

Aviation System Block Upgrade(ASBU) 국내적용을 위한 기본
기획 연구

항공기 출발 및 도착 통합관리 기술 연구

2014 . 04 . 04

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국교통연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

<표지 뒷면>

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 건설교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 건설교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개가 금지됩니다.

목 차

1. 연구개발 필요성	1
2. 국내 외 기술 동향 및 환경 분석	6
가. 국내 기술 동향	6
나. 해외 기술 동향	7
3. 주요 내용 및 추진 전략	11
가. 주요 내용	11
4. 핵심기술요소(CTE) 선정 및 기술성숙도(TRL) 목표	16
가. R&D 유형 분류	16
나. 단계별 기술성숙도(TRL) 분류	17
다. 핵심기술요소(CTE) 선정	19
라. 기술성숙도 목표 설정	20
마. 핵심기술요소(CTE) 선정 및 기술성숙도(TRL) 목표추진 전략	21
바. 연차별 기술 및 성과 로드맵	24
사. 활용방안 및 기대효과	25
5. 사전타당성 검토	27
가. 정책적 타당성	27
나. 기술적 타당성	30
다. 경제적 타당성	31
6. 소요예산(연차별 예산)	43
가. 소요예산 산정 방법	43

7. 과제제안요구서	54
가. 과제제안요구서(RFP)	54
나. 평가기준	64

표 목차

[표 1] 접근관계소별 교통량	2
[표 2] 기술성숙도 적용 절차	16
[표 3] R&D 유형 분류	17
[표 4] 건설교통R&D 유형별 TRL 정의	18
[표 5] 핵심기술요소 후보	19
[표 6] 핵심 기술요소(CTE) 선정	20
[표 7] 핵심기술요소(CTE) 목록	21
[표 8] 시스템 유형 연구개발사업의 TRL 단계별 세부 설명	22
[표 9] 기술성숙도(TRL) 단계별 목표	23
[표 10] 기관별 역할	24
[표 11] 연차별 기술 성과 로드맵	25
[표 12] 경제적 타당성의 기본 전제	35
[표 13] SARDA 시스템의 편익 추정치	37
[표 14] 인천공항 출발 항공기 교통량 예측	39
[표 15] 출발 관리 시스템 적용 후 예상 효과	40
[표 16] 연료 감소량 발생 편익	40
[표 17] 비용-편익 및 순현재가치 분석	42
[표 18] 경제성 분석 결과	42
[표 19] 항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구 개발비	44
[표 20] 연차별 인력 투입 계획	45
[표 21] 공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구 연구개발비	46

[표 22] 인건비 산출 기준	47
[표 23] 인건비 산출	48
[표 24] 연구 시설 및 장비비 산출	49
[표 25] 시작품 제작비 산출	50
[표 26] 여비산출	51
[표 27] 수용비 및 수수료 산출	51
[표 28] 기술정보활동비 산출	52
[표 29] 연구수당 산출	52
[표 30] 간접비 산출	53
[표 31] 연차 및 단계별 성과평가 방법	65

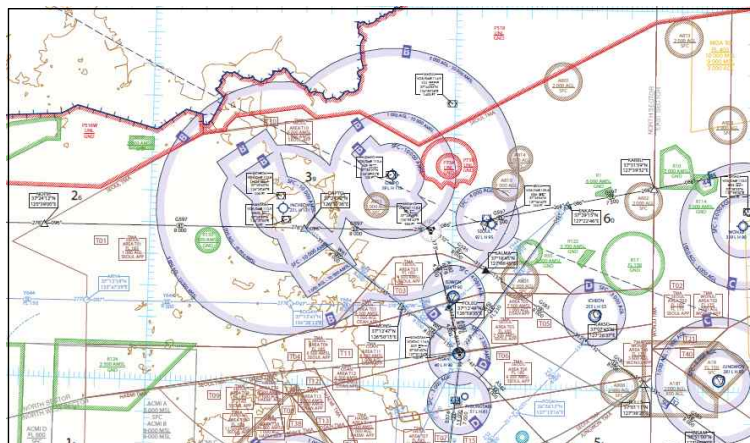
그림 목차

[그림 1] 수도권 지역 상공의 공역 구조	1
[그림 2] 주요 접근관제소 교통량	2
[그림 3] 항공기 출발관리 흐름 예시	3
[그림 4] 항공기 도착관리 시스템 프로토타입 레이더 전시 화면	6
[그림 5] 유럽내 항공기 도착관리 톨 이용 현황	7
[그림 6] OSYRIS 프로세스 예시	9
[그림 7] SMAN/DMAN 통합 운영 개념	13
[그림 8] 단계별 기술성숙도 분류	17
[그림 9] 연구 추진체계	24
[그림 10] 성과평가 체계 및 진행도	64

상세기획 - 항공기 출발 및 도착 통합관리 기술 연구

1. 연구개발 필요성

- 기존의 항공교통관제절차에서는 공항이나 주변공항의 혼잡시 관제사의 능력에 따라서 출발 항공기의 지상대기, 도착항공기의 공중 지연과 같은 방법을 사용하여 출·도착항공기의 흐름을 관리하였음
- 그러나 이러한 교통량 흐름 관리 방법은 관제사 개인별 기량에 따른 차이가 매우 크고, 공중에서 항공기가 관제사의 레이더 벡터에 따라 유도되기 때문에 관제사의 업무량을 가중시키며, 출발항공기의 경우 게이트에서 푸시백(Push back) 후 활주로 및 유도로 상에서 대기해야하는 비효율적인 측면을 갖기 때문에 최적의(Optimal) 해법을 제시하기가 어려웠음
- 우리나라의 경우 국내 최대 교통량을 담당하고 있는 인천국제공항과 김포국제공항이 매우 근접해 있어 실제로 공역 구조상 하나의 공역을 사용한다고 해도 무방할 정도이며, 해당 구역은 북으로는 군사 북방 한계선과, 서울 시내 상공의 P73A, P73B의 비행 금지 공역을 포함하고 있어 공역 사용이 용이 하지 않은 상황임



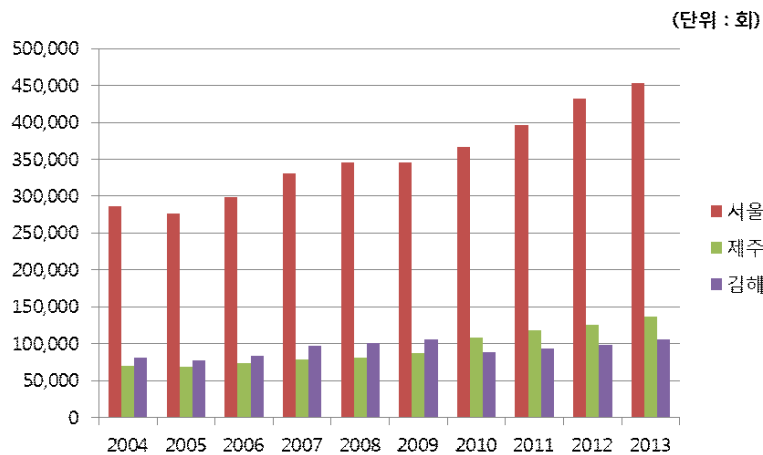
[그림 1] 수도권 지역 상공의 공역 구조

자료 : AIP, Enroute Chart

- 또한 이 두 공항을 출·도착 하는 대부분의 항공기들의 교통흐름은 항공로 진입을 위해 중간에 병합되거나 하나의 항공로에서 분리되어 나오는 경우

가 많아 두 공항을 이용하는 항공기의 교통흐름은 상호간에 매우 많은 영향을 받고 있는 실정임

- 과거 10년간 우리나라 주요 접근관제소(서울, 제주, 김해)의 교통량 처리량을 살펴보면 인천국제공항과 김포국제공항을 관할하고 있는 서울접근관제소의 교통량이 월등히 많은 것을 볼 수 있음



[그림 2] 주요 접근관제소 교통량

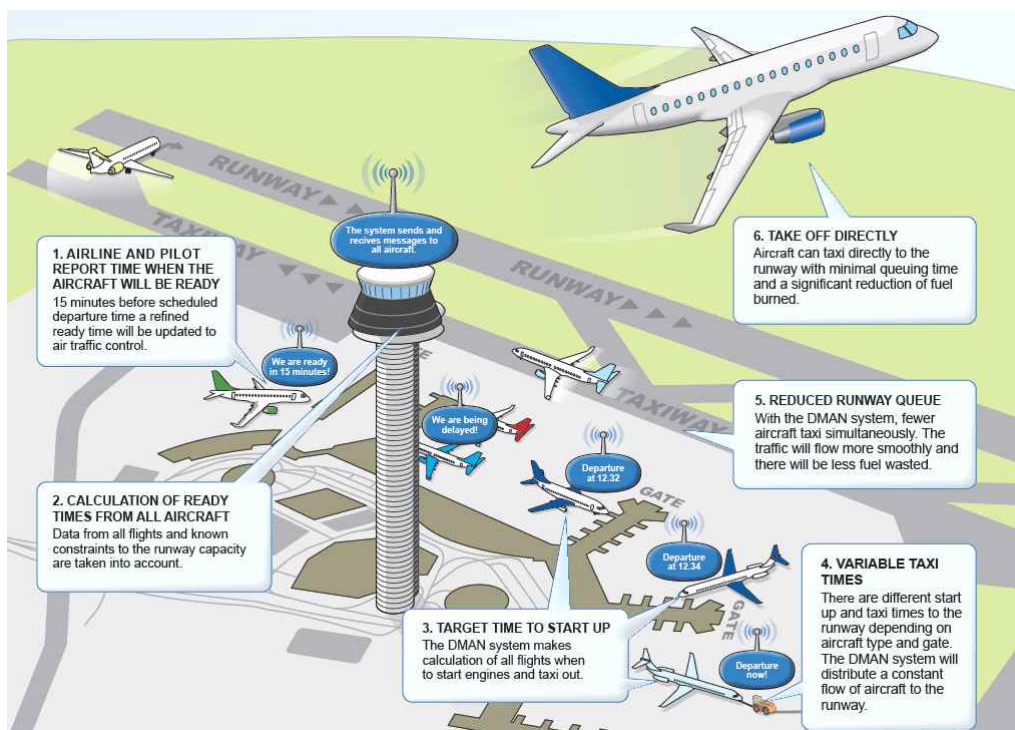
(단위: 회)

구분	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
서울 접근관제소	286,225	276,463	298,558	331,487	346,318	346,323	367,104	396,044	432,026	453,237
일평균	784	757	818	908	949	949	1006	1085	1180	1242
증감율 (%)	-0.5	-3.4	8	11	4.5	0	6	7.9	9.1	4.9
제주 접근관제소	70,313	68,716	73,518	78,271	80,775	86,986	108,521	117,934	125,790	136,675
일평균	193	188	201	214	221	238	297	323	344	375
증감율 (%)	-17.1	-2.3	7	6.5	3.2	7.7	24.8	8.7	6.7	8.7
김해 접근관제소	80,501	77,908	83,611	97,712	100,613	105,199	88,537	92,857	98,892	105,323
일평균	221	213	229	268	276	288	243	254	270	288
증감율 (%)	-0.8	-3.2	7.3	16.9	3	4.6	-15.8	4.9	6.5	6.5

[표 1] 접근관제소별 교통량

자료 : 국토교통통계누리

- 항공기 출발 및 도착 관리 기술은 항로, 접근, 타워 관제사간에 항공기 도착과 출발 제어에 관련된 작업 부하를 분산 또는 지연시킴으로써 연료 소비를 최소화하고, 구역 및 활주로 용량 최적 활용 달성 가능
- 항공기 출발 및 도착 관리 기술의 기본적인 운영 개념은 효율적인 교통량 분산을 위해 예상되는 지연시간을 계산하고 각 항공기에 분산시킨 후 항공로 상에 운항하고 있는 항공기나 지상의 출발대기 항공기에 각각 흡수시켜 공항주변의 구역에서 항공기 흐름이 부드럽게 출발 또는 도착할 수 있도록 관리하는 것임
- 항공기 출발 관리 기술(Departure Management)은 활주로 용량과 터미널 공역을 최적으로 사용하기 위해 이륙항공기에게 지체(Delay) 없고 안전한 이륙 스케줄과 항공기 궤적을 제공함으로써 출발 교통량을 최적으로 관리하기 위한 기술임



[그림 3] 항공기 출발관리 흐름 예시

자료: Luftfartsverket

- 항공기 출발관리 기술은 보다 효과적인 항공기 순서배열(Sequencing)과 항

행서비스 제공자의 의사결정을 돕기 위한 최적화된 미터링, 스케줄링 기능을 제공함으로써 출·도착 교통량의 기본적인 배열관리(Queue management)를 제공하는 것을 목표로 함

