출도착 관리 시스템과 같은 새로운 관제 보조 시스템 도입 시 보완되어야할 관제 절차 및 공항 운용 절차를 함께 고려하여 시스템의 요구사항과 상호 보완적인 관계를 유지하여 활용성을 높였다.

또한, 항공교통관리 연구 분야에서는 필수적인 시뮬레이션 기반의 운용성 검증 절차를 수행하고 HITL 시뮬레이션 시스템과 같이 관련분야의 향후 연구개발을 위해 필수적인 인프라를 확보하였다.

본 과제를 통해 개발된 시스템 및 출도착 관리 운용 개념을 통해 국내 항공교통 환경에 맞는 효율적인 출도착 관리가 이루어 질 수 있을 것으로 생각되며, 기존 항공교통 시스템과의 연계 및 시스템 통합 기술, 스케줄링 알고리즘, 전자스트립 등의 HMI 시스템, 연구개발에 참여한 인력들의 연구 경험 등 유무형의 성과들이 향후 항공교통 시스템과 관련한 다양한 목적으로 확장, 재활용될 수 있을 것으로 기대한다.

4. 연구개발성과의 활용 계획

가. 연구성과 활용방안

본 연구과제 연구성과인 MIDAS 시스템은 제주공항 및 인천공항에서의 시범운용 이외에도 소프트웨어 정적/동적 시험, GS 인증 시험과 같은 제 3자에 의한 품질 검증을 거쳤으며, 이를 기반으로 국토교통부, 공항공사와의 적극적인 협력을 통해 제주공항을 비롯한 국내 공항에의 도입/활용을 우선 추진할 예정이다. 사업화 논의 과정에서 위험평가 기반 안전성 검토, 수요자의 추가 요구사항 반영, 시스템 확장 방안 등이 추가적으로 고려될 수 있다. MIDAS 본 시스템 이외에도, EFS의 경우 독립된 시스템으로 제품화 및 사업화를 추진할 예정이며, HITL 시뮬레이터의 경우 국내 항공관제 관련 교육을 수행하는 대학 및 공군/육군 교육 기관의 사업 수주를 통해 교육용 시뮬레이터 사업화가 가능할 것으로 판단된다.

국내 사업과 병행하여 해외 사업도 추진할 예정이다. 해외 사업 추진 시 MIDAS DMAN 및 T-AMAN 관련 아래 우수성을 부각할 수 있다.

[표 42] 기준 시스템 대비 우수성

구분	MIDAS 시스템	기존 시스템
DMAN /T-AMAN	• 단일 공항에서의 출도착 통합관리 (ASBU RESQ-B2/1에 해당) • 항로/목적지별 다중 MDI, 다중 활주로, 지상 교통 상황, 활주로 pressure 등을 고려한 출발관리 • 경로 조언 정보를 포함한 접근관제구역 내 도착관리	• 출발관리 및 도착관리 미연계 • 다중 MDI 처리 및 지상 교통 상황 반영 기능 없는 사전출발관리 (Pre-Departure Sequencing) • 접근관제구역으로 입항하는 항공기의 기본적인 도착 관리
ATM Simulator	• 차세대 항공교통관리(공항/접근/항공로 통합 관제 등) 연구 지원 • 비행계획 확장 및 비행체 성능 adaptation에 따라 유무인기 및 미래항공기 혼합 환경 시뮬레이션 확장 용이	• 관제사 교육 훈련용 시뮬레이터로서, 연구 지원 및 확장 불가

한편, 해외시장 진출을 위해서는 제품에 대한 레퍼런스 및 인지도가 요구됨에 따라, 아래와 같은 방안을 추진한다.

- 항공후진국을 대상으로 한 KOICA(한국국제협력단) 등의 신기술 지원사업을 통해 해외 시장 진출
- 해외 항공분야 선진기업과의 협약을 통해 해외제품과의 통합 등의 방법으로 해외 시장 진출 (MIDAS 참여기업인 ㈜아이비리더스는 해외 업체인 Frequentis COMSOFT, METRON 등과 업무적 협력관계에 있음)

아울러, 연구개발 과정을 통해 확보한 HITL 시뮬레이션 시스템과 같은 대규모 연구개발 인프라는 향후 관련 분야 연구개발에 필수적인 시스템으로, 연구개발 뿐만 아니라 향후 유사 시스템 도입 시의 기능 검증이나 효과 분석, 항공교통관리 운용 개념 및 관제 절차 검증 등에 지속적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 추가 연구 필요성

시스템 개발 및 시험 운영을 통해 파악한 국내 공역 및 항공교통의 특성을 종합할 때, 몇몇 주요공항에서의 출도착 관리뿐만 아니라 국내 공항 전체의 출도착 통합 관리 필요성, 국제선 항공기들 및 영공 통과 항공기들을 통합 고려한 항공교통흐름관리와의 밀접한 연계 필요성이 제기되었다. 특히, 국제선 교통량의 대부분을 차지하는 인천공항에서 주변국 교통상황에 따라 전술적으로 변경되는 출도착 제약 조건들을 고려한 출발 스케줄링 개발 성과를 확보한 바 있으며, 이에 관련한 기술과 개념을 활용하고 확장함으로써 국내 공항 전체의 출도착 통합 관리가 가능할 것으로 판단된다.

