

기획보고서

신규사업 기획보고서

「빅데이터를 활용한 지능형 활주로 침범
자동경고 시스템(ARIWS) 개발」

2025. 7.

국토교통과학기술진흥원
우주항공실

목 차

제1장 사업추진 개요	1
1. 추진 배경	1
2. 추진 필요성	2
3. 해결하고자 하는 문제/이슈	3
4. As Is - To Be	4
5. 핵심기술 도출	5
제2장 대내외 환경 분석	6
1. 정책 동향	6
2. 기술 동향	8
제3장 연구내용	10
1. 중점 추진분야 및 구성기술	10
2. 구성 기술별 연구내용	20
3. 성과목표 및 지표	24
3.1 구성기술별 최종 결과물	24
3.2 단계별 연차별 성과목표 및 지표	24
3.3 구성기술별 연계체계 및 로드맵	26
4. 연구개발 성과관리 및 활용계획	27
4.1 연구개발성과물 검증 및 관리방안(테스트베드 구축 및 시험)	27
4.2 연구개발성과물 활용방안	27
5. 기존 유사사업과 차별성 및 연계 활용 방안	28
제4장 소요예산	30
1. 소요인력	30
2. 총연구비, 연도별 연구비(정부/민간)	31
제5장. 기대효과 및 파급효과	33
1. 수혜자 및 편익항목	33
2. 기대효과 및 파급효과	34
[부록]	
상세 연구비 내역	35

제1장 사업추진 개요

1. 추진배경

1.1 기술의 정의

○ 활주로 침입방지 기술

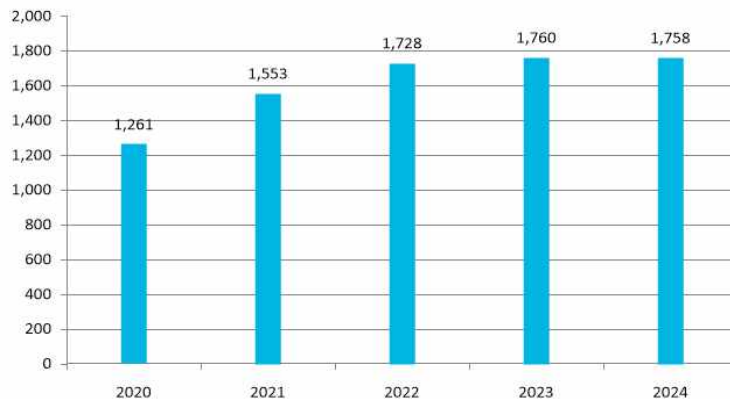
- 항공 교통량이 매해 증가하는 전 세계적인 추세에 따라 늘어나는 공항 혼잡도로 인한 활주로 침입사고가 항공안전의 주요 관심사가 되고 있으며, 항공기 충돌사고를 방지하기 위한 활주로 침입 방지 기술도입이 항공안전분야 핵심 이슈로 부각되고 있음.

○ 항공기 충돌방지 시스템

- 항공기 활주로 점유 시, 조종사 및 지상 차량 운전자에게 활주로 침입 방지를 위한 경고신호를 신속하게 시각적으로 자동 제공하는 기술 개발을 목표로 함
- 이러한 항공기 충돌 방지시스템 기술에 대한 선제적인 개발을 통하여 항공교통 안전을 확보함과 동시에 국내공항 및 신공항, 해외공항까지 진출로 항공안전기술의 혁신 및 국가적 위상 제고하고자 함.

1.2 추진 배경

○ 활주로 침입(Runway Incursion)의 지속적 발생



[그림 1] 미국 내 분기별 활주로 침입 통계 (FAA)

- 1977년 테네리페 참사, 1991년 LAX 지상충돌 사고 등 대형 인명사고를 겪으며, 활주로 침입 방지가 국제 항공 안전의 최우선 과제로 부상함
- 그럼에도 전 세계 항공 교통량 증가로 활주로 침입 사고는 증가 추세에 있으며, 미국 내 활주로 침입 사고는 2021년 1,574건에서 2023년 1,760건으로 약 12% 증가함
- 미 연방항공청(FAA)은 활주로 침입의 주요 원인으로 조종사 위반, 관제사 운영 실수, 차량 및 보행자 위반 등 인적 요인을 지목
- 이러한 문제는 특정 국가나 지역에 국한되지 않은 전 세계적인 현상이며, 관련 사고로 항공산업은 월평균 5억 달러 규모의 경제적 손실 초래

○ 활주로 침입에 대한 해결 대안 부재

- 활주로 침입은 대형 인명사고를 유발할 수 있는 사고 유형으로, ICAO에서는 이를 고위험 사고 범주(HRCs)로 구분하고 있음
- 대부분의 활주로 침입은 인적 요인에서 비롯되며, 이는 인간의 판단이 시스템보다 우선될 때 나타나는 구조적 취약성과 밀접한 관련이 있음
- 기존의 관제 절차나 운항 기준, 교육 강화만으로는 예방 효과에 그치는 한계가 있으며, 이를 근본적으로 해결하기 위한 기술적·제도적 대응 방안 마련 시급
- 이에 ICAO, IATA 등 주요 국제기관들은 활주로 침입 방지를 위한 대책 마련을 지속적으로 권고하고 있으며, 국내에서도 관련 기술 도입과 제도 개선의 필요성이 제기되고 있음

2. 추진 필요성

○ 최근 활주로 침입 사고·준사고 증가에 따른 대응 필요성



[그림 2] 일본 하네다공항 활주로 침입 사고

- 2023년 미국 내 19건의 심각한 근접 사고(Category A/B)와 日 하네다공항 활주로 침입 충돌사고로 인해 활주로 침입 방지 기술 마련의 필요성이 커지고 있음
- 특히 하네다공항 사고로 인해 5명의 사망자와 수백억 원 규모의 재산 피해가 발생했으며, 이는 활주로 침입이 중대한 항공사고로 직결될 수 있음을 보여줌
- 이를 계기로 미국과 일본은 항공기 충돌방지 시스템에 대한 대규모 투자를 확대하고 있으며 제도적 대책을 마련 중임
- 국내에서도 2023년 김포공항 대한항공-에어부산 근접 사건, 2025년 김해공항 중화항공 활주로 오착륙 등 유사 준사고가 지속적으로 발생하여 대형사고가 발생, 관련 기술개발 추진 시급

○ 활주로 침입 방지를 위한 기술적 대응

<활주로상대등 및 항공기 충돌방지시스템 적용공항>

- ☑ 미국 : 볼티모어, 워싱턴, 보스턴 등 20개 공항
- ☑ 일본 : 후쿠오카, 오사카 등 5개 이상의 공항
- ☑ 유럽 : 프랑스 샤를드골 공항, 터키 이스탄불 공항

- 미국, 일본, 유럽 등 해외 주요 공항들은 활주로상태등(RWSL)과 항공기 충돌방지 시스템(ARIWS)을 선제적으로 구축하여 운영 중
- FAA 보고서(2019)에 따르면, 해당 시스템이 설치된 공항에서는 활주로 침입 사고율이 평균 52% 감소하고, 약 15,484건의 잠재 사고를 예방한 것으로 나타남
- 반면, 국내공항에는 아직 RWSL과 ARIWS가 적용된 사례가 없어, 국산화 및 도입을 통해 활주로 침입 사고를 예방할 수 있는 기반 마련 필요
- 특히 해당 기술은 국내공항뿐만 아니라 해외시장 진출까지도 고려할 수 있는 전략적 기술로, 선제적 도입과 기술 확보 필요

3. 해결하고자 하는 문제/이슈

○ 활주로 침입 사고의 지속적 발생 위험



[그림 3] 국내 활주로 침입 및 오착륙 사례 (김포공항, 김해공항)

- 2023년 김포국제공항에서 에어부산 항공기의 이륙 중 대한항공 항공기가 활주로에 침입하는 사건이 발생하였으며, 이는 관제사와 조종사의 명백한 인적오류로 확인됨
 - 2025년 김해국제공항에서는 활주로에 진입 대기 중인 항공기를 인지하지 못한 채 허가받지 않은 활주로에 착륙하는 사례가 2건 연이어 발생
 - 최근 국내 사례는 실제 사고로 이어지지 않았으나, 활주로 침입은 단 한 번의 사고로도 대형 인명피해를 초래하는 고위험 요소인 만큼, 선제적인 기술적·제도적 대책 마련 시급
- 활주로 침입을 막는 기술적 대안 필요
- 기존의 관제시스템과 절차는 인적오류에 의존하는 부분이 많아, 활주로 침입을 예방하는 데 한계 존재
 - 인적오류와 시스템 문제로 인한 사고를 해결하기 위해, 기술적 대안이 필요한 상황이며, 국제적으로 연구되고 있는 새로운 활주로 침입 방지 기술 도입 요구
 - 활주로상태등(RWSL)과 항공기 충돌방지 시스템(ARIWS) 도입을 통해 인적 실수를 줄이고, 사고를 예방할 수 있는 혁신적 해결책이 필요함
- 활주로 침입 관리를 위한 국내 기술력 필요
- 현재 해외 기업(ADS Safegate)이 활주로 침입 관리를 위한 기술을 독점적으로

보유하고 있고 Honeywell이 기술개발을 추진하고 있어서, 해외기술들의 항공산업 시장 지배가 예상되는 상황임

- 국내공항에 적합한 기술 개발과 도입을 통해 해외기술 의존도를 줄이고, 자체적인 활주로 안전체계 구축기술을 확보하여야 함

4. As Is - To Be

○ 항공기 충돌방지시스템 도입 전/후

구분	As Is	To Be
발생 빈도	활주로침입은 공항 교통량 증가에 따라 지속적으로 증가하는 추세	활주로 침입사고 50~ 70% 획기적 예방효과
상황 인식방법	조종사와 차량 운전자는 관제사의 지시와 항공기 항법장비, 공항차트, 육안에 의존	다른 항공기/차량이 활주로를 점유 중일 때 활주로 진입등(RELs)이나 이륙대기등(THLs)을 적색으로 자동 점등하여 조종사/지상 차량 운전자에게 직접적 시각적 경고를 제공
지상 교통 정보	관제사는 레이더 기반의 ASDE-X 등으로 지상 트래픽을 감시했지만, 항공기/차량 운전자에게는 시각화된 정보가 제공되지 않음	활주로의 실시간 안전 상태를 명확한 적색 또는 소등 (안전하지 않음 또는 안전함)으로 보여주어, 조종사와 운전자가 복잡한 지상 상황을 훨씬 직관적으로 이해 시킴
운영 효율성	안전을 확보하기 위해 관제사가 추가적인 확인절차를 거치거나, 시정 불량 시 지상 이동 속도를 제한하는 등 운영 지연 발생	실시간 안전정보는 불필요한 대기 시간을 줄이고, 안전을 유지하면서도 지상 트래픽 흐름을 원활하게 하면서도 관제사의 업무부담 일부 경감
인적 오류의 감소	조종사나 관제사의 피로, 의사소통오류, 주의분산 등으로 인한 판단 착오가 사고로 이어질 수 있는 취약점 상존	관제시스템/조종사판단과는 독립적인 안전계층을 추가하여, 단일지점의 인적오류와 의사소통의 오류를 직접적인 시각경고로 보완하여 대형사고로 이어지는 것을 방지
기술 및 인프라	지상 레이더(ASDE)와 트랜스폰더 기반의 감시가 이루어졌으며, 등화 시스템은 관제사의 수동 제어 또는 비상등 기능에 국한	ASDE-X, MLAT, ADS-B 등 다양한 고정밀 감시 장치로부터 실시간 위치 데이터를 수신하고 이를 융합 하여 활주로 내 모든 이동체의 위치를 정확히 파악
국제 표준의 준수	ICAO의 ARIWS(RWSL) 도입 권고가 있었지만, 국내에서는 관련 기술개발이 미흡하여 국제 표준에 대한 적극적인 대응 곤란	ICAO 부속서 14의 RWSL 사양을 준수하는 시스템을 개발함으로써, 국제 항공 안전 표준을 만족하고 항공 선진국으로서의 위상을 강화
항공기 기술 자립	소수의 해외기업들에 의해 항공안전 기술이 종속되고 시스템 도입시 가격 협상력 제한	국내 독자 기술로 RWSL 시스템을 개발하여 해외 의존도를 낮추고, 관련 기술 경쟁력을 확보하여 향후 해외시장 진출의 기반 마련