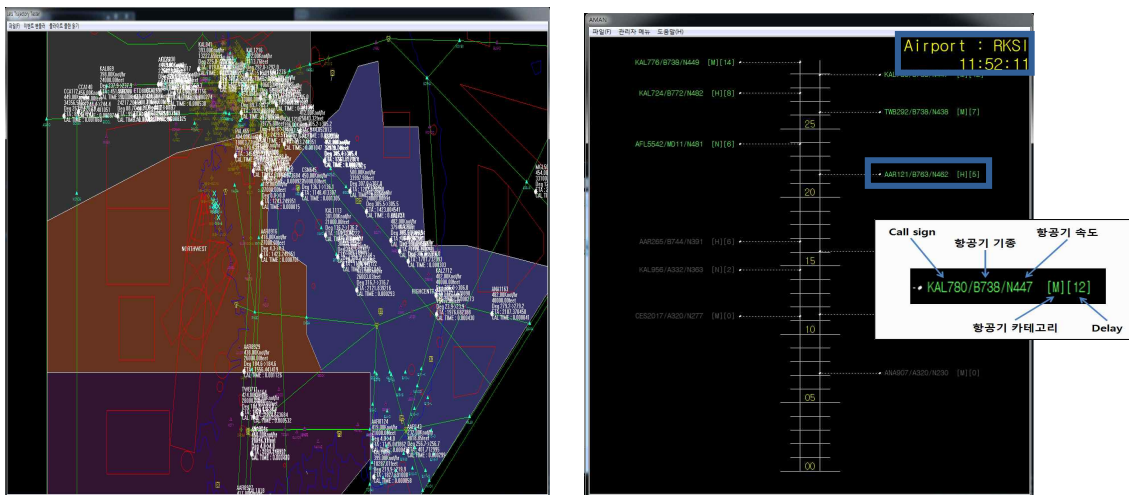
- 항공기 출발 관리 기술은 특히 대형 공항 주변의 혼잡구역이나 대도시의 공항 밀집 지역에서 공역이 중첩되어 있는 경우, 항공기의 궤적 예측을 통해 운항 안전성을 확보하고, 공중 및 공항 내에서 지상 활주 중 발생할 수 있는 지연을 최소화하여 항공기 운항 효율성을 증대하기 위해 필요함
- 출발관리(DMAN)는 출발관리는 시간 기반의 미터링을 이용하여 터미널 공역 내 교통흐름 상황에 최적화된 출발허가를 발부하며, 지상에서의 활주시 대기열 최소화를 위한 지상교통 관리(SMAN)를 포함 또는 연계하는 개념임
- 특히 인천국제공항과 김포국제공항은 중국 상하이 FIR과 매우 인접해 있으므로 국내 공역의 특성상 국제선 항공편 출발시 중국 측의 공역 상황에 따라 항공기 흐름이 구매 받는 경우가 많이 발생하므로 국내에서의 출발 관리 연구는 이러한 공역 특성을 구속조건으로 고려하여 최적화할 필요 있음
- 항공기 도착관리(Arrival Management) 기술은 도착 항공기들의 순서배열과 시간을 지속적으로 계산하여 도착항공기들에게 최적화된 도착 순서를 제공함으로써 공역 활용능력과 활주로 수용량 향상시킬 수 있음
- 항공기 순서배열은 항공기가 접근참조지점(Reference approach fix)에 도착하기 전까지 감소시켜야 하는 시간을 제공하여 비행 효율성을 높이고 공중에서 제공하는 횟수 및 시간을 감소시킴
- 국내에서는 도착관리의 경우 출발관리에 비해 그 개념과 용도가 먼저 명확화 되었으며, 도착관리를 위한 관제지원시스템 구축이 국토교통부의 발주하에 용역사업으로 진행되고 있으며, 인천공항의 레이더 관제시스템 개량사업에도 도착관리시스템이 포함되어 있음
- 그러나 미래 교통상황에서는 개별 공항을 대상으로 하는 도착관리만으로는 항공교통 흐름의 효율화를 이루기가 힘들며, 공항을 기준으로 In-Bound 항공기들의 지연 흡수를 En-Route 상에서 소화하고, 인접 En-Route 상의 교통상황을 고려하여 Out-Bound 항공기들의 출발을 관리하는 형식의 출발관리/도착관리의 연계운영이 필요함

- 또한 ICAO에서 제공하는 ASBU 이행 계획에서는 항공기 출발 및 도착관리 기술과 관련하여 Block 0 단계에서는 각각 독립적인 출발관리와 도착관리 자동화를 목표로 하며, Block 1 단계에서 도착관리의 확대 적용 및 출발관리 및 지상관리(SMAN)의 통합, Block 2 단계에서 완전한 출·도착 관리 시스템의 통합 운영을 목표로 하고 있음
- 따라서 보다 완전하고 통합적인 미래 시스템 운영을 위해서는 항공기 도착 관리 기술 연구 속도와 병행하여 항공기 출발관리 기술에 대한 연구를 수행하는 것이 필요하며 의 향후 두 기술을 통합 운영하는 기술에 대한 연구도 요구됨

2. 국내 외 기술 동향 및 환경 분석

가. 국내 기술 동향

- 현재까지 국내에서 항공기 출발관리 기술과 관련하여 본격적인 연구는 진행된 바 없으며, 학계 및 연구기관에서도 항공기 출발관리 기술 기초연구에 대한 관심과 수행이 미흡한 실정임
- 국내에서는 2012년, 2013년에 걸쳐 「성능기반항행(PBN) 전환용역」을 통해 항공기 도착관리 기술 중 하나인 포인트 머지(Point Merge) 절차를 인천, 제주 국제공항 표준터미널접근절차(STAR)에 수립하였음
- 2013년에는 「성능기반항행(PBN) 전환용역」의 세부 연구 중 하나로 「도착관리시스템(AMAN) 구축을 위한 프로토 타입 개발」을 통해 항공기 도착관리 연구를 처음으로 수행하였음



[그림 4] 항공기 도착관리 시스템 프로토타입 레이더 전시 화면

자료 : 국토교통부, 제 4차 성능기반항행(PBN)전환 용역

- 2014년 현재 국토교통부를 통해 「도착관리(AMAN) 시스템 구축 용역」을 발주하였으며 제주공항에 도착하는 항공기를 대상으로 시스템 구축 용역이 착수된 상태임. 향후 본 시스템은 항공교통센터 및 제주공항에 설치 · 운영될 예정임
- 이와는 별도로 인천공항에서는 레이더관제시스템(ARTS) 개량사업을 통해

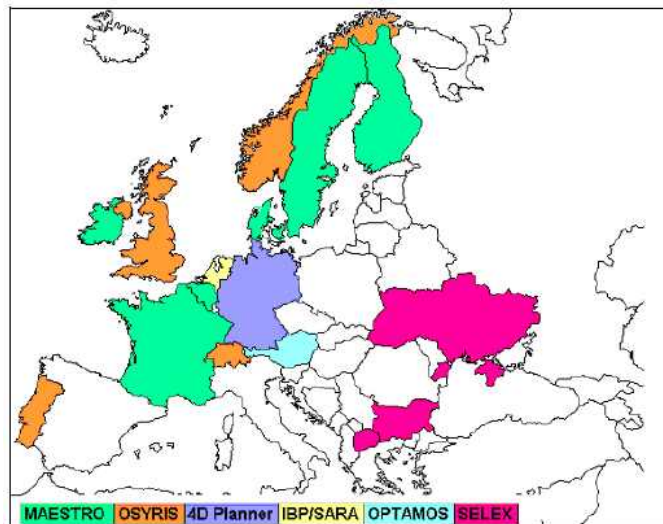
시스템 상에 출·도착관리 기능을 구축하고, 향후 인천공항 3단계 A-CDM 준공(2017.9.) 이후에 전 시스템을 연계하여 운영하는 것을 추진하고 있음

- 항공기 출발관리 기술의 중요한 구성요소 중 하나인 지상관리(SMAN)에 대해서는 2013년부터 국토교통기술 연구개발 사업인 「항공기 지상이동유도 및 통제시스템(A-SMGCS) 개발」 연구를 통해 일부가 진행 중에 있음

나. 국외 기술 동향

1) 유럽

- 항공기 출발관리 연구는 Eurocontrol이 DLR¹⁾과 공동으로 2000년 DMAN 프로토타입을 개발한 이래 연구기관과 기업을 중심으로 많은 연구가 진행되었으며, 샤를드골공항 등 유럽 주요공항에 배치, 운용 중에 있음
- 항공기 도착관리 연구는 1990년대 후반부터 연구가 활발하게 진행되었으며 벨기에, 덴마크, 프랑스, 영국 등 일부 국가에서는 실제로 공항에 항공기 도착관리 시스템을 도입하여 기본적인 AMAN을 이행 중이거나 이행 계획을 가지고 있음



[그림 5] 유럽내 항공기 도착관리 툴 이용 현황

자료 : Eurocontrol, Arrival Manager

1) German Aerospace Center

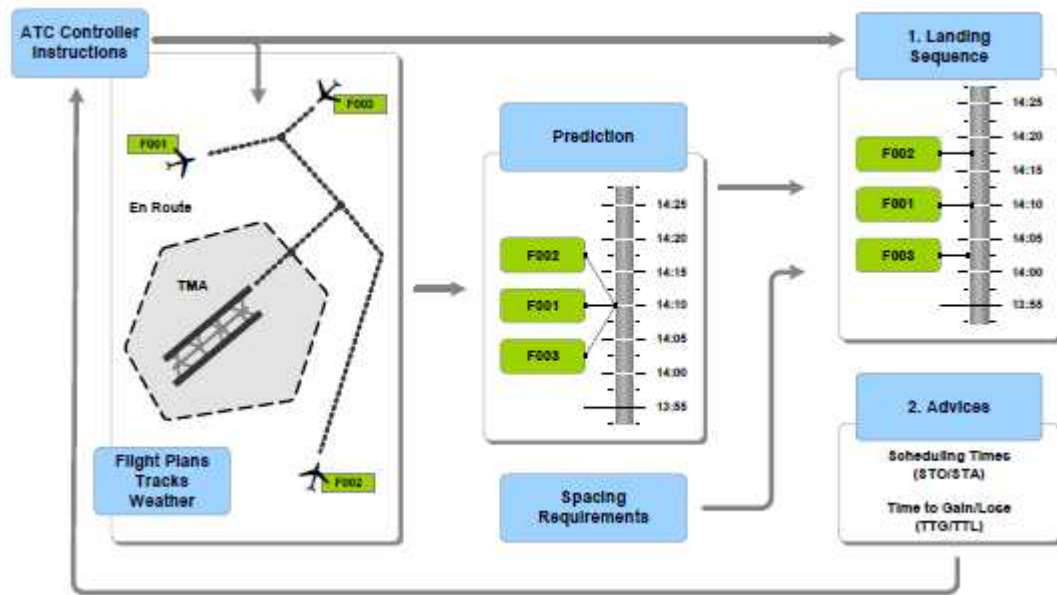
- 항공기 대기열 관리를 통한 도착관리 지원 툴로서 MAESTRO, OSYRIS, 4D Planner, IBP/SARA, OPTAMOS, SELEX 등의 프로그램이 개발 되어 유럽 내 여러 공항에서 이용 중이며 이 중, MAESTRO와 OSYRIS는 항공기 출발 관리와 도착관리를 통합하여 지원이 가능함

가) MAESTRO

- 프랑스 Egis Avia사와 DSNA(French Air Navigation Service Provider)가 합작으로 개발한 프로그램으로 항공기 도착관리 및 출발관리가 모두 지원 가능한 항공기 순서배열(Sequencing) 지원 도구임
- 1990년대 초 개발이 시작되어 1996년 첫 AMAN 프로그램을 코펜하겐 공항에서 사용하였으며, 2008년부터 AMAN과 DMAN 서비스를 모두 제공하고 있음
- 이용 공항은 코펜하겐공항을 비롯하여 10개국(France, Denmark, Finland, Suede, Ireland, Australia, South Africa, Thailand) 17개주요 공항이며 프랑스 (Lyon, Paris Charles de Gaulle, Paris Orly), 벨기에, 대만에 설치 예정임

나) OSYRIS

- 벨기에 BARCO사에서 개발한 프로그램으로 궤적예측(4D Trajectory Prediction)를 통한 도착관리(Arrival Manager), 출발관리(Departure Manager)를 제공하며 출발 미터링(Depature Metering), 지상관리(Surface Manager), 통합흐름관리(Collaborative Flow Manager) 기능을 수행 가능
- Eurocontrol, Changi 공항, Stuttgart 공항, Oslo 공항, Hong Kong 공항, Airways New Zealand 등에서 OSYRIS 프로그램을 이용하여 공항 이용 효율에 향상에 대한 프로젝트를 진행하였음



[그림 6] OSYRIS 프로세스 예시

자료 : Eurocontrol, Arrival Manager

- 2014년 현재, 파리, 취리히, 브뤼셀 등에서 HITL²⁾ 시뮬레이션을 통해 DMAN/SMAN, AMAN/DMAN, AMAN/DMAN/SMAN 등의 통합된 시스템에 대한 검증 수행 중임

2) 미국

- FAA에서는 2009년 출발흐름관리(Departure Flow Management)의 프로토타입을 개발하였으며 미국 내 두 개 지역에서 출발 흐름 관리에 대한 시험운용을 계획 중
- 항공기 출발 관리는 JFK 공항이 4개월 간 활주로 보수작업으로 인해 일부 활주로를 폐쇄하였을 때 출발 항공기 대기열 관리를 통하여 많은 효과를 보았으며 이를 계기로 활주로 보수작업 후에도 지속적으로 항공기 대기열 관리를 운영 중에 있음
- 미국 내 20개의 항공교통센터(ARTCC)에서는 시간기반 자동화 툴로서 TMA(Traffic Management Advisor)를 사용 중이며, 현재 RNAV/RNP 절차를 지원하는 터미널 미터링의 시뮬레이션을 수행 중임. 이는 2018년까지

2) HITL: Human-In-The-Loop

TBFM(Time Based Flow Management)에 통합될 것으로 예상됨

- NASA에서는 유럽의 DMAN에 해당하는 SARDA(Spot and Runway Departure Advisor) 프로그램을 이용하여 미국 Dallas Fort Worth 공항 (DFW)을 모델링한 후, 2012년 5월 NASA Ames Research Center에서 HITL 모의시험을 수행하였음
- 그 결과 Medium Traffic(기준교통량의 1.2배)을 기준으로 항공기 대당 평균 3분(45%)의 지연 감소 효과를 얻을 수 있었으며, 대당 평균 45kg(22%)의 연료 감소 효과를 얻을 수 있었음
- Heavy Traffic(기준교통량의 1.5배)으로 시나리오를 변경한 경우 항공기는 대당 평균 5.5분(60%) 지연 감소효과를 얻을 수 있었으며, 대당 평균 70kg(34%)의 연료 감소 효과를 얻어, 이를 금액으로 환산시 연간 약 740만 달러 절감 효과가 예상된다는 결론을 얻은 바 있음
- 또한, 항로 공역 교통상황과 지상교통을 통합적으로 고려한 통합 출발 관리 시스템인 PDRC(Precision Departure Release Capability)에 대한 연구를 수행하였으며 현재 FAA에 기술 이전을 진행 중에 있음

3. 주요 내용 및 추진 전략

가. 주요 내용

- 항공기 출발 및 도착 통합관리 기술 연구개발은 1단계인 “항공기 출발관리 기술연구(5년)”와 2단계 “항공기 출발 및 도착 통합관리 기술 연구(3년)”로 나누어 총 8차년에 걸쳐 수행하도록 함
- 1단계인 “항공기 출발 관리 기술 연구” 단계에서는 기 수행되고 있는 항공기 도착관리 기술 연구와의 기술 개발 격차를 감소하여 향후 항공기 출발 및 도착 통합관리 기술 연구 단계에 접어들기까지 항공기 출발관리 기술과 도착관리 기술 연구가 병행하여 수행될 수 있도록 함
- 2단계인 “항공기 출발 및 도착 통합관리 기술 연구” 단계에서는 앞서 수행된 항공기 출발관리 기술 연구와 도착관리 기술 연구 내용을 바탕으로 두 기술이 통합적 환경에서 동시에 적용되어 운영될 수 있는 기술 개발을 수행함