또한, 항공교통관리 분야의 특성 상, 주요 요구사항이 실제 운용될 공항 및 공역의 환경적인 특성에 매우 의존적이며 이러한 특성을 반영한 시스템 확보, 지속적인 기술개발을 위해서는 데이터 분석에 기반한 특성 파악, 성능 및 효과 분석 등이 선행되어야 할 것으로 판단되며, 관련한 분야의 추가적인 연구개발을 통해 체계적인 기술 획득이 요구된다.

5. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

가. 인천공항/제주공항 시범운용을 통한 실용화 제고

본 연구개발과제의 대표적 성과물인 MIDAS 시스템은 인천공항 및 제주공항에서의 시범운용을 통해 국내의 특수한 운용 환경을 반영하고 공항별 특성에 맞게 설정 파일을 통해 현지화하여 실제 관제에서 활용될 수 있도록 지속적으로 개선되고 있다.

인천공항에 대해서는, 2018년 5월 인천공항 ARTS 장비실 내 출발관리 시스템인 MIDAS DMAN 설치를 시작으로 지속적인 운용시험을 거치면서 7월과 8월에 인천 관제탑 및 계류장 관제탑에 각각 설치하였으며 이후 시범운용을 통해 관제사의 추가적인 의견을 수렴하고 시스템 및 소프트웨어를 업데이트하였다. 인천공항은 FIR 경계와 인접한 지리적 환경, 중국 등 주변국으로부터의 흐름 관리 제약사항 등 어려운 관제 환경을 가지기 때문에, MDI, CTOT, Release Time, 활주로 사용 전략 등을 종합적으로 고려한 소프트웨어 개발이 필요하였고, 이는 관제사들과의 긴밀한 협조 하에 수행되었기에 해외 상용제품 도입에서 기대하기 어려운 다양한 요구조건들을 빠르게 수용하고, 이를 소프트웨어 구조에 반영하였다는 특징을 갖고 있다. 인천공항과 같은 특수한 조건들이 정교하게 고려된 소프트웨어는 해외 시장에 진출 시에도 경쟁력을 갖추고 있다고 할 수 있다.

공식적인 시범운용 공항으로 지정된 제주공항에 대해서는, 출발관리와 도착관리를 종합적으로 고려한 출도착 통합관리 시스템인 MIDAS 시스템을 2019년 1월부터 설치하여 제주관제탑과 접근관제소에서 시범운용을 수행하였다. 제주공항은 세계적으로 가장 많은 항공편이 운항되는 김포-제주 노선의 핵심 공항이며, 기상상황에 따른 지연 등 관제사의 업무가 매우 바쁜 공항으로, 시범운용을 통해 단일 활주로 사용 공항에 이착륙 통합 스케줄링 요구사항을 지속적으로 반영하고, 이를 개선함으로서 국내외 유사한 공항에서의 적용이 가능할 것으로 사료된다.

인천공항 및 제주공항의 시범운용 관련 상세 내용은 2-나-4)-다)절에 기술되어 있다.

나. 소프트웨어 품질 검증(정적/동적 시험, GS 인증)

개발된 최종 소프트웨어의 품질 우수성을 검증하고자 공인된 제 3자 기반의 소프트웨어 검증을 수행하였다. 소프트웨어 검증은 MIDAS 핵심 시스템인 출도착 스케줄러

와 사용자 현시 소프트웨어에 대해 수행하였으며, 소프트웨어 검증 방법으로는 화이트 박스 검증에 해당하는 정적/동적 시험과 소프트웨어 품질 특성에 대한 블랙박스 검증인 GS 인증을 추진하였다.

정적/동적 시험 관련하여, 방위사업청 무기체계 소프트웨어 코딩 규칙과 Common Weakness Enumerates(CWE) 659 사항을 고려한 코딩 룰에 기반하여, 공인된 제 3자 검증 방식(LDRA 툴 이용, ㈜모아소프트 수행)을 통해 소프트웨어의 소스코드 신뢰성 검증을 수행하였다.

GS 인증과 관련하여서는 GS 인증 공식 시험기관인 한국산업기술시험원(KTL)을 통해 GS 인증을 추진하여, 개발된 소프트웨어가 ISO 9126의 8가지 소프트웨어 품질 특성을 만족하는지 여부를 확인하였고 최종적으로 인증을 획득하였다.

정적/동적 시험 및 GS 인증과 관련된 상세 내용은 각각 2-나-4)-라), 2-나-4)-마)절에 기술되어 있다.