5. 핵심 기술 도출

이슈 및 기술수요		핵심기술 후보
활주로침범 사고 위험의 지속적 증가	항공 교통량 증가에 따른 활주로 혼잡도 상승으로 활주로 침범 및 충돌 사고의 위험성 감시 및 조치 필요	시스템
인적/기술적 오류에 대한 대응 한계	기존 관제사의 육안 및 무선교신, 조종사 판단에 의존한 위험 회피의 별도 자동화 시스템 필요성 증대	
국내 환경에 맞는 기술력 부재	조속한 국내기술 개발 추진 필요	
복잡한 지상환경에서의 정밀감시 기술	고정밀 GNSS 및 RTK 기술을 활용한 항공기/차량 위치 정밀 감지 및 추적 센서 필요	<div>핵심기자재</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> - RWSL 등기구 - 공항 실증용 인프라 </div>
위험상황에 대한 정확한 예측 및 신속한 경고 중요	활주로 점유 및 안전 관리를 위한 ARIWS 소프트웨어 기술 필요	
RWSL 전용 활주로 등화 제어 기술	<ul style="list-style-type: none"> - RWSL등화를 제어하기 위한 실시간 최소 지연 등화 제어 기술 - 관제사 개입 없는 자동화 등화 제어 - 비상 상황 대비 등화 제어 	
시스템 통합 및 관제제어 기술 필요	<ul style="list-style-type: none"> - 공항 감시시스템의 효율적인 통합 연계 - ARIWS와 RWSL 등화 제어 시스템의 통합 - 관제사와 유지보수자를 위한 기능 요건 	<div>실증 연구</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> - 테스트 베드 구축 및 시험 - 공항현장 설치 및 실증 </div>
디지털트윈 기반 시험 및 검증 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 정교한 공항 모델링 및 트래픽 시나리오 시뮬레이션 - RWSL시스템 모델통합 및 분석/시각화 	
신속한 등화 조치를 위한 유지보수 모니터링 필요	실제 공항 도면을 기반 등화 위치 및 상태 표시로 유지보수 모니터링	

제2장 동향분석

1. 정책동향

1.1 해외 동향 및 정책

○ ICAO

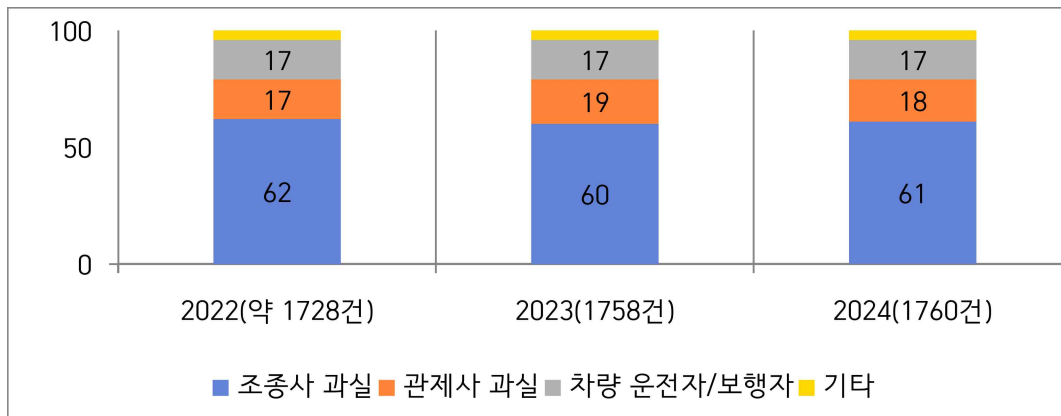
- 국제민간항공기구(ICAO)는 항공안전 강화를 위해 활주로상태등(Runway Status Light, RWSL) 시스템에 대하여 ICAO 부속서 14(Aerodromes - Volume I, Aerodrome Design and Operations)에 사양과 설치에 관한 내용을 다루고 있음
- ICAO에서 RWSL은 자율 활주로 침입 경고 시스템(Autonomous Runway Incursion Warning Systems, ARIWS)의 한 유형으로 분류되며, 다음의 주요 목적을 지님
 - ① 독립적인 시각 경고: 항공 교통 관제사(ATC)의 지시와는 독립적으로, 활주로에서의 잠재적인 충돌 위험이나 점유 상황을 조종사와 지상 차량 운전자에게 직접적이고 즉각적인 시각 정보로 경고
 - ② 사고 예방: 활주로 침입 및 충돌 사고를 예방하여 항공 안전을 획기적으로 향상시키는 안전 장치 역할 기대

○ 미국

- 미국 FAA는 2023년 미국 기준 운항 5,440만 건 중 1,760건의 활주로 침입이 발생하였고, 활주로 침입의 심각도는 2023년 총 1,756건 중 A·B 등급 23건이었으며, 2024년 총 1,661건 중 A·B는 7건으로 감소
- 활주로 침입 발생 원인별로 분석해 보면, 조종사 약 60%, 관제사 20%, 차량/보행자 20%의 비율로 나타나고, 전체의 약 85%정도가 조종사, 관제사, 차량 운전자의 실수 또는 의사소통 오류에서 발생하고 나머지 15%가 시설 또는 운영규정 및 절차의 문제로 보고됨.
- FAA는 Runway Safety Program, Surface Safety Initiative등의 프로그램 실시를 통해 RWSL 기술 도입 지원 및 전국 확대 보급
- 2022년 기준 미국 내 주요 20개 공항(LAX, DFW, ATL, JFK 등)에 RWSL 설치 완료하였고, 2026년 말까지 74개 공항에 활주로 안전 기술 설치를 계획

○ 유럽

- 유럽 전역에서 하루 2회 이상의 활주로 침입 보고되고 있으며, 이는 약 100,000회의 출도착 마다 약 3건의 활주로 침입이 일어나는 셈이며, 지난 5년간 활주로 침입으로 인한 약 28건의 항공기 근접이 발생함.
- 활주로 침입 발생 원인별로는 조종사의 과실 약 63%, 관제사 과실 약 5%*, 지상 차량 과실 28%이며 이러한 원인별 비율은 해당 지역의 환경과 특성에 따라 다소 차이가 발생함.
- European Action Plan for the Prevention of Runway Incursions (EAPRI)을



[그림 4] 미국의 연도별 활주로 침입 발생 추이 및 과실 비율(FAA)

통해 활주로 침입 개선 가능한 권고사항 제시하고, 표준절차, 등화시설, 교육강화 등 권고를 통하여 활주로 침입 발생율을 저감시키기 위한 노력과 함께 A-SMGCS, RWSL 시스템을 일부 공항에서 시범 적용 중

○ 일본

- 2024년 1월 2일 하네다공항 활주로 충돌 사건 이후, JCAB(일본국토교통성)은 활주로 침입을 막기 위한 정책을 확대 실시하여, 즉각적으로 활주로 안전 강화 대책을 수립. 주요 정책 RWSL(활주로상태등) 설치, 지상감시레이더(SMR), A-SMGCS 고도화, 조종사·관제사 교육을 강화
- 또한 2024년 9월부터 하네다공항 활주소에 RWSL 공사 착수, 기존 A-SMGCS 및 SMR 감시 데이터와 연계하여 활주로 침입사고 발생 대비하는 계획을 추진 중

1.2 국내 정책 및 동향

○ 활주로 침입 연평균 2회 발생(국토교통부 통계)

- 2012년 5월 8일 에어부산 활주로 오착륙 사고는 작업중이던 지상조업차량 2대와 충돌할 뻔했으나 관제사 긴급지시로 회피. 그에 따라 2012년 5월 활주로 침입 예방 매뉴얼 제정
- 2015년 매뉴얼 폐지 후 '활주로 안전 프로그램(Runway Safety Program)' 고시가 새롭게 제정되어 절차준수 체계는 마련되었으나, RWSL과 같은 기술적 안전장치 도입 논의는 미진
- 2016년 청주공항 대한항공 - 중국 남방항공 니어미스 사고는 남방항공 조종사의 관제지시 착각으로 인한 활주로 침입
- 2016년 인천국제공항 대한항공 - 스쿠트항공 준사고 발생은 대한항공 조종사의 유도로 인지 착오로 인한 활주로 침입
- 2023년 김포공항에서 에어부산과 대한항공 항공기간의 근접사건은 조종사와 관제사간 커뮤니케이션 문제로 활주로 침입이 발생했으며, 사고 이후 조치는 주로 인적요인 개선에 집중

- 2025년 김해공항 진에어 활주로 오착륙 사고와 중화항공 활주로 오착륙 사고는 모두 활주로에 진입 대기 중인 항공기를 인지하지 못한 채 허가받지 않은 활주로에 착륙
- 활주로 침입 관련 항공안전 정책과 이행 상황
 - 2022년에 제정된 “항공등화 설치 및 관리기준”에서 활주로상태등(RWSL)을 ‘활주로 침입자동경고시스템’의 하위 체계로 규정하였고, 현재 국토교통부 고시 제2024-87호 (2024.2.5.) 제26조(활주로상태등)에 활주로 침입을 방지하기 위한 등화의 구성과 규격 설치방법에 대해 구체적으로 명시
 - 또한 해당 고시 제27조(활주로침입자동경고시스템)에는 활주로의 점유상태나 침입 사항을 자동으로 탐지하여 경고를 제공하는 시스템의 기능과 설치 및 운영요건을 구체적으로 명시하고 있음
 - 그러나 국내의 공항에서는 A-SMGCS를 설치한 소수의 공항에서 외산기술로 구축된 A-SMGCS의 기능 중 활주로 진입을 통제하는 구간의 Stop bar제어를 통하여 활주로 침입방지의 일부기능을 지원하며, 활주로 침입을 막는 기능적 요소를 모두 갖춘 공항은 전무한 상황임
 - 우리나라는 활주로 침범에 의한 인명 피해는 없었으나 큰 사고로 이어질 수 있는 잠재적 위험성 보유
- 활주로 침범 사고를 예방하고 국제적 항공안전 수준에 부합하기 위해서는, 일정 규모 이상의 규모와 혼잡도를 가진 공항을 대상으로 기술적 대응체계 (활주로 침입자동경고 시스템 구축 등) 도입을 점진적으로 의무화하고, 정책적으로 강화할 필요성이 대두됨

2. 기술동향

2.1 연구개발 동향

- 미국
 - 미국은 1990년대부터 활주로침입 해결방안에 대한 연구를 시작한 이래 활주로 상태등을 확대 설치해 오고 있으며, 활주로상태등 및 항공기 충돌방지시스템 적용 시 활주로 침입 사고의 약 70%, 항공기 충돌사고의 약 65%를 감소시킬 수 있으며 미국, 유럽 등 각 공항에서 설치 및 확대 추세에 있음
 - * (Lincoln 연구소)미국 공항에서 발생한 167건의 가장 위험한 활주로침입에 대한 연구 참조
 - 미국은 1991년 NTSB(국가교통안전위원회)에서 활주로 침입 사고*를 해결할 새로운 기술 개발 필요성을 권고한 이후 미국 내 20개의 공항에 설치 운영 중
 - * ‘90.1.18 Atlanta Hartsfield International Airport 항공기 활주로 충돌사고 등
 - 미국 FAA 보고(2022): RWSL 설치 공항에서 활주로 침입 평균 52% 감소
- 일본
 - 일본의 국토교통성은 2007년 활주로 침입방지에 대한 기술검토에 착수하여, 2013년

- 후쿠오카에 활주로상태등(RWSL)을 도입 후 5개 이상의 공항에 설치 운영 중
- 24년 1월 '하네다 국제공항 지상 충돌 사고' 이후 향후 대책 강화 차원에서 A-SMGCS(지상이동 관제시스템) 하네다, 나리타 등 대형공항에 적용 추진 중
- 24년 9월부터 하네다공항 활주로에 RWSL 공사 착수, 이타미공항 RWSL 설치 완료

○ 유럽

- 유럽은 2017년 프랑스 샤를드골 국제공항에 최초 도입하여 운영 중이며, 터키 이스탄불 공항은 2023년에 설치하여 운영 중
- RWSL과 지상감시시스템(A-SMGCS)과 연동하는 등, RWSL이 단독 시스템이 아니라 절차와 함께 가동하도록 구성하여 RWSL을 포함한 통합 관제절차 체제로 구성

○ 한국

- 이처럼 미국을 비롯하여 일본, 유럽등 각국은 활주로상태등에 대한 연구와 도입을 시작하여 실증하고 있으며, 국내에서는 현재 필요성을 인식하고 기술개발 연구를 검토하는 단계에 있음

2.2 시장·산업 동향

○ 지역별 수요 및 시장 특징

- 북미(미국): 활주로상태등(RWSL) 선도국. 현재 20개 공항에서 운영되며 설치·유지 보수 수요도 안정적
- 유럽: SESAR/SafePilot 프로젝트 일환으로 CDG 등 주요 공항에서 도입 확대 중
- 아시아·태평양: 특히 일본에서는 2007년 전후부터 관련 연구를 본격화하고 주요 공항에 시험설치를 시작한 이래, 중국에서도 RWSL 시험도입을 진행 중

○ 항공수요 증가에 따라 RWSL 산업은 성장 예상

- 2023년 6억 2,436만 달러 규모였던 항공등화 시장 규모는 2032년까지 1,200만 6,000달러에 이를 것으로 예상되며, 2024년부터 2032년까지 연평균 성장률은 7.53%로 예상
- 과거 활주로, 유도로 등, 공항시설의 시인성을 높이기 위한 조명을 주 목적으로 하던 항공등화와 항공기와 차량의 위치를 관제사에게 알려주는 단순 기능을 제공하던 감시 레이더 기술은 이제 기술의 통합과 기능의 연계를 통하여 복합적인 항공교통의 안전을 향상시키는 안전정보와 경고를 최적화하여 제공하는 방향으로 진보하고 있음