1) 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 교통상황 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(VTT³⁾) 정밀 예측 연구
 - 지상운용환경 및 파라미터 분석(공항/활주로 배치, 항공기 종류, 과거이력, 운용조건 등)을 통한 VTT 정적 예측기술 연구
 - 공항 지상감시기술 및 항공기 지상 이동경로 배정 기술을 이용한 VTT 정밀 동적 예측 기술 연구 (* 기 수행 중인 A-SMGCS 연구개발 과제 성과와의 연계 또는 성과 활용 방안 제시 필요)
- 출발 스케줄링 핵심 기술 연구
 - 출발관리 주요 마일스톤 별 외부 시스템과의 정보(CTOT⁴⁾, EOB⁵⁾, TOBT⁶⁾ 등) 연계 방안 수립
 - 가변 활주 시간(VTT) 적용(공항 지상감시기술 및 항공기 지상 이동경로 배정 기술 통합)
 - 합류지점의 공역 교통상황 예측 결과 및 항공기 간 분리 기준(예: 후류분리, SID⁷⁾ 분리) 등 최적화 구축조건 반영
 - 대기열(활주로 및 주기장 출구 등) 최소화를 위한 최적 출발 순서, 출발 시각(TTOT⁸⁾) 산출
 - TSAT⁹⁾ 및 주요 지점 진입 시각 및 순서 결정
 - 실시간 공항 지상 교통상황 반영하여 스케줄링 자동 변경

3) VTT: Variable Taxi Time

4) CTOT: Calculated Take-Off Time

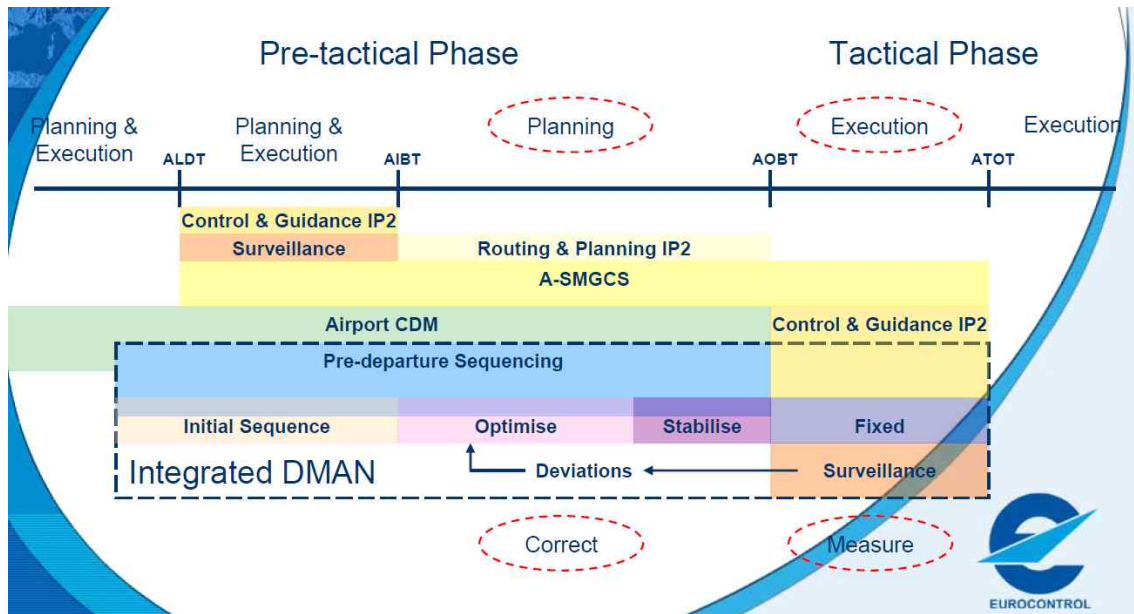
5) EOB: Estimated Off-Block Time

6) TOBT: Target Off-Block Time

7) SID: Standard Instrument Departure

8) TTOT: Target Take-Off Time

9) TSAT: Target Startup Approval Time



[그림 7] SMAN/DMAN 통합 운영 개념

자료 : Eurocontrol, DMAN integration in Airport CDM & A-SMGCS

- 출도착 통합 관리를 위한 도착관리 시스템 기능 확장
 - Point Merge(또는 일반 STAR) 절차를 활용한 접근관제구역 내에서의 도착관리 스케줄링 및 관제 조언 생성
 - 기 개발 구축된 도착관리 시스템(국토부 용역 성과) 시범운용 중 제시된 사용자 추가 요구사항 반영
- ※ 기 개발/구축된 도착관리 시스템(국토부 용역 성과) 활용

기 개발/구축된 도착관리시스템 (국토부 용역 성과)	출도착 통합 관리를 위한 도착관리 시스템 기능 확장
- ETA¹⁰⁾는 도착공항 착륙 활주로 시작 지점까지 산출 - STA¹¹⁾ 등 관제 조언은 TMA¹²⁾ 진입 지점까지만 생성	- Point Merge(또는 일반 STAR)를 활용한 TMA 내 관제 조언 정보 생성 - ETA 정확도 향상 방안 연구(실시간 기상정보 활용성 검토 등) - 기타 시범 운용 중 제시된 사용자 추가 요구사항 반영

- 외부 시스템 연동 프로그램 개발
 - 외부 입력 및 출력 데이터 정의
 - 비행 계획 제공 시스템(AFTN¹³, FDP¹⁴ 등)과 연동
 - 항적 제공 시스템(SDP¹⁵, ASDE¹⁶, A-SMGCS 등)과 연동
 - 기타 연동 시스템 정의 및 연동
- 사용자 프로그램 개발
 - 관리자 및 관제석(계류장/지상/국지 관제)별 HMI¹⁷ 개발
 - 항공기별 각종 조연 정보 표시
- 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

(※ 시험 평가 과정에서 국제 공동 연구를 통해 획득될 수 있는 기술 또는 기술을 적극 활용하도록 노력)

10) ETA: Estimated Time of Arrival

11) STA: Scheduled Time of Arrival

12) TMA: Terminal Maneuvering Area

13) AFTN: Aeronautical Fixed Telecommunication Network

14) FDP: Flight Data Processor

15) SDP: Surveillance Data Processor

16) ASDE: Airport Surface Detection Equipment

17) HMI: Human Machine Interface

2) 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
 - 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/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
 - Real-Time 시뮬레이션 시스템 구축
 - HITL 시뮬레이션을 통한 출도착 통합관리의 효용성 분석 및 도입에 따른 편익 평가
 - 현장 시범 운용

4. 핵심기술요소(CTE) 선정 및 기술성숙도(TRL) 목표

- 기술성숙도(TRL: Technology Readiness Level)는 개발기술의 성숙도 또는 이행단계를 평가하기 위한 정량화된 측정지표로서 연구자-관리자-사업자간의 공통된 의사소통 수단으로 활용될 수 있음
- 기술성숙도를 적용하여 관리함으로써 연구개발의 기획단계부터 사업화까지 단계별 기술 수준을 투명하게 제공할 수 있으며, Top-down 프로세스로서 사업자의 요구사항을 기획단계에서부터 반영이 가능 함
- R&D과제 연구목표를 설정함에 있어 표준화된 기술성숙도(TRL)를 적용하여 사용함으로써 주관적이고 모호하지 않은 객관적이고 정량적인 목표 설정을 유도하고 핵심기술요소의 성능목표 달성여부를 관리하여 연구과제 핵심성과 중심의 관리를 지향하기 위함임
- 기술성숙도 적용 절차는 먼저 국토교통 R&D 성과특성을 고려하여 기술성숙도 관리를 위해 5가지 분류 유형 중 R&D 유형을 선택하고, 해당유형에 따라 단계별로 기술 성숙도를 분류하며, 목표 연구개발 사업의 핵심기술요소를 선정한 후 기술 성숙도를 평가하는 절차로 이루어 짐



[표 2] 기술성숙도 적용 절차

자료 : 국토교통과학기술진흥원, 기술성숙도(TRL) 시범적용 방안

가. R&D 유형 분류

- 국토교통과학기술진흥원의 기술성숙도(TRL) 시범적용 방안에서는 국토교통 R&D 성과특성을 고려한 기술성숙도 관리를 위하여 R&D 유형을 아래 표와 같이 5가지 유형으로 분류함

R&D 유형	정의	사례
시스템	다양한 장치와 소프트웨어 등이 결합하여 운영되는 R&D	철도, 공조시스템 등
공법·기법	기존과 차별화되는 제작 및 시공 방법 등을 제시하는 R&D	시공방법, 설계기법 등
재료·자재	기존 원료 및 재료를 대체할 수 있는 R&D	FRP, 강화 콘크리트 등
소프트웨어	특화된 요구를 충족시키는 소프트웨어 R&D	설계 프로그램, D/B 등
장비·장치	기존과 달리 대체 또는 개선된 장비/장치 R&D	기계, 부품, 측정 장치 등

[표 3] R&D 유형 분류

자료 : 국토교통과학기술진흥원, 기술성숙도(TRL) 시범적용 방안

- “항공기 출발 및 도착 통합관리 기술” 연구개발은 최적화된 항공기 출발 도착 관리 기능을 수행하기 위해 조직화되고 규칙적으로 상호 작용하는 구성요소들의 집합으로서 [표 3]을 참고하여 다양한 장치와 소프트웨어가 결합하여 운영되는 시스템 유형으로 분류함

나. 단계별 기술성숙도(TRL) 분류

- 단계별 기술성숙도는 연구개발환경(실험실, 유사환경, 실제환경), 연구개발 결과물(시제품, 완제품), 기술수준(개념, 시현, 성능검증)에 따라 분류하는 기술성숙도로서 기초연구, 실험, 시작품, 실용화, 양산의 R&D 5단계와 9세부 단계로 분류할 수 있음



[그림 8] 단계별 기술성숙도 분류

자료 : 국토교통과학기술진흥원, 기술성숙도(TRL) 시범적용 방안

국가R&D사업 조사.분석 (국가과학기술위원회)		건설교통 R&D 사업			
단 계	정의 (OECD)	TRL 단계			단계별 정의
기초 연구	특수한 응용 또는 사업을 직접적 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구	기초연구	1	【기초실험】 기본원리발견	·기초이론 정립 단계
			2	【개념정립】 기술개념과 적용분 야의 확립	·기술개발 개념 정립 및 아이디어에 대한 특허 출원 단계
응용 연구	기초연구의 결과 얻어진 지식 을 이용하여 주로 실용적인 목 적과 목표 아래 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적 인 연구	실험	3	【기본성능검증】 분석과 실험을 통한 기술개념 검증	·실험실 환경에서 실험 또는 전산 시뮬레이션 을 통해 기본 성능이 검증될 수 있는 단계 ·개발하려는 부품 또는 시스템의 기본 설계도면 을 확보하는 단계 등
			4	【부품/시스템 성능검증】 연구실 환경에 서의 Working Model 개발	·시험샘플을 제작하여 핵심성능에 대한 평가가 완료된 단계 ·3단계에서 도출된 다양한 결과 중에서 최적 의 결과를 선택하는 단계 ·컴퓨터 모사가 가능한 경우 최적화를 완료하는 단 계
			5	【장치/시스템 시제품 제작】 유사 환경에서 의 Working Model 검증	·확정된 공법/재료/시스템의 실험실 시제품 제 작 및 성능 평가가 완료된 단계 ·개발 대상의 생산을 고려하여 설계하나 실제 제작 한 시제품 샘플은 1~수개 미만인 단계 ·경제성을 고려하지 않고 기술의 핵심성능으로 만 볼 때, 실제로 판매가 될 수 있는 정도로 목표 성능을 달성한 단계
개발 연구	기초응용연구 및 실제경험으로부 터 얻어진 지식을 이용하여 새로 운 제품 및 장치를 생산하거나 이 미 생산 또는 설치된 것을 실질 적으로 개선하기 위한 체계적인 연구	시작품	6	【시제품 성능평가】 유사 환경에서의 프로토타입 개발	·파일럿 규모(복수 개 ~ 양산규모의 1/10 정도) 의 시제품 제작 및 평가가 완료된 단계 ·파일럿 규모 생산품에 대해 생산량, 생산용량, 수 율, 불량률 등 제시 ·파일럿 생산을 위한 대규모 투자가 동반되는 단 계 ·생산기업이 수요기업 적용환경에 유사하게 자 체 현장테스트를 실시하여 목표성능을 만족시킨 단계 ·성능평가 결과에 대해 가능하면 공인인증 기관 의 성적서 확보
		신뢰화	7	【시제품 신뢰성평가】 실제 환경에서 시제품 데모	·실제 환경에서 성능 검증이 이루어지는 단계 ·장치 및 재료개발의 경우 수요업체에서 직접 파 일럿 시제품을 현장 평가(성능뿐만 아니라 신뢰성에 대해서도 평가) ·가능하면 KOLAS 인증기관 등의 신뢰성 평가 결과 제출 등
			8	【시제품 인증】 상용제품 시험평가 및 신뢰성 검증	·표준화 및 인허가 취득 단계
-	실용화/기술이전사업	양산	9	【사업화】 상용제품생산	·본격적인 양산 및 사업화 단계

[표 4] 건설교통R&D 유형별 TRL 정의

다. 핵심기술요소(CTE) 선정

- 핵심기술요소(CTE: Critical Technology Elements)는 과제의 성패를 좌우하는 중요한 기술로서 개발 기술이 완성되기 위하여 충족되어야 할 필수기술을 의미함
- CTE는 기술개발 최종 목표의 성공여부를 결정짓는 소재나 부품, 시스템으로 그 자체로 시연이 가능하여 시험평가 항목에 대한 측정이 가능하여야 하며, 세부과제당 1개 이상 도출될 수 있음
- 본 “항공기 출발 및 도착 통합관리 기술” 연구개발을 위 도출된 핵심기술 요소는 아래 표와 같음

No.	CTE 명
후보 1	TMA Metering 기술
후보 2	Departure Scheduling 기술
후보 3	Surface Metering 기술
후보 4	외부 시스템 연동 기술
후보 5	Human-Machine 연계 기술
후보 6	시스템 제어 및 모니터링 기술
후보 7	항공교통관리 시뮬레이션 기술
후보 8	Arrival Scheduling 확장 및 연계 기술
후보 9	통합 시스템 최적화 기술
후보 10	시험평가 기술