다. NASA 국제공동연구

ATM 기술 개발 및 효용성 검증 프로세스 관점에서 선진 해외 연구기관의 경험 및 기술 획득을 추진하고자 미국 NASA와 MOU를 체결하고, 이를 바탕으로 국제공동연구를 진행하였다. 국제 공동연구를 통해 초기 스케줄러 알고리즘 검증을 위한 NASA의 fast-time 시뮬레이션 툴을 확보하고, 인천공항 데이터 분석을 통한 운용현황 분석, 지상이동 모델 구축, 스케줄링 요구사항 도출 등 학술적, 기술적 교류 활동을 지속적으로 이어나갔다. 학술적으로는, 국제학술대회에서 항공우주연구원과 NASA 연구진이 여러 편의 공동 논문을 발표하였고, 2015년 kick-off 워크숍을 시작으로 총 7회의 국제공동 워크숍 개최하는 등의 성과를 거두었다. 실무적 기술 교류에 있어서는 항우연 연구진의 NASA 파견을 통한 국제공동개발 수행, NASA HITL 시뮬레이션에의 항공우주연구원 개발인력 실무 참여, 1-2개월 단위의 지속적 teleconference를 수행을 통해 연구결과를 상호 검토함으로써 지속적으로 기술을 발전시켜 나갔다. NASA와의 국제공동연구는 그 우수성을 NASA에서도 인정받아 NASA head quarter로부터 Group Achievement Award를 수상하였다.

NASA 국제공동연구와 관련된 상세한 사항은 2-나-5)절에 기술되어 있다.

라. 유관 기관 기술 지원

본 연구개발 결과는 유무형적으로 인천공항, 항공교통본부 등 다양한 유관기관에 전파되어 활용되고 있다.

인천공항을 대상으로 한 NASA와의 국제공동연구를 통해 인천공항 운용 데이터를 상세히 분석하여, 항공로별 교통흐름분석, 지상교통 혼잡도 분석 및 heatmap 현시, 제방빙 자료 분석, MDI를 고려한 출발 스케줄러 개발 및 배속 시뮬레이션 수행 등을 수행하였으며, 이를 통해 인천공항이 갖추어야 항공기 출발관리 관련 요구사항을 명확하게 정의하는데 일조하였다. 또한 출발관리 공동연구를 위해 인천공항공사와 2017년 체결한 MOU 이외에 추가적으로 항공교통관리 전반에 걸친 연구협약서를 2020년에 추가로 인천공항공사와 체결하여 이를 근거로 HITL 시스템과 동일한 시스템을 인천공항 항행관제센터(AICC)에 설치하였으며, 이를 통해 실데이터와 가상데이터를 결합한 차세대 항공교통관리 연구를 할 수 있는 기반을 마련하였다.



[그림 200] MIDAS 연구성과를 활용한 항공교통관리 시뮬레이션 시스템(인천공항 AICC 설치)

항공교통본부는 MIDAS 시스템에서 사용하는 CTOT의 발부, AFTM 명령을 생성함으로써 국내 항공교통흐름을 관장하는 기관으로, 전 세계의 ADS-B 항적 데이터를 실시간으로 수집, 현시하여, 국내 FIR을 둘러싼 주변 공역을 포함한 전 세계적인 항공교통흐름을 파악할 수 있는 시스템을 필요로 한다. 이를 위해, MIDAS 시스템 데이터 현시를 위해 개발된 3차원 좌표기준의 항적 현시 소프트웨어를 항공교통본부에 설치하여 운용하고 있으며, 추후 전 세계 항적 데이터의 동시 현시를 지원할 수 있도록 지속

적으로 기술 지원하고 있다.



[그림 201] MIDAS 연구성과를 활용한 항적 현시기 (항공교통통제센터 설치)

이외에도 한국공항공사의 A-CDM 구축 사업에 MIDAS DMAN이 연계될 수 있도록 지원하였으며, 노후화된 ASDE로 인한 제주공항의 열악한 지상상황인식을 개선하기 위해, ADS-B 및 레이더 자료를 이용하여 항공기를 통합 추적할 수 있는 기술을 적용한 SDP의 처리 결과를 관제사들이 활용할 수 있도록 지원하였다.

6. 붙임

가. 참고문헌

[1] 은연주, 전대근, 김현경, 오은미, 정명숙, 김소윤, 김상현, 염찬홍, “항공기 출도착 통합 관리 기술 연구,” 한국항공교통학회지, 1권 1호, pp 43-45, 2019.

[2] International Civil Aviation Organization, “Global Air Navigation Plan 2016-2030,” 2016.

[3] International Civil Aviation Organization, “Aviation System Block Upgrades,” 2016.

[4] Y. Eun, et al., “A Tactical Scheduler for Surface Metering under Minimum Departure Interval Restrictions,” IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems Conferece, San Diego, CA., September 2019.

[5] 김상현, “인천공항 출발 관리의 편익 기초 분석,” 한국항공우주학회 2019 항공우주전자 심포지움, 2019년 7월.

[6] Y. Eun, et al., “Optimization of Airport Surface Traffic: A Case-study of Incheon International Airport,” the 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, Denver, CO, June 2017.