제3장 연구 내용

1. 중점추진분야 및 구성기술

□ 활주로 침입 방지 시스템의 개념

○ 활주로침범자동경고시스템

- 활주로침범자동경고시스템(ARIWS: Autonomous runway incursion warning system)이란 사용 활주로의 점유 또는 잠재적 침범을 자동적으로 탐지하여 조종사 또는 차량운전자에게 활주로상태등(RWSL: Runway Status Lights)으로 직접적인 경고를 제공해주는 시스템으로서,
- 활주로상태등은 활주로 진입시 위험을 경고하는 활주로진입등(REL: Runway Entrance Lights)과 이륙하고자 하는 항공기에게 타 항공기나 차량에 의해 활주로는 점유되어 있음을 알려주는 이륙정지등(THL: Take-off Hold Lights)이 있음



활주로진입등(REL)의 개념과 설치 사례

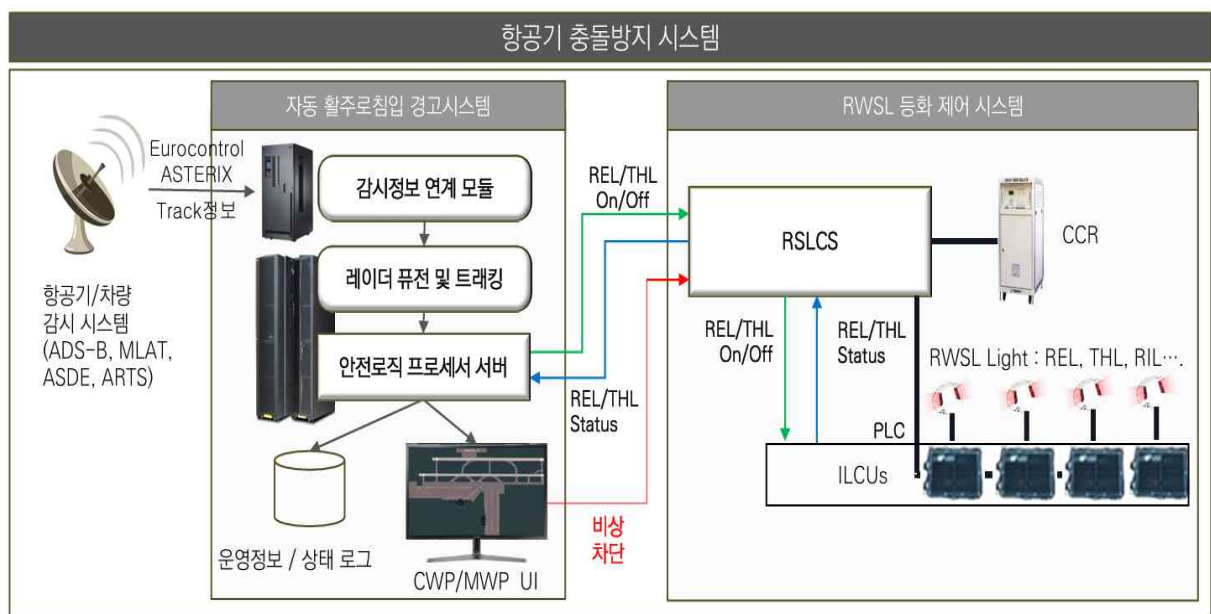
이륙정지등(THL)의 개념과 설치 사례

[그림 5] 활주로 침입방지 시스템에 의한 활주로상태등 개념과 설치사례

- 활주로 침입방지 시스템이 설치된 경우에도, 항공기/차량은 ATC의 허가 없이는 활주로는 진입할 수 없으며, ARIWS는 위험을 감지하지 않은 평상시 소등되어 있다가 활주로 진입 항공기/차량에 대해 충돌 위험을 감지한 경우, 조종사와 운전자에게 '멈춤' 또는 '이륙대기'에 대한 즉각적인 시각적 지시를 제공하여 인적오류로 발생하는 활주로 침범으로 인한 공항의 안전사고를 획기적으로 줄여주는 공항의 핵심적인 안전장치임

○ 활주로 침입 방지 시스템의 구성

- 활주로 침입방지 시스템은 자동 활주로침입 경고 시스템과 RWSL(Runway Status Light) 등화 제어 시스템으로 구성됨. 자동 활주로침입 경고 시스템은 공항에 설치된 항공기/차량 감시시스템과 연계 하여 항공기/차량의 위치 및 식별 정보를 처리하여 안전 로직 프로세서에서 일련의 처리과정을 거쳐 공항 활주로에 대한 항공기/차량의 점유 및 침입에 대한 판단을 결정함. 활주로 점유에 대한 판단에 따라 등화 제어를 결정하고 제어 신호를 RWSL 등화 제어 시스템의 RSLCS(Runway Status Lighting Control System) AGL(Airfield Ground Lighting) 로직 프로세서에 전송함. RSLCS AGL 로직 프로세서는 등화 제어 신호를 안전로직 프로세서 서버 또는 CWP 비상차단 정보를 수신하여, ILCU(Individual Lamp Control Unit)을 통해 해당되는 RWSL 등화를 On/Off하고 그 결과를 자동 활주로침입 경고 시스템에 전송.



[그림 6] 활주로 침입방지 시스템 구성도

○ 항공기/차량 감시 시스템과 감시정보 연계 모듈 연계

- 공항의 항공기/차량 감시 시스템은 ASDE, MLAT, ADS-B, ARTS를 포함하며, 해당되는 센서의 특성에 따라 해당되는 EUROCONTROL ASTERIX 포맷에 따라 트랙 정보를 자동 활주로 침입 감시 시스템의 감시정보 연계 모듈로 전송
- 감시정보 연계 모듈은 해당 정보를 표준화된 형식에 맞춰 처리 데이터를 정규화 시켜서 레이더 정보 전처리 모듈에 전송

○ 감시정보연계 모듈과 레이더 정보 전처리 모듈 연계

- 레이더 정보 전 처리 모듈은 여러 레이더로 부터 항공기/차량의 감시 데이터를 수신하여 다중 레이더 데이터의 퓨전 및 트래킹 처리를 수행함
- 물리적 이동 객체와 맵핑을 위한 일련의 과정을 거쳐서 속도와 가속도, 방향에 대한 정보를 추가하고 정확도를 향상시킴.
- 물리객체에 대한 벡터 트래킹 정보를 생성한 항적 정보는 활주로 점유 및 침범에 대한 판단 처리를 위해 안전로직 프로세서에 송신됨.

○ 레이더 정보 전처리 모듈과 안전로직 프로세서 연계

- 항공기와 차량의 활주로 점유와 침범을 판단하는 안전로직 프로세서는 정제된 이동 객체들에 대한 벡터 데이터를 기준 데이터를 바탕으로 분석하여 개별 활주로의 점유와 침범을 판단함.
- 안전로직 프로세서에서 활주로 점유 침범의 판단이 처리되면 그 결과는 로그로 기록되고 CWP 및 MWP에 표출됨.
- 또한 안전로직에서 판단된 결과에 의해 사전 정의된 RWSL등화 제어 조건에 따라 제어 정보를 RWSL등화 제어시스템의 RSLCS에 전송하고 처리결과를 수신하여 CMP 및 MWP에 표출함.

○ 안전로직 프로세서와 RSLCS 연계

- RWSL 시스템은 활주로 상황 판단 후 RELs/THLs 점/소등 제어 명령을 RSLCS로 전용 통신 프로토콜을 통해 전달
- RSLCS는 RWSL 등화의 현재 상태(점/소등, 고장 등)를 RWSL 시스템으로 피드백 하여 시스템의 모니터링
- 이중화된 통신 경로를 통해 데이터 전송의 안정성과 신뢰성을 확보

○ RSLCS와 ILCU 연계

- RSLCS는 RWSL 시스템으로부터 받은 제어 명령을 기반으로 개별 등화 제어기(ILCU :Individual Lamp Control Unit)을 통해 RELs/THLs 등화의 제어 명령(점/소등, 밝기)을 전달
- ILCU는 각 램프의 상태(점등 여부, 고장 등)를 실시간으로 감지하여 RSLCS에 전달
- 전력선 통신을 통해 램프 네트워크와 안정적인 통신

○ ILCU와 RWSL 등화(RELs, THLs) 연계

- ILCU는 RSLCS의 제어 명령을 받아 RELs 및 THLs 등화를 직접 개별 제어
- ILCU는 RWSL 등화 상태를 감지한 데이터를 RSLCS에 전달

1.1 구성기술-1 : RWSL 항공등화 제어 기술

RWSL 시스템의 구현을 위해서는 활주로 상태 등화 제어 시스템(RSLCS)과 개별 등화 제어기(ILCU)의 고도화가 필수적입니다. 이 시스템과 모듈은 RWSL 등화(RELs, THLs)의 정확하고 신뢰성 있는 작동을 보장하는 핵심 역할을 수행함.

○ RSLCS(Runway Status Lighting Control System)

RSLCS는 자동화 RWSL 등화의 통합 제어 시스템을 의미한다. 기존의 ALCMS (Airport Lighting Control and Monitoring System)가 수동 기반의 등화 제어에 국한되었다면, RSLCS는 RWSL AGL 로직 프로세서를 통해 RWSL의 취지에 맞춰 공항 지상에서의 항공기 충돌방지 및 안전 운영을 위한 RWSL 등화 체계의 작동 상황과 통제를 실시간으로 통합적으로 지휘하고 모니터링하는 시스템이다. 자동 활주로 침입 경고 시스템의 안전 로직의 제어 및 처리상태를 실행하고 모니터링 및 유지보수를 지원하는 역할을 수행함

- 중점추진분야

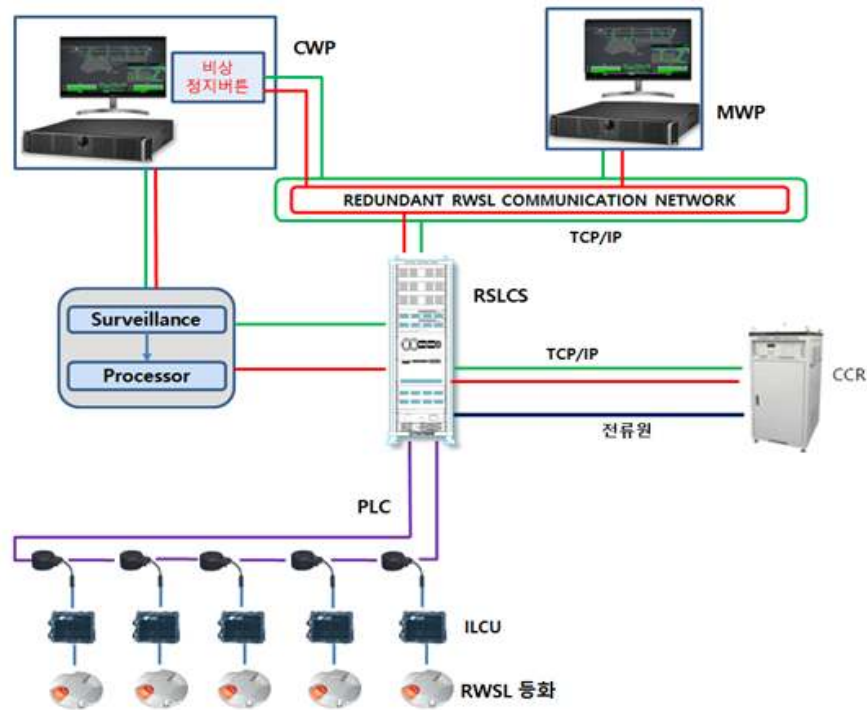
RWSL 제어명령의 실시간 처리 및 우선순위 관리	<p>목표 : RWSL 프로세서로부터 전달되는 활주로 위험 경고(RELs, THLs 점/소등) 명령을 최우선적으로 지연 없이 처리하여 즉각적인 등화 작동 보장</p>
	<p>내용 : RWSL 명령 전용 통신 채널 설계, 명령 처리 지연 최소화를 위한 아키텍처 설계</p>
RWSL 등화 상태 모니터링 및 시각화	<p>목표 : RELs 및 THLs 등화의 개별 상태(점/소등 여부, 고장 유무)를 ILCU로부터 실시간 수신, 직관적으로 시각화를 통한 RSLCS 화면 표출로 시스템 신뢰도 강화</p>
	<p>내용 : 공항 Runway 기반의 RWSL 등화 배치도를 통한 실시간 상태 표시, 고장 발생 시 해당 램프의 위치 표시</p>
RWSL 자동화 기능 최적화	<p>목표 : RWSL 프로세서의 판단 결과를 통한 등화 제어 명령을 RSLCS가 정확하게 수신하여 등화 제어하도록 반영</p>
	<p>내용 : RWSL과의 연동 프로토콜 및 AGL 로직 프로세서 최적화로 자동적으로 등화의 점/소등하도록 하는 실시간 양방향 통신 신뢰성 강화</p>
RWSL 관련 장애 진단	<p>목표 : RWSL 등화 자체의 고장, RWSL 프로세서와의 통신 이상, ILCU와의 연동 문제 등 시스템 장애를 신속하게 진단함과 동시에 유지보수 인력에 정확한 정보 제공하여 복구 시간을 단축</p>
	<p>내용: RWSL과 RSLCS간의 통신 및 ILCU와의 통신을 통한 장애 알람 기능으로 정확한 정보 도출 및 도출 알람을 통한 유지보수 대응 시간 단축과 정확성 향상</p>