[표 5] 핵심기술요소 후보

- 위와 같이 선정된 10개의 핵심기술요소 후보는 관련 전문가 자문과 설문조사 작업을 통해 아래 [표 6]의 체크리스트를 통해 검토 되었으며, 체크리스트 검토 작업을 거쳐 총 10개의 핵심기술 요소가 도출되었음

체 크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	후보8	후보9	후보10	비고
1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	반드시 충족
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?											하나 이상 충족
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가	○	○	○					○	○	○	
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?								○			
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?				○	○	○	○				
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

[표 6] 핵심 기술요소(CTE) 선정

라. 기술성숙도 목표 설정

- 전문가의 체크리스트 검토를 통해 도출된 아래 10개의 핵심기술요소는 아래의 [표 8]과 연구개발사업의 목표와 기술개발수준, 시장성 등을 고려하여 상용제품 시험평가 및 신뢰성 검증을 통해 표준화 및 인허가를 취득하는 단계인 기술성숙도 7단계를 최종 목표로 설정하였음

CTE	유형	CTE명	최종 TRL
1	시스템	TMA Metering 기술	TRL 7
2	시스템	Departure Scheduling 기술	TRL 7
3	시스템	Surface Metering 기술	TRL 7
4	시스템	외부 시스템 연동 기술	TRL 7
5	시스템	Human-Machine 연계 기술	TRL 7
6	시스템	시스템 제어 및 모니터링 기술	TRL 7
7	시스템	항공교통관리 시뮬레이션 기술	TRL 7
8	시스템	Arrival Scheduling 확장 및 연계 기술	TRL 7
9	시스템	통합 시스템 최적화 기술	TRL 7
10	시스템	시험평가 기술	TRL 7

[표 7] 핵심기술요소(CTE) 목록

- 향후 연구 개발사업 진행시 연차별 사업성과 관리의 기준이 될 연차별 마일스톤 설정은 1단계 “항공기 출발관리 기술 연구”와 2단계 “항공기 출발 및 도착 통합관리 기술 연구” 개발 순서 및 일정에 따라 [표 9]와 같이 설정하였음

TRL 단계 정의		단계별 세부설명
TRL 1	기본적인 과학 원리 관찰 및 파악 단계 (순수이론단계)	가장 낮은 기술개발단계로 과학적 연구결과가 응용연구개발로 전환되기 시작하는 단계 개발하고자 하는 공법/기법 관련 기술의 개념이 정립됨. 관련 기술의 기본 속성에 관한 문헌연구나 물리적인 관찰을 토대로 한 실험적 연구 등이 포함됨.
TRL 2	기술적 응용개념 또는 아이디어 형성 단계	순수 아이디어에서 응용연구로 나아가는 단계 가능성이 확인되지 않은 공법/기법을 새로운 형태의 기술 개념으로 정의하고 제안함. 연구의 대부분은 관련 기술을 응용하기 위한 보다 구체적인 문헌 및 자료 분석으로 이루어지며 TRL 1 단계에서 관찰된 기본원리를 규명하기 위한 실험적 연구의 설계로 발전됨.
TRL 3	해석적 연구와 실험적 연구를 통한 개별 요소의 기능과 특성 정립 단계	관련기술의 연구개발이 본격적으로 활발하게 진행되는 단계 개념 증명 또는 가능성 확인을 위해 실험실 환경에서 단위 요소기술에 대한 기초기술을 확보하는 단계 기술의 개념 및 문헌 연구 수준을 넘어 관련 개념을 기술적으로 구현하기 위한 실험적 연구를 수행 중요한 하위 시스템을 분석하고 필요할 경우 물리적 실험을 보완하는데 모델링과 시뮬레이션을 사용
TRL 4	실험실 환경에서 구성시스템의 성능평가 및 신뢰성 시험 단계	개념 증명 또는 타당성 확인을 위해 구성 시스템을 시험하여 성능을 검증하는 단계 최종 운영 시스템/환경과의 차이점을 고려하여 실험실 규모의 테스트 결과를 분석
TRL 5	유사환경에서 구성시스템의 성능평가 단계	거의 모든 측면에서 최종 환경과 유사한 상태에서 개발 시스템의 기술 구성요소가 통합되고 기본적인 성능을 시험하는 단계 실험실 규모의 테스트 결과 및 실험실과 최종 운영 시스템/환경과의 차이점에 관한 분석을 포함 TRL 4단계, 즉 실험실 환경에 개발된 기술의 정확도와 신뢰도를 유사환경 하에서 향상시킴.
TRL 6	유사환경에서 시스템 프로토타입 모델의 신뢰성 및 안전성 평가 단계	개발 기술이 실제 현장에서 구현 될 수 있도록 발전시키는 단계 시스템 프로토타입은 실제 요구되는 모든 기능을 수행할 수 있어야 하며 적합한 신뢰도를 갖추었는지를 수요자 또는 고객의 실제사용 환경과 유사한 환경에서 검증 해당 시스템에 대한 특허 출현이 이루어 짐.
TRL 7	시범운영을 통해 시스템 프로토타입의 실제 환경 사용 가능성 증명 단계	제한된 실제 현장에서 시스템 프로토타입의 시연이 이루어 짐. 유사환경과 실험실 환경에서의 테스트 결과 차이점에 대한 분석이 수행되어야 하며, 시험결과가 최종 결과물에 어떤 의미를 갖는 지에 대한 분석이 요구 됨
TRL 8	시스템 완제품의 제한된 실제 환경에서 사용 가능성 증명단계	해당 기술이 완제품의 형태로서 제한된 실제 환경 또는 예상되는 조건 하에서 작동하는 지를 입증되는 단계로 사실상의 기술개발 종료 단계 개발 된 공법/기법이 실제 사용 현장에서 의도한 목적을 충실히 달성할 것인지를 시험하고, 검증
TRL 9	시스템 완제품의 실제 환경 사용적합성 증명 단계	기술이 최종형태로 완성되며, 실제 적용 환경 운용되는 단계 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지며 기술개발사업의 목표가 대부분 달성됨.

[표 8] 시스템 유형 연구개발사업의 TRL 단계별 세부 설명

연구과제명	항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구				유형		시스템				
프레임워크			선행단계		시제품 제작 및 시연		현장적용		제품화/실용화		
마일스톤			현재 TRL	마일스톤 목표 TRL							
				1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	6차 년도	7차 년도	8차 년도 (종료)
마일스톤 일정			2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CTE No.	기술명										
CTE 1	TMA Metering 기술		TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 5	TRL 6	TRL 7	-	-	-
CTE 2	Departure Scheduling 기술		TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 5	TRL 6	TRL 7	-	-	-
CTE 3	Surface Planning 기술		TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 5	TRL 6	TRL 7	-	-	-
CTE 4	외부 시스템 연동 기술		TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 5	TRL 6	TRL 6	TRL 7	TRL 7
CTE 5	Human-Machine 연계 기술		TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 5	TRL 6	TRL 6	TRL 7	TRL 7
CTE 6	시스템 제어 및 모니터링 기술		TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 6	TRL 6	TRL 7	TRL 7
CTE 7	항공교통관리 시뮬레이션 기술		TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 6	TRL 7	TRL 7	TRL 7
CTE 8	Arrival Scheduling 확장 및 연계 기술		TRL 3	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 6	TRL 7	TRL 7	TRL 7
CTE 9	통합 시스템 최적화 기술		TRL 3	-	-	-	-	-	TRL 3	TRL 5	TRL 7
CTE 10	시험평가 기술		TRL 1	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 7

[표 9] 기술성숙도(TRL) 단계별 목표

마. 핵심기술요소(CTE) 선정 및 기술성숙도(TRL) 목표추진 전략

1) 연구추진체계 제안

- 본 연구는 R&D 일반과제로 추진하는 것이 바람직하며 주관기관을 중심으로 국토교통부 항공정책실의 관리감독 아래 다음과 같이 구성될 수 있음



[그림 9] 연구 추진체계

가) 연구추진체계 기관별 역할

- 위의 추진체계를 바탕으로 “항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구” 사업의 기관별 역할을 아래 표와 같이 정의할 수 있음

체 계		역 할	비 고
국토교통부		정책수립, 사업감독, 예산지원	
국토교통과학기술진흥원		사업관리	
총괄 주관기관		시스템 통합, 시험평가, 국제협력	필요에 의해 위탁 연구를 진행할 수 있음
협력 기관	국외 협력기관	기술협력, 자문	
	관련 부처 및 국내 협력기관	자료 획득 지원, 테스트	
개발 기관	공동연구기관	국내외 항공교통환경 분석, 운용개념 수립, 핵심 기술 연구, 시뮬레이션 기술 연구, 통합 및 확장 기술 연구, 시험평가 기술 연구	

[표 10] 기관별 역할

바. 연차별 기술 및 성과 로드맵

○ “항공기 출발 및 도착 통합관리 기술 연구”의 차년별 과업내용과 성과물 등 로드맵은 다음과 같이 설정함

구분	주요 기술 및 Activity	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	6차 년도	7차 년도	8차 년도	최종성과물
운용개념 정립	국내외 항공교통 환경 분석									분석 보고서
	운용개념 수립									
알고리즘 개발	TMA Metering 기술 연구									항공기 출발관리 스케줄링 모델
	Departure Scheduling 기술 연구									
	Surface Planning 기술 연구									
시스템 개발	외부 시스템 연동 기술 연구									항공기 출발 및 도착관리 시스템 구축
	Human-Machine 연계 기술 연구									
	시스템 제어 및 모니터링 기술 연구									
통합기술 연구	Arrival Scheduling 확장 및 연계 기술 연구									항공기 출발관리와 도착관리 기술 통합 시스템 구축
	통합 시스템 최적화 기술 연구									
관리 시스템 시험 및 검증	항공교통관리 시뮬레이션 기술 연구									시스템 운용성 검증 및 도입에 따른 편익 평가
	시험평가 기술 연구									

[표 11] 연차별 기술 성과 로드맵

사. 활용방안 및 기대효과

- 항공기 출발 및 도착관리 통합관리 시스템은 관제사가 이용하는 레이더 시스템에 함께 탑재되어 터미널 구역 상황 및 공항 교통상황을 고려하여 항공교통관제사에게 자동으로 항공기 출발 순서 및 도착 순서를 정립을 위한 조언을 제공할 수 있으며 이는 관제사가 항공기 출발 허가 및 도착 허가 발부 시 의사결정을 지원하는 툴로서 사용될 수 있음
- 항공기 출발관리 시스템은 항공기가 지상 활주부터 터미널 공역을 거쳐 항로(Enroute) 공역에 도착하기 까지 지체 없이 안전하게 비행할 수 있도록 도와줌
- 항공기 출발관리 시스템은 항공기가 지연되지 않고 이륙할 수 있도록 적합한 시점을 계산하여 알려줌으로서 항상 원활한 항공교통흐름을 위해 교통량을 조절해야하는 항공교통관제사의 업무량을 감소시키는 역할을 하며, 특히 교통량이 한꺼번에 몰리는 첨두 시간에 특히 가중되는 관제사의 업무량을 경감시켜 줌
- 항공기 출발관리 시스템은 지상에서부터 이륙 교통량을 통제하여 공항 주변 터미널 구역의 혼잡도를 완화하고 혼잡한 터미널 구역에서 교통량 흐름 관리를 위한 관제사에 의한 레이더 벡터 횡수를 감소시키며, 계획적인 교통흐름 구현을 통해 항공기의 궤적 예측을 용이하게 하여 항공기 운항 안전성을 확보할 수 있음
- 항공기 출발 대기열 관리 및 지상 지연 최소화는 항공기가 유도로에서 불필요하게 대기하는 시간을 감소시킬 수 있으며, 이는 항공기가 엔진 시동이후 불필요하게 지상에서 대기하는 시간을 줄여 항공기 연료 소모량을 감소시킬 수 있음. 이는 공항 주변에서 항공기 배출가스에 의한 환경오염을 줄일 수 있고 공항주변 지역의 대기 오염 완화를 가져올 수 있음
- 항공기 출발관리 시스템은 도착관리 시스템 및 지상관리 시스템과 연동되어 이용될 수 있으며, 교통량의 유입·유출량 예측을 가능하게 하여 수요의 불균형에서 오는 문제를 해결하고 공항 및 터미널 교통 수요의 예측성을 향상시킴

- 항공기 출발관리 시스템은 출발항공기에 대한 최적화된 흐름을 제시함으로써 항공사나 지상 조업사들이 소유하고 있는 자원 활용에 대한 합리적인 계획을 세울 수 있게 하고 작업 운영 효율성을 높일 수 있음
- 항공기 출발관리 시스템은 활주로의 일시적인 폐쇄와 같은 예상치 못한 사고 발생 시 재빠르고 합리적인 해결책을 제시하여 사고로 인해 올 수 있는 손실을 감소시킬 수 있으며, 이용객에게도 편리를 제공할 수 있음
- 항공기 도착관리 시스템과 연동된 출발관리 시스템은 제한된 터미널 구역 내에서 항공 교통량을 보다 효율적으로 수용하는데 기여할 것이며, 출발항공 교통량으로 인한 도착항공기의 공중 체공을 감소하여 항공기 운항의 안전도 향상 및 경제성 향상에 효과를 가져 올 수 있음
- 지상관리 시스템과 출발관리 시스템의 연동은 항공기가 주기장을 벗어나 최적의 지상 경로를 통해 최단 거리로 막힘없이 이동하여 지상 활주, 이륙할 수 있는 최적의 경로를 제공해 줄 수 있으며 이는 항공 운항의 경제성 향상 및 안전도 향상에 기여함
- 항공기 출발관리, 도착관리는 항공교통흐름관리(ATFM)에도 영향을 미치며, 향상된 출·도착 관리 시스템은 보다 효율적인 항공교통흐름관리 역할을 지원함
- 공항 및 터미널 구역에서부터 시작하는 항공기 출발관리, 도착관리의 성능 향상은 나아가 항로상 교통량의 출·도착 흐름 향상에도 기여할 것이며 최종적으로 국제항공산업사회가 궁극적으로 추구하는 이음매 없는(Seamless) 운항을 가능하도록 하는데 크게 기여 할 것임