[7] Eurocontro, A-CDM Impact Assessment, 2016.

[8] Civil Air Navigation Service Organization, A-CDM: Optimization through Collaboration, 2016.

나. 약어

A/C	Aircraft
AAR	Airport Acceptance Rate
ACC	Area Control Center
A-CDM	Airport-Collaborative Decision Making
ACID	Aircraft ID
ACZT	Actual Commencement of De-icing Time
A-DPI	ATC Departure Planning Information Message
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance Broadcast
AEDT	Actual End of De-icing Time
AFP	Airspace Flow Programs
AFTN	Aeronautical Fixed Telecommunication Network
AIBT	Actual In-Block Time
AIDC	ATS Inter-facility Data Communication
AIP	Aeronautical Information Publication
ALDT	Actual Landing Time
AMAN	Arrival Manager/Management

AMDAR	Aircraft Meteorological Data Relay
AMHS	ATS Message Handling System
AMOS	Aerodrome Meteorological Observation System
AMS	Automatic Message Switching System
AO	Airport Operator
AO	Aircraft Operator
AOBT	Actual Off-Block Time
AODB	Aircraft Operational DataBase
APAC	Asia and Pacific (ICAO)
ARSR	Air Route Surveillance Radar
ARTCC	Air Route Traffic Control Center
ARTS	Automated Radar Terminal System
ASAT	Actual Start Up Approval Time
ASBU	Aviation System Block Upgrades
ASD	Air Situation Display
ASDE	Airport Surface Detection Equipment
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System
ASP	Arrival Sequencing Program
ASR	Airport Surveillance Radar
ATA	Actual Time of Arrival
ATC	Air Traffic Control
ATCSCC	Air Traffic Control System Command Center
ATFM	Air Traffic Flow Management
ATFMC	Air Traffic Flow Management Center
ATFMS	Air Traffic Flow Management System
ATFN	Aeronautical Fixed Telecommunication Network
ATG	Airspace Traffic Generator
ATIS	Automatic Terminal Information System
ATM	Air Traffic Management
ATN	Aeronautical Telecommunication Network
ATOT	Actual Take Off Time
BADA	Base of Aircraft Data
CAI	Common Algorithm Interface
CAP	Collaborative Arrival Planner
CARATS	Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems
CDIF	CAP Data Interface
CDM	Collaborative Decision Making
CDO	Continuous Descent Operations
CDQM	Collaborative Departure Queue Management
CDR	Critical Design Review
CFR	Call For Release
CMC	Control and Monitoring Console
CNS-ATM	Communication, Navigation, Surveillance –Air Traffic Management
CPDLC	Controller Pilot Data Link Communication
CPS	Constrained Position Shifting
CRT	Coordinated Release Time
CSCI	Computer Software Configuration Item
CTA	Control Time of Arrival
CTAS	Center-TRACON Automation System
CTE	Critical Technology Element
CTOT	Calculated Take-Off Time
DA	Descent Advisor
D-ATIS	Digital Automatic Terminal Information System

DB	DataBase
DDF	Delay Distribution Function
DMAN	Departure Manager/Departure Management
DME	Distance Measuring Equipment
DMP	DMAN Main Processor
DMPC	DMAN Main Processor CSCI
DPI	Departure Planning Information
DPI's	Departure Planning Information Message
DST	Decision Support Tool
ECZT	Estimated Commencement of De-icing Time
EDC	En-route Departure Capability
EDCT	Expect Departure Clearance Time
E-DPI	Early Departure Planning Information Message
EEZT	Estimated End of De-icing Time
EFPS	Electronic Flight Progress Strip
EFS	Electronic Flight Strips
EIBT	Estimated In-Block Time
EIF	External Interface System
ELDT	Estimated Landing Time
EOBT	Estimated Off-Block Time
ERBP	Expected Runway Delay Buffer
ERWP	Expected Runway Waiting Period
ESWP	Expected Stand Waiting Period
ETA	Estimated Time of Arrival
ETD	Estimated Time of Departure
ETMS	Enhanced Traffic Management System
ETO	Estimated Time of Over
EXOP	Expected Outbound Taxi Period
EXOT	Estimated Taxi Out Time
FAA	Federal Aviation Administration
FAF	Final Approach Fix
FAST	Final Approach Spacing Tool
FCFS	First Come First Served
FDT	Flight Data Terminal
FDP	Flight Data Processor
FDPS	Flight Data Processing Systems
FFC	Future Flight Central
FIMS	Flight Information Management System
FIS-B	Flight Information Service Broadcast
FLMs	Frontline Managers
FMS	Flight Management System
FOC	Flight Operator Centers
FOIS	Flight Operation and Information System
FPL	Flight Plan
FTS	Fast-Time Simulation
FUM	Flight Update Message
GA	Genetic Algorithm
GBAS	Ground Based Augmentation System
GDP	Ground Delay Programs
GH	Ground Handler
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GRAS	Ground-based Regional Augmentation System