등화 개별 정밀 제어	목표 : RSLCS로부터 수신된 등화의 개별 제어 명령(점/소등, 등화 밝기 조절)을 즉각적이고 정확하게 실행
	내용 : 각 RWSL 램프에 최적화된 제어 프로토콜 및 통신 모듈 개발, 명령 수신 후 등화 작동까지의 지연시간 최소화
등화의 실시간 상태 및 고장 감지 정보 전송	목표 : RWSL 등화 각각의 점/소등 상태, 고장 여부를 실시간 감지하고, 해당 정보를 RSLCS로 전송
	내용 : 진단 회로 설계, 램프 상태 감지 알고리즘 최적화 및 데이터 전송
RWSL 등화의 예측 및 예방 정비	목표 : RWSL 등화의 누적 사용 시간을 모니터링하여 고장 발생 전에 예측하고, 유지보수 사전 대응
	내용 : 램프별 누적 사용 시간 모니터링 데이터를 RSLCS에 제공
RWSL 등화 유지보수 용이성	목표 : ILCU 고장 또는 교체 시에 새로운 장비로 인한 운용 중단 최소화
	내용: 개별등화 제어기(ILCU)의 고유의 Address를 부여하여 논리적 주소를 RSLCS에 등록하여 변경 가능

- 구성 기술

RWSL 전용 통신 인터페이스 모듈	기술: TCP/IP 소켓 통신, 데이터 패킷 파싱 및 유효성 검증 로직
	기능 : RWSL 시스템으로부터의 제어 명령 및 상태 데이터를 안정적으로 송/수신
데이터 무결성 및 신뢰성 확보 모듈	기술 : 시퀀스 번호 혹은 체크섬 기반 오류 감지 및 데이터 검증
	기능 : 내부망 환경에서 RWSL 시스템과 ILCU로부터 수신되는 모든 데이터의 무결성 최대한 보장으로 통신 신뢰성 극대화
RWSL 명령어 처리 및 제어	기술 : 실시간 제어 로직, 상태 머신 기반 설계, 이벤트 처리 시스템
	기능 : RWSL 데이터 송/수신 모듈로부터 수신된 제어 명령 해석, 내부 등화 제어 로직, ILCU에 제어 명령 전송
명령 로직 일관성	기술 : 명령 처리 일관성 로직 설계, 명령 유효성 검증
	RWSL 시스템으로부터의 자동 제어 명령과 RSLCS AGL 로직 프로세서 명령과의 일관성을 유지하며, 안전 우선순위에 따라 우선 순위 보장

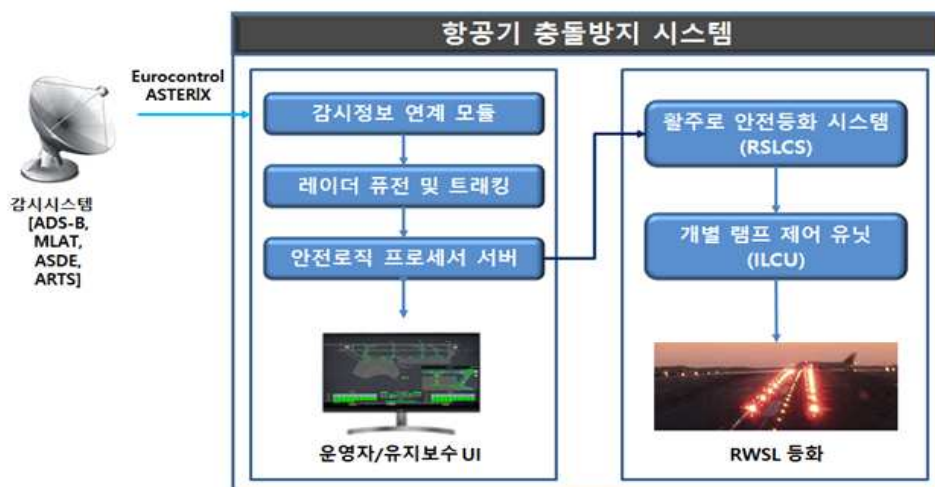
실시간 RWSL 등화 상태 수집	기술 : 이중화 설계를 통한 통신 오류나 시스템 장애에도 상태 정보를 보장하는 메커니즘 설계
	기능 : ILCU로부터 전송되는 RELs 및 THLs 등화의 실시간 상태 데이터를 수집하고 일시적인 네트워크 장애나 시스템 장애에 대한 보완 기능을 구축하여 안전성 확보
RWSL 등화 데이터 이벤트 기반 저장	기술 : 데이터베이스 구축 및 최적화
	기능 : 실시간 수집된 RWSL 등화 제어 및 상태 정보를 시간 기반 저장 및 이력 관리
RWSL 전용 관제 사용자 인터페이스(GUI)	기술 : Runway기반 맵 연동, 실시간 데이터 시각화 등화 상태 정보 표시, UI/UX 기반 운용
	기능 : Runwat상에 RELs 및 THLs의 등화 상태 표시로 제어 및 상태 정보의 직관적인 확인을 위한 그래픽 기반 인터페이스
RWSL 등화 유지보수	기술 : ILCU로부터 전달된 등화 상태 진단 정보 모니터링
	기능 : ILCU로부터 전달된 등화 운용 시간 및 Fault 진단 정보의 모니터링을 통한 사전 유지 보수 및 시각적 정보 전달로 신속한 유지보수 시스템 제공
RWSL 등화용 개별 등화 제어 유닛	기술 : RSLCS와 ILCU의 통신 모듈, 정밀 센서
	기능 : RWSL 등화 각각에 직접 연결되어 제어 명령을 실행, 등화 상태 감지하여 RSLCS로 전송
전력선 통신	기술 : RWSL 등화의 특성에 최적화된 전력선 통신 기술
	기능 : RSLCS로부터의 제어 명령 및 상태 정보 요청 데이터를 RSLCS로 안정적이고 빠르게 전송
RWSL 등화 상태 진단 알고리즘	기술 : 센서 데이터를 분석하여 등화 상태 감지 알고리즘
	기능 : 수집된 전기적 센서데이터를 분석하여 RWSL 등화의 고장유무를 정확하게 감지
경량 데이터 수집 및 전송 프로토콜	기술 : RWSL 등화 특성상 최소한의 메시지 위주 데이터 패킷 구성 및 전송
	기능 : ILCU에서 수집된 RWSL 등화 상태 데이터를 최소 패킷 구성을 통한 RSLCS로 신속한 전송



[그림 7] 등화 제어 및 모니터링 시스템 구성도

1.2 구성기술-2 : 활주로 침입 자동경고 기술

항공기 충돌방지 시스템의 능동적 경고 체계의 근간을 이루는 활주로 침입 자동경고 시스템은 항공기 및 차량의 위치 감시정보를 연계하여 활주로의 점유상태를 관리하여 진입을 시도하는 항공기 및 차량의 조종사와 운전자에게 RWSL(활주로 상태등) 등화를 통하여 시각적 경고를 표출합니다. 이러한 시스템의 상태정보는 유지보수자 및 운영자를 위한 사용자 인터페이스를 통하여 제공되며, 운영 및 유지보수를 위한 정보와 관리기능을 제공함



○ 항공기/차량 감시정보 연계기술

항공기/차량 감시정보 연계기술은 항공기와 차량의 감시정보를 표준화된 규격으로 연계하여 활주로 침입 자동경고기능의 핵심인 안전로직 프로세서로 전송하는 기능을 개발

－ 중점추진분야

ASDE 연계	목표 : EUROCONTROL ASTRIX 표준을 기반으로 항공기 및 차량의 감시정보를 ASDE 시스템에서 실시간 수신하여 포맷변환 모듈로 전송
	내용 : ASDE에 연계{하여 항공기 및 차량의 위치감시 데이터를 ASTERIX 구조로 파싱하여 표준 감시데이터 구조체에 담아서 전송하는 기능 (ASTERIX CAT10 (ASDE/SMR))
MLAT 연계	목표 : MLAT 트랜스폰더를 장비한 항공기/차량의 감시정보를 MLAT 시스템으로부터 실시간 수신하여 포맷 변환 모듈로 전송
	내용 : MLAT에 연계{하여 항공기 및 차량의 위치감시 데이터를 ASTERIX 구조로 파싱하여 표준 감시데이터 구조체에 담아서 전송하는 기능 (ASTERIX CAT20 (MLAT))
ADS-B 연계	목표 : 접근하는 공중 항공기에 대해 EUROCONTROL ASTRIX 표준을 기반으로 항공기의 감시정보를 ADS-B에 연계하여 감시정보를 실시간 수신하여 포맷변환 모듈로 전송
	내용 : ASTERIX에 표준에 따라 ADS-B연계하여 공항에 접근하는 항공기의 위치감시 데이터를 파싱하여 표준 감시데이터 구조체에 담아서 전송하는 기능 (ASTERIX CAT21 (ADS-B))
표준 포맷 변환	목표 : RASDE, MLAT, ARTS등 항공기 및 차량 감시 센서로부터 수신한 감시정보를 표준화한 데이터 구조체에 담아서 실시간 전송
	내용: 다양한 센서와 연계한 정보를 단일 포맷의 구조체로 표준화하여 안전로직 프로세서로 전송
연결 감시 및 에러처리	목표 : 연계대상 장비의 연결상태 및 데이터 전송상태, 전송에러 발생 감시
	내용: 연계 대상 장비의 연결상태 및 데이터 수신상태를 실시간 감시하여 기록하고 유지보수 UI 모듈에 제공

○ 안전로직 프로세서 기술

안전로직 프로세서는 활주로 침입 자동경고 시스템의 핵심 기능으로서, 항공기와 차량의 감시데이터를 분석하여 활주로의 점유 및 침입 판단을 처리하고 그 결과를 운영자 UI 표출하고 RWSL 등화시스템의 RSLCS에 등화 제어 정보를 전송하는 기능을 수행

– 중점추진분야

항공기 감시 데이터 수신	<p>목표 :</p> <p>항공기/차량 감시정보 연계 모듈을 통해 수신된 위치 및 감시 데이터를 표준화된 형태로 실시간 수신</p>
	<p>내용 :</p> <p>수신된 데이터의 표준 포맷상에서 해당 데이터의 수신 센서의 특성 정보를 파악하고 그에 따른 활주로 점유/침입 처리 프로세서로 연결</p>
활주로 점유 판단	<p>목표 :</p> <p>항공기/차량의 활주로 점유 여부를 판단</p>
	<p>내용 :</p> <p>항공기/차량의 위치(위경도 및 고도) 및 방향, 속도정보를 근간으로 우선순위 기준데이터 등을 적용하여 항공기의 활주로 점유 여부를 판단</p>
활주로 침입 판단	<p>목표 :</p> <p>항공기/차량의 활주로 침입 여부를 판단</p>
	<p>내용 :</p> <p>이미 점유된 활주로에 대하여 항공기/차량의 점유 시도가 발생할 때 침입으로 판단</p>
RWSL등화 제어정보 연계	<p>목표 :</p> <p>활주로 점유 판단로직 또는 비상조작에 따른 RWSL 등화제어</p>
	<p>내용:</p> <p>활주로 점유 판단로직 또는 비상조작에 따른 RWSL 등화제어 신호 송신 및 응답 확인</p>
연결 감시 및 로그	<p>목표 :</p> <p>연계대상 장비의 연결상태 및 데이터 전송상태, 전송에러 발생 감시 기록</p>
	<p>내용:</p> <p>연계 대상 장비의 연결상태 및 데이터 수신상태를 실시간 감시하여 기록하고 유지보수 UI 모듈에 제공하고 로그 관리</p>
시스템 이중화 구성	<p>목표 :</p> <p>핵심서버의 이중화 구성으로 상시 운영성 확보</p>
	<p>내용:</p> <p>서버의 파워 이중화 및 서버 및 통신 연계 이중화를 통하여 장애 대비 계 구성</p>

○ 레이더 데이터 퓨전 및 트래킹

다중 레이더에 나타난 항적의 감시데이터를 취합하고 전처리하여 데이터의 동기화와 정규화를 실시하고, 이들 항적을 필터링, 연관, 추정, 융합, 가중치 조절을 통해 일치된 항적을 형성하는 기술