5. 사전타당성 검토

가. 정책적 타당성

1) 국가 전략적 중요성 및 시급성

- 우리나라는 국내 최대의 교통량을 담당하고 있는 주요 두 공항(김포공항, 인천공항)이 매우 인접해 있어 교통량이 두 공항을 중심으로 집중되는 경향

을 나타내고 있으며, 두 공항의 거리가 매우 가깝기 때문에 양 공항에서
출·도착하는 항공기는 상대 공항의 출·도착 항공기의 교통량에 영향을
받음

- 현재 복수공항지역 터미널구역인 수도권공역의 교통흐름은 교통량 증가에
따라 점차 악화되고 있으며, 레이더 벡터 등 일시적인 관제지시의 증가로
인하여 관제사의 업무량이 증가하고 변동적인 항공기 운항 경로 요구로 인
해 항공기 안전에 영향을 미침
- 공역의 교통흐름상황을 고려하지 않은 상황에서 출발항공기에 대한 공역진
입허가는 지상과 터미널 및 항로공역 교통흐름의 심각한 불균형을 초래하
며, 이는 항공기 안전을 위협하는 요소로 작용할 수 있음
- 우리나라와 같이 좁은 공역구조를 가진 유럽의 경우 EUROCONTROL을 중
심으로 오래전부터 공항 주변 터미널 공역의 원활한 교통흐름을 위해 출발
및 도착관리를 수행해 왔으며, 시뮬레이션 단계에 이어 실제 운영을 준비하
고 있음
- 미국의 경우 NASA를 중심으로 항공기 출·도착 프로그램을 연구 개발해
오고 있으며 해당 프로그램을 시뮬레이션을 이용하여 검증한 결과 출·도
착 관리 기법의 적용 이전과 비교하여 항공기 지연, 연료소모량 감소 효과
를 도출해 낼 수 있었음
- 향후 미국과 유럽은 연구 개발을 통해 얻어진 출·도착 관리 시스템을 실
제 공항에 적용하여 운용할 계획이며, ICAO ASBU 이행 모듈에서도 모든
체약국이 단계적으로 발전·이행 해 나아가야 할 부분이라고 제시하였음
- 따라서 우리나라도 출발항공기의 효율적 대기열관리를 통하여 유도로 점유
시간과 출발대기시간을 감소하여 불필요한 연료소비를 줄이며 운항 정시성
개선할 필요가 있으며, 향후 현재 연구 국토교통부 연구과제로 개발 중인
도착관리 시스템과 통합 운영하기 위해서도 항공기 출발 관리 기법에 대한
연구를 조속히 수행하는 것이 필요함

2) 사업 추진의 적합성

- 우리나라는 항공분야에 있어 주로 정부기관을 중심으로 학계 연구 기관과 연계하여 미래 항공교통시스템 구축 계획을 수립하고 관련 연구 개발을 수행 중에 있음
- 우리나라는 국내 공역 사용 혼잡도를 완화하기 위해 2011년부터 성능기반 항행 구축 사업을 통해 항공로 복선화, 성능기반 항공로 구축, 위성기반 출·도착 절차 구축 등을 수행하고 있음
- 터미널 공역의 혼잡을 인식하고 2013년 도착관리 시스템 프로토 타입 개발을 완료 하였으며, 제주공항에 도착하는 항공기를 대상으로 도착관리 시스템 구축 사업을 진행 중에 있음
- 출발관리 시스템과 도착관리 시스템은 ASBU 이행 모듈상 동일선상에서 단계적으로 발전하여 차후 지상관리 시스템과 함께 세 시스템이 모두 연동될 수 있어야 하므로 도착관리 시스템 개발과 더불어 출발관리 시스템도 동시에 연구 개발이 진행되어야 함
- 본 연구는 안전하고 효율적인 항공교통시스템 환경 구축을 위해 필요한 연구개발 내용을 제시함에 따라, 국가 항공발전에 기여할 수 있음

3) 정부지원 타당성

- ICAO Global Air Navigation Plan(Doc 9750) 및 ICAO ASBU Framework 문서에 따르면 국제민간항공기구(ICAO)에서는 체약국들이 ASBU 각 이행 모듈을 시기적절하게 이행하도록 권고하고 있음
- 항공교통업무는 항공법 제70조에 의하여 국토교통부에서 관할하고 있으며, 우리나라의 공역 서비스 제공자는 국가이므로 원활한 항공교통관리를 위해 항공기 출발 및 도착 관리 기술 연구 개발을 정부가 지원하는 것이 필요함
- 항공기 출발 관리와 동일선상에서 연구 개발이 진행이 요구되는 항공기 도착관리, 지상관리 시스템은 현재 국가 주도로 연구개발이 진행되고 있으며 향후 세 시스템은 모두 통합·연동 되어 운영되어야 하므로 다른 두 연구와 동일하게 정부 지원 개발을 통해 연구 효과를 극대화 하며 초기 단계부터 향후 통합을 위한 조정을 해 나아가는 것이 필요함

- 원활한 교통흐름으로 얻어진 항공기 운항의 경제성 및 효율성은 개별 항공사의 연료 소비량 감소뿐만 아니라 동시에 항공기 배출가스 감소와 같은 외부효과를 가져오며, 이는 배출권 거래 제도의 시행을 준비하고 있는 현 상황에서 국가적 차원에서 이익을 가져올 수 있음
- 또한 출발 항공기 대기열 관리를 통한 지연시간 감소는 개별 항공기 이용객들의 여행시간(대기시간) 감소를 발생시키며, 이는 개별 여행자의 전체 여행시간 감소를 통한 간접적인 사회 경제적 효과를 가져 올 수 있으며, 공항 이미지 제고 및 국가 이미지 제고에 영향을 줌

나. 기술적 타당성

1) 기존 사업과의 중복성 및 연계방안

- 2013년부터 진행되고 있는 「항공기 지상이동유도 및 통제시스템(A-SMGCS) 개발」 연구에서는 “항공기 지상관리(SMAN) 연구”가 포함되어 있음
 - 현재 진행 중인 A-SMGCS 연구에 포함되어 있는 항공기 지상관리(SMAN) 연구는 기초적인 단계로 항공기 출발 관리 시스템과의 통합을 위해 본 연구에서는 보다 심도 있는 연구를 진행하는 것이 필요함
- 1단계인 “항공기 출발관리 기술 연구”는 항공기의 출발 흐름관리(Departure Flow Management)와 항공기 지상 운영 관리(Surface Management)를 통합하여 운영하는 기술을 연구하는 것이 목표이므로 항공기 출발관리 기술 연구 시 “항공기 지상관리 연구” 결과를 참고 또는 반영하여 수행하도록 함
- 현재 「도착관리(AMAN) 시스템 구축 용역」을 통해 제주공항에 도착하는 항공기를 대상으로 도착관리 시스템을 구축하는 용역을 진행 중에 있음
- 1단계에서는 「도착관리(AMAN) 시스템 구축 용역」을 통해 도출된 기술을 2단계인 “항공기 출발 및 도착 통합관리 기술 연구” 단계에서 통합 운영이 가능할 수 있도록 기능을 확장하는 내용을 중심으로 연구하도록 하며, 2단계에서는 출발관리 기술과 도착관리 기술을 통합하여 운영하는 기술을 개발하도록 함

2) 기술개발 계획의 우수성

- 본 연구 개발은 기존에 국내에서는 시도된 적이 없는 과제이며, 두 개의 주요 공항이 매우 근접해 있는 우리나라 수도권 공역의 특수성을 감안할 때 적용이 시급한 과제임
- ASBU 이행계획은 단일 국가 또는 몇몇 지역만을 대상으로 하는 것이 아니라 전 세계가 달성해 나아가야 할 방향을 제시하고 있으므로, 항공기 출발 및 도착 통합 관리 시스템 기술 연구와 ASBU 모듈의 이행은 우리나라뿐 아니라 모든 항공관련 체약국이 함께 수행해 나아가야 하는 과제임
- 때문에 본 연구개발을 통하여 현재 일부 몇몇 국가에서만 보유하고 있는 출발 관리 시스템 이행을 위한 신기술을 연구 개발하고, 항공기 도착관리 시스템과 통합 관리 기술을 연구하는 것은 새로운 부가가치를 창출하고 외산기술의 국산화를 통해 국부를 창출하는 기회가 될 수 있음
- 또한 본 연구 개발은 새로운 장비나 부품을 만들어 내는 것이 아니라 고도화된 기술을 바탕으로 새로운 시스템을 개발하는 것으로서 투자금액에 대비하여 고부가가치를 창출 해 낼 수 있음

3) 기술 수준 및 성공가능성

- 본 연구개발은 완제품의 형태로 제한된 실제 환경 또는 예상되는 조건 하에서 작동하는 지를 입증되는 사실상의 기술개발 종료 단계까지 개발하는 것을 목표로 하고 있음
- 현재 Eurocontrol의 DMAN, NASA의 SARDA와 같은 국제적인 연구가 진행되고 있으므로 국외 기관과의 연구 개발 협력 등을 통하여 국내 실정에 가장 최적화된 기술개발을 성공할 수 있을 것으로 예측됨

다. 경제적 타당성

- 대형 국가연구개발사업과 같은 공공투자사업의 경제성 분석은, 해당 사업의 추진에 의해 국민경제 전체에서 발생이 예상되는 편익과 비용을 추정하고

이를 이용해 편익-비용분석(Benefit-Cost Analysis)을 수행하는 방법을 사용하는 것이 일반적임

1) 분석 기법

- 편익/비용 비율(B/C ratio)은 개별 대안사업별로 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값이 가장 큰 대안을 선택하는 방법임
- 사업의 비용, 편익은 장시간에 걸쳐 투입되거나 발생하기 때문에 할인율을 적용하여 이를 특정기간(일반적으로 현재년도)에 발생하는 것으로 환산하여 비교하게 되는데 이를 '현재가치화'라고 함
- 각 사업의 편익-비용비는 현재가치로 환산된 편익과 비용으로 나타내는 것이 일반적이며 일반적으로 편익/비용 비율이 1.0보다 크면 경제성이 있다고 판단함

$$\text{편익/비용비율}(B/C) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서, B_t : t 기의 편익, C_t : t 기의 비용

r: 할인율(이자율), n: 사업의 내구연도(분석기간)

- 그러나 위 식에서 보듯이 편익/비용비율(B/C ratio)은 사업의 비용 1단위당 편익이 얼마인가를 보여주는 것이므로 자연히 소규모 사업이 상대적으로 높은 편익/비용 비율을 갖게 되는 경우가 많으며 비용과 편익을 명확히 구분하기 어려울 때가 많음
- 따라서 사업의 우선순위를 결정하는 데 있어 편익/비용 비율기준만으로 큰 의미가 있다 할 수 없음
- 순현재가치(Net Present Value: NPV)는 현재가치로 환산된 장래의 연차별 순편익의 합계에서 초기 투자비용 및 현재가치로 환산된 장래의 연차별 비용의 합계를 뺀 값을 의미한다. NPV>0이면 경제성이 있다고 판단

$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- 내부수익률(Internal Rate of Return: IRR)은 편익과 비용의 합계가 동일하게 되는 수준의 현재가치 할인율을 의미함

- 즉, 어떤 사업의 순현재가치의 값을 '0'으로 하는 특정한 값의 할인율을 의미함
- 내부수익률이 시장이자율보다 높은 경우 혹은 공공사업에 대해 사회적으로 용인할 수 있는 이자율보다 높게 나타나면 그 사업은 타당성이 있다고 평가를 함

$$\text{내부수익률}(IRR): \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+R)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+R)^t}$$

- 각 방안별 문제점을 간략하게 지적하면 우선, 편익/비용 비율과 IRR을 사용함에 있어 애매한 경우가 다소 있음

- 구체적으로 편익/비용 비율은 재투자 비용이 드는 사업을 평가함에 있어 재투자 비용을 비용측으로 산정할 것인지 혹은 음의 수익으로 산정할 것인지에 따라 다른 값을 가짐
- IRR은 사업규모가 다른 경우 IRR만으로는 우열을 가리기 힘들다는 문제가 있으며 사업간 상호 독립적이란 가정 하에 도출하는데, 만약 사업간 상호배타적인 경우, 즉 경쟁적 관계의 사업에서 다수의 IRR을 가지는 경우가 발생할 수 있는 문제점이 있음
- IRR 및 편익/비용 비율의 문제점으로 인해 일반적으로 NPV가 우월하다고 알려져 있지만, NPV 또한 예산상 제약이 있는 경우 한계가 있음
- 대규모사업이 소규모사업에 비해 큰 순현재가치가 발생하게 되어 대규모 사업이 통상 유리하게 평가되는데, 예산제약으로 인해 하나의 대규모 사

업과 여러 개의 소규모 사업 중 선택해야 하는 경우가 있는데, 이 경우 NPV는 올바른 평가를 수행할 수 없음

- 결국 어떤 사업의 경제적 타당성의 유무판단기준으로서 어느 한 기준에 전적으로 의존하는 것은 문제가 있음을 인식해야 하며, 결론적으로 순현재가치, 내부수익률 및 편익/비용 비율 세 가지를 모두 적절하게 고려한 후의 사결정을 내리는 것이 타당함

2) 기본 전제

- 경제성 분석에 있어 비용과 편익은 모두 사회적 비용 및 편익으로 간주할 수 있는데 일반적으로 공공투자시설의 경우 비용은 실질적으로 투자되어 쓰여진 비용을 계상하는 반면 편익은 회수방법을 통한 실제수익이 아닌 사회적 편익을 기준으로 함
- 본 연구에서도 먼저 비용 및 편익을 산정하고 이로부터 사업의 경제성을 분석함
- 본 연구의 경제적 타당성 분석에서는 국내 연구개발 사업을 통해 개발 될 항공기 출발 관리 기술(DMAN)연구를 통해 구축되는 시스템의 편익에 대해서만 추정할 예정이며, 향후 항공기 도착 관리 기술(AMAN)과의 통합 시스템 구축 시의 편익에 대해서는 별도의 분석이 필요할 것으로 사료됨
- 경제적 타당성 분석은 1단계인 항공기 출발 관리 기술 연구가 시작하는 2014년부터 5년인 2018년까지를 연구 개발 기간으로 설정하고 2019년부터 시스템을 실제 관제 현장에 투입한다고 가정함
- 현재가격은 2014년을 기준으로 사업의 비용 및 편익에 적용하고 분석기간 동안 예상되는 비용과 편익에 사회적 할인율을 적용하여 현재가치로 환산하여 평가함
- 본 연구는 인프라를 구축하는 사업이 아닌 기초 연구가 포함되는 순수 R&D 사업이므로 적합한 분석 대상기간을 설정하여 분석할 수 있으며, 따라서 본 경제성 분석에서는 비용 분석 기간으로는 연구 개발 기간 5년과 향후 유지관리 기간 10년, 편익발생 기간은 2018년 연구 완료 이후 10년으