GRBS	Generalized Ration By Schedule
GSD	Ground Situation Display
GUI	Graphical User Interface
HFDL	High Frequency Data Link
HITL	Human-In-The-Loop
HMI	Human Machine Interface
IADS	Integrated Arrival, Departure, and Surface
ICAO	International Civil Aviation Organization
IEC	International Electrotechnical Commission
IFAR	International Forum for Aviation Research
IFR	Instrument Flight Rules
IGP	Image Generation Processor
ILS	Instrument Landing System
ISO	International Organization for Standardization
ISS	Information Sharing System
KOM	Kick-Off Meeting
MDI	Minimum Departure Intervals
MIDAS	Management on Integrated operations of Departure, Arrival, and Surface
MILP	Mixed Integer Linear Programming
MIT	Miles-In-Trail
MLAT	Multilateration
MLS	Microwave Landing System
MP	Multi-point
MPC	Model Predictive Control
MPDP	Meter Point Dynamic Planner
MSDP	Multi Surveillance Data Processor
MTTT	Minimum Time To Turn
MWC	Merging Window Calculator
NARAE	National ATM Reformation and Enhancement
NAS	National Airspace System
NASA	Nation Aeronautics and Space Administration
NDB	Non-directional Radio Beacon
NextGen	Next Generation Air Transportation System
NMOC	Network Manager Operation Center
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NOTAM	Notices to Airmen
NWS	National Weather Service
OCD	Operational Concept Description
OCR	Operational Concept Review
OSYRIS	Barco Orthogon’s SYstem for Real-time Inbound Sequencing
OTD	On Time Departure
PAR	Precision Approach Radar
PCOT	Predicted Coordinated Off Time
PDAR	Preferential Departure Arrival Route
PDC	Pre-Departure Clearance
PDR	Preliminary Design Review
PDR	Preferential Departure Route
PDRC	Precision Departure Release Capability
PDS	Pre-Departure Sequence
PMS	Project Management System
PSR	Primary Surveillance Radar
RBS	Ration By Schedule
RDAPS	Regional Data Assimilation and Prediction System

RHC	Receding Horizon Control
RMS	Root Mean Square
RPL	Repetitive Flight Plan
RS	Runway Scheduler
RSA	Recording and Statistical Analysis System
rTMA	Research Traffic Management Advisor
RVR	Runway Visual Range
RWY	runway
SARDA	Spot and Runway Departure Advisor
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SDD	Software Design Description
SDIF	Surface Data Interface
SDP	Software Development Plan
SDP	Surveillance Data Processor
SDR	System Design Review
SDS	Surface and Departure Scheduler
SDSS	Surface Decision Support System
SEGS	Stand Entry Guidance System
SESAR	Single Euro Sky ATM Research
SFPL	System Flight Plan
SID	Standard Instrument Departure
SITD	System Integration Test Description
SITP	System Integration Test Plan
SITR	System Integration Test Report
SLOTC	Slot Calculator
SMAN	Surface Management
SMGCS	Surface Movement Guidance and Control System
SMP	Simulator Main Processor
SMR	Surface Movement Radar
SMS	Surface Management System
SOBT	Scheduled Off-Block Time
SOSS	Surface Operations Simulator and Scheduler
SRP	Spot Release Planner
SRR	System Requirement Review
SRS	Software Requirement Specification
SSDD	System/Subsystem Design Description
SSR	Secondary Surveillance Radar
SSS	System/Subsystem Specification
STA	Scheduled Time of Arrival
STAR	Standard Terminal Arrival Route
STD	Software Test Description
STP	Software Test Plan
STR	Software Test Report
STT	Standard Taxi-in Time
SU	Software Unit
TACAN	Tactical Air Navigation System
T-AMAN	Terminal Arrival Manager
TAMP	T-AMAN Main Processor
TAS	Terminal Arrival Scheduler
TBC	To Be Confirmed
TBD	To Be Determined
T-DPI	Target Departure Planning Information
TDS	Tactical Departure Scheduling

TFM	Traffic Flow Management
TFMS	Traffic Flow Management System
THMI	T-AMAN Human Machine Interface
TIS-B	Traffic Information Service Broadcast
TMA	Traffic Management Advisor
TMA	Terminal Control Area
TMCs	Traffic Management Coordinators
TMI	Traffic Management Initiatives
TOBT	Target Off-Block Time
TOD	Top Of Descent
TOD	Take-Off Distance
TRACON	Terminal Radar Approach Control
TRL	Technology Readiness Level
TRR	Test Readiness Review
TRS	Time Reference System
TSAT	Target Start-up Approval Time
TSDE	Tactical Surface Data Exchange
TTG	Time To Gain
TTL	Time To Lose
TTOT	Target Take-Off Time
TWY	Taxiway
UAP	User Application Profile
UAT	Universal Access Transceiver
UCOT	Undelayed Coordinated Off Time
UDP	Universal Datagram Protocol
UPS	Uninterruptible Power Supply
UTC	Coordinated Universal Time
VCCS	Voice Communication Control System
VDGS	Visual Docking Guidance System
VDL	VHF Data Link
VFR	Visual Flight Rules
VOR	VHF Omni-directional Radio Range
VTT	Variable Taxi Time
VTTC	Variable Taxi Time Calculation
WBS	Work Breakdown Structure