– 중점추진분야

다중센서 인터페이스	<p>목표 : 항공기/차량 감시정보 연계 모듈을 통해 수신된 위치 및 감시 데이터를 표준화된 형태로 실시간 수신</p>
	<p>내용 : 수신된 데이터의 표준 포맷상에서 해당 데이터의 수신 센서의 특성 정보를 파악하고 그에 따른 활주로 점유/침입 처리 프로 세서로 연결</p>
기준 시간 동기화	<p>목표 : 센서별 항적 데이터 생성시간 동기화</p>
	<p>내용 : 서로 다른 센서에서 수신되는 데이터는 각기 다른 시간 기준으로 생성될 수 있으므로, 모든 데이터를 공통의 시스템 시간으로 동기화하여 정확한 퓨전을 위한 기반 마련</p>
좌표 변환 및 동기화	<p>목표 : 센서별 고유 좌표계와 단위를 퓨전에 적합한 단위로 정규화</p>
	<p>내용 : 각 센서가 사용하는 고유의 좌표계(예: 레이더 좌표계, 측지 좌표계)를 RWSL 시스템의 표준 좌표계(예: WGS84 또는 공항 로컬 좌표계)로 변환하고, 데이터 단위를 통일하여 퓨전에 적합한 형태로 정규화</p>

노이즈 필터링 및 오차보정	<p>목표 : 각 센서의 특성상 발생하는 노이즈를 제거</p>
	<p>내용: 각 센서의 특성상 발생하는 노이즈를 제거하고, 알려진 센서 오차를 보정하여 데이터 품질을 향상</p>
데이터 연관	<p>목표: 각 센서에 수신된 원시 측정값을 실제 물리적인 개체와 연관 부여</p>
	<p>내용: 여러 센서로부터 수신된 원시 측정값들이 실제 어떤 물리적인 객체(항공기, 차량)에 속하는지 식별하는 기능</p>
상태 추정	<p>목표: 연관된 객체에 대해 필터링 알고리즘을 적용하여 객체의 최적 위치와 속도 등을 추정</p>
	<p>내용: 칼만 필터(Kalman Filter), 또는 파티클 필터(Particle Filter)와 같은 상태 추정 알고리즘을 사용하여, 연관된 측정값들을 기반으로 각 객체의 최적 위치, 속도, 가속도 등을 추정.</p>
공분산 융합	<p>목표: 각 센서 측정값의 오차 공분산을 고려하여 융합된 상태 추정치 계산</p>
	<p>내용: 각 센서 측정값의 불확실성(오차 공분산)을 고려하여 가장 신뢰할 수 있는 융합된 상태 추정치를 도출. 이를 통해 불확실성을 최소화 하고 융합된 데이터의 정확도를 높임</p>
센서 가중치 조절	<p>목표: 수신한 센서의 정확도, 신뢰도 데이터에 기준한 가중치 배정</p>
	<p>내용: 각 센서의 성능, 신뢰도, 현재 환경(예: 악천후 시 레이더의 성능 저하) 등을 고려하여 퓨전 시 각 센서 데이터에 대한 가중치를 동적으로 조절하는 기능</p>

○ 운영자 UI 및 개발지원 도구

활주로 침입 자동경고 시스템의 효율적인 운용, 관리, 그리고 안정적인 성능 검증을 위해서는 사용자 맞춤형 인터페이스(UI)와 테스트베드용 시뮬레이션 평가 환경 구축 기술

－ 중점추진분야

운영자(관제사) UI	목표 : 항공기/차량의 감시정보와 활주로 점유 및 침입상황 표시
	내용 : 공항 지상 백터 맵 오버레이 상에 RWSL 등화상태 시각화, 항공기/차량의 감시정보와 활주로 점유 및 침입경고 표시. 비상 수동 제어 기능 구현
유지보수 UI	목표 : 시스템 운영상황 표시, 운영상태 진단, 고장진단 및 경고, 로그 기능
	내용 : 항공기/차량 감시정보, 활주로 점유 및 침입 상황, 운영상태 진단, 고장진단 및 경고, 로그 기능 구현
테스트베드용 디지털트윈 시뮬레이션	목표 : 3D 공항 모델에 기상 모델링, 시뮬레이션 시나리오에 따른 항공기/차량 이동 시뮬레이션과 활주로 점유 및 등화 제어 시뮬레이션
	내용 : 3D 공항 모델과 주야간 기상 조건 모델링, 시뮬레이션 시나리오 운영, 항공기/차량 이동에 따른 활주로 점유 다이내믹 오버레이, 등화 제어 시뮬레이션 수행 후 평가결과 로그 기록

2. 구성기술별 연구내용

2.1 구성기술-1 : RWSL 항공등화 제어 기술

2.1.1 RSLCS 기술개발 연구

○ RWSL 전용 통신 인터페이스 모듈

- **(이중화 네트워크 구성)** RWSL 시스템과 이중화 네트워크를 구성함으로써 네트워크의 안정성과 신뢰성을 확보함과 동시에 주 네트워크 경로 장애 시에 네트워크 경로로의 자동 페일오버를 위한 통신 로직 및 전환 시간 최소화 기술 연구
- **(통신 최적화)** RWSL 제어 명령의 즉각적인 전달을 위한 통신 지연을 최소화 및 데이터 처리 방안으로 멀티스레딩 등 기반 통신 모듈 설계 연구
- **(프로토콜 견고성)** 프로토콜 간략화, 데이터 파싱 및 유효성 검증 로직을 연구함과 동시에 RWSL 시스템과의 전용 통신 프로토콜을 정의하여 예측 불가능한 통신 상황에도 안정적인 데이터 처리를 위한 방안 연구

○ 데이터 무결성 및 신뢰성 확보 모듈

- (데이터 중복 방지) 시퀀스 번호 등의 메커니즘을 활용하여 데이터 패킷 중복여부를 판단하여 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장하는 프로토콜 설계 연구
 - (데이터 유효성 검증) RWSL 데이터의 논리적 유효성을 검증하기 위한 방안을 연구하여 비정상적인 데이터가 시스템에 수신되는 것을 방지하여 내부 시스템 오류나 오작동으로 인한 잘못된 데이터 전송을 사전에 차단 로직 연구
- RWSL 명령어 처리 및 제어
- (명령 제어 로직) RWSL 제어 명령에 대한 예측 가능한 응답 시간을 보장하기 위한 제어로직 설계 연구를 통해 RWSL 제어 명령에 등화의 즉각적인 점/소등 제어 전달 연구
 - (등화 제어 시퀀스) 여러 RWSL 등화의 점/소등 제어 명령에 대한 순차적인 점/소등 시의 정확한 시퀀스 제어 및 동기화 기술 연구
- 명령 로직 일관성
- (RWSL 제어 명령 처리) RWSL 등화의 상태가 RWSL 시스템의 제어 명령과 일치하도록 제어 명령의 유효성과 순서를 처리하는 AGL 로직 프로세서 연구를 통해 시스템 제어 오류 방지
- 실시간 RWSL 등화 상태 수집
- (데이터 처리 아키텍처) 많은 수의 RWSL 등화에서 발생하는 실시간 데이터를 안정적으로 수집함과 동시에 처리할 수 있는 아키텍처 연구로 시스템 성능 향상
 - (데이터 전처리 및 필터링) 수집되는 데이터 중 불필요하거나 중복되는 데이터를 제거하고, 필요한 정보만 전달하여 시스템 부하를 줄이는 기술 연구로 데이터 효율성 향상
- RWSL 등화 데이터 이벤트 기반 저장
- (RWSL 데이터 저장) RWSL 제어 명령 및 로그 데이터를 이벤트 기반으로 저장하여 효율성을 높이는 솔루션 연구하여 유지보수나 RWSL 운용의 시스템 개선
- RWSL 전용 관제 사용자 인터페이스(GUI)
- (직관적 UI/UX) 관제사의 긴급 상황 판단 및 의사 결정 지원을 위한 명확하고 간결한 RWSL 상태 정보 표시 연구로 직관적인 정보 전달 효율성 증대
 - (실시간 시각화) 공항 환경의 맵을 기반으로 구현함으로써 RWSL 등화의 위치와 상태를 시각화하여 상황 인지 능력 향상
- RWSL 등화 유지보수
- (유지보수) RWSL 등화 운용 시간과 상태 정보를 표시함으로써 예측 가능한 유지보수 및 Fault 메시지 알람에 의한 즉각적인 유지보수 가능
- RWSL 등화용 개별 등화 제어 유닛

- (**저전력 개별제어장치(ILCU)**) 등화 구동 환경의 제약을 고려하여 저전력 운용과 빠른 응답 속도 및 제한된 전력 환경에서도 안정적으로 구동하는 하드웨어 설계 연구
- (**내구성 강화**) 공항 활주로의 외부 환경(온도, 습도, 진동 등) 특성에 강한 패키징 및 내구성 설계 기술 연구로 장기간 노출되어도 성능 저하 최소로 작동하는 재료 및 재질 최적화

○ 전력선 통신(PLC)

- (**PLC 통신 성능**) 전력선 노이즈, 간섭(Crosstalk) 등 실제 공항 환경 요인을 고려한 통신 안정 및 속도 향상 방안 연구
- (**통신 네트워크 토폴로지 및 라우팅 최적화**) 네트워크의 논리적/물리적 연결 구조와 데이터 전송 경로의 최적화 알고리즘 연구하여 데이터 전송 효율성을 극대화 하고 최소 지연 및 데이터 안정성을 확보

○ RWSL 등화 상태 진단 알고리즘

- (**램프 수명 예측**) 램프 실제 사용 시간 등을 분석하여 정확한 램프 수명을 예측하고 잔여 수명을 평가하는 기술 연구로 계획된 유지보수가 가능
- (**고장 유형**) 감지된 고장 유형 분석을 연구하여 분석 정보 전달을 통한 유지보수 시간 단축 기여

○ 경량 데이터 수집 및 전송 프로토콜

- (**최소 오버헤드 통신 프로토콜**) RWSL 등화의 실시간 제어 반응 시간을 충족하면서 데이터 전송량과 데이터 파싱 및 처리부하를 최소화하는 경량 프로토콜 연구로 네트워크 효율성 증대
- (**트래픽 관리**) 네트워크 혼잡을 방지하고, RWSL 등화의 제어 명령 및 상태 정보 데이터를 우선적으로 전송하는 트래픽 관리 기술 연구로 시스템 안정성 확보

2.2 구성기술-2 : 활주로 침입 자동경고 기술

○ 공항 항공기/차량감시정보 연계

- (**국제 표준 준수**) 항공기/차량 감시 정보 연계를 위해, ASDE, MLAT, ADS-B, ARTS 센서에 대한 EUROCONTROL의 ASTERIX 항적 데이터 교환 표준에 따라 연계 기능을 구축하여, 표준에 따른 호환성 확보
- (**공통연계 플랫폼**) 개별 연계 포맷에 대해 표준화하여 공통 연계 플랫폼상에 연결되는 구조로 통일 함으로써 향후 추가 센서장비 연계에 대한 확장성 부여
- (**에러 트래킹**) 연계 대상 센서에 대한 연계상태 및 에러 발생에 대한 로그를 생성하여 외부 시스템 연계에 대한 에러 트래킹 지원

○ 레이더 데이터 퓨전 및 트래킹

- (**다중 레이더 인터페이스**) 수신된 항공기의 위치 감시 데이터를 다양한 센서를 통하여 받을 수 있도록 인터페이스를 구성하고 표준 포맷에 저장하여 점유/침입 프로세서로 전송하는 모듈

- **(데이터 시간 동기화)** 서로 다른 센서에서 수신되는 데이터는 각기 다른 시간 기준으로 생성될 수 있으므로, 모든 데이터를 공통의 시스템 시간으로 동기화하여 정확한 퓨전을 위한 기반 마련
- **(데이터 연관 및 트래킹)** 항공기/차량의 감시 데이터를 물리적 객체와 연결하고 각 객체의 이동 특성에 따른 트래킹 정보 생성
- **(공분산 융합 및 추정)** 각 센서 측정값의 불확실성(오차 공분산)을 고려하여 가장 신뢰할 수 있는 융합된 상태 추정치를 도출. 이를 통해 불확실성을 최소화하고 융합된 데이터의 정확도를 높임, 객체의 트래킹을 통해 발견된 객체의 최적위치를 칼만필터와 파티클필터를 통해 추정하고 보정된 상태 값 생성

○ 운영자 및 유지보수용 사용자 인터페이스

- **(활주로 상황 표출)** 활주로 지도 오버레이: 실제 공항 활주로 지형 위에 RWSL 등화의 위치와 현재 상태(점등/소등), 항공기 및 차량의 실시간 위치와 이동 경로를 정확히 오버레이하여 표출.
- **(운영상황 시각화)** RELs, THLs의 현재 점등/소등 상태를 색상(예: 적색 점등 시 빨간색 표시)과 아이콘 등으로 명확하게 시각화하여 시인성 높은 운영자 UI를 개발
- **(객체 식별 정보)** 감지된 항공기 및 차량의 콜사인, 편명, 유형 등 식별 정보를 함께 표시하여 관제사의 상황 인식을 돕습니다.
- **(경고 및 알림)** 개별 연계 포맷에 대해 표준화하여 공통 연계 플랫폼상에 연결되는 구조로 통일 함으로써 향후 추가 센서장비 연계에 대한 확장성 부여
- **(국제 표준 준수)** 항공기/차량 감시 정보 연계를 위해, ASDE, MLAT, ADS-B, ARTS 센서에 대한 EUROCONTROL의 ASTERIX 항적 데이터 교환 표준에 따라 연계 기능을 구축하여, 표준에 따른 호환성 확보
- **(공통연계 플랫폼)** 개별 연계 포맷에 대해 표준화하여 공통 연계 플랫폼상에 연결되는 구조로 통일 함으로써 향후 추가 센서장비 연계에 대한 확장성 부여