로 설정함

- 일반적으로 시스템 구축시의 유지관리비용은 전체 투자비용의 10~15%가 투입될 것으로 예측하며, 본 연구에서는 전체 투자비용의 10%를 시스템 유지 관리 비용을 설정하여 분석함
- 비용과 편익의 미래 흐름을 비교하기 위하여 사용되는 할인율은 자원의 기회비용, 즉 투자사업에 사용된 자본이 다른 투자사업에 사용되었을 경우 얻을 수 있는 수익을 추정하게 할 뿐 아니라 사람에 따라 혹은 사회에 따라 그리고 시대에 따라 다를 수 있는 시간의 객관적인 가치를 나타냄
- 할인율 개념의 적용에 있어서는 많은 이견이 있으나 특정 투자사업이 정부에 의해 주도되는 경우에는 사회적 할인율의 개념을 적용하고 민간자본에 의해 추진되는 경우에는 시장이자율에 근거한 재무적 할인율을 적용하는 것이 일반적임
- 사회적 할인율은 통상 시장이자율보다 낮은 수준으로 책정되는데 그 이유는 사회적 할인율을 사용하여 사업타당성을 평가하는 주체가 주로 정부이며 정부로서는 미래사업의 중요성이 더 높게 평가되어야 하기 때문임
- 대부분의 국가는 투자사업의 특성에 따른 할인율을 자국의 경제성장률, 물가상승률, 경제적 잠재능력 등을 고려하여 개괄적인 방법으로 정부가 추정하여 사용하고 있는데 일반적으로 개발도상국 사회간접자본의 경우는 7~8% 이상, 선진국의 경우는 보통 5~6% 수준을 적용하고 있음
- 본 연구에서는 한국개발연구원에서 발간한 “연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(2008)”에서 제시한 5.5%를 적용함

구분	적용값
분석기간	비용분석 : 2014~2028 편익분석 : 2019~2028
유지 관리비용	연간 구축 비용의 10%
사회적 할인율	5.5%

[표 12] 경제적 타당성의 기본 전제

3) 편익의 산정

- 항공기 출발 및 도착관리 기법의 도입은 항공기 도착 예측률 향상, Block off 시각 및 지상 활주 시간 정확도 향상, 항공기 이륙 시각 정확도 향상 등을 통해 활주로 사용률을 높이고, 터미널 주변 구역의 불필요한 체공 및 레이더 유도를 줄이는 등의 편익을 기대할 수 있음
- 현재 상용화 되어 있는 항공기 출발 및 도착관리 프로그램인 Maestro의 경우 해당 기술의 도입 이후 덴마크 코펜하겐 공항의 수용력을 10% 향상시켰으며, 프랑스 니스 공항에서는 기존의 시간당 평균 26대이던 항공기 도착률을 시간당 평균 28대로 향상시키는 결과를 나타냈음
 - 파리 샤를드골 공항에서는 항공기 출발 정시율을 10% 향상시켰으며, 일일 14 톤의 연료를 절감하고, 44 톤의 이산화탄소 배출량을 감소시키는 효과를 얻을 수 있었고, 시드니 공항은 2000년 올림픽 당시 7백만 호주달러(한화 약 67억원)의 연료를 절감하는 효과를 보였음
- 보다 정확한 편익을 산정하기 위해서는 시뮬레이션 기법을 이용해 개선 전 모델과 개선 후 모델을 비교하여 얻어질 수 있는 편익(수용량, 예측률, 항공기 지연 등)을 측정하는 방법이 바람직하나, 현재 국내에는 기존의 교통상황과 비교하여 항공기 출발 및 도착 관리 기술이 얼마만큼의 효과를 보여줄 수 있을지 비교를 할 수 있는 모델 및 시스템이 구축되어 있지 않음
- 따라서 본 연구에서는 미국의 SARDA 시스템을 통해 검증된 편익을 참고하여 예상 편익을 산정하기로 함
- SARDA 시스템은 미국 Dallas Fort Worth을 모델링하여 HITL 모의 시험을 수행하였고, 그 결과 교통량을 1.2배 증가하였을 때 출발 항공기 대당 평균 3분 지연 감소, 45kg의 연료 소모량 감소 효과를 나타냈으며, 교통량을 1.5배 증가하였을 때 출발 항공기가 대당 평균 5.5분 지연 감소와 70kg의 연료 소모량 감소 효과를 가져 올 수 있었음

교통량 추이	대당 평균 지연시간 감소	대당 평균 연료 소모량 감소
1.2배	3분	45kg
1.5배	5.5분	70kg

[표 13] SARDA 시스템의 편익 추정치

- 따라서 SARDA 시스템은 항공기 출발관리 시스템 도입 시 얻어질 수 있는 편익이 항공기의 지연시간 감소와 연료 소모량 감소로 나타났다고 설명함
- 이 중 항공기 지연시간 감소는 출발관리 시스템 도입을 통해 얻어질 수 있는 편익이 확실하지만 편익-비용 분석을 위해 화폐가치로 환산하기에는 무리가 있다고 판단하여 분석에서 제외하였으며, 시스템 적용 후 감소한 항공기 연료 소모량은 국제 항공유가를 이용하여 화폐가치로 환산하는 것이 가능하므로 편익-비용 분석에 이용하였음
- 항공기 출발 관리 기술 연구는 개발 후 인천공항에 우선적으로 적용될 것이라고 가정하고 향후 인천공항의 교통량 증가 추세를 이용하여 항공기 지연 감소 효과 및 연료 소모량 감소를 통해 얻을 수 있는 편익을 산정해 봄
- 인천공항 교통량 증가 추세는 2011년에 수립한 「제 4차 공항개발 중장기 종합계획」 중 중간 값인 중성장 성장률(국내선 2.86%, 국제선 5.17%)을 이용하였으며, 기본년도 교통량은 2013년 교통량을 사용하였음
- 편익은 1단계 항공기 출발관리 기술연구가 종료된 이후 2019년부터 실제 투입된다고 가정하여 2028년까지 이후 10년 동안의 편익을 산출함
- 아래 인천공항 출발항공기 교통량 예측 표를 보면 국내선의 경우 2019년부터 2026년까지의 교통량은 기준년도 교통량의 약 1.2배에서 1.4배 이므로 편익 추정시에 SARDA 편익 추정치의 1.2배 기준값을 적용하였으며, 2027년과 2028년에는 1.5배의 기준값을 적용하였음
- 국제선의 경우 2019년과 2020년에는 기준년도 교통량의 1.4배로 성장하므로 SARDA 편익 추정치의 1.2배 기준값을 적용하였고, 2021년부터 2028년까지의 교통량은 약 1.5배에서 2.1배까지 성장하므로 편익 추정치의 1.5배의 기준값을 적용하였음

- 편익의 화폐가치 환산을 위한 국제 유가는 IATA Jet Fuel Price Monitor에서 제시한 정보를 사용하였으며, 아시아 태평양지역 유가¹⁸⁾인 338.1\$/ton을 적용함
- 달러당 원화 환율은 한국외환은행에서 제시한 1달러당 1,018원을 적용함¹⁹⁾
- 국내선 항공기와 국제선 항공기의 증가율 차이에 따라 기준년도 대비 교통량의 비율이 다르므로 교통량 증가 규모에 따라 각기 다른 SARDA 편익 추정치를 도입하여 편익을 산출한 후 합산하여 총 지연 감소 시간과 총 연료 감소량을 구함
- 연료 감소량의 총합은 위의 제시한 국제 유가 및 환율을 이용하여 편익-비용 분석에 이용할 수 있도록 화폐가치로 환산함

18) 2014년 6월 17일 기준

19) 2014년 6월 17일 기준

구분	국내선		국제선	
	출발 항공기(대)	기준년도 대비 교통량	출발 항공기(대)	기준년도 대비 교통량
	성장률 (2.86%)		성장률 (5.17%)	
2013	3,300	1.0	132,303	1.0
2014	3,394	1.0	139,143	1.1
2015	3,491	1.1	146,337	1.1
2016	3,591	1.1	153,902	1.2
2017	3,694	1.1	161,859	1.2
2018	3,800	1.2	170,227	1.3
2019	3,908	1.2	179,028	1.4
2020	4,020	1.2	188,284	1.4
2021	4,135	1.3	198,018	1.5
2022	4,253	1.3	208,256	1.6
2023	4,375	1.3	219,022	1.7
2024	4,500	1.4	230,346	1.7
2025	4,629	1.4	242,255	1.8
2026	4,761	1.4	254,779	1.9
2027	4,897	1.5	267,951	2.0
2028	5,037	1.5	281,804	2.1

[표 14] 인천공항 출발 항공기 교통량 예측

구분	국내선		국제선		합계	
	지연 감소시간	연료감소량 (Kg)	지연 감소시간	연료감소량 (Kg)	지연 감소시간	연료감소량 (Kg)
2019	11,725	175,876	537,084	8,056,260	548,809	8,232,135
2020	12,060	180,906	564,851	8,472,768	576,912	8,653,674
2021	12,405	186,080	1,089,099	13,861,260	1,101,504	14,047,340
2022	12,760	191,401	1,145,405	14,577,888	1,158,166	14,769,289
2023	13,125	196,875	1,204,623	15,331,564	1,217,748	15,528,440
2024	13,500	202,506	1,266,902	16,124,206	1,280,402	16,326,712
2025	13,887	208,298	1,332,401	16,957,828	1,346,287	17,166,126
2026	14,284	214,255	1,401,286	17,834,547	1,415,570	18,048,803
2027	14,692	342,818	1,473,732	18,756,594	1,488,425	19,099,411
2028	27,706	352,622	1,549,924	19,726,309	1,577,630	20,078,932

[표 15] 출발 관리 시스템 적용 후 예상 효과

구분	연료감소량 (Kg)	연료감소량 (Ton)	달러 환산 (달러)	원화 환산 (원)	원화 환산 (천 원)
2019	8,232,135	8,232	2,783,285	2,833,384,018	2,833,384
2020	8,653,674	8,654	2,925,807	2,978,471,640	2,978,472
2021	14,047,340	14,047	4,749,406	4,834,894,945	4,834,895
2022	14,769,289	14,769	4,993,497	5,083,379,553	5,083,380
2023	15,528,440	15,528	5,250,166	5,344,668,502	5,344,669
2024	16,326,712	16,327	5,520,061	5,619,422,567	5,619,423
2025	17,166,126	17,166	5,803,867	5,908,336,650	5,908,337
2026	18,048,803	18,049	6,102,300	6,212,141,543	6,212,142
2027	19,099,411	19,099	6,457,511	6,573,746,138	6,573,746
2028	20,078,932	20,079	6,788,687	6,910,883,176	6,910,883

[표 16] 연료 감소량 발생 편익

4) 비용의 산정

- 항공관련 사업 시행 시 사업 목적의 달성을 위하여 설정된 대안별로 비용이 발생하며, 이들 비용에는 정부, 공공단체, 혹은 특정 그룹이 지출하거나 소비한 자본, 노동력, 천연자원 등이 필수적인 요소가 포함됨
- 비용은 일반적으로 연구개발비(Research and Development Cost), 투자비(Investment Cost), 운영유지비(Operations and Maintenance Cost), 시스템 폐기 및 회수비용(Termination Cost) 등으로 구분됨
- 본 “항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구” 는 소프트웨어 시스템을 개발하는 연구로서 천연자원 등을 소요하지 않음
- 따라서 비용은 연구개발 및 소프트웨어 개발 비용과 운영 유지비용으로 추정할 수 있으며, 시스템 폐기 및 회수 비용은 무시함
- 본 경제성 분석에서는 1단계인 항공기 출발 관리 기술에 대해서만 분석을 수행할 계획이므로 연구개발기간인 2014년부터 2019년까지 총 5년 동안의 투자비용과 향후 10년간 2028년까지의 연간 유지관리 비용인 투자비용의 10%를 편익-비용분석의 비용으로 산정함
- 향후 5년간 1단계 연구개발을 위해 필요한 투자비용은 아래 [표 6-17]과 같이 연간 소모한다고 가정하였으며 총 14,305,372 천원으로 추정됨
- 연간 유지관리 비용은 1단계 연구개발사업 총 투자비용의 10%인 1,430,537 천원으로 설정함

5) 경제성 분석 결과

- 사회적 할인율 5.5%를 적용하여 비용현가와 편익현가를 계산하고, 순현재가치(NPV)를 계산하면 다음 표와 같음

(단위 : 천원)

구분	연도	편익	편익현가	비용	비용현가	순현재가치
연구 개발 단계	2014	0	0	1,058,208	1,058,208	- 1,058,208
	2015	0	0	3,971,939	3,764,871	- 3,764,871
	2016	0	0	3,245,868	2,916,258	- 2,916,258
	2017	0	0	3,281,522	2,794,589	- 2,794,589
	2018	0	0	2,747,835	2,218,098	- 2,218,098
개 발 완 료	2019	2,833,384	2,167,919	1,430,537	1,094,553	1,073,366
	2020	2,978,472	2,160,124	1,430,537	1,037,491	1,122,633
	2021	4,834,895	3,323,685	1,430,537	983,404	2,340,281
	2022	5,083,380	3,312,324	1,430,537	932,136	2,380,188
	2023	5,344,669	3,301,024	1,430,537	883,542	2,417,482
	2024	5,619,423	3,289,782	1,430,537	837,480	2,452,302
	2025	5,908,337	3,278,598	1,430,537	793,820	2,484,778
	2026	6,212,142	3,267,472	1,430,537	752,436	2,515,036
	2027	6,573,746	6,573,746	1,430,537	713,210	5,860,537
	2028	6,910,883	3,265,872	1,430,537	676,028	2,589,844
합계		52,299,329	33,940,546	28,610,742	21,456,124	12,484,422