다. 별책 목록

분류	문서번호	문서명	페이지수	별책
OCD	P1-OCD-SYS-001	MIDAS 운용개념 기술서	150	별책1
SDP	P1-SDP-SYS-001	MIDAS 시스템 소프트웨어 개발 계획서	42	별책2
	P1-SDP-SYS-002	MIDAS 시스템 소프트웨어 코드 스타일	34	
	P1-SDP-SYS-003	MIDAS 시스템 소프트웨어 코딩 규칙	99	
SSS	P1-SSS-SYS-001	DMAN 시스템 요구사항 명세서	51	별책3
	P2-SSS-SYS-001	T-AMAN 시스템 요구사항 명세서	26	
SSDD	P1-SSD-SYS-001	DMAN 시스템 설계 기술서	54	별책4
	P1-SSD-DMP-001	DMP 시스템 설계 기술서	33	
	P1-SSD-HMI-001	HMI 시스템 설계 기술서	42	
	P1-SSD-RSA-001	RSA 시스템 설계 기술서	30	
	P1-SSD-CMC-001	CMC 시스템 설계 기술서	32	
	P1-SSD-EIF-001	EIF 시스템 설계 기술서	49	
	P2-SSD-SYS-001	T-AMAN 시스템 설계 기술서	35	
	P2-SSD-TAMP-001	TAMP 시스템 설계 기술서	31	
	P2-SSD-THMI-001	THMI 시스템 설계 기술서	28	
ICD	P1-ICD-SYS-001	DMAN 외부 인터페이스 통제서	79	별책5
	P1-ICD-SYS-002	DMAN 내부 인터페이스 통제서	88	
	P2-ICD-SYS-001	T-AMAN 내부 인터페이스 통제서	67	
SRS	P1-SRS-DMP-001	DMP 소프트웨어 요구사항 명세서	37	별책6
	P1-SRS-HMI-001	HMI 소프트웨어 요구사항 명세서	46	
	P1-SRS-RSA-001	RSA 소프트웨어 요구사항 명세서	21	

	P1-SRS-CMC-001	CMC 소프트웨어 요구사항 명세서	23	
	P1-SRS-EIF-001	EIF 소프트웨어 요구사항 명세서	31	
	P2-SRS-TAMP-001	TAMP 소프트웨어 요구사항 명세서	22	
	P2-SRS-THMI-001	THMI 소프트웨어 요구사항 명세서	22	
	P1-SRS-MMP-001	MMP 소프트웨어 요구사항 명세서	48	
	P1-SRS-MHMI-001	MHMI 소프트웨어 요구사항 명세서	65	
SDD	P1-SDD-DMP-001	DMP 소프트웨어 설계 기술서	869	별책7-1
	P1-SDD-HMI-001	HMI 소프트웨어 설계 기술서	675	별책7-2
	P1-SDD-RSA-001	RSA 소프트웨어 설계 기술서	293	별책7-3
	P1-SDD-CMC-001	CMC 소프트웨어 설계 기술서	132	별책7-4
	P1-SDD-EIF-001	EIF 소프트웨어 설계 기술서	236	별책7-5
	P2-SDD-TAMP-001	TAMP 소프트웨어 설계 기술서	762	별책7-6
	P2-SDD-THMI-001	THMI 소프트웨어 설계 기술서	273	별책7-7
	P1-SDD-MMP-001	MMP 소프트웨어 설계 기술서	526	별책7-8
	P1-SDD-MHMI-001	MHMI 소프트웨어 설계 기술서	1279	별책7-9
SRC	P1-SRC-DMP-001	DMP 소프트웨어 구현 보고서	20	별책8
	P1-SRC-HMI-001	HMI 소프트웨어 구현 보고서	26	
	P1-SRC-RSA-001	RSA 소프트웨어 구현 보고서	27	
	P1-SRC-CMC-001	CMC 소프트웨어 구현 보고서	16	
	P1-SRC-EIF-001	EIF 소프트웨어 구현 보고서	18	
	P2-SRC-TAMP-001	TAMP 소프트웨어 구현 보고서	20	
	P2-SRC-THMI-001	THMI 소프트웨어 구현 보고서	21	
STP	P1-STP-DMP-001	DMP 소프트웨어 시험 계획서	54	별책9