○ 개발지원 도구

- **(활주로 상황 모델링)** 실제 공항의 활주로, 유도로, 건물, 지형 등을 정교한 3D 디지털 모델로 구현하여 시뮬레이션 환경의 현실 구현
- **(환경조건 시각화)** 주야간, 강우, 시정상황과 같은 기상조건을 표출하여 시뮬레이션 환경의 실제 환경적 요소를 시뮬레이션에 반영
- **(운영 상황 시각화)** 항공기 및 차량의 이동과 그에 따른 활주로 점유상황, RWSL 등화의 제어 정보에 따른 시각적 표출을 수행
- **(시뮬레이션 시나리오 운영)** 편린한 시뮬레이션을 위하여 시뮬레이션에 사용될 기초 데이터를 입력하여 시나리오로 관리 및 적용
- **(이동 특성 제어)** 시나리오에 나타난 항공기에 대해 이동 속도의 제어 등 시뮬레이션을 통해 확인하고자 하는 시험조건을 유발

3. 성과목표 및 지표

3.1 구성기술별 최종 결과물

- 구성기술[1] : RWSL 항공등화 제어 기술
 - RSLCS 핵심기술과 인터페이스 프로토콜 기술문서 (1식)
 - RSLCS 규격서 및 매뉴얼 (각 1식)
 - RSLCS 시제품 (1세트)
 - RWSL 시제품 [ILCU, 절연변압기, 활주로진입등, 이륙정지등] (1세트)
 - 장비 내환경성 시험성적서 (1식)
 - RSLCS 종합 시험 절차서 (1식)
- 구성기술[2] : 활주로 침입 자동경고 기술
 - ARIWS 테스트베드[공항실증] 시험절차서 (1식)
 - ARIWS 테스트베드[공항실증] 결과서 (1식)
 - ARIWS 종합 시제품 (1세트)
 - ARIWS 운영매뉴얼 및 유지보수 매뉴얼 (각 1식)
 - ARIWS 종합 시험절차서 (1식)

3.2 연차별 성과목표 및 지표

- 연차별 기술개발 목표 및 기술개발 내용

[표 1. 연차별 기술개발 목표 및 내용]

년 차	기술개발 목표	기술개발 내용
1차년도	해외사례 자료수집, 국.내외 규격 검토, 시스템 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 해외 설계 및 자료 수집 • 국내외 법규 및 기준 적용 • 개발 요구사항 수집 및 분석
	시스템 아키텍처 초안 및 기술 스택 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 계층 구조 아키텍처 초안 • 데이터 베이스 구조 초안
	등화제어 시스템 및 통신제어 시스템 기초 설계	<ul style="list-style-type: none"> • 유지보수식 사용자 인터페이스 구조 설계 • 제어 및 모니터링 구조 설계 • RWSL 및 ILCU 통신 연동 모듈 설계
	안전로직 프로세서 시스템 아키텍처 설계	<ul style="list-style-type: none"> • 개발 플랫폼 및 어플리케이션 구조 설계 • 데이터 아키텍처 설계 • 핵심 소프트웨어 모듈 연동 구조 설계
	레이더 연계 플랫폼 설계 및 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 항공기 및 차량 위치감시 플랫폼 설계 • 항공기 및 차량 위치감시 표준연계 설계
	운영자 UI 및 개발 지원도구 설계	<ul style="list-style-type: none"> • 유지보수 UI 기능 설계 • 개발 및 시험 지원 소프트웨어 도구 설계
2차년도	ARIWS 시스템 연계 프로토콜 설계	<ul style="list-style-type: none"> • RWSL 안전로직과 RSLCS간 연계 프로토콜 • CWP, RSLCS, ILCU, MWP(유지보수) 연계 프로토콜
	RSLCS(등화제어) H/W, S/W 설계 및 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 중앙제어장치 및 입출력 모듈 • 제어 로직 및 모니터링

년 차	기술개발 목표	기술개발 내용
		<ul style="list-style-type: none"> • 네트워크 이중화 • RWSL 및 ILCU 통신 연계 모듈
	LCU H/W, S/W 설계 및 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 개별 등화 제어기(ILCU) 개발 • 전력선 통신 모듈 • 개별 등화 제어 및 통신 로직 • 고장검출 로직
	ARIWS 실증을 위한 테스트베드 설계	<ul style="list-style-type: none"> • 테스트 시나리오 정의 및 데이터 수집 • HW, SW 연계 시험 환경 설계
	항공기/차량감시 연계 플랫폼 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 연계 대상 시스템 자료 수집 • 연계 전송 표준 플랫폼 설계 및 개발 • 연계 상태관리 기능
	레이더 데이터 퓨전 및 트래킹 모듈 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 레이더 데이터 노이즈 필터링 • 멀티 레이더 퓨전
	활주로 점유 및 침입 안전로직 설계/개발	<ul style="list-style-type: none"> • 활주로 점유 판단 로직 • 활주로 침입 판단 로직 • 판단결과 전송 모듈 • 이중화 지원 기능 설계
	테스트베드 지원도구 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 테스트베드용 테스트 시나리오 운영도구 개발 • 구역 및 시설범위 편집도구 • 테스트베드용 시뮬레이션 도구
	RSLCS 연동 기능 설계 및 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 등화별 On/Off 제[어 연동 기능 • 비상차단 프로토콜 설계 • 시스템 상태정보 연동
3차년도	CWP(관제사 작업석)용 사용자 인터페이스 개발	<ul style="list-style-type: none"> • Gateway 통한 비상 중지 제어 • 등화 상태 정보 모니터링
	RSLCS와 ILCU 개발 단위시스템 시험 통합	<ul style="list-style-type: none"> • RSLCS 및 ILCU 구성 모듈 단위 시험 • RSLCS 및 ILCU 구성 모듈 통합
	운영자용 UI 및 긴급제어 기능 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 운영자용 UI : 등화상태 표출기능 개발 • 운영자용 UI : 항공기 위치 정보 및 점유상태 표출 • 긴급 등화제어 기능 개발
	구성기술2 시스템 통합 및 단위시험	<ul style="list-style-type: none"> • 구성기술2의 구성모듈 통합 작업 • 구성기술2에 대한 기능요소별 단위 시험
	구성기술1,2 시스템 통합 및 연동 시험	<ul style="list-style-type: none"> • 구성기술 1,2의 모든 구성요소를 통합 구성 • 통합된 구성기술1,2 연동 시험 실시
	시스템 테스트베드 시험실시(1)	<ul style="list-style-type: none"> • 테스트베드 시험계획서 • 테스트베드 시험실시를 위한 시험 데이터 준비 • 테스트베드 시험 실시 및 평가
	시스템 실증을 위한 공항 설치	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 실증을 위한 시스템 공항 설치 협의 및 준비 • 실증 시험 대상 공항에 시스템 설치
4차년도	테스트베드 운영시험(Operating Test)	<ul style="list-style-type: none"> • 테스트베드 시험 실시 및 평가 • 테스트베드 시험 결과에 따른 고도화
	통합시스템 기능, 성능, 안전성 평가	<ul style="list-style-type: none"> • RWSL 안전로직 프로세스 성능 • 안전 로직 연동 등화제어 및 모니터링 • RWSL 통합 연동 평가
	안전로직 프로세서 서버 공인시험	<ul style="list-style-type: none"> • 안전로직 서버 공인시험 협의 및 시험준비 • 공인기관 입회하 시험실시
	운영 매뉴얼 및 운영절차 문서화	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 운영 매뉴얼 개발 • 시스템 운영 절차 문서화

3.3 구성기술별 연계체계 및 로드맵

○ 핵심기술개발 로드맵

- 활주로침범자동경고시스템(ARIWS)의 기술개발을 위한 구성기술별 연계체계 및 로드맵을 제시하는 최종 실증을 통해 활주로의 안전성을 확보하는 것을 목표로 한다.

[표 2. 구성기술별 연계체계 및 로드맵]

구성기술별 연계체계 및 로드맵					
구분		1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도
시스템 기초 설계	해외사례 자료수집, 국.내외 규격 검토, 시스템 분석				
	시스템 아키텍처 초안 및 기술 스택 검토				
	등화제어 시스템 및 통신제어 시스템 기초 설계				
요구사항 수집 및 핵심 소프트웨어 설계(ARIWS)	자료 수집 및 개발 요구사항 수집 분석				
	안전로직 프로세서 시스템 아키텍처 설계				
	레이더 연계 플랫폼 설계				
	운영자 UI 및 개발지원 도구 설계				
등화 및 통신 제어 시스템 설계 및 개발	ARIWS 시스템 연계 프로토콜 설계				
	RSLCS(등화제어) H/W, S/W 설계 및 개발				
	ILCU(통신제어) H/W, S/W 설계 및 개발				
	등화제어 시스템 하드웨어 구성 및 네트워크 설계				
	ARIWS 실증을 위한 테스트베드[공항실증] 설계				
ARIWS 핵심 소프트웨어 개발	항공기/차량감시 정보 연계 모듈 개발				
	레이더 데이터 퓨전 및 트래킹 모듈 개발				
	활주로 점유 및 침입 안전로직 설계/개발				
	테스트베드[공항실증] 지원도구 개발				
	RSLCS 연동 기능 설계 및 개발				
시스템 개발 및 단위 테스트	MWP(유지보수석)용 사용자 인터페이스 개발				
	RSLCS와 ILCU 개발 단위시스템 통합				
	시스템 통합을 위한 테스트 환경(시뮬레이션) 구축				
	테스트베드[공항실증] 상세 설계 및 구축				
CWP/지원도구 개발 및 테스트베드 시험	운영자용 UI 및 긴급제어 기능 개발				
	구성기술2 시스템 통합 및 단위시험				
	구성기술1,2 시스템 통합 및 연동 시험				
	시스템 테스트베드[공항실증] 시험실시				
	시스템 공항설치 실증을 위한 공항 설치				
테스트베드 운영시험	테스트베드[공항실증] 운영시험(Operating Test)				
	통합시스템 기능, 성능, 안전성 평가				
	안전로직 프로세서 서버 공인시험				
	하드웨어 및 소프트웨어 관련 인증 시험 및 고도화 진행				
	기술기준안 도출, 유지보수/운영매뉴얼 도출				

4. 연구개발 성과관리 및 활용계획

4.1 연구개발성과물 검증 및 관리방안(테스트베드 구축, 운용자 시험 등)

○ 테스트베드 운영 시험(Operating Test)

- 실제 공항 활주로와 유사한 환경을 모사한 테스트베드를 구축하여 RWSL 시스템의 통합 성능 및 안정성을 다각도로 검증
- 운용자 시험: 관제사, 조종사 등 실제 시스템 운용자를 대상으로 사용자 편의성, 기능 적합성, 안전성 등에 대한 시험 및 피드백을 수집하여 시스템 개선에 반영
- 전문가 평가: 항공 안전 분야 전문가들로 구성된 자문단을 통해 기술 개발 전반에 대한 전문적인 평가 및 검토를 수행하고, 개선 방안을 도출

○ 공항 실증

- 실험실 내 테스트베드에서 검증이 어려운 기능을 최종 검증하기 위해 “항공등화 설치 및 관리기준”과 동일한 기준으로 설치하여 실제 운영중인 지상레이더 등과 연계하여 안전성 평가
- 공항 실증시 ARIWS 및 PSLCS 구현 프로그램 검증 및 운영 평가로 통합 시스템의 기능, 성능, 안전성 평가

○ 관리 방안

- 유지보수 매뉴얼과 운영매뉴얼을 개발하여 최적의 관리가 되도록 개발

4.2 연구개발성과물 활용방안

○ 본 연구를 통해 확보된 고도의 활주로침범자동경고시스템(ARIWS: Autonomous

runway incursion warning system) 개발은 국산화 기술이 적용된 첫 번째 사례가 될 것이고 국내 공항산업 활성화와 국제적 경쟁력 확보 및 한국기업의 해외공항 건설사업의 수출에 크게 기여할 것으로 판단된다.

○ 활주로침범자동경보시스템의 기술 확보를 통해 국내 공항운영의 선진화와 전문화 기반의 구축이 이루어지고 보다 안전하고 신뢰성 높으며, 경제성이 확보된 인프라 구축이 가능하게 될 것이다.