[표 17] 비용-편익 및 순현재가치 분석

○ 위의 비용-편익 분석 결과를 이용 경제성 분석 결과는 다음 표와 같음

구분	편익/비용 비율	순현재가치(천원)	내부수익률(%)
값	1.58	12,484,422	9

[표 18] 경제성 분석 결과

- 비용-편익 분석에서 일반적으로 편익-비용 비율>1일 경우 경제적 타당성이 있는 것으로 판단되는데, 본 연구개발의 경우 편익/비용 비율이 1.58로 1.0 보다 크고, 순현재가치가 0보다 크며, 내부수익률은 사회적 할인율 5.5%를 상회함
- 따라서 본 연구개발은 경제적 타당성을 확보했다고 볼 수 있음

6. 소요예산(연차별 예산)

가. 소요예산 산정 방법

- 본 연구는 세부기획과제 도출을 위한 기본기획연구로 절차 개선, 구축, 시스템 개발 등 사업의 우선순위를 정하여 중점 추진이 시급한 세부 기획과제를 도출하였고 그 중 해당 예산은 R&D 필요성이 있는 중점추진과제 『항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구』에 대한 예산 및 인력투입 계획임
- 기획연구의 특성상 투입된 정부출연금의 금액 및 투입인력은 기획연구 수행체계의 특성을 고려하여 일부 증액이 될 수 있음을 가정하였음

1) 총 연구 개발비

- 과업명: 항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구
- 총 연구 기간 : 2014 ~ 2022 (8년)
 - 1단계 : 2014 ~ 2019 (5년)
 - 2단계 : 2019 ~ 2022 (3년)
- 총 소요예산 : 22,000 백만원

단위 : 천원)

비목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	8차년도	합계
직접비	인건비	596,700	2,000,700	2,070,900	2,176,200	1,965,600	1,860,300	1,614,600	1,474,200	13,759,200
	직접비	962,007	3,610,854	2,950,789	2,983,202	2,498,032	2,950,963	2,173,666	1,898,524	20,028,037
간접비		96,201	361,085	295,079	298,320	249,803	295,096	217,367	189,852	2,002,803
합계		1,058,208	3,971,939	3,245,868	3,281,522	2,747,835	3,246,059	2,391,033	2,088,376	22,030,840
		1단계 소계		14,305,372			2단계 소계		7,725,468	

[표 19] 항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구 개발비

2) 인력투입계획

주요 기술 및 Activity	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	8차년도	합계
국내외 항공교통 환경 분석	1.0	2.0	-	-	-	2.0	-	-	5.0
운용개념 수립	1.0	2.0	-	-	-	2.0	-	-	5.0
Enroute Metering 기술 연구	1.0	3.0	5.0	5.0	4.0	-	-	-	18.0
Departure Scheduling 기술 연구	1.0	5.0	7.0	6.0	6.0	-	-	-	25.0
Surface Routing 기술 연구	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	-	-	-	9.0
외부 시스템 연동 기술 연구	0.5	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	15.5
Human-Machine 연계 기술 연구	0.5	4.0	5.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	30.5
시스템 제어 및 모니터링 기술 연구	0.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	14.5
항공교통관리 시뮬레이션 기술 연구	0.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	13.5
Arrival Scheduling 확장 및 연계 기술 연구	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	2.5	3.0	2.0	11.0
통합 시스템 최적화 기술 연구	-	-	-	-	-	6.0	6.0	6.0	18.0
시험평가 기술 연구	1.0	4.0	4.0	5.0	5.0	4.0	4.0	4.0	31.0
합계	8.0	28.0	29.0	30.0	27.0	28.0	24.0	22.0	196.0

[표 20] 연차별 인력 투입 계획

3) 소요예산 상세설계

가) 연구개발비 총계

(단위 : 천원)

비목			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	8차년도	합계	구성비(%)
인건비			596,700	2,000,700	2,070,900	2,176,200	1,965,600	1,860,300	1,614,600	1,474,200	13,759,200	62.5%
직접비	연구 장비 및 재료비	연구기자재 및 시설비	40,000	170,000	45,000	50,000	-	100,000	20,000	-	425,000	1.9%
		시작품 제작비	200,000	1,000,000	400,000	300,000	100,000	600,000	200,000	100,000	2,900,000	13.2%
	연구 활동비	여비	29,835	120,042	103,545	108,810	117,936	93,015	80,730	88,452	742,365	3.4%
		수용비 및 수수료	17,901	60,021	62,127	65,286	58,968	55,809	48,438	44,226	412,776	1.9%
		기술정보 활동비	17,901	60,021	62,127	65,286	58,968	55,809	48,438	44,226	412,776	1.9%
	연구수당		59,670	200,070	207,090	217,620	196,560	186,030	161,460	147,420	1,375,920	6.2%
	소계			962,007	3,610,854	2,950,789	2,983,202	2,498,032	2,950,963	2,173,666	1,898,524	20,028,037
간접비			96,201	361,085	295,079	298,320	249,803	295,096	217,367	189,852	2,002,804	9.1%
합계			1,058,208	3,971,939	3,245,868	3,281,522	2,747,835	3,246,059	2,391,033	2,088,376	22,030,840	100.0%
			1단계 소계				14,305,372	2단계 소계		7,725,468		

[표 21] 공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구 연구개발비

나) 인건비 기준

① 월기준단가	② 증액률	③ 확장율	월 인건비 (①×②×③)
4,500,000원	110%	120%	5,850,000원

과제 난이도	인건비 증액률	증액률 산정
세계선도 최초기술	130%	
세계수준 동일기술	120%	
국내 최고수준	110%	√
국내 자립기술	100%	

기술준비도 수준	인건비 산정범위(%)	확장인건비 산정
개발연구	120%	√
응용연구	110%	
기초연구	100%	

[표 22] 인건비 산출 기준

다) 인건비 산출

(단위 : 천원)

주요 기술 및 Activity	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	8차년도	합계
국내외 항공교통 환경 분석	70,200	140,400	-	-	-	140,400	-	-	351,000
운용개념 수립	70,200	140,400	-	-	-	140,400	-	-	351,000
Enroute Metering 기술 연구	70,200	210,600	351,000	351,000	280,800	-	-	-	1,263,600
Departure Scheduling 기술 연구	70,200	351,000	491,400	421,200	421,200	-	-	-	1,755,000
Surface Routing 기술 연구	70,200	140,400	140,400	140,400	140,400	-	-	-	631,800
외부 시스템 연동 기술 연구	35,100	140,400	140,400	210,600	140,400	140,400	140,400	140,400	1,088,100
Human-Machine 연계 기술 연구	35,100	280,800	351,000	351,000	280,800	280,800	280,800	280,800	2,141,100
시스템 제어 및 모니터링 기술 연구	35,100	140,400	140,400	140,400	140,400	140,400	140,400	140,400	1,017,900
항공교통관리 시뮬레이션 기술 연구	35,100	140,400	140,400	140,400	140,400	140,400	140,400	70,200	947,700
Arrival Scheduling 확장 및 연계 기술 연구	35,100	35,100	35,100	70,200	70,200	175,500	210,600	140,400	772,200
통합 시스템 최적화 기술 연구	-	-	-	-	-	421,200	421,200	421,200	1,263,600
시험평가 기술 연구	70,200	280,800	280,800	351,000	351,000	280,800	280,800	280,800	2,176,200
합계	561,600	1,965,600	2,035,800	2,106,000	1,895,400	1,965,600	1,684,800	1,544,400	13,759,200

[표 23] 인건비 산출

라) 연구시설 및 장비비 산출

(단위 : 천원)

연차	장비명	용도	비용	합계
1차년도	개발 자료 관리 서버	개발 자료 관리	10,000	40,000
	요구도 관리 시스템	요구도 관리	15,000	
	문서관리 및 개발 소프트웨어 (Acrobat, Visio, VisualStudio 등)	개발 문서 관리	15,000	
2차년도	형상 관리 시스템	형상 관리	20,000	170,000
	알고리즘 설계 구현 툴(MATLAB)	알고리즘 설계 및 구현	50,000	
	어플리케이션 서버 (2중화)	알고리즘 개발 및 시범 운용 시스템 구축	50,000	
	인터페이스 서버 (2중화)	DMAN 시범 운용 시스템 구축	50,000	
3차년도	데이터베이스 서버	DMAN 시범 운용 시스템 구축	25,000	45,000
	DBMS	DMAN 시범 운용 데이터 관리	20,000	
4차년도	스토리지, 방화벽, 운영 PC, 서버랙 등	DMAN 시범 운용 시스템 구축	50,000	50,000
5차년도	-	-	-	-
6차년도	어플리케이션 서버 (2중화)	DMAN/AMAN 통합 시스템 구축	50,000	100,000
	인터페이스 서버 (2중화)	DMAN/AMAN 통합 시스템 구축	50,000	
7차년도	노후 장비 업그레이드	노후 장비 업그레이드	20,000	20,000
8차년도	-	-	-	-
합계			425,000	425,000

[표 24] 연구 시설 및 장비비 산출

마) 시작품 제작비 산출

(단위 : 천원)

연차	시작품명	용도	비용	합계
1차년도	통합 시범 운용 시스템 설계	시스템 설계	100,000	200,000
	지상 및 항공교통 시뮬레이션 시스템 설계	DMAN 알고리즘 개발 및 시험	100,000	
2차년도	지상 및 항공교통 시뮬레이션 시스템 설계/구현	DMAN 알고리즘 개발 및 시험	900,000	1,000,000
	Human-Machine Interface 설계	Situation Awareness 및 Advisory 현시	100,000	
3차년도	시스템 제어 및 모니터링 설계	시스템 제어 및 모니터링	100,000	400,000
	Human-Machine Interface 구현	Situation Awareness 및 Advisory 현시	300,000	
4차년도	시스템 제어 및 모니터링 구현	시스템 제어 및 모니터링	300,000	300,000
5차년도	시험 평가 기법 연구 용역	시험평가 절차서 수립 및 시험 평가 수행	100,000	100,000
6차년도	AMAN 시스템 업그레이드	주요공항 AMAN 확대 적용	400,000	600,000
	AMAN/DMAN데이터연동	AMAN/DMAN 통합	200,000	
7차년도	시스템 제어 및 모니터링 기능 확장	시스템 제어 및 모니터링	100,000	200,000
	Human-Machine Interface 기능 확장	Situation Awareness 및 Advisory 현시	100,000	
8차년도	통합 시스템 시험 기법 연구 용역	시험평가 절차서 수립 및 시험 평가 수행	100,000	100,000
합계			2,900,000	2,900,000

[표 25] 시작품 제작비 산출

마) 여비산출

(단위 : 천원)

연차	인건비	비율	합계
1차년도	596,700	5.0%	29,835
2차년도	2,000,700	6.0%	120,042
3차년도	2,070,900	5.0%	103,545
4차년도	2,176,200	5.0%	108,810
5차년도	1,965,600	6.0%	117,936
6차년도	1,860,300	5.0%	93,015
7차년도	1,614,600	5.0%	80,730
8차년도	1,474,200	6.0%	88,452
합계			742,014

[표 26] 여비산출

사) 수용비 및 수수료 산출

(단위 : 천원)

연차	인건비	비율	합계
1차년도	596,700	3.0%	17,901
2차년도	2,000,700	3.0%	60,021
3차년도	2,070,900	3.0%	62,127
4차년도	2,176,200	3.0%	65,286
5차년도	1,965,600	3.0%	58,968
6차년도	1,860,300	3.0%	55,809
7차년도	1,614,600	3.0%	48,438
8차년도	1,474,200	3.0%	44,226
합계			412,776

[표 27] 수용비 및 수수료 산출

아) 기술정보활동비 산출

(단위 : 천원)

연차	인건비	비율	합계
1차년도	596,700	3.0%	17,901
2차년도	2,000,700	3.0%	60,021
3차년도	2,070,900	3.0%	62,127
4차년도	2,176,200	3.0%	65,286
5차년도	1,965,600	3.0%	58,968
6차년도	1,860,300	3.0%	55,809
7차년도	1,614,600	3.0%	48,438
8차년도	1,474,200	3.0%	44,226
합계			412,776

[표 28] 기술정보활동비 산출

자) 연구수당 산출

(단위 : 천원)

연차	인건비	비율	합계
1차년도	596,700	10.0%	59,670
2차년도	2,000,700	10.0%	200,070
3차년도	2,070,900	10.0%	207,090
4차년도	2,176,200	10.0%	217,620
5차년도	1,965,600	10.0%	196,560
6차년도	1,860,300	10.0%	186,030
7차년도	1,614,600	10.0%	161,460
8차년도	1,474,200	10.0%	147,420
합계			1,375,920

[표 29] 연구수당 산출

차) 간접비 산출

(단위 : 천원)

연차	직접비	비율	합계
1차년도	962,007	10.0%	96,201
2차년도	3,610,854	10.0%	361,085
3차년도	2,950,789	10.0%	295,079
4차년도	2,983,202	10.0%	298,320
5차년도	2,498,032	10.0%	249,803
6차년도	2,950,963	10.0%	295,096
7차년도	2,173,666	10.0%	217,367
8차년도	1,898,524	10.0%	189,852
합계			2,002,804

[표 30] 간접비 산출

7. 과제제안요구서

가. 과제제안요구서(RFP)

연구과제명	항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구
1. 연구개발 목표	○ 항공기 출발 및 도착 효율 향상을 위한 통합 관제 최적화 및 관리 기술
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□ 연구개발 필요성 ○ 공항 주변 혼잡 및 중첩구역에서의 출발관리(DMAN²⁰⁾) 및 도착관리(AMAN²¹⁾)는 운항 안전성 확보, 지연 최소화, 효율성 증대를 위해 필요함. ○ 본 연구에서의 출발관리는 시간 기반 미터링을 이용한 대기열 관리, 항로 구역상황에 최적화된 출발허가 발부, 지상교통 관리(SMAN²²⁾) 등을 포함 또는 연계하는 개념임. ○ 국내의 경우, 구역에서의 항공교통 흐름을 통합적으로 고려하여 중국/일본 등 인접국의 교통상황 및 국내 구역 상황에 탄력적으로 대비할 수 있는 출발관리 시스템이 필요함. ○ 출발관리 관련 국내 교통 상황을 살펴보면, 인천공항과 김포공항이 매우 근접해 있어 양 공항에서 출발한 항공기들이 서로 영향을 미치며, 중국 상하이 FIR²³⁾과 서울 TMA²⁴⁾가 인접함으로 인해 국제선 항공편 출발 시 구역 상황에 구애 받는 경우가 많음. 따라서, 국내에서의 출발 관리 연구는 이러한 구역 특성을 구속조건으로 고려하여 최적화할 필요 있음. ○ 도착관리의 경우 출발관리에 비해 그 개념과 용도가 먼저 명확화 되었으며, 도착관리를 위한 관제지원시스템이 국토교통부의 발주 하에 용역사업으로 진행되고 있음. 인천공항 레이더 관제시스템 개량사업에도 도착관리시스템이 포함되어 있음. ○ 미래 교통상황에서는 개별 공항 대상의 도착관리만으로 교통