	P1-STP-HMI-001	HMI 소프트웨어 시험 계획서	67	
	P1-STP-RSA-001	RSA 소프트웨어 시험 계획서	36	
	P1-STP-CMC-001	CMC 소프트웨어 시험 계획서	32	
	P1-STP-EIF-001	EIF 소프트웨어 시험 계획서	43	
	P2-STP-TAMP-001	TAMP 소프트웨어 시험 계획서	35	
	P2-STP-THMI-001	THMI 소프트웨어 시험 계획서	41	
	P1-STP-MMP-001	MMP 소프트웨어 시험 계획서	57	
	P1-STP-MHMI-001	MHMI 소프트웨어 시험 계획서	95	
STD	P1-STD-DMP-001	DMP 소프트웨어 시험 절차서	109	별책10
	P1-STD-HMI-001	HMI 소프트웨어 시험 절차서	109	
	P1-STD-RSA-001	RSA 소프트웨어 시험 절차서	63	
	P1-STD-CMC-001	CMC 소프트웨어 시험 절차서	58	
	P1-STD-EIF-001	EIF 소프트웨어 시험 절차서	79	
	P2-STD-TAMP-001	TAMP 소프트웨어 시험 절차서	49	
	P2-STD-THMI-001	THMI 소프트웨어 시험 절차서	54	
	P1-STD-MMP-001	MMP 소프트웨어 시험 절차서	113	
	P1-STD-MHMI-001	MHMI 소프트웨어 시험 절차서	195	
STR	P1-STR-DMP-001	DMP 소프트웨어 시험 결과서	109	별책11
	P1-STR-DMP-002	DMP 소프트웨어 시험 결과서(부록)	90	
	P1-STR-HMI-001	HMI 소프트웨어 시험 결과서	110	
	P1-STR-HMI-002	HMI 소프트웨어 시험 결과서(부록)	70	
	P1-STR-RSA-001	RSA 소프트웨어 시험 결과서	63	
	P1-STR-RSA-002	RSA 소프트웨어 시험 결과서(부록)	63	

	P1-STR-CMC-001	CMC 소프트웨어 시험 결과서	58	
	P1-STR-CMC-002	CMC 소프트웨어 시험 결과서(부록)	24	
	P1-STR-EIF-001	EIF 소프트웨어 시험 결과서	79	
	P1-STR-EIF-002	EIF 소프트웨어 시험 결과서(부록)	45	
	P2-STR-TAMP-001	TAMP 소프트웨어 시험 결과서	49	
	P2-STR-TAMP-002	TAMP 소프트웨어 시험 결과서(부록)	42	
	P2-STR-THMI-001	THMI 소프트웨어 시험 결과서	52	
	P2-STR-THMI-002	THMI 소프트웨어 시험 결과서(부록)	78	
	P1-STR-MMP-001	MMP 소프트웨어 시험 결과서	113	
	P1-STR-MMP-002	MMP 소프트웨어 시험 결과서(부록)	150	
	P1-STR-MHMI-001	MHMI 소프트웨어 시험 결과서	198	
	P1-STR-MHMI-002	MHMI 소프트웨어 시험 결과서(부록)	102	
SITP	P1-SITP-SYS-001	MIDAS 시스템 통합 시험 계획서	45	별책12
SITD	P1-SITD-SYS-001	MIDAS 시스템 통합 시험 절차서	108	
SITR	P1-SITR-SYS-001	MIDAS 시스템 통합 시험 결과서	319	
	P1-SITR-SYS-002	MIDAS 시스템 통합 시험 결과서(부록)	209	
SIM	P1-SIM-FTS-001	Fast-time 시뮬레이션 요구사항 명세서	18	별책13
	P1-SIM-FTS-002	Fast-Time 시뮬레이션 자료분석 보고서	21	
	P1-SIM-FTS-003	Fast-Time 시뮬레이션 기본 모형 구축 보고서	59	
	P1-SIM-FTS-004	Fast-Time 시뮬레이션 상세 모형 구축 보고서	60	
	P1-SIM-FTS-005	Fast-Time 시뮬레이션 분석 보고서	50	
	P1-SIM-FTS-006	Fast-Time 시뮬레이션 결과 보고서	48	
	P1-SIM-HIS-001	HITL 시뮬레이터 시스템 요구사항 명세서	32	별책14
	P1-SIM-HIS-002	HITL 시뮬레이터 시스템 설계 기술서	77	