○ 활주로침범자동경보시스템은 공항 실증을 통해 먼저 운영기술이 확보된 시스템으로서 개발이 완료될 것이고 이 기술로 김포국제공항의 국내 공항에 우선적으로 적용될 것으로 판단됨.

○ 본 연구를 통해 개발될 활주로 점유 및 침입 안전로직등의 핵심기술은 민간공항 인프라 뿐만 아니라 다양한 국,내외 공항에도 활용 가능하다고 판단.

5. 기존 유사사업과 차별성 및 연계 활용 방안

○ 기존 유사 사업과의 차별성

- ARIWS는 독립적이고 자율적인 솔루션으로 항공교통관제(ATC)의 개입없이 또는 운영에 영향을 주지 않으면서 표준 항공 교통 관제 허가 이상이 추가적인 상황인식을 제공할 특징으로 하는 시스템으로 기존 시스템과 차이를 보이고 있다.
- 특히, A-SMGCS의 기능에 있는 충돌방지 기능은 지상레이더에 기반한 항공기와 차량 사이의 거리를 계산하여 일정 거리이상 이격되어 있지 않으면 관제사에게 이를 알려주는 알람기능이 있으나 시각적으로 직접적 경고를 주는 시스템과 차이를 보인다.

〈표 3〉 기존 유사사업과의 차별성 및 연계성

과제명	김포공항 정지선등 신설 및 기타공사	항공기 지상이동안내 관제시스템 (A-SMGCS) 개발
사업비	7,417 백만원	8,779 백만원 (정부 6,582,000/ 민간 2,197,334)
사업기간	'26.05.08 ~ '26.06.30(진행중)	'13.12.26 ~ '16.05.23
사업목적	김포공항 항공기 충돌방지 대책의 일환으로 정지선등(Stop Bar Light)을 신설하여 항공기 안전운항 환경 구축	공항이동지역의 운영 효율성을 향상시킬 수 있는 ICAO Doc 9830 Level IV 수준의 A-SMGCS 개발
사업내용	유도로 17개소 정지선등(SBL) 271등 신설, 정지선등 신설에 따른 유도중심선등 연동 구성, 감시시스템 설치 등 * 신설 항공등화시설에 전원공급을 위한 전력시설 설치공사 별도 시행	ICAO Doc 9830 Level IV 수준의 A-SMGCS 시스템의 성능과 감시, 제어, 경로설정, 안내의 4대 주요 기능과 관제용 HMI 개발
지원대상	제한없음	제한없음
과제 선정방식	제한 경쟁 입찰	제한 경쟁 입찰
수행주체	한국공항공사 김포공항	국토교통부 국토교통과학기술진흥원
사업 추진체계	자체시행	인천국제공항 컨소시엄
유사 중복 키워드	항공기 활주로 침범 방지	항공기 지상이동 통제
차별성	항공교통관제에 의해 수동으로 동작하여 인적 오류 요소 상존, 기존 항공등화 감시, 제어 시스템과 독립적인 시스템으로 구성되어 있지 않음	주로 지상 이동 항공기의 안전한 통행을 관리하는데 기술개발의 초점이 있으며, 항공기 및 차량의 활주로 점유 및 침범 관리 기능에 목적을 두지 않음
연계성	자동경고 시스템과 항공교통관제를 연계하여 활주로 침범방지 시스템 오류 방지	공항의 지상 항공기 감시정보를 연계하여 유도로 통행의 스톱바 제어

○ A-SMGCS와 ARIWS의 기능적 비교

- A-SMGCS (Advanced-Surface Movement Guidance and Control Systems)와 ARIWS (Autonomous Runway Incursion Warning System)는 모두 공항 지상에서의 안전을 향상시키기 위한 시스템이지만, 그 목적, 기능, 작동방식에 중요한 차이 있음

〈표 4〉 A-SMGCS와 ARIWS 기능적 비교

	A-SMGCS (Stop bar)	ARIWS (RWSL)
목적 (역할)	· 공항이동지역(활주로, 유도로, 계류장등) 내 모든 이동 물체(항공기, 차량 등)의 안전 하고 효율적인 이동을 지원 하는 포괄적인 시스템. 저시정 상황에서도 공항 운영 능력을 유지하고 안전 수준을 확보하는데 중점	· 활주로 침범(Runway Incursion) 사고의 위험을 줄이는데 특화된 시스템 , 활주로에 침범 위험 발생시, 관제사의 개입없이 독립적으로 조종사나 운전자에게 직접적인 경고를 제공해 사고를 방지하는 것이 주된 목표
기능	· 감시(Surveillance): 레이더, MLAT,, ADS-B등을 활용, 공항 내 모든 이동체의 정확한 위치 정보 파악 · 경로 지정(Routing): 최적의 이동 경로를 자동으로 지정하고, 혼잡을 줄이며 효율적인 지상 이동 도움. · 안내(Guidance): 항공등화 제어 시스템(ILCMS)과 연동하여 조종사나 운전자에게 시각적 경로안내 제공 · 통제(Control): 비정상적인 상황 발생 시 경보를 보내고, 관제사가 지상 이동을 통제할 수 있도록 지원. 충돌 예측 및 충돌 감지/분석/해결 기능도 포함될 수 있음	· (독립적인 감시) 자체적인 감시 시스템(레이더, 카메라 등)을 활용하여 활주로의 점유 상황을 독립적으로 모니터링 · (자율적인 경고) 활주로 침범 위험이 감지되면, 해당 활주로는 진입하려는 항공기나 차량에 직접적으로 시각적(활주로 진입등[REL]과 이륙대기등[THL]의 적색 점멸) 경고는 관제사의 지시와 무관하게 작동 · (예방 중심) 침범 위험 발생 시 즉각적인 경고를 통해 조종사나 운전자가 스스로 판단하여 정지하거나 행동을 변경하도록 유도.
작동방식	주로 관제사의 상황인식과 의사 결정을 지원, 관제사의 지시를 기반으로 지상 이동 관리. 시스템에서 제공하는 정보는 관제탑의 HMI를 통해 관제사에게 표시	시스템과 독립적으로 작동하거나, 관제 시스템의 데이터를 활용하더라도 최종 경고는 시스템 자체적으로 판단하여 직접적으로 발령하는 “자율적 특징” 가짐
주요 사용자	항공교통관제사(ATC)가 핵심 사용자이며, 조종사도 시스템에서 제공하는 정보를 활용	항공기 조종사 및 지상 차량운전자가 직접적인 경고를 받는 주요 사용자
정보의 성격	지시적(Directive) "관제사가 허가했으니 진입하라"	자문적/경고적(Advisory/Warning) "관제허가와 상관없이 현재 활주로는 위험하다"(진입 전 안전을 확인하라)
활주로 침범 및 충돌제거 관점	A-SMGCS에도 충돌 예측 및 충돌 감지/분석/해결 기능도 포함될 수 있으나 SMGCS 만으로는 모든 활주로 침범 및 그로 인한 충돌 위험을 완벽하게 제거하기 어려움 · 관제사의 인적 오류 가능성 · 자동화된 직접적인 시각적 경고 부재 · 시스템 의존성	ARIWS 설치시 활주로 침범 및 공항 안전을 더욱 강화할 수 있음. · 관제사의 피로 및 오류 보완 · 즉각적이고 직접적인 시각적 경고 · 시스템 이중화 및 신뢰성 증가 · 조종사의 상황 인식 향상
결론	A-SMGCS는 공항 지상 이동의 전반적인 효율성과 안전을 관리하는데 필수적 시스템이지만 ARIWS는 활주로 침범이라는 특정하고 치명적인 사고 유형을 예방하는데 독립적인 안전 장치로 복잡한 환경에서 인간의 실수를 보완하는 최종적인 안전망 역할을 수행	

제4장 소요예산

1. 소요인력

- 개발과제의 연구내용별 주요업무를 토대로 총 소요인력을 산출한 결과 1,193.5[m/m]의 소요인력이 소요될 것으로 추산되었으며, 필요인력은 책임연구원급, 연구원급, 연구보조원급, 보조원 업무가 각각 있으나 본 소요인력은 연구원급을 기준으로 산출. (연구원급, 월 2,841,638원[50% 참여율 기준])
- 단, 실증을 위한 시설설치 관련한 소요인력은 제외(전기공사와 토목공사비에 포함)

[표 5] 소요인력 추산

단위: M/M (연구원급 기준)

구성기술	세부기술	합계	과제기간			
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도
구성기술 (1) “RWSL 항공등화 제어기술”	해외사례 자료수집, 국.내외 규격 검토, 시스템 분석	24.0	24.0			
	시스템 아키텍처 초안 및 기술 스택 검토	47.0	47.0			
	등화제어 시스템 및 통신제어 시스템 기초 설계	84.8	58.9	25.9		
	ARIWS 시스템 연계 프로토콜 설계	26.4		26.4		
	RSLCS(등화제어) H/W, S/W 설계 및 개발	45.6		45.6		
	ILCU(통신제어) H/W, S/W 개발	33.6		33.6		
	등화제어 시스템 하드웨어 구성 및 네트워크 설계	21.6		21.6		
	ARIWS 실증을 위한 테스트베드 설계	18.0		18.0		
	CWP(관제사 작업석)용 사용자 인터페이스 개발	42.0			42.0	
	RSLCS와 ILCU 개발 단위시스템 통합	51.6			51.6	
	시스템 통합을 위한 테스트 환경(시뮬레이션) 구축	54.0			54.0	
	테스트베드[공항실증] 상세 설계 및 구축	25.1			25.1	
	테스트베드[공항실증] 운영시험[구성1]	89.9			24.0	65.9
	통합시스템 기능, 성능, 안전성 평가	42.0				42.0
구성기술 (2) “활주로 침입 자동경고 기술”	하드웨어 및 소프트웨어 관련 인증 시험 및 고도화	48.0				48.0
	기술기준안, 유지보수/운영매뉴얼 도출[구성1]	40.8				40.8
	안전로직 프로세서 시스템 아키텍처 설계	28.0	28.0			
	레이더 연계 플랫폼 설계 및 개발	35.0	35.0			
	운영자 UI 및 개발 지원도구 설계	11.3	11.3			
	항공기/차량감시 연계 모듈 개발	24.0		24.0		
	활주로 점유 및 침입 안전로직 설계/개발	24.0		24.0		
	RSLCS 연동 기능 설계 및 개발	14.4		14.4		
	레이더 데이터 퓨전 및 트래킹 모듈 개발	24.0		24.0		
	테스트베드[공항실증] 지원도구 개발	13.7		13.7		
	ARIWS 시스템 통합 및 단위시험	43.2			43.2	
	ARIWS-RSLCS 통합 및 연동 시험	43.2			43.2	
	ARIWS 시스템 테스트베드[공항실증] 시험실시(1)	43.2			43.2	
	시스템 실증을 위한 공항 설치	28.8			28.8	
	운영자용 UI 및 긴급제어 기능 개발	16.9			16.9	
	테스트베드 공항실증 운영시험[구성2]	48.0				48.0
	통합시스템 기능, 성능, 안전성 평가	48.0				48.0
	안전로직 프로세서 서버 공인시험	36.0				36.0
	운영 매뉴얼 및 운영절차 문서화[구성2]	17.6				17.6
총투입 인력	합계	1,193.7	204.2	271.2	372	346.3

2. 총연구비, 연도별 연구비(정부/민간)

○ 전체사업비

- 본 사업은 4년(26년~29년)간 총 148.2억원(정부 110억원, 민간 38.2억원), 연평균 37억원 규모로 2개 구성기술로 구성

[표 6] 전체 소요 예산

(단위 : 백만 원)

구분	구분	합계	연도별 예산			
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
구성기술 1 “RWSL 항공동화 제어기술”	정부	7,800	1,170	1,560	2,730	2,340
	민간	2,720	410	540	950	820
	합계	10,520	1,580	2,100	3,680	3,160
구성기술 2 “활주로 침입 자동경고 기술”	정부	3,200	480	640	1,120	960
	민간	1,100	160	220	390	330
	합계	4,300	640	860	1,510	1,290
합계	정부	11,000	1,650	2,200	3,850	3,300
	민간	3,820	570	760	1,340	1,150
	합계	14,820	2,200	2,960	5,190	4,450

○ 전체 소요 예산

소요 예산은 구성기술을 수행하는데 소요되는 개발에 관여하는 참여인력의 인건비, 자재 및 재료비를 포함한 직접비 및 간접비로 연구비를 구성함.

- (인건비) 각 기관에서 실제 수행하는 R&D 인력만큼 인력공수를 결정한 후 책임 연구원, 연구원, 보조연구원, 보조원으로 구분하여 인력 참여율 및 2025년도 학술연구용역기준 단가를 기준으로 적용하여 산정 (단, 본 보고서의 인력은 연구원 기준으로 산정)
 - * 연구원 월임금 : 월 2,841,638원(1개월을 22일로 하여 참여율 50%로 산정)
- (직접비) 직접비 중 인건비를 제외한 장비 및 재료비, 연구활동비, 연구수당의 합으로 산정 자재●재료비에는 과제 개발을 위한 자재●재료비와 테스트베와 공항실증을 위한 자재●재료비와 전기공사, 토목공사 비용이 포함된 비용으로 산정
- (간접비) ‘국가연구개발사업 연구개발비 사용기준’을 준용하되 중소기업 참여가 주일것으로 고려하여 간접비 비율을 최소화 함.