	효율화를 이루기 힘들며, 공항 기준 In-Bound 항공기들의 지연 흡수를 항로 상에서 소화하고, 인접 항로 상의 교통상황을 고려하여 Out-Bound 항공기들의 출발을 관리하는 형식의 출발관리/도착관리의 연계운영이 요구됨. ○ 우리나라의 경우, 교통량이 집중되는 서울 TMA-제주 TMA 구간에서 청주, 대구, 김해 공항에서 출발하는 항공기들이 중간에 합류하는 경우가 많아, 효율적인 교통흐름을 위해 출도착 통합관리가 필요함. ○ ASBU²⁵⁾의 Block 0 단계에서는 각각 독립적인 AMAN과 DMAN 자동화를 목표로 하며, Block 1 단계에서 AMAN의 확대 적용 및 SMAN/DMAN의 통합, Block 2 단계에서 AMAN/DMAN 통합 운영을 목표로 함.
□ 국내외 기술동향	○ 국내 기술 동향 - 국내에서는 「성능기반항행(PBN²⁶⁾) 전환용역」을 통해 인천, 제주공항에 Point Merge 절차를 설계하였으며, 「도착관리시스템(AMAN) 구축을 위한 프로토타입 개발」을 통해 AMAN 프로토타입이 개발됨. - 2014년 현재, 「도착관리(AMAN) 시스템 구축 용역」을 통해 제주공항에 도착하는 항공기를 대상으로 시스템 구축 용역이 착수된 상태이며, 개발 이후 항공교통센터 및 제주공항에 시스템이 설치될 예정임. - 현재까지 국내에서 DMAN 관련 본격적인 연구는 진행된 바 없음. - 서울접근관제소 관제시스템 개량사업에 AMAN/DMAN 기능을 구축하고, 인천공항 3단계 A-CDM²⁷⁾ 준공(2017.9.), 이후 연계 운영 추진 예정임. - 2013년부터 「항공기 지상이동유도 및 통제시스템(A-SMGC S²⁸⁾) 개발」 연구가 진행 중임. ○ 국외 기술 동향 - 유럽 • 1990년대 후반부터 AMAN 개발이 시작되어, 현재 MAESTRO, OSYRIS, 4D Planner 등 상업용 프로그램

이 다수 개발 되어 사용 되고 있음. 벨기에, 덴마크, 프랑스, 영국 등 일부 국가에서 기본 AMAN을 이행 중 이거나 이행 계획을 가지고 있음.

- Eurocontrol이 DLR과 공동으로 2000년 DMAN Prototype을 개발한 이래 연구기관과 기업을 중심으로 많은 연구가 진행되었으며, 드골공항 등 유럽 주요공항에 배치, 운용 중에 있음.
- SMAN에 해당하는 일부 기능이 A-SMGCS의 일부분으로 간주되어 2010-2015 내에 향상된 감시기능을 통한 필드 테스트가 예정됨.
- 2014년 현재, 파리, 취리히, 브뤼셀 등에서 HITL²⁹⁾ 시뮬레이션을 통해 DMAN/SMAN, AMAN/DMAN, AMAN/DMAN /SMAN 등의 통합된 시스템에 대한 검증 수행 중임.

- 미국

- NASA에서는 유럽의 DMAN에 해당하는 SARDA³⁰⁾를 이용하여 미국 달라스 포트워쓰 공항(DFW)을 모델링한 후, 2012년 5월 NASA Ames에서 HITL 모의시험을 수행함. 그 결과 Medium Traffic 기준, 평균 3분 지연 감소 (45% 감소), 대당 평균 45kg 연료 감소 (22% 감소), Heavy Traffic 기준, 평균 5.5분 지연 감소 (60% 감소), 대당 평균 70kg 연료 감소 (34% 감소), 연 740만 달러 절감 효과가 예상된다는 결론을 얻은 바 있음.
- 또한, 항로 공역 교통상황과 지상교통을 통합적으로 고려한 통합 출발 관리 시스템인 PDRC³¹⁾에 대한 연구를 수행하여 현재 FAA에 기술 이전을 진행 중임.
- FAA에서 2009년 출발흐름관리(Departure Flow Management)의 프로토타입을 개발하였으며 미국 내 두 개 지역에서 출발흐름관리에 대한 시험 운용을 계획 중이며, 초기운용능력(Initial Operation Capacity)은 2014년 예상됨.
- JFK 공항이 4개월 간 활주로 보수작업으로 인해 일부

활주로를 폐쇄, 이 기간 중 출발 항공기 대기열 관리를 통하여 많은 효과를 보았으며, 보수작업 후에도 지속적으로 절차를 운영 중에 있음.

- 미국 내 20개의 항로교통센터에서 시간기반 자동화 툴로서 TMA³²⁾를 사용 중이며, 현재 RNAV³³⁾/RNP³⁴⁾ 절차를 지원하는 터미널 미터링의 시뮬레이션을 수행 중임. 이는 2018년까지 TBFM³⁵⁾에 통합될 것으로 예상됨.

3. 연구개발내용

□ 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(VTT³⁶⁾) 정밀 예측 연구

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

A-SMGCS 연구개발 과제 성과와의 연계 또는 성과 활용 방안 제시 필요)

○ 출발 스케줄링 핵심 기술 연구

- 출발관리 주요 마일스톤 별 외부 시스템과의 정보(CTOT³⁷⁾, EOBT³⁸⁾, TOBT³⁹⁾ 등) 연계 방안 수립
- 가변 활주 시간(VTT) 적용(공항 지상감시기술 및 항공기 지상 이동경로 배정 기술 통합)
- 합류지점의 공역 교통상황 예측 결과 및 항공기 간 분리 기준(예: 후류분리, SID⁴⁰⁾ 분리) 등 최적화 구속조건 반영
- 대기열(활주로 및 주기장 출구 등) 최소화를 위한 최적 출발 순서, 출발 시각(TTOT⁴¹⁾) 산출
- TSAT⁴²⁾ 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) 절차를 활용한 도착관리 스케줄링 및 관제 조언 생성
 - 기 개발 구축된 도착관리 시스템(국토부 용역 성과) 시범운용 중 제시된 사용자 추가 요구사항 반영
- (※ 기 개발/구축된 도착관리 시스템(국토부 용역 성과) 활용)

○ 외부 시스템 연동 프로그램 개발

- 외부 입력 및 출력 데이터 정의
- 비행 계획 제공 시스템(AFTN⁴³⁾, FDP⁴⁴⁾ 등)과 연동
- 항적 제공 시스템(SDP⁴⁵⁾, ASDE⁴⁶⁾, A-SMGCS 등)과 연동
- 기타 연동 시스템 정의 및 연동

○ 사용자 프로그램 개발

- 관리자 및 관제석(계류장/지상/국지 관제)별 HMI⁴⁷⁾ 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
- (※ 시험 평가 과정에서 국제 공동 연구를 통해 획득될 수 있는 기술 또는 톨을 적극 활용하도록 노력)

□ 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
- 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/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 - Real-Time 시뮬레이션 시스템 구축 - HITL 시뮬레이션을 통한 출도착 통합관리의 효용성 분석 및 도입에 따른 편익 평가 - 현장 시범 운용
4. 연구 추진방법	○ 국내 관산학연 공동 연구 □ 추진전략 및 체계 - 국내 항공교통 환경 분석, DMAN 운용 및 AMAN/DMAN 통합 운용을 위한 운용개념 수립, 핵심 알고리즘 개발, HITL 시뮬레이션 및 시범 운용 등을 위해 국토교통부, 전문 연구원, 기업, 공항공사 및 학계의 원활한 협력이 필수적임 ○ 국내 기 획득 기술 활용 - 구축 진행 중인 AMAN 사업, 기타 연구 개발 완료 또는 진행 중인 관제 관련 과제에서 기 획득한 요소 기술(4-D 궤적 모델링 기술, Real-Time ATM 시뮬레이션 기술, 공항 지상이동 경로배정 및 감시 기술, 감시 자료 처리 기술, 관제 Advisory 정보 생성 기술, 다양한 목적함수에 대한 최적화 기술 등)을 효과적으로 활용 ○ 국제 공동 연구를 통한 교통관리 시험 평가 기술 획득 추진 - NASA 등 선진 항공교통관리 연구기관과의 협력을 통한 기술 격차 해소 노력 - ATM 기술 개발 및 효용성 검증 프로세스 관점(운용개념 수립 - 시제개발 - 시뮬레이션 - 시범 운용 - 현장 운용)에서 선진 해외연구기관의 경험 및 기술 획득 추진
5. 최종성과물	

□ 1단계 : 항공기 출발 관리 기술 연구

- 분석 보고서 및 운용 개념 기술서
 - 국내 ATM 환경 분석 및 필요 자료 분석 보고서
 - 운용 개념 기술서
- 출발관리 시스템
 - 공역 교통상황 모니터링 및 예측 프로그램
 - 항공기 출발관리를 위한 스케줄링 프로그램
 - 외부 시스템 연동 프로그램
 - 사용자 프로그램
 - 시스템 제어 및 모니터링 프로그램
 - 시스템 요구사항 명세서
 - 소프트웨어 개발 및 시험 문서
 - 시스템 시험 결과서
- 출발관리 검증용 시뮬레이션 도구
 - Fast-Time 시뮬레이션 프로그램
 - Real-Time 시뮬레이션 시스템
- 결과 보고서
 - Fast-Time, Real-Time 시뮬레이션 기반, 편익 분석 보고서
 - 시범 운용 결과 보고서

□ 2단계 : 항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구

- 분석 보고서 및 운용 개념 기술서
 - 국내 항공교통상황 분석 보고서
 - 출도착 통합 관리 운용 개념 기술서
- 출도착 통합 관리 시스템
 - 통합용 AMAN, DMAN 프로그램
 - 외부 시스템 연동 프로그램
 - 사용자 프로그램
 - 시스템 제어 및 모니터링 프로그램
 - 시스템 요구사항 명세서

- 소프트웨어 개발 및 시험 문서 - 시스템 시험 결과서 ○ 통합관리 검증용 시뮬레이션 도구 - Fast-Time 시뮬레이션 프로그램 - Real-Time 시뮬레이션 시스템 ○ 결과 보고서 - Fast-Time, Real-Time 시뮬레이션 기반, 편익 분석 보고서 - 시범 운용 결과 보고서	
6. 연구기간 및 소요예산	○ 총 연구기간 : 2014 - 2022 (8년) - 1단계 : 2014 - 2019 (5년) - 2단계 : 2019 - 2022 (3년) - 당해년도 연구기간 : 2014 - 2015 (협약일로부터 6개월) ○ 총 소요예산 : 22,000 백만원 - 당해년도 소요예산 : 1,000 백만원
7. 기타	○ 본 과제는 “지식서비스 분야”의 과제로 「국토교통기술연구 개발사업 관리지침」에 명시되어 있는 “별표5. 내부인건비 지급 세부기준”에 따름

- 20) DMAN : Departure Management(또는 Manager)
- 21) AMAN : Arrival Management(또는 Manager)
- 22) SMAN : Surface Management(또는 Manager)
- 23) FIR : Flight Information Region
- 24) TMA : Terminal Maneuvering Area
- 25) ASBU : Aviation System Block Upgrade
- 26) PBN : Performance Based Navigation
- 27) A-CDM : Airport Collaborative Decision Making
- 28) A-SMGCS : Advanced Surface Movement Guidance and Control System
- 29) HITL: Human-In-The-Loop
- 30) SARDA : Spot and Runway Departure Advisor
- 31) PDRC : Precision Departure Release Capability
- 32) TMA : Traffic Management Advisor
- 33) RNAV : Area Navigation
- 34) RNP : Required Navigation Performance

-
- 35) TBFM : Time Based Flow Management
 - 36) VTT : Variable Taxi Time
 - 37) CTOT: Calculated Take-Off Time
 - 38) EOBT: Estimated Off-Block Time
 - 39) TOBT : Target Off-Block Time
 - 40) SID : Standard Instrument Departure
 - 41) TTOT: Target Take-Off Time
 - 42) TSAT: Target Startup Approval Time
 - 43) AFTN : Aeronautical Fixed Telecommunication Network
 - 44) FDP : Flight Data Processor
 - 45) SDP : Surveillance Data Processor
 - 46) ASDE : Airport Surface Detection Equipment
 - 47) HMI : Human Machine Interface

나. 평가기준

1) 평가 기준 설정

- 연구개발사업의 효율성 및 투명성을 제고하기 위해서 국토교통과학기술진흥원을 중심으로 항행시스템 및 관련분야의 전문가 등으로 구성된 위원회 구성하여 연구 개발 사업 수행 정도를 평가하도록 함
- 평가위원회는 기존의 국토부 미래 항공교통시스템 전환 계획의 TFT 멤버로 구성하거나, 향후 전환계획 추진의 일환으로 구성될 Working Group의 멤버들로 구성될 수 있음
- 구성된 성과평가위원회는 사업관리 실태를 평가하는 기관역량평가와 사업 성과평가를 실시하여 성과평가 종합보고서를 작성하고 해당 부처 및 기관에 송부하여 업무에 활용할 수 있도록 함
- 사업 연차 및 단계평가와 전체 사업 평가를 연계하고, 사업초기 및 연도별 사업년도 초기의 지표설정 단계에서부터 참여기관간 공동대응



[그림 10] 성과평가 체계 및 진행도

구 분	연차평가	실사평가
주 기	연차별 진도관리평가 및 최종평가	중요 시스템개발단계
실시시기	연차별 과제종료 시점	중요 시스템개발단계 수행 후
주 체	국토교통과학기술진흥원	국토교통부
내 용 및 방 법	연구책임자는 당해연도 연구결과를 발표하고 당해연도 사업 평가를 성과평가위원회로부터 받음	연구책임자는 중요 시스템개발단계 수행 후 해당 사업의 시스템개발단계의 평가를 성과평가위원회로부터 받음
결 과	지적사항에 대한 조치 및 승인 후 차년도 진행	지적사항에 대한 조치 및 승인 후 다음 단계 진행

[표 31] 연차 및 단계별 성과평가 방법