	P1-SIM-HIS-003	HITL 시뮬레이터 소프트웨어 요구사항 명세서	37	
	P1-SIM-HIS-004	HITL 시뮬레이터 소프트웨어 설계 기술서	76	
	P1-SIM-HIS-005	HITL 시뮬레이션 운영 환경 구축 보고서	59	
	P1-SIM-HIS-006	HITL 시뮬레이션 결과 보고서	72	
FLD	P1-FLD-ICN-001	인천공항 MIDAS DMAN 요구사항 명세서	22	별책15
	P1-FLD-ICN-002	인천공항 MIDAS DMAN 기능 시험 절차서	31	
	P1-FLD-ICN-003	인천공항 MIDAS DMAN 기능 시험 결과서	92	
	P1-FLD-ICN-004	인천공항 MIDAS DMAN 사용자 매뉴얼	47	
	P1-FLD-SYS-001	MIDAS 시스템 시범운용 보고서	180	별책16
MAN	P1-MAN-SYS-001	MIDAS 시스템 설치 및 유지보수 매뉴얼	30	별책17
	P1-MAN-SYS-002	MIDAS 시스템 사용자 매뉴얼	102	
분석서/보고서	P1-ANR-SYS-001	항공기 출발 및 도착 통합관리 국내외 기술 동향 분석서	397	별책18
	P1-ANR-ERT-001	공역 교통 자료 분석서	146	별책19
	P1-ANR-SYS-003	항공기 출발 및 도착 통합관리 데이터베이스 분석서	48	별책20
	P1-ANR-DAS-001	항공기 지상이동 관련 운용현황 분석 보고서	94	별책21
	P1-ANR-VTT-001	항공기 지상이동시간 예측을 위한 환경변수 및 이동시간 통계 분석 보고서	63	
	P1-ANR-VTT-002	정적 VTT 데이터베이스 구축 보고서	20	
	P1-ANR-VTT-003	항공기 지상이동경로 배정 및 동적 VTT 예측 보고서	27	
	P1-ANR-VTT-004	가변 지상이동시간 예측 적용 알고리즘 구현 보고서	34	
	P1-ANR-VTT-005	가변 지상이동시간 예측 적용 소프트웨어 구현 보고서	83	
	P1-ANR-VTT-006	가변 지상이동시간 예측 적용 소프트웨어(성능개량) 보고서	84	
	P1-ANR-ERT-003	항적 자료를 활용한 출발항공기 이동시간 분석서	84	별책22
	P1-ANR-ERT-007	통과항공기 합류시각 예측모델 보고서	47	

	P1-ANR-ERT-008	순항항공기 궤적 예측 알고리즘 개선 보고서	38	
	P1-ANR-DAS-002	출도착 최적화 요구사항 분석서	14	별책23
	P1-ANR-DAS-003	스케줄러 개발용 시뮬레이션 모델 구축 보고서	36	
	P1-ANR-DAS-005	출도착 관리를 위한 최적화 스케줄링 알고리즘 연구 보고서	59	
	P1-ANR-DAS-006	출도착 관리를 위한 스케줄링 알고리즘 구현 보고서	41	
	P1-ANR-MUL-001	FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 개발 보고서	30	별책24
	P1-ANR-MUL-002	다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 개발 보고서	22	
	P1-ANR-MUL-003	다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 검증 보고서	20	
	P1-ANR-MUL-004	불확실성을 고려한 다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 개발 보고서	26	
	P1-ANR-MUL-005	불확실성을 고려한 다중 FCFS MP 스케줄링 소프트웨어 검증 보고서	27	
	P1-ANR-OPT-002	혼합정수선형계획법 기반 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서	21	별책25
	P1-ANR-OPT-003	업무량을 고려한 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서	29	
	P1-ANR-OPT-004	불확실성을 고려한 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서	28	
	P1-ANR-OPT-005	혼합정수 선형계획법과 유전 알고리즘 기반 출발 흐름 최적화 알고리즘 개발 보고서	41	
NASA 공동연구	0	KARI-NASA 국제공동연구 연구성과 증빙자료(1)	496	별책26-1
	0	KARI-NASA 국제공동연구 연구성과 증빙자료(2)	465	별책26-2
	0	KARI-NASA 국제공동연구 연구성과 증빙자료(3)	630	별책26-3
제3자 보고서	P1-ETC-MMP-001	소프트웨어 정적/동적 시험 보고서	338	별책27
	P1-ETC-SYS-001	GS 인증 평가 보고서	216	별책28
성과증빙	-	연구성과 증빙자료(1)	290	별책29-1
	-	연구성과 증빙자료(2)	836	별책29-2
	-	연구성과 증빙자료(3)	591	별책29-3

회의록	-	MIDAS 1차년도 주요 회의	144	별책30-1
	-	MIDAS 2차년도 주요 회의	203	별책30-2
	-	MIDAS 3차년도 주요 회의	334	별책30-3
	-	MIDAS 4차년도 주요 회의	185	별책30-4
	-	MIDAS 5차년도 주요 회의	258	별책30-5
	-	MIDAS 6차년도 주요 회의	204	별책30-6
회의발표자료	-	MIDAS 운용개념 검토회의(OCR)	43	별책31-1
	-	MIDAS DMAN 시스템 요구사항 검토회의(SRR)	44	별책31-2
	-	MIDAS DMAN 시스템 설계 검토회의(SDR)	61	별책31-3
	-	MIDAS 시스템 기본 설계 검토회의(PDR)	143	별책31-4
	-	MIDAS 시스템 상세 설계 검토회의(CDR)	196	별책31-5
	-	MIDAS 시스템 시범운용 준비 검토회의(TRR Ⅰ)	23	별책31-6
	-	MIDAS 시스템 시범운용 준비 검토회의(TRR Ⅱ)	33	별책31-7

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 항공안전기술개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 항공안전기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.