[표 7] 전체 소요 예산

(단위: 백만원)

구분	비목	합계	연도별 예산				비율(%)
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
총연구비	인건비	4,809	791	1,054	1,555	1,409	32.5
	연구장비·재료비	7,521	979	1,421	2,825	2,296	50.7
	기타경비	2,341	428	455	758	700	15.8
	간접비	149	22	30	52	45	1.0
	소계	14,820	2,220	2,960	5,190	4,450	100
구성기술 1 “RWSL 항공등화 제어기술”	인건비	1,973	369	486	559	559	18.8
	연구장비·재료비	7,121	895	1,273	2,734	2,219	67.7
	기타경비	1,320	300	320	350	350	12.5
	간접비	106	16	21	37	32	1.0
	소계	10,520	1,580	2,100	3,680	3,160	100
구성기술 2 “활주로 침입 자동경고 기술”	인건비	2,836	422	568	996	850	66.0
	연구장비·재료비	400	84	148	91	77	9.3
	기타경비	1,020	128	135	408	350	23.7
	간접비	43	6	9	15	13	1.0
	소계	4,300	640	860	1,510	1,290	100

제5장. 기대효과 및 파급효과

1. 수혜자 및 편익항목

활주로상태등(RWSL: Runway Status Light) 시스템 구축의 가장 큰 수혜자는 조종사와 항공교통관제사 사이이며, 이를 통해 궁극적으로 항공기를 이용하는 승객과 항공사, 공항 운영자 모두가 편익을 누리게 될 것이다. 또한, 항공 안전을 강화하고 공항 운영의 효율성을 높이는데 핵심적인 역할을 할 것이다.

○ 수혜자

- (조종사) 조종사는 관제사의 지시와 더불어 활주로의 점유상태를 시각적으로 직접 확인할 수 있어 조종사가 더욱 정확하고 안전한 결정을 내리도록 도울 수 있는 시스템이다.
- (항공교통관제사) 관제사는 복잡한 공항 지상 이동 상황에서 항공기와 차량의 움직임을 통제하는데 이 시스템 도입은 관제사의 지시를 보강하는 독립적인 안전장치 역할을 함으로 관제사의 업무 부담을 경감시키고 관제 효율성을 높이는데 기여할 것이다.
- (항공사) 활주로에서의 충돌 사고는 막대한 인명 피해와 재산 손실을 야기할텐데 이러한 치명적인 사고를 예방함으로써 항공사의 안전 운항 신뢰도를 높이고, 사로로 인한 경제적 손실을 최소화 할 것이다.
- (공항이용객) 항공 안전의 향상은 승객의 생명과 안전을 보장하는 가장 중요한 요소로서 승객들은 안심하고 항공 서비스를 이용할 수 있을 것이다.
- (공항운영자) 안전한 공항 환경은 공항의 명성과 경쟁력을 높일 수 있을 것이다. 또한, 사고 예방을 통해 공항 시설의 손상을 방지하고, 원활한 항공기 운항을 보장하여 안전성과 효율성을 증대시킬 수 있다.

○ 편익항목

- (활주로 점유로 인한 충돌사고 예방) 다른 항공기나 차량이 활주로를 점유하고 있을 때의 이륙 시도나 착륙 항공기가 있는 활주로에 진입하는 등의 위험한 상황을 사전에 방지.
- (인적 오류 감소) 조종사와 관제사의 순간적인 실수나 착각을 시스템이 보완하여 항공 사고의 주요 원인인 인적 오류 발생 가능성을 크게 낮춰 줌
- (저시정 상황에서의 안전 확보) 안개, 폭우, 야간 등 시정이 좋지 않은 상황에서도 조종사가 명확하게 활주로 상태를 인지할 수 있어 안전성이 더욱 향상
- (지상 조업의 효율성 향상) 항공기와 지상 차량의 활주로 진입 및 횡단이 더욱 안전하고 신속하게 이루어질 수 있어 공항 지상 조업의 효율성을 높게 할 수 있다.
- (항공기 운항 정시성 확보) 활주로에서의 불필요한 대기 시간을 줄이고, 원활한 교통 흐름을 유도하여 항공기 운항의 정시성을 확보하는데 기여
- (공항 수용량 증대 가능성) 장기적으로는 활주로 운영의 안전성과 효율성이 증대됨에 따라 공항의 항공기 처리 용량[Capacity]을 높이는데 긍정적인 영향을 줄 수 있음

2. 기대효과 및 파급효과

자동 활주로 진입경보시스템(ARIWS: Autonomous Runway Incursion Warning System)으로 활주로상태등 시스템을 설치함으로써 활주로 무단 진입을 획기적으로 예방하여 공항의 안전수준을 한 단계 끌어올릴 수 있는 항공 안전 시설

○ 운영적 측면의 효과

- (**활주로 무단 진입 및 충돌 사고 예방**) 활주로상태등에 의해 조종사는 관제사의 허가와는 별개로, 활주로는 안전하지 않다는 것을 직접 눈으로 확인하고 진입 또는 이륙 정지
- (**조종사 및 지상 운전자의 상황 인식 능력 향상**) 등화라는 명확한 시각 신호를 통해 활주로 상태에 대한 직관적인 정보를 제공함으로써, 조종사와 운전자가 더욱 정확하게 상황을 판단하고 안전한 결정을 내리도록 도움.
- (**독립적인 안전 시스템 구축**) 관제시스템과는 독립적으로 작동하는 완전 자동화 시스템을 적용하므로 관제사의 업무 부담을 증가시키지 않으면서, 관제 과정에서 발생하는 잠재적 실수를 보완하는 추가적인 안전 계층 제공
- (**항공 관제사의 업무 부담 경감**) 항공 교통 감시 시스템과 연계하여 자동으로 작동하므로 항공 관제사의 개입이 필요없어 관제사가 다른 업무에 더 집중할 수 있도록 기여

○ 경제적 측면의 효과

- (**사고 처리 비용 감소**) 활주로상태등 시스템은 잠재적인 충돌 위험을 사전에 방지하여 사고 발생 가능성 자체를 현저하게 낮추어 사고로 인한 기체 수리 및 교체, 인명 피해 보상, 항공기 기동률을 높여 직접적인 수익 증대에 기여
- (**항공사 운영 효율 증대**) 사고 예방은 항공사의 안정적인 운영으로 이어져 불필요한 운행 지연 및 결항을 최소화하고, 항공기 가동률을 높이는 효과에 기여

○ 사회적 측면의 효과

- (**승객의 심리적 안정감 증대**) 눈에 보이는 직관적인 안전장치인 활주로상태등은 승객들에게 공항이 안전에 만전을 가하고 있다는 인식을 심어주어 항공 여행에 불안감 해소 및 심리적 안정감을 높임
- (**공항 및 국가 이미지 제고**) 최첨단 안전 시스템을 도입하고 운영하는 것은 해당 공항과 국가의 항공 안전 수준을 대외적으로 알리는 계기로 국제 항공 사회에서 위상을 높이고, 더 많은 관광객과 비즈니스 수요를 유치하는데 긍정적인 영향 미칠 것으로 기대
- (**항공 산업 종사자의 안전한 근로 환경 조성**) 조종사, 관제사, 지상조업자 등 항공 산업 종사자들에게 더욱 안전한 근로 환경을 제공하여 직무 만족도를 높이고, 인적 오류(Human Error) 발생 가능성을 줄이는 선순환 구조 구축에 기여

[부록]

1. 상세 연구비 내역

○ 연차별 업무내용을 분류한 상세 연구비 내역

(단위: 백만원)

구성 기술	세부기술	과제기간				
		인건비	자재·재료	기타비용	간접비	합계
1차 년도	해외사례 자료수집, 국·내외 규격 검토, 시스템분석	68	30	57	3	158
	시스템 아키텍처 초안 및 기술 스택 검토	134	350	108	6	598
	등화제어 시스템 및 통신제어 시스템 기초 설계	167	515	135	7	824
	안전로직 프로세서 시스템 아키텍처 설계	159	32	33	2	226
	레이더 연계 플랫폼 설계 및 개발	199	40	41	3	283
	운영자 UI 및 개발 지원도구 설계	64	12	54	1	131
2차 년도	등화제어 시스템 및 통신제어 시스템 기초 설계	74	150	48	3	275
	ARIWS 시스템 연계 프로토콜 설계	75	130	48	3	256
	RSLCS(등화제어) H/W, S/W 설계 및 개발	130	343	86	6	565
	ILCU(통신제어) H/W, S/W 개발	95	100	64	4	263
	등화제어 시스템 하드웨어 구성 및 네트워크 설계	61	350	42	3	456
	ARIWS 실증을 위한 테스트베드 설계	51	200	32	2	285
	항공기/차량감시 연계 모듈 개발	136	18	28	1	184
	활주로 점유 및 침입 안전로직 설계/개발	136	0	29	3	168
	RSLCS 연동 기능 설계 및 개발	82	0	18	1	101
	레이더 데이터 퓨전 및 트래킹 모듈 개발	136	130	29	2	297
	테스트베드[공항실증] 지원도구 개발	78	0	30	1	109
	CWP(관제사 작업석)용 사용자 인터페이스 개발	119	234	53	6	412
	RSLCS와 ILCU 개발 단위시스템 통합	147	600	63	6	816
3차 년도	시스템 통합을 위한 테스트 환경(시뮬레이션) 구축	154	300	67	7	528
	테스트베드[공항실증] 상세 설계 및 구축	71	200	59	6	336
	테스트베드[공항실증] 운영시험(구성1)	68	1,400	108	12	1,588
	ARIWS 시스템 통합 및 단위시험	246	0	51	3	300
	ARIWS-RSLCS 통합 및 연동 시험	246	6	51	4	307
	ARIWS 시스템 테스트베드[공항실증] 시험실시(구성2)	246	0	51	3	300
	시스템 실증을 위한 공항 설치	164	85	34	2	285
	운영자용 UI 및 긴급제어 기능 개발	96	0	220	3	319
	테스트베드[공항실증] 운영시험(구성1)	187	1,500	140	1	1,840
4차 년도	통합시스템 기능, 성능, 안전성 평가	119	319	67	6	511
	하드웨어 및 소프트웨어 관련 인증 시험 및 고도화	136	200	77	7	420
	기술기준안 도출, 유지보수/운영매뉴얼 도출	117	200	66	6	389
	테스트베드[공항실증] 운영시험(구성2)	273	20	157	5	454
	통합시스템 기능, 성능, 안전성 평가	273	44	57	4	377
	안전로직 프로세서 서버 공인시험	205	13	11	3	335
	운영 매뉴얼 및 운영절차 문서화(구성2)	100	0	23	1	124
	합계	4809	7,521	2,341	149	14,820

○ 공항 실증 비용 내역

- 실증은 유사환경 및 시험실 내의 테스트베드 실증과 공항에 개발 시제품을 실제 상황과 동일한 조건으로 실증하기 위해 국토교통부의 '항공등화 설치 및 관리기준'에 의한 시설 기준으로 실증비용 산출

[표 8] 공항 실증을 위한 예상 비용 산출 [사업비에 포함]

(단위: 원)

구분 (항목)		단가	수량	금액	비고
PSLCS 부문(구성요소1)		-	-	723,000,000	(개발시제품)
1	활주로진입등	700,000	40	28,000,000	-
	이륙정지등	900,000	70	63,000,000	-
	직렬절연변압기(저누설형)	200,000	110	22,000,000	-
	RSLCS 시제품	400,000,000	1	400,000,000	-
	IMCU	25,000,000	4	100,000,000	-
	ILCU	1,000,000	110	110,000,000	-
ARIWS 부문 (구성요소2)				316,000,000	(개발시제품)
2	애플리케이션 서버	18,000,000	1	18,000,000	-
	애플리케이션 서버 (이중화)	18,000,000	1	18,000,000	-
	표준 랙 캐비닛	2,400,000	1	2,400,000	-
	관제 작업 위치 단말기 (CWP)	130,000,000	1	130,000,000	-
	시나리오 운용 워크스테이션	6,000,000	1	6,000,000	-
	3D 공항 환경 시뮬레이터	13,000,000	1	13,000,000	-
	이중화 네트워크 인프라	85,000,000	1	85,000,000	-
	이중화 전원 공급-UPS 세트	4,600,000	5	23,000,000	-
	디버깅/개발 테스트 환경	6,600,000	1	6,600,000	-
	시스템 운영/모니터링 환경	2,800,000	5	14,000,000	-
토목 및 설치 공사				3,040,000,000	(공항실증)
3	실시설계	130,000,000	1	130,000,000	-
	전기공사	2,550,000,000	1	2,550,000,000	-
	공사감리	360,000,000	1	360,000,000	-
합계				4,079,000,